2

TECHNOLOGY REPORTS, KANAGAWA UNIVERSITY

神奈川大学

March 2019

No.

<u>ید</u> ۲۵۵۳ کو R188 کو

BC245

1. 考	· 發頭言	
	工学研究所長就任にあたって	l
2. 亲	所任者の研究紹介	
2-1	企業価値と従業員関連指標に関する研究	;
2-2	写像空間, 冪空間と無限次元多様体	ć
2-3	架橋高分子の易加工化を可能にするジスルフィド結合の組換え反応	;
2-4	「翻訳後修飾によるトリプトファン残基のイソプレニル化」	;
2-5	船内向け自主改善活動の研究久宗 周二21	
2-6	ソーシャル案内ロボットの自律移動制御に関する研究)
2-7	Design of UAV – Embedded Microphone Array System for Sound Source Localization in Outdoor Environments	
2-8		2
2-9	Expansions of the Schwartz distribution by means of the Hermite functions	7
2-10	・ 不確かさを含む大規模複合システムに対する分散可変ゲインロバストコントローラの構成法	2
2-11	A Branch-and-price Approach with MILP Formulation to Modularity Density Maximization on GraphsKeisuke SATO, Yoichi IZUNAGA 58	3
3. 🗇	と賞研究の紹介	
3-1	国際会議 ICOR2017 で Best Paper Award を受賞して)
3-2	ACMSA2017 ワークショップ最優秀論文賞を受賞して	
3-3	日本経営分析学会における学会賞(論文の部)を受賞して	j
3-4	「わが国の住宅の近代化に関する一連の歴史研究」について	1
3-5	音響管の共鳴現象を利用した発破超低周波音消音装置の開発	i
4 7	一学刘快则子曾重更继迟敢借费阻浦研究	
- . ⊥ 4−1	- 子 即 初 月 昇重 安 改 師 至 師 員 肉 走 前 九	,
4-2	協定常状態光伝導度測定システム	
4-3	デジタルファブリケーションシステムを活用した教育・研究高野倉 雅人,片桐 英樹,松本 光広,西川 昌宏,酒井 裕介93	;
5. □	三学研究所共同研究	
5-1	軽量・高性能ハイブリッドロケットエンジンの研究・開発	1
5-2	無機触媒/半導体ハイブリッド型水素・酸素生成太陽光熱電池の創製	
	松木 伸行,山口 栄雄,本橋 輝樹,米田 征司,佐藤 知正… 101	l
5-3	次世代型医薬品開発を目指した希少糖や核酸誘導体の合成と活性評価赤井 昭二, 實吉 尚郎, 小野 晶 105	;
5-4	複合金属酸化物 Ba-Zn-Nb-In-O の合成と熱重量分析)
5-5	二酸化炭素資源化のための光電極材料の探索	ł
5-6	炭素ナノ材料に内包された水の分子ダイナミクス	;
6. 🛛	こ学研究所プロジェクト研究	
6-1	障がい者支援施設における地域交流活動について	
	·····吉岡 寬之, 曽我部 昌史, 内田 青蔵, 山家 京子, 中井 邦夫, 重村 力, 丸山 美紀, 長谷川 明, 小幡 知之, 香山 篤美····· 127	1
6-2	高周波四路の解析・設計埋論の整備と対応ソフト開発一方形断面光導波路電磁界・実効屈折率の高精度計算一 可以の構成する。	
6.0		;
6-3	同女心旭女王父通妍先州(KU-WIKF) 油動報音(2017) 一任芸化 うるトフィノレコーターー った 欧川 根照 ごせ カロ 死 デロ 捕殺 茹 モ汁 デ会 四ナ ルゥ ター いっ	,
6-1	"新たた任農妻エネルギー社会に対応した新刊電油の問題 (2)"	'
04	初には欧沢ホーイルコーロムにわれしに利主电(ビジ)開た(3)	,
	"凶"下一八,"也亦一小飞,"山度一豆伸,八次一八刀,吹汗一伯,八开一八两八,女术一旧处,仰凹一貝雄"" 132	•

目 次

6-5	燃料噴射ポンプ筐体の低振動低騒音構造初期設計山崎 徹, 武田 章善, 池田 和正, 中村 弘毅, 菊地	通134
6-6	多分岐ポリマー系ナノハイブリッド材料の開発と応用横澤 勉, 池原 飛之, 山田 保治, 花畑 誠, 工藤	宏人136
6-7	振動を用いたDNA増幅法	温138
6-8	グリーンイノベーションの基盤となるナノ構造制御触媒の開発研究	
	引地 史郎, 内藤 周弌, 上田 渉, 中澤 順, Shigeo T. Oyama, 宮尾 敏広, 赤間 弘, 星野	真樹139
6-9	車両等に装備するためのポリカーボネート窓の表面改質に関する研究(4)	
		先男 141
6-10) 微細構造創成用水静圧スピンドルの温度変化の検討	MIN ····· 143
6-11	鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースの二段載荷予備実験	
		武司146
6-12	2 潮流発電ユニット開発の最先端技術:相反回転化 - 2018年度報告 中西 裕二,船見 祐揮,金元	敏明 148
6-13	3 パルスレーザー光を利用した反応開発および機構解析岩倉 いずみ,赤井 昭二,藪下 篤史,岡村 幸太郎,織作	恵子 149
6-14	4 疎表現理論に基づく知能的視覚情報処理システムに関する研究 – 動画像疎表現統計的モデリングとその応用 –齊藤	隆弘150
6-15	5 ミリ波・テラヘルツ波帯のおける金属フォトニック結晶構造デバイスの解析と応用に関する研究(研究成果報告書)	
		明芳152
6-16	5 新規物質の自己組織化を基盤とした界面制御	春馬154
6-17	7 毒性金属イオン検出・除去システムの開発研究小野 晶,友利 貴人,長澤 浩, 實吉	尚郎156
6-18	3 企業ロボットの概念松井 正之,石井 信明,山田	哲158
6-19) ポリペプチドのフォールディングと集積化により形成される高次構造と機能	尚之160
6-20) 高性能スターリングエンジンの開発 — プロジェクト「加熱器・冷却器を一方向にバイパスするスターリングエンジンの開発」の進	违步
	原村	嘉彦162
6-21	1 戸建住宅における全館空調の一次エネルギー消費量に関する研究(1) 岩本 靜男, 傳法谷 郁乃, 児保	茂樹164
7. I	L学研究所テクノサークル	
7. ⊥ 7-1	L学研究所テクノサークル 環境科学テクノサークル 2018 年活動報告	学 165
7. ⊥ 7−1 7−2	U学研究所テクノサークル 環境科学テクノサークル 2018 年活動報告	学 165 路交通安全
7. ⊥ 7−1 7−2	U学研究所テクノサークル 環境科学テクノサークル 2018 年活動報告	学 165 路交通安全 浩二 166
7. ⊥ 7-1 7-2 7-3	E学研究所テクノサークル 環境科学テクノサークル 2018 年活動報告	学 165 路交通安全 浩二 166 将太 170
 7. ⊥ 7-1 7-2 7-3 7-4 	U学研究所テクノサークル 環境科学テクノサークル 2018 年活動報告	学 165 路交通安全 浩二 166 将太 170 光弘 171
 7. ⊥ 7-1 7-2 7-3 7-4 7-5 	L学研究所テクノサークル 環境科学テクノサークル 2018 年活動報告 #1 ドライブレコーダー・テクノサークル活動報告 (2017) "自転車の居場所がない!":"リンレコ"とウェアラブルカメラ搭載 日常サイクリングで判った曖昧な道 一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一	学 165 路交通安全 浩二 166 将太 170 光弘 171 敦 173
 7. ⊥ 7-1 7-2 7-3 7-4 7-5 7-6 	L学研究所テクノサークル 環境科学テクノサークル 2018 年活動報告	学····· 165 路交通安全 浩二···· 166 将太···· 170 光弘···· 171 敦···· 173 太郎···· 175
7. \square 7-1 7-2 7-3 7-4 7-5 7-6 7-7	工学研究所テクノサークル 環境科学テクノサークル 2018 年活動報告	学···· 165 路交通安全 浩二···· 166 将太··· 170 光弘···· 171 • 敦···· 173 太郎···· 175 健伸···· 177
7. \square 7-1 7-2 7-3 7-4 7-5 7-6 7-7	L学研究所テクノサークル 環境科学テクノサークル 2018 年活動報告	学 165 路交通安全 浩二 166 将太 170 光弘 171 敦 173 太郎 175 健伸 177
 7. ⊥ 7-1 7-2 7-3 7-4 7-5 7-6 7-7 8. 随 	工学研究所テクノサークル 環境科学テクノサークル 2018 年活動報告	学 165 路交通安全 浩二 166 将太 170 光弘 171 敦 173 太郎 175 健伸 177
7. 7-1 7-2 7-3 7-4 7-5 7-6 7-7 8. [班 8-1	L学研究所テクノサークル 環境科学テクノサークル 2018 年活動報告	学 165 路交通安全 浩二 166 将太 170 光弘 171 東 173 太郎 175 健伸 177 隆弘 179
7.	L学研究所テクノサークル 環境科学テクノサークル 2018 年活動報告・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	学 165 路交通安全 浩二 166 将太 170 光弘 171 敦 173 太郎 175 健伸 177 隆弘 179 春樹 181
7.	L学研究所テクノサークル 環境科学テクノサークル 2018 年活動報告	学 165 路交通安全 浩二 166 将太 170 光弘 171 文郎 173 太郎 175 健伸 177 隆弘 179 春樹 181
7. 7-1 7-2 7-3 7-4 7-5 7-6 7-7 8. 随 8-1 8-2 9. □	C学研究所テクノサークル 環境科学テクノサークル 2018 年活動報告・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	学 165 路交通安全 浩二 166 将太 170 光弘 171 敦 173 太郎 175 健伸 177 隆弘 179 春樹 181
7. 7-1 7-2 7-3 7-4 7-5 7-6 7-7 8. 隠 8-1 8-2 9. 二 1. 研	C学研究所テクノサークル 環境科学テクノサークル 2018 年活動報告・	学 165 路交通安全 浩二 166 将太 170 光氓 171 敦 173 太郎 175 健伸 177 隆氓 179 春樹 181
7.	C学研究所テクノサークル 環境科学テクノサークル 2018 年活動報告	学 165 路交通安全 浩二 166 将太 170 光弘 171 文郎 173 太郎 175 健伸 177 隆弘 179 春樹 181 ··A-1 A-42
 7. 工 7-1 7-2 7-3 7-4 7-5 7-6 7-7 8. 随 8-1 8-2 9. 工 1. 研 2. 講 3. 研 	C学研究所テクノサークル 環境科学テクノサークル 2018 年活動報告	学 165 路交通安全 浩二 166 将太 170 光弘 171 文郎 173 太郎 175 健伸 177 隆弘 179 春樹 181 ··A-1 A-42 A-44
7. 7-1 7-2 7-3 7-4 7-5 7-6 7-7 8. 隠 8-1 8-2 9. 二 1. 研 2. 講 3. 研	C学研究所テクノサークル 環境科学テクノサークル 2018 年活動報告	学165 路交通安全 浩二166 将太170 光弘173 太郎173 太郎175 健伸177 隆母179 春樹181 ··A-1 A-42 A-44
7. ⊥ 7-1 7-2 7-3 7-4 7-5 7-6 7-7 8. 頤 8-1 8-2 9. ⊥ 1. 研 2. 講 3. 研 10. 二	□ ビ学研究所テクノサークル 環境科学テクノサークル 2018 年活動報告	学165 路交通安全 浩二166 将太170 光弘171 京173 太郎175 健伸177 隆弘179 春樹181 ··A-1 A-42 A-44 A-63

11. 編集後記

工学研究所長就任にあたって

今井 崇雅*

Message from the Director of Research Institute for Engineering

Takamasa IMAI*

2018 年度 4 月より 2 年間、工学研究所所長を務めさせて頂くこと となりました。工学研究所は、歴代所長をはじめ多くの方々により、 整備された規程類や体制のもとで、円滑に機能を果しています。現 在はその機能を生かし、より工学の発展に資する拠点となることを 目指しています。本稿で、今年度の研究所活動概要をご紹介するこ とで、就任の挨拶に代えさせて頂きます。

今に始まったことではありませんが、科学技術の急速な進展によ り技術分野は日を追うごとにますます複雑多岐に分化されつつあり ます。そのなかで今まで異分野と考え、交流のなかった複数の専門 分野との連携により、新たな進歩が得られるケースは今後もさらに 増えていくことでしょう。

本研究所の大きな役割の一つは、このような科学技術の急速な進 展への対応も念頭に置いた、既存組織の枠を超えた研究活動推進に 資することです。今年度は、グリーンイノベーション、医療・健康 をはじめとした 21 世紀に解決を求められている各種課題に取り組 む合計 27 テーマへの支援を行っています。内訳としては、共同研究 4 テーマ、学内外の人材を招聘して遂行するプロジェクト研究 18 テーマ、課題研究所を設立して実行するプロジェクト研究5テーマ です。研究テーマごとに、幅広い人材や各種資源の研究所への結集 することで、効率な研究の進展を図っています。

研究所の第2の役割は、研究活動で得られた成果やその母体とな る研究組織の活動を情報発信することです。代表例としては、工学 部の協力を得て編纂されている本誌工学研究が挙げられます。テク ノフェスタでは、研究成果の発信のみならず、企業との連携を含む 新たな研究体制の構築も念頭に置いた交流の場も設けています。学 外の関連分野の組織との連携の促進も念頭に置いた、工学部・工学 研究科の各研究室を紹介した工学系紹介冊子も刊行しています。み なとみらいの KU ポートスクエアにおいては、今年度も「暮らしの なかのサイエンス」として、一般の方々に親しんで頂ける題材にて 講演会を開催します。今年度は「Scratch2.0 ではじめるプログラミン グ入門」と題して、ゲーム作成を演習題材としたプログラミングに 取り組んで頂きます。

第3の役割として、共同利用機器・設備の管理運営が挙げられま す。冒頭に述べたとおり科学技術の進展に伴い、より高度な機能を もつ装置や設備活用の必要性が高まっている中、より効率的な共同 利用のしくみがますます求められると想定されます。課題を抽出の 上、利用者の意見も踏まえてより活用しやすい仕組みの整備を図っ て参ります。

このほかテクノサークル支援の活動も行っています。テクノサー クルは「研究者・技術者の卵」ともいえる工学部生を中心とした学 生が関心をもった課題ごとにあつまり、工学知識を活用して課題解 決に向けた研究活動を行うサークルです。学生自らが課題を解決し ていくなかで、さらなる研究や技術開発への意欲を醸成することも ねらいとしています。今年度は7件のサークル活動を支援していま す。

ご紹介させて頂きました活動には、工学部、工学研究科と連携し たものも多数あります。研究所としては、既存組織の枠を超えた活 動推進をはじめとした研究所らしい機能を生かすことで、今後想定 される課題解決への貢献も図りたいと考えております。

ご紹介させて頂きました研究活動推進、成果やそれを育んでいる 組織情報の発信など、数々の機能をあわせもつ工学研究所は、運営 委員、研究支援委員、大型装置管理委員をはじめとした研究所員、 ならびに学部、研究科と連携したテクノフェスタ企画委員・実行委 員、工学研究編集委員、工学系冊子編集委員の皆さまの活動により 成り立っています。今後、研究所の目的に沿った活動のより効率的 な推進に向け、多くの皆様からのご提案やアイデアを頂きたいと考 えています。そのようなアイデアを頂くためにも、工学研究所のし くみや活動概要をよりわかりやすく発信していきたいと考えており ます。関連委員会の皆様のみならず所員の皆様のご協力を改めてお 願い申し上げます。

2. 新任者の研究紹介

2-1	企業価値と従業員関連指標に関する研究	平井	裕久
2-2	写像空間、冪空間と無限次元多様体	越野	克久
2-3	架橋高分子の易加工化を可能にするジスルフィド結合の組換え反応	高橋	斎 明
2-4	「翻訳後修飾によるトリプトファン残基のイソプレニル化」	岡田	正弘
2-5	船内向け自主改善活動の研究	久宗	周二
2-6	ソーシャル案内ロボットの自律移動制御に関する研究	引	夏 斌
2-7	Design of UAV - Embedded Microphone Array System for Sound Source Localization in Outdoor Environments	Kotaro HOS	HIBA
2-8	固体界面における高分子の構造と物性	犬求	ミ 学
2-9	Expansions of the Schwartz distribution by means of the Hermite functions	Toshinao KAC	GAWA
2-10	不確かさを含む大規模複合システムに対する分散可変ゲインロバストコントローラの構成法	永井	駿也
2-11	A Branch-and-price Approach with MILP Formulation to Modularity Density Maximization on Graphs		

Keisuke SATO, Yoichi IZUNAGA

企業価値と従業員関連指標に関する研究

平井 裕久*

A Study on Relation of Corporate Value and Indicators of Employee

Hirohisa HIRAI*

1. はじめに

"企業価値"というキーワードは、新聞や雑誌において頻出して いる.企業から見て外部の利害関係者はもちろん、企業における経 営者および経営管理者のような内部の人間にとっても企業価値に関 連し、 例えば市場でどのような評価を受けているのかといったこと が大きな関心事となっている.特に、金融不安の払拭されない市場 では、企業価値の創出を宿命づけられた経営者達が、企業価値に関 連した多様な項目により経営手腕を評価されている. このような状 況において企業価値の創出のためには、企業を導く戦略が必要であ る.戦略達成には、できる限りの経営資源の効率的利用が求められ る. Kaplan and Norton(1996)のバランスト・スコアカード (Balanced Score Card: BSC)では、企業の戦略を達成するための指針となる業 績評価指標を作成のために4つの視点が用いられている. その1つ である「人材と変革の視点」は、特に企業価値を創出する上で、そ の基礎となる人材や情報システムなどに関する視点であり、これら 人材や情報システムは、インタンジブルズと呼ばれている. その中 でも、特に人的資本に係るインタンジブルズの有効活用は企業価値 創出に必須な要素である.

それ故,企業価値の測定においては,従来からの財務情報だけに よらず,非財務情報であるインタンジブルズ情報を把握することで, より精緻な企業価値の測定をおこなうことができると考えられる. 特に,人的資本については,「ヒト」,「モノ」,「カネ」,「情報」とい う企業の根幹を支える要素の一つであり,インタンジブルズの中で も特に重要視すべき経営資源である.

近年では、CSR の高まりもあり労働環境に対して注目が集まって いる.企業にとって、従業員である「ヒト」の要素が重要であるこ とはもちろん、労働環境の改善が、企業の業績にどのような影響を 与えているのかについて、これまで実証研究は必ずしも十分にはお こなわれてこなかった.その理由のひとつには、労働環境に関する 情報が企業から十分に開示されていないことが考えられる.例えば、 2012 年にはじめて厚生労働省から若年者の離職率が公表されたよ うに、企業における労働環境の情報開示が十分ではなかった.

また、従業員満足度の向上が、顧客満足度の向上につながり、さらに業績の向上につながるといったフレームワークは、BSC におい

*教授 経営工学科 Professor, Dept. of Industriall Engineering and Management

ても示されている.

そこで本稿の目的は、バランスト・スコアカードのフレームワー クの下、企業業績と従業員の満足度、定着率との関連についての検 証をおこなうことで、成果(企業業績)に対して、従業員関連の要因 がどの程度影響を及ぼしているかを明らかにすることである.

2. 研究の背景

本稿に関連し、先行研究としての大きな流れは、企業価値評価モ デルに関する Ohlson(1995)と、バランスト・スコアカードに関する Kaplan and Norton(1996)である。

企業価値に関する研究は、Ohlson(1995)以降に積極的に行われて きている。Ohlson(1995)は、企業価値を純資産簿価と残余利益の将 来価値合計によって説明したものであり、これ以降、市場における 評価である株価(時価総額)との価値関連性の研究は、米国をはじめ、 わが国でも盛んにおこなわれてきている。その中で、様々な視点や アプローチからの研究がおこなわれている。

また、Kaplan and Norton(1996)によって提唱されたバランスト・ス コアカードは、企業の戦略目標と4つの視点から選択された業績評 価指標を結びつけ、これらのバランスを考慮し、企業の戦略を達成 しようとするものである。Kaplan and Norton(2004)においては、バラ ンスト・スコアカードの枠組みを取り込んだ戦略マップの提唱に よって、企業がいかに企業価値を創造していくのかを説明している。 この中では、企業のインタンジブルズ(intangibles:無形資産)が、「人 材と変革の視点」の中で述べられ、インタンジブルズが企業の戦略



図 1 人材と変革の視点におけるフレームワーク (吉川(2011)より引用)

へと方向付けられることにより、企業価値の向上につながるとされ ている。特に、「人的資本」を焦点とした「人材と変革の視点」のフ レームワークは、図1の通りである.図1から、「人材と変革の視点」 における成果を示す業績評価指標は、従業員満足度、そして従業員 定着率と従業員の生産性により導き出されたものと解される。

インタンジブルズは、一般的に人的資本、情報資本、組織資本に 分類されるが、本稿においては、その中でも特に人的資本について 焦点をあてることとする。Kaplan and Norton(2004)では、特に、人的 資本と情報資本の有効活用が不十分と説明されている。つまり、人 的資本、情報資本の有効活用の程度が企業価値の向上に影響を与え ているにも関わらず明確に認識がされてこなかったと考えられる。 それでも最近では、インタンジブルズと企業価値との関連性につい て、日米において様々な研究が行われている。

例えば、Wyatt(2008)は、市場における企業価値とインタンジブル ズ情報との関連性に関する多くの実証研究の結果をまとめている。 Rosett(2001)、Lajili and Zeghal(2006)、Edmans(2007)などは、インタ ンジブルズの中でも特に、人的資本に焦点をあてた研究を行ってい る。例えば Lajili and Zeghal(2006)では,従業員の生産性を示す指標 として MP (Marginal Productivity)を用い,MP により作成したポー トフォリオのパフォーマンスを評価することで,従業員の生産性と 企業価値との関連性を明らかにしている.また Rosett(2001)は、従業 員数と株価との価値関連性に関する研究をおこない、従業員数が統 計的に有意であることを指摘している。そして Edmans(2007)は、人 的資本の中でも、特に従業員満足度について取り上げている。そこ では Fortune 誌における「アメリカの働きやすい会社 100 社」のデー タを用いて、従業員満足度が株価との価値関連性を有していること を実証している。

3. 分析方法および結果

3.1 サンプル

本稿では、BSC における「人材と変革の視点」におけるフレー ムワークのうち、特に「従業員満足度」、「従業員定着率」、「成果」 の関連に焦点を当て分析をおこなう.なお、「従業員満足度」、「従 業員定着率」については、企業から明確に情報開示されていないた め、「従業員満足度」については、日経 HR の「働きやすい会社 ランキング」から、上位 100 社をランキング内企業としている。ま た「従業員定着率」については、企業の開示する従業員の平均勤続 年数を代理変数として用いることとする.なお、勤続年数のデータ は、企業年齢(設立年数)によっての影響が考えられる。すなわち、 設立年が新しい企業であれば、当然のことながら勤続年数が短くな る。そこで、企業年齢を利用して、歪んだ分布を調整した調整勤続 年数(=勤続年数÷企業年齢)についても分析をおこなう。「成果」 については、総資本利益率(ROA)および売上高利益率(ROS) を用いる.

本稿では、2004 年度から 2011 年度までの東京証券取引所第一部 への上場企業を対象とする. 各年度における有効なサンプルは表 1 の通りである。また、勤続年数,調整勤続年数および成果について の基本統計量を表 2 に示している.

表1. 分析対象企業数

年度	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
有効サンプル	1,685	1,680	1,667	1,647	1,613	1,586	1,555	1,342

3.2 結果の概要

「従業員満足度」と「従業員定着率」の関係について,「従業員 満足度」を示す、働きやすい会社ランキング内企業とランキング外 企業グループにおける「従業員定着率」を示す勤続年数の差の検定 をおこなった結果が表3である.この結果,働きやすい会社ランキ ング内企業とランキング外企業における(調整)勤続年数には有意 な差がみられる.この結果は,BSC フレームワークの考え方と整 合的であり、「従業員満足度」が高いことが「従業員定着率」の高 さへと繋がっていることが分かる.

次に、「従業員定着率」と「成果」の関係を確認するため、「従業 員定着率」を示す(調整)勤続年数を説明変数、「成果」を示す ROA、 ROS を目的変数とする回帰分析をおこなった. その結果が表 4 で あり、勤続年数の回帰係数は負で有意となっている。この結果から は、BSC のフレームワークとは整合的とならなかった. すなわち、 米国での結果に反して、日本においては「従業員定着率」が高いほ ど「成果」は下がる傾向がみられる。

4. おわりに

BSC においては、従業員満足度の向上が、従業員定着率につな がり,最終的に企業の業績向上につながるフレームワークが提示さ れているが、日本企業における検証の結果、必ずしも従業員満足度 の向上が業績向上につながっていないことが明らかとなった.

「従業員満足度」と「従業員定着率」は、BSC フレームワーク における関係が確認されたが、「従業員定着率」と「成果」につい ては、逆の関係であった.「従業員満足度」には、仕事への高いモ チベーションを引き出す意味での満足度と、職場の快適さを示す満 足度があると考えられる.前者は、BSCのフレームワークどおり、 「従業員満足度」が、仕事への意欲から高い「従業員定着率」を産 み出し、その結果が企業に対して高い「成果」をもたらすと考えら れる.一方で後者は、職場環境の快適さから、高い「従業員満足度」 を生み、かつ高い「従業員定着率」となるものの、快適故に高い生 産性が得られず、その結果「成果」につながらないと考えられる. また、、成果主義をとる米国と終身雇用制をとる日本との企業文化 の違いが大きく影響していることも考えられる。様々な原因は考え られるが、「従業員満足度」の代理変数として用いた「働きやすい 会社ランキング」が、仕事へのモチベーションよりも職場環境の快 適さを重視するものと考えられる.

今後さらに、「従業員の生産性」を含めた BSC のフレームワーク 全体についての検証をおこなっていくとともに、仕事に対するモチ ベーションも考慮した「従業員満足度」をはかることのできる指標 についても考えていく必要がある。

(本稿は、企業価値と労働環境の価値関連性に関する研究紹介である。)

	年度	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
	平均值	138.5	139.5	139.8	139.0	137.6	136.9	136.9	141.5
 影 統 午 剱	中央値	151.0	153.0	152.0	151.0	149.0	147.0	147.0	149.0
勤続年数	平均值	173.6	177.0	169.7	172.5	164.6	163.1	161.1	162.3
ランキング内	中央値	180.5	180.0	181.0	179.5	173.0	171.5	166.0	165.0
勤続年数	平均值	136.4	137.8	138.4	137.6	136.3	134.4	134.6	139.3
ランキング外	中央値	149.0	151.0	151.0	149.0	147.0	144.0	144.0	147.0
拥敢共在大教	平均值	0.330	0.332	0.331	0.327	0.323	0.320	0.320	0.326
祠登期杭中级	中央値	0.342	0.344	0.340	0.336	0.332	0.330	0.326	0.332
調整勤続年数	平均值	0.372	0.380	0.374	0.383	0.365	0.354	0.356	0.353
ランキング内	中央値	0.389	0.389	0.387	0.387	0.373	0.369	0.362	0.351
調整勤続年数	平均值	0.328	0.329	0.329	0.325	0.321	0.317	0.317	0.324
ランキング外	中央値	0.338	0.340	0.340	0.334	0.330	0.326	0.322	0.328
BOA	平均值	0.0590	0.0666	0.0670	0.0664	0.0641	0.0380	0.0566	0.0551
KOA	中央値	0.0467	0.0546	0.0568	0.0580	0.0535	0.0325	0.0470	0.0450
BOS	平均值	0.0685	0.0683	0.0745	0.0708	0.0662	0.0330	0.0426	0.0614
<u>к</u> 05	中央値	0.0509	0.0566	0.0568	0.0564	0.0531	0.0305	0.0372	0.0499

表2. 勤続年数と成果指標の基本統計量

表3.「従業員満足度」と「従業員定着率」の分析結果

年度	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
調整前								
Wilcoxon検定	-6.418 ***	-6.089 ***	-5.188 ***	-5.336 ***	-4.603 ***	-6.466 ***	-6.040 ***	-5.098 ***
t 検定	-6.165 ***	-5.941 ***	-4.698 ***	-5.143 ***	-4.358 ***	-6.213 ***	-5.997 ***	-5.190 ***
調整後								
Wilcoxon検定	-4.994 ***	-4.864 ***	-4.426 ***	-4.934 ***	-4.112 ***	-5.230 ***	-5.051 ***	-3.975 ***
t 検定	-4.286 ***	-4.581 ***	-3.977 ***	-5.010 ***	-3.972 ***	-4.676 ***	-5.094 ***	-3.705 ***

WilcoxonはZ値、t検定はt値、また***は1%、**は5%、*は10%を示す。

表4.「従業員定着率」と「成果」の分析結果

	2004		2005		2006		2007		2008		2009		2010		2011	
調整前																
ROA	-23.0	***	-19.8	***	-18.5	***	-16.9	***	-15.2	***	-17.9	***	-17.9	***	-16.8	***
ROS	-14.0	***	-11.5	***	-10.5	***	-10.1	***	-8.7	***	-9.3	***	-9.7	***	-9.8	***
調整後																
ROA	-14.5	***	-12.8	***	-12.6	***	-11.3	***	-11.4	***	-12.6	***	-12.0	***	-10.5	***
ROS	-8.6	***	-7.2	***	-7.1	***	-6.8	***	-6.9	***	-7.1	***	-7.3	***	-5.5	***

【参考文献】

[1] Edmans, A. "Does the stock market fully value intangibles?Employee satisfaction and equity prices," Journal of Financial Economics, Vol.101,pp.621-640(2011).

[2] James A. Ohlson, "Earnings, Book Values, and Dividends in Equity Valuation" Contemporary accounting research, Vol.11,No.2, pp.661-687 (1995).

[3] Kaplan, R. S. and D. P. Norton, "The Balanced Scorecard: translating Strategy into Action, Harvard business Scholl Press (1996).(吉川武男 訳『バランス・スコアカード 戦略経営への変革』生産性出版 (2011)).

[4] Kaplan, R. S. and D. P. Norton : Strategy Maps, Harvard business

t値を示す。***は1%、**は5%、*は10%を示す。

Scholl Press (2004). (櫻井通晴・伊藤和憲・長谷川恵一監訳 『戦略マップ』 ランダムハウス講談社 (2005)).

[5] Lajili, K. and D. Zeghal, "Market Performance Impacts of Human Capital disclosures, "Journal of Accounting and Public Policy,

Vol.25,No.2, pp.171-194 (2006).

[6] Rosett, J. G. "Equity Risk and Labor Stock : The Case of Union Contacs," Journal of Accounting Research,

Vol.39,No.2,pp.337-364(2001).

[7] Wyatt, A. "What Financial and Non-financial Information on Intangibles is Value-relevant A Review of the Evidence", Accounting and Business Research, Vol.38, No.3 ,pp.217-256(2008).

写像空間, 冪空間と無限次元多様体

越野 克久*

Function spaces, hyperspaces and infinite-dimensional manifolds

Katsuhisa KOSHINO

概要

本稿では、ヒルベルト空間、ヒルベルト立方体とその部分空間や、 それらをモデル空間とする無限次元多様体の位相的な性質について 解説する.また、それらと同相になる位相空間として、写像空間や 冪空間の例を紹介する.

1 序

幾何学における重要な研究目的として、空間の分類が挙げられる. 位相幾何学では、「近さ」や「距離」といった概念を抽象化した「位 相」と呼ばれる構造を空間に導入し、その性質に関する研究が行わ れている。2 つの空間が同じ位相構造を持つとき、それらは同相で あるといい、空間の分類を与える同値関係となる。そこで、代表的 な空間の位相構造を決定する性質を調べること、即ち、その空間と 同相になるための必要十分条件を与えることは、基本的な研究課題 である. この条件を位相的特徴付けと呼ぶ.

空間 E に対して、各点が E のある開集合と同相な開近傍を持つ パラコンパクト空間を E-多様体と呼び、E をモデル空間という。 即ち、E-多様体とは局所的に E の開集合と同じ位相構造を持つ空 間のことである。多様体は、現代数学における最も重要な概念の 1 つである。我々の身近にある図形、例えば、直線、平面、円、球 面などは、ユークリッド空間をモデル空間とする多様体である。

無限次元多様体とは、そのモデル空間が無限次元空間のときをいい、20世紀の半ばには無限次元線形位相空間の一般化として研究され始めた。完備距離付け可能な局所凸線形位相空間は線形位相空間の中でも重要なクラスであり、これをフレッシェ空間と呼ぶ。例えば、ユークリッド空間やヒルベルト空間などのバナッハ空間は

フレッシェ空間である. 稠密度が κ のヒルベルト空間を $\ell_2(\kappa)$ と書くことにする:

$$\ell_2(\kappa) = \left\{ x = (x(\gamma))_{\gamma < \kappa} \in \mathbb{R}^{\kappa} \ \bigg| \ \sum_{\gamma < \kappa} x(\gamma)^2 < \infty \right\}.$$

無限次元フレッシェ空間は、稠密度の等しいヒルベルト空間と同 相になることが知られている [1, 9, 22]. よって、可分ヒルベルト 空間 $\ell_2(\aleph_0)$ は直線の可算積と同相であり、ゆえに、開区間 (0,1) の可算積

$$\mathbf{s} = (0,1)^{\aleph_0}$$

と同相になる。無限次元凸空間で重要なものとして、ヒルベルト立 方体、即ち、単位閉区間 [0,1] の可算積

$$\mathbf{Q} = [0, 1]^{\aleph_0}$$

が挙げられる.無限次元多様体論はヒルベルト空間やヒルベルト立 方体,及びそれらの部分空間をモデル空間とするものを中心に研究さ れてきた.そして 1980 年代前半には,H. Toruńczyk [21, 22] に よって, ℓ₂(κ)-多様体と **Q**-多様体の位相的特徴付けが与えられた.

ヒルベルト空間 $\ell_2(\kappa)$ の標準正規直交基底で張られる部分空間を $\ell_2^f(\kappa)$ と表すことにする:

$$\ell_2^f(\kappa) = \{ x \in \ell_2(\kappa) \mid 有限個の\gamma < \kappa を除いて, x(\gamma) = 0 \}.$$

これは、強可算次元 σ-局所コンパクト距離付け可能空間である. こ こで、空間が σ-局所コンパクトであるとは、局所コンパクト部分 集合の可算和で表されるときをいい、特にコンパクト部分集合の可 算和で表される場合、σ-コンパクトであるという. また、有限次元 閉集合の可算和で表される空間を、強可算次元であるという.

空間上の写像からなる写像空間や,空間の部分集合からなる冪空 間は,自然に現れる無限次元空間であり,当該分野における重要な 研究対象である.実際に無限次元多様体論の応用として,ヒルベル

^{*}特任助教 数学教室

Assistant Professor, Dept. of Mathematics

ト空間やヒルベルト立方体、及びその部分空間をモデルとする無限 次元多様体の位相的特徴付けを用いることで、それらの具体的な例 か写像空間や冪空間からいくつも発見されてきた.こうして、無限 次元多様体論と写像空間論、冪空間論は、相互に寄与し合いながら 進展してきた.現在においても、無限次元多様体に有用な位相的特 徴付けを与えることと、それを利用して写像空間や冪空間から具体 例を見つけることか求められている。本稿では、 $\ell_2(\kappa)$, **Q** とそれ らの部分空間をモデル空間とする無限次元多様体の位相的特徴付け を解説する。そして、これらのモデル空間と同相になる写像空間や 冪空間について、筆者が得た結果を中心に紹介する。

2 無限次元多様体の位相的特徴付け

本節では、まず H. Toruńczyk [21, 22] による $\ell_2(\kappa)$ -多様体と Q-多様体の位相的特徴付けを紹介する.また、 $\ell_2^f(\kappa)$ -多様体の位 相的特徴付けについて、筆者の結果とその先行研究を概説する.無 限次元多様体の位相的性質を述べる上で、次の 2 つの概念は中心的 な役割を果たしている.

定義 1 (*Z*-集合). 空間 *X* の閉集合 *A* が *Z*-集合であるとは, *X* の任意の開被覆 *U* に対して, *X* の恒等写像の *U*-近似 $f: X \to X$ で, その像 f(X) が *A* と交わらないものが存在するときをいう. さらに, f(X) の閉包 $cl_X f(X)$ が *A* と共通部分を持たないとき, *A* を強 *Z*-集合と呼ぶ.

空間 *X* の開被覆 *U* に対して、写像 $g: Y \to X$ が $f: Y \to X$ の *U*-近似であるとは、*Y* の各点 *y* について、f(y) と g(y) がと もに *U* のある元に含まれることをいう.*Z*-集合は、空間の「境界」 を表す概念といえる.例えば、円周は円板の *Z*-集合である.

定義 2 (強普遍性). 空間 *X* がクラス *C* に対して強普遍性を持つ とは、次の条件を満たすことである:

• 空間 A が C に属しているとする. また, B を A の閉集合, $f: A \to X$ を A から X への写像とし, B の像 f(B) が X の Z-集合であるものとする. このとき, X の任意の開被 覆 U に対して, f の U-近似 $g: A \to X$ で, g は埋め込み であり, その像 g(A) が Z-集合であり, B への制限につい て $g|_B = f|_B$ となるものが存在する.

任意の完備距離付け可能空間はヒルベルト空間に閉集合として埋 め込むことができるが、実際に、ヒルベルト空間とそれをモデル空 間とする多様体は、完備距離付け可能空間のクラスに対して強普遍 性を持っている.次の性質は、空間の「自由度」の高さを示すよ うな概念といえ、無限次元空間の稠密度に深く関わる. 定義 3. 濃度 $n \leq \aleph_0, \kappa$ に対して,空間 X が n-包体 κ -離散性 を持つとは,次の条件を満たすときをいう:

任意の写像 f : [0,1]ⁿ × κ → X, X の任意の開被覆 U
 に対して, f の U-近似 g : [0,1]ⁿ × κ → X で, 集合族
 {g([0,1]ⁿ × {γ}) | γ < κ} か潮散的となるものが存在する.

空間 X とその部分集合 A に対して、ある写像 $f: X \to A$ が存在して、A への制限 $f|_A$ が A の恒等写像と等しくなるとき、A は X のレトラクトであるという.

定義 4 (ANR). 空間 X が ANR であるとは、X を閉集合とし て含む任意の距離付け可能空間 Y に対して、X が Y におけるあ る近傍のレトラクトになることをいう。特に X が全体集合 Y の レトラクトになるとき、X を AR と呼ぶ。

距離付け可能な局所凸線形位相空間やその凸集合は AR であり, より一般に、それらをモデル空間とする多様体は ANR となる.次 の H. Toruńczyk による $\ell_2(\kappa)$ -多様体の位相的特徴付けは、無限 次元多様体論における最も重要な結果の一つである.

定理 2.1 (H. Toruńczyk [22]). 空間 *X* は完備距離付け可能 *ANR* であり, その稠密度か無限濃度 κ とする. 次は同値である:

- (1) X は $\ell_2(\kappa)$ -多様体である;
- (2) X は稠密度 κ 以下の完備距離付け可能空間からなるクラスに 対して強普遍性を持つ;
- (3) X はすべての非負整数 n に対して n-包体 κ-離散性を持ち, 次の性質を満たす:
 - ・任意の写像 $f: X \times \aleph_0 \to X, X$ の任意の開被覆 Uに対して、 $f \cap U$ -近似 $g: X \times \aleph_0 \to X$ で、集合族 $\{g(X \times \{n\}) \mid n < \aleph_0\}$ が局所有限となるものが存在 する.

注意 1. 上の定理 2.1 の条件 (2) は、次のように弱めることができる:

・空間 A を稠密度 κ 以下の完備距離付け可能空間とし、f: $A \rightarrow X$ を A から X への写像とする. このとき、X の任意 の開被覆 U に対して、f の U-近似 $g: A \rightarrow X$ で、g は埋 め込みであり、その像 g(A) か閉集合となるものが存在する.

空間 X が AR の場合,定理 2.1 はモデル空間 $\ell_2(\kappa)$ の位相的 特徴付けになる。次に,H. Toruńczyk によって与えられた Q-多 様体の位相的特徴付けを紹介する。 **定理 2.2** (H. Toruńczyk [21]). 空間 X を可分局所コンパクト ANR とする. 次は同値である:

(1) X は **Q**-多様体である;

(2) X はすべての非負整数 n に対して n-包体 2-離散性を持つ.

空間 *X* がコンパクト AR の場合,定理 2.2 はモデル空間 Q そのものの位相的特徴付けになっている.

1984 年に J. Mogilski は、 $\ell_2^f(\aleph_0)$ -多様体に対して次のような 位相的特徴付けを与えた.

定理 2.3 (J. Mogilski [16]). 連結空間 X が $\ell_2^f(\aleph_0)$ -多様体である必要十分条件は、次を満たすことである:

(1) X は強可算次元, σ -コンパクト ANR である;

- (2) X は有限次元コンパクト距離付け可能空間からなるクラスに 対して強普遍性を持つ;
- (3) X の有限次元コンパクト部分集合は強 Z-集合となる.

これは、2003 年に K. Sakai と M. Yaguchi によって非可分の場合へと拡張された。

定理 2.4 (K. Sakai and M. Yaguchi [18]). 任意の無限濃度 κ に対して, 連結空間 X が $\ell_2^f(\kappa)$ -多様体である必要十分条件は, 次 を満足することである:

- (1) X は稠密度 κ の強可算次元, σ-局所コンパクト ANR であり, 強 Z-集合の可算和で表される;
- (2) X は稠密度 κ 以下の強可算次元,局所コンパクト距離付け可 能空間からなるクラスに対して強普遍性を持つ.

空間の無限次元多様体性を見出す際に、大きく複雑なクラスに対 する強普遍性を示すことは難しい。筆者は、n-包体 κ -離散性を用 いて K. Sakai と M. Yaguchi の結果に現れる強普遍性に関する 条件を弱めることで、より適用しやすい特徴付けを与えた。

定理 2.5 (K. Koshino [11]). 任意の無限濃度 κ に対して,連結 空間 X が $\ell_2^f(\kappa)$ -多様体となる必要十分条件は,次を満たすことで ある:

- (1) X は稠密度 κ の強可算次元, σ -局所コンパクト ANR である;
- (2) X はすべての非負整数 n に対して n-包体 κ-離散性を持つ;
- (3) X は有限次元コンパクト距離付け可能空間からなるクラスに 対して強普遍性を持つ;
- (4) X の有限次元コンパクト部分集合は強 Z-集合となる.

上記の定理 2.5 は、空間 X が AR の場合、モデル空間 $\ell_2^f(\kappa)$ そのものの位相的特徴付けとなる.

3 無限次元多様体の組

空間 X とその部分空間 Y の組を, (X,Y) と書くことにする. 空間組 (X,Y) が (X',Y') と同相であるとは, X から X' への同 相写像 $f: X \to X'$ で, f(Y) = Y' を満たすものが存在すると きをいう. 空間組 (X,Y) が既知の空間組と同相であるかどうかを 調べることは, 部分空間 Y の全体空間 X への位相的な埋め込まれ 方を考える際に有効である. 空間組 (E,F) に対して, パラコンパ クト空間の組 (X,Y) が (E,F)-多様体組であるとは, X の各点 毎に E のある開集合 V と同相な開近傍 U が存在し, $(U,U \cap Y)$ が $(V,V \cap F)$ と同相になるときをいう. ヒルベルト空間, ヒルベ ルト立方体とそれらの稠密部分空間からなる空間組 (E,F) をモデ ルとする無限次元多様体組には,次のような位相的な一意性を持つ ものが存在する:

空間 X とその部分空間 Y, Y' に対して,空間組 (X,Y),
 (X,Y') がともに (E,F)-多様体組ならば,(X,Y) と
 (X,Y') は同相である.

このことから、無限次元多様体組の位相的特徴付けに関する研究は、 当該分野において重要な位置を占める。R.D. Anderson [2, 3] は、 空間組 ($\ell_2(\aleph_0), \ell_2^f(\aleph_0)$), ($\mathbf{Q}, \mathbf{Q} \setminus \mathbf{s}$) などに対して、ある位相的 特徴付けを与えた。これは、T.A. Chapman [4, 5] によって、そ れらの多様体組の特徴付けに拡張された。これらの特徴付けは、強 普遍性の概念を空間組に導入したものとして、あるクラスに属した 部分集合に対する「吸収性」を用いて記述されている。

定義 5 (*cap*-集合). 空間組 (*X*, *Y*) に対して, *Y* が *X* の *cap*-集合であるとは, *Y* が *X* の *Z*-集合の可算和で表されて, 次の条 件を満足することである:

• $A \in X$ のコンパクト部分集合とし、 $B \in A$ の閉集合で、か つ Y に含まれているとする. このとき、X の任意の開被覆 U に対して、A の恒等写像の U-近似 $f : A \to X$ が存在し、 $f \mathrel{ tr} Y$ への埋め込みであり、B への制限 $f|_B$ が B の恒等 写像と等しい.

定理 3.1 (R.D. Anderson [2]). 空間組 (X, Y) が $(\mathbf{Q}, \mathbf{Q} \setminus \mathbf{s})$ と同相である必要十分条件は、次を満たすことである:

- XはQと同相である;
- (2) Y は X の cap-集合である.

非可分無限次元多様体については、J.E. West が 1970 年に、 $(\ell_2(\kappa), \ell_2^f(\kappa))$ -多様体組を次のように特徴付けた.

定理 3.2 (J.E. West [23]). 任意の無限濃度 κ に対して,空間 組 (X, Y) が $(\ell_2(\kappa), \ell_2^f(\kappa))$ -多様体組である必要十分条件は,次 を満たすことである:

- (1) X は $\ell_2(\kappa)$ -多様体である;
- (2) Y は強可算次元, σ-局所コンパクトであり、次の性質を満足 する:
 - $A \in X$ の有限次元コンパクト部分集合とし, $B \in A$ の閉集合で, かつ Y に含まれているとする. このとき, X の任意の開被覆 U に対して, A の恒等写像の U-近 似 $f : A \to X$ が存在し, f は Y への埋め込みであり, B への制限 $f|_B$ が B の恒等写像と等しい.

ー般に、空間組 (X, Y) と (E, F) が与えられたとき、X が E-多様体、Y が F-多様体であったとしても、(X, Y) が (E, F)-多様 体組になるとは限らない、そこで、(X, Y) がいつ (E, F)-多様体組 となるのかは、基本的な問題である、これに対して、 $(\ell_2(\kappa), \ell_2^f(\kappa))$ -多様体組に関する次のような解を得た、

定理 3.3 (K. Koshino [11]). 任意の無限濃度 κ に対して,空間 組 (X, Y) が $(\ell_2(\kappa), \ell_2^f(\kappa))$ -多様体組であるための必要十分条件 は, X が $\ell_2(\kappa)$ -多様体であり, Y が $\ell_2^f(\kappa)$ -多様体であり,かつ Y が X の中でホモトピー稠密となることである.

ホモトピー稠密性とは、稠密性より強い性質である.

定義 6 (ホモトピー稠密). 空間 X の部分集合 Y がホモトピー稠 密であるとは、X のホモトピー $h: X \times [0,1] \to X$ が存在し、X の各点 x について h(x,0) = x であり、かつ $h(X \times (0,1]) \subset Y$ となることである.

ヒルベルト立方体 Q とその部分空間 s に関して, s は Q の中 でホモトピー稠密である. このホモトピー稠密性による特徴付けは, 他のモデル空間では成り立たない.

注意 2. 積空間 $\mathbf{Q} \times \ell_2$ は ℓ_2 と同相であり、その部分空間 $\mathbf{s} \times \ell_2^f$ は $\ell_2 \times \ell_2^f$ と同相である。また、 $\mathbf{s} \times \ell_2^f$ は $\mathbf{Q} \times \ell_2$ の中でホモトピー 稠密である。しかし、空間組 ($\mathbf{Q} \times \ell_2, \mathbf{s} \times \ell_2^f$) は ($\ell_2 \times \ell_2, \ell_2 \times \ell_2^f$)-多様体組とはならない。

4 写像空間

解析学において、写像の近さ(収束性,近似など)を考察すると き、写像全体からなる空間に位相構造を導入することは基本的な方 法である.よって、写像空間の位相的な性質を調べることは、関数 解析学等への応用展開も期待されて、有意義な研究である.本節で は、空間 X から Y への連続写像全体からなる空間 C(X,Y) に位 相を導入して、その位相型が洗に紹介した無限次元多様体のモデル 空間と一致することを見ていく.

写像空間に導入する最も基本的な位相に、コンパクト開位相か挙 げられる.この位相は、局所コンパクト空間上において写像の合成 や評価写像が連続になるなど、良いふるまいを見せてくれる.

定義 7 (コンパクト開位相). 連続写像空間 C(X, Y) に対して, Xのコンパクト部分集合 $K \ge Y$ の開集合 U から定まる C(X, Y)の部分集合

$$\{f \in \mathcal{C}(X,Y) \mid f(K) \subset U\}$$

によって生成される位相を, コンパクト開位相と呼ぶ.

空間 X が局所コンパクトかつ σ -コンパクトであり、Y か距離 付け可能であるとき、写像空間 C(X, Y) も距離付け可能となる。 K. Sakai, S. Uehara, A. Kogasaka [17, 10] らの研究によると、 Y が道線 \mathbb{R} であるとき、 $C(X, \mathbb{R})$ の位相型に関して次が減り立つ。

定理 4.1. 空間 *X* が無限濃度を持ち,局所コンパクト,局所連結,可分距離付け可能であるとする. このとき,*X* から直線 \mathbb{R} への連続写像空間 $C(X, \mathbb{R})$ は自然なコンパクト化 $\overline{C}(X, \mathbb{R})$ で,空間組 ($\overline{C}(X, \mathbb{R}), C(X, \mathbb{R})$)が (\mathbf{Q}, \mathbf{s}) と同相になるようなものが存在する.

1 次元局所コンパクト AR は、直線 ℝ や単位閉区間 [0,1] の一 般化であり、枝分れしたグラフなども含む. 定理 2.2, 3.1 を適用 することで、筆者は K. Sakai との共同研究において、上の定理を 拡張して次の結果を得た.

定理 4.2 (K. Koshino and K. Sakai [14]). 空間 X を無限濃 度を持つ局所コンパクト,局所連結,可分距離付け可能空間として, Y を 1 次元局所コンパクト AR とする. ここで,X か潮間如りでな い,または Y がコンパクトでないとする. このとき,X から Y への連続写像空間 C(X,Y) は自然なコンパクト化 $\overline{C}(X,Y)$ を持 ち,空間組 ($\overline{C}(X,Y)$, C(X,Y))が (\mathbf{Q} , \mathbf{s}) と同相になる.

注意 3. 上の定理 4.2 において、X か潮間的であり、かつYが コンパクトであるとき、C(X,Y) は積空間 Y^X と同一視される. これは、ヒルベルト立方体 **Q** と同相になる.

写像空間の自然なコンパクト化について述べておく. 空間 X の 閉集合全体を $Cld^*(X)$ と表し、空でない閉集合全体を Cld(X) と 表す. 冪空間 $Cld^*(X)$ には、次のように定義される Fell 位相を 導入する. **定義 8** (Fell 位相). 空間 X の冪空間 Cld*(X) に対して, X の 開集合 U とコンパクト部分集合 K から定まる Cld*(X) の部分 集合

 $\{A \in \operatorname{Cld}^*(X) \mid A \cap U \neq \emptyset\}, \ \{A \in \operatorname{Cld}^*(X) \mid A \cap K = \emptyset\}$

によって生成される位相を、Fell 位相という.

冪空間 Cld*(X) の位相的性質について、以下の事実が知られている。

命題 4.3. 冪空間 Cld*(*X*) がコンパクト距離付け可能であるため には, *X* が局所コンパクト,可分距離付け可能空間であることが 必要十分である.

命題 4.4. 空間 X が局所コンパクト,局所連結であり,Y が局所 コンパクトであるとき,X から Y への連続写像 $f: X \to Y$ とそ のグラフを同一視することによって、コンパクト開位相を導入した連 続写像空間 C(X,Y) は Fell 位相を導入した冪空間 $Cld^*(X \times Y)$ の部分空間とみなせる.

1 次元局所コンパクト AR のコンパクト化に関して,次が減り 立つ.

命題 4.5. 空間 Y が 1 次元局所コンパクト AR であることは、次の性質を満たすコンパクト化 \overline{Y} を持つことと同値である:

(1) \overline{Y} は1次元コンパクト AR である;

(2) 剰余 $\overline{Y} \setminus Y$ か閉集合であり、 \overline{Y} の終点集合に含まれる.

例えば、直線 \mathbb{R} や開区間 (0,1) のコンパクト化として、その両端 に点を付して得られる拡大直線 $\mathbb{R} = [-\infty,\infty]$ や単位閉区間 [0,1]が挙げられる.

定理 4.2 における写像空間 C(X, Y) の自然なコンパクト化と は,終集合 Y に対して,命題 4.5 のようなコンパクト化 \overline{Y} をと り, C(X, Y) を冪空間 $Cld^*(X \times \overline{Y})$ の部分空間とみなしたとき に,その閉包

$$\overline{\mathcal{C}}(X,Y) = \operatorname{cl}_{\operatorname{Cld}^*(X \times \overline{Y})} \mathcal{C}(X,Y)$$

をとることである.

次に、この写像空間のコンパクト化が有意味なものであり、具体 的にどのように記述されるのかを見ておきたい. 空間 X から Y へ の空でない閉集合に値を持つ集合値関数 $\phi: X \to Cld(Y)$ が上半 連続であるとは、Y の開集合 U に対して、 $\{x \in X \mid \phi(x) \subset U\}$ が X の開集合になるときをいう. 空間 Y が正規空間のとき、X から Y への上半連続で、空でない連結閉集合に値を持つ集合値関 数全体を USCC(X,Y) と表すと、集合値関数とそのグラフを同一 視することで、USCC(X, Y)を冪空間 Cld^{*}($X \times Y$)の部分集合 とみなすことができる。定理 4.2 における写像空間 C(X, Y)の自 然なコンパクト化 $\overline{C}(X, Y) = cl_{Cld^*(X \times \overline{Y})} C(X, Y)$ は、Xが連 結の場合、

$\mathrm{USCC}(X,\overline{Y})$

と一致する.

他の連続写像空間やそのコンパクト化について、同様のことが減 り立つかどうかを考える. 定理 4.2 では、空間 Y のコンパクト化と して、1 次元コンパクト AR であるコンパクト化 \overline{Y} を採用したが、 1 点コンパクト化 αY を考えても、閉包 $cl_{Cld^*(X \times \alpha Y)} C(X,Y)$ は **Q** と同相になる. しかし、C(X,Y) はそのコンパクト化 $cl_{Cld^*(X \times \alpha Y)} C(X,Y)$ の中でホモトピー稠密になるとは限ら ず、よって、空間組として $(cl_{Cld^*(X \times \alpha Y)} C(X,Y), C(X,Y))$ は (**Q**,s) と同相にならない、実際に、次が減り立つ.

命題 4.6. 連続写像空間 C([0,1], ℝ) は、そのコンパクト化 cl_{Cld*([0,1]×αℝ)} C([0,1], ℝ) の中でホモトピー稠密ではない.

写像空間の終集合 Y の次元を上げて, n 次元局所コン パクト AR, 特に n 次元ユークリッド空間 \mathbb{R}^n と, そ のコンパクト化 $\overline{\mathbb{R}^n}$ で, n 次元単位球と同相なものを考 える. この場合も, $\operatorname{cl}_{\operatorname{Cld}^*(X \times \overline{\mathbb{R}^n})} \operatorname{C}(X, \mathbb{R}^n)$ と $\operatorname{C}(X, \mathbb{R}^n)$ は 各々**Q** と s と同相になるが, n が 2 以上のとき, 空間組 ($\operatorname{cl}_{\operatorname{Cld}^*(X \times \overline{\mathbb{R}^n})} \operatorname{C}(X, \mathbb{R}^n)$) は (**Q**, s) と同相にならな い. 実際に, 写像空間の始集合 X を n - 1 次元球面 \mathbf{S}^{n-1} とす るとき, 次が減り立つ.

命題 4.7. n が 2 以上のとき、連続写像空間 $C(\mathbf{S}^{n-1}, \mathbb{R}^n)$ は、そのコンパクト化 $cl_{Cld^*(\mathbf{S}^{n-1} \times \overline{\mathbb{R}^n})} C(\mathbf{S}^{n-1}, \mathbb{R}^n)$ の中でホモトピー 稠密ではない.

5 幕空間

本節では、距離付け可能空間 X の空でないコンパクト部分集合 のなす冪空間に Vietoris 位相を導入した Comp(X) と、空でな い有限部分集合からなる冪空間 Fin(X) を中心に、その位相型に関 する研究成果を見ていく.

定義 9 (Vietoris 位相). 空間 *X* の冪空間 Cld*(*X*) に対して, *X* の開集合 *U* から定まる Cld*(*X*) の部分集合

 $\{A \in \operatorname{Cld}^*(X) \mid A \cap U \neq \emptyset\}, \ \{A \in \operatorname{Cld}^*(X) \mid A \subset U\}$

によって生成される位相を、Vietoris 位相という.

前節で紹介した Fell 位相に比べると, Vietoris 位相の方が細か いが, 空間 X がコンパクトであるとき両者は一致する. まず, 冪 空間の位相に関する研究の歴史を遡ると, 次の顕著な研究成果に行 き着く.

定理 5.1 (D.W. Curtis, R.M. Schori and J.E. West [19, 20, 8]). 2 点以上からなる空間 X に対して, Comp(X) がヒルベルト 立方体 Q と同相になるためには, X が連結, 局所連結, コンパク ト距離付け可能空間であることが必要十分条件である.

これ以降,位相空間の種々の部分集合からなる冪空間の無限次元 多様体性に関する研究は,大きく発展していった.特に X が非コ ンパクトの場合, D.W. Curtis, N.T. Nhu による次の結果が知ら れている.

定理 5.2 (D.W. Curtis [6]). 空間 X に対して, Comp(X) が $\ell_2(\aleph_0)$ と同相になるための必要十分条件は, X が可分, 連結, 局 所連結, 完備距離付け可能空間であり, かつ各点でコンパクトな近 傍を持たないことである.

定理 5.3 (D.W. Curtis and N.T. Nhu [7]). 2 点以上からなる 空間 X に対して, Fin(X) が $\ell_2^f(\aleph_0)$ と同相であるための必要十 分条件は, X が可分,連結,局所道連結,強可算次元, σ -コンパ クト距離付け可能空間である.

この方向に関する研究では、K. Mine, K. Sakai, M. Yaguchi [15, 24] によって、非可算濃度 κ に対して、 $\text{Comp}(\ell_2(\kappa))$ が $\ell_2(\kappa)$ と、 $\text{Fin}(\ell_2^f(\kappa))$ が $\ell_2^f(\kappa)$ と、それぞれ同相になることか証明され た。筆者は、D.W. Curtis, N.T. Nhu の結果を非可分の場合へと 一般化して、冪空間 Comp(X), Fin(X) がそれぞれ $\ell_2(\kappa)$, $\ell_2^f(\kappa)$ と同相になるための、空間 X の完全な位相的特徴付けを与えた。証 明に定理 2.1, 2.5 を用いた。

定理 5.4 (K. Koshino [12]). 空間 X, 無限濃度 κ に対して, Comp(X) が $\ell_2(\kappa)$ と同相になるための必要十分条件は, X が連 結, 局所連結, 完備距離付け可能であり, 各点でコンパクトな近傍 を持たず, かつ任意の空でない開集合の稠密度が κ に等しい.

定理 5.5 (K. Koshino [13]). 空間 X, 無限濃度 κ に対して, Fin(X) が $\ell_2^f(\kappa)$ と同相であるための必要十分条件は, X が連結, 局所道連結, 強可算次元, σ -局所コンパクト距離付け可能であり, かつ任意の空でない開集合の稠密度が κ に等しい.

また,空間 X とその完備化 \overline{X} が与えられたとき,定理 3.3 を適用することで冪空間組 ($\operatorname{Comp}(\overline{X})$, $\operatorname{Fin}(X)$) が空間組 ($\ell_2(\kappa), \ell_2^f(\kappa)$) と同相になるための必要十分条件を与えた. **定理 5.6** (K. Koshino [12]). 空間 X が連結,局所首連結,強可 算次元, σ -局所コンパクト距離付け可能であり,その空でない開集 合の稠密度が無限濃度 κ に等しいとする.また, $\overline{X} \in X$ の完備化 で,各点においてコンパクトな近傍を持たないようなものとする.こ のとき,冪空間組 (Comp(\overline{X}),Fin(X))が空間組 ($\ell_2(\kappa), \ell_2^f(\kappa)$)) と同相になるための必要十分条件は,剰余 $\overline{X} \setminus X$ が \overline{X} において 局所的不分割性を持つ.

ここで、空間 X とその部分空間 A について、A が X におい て局所的不分割性を持つとは、X の任意の空でない連結開集合 U に対して、U \ A が空でない連結集合となることである。上の定 理 5.6 により、Comp(\overline{X}) と Fin(X)の位相的包含関係が明らか になった。さらに筆者は、距離付け可能空間の空でない連結なコン パクト部分集合からなる冪空間がヒルベルト空間と同相になるため の必要十分条件も調べ、それがコンパクト部分集合の場合と同じで あることを証明した。

参考文献

- R.D. Anderson, Hilbert space is homeomorphic to the countable infinite product of lines, Bull. Amer. Math. Soc. 72 (1966), 515–519.
- R.D. Anderson, A characterization of apparent boundaries of the Hilbert cube, Notices Amer. Math. Soc. 16 (1969), 429.
- [3] R.D. Anderson, On sigma-compact subsets of infinitedimensional spaces, (unpublished).
- [4] T.A. Chapman, Four classes of separable, metric, infinite-dimensional manifolds, Bull. Amer. Math. Soc. 76 (1970), 399–403.
- [5] T.A. Chapman, Dense sigma-compact subsets of infinite-dimensional manifolds, Trans. Amer. Math. Soc. 154 (1971), 399–426.
- [6] D.W. Curtis, Hyperspaces homeomorphic to Hilbert space, Proc. Amer. Math. Soc. 75, (1979), 126–130.
- [7] D.W. Curtis and N.T. Nhu, Hyperspaces of finite subsets which are homeomorphic to ℵ₀-dimensional linear metric spaces, Topology Appl. 19, (1985), 251–260.
- [8] D.W. Curtis and R.M. Schori, 2^X and C(X) are homeomorphic to the Hilbert cube, Bull. Amer. Math. Soc. 80 (1974), 927–931.

- [9] M.I. Kadec, A proof the topological equivalence of all separable infinite-dimensional Banach spaces (Russian), Funkcional Anal. i Priložen, 1 (1967), 61–70.
- [10] A. Kogasaka and K. Sakai, A Hilbert cube compactification of the function space with the compact-open topology, Cent. Eur. J. Math. 7 (2009), no. 4, 670–682.
- [11] K. Koshino, Characterizing non-separable sigmalocally compact infinite-dimensional manifolds and its applications, J. Math. Soc. Japan 66 (2014), 1155– 1189.
- [12] K. Koshino, On a hyperspace of compact subsets which is homeomorphic to a non-separable Hilbert space, Topology Appl. 206 (2016), 166–170.
- [13] K. Koshino, Hyperspaces of finite subsets, homeomorphic to pre-Hilbert spaces, Topology Appl. 210 (2016), 133–143.
- [14] K. Koshino and K. Sakai, A Hilbert cube compactification of a function space from a Peano space into a onedimensional locally compact absolute retract, Topology Appl. 161 (2014), 37–57.
- [15] K. Mine, K. Sakai and M. Yaguchi, Hyperspaces of finite sets in universal spaces for absolute Borel classes, Bull. Pol. Acad. Sci. Math. 53, (2005), 409–419.
- [16] J. Mogilski, Characterizing the topology of infinitedimensional σ-compact manifolds, Proc. Amer. Math. Soc. 92 (1984), 111–118.
- [17] K. Sakai and S. Uehara, A Hilbert cube compactification of the Banach space of continuous functions, Topology Appl. 92 (1999), 107–118.
- [18] K. Sakai and M. Yaguchi, Characterizing manifolds modeled on certain dense subspaces of non-separable Hilbert spaces, Tsukuba J. Math. 27 (2003), 143–159.
- [19] R.M. Schori and J.E. West, Hyperspaces of graphs are Hilbert cubes, Pacific J. Math. 53 (1974), 239–251.
- [20] R.M. Schori and J.E. West, The hyperspace of the closed unit interval is a Hilbert cube, Trans. Amer. Math. Soc. 213 (1975), 217–235.

- [21] H. Toruńczyk, On CE-images of the Hilbert cube and characterization of Q-manifolds, Fund. Math. 106 (1980), 31–40.
- [22] H. Toruńczyk, Characterizing Hilbert space topology, Fund. Math. 111 (1981), 247–262.
- [23] J.E. West, The ambient homeomorphy of incomplete subspaces of infinite-dimensional Hilbert spaces, Pacific J. Math. 34 (1970), 257–267.
- [24] M. Yaguchi, Hyperspaces of finite subsets of nonseparable Hilbert spaces, Tsukuba J. Math. 30, (2006), 181–193.

架橋高分子の易加工化を可能にするジスルフィド結合の組換え反応

高橋 明*

Chain Exchange Reactions of Disulfide Linkages toward Facilely Reprocessable Cross-Linked Polymers

Akira TAKAHASHI*

1. 緒言

架橋高分子の歴史は Staudinger により高分子の概念が確立された 1930年代よりも古く、1839年の Goodyear による天然ゴムの加硫法 や、1907年の Baekeland によるベークライト(フェノール樹脂)の 開発に遡る。前者は直鎖状高分子が架橋剤により側鎖部で結合する ことで、後者は低分子が多点で重合していくことで形成され、それ ぞれ種々の分子構造や素反応などのバリエーションを含めて「ゴム (エラストマー)」および「熱硬化性樹脂」と総称されている。直鎖 状高分子との最大の違いは理論上無限大の分子量を有するその網目 構造であり、優れた機械物性、耐熱性、および溶媒への不溶性といっ た特性から、日用品をはじめ高機能材料まで幅広く用いられている。

そうした架橋高分子特有の性質は、各構成分子の位置関係が共有 結合により空間的に規制されていることに由来しているが、これは 架橋高分子の研究における大きな制約にもなっている。すなわちゲ ル化点以降の反応や化学構造の制御・解析が非常に困難なため、合 成物の強度や耐熱性といった巨視的な物性面の向上に主眼が置かれ ることが多い。また、架橋高分子は一旦合成すると極めて加工性に 乏しく、作業工程のリワーク(やり直し)性やリサイクル性に乏し いといった実用面での課題も多い¹⁾。

こうした背景に基づき、化学反応性の結合を有する架橋高分子を 対象とした高分子反応の研究が近年注目を集めている。最も基本的 な手法は分解可能な結合を骨格中に導入し、特定条件下で処理する ことで架橋構造が解けて直鎖状高分子ないし低分子化合物へと変換 するものである²⁾。これは架橋構造の解析などに役立つだけでなく、 架橋高分子の有効なリサイクル手法にもなる。そしてこのような破 壊的なアプローチに加え、近年では可逆的に交換可能な結合を導入 して架橋高分子に「展性」を付与するといったアプローチも注目を 集めており、従来の架橋高分子ではなしえない損傷修復や永久形状 変化が可能な架橋高分子の研究が急速に発展しつつある³⁾(図1)。 本稿では、特定の刺激に応じて結合の組換えが可能なジスルフィド 結合を利用した架橋高分子の易分解化、およびジスルフィド結合自 体の修飾に基づくさらなる易加工性架橋高分子の開発を行った結果 について述べる。

*特別助教 化学教室 Assistant Professor, Dept. of Chemistry



2. ジスルフィド結合交換反応の特徴

ジスルフィド結合(-S-S-)は硫黄2原子から成るシンプルな結 合ながら、多様な刺激に応じて結合交換反応を含む種々の可逆反応 を起こすことが知られており、生体内から材料にいたるまで多様な 分野において重要な役割を果たしている。その主な結合交換反応機 構としては、スルフィドを活性種とするイオン機構と、チイルラジ カルを活性種とするラジカル機構に大別され、しばしば触媒量のチ オール共存下にて反応が行われる。イオン機構ではホスフィンやア ミンなどの塩基との反応により、ラジカル機構では紫外光照射や他 のラジカル種との反応に基づく均一開裂によって活性種が生じ、い ずれも連鎖的に進行する(図2)⁴⁾。



図2.代表的なジスルフィド結合交換反応の機構

この反応性は硫黄原子の隣接骨格が芳香環の場合、S上のアニオン やラジカルが共鳴安定化するため活性種が生じやすくなり、結果と して高い反応性を示すことが知られている⁵。そこで、本研究では まず芳香族ジスルフィド結合を利用した架橋高分子の易分解化につ いての検討を行った。

3. 芳香族ジスルフィド結合を有するエポキシ樹脂の分解性評価

エポキシ樹脂は構造材料や電子材料など幅広い産業用途に用い られている一方、密な架橋構造に起因する高い物理的および化学的 安定性のため、分解時のエネルギーコストが高くリサイクルも困難 な課題が存在する^{1b)}。複合材のマトリクスや封止材としての用途が 多いエポキシ樹脂の易分解化は、使用後の繊維強化プラスチックか ら高価な繊維を回収する際のコスト低減や、不良が発生した封止材 の除去・再封止工程の簡易化などに繋がると期待できる。芳香族ジ スルフィド結合は中程度(約210 kJ/mol)の結合解離エネルギー⁶⁾ と剛直な骨格を持つ共有結合でありながら、優れた交換特性も有す るため、これを樹脂中に導入することで物性を損なうことなく特定 条件下での易分解性を付与できると考えた。

そこでまず、ビス(4-グリシジルオキシフェニル)ジスルフィド (BGPDS)を市販原料より1段階で合成し、これを種々のジアミン 化合物と無溶媒条件で熱硬化することで芳香族ジスルフィド含有エ ポキシ樹脂を合成した。また、ジスルフィド結合を有するジアミン である4,4'-ジチオジアニリン(DTDA)とビスフェノールAジグリ シジルエーテル(DGEBA)を原料としたエポキシ樹脂も同様に合成 し、これらの機械物性および分解性を評価した。その結果、いずれ の樹脂もジスルフィド結合を持たない樹脂に匹敵する機械物性を示 した。一方、BGPDSから合成したエポキシ樹脂は1,4-ジオキサン溶 媒中、ジフェニルジスルフィドおよび塩基触媒存在下100°Cに加熱 することにより数十分で可溶成分へと分解した(図3a)。一方、 DTDAとDGEBAから合成したエポキシ樹脂は24時間加熱後も大部 分がゲルとして残存した(図3b)。



図3.異なるジスルフィド原料から成るエポキシ樹脂の分解挙動

これは、BGPDS 由来の樹脂はジスルフィドが切断(交換)した際に 低分子量のフラグメントへと分解しやすい構造(図4a)であるの に対し、DTDA 由来の樹脂は直鎖状ポリマーが側鎖で結合した高分 子量フラグメントが生じやすい構造(図4b)であるためだと考え られる。そこで分解後の反応溶液のGPC測定を行ったところ、前者 は低分子由来のピークが大部分であったのに対し、後者では山形の 高分子由来のピークを高分子量領域にて観測したことから、前述の 仮説が支持された。



図4.ジスルフィド原料の異なるエポキシ樹脂の推定分解機構

以上、BGPDS 原料を用いることで易分解性と物性とを両立したエ ポキシ樹脂を開発したとともに、ジスルフィド導入手法による分解 性への影響について明らかにした⁷⁾。

4. 熱交換可能なジスルフィド結合ユニットの開発

第2項でも述べたとおり、一般にジスルフィド結合交換反応には チオールやアミンといった触媒、あるいは紫外光の照射が必要であ る。しかしながら、触媒の利用は材料設計に与える制約が大きい他、 触媒の経時劣化による加工性の低下が避けられない⁸⁰。また、光照 射は塊状固体に対して均等にエネルギーを与えるという点において 非常に不利であり、その用途は表面加工や薄膜の加工などに限定さ れる。以上を考慮すると、結合交換を誘起するための刺激としては 加熱が最も汎用的で望ましいと考えられるが、ジスルフィド結合単 体では熱開裂特性に乏しいことが報告されている⁹⁰。

そこで、本研究では熱交換反応が期待できるジスルフィド結合と して、ビス(2,2,6,6-テトラメチルピペリジン-1-イル)ジスルフィド (BiTEMPS) に着目した(図5a)¹⁰。BiTEMPS は安定ラジカルであ る 2,2,6,6-テトラメチルピペリジン-1-オキシル (TEMPO) の硫黄類 縁体(TEMPS)が二量化した構造を持つが、TEMPS では S 原子の 電気陰性度が N と比べて低いために S 上のスピン密度が高く 10a,b)、 それにより TEMPO とは異なって二量体を形成する。BiTEMPS 中の ジスルフィド結合の解離エネルギーはジアルキルジスルフィド(約 270 kJ/mol)の半分程度(約 130 kJ/mol)であり、100 ℃以下の加熱 でも可逆的に均一開裂することが報告されている 10。これらのユ ニークな特徴にもかかわらず、BiTEMPS の既往研究例は非常に限定 的であった¹¹⁾。そこで、BiTEMPS の熱的な均一開裂反応に基づく結 合交換特性を低分子および高分子系において明らかにすることを目 的として検討を行った。また、これまで修飾可能な BiTEMPS 誘導 体が報告されていなかったことから、今回ビス(2,2,6,6-テトラメチ ルピペリジン-1-イル)ジスルフィド(BiTEMPS-OH)を種々の合 成の基点となる分子として設計・合成した(図5b)。



図 5. BiTEMPS の特徴的な均一開裂反応とその修飾可能な誘導体

まず、BiTEMPS-OH の OH 基をブチル化した化合物を用いて温度 可変電子スピン共鳴スペクトル測定(VT-ESR)を行ったところ、室 温では全くピークが見られなかったのに対し、加熱を行うにつれて ピークが出現・増大する様子を観測した(図6a)。さらに、ピーク 強度は繰り返しの加熱・冷却に応じて可逆的に増減した(図6b)。 以上の結果より、得られた BiTEMPS 化合物が加熱によりジスルフィ ド結合を可逆的に均一開裂可能であることを確認した。次に、熱開 裂で生じる TEMPS ラジカルの空気中における安定性を評価するた め、この化合物を重トルエンに溶解し、空気中で24時間加熱した。 その結果、加熱前後での¹H NMR スペクトルに全く変化は見られず、 このことから TEMPS ラジカルは空気中でも安定に存在可能な安定 ラジカルであることが示唆された。





続いて、異なる2種類の低分子 BiTEMPS 化合物を 1,4-ジオキサン 中で混合し、結合交換特性の評価を行った(図7)。交換反応の追跡 は高速液体クロマトグラフィーにより行い、各化合物のピーク面積 からモル分率を算出した。はじめに、空気の影響などを除外した本 質的な交換挙動を評価するため、窒素雰囲気下での反応を 80 °C に て行った。その結果、反応開始後すぐに HPLC において1本の新た なピークが出現し、2原料と新規ピークの面積比は約2時間で1: 1:2 という平衡反応における統計的なモル比に収束した(図7a)。 以上のことから、熱的な結合交換反応が進行し、平衡に到達したこ とが示唆された。重要なことに、同じ反応を空気中にて行ったとこ ろ窒素雰囲気下での反応時と同様のプロットが得られた(図7b)。 このことから、BiTEMPS の結合交換反応は大気中でも影響を受けな いことが示唆され、前述の TEMPS ラジカルの安定性試験とよく対 応する結果となった。続いて、反応温度が交換挙動に及ぼす影響に ついて調査を行った。室温で反応溶液を攪拌しただけでは6時間以 内では交換挙動は殆ど観測されなかった(図7c)一方、100 °C で は15分以内に急速に平衡に到達した(図7d)。これらの結果より、 BiTEMPS の動的な特性は 100 ℃以下の温度範囲で簡便に制御可能 であることがわかった。



図7.低分子 BiTEMPS 誘導体の熱的な結合交換挙動

次に、BiTEMPS 含有高分子の分子鎖組換え特性を評価するため、 モデルポリマーとして BiTEMPS-OH とヘキサメチレンジイソシア ネートから直鎖状ポリウレタンを合成した。このポリウレタンは交 換可能な BiTEMPS を繰り返し単位に有するため、希釈条件下では エントロピー駆動型の環化解重合を、および濃厚条件下では同様の 原理に基づいてポリマーが再生することが期待できる(図8a)¹²⁾。 そこで、このポリウレタンの1,4-ジオキサン希釈溶液(0.5 wt%)を 100 ℃ に加熱し、その分子量変化を GPC 測定により追跡した。そ の結果、加熱開始約10分で元のピークが大きく低分子量領域へシフ トし、6 時間後にはほぼポリマー成分が消失した。一方、この反応 溶液を10 wt%に濃縮して再度100 ℃に加熱したところ、高分子量 成分が徐々に再生する様子が観測され、そのピークトップ分子量は 原料のポリマーと遜色ない値を示した(図8b)。



図8. BiTEMPS 含有直鎖状ポリウレタンの可逆的な分子量変化

この高分子鎖交換特性を架橋高分子中においても検討するため、 BiTEMPS を繰り返し単位に有する架橋ポリウレタンをポリプロピ レングリコール、トリエタノールアミン、およびヘキサメチレンジ イソシアネートを用いた重付加反応により合成した。得られた架橋 ポリウレタンのバルクフィルムをダンベル型に打ち抜き、これをナ イフで半分に切断してから切断面同士を再度接着・24 時間静置した 際の力学物性を測定したところ、100 ℃ で熱接着した際の破断強度 は切断前の 86%、および破断伸びは 93%まで修復した。一方で、 BiTEMPS の交換反応が劇的に抑制される室温で接着した際はそれ ぞれ 20%および 11%と低い値にとどまり(図9)、この値は BiTEMPS を含まない架橋ポリウレタンを切断および熱接着(100 ℃)した際



図 9. BiTEMPS 含有架橋ポリウレタンの損傷修復挙動

の評価結果と同様であった。これらの結果より、BiTEMPS の熱的か つ可逆的な均一開裂反応に基づく結合交換特性が種々の分子系にお いて機能することが明らかとなった¹³⁾。

5. 熱交換可能なジスルフィドに基づく架橋ビニルポリマーの開発

前項で示した結果より、BiTEMPS が熱刺激のみで架橋ポリマーの 易加工化に利用可能であることを明らかにした。しかし、ポリウレ タン以外のより汎用的な骨格中への導入、およびその系において十 分な展性を示す架橋高分子が実現できれば、BiTEMPS を用いた機能 性材料の研究のさらなる展開に繋がることが期待できる。そこで、 フリーラジカル重合による BiTEMPS 含有ポリメタクリル酸エステ ルの合成、および得られた架橋高分子の BiTEMPS 結合交換反応に 基づく高分子鎖組み換え特性の評価を行った。

まず、BiTEMPS-OH と 2-イソシアナトエチルアクリレートとの付 加反応により、BiTEMPS を有する 2 官能性アクリレート架橋剤を合 成した。主モノマーとしては、ホモポリマーのガラス転移温度 T_g が低く、かつ架橋点間分子量 M_e の大きいメタクリル酸ヘキシル (HMA, $T_{g, PHMA} \approx -5$ °C, $M_e \approx 33,100^{-14}$)を選択することで、絡み合い による物理架橋点の少ない(すなわち BiTEMPS が架橋点の大部分 を担う)ゴム状架橋高分子が得られると期待した。N,N-ジメチルア セトアミド(DMAc)溶媒中、HMA および BTA(95:5)をモノマー として、V-70を開始剤として用い、30 °C にてフリーラジカル共重 合を行うことで、BiTEMPS を架橋点に有する架橋高分子 P(HMA-*co*-BTA)を合成した。また、同様の手法により架橋点に BiTEMPS を含まない架橋高分子を対照サンプルとして合成し、それ ぞれの結合交換特性について評価を行った。

交換可能な結合を有する架橋高分子は、変形により生じた内部応 力を結合交換反応によって緩和できることが知られている¹⁵⁾。そこ で、各架橋高分子を120℃で伸長した際の応力の経時変化を測定し たところ、BiTEMPSを架橋点に有する P(HMA-co-BTA)は30分程度 で応力がほぼ一定値まで緩和した一方で、BiTEMPSを含まない対照 サンプルでは緩和挙動は全く見られなかった。このことから、 P(HMA-co-BTA)の応力緩和挙動は架橋点のBiTEMPSの熱的な開裂 および結合交換反応に由来することが示唆された(図10)。





続いて、ダンベル型試験片を用いて各架橋高分子損傷修復試験を 行った。まず、試験片をナイフで半分に切断した後にステンレス製 のダンベル型モールド中に入れ、120 ℃ 70 kPa 条件でホットプレス を行ったところ、8 時間後には切断箇所が肉眼で確認できないほど にまで修復した(図 11a)。さらに、試験片をボールミルで粉砕した のちに同条件でホットプレスを行ったところ、徐々に界面が消失し、 12 時間後には粉砕前の外観まで修復した(図 11b)。また、いずれ の試験においても加熱時間を延長することで力学物性の修復も見ら れ、特に切断試験においては 24 時間加熱後には切断前と同等の(図 11c)、粉砕-再成形試験においても 48 時間加熱後にはそれに比する 物性値を示した(図 11d)。



図 11. P(HMA-co-BTA)の(a,c)修復および(b,d)再成形試験結果

以上の結果より、BiTEMPS が汎用的なビニルポリマーにおいても 架橋高分子を熱的に再成形可能にするための機能性分子として活用 可能であることが示された¹⁶。

6.結言

以上、本研究ではジスルフィド結合を利用した架橋高分子の高分 子鎖組み換え反応に関する種々の知見について明らかにした。特に、 本研究で見出した BiTEMPS は室温から 100 °C 前後までの温度範囲 において静的/動的性質を劇的に切り替え可能であるというだけで なく、触媒を必要とせず、夾雑物に対して不活性という点において 通常のジスルフィド結合とは大きく異なる。触媒を用いた結合交換 反応では触媒の失活、紫外光照射では交換反応以外の副反応を誘起 しうるといったリスクを避けられず、長期的な機能の安定性の面に おいて不利であると考えられる。そのため、比較的穏和な加熱での 結合交換が可能であり、空気中での安定性も備える BiTEMPS は、 ジスルフィド以外の組み換え可能な結合を含めて考えても非常に 「使いやすい」機能性骨格であると言え、修復性材料以外にも結合交 換反応を利用した様々な研究に対する展開が期待される。

7.謝辞

本研究は、東京工業大学大学院理工学研究科 有機・高分子物質 専攻(現・物質理工学院 応用化学系)教授である大塚英幸先生のご 指導の元に行われたものであり、ここに感謝の意を表します。また、 本研究は内閣府 革新的研究開発プログラム(ImPACT)および日本 学術振興会 科学研究費助成事業(17H01205,17J10401)の支援の元 に行われたものであり、ここに厚く御礼申し上げます。

8.参考文献

- (1) (a) 株式会社スリーボンド, BGA・CSP 実装用アンダーフィル 剤, スリーボンド・テクニカルニュース 2000 年 7 月号. (b) H. G. Elias, Macromolecules Vol.4: Applications of Polymers, Wiley-VCH (2009).
- (2) 角岡正弘,白井正充,高分子の架橋・分解技術-グリーンケミ ストリーへの取り組み-,シーエムシー出版,63-75 (2009).
- (3) (a) S. D. Bergman and F. Wudl, Synthesis and Characterization of a Single-Component Thermally Remendable Polymer Network: Staudinger and Stille Revisited, J. Mater. Chem., 18, 41–62 (2008).
 (b) C. J. Kloxin, T. F. Scott, B. J. Adzima, and C. N. Bowman, Covalent Adaptable Networks (CANs): A Unique Paradigm in Cross-Linked Polymers, Macromolecules, 43, 2643–2653 (2010).
 (c) W. Denissen, J. M. Winne, and F. E. Du Prez, Vitrimers: permanent organic networks with glass-like fluidity, Chem. Sci., 7, 30–38 (2015).
- (4) (a) A. Fava, A. Iliceto, and E. Camera, Kinetics of the thiol-disulfide exchange, J. Am. Chem. Soc., 79, 833–838 (1957).
 (b) K. Sayamol and A. R. Knight, Reactions of thiyl radicals. III. Photochemical equilibrium in the photolysis of liquid disulfide mixtures, Can. J. Chem., 46, 999–1003 (1968).
- (5) T. Ohishi, Y. Iki, K. Imato, Y. Higaki, A. Takahara, and H. Otsuka, Insertion Metathesis Depolymerization of Aromatic Disulfidecontaining Dynamic Covalent Polymers under Weak Intensity Photoirradiation, Chem. Lett., 42, 1346–1348 (2013).
- (6) F. Dénès, M. Pichowicz, G. Povie, and P. Renaud, Thiyl Radicals in Organic Synthesis, Chem. Rev., 114, 2587–2693 (2014).
- (7) A. Takahashi, T. Ohishi, R. Goseki, and H. Otsuka, Degradable epoxy resins prepared from diepoxide monomer with dynamic covalent disulfide linkage, Polymer, 82, 319–326 (2016).
- M. Pepels, I. Filot, B. Klumperman, and H. Goossens, Self-healing systems based on disulfide-thiol exchange reactions, Polym. Chem., 4, 4955–4965 (2013).
- (9) (a) J. A. R. Coope and W. A. Bryce, The Thermal Decomposition of Dimethyl Disulphide, Can. J. Chem., 32, 768–779 (1954). (b) T. Miyashita, M. Matsuda, and M. Iino, Kinetics of the Thermal Decompositions of Diaryl and Dialkyl Disulfides, Bull. Chem. Soc. Jpn., 48, 3230–3235 (1975).
- (10) (a) J. E. Bennett, H. Sieper, and P. Tavs, 2,2,6,6-tetramethyl-piperidyl-1-thiyl: A stable new radical, Tetrahedron, 23, 1697–1699 (1967). (b) W. C. Danen and D. D. Newkirk, Nitrogen-centered free radicals. IX. The ease of formation of thionitroxide radicals, J. Am. Chem. Soc., 98, 516–520 (1976). (c) B. Maillard and K. U. Ingold, Kinetic applications of electron paramagnetic resonance spectroscopy. XXII. Dialkylaminothiyl radicals, J. Am. Chem. Soc., 98, 520–523 (1976).
- (11) (a) N. Bricklebank and A. Pryke, 2,2,6,6-Tetramethylpiperidin-1-ylthiyl, the sulfur analogue of TEMPO, as an initiator for the controlled radical polymerisation of styrene, J. Chem. Soc., Perkin Trans. 1, 2048–2051 (2002). (b) P. Jaitner, K. Jäger, A. Dorfer, and

K. E. Schwarzhans, Improved synthesis of the radical source bis[2,2,6,6-tetramethylpiperidyl-(1)]-disulfide and photoinduced reactions with $M_2(CO)_{10}$ (M = Mn, Re), J. Organomet. Chem., 621, 173–176 (2001).

- (12) G. Yamaguchi, Y. Higaki, H. Otsuka, and A. Takahara, Reversible Radical Ring-Crossover Polymerization of an Alkoxyamine-Containing Dynamic Covalent Macrocycle, Macromolecules, 38, 6316–6320 (2005).
- (13) A. Takahashi, R. Goseki, and H. Otsuka, Thermally Adjustable Dynamic Disulfide Linkages Mediated by Highly Air-Stable 2,2,6,6-Tetramethylpiperidine-1-sulfanyl (TEMPS) Radicals, Angew. Chem. Int. Ed. 56, 2016–2021 (2017).
- (14) L. J. Fetters, D. J. Lohse, and R. H. Colby, Chain Dimensions and Entanglement Spacings in Physical Properties of Polymers Handbook, Springer (2007).
- (15) (a) J. J. Griebel, N. A. Nguyen, A. V. Astashkin, R. S. Glass, M. E. Mackay, K. Char, and J. Pyun, Preparation of Dynamic Covalent Polymers via Inverse Vulcanization of Elemental Sulfur, ACS Macro Lett., 3, 1258–1261 (2014). (b) L. Imbernon, E. K. Oikonomou, S. Norvez, and L. Leibler, Chemically crosslinked yet reprocessable epoxidized natural rubber via thermo-activated disulfide rearrangements, Polym. Chem., 6, 4271–4278 (2015).
- (16) A. Takahashi, R. Goseki, K. Ito, and H. Otsuka, Thermally Healable and Reprocessable Bis(hindered amino)disulfide-Cross- Linked Polymethacrylate Networks, ACS Macro Lett., 6, 1280–1284 (2017).

「翻訳後修飾によるトリプトファン残基のイソプレニル化」

岡田 正弘*

Post-translational Isoprenylation of a Tryptophan Residue

Masahiro OKADA*

1. はじめに

生物は生き延びるために様々な環境の変化に対する適応行動 をとっており、その中の一つに集団の数、密度がある。例えば、我々 ヒトは満員電車や過密状態のエレベーターなどでは、できるだけ他 者との関わりを閉ざすように振る舞うようになる。これをエレベー ター効果と呼んでいる。また、サバクトビバッタでは個体群密度の 上昇に伴い、体色や飛翔距離などのそもそもの能力が異なる個体が 成長する、相変異と呼ばれる現象が引き起こされる。一方で、増殖 の速い細菌にとっては、集団の数、密度は特に重要な環境要因であ り、クオラムセンシングと呼ばれる微生物特有の集団密度依存的な 遺伝子発現機構が存在する。このクオラムセンシングにより、様々 な現象が引き起こされる。最もわかりやすい現象が生物発光で、有 名な例としてはダンゴイカの発光があり、これはダンゴイカの足な どにある発光器官に高密度状態で発光性細菌が共生することで引き 起こされる。その他にも、感染症や歯垢、水処理膜の目詰まりなど の原因であり、粘性の高い高分子などを分泌することで物理的、化 学的耐性を向上させるバイオフィルムの形成や、抗生物質や毒素の 生産、胞子形成や形質転換などがある。細菌の振る舞いは集団の密 度に依存していると言っても過言ではないぐらい、細菌に特徴的な 実に多くの現象がクオラムセンシングによって制御されている。そ の密度感知方法は単純明快であり、クオラムセンシングフェロモン と呼ばれる化学物質を常時分泌することである。つまり、細胞密度 が低いうちは分泌された環境中のフェロモンも少ないので何も起こ らないが、細胞密度の上昇に伴いフェロモン濃度も上昇し、閾値を 超えると受容体が感知して、シグナルが伝達された結果、特定の遺 伝子が発現し、先に述べたような様々な現象が誘導される。すなわ ち、細菌は集団の細胞密度をフェロモンの濃度に置き換えて感知し ているのである (図 1)。一般的に細菌は、それぞれ種ごとあるいは グループごとに異なったフェロモンを分泌し、分泌されたフェロモ ンは特異的に作用する。また、複数のフェロモンを分泌する細菌も いる。従って、細菌はクオラムセンシングフェロモンというケミカ ルシグナルを用いてお互いにコミュニケーションを取っており、言 い換えれば、クオラムセンシングフェロモンという様々な言語を用

*教授 物質生命化学科 Professor, Department of Material and Life Chemistry, いて会話しているのである。また、近年の研究によれば、病原性細 菌のクオラムセンシングフェロモンに応答して宿主が免疫応答を行 う例も報告されている。いわば、他の生物も細菌の会話を盗み聞き して適応行動をとっているのである。



図 1. クオラムセンシングの概略

2. 枯草菌由来のクオラムセンシングフェロモン、ComX フェロモン

グラム陽性細菌の枯草菌は、胞子の形成、抗生物質の生産、DNA 形質転換を行うといった特徴を有しているが、これらは全て細胞密 度依存的に引き起こされる。すなわち、クオラムセンシングにより 制御されていることが明らかとなっている。枯草菌はモデル生物と して、特に168株はその標準株として、かなり早い時期からゲノム 解析や分子遺伝学的研究が進められきた。クオラムセンシングにお けるシグナル伝達機構についても詳細な遺伝学的解析が行われた結 果、主に DNA 形質転換に関与する com QXPA 168 遺伝子クラスターの 役割が明らかとなっている (図 2)。それによると、まず、55 アミノ 酸残基からなる前駆体ペプチド ComX168 が生合成された後、翻訳後 修飾酵素 ComQ₁₆₈によって C 末端付近のトリプトファン残基が残基 が翻訳後修飾を受け、さらにそのトリプトファン残基を含む C 末端 側のアミノ酸残基が切り出されてオリゴペプチドである ComX₁₆₈ フェロモンとなり細胞外に放出される。常時分泌されている ComX₁₆₈フェロモンの濃度が細胞密度に依存して上昇し、その濃度 がある一定の閾値に達すると、受容体である膜貫通型ヒスチジンキ ナーゼ ComP₁₆₈に結合し、ComP₁₆₈のヒスチジン残基の自己リン酸化 を誘導する。続いてレスポンスレギュレーターである ComA168 にリ

ン酸基を受け渡し、いわゆる二成分制御系と呼ばれるシグナル伝達 機構を介して形質転換関連遺伝子の転写を活性化することで最終的 に形質転換を誘導する。



図 2. ComX フェロモンのシグナル伝達経路の概要

一方で、アミノ酸配列解析の結果や、修飾酵素 ComQ がイソプレ ニルニリン酸合成酵素と相同性があったことから、ComX フェロモ ンの修飾様式はトリプトファン残基のイソプレニル化ではないかと 考えられていた。なお、イソプレニル化とはイソプレニル基の付加 のことであり、イソプレニル基とは炭素数5単位からなる炭化水素 基の総称のことで、ジメチルアリル基 (C5)、ゲラニル基 (C10)、ファ ルネシル基 (C15)、ゲラニルグラニル基 (C20) などが知られている。 しかしながら、ComX フェロモンは化学的に不安定であり、また、 分泌量も少なかったために修飾構造は決定されていなかった。そこ で、我々は ComX フェロモンの化学構造の解明研究を行い、RO-E-2 株由来の ComX_{RO-E-2} フェロモンが翻訳後修飾によりゲラニル化さ れ、さらにプロリン様の5員環が形成された修飾トリプトファン残 基を有するへキサペプチドであることを明らかにした (図3)¹。



図 3. ComX_{RO-E-2}フェロモンの化学構造

続いて行った構造活性相関研究の結果、ComX_{RO-E-2}フェロモンの 修飾トリプトファン残基以外のアミノ酸残基は DNA 形質転換誘導 活性にはそれほど重要ではなく、アラニンへの置換や削除を行って もそれほどフェロモン活性には影響がないのに対して、修飾トリプ トファン残基はその立体化学を含めた環状構造や、ゲラニル側鎖を 含めた全ての化学構造が DNA 形質転換誘導活性に重要な役割を果 たしていることが明らかとなった^{2,3)}。さらに、枯草菌 6 菌株およ び近縁種の納豆菌の ComX フェロモンの構造を明らかにしたところ、 ComX フェロモンは菌株によってそのアミノ酸配列が大きく異なっ た、アミノ酸 6~10 残基からなるオリゴペプチドであり、唯一共通に 存在するトリプトファン残基が翻訳後修飾により環化を伴うイソプ レニル化 (ゲラニル化またはファルネシル化)を受けていることが 明らかとなった (図 4)⁴⁻⁹⁾。



図 4. 各菌株由来の ComX フェロモンのアミノ酸配列と化学構造

3. 翻訳後修飾によるイソプレニル化

翻訳後修飾とは、主にタンパク質やペプチドが翻訳により生成し た後に起こる化学修飾のことを言い、タンパク質やペプチドの20種 類に限定されたアミノ酸残基に構造的な多様性を与えるだけでなく、 多くのタンパク質は翻訳後修飾を受けて初めて生理的な機能を有す る成熟型となることから、タンパク質の機能発現の動的制御機構で もある。これまでに、様々なアミノ酸上において様々な修飾様式が 発見されており、その中の一つとしてシステイン残基のイソプレニ ル化が知られていた。この修飾様式はC末端のシステイン残基のチ オール基がイソプレニル化 (ファルネシル化またはゲラニルゲラニ ル化) されるというもので、担子菌の交配時の接合管形成を誘導す るペプチドフェロモンにおいて初めて発見された。その後、他の生 物にも存在することが明らかとなり、イソプレニル修飾を受けるた めの基質のコンセンサス配列が解明された結果、システイン残基の イソプレニル化は真核生物に普遍的に存在し、タンパク質やペプチ ドの機能発現に必須な翻訳後修飾であることが判明した。例えば、 ヒトのガン遺伝子産物であり、ガンの転移に関与すると考えられて いる K-Ras タンパク質においてもシステイン残基のイソプレニル化 によりその機能が制御されていることが明らかとなったことから、 イソプレニル化酵素を標的タンパク質とした抗ガン剤の開発が進め られるなど、システイン残基のイソプレニル化に関する研究は現在 も精力的に進められている。

一方で、原核生物においてはシステイン残基も含めた全てのアミ ノ酸残基において翻訳後修飾によるイソプレニル化は確認されてい なかったため、枯草菌のクオラムセンシングフェロモンに見られる トリプトファン残基のイソプレニル化(ゲラニル化またはファルネ シル化)は、トリプトファン残基の新規翻訳後修飾様式であるとい うだけでなく、原核生物における初の翻訳後修飾によるイソプレニ ル化の発見ということになった。なお、シアノバクテリアの環状ペ プチドであるカワグチペプチンAからも翻訳後修飾によるトリプト ファン残基のイソプレニル化(ジメチルアリル化)が発見されてい るが、ComX フェロモンとは立体構造が異なっており、その役割も 不明である (図 5)^{10,11)}。また、カワグチペプチン A のイソプレニ ル化酵素である KgpF に関しても ComQ とはほとんど相同性がない ため、それぞれ独立して進化してきたのではないかと考えられる。



図 5. カワグチペプチン A の化学構造

4. おわりに

修飾ペプチドの生合成においては、翻訳後修飾酵素が基質の特定 のコンセンサス配列を認識して修飾した後に、その配列が切り出さ れて生合成される場合が多いが、興味深いことに、RO-E-2 株由来 の修飾酵素 ComQ_{RO-E-2} は菌株ごとに大きく異なる C 末端側のアミ ノ酸配列のみを有するペプチドも基質として認識してゲラニル化 を触媒する酵素として十分に機能したため、ComQ は基質に特定の コンセンサス配列を必要としないと考えられる^{12,13)}。さらに、納 豆菌の場合は、基質ペプチドにおける被修飾トリプトファン残基の 位置も C 末端付近には限定されていな katta^{8,9)}。今後、詳細な ComQ の反応機構の解明を行うことで、ComQ もしくはその変異体 を用いた化学合成では困難な立体選択的環化を伴うイソプレニル 化もしくは類似反応を、様々なトリプトファン残基あるいはトリプ トファン様物質に対して達成できる可能性があり、生合成リデザイ ンによる修飾酵素を用いたペプチドライブラリーの構築や、新規有 用物質の創成研究にも興味が持たれるところである。

一方、今のところ、翻訳後修飾によるトリプトファン残基のイソ プレニル化は、基質の特徴的なコンセンサス配列も見られず、また、 進化的関連性の低いカワグチペプチンAを除けば、近縁種の納豆 菌を含めた枯草菌の ComX フェロモンにおいて確認されているの みである。しかしながら、類似の翻訳後修飾であるシステイン残基 のイソプレニル化が、担子菌のペプチドフェロモンにおいて初めて 発見された後に、普遍的翻訳後修飾であることが判明したように、 翻訳後修飾によるトリプトファン残基のイソプレニル化も他の細 菌などの生物に存在する可能性が考えられる。もしかしたら、細菌 のケミカルシグナルを介したコミュニケーションに、翻訳後修飾に よるトリプトファン残基のイソプレニル化が重要な役割を担って いるのかもしれない。

5. 参考文献

Okada, M.; Sato, I.; Cho, S. J.; Iwata, H.; Nishio, T.; Dubnau,
 D.; Sakagami, Y. Structure of the *Bacillus subtilis* quorum-sensing peptide pheromone ComX. *Nat. Chem. Biol.* 2005, *1*, 23–24.

 Tsuji, F.; K. Kobayashi, K.; Okada, M.; Yamaguchi, H.; Ojika, M.; Y. Sakagami, The geranyl-modified tryptophan residue is crucial for ComX_{RO-E-2} pheromone biological activity. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* 2011, 21, 4041–4044.

 Okada, M.; Yamaguchi, H.; Sato, I.; Cho, S. J.; Dubnau, D.;
 Sakagami, Y. Structure-activity relationship studies on quorum sensing ComX_{RO-E-2} pheromone. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* 2007, *17*, 1705–1707.

 Okada, M.; Yamaguchi, H.; Sato, I.; Tsuji, F.; Dubnau, D.; Sakagami, Y. Chemical structure of posttranslational modification with a farnesyl group on tryptophan. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 2008, *72*, 914– 918.

 Okada, M.; Yamaguchi, H.; Sato, I.; Tsuji, F.; Qi, J.; Dubnau,
 D.; Sakagami, Y. Acid labile ComX pheromone from *Bacillus mojavensis* RO-H-1. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 2007, *71*, 1807–1810.

6) Okada, M.; Sugita, T.; Abe. I. Posttranslational isoprenylation of tryptophan in bacteria. *Beilstein J. Org. Chem.* **2017**, *13*, 338–346.

 Okada, M. Post-translational isoprenylation of tryptophan. Biosci Biotechnol Biochem. 2011, 75, 1413–1417.

8) Hayashi, S.; Usami, S.; Nakamura, Y.; Ozaki, K.; Okada, M. Identification of a quorum sensing pheromone posttranslationally farnesylated at the internal tryptophan residue from *Bacillus subtilis* subsp. *natto. Biosci. Biotechnol. Biochem.* **2015**, *79*, 1567–1569.

9) Okada, M.; Nakamura, Y.; Hayashi, S.; Ozaki, K.; Usami, S. Chemical structure and biological activity of a quorum sensing pheromone from *Bacillus subtilis* subsp. *natto. Bioorg. Med. Chem. Lett.* **2015**, *25*, 4293–4296.

 Okada, M.; Sugita, T.; Akita, K.; Tian, T.; Li, C.; Mori, T.; Abe,
 I. Stereospecific prenylation of tryptophan by a cyanobacterial posttranslational modification enzyme. *Org. Biomol. Chem.* 2016, *14*, 9639– 9644.

Parajuli, A.; Kwak, D. H.; Dalponte, L.; Leikoski, N.; Galica,
 T.; Umeobika, U.; Trembleau, L.; Bent, A.; Sivonen, K.; Wahlsten, M.;
 Wang, H.; Rizzi, E.; De Bellis, G.; Naismith, J.; Jaspars, M.; Liu, X.;
 Houssen, W.; Fewer, D. P. A unique tryptophan C-prenyltransferase from
 the kawaguchipeptin biosynthetic pathway. *Angew. Chem Int. Ed.* 2016, *55*, 3596–3599.

12) Tsuji, F.; Ishihara, A.; Nakagawa, A.; Okada, M.; Kitamura, S.; Kanamaru, K.; Masuda, Y.; Murakami, K.; Irie, K.; Sakagami, Y. Lack of the consensus sequence necessary for tryptophan prenylation in the ComX pheromone precursor. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* **2012**, *76*, 1492–1496.

 Tsuji, F.; Ishihara, A.; Kurata, A.; Nakagawa, A.; Okada, M.; Kitamura, S.; Kanamaru, K.; Masuda, Y.; Murakami, K.; Irie, K.; Sakagami,
 Y. Geranyl modification on the tryptophan residue of ComXRO-E-2 pheromone by a cell-free system. *FEBS Lett.* **2012**, *586*, 174–179.

船内向け自主改善活動の研究

久宗周二*

Study on Work Improvement on Board (WIB)

Shuji HISAMUNE*

1. 緒言

船員労働災害の発生率は、他の産業に比べ高くなっている。平成 25年度の船員の休業4日以上の労働災害発生率は労働者千人ごとに 13.5人であり、全産業2.3人の約5倍である。平成25年度の船員の 死亡災害発生率は労働者千人ごとに0.2人であり、全産業の0.04人 の5倍となった。船舶は、船種、大きさ、海域により仕様、船内設 備が大きく異なり、個々の船舶毎に自主的に船内を改善することが 必要である。

漁業は昔から、「板子一枚下は地獄」と言われ危険な仕事と考え られてきた。今でも死亡事故で多いのは海中転落だが、労働災害で 多いのは挟まれ、巻き込まれ転倒であり、安全な労働環境の形成が 急務である。

安全は万全かつ、厳密にやるべきである。しかし、中小・零細 企業では十分な安全対策を組むことは難しい。家族経営はもちろん のこと、数十人を雇用するような沖合漁業であっても事務担当者が 1~2名で、漁獲物の販売や、船の燃料やメンテナンスの手配、人 の雇用などの合間の片手間で、労働安全に取り組んでいる現状があ る。また、乗組員たちも船を操船して魚を探索して、操業し、帰港 して水揚げをする毎日で、資源量の低下、魚価の低迷など操業する ことで精一杯の状況である。操業時間も漁模様で長時間にわたるこ ともあり、時化の時が休日になるなど、労働時間や休みが不安定な 状況である。そのような状況の中で、担当者が専門的な勉強をして、 専門家による講習などを受けて、安全体制を構築するなどは至難な 状況である。初歩段階として、低コストで、簡便で、短時間に労働 安全衛生を進められるシステムが求められていた。

そこで、簡単に(3枚の書類を使うだけ)、短時間(1時間以 内)、低コスト(かかった実費だけ)で安全な労働環境が形成できる、 WIB(船員向け自主改善活動)を開発した。WIBはILOが推奨して いる WISE(中小企業向け自主改善活動)を応用して、改善の進め 方シートを加えて短時間でも効率よく進められるようにしたシステ ムである。最低限の要求事項をクリアーして継続的な労働安全体制 を構築できる、WIB 方式船内労働安全衛生マネジメントシステムを 開発した。

もちろん安全には、万全の態勢で臨むべきである。しかし、人員 も費用も時間も確保できない事業者においては、彼らが実施可能な 安全の方法を提案すべきと考えた。

例えば数学な苦手な学生に対して、必要だからと高等数学繰り返し教えても、なかなか覚えないし、場合によっては拒絶するかもしれない。はじめから難しいことをするのではなく、彼らが実施可能の簡単な方法を示して(例えば百マス計算など)原理を理解してもらい、段階的に自主的にレベルアップをする方が定着していくと考える。労働安全衛生も同様の考え方で、実現可能な最低限の方法を示して、段階的に推進体制を構築していく。

2. 船内向け自主改善活動 WIB について

船内向け自主改善活動 WIB (Work Improvement on Board) は ILO (国際労働機関)が作成した WISE (中小企業自主改善活動)を船内 向けに応用した。全員が簡単にリスクチェック、良好な事例を参考 にして、低コストで、無理せずに、改善活動ができるリスクアセス メントとカイゼン提案が行われる一連の活動である。自主改善活動 の基本的な考え方は、自分の職場は自分自身が一番分かっていると 考えて、被害を受ける前に全員で予防をして、働く人一人一人自ら が安全対策を作り、労働災害の未然防止を図る。

WIB 船内向け自主改善活動の特徴

・良い改善事例をみんなで選択することで、共通の認識ができる。
 ・チェックリストを使って船の設備、環境、状況に合わせて船員
 自らが、全員で改善案を提案できる。

・短時間でできる。(点検・話し合いは 30 分~1 時間 30 分程度)
 ・全員でリスクの点検がでる。

*教授 経営工学科

Professor, Dept. of Industrial Engineering and Management

・職歴に関係なく、若手も参加することにより安全意識も高まる。
 船員の労働災害発生率は陸上労働者より高く、特に漁船員で高くなっている。

国土交通省が船員の労働安全衛生を推進するために、同時に、水 産庁は平成25年度より5か年計画の補助事業で「安全な漁業労働環 境確保事業」を開始した。漁業者に安全に関する知識の他に、自主 改善活動の手法を学び現場で安全を進める「安全推進員」を育成す る事業で、計画では5年間に2500人を育成する計画である。また、 国土交通省では平成25年度よりはじめられた第10次船員災害防止 基本計画において、主として中小船舶所有者を対象とした船内向け 自主改善活動(WIB)の普及啓発の計画をした。



図1 国土交通省 「船内版自主改善活動のすすめ」

マニュアルは全ページ、ストーリー漫画になっており、船員災害防止の流れ、船内労働安全衛生マネジメントシステム、自主改善活動の方法、チェックリストの良い改善事例の使い方などが、10~20分程度で読むことができる。本稿で紹介しているチェックリストなどのツールや活動事例は、参加者の活動を手伝うものである。準備としては、船内向け自主改善活動のチェックリスト、漫画版マニュアルを用意する。商船版は国土交通省、船員災害防止協会、簡易版の漁業者向けマニュアルは全国漁業就業者確保育成センターのホームページから無料でダウンロードできる。

具体的な進め方

ステップ1 よい改善事例の選択

ダウンロードした船内向け自主改善活動のマニュアルの「改善事 例」から、24の改善実例が載っている。その中から一番良いと思う 事例と、二番目に良いと思う事例にチェックする。それらを参考に しながら、改善案を考えてみる。

ステップ2 チェックリストによる点検

チェックリスト (図 3) のチェック項目に目を通して、項目ごと に進める。

チェックリストのチェック項目に目を通して「今のままで良い」、 「改善が必要」、「優先します」にチェックする。点検する際のコツと して、船内にいるときに、どこにぶつけたか、とこで足を滑らせた か、どこで挟まれそうになったか等イメージを膨らませて、点検を する。事前に直して予防できれば、怪我を防止できる。自由記述欄 には、改善のアイデア等を、意見を書き留めておく。



図2 水産庁補助事業 「船の安全点検チェックリスト」

チェックした項目のうち「改善が必要」の□にチェックをつけた中 で、「優先します」がついている中から優先順位が高いものを3つ選 ぶ。

図3「改善活動のチェックリスト」

項目	今のまま	改善が	優先しま	
整理・整頓				
1. 使用しない姿具は、所定の場所に 置いています。 (自由記述欄)	今のままで	必要が		
2. エ具、漁具などのために、使いやすい くわかりやすい棚、場所があります。 く自由記述開)	ゆのままで 良い □		優先します	
 人や資材が安全に動けるように、 通路の境界線には印があります。 (日田記述欄) 	うのままで 良い	改善か 必要 	@ #LC# 9	
4 通販け 時実物めつまず/たそもが	今のままで良い	設置が	優先します	

ステップ3 改善すべき点を決める

改善すべき事項3項目を考える。複数人いる場合は、話し合いを して3つに絞りこむ。まずは、その3点について実際に改善する。

図4「改善活動すすめ方シート」

		改善活	動すす	め方シー	- ト	
	実施日	2014年	6月1日	船名	00 x	
	メンバー	¥P. 7	3、丙			
	改善内容		改善計画		改善	結果
優先 順位		予定	実施	備考	実際の改善内容	写真
1	甲板の床が滑るの で、滑り止めをっけ る	8月下句	9月○~○ 8	ペンキ○○円× ○击 滑り止め○○円 ×○击 ホームセンター で購入	サンド入りのべ ンキを塗装	
2	頭上に頭をぶっける 甲→クッション材と 注意喚起	7月下句	7月○8	ウレタン○○円 トラマーク色の ガムテープ ○○円 ホームセンター で購入	頭上にウレタン を付ける トラマークの テープを付ける	
3	工具が整理・整頓さ れないで、わかりず らい	6月下句	6月○日	ベニア板○○円 し字フック○○ 円 ホームセンター で購入	工具がわかりや すいように、大 きい順に呈べる	

ステップ4 改善活動

考え出した改善案をまとめて、図4の「改善活動すすめ方シート」 に記入する。次のステップとして、この表に改善すべき内容 (Plan) を記入して、実行 (Do) →確認 (Check) →対応 (Act) を進める。

改善が終われば、「BEFORE (改善前)」「AFTER (改善後)」の写 真を撮り「改善活動すすめ方シート」に記入して、チェックリスト とともに保管をする。これにより、改善活動の記録とともに、改善 写真を見ることによって、改善意識の向上を目指す。

初めに挙げた3つの改善が終わったら、次の3つの改善項目を選 んで継続的に実施する。さらに、チェックリストによる点検を定期 図5 改善案(事故対策案)の分析 的(年数回)に実施して、改善活動を継続的に行う。大規模な修繕 は、専門業者と話し合って必要な資材や修繕を手配する。

3. 船内向け自主改善活動 WIB の現場での成果

「安全な漁業労働環境確保事業」では、平成 25~26 年度に北は北 海道紋別市から、南は沖縄まで全国 39 箇所で講習会を行い、約 1500 人が安全推進員となった。

安全推進員の講習会について、参加者の無記名によるアンケート 調査した。(n=951)「わかりやすさ」では、「わかりやすい」が 83.4%、 「わかりにくい」は 2.5%、「どちらでもない」は 14.1%でした。「役 に立った(有効性)」は 87.6%、「役に立たない」1.5%、「どちらで もない」は 10.9%であった。自主改善活動については(n=354)、「わ かりやすい」が 83.5%、「わかりにくい」は.2.5%、「どちらでもな い」は 14.0%であった。「役に立った(有効性)」は 85.7%、「役に 立たない」0.9%、「どちらでもない」は 13.4%であった。安全推進 員の講習、自主改善活動のいずれにおいても「わかりやすさ」、「有 効性」「実用性」は高い値を示し、否定的な意見は僅かであった。

講習会の後に参加者が、実際に漁船の点検をして改善案を出すプログラムを2014年8~10月に10カ所で行った。110隻(または、 グループ)が参加して、228件(平均して一隻あたり約2.1件)の 改善案が提案された。

提案された改善案を、「作業方法改善」、「設備改善」、「教育」、「安 全確認の徹底」、「注意喚起」の5種類の対策に分類した結果(図5)、 「作業方法改善」10.6%、「設備改善」75.2%、「教育」3.1%、「安全 確認の徹底」10.2%、「注意喚起」0.9%となり、設備改善などの実 用的な改善が多かった。改善内容から改善に必要な費用の概算を「費 用がかからない」、「費用が1万円未満」、「費用が1万円以上」の3



つに分類したところ、「費用がかからない」は 31.1%、「費用が1 円未満」は 29.7%、「費用が1万円以上」は 39.2%となった。 講習会を開催した後に実際に改善活動を行った結果の報告を受け た。図6は青森県ホタテ漁船で、灯火をLEDに替えたことにより、 足元が明るくなり、作業をしやすくなった。消費電力が低減して、 コストが削減した。2014年度で最も開催数、参加者数が多かった岩 手県では、岩手県庁、岩手県労働局、岩手県定置網協会の協力の下、 2015~16年も安全講習会が県下 10か所で開催されると共に、各地 で改善活動が行われた。甲板に滑り止めを施すなどの具体的な改善 が行われると共に、所管の労働基準監督署の指導のもと、「機械操業 計画」などが提出され、着実に効果が表れている。



図 6 青森での具体的改善例 4. WIB 方式船内労働安全衛生システムについて

労働安全衛生マネジメントシステムは、労働者の安全を守るため に、ILO2001 年条約に従って進められている。厚生労働省の管轄で ある沿岸漁業では、「労働安全衛生規則」、第八節の二 自主的活動の 促進のための指針(自主的活動の促進のための指針)おいて、「第二 十四条の二 厚生労働大臣は、事業場における安全衛生の水準の向 上を図ることを目的として事業者が一連の過程を定めて行う次に掲 げる自主的活動を促進するため必要な指針を公表することができる。

一 安全衛生に関する方針の表明

二 法第二十八条の二第一項又は第五十七条の三第一項及び第 二項の危険性又は有害性等の調査及びその結果に基づき講ずる措置

三 安全衛生に関する目標の設定

四 安全衛生に関する計画の作成、実施、評価及び改善」と定め られている。

船員法の管轄の国土交通省においても同様に、「船内労働安全衛 生マネジメントシステム」が進められてる。しかし、現実には中小 の漁業会社や、漁業組合では専門のスタッフを雇い入れることも、 専門知識の得る機会や、時間も限られており労働安全衛生マネジメ

表1 WIB 万式船内向け目主改善沽動マネジメントシスラ	アム計画書
------------------------------	-------

の記人例							
方針の表明	・労働災害が起きない働きやすい職場を作る						
*安全方針	* 安全な輸送体制の継続的確立						
推進メンバー	社長 〇〇 (総括安全衛生管理者)						
の役割と責任	監督 🛛 🗋 (総括安全担当者)(事務局)						
	船長 △△ (船毎のリーダー)						
安全衛生目標	・労働災害を減少させるために点検・改善の推進						
	・ リスクを評価して安全性の向上						
活動計画	・ミーティング (1回 /月)年)						
・全員で安全	・職場点検(WIBなど)(2 回 /月·(年)						
点検を行うこ	・改善の実施 (2 回 /月 (年)						
とにより、船	・講習会 (1 回 /月・年)						
員の意見が反	* ヒヤリ・ハットの収集・分析をする						
映されます。	* 外部の講習会を受けた						
活動内容の	・ややできた。						
確認	・ミーティング 1回/月 (年)						
・記録は別紙	・職場点検(WIBなど)2 回 🖌 月						
同時保存	・改善の実施 2 回 / 日(年)						
	・講習会 1 回 /月(年)2月)						
	・ 災害発生時の原因調査及び改善手順の制定						
	(振り返り) 職場の点検は全員がやる						
	改善活動が少なかった						
次の活動へ	(振り返り)						
	(良くすべき点) 改善の時間と予算を増やす						
	改善活動の機会を増やす						

ントシステムの導入は難しい状況である。

一方で、ILO の労働安全衛生マネジメントシステムを推進させる ためツール、「OSH Management System: A tool for continual improvement (労働安全衛生マネジメントシステム:持続的な活動の ためのツール)」では、小企業の場合は最小限の必要項目をできるこ とから実施した。また、「中小企業向け自主改善活動、(WISE)、小 規模農業向け自主改善活動(WIND)、および商業労働貿易組合向け自 主改善活動 POSITIVE などのトレーニングパッケージが、ILO によっ て広く開発され、実行されています。」となっている。

WIB(船内向け自主改善活動)方式船内労働安全衛生システムは、 ILOの中小企業向け自主改善活動(WISE)を基に、参加型改善活動 を作成した小木和孝博士(元 ILO労働環境局長)の指導を受けて船 内向けに開発した。現場の漁業者、事務担当者の負担が少なくなる ように、本質的な項目だけを精査してフォーマットを作り、わかり やすい解説を付加した。その概要を以下に示す。 目標

労働災害の防止と健康増進、さらにすすんで快適な職場環境を作 り、職場の安全衛生水準の向上を目指す。ILO(国際労働機関)の 労働安全衛生マネジメントシステム(OSHMS)を基に作成する。

方法

事業者は労働者の協力のもとに「計画(Plan)-実施(Do)-評価(Check)-改善(Act)」(「PDCAサイクル」)で安全衛生管理 を継続的、自主的に進める。

WIB 方式の導入のメリット

- 働く人の労働安全衛生の意識が高まり、労働災害の減少・疾病の減少が図れる。
- 労働安全衛生活動の記録を組織的に残し、会社の管理責任を 明らかにできる。
- ・ 社内外に対して取り組みをアピールすることができる。
- 一般社団法人 自主改善活動協会によるサポート、認証制度 がある。
- ・ 中小の事業者でも無理なく、効率的にシステムが運用できる。
 実施事例



図7 マネジメントシステムの掲示事例(その1)



図8 マネジメントシステムの掲示事例(その2)

現在、島根県の漁業会社が平成27年3月より取り組みをはじめ ており、計画を作り、WIB自主改善のチェックリストによりリスク アセスメントを行い、毎月ミーティングを行って、着実に労働安全 衛生を推進する。船員に周知、徹底させるために、WIB方式船内向 け自主改善活動マネジメントシステム計画書を事務所ばかりでなく、 船員が利用する船内のトイレにも貼り付けて意識の高揚を図ってい る (図3、7、8)

5. おわりに

水産庁の事業は、水産庁の「平成 25 年の水産の動向」の他、内 閣府「交通安全白書」でも紹介されている。また、国土交通省でも 貨物船、旅客船向けに WIB は船内労働安全衛生マネジメントシステ ムを推進するための方法として紹介されており、実施のための チェックリストと漫画マニュアルがダウンロードできる。WIB 方式 船内労働安全衛生マネジメントシステムについては、船内労働安全 衛生マネジメントシステムの導入促進をするために、有効な方法と して、平成 27 年 4 月の国土交通省交通政策審議会海事分科会船員部 会で報告され、労使から支援を得ている。

安全推進員講習会は当初、漁業協同組合などが開催するとこを考え ていたが、それに加えて、全日本海員組合、船員災害防止協会、海 上保安庁、厚生労働省労働基準監督署など、海事に関連する日本の 多くの機関の協力で行われている。今後も WIB 自主改善活動による 改善活動とともに、WIB 方式船内労働安全衛生マネジメントシステ ムを促進することにより、経営者と船員が一体となって安全で健康 的な労働環境が形成されるように、普及・啓発を行っていきたい。

参考文献

[1] 松原茂樹,加藤芳秀,江川誠二,英文作成支援ツールとしての 用例文検索システム ESCORT, 情報管理, 51 (4), 251-259 (2008).
[1] 久宗周二,実践参加型自主改善運動 -自主的な労働安全衛生の 実施を目指して-, 創成社 (2009)

[2] 久宗周二, 漁撈技術の評価と労働災害, ヤマカ出版 (2007)

[3] ILO, OSH management system a tool for continual improvement, http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/@ed_protect/@protrav/@safew ork/documents/publication/wcms_153930.pdf (2015)

[4] Shuji Hisamune, Kazutaka Kogi, Findings of the Work Improvement on Board (WIB)program me by the Fishery Agency in Japan, Int Marit Health, 66(3): 1–8 (2015)

[5]「全国就業者確保育成センター」HP,

http://shuugyousha.org/anzen.php (2015)

[6] 水産庁, 平成 25 年の水産の動向,

http://www.jfa.maff.go.jp/j/kikaku/wpaper/h25_h/trend/1/t1_2_3_1_04.ht ml (2015)

[7] 内閣府, 交通安全白書,

http://www8.cao.go.jp/koutu/taisaku/h26kou_haku/zenbun/genkyo/h2/h2s

<u>2 5.html</u> (2015)

[8] 国土交通省 HP,

http://www.mlit.go.jp/maritime/maritime_fr4_000008.html (2015)

[9] 国土交通省,平成27年度海事レポー

http://www.mlit.go.jp/common/001011538.pdf (2015)

[10] 国土交通省, 船員部会議事録,

http://www.mlit.go.jp/common/001090361.pdf (2015)

ソーシャル案内ロボットの自律移動制御に関する研究

張 斌*

A Study on Adaptive Motion Control of the Social Guide Robot

Bin ZHANG*

1. Introduction

Human-robot interaction has currently become one of the fastest growing research fields. In recent years, the development of service robots has played an important role in human-centered robotics. At present, service robots are used in offices, restaurants, hospitals, and homes[1-5]. An important function of service robots used in different fields is guiding users from one place to another[6]. With the types of services provided by such robots increasing, ensuring service quality becomes increasingly important. Users expect the guide robot to be more sociable. However, few researchers are working on how to make the robot more sociable to improve the quality of guiding service. The guide robot cannot expect that the users will always follow it or maintain a fixed distance from it; instead, it needs to adapt to user activities and always accompany with them during the guiding process. Conventional researches focused on realizing one or more of these by changing the motion states of the robot case by case. In the work of Mizobuchi Y. et al. [7], the robot adjusts its speed to match that of the users by maintaining the relative distance, which can be updated by the voice feedback of the users' impressions. In the work of Fleury S. et al[8], the robot, guiding the users based on a stop-and-wait model, has been proved to be not socially appreciated. In the work of M. Shiomi et al[9], the robot moves backwards sometimes to maintain the guiding relationship. In the work of Oyama T. et al.[10], the museum guide robot stops and talks with the users leaving the guide tour. In the work of Pandey A.K. et al.[11], the two situations of non-leave-taking human activities and leave-taking human activities are well discussed, and the rules related to robot motion are designed to meet each condition. The authors successfully presented a way for guiding users in a socially acceptable way. However, the number of rules of this case-by-case method may diverge fast when the environment becomes more complex. As far as we know, no researcher has proposed a general framework by which all these adaptive motions of an autonomous mobile robot can be generated at the same time.

In this paper, a framework is designed to control the robot to move adaptively in a socially acceptable way. We firstly considered to improve

*助教 機械工学科 Assistant Professor, Dept. of Mechanical Engineering the guiding quality by accompanying the users with adaptive motion control, using a single general framework instead of multiple case-by-case rules. With our framework, the adaptive motions are formed automatically and all the above-mentioned 4 functions for a sociable guide robot can be realized. We propose to generate a special artificial potential field for the users and integrate it with other basic potential fields[12] generated by considering the goal that the users want to reach, as well as the pedestrians and obstacles in the environment. In the work of Nakazawa K. et al.[12] only considered the effects from the goal and obstacles. Different from it, our method also considered the status of the users to influence the motion of the robot. By considering the situations of the users in this way, our framework can control the robot in such a way as to adapt to the users' activities and the users can move without any restrictions. Unlike the work of Pandey A.K. et al.[11], the adaptive motions used in our proposed framework to achieve 'sociable guidance' are naturally and automatically formed. The effectiveness of our framework is demonstrated by simulations, and we showed successfully that the users are guided to their destination in a sociable way by the robot in the experiments. Our aim is to design a general framework that supports adaptive motions of sociable guide robots to improve the quality of guiding services.

2. Framework for Adaptive Motion Control of Sociable Guide Robot

To guide the users in a social way, the robot cannot require the users to be cooperative. On the contrary, it should adjust its motion to adapt to suit the requirement of the users and support their activities. The adaptive motion control of the robot is based on the artificial potential field method [13]. The attractive and repulsive forces from the environments are generated as virtual artificial potential fields, and the motion of the robot is controlled by the gradient of the potentials. The robot moves towards the position with a lower potential. Basically, an attractive force is generated from the goal to make the robot move towards it and a repulsive force is generated from obstacles around the robot to prevent collision. In this paper, in order to make sure the robot can move adaptively in a social way, we propose to generate an adaptive potential field for the users and integrate it with the basic potentials from goal and obstacles to control the robot.



(b) The shortest path and subgoals .

Fig. 1. The generation of subgoals after path planning.



Fig. 2. An example of guiding a user to the destination. 2.1 Generation of Artificial Potential Fields We generate an attractive potential field from the goal and repulsive potential fields from the objects around the robot. Besides, the special potential field generated for the users group may show an attractive effect or a repulsive effect depending on the relative distance relationship between the robot and users.

(a) Attractive Potential Field

As the robot needs to move towards to the goal, we need to set an attractive potential from it. However, if we only generate an attractive potential field from the fixed final goal, the dead-lock situations will frequently occur, making it difficult to integrate this field with other potential fields. Therefore, we first calculate the shortest path for the robot, and generate a series of subgoals. The attractive force field is then generated from the current subgoal. In the environment shown in Fig. 1 (a), for example, the robot starts from point S and needs to move to the goal (point G). In order to generate a path for the robot, we first set points at equal intervals on the passable area of the map, and only permit the robot to move from one point to a nearby point. The path is then generated

by a series of contiguous points. Here, we use Dijkstra's algorithm [14] to calculate the shortest path for the robot. The path is updated online to deal with the change in the environment. A series of subgoals are then chosen from these points, taking an interval more than the threshold d_{th} , as shown in Fig. 1 (b). The current attractive force field is then generated from the current subgoal. The attractive force F_{ag} from the subgoal is set as

$$F_{ag} = k_{ag} \times d_g$$
 (1)

Here, k_{ag} is the attraction coefficient for the goal, and d_g is the distance from the subgoal to the robot. The attractive potential P_{ag} generated is given by

(b) Repulsive Potential Field

In order to prevent the robot from colliding with obstacles and pedestrians, including the users, we need to set repulsive potential for them. The repulsive force from each point of the objects is set as

$$F_r = \frac{k_r}{(d_r - d_0)^2}$$
, if $d_r > d_0$; $F_r = \infty$, else(3)

Here, k_r is the repulsion coefficient for the objects, d_r is the distance from the object to the robot, and d_0 is the minimum distance to be traveled by the robot to reach the object. The repulsive potential P_r generated is given by

$$P_r = \frac{k_r}{d_r - d_0}, if \quad d_r > d_0; \quad P_r = \infty, else \qquad (4)$$

The repulsive force is set like this because of its property. In our model, the repulsive force is from the obstacles. It works for preventing collisions. Normally, when the robot leaves far from the obstacles, we hope they almost do not influence the motion of the robot, but when the robot gets close to the obstacles, their influences should be big enough to prevent the robot from collisions with the obstacles. Equation (3) makes sure the property of the closer, the bigger, and the greater changing speed.

(c) Proposed Special Potential Field from the Users Group

We treat the users as a group and propose to generate special potential fields from them, and their effect may be attractive or repulsive according to the relative distance between the users group and the robot. In order to make the robot adapt to the motions of the users, we generate an attractive effect for the users group. However, this attractive potential does not start from the user group, but starts from a point in front of the users group that is at a fixed distance of $d_{\rm e}$ with the users' group in the robot's direction.

Here, d_s can be considered as the social distance, which is the best relative distance to maintain the guiding interaction. The attractive force F_{au} from the users' group is set as

Here, k_{au} is the attraction coefficient for the users' group, and d_u is the distance from the users' group to the robot. The attractive potential P_{au} generated is given by

$$P_{au} = \frac{k_{au}}{2} \times (d_s - d_u)^2 \qquad (6)$$

2.2 Sociable Guide Robot Controlled by Integrated Potential Fields We integrate all the generated potentials to control the robot. The proposed adaptive potential field from the users group makes the robot guide people more sociable. Note that the attractive force from the users' group may have an attractive effect or repulsive effect from the viewpoint of the robot. When the distance between the robot and the users' group d_u is smaller than d_s (social distance, the most comfortable relative distance that we can set in advance), the users are getting closer to the robot, and the influence of the users' group will be the same as that of the subgoal to force the robot to move on faster. Moreover, the closer the users move to the robot, the influence is bigger. Naturally,

the robot will move faster to maintain the best social distance. On the other hand, when the relative distance d_{u} is bigger than social distance

$d_{\rm s}$, the users are moving away from the robot, and the influence of the

users' group will be opposite to that of the subgoal. The robot will move slower. For example, in the case of the scene shown in Fig. 2 (a), the robot tries to guide the user to the goal by the calculated shortest path, and the user is following the robot. The integrated potential field is shown in Fig. 2 (b). The robot will move towards the position with the lowest potential, and hence, towards the subgoal. When the potential from the users group is stronger than that generated from the subgoal, with the users group moving further away, the robot will naturally move towards the users group. From the result of the motion, we can see that the robot had changed to the follow mode. Only when the users get closer to the robot again and the attractive effect from the subgoal becomes stronger, the robot will move towards the subgoal. The robot judges that the users group has returned in this way, and restarts the guide mode. During the whole guiding process, the shortest path is updated online so that the subgoal is updated online, even if the robot is under follow mode. With the influence from the real time updated subgoal, the robot stays in the best position for returning back to the guide mode when following the user. In this way, we ensure the robot guides the users in the shortest way. Notice that these speed adjustments and motion mode changes are carried out naturally by the generated adaptive potential from the users group, rather than simply being defined by some if-then strategies for the robot. In this way, the robot can (1) adjust its speed to meet the users' intent, and (2) alternate between the follow and guide modes automatically to maintain the guiding relationship. Even if the robot is in the follow mode, the shortest path is updated online, and the subgoal is also updated. The robot will not only follow the users, but also stay in the best position for returning to the guide mode. Whenever the users want to restart the original task, the robot will navigate in the direction of the goal. In this way, the robot can (3) prepare for returning to the guiding task from the best position, so that the robot (4) takes the users to the destination by the shortest path. These 4 functions are all realized by our framework instead of setting many motion rules case-by-case.

3. Simulation

The purpose of our proposed framework is to guide the users from their current position to a desired place, whether the users are cooperative or not, in a socially acceptable way. In the simulation work, we controlled the motion of a user to be guided by using a game pad and observed whether the robot can provide social guiding services under different kinds of situations. There were almost no restrictions to the user and he could move at will. We simulated an indoor scene with two rooms and a corridor, as shown in Fig. 2 (a), in which one pixel instead of 35mm in the real world. The robot can be seen as a point in the image. In the simulation work, we also considered the influence of friction and air

resistance. The resultant force F_{result} of the robot is given by

$$F_{result} = F_{ag} + F_r + F_{au} - \frac{v}{|v+0.001|} (k_{air}v^2 + umg) \dots \dots \dots (7)$$

Here, k_{air} is the air resistance coefficient, v is the speed of the robot, u is frictional coefficient, and g is acceleration of gravity. The values of the variables are shown in Table.1. The values of k_{air} , u,m are deiced by the real properties of the robot. d_s , d_0 is decided by human social distance and minimum distance to stop before collision with its maximum deceleration. The attractive force from subgoal should be bigger or at least equal to the sum of air resistance and friction when we ignore the influence from the users so that we can calculate k_{ag} , and we make k_{au} as the same value with k_{ag} to make sure the force from the subgoal. k_r is decided by making sure the robot is not influenced by obstacles much when it is far away from them and the robot can reach the maximum deceleration when it gets close to the obstacles.

Table 1. The values of coefficients in simulation.

$k_r = 0.2$	$k_{aa} = k_{au} = 2$	k _{air} =0.24	$d_0 = 0.3 \text{m}$
$d_{s} = 1.2 \text{m}$	$g = 10 \text{m/s}^2$	<i>u</i> =0.01	m = 2kg

3.1 Guiding an uncooperative user The task is set as guiding a user from the start point to the goal by getting him out of a room and

passing through the corridor, as shown in Fig. 2 (a). The user took different kinds of uncooperative motions during the process and we checked the reactions of the robot to observe whether the robot can provide sociable guiding services. Fig. 3 shows the motion trajectories of the user and the robot. We took 8 snapshot points to study the reactions of the robot. The integrated potentials and the resultant forces on the robot are shown in Fig. 4. The color changes from blue to red with the potential changes from low to high, and the red points with blue lines show the positions and speeds of the robot. The robot moves in the directions of the blue lines and the length of the blue lines show the magnitude of the resultant forces. The changing tendencies of the robot's speed (pixel/frame) and the relative distance (pixel) between the robot and the user are shown in Fig. 5.

(a) Speed Adjusting Test

The user followed the robot first for a while (Fig. 3 (a)), suddenly accelerated once (A in Fig. 3 (a)), and suddenly stopped going forward once (B in Fig. 3 (a)). As we expected, the robot also accelerated (A in Fig. 5 (a)) when the user came closer to the robot (A in Fig. 5 (b)), as the resultant force on the robot increased (A in Fig. 4). The robot slowed down (B in Fig. 5 (a)) when the user suddenly stopped going forward and the relative distance was greater than the social distance (B in Fig. 5 (b)), as the resultant forces on the robot decreased. We observe that the robot adjusted its speed to match that of the user properly.

(b) Relationship Maintaining Test

The robot then tried to leave the original path and move backward (Fig. 3 (b)), during which process the user maintained his speed (C in Fig. 3 (b)) and stopped once (D in Fig. 3 (b)). The robot changed its direction of motion (P in Fig. 5 (a)) to follow the user. It accelerated first in the user's direction (C in Fig. 5 (a)). When the user went backward, the relative distance increased (C in Fig. 5 (b)), as the resultant force on the robot changed to the user's direction and increased further (C in Fig. 4). The robot also stopped (D in Fig. 5 (a)) when the user stopped and their relative distance decreased to social distance (D in Fig. 5 (b)), as the resultant force on the robot was almost zero (D in Fig. 4). After a while, the user returned to the guiding process and followed the robot again (Fig. 3 (c)), and the robot changed back to the guiding mode at point Q in Fig. 5 (a). We observe that the robot automatically formed guide and follow modes and switched between them to accompany the user. Overviewing the entire changing tendency of the robot's speed in Fig. 5 (a) and the relative distance in Fig. 5 (b), we find that the robot tried to follow the user's moving pace and maintain the guiding relationship by maintaining their social distance, even if the user tried to leave the original path.

(c) Speed Adjusting Test2

The user then moved at a stable speed as he wished to follow the robot (E in Fig. 3 (c)), and stopped suddenly (F in Fig. 3 (c)). The robot also accelerated to adapt to the user's speed (E in Fig. 5 (a)) when the user was getting closer (E in Fig. 5 (b)) and the resultant force on the robot increased in the subgoal direction (E in Fig. 4). The robot also stopped to wait for the user (F in Fig. 5 (a)) when their relative distance increased and equaled the social distance (F in Fig. 5 (b)) and the resultant force on the robot reduced to almost zerlo (F in Fig. 4). After that, the user changed his speed twice to observe the reaction of the robot (G, H in Fig. 3 (c)). The robot reacted correctly as it accelerated (G, H in Fig. 5 (a)) when the relative distance decreased (G, H in Fig. 5 (b)). These accelerations were caused by the changes in the integrated potential and the resultant force on the robot (G, H in Fig. 4). Again we observe that the robot adjusted its speed to match that of the user properly.



Fig. 3. Motion trajectories of the user (light blue) and the robot (red) and snapshot points (point A~H).



Fig. 4. Integrated potentials and resultant forces (blue lines) on



Fig. 5. Changing tendency of vectors and relative distance.



3.2 Guiding a user who drops by at many places We simulated another scene where the user dropped by multiple places while the robot followed him. Figure 6 shows the adaptive motions of the robot.

(3) Integrated potentials and resultant forces (blue lines) on the robot (red point).

Fig. 6. Adaptive motions for guiding an uncooperative user.



Motion trajectories of the user (light blue) and the robot (pink).



The user first followed the robot for a while (Fig. 6 (1) - (a)), and suddenly went backward and moved around in the room (Fig. 6 (1) - (b)). After that, the user went back to the guiding task and followed the robot to the goal (Fig. 6 (1) - (c), (d)). Figure 6 (2) shows how the robot updated the path for each frame, even in the follow mode. The integrated potential fields are influenced by the position of the user, objects in the environment, and the current subgoal. As the path is updated online, the subgoal is also updated, ensuring that the robot stays in the best position for returning back to the guide mode when following the user. The integrated potential is shown in Fig. 6 (3), and the motion of the robot is controlled by the resultant force. From the motion trajectory in Fig. 6 (1), we find that the robot was not only following the user when he dropped by some places, but also prepared for returning back to the guiding task, as its trajectory is almost a straight line, different from the users trajectory (shown in Fig. 6 (1) - (b)). Thus, whenever the user wants to come back, the robot stands by in the goal direction. The generated paths are the shortest in the environment, and the robot tries to return in the shortest path. These two strategies make sure the user is guided to the destination in the shortest path.

We compared the results with a conventional method [12] in which the robot tried to keep a constant distance with the user by only considering the effect from the user and obstacles in the follow mode. Figure 7 shows the motions of the robot by using this conventional method. The task was same and the user took same motions. After following the robot for a while (Fig. 7- (a)), the user suddenly went backward and moved around in the room (Fig. 7 - (b)). After that, the user went back to the guiding task and followed the robot to the goal (Fig. 7 - (c), (d)). The pink line in Fig.7 shows the motion of the robot. We can observe in Fig.7 (b) and (c) that the robot followed the user to move around in the room in the follow mode, and the user needed to wait for the robot adjusting its motion to the guiding path when he/she moved close to the robot. We repeated the same experiment for 50 times and the average path length of the proposed method is 62 pixels (2.17m) less than the conventional method with the standard deviation of 6 pixels (0.21m). Kinds of similar tasks have also been carried out, in which the uncooperative user left the original path many times in different ways. All the results showed that the path lengths generated by our proposed method were shorter, and the differences became more apparent if the user moved more uncooperatively. We proved that the proposed method can make the robot guide the user to the destination by the shortest path.

From the results, we observe that the robot well accompanied the users while guiding them to the destination. The adaptive motions are automatically generated by our proposed framework. From the tests, we observe that the robot will (1) adjust its speed to match that of the user; (2) maintain their relationship by maintaining the social distance with the users; (3) prepare to restart the guiding task during the follow mode; and (4) take the users to their destination by the shortest path.

4. Experiments

We confirmed the efficiency of our framework through different guiding tasks, using the robot shown in Fig. 8. The mobile platform PIONEER3-DX manufactured by MobileRobots is used. We set a forward-looking laser range finder (LRF) at the height of 32 cm, and a backward Kinect sensor at the height of 100 cm on the robot. The motion of the robot is controlled by integrated potentials, and we set a threshold F_{th} for the resultant forece to prevent overreaction. F_{th} has the same function with friction to keep the robot more stable. The resultant force $F_{rarealt}$ is given by

$$F_{result} = F_{ag} + F_r + F_{au}, \text{ if } |F_{result}| > F_{th} ; F_{result} = 0, else \dots (8)$$

As we can directly control the speed of the wheels for the real robot, we need to calculate the speed of the robot by

$$v = v_{cur} + F_{result} t / m \dots (9)$$

Here, V_{cur} is the current speed of the robot. The values of the variables are shown in Table.2. Most of these variables are set by referring the values in the simulation part (shown in Table.1).

We conducted the experiments in an indoor environment as shown in Fig. 1 (a). Any position in the map can be chosen as the starting point or the goal, and we take the task of guiding the users from point S to point G as an example to show the results.

Table 2. The values of coefficients for real robot.

$k_r = 0.2$	$k_{aa} = k_{au} = 2$	k _{air} =0.24	$d_0 = 0.3 \text{m}$
$d_s = 1.2 \text{m}$	<i>m</i> =2kg	$F_{th} = 2.34$	



Fig. 8. The view of the guide robot.

4.1 Guiding a user to the destination We guided a user to the destination without restraining him; we only informed him that he would be guided by the robot to a place.

(a) Speed Adjusting Test

Most of the users were cooperative and the robot took them to the destination smoothly. In the beginning of the task the users were close to the robot, and they decided the timing to start moving by themselves. The users started to move with the average relative distance of 1.2m, which also proved that our social distance is set properly. Different people would like to move in different speeds, and some users might also change their speeds during a guiding task. Our robot adaptively adjusted its speed to meet the need of each user. The robot almost maintained the social distance no matter how fast the user moved. We observed that the robot adjusted its speed to match that of the user properly.

(b) Relationship Maintaining Test

We selected some uncooperative users who made the situations more complex and studied the adaptive motion of the robot in detail to show the efficiency of our framework. One guiding process is shown in Fig. 9, and the robot trajectory is shown in Fig. 10. The user was normally guided by the robot (Fig. 9 (a)), but he suddenly stopped (Fig. 9 (b)). Then he moved to a different direction as he was interested in the posters on the wall (Fig. 9 (c)). After reading the posters (Fig. 9 (d)), the user returned to the guiding task (Fig. 9 (e)) and followed the robot to the destination (Fig. 9 (f)). The robot first guided the user from point A to B (Fig. 10 (a)) normally. Then the robot slowed down and stopped when the user stopped. After that, the robot changed its direction to follow the user (point B to C in Fig. 10 (b)) as the user started moving backward. After the user came back to the robot, the robot changed its direction again, and guided the user to the destination smoothly (point C to D in Fig. 10 (c)). We observed that the robot automatically formed guide and follow modes and switched between them to accompany the user. The robot tried to follow the user's moving pace and maintain the guiding relationship by maintaining their social distance, even if the user tried to leave the original path.



Fig. 9. Scenes when the robot guided an uncooperative user who walked backward.



(b) Following the user from B to C



(c) Guiding the user from C to D

Fig. 10. Motion trajectories of the robot when guiding an uncooperative user who walked backward.


Fig. 11. Scenes when the robot guided an uncooperative user who



(c) Guiding the user from C to D
Fig. 12. Motion trajectories of the robot when guiding an uncooperative user who walked around the room.
(c) Preparation for Restarting Guiding Task Test

Another guiding process is shown in Fig. 11, and the robot trajectory is shown in Fig. 12. The user is normally guided by the robot first (Fig. 11 (a)). Then he moved back and walked around in the room (Fig. 11 (b)-(d)). After some time, the user returned to the guiding task (Fig. 11 (e), (f)) and followed the robot to the destination. The robot first guided the user from point A to B (Fig.12 (a)) normally. Then the robot changed its motion to follow the user (point B to C in Fig. 12 (b)) as the user started moving backward and walked around in the room. Notice that in the follow mode, the robot almost moved in a straight line, although the user walked around and dropped by multiple places in the room. The robot did not just follow the user, but also always stayed in the subgoal direction during the follow mode, ready to restart the guiding task (Fig. 11 (b)-(d)) from the place that takes the least cost to go to the original goal. These adaptive motions make sure that the robot guided the user in the shortest path. After the user came back to the robot, the robot changed its direction of motion again, and guided the user to the destination smoothly (point C to D in Fig. 12 (c)). We observed that the robot prepared to restart the guiding task during the follow mode by always standing in the direction of goal, and the robot

took the users to their destination by the shortest path by updating its path online.

The results of the experiments matched well with the simulation results, proving that our framework works for providing socially acceptable services.

Guiding a users' group to the destination To show that 4.2 our framework is also effective when guiding a group of people, We made the robot guide different groups of users to the destination without any restrictions placed on them. These user groups tended to be more cooperative as they usually took care of each other. The robot treats the users as a group, whose center is the mean position of all the users. The integrated potential field is influenced by the center of the users' group. An example of the guiding scene is shown in Fig. 13, which shows that the user group moves at a stable speed to take care of each other, and the robot moving at a similar speed in the front guided them. The robot trajectory is shown in Fig. 14, and it shows the robot successfully moved to the goal point. As shown in the example, our robot smoothly guided multiple user groups to the destination, and its motion speed automatically adjusted to a speed comparable to that of the user group. Actually, when guiding multiple users, the robot treats them as a group, and the integrated potential field is similar to the potential field generated in a one-user situation. The center of the group is calculated from all tracked users. However, when a few users tend to be uncooperative and try to leave the group, the mean position will be affected by the persons who leave, and the robot will adjust its motion accordingly, considering the two subgroups (one big and one small). As most of the users keep moving forward, the robot will react as if prefers to stay with the big subgroup. As time goes on, the users who left will get out of the view of the Kinect sensor and be deleted from the user group. The robot will guide the big subgroup to the destination. When the users who leave appear in the view again, they will influence the center of the group, and the robot will adjust its motion to include all detected users.



Fig. 13. Scenes when the robot guided a cooperative users' group.



Fig. 14. Motion trajectories of the robot when guiding a cooperative users' group.

5. Conclusion

In this paper, we proposed a general framework of adaptively controlling the motion of a guide robot for accompanying and providing sociable services to the users. We proposed to add a special potential field for the users and integrated it with other basic potential fields to control the robot. Instead of being defined by multiple rules of motion, adaptive robot motions are generated naturally and automatically by our framework. The robot can adjust its speed to meet the intent of the users and alternate between the guide and follow modes to maintain the guiding relationship. Under the follow mode, the robot will always prepare for changing back to the guide mode by staying at the best position in the subgoal direction. Moreover, the shortest path is updated online to make sure the users are guided along the shortest path. By comparing the simulation and experimental results, we confirmed the usefulness of our framework.

On the other hand, usefulness needs to be further inspected as our experiments were held in a building floor, and the number of the users was limited. Future work will focus on applying and verifying our framework for guiding tasks in public places like museums or exhibition halls, where the environment is more complex and many kinds of tours with different numbers of people need to be guided in a sociable way. Robust recognition and tracking of particular users under a crowded environment will be also needed, although they are beyond the scope of this paper. Besides, this paper only talked about providing sociable guiding services in the view of adaptive motion to make sure that the guide robot can always accompany with the users. Other interactions such as show the path on a monitor, sound guiding services and postures guiding services by a humanoid robot can also be considered to add to our robot.

References

- [1] Asoh H., Motomura Y., Asano F., Hara I., Hayamizu S., Itou K., Kurita T., Matsui T., Vlassis N., Bunschoten R. and Krose B. : "Jijo-2: an office robot that communicates and learns", IEEE Intelligent Systems, vol. 16, no. 5, pp. 46-55, 2001.
- [2] Stuckler J., Holz D. and Behnke S. : "Demonstrating Everyday Manipulation Skills in RoboCup@Home", IEEE Robotics and Automation Magazine, vol. 10, no. 2, pp. 34-42, 2012.
- [3] Tzou Jyh-Hwa and Su Kuo L.: "The development of the restaurant service mobile robot with a Laser positioning system", Proceedings of the 27th Chinese Control Conference, pp. 662-666, 2008.
- [4] Calderon C.A.A., Changjiu Zhou and Mohan R.E.: "Development of an autonomous service robot for social interactions", 8th International Conference on Information, Communications and Signal Processing (ICICS), pp. 1-6, 2011.
- [5] Mamun K.A., Sharma A., Hoque A.S.M. and Szecsi, T. : "Remote patient physical condition monitoring service module for iWARD hospital robots", Asia-Pacific World Congress on Computer Science and Engineering (APWC on CSE), pp. 1-8, 2014.
- [6] Byung-Ok Han, Young-Ho Kim, Kyusung Cho and Yang, H.S.: "Museum tour guide robot with augmented reality", International Conference on Virtual Systems and Multimedia (VSMM), pp. 223-229, 2010.
- [7] Mizobuchi Y., Wang S., Kawata K. and Yamamoto M.: "Motion Control of Guide Robots Tracking Relative Distance and Running Speed Considered the Characteristic of a Guided Person by Speech Dialogue", The 44th General Conference of JSME Chuogoku-Shikoku Branch, vol.

2006(44), pp. 419-420, 2006. (Japanese)

- [8] Fleury S., Alami R., Chatila R., Bailly G., Brethes L., Cottret M., Danes P., Dollat X., Elisei F., Ferrane I., Herrb M., Infantes G., Lemaire C., Lerasle F., Manhes J., Marcoul P., Menezes P., and Montreuil V. : "Rackham: An interactive robot-guide", The 15th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, pp. 502–509, 2006.
- [9] M. Shiomi, T. Kanda, H. Ishiguro and N. Hagita, "A larger audience, please!: encouraging people to listen to a guide robot," Proc. HRI2010. pp. 31-38, 2010.
- [10] Oyama T., Yoshida E., Kobayashi Y. and Kuno Y. : "Tracking visitors with sensor poles for robot's museum guide tour", The 6th International Conference on Human System Interaction (HSI), pp. 645-650, 2013.
- [11] Pandey A.K. and Alami R. : "A step towards a sociable robot guide which monitors and adapts to the person's activities", International Conference on Advanced Robotics (ICAR), pp. 1-8, 2009.
- [12] Nakazawa K., Takahashi K. and Kaneko M.: "Movement Control of Accompanying Robot Based on Artificial Potential Field Adapted to Dynamic Environments", IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems, vol.134, no. 2, pp. 293-302, 2014. (Japanese)
- [13] Nakazawa K., Takahashi K. and Kaneko M., "Unified environment adaptive control of accompanying robots using artificial potential field," Proc. HRI2013. pp. 199-200, 2013.
- [14] Dijkstra E.W., "A note on two problems in connexion with graphs", in Numerische Mathematik 1, pp.269–271, 1959.

Design of UAV-Embedded Microphone Array System for Sound Source Localization in Outdoor Environments[†]

Kotaro Hoshiba*

Abstract

In search and rescue activities, unmanned aerial vehicles (UAV) should exploit sound information to compensate for poor visual information. This paper describes the design and implementation of a UAV-embedded microphone array system for sound source localization in outdoor environments. Four critical development problems included water-resistance of the microphone array, efficiency in assembling, reliability of wireless communication, and sufficiency of visualization tools for operators. To solve these problems, we developed a spherical microphone array system (SMAS) consisting of a microphone array, a stable wireless network communication system, and intuitive visualization tools. The performance of SMAS was evaluated with simulated data and a demonstration in the field. Results confirmed that the SMAS provides highly accurate localization, water resistance, prompt assembly, stable wireless communication, and intuitive information for observers and operators.

1 Introduction

Research on remote sensing techniques involving unmanned aerial vehicles (UAV) is important to improve search and rescue in disasterstricken areas because such technologies enable prompt action regardless of the terrain. Search and rescue tasks with UAV rely mainly on vision, which is vulnerable to poor lighting conditions or occlusions. A UAVembedded microphone array system is expected to be effective for the detection of people needing assistance in disaster-stricken areas. Since a UAV-embedded microphone array system receives rotor and wind noise as well as environmental sounds, the target sound is contaminated by ego-noise and other noise. Sound source processing should be able to localize, and discriminate a target sound from noise. Robot audition software [1-3] has been developed to cope with a mixture of sounds contaminated by noise. In particular, the open source robot audition software HARK (Honda Research Institute Japan Audition for Robots with Kyoto University) [4, 5] provides noise-robust sound processing functions: sound source localization, source separation and recognition

http://www.mdpi.com/1424-8220/17/11/2535

of separated sounds. Basic technologies of robot audition have been developed for use in indoor environments, and it is necessary to advance these technologies for use in outdoor environments, such as for search and rescue tasks using UAV. Five main challenges to developing such a system for UAV include:

- 1. sound source localization;
- 2. sound source separation and sound enhancement;
- 3. sound source classification;
- 4. real-time processing and intuitive visualization tools;
- 5. robustness of the device in outdoor environments.

The first challenge has been addressed in recent years in several studies including as a main research topic to find people in disaster situations, e.g., localization of an emergency signal from a safety whistle [6], and that of speech with a low signal-to-noise ratio (SNR) [7–9]. To locate the source of a sound, algorithms based on multiple signal classification (MUSIC) [10] are often used because they can effectively localize sound sources in highly noisy environments. In particular, MUSIC based on incremental generalized singular value decomposition with correlation matrix scaling (iGSVD-MUSIC-CMS) developed by Ohata et al. demonstrated good performance under dynamically changing noise [9]. iGSVD-MUSIC-CMS could localize sound sources in a low SNR environment, -15 dB. There is a severe trade-off between the speed and performance of the signal processing. Since only offline processing was reported in their evaluation, evaluation in real time is necessary for application to search and rescue tasks.

The second challenge, in order to identify a target sound source in extremely noisy environments, is also important, in two goals: to improve SNR of the target sound and to improve intelligibility of the separated signals. The first goal of the present study was to improve sound source classification (the third challenge). Recent studies on restoration of distorted signals have been reported including: sound source separation with a linear process [11] and integrated frameworks of sound source separation and classification using end-to-end training [12, 13]. While the first goal targeted machine listening, the second goal targets human listening, that is, an operator tries to identify a target sound source manually, e.g., by inspecting sound spectrograms or by listening to separated sounds. In this case, intelligibility is a primary requirement. This second goal has not been reported as a function for UAV, although it is important to the UAV operator.

The third challenge, to effectively discriminate a target sound source, such as a human-induced sound, from other sound sources has been inves-

^{*} 助教 電気電子情報工学科

Assistant Professor, Dept. of Electrical, Electronics and Information Engineering

[†]This is the copy of Design of UAV-Embedded Microphone Array System for Sound Source Localization in Outdoor Environments, K. Hoshiba, K. Washizaki, M. Wakabayashi, T. Ishiki, M. Kumon, Y. Bando, D. Gabriel, K. Nakadai, H. G. Okuno, *Sensors*, Vol. 17, No. 11, pp. 1–16, 3 Nov. 2017.

The microphones of the microphon

(a)

(b)

0.;

Figure 1 HMAS (hexagonal microphone array system). (a) the 16 microphones marked as red circles; (b) coordinates of the microphone positions in the HMAS.

tigated [11–13], albeit these studies only reported offline processing and did not mention real-time processing.

Regarding the fourth challenge, latency in visualizing flight and sound source information should be as short as possible for efficient operation of UAV. Since UAV operators may be situated far from the UAV, visualization tools should be capable of displaying accurate information regarding UAV location and sound source. Finally, regarding the fifth challenge, to ensure system efficiency, all-weather acoustic sensors and reliability of wireless communication using a Wi-Fi signal that carries acoustic signals, which are necessary in outdoor environments, should be proven.

In this paper, we report the development of a UAV-embedded microphone array system that resolved four of the above five challenges. The third challenge, sound classification, which we regard to be at a higher level than the other four, will be investigated in a separate study. The remaining of the paper is organized as follows: Section 2 describes the design method and details of the UAV-embedded microphone array system. Section 3 evaluates and discusses the performance of the system. Section 4 is the conclusion.

2 Methods

2.1 Design of Water-Resistant Microphone Array for Use Onboard UAV

To address the first and fifth challenges in Section 1, we designed and developed a microphone array.

Figure 1 shows our prototype hexagonal microphone array system (HMAS). Sixteen MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) microphones are set on a two-story hexagonal frame whose diagonal length is 1.8 m. The microphones and cables, being exposed, were vulnerable to water, and risk of disconnection. Additionally, the complexity of the frame demanded a lot of time for assembly of the HMAS. To solve these problems, we designed a spherical microphone array system (SMAS), which is water resistant and simple to assemble in a UAV (Figure 2). As shown in Figure 2a or Figure 2c, twelve MEMS microphones are embedded in a spherical body with a diameter of 0.1 m. Since a single



Figure 2 SMAS (spherical microphone array system). (a) the 12 microphones, and six of them marked as red circles; (b) UAV (unmanned aerial vehicles) with SMAS and two counterbalance weights; (c) coordinates of the microphone positions in the SMAS; (d) layout of the SMAS and two counterbalance weights in the UAV.



Figure 3 Internal structure of the SMAS.

strut and one cable connects the array to the UAV, its assembly is simple and the risk of disconnection is reduced. Unlike with the HMAS, where the microphones are equidistant around the UAV, the weight of the UAV is unbalanced with the SMAS. To solve this, we added two weights, each of the same size and mass, to counterbalance the SMAS. As shown in Figure 2d, the SMAS and weights are set at intervals of 120°, and the direction of the SMAS is 30° on the UAV coordinates. Figure 3 shows internal structure of the SMAS. To embed microphones into the body, gaskets were used. The microphone was attached to the gasket so that holes of the microphone and the gasket were coincident. When there is a gap between the microphone and the body, the microphone cannot receive acoustic signals precisely because of reverberations in the body. To fill gaps between microphones and the body, ring-shaped connectors were used. To ensure water resistance of the SMAS, holes of gaskets were covered with a water-resistant membrane and an antiweatherability tape. Since a water-resistant membrane and an antiweatherability tape are enough thin to pass acoustic signals through, they do not influence signals received by microphones.



Figure 4 (a) antennas on the UAV marked as red circles; (b) the Yagi antenna at a ground station.

2.2 Stabilization of Wireless Communication

To resolve the fifth challenge, to stabilize wireless communication, we incorporated a high-gain antenna that could receive a Wi-Fi signal from the UAV, which carries acoustic signals at a ground station. In addition, a communication protocol was also implemented to improve robustness.

For sound source localization, acoustic signals recorded by SMAS on the UAV are sent via wireless communication using a Wi-Fi signal to a ground station, and processed by a computer. A network system was constructed by assuming that the distance between the UAV and the ground station is short. However, in an outdoor environment, the network communication has the potential to be unstable as the distance increases. To ensure reliable wireless communication, two improvements were made.

First, we replaced an antenna at the ground station with the Yagi antenna (FX-ANT-A5, CONTEC (Osaka, Japan)) [14] to improve throughput of communication [15]. For acoustic signals recorded by 12 microphones, throughput of approximately 5 Mbps is necessary. Therefore, a high gain antenna was used for reliable wireless communication in outdoor environments. Figure 4 shows antennas (FX-ANT-A7, CONTEC) [16] on the UAV and the Yagi antenna at a ground station. On the UAV, two antennas was assembled to arms of UAV. At a ground station, the Yagi antenna was set on a tripod.

Second, we changed the communication protocol from TCP (Transmission Control Protocol) to UDP (User Datagram Protocol). In wireless communication tests at tens of meters of distance between the hovering UAV and the ground station, packet loss occurred approximately 400 times per minute. With TCP, each packet loss caused a retransmission request, greatly reducing acoustic signal throughput. Hence, the protocol was changed to UDP. Because UDP provides no guarantee of data integrity, no retransmission request is sent and throughput is maintained. When a packet loss occurs, the ground station receives defective acoustic signals. However, because the minimum frame size for sound source localization is much larger than one packet, the impact is negligible.

2.3 Development of Intuitive Visualization Tools for Operators

For the second and fourth challenges, we developed three visualization tools that display information regarding the sound source on the UAV coordinates and acoustic signals before and after their enhancement.

Essential to the system is a visualization tool to display sound source



Figure 5 MUSIC (multiple signal classification) spectrum. (a) azimuth direction; (b) elevation direction.



Figure 6 Previous visualization tool based on Google EarthTM.

localization results. Several groups have developed such a tool for sound source localization [17-19]. Figure 5 shows MUSIC spectra produced by the MUSIC method [10]. It visualizes sound power arriving from each direction. The horizontal axis represents the frame number (time) and the vertical axis represents the azimuth angle θ (a) or the elevation angle ϕ (b). The sound power is represented as a color map. It is difficult to quickly determine the direction and time of a sound source with the MUSIC spectrum. In order to visualize sound source localization and the UAV location and orientation, we developed a tool to display such data on Google EarthTM (Google (CA, USA)) (Figure 6) [20]. Because users can change their viewpoint freely on Google EarthTM, they can intuitively grasp the situation of the environment, the UAV, and the sound source. However, this tool is for observers only and not for the operator. Unlike an indoor environment, in an outdoor environment, the distance between the UAV and the operator may be large, necessitating a tool for its effective operation. Therefore, we developed visualization tools for operators.

Because an operator controls the UAV with reference to its coordinates, a user friendly method would be to display sound source directions on the UAV' s coordinates. Therefore, the coordinate system shown in Figure 7 was defined. Forward direction of the UAV is defined as the positive direction of the *y*-axis, and the azimuth and elevation are projected to the circumferential and radial directions, respectively. Using this coordinate system, two visualization tools to display sound source directions were developed as shown in Figure 8. Figure 8a shows the MUSIC spectrum. The sound power in each direction is depicted by a color map. Figure 8b illustrates only the sound directions after threshold processing for the



Figure 7 Visualization tool coordinate system.



Figure 8 Visualization tools. (a) MUSIC spectrum; (b) sound direction; (c) spectrograms of captured sound (left) and after enhancement (right).

MUSIC spectrum. In addition, spectrograms of the recorded sound and after sound enhancement by online robust principal component analysis (ORPCA) [21] are displayed as in Figure 8c. The left panel shows a spectrogram of the recorded acoustic signal, and the right panel shows it after enhancement. The horizontal and vertical axes represent time and frequency, respectively. By viewing these three sets of data in real time, even when located far from the UAV, the operator knows the relationship between the UAV and the sound source.

2.4 Sound Source Localization Method

We used two methods of sound source localization, namely SEVD-MUSIC (MUSIC based on Standard Eigen Value Decomposition), which is an original broadband MUSIC method [10], and iGSVD-MUSIC [9]. SEVD-MUSIC has low noise robustness and low computational cost, while iGSVD-MUSIC has high noise robustness and high computational cost. Either of these can be selected according to the circumstances. Algorithms of SEVD-MUSIC and iGSVD-MUSIC are described below.

2.4.1 SEVD-MUSIC

M channel input sound signals of the *f*-th frame are Fourier transformed to $Z(\omega, f)$, from which a correlation matrix $R(\omega, f)$ is defined as follows:

$$\boldsymbol{R}(\omega, f) = \frac{1}{T_R} \sum_{\tau=f}^{f+T_R-1} \boldsymbol{Z}(\omega, \tau) \boldsymbol{Z}^*(\omega, \tau).$$
(1)

 ω is the frequency bin index, T_R is the number of frames used for the correlation matrix calculation, and Z^* is a complex conjugate transpose of Z. The SEVD-MUSIC method calculates eigenvectors through an SEVD of the obtained $R(\omega, f)$:

$$\mathbf{R}(\omega, f) = \mathbf{E}(\omega, f) \mathbf{\Lambda}(\omega, f) \mathbf{E}^*(\omega, f).$$
⁽²⁾

 $\Lambda(\omega, f)$ is a matrix with diagonal components that are eigenvalues in a descending order. $E(\omega, f)$ is a matrix containing eigenvectors corresponding to $\Lambda(\omega, f)$. Using E, and a transfer function, $G(\omega, \psi)$, corresponding to the sound source direction, $\psi = (\theta, \phi)$ in the UAV coordinates, the MUSIC spatial spectrum, $P(\omega, \psi, f)$, is calculated:

$$P(\omega, \psi, f) = \frac{|G^*(\omega, \psi)G(\omega, \psi)|}{\sum_{m=L+1}^{M} |G^*(\omega, \psi)e_m(\omega, \psi)|}.$$
(3)

L is the number of target sound sources, and e_m is the *m*-th eigenvector contained in *E*. $P(\omega, \psi, f)$ is average over ω direction to estimate the direction of the sound source:

$$\bar{P}(\psi, f) = \frac{1}{\omega_H - \omega_L + 1} \sum_{\omega = \omega_L}^{\omega_H} P(\omega, \psi, f).$$
(4)

 ω_H and ω_L are indices corresponding to the upper and lower limits of the used frequency bin, respectively. Threshold processing and peak detection is performed for $\overline{P}(\psi, f)$ and ψ of the obtained peak is detected as the sound source direction.

2.4.2 iGSVD-MUSIC

In iGSVD-MUSIC, for the *f*-th frame, the section of the length of T_N frames from the $f - f_s$ -th frame is assumed to be a noise section, and the noise correlation matrix $K(\omega, f)$ is calculated:

$$\boldsymbol{K}(\omega, f) = \frac{1}{T_N} \sum_{\tau=f-f_s-T_N}^{f+f_s} \boldsymbol{Z}(\omega, \tau) \boldsymbol{Z}^*(\omega, \tau).$$
(5)

The iGSVD-MUSIC method estimates noise in each frame and responds to dynamic change in noise. The noise component can be whitened by multiplying K^{-1} to R from the left. The iGSVD-MUSIC method calculates singular vectors through the GSVD of $K^{-1}(\omega, f)R(\omega, f)$:

$$\boldsymbol{K}^{-1}(\omega, f)\boldsymbol{R}(\omega, f) = \boldsymbol{Y}_{l}(\omega, f)\boldsymbol{\Sigma}(\omega, f)\boldsymbol{Y}_{r}^{*}(\omega, f).$$
(6)

 $\Sigma(\omega, f)$ is a matrix with diagonal components of singular values in a descending order. $Y_l(\omega, f)$ and $Y_r(\omega, f)$ are matrices containing singular vectors corresponding to $\Sigma(\omega, f)$. Then, the MUSIC space spectrum is

$$P(\omega, \psi, f) = \frac{|G^*(\omega, \psi)G(\omega, \psi)|}{\sum_{m=\ell+1}^{M} |G^*(\omega, \psi)y_m(\omega, \psi)|}.$$
(7)

 y_m is the *m*-th singular vector contained in Y_l . $P(\omega, \psi, f)$ is averaged over ω direction to estimate the direction of the sound source:

$$\bar{P}(\psi, f) = \frac{1}{\omega_H - \omega_L + 1} \sum_{\omega = \omega_L}^{\omega_H} P(\omega, \psi, f).$$
(8)

Threshold processing and peak detection is performed for $\overline{P}(\psi, f)$ and ψ of the obtained peak is detected as the sound source direction.

Both sound source localization methods based on MUSIC basically assume an acoustic far-field. However, by using the transfer function *G* according to the distance to sound sources, it is possible to localize sound sources at any distance. In addition, at the altitude at which a UAV flies normally (at least a few meters), an acoustic field is a far-field. Therefore, the accuracy of sound source localization depends on a SNR of an acoustic signal rather than a distance between a microphone array to a sound source.

2.5 Structure of Microphone Array System

By integrating the above components, the microphone array system was constructed. Figure 9 shows the SMAS configuration. The microphone array on the UAV was connected to a multi-channel sound signal recorder, RASP-ZX (System In Frontier (Tokyo, Japan)) [22] for synchronous recording of 12 ch sound signals. The sound signals were recorded at a sampling frequency of 16 kHz, and a quantization bit rate of 24 bits. Recorded acoustic signals, images from the wireless camera and data from a GNSS/IMU (Global Navigation Satellite System/Inertial Measurement Unit) sensor were transmitted through a wireless network to the ground station. Different frequencies were used for the wireless communications to prevent cross talk. In the SMAS, data from a GNSS/IMU sensor and images from the wireless camera were not used; therefore, only recorded acoustic signals were received by the Yagi antenna. The received data was integrated using ROS (Robot Operating System) to provide general versatility. The acoustic signals were processed by a PC using a sound source localization method. HARK was used for the algorithm implementation. The data after processing was shared by three PCs via a router. To reduce the processing load of one computer for real-time visualization, visualization tools were displayed using three laptops. PC1, PC2 and PC3 displayed the MUSIC spectrum (Figure 8a), sound direction (Figure 8b) and enhanced sound (Figure 8c), respectively. Since the SMAS is a separate system from the UAV, including its power supply, it can be applied to various UAVs.

3 Results and Discussion

The performance of the SMAS was evaluated using numerical sound simulation and by demonstration in an outdoor environment.



Figure 9 Configuration of SMAS.



Figure 10 Spectrograms. (a) whistle; (b) voice; (c) noise of UAV recorded by hexagonal microphone array; (d) noise of UAV recorded by spherical microphone array.

3.1 Evaluation Procedure

Sound localization performance was evaluated using acoustic signals created in a numerical simulation. Using transfer functions corresponding to two types (hexagonal and spherical) of microphone array and sound samples, acoustic signals arriving from every direction were created. Recorded noise of an actual flying UAV was added to the created signals. The direction was set as every 5° in the azimuth range from -180° to 180° and the elevation range from -90° to 0° . As sound sources, a whistle and human voice were used. A Mini Surveyor MS-06LA (Autonomous Control Systems Laboratory (Chiba, Japan)) was used as the UAV. Spectrograms of the sound sources and the noise of the UAV recorded by each of the two microphone arrays are shown in Figure 10. Simulated signals were processed by the SMAS and results were evaluated. Performance was also evaluated by demonstration in the field.



Figure 11 MUSIC spectra. (a) SEVD-MUSIC (MUSIC based on Standard Eigen Value Decomposition); (b) iGSVD-MUSIC (MUSIC based on incremental generalized singular value decomposition).



Figure 12 Time delay of the system.

3.2 Results of Simulation

The main differences between SEVD-MUSIC and iGSVD-MUSIC are noise robustness and computational cost. Since its computational cost is low, SEVD-MUSIC has a short delay; however, it has poor noise tolerance. Since iGSVD-MUSIC includes noise whitening, it has noise tolerance but a long delay. Thus, real-time property and noise tolerance are in a tradeoff relationship. Figure 11 shows MUSIC spectra processed by SEVD-MUSIC (a) and by iGSVD-MUSIC (b) using spherical microphone array. The target sound is located around $\theta = 80^{\circ}$. In both MUSIC spectra, the target sound source power can be seen. However, in Figure 11a, the noise power of the UAV can also be seen. Figure 12 shows the delay in the system when the frequency range, which is used in the MUSIC method, is changed. The horizontal axis represents the frequency range and the number of the frequency bin $(\omega_H - \omega_L + 1)$, and the vertical axis represents delay. As shown in Figure 12, iGSVD-MUSIC has a time delay of 2 to 3 seconds longer than that of SEVD-MUSIC. In addition, as the frequency range increases, the time delay increases. Based on these results, localization performance was evaluated by its success rate. The success rate was calculated based on the UAV coordinates. When the angle of the maximum value of the MUSIC spectrum is matched with a set angle, it is defined that sound source localization succeeded. All simulated sounds were processed using sound source localization method, and the success



Figure 13 Success rate of localization.

rate was calculated. Figure 13 shows the success rate of localization for the hexagonal and a spherical microphone arrays, processed by SEVD-MUSIC and iGSVD-MUSIC. The frequency range used in the MUSIC method was from 500 to 3000 Hz. In the hexagonal array, the success rate of both MUSIC methods was almost 100% even with SNR less than 0 dB. In the spherical array, the success rate was lower than that of hexagonal. In particular, the success rate of SEVD-MUSIC was less than 30% when the SNR was -20 dB. This lower success rate was considered due to the smaller aperture diameter in the spherical array at 0.1 m compared to 1.8 m in the hexagonal. Therefore, the detection area of the MUSIC spectrum was limited to increase the accuracy of localization with SEVD-MUSIC. As shown in Figure 11a, noise of the UAV appear in one direction constantly as directional noise, in this case at the azimuth angle of around -150° . To avoid the effect of such noise, the detection azimuth angle was limited to $-60^{\circ} \le \theta \le 120^{\circ}$. The success rate in a case when the detection angle was limited is plotted as the green line in Figure 13. By limiting the detection angle, the success rate of short-delay SEVD-MUSIC using the spherical microphone array with SNR -10 dB could be increased to approximately 97%. Since the SNR, when blowing a whistle or speaking to an actual flying UAV from a distance of around 10 m was approximately -10 to 0 dB, it was considered sufficient localization performance. This technique can be used with microphones located at one site on the UAV, unlike the HMAS in which microphones are dispersed around the UAV. Due to the location of our microphone array, parameters for sound source localization could be easily tuned to attain accurate localization with a small latency.

3.3 Results of the Demonstration

Regarding efficiency in assembling the system, the HMAS took two hours to assemble, and especially time consuming was assembly of the frame and electric cables. In contrast, the SMAS took 40 min to assemble and 2 min to take off after switching on the UAV. Regarding water resistance, although the demonstration was performed in light rain, the SMAS worked without failure. To assess the reliability of wireless communication, throughputs were compared among four different antennas. Figure



[sdqW] 30 10 10 [sdqW] 30 10 1 i 1 50 50 100 10 75 100 0 10 30 75 0 30 Distance [m] Distance [m]

0 rpm
3000 rpr

75

0 rpm3000 rpm

5000 rpm

100

5000 rpm





Figure 15 Data visualized in the demonstration.

14 shows the results of throughputs by antenna type: Diversity (FX-ANT-A1, CONTEC) [23], small Yagi (FX-ANT-A3, CONTEC) [24], Collinear (FX-ANT-A2, CONTEC) [25] and large Yagi (used in SMAS). Throughputs were measured by fixing the UAV on the ground at distances, 10, 30, 50, 75 and 100 m, with propeller rotation speeds, 0, 3000 and 5000 rpm. The required throughput (5 Mbps) is shown as a dotted line in Figure 14. It was found that throughput surpassed 5 Mbps even at 75 m by using the large Yagi-antenna. In the demonstration, the wireless network worked without disconnecting in the distance of tens of meters. To examine the intuitiveness of visualization tools, camera image, MUSIC spectrum, sound direction, and enhanced sound data were displayed as in Figure 15. These visualization tools provided directions of sound sources and other data in real time for the audience and operator, intuitively.

Discussion 3.4

Before the demonstration, we conducted over 10 test flights, and all sound source localization trials were successfully completed. Thus, usability of the SMAS was verified. Tables 1 and 2 show a summary of pros and cons of each microphone array system and sound source localization method. For the microphone array system, the HMAS provides high accurate localization; however, it does not have water resistance and efficiency in assembling. The SMAS provides lower accurate localization than the HMAS; however, we can increase the accuracy of localization depending on sound source localization method. For sound source localization method, SEVD-MUSIC has low noise tolerance and a small latency, while iGSVD-MUSIC has high noise tolerance and a large latency. Angle-limited SEVD-MUSIC can have high noise tolerance only when microphones located at one site on the UAV like the SMAS. Thus, because of their characteristics, we can select them according to the situation. In the demonstration, sound sources could be localized in real time with high accuracy using the SMAS and angle-limited SEVD-MUSIC because the SNR of the recorded acoustic signal was over -10 dB. However, in order to develop the system for the detection of people in a disasterstricken area, a new sound source localization method with higher noise robustness and lower computational cost is needed. In addition, since there are several sound sources at an actual site, it is necessary to separate and identify human-related sound from recorded sounds. In future work, we will integrate the proposed sound source identification method using deeplearning [11-13] to the SMAS.

Pros and cons of the HMAS and the SMAS. Table 1

	Accuracy of Localization	Water Resistance	Efficiency in Assembling
HMAS	\bigcirc	×	×
SMAS	Δ	0	0

Table 2 Pros and cons of SEVD-MUSIC, iGSVD-MUSIC and anglelimited SEVD-MUSIC.

	Noise Tolerance	Latency
SEVD-MUSIC	×	0
iGSVD-MUSIC	\bigcirc	×
Angle-limited SEVD-MUSIC	Δ	\bigcirc

4 Conclusions

In this paper, we developed a UAV-embedded microphone array system for an outdoor environment. First, a novel microphone array was designed to ensure water resistance and efficiency of assembly. A 12 ch microphone array, including a spherical body of simple structure, was designed. By using coated microphones and a simple structure, water resistance and efficiency of assembly were ensured. Second, the antenna and communication protocol were changed to obtain reliable wireless communication. To improve throughput, the antenna at the ground station was changed to the Yagi antenna. To avoid reducing throughput, the communication protocol was changed from TCP to UDP. Third, intuitive visualization tools for a UAV operator were developed. By integrating the above improvements, the microphone array system was constructed. Tests showed that our microphone array system for an outdoor environment that is independent from the UAV provides highly accurate sound source localization performance in real time, and has effective intuitive operator visualization tools.

Acknowledgements The authors would like to thank Kai Washizaki, Mizuho Wakabayashi, Takahiro Ishiki, Makoto Kumon, Yoshiaki Bando, Daniel Gabriel, Kazuhiro Nakadai, Hiroshi G. Okuno (the authors of the original article) and the members of System In Frontier Inc. for their support. This work was supported by JSPS (Japan Society for the Promotion of Science) KAKENHI Grant Nos.16H02884, 16K00294, and 17K00365, and also by the ImPACT (Impulsing Paradigm Change through Disruptive Technologies Program) of Council for Science, Technology and Innovation (Cabinet Office, Government of Japan).

References

- Nakadai, K.; Lourens, T.; Okuno, H.G.; Kitano, H. Active audition for humanoid. In Proceedings of the 17th National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-2000), Austin, TX, USA, 30 July–3 August 2000; pp. 832–839.
- [2] Okuno, H.G.; Nakadai, K. Robot audition: Its rise and perspectives. In Proceedings of the 2015 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP 2015), Brisbane, OLD, Australia, 19–24 April 2015; pp. 5610–5614.
- [3] Okuno, H.G.; Nakadai, K. Special Issue on Robot Audition Technologies. J. Robot. Mech. 2017, 29, 15–267, doi:10.20965/jrm.2017.p0015.
- [4] Nakadai, K.; Takahashi, T.; Okuno, H.G.; Nakajima, H.; Hasegawa, Y.; Tsujino, H. Design and Implementation of Robot Audition System 'HARK'—Open Source Software for Listening to Three Simultaneous Speakers. *Adv. Robot.* 2010, *24*, 739–761, doi:10.1163/016918610X493561.
- [5] http://www.hark.jp/
- [6] Basiri, M.; Schill, F.; Lima, P. U.; Floreano, D. Robust acoustic source localization of emergency signals from Micro Air Vehicles. In Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Robots and Intelligent Systems (IROS), Vilamoura, Portugal, 7–12 October 2012; pp. 4737–4742.
- [7] Okutani, K.; Yoshida, T.; Nakamura, K.; Nakadai, K. Outdoor auditory scene analysis using a moving microphone array embedded in a quadrocopter. In Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Robots and Intelligent Systems (IROS), Vilamoura, Portugal, 7–12 October 2012; pp. 3288–3293.
- [8] Furukawa, K.; Okutani, K.; Nagira, K.; Otsuka, T.; Itoyama, K.; Nakadai, K.; Okuno, H.G. Noise correlation matrix estimation for improving sound source localization by multirotor UAV. In Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Robots and Intelligent Systems (IROS), Tokyo, Japan, 3–8 November 2013; pp. 3943–3948.
- [9] Ohata, T.; Nakamura, K.; Mizumoto, T.; Tezuka, T.; Nakadai, K. Improvement in outdoor sound source detection using a quadrotor-embedded microphone array. In Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Robots and Intelligent Systems (IROS), Chicago, IL, USA, 14–18 September 2014; pp. 1902–1907.
- [10] Schmidt, R.O. Multiple emitter location and signal parameter estimation. *IEEE Trans. Antennas Propag.* 1986, 34, 276–280, doi:10.1109/TAP.1986.1143830.
- [11] Sugiyama, O.; Uemura, S.; Nagamine, A.; Kojima, R.; Nakamura, K.; Nakadai, K. Outdoor Acoustic Event Identification with DNN Using a Quadrotor-Embedded Microphone Array. J. Robot. Mech. 2017, 29, 188–197, doi:10.20965/jrm.2017.p0188.
- [12] Morito, T.; Sugiyama, O.; Kojima, R.; Nakadai, K. Reduction of Computational Cost Using Two-Stage Deep Neural Network for Training for Denoising and Sound Source Identification. In Proceedings of the IEA/AIE 2016 Trends in Applied Knowledge-Based Systems and Data Science Volume 9799 of the Series Lecture Notes in Computer Science, Morioka, Japan, 2–4 August 2016; pp. 562–573.
- [13] Morito, T.; Sugiyama, O.; Kojima, R.; Nakadai, K. Partially Shared Deep Neural Network in Sound Source Separation and Identification Using a UAV-Embedded Microphone Array. In Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Robots and Intelligent Systems (IROS), Daejeon, Korea, 9–14 October 2016; pp. 1299–1304.
- [14] https://www.contec.com/products-services/computer-networking/ flexlan-fx/fx-accessories/fx-ant-a5/

- [15] Ishiki, T.; Kumon, M. Continuous transfer of sensor data from multi-rotor helicopter. In Proceedings of the 33-th Annual Conference of the RSJ, Tokyo, Japan, 3–5 September 2015; RSJ2015AC1L3-03. (In Japanese)
- [16] https://www.contec.com/products-services/computer-networking/ flexlan-fx/fx-accessories/fx-ant-a7/
- [17] Sasaki, Y.; Masunaga, S.; Thompson, S.; Kagami, S.; Mizoguchi, H. Sound Localization and Separation for Mobile Robot Tele-Operation by Tri-Concentric Microphone Array. J. Robot. Mech. 2007, 19, 281–289, doi:10.20965/jrm.2007.p0281.
- [18] Kubota, Y.; Yoshida, M.; Komatani, K.; Ogata, T.; Okuno, H.G. Design and Implementation of 3D Auditory Scene Visualizer towards Auditory Awareness with Face Tracking. In Proceedings of the Tenth IEEE International Symposium on Multimedia (ISM), Berkeley, CA, USA, 15–17 December 2008; pp. 468–476.
- [19] Mizumoto, T.; Nakadai, K.; Yoshida, T.; Takeda, R.; Otsuka, T.; Takahashi, T.; Okuno, H.G. Design and Implementation of Selectable Sound Separation on the Texai Telepresence System using HARK. In Proceedings of the IEEE International Conference on Robots and Automation (ICRA), Shanghai, China, 9–13 May 2011; pp. 2130–2137.
- [20] Hoshiba, K.; Sugiyama, O.; Nagamine, A.; Kojima, R.; Kumon, M.; Nakadai, K. Design and assessment of sound source localization system with a UAV-embedded microphone array. J. Robot. Mech. 2017, 29, 154–167, doi:10.20965/jrm.2017.p0154.
- [21] Feng, J.; Xu, H.; Yan, S. Online robust PCA via stochastic optimization. In Proceedings of the Neural Information Processing Systems Conference (NIPS), Stateline, NV, USA, 5–10 December 2013; pp. 404–412.
- [22] http://www.sifi.co.jp/system/modules/pico/index.php?content_id= 36&ml_lang=en
- [23] https://www.contec.com/products-services/computer-networking/ flexlan-fx/fx-accessories/fx-ant-a1/
- [24] https://www.contec.com/products-services/computer-networking/ flexlan-fx/fx-accessories/fx-ant-a3/
- [25] https://www.contec.com/products-services/computer-networking/ flexlan-fx/fx-accessories/fx-ant-a2/

固体界面における高分子の構造と物性

犬束 学*

Structures and properties of polymers at interface

Manabu INUTSUKA*

1. 緒言

異種固体界面における高分子の構造および物性は、(界面の影響 を受けない) バルクにおけるそれらとは大きく異なることが報告さ れている.分子鎖の形態に着目すると、バルク中では高分子鎖は熱 運動によってランダムに折りたたまれた等方的なコイル状の形態を とるのに対して、固体界面においては"loop-train-tail"のような、 異方的な形態をとる[1] (Figure 1).また、接している固体との相互 作用によって、分子鎖の熱運動性が著しく抑制され、ガラス転移温 度(*T*g)が大幅に上昇するなど、力学・熱物性がバルクにおけるそれ らから大きく逸脱する[2].更に、固体と強く相互作用した高分子鎖 は、良溶媒にも溶けない吸着層を不可逆的に形成することも報告さ れている[3-6].結晶構造についても、バルクと界面とでは大きく異 なる[7].以上のように、分子鎖の形態、力学・熱物性および溶解性 などの高分子の基本的な性質が、界面においてはバルクから大きく 逸脱する.これらを正確に理解するためには、バルクで培われてき た従来の高分子科学を単純に適用するだけでは不十分である.

高分子の一分子鎖のサイズ(回転半径)は、一般に数十 nm 程度 である.従って、上述した界面における高分子物性の逸脱は、主に 異種固体との界面からわずか数十 nm 程度の範囲で起こる現象であ る.しかしながら、有機薄膜デバイスや接着、塗装、高分子/無機複 合材料などの分野では、界面物性は材料としての性能を決定する極 めて重要な因子となる.特にタイヤ用ゴム材料の分野では、添加し たカーボンブラックやシリカなどの無機フィラーの周囲に存在する "バウンドラバー"と呼ばれる界面層が材料の力学物性に大きく影響 していることが古くから提唱されている[8-11]. 近年,自動車産業に おいて省エネルギー・低炭素排出技術に対する需要がますます高 まっている.タイヤ用ゴム材料の高性能化および車体のマルチマテ リアル化に基づく軽量化など、高分子/無機複合材料および高分子/ 異種材料間の接着技術に関して,より高度かつ精密な設計の実現が 求められている.しかしながら,高分子の界面物性に関する研究は 未だ途上にあり、実際の材料設計においてはほとんど考慮されてい ないのが現状である.この大きな理由は、高分子と固体との界面は X線や電子線等のプローブが届かない"埋もれた"界面であり、非 破壊的に解析する手法が極めて限られるからである.

*特別助教 物質生命化学科 Assistant professor, Dept. of Material and Life Chemistry 本稿では,界面選択的な解析手法である和周波発生(SFG)分光法 および中性子反射率(NR)法について解説し,石英界面における高分 子の凝集状態を検討した研究を紹介する.これらの解析手法に基づ く高分子界面科学の進展は,高分子複合材料や接着材料等の飛躍的 な高性能化を可能とし,電気・電子,情報,機械,土木建築等,工 学全般の発展に資するものである.



Figure 1. A schematic illustration for polymer conformations in bulk and at solid interface.

2. SFG 分光法[12-13]

物質に光が照射されると、光の振動電場Eにより分極 P が生じる. $\mathbf{P} = \varepsilon_0 \chi^{(1)} \cdot \mathbf{E} + \varepsilon_0 \chi^{(2)} : \mathbf{E} \mathbf{E} + \varepsilon_0 \chi^{(3)} : \mathbf{E} \mathbf{E} \mathbf{E} + \cdots$ (1)

ここで、 χ は感受率, ϵ_0 は真空の誘電率である.入射光強度が非常 に強い場合,(1)式第2項以降の非線形項も無視できなくなる.SFG 光は,このうち第2項に起因する非線形光学現象により発生する. 物質中に2種類の周波数 ω_1 , ω_2 を有する光を入射した場合を考える. これらの光の電場が簡単に $\mathbf{E} = \mathbf{E}_i \sin \omega_i t$ (i = 1 or 2)と書けるとする と,これらの光が重なった際の電場 \mathbf{E}_{tot} の2乗は以下のように計算 できる.

 $\mathbf{E}_{tot}^{2} = (\mathbf{E}_{1} \sin \omega_{1} t + \mathbf{E}_{2} \sin \omega_{2} t)^{2}$ = $2\mathbf{E}_{1}\mathbf{E}_{2} \sin \omega_{1} t \cdot \sin \omega_{2} t + \cdots$ = $-\mathbf{E}_{1}\mathbf{E}_{2} \{\cos(\omega_{1} + \omega_{2})t - \cos(\omega_{1} - \omega_{2})t\} + \cdots$

(2)

示す項が導出されることがわかる.また,一般にχ²⁰は等方的な媒質 中では0となるので,SFG光は分子が配向した界面などの反転対称 性が破れた場からのみ発生する.このことから,SFG分光は界面選 択性が極めて高いといえる.

Figure 2は、実際に SFG 分光法を用いて高分子の界面凝集状態を 解析する際の模式図である. 石英等の半円筒プリズム上に調製した 高分子薄膜を試料とする.薄膜を試料とする場合,膜のどちらの面 からも SFG 光は発生しうる. 従って, 固体界面のみの情報を得たい 場合は、膜の上下どちらの界面も固体と接するよう、プリズムと平 板で膜を挟んだ試料を作製する.入射光として,可視および赤外領 域のパルスレーザー光を用いる.物質中の分子振動に共鳴する波数 の赤外光を選択すると、分極および SFG 強度が大きくなる. このこ とから、入射赤外光の周波数を掃引することで、界面選択的な振動 分光が可能である.また、界面における分子振動の配向方向に依存 して、入射される可視光・赤外光および出射される SFG 光の偏光の 組み合わせ毎に SFG 光強度は異なる. このことから, 複数の偏光条 件で測定した SFG 光強度を比べることにより, 界面における分子の 配向角を定量的に議論することも可能である.具体的には,SFG光 および入射する可視光,赤外光の偏光をそれぞれ ssp と ppp (ある いはsps)とすることが多い.



Figure 2. A schematic illustration for SFG spectroscopy.

3. 石英界面におけるガラス状高分子の熱運動性[14]

過去の検討[15]から、石英プリズム上に製膜したポリスチレン(PS) 膜の SFG スペクトルが, スピンコート膜と溶媒キャスト膜で異なる ことが明らかとなった.更に、これらの PS 膜試料をバルク Tg以上 でアニール処理しても、SFG スペクトルの差異が除かれなかった. 一般に,高分子はT。以上において分子鎖の熱運動性が高くなり,こ の際に製膜時などに凍結された非平衡状態は緩和されると考えられ ている. にもかかわらず, 固体界面での分子配向の履歴が解消され ないということは、固体界面において分子鎖の熱運動が著しく抑制 されていることを意味する.本節では、この現象を更に検討するた め、表面自由エネルギーの異なる基板として、ピラニア処理により 親水化した石英プリズム、および重水素化オクタデシルトリメトキ シシラン(d-OTS)修飾により疎水化した石英プリズム上に調製した ポリメタクリル酸メチル(PMMA)膜を試料として、SFG 分光法によ り界面における分子配向を検討した結果を紹介する.尚,重水素化 物を用いたのは, C-D 結合と C-H 結合の分子振動の波数が異なるこ とを利用し、PMMA 由来のシグナルのみを観測するためである. PMMA は側鎖にカルボニル基を有するため,親水性基板との相互作 用は強く、疎水性基板との相互作用は弱いと期待される.

Figure. 3(a)および(b)は、それぞれスピンコート法および溶媒キャ スト法に基づき、疎水性石英プリズム上に製膜した PMMA の SFG スペクトルである.スピンコート膜では、ssp、ppp 条件のいずれの スペクトルでも、2955 cm⁻¹付近に側鎖エステルメチル基の C-H 対称 伸縮振動に由来するシグナルが観測された.このことから、界面に は PMMA の側鎖が配向していると考えられる.これに対して、溶 媒キャスト膜では、2910 cm⁻¹および 2960 cm⁻¹付近にそれぞれシグ ナルが観測された.これらのシグナルは PMMA 鎖の末端基に由来 する.従って、疎水性プリズム上の溶媒キャスト膜では、PMMA 鎖 の末端が配向していることが明らかである.スピンキャスト膜では、 製膜過程において面内方向に応力が生じて分子鎖が引き延ばされる ため、側鎖が配向しやすい.一方、溶媒キャスト膜では、よりエン トロピー的に有利な末端を界面に配向させたコンフォメーションを とると考えられる.



Figure 3. SFG spectra for PMMA (a) spin-coated and (b) solvent-cast films on *d*-OTS substrate with the *ssp* and *ppp* polarization combinations. Reprinted with permission from ref. 14. Copyright 2015 American Chemical Society.

Figure 4(a)および(b)は、それぞれスピンコート法および溶媒キャ スト法に基づき親水性プリズム上に製膜した PMMA 膜の SFG スペ クトルである. 疎水性基板の場合と異なり、溶媒キャスト膜でも側 鎖エステルメチル基由来のシグナルが 2955 cm⁻¹付近に観測された. 親水性基板界面においては、末端基を配向させることによるエント ロピー利得よりも、基板上のシラノール基と側鎖のカルボニル基と の相互作用によるエネルギー利得の効果が大きいと考えられる.

以上の結果から、石英界面における高分子鎖の凝集状態が、製膜 方法に加え、界面との相互作用にも依存して決定されることが明ら かとなった.また、上述した成膜履歴は、バルク Tgより 100 K 以上 高い温度で熱処理しても解消しないことも確認した.

4. 石英界面におけるゴム状高分子の熱運動性[16]

前節で述べたガラス状高分子/石英界面の検討から,界面における 高分子の T_g は,バルクの値より 100 K 以上も高いことが明らかと なった.それではもっと高い温度であれば製膜履歴は解消するのか, という疑問が湧くが, PS や PMMA では分解温度に近づくため,実 験的にこれ以上の高温で熱処理することは困難であった.従って, より T_g の低いゴム状高分子として,ポリイソプレン(PI)を用いた検 討を行った.



Figure 4. SFG spectra for (a) spin-coated and (b) solvent-cast PMMA films on SiO_x substrate with the *ssp* and *ppp* polarization combinations. Reprinted with permission from ref. 14. Copyright 2015, American Chemical Society.

試料として、数平均分子量が 91kの cis-1,4-PI を用いた.示差走査 熱量測定に基づき評価した PI のバルク Tg は 211 K であった.石英 プリズムおよび石英基板上にトルエン溶液からスピンコート法に基 づき PI 膜を製膜し、両者を貼り合わせることで、石英界面のみを有 する PI 薄膜試料を調製した.この試料に 343 K で2h 熱処理を施し、 石英界面における PI の局所コンフォメーションを SFG 分光測定に 基づき評価した. 偏光の組み合わせは ssp とした.

Figure 5(a)は,熱処理前後における PI 膜の SFG スペクトルである. 熱処理前 298 K のスペクトルでは、メチル基およびメチレン基の対 称伸縮振動(CH₃s, CH₂s)および逆対称伸縮振動(CH₃as, CH₂as)に由来 するシグナルが観測された. CH₃s および CH₃as 由来のシグナル強度 比からメチル基の配向角を算出した結果、石英界面においてメチル 基が基板に対して平行方向に配向していることが明らかとなった. 一方,343 K での熱処理中および熱処理後の298 K でのスペクトル では、SFG シグナルは観測されなかった.これは、石英界面におい て分子鎖がランダムに配向していることを示している. これらの結 果は、昇温により局所コンフォメーションが緩和し、製膜履歴が除 去されたと考えれば理解できる. Figure 5(a)は CH3as に由来する 2965 cm⁻¹の SFG シグナル強度の温度依存性である. シグナル強度は 335 K 付近で急激に減少した. この結果は, 335 K 付近まで昇温した 際に、石英界面においても分子鎖の熱運動性が高くなり、局所コン フォメーションの緩和が起こると考えれば理解できる.また、この 温度は PI のバルク Tg である 211 K よりも 124 K 高い. ゴム状高分 子であっても、石英界面において分子運動性が著しく抑制されてい ることを示している.

上述した SFG 分光を用いた検討から,固体界面における高分子の 熱運動性を定量的に評価できた.本手法で得られた界面 *T_g*が,無機 フィラーを添加した高分子複合材料の物性を理解するための,1つ の指標となるものと期待される.



Figure 5. (a) SFG spectra for PI spin-coated films at substrate interface at 298 K, 343 K and 298 K after heating. (b) SFG intensity at 2965 cm⁻¹ in a PI spin-coated film which was heated at a constant rate of 1 K min⁻¹. Reprinted with permission from ref. 16 with modification. Copyright 2018, American Chemical Society.

5. NR 法[17-18]

NR 法では、1 nm 以下の波長の中性子線をプローブとして用いる ことにより、サブナノメートル程度の分解能で構造を解析すること が可能である.また、X線と比べて中性子線は透過力が強いため、 石英やシリコン等の基板側から界面に入射することも可能である. また、中性子は原子核において散乱されることから、ソフトマテリ アルを構成する水素、炭素、酸素、窒素等の軽元素に対しても感度 が高い.更に、試料中の軽水素を重水素に置換することにより、試 料の物理化学的な性質をほとんど変えることなく、特定の成分だけ に屈折率のコントラストをつけて観測することも可能である.高い 透過力と軽元素に対する感度を有する中性子線を用いた NR 法は、 高分子と無機固体との間の "埋もれた"界面の構造解析に適してい る.

Figure 6(a)は、NR 法の模式図である.シリコン,石英等の平滑な 基板上にスピンコート法等で製膜した高分子等の薄膜を試料とする ことが多い.この高分子薄膜を重水素化した溶媒に浸漬させること により,高分子/液体界面の構造解析も可能である.次節で紹介する 検討では,高分子薄膜を重水素化溶媒で膨潤させることにより,基 板界面における膨潤度の不均一性を観測した.

Figure 6(b)は、散乱ベクトルの大きさ $q = 4\pi \sin\theta/\lambda$ に対して、入射 光と反射光の強度比で定義された反射率 R をプロットした、反射率 曲線の例である. 基板上の薄膜に中性子線を入射した場合、薄膜の 上下の界面で反射された中性子が干渉し、Kiessig フリンジと呼ばれ る干渉振動が観測される. このフリンジの幅 Δq は、薄膜の膜厚 d に 対応する($\Delta q = 2\pi/d$). また、薄膜の界面に粗さが存在する場合、そ の界面からの反射が減少し、特に高 q 側で R がより顕著に低下する. このように、反射率曲線は薄膜およびその界面の構造の情報を含ん でおり、測定した反射率曲線を再現するような試料のプロファイル をシミュレーションすることにより、界面の詳細な構造を推定する ことが可能である.



Figure 6. (a) A schematic illustration of NR measurement for a polymer film on quartz substrate. (b) A typical NR curve for a single layer on substrate.

6. 石英界面におけるゴム状高分子の凝集状態[19]

ゴム材料におけるフィラー界面層(バウンドラバー)の重要性に ついては古くから提唱されてきた[8-11].しかしながら、その構造に ついては核磁気共鳴法 8 等から推測されているのみであり、これま で直接的な解析はほとんどなされていなかった.本節で紹介する検 討では、代表的なゴム状高分子である PI の石英界面における界面 層の構造を、良溶媒中に浸漬させた際の膨潤度の不均一性として、 NR 法に基づき解析した.

石英基板上に製膜した架橋 PI 膜を重水素化 n-ヘキサン (n-hexane-d₁₄)に浸漬し膨潤させ、石英基板側から中性子線を入射し た際の反射率を測定した.重水素化物を用いることにより、n-ヘキ サンと PI との間に、屈折率に対応する散乱長密度(b/V)にコントラス トをつけることができる.実験には、J-PARC 物質・生命科学実験 施設の SOFIA[20-21]を使用した.また、得られた反射率の解析には Motofit[22]を使用した.

Figure 7(a)および(b)は、それぞれ石英基板上に製膜した PI架橋体 薄膜の空気中および n-hexane-d14 中における NR 曲線, およびこれら をフィッティングする際に用いた PI 架橋体薄膜の膜厚方向に対す る(b/V)プロファイルである.ここで、h を基板界面からの距離とし た. 空気中の NR 曲線は、均一な単層モデルで再現することができ た.一方, n-hexane-d₁₄中においては, バルク層に加えて界面近傍に 2層(界面層および中間層)存在するモデルを仮定した場合,計算値が 実験結果をよく再現できた. Figure 7(b)の上図は、このモデルの模 式図である.この3層モデルにおいては、バルク層はn-ヘキサン-d14 中で膨潤したのに対し、石英界面から 2 nm 程度までの層は、良溶 媒であるはずの n-hexane-d14 中でもほとんど膨潤していない.また, この界面層とバルク層をつなぐ10nm程度の中間層においても、膨 潤度はバルク層のそれよりも低いことが明らかである. 2つの界面 層の存在を示す本実験の結果は、これまで核磁気共鳴法[8]等から示 唆されてきた描像を直接的に裏付けるものであり, 更に定量的な構 造の解析にまで踏み込んだものである.



Figure 7. (a) Neutron reflectivity curves for a cross-linked PI film in air and *n*-hexane- d_{14} . Open symbols depict experimental data and solid and dotted lines represent the reflectivity calculated on the basis of the scattering length density (b/V) profiles shown in (b). Reprinted from ref. 19. Copyright (2016), with permission from Elsevier.

7.結言

本稿では、固体界面における高分子の挙動を解析する手法として、 SFG 分光法および NR 法について概説し、これらを用いた研究例を 紹介した.SFG 分光法による検討から、ガラス状高分子およびゴム 状高分子のいずれの場合も、石英界面において分子鎖熱運動性が著 しく抑制され、Tgがバルク値よりも 100 K 以上も高くなることを明 らかとした.また、NR 法に基づく解析から、石英との界面におい て、PI が 2 種類の界面層を形成することを確認し、それぞれの層の 厚さを定量的に評価することにも成功した.これらの知見は、高分 子界面科学の進展、ひいてはこれからの社会を支える高機能複合材 料・接着材料の実現にも資するものであると信じる.

8. 謝辞

本稿の内容は、九州大学 田中敬二教授のご支援・ご指導のもと、 九州大学 川口大輔准教授、堀之内綾信博士、下村信一朗博士、杉本 晋氏,高エネルギー加速器研究機構 山田悟史助教と行った共同研究 の成果です. 中性子反射率法では J-PARC 物質・生命科学実験施設 の SOFIA (課題番号: 2009S08, 2014S08, 2016A0217)を使用いたしま した. 深く感謝申し上げます.

9. 参考文献

[1] P. G. de Gennes, Scaling Concepts in Polymer Physics, Cornell Univ. Press, Ithaca, N. Y. (1979).

[2] K. Tanaka, Y. Tateishi, Y. Okada, T. Nagamura, M. Doi and H. Morita, Interfacial Mobility of Polymers on Inorganic Solids. J. Phys. Chem. B 113, 4571–4577 (2009).

[3] N. Jiang, M. Sen, W. Zeng, Z. Chen, J. M. Cheung, Y. Morimitsu, M. K. Endoh, T. Koga, M. Fukuto, G. Yuan, S. K. Satija, J-M. Y. Carrillo and B. G. Supter, Structure-Induced Switching of Interpolymer Adhesion at a Solid-Polymer Melt Interface. Soft Matter 14, 1108–1119 (2018).

[4] T. Kota, N. Jiang, P. Gin, M. K. Endoh, S. Narayanan, L. B. Lurio and K. Sinha, Impact of an Irreversibly Adsorbed Layer on Local Viscosity of Nanoconfined Polymer Melts. Phys. Rev. Lett. 107, 225901 (2011).

[5] Y. Fujii, Z. Yang, J. Leach, H. Atarashi, K. Tanaka and O. K. C. Tsui, Affinity of Polystyrene Films to Hydrogen-Passivated Silicon and Its Relevance to the Tg of the Films. Macromolecules 42, 7418–7422 (2009).
[6] O. Guiselin, Irreversible Adsorption of a Concentrated Polymer Solution. Europhys. Lett. 17, 225–230 (1992).

[7] Y. X. Liu and E. Q. Chen, Polymer Crystallization of Ultrathin Films on Solid Substrates. Coordination Chem. Rev. 254, 1011–1037 (2010).

[8] M. Ito, T. Nakamura and K. Tanaka, Pulsed NMR study on the silica-filled rubber systems. J. Appl. Polym. Sci. 30, 3493-3504 (1985).

[9] T. Nishi, Effect of Solvent and Carbon Black Species on the Rubber-Carbon Black Interactions Studied by Pulsed NMR. J. Polym. Sci., Polym. Phys. Ed. 12, 685–693 (1974).

[10] J. Duke, W. K. Taft and I. M. Kolthoff, Formation of Bound Rubber of GR-S Type Polymers with Carbon Blacks. Ind. Eng. Chem. 43, 2885–2892 (1951).

[11] E. Guth, Theory of Filler Reinforcement. J. Appl. Phys. 16, 20-25 (1945).

[12] Y. R. Shen, Surface Properties Probed by Second-harmonic and Sum-frequency Generation. Nature 337, 519–525 (1989).

[13] C. Hirose, N. Akamatsu and K. Domen, Formulas for the Analysis of Surface Sum-frequency Generation Spectrum by CH Stretching Modes of Methyl and Methylene Groups. J. Chem. Phys. 96, 997-1004 (1992).

[14] M. Inutsuka, A. Horinouchi and K. Tanaka, Aggregation states of polymers at hydrophobic and hydrophilic solid interfaces. ACS Macro Lett. 4, 1174–1178 (2015).

[15] H. Tsuruta, Y. Fujii, N. Kai, H. Kataoka, T. Ishizone, M. Doi, H. Morita and K. Tanaka, Local Conformation and Relaxation of Polystyrene at Substrate Interface. Macromolecules 45, 4643–4649 (2012).

[16] S. Sugimoto, M. Inutsuka, D. Kawaguchi and K. Tanaka, Reorientation kinetics of local conformation of polyisoprene at substrate interface. ACS Macro Lett. 7, 85–89 (2018).

[17] T. P. Russell, X-ray and Neutron Reflectivity for the Investigation of Polymers. Mater. Sci. Rep. 5, 171–271 (1990).

[18] J. Penfold, Neutron Reflectivity and Soft Condensed Matter. Curr. Opin. Colloid Interface Sci. 7, 139-147 (2002).

[19] S. Shimomura, M. Inutsuka, N. L. Yamada and K. Tanaka, Unswollen layer of cross-linked polyisoprene at the solid interface. Polymer 105,

526-531 (2016).

[20] N. L. Yamada, N. Torikai, K. Mitamura, H. Sagehashi, S. Sato, H. Seto, T. Sugita, S. Goko, M. Furusaka, T. Oda, M. Hino, T. Fujiwara, H. Takahashi and A. Takahara, Design and Performance of Horizontal-type Neutron Reflectometer SOFIA at J-PARC/MLF. Eur. Phys. J. Plus 126, 1–13 (2011).

[21] K. Mitamura, N. L. Yamada, H. Sagehashi, N. Torikai, H. Arita, M. Terada, M. Kobayashi, S. Sato, H. Seto, S. Goko, M. Furusaka, T. Oda, M. Hino, H. Jinnai and A. Takahara, Novel Neutron Reflectometer SOFIA at J-PARC/MLF for In-situ Soft-interface Characterization. Polym. J. 45, 100–108 (2013).

[22] A. Nelson, Co-refinement of multiple-contrast neutron/X-ray reflectivity data using MOTOFIT. J. Appl. Cryst. 39, 273–276 (2006).

Expansions of the Schwartz distribution by means of the Hermite functions

Toshinao KAGAWA *

Abstract. Several generalized functions admit the expansions by means of the system of Hermite functions. Here the coefficients of such expansions for Heaviside function, x_{\pm}^{p} with $p \in \mathbb{N}$, $1/(x \pm i0)$, the signum function $\operatorname{sgn}(x)$, and the principal value p.v. are given, explicitly. Above result presented here can be found in [3].

Keywords. Fourier transform, Hermite function, Hermite expansion

1 Introduction

The Hermite functions h_n of degree $n \in \mathbb{N}_0 = \mathbb{N} \cup \{0\}$ are defined by

$$h_n(x) = (2^n n!)^{-\frac{1}{2}} \pi^{-\frac{1}{4}} (-1)^n e^{\frac{x^2}{2}} \left(\frac{d}{dx}\right)^n e^{-x^2}$$

Hermite functions are discussed in various contexts, for e.g. in [1, 7, 8, 9].

Hermite functions satisfy

$$\left(-\frac{d}{dx}+x\right)h_n(x) = \sqrt{2n+2}h_{n+1}(x)$$

which operator called creation operator and

$$\left(\frac{d}{dx} + x\right)h_n(x) = \sqrt{2n}h_{n-1}(x)$$

which operator called annihilation operator. These equations give

$$\left(-\frac{d^2}{dx^2} + x^2\right)h_n(x) = (2n+1)h_n(x).$$

That is, the Hermite function is eigenfunctions of the Harmonic oscillator. Hermite functions also satisfy the differential equation

$$\sqrt{n+1}h_{n+1}(x) - \sqrt{2}xh_n(x) + \sqrt{n}h_n - 1(x) = 0.$$

It is well-know that h_{2n+1} is an odd function and h_{2n} is an even function, *i. e.*

$$h_n(-x) = (-1)^n h_n(x).$$

It is also well-known that the Hermite functions form an orthonormal basis for $L^2(\mathbb{R})$. *i. e.*

$$(h_n, h_m)_{L^2(\mathbb{R})} = \delta_{n,m}$$

*助教 情報システム創成学科

Assistant Professor. Dept. of Information System Creation

where δ is Kronecker's delta. For each $f \in L^2(\mathbb{R})$,

$$f(x) = \sum_{n=0}^{\infty} (f, h_n)_{L^2(\mathbb{R})} h_n(x),$$

called Hermite expansions of f, in the sense of $L^2(\mathbb{R})$.

L. Schwartz in 1951 and B. Simon [6] in 1971 derived to charachterize space of the rapidly decreasing functions $\mathcal{S}(\mathbb{R})$ and tempered distribution $\mathcal{S}'(\mathbb{R})$ using by Hermite functions.

Theorem 1.1. [6] For $\varphi \in \mathcal{S}(\mathbb{R})$,

$$\varphi(x) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n h_n(x), \qquad (1)$$

where $a_n = \langle \varphi, h_n \rangle$ and there exist some C > 0 and k > 0 such that

$$\sum_{n=0}^{\infty} a_n n^p < +\infty \tag{2}$$

for any $p \in \mathbb{N}$. Conversely, if $\{a_n\}_{n=0}^{\infty}$ satisfies (2), then the right hand of (1) converges to a function in $\mathcal{S}(\mathbb{R})$.

Similalry,

Theorem 1.2. [6] For $T \in \mathcal{S}'(\mathbb{R})$

$$T(x) = \sum_{n=0}^{\infty} b_n h_n(x), \qquad (3)$$

in the sense of $S'(\mathbb{R})$, where $a_n = \langle \varphi, h_n \rangle$ and there exist some C > 0 and k > 0 such that

$$b_n < C|n|^k \tag{4}$$

Conversely, if $\{b_n\}_{n=0}^{\infty}$ satisfies (4), then the right hand of (3) converges to a function in $S'(\mathbb{R})$.

More generally, G-Z. Zhang characterized the Gel'fand Shilov space in the cases of S_r^r with $r \ge 1/2$ and generalized function space $(S_r^r)'$ which is the dual space of Gel'fand Shilov space [10] in 1963. Hermite functions are elements of the Gel'fand Shilov space, *i.e.* $h_n(x) \in S_{1/2}^{1/2}(\mathbb{R}) \subset S(\mathbb{R})$.

The Fourier transform \mathcal{F} of $f, g \in L^2(\mathbb{R})$ and inverse Fourier transform \mathcal{F}^{-1} are defined by

$$\mathcal{F}(f)(\xi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\mathbb{R}} e^{-ix \cdot \xi} f(x) \, dx$$

and

$$\mathcal{F}^{-1}(g)(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\mathbb{R}} e^{ix \cdot \xi} f(x) \, dx.$$

Fourier transform is the unitary transform of $L^2(\mathbb{R})$.

Fourier transorm gives that

$$\mathcal{F}(h_n)(\xi) = (-i)^n h_n(\xi).$$

So, we see that Hermite function is the eigenfunction of the Fourier transform. This fact gives that if

$$f = \sum_{n=0}^{\infty} a_n h_n$$

then

$$\mathcal{F}(f) = \sum_{n=0}^{\infty} (-i)^n a_n h_n$$

It follows from the definition of Heaviside funtion

$$H(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x \ge 0, \\ 0 & \text{if } x < 0 \end{cases}$$

and the signum funtion

$$\operatorname{sgn}(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x > 0\\ -1 & \text{if } x < 0 \end{cases}$$

that we have:

$$H(x) = \frac{1}{2} \{ \operatorname{sgn}(x) + 1 \}$$

The function x^p_+ is defined by

$$x_{+}^{p} = \begin{cases} x^{p} & \text{if } x \ge 0\\ 0 & \text{if } x < 0 \end{cases}$$

with $p \in \mathbb{N}$.

 $1/(x \pm i0)$ is defined by

$$\frac{1}{x \pm i0} = \lim_{\epsilon \to +0} \frac{1}{x \pm i\epsilon}.$$

The principal value p.v. is defined by, for $\varphi \in \mathcal{S}(\mathbb{R})$,

$$\left\langle \text{p.v.} \frac{1}{x}, \varphi \right\rangle = \lim_{\epsilon \to 0} \int_{|x| \ge \epsilon} \frac{\varphi(x)}{x} \, dx.$$

Fourier transform of the Dirac's delta function δ , Heaviside function H(x) and the principal value p.v. is given by

$$\mathcal{F}(\delta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}},\tag{5}$$

$$\mathcal{F}(H)(\xi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{i(\xi - i0)}$$
(6)

and

$$\mathcal{F}\left(\mathbf{p.v.}\frac{1}{x}\right)(\xi) = \frac{-i\pi^{\frac{1}{2}}}{2^{\frac{1}{2}}}\mathrm{sgn}(\xi) \tag{7}$$

in the sense of the tempered distribution. So, Fourier transform of these equation (5)-(7) gives the relation, called Lippmann-Schwinger identity, between $1/(x \pm i0)$, the principal value p.v. and Dirac's delta function as follows:

$$\frac{1}{x \pm i0} = \text{p.v.} \frac{1}{x} \mp i\pi\delta(x).$$

Now we give the some example of the Hermite expansions. Fourier transform and inverse Fourier transform of Hermite function give the following example 1.3:

Example 1.3.

$$\cos(x\xi) = \sqrt{2\pi} \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n h_{2n}(\xi) h_{2n}(x)$$

and

$$\sin(x\xi) = \sqrt{2\pi} \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n h_{2n+1}(\xi) h_{2n+1}(x)$$

For the expansions of tempered distributions by Hermite functions the following would be well-known. (*c.f. e.g.* [5])

Example 1.4.

$$\delta(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \pi^{-\frac{1}{4}} \frac{\{(2n)!\}^{\frac{1}{2}} (-1)^n}{2^n n!} h_{2n}(x)$$

and

$$1 = \sum_{n=0}^{\infty} \pi^{\frac{1}{4}} \frac{\{(2n)!\}^{\frac{1}{2}}}{2^{n-\frac{1}{2}}n!} h_{2n}(x),$$

in the sense of the tempered distribution.

The Hermite expansion of the tempered distributions has been known well in an abstruct level, but it is less known to deside explicitly, the concrete coefficients of the Hermite function expansion of the tempered distribution. The aim of this talk is to show the coefficients of the Hermite functions of tempered distributions. We show to calculate the coefficients of the Hermite expansions of Heaviside function, x^p_+ with $p \in \mathbb{N}$, $1/(x \pm i0)$, the signum function $\operatorname{sgn}(x)$ and principal value p.v., explitly, in the next section.

In relation with our results, the paper [4] gives the exapmle of the Hermite expansions of the characteristic functions and sinc function $\operatorname{sinc}(x) = (\sin x)/x$ by the author and K. Yoshino. The relation between the Hermite function and Bargmann transform gives the other examples of Hermite expansions of the tempered distribution derived by H. Chihara, T. Furuya and T. Koshikawa in [2].

2 Hermite expansion of the tempered distributions

In this section, we calculate the coefficients of the Hermite function expansions of the tempered distribution (Heaviside function, x^p_+ , signum function $\operatorname{sgn}(x)$, $1/(x \pm i0)$ and the principal value p.v.). To calculate the coefficients of Hermite expansions, we begin with the other definition of the Hermite functions. Using the formula

$$e^{-x^2} = \frac{1}{\pi^{\frac{1}{2}}} \int_{\mathbb{R}} e^{-u^2 + 2ixu} \, du,$$

Cauchy's integral theorem and Lebesgue dominated convergence theorem follow that

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{n} e^{-x^{2}} = \frac{1}{\pi^{\frac{1}{2}}} \int_{\mathbb{R}} (2iu)^{n} e^{-u^{2}+2ixu} du$$
$$= \frac{1}{\pi^{\frac{1}{2}}} e^{-x^{2}} \int_{\mathbb{R}} (2iu)^{n} e^{-(u-ix)^{2}} du$$
$$= \frac{(2i)^{n}}{\pi^{\frac{1}{2}}} e^{-x^{2}} \int_{\mathbb{R}} (u+ix)^{n} e^{-u^{2}} du$$
$$= \frac{(2i)^{n}}{\pi^{\frac{1}{2}}} e^{-x^{2}} \sum_{k=0}^{n} {}_{n} C_{k} (ix)^{n-k} \int_{\mathbb{R}} u^{k} e^{-u^{2}} du.$$

But, if k = 2l, using by the Gamma function,

$$\int_{\mathbb{R}} u^k e^{-u^2} \, du = \frac{(2l)!}{2^{2l} l!} \pi^{\frac{1}{2}}$$

and if k = 2l + 1,

$$\int_{\mathbb{R}} u^k e^{-u^2} \, du = 0.$$

Therefore we can rewrite the definition of the Hermite functions as follows:

$$h_n(x) = 2^{\frac{n}{2}} \pi^{-\frac{1}{4}} \sum_{k=0}^{\left[\frac{n}{2}\right]} \frac{(n!)^{\frac{1}{2}} (-1)^k}{(n-2k)! 2^{2k} k!} x^{n-2k} e^{-\frac{x^2}{2}}.$$
 (8)

This definition gives that we can prove the example 1.4. Indeed, when n = 2m,

$$\langle \delta, h_n \rangle = h_{2m}(0) = \pi^{-\frac{1}{4}} \frac{(2m)!(-1)^m}{2^m m!}$$

and when n = 2m + 1,

$$\langle \delta, h_n \rangle = h_{2m+1}(0) = 0.$$

And also, Fourier transform of the Hermite expansion of the Dirac's delta function gives the coefficients of the Hermite expansion of 1.

(8) gives the following theorem:

Theorem 2.1. [3]

$$H(x) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n h_n(x),$$

where

$$a_{2m+1} = \pi^{-\frac{1}{4}} \sum_{k=0}^{m} 2^{2m-3k+\frac{1}{2}} (-1)^k$$
$$\times \frac{\{(2m+1)!\}^{\frac{1}{2}} (m-k)!}{(2m-2k+1)!k!}$$

and

$$a_{2m} = \pi^{\frac{1}{4}} \frac{\{(2m)!\}^{\frac{1}{2}}}{2^{m+\frac{1}{2}}m!}$$

Proof. We give the proof, easily. We calculate the coefficients of the Hermite expansion of the Heaviside function by

$$\langle H(x), h_n(x) \rangle = \int_0^\infty h_n(x) dx$$

= $\pi^{-\frac{1}{4}} \sum_{k=0}^{\left[\frac{n}{2}\right]} 2^{\frac{n}{2}-2k} \frac{(n!)^{\frac{1}{2}}(-1)^k}{(n-2k)!k!}$
 $\times \int_0^\infty x^{n-2k} e^{-\frac{x^2}{2}} dx,$

where

$$\int_{0}^{\infty} x^{n-2k} e^{-\frac{x^2}{2}} dx$$

$$= \begin{cases} 2^{m-k}(m-k)! & \text{if } n = 2m+1, \\ \frac{(2m-2k)!\pi^{\frac{1}{2}}}{2^{m-k+\frac{1}{2}}(m-k)!} & \text{if } n = 2m. \end{cases}$$

Similarly, we calculate the coefficients of the Hermite expansion of x^p_{+} .

Corollary 2.2. [3]

$$x_+^p = \sum_{n=0}^\infty a_n h_n(x),$$

where a_n has the following two cases. When p = 2l + 1,

$$a_{2m+1} = \pi^{\frac{1}{4}} \sum_{k=0}^{m} (-1)^{k} 2^{-k-l-1} \\ \times \frac{\{(2m+1)!\}^{\frac{1}{2}} (2m-2k+2l+2)!}{(2m-2k+1)!k!(m-k+l+1)!}$$

and

$$a_{2m} = \pi^{-\frac{1}{4}} \sum_{k=0}^{m} (-1)^{k} 2^{2m-3k+l} \\ \times \frac{\{(2m)!\}^{\frac{1}{2}} (m-k+l)!}{(2m-2k)!k!}$$

When p = 2l,

$$a_{2m+1} = \pi^{-\frac{1}{4}} \sum_{k=0}^{m} (-1)^k 2^{2m-3k+l+\frac{1}{2}}$$
$$\times \frac{\{(2m+1)!\}^{\frac{1}{2}} (m-k+l)!}{(2m-2k+1)!k!}$$

and

$$a_{2m} = \pi^{\frac{1}{4}} \sum_{k=0}^{m} (-1)^{k} 2^{-k-l-\frac{1}{2}} \\ \times \frac{\{(2m)!\}^{\frac{1}{2}} (2m-2k+2l)!}{(2m-2k)!k!(m-k+l)!}.$$

It follows from the Fourier transform of the Heaviside function and the Fourier transform of the Hermite function (6) that

$$\frac{1}{x-i0} = (2\pi)^{\frac{1}{2}} \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n i^{n+1} a_n h_n.$$

Then Theorem 2.1 gives the following proposition:

Proposition 2.3. [3]

$$\frac{1}{x\pm i0} = \sum_{n=0}^{\infty} b_n h_n(x),$$

where

$$b_{2m+1} = \mp \pi^{\frac{1}{4}} \sum_{k=0}^{m} 2^{2m-3k+\frac{1}{2}} (-1)^{m+k}$$
$$\times \frac{\{(2m+1)!\}^{\frac{1}{2}} (m-k)!}{(2m-2k+1)!k!}$$

and

$$a_{2m} = \pi^{3/4} \frac{(-1)^m \left\{ (2m)! \right\}^{\frac{1}{2}} i}{2^{m+\frac{1}{2}} m!}$$

Similarly, we have the coefficients of the Hermite expansion of the signum function sgn(x) as follows:

Proposition 2.4. [3]

$$\operatorname{sgn}(x) = \sum_{n=0}^{\infty} a_{2m+1} h_{2m+1}(x),$$

where

$$a_{2m+1} = \pi^{-\frac{1}{4}} \sum_{k=0}^{m} 2^{2m-3k+3/2} (-1)^k \\ \times \frac{\{(2m+1)!\}^{\frac{1}{2}} (m-k)!}{(2m-2k+1)!k!}.$$

Indeed, when n = 2m + 1,

$$\langle \operatorname{sgn}(x), h_{2m+1} \rangle = 2 \int_0^\infty h_{2m+1}(x) dx$$

 $= 2 \left\langle H, h_{2m+1} \right\rangle$

 $\langle \operatorname{sgn}(x), h_{2m} \rangle = \int_{\mathbb{R}} \operatorname{sgn}(x) h_{2m}(x) dx = 0.$

The Fourier transform of the principal value (7) gives

p.v.
$$\frac{1}{x} = \mathcal{F}^{-1}\left(\frac{-i\pi}{\sqrt{2\pi}}\operatorname{sgn}(\xi)\right)$$

and the following proposition:

Proposition 2.5. [3]

and when n = 2m,

p.v.
$$\frac{1}{x} = \sum_{n=0}^{\infty} a_{2m+1} h_{2m+1}(x)$$

where

$$a_{2m+1} = \pi^{\frac{1}{4}} \sum_{k=0}^{m} 2^{2m-3k+1} (-1)^{m+k}$$
$$\times \frac{\{(2m+1)!\}^{\frac{1}{2}} (m-k)!}{(2m-2k+1)!k!}$$

in the sense of the tempered distribution.

References

- [1] G. B. Folland : *Harmonic Analysis in Phase Space*, Princeton University Press, (1989).
- [2] H. Chihara, T. Furuya and T. Koshikawa : *Hermite expansions of some tempered distributions*, J. Pseudo-Differ. Oper. Appl., 9(1), 105-124 (2018).
- [3] T. Kagawa: *The Hermite funciton expansions of the Heviside function*, J. Pseudo-Differ. Oper. Appl., 6, 21-32 (2015)
- [4] T. Kagawa and K. Yoshino : The Hermite expansion of the characteristic functions J. Pseudo-Differ. Oper. Appl., 8, 255-273 (2017).
- [5] Y. Oka : N-representation for S and S', Master thesis, Sophia Univ. (2002).
- [6] B. Simon : Distribution and thier Hermite expansions. J. Math. Phys. 12, 140-148 (1971).
- [7] S. Thangavelu : *Lectures on Hermite and Laguerre Functions.* Princeton University Press, Princeton (1993).
- [8] S. Thangavelu: *Harmonic Analysis on the Heisenberg Group*, Birkhäuser, (1998).
- [9] M.W. Wong: Weyl Transforms. Springer, Berlin (1998)
- [10] Zhang G-Z. : *Theory of distribution of S type and pansions*, Chinese Mathematics-Acta, 4, 211-221 (1963).

Applendix In this section we show the some computer expriments of the Hermite expansions.



不確かさを含む大規模複合システムに対する

分散可変ゲインロバストコントローラの構成法

永井 駿也*

A Design Method of the Decentralized Variable Gain Robust Controller for Uncertain Large-Scale Interconnected Systems

Shunya NAGAI*

1. 緒言

制御理論に基づいて制御系設計を行うには、制御対象のモデリン グを行う必要がある.しかしながら、制御対象を正確にモデリング することは非常に困難であり、制御対象とその数式モデルとの間に は必ず何らかの「不確かさ」が存在する.この不確かさを無視して 制御系設計を行うと、望ましい制御性能を得られないだけでなく、 最悪の場合、制御系が不安定となってしまう可能性がある.したがっ て、このような制御対象の不確かさを陽に考慮したうえでコント ローラ設計を行うことにより、良好な制御性能を得ることができる 「ロバスト制御」に関する研究がこれまで盛んに行われてきた^[1].

一方,今日の制御対象の特徴の一つとして,交通システム,電力 システムなどのように,対象となるシステムが大規模,かつ複雑化 していることがあげられる.このような大規模複合システムの制御 方法として,システムの全情報を一箇所に集め,単一のコントロー ラによってシステムを制御する「集中制御」があるが,情報量,計 算量など,物理的な制約の面から,集中制御は適用できない場合が 多い.これに対して,大規模複合システムのもう一つの制御方式に 「分散制御」があり,これに関する研究も盛んに行われている^[2].分 散制御は,制御対象をいくつかのサブシステムに分割し,複数のコ ントローラを用いてサブシステムごとに制御を行うというものであ る.しかしながら,分散制御の場合,サブシステム間に相互干渉が 存在し,この相互干渉をいかに取り扱うかが分散制御における大き な問題となる.

さらに、不確かさを含む大規模複合システムに対する分散ロバス ト制御の研究結果も数多く報告されている^[3,4].ただし、これらの分 散ロバスト制御の結果は固定ゲインを用いたものがほとんどであり、 可変ゲインを用いた分散ロバスト制御に関する結果は少ない.固定 ゲインを用いた分散ロバスト制御は、制御対象の次数が大きくなる と、コントローラを設計するために解くべき線形行列不等式(LMI:

*助教 情報システム創成学科 Assistant Professor, Dept. of Information Systems Creation Linear Matrix Inequality)が高次元化してしまい,解を容易に求められない,場合によっては解が存在しないこともある.

本稿では、不確かさを含む大規模複合システムに対する分散可変 ゲインロバストコントローラの構成法について紹介する.本稿の制 御系設計法の特長は、従来の固定ゲインロバストコントローラの場 合と比べ、コントローラを設計するために解くべき LMI が低次元化、 簡単化でき、従来法では制御系設計ができないシステムに対しても 制御系設計できる可能性があることが挙げられる.

2. 本稿で用いる数学的記法と補題

本稿で扱う記号は以下のとおりである.行列*S*について,*S*>0(*S* ≥0)は正定値(半正定値)であることを示し,*S*¹,*S*^Tはそれぞれ行 列*S*の逆行列,転置行列を表すものである.また,*I*_nは*n*次の単位 行列を表し,*H*_e{*S*} =*S*+*S*^Tを表す.さらに,ベクトルα,行列*A*に 対して, $\|\alpha\|$ はユークリッドノルムを表し, $\|A\|$ は $\|\alpha\|$ から導か れた誘導ノルムを表すものとする.なお,本稿では次の補題を用い る.

補題1 任意のベクトル λ , ξ , 適当な次元の行列 *G*, *H* および $\|\Delta(t)\| \leq 1$ を満たす適当な次元の行列 $\Delta(t)$ について, 次式の関係が 成り立つ.

$$\begin{aligned} \lambda G \Delta(t) H \xi &\leq \left\| G^T \lambda \right\| \left\| \Delta(t) H \xi \right\| \\ &\leq \left\| G^T \lambda \right\| \left\| H \xi \right\| \end{aligned}$$

補題2 (Schur complement) 実対称行列Ψが与えられたとする. このとき,以下の命題は等価である

(i).
$$\Psi = \begin{pmatrix} \Psi_{11} & \Psi_{12} \\ * & \Psi_{22} \end{pmatrix} > 0,$$

(11).
$$\Psi_{11} > 0$$
 and $\Psi_{22} - \Psi_{12}^T \Psi_{11}^{-1} \Psi_{12} > 0$

(iii). $\Psi_{22} > 0$ and $\Psi_{11} - \Psi_{12}\Psi_{22}^{-1}\Psi_{12}^{T} > 0$.

2. 問題の記述

次式で表されるサブシステム数がNの不確かさを含む大規模複合 システムを考える.

$$\frac{d}{dt}x_{i}(t) = A_{ii}(t)x_{i}(t) + \sum_{\substack{j=1\\j\neq i}}^{N} A_{ij}x_{j}(t) + B_{i}u_{i}(t)$$
(1)

ここで, $x_i(t) \in \mathbb{R}^{n_i}$, $u_i(t) \in \mathbb{R}^{n_i}$ (*i*=1,…,*N*) はそれぞれ *i*番目のサブシ ステムの状態,および制御入力である.また, $A_{ii}(t)$,および $A_{ij}(t)$ は それぞれ次式のような行列である.

$$A_{ii}(t) = A_{ii} + B_i \Delta_{ii}(t) E_{ii} + B_i^{\perp} \Delta_{ii}^{\perp}(t) E_{ii}^{\perp},$$

$$A_{ij}(t) = A_{ij} + B_i D_{ij} + B_i \Delta_{ij}(t) E_{ij} + B_{ij}^{\perp} \Delta_{ij}^{\perp}(t) E_{ij}$$
(2)

ここで,行列 $A_{ii} \in \Re^{n_i \times n_i}$, $B_i(t) \in \Re^{n_i \times n_i}$ はそれぞれシステムパラメータを

表す既知の定数行列, $\Delta_{ii}(t) \in \Re^{m_i \times r_i}$, $\Delta_{ij}(t) \in \Re^{m_i \times s_i}$, $\Delta_{ij}^{\perp}(t) \in \Re^{p_i \times q_u}$,

 $\|\Delta_{ij}^{\perp}(t)\| \le 1.0$ を満たす未知パラメータである.また,本稿で考える 不確かさは、マッチング条件^[5]を満たす「マッチ部」と、そうでな い「ミスマッチ部」に分割する.行列 D_{ij}, E_{ii}, E_{ij} はマッチ部,行列 $A_{ij}, B_{i}^{\perp}, B_{ij}^{\perp}, E_{ii}^{\perp}, E_{ij}^{\perp}$ はミスマッチ部における不確かさの構造を 表す適当な次元の既知の定数行列である.

さて,(1)式の *i* 番目のサブシステムに対する制御入力を次式のように定義する.

$$u_i(t) \equiv F_i x_i(t) + \phi_i(t),$$

$$\phi_i(t) \equiv L_i(x_i, t) x(t)$$
(3)

ここで、 $F_i \in \mathfrak{R}^{m,m}$, $\phi_i \in \mathfrak{R}^m$, はそれぞれ固定ゲイン、および補償入力 で、 $L_i(x_i,t) \in \mathfrak{R}^{m,m}$ は可変ゲインである.以上により、(1)~(3)式から 次式の閉ループサブシステムが得られる.

$$\frac{d}{dt}x_{i}(t) = (A_{ii} + B_{i}F_{i})x_{i}(t)
+ (B_{i}\Delta_{ii}(t)E_{ii} + B_{i}^{\perp}\Delta_{ii}^{\perp}(t)E_{ii}^{\perp})x_{i}(t)
+ B_{i}\sum_{\substack{j=1 \ j\neq i}}^{N} (D_{ij} + \Delta_{ij}(t)E_{ij})x_{j}(t)
+ \sum_{\substack{j=1 \ j\neq i}}^{N} (A_{ij} + B_{ij}^{\perp}\Delta_{ij}^{\perp}(t)E_{ij}^{\perp})x_{j}(t)
+ B_{i}L_{i}(x_{i},t)x_{i}(t)$$
(4)

本稿で考える制御系設計問題は,(4)式のすべての閉ループサブシ ステムがロバスト安定となるように,(3)式の分散可変ゲインロバス トコントローラを設計することである.

3. コントローラ設計

次の定理は,提案する可変ゲインロバストコントローラの構成法 を示すものである. **定理1** (4)式の閉ループサブシステム,および(3)式の制御入力を考える.このとき,次の線形行列不等式 (LMI)

$$\begin{pmatrix} \Theta_i(Y_i, W_i, \sigma_i, \delta_{ij}) & \Lambda_i(Y_i) \\ * & -\Omega_i(\sigma_i, \varepsilon_i, \delta_{ij}) \end{pmatrix} < 0$$
 (5)

を満たす正定値対称行列 $Y_i \in \mathfrak{R}^{m_i \times n_i}$,行列 $W_i \in \mathfrak{R}^{m_i \times n_i}$,正の定数 $\sigma_i, \varepsilon_i, \delta_{ij}$ が存在するとき、その解を用いて固定ゲイン F_i 、および補償入力 $\phi_i(\mathbf{x}_i,t)$ をそれぞれ $F_i \equiv W_i Y_i^{-1}$ および次式のように定義する.

$$\phi_{i}(x_{i},t) = \begin{cases} -\frac{\left\|B_{i}^{T}P_{i}x_{i}(t)\right\|\left\|E_{ii}x_{i}(t)\right\| + \varepsilon_{i}(N-1)\left\|B_{i}^{T}P_{i}x_{i}(t)\right\|^{2}}{\left\|B_{i}^{T}P_{i}x_{i}(t)\right\|^{2}} B_{i}^{T}P_{i}x_{i}(t) \\ & \left(B_{i}^{T}P_{i}x_{i}(t) \neq 0\right) \\ \phi_{i}(x_{i},t_{c}) & \left(B_{i}^{T}P_{i}x_{i}(t) \neq 0\right) \\ \phi_{i}(x_{i},t_{c}) & \left(B_{i}^{T}P_{i}x_{i}(t) = 0\right) \end{cases}$$
(6)

ここで, (5)式において, $\Theta_i(Y_i, W_i, \sigma_i, \delta_{ij})$, $\Lambda_i(Y_i)$, $\Omega_i(\sigma_i, \varepsilon_i, \delta_{ij})$ は次式 で表される行列である.

$$\Theta_{i}(Y_{i}, W_{i}, \sigma_{i}, \delta_{ij}) \equiv H_{e}\{A_{ii}Y_{i} + B_{i}W_{i}\} + \sigma_{i}B_{i}^{\perp}(B_{i}^{\perp})^{T} + \sum_{\substack{j=1\\j\neq i}}^{N} \delta_{ij}A_{ij}A_{ij}^{T} + \sum_{\substack{j=1\\j\neq i}}^{N} \delta_{ij}B_{ij}^{\perp}(B_{ij}^{\perp})^{T}$$

$$(7)$$

$$\Lambda_{i}(Y_{i}) \equiv \left(Y_{i}(E_{ii}^{\perp})^{T} \quad Y_{i}D_{1i}^{T} \quad Y_{i}E_{1i}^{T} \quad Y_{i}D_{2i}^{T} \quad Y_{i}E_{2i}^{T} \quad \cdots \right.$$

$$\cdots \quad Y_{i}D_{i-1i}^{T} \quad Y_{i}E_{i-1i}^{T} \quad Y_{i}D_{i+1i}^{T} \quad Y_{i}E_{i+1i}^{T} \quad \cdots$$

$$\cdots \quad Y_{i}D_{Ni}^{T} \quad Y_{i}E_{Ni}^{T} \quad Y_{i} \quad \cdots \quad Y_{i} \quad Y_{i}(E_{1i}^{\perp})^{T} \quad \cdots$$

$$\cdots \quad Y_{i}(E_{-1i}^{\perp})^{T} \quad Y_{i}(E_{i+1i}^{\perp})^{T} \quad \cdots \quad Y_{i}(E_{Ni}^{\perp})^{T}\right)$$
(8)

$$\Omega_{i}(\sigma_{i},\varepsilon_{i},\delta_{ij}) \equiv \operatorname{diag}\left(\sigma_{i}I_{q_{ii}},\varepsilon_{1}I_{m_{i}},\varepsilon_{1}I_{s_{1i}},\varepsilon_{2}I_{m_{2}},\varepsilon_{2}I_{s_{2i}},\cdots\right)$$

$$\cdots, \varepsilon_{i-1}I_{m_{i-1}},\varepsilon_{i-1}I_{s_{i-1i}},\varepsilon_{i+1}I_{m_{i+1}},\varepsilon_{i+1}I_{s_{i+1i}},\cdots\right)$$

$$\cdots, \varepsilon_{N}I_{m_{N}},\varepsilon_{N}I_{s_{Ni}},\delta_{1i}I_{n_{i}},\cdots,\delta_{i-1i}I_{n_{i}},\delta_{i+1i}I_{n_{i}},\cdots\right)$$

$$\cdots, \delta_{Ni}I_{n_{i}},\delta_{1i}I_{q_{1i}},\cdots,\delta_{i-1i}I_{q_{i-1i}},\delta_{i+1i}I_{q_{i+1i}},\cdots\right)$$

$$\cdots, \delta_{Ni}I_{q_{Ni}}\right)$$

また,(6)式における $P_i \in \Re^{n\times n}$,は $P_i = Y_i^{-1}$ なる行列であり, t_e は $t_e = \lim_{\epsilon > 0, \epsilon \to 0} (t-\epsilon)$ であることに注意されたい^[6].このとき,(4)式の閉 ループサブシステムはロバスト安定となる.

証明1 正定値対称行列 *P_i*を用いて次式のリアプノフ関数の候補 を考える.

$$V(x,t) \equiv \sum_{i=1}^{N} V_i(x_i,t)$$
(10)

ここで、V_i(x_i,t) は次式で表される二次形式の正定関数である.

$$V_i(x_i,t) \equiv x_i^T(t)P_i x_i(t) \tag{11}$$

まず, 関数 V_i(x_i,t) を(4)式の閉ループサブシステムの解軌道に沿って時間微分すると, 次式が得られる.

$$\frac{d}{dt}V_{i}(x_{i},t) = x_{i}^{T}(t) \Big[H_{e} \Big\{ (A_{ii} + B_{i}F_{i})^{T}P_{i} \Big\} \Big] x_{i}(t)
+ 2x_{i}^{T}(t)P_{i}B_{i}\Delta_{ii}(t)E_{ii}x_{i}(t)
+ 2x_{i}^{T}(t)P_{i}B_{i}^{\perp}\Delta_{ii}^{\perp}(t)E_{ii}^{\perp}x_{i}(t)
+ 2x_{i}^{T}(t)P_{i}B_{i}\sum_{\substack{j=1\\j\neq i}}^{N} (D_{ij} + \Delta_{ij}(t)E_{ij})x_{j}(t)
+ 2x_{i}^{T}(t)P_{i}\sum_{\substack{j=1\\j\neq i}}^{N} (A_{ij} + B_{ij}^{\perp}\Delta_{ij}^{\perp}(t)E_{ij}^{\perp})x_{j}(t)
+ 2x_{i}^{T}(t)P_{i}B_{i}L_{i}(x_{i},t)x_{i}(t)$$
(12)

(12)式に対して、**補題1**,および適当な次元のベクトルα,βと正の 定数δに対して成立する不等式

$$2\alpha\beta \le \delta\alpha^{T}\alpha + \frac{1}{\delta}\beta^{T}\beta \tag{13}$$

を適用すると、次式が得られる.

$$\frac{d}{dt}V_{i}(x_{i},t) \leq x_{i}^{T}(t) \Big[H_{e} \Big\{ (A_{ii} + B_{i}F_{i})^{T}P_{i} \Big\} \Big] x_{i}(t)
+ 2 \Big\| B_{i}^{T}P_{i}x_{i}(t) \Big\| \| E_{ii}x_{i}(t) \|
+ \sigma_{i}x_{i}^{T}(t)P_{i}B_{i}^{\perp}(B_{i}^{\perp})P_{i}x_{i}(t)
+ \frac{1}{\sigma_{i}}x_{i}^{T}(t)(E_{ii}^{\perp})^{T}E_{ii}^{\perp}x_{i}(t)
+ 2\varepsilon_{i}(N-1)x_{i}^{T}(t)P_{i}B_{i}B_{i}^{T}P_{i}x_{i}(t)
+ \frac{1}{\varepsilon_{i}}\sum_{j=1}^{N} x_{j}^{T}(t)(D_{ij}^{T}D_{ij} + E_{ij}^{T}E_{ij})x_{j}(t)
= \frac{1}{\varepsilon_{i}}\sum_{j\neq i}^{N} x_{j}^{T}(t)(D_{ij}^{T}D_{ij} + E_{ij}^{T}E_{ij})x_{j}(t)$$
(14)

$$+ \sum_{\substack{j=l \ j\neq i}}^{N} \delta_{ij} x_{i}^{T}(t) P_{i} A_{ij} A_{ij}^{T} P_{i} x_{i}(t) + \sum_{\substack{j=l \ j\neq i}}^{N} \frac{1}{\delta_{ij}} x_{j}^{T}(t) x_{j}(t)$$

$$+ \sum_{\substack{j=l \ j\neq i}}^{N} \delta_{ij} x_{i}^{T}(t) P_{i} B_{ij}^{\perp} (B_{ij}^{\perp})^{T} P_{i} x_{i}(t)$$

$$+ \sum_{\substack{j=l \ j\neq i}}^{N} \frac{1}{\delta_{ij}} x_{j}^{T}(t) (E_{ij}^{\perp})^{T} E_{ij}^{\perp} x_{j}(t)$$

$$+ 2 x_{i}^{T}(t) P_{i} B_{i} L_{i}(x_{i}, t) x_{i}(t)$$

さて, $B_i^T P_i x_i(t) \neq 0$ の場合を考える.このとき,(6)式の補 償入力 $\phi_i(x_i,t)$ を(14)式に代入し,整理すると次式が得られる.

$$\frac{d}{dt}V_{i}(x_{i},t) \leq x_{i}^{T}(t) \Big[H_{e} \Big\{ (A_{ii} + B_{i}F_{i})^{T}P_{i} \Big\} \Big] x_{i}(t)
+ \sigma_{i}x_{i}^{T}(t)P_{i}B_{i}^{\perp}(B_{i}^{\perp})P_{i}x_{i}(t)
+ \frac{1}{\sigma_{i}}x_{i}^{T}(t)(E_{ii}^{\perp})^{T}E_{ii}^{\perp}x_{i}(t)
+ \frac{1}{\varepsilon_{i}}\sum_{\substack{j=1\\j\neq i}}^{N}x_{j}^{T}(t)(D_{ij}^{T}D_{ij} + E_{ij}^{T}E_{ij})x_{j}(t)
+ \sum_{j=1\atopj\neq i}^{N}\delta_{ij}x_{i}^{T}(t)P_{i}A_{ij}A_{ij}^{T}P_{i}x_{i}(t) + \sum_{j=1\atopj\neq i}^{N}\frac{1}{\delta_{ij}}x_{j}^{T}(t)x_{j}(t)$$
(15)

$$+ \sum_{j=1}^{N} \delta_{ij} x_i^T(t) P_i B_{ij}^{\perp} (B_{ij}^{\perp})^T P_i x_i(t)$$

+
$$\sum_{j=1}^{N} \frac{1}{\delta_{ij}} x_j^T(t) (E_{ij}^{\perp})^T E_{ij}^{\perp} x_j(t)$$

$$+ \sum_{j=1}^{N} \frac{1}{\delta_{ij}} x_j^T(t) (E_{ij}^{\perp})^T E_{ij}^{\perp} x_j(t)$$

したがって, (10), (15)式から, リアプノフ関数 V(x,t) に関して 次式が成り立つ.

$$\frac{d}{dt}V(x,t) \leq \sum_{i=1}^{N} x_{i}^{T}(t) \Big[H_{e} \Big\{ (A_{ii} + B_{i}F_{i})^{T}P_{i} \Big\} \Big] x_{i}(t) \\
+ \sum_{i=1}^{N} \sigma_{i} x_{i}^{T}(t) P_{i} B_{i}^{\perp}(B_{i}^{\perp}) P_{i} x_{i}(t) \\
+ \sum_{i=1}^{N} \frac{1}{\sigma_{i}} x_{i}^{T}(t) (E_{ii}^{\perp})^{T} E_{ii}^{\perp} x_{i}(t) \\
+ \sum_{i=1}^{N} \frac{1}{\varepsilon_{i}} \sum_{j=1}^{N} x_{j}^{T}(t) (D_{ij}^{T} D_{ij} + E_{ij}^{T} E_{ij}) x_{j}(t) \\
\int_{j\neq i}^{N} N$$
(16)

$$\begin{split} &+ \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{N} \delta_{ij} x_{i}^{T}(t) P_{i} A_{ij} A_{ij}^{T} P_{i} x_{i}(t) \\ &+ \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{N} \frac{1}{\delta_{ij}} x_{j}^{T}(t) x_{j}(t) \\ &+ \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{N} \delta_{ij} x_{i}^{T}(t) P_{i} B_{ij}^{\perp} (B_{ij}^{\perp})^{T} P_{i} x_{i}(t) \\ &+ \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{N} \frac{1}{\delta_{ij}} x_{j}^{T}(t) (E_{ij}^{\perp})^{T} E_{ij}^{\perp} x_{j}(t) \end{split}$$

さらに,(16)式は次式のように書き換えることができる.

$$\frac{d}{dt}V(x,t) \leq \sum_{i=1}^{N} x_{i}^{T}(t) \Big[H_{e} \Big\{ (A_{ii} + B_{i}F_{i})^{T}P_{i} \Big\} \Big] x_{i}(t) \\
+ \sum_{i=1}^{N} \sigma_{i}x_{i}^{T}(t)P_{i}B_{i}^{\perp}(B_{i}^{\perp})P_{i}x_{i}(t) \\
+ \sum_{i=1}^{N} \frac{1}{\sigma_{i}}x_{i}^{T}(t)(E_{ii}^{\perp})^{T}E_{ii}^{\perp}x_{i}(t) \\
+ \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=i}^{N} \frac{1}{\varepsilon_{j}}x_{i}^{T}(t)(D_{ji}^{T}D_{ji} + E_{ji}^{T}E_{ji})x_{i}(t) \\
+ \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=i}^{N} \delta_{ij}x_{i}^{T}(t)P_{i}A_{ij}A_{ij}^{T}P_{i}x_{i}(t) \\
+ \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=i}^{N} \frac{1}{\delta_{ji}}x_{i}^{T}(t)x_{i}(t) \\
+ \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=i}^{N} \delta_{ij}x_{i}^{T}(t)P_{i}B_{ij}^{\perp}(B_{ij}^{\perp})^{T}P_{i}x_{i}(t) \\
+ \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=i}^{N} \frac{1}{\delta_{ji}}x_{i}^{T}(t)(E_{ji}^{\perp})^{T}E_{ji}^{\perp}x_{i}(t)$$
(17)

$$= \sum_{i=1}^{N} x_i^T(t) \Phi_i(P_i, \sigma_i, \varepsilon_i, \delta_{ij}) x_i(t)$$

ここで、 $\Phi_i(P_i, \sigma_i, \varepsilon_i, \delta_{ij})$ は次式で表される行列である.

$$\Phi_{i}(P_{i},\sigma_{i},\varepsilon_{i},\delta_{ij}) = H_{e} \left\{ (A_{ii} + B_{i}F_{i})^{T}P_{i} \right\}$$

$$+ \sigma_{i}P_{i}B_{i}^{\perp}(B_{i}^{\perp})P_{i} + \frac{1}{\sigma_{i}}(E_{ii}^{\perp})^{T}E_{ii}^{\perp}$$

$$+ \sum_{\substack{j=1\\j\neq i}}^{N} \frac{1}{\varepsilon_{i}}(D_{ji}^{T}D_{ji} + E_{ji}^{T}E_{ji})$$

$$+ \sum_{\substack{j=1\\j\neq i}}^{N} \delta_{ij}P_{i}A_{ij}A_{ij}^{T}P_{i}$$

$$+ \sum_{\substack{j=1\\j\neq i}}^{N} \frac{1}{\delta_{ji}}I_{n_{i}} + \sum_{\substack{j=1\\j\neq i}}^{N} \delta_{ij}P_{i}B_{ij}^{\perp}(B_{ij}^{\perp})^{T}P_{i}$$

$$+ \sum_{\substack{j=1\\j\neq i}}^{N} \frac{1}{\delta_{ji}}(E_{ji}^{\perp})^{T}E_{ji}^{\perp}$$

$$+ \sum_{\substack{j=1\\j\neq i}}^{N} \frac{1}{\delta_{ji}}(E_{ji}^{\perp})^{T}E_{ji}^{\perp}$$

すなわち,次の行列不等式

$$\Phi_i(P_i,\sigma_i,\varepsilon_i,\delta_{ii}) < 0 \tag{19}$$

が成立すれば、リアプノフ関数 V(x,t) に関して、次の関係式が成立 する.

$$\frac{d}{dt}V(x,t) < 0, \quad \forall x(t) \neq 0$$
(20)

次に, $B_i^T P_i x_i(t) = 0$ の場合を考える. このとき(12)式と固定ゲイン F_i ,および補償入力 $\phi_i(x_i,t)$ の定義(6)式より, (19)式が成立すれば, リアプノフ関数 $V(x_i,t)$ に関して, (20)式が成立する.

最後に, (19)式の行列不等式を考える. このとき, 行列 $Y_i=P_i^{-1}$ および $W_i=F_iY_i$ を導入し, Y_i を(19)式の両側から掛けると次式が得られる.

$$H_{e} \{ (A_{ii}Y_{i} + B_{i}W_{i}\} + \sigma_{i}B_{i}^{\perp}(B_{i}^{\perp}) + \frac{1}{\sigma_{i}}Y_{i}(E_{ii}^{\perp})^{T}E_{ii}^{\perp}Y_{i} \\ + \sum_{\substack{j=1\\j\neq i}}^{N} \frac{1}{\varepsilon_{i}}Y_{i}(D_{ji}^{T}D_{ji} + E_{ji}^{T}E_{ji})Y_{i} + \sum_{\substack{j=1\\j\neq i}}^{N} \delta_{ij}A_{ij}^{T}A_{ij}^{T} + \sum_{\substack{j=1\\j\neq i}}^{N} \frac{1}{\delta_{ji}}Y_{i}Y_{i} \\ + \sum_{\substack{j=1\\j\neq i}}^{N} \delta_{ij}B_{ij}^{\perp}(B_{ij}^{\perp})^{T} + \sum_{\substack{j=1\\j\neq i}}^{N} \frac{1}{\delta_{ji}}Y_{i}(E_{ji}^{\perp})^{T}E_{ji}^{\perp}Y_{i} < 0$$
(21)

よって、この(21)式の行列不等式に対して、**補題2(Schur** complement)を適用すれば、(21)式は(5)式のLMIと等価であることがわかる.したがって、(5)式を満たす行列 $Y_i > 0$, W_i ,および正の定数 σ_i , ε_i , δ_{ij} を用いて、固定ゲイン F_i ,および補償入力 $\phi_i(x_i,t)$ をそれぞれ $F_i \equiv W_i Y_i^{-1}$,および(6)式のように設計すれば、(4)式の閉ループサブシステムはロバスト安定となる.以上により定理1が証明された.

定理1は提案した分散可変ゲインロバストコントローラの構成 法を示したものである.次に比較のため,(1)式の不確かさを含む大 規模複合システムに対する従来の分散固定ゲインロバストコント ローラを紹介する.次の定理は従来法による分散固定ゲインロバス トコントローラの構成法について示すものである. **定理2** (4)式の閉ループサブシステム,および固定ゲイン *K*_i を用いた次式の制御入力を考える.

$$u_i(t) \equiv K_i x_i(t) \tag{22}$$

このとき,次の線形行列不等式 (LMI)

$$\begin{pmatrix} \eta_i(Y_i, W_i, \mu_i, \sigma_i, \varepsilon_i, \delta_{ij}) & \Pi_i(Y_i) \\ * & -\Xi_i(\mu_i, \sigma_i, \varepsilon_i, \delta_{ij}) \end{pmatrix} < 0$$
(23)

を満たす正定値対称行列 $Y_i \in \mathfrak{R}^{n,sn}$, 行列 $W_i \in \mathfrak{R}^{n,sn}$, 正の定数 μ_i , σ_i , ε_i , δ_{ij} が存在するとき, その解を用いて固定ゲイン K_i を $K_i \equiv W_i Y_i^{-1}$ と定義する.ここで, 行列 $\Upsilon_i(Y_i, W_i, \mu_i, \sigma_i, \delta_{ij})$, $\Pi_i(Y_i)$, $\Xi_i(\mu_i,, \sigma_i, \varepsilon_i, \delta_{ij})$ は次式で表される行列である.

$$\Upsilon_{i}(Y_{i}, W_{i}, \mu_{i}, \sigma_{i}, \delta_{ij}) \equiv H_{e} \{A_{ii}Y_{i} + B_{i}W_{i}\} + \mu_{i}B_{i}B_{i}^{T} + \sigma_{i}B_{i}^{\perp}(B_{i}^{\perp})^{T} + 2\varepsilon_{i}(N-1)B_{i}B_{i}^{T} + \sum_{j=l}^{N} \delta_{ij}A_{ij}A_{ij}^{T} + \sum_{j=l}^{N} \delta_{ij}B_{ij}^{\perp}(B_{ij}^{\perp})^{T} _{j\neq i} J^{T}$$

$$(24)$$

$$\Pi_{i}(Y_{i}) \equiv \left(Y_{i}E_{ii}^{T} \quad Y_{i}(E_{ii}^{\perp})^{T} \quad Y_{i}D_{1i}^{T} \quad Y_{i}E_{1i}^{T} \quad \cdots \\ \cdots \quad Y_{i}D_{i-1i}^{T} \quad Y_{i}E_{i-1i}^{T} \quad Y_{i}D_{i+1i}^{T} \quad Y_{i}E_{i+1i}^{T} \quad \cdots \\ \cdots \quad Y_{i}D_{Ni}^{T} \quad Y_{i}E_{Ni}^{T} \quad Y_{i} \quad \cdots \quad Y_{i} \quad Y_{i}(E_{1i}^{\perp})^{T} \quad \cdots \\ \cdots \quad Y_{i}(E_{i-1i}^{\perp})^{T} \quad Y_{i}(E_{i+1i}^{\perp})^{T} \quad \cdots \quad Y_{i}(E_{Ni}^{\perp})^{T}\right)$$
(25)

$$\Xi_{i}(\mu_{i},\sigma_{i},\varepsilon_{i},\delta_{ij}) \equiv \operatorname{diag}\left(\mu_{i}I_{n},\sigma_{i}I_{q_{ii}},\varepsilon_{1}I_{m_{1}},\varepsilon_{1}I_{s_{1i}},\cdots\right)$$

$$\cdots,\varepsilon_{i-1}I_{m_{i-1}},\varepsilon_{i-1}I_{s_{i-1i}},\varepsilon_{i+1}I_{m_{i+1}},\varepsilon_{i+1}I_{s_{i+1i}},\cdots\right)$$

$$\cdots,\varepsilon_{N}I_{m_{N}},\varepsilon_{N}I_{s_{N}},\delta_{1i}I_{n},\cdots,\delta_{i-1i}I_{n},\delta_{i+1i}I_{n},\cdots\right)$$

$$\cdots,\delta_{Ni}I_{n},\delta_{1i}I_{q_{ii}},\cdots,\delta_{i-1i}I_{q_{i-1i}},\delta_{i+1i}I_{q_{i+1i}},\cdots\right)$$

$$\cdots,\delta_{Ni}I_{q_{i-1i}},\delta_{i+1i}I_{q_{i-1i}},\cdots\right)$$

このとき,(4)式の閉ループサブシステムはロバスト安定となる(証明は省略).

注意1 定理2の従来法の(23)式の LMI の次元を Z_c とすると,その大きさは次のように求められる.

$$Z_{c} = Nn_{i} + r_{i} + q_{ii} + \sum_{j=1 \atop j \neq i}^{N} (m_{ji} + s_{ji} + q_{ji})$$
(27)

一方, **定理1**の提案する(5)式のLMIの次元を*Z_p*とすると,その大きさは次のように求められる.

$$Z_{p} = Nn_{i} + q_{ii} + \sum_{\substack{j=1\\ j \neq i}}^{N} (m_{ji} + s_{ji} + q_{ji})$$
(28)

すなわち,提案する設計法のLMIは,従来法に比べ Z_c-Z_p=r_i だけ小 さくなっている.さらに,LMIの変数も,従来法に比べて少なくなっ ている.すなわち,提案する(5)式のLMIの実行可能領域は従来法の (23)式のLMIよりも広くなっており,従来法ではコントローラ設計 ができないシステムに対しても,提案法ではコントローラ設計がで きる可能性がある.以上により,本稿で紹介した分散可変ゲインロ バストコントローラの構成法は非常に有用であるといえる.

4. 数値シミュレーション

ここでは、分散可変ゲインロバストコントローラの有用性を検証 するための簡単な数値シミュレーションを行う.サブシステム数 N=3 の大規模複合システムを考え、各サブシステムにおけるパラ メータはそれぞれ次のように与えられるものとする.

$$\begin{split} &A_{11} = \begin{pmatrix} -1.0 & 1.5 \\ 1.0 & 1.0 \end{pmatrix}, \quad A_{22} = \begin{pmatrix} 1.5 & -1.0 \\ 0.0 & -2.0 \end{pmatrix}, \\ &A_{33} = \begin{pmatrix} -2.0 & 2.0 \\ 1.5 & 0.5 \end{pmatrix}, \quad B_1 = \begin{pmatrix} 1.0 \\ 0.0 \end{pmatrix}, \quad B_2 = \begin{pmatrix} 0.0 \\ 1.0 \end{pmatrix}, \\ &B_3 = \begin{pmatrix} 0.0 \\ 1.0 \end{pmatrix}, \quad E_{11} = \begin{pmatrix} 1.0 & 0.0 \\ 1.0 & 0.0 \end{pmatrix}, \quad E_{22} = \begin{pmatrix} 0.0 & 2.0 \\ 2.0 & 0.0 \end{pmatrix}, \\ &E_{33} = \begin{pmatrix} 3.0 & 0.0 \\ 1.0 & 0.0 \end{pmatrix}, \quad B_1^{\perp} = \begin{pmatrix} 5.0 \times 10^{-1} & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 \end{pmatrix}, \\ &B_2^{\perp} = \begin{pmatrix} 0.0 & 0.0 \\ 5.0 \times 10^{-1} & 0.0 \end{pmatrix}, \quad B_3^{\perp} = \begin{pmatrix} 0.0 & 5.0 \times 10^{-1} \\ 0.0 & 0.0 \end{pmatrix}, \\ &E_{11}^{\perp} = \begin{pmatrix} 4.0 \times 10^{-1} & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 \end{pmatrix}, \quad &E_{22}^{\perp} = \begin{pmatrix} 1.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 \end{pmatrix}, \\ &E_{33}^{\perp} = \begin{pmatrix} 0.0 & 3.0 \times 10^{-1} & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 \end{pmatrix}, \quad &A_{12} = \begin{pmatrix} 3.0 \times 10^{-1} & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 \end{pmatrix}, \\ &A_{13} = \begin{pmatrix} 0.0 & 3.0 \times 10^{-1} \\ 0.0 & 0.0 \end{pmatrix}, \quad &A_{12} = \begin{pmatrix} 5.0 \times 10^{-1} & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 \end{pmatrix}, \\ &A_{13} = \begin{pmatrix} 0.0 & 4.0 \times 10^{-1} \\ 0.0 & 0.0 \end{pmatrix}, \quad &A_{21} = A_{23} = \begin{pmatrix} 0.0 & 0.0 \\ 5.0 \times 10^{-1} & 0.0 \end{pmatrix}, \\ &A_{31} = \begin{pmatrix} 0.0 & 4.0 \times 10^{-1} \\ 0.0 & 0.0 \end{pmatrix}, \quad &A_{22} = \begin{pmatrix} 1.0 & 1.0 \\ 0.0 & 0.0 \end{pmatrix}, \\ &D_{12}^{T} = \begin{pmatrix} 2.0 \\ 1.0 \end{pmatrix}, \quad &D_{13}^{T} = \begin{pmatrix} 2.0 \\ 0.0 \end{pmatrix}, \quad &D_{21}^{T} = \begin{pmatrix} 1.0 & 1.0 \\ 0.0 & 3.0 \end{pmatrix}, \\ &E_{13} = \begin{pmatrix} 1.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 \end{pmatrix}, \quad &E_{12} = \begin{pmatrix} 1.0 & 1.0 \\ 0.0 & 3.0 \end{pmatrix}, \\ &B_{13}^{\perp} = \begin{pmatrix} 5.0 \times 10^{-1} & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 \end{pmatrix}, \\ &B_{12}^{\perp} = \begin{pmatrix} 5.0 \times 10^{-1} & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 \end{pmatrix}, \quad &B_{13}^{\perp} = \begin{pmatrix} 3.0 \times 10^{-1} & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 \end{pmatrix}, \\ &B_{21}^{\perp} = \begin{pmatrix} 0.0 & 0.0 \\ 5.0 \times 10^{-1} & 0.0 \end{pmatrix}, \quad &B_{23}^{\perp} = \begin{pmatrix} 5.0 \times 10^{-1} & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 \end{pmatrix}, \\ &B_{31}^{\perp} = \begin{pmatrix} 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 \end{pmatrix}, \quad &B_{32}^{\perp} = \begin{pmatrix} 5.0 \times 10^{-1} & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 \end{pmatrix}, \\ &B_{31}^{\perp} = \begin{pmatrix} 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 \end{pmatrix}, \quad &B_{32}^{\perp} = \begin{pmatrix} 0.0 & 5.0 \times 10^{-1} \\ 0.0 & 0.0 \end{pmatrix}, \\ &B_{31}^{\perp} = \begin{pmatrix} 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 \end{pmatrix}, \quad &B_{32}^{\perp} = \begin{pmatrix} 0.0 & 5.0 \times 10^{-1} \\ 0.0 & 0.0 \end{pmatrix}, \\ &B_{31}^{\perp} = \begin{pmatrix} 3.0 \times 10^{-1} & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 \end{pmatrix}, \quad &E_{32}^{\perp} = \begin{pmatrix} 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 5.0 \times 10^{-1} \end{pmatrix}, \\ &E_{31}^{\perp} = \begin{pmatrix} 3.0 \times 10^{-1} & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 \end{pmatrix}, \quad &E_{32}^{\perp} = \begin{pmatrix} 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 \end{pmatrix}, \\ &E_{31}^{\perp} = \begin{pmatrix} 5.0 \times 10^{-1} & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 \end{pmatrix}, \quad &E_{32}^{\perp} = \begin{pmatrix} 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 \end{pmatrix}, \\ &E_{31}^{\perp} = \begin{pmatrix} 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 \end{pmatrix}, \quad &E_{32}^{\perp} = \begin{pmatrix}$$

可変ゲインコントローラを設計するため,(5)式のLMIを解くと, 次式のような解が得られた.

$$Y_{1} = \begin{pmatrix} 8.9953 & -1.0453 \times 10^{1} \\ * & 2.3056 \times 10^{1} \end{pmatrix},$$

$$Y_{2} = \begin{pmatrix} 1.3156 \times 10^{1} & -9.9780 \times 10^{-1} \\ * & 1.2110 \times 10^{1} \end{pmatrix},$$

$$Y_{3} = \begin{pmatrix} 1.7559 \times 10^{1} & -1.2504 \times 10^{1} \\ * & 2.1249 \times 10^{1} \end{pmatrix},$$

$$W_{1} = \begin{pmatrix} -1.4434 & -9.4126 \times 10^{1} \\ * & 2.1249 \times 10^{1} \end{pmatrix},$$

$$W_{2} = (-7.7177 & 1.3525) \times 10^{1},$$

$$W_{3} = \begin{pmatrix} -2.8256 & -6.9872 \end{pmatrix} \times 10^{1},$$

$$\sigma_{1} = 1.9919 \times 10^{1}, \quad \sigma_{2} = 3.0988 \times 10^{1}, \quad \sigma_{3} = 4.4852 \times 10^{1},$$

$$\varepsilon_{1} = 1.8034 \times 10^{2}, \quad \varepsilon_{2} = 1.4918 \times 10^{2}, \quad \varepsilon_{3} = 1.6632 \times 10^{2},$$

$$\delta_{12} = 3.2237 \times 10^{1}, \quad \delta_{13} = 4.2751 \times 10^{1}, \quad \delta_{21} = 2.1469 \times 10^{1},$$

$$\delta_{33} = 2.2465 \times 10^{1}, \quad \delta_{31} = 6.2652 \times 10^{1}, \quad \delta_{32} = 5.3206 \times 10^{1}.$$

これらの解から,固定ゲインF_i(i=1,2,3)は次式のように求められる.

$$F_{1} = (-1.0365 \times 10^{1} - 8.7815),$$

$$F_{2} = (-5.8180 - 6.3744 \times 10^{-1}),$$

$$F_{3} = (-6.8012 - 7.2907).$$
(31)

ー方,(28)式のシステムに対して,従来法の(23)式のLMI は解を 得ることはできなかった.すなわち,従来法では(29)式のシステム を安定化させるためのコントローラは設計できない.

この数値例において、大規模複合システムの初期値、および未 知パラメータは次のように設定した.

 $\begin{aligned} x(0) &= (-1.5 \ 1.0 \ 1.0 \ -2.0 \ 1.5 \ -1.0), \\ \Delta_{ii}(t) &= (\cos(2.0\pi t) \ 0), \ \Delta_{ij}(t) = (0 \ \cos(-\pi t)), \\ \Delta_{ii}^{\perp}(t) &= (\sin(-6.0\pi t) \ \cos(-6.0\pi t)), \\ \Delta_{ij}^{\perp}(t) &= (-\cos(\pi t) \ \sin(\pi t)). \end{aligned}$ (32)

図1~4に数値シミュレーションの結果を示す.図1~3は それぞれサブシステム1~3の時間応答であり,図4は各サブ システムに対する制御入力を示している.各図中,xi-l(i=1,2,3, I=1,2)はi番目のサブシステムの状態の第1成分を表す.これ らの図から,各サブシステムの状態は収束しており,(29)式の 不確かさを含む大規模複合システムは,分散可変ゲインロバス トコントローラによって安定化されていることがわかる.

以上の結果より,紹介した分散可変ゲインロバストコント ローラの有用性が示された.

5. 結言

(29)

本稿では不確かさを含む大規模複合システムに対する分散可変ゲ インロバストコントローラの構成法を示し、数値シミュレーション によってその有用性を検証した.本稿では大規模複合システムの安 定化問題のみ取り扱ったが、参照軌道へのトラッキング問題に対し ても、本稿の手法は適用可能である^[7].また、コントローラを設計 するために解くべき LMI 条件は、MATLAB の Robust Control Toolbox や Scilab の LMITOOL など、種々の計算ツールを用いて容易に解を 求めることが可能である.

今後の課題としては、出力フィードバック制御系やオブザーバを用 いた制御系,離散時間システムへの拡張が挙げられる.









図4 各サブシステムに対する制御入力

図2 サブシステム2の時間応答

参考文献

[1] k. Zhou and J. C. Doyle, Essentials of Robust Control, Prentice Hall (1998).

[2] D. D. Sijjak, Decentralized Control of Complex Systems, Academic Press (1991).

[3] H. Mukaidani, The Guaranteed Cost Control for Uncertain Nonlinear Largescale Stochastic Systems via State and Output Feedback, J. Mathematical Analysis and Applications, 359 (2), 527–535 (2009).

[4] W. J. Mao and J. Chu, Robust Decentralized Stabilization of Interval Discrete-Time Singular Large-Scale Systems, IET Contr. Theory and Applications, 4 (2), 244–252 (2010).

[5] S. Gutman, Uncertain Dynamical Systems - A Lyapunov min-max approach, IEEE Trans. Automat. Contr., 24 (3), 437-443 (1979).

[6] M. Maki and K. Hagino, Robust Control with Adaptation Mechanism for Improving Transient Behavior, Int. J. Contr., 72 (13), 1218-1226 (1999).

[7] S. Nagai, H. Oya, T. Kubo and T. Matsuki, Decentralized Variable Gain Robust Practical Tracking for a Class of Uncertain Large-Scale Interconnected Systems, Proc. of the 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 3015–3020 (Beijing, 2017. 10).

A Branch-and-price Approach with MILP Formulation to Modularity Density Maximization on Graphs *1

Keisuke SATO* Yoichi IZUNAGA**

1 Introduction

Identifying communities in graphs is a very important task in data analysis, and has a wide range of applications in diverse fields such as social networks, the Web, biology and bioinformatics. Roughly speaking, a community is a subset of a graph which are tightly connected internally while loosely connected externally. Numerous approaches to community detection have been proposed so far, most of which aim to optimize a certain objective function defined on a graph.

Triggered by the seminal work by Newman and Girvan [23] in the literature of the community detection, maximizing the *modularity* function has extensively been studied. Let G := (V, E) be an undirected graph with the set V of n vertices where $n \ge 2$ and the set E of m edges. The degree of vertex $i \in V$ is denoted by d_i . We say that $\Pi := \{C_1, \ldots, C_k\}$ for some positive integer k is a partition of V if $V = \bigcup_{p=1}^k C_p, C_p \neq \emptyset$ for any p and $C_p \cap C_{p'} = \emptyset$ for any distinct pair p and p' hold. Each member C_p of a partition is called a *community*. The set of edges that have one end-vertex in community C and the other end-vertex in community C' is denoted by E(C, C'). When C = C', we abbreviate E(C, C') to E(C) for the sake of simplicity. Then the modularity, denoted by $Q(\Pi)$ for partition Π of V, is defined as

$$Q(\Pi) := \sum_{C \in \Pi} \left(\frac{|E(C)|}{m} - \left(\frac{\sum_{i \in C} d_i}{2m} \right)^2 \right)$$

where $|\cdot|$ is the cardinality of the corresponding set.

The modularity maximization is now one of the central subjects in this field, while it receives serious criticism from mainly two viewpoints: *degeneracy* (Good et al. [12]) and *resolution limit* (Fortunato and Barthélemy [10]). Degeneracy means presence of several partitions with high modularity which makes it difficult to find a global optimal partition. Resolution limit refers to sensitivity of modularity to the total number of edges in a graph, which leaves small communities not identified and hidden inside larger ones. Even in a schematic case where a graph consists of multiple replicas of an identical clique which are connected by a single edge, Fortunato and Barthélemy [10] showed that maximizing the criterion results in regarding two or more cliques connected as a community when the number of cliques in the graph is larger than the square root of the number of edges. This narrows an application area of the modularity maximization since most of real networks may contain tightly connected groups with different scales.

To avoid the resolution limit issue, Li et al. [17] proposed a new function, called *modularity density*, and their theoretical analysis with respect to maximizing the function leads to detecting communities with different scales (we should note that, based on comments on this paper by Costa [4], errata by Li

et al. [18] were released). The modularity density, denoted by $D(\Pi)$ for partition Π , is defined as

$$D(\Pi) := \sum_{C \in \Pi} \left(\frac{2|E(C)| - \sum_{C' \in \Pi \setminus \{C\}} |E(C, C')|}{|C|} \right)$$

We refer to each term of the outer summation in $Q(\Pi)$ or $D(\Pi)$ as the *contribution* of the community to the modularity or the modularity density.

Since this function takes account of the number of vertices in each community, the modularity density maximization is straightforwardly formulated as a binary nonlinear fractional programming problem. This feature indicates that development of any exact solution method for the modularity density maximization seems to be more challenging than that for the modularity maximization, which has promoted development of heuristic algorithms. In fact, Li et al. [17] fixed the number of communities and solved the continuous relaxation problem. Although Karimi-Majd et al. [16] presented an improved formulation that does not require the number of communities to be known, it is still a binary nonlinear fractional programming problem. To date, several metaheuristic approaches have been developed: ones based on a genetic algorithm by Liu and Zeng [19], a memetic algorithm with simulated annealing in its local search phase by Gong et al. [11] and biological operations by Karimi-Majd et al. [16]. Costa et al. [6] proposed hierarchical divisive heuristics based on repetitive resolutions of an integer linear programming (ILP) problem or a mixed integer linear programming (MILP) problem to split a community into two. Santiago and Lamb [25] presented seven scalable heuristic methods, and compared them with the metaheuristic algorithms mentioned above as well as the heuristics by Costa et al. [6]. Izunaga et al. [14] formulated the problem as a variant of a semidefinite programming problem called 0-1SDP. Their reformulation has the advantage that it does not require the number of communities in advance, while any method to exactly optimize 0-1SDP has yet been unavailable. Instead, they solved an ordinary semidefinite programming relaxation problem to obtain an upper bound solution and created a feasible solution from it by dynamic programming.

On the other hand, there are a few approaches to exactly maximize the modularity density. The exact formulation proposed by Li et al. [17], Karimi-Majd et al. [16] or Izunaga et al. [14] has not yet been solved to optimality due to its nonlinearity. Costa [5] presented several MILP reformulations, which enables us an application of general-purpose optimization solvers to the problem. In the reformulations, however, the number of communities must be fixed in advance. They reported a result that their best MILP formulation gave optimal solutions of instances with at most 40 vertices. The models require the upper bound value of the contribution of a community as input, which was calculated by solving a binary nonlinear fractional programming problem in the paper. Costa et al. [7] discussed MILP reformulations of the upper bound calculation, providing the whole modularity density maximization process completely expressed as MILP problems. Izunaga et al. [14] calculated the upper bound in their numerical experiments for comparison by the parametric algorithm by

^{*1} A peer-reviewed version is available at https://doi.org/10.1016/j.cor.2018.01.012.

^{*}Assistant Professor, Dept. of Industrial Engineering and Management **University of Tsukuba

Dinkelbach [9] in which a series of ILPs was solved.

Very recently, and independently of our work, de Santiago and Lamb [26] have considered the clustering problem as the set-partitioning problem and have presented its ILP formulation (refer, for instance, to Nemhauser and Wolsey [22] on the set-partitioning and related problems as well as their ILP formulations). They have solved the problem by column generation (refer, for instance, to Desrosiers and Lübbecke [8] on column generation), in which framework an initial set of columns is given by heuristics that has stochastic behavior. The column generation subproblem is also solved by different stochastic heuristics. When no column is found by the latter heuristics, the subproblem is formulated as an integer quadratic programming (IQP) problem and is solved to optimality to decide whether the linear programming (LP) relaxation of the set-partitioning problem is optimal or not even though the LP has a limited set of columns. Although they have reported optimal solutions for instances having 62 and 105 vertices, the computation time has varied considerably for each trial due to the stochastic nature of the two heuristics. For several trials, these instances have not been solved in ten hours. Another remark should be made that they have only solved instances whose LP optimal solution is integral and have not presented a detailed procedure for a case where the LP optimal solution is fractional. Hence, their approach may not provide an optimal solution for a particular unsolved instance.

In this paper, independently of the work by de Santiago and Lamb [26], we regard the modularity density maximization as the set-partitioning problem and present its ILP formulation, which enables us to devise an efficient algorithm to provide an optimal solution for the modularity density maximization. To be specific, we develop an algorithm based on a branch-and-price framework, i.e., column generation in a branch-and-bound framework, to truly, exactly optimize the modularity density function value (refer to Barnhart et al. [2] as well as Desrosiers and Lübbecke [8] on branch-and-price). We also incorporate two existing techniques into the algorithm: the set-packing relaxation proposed by Sato and Fukumura [27] *2, which was originally applied to a set-partitioning-based scheduling problem, and the multiple-cutting-planesat-a-time by Izunaga and Yamamoto [15], which was originally done to the modularity maximization, to accelerate the column generation process within the algorithm. The former substitutes the set-partitioning constraint of the LP relaxation problem with the set-packing constraint for all the vertices, and dynamically restoring it for a necessary subset of the vertices in the column generation process. We expect that the contribution of the majority of communities detected as an optimal solution will take a positive value, and therefore that the set-packing constraint will suffice for a large part of the vertices. The latter can provide us with two or more columns that have no common element in each column generation phase, and therefore we expect that these columns will coexist in a good feasible solution of the original or the LP relaxation of the set-partitioning/set-packing problem.

Our contributions in this paper can be summarized as follows:

1. We give a branch-and-price framework for the exact modularity density maximization problem expressed as the ILP formulation of the setpartitioning problem. For Protein p53 test instance having 104 vertices, we show that column generation at the root node of the branch-and-bound tree provides a fractional upper bound solution and that our algorithm finds an integral optimal solution after branching.

- We formulate the column generation subproblem to be solved repeatedly as a simpler MILP problem than the quite recently proposed IQP problem. This formulation lets us provide another complete MILP framework for the whole modularity density maximization process.
- 3. The set-packing relaxation and the multiple-cutting-planes-at-a-time acceleration techniques combined with the MILP formulation of the column generation subproblem enable us to optimize the modularity density for famous test instances including Graph, Dolphins, Les Misérables and A00 main in addition to Protein p53, which have not yet been solved. Instances with over 100 vertices are solved with a proof of optimality in around four minutes by a PC. Our solution method is deterministic and the computation time is not affected by any stochastic behavior.

The rest of the paper is organized as follows: in Section 2, we present the set-partitioning formulation of the modularity density maximization and column generation for that, referring to the recently proposed IQP formulation of the column generation subproblem by de Santiago and Lamb [26]. In Section 3, we propose a solution framework based on branch-and-price. It includes a MILP formulation of the column generation subproblem as well as the set-covering relaxation and the multiple-cutting-planes-at-a-time acceleration techniques. In Section 4, we report numerical experiments on the proposed framework. Finally, conclusions and future work are presented in Section 5.

2 Set-partitioning and column generation at root node

2.1 Set-partitioning ILP formulation

Any feasible solution to the modularity density maximization as well as the modularity maximization is a partition of the vertex set. Hence, as it was done to the modularity maximization by Aloise et al. [1], we can regard the modularity density maximization as the set-partitioning problem. The problem is widely formulated as an ILP problem.

The set of all possible communities is $2^V \setminus \{\emptyset\}$, and we let it be \mathcal{C} . Any possible community $C \in \mathcal{C}$ satisfies $\emptyset \subsetneq C \subseteq V$, i.e., C consists of some members of V. Given $C \in \mathcal{C}$, its contribution f_C to the modularity density is calculated by

$$f_C = \frac{4|E(C)| - \sum_{i \in C} d_i}{|C|}.$$

Let constant a_{iC} be one if vertex $i \in V$ is in possible community $C \in C$ and be zero otherwise. Also, we let u_C be a binary variable indicating whether $C \in C$ is selected for a community or not. Then the set partitioning formulation (P) of the modularity density maximization is as follows:

$$(\mathbf{P}) \left| \begin{array}{c} \max & \sum_{C \in \mathcal{C}} f_C u_C \\ \text{s.t.} & \sum_{C \in \mathcal{C}} a_{iC} u_C = 1 & \forall i \in V \\ & u_C \in \{0, 1\} & \forall C \in \mathcal{C}. \end{array} \right.$$

The main advantage of this approach is that we do not need to give the optimal

^{*2} More accurately, they presented the set-covering relaxation since they aimed to solve a minimization problem.

60

number of communities in advance.

2.2 Subproblem as IQP in column generation at root node

It is natural to rely on column generation to solve (P) since |C|, which is equivalent to the number of variables, becomes extremely large as the number of vertices *n* gets larger. This makes the problem intractable. Here let us introduce what we call column generation "at the root node," which has also been presented by de Santiago and Lamb [26] quite recently. In the column generation process, (P) is called the master problem, and a restricted master problem of (P) is commonly given by substituting subset of *C* and continuously relaxed $u_{\mathcal{C}}$. Let $\ell \in \{1, 2, \ldots, \}$ be an iteration counter of the column generation, and the restricted master problem at the root node $(\operatorname{RP}_{(\ell)})$ is given by

$$(\mathrm{RP}_{(\ell)}) \left| \begin{array}{c} \max & \sum_{C \in \mathcal{C}_{(\ell)}} f_C u_C \\ \text{s.t.} & \sum_{C \in \mathcal{C}_{(\ell)}} a_{iC} u_C = 1 \quad \forall i \in V \\ u_C \ge 0 \quad \forall C \in \mathcal{C}_{(\ell)} \end{array} \right|$$

where $C_{(\ell)} \subseteq C$ for each ℓ . Possible community $C \in C$ is called a column in this context. Let $(\mathrm{RD}_{(\ell)})$ be the dual of $(\mathrm{RP}_{(\ell)})$ and λ_i for vertex $i \in V$ be the dual variable. Then the problem is written as

$$(\mathrm{RD}_{(\ell)}) \left| \begin{array}{cc} \min. & \sum_{i \in V} \lambda_i \\ \mathrm{s.t.} & \sum_{i \in V} a_{iC} \lambda_i \geq f_C \quad \forall C \in \mathcal{C}_{(\ell)} \\ & \lambda_i \in \mathbb{R} \quad \forall i \in V. \end{array} \right.$$

Note that de Santiago and Lamb [26] have generated 30 columns to form the initial column set $C_{(1)}$ by heuristics that has stochastic behavior.

In the column generation process, we solve $(\operatorname{RP}_{(\ell)})$ or $(\operatorname{RD}_{(\ell)})$ for each ℓ , and try to generate column $\widehat{C} \in \mathcal{C} \setminus \mathcal{C}_{(\ell)}$ which has the possibility of improving the objective value of $(\operatorname{RP}_{(\ell)})$ or equivalently cutting the optimal solution to $(\operatorname{RD}_{(\ell)})$ by adding \widehat{C} to $\mathcal{C}_{(\ell)}$. We define $\lambda_{i,(\ell)}^*$ for $i \in V$ as the dual price of the constraint for i at an optimal solution to $(\operatorname{RP}_{(\ell)})$ or as an optimal solution to $(\operatorname{RD}_{(\ell)})$. Let us focus on the dual problem, and column $\widehat{C} \in \mathcal{C} \setminus \mathcal{C}_{(\ell)}$ to cut the optimal solution must satisfy the following inequality:

$$\sum_{i \in V} a_{i\widehat{C}} \lambda^*_{i,(\ell)} < f_{\widehat{C}}.$$

Now let us introduce binary variable x_i which takes one if i belongs to a column to be added and zero otherwise. The vector of x_i 's is denoted by x. Then the search for such a column called the column generation subproblem at the root node $(S_{(\ell)})$ is given by | find $x \in \{0,1\}^V \setminus \{0^V\}$

$$(\mathbf{S}_{(\ell)}) \quad \text{ such that } \quad \frac{4\sum_{\{i,j\}\in E} x_i x_j - \sum_{i\in V} d_i x_i}{\sum_{i\in V} x_i} - \sum_{i\in V} \lambda_{i,(\ell)}^* x_i > 0$$

To find any solution to this problem, de Santiago and Lamb [26] have presented different stochastic heuristics. In case of the failure, they have given

the following equation:

$$\frac{4\sum_{\{i,j\}\in E} x_i x_j - \sum_{i\in V} d_i x_i}{\sum_{i\in V} x_i} - \sum_{i\in V} \lambda_{i,(\ell)}^* x_i} = \frac{4\sum_{\{i,j\}\in E} x_i x_j - \sum_{i\in V} d_i x_i - \sum_{i\in V} \sum_{i'\in V} \lambda_{i,(\ell)}^* x_i x_{i'}}{\sum_{i\in V} x_i}$$

and have focused on its numerator. They have introduced variable w_{ij} for each $(i, j) \in E$ which takes one if $x_i = x_j = 1$ and zero otherwise, and have defined the exact formulation of the subproblem at the root node as the following IQP:

$$(\mathbf{S}_{(\ell)}^{\mathsf{IQP}}) \left| \begin{array}{c} \max. & 4\sum_{\{i,j\}\in E} w_{ij} - \sum_{i\in V} d_i x_i - \sum_{i\in V} \sum_{i'\in V} \lambda_{i,(\ell)}^* x_i x_{i'} \\ \\ \text{s.t.} & w_{ij} \leq x_i \qquad \forall \{i,j\}\in E \\ & w_{ij} \leq x_j \qquad \forall \{i,j\}\in E \\ & x_i \in \{0,1\} \quad \forall i\in V \\ & w_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall \{i,j\}\in E. \end{array} \right.$$

They have called the problem (AP-II), and have solved it to optimality. Note that (S_{ℓ}^{IQP}) is a maximization problem and therefore that $w_{ij} = 1$ holds when $x_i = x_j = 1$ at an optimal solution. Although its objective function is non-convex, it can be cast as an equivalent convex programming problem (refer, for instance, to Billionnet and Elloumi [3]). Several solvers automatically perform the conversion, hence can handle (S_{ℓ}^{IQP}) .

If any x is found that satisfies the condition of $(S_{(\ell)})$, set $\widehat{C} := \{i \in V \mid x_i = 1\}$ is identified as a new, generated column. It is added to $C_{(\ell)}$, which forms $C_{(\ell+1)}$. Then $(\operatorname{RP}_{(\ell)})$ or $(\operatorname{RD}_{(\ell)})$ for $\ell + 1$ is solved. In the former problem, the variable $u_{\widehat{C}}$ as well as the column vector $[a_{i\widehat{C}}]_{i\in V}^{\top}$ has been generated. In the latter problem, the constraint $\sum_{i\in V} a_{i\widehat{C}}\lambda_i \ge f_{\widehat{C}}$, which can be regarded as a cutting plane, has been added. If there is no such x, we have an optimal solution to the LP relaxation of (P). For each of the instances which have been solved by de Santiago and Lamb [26], the solution is integral, thereby indicating that it is an optimal solution to the modularity density maximization.

3 Branch-and-price with acceleration techniques

3.1 Branch-and-price framework

Let us consider the possibility, for a particular unsolved instance, that the column generation at the root node presented in the previous section provides a fractional solution. Then the solution is of course infeasible in terms of the original ILP problem, or an integral solution obtained by solving the ILP setpartitioning problem given the set of columns which have been generated until then has not been proven to be exactly optimal in general. This possibility necessitates a branch-and-price framework, or column generation combined with branch-and-bound.

We follow the standard "identical restrictions on subsets" branching rule for the set-partitioning problem by Barnhart et al. [2], which dates back to Ryan and Foster [24]. Let $b \in \{0, 1, ..., \}$ be a node ID of the branch-and-bound tree where 0 denotes the root node, 2b' + 1 the left branch node of tree node b' and 2b' + 2 the right branch node. An unvisited node set of the tree during the branch-and-bound process is denoted by B. At tree node b, we define $\overline{W_b}$ as $\overline{W_b} \subseteq \{\{i, i'\} \mid i, i' \in V\}$, i.e., a subset of all unordered pairs of the graph vertices. When $\{i_1, i_2\} \in \overline{W_b}$, we impose the left branching rule that i_1 and i_2 must belong to an identical possible community. Similarly, we define W_b and impose the right branching rule for $\{i_1, i_2\} \in W_b$ that i_1 and i_2 must belong to a different possible community.

3.2 Set-packing relaxation of restricted master

Straightforward column generation applied to the set-partitioning problem unfortunately requires much computation time for large instances due to degeneracy (in the LP context), as Lübbecke and Desrosiers [20] pointed out. For a set-partitioning-based minimization problem in the field of scheduling, Sato and Fukumura [27] gave the set-covering relaxation to overcome the disadvantage. This technique first replaces the set-partitioning constraint with the set-covering constraint for all elements of the set. When the column generation converges, the technique focuses on the solution to the set-coveringrelaxed LP and the set-covering-relaxed constraint set. For each element of the set, the constraint is reset if the value of its left-hand side exceeds that of its right-hand side, and then the column generation process is resumed. It is repeated until the column generation for a combination of the set-partitioning and the set-covering constraints converges and all the elements are exactly covered. Although this approach is much simpler than stabilized column generation proposed by Merle et al. [21], it contributed to enough computation time reduction for their scheduling problem instances.

In this study, we apply the set-packing relaxation to the set-partitioning problem (P) in our branch-and-price framework (since we discuss a maximization problem). We expect that the contribution of the majority of communities detected as an optimal solution will take a positive value, and therefore the set-packing constraint will suffice for a large part of the vertices. Let (b, ℓ) be the ℓ -th iteration at branch-and-bound tree node b. We also let $\mathcal{C}_{(b,\ell)}$ and $V_{(b,\ell)}^{=}$ be subsets of \mathcal{C} and V, respectively. Then we define the set-packing relaxation $(\operatorname{RP}_{(b,\ell)}^{\leq})$ as follows:

$$(\mathrm{RP}_{(b,\ell)}^{\leq}) \begin{vmatrix} \max & \sum_{C \in \mathcal{C}_{(b,\ell)}} f_C u_C \\ \text{s.t.} & \sum_{C \in \mathcal{C}_{(b,\ell)}} a_{iC} u_C = 1 \quad \forall i \in V_{(b,\ell)}^{=} \\ & \sum_{C \in \mathcal{C}_{(b,\ell)}} a_{iC} u_C \leq 1 \quad \forall i \in V \setminus V_{(b,\ell)}^{=} \\ & u_C \geq 0 \quad \forall C \in \mathcal{C}_{(b,\ell)}. \end{vmatrix}$$

We should note here, for every (b, ℓ) , that $\mathcal{C}_{(b,\ell)}$ must not contain any column which does not satisfy the left and right branching rule given by $\overline{W_h}$ and W_h .

Let us recall here the original set-partitioning problem (P) and consider the following problem $(P_{(b,\ell)})$ that substitutes $C_{(b,\ell)}$ for C:

$$(\mathbf{P}_{(b,\ell)}) \begin{vmatrix} \max & \sum_{C \in \mathcal{C}_{(b,\ell)}} f_C u_C \\ \text{s.t.} & \sum_{C \in \mathcal{C}_{(b,\ell)}} a_{iC} u_C = 1 & \forall i \in V \\ u_C \in \{0,1\} & \forall C \in \mathcal{C}_{(b,\ell)}. \end{cases}$$

If the problem is feasible, which is expected to be true for $\mathcal{C}_{(b,\ell)}$ consisting of a sufficient amount and variations of columns, its optimal value is clearly a lower bound of (P).

3.3 MILP subproblem and multiple cutting planes as columns

Let $(\mathrm{RD}_{(b,\ell)}^{\leq})$ be the dual of $(\mathrm{RP}_{(b,\ell)}^{\leq})$ and λ_i for vertex $i \in V$ be the dual variable. Then the problem is written as

$$(\mathrm{RD}_{(b,\ell)}^{\leq}) \begin{vmatrix} \min & \sum_{i \in V} \lambda_i \\ \text{s.t.} & \sum_{i \in V} a_{iC} \lambda_i \geq f_C \quad \forall C \in \mathcal{C}_{(b,\ell)} \\ & \lambda_i \in \mathbb{R} \quad \forall i \in V_{(b,\ell)}^{=} \\ & \lambda_i \geq 0 \quad \forall i \in V \setminus V_{(b,\ell)}^{=}. \end{cases}$$

We can see that the set-packing relaxation restricts the dual variables in sign, and removes the restriction for a subset of V at some (b, ℓ) . Such techniques are also reviewed in Lübbecke and Desrosiers [20].

We define $\lambda^*_{i,(b,\ell)}$ for $i \in V$ as the dual price of the constraint for i at an optimal solution to $(\operatorname{RP}_{(b,\ell)}^{\leq})$ or as an optimal solution to $(RD_{(b,\ell)}^{\leq})$. Then the column generation subproblem $(S_{(b,\ell)})$ is given by find $\boldsymbol{x} \in \{0,1\}^V \setminus \{0^V\}$ such that $\frac{4\sum_{\{i,j\}\in E} x_i x_j - \sum_{i\in V} d_i x_i}{\sum_{i\in V} x_i} - \sum_{i\in V} \lambda_{i,(b,\ell)}^* x_i > 0$ $(\mathbf{S}_{(b,\ell)})$ $x_{i_1} - x_{i_2} = 0 \quad \forall \{i_1, i_2\} \in \overline{W_b}$

 $\Big| \qquad x_{i_1}+x_{i_2}\leq 1 \quad \forall \{i_1,i_2\}\in \underline{W_b}.$ Note that the last two constraints correspond to the branching rule. The former constraint indicates, for a pair of vertices in $\overline{W_b}$, that any column to be generated is not allowed to contain exactly either one of them since they must belong to an identical possible community. The latter constraint shows, for a pair in W_b , that any column to be generated is not allowed to contain the both at the same time since they must belong to a different possible community.

Adding not merely one column, or one cutting plane, but multiple ones at (b, ℓ) which may complement well each other will more likely contribute to fast convergence of the whole column generation process. Izunaga and Yamamoto [15] introduced the multiple-cutting-planes-at-a-time technique for its column generation subproblem of the modularity maximization. This technique first solves the original subproblem and obtain a column. It then removes the vertices included in the column from the whole vertex set of the subproblem, and solves the subproblem again. This procedure is repeated until the subproblem does not provide any column which may improve the objective function value of the corresponding restricted master problem or all the vertices are removed. This simple approach dramatically improved computation time of the modularity maximization for large instances solved in their paper.

We solve $(S_{(b,\ell)})$ by formulating it as a MILP problem, and apply the multiple-cutting-planes-at-a-time technique to the formu $(\mathbf{S}^{\mathsf{MILP}}_{(b,\ell,q)})$

x

lation. Let $q \in \{1, 2, ..., \}$ be an iteration counter of finding a column and (b, ℓ, q) be the q-th iteration at (b, ℓ) . We give the column generation optimization subproblem $(S_{(b,\ell,q)}^{\mathsf{MLP}})$ below: $\max. 4 \sum_{\{i,j\}\in E} w_{ij} - \sum_{i\in V} d_i y_i - \sum_{i\in V} \lambda_{i,(b,\ell)}^* x_i \qquad (1)$

s.t.
$$\sum_{i \in V} y_i = 1$$
(2)
$$0 < s - y_i < 1 - x_i \quad \forall i \in V$$
(3)

$$0 \le s - y_i \le 1 - x_i \quad \forall i \in V \tag{3}$$
$$y_i \le x_i \quad \forall i \in V \tag{4}$$

$$w_{ij} \le y_i \qquad \forall \{i, j\} \in E \tag{5}$$

$$w_{ij} \le y_j \qquad \forall \{i, j\} \in E \tag{6}$$

$$x_{i_1} - x_{i_2} = 0 \qquad \forall \{i_1, i_2\} \in \overline{W_b}$$

$$\tag{7}$$

$$i_{i_1} + x_{i_2} \le 1 \qquad \forall \{i_1, i_2\} \in \underline{W_b}$$
(8)

$$x_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \in V \setminus V^0_{(b,\ell,q)} \tag{9}$$

$$x_i = 0 \qquad \forall i \in V^0_{(b,\ell,q)}$$
(10)
$$y_i \ge 0 \qquad \forall i \in V$$
(11)

$$w_{ij} \in \mathbb{R} \qquad \forall \{i, j\} \in E \tag{12}$$

s \in \mathbb{R} \tag{13}

To discuss the relationship between $(S_{(b,\ell)})$ and $(S_{(b,\ell,q)}^{\mathsf{MILP}})$, let us consider the case with q = 1, which means $V_{(b,\ell,q)}^0 = \emptyset$. The constraints (3), (4), (9), (11) and (13) imply that $y_i = sx_i$ holds; if $x_i = 1$ then $s = y_i$ and otherwise $0 \le y_i \le x_i = 0$. This fact along with the constraint (2) implies $s = 1/\sum_{i \in V} x_i$, and therefore $y_i = x_i/\sum_{i \in V} x_i$ holds. Note that $x_i = 0$ for all $i \in V$ is not a feasible solution. From the constraints (5), (6) and (12) as well as the objective function to be maximized, $w_{ij} = \min\{y_i, y_j\}$ holds at an optimal solution to the problem or to its linear relaxation problem, which is equivalent to $w_{ij} = x_i x_j / \sum_{i \in V} x_i$. Hence we can say that solving $(S_{(b,\ell,q)}^{\mathsf{MILP}})$ answers $(S_{(b,\ell)})$ for q = 1, and we can find another solution, if it exists, for $q \ge 2$ (which means $V_{(b,\ell,q)}^0 \neq \emptyset$). If two or more columns are generated by this approach, they have no common vertex. Hence, we expect that these columns will coexist in a good feasible solution of the original or the LP relaxation of the set-partitioning/set-packing problem.

3.4 Overall procedure

Our branch-and-price approach is displayed in Procedure 1. Subroutine 1 is called from the main procedure, and Subroutine 2 is done from the preceding subroutine. Operations 1 and 2 of Procedure 1 are initialization. Let $V^{=}$ be a subset of V and also let $i \in V^{=}$ denote that the constraint for i is the set-partitioning one at the beginning of the column generation for each b. If we substitute $V^{=} := V$ for $V^{=} := \emptyset$, then the restricted master problem has the standard set-partitioning constraints only. Two symbols Π and ${\tt LB}$ indicate an incumbent solution and its objective value, respectively. In our numerical experiments carried out in Section 4, we take $C_{(0,1)} := \{\{i\} \mid i \in V\}$ as the initial set of columns. Also, we pick branch-and-bound tree node b according to a depth-first rule at Operation 4. The left node is chosen before the right node is done. At Operation 5, Subroutine 1 returns fully generated column set $C_{(b,\ell)}$ as well as upper and lower bound information on $(P_{(b,\ell)})$. An optimal solution vector to the linear relaxation problem of $(P_{(b,\ell)})$ and its objective value are denoted by u^{U_b*} and UB_b . Similarly, a lower bound solution vector to $(P_{(b,\ell)})$ and its objective value are given by u^{L_b*} and LB_b . The set $V^{=}$ is also updated in the subroutine. The vector u^{L_b*} is integral, whereas u^{U_b*} is

Procedure1BRANCH-AND-PRICE-TO-DENSITY-MAXIMIZATION(G)

1:
$$B := \{0\}, (\overline{W_0}, \underline{W_0}) := (\emptyset, \emptyset), V^{=} := \emptyset, (\Pi, LB) := (\emptyset, -\infty)$$

2: $C_{(0,1)}$:= initial set of columns

3: while $B \neq \emptyset$ do

4: *b* := *B*.removeone() according to any branch-and-bound node selection rule

:= Set-packing-	$(\mathcal{C}_{(b,\ell)}, oldsymbol{u}^{ ext{U}_{b}st}, ext{UB}_{b}, oldsymbol{u}^{ ext{L}_{b}st}, ext{LB}_{b}, V^{=})$	5:
	RELAXATION $(G, b, \overline{W_b}, W_b, \mathcal{C}_{(b,1)}, V^=)$	
⊳ (bounding)	if $UB_b < LB$ then	6:
	continue	7:
▷ (new incumbent solution)	if $LB_b > LB$ then	8:
1, LB _b)	$(\Pi, LB) := (\{C \in \mathcal{C}_{(b,\ell)} \mid u_C^{L_b*} =$	9:
⊳ (branching)	if $UB_b > LB_b$ then	10:
that $a_{iC}, a_{iC'}, a_{i'C'} = 1$,	$\{i_1, i_2\} := any \{i, i'\} \in V^2$ such	11:
$C, C' \in \mathcal{C}_{(b,\ell)}$	$a_{i'C} = 0, 0 < u_C^{\mathbb{U}_b*}, u_{C'}^{\mathbb{U}_b*} < 1$ for some C	
$\{u_{k}\}$ W_{k}	$(\overline{W_{2l+1}}, W_{2l+1}) := (\overline{W_l} + \{i_1, i_2\})$	12.

$$\begin{array}{ccc} 12. & (w_{2b+1}, \underline{w_{2b+1}}) := (w_b \cup \{i_1, i_2\}, \underline{w_b}) \\ 13: & \mathcal{C}_{(2b+1,1)} := \{C \in \mathcal{C}_{(b,\ell)} \mid (i_1 \in C \land i_2 \in C) \lor (i_1 \notin C \land i_2 \notin C)\} \\ & C))\} \end{array}$$

14:
$$(\overline{W_{2b+2}}, W_{2b+2}) := (\overline{W_b}, \underline{W_b} \cup \{i_1, i_2\})$$

15: $\begin{array}{cc} \mathcal{C}_{(2b+2,1)} & \overline{:= \{C \in \mathcal{C}_{(b,\ell)} \mid i_1 \notin C \lor i_2 \notin C\}} \\ 16: & B.\mathrm{add}(2b+2,2b+1) \end{array}$

17: **return** П

fractional if $UB_b > LB_b$ holds, i.e., there is a gap between the upper and lower bound. Operation 11 starts the branching scheme described in Subsection 3.1. In our experiments, we simply search the relevant lists from their heads. We first do the vector list u^{U_b*} from its head, and add the corresponding column to a temporal list for each variable whose value is fractional. Next, for the double loop of the temporal list and for the vertex set list, we check if the currently selected vertex is contained in both of the currently selected column pair or in only one of them. At Operations 13 and 15, we prepare initial column sets $C_{(2b+1,1)}$ and $C_{(2b+2,1)}$ for nodes 2b + 1 and 2b + 2, respectively. Only the columns satisfying the "identical restrictions on subsets" branching rule are selected. When the whole procedure terminates, Π is output as an optimal solution

Subroutine 1 corresponds to the content of Subsection 3.2. At Operation 1, we let the set $V_{(b,1)}^{=}$ which appears in the restricted master problem $(\operatorname{RP}_{(b,\ell)}^{\leq})$ be $V^{=}$. After solving the restricted master problem at Operation 3, we let u^* and $\lambda^*_{(b,\ell)}$ be its optimal primal and dual solution vectors at Operation 4. We solve $(\operatorname{RP}_{(b,\ell)}^{\leq})$ by an optimization solver in our numerical experiments. Note that an interior point method is applied to this problem according to an indication by Vanderbeck [28] that fewer iterations are required for column generation to terminate if an analytic center of the optimal face is provided as the solution. At Operation 5, columns are generated by Subroutine 2 and the generated column set is denoted by $\widehat{\mathcal{C}}$. If any column is generated, then we update the column set of $(\operatorname{RP}_{(b,\ell)}^{\leq})$ and solve it again. Otherwise, we define set \widehat{V} and focus on each of the set-packing constraint set as well as the solution value u^* at Operation 11. If the value of its left-hand side is less than that of its right-hand side, the vertex index which corresponds to such constraint is collected in \widehat{V} . We make the set-packing constraint for each of the elements of \widehat{V} the equality one, and go to Operation 3. If \widehat{V} is empty, then it shows that all the vertices are exactly covered. Recall here that \widehat{C} is also empty at this iteration, i.e., there is no unknown column which may contribute to the improvement of the objective value of $(\operatorname{RP}_{(h \ \ell)}^{\leq})$. The two facts indicate the convergence of the

1:	$\ell := 1, V_{(b,1)}^{=} := V^{=}$
2:	loop
3:	Solve $(\operatorname{RP}_{(b,\ell)}^{\leq})$
4:	$(oldsymbol{u^*},oldsymbol{\lambda^*_{(b,\ell)}}):=$ primal and dual optimal solution to $(\mathrm{RP}^{\leq}_{(b,\ell)})$
5:	$\widehat{\mathcal{C}} := $ Multiple-cutting-planes $(G, b, \overline{W_b}, \underline{W_b}, \ell, \lambda^*_{(b,\ell)})$
6:	if $\widehat{\mathcal{C}} \neq \varnothing$ then
7:	$\mathcal{C}_{(b,\ell+1)} := \mathcal{C}_{(b,\ell)} \cup \mathcal{C}$
8:	$V^{=}_{(b,\ell+1)} := V^{=}_{(b,\ell)}$
9:	$\ell := \ell + 1$
10:	else
11:	$\widehat{V} := \{i \in V \setminus V^{=}_{(b,\ell)} \mid \sum_{C \in \mathcal{C}_{(b,\ell)}} a_{iC} u^{*}_{C} < 1\}$
12:	if $\widehat{V} eq arnothing$ then
13:	$V^{=}_{(b,\ell+1)} := V^{=}_{(b,\ell)} \cup \widehat{V}$
14:	$\ell := \ell + 1$
15:	else
16:	$V^{=} := V^{=}_{(b,\ell)}$
17:	$(\boldsymbol{u}^{\mathbb{U}_{\boldsymbol{b}}*},\mathbb{U}\mathbb{B}_{b}):=$ objective solution and value of $(\mathrm{RP}^{\leq}_{(b,\ell)})$
18:	if $u_C^{\mathbb{U}_b*} \in \{0,1\} \;\; orall C \in \mathcal{C}_{(b,\ell)}$ then
19:	$(oldsymbol{u}^{{}_{\mathrm{\boldsymbol{b}}}oldsymbol{s}},{}_{\mathrm{\boldsymbol{L}}\mathrm{B}_b}):=(oldsymbol{u}^{{}_{\mathrm{\boldsymbol{U}}}oldsymbol{b}},{}_{\mathrm{\boldsymbol{U}}\mathrm{B}_b})$
20:	else
21:	Solve $(P_{(b,\ell)})$
22:	(u^{L_b*}, L_b) := objective solution and value of $(P_{(b,\ell)})$
23:	return $(\mathcal{C}_{(b,\ell)}, u^{\mathbb{U}_{b}*}, \mathbb{UB}_{b}, u^{\mathbb{L}_{b}*}, \mathbb{LB}_{b}, V^{=})$

Subroutine 1 SET-PACKING-RELAXATION $(G, b, \overline{W_b}, W_b, \mathcal{C}_{(b,1)}, V^=)$

Subroutine 2	MULTIPLE-CUTTING
$PLANES(G, b, \overline{W_b}, \underline{W_b}, \ell, \boldsymbol{\lambda^*_{(b,\ell)}})$	
$1: q := 1, V^0_{(b,\ell,1)} := \varnothing, \widehat{\mathcal{C}} := \varnothing$	
2: loop	
3: Find any solution \hat{x} to $(S_{(b,\ell,q)}^{MILP})$ with points	ositive objective value
4: if \hat{x} is found then	
5: $\widehat{\mathcal{C}} := \widehat{\mathcal{C}} \cup \{\{i \in V \setminus V^0_{(b,\ell,q)} \mid \widehat{x}_i =$	= 1}}
6: $V^0_{(b,\ell,q+1)} := V^0_{(b,\ell,q)} \cup \{i \in V \setminus V\}$	$V^{0}_{(b,\ell,q)} \mid \hat{x}_{i} = 1\}$
7: $q := q + 1$	())])
8: else	
9: return \widehat{C}	

column generation at the branch-and-bound tree node b, and the upper bound of $(P_{(b,\ell)})$ is obtained at Operation 17. If u^{U_b*} is an integral solution, then we have fortunately found the optimal solution to $(P_{(b,\ell)})$ at b. There is no gap between the upper and lower bound. Otherwise, we solve $(P_{(b,\ell)})$ to find an integral solution at Operation 21. The problem is also solved to optimality by the optimization solver. Finally, the column set at the termination of the column generation, the upper bound solution as well as its objective value and the lower bound solution as well as its objective value at the branch-and-bound tree node are output.

The content of Subsection 3.3 is coded in Subroutine 2. At Operation 1, let $\widehat{\mathcal{C}}$ be a set to which we add new columns. At Operation 3, the column generation MILP subproblem $(S_{(b,\ell,q)}^{MILP})$ is solved by the optimization solver in our numerical experiments. Note that any solution to $(S^{\mathsf{MLP}}_{(b,\ell,q)})$ with a positive objective value, denoted by \hat{x} , suffices as a new column to be added to $(\operatorname{RP}_{(b,\ell)}^{\leq})$. We add, in our experiments, the first incumbent solution with a positive objective value found in the branch-and-bound process of the MILP. Here it is fair not to rely heavily on heuristics implemented in the solver to find a feasible mixed integer solution, hence we tune its parameters and expect an LP optimal

Table 1 Instances.					
ID	Name	n	m	Best-known	
				$D(\Pi)$, $ \Pi $	
01	Strike	24	38	8.86111, 4•	
02	Galesburg F	31	63	8.28571, 3°	
03	Galesburg D	31	67	6.92692, 3 •	
04	Karate	34	78	7.8451 , 3°	
05	Korea 1	35	69	10.9667 , 5•	
06	Korea 2	35	84	11.143 , 5•	
07	Mexico	35	117	8.71806, 3 •	
08	Sawmill	36	62	8.62338, 4•	
09	Dolphins small	40	70	13.0519 , 8•	
10	Journal index	40	189	17.8 , 4•	
11	Graph	60	114	9.57875, 7	
12	Dolphins	62	159	12.1252 , 5•	
13	Les Misérables	77	254	24.5339 , 9	
14	A00 main	83	125	13.3731 , 11	
15	Protein p53	104	226	12.9895 , 8	
16	Political books	105	441	21.9652 , 7•	
17	Adjnoun	112	425	7.651 , 2	
18	Football	115	613	44.340 , 10	

T.1.1. 1

: proven optimal solution.

solution satisfying the integral constraint at a branch-and-bound tree node of the MILP. This approach requires less computation time than searching for an optimal solution. On the other hand, it may increase the total number of the column generation iterations ℓ . This discussion will be meaningless if there exists no solution with a positive objective value; in such case we have to optimize $(S^{\text{MILP}}_{(b,\ell,q)})$ to prove the nonexistence. After solving $(S^{\text{MILP}}_{(b,\ell,q)})$ we remove all the element of \widehat{x} from the formulation, and solve the problem again. We get out of the loop if there exists no solution with a positive objective value or all the vertices in V are removed. The set of columns to be added at the next column generation iteration is returned as the output.

4 Numerical Results

Instances and computational environment 4.1

We solve several real graph instances seen in the literature by our exact branch-and-price approach. For comparison, we also solve them by the best MILP formulation called MDB by Costa [5], and by our branch-and-price algorithm in which the column generation subproblem is $(S_{(\ell)}^{IQP})$ modeled by de Santiago and Lamb [26] with the branching constraints (7) and (8). We calculate the upper bound value of the contribution of a community required as input of MDB by the parametric algorithm by Dinkelbach [9], as Izunaga et al. [14] did.

Table 1 summarizes the instances. They are from Costa [5] (IDs 01-10), Costa et al. [6] (IDs 11, 13-15), de Santiago and Lamb [26] (IDs 12, 16) and Santiago and Lamb [25] (IDs 17, 18), respectively. For each proven optimal (IDs 01-10, 12, 16) or best-known heuristic (IDs 11, 13-15, 17, 18) solution, its objective value and the number of detected communities are indicated as "Best-known $D(\Pi)$ " and "Best-known $|\Pi|$."

The programs are implemented in Python 3.5.2, calling the Python API of Gurobi Optimizer 7.0.2 (developed by Gurobi Optimization [13]) to solve

Table 2	So	Solutions by our approach				
ID	# b	Optimal				
		$D(\Pi)$,	$ \Pi $			
01	1	8.86111,	4			
02	1	8.28571,	3			
03	1	6.92692,	3			
04	1	7.84510,	3			
05	1	10.96667,	5			
06	1	11.14301,	5			
07	1	8.71806,	3			
08	1	8.62338,	4			
09	1	13.05195,	8			
10	1	17.80000,	4			
11	1	9.75238,	7*			
12	1	12.12523,	5			
13	1	24.54744,	8*			
14	1	13.48249,	12*			
15	5	13.21433,	9*			
16	1	21.96515,	7			
17		_>				
18		_				
*: newly found solution						

*: newly found solution.

[◊]: timeout of 3,600 seconds.

the LP, ILP, MILP and IQP problems. The instances are solved on a 64-bit Windows 10 PC having a Core i7-6700 CPU (fore cores, eight threads, 3.4–4.0 GHz) and 32 GB RAM (the actual usage is less than 3 GB). We stop the algorithms after 3,600 seconds (one hour) if the corresponding instance is not solved within the time limit. In a case where our Procedure 1 reaches the limit, we collect all columns generated until then and solve $(P_{(b,\ell)})$, giving a lower bound solution.

4.2 Solved instances

Table 2 shows an optimal modularity density value and the corresponding number of communities obtained by our Procedure 1 for each instance. We let '#b' in the table be the number of branch-and-bound tree nodes processed. We have found new and optimal solutions for Graph (ID 11), Les Misérables (ID 13), A00 main (ID 14) and Protein p53 (ID 15) instances. Above all, the result for the last instance is remarkable; the column generation at the root node of the branch-and-bound tree has provided a fractional upper bound solution and five branch-and-bound tree nodes have been processed. Figure 1 shows the branch-and-bound tree. This result justifies the necessity of our branch-and-price approach. The instances having up to 105 vertices have been solved. Instances IDs 17 and 18, which consist of 112 and 115 vertices respectively, have been shown to be intractable after 3,600 seconds of the computation.

4.3 Computation time

The computation time depending the solution methods is summarized in Table 3. The symbol 'MDB' means the best formulation by Costa [5], 'BP-($S^{\text{IQP}}_{(\ell)}$)' our branch-and-price approach combined with the column generation subproblem formulation by de Santiago and Lamb [26] and 'BP-($S^{\text{MLP}}_{(b,\ell,q)}$)' our approach with the MILP subproblem formulation. In the last approach, 'SRP'/'No-SRP' and 'MCP'/'No-MCP' indicate that the set-packing relaxation and the multiple-cutting-planes-at-a-time techniques are en-



Fig. 1 Branch-and-bound tree of Protein p53 instance (ID 15).

Table 3	Computation	time (in	seconds)
14010 5	compatition	unie (m	seconds)

ID	MDB	$BP-(S_{(\ell)}^{IQP})$	$BP-(S_{(b,\ell,q)}^{MILP})$			
		SPR	SPR	SPR	No-SPR	No-SPR
		MCP	MCP	No-MCP	MCP	No-MCP
01	0.6	0.9	0.4	0.3	1.0	1.5
02	0.5	3.7	0.7	0.6	3.4	5.0
03	1.1	4.5	1.0	1.0	4.8	7.3
04	0.5	4.3	1.3	1.0	7.9	8.9
05	8.8	11.3	1.0	0.9	6.0	10.8
06	88.1	3.8	1.3	1.2	6.2	10.0
07	9.6	12.5	3.2	3.5	11.9	20.7
08	3.4	7.0	0.8	0.8	3.8	12.2
09	2848.4	15.8	0.8	0.6	5.1	15.4
10	651.0	6.4	4.7	3.1	25.3	44.3
11	_^	1194.4	5.4	7.8	46.5	190.4
12	_>	_>	18.4	18.6	84.2	419.3
13	_>	_>	71.6	60.7	154.6	335.0
14	_^	_	3.8	15.6	82.5	1436.5
15	_^	_>	223.5	134.4	1227.5	_
16	_>	_>	242.8	498.2	_>	_
17	_>	_>	_>	_>	_>	_
18	_^	_	_>	_	_	_

*: timeout of 3,600 seconds.

abled/disabled, respectively. The best result for each instance is marked in bold. Note that the computation time of MDB includes that of the upper bound calculation by the parametric algorithm, which has been solved instantly for each of all the instances. As a whole, column generation to the modularity density maximization has outperformed MDB for the instances having 40 or more vertices (IDs 09-16), and the MILP formulation of the column generation subproblem has been easier to solve than the IQP formulation has been. Note here that our branch-and-price approach as well as MDB is deterministic and the computation time is not affected by any stochastic behavior. The set-packing relaxation has dramatically reduced the computation time for the instances having 60 or more vertices (IDs 11-14) and has enabled us to solve the instances having over 100 instances (IDs 15 and 16) within the time limit. The multiplecutting-planes-at-a-time technique applied to the standard set-partitioning column generation process has been shown to be quite effective, as it was shown on the modularity maximization by Izunaga and Yamamoto [15]. On the other hand, the positive effect of this techniques when combined with the set-packing relaxation has depended on the instances. We should note, nevertheless, that the largest Political books instance (ID 16) among the successfully solved ones has been optimized in around four minutes by applying the both techniques.

Table 4 shows details of our column generation results with the MILP subproblem formulation. In this table, we let ' $\sum \ell$ ' be the total number of the column generation iterations over all the branch-and-bound tree nodes, ' $\sum |C_{(b,\ell)}|$ ' the total number of columns generated over all the nodes and

Table 4 Column generation iteration results.

ID		CG-(S	$\binom{MILP}{(b,\ell,q)}$	
	SPR	SPR	No-SPR	No-SPR
	MCP	No-MCP	MCP	No-MCP
	$(\sum \ell, \sum \mathcal{C})$	$(b,\ell) , V^{=})$	$(\sum \ell, \sum$	$\sum \mathcal{C}_{(b,\ell)})$
01	(21, 52, 1)	(34, 56, 1)	(64, 104)	(120, 143)
02	(25 , 72, 1)	(36, 65, 1)	(153, 205)	(331, 361)
03	(36 , 76 , 1)	(48, 77, 1)	(202, 260)	(432, 462)
04	(40 , 83 , 1)	(55, 87, 1)	(317, 377)	(481, 514)
05	(35 , 84 , 3)	(55, 88, 3)	(217, 295)	(562, 596)
06	(31 , 84, 1)	(45, 78 , 1)	(231, 300)	(499, 533)
07	(46 , 89 , 2)	(57, 90, 2)	(325, 384)	(635, 669)
08	(25, 87, 0)	(48, 83 , 0)	(164, 244)	(688, 723)
09	(21, 90, 0)	(47, 86 , 0)	(189, 285)	(850, 889)
10	(35, 84, 1)	(42, 80, 1)	(483, 560)	(1056, 1095)
11	(64 , 169 , 7)	(134, 192, 7)	(663, 878)	(3222, 3281)
12	(77 , 188 , 5)	(147, 207, 5)	(953, 1107)	(5140, 5201)
13	(107 , 227 , 12)	(171, 245, 12)	(809, 960)	(2925, 3001)
14	(47 , 189 , 1)	(135, 216, 1)	(907, 1145)	(10234, 10316)
15	(143 , 329 , 1)	(231, 331, 1)	(2086, 2554)	(14381, 14484)◊
16	(117, 311, 6)	(327, 430, 6)	(4497, 5372)◊	(10527, 10631)◊
17	$(112, 223, 0)^{\diamond}$	(112 , 223 , 0) [◊]	(6284, 6424)◊	(8372, 8483)◊
18	(60 , 191 , 0) [◊]	(98, 212, 0)◊	(4135, 4392)◊	(7991, 8105)◊
			♦: timeou	t of 3,600 seconds.

 $V^{=}$, the total number of vertices whose corresponding set-packing constraint has been changed to the set-partitioning constraint in the algorithm, respectively. The best result in terms of less numbers of $\sum \ell$ or $\sum |C_{(b,\ell)}|$ for each instance is marked in bold. The set-packing relaxation or the multiplecutting-planes-at-a-time technique has dramatically reduced the number of column generation iterations and generated columns. When it comes to the total number of generated columns, the positive effect of the combination of the techniques has depended on the instances. A low percentage of the vertices have required the set-partitioning constraint, which supports the set-packing relaxation. Here let us focus on the unsolved instance ID 17 even though we have applied the set-packing relaxation. With or without the multiple-cuttingplanes-at-a-time technique, $(\mathbb{RP}_{(b,\ell)}^{\leq})$ has been solved instantly for every (b,ℓ) and $(S^{\text{MLP}}_{(b,\ell,q)})$ in short time until (b,ℓ) has reached (0,111) (and for every q when we have enabled the multiple-cutting-planes-at-a-time). The column generation subproblem for $(b, \ell) = (0, 112)$ (and for q = 1), however, has not been able to find even a solution with a positive objective value in almost one hour. This is caused by the value of $\lambda^*_{i,(b,\ell)},$ i.e., the dual solution of $(\operatorname{RP}_{(b,\ell)}^{\leq})$, that is obtained by an interior point method. We have also tried a dual simplex method, which in turn has caused an extremely slow improvement of the objective value of $(\operatorname{RP}_{(b,\ell)}^{\leq})$ over (b,ℓ) . The midpoint of the two dual solution values has not resolved the issue. A similar result has been observed for instance ID 18.

Figure 2 plots, for Les Misérables instance (ID 13), the objective value of $(\mathbb{RP}_{(b,\ell)}^{\leq})$ for each iteration counter value ℓ (b = 0 since the instance has been solved to optimality at the root node). The numbers in parentheses indicates \widehat{V} in Subroutine 1, i.e., the number of vertices whose corresponding constraint has been changed from the set-packing to the set-partitioning one at $\ell + 1$. This figure clearly indicates the positive effect of the set-packing relaxation. For this case, our algorithm with the set-packing relaxation and without the multiple-cutting-planes-at-a-time has required the least computation time in spite of more iterations than that with the both techniques. That is since



Fig. 2 Column generation for Les Misérables instance (ID 13).

Table 5 Lower bound values calculated after timeout of 3,600 seconds.

ID	$\operatorname{CG-}(\operatorname{S}^{MILP}_{(b,\ell,g)})$					
	SPR	SPR	No-SPR	No-SPR		
	MCP	No-MCP	MCP	No-MCP		
17	-33.63636	-33.63636	6.63063	6.63063		
18	27.05238	13.50693	3.57018	3.57018		

 $(S_{(b,\ell,q)}^{\text{MLP}})$ is solved only once for each ℓ , whereas the multiple-cutting-planesat-a-time technique has to show that no column to be added is left for some q' after removing the vertices found at $q = 1 \dots, q' - 1$ unless no column is found at q = 1. We have observed a similar result for instance ID 15. For instance ID 13, the set-partitioning constraint set $V_{(b,\ell)}^{=}$ has been updated twice as it is depicted in the figure. We note that $V_{(b,\ell)}^{=}$ has been updated at most once for all the other solved instances.

4.4 Column generation as heuristics

For the unsolved instance IDs 17 and 18 applied to our branch-and-price framework, $(P_{(b,\ell)})$ is solved instantly after the timeout. Table 5 shows lower bounds of the objective value obtained in this way. The best result for each instance is marked in bold. These values have not exceeded those obtained by Santiago and Lamb [25]. This fact shows that the column generation is not necessarily a better heuristic method than the state-of-the-art heuristics for instances that cannot be exactly optimized.

5 Concluding Remarks

This paper has presented an exact algorithm for the modularity density maximization to provide a clustering solution of an undirected graph. The problem can be modeled as the ILP formulation of the set-partitioning problem, and we have proposed a branch-and-price framework for that. The acceleration techniques called the set-packing relaxation and the multiple-cutting-planesat-a-time, combined with the newly introduced simpler MILP formulation of the column generation subproblem which is solved repeatedly, have enabled us to find the new and optimal solutions for the famous test instances: Graph, Les Misérables, A00 main and Protein p53. Political books as well as Protein p53 instances that have over 100 vertices have been optimized in around four minutes by a PC. Our solution method is deterministic and the computation time is not affected by any stochastic behavior. For Protein p53 instance, column generation at the root node of the branch-and-bound tree has provided a fractional upper bound solution and our algorithm have found an integral optimal solution after branching, which justifies the branch-and-price.

Future work would include a combination of heuristics and our formulations with the acceleration techniques to find a column in the column generation phase for unsolved instances that have over 110 vertices. Such heuristic methods may avoid much computation time that is necessary if we try to find a column by solving our MILP or possibly any other optimization-based problems, for a given particular dual solution value of the restricted master problem. Nonetheless we must optimize the column generation subproblem expressed by any form at some iteration when we decide whether we can terminate the column generation or not. It is unclear if the optimization problem at that iteration is easy to solve.

Acknowledgments

The authors thank Alberto Costa for sharing the instance data files with them.

References

- D. Aloise, S. Cafieri, G. Caporossi, P. Hansen, S. Perron and L. Liberti, Column generation algorithms for exact modularity maximization in networks, Physical Review E, 82 (4), 046112 (2010). doi:10. 1103/PhysRevE.82.046112.
- [2] C. Barnhart, E. L. Johnson, G. L. Nemhauser, M. W. P. Savelsbergh and P. H. Vance, Branch-and-price: Column generation for solving huge integer programs, Operations Research, 46 (3), 316–329 (1998). doi:10.1287/opre.46.3.316.
- [3] A. Billionnet and S. Elloumi, Using a mixed integer quadratic programming solver for the unconstrained quadratic 0-1 problem, Mathematical Programming, Series A, 109 (1), 55–68 (2007). doi:10.1007/ s10107-005-0637-9.
- [4] A. Costa, Some remarks on modularity density (2014). arXiv:1409. 4063 [cs.SI].
- [5] A. Costa, MILP formulations for the modularity density maximization problem, European Journal of Operational Research, 245 (1), 14– 21 (2015). doi:10.1016/j.ejor.2015.03.012.
- [6] A. Costa, S. Kushnarev, L. Liberti and Z. Sun, Divisive heuristic for modularity density maximization, Computers & Operations Research, 71, 100–109 (2016). doi:10.1016/j.cor.2016.01.009.
- [7] A. Costa, T. S. Ng and L. X. Foo, Complete mixed integer linear programming formulations for modularity density based clustering, Discrete Optimization (in press). doi:10.1016/j.disopt.2017.03.002 (corrected proof, available online on April 24, 2017).

- [8] J. Desrosiers and M. E. Lübbecke, A primer in column generation, in G. Desaulniers, J. Desrosiers and M. M. Solomon eds., Column Generation, Springer, New York, the U.S., chap. 1, 1–32 (2005). doi:10. 1007/0-387-25486-2_1.
- W. Dinkelbach, On nonlinear fractional programming, Management Science, 13 (7), 492–498 (1967). doi:10.1287/mnsc.13.7.492.
- [10] S. Fortunato and M. Barthélemy, Resolution limit in community detection, Proceedings of the National Academy of Sciences, 104 (1), 36–41 (2007). doi:10.1073/pnas.0605965104.
- [11] M. Gong, Q. Cai, Y. Li and J. Ma, An improved memetic algorithm for community detection in complex networks, in Proceedings of 2012 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC), Brisbane, Australia (2012). doi:10.1109/CEC.2012.6252971.
- B. H. Good, Y.-A. de Montjoye and A. Clauset, Performance of modularity maximization in practical contexts, Physical Review E, 81 (4), 046106 (2010). doi:10.1103/PhysRevE.81.046106.
- [13] Gurobi Optimization, Gurobi Optimizer (2017). Retrieved May 11, 2017, from http://www.gurobi.com/products/ gurobi-optimizer.
- [14] Y. Izunaga, T. Matsui and Y. Yamamoto, A doubly nonnegative relaxation for modularity density maximization, Technical Report, Optimization Online (2016). Retrieved May 11, 2017, from http://www.optimization-online.org/DB_HTML/ 2016/03/5368.html.
- [15] Y. Izunaga and Y. Yamamoto, A cutting plane algorithm for modularity maximization problem, Journal of the Operations Research Society of Japan, 60 (1), 24–42 (2017). doi:10.15807/jorsj.60.24.
- [16] A.-M. Karimi-Majd, M. Fathian and B. Amiri, A hybrid artificial immune network for detecting communities in complex networks, Computing, 97 (5), 483–507 (2015). doi:10.1007/ s00607-014-0433-6.
- [17] Z. Li, S. Zhang, R.-S. Wang, X.-S. Zhang and L. Chen, Quantitative function for community detection, Physical Review E, 77 (3), 036109 (2008). doi:10.1103/PhysRevE.77.036109.
- [18] Z. Li, S. Zhang, R.-S. Wang, X.-S. Zhang and L. Chen, Erratum: Quantitative function for community detection [Phys. Rev. E 77, 036109 (2008)], Physical Review E, 91 (1), 019901 (2015). doi:10.1103/PhysRevE.91.019901.
- [19] J. Liu and J. Zeng, Community detection based on modularity density and genetic algorithm, in Proceedings of 2010 International Conference on Computational Aspects of Social Networks (CASoN), Taiyuan, China, 29–32 (2010). doi:10.1109/CASoN.2010.14.
- M. E. Lübbecke and J. Desrosiers, Selected topics in column generation, Operations Research, 53 (6), 1007–1023 (2005). doi:10.1287/ opre.1050.0234.
- [21] O. du Merle, D. Villeneuve, J. Desrosiers and P. Hansen, Stabilized column generation, Discrete Mathematics, 194 (1–3), 229–237 (1999). doi:10.1016/S0012-365X(98)00213-1.
- [22] G. L. Nemhauser and L. A. Wolsey, Integer and Combinatorial Optimization, John Wiley & Sons, New York, the U.S. (1999).

- [23] M. E. J. Newman and M. Girvan, Finding and evaluating community structure in networks, Physical Review E, 69 (2), 026113 (2004). doi:10.1103/PhysRevE.69.026113.
- [24] D. M. Ryan and B. A. Foster, An integer programming approach to scheduling, in A. Wren ed., Computer Scheduling of Public Transport: Urban Passenger Vehicle and Crew Scheduling, North-Holland, Amsterdam, the Netherlands, 269–280 (1981).
- [25] R. Santiago and L. C. Lamb, Efficient modularity density heuristics for large graphs, European Journal of Operational Research, 258 (3), 844– 865 (2017). doi:10.1016/j.ejor.2016.10.033.
- [26] R. de Santiago and L. C. Lamb, Exact computational solution of modularity density maximization by effective column generation, Computers & Operations Research (in press). doi:10.1016/j.cor.2017.04.013 (accepted manuscript, available online on April 27, 2017).
- [27] K. Sato and N. Fukumura, Real-time freight locomotive rescheduling and uncovered train detection during disruption, European Journal of Operational Research, 221 (3), 636–648 (2012). doi:10.1016/j. ejor.2012.04.025.
- [28] F. Vanderbeck, Implementing mixed integer column generation, in G. Desaulniers, J. Desrosiers and M. M. Solomon eds., Column Generation, Springer, New York, the U.S., chap. 12, 331–358 (2005). doi:10.1007/0-387-25486-2_12.
3. 受賞研究の紹介

3-1	国際会議 ICOR2017 で Best Paper Award を受賞して	片桐 英樹
3-2	ACMSA2017 ワークショップ最優秀論文賞を受賞して	松浦 春樹,浅田 明子
3-3	日本経営分析学会における学会賞(論文の部)を受賞して	平井 裕久
3-4	「わが国の住宅の近代化に関する一連の歴史研究」 について	内田 青蔵
3-5	音響管の共鳴現象を利用した発破超低周波音消音装置の開発	安田 洋介

国際会議 ICOR2017 で Best Paper Award を受賞して

片桐英樹*

Acknowledgment for winning the best paper award of IAENG International Conference on Operations Research (ICOR2017)

Hideki KATAGIRI*

1. 国際会議 ICOR2017 に参加して

International MultiConference of Engineers and Computer Scientists (IMECS)は、International Association of Engineers (IAENG)の主催の下、 計算機科学・工学分野に関わる様々な研究分野の国際会議が同時に開 催されるマルチカンファレンスである.その中で、IAENG International Conference on Operations Research (ICOR)はオペレーションズ・リサーチ の研究分野の発表が行われる国際会議となっている.ホームページ掲 載の情報によると、IMECS2017 における参加者は 800 人以上、発表申 込件数は 649, 採択数は 331 で採択率は 51%となっている.

2. Best Paper Award を受賞して

ICOR2017 は,2017 年3月 15~17 日に香港で開催された IMECS2017における一つの国際会議として開催された.筆者は「可能 性下方リスクに基づくファジィ確率線形最適化」[1]のテーマで研究発 表を行い,Best Paper Award (最優秀賞)を受賞することができた.ファ ジィ確率最適化は「不確実・不確定性下の数理的意思決定」[2]に関す る研究テーマの一つであり,筆者らの研究成果を含む最近の関連研究 の動向については、日本オペレーションズ・リサーチ学会誌掲載の記 事[3]やシュプリンガー社から出版されている英文書籍[4]などに紹介 があるので、興味のある読者は参照されたい.

3. ファジィ確率変数をパラメータとして含む数理最適化

本節では、発表内容について簡単に紹介する.まず3.1節で、数理 最適化問題において、パラメータに不確実性が含まれる場合について 言及する.3.2節では、ファジィ性とランダム性を同時にもつパラメー タを表現するための数学的概念として、ファジィ確率変数を紹介する. 3.3節では、数理最適化問題に含まれるパラメータが不確実性をもつ ときの従来の最適化モデルについて触れる.最後の3.4節で、不確実 性下の最適化の一つ(あるいは拡張版)として、ICOR2017において 発表したファジィ確率変数(fuzzy random variable)をパラメータとし

*教授 経営工学科 Professor, Dept. of Industrial Engineering and Management て含む数理最適化について述べる.

3.1. 数理最適化と不確実性

現実の意思決定状況において,数理的に最適な決定を求めるための 手法として数理最適化が知られている.例えば,ある工場において限 られた量の原料から複数の製品を生産している状況を考える.利益を 最大化するような各製品の最適生産量を求めたい場合には,原料の使 用可能量の制約条件の下で利益を最大にするという数理最適化問題 として定式化が可能となる.一般には,ある制約の下で目的関数を最 適(最大あるいは最小)にする決定変数を求める問題を数理最適化問 題という.目的関数や制約式が決定変数に関して線形の関数で表現さ れる場合には線形最適化問題とよばれ,今回の発表では線形最適化問 題に焦点を当てている.

通常の数理最適化問題においては目的関数に含まれるパラメータ は確定値で与えられる.前述の例でいえば,製品の単位生産量あたり の利益(利益係数)がパラメータであり,この利益係数の値が確定値 で与えられている状況に相当する.

しかし,現実の意思決定状況において,利益は景気や天候などに よって変動することもあり,不確実性を考慮するほうが適切な場合も ある.過去のデータが十分にあり,かつ意思決定を取り巻く環境が大 きく変わらない状況であれば,確率変数で表現するのも適切と考えら れる.しかし,例えば製造の現場などにおいては,熟練者の長年の経 験に基づく判断が有用なことも多く,人間のもつ主観性を取り入れて 意思決定を行うことが現実に行われている.このような現場の意思決 定状況などを考慮して,ファジィ確率変数をパラメータとして含む数 理最適化について様々なモデル[4,5]が提案され発展してきている.

3.2. ファジィ確率変数

ファジィ確率変数[6]の概要を述べる前に、ファジィ集合について 簡単に紹介する.ファジィ集合は 1965 年に Zadeh によって提案され た概念で、「若い人」や「大きい数字」のように境界がはっきりしな い集合を表すための数学的概念である.ファジィ集合は「メンバー シップ関数」と呼ばれる,通常の集合を定義する特性関数を拡張した 関数を用いて定義される.通常の集合における特性関数値が0あるい は1の2値の整数値をとるのに対して,メンバーシップ関数値は一般 に0以上1以下の実数値をとる.ファジィ集合は特別な場合として通 常の集合を含む概念である.

一方,ファジィ確率変数は 1970 年代後半に提案され,例えば「確率 0.8 で 20 ぐらい,確率 0.2 で 10 ぐらい」というように曖昧な値が 確率的に現れる状況を表現することができる.確率変数においては実 現値が確定値(例:確率 0.8 で 20,確率 0.2 で 10)であるのに対して, ファジィ確率変数の実現値はファジィ集合となる.ファジィ確率変数 は特別な場合として確率変数を含む概念である.

3.3. 不確実性下の最適化

通常の数理最適化問題では、目的関数に含まれるパラメータは確定 値で与えられる.しかし、現実の意思決定状況を考えると、景気や天 候などによって変動するパラメータの不確実性を考慮するほうが適 切な場合も少なくない.

数理最適化の分野において,パラメータが確率変数で与えられる場 合の意思決定法として 1950 年代に確率計画法が導入され,今日まで 様々なモデルが提案されている.一方で,パラメータがファジィ集合 で表される場合の意思決定法として,1970 年代からファジィ計画や 可能性理論に基づく「可能性計画」が発展してきた.また,最適な資 産の組合せを考えるポートフォリオ最適化[7]においても,株式など の収益率は確定値ではなく確率変数で表現し,平均値と分散を考慮し たモデルや下方リスクモデルなど様々なモデルが提案されている.

ICOR2017 における筆者の発表では、下方リスクモデ ルに焦点を当てている.下方リスクモデルとは、下方部分積率、VaR (バリュー・アット・リスク)、CVaR(条件付 VaR) などの下方リス ク尺度を用いたモデルである.

3.4. 可能性下方リスクに基づくファジィ確率線形最適化

今回の発表では、線形最適化モデルにおいて、目的関数のパラメー タがファジィ確率変数で与えられる問題を取り扱い、新しいファジィ 確率最適化モデルとして、下方リスク尺度に関する可能性の度合いを 考慮したモデルを提案した.パラメータが確定値あるいは確率変数や ファジィ数などで与えられている従来の線形最適化と比較して、ファ ジィ性とランダム性を同時にもつパラメータを含む提案モデルによ り、データの客観性と人間のもつ主観性及びリスクを考慮した、より 柔軟な意思決定が可能になると考える.今回に発表を行った意思決定 モデルは、ファジィ確率変数をパラメータとして含む最適化問題に対 して過去に筆者らが提案したモデル[5]の拡張版にもなっている.

4. おわりに

筆者は博士課程前期の学生であった 1990 年後半からこれまで約 20 年間にわたってファジィ確率最適化の研究テーマに取り組んできた. 今回の成果もその延長上にあり,今後は今回の受賞を励みに,基礎研 究と同時に現場の意思決定状況を扱った応用研究にも積極的に取り 組んでいきたい.

参考文献

- H. Katagiri, Fuzzy random linear optimization under possibilistic downside risk measures: minimization of possibilistic low partial moment, *In Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2017*, 2, 2017.
- [2] 石井博昭,斎藤誠二,森田浩,不確実・不確定の意思決定,大 阪大学出版会,2004.
- [3] 矢野均,不確実状況下における多目的計画問題に対する意思決 定手法,オペレーションズ・リサーチ,62(3),141-148,2017.
- [4] M. Inuiguchi et al., Fuzzy multi-criteria optimization: possibilistic and fuzzy/stochastic approaches. In Multiple Criteria Decision Analysis, 851-902. Springer, New York, 2016.
- [5] H. Katagiri et al., Interactive multiobjective fuzzy random linear programming: Maximization of possibility and probability. *European Journal of Operational Research*, 188(2), 530-539, 2008.
- [6] 小倉幸雄, 確率ファジィ解析, 日本ファジィ学会誌, 10(6), 1012-1019, 1998.
- [7] 枇々木規雄,ポーフォリオ最適化入門,オペレーションズ・リ サーチ,61(6),335-340,2016.

ACMSA2017 ワークショップ最優秀論文賞を受賞して

松浦 春樹* 浅田 明子**

Receiving the "Best Paper Award for Workshop" at ACMSA2017

Haruki MATSUURA* Akiko ASADA**

1. はじめに

2017 年 12 月 25 日から同 28 日まで中国福州市で開催された ACMSA(Asian Conference of Management Science & Applications) 2017 において,筆者らの発表論文[1]がワークショップ最優秀論文賞(Best Paper Award for Workshop) を受賞した (12月26日付け). 論文名 は, "The Effect of an Exclusive-use Line on Line Length in a Mixed-model Line",邦訳は、「多品種混合ラインにおける工程内バ イパスがライン長に与える効果」である. 著者は, Yusuke Taira, Haruki Matsuura, Akiko Asada, Kenji Hirano (平良祐介, 松浦春樹, 浅 田明子,平野健次)である.連名者の冒頭3名の所属は神奈川大学工 学部,末尾1名は職業能力開発総合大学校である. 口頭発表者は平 良である.本研究は,経営工学科卒業論文の一環として行われた. なお, 連名者の分担は, 本研究の実行役が平良, 問題点および解析 モデルの構築、解析・数値計算支援が卒業研究の指導側としての松 浦,浅田,平野はプレゼンテーションを支援した.小文では,指導 側の立場から,賞を付与の母体である ACMSA と本論文との関連, 論文の背景と意義について紹介したい.

2. ACMSA とは

ACMSA は、日本の大学に在籍し、経営工学や経営科学の教鞭を とられている中国出身の先生方が組織した隔年で開催されている国 際会議である.日本経営工学会の後援を受けている.査読付き論文 誌として "Asian Journal of Management Science & Application" を もっている.筆者は、北岡正敏名誉教授の紹介で、成都で開催され た大会に初めて参加したが、その自由闊達、積極進取な雰囲気にすっ かり魅せられてしまった.今回については健康上の理由から参加を 見合わせたが、成都 (2011 年)、昆明 (2013 年)、大連 (2015 年) と、修士の院生諸君と必ず参加し、論文を発表していた.

成都での会議に参加した折,東京都市大学の郭偉宏教授の研究グ ループが,混合ラインを並列化する研究,ラインツーセル (Line to Seru) [2]で成果をあげているのを知った.当研究室において着手し ていた,混合ラインを直列に分断する研究と問題意識が似ているの で驚いた.現地で郭教授と交わした言葉は,お互いに似たことを始

*教授 経営工学科

Professor, Dept. of Industrial Engineering and Management **技術員 経営工学科

Technical Staff, Dept. of Industrial Engineering and Management

めていますね, であった.

ACMSA では毎回, このラインツーセルが特別テーマで取り上げ られるようになり,筆者らもこの特別テーマのセッションで研究を, 昆明,大連,福州と発表した.オハイオ大学の GA Suer 教授も常連 である.今回の受賞は,この流れの中にある.ラインツーセルの研 究は,国際的広まりを見せて,生産管理で著名な KE Stecke 教授も 研究グループの一員である.グループについてオープンスタンスを とられていた.

3. 論文の背景

当研究室では、ここ数年、多品種混合ラインの柔軟性を高める 研究に取り組んできた.一本のラインを、複数の小ラインに分断す ることの効果の研究もその一環である.受賞論文が対象とした工程 内バイパスも柔軟性向上のための一方策である.

(1) 多品種混合ラインとは

ライン生産方式は、単一の品種を大量に生産することで、今日 の大衆消費社会を生み出した1913年ごろフォード創始[3]とされる 生産方式である.これに対して、多品種混合ラインとは複数の品種 を同一ラインで生産する方式である.この方式は、1960年代には 米国で実践されていたと言う[4].この方式では、効率と柔軟性を 両立できるとされる.柔軟性とは、ある程度異なった製品を同一ラ イン上で生産でき、品種間の生産数量の調整によって需要の変動を 調整し、効率を落とさずに市場の需要に対応できるということであ る.品種間にはある程度の組立工程の共通度が必要なことはいうま でもない.

多品種混合ラインでは、各工程に割り振られる仕事量が品種ご とに異なるために、工程間に仕掛在庫(静止作業式コンベア方式) か作業域のゆとり(移動作業式コンベア方式の場合)が必要になる. これらの大きさは、品種の投入順序に依存する.受賞論文は、移動 作業式コンベア方式を想定しているので、以下の記述では、作業域 のゆとりだけを問題にする.

このように多品種混合ラインの計画の要諦は,必要な作業域の ゆとりを最小とするような品種の作業時間の各工程への配分と,品 種の投入順序を決めることである.

(2) 工程長の決め方

多品種混合ラインの工程長は、どのように決められるのか.教 科書的には、サイクルタイムに作業域のゆとりを加えたものである [5]. 必要な作業域のゆとりは工程ごとに異なるので,工程長は工 程ごとに異なるものになる.ところが現実の企業の組立工場では, 全工程長を一定にしていることが多いと思われる.組立作業には変 更日々があり,そのたびに工程長を変えることは,実際上意味がな いのかもしれない[6].以下に見るように全工程長を一定と仮定し ないと,非合理な実務が存在する.

サイクルタイムとは、完成品がラインオフする間隔である.計 画期間長を、その間の総生産計画量で除したものとなる.混合ライ ンの作業配分の特殊性から、工程ごとにサイクルタイムより大きい 作業量が割り当てられる品種とサイクルタイムより小さい作業量 が割り当てられる品種が出てくる.したがって、作業者はサイクル タイムの範囲を前後に越えて作業する必要がある.この前後の越境 分が作業域ゆとりである.

図1に2つの工程長の決め方を示す.図1の横軸は位置を示し, 縦軸は組立品種の投入順序(上から下へ)である.ブロック中の A,B,Cは品種である.各ブロックは各工程での当該品種の着手から 完了までの位置を示している.Ctはサイクルタイムである.図1a) の方式では、サイクルタイムに、工程ごとに必要な作業域ゆとりを 加えたものが、その工程での工程長となる.この方式では、工程ご とに工程の長さが異なる.図1b)の方式では、サイクルタイムに、 全ての工程の中で最大の作業域ゆとりを加えたものが工程長となる. この方式では、全ての工程で同じ工程の長さとなる.



 Ct
 Ct

 工程iの 工程長
 工程 i+1の 工程長

 b)全工程一定

 図1 2つの工程長の決め方

(3) 品種間の作業時間差が大きい場合の対策

品種間の作業時間差が大きくて、上記方法では収まらないとき に実務でどのような方法がとられているかというと、門田[7]によ れば以下のとおりである.言い方を変えれば、以下の方法をとるこ とによって、多品種混合ラインの柔軟性が高まると言うことである. バトンタッチゾーンを設置する.これは、作業域のゆとりを効 率よく使って、全体のライン長を抑えつつ大きな作業時間差に対応 する方法である.最適化研究が行われている.

バイパスラインを設置する.これは、作業時間がとりわけ大き い品目の作業を,当該品目の専用支線であるバイパスラインでなが して,品目間の総組立時間の相違を吸収する方法である.これにつ いては、多くはないが研究がある.筆者らも主ラインとバイパスラ インの能力のバランスとの視点から成果を上げている[8].

工程内バイパスは、一本のライン内に、作業時間がとりわけ大 きい品目の作業を専門に行う工程を設置する方法である.ここで、 バイパスに「工程内」の修飾が付く理由は、主ラインと並行し分岐 合流するサブラインを別途設置するバイパスラインと、一本のライ ン内のバイパスを設置する工程内バイパスを明瞭に区別するため である.2工程使いは、既定の工程長を超える作業量が割り当てら れた工程は、2工程を使う方法である.

自由席と呼ばれる方法もある. ライン上に投入される品種に空 きを組み込んで,作業時間がとりわけ大きい品目の作業を吸収する.

工程内バイパス,2工程使い,自由席についての学術的研究は, 筆者らの知る限りいまだない.門田[7]においても言及は,半ペー ジに至らず,数行のものもある.したがって,どのようなときに効 果があるのかを含めて,その設置の実際などは,現場の技術者だけ が知る現状である.

(4) バッファの視点

多品種混合ラインでは、各工程において品種ごとの作業時間の 混合比による重みづけ平均がサイクルタイムに一致するように、各 工程に作業配分が行われる.したがって、各工程の持つ能力はサイ クルタイム分である.作業域のゆとりは能力ではなく、品種間の作 業時間の差を吸収するためのバッファである.この前後のサイクル タイムを越える分が必要なゆとりである.バッファ(緩衝)とは、 計画遂行の妨げとなる外部および内部の環境からの変動を吸収し、 変動がなかったかのように計画遂行を容易にさせる目的で準備さ れる機能である.

(5) 受賞論文の問題意識

本論文の出発点は、工程ごとに作業域のゆとりをとる方法をとる 限り、どう考えてみても、前記の工程内バイパスが、有効であるこ とはあり得ないことであった.しかしながら、実務で行われている のは、有効であるからであろう.これは、工程長の決め方に秘密が あるのではないかと考えた.工程ごとに作業域のゆとりをとる方法 に加えて全工程の工程長を一定にする方法において、工程内バイパ スを設置した方が、総ライン長が短くなる条件があるのではと推察 し、それを探すことにした.

- (1) まず明確にしなければならないのは,工程内バイパスが能 力なのかバッファであるのかであった.これが明らかにな らないと問題を定式化できない.
- (2)評価尺度を総工程長として、工程内バイパスを設置することが有効な場合があるのか.あるとすれば、どのような条件下であるか.

4. 解析

(1)能力かバッファかの定性的考察

まず,工程内バイパスが能力であるかバッファであるかの検討 から始めた.図2をご覧いただきたい.工程内バイパスを構成する 各工程に作業者を配置する(これはその工程が能力であることを意 味する)と、ある一つの品種だけを専門に扱うのであるから、残り の品種が通過する間,手待ちとなり稼働率は著しく低下する.この ようなことが実務で行われることはあり得ない.このようなことを 起こさないためには、図2に示すように、工程内バイパスの長さは ラインに投入される品種の繰り返しパターンの長さに等しくする 必要があるのである、図2では4つの品種を均等な混合比で、投入 順序 A-B-C-D で流す場合の作業者の移動状況である.製品 A が工 程内バイパス対象製品である. 横軸が位置, 縦軸が流れてくる品種 を目盛とした時間である.工程内バイパスで対象品種 A を受け持 つ作業者は、4つのサイクルタイム(4工程長)にわたって品種A の作業を専門に行う. 品種 B.C.D もサイクルタイム間隔で流れて くるので、工程内バイパスで対象品種 A を受け持つ作業者が品種 Aの作業を完了した時点で、それぞれ図2の地点に到達している. 工程内バイパスで対象品種 A を受け持つ作業者は、工程内バイパ スの先頭に戻って、品種 A の作業を開始する. このような考察か ら4サイクルタイムからなる工程内バイパスの第1サイクルが工程 であって、2~4のサイクルタイムは作業域のゆとりと解釈すべきで ある. 作業負荷の視点からの説明は、第1サイクルに4サイクルタ イム分の品種 A に作業を負荷し、品種 B,C,D による負荷をゼロと する (一品種あたりの負荷はサイクルタイム分となる). このアン バランスを次工程に波及させないために3 タイムサイクル分の作 業域のゆとりが必要である、となる.

(2) 工程内バイパスの作業負荷モデル

図3に,(1)の考察に基づく作業負荷モデルを示している.図 3では2つの品種 A,Bを扱う混合ラインを想定している.混合比は 2:1である.同図の横軸は,工程もしくはサイクルタイムである. 縦軸が,品種 A を 2 個,品種 B を 1 個分の作業負荷を示す.3サ イクルタイムで投入順序が繰り返されるので,3サイクルタイム分 の負荷を示している.工程内バイパス対象品種は B である.図3a) は工程内バイパスによる負荷状況である.i-1,i+1の両工程には 品種 A と B が負荷される.i工程は工程内バイパスであり,品種 B だけが負荷される.i工程に続く2工程分の領域は,i工程の作業 域ゆとりである.図3b)に工程内バイパスを使わない通常の負荷 状況を示す.





工程 工程 工程 b) 工程内バイパスを設けない場合の作業負荷

図3 作業負荷の視点から見る工程内バイパス

(3) 問題の定式化

2通りの工程長の決定方式(工程ごとに調整,全工程同一長)の 下で,工程内バイパスを設ける場合と設けない場合の総ライン長を 求めることによって,工程内バイパスの効果を解明する.問題は組 合せを含むため,当研究室で開発した多品種混合ラインのライン長 の品種の投入順序全てについての下界[8]を使ってアプローチする ことにした.このアプローチによれば投入順序に依存しない結論が 得られる.このアプローチは,生産管理の常道である,負荷を計画 したのちに,順序を計画することに,則っている.

5. 得られた成果

工程長を工程ごとに調整する場合については,総ライン長の下 界の数式解を得た.図4に結果を例示している.図4では,混合比 は1:3を想定している.品種はAとBの2の品種,サイクルタイ ムは10,工程数は3である.横軸は,品種AとBの組み立て時間 合計に対する品種Aの加工時間の割合を示す.縦軸は総ライン長 の下界である.

図 4 に見るように、工程長を工程ごとに調整する場合について は、工程内バイパスによって下界が改善されることがないことを、 前記の数式解を用いて証明できた.この結果は、正確には下界につ いての結果ではあるが、前述のように各品目の総加工時間を均等に 工程に配分する場合は、下界と実際値が一致するので、この結果は 実務に一定の価値を提供するものと考えている.

全工程同一長の場合には,総ライン長の解を陽にはできず,関係式の形にとどまった.総ライン長を数値計算した結果を図5に例示する.諸条件は,図4と同一である.工程内バイパスによる方が,総ライン長が短くなる条件があることを示している.

以下に,全工程同一長の場合に工程内バイパスが有効な場合が ある理由を定性的に述べる.作業負荷が飛びぬけて大きな品種があ ると,工程内での品種間の作業負荷の差が大きくなり,必要作業域 ゆとりが大きな工程が出現し,全工程同一の工程長が大きくなるた めに総ライン長が大きくなる.これに対して工程内バイパスを設け れば,作業負荷がとびぬけて大きな品種の作業負荷の一部を工程内 バイパスが吸収することになり,バイパス工程以外の工程における 品種間の作業負荷の差を小さくできる場合がある.このとき全工程



図4 工程長を工程ごとに調整する場合の工程内バイパスによる総ライン長の下界



図5 工程長を全工程長一定とする場合の工程内バイパスによる総ライン長の下界

同一の工程長を小さくできるので,総ライン長が短くなるのである. また,本研究とは別途の2工程使いの研究[9]と,本論文による成 果を併せて,実務で使われる2工程使いと工程内バイパスが根本的 に同じものであることが明瞭になった.

6. おわりに

工程内バイパスが効果を発揮する条件を検討した結果,工程長を 工程ごとに調整する教科書的な場合ではなく,全工程同一長の場合 に限ることを明確にした.既存の研究がなかったのは,工程内バイ パスが工程なのか作業域のゆとりなのかがはっきりせず,問題の定 式化が困難であったためである.この点をクリアした後は,高校数 学のレベルで有益な結論を導くことができた.今後の展開であるが, 工程内バイパスがバイパスを一本のライン内に用意するのに対して, バイパスを主ラインとは別ラインとして用意するバイパスラインと, どちらがどのような条件下で有利であるのかを明らかにする必要が ある.

方式の選択基準を明瞭にすることは工学の社会に対する貢献の 一つであろう.方式の選択基準の観点からは、生産管理分野はまだ まだ未熟である.選択基準が経験則にとどまる場合が多い.方式を 固定して、パラメータを最適化することと併せて、方式選択の基準 を明らかにすることは貴重と思う.今回の受賞はこの点が評価され たものと考えている.

本研究に意欲的に取り組まれ,指導側を大いに刺激し,成果をあ げてくれた平良祐介君(現レノボ・ジャパン(株))に深謝する.

参考文献

 Yusuke Taira, Haruki Matsuura, Akiko Asada, and Kenji Hirano, The Effect of an Exclusive-use Line on Line Length in a Mixed-model Line, 2017 Asian Conference of Management Science & Applications (2017. 12)
 Ikou Kaku, Jun Gong, Jiafu Tang and Yong Yin, A Review: Practice and Theory in Line-Cell Conversion, Waldemar Grzechca ed. Assembly Line - Theory and Practice, pp.107-130, InTechOpen, Rijeka, Croatia – EU (2011).

[3] Christoph Roser, "Faster, Better, Cheaper" in the History of Manufacturing: From the Stone Age to Lean Manufacturing and Beyond (1st ed.), Productivity Press, (2016).

[4] Dan Coffey, The Myth of Japanese Efficiency: The World Car Industry in a Globalizing Age, Cheltenham and Northampton, MA: Edward Elgar (2006).

[5] 村松林太郎, 新版生産管理の基礎, 国元書房 (1979).

[6] Donghao Zhang, Haruki Matsuura, and Akiko Asada, Effect of splitting a mixed-model line on shortening the line length under open- and closed-boundary working area settings AIP Conference Proceedings 1829, Issue 1, 10.1063/1.4979767 (2017.04).

[7] 門田安弘, トヨタプロダクションシステム:その理論と体系, ダイヤモンド社(2006).

[8] Sho Matsuura, Haruki Matsuura, and Akiko Asada, Making a mixed-model line more efficient and flexible by introducing a bypass line, AIP Conference Proceedings 1829, issue 1, 10.1063/1.4979768, (2017.04).

[9] 平田大輔,多品種混合ラインにおける 2 工程使いの効果,神奈 川大学工学部経営工学科卒業論文 (2018).

日本経営分析学会における学会賞(論文の部)を受賞して

平井 裕久*

Receiving the "Paper Award" at the Business Analysis Association

Hirohisa HIRAI*

1. はじめに

2017 年 12 月に、日本経営分析学会において学会賞(論文の部) を受賞させて頂いた.ここでは、本論文についての概略を紹介させ て頂きたい

本論文は,経営分析の観点から,日本の有価証券報告書の「財政 状態および経営成績に関する経営者による討議と分析」 (Management's Discussion and Analysis: MD&A)において,文章の読み やすさを意味する「可読性(readability)」が,利益の持続性の視点か ら,将来業績を予測する上で有用な情報であるのかを確認すること を目的としている. MD&A 情報とは,有価証券報告書における「財 政状態および経営成績に関する経営者による討議と分析」において 開示されている情報のことである.開示内容については経営者の裁 量の余地が大きく,また将来事項を記述することが認められている 点に特徴がある.そして,日本においては,2003年より開示が制度 化されたが,その内容についての研究があまり蓄積されていないと いう背景がある.

MD&A 情報を対象とした代表的な実証的研究として Li (2008)が ある.Li(2008)は、アニュアルレポートにおける MD&A セクション の可読性が、将来業績を予測する上で有用な情報であることを発見 した.Li(2008)における可読性とは「文章の難易度」と「文章の長 さ」の2つを構成要素としている.Li (2008)以降、可読性は財務諸 表における定性的なディスクロージャーの質を評価するために用い られ続けている(Lang, Stice-Lawrence, 2015; Lee, 2012 など).

このような英語を対象とした先行研究に対して,大規模なデータ を用いて日本語の MD&A 情報の決定要因や利益の持続性を議論し た研究は,未だに存在していないといえる.本論文では Li(2008)に 倣って日本語の MD&A 情報について追試を実施する.

本論文の学術的な貢献は、計量言語学のアプローチによって大規 模データを用いて日本語の MD&A 情報の可読性を示し、可読性が 利益の持続性と関連していることを示したことである.そして、こ れらを明らかにすることは、投資家が経営分析を行う際に、可読性 という新しい視点を用いて分析することの有用性を示すという貢献 があると考えられる.また、米国を対象とした Li (2008) の結果と 日本の結果を比較検証したことも、本研究の貢献である.

*教授 経営工学科

Professor, Dept. of Industriall Engineering and Management

2. 仮説の設定

先行研究である Li(2008)に従って, MD&A 情報の可読性についての基本的な仮説を提示する.

本論文における仮説については,Li(2008)との比較を前提として 基本的には同様とする.まず1つめの仮説では,可読性の決定要因 が何であるのかという検証をおこなう.この可読性の決定要因は, 経営者が戦略的に操作している項目ではない,非戦略的なディスク ロージャーである.そして2つめの仮説では,可読性が将来業績を 予測するのかについて検証をおこなう.2つめの仮説における可読 性は,経営者が戦略的に操作可能な,戦略的なディスクロージャー である.

(1) 可読性の決定要因

- 仮説 1-1:規模が大きい企業は、規模が小さい企業よりも、MD&A 情報の可読性が低い
- 仮説 1-2:時価簿価比率が高い企業は、時価簿価比率が低い企業よ りも、MD&A 情報の可読性が低い
- 仮説 1-3:上場後経過年数が長い企業は、上場後経過年数が短い企 業よりも、MD&A 情報の可読性が高い
- 仮説 1-4:特別損益項目が大きい企業は,特別損益項目が小さい企 業よりも, MD&A 情報の可読性が低い
- 仮説 1-5:複雑なビジネスを行っている企業は、複雑なビジネスを 行っていない企業よりも、MD&A 情報の可読性が低い
- 仮説 1-6:不安定なビジネスを行っている企業は,安定的なビジネ スを行っている企業よりも, MD&A 情報の可読性が低い
- 仮説 1-7:財務が複雑な企業は、財務が複雑ではない企業よりも、 MD&A 情報の可読性が低い

(2) 可読性の将来業績への影響

仮説 2: MD&A 情報の可読性が低い企業は,可読性が高い企業に比 べて利益の持続性が低くなる

3. リサーチデザイン

本論文では、MD&A 情報の有用性について、Li(2008)に倣って分 析を進める.そこで、まず MD&A 情報の可読性について、「文章の 難易度」と「文章の長さ」により判断し分析する.だが、Li(2008) における言語が英語であるのに対して、本論文で扱う MD&A 情報 は日本語である.テキストマイニングにおける言語の違いは大きな 問題となるが、本論文では柴崎・玉岡(2010)を援用することで、学 年判定を利用し「文章の難易度」を判断する.そこで、MD&A 情報 の可読性についての仮説 1-1 から 1-7 については、被説明変数を Grade(文章の難易度)もしくは Length(文章の長さ)とする(1) 式により検証をおこなう.なお、以下では、Li(2008)に従い、SIZE(対 数変換後の期末時価総額)、MTB(時価簿価比率)、AGE(上場後経過 年数)、SI_P(特別利益/総資産)、SI_N(特別損失/総資産)、NBSEG(事 業セグメントの数)、NGSEG(地域別セグメントの数)、NFSEG(海外 売上高セグメントの数)、EARN_VOL(利益のボラティリティ)、 NITEMS(財務の複雑性)とする.

Grade or Length

$$\begin{split} &=\beta_{0}+\beta_{1}SIZE+\beta_{2}MTB+\beta_{3}AGE+\beta_{4}SI_{-}P\\ &+\beta_{5}SI_{-}N+\beta_{6}NBSEG+\beta_{7}NGSEG+\beta_{8}NFSEG\\ &+\beta_{9}EARN_{-}VOL+\beta_{10}NITEMS \end{split} \tag{1}$$

また利益の持続性についての仮説2は、一期先、二期先の将来利益を被説明変数とし、可読性の2変数と当期利益の交差項を説明変数に含んだ回帰分析によって検証される.なお、将来利益については規模の影響を取り除くためROA(総資産営業利益率)とし、さらに業種の影響を取り除くために企業ごとのROAから業種中央値を差し引いた業種調整済みROAを分析に用いる.利益の持続性は、γ2やγ3の係数が負であるかどうかで検証可能となる.

 Adj_ROA_{t+1} or Adj_ROA_{t+2}

- $= \alpha_0 + \alpha_1 Grade + \alpha_2 Length$
- $+ \gamma_1 A dj_ROA_t + \gamma_2 A dj_ROA_t * Grade$
- $+ \gamma_3 A dj_{ROA_t} * Length + \beta_1 SIZE + \beta_2 MTB$

(2)

- $+ \beta_3 AGE + \beta_4 SI_-P + \beta_5 SI_-N + \beta_6 NBSEG$
- $+ \ \beta_7 NGSEG + \beta_8 NFSEG + \beta_9 EARN_VOL$
- $+ \beta_{10}NITEMS$

4. データと結果

本論文においては、プロネクサス社が提供する企業情報データ ベースサービスである「EOL」の有価証券報告書全文データベース を利用し、日本の上場企業の「財政状態および経営成績に関する経 営者による討議と分析」のテキストを取得した.また、財務データ に関しては日経 NEEDS Financial Quest を利用した.

ここで、テキスト・マイニングとは、自然文や自然言語テキスト (言葉の表記体)、文書の集合体の中にある規則性、パターン、傾向 を探査することである(大隅、2006). 言語学、特に計量国語学の分 野では、これまでテキスト・マイニングに関する様々な手法が開発 されてきた.テキスト・マイニングには、形態素解析、構文解析、 意味解析といった手法がある.本論文では、テキスト・マイニング

NU ± 1	八七分田の再始
凶衣Ⅰ	ゴ州福未り安約

仮説	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7	2
係数	β_1	β_2	β_3	$\beta_4 \cdot \beta_5$	$\beta_6 \cdot \beta_7 \cdot \beta_8$	β_9	β_{10}	γ_2/γ_3
予想される符号	+	+	_	$+ \cdot +$	$+ \cdot + \cdot +$	+	+	-/-
本分析結果: 難易度	+	n.s.	_	$+ \cdot +$	n.s. • n.s. • n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Li (2008)の結果: 難易度	n.s.	+	n.s.	* ¹	+*2	+	n.s.	_
本分析結果: 総文字数	n.s.	n.s.	_	n.s. • n.s.	$n.s. \boldsymbol{\cdot} + \boldsymbol{\cdot} n.s.$	n.s.	n.s.	n.s.
Li (2008)の結果:	+	_	_	*1	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

有意水準は 5%。n.s.は有意な符号が得られなかったことを示す。仮説 2 については,一度の分析で難易度と総文字数に ついて検証している。Li(2008)は Table 2 および Table 4 の MD&A セクションに関する検証請求を用いている。 *1 Li(2008)は、本論文の分形と異なり、特別項目については特別損益に分離しておらず、マイナスの特別 損失を想定しているため,仮説ではーの符号が予測され支持された。

*2 地域別セグメントについては支持されず,事業別セグメントについては支持された

ソフト MeCab-0.996 を統計ソフト R 上で分析する RMeCab ver.0.99994 を用いて形態素解析を行い 1 文中の平均述語数を算出 し、また平仮名数を数え上げるプログラムを実行することで、 MD&A 情報の文章の学年判定を実施している.

以上のデータを用いた分析結果について,仮説の予測,Li(2008) の結果と対照表としてまとめたのが図表1である.Li(2008)との結 果の相違は,日本語と英語の言語的な背景に起因すると解釈できる.

5. おわりに

本論文は、MD&A 情報を分析対象として、可読性の決定要因お よび可読性が利益の持続性に与える影響についての分析を行った. 本論文の主要な発見事実は、以下の3点に要約することができる. まず第1に、日本の有価証券報告書の MD&A 情報の記述統計量を 明らかにしたことである. MD&A 情報の可読性は、米国とは反対 に高くなるというトレンドを有していた. つまり, 日本語の MD&A 情報は制度導入以来, 読みやすくなってきていることが明らかと なった. 第2に, 文章の難易度と長さに関する分析を行った結果, 可読性の決定要因を特定した.具体的には、①期末時価総額が大き い企業,特別損益項目を計上している企業は文章の難易度が高いこ と、②上場後経過年数が長い企業は、文章の難易度が低いこと、③ 地域別セグメントの数が多い企業は、総文字数が多いこと、④上場 後経過年数が長い企業は,総文字数が少ないということが明らかに なった. 第3に, 文章の難易度と長さによる, 将来業績への予測能 力を分析した結果,黒字企業のサブサンプルでは,Li(2008)とは異 なり,難易度や総文字数は利益の持続性へ影響するという結果を得 られなかった.しかし、総文字数が一期先や二期先の将来利益と負 の直接効果を持つことが示された.

これらの結果は、日本企業の MD&A 情報が実証的な経営分析研 究の対象として価値を有することを示唆している.これまで日本で はほとんど検証されてこなかった可読性というトピックを実証し、 この点を明らかにしたことが本研究の重要な貢献である.

(研究内容の詳細については元論文を参照されたい)

【参考文献】

Lang, Mark and Stice-Lawrence, Lorien. (2015). "Textual analysis and international financial reporting: Large sample evidence," Journal of Accounting and Economics, Vol.60, No.2-3, pp.110-135.

Lee, Y. J. (2012) "The Effect of Quarterly Report Readability on Information Efficiency of Stock Prices" Contemporary Accounting Research, Vol.29, No.4, pp.1137-1170.

Li, F. (2008) "Annual report readability, current earnings, and earnings persistence", Journal of Accounting and economics, Vol.45, No.2, pp.221-247.

大隅昇 (2006)「テキスト型データのマイニング- 最近の動向とそれ が目指すもの - 」WordMinerTM テキスト・マイニング研究会.

柴崎秀子・玉岡賀津雄 (2010) 「国語科教科書を基にした小・中学校の文章難易学年判定式の構築」『日本教育工学会論文誌』第33巻 第4号,449-458頁.

廣瀬喜貴・平井裕久・新井康平 (2017) 「MD&A 情報の可読性が将 来業績に及ぼす影響:テキストマイニングによる分析」『経営分析 研究』, 第 33 号, 87 頁-101 頁

2017年度 日本建築学会賞(論文)

「わが国の住宅の近代化に関する一連の歴史研究」について

内田 青蔵

Studies on the history of modernization in Japanese housing

Seizo UCHIDA*

1 はじめに

2017年度の日本建築学会賞(論文)を受賞したので、ここにその 受賞した研究内容について紹介したい。

私は、これまで学会賞としては、2004 年度に日本生活学会から著 書『同潤会に学べーその思想とデザイン』(王国社 2004 年)で学 会賞となる今和次郎賞、2012 年度には日本生活文化史学会から著書 『お屋敷拝見』(河出書房新社 2003 年)『学び舎拝見』(河出書房新 社 2007 年)『お屋敷散歩』(河出書房新社 20)の3つの著作で 日本生活文化史学会賞を受賞している。今回は、ようやく本来の専 門学会である日本建築学会からの受賞となる。ちなみに、日本建築 学会からは学会賞以前の 1994 年に日本建築学会奨励賞を受賞して いる。

今回受賞した具体的な研究テーマは、「わが国の住宅の近代化に 関する一連の歴史研究—Studies on the history of modernization in Japanese housing」である。このテーマからわかるように、受賞した 研究はある特定の研究で得たものではなく、卒論以来これまで手掛 けてきた様々な研究をひとくくりとし、それらを一連の日本住宅の 近代化に関する歴史研究として評価されたものである。そのため、 単純に研究内容を解説することは難しいが、あえて整理すれば、以 下のように言えるであろう。

すなわち、私の行ってきたわが国の住宅の近代化に関する一連の 研究は、それまでの近代日本住宅の歴史研究では表層的な影響とし て軽視されてきた"洋風化"現象に焦点を据え、また、生活の洋風 化に伴う動きとして住宅の変化を捉えるという考え方をもとに、戦 前期のわが国の住宅の変容過程を論じたものである。その結果、そ れまでとは異なる生活の変化に基づいた新しい近代日本住宅の歴史 を提示しているといえよう。

この生活の"洋風化"現象を捉えるため、私は研究対象として戦 前期の生活の洋風化のために住宅の改良をめざしていた住宅改良運

教授 建築学科 Professor, Dept. of Architecture, Dr..Eng.

動を牽引した「住宅改良会」とアメリカ住宅を理想的住宅としてわ が国にその普及を推し進めた住宅専門会社「あめりか屋」を取り上 げ、洋風化に関する運動の動きとともに戦前期の住宅の動向とその 変容過程を明らかにした。そして、洋風化の影響により誕生した住 宅として、これまで明らかにされていた中廊下形住宅に代表される 伝統的住宅に洋風要素を取り入れることにより誕生した住宅ととも に、欧米住宅に伝統的住宅の要素を採り入れることにより誕生した 住宅があり、後者を「洋風系独立住宅」と称して前者と区別すべき ことを提唱している。また、生活の変化の表れとして住宅を捉える という住宅史研究の視点を取り入れることにより、生活学や家政学、 あるいは生活文化史学や風俗学といった隣接する他分野領域との研 究交流を行い、それまでの建築学独自の様式論を主とする住宅史研 究の閉鎖性を取り払い、住宅史研究を学際的な研究へと押し上げる など、近代日本住宅史研究の発展に大きく寄与した研究であると考 えている。次に、より具体的に、これまで発表してきた論文を通し て、研究内容を紹介したい。

2 本研究分野の概説ならびに研究内容の内容とその意義について

2-1 研究分野の概説と研究論文の新規性について

私が研究を開始した時期の近代日本住宅史研究は、近代化の源と して、わが国に建てられた居留地の外国人洋館やその影響を受けた 上流層の洋館などのハイクラスの住宅を対象に、その様式や平面形 式、設計者などを解明するものが大半を占めていた。その中にあっ て、木村徳国博士は中流層の都市独立住宅を対象とした研究(『日本 近代都市独立住宅様式の成立と展開に関する史的研究』1958年)を 展開し、平井聖博士は日本住宅の通史の中で中流住宅に焦点を当て ていた(『日本住宅の歴史』日本放送出版協会1974年)。また、計画 分野では西山卯三博士も戦前戦後の中流層・下流層の住宅に視線を 合わせ、その様相を紹介していた(『日本の住まい I・II・III』勁草 書房1975-1980年)。

こうした中で、私は住宅史研究こそ、"生活の変化"を基本とし

て住まいの変化を捉える必要があるとし、中流層の近代住宅を中心 とした木村徳国博士の研究姿勢に共感し、その研究姿勢を発展させ ようと試みた。具体的は、木村博士の研究は、住み手の理想とする 住まい方を「生活思想」と規定し、その「生活思想」の反映したも のとして住宅平面に注目し、明治から昭和初期に生み出された住宅 形式として、明治期には「中廊下形住宅」、大正期には「居間中心形 住宅」が誕生し、昭和初期をこれら二つの住宅形式の展開と融合の 時期と捉えられることを示している。

これに対し、私は明治以降の住宅の変化を"洋風化"と捉え、わ が国の伝統的生活の洋風化が始まり、それに伴い住宅も変化すると いう観点をもとに住宅の変化の過程を論じている。この新しい観点 は、木村博士の注目した「生活思想」への視点を、「生活思想」形成 に影響を与えた動きとして「洋風化」現象に捉え直し、洋風化によ る生活の変化から住宅の変化(洋風化)を捉えるというものである。 すなわち、『広辞苑』などによれば、欧米からの影響は「文化」(精 神的所産)と「文明」(技術的・物質的所産)に区別され、前者は「近 代化」、後者は「洋風化」として捉えられていた。そのため、近代住 宅史においても「洋風化」は表層的な欧米の影響として、「近代化」 に焦点を据えることが方法論として定着していたのである。しかし ながら、私は従来表層的とされてきたさまざまな「洋風化」現象が 日常生活に深く浸透している今日、従来の「近代化」・「洋風化」の 枠を取り去り、近代以降の住宅の変遷を「洋風化」から見直す実証 的な基礎研究が必要であると考えたのである。

- 2-2 「洋風化」と軽視されていた現象を主役とした新たな近 代日本住宅史の展開
- 2-2-1「住宅改良会」に関する研究

研究の根幹に係わる「洋風化」現象を捉えるために、私は今日の 住宅の祖形と考えられる中流層住宅が欧米の住宅様式・生活様式の 影響を受けて大きく変化し始めた大正・昭和初期に住宅改良運動を 展開し、当時の住宅に大きな影響を与えた「住宅改良会」という民 間団体に注目した。この「住宅改良会」の存在自体は既に知られて いたものの、その活動は「洋風化」を意味するものとして軽視され、 その実体はほとんど明らかにされてはいなかった。この「住宅改良 会」の活動等に関して明らかにした主論文は、以下の3編である。

- 論文1:「住宅改良会」の設立について日本建築学会論文報告集第 345 号 昭和 59 年 11 月
- 論文2:「住宅改良会」の沿革と事業内容について 日本建築学 会論文報告集第 351 号 昭和 60 年 5 月
- 論文3:住宅設計競技入選案から見た「住宅改良会」の住宅像に
 ついて 日本建築学会論文報告集第 358 号 昭和 60 年
 12月

これらの論文で、これまで知られていなかった「住宅改良会」の 全容を明らかにした。すなわち、論文1で住宅専門会社「あめりか 屋」社主の橋口信助と女子教育家の三角錫子を中心に大正5年 (1916)に設立したこと、論文2でわが国最初期の住宅専門雑誌でも ある『住宅』を機関誌として大正5年から昭和18年まで発行し続け たこと、社会に対して住宅への関心を維持するために住宅の設計競 技を毎年のように実施し続けたこと、などを明らかにした。そして、 論文3で住宅設計競技入選案から、以下のようにその特徴とその意 味を論じている。

椅子坐式と床坐式という二つの起居様式から成る住宅の意 匠を見ていくと、外部意匠は、外壁に注目すると大多数が大 壁仕上げであることから「洋風住宅」と解され、「住宅改良 会」の洋風志向の一貫性が窺われる。一方、窓の形式などに 注目すると昭和3年から昭和8年を境に「和風」化が指摘で きる。そして、この「和風」化により外観は、それまでの「純 洋風」から「洋風」へと変化したとも考えられよう。・・・・ (中略)・・・・入選案は、外観は「洋風」で内部は「洋室」 と「和室」が混在した住宅である。このような住宅は、当初 洋風志向の活動を展開していた「住宅改良会」が、わが国の 伝統を見直す中で重要視した形式と考えられる。 (論文3 p121)

上記の分析にあたっては、内部の諸室の「椅子坐式」「床坐式」、 各部屋の床の仕様(板敷か畳敷か)、壁の仕様(大壁か真壁か)、天 井の仕様(平天井か竿縁か)というように意匠に着目した新しい方 法を取り入れている。そして、「住宅改良会」のめざした住宅は、内 部は椅子坐式と床坐式が混在し、外観は洋風の住宅であることを明 らかにしている。また、洋風住宅であるものの、昭和3-8年を境に、 窓形式は洋風外観であっても引違い窓を用いるなどの「和風」化が 見られることを指摘している。そして、こうした住宅形式は、従来 提唱されてきた中廊下形住宅様式に代表されるような在来住宅を基 本として欧米の影響を受けて生み出されたものとは異なり、直接欧 米住宅を基本として徐々に「和風」要素を採り入れながら生み出さ れたものと考えられ、「洋風系独立住宅」と称すべきことを提案して いるのである。

いずれにせよ、本研究成果のより、「住宅改良会」の活動はもち ろんのこと、大正・昭和初期の「洋風化」を促した動きとしての住 宅改良運動、さらには、生活改善同盟会を中心とする生活改善運動 などの存在は、その後の近代日本住宅史では必ず触れられる存在と して定着することとなった。

なお、この生活改善同盟会に関しては、以下の論文で紹介してい る。

論文4:「住宅改良運動について」(編集責任・南博『近代庶民生活誌 6 食・住』pp.558-562株式会社三一書房 1987年)

論文5:「大正・昭和初期の生活改善運動に関する一考察」(『生活 文化史』NO.18 pp.20-32 日本生活文化史学会 1990 年)

また、生活改善同盟会に関しては、共著として「大正 8・9 年に 開催された文部省主催『生活改善展覧会』の開催経緯とその後の影 響」(磯野さとみと共同『生活文化史』NO.28 pp.54-67 日本生活 文化史学会 1995年)、「文部省外郭団体『生活改善同盟会』の設立 経緯と設立活動の中心人物」(磯野さとみと共同『生活学論叢』Vol.2 pp.39-46 日本生活学会 1997年)がある。

このうち、論文4は、戦前期に展開された洋風化を推進させた住 宅改良運動と生活改善運動について紹介したもので、「住宅改良会」 が民間による組織であったのに対し、「生活改善同盟会」は文部省の 外郭団体の官側による組織として活動していたことなどを紹介して いる。論文5は大正期に行われていた生活改善運動の官の系譜の動 きとして文部省による生活改善運動の概要と、旧国立科学博物館所 蔵資料の生活改善に関する「風刺画」の分析を通して当時の生活改 善運動の具体的内容について紹介している。この「風刺画」は、大 正期の生活運動の様子をビジュアルに伝える貴重な資料であり、以 後、他の研究者も利用している。

2-2-2 「あめりか屋」に関する研究

私は、「住宅改良会」の役割やその意義の解明と合わせて、こ の「住宅改良会」の中心人物である橋口信助の興した住宅専門会社 「あめりか屋」に関しても、その沿革、事業内容などについて明らか にした。この「あめりか屋」も、「住宅改良会」同様にアメリカ住宅 の導入をめざしていた会社として知られつつも、その活動は「洋風 化」として軽視され、その実体は不明なままだったのである。そこ で、私は、日本建築学会大会梗概及び関東支部研究報告集に発表し ているが、それらをまとめたのが以下の論文6(単行本)である。

論文6:『あめりか屋商品住宅-「洋風住宅」開拓史』(住まいの 図書館出版局 1987年)

論文6では、創立者橋口信助の事績、当時の住宅改良運動の動向 について、また、「あめりか屋」の手掛けた具体的な住宅作品の特徴 を以下のように論じている。

あめりか屋は、あくまでも理想の実現化までの「過渡期とし ての住宅」として、アメリカ住宅の直写から一歩後退した作 品を創ることになる。それは、理想とするアメリカ住宅の中 に伝統的な生活の場である「日本室」を取り入れるというも ので、言い換えれば<西洋館の和風化>を行っていたことに なる。しかしながら、いずれにせよ、これらの住宅は、当時、 展開しつつあった住宅改良運動の中で、「改良住宅」とか「洋 風住宅」とかという言葉で表現されていたものだったのである。(論文6 p.196)

この論文6では、「あめりか屋」の住宅作品の特徴を、<西洋館 の和風化>とし、「住宅改良会」のめざした住宅を具体的に推進して いた中心的存在が「あめりか屋」であり、西洋館を原型に伝統的住 宅の要素を付加させることにより洋風住宅が誕生したとする新しい 解釈を提示した。

2-3 近代日本住宅史研究の多様性を促す研究

2-3-1 日本の近代住宅の歴史を俯瞰する研究論文

私は、1992 年に論文 7(単行本)を発表し、"洋風化"という 観点から戦前期のわが国住宅界の動向を俯瞰している。

論文7:『日本の近代住宅』(鹿島出版会 1992年、新版 SD266 2016年)

論文7の新しい見解のひとつは、洋風化の始まりとしての明治初 期に見られる上流層住宅の洋館建設について、その建設が行幸御殿 としての設置を契機とするという解釈を提示している点である。以 下、少し長いが引用したい。

明治五年三月に元長州藩主毛利家では、・・・洋館を建設し 始め、翌六年に完成している。・・・ところで、この毛利元 徳邸で注目されるのは、洋館建設早々の明治六年五月二七日 に明治天皇の行幸を迎えていることである(日本史籍協会編 『明治天皇行幸年表』)。この行幸とは、天皇が大名や他の公 家の住宅や別荘に訪れることを指し、・・・お招きするにあ たって専門の御殿を用意し、手厚く迎えたのである。

このような専門の御殿を用意して迎えるという江戸時代 の行幸の在り方を考えれば、時代は明治に変わっても行幸の 在り方は基本的には同じであったと想像されるのである。と すれば、毛利邸で建設した木造洋館は、天皇を迎えるための 行幸用の御殿であったと考えても不自然ではない。時代が明 治になり、その御殿は伝統的な建築ではなく洋館に変わった のである・・・(中略)・・・。

多木浩二は、天皇の洋服化の動きをとらえて「衣服が先行 して変わっていくことは、しばしばたんに表層の風俗的出来 事として理解されているが、本質的には政治的かつ知的な次 元の変革の一部であった」と述べている。とすれば、何故に 建築も欧米化していたかについてもおよその理解ができる ことになる。すなわち、繰り返すならば、かつて、例えば大 名が天皇を迎えるために豪華な行幸御殿を建設したように、 明治になると、政府高官や大富豪家たちは行幸御殿として生 活の場である伝統的な和館に並列させて本格的な洋館を建 設したのである。明治天皇は、今日の日本が歩んできた道を すでに予感していたかのように、明治初年に真っ先に断髪し、 公式行事も儀式もすべて洋装による立式で行うように変え ていた。・・・洋装や椅子坐式の生活の場である洋館は、新 しい時代の行幸御殿として必然的な建築形式であったので ある。(論文7 pp.16-19)

明治初期の上流層の住宅形式を和洋館並列型住宅形式とし、こ の伝統的和館の横に洋館を配置する独特の形式が上流層の行幸御殿 としての洋館建設を機に誕生したことを示唆したのである。このよ うに洋館は、明治期においては政治的意図の中で積極的に建設され たのである。それゆえ、ステータスとしての意味を持ち合わせ、権 力の象徴、身分や資力の象徴として洋風化が推し進められたのであ る。

大正期になると、洋風化は広く浸透して中流層の住宅でも展開 されることになるが、それは権力の象徴としての意味に代わって、 新しい時代にふさわしい形式として普及していくことになる。一方、 この頃になると建築家たちは、欧米の住宅形式をそのまま取り入れ る動きに疑問を持ち始め、わが国の伝統的住宅や生活形式との融合 化を模索し、独自の新しい住宅形式を試みていくことになる。ここ では、当時の建築家たちの試みから注目すべきものを取り上げ、紹 介している。具体的には、保岡勝也・山本拙郎・遠藤新・藤井厚二・ 山田醇・吉田五十八の6名であり、それまでの住宅史研究では取り 上げられたことのなかった建築家たちも含まれるなど、住宅史研究 の新たな展開を示している。例えば、「あめりか屋」技師であった山 本拙郎は、わが国にふさわしい洋風化された住宅として「真壁式洋 風住宅」を提案している。具体的には、山本は日本の伝統建築の形 式である真壁構法は、わが国の気候風土の中で生まれたものであり、 その形式は継承すべきという姿勢を打ち出した。その住宅は、以下 のようなものだったのである。

ー見アメリカン・バンガローに見えながら、実は窓の形式は 在来の引き違い窓で、室内の壁の仕様も在来の柱の見える真 壁であることからわかるように、伝統的住宅の形式を積極的 に採用したまさしく<洋風>の住宅であったのである。 (論文7 p.164)

建築家たちの提案は、和洋の要素をどのように融合化していく のかの提案であり、とりわけ、真壁=和風、大壁=洋風という形式を 如何に脱却するかが大きなテーマであった。こうしたテーマにひと つの答えを打ち出したのが吉田五十八であった。

> 吉田は、・・・<大壁>というものを肯定的に導入することを 考えた。・・・・大壁を導入することを考えた吉田は、さら に、大壁による新たな展開を考えた。すなわち、吉田にとっ

て伝統的構法である真壁造りは、すべての柱がいやがおうで も見えるため、見せたくない柱まで見せなければならないし、 しかも、構造材であるため自由に動かすこともできないとい う制約のある構法と考えられたのである。そのため、全体を 大壁として見せたい柱だけを自由に配置し、他は全て壁の中 に埋めてしまうことを思いついたのである。吉田は、昭和一 〇年(一九三五)、この<大壁>による数寄屋の成立過程を 「近代数寄屋住宅と明朗性」と題して高らかに発表している。 (論文7 pp.27-228)

吉田は、椅子坐と床坐の起居様式の融合化の中で、建築そのも のの表現を伝統的な真壁造と大壁造の融合化により、伝統的な数寄 屋住宅を超えた近代数寄屋住宅を誕生させたのである。吉田が近代 数寄屋住宅を生み出したことは知られていたが、それは偶然の産物 ではなく、当時の建築家たちの様々な提案の影響を受ける中で初め て生まれたものであったのである。このように洋風化という観点を 通して、多くの新しい住宅の新たな位置づけが可能となったので あった。

いずれにせよ、終章では、こうした洋風化という観点を通して、 明治以降に住宅の中でどのような試みが行われたのかを壁の仕様と 床の仕様を基にダイヤグラム化して提示し、わが国の住宅の変容を 一望するシステムを私論「日本の近代住宅の系譜」として論じてい る。こうした試みは、今後の住宅史研究の発展に大いに寄与するも のと考えている。

2-3-2 多様な近代日本住宅に関する史的研究論文 ① 郊外住宅・郊外住宅地に関する研究

近代日本住宅史研究として住宅の研究を進める中で、当然なが ら戦前期の住宅遺構調査なども行った。そうした中で、都市郊外に 開発された計画的住宅地研究などの必要性も認識された。そうした 研究の代表的なものが、以下のものである。

- 論文8:「『城南田園住宅組合』住宅について」(山口廣編『郊 外住宅地の系譜』pp.207-220 鹿島出版会 1987年)
- 論文9:「ひばりが丘南澤学園町 『婦人之友』が生んだ学園町 -自由学園を中心とした南澤学園町の成立」(片木篤・ 藤谷陽悦・角野幸博編『近代日本の郊外住宅地』 pp.155-172 鹿島出版会 2000年)
- 論文10:「同潤会の郊外住宅地開発-普通住宅事業の候補地から みた旧東京市郊外の住宅地形成」(鈴木博之他編『近代 とは何か』シリーズ 都市・建築・歴史 7pp.245-286 東 京大学出版会 2005 年)

論文8は、東京練馬に現存する住宅地である旧城南田園住宅組 合が、組合員を募り、郊外の敷地を借りて、独自の田園生活をめざ した理想的な住宅地開発を行ったもので、その開設経緯と住宅遺構 の調査内容をまとめたものである。論文9も、『婦人之友』創立者の 羽仁夫妻が新しい教育の場として創設した自由学園とその資金を獲 得するために開設した学園町の開発の経緯とその住宅について報告 したものである。論文10は、同潤会が関東大震災後に郊外に住宅地 開発をめざして事業を行うにあたって行った敷地調査の資料を整理 し、そのめざした住宅地についてまとめたものである。こうした郊 外化の研究は、その後多くの成果が見られるが、そうした研究の走 りといえよう。

② アメリカ住宅の影響に関する研究

私は、日本住宅の洋風化現象を追求する傍ら、戦前期のわが国の 中流住宅に最も強い影響を与えた欧米住宅としてアメリカ住宅に注 目した研究も行っている。その一つが以下のものである。

- 論文 11:「あめりか屋」店主橋口信助の輸入した「組立住宅」に
 ついて 日本建築学会大会学術梗概集 (関東) 1988
 年 10 月
- 論文12:大正期における米国製組立住宅の導入について 日本建 築学会大会学術梗概集(関東)1993年9月

論文11,12をもとに、私は共同研究として、わが国の住宅の"洋 風化"にあたっての影響を与えた外国の住宅として、大正期以降は アメリカ住宅がわが国のモデルであったことを明らかにしている。 すなわち、「わが国近代独立住宅の変遷過程における米国住宅の影響 について-わが国に輸入された米国住宅の動向を中心に--(『研究 年報』NO.23 pp.167-176 住宅総合研究財団 1996 年)では、戦 前期に輸入された米国住宅を取り上げ、その分析をもとに当時の住 宅の関心の様相を明らかにしている。また、中嶋直子との共著論文 「わが国戦前期の都市独立住宅における外部意匠の変容過程に関す る一考察-『あめりか屋』の住宅作品の外部意匠を中心に-」(『日 本建築学会計画系論文集』第 599 号 pp.181-188 2006 年 1 月) で は、外部意匠の分析から、当時の洋風住宅づくりを牽引していた「あ めりか屋」の作品が、明治末から大正期はアメリカの「バンガロー 様式」、大正後期からはアメリカの「スパニッシュ様式」の影響を受 けた住宅を手掛けていたことを明らかにし、ともにアメリカから持 ち込まれた住宅様式をもとにした住宅であったことを論じている。 こうした当時の海外からの影響関係を捉える研究は、近年、盛んに 行われており、上記の研究はそうした研究の走りといえよう。

③ 住宅作家・住宅論に関する研究

私は、洋風化研究を進める中で、建築家たちがどのような住宅を めざしていたのかの住宅作家・住宅論研究も展開している。すなわ ち、内田は戦前期の重要な単行本を編者兼解題者として選択し、多 くの研究者の協力を得て復刻している。具体的には、戦前期の住宅 史研究にとって貴重であり、当時の住宅界に大きな影響を与えたと 考えられる住宅系単行本を27冊選択し、『住宅建築文献集成』(第1 期-第4期 計27巻 2009年-2014年 柏書房)として復刻してい る。この中で私が解題を担当したものが、以下のものである。

- 論文 13:「住宅作家・山本拙郎の自由主義的住宅観について」(内 田青蔵編『住宅建築文献集成』第5巻 pp.383-405 2009 年 柏書房)
- 論文 14:「"住宅作家"の先駆者・保岡勝也」(内田青蔵編『住宅
 建築文献集成』第9巻 pp.619-643 2010年 柏書房)
- 論文 15:「健康的な"日本近代民家"の創出をめざした山田醇」
 (内田青蔵編『住宅建築文献集成』第 18 巻 pp.771-793
 2011 年 柏書房)
- 論文16:「わが国に持家を普及させようとした平尾善保の住宅論」 (内田青蔵編『住宅建築文献集成』第27巻 pp.663-678 2013 年 柏書房)

論文13・14・15の山本拙郎、保岡勝也、山田醇の3名は、論 文7で既に取り上げた住宅作家達である。彼らの事績を、その後明 らかになったことを含めより詳細に論じている。一方、論文16は、 昭和恐慌後の住宅不足期に日本電話建物株式会社を組織し、中流層 以下の人々を対象に持家を取得できることを謳い文句に住宅事業を 展開した平尾善保の住宅に関する考え方をまとめたものである。明 治末期以降、わが国では住宅関連の単行本の発行が急増した。そう した中で、独自の住宅論を展開している建築家などが散見される。 こうした住宅論研究や住宅作家論研究は、今後、益々注目されるも のと考えられる。

④ 住宅各部に関する史的研究

私の住宅史研究の姿勢が「洋風化」現象に捉え直し、洋風化によ る生活の変化から住宅の変化(洋風化)を捉えるという考え方を重 視することは既に紹介した。こうした見方は、必然的に住宅の各部 を分解しながら子細に検討する複眼的視点の存在を意味する。具体 的には、住宅の機能や諸室を分解して見るという研究方法を意味し ている。こうした方法によるものとして以下の論文がある。

- 論文 17:「戦前期におけるキッチンセットの成立と展開-鈴木式 高等炊事台を中心として」(日本生活学会編『台所の 100年』pp.187-214 ドメス出版 1999年)
- 論文18:「ダイニングキッチン (DK) 誕生前史-わが国戦前期の 住宅にみられる台所と食事の場の一体化の過程に関す る一考察」(日本生活学会編『台所の100年』pp.215-239 ドメス出版 1999年)
- 論文 19:「『玄関』から見た明治以降の住宅の洋風化に関する一考 察-戦前期刊行の建築系関連書籍を主資料として」(神 奈川大学日本常民文化研究所編『歴史と民俗』NO.32

pp.255-287 2016年2月)

論文17・18は日本生活学会編『生活学』第23冊として出版さ れたものである。2編共に、台所の変容過程を論じたものである。 住宅の変化は、すべての部分が一様に変化するわけではない。その 変化の様子は、部分々々によって異なる。今後は、こうした部位に 分け、それらがどのような変化の過程を示しているのか、その変化 の意味は何かといった解析が求められるであろう。論文19は、玄関 に注目し、伝統的な生活スタイルである靴を脱ぐという行為の場が どのように継承されてきたのかを論じたものである。

なお、こうした視点で私は『「間取り」で楽しむ住宅読本』(光文 社新書 光文社 2005年)をまとめている。いずれにせよ、こうし た住宅の部位に注目した分析は、今後も行われるであろうし、そう した研究を通して洋風化現象の解釈も一層進むものと考えている。

⑤ その他

戦前期の住宅の動向を探る研究として、他に以下のような研究 を行った。

- 論文 20:「建築学会の活動からみた大正 11 年開催の平和記念東京
 博覧会文化村に関する一考察」日本建築学会計画系論文
 集 第 529 号、pp263-270 2000 年 3 月
- 論文 21:「借家から持家へ-所有形態からみた戦前・戦後の住ま いの変容」(日本生活学会編『住まいの 100 年』pp.37-61 ドメス出版 2002 年)

論文 20 は、大正 11 年に開催された平和記念東京博覧会会場に 設けられた住宅展示場に関する論文である。開催 1 年前には住宅組 合法が公布され、建築学会では、そのモデルハウスとしての意味を 含め、積極的に住宅展示を推し進めたこと、アメリカのツーバイ フォー工法を採用した住宅が複数出品されたこと、「文化住宅」の呼 称がこの展覧会を機に流行したことなどを明らかにした。また、論 文 21 は、わが国の住宅の所有形態は、戦前期は圧倒的に借家形式で あったものが、大正 10 年公布の住宅組合法の影響もあって、昭和期 に入るとわずかながらも持家が増加していること、戦後直後になる と特家を強いられ、急速に所有形態が変化することを明らかにして いる。なお、この住宅組合法に関しては、藤谷陽悦博士との共同研 究において、住宅組合法の公布の経緯とその実体状況を明らかにし ている。

3 むすびにかえて-日本建築学会賞(論文)としての価値-私の近代日本住宅史に関する一連の研究概要を紹介してきた。改めて、その近代日本住宅史研究への貢献した点を整理すれば、「洋風化」と軽視されていた現象を主役とした新たな近代日本住宅史研究の展開であり、洋風化による生活の変化から住宅の変化(洋風化) を捉えるという住宅史研究の姿勢の導入といえるであろう。特に、 近代住宅を洋風化による生活の変化から捉える視線は、隣接する生 活学や生活文化史、あるいは風俗史といった様々な隣接する多様な 研究領域との研究交流を可能とするもので、これまでの建築学固有 の様式論の閉鎖感を取り去り、開かれた研究領域としての住宅史研 究の可能性を切り開いたといえるであろう。この点は、私の研究論 文が、日本生活学会や日本生活文化史学会の機関誌に報告されたも のであることが証明しているのである。

また、今後の発展さらには研究の影響・波及効果としては、近代 日本住宅史研究の多様性を促し、また具体的な多様な研究方法を提 示したこと、といえるであろう。

加えて、私の研究への貢献としては、研究成果を一般読者向けに まとめ、平易な文章による単行本として出版したことも指摘できる と考えている。論文6、論文7もこの範疇のものともいえるし、『「間 取り」で楽しむ住宅読本』(光文社新書 光文社 2005年)の他に、 『同潤会に学べー住まいの思想とそのデザイン』(2004年 王国社)、 そして『お屋敷拝見』(2003年 河出書房新社)、『お屋敷散歩』(2011 年 河出書房新社)なども挙げられる。これらは、研究の社会還元 であり社会的貢献といえる。こうした社会還元の成果は、研究への 一般人の関心に加え、歴史的建造物への関心や保存・再生などへの 関心の高まりという波及効果をもたらしているといえると自負して いる。

音響管の共鳴現象を利用した発破超低周波音消音装置の開発

安田 洋介*

Development of a Tube Resonance Type Silencer for Tunnel Blasting Infrasound

Yosuke YASUDA*

1. はじめに

このたび,飛島建設株式会社,株式会社藤崎商会,および本学の 三者で,日本騒音制御工学会 平成 29 年度環境デザイン賞を受賞し た.本賞は,都市環境,住環境,作業環境等に関わる音・振動問題 の改善のための計画や実施事例,またはそれらに関連する研究や技 術開発等で優れた業績を上げた法人,グループ又は個人に贈呈され るものである.この場をお借りして,関係各位に厚く御礼申し上げ ると共に,受賞内容について簡単にご報告させていただく次第であ る.なお,本稿は既往文献[1-8]から抜粋してまとめたものであるこ とを付記する.

2. 背景と目的

トンネル工事では、発破掘削によって超低周波音が発生する. 超 低周波音とは20Hz以下の音を指し、一般に人間の耳には聞こえな いが、周辺地域の家屋等の建具や窓ガラスをがたつかせたり、人体 へ圧迫感や振動感を与えたりすることから、トンネル工事に対する 苦情発生の主要因となっている.発破音の対策としては、トンネル 坑口へ防音扉を設置することが一般的であるが、超低周波音に対し て十分な遮音性能が得られるほどの剛性を防音扉とその接合部にお いて確保することは困難である.防音扉を複数設置して遮音性能を 確保する場合もあるが、対策コストの増大の他、施工性の低下、扉 間の共鳴による遮音性能の低下といった問題が発生する.

このような背景の下, ゼネコン各社を中心に, 発破音対策として 様々な消音装置の開発が進められている[9]. しかしながら, 実機に おいて 10 Hz 以下の超低周波音を対象としたものは見当たらない. そこで筆者らはその周波数域を対象とし, このたび音響管の共鳴現 象を利用した消音装置を開発した.

本消音装置の基本的な考え方や各構成要素の物理的な仕組みに 関しては、学術的に特段新しいものがあるわけではない. にもかか わらず受賞に至ったのは、実機において 10 Hz 以下の超低周波音へ の効果を確認している点、工事の進行に伴い変化するトンネル長さ への対応を考慮している点、開発にあたって多岐にわたる検討(1 次元波動音場理論、3次元波動数値解析、模型実験、現場検証)を 経ている点等が総合的に評価されたためであろうと考えている.

3. 消音装置の概要

3.1 音響管の共鳴現象

ここで用いる音響管とは、一端が開口、他端が閉口のものである. よく知られているように、管の長さを1、音波の波長をんとして、1+ ムl = (2n - 1)λ/4 のときに管が共鳴する.ここで、n は正の整数、 Al は開口端補正である.このとき管の開口面では、管内への入射波と 管内からの反射波が干渉して音圧が0、粒子速度が極大となる.こ のように、干渉により音圧が0となる面を「ソフトな境界」と呼ぶ ことがあり、剛な境界同様、音響的には完全反射面として機能する.

3.2 消音装置の基本的な考え方

トンネル内に音響管を配置した例を図1に示す. 超低周波音は波 長が数十メートルと長いため,トンネル内は1次元音場とみなせる. したがって,図のように音響管をトンネル内に配置すれば,防音扉 のようにトンネルの断面を全て塞がずとも,音響管の対象周波数の 音波に対して反射面を作ることが可能である.しかしながら,この 反射面をトンネル内のどこに置くかで遮音効果は大きく異なる.

図1(a) は、音響管の開口面をトンネルの切羽(振動面)から(2n-1) $\lambda/4$ となる位置に配置した場合である(図はn = 1の場合).この とき、振動面の位置はトンネル内にできる定在波音圧の腹(音圧極 大)となることから、 $W = (1/2) \operatorname{Re}[pv*]$ で表されるトンネルからの音 響放射パワーの値は増大する.ここで、p, vはそれぞれ振動面にお ける音圧と振動速度、*は複素共役、Re[]は括弧内の複素数の実部 を表す.一方、図1(b)のように音響管の開口面を振動面から(n - 1) $\lambda/2$ となる位置に配置した場合(図はn = 2の場合)、振動面の位 置が定在波音圧の節(音圧極小)となることから、振動面の振動速 度vが大きくても音響放射パワーWは小さくなる.

厳密には、音響管の挿入が振動速度 v の値に及ぼす影響(反射波 による音響負荷の影響), p と v の位相差の影響,音響管の振動の影 響,トンネル坑口側の共鳴の影響等も考慮する必要があるが、基本 的には以上のように、音響管の挿入により振動面(切羽)における 音圧を制御し、音響放射パワーを低減する仕組みである. (a) Non-effective position



(b) Effective position



図1 トンネル内での音響管の配置とその効果

3.3 消音装置の配置

トンネル工事においては、掘削の進行に伴いトンネルが長くなり、 切羽の位置が変化する.したがって、安定した遮音効果を得るため には,切羽位置に応じて音響管を適切な位置に移動する必要がある. しかしながら、これは施工サイクルへ悪影響を与えたり、設置位置 のずれを誘引し遮音性能を低下させたりする恐れがある. そこで, 切羽位置によらず安定した効果が得られるよう、トンネル坑口から 約10 m 切羽側に防音扉を設置し、防音扉を疑似的な振動源とみな して,その外側(坑口側)に消音装置を配置することとした.トン ネル坑口付近の防音扉と消音装置の配置について図2に示す.この ように、消音装置は対象周波数の異なる複数の音響管からなり、音 響管の開口位置はいずれも防音扉から1m坑口側となるように配置 した.音響管の対象周波数の波長(数十メートル)に対し、1 m と いう長さはほぼ無視できることから、これは振動面(防音扉)から 音響管の開口位置までの距離がほぼ 0 の場合 $((n-1)\lambda/2 \circ n = 1 \ge n)$ した場合)に相当するとみなせ、図1(b)と同様の放射パワー低減効 果が期待できる.



• : Measurement point

図2 防音扉と消音装置の配置

4.1次元波動音場理論による検討[1,2,5,8]

4.1 検討方法

基礎的な検討として、古典的な1次元波動音場理論に基づく計算 を行った.図1に示すように、トンネルを1次元の定常音場と捉え、 その内部に遮音対象の音波の波長の1/4となる長さの音響管を挿入 した場合の、トンネルからの音響放射パワーの変化について調べた. 4.2 結果と考察

計算結果の一例を図3に示す[8]. 音響管の対象周波数4Hz(一般 に発破で音響エネルギーが卓越する周波数)における,トンネル長 さ*l*,トンネル坑口から音響管開口までの距離*l*₀₂,トンネルからの 音響放射パワーレベル*L*_wの関係について表したものである.以下に 示す傾向からわかるように,発生する共鳴を適切に制御するために は,坑口の境界条件の把握や,切羽(振動面)から音響管開口まで の距離の正確な把握などが必要である.

4.2.1 全体的な傾向

音響管なし (w/o) の場合,トンネル長さに関わらず L_w の値が高 く,特に $l = 75.3 \text{ m} \ge 118.1 \text{ m}$ の場合は共鳴によるピークが見られる. 一方,音響管あり (w/silencer) の場合,全体的に L_w の値が大きく低 減している.ただし,トンネル長さlと音響管開口の位置 l_{02} の組み 合わせによっては,ほとんど効果が得られない(図中の W) ばかり か,場合によっては逆効果となる(図中の E).

4.2.2 トンネル坑口と音響管開口間での共鳴(共鳴W)

 $l_{02} = 53.7$ m, 96.7 m においてトンネル長さlによらず見られる L_w のピークは、トンネル坑口と音響管開口の間で起こる共鳴によるものであり、トンネル坑口の境界条件が変化するとピークとなる l_{02} が移動する.

4.2.3 振動面と音響管開口間での共鳴(共鳴 E)

図中で斜めに現れる L_wのピークは,振動面から音響管開口までの 距離が(2n-1)λ/4 となる場合に相当しており,このとき振動面での 音圧が極大となることから放射パワーが増大する.この共鳴を避け るためには,掘削によってトンネル長さが変化するたびに切羽(振 動面)から音響管開口までの距離を把握して音響管を適切な位置に 移動する必要がある.



図 3 トンネル長さ *l*, 音響管開口の位置 *l*₀₂と音響放射パワーレベ ル *L*_wの関係(w/ silencer: 音響管あり, w/o: 音響管なし)

5.1 検討方法

解析モデルを図4に示す.トンネル坑口から防音扉までの領域を モデル化し,防音扉を速度振幅1 m/sの振動面とした.トンネルの 断面形状は半径8.2 mの半円とし,坑口は現場実験(次節)との整 合性を考慮して斜坑門とした.消音装置を構成する音響管は表1に 示すものを想定し,いずれも管の開口が防音扉から1.0 mとなるよ うに配置した.解析手法には境界要素法(BEM)を用いた.厚み0 の縮退境界を用いた法線方向微分型の定式化とし,防音扉を振動境 界,その他の面を全て剛境界として扱った.

Resonance		Cross sectional area of tube [m ²]	Length	Number		
frequency [Hz]	Туре		of tube [m]	Numerical analysis	Actual experiment	
	А	0.842	22.813	2	2	
4	В	1.684	18.981	2	2	
	D	0.702	22.839	-	1	
6	Е	6.017	13.482	1	1	
0	А	0.853	8.243	2	2	
8	С	1.416	9.600	2	3	

表1 音響管の諸元 (波動数値解析, 現場実験)





5.2 結果と考察

受音点 R (図4参照) における音圧レベルを図5に示す[7]. 音響 管がない場合, 5.7 Hz 付近に音圧レベルのピークがあるが, これは 振動面(防音扉)から坑口までのトンネルの共鳴が原因である.音 響管を設置した場合,その対象周波数近辺で深いディップが発生し ており,音圧低減効果が確認できる.一方で,その前後の周波数に おいてはピークが発生して音圧レベルが増大している.これは解析 において減衰を全く考慮していないためである.実際の現場におい ては音響管の振動その他に起因する減衰が働くため,ピーク・ディッ プが抑えられると共に,その傾きも緩やかになるものと考えられる.



図5 受音点 R における音圧レベル(波動数値解析結果)

6. 現場実験による検証[3,4,6,7]

6.1 実験方法

現場は設計掘削断面積が約 110 m²の山岳トンネルである.トンネル応口付近に設置された消音装置の様子を写真 1 に示す.図 2 に示すように,防音扉の切羽側 (P1) と坑口側 (P2) の 2 箇所において,発破時の音圧レベルの最大値 L_{pmax} を測定した.ところで,一般に発破時の音圧レベルは,薬量やトンネル長さだけでなく,岩質や発破箇所,雷管の数や段数等の様々な要因によって決まることから,測定された音圧レベルそのものを評価量として用いることはできない.そこで,測定点 P1 と P2 における音圧レベルの差 $\Delta L = L_{pmax,P1} - L_{pmax,P2}$ を評価量とした.音響管の種類は表 1 に示した 6 種類であり,トンネル断面に対する面積比は,対象周波数ごとにそれぞれ 5%程度とした.発破に関する諸元を表 2 に示す.No.1,2 は消音装置がない場合,No.3~5 は装置がある場合である.



写真1 トンネル現場での消音装置の設置状況(撮影:西山芳一)

No.	Length of tunnel [m]	Quantity of explosive [kg]	Silencer	
1	491.1	23.4	not oneliad	
2	492.3	58.6	not appried	
3	499.5	97.8		
4	503.1	79.4	applied	
5	505.5	96.4		

表2 発破の諸元

6.2 結果と考察

音圧レベル差ΔL の測定結果を図 6 に示す[7]. 消音装置を設置した No. 3, 4, 5 では,対象とした 4, 6, 8 Hz 付近にそれぞれピークが現れており,遮音効果を確認できた.ピークの起こる周波数でのΔL の増加量の平均値は,3.75 Hz で 3.5 dB,5.75 Hz で 10.5 dB,7.5 Hz で 8.7 dB であった.また,現場実験結果では上述の数値解析結果に比べてピーク・ディップが緩やかであり,数値解析結果においてピーク前後に見られたディップ(遮音性能の低下)は認められなかった.これは,数値解析で考慮されていなかった音響管の鋼板の振動等による減衰の影響によるものと考えられる.



図6 測定点 P1・P2 間の音圧レベル差△L(現場実験結果)

7. おわりに

以上,音響管の共鳴現象を利用した発破超低周波音消音装置の 開発研究の一部をご紹介した.既に述べた通り,本装置の効果は現 場において確認されており,現在は実用化されて実際のトンネル工 事現場において使用されているとのことである.その上,このたび 受賞という形で評価され,工学系の研究者として率直に嬉しく思う 次第である.

参考文献

[1] 村澤優也,関根秀久,安田洋介,岩根康之,小林真人,内田季延,音響管による1次元音場内の騒音低減 一理論計算による検討一,日本音響学会講演論文集(春季),1001-1004 (2016.3).
[2] 岩根康之,小林真人,内田季延,村澤優也,関根秀久,安田洋介,音響管による1次元音場内の騒音低減 一実験による検討一,日本音響学会講演論文集(春季),1005-1006 (2016.3).
[3] 岩根康之,小林真人,内田季延,川澄卓也,関根秀久,安田洋介,共鳴型消音装置による発破超低周波音の消音効果に関する検討,日本音響学会講演論文集(春季),793-794 (2017.3).

[4] 岩根康之,小林真人,内田季延,川澄卓也,関根秀久,安田洋

介,超低周波音を対象とした音響管の共鳴周波数と板剛性の関係, 日本音響学会講演論文集(秋季),951-954 (2017.9).

[5] 川澄卓也,関根秀久,安田洋介,岩根康之,小林真人,内田季 延,音響管を用いた断面縮小型の消音装置によるトンネル発破超低 周波音の低減 —1次元音場理論と模型実験による検討—,日本音 響学会講演論文集(春季), 853-854 (2018.3).

[6] 小林真人,岩根康之,安田洋介,トンネル発破で発生する超低 周波音の消音装置,騒音制御,41(6),258-261(2017.12).

[7] 岩根康之,小林真人,内田季延,川澄卓也,関根秀久,安田洋 介,発破超低周波音を対象とした共鳴型消音装置の開発,日本騒音 制御工学会秋季研究発表会講演論文集,71-74 (2018.10).

[8] 川澄卓也,関根秀久,安田洋介,岩根康之,小林真人,内田季延,トンネル発破低周波音を対象とした共鳴型消音装置の配置について 一1次元音場理論による検討一,日本騒音制御工学会秋季研究発表会講演論文集,75-78 (2018.10).

[9] 特集 トンネル発破における最新の防音対策技術, 騒音制御, 41 (6), 253-293 (2017. 12).

4. 工学部特別予算重要機器整備費関連研究

- 4-1 音響強度測定装置による超音波プローブの音場測定
- 4-2 擬定常状態光伝導度測定システム

土屋 健伸,干場 功太郎,遠藤 信行

松木 伸行

4-3 デジタルファブリケーションシステムを活用した教育・研究

髙野倉 雅人, 片桐 英樹, 松本 光広, 西川 昌宏, 酒井 裕介

音響強度測定装置による超音波プローブの音場測定

土屋 健伸* 干場 功太郎*** 遠藤 信行**

Measurement of Sound field Projected from Ultrasonic Probe by Acoustic Intensity Measurement System

Takenobu TSUCHIYA* Kotaro HOSHIBA** Nobuyuki ENDOH**

1. 装置の概要

本報では 2016 年度工学部特別予算重要機器整備費備品で購入し た Onda 社製水質環境管理システムと、それを接続した Onda 社製 AIMS 音響強度測定システム(AIMS-Ⅲ)によって得られた成果を 説明する. AIMS-Ⅲの写真を図1に示す. AIMS-Ⅲは, 医療分野を はじめ,NDT,海洋学及びその他産業分野における超音波応用技術 で使用される超音波ビームの特性ならびに強度分布の測定用として 開発された水中測定専用の高精度な自動スキャン音響強度測定シス テムである. 我々は, 水中を始め, 空気中や体内, 固体中などの様々 な媒質において超音波を用いた計測技術に関する研究を行っている ため、この AIMS-IIIシステムにより水中の様々な超音波装置の音場 測定を行っている.工学的に社会に貢献するための超音波を用いた 技術開発・確立のためには、まず使用する超音波プローブの振る舞 いを理解しなければならない. そして, 超音波を発生させる機構・ 仕組み(トランスデューサ)と共に空間に放射された"超音波の空 間的・時間的分布"を精密に把握することが最も重要である.つま り、トランスデューサより空気中や水中に放射された超音波を精密



図1 AIMS 音響強度測定システム(通称 AIMS-Ⅲ: Onda 社製)
 の水槽,筐体,3軸位置決め・サブシステム

*准教授 電気電子情報工学科

Associate Professor, Dept. of Electrical and Electronic Information Engineering

**助教 電気電子情報工学科

Assistant Professor, Dept. of Electrical and Electronic Information Engineering

****名誉教授 電気電子情報工学科

Professor Emeritus, Dept. Electrical and Electronic Information Engineering



(a) ハイドロフォン概観(b) AIMS-III 装着時

図2 AIMS 音響強度測定システム用ハイドロフォン

かつ短時間に測定することが研究開発の速度を上げることに繋がる. 水中の超音波の空間的・時間的音場測定は図2に示されるハイド ロフォンと呼ばれる特殊な水中用マイクを使用し,空間的に走査す ることで実行できる.水中を伝搬する超音波の分布(音場)は大ま かに言えば波長間隔で変化する[1].水中の音速を1500 m/s,周波数 を3.5 MHzとすると超音波の波長は大よそ0.43 mm であり,より精 密な音場測定には精密な移動装置が必要である.

AIMS システムは,大別して,① 検出,② 機械的位置決め,③ 信 号処理/デジタル化 および ④ 制御 (ハード or ソフト)の主要機 能サブシステムから構成されている.本製品の基本システム構成は, 次の通りである.

・システム・コントローラ・サブシステム

- ·水槽,筐体,3軸位置決め·サブシステム
- 広帯域データ収集デジタイザ・サブシステム

·AIMS 専用制御計測ソフトウェア

さらに、オプションとして、5軸スキャンを可能にするアンギュラー ポジショナ、脱気・フィルタ・滅菌・温度等を自動制御する水質管理シ ステム、ハイドロフォンチェック用標準音源ユニット等がある.2016 年度に購入した水質管理システムを図3に示す.この水質管理シス テムは AIMS-IIIに接続することで効果を発揮する.AIMS-III下部の 排水口を介して水槽中の水を水質管理システムに循環させる.水質 管理システムでは、先に述べたように水の脱気を行い、フィルタで ごみ等を排除し、紫外線で滅菌する.さらに温度等を自動制御する. 水中に気泡などが存在すると超音波プローブの音場を乱してしまう ために、正確な音場測定にはごみの除去が重要である.また、ごみ が気泡の発生の核となり誘発するため、これも測定の妨げとなる. さらに、脱泡する理由は、水の溶存気体量が多いと気泡が発生しや



図3 AIMS 音響強度測定システム用水質管理システム

すくなるためである.特に強力な超音波を照射すると水中に気泡が 発生するが,溶存気体量が多いと気泡の発生閾値が下がってしまう ため,強い超音波での測定に支障をきたすためである.以上の通り, 水質管理システムを利用することでより精度が高く広い強度範囲で の測定が可能となる.

2. 超音波プローブの放射音場測定例

現在,研究室では「超音波を生体照射した際の生体内部の安全性 (温度上昇の把握)に関する研究」を行っている[2-4].生体に超音 波を照射すると内部温度が上昇することは良く知られている.超音 波診断装置による過度な超音波の照射は生体に悪影響を及ぼす懸念 があるため,十分な安全性確保の規格として IEC 60601-3-27 が策定 されている[5-7].しかし,近年になって規格の想定外の送信条件で 撮像を行う超音波診断装置が設計されている[8-9].このことから, 規格の再策定が進めされている.再策定のためには,より高精度な 温度測定の手法が必要となるが,生体内部の音場や温度分布を高精 度には測定できない.そこで,数値解析的に予測を行う.数値解析 による生体内部の温度予測には超音波プローブの精密な音場が必要 となる.そのデータを基に生体内部の発熱条件を推定することがで きる.

超音波プローブの精密な音を測定する AIMS-Ⅲによる水中音場測 定プロック図を図4に示す.ファンクションジェネレータよりバースト状(10 ~20 サイクル程度)の電気信号を発信し、パワーアンプにて増幅する.増 幅された電気信号を超音波プローブ(トランスデューサ)に印加する. 超音波トランスデューサはジルコン酸チタン酸鉛が材料のへ圧電素 子(PZT)で構成されており、平行円形平板の電極で挟み込まれて いる.PZT 素子が印加された電圧に比例して厚み方向に振動するこ



図 4 AIMS-Ⅲによる水中音場測定プロック図

とで、水中に超音波を照射する.水中を伝搬した超音波は、ハイド ロフォンで受信されて電気信号に変換される.受波される電気信号 は微弱なためにプリアンプで増幅する.増幅した信号をオシロス コープで AD 変換後、データを PC に転送して各種の解析を行う. AIMS-IIIは超音波を受波するハイドロフォンの位置決めを行う.さ らに、3 次元的に走査を行いながらオシロスコープでのデジタイジ ングを自動で行い、水中の音場分布測定を従来よりも高速かつ精密 に実施する.周波数が1MHz,音源有効駆動径が43 mmの焦点距離 約 60 mmの集束型音源の放射音場の測定結果を図5に示す.空間の 測定間隔(空間刻み)は0.1 mmで実施した.測定点はおおよそ20 万点になる.音圧値は焦点での最大値で正規化している.音源は左 側面方向にあり、右方向に音波を照射している.55 mm 付近で音が 集束し、その後拡散していくことが分かる.

3. 測定結果の応用例—超音波を生体照射した際の温度上昇測定—

測定した超音波プローブの音場データを用いた例として,超音波 を生体模擬ファントムに照射した際の温度上昇測定について述べる.

今日,超音波診断装置は広く普及し,医療現場,特に産婦人科 領域では必要不可欠なものとなっている.しかし,診断対象領域の 拡大や診断装置の性能を向上する目的での照射超音波の高周波 化・高出力化に伴って,超音波装置の安全性を検証するための研究 が世界中で実行されている.日本超音波医学会でも機器及び安全関 する委員会を中心に安全性についての検討や実験が実施されてお り,近年では音響放射圧を用いたイメージング装置の生体への影響 について,多方面から検討を実施している.そこで,赤外線カメラ を用いた熱画像法による測定システムを構築し,IEC 60601-2-37 を参考に製作した分割ファントムを用い,その断面の2次元温度分



図5 周波数が1MHz, 音源半径が12.5mmの焦点距離55mmの集束型音源の放射音場の測

布測定を行い,温度分布と照射超音波出力の関係性を求めた.

ここでは, IEC 60601-2-37 に記載されている生体軟部組織模擬材 (TMM: Tissue Mimicking Material)の質量分率を参考に生体軟部組 織を模擬する TMM ファントムの作製を行い, 温度上昇実験に用い た. TMM ファントムは人の手で作られるため、例え成分表どおり に作製を行っても,規格に記載されている標準パラメータと全く同 じパラメータを持つファントムが出来る保障はない. そこで, 使用 するファントムは温度上昇実験および測定を行う前に,音響的・熱 的パラメータを予め測定し,各種パラメータが大きな差がないこと を確認した.ファントムの物理パラメータとして密度,比熱,熱伝 導率, 音速, 減衰係数の5つについて測定を行った, 製作した TMM ファントムの写真を図6に示す.ファントムの大きさは縦・横・高 さがそれぞれ 90 mm の立方体で作成し,中央で 2 分割する. また, なるべく外気に触れさせないためと,断面を測定する際に素早く開 放できるように側面をアクリルケースで覆っている.測定した各物 理バラメータを表 1に示す. 規格記載のパラメータとほぼ同等の 結果が得られた.

表1 TMM ファントムの物理パラメータの測定結果

パラメータ	単位	文献値	ファントム1	ファントム2
音速	[m/s]	1540	1520	1540
密度	$[kg/m^3]$	1050	1040	1050
減衰係数	[dB/(cm·MHz)]	0.5	0.5	0.8
比熱	[J/(kg•K)]	3800	3600	3800
熱伝導率	$[W/m \cdot K]$	0.58	0.5	0.48

TMMファントムの温度上昇の測定には赤外線カメラを使用した [10].一般的に赤外線カメラは測定対象との距離が近いほど,測定 できる範囲が狭くなり,熱画像を構成するグリッドの最小検知寸法 が小さくなる.今回用いた赤外線カメラが検知可能な最小距離は 300 mmであり,このときの測定視野は縦・横ともに137 mmとTMM ファントムが十分収まる範囲である.

本報での温度上昇実験および熱画像による測定のブロック図を 図7に示す.超音波プローブ(トランスデューサ)の振動面には超 音波ジェルを塗り,TMMファントムに密着させ超音波照射を行っ た.TMMファントムの下部には反射を防ぐため吸音材を敷いた. それぞれの測定で決めた照射時間が経過した後に照射を止め,分割 ファントムの断面を開くと同時に断面から300 mm 離れた位置に ある赤外線カメラにて熱画像を取得し,温度分布を可視化した.ト ランスデューサは予め音場を測定し,その分布より超音波プローブ



図6 生体模擬ファントムの写真



図7 赤外線カメラを用いた生体ファントム内の 温度分布の可視化

から放射される単位時間当たりの超音波の全エネルギーである超 音波強度を算出した.測定は装置の駆動などによる振動を防ぐため, 光学系防振台の上で行った.赤外線カメラは位置ずれを防止するた め防振台に固定した.また,昇降機を用いて超音波プローブの移動 を行うことで,毎回同じ位置で超音波照射を行えるようにした.こ のとき超音波プローブの中心がファントム上面の中心が一致する よう TMM ファントムの開閉位置を決めた.超音波照射中は外乱を 防ぐため風防を被せた.

図 8 に赤外線カメラを用いた生体ファントム内の温度分布の測 定結果を示す.照射した超音波の周波数が 1 MHz,強度が 72 W/cm²,デューティ比が 20%である.超音波による発熱量 *Q* は以 下の式(1)で表される.

$$Q = 2\alpha I \tag{1}$$

ここでαはファントムの減衰係数, I は超音波の強度である.つまり, 超音波の強度に比例して温度は上昇する.減衰係数が一定と仮



図8 赤外線カメラを用いた生体ファントム内の 温度分布の測定結果

定すると、AIMS-IIIにて測定した超音波の音場分布に対応して温度 が上昇する.図5と図8を比べると、超音波が最大となる焦点位置 において温度が最大となっている.図9にプローブ中心軸上の温度 上昇分布を示す.図8と同様に、プローブからの距離55mmの位置 が最高温度となっている.一方、距離方向の分布は図8の音場分布 と比べると緩やかに減少していることが分かる.これは、超音波で 発生した熱が徐々に温度の低い領域に熱伝搬したためである.その ため、温度分布と音場分布は必ずしも比例しない.図10にプローブ からの距離55mmでの方位方向に温度上昇分布を示す.こちらも超 音波の音場に比べて緩やかに減少している.理由は前述通りである. しかしながら、最大温度上昇値は、使用した超音波プローブの焦点 位置と一致していることから、AIMS-IIIによって、事前に超音波プ ローブの音場を測定することは、結果確認の上で重要である.

4. 結言

本報では 2016 年度工学部特別予算重要機器整備費備品で購入した Onda 社製水質環境管理システムと,それを接続した Onda 社製 AIMS 音響強度測定システム(通称 AIMS-III)によって得られた成 果について説明した.さらに,超音波を生体模擬ファントムに照射 した際の温度上昇の測定について述べた.超音波を用いた計測技術 や多種な装置類の開発を行う上で,超音波による"場"としての空 間的な音場分布を知ることは重要である.その点,水質管理システ ムが接続された AIMS-III は非常に有効な装置であり,研究の今後 の発展のためには重要な測定装置である.

参考文献

[1] 日本電子機械工業会編, 改訂 医用超音波機器ハンドブック コロナ社 (1987)pp.1-11

[2] Y Saito, T Ishizeki, T Tsuchiya, N Endoh. Numerical Analysis of Temperature Rise in Tissue Using Ultrasound. Jpn. J. Appl. Phys. 44(6B), 4600-4601 (2005).

[3] Y Saito, T Tsuchiya, N Endoh. Numerical Analysis of Temperature Rise in Tissue Using Electronically Focused Ultrasound. Jpn. J. Appl. Phys.4, 5 (5B), 4693-4696 (2006).

[4] 遠藤信行, 土屋健伸, 超音波照射時の生体内温度上昇における擬似骨の影響のファントム実験とシミュレーションとの比較検討, Jpn. J. Med. Ultrasonics, 35 (2), 73-181 (2008).

[5] JIS T0601-2-37(第 2-37部: 医用超音波診断装置及びモニタ機器の安全に関する個別要求事項).日本規格協会 (2005).

[6] NCRP. Implementation of the principle of as low as reasonably achievable (ALARA) for medical and dental personnel. NCRP Report No.107, Bethesda, MD, USA, National Council on Radiation Protection and Measurements, (1990).

[7] 工藤信樹, "超音波の安全性について", 超音波医学 35 (6) 623 (2008).

[8] 日本超音波医学会,診断用超音波の安全性に関する見解,超 音波医学 11,41-46 (1984).

[9] WFUMB, WFUMB Symposium on Safety and Standardization in

Medical Ultrasound, Synopsis, Ultrasound Med Boil 18, 33-737 (1992). [10] 山崎聡, 菊池恒男, 分割 TMM を用いた熱画像による温度測定 の妥当性検討, 超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシ ンポジウム講演論文集 (31), 277-278, (2010).







図10 最高温度上昇点での方位方向の温度上昇分布

擬定常状態光伝導度測定システム

松木 伸行*

Quasi-Steady-State Photoconductance Measurement System

Nobuyuki MATSUKI*

1. 緒言

現在,世界中で「脱化石エネルギー」の潮流が顕著となっている. 近年,世界最大の石油財閥であるロックフェラー家が石油ビジネス から撤退し,再生可能エネルギーへ投資を転換するという宣言が世 界に衝撃を与えた^[1].また,再生可能エネルギー事業へ機関投資家の 投資を促すグリーンボンド(環境債)の市場も急速に拡大し2017年 には約17兆円にまで成長するに至った^[2].再生可能エネルギーの導 入は,もはや地球環境と人類の未来に対する高邁な理念ではなく,ビ ジネスと市場によって牽引される段階に突入したといえる.2016年 現在,全世界における発電量のうち,自然エネルギーによる割合は 24.5%となっており,その内訳は,水力16.6%,風力4.0%,バイオマ ス 2.0%,太陽光 1.5%,海洋発電・太陽熱・地熱発電 0.4%である^[3].

太陽光発電に用いられる太陽電池パネルは,住宅やビル,工場など 広範囲に既存の施設上に設置することが可能であり,また他の発電 方式と比較して導入コストが低いという利点を有している.この設 置簡便性と太陽電池の低価格化により,最近10年間で急速に導入量 が増大し,2016年には累積導入量が303GWを超えた.これは,1基 約1GW出力の標準的な原子力発電所303基分に相当する.

太陽電池には表1に示すように様々な形式があり、変換効率と耐 久性を向上させるための研究開発が世界各国で活発に行われている ⁽⁴⁾. 筆者は水素化アモルファス Si/結晶 Si (a-Si:H/c-Si) ヘテロ接合 太陽電池の変換効率をさらに向上させるため、a-Si:H と c-Si による ヘテロ界面の微細構造について調べている^[5]. 擬定常状態光伝導度測 定 (<u>Quasi-Steady-State Photoconductance Measurement</u>: QSSPC measurement) は、バルク Si 系太陽電池における少数キャリア寿命を 測定する手法であり、現在、同材料の潜在的な性能を評価するための

材料系	光電変換 材料厚さ	形式	変換効率 (%) ※ ^[4]	産業化 フェーズ	
		結晶 Si pn 接合	26.6	成熟期	
	バルク (>100)	多結晶 Si	22.3		
	(>100 µm)	a-Si:H/c-Si ヘテロ接合	26.7		
Amt. 4616	薄膜 (< 5 μm)	a-Si:H	10.2	成長期	
無機		μc-Si:H	11.9		
		a-Si:H/nc-Si	14.0		
		CIGS	22.9		
		CdTe	21.0		
		Cu-Zn-Sn-S-Se (CZTS)	11.3		
	薄膜 (< 5 μm)	ハライドペロブスカイト	20.9	研究開発	
有機		有機薄膜	11.2	段階	
		色素増感型	11.9		

表1 種々の太陽電池とその特徴

※研究レベルで得られている小面積での最高効率[4].

*准教授 電気電子情報工学科

最も標準的な手法のひとつとして広く用いられている.

本稿では、平成28年度工学部内重要機器整備費により整備した QSSPCの測定原理・構成とこれを用いた研究について概説する.

2. 擬定常状態光伝導度測定法

擬定常状態光伝導度測定(以下,QSSPC測定)法は,Si等の半導体ウエハにフラッシュランプ光を照射し,生成された過剰キャリアが再結合しながら減衰する過渡状態を,半導体ウエハに近接させた高周波誘導結合コイルによって非接触で計測する手法である^[6].この計測により,半導体内少数キャリア寿命と,太陽電池構造とした場合に得られる最大開放電圧値(理論開放電圧)V_{oc}^{Implied}を求めることができる.

p型Si内における少数キャリア密度nの時間変化は、定常的な光照射によるキャリア生成速度G_L(s⁻¹m⁻³)、欠陥準位による再結合速度R(s⁻¹m⁻³)を用いて以下の式で表される:

$$\frac{\mathrm{d}n}{\mathrm{d}t} = G_{\mathrm{L}} - R \tag{1}$$

ここで、再結合速度 R は $n - n_0$ (n_0 : 光未照射状態=熱平衡状態の 少数キャリア密度)に比例し、少数キャリア寿命 τ_e に反比例するので、 $R = (n - n_0)/\tau_e$ と表せる. フラッシュランプ光の緩和時定数が数 ms 程度であり、かつ少数キャリアライフタイムがその 1/10 程度の場合 には、少数キャリア密度は時間変化せずdn(t)/dt = 0、すなわち(1)式 において $G_L \cong R$ の擬定常状態とみなせる. この条件と(1)式から、

$$G_{\rm L} = \frac{n - n_0}{\tau_e} \tag{2}$$

が導かれる. ところで, フラッシュランプ光照射により増大する伝導 度 σ_{ph} は,素電荷 q,増大したキャリア密度 $(n - n_0)$,移動度 $(\mu_n + \mu_p)$ を用いて次の式で表される:

$$\sigma_{\rm ph} = q(n - n_0)(\mu_n + \mu_p)$$
 (3)
上記(3)を(2)に代入して $(n - n_0)$ を消去することにより,

$$\tau_e = \frac{\sigma_{\rm ph}}{qG_{\rm L}(\mu_n + \mu_p)} \tag{4}$$

が導かれる. σ_{ph} は高周波誘導結合型非接触抵抗率測定法により算出 することが可能であり、 G_L はフラッシュランプ光の照射フォトン数 N_{ph} ,半導体の表面反射率rから得られる表面透過率(1-r)および光の 侵入長 λ を用いて $G_L = N_{ph}\lambda(1-r)$ から見積もられる.また $(\mu_n + \mu_p)$ は 半導体についてすでに求められている一般的な値を用いることがで きる.以上の測定と計算をプログラム制御により行うことによって、 τ_e が決定される.

単接合太陽電池の理論的な開放電圧V_{oc}^{Implied}は,電子濃度 n,正孔濃

Associate Professor, Dept. of Electrical, Electronics and Information Engineering

度 p, 真性キャリア密度 niを用いて以下の関係式で表される:

$$V_{\rm OC}^{\rm Implied} = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{np}{n_i^2}\right)$$

ここで、kはボルツマン定数、Tは温度を表す.光照射下の非平衡状態ではnの代わりに余剰少数キャリア密度 $n - n_0$ 、pの代わりにボロンドープ濃度 N_A を用いた $N_A + (n - n_0)$ を(5)に適用する.つまり、基準太陽光に相当する光を照射した場合の余剰少数キャリア密度を計測することによって、理論的な開放電圧を求めることができる.

(5)

3. 擬定常状態光伝導度(QSSPC)測定システムの構成

図1に、本研究で導入した Sinton 社 QSSPC 測定システムの外観を 示す.同システムは、QSSPC 測定装置、入力・結果表示端末(以下、 端末)および制御・演算用パーソナルコンピュータ(以下,PC)に よって構成される.図2に、QSSPC 測定装置の外観を示す.同装置 はフラッシュランプ、フラッシュランプ用コンデンサ、高周波誘導結 合型非接触抵抗率測定部(以下,測定部)より構成される.測定の流 れは以下のとおりである.測定部上に半導体ウエハを載置し、端末か ら専用解析アプリケーションにウエハの p/n型,抵抗率・厚みを入力 する.その後フラッシュランプ光を単発照射すると、測定部の誘導結 合過渡応答が PC に取り込まれる.誘導結合過渡応答データは光強度 に対する少数キャリアライフタイムの依存性データに変換され、基 準太陽光下における少数キャリアライフタイムを算出する.

4. 結晶 Si 太陽電池の少数キャリア寿命測定結果

化学気相成長 SiN によって表面パッシベーション処理を施したテ クスチャ単結晶 Si (c-Si) ウエハの測定例について以下に述べる. 厚 み 155 μm, n型,抵抗率 5 Ω·cm の c-Si ウエハの少数キャリア寿命を 室温 (20 °C) で測定した. 図 3 に,同測定の結果を示す. 少数キャ



図 1 QSSPC 測定システム外観



図 2 QSSPC 測定装置外観

リア寿命を判定するための標準的な少数キャリア密度である 3×10^{15} cm⁻³において 113 µs であることがわかる (図中 ◆). また図 4 に少数 キャリア密度から算出された $V_{0c}^{Implied}$ の照射光強度依存性を示す. データがステップ状になっているのは最小算出電圧が 10 mV となっ ているためである.基準太陽光強度 1 sun において $V_{0c}^{Implied} = 0.64$ V であることがわかる (図中口).



5. 今後の展開

a-Si:H/c-Si ヘテロ接合太陽電池におけるヘテロ界面近傍のボイド 構造と少数キャリア寿命との相関解明,太陽電池用新規パッシベー ション材料の開発へ本 QSSPC 測定システムの活用を推進する.

6. 結言

Si系太陽電池開発に必要不可欠な QSSPC 測定システムを整備し, 単結晶 Si ウエハの少数キャリア寿命および理論開放電圧の評価を 行った.

7. 謝辞

本稿で紹介した QSSPC 測定システムは平成 28 年度工学部内重 要機器整備費により整備された.

参考文献

- Rockefeller Brothers fund, https://www.rbf.org/mission-alignedinvesting/divestment; BBC NEWS, https://www.bbc.com/news/ world-us-canada-29310475 (2014).
- [2] 平成 29 年版環境白書, 環境省 (2017) pp. 45-47.
- [3] Renewables 2017, Global Status Report, Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (2017).
- [4] M. A. Green, Y. Hishikawa, E. D. Dunlop, D. H. Levi, J. Hohl-Ebinger, M. Yoshita, A. W.Y. Ho-Baillie, *Prog. Photovolt. Res. Appl.* 27 (2019) pp. 3-12.
- [5] 松木伸行, 工学研究所所報 No.38, 神奈川大学 (2015) pp.3-16.
- [6] R. A. Sinton, A. Cuevas, and M. Stuckings, Proc. of the 25th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (1996) pp. 457-460.

デジタルファブリケーションシステムを活用した教育・研究

高野倉 雅人* 片桐 英樹** 松本 光広* 西川 昌宏*** 酒井 裕介****

Education and Research Using the Digital Fabrication System

Masato TAKANOKURA* Hideki KATAGIRI** Mitsuhiro MATSUMOTO* Masahiro NISHIKAWA*** Yusuke SAKAI****

1. 整備機器の機能・特徴

経営工学科の柱であるモノづくり技術とそれを活用したマネジメ ント技術を学ぶ教育研究設備の拡充を目的として、2016年度にデジ タルファブリケーションシステムを導入した.本システムは、 3DCAD データから実物を造形する 3D フルカラープリンタと、対象 物の空間座標を 3DCAD データとしてコンピュータに取り込む 3D スキャナから構成される.本システム導入により、3 次元モデルを 用いたモノづくり技術に立脚した経営工学の教育と研究が可能と なった.

図1に示す 3D フルカラープリンタ(Mcor IRIS 3S Printer)は、自 由な発想から100万色以上の高精細なフルカラーで、かつ強度の高 い安定した3次元オブジェクトを製作することができる機器である. 造形後に色付けする従来の3次元プリンタでの作業と異なり、印刷 と造形を1台で同時に行い、色付け作業が困難なアンダーカットな ど、微細な部分への色付けを自動で行える.使用する材料は、一般 に販売されているA4標準コピー用紙である。出来上がったモデル は軽量で、紙とは想像できない程に写実性が高く強度があり、従来 の3Dプリンタでは難しい製品のエッジ部分の表現も可能である.

図2に示す3Dスキャナ(NextEngine HD Pro)は、小型軽量な製品で、机の上でいつでも手軽に3Dスキャンを行うことが可能である.独自のマルチレーザー方式と回転テーブルの組み合わせにより、あらゆる形状のスキャンが可能であり、さらにスキャンと同時に表面の色情報も取得する.また3Dスキャナに回転テーブル(MultiDrive)を組み合わせることで、様々な角度で自動的なスキャンニングを可能にしている.回転からチルト角の設定までを自動制御して、位置合わせも含めたワンクリック自動スキャンを実現している.さらにスキャンした点群データからフィーチャーベース CAD

*准教授 経営工学科

Associate Professor, Dept. of Industrial Engineering and Management **教授 経営工学科

Professor, Dept. of Industrial Engineering and Management ***助手 経営工学科

Research Associate, Dept. of Industrial Engineering and Management

****技術職員 経営工学科

Technical Assistant, Dept. of Industrial Engineering and Management

モデルを作成するソフトウェア(RapidWorks)を組み合わせることで、リバースエンジニアリングも実現している.



図 1 3D プリンタ (Mcor IRIS 3S Printer)



図 2 3D スキャナ (NextEngine HD Pro)

2. 教育に関する成果--基礎製図での利用

2 年次前期の必修科目「基礎製図」では、学生が機械・電気分野 の基礎的な製図の知識とスキルを修得することを目的に、投影法と 立体図の表し方、投影図や等角図の作成などを演習形式で実施して いる.製図の基礎として平面図形,投影法,第三角法,投影図を学 んだ後に、立体図の書き方を学んでいる.しかし、2 年次前期の段 階ではじめて製図の知識を学び、平面図や立体図を描く経験をする 学生も多く、特に立体を平面的に表すことに学生が困難さを感じる ことが多い.またモノづくりの経験が少ない学生も多いことから、 部品の断面形状や、複数の部品を組み立てて製品が構成されること をイメージすることが難しい学生も多い.

経営工学科の学生が基礎製図を学ぶ際の支障をできるだけ取り除 くことを目的に、3D プリンタを活用している.図3 に示すように、 部品の形状や見え方を学生が視覚的に理解できるように、製図の課 題となる部品を3D プリンタで造形して、授業中に学生が部品を手 に取って確認できるようにしている.また図4に示すように、複数 の部品を3D プリンタで造形して、部品の断面形状や組立を学生が 視覚的に理解できるようにしている.

以上のように、3D プリンタの導入によって、多くの学生が困難さ を感じていた3次元の立体構造を平面図に正しく製図できるように なり、経営工学科の柱の一つであるモノづくり技術の教育に高い効 果を与えられている.



図 3 3D プリンタで造形した部品



図4 立体構造の理解

3. 研究に関する成果

経営システム工学研究室が参加した神奈川産学チャレンジプロ グラムでの研究に、デジタルファブリケーションシステムを活用し た.神奈川産学チャレンジプログラムは、産学連携による学生の人 材育成を目的とした課題解決型研究プログラムである^[1].本プログ ラムの参加企業が直面する経営課題が研究課題として設定され、そ れに対して参加大学の学生チームが自主的・能動的に研究を行い、 実践的で実効性のある解決策を研究レポートとして提出する形式 で実施されている.2017年度に実施された第14回神奈川産学チャ レンジプログラムでは、経営システム工学研究室と(株)ガスター が「お客様のニーズを掴んだ新たな製品やサービスとそのマーケ ティング戦略の提案」のテーマの下、産学連携の課題解決型研究プ ロジェクトを実施した.

その研究プロジェクトでは、急速に高齢化が進む日本において 高齢者が安全に生活できる社会づくりを目指し、特に高齢者の事故 が発生しやすい住宅内で、参加企業との関連が深い浴室に着目した. 高齢者の浴室事故の原因のひとつに、寒い浴室から熱い浴槽に入っ た直後に、上昇した血圧が急激に低下する「ヒートショック」があ り、高齢化社会が抱える問題のひとつとなっている.しかしながら、 独自に実施したアンケート結果から、高齢者のヒートショックに対 する認知度は低く,対策を講じている高齢者も少ないことがわかった.以上の背景から,ヒートショックが起きてしまった場合に対処 できる製品と,その製品のプロモーションを検討した.

はじめに,浴室の照明部分に取り付けて無線LAN で浴室内の高 齢者の脈拍を計測し,さらに緊急時の通報機能を持つ製品「コンバ ス」を提案した(図 5).この製品は,既成のヒートショック対策 を講じる製品とは異なり,取り付けと操作が簡単で,使用場所が浴 室であることからプライバシーを侵害しない,また外部への通知が 可能という利点を持っている.次にマーケティングのプロモーショ ン戦略として,ヒートショックの認知度の向上と新製品の販売促進 のために,新製品ができるだけ多くの人びとに目に触れ,かつでき るだけ多くの情報を伝えるようにできることが重要となる.そのた め,テレビ CM などで簡単な新製品説明で興味を引いて Web など へ誘導し,そこで製品の詳細を詳しく伝えるクロスメディアマーケ ティングを提案した.

以上の提案製品とプロモーション戦略の実現可能性を訴求する ため、3D プリンタを使用して図6や図7に示す実寸大モデルを製 作した.3D プリンタで実寸大モデルを製作したことで、企業との 提案製品の有用性や実現可能性に関する協議を効率的に実施でき た.また神奈川産学チャレンジプロジェクトに対しても、実寸大モ デルを活用して研究プロジェクトの最終成果を効果的に報告でき、 その結果として優秀賞を受賞することができた^[2].



図5提案製品「コンパス」



図6 実寸大モデルの外観(電球なし)



図7 実寸大モデルの外観 (電球あり)

4. まとめ

デジタルファブリケーションシステムを利用した教育・研究成果 について述べた.本システムは2016年度に導入されてまだ日が浅 いこともあり,現在,教育・研究へのさらなる活用に向けて取り組 んでいるところである.最後に,ここに報告した教育・研究成果は 本システムの導入により実現したものであり,工学部の皆さまのご 支援に深謝いたします.

5.参考文献

- [1] (一社) 神奈川経済同友会, 神奈川産学チャレンジプログラム とは, http://www.kanagawa-doyukai.or.jp/activity/program.html (参 照 2018 年 8 月 31 日)
- [2] 第14回神奈川産学チャレンジプログラムの表彰式が開催されました, http://www.kanagawa-u.ac.jp/news/details_16286.html (参照 2018 年 8 月 31 日)

5. 工学研究所共同研究

 5-1
 軽量・高性能ハイブリッドロケットエンジンの研究・開発
 高野 敦,船見 祐揮

 5-2
 無機触媒/半導体ハイブリッド型水素・酸素生成太陽光熱電池の創製
 松木 伸行,山口 栄雄,本橋 輝樹,米田 征司,佐藤 知正

 5-3
 次世代型医薬品開発を目指した希少糖や核酸誘導体の合成と活性評価
 赤井 昭二,實吉 尚郎,小野 晶

 5-4
 複合金属酸化物 Ba-Zn-Nb-In-O の合成と熱重量分析
 齋藤 美和,貝掛 勝也,安川 雪子

 5-5
 二酸化炭素資源化のための光電極材料の探索
 松原 康郎,田邉 豊和

 5-6
 炭素ナノ材料に内包された水の分子ダイナミクス
 客野 遥,佐々木 志剛

高野 敦* 船見 祐揮**

Research and Development of a Light-Weight and High-Performance Hybrid Rocket Engine

Atsushi TAKANO^{*} Yuki FUNAMI^{**}

1. 緒言

近年,電子機器の小型化,いわゆる MEMS (Micro Electro Mechanical Systems)の発展により、大学や企業による超小型衛星の 開発・打ち上げが盛んになっている.従来の大型衛星の開発費用は 数百億円,開発期間は数年,長いものでは10年以上を要するものが あったが,超小型衛星の開発費用は数百万円程度,開発期間は短い ものでは2年以下で済むというメリットがある.ただし,これらの 超小型衛星の打ち上げでは、大型衛星と同時に打ち上げを行う,い わゆる相乗りによる打ち上げがほとんどである.相乗りによる打ち 上げの場合,打ち上げ時期および軌道は主衛星である大型衛星の時 期および軌道に左右されてしまう.したがって,超小型衛星を専用 に打ち上げる超小型ロケットのニーズが高まっている.これらの超 小型ロケットには、超小型衛星の「低コスト」という大きな利点を 生かすために、同様に低コストであることが求められる.

ロケットの低コスト化のためには,設計・製作費用の低コスト化 のみならず,運用・管理費用の低コスト化が必要となる.従来の液 体ロケット,すなわち水素やメタノールなどの液体燃料と液体酸化 剤を用いたロケットや,固体ロケット,すなわち固体の燃料に固体 の酸化剤を配合した火薬を使用するロケットは,大きな推力が得ら れる半面,空気中でも容易に爆発するため,保管・運用・管理にお いて特殊な施設や人員が必要となり,これらが低コスト化の妨げと なっている.

この問題を解決するために,近年着目されているのがハイブリッ ドロケットである.ハイブリッドロケットとは,燃料にプラスチッ クやワックスなどの固体の樹脂を,酸化剤に酸素や亜酸化窒素など の液体を用いるロケットである.ハイブリッドロケットに用いられ る燃料は空気中でも燃焼反応は起こるものの爆発的な反応に至らな い.また,ロケットとして飛翔中に構造破壊に至ると従来の液体や 固体ロケットは空中で爆発しさらに地上に激突して再度爆発を起こ すが,ハイブリッドロケットが空中で構造破壊を起こした場合は爆 発することなく落下する.つまり本質的に非爆発性であるため運 用・管理費用を大幅に抑えることができる.しかしその反面,反応 性が高くない燃料を酸化剤の力で燃焼させるため,燃料後退速度,

*准教授 機械工学科

Associate Professor, Dept. of Mechanical Engineering ***助教 機械工学科

Assistant Professor, Dept. of Mechanical Engineering

つまり単位時間当たりの燃料消費量を上げることが難しく,推力向 上の妨げになっている.これらの状況から,近年,大学などの研究 機関でハイブリッドロケットの研究が盛んになってきている.

この課題に対して、ワックスなどの低融点燃料を用いて燃料後退 速度の向上を目指す研究が盛んとなっているが^[1],著者らは自由な 形状が造形できる 3D プリンタに着目し、3D プリンタによりフラク タルなどの複雑なポート(燃料内部の孔で、酸化剤が流れて燃焼反 応を生じる部分)形状を有するプラスチック燃料によるハイブリッ ドロケットの研究を進めている.複雑なポート形状とすることで、 火炎からの熱を受けるポート内面の表面積を大きくすることによる 燃料ガス発生量の増大,および,乱流境界層の発達を促進すること による燃料後退速度の向上を狙っている.

2. 3D プリンタによる星型フラクタル旋回形状燃料の開発

ハイブリッドロケットは燃料後退速度が遅いため大推力が得難い という問題を抱えているが,推力の向上には燃料内のポート表面積 を拡大することも有効である.著者らは,ハイブリッドロケットの 燃料として 3D プリンタで造形したプラスチック樹脂が使用できる ことに着目し,図1に示すような外形と図2に示すような星型フラ クタル形状ポートを持つ燃料を開発し,実験を行ってきた^[2].





図1 燃料グレイン

図2 星型フラクタル形状ポート

さらに、この星型フラクタル形状を図3に示すようにらせん状に 旋回させることにより主流速度に旋回速度成分を付与し、その遠心 力により火炎を燃料表面へと近づけることで燃料後退速度を向上さ せることも併せて試みた.ここで、旋回の強さを定義するパラメー タとして旋回率λを導入した.旋回率λはグレイン外径をd、旋回の
ピッチ長を*l*として $\lambda = \pi d/l$ と定義した(図 3). インジェクタ(酸化剤噴射部)の構造 により酸化剤流れにも弱い右旋回がかかっ ているため,その向きに対して順旋回,逆 旋回と定義した.また旋回率による比推力 比較のため順旋回を正として $\lambda = -2, -1,$ 0, +1, +2 の 5 種を作成した(図 4).

これらの燃料を用いて試験した結果を比較した.実験は小型で安価かつ量産性の高い推力1 kN 級エンジンを使用して実施した.推力履歴を図5に示す.図5より燃焼



時間にバラつきが生じていることが分かる. 燃焼時間のばらつきの 原因は、気温によりタンク内の酸化剤の体積が変化し充填量が変化 したためと思われる.酸化剤充填量は図6のようにベントポートを 用いて液面の高さで管理しており、体積変化により充填量は変化す る.





図 5 推力履歴

図7にて旋回率ごとにトータル インパルス(推力の時間積分値) と比推力(単位推進剤重量当たり のトータルインパルス)について λ=0を基準に百分率で比較した. その結果,トータルインパルスと 比推力の変化は2%程度の変化に 留まった.次に,固体燃料の燃焼 重量と燃焼時間から燃料質量流量 を求めた.燃料質量流量を旋回率 ごとに比較した図を図8に示す.



図6 充填量

図 8 より無旋回 λ =0に比べて、旋回グレイン λ = ±1および±2の 燃料質量流量が多くなっていることが分かる.これにより、旋回の 付与による燃料質量流量の向上が確認できた.燃料質量流量の増加 に成功したため、今後酸化剤流量を増やし最適 O/F(燃料に対する 酸化剤の質量比)を実現できれば、比推力ならびにトータルインパ ルスを改善できる可能性があることを見出した.



図7 比推力とトータルインパルス(λ=0と各旋回率の比)



3.酸化剤質量流束に対する燃料後退速度の依存特性の把握

ハイブリッドロケットは、乱流境界層燃焼と呼ばれる現象により 特徴付けられる.この現象においては、主流の酸化剤ガスと固体燃 料グレインより気化した燃料ガスの境界層内での拡散・混合過程が 律速であり、結果として燃料後退速度が酸化剤質量流束依存となる ことが知られている.その依存の程度を知ることがエンジンの設計 や現象の解明において有益な示唆を与えることにつながる.

酸化剤質量流束に対する燃料後退速度の依存特性を把握するため にオリフィスを用いた酸化剤流量調整機構を試験設備へ導入し,ハ イブリッドロケットエンジンの燃焼試験を実施した^[3].本試験で使 用する酸化剤は亜酸化窒素とし,その供給方式は自己加圧方式とし た.試験設備の外観を図9に示す.図9の右端の円筒部がモータケー スであり,その左側に取り付けられているフランジ部の内部にオリ フィスが収められている.穴の径の異なるオリフィスを入れ替える ことで,酸化剤流量を調整できる.本試験では,オリフィス絞り比 1,0.8,0.6の三通りを用いた.オリフィスの上流側(図9の左側)に は熱電対と圧力センサを,オリフィスの下流側には圧力センサを設 置しており,これらの計測データから酸化剤質量流量が推算できる.

燃焼試験に用いる固体燃料グレインは米 stratasys社の FDM (Fused Deposition Modeling) 方式 3D プリンタ uPrint SE を用いて作成した. そのモデル材には ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) 樹脂を採用

した. 固体燃料グレインのポート形状には, 星形フラクタル形状と 円形の二通りを用いた. 前者の形状を図2に示す. この形状は, 固 体燃料の表面積を増やすことにより発生する燃料ガス量を増大させ ることを意図している^[4]. 固体燃料グレインの内部を印刷する際に はスパース(高密度)機能を用いた. これによりモデル材そのもの の密度よりも造形物(固体燃料グレイン)の密度は小さくなる.



図9 オリフィス導入後の燃焼試験設備

燃焼試験により測定した燃焼室圧力,酸化剤質量流量および固体 燃料消費質量から時空間平均の燃料後退速度と酸化剤質量流束を算 出する.その算出方法としては円形換算法と数値解析併用法を提案 したが,ここではより適切な手法であると考えられる後者の方法^[3] を採用する.後者の方法は、一様かつ一定の速度での固体燃料表面 後退を仮定した上で後述のレベルセット法を用いて二次元解析を行 い,固体燃料消費質量の解析値と実験値を比較することで表面後退 量を算出して、時空間平均の燃料後退速度を求めるものである.そ の結果を図10に示す.図10より、オリフィスを用いることで異な る酸化剤質量流束での燃料後退速度の値が得られていることが確認 できる.今後も燃焼試験を継続することで、より広範な酸化剤質量 流束域での燃料後退速度のデータを取得し、酸化剤質量流束に対す る燃料後退速度の依存特性をより詳細に把握する.



図 10 時空間平均酸化剤質量流束および時空間平均燃料後退速度

時空間平均値としての燃料後退速度のみではなく,エンジンの軸 方向の各位置における時間平均の燃料後退速度についても算出した. まず燃焼後の固体燃料グレインを軸方向に等間隔で切断していき, 各断面にてウェブ厚を測定する.それらの値と初期ウェブ厚の差を 取り,燃焼時間で割ることによって,各軸方向位置での時間平均燃 料後退速度の値を得ることができる.一例としてオリフィス絞り比 1の場合の星形フラクタル形状ポートの結果を図11に示す.図2の ポートの凸部と凹部の時間平均燃料後退速度を別個に示している. 横軸は,インジェクタ出口からの距離xを初期ポート径の円形換算 値 d_mで無次元化したものとしている.図11より,上流付近で大き な燃料後退速度を示すこと,また,凸部より凹部の方が大きな値と なることが見て取れる.今後さらに継続してデータを取得すること で,局所的な燃料後退速度に関してもその特性をより詳細に検討す る.



図 11 各軸方向位置での時間平均燃料後退速度(×印は燃えて固体 燃料グレインに穴が開いたところ)

4. 固体燃料表面の後退挙動に関する数値解析

星形フラクタル形状ポート有する固体燃料グレインのような複雑 形状燃料の設計や評価を行うにあたっては、燃焼が進むにつれて ポート断面形状つまり流路形状が大きく変化するため、固体燃料表 面の後退挙動を把握することが重要である.そのような用途に適用 可能な数値解析ツールとして、レベルセット法を用いた二次元の後 退挙動解析コード^[5]と三次元の後退挙動解析コード^{[6],[7]}の開発を 行ってきた.

レベルセット法とは、固体燃料表面のような界面を数値的に追跡 することが可能な手法の一種である^[8]. その手法ではレベルセット 関数と呼ばれる符号付き距離関数を用いる. その絶対値が界面から の距離を、その符号が界面を挟んでどちらの側に属しているのかを 表す. つまりは、レベルセット関数がゼロとなる位置が界面の位置 を表す. レベルセット関数の移流を解くことで界面の追跡が可能に なる. このレベルセット法をハイブリッドロケット燃料表面の後退 挙動解析へと応用した.

三次元の燃料表面後退挙動の解析例を図 12 に示す.図 12 は 4 ス ロットを有する星型ポートの表面後退を示しており,赤の等値面が 初期表面位置を,青,緑および白の等値面が3 s おきの表面位置を 表す.また,見やすさのために右上4分の1の領域を欠いた状態で 図示してある.このような解析を通して,固体燃料表面後退量,ポー ト断面積や酸化剤燃料比といった,ハイブリッドロケットを解析・ 評価するにあたって重要な指標の時間履歴を得ることができる.



図 12 固体燃料表面が後退していく様子

5. 結言

低コストの超小型衛星打ち上げ用ロケットを開発することを最終 目的に、ハイブリッドロケットエンジンの研究・開発を行った.ハ イブリッドロケットの燃料にプラスチック樹脂が利用できることに 着目し、3D プリンタを用いて旋回を付与した星型フラクタルポート 形状を持つ燃料を開発した.その燃料を用いた実験から、旋回の付 与による燃料質量流量の向上が確認できた.今後燃料質量流量の向 上に対応して酸化剤流量を増やし、最適 O/F を実現できれば、比推 力ならびにトータルインパルスを改善できる可能性があることを見 出した.

本研究では上記に加えて、星形フラクタル形状ポートを有する燃 料グレインを用いたハイブリッドロケットエンジンの設計や現象の 解明において有益な知見を得るために、オリフィスを用いた酸化剤 流量調整機構を試験設備へ導入した.その設備を用いた燃焼試験の 結果から酸化剤質量流束に対する燃料後退速度の依存特性に関する データを取得した.時空間平均の燃料後退速度のみではなく、局所 的な燃料後退速度のデータについても取得した.引き続き燃焼試験 を継続し、データを蓄積した上で、燃料後退速度の特性について詳 細に検討する予定である.

また, 星形フラクタルのような複雑な形状のポートを有する固体 燃料グレインの設計や評価に適用可能なツールとして, 界面捕獲法 の一種であるレベルセット法を用いた燃料表面後退挙動の解析コー ドを開発した.開発したコードを用いて,複数のスロットを有する 星形形状ポートの解析を実施し,その実行可能性を検討した.

以上の研究を通して,軽量・高性能ハイブリッドロケットエンジ ンの研究・開発に必要な試験技術および解析ツールを構築し,それ らを用いて燃焼試験や解析を行うことで有益な知見を得ることがで きた.更なるデータ取得や詳細な検討のために,今後も引き続き研 究を継続していく必要がある.例えば,星形フラクタル旋回形状グ レインにおける燃料後退速度特性の取得や燃焼効率に関する検討が 研究項目として挙げられる.

また、本稿では述べなかったが、軽量なハイブリッドロケットエ ンジンを実現するためには、ノズル、インジェクタ、モータケース、 モータケースと燃料の間に挿入する断熱材(アブレータ)の軽量化 および燃料残渣の低減が重要である.アブレータはモータケースを 燃焼による高温から保護するためには厚い方が望ましいが、それは 重量増を意味する.また、燃料がすべて燃え尽きると強い酸化作用 を有する高温の酸化剤にさらされ、急速に損耗しモータケースを 破って火炎が噴出する結果となることが分かった.そのため,燃料 が燃え尽きないように制御することが重要となるが,燃料の後退は エンジン長手方向に一様でなく,本研究の範囲内では下流側の後退 が速く上流側に多く残った.今後,さらなる軽量化のために現在の アルミニウムのモータケースを CFRP に置き換えることを計画して いるが,そのためにはこのアブレータおよび燃料を均一に後退させ るための設計指針を見出すことが重要であることも分かった.

謝辞

3D プリンタによる固体燃料グレインの印刷においては丸紅情報 システムズ株式会社の協力を得た.ここに記して謝意を表する.

ハイブリッドロケットの燃焼試験に関して千葉工業大学の和田豊 准教授より有益な助言をいただいた.ここに記して謝意を表する.

燃焼試験の実施にあたって神奈川大学工学部機械工学科航空宇宙 構造研究室および流体工学研究室の学生諸氏の協力を得た.ここに 記して謝意を表する.

参考文献

[1] 川端洋,坂野文菜,和田豊,小澤晃平,嶋田徹,加藤信治,堀 恵一,長瀬亮,強度可変酸化剤流旋回型ハイブリッドロケットを用 いた低融点熱可塑性樹脂燃料の燃焼特性に関する研究,第57回航空 原動機・宇宙推進講演会,2B03 (JSASS-2017-0073)(沖縄,2017).
[2] 鎮目夢玄,高野敦,船見祐揮,諸星宏樹,田原鴻一,寺田俊樹, 3D プリンタによる星型フラクタル旋回形状グレイン搭載ハイブ リッドロケットエンジンの開発,平成29年度宇宙輸送シンポジウム, STPC-2017-012 (相模原,2017).

[3] 船見祐揮,内島圭祐,本目将大,高野敦,星形フラクタル形状 グレインを用いたハイブリッドロケットの燃料後退速度特性,第62 回宇宙科学技術連合講演会,1N03 (久留米, 2018).

[4] 舘山哲也,高野敦, CFRP 強化軽量ハイブリッドロケットエンジンの開発,日本航空宇宙学会 第48回年会講演会,2D08 (JSASS-2017-1106) (東京,2017).

[5] 船見祐揮,レベルセット法によるハイブリッドロケット燃料表面後退の二次元解析,第 60 回宇宙科学技術連合講演会,4A02 (JSASS-2016-4538) (函館, 2016).

[6] 船見祐揮,レベルセット法によるハイブリッドロケット燃料表面の三次元後退挙動解析,第 61 回宇宙科学技術連合講演会,2H17 (JSASS-2017-4406) (新潟, 2017).

[7] 船見祐揮,ハイブリッドロケット複雑形状燃料の表面後退挙動 解析,第26回スペース・エンジニアリング・コンファレンス,1B5 (三浦,2017).

[8] S. Osher and R. Fedkiw, Level Set Methods and Dynamic Implicit Surfaces, Applied Mathematical Sciences 153, Springer (2003).

無機触媒/半導体ハイブリッド型水素・酸素生成太陽光熱電池の創製

松木 伸行1 山口 栄雄2 本橋 輝樹3 米田 征司1 佐藤 知正4

Development of inorganic catalyst/semiconductor hybrid-type hydrogen-oxygen-production photothermal cells

Nobuyuki MATSUKI¹ Shigeo YAMAGUCHI² Teruki MOTOHASHI³ Seiji YONEDA¹ Tomomasa SATO⁴

1. 緒言

物理学・化学の分野で多大な功績を残したスウェーデンの科学者 スヴァンテ・アウグスト・アレニウス (Svante August Arrhenius, 1859-1927)は1896年,大気中の二酸化炭素(CO2)濃度が当時(約300 ppm)の倍になると、気温が 5~6 ℃上昇するとの予想を論文で発表 した[1]. この説は、全くの荒唐無稽な理論であるとして、科学界か ら無視された.しかし現在においては、様々なモデルに大規模数値 計算を適用して予想した結果と観測結果から,大気中 CO2 濃度の増 大に伴って地球平均気温上昇は必然的に起こるものとして認められ ている.その機構についての概要は以下のとおりである:地中に埋 蔵している石炭・石油・天然ガスを掘り出し、大気中で燃焼させて エネルギー源として使用することで大気中に二酸化炭素(CO2)が放 出される.CO2分子は地表から宇宙空間に向かって放射される15 ℃ の黒体輻射に相当する波長 5~15 µm の赤外波長領域の内 15 µm の赤 外光を吸収し、大気中に散乱させて熱を地表側に戻す役割を果たす. この結果、実効的に地表から宇宙空間へ放射される赤外線量が減少 し, 放射冷却効果が抑制されるために地球を温暖化させる.

ところで,現代においても「人類活動起源 CO₂による地球温暖化 懐疑説」なるものが世に存在する.例えば以下の懐疑説はその一つ として特に有名なものである:「CO₂濃度が増加したことにより地球 の平均気温が上昇しているのではなく,太陽活動が活性化したこと により平均気温が上昇した結果,海中溶存 CO₂が大気中へ放出され て大気中 CO₂濃度が増大しているのではないか?本当は,原因と結 果が逆なのではないか?」.この説に対しては次の3点の科学的反 証が示され,否定されている.

- (1) 太陽活動の活性化(黒点数増大)による地上への太陽光エネル ギーは変化しているが、その変化率は太陽定数 1366 W/m²に対 して±0.1%程度(±10 W/m²)であり、地球に入射するエネルギー
- 准教授 電気電子情報工学科 Associate Professor, Dept. of Electrical, Electronics and Information Engineering
- ² 教授 電気電子情報工学科 Professor, Dept. of Electrical, Electronics and Information Engineering
- ³ 教授 物質生命化学科 Professor, Dept. of Material and Life Chemistry
- ⁴ 助手 電気電子情報工学科 Research Assistant, Dept. of Electrical, Electronics and Information Engineering

収支変化への影響は無視できる程度に小さい.

- (2)何らかの他の原因によって気温が上昇し、その結果として海中 溶存 CO₂が大気中に放出され、大気中 CO₂濃度が増加している のではないか、という説に対しては、CO₂の炭素同位体測定に よって否定されている.海洋中に溶存している CO₂に含まれる 炭素同位体は通常の炭素 ¹²C よりも重い ¹³C が主である.した がって、もし海洋中の溶存 CO₂が大気中に放出されることによ り大気中 CO₂濃度が増加しているのであれば、大気中 CO₂にお ける ¹³C が増大するはずである.しかし実際の計測では ¹³C の濃 度は年々減少しており、このことは、化石燃料や木材燃料に含 まれる ¹²C の燃焼によって放出される CO₂の大気中分圧が相対 的に高くなっていることを意味している.
- (3) 1850年に287 ppmであった大気中 CO2濃度は2004年に377 ppm となり、154年間で90 ppm 増大するとともに地球表面温度は 0.7 ℃上昇した.では、0.7 ℃の海洋温度上昇によって海中溶存 CO2が大気中に放出され、90 ppmの増大を引き起こしたのだろ うか?シミュレーションによれば、0.7 ℃の海洋温度上昇によっ て増大する大気中 CO2濃度分は8 ppmにしかならないと見積も られている.したがって、「海水温が上昇したことによって溶存 CO2が大気中に放出され、大気中 CO2濃度が増大した」という 説は誤りであることがわかる.

以上は「地球温暖化懐疑説」のひとつの例とそれに対する反証で あるが、他の多種多様な「地球温暖化懐疑説」も科学的な観測結果 によって否定され、残念ながら、「人類活動起源二酸化炭素(CO₂) による地球温暖化(地球『高温化』と表現したほうがいいかもしれ ない.)」の事実は様々な客観的観測とシミュレーションにより決定 的となっている.それでは、もし人類がこのまま CO₂排出に対して 何の対策もとらない場合、どのような状態になるだろうか. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC:気候変動に関する 政府間パネル[2])によれば、2100年には地球平均気温として 4.8 \mathbb{C} , 北極圏においては 10 \mathbb{C} の上昇が起こると見積もられている.この ような環境においては、暴風雨の頻発する気候と動植物生態系の崩 壊により人類の存続は大変厳しい状況となることが予想される.こ れを防ぐためには、

I. 化石燃料に替わる CO2排出を伴わないエネルギー源を開発し、 化石燃料の使用を停止することで人類活動起源 CO2の排出を抑 止する.

II. 世界的規模で植林を行い大気中の CO2 を樹木として固定させる.

という方策を実施しなければならない.上記 I.の「化石燃料に替わる CO₂ 排出を伴わないエネルギー源」として現代の技術で実施可能 なのは,(i) ウランやプルトニウムの核分裂反応熱を利用する原子力 エネルギーの利用 (ii) 太陽光・風力・海洋・地熱・バイオマスなど の再生可能エネルギー利用,の2つの方法である(核融合発電については実用化の目途がたっていないため除く).(i)については,

- ・ ウランやプルトニウムの埋蔵量に限りがあり、また核燃料サイク ル技術が確立していないため 100 年以上の長期にわたる燃料供 給が見込めず、発電コストの大幅な増大が予想される。
- 日本では地震/津波・火山噴火が頻発する.そのため、震災時に おける振動や冠水に対して脆弱な原子力発電プラントが破損に 至り、甚大な放射能汚染事故へ至る確率が高い.
- 核廃棄物を安全・低コストに処理する手法が確立していない

という様々な課題があるため, 永続的なエネルギー供給源とはなり 難い. したがって, (ii) 再生可能エネルギーの利用に転換せざるを 得ないことがわかる.

太陽光発電・太陽熱利用は、風力・海洋・地熱・バイオマスエネル ギーの設備と比較して軽微な装置で実現することが可能であり、そ れ故に各家庭・各事業所における太陽光発電パネル・太陽熱温水パ ネルとして普及してきた.各家庭・各事業所で個々にエネルギーを まかなうという「分散型エネルギー供給」は、災害により電力網が 機能しなくなった場合に対するエネルギーリスク管理に対して有効 であるとともに、余剰電力が売電可能であることから各家庭・事業 所における省エネルギー意識を高めるといった効果がある.

本研究では、太陽光に含まれる紫外から赤外(熱)にわたるスペ



無機触媒/半導体ハイブリッド型 水素・酸素生成太陽光熱電池

図 1 水素・酸素生成太陽光熱電池とその周辺機構の詳細(神奈川 大学「工学研究」 No. 1, p.100 図 2 を再掲)

クトルのエネルギーを有効利用し、電力や温水に変換すると同時に 水素・酸素も生成する新規なデバイス「無機触媒/半導体ハイブリッ ド型水素・酸素生成太陽光熱電池(以下,太陽光熱電池)」の開発を 目指している(関連特許 [3]). 図1に,太陽光熱電池とその周辺 機構の詳細を示す(神奈川大学「工学研究」 No.1,p.100 図2を再 掲).防水樹脂で密閉された太陽光熱電池が強化ガラスを窓部にもつ 水槽パネルに収められており,水槽内に水道水を導ける構造となっ ている.水槽内に導かれた水道水は太陽熱によって温水化するとと もに,太陽光熱電池を冷却し,また水素・酸素を発生源となる.太 陽光熱電池の裏面には水素発生電極と酸素発生電極がイオン交換膜 によって隔てられており,発生した水素・酸素は設置の傾斜に従っ て上方に移動し,ポンプによってガス貯蔵タンクへと圧縮蓄積され る.太陽光熱がない夜間や,発電・温水供給に対して光熱量が十分 でない天候の場合には、貯蔵した水素・酸素を燃料電池に導入し電 気化学反応発電を行う.

2. 研究開発要素技術

本研究では,目標としている上述の太陽光熱電池に関して以下の 要素技術の研究開発を推進している.

- a. ハライドペロブスカイト材料のプロセス開発
- b. 水素化アモルファス Si/結晶 Si (a-Si:H/c-Si) ヘテロ接合太陽
 電池の界面構造解析
- c. 紫外光で発電可能な透明太陽電池の開発
- d. 高導電率透明導電膜の新規作製プロセス開発
- e. 酸素貯蔵触媒酸化物の薄膜化
- f. 低温熱電変換材料の開発

本稿では,上記項目のうち a, d, e についての開発状況を紹介する.

3. ハライドペロブスカイト材料のプロセス開発

ハライドペロブスカイトは $CH_3NH_3PbX_3$ (X = Cl, Br, I), すなわ ち有機カチオン、鉛、ハロゲンから構成され、有機・無機複合ペロ ブスカイトという特徴的な結晶構造を有する光電変換材料である [4]. 2009年に桐蔭横浜大学の宮坂力教授によって初めて太陽電池材 料として応用され、簡便な途布プロセスにより10%を超える薄膜太 陽電池を作製できることが示されると、世界的な研究ブームが巻き 起こされた.現在,ハライドペロブスカイト(以下,ペロブスカイ ト)太陽電池の最高変換効率として 20%を超える値が報告されてい る.しかし、ペロブスカイト太陽電池の最大の課題は、その耐久性 の低さにある. 塗布プロセスによる太陽電池作製を行った後に大気 中に放置しておくと,大気中の水分子の侵入によってペロブスカイ ト構造が分解し数時間で変換効率がほぼ 0%まで低下するという顕 著な課題があり、未解決である.現在、その耐久性を向上させるた めの研究競争が世界的に行われている.我々はペロブスカイト太陽 電池作製プロセスにおける水分混入を排除することを目的として, 大気中ドライ製膜プロセスの可能性について検討し独自に大気圧化 学気相成長(CVD)装置を構築した.

図2 に製作した大気圧 CVD 装置の構造模式図を示す. グローブ ボックス内部に固定されたガラス製の蒸発管の中に入れられた PbI₂ と CH₃NH₃I (Methylammonium Iodide, MAI) が赤外線スポットヒー ターによって加熱され,窒素フローによりガラス管の吹出孔より蒸 散する.また,同グローブボックス内上部にはペルチェ素子によっ



図 2 製作した大気圧 CVD 装置の構造模式図

て温度調節が可能な基板ホルダーが直動装置に取り付けてあり、この駆動機構によって基板が PbI₂, MAI の蒸散位置上を往復し相互暴 露されるようになっている.また, PbI₂と MAI の蒸気が混流し気 相中でペロブスカイト微粒子が形成されることを防ぐために、下部 空間の中央にアルミ製の仕切り板を設置した.

同装置によりペロブスカイトの作製を行った実験について、その 条件と結果について以下に記す.フッ素ドープ酸化スズ透明導電膜 が形成された 30 mm 角のガラス基板表面に、スピンコート法によっ て緻密 TiO2 層とポーラス TiO2 層の順で製膜を行い、基板ホルダー にセットした.また、PbI2および MAI 蒸発管の吹出孔と基板の間の 距離は15mmとした. グローブボックス内を窒素雰囲気に置換した 後,スポットヒーターによって PbI2, MAI をそれぞれ 405±5 ℃ お よび 220 ℃ に加熱し安定的に昇華するようにした.その後,基板を 往復直線運動させて基板を PbI2, MAI 蒸気に暴露させた. 1 回あた りの暴露時間は PbI2, MAI それぞれに対して 20 s, 5 s とし, 78 回 の往復運動により交互暴露を行った.このプロセスにより,基板上 にペロブスカイトの特徴である茶色を呈する形成膜領域が生じた. 同領域を走査型電子顕微鏡により観察した結果,図3に示すような 一部が連結したキュービック状粒子構造が形成されていた. 同形成 膜の結晶構造を調べるため、X線回折測定を行った.図4に形成膜 のX線回折測定パターンを示す.形成された結晶がペロブスカイト 由来であると仮定して VESTA [5]により理論 X 線回折パターンを計 算しその規格化回折強度を合わせて描画し比較すると、実験と理論 X線回折ピークとが一致することがわかる.このことから、大気圧 CVD 法によって、ペロブスカイト薄膜の前駆状態を形成可能なこと がわかった. 今後は、この連結した粒子構造の密度を増大させて均



図3大気圧 CVD 後基板表面の走査型電子顕微鏡像

ーな膜構造を得られるような CVD 条件を探索するとともに,大気 圧 CVD ペロブスカイトを用いた太陽電池を作製しその特性評価を 行う.



図 4 形成膜の X 線回折測定パターンおよび VESTA による ペロブスカイトの理論 X 線回折パターン

4. 高導電率透明導電膜の新規作製プロセス開発

Si や化合物薄膜太陽電池および a-Si:H/c-Si ヘテロ接合太陽電池 においては、半導体薄膜のシート抵抗が数 MΩ/sq.以上の高抵抗とな る. そのため,数m角の太陽電池パネルで発生したキャリアを取り 出すためには数Ω/sq.の低いシート抵抗を有する透明導電膜で半導 体薄膜を被覆し、さらに電流として取り出すための櫛型金属電極を 接合する必要がある.この透明導電膜の材料として,現在最も低い 10⁻⁴ Ω·cm 台の抵抗率が得られる In₂O₃:Sn (スズドープ酸化インジウ ム, Indium Tin Oxide, ITO)が用いられている. しかしながら, In は 希少金属であり低コスト化のバリアとなる. ITO に代わって,より 安価で豊富な元素を用いた透明導電膜材料として ZnO:Al (Al ドー プ酸化亜鉛, Al-doped Zinc Oxide, AZO)の利用が期待されているが, AZOは ITOと比較して1 桁ほど抵抗率が高いという課題があった. そこで本研究では, ITO と同程度の低い抵抗率を有する AZO を得る ための新たな薄膜作製プロセスとして「電界印加電子ビーム蒸着法」 の開発を提案している. 電界印加電子ビーム蒸着法は、物理製膜に よる水素化アモルファスシリコン製膜プロセスを研究する過程で 2003 年筆者らによって開発された製膜法である[6]. 基板に±数 kV の高電圧を印加した状態で電子ビームにより蒸発させた原材料を基 板上に製膜すると、蒸発分子(の一部)が電子ビーム照射により帯 電またはイオン化する.この荷電蒸発分子が電界によって加速され, 運動エネルギーが増大した状態で基板に衝突し堆積する.この結果, 分子の表面拡散が促進され、より粒径が大きく欠陥の少ない結晶化 が起こることが期待される.

本研究では, 基板へ-8~+8kV の高電圧を印加できるよう独自に 改造を施した ANELVA 社製の電子ビーム蒸着装置を ZnO:Al 製膜実 験に使用した. 製膜基板として無アルカリガラスを使用し, 蒸着材 料として ZnO:Al 焼結体ペレット (Al₂O₃:2 wt%)を用いた. 製膜は 酸素分圧 3×10⁻³ Pa, 基板温度 200 °C, 製膜速度 1.2 Å/s, 印加電圧-3 kV~+5 kV の条件で行った.

図5に異なる印加電圧で作製した試料において, 膜厚(0.55~1×10³ Å)により規格化した ZnO(002) X線回折ピークを示す.正電 圧印加,負電圧印加のいずれの場合にも,電圧を印加しない場合に



図 5 異なる製膜条件による ZnO(002)X 線回折ピーク

比べてピーク強度の増大が見られ、負電圧印加の場合にその変化が 顕著であることがわかる.特に、-3kVにおけるピーク強度は、電圧 を印加しない場合の11倍に増大した.

図 6 に同試料に対して 4 探針法で計測し算出した抵抗率の製膜 時基板印加電圧依存性を示す. X 線回折強度ピークが顕著に増大し た-1~-3 kV において,従来の ZnO:Al における標準的な抵抗率を下 回る低い抵抗率が得られた.

以上の実験結果を踏まえて、今後さらに ZnO:Alの抵抗率を低減 させる製膜条件の探索と、電界印加電子ビーム蒸着における抵抗率 低減の機構についての考察を進める.



図 6 製膜した ZnO:AIにおける抵抗率の基板印加電圧依存性

5.酸素貯蔵触媒酸化物の薄膜化

近年,本研究の共同研究者の一人である本橋輝樹教授によって, ペロブスカイト酸化物の BaYMn₂O₅₊₆が優れた酸素貯蔵触媒材料で あることが見いだされた[7]. 同酸化物は Mn をベースとしてペロブ スカイト型構造の A サイトを Y と Ba が交互に積層した「A サイト オーダーダブルペロブスカイト構造」から成り,多量の酸素を高速 で吸収放出し自身は劣化しない完全可逆特性を有している.本研究 では,同酸化物の低過電圧水分解電極材料としての応用可能性を検 討しており,薄膜化を実現しその物性を調べることを目指した.

本研究では、図7に示す高周波マグネトロンスパッタリングを新たに構築し、上述の薄膜化実験を行った. 基板として石英ガラス、 ターゲットとして BaO-Y₂O₃-MnO の混合焼結体を用いた. 製膜条件 は製膜時間 240 min, カソード電力 40 W, カソード-基板間距離 35 mm, 反応圧力4 Pa (Ar 90%, O₂ 10%)とした. また, 製膜後にア ニール温度 900 ℃, 1h の大気中アニール処理を施した.

図 8 に同試料におけるアニール前後の X 線回折パターンを示す. アニール後の回折パターンにおいて, $BaYMn_2O_{5+\delta}(102)$ 面に対応す る角度に回折ピークが現れ, また BaO, Y_2O_3, MnO による回折ピー クは確認されず相分離も生じていないことから, $BaYMn_2O_{5+\delta}$ 薄膜試 料を得られたこと示している.

今後は同酸化物薄膜における電気特性,電気化学的特性評価を進め,水分解電極材料としての応用可能性を追究する.



図7 新たに構築した高周波マグネトロンスパッタリング装置



6. 結言

本研究では、無機触媒/半導体ハイブリッド型水素・酸素生成 太陽光熱電池の創製を目指し、太陽電池部および水分解触媒電極に 関する要素技術の開発を進めている.本稿はその中からペロブスカ イト太陽電池材料の大気圧 CVD プロセス、電界印加電子ビーム蒸 着による ZnO:Al 薄膜の作製、酸素貯蔵触媒酸化物 BaYMn₂O₅₊₆の薄 膜化について研究の進捗を報告した.

7. 参考文献

- [1] S. Arrhenius, *Philosophical Magazine* 41, 237 (1896).
- [2] IPCC special report, Global Warming of 1.5 °C, (2018).
- [3] 松木伸行,山田羊治,大森隆,鈴木栄二,豆塚廣章,松田彰久 近藤道雄,「太陽光を利用した水素の製造方法及び太陽光を利 用した水素の製造装置」,特開 2003-288955 (2003).
- [4] T. Miyasaka, Chem. Lett. 2015, 780-729 (2015).
- [5] VESTA: Visualization for Electronics and Structural Analysis, https://jp-minerals.org/vesta/jp/.
- [6] N. Matsuki, S. Shimizu, M. Kondo and A. Matsuda, *Appl. Phys. Lett.* 89, 011909 (2006). 284-287, (2011).
- [7] T. Motohashi, J. Phys. Chem. C 119, 2356 (2015).

次世代型医薬品開発を目指した希少糖や核酸誘導体の合成と活性評価

赤井 昭二* 尚郎** 日*** 實吉 小野

Syntheses and biological evaluation of rare sugar and nucleotide analogues toward the next-generation medicines.

Hisao SANEYOSHI** Akira ONO*** Shoji AKAI*

1. 緒言

悪性腫瘍(がん)は、今や日本人の2人に1人がかかり、約3人 に1人が亡くなる病気である。かつて「がん」は不治の病と恐れら れていたが、医学や薬学の進歩により治らない病気ではなくなって きた印。がんの転移や浸潤などのメカニズムが分子レベルで解明さ れるにともない、より効果的な治療薬として分子標的薬の研究が精 力的に進められている。その結果、これまでにない新規な構造の化 合物には、新たな作用機構と標的選択性を持つ医薬品開発の可能性 が見出されてきた。

このような背景から、エピジェネティクスの異常に着目した研究 ^[2]や、アンチセンス核酸医薬を用いた研究が精力的に進められてい る。これらは、抗体医薬や遺伝子治療薬とともに次世代型の医薬品 として期待されている[3]。

我々の研究グループでは、糖やアミノ酸、核酸を原料に、様々な 生物活性物質や機能性物質の創製に取り組んでいる。それら物質の 合成過程における中間体は、様々な生物活性や機能性を秘めている が、それらを一つひとつ明らかにするためには、予備的活性評価を 外部に委託することなく行える必要がある。そこで本共同研究では、 我々研究者がこれまで合成してきた糖や核酸誘導体化合物ライブラ リーの中で、阻害剤として次世代型の医薬リードになり得ると予想 される物質を中心に、その誘導体をも含め再度合成し、生物活性評 価システムを構築して評価するサイクルを確立して新規な医薬リー ド化合物の発見を目指した。昨年度は、糖誘導体と核酸誘導体の合 成と主要細胞の培養と活性評価系の構築を行い、簡易的ではあるが 生物活性評価が行えるようになったことを報告した[4]。2年目の今 年度は、高性能な光学蛍光位相差顕微鏡とリアルタイムデジタルカ メラを含む機器を購入し、細胞内への化合物の移行や、作用機序の 特定を試みたので報告する。

Professor, Dept. of Material and Life Chemistry

2. 1. 希少糖を基盤とする抗腫瘍剤の開発研究

グルコース(ぶどう糖)に代表される単糖類は、生物のエネルギー 源等として自然界に広く豊富に存在する。一方で、微量ながらも存 在してきた単糖類も存在し、それらは希少糖と呼ばれる。希少糖の 存在の理由は、現在でも未だ明確には解明されていない。近年では バクテリアや真菌類の二次代謝産物としても、希少糖が見出され、 その生物活性と構造との相関が注目されている。

天然物オルセリド A-E は、ケタマカビの2次代謝産物から見出さ れた特異な希少糖誘導体であり、黄色ブドウ球菌を含む菌類に対し 抗菌作用を持つという極めて稀な物質と報告された^[5]。われわれ研 究グループでは、このオルセリド類の希少糖骨格と特異な生物活性 に興味を持ち、誘導体を含むそれらの合成に成功し、生物活性を調 べた (図1) [4]。



図1. 天然産オルセリド類と誘導体の構造^[4]

その結果、予期に反しオルセリドEに弱いながら抗菌活性が見ら れただけで、報告ほどの顕著な活性[5]が確認できなかったが、新規 に抗腫瘍活性と抗腫瘍剤(DOX)の効果を増強させる効果(増感作 用)を有する可能性が示唆された。さらに、誘導体 (OC analog-1: 没 食子酸エステル型)には、同様に単独での抗腫瘍活性が見られた。 我々は、特異なケトヘキソース(希少糖)と芳香族エステルが複合

^{*}准教授 物質生命化学科

Associate Professor, Dept. of Material and Life Chemistry **助教 物質生命化学科

Assistant Professor, Dept. of Material and Life Chemistry ***教授 物質生命化学科



図 2. HT-29 癌細胞の生存率に対するオルセリド類の影響 ※0.3 から 100µM の濃度範囲で化合物を培地に添加して培養し、24時間後の細 胞生存率を MTT 法により測定した。誤差棒は標準偏差(n=3)。化合物を添加しな い細胞を対照群(100%)とした。また図中の OCa は、桂皮酸エステル型誘導体(OC analog-2)を示す。

その結果、OC analog-2 の 50%増殖阻害濃度(IC₅₀)は \leq 10mM となり、 100 μ M では、30%の生存率となった。しかし天然産オルセリド A-C は、0.3-100 μ M の濃度域では阻害作用を示さなかった。



図3. 活性発現に必要な構造を明らかにするために 新たに合成したオルセリド C 誘導体

一方、活性発現に4位および6位のデオキシ構造と3位のカルボ ニル構造が、それぞれ必要か否かを確認するため、図3示す OC analog-2誘導体(1-8)をそれぞれ合成(詳細は省略)し、増殖阻害作用 を確認したところ、阻害作用は確認できなかった。これにより、抗 腫瘍活性の発現には、4位と6位のデオキシ構造と3位のカルボニ ル構造の3つが同時に必要であることが明らかとなった。

さらに、誘導体合成と並行して OC analog-2 の作用機序を明らか にするため、細胞の形態変化や、各酵素の発現量などを確認した。 細胞の形態変化から、細胞の萎縮と細胞膜の不鮮明化が見られアポ トーシスを誘導したものと推測された。様々な対象化合物と比較検 討の結果、ヒストンの脱アセチル化酵素(HDAC)を阻害するスルホラ ファン(SFN)と同様同等の細胞増殖阻害作用を示すことが明らかと なった(図 5)。

O NCS

スルフォラファン (sulforaphane、略称: SFN)



トリコスタチンA(trichostatin A、略称: TSA)

図 4. 既知のヒストン脱アセチル化酵素(HDAC)阻害剤として用いた スルフォラファン(SFN)とトリコスタチン(TSA)の化学構造



※HDAC(ヒストン脱アセチル化酵素): HDACとは、DNA の基本構造(ヌクレオソーム)を構成するヒストン(タンパク質)の修飾酵素の1つであり、DNA の塩基配列以外の遺伝子発現の制御物質のこと。また図中の OCa は、桂皮酸エステル型誘導体 (OC analog-2)を示す。

より詳細な阻害作用を分子レベルで確認するため、SFN と同様に HDAC 阻害剤として良く知られるトリコスタチン A(TSA)を用いて 比較対象実験を行った。図6に示したように、既知の HDAC 阻害剤 (SFA と TSA)と同様にヒストン H4 および H3 のアセチル化を顕著に 阻害し、その結果、H2Ax のリン酸化と共に細胞周期が停止し、そ れに伴ってp21の発現とH2Aのリン酸化が引き起こされたものと推 察された。



図 6. 細胞の HDAC 関連分子に対する OC analog-2、 TSA および SFN の作用

いずれにおいても OC analog-2 は既知の HDAC 阻害剤と同等かそ れ以上の強い作用を示すことが明らかとなった。さらに、HDAC の 阻害活性を 2 種の方法で調べた結果、OC analog-2 は HDAC へ直接 作用するのではなく間接作用することが明らかとなった(図 7)。



以上の結果から、OC analog-2 は既存の HDAC 阻害剤 SFN 300µM や TSA 30nM とほぼ同等で、無添加の細胞系と比べて優位な阻害活性を示し、直接的に HDAC に作用するのではなく、細胞内に取り込まれた際に何らかの修飾を受けた場合のみ HDAC を阻害すると考えられる。したがって、腫瘍細胞のような代謝回転が極めて速い細胞における増殖抑制作用は顕著となることが示された。細胞核内に存在する HDAC には直接作用せず核内へ移行する過程で阻害活性を獲得する新規な化合物として化学的・分子生物学的に興味深い結果が得られた^[6]。



図 8. OC analog-2 の抗腫瘍活性発現の作用イメージ

今後は、どのような修飾をどの段階で受けるのかについてさらに 詳しく調べていく予定である。

2. 2. 核酸誘導体を基盤とする抗腫瘍剤の開発研究

核酸医薬は、比較的短鎖の合成オリゴヌクレオチドを基盤構造と する有機分子である。核酸医薬は、低分子医薬と同様に化学合成で 製造することができる。また、近年開発が盛んな抗体医薬と同等(あ るいはそれ以上)の高い標的選択性をもつ。それゆえ核酸医薬は、 低分子医薬と抗体医薬の双方の利点を兼ね備えた分子といえる。さ らに、遺伝情報に基づいて塩基配列を変えるだけで新薬の設計が理 論的には可能であり、そのため次世代の分子標的薬として期待され ている。

以上のように、非常に潜在性の高い医薬品であるが、これまでに 市場に出た例はわずか数えるほどしかない。その主な原因は、核酸 医薬特有の分子構造により、作用部位への薬剤のデリバリーが困難 であることが挙げられる。現在、世界中で核酸医薬のドラッグデリ バリーシステム (Drug Delivery System = DDS)の研究が盛んに行わ れている。本研究では、次世代型の医薬品候補である核酸医薬の開 発を目指し、特に DDS に必要な新規生分解性ユニットの開発につい て以下検討した。

<u>オリゴヌクレオチド 5'-末端への簡便な修飾を可能とする生分解性リン</u> <u>カーの開発</u>

本年度は、オリゴヌクレオチドの 5'-末端へ簡便に機能性分子を 結合でき、かつ癌細胞内部の還元的環境により開裂するリンカーの 開発を行った。

核酸医薬は、そのままでは標的組織や細胞へのデリバリーは困難 である。それゆえ、核酸医薬に対し、細胞内への取り込みを促進す る機能性分子との結合が試みられている^[7,8]。たとえば、糖、ペプチ ド、ビタミン、脂肪酸などは細胞内への取り込みを促進することが 知られている。しかしながら、結合した機能性分子が核酸医薬の活 性をしばしば低下させる^[9]。そこで本研究では、先に述べた機能性 分子を簡便に核酸医薬へと結合でき、癌細胞内の低酸素環境領域に 到達後、リンカーが開裂し、活性の核酸医薬を放出可能なリンカー を設計した。



図 9. 還元応答性リンカーにより機能性分子が結合した 核酸医薬の期待する動作機構

簡便に機能性分子を結合できるようにアルキン残基をリンカー構造 に組み込むことで、多様な核酸医薬を系統的に合成可能となると期 待した。また、ヌクレオチドに組み込まず、リンカー自体をアミダ イト試薬とすることで核酸塩基や糖-リン酸バックボーンの種類を 問わず、全ての核酸医薬に対応できると考えた。

市販のニトロベンズアルデヒドを出発とし、常法にしたがいアミ ダイトユニットへと導いた。



図 10. リンカー試薬の合成

DNA 自動合成機にて、所望のオリゴヌクレオチドの鎖伸長反応を 行い、最後に 5'-末端にリンカーのアミダイトを取り付けた。固相担 体の一部をアンモニア水によって切り出し HPLC にて純度を検定し たところ、リンカーは、ほぼ定量的にオリゴヌクレオチドに導入さ れていることを確認した(図X.A-1,B-1)。引き続き、固相担体から 切り出すことなく、CuAAC反応により様々な機能性分子を結合し た。固相担体上での反応のため、未反応のアジド化合物や反応試薬 は洗浄により簡便に取り除くことができた。







図 12. リンカーの導入効率(A-1, B-1)と固相担体上での機能性分子と オリゴヌクレオチドの結合反応(A-2、B-2)を示す HPLC プロファイル

その結果、様々な機能性分子が結合したオリゴヌクレオチドを簡便 にかつ高純度で合成できるようになった(図12 A-2, B-2)。

次に、機能性分子が結合したオリゴヌクレオチド(ODN 2 および ODN 9)がリンカーの開裂反応によって、機能性分子を切り離せる か検討した。癌細胞内の還元反応のモデルとして、大腸菌由来のニ トロレダクターゼを用いて実験した。

酵素添加後、ニトロ基の還元に引き続く脱離反応により120分程 度で遊離のオリゴヌクレオチドを与えることがわかった(図 13)。 本反応における遊離のオリゴヌクレオチドは、5'-リン酸化されたオ リゴヌクレオチドである。リンカーの脱離後は、リン酸基をあたえ るとも考えられ、様々なリン酸基を持つ薬剤の保護基としても活用 可能であると思われる。特に、5'-リン酸化 RNA をガイド鎖として も持つ RNA 干渉薬のプロドラッグとして活用できると期待してい る。



グルタチオン応答性プロドラッグ型オリゴヌクレオチドの開発

プロドラッグ型オリゴヌクレオチド法は核酸医薬の細胞膜透過性 を向上させる手法として期待されている。

本研究では、細胞質に高濃度で存在するグルタチオン(GSH))に注 目し、GSHで脱保護される保護基を開発した。



図 14. グルタチオン応答性プロドラッグ型オリゴヌクレオチドの 期待される脱保護機構

紙面の都合上割愛させて頂くが、開発した保護基は、細胞内 GSH 濃度に相当する GSH を含む緩衝溶液中では、速やかに除去された。 一方、細胞外濃度に相当する緩衝溶液中で同様の実験を行ったが、 保護基は安定であった。

蛍光標識し、さらに保護基 Y を導入したオリゴヌクレオチドを HeLa 細胞培養液に添加した(図 15)。培養液を除去した後、細胞を 固定化した。図 15-A, B で細胞の位置が分かる。蛍光顕微鏡では細 胞の位置に蛍光が観測された(図 15-b)。無保護のオリゴヌクレオ チドでは蛍光が観測されなかった(図 15-a)。今回の測定ではオリ ゴヌクレオチドが細胞膜に結合しているのか、細胞内に入ったのか 決定できない。今後の課題である。

図 15. 蛍光標識オリゴヌクレオチドの細胞内取り込み実験

3. 結言

希少糖や核酸誘導体には、我々が目的とした以外の生物活性を持 つものが、今後、生物物活性試験を行うことで数多く見出せるもの と考えられる。

また本年度にセルカウンター(OLYMPUS Cell Counter model R1)や 蛍光位相差型培養顕微鏡(OLYMPUS)を導入して継続的な細胞培養 と蛍光観察が可能となり、化合物の1次活性試験が容易に可能と なった。今後は、整備された機器を活用してここに得られた成果を さらに精査していくとともに、これまでに合成された化合物につい ても活性試験を行って、さらに高活性の化合物の合成に取り組んで 行きたい。

最後に、共同研究者である新潟薬科大学応用生命科学部西田浩志 准教授、永塚隆弘助教、岡山大学薬学部勝孝教授にこの場を借りて 感謝申し上げる。

4. 参考文献

[1] 国立がん研究センター最新がん登録・統計データ https://ganjoho.jp/reg_stat/statistics/stat/summary.html

[2] 延山嘉眞, 牛島俊和,「エピジェネティクスと発がん」, *臨床化 学*, 2007, 36 (4), 288-295.

[3] 横田隆徳, 仁科一隆, 桑原宏哉, 「核酸医薬を用いた遺伝子治療の展望」, *神経治療*, **2016**, *33*(3), 303-306.

[4] 赤井昭二, 實吉尚郎, 小野晶, 「次世代型医薬品開発を目指した 希少糖や核酸誘導体の合成と生物活性評価システムの構築」, 神奈川 大学工学研究, 2017, 1, 103-107.

[5] O. Schlörke, A. Zeeck, "Orsellides A–E: An Example for 6-Deoxyhexose Derivatives Produced by Fungi.", *Eur. J. Org. Chem.*, 2006, 1043-1049.

[6] 赤井昭二, 青島啓太, 西田浩志, 小島勝, 永塚貴弘, 佐藤眞治, 佐藤憲一, 抗癌剤. 特許第 6338276 号, 2018.

[7] J. Winkler, "Oligonucleotide conjugates for therapeutic applications.", *Ther Deliv.* **2013**, *4*, 791-809.

[8] R. L. Juliano, "The delivery of therapeutic oligonucleotides.", *Nucleic Acids Res.* **2016**, *44*, 6518-6548.

[9] Y. Ji, J. Yang, L. Wu, L. Yu, X. Tang, "Photochemical Regulation of

Gene Expression Using Caged siRNAs with Single Terminal Vitamin E Modification.", *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **2016**, *55*, 2152-2156.

複合金属酸化物 Ba-Zn-Nb-In-O の合成と熱重量分析

齋藤 美和* 貝掛 勝也** 安川 雪子**

Synthesis and Thermogravimetry of Metal Compound Oxides Ba-Zn-Nb-In-O

Miwa SAITO^{*} Katsuya KAIKAKE^{**} Yukiko YASUKAWA

1. 緒言

燃料電池は、燃料がもつ化学エネルギーを直接電気エネルギーに 変換するエネルギーデバイスである。燃料として水素を用いると排 出物は水のみであるため、クリーンな発電装置として普及が進めら れている。また、電解質の種類によって作動温度が変化し^[1]、高温 型の固体酸化物形燃料電池 (Solid Oxide Fuel Cell : SOFC) は、主に 酸化物イオン伝導性を示す電解質が使われており、他の電解質を使 用した燃料電池と比較して高い発電効率 (47%~70%) を有してい る。現行の SOFCでは 700 ℃~1000 ℃ と作動温度が高く材料選定 に制約が発生するなどの欠点があり、作動温度を 500 ℃ 以下に下げ ると酸化物イオン伝導度の低下に伴い発電効率が低下する^[2]。その ため、高い発電効率を保ち 500 ℃ 以下でも作動する電解質の開発が 求められている。そこで、低温域で高いイオン伝導度を示すプロト ン伝導を新たなキャリアとして付与することにより、温度低下に伴 う酸化物イオン伝導度の減少を補うことができると考えられている。

酸素欠損型プロトン伝導体では、母体 (MO_x) の陽イオン (M) サイトに価数の小さいアクセプター型の添加元素を置換固溶させ (A'_M)、その電荷を補う形で酸素欠損 (Vo⁻⁻) が形成する (式 (1.1))。

湿潤雰囲気下では Vo[…] が結晶中に水分子を取り込むことにより プロトン伝導が発現する (式 (1.2))。

> $AOy + M_{M}^{\times} + (x-y)O_{O}^{\times} \rightarrow A_{M}^{*} + 1/2 V_{O}^{**} + MO_{x}$ (1.1) $V_{O}^{**} + H_{2}O \rightarrow 2OH^{*}$ (1.2)

Ba₂In₂O₅ はブラウンミラライト型構造をもつ酸化物である。ブラ ウンミラライト型構造ではペロブスカイト構造から 1/6 の酸素が欠 損し、図 1.1^[3] に示すように InO₆ 八面体と InO₄ 四面体が交互に積層 しており、高温では酸素欠陥が無秩序化してペロブスカイト構造の 平均構造へと変化する^[4]。Ba₂In₂O₅ は格子中に水分子を取り込むこ とが可能であり、水分子の取り込みによりプロトン伝導性の酸水酸 化物 BaInO₃H へ相変化することが報告されている^[3,5]。また、図 1.2^[3] に示すように室温~400 ℃ で内包している水の脱離が起こる。

*特別助教 物質生命化学科

Assistant Professor, Dept. of Material and Life Chemistry **教務技術職員 物質生命化学科

Technical Assistant, Dept. of Material and Life Chemistry

***准教授 電気電子情報工学科 千葉工業大学

Associate Professor, Dept. of Electronics and Computer Engineering, Chiba Institute of Technology 一方、酸素欠損組成をもつ Ba(Zn_{2/3}Nb_{1/3})O_{2.5} では湿潤雰囲気下 450 °C 付近において急激に電気伝導度が上昇し、典型的なプロトン 伝導体とは異なる電気特性を示すことを発見した^[6]。 Ba(Zn²⁺_xNb⁵⁺_{1-x})O₃₋₆ (δ = (3x-1)/2) における系統的な高純度試料合成 ^[7] と酸素欠損量 δ = 0 ~ 0.5 の試料に内包している水の定量と組成 分析が行われた^[8]。図 1.3 に示すように室温~600 °C の範囲におい て δ = 0, 0.1 では 2 段階、 δ = 0.2 ~ 0.5 では 6 段階の重量減少が確認さ れた。この重量減少は試料に吸着、内包する水の脱離によるもので あり、酸素欠損量が増加するとともに重量減少量が増加する挙動が 見られることが明らかとなった。



図 1.1. Ba₂In₂O₅の結晶構造^[3].

図 1.2. Ba₂In₂O₅の熱挙動^[3].



Ba₂In₂O₅と Ba(Zn_xNb_{1x})O_{3.8}はどちらも水分子を吸着するが、構造 の違いにより水の吸着・内包および脱離挙動が異なる可能性が示唆 される。両化合物における酸素欠損と水分子との反応性について構 造の違いによる影響が明確になれば、プロトン伝導性の向上が期待 できると考えた。

本研究では、結晶構造と水分子との反応性の違いを確認するため、 Ba₂In₂O₅ と Ba(Zn_xNb_{1-x})O_{3.5}の固溶体に相当する複合金属酸化物 Ba(Zn, Nb)_{1-x}In_xO_{3.6} (Ba-Zn-Nb-In-O) を合成し、熱天秤 (TG) や四重 極質量分析計 (Q-MS) を用いて昇温時の熱挙動を調べた。

2. 実験操作

試料合成は固相反応法により行った。各種酸化物および炭酸塩原 料を秤量し、少量のエタノールを粉砕助剤として加えて分散させな がら乳鉢と乳棒で混合・粉砕した。混合紛は 1000 °C, 10 時間, 大気 中で煆焼した。煆焼紛は再度混合・粉砕した後、一軸加圧成形およ び静水圧加圧成形によりペレット状に成形した。成形体は1200 ℃, 10 時間, 大気中または酸素気流中で焼結させた。得られた試料は室 温で湿度 0%のデシケーターに保管し、評価の際は大気中で取り 扱った。

X 線回折装置(試料水平型多目的X線回折装置 Ultima IV Protectus, Rigaku 製, ゴニオ半径 185 mm, 半導体素子を用いた高速一次元 X 線検出器 D/teX)を用いて生成物の相同定を行った。X 線源は Cu Ka (波長λ=1.541836 Å)、出力は 40 kV、40 mA、長手制限スリット: 10 mm、発散スリット:1°、散乱スリット:1°、受光スリット:0.30 mm、測定範囲を $2\theta = 10^\circ \sim 90^\circ$ とし、 0.02° /step、スキャン速度を 5°/min で測定を行った。得られた回折線に対して、ICDDの PDF デー タベースを参考に結晶構造を仮定し、生成物の相同定を行った。ま た、結晶構造の仮定を元に指数付けを行い、格子定数計算プログラ ム CellCalc^[9]を用いて格子定数を算出した。

示差熱天秤 TG-DTA (Thermo Plus TG-8120, Rigaku 製) を用いて試 料の熱挙動を調べた。Ba(Zn²⁺_xNb⁵⁺1-x)O₃₋₈における TG 分析では、室 温~600 ℃ で起こる多段階の重量減少反応が互いに重なることが 報告されている^[7]ため、Ba-Zn-Nb-In-O でも同様に重量減少の段階の 分離が困難であることが予想される。そこで、重量減少量に応じて 昇温速度を制御する「ダイナミック TG (Dy-TG)^[10]」を用いて、窒 素雰囲気下で試料の熱挙動を調べた。N2雰囲気中、温度範囲:室温 ~1000 °C、昇温速度:10 °C/min、降温速度:50 °C/min、流量:50 mL/min、 質量変化速度値: 0.0001 %/s、試料皿: Al₂O₃パン、試料重量:約170 mg、標準試料: α-Al₂O₃の条件で測定を行った。

四重極質量分析計 Q-MS (Transpector CPM, INFICON 製) を用い て脱離ガス組成分析を行った。窒素ガスを流量 20 mL/min で流しな がら室温~1000°C、昇温速度:5°C/min で試料を約0.1g入れた石 英管を加熱し、発生したガスを Q-MS で測定した。

3. 結果と考察

3.1. 生成物の相同定



Ba $(Zn_{1/3} Nb_{2/3})^{4+}$ 1-xInxO3-δ (0 ≤ x ≤ 1.0) の XRD 図を図 3.1 ~ 3.3 に示 す。

⊠ 3.1. Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})_{1-x}In_xO_{3-δ} ($0 \le x \le 0.9$) O XRD ⊠.



0 ≤ x ≤ 0.7 試料では立方晶系ペロブスカイト型構造 (Pm-3m(221))^[11]、x=0.9, 1.0 (Ba₂In₂O₅) では斜方晶系ブラウンミラ ライト型構造 (Ibm2 (46))^[12] に基づき指数付けができた。その結果、 x = 0.1, 0.7, 0.9, 1.0 では単一相、x = 0, 0.05, 0.2, 0.3, 0.5 では不純物 として Ba₂In₂O₅、BaCO₃、Nb₂O₅を微量含むが単一相に近い試料が 得られた。

立方晶系ペロブスカイト型構造で指数付けを行った0 ≤ x ≤ 0.7 試料について、格子定数を表 3.1、In 置換量と格子定数の関係を図 3.4、斜方晶系ブラウンミラライト型構造で指数付けを行った x = 0.9, 1.0 の格子定数を表 3.2 に示す。In 置換量とともに格子定数が 増加した。これは、Zn²⁺や Nb⁵⁺より In³⁺の方がイオン半径^[13](表 3.3) が大きいためであり、In 置換量と格子定数の関係が直線的で あることからベガード則[14] に従い仕込組成通りの生成物が得ら れたと考えられる。また、結晶構造はx=0.7~0.9付近で立方晶系 ペロブスカイト型構造から斜方晶系ブラウンミラライト型構造へ 変化していることが示唆された。

酸素欠損量の多い Ba(Zn_{1/2} Nb_{1/2})^{3.5+}1-xIn_xO_{3-δ}と Ba(Zn_{2/3} Nb_{1/3})³⁺1-xIn_xO₃₋₆では不純物が多数観測されたため、分析結果の詳細 は割愛する。

$x_{3.1}$ Da($211_{1/3}$ ND $_{2/3}$) _{1-x} 11_x O _{3-δ} (0 ≤ x ≤ 0.9) 0748 T LE $x_{2.5}$ C T i H					
酸素欠損量(δ)	ln ³⁺ 重(<i>x</i>)	a/Å	不純物		
0	0	4.0918(30)	Nb ₂ O ₅		
0.025	0.05	4.0964(25)	BaCO ₃		
0.05	0.1	4.0997(30)			
0.1	0.2	4.1102(63)	BaCO ₃ , Ba ₂ In ₂ O ₅		
0.15	0.3	4.1240(46)	BaCO ₃ , Ba ₂ In ₂ O ₅		
0.25	0.5	4.1558(57)	BaCO ₃ , Ba ₂ In ₂ O ₅		
0.35	0.7	4.1715(48)			
0.45	0.9	4.1590(843)	Ba2in2O5		
Be(Zn _{1/3} Nb _{2/3})O ₃	0	4.0935			

NF > FO (0<*<00)の格子白粉して結婚

表3.2. Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})_{1-x}In_xO_{3-ð} (x = 0.9, 1.0)の格子定数.

酸素欠損量(ô)	ln ³⁺ 量(<i>x</i>)	a/Å	b/À	c/Å	V / Å ³
0 45	0.9	6.0574(620)	16.6997(1219)	5.9496(339)	601.854(831)
0.5	1.0	6.0956(113)	16.7091(364)	5.9637(152)	607.426(232)
Ba ₂ in ₂ O ₅	2.0	6.0956	16.7112	5.9801	607.124



3.2. 試料の熱重量・ガス組成分析

 $0 \le x \le 1.0$ 試料の Dy-TG の測定結果を図 3.5 に示す。x = 0.2, 0.3で4段階、x = 0.5 で2段階、x = 0.7, 0.9 では1段階の重量減少が確 認できたが、x = 0, 0.05, 0.1 では全温度範囲で重量がほぼ一定だっ た。x = 0 は既報^[8]と同じ挙動を示した。x = 1.0 (Ba₂In₂O₅) では 100 °C と 300 °C に2段階の重量減少を確認することができたが、 1、2段階目の重量減少値はそれぞれ 0.01, 0.52 wt% であり、既報^[5] と比べて値が小さかった。Ba(Zn, Nb)O₃₋₈は室温で大気中に含まれ る水と速やかに反応するが、Ba₂In₂O₅ の水に対する反応性は低く、 結晶中に最大量まで水分子を取り込むことができなかったと推測 される。また、x = 0.3 の組成で 100 °C, 200 °C, 450 °C, 600 °C に 4 段階の重量減少、x = 1.0 (Ba₂In₂O₅) で 100 °C と 300 °C に 2 段階の 水の脱離を確認し、 $x = 0.3 \ x = 1.0$ (Ba₂In₂O₅)では異なる重量減少 挙動を示した。



この試料系では、x = 0の端組成である $Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ が酸素欠損 を含まず結晶内に水分子を取り込むことができない。In 置換により 酸素欠損を形成して水分子を取り込むことができるようになり、x =0.2 以上の置換量において内包した水の脱離による重量減少が起 こったと考えられる。しかし、前任者の研究^[8]より、 $Ba(Zn_xNb_{1-x})O_{3.6}$ では酸素欠損量が増加するとともに重量減少量が増加すると報告さ れているが、今回合成した試料の結果では酸素欠損量が増加しても 重量減少量が単調に増加しなかった。このことから、今回合成を行っ たx = 1.0 ($Ba_2In_2O_5$) は水分子を結晶中にあまり取り込んでおらず、 重量減少量が少なくなったと考えられる。また、 $Ba(Zn_xNb_{1-x})O_{3.6}$ と Ba₂In₂O₅では脱離温度が室温 ~ 600 ℃ と 300 ℃ で異なるため水分子の吸着サイトが異なることが示唆された。

試料の昇温時における脱離ガスの定性を行うため、四重極質量分析計 (Q-MS)を用いて重量減少挙動と水の脱離挙動が一致しているかを確認した。Q-MS 測定の結果を図 3.6 に示す。

0.1 $\leq x \leq 1.0$ (Ba₂In₂O₅) 試料において水 (*m*/*z* = 18) と微量の炭酸 塩または試料表面に化学吸着した二酸化炭素 (*m*/*z* = 44) の脱離が 検出された。x = 0.1 では 100 °C 付近で 1 段階、x = 0.5 では 600 °C 以下で 2 段階、x = 0.3 では 800 °C 以下 4 段階の水の脱離、x = 1.0(Ba₂In₂O₅) では 100 °C と 300 °C で 2 段階の水の脱離が確認され、 Dy-TG の重量減少挙動と一致した。また、x = 0.3 の組成で 100, 200, 450, 600 °C に 4 段階の重量減少、x = 1.0 (Ba₂In₂O₅) で 100 °C と 300 °C に 2 段階の水の脱離を確認し、 $x = 0.3 \ge x = 1.0$ (Ba₂In₂O₅) で は異なる重量減少挙動が見られた。

これら多段階の水の脱離は吸着形態の違いによるものだと考えら れる^[7]。水は大気圧下では 100 ℃ で蒸発するため、100 ℃ 付近で検 出された水の脱離は試料表面に物理吸着した水分子だと考えられ、 100 ℃ 以上で見られる水の脱離は試料表面に化学吸着した水分子 や結晶格子中に内包した分子またはイオン種に由来すると考察した。 化学結合の強さを考慮し、200 ~ 300 ℃ 付近での脱離は水素結合で 試料表面に化学吸着していた水の脱離、300 ~ 600 ℃ で検出された 水の脱離は酸化物の分解反応による水の脱離に由来すると考えられ る。





Dy-TG および Q-MS 測定において 600 ℃ 以下での水の脱離と重量 減少挙動が一致することを踏まえ、Dy-TG の重量減少率から詳細な 化学組成の決定を試みた。130~300 ℃ の脱離を H₂O、300~600 ℃ の脱離を OH として、本試料の組成を酸水酸化物 *ABO*_x(OH)_y:*z*H₂O と定義し、Zn²⁺、Nb⁵⁺および In³⁺の価数変化がないと仮定して Dy-TG の重量減少率から化学組成を求めた。以下に算出した組成と得られ



■量減少率1% 図 3.7. Dy-TG 測定における重量減少率から求めた試料中の水の含有量.

1.0

1.5

0.5

4. 結論

0.0

本研究では、 $Ba_2In_2O_5 \ge Ba(Zn_xNb_{1,x})O_{3,\delta}$ の複合金属酸化物固溶体 Ba-Zn-Nb-In-O を合成し、熱天秤 (TG) や四重極質量分析計 (Q-MS) を用いて熱挙動と脱離ガスを分析した。

 $Ba(Zn_{1/3} Nb_{2/3})^{4+}_{1-x}In_xO_{3-\delta}$ では広い組成範囲で目的組成通りの試料 が得られたが、酸素欠損量の多い $Ba(Zn_{1/2} Nb_{1/2})^{3.5+}_{1-x}In_xO_{3-\delta}$ と $Ba(Zn_{2/3} Nb_{1/3})^{3+}_{1-x}In_xO_{3-\delta}$ では、不純物の生成量が増加し、目的相を 得ることが困難であった。

(Zn_{1/3}Nb_{2/3})⁴⁺系の Dy-TG の測定結果において、x=0.2 以上の置換 量で試料の重量減少が見られた。これは、In 置換により酸素欠損 を形成して結晶格子中に水分子を取り込むことができるようにな り、内包した水の脱離が起こったと考えられる。

 $Ba(Zn_xNb_{1-x})O_{3-\delta}c$ In を置換すると酸素欠損が生成し、水分子を 吸着することが明らかとなったが、In と(Zn, Nb)のモル比が同量ま たはそれ以上になると水分子の吸着量が減少する傾向が見られた。 これは、結晶構造が $Ba_2In_2O_5$ に近づくことにより、酸素欠損と水 分子との反応性が低くなったことによると考えられる。

Dy-TGとQ-MSの測定結果においてx=0.3の組成で100,200,450, 600 °Cに4段階の重量減少、x=1.0(Ba₂In₂O₅)で100 °Cと300 °C に2段階の水の脱離を確認し、x=0.3とx=1.0(Ba₂In₂O₅)では異な る重量減少挙動を示すことが明らかとなった。このことから、 Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_{3.8}と Ba₂In₂O₅では異なる水分子の吸着サイトが存在 することが示唆された。

今後は、湿度や温度を変えた環境(水蒸気アニールなど)での 水との反応性の検討や、目的相を得ることが困難であった酸素欠損 量の多い試料における合成条件の最適化が課題である。

5. 参考文献

- [1] Y. Ohno et al., NKK 技報 174, 12 (2001.8).
- [2] H. Iwai et al., 日本機械学会誌 111,830 (2008.10).
- [3] J. Bielecki et al., J. Mater. Chem. A 4, 1225 (2016).
- [4] T. Mori et al., Netsu Sokutei 23, 20 (1996).
- [5] N. Kochetova et al., Solid State Ionics 8, 1 (2017).
- [6] M. Saito et al., Trans. Mater. Research Society of Japan 35, 495 (2010).
- [7] M. Saito *et al.*, "Thermogravimetric and desorbed-gas analyses of perovskite-type Ba(Zn_xNb_{1-x})O_y(OH)_z· wH₂O", in preparation.
- [8] 新井健司,齋藤美和,本橋輝樹,「ペロブスカイト型 Ba(Zn_xNb_{1-x})O_{3-δ}の電気特性」第33回日本セラミックス協会関東 支部研究発表会(1B17,静岡県湯河原市,2017年9月).
- [9] 三浦 裕行, 日本結晶学会誌, 45, 145-147 (2003).
- [10] 益田 泰明, リガクジャーナル, 39, 35 (2008).
- [11] W. Wong-Ng et al., Powder Diffraction J. 3 (1988).
- [12] D.H. Gregory, et al., Solid State Chem. 107, 134 (1993).
- [13] R.D. Shannon, ActaCryst. A32, 751-767 (1976).
- [14] M. Shiga, 日本金属学会, 17, 7 (1978).

二酸化炭素資源化のための光電極材料の探索

松原 康郎* 田邉 豊和**

Development of material for photo-anode and -cathode toward carbon dioxide fixation

Yasuo MATSUBARA* Toyokazu TANABE**

1. 緒言

光合成明反応過程(Z-スキーム)では、マンガン-カルシウム錯体の 働きにより光エネルギーを用いて水から電子が汲み上げられ、この 電子が後続の還元反応一最終的にはカルビン回路における二酸化炭 素(CO₂)のグルコースへの化学固定化一で用いられている。近年、こ の働きを模倣する可視光応答型の半導体光触媒の研究が盛んである。 その要点は、(1)可視光を吸収できるようなバンドギャップを持つ 半導体を設計し、それによる励起エネルギーの低下を Z-スキームに よって補い、(2) 半導体の光励起により生じた電子と正孔が素早く 再結合するのを回避し、(3) 電子もしくは正孔を化学反応に変換す るための触媒サイトを構築することである。

有機半導体の一種であるグラファイト性窒化炭素(g-C₃N₄)^{III}は、可 視光を吸収することができ、適切な触媒を担持させることにより、 水の光酸化反応の触媒として働くことが知られている。また、窒化 炭素の構造を変えることによって、例えばポリヘプタジンイミドの カリウム塩(PHI-K)^[2]では、より長波長の光を吸収できることも報告 された。また、担持触媒の構造は、光触媒としての半導体の化学的性 質を決める重要な要素であり、上記の要点2及び3と関係しているた め、半導体光触媒開発における両輪の片輪として研究されている。

これらの有機半導体は、通常、粉体として調製されるが、電極基 板化することは、その電極を光電気化学的に他の還元反応へ連結す る上で重要である。そこで本研究では、有機半導体として g-C₃N₄ もしくは PHI を用い、硝酸コバルトもしくは水の電気化学的酸化触 媒と知られているコバルトポリオキソメタレート(Co₄-POM)¹³を触 媒として担持させた粉末を調製し、まず、粉末複合材料の光酸素発 生能力を検討した。そして、この複合材料の電極基板化を行い、こ の基板の光応答性について検討した。また、これらの材料は CO₂の 化学固定化の能力を有していないため、化学工業において重要な炭 素材料である一酸化炭素(CO)へと効率よく CO₂を還元できるような 触媒の開発も目指した。

Assistant Professor, Dept. of Material and Life Chemistry **特別助教 物質生命化学科 (~2018.3) Assistant Professor, Dept. of Material and Life Chemistry (現講師 防衛大学校 機能材料工学科 (2018.4~)

2. 有機半導体の光電極基板化

2-1. 粉末複合材料の調製

有機半導体 g-C₃N₄ と PHI-K 及び、触媒 Co₄-POM は既報に従って 合成し、IR スペクトルにより同定した。メソ多孔を有するグラファ イト性窒化炭素(mpg-C₃N₄)は、東工大の前田准教授に作成していた だいた。有機半導体への触媒の担持は、Co₄-POM がアニオン分子で あることを利用して、対カチオンにアルキルアンモニウムを導入し て、有機半導体と対カチオンのアルキル基との間に働く疎水性相互 作用を発現させることにより行った(図 1)。



mpg-C₃N₄ / TBA / Co₄-POM

図 1. 今回調製した有機-無機複合体の概念図。 図中点線は疎水性相互作用を表す。

2-2. 光反応性の評価

このようにして調製した粉末複合材料の IR スペクトルを、吸着前のスペクトルと共に図2に示す。これらの吸着操作においては、 用いた溶液のUV-vis吸収スペクトルの変化からも確認を行った。その結果、(1) Co₄-POM は半導体空孔内にその構造を保ったまま導入 され、(2) その吸着量は0.1 mmol/g であるということ、また、(3) 水 洗でも一定の Co₄-POM が空孔内に留まることがわかった。

得られた有機-無機複合体の光酸素発生特性を評価した結果を図3 に示す。mpg-C₃N₄単体では光照射によって酸素が全く発生しなかっ たが、Co₄-POMを吸着させた複合体では酸素が発生することが確認 された。また、この光酸素発生能力は実験を繰り返しても維持され ることがわかった。また、mpg-C₃N₄と硝酸コバルトの単純混合の場 合でも同程度の速度で酸素が光発生することもわかった。硝酸コバ ルトは酸化コバルト(CoO_x)に変化することによって酸素発生を触媒 することが知られており、この結果は、この条件下では複合体の光 酸素生成が CoO_xによるものとは区別できないことを示している。

^{*}特別助教 物質生命化学科

Lecturer, Dept. of Materials Science and Engineering, National Defense Academy)



図 2. 吸着操作における各粉末の IR スペクトル (KBr 中)。(a) 疎水性 Co₄-POM; (b) mpg-C₃N₄; (c) 吸着操作によって得られた複合体粉末; (d) 24 時 間水洗後の複合体粉末。



図 3. 各粉末に窒素雰囲気下 25 度で光照射(>400 nm)した際の気相の酸素濃度(atm%)の変化。(a) 複合体粉末; (b) mpg-C₃N₄と硝酸コバルトの単純 混合; (c) mpg-C₃N₄のみの場合。

2-3. 電極基板化

半導体粉末の基板化として今回、(1) 電気泳動法による電着と、 (2) 焼成法による焼結の 2 つの方法を検討した。前者の場合、電着 による粉体表面間の接触抵抗の軽減による電荷分離の高効率化に寄 与することが期待されたが、電着によって得られる薄膜は非常に脆 く、また再現良く作製することができなかった。後者の焼成法では、 これらの問題がかなり改善されるという結果を得たので、今回は主 に、焼成法により電極基板を作成し、その光応答性を検討した。方 法として次の様な手順を採用した:(1)半導体粉末、コバルト原料、 及びバインダー材料として酸化グラフェン^[4]を混合し、空気下で焼 成することによって粉末状の光触媒を調製した後に、(2) 電極の作 製に下地として FTO ガラスを用い、この半導体粉末を水に懸濁させ たものをガラス基板に塗布してから所定の温度で焼成することに よって作成した。なお、この方法では Co4-POM は酸化されてすべて CoO_rに変化すると考えられるが、コバルト原料として光応答性への 硝酸コバルトとの違いも検討した。今回作成した典型的な基板を図 4 に示す。有機半導体のみで焼成したときには、電極の色は黄色も しくは茶色であったが、コバルト原料も含めた際には灰色もしくは 黒色の電極が得られた。



図 4. 作製した半導体粉末基板の外観写真。(a) g-C₃N₄ (硝酸 コバルト担持); (b) g-C₃N₄ + 酸化グラフェン (硝酸コバルト 担持); (c) PHI-Ag (Co₄-POM 担持)。

2-4. 光電極としての応答性の評価

まず、暗中での電極の触媒特性について評価した。図5に、作成 した半導体基板を作用電極として、pH8のリン酸緩衝溶液中で定電 位電解した時の酸素発生量の時間変化を示す。半導体基板(a と b)で はブランク(c)と比べて酸素発生速度の増加が認められた。



図 5. 半導体基板を作用電極とする電気化学的酸素発生。 リン酸緩衝溶液(pH 8)中、+1.5 V vs Ag/AgCI で定電位電 解した時の結果。(a) g-C₃N₄ (硝酸コバルト担持); (b) PHI-Ag (Co₄-POM 担持); (c) FTO ガラス板。

次に、可視光の照射と非照射を約 60 秒ごとに繰り返しながら、 これらの基板にかける電位を掃引した場合に得られる光電流曲線を 検討した。図6にバインダーとして酸化グラフェンを混合した場合 の測定結果を示す。掃引中、可視光が照射されると電流値が増加し、 照射を中断すると電流値が減少することがわかった。この応答は、 照射光として長波長の光を用いると減衰したことから、電極の光応 答性由来のものであることがわかった。電極調製の際に酸化グラ フェンを混合しなかった基板についてはこのような応答性がほとん ど見られなかったことから、酸化グラフェンが有機半導体と下地の FTO 基板との電気的な結合に有効に働いていることが示唆される。 今後、調製方法の最適化により、この光応答性を伸長させる必要が あることがわかった。



図 6. 半導体粉末基板を作用電極として電位を掃引した際に 得られた光電流応答曲線。約 60 秒ごとに照射/非照射を繰り 返した。半導体粉末にはバインダーとして酸化グラフェンを 混合したものを用いた(図 4 の基板(b)に相当)。リン酸緩衝溶 液(pH 8)中での結果。

3. 高効率な CO2 還元のための電気化学触媒の開発

これまでの研究で、イオン液体が既存の CO₂ 還元レニウム(I)錯体 触媒の活性を向上させることが見出されており^[3]、触媒反応の過電 圧と反応速度を決める重要な中間体は π-π 相互作用を介した金属カ ルボキシラートとイオン液体の構成分子であるイミダゾリウムとの 会合体であることが示されている(図 7)^[6]。



図 7. 予測された重要な中間体の構造。

3-1. 錯体触媒の合成

イミダゾリウムを配位子のテザー部位とする錯体として、今回、イ ミダゾリウムを1個持つ錯体3、2つ持つ錯体5、そして3つ持つ錯 体を単離した。錯体3と5の合成では、それぞれの配位子2と4を 得るため、まず、イミダゾールを先に1つ導入したビピリジン1を Goldberg アミノ化反応により調製した。その後、1にヨードメタン を作用させることにより2を、ブロモエチル基を持つイミダゾリウ ムを作用させることにより4を合成することができた(図8)。同様な 手順により、イミダゾリウムを3つ持つ錯体も単離することができ た。これらの錯体の元素分析は全て計算値と良い一致を示した。

3-2. 触媒特性の評価

これら3つの錯体のサイクリックボルタモグラムを有機溶媒中で測定した結果を示す(図9)。イミダゾリウムをテザー部位とする錯体の 還元波は、母錯体(黒線)のものと比べて300mV正側に観測された。



図 8. イミダゾリウムを数珠繋ぎ状に有する CO2 還元錯体触 媒の合成経路。

さらにイミダゾリウムの個数が多くなるほど、第2還元波が50mV づつ正側にシフトすることがわかった。母錯体のビピリジン配位子 のπ共役系にイミダゾリウムを直接導入する効果は、第1還元波で 見られるように、1個導入するだけでほぼ飽和する傾向があるが、 第2還元波では、少なくとも今回検討した3つまでは加成性がある ことが分かった。これまでの研究で、このレニウム(I)錯体の第2還 元波では還元に伴ってハライド配位子が脱離し触媒活性種となるこ とがわかっており、今回観察された挙動は、この脱離過程に影響を 与えていることが考えられる。



図 9. 合成した錯体のサイクリックボルタモグラム。作 用電極としてガラス状カーボン(直径 3mm)を用いて、 錯体 1 mM、安息香酸 0.1 M 及び Bu₄N⁺PF₆⁻ 0.1 M を含 むジメチルホルムアミド中で窒素雰囲気下 1 V/s の掃 引速度で測定した。

同様な測定を CO₂ 雰囲気下で行った結果を示す(図 10)。イミダゾリ ウムををテザー部位にもつレニウム(I)錯体では、母錯体と比べて、 より正側の電位で触媒波が流れ始めることがわかった。



図 10. 合成した錯体のサイクリックホルタモクラ ム。条件は、CO2 雰囲気下で測定したという点以外 は、前図と同じ。比較のため、窒素雰囲気下での結 果を点線で示す。

この触媒波の強度を母錯体のものと比較するため、回転リングディ スク電極を用いて、錯体の溶液中での拡散定数と電極表面上の拡散 層の厚みも考慮にいれた測定を行い、解析を行った。その結果、触 媒反応の速度は1/4程度になっているが、触媒反応の駆動電位が300 mV程度正側にシフトしている場合、本来1/10⁵程度になることが期 待されるので^[7,8]、逆に、「この程度の低下量に抑えられている」と いえることがわかった。今後更なる速度向上のため、数珠繋ぎにす るイミダゾリウムの個数の効果を詳細に検討する必要があることが わかった

4. 結言

本研究では、人工光合成の基盤技術となる光電極の作製のための材 料探索、また、効率のよい電気化学的 CO2 還元のための錯体触媒の 開発を行った。前者においては、有機半導体を基にして電極作成方 法を検討した結果、有機半導体としてグラファイト性窒化炭素もし くはポリヘプタジンイミドを用い、触媒として硝酸コバルトもしく はポリオキソメタレートを用いて、これらを同時に FTO 基板上で焼 成することによって、光応答性のある電極基板を調製できることが わかった。焼成する際のバインダーとして酸化グラフェンを混合し たものでは特にはっきりとした光応答性を確認することができ、今 後、調製方法の最適化により、この光応答性を伸長させる必要があ る。後者においては、既存の錯体にイミダゾリウムを複数導入する ことが触媒性能を高効率化するのに効果的であるということを見出 すことができた。今後、この効果を増強させていくと共に、電極材 料との結合を図る必要がある。

5. 謝辞

この研究は、工学研究所共同研究Bによる資金提供により行われた。 メソ多孔を有するグラファイト性窒化炭素(mpg-C₃N₄)を快く提供し て下さった東京工業大学の前田和彦 准教授に厚く御礼申し上げる。 また、実験を担当した本学卒業生の伊関祐人、慕暁晨、新倉雅俊、 並びに尾形美緒君に感謝したい。

6. 参考文献

- J. Zhang, X. Chen, K. Takanabe, K. Maeda, K. Domen, J. D. Epping, X. Fu, M. Antonietti and X. Wang Synthesis of a Carbon Nitride Structure for Visible-Light Catalysis by Copolymerization, Angewandte Chemie International Edition, 49 (2), 441-444 (2010).
- [2] D. Dontsova, S. Pronkin, M. Wehle, Z. Chen, C. Fettkenhauer, G. Clavel and M. Antonietti, Triazoles: A New Class of Precursors for the Synthesis of Negatively Charged Carbon Nitride Derivatives, Chemistry of Materials, 27 (15), 5170-5179 (2015).
- [3] Q. Yin, J. M. Tan, C. Besson, Y. V. Geletii, D. G. Musaev, A. E. Kuznetsov, Z. Luo, K. I. Hardcastle and C. L. Hill, A Fast Soluble Carbon-Free Molecular Water Oxidation Catalyst Based on Abundant Metals, Science, 328 (5976), 342-345 (2010).
- [4] Y. Kofuji, Y. Isobe, Y. Shiraishi, H. Sakamoto, S. Tanaka, S. Ichikawa and T. Hirai, Carbon Nitride–Aromatic Diimide–Graphene Nanohybrids: Metal-Free Photocatalysts for Solar-to-Hydrogen Peroxide Energy Conversion with 0.2% Efficiency, Journal of the American Chemical Society, 138 (31), 10019-10025 (2016).
- [5] D. C. Grills, Y. Matsubara, Y. Kuwahara, S. R. Golisz, D. A. Kurtz and B. A. Mello, Electrocatalytic CO₂ Reduction with a Homogeneous Catalyst in Ionic Liquid: High Catalytic Activity at Low Overpotential, The Journal of Physical Chemistry Letters, 5 (11), 2033-2038 (2014).
- [6] Y. Matsubara, D. C. Grills and Y. Kuwahara, Thermodynamic Aspects of Electrocatalytic CO₂ Reduction in Acetonitrile and with an Ionic Liquid as Solvent or Electrolyte, ACS Catalysis, 5 (11), 6440-6452 (2015).
- [7] C. Costentin, S. Drouet, M. Robert and J.-M. Savéant, Turnover Numbers, Turnover Frequencies, and Overpotential in Molecular Catalysis of Electrochemical Reactions. Cyclic Voltammetry and Preparative-Scale Electrolysis, Journal of the American Chemical Society, 134 (27), 11235-11242 (2012).
- [8] Y. Matsubara, Standard Electrode Potentials for the Reduction of CO₂ to CO in Acetonitrile-Water Mixtures Determined Using a Generalized Method for Proton-Coupled Electron-Transfer Reactions, ACS Energy Letter, 2 (8), 1886-1891 (2017).

炭素ナノ材料に内包された水の分子ダイナミクス

客野 遥* 佐々木 志剛*

Molecular Dynamics of Water Confined in Carbon Nanomaterials

Haruka KYAKUNO^{*} Mut

Munetaka SASAKI*

1. 緒言

制限ナノ空間内の水は,通常サイズの水とは異なる性質を示す[1]. たとえばナノ細孔における水の非常に高い輸送度[2]や,プロトン伝 導度[3]などがその一例である.このようなナノ空間内の水の性質を 理解することは,高性能なナノ流体デバイスの開発や生体膜のチャ ネル機構の解明など,基礎科学からナノテクノロジーに至るまで幅 広い分野において必要とされている.

ナノサイズの空洞を有する物質は数多く存在し,その空洞次元, 空洞サイズ,空洞壁の性質(親水/疎水性)などはさまざまである. たとえば図1に示すように、単層カーボンナノチューブ (single-walled carbon nanotubes; SWCNTs) は炭素原子のみから成る ナノ構造物質であり,疎水性の1次元空洞を有する[4].一方, Mobil composition of matter 41 (MCM-41) はシリカ材料から合成され,親 水性の1次元空洞を有する[5].本研究では、このようなナノ空洞の 性質が、内包水の性質(構造やダイナミクスなど)にどのように影 響するかに着目した. 炭素ナノ材料である SWCNT とゼオライト鋳 型炭素 (zeolite templated carbon; ZTC) [6]について内包水の性質を 調べ,その結果を親水性空洞に内包された水と比較した.X線回折 (XRD) 実験, 核磁気共鳴 (NMR) 測定, 示差走査熱量 (DSC) 測 定などの実験を行い,得られた実験結果は古典分子動力学 (MD) 計算を用いて解析した.本研究において,MD計算は非常に重要な 役割を果たした.実験に即した条件で計算を行うことにより,内包 水の構造やダイナミクスに関して分子レベルのミクロな描像を得る ことができた. そこで本稿では, MD 計算から得られた成果を中心 に報告する.

2. カーボンナノチューブに内包された水

さまざまなナノ空洞物質の内,本研究では SWCNT と ZTC に着目 して研究を行った.本稿では紙面の都合により,SWCNT に関して 得られた成果を中心に述べる.これに先立ち,本節では SWCNT に 内包された水の性質について,これまでの研究によって明らかに なっていることを簡単に紹介する.





図1 さまざまなナノ空洞物質の模式図. どの物質も, その内部空 洞に水を内包することができる. これらの物質は, 空洞次元, 空洞 サイズ, 空洞壁の性質(親水/疎水性)などの特徴が異なる. このよ うな空洞の特徴は, 内包水の性質に大いに影響すると考えられる. ゼオライトの模式図は、文献(7)から引用した。

SWCNT は、グラフェンのリボンを筒状に丸めてつなげた中空円 筒空間(直径1nmから4nm程度)を有する1次元性のナノ炭素物 質である[4].疎水性である炭素原子から構成されるにも関わらず、 SWCNT はその空洞内に高密度の水を内包することができる.比較 的直径の小さい SWCNT (1.1 nm < D < 1.5 nm)においては、これま でにさまざまな計算機シミュレーションや実験が盛んに行われ、内 包水は低温で液体-固体様転移を起こし、筒状の氷(ice-NT)を形成 することが明らかになった[8-11].一方、より直径の大きい SWCNT (1.6 nm < D)については実験、シミュレーションともに報告が少な く、最重要課題の一つとして残されていた.計算機シミュレーショ ンでは、 $D > \sim 1.5 \text{ nm}$ のSWCNTに内包された水の低温構造として、 多層筒状氷や螺旋構造の多層筒状氷が予測されている[12,13].しか し実験による検証は未だ十分に行われていない.また大部分の計算 機シミュレーションでは、SWCNTの長さ方向に周期境界条件を課 した「無限に長いSWCNT」を扱っていた.そこで本研究では、比 較的直径の大きいSWCNT($D > \sim 1.5 \text{ nm}$)について、種々の実験と 有限長 SWCNTを用いた古典 MD 計算を行い、内包水の構造とダイ ナミクスを調べた.

3. 一般的な古典 MD 計算の概要

物質の構造や物性を評価・予測するための手法として、モンテカ ルロ(MC)法、分子動力学(MD)法などの計算機シミュレーショ ンが広く用いられている.MC法やMD法は多数の原子や分子から なる集合を主なシミュレーション対象としている.MC法では、原 子や分子の集団の配置を、その出現確率がボルツマン分布に従うよ うにコンピュータの中に発生させ、配置のアンサンブル平均として 集団系の性質を解析する.したがって、この手法では静的性質を得 ることはできるが動的性質を議論することはできない.一方 MD法 では、原子・分子を古典力学の運動方程式にしたがって運動する質 点あるいは剛体とみなし、その運動を時々刻々と追っていく.よっ て、時間に依存した性質や振る舞いを調べることが可能である.本 研究では、古典 MD法を用いた.図2に、古典 MDシミュレーショ ンの計算フローを示す.以下ではこのフローチャートに基づき、古 典 MD法の計算プロセスの概要を述べる(詳細は、文献(14)、(15) などの専門書を参照).



図2 MD シミュレーションの計算フローチャート.

まずユニットセルのサイズを決め、そのセル内に分子(または原 子)を配置する.単にセル内に分子を並べた場合、それは表面を持っ たクラスターとなる.表面はバルクと異なった性質をもつため、表 面に注目しない場合には周期境界条件を用いる必要がある.周期境 界条件とは、ユニットセルとまったく同じセル(イメージセル)が 周囲に続いていると仮定して計算する手法である.周期境界条件を 用いると、系は疑似的にサイズ無限と考えることができる.これに より、表面のないバルクでの性質を調べることができる.

次に,分子間にはたらく相互作用を仮定する.一般に,分子間相

互作用にはファンデルワールス相互作用と静電相互作用を考慮する ことが多い.すなわち,

$$V_{IJ}^{\text{inter}} = V_{IJ}^{\text{vdW}} + V_{IJ}^{\text{est}}$$
(1)

V,vdW は斥力相互作用や分散相互作用などからなるファンデルワー

ルス相互作用であり,次式のようなレナード・ジョーンズ (LJ) ポ テンシャルがよく用いられる.

$$V_{IJ}^{\rm vdW} = \sum_{i \in J} \sum_{j \in J} 4\varepsilon_{ij} \left[\left(\frac{\sigma_{ij}}{r_{ij}} \right)^{12} - \left(\frac{\sigma_{ij}}{r_{ij}} \right)^{6} \right]$$
(2)

ここで、 r_{ij} は原子 $i \geq j \geq o$ 間の距離であり、 $\varepsilon_{ij} \geq \sigma_{ij}$ の組を、分 子 I中の原子 $i \geq \beta$ 子 J中の原子 $j \geq o$ 間の LJ パラメータとよぶ. この関数の概形を図3に示す.一方、 V_{IJ}^{est} は静電相互作用であり、 電荷間のクーロン相互作用として以下のように表現することができる.

$$V_{IJ}^{\text{est}} = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \frac{q_i q_j}{4\pi\varepsilon_0 r_{ij}}$$
(3)

ここで、
$$q_i$$
は原子 i の有効点電荷、 \mathcal{E}_0 は真空の誘電率を表す.



図3 2 原子間におけるレナード・ジョーンズ (LJ) ポテンシャル 関数の概形. \mathcal{E}_{ij} はポテンシャルエネルギーの深さ, σ_{ij} はポテンシャ ルエネルギーがゼロとなるときの 2 原子間距離に対応する.

以上のような準備を終えたら,いよいよ MD 計算を行う. MD 計 算では運動方程式を解く(すなわち,2 階微分方程式を解く)ので, 初期条件として初期配置と初期速度の両方が必要である.これらは 任意のもので構わない.互いに力を及ぼし合って運動している N 個 の粒子からなる物質系の運動方程式は,

$$m_i \frac{d^2 \mathbf{r}_i(t)}{dt^2} = \mathbf{F}_i(t) \qquad (i = 1, 2, \cdots, N)$$
(4)

と表せる.ここで m_i , r_i , $F_i(t)$ はそれぞれ, 粒子 i の質量, 位置

ベクトル, 粒子 i が他の粒子から受ける力である. この式を時間に ついて積分すれば, 任意の時刻での各粒子の速度や位置を予測する ことができる. ただし $F_i(t)$ が r_i の複雑な関数の場合には, 解析解 を求めることは困難なので, MD 法では数値解法を用いる. 微分方 程式の数値解を求める方法には, これまでさまざまなものが提案さ れている. その内, MD 計算でよく用いられている方法には, 差分

近似法,予測子-修正子法,時間発展演算子法などがある.ここでは, 並進運動に関して最も広く用いられているベルレの差分近似法につ いて説明する.

まず,現在の時刻tから Δt だけ未来と過去での粒子iの位置 $r_i(t \pm \Delta t)$ を,時刻t = tのまわりでテイラー展開する.

$$\mathbf{r}_{i}(t+\Delta t) = \mathbf{r}_{i}(t) + \Delta t \frac{d\mathbf{r}_{i}(t)}{dt} + \frac{\Delta t^{2}}{2!} \frac{d^{2}\mathbf{r}_{i}(t)}{dt^{2}} + \frac{\Delta t^{3}}{3!} \frac{d^{3}\mathbf{r}_{i}(t)}{dt^{3}} + \mathcal{O}(\Delta t^{4})$$
(5)

$$\mathbf{r}_{i}(t - \Delta t) = \mathbf{r}_{i}(t) - \Delta t \, \frac{d\mathbf{r}_{i}(t)}{dt} + \frac{\Delta t^{2}}{2!} \frac{d^{2}\mathbf{r}_{i}(t)}{dt^{2}} - \frac{\Delta t^{3}}{3!} \frac{d^{3}\mathbf{r}_{i}(t)}{dt^{3}} + \mathcal{O}(\Delta t^{4}) \tag{6}$$

式(5)と式(6)を足し合わせ,式(4)を代入して整理すると,以下のようになる.

$$\boldsymbol{r}_{i}(t+\Delta t) = 2\boldsymbol{r}_{i}(t) - \boldsymbol{r}_{i}(t-\Delta t) + \frac{\Delta t^{2}}{m_{i}}\boldsymbol{F}_{i}(t) + O(\Delta t^{4})$$
⁽⁷⁾

これは, 粒子 *i* の現在の位置と力, そして *Δt* 秒前の位置を用いて *Δt* 秒後の位置を求めるものである.ここで,力は粒子間ポテンシャル 関数の位置微分として,以下のように表される.

$$\boldsymbol{F}_{i} = -\nabla_{i} V(\boldsymbol{r}_{1}, \boldsymbol{r}_{2}, \cdots, \boldsymbol{r}_{N})$$

$$\tag{8}$$

つまり、力は*t* = *t* での分子集団の位置から直接計算することができる.式(7)の計算を未来に向けて繰り返し実行すれば、系の時間発展を求めることができる.このとき粒子の速度は、式(5)から式(6)を差し引いて、

$$\frac{d\mathbf{r}_{i}(t)}{dt} = \frac{\mathbf{r}_{i}(t+\Delta t) - \mathbf{r}_{i}(t-\Delta t)}{2\Delta t} + O(\Delta t^{2})$$
(9)

と求まる. なお実際には数値計算の桁落ちを防ぐために,式(7)と式 (9)を少し変形した速度ベルレ法と呼ばれる形式が用いられること が多い. なお,式(8)の力の計算は相互作用対の数だけ行うため,粒 子数Nが大きいとそれだけ計算コストがかかることになる(各粒子 にはたらく相互作用が二体間相互作用ならば,相互作用対の数はN の二乗に正比例する). そこで,ある距離r_c以上離れている粒子同 士の相互作用を無視することにより,考慮すべき相互作用対の数を 制限する. このr_cをカットオフ距離と呼ぶ.

以上の計算において, 粒子数 N とセル体積 V が固定されているな らば, 系の全エネルギーE は保存される. すなわち, 扱う粒子集団 はミクロカノニカル (NVE) アンサンブルを構成することになる. ミクロカノニカルアンサンブルでは、系の温度や圧力は計算の結果 として与えられる.しかし、通常の実験のほとんどは温度や圧力一 定の条件の下で行われており、計算結果と実験結果を比較するため には、温度と圧力を実験と同じにすると有用である.

MD 計算において, 温度と圧力の制御にはいくつかの方法がある. 例えば, 温度制御には能勢の方法, 圧力制御にはアンダーソンの方 法などがあり, これらの方法をより高度に展開したパリネロ・ラー マン法やフーバー法, 能勢・ポアンカレ法などもある. ここでは, 最もシンプルな温度制御法として速度スケーリング法を紹介する. 系に含まれる粒子は互いに相互作用を及ぼし合いながら運動してお り,運動エネルギーは常に変化している. 一方, 系全体が熱力学的 に平衡状態にあり, ある一定温度になると仮定すると運動エネル ギーの総和は一定になる. そこで速度スケーリング法では, 各粒子 のもつ運動エネルギーの総和が, 系の設定温度 T_a と粒子系の全自由 度 gから得られる熱エネルギーに等しくなるように各粒子の速度 を一様にスケールする. すなわち, スケール前の速度 v_i , スケール

後の速度 v'として,以下のような操作を行う.

$$v_i' = \sqrt{\left(\frac{1}{2}gk_{\rm B}T_{\rm a}\right) / \left(\sum_i \frac{1}{2}m_i v_i^2\right)} v_i \tag{10}$$

これにより,系の温度を一定に制御することができる.

4. 水内包 SWCNT の MD 計算

4.1.計算条件

本研究では周期境界条件は用いず,有限長の孤立 SWCNT1 本に内 包された水分子の MD 計算を行った.図4(a)に示すように,SWCNT の両端には,水分子との相互作用の小さい人工の壁を配置した.こ れは高温や非熱平衡状態において,SWCNT の外部へと水分子が飛 び去ってしまうことを防ぐためである.また,SWCNT 内部に座標 を固定された水分子を数個配置し,水クラスター全体が並進運動や 回転運動をすることを防いだ.SWCNT を構成する炭素(C)原子は 空間に固定し(すなわち,SWCNT の分子内振動,並進運動,回転 運動の自由度はないものとし),C-C原子間の結合長は0.142 nm と した.水分子には,剛体のSPC/Eモデル[16]を用いた.SPC/Eモデ ルは単純な点電荷モデルであり,酸素(O)原子と水素(H)原子に

それぞれ, $q_{\rm o} = -0.82 \, e[{
m C}]$ と $q_{\rm H} = +0.41 \, e[{
m C}]$ の部分電荷が置かれ

ていると仮定する.ここで, e は電気素量である.SPC/E モデルの 模式図を,図4(b)に示す.

SPC/E モデルの水分子間の相互作用は、O 原子間にはたらく LJ ポテンシャルと、O, H 原子の位置にそれぞれ置かれた部分電荷間 にはたらくクーロンポテンシャルとの和で表される. SPC/E モデル

 \mathcal{O} LJ $\mathcal{N} \ni \mathcal{Y} = \mathcal{P} \mathfrak{k}$, $\varepsilon_{00} / k_{\text{B}} = 78.5 \text{ K}$, $\sigma_{00} = 0.317 \text{ nm}$ $\tilde{\mathcal{C}}$ and $\sigma_{00} = 0.317 \text{ nm}$ $\tilde{\mathcal{C}}$ an

SPC/E モデルと SWCNT との間における分子間相互作用は, O 原子 と C 原子との間の LJ ポテンシャルとし, LJ パラメータは

 $\varepsilon_{\rm oc}/k_{\rm B}=46.9\,{\rm K}\,,\ \, \sigma_{\rm oc}=0.329\,{\rm nm}\,\,{\rm b}\,\,{\rm t.}\,\,{\rm cc}\,\,{\rm cc}\,\,{\rm cc}\,\,{\rm k}_{\rm oc}\,\,{\rm k}\,,$

 $\varepsilon_{\rm CC}/k_{\rm B}=28.0\,{\rm K}$, $\sigma_{\rm CC}=0.340\,{\rm nm}$ として, ローレンツ・ベルテロー

則 (Lorenz-Berthelot rule)を用いて求めた. ローレンツ・ベルテロー 則は,異種原子間のLJ ポテンシャルを決定するために用いられる混 合則であり,以下のように表される.

$$\varepsilon_{ij} = \sqrt{\varepsilon_{ii} \times \varepsilon_{jj}} , \qquad \sigma_{ij} = \frac{\sigma_{ii} + \sigma_{jj}}{2}$$
(11)

LJ ポテンシャルとクーロンポテンシャルのカットオフ距離は、とも に 2.0 nm とした.

数値積分法には予測子-修正子法の一種である Gear 法を用いた. Gear 法におけるテイラー展開の次数は 5 次までとし,数値積分の時 間刻み幅 $\Delta t = 1.0 \text{ fs}$ として計算を行った.系の粒子数と体積は一定 とし,温度は速度スケーリング法によって制御した.

直径の異なる7種類のSWCNTについて図4(a)のようなシステム をそれぞれ作成し、内包水分子のMD計算を行った。各システムの 詳細を表1に示す。まず温度を360K一定としてシミュレーション 時間2ns程度のMD計算を行い、系を熱平衡状態にした。その後、 降温速度25-50K/nsで徐々に100Kまで冷却した。また、この徐冷 MD計算の結果から10Kごとに系のスナップショット構造を抽出し、 各温度で熱平衡状態になるまでMD計算を行った。シミュレーショ ン時間は、3-10ns程度である。ただし低温(おおよそ200K以下) においては、このシミュレーション時間で系を十分な熱平衡状態に することはできなかった。これは水分子の運動の相関時間が低温で は長いためである。

 図4 SWCNT に内包された水の MD 計算条件. (a) 水内包 SWCNT システムの模式図. SWCNT の両端を人工の壁で塞ぎ,人工壁と SWCNT は空間に固定した. 周期境界条件は適用していない. (b) SPC/E モデルの模式図. 赤球は酸素 (O) 原子,青球は水素 (H) 原 子を表す. HOH 角度 θ_{HOH} = 109.47°, OH 間距離 r_{OH} = 0.10 nm で

ある.

表 1 7 種類の水内包 SWCNT システムの構成. ここで, カイラル 指数(*n*, *m*)は SWCNT の構造を指定する整数組である. SWCNT の 直径と長さは、炭素原子を質点とみなしたときの値を示した.

カイラル 指数	直径 (nm)	長さ (nm)	内包 水分子数
(9, 8)	1.15	25.1	190
(13, 6)	1.32	7.17	100
(15, 5)	1.41	15.5	155
(18, 6)	1.69	9.22	239
(22, 13)	2.40	13.1	395
(22, 22)	2.98	13.3	890
(30, 30)	4.07	13.3	1660

4.2.計算結果の解析法

得られた MD 計算結果を用いて,系のポテンシャルエネルギーの 温度変化や水分子の配位数の温度変化などを求め,内包水の相転移 挙動のようすを調べた.また,内包水のダイナミクスを解析するた めに,水分子の回転運動の時間相関関数(回転相関関数)を計算し た.回転相関関数とは,分子が集団の中でどのような回転運動を行っ ているかを表す関数である.さまざまな定義があるが,本研究では 以下に示す相関関数を用いた.

$$C_{\ell}(t) = \left\langle P_{\ell} \left[\cos \theta(t) \right] P_{\ell} \left[\cos \theta(0) \right] \right\rangle \tag{12}$$

ここで $P_{\ell}[\cos\theta(t)]$ はルジャンドルの多項式であり、 $C_{1}(t)$ は誘電分

光, C,(t)はラマン散乱や NMR 測定と関係づけることができる量で

ある.本研究では、NMR 測定の結果と比較するために $C_{\gamma}(t)$ を求め

た. 注目している分子軸方向の単位ベクトルを u_i(t) とすると,

$$C_{2}(t) = \frac{1}{2} \left\langle 3\cos^{2}\theta(t) - 1 \right\rangle = \frac{1}{2} \left\langle 3\left\{ \boldsymbol{u}_{i}(t) \cdot \boldsymbol{u}_{i}(0)\right\}^{2} - 1 \right\rangle$$
(13)

となる.ここで、 $\theta(t)$ は $u_i(t)$ と $u_i(0)$ との間の角度である.一般に、

液体に対する $C_2(t)$ はt=0において1から出発し、分子の回転運動が速ければ急速に、遅ければゆっくりと0へ収束していく.

回転相関関数 $C_{\ell}(t)$ の時間減衰が非指数関数的な場合,その時間 変化は以下に示す Kohlrausch 式によりしばしば表現される.

$$C_{\ell}(t) \propto \exp\left[-(t/\tau_{\ell})^{\beta_{\ell}}\right], \quad \beta_{\ell} \le 1$$
(14)

ここで定義される τ_{ℓ} は、回転相関時間と呼ばれる.式(13)より、分子の回転運動が速いほど、回転相関時間は短くなることが分かる. なお本研究において、SWCNT 内包水の回転相関関数は、 $\beta_{\ell} = 0.5 - 1.0$ でよく再現された.

4.3.結果と考察

4. 3. 1. SWCNT 内包水の構造

図5に,温度360Kと100Kにおける内包水の構造の一例を示す. 360Kでは,SWCNT直径Dに依らず内包水は乱れた液体様の構造で ある.一方100Kでは,その構造はDに依って著しく異なることが 分かる.すなわち低温において,D = 1.15, 1.32, 1.41 nmでは,水 分子が規則的に配列したice-NT構造(中空ice-NTまたは充填ice-NT 構造)が形成されるのに対し,D = 2.40 nmでは,内包水は低温でも 乱れた液体様の構造である.

これらの構造変化は、系のポテンシャルエネルギーの温度変化や、 水分子の配位数の温度変化からも明白に見てとれる.図6に、水分 子の配位数の温度変化を示す.図の縦軸は、系の全水分子数に対し て配位数4の水分子数が占める割合、 f_4 とした.ここで配位数とは、 ある水分子に着目したときに、その水分子に最隣接する水分子の数 のことである.本研究では、水分子同士のO-O原子間距離 d_{00} を測 定し、着目した水分子を中心として $d_{00} \le 0.33$ nmの範囲に存在す る水分子を最隣接分子と定義した.図6を見ると、1.15 $\le D \le 1.41$ nm では、ある温度 T_m 以下で f_4 が著しく変化することが分かる.この変 化が、液体から ice-NT への液体-固体相転移挙動に対応している. 本研究で得られた T_m は、X線回折実験や、条件の異なる MD 計算 (たとえば無限長 SWCNT や、異なる水モデルを用いた計算)によっ て求められた値とおおよそ一致する[8-12,17].

一方 $1.69 \le D \le 4.07$ nm においては, f_4 は降温とともに緩やかに増加し, 相転移様の挙動は見られない.また, D が大きいほど f_4 は低温で増加する.このような f_4 の振る舞いについては, 次項で実験結果と比較しながら議論する.



図5 SWCNT 内包水のスナップショット構造. D = 1.15, 1.32, 1.41, 2.40 nm での結果を代表例として示した. SWCNT は非表示とし,内

包水分子のみを表示している.赤球が酸素原子、青球が水素原子を 表す. 左図は 360 K, 右図は 100 K における構造である.それぞれ、 SWCNT のチューブ軸に平行な方向から見た図(top)と,チューブ 軸に垂直な方向から見た図(side)を示している.



図6 SWCNT に内包された水分子の配位数の温度変化. 図の縦軸 は、系の全水分子数に対して配位数 4 の水分子数が占める割合, f_4 である.上図は $1.15 \le D \le 1.41$ nm, 下図は $1.69 \le D \le 4.07$ nm での 結果を示す.比較を容易にするために, D = 2.98 nm での結果は両方 の図に示している.また,下図には ZTC 内包水の結果も示した.

4. 3. 2. SWCNT 内包水の回転ダイナミクス

図 7 (a)に、本研究により求めた内包水の回転相関時間 τ の温度 変化を示す. 1.15 $\leq D \leq 1.41$ nm では、 τ はある温度以下で急激に増 加する. これは、配位数に見られた急激な温度変化(図 6)と同様 に、内包水がある温度以下で ice-NT を形成するためである. 一方、

$$1.69 \le D \le 4.07 \text{ nm}$$
 での τ は、 $\tau = \tau_0 \exp\left[B/(T - T_0)\right]$ で表現される

Vogel-Fulcher-Tammann (VFT)型の温度依存性を示し,直径が大きいほどその温度依存性も強い. この特徴は,図7(b)に示す NMR 測定の結果[18]と定性的に一致する. このような VFT 型の温度依存性について,その起源を以下に考察する.



図7 SWCNT に内包された水分子の回転相関時間の温度変化. (a) は MD 計算, (b)は NMR 測定により求めた. (a)の上図は $1.15 \le D \le$ 1.41 nm, 下図は $1.69 \le D \le 4.07$ nm での計算結果を示す. 比較を容 易にするために, D = 2.98 nm での結果は両方の図に示している. ま た, (a)の下図には ZTC 内包水の計算結果も示した. (b)において, NMR 測定は重水を内包した 5 種類の SWCNT 試料および ZTC 試料 について行い, ²H 核スピン-格子緩和時間 T_1 を測定することにより τ を求めた[18,19].

図6を見ると、 $1.69 \le D \le 4.07$ nm において、 f_4 はDが大きいほど低 温で増加することが分かる、 f_4 は、水素結合に寄与している水分子 の割合の指標であると見なすことができる、つまり、Dが大きいほ ど,内包水の水素結合が低温で発達することを示している.これは, 直径の大きい SWCNT ほど水素結合に対する空間的な制限が緩いと 考えれば矛盾しない.そこで, τ の VFT 型(もしくは非アレニウス 型)の振る舞いの一因は,水素結合の発達の温度依存性にあると推 測し, $\tau \varepsilon f_4/T$ に対してプロットした(図8).図8より,少なくと も高温においては, $\tau = \tau_0 \exp[E_0 f_4/k_{\rm B}T]$ という式で τ の温度依存

性をおおよそ表現できることが分かる.これは、降温とともに f_4 が 増加(すなわち水素結合が発達)することにより、水分子の回転の 活性化エネルギー E_0f_4 が増加することを示唆している.なお図8よ り、 E_0/k_B の値は2500-2900 K 程度と見積もられた.これは典型的な 水素結合の結合エネルギーである2400 K とおおよそ一致している.



図8 SWCNT に内包された水分子の回転相関時間の温度変化. 横軸を f_4/T としてプロットした.上図は $1.15 \le D \le 1.41$ nm,下図は $1.69 \le D \le 4.07$ nm での結果を示す.比較を容易にするために,D = 2.98 nm での結果は両方の図に示している.また,下図には ZTC 内包水の結果も示した.

4. 3. 3. 空洞次元と水分子ダイナミクス

本研究では SWCNT に加えて, ZTC に内包された水のダイナミク スも調べた. ZTC とは, Y型ゼオライトを鋳型として合成された新 しい多孔性炭素材料であり,均一な直径(1.2 nm)のナノ空洞,お よび鋳型である Y型ゼオライトに由来する規則的な 3 次元構造を有 する[6]. ここでは SWCNT の 1 次元空洞と ZTC の 3 次元空洞とで, 内包された水分子の運動にどのような違いが生じるかを比較する.

図7に、MD 計算と NMR 測定から得られた回転相関時間 τ をそれぞれ示す.図より、ZTC 内包水の τ は VFT 型の温度依存性を示し、 SWCNT に比べて温度依存性が強いことが分かる.また図6を見る と、ZTC 内包水の f_4 は、低温で SWCNT (1.69 $\leq D \leq 4.07$ nm) より も増加している.以上の結果は、4.3.2.で述べた「 τ が VFT 型の温度依存性を示すのは、内包水の水素結合が降温とともに発達 するためである.」という議論と矛盾しない.SWCNT の1次元空洞 に比べて、ZTC の3次元空洞は水素結合に対する空間的な制約が緩 く、降温とともに ZTC 内包水は3次元的な水素結合のネットワーク 構造を発達させる.そのため、ZTC では τ の温度依存性がより強く なったと考えられる.

4.3.4.空洞壁の親水/疎水性と水分子ダイナミクス

次に、空洞壁の親水/疎水性が、内包水の運動にどのように影響す るかを議論する.これまでの研究により、SWCNTの空洞壁は疎水 的(もしくは弱親水的)であることが示されている[20].そこで本 研究では、SWCNTと親水性1次元細孔であるMCM-41とで、内包 水のダイナミクスがどのように異なるかを比較した.図9(b)に、 NMR 測定によって求められた内包水の回転相関時間を示す.ここ で、MCM-41 内包水のデータは文献(21)より引用した.図より、 MCM-41 に比べて、SWCNT 内包水の τ は温度依存性が弱く、低温 では 2 ケタ以上値が小さいことが分かる.すなわち、親水的な MCM-41 と比べて、疎水的な SWCNT 内部において、水分子は低温 まで速い回転運動をしている.

このような空洞壁の性質に依存する τ の振る舞いの起源を明らか にするため、MD 計算を行った.本 MD 計算では、SWCNT 内の C 原子と水分子内の H 原子との間の LJ パラメータ、 ε_{CH} の値を変化 させることにより、SWCNT 空洞壁の疎水/親水性を人工的に変化さ せた. ε_{CH} の値が大きければ SWCNT 壁と水分子の H 原子との間の 相互作用が強くなり、水分子が SWCNT 壁に留め置かれやすくなる. 図 9 (a)に示すように、 ε_{CH} を大きくすると内包水の液面形状はより

親水的(下に凸)になり,それと同時に,内包水のではより強い温 度依存性を示した.この結果は,水分子と空洞壁との間の相互作用 が内包水のダイナミクスに著しく影響することを示唆している.親 水的である MCM-41 では,水分子は MCM-41 壁のシラノール基と 容易に水素結合をつくる.これにより内包水の水素結合発達が促進 され,降温とともに回転運動は急速に遅くなっていく.一方疎水的 な SWCNT では,SWCNT 壁と水分子との間の相互作用はファンデ ルワールス相互作用が支配的であり,これは水分子同士の相互作用 に比べて非常に弱い.よって,水分子は空洞壁に留め置かれること なく,低温でも速い運動をすることができるものと考えられる.

5. 結言

本研究では,炭素ナノ材料に内包された水分子の回転ダイナミク スを調べた.実験結果と比較可能な MD 計算を行うことにより, 内包水のダイナミクスがナノ空洞の次元,サイズ,親水/疎水性に どのように影響されるかを分子レベルのミクロな視点から明らか にした.SWCNTの疎水性1次元空洞(D>~1.5 nm)では,SWCNT 直径が小さいほど内包水の回転運動は速い.また,ZTCの3次元 空洞やMCM-41の親水性1次元空洞と比べて,SWCNTに内包され た水は低温まで速い回転運動をしている.このような運動性の違い は,内包水の水素結合の発達に起因することが示された.本研究成 果は,ナノ空洞に内包された水の物性理解に留まらず,新たな親水 /疎水性ナノ材料の開発や高性能ナノ流体デバイス(水分離膜やプ ロトン伝導膜など)の設計などに役立つ知見を与えることが期待さ れる.



図9.ナノ空洞物質に内包された水分子の回転相関時間の温度変化. (a)は MD 計算,(b)は NMR 測定の結果.(a)の MD 計算では,SWCNT 壁の疎水/親水性を人工的に変化させた.挿入図は,温度 285 K にお

謝辞

本研究は,真庭豊教授(首都大学東京),斎藤毅博士,畠賢治博 士(産業技術総合研究所),京谷隆教授,西原洋知准教授(東北大学) をはじめとする多くの方々との共同研究として行われたものです. 共同研究者の方々に深く感謝いたします.

参考文献

 N. E. Levinger, Water in confinement, Science 298(5599), 1722-1723 (2002).

[2] A. Noy, H. G. Park, F. Fornasiero, J. K. Holt, C. P. Grigoropoulos, and O. Bakajin, Nanofluidics in carbon nanotubes, Nano today 2(6), 22-29 (2007).

[3] C. Dellago, M. M. Naor, and G. Hummer, Proton transport through water-filled carbon nanotubes, Phys. Rev. Lett. 90(10), 105902 (2003).

[4] S. Iijima and T. Ichihashi, Single-shell carbon nanotubes of 1-nm diameter, Nature 363(6430), 603-605 (1993).

[5] J. S. Beck et al., A new family of mesoporous molecular sieves prepared with liquid crystal templates, J. Am. Chem. Soc. 114(27), 10834-10843 (1992).

[6] H. Nishihara et al., A possible buckybowl-like structure of zeolite templated carbon, Carbon 47(5), 1220-1230 (2009).

[7] P. Demontis, J. Gulín-González, M. Masia, and G. B. Suffritti, The behaviour of water confined in zeolites: molecular dynamics simulations versus experiment. J. Phys.: Condens. Matt. 22(28), 284106 (2010).

[8] K. Koga, G. T. Gao, H. Tanaka, and X. C. Zeng, Formation of ordered ice nanotubes inside carbon nanotubes, Nature 412(6849), 802 (2001).

[9] J. Shiomi, T. Kimura, and S. Maruyama, Molecular dynamics of ice-nanotube formation inside carbon nanotubes, J. Phys. Chem. C 111(33), 12188-12193 (2007).

[10] Y. Maniwa et al., Ordered water inside carbon nanotubes: formation of pentagonal to octagonal ice-nanotubes, Chem. Phys. Lett. 401(4), 534-538 (2005).

[11] F. Mikami et al., Dielectric properties of water inside single-walled carbon nanotubes, ACS nano 3(5), 1279-1287 (2009).

[12] D. Takaiwa, I. Hatano, K. Koga, and H. Tanaka, Phase diagram of water in carbon nanotubes. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 105(1), 39-43 (2008).

[13] J. Bai, J. Wang, and X. C. Zeng, Multiwalled ice helixes and ice nanotubes. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 103(52), 19664-19667 (2006).

[14] 上田顯, 分子シミュレーション—古典系から量子系手法まで—, 裳華房 (2003).

[15] 岡崎進, 吉井範行, コンピュータ・シミュレーションの基礎, 化 学同人 (2000).

[16] H. J. C. Berendsen, J. R. Grigera, and T. P. Straatsma, The missing term in effective pair potentials. J. Phys. Chem. 91(24), 6269-6271 (1987).

[17] H. Kyakuno et al., Confined water inside single-walled carbon

nanotubes: Global phase diagram and effect of finite length, J. Chem. Phys. 134(24), 244501 (2011).

[18] H. Kyakuno et al. Rotational dynamics and dynamical transition of water inside hydrophobic pores of carbon nanotubes. Sci. Rep. 7(1), 14834 (2017).

[19] H. Kyakuno et al., Amorphous water in three-dimensional confinement of zeolite-templated carbon, Chem. Phys. Lett. 571, 54-60 (2013).

[20] H. Kyakuno et al., Diameter-dependent hydrophobicity in carbon nanotubes, J. Chem. Phys. 145(6), 064514 (2016).

[21] M. Rosenstihl, K. Kämpf, F. Klameth, M. Sattig, and M. Vogel, Dynamics of interfacial water, J. Non-Cryst. Solids 407, 449–458 (2015).

6. 工学研究所プロジェクト研究

6-1 障がい者支援施設における地域交流活動について

吉岡 寛之, 曽我部 昌史, 内田 青蔵, 山家 京子, 中井 邦夫, 重村 力, 丸山 美紀, 長谷川 明, 小幡 知之, 香山 篤美 6-2 高周波回路の解析・設計理論の整備と対応ソフト開発—方形断面光導波路電磁界・実効屈折率の高精度計算—

平岡 隆晴,許瑞邦

6-3 高安心超安全交通研究所 (KU-WIRF) 活動報告 (2017) 社会化するドライブレコーダー

齊藤 隆弘, 堀野 定雄, 久保 登, 石川 博敏, 龍 重法, 石倉 理有, 北島 創 "新たな低炭素エネルギー社会に対応した新型電池の開発(3)"

松本 太,池原 飛之,田邉 豊和,大坂 武男,長澤 浩,入井 友海太,安東 信雄,郡司 貴雄

6-5 燃料噴射ポンプ筐体の低振動低騒音構造初期設計

6-6 多分岐ポリマー系ナノハイブリッド材料の開発と応用

6-10 微細構造創成用水静圧スピンドルの温度変化の検討

6-16 新規物質の自己組織化を基盤とした界面制御

6-17 毒性金属イオン検出・除去システムの開発研究

6-18 企業ロボットの概念

6-7 振動を用いた DNA 増幅法

6 - 4

6-8 グリーンイノベーションの基盤となるナノ構造制御触媒の開発研究

引地 史郎, 内藤 周弌, 上田 涉, 中澤 順, Shigeo T. Oyama, 宮尾 敏広, 赤間 弘, 星野 真樹

6-9 車両等に装備するためのポリカーボネート窓の表面改質に関する研究(4)

新中 新二,井上 成美,大越 昌幸,野尻 秀智,植田 博臣,岩井 和史,中村 先男

中尾 陽一 ,Sangkee MIN

山口 栄雄,米田 征司,鈴木 温

山崎 徹,武田 章善,池田 和正,中村 弘毅, 菊地 通

横澤 勉,池原 飛之,山田 保治,花畑 誠,工藤 宏人

6-11 鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースの二段載荷予備実験 小谷野 一尚,岩田衛,荏本孝久,緑川光正,中込忠男,大熊武司

6-12 潮流発電ユニット開発の最先端技術:相反回転化-2018年度報告 中西 裕二,船見 祐揮,金元 敏明

6-13 パルスレーザー光を利用した反応開発および機構解析 岩倉 いずみ,赤井 昭二,藪下 篤史,岡村 幸太郎,織作 恵子

6-14 疎表現理論に基づく知能的視覚情報処理システムに関する研究 – 動画像疎表現の統計的モデリングとその応用 – 齊藤隆弘

6-15 ミリ波・テラヘルツ波帯のおける金属フォトニック結晶構造デバイスの解析と応用に関する研究(研究成果報告書)

穴田 哲夫,陳 春平,中山 明芳

亀山 敦,川口 春馬

小野 晶,友利 貴人,長澤 浩,實吉 尚郎

松井 正之,石井 信明,山田 哲 亀山 敦,岩岡 道夫,森井 尚之

6-19 ポリペプチドのフォールディングと集積化により形成される高次構造と機能

6-20 高性能スターリングエンジンの開発 — プロジェクト 「加熱器・冷却器を一方向にバイパスするスターリングエンジンの開発」 の進捗 原村 嘉彦

6-21 戸建住宅における全館空調の一次エネルギー消費量に関する研究(1) 岩本 靜男,傳法谷 郁乃,児保 茂樹

障がい者支援施設における地域交流活動について

吉岡 寛之** 曽我部 昌史* 内田 青蔵* 山家 京子* 中井 邦夫* 重村 力*** 丸山 美紀**** 長谷川 明**** 小幡 知之***** 香山 篤美*****

Regional Exchange Activities in facility for the handicapped

Hiroyuki YOSHIOKA^{**} Masashi SOGABE^{*} Seizo UCHIDA^{*} Kyoko YAMAGA^{*} Kunio NAKAI^{*} Tsutomu SHIGEMURA^{***} Miki Maruyama^{****} Akira Hasegawa^{****} Tomoyuki OBATA^{*****} Atsumi KOYAMA^{*****}

1. 愛媛県今治市大三島でのまちづくり活動

広島と愛媛をつなぐしまなみ街道は、瀬戸内海をのぞみながら自 転車による行き来が可能な道で、近年では多くのサイクリストが訪 れている。その街道の中央に位置する大三島は年々サイクリストの 観光客は増えているが、地域における人口減少、少子高齢化による 衰退は続いている.2013年から建築家の伊東豊雄氏が主宰する伊東 建築塾と協同で地域づくりの活動を進めている.本稿では大三島に おける活動の中で、宮浦地区の障がい者支援施設さざなみ園におけ る取り組みについて報告する.

2. さざなみ園での活動と改修

さざなみ園は障がいをもつ方々の暮らしを支える場所として社会 福祉法人でふかが運営する今治市島しょ部唯一の小規模作業所であ る. 障がいを持つ方々への理解を深め,地域とかかわりが持てる交 流スペースをつくることを目標として,2015年から同市出身の画家 MAYAMAXX氏が,通所者と一緒に施設内会議室の壁面に絵を描く 活動を行ってきた. 交流スペースが,住民や観光客などが気軽に入 れるカフェや小さなコンサートなどイベントができる場所となり, 障がい者が働く場所にできればという園から要望をもとに改修計画 を進めることになった.

アプローチでは通りを行き交う人に園の存在を伝えるために既存 門柱を一部撤去し新たに看板を設けている.交流スペースの入口が わかるように既存玄関とは別に袖看板とスロープが一体となった デッキテラスを増築し,既存壁面の窓を撤去し出入口扉を用意した.

* 教授 建築学科
Professor, Dept. of Architecture
** 特別助教 建築学科
Assistant Professor, Dept. of Architecture
*** 客員教授 工学研究所
Guest Professor, Research Institute for Engineering
**** 特別研究員 工学研究所
Research Fellow, Research Institute for Engineering
***** 客員研究員 工学研究所
Guest Researcher, Research Institute for Engineering

出入口前の袖看板には,園で栽培している植物を展示できる飾り棚 を取り付け,園の活動が表にあらわれる仕組みとした(fig.1).

内部では壁面の絵がより良く見えるように,既存天井を撤去し梁 を表しとした気積の大きな空間に改修している.床仕上げもカフェ として落ち着ける雰囲気をつくり出すために既存塩ビシートを撤去 して無垢材の板貼りにかえている(fig.2).カフェやイベントなど 様々な活動にあわせて組合せができる木製のテーブルとスツールを デザインし,廃校となった旧大三島中学校にて通所者,地域住民, 今治北高校大三島分校の高校生,神奈川大学生が一緒に家具づくり ワークショップでスツールを製作した(fig.3).旧中学校で使われな くなった木製家具をリメイクして活用している.建物裏の空き地で は,近隣の大島で採石された廃石を利用した敷石を並べて,ワーク ショップで通所者,地域住民,神奈川大学生が庭づくりを行い,草 花,野菜などを栽培し通所者の活動ができる場所として改修してい る(fig4).





fig1.さざなみ園外観







4.今後の活動

継続的にメンテナンスなどに関わりながら,さざなみ園の活動を より拡げる取り組みを進めていく予定である.他にも昨年から引き 続き活動を進めている徳島美波町の門前町,横浜市関内エリアにお ける防火帯建築に関する内容については,来年度以降に報告をして いく予定である.

高周波回路の解析・設計理論の整備と対応ソフト開発

一方形断面光導波路電磁界・実効屈折率の高精度計算一

平岡 隆晴* 許 瑞邦**

Highly Precise Calculation of Field and Effective refractive index

for Rectangular Cross-section Optical Waveguide

Takaharu HIRAOKA* Jui-Pang HSU**

1. 方形断面光導波路の高精度計算

光波帯で使用する図1(a)に示す方形断面導波路で主要伝搬姿態(基本姿態)の電磁界分布及 び伝搬速度(実効屈折率)を正確に求めることは光回路の設計で重要である。すでに、昨年の 報告でスラブ姿態展開・平面回路方程式・横方向等価回路の手法を活用して高次を含めた伝 送姿態の電磁界分布・実効屈折率を厳密に求める手法を提案した。本手法での厳密解は無限 個のスラブ姿態を考慮しなくてはならないが実際には非現実的である。今回はスラブ姿態の 考慮姿態数に対する電磁界分布と実効屈折率の収束性を計算し、ある程度のスラブ姿態を考 慮すれば高精度の解が得られることを示す。

2. 具体的解析手法

図1(a)に示す遮蔽壁付方形断面光導波路は、左右対称なので中心面で隔てられた図(b)に示 す半構造で取扱いできる。この構造での断面内等価回路は、導波路の高さ方向に存在する TE,TM スラブ姿態の面電圧・面磁圧及び面電流密度・面磁流密度で記述されるので中心導波 領域#1及び導波路外部領域#2での横方向等価伝送線路回路が得られる。すでに不連続面 bb'での左右姿態アドミタンスの整合条件より固有値方程式が得られ固有値問題を解くこと により、固有姿態の実効屈折率,固有姿態の開口電圧磁圧・開口電流磁流がえられる。導波 路の伝送電力が単位電力になるよう開口電圧磁圧・開口電流磁流は正規化を施す。ここでは、 考慮スラブ姿態数をパラメタとしてTETM 各1姿態より300姿態まで考慮して電磁界分 布,不連続面 bb'前後での電磁界成分の連続性について計算し、検討・考察した。

3. 解析結果

実効屈折率及び基本伝送姿態の主要電磁界 Ex の最大値(中心軸上 aa' で下面より 1.32μmの位置)のスラブ姿態数に対する計算結果を図2に示す。 この図より、50姿態までは考慮姿態数に対して急速に変化するが、100姿 態以上では値が一定値に落ち着いてくることがわかる。この傾向は他の電 磁界成分にもみられる。次に、基本伝送姿態の電磁界分布を TE/TM 各 30 姿態と 300姿態考慮して計算した結果を図4に示す。300姿態考慮して計

*准教授 電気電子情報工学科 Associate Professor, Dept. of Electrical, Electronics and Information Engineering **客員研究員 工学研究所 Invited Researcher., Research Institute for Engineering



図1 方形導波路断面と横方向等価回路



算した結果は 30 姿態の結果と同じように見える。これは、解析の 性質上導波路中心部の電磁界は高次スラブ姿態の影響が少ないた めである。高次スラブ姿態の影響を検討するため方形断面光導波路 不連続部 bb'前後での電磁界成分を図3実線と破線で示した。図3 で30姿態の場合電磁界成分により実線と破線に少々の乖離がみら

れるが300姿態まで考慮すると実線と破線はかなり一致しており、電 磁界の連続性が実現される。つまり、考慮姿態数を増加すると計算精 度が向上することがわかる。尚 Ex 成分は不連続前後で不連続である が電束密度成分に直すと連続になっていることは確認されている。 謝辞 穴田名誉教授及び陳春平准教授にお世話になりました。



図3 方形断面光導波路不連続部 bb'での基本伝送姿態の電磁界 6 成分の連続性(TE-TM 考慮スラブ姿態をパラメタとして)実線内側,破線外側



(a) 考慮スラブ姿態数 TE/TM 30 姿態

(b) 考慮スラブ姿態数 TE/TM 300 姿態

図4 方形断面光導波路の基本伝送姿態の電磁界分布―電磁界6成分の等高線表示(TE-TM考慮スラブ姿態をパラメタとして)

高安心超安全交通研究所(KU-WIRF)活動報告(2017) -社会化するドライブレコーダー-

齊藤 隆弘1、堀野 定雄2、久保 登2、石川 博敏2、龍 重法2、石倉 理有2、北島 創3

Annual Report on Activity of KU-WIRF (Kanagawa University, Research Institute for

Well-Informed and Risk Free Transportation) 2017 Socializing Drive-Recorder (Driving Event Video Recorder)-Takahiro SAITOH¹, Sadao HORINO², Noboru KUBO², Hirotoshi ISHIKAWA², Shigenori RYU²,

Masatomo ISHIKURA² and Sou Kitajima³

1. "ドラプリ 2017"開催: 拡がる支援

神奈川大学工学研究所高安心超安全交通研究所(KU-WIRF)と(一 社) ドライブレコーダー協議会(JDRC)は 2017 年 12 月 20 日テーマ 「ソーシャル化するドライブレコーダー」で"ドラプリ 2017"(ドライ ブレコーダー・アプリケーション・シンポジウム)を共催しました。

ドライブレコーダーメーカー、ドライブレコーダー活用実践家、 損保企業、安全管理コンサルタント、運輸事業者、行政関係者、マ スメディア、研究者など各セクターから 60 名が参加、会場の千代田 区立内幸町ホールで活発な議論を展開し有意義な成果を挙げました。

昨年までお世話になった都心でアクセス抜群の日本大学理工学 部ホールは大学の事情で使えなくなり急遽、類似した好条件の千代 田区が運営する当会場へ移動でき幸運でした。

例年通り、国土交通省、(一社)日本人間工学会、(公社)自動車 技術会(JSAE)、(独法)自動車事故対策機構(NASVA)、(一社)

電子情報技術産業協会(JEITA)、(一財)環境優良車普及機構(LEVO)、 (公社)全日本トラック協会に加えて今回から新たに、(公社)日本 バス協会、(一社)全国ハイヤー・タクシー連合会、(NPO)デジタ ル・フォレンジック研究会が後援して頂く事になりました。ドライ ブレコーダーの社会的関心増大に比例して関係セクター間の共感や 連携が拡大している証であり、この場を借りて後援各団体に感謝し ます。尚、当初から後援して頂いていた(公財)福岡県産業・科学 技術振興財団は事業計画変更に伴い、後援を終了されました。長年 のご支援に心から感謝申し上げます。

2. 先端技術の社会化に関する基本哲学: 齊藤所長挨拶から

筆者齊藤は急な学務で出席叶わずビデオで開会挨拶を行いました。 以下、その概要を紹介します。

「神奈川大学工学研究所高安心・超安全交通研究所長 齊藤 隆弘 です。本日、大学学務と重なり出席できず、心よりお詫び申し上げます。

今回、実質9回目の"ドラプリ2017"を開催できることを関係者一同慶び たいと思います。ドライブレコーダー協議会が昨2016年10月3日に一般 社団法人化されて以降2回目のドラプリです。一般社団法人化を心から 祝し協議会のますますの発展と社会貢献を心より願っております。

自己紹介させて頂きます。前松浦春樹所長が一身上のご都合で所長

1.教授 電気電子情工学科 Prof. Dept. Electrical, Electronics & Inf. Eng.、
 2.客員研究員 Guest Researcher, Research Institute for Engineering、
 3.特別研究員 Special Researcher, Research Institute for Engineering、

職を辞退され、私が後任として任務に当たる事をお引受けしました。謹ん でご報告させて頂きます。私は、神奈川大学工学部電気電子情報工学 科教授で、専門は画像工学と通信工学です。ドライブレコーダー技術の 目覚ましい進化もあり、私の専門との接点も見えており様々な局面でお役 に立てると思っています。

先端技術の社会化について、研究者の立場から基本的哲学について ー言お話しさせて頂きます。現代社会の最重要社会基盤である"交通基 盤"は受益者自らがその重要なキープレイヤーとして参加する点で"情報 通信基盤"と同様な基本構造を有しています。これらの社会基盤はお互 いに親和性が極めて高く、"交通基盤"と"情報通信基盤"は画像認識技 術や人工知能技術など先端技術を介して今後ますます分かちがたく結 びついていくことでしょう。

その際、一人一人がシステム部品としてではなく柔軟性はあるが限界の ある"人間"として、そして時に悪意を抱くこともある"人間"として参加して いることを前提とすることが必須で、特に善と悪とをともに増幅する可能性 のある"情報通信基盤"との融合を図る際にはこのことを熟慮してシステム 設計することが重要です。

"交通基盤"の今後の高度化が、便利かつ真に安心安全な社会の到来 に役立つものとするには、社会的な合意の許す範囲内で、"一人一人の 行動を記録し解析し活用する技術"を成熟させ、その技術の社会化を高 いレベルで実現して行くことが必要と考えます。神奈川大学工学研究所 は、皆様とともに今後とも、便利かつ真に安心安全な交通社会の実現に 向けて、このような観点から研究を推進していきます。

"ドラプリ 2017"のテーマ「社会化するドライブレコーダー」は非常にタイ ムリーです。「交通事故激減」(第3回"ドラプリ2011")から始まって、劇的 に普及しているドライブレコーダーの多面的活用ニーズは今後も伸びると の協議会(JDRC)の認識に深く共感します。我々も、データ解析進展に 少しでもお役に立てれば幸いです。

昨 2016 年 1 月、軽井沢碓氷峠で多くの学生が犠牲になる悲惨なス キーツアバス転落事故が発生しました。このバスにはドライブレコーダー が搭載されていなかったため、翌 2017 年 7 月に、国土交通省から事故調 査報告書が公開されるまで 1 年半もの間、事故の真相解明に大変な社 会コストを要しました。もし搭載されていれば、短時間、最少コストで原因 解明が出来たはずです。事故直後に国土交通省が貸切りバスにその装 着を義務付けたのはタイムリーな英断でした。その効果を期待します。

また、高齢運転者のアクセルとブレーキ踏み間違い事故がたびたび報 道されますが、一向に解決しません。当事車にドライブレコーダーが搭載 されていたと報じられたこともありません。この様に既に社会問題化した問 題解決に我々がどの様に協力出来るか、検討したいと思います。

本日のシンポジウムに賜ります三つのご講演を簡単に紹介します。まず、 国交省自動車局技術政策課専門官笹本 翔様から、最近セミ ADAS 付 ドライブレコーダーが市場に紹介される動向を背景に ADAS (Advanced Driver Assistance System:先進運転支援システム)の最新動向について 講演「自動運転の実現に向けた国土交通省の取組み」を賜ります。

次に、NPO 法人デジタル・フォレンジック研究会の理事舟橋 信様から 「デジタル・フォレンジックの基礎~電子証拠の保全と解析~」というご講 演を賜ります。事件・事故の際にデジタルデータを証拠として利用する機 会が多くなっており、ドライブレコーダー事故データも裁判における証拠 対象になります。

さらに、東京海上日動火災保険株式会社営業企画部マーケッティング 室グローバルマーケッティンググループ課長代理(次世代自動車タスク フォース)の平田洋一様からドライブレコーダーに緊急発報・自動通報 (ACN: Automatic Collision Notification)を搭載した新技術動向に関して 「ドライブレコーダーを活用した緊急通報サービス〜ドライブエージェント パーソナル 〜」と題するご講演を賜ります。

本日のご講演は、今後のこの分野の進展に大きく寄与するものと、大い に期待しています。ご清聴、ありがとうございました。」

3. "ドラプリ 2017"の概要

「社会化するドライブレコーダー」をテーマに社会が期待するドライブレ コーダーの役割とは何かを自動運転、事故デジタル再現、通信機能付ド ライブレコーダーで自動車保険新商品の3つの切り口で考えました。

身近な自動車保険の新商品、東京海上日動の緊急発報・自動通報型 「ドライブエージェントパーソナル」はエアバッグが作動する 30km/h 程度 以上で壁と正面衝突する様な事故時に自動発報し外部委託業者が運営 する事故受付センター経由で消防などへ通報する独自システムです。参 加者の想定を超える市場反応に会場の関心が集まり、印象的でした。

この緊急発報・自動通報システムは独自開発したドライブレコーダーに 屋外使用を想定して開発された LTE(Long Term Evolution)、次世代高 速携帯通信機能(3.9G または 4G と呼ばれる)を搭載しており、事故時の 自動発報がセールスポイントです。他にフル HD 映像記録や運転者毎の 運転傾向に基づいたリアルタイムで危険地点を注意喚起する事故予防 機能を備えており、特約保険料 650 円/月が魅力の様です。¹⁾

損保企業が志向するテレマティクス戦略は、主に次の4領域です。すな わち、1)プライシング:走行情報から導出される事故リスクから保険料を 算出することで、個々人のリスク実態に即した保険料を実現、2)不正請 求防止:鞭打ち等の怪我発生しうる衝撃の有無を走行データから確認し、 不正請求を識別、3)安全運転支援:運転操作の安全度を客観的に評価 診断するとともに、危険度の高い運転操作を捉え、ドライバーへフィード バック、4)事故時のサービス高度化:事故時の衝撃の強さに応じた自動 発報や、走行データ等による事故要因の再現などです。²⁾

デジタル・フォレンジックの定義:「インシデント・レスポンスや法的紛争・ 訴訟に際し、電磁的記録の証拠保全及び調査・分析を行うとともに、電磁 的記録の改ざん・毀損等についての分析・情報収集等を行う一連の科学 的調査手法・技術をいう。(平成16年)」³⁾、「犯罪立証のための電磁的記 録の解析技術及びその手続き」⁴⁾、「科学技術を応用して、法的に適切な 方法によりデジタル証拠(電子証拠)を復元するものである」⁵⁾、デジタル 機器内蔵のデータやプログラムに関連した犯罪捜査の工程は「押収⇒証 拠保全⇒解析⇒報告書(鑑定書)作成」⁶⁾であると舟橋様が説明し、残さ れたデジタル業務履歴を捜査当局がデジタル・フォレンジックした発生当 時社会的に注目されたライブドア事件の具体的事例の引用で、さらに協 議会理事が補足して、参加者はある程度理解した様です。しかし、実感 共有が乏しくやはり、聞き慣れない新領域で今後の展開が待たれます。

ASV との連携、自動運転車の法規調整や全国 30 数ヶ所で実証実験 展開中など自動運転の多様な国内動向とG7 会議が有人下でのレベル3, 4高度自動運転技術実用化を目指して国際協力に合意したとか国連 WP29 (国連欧州経済委員会[UN-ECE]傘下の自動車基準調和世界 フォーラム)で自動ハンドルと自動ブレーキの車両安全基準を策定したな ど海外動向を横断的に見るとドライブレコーダーとの多様な接点が見えて 来ます。これらの接点を社会的に顕在化するには KU-WIRF と JDRC が 継続的にコラボレーションする活動が重要だと思います。

4. まとめ ドライブレコーダーの社会的役割

自動運転、フォレンジック、ドライブエージェントの側面から「社 会化するドライブレコーダー」を深堀りして確認できたドライブレ コーダーの社会的役割とは、安全運転支援の高度化と強化、社会的 不都合事象の迅速・確実な検証とデジタル・フォレンジックの普及、 迅速・公平な事故対応の保険面での担保であると判りました。 KU-WIRF は今後も"交通基盤"を高度化する科学技術的な支援研 究を続けます。読者の皆様方のご理解とご支援を期待します。

5.森 みどり先生の急逝を悼む

KU-WIRF の貴重な仲間、森 みどり准教授は、不治の病に倒れ、 闘病空しく 2017 年 6 月 23 日逝去されました。KU-WIRF 発展の旗手 でもある誠に惜しい人材を失いました。重責と多忙から解放された 今、ゆっくりお休み頂き、天国から KU-WIRF を見守って下さい。 謹んでご冥福をお祈りします。

参考文献

- 「ドライブエージェントパーソナルのサービス概要」Dorapli 2017 講演集 43 頁(神奈川大学工学研究所高安心・超安全交通研究所、 ドライブレコーダー協議会)、2017-12-20.
- 2)「テレマティクス技術を活用した当社のサービス戦略の考え方」 Dorapli 2017 講演集 41 頁(神奈川大学工学研究所高安心・超安全 交通研究所、ドライブレコーダー協議会)、2017-12-20.
- 3)「特定非営利法人デジタル・フォレンジック研究会定款」(旧 3 条 2 項) Dorapli 2017 講演集 21 頁(神奈川大学工学研究所高安心・ 超安全交通研究所、ドライブレコーダー協議会)、2017-12-20.
- 4)「平成19年版 警察白書」86 頁脚注 Dorapli 2017 講演集21 頁
 (神奈川大学工学研究所高安心・超安全交通研究所、ドライブレコー ダー協議会)、2017-12-20.
- 5) FBI Regional Computer Forensic Laboratory HP (<u>http://www.</u> <u>rcfl.gov/</u>) Dorapli 2017 講演集 22 頁(神奈川大学工学研究所高安 心・超安全交通研究所、ドライブレコーダー協議会)、2017-12-20.
- 6)「犯罪捜査におけるデジタル・フォレンジックのプロセス」 Dorapli 2017 講演集 24 頁(神奈川大学工学研究所高安心・超安全 交通研究所、ドライブレコーダー協議会)、2017-12-20.
"新たな低炭素エネルギー社会に対応した新型電池の開発(3)"

松本 太¹·池原 飛之²·田邉豊和³·大坂武男⁴ ·長澤 浩⁵·入井友海太⁶·安東信雄⁷·郡司貴雄⁸

"Development of Novel Battery towards New Low Carbon Energy Society (3)"

Futoshi MATSUMOTO ¹ • Takayuki IKAHARA ² • Toyokazu TANABE ³

• Takeo OHSAKA⁴ • Hiroshi NAGASAWA⁵ • Yuuta IRII⁶ • Nobuo ANDO⁷ • Takao GUNJI⁸

1. 緒言

本プロジェクトは、次世代の新型電池の開発に焦点を当て、 産学連携のもとに行われているプロジェクトである。これま でリチウムイオン電池、燃料電池、空気電池などに関して研 究を進めてきており、多くの外部資金の援助により、研究を 進めてきている。また、本プロジェクトは、新型電池オープ ンラボ事業との連携により運営されている (http://apchem2.kanagawa-u.ac.jp/matsumotolab/index309.html) 。

2. 研究結果紹介

本文では 2017 年度の研究成果の中で、"水系バインダーの リチウムイオン電池への適用に関する正極材料への金属酸 化物のコーティングに関する研究"に関する結果を簡単に報 告する。

2.1 水系バインダー適用のための LiMO2 の表面コー ティングと充放電特性の安定化

現在、リチウムイオン二次電池(LIB) 用水系バインダー の開発が注目されている。従来の溶剤系バインダー polyvinylidene difluoride (PVdF)の塗工に用いられる溶媒 N-methyl-1-pyrrolidone (NMP) は、発がん性物質や催奇形性 といった人体への悪影響があるため、その代替として、環境

*1: 教授 神奈川大学工学部物質生命化学科

Professor, Dept. of Material and Life Chemistry, Kanagawa University

2: 教授 神奈川大学工学部物質生命化学科

Professor, Dept. of Material and Life Chemistry, Kanagawa University

3: 特別助教 神奈川大学工学部物質生命化学科

Assistant Professor, Dept. of Material and Life Chemistry, Kanagawa University

4: 客員教授 神奈川大学工学研究所

Visiting Professor Research Institute for Engineering. Kanagawa University

5: 客員教授 神奈川大学工学研究所

Visiting Professor Research Institute for Engineering, Kanagawa University

6: 客員研究員 神奈川大学工学研究所

Researcher Research Institute for Engineering, Kanagawa University.

7: 客員研究員 神奈川大学工学研究所

Researcher Research Institute for Engineering, Kanagawa University

8: 客員研究員 神奈川大学工学研究所

Visiting Researcher Research Institute for Engineering, Kanagawa University.

Table 1 The conditions of TiO_x coating method which used TTIP or TBOT as the precursors.

負 荷 が	Samula No.	TTIP solution (g)				
少ない	sample .vo.	TTIP	2-propanol	H ₂ O		
水系バ	(a)	50	-	25		
イン	(b)	50	-	50		
ダーの	(c)	25	25	25		
研究が	(d)	10	40	20		
急 務 と	Same L. Na	TBOT solution (g)				
なって	Sample No.	TBOT	1-butanol	H ₂ O		
いる。し	(e)	50	-	25		
かし、従	(f)	50	-	50		
来の水	(g)	25	25	25		
玉 バイ	(1-)	10	40	20		
73 / 1	(n)	10	10	20		

は耐酸化性が低く、また正極材料中の Li+や遷移金属イオン が溶媒である水に溶出する問題があるため、実用化に至って いない。これまで我々のグループの研究で、耐酸化性を有す る新規水系バインダーFluorine Acrylic Emulsion (FAE、JSR) の開発に成功しているが、耐水性改善の課題が残っている。 耐水性の改善策としては、正極材料粒子の表面処理及び組成 最適化が挙げられる。正極材料の表面処理への検討としては、 表面に TiOx をコーティングすることで、耐水性の向上を目 指した。

正極材料への表面処理の検討については、LiNiaCobAll-a-bO2 (NCA) (日本化学産業、NC-02) を対象とした。NCA は、 高い放電容量を有しているが、Ni-richの材料であるため、水



Figure 1 (A) 1st cycle discharge curves and (B) rate performance for TiO_v-coated NCA samples (a), (b), (c), (d), (e), (f), (g), (h) with FAE and (i)bare NCA with PVdF, respectively.

に浸漬されると、容量が低下する。TiOxのコーティング方法 は、50gのNCAを2-propanol及び1-butanolの中に分散させ、 Tiの前駆体 titanium tetra-isopropoxide (TTIP)及び tetra butyl titanate (TBOT)を加えたあと、純水を入れて加水分解させた。 最後に、吸引濾過した粉末は空気中で450 ℃で6時間焼成し た。

Figure 1-(A)に合成した NCA 及び TiO_x コーティングされた NCA の 1st cycle 目の放電曲線を示す。水系バインダーFAE を用いた場合、最も前駆体濃度を薄く加えた Sample (d)及び (h)では PVdF を用いた NCA 正極材料と近い放電容量を示し た。次に、前駆体を 50 %希釈した Sample (c)及び(g)では、若 干容量低下が見られた。一方で、合成段階で前駆体だけを加 え、溶媒で希釈せず合成した Sample (a)、(b)、(e)、(f)では、 激しい容量低下が見られた。つまり、正極の性能は Sample (h) \approx (d) > (g) > (c) > (a) > (b) > (e) > (f)の序列であった。また、こ の性能の違いは Fig. 1-(A)の放電曲線の初期電位ドロップが 大きいことが性能低下の原因であることが分かった。さらに、 高速放電試験の結果(Fig. 1-(B))も同じ挙動を示していた。こ の結果はコーティング層の厚さによると考えられたことか ら、TEM による表面層の観察を行った。Figure 2 に Sample (d)



Figure 2 TEM images of the sample of TBOT-4. (A) low- and (B) high-magnification images.

の TEM 像を示す。TEM 像から、TiOx のコーティング層は約 2 nm 程の厚さで形成していることが観察された。これは、 合成段階で希釈作業を行ったことで、薄く且つ均一なコー ティング層ができたと考えられる。また、コーティング層は 正極材料と類似した構造で形成されていることから、TiOx 層はエピタキシャル的にコーティングしていることが推測 される。一方で、正極性能が悪い結果を示した Sample (a)、 (b)、(e)、(f)は、TiOx 層が厚く、不均一にコーティングされ ていることが観察された。材料表面の化学結合状態と耐水性 能の関係を更なる検証するために、XPS により Ti の電子状 態を評価した。Tiの2p3/2軌道を評価すると、458及び459.5 eV 付近にピークが観測され、それぞれ Ti³⁺及び Ti⁴⁺に由来する ピークと推測される³。Ti³⁺及びTi⁴⁺のピークの面積比を比較 すると、Sample (d)及び(h)はほぼ Ti³⁺に帰属できることに対 し、性能の低い Sample (a)、(b)や(e)、(f)は Ti⁴⁺を多く含んで いることが観測された。以上の結果から、TiOx コーティング 層が薄いことで、Li⁺の脱挿入が容易になることが考えられる。 また、TiO_x コーティング層が Ti³⁺を示していることから、Ti³⁺ では Li⁺を通過させる能力を有していることに対し、Ti⁴⁺では Li⁺の脱挿入を阻害することが推測される。



Figure 3 XPS spectra Ti 2p region for TiOx- coated NCA sample ((a), (b), (c), (d), (e), (f), (g), (h)) and reference TiO₂.

3. 終わりに

本研究では、水系バインダー適用に可能な耐水性を有する 正極粒子の調製を正極材料の表面コーティングによって実 現した。チタン酸化物の他にアルミニウム酸化物、カーボン を用いてコーティングを検討したが、その中でチタン酸化物 のコーティングが十分な耐水性能を付与することが確認で きた。NCA 粒子表面に形成したコーティング層は薄く、さ らに水を通さず、Li+イオンを通す特別な層であると考察でき た。TiOx コート層は、NCA 表面の構造に影響を受けて構造 が形成されている特徴を有する。また、7日間水に浸漬した TiOx コート NCA は、水に浸漬しない場合の NCA+PVdF と同 等の性能を示し、実用的にも十分な耐水性を有する。しかし、 NCA 表面に形成される TiOx コート層の組成・構造はまだ明 らかになっていない。さらに、なぜ TiOx コート層が良いの かについても明らかになっていない。この点についてさらに 検討を行うことによって、様々な正極粒子表面への耐水性の 付与の方法の確立ができるのではないかと考えられる。

4. 発表論文

(1) T. Tanabe, Y.B. Liu, K. Miyamoto, Y. Irii, F. Maki, Fumihiko Maki, T. Gunji, S. Kaneko, S. Ugawa, H. Lee, T. Ohsaka, F. Matsumoto, Synthesis of Water-Resistant Thin TiOx Layer-Coated High-Voltage and High-Capacity iLiNiaCo bAl 1-a-bO2 (a > 0. > 0.85) Cathodeand Its Cathode Performance to Apply a Water-Based Hybrid Polymer Binder Binder to Li -Ion Batteries, *Electrochimica Acta*, 258, 1348-1355 (2017).

燃料噴射ポンプ筐体の低振動低騒音構造初期設計

山崎 徹* 武田 章善** 池田 和正*** 中村 弘毅**** 菊地 通*****

Initial Structural Design for low vibration on Fuel Injection Pump by using Analytical SEA

Toru YAMAZAKI* Akiyoshi TAKEDA** Kazumasa IKEDA*** Hiroki NAKAMURA**** Toru KIKUCHI*****

1. はじめに

燃料噴射ポンプは、電磁弁の開閉により、燃料を高圧化させ気筒 内に噴入するポンプである.この動作は単純な弁の開閉であり、電 磁力により弁を開き、開放により弁が閉じ、その際にポンプ構造体 に衝撃力を発生させ、ポンプ筐体を励振し、特に剛性の低い箇所か ら発音する.エンジン回転数に応じて弁が開閉するため、その衝撃 励振による筐体振動および騒音は、高周波かつ広帯域となる.この 振動騒音問題を解決するためには、弁と構造体の衝撃力の緩和(起 振源対策)、伝達力の低減(伝搬対策),放射音の低減(放射対策) に大別され、起振源対策ほど効率的であり、低コストである.

一方,噴射ポンプをはじめ様々な機械製品の振動騒音問題の多く は、製品の試作後の性能評価時に発覚することが多く,振動騒音特 性を設計のより早い段階で考慮すること,すなわち振動騒音設計の フロントローディングが望まれている.

このような背景の下,著者らは,広帯域な振動騒音問題における 二段階設計を提案している⁽¹⁾.第一段設計では,振動騒音の周波数 平均特性の低減を数式ベースで行うロバスト設計である.第二段設 計では,周波数狭帯域を対象に詳細な設計を意図している.

そこで本研究では、第一段階目の設計手法であり、数式ベースで 考えられる解析 SEA (Analytical Statistical Energy Analysis)の有効性 を、既存の噴射ポンプ筐体(の簡易試験体)の低振動化で確認した ことを紹介する.はじめに、既存物を解析 SEA モデル(すなわち数 式)に抽象化し、要素の適正な配置検討⁽²⁾を行う.次いで、適正化 で得られた知見を既存物の構造変更に応用し、FEM で数値的に適正 化前後での振動を算出し、比較することで、振動の低減を確認する.

2. 解析 SEA に基づく低振動構造適正化

2. 1 対象構造物

*教授 機械工学科
Professor, Dept. of Mechanical Engineering
**大学院(博士前期課程) 機械工学専攻
Graduate (M.C.), Dept. of Mechanical Engineering
***大学院(博士後期課程) 機械工学専攻
Graduate (D.C.), Dept. of Mechanical Engineering
****助教 機械工学科
Assistant Professor, Dept. of Mechanical Engineering
***********************特別研究員 工学研究所
Researcher, Research Institute for Engineering

図1に低振動化の対象構造物を示す. これは,噴射ポンプ筐体の 構造を簡易に模擬したものである. 材質はすべて SUS304 (ヤング 率200GPa, ポアソン比 0.3, 密度 7930kg/m3) である.

2. 2 解析 SEA モデリング

図1の対象を、図2に示すように15個の要素に分割し、解析 SEA モデルを作成する. すべての要素は塊材^(3,4)と考え、モデルのパラ メータであり、要素間のエネルギーの伝わりやすさを表す要素 *i*か ら*j*への結合損失率 η_{ij}を式(1)より算出する. もう一種のパラメータ である要素内のエネルギー損失を表す内部損失率はすべての要素で 0.01とする.

$$\eta_{ij} = \frac{S_{ij}\tau_{ij}}{\omega\pi^2 V_i} \sqrt{\frac{E_i}{\rho_i}}, \qquad \tau_{ij} = \frac{2}{s^{-5/4} + s^{5/4}}$$
(1), (2)

ここで、 S_{ij} は要素 $i \ge j$ 間の結合面積、 V_i 、 $E_i \ge \rho_i$ は要素 iの体積、 ヤング率、密度、 ω は角振動数、 τ_{ij} は要素 iからjへのエネルギー透





図2 要素分割図(適正化前)

過率で式(2)より求める.また,sは板厚比= h_j/h_i である. したがって,図1の対象物の解析 SEA 基礎式は以下となる.

 $P = \omega LE$

(3)

ここで、Pは各要素への入力パワー、Eは各要素の振動エネルギー、 Lは内部損失率と結合損失率からなる損失マトリクスであり、15次 正方行列である.

2.3 構造適正化

作成した SEA 基礎式(3)において、入力パワーは電磁弁のみとし 1Wの入力の際、ハウジング上面(図2の上部のThe top of housing) の要素の振動エネルギーを最小とするように、電磁弁、吐出弁と吸 入弁の三つの要素を接続する要素を決定する問題を考える.なお、 要素の接続先数は1とし、三つの弁の要素は互いに接続しない制約 を与えた.解析 SEA モデルの適正化は Excel を用いて行った.

適正化の結果を図3に示す.電磁弁(入力要素)はハウジング上 面(出力要素)から最も離れたベンチへの配置となり,吐出弁と吸 入弁はハウジング上面(出力要素)への配置となっている.これら の適正化配置は次のように解釈できる.すなわち,入力要素である 電磁弁は,要素内での振動エネルギー損失が多くなるように,振動 低減要素であるハウジング上面までにできるだけ多数の要素を伝搬 するよう,最も離れた要素であるベンチに配置することとなってい る.一方,吐出弁と吸入弁は振動低減要素であるハウジング上面に 伝わったエネルギーを逃がすために,ハウジング上面に配置するこ ととなっている.







3. FEMによる低振動化の確認

適正化による振動の低減を確認するために,適正化前後の対象構 造物の FEM を作成し,FEM による周波数応答解析を行い,比較を 行った.加振点は,電磁弁上の1点とし,弁の軸方向に IN の調和 加振力を与えた.応答はハウジング上面の複数点の運動エネルギー (振動エネルギー)とした.

適正化前後のハウジング上面の運動エネルギーの比較結果を図 4 に示す.実線が適正化前の結果(original)を表し,点線が適正化後 の結果(modified)を示す.ここに示す様に周波数平均的に運動エ ネルギーが低減されており,前節で示した三つの弁の適正配置結果 は,ハウジング上面の振動の低減に有効であることが確認される.

4. おわりに

本研究で得られた成果は以下の通り.

- (1) 第一段階設計として、対象とする噴射ポンプの簡易構造体を 数式で記述できる解析 SEA モデルで抽象化し、適正化を行った.またその結果は、振動エネルギー伝搬の観点で解釈できるものであることを示した.
- (2) また適正化前後の対象構造体の振動をFEMにより数値的に確認したところ、適正化により広い周波数域で平均的に振動が低減できていることを確認した.

参考文献

- 三山壮,宮崎敦子,中村弘毅,山崎徹,振動エネルギー流れの促進 と抑制に基づく低振動構造設計,自動車技術会 2017 年春季大会学 術講演会講演予稿集,20175061, pp.336-341,2017
- (2) 村山誠英,逸見純也,中村弘毅,山崎徹,解析 SEA を用いたレイ アウト設計法に関する基礎的研究,日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2018 講演論文集, 18-7, 337.pdf, 2018
- (3) 大嶋道輝,山崎徹,中村弘毅,板材及び塊材の解析 SEA モデリング,環境工学総合シンポジウム講演論文集,26巻, p.103-107,2016
- (4) 片岡大雄,宮澤昌也,江戸宏一,坂口元康,中村弘毅,山崎徹,解 析 SEA を用いたエンジンの要素追加による低振動化,自動車技術 会 2018 年秋季大会学術講演会講演予稿集,20186038,2018-10

多分岐ポリマー系ナノハイブリッド材料の開発と応用

横澤 勉* 池原 飛之*

山田 保治** 花畑 誠*** 工藤 宏人***

Development and Application of Nano Hybrid Materials from Hyperbranched Polymers

Tsutomu YOKOZAWA* Takayuki IKEHARA*

Yasuharu YAMADA** Makoto HANABATA** Hiroto KUDO***

1. 緒言

有機成分と無機成分をナノレベルで複合化した有機-無機ナノハ イブリッド材料の研究は様々な分野で注目されている.これまでに ポリ(3-(トリエトキシシリル)プロピルメタクリレート) とポリ(2-ビ ニルピリジン) (P2VP) とのブロック共重合体のゾル-ゲル反応を塩 酸存在下で行うと, ブロック共重合体の組成比によって形状の異な るシリカが得られている[1]. 一方,金らは直鎖状ポリエチレンイミ ン (LPEI) の結晶表面がテトラアルコキシシランからのシリカ化の 触媒となることに注目し、同一分子量の LPEI から結晶条件を変え ることによって得られる様々な構造の LPEI 結晶を転写して形状 の異なるシリカを得ている^[2,3]. また,開始剤存在下で 5-(N-アルキ ルアミノ)イソフタル酸ジエステル AB2 モノマーの連鎖縮合重合 を行うと、分子量と分子量分布および末端構造の制御されたハイ パーブランチポリアミド (HBPA) が得られることも報告している^[4]. そのため、LPEI と HBPA とのブロック共重合体 (LPEI-b-HBPA) が合成できれば、疎水性の嵩高い HBPA 部分が存在するため、水 中と有機溶媒中でそれぞれ親水性の LPEI のホモポリマーの場合 とは異なる自己組織体が形成され、形状の異なるシリカが得られる と考えた.この複合シリカは HBPA が多数の空孔を持つことから分 子の吸着や透過の制御が可能で高性能分離材料として応用が期待さ れる.

ー昨年度までは臭化ベンジル部位を有する HBPA マクロ開始剤 から 2-メチル-2-オキサゾリン (MOZ) の開環重合を行った後に加 水分解することで, LPEI-*b*-HBPA を合成してきた^[5,6].しかし, HBPA マクロ開始剤を純度よく合成しないと MOZ の単独重合体もブロッ

*教授 物質生命化学科

Professor, Dept. of Material and Life Chemistry

**客員研究員 工学研究所

Guest Researcher, Research Institute for Engineering ***客員教授 工学研究所

Guest Professor, Research Institute for Engineering ****准教授 関西大学工学部

ク共重合体に含まれる問題点があった.そこで昨年度から種々の重 合度の LPEI と HBPA のブロック共重合体を容易に合成するため に 2 つの成分のクリック反応を検討し、LPEI-*b*-HBPA の合成を行っ てきた^[7].今年度は組成比の異なる LPEI と HBPA とのブロック共 重合体,および対応するリニアポリアミド (LPA) とのブロック共重 合体 (LPEI-*b*-LPA) を合成し,それらを用いたシリカ化を検討した. (Scheme 1).



Scheme 1. Synthesis of LPEI-b-HBPA and LPEI-b-LPA via click reaction.

2. 結果と考察

まず、AB₂ モノマーまたは AB モノマーの連鎖縮合重合をそれ ぞれ行い、末端官能基化することでアルキン末端を有する HBPA ($M_n(MALLS$) = 7960, M_w/M_n = 1.19) および LPA ($M_n(MALLS$) = 8830, M_w/M_n = 1.08) を得た.次に、エチルオキサゾリンの開環重合を行っ た後にアジ化ナトリウムを作用させて、種々の分子量のアジド末端 のポリオキサゾリン (PEOZ) を得た.得られたポリアミドと PEOZ を用いて臭化銅(I) と配位子存在下でクリック反応をそれぞれ行い、 PEOZ-*b*-HBPA と PEOZ-*b*-LPA を得た (Table 1, Entries 1-4). 続いて、 それらに 3 M 塩酸を作用させて加水分解し、LPEI-*b*-HBPA と LPEI-*b*-LPA を得た.それらを DMSO に溶かし、水中に滴下して自 己組織化した後にテトラメトキシシランを作用させてシリカ化し、

Associate Professor, Faculty of Engineering, Kansai University

生成物の SEM を測定した. その結果, LPEI₄₂-*b*-HBPA₃₆ の場合は 球状のシリカが連なってネットワーク構造を有するシリカ (Figure la) が, LPEI₄₂-*b*-LPA₅₀ の場合は無秩序な塊状のシリカ (Figure 1b) がそれぞれ観察された. 一方, LPEI 成分の重合度を高くすると, LPEI₁₉₀-*b*-HBPA₃₆ の場合は, 無秩序な塊状のシリカ (Figure 1c) が, LPEI₁₉₀-*b*-LPA₅₀ の場合は, 層状構造を有するシリカ (Figure 1c) が, LPEI₁₉₀-*b*-LPA₅₀ の場合は, 層状構造を有するシリカ (Figure 1d) が それぞれ観察された. LPEI₁₉₀-*b*-HBPA₃₆ は結晶性の LPEI が長いに もかかわらず秩序構造が観察できなかったのは, 急速な結晶成分の 凝集によるものと考え, 水中にブロック共重合体の DMSO 溶液を 加えるのではなく, 逆にブロック共重合体の DMSO 溶液に水を加 えてからシリカ化を検討した. その結果, 非常に大きな, ねじれた 棒状のシリカが観察された (Figure 2).

Table 1. Synthesis of PEOZ-b-polyamide and LPEI-b-polyamide

Entry Sample name		Mn(MALLS	DP ^{a)}	
		PEOZ	Block copolymer	(PEOZ/polyamide)
1	PEOZ ₄₂ -b-HBPA ₃₆	4190 (1.12)	9760 (1.12)	42/36
2	PEOZ ₁₉₀ -b-HBPA ₃₆	19000 (1.15)	32600 (1.10)	190/36
3	PEOZ ₄₂ -b-LPA ₅₀	4190 (1.12)	9690 (1.07)	42/50
4	PEOZ ₁₉₀ -b-LPA ₅₀	19000 (1.15)	20100 ^{b)} (1.13)	190/50

a) Determined by GPC-MALLS. b) Determined by GPC based on polystyrene standards (eluent: THF).



Figure 1. SEM images of (a) silica@LPEI₄₂-b-HBPA₃₆, (b) silica@LPEI₄₂-b-LPA₅₀, (c) silica@LPEI₁₉₀-b-HBPA₃₆, and (d) silica@LPEI₁₉₀-b-LPA₅₀.



Figure 2. SEM images of (a) silica@LPEI₁₉₀-b-HBPA₃₆ and (b) magnified image of (a).

3. 結論

クリック反応を利用して、HBPA または LPA と LPEI のそれぞ れ長さの異なるブロック共重合体が容易に合成できるようになり, その自己組織化とシリカ化が、ブロック共重合体の1 成分がハイ パーブランチポリマーの場合と鎖状ポリマーの場合と比較検討でき るようになった. その結果, 分子量の低い LPEI セグメントと同程 度の分子量のポリアミドセグメントとのブロック共重合体のシリカ 複合化において、HBPA セグメントのブロック共重合体が組織化構 造を与えたのに対して、LPA セグメントのブロック共重合体は無秩 序の凝集体を与えた.一方,分子量の高い LPEI セグメントを持つ ブロック共重合体では、逆に HBPA セグメントを持つブロック共 重合体が無秩序凝集体を与え、LPA セグメントを持つブロック共重 合体が層状構造のナノ構造体を与えることを明らかにした. しかし ながら、これらのブロック共重合体の自己組織化は、水中にブロッ ク共重合体の DMSO 溶液を加えて急速に沈殿させていたため自己 組織化の十分な時間を与えていなかったと考え、最後の分子量の高 い LPEI セグメントと HBPA セグメントとの自己組織化をポリ マーの溶液中に水を加えて行ったところ、巨大な棒状の組織化体を 得ることに成功した. 今後はこれらのシリカ複合体の特性を明らか にしていく.

参考文献

- K. Zhang, L. Gao, and Y. Chen, *Macromolecules* 2008, 41, 1800-1807.
- [2] R.-H. Jin and J.-J. Yuan, Chem. Commun. 2005, 1399-1401.
- [3] R.-H. Jin and J.-J. Yuan, Macromol. Chem. Phys. 2005, 2160-2170.
- [4] Y. Ohta, S. Fujii, A. Yokoyama, T. Furuyama, M. Uchiyama, and T. Yokozawa, Angew. Chem. Int. Ed. 2009, 48, 5942-5945.
- [5] Y. Ohta, K. Sakamoto, D. Inoue, M. Saito, R.-H. Jin, and T. Yokozawa, *Polym. Prepr. Jpn.* 2015, 64, 1Pg007.
- [6] 柳田一樹, 平成 27 年度神奈川大学工学部物質生命化学科卒業 論文.
- [7] 小泉知也, 平成 28 年度神奈川大学工学部物質生命化学科卒業 論文.

振動を用いたDNA増幅法 山口 栄雄* 米田 征司** 鈴木 温***

Vibration-driven DNA amplification

Shigeo Yamaguchi*, Seiji Yoneda**, and Tadzunu Suzuki***,

1. プロジェクト研究の概要

従来, DNA の増幅技術であるポリメラーゼ連鎖反応 (PCR) 法では, 94 ℃の高温によって, DNA を二本鎖 から一本鎖に解離(変性) させる行程が含まれるが, こ の熱変性には DNA の損傷や酵素の失活などの問題があ る. そこで我々は, 高温状態を用いずに可聴周波数帯で の振動を用いた DNA の変性及び増幅技術を提案及び開 発を行ってきた. 今回, 振動を用いた DNA の変性と増 幅について簡単に報告する.

2. 実験結果

実験方法は、DNA と酵素などが混合された水溶液を マイクロチューブに入れ、チューブ全体を可聴周波数で 振動させることで DNA の変性・増幅を行った.振幅、 周波数及び振動時間を変えることにより変性・増幅条件 を調べた.

特に、振動変性時においての、外部からチューブ内の DNA に加えられるエネルギーを計算し、その振動エネ ルギーと DNA の変性と増幅との関係性を調べた.

この技術では、正確な増幅、時間の大幅な短縮、高い 効率化が期待できる. 振動を用いた PCR 法(以下、振 動 PCR 法)では、使用する酵素の活性化温度である 37 ℃に設定した恒温槽の中に振動子を設置し行った (図1).

振動 PCR 法は2段階の工程(変性→アニーリング・ 伸長)に分かれており、はじめに、振動により変性を行

*教授 電気電子情報工学科 Professor, Dept. of Electrical and Electronic Information Engineering **准教授 電気電子情報工学科 Associate Professor, Dept. of Electrical and Electronic Information Engineering ***客員研究員 工学研究所 Guest Researcher, Research Institute for Engineering う. その後, 無振動状態にてアニーリング及び伸長を行
う. 図2に振動 PCR 法の熱サイクルを示す. この2段
階を1サイクルとする.



図2 振動 PCR 法の行程

グリーンイノベーションの基盤となるナノ構造制御触媒の開発研究

引地 史郎* 内藤 周弌** 上田 涉* 中澤 順***

Shigeo T. Oyama**** 宮尾 敏広***** 赤間 弘****** 星野 真樹******

Development of Nano-structure Controlled Catalysts for Green Innovation

Shiro HIKICHI* Shuichi NAITO** Wataru UEDA* Jun NAKAZAWA***

Shigeo T. Oyama**** Toshihiro MIYAO***** Hiroshi AKAMA***** Masaki HOSHINO******

1. プロジェクト研究の概要

"革新的触媒技術"の研究は、将来にわたる持続的成長社会の発展を図る上で必須な、安定的なエネルギー供給体制の構築と低炭素 社会の実現を目指したグリーンイノベーションを推し進める上で重 要な研究課題である.2014年4月より開始した本プロジェクト研究 では、再生可能エネルギー創出反応の効率向上やグリーン化学合成 の達成に資する"革新的触媒技術"の確立を目指して、バイオマス 資源の有用化学物質への転換反応に活性な触媒⁽¹⁻³⁾や、炭化水素資源 の環境調和型酸化プロセスに適用するための酵素模倣型錯体分子触 媒、さらには有機-無機ハイブリッド触媒⁽⁴⁻⁸⁾の開発を進めてきた. 以下本稿では、錯体化学を基盤とする分子触媒および有機-無機ハイ ブリッド触媒の開発に関する2017年度の研究成果を紹介する.

2. 酵素模倣型錯体分子触媒

本プロジェクトでは、酸化酵素の触媒活性点である遷移金属中心 に複数の芳香族性窒素ドナー(ヒスチジンのイミダゾール残基)が配 位した環境を再現できる含窒素キレート配位子を用いて金属錯体触 媒の開発を行ってきた.特に有機過酸を酸化剤とするアルカン酸化 に関して、Tp*(図1左列)やその類縁体を配位子とするNi錯体にお ける触媒反応機構についての先行研究⁽⁰⁾の結果を受けて、2016年度 はTo^M(図1右列)を支持配位子とするNi錯体触媒を開発した⁽⁶⁾.そ こで2017年度は、中心金属をCoに拡張して高性能な触媒の開発を 試みた.代表的な酸素2座配位子であるacac(=アセチルアセトナ ト)または酸化酵素の触媒活性点構造を再現することが可能なイミ ダゾリル基含有窒素2座キレート配位子L^{Ph}(図1下段)を第2配位

*教授 物質生命化学科

- Professor, Dept. of Material and Life Chemistry
- **客員教授 工学研究所
- Guest Professor, Research Institute for Engineering
- ***特别助教 物質生命化学科
- Assistant Professor, Dept. of Material and Life Chemistry
- ****教授 東京大学大学院工学系研究科化学システム工学専攻
- Professor, Dept. of Chemical System Engineering, School of Engineering, The University of Tokyo
- *****教授 山梨大学燃料電池研究センター

子とする Tp*および To^M-Co(II)錯体を合成した.単結晶 X 線構造解 析によりこれらの錯体の分子構造を決定したところ,アニオン性キ レート配位子および第 2 配位子の立体的なかさ高さを反映して,4 種類の錯体の Co 中心の配位環境は異なっていた.各錯体の組成お よび中心金属の配位数とジオメトリーは[Co(Tp*)(acac)(NCMe)](6 配位八面体型),[Co(To^M)(acac)](5 配位三角両錐型),[Co(Tp*)(L^{Ph})] (5 配位正方錐型),[Co(To^M)(L^{Ph})](4 配位四面体型)であった.これら の錯体について,有機過酸である mCPBA(=メタクロロ過安息香 酸)を酸化剤とするアルカン(=シクロヘキサン)水酸化反応に対す る触媒活性を比較した.総触媒回転数の序列は[Co(Tp*)(L^{Ph})] > [Co(To^M)(acac)] > [Co(To^M)(L^{Ph})] \approx [Co(Tp*)(acac)(NCMe)]であり,5 配位構造のものが高活性であることが判明した.しかし反応初期速 度の序列は[Co(To^M)(acac)] \approx [Co(To^M)(L^{Ph})] > [Co(Tp*)(L^{Ph})] > [Co(Tp*)(acac)(NCMe)]であり,これは To^Mの電子供与能が Tp*より も高いことに起因していると考えられる⁽¹⁰⁾.



図 1. アニオン性キレート配位子を有する Co 錯体触媒の合成

また 2016 年度には中性 4 座キレート剤として機能する TOA^{Me} (= トリス(オキサゾリニルメチル)アミン;図2)を配位子とする Ni 錯 体が,同様な骨格構造を持ちピリジンが金属配位基となった TPA

Professor, Fuel Cell Nanomaterials Center, University of Yamanashi *****主任研究員 日産自動車総合研究所

Senior Researcher, Nissan Research Center, Nissan Motor Corporation

(=トリス(ピリジルメチル)アミン)を 配位子とする錯体よりも高活性である ことを明らかにした.これを受けて, 2017年度はTOA^{Me}錯体についても中心 金属を拡張するとともに,mCPBAより も安価で汎用性が高い酸化剤である過 酸化水素の適用の可否を検討した.Fe, Co,Ni,Cuの塩化物M^{II}Cl₂とTOA^{Me}の反



 \boxtimes 2. $[M^{II}Cl(TOA^{Me})]^+$ 応により合成した錯体[M^{II}Cl(TOA^{Me})]⁺ (図 2)について単結晶 X 線構造解析により分子構造を決定したと ころ,中心金属の種類に応じて配位構造が異なっていることが判明 した. Fe および Co 錯体では中心金属と TOA^{Me}のアミン窒素の結 合長は長く、また中心金属のジオメトリーは 5 配位三角両錐型で あったのに対し、Niおよび Cu 錯体では中心金属とアミン窒素の結 合長は短くなっていき,ジオメトリーは5配位正方錐型と三角両錐 型の中間的な構造であった.これらの錯体について mCPBA を酸化 剤とするシクロヘキサン酸化反応に対する触媒活性を比較したと ころ,総触媒回転数の序列は Ni > Fe > Co >> Cu であり,いずれの 金属の場合にも TPA を配位子とする錯体よりも高活性であった. さらに酸化剤を過酸化水素に替えて同様に触媒活性を比較したと ころ,mCPBA を酸化剤とした場合よりも大幅に効率は低下するも のの, アルコールが主たる生成物として得られた. 触媒に対し小過 剰のアミン(脱プロトン化剤)を添加した際の活性(総触媒回転数) の序列は Cu > Ni > Fe であり、Co では過酸化水素分解反応のみが 進行した.一方,アミンを添加しなかった場合,CuおよびFe 錯体 では触媒活性が向上したが Ni 錯体では活性が低下した. またいず れの錯体においてもアミンを添加した場合の方がアミンを添加し なかった場合に比べて生成物に占めるアルコールの割合(アルコー ル選択性)が高いことが明らかとなった.このことは、アミンによ る過酸化水素からの脱プロトン化が促進されて,酸化活性種もしく はその前駆体となる M-OOH 種(= 金属-ヒドロペルオキシド錯体) が生成する一方,アミン不添加の場合には,過酸化水素の分解によ るラジカル種 (= •OH および•OOH) の生成が優勢となるためと考え られる(11).以上のように、有機過酸の活性化に有効であった錯体 触媒は,過酸化水素の活性化にも有効であることが明らかとなった.

3. 有機-無機ハイブリッド触媒

本プロジェクト研究の開始に先立ち,ビス(ピリジルメチル)アミ ン配位子(図 3; D = Py (L1))をメソ多孔性シリカ担体に担持するこ とにより,Ni及び Co 錯体固定化触媒^(12,13)を開発した.そこで本プ ロジェクト研究においては,この固定化錯体触媒について中心金属 の拡張(Fe および Mn)を図った.そして多くの酸化酵素で,1 個の Fe イオンに対して2つのイミダゾリル基と1つのカルボキシ基が配 位した触媒活性点が見出されていることから,同様な配位環境を固 体担体上に再現するべく,キレート配位子のピリジンの1つをカル ボキシ基に置換した触媒(図 3; D = COO⁻(L2))を新たに開発した. mCPBAを酸化剤とするシクロヘキサンの酸化に対する触媒活性(総 触媒回転数)を比較したところ,L1配位子の場合には Co > Ni > Fe >> Mn であり,L2配位子では Co > Fe > Ni >> Mn であった.また中 心金属が Fe の場合,L1 触媒とL2 触媒では活性に差がないものの,

アルコール選択性は L2 触媒の方 が高かった.これに対し,他の金 属ではすべて L1 触媒の方が高活 性でアルコール選択性も高かった (14). 固定化錯体触媒は,液相均一 系反応に供される金属錯体触媒を, より実用性の高い不均一系反応に 適用させるための手法として反応 工学的な観点から興味を集めてい るが,以上の結果は, 錯体分子間 での反応による触媒構造の変化が 起こらない状況下で,中心金属と 配位子の組み合わせに応じた触媒 特性を明確にするものであり、触 媒設計の指針となる基礎化学的に も有意義な知見である.



4. 結言

以上の通り、サブナノ~ナノスケールでの構造制御に基づく酸化 触媒の開発が継続中である.本プロジェクト研究の最終年度である 2018 年度も引き続き触媒活性の向上を目指した研究を推進してい く計画である.

参考文献

- T. Nozawa, Y. Mizukoshi, A. Yoshida, S. Naito, Appl. Catal. B: Environ., 146, 221 – 226 (2014).
- (2) T. Nozawa, A. Yoshida, S. Hikichi, S. Naito, Int. J. Hyd. Energy, 40, 4129 4140 (2015).
- (3) T. Nozawa, Y. Mizukoshi, A. Yoshida, S. Hikichi, S. Naito, Int. J. Hyd. Energy, 42, 168 – 176 (2017).
- (4) F. Oddon, Y. Chiba, J. Nakazawa, T. Ohta, T. Ogura, S. Hikichi, Angew. Chem. Int. Ed., 54, 7336 – 7339 (2015).
- (5) T. Tsuruta, T. Yamazaki, K. Watanabe, Y. Chiba, A. Yoshida, S. Naito, J. Nakazawa, S. Hikichi, Chem. Lett., 44, 144 146 (2015).
- (6) T. Takayama, J. Nakazawa, S. Hikichi, Acta Cryst., C72, 842 845 (2016).
- (7) K. Ando, J. Nakazawa, S. Hikichi, Eur. J. Inorg. Chem., 2016, 2603 2608 (2016).
- (8) A. Nakamizu, T. Kasai, J. Nakazawa, S. Hikichi, ACS Omega., 2, 1025 1030 (2017).
- J. Nakazawa, S. Terada, M. Yamada, S. Hikichi, J. Am. Chem. Soc., 135, 6010 - 6013 (2013).
- (10) T. Nishiura, T. Uramoto, Y. Takiyama, J. Nakazawa, S. Hikichi, Molecules, 23, 1466 (2018); https://doi.org/10.3390/molecules23061466 (open access).
- (11) I. Terao, J. Endo, N. Jozawa, J. Nakazawa, S. Hikichi, 43rd International Conference on Coordination Chemistry, S16-P03 (2018 年 8 月)
- (12) J. Nakazawa, T. Hori, T. D. P. Stack, S. Hikichi, Chem. Asian J., 8, 1191 1199 (2013).
- (13) J. Nakazawa, A. Yata, T. Hori, T. D. P. Stack, Y. Naruta, S. Hikichi, Chem. Lett., 42, 1197 – 1199 (2013).
- (14) J. Nakazawa, Y. Doi, S. Hikichi, Mol. Catal., 443, 14 24 (2017).

車両等に装備するためのポリカーボネート窓の

表面改質に関する研究(4)

新中 新二* 井上 成美** 大越 昌幸** 野尻 秀智**

植田 博臣*** 岩井 和史*** 中村 先男***

Study on Surface modification of Polycarbonate Windows for Vehicles (4)

Shinji SHINNAKA* Narumi INOUE** Masayuki OKOSHI** Hidetoshi NOJIRI**

Hiroomi UEDA*** Kazufumi IWAI*** Sakio NAKAMURA***

1. 緒言

石油や天然ガスなどのエネルギー資源の枯渇が憂慮され,脱化石 燃料が掲げられて久しいが,将来の資源エネルギーの中心は,化石 燃料から水素に移っていくと言われている.現在,水素は化石燃料 やメタノールの改質により作られるが,将来は太陽光などの自然エ ネルギーを用いた電気分解で作ることにより,水素製造時の無排出 化が実現される.燃料電池はこの水素と酸素(空気)から電力を取 り出すもので,クリーンで高効率のエネルギー変換デバイスとして, その汎用化が待たれる.この電力を EV(電気自動車)の動力源に 用いることにより,エネルギーの生産から消費までの全工程での無 排出化を実現することができる.

我々は EV の軽量化による走行効率の向上のため、車両窓の軽量 化に取り組んできた^{1,2)}. 無機ガラスをポリカーボネート樹脂(PC)に 置き換えることを目的とし、樹脂の耐傷性を向上するために光化学 改質という手法でシリコーン樹脂表面の一定の深さを選択的に SiO₂ に改質するものである³⁻⁵⁾. ここで使用するシリコーン樹脂は、PC 表面に液体の状態で塗布し、加熱硬化により硬度を有する保護膜と して使用されるものであり、一般にハードコートと称されている.

光化学改質の光源としては, F₂レーザーやエキシマランプなどが 用いられるが,いずれの場合も,シリコーン樹脂が SiO₂に改質され る際に収縮を伴うため,引張応力が生ずる. 膜厚の増加とともに応 力が増大し, SiO₂ 引張強度に達するとクラックが発生する. また, 加熱などにより基材が膨張すると,さらにクラックが生じやすくな

*教授 電気電子情報工学科

Professor, Dept. of Electrical and Electronic Information Engineering ***客員教授 工学研究所 Guest Professor, Research Institute for Engineering ****客員研究員 工学研究所 Guest Researcher, Research Institute for Engineering るという問題があった.これらは本プロセス固有の問題ともとれる が、本報告では、メッシュマスクを使用して F2 レーザー光を照射す ることによりクラックの発生が抑制できたので、得られた知見を述 べる.

2. 実験方法

2.1 PC 基板上へのシリコーン樹脂の塗布

厚さ3 mm,大きさ10 cm×15 cm の透明な PC 基板上にディップ コーティング装置 (SDI, MD-0408-S5) により,アクリル樹脂およ びシリコーン樹脂を塗布した.アクリル樹脂とシリコーン樹脂の塗 布後には,熱風乾燥炉 (ONDO, TD15-12M) により各々125℃ 60 min, 120℃ 60 min の硬化処理を行った.さらに上記 PC 基板の長手方向 の一部を切断し,10×10 cm²の正方形の試料を得た.硬化後の各層 の厚さは,光学干渉式膜厚計 (マミヤ OP, MSPA1000) により測定 し,各々約4 μ m であった.

2.2 メッシュマスクを使用した光化学改質

図1に実験の概要を示す. X-Y 電動ステージ (シグマ光機, SGSP26-100XY) 上に試料を設置し, さらに試料上にステンレス製 のメッシュマスクを密着させ, その上方 5 mm の位置より F₂ レー ザーを照射した. このときレーザー出射口には,開口が 10×10 mm² のステンレスマスクを装着し,レーザー光を制限した. 光路には N₂ ガスを 5 L/min の流量で流し,酸素をパージした. F₂ レーザーの単 ーパルスフルエンスは 14 mJ/cm²,パルス繰り返し周波数は 10 Hz とした.メッシュマスクの1辺の開口サイズは,50 µm,300 µm,1 mm,3 mm,5.5 mm の5 種類とした.また,比較のためメッシュマ スクを使用せず,試料表面全体にレーザー照射を行った試料も作製 した.

ここで、1 cm² 当たりの照射時間が所望の値になるように、X-Y 電動ステージを一定速度で走査した. レーザーの照射後は、ASTM

D1044 に従うテーバー摩耗試験,および光学顕微鏡によるクラックの観察を行った.



3.実験結果および考察

3.1 テーバー摩耗試験

図2に、テーバー摩耗試験の結果を示す.摩耗輪の回転が1000 cycle のときの, 試験前後の光学的なヘイズの変化(ΔH₁₀₀₀)を示す. 数値が低いほど、傷付きによるヘイズ上昇が少なく優れた耐摩耗性 を示す. レーザー照射時間がゼロ, すなわちレーザーを照射しない 場合のΔH1000は約7%であったが、レーザー照射時間の増加に伴い ΔH1000 は低下した. そして, 15~30 s 程度の照射時間において最小 値を示し、その後照射時間の増加とともに耐摩耗性が悪くなる傾向 を示した.メッシュマスクの開口サイズに関わらず同様の傾向と なったが、特にメッシュマスクを使用しない場合が顕著であり、次 いで 5.5mm の開口の場合に △H1000 の上昇がやや低く, メッシュの開 ロサイズがさらに小さな場合にはヘイズ上昇は低く抑えられた.光 改質により得られる SiO2の膜厚は、レーザー照射時間の増加ととも に増すことがわかっており、レーザー照射時間が 30 s のときに SiO2 の膜厚は約 600 nm で, 90 s では 1 µm 程度となる. SiO2の膜厚の増 加とともに、改質膜中に生ずる引張応力は増大するため、これが耐 摩耗性を低下させているものと考えられる. このように、メッシュ マスクの開口が大きな条件において生ずる大きな引張応力に起因し て改質層にクラックが生じやすくなると考えられる.



3.2 メッシュマスクの開口サイズとクラックの関係

図3は、レーザー照射時間が180sにおいて、改質層に生ずるク

ラックの様子を示した写真である.メッシュマスクを使用しない場合には、試料全面にわたり長いクラックが多数生じた.開ロサイズ が3mmのメッシュマスクを用いた場合には、レーザーが照射され た開口部の内側に限ってクラックが認められた.これに対し、50 µmのメッシュマスクを用いた場合には、クラックが認められな かった.以上のように、メッシュマスクを使用しその開ロサイズを 小さくすることにより、クラックが抑制できることが明らかとなっ た.これは、開ロサイズの小さなメッシュマスクを使用すると、60 s以上のレーザー照射時間におけるテーバー摩耗試験のΔH₁₀₀₀の 上昇が抑えられること、すなわち改質膜中に内在する引張応力の増 大を抑えられた結果であると考えられる.

SiO₂のような硬質膜をシリコーン樹脂上に形成し,その厚みを 増すことにより傷付きに対する耐性をさらに向上できることが期 待される.それは,応力を低く抑えながら SiO₂の膜厚を増すこと が前提になる,



図3 レーザー照射時間 180 s におけるクラックの様子

4. 結言

メッシュマスクを使用して, F₂レーザーを PC 上に形成したシリ コーン樹脂に照射することにより, クラック耐性に優れた SiO₂ 膜 を形成できることを明らかにした. そして, メッシュマスクの開口 サイズが小さいほど, クラック耐性が向上することも明らかになっ た.

また、レーザー照射時間 15~30 s において、 $\Delta H_{1000} \leq 2\%$ が得られ、運転視界に係る窓に求められる自動車窓の認証規格^のを満たすことが明らかとなった. EV 等の次世代の自動車に使用する軽量なPC 樹脂製窓の開発において、 $F_2 レーザーを用いた光化学改質の有用性が示され、本方法の工業生産への適用がますます期待される.$

謝辞

本研究は JSPS 科研費 16K06754 の助成を受けてなされたものです.

参考文献

[1] 新中新二 他, 神奈川大学工学研究所所報 38, 79 (2015).

[2] 新中新二他, 神奈川大学工学研究 1, 128 (2017).

[3] Y. Nojima, M. Okoshi, H. Nojiri and N. Inoue, Jpn. J. Appl. Phys. 49, 072703 (2010).

[4] 大越昌幸, 電気学会論文誌 C 135, 1071 (2015).

[5] K. Iwai, S. Honda, Y. Nojima, M. Okoshi, N. Inoue and H. Nojiri, Proc. 79th Laser Materials Processing Conf., 133 (2013).

[6] UNECE regulations No. 43, Uniform provisions concerning the approval of safety glazing materials and their installation on vehicles Rev.3 (2012).

微細構造創成用水静圧スピンドルの温度変化の検討

中尾 陽一 * Sangkee MIN **

Consideration on Thermal Stability of Spindle Supported by Water-Lubricated Hydrostatic Bearings for Micro-Structured Parts

Yohichi NAKAO*

Sangkee MIN**

1. 緒 言

近年,デジタルカメラやスマートフォンに搭載されている,小型 非球面レンズに代表される光学部品の創成を行う超精密加工に加え, 自動車部品などに用いられる小型精密部品の需要が増加している. 特に,最近では微細形状構造を有する加工用途が増えている.これ らの加工用途には,高い軸受剛性と高い運動精度を有する,静圧軸 受を用いた高性能スピンドルによる加工が望ましい.

さて、軸回転時においては、スピンドル各部の温度変化に伴う熱 変形が発生すると加工精度に悪影響を与える.そのため、従来以上 にスピンドルの熱的安定性の向上も必要となる.スピンドルの高性 能化に関する研究は多く行われているが、熱的安定性に関する検討 は十分には行われていない.そのため、潤滑流体による冷却効果や、 高い熱的安定性を得るための設計指針も十分には確立されていると はいえない.これまでに高い軸受剛性と高い熱的安定性の両立を目 指して、水静圧スピンドルに関する研究が行われている^[1].

本研究では,潤滑流体に水を用いた水静圧スピンドルの温度変化 に関する基礎的特性の把握を目標とし,まず,スピンドル内部にお ける発熱原因の一つである,軸受すき間において発生する,流体の 持つ粘性に起因する損失動力の測定を行った.次に,スピンドル回 転時におけるスピンドル各部の温度変化を測定した.また,実験結 果より算出された損失動力に対して,潤滑流体である水の温度上昇 量から算出した損失動力を比較することで,水による冷却性能の検 討を試みた.

2. 検討対象の水静圧スピンドル

本研究で用いた水静圧スピンドルの概略図を図1に示す.本スピ ンドルは、スラストおよびラジアル方向の案内要素として、水静圧 軸受が用いられている.潤滑流体に水を用いることに起因するスピ ンドル部品の腐食対策,低潤滑に伴う軸受面の損傷対策として,ロー タとケーシングの軸受面には、DLC コーティングを施している.こ れにより,耐摩耗性の向上と表面性状による軸受すき間への影響低 減を図った.



図1 研究対象としたスピンドル構造



図2 実験装置の構成

本スピンドルのロータ長は 250 mm, 軸径は 19 mm である. スラ スト軸受の軸受面から軸端までの長さは 117.5 mm である. この場 合,仮に本スピンドルのロータ温度が 0.1 ℃変化すると,ロータ軸 端の変位は約 0.1 µm となる. これは,本研究の最終目標であるナノ メートルオーダの加工実現の観点からは大きな値であり,本研究で はスピンドルの高い熱的安定性の実現のための検討を行う必要があ る.

本研究に使用したスピンドル装置全体の構成を図2に示す.スピンドルに供給される水は、ポンプによりタンクAから供給され、スピンドルから流出した後にタンクBに回収される.ここで、タンクA内の水は取り付けられたチラーを用いて循環させることで水温制御

^{*}教授 機械工学科

Professor, Dept. of Mechanical Engineering, Kanagawa University **助教 機械工学科

Assistant Professor, Mechanical Engineering, University of Wisconsin-Madison, USA

を行っている.次に、本スピンドルは、マグネットカップリングを 介した AC サーボモータによる駆動方式を採用している.モータと スピンドルを分離することによって、モータ部の発熱によるスピン ドル温度への影響を取り除いている.スピンドルの軸受すき間にお いて発生する潤滑流体の粘性に起因するトルクは、モータからのト ルクモニタ出力電圧により測定を行った.また、スラスト軸受およ びラジアル軸受に供給する潤滑流体の流入部と流出部に加え、ケー シング上部に温度計を設置した.

3. 水静圧スピンドルの温度変化

3.1静圧軸受における動力損失

静圧軸受の軸受すき間において、ケーシングとロータ間には流体 膜の粘性に起因する負荷トルクが発生する.静圧軸受は動作原理上、 負荷を支持するための流体膜厚は微小である.このため、使用され る流体粘性や軸受面における相対速度、すなわち主軸回転数の増加 に伴って、流体による粘性トルクも顕著になる.また、静圧軸受を 機能させるため、ポンプにより加圧された流体動力がスピンドル内 部で消費される.これらの動力損失を主な原因として、潤滑流体の 温度が上昇し、これがスピンドル温度を上昇させる主要因となる.

ここで、静圧軸受の軸受すき間における損失動力は粘性トルクと スピンドル角速度の積により求めることができる.また、静圧軸受 を機能させるために必要とされる流体動力は、潤滑流体の供給圧力 と流量との積により求めることができる.本稿では、まず、スピン ドルを N=0~3,000 min⁻¹の範囲で回転させ、静圧軸受部で発生して いる負荷トルクの測定を行い、軸の回転による損失動力の算出を 行った.

図3より,スピンドル回転時における動力損失は,回転数の増加 に伴い増加し,3,000 min⁻¹のとき,最大で118W程度となる.また, 静圧軸受を機能させるために必要とされる動力損失*P_f*は150Wであ り,これらの動力損失がスピンドルを発熱させる主要因と考えられ る.その結果として生じる潤滑流体の温度上昇,ケーシングの温度 上昇を検討した結果を以下に述べる.



3.2 スピンドル各部の温度及び水温の測定

スピンドルを回転数 N=0~3,000 min⁻¹で回転させた際,スラスト 軸受およびラジアル軸受に供給された潤滑流体の流入および流出温 度,さらにケーシングの表面温度の測定を行った.また,本実験結 果から算出することのできる,流入部の水温に対する流出部の水温 の上昇に用いられた動力を推定した.

まず,図3に示した P_vと P_fの和である損失動力をスピンドルの 温度上昇の発生要因とみなし、これに対する潤滑流体の温度上昇に 利用された動力を計算し両者を比較した.

この場合,潤滑流体の温度上昇に利用された動力の割合が高くな ると,スピンドルの損失動力はスピンドルの温度上昇への影響は少 なく,潤滑流体の高い冷却効果を示すことになる.また,スピンド ルの温度変化を測定することで損失動力によるスピンドル温度への 影響についても検討を行った.



実験により測定された 1,000 min⁻¹ ごとの流入温度に対する流出温 度の水温差を図 4 に示す. ここで,図 4 に示す各軸受における潤滑 流体の流入温度に対する流出温度の上昇量から,潤滑流体の温度上 昇に用いられた動力 P の算出を行った.潤滑流体の温度上昇に用い られた動力 P は,水の比熱 C_w ,潤滑流体の流量 Q_w ,水の密度 ρ_w , 流入温度に対する流出温度の温度差 dTを用いて,式(1)により求め ることができる.また,本研究では,式(1)により求められた動力 P に対して,粘性トルクによる動力損失 P_v と流体の持つ動力 P_f の和 との比を,式(2)に示す η として定義する. η はスピンドル内部におけ る損失動力のうち,ケーシングやロータの温度に影響することなく, スピンドル外部に放出される損失動力の割合を示し,水静圧軸受の 熱的安定性に関する指標になる.

$$P = C_w \rho_w Q_w dT \tag{1}$$

$$\eta = \frac{P}{P_v + P_c} \times 100 \tag{2}$$

図3に示した粘性トルクによる動力損失 P_v と流体動力 P_f の和 P_v + P_f , 図4に示した潤滑流体の温度上昇量dTから算出した動力Pの結果から算出した η を図5に示す.



図5より,動力損失の水流による冷却効果ηは,非回転時には90% 程度まで高められることがわかる.また,回転数が上がるにつれて, ηはわずかに減少するが,いずれの回転数においても,スピンドル の損失動力が効果的に潤滑流体によりスピンドル外部に放出されて いることが確認できた. ここで、軸回転時におけるケーシング表面の温度変化から、スピンドルの温度上昇に用いられた動力 *P*_cの試算を行った.ただし、本 試算においては、ケーシングから周辺大気への放熱の影響は無視した.また、ケーシングの表面温度の測定結果を用いているため、実際のケーシング温度よりも低めの評価となる.図6に*N*=3,000 min⁻¹ における、ケーシングの温度変化を示す.このとき、ケーシングの 温度上昇に用いられた動力 *P*_cは、スピンドルの主な材料である SUS304の比熱 *C*_s、ケーシング質量 *M*_c、図6に示すケーシングの温 度変化を発生させる時間 *t* を用いて、式(3)により求めることができる.



スピンドル回転数 $N = 2,000 \text{ min}^{-1}$ および $3,000 \text{ min}^{-1}$ 時の実験結果 に対して試算を行ったところ,ケーシングの温度上昇に用いられた 損失動力 P_c は, $N = 2,000 \text{ min}^{-1}$ 時には 11.7 W 程度, $N = 3,000 \text{ min}^{-1}$ では 17.9 W 程度であることが確認できた.これらの値は図 5 に示す ΔP に比べ小さくなっている.これは、本試算においては空気への 放熱、ケーシング内部の温度変化、ならびにロータの温度上昇を無 視していることによる.

また、本計算の結果から、回転数の増加に伴う潤滑流体による動 力損失のスピンドル外部への放出率ηの減少は、スピンドル回転数 の上昇に伴い、水からロータやケーシングへの熱伝達量が増加する ことが原因だと考えられる.

4. 結 言

本研究では、水静圧スピンドルの熱的安定性に関する基礎的な検 討を行うため、まずスピンドル内部において発生する動力損失の計 算と測定を行った.また実験により測定された、潤滑流体の温度上 昇に加え、ケーシングの温度変化と損失動力との比較を行うことで、 静圧軸受で発生する動力損失によるスピンドル温度への影響の検討 を行うことで、以下の事項を明らかにした.

(1) 本スピンドル内部における動力損失の合計は, N=3,000 min⁻¹時 に 270 W 程度である.

(2) 水静圧軸受における損失動力の大半は水温上昇に消費されており,非回転時においては90%程度, N=3,000 min⁻¹においても動力損失全体の80%程度が潤滑流体によりスピンドル外部に放出される.

5. 参考文献

[1] 中尾,新宮,大林,「小型流体駆動スピンドルの回転速度制御用 ロータリ形流量制御弁」,機論 C編,77(774),514-526 (2011).

鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースの二段載荷予備実験

小谷野 一尚* 岩田 衛** 荏本 孝久** 緑川 光正*** 中込 忠男**** 大熊 武司*****

Fatigue Performance of the Buckling-Restrained Brace Using Steel Mortar Planks

under Two-step Loading Preliminary Tests.

Kazuhisa KOYANO* Mamoru IWATA** Takahisa ENOMOTO** Mitsumasa MIDORIKAWA***

Tadao NAKAGOMI**** Takeshi OHKUMA*****

1. 序

鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレース(以下, BRBSM)の各軸歪 における疲労性能は,既往の研究において,一定歪振幅繰返し載荷 で実験を行うことにより明らかになっている¹⁾.しかし,多段歪振 幅載荷による疲労性能への影響は確認できていない.

そこで、本研究では大歪振幅と小歪振幅を組み合わせた載荷方法 で予備実験を行い、BRBSMの疲労性能への影響を確認する.

2. 実験計画

2.1 試験体

試験体平面図を図1に,試験体諸元を表1に示す.基本タイプ(B タイプ,以下 No.1)を1体,塑性化部を絞ることにより溶接熱影響 部を排除した高性能タイプ(Hタイプ,以下 No.2)を1体製作する.

両試験体ともに,塑性化部の断面は厚さ16mm,幅112mm,芯材 長さは2,351mmとし,クリアランスは1mmとする.

No.1 は、塑性化部長さを 1,251mm, 拘束指標 $R(=P_E/P_y, P_E:$ 拘束材 のオイラー座屈荷重, P_y :芯材の降伏荷重)は 3.1 とする. No.2 は、塑 性化部長さを 1,176mm, 拘束指標 R は 9.3, 芯材強軸方向に強軸変 形を抑制するためのスペーサーを設ける. これらのパラメーターは 比較のため、既往の研究¹⁾と同様とした.

2.2 載荷計画

1000kN 水平アクチュエーターを用い, 柱脚部をピン支持とし, 試験体の設置角度は45度とする.二つの異なる歪振幅を組み合わせ

* 元助手 建築学科(現 JFE 鋼板)
Former Research Associate, Dept. of Architecture
JFE Galvanizing & Coating Co., Ltd.
** 客員教授 工学研究所, 名誉教授 神奈川大学
Visiting Professor, Research Institute for Engineering
Professor Emeritus, Kanagawa University
**** 名誉教授 北海道大学
Professor Emeritus, Hokkaido University
***** 名誉教授 信州大学
Professor Emeritus, Shinshu University
****名誉教授 神奈川大学
Professor Emeritus, Kanagawa University

載荷することを二段載荷とする.

2.3 載荷サイクルの検討

本実験の二段載荷は、大歪振幅である 3.0%と小歪振幅である 0.21%を組み合わせる. 歪振幅 3.0%は大地震、歪振幅 0.21%は風荷 重など日常的に建物が受ける小さな荷重を想定している.

載荷サイクルは,累積疲労損傷則($D=\Sigma [n_i/N_i]$ 、 n_i :応力範囲 $\Delta \sigma_i$ の頻度, N_i :応力範囲 $\Delta \sigma_i$ が作用した時の疲労寿命)を用いて計画した. 累積疲労損傷則は,異なる歪振幅の応力が繰返された場合の和として,寿命を推定するのに使われる²⁾. その和は全体の損傷度 D であり, $D \ge 1.0$ となった時,疲労破壊が起こるものとされている.

No.1 は, 試験体や治具の均しのために 1/3*ε*_yの載荷を 1 回行った後, 歪振幅 0.21%を *D*=0.5 となる回数分載荷し, その後破断するまで歪振幅 3.0%を繰り返す. No.2 では, 1/3*ε*_y, 歪振幅 0.5%および 1.0% を 1 回ずつ行った後, 歪振幅 3.0%を *D*=0.5 となる回数分載荷し, その後歪振幅 0.21%を破断するまで繰り返す.

2.4 破断予想

D=1.0 で破断すると仮定し,既往の研究¹⁾で明らかになった各タ イプの疲労曲線式(図 2)から各歪振幅時の載荷回数を決める. No.1 は B タイプの y=8.3074x^{-0.467} (y:歪振幅 ϵ (%)、x:耐用回数)より求め, 歪振幅 0.21%は 1,322 回, 3.0%は 5 回で破断すると予想する. 同様 に No.2 は H タイプの y=7.4017x^{-0.394}から求め, 歪振幅 3.0%は 5 回, 0.21%は 4.162 回で破断すると予想する.



図1 試験体平面図

	芯材(SN400B)						拘束材(SS400)						モルタル		
試験体	寸法	断面積	幅厚	σ_y	P_y	芯材 長さ	塑性化部 長さ	高さ	幅	板厚	長さ	<i>I</i> ×10 ⁴	P_E	拘束指標	圧縮強度
	(mm)	(mm^2)	FL.	(N/mm ²)	(kN)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm^4)	(kN)	$R(=P_E/P_y)$	(N/mm ²)
No.1 Bタイプ	16×112	1 702	7.0	207	512	2 251	1,251	116.0	139.2	2.2	1,605	440	1,610	3.1	75.0
No.2 Hタイプ		1,792	7.0	207	515	2,331	1,176	164.0	181.2	3.2	1,745	1,299	4,755	9.3	88.9

表 1	試験体諸元	
-----	-------	--

破断位置 終局時D値 終局時の繰返し回数 終局状態 歪振幅0.21% 1,322回後(D=0.5), 歪振幅3.0% 10回目(D=1.12) 母材 中央 引張破断

表2 実験結果および最終状態

3. 実験結果

両試験体の実験結果および最終状態を表2に示す.破断箇所を丸 印で囲んだ破断状況を写真1に示す.また、試験体の降伏耐力比 P/P_v(P:軸方向荷重)と芯材の軸歪 εの関係を図 3 に示す.

試験体

No.1

No.2

No.1 は歪振幅 0.21%を 1,322 回載荷後, 歪振幅 3.0%の 10 回目で 引張破断となり、D=1.62 であった. No.2 は歪振幅 3.0%を 5 回載荷 後, 歪振幅 0.21%の 985 回目で引張破断となり, D=0.62 であった. No.1 は母材中央部, No.2 は上端側のリブ溶接熱影響部でそれぞれ 破断していた.

4. 考察

4.1 疲労性能

No.1 は一段目の載荷後,既往の研究¹⁾の一定歪振幅 3.0%における 耐用回数9回を超え、D=1.62という疲労性能となった.それに対し、 No.2 は一段目の影響を受けることで、二段目の予想回数の 4,162 回 を大きく下回り 985 回で破断となり, D=0.69 という結果となった. 既往の研究 ¹によると、基本タイプに比べ高性能タイプの方が高い 疲労性能を示すが、本実験においては基本タイプである No.1 の方が 高いD値を示した.これは載荷順序の影響が大きいと考える.

二段載荷において一段目が小歪振幅である場合は BRBSM の疲労 性能に影響はなく、一段目が大歪振幅である場合には BRBSM の疲 労性能に影響を大きく及ぼすため、このような疲労性能を示したと 考える.このため、一定歪振幅繰返し載荷回数と二段載荷での予想 載荷回数に差異が生じていると考える.

4.2 芯材の最終状況

No.1 は母材中央部, No.2 は上端側のリブ溶接熱影響部で破断と なっている.既往の研究 ¹において BRBSM の破断位置は歪振幅 3.0%以上では母材中央部, それ以外では応力集中部となっているこ とから、二段載荷においての破断位置は破断時である二段目の歪振 幅の影響を受けていると考える.

5. 結

本研究では、鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースの異なる歪 振幅を組み合わせた二段載荷実験を行い,以下の知見を得た. 1) 基本タイプ試験体を歪振幅 0.21%から 3.0%の順番で載荷した場 合,損傷度 D は 1.62 となった.高性能タイプ試験体を歪振幅 3.0% から 0.21%の順番で載荷した場合,損傷度 D は 0.62 となった.

2) 一段目が小歪振幅である場合は疲労性能に影響はなく, 一段目が



上部

1.62

0.62







大歪振幅である場合は疲労性能に影響を大きく及ぼす.載荷順序の 影響を受け、既往の研究
いにおける一定歪振幅繰返し載荷とは異な る損傷度 D を示し、高性能タイプより基本タイプの方が良い疲労性 能を示した.

3) 二段載荷において破断位置は,破断時である二段目の歪振幅の影 響を受けている.

二段載荷については、載荷する歪振幅の組合せ、順序など様々な 条件で実験を行い、疲労性能を確認していく必要がある.

【参考文献】

[1] 小谷野一尚、中込忠男、緑川光正、岩田衛、鋼モルタル板を用 いた座屈拘束ブレースの疲労性能の研究、日本建築学会構造系論文 集、第82巻、第736号、pp.921-928、2017年6月

[2] 社団法人日本鋼構造学会、鋼構造物の疲労設計指針・同解説-付·設計例-、技報堂出版株式会社、pp26-27、2014年3月

潮流発電ユニット開発の最先端技術:相反回転化 - 2018年度報告

中西 裕二* 船見 祐揮** 金元 敏明***

Cutting Edge of Tidal Stream Power Generation: Counter-Rotating Type Machine - FY2018 Report

Yuji NAKANISHI* Yuki FUNAMI**

Toshiaki KANEMOTO***

1. 緒言

現在急務となっているエネルギ問題の解決に向けて,再生可能な 自然エネルギの開発が盛んに行われている.自然エネルギの形態は 風力,太陽光,地熱など様々であるが,本プロジェクト研究では他 と比べても潜在的に大きな海洋のエネルギに着目した.海洋が有す る運動エネルギの代表である潮流の利用を想定し,相反転方式潮流 発電ユニットを提案した.相反転方式発電ユニットは前後二段のプ ロペラと内外二重の回転電機子を持つ発電機で構成され,前後のプ ロペラがそれぞれ回転電機子に連結して逆方向に駆動する.その結 果として,発電機径の縮小,起電力の増加,キャビテーションの抑 制や回転トルクの相殺などといった利点につながる.本プロジェク ト研究では相反転方式潮流発電ユニットへの適用に向けて,双方向 翼型プロペラや姿勢制御用スタビライザの研究を行っている.

2. 双方向翼型プロペラを有するユニット周りの流れ解析

周期的に流れの方向が変化する潮流に適応するための対策が潮流 発電ユニットには求められることになり、本プロジェクト研究では 幾何学的に対称な形状となる双方向翼型プロペラを提案した.双方 向翼型プロペラを有するユニットに関して風洞試験⁽¹⁾や ANSYS CFX による数値解析^{(2),(3)}を実施した.本報告では低周速比側にて追 加で実施した数値解析の結果を示す.図1より、高周速比側のみで なく低周速比側においても試験と数値解析の間でパワー係数が概ね よい一致を示すことが見て取れる.

3. 姿勢制御用スタビライザを有するユニット周りの流れ解析

相反転方式潮流発電ユニットでは回転トルクが相殺することから 強固な据え付けは必ずしも必要なく、ケーブルにて係留することが 可能となる.その場合には外乱を受けてユニットが適切な姿勢を保 てなくなることを防ぐための対策が必要となる.本プロジェクト研 究では翼型断面を有するスタビライザを提案し、スタビライザを備 えたユニット周りの流れの数値解析を実施することでその有効性の

*教授 機械工学科 Professor, Dept. of Mechanical Engineering **特別助教 機械工学科 Assistant Professor, Dept. of Mechanical Engineering ****客員教授 工学研究所 Guest Professor, Research Institute for Engineering



図1 双方向翼型プロペラを有するユニット周りの流れ解析結果

検討を行う.現在,スタビライザの枚数やユニットの姿勢をパラメー タにとって数値解析を実施している.

4. 結言

相反転方式潮流発電ユニットを提案し,双方向翼型プロペラある いは姿勢制御用スタビライザを有するユニット周りの流れの数値 解析を実施した.双方向翼型プロペラの数値解析では風洞試験と数 値解析の結果は良好な一致が見られた.姿勢制御用スタビライザの 数値解析は現在継続中である.本研究の遂行にあたり Zhejiang University の Bin Huang博士および早稲田大学の Nak-Joong Lee 博 士にご協力いただいた.ここに記してお礼申し上げる.

参考文献

(1) T. Kanemoto, N.-J. Lee, M.-W. Heo, B. Huang, Y. Nakanishi and Y. Funami, Counter-rotating turbine in unique power unit provided for bidirectional tidal streams, Proc. 12th ISOPE Pacific-Asia Offshore Mechanics Symposium, ISOPE-P-16-097 (Gold Coast, 2016.10).

(2) Y. Funami, Y. Nakanishi, N.-J. Lee, B. Huang and T. Kanemoto, Counter-rotating type horizontal-axis bidirectional propellers for tidal stream power unit, J. Power and Energy Engineering, 5 (7), 34-44 (2017).
(3) Y. Funami, Y. Nakanishi, N.-J. Lee and T. Kanemoto, Bidirectional type horizontal-axis propeller installed in tidal stream power unit, Proc. 13th International Symposium on Experimental and Computational Aerothermodynamics of Internal Flows, ISAIF13-S-0034 (Okinawa, 2017.5).

パルスレーザー光を利用した反応開発および機構解析

岩倉 いずみ* 赤井 昭二** 籔下 篤史*** 岡村 幸太郎**** 織作 恵子****

Development and Analysis of Chemical Reaction Triggered by Ultrashort Laser Pulse

Izumi IWAKURA* Shoji AKAI** Atsushi Yabushita*** Kotarou Okamura**** Keiko Orisaku****

1. 緒言

人の目でみることが不可能な高速現象は、ストロボ写真を連続的 に撮影することで可視化できる. 同様に、分子が振動する周期より も閃光時間が短いパルスレーザー光をストロボ光として用いれば、 化学反応に伴い化学結合が解離・生成するようすを可視化できる. 有機化合物の1000から2000波数に現れる官能基由来の分子振動は 33から17フェムト秒周期の振動である. そのため、化学反応を可 視化するためには、閃光時間が10フェムト秒よりも短いパルス光が 必要である.これまで、可視サブ10フェムト秒パルスレーザー光を 用いて、化学反応過程を可視化してきた. しかし、可視光照射によ り駆動される光反応は限定されるため、新たに近紫外領域のサブ10 フェムト秒パルスレーザー光を発生させることにした.

2. 近紫外サブ10フェムト秒パルスレーザー光の発生(図1)⁽¹⁾ チタン:サファイア再生増幅器 (Legend-USP-HP, Coherent Inc.)か ら発振されるパルスレーザー光 (800 nm, 2.5 mJ, 35 fs, 1 kHz, 水平 偏光)を非線形結晶 (β-BBO 結晶)により第二高調波 (400 nm)に 変換した.発生させた 400-nm パルスレーザー光を誘電体多層膜鏡 により反射し,変換されずに残った 800-nm パルスレーザー光を除 いた.この 400-nm パルスレーザー光をアルゴンガス (1.4 気圧)を 満たしたホローファイバーに集光し,スペクトル幅を広げ,広帯域 な近紫外パルスレーザー光 (350~450 nm)とした.

この広帯域近紫外パルスレーザー光は,波長ごとの屈折率変化から郡遅延が生じるため,郡遅延補償鏡を用いて線形分散を補正した. 次に,高次分散を補正するために,反射型回折格子と可変形鏡を用いてパルス時間幅圧縮系を構築した.高次分散はパソコン制御により可変形鏡を微調整し補正した.パルス時間幅を SD-FROG 法 (Self Diffraction-Frequency Resolved Optical Gating)により評価したところ, 6.5 フェムト秒であった.

*准教授 化学教室
Associate Professor, Dept. of Chemistry
**准教授 物質生命化学科
Associate Professor, Dept. of Material and Life Chemistry
***客員教授 工学研究所
Guest Professor, Research Institute for Engineering
****客員研究員 工学研究所
Guest Researcher, Research Institute for Engineering



図1. 近紫外サブ10フェムト秒パルスレーザー光発生装置

3. ビアントラセンのポンプ・プローブ測定⁽¹⁾

発生させた広帯域近紫外サブ 10 フェムト秒パルスレーザー光を 用いて,光化学反応に伴う分子構造変化を計測した.励起状態にお いて分子構造が大きく変化するビアントラセンを試料として用いた. 基底状態ではアントラセン環平面同士が直交した構造が安定である が,電子励起状態においては,二つのアントラセン環平面同士が平 行に近づいた構造が安定である.この光励起状態における分子構造 変化をポンプ・プローブ測定により解析した結果,約 500 フェムト 秒周期で二つのアントラセン環同士がねじれる様子が可視化できた.

4. 結論

以上,本年度は近紫外領域のサブ 10 フェムト秒パルスレーザー 光を発生させ、ポンプ・プローブ測定装置を構築した. 今後は、新 たに構築した装置を用いて様々な反応遷移過程を可視化していく予 定である.

(1) S. Hashimoto, A. Yabushita, T. Kobayashi, K. Okamura and I. Iwakura, Direct observation of the change in transient molecular structure of 9,9'-bianthryl using a 10 fs pulse UV laser, *Chemical Physics*, available online (doi.org/10.1016/j.chemphys.2017.12.016).

疎表現理論に基づく知能的視覚情報処理システムに関する研究 — 動画像疎表現の 統計的モデリングとその応用 —

齊藤 隆弘*

Study on Intelligent Visual Information Processing Systems Based on Sparse-Coding Theory: Statistical Modeling of Moving-Image Sparse Coding and Its Applications

Takahiro SAITO*

1. はじめに

標記の研究を,工学研究所研究プロジェクトAとして,計6名 の研究組織にて,2016年4月より2019年3月までの3年間に亘っ て実施した.その研究内容は多岐に亘るが,本報告では,その内で 最も基礎的且つ基盤的な研究として位置づけた"動画像疎表現の統 計的モデリングとその応用"に焦点を絞り,得られた主要な研究成 果を,研究の背景と動機とともに要約して示す.詳細については, 研究代表者らが公表した研究論文等を参考されたい.

2. 研究の背景と動機

近年, f-MRI 脳機能イメージングや経頭蓋磁気刺激法等の非侵襲 的に脳活動を観測する技術の進歩により, 脳神経科学が急速に進展 し, とくに視覚系の神経回路網の構成とその動作メカニズムが明ら かにされつつある. 20 世紀の脳神経科学では,フィルタリング理論 や標準正則化理論をその理論的基盤とした D. Marr の視覚計算モデ ルが最有力な作業仮説とされていたが, 1990 年代半ばに B. A. Olshausen と D. J. Field は,『感覚信号の脳内表現は疎表現である』 とする作業仮説を提唱した^[1]. 現在では,この疎表現仮説が,最も 有力な作業仮説と評価されている.

疎表現とは、『信号がごく少数の記述子の線形結合で表現される』ことを意味する.また、脳神経科学における疎表現仮説とは、『構造的な特徴をもち、脳にとって有意な信号には必ず疎な 表現が存在し、一方出鱈目で脳にとって無意味な信号には疎な 表現は存在しない』とする作業仮説である.

さらに、その後、疎表現の概念を導入することで、多層神経回路網 を局所最適解に陥らせることなく効率的に学習させることが可能な "深層学習法"が開発され、これを用いた教師学習によって"静止画 像から物体を認識する精度"が格段に向上することが明らかされた. しかし、動画像シーケンスを対象とした深層学習は、現時点では、 発展途上にある.

一方、研究代表者らは、人の視覚を超えた人工視覚の実現を目指

し、2007年頃から疎表現理論に基づく各種の画像復元技術を構成す るとともに、これにより画像復元性能が飛躍的に向上することを明 らかにしてきた.本研究プロジェクトでは、研究代表者らのこれま での研究成果をさらに発展させる基礎的且つ基盤的な研究課題とし て"動画像疎表現の統計的モデリング"を取り上げ、その統計的手 法を理論的且つ構成的に整備し、さらに動画像復元の高度化に応用 展開するための基本的枠組みを構築した.

3.3次元 DFT 領域における動画像疎表現の統計的モデリング

研究代表者らは、2016年に準備的な研究として、動画像復元に適 した3次元平均値分離型短時間DFTを構成し、これを動画像雑音除 去へと適用し、世界最高水準の動画像雑音除去手法と対等以上の優 れた雑音除去性能を示すことを実験的に明らかにした^[2].この研究 により3次元DFTが動画像復元の強力なツールであることが実証さ れたことを受け、3次元DFT係数の統計的モデリングに研究の焦点 を絞り、複素DFT係数の2次元確率分布を球対称分布として統計的 にモデル化する手法の開発に着手した.

具体的には、2 成分混合型球対称ガウス(2-C S²GM: 2-Component Spherically-Symmetric Gaussian Mixture)分布モデルを採用した.2-C S²GM モデルは、汎用的な混合型確率分布モデルの一つであるが、 その中に原信号の"疎性の尺度"と"観測劣化モデル"を陽な形式 で含ませることができる.2 次元 2-C S²GM モデルでは、疎性を有す る 2 次元原信号 \mathbf{x} の事前確率分布 $p_x(\mathbf{x})$ を、有意性の低い信号に対 応した比較的小さな分散 $\sigma_{s,[0]}^2$ の2 次元球対称ガウス分布 $g_2(\mathbf{x}; \mathbf{0}, \sigma_{s,[0]}^2)$ と、有意性の高い信号に対応した比較的大きな分散 $\sigma_{s,[1]}^2$ の2 次元球対称ガウス分布 $g_2(\mathbf{x}; \mathbf{0}, \sigma_{s,[1]}^2)$ を $P_0: P_1$ の混合比で確 率的に混合した確率密度関数として、次式にて定義する.

$$p_{X}(\vec{\mathbf{x}}) := P_{0} \times g_{2}(\vec{\mathbf{x}}; \vec{\mathbf{0}}, \sigma_{S.[0]}^{2}) + P_{1} \times g_{2}(\vec{\mathbf{x}}; \vec{\mathbf{0}}, \sigma_{S.[1]}^{2});$$

$$0 < P_{0} < 1, \ 0 < P_{1} < 1, \ P_{0} + P_{1} = 1, \ \sigma_{S.[0]}^{2} < \sigma_{S.[1]}^{2}$$
(1)

上式では,事前確率分布が単一の球対称ガウス分布に縮退する"特 異な場合"を排除するように,モデルパラメータ $P_{l}, \sigma_{s,[0]}, \sigma_{s,[1]}$ の許 容範囲を設定している.

原信号 x に雑音 w が加わった劣化信号 y = x + w が観測される条

^{*}研究代表者 教授 電気電子情報工学科

Research Representative, Professor, Dept. of Electric, Electronic and Information Engineering

件付確率 $p_w(\bar{\mathbf{y}}|\bar{\mathbf{x}})$ が, 平均 $\bar{\mathbf{x}}$, 分散 σ_w^2 (>0) の 2 次元球対称ガウス分 布 $g_2(\bar{\mathbf{y}};\bar{\mathbf{x}},\sigma_w^2)$ に従うものと仮定する. このとき, 劣化信号 $\bar{\mathbf{y}}$ が観測 される確率 $p_y(\bar{\mathbf{y}})$ は, 次式で与えられる.

$$p_{\gamma}\left(\vec{\mathbf{y}}\right) = P_{0} \times g_{2}\left(\vec{\mathbf{y}}; \vec{\mathbf{0}}, \sigma_{0}^{2}\right) + P_{1} \times g_{2}\left(\vec{\mathbf{y}}; \vec{\mathbf{0}}, \sigma_{1}^{2}\right);$$

$$\sigma_{0}^{2} := \sigma_{W}^{2} + \sigma_{S,[0]}^{2} > 0, \ \sigma_{1}^{2} := \sigma_{W}^{2} + \sigma_{S,[1]}^{2} > \sigma_{0}^{2}$$
(2)

この確率分布を簡潔に $\mathcal{GM}_2(\overline{\mathbf{0}};\sigma_0^2,\sigma_1^2;\mathbf{P}_0,\mathbf{P}_1)$ と表記する. この 2-C S²GMモデルは,三つの独立なモデルパラメータ $\mathbf{P}_1, \sigma_0^2, \sigma_1^2$ をもつ.

モデル化対象の各動画像シーケンスの複素数の3次元交流DFT係 数のサンプル系列から求めた"その大きさの1次,2次,4次モーメ ントのサンプル推定値"を,各々 a_R , σ_R^2 , $\mu_{R,4}$ とする.このとき, 同一の統計量を与える2次元2-CS²GM分布モデルの三つのモデル パラメータ P₁, σ_0^2 , σ_1^2 を求めることを通し,複素数の3次元交流 DFT係数の統計的モデリングが行われる.2次元2-CS²GM分布モ デルのモデルパラメータの統計的推定法の詳細については,研究代 表者らの文献[3]を参照されたい.

統計的モデリングによって一意に求められた二次元 2-C S²GM 分 布モデル $\mathcal{GM}_2(\overline{0}; \sigma_0^2, \sigma_1^2; P_0, P_1)$ の確率密度関数の"形状"を評価する ため、二次元信号 \overline{y} の大きさの 2 次モーメントが次元数 2 と一致す るように 2 次元 2-C S²GM 分布モデルを規格化する.この規格化 2 次元 2-C S²GM 分布モデルは、次式にて与えられる.

$$\widetilde{\mathcal{GM}}_{2}(\vec{0}; S, T; P_{0}, P_{1}); \ S = \frac{\sigma_{0}^{2}}{P_{0} \sigma_{0}^{2} + P_{1} \sigma_{1}^{2}}, \ T = \frac{\sigma_{1}^{2}}{P_{0} \sigma_{0}^{2} + P_{1} \sigma_{1}^{2}}$$
(3)
$$P_{0} \cdot S + P_{1} \cdot T = 1 \ \& \ P_{0} + P_{1} = 1, \ 0 < S < 1, \ T > 1, \ 0 < P_{0} < 1, \ 0 < P_{1} < 1$$

なお, 独立なモデルパラメータは, Po, Sの二つのみである.

図1には、種々の周波数インデックス(*l*, *m*, *n*)について、"各動画 像シーケンスの複素数の3次元交流DFT係数に当て嵌められた規格 化2次元2-CS²GM分布"の二つの独立なモデルパラメータP₀,*S*を 2次元座標上にブロットした.これにより、複素数の3次元交流DFT 係数の疎性を視覚的に把握できる^[4].図1は、3次元DFTの解析サ ブブロックのサイズを8×8×8とし、三種類のITE標準モノクロー ム動画像シーケンスを対象とした結果である.図1に示したように、 各々の周波数インデックス(*l*, *m*, *n*)の3次元交流DFT係数に対して 求められたモデルパラメータは、その多くが(P₀, *S*) = (1, 0)付近に偏 在しており、このことは非常に疎性が強く、且つ非常に裾野の長い 確率分布としてモデル化されていることを意味している.



図 1 周波数インデックス(*l*, *m*, *n*)の 3 次元交流 DFT 係数に当て嵌め られた規格化 2 次元 2-C S²GM 分布のモデルパラメータ P₀, S.

4. ベイズ LS 推定関数の構成と動画像復元への応用

雑音 $\vec{\mathbf{w}}$ の分散 σ_w^2 が既知であると仮定し,2次元 2-C S²GM モデ ルの下で観測劣化信号 $\vec{\mathbf{y}}$ から原信号 $\vec{\mathbf{x}}$ を復元する問題をベイズ統 計学の枠組みで統計的最適化問題として定式化し,復元誤差の二乗 平均を最小化するという意味での最適性を有したベイズ LS (Least Squares) 推定を解析的に閉じた関数として導出する^[5]. とくに,3 次元 DFT を用いた動画像復元への応用では,式(2)の二次元 2-C S²GM 分布モデルでモデルパラメータ $\sigma_{s,[0]}^2$ を強制的に0に固定し た"簡易化モデル"に対して構成した次式のベイズ LS 推定関数が

$$\vec{\mathbf{x}}\left(\vec{\mathbf{y}}\right) = \int_{\mathbb{R}^{2}} \vec{\mathbf{x}} \, p_{X|Y}\left(\vec{\mathbf{x}} \middle| \vec{\mathbf{y}} \right) d\vec{\mathbf{x}} = c_{1} \cdot \frac{\vec{\mathbf{y}}}{1 + c_{2} \exp\left(-c_{3} \left\| \vec{\mathbf{y}} \right\|^{2}\right)}, \\ c_{1} = \frac{\sigma_{s,[1]}^{2}}{\sigma_{W}^{2} + \sigma_{s,[1]}^{2}}, \, c_{2} = \frac{\mathbf{P}_{0}}{\mathbf{P}_{1}} \cdot \frac{\sigma_{W}^{2} + \sigma_{s,[1]}^{2}}{\sigma_{W}^{2}}, \, c_{3} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sigma_{s,[1]}^{2}}{\sigma_{W}^{2} \left(\sigma_{W}^{2} + \sigma_{s,[1]}^{2}\right)}$$
(4)

望ましい結果をもたらす. このベイズ LS 推定関数の出力ベクトル $\vec{x}(\vec{y})$ は、入力 \vec{y} と同一方向である. よって、式(4)は、入力 \vec{y} の大 きさのみに作用する位相保存型 Shrinkage の意義を有する. なお、 観測劣化動画像に混入している雑音 \vec{w} の分散 σ_w^2 は、高周波数の 3 次元交流 DFT 係数から高精度に推定できる.

詳細は省略するが, 雑音に汚された観測劣化動画像の3次元平均 値分離型短時間 DFT において,各々の周波数インデックスの DFT 係数への二次元2-C S²GM 分布の簡易化モデルの当て嵌めを通して 式(4)のベイズ LS 推定関数を構成し,これを零出力 Shrinkage や線 形 Shrinkage と合わせて階層化し,DFT 係数に位相保存型 Shrinkage として適応的に適用することで, 雑音除去性能が適応的且つ統計的 に最適化される^[5].また,全ての処理パラメータは,処理対象の 観測劣化動画像のみから自動的に設定される.こうして構成された 3次元平均値分離型短時間 DFT 動画像雑音除去法は,2018 年時点 で世界最高の雑音除去性能を示した^[5].

5. むすび

本研究で開発した"動画像疎表現の統計的モデリング技法"は, 動画像復元の高度化に欠かせない基盤的な技術であり,今後,各種 の動画像復元課題へと応用されることを期待したい.

6. 参考文献

[1] B. A. Olshausen and D. J. Field, Sparse Coding with an Overcomplete Basis Set: A Strategy Employed by V1?, Vision Res., 37 (23), 3311-3325 (1997).

[2] 小松隆, 張鍵, 齊藤隆弘, 平均値分離型三次元 ST-DFT を用いた 動画像復元法, 電子情報通信学会論文誌, J100-D (9), 842-845 (2017).
[3] 齊藤隆弘, 小松隆, ランダム信号の DFT 係数のための多次元二 成分混合型球対称ガウス分布モデルとそのパラメータ推定, 電子情 報通信学会論文誌, vol.J101-D (9), 印刷中 (2018).

[4] 齊藤隆弘, 小松隆, [招待講演] 動画像の 3-D DFT 係数の統計的 モデリングとその動画像復元への応用, 電子情報通信学会・画像工 学研究会, IE2018-6 (岐阜, 2018.5).

[5] T. Komatsu and T. Saito, Statistical modeling for 3-D DFT Coefficients of Moving-Image Sequences and Its Application to Denoising, Proc. IEEE ICIP 2018, in print (Athens, 2018.10).

ミリ波・テラヘルツ波帯のおける金属フォトニック結晶構造 デバイスの解析と応用に関する研究(研究成果報告書)

穴田 哲夫² 陳 春平³ 中山 明芳¹

Fundamental Study on Metallic Photonic Crystal Devices for Millimeter/ Terahertz Frequencies and Its Applications (Second Report)

Tetsuo ANADA² Chun-Ping CHEN³ Akiyoshi NAKAYAMA¹

1. 研究開始当初の背景

本研究は、ミリ波、テラヘルツ波領域において、電磁波の強い閉 じ込めを実現するために従来の誘電体フォトニック結晶の代わりに 金属フォトニック結晶を用いた超小型電磁波回路の実現と新機能の 開発を通して周波数の利用効率を上げ、将来の光通信と無線通信と のシームレスな接続を目指して新電磁波回路を金属フォトニック結 晶基板上に開発することである.

2. テラフォトニクスの概要

近年,フォトニック結晶とテラヘルツが融合した新しいテラ フォトニクス(新しい学際領域)分野の研究が国内外で活発に行わ れている.

テラヘルツ波(0.1-100THz)は光波と電波の境界領域に位置し,電 磁波の発生・検出が容易でなかったため,これまで未開拓の電磁波 スペクトル領域である.この未開拓のテラヘルツ波はX線に代わる 非接触・非侵襲な透視手段として、非破壊検査、分光分析などのイ メージセンサー,材料分野,バイオテクノロジー分野等多岐にわた る産業応用なども検討されている.一方,通信においては電磁波の 有効利用という観点から,テラヘルツ波帯の電磁波を超高速・大容量 無線通信システムへの応用研究が考えられる.またフォトニック結 晶とは電磁材料の屈折率が波長程度の周期的に配置された構造体の ことである.半導体結晶中の電子のように,バンド構造をとりうる ことが,1970年代半ばに小林哲郎,1979年に日本の大高一雄によっ て初めて指摘された.その後,1987年にアメリカ,カナダの研究者 (Yablonovitch and John)によって,そのような周期構造体の中に光 のエネルギー禁止帯(フォトニック結晶と呼ばれる概念が確立さ れた.この基本原理は周期構造に関する Bloch の定理やフロッケの 定理の基に古くから知られていたが、微細周期構造を人工的に二次 元または三次元的に作製することが極めて困難だったことから、 1990 年代後半までは現実的なフォトニック結晶は存在しなかった. このフォトニック結晶の持っているポテンシャルは、電磁波の全反 射効果にとどまらない.例えば、結晶内に周期構造から外れた点欠 陥構造を導入すると、その欠陥部のみに電磁波が局在(共振現象) する.同様に線欠陥構造を導入すると、その線欠陥部を電磁波が伝 播する導波路となる.さらに「導波路」と「点欠陥」を組み合わせ ることにより、電磁波を捕獲するといった信号処理デバイスの機能 が可能となる.

3. 電磁波回路への応用例

上記に述べたように、フォトニック結晶による多彩な電磁波の 制御とその応用を開拓する研究が次々と進展し、フォトニック結晶 中では多数の電磁波が非常に強く結合するために、従来の物質や導 波路とは大きく異なる分散関係が現れる.このような分散関係を積 極的に利用することで、自在に電磁波伝搬の方向変換を有する電磁 波スイッチが実現できると期待されている.ここでは電磁波の伝搬 方向を自在に制御した分岐回路の設計例(図1)とTHz帯バンドパ スフィルタ(図2)の設計例を与える.特に狭帯域バンドパスフィ ルタのスカート特性を良くするために、帯域外に減衰極を設けるこ とで、急峻な減衰特性を実現していることは興味深い特性である.

ここに FDTD 法による数値計算条件として,バンド特性を計算 し,基本導波路である金属正方格子の1列を取り除いた線欠陥導波 路 (r/a=0.2, a=58.5µm)を計算し,電磁波回路の周波数特性(伝搬特 性)と電磁界分布などを求めた結果を記す.このとき,入力波形は ガウス関数を正弦波で変調した入力波形(入射モード:E-polarization (Ez, Hx, Hy)), 境界条件として周囲の人工の吸収境界を7層の PML 境界 (Perfectly Matched Layer),メッシュは波長の $\lambda/10 \sim \lambda/40$, 金属は Cu(銅)のドルーデ・モデル, 微小摂動誘電体ロッド は高抵抗シリコン 10⁴ Ω cm,比誘電率 ε_s =11.56 の円柱を仮定してい る. なお,正方格子のバンドギャップの PBG 特性は FDTD 法と平

¹教授 電気電子情報工学科

Professor, Dept. of Electrical and Electronic Information Engineering

²客員教授 工学研究所

Guest Professor, Research Institute for Engineering ³ 准教授 電気電子情報工学科

Assistant Professor, Dept. of Electrical and Electronic Information Engineering

面波展開法で計算している.詳細は,前回の報告書を参照(神奈川大 学 工学研究所 所報, Dec. 2016, pp.130-131).

4. まとめ

超高周波帯におけるプラットホームとして金属フォトニック 結晶を用いることを提案し、実際に電磁波回路の開発を行った.そ の一部は IEEE-IMS, EuMW 等の国際会議で発表した. また金属フォト ニック結晶(以下 MPhC)で構成された電磁波回路は、誘電体フォト ニック結晶 (DPhC) と比較して少ない周期構造で電磁波を強く閉じ 込めることができる上,これまで蓄積された導波管回路の設計理論 を活用することができる. したがって, より実際的な MPhC による フィルタなどの電磁波回路を研究することは意味あると考える.こ こでは MPhC による点欠陥共振器の最低次共振モード (モノポール モード)を用いた狭帯域帯域通過フィルタ(以下 BPF)をマイクロ 波フィルタの設計に有用な結合マトリックス理論を用いて MPhC 狭 帯域 BPF の設計の見通しを得た.残された課題は、実際に計算に対 応した金属フォトニック結晶フィルタを作製し、実験によって確認 することである. 金属フォトニック結晶の応用に関しては, 筆者等 が知る限り、最も優れた特性の高機能バンドパスフィルタを開発し ている.しかし、金属特有のオーミック損失の影響は避けられず、 この問題解決には超伝導を利用すればよいが、これは今後の課題と する. 最後に、本研究成果は、基盤研究 C(15K06037) に反映して



Fig.1 Frequency characteristics of multi-port branch circuits using metal photonic crystal.

いることを付記する.

5. 主な公表文献

- [1] 陳, 穴田, テラヘルツ帯における次世代無線通信のための電磁
 回路のシミュレーションと設計,電子情報通信学会誌 Vol.100
 No.5 pp.356-361 2017年5月
- [2] 佐藤 知正,陳 春平,穴田 哲夫,等,金属フォトニック結 晶を用いた点欠陥共振器間の結合に関する検討とバンドパス フィルタへの応用,電子情報通信学会論文誌 C, Vol. J101-C, No. 1, pp. 43-48, Jan. 2018.
- [3] 金澤和輝・陳 春平・穴田哲夫・中山明芳・武田重喜,金属フォトニック結晶構造による減衰極を有する3段BPFの設計, C-2-40,ieice 総合大会2017
- [4] Chun-Ping CHEN, Shun Kikawa, Daisuke Tetsuda, Tetsuo Anada, and Shigeki Takeda, "Design of a Novel Type of Narrow Band BPFs using High-Q M-PhC Resonators," Proc. 47th European Micro. Conf. (EuMW2017), pp. 904-907, Oct. 9-13, 2017, Germany. (Oral session)
- [5] Chun-Ping CHEN, Tetsuo ANADA, Shigeki TAKEDA, et al, "Proposal and Theoretical Design of THz Bandpass Filters using Metallic Photonic Crystal Resonators," Proc. 46th European Microwave Conference, pp.116-119,4–6 Oct 2016, London, UK



(a) Structure of metallic PhC four pole filter (Capacitvely coupling, brown: gap of 0.02a between upper metal and small metal rod)



(a) 1.1091Hz (b) 1.1041Hz (c) 1.1201Hz (d) 1.1501Hz (b) Electric field profiles of four states of coupled resonators.



図2 金属フォトニック結晶4段帯域通過フィルタの構造と特性 Fig.2. Structure of metallic PhC four-pole filter and synthesis result of bandpass filter with two transmission zeros.

新規物質の自己組織化を基盤とした界面制御

亀山 敦* 川口 春馬**

Control of Interface Based on Self-organization of New Materials

Atsushi KAMEYAMA*

Haruma KAWAGUCHI**

1. 緒言

本プロジェクト研究は、新規な有機化合物を用いて水/油の界面、 固/液、および固/固界面を制御するための基礎的知見を明らかにし、 ユニークな機能材料を創製することを目的とする。

ビニル基を有する新規な乳化剤を用いた乳化重合と得られる ラテックスの性質

乳化重合は、サブミクロン微粒子の分散液(ラテックス)を迅速 に大量に製造する方法として広く利用されている。乳化重合におけ る乳化剤の役割は2つに大別される。役割その1は、粒子の起点と なること、役割その2は、生成した粒子を安定に分散させること、 である。ただし、ラテックスを実用に供するとき、乳化剤は無用の 混入物となるケースが多く、近年はラテックスからフリーの乳化剤 を減らすための方法が種々検討されている。その1つの方法として、 乳化剤のモノマー化、すなわちビニル基を持った乳化剤の利用が進 んでいる。すでにいくつかの反応性乳化剤が上市されているが、そ れらはいずれも乳化剤本体中にビニル基を持つものである。一方、 近年 "対イオン中にビニル基を持つユニークな乳化剤"(Scheme 1, C4-R)が開発されている。これは、一般的なアニオン性乳化剤C4-N (Scheme 1. top)から産業化可能な方法で合成できる。

本研究では、C4-R, C4-N の乳化剤としての特性(特にミセル形成 性やミセルの構造)や、これらを用いた乳化重合の重合挙動、およ びラテックスの性質への影響の違いについて検討した。なお、ビニ ル基の有無の影響を調べるために、C4-R を還元してビニル基をもた



*教授 化学教室 Professor, Dept. of Chemistry **客員教授 工学研究所 Guest Professor, Research Institute of Engineering ない化学構造である C4-S も合成し、検討を行った。

2.1 対イオンが異なる乳化剤間のミセルの構造の比較

乳化剤 C4-R と C4-N のミセル会合数 (ミセルを形成する乳化剤分 子数、MA)を蛍光分光法で、ミセル径 (MD)を動的光散乱法 (Malvern Zeta-sizer)で測定した。C4-R の方が C4-N より MA が小さ いにもかかわらず MD が大きく、ミセル内の乳化剤分子の配置が乱 雑であることが推測される。

Table 1	Micelle-aggregation number (MA)
	and micelle diameter (MD)

	MA (molecule/micelle)	MD (nm)
C4-N	29	1.2
C4-R	18	2.6

3. 対イオンが異なる乳化剤を用いた乳化重合挙動の特徴

まず C4-N と C4-R を用い、ラジカル開始剤として過硫酸カリウム (KPS)を用い、モノマーであるメタクリル酸メチル (MMA)の乳 化重合を行なった。Fig.1 に示すように、C4-R 系が C4-N より大量の 粒子を生成することが認められた。C4-S 系の重合の結果は、C4-N 系のものと大差がないため、C4-R 系では反応性対イオンが粒子生成 に関わっているものと考えられる。



次に、乳化重合で得られる粒子のゼータ電位について検討した。 Fig. 2 に示すように、C4-R 系で得られた粒子の方が C4-N 系の粒子 より小さな負のゼータ電位であった。このことから、C4-R 系で得ら れた粒子は、長時間より安定に存在できることが示唆された。



Fig. 2 Zeta-potential of PMMA particles prepared by emulsion polymerization using C4-N and C4-R

Fig.3 には、3 種類の乳化剤系で、非イオン性の重合開始剤を用いた系の粒子数とゼータ電位を示す。非イオン性開始剤の系では、生じた粒子が安定な電位(>15mV)に到達するまで凝集を繰り返し、その結果、粒子数が KPS 系よりかなり少なくなったものと見られる。



Fig. 3 Number and zeta potential of P(St-BA) particles prepared by different initiators

MMA の系では、ポリマーの分子量も測定した。C4-R, C4-N のい ずれの系でも、分子量は乳化剤及び開始剤の使用条件にはほとんど 依存せず 120 万から 180 万程度で、成長中の粒子からラジカルが頻 繁に脱出するケースで重合が進んでいることが示唆された。

疎水性ブロックにイミダゾリル基を有するブロックコポリ マーの合成とコア/シェルミセルの形成

コアに塩基触媒を有する熱潜在性ミセルの開発を目的として、こ れまで疎水性部としてポリ(イミダゾリルメチルスチレ ン)(P(ImMst))と親水性部としてポリ(アクリルアミド)(P(AAm))から 成るブロックコポリマーを合成し、段階的な自己組織化によりコア/ シェル型ミセルが得られることを明らかにしている⁽¹⁾。しかし、コ ア/シェル型ミセル形成の再現性が課題であった。本研究では、ミセ ル形成時にコアを安定させるために疎水性部に疎水性モノマーとし て、メタクリル酸イソボルニル(IBMA)、またはスチレン(St)を共重 合させたブロックコポリマーの合成、そのコア/シェル型ミセルの形 成について検討した。



ブロックコポリマーの疎水部分に IBMA を含む場合は DMSO/NMP(1:1)に溶解し、またStを含む場合はDMSOに溶解し、 これらの溶液に水を滴下、次にメタノールを滴下する方法でミセル 形成を検討した。ブロックコポリマー(B-1,5)の場合は、ミセルの回 収が困難であった。この2つのポリマーの特徴は疎水性部が短ため、 一度形成したコアが、メタノール滴下の際に崩壊したものと考えら れる。一方、IBMA、St の組成を増加した場合、容易にミセルが得 られた。この結果から、疎水性部の疎水性を向上することでコアが安 定し、コア/シェル型ミセルが形成されやすいことが明らかとなった。

Table 2 Self-assembly of block copolymers

	Block C	Copolymers	Micelles					
No.	х	Comp. <i>k:l</i> : <i>m:n</i>	No.	Isolation	Yield (%)	Diameter ^{a)} (µm)		
B-1	IBMA	36:36 : 236:26	M-1	0	37	18		
B-2	IBMA	40: <mark>74</mark> : 92:9	M-2	0	77	19		
B-3	IBMA	46: <mark>183</mark> : 139:1	M-3	0	71	14		
B-4	IBMA	26: <mark>99</mark> : 92:0	M-4	0	74	27		
B-5	St	26:44 : 183:9	M-5	×	0	-		
B-6	St	11:104 : 86:0	M-6	0	8	14		

a) Diameter was measured by dynamic light scattering(DLS)

ブロックコポリマー B-3 を用い、前述の方法で調製したミセル M-3 を回収し、減圧乾燥したところ粉末状固体が得られた。これを エタノールに再分散し、透過型電子顕微鏡 (SEM) 観察を行った (Fig. 4)。この SEM 写真から、きれいな球状のミセルが形成されたこと が分かった。大きさに分布はあるが、平均粒径は約 400 nm であっ た。これらの知見から、ブロックコポリマーの疎水性部分の適切な 分子設計によりを目的とするミセルが効率良く得られることが明ら かとなった。



Figure 4. SEM image of M-3.

(1) 井出悠太郎、平成26年度神奈川大学工学部物質生命化学科卒業 論文.

毒性金属イオン検出・除去システムの開発研究

小野晶* 友利貴人** 長澤浩*** 實吉尚郎****

Development of Methods for Detection and Remove of Toxic Metal Ions

Akira Ono* Takahito Tomori** Hiroshi Nagasawa*** Hisao Saneyoshi****

1. 緒言

水銀は反応性が高く、古くから人類に利用され てきたが、毒性が高く公害問題の原因となってい る。研究代表者は合成 DNA を基盤構造とする蛍 光性 Hg(II)イオンセンサーを開発した(Fig. 1)。 センサーは水中で強い蛍光を示すが、Hg(II)イオ ンを添加すると蛍光強度が減少する⁽¹⁾。Fig. 1 下 部のグラフが示す様に、蛍光強度と Hg(II)イオン 濃度に相関がある。また、不純物(例えば種々の 金属イオン)を含む水溶液中の Hg(II)イオンを、 選択的に高感度で検出することが出来る。学術論 文は注目を集めており、2018 年 8 月における被引 用数は 850 である。

DNA 中のチミン残基と Hg(II)イオンが選択的 に結合し、チミン-Hg(II)-チミンペアが形成さ

*教授:物質生命化学科

Professor, Dept. of Material & Life Chemistry **客員研究員:東京工業大学特別研究員

Guest Scientist,

***客員教授:株式会社環境レジリエンス代表取締 役社長

Guest Professor, President & CEO of Environmental Resilience Co. Ltd.

****特別助教 物質生命化学科

Assistant Professor, Dept. of Material & Life Chemistry れる現象を利用してセンサーとした。この現象は Hg(II)イオンセンサーのみならず、Hg(II)イオン 除去剤の開発に利用することが出来る⁽²⁾。



2. 実験計画

本プロジェクトの目的は、流水に含まれる Hg(II) イオンをリアルタイムで検出する手法を開発する ことであるが、その手法を概説する。まず、DNA を基盤構造とする Hg(II)イオンセンサーを多孔質 ガラスに結合する。センサーの大部分は多孔質ガ ラスの穴に結合する。親水性の多孔質ガラスの穴 を水溶液が流れるが、水溶液に Hg(II)イオンが含 まれていると、Hg(II)イオンがセンサーと結合し、 蛍光強度が変化する。ガラスは光を透すので、リ アルタイムで Hg(II)イオンを検出することが出来 る。



Fig. 1 のセンサーは Hg(II)イオン存在下で蛍光 強度が減生する。実用的には Hg(II)イオン存在下 で蛍光の強くなるセンサーが相応しい。小野研究 室で合成した、ピレンのモノマー蛍光、エキシマ ー蛍光を利用するセンサーを Fig. 3 に示した⁽³⁾。



Hg(II)イオンが結合することで、DNA 部分がへ アピン構造に変化し、ピレンが接近すると、エキ シマー蛍光(500 nm)が観測される。

3. 今後の課題

今後の課題は、多孔性ガラスとセンサーを結合 する手法を開発するこである。定法に準じて多孔 性ガラスにアルキル側鎖を結合し、さらにアジド 側鎖を結合する手法を確立している。また、末端 にアルキン側鎖を結合した Hg(II)イオンセンサー を合成することにも成功している。クリック反応 (アジド基とアルキン基の環化反応)を利用して、 多孔質ガラスとセンサーを結合すること、研究計 画は大きく前進すると期待される。

参考論文

- A. Ono and H. Togashi, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2004, 43, 4300-4302.
- M. Kuriyama, et al., Chem. Pharm. Bull., 2014, 62, 709–712.
- 3. 菅野まどか。神奈川大学卒業論文(2015年2 月)

企業ロボットの概念

松井 正之* 石井 信明** 山田 哲男*

Concept of Enterprise Robot

Masayuki MATSUI*

Nobuaki ISHII ** Tetsuo YAMADA *

1. はじめに

これまで人間が作り上げてきた生産企業体,公共事業体などのさ まざまな人工体は,現在,IoT (モノのインターネット),人工知能 (AI),ビッグデータなど,個別の情報通信技術 (ICT)の発展がお よぼす衝撃に見舞われている.この先には,ICT でヒト・モノ・カ ネの膨大な社会・経営の情報が結ばれ,これらを利用したロボット や AI などが社会の重要な意思決定にかかわる ICT 管理化社会が実 現する可能性がある.

学術世界では、すでにこれらに向けた動きが見られる.たとえば 国際経営工学会議(ICPR)の歴代会長(SEG da Costa, Shimon Nof)は、 それぞれソクラテス CEO ロボットモデル(注 1)、高度 ICT 社会にお ける e-Work, e-Business および e-Service のコラボレーション研究(注 2)を提唱している.

今後到来する ICT 管理化社会はロボットおよび AI などを,経済, 経営,福祉,教育や家事・育児などさまざまな場面で利用する社会 である. ICT 管理化社会をより豊かな社会とするには,人間社会と なじみのある,人間中心の ICT 共生社会にする必要がある.企業ロ ボット研究(以下,本研究)では,そのための自然の理知を反映し た科学あるいは仕組みを明らかにする.

(注 1) D. Wollmann and M. T. Steiner, Complex adaptive systems integrating the decision making process in industrial companies: a scientific conceptual model, Applied Mechanics and Materials, 670-671, 1601-1607 (2014)

(注 2) S. Y. Nof, J. Ceroni, W. Jeong, and M. Moghaddam, Revolutionizing Collaboration through e-Work, e-Business, and e-Service, Springer (2015)

2. 企業ロボット研究がめざすこと

これまで、ヒト型ロボットや AI 応用をはじめとしたさまざまな 技術が人工体に利用されている.しかし、これらは、動作系-知能 系の二相からなる人工体の進展が中心であり、動作系と知能系それ ぞれが先鋭化した研究として展開している.そのため不自然で、協

*客員教授 工学研究所

Visiting Professor, Research Institute for Engineering **教授 経営工学科 Professor, Dept. of Industrial Engineering and Management





調性や因果性に欠ける動作をするロボット,人間の感覚と合致しな い誤作動の AI など,人間社会とのなじみへの観点が不十分になっ ている.たとえば,人々が AI・ロボットにいだく恋愛感情,依存な どの課題が指摘されている(平成28年7月2日,日本経済新聞).

これらのことから本研究では、ミクロ(動作系)-マクロ(知能系) の二相としていた従来の人工体の中央部に、「分析・管理系」を加え た三相型の人工体を考案し、より人間・社会に近い人工体を想定す る.さらに、三相型の人工体を説明するサンドイッチ(S=W)理論、 および、三相型人工体の中央相を定式化するためのスマート方程式 化法^[1]を活用する.一例として、図1に人工体としての生産企業と サンドイッチ理論の概念を示す.ここでは、ペア戦略マップの発展 として製品と企業の関係をスマート方程式化法に展開している^[1,2].

三相型人工体では、図2に示す起承転結ロジックから「起」と「一 貫性」に当たる動作系および知能系との入出力の間を、「承・転・結」 の各種の変換行列^[1, 2]を用いることで、人工体の中央相に当たる分 析・管理系の定式化を行うことができる.

このように本研究は,近年注目されている人工体の中央相の研究 ^[3]により,これまでの人工体の研究を飛躍させ,きたるべき ICT 管 理化社会を人間社会となじみがあり、人間中心の安心・安全な社会 とすることに貢献することを目指す.そのために、ICT 管理化社会 における人工体の体系化、管理タイプの人工体開発,さらに、近年 の企業情報システムの主流である ERP/SCM の次世代^[4]に向けた発 展とその体系化に挑戦する.

3. 企業ロボット研究のテーマ

本研究では、生産企業体において図1の中央相にペア戦略マップ の存在を実証したように、動作系-知能系の中央部に分析・管理系 を含めた三相型の人工体に着目した研究を行う.そして、(1)各種人 工体の中央相にあたる分析・管理系の構造・仕組み、および、(2)ICT 管理化社会において人間社会となじみのある人工体として動作系と 知能系の調和をとる分析・管理系のあるべき姿を明らかにすること を試みる.

すなわち,三相型人工体の中央相に当たる部分の具体的な研究 テーマとして,次のようにテーマを設定し,研究を進める予定であ る.

<企業ロボットの研究テーマ>

 ① 需給対応分析・管理問題の研究:ヒト(経営)のロボット化研究

入出力が事業体の需要と供給データ,ゴールが売上あるい は利益とリードタイム(LT)の場合を想定し、人工体の中 央相にあたる分析・管理系の構造・仕組みを明らかにする.

② 福祉協働タイプ分析・管理問題の研究:ロボットのヒト化(経営)研究

ロボットのヒト化研究と位置づけ、人工体の動作系と知能 系の調和をとる分析・管理系のあるべき姿を明らかにする. ヒト・モノ・カネ・情報と協働を駆使するロボットの調教・ 教育・アプリを検討する.

③ アルゴリズム実証化研究と人工体機能開発

テーマ①,②の成果を実証するためのアルゴリズムの実証 化研究を行い,需給対応管理,福祉協働タイプなどの各種の 人工体に向けた機能の開発と実証を行う.

テーマ①および②では、図3に示すように、これまでの研究成果 であるスマート方程式化法^[1,2]を活用する.すなわち図2に示したよ うに、人工体の入出力を起承転結のマトリックス展開の連鎖でゴー ルに結び付ける方程式に定式化する.ゴールから入力への逆変換も 考慮することで、ゴールを達成するための条件も明らかにする.



図3 人工体と企業ロボットの研究テーマ

さらに、テーマ③においてテーマ①、②における定式化の成果を アルゴリズムに展開した実証化研究により、三相型人工体の中央相 となる分析・管理系の構造・仕組み、および、動作系と知能系の調 和をとる分析・管理系のあるべき姿とその具現性を明らかにする.

4. これまでの成果

本研究は、2016 年 10 月より工学研究所内に設置された「企業ロ ボット開発研究所」を中心に進めている.現在は研究の途上である が、外部資金の調達への挑戦,成果の発表を継続している.これま での主な研究成果には、次のものがある.

- M. Matsui, Fundamentals and Principles of Artifacts Science:
 3M&I-Body System, Springer Briefs in Business, Springer (2016)
- 松井正之, IO 行列系研究 III: 松井の方程式法のペア行列展開と簡約化, 第7回横幹連合コンファレンス論文集, C-3-1, 1/3 (2016)
- M. Matusi and N. Ishii, Artifacts formulation & realization: Matsui's matrix method, Riccati eEquation and enterprise robot, Proceedings of the 24th International Conference on Production Research, Poznan, Poland (2017).
- 松井正之,松井の方程式のSW 体図解:物理素粒子体式例,企業 体・物理体の双対系鎖と需給格子解構造,第8回横幹連合コン ファレンス論文集, A-5-1,1/3 (2017)
- N. Ishii and M. Ohba, A supply chain analysis and design method based on the value of information, Computer Aided Chemical Engineering, 44, 1591-1596 (2018).
- 松井正之,石井信明,企業ロボットの開発(2):人工体原理による コンビニ系企業ロボットの具現化問題と ODICS II ベース例, 平成 30 年度日本経営工学会秋期大会,東海大学 (2018).

5. まとめ

ロボットおよび IoT/AI が企業経営および我々の生活に入り込む ICT 管理化社会はすでに始まっている.企業ロボット研究では, ICT 管理化社会が,動作系と知能系の2相構造ととらえられ,それぞれ が先鋭化している状況に着目し,両者を結びつける中央相として分 析・管理系を加えた3相構造を想定した.この中央相に着目した研 究により,企業ロボット研究では,人間社会となじみのある,人間 中心のICT 共生社会を目指し.自然の理知を反映した科学あるいは 仕組みを明らかにすることに挑戦をしていく.

参考文献

- M. Matsui, Fundamentals and Principles of Artifacts Science: 3M&I-Body System, Springer Briefs in Business, Springer (2016).
- [2] 松井正之、中島健一、高野倉雅人、林憲玉、石井信明、山田哲男、企業ロボットの開発一自働経営管理とアルキメデス(分散)対ソクラテス(集中)方式、平成28年度日本経営工学会春季大会予稿集、早稲田大学(2016)
- [3] 田中雅人,三浦眞由美,田中政仁,藤井高史,石橋政三,製造 装置の PID 制御系における Human in the Loop,平成 30 年度日本 経営工学会春季大会予稿集,名古屋工業大学 (2018)
- [4] 松井正之,藤川裕晃,石井信明,需給マネジメントーポスト ERP/SCMに向けて,朝倉書店(著書) (2009)

ポリペプチドのフォールディングと集積化により形成される高次構造と機能

亀山 敦* 岩岡 道夫** 森井 尚之**

Higher Order Structures and Function Formed by Polypeptide Folding and Integration

Atsushi KAMEYAMA* Michio IWAOKA** Hisayuki MORII**

1. 緒言

本プロジェクト研究は、タンパク質の線維状集積体であるアミロ イドの特異な高次構造,およびポリペプチド鎖の折り畳み(フォール ディング)や集積化によるユニークな構造形成過程を明らかにする とともに、それらの構造特徴から発現する機能開拓を目的とする. アミロイドは、アルツハイマー型認知症など多くの病気の原因物質 として、それぞれの分子構造や発症機構の解明が進められているが、 適用可能な構造解析法が存在しないため、研究議論が続いている.

2. アミロイドβのペプチドモデルの分子シミュレーション

アミロイドにおいて,集積体形成の鍵と考えられる 14 個のアミ ノ酸からなるペプチドモデル (CHO-QVINTFDGVADYLQ-NH₂) に ついて,レプリカ交換モンテカルロ法を用いた単一アミノ酸ポテン シャル力場計算 (REMC/SAAP3D計算)を行った.このペプチドモ デルでは,四角で囲った中央のアスパラギン酸 (Asp, D) ーグリシ ン (Gly, G) でターンが形成され,これが要となり β シート構造が 生じると考えられる.本研究で用いた分子シミュレーションプログ ラムは,岩岡が独自に開発したものであり,アミノ酸数が 10 個程度 のペプチドの分子構造を水中で良く再現できる⁽¹⁾.分子シミュレー ションは,モンテカルロステップ数4億回,構造出力数2万個,レ プリカ数4で行った.溶媒条件として水(誘電率 78.39で一定)と, 疎水的な環境で静電相互作用が強くなることを考慮して距離依存誘 電率を導入した仮想疎水条件(誘電率 = kr; k は定数, r は原子間距 離)の2つの条件を適用した.2 万個の構造を統計的に解析した結 果を図1および図2に示す.

構造解析から、きれいな β ターン構造は得られなかった.しかし、 距離依存誘電率を用いた場合、Asp7—Gly8を起点として変形した シート構造の形成が見られた(図 1B). そこで、Asp7 と Gly8 の Ramachandran プロットを作成したところ、水中と仮想疎水条件では、 大きな差は見られなかった(図 2). きれいなターンをつくるために は、Asp7 の Ramachandran プロットにおいて左上、Gly8 の Ramachandran プロットにおいて左上、Gly8 の Ramachandran プロットにおいて右側中央にプロットが集中すると 良い. そのような状況をうまく再現するためには、Asp7 の代わりに

*教授 化学教室 Professor, Dept. of Chemistry **客員教授 工学研究所 Guest Professor, Research Institute of Engineering プロリン Pro を, Gly8 の代わりに D-アミノ酸を用いると良いものと 考えられる.



図 1. 構造クラスタリングにより得られた最も存在率が高かった構造. A, 水中,存在率 19%. B, 距離依存誘電率 (*k* = 8),存在率 18%.

今後, 疎水条件をより正確に再現するために, エーテル中(誘電 率 = 4) での力場パラメータの作成を進め, アミロイドが集積化す るメカニズムの解明を行う予定である.



図 2. 2 万個の出力構造の Ramachandran プロット. A と C, 水中. B と D, 距離依存誘電率 (*k* = 8).

3. 逆平行 βシート構造の集積化によるアミロイド形成

アミロイドは、5 残基程度から 200 残基以上まで種々のペプチド やタンパク質のβ構造同士の水素結合によって形成される(図 3). 2本のβ構造鎖は0.47 nmの周期間隔で逆平行方向に結合しており (図 4),各アミノ酸残基の側鎖は順にβ構造シート面の上下に伸び ていて,隣接鎖の別の各側鎖と強く相互作用できる距離に位置する. これまでの研究で,各種の変異や特にアミノ酸のD,L光学活性体の 置換を系統的に施す手法により,この隣接鎖間(図4の上下方向に 位置する残基間)の側鎖同士は疎水性相互作用によりアミロイド形 成に重要な寄与をしていることが明らかになってきた⁽²⁾.



図3. アミロイド線維形成の基本機構(推定図)



図4. β構造分子鎖2本からなるシート構造(球:アミノ酸残基)

各種のアミロイド形成性タンパク質より,アミロイド線維の骨格 となる連続 β 構造領域(アミロイド幹形成領域)に対応するペプチ ドを合成し、電子顕微鏡像を調べた結果,形成されるアミロイド線 維の左ねじれの周期性と線維幅の関係から, β 構造のシート面間(図 5,図 6 右),残基側鎖間の隣接分子鎖間(図 6 左)のいずれも側鎖 の疎水性相互作用が,アミロイドの分子間配向構造(高次構造)を 決定する主要因であることを明らかにした(β 構造分子鎖の長軸を x軸,水素結合による連続 β 構造の線維軸を z 軸,さらにこの β 構造 のシートの積層(スタッキング)方向を y 軸として表現)^{(2),(3)}.

近年,アミノ酸残基レベルの分解能での構造解析法として,部位 特異的に同位体ラベルしたアミロイドの固体 NMR 法による結果が 報告されているが、手法自体が「限られた候補構造からの選択」で あるために、その構造モデルは確定的ではない. 最近筆者らは、安 定同位体ラベルしたアミロイドを IR スペクトル法で解析すること により、アミノ酸残基ごとの構造情報の収集と統合の研究を進めて いる. 合わせて, 電子顕微鏡 (TEM) 像から得られる微細構造の解 析を行い、ペプチド分子の集積配列の情報を得ることに成功した. 21 残基のペプチドのリボン状アミロイドのアミロイド線維には細 かい 2.7 nm 周期の間隔で縞模様(表面凹部)が観測される(図 7). y軸方向のシート間の間隔周期は1.1 nm (X線散乱データ) である ので,単純な倍数ではない.そこで前述の疎水性相互作用によるシー ト間の積層を正確にモデル化した断面図(図5)を描くと、可能な4 種はリボン面の法線方向に対して, β構造シート面は 15, 30, 15, 0度 の角度で傾いている.このことから、観測された縞模様は傾き角30 度に対応するものであることが結論できる(図5).

さらにはアミノ酸残基間の対合の様子まで確定できる.別のアミ ロイド性ペプチドの電子顕微鏡像においては、リボンの破断面(線) が線維に対して 90度ではなく、カッターナイフ状に一定角で傾いて いることが観測された.この角度から結論できるのは、アミロイド 線維の構造単位は 2 枚の β 構造のシートが C2 対称で向き合って積 層した構造(図 8)であるということである.「2 分子のβ構造のシー トからなる C2 対称の構造単位」のモデルは、他の多くの実験デー タを高い整合性で説明することができる.



図7. アミロイド線維の電子顕微鏡像における微細構造



図8. アミロイド中の分子の集積様式

(1) M. Iwaoka, T. Suzuki, Y. Shoji, K. Ddedachi, T. Shimosato, T. Minezaki, H. Hojo, H. Onuki and H. Hirota, Development of SAAP3D Force Field and the Application to Replica-Exchange Monte Carlo Simulation for Chignolin and C-Peptide, J. Comput. Aided Mol. Design, 31, 1039–1052 (2017).

(2) M. Saiki, Y. Hidaka, M. Nara, and H. Morii, Stem-forming regions that are essential for the amyloidogenesis of prion proteins, Biochemistry, 51, 1566–1576 (2012).

(3) H. Morii, M. Saiki, T. Konakahara, and M. Ishimura, M.,Peripheral region for core cross- β plays important role in amyloidogenicity, Biochem. Biophys. Res. Comm., 342, 808–816 (2006).

高性能スターリングエンジンの開発 — プロジェクト「加熱器・冷却器を一方向に バイパスするスターリングエンジンの開発」の進捗

原村 嘉彦*

Development of high-performance Stirling Engine — Project research "Stirling Engine with Uni-directionally Bypassed Heater and Cooler"

Yoshihiko HARAMURA*

1. 緒言

スターリングエンジンは、等温圧縮・等積加熱・等温膨張・等積 冷却の基本サイクル (図1の 1-2'-3-4'-1) によって構成される,ガ スを作動流体とするピストン式外燃機関である.壁を通して作動ガ スの加熱・冷却を繰り返すが、壁を加熱・冷却することによる熱源 間の熱の流れをなくすために、作動ガスは高温部と低温部に分け、 等積過程はこの間で作動ガスを移動させることで実現する. サイク ルの4つの過程が十分ゆっくり起これば、等積冷却で作動ガスから 取り出した熱(図1の4'-1の曲線とS軸とで挟まれた部分の面積) を積層金網などで構成される再生器内の蓄熱材に蓄え、等積加熱で 再生利用する(図1の2'-3の曲線とS軸とで挟まれた部分の面積の 熱を作動ガスの与える)ことができ、それが理想的にできれば、理 論上最高のカルノー効率と同じ効率が得られる.しかし、高い出力 (動力)が要求される実際のエンジンでは、各過程を短時間で起こす ために、圧縮・膨張過程は等温とはほど遠く、作動ガスへの熱の授 受を確保するために、再生器の両側に高温と低温の熱交換器(ヒー タとクーラ)を設置する.これは細管で構成されることが多い.



図1 熱力学サイクルの T-S線図

しかしヒータ・クーラの設置は、問題も引き起こす. 膨張とその 直後の冷却過程では、膨張で温度が下がった作動ガス(図1の4) が、ヒータ内で加熱された後再生器内で冷却され、クーラで最終的

*教授 機械工学科 Professor, Dept. of Mechanical Engineering に低温熱源温度まで下がって低温空間に入る.図1の4-4'の加熱と 4'-4 の冷却は相殺されるので、サイクル的に意味がないが、それに も関わらず流動抵抗を生む.圧縮とその後の加熱過程でも同様であ る.その結果、サイクル当たりに取り出せる仕事が減少し、さらに サイクル論的に再生される熱量は4-1'とS軸で挟まれる面積(=2-3' とS軸で挟まれる面積)に減少する.この2つの原因による効率の 減少を極力抑えることが、高性能エンジンの実現で重要である.

2. 本研究の方針

旧来から,等積加熱時にクーラを,等積冷却時にヒータを通らず に直接再生器に導入すること(一方向のバイパス)でこの相殺する 伝熱を抑制する提案なされている.しかし,良好な成果を得ていな い.その原因は,膨張・圧縮による温度変化を抑える工夫がされず, その結果再生される熱量が極端に小さくなったためと推定される. そこで本研究は次のようなステップを踏んで研究を進めている.

(1) 膨張空間の壁面熱伝達の把握

膨張空間に流れ込む断面積を縮小して流速を上げ,それに よって伝熱をどの程度まで促進できるかを調べる.これによっ て,ヒータ・クーラの容量を最小化する.

方法としては,実験によるものと市販の CFD (数値流体力学) ソフトウェアによる方法をとる,膨張空間(高温空間)に絞っ てそこでの熱伝達特性を調べる.

(2) 一方向にバイパスするエンジンのシミュレーション 前項の結果を踏まえながら、1次元(ヒータ・再生器・クー ラに沿った向きに温度が変化すると仮定する)解析によって、 流動抵抗も考慮に入れた熱力学サイクルのシミュレーション を行う.これを通して最適なヒータ・再生器・クーラの容積・ 流路寸法が決定できる.

(3) エンジンの設計・製作と動作確認

前項で決定した容積・流路寸法を持つエンジンを製作し,特 性を確認する.

3. 2017年度の成果

3.1 壁面熱伝達に関する成果

3つのステップのうち, 2017 年度は(1)と(2)を進めた. (1)に関す

る CFD 解析では、1 次元解析を併用し、CFD で求まる壁面熱伝達を 1 次元解析に適用して膨張空間への流入流出の質量流量と温度を計 算し、それを CFD の境界条件とする方法をとった.これを繰り返し て壁面温度を 900K とした場合の壁面からの伝熱を求めた.結果は 日韓熱流体工学会議[1]とスターリングサイクルシンポジウム[2]で 発表した.図2、図3には、論文[2]の結果の一部を示す.加熱過程 (210°<位相<270°)では、ガス温度が壁温より高い状態から下がって きて熱が入り始めることがわかる.







(1)に関する実験は、膨張空間の内面に幅 0.4mm のニッケル箔(温 度センサを兼ねたヒータ)を 25 本貼り、その1つを定温度型流速計 のシステムを使って通電加熱する方法で行っている.熱流束の分布、 それを積分して求めた伝熱量は、図4、5のようになる.吹き出し 口そばの円筒面における伝熱が大きいことがわかった.国際スター リングエンジン会議[3]で発表する.





3.2 シミュレーションに関する成果

従来から行ってきた,質量とエネルギ保存から圧力と温度の変化 を求め,それに流動抵抗を加味する方法を,バイパスがあるヒータ・ クーラに適用する.流動抵抗による並列流路の質量分配がまだ完成 していない.

3.3 プロジェクトメンバーの活動

2月24日に,研究の方針,進捗状況の報告,意見交換を行った. 特に,試作エンジンの駆動機構についての意見交換が有意義だった.

4. むすび

今年度は、一方向にバイパスするエンジンのシミュレーションを 完成させ、実機の製作に向けて準備したい.

文献

- Y. Haramura and K. Yabe, Heat Transfer on the Wall of Stirling Engine Expansion Space, Ext. Abstracts 9th JSME-KSME Thermal and Fluid Engineering Conf., TFEC9-1384 (Okinawa, 2017. 10).
- [2] 原村嘉彦, 膨張空間壁面における熱伝達のシミュレーション,
 第 20 回スターリングサイクルシンポジウム講演論文集,
 pp.57-60,(日野, 2017.11).
- [3] Y. Haramura, Heat Transfer on the Expansion Cylinder Wall, Proc. 18th International Stirling Engine Conf., pp.197-204, (Tainan, 2018.9).

戸建住宅における全館空調の一次エネルギー消費量に関する研究(1)

岩本靜男* 傳法谷郁乃** 児保茂樹****

Primary Energy Consumption of Central Air-conditioning in a Detached House

Shizuo IWAMOTO* Ayano Dempoya** Shigeki KOYASU***

1. 本研究の背景

日本の住宅においては、建築基準法で24時間機械換気が義務付けられている。暖冷房については、北海道などの厳寒地域を除いて、 部分暖冷房・間欠暖冷房となっている。在室する室・空間のみを暖 冷房し、廊下・階段・洗面所・脱衣室・浴室・トイレ等の付室では 考慮しないことが多い。また不在の空間では通常暖冷房を入れない。 このため、入浴など居室から付室に移動して活動する際に居住者周 囲の環境が急変することになり、血圧や心拍等の急上昇を伴い、脳 疾患や心臓疾患の危険性が増大する危険性がある⁽¹⁾。健常者ならば ともかく高齢者が居住する場合は特に注意が必要である。

これに対する対策としては、北海道などの厳寒地域に用いられる 常時全館を換気・暖冷房を行う全館空調方式が有効である。住戸全 体を連続的に空調するもので、外気を取り入れた空調空気を用いる ため換気基準は十分満たされており、優れた空気環境となることが 期待できる。また、空調方式にもよるが付室においてもほぼ居室と 同等の気温・湿度となるため、いわば温熱環境上もバリアフリーと なる。戸建住宅で設置要望の高い吹き抜け空間を有する場合でも⁽²⁾、 部分・間欠暖冷房に比較して、全館空調では吹き抜け空間を含む全 館の室内環境がほぼ均一に保たれるため、吹き抜け空間の良さを得 てかつ温冷感においても十分な環境を得ることができる。

2. 本研究の目的と方法

温熱・空気環境上は大変望ましい全館空調ではあるが、消費エネ ルギーが増大するのは避けられない。空調対象空間は大きくなり、 24時間連続であることから運転時間も増加となる。室内の設定室気 温を同等として空調機器が同一ならば消費エネルギーは必ず増大す る。住宅に対する我が国の省エネルギー基準でも全館空調時の消費 一次エネルギー量は大きく評価されており、部分・間欠空調時のお よそ2倍とされている。

各室に個別にエアコン等の暖冷房機器を設置して全館空調を行 う場合ならばやむを得ないとしても、全館空調用に考察され機器制 御によって省エネルギー化を図った場合であっても同等に扱われて

*教授 建築学科 Professor, Dept. of Architecture **t助教 建築学科 Assistant Professor, Dept. of Architecture ****特別研究員 工学研究所 Researcher, Research Institute for Engineering しまうので、省エネルギー基準を満たすうえでは不利になってしま う。脳疾患・心臓疾患の危険性を低下させ、温冷感も向上させるこ とのできる全館空調でかつ省エネルギーであっても、現状は妥当に 評価されているとはいいがたい。そこで、本研究プロジェクトでは、 学術的に妥当な方法で、全館空調による年間一次消費エネルギーを、 方式別に求めることを目的とする。本稿は初年度にあたる 2017 年度 の成果を報告するものである。

3. 2017年度の成果と今後の課題

2017年度では、実測結果の活用と必要となる計算モデルの構築が 主な成果である。

神奈川県藤沢市に建つA社の実験住戸で全館空調や個別空調使用 時の室気温等の実測が2017年夏季に行われており、1週間前後の貴 重な実測データを頂戴できた。その実測条件に合わせて各種のシ ミュレーションソフトを用いて設定条件の精査を行った。

まず熱流体解析(CFD)ソフト Scryu/Tetra を用いて実験住戸内の気 温の空間分布の再現を試みた。定常計算として特定の時刻の実測値 を用いて、壁体の熱性能の設定や吹出風量と気温を妥当に設定する ことで、居室でも洗面所・廊下等の非空調室でも実測値に近い気温 を計算することができた。

また動的エネルギー解析プログラム TRNSYS を用いて実測日の 時刻変動を求めた。実測値とおよそ同等の解を得ることができた。 しかし、夏季実測では日射遮蔽の扱いにより計算結果が大きく異な ることから、年間シミュレーション時には設定に注意する必要があ ることが示された。

また、2017 年度では省エネルギー基準で用いられているモデル住 宅の解析に着手し、TRNSYS による解析のベースとなるモデルを組 み立て、空調負荷や非空調の廊下や洗面所などの気温を調べた。今 後は消費エネルギーを算出するモデルを組み立てることが大きな課 題となる。

(参考文献)(1)羽山広文・他、人口動態統計を用いた疾病発生に関 する研究その3 脳血管疾患と心疾患について、空気調和・衛生工 学会大会講演論文集、G-21、2010年9月.

(2) 瀧野達也・岩本靜男・他、住宅内の階段付き吹き抜けが室内温 熱環境に与える影響(第1報)~(第5報)、空気調和・衛生工学会 大会講演論文集、2010年9月~2012年9月.

7. 工学研究所テクノサークル

7-1	環境科学テクノサークル 2018 年活動報告	井川 学
7-2	ドライブレコーダー・テクノサークル活動報告 (2017)" 自転車の居場所がない!":"リ	ンレコ"とウェアラブルカメラ搭載日常サイクリングで判った曖昧な道路交通安全
		齊藤隆弘, 堀野定雄, 松田洋, 後藤航太, 金澤優太, 浮穴浩二
7-3	テクノサークル 「けんちくをつくる会」 2017年度活動報告	吉岡 寛之, 佐塚 将太
7-4	テクノサークル KURAFT17-18 シーズン活動報告	中村 弘毅,山口 光弘
7-5	「神奈川大学宇宙ロケット部」 活動報告 (2017)	高野 敦
7-6	神奈川大学ロボットプロジェクト活動報告	江上 正, 中村 嘉孝, 野中 祐太郎
7-7	ものづくり・電子工作テクノサークル活動報告	土屋 健伸

環境科学テクノサークル 2018 年活動報告

井川 学*

Reports of the Activities of Environmental Science Technocircle in 2018

Manabu IGAWA*

1. サークルの歩み

環境科学テクノサークルは、2011年の5月に始まったテクノサー クルの中でも当初より設立されたサークルの一つです。設立当初の 構成員は15人前後で推移していましたが、最近は新入生勧誘が思う ように進まず、このところ10人を割っています。ただ、設立当初か ら毎年文系の学生が参加し、文系理系の垣根を超えた学生の交流の 場となっています。

2. 2017~2018 年のサークルの活動

サークル活動としては、一つは毎週水曜の昼休みに演習室に集 まって、それぞれが関心のある広い意味で環境に関連するテーマを 選んで順に発表しています。最近では、睡眠の話やバーチャルリア リティーの話など多岐に渡り、聞いていて楽しく知識が広がります。 私も時にはプレゼンを担当し、最近ではマイクロプラスチックの問 題について発表しましたが、準備する中で問題の深刻さについて認 識を新たにしました。

サークル活動のもう一つの主要な活動は、テクノフェスタや神大 フェスタの発表です。このために、夏休みの数日間、調査活動を行 ないます。以前には、放射線量の測定やタバコの煙の分析等を行い ましたが、最近の調査研究発表としては、横浜の水源となっている 酒匂川の分析を行なっています。私の研究室では酒匂川の源流に位 置する丹沢山塊の調査研究を行っているので、その研究と接続され ることを期待しています。今年の発表では、横浜のもう一つの水源 である相模川についても調査し、酒匂川の調査結果と比較する予定 です。

3. サークル活動の今後

サークル活動は、研究室の活動とは異なり強制力は全くなく、全 て学生の自発性に基づいてプレゼンを準備し発表しています。ただ、 サークル活動としては調査研究が核にならざるを得ません。このた めに夏休みに調査研究を行うのですが、継続的なものではありませ んからデーター数が限られるという制約があり、そのために研究 テーマの設定が難しくなります。また、サークル員の確保も簡単な ことではありません。しかし、学生が知的に刺激し合い友情を育む 場として、これまでの活動は有意義であったと思います。学生諸君 が科学に関わりながら成長していくことをこれからも期待していき たいと思います。



図1 2017年テクノフェスタポスター



図 2 2017 年神大フェスタ発表会場
ドライブレコーダー・テクノサークル活動報告(2017) "自転車の居場所がない!":"リンレコ"とウェアラブルカメラ搭載 日常サイクリングで判った曖昧な道路交通安全

齊藤隆弘¹、堀野定雄²、松田 洋³、後藤航太⁴、金澤優太⁵、浮穴浩二⁶

Annual Report on Activity of "Drive Recorder Techno-circle" 2017 -No Place for Bicycle !: Ambiguous Road Traffic Safety Clarified by Naturalistic Cycling Being Mounted "Rinreco" and Wearable Camera-

Takahiro SAITO¹, Sadao HORINO², Hiroshi MATSUDA³, Kouta GOTOH⁴, Yuta KANAZAWA⁵ and Koji UKENA⁶

1. 日本は交通弱者犠牲が多い特異な国

OECD/ITF 発行の交通事故データ国際比較/道路交通安全報告書 (IRTAD)2015 の交通事故死亡統計によると、日本はメンバー32 国中 特異な存在で(図1)¹⁾、2015 年走行距離・台当り死亡者数は 6.9 人/億台 km と欧米並みで1990-2015 の 25 年間減少率も 70%と良いの ですが、高齢者死亡比率は全死亡事故の 54%と高く、歩行者死亡比 率 36%、自転車死亡比率 16%も高く、逆に乗車中死亡比率は 32%と 低いのです。

交通弱者事故死亡比率の日・欧米間格差は道路インフラ環境条件 の差が背景ではないかと経験知で推察します。これを裏付ける証拠 が都内タクシードライブレコーダーデータ分析で得られ、迷惑自転 車を生み出す要因は環境側であるとの示唆を得ました。2社200台 搭載ドライブレコーダーが3ヶ月間(2006-5/7)、0.4G以上の急加減 速・急ハンドル操作トリガーで記録した28,000件のイベントから抽 出した自転車関与111件(事故5、ニアミス106件)の誘発要因を 分析し95%は自転車側起因と判明(図2)^{2),3)}、交通事故総合分析 センター(ITARDA)長年の事故統計(自転車対自動車の1次当事 者対2次当事者関係)を逆転させる重い結果でした。

2. テクノサークル活動6年間の日常サイクリング

自動車視点と同時に自転車視点で平等に分析する人間工学実践の 場がテクノサークルでした。大学の補助で運営する仕組みのサーク ル活動開始以来の6年を振り返り成果を整理し、横断的意義を引出 しました。

本テクノサークルはドライブレコーダーをサークル員が自動車と 自転車に装着し、その応用と改良、道路の現状課題を若者の目で考 えることを第一目的に設置されました。第二目的はサークル員の安 心安全快適な自動車/自転車運転の向上です。工、法、経、人間科学 4学部から学生9名が集まり顧問に学内外から権威者9名を迎えて 開始、今日に至っています。メンバー討論で「交通共生」を共通テー マと決定しました。



図 1 国別・交通モード別死者比 OECD/ITF 発行 IRTAD RSAR2015 より



図2 自転車対タクシーの事故・ニアミス誘発要因



図3 リンレコ(左)とウェアラブルカメラ(右)

¹ 教授 電気電子通信工学科 Prof. Dep't. Electrical, Electronics Inform. Eng.、²客員研究員 工学研究所 Guest Res'er, Res. Inst. for Eng.、³東京都市大院工 電気電子工学専攻修 1 M1, Electrical & Electronic Eng., Graduate School Eng., Tokyo City Univ.、⁴経済 3 年 Faculty of Economics, 3rd grade、⁵神大生協 Kanagawa Univ. Co-operation、⁶UK コンサルタント代表 CEO, UK Consultant

偶然、運転免許を持たない複数学生、神大サイクリングクラブ (KUCC)部員が複数名いたこと、顧問で筆者の浮穴が米・ラスベガス 国際家電ショー2013 で偶然発見・調達した軽敏な BVR-01 自転車専 用ドライブレコーダー(単4電池2個、GPSと映像音声同時記録) を「リンレコ」(ちゃ<u>りん</u>こ+<u>レコ</u>ーダー)と命名したことが重な り、自転車に装着し通学路をフィールドに日常サイクリングのデー タを採り始めました。(図3)

この方法は実験走行と異なり日常行動として自然なサイクリング を対象とするのでオランダ、デンマークやスウェーデンなどでは" Naturalistic Cycling Study"と確立した研究領域です。尚、日常的に 車を運転する学生は浮穴が回路設計、韓国で製造、JAF-Mate が販売 する人気のある軽敏なドライブレコーダー「ドラドラ」を愛車に装 着し運転・交通状況を記録し分析しました。

3.6年間のテクノフェスタ・ポスター発表

毎年秋に工学部、大学院工学研究科及び工学研究所が共催する学 内外公開の「神大テクノフェスタ」では、単位取得目的の卒論、修 論に加えて、単位取得とは無縁のテクノサークルもポスター発表を します(図4)。「映像記録型ドライブレコーダーによる安心安全快 適自動車運転サークル」(通称:ドラレコサークル)が発表したポス ターを時系列的にまとめて意味あるキーワード*を抽出しました。 1) *ドライブレコーダー装着自転車:歩行者/自動車間のグレイ ゾーン、「自転車ドラレコ走行レポート」、 栄 一真(工3)、大

畠 薫(経4)、工学研究所長賞受賞、2012-12-14。

2)*自動車と自転車、路上で競合:通行区分で改善、「ドライブレ コーダーが記録した自動車・自転車の日常運転から見た道路環境に ついて」、栄 一真(エ4)、加藤佑基(エ4)、大畠 薫(経、神大 OB)、2013-12-6。(図5)

3) *ドラレコで見える危険なエゴ運転、環境整備と思いやり運転で 事故減少、「ドラドラ観察から判った交通安全実態一無視できない 危険運転一」、酒井聖紘(工3)、萩 稜太(工3)、2014-10-24。

4) *行政急務:道路環境改善で公道を走る自転車権利を担保、「リンレコが記録した日常交通における自転車行動と道路環境」、高橋綱喜(法3)、松田 洋(工3)、後藤航太(経1)、2015-10-23。

5) *低い行政の本気度: 環2 危険・国1 安全、側溝蓋半数危険・半 数安全、スポーツ車危険・ママチャリ安全、「不意に迫る道路わき の危険一自転車通学路でウェアラブルカメラが記録した側溝排水蓋 デザインの潜在危険一」、松田 洋(工4)、後藤航太(経2)、高橋 綱喜(法4)、2016-11-11。

6) *道路管理と交通管理で自転車居場所がない、「自転車の居場所 がないーリンレコとウェアラブルカメラ記録データから見た自転車 視点の道路交通一」、後藤航太(経3)、新保春人(工4)、松田 洋(院・ 工M1、都市大)、工学研究所長賞受賞、2017-11-10。(図6)

6年間、本サークルが真剣に取組んで来た Naturalistic Cycling Study で得た横断的成果は、自転車の居場所がない、行政意識改革で道路 環境改善急務と言う衝撃的な内容です。次に成果のハイライトを紹 介します。

4. 自転車の居場所がない

4-1. 危険な路面:小さい窪みと側溝蓋



図4 テクノフェスタポスター発表審査(2016)



図 5 テクノフェスタ発表ポスター 工研所長賞受賞(2012)



図6 テクノフェスタ発表ポスター 工研所長賞再受賞(2017)



図7 リンレコで判る道路面 3cm の窪み(横浜市鶴見区)

「道路が狭く歩道側に寄せて走行中リンレコがずれる衝撃でハン ドルを取られバランスを崩し車道側に飛び出る反力に耐えました。 調べたら自転車から見えない深さ 3cm の窪みを発見しました(図 7)。後ろから迫って来る自動車を避けて道路左端に寄り過ぎ回転 中の左ペダルが歩道縁石側面にぶつかりバランスを崩しました。怖 かったです。」当の学生は「軽車両自転車が車道左端を走る規則は 知っている。自転車が歩道を走るのは道路が良くないからであり、 車道は怖いという経験則が出来ている。専用レーンが少なく設置し ても中々浸透しない道路環境が迷惑自転車を生み出している。自転 車は自動車と歩行者に挟まれたグレイゾーン状態でどっちつかず の現状がサイクリストの判断ミスを誘発している。」と結論しまし た。自転車は交通管理と道路管理のはざまに挟まり、安全は現場任 せで自転車の居場所がないのです。

スポーツ車が側溝蓋に落ち込む経験から蓋を実地に調べました。 6 種類あり、A、B、C は旧型でスリット幅は 23-28mm に分布、ス ポーツ車の 23mm 幅タイヤが嵌る危険が明らかになりました(図 8)。D、E、F 型は新型でスリットはなく安全です(図9)。新型 に全数交換するには道路管理者の認識刷新が最優先です。

4-2. 植栽が道路左端走行を妨害

幹線道では中央分離帯や歩道の車道側に植栽が施されています。 管理が緩いと枝が伸び過ぎて危険で自主基準で危険度を3 ランク A、B、C に分類、その出現頻度を距離と時間間隔で分析しました (図 10、表1、表 2)。ランクCの距離と時間の出現間隔が短い、つ まり常態的に自転車の安全走行を妨害しています。植栽危険の軽減 には計画的な剪定が最も有効です。

4-3. 道路構造・管理の不備

(1) 不合理な Y 字路交叉点右分岐: 合法的に Y 字路交叉点を右分岐 するには右側に車線変更し右手で後続車に合図、流れに乗るよう加 速します。併走車との側面接触や追突危険を避けるため、後続車確 認を繰り返すのでウェアラブルカメラ首振りは 12 回と多いです。

シティ車(ママチャリ)ではこのような右分岐は無理で交叉点手 前から歩道走行し、横断歩道は歩行者扱いで降りて渡ります。車線 左端走行を続けると不本意な左側に誘導左折させられる不都合な 結末をスポーツ車利用者は知っており勇気ある行動を執るようで す(図 11)。

警察で成果発表し討論した際、Y字路右分岐の車線変更動画を見て「率直に危険と感じた」「回り道をしてでも安全優先してほしい」



図8 排水溝蓋スリット(28mm)にスポーツ車タイヤ(23mm)が嵌る



図9 排水溝デザイン A,B,C: 危険、D,E,F: 安全(横浜市)



図10 植栽危険度ランク(環状2、鎌倉街道、国道1 枝の伸長度:A 白線越え、B 白線上、C 路肩)

危険度 道路	全体	Α	В	С	
①環 2	158 m	2500 m	298 m	391 m	
2 I	229	4800	800	343	
③鎌倉	366	3200	853	492	

表 2 植栽危険度別・道路別・出現間隔時間 (sec) …時間算出: 区間平均速度 20km/h 前提

危険度 全体 道路		Α	В	С	
①環	2 28sec	450 sec	54sec	70sec	
② 国 :	L 41	864	144	62	
③鎌1	6 6	576	154	89	



図 11 Y字路交叉点右分岐·国道1号保土ヶ谷橋 A:スポーツ車、右へ車線変更し流れに乗って右分岐 B:シティ車、手前から歩道走行、歩行者横断、右折、再度合流

「道交法には例外規定があり柔軟に歩道走行を考えてほしい」と助 言されました⁴⁾。合法行動で矛盾顕在化、中途半端で曖昧な出口の ない現場苦悩が判り、暗然としてしまいます。

(2) 左折専用レーン付交叉点の直進: 交叉点の車道左端を直進する と後ろから追越して無理に左折する車や横断歩道を渡る歩行者待 ちで一時停止中の左折車が進路妨害するなど構造的危険場面を記 録しました(図12)。

5. まとめ ハード・ソフト構造改善で安全性向上

道路交通法第17条第1項に「自転車は車道の左端を走る」と規 定されていますが、現実の道路環境で法に従うと多種多様な危険に 遭遇、規制を遵守できなく壁に突き当たります。交通弱者視点の現 場に密着した系統的安全マニュアルはなく、安全は自己責任制で道 路利用者に任されています。交叉点の危険は自転車利用を無視した 車優先の道路設計の仕組みに起因、道路管理と交通管理の狭間で自 転車の居場所がないことが明らかになりました。

これで日本の交通弱者死者比率が国際的に異常に高い背景が科 学的に判明しました。

改善には道路管理と交通管理の根本を見直し有機的連携が必要 で、オランダやイギリスなど欧州の良い先例を参考に、曖昧な自転 車走行ゾーン運用改善を含めて、自転車専用信号や専用道敷設交叉 点などで構造的危険を解消します(図13)。

交通共生実現には車優先発想を見直し、道路利用者の声を平等に 聴き、道路管理者と交通管理者が課題と改善展望を共有する仕組み 造りが喫緊課題です。

6. 参考文献

- 経済協力開発機構/国際交通フォーラム交通事故データ国際比較 /道路交通安全報告書 2015 OECD/ITF Organisation for Economic Co-operation and Development/International Transport Forum, IRTAD: International Road Traffic and Accident Database/Road Safety Annual Report 2015
- 2). 堀野定雄、浮穴浩二、「自転車専用ドライブレコーダー記録デー タ分析から判った自転車走行の安全性」人類働態学会大会講演 集、2016-6
- 堀野定雄、森 みどり、久保 登、小沢 聡、依光 健、荒川 義之、嶋田淳也、「映像記録型ドライブレーダーを用いたタク



図 12 構造危険: 左折専用レーン付交叉点(国1浦島丘) 直進自転車を横断者待ち一時停車車(〇)が進路妨害



☆専用信号①自転車用②自動車用

☆自転車専用レーン敷設(斜線部) 先例: イギリス、オランダ

シー事故・ニアミス解析と予防安全、人間工学大会講演集、2009

4). 松浦春樹、堀野定雄、松田 洋、後藤航太、酒井聖紘、高橋綱 喜、金澤優太、浮穴浩二、ドラレコ・テクノサークル活動報告 ウェアラブルカメラが記録した日常交通における自転車行動と 道路環境、神奈川大学工学研究所所報第 39 号、pp164-166. (2016-12-22)

テクノサークル「けんちくをつくる会」2017年度活動報告

吉岡 寛之* 佐塚 将太**

Reports of Annual works of the Techno Circle "Tuku-Ken"

Hiroyuki YOSHIOKA*

Shota SAZUKA**

1. 活動の背景と目的

建築サークル「けんちくをつくる会」(通称つくけん)では、建築 デザイン教育において体験しにくい実際に身体を使って原寸大の建 築について考える機会を設けている。建築をつくり、空間を理解す る一連の流れを体験することは、素材やスケールに対するリアルな 感覚の獲得を促すと同時に、様々な生活の場面に対する観察力を育 成することが期待できる。設計から実際に製作するまでの様々な段 階の共同作業で各人の行動力や調整力の育成、学年の枠を超えた交 流の場の形成が活動の目的である。

2. これまでのつくけんの活動

2011年設立で7期目を迎え、毎年3年生が主体となり、春に活動内 容を検討する。どこに何をつくるかも学生自身が検討し、実現のた めの様々な交渉も学生が行なう。限られた予算で「建築」を実際に つくり、自らが決めたテーマで空間を創造し材料の特徴を考察し、 実際に加工、組立までに至る方法を考えることを目標とする。近年 は六角橋商店街の商店会と連携し、商店街イベントにあわせてイベ ント会場を設営している。どのような空間を創造するかは学生の自 由であるが、初期の計画段階で材料を一つ選ぶことが挙げられる。 限られた予算と、自らの加工や組立の技術に向き合いながら、材料 の特徴を考える。これらを踏まえ、建築設計に取り組み、実際に立 ち上げるプロセスを体験することになる。

3. 2017年度の活動「仮設式バッファー空間キット」

7年目となった 2017 年度は、自分たちの興味関心のある建築空間 に着目し、それを再解釈した上で新しい建築空間としてどのように 表現するかを課題とした。この新しい試みは作品それ自体の価値を 見出すことを目指すと同時に、それが実際に置かれることによって 可視化され、その場所や環境との関係性について考えることを目的 とした。そこで日本の住宅にある緑側という空間に着目して、軒下 の縁側空間は、心地良い日向となる快適な場所や庭のような外の風 景を眺める場所として、自ずと人が居座りたくなる空間なのではな いかと考える。この縁側空間のような外と中の間の緩衝空間に着目 し、緩衝空間の要素を抽出したフォリーを制作した。単管によって 構成される単純な四角い箱型のフレームに光や風が抜ける薄い布を

* 特別助教 建築学科
Assistant Professor, Dept. of Architecture
** 学部生4年生
Graduate, Dept. of Architecture

かぶせる。仮設であることを基本に繰り返し組み立てることを可能 とし、様々な場所に居場所を作る。

このフォリーは「仮設式バッファー空間キット」と呼び、身体に 寄り添うような空間の場を提供する。そこは縁側のような、外との 間に1つレイヤーを挟んだような居心地の良い、落ち着いた空間と なる。木が自由に立ち並ぶ森の中、砂浜が広がる海辺、在り来りな 公園、閑静な住宅街など普段は居場所とは言えなかったところを切 り取ることで、砂浜に流れ着いた流木や、何気ない段差のある場所 などがベンチに変わることもあるだろう。今まで無かったところに 居場所ができることでいつもとは違ったものが見えてくることを期 待する。(写真 1234)



fig.1 山の中





fig.3 住宅街

fig.4 森の中

4. つくけんの活動の成果

授業だけでは味わえない建築の魅力や面白さを多くの学生に実 感してもらうことを重要としている。提案する建築のプロセスのす べてに学生が主体となり活動が行われる。今年度は昨年度と同様の メンバーを中心に活動が行われ、これまでとは違う新たな試みが行 われ、建築への興味と関心がより深まっただろう。学生自身が試行 錯誤し、建築空間をつくり上げ、様々な場所に置いて建築の意味や 役割について考察を繰り返す経験は、これから建築を学ぶ上で貴重 な土台となる。このような学生達の姿から、実際に「建築」をつく り上げる試みが座学では獲られない成果を見いだすことができる。 社会に出て実際の建築に向き合ったときに、本活動の経験がわずか でも学生の糧につながれば幸いである。

テクノサークル KURAFT17-18 シーズン活動報告

中村 弘毅* 山口 光弘**

Annual Activity Report of a Technocircle KURAFT

Hiroki NAKAMURA*

Mitsuhiro YAMAGUCHI**

1. はじめに

本学テクノサークル KURAFT は 2013 年 10 月に設立され,毎年 9 月に開催される全日本学生フォーミュラ大会 EV (電気自動車) ク ラスへの出場,大会での上位入賞を主な目標として活動している.

学生フォーミュラ大会は、学生自らがチームを組み1年間で1人 乗り小型レーシングカーを開発・製作することによって、学生がも のづくりの本質やそのプロセスを学び、ものづくりの厳しさ・おも しろさ・喜びを実感することを目的に掲げている.2003年から米国 「Formula SAE®」のルールに準拠し、全日本学生フォーミュラ大会 が開催されており(1)、走行性能だけでなく、車両のマーケティング、 企画・設計・製作、コスト等のものづくりにおける総合力を競って いる.また、2013年から EV クラスが設立され、駆動ユニット以外 はほぼ内燃機関エンジン車両と同じルールで EV 車両の性能を競っ ている.

また、地域貢献活動の一環として神奈川県下の中小企業と連携して展示会にて車両展示を行っている.これは神奈川大学 KURAFT の広報活動であるとともに、支援企業の技術を社会に広めることを目的としている.

本報では、学生フォーミュラの年間活動スケジュールに合わせて 2017年10月から2018年9月までの活動を中心に報告する.

2. KURAFT の 2017-2018 シーズン活動

2.1 車両設計·製作

2018 年大会向けの車両の主要な仕様を表1にまとめる. 今シーズンは「着 実なステップアップ」をチームコンセプトとして,重要開発項目を定め, 主要な設計箇所に注力し,その他の部品については前シーズン車両からの 小変更に留めた.1 年間での大幅な性能向上は期待できないが,限られた リソースの中で着実に車両アップデートを行うことを目指した.

主な変更点として、昨年まで左右に分割して設置していたアキュムレー タコンテナをコックピット後方に1つにまとめることで部品の重複を防ぎ アキュムレータコンテナ単体で20kgの軽量化を達成した(図1参照).また、 フレームに取り付けるためのアキュムレータコンテナマウントやプロテク ションメンバーが半減したことでフレーム単体で30kg 軽量化し、その他

*特別助教 機械工学科

Assistant Professor, Dept. of Mechanical Engineering **教務技術職員 機械工学科

Teaching and Technical Assistant, Dept. of Mechanical Engineering

ハーネス類と合わせて車両全体で 60kg の軽量化を実現, ヨー慣性モーメントを 26%低減した.

11	·	TM .	UULI	4-16017.1%

KE_05EV 亩西什样

全長×全幅×全高	$2800mm\!\times\!1440mm\!\times\!1278mm$		
ホイールベース	1650mm		
トレッド	1250mm		
乾燥車重	293kg		
フレーム構造	鋼管パイプスペースフレーム		
材料・結合方法	STKM13A・TIG 溶接		
モータ・最高出力	Motonagy 製ブラシレスモータ 38kW		
バッテリシステム	96V 20Ah		
	AESC 製リチウムイオン電池		
	12 モジュール(2S2P, 計48 セル)		
ステアリング	ラックアンドピニオン		
サスペンション	前後ダブルウィッシュボーン		
ブレーキ	4輪・油圧式アウトボードディスク		



図1 アキュムレータコンテナ配置

3. 第16回全日本学生フォーミュラ大会

3.1 大会概要

今年度大会のエントリーは計109校(内書類審査通過92校), EV が15校であった.開催期間は2018年9月4日~8日の5日間の予定で あったが,台風接近のため初日は受付のみ,2日目から公式車検,競 技が実施された.大会は車検と以下の静的審査3種目,動的審査4種 目の総合得点で競われる(表2参照).

種目		概要	配点
	車検	安全・設計要件の適合性の確認	-
静	コスト	製作コストの妥当性を事前提出書	100
的		類と当日の口頭諮問により審査	
審	プレゼンテー	製造・販売を含むビジネスプランを	75
査	ション	提示するという仮想のシチュエー	
		ションで発表	
	デザイン	設計の適切さ・加工性・整備性など	150
	(設計)	を事前書類と口頭諮問により審査	
動	加速	0-75m の直線での加速性能を競う	75
的	スキッドパッド	左右の定常円旋回で旋回性能を競	50
審		õ	
査	オートクロス	直線・ターン・スラローム等を含む	150
		コースを1周走行し,タイムを競う	
	耐久走行	オートクロスと同様の周回コース	300
		を 22 周走行.タイムと耐久性能を	
		競う	
	燃費/電費	エンデュランス走行時の燃料/電	100
		力消費量を競う	

表2 競技種目概要

3.2 静的審查結果

デザイン審査は事前に提出したデザインレポートと、それに対す る質疑応答を中心に審査される.設計コンセプトに対する十分な検 証(実走行による解析)が行えていないという評価で全チーム中74 位であった.コスト審査は事前に提出したコストレポートと当日の 質疑で審査される.一般的に EV 車両はコストダウンが困難であり, 全チーム中65 位であった.販売戦略を競うプレゼンテーション審査 では、全チーム中72 位.初めて1年生が担当したこともあり、十分 な準備ができなかった.

3.3 動的審查結果

加速性能を競うアクセラレーションは、参加校中64位、定常円の旋回性 能を競うスキッドパッドは58位であった.アクセルペダルのトラブルが解 消されず不安定な走行となり、設計通りの性能を発揮できなかった.

4. まとめおよび今後の展望

昨年に引き続き公式車検に合格し、動的競技に参加することがで きたものの、車両トラブルによりオートクロス、エンデュランスで は記録を残すことができなかった.また,静的審査でもすべての審 査で順位を落とす結果となった(総合 76 位/92 校, EV クラス 9 位/15 校).車両トラブルの原因は整備の際のチェック不足で,ケ アレスミスと言えるものであった.今後は早期車両完成を目指し, 車両運用面での成熟を図る.

また,車両評価の過程で,温度上昇の解析や,機械振動の解析な ども行っているため,本活動での経験が,研究活動にも役立てられ ることが期待できる.



図2 プレゼンテーション審査の様子



図3 大会走行の様子

6. 謝辞

KURAFT は工学部特別予算と、以下の企業をはじめ計 50 社の支援を受けて活動を行っている.関係各位へ感謝の意を表する.

日本モレックス,日立金属,川崎市産業振興財団,西川精機製作 所,オズコーポレーション,オートモーティブエナジーサプライ, サイマコーポレーション,日圧総業,堤工業,アナログデバイセズ, ヒラミヤ,富士重工業,大井松田カートランド,ミスミ,VSN,松 山工業,松井工業,パナソニック,トーテックアメニティ,サトー パーツ,オキナヤ,オサダ,矢崎総業,プルトンチェン,シゲマツ, TGMY, F.C.C.,富士電機,日信工業,他21社(順不同)

7. 参考文献

 (1) 全日本学生フォーミュラ大会ホームページ http://www.jsae.or.jp/formula/jp/ (2018年9月8日アクセス)
 (2) 2017-18 Formula SAE® Rules https://www.fsaeonline.com/content/2017-18%20FSAE%20Rules%209.2.

高野 敦*

Annual Report of "Kanagawa University Space Rocket Club" in 2017

Atsushi TAKANO*

1. 緒言

「神奈川大学宇宙ロケット部」は2014年9月に設立されたテクノ サークルであり,今年で5年目となる.このサークルは,「ハイブリッ ドロケット」を用いて将来超小型ロケットを打ち上げることを目的 とし,製作・開発に取り組んでいる.またその活動を通じて講義で 得た知識を実際にものづくりに適用することでその理解を深めてい る.

ハイブリッドロケットとは、燃料にプラスチックなどの樹脂を、 酸化剤に酸素や亜酸化窒素などの液体を使用するロケットである. 固体燃料ロケットのように火薬や、液体燃料ロケットのように空気 中でも爆発する水素やアルコールなどの液体燃料を使用しないため、 これらの運用・管理コストが削減できることから将来安価なロケッ トの実現につながると期待されている.その一方で、空気中では爆 発的に反応しない樹脂を燃料とするため、酸化剤を使用しても燃料 後退速度(単位時間当たりの燃料の後退量)が小さく、大推力が得 にくいといった問題がある.そのため、この課題を解決するため近 年、大学や研究機関などで研究が活発となっている^[1].これを受け て、当サークルでは、機械工学科航空宇宙構造研究室(以下、「研 究室」と略記する)と共同でハイブリッドロケットエンジンおよび それら関連機器の開発、打上げに取り組んできた.本報告ではこの 1年間での活動実績を報告する.

2. テレメトリデータの解析^[2]

2017年9月3,4日に宇宙ロケット部は研究室と合同で伊豆大島 にてハイブリッドロケットの打ち上げ試験を行った.宇宙ロケット 部は既製品のエンジンを搭載した同一設計の機体を2機,研究室は 独自開発した推力1.8kN 旧エンジンを搭載した同一設計の機体を2 機準備した.同一設計の機体を2機準備した理由は,打ち上げ実験 が失敗した際,現地で原因究明ができ,対策が実施できた場合再実 験することを想定したものである.これら合計4機の機体には宇宙 ロケット部が開発したテレメトリ装置が搭載されていた.このテレ メトリ装置は1機体当たり大気圧を送信するものが2台,GPS 座標 を送信するものが1台,合計3台搭載されていた.大気圧が2台搭 載されている理由は,機体が回収できなくても大気圧を確実にダウ ンリンクすることで気圧から到達高度を計算できるようにするため

*准教授 機械工学科 Associate Professor, Dept. of Mechanical Engineering である.打ち上げは研究室1機,宇宙ロケット部1機を打ち上げ, いずれもリアルタイムでの大気圧および高度データの取得に成功した.GPSデータについては宇宙ロケット部機体のものは機体を回収 するまで取得できたが,研究室機体は打ち上げ直後に途絶えてし まった.表1に宇宙ロケット部機体が取得した大気圧データの概要 を,図1に取得した大気圧データ2台分を示す.

表1 宇宙ロケット部大気圧データ

項目	記事
サンプリングレート	0.91Hz
最高高度 (速報値)	1085m • 1064m
最高高度到達時刻	10 秒
フライト時間	43 秒



図1の気圧から計算された到達高度は表1に示すようにそれぞれ た1085m および1064m であり、サンプリングレートの粗さを考え れば相互の差異は小さく、その意味で信頼できるデータといえる.5 秒近傍で急激なピークがあるのはこの時点で機体が音速を超え衝撃 波が発生し、その衝撃は背後の圧力上昇を計測したためと考えられ る.この衝撃波のピークは別途搭載した加速度計を積分し推定した 最高速度371m/sとランキン・ユゴニオの式から1142 [hPa]と計算さ れ、図1のピークとよく一致することがわかる^[2].この結果からも 搭載した大気圧テレメトリ装置の計測結果は妥当であると考えられ る.同じ設計の大気圧センサを搭載した研究室機体の大気圧データ から到達高度に変換したものを図2に示す.このデータから研究室 機体は最高高度 4779m と計算された.



一方,宇宙ロケット部機体に搭載した GPS 装置のデータを図3に 示す.宇宙ロケット部機体は打ち上げから着水,回収及びその後の 漂流中までにおいて GPS データを取得することができた.また,こ の情報によって機体の迅速な回収に成功した.昨年度は2機中1機 を回収できず失ったことから,大きな成果と言える.



図3 宇宙ロケット部機体 GPS データ

3. エンジンの大型化

2017年8月での打ち上げには研究室機体は独自開発エンジンを, ロケット部機体は購入品のエンジンを使用した.これは独自開発し たエンジンの新規性による失敗リスクを考慮し、確実に記録を残す ために取った方策である.もともと、2017年打ち上げに用いたエン ジン (2017 エンジンと呼ぶ) は, 2015 年から神奈川大学として研究 室, 宇宙ロケット部が交互に開発を引き継ぎながら大型化したもの である. その開発手法を引き継ぎ, 比較的時間が確保できる春休み からゴールデンウィークにかけての期間を利用して 2017 年に打ち 上げたエンジンの改良を宇宙ロケット部が取り組んだ.この期間で 取り組んだエンジン燃焼試験の一覧を表2に示す.2017エンジンは, 昨年の試験結果から,酸化剤を満充填(公称 7.5kg)すると酸化剤 が消費される前に燃料が燃え尽き、モーターケースが損傷して穴が 開く危険があったためフライトでは安全側を取り 6kg の充填で打ち 上げを行った.しかしこれでは酸化剤タンクの重量が酸化剤重量に 比べて過剰であること、モーター内部に燃料燃え残りがあることを 意味する,これらはいずれも燃焼に寄与しない質量であるため極力 削減することが望ましい. そこで、燃料の燃え残りの重量を精査し たところ酸化剤満充填でも耐える可能性があると判断し,3月7日 に試験を行った.

表 2 燃焼試験一覧

試験内容	日付	モーターサ イズ	酸化剤 重量 (実測値) [kg]	最大 推力 [N]	トータルイ ンパルス [Ns]	比推力 (実測値) [s]	記事
<u>星</u> 形ストレート、 満充填	3月7日	2017	7.430	1380	-	-	ノズル付近で穴 が開いた
星型逆旋回λ=1 GFRP延長、満充填	5月5日	2017	7.393	1747	7994	98	モータケース中 央部側面に穴が 開いた
星型旋回λ=1星 モーターケースφ120mm	6月24日	2017改	7.515	3277	13043	152	正常燃焼

その結果、予想に反してノズルとモーターケースの締結部付近で 穴が開き,火炎が噴出した.分解調査を行ったところ,アブレータ として使用していた GFRP 円筒の長さが短く、ノズル端部との間に 隙間があったためと判断された. そこで GFRP を延長し、ノズル外 周にはめあい溝を設けて火炎の漏出を防ぐ対策を行い、5月5日に 再度燃焼試験を行った. その結果、ノズル付近からの火炎の噴出は なくなったが燃焼中盤でモーターケース中央部付近から穴が開き, 火炎が噴出した.分解調査を行ったところ,燃料の燃え残りは上流 部と下流部で多く、中央部ではモーターケース壁面に達していた. つまり長手方向に均一に燃えていなかった.本来であれば長手方向 に均一に燃焼させることが理想だが短期間では困難と考え、推力・ トータルインパルスが 2017 エンジンに対して 2 倍を目標とする 2018 年度エンジンの開発を見据えてモーターケース設計を見直す こととした. エンジン内径を 75mm から 110mm へ拡大した 2017 改 エンジンを作成し,酸化剤重量を 7.5kg のままで燃焼させ,燃料燃 え残り量を計測することで酸化剤タンクサイズを決定する方針に転 換した.

このエンジンと 2017 タンクを用いた燃焼試験を 6 月 24 日に行った. その結果,最大推力およびトータルインパルス(推力の時間積分値)はそれぞれ過去最大の 3277N 及び 13043Ns を記録した.

この結果を受けてエンジン開発は研究室に引き継ぎ、宇宙ロケッ ト部は今年度打ち上げ機体の設計・製作に着手した.昨年は研究室 とロケット部でそれぞれ別の機体を設計・製作したが、今年度はエ ンジンが共通となることから共通設計の機体を研究室と宇宙ロケッ ト部それぞれで製作することとなった.現在機体は完成し、10月6 日-8日に秋田県能代市で打ち上げの予定である.

4. 結言

宇宙ロケット部は2018年9月で設立4年が過ぎることとなる.4 年間といった短い期間で大きな成果を挙げることができたと考える. 一方で、メンバーが工学部学生で締められるなど、依然として活動 の広がりが狭い.今後は他学部との連携や、地域へ向けてのアウト リーチ活動に力を入れてゆきたい.

参考文献

[1] 嶋田徹 他, "平成 27 年度ハイブリッドロケット研究 WG 成果報告書", JAXA (2015-2), p.1.

[2] 島崎拓己,石津陽基,武田直毅,武井知葉,高野敦,テレメト リ装置の開発と伊豆大島打ち上げ結果,8th UNISEC Space Takumi Conference, UNISEC 2018-003.

神奈川大学ロボットプロジェクト活動報告

江上 正* 中村 嘉孝** 野中 祐太郎***

Activity Reports of Kanagawa University Robot Project

Tadashi EGAMI* Yoshital

Yoshitaka NAKAMURA** Yutaro NONAKA***

1. 緒言

神奈川大学ロボットプロジェクトは, 2008 年度から神奈川大学 特別予算,機械工学科,テクノサークルなどの支援を順次頂いて活 動している.2017 年度で創立 10 周年となり,機械工学科だけでな く,電気電子情報工学科や情報システム創成学科,総合工学プログ ラムなどから 20 名ほどの学生が所属している.各学生の興味によ って,ロボット相撲,二足歩行ロボット,ロボット剣道,室内飛行 ロボットの4チームに分かれて活動し,複数のチームに所属する学 生もいる.これらのチームはそれぞれ設計やプログラムなどの担当 に分かれ,各種大会への出場を目標として活動している.今年度は 初めて全てのチームが大会への参加を実現した.これら以外にも, オープンキャンパス,ホームカミングデー,神大フェスタなどの学 内イベントの実演展示でも多くの来場者の注目を集めている.

本報告ではこれらの 2017 年度の活動を報告する.

2. ロボット相撲活動報告

全日本ロボット相撲大会は,富士ソフト株式会社が主催している 大会である.第1回大会は1989年に開かれ,2017年度で29回目を 迎える.ルールは,直径1,540mmの円状の鋼板上において,縦200mm ×横200mm×高さ無制限,重量3kg以内の力士ロボット同士を戦わ せる.実際の相撲と同様に土俵外へ出てしまったら1本となり2本 先取で勝利となる.部門としては,手動で操作するラジコン型,セ ンサを搭載し,あらかじめ記述したプログラム通りに動作する自律 型の2種類がある.

ロボット相撲チームは、全日本ロボット相撲大会へ出場し、全国 大会へと進出することを目標としている.前年度の大会以降、全機 体のパーツを統一させる方針としており、これにより設計、加工に おいての負担が軽減され、他の機体のメンテナンスの補助も行いや すくなっている.今年度は主にギア比を変更してより操作しやすい トルクを重視した仕様に変更し、相手機体を攻撃するためのブレー ド部の変更による剛性強化や、ネオジム磁石の高さ調整による土俵

*教授 機械工学科 ロボットプロジェクト顧問 Professor, Dept. of Mechanical Engineering **ロボットプロジェクト部長 President, Robot Project ***ロボットプロジェクト副部長 Vice President, Robot Project への密着度の増加などの改良を行った.

昨年度から、従来の手動操作に加えて一部を自動操作する,通称 「ラ自立」という機体の制御方法に挑戦している.この方法では, 通常時には送信機のスティックによって機体を操作するが,土俵の 縁にある白線を検出した際に自動で土俵の中心に戻したり,送信機 からの信号に応じて,敵検出センサを用いて相手の機体の角を狙う などする.

第 29 回全日本ロボット相撲大会においては、いずれもラジコン の部で東海大会、関東大会に出場した.大会の様子を図1に示す. その結果,関東大会では1台が5回戦まで勝ち進み、ベスト8まで 進出した.6位までが全国大会出場枠だったので、非常に惜しい結 果であった.ただし、その他の機体はすべて1、2回戦敗退であり、 試合時の断線や操作ミスによる自滅などが目立ったので、より一層 の注意と練習が必要となる.



図1 第29回全日本ロボット相撲大会の様子

3. ロボット剣道活動報告

ROBO・剣(ロボット剣道)とは、二足歩行ロボット協会が主催する アーム型ロボットによる剣道大会である.実際の剣道と同様に面, 胴,小手,突きをそれぞれ技名を発しながら繰り出す.攻撃頻度や 逃げの姿勢による反則なども定められており制限時間は3分、3本 勝負の2本先取で勝敗が決まり、剣道の有段者が技の判定を行う. カメラ映像のみを見ながら操縦及び半自律で戦う遠隔操縦部門、PC などにより自律で戦う自律部門があるが、遠隔操縦部門は操縦者が 2 大会以下の参加に限るというルールが追加された.これにより現 在は自律部門での出場が増えている.

すべての部門混合での試合をおこない、機体は画像処理ができる

ように機体の面, 胴, 小手それぞれが赤, 青, 黄と色分けされている.

ロボットプロジェクトからは自律部門での出場をしている.以前 はカメラ1つのみの画像処理により,相手の面,胴,小手の位置を 判断して竹刀を打ち込んでいたが,今年度からはカメラを2つ用い ることにより立体的な画像処理を行うことができるようになった.

2018 年 4 月 14 日の神奈川県立青少年センターでの第 7 回 ROBO-剣大会に自律部門で出場したが,結果は 2 回戦敗退であった. 図 2 では第 7 回の 1 回戦の様子を示す.決勝トーナメントでは良い成績 を残すことができなかったが,カメラを 2 つ用いた画像処理の技術 が認められ,制御技術賞を頂いた.



図2 第4回 ROBO-剣大会での試合の様子

4.2足歩行ロボット活動報告

ROBO-ONE は、二足歩行ロボット協会が主催している2足歩行ロボ ットによる格闘競技大会である. ROBO-ONE と ROBO-ONE Light と ROBO-ONE Autoの3つの部門がある.相手を倒すと1ダウンとなり、 先に3ダウン取った方の勝利となる.また、倒された方は10秒以内 に起き上がらなければ負けになってしまう.

今年度は ROBO-ONE Light の出場に加え,今回から新設されたROBO-剣の二足部門への出場を目的として取り組んだ.

機体の考案から始まり,設計,加工,組み立て,モーション作成, プログラミングまでを全て一から自分達の手で行う必要がある.競 技規則やマイコン,バッテリ等の搭載物を踏まえ,Solid Works で機 体を設計した.ROBO-剣では面を搭載する必要があるため,3D プリン タを用いて部品を作成するとことも新たな工程として加わった.

また、従来は heart to heart と呼ばれる付属の専用モーション作 成ソフトを用いて、プログラミングをすることなくロボットのモー ション作成を行っていたが、今年度からの新たな試みとして C 言語 をベースとした Arduino 言語やmbed 専用の言語によるプログラミン グを始めた. インターネットで調べながら試行錯誤を繰り返すこと で、少しずつプログラミングの知識が身についてきた.

2018 年 2 月 24 日に日本科学未来館で行われた第 16 回 ROBO-ONE Light には市販機体で出場した.予選大会の内容は 5m を走り切った タイムを競い,上位 32 位以内であれば決勝に進出できるというもの であったが,結果は残念ながら 41 位で予選敗退となった.予選敗退 の原因としてはジャイロセンサを上手く使いこなせていなかったこ とや,まっすぐに前進歩行せず,途中で曲がる度に旋回をしたことに よるタイムロス等が挙げられる.次回の大会ではこれらの失敗を踏 まえ,高速でまっすぐな前進歩行モーションを作成し,大会に臨むつ もりである.



図3 ROBO-ONE Light での試合の様子

5. 室内飛行ロボット活動報告

全日本学生室内飛行ロボットコンテスト大会は、日本航空宇宙学 会が主催している大会である.飛行ロボットの研究開発促進等を目 的として開催しており,現在,一般部門・自動操縦部門・ユニーク デザイン部門・マルチコプター部門の4部門が実施されている.

この大会は飛行ロボットレースとは異なり,物資運搬,地上の目 標物の上部撮影,Sの字飛行などいくつかの設定された課題達成の 点と達成までの時間,エアポート地点での離着陸を各々点数化し評 価するといった,製作した飛行ロボットの飛行性能評価によるラン キング形式の大会である.

2017 年度はマルチコプター部門で出場した.初出場ながらマルチ コプター部門6位で予選を突破し,決勝進出となった.しかし,決 勝では機構トラブルにより、8位という結果に終わった.次大会で は機構部分を改良していきたいと考えている.



図4 室内飛行ロボットコンテストの様子

5. 結言

今年度で創立10周年であったが、全日本ロボット相撲の関東大 会ベスト8と全日本学生室内飛行ロボットコンテスト大会での初出 場ベスト8など大きな成果があげられた.何よりも初めて全てのチ ームが大会に出場できたことは大きな成果であると考えている. 今後より上位の成績を残せるように努力を続けたい.

また,今年度より学内の宇宙エレベータープロジェクトと協力し て,宇宙エレベーターに搭載して,上空からロボットを降下させる パラフォイルの開発も進めており,今後こちらの方面へも活動の幅 を広げてゆく予定である.

ものづくり・電子工作テクノサークル活動報告

土屋 健伸*

Annual Report of the Science Technocircle "Manufacturing and Electronic Work"

Takenobu TSUCHIAYA*

1. サークルの歩み

本テクノサークル「ものづくり・電子工作テクノサークル」は、 2017年に発足した.本テクノサークルのポリシーは、「電子機器工 作を通じてものづくり体験を楽しく学ぶ」である.そのため、いろ いろな種類の電子機器の製作やテストを実施することを主眼として 活動を行っている.コンペティションや大会などへの出場を目的と しないが、学生の積極的な意思で好きなものを楽しんで実施するこ とを目指している.初年度のメンバーは、申請者である著者と電気 電子情報工学科の土屋健伸研究室所属の4年生4名のみであった. これは、申請受理から開始までに活動場所の確保について調整が必 要であったため、広報期間が短くなったためである.そのために少 人数で年代の偏った構成となり、後に述べるが電子工作も一部特定 のもののみを実施していた.2018年度になってから、1年生5名、3 年生2名、4年生1名、大学院生3名と人数が増え、多岐に渡る電 子工作を実施するに至っている.

2017~2018 年度は、土曜日の 3~5 限を主な活動日としている. 活動場所は 23 号館 611 室「ものづくり実験工作室」および土屋研の 604 室である.ものづくり実験工作室は通常施錠されているため、 日程を決定して決まった時間内で使用している.主に電子工作の半 田つけ作業やロボットのレース場として使用している.また、自由 な時間に使用可能とするため土屋研にて超小型 PC であるラズベ リー・パイのセッティングや LEGO ロボットの組み立て作業を実施 している.2018 年度前期の主な活動は、ラズベリーパイのセット アップと各種作業、ラジコンキットの製作であった.

2. 活動内容

2017 年度から 2018 年度に掛けて実施した内容および電子工作の 成果物について以下に示す.

2. 1 超音波スピーカおよびパワーアンプ

超音波スピーカは、その名の通り超音波を使用した音響用スピー カである.学術的にはパラメトリックスピーカと呼ばれる[1].超音 波スピーカの写真を図1に示す.共振周波数40kHzの圧電素子で構 成された超音波発振子を多数個配置して大きな開口アレイを構成す る. 超音波は当然そのままでは人の耳に聞こえないが,40 kHz の超 音波をキャリアとして用い,キャリア信号を可聴音の信号で振幅変 調をして送信することで人の耳に聞こえる仕組みとなっている.こ の入力信号に対する振幅変調を行う回路がスピーカに接続されてい る制御基板に組み込まれている.



図1 超音波スピーカと制御回路

また、スピーカを直接駆動するには基板の電力が不足するため、 増幅器を作成した.アンプは秋月電子通商の LA4902 使用 10W パ ワーアンプキット(型番: AE-4902)を利用した.アンプの回路図 を図2に示す.超音波スピーカの台数に合わせて2台製作し、2台 とも正常に動作した. 今年度は更に2台製作した.



図 2 LA4902 使用 10W パワーアンプキット回路図[2]

^{*}准教授 電気電子情報工学科

Associate Professor, Dept. of Electrical, Electronics, and Information Engineering

また、このアンプは元々オーディオスピーカ用であるため、40 kHz 周波数帯での使用を考えて設計されていない.そこで、動作確認と して 100 kHz までの利得-周波数特性を測定した.測定結果を図 3 に示す.40 kHz 周波数帯で多少利得が減少しているが、アンプとし て問題なく信号が増幅できていることが確認できた.



図 3 LA4902 使用 10W パワーアンプキットの周波数特性

2. 2 超小型 PC「ラズベリーパイ」

もう一つのものつくりとして超小型 PC「ラズベリーパイ」のセッ トアップを実施し,ラズベリーパイによるロボット制御を計画した. 今回使用したラズベリーパイ 3 Model B の写真を図 4 に示す.



図4 ラズベリーパイ3 Model Bの概観図

ラズベリーパイ3は、イギリスのラズベリーパイ財団によって開 発された超小型コンピュータである.実売価格は5000円弱とコスト パフォーマンスが非常に優れている.ロボット制御もでき、インター ネットとの接続モジュール (IoT) としてもウェブアプリケーション サーバ としても利用できる優秀なデバイスである.

まず, ラズベリーパイ用の OS として Raspbian のインストールを 行った.次に以下の内容を実施して, Raspbian の操作方法の修得に 勤めた.

- 1. Raspbianの基本操作、インクルード済のソフトの使用
- WiFi 接続、リモートログイン、VNC 接続などのネットワーク関連
- サウンド再生、インターネットラジオの再生、音声合成等の マルチメディア関連
- Web カメラや専用カメラモジュールの接続・設定と動画像の インターネット配信
- GPIO ポートを用いた電子回路制御,スマートフォンによる ラズベリーパイの外部制御

現在は、ラズベリーパイによるロボット制御として戦車キットを 購入し、現在、鋭意製作中である.(図5)



図5 ラズベリーパイ3 Model B によるラジコン戦車の概観図

3. オープンキャンパスでの展示

2018 年 8 月 5~7 日の 3 日間に実施されたオープンキャンパスに おいて,製作した超音波スピーカやアンプ,セットアップ済のラズ ベリーパイ等の展示会を「ものづくり実験工作室」にて行った.展 示会の様子を図 6 に示す.学科ツアー客以外でも,フリー参加の高 校生や父兄が足を止めて熱心に見学された.作った装置を見たり, 実際に操作していただいたりして大変好評であった.また,超音波 スピーカの特殊性に大きな関心が得られたようである.



図6 オープンキャンパスにおける展示会の様子

4. 結言

本学科主体で初のテクノサークルとして 2017 年度に設立した「も のづくり・電子工作テクノサークル」は、参加人数はそれほど大人 数ではないが、各自が興味あるものを楽しく実施している.今後も、 サークルに参加した学生が楽しく興味ある電子工作を行い、ものづ くりを介して、電子機械の世界をより深く知ってほしいと願ってい る.

参考文献

[1] 鎌倉 友男, 酒井 新一, パラメトリックスピーカの原理と応用, 電子情報通信学会技術研究報告. EA, 応用音響 105(556), 25-30, (2006).

[2] 秋月電子通商の LA4902 使用 10W パワーアンプキット(型番: AE-4902) マニュアル. (http://akizukidenshi.com/catalog/g/gK-02419/)

8. 随想

8-1 研究者生活を振り返って — 私の研究者心得

8-2 生産管理の基礎構築を目指した10年間

齊藤 隆弘 松浦 春樹

研究者生活を振り返って ― 私の研究者心得

齊藤 隆弘*

Looking Back on My Career in Research: My Know-How to Keep Myself Active in Research

Takahiro SAITO*

1. 私のキャリア

私は,1981年3月に,東京大学大学院工学系研究科電気工学専攻 博士課程を修了し,同年4月に本学工学部電気工学科専任講師に着 任し,以来38年間に亘り,大学教員として研究を行ってきました. 東京大学の大学院生時代を含めると,通算43年間の研究生活を過ご してきました.

私の研究者としての基盤は、東京大学大学院生時代に恩師 宮川 洋 先生のご指導の下で学んだ"現代のディジタル通信の理論的基盤 であるシャノン理論のエッセンス"にあります.工学分野において、 通信工学ほど数理科学が成功を収めた分野は存在しません. そもそ もディジタル通信は, C. E. シャノンの 1948 年の記念碑的論文 (C.E. Shannon, "A Mathematical Theory of Communications", Bell System Technical Journal, 1948)の公刊によって産声を上げたものですが, シャノンはその中で、"ディジタル通信の肝である符号化"の効率と 信頼性に関する限界について理論的に論じ、その限界を達成する符 号化法が存在することを数学的に証明しました.その後、シャノン の存在定理によって保証された符号化法を具体的に構成する工学的 な研究が"通信工学研究のメインストリーム"となりました.符号 化法の構成に関する工学的な研究自体、本質的に数理科学的な研究 で、私の研究者としての基盤は、"複雑な統計的性質を有した現実の 生の'通信の対象となる信号'を取り扱う諸課題を数理的問題とし て表現し、それを解決する経験"を通して形成されてきました.

このようなメンタリティをもった研究者としてバイアスが掛かっ た見解ではありますが,理工学分野の研究者としてのキャリアを閉 じるに当たり,私の研究者心得を,本学での過去の経験を振り返り ながら,私見として書き残しておきます.

2. 私の研究者心得

[恵まれ過ぎた研究環境は研究者の成長の機会を奪う]

私が、本学に着任したての新米の大学教員であった 1980 年代を、 現在と比較すると、本学の研究支援環境は、多くの仕組みが未整備 な状況にありました.長引いた学園紛争からの回復の途上であった にもかかわらず、研究室に配分される学内研究費自体は年間約 300 ~400 万円程度であり、他の私立大学と比較するとかなり恵まれて

*教授 電気電子情報工学科

いました.しかし,一方では,海外学会出張旅費の補助制度や,科 学研究費以外の多様な外部資金の受け入れの諸制度が整備されてお らず,この点では相当に苦労しました.

国際会議で研究発表する際,必ず学外の公的な海外渡航費助成基 金に応募していました.専任講師時代,助教授時代の国際会議への 海外出張は,ほとんど学外からの海外渡航費助成基金からの支援を 受けたものでした.正確な記録は手許に残っていませんが,計 10 件程度の支援を受けたと記憶しています.支援を受けられなかった 場合には,自費で参加しました.また,学生の学会での研究発表の ための旅費を補助する制度や,学内研究費をこれに充てる制度もな く,身銭を切っていました.その軍資金を稼ぐため,技術講習会の 講師や,パートタイムの研究員を依頼されれば,すべて断らずに引 き受けていました.

また,旅費の資金源として外部資金は欠かせないものですが,当 時は奨学寄附金等の受け入れ制度が整備されておらず,個人名義の 銀行口座を開設し,そこに寄附金を振り込んでいただき,研究資金 として運用していました.自由に運用できたというメリットはあっ たものの,色々なリスクを抱え込んでいました.とにもかくにも, 外部資金の獲得には,相当に努力しました.その結果,本学で過ご した38年間に,科学研究費補助金29件(内,研究代表者20件,研 究分担者9件),放送文化基金や電気通信普及財団等による公的な研 究助成金12件,受託研究・共同研究・奨学寄附金59件の外部資金 を得ることができました.

外部資金獲得のための活動を通し、資金の獲得を超えた"宝"を 手にすることができました.それは、専門分野外の方々に研究内容 を伝えるために、研究の社会的意義・目標・内容をその本質を損な うことなく分かり易く言語化する努力を日頃から積み重ね、また研 究成果を的確に公表することに努める中で、研究者としての必須の "言語化能力"を磨くことができたことです.この点に関しては、東 京大学 宮川研究室の先輩である原島 博 生(現,東京大学名誉教授) の言動から多くのことを学ばせていただきました.

翻って、本学の現在の研究支援体制は、先輩諸氏の努力により、 基本的な制度がほぼ整備され、恵まれた研究環境が提供されている と言えるでしょう.1990年4月の工学研究科博士課程の開設に向け て諸制度が整備されたと記憶しています.現時点では、特段に努力 することなく、少なくない額の研究費が毎年支給され、国内外の学 会出張旅費が補助され、また指導する学生の学会での研究発表のた

Professor, Dept. of Electric, Electrical, Electronics, and Information Engineering

めの参加登録費や学会出張旅費が補助され,恵まれた研究環境にあ ると言えます.このような研究環境を当たり前のものとして捉え, その中に安住してしまえば,研究者として成長する機会を失するの ではないでしょうか.過酷な環境は研究者の命を奪うが,恵まれ過 ぎた環境は研究者の成長を阻む.『もっと高みを目指してハングリー に行動することで,研究者としての成長が促されるのではないか』 と,自分の体験を振り返ることで,その思いを強くしています.つ まり, Stay hungry, anytime.

〔新米時代に基礎的な学習と研究に取り組むべきであったこと〕

私の研究分野は、画像通信、信号・画像処理ですが、その研究活 動を"動画像の高能率符号化"からスタートし、ここ数年は"動画 像の統計的モデリング"に取り組み、研究活動を閉じることになり ました. "動画像の高能率符号化"の研究は, 1990年代から 2000年 代にかけて国際標準化方式 "MPEG" へと結実したもので、応用的 な色合いの濃い研究課題です.一方,"動画像の統計的モデリング" の研究は、全ての動画像処理や動画像解析の基盤となる統計的モデ リングを,1990年代後半に神経科学や脳科学の世界の作業仮説とし て提唱されて現時点で最有力の作業仮説として認知されている "疎 表現 (Sparse Coding) 仮説"の観点から刷新しようと試みたもので、 基礎的且つ基盤的な統計学的研究です. 私の研究のキャリアは, 応 用的な研究からスタートし、その中で提案した各種の具体的な符号 化・処理方式の背後にある数理的な基盤について理論的な考察を深 める中で,徐々に研究の関心が基盤的,基礎的なものへと遷移して きました.研究キャリアの中間期である 1990 年代半ばに、人間とし て,また研究者として,所謂"二度生れ"を体験し,それ以降,研 究の好みや研究に取り組むスタイルが大きく変化しました.研究 キャリアの後半の時期, すなわち 21 世紀になってから注力した研究 は、とくに基礎的な色合いの濃いもので、脳科学や神経科学を意識 し、脳、とくに知覚の計算理論を基礎付ける数理科学の観点から研 究を方向付け、問題設定を行ってきました. ここ数年、とくに統計 学的な観点から研究に取り組んできました.これは,『脳は世界をど のようにして見ているのか、そしてその見方はどのようにして獲得 されているのか』ということに関連した研究課題です.

先輩諸氏に伺うと、多くの方が、『若いときに基礎的なことに取り 組み、年齢を重ねるにつれて応用的なことに関心が広がっていった』 との趣旨のお話をされるようです.私の場合、まったく逆でした. 音楽の趣味で言えば、ポップスからクラシックへと趣味が変わった ようなものです.応用から基礎へと徐々に遷移することで、より高 い視座が新たに開けてくるという山登りのような刺激的で楽しいこ とを経験できたのですが、それには大変な労力を要しました.とに かく、新しい基礎的なことに取り組もうとした際には、そのことを 表現する数学から学び直す必要がありました.例えば、微分幾何学、 多様体論、非線形解析学、非線形偏微分方程式論、凸解析、ゲーム 理論、現代統計学、代数幾何学等です.これらの学習に相当な時間 をかけたのですが、その多くが中途半端な理解に留まっています.

やはり,研究者の新米時代には,基礎的な研究を行わないまでも, 基礎的な学問の習得に励むべきであったと反省しています.小生の 友人の米国デイトン大学の平川恵悟 先生は,コーネル大学大学院電 気コンピュータ工学専攻に在学中,指導教授のT.W.パークス 先生 (パークス・マクレランフィルタの発明者として高名な信号処理分野 の長老学者)から、『恵悟、大学院の授業科目として工学に関する科 目は一切とらないように. 君の研究者としての将来のため、基礎的 な科目をとりなさい. 例えば、最適化理論、凸解析、統計学、微分 幾何学、代数幾何学等をとりなさい』との指導を受けたとのことで、 現在、その指導に大いに感謝しているとのことです. つまり、Basics are basic, after all. ただし、長きに亘って持続的に活躍できる研究者 を目指していないならば、話は別ですが......

〔工学を超えたライフワークは枯渇することのない知的活動の源泉〕

"Publish or Perish".研究者にとって、これほど脅迫的、威圧的な 標語はないでしょう.その一方、ある大学の先生が母校の大学教員 に任用されたとき、長老の先生から『おまえは研究に関しては後ろ 指をさされない程度にやっておればよい.むしろ大学のこの学科、 さらには学会も含めた学術領域全体に対して、将来に亘って責任を もて』と言われたとのことです.

大学に棲息する研究者として、色々な生き方があるでしょうが、 大学教員として生きる権利を確保するため、最低限度の数の論文を 定期的に公刊する必要はあるでしょう。そのため、5 年程度の短期 間で成果が出るような研究課題を、絶えず更新し続けることは当然 のことです。そうでないと、学生の指導もままならないと判定され てしまいます。しかし、一方で、そんなことばかりしていると、研 究に嫌気がさし、研究の意欲が徐々に減退してしまうのではない しょうか。皮肉っぽく言えば、"ルーチンワークと化した疑似的な研 究活動"からどのように抜け出せるのでしょうか。

研究活動は、本来、個々の研究者の知情意、全人格に関わるもの で,個性的な色合いの強い活動であると思います.高名な学者の手 による記念碑的な論文は、例外なく、その人の人柄が強く感じられ るスタイルで貫かれています. 当たり前のことですが、すべては自 分をよく知ること、研究者としての自分の欲求をよく知ることから 始まります. その上で, 自分自身が本当に知りたいと思っている根 本的なことを座標系に据え、その座標系の下に短期的な研究課題を 位置付け、現在の研究課題を絶えず相対化し続ける心的構えが、研 究活動をルーチンワークと化した疑似的なものからより自由なもの へと開放するものと信じています.私自身は、手先は不器用だが、 考えることは大好きな人間で、そして本当に知りたいと思っている 根本的なことの一つは,『生物はなぜ脳で世界を見ることができるの か(多分,子供の頃から近眼で,黒板を見ることにさえ苦労してい たことの影響だと思いますが)』というものです.このことを座標系 に据え、これまで画像通信、信号・画像処理に関する研究を行って きました.幸いにも、この分野の研究者としての引退のときまで、 研究意欲が減退することはありませんでした.もしあなたが研究に 行き詰ったときには、自分が本当に知りたいことは何なのかを、ご 自分に問い続けてください. つまり, What do I really want to know?

3. 最後に一言

個性的な研究を行ってきたつもりですが、振り返ってみると、中 途半端ではなかったかと心許ない限りです.しかし、何かを達成で きていたのであれば、それは私を支えてくださった恩師、先輩諸氏、 同僚、そして研究室で生活をともにし、刺激を与え続けてくれた小 松 隆 助手、学生諸君のおかげです.本当にありがとうございまし た.

生産管理の基礎構築を目指した 10 年間

松浦 春樹*

Ten years for pursuing principles on production management

Haruki MATSUURA*

1. はじめに

工学部在籍10年でめでたく数えの古希を過ぎ,満70歳定年を迎 えることになった.経営学部より移籍して,自分本来のフィールド で,優秀なスタッフをつけていただき,教育研究活動を繰り広げ得 たことを,深く感謝している.生産管理をフィールドとして,科学 の方法論で,実務の理論化,体系化を目指した.ここでの科学の方 法論とは,生産管理の現象を数理モデル化し,挙動を解析し,実務 に役立つ原理原則,諸基準を引き出すことである.

修論や卒論も研究室の目指すものと一体と考えて、多くは師匠た ちから学んだ方向性を、ある意味で徹底して、教育研究活動を展開 した.小文で、「師匠たち」とは筆者が薫陶を受けた早稲田大学理工 学部生産管理学研究室を組織していた十代田三知男教授と村松林太 郎教授である.十代田教授が筆者の指導教授である.また、「師匠」 とは村松教授を指す.研究室は独立していたが、師匠たちは院生に 対しては共同して指導に当たられた.

師匠たちの方向性とは、師匠がその大学教員としての晩年に記さ れた[1]で一部を知ることができる.経営工学教育研究職第二世代で あられた師匠たちは、生産管理を専門分野と認めてもらうためにま だまだ悪戦苦闘の日々を送られた.師匠たちの狙いは、生産管理を 工場現場の実務から、固有技術分野に高めることであった.筆者の 工学部移籍一年目の卒研審査会で、審査員の一人であった森みどり 准教授(当時助手)から新参である当研究室のこの方向性に気づい てくれたコメントをもらったときは大変うれしかった.師匠たちの 時代も、そして今も、この方向性は少数派のものであったと感じて いる.

そのため、院生や卒研生の諸君に、そしてスタッフに迷惑をかけ たのではないかと懸念している.上記の方向性で、教育研究活動を 展開することには、メリットもある反面、デメリットもあると思う. 小文では、そのような立場をなぜとったのかについて、お詫びの意 味もかねて、随想させていただきたい.

研究室の研究活動では,

- (1) モデルにコストは含めない
- (2) モデルは単純を旨とする
- (3) 基本問題に新たに取り組む

*教授 経営工学科

Professor, Dept. of Industrial Engineering and Management

(4) 解析手法で優劣を競わない

などを心がけた.上記は説明順序に並べたもので,重要性の順番で はない.

これらの帰結として、社会科学の側面も持つ専攻分野であること もあって、理論と実務の関係に常に直面した.理論と実務の関係に ついても考えていたことをまとめている.

思い違い,無知も多々あることを恐れる.また,そんなことは当 たり前だと思われる方もおられるであろう.最後であることに免じ てお許し願いたい.文中,「おわりに」は除くが,この「はじめに」 を含めて,暦の上の人となられた先生方だけに実名を使わせていた だいた.

2. モデルにコストは含めない

モデルにコストを含めないとは、師匠の強い方針であった.従わ なかったら、破門されるか相手にされなくなった。師匠は文献[1] で、主張を明確に述べている。[1]では、コストと称するものの曖 味さを例示している.加えて、経済性が、環境に応じて変わるのは、 経済性工学が示すとおりである[2].要は、意思決定問題に使われる コストは、特殊原価であって、実質的に計測不能だという主張であっ たと理解している.一般論ならまだしも、個々の状況で異なってく るコストは推定不能であろうから、結局は重みづけのためのパラ メータに過ぎない.それでは、パラメータをどのように決めるのか と言う問題が残る.

筆者の博士論文の公聴会で、オペレーションズ・リサーチ担当の 春日井博教授から、「コストを含めるように論文を改訂すると、この 場で確約せよ」と迫られた.春日井先生は人気抜群の名物教授であっ た. 窮鼠猫を噛むで、「指導教授と相談の後、回答する」と応じたの をきっかけに、異例の大荒れとなった.今から思えば、コストを巡 る先生方の確執があった.本気になってくれた春日井教授も、仰ぎ 見る星の一つである.

重大なのは、コストを入れると、生産管理問題から実務に役立つ 原理原則、諸基準を引き出すことが難しいことである.コストは、 時として、生産管理の問題を最適化問題とする目的で導入される. 方式を固定して、そのパラメータを最適化することに注力する結果、 方式の選択問題、方式の設計基準は明らかにできない.

言い方を変えると、モデルにコストは含めないことにすれば、引き出される結論はコストに依存しない.より一般性が高い.数理統計で言うところの分布に依存しない(distribution free)統計的性質に

相当する.

ここでは[1]と同じくEOQ問題を例にとり、その限界を検討する. EOQ(Economical Ordering Quantity)とは、経済発注量と呼ばれる、 あまりにも有名な総コスト最小化公式で与えられる発注量である. ここで、総コストとは発注費と在庫費の和である.コスト係数とし て、発注1回あたりの費用と、平均在庫額に対する在庫費の比率、 在庫保管費率を所与と仮定している.多くの教科書の例題では、在 庫保管費率を20%前後の数値にしている.

発注費も在庫費もどのように測定するのかを具体的手順で示した 記述を,少なくとも EOQ を紹介する書物で筆者は見たことがない.

発注費の概念はわかる.通信費,発注に要する人件費,入荷時に 発生する検品費などとされる.では、ある特定の品種について、ど のように測定するのか.通信費は、切手代、電話代、封筒代の時代 もあったが、ネット発注だったらほぼ無料である.人件費は、固定 費,あるいは変動費であっても複数品種担当の場合であったら各品 種にどう割り振るのか.検品費なども同様に測定が大変困難である. 工場への生産指示の場合は、段取り費に相当する.この場合には段 取りによる工程能力の損失と言う機会損失費用の色彩を帯び、測定 の困難さはさらに増す.

在庫費は,正確には在庫保管費で,EOQでは,平均在庫金額に保 管費率を乗じたものと定義されている.平均在庫金額は測定できる. しかし,保管費率をどのように測定すれば良いか.在庫保管費とは, 人件費,施設費,荷役費,施設の減価償却費,資本コスト・陳腐化 損などの在庫諸経費とされる.資本コスト・陳腐化損を測定するの は容易ではない.

公益社団法人日本ロジスティクスシステム協会は,毎年,物流コ スト調査報告書[3]を公表している.同報告の物流コストの費用区分 は,輸送,保管,包装,荷役,物流管理である.物流の場合は,営 業倉庫業への規制もからみ,政府が定めた算定マニュアルがあるの で,どのように測定するのかの具体的手順が決められている.同報 告書には,輸送費の現状が述べられている.EOQの目的が意思決定 であるのに対して,調査の目的は,物流コスト削減の生産性向上で ある.これらの調査手順を参考にして,EOQのコスト係数を検討し よう.

発注費に相当するのは、物流の場合、輸送費である.上記マニュ アルの輸送費算定手順から、発注費の妥当な算定方法を抽出するの は、これ自体が実践的な研究テーマになるだろう.

同じく, EOQ の在庫保管費に相当するのは保管費である. EOQ の参考になる自家物流費に的を絞る. 自家物流費は,物流人件費, 物流施設費,減価償却費,在庫費用である. 自家物流費は,物流人 件費,物流施設費は算定マニュアルに従う. しかし個々の品目への 配分は仮定を設けないと困難であろう. 在庫費用は,平均在庫金額 の10%とするようにとの依頼が,同報告のベースとなる企業向けの アンケートになされている. 簡単に言ってしまえば,測定困難であ るからである.

同報告書によれば、組織体の物流活動で発生するミクロ物流コス ト中に保管費の占める割合は、2017年度は16.26%である.しかし、 EOQで使う在庫保管費率は、平均在庫金額に対する在庫保管費の割 合であるから、この数値を流用はできない.

研究において、新たなコスト係数を導入する際には、それなりの

測定の裏付けが必要である.モデル上のことではあるが、当研究室 では、あいまいさの残らない確実に測定できる、ライン長、負荷量 変動、平均在庫量とその変動などの physical performance を評価尺度 とした所以である.

EOQ 公式にはさらに難点がある.発注費と在庫費だけしか考えて いないので当然であるが、供給能力やパッケージの大きさ、輸送容 器の容量などの制約を考慮していない.したがって、生産工程への 発注には使えない.トヨタ生産方式の父とも称される大野耐一氏が、 トヨタ生産方式の脚光華やかしころ、実務家向けの専門雑誌の座談 会で、新入社員が EOQ 公式で求めた量を工場に発注し、工場が止 まったので、呼び出して、どやしつけたとの主旨を発言しているの を見た.残念ながら、その雑誌がどこの何で、号巻も後年捜したが わからなく、引用できないのを残念に思う.

そのような EOQ であるが、日本では使われなかったのに対して、 米国では使われた.米国で生まれた生産管理システム MRP の教科 書[4]には、EOQ を含むロットまとめ法が各種綿々と書かれている. これは日米の生産環境の違いが理由である.日本はケチケチの国で あるのに対して、米国は大量生産大好きなのである[5].その後、日 系企業の米国進出と共に米国のサイトで EOQ を使っていたことに 対する反省が大学関係者から出されているのを見ることになる.ま た、EOQ 問題は、制約条件や費用項目を追加すれば新たな問題をい くらでも創出できる.米国の生産管理実務者団体 APICS 発行の機関 誌で、大野氏の逸話と同様に典拠を明示できないが、これらの論文 群を自作自演と評していた.

モデルにコストを含めないことのデメリットであるが、最適化問 題とならないので、適切な評価尺度を考えるところから始めなけれ ばならなかった。モデルビルディングには熟練を要した。院で短か らぬ時間をかけて学んだことは、結局、モデルビルディングのアー トであった。

3. 基本問題に新たに取り組む

師匠たちは、弟子たちが内外の既存の論文の足りないところを指 摘して、自分の研究の出発点とすることを厳しく咎めた.まず、実 務に問題への洞察、インサイトを与えうる基本問題を自分で創出し なさいとのことで、指導教授の文字通りの言葉を借りれば、「無から 出発」であった.「モデルでのたうち回る」ともおっしゃった.これ には全員が苦しめられた.研究に出発できない、「無から出発、無に 終わる」などと、院生仲間で毒づいていた.ある先輩が、修論検討 会で、空中からテーマを取り出し定着させようと苦労していると発 言したことがあった.師匠は、「何を利いた風のことを言うか」と応 対したが、先輩の発言は状況を良くたとえていた.この方針は、内 外文献の多くが、コストを入れた最適化アプローチであったり、問 題の重要性よりも手法の新しさにオリジナルの起点を置いたりであ ると見る、指導者側の譲れない一点であったのだと思う.

このアプローチは、ある意味で学術論文作成の作法に反するので、 文献研究が後手に回り、最後まで尾を引くことになった. 査読委員 氏から参考文献は 30 篇以上が常識であると指摘を受けて、当惑した ものだ. 様式化が行き過ぎているのではないかとの反撥もあった. もちろん扱う問題の斬新さで勝負なので、学力不足の者が世の秀才 たちに打ち勝つチャンスも生んだ. 博士課程に入学して、主属学会である経営工学会で研究発表をし たときのことであった. セッションの座長は、A 大先輩(当時東工 大経営工学科教授)である. このとき、順番の前後関係は忘却の彼 方であるが、群大専任講師を務めていた O 先輩と共に筆者は、「こ のような研究は他大学の人たちが行うもので、君たちにはもっとや るべきことがある. 手法をもってきて、あれにも使える、これにも 使えるというような研究は、早稲田の者が手を染めるべきではない」 とこっぴどくお叱りを賜った. 大変ショックであったのは、何を咎 められたのか当時さっぱりわからないことだった. 困り果てて、師 匠の助手を務めていた師範代級のT先輩に相談してみた. 自分は何 をダメ出しされたのかと. 答えは直ちに戻って来た. A 大先輩は、 生産管理の構造を明らかにするような研究が、我々の使命であると 言っているのだと. 確かに自分のアプローチは、手法を捕まえて、 あれにも使えるこれにも使えるであるなと思い知らされた. これは よほどのことがないと生き残れないと、思いつめたものだ.

40 代に入ってから共同研究を始めた同窓の友人でもあった坪根 斉教授(当時都立科学技術大学)には,筆者の書いた研究目的は物 足りないと常々指摘を受けた.解析は得意だった.生産管理の研究 は「SEの視点ではなくマネジメントの視点から行うべきだ」との坪 根さんの言葉を思い出す.坪根さんは,製造企業での実務経験の後, 生産性コンサルタントを勤め,教育研究に携わった人で,指摘は重 かった.A大先輩のお叱りと,この指摘も同根であった.

筆者は自分の弱点を理解していたので、母校で製造企業の部課長 クラス向けに有料で開催されていた「生産システム開発(MRP)研 究会」に、C 先輩の紹介で出席させてもらっていた.当時母校は、 学生をもたない企業向けにアカデミックコンサルテーション事業を 展開する独立集団、生産研究所を学部に加えてもっていた.経営工 学の研究者集団を二重に擁していたことになる.生産システム開発 研究会は、生産研究所の事業で、吉谷龍一教授・中根甚一郎教授が 主宰していた.この研究会からも、長期間にわたり多くのことを学 んだ.筆者の弱点の補強もできた.研究すべき基本問題を仕込むこ とができた.

生産システム開発研究会の合宿であるとき KT 先輩から,「君と自 分とは MRP のとらえ方が違うようだ」と指摘を受けた. 驚いて真 意を訪ねると,「自分は MRP を企業改革のための切り口ととらえて いるが (例は,日本における戦後の TQM だ),君は手法ととらえて いるだろう」と.その通りだった.

この言葉も随分とためになった.そういえば同研究会の構成員に は、工場育ちの人たちと SE 育ちの人たちがいて,発想が異なるた め結構論争が生じていた.例を挙げると、生産能力を有限としてい きなり着手順序を計画すべきか、まずは必要能力を吟味の後、着手 順序を計画すべきかである.SE 育ちはどちらかと言えば手法の視点 から前者(能力有限スケジュール)を、工場育ちは後者の立場(能 力所要量計画)をとった.主催の両教授はもちろん後者の立場であっ た.

4. モデルは単純を旨とする

問題の本質を失わない限り,できるだけ単純なモデル構築を心が けた.モデルが複雑であっては,実務に役立つ原理原則,諸基準を 引き出すことが難しいと考えるためである.師匠が書き残された現 役院生および研究室出身教員のための研究会で配布した手書きの 資料[6]には、「最初は基本的かつ少数の条件変数でモデリングと解 析をする.複雑なモデルから出発するとつかみどころがなくなり発 展しない」とある.

52 年前のことであって、言葉が発せられた脈絡はおぼろだが、 核心の言葉の記憶は鮮明である.学部合同のマンモス入学式の後, 理工学部の新入生だけ残ってオリエンテーションがあった.東大定 年組の高名な物理の先生のお話の後,機械工学科のたぶん高橋利衛 教授が壇上で,その物理の先生にこともあろうに「先生は嘘ばっか り教えている. なぜなら質点なるものはどこにも存在しないから だ」と発言した、 高名な物理先生もモデルと現実のことを言ってい ると百も承知なので、にこにこ笑っている. ポッカポカの一年生は 茫然としたものだ. 脱線するが, 主役の一人の高橋教授にはもう一 度気合いをかけられた. 好奇心からできたての友人の KY 君と共に 専門棟を覗きに行った.理工学部キャンパスは講義棟群と専門棟群 とに2分されていた.境界は機械工学の実験室だった.「おいそこ の2人こっちにこい」高橋教授であった.その後の経緯の委細は省 略するが、出会いのときに「ここから先は、xxx だ」と講義棟群を 指さして言う. xxx とは当時誰でも知るドヤ街名である. そのとお りだと感じた.別れ際のもう一言は、「皆、血を流しに大学に来る のだ」と.この意味が本当に分かってくるのはもっと時間が経って からだった. 高橋教授の言葉に, モデル化を感じるのは誤りだろう か.

経営工学に勢いがあったころ,第二世代の先生方の最近の若い 教員連は現場を知らず困ったものだとの危機感からであろう,トヨ タの協力を得て,若手教員を集めて「現場」教育を行うプロジェク トがあった.毎年一回行われ,うわさには聞いていたが,前任校か らその3回目に参加することができた.経営工学会,名工大が企画 の中心であったと思う.これは,名工大の生産管理教授の講義を聞 いたり,トヨタおよびその系列企業まで行って現場を深く見たり, 討議したりするとの3日間に及ぶ本格的なものだった.1回目,2 回目はもっと長かったと記憶する.討議には,トヨタ生産調査部の 若手社員が同席してくれた.このとき,プレスの段取り替えやシー トの縫製などをつぶさに詳細に見学できた.忘れることはできない. カンバン方式のカンバンの実物(もちろんサンプル)をもらったり した.本社の生産管理部長が,カンバン方式は発注点法ですと断定 して,自作の資料をくれたのには驚いた.発注点法なら,在庫を持 たねばできないではないか!

実はカンバン方式が発注点法であると仮定すると、トヨタ方式 の原理原則がきれいに説明できてしまうのである.発注点法は、需 要が時間的に均一であることが必要である.これは、トヨタ方式の 大前提が需要の平準化であることを説明する.発注点法で在庫を減 らすためには発注量を小さくする必要がある.これは、トヨタ方式 の目指す段取り時間削減による小ロット化である.単純なモデルの ほうが大きな問題に対するインサイト、洞察を提供するのである.

5. 解析手法で優劣を競わない

院生のころジョブショップ・スケジューリング問題はとても興 味深いが,研究者の墓場だと先輩たちから聞かされた.ジョブ ショップ・スケジューリング問題は,所定の評価尺度の下で機械加 工経路が互いに異なるジョブの機械ごとの(最適)順序付けを決め るものである.理由は、天下の大秀才が集まっていて、とても芽が 出ないからである.

これまで述べてきたように、手法を固定するのではなく、生産管 理の問題を固定するのだから、手法は二の次である.問題の斬新さ で勝負し、手法で勝負しなければ、天下の秀才連と互角に戦える.

工学部では、とくに後半の年月、ほぼ研究室をあげて、1本の多 品種混合ラインを小ラインへ分断する問題に取り組んだ.この問題 を例にとり検討しよう.移籍前については、[7]に述べた.

1本の多品種混合ラインを小ラインへ分断することは、トヨタで 実践されている[8]. この問題を主として再順序付けの問題として 扱う Boysen 教授のグループによる一連の研究[9]がある.要は、混 合ラインの投入順序の制約条件への違反回数に基づく評価尺度を 最小化する投入順順序を発見するアルゴリズムの研究となってい る.手法は組合せ最適化である. Boysen 教授らは、混合ラインの 再順序付け問題のフレームワークも提示しているのでとても参考 になった.組合せ最適化で競ったらとても相手にならない.同教授 グループのアプローチは、混合ラインに姿を変えた、再スケジュー リング問題であって、混合ラインの構造上の特殊性が研究に使われ てはいない.バッファである仕掛在庫と柔軟性のトレードオフ[10] の視点もない.

筆者らは、混合ラインの特殊性は、投入順序によって必要な工 程長が変わることにあるとの視点から、まず、混合ラインの分断に よってライン長を短縮でき、ライン生産の柔軟性を向上できること を、それが可能である条件と共に示した[11].順序付けでなく混合 ライン問題の特殊性をモデルに生かして取り扱った.展開の中で、 投入順序に依存しない混合ラインのライン長の下界と上界を明ら かにできた.再順序付けのためのラインの分断によって必要となる 仕掛在庫点のメカニズム、プルオフテーブル[12]、インサートバッ ファ[13]、ミクスバンク[14]にまで踏み込んで解析を進めた.どの ような条件でどのメカニズムを採用し、そのサイズをどのようにす ればよいのかの技術的基準を提供するためである.

これらの研究過程で、ラインを分断することは、実は分断され た小ラインごとに品種の定義を変えることであることに気づかせ られた.一本のラインであると品種数がオプションの掛け算となる が、分断によって足し算となると言ってよい.大規模な問題が、直 列に結ばれた小さな問題に帰着する.この結合部分がバッファであ る.また、負荷のバランスの検討を飛び越して、いきなり順序付け の問題にすることによる混乱が少なくないことも教えられた.手法 で競わずとも、問題のインサイトを明らかにできるのである.

やり残した直ちに取り組める研究課題の例を示せば、1) ライ ンを小ラインに分断したときに、小ライン間のバッファメカニズム それぞれについて、小ラインの投入順序の指示にプッシュ方式ある いはプル方式のどちらが優れているか、2)組み付ける部品群のモ ジュール化が進んでいるが、混合ラインでのモジュール化の効果を 明らかにする.ラインの合流の取り扱いが必要であるが、見通しは ある[15]. 3)組合せ最適化ならぬ、数え上げ組合せ論[16]という 数学の分野があるのを知った.解析手法として有力かもしれない.

この種の問題点について,師匠が,「混合ラインにおいて,(筆 者による中略),多段になった場合の投入順序づけ法で各段の負荷 量変動をその影響の重さに応じ得る,または,最大変動を最小にす る投入順序の問題がある」と書き残していた[1].改めて,現場を よく知った上での先見性に驚いた.

6. 理論と実務と

先生,儲かる話をしましょう.社長さんたちから言われることが あった.現実の場で悪戦苦闘している者に「空理空論」は意味がな いと言う主旨であろう.けれども,正しい理論と実務は必ず一致す るはずである.

院生のころ、ある授業中に e^{4t} A =Ae^{4t} (A は正方行列)であるか yes か no かで担当の先生がクラスで挙手させたことがあった.これ に正解したため、先生に顔を覚えてもらった.この先生は、ハバー ドの修士修了で、筆者とたった 5 歳違いに過ぎなかったが、当時す でに助教授で、その志、情熱などに学ぶべきもの多数であった.キャ ンパスやその周辺で、ときには一杯飯屋でたまに出会うと短いが声 をかけてくれて、暗に励ましてくれた.あるとき帰宅途中に山手線 で一緒になった.先生は半端なき理論家(当時微分ゲーム専攻)で あったため、恐る恐る理論と実務の関係を聞いてみた.理論は実務 に一つの基準を提供するものである(理論は直接役立たなくともよ い).この回答も大きな蓄積の一つとなった.

師匠が関わった前述のトヨタ方式の理論化を進めるに際して,実 践こそが最優先とする大野氏に,理論化の試みを知られないような 部屋を用意したとある[17]のを師匠没後発見して,なるほどと妙に 納得した.これらの成果はトヨタの論文として学術誌に発表された [18].同方式の理論化には,同方式が日本という特殊な生産環境下 でだけ実施可能であって,一般性はないとの,一部外国からの見方 に答える目的があった.

経営学研究科で受け持った稲垣三郎氏(元 JUKI 専務)は,筆者 を含めた教員連の現実離れを戒めた.「「理論と実践」は,良く「地 図と地形」に例えられて理解されます.地図が正しくて地形が間 違っているという議論はありません.一方,見知らぬ地で目的地を 目指すには,地図は欠かせません」[19]と述べている.筆者の目を 開かせてくれたのは,またも前述のトヨタの部長さんの短い文章で あった[20].その文章は,モデル(地図)に合わせて現実(地形) を改造してゆくのがトヨタ生産方式だと強く示唆していた.地形に 合わせて地図を作成し終わったら,次の段階は,あるべき「地図」 を思い描き,そのとおりに「地形」を改革してゆくことが大切であ るということである.少し考えてみると,「地図」には,現実を「地 図」に基づいて変えるための設計図の機能があると思われる.実務 (地形)に役立つ地図(モデルと基準)を作り出すのが理論の役割 ではないだろうか.

筆者が、お気に入りの佐藤孝一教授の理論と実務に関する一節 [21]を、少し長いが引用する.

「すべての学問は,実際的な要求に応じて生成し再び実際に帰着 するべく,理論と実際とは決して相対立する両極端に非ず,両者は 相互扶助的な相関関係にあり,理論は演繹された実務たり,実務は 応用された理論たるべく,理論の構造内に何らの位置を占めない実 務は,単なる便法や偏見にすぎずして無価値に等しく,実務に無関 係な理論は無意義であり非効果的であり,理論上健全なものとは, 必ず究極的には,何らかの方法によって調整されるべく,両者の階 調調整によって、はじめて学問は、真の意味における完全性を保有 することができうるものと信ずる」

7. おわりに

工学部の十年間では、師匠たちの教え一直線(ある意味では先鋭 化して)で、院生、卒研生、スタッフを巻き込んで教育研究活動を 行った.その背景は、以上随想したとおりである.このせいか、平 塚キャンパスの国際経営では仏と称されたが、経営工学ではどうや ら鬼と目されたようだ.述べてきた方向性の下で、自分のテーマを 見つけるのは修士、4 年生には不可能なので、筆者の研究活動と、 修論、卒論は一体となった.消化不良のまま卒業した諸君もいたに 違いない.いつかどこかで修論、卒論の体験が役立ってくれること を祈るほかはない.できれば、役立ったことを自覚してくれて、つ いでに母港を思い出してほしい.

それでも学んだ方向性を追求したのは、筆者が、正統ならぬ自 らを正統ならんとしたことに他ならない.指導教授から,院在学中, 異端と評されていた.この点、本所報にふさわしくない例えである が、農民出身で武士たらんとした新撰組に似ている.最近の審査会 で当研究室の卒論群を保守本流のものと、ある先生から、評してい ただいたこともあった.正統化に成功していたかもしれない.学部 の学生のころ、とても興味深かったのは、制御系の最適化よりも広 域的な安定性についてであった.職に就いてからカオスの話の発展 を知って、本当に驚いた.そんな背景、嗜好、これまで述べた出会 いもあった.

研究室の教育研究活動に限れば,筆者を育ててくれた多くは故 人となられた先生方,同門の諸先輩後輩や仲間たち,受け持った院 生や卒研生たちに深謝したい.おかげをもって,教育研究職を志し たときに危惧と共に予想した以上に,善戦できた.工学部での 10 年間にわたり研究室の教育研究活動を支えてくれた,浅田明子教務 技術職員に御礼申し上げる.

追記 1

群馬大学宮崎晴夫教授は師匠の弟子であった. 銅鉄研究との 表現で,同じ基本モデルで,対象とする現象だけを変えて論文数を 稼ぐことを厳しく諌めた.テーマでフラフラする筆者に気をかけて くれた. 早逝された同教授を忘れないためにここに記す.

追記 2

[22]は学術図書ではないのであるが、とても示唆に富んでいた. 生産管理の問題は、計画問題であり、経営の意思決定問題の一つで ある. リターンが評価尺度となる. コストはリターンに依存するの で、コストとリターンは、鶏と卵の関係になる. このように考える と、コストは所与のものでなく、決めるものだとなる. 研究モデル にコストを含めないことは、少なくともこれに対する対策の一つで あろう.

参考文献

[1] 村松林太郎, 生産管理の道, 早稲田大学理工学研究所報告, 100,
 82-92 (1982).

[2] 千住鎮雄,伏見多美雄,新版 経済性工学の基礎―意思決定のた

めの経済性分析,日本能率協会マネジメントセンター(1994). [3] 公益社団法人日本ロジスティクスシステム協会,2017年度物流

コスト調査報告書,日本ロジスティクスシステム協会 (2018).

[4] Joseph Orlicky, Material Requirements Planning: The New Way of Life in Production and Inventory Management, McGraw-Hill (1975).

[5] 新郷重夫, ノン・ストック生産方式への展開―トヨタ生産シス テムの真の意義, 日本能率協会 (1987).

[6] 村松林太郎,モデルビルディングについて,早稲田大学理工学 部生産管理学研究室 Dr 懇談会資料(1980-6-27)

[7] 松浦春樹,経営工学の役割,神奈川大学工学研究所所報,32,20-26 (2009-11).

[8] 工場管理編集部編,これが『新』トヨタ生産システムだ! 工 場管理 40 (11), (1994).

[9] Nils Boysen, Armin Scholl, Nico Wopperer, Resequencing of mixed-model assembly lines: Survey and research agenda, European Journal of Operational Research, 216, 594-604 (2012).

[10] 松浦春樹, 浅田明子, 在庫は絶対的な悪者なのか? 流通ネットワーキング, 295, 120-125 (2016-5).

[11] Fei Yin, Haruki Matsuura, Akiko Asada, A study on promoting flexibility in a mixed-model line production systems by introducing buffer stocks, Innovation and Supply Chain Management, 8 (2),67-74 (2014).

[12] Hiroshi Miyazaki, Haruki Matsuura, Akiko Asada, Kenji Hirano, Shortening line length in a mixed-model assembly line by installing a single pull-off table, Asian J. Management Science and Applications, 2(2) (2016).

[13] Sho Matsuura, Haruki Matsuura, and Akiko Asada, Designing insert buffers for mixed-model assembly lines, Asian Journal of Management Science and Applications, 3(1), 75-95 (2017).

[14] Ryojiro Ito, Haruki Matsuura and Akiko Asada, Determining the size of a mix bank in a mixed-model assembly line, Asian J. Management Science and Applications, 3(2), 132-155(2018).

[15] Sho Matsuura, Haruki Matsuura, and Akiko Asada, Making a mixed-model line more efficient and flexible by introducing a bypass line, AIP Conference Proceedings 1829(1), 10. 1063/1. 4979768 (2017)

[16] Richard P. Stanley, Enumerative Combinatorics: Volume 1 (Cambridge Studies in Advanced Mathematics), Cambridge University Press; 2nd ed. (2012).

[17] 下川 浩一, 藤本 隆宏編著, トヨタシステムの原点 キーパー ソンが語る起源と進化, 文眞堂 (2001).

[18] Y. Sugimori, K. Kusunoki, F. Cho and S. Uchikawa, Toyota production system and Kanban system Materialization of just-in-time and respect-for-human system, International Journal of Production Research, 15(6), 553-564 (1977)

[19] 稲垣三郎,次代を作る生涯学習,神奈川大学図書館だより,105,6 (2002).

[20] 木村修, 古典的 OR からの脱皮, オペレーションズ・リ サー チ, 30 (4), 234-235 (1985).

- [21] 佐藤孝一,博士・修士・卒業論文の書き方,同文館(1973).
- [22] 田中靖浩, 会計の世界史, 日本経済新聞社(2018).

9. 工学部通信

- 1. 研究活動(2017年10月~2018年9月)
- 2. 講演会開催記録(2017年10月~2018年9月)
- 3. 研究分野紹介および2017年度博士論文・修士論文・卒業論文テーマ一覧
- 1. The List of Research Activities (2017, Oct. ~2018, Sep.)
- 2. Public Lectures (2017, Oct.~2018, Sep.)
- 3. The List of Laboratory Activities and Student Papers (Academic Year 2017)

神奈川大学工学部 FACULTY OF ENGINEERING, KANAGAWA UNIVERSITY

【1】 研究活動

(2017年10月1日より2018年9月30日までの期間に公表したものについて記す)



機械工学科

研究論文I(レフェリー付き論文)

- Takuya Otani, Kenji Hashimoto, Shunsuke Miyamae, Hiroki Ueta, Akira Natsuhara, Masanori Sakaguchi, Yasuo Kawakami, Hun-ok Lim and Atsuo Takanishi, Upper-Body Control and Mechanism of Humanoids to Compensate for Angular Momentum in the Yaw Direction Based on Human Running, Applied Sciences, 8(1), Article 44 (16 pages), (2018).
- 高野敦, CFRP 円筒の軸圧縮座屈実験,日本航空宇宙学会 論文集,66(49),98-111(2018).
- H. Katogi, K. Takemura and M. Mochizuki, Effect of Water Temperature on Interfacial Shear Strength of Resin Particles Added CFRTP, Key Engineering Materials, 774, 7-12(2018).
- A. Hayashi and Y. Nakao, Rotational speed control system of water driven spindle considering influence of cutting force using disturbance observer, Precision Engineering, 51, 88-96 (2018).
- 5. 林晃生, 中尾陽一, ウォータト?ライフ?スヒ?ント?ルの熱 的安定性の評価, 日本機械学会論文集, 83(856), 17-00268, (2017).
- 中尾陽一,坂田 脩,林 晃生,寺島岳史,Zr 基金属カ?ラス に対する単結晶ダイヤモンド切削による鏡面加工の試み, 砥粒加工学会誌,62(4),29-36(2018).
- 原村嘉彦, LED 冷却を目的とした球面ヒートパイプの伝熱 特性, Thermal Science & Engineering, 26 (1), 11-17 (2018).
- T. Arima, T. Ruggeri and M. Sugiyama, Rational extended thermodynamics of a rarefied polyatomic gas with molecular relaxation processes, Physical Review E, 96, 042143 (2017).
- T. Arima, T. Ruggeri and M. Sugiyama, Extended Thermodynamics of Rarefied Polyatomic Gases: 15-Field Theory Incorporating Relaxation Processes of Molecular Rotation and Vibration, Entropy, 20, 301 (2018).

- 中村弘毅,加茂利明,大澤秀樹,坂之上浩,山崎徹,車体 制振ダンパーの減衰特性のモデル化(第2報) –動的条件 下での減衰力特性-,自動車技術会論文集,49(3),611-616 (2018)
- 11. 亀山陽平,澤田克人,中村弘毅,山崎徹,北原篤,スムー スタイヤ単体振動の解析 SEA モデリング,自動車技術会論 文集,49(5),986-992 (2018)

研究論文II(レフェリー付き Proceedings)

- Bin Zhang, Gilyoung Yoon and Hun-Ok Lim, "Attitude Control and Altitude Control of a Four-Rotor Flying Robot," 14th International Conference on Natural Computation, Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, pp.1397-1402, Huangshan, (2018-7).
- Takuya Otani, Kenji Hashimoto, Akira Natsuhara, Masanori Sakaguchi, Yasuo Kawakami, Hun-ok Lim and Atsuo Takanishi, "Ankle and Foot Mechanism Mimicking Joint Stiffness and Following Motion based on Human," Proceedings of the 22nd CISM-IFTOMM Symposium on Robot Design, Dynamics and Control (ROMANSY 2018), pp. 86-93, Rennes, (2018-6).
- Takafumi Kijima, Naoki Sekiguchi, and Hun-ok Lim, "Study on Object Recognition by Active Stereo Camera for Clean-up Robot," 17th International Conference on Control, Automation and Systems, pp. 27-31, Jeju, (2017-10).
- Shoji Furukawa, Shunya Kondo, Atsuo Takanishi and Hun-ok Lim, "Radial Basis Function Neural Network Based PID Control for Quad-rotor Flying Robot," 17th International Conference on Control, Automation and Systems, pp. 580-584, Jeju, (2017-10).
- Akira Umehara, Yuya Yamamoto, Haruyoshi Nishi, Atsuo Takanishi and Hun-Ok Lim, "Jumping Pattern Generation for One-Legged Jumping Robot," 17th International Conference on Control, Automation and Systems, pp. 1396-1400, Jeju,

(2017-10).

- Y. Nakao, S. Shibata and A. Hayashi, Controls of pitching and straightness error motion of water driven stage during feed motion, Proc. of 10th JFPS International Symposium on Fluid Power, USB (Fukuoka, 2017.10).
- T. Yaguchi, A. Hayashi and Y. Nakao, Fundamental study on thermal stability of micro milling spindle supported by water hydrostatic bearings under spindle rotation, Proc. of 32nd ASPE Annual Meeting, USB (Charlotte, 2017. 10)
- R. Kirigaya, A. Hayashi, D. Fedorynenko and Y. Nakao, Measurement of dynamic characteristic of hydrostatic spindle against radially applied forces, USB (Charlotte, 2017. 10)
- T. Yaguchi, A. Hayashi and Y. Nakao, Fundamental study on thermal stability of micro milling spindle supported by water hydrostatic bearing under non-spindle rotation, Proc. of The 9th International Conference on Leading Edge Manufacturing in 21st Century, USB (Hiroshima, 2017. 11)
- Y. Nakao, R. Kirigaya, T. Yaguchi and A. Hayashi, Temperature characteristics of spindle supported with water-lubricated hydrostatic bearings, Proc. of euspen 18th International conference & exhibition, USB, (Venice, 2018-6).
- K. Suzuki, Y. Nakao, T. Iguchi and F. Yoshida, Development of a direct type water hydraulic relief valve for small flow rate, The 10th JFPS Intl. Symposium on Fluid Power, 2D52.pdf, (Fukuoka, 2017. 10).
- Y. Haramura and K. Yabe, Heat Transfer on the Wall of Stirling Engine Expansion Space, Ext. Abstract 9th JSME-KSME Thermal and Fluid Engineering Conference, TFEC9-1384 (Okinawa, 2017-10).
- Y. Haramura and Y. Ishikawa, Analysis of temperature uniformity and measurement of boiling curve in transition boiling on a large surface consists of five parts, Proc. 16th International Heat Transfer Conference, 22705 (Beijing, 2018. 8).
- Y. Haramura, Heat Transfer on the Expansion Cylinder Wall, Proc. 18th International Stirling Engine Conference, ISEC2018-P050 (Tainan, 2018. 9).
- T. Arima and M. Sugiyama, Nonequilibrium Pressure and Temperatures in Extended Thermodynamics of Gases with Six Fields, Ricerche di Matematica, https://doi.org/10.1007/s11587-018-0399-3 (2018).
- T. Arima and M. Sugiyama, Extended thermodynamics of dense polyatomic gases: modeling of molecular energy exchange, Ricerche di Matematica, https://doi.org/10.1007/s11587-018-0386-8 (2018).
- T. Arima, Six-field extended thermodynamics models representing molecular energy exchange in a dense polyatomic gas, Journal of Physics: Conference Series, 1035, 012002 (2018).
- S. Taniguchi, T. Arima, T. Ruggeri and M. Sugiyama, Shock wave structure in rare?ed polyatomic gases with large relaxation time for the dynamic pressure, Journal of Physics: Conference Series, 1035, 012009 (2018).

口頭発表

 H.Ito, A.Sekiguchi, M.Wakebe, Influence of air flow rate on the end face combustion behavior of highly densified cylindrical briquette, Ninth JSME-KSME Thermal and Fluids Engineering Conference, TFEC9-1093 (Okinawa, 2017.10).

- 三浦正義、小椋隆晶、伊東弘行、水平円管内を往復振動す る液柱が形成する液膜に関する研究、第55回日本伝熱シン ポジウム講演論文集,E323(札幌,2018.5).
- H.Ito, T.Nakagoshi, J.Hasegawa, M.Miura, Factors Affecting Combustion Duration in the Combustion of Woody Biomass Cylindrical Briquette, 37th International Symposium on Combustion, WiPP 2P160 (Ireland, 2018, 7).
- 田中直人,岩間貴之,張斌,高西淳夫,林憲玉,"動的な衝撃 緩和機構を持つ人間共存型ロボットの開発 一衝撃緩和機 構の改良一,"日本機械学会 2018 年度年次大会,G1500303, 大阪府,(2018-9).
- 石山雄太、山本湧也、張斌、高西淳夫、林憲玉、"一脚ジャン ピングロボットの垂直跳躍運動に関する研究、"日本機械学 会 2018 年度年次大会、G1500205、大阪府、(2018-9).
- 6. 峯下弘毅,大谷拓也,橋本健二,張春宇,尾原睦月,阪口 正律,川上泰雄,林憲玉,高西淳夫,"骨盤運動に着目した 2足走行ロボットの開発(第21報:跳躍・走行時の能動蹴 り出しや走行速度の変化に対応した足関節機構),"第36 回日本ロボット学会学術講演会予稿集,1J1-02,愛知県, (2018-9).
- 大谷拓也,植田大貴,橋本健二,阪口正律,川上泰雄,林 憲玉,高西淳夫,"骨盤運動に着目した2足走行ロボットの 開発(第22報:能動駆動と弾性発揮を活用する跳躍運動の 実現),"第36回日本ロボット学会学術講演会予稿集,1J1-03, 愛知県,(2018-9).
- 8. 夏原彬,張春宇,大谷拓也,橋本健二,阪口正律,川上泰 雄,林憲玉,高西淳夫,"骨盤運動に着目した2足走行ロボ ットの開発(第19報:CFRP 重ね板ばねによる弾性関節機 構の小型化),"第18回計測自動制御学会システムインテグ レーション部門講演会予稿集,pp. 2543-2547,宮城県, (2017-12).
- 9. 吉川智康,小林慎也,黒川哲,江上正,アクティブロボットハンドの提案,第60回自動制御連合講演会,SaC1-2(東京, 2017.11).
- サリエバ マクパール,姚 磊,菅原彗,吉川智康,江上正, ロープ経路を走行するインフラ点検用ロボットシステムの 開発,第60回自動制御連合講演会,SaC1-3(東京, 2017.11).
- 小林慎也,吉川智康,江上正,アイリスロボットハンドの 把持制御,第50回計測自動制御学会北海道支部学術講演会, B6(札幌, 2018.3).
- 12. 後藤敬雄,小林聡介,吉川智康,江上正,渦電流ブレーキ による下降速度制御,第50回計測自動制御学会北海道支部 学術講演会,B10(札幌,2018.3).
- 13. 志田拓哉,吉川智康,江上正,梅本和希,柔軟関節を有す る4脚ロボットの足先力推定,第50回計測自動制御学会北 海道支部学術講演会,B12(札幌,2018.3).
- 森出豪人,吉川智康,江上正,運動状態推定を用いた電動 義足の開発,第50回計測自動制御学会北海道支部学術講演 会,B14(札幌,2018.3).
- 吉川智康,江上正,SLAMによる電動車椅子の半自動走行 制御,第 50回計測自動制御学会北海道支部学術講演会, C6(札幌, 2018.3).
- 16. 志田拓哉,吉川智康,江上正,梅本和希,外乱推定可能な 柔軟関節を有する4脚ロボットの開発,第62回システム制 御情報学会研究発表講演会,325-3(京都,2018.5).
- 17. 後藤敬雄,速度制御可能な渦電流ディスクブレーキの開発, 宇宙エレベーター学会(東京, 2018.5)
- 瀬野尾幸希,吉川智康,江上正,電動車椅子の半自動走行システムの構築,ロボティクス・メカトロニクス講演会2018,1P1-G05(北九州, 2018.6).

- 永瀬喬介,今野起希,吉川智康,江上正,スパイラルクラ イマーの昇降制御,ロボティクス・メカトロニクス講演会 2018, 1P2-K01(北九州, 2018.6).
- 20. 小林慎也,吉川智康,江上正,アイリスロボットハンドに よる画像認識を用いた把持制御,ロボティクス・メカトロ ニクス講演会 2018, 1P2-H18(北九州, 2018.6).
- 21. 菅原慧, サリエバ・マクパール, 姚磊, 吉川智康, 江上正, インフラ検査ロボットの最適同期化制御系の構築, ロボテ ィクス・メカトロニクス講演会 2018, 2A1-B05(北九州, 2018.6).
- 22. 後藤敬雄,小林聡介,吉川智康,江上正,下降速度制御可能な渦電流ディスクブレーキの開発,ロボティクス・メカトロニクス講演会 2018, 2P1-F15(北九州, 2018.6).
- 山本賢太,山内廉,高野敦,塑性・脆性めねじ強度の試験/ 解析,第33回 宇宙構造・材料シンポジウム,A02(神奈 川,2017)
- 24. 山口裕介,渡辺光朔,高野敦,CFRP 円筒の軸圧縮座屈に おける初期不整の影響,第33回 宇宙構造・材料シンポジ ウム,A03 (神奈川, 2017)
- 西野沙也佳,高野敦,低衝撃セパレーションナットによる 分離機構の開発,第33回 宇宙構造・材料シンポジウム, A06(神奈川, 2017)
- 26. 岩崎愛樹,竹谷昇,友田孝久,中村和行,久原隆博,石村 康生,齋藤宏文,高野敦,小型合成開口レーダ衛星搭載ア ンテナの展開再現性評価,第33回 宇宙構造・材料シンポ ジウム,B01 (神奈川, 2017)
- 27. 諸星宏樹、鎭目夢玄、田原鴻一、館山哲也、高野敦、星形 フラクタル形状グレインを用いた推力 1.8kN 級ハイブリッ トロケットエンジンの開発と打ち上げ実証、平成 29 年度宇 宙輸送シンポジウム、STCP-2017-005 (神奈川, 2018)
- 28. 舘山哲也,高野敦,船見祐揮,ハイブリッドロケットにおける構造設計を考慮した最適酸化剤,平成29年度宇宙輸送シンポジウム,STCP-2017-006(神奈川,2018)
- 29. 三上拳,高野敦,ハイブリッドロケットの抵抗低減とスロ ッシングを考慮した安定性評価,平成 29 年度宇宙輸送シン ポジウム,STCP-2017-007(神奈川, 2018)
- 水上諒,高野敦,ハイブリッドロケットにおけるフラッタ についての研究,平成29年度宇宙輸送シンポジウムプログ ラム,STCP-2017-009(神奈川,2018)
- 31. 鎭目夢玄,高野敦,船見祐揮,諸星宏樹,田原鴻一,寺田 俊樹,3Dプリンタによる星型フラクタル旋回形状ブレイン 搭載ハイブリッドロケットエンジンの開発,平成29年度 宇宙輸送シンポジウムプログラム,STCP-2017-012(神奈 川,2018)
- 32. 田原鴻一,諸星宏樹,鎮目夢玄,寺田俊樹,高野敦,船見 祐揮,低損耗・低コストノズルの開発,平成29年度宇宙輸 送シンポジウムプログラム,STCP-2017-014 (神奈川, 2018)
- 33. 島崎拓己,石津陽基,武井知葉,武田直毅,高野敦,テレメトリ装置の開発と伊豆大島打ち上げ結果,8th UNISEC Space Takumi Conference, UNISEC 2018-003 (神奈川, 2018)
- 34. 西野沙也佳,高野敦, セパレーションナット方式による分離 機構の開発,日本航空宇宙学会第49期定時社員総会および 年会講演会,1E01, (東京,2018)
- 35. 水上諒,高野敦,超小型ハイブリッドロケットにおける空 力弾性現象,日本航空宇宙学会第49期定時社員総会および 年会講演会,1E02,(東京,2018)
- 36. 岩崎愛樹,竹谷昇,友田孝久,中村和行,久原隆博,馬場満,高野敦,小型合成開ロレーダ衛星搭載アンテナの地上展開試験を通した展開性能評価,日本航空宇宙学会第49期定時社員総会および年会講演会,1E03,(東京,2018)

- 37. 館山哲也,高野敦,ハイブリッドロケットにおける軽量酸 化剤タンクの開発,日本航空宇宙学会 第49期 定時社員総 会および年会講演会,1C16,(東京,2018)
- A. Takano, Buckling Test of Composite Cylindrical Shells with Oval Imperfection Under Axial Compression, European Conference on Spacecraft Structures, Materials and Environmental Testing (Noordwijk, 2018)
- 39. 舘山哲也,船見祐揮,高野敦,到達高度 100km を目指す ハイブリッドロケットにおける構造設計を考慮した最適酸 化剤,第1回 ハイブリッドロケット シンポジウム, HR-2018-003 (神奈川, 2018)
- 高野敦, 形状初期不整を有する CFRP 円筒殻の軸圧縮座 屈試験, 第 60 回構造強度に関する講演会, 1A08(徳島, 2018)
- 41. 加藤木秀章,竹村兼一,キトサン繊維を添加した一方向亜 麻繊維強化ポリ乳酸の曲げ特性,日本材料学会 2018 年度 JCOM 若手シンポジウム講演予稿集,25(箱根, 2018.8).
- 42. 高田彩香,加藤木秀章,竹村兼一,綿繊維の強度特性および透湿性,日本材料学会 2018 年度 JCOM 若手シンポジウム講演予稿集, p.14(箱根, 2018.8).
- 43. 望月麻央,加藤木秀章,竹村兼一,高温水環境下における CFRTP の界面せん断強度に及ぼす粒子粒の影響,日本材料学会第67期学術講演会講演論文集,43-44(高知, 2018-5)
- 加藤木秀章,竹村兼一,川崎峻輔,熱サイクル中のグリーンコンポジットの残留強度に及ぼす表面処理の影響, JCCM-9 講演論文集, 3A-14(京都, 2018.3).
- 45. 早森敦宏,加藤木秀章,竹村兼一,吸水がジュート繊維/ ポリ乳酸複合材料のクリープ寿命に及ぼす影響,日本材料 学会第9回自動車用途コンポジットシンポジウム講演論文 集,75(京都,2017-11).
- 46. 望月麻央,加藤木秀章,竹村兼一,樹脂粒を付着させた CFRTPの界面せん断強度に及ぼす温水環境の影響,日本材 料学会第9回自動車用途コンポジットシンポジウム講演論 文集,41(京都,2017-11).
- 永田舜也,寺島岳史,金属ガラスウールの開発と評価,日本機械学会関東支部第24期総会・講演会講演論文集, GS0204(東京, 2018.3.17).
- 48. 矢口 翔,林 晃生,中尾陽一,マイクロフライス加工用 水静圧スピンドルの温度変化(第1報,非回転時の温度変 化)日本機械学会 2017 年度年次大会講演論文集, CD-ROM, (2017-9,埼玉).
- 49. 桐ヶ谷 怜,林 晃生,中尾陽一,水静圧軸受において発 生するスピンドルの温度変化の検討,2017年度精密工学会 秋季大会学術講演会論文集,CD-ROM,(2017-9,大阪).
- 50. 山﨑颯生, 中尾陽一, 流量制御弁による空気静圧軸受の変 位フィードバック制御の試み, 日本機械学会北陸信越部第 55 期総会講演会論文集, CD-ROM, (2018-3, 福井).
- 51. 神山 奨, 中尾陽一, 単結晶ダイアモンドバイトによる難 削材量の鏡面過去法に関する基礎的検討, 日本機械学会関 東学生会第57回学生員卒業研究発表講演会論文集,(2018-3, 東京).
- 52. 小高勢也, 中尾陽一, 工作機械の高性能温度制御の実現を 目指した冷却流体の温度制御システムの研究, 日本機械学 会関東学生会第 57 回学生員卒業研究発表講演会論文集, (2018-3, 東京).
- 53. 武笠孝之,桐ヶ谷怜,中尾陽一,水静圧スピンドルの温度 特性の基礎的検討,日本機械学会関東学生会第57回学生員 卒業研究発表講演会論文集,(2018-3,東京).
- 54. 小高勢也, 中尾陽一, 軸心冷却構造を備えたスピンドルの 熱的特性の検討を目的にした模擬装置の試作, 2018 年度砥

粒加工学会学術講演会論文集,A21,(金沢,2018-8).

- 55. 山﨑颯生,谷本和馬,脇谷趣聞,中尾陽一,軸心水冷機構 を備えた空気静圧スピンドルの熱的特性の基礎的検討, 2018 年度精密工学会秋季大会, 1P(B)42, (函館, 2018-9).
- 56. 船見祐揮,ハイブリッドロケット複雑形状燃料の表面後退 挙動解析,第 26 回スペース・エンジニアリング・コンフ ァレンス,1B5 (三浦,2017).
- 57. 船見祐揮、レベルセット法によるハイブリッドロケット燃料表面の三次元後退挙動解析,第61回宇宙科学技術連合講 演会,2H17 (JSASS-2017-4406)(新潟,2017).
- 58. 原村嘉彦, 膨張空間壁面における熱伝達のシミュレーション, 第 20回スターリングサイクルシンポジウム, A11 (日野, 2017-12).
- 59. 原村嘉彦,石川裕太郎,熱伝導逆問題解法の安定性に対す る差分スキームの影響,第55回日本伝熱シンポジウム講演 論文集,E123(札幌,2018-5).
- 60. 有馬隆司, T. Ruggeri, 杉山勝, 拡張された熱力学に基づく 多原子分子希薄気体中の内部緩和過程の記述, 日本物理学 会第 74 回年次大会, (野田, 2018-3)
- T. Arima, T. Ruggeri and M. Sugiyama, Rational Extended Thermodynamics for Molecular Relaxation Processes in Rarefied Polyatomic Gases, 31st International Symposium on Rarefied Gas Dynamics, (Glasgow, 2018-7)
- 62. 有馬隆司, T. Ruggeri, 杉山勝, 多原子分子希薄気体中の分子回転・振動緩和に対する拡張された熱力学, 日本流体力 学会 年会 2018, (豊中, 2018-9)
- 63. 有馬隆司, T. Ruggeri, 杉山勝, 多原子分子希薄気体中の分 子内部自由度緩和に対する拡張された熱力学とその音波解 析への応用, 日本物理学会 2018 年秋季大会, (京田辺, 2018-9)
- 64. 山崎徹, 菊地通, 浅野篤哉, 三山壮, 村田和宏, 振動低減 対策箇所の特定のための振動エネルギー流れの可視化, No.18-1, 日本機械学会 2018 年度年次大会講演論文集, G1000604, (大阪, 2018.9).
- 村山誠英,逸見純也,中村弘毅,山崎徹,解析 SEA を用 いたレイアウト設計法に関する基礎的研究,日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2018 講演論文集 18-7,337, (東京, 2018.8).
- 66. 中村弘毅,山崎徹,笠原和則,長沼寛樹,松下 修己,モー ド合成モデルにおける回転構造物系のジャイロモーメント 行列の一般的構成,日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2018 講演論文集, 18-7, 427, (東京, 2018.8).
- 67. 中村弘毅,渡邉亮太,加茂利明,早川昇邦,飯倉雅彦,山 崎徹,車体制振ダンパによる振動低減効果予測の改善,日 本機械学会 2018v-BASE フォーラム,18,(東京, 2018.8).
- 澤田克人、中村弘毅、北原篤、山崎徹、SEA によるスムー スタイヤの振動騒音解析、日本機械学会 2018v-BASE フォ ーラム、25、(東京、2018.8).
- 69. 澤田克人,中村弘毅,北原篤,山崎徹,実験 SEA によるスムースタイヤへの路面入力パワーの評価手法の初期検討, 自動車技術会 2018 年春季大会学術講演会講演予稿集, 20185185,(横浜, 2018.5).
- 70. 中村弘毅,立野黎,石濱正男,嶌津尊充,靱康治,吉田夕 貴夫,山崎徹,エンジンオイルの気泡発生メカニズム解析 (第二報),スプロケットによるキャビティ発生の実験解析, 自動車技術会 2018 年春季大会学術講演会講演予稿集, 20185169,(横浜, 2018.5).
- 71. 内藤晃裕,石濱正男,中村弘毅,山崎徹,吉田夕貴夫,嶌 津尊充,靱康治,エンジンオイルの気泡発生メカニズム解 析(第一報),油中での気泡発生の実験解析,自動車技術会

2018 年春季大会学術講演会講演予稿集, 20185168, (横浜, 2018.5).

- 72. 村田和宏,三山壮,谷本悠輔,中満翼,川端直人,山崎徹, 振動増大要素の追加による主構造の振動低減,自動車技術 会 2018 年春季大会学術講演会講演予稿集,20185149,(横 浜,2018.5).
- 73. 渡邉亮太,中村弘毅,山崎徹,伝達関数合成法を用いた減 衰器の振動低減効果予測,日本機械学会関東支部第24期講 演会,OS0205,(東京,2018.3).
- 74. 村田和宏,三山壮,村山誠英,中村弘毅,中満翼,川端直 人,山崎徹,振動騒音低減のための二段階設計法の実験的 検証,自動車技術会2017年秋季大会学術講演会講演予稿集, 20176077, 431-436,(大阪,2017.10).
- 三山壮,山崎徹,構造設計への振動インテンシティの活用, 自動車技術会 2017 年秋季大会学術講演会講演予稿集, 20176078, 437-442, (大阪, 2017.10).
- 76. Toru Yamazaki, Kaito Sawada, Hiroki Nakamura, Atsushi Kitahara, Input power estimation to tire due to tire-road interference for tire and/or road labelling, Proceedings of inter-noise 2018, in18_1639.pdf, (Chicago, 2018.8).
- 77. Hiroki Nakamura, Takeshi Miyama, Toru Yamazaki, EARLY-STAGE DESIGN OF QUIET STRUCTURES BASED ON STATISTICAL ENERGY ANALYSIS, Proceedings of NOVEM 2018, 171912, (Ibiza, 2018.5).
- Takeshi Miyama, Hiroki Nakamura, Toru Yamazaki, STRUCTURAL DESIGN IMPLEMENTATION BY STRUCTURAL INTENSITY ANALYSIS, Proceedings of NOVEM 2018, 171789, (Ibiza, 2018.5).
- 79. Yoshitake KAMIJO, Zi MIN, Toru YAMAZAKI, ENERGY PROPAGATION CONTROL BY CHANGING CONTACT PARTS INTERPOSED BETWEEN DOUBLE-WALLED CYLINDRICAL STRUCTURES, Proceedings of NOVEM 2018, 171827, (Ibiza, 2018.5)
- Kazumasa IKEDA, Toru YAMAZAKI, Noise Reduction Approach using Experimental Statistical Energy Analysis on a High Pressure Pump for Gasoline Direct Injection Systems,

学術誌

- 1. 江上正,秋谷尚俊,金子光希,神奈川大学ロボットプロジェクト活動報告,神奈川大学工学研究,1,155-156(2018).
- 中尾陽一,林 晃生、ウォータドライブスピンドルと水静 圧制御によるスピンドルの高機能化、砥粒加工学会誌、 61(12), 655-658, (2017-12).
- 3. 中尾陽一, 静圧スピンドルの高性能化の研究事例, 機械と 工具, (2018-2).
- 4. 藤本滋,鈴木健児,諸星陽裕,IFPEX2017~カレッジコー ナーに見る最新技術~② 神奈川大学原子力耐震工学研究 室(振動発電手法の開発,水圧駆動システムの機器開発に ついて),油空圧技術,56(13),1-5(2017).
- 5. 鈴木健児, 圧力や流量の計測とセンサ技術(特集:フレッ シュメンに贈る・流体計測技術),油空圧技術,57(5),1-6 (2018).
- 6. 鈴木健児, JFPS2017 福岡における水圧分野の研究動向, フ ルードパワーシステム学会誌, 49 (3), 120-122 (2018).
- 鈴木健児、アクアドライブシステムの新たな構成機器の開発とその制御に関する研究委員会、フルードパワーシステム電子出版緑陰特集号、49 (E1), 55-56 (2018).
- 8. 山崎徹,三山壮,特集 振動騒音をデザインする,振動エネ ルギー伝搬解析を用いた振動低減のための二段階設計,自

動車技術, Journal of Society of Automotive Engineers of Japan, 71, 43-49 (2017.7).

著書

1. 該当なし(該当なしの場合、本節は印刷前に削除します)

調査報告書

- 1. 江上正,松野千加士,守屋元道,平成29年度SPIDER チャレンジ企画報告書 (2018).
- 中西裕二(改訂検討委員会委員長として),日本機械学会基準 JSME S008-2018 水車及びポンプ水車の性能換算法(改訂版)(2018)
- 3. 鈴木健児、日本フルードパワー工業会、KYB株式会社、平 成 29 年度経済産業省委託省エネルギー等国際標準化開発 「省 13:省エネ型水圧システムに関する国際標準化」成果 報告書 DVD 技術資料(別冊),(鈴木担当 WG:リリーフ 弁に係る基本特性と試験方法),31-37 (2018.2).
- 4. 山崎徹,平成 29 年度環境省委託業務「自動車単体騒音の 低減方策(今後の車外騒音規制)のあり方に関する調査業 務」報告書,公益社団法人自動車技術会共同研究センター 将来の車外騒音検討委員会(2018.3)

講演・展示会

- 江上正,段差乗り越え機構を有する倒立振子型電動車椅子, 2017 国際ロボット展かながわロボットイノベーション(東 京ビッグサイト, 2017.11).
- 2. 江上正, アイリスロボットハンド, 第2回ロボデックス(東京ビッグサイト, 2018.1)
- 江上正,吉川智康,アイリスロボットハンド, Maker Fair Tokyo 2018(東京ビッグサイト, 2018.8)
- 山崎徹,機械製品・楽器筐体の振動エネルギー伝搬解析, 日本音響学会音楽音響振動研究委員会(東京, 2018.2).
- 5. 山崎徹, タイヤの振動エネルギー伝搬モデル, 日本音響学 会騒音・振動研究委員会(東京, 2018.2)
- 山崎徹, 1DCAE 概念に基づくものづくり設計教育(第十 弾):基礎から学ぶ 1DCAE, 音振動設計の 1DCAE, 日本機 械学会設計工学・システム部門 No.17-113 講習会(東京, 2017.12)
- 中村弘毅,自動運転に関する"分野横断型"イノベーション 創出,日本機械学会年次大会部門企画ワークショップ,(大 阪,2018.9)

助成金

- 三浦正義(代表),自励振動ヒートパイプにおける液柱往復 振動に伴い流路内に形成される液膜に関する研究,公益財 団法人 マツダ財団 第33回(2017年度)マツダ研究助成, 課題番号17KK-203.
- 三浦正義(代表),マイクロカプセル相変化物質を用いた往 復振動液体の熱輸送性能向上,公益財団法人 中部電気利用 基礎研究振興財団 平成29年度研究助成,課題番号 R-29115.
- 三浦正義(代表),マイクロカプセル相変化物質を用いた自 励振動ヒートパイプの熱輸送性能向上,平成30年度科学研 究費補助金(継続),研究活動スタート支援,課題番号 17H07197.
- 江上正(代表), ロープテザーに対する宇宙エレベーターク ライマーの姿勢制御, 平成 30 年度科学研究費補助金, 基盤

研究 (C), 課題番号 18K04031.

- 5. 高野敦(代表),船見祐揮(分担),軽量・高性能ハイブリ ッドロケットエンジンの研究・開発,平成29年度工学研究 所共同研究 A,神奈川大学工学研究所.
- 6. 高野敦(代表),船見祐揮(分担),軽量・高性能ハイブリッドロケットエンジンの研究・開発,平成30年度工学研究所共同研究A,神奈川大学工学研究所.
- 寺島岳史(代表),金属ガラスの過冷却液体を利用した接合 と継手評価(継続),平成30年度科学研究費補助金,基盤 研究(C),課題番号16K06025.
- 8. 寺島岳史(代表),寺島研究室?属ガラスウール PJ, 平成 29 年ミスミものづくり支援
- 9. 中尾陽一(代表),温度・変位制御機能と高い熱的安定性を 有する超高速高剛性水静圧スピンドルの開発,平成 29 年度 基盤研究(C).
- 中尾陽一(代表),高速高精度液温制御システムの開発とフィードバック温度制御による工作機械用スピンドルの熱的安定化、メカトロニクス技術高度化「研究助成」.
- 中西裕二(代表),船見祐揮(分担),スタビライザによる 相反転プロペラの姿勢制御に関する基礎研究,平成30年度 共同利用研究,佐賀大学海洋エネルギー研究センター.
- 12. 鈴木健児,水圧用の制御弁(サーボ弁,リリーフ弁)に関する研究報告,日本フルードパワーシステム学会,アクアドライブシステム新たな構成機器の開発とその制御に関する研究委員会(JFPS水圧研究会),(東京,2018.2).
- 山崎徹,2017年度公益財団法人トランスコスモス財団,調 査研究助成,機械製品の広帯域振動抑制のための構造設計 法の開発.
- 14. 山崎徹, 2018年度公益財団法人トランスコスモス財団,調 査研究助成,振動エネルギー伝搬解析を用いた機械構造物 の低振動初期設計.

受託研究

- 1. 中尾陽一, プラスチック材料の鏡面加工技術の研究, HOYA 株式会社.
- 2. 山崎徹,受託研究,本田技術研究所.
- 3. 山崎徹,受託研究,交通安全環境研究所.
- 4. 山崎徹, 共同研究, ヤマハ発動機.
- 5. 山崎徹,研究奨学寄附金,一般社団法人次世代音振基盤技 術研究会.
- 6. 山崎徹,研究奨学寄附金,株式会社ブリヂストン.
- 7. 山崎徹, 共同研究, 株式会社デンソー.
- 8. 山崎徹, 共同研究, トヨタ自動車株式会社.
- 9. 山崎徹, 共同研究, 信越ポリマー株式会社.
- 10. 山崎徹, 受託研究, みずほ情報総研株式会社.
- 11. 山崎徹, 共同研究, 株式会社 IHI
- 12. 中村弘毅, 共同研究, ヤマハ発動機.
- 13. 中村弘毅, 共同研究, 株式会社 ISID エンジニアリング.

特許(取得)

- 江上正,自走式移動装置,フライホイールを用いた自走式 移動装置,特許第6195301号.
- 2. 江上正,移動装置,最適同期化制御を用いた移動装置,特 許第 6323939 号.

海外出張

1. 山崎徹, Noise and vibration emerging methods 2018, Ibiza,

Spain (2018.5).

- 山崎徹, The 47th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, Chicago, USA (2018.8).
- 3. 中村弘毅, Noise and vibration emerging methods 2018, Ibiza, Spain (2018.5).

褒賞

- 三浦正義,マツダ研究助成奨励賞,公益財団法人 マツダ財 団 (2017.10).
- Y. Nakao, S. Shibata and A. Hayashi, JFPS Best Paper Award, (2017-10).

電気電子情報工学科

研究論文I(レフェリー付き論文)

- 齊藤隆弘,小松隆,ランダム信号のDFT係数のための多 次元二成分混合型球対称ガウス分布モデルとそのパラメー タ推定,電子情報通信学会論文誌,J101-D(9),1224-1236 (2018).
- 新中新二,独立二重三相巻線永久磁石同期モータのモード 分担形電流制御(dq 同期座標系上における高速・低速モー ド電流の制御とキャンセリング),電気学会論文誌D, Vol.138, No.1, pp.48-57 (2018).
- 3. 細岡 竜, 中村直人, 新中新二, センサレス永久磁石同期モ ータのための正相逆相高周波電流相関を用いた離散時間搬 送高周波電圧印加法, 電気学会論文誌D, Vol.138, No.2, pp.150-163 (2018).
- 新中新二,中村直人,独立二重三相巻線永久磁石同期モー タのための4モード電流の独立・安定・高速制御,電気学 会論文誌D, Vol.138, No.7, pp.630-643 (2018).
- 5.
- Z. Zhang, Y. Tsuji, M. Eguchi, and C.-P. Chen, Study on Single-Polarized Holey Fibers with Double-Hole Unit Cores for Cross-Talk Free Polarization Splitter, IEICE, Trans. Electron., Vol.E101-C(8),620-626 (2018).
- C.-P. Chen, K. Kanazawa, Z. Zhang and T. Anada, Application of Novel Metallic PhC Resonators in Theoretical Design of THz BPFs, IEICE, Trans. Electron., Vol.E101-C(8), 655-659 (2018).
- Z. Zhang, Y. Tsuji, M. Eguchi, and C.-P. Chen, Design of polarization converter based on photonic crystal fiber with anisotropic lattice core consisting of circular holes, J. Opt. Soc. Am. B 34(10), 2227-2232 (2017).
- C.-P. Chen, C. Xie, T. Anada and Z. Zhang, Simulation and Measurement of Properties of Metallic Photonic Crystal Point-Defect-Cavities with a Centrally-loaded Rod, IEICE Trans. Electron., Vol.E101-C(1), 91-95 (2018).
- K. Hoshiba, K. Nakadai, M. Kumon and H. G. Okuno, Assessment of MUSIC-Based Noise-Robust Sound Source Localization with Active Frequency Range Filtering, Journal of Robotics and Mechatronics, 30 (3), 426-435 (2018).
- A. Suzuki, A. Nakayama, S. Abe and N. Watanabe, Restoration of the Josephson Current by Applying a Vertical Magnetic Field, IEEE TRANSACTIONS ON APPLIED SUPERCONDUCTIVITY, 28, 1200105 (2018).
- H. Mamiya, Y. Oba, N. Terada, N. Watanabe, K. Hiroi, T. Shinohara and K. Oikawa, Magnetic Bragg dip and Bragg edge in neutron transmission spectra of typical spin superstructures,

Scientific Reports, 7, 15516 (2017).

- A. Mori, H. Mamiya, M. Ohnuma, J. Ilavsky, K. Ohishi, Jarosław Woźniak, A. Olszyna, N. Watanabe, J. Suzuki, H. Kitazawa and M. Lewandowska, Manufacturing and characterization of Ni-free N-containing ODS austenitic alloy, Journal of Nuclear Materials, 501, 72-81 (2018).
- 野田和希,田中深幸,渡邉騎通,久保利隆,清水哲夫,超高 真空走査型トンネル顕微鏡を用いた電子源の構造観察, Journal of the Vacuum Society of Japan, 60, 437-439 (2017).
- 辻 順平,能登正人,テーマパーク問題におけるパレート最 適性を考慮した滞在時間短縮フレームワーク,人工知能学 会論文誌,33 (2), C-H98_1-9 (2018).
- 16. 佐藤知正,陳春平,穴田哲夫,馬哲旺,金属フォトニック結晶を用いた点欠陥共振器間の結合に関する検討とバンドパスフィルタへの応用,電子情報通信学会論文誌 C, Vol.J101-C(1), 43-48 (2018).
- H. Inoue, S. Yoneda, M. Kato, I.J. Ohsugi and T. Kobayashi, Examination of oxidation resistance of Mg₂Si thermoelectric modules at practical operating temperature, Journal of Alloys and Compounds, 735 (25 February 2018), 828-832 (2018).

研究論文II(レフェリー付き Proceedings)

- KINOSHITA Hirotsugu, MORIZUMI Tetsuya, Access Control Model for the Inference Attacks with Access Histories, Proc. of IEEE COMPSAC 2017,10.1109/COMPSAC.2017.41 (2017.7).
- T. Komatsu, K. Tyon and T. Saito, 3-D mean-separation-type short-time DFT with its application to moving-image denoising, Proc. of 2017 IEEE Int. Conf. on Image Processing (ICIP 2017), 2961-2965 (Beijing, 2017.9).
- Nicodimus Retdian, Takeshi Shima, N-path notch filter with a 43-dB notch de pth improvement for power line noise suppression, 2016 IEEE International symposium on Electronics and Smart Devices, pp.184-187 (2017.11).
- Takeshi Shima, Shun Kozuki, Nicodimus Retdian, Multiphase TDC inspired by the Early Vision Model, 2018 IEEE International Symposium on Circuites and Systems, pp.1-4 (2018.5).
- R.Hosooka and S.Shinnaka, New Sensorless Vector Control of PMSM by Discrete-Time Voltage Injection of PWM Carrier Frequency (High-Frequency Current Correlation Method), Proc. of 2017 IEEE 12th International Conference Power Electronics and Drive Systems (PEDS 2017) (Honolulu, 2017.12).
- S. Takeda, T. Anada, C.-P. Chen, A Theoretical Synthesis of Coupling Matrix by Eigen Mode Expansion Method and Householder Transform, Proc. 48th European Micro. Conf. (EuMW2018), pp. 364-367, Session EuMC21-3 (Madrid, 2018.9).
- C.-P. Chen, D. Tetsuda, Z. Z.,T. Anada, S. Takeda, X. Wang and Z. Ma, Synthesis of Novel Wideband Filter using Stub-Loaded Parallel-Coupled-Lines, Proc. 48th European Micro. Conf. (EuMW2018), pp. pp. 372-375, Session EuMC21-5 (Madrid, 2018.9).
- X. Wang, Z. Ma, M. Ohira, C.-P. Chen, T. Anada, Compact Tunable Wilkinson Power Divider With Simple Structure, Proc. 48th European Micro. Conf. (EuMW2018), pp. 41-44, Session EuMC03-1, (Madrid, 2018.9).
- 9. Z. Zhang, Y. Tsuji, M. Eguchi and C. Chen, Study on Polarization Converter Based on Double-hole Unit Photonic

Crystal Fiber, The 39th Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS PROCEEDINGS 2018), p.612 (Toyama, 2018.8).

- Z. Zhang, Y. Tsuji, M. Eguchi, and C.-P. Chen, Design of Polarization Splitter Based on High-birefringence Photonic Crystal Fiber with Double-hole Unit Core, The 39th Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS PROCEEDINGS 2017) (Singapore, 2017.11).
- C. Xie, C.-P. Chen, D. Tetsuda, S. Kikawa, Z. Zhang and T. Anada, An Extended Study on M-PhC Cavity with Controllable Resonant Frequencies, Proc. Asia Pacific Microwave Conference 2017, (4-pages) (Kuala Lumpur, 2017.11).
- S. Kikawa, C.-P. Chen, C. Xie, Daisuke T., Z. Zhang and T. Anada, Nondestructive Measurement of EM-parameters of High-loss Materials by Two-Probes-Method, Proc. Asia Pacific Microwave Conference 2017, (4-pages) (Kuala Lumpur, 2017.11).
- D. Tetsuda, C.-P. Chen, S. Kikawa, C. Xie, Z. Zhang, Tetsuo Anada and Zhewang Ma, Synthesis Scheme of Bandpass-to-Bandstop Switchable Wideband Filters Based on Coupled-Lines, Proc. Asia Pacific Microwave Conference 2017, Nov. 13-16, 2017. (4-pages) (Kuala Lumpur, 2017.11).
- C.-P. Chen, S. Kikawa, D. Tetsuda, T. Anada, and S. Takeda, "Design of a Novel Type of Narrow Band BPFs using High-Q M-PhC Resonators," Proc. 47th European Micro. Conf. (EuMW2017), pp. 904-907, Session EuMC43-1 (Nurnberg, 2017.10).
- K. Mori, H. Kawahara, H. Ogasawara, T. Tsuchiya, The 3rd Sea Trial for Ambient Noise Imaging with Acoustic Lens, Proc. on The 38th Symposium on Ultrasonic Electronics (USE 2017), 3P6-1 (Sendai, 2017.10).
- 16. S. Fujii, T. Tsuchiya, N. Endoh, Proc. on The 38th Symposium on Ultrasonic Electronics (USE 2017), 1P6-6 (Sendai, 2017.10).
- R. Taniguchi, K. Hoshiba, K. Itoyama, K. Nishida and K. Nakadai, Signal Restoration Based on Bi-Directional LSTM with Spectral Filtering for Robot Audition, Proc. The 27th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN), 955-960 (Nanjing, 2018.8).
- D. Gabriel, R. Kojima, K. Hoshiba, K. Itoyama, K. Nishida and K. Nakadai, Noise robust 2D bird localization via sound using microphone arrays, The 10th International Conference on Ecological Informatics, 71 (Jena, 2018.9).
- N. Matsuki, T. Matsui, K. Michishio, B. E. O' Rourke, N. Oshima, A. Uedono, The 25th International Workshop on Active-Matrix Flatpanel Displays and Devices, Session 2-2 (Kyoto, 2018.7).
- N. Matsuki, N. Oshima, B. O'Rourke, A. Uedono, Fast optical determination of microvoid size in hydrogenated amorphous silicon layers based on data obtained from positron annihilation spectroscopy, 27th International Photovoltaic Science and Engineering Conference, 1ThO1.4 (Otsu, 2017.11).

口頭発表

- 森住哲也、木下宏揚、確率的セキュリティモデルの可能性 について、2018 年暗号と情報セキュリティシンポジウム (SCIS2018), 1C2-2 (2018.1).
- 2. 森住哲也, 論理学的存在者から見る確率的存在者の倫理と は何か, 信学技報, vol. 117, no. 471, SITE2017-76, pp. 213-219 (2018.3).

- 3. 森住哲也,木下宏揚,確率測度空間に於いて脱構築装置を 内在するアクセス制御について,信学技報,vol. 118, no. 152, SITE2018-28, pp. 281-287 (2018.7).
- 4. 中谷憲・森住哲也・木下宏揚、ベイジアンモデルによる情報漏えい分析のための機械学習、電子情報通信学会ソサイ エティ大会、A-12-1 (2018.9).
- 小松 隆, 齊藤隆弘, ST-DFT 係数の確率分布モデルパラメ ータの推定と動画像復元法, 画像符号化/映像メディア処 理シンポジウム(PCSJ/IMPS 2017), P2-1 (修善寺, 2017.11)
- 小松 隆, 齊藤隆弘, 平均値分離型三次元 ST-DFT の演算量 削減, 電子情報通信学会 2018 年総合大会, D-11-29 (東京, 2018.3)
- 8. 齊藤隆弘,小松 隆,[招待講演] 動画像の 3-D DFT 係数の統計的モデリングとその動画像復元への応用,電子情報通信 学会・画像工学研究会, IE2018-6 (岐阜, 2018.5)
- 齊藤隆弘,小松隆,三次元 DFT 係数の統計的モデリング に基づく動画像の階層的クラスタリング,2018年映像情報 メディア学会年次大会,32B-1(金沢,2018.8)
- 小松 隆, 齊藤隆弘, 平均値分離型 ST-DFT 変換係数の雑音 分散推定, 2018 年映像情報メディア学会年次大会, 32B-2 (金沢, 2018.8)
- 齊藤隆弘,小松隆,三次元 DFT 領域における動画像の疎性,理論解析と統計的評価,第17回情報科学技術フォーラム(FIT2018), 6J-4 (福岡, 2018.9)
- 小松 隆, 齊藤隆弘, 三次元平均値分離型短時間 DFT によ る動画像の復元性能, 第 17 回情報科学技術フォーラム (FIT2018), 6J-5 (福岡, 2018.9)
- 13. 井出凌太,島健, Nicodimus Retdian,任意の整数比を有する SC型 DCDC コンバータの寄生容量電荷の再利用に関する実験報告,電子情報通信学会 総合大会 (2018.3).
- 古泉一樹,新中新二,低分解能ホールセンサを用いたPMSM のベクトル制御法の実機検証,平成30年電気学会全国大会 講演論文集,5, pp.127-128 (福岡,2018.3)
- 15. 近藤輝朋,新中新二,磁気飽和を有する同期リラクタンス モータの高周波電圧印加法によるセンサレス駆動,平成 30 年電気学会全国大会講演論文集,5,pp.154-155(福 岡,2018.3)
- 16. 細岡 竜,新中新二,センサレス永久磁石同期モータのための同相低減高周波電流相関を用いた離散時間搬送高周波電 圧印加法,平成 30 年電気学会全国大会講演論文集,5, pp.156-157(福岡,2018.3)
- 17. 新中新二,独立二重三相巻線永久磁石同期モータのための 4モード電流の独立・安定・高速制御,平成30年電気学会 全国大会講演論文集,5, pp.187-188 (福岡,2018.3)
- 梅野和希,新中新二,電圧制限下における異なる巻線起因 特性をもつ独立二重巻線 PMSM の最小銅損駆動,平成 30 年電気学会全国大会講演論文集,5,pp.189-190(福 岡,2018.3)
- 19. 新中新二,一般化磁束推定法を用いた同期リラクタンスモ ータのセンサレスベクトル制御,平成 30 年電気学会産業応 用部門大会講演論文集,Ⅲ, pp.231-236 (横浜, 2018.8)
- 20. 中村直人,新中新二,センサレス誘導電動機の広範囲駆動 のための直接周波数形ベクトル制御法,平成 30 年電気学会 産業応用部門大会講演論文集,Ⅲ, pp.237-242 (横浜, 2018.8)
- 21. 細岡 竜,村上穰視,新中新二,永久磁石同期モータのため の高周波電圧印加と最小次元D因子拡張磁束状態オブザー

- 22. 謝 成龍,陳 春平,張 沢君,穴田哲夫,中山明芳(神奈川 大),武田重喜(アンテナ技研),エアギャップ付き平行平 板金属 PhC 構造のバンドギャップ特性, 2018 年電子情報 通信学会ソサイエティ大会講演論文集,エレクトロニクス, C-2-57, p.72 (金沢, 2018.9)
- 23. 陳春平, 穴田哲夫, 張沢君, 中山明芳, 武田重喜, (依頼 講演) 金属フォトニック結晶を用いたミリ波・サブミリ波 バンドパスフィルタの設計, 2018 年電子情報通信学会ソサ イエティ大会講演論文集, エレクトロニクス, C-2-57, pp.C-S-1 - C-S-2 (金沢, 2018.9)
- 24. 張 沢君, 辻 寧英, 江口真史, 陳 春平, ダブルホールユニ ットを有する正方格子 PCF を用いた偏波変換素子に関す る検討, 信学技報, vol. 118, no. 144, EST2018-7, pp. 19-22 (洞 爺湖, 2018.7)
- 25. 佐藤知正, 謝 成龍, 陳 春平, 張 沢君, 穴田哲夫, 誘導 性金属円形ポストによる金属フォトニック結晶バンドパス フィルタの合理的設計, 信学技報, vol. 118, no. 142, MW2018-46, pp. 131-136 (洞爺湖, 2018.7)
- 26. 謝 成龍,陳 春平,張 沢君,穴田哲夫,中山明芳,武田重 喜,エアーギャップ付き金属フォトニック構造による多段 BPFの設計,2017年電子情報通信学会総合大会講演論文集, エレクトロニクス,C-2-55, p.69 (東京, 2018.3)
- 27. 武田重喜, 久保田倫代, 一瀬裕弥, 穴田哲夫, 陳 春平, 回 路網関数に基づく結合マトリクスの一合成法, 2018 年電子 情報通信学会総合大会講演論文集, エレクトロニクス, C-2-54, p.68 (東京, 2018.3)
- Z. Zhang, Y. Tsuji, M. Eguchi, C.-P. Chen, (依頼講演 30 分) Study on High-Performance Optical Devices Based on Single-Polarization Photonic Crystal Fiber, 2018 年電子情報通 信学会総合大会講演論文集,エレクトロニクス, C-3-26, p.144 (東京, 2018.3)
- 石川 亮,天川修平,陳 春平,河口民雄,岡崎浩司,[特別 講演]2017年ヨーロッパマイクロ波会議出席報告,信学技 報,vol. 117, no. 413, MW2017-169, pp. 35-40 (2018.1).
- 30. 土屋健伸,各種音響レンズの特性,海洋音響学会2017年度 第1回シンポジウム(金沢,2017.11)
- 31. 笹川陽祐・藤井俊一・土屋健伸・遠藤信行,反転位相素子 構成による超音波スピーカの放射音場測定,電子情報通信 学会技術報告書, IEICE-117, 398, 55-58 (大阪, 2018.1).
- 32. 袴田拓実, 干場功太郎, 土屋健伸, 遠藤信行, パラメトリッ クスピーカを用いた局所的可聴領域形成の検討, 電子情報 通信学会ソサイエティ大会, 17 (金沢, 2018.9).
- 33. 山下洋佳, 虻川和紀, 佐藤智夫, 松本さゆり, 袴田拓実, 干 場功太郎, 土屋健伸, 遠藤信行, 超音波非接触式肉厚測定 における横波の影響の基礎検討, 日本音響学会秋季研究発 表会, 1379-1380 (大分, 2018. 9).
- 34. 袴田拓実,土屋健伸,干場功太郎,山下洋佳,遠藤信行,松本さゆり,佐藤智夫,水中映像取得装置のための反転位相板による送受波器の開発,日本音響学会秋季研究発表会, 1381-1382 (大分, 2018.9).
- 35. 奥乃博, 糸山克寿, 中臺一博, 公文誠, 坂東宜昭, 干場功太郎, ロボット聴覚技術の極限環境への展開, 第62回システム制御情報学会研究発表講演会, 1-5 (横浜, 2018. 5).
- 36. 鈴木拓也,中臺一博,奥乃博,星達也,水野直希,大貫和也, 濱田龍之介,大野和則,干場功太郎,音響センサによるサ イバー救助犬のパンティングの検出,第36回日本ロボット 学会学術講演会,1-4(春日井,2018.9).
- 37. 谷口亮輔, 干場功太郎, 糸山克寿, 西田健次, 中臺一博,

Bi-directional LSTM を用いた分離音声信号修復法の提案, 第36回日本ロボット学会学術講演会, 1-4 (春日井, 2018.9).

- 38. D. Gabriel, R. Kojima, K. Hoshiba, K. Itoyama, K. Nishida and K. Nakadai, Case study of bird localization via sound in 3D space, 第 36 回日本ロボット学会学術講演会, 1-4 (春日井, 2018.9).
- 39. 袴田拓実, 干場功太郎, 土屋健伸, 遠藤信行, パラメトリッ クスピーカを用いた局所的可聴領域形成の検討, 電子情報 通信学会ソサイエティ大会, 17 (金沢, 2018. 9).
- 40. 山下洋佳, 虻川和紀, 佐藤智夫, 松本さゆり, 袴田拓実, 干 場功太郎, 土屋健伸, 遠藤信行, 超音波非接触式肉厚測定 における横波の影響の基礎検討, 日本音響学会秋季研究発 表会, 1379-1380 (大分, 2018. 9).
- 41. 袴田拓実,土屋健伸,干場功太郎,山下洋佳,遠藤信行,松本さゆり,佐藤智夫,水中映像取得装置のための反転位相板による送受波器の開発,日本音響学会秋季研究発表会, 1381-1382 (大分, 2018.9).
- K. Nakadai, K. Itoyama, K. Hoshiba and H. G. Okuno, MUSIC-BASED SOUND SOURCE LOCALIZATION AND TRACKING FOR TASKS 1 AND 3, The 16th International Workshop on Acoustic Signal Enhancement (IWAENC), (Tokyo, 2018.9).
- 43. 井手元慎平,平岡隆晴,豊嶋久道,方形導波管誘導性窓共振器型フィルタ回路の PSO を用いた回路設計,2018 年電子 情報通信学会総合大会, ISS-A-001 (東京, 2018.3).
- 44. 斎藤小太郎, 平岡隆晴, 豊嶋久道, 時間足を最適化した MTF トレーディングシステムの構築, 2018 年電子情報通信学会 総合大会, ISS-A-054 (東京, 2018.3).
- 45. 斎藤小太郎,平岡隆晴,豊嶋久道,時間足を最適化した MTF トレーディングシステムの構築,2018 年電気学会 電子・情報・システム部門大会,GS4-3 (札幌,2018.9).
- 46. 平岡隆晴,井手元慎平,豊嶋久道,許瑞邦,側面短絡境界型平面回路のモードアドミタンスによる解析,2018年電子情報通信学会そうごうソサイエティ大会,C-1-5(金沢,2018.9).
- 47. 渡邉騎通,江花 昭哉ショーン、小林一樹、彦坂卓哉,鈴木 敦之、阿部 晋、中山明芳、垂直磁界印加時におけるジョセ フソン電流の二次元磁界変調特性、電子情報通信学会技術 研究報告. SCE,超伝導エレクトロニクス 117(428), 1-5 (東 京, 2018.1).
- 48. 間宮広明,大場洋次郎,寺田典樹,渡邉騎通,廣井孝介,篠 原武尚,及川健一,中性子透過スペクトルに現れるスピン 秩序由来の磁気ブラッグエッジ・ブラッグディップとその 利用,日本物理学会第 73 回年次大会,25aK303-1 (千葉, 2018.3).
- 49. N. Watanabe, A. Nakayama, A. S. Ebana, K. Kobayashi, T. Hikosaka and S. Abe "Modulation characteristics of a Josephson current through a superconducting tunnel junction by applying the parallel magnetic field (Hx, Hy) and perpendicular magnetic field Hz" 13th International Conference on Surfaces, Coatings and Nanostructured Materials, NANO-97 (Poland, 2018.9).
- 50. A. Nakayama, A. S. Ebana and N. Watanabe "Estimation of Pinhole Junction Position in Superconducting Quantum Interference Device Structure from Two-dimensional Magnetic Field Dependence of Josephson Current" 13th International Conference on Surfaces, Coatings and Nanostructured Materials, NANO-189 (Poland, 2018.9).
- 51. 難波脩人, 辻 順平, 能登正人, 水ストレス栽培自動化のための潅水制御法の検討, 情報処理学会第80回全国大会, 1R-09(東京, 2018.3).

- 52. 小林賢一, 辻 順平, 能登正人, 深層強化学習ロボットの実 仮想環境統合フレームワークへ向けた検討, 情報処理学会 第80回全国大会, 7N-08 (東京, 2018.3).
- 53. 杉山友亮, 辻 順平, 能登正人, 水中下における測域センサ を用いたくぼみ検出の検討, 2018 年電子情報通信学会総合 大会, D-12-60 (東京, 2018.3).
- 54. 難波脩人, 辻 順平, 能登正人, 画像処理技術を用いたトマトの体内水分量制御手法の検討, 2018 年度人工知能学会全国大会(第32回), 2G3-OS-10c-04 (鹿児島, 2018.6).
- 55. 小林賢一, 辻 順平, 能登正人, 農作物病害画像診断に向け た Data Augmentation の評価, 2018 年度人工知能学会全国 大会 (第 32 回), 1K3-OS-10a-05 (鹿児島, 2018.6).
- 56. 小林賢一, 辻 順平, 能登正人, Data Augmentation の良し 悪しの検討 -Frechet Inception Distance に基づく評価方法-, 情報処理学会第 213 回コンピュータビジョンとイメージメ ディア研究発表会, 2018-CVIM-213 (30), 1-6 (福岡, 2018.9).
- 57. 松木伸行,松井卓矢,満汐孝治,ブライアン オローク,大 島永康,上殿明, a-Si:H/c-Si ヘテロ界面近傍のボイド構造 解析 -a-Si:H 中の陽電子消滅に対するドーピングの影響-, 応用物理学会春季学術講演会,18a-D101-6(名古屋,2018.9).
- 58. 平野 伸,佐藤知正,松木伸行,大気圧 CVD 法による有機 /無機ハイブリットハライド鉛ペロブスカイトの製膜, 20a-G202-4,(東京,2018.3).
- 59. 山崎友貴, 佐藤知正, 松木伸行, 新規電子触媒デバイスの 創製, TiO2 薄膜におけるアヴァランシェ電子増倍効果発現 と制御の試み, (東京, 2018.3).
- 60. 松木伸行,松井卓矢,満汐孝治,オローク ブライアン,大島永康,上殿明良, a-Si:H/c-Si ヘテロ界面近傍ボイド構造の高速評価ーボイドサイズと光学パラメータの相関普遍性に関する考察-,応用物理学会春季学術講演会, 18a-D101-6,(東京,2018.3).
- 神波高太郎, 天沼 博, 松澤和光, 共感による癒しを目指した概念ベクトルによる情緒生成, 人工知能学会第56回ことば工学研究会, 41-46 (盛岡, 2017.12).
- 62. 神波高太郎, 天沼 博, 松澤和光, 情緒パターン生成のための学習モデルの提案, 電気学会 平成 30 年度 電子・情報・システム部門大会, GS1-7 (札幌, 2018.9).
- 小林 立, 鈴木 温, 米田征司, 山口栄雄, 振動法による DNA 変性機構と増幅, 平成 30 年 電気学会 電子・情報・システ ム部門大会, PS5-7 (札幌, 2018. 9).
- 小林 立,鈴木 温,米田征司,山口栄雄,可聴周波数振動 による DNA 変性と増幅,日本音響学会講演論文集(秋季), 1-P-45 (大分, 2018.9).

学術誌

- 土屋健伸,海洋音響の基礎と応用一海洋音波伝搬一(7) FDTD 法による音波伝搬解析結果,海洋音響学会誌,44(4), 193-202 (2017.10)
- 松木伸行,紫外光をカットし発電する窓材料:透明太陽電 池の開発, MATERIAL STAGE, Vol. 18 (8), 30-34 (2018).

調査報告書

- 齊藤隆弘(研究代表者),小松隆(研究分担者),低照度・ 高品質撮像のための画像疎表現理論に基づく新カラー動画 像復元法の開発,科学研究費助成事業研究成果報告書,基 盤研究(C),課題番号15K00250 (2018).
- 太田和彦著,水中音響における可視化技術部会報告,海洋 音響学会技術部会,87-96, (2017.11).

講演・展示会

- 1. 齊藤隆弘, [招待講演] 動画像の 3-D DFT 係数の統計的モデ リングとその動画像復元への応用,電子情報通信学会・画 像工学研究会 (岐阜, 2018.5).
- 陳春平,(依頼講演)フォトニック結晶による電磁波の制 御と新機能デバイス、高周波磁性材料の実用化のための技 術動向調査専門委員会,Knowledge Society(ナレッジソサエ ティ)、2018 年 05 月 16 日(水)
- 3. 土屋健伸,海と産業革新コンベンション (うみコン 2018) (2018.1)
- N. Watanabe, H. Mamiya, F. Abe and H. Kitazawa "Characterization of boron distribution in Heat-Resistant Steels by TOF-SIMS "Joint Symposium of 3rd Innovative Measurement and Analysis for Structural Materials and TIA-Fraunhofer workshop, 2-6 (茨城, 2017.10).
- N. Watanabe, H. Mamiya, D. Fujita and H. Kitazawa "Interface melting in the Si/Al interface observed by TOF-SIMS" Joint Symposium of 3rd Innovative Measurement and Analysis for Structural Materials and TIA-Fraunhofer workshop, 2-7 (茨城, 2017.10).
- N. Watanabe, H. Mamiya, F. Abe and H. Kitazawa " Characterization of precipitates containing boron in heat-resistant steels using TOF-SIMS" The 8th International Symposium on Surface Science, 3PN-2 (茨城, 2017.10)
- H. Kitazawa, N. Watanabe, J. Szabelewsk, H. Mamiya and D. Fujita "Observation of interface melting in the Si/ Al interface by TOF-SIMS" The 8th International Symposium on Surface Science, 4PN-9 (茨城, 2017.10)
- 間宮広明,大場洋次郎,寺田典樹,渡邉騎通,廣井孝介,篠 原武尚,及川健一 "磁気ブラッグエッジ・ブラッグディッ プによるスピン秩序解析" 第3回 TIA 光・量子計測シン ポジウム (茨城, 2018.2)
- H. Kitazawa, N. Watanabe, J. Szabelewsk, H. Mamiya and D. Fujita "TOF-SIMS による Si/Al 界面での界面融解現象の観 測" MI・計測 合同シンポジウム 計測と数理の融合とデ ータリポジトリのシステム化, P64 (茨城, 2018.3).
- T. Hikosaka, A. Nakayama, A. S. Ebana, K. Kobayashi, N. Watanabe and S. Abe "Influence of the thickness of the base Nb layer on flux trapping in the Nb superconducting film around the Josephson junction" The 14th International Workshop of High-Temperature Superconductors in High Frequency Field, P.1 (山形, 2018.6)
- N. Watanabe, A. Nakayama, A. S. Ebana, K. Kobayashi, T. Hikosaka and S. Abe "Modulation characteristics of Josephson current through a Nb/Al-AlOx/Nb Josephson junction by applying the parallel magnetic field (Hx, Hy) and perpendicular magnetic field Hz" The 14th International Workshop of High-Temperature Superconductors in High Frequency Field, P.7 (山形, 2018.6)
- A. S. Ebana, A. Nakayama, K. Kobayashi, T. Hikosaka, N. Watanabe and S. Abe "Two-dimensional magnetic field dependence of a Josephson current through a Josephson junction with different shapes" The 14th International Workshop of High-Temperature Superconductors in High Frequency Field, P.8 (山形, 2018.6)
- K. Kobayashi, A. Nakayama, A. S. Ebana, T. Hikosaka, N. Watanabe and S. Abe "Influence of the Al thickness of Nb/Al-AlOx/Nb Josephson junction on two-dimensional

magnetic field dependence of Josephson current" The 14th International Workshop of High-Temperature Superconductors in High Frequency Field, P.10 (山形, 2018.6)

14. 松木伸行,近紫外光をカットしつつ発電する透明窓材料, 国立研究開発法人 科学技術振興機構主催 神奈川大学 新 技術説明会(東京, 2017.12).

助成金

- 木下宏揚 (分担),仮想通貨の転々流通性によって繋がる経済的な共同体とその可視化に関する実験的研究,基盤研究 (B),課題番号 15H03391
- 齊藤隆弘(研究代表者),小松隆(研究分担者),低照度・ 高品質撮像のための画像疎表現理論に基づく新カラー動画 像復元法の開発,平成29年度文部科学省科学研究費補助金, 基盤研究(C),課題番号15K00250.
- 3. 陳 春平, 穴田哲夫, 5G 無線通信を支えるマルチバンドと ミリ波デバイスの理論設計による迅速開発, 平成 29 年度年 度科学研究費助成金・基盤研究 (C), 課題番号 16K06320.
- 穴田哲夫,陳春平,ミリ波・サブミリ波帯におけるフォトニック結晶構造を応用した電磁波回路の解析と応用,平成
 29年度年度科学研究費助成金・基盤研究 (C),課題番号24560423.
- 5. 土屋健伸(代表),フォノニック結晶構造を用いた平面音響 レンズの実用化に向けた最適化設計とクローキング材に関 する研究,平成29 年度科学研究費補助金,基盤研究(C), 課題番号15K06624.
- 松木伸行(代表),超高真空製膜装置用脱着式ポータブル走 査型電気化学セル顕微鏡の開発,平成30年度神奈川県立産 業技術総合研究所産学公連携事業化促進研究助成.
- 松木伸行(代表), 無機触媒/半導体ハイブリッド型水素・ 酸素生成太陽光熱電池の創製, 平成28年度工学研究所共同 研究A.
- 松木伸行(代表),ネット・ゼロ・エネルギーハウス実現の ための光熱エネルギー変換システム創製,平成29年度神奈 川大学共同研究奨励助成金.
- 山口栄雄(代表),米田征司(分担),振動を用いた 37℃秒 速 DNA 増幅装置の開発,平成 30 年度科学研究費補助金, 基盤研究(B),課題番号 18H03524.

受託研究

- 1. 陳 春平,研究奨学寄付金,アンテナ技研.
- 受託研究: 土屋健伸, 三菱電機株式会社, 長距離音波伝搬解 析技術の研究(2015-2017 年)
- 3. 研究奨学寄付金:土屋健伸,株式会社トーイツ,分娩監視 装置,ドプラ胎児診断装置の開発

特許(取得)

 山口栄雄,核酸変性装置、核酸変性方法および核酸の増幅 方法,特許第6213924号.

海外出張

- 干場功太郎, 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Madrid, Spain (2018. 10).
- 2. H. Mamiya, Y. Oba, N. Terada, N. Watanabe, K. Hiroi, T. Shinohara and K. Oikawa "Magnetic Bragg dip and Bragg edge

in neutron transmission spectra of a typical spin order" 21ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON MAGNETISM, F4-01 (USA, 2018.7)

- T. Hikosaka, A. Nakayama, A. S. Ebana, K. Kobayashi, N. Watanabe and S. Abe "Influence of the thickness of the base Nb layer in a Josephson junction on flux trapping" 13th International Conference on Surfaces, Coatings and Nanostructured Materials, NANO-98 (Poland, 2018.9).
- K. Kobayashi, A. Nakayama, A. S. Ebana, T. Hikosaka, N. Watanabe and S. Abe "Influence of the Al thickness of Nb/Al-AlOx/Nb Josephson junction on the current-voltage characteristics and two-dimensional magnetic field dependence of a Josephson junction" 13th International Conference on Surfaces, Coatings and Nanostructured Materials, NANO-99 (Poland, 2018.9).
- A. S. Ebana, A. Nakayama, K. Kobayashi, T. Hikosaka, N. Watanabe and S. Abe "Modulation of a Josephson current through a Josephson junction with different shapes by two-dimensional scan of the external magnetic fields" 13th International Conference on Surfaces, Coatings and Nanostructured Materials, NANO-100 (Poland, 2018.9).
- N. Watanabe, A. Nakayama, H. Mamiya, F. Abe and H. Kitazawa "Characterization of boron precipitates in heat-resistant steels using TOF-SIMS" 13th International Conference on Surfaces, Coatings and Nanostructured Materials, NANO-197 (Poland, 2018.9).

褒賞

- 1. 小松 隆, 齊藤隆弘, ST-DFT 係数の確率分布モデルパラメ ータの推定と動画像復元法, 2017 画像符号化・映像メディ ア処理シンポジウム(PCSJ/IMPS 2017)・優秀論文賞, 電子情 報通信学会 (2017.12)
- D. Gabriel, R. Kojima, K. Hoshiba, K. Itoyama, K. Nishida and K. Nakadai, Case study of bird localization via sound in 3D space, International Session Best Paper Award, 日本ロボット 学会, (2018.9).

その他

- オーガナイズドセッション「ロボット聴覚およびその展開」 オーガナイザー,第36回日本ロボット学会学術講演会(春日井,2018.9).
- 2. 東北大学,弘前大学,(国)物質・材料研究機構,神奈川大学の共同申請で採択された(国)科学技術振興機構「さくらサイエンスプラン」によるオグズ・ハン記念トルクメニスタン工科大学からの研修生3名受入(ペロブスカイト太陽電池作製実験実習),2017年11月29日~12月1日
- オグズ・ハン記念トルクメニスタン工科大学講師 Seyidov Palvan 氏の実験研修受入, 2018 年 4 月 8 日~5 月 31 日.

物質生命化学科

研究論文I(レフェリー付き論文)

- M. Igawa, K. Kamijo, B. Nanzai, and K. Matsumoto, "Chemical composition of polluted mist droplets", Atmos. Environ., 171, 230–236 (2017).
- 2. 井川 学, 石山 康也, 南齋 勉, "除染廃棄物減容のための

電場によるセシウムイオンの除去",日本海水学会誌,72,88-95 (2018).

- B. Nanzai, D. Terashita, Y. Koyano, H. Kitahata, and M. Igawa, "Spontaneous electrical oscillation in horizontal three-phase liquid membrane systems: Effect of Marangoni effect induced by buoyant convection", Colloids and Surfaces A, 553, 496–502 (2018).
- T. Ikehara and T. Kataoka, The degree of crystallinity and segmental mobility in interpenetrating spherulites of poly(butylene succinate) and poly(ethylene oxide), Polymer Journal, 50(6), 431–438 (2018).
- S. Ishikawa, Y. Goto, Y. Kawahara, S. Inukai, N. Hiyoshi, N.F. Dummer, T. Murayama, A. Yoshida, M. Sadakane and W. Ueda, Synthesis of Crystalline Microporous Mo-V-Bi Oxide for Selective (Amm) Oxidation of Light Alkanes, Chemistry of Materials, 29, 2939-2950 (2017).
- Q. Zhu, Z. Zhang, M. Sadakane, A. Yoshida, M. Hara and W. Ueda, Synthesis of crystalline molybdenum oxides based on a 1D molecular structure and the ion-exchange property, New Journal of Chemistry, 41, 4503-4509 (2017).
- Z. Zhang, M. Sadakane, S.-I. Noro, N. Hiyoshi, A. Yoshida, M. Hara and W. Ueda, Ultrathin anionic tungstophosphite molecular wire with tunable hydrophilicity and catalytic activity for selective epoxidation in organic media, Chem. Eur. J., 23(69) 17497-17503 (2017).
- K. Nakajima, J. Hirata, M. Kim, N. K. Gupta, T. Murayama, A. Yoshida, N. Hiyoshi, A. Fukuoka and W. Ueda, Facile Formation of Lactic Acid from a Triose Sugar in Water over Niobium Oxide with a Deformed Orthorhombic Phase, ACS Catal., 8, 283-290, (2018).
- D. Jones, S, Iqbal, R, Christian, S. Ishikawa, P, Miedziak, D, Morgan, D, Willock, J, Bartley, J, Edwards, W, Ueda and G, Hutchings, xNi-yCu-ZrO₂ catalysts for the hydrogenation of levulinic acid to gamma valorlactone, Catalysis, Structure and Reactivity, 4(1), 12-23 (2018).
- S. Ishikawa, Z. Zhang and W. Ueda, Unit Synthesis Approach for Creating High Dimensionally-Structured Complex Metal Oxides As Catalysts for Selective Oxidations, ACS Catal., 8, 2935-2943, (2018).
- A. Yada, T. Murayama, J. Hirata, T. Nakashima, M. Tamura, Y. Kon and W. Ueda, W-Ti-O Mixed Metal Oxide Catalyzed Dehydrative Cross-etherification of Alcohols, Chem. Lett., 47(4), 447-449 (2018).
- Z. Zhang, Q. Zhu, M. Sadakane, T. Murayama, N. Hiyoshi, A. Yamamoto, S. Hata, H. Yoshida, S. Ishikawa, M. Hara and W. Ueda, A zeolitic vanadotungstate family with structural diversity and ultrahigh porosity for catalysis, Nature Commun., 9, 3789 (2018).
- 13. Y. Kon, T. Fujitani, T. Nakashima, T. Murayama and W. Ueda, Versatile etherification of alcohols with allyl alcohol by a titanium oxide-supported molybdenum oxide catalyst: gradual generation from titanium oxide and molybdenum oxide, Catal. Sci. Technol., 8, 4618-4625 (2018).
- 14. J. Hirayama, I. Orlowski, S. Iqbal, M. Douthwaite, S. Ishikawa, P. Miedziak, J. Bartley, J. Edwards, Q. He, R. Jenkins, T. Murayama, C. Reece, W. Ueda, D. Willock and G. Hutchings, The Effects of Dopants on the Cu-ZrO₂ Catalysed Hydrogenation of Levulinic Acid, J. Phys. Chem. C, in press (2018).
- 15. S. Ishikawa, Y. Maegawa, M. Waki and S. Inagaki,

Immobilization of a Molybdenum Complex on Bipyridine-Based Periodic Mesoporous Organosilica and Its Catalytic Activity for Epoxidation of Olefins, ACS Catal., 8, 5, 4160-4169 (2018).

- T. Sugita, M. Okada, Y. Nakashima, T. Tian and I. Abe. A tryptophan prenyltransferase with broad substrate tolerance from Bacillus subtilis subsp. natto., ChemBioChem, 19, 1396–1399 (2018).
- T. Mitsuhashi, M. Okada and I. Abe. Identification of chimeric abg diterpene synthases possessing both type II terpene cyclase and prenyltransferase activities., ChemBioChem, 18, 2104–2109 (2017).
- S. Madhavan, S. Okamoto, Silica-Supported Silver as a Green and Sustainable Catalyst for the [3+2]-Cycloaddition Reaction of Azomethine Ylides with 2'-Hydroxychalcone Derivatives, ChemCatChem, 10, 2014-2018 (2018).
- T. Yamada, M. Yagita, Y. Kobayashi, G. Sennari, H. Shimamura, H. Matsui, Y. Horimatsu, H. Hanaki, T. Hirose, S. Ōmura and T. Sunazuka, Synthesis and evaluation of antibacterial activity of bottromycins, J. Org. Chem., 83, 7135-7149 (2018).
- H. Saneyoshi and A. Ono, "Development of Protecting Groups for Prodrug-Type Oligonucleotide Medicines" Chem. Pharm. Bull., 66, 147-154 (2018).
- A. Ono, T. Sugawara, H. Saneyoshi, and J. Kondo, "Crystal structure of a DNA duplex containing four Ag(I) ions in consecutive dinuclear Ag(I)-mediated base pairs: 4-thiothymine-2Ag(I)-4-thiothymine"Chem. Comm., 70, 11747-11750 (2017). (Front Cover)
- X.-L. Liu, K. Murakami, H. Matsukizono, S. Tsunega and R.-H. Jin, "Convenient Chirality Transfer from Organics to Titania: Construction and Optical Property", RSC Adv. 8, 15951-15950 (2018).
- M. Sugimoto, X.-L. Liu, S. Tsunega, E. Nakajima, S. Abe, T. Nakashima, T. Kawai and R.-H. Jin, "Circularly Polarized Luminescence from Inorganic Materials-Encapsulating Guest Lanthanide Oxides in Chiral Silica Hosts", Chem. Eur. J. 24, 6519-6524 (2018). (selected as hot paper, Front cover)
- D. Souma and R.-H. Jin, "Biomimetic silica deposition promoted by sub-5 μm complexes of dicarboxylic acids/polyethyleneimine microballs: a new approach of tuning silica structures using messenger-like organic acids", RSC Advances, 8, 435-443 (2018).
- J. Nakazawa, Y. Doi and S. Hikichi, "Alkane oxidation reactivity of homogeneous and heterogeneous metal complex catalysts with mesoporous silica-immobilized (2-pyridylmethyl)amine type ligands", Mol. Catal., 443, 14–24 (2017).
- 26. T. Nishiura, T. Uramoto, Y. Takiyama, J. Nakazawa and S. Hikichi, "Cobalt(II) Complexes with N,N,N-Scorpionates and Bidentate Ligands: Comparison of Hydrotris(3,5-dimethylpyrazol-1-yl)borate Tp* vs. Phenyltris(4,4-dimethyloxazolin-2-yl)borate ToM to Control the Structural Properties and Reactivities of Cobalt Centers", pages) Molecules, 23 (6), 1466 (17)(2018);https://doi.org/10.3390/molecules23061466 (open access).
- 27. 津田喬史,安東信雄,三橋直人,田邉豊和,板垣薫,杣直彦, 中村 奨,林 成実,松本 太,穴あきグラファイト電極積層 セルの Li*イオンプレドープにおける電極開口条件および 反応温度とプレドープ速度との関係, Electrochemistry, 86(1) 10-18 (2018).
- 28. T. Tanabe, Y.B. Liu, K. Miyamoto, Y. Irii, F. Maki, Fumihiko Maki, T. Gunji, S. Kaneko, S. Ugawa, H. Lee, T. Ohsaka, F. Matsumoto, "Synthesis of Water-Resistant Thin TiO_x Layer-Coated High-Voltage and High-Capacity iLiNi_aCo_bAl_{1-a-b}O₂ (a > 0.85) Cathodeand Its Cathode Performance to Apply a Water-Based Hybrid Polymer Binder Binder to Li-Ion Batteries, Electrochimica Acta, 258, 1348-1355
- F. Nomura Y. Liu, T. Tanabe, N. Tamura, T. Tsuda, T. Hagiwara, T. Gunji, T. Ohsaka, F. Matsumoto, Optimization of Calcination Temperature in Preparation of a High Capacity Li-rich Solid-Solution Li[Lio.2Ni 0.18C00.03Mn0.58]O₂ Material and Its Cathode Performance in Lithium Ion Battery, Electrochimica Acta, 269, 321-330 (2018).
- 30. F. Ando, T. Tanabe, T. Gunji, S. Kaneko, T. Takeda, T. Ohsaka and F. Matsumoto, Effect of the *d*-Band Center on the Oxygen Reduction Reaction Activity of Electrochemically Dealloyed Ordered Intermetallic Platinum-Lead (PtPb) Nanoparticles Supported on TiO₂-Deposited Cup-Stacked Carbon Nanotubes, ACS Applied Nano Materials, 1(6) 2844-2850 (2018).
- T. Gunji, R. H. Wakabayashi, S. H. Noh, B. Han, F. Matsumoto, F. J. DiSalvo and H. D. Abruña, The Effect of Alloying of Transition Metals (M = Fe, Co, Ni) with Palladium Catalysts on the Electrocatalytic Activity for the Oxyge Reduction Reaction in Alkaline Media, Electrochimica Acta, 283, 1045-1052 (2018).
- 32. F. Nomura, Y. Liu, T. Tanabe, T. Gunji, T. Tsuda, S. Ugawa, H. Lee, T. Ohsaka and F. Matsumoto, Elucidation of Key Factors of Water-Resistance of Li-Rich Solid-Solution Layered Oxide Cathode Materials Applicable to a Water-Based Cathode Preparation Process for Li-Ion Battery, Electrochimica Acta, 283, 478-487 (2018).
- T. Gunji, S. H. Noh, F. Ando, T. Tanabe, B. Han, T. Ohsaka and F. Matsumoto, Electrocatalytic Activity of Structurally Ordered Intermetallic PdCu₃ Nanoparticles towards Oxygen Reduction Reaction in Acidic Media, J. Materials Chem. A, 6, 14828-14837 (2018).
- 34. Y. Chiba, M. Saito, T. Hagiwara, H. Takatsu, H. Kageyama, and T. Motohashi, High-temperature Electrochemical Crystal Growth of Hollandite-Type Cs_xTi₈O₁₆ with Controlled Electronic Properties, Crystal Growth & Design, 17, 5691-5696 (2017).
- 35. E. Tsuji, T. Motohashi, H. Noda, Y. Aoki and H. Habazaki, Strong Lanthanoid-Substitution Effect on Electrocatalytic Activity of Double-Perovskite-Type BaLnMn₂O₅ (*Ln* = Y, Gd, Nd and La) for Oxygen Reduction Reaction, Journal of Physical Chemistry C, 122, 7081-7087 (2018).
- Y. Aoki, E. Tsuji, T. Motohashi, D. Kowalski and H. Habazaki, La_{0.7}Sr_{0.3}Mn_{1-x}Ni_xO₃₋₈ Electrocatalysts for the 4 Electron Oxygen Reduction Reaction in Concentrated Alkaline Media, Journal of Physical Chemistry C, 122, 22301-22308 (2018).
- 37. 中津川 博, 齋藤 美和, 岡本 庸一, Pr1-xSrxFeO3 (0.1≤x ≤0.7)の高温熱電特性, 日本熱電学会誌, 15 (1), 3-13 (2018).
- R. Okabayashi, Y. Ohta and T. Yokozawa, Control of Molecular Weight and End-Functional Groups of Polyester from A₂ + B₂ Polycondensation via Cross-Metathesis of Cyclic Unsaturated Polyester with Difunctional Olefin, Macromolecules, 50 (24), 9589-9597 (2017).
- K. Kosaka, T. Uchida, K. Mikami, Y. Ohta and T. Yokozawa, AmPhos Pd-catalyzed Suzuki-Miyaura Catalyst-Transfer Condensation Polymerization: Narrower Dispersity by Mixing the Catalyst and Base Prior to Polymerization, Macromolecules,

51(2), 364-369 (2018).

- A. Yokoyama, T. Saiki, H. Masu, I. Azumaya and T. Yokozawa, Effect of the α-Substituted Chiral Side Chain on the Helical Conformation of *N*-Substituted Poly(*p*-Benzamide), Polymer, 134, 175-180 (2018).
- G. Zhang, Y. Ohta and T. Yokozawa, Exclusive Synthesis of Poly(3-hexylthiophene) with an Ethynyl Group at Only One End for Effective Block Copolymerization, Macromol. Rapid Commun., 39 (3), 1700586 (2018).
- 42. T. H. Nguyen, L-T. T. Nguyen, V. Q. Nguyen, L. N. T. Phan, G. Zhang, T. Yokozawa, D. T. T. Phung and H. T. Nguyen, Synthesis of Poly(3-hexylthiophene) Based Rod-Coil Conjugated Block Copolymers via Photoinduced Metal-Free Atom Transfer Radical Polymerization, Polym. Chem., 9 (18), 2484-2493 (2018).
- K. Iwashita, R. Suzuki, H. Katoh, Y. Ohta and T. Yokozawa, Novel Photoresist using Photodeprotectable *N*-Alkoxybenzyl Aromatic Polyamide, J. Photopolym. Sci. Technol., 31 (4), 467-472 (2018).
- 44. K. Kosaka, K. Nanjyo, Y. Ohta and T. Yokozawa, Importance of the Balance of Interaction between Palladium Catalyst and Aromatic π-Face for Unstoichiometric Suzuki-Miyaura Coupling Polymerization: Effective Pd cataCXium A Catalyst for Fluorene and Cyclopentadithiophene Monomers, Chem. Lett., 47 (8), 1040-1043 (2018).

研究論文II(レフェリー付き Proceedings)

- T. Tsuda, N. Ando, N. Mitsuhashi, T. Tanabe, K. Itagaki, N. Soma, S. Nakamura, N. Hayashi and F. Matsumoto, Fabrication of Porous Electrodes with a Picosecond Pulsed Laser and Improvement of the Rate Performance of a Porous Graphite Anode and LiFePO₄ Cathode, ECS Transactions, Electrochemical Society, Inc., 80(10) 1391-1397 (2017).
- T. Tsuda, N. Ando, Y. Haruki, T. Tanabe, T. Gunji, K. Itagaki, N. Soma, S. Nakamura, N. Hayashi and F. Matsumoto, Study on Li Metal Deposition, SEI Formation on Anodes and Cathode Potential Change during the Pre-Lithiation Process in a Cell Prepared with Laminated Porous Anodes and Cathodes, ECS Transactions, Electrochemical Society, Inc., 85(13) 1507-1515(2018).
- F. Nomura, T. Tanabe, T. Gunji and F. Matsumoto, Effect of the Cooling Process on the Structure and Charge/Discharge Cycling Performance in Li[Li0.20Mn0.58Ni0.18C00.04]O2 Li-rich Solid Solution Layered Oxide Cathode Materials for Li-Ion Battery, ECS Transactions, Electrochemical Society, Inc., 85(13) 1497-1505 (2018).

口頭発表

- 上野健太,井川 学,「イオン交換膜による中性アミノ酸の選択輸送」,第33回日本イオン交換学会研究発表会講演要旨集,IP-05(甲府,2017.10).
- 井川 学,中居愛都咲,関口友麻,松野千加士,「エレクト ロリメディエーション法によるセシウムイオンの土壌から の除去」,第33回日本イオン交換学会研究発表会講演要旨 集,IO-05(甲府,2017.10).
- 3. 王一澤, 鎌田 研樹, 松野 千加士, 井川 学, 「丹沢大山 における大気汚染物質の沈着挙動」, 第59回大気環境学会 年会講演要旨集, 335(春日, 2018.9).

(2017).

- 王一澤、柏木 陽仁、木之下 汰世、松野 千加士、井川 学、「丹沢大山における霧の特性」、第 59 回大気環境学会 年会講演要旨集、336(春日、2018.9).
- M. Igawa, A. Nakai, Y. Sekiguchi and C. Matsuno, "Removal of cesium ion from soil by electrokinetic remediation", 7th International Conference on Ion Exchange, Abstract, AT-10P (Yogyakarta, 2018.9).
- 佐藤大輝,片岡利介,池原飛之,高分子薄膜の結晶化挙動 と分子量・膜厚の依存性,第67回高分子学会年次大会, 1Pe013 (名古屋, 2018.5).
- 7. 石崎裕希,片岡利介,池原飛之,結晶性/結晶性トリブロッ クコポリマーの合成と球晶成長速の解析,第 67 回高分子 学会年次大会, 1Pe017 (名古屋, 2018.5).
- 鈴木祐太,片岡利介,池原飛之,シリコン基板へのポリア ミドのグラフトと結晶化,第67回高分子学会年次大会, 1Pe023(名古屋,2018.5).
- 9. 田中一成,片岡利介,池原飛之, Poly(hydroxybutyrate) と poly(ethylene oxide)からなる共重合体の合成と球晶成 長速度,第 67 回高分子学会年次大会, 1Pf026 (名古屋, 2018.5).
- 10. 杉浦恭介, 片岡利介, 池原飛之, 結晶性/非晶性グラフトコ ポリマーの合成と球晶成長速度の解析, 第 67 回高分子学 会年次大会, 1Pf030 (名古屋, 2018.5).
- 矢口翔剛,片岡利介,池原飛之,結晶性高分子と非晶ネットワークからなる薄膜の作製条件とプロトン伝導度,第67回高分子学会年次大会,2Pe047(名古屋,2018.5).
- 岡里沙子,片岡利介,池原飛之,固体表面にグラフトされた poly(butylene succinate)およびそのコポリマーの結晶 モルフォロジー,第67回高分子学会年次大会,3Pb026(名 古屋,2018.5).
- 丸山祐亮, 犬束学, 池原飛之, 固体基板上に拘束された高 分子鎖の結晶化挙動, 第 67 回高分子討論会, 2Pa037 (札 幌, 2018.9).
- 石崎裕希,片岡利介,池原飛之,結晶性トリブロック共重 合体の合成と球晶成長速度の解析,第67回高分子討論会, 2Pa047(札幌, 2018.9).
- 15. 杉浦恭介,片岡利介,池原飛之,結晶性/非晶性グラフトコポリマーの球晶成長速度に与える非晶性グラフト鎖の影響, 第67回高分子討論会,2Pb048(札幌,2018.9).
- 岡里沙子,片岡利介,池原飛之,シリコン基板表面にグラフトされた結晶性ポリマーおよびコポリマーの結晶化,第67回高分子討論会,2Pa051(札幌,2018.9).
- 佐藤大輝, 片岡利介, 池原飛之, Poly(ethylene oxide) 薄 膜におけるレジーム転移温度の分子量及び膜厚依存性, 第 67回高分子討論会, 2Pa053 (札幌, 2018.9).
- 18. 鈴木祐太,片岡利介,池原飛之,ポリアミドのシリコン基板へのグラフトおよびグラフトポリアミドの結晶形態の観察,第67回高分子討論会,2Pc021(札幌,2018.9).
- 田中一成,片岡利介,池原飛之,結晶性/非晶性トリブロ ックコポリマーの球晶成長速度,第67回高分子討論会, 2Pd040(札幌,2018.9).
- 20. R. Simancas, S. Ishikawa and W. Ueda, Optimized synthesis of nanorod microporous niobium silicate AM-11 and its application in acid reactions, 第 47 回石油・石油化学討論会 (鳥取, 2017.11).
- S. Ishikawa, Y. Yamada, M. Iwasaki and W. Ueda, Synthesis of crystalline Mo-V-Cu oxides for selective oxidation of acrolein, 第 47 回石油·石油化学討論会 (鳥取, 2017.11).
- 22. 今喜裕, 矢田陽, 中村陽一, 藤谷忠博, 中島拓哉, 村山徹, 上田渉, MoO₃ 担持チタニア触媒を鍵とする高選択的脱水

型非対称アリルエーテル合成法の開発,石油学会第 61 回 年会(第 67 回研究発表会) (東京, 2018.5).

- 23. 清水研一,後藤文倫,鳥屋尾隆,村山徹,日吉範人,上田 渉,トルエンの安息香酸への選択酸化に高活性な W-V 複 合酸化物触媒の活性種構造,石油学会第61回年会(第67回 研究発表会)(東京,2018.5).
- W. Ueda, S. Ishikawa, Z. Zhang, T. Murayama, N. Hiyoshi and M. Sadakane, Group 5 and 6 complex metal oxide catalysts structured by metal-oxo cluster assembling, International Symposium on Metal-Oxo Cluster Sciences: Exploring Novel Possibilities (東京, 2018.8).
- 25. Y. Kon, A. Yada, T. Fujitani, T. Nakashima, Y. Nakamura, T. Murayama and W. Ueda, Highly selective allylation from allyl alcohol using supported molybdenum oxide on titania catalyst, The 8th Tokyo Conference on Advanced Catalytic Science and Technology (TOCAT8) (神奈川, 2018.8).
- 26. K. Shimizu, Y. Goto, T. Toyao, T. Murayama, N. Hiyoshi, Z. Zhang and W. Ueda, Layered W-V oxides with M1 phase-like local structure for ammoxidation and selective oxidation of toluene, The 8th Tokyo Conference on Advanced Catalytic Science and Technology (TOCAT8) (神奈川, 2018.8).
- 27. Z. Zhang, N. Hiyoshi, M, Hara and W, Ueda, Crystalline Vanadotungstates with High Structural Diversity and Microporosity, International symposium on Zeolites and Microporous Crystals 2018 (神奈川, 2018.8).
- 28. 今喜裕,藤谷忠博,中島拓哉,村山徹,上田渉,酸化モリブ デン担持触媒によるアミンのアリル化反応,第122回触媒 討論会(北海道,2018.9).
- 29. 石川理史,和田真樹,平田純,二宮航,上田渉,結晶性 Mo₃VOx 複合酸化物を用いたメタクロレイン選択酸化反応, 第122 回触媒討論会(北海道, 2018.9).
- 30. 井関直, 定金正洋, 津野地直, 佐野庸治, Z. Zhenxin, 上田 渉, 宮岡裕樹, 新里恵多, ε-Keggin 型モリブデートを三 次元に連結した新規規則的多孔体の合成と構造解析, 第 122 回触媒討論会(北海道, 2018.9).
- 31. 三橋隆章,岡田正弘,阿部郁朗,プレニル基転移酵素と II 型テルペン環化酵素の活性を併せ持つキメラ型酵素の同定. 日本薬学会第138年会,26M-am12S(石川,2018.3.26).
- 32. 進藤卓宏, 菊田奈々, 岡本専太郎, アルキン[2+2+2]環化 付加反応による分岐高分子の合成, 第7回 CSJ 化学フェス タ, 2017年10月(東京, 2017.10).
- 33. 實吉尚郎,太田貴之,日吉祐貴,小野晶,プロドラッグ型 核酸の合成と細胞内取り込み:第12回バイオ関連化学シンポジウム,大阪,大阪大学 吹田キャンパス,2018年9月 9日~9月11日(口頭:1A-04)(大阪,2018.9).
- 34. A. Ono, H. Saneyoshi, J. Kondo and Y. Tanaka, Preparations and structure elucidations of metallo-DNAs: DNA nanowire with uninterrupted one-dimensional silver ion array: 23th International Round Table on Nucleosides, Nucleotides and Nucleic Acids (XXIII IRT), University of California, San Diego, USA, 2018 年 8 月 26 日~30 日 (口頭: OP-2).
- 35. T. Atsugi, H. Saneyoshi and A. Ono, Synthesis and metal ion binding properties of duplexes containing thymine analogs with 1,2-diamine groups, 23th International Round Table on Nucleosides, Nucleotides and Nucleic Acids (XXIII IRT), University of California, San Diego, USA, 2018 年 8 月 26 日~ 30 日 (ポスター: P-10).
- K. Nakamura, A. Ono and H. Saneyoshi, Development of reduction-activated protecting groups for siRNA prodrugs, 23th International Round Table on Nucleosides, Nucleotides and

Nucleic Acids (XXIII IRT), University of California, San Diego, USA, 2018 年 8 月 26 日~30 日 (ポスター: P-28).

- 37. T. Ohta, A. Ono and H. Saneyoshi, Development of cell-permeable oligonucleotides bearing GSH-activated protecting groups: 23th International Round Table on Nucleosides, Nucleotides and Nucleic Acids (XXIII IRT), University of California, San Diego, USA, 2018年8月26日-30 日 (ポスター: P-37).
- 38. K. Terasawa, A. Ono and H. Saneyoshi, Synthetic study of bio-reduction cleavable linker for oligonucleotides, 23th International Round Table on Nucleosides, Nucleotides and Nucleic Acids (XXIII IRT), University of California, San Diego, USA, 2018 年 8 月 26 日~30 日 (ポスター: P-82)
- 39. 實吉尚郎,山本祐太,太田貴之,小野晶,蛍光発生型色素が 結合したオリゴヌクレオチドの合成,日本核酸医薬学会第 4回年会,福岡,九州大学医学部 百年講堂,2018年7月9 日~7月11日(ポスター: P-36).
- 40. 寺澤一馬,小野晶, 實吉尚郎, 癌細胞内で開裂するリンカ ーの開発研究, 日本核酸医薬学会第 4 回年会, 福岡, 九州 大学医学部 百年講堂, 2018年7月9日~7月11日(ポスタ ー: P-35).
- 41. 中村康大,小野晶, 實吉尚郎, 細胞内還元条件で除去される RNA 糖部保護基の開発,日本核酸医薬学会第4回年会, 福岡、九州大学医学部 百年講堂、2018年7月9日~7月 11日(ポスター: P-33).
- 42. 太田貴之,小野晶,實吉尚郎,胞膜透過性を有するグルタ チオン応答性プロドラッグ型核酸の合成,日本核酸医薬学 会第4回年会,福岡,九州大学医学部百年講堂,2018年7 月9日~7月11日(ポスター: P-27).
- 43. H. Saneyoshi, A. Ono, Chemical synthesis of 2'-oxidized nucleic acids, 日本化学会第 98 春季年会,千葉,日本大学船橋キャンパス,2018 年 3 月 19 日~23 日 (口頭: 2D5-35).
- 44. H. Saneyoshi, T. Ohta, K. Terasawa, Y. Yamamoto and A. Ono, Design and synthesis of bio-labile protecting groups for oligonucleotide prodrugs, 第 44 回国際核酸化学シンポジウ ム,東京,東京理科大学 葛飾キャンパス, 2017 年 11 月 14 日~16 日 (口頭: 2O-13).
- 45. T. Ohta, Y. Yamamoto, A. Ono and H. Saneyoshi, Glutathione-labile protecting groups for phosphodiester moieties, 第 44 回国際核酸化学シンポジウム,東京,東京理科大学 葛飾キャンパス、2017 年 11 月 14 日~16 日 (ポスター: P-117).
- 46. K. Ishikawa, H. Saneyoshi and A. Ono, Synthesis of long DNA wires containing of mettallo-base pairs, 第 44 回国際核酸化学 シンポジウム,東京,東京理科大学 葛飾キャンパス, 2017 年 11 月 14 日~16 日 (ポスター: P-135).
- 47. A. Ono, T. Sugawara, H. Ito, M. Goto, H. Saneyoshi and A. Ono, Crystal structure of oligonucleotides having metallo-base pairs, 第 44 回国際核酸化学シンポジウム,東京,東京理科大学 葛飾キャンパス, 2017 年 11 月 14 日~16 日 (ポスター: P-137).
- Y. Yamamoto, A. Ono and H. Saneyoshi, Synthesis of cell-permeable fluorogenic oligonucleotides, 第 44 回国際核酸 化学シンポジウム,東京,東京理科大学 葛飾キャンパス, 2017年11月14日~16日 (ポスター: P-140).
- 49. T. Atsugi, H. Saneyoshi and A. Ono, Synthesis and duplex formation of oligonucleotides with 1,2-diamine groups, 第44回 国際核酸化学シンポジウム,東京,東京理科大学 葛飾キャ ンパス,2017年11月14日~16日 (ポスター: P-139).
- 50. A. Ono, H. Saneyoshi, J. Kondo and Y. Tanaka,

"Characterization of DNA duplexes containing metal ion mediated base pairs" 17th Symposium on Chemistry of Nucleic Acid Components, Český Krumlov, Czech Republic, June 4 - 9, 2017 (招待講演).

- 51. 實吉尚郎, 日吉祐貴, 小野晶, "細胞内で除去可能なリン酸 ジェステル部位保護基の開発研究"日本化学会第 97 春季年 会, 慶応大学日吉キャンパス, 2017 年 3 月 16 日~19 日 (4C-2-33).
- 52. 小野晶,菅原徹,伊藤日香里,飛鷹光,蛭田結宇,武藤千鶴, 横田陸,實吉尚郎,近藤次郎,"Metal ion binding by modified base pairs in DNA duplexes",日本化学会第 97 春季年会,慶 応大学日吉キャンパス,2017 年 3 月 16 日~19 日(2PB-118).
- 53. 荒川章裕, 矢口礼望, 小野晶, 鳥越秀峰, "5-ヒドロキシウ ラシル塩基を含むミスマッチ塩基対と金属イオンの特異的 結合", 日本化学会第 97 春季年会, 慶応大学日吉キャンパ ス, 2017年3月16日~19日(4C4-36).
- 54. 小野晶, 近藤一彦, 日吉祐貴, 実吉尚郎, "プロドラッグ型 核酸医薬のための生分解性保護基の開発研究", 日本薬学 会第137年会, 仙台国際センター, 2017年3月24日~27日 (27PA-am029).
- 55. 實吉尚郎,日吉祐貴,山本祐太,近藤一彦,池谷浩一,岡本 到,小野晶,"細胞内還元条件で除去される保護基を有する 核酸の合成と評価",第2回核酸医薬学会年会,東京理科大 学葛飾キャンパス 図書館大ホール,2016年11月15日~17 日(O-1-2).
- 56. 日吉祐貴,小野晶,實吉尚郎,"細胞内グルタチオンで除去 される保護基の開発とプロドラッグ型オリゴヌクレオチド への応用",第2回核酸医薬学会年会,東京理科大学葛飾キ ャンパス 図書館大ホール,2016年11月15日~17日(P21).
- 57. 山本祐太,小野晶, 實吉尚郎, "還元条件下で開裂するリン カーの開発", 第2回核酸医薬学会年会, 東京理科大学葛飾 キャンパス 図書館大ホール, 2016 年 11 月 15 日~17 日 (P26).
- 58. Y. Matsubara, M. Ogata, M. Shimojima and Y. Koide, "Electrocatalytic reduction of CO₂ by using rhenium(I) complexes possessing multiple imidazoliums in the second coordination spheres designed for the catalysis", The 43rd International Conference on Coordination Chemistry (ICCC2018), A02102 (Sendai, 2018.8).
- 59. 伊崎真琴,金 仁華,水溶性キラルポリマーの設計及び機能, 第 67 回高分子討論会,(北海道、北海道大学)2018 年 9 月 12~14 日.
- 60. 竹渕はるか,金仁華,シェル層を架橋した PNIPAM を有す る二重応答性ナノカプセルの合成と機能評価,第67回高分 子討論会,(北海道、北海道大学)2018年9月12~14日.
- 61. 井上予志人,金 仁華,両親媒性及び二重水歯ブラシ型ポリマーの設計応用,第67回高分子討論会,(北海道、北海道大学)2018年9月12~14日.
- 2. 瀧田萌美,金仁華,両親媒性歯ブラシ型ポリマーミセルを テンプレートとした複合材料の合成,第67回高分子討論会, (北海道、北海道大学)2018年9月12~14日.
- 63. 伊藤巧,金 仁華,二重キラル材料の合成と光学分割機能,第 67回高分子討論会,(北海道、北海道大学)2018年9月12~14日.
- 64. 王文立,金 仁華,クシ型ポリマーにグラフトされた特殊構造ブロッ起因する自己組織化及びその応用,第67回高分子討論会,(北海道、北海道大学)2018年9月12~14日.
- 65. 恒賀 聖司, 中嶋 琢也, 河合 壯, 金 仁華, キラルシリカに 内包された有機発色団の円偏光発光活性, 第67回高分子討 論会, (北海道、北海道大学) 2018 年 9 月 12~14 日.

- 66. 太田恵唯, 恒賀 聖司, 金 仁華, キラル無機材料構築にお ける有機系テンプレートの効果, 第 67 回高分子討論会, (北海道、北海道大学) 2018 年 9 月 12~14 日.
- 67. 服部沙莉菜,貝掛勝也,金 仁華,マイクロ制限空間を利用 するハブリッド球状体の合成と機能",第67回高分子討論 会,(北海道、北海道大学)2018年9月12~14日.
- 68. 貝掛勝也, 設楽 剛, 金 仁華, パラジウム-テオフィリン系 自己組織化ナノ構造体と触媒機能, 第 67 回高分子討論会, (北海道、北海道大学) 2018 年 9 月 12~14 日.
- S. Tsunega and R.-H. Jin, Preparation of chiral phenolic resins promoted by chiral silica matrices possessing amine residues, 第 67 回高分子学会年次大会,(愛知県、名古屋国際会議場) 2018 年 5 月 23~25 日.
- 70. 王 文立,金 仁華,両親媒性櫛型ブロックポリマーの自己 組織化及びポリマーソーム,第67回高分子学会年次大会, (愛知県、名古屋国際会議場) 2018年5月23~25日.
- 71. 伊崎真琴,梅原悠磨,金 仁華,キラルポリメチルエチレン イミンとアキラルポリエチレンイミンからなるジブロック 共重合体の合成と物性,第67回高分子学会年次大会,(愛 知県、名古屋国際会議場)2018年5月23~25日.
- 72. 伊藤 巧,恒賀聖司,金 仁華,キラルシリカをマトリック スとするアミノフェノール樹脂の合成と不斉機能,第67回 高分子学会年次大会,(愛知県、名古屋国際会議場)2018 年 5月23~25日.
- 73. 井上予志人,王 文立,貝掛勝也・金 仁華,ポリエチレンイ ミン枝とポリカルボン酸柄からなる歯ブラシ型共重合体の 合成とその物性,第67回高分子学会年次大会,(愛知県、 名古屋国際会議場)2018年5月23~25日.
- 74. 瀧田萌美,王 文立,貝掛勝也,金 仁華,コアまたはシェル 部分の架橋化による両親媒性歯ブラシ型ポリマーミセルの 安定化,第67回高分子学会年次大会,(愛知県、名古屋国 際会議場)2018年5月23~25日.
- 75. 竹渕はるか,王 文立,貝掛勝也,金 仁華,PNIPAM を有する熱応答性歯ブラシ型ポリマーミセルの化学修飾と構造制御,第67回高分子学会年次大会,(愛知県、名古屋国際会議場)2018年5月23~25日.
- 76. 太田恵唯,恒賀聖司,金 仁華,シリカへのキラリティ転写 におけるエナンチオマーエクセス効果,第67回高分子学会 年次大会,(愛知県、名古屋国際会議場)2018年5月23 ~25日.
- 77. 根本 黎,恒賀 聖司,金 仁華,キラルシリカ反応場でのビニルモノマーのラジカル重合反応,第67回高分子学会年次大会,(愛知県、名古屋国際会議場)2018年5月23~25日.
- 78. 服部沙莉菜,相馬大貴,貝掛勝也,金 仁華,クシ構造ポリ エチレンイミンを有する高分子マイクロ粒子反応場での希 土類酸化物の合成,第67回高分子学会年次大会,(愛知県、 名古屋国際会議場)2018 年 5月23~25日.
- 79. S. Tsunega, R.-H. Jin, Preparation of chiral phenolic resins promoted by chiral matrices and achiral catalysts, 5th CMS International Symposium on Photofunctional Chemistry and Molecular Systems (CMS-5), (九州大学 西新プラザ, 福岡) 2017 年 12 月 5~6 日.
- 80. X.-L. Liu, R.-H Jin, Optical Properties and Photocatalytic Performance of Chiral TiO₂ Synthesized by Using Templates Self-Organized from Polyethyleneimine and Tartaric Acid, 5th CMS International Symposium on Photofunctional Chemistry and Molecular Systems (CMS-5), (九州大学 西新プラザ、福 岡) 2017 年 12 月 5~6 日.

- 相馬大貴,金 仁華,サブ 5 µm ポリエチレンイミンマイク ロゲルにテンプレートされる孤立無機マイクロ粒子の合成 と機能,第7回 CSJ 化学フェスタ 2017,(タワーホール船 堀、東京) 2017 年 10 月 17~19 日.
- 82. 西浦利紀,千葉洋輔,中澤順,引地史郎,単核コバルト(II) 錯体の酸素分子活性化に及ぼす配位子の置換基効果の解明, 第7回 CSJ 化学フェスタ, P4-048 (東京, 2017.10).
- 83. 寺尾郁珠,中澤順,引地史郎,トリス(オキサゾリニルメチル)アミンを配位子とするニッケル(II)錯体触媒のアルカン酸化触媒能の検証,第50回酸化反応討論会,P-15(横浜,2017.11).
- 84. 西浦利紀, 浦本貴博, 千葉洋輔, 中澤順, 引地史郎, 単核コ バルト(II)錯体の酸素分子活性化能に対する配位子効果, 第50回酸化反応討論会, P-18 (横浜, 2017.11).
- 85. 野澤寿章, 中澤順, 引地史郎, チオール基修飾チタノシリ ケート担持金触媒の酸素酸化触媒活性, 第50回酸化反応討 論会, P-38 (横浜, 2017.11).
- 86. J. Nakazawa, J. Endo, N. Jyozawa I. Terao and S. Hikichi, Synthesis of Metal Complexes with Tris(oxazolynylmethyl)amine Ligand and Their Catalytic Activity for Alkane Oxidation, 日本化学会第 98 春季年会, 2PA-100 (船橋, 2018.3).
- 87. 岡部晋佑, 森本祐麻, 杉本秀樹, 引地史郎, 伊東忍, メソポ ーラスシリカに担持した遷移金属錯体を触媒とするアルカ ンの水酸化反応, 3A7-27 (船橋, 2018.3).
- 等尾郁珠,中澤順,引地史郎,トリス(オキサゾリニルメチル)アミンを配位子とするニッケル(II)錯体触媒のアルカン酸化触媒能の検証,日本化学会第98春季年会,4A6-02(船橋,2018.3).
- 89. Y. Hirata, H. Sugimoto, S. Hikichi and S. Itoh, Alkane Oxidation by Anion-adduct of Osmium Tetraoxide, 日本化学会第 98 春季 年会, 4A6-10 (船橋, 2018. 3).
- 90. 山口優莉奈,西浦利紀,森田真生,野澤遥,中澤順,引地史郎,2つのイミダゾリル基と1つのオキサゾリニル基からなるアニオン性三座ボレート配位子を用いたニッケル(II)及びコバルト(II)錯体の合成と反応性,錯体化学会第68回討論会,1PA-003(仙台,2018.7).
- 91. 寺尾郁珠,中澤順,引地史郎,トリス(オキサゾリニルメチル)アミンを配位子とするニッケル(II)錯体触媒のアルカン酸化触媒能の検証,錯体化学会第68回討論会,2C-03(仙台,2018.7).
- 92. 西浦利紀,高畠朝子. 浦本貴博,中澤順,引地史郎,アニ オン性三座窒素あるいは炭素ボレート配位子からなるコバ ルト錯体の合成と酸化触媒反応の検討,錯体化学会第68 回討論会,2PA-065(仙台,2018.7).
- J. Nakazawa, K. Sakamaki and S. Hikichi, Alkane Oxidation by Homogeneous and Immobilized Ni(II) Complex Catalysts with BOX-type Ligands, 43rd International Conference on Coordination Chemistry, S16-3O-A01720-JN (Sendai, Japan, 2018. 7).
- 94. S. Hikichi and J. Nakazawa, Non-heme iron complexes with bis(imidazolyl)borate ligands for mimicking biological O₂-activating iron sites, 43rd International Conference on Coordination Chemistry, S16-3O-A01653-SH (Sendai, Japan, 2018. 7).
- 95. I. Terao, J. Endo, N. Jyozawa, J. Nakazawa and S. Hikichi, Catalytic alkane oxidation activity of late 3d transition metal complexes with tris(oxazolinylmethyl)amine ligand, 43rd International Conference on Coordination Chemistry, S16-4P-A00891-IT (Sendai, Japan, 2018. 7).

- 96. T. Nishiura, Y. Chiba, J. Nakazawa and S. Hikichi, Oxygen activation ability of mononuclear cobalt(II) complexes with N5 donor sets and their reactivity, 43rd International Conference on Coordination Chemistry, S16-4P-A01516-TN (Sendai, Japan, 2018. 7).
- 97. T. Nozawa, T. Haketa, J. Nakazawa and S. Hikichi, Oxidation catalysis of Au nano-particles immobilized on thiol-functionalized mesoporous silicate supports, The 8th Tokyo Conference on Advanced Catalytic Science and Technology (TOCAT8), P3227 (Yokohama, Japan, 2018. 8)
- 98. 冨田倖平, 土井雄馬, 中澤順, 引地史郎, 酵素模倣型固定化 鉄錯体触媒のアルカン酸化活性, 第 122 回触媒討論会, 1F02 (函館, 2018.9).
- 99. Y. Liu, T. Tanabe, K. Miyamoto, Y. Irii, F. Maki, T. Gunji, S. Kaneko, S. Ugawa, H.-J Lee, T. Ohsaka and F. Matsumoto, Synthesis of Water-Resistant thin TiO_x Layer-Coated High-Capacity LiNi_aCo_bAl_{1-a-b}O₂ (a> 0.85) Cathode and Its Stable Charge/Discharge Cycle Cathode Performance to Apply a Water-Based Hybrid Polymer Binder to Li-Ion Batteries, 232th ECS meeting, 2017.10.1-5, National Harbor, MD, USA.
- 100. F. Ando, T. Tanabe, T. Gunji, T. Tsuda, S. Kaneko, T. Takeda, T. Ohsaka and F. Matsumoto, Relationship Between ORR Catalytic Activity and D-Band Center of Pt Nanoparticle Deposited on Metal Oxide Support Materials, 232th ECS meeting, 2017.10.1-5, National Harbor, MD, USA.
- 101. T. Tsuda, N. Ando, T. Gunji, T. Tanabe, S. Kaneko, K. Itagaki, N. Soma, S. Nakamura and F. Matsumoto, Improvement of Rate Performance of LiFePO₄ Cathode with Porous LiFePO₄/Activated Carbon Hybrid Electrode Structure, 232th ECS meeting, 2017.10.1-5, National Harbor, MD, USA.
- 102. 安藤風馬,田邊豊和,大坂武男,松本太,固体高分子形燃 料電池用酸素還元電極触媒の触媒活性と電極触媒表面の電 子状態の関係の解明,7th CSJ Chemistry Festa, 2017.10-17-19, タワーホール船堀,東京.
- 103.津田喬史,田邉豊和,安東信雄,中村奨,板垣薫,杣直彦, 林成実,松本太,穴あき LiFePO4/活性炭ハイブリッド電極 構造による LiFePO4 正極の高出力化,7th CSJ Chemistry Festa, 2017.10-17-19,タワーホール船堀,東京.
- 104. T. Gunji, T. Tanabe, T. Ohsaka and F. Matsumoto, The Enhanced Electrocatalytic Activity over Pd-base Intermetallic Compound, International Symposium on Novel Energy Nanomaterials, Catalysts and Surfaces for Future Earth-Material Research, Characterization and Imaging by In situ/Operando XAFS and X-ray Techniques -, 2017.10.28-30, The University of Electro-Communications, Tokyo.
- 105. F. Ando, T. Tanabe, T. Gunji, T. Ohsaka and F. Matsumoto, Relationship between ORR Catalytic Activity and *d*-band Center of Pt and Pt-based, Alloy Nanoparticle Deposited on Metal Oxide Support Materials, 2017.10.28-30, The University of Electro-Communications, Tokyo.
- 106. F. Nomura, L. Yubin, T. Tanabe, T. Ohsaka and F. Matsumoto, Optimization of Calcination Conditions in Preparation of a High Capacity Li-rich Solid-Solution Li[Li_{0.2}Ni_{0.18}Co_{0.03}Mn_{0.58}]O₂ Material and its Cathode Performance in Lithium Ion Battery, 2017.10.28-30, The University of Electro-Communications, Tokyo.
- 107. 安藤風馬,田邊豊和,大坂武男,松本 太, Ptナノ粒子およびPtPbナノ粒子/TiO₂/カップスタックカーボンナノチューブの電極触媒特性と耐久性の向上,平成29年度 神奈川県ものづくり技術交流会,2017.11.8,神奈川県立産業技術総

合研究所.

- 108. 津田喬史, 田邉豊和, 安東信雄, 中村奨, 板垣薫, 杣直彦, 林成実, 松本 太, 穴あきLiFePO4/活性炭ハイブリッド電 極構造によるLiFePO4正極の高出力化, 平成29年度 神奈川 県ものづくり技術交流会, 2017. 11.8, 神奈川県立産業技術 総合研究所.
- 109. 津田喬史,田邉豊和,安東信雄,中村奨,板垣薫,杣直彦, 林成実,松本 太,ピコ秒レーザーを用いた穴あきグラフ ァイト負極の作製およびプレドープ反応の促進,第27回日 本MRS年次大会,2017.12.5,横浜情報文化センター.
- 110. 安藤風馬,田邊豊和,大坂武男,松本太,Pt/酸化チタン/カ ップスタックカーボンナノチューブ上での酸性水溶液中に おける酸素還元反応の促進および耐久性の向上,第27回日 本MRS年次大会,2017.12.5,横浜情報文化センター.
- 111. 安藤風馬,田邊豊和,大坂武男,松本太, Pt/酸化チタン/ カップスタックカーボンナノチューブ上での酸性水溶液中 における酸素還元反応の促進および耐久性の向上,第27回 キャラクタリゼーション講習会「触媒および表面の解析に 役立つキャラクタリゼーションの基礎と実際」,2017.12.8, 熊本大学.
- 112.津田喬史,安東信雄,松原一樹,中村 奨,田邉豊和,板垣 薫,杣 直彦,林 成実,松本 太,ピコ秒レーザーを用いて 作製された穴あき電極のリチウムイオン二次電池への適用 および高出力化,電気化学会 電気化学会第 85 回大会, 2018.3.9,東京理科大学葛飾キャンパス.
- 113. 劉 雨彬,田邊豊和,大坂武男,浅井 悠太,鵜川晋作,イ ホジン,松本 太,水系バインダー適用のための Li 過剰系 固溶体正極材料の組成探索および水暴露後の正極粒子の表 面構造解析,電気化学会 電気化学会第 85 回大会,2018.3.9, 東京理科大学葛飾キャンパス.
- 114. 津田喬史, 安東信雄, 一色晃太, 中村 奨, 田邉豊和, 板垣 薫, 杣 直彦, 林 成実, 松本 太, 穴あき LiFePO4/活性炭ハ イブリッド電極構造による LiFePO4 正極の高出力化およ び反応機構解析, 電気化学会 電気化学会第 85 回大会, 2018.3.9, 東京理科大学葛飾キャンパス.
- 115. 安藤風馬,田邉豊和,郡司貴雄,金子信悟,大坂武男,松本 太,担持体および第二元素を用いた Pt 系金属間化合物ナ ノ粒子の Pt d-バンドセンターのチューニングによる ORR 活性の向上に関する検討(2),電気化学会 電気化学会第 85 回大会,2018.3.10,東京理科大学葛飾キャンパス.
- 116. 田邉豊和, 近藤託弥, 宮内雅浩, 金子信悟, 大坂武男, 松本 太, Pt-M 合金微粒子担持 TiO₂ ナノロッドにおける高効率 IPA 分解反応, 電気化学会 電気化学会第 85 回大会, 2018.3.10, 東京理科大学葛飾キャンパス.
- 117. 野村文洋, 津田喬史, 田邊豊和, 金子信悟, 大坂武男, 松本 太, 組成探索に基づく LIB 用 Li₂MnO₃-LiMO₂ Li 過剰系固 溶体正極材料の高性能化および合成条件の最適化, 電気化 学会第 85 回大会, 2018.3.10, 東京理科大学葛飾キャンパス.
- 118. 安藤風馬,田邉豊和,郡司貴雄,金子信悟,大坂武男,松本 太,高分解能透過電子顕微鏡を用いた高酸素還元触媒活性 を有する Ptおよび PtPb/TiO₂/カップスタックカーボンナノ チューブの触媒表面の状態解析,電気化学会第 85 回大会, 2018.3.10,東京理科大学葛飾キャンパス.
- 119. 國谷翔太郎, 金子信悟, 大坂武男, 田邉豊和, 松本 太, 置 換析出によって作製したビスマステルライド系薄層の作製 条件依存性, 表面技術協会第 137 回講演大会, 2018.3.12, 芝浦工業大学豊洲キャンパス.
- 120. F. Matsumoto and T. Toyokazu, Application of porous electrodes prepared with picosecond pulsed laser to lithium ion battery, 22nd Topical Meeting of the International Society of

Electrochemistry, 2018. 4.17, Waseda Univeristy.

- 121. T. Tsuda, N. Ando, N. Mitsuhashi, T. Tanabe, K. Itagaki, N. Soma, S. Nakamura, N. Hayashi and F. Matsumoto, Fabrication of Porous Electrodes with a Picosecond Pulsed Laser and Improvement of the Rate Performance of a Porous Graphite Anode, LiFePO₄ and LiFePO₄/Activated Carbon Cathodes, 22nd Topical Meeting of the International Society of Electrochemistry, 2018. 4.17, Waseda University.
- 122. F. Ando, T. Tsuda, T. Tanabe, T. Ohsaka and F. Matsumoto, Relationship between *d*-band center of Dealloyed PtPb Ordered Intermetallic Nanoparticle Deposited on TiO₂/Cup-Stacked Carbon Nanotube and ORR Activity in Acidic Aqueous Media, 22nd Topical Meeting of the International Society of Electrochemistry, 2018. 4.17, Waseda University.
- 123. F. Nomura, T. Tsuda, T. Tanabe, T. Ohsaka and F. Matsumoto, Optimization of Calcination Temperature in Preparation of a High Capacity Li-rich Solid-Solution Li[Lio.2Nio.18Co0.03Mn0.58]O₂ Material and Its Cathode Performance in Lithium Ion Battery, 22nd Topical Meeting of the International Society of Electrochemistry, 2018. 4.17, Waseda University. 233rd ECS meeting, Washington State Convention Center, 2018.5. 13-17, Seattle, USA.
- 124. F. Ando, T. Tanabe, T. Ohsaka and F. Matsumoto, Relationship between the Degree of Dealloying of PtPb Ordered Intermetallic Nanoparticle Deposited on TiO₂/Cup-Stacked Carbon Nanotube and ORR Activity in Acidic Aqueous Media for Polymer Electrolyte Fuel Cells, 22nd Topical Meeting of the International Society of Electrochemistry, 2018. 4.17, Waseda University. 233rd ECS meeting, Washington State Convention Center, 2018.5. 13-17, Seattle, USA.
- 125. F. Nomura, T. Tanabe, T. Gunji and F. Matsumoto, Effect of the Cooling Process on the Structure and Charge/Discharge Cycling Performance in Li[Li Mn Ni Co]O Li-rich Solid-Solution Layered Oxide Cathode Materials for Li-Ion Battery, 233rd ECS meeting, Washington State Convention Center, 2018.5. 13-17, Seattle, USA.
- 126. T. Tsuda, N. Ando, Y. Haruki, T. Tanabe, T. Gunji, K. Itagaki, N. Soma, S. Nakamura, N. Hayashi and F. Matsumoto, Study on Li Metal Deposition, SEI Formation on Anodes and Cathode Potential Change during the Pre-Lithiation Process in a Cell Prepared with Laminated Porous Anodes and Cathodes, 233rd ECS meeting, Washington State Convention Center, 2018.5. 13-17, Seattle, USA.
- 127. 安藤風馬,田邉豊和,郡司貴雄,金子信吾,大坂武男,松本 太,担持体および第二元素を用いた Pt 系金属間化合物ナノ 粒子の Pt *d*-バンドセンターのチューニングによる ORR 活 性の向上に関する検討(3), 2018 年電気化学秋季大会, 2018.9.25-26,金沢大学.
- 128. 郡司貴雄, Noh Seung, 安藤風馬, Byungchan Han, 大坂武男, 田邉豊和, 松本 太, Pd 系金属間化合物ナノ粒子の電極触媒 活性, 2018 年電気化学秋季大会, 2018.9.25-26, 金沢大学.
- 129. 野村文洋, 津田喬史, 田邊豊和, 郡司貴雄, 金子信悟, 大坂 武男, 松本 太, 組成探索に基づくLIB用Li₂MnO₃-LiMO₂Li 過剰系固溶体正極材料の高性能化および合成条件の最適化, 2018 年電気化学秋季大会, 2018.9.25-26, 金沢大学.
- 130. 安藤風馬,田邉豊和,郡司貴雄,金子信吾,大坂武男,松本太,担持体および第二元素を用いたPt系金属間化合物ナノ粒子のPt d-バンドセンターのチューニングによるORR 活性の向上に関する検討,表面技術協会第 138 回講 演大会,2018.9.13-14,北海道科学大学.

- 131.津田喬史,安東信雄,松原一樹,中村 奨,板垣 薫,杣 直 彦,林 成実,松本 太,ピコ秒レーザーを用いた三次元表 面構造を有する穴あき電極の作製及びリチウムイオン二次 電池への適用,表面技術協会第 138 回講演大会, 2018.9.13-14,北海道科学大学.
- 132. F. Ando, T. Tanabe, T. Gunji, S. Kaneko, T. Takeda, T. Ohsaka and F. Matsumoto, Effect of the *d*-Band Center on the Oxygen Reduction Reaction Activity of Electrochemically Dealloyed Ordered Intermetallic Platinum-Lead (PtPb) Nanoparticles Supported on TiO₂-Deposited Cup-Stacked Carbon Nanotubes, 「グリーンエネルギー変換工学」第7回国際セミナー, 2018.8.22-23,山梨大学.
- 133. 津田喬史,安東信雄,松原一樹,中村 奨,板垣 薫,杣 直 彦,林 成実,松本 太,ピコ秒レーザーを用いて作製され た穴あき電極のリチウムイオン二次電池への適用および高 出力化,化学電池材料研究会 第 42 回講演会・夏の学校, 2018.8.6-8,京都.
- 134. 野村文洋, 津田喬史, 田邊豊和, 郡司貴雄, 金子信悟, 大坂 武男, 松本 太, 組成探索に基づく LIB 用 Li₂MnO₃-LiMO₂ Li 過剰系固溶体正極材料の高性能化および合成条件の最適化, 化学電池材料研究会 第42 回講演会・夏の学校, 2018.8.6-8, 京都.
- 135. 安藤風馬,田邉豊和,郡司貴雄,金子信吾,大坂武男,松本 太,担持体および第二元素を用いた Pt 系金属間化合物ナノ 粒子の Pt *d*-バンドセンターのチューニングによる ORR 活 性の向上に関する検討,電気化学会関東支部第 36 回夏の学 校,2018.8.30-31, 八王子セミナーハウス.
- 136. 野村文洋,津田喬史,田邊豊和,郡司貴雄,金子信悟,大坂 武男,松本太,組成探索に基づくLIB用Li₂MnO₃-LiMO₂Li 過剰系固溶体正極材料の高性能化および合成条件の最適化, 電気化学会関東支部第36回夏の学校,2018.8.30-31,八王子 セミナーハウス.
- 137.津田喬史,安東信雄,松原一樹,中村 奨,板垣 薫,杣 直 彦,林 成実,松本 太,ピコ秒レーザーを用いて作製され た穴あき電極のリチウムイオン二次電池への適用および高 出力化,電気化学会関東支部第36回夏の学校,2018.8.30-31, 八王子セミナーハウス.
- 138. 小宮山海兵,田邉豊和,齋藤美和,本橋輝樹,「低結晶性 YBaCo4O7+□微粒子の結晶構造観察」,日本化学会 第 7 回 CSJ化学フェスタ 2017, 2017 年 10 月 17 日~19 日,タワー ホール船堀(東京).
- 139. 冨永希, 齋藤美和, 本橋輝樹, 「水熱法を用いたペロブスカ イト型ニオブ酸化物合成の条件検討」日本化学会第7回 CSJ化学フェスタ2017, 2017年10月17日~19日, タワー ホール船堀(東京).
- 140. 新井健司,齋藤美和,本橋輝樹,「酸素欠損ペロブスカイト型 Ba(Zn, Nb)O_{3-δ} (0 ≤δ ≤ 0.5)の熱重量および脱離ガス分析」日本化学会第7回CSJ化学フェスタ2017,2017年10月17日~19日,タワーホール船堀(東京).
- 141. 大森淳平,中川億人,齋藤美和,本橋輝樹,「酸素貯蔵材料 BaLnMn2O5+₆ (Ln = La, Nd, Gd, Y) による水からの水素発生 反応の熱重量・ガス同時分析」第12回セラミックスフェス タ in 神奈川, 2017 年12月16日,横浜国立大学(神奈川県, 横浜).
- 142. 河原由輝,宮本康暉,齋藤美和,本橋輝樹,「層状ペロブス カイト型 La_xSr_{3-x}FeCoO₇₋₈の熱挙動と脱離ガス分析」第 12 回セラミックスフェスタ in 神奈川, 2017 年 12 月 16 日,横 浜国立大学(神奈川県,横浜).
- 143. 駒津領亮, 齋藤美和, 本橋輝樹, 「Ni^{III}を含む金属酸化物の 合成とキャラクタリゼーション」第 12 回セラミックフェス タ in 神奈川, 2017 年 12 月 16 日, 横浜国立大学(神奈川県, 横浜).

- 144. 遠藤圭介, 齋藤美和, 本橋輝樹, 「スウェーデンボルグ石型 金属酸化物の合成とキャラクタリゼーション」第12回セラ ミックフェスタ in 神奈川, 2017 年12月16日, 横浜国立大 学(神奈川県, 横浜).
- 145. 小山内一誠, 齋藤美和, 本橋輝樹, 「メリライト型金属酸化物の合成とキャラクタリゼーション」第12回セラミックフェスタ in 神奈川, 2017 年12月16日, 横浜国立大学(神奈川県, 横浜).
- 146. 彦部拓夢, 千葉裕介, 齋藤美和, 本橋輝樹, 「ホーランダイ ト型マンガン酸化物 BaxMnsO₁₆の電解結晶育成」第12回セ ラミックフェスタ in 神奈川, 2017年12月16日, 横浜国立 大学(神奈川県, 横浜).
- 147. 鈴木健太,小川哲志,青木芳尚,幅崎浩樹,齋藤美和,本 橋輝樹,「Pd 担持した遷移金属酸化物の酸素還元反応およ び酸素発生反応触媒活性」電気化学会第 85 回大会,2018 年3月9日~11日,東京理科大学葛飾キャンパス(東京都, 葛飾区).
- 148.本橋輝樹,宮本康暉,齋藤美和,鈴木健太,小川 哲志,「Pd 担持した遷移金属酸化物の酸素還元反応および酸素発生反 応触媒活性」電気化学会第85回大会,2018年3月9日~ 11日,東京理科大学葛飾キャンパス(東京都,葛飾区).
- 149. 齋藤美和,遠藤絵梨奈,小宮山海兵,本橋 輝樹, 「YBaCo4O7+□の酸素吸収放出特性に対する水および二酸 化炭素の影響」日本セラミックス協会 2018 年年会, 2018 年3月15日~17日,東北大学川内キャンパス(宮城県, 仙台).
- 150. 齋藤美和,新井健司,冨永希,河原由輝,宮本康暉,本橋輝 樹,「ペロブスカイト関連構造を有する酸水酸化物の結晶 構造化学」日本セラミックス協会 第 31 回秋季シンポジウ ム,1G19,2018 年 9 月 5 日,名古屋工業大学(愛知県,名古 屋).
- 151. 新井健司, 齋藤美和, 稲田幹, 林克郎, 本橋輝樹, 「酸素欠損ペロブスカイト型 Ba(Zn_xNb_{1-x})O₃₋₈の含水挙動」日本セラミックス協会 第 31 回秋季シンポジウム, 1G20, 2018 年 9月5日, 名古屋工業大学(愛知県, 名古屋).
- 152. 大森淳平,齋藤美和,本橋輝樹,「酸素貯蔵材料 BaLnMe3O5+δ (Ln = La, Nd, Gd, Y; Me = Mn, Fe) による還元 的水分解反応の系統研究」日本セラミックス協会 第 31 回 秋季シンポジウム, 1G27, 2018年9月5日,名古屋工業大学 (愛知県,名古屋).
- 153.小川哲志,鈴木健太,齋藤美和,土井貴弘,本橋輝樹,「新 規メリライト型複合金属酸化物の優れた酸素発生反応触媒 特性」日本セラミックス協会第31回秋季シンポジウム, 1G28,2018年9月5日,名古屋工業大学(愛知県,名古屋).
- 154. 河原由輝,宮本康暉,齋藤美和,本橋輝樹,「遷移金属酸水酸化物における熱挙動及び脱離ガス分析」日本セラミックス協会第34回関東支部,1C14,2018年9月26日,桐生市市民文化会館(群馬県,桐生).
- 155.小泉大輔,千葉裕介,齋藤美和,本橋輝樹,「ナトリウムチ タン酸化物の電気化学的結晶育成」日本セラミックス協会 第34回関東支部,2P15,2018年9月27日,桐生市市民文 化会館(群馬県,桐生)
- 156. 菅波享平,新井健司,齋藤美和,本橋輝樹,「プロトン伝導体 Ba(Zn_xM₁x)O_{3-δ}(OH)_y (M = Nb, Ta) における赤外吸収分光」日本セラミックス協会第34回関東支部, 2P18, 2018年9月27日,桐生市市民文化会館(群馬県,桐生).
- 157. 廣田俊城,太田佳宏,横澤勉,Ni 触媒を用いたチエニレン-フェニレン二臭化 AB₂ Grignard モノマーの触媒移動型重合, 第7回 CSJ 化学フェスタ 2017, P7-093 (船堀, 2017.10).
- 158. 亀山洸瑠, 森光亜実, 太田佳宏, 横澤勉, safety-catch linker

によって固相担体に固定したアミノ酸モノマーの連鎖縮合 重合によるポリペプトイドの合成,第7回 CSJ 化学フェス タ 2017, P5-100 (船堀, 2017.10).

- 159. 補伽健太,太田佳宏,横澤勉,ハイパーブランチポリアミド とポリスチレンとのジブロック共重合体の合成とその相分 離構造,第7回 CSJ 化学フェスタ 2017, P4-076 (船堀, 2017. 10).
- 160. 小島あすか,鳴海慎太郎,巳上幸一郎,太田佳宏,横澤勉, 熊田-玉尾カップリング重合によるポリオルトフェニレン の合成と重合挙動,第7回CSJ化学フェスタ2017, P5-089 (船堀, 2017.10).
- 161. 上川原タケル,杉田一,巳上幸一郎,太田佳宏,横澤勉,炭 素-炭素三重結合、および窒素-窒素二重結合上のPd 触媒分 子内移動挙動,第7回CSJ 化学フェスタ 2017, P6-101 (船 堀, 2017.10).
- 162. 行川毅,岡林龍一,杉田一,太田佳宏,横澤勉,非等モル下 鈴木・宮浦重縮合による環状ポリマーの合成と不飽和環状 ポリエステルのメタセシス交換反応による分子量と末端基 制御,第7回 CSJ 化学フェスタ 2017, P7-091 (船堀, 2017. 10).
- 163. 木村泰介,杉田一,太田佳宏,横澤勉,芳香族ポリアミドを グラフト化した環状ポリフェニレンの合成,第7回 CSJ 化 学フェスタ 2017, P6-109 (船堀, 2017.10).
- 164. 内田達也,時田遊,太田佳宏,横澤勉,鈴木-宮浦カップリング反応における種々の配位子を有するパラジウム触媒の分子内移動,第7回CSJ化学フェスタ2017, P6-111H (船堀, 2017. 10).
- 165. H. Sugita, Y. Ohta and T. Yokozawa, Unusual Cyclic Polymerization through Suzuki-Miyaura Coupling Polymerization Bearing Diboronate at both Ends with Excess Dibromoarylene, Spring 2018 ACS Meeting Cyclic and Topological Polymers Symposium (New Orleans, 2018. 3).
- 166. 杉田一,上川原タケル,太田佳宏,横澤勉,アクセプターモノマーを用いた非等モル下鈴木・宮浦環化重合,第67回高分子学会年次大会,1F18 (名古屋,2018.5).
- 167. 亀山洸瑠, 森光亜実, 太田佳宏, 横澤勉, ポリノルボルネン 担体上のアミノ酸モノマーの連鎖縮合重合における固相塩 基による自己縮合の抑制, 第 67 回高分子学会年次大会, 1F19 (名古屋, 2018. 5).
- 168. 岡林龍一,太田佳宏,横澤勉, A2+B2 重縮合によって得られ る環状ポリエステルとジエステルとのエステル交換反応に よる末端官能基化された鎖状ポリエステルの合成,第67回 高分子学会年次大会, 2Pa031 (名古屋, 2018. 5).
- 169. 加藤顕禎,小川由紀子,太田佳宏,横澤勉,エステル-エス テル交換反応を利用した A2+B2 重縮合による鎖状ポリエス テルの合成,第 67 回高分子学会年次大会,2Pb040 (名古屋, 2018.5).
- 170. 木村泰介,杉田一,太田佳宏,横澤勉,ハロゲン部位を有す る環状ポリマーの合成とグラフト化,第67回高分子学会年 次大会,2Pa035 (名古屋,2018.5).
- 171. 上川原タケル,杉田一,太田佳宏,横澤勉,フェニレンモノ マーの非等モル下鈴木・宮浦重縮合における分子量と末端 基の添加物によるスイッチング,第67回高分子学会年次大 会,2Pe027(名古屋,2018.5).
- 172. 白井健一郎, 岡林龍一, 太田佳宏, 横澤勉, 交換反応剤を用 いた A₂+B₂ 重縮合によるポリ(エーテルスルホン)の両末 端官能基化, 第 67回高分子学会年次大会, 2Pb032 (名古屋, 2018. 5).
- 173. 田中直樹, 行川毅, 太田佳宏, 横澤勉, 非等モル下鈴木・宮 浦カップリング重合による環状ポリ(スチルベン-フェニレ

ン)の合成およびそのメタセシス交換反応による分子量と 両末端制御,第67回高分子学会年次大会,2Pb034(名古屋, 2018.5).

- 174. 行川毅,太田佳宏,横澤勉,非等モル下鈴木・宮浦カップリング重縮合による不飽和環状ポリエステルの合成とそのメタセシス交換反応による分子量と末端官能基制御,第67回高分子学会年次大会,2Pa033 (名古屋, 2018. 5).
- 175. 原田菜摘, 杉田一, 太田佳宏, 横澤勉, 様々な官能基で連結 した二芳香環ジブロモアリレーン上の Pd 触媒の分子内移 動と非等モル下重縮合への応用, 第67回高分子学会年次大 会, 2Pb026 (名古屋, 2018. 5).
- 176. 廣田俊城,太田佳宏,横澤勉,AB2モノマーの熊田・玉尾触 媒移動型連鎖縮合重合による制御されたハイパーブランチ ポリ(チエニレン-フェニレン)の合成と光学特性,第67 回高分子学会年次大会,3C15(名古屋,2018.5).
- 177. 張耿,太田佳宏,橫澤勉, Synthesis of hybrid nanomaterials by means of self-assembly and silicification of poly(3-hexylthiophene)-b-poly(ethyleneimine) and their optical properties,第 67 回高分子学会年次大会, 3Pd002 (名古屋, 2018. 5).
- 178. 内田耕平, 張耿, 太田佳宏, 横澤勉, ハイパーブランチポリ アミドまたはリニアポリアミドとポリエチレンイミンとの ブロック共重合体の合成と自己組織体のシリカへの形状転 写, 第 67 回高分子学会年次大会, 3Pc001 (名古屋, 2018. 5).
- 179. 補伽健太,太田佳宏,駒村貴裕,樋口剛志,石田良仁,早川 晃鏡,陣内浩司,横澤勉,ハイパーブランチ型、パラ型、メ タ型芳香族ポリアミドとポリスチレンとの3種のジブロッ ク共重合体の合成と相分離,第67回高分子学会年次大会, 3C06(名古屋,2018.5).
- 180. 内田達也,太田佳宏,横澤勉,種々の嵩高いホスフィン配位 子を有するパラジウム触媒を用いた鈴木・宮浦触媒移動型 連鎖縮合重合,第67回高分子学会年次大会,3E09(名古屋, 2018.5).
- 181. 加藤顕禎,小川由紀子,太田佳宏,横澤勉,エステル-エス テル交換反応を利用した A₂+B₂ 重縮合によるポリエステル の合成,第65回湘北地区懇話会講演会(長津田,2018.6).
- 182. 上川原タケル,杉田一,太田佳宏,横澤勉,フェニレンモノ マーの非等モル下鈴木・宮浦重縮合における添加物による 重合モード変換,第 65 回湘北地区懇話会講演会(長津田, 2018.6).
- 183. 亀山洸瑠,森光亜実,太田佳宏,横澤勉,固相塩基を用いた ポリノルボルネン担体上のアミノ酸モノマーの連鎖縮合重 合における自己縮合の抑制,第65回湘北地区懇話会講演会 (長津田, 2018. 6).
- 184. 木村泰介、杉田一,太田佳宏,横澤勉,選択的鈴木-宮浦環 化重合によるハロゲン部位を有する環状ポリマーの合成と グラフト化,第65回湘北地区懇話会講演会(長津田,2018.
 6).
- 185. 内田達也,太田佳宏,横澤勉,鈴木-宮浦触媒移動型連鎖縮 合重合における嵩高いホスフィン配位子を有するパラジウ ム触媒の分子内挙動,第65回湘北地区懇話会講演会(長津 田,2018.6).
- 186. T. Kamigawara, H. Sugita, Y. Ohta and T. Yokozawa, Additive controlled switching from abnormal to normal unstoichiometric Suzuki-Miyaura polycondensation, MACRO 2018 World Polymer Congress, 120 (Cairns, 2018. 7).
- 187. T. Kameyama, A. Morimitsu, Y. Ohta and T. Yokozawa, Chain-growth condensation polymerization of amino acid monomer immobilized on polynorbornene: Suppression of self-condensation by using solid bases, MACRO 2018 World

Polymer Congress, 119 (Cairns, 2018. 7).

- 188. T. Uchida, Y. Ohta and T. Yokozawa, Intramolecular transfer propensities of bulky phosphine-ligated Pd catalysts in Suzuki-Miyaura coupling polymerization, MACRO 2018 World Polymer Congress, 133 (Cairns, 2018. 7).
- 189. K. Hoka, Y. Ohta, T. Komamura, T. Higuchi, Y. Ishida, T. Hayakawa, H. Jinnai and T. Yokozawa, Microphase separated structure of block copolymers consisting of hyperbranched polyamide or linear polyamide and polystyrene, MACRO 2018 World Polymer Congress, 122 (Cairns, 2018. 7).
- 190. N. Harada, H. Sugita, Y. Ohta and T. Yokozawa, Propensity for intramolecular transfer of Pd catalyst on two bromoarylenes connected to various functional group, MACRO 2018 World Polymer Congress, 114 (Cairns, 2018. 7).
- 191. T. Hirota, Y. Ohta and T. Yokozawa, Synthesis and optical properties of well-defined hyperbranched poly(thienylene-phenylene) by catalyst-transfer condensation polymerization of AB₂ monomer, MACRO 2018 World Polymer Congress, 117 (Cairns, 2018. 7).
- 192. Y. Ohta, K. Uchida, G. Zhang, R-H Jin and T. Yokozawa, Synthesis of block copolymers consisting of hyperbranched or meta-type linear polyamide and polyethyleneimine and transcription of their self-assembled structures to silica by silicification, MACRO 2018 World Polymer Congress, 126 (Cairns, 2018. 7).
- 193. T. Katoh, Y. Ogawa, Y. Ohta and T. Yokozawa, Synthesis of linear polyester by means of A₂+B₂ polycondensation through ester-ester exchange reaction, MACRO 2018 World Polymer Congress, 121 (Cairns, 2018. 7).
- 194. H. Sugita, Y. Ohta and T. Yokozawa, Unstoichiometric cyclic condensation polymerization of phenylene and heteroarylene by means of Suzuki-Miyaura coupling, MACRO 2018 World Polymer Congress, 53 (Cairns, 2018. 7).
- 195. 岡林龍一,太田佳宏,横澤勉, A₂+B₂重縮合によって得られ る環状ポリエステルと低分子との交換反応による両末端官 能基化された鎖状ポリエステルの合成,第67回高分子討論 会, 3C11 (札幌, 2018.9).
- 196. 補伽健太,太田佳宏,駒村貴裕,樋口剛志,石田良仁,早川 晃鏡,陣内浩司,横澤勉,ハイパーブランチ型、パラ型、メ タ型芳香族ポリアミドとポリスチレンとの3種のジブロッ ク共重合体の合成とそれらの自己組織化構造の差異,第67 回高分子討論会,1F04(札幌,2018.9).
- 197. 廣田俊城,太田佳宏,横澤勉,熊田・玉尾触媒移動型連鎖縮 合重合による制御されたハイパーブランチおよび鎖状ポリ (チエニレン-フェニレン)の合成とそれらの光学特性,第 67回高分子討論会,1F05(札幌,2018.9).
- 198. 亀山洸瑠, 森光亜実, 太田佳宏, 横澤勉, 高分子塩基を用い たポリノルボルネン担体上のアミノ酸モノマーの連鎖縮合 重合, 第67回高分子討論会, 3B09 (札幌, 2018.9).
- 199. 原田菜摘, 杉田一, 太田佳宏, 横澤勉, 種々の官能基で連結 した二芳香環ジブロモアリレーン上の Pd 触媒の分子内移 動と重縮合への応用, 横澤勉, 第 67 回高分子討論会, 3B08 (札幌, 2018.9).
- 200. 木村泰介, 杉田一, 太田佳宏, 横澤勉, 側鎖にビニルポリマ ーを有する環状ポリフェニレンの合成と物性, 第67回高分 子討論会, 2Pc009 (札幌, 2018.9).
- 201. 加藤顕禎, 小川由紀子, 太田佳宏, 横澤勉, 二官能性エステ ルのエステル-エステル交換反応重縮合によるポリエステ ルの合成, 第67回高分子討論会, 21Pe001 (札幌, 2018.9).
- 202. 上川原タケル,杉田一,太田佳宏,横澤勉,非等モル下鈴

木・宮浦重縮合の添加物による重合モードの制御, 第67回 高分子討論会, 3B10 (札幌, 2018.9).

203. 内田達也,太田佳宏,横澤勉,鈴木-宮浦型触媒移動型連鎖 縮合重合における Pd 触媒ホスフィン配位子の立体的およ び電子的効果,第67回高分子討論会,3B07(札幌,2018.9).

学術誌

- 1. 岡田正弘. イソプレニル化. 生体の科学, 69(5), 492-493 (2018).
- 岡田正弘,阿部郁朗.納豆のネバネバを引き起こす翻訳後 修飾によりトリプトファン残基がイソプレニル化された修 飾ペプチド.,バイオサイエンスとインダストリー (B&I), 75,508-511 (2017).
- 岸岡真也,松本 太,大坂武男,サイクリックボルタンメ トリー(CV)の基礎, Electrochemistry, 86(summer) 138-148 (2018).
- 4. 安藤風馬, 231th ECS meeting 参加報告, 若者の広場, Electrochemistry, 86 (Spring) (2018).
- 5. 千葉裕介, 班内留学報告, 新学術領域研究「複合アニオン 化合物の創製と新機能」, News Letter vol.3, p.46 (2018).

著書

- 上田渉,高難度メタン反応への挑戦と触媒化学の革新,触 媒, 6, 302-306 (2017)
- 定金正洋, Z. Zhang, 上田渉, ポリオキソメタレートユニットの集合による新規機能性酸化物結晶の合成, 日本結晶成長学会誌, 44, 74-81 (2017)
- S. Sato and W. Ueda, Glycerol as a potential renewable raw material for acrylic acid Production, Green Chemistry, 19 3186-3213 (2017)
- 4. 岡田正弘. 化学実験安全ガイド File. 1 ブチルリチウム. 現代化学, 562, 62-63 (2018).
- 5. 岡田正弘. 化学実験安全ガイド File. 2 ジエチルエーテル. 現代化学, 563, 37 (2018).
- 6. 岡田正弘. 化学実験安全ガイド File. 3 金属水素化物. 現 代化学, 564, 60-61 (2018).
- 岡田正弘. 化学実験安全ガイド File. 4 揮発性の蒸気 -見 えない危険-. 現代化学, 565, 60-61 (2018).
- 岡田正弘. 化学実験安全ガイド File. 5 酸化反応. 現代化 学, 566, 56-57 (2018).
- 9. 岡田正弘. 化学実験安全ガイド File. 6 やけど. 現代化学, 567, 28-29 (2018).
- 10. 山田健,砂塚敏明,有機分子触媒の開発と工業利用(秋山隆 彦監修),第24章 有機触媒による創薬を指向した生理活 性天然物の実践的合成,シーエムシー出版(2018.3).
- 田邉豊和,松本 太,鵜川普作,「次世代電池用 電極 材料 の高エネルギ 一密度、 高出力化」 水系バインダーの高 電圧・高容量リチウム過剰系正極への適用と充放電特性, 技術情報協会編, p. 70-75 (2017).
- 郡司貴雄,田邉豊和,松本太,金属間化合物ナノ粒子の電 極触媒としての固体高分子形燃料電池への適用,Acc. Mater. Surf. Res., 2(3), 89-100 (2017).
- 13. 郡司貴雄,松本 太,入井友海太,高容量正極 LiNi_aCo_bAl_cO₂(a>0.85)の水系バインダーへの適用のための 表面コーティング、『リチウムイオン電池用添加剤の開発 と市場』,シーエムシー出版,71-78 (2018).

調査報告書

- 赤井昭二, 實吉尚郎, 小野晶, 次世代型医薬品開発を目指 した希少糖や核酸誘導体の合成と生物活性評価システムの 構築, 神奈川大学工学研究所共同研究(A), 神奈川大学工学 研究, 1, 103-107 (2018).
- 山田健,特異な大環状炭素環天然物の全合成と熱帯病治療 薬の創製研究,住友財団基礎化学研究助成研究報告書 (2018).
- 山田健、カスケード反応を駆使した大環状炭素環天然物の 全合成とアフリカ睡眠病治療薬の創製研究,第 28 回有機 合成化学協会エーザイ研究企画賞研究報告書(2018).
- 松原康郎, CO2 資源化のための還元触媒を超低過電圧で駆動させる高性能アゾリウム助触媒の開発,科学研究費助成事業研究成果報告書,若手研究(B),課題番号 16K17883 (2018).
- 5. 横澤勉,「ナノ無機物と芳香族高分子・π共役系高分子との自己組織化」,平成29年度私立大学戦略的研究基盤形成支援事業「高度に秩序化された無機ナノ構造体と精密構造 有機高分子との融合による高機能性材料の創製」報告書 (2018,3).
- 6. 横澤勉,平成25年度~平成29年度私立大学戦略的研究基盤形成支援事業「高度に秩序化された無機ナノ構造体と精密構造有機高分子との融合による高機能性材料の創製」研究成果報告書概要(2018,5).
- 横澤勉,「分子内-分子間触媒移動による π 共役系交互共 重合体の末端制御」,平成 29 年度科学研究費助成事業 研 究成果報告書,基盤研究(B)(一般)(2018,6).

講演・展示会

- 1. W. Ueda, New porous complex metal oxides of group V and VI elements, 9th International Symposium on Group Five Elements ($\forall \, \vee \, \mathbb{F}$, 2017.11).
- 上田渉, 5.6 族金属酸化物の構造多様性に基づく新触媒機 能構築,バイオマス変換触媒研究会講演会,(神奈川, 2018.1).
- 石川理史,上田渉,結晶性 Mo-V 系複合酸化物触媒の結晶 構造と選択酸化活性の関係,高難度選択酸化反応研究会シ ンポジウム (東京, 2018.1).
- 4. W. Ueda, New nano-structured complex metal oxides of group V and VI elements as solid-state catalysts, Rideal Conference 2018 ($\mathcal{I} \neq \mathcal{I} \nearrow$, 2018.3).
- 上田渉, 異次元の固体触媒機能の創出, 日本化学会 第 98 春季年会 (千葉, 2018.3).
- 上田渉, 触媒インフォマティクスへの期待, 第 121 回触媒 討論会 (東京, 2018.3).
- 7. 上田渉, 触媒インフォマティクスの現状、課題、展望, 触 媒開発における人工知能、計算科学の活用(東京, 2018.8).
- 8. W. Ueda, Innovation in Complex Metal Oxide Catalysts for Selective Oxidation, The 8th Tokyo Conference on Advanced Catalytic Science and Technology (TOCAT8), (神奈川, 2018.8).
- S. Hikichi, Design of Immobilized Metallocomplex Catalysts as Bio-inspired Catalysts for Selective Hydrocarbon Oxidation, 2018 Korea-Taiwan-Japan Bioinorganic Chemistry Symposium (Korea Advanced Institute of Science and Technology, Daejeon, Korea, 2018. 6).
- 10. 引地史郎, 遷移金属-活性酸素錯体の化学と Bio-inspired

酸化触媒の開発,化学最前線 2018(平塚, 2018.9).

- 11. 松本 太,電気化学反応・電極反応のメカニズムと電気化 学測定法および電極/溶液界面の解析~電気化学の基礎、 いろいろ組み合わせた各種測定法、CV法、交流インピー ダンス法~, Science&Technology セミナー(東京・流通セン ター), 2018.4.19.
- 12. 松本 太、リチウム電池用水系バインダーの高電圧高容量 正極への適用とその性能評価『リチウム電池用水系バイン ダーの高電圧正極での適用と性能評価』,技術情報協会セ ミナー (東京都,五反田),2018.4.25.
- 松本 太、「リチウム過剰系正極への水系バインダーの適用 と長寿命化」リチウム過剰系正極材料のサイクル特性向上 技術、技術情報協会セミナー(東京都,五反田),2018.5.10.
- 14. 本橋輝樹,「結晶構造化学を駆使した環境・エネルギー材料の開発」,第13回新機能無機物質探索研究センター・シンポジウム講演会,2018年7月31日,東北大学多元物質科学研究所.
- 15. 本橋輝樹,「遷移金属酸化物における酸素貯蔵材料の開発:磁性材料に隠された環境・エネルギー関連機能性」,第5回元素戦略に基づいた触媒設計シンポジウム,2017年12月1日,首都大学東京 秋葉原サテライトキャンパス.
- 横澤 勉,金属触媒の分子内移動を利用した共役系高分子の合成,第65回湘北地区懇話会講演会(長津田,2018.6).
- T. Yokozawa, End-Functionalization of Conjugated Polymers via Intramolecular Catalyst Transfer, MACRO 2018 World Polymer Congress (Cairns, 2018.7).
- 横澤 勉, 縮合重合のリビング重合を実現, 18-1 高分子学 会講演会 (大岡山, 2018. 7).
- T. Yokozawa, Catalyst Transfer on Various Functional Groups, Seminar in KU Leuven (Leuven, 2018. 8)
- N. Harada, T. Kamigawara, H. Sugita, Y. Ohta and T. Yokozawa, Intramolecular Transfer of Pd Catalyst on Bis(bromophenylene) Connected to Various Functional Groups, 14th Japan-Belgium Symposium on Polymer Science (Mons, 2018. 9).
- (横澤 勉, 質量分析に助けられた連鎖縮合重合の研究, 日本質量分析学会・第2回材料分析部会講演会(東京, 2018.
 9).

助成金

- 井川 学(代表),丹沢山塊における大気汚染物質の沈着 と環境影響,2017 年度神奈川大学共同研究奨励助成金 (2017.4~2020.3).
- 石川理史(代表), Moを基盤とした結晶性複合酸化物の結 晶構造と触媒活性の関係の解明, 平成 30 年度科学研究費 補助金, 若手研究, 課題番号 18K14058.
- 3. 石川理史,高次な構造を有する複合酸化物の合成と触媒作 用場の解明,北海道大学触媒科学研究所共同利用・共同研 究.
- 岡田正弘,平成 29 年度 新学術領域研究「生合成リデザイン」公募研究,代表,課題番号 17H05429.
- 岡田正弘, 平成 29 年度 野田産研研究助成, 代表, 野田産 業科学研究所.
- 岡田正弘, 平成 29 年度 SUNBOR GRANT, 代表, サント リー生命科学財団.
- 岡田正弘, 平成 29 年度 調査研究助成, 代表, 鈴木謙三記 念医科学応用研究財団.
- 岡田正弘,平成28年小林国際奨学財団(研究助成),代表, 小林国際奨学財団.
- 9. 岡本専太郎 (代表), 低原子価チタンの発生法を基盤とする

精密合成手法の開発,平成 30 年度科学研究費補助金,基盤 研究 (C),課題番号 17K05869.

- 岡本専太郎(分担)、オーキシン生合成阻害剤を用いた植物のオーキシン生理作用の解析と高活性阻害剤の探索、神奈川大学共同研究奨励助成金.
- 11. 岡本専太郎 (代表),研究奨学寄付金,日産化学工業株式会 社.
- 12. 山田健(代表),光学活性 2-ビリドンを共役酸・塩基触媒 に用いた新規カスケード反応の開発と応用,平成 30 年度 科学研究費補助金,基盤研究(C),課題番号 17K08219.
- 小野 晶(研究代表者),「DNA二重鎖中で無限に金属イオンが連続する超分子錯体:精密合成・結晶構造・物性」,2017 年度文部科学省科学研究費補助金,基盤研究(B),課題番号17H03033.
- 14. 實吉尚郎 (研究代表者),「細胞膜透過能を有する合成核酸 の開発」2017 年度日本学術振興会学術研究助成基金助成 金,基盤研究(C),課題番号 17K01966.
- 金 仁華(企画班分担), 「配位アシンメトリー」(新学術領域 2016~2020) JSPS 科研費 JP16H06515.
- 16. 赤井昭二(分担), パルスレーザー分光による反応機構解析 と合成反応への応用, 神奈川大学共同研究奨励助成金(研 究代表者: 岩倉いずみ).
- 17. 佐藤憲一, クミアイ化学工業株式会社, 研究奨学寄附金.
- 18. 佐藤憲一, 日本理化薬品株式会社, 研究奨学寄附金.
- 19. 引地史郎 (分担),後周期遷移金属オキシラジカル錯体によ るメタンの酸化反応,戦略的創造研究推進事業(CREST), JPMJCR16P1.
- 20. 松本 太(代表),金属間化合物ナノ粒子表面の電子的・ 構造的修飾による触媒活性の向上および長寿命化. 科研費 基盤研究(C),課題番号 16K05945.
- 21. 松本 太 (共同代表者), "高速パルスの正規化データを用い るリチウム電池劣化度の機械学習的評価法の技術開発", フェーズ B, 平成 30 年度「ベンチャー企業等による新エネ ルギー技術革新支援事業」.
- 22. 松本 太(代表),日本私立学校振興・共済事業団 平成 30年度 学術研究振興資金 "「可逆的"燃料電池用電極触 媒の新展開計算化学と実験の融合による新規材料の創製」.
- 23. 松本 太,研究奨学寄付金, JSR 株式会社.
- 24. 松本 太,研究奨学寄付金,サン工業株式会社.
- 25. 松本 太,研究奨学寄付金,株式会社アシザワファインテック.
- 26. 松本 太,研究奨学寄付金,株式会社小島化学薬品.
- 27. 松本 太,研究奨学寄付金,日本化学産業株式会社.
- 28. 松本 太 (代表),軽金属奨学会 教育研究資金・研究補助 金 (2018).
- 29. 松本 太(代表),研究課題目:「イオン液体/有機溶媒混 合浴 からの光沢性を有するアルミニウム電気めっき膜の 作製における添加剤の影響及びそのめっき膜のバイオバイ オ応用」,公益財団法人 高橋産業経済研究財団.
- 30. 津田喬史(松本研究室), 戸部真紀財団平成 30 年度奨学生.
- 31. 安藤風馬(松本研究室), 電気化学会第 85 回講演大会学生ポ スター賞 (2018.3.9).
- 32. 野村文洋(松本研究室),加藤科学振興会平成 30 年度研究奨 励金.
- 33. 津田喬史(松本研究室), 電気化学会 若手研究者の国際交 流支援 2018 年度前期.
- 34. 安藤風馬(松本研究室),日本学術振興会特別研究員 奨励 研究費(2018-2020).
- 35. 野村文洋(松本研究室),公益財団法人横浜学術教育振興財 団平成 30 年度海外渡航助成.

- 36. 安藤風馬(松本研究室), 日本学術振興会平成 30 年度特別研 究員 DC1.
- 野村文洋(松本研究室), 八洲環境技術振興財団海外渡航助 成.
- 38. 齋藤美和, 複合金属酸化物を用いた複合アニオン化合物の 創製と機能探索, 平成 30 年度教育研究奨励助成(一般社団 法人 神奈川大学宮陵会).
- 39. 齋藤美和, ペロブスカイト酸化物の欠陥構造制御とプロトン伝導, 平成 30 年度共同研究 A (神奈川大学 工学研究所).
- 40. 本橋輝樹,アニオン不定比性酸水酸化物の合成と結晶構造 化学,新学術領域研究(研究領域提案型),課題番号 17H05490.
- 41. 齋藤美和, 複合アニオン系中温作動プロトン伝導体におけ る界面制御による高機能化, 基盤研究 (C), 課題番号 JP18K0413.
- 42. 横澤 勉(代表), 2 つの異種カップリング反応を用いる両 末端官能基化された π 共役系高分子の選択的合成, 平成 30 年度科学研究費補助金, 基盤研究 (B), 課題番号 18H02023.
- 43. 横澤 勉(代表),「非等モル下重縮合の添加物による重合モ ード制御」,平成 30 年度科学研究費補助金,挑戦的研究 (萌芽),課題番号 17K19162.
- 44. 太田佳宏(代表),ハイパーブランチブラシブロック共重合体による新規フォトニック結晶の開発,平成 30 年度科学研究費補助金,若手研究,課題番号 18K14277.
- 45. 太田佳宏(代表), ミセル化により細胞透過可能な核酸医薬の開発, 平成 30 年度工学研究所共同研究, 共同研究(B).

受託研究

- 井川 学,エレクトロレメディエーション法による除染廃 棄物の減容,株式会社アストム.
- 2. 上田 渉, アルカンからアルケンを製造する触媒に関する 研究, 日本化薬株式会社.
- 3. 上田 渉, 触媒の素材・原料となる炭化水素に活性を持つ新 規化合物の研究, 旭化成株式会社.
- 4. 上田 渉, 触媒を利用した有機化合物の活性化方法, 昭和 電工株式会社.
- 5. 上田 渉, 多孔性ポリオキソメタレートの合成及び評価, 東ソー株式会社.
- 6. 上田 渉, クラスター材を用いた金属酸化物ナノ構造材料 の研究, 東ソー株式会社.
- 7. 上田 渉, プロパンを原料とするアクリル酸合成法の研究, 株式会社日本触媒.
- 8. 上田 渉, 複合酸化物を基盤とする C4 気相酸化触媒に関す る研究, 三菱ケミカル株式会社.
- 9. 上田 渉, カンパニア・ブラジレイア・メタルジア・イ・ミ ネラソン (CBMM) 社.
- 10. 上田 渉, 研究奨学寄附金 株式会社ブリヂストン.
- 11. 上田 涉,研究奨学寄附金 株式会社日本触媒.
- 12. 岡本専太郎,有機エレクトロニクス用塗布型正孔輸送材料 の開発,日立化成株式会社.
- 13. 松本太(再委託), "電極の三次元化やリチウムイオンドー ピング技術に向けた連続レーザ穿孔装置の開発",フェーズC,平成30年度「ベンチャー企業等による新エネルギー 技術革新支援事業」.
- 14. 本橋輝樹,実用空気極用複合金属酸化物触媒材料開発,革 新型蓄電池実用化促進基盤技術開発 (RISING II)(研究代表 者:本橋輝樹,分担者:齋藤美和).
- 15. 横澤勉, 縮合系高分子の表面濃縮構造設計, 共同研究, 日 立化成.

- 16. 横澤勉,研究奨学寄付金,日産化学工業.
- 17. 横澤勉,研究奨学寄付金,ブリジストン.

特許(取得)

- 赤井昭二,青島啓太,佐藤憲一,西田浩志,小島勝,永塚 貴弘,佐藤眞治,「抗癌剤」,特許第 6338276 号.
- 金 仁華,「円偏光発光材料の製造方法及び円偏光発光材料」,特許第6399583号.
- 松本 太,「固溶体活物質を含む正極活物質,該正極活物 質を含む正極,および該正極活物質を用いた非水電解質二 次電池」,特許第 6288941 号.
- 本橋輝樹,齋藤美和,「触媒及び金属空気電池」,特開 2018-149518.
- 5. 本橋輝樹, 齋藤美和, 「金属空気電池用正極触媒及び金属 空気電池」, 特開 2018-152298.
- 原田隆, 辻秀人, 山原圭二, 本橋輝樹, 齋藤美和, 「酸素 過剰型金属酸化物及びその製造方法と再生方法、並びに、 酸素濃縮装置及び酸素吸脱着装置」,特開 2018-8871.
- 注 悦司,本橋輝樹,野田裕之,井上佳士,幅崎浩樹,「酸 素還元反応用触媒及び金属空気二次電池用空気極」, W02016/132932 A1.

海外出張

- 井川 学, 7th International Conference on Ion Exchange, Yogyakarta, Indonesia (2018.9).
- 上田 渉, New porous complex metal oxides of group V and VI elements, 9th International Symposium on Group Five Elements, New delhi, India (2017.11).
- 3. 上田 渉, FHI2017, Berlin, Germany (2017.11).
- 4. 上田 渉, New nano-structured complex metal oxides of group V and VI elements as solid-state catalysts, Rideal Conference 2018, Oxford, UK (2018.3).
- Ren-Hua Jin, "Chemical Tricks in Solid Phase Chiral Transfer between Organics and Inorganics" (invited), 8th Chinese Molecular Chirality Symposium, Fuzhou, China, October 12-15, (2017).
- Ren-Hua Jin, "Chirality Origin in Silica: New Challenge Towards Asymmetric Stereochemistry in Silica Frame", (Key-note), 4th International Conference on Advanced Complex Inorganic NanoMaterials (ACIN2018), July 16-19 (2018).
- 引地史郎, 2018 Korea-Taiwan-Japan Bioinorganic Chemistry Symposium, KAIST, Daejeon, Korea (2018. 6).

褒賞

- 犬飼将槙,三浦龍之介,石川理史,上田 渉,異種金属を導入した三方晶 Mo₃VOX 複合酸化物の熱処理による斜方晶 Mo₃VOX 構造へのトポタクティック変化,第121回触媒討 論会,学生ポスター賞(2018.3).
- S. Inukai, S. Ishikawa and W. Ueda, Introduction of Sb into trigonal Mo₃VOx oxide and its crystal transformation to orthorhombic Mo₃VOx by heat treatment, The 8th Tokyo Conference on Advanced Catalytic Science and Technology (TOCAT8), poster prize (2018.8).
- 3. 西浦利紀, 単核コバルト(II)錯体の酸素分子活性化に及ぼす 配位子の置換基効果の解明, 優秀ポスター賞, 第7回 CSJ 化学フェスタ(主催:公益社団法人日本化学会) (2017.10).

- Yubin Liu, "Synthesis of Water-Resistant thin TiOx Layer-Coated High-Capacity LiNiaCobAl1-a-bO2 (a> 0.85) Cathode and Its Stable Charge/Discharge Cycle Cathode Performance to Apply a Water-Based Hybrid Polymer Binder to Li-Ion Batteries", Student Poster Session Award 1st5 Place -Solid State, ECS 232rd meeting(Washington DC, 2017.10-1-5).
- 5. 安藤風馬, "固体高分子形燃料電池用酸素還元電極触媒の触 媒活性と電極触媒表面の電子状態の関係の解明", 第 7 回 CSJ 化学フェスタ 2017, 優秀ポスター発表賞,
- 6. 安藤風馬,"高分解能透過電子顕微鏡を用いた高酸素還元触 媒活性を有する PtおよびPtPb/TiO₂/カップスタックカーボ ンナノチューブの触媒表面の状態解析",電気化学会第85 回講演大会学生ポスター賞.
- 安藤風馬, 担持体および第二元素を用いた Pt 系金属間化合物ナノ粒子の Pt d-バンドセンターのチューニングによる ORR 活性の向上に関する検討, 第 36 回電気化学会関東支 部夏の学校優秀ポスター賞.
- 8. 野村文洋,組成探索に基づく LIB 用 Li₂MnO₃-LiMO₂ Li 過 剰系固溶体正極材料の高性能化および合成条件の最適化, 第36回電気化学会関東支部夏の学校優秀ポスター賞.
- 9. 小泉大輔,千葉祐介,齋藤美和,本橋輝樹,「ナトリウムチ タン酸化物の電気化学的結晶育成」,日本セラミックス協会 第34回関東支部研究発表会,特別賞 (2018.9).

学位

- 相馬大貴,ポリエチレンイミン系三次元構造体の設計及び それらのハイブリッド化に関する研究,博士(工学),神奈 川大学(2017.3).
- 岩下健一,超高密度配線形成用感光性耐熱材料の開発,博 士(工学),神奈川大学(2018.3).
- 小坂研太郎,鈴木・宮浦カップリングにおける触媒の分子内 移動を活用した制御された π 共役系高分子の合成,博士(工 学),神奈川大学 (2018.3).

その他

 本橋輝樹、「電動車普及へセラ研究加速 神奈川大 亜鉛空 気電池用に低コスト酸化物」、化学工業日報 (2018/09/04).

情報システム創成学科

研究論文I(レフェリー付き論文)

- O.Adriani, K.Hibino, S.Okuno, Y.Shimizu, T.Tamura et al. (CALET Collaboration), Energy Spectrum of Cosmic-Ray Electron and Positron from 10 GeV to 3 TeV Observed with the Calorimetric Electron Telescope on the International Space Station, Phys. Rev. Lett. 119, 181101, 6 pages (2017.11).
- O.Adriani, K.Hibino, S.Okuno, Y.Shimizu, T.Tamura et al. (CALET Collaboration), Extended Measurement of the Cosmic-Ray Electron and Positron Spectrum from 11 GeV to 4.8 TeV with the Calorimetric Electron Telescope on the International Space Station, Phys. Rev. Lett. 120, 261102, 7 pages (2018.6).
- Y.Asaoka, S.Ozawa, S.Torii, K.Hibino, S.Okuno, Y.Shimizu, T.Tamura et al. (CALET Collaboration), On-orbit operations and offline data processing of CALET onboard the ISS, Astroparticle Physics, 100, 29-37 (2018.7).

- 河原崎俊之祐,瀬古沢照治:未探索領域を拡大する未探索 冒険型 Q-learning による準最短経路獲得,電気学会論文誌 C(電子・情報・システム部門誌),138-7,941-949 (2018.7).
- A. Takaoka, A vertex ordering characterization of simple-triangle graphs, Discrete Math., 341(12), 3281-3287 (2018).
- A. Takaoka, Complexity of Hamiltonian Cycle Reconfiguration, Algorithms, 11(9), 140 (2018).
- A. Fujioka, Generalized Key Substitution Attacks on Message Recovery Signatures, Tatra Mountains Mathematical Publications, 70(3), 119-138 (2017).

研究論文II(レフェリー付き Proceedings)

- S. Nagai, H. Oya, T. Kubo and T. Matsuki, Decentralized Variable Gain Robust Practical Tracking for a Class of Uncertain Large-Scale Interconnected Systems, Proc. of the 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON2017), (Beijing, 2017. 10).
- S. Nagai, H. Oya, T. Matsuki and Y. Hoshi, A Point Memory-Based Variable Gain Robust Controller with Guaranteed L2 Gain Performance for a Class of Uncertain Time-Delay Systems, Proc. of the 7th International Conference on Advanced Technologies (ICAT'18), (Antalya, 2018. 4).
- S. Nagai, H. Oya and T. Matsuki, A Point Memory State Observer with Adjustable Parameters for a Class of Uncertain Linear Systems with State Delays, Proc. of the International Conference on Advanced Technology Innovation 2018 (ICATI18), (Krabi, 2018. 6).
- S. Kawarasaki, T. Sekozawa, Unknown-adventure Q-learning, The 6th Asian Conference on Information Systems Proceedings, 23-30 (2017.12).

- 1. 奈良清仁,秋吉政徳,吉新喜市,築山誠,特許調査における 単語群からの文書特徴表現を用いた F ターム推定実験,電 気学会情報システム研究会, IS17-58, 39-42 (2017.11).
- 秋吉政徳、クラウド環境と IoT がもたらす教育サービス基盤の検討、電気学会情報システム研究会、IS17-67、71-76 (2017.11).
- 3. 秋吉政徳, 文書マルチラベリングにおける複数の距離尺度 ベクトルの重み付けに関する実験, 電気学会システム研究 会, ST17-70, 29-31 (2017.12).
- 秋吉政徳, 真嶋由貴恵, 田中小百合, 堀美和子, インシデント発生につながる看護師シフトデータに関する考察, 電子情報通信学会信学技報, vol. 117, no. 419, MICT2017-44, 17-20 (2018.1).
- 5. 奈良清仁, 秋吉政徳, 吉新喜市, 築山誠, 特許調査における 単語群からの文書特徴表現を用いた F ターム推定方式, 計測自動制御学会第 45 回知能システムシンポジウム, A1-1 (2018.3).
- 奈良清仁,秋吉政徳,吉新喜市,築山誠,単語の分散表現を 用いた特許調査のFターム推定実験,電気学会情報システ ム研究会,IS18-17,79-82 (2018.3).
- 7. 星野恵以子,秋吉政徳,吉新喜市,築山誠,特許調査にお ける文章間の編集距離を利用した関連公報抽出方式,電気 学会情報システム研究会,IS18-18,79-82 (2018.3).
- 大島正太,秋吉政徳,プロジェクションマッピングによる 災害現場再現の検討,電気学会情報システム研究会,

IS18-24, 15-19 (2018.5).

- 坂本那奈実,秋吉政徳,SIFT 特徴量を用いた入退室画像判 定ツール,電気学会情報システム研究会,IS18-28, 39-42 (2018.5).
- 仲川紗彩香,大村圭司,村上久,秋吉政徳, ラバーハンド錯 覚を通した身体所有感に関わる実験, 電気学会情報システ ム研究会, IS18-29, 43-47 (2018.5).
- 11. 藤井直之,秋吉政徳,地図画像からの曲がり角密集地域検 出のためのパラメータ調節方式,平成30年電気学会電子・ 情報・システム部門大会,OS5-6 (2018.9).
- 谷合大,張賀,奥野祥二,内田智史,難易度が変化する電子書籍の提案とその記述用エディタ・表示用リーダの開発, 日本 e-Learning 学会,第20回学術講演会,学生セッション (2), (東京, 2017.11).
- 13. 張賀, 奥野祥二, 内田智史, 難易度が変化する電子書籍専 用リーダーの開発, 第13回情報システム学会全国大会・ 研究発表大会, S1-A.1, (横浜, 2017.12).
- 14. 谷合大,奥野祥二,内田智史, 難易度が変化する電子書籍 記述用のテキスト エディタの研究,第13回情報システム 学会全国大会・研究発表大会,S1-A.2,(横浜,2017.12).
- 15. 張賀,谷合大,奥野祥二,内田智史,難易度が変化する電子書籍とその開発支援環境,情報処理学会,コンピュータと教育研究会,143回研究会,(神戸,2018.2).
- 16. 張賀,奥野祥二,内田智史,難易度が変化する電子書籍リ ーダの研究,電子情報通信学会 2018 年ソサイエティ大会 講演論文集, B-6-58, (金沢, 2017.9).
- 17. 進藤晋,単調劣同次写像の性質と最適化問題への応用,京都大学数理解析研究所共同研究「高度情報化社会に向けた数理最適化の新潮流」(2018.8).
- 2018. 桑野一成,分配規範の数理モデルについて,NIKKS,1(能 美,2018.9).
- 杉本剛,いちじくの渡来と伝播そして文化的受容,第84
 回形の科学シンポジウム,29-30 (長崎,2017.12).
- 20. 杉本剛, 東京藝術大学の六角堂, 形シューレ 2017, 1-2 (富山, 2018.3).
- 21. 杉本剛,書き込みのあるハレーの北天星図について,第65 回科学史学会講演会,4(東京,2018.12).
- 22. 杉本剛, 第2次セント・ヘレナ島沖海戦:1602年3月14-16 日, 第85回形の科学シンポジウム, 59-60 (仙台, 2018.6).
- 23. 匂坂航,瀬古沢照治:ジャガイモ農家の収入安定化を目指 したオプション評価,平成29年電気学会 電子・情報・シ ステム部門大会,講演論文集,1266-1269(札幌,2018.9).
- 河原崎 俊之祐,瀬古沢照治:探索状態を拡大する冒険型 Q-learning による準最短経路獲得,電気学会情報システム 研究会資料, IS-18-7, 35-40 (奄美, 2018.3).
- 25. 李 俊,瀬古沢照治:炭素回生システム事業価値に対する リアルオップションの提案,電気学会 平成30年全国大会, 講演論文集,128-129(福岡, 2018.3).
- 岸優樹, 佐々木太良, 藤岡淳, Minalpher における MC が安 全性に与える影響 ~6 ラウンドでの結果~, 電子情報通信 学会技術研究報告, 117(369), 7-10 (高知, 2017. 12).
- 大友萌夢, 佐々木太良, 藤岡淳, ID ベース暗号における歴 名性定義 ~LOR 安全性と SW 安全性における関係~, 電 子情報通信学会技術研究報告, 117(369), 89-94 (高知, 2017. 12).
- 28. 大友萌夢, 佐々木太良, 藤岡淳, ID ベース暗号の匿名性定義の関係 ~CCA2 の場合~, 2018 年暗号と情報セキュリティシンポジウム, 1A1-1 (新潟, 2018.1).
- 岸優樹, 佐々木太良, 藤岡淳, Minalpher における Mix Columns が安全性に与える影響 -7 ラウンド目までの結果

ー, 2018 年暗号と情報セキュリティシンポジウム, 2C1-5 (新潟, 2018.1).

- 30. 藤岡淳, 高島克幸, SIDH 認証鍵共有, 2018 年暗号と情報セキュリティシンポジウム, 2B4-2 (新潟, 2018.1).
- 岸優樹,長船啓太,桑野裕太,佐々木太良,藤岡淳, Minalpher における撹拌要素が安全性に与える影響,電子 情報通信学会技術研究報告,117(488),73-79(東京,2018.3).
- 32. 高桑蘭佳, 佐々木太良, 藤岡淳, 機械学習を用いた Twitter ユーザ間のリプライ解析 ~リア友の推定~, 電子情報通 信学会技術研究報告, 17(488), 115-119 (東京, 2018. 3).
- 33. 清水庸平,岸優樹,佐々木太良,藤岡淳,背面処理を用いた カードベース暗号における不正を考慮したプロトコルの提案,電子情報通信学会技術研究報告,117(488),129-135 (東京,2018.3).
- 大友萌夢, 佐々木太良, 藤岡淳, ID ベース暗号における匿 名性定義の関係 ~ID-CCA2 の場合~, 電子情報通信学会 技術研究報告, 117(488), 213-218 (東京, 2018. 3).
- 35. 迫田有香,大友萌夢,松永直樹,佐々木太良,藤岡淳,鍵更 新機能付き検索可能暗号における暗号文更新確認機能につ いて,電子情報通信学会技術研究報告,117(488),219-223 (東京,2018.3).
- 36. 佐々木太良 エクストリーム画像処理, NIKKS, 4 (能美, 2018.9).
- A. Takaoka, A recognition algorithm for simple-triangle graphs, IEICE Tech. Rep., COMP2017-50, 117(474), 27-34 (Osaka, 2018.3).
- A. Takaoka, A Note on the Intersection of Alternately Orientable and Cocomparability Graphs, Proc. 2018 IEICE Gen. Conf., A-1-21 (Tokyo, 2018.3)
- 39. 森田光, グラフィカルモデルを用いて埋め込み方法を切り 替える情報ハイディング, 信学会 SCIS2018, 3D1-1 (新潟, 2018.1).
- 坂井麻守,森田光,深層学習の分類による情報ハイディン グ埋め込み方法,信学会,SCIS2018,3D1-2(新潟,2018.1).
- 坂井麻守,繁田大輝,森田光,深層学習分類を用いる電子 透かし,信学会,117(488),103-106, ISEC2017-109 (東京, 2018.3).
- 42. Minoru W. Yoshida, Conditional distribution of a random variable, conditioned by Hida distributions, on Euclidean quantum fields. 38th International Conference on Infinite Dimensional Analysis, Quantum Probability and Related Topics, QP38 (Tokyo Univ. of Science, 2017.10).
- 43. Toshinao, Kagawa, Expansions of Shwartz distribution by means of Hermite functions. Lake Como school of advanced studies, Complexity and emergence: ideas, methods, with a special attention to economics and finance (Como, Italy, 2018.7).
- Minoru W. Yoshida, Non-local Dirichlet forms on infinite dimensional topological vector spaces. 9th International Conference on Stochastic Analysis and its Applications (Bielefeld Univ., Germany, 2018.9).
- 45. Minoru W. Yoshida, A review of stochastic analytic approaches of Euclidean quantum field theory. International conference Mathematical analysis and its application to mathematical physics, (Samarkand Univ., Uzbekistan, 2018.9).

学術誌

1. 進藤晋, 非負象限上で定義される単調劣同次写像に関連す る最適化問題, 数理解析研究所講究録, 2069, 141-144 (2018. 4).

- 杉本剛(訳),レオナルド・ダ・ヴィンチと鳥のソアリング, パリティ,33(8),52-54,67(2018.8).
- 藤岡淳,研究会に行こう! 情報セキュリティ研究会(ISEC), 電子情報通信学会 基礎・境界ソサイエティ Fundamentals Review, 12(1), 70-71 (2018).
- A. Fujioka, K. Takashima, S. Terada, K. Yoneyama, Supersingular Isogeny Diffie—Hellman Authenticated Key Exchange, Cryptology ePrint Archive: Report 2018/730 (2018).

著書

- S. Nagai, H. Oya, T. Matsuki, Y. Hoshi (coauthors) and L. A. Tuan (ed.), Adaptive Robust Control Systems, Chap. 10, IntechOpen (2018).
- 2. 西澤弘毅、森田光, Python で体験してわかるアルゴリズム とデータ構造,近代科学社 (2018.6).

講演・展示会

- 秋吉政徳,基調講演:人工知能(AI)が拓く情報システムの新たな展開,情報システム学会第13回全国大会(神奈川, 2017.12).
- 2. 杉本剛, 大航海時代の宇宙観形成一地図・天図づくりと天体力学の黎明,特別講演,第37回数理科学講演会,1-6(津田沼,2018.8).
- 3. 西澤弘毅, Composition of different-type relations via the Kleisli category for the continuation monad, 第 29 回代数, 論 理, 幾何と情報科学研究集会 (熊本, 2018.8).

助成金

1. 秋吉政徳(研究代表者),「看護現場データに内在する医療安 全のための暗黙知抽出への挑戦」,科学研究費助成事業 挑 戦的研究(挑戦)(平成 29 年度~31 年度,課題番号 17K19845).

受託研究

1. 秋吉政徳(研究代表者),「特許調査業務における AI 応用検 討」,株式会社エムテック.

褒賞

- 河原崎俊之祐,未探索冒険型 Q-learning の提案, 平成 29 年度 電子・情報・システム部門 部門大会奨励賞 (業績), 電気学会 (2018.9).
- 河原崎俊之祐,未探索冒険型 Q-learning の提案, 平成 29 年度 電子・情報・システム部門 技術委員会奨励賞(業績), 電気学会(2018.5).
- 張賀,難易度が変化する電子書籍とその開発支援環境,コンピュータと教育研究会143回研究発表会 学生奨励賞,情報処理学会 (2018.2).
- 岸優樹, Minalpher における MC が安全性に与える影響 ~6 ラウンドでの結果~, 情報セキュリティ研究奨励賞, 電子情 報通信学会情報セキュリティ研究専門委員会 (2018.1).

学位

1. 永井駿也,不確かさを含む大規模複合システムに対する分

散可変ゲインロバストコントローラの構成法,博士(工学), 徳島大学 (2018.3).

経営工学科

研究論文I(レフェリー付き論文)

- N. Ishii, Y. Takano and M. Muraki, A simulation-based dynamic scheduling method in project cost estimation process, Advances in Intelligent Systems and Computing book series 676, 261-279 (2017). (Revised Selected Papers)
- H. Katagiri, K. Kato and T. Uno, Possibility/Necessity-Based Probabilistic Expectation Models for Linear Programming Problems with Discrete Fuzzy Random Variables, 9 (11), 254 (2017)
- T. Tanizaki, H. Katagiri and A. O. N. René, Scheduling Algorithms Using Metaheuristics for Production Processes with Crane Interference, International Journal of Automation Technology, 12(3), 297-307 (2018).
- K. Sato and Y. Izunaga, An enhanced MILP-based branch-and-price approach to modularity density maximization on graphs, Computers & Operations Research (2018).
- K. Sato and K. Sawaki, Continuous-time dynamic pricing for stabilizing stochastic demand, Journal of the Operations Research Society of Japan, 60 (2), 178-191 (2017).
- K. Sato and N. Takezawa, Dynamic inventory control model with flexible supply network, Journal of the Operations Research Society of Japan, 61 (2), 217-235 (2018).
- Perera, R. and K. Sato, Dynamic asset allocation for a bank under risk control, Journal of Financial Engineering, 5 (3) 1850022-1-1850022-27 (2018).
- K. Sato and Y. Chen, Analysis of high-speed rail and airline cooperation in presence of non-purchase options, Journal of Modern Transportation (2018). https://doi.org/10.1007/s40534-018-0172-z.
- K. Sato, K. Yagi and M. Shimazaki, A stochastic inventory model for a random yield supply chain with wholesale-price and shortage penalty contracts, Asia-Pacific Journal of Operational Research (2018), forthcoming.
- K. Sato, Price trends in dynamic pricing in a market with a superior firm, European Journal of Operational Research (2018), https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.09.035.
- 佐藤公俊,中本達也,中島健一,スーパーマーケットにおける生鮮食品の最適値引き戦略に関する研究,日本経営工学会,69(2),77-83 (2018).
- M. H. Talukder, M. Ogiya and M. Takanokura, New noise reduction technique for medical ultrasound imaging using Gabor filtering, International Journal of Image Processing, 12 (1), 28-38 (2018)
- M. S. Hossain, M. Takanokura, K. Nakashima, Design of a location-aware augmented and alternative communication system to support people with language and speech disorders, Journal of Alternative Medicine Research, 10 (1), 81-88 (2018)
- 14. 軽部幸起,山田哲男,高野倉雅人,筧宗徳,高齢者デイケ ア施設における設備レイアウトの調査・分析法,日本設備 管理学会誌,29(3),97-109(2017)
- 15. 高野倉雅人, 荻谷光晴, 峯垣淳平, 戸塚健一, 加速度によるロボット技術搭載歩行車を利用した傾斜路横断における歩行アシスト機能の評価, 日本福祉工学会誌, 19 (2), 16-23

(2017)

- 16. 滝聖子,藤原弘貴,山田哲男,高野倉雅人,佐藤翼,身体 活動量計を用いた育児を行う父親の活動の判別法,日本福 祉工学会誌,20(1),13-19(2018)
- 17. 後藤晃範,山下裕企,平井裕久,税負担削減行動、利益調整行動、およびBTDの一致性が価値関連性に及ぼす影響について,大阪学院大学商・経営学論集,43(1),6405-6418 (2017).
- Ryojiro Ito, Haruki Matsuura and Akiko Asada, Determining the size of a mix bank in a mixed-model assembly line, Asian J. Management Science and Applications, 3 (2), 132-155 (2018)

研究論文II(レフェリー付き Proceedings)

- N. Ishii and M. Ohba, A supply chain analysis and design method based on the value of information, Proceedings of the 13th International Symposium on Process Systems Engineering - PSE 2018, 1591-1596, San Diego (2018. 7).
- T. Hasuike, H. Katagiri and H. Tsuda, Objective measurement for attractiveness of sightseeing spots under minimization of maximum error among pairwise comparisons, Proc. of 2017 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM2017) DOI: 10.1109/IEEM.2017.8289951 (Singapore, 2017.12).
- R. Wakamatsu, T. Uno and H. Katagiri, Machine Learning-based Methods for Detecting Defects in Glass Substrate from Non-contact Electrical Sensor Data, Proc. of the World Congress on Engineering 2018 (WCE2018), 1, 90-95 (London, 2018.7)
- Y. Takeuchi, T. Ogawa, K. Sato, H. Morimoto and T. Saito, Optimal control method of an energy storage system for energy saving. Proc. the 2018 International Power Electronics Conference -ECCE Asia- (IPEC-Niigata 2018), 3265-3272 (Niigata, 2018.5).
- K. Sato, K. Koinuma and N. Tomii, A train rescheduling algorithm which minimizes passengers' dissatisfaction based on MILP formulation. Proc. the 14th International Conference on Advanced Systems in Public Transport (CASPT2018) and the 4th International Workshop on Research and Applications on the Use of Passive Data from Public Transport (TransitData2018) (Brisbane, 2018.7).
- M. S. Hossain, M. Takanokura, H. Sakai and H. Katagiri, Using context history and location in context-aware AAC systems for speech-language impairments, Proc. International MultiConference of Engineers and Computer Scientists (IMECS) 2018, 128-133 (Hong Kong, 2018.3)
- M. H. Talukder, M. Ogiya and M. Takanokura, Hybrid technique for despecking medical ultrasound images, Proc. International MultiConference of Engineers and Computer Scientists (IMECS) 2018, 358-363 (Hong Kong, 2018.3)
- D. Kitayama, M. Takanokura, M. Ogiya, S. H. R. Eksan and M. H. Ali, A study on the halal food supply chain in Japan from an inbound perspective, Proc. International MultiConference of Engineers and Computer Scientists (IMECS) 2018, 959-964 (Hong Kong, 2018.3)
- Y. Hirose, H. Hirai, K. Arai, Readability of MD&A extracted from iXBRL: Computational linguistic approach, The 29th Asian-Pacific Conference on International Accounting Issues (Kaula Lumpur, 2017. 11).
- H. Kataoka, H. Hirai, The Cumulative Method with FIFO in Process Costing Systems, 2018 Annual Meeting of the American

Accounting Association (Washington, D.C., 2018. 8).

- 1. 大島千広,市川雄大,江草拓海,西川昌宏,石井信明,車 椅子の介助操作の安全化,情報システム学会 第13回全国 大会・研究発表大会 (神奈川大学 横浜キャンパス) (2017.12).
- 塩川 寛,石井信明,過剰品質コストの低減に関する課題, 情報システム学会 第13回全国大会・研究発表大会(神奈 川大学 横浜キャンパス)(2017.12).
- 酒巻絵美,鈴木涼介,西川昌宏,石井信明,ディジタルセルシステムによる生産効率化,情報システム学会 第13 回全国大会・研究発表大会(神奈川大学 横浜キャンパス) (2017.12).
- 石井信明,大場允晶,藤川裕晃,マトリックス・アプロー チによるサプライチェーンの評価,第8回横幹連合コンフ ァレンス (立命館大学 朱雀キャンパス) (2017.12).
- 塩川 寛,石井信明,品質コストに関する課題と提言,日本 経営工学会 2018 年春期大会(名古屋工業大学 御器所キ ャンパス)(2018.5).
- 6. 石井信明,大場允晶,情報価値に基づくプロジェクト組織の評価と設計 コミュニケーション計画の視点から —, プロジェクトマネジメント学会 2018 年度秋季研究発表 大会(同志社大学 今出川キャンパス)(2018.8).
- 石井 信明,高野 祐一,村木 正昭,見積資源流量によるプロジェクト見積プロセスの管理,化学工学会 第50回秋季 大会(鹿児島大学 郡元キャンパス)(2018.9)
- 8. 若松諒太,片桐英樹,ガラス基板検査センサデータからの 機械学習による欠陥検出,第59回日本経営システム学会全 国研究発表大会講演論文集,74-75(東海市,2017.10)
- 字野剛史,片桐英樹,加藤浩介,地域住民の動線の推測に 基づく商業施設の立地最適化,日本オペレーションズ・リ サーチ学会 2018 年春季研究発表会アブストラクト集, 228-229 (東京, 2018.3).
- T. Hasuike, H. Katagiri and H. Tsuda, Sightseeing route planning under various traffic, weather and personal situations, 2018 International Symposium on Tourism Science Innovation, (Kyoto, August 2018).
- 11. 藤江遼,他者推測を考慮した合意形成モデルの合意時間, 統数研・共同研究集会「社会物理学の新展開」,05(統計数 理研究所,2018.3).
- 12. 藤江遼, 合意形成の数理: Voter model に対する他者の状態 推測の影響, 数理地理モデリングと人口データ解析による 環境人文学の展開, (京都大学数理解析研究所, 2018.6).
- 13. 佐藤公俊(2017年9月15日)購買延期オプションを考慮した動的価格モデル、日本オペレーションズ・リサーチ学会2017春季研究発表会、アブストラクト集、pp.160-161、関西大学.
- 14. 鄭聰,佐藤公俊,中島健一(2017年11月3日)供給リス クを考慮した閉ループ・サプライチェーンに関する研究, 日本経営工学会2017年春季研究発表会,アブストラクト集, pp.96-97,パシフィコ横浜.
- 15. 内山敬寛,佐藤公俊,中島健一(2017年11月3日)自動 車産業における「からくり改善」の新しい枠組み,日本経 営工学会2017年春季研究発表会,アブストラクト集,pp. 94-95,パシフィコ横浜.
- T. Uchiyama, K. Sato and K. Nakashima (December 5,2017). A New Framework of Karakuri System in Automobile Industry, The 18th Asia Pacific Industrial Engineering and Management

Systems Conference, Yogyakarta, Indonesia.

- Z. Cong, K.Sato and K.Nakashima (March 2018). Closed-loop Supply Chain Models with Two Randomly Available Recyclers, The 5th International Workshop on Production and Logistics, Hotel Moon Beach, Okinawa, Japan.
- K. Sawaki, K. Yagi and K. Sato (June, 19, 2018). Optimal Timing and Terms of Mergers and Acquisitions Based on a Real Options Approach, 2018 Informs International Conference, Taipei International Convention Center, Taipei, Taiwan.
- K. Sato and K. Nakashima (July,9,2018). Usage-based Pricing Model with Intertemporal Demand, International Conference on Management and Operations Research, Beijing Friendship hotel, Beijing, China.
- 佐藤公俊 (2018 年 9 月 7 日)動的価格販売における自動仮 予約の影響について、日本オペレーションズ・リサーチ学 会 2018 秋季研究発表会、アブストラクト集、pp.184-185、 名古屋市立大学.
- 21. 佐藤公俊(2017年9月15日)購買延期オプションを考慮 した動的価格モデル,日本オペレーションズ・リサーチ学 会 2017春季研究発表会,アブストラクト集,pp.160-161,関 西大学.
- 22. 鄭聰, 佐藤公俊, 中島健一(2017年11月3日)供給リス クを考慮した閉ループ・サプライチェーンに関する研究, 日本経営工学会2017年春季研究発表会,アブストラクト集, pp.96-97, パシフィコ横浜.
- 23. 内山敬寛, 佐藤公俊, 中島健一(2017年11月3日) 自動 車産業における「からくり改善」の新しい枠組み, 日本経 営工学会 2017年春季研究発表会, アブストラクト集, pp. 94-95, パシフィコ横浜.
- 24. T. Uchiyama, K. Sato and K. Nakashima (December 5,2017). A New Framework of Karakuri System in Automobile Industry, The 18th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference, Yogyakarta, Indonesia.
- Z. Cong, K. Sato and K. Nakashima (March 2018). Closed-loop Supply Chain Models with Two Randomly Available Recyclers, The 5th International Workshop on Production and Logistics, Hotel Moon Beach, Okinawa, Japan.
- 26. K. Sawaki, K. Yagi and K. Sato (June 19, 2018). Optimal Timing and Terms of Mergers and Acquisitions Based on a Real Options Approach, 2018 Informs International Conference, Taipei International Convention Center, Taipei, Taiwan.
- K. Sato and K. Nakashima (July,9,2018). Usage-based Pricing Model with Intertemporal Demand, International Conference on Management and Operations Research, Beijing Friendship hotel, Beijing, China.
- 28. 佐藤公俊(2018年9月7日)動的価格販売における自動仮 予約の影響について、日本オペレーションズ・リサーチ学 会 2018 秋季研究発表会、アブストラクト集、pp.184-185、 名古屋市立大学.
- 29. 北山大輔, 荻谷光晴, 高野倉雅人, 日本におけるハラール フードサプライチェーンに関する研究, 日本経営工学会 2017 年秋季大会, 218-219 (横浜, 2018.5).
- 30. 滝聖子,石井純平,大沼和雅,中島裕太,川上勝,高野倉 雅人,山田哲男,介護施設における業務の効率化と技術・ 技能伝承に関する研究課題,日本経営工学会 2017 年秋季大 会,126-127 (横浜, 2018.5).
- 31. 荻谷光晴,星野智子,高野倉雅人,コミュニケーションロボットとの会話時における高齢者の心的印象評価と視線運動,日本経営工学会2017年秋季大会,122-123 (横浜,2018.5).
- 32. M. S. Hossain, M. Takanokura and H. Katagiri, Integrating

customer voting and fuzzy AHP for prioritizing customer requirements in QFD for communication systems to support disable people, 日本経営工学会 2017 年秋季大会, 10-11 (横 浜, 2018.5).

- M. H. Talukder, M. Ogiya and M. Takanokura, A new noise reduction technique for medical ultrasound images on basis of Gabor filtering technique, 日本経営工学会 2017 年秋季大会, 8-9 (横浜, 2018.5).
- 34. 北山大輔, 高野倉雅人, 荻谷光晴, S. H. R. Eksan, M. H. Ali, ハラールフードサプライチェーンのコスト要因に関する研究, 日本経営工学会 2018 年春季大会, 134-135 (名古屋, 2018.5).
- 35. 高野倉雅人,吉野裕貴,荻谷光晴,デイサービス施設における業務スケジューリングの効率化に関する研究,日本経営工学会 2018 年春季大会,122-123 (名古屋, 2018.5).
- M. H. Talkder, M. Ogiya and M. Takanokura, An efficient noise reduction with preserving edges for medical ultrasound images using linear and nonlinear techniques, 日本経営工学会2018年 春季大会, 84-85 (名古屋, 2018.5).
- M. S. Hossain, M. Takanokura, H. Sakai and H. Katagiri, A case study on voting with fuzzy-AHP to prioritize the requirements in QFD for communication system to support disable individual, 日本経営工学会 2018 年春季大会, 82-83 (名古屋, 2018.5).
- D. Kitayama, M. Takanokura, M. Ogiya, S. H. R. Eksan and M. H. Ali, A Study on information integration from consumer perspectives for halal food supply chain in Japan, INFORMS International Conference 2018, 104 (Taipei, 2018.6).
- M. Takanokura, J. Asai, D. Kitayama and M. Ogiya, Analysis of pick-up service on an elderly day care facility in Japan, INFORMS International Conference 2018, 59 (Taipei, 2018.6).
- 坂田真一郎, 久宗周二, 漁船に対する安全マネジメントについて, 日本人間工学会第 59 回大会, 1F2-4, (仙台, 2018.6).
- 41. 久宗周二 船員自主改善のためのアクションチェックリスト開発の経緯、日本人間工学会第 59 回大会、S11-1、(仙台、2018.6).
- 42. 平井裕久,機械学習の進化と経営への活用,日本経営分析 学会第33回秋季大会,(東京,2017.12).
- 43. 鄭総,佐藤公俊,中島健一,平井裕久,機械学習の進化と 経営への活用,日本経営工学会 春季研究大会,(名古屋, 2018.5).
- 中島真澄,平井裕久,廣瀬喜貴, Is There a Possibility to Predict Fraud Using MD&A?: Evidence from Japan,日本経営 分析学会第35回年次大会(東京,2018.6).
- 45. Yusuke Taira, Haruki Matsuura, Akiko Asada and Kenji Hirano, The effect of an exclusive-use line on line length in a mixed-model line, 2017 Asian Conference of Management Science & Applications (ACMSA2017), W2A(Fuzhou, 2017-12)
- 46. Ryo Ito, Haruki Matsuura, Akiko Asada and Kenji Hirano, A mixed-model line, single-model lines, or a hybrid line? Evaluating a hybrid mixed-model assembly system with partial single-model lines, 2017 Asian Conference of Management Science & Applications (ACMSA2017), W2A(Fuzhou, 2017-12)
- Kenji Fukuhara, Sho Matsuura, Haruki Matsuura, Akiko Asada and Kenji Hirano, An effect of introducing a bypass subline on total throughput time, 2017 Asian Conference of Management Science & Applications (ACMSA2017), W2A(Fuzhou, 2017-12)

- 48. 松本光広,二次元レーザレンジスキャナおよび鏡を用いた 物体の正面,側面および背面における走査の開発,日本機 械学会関東支部第24 期総会・講演会講演論文集,180-1, OS0422 (東京, 2018.3).
- 49. 松本光広,鏡を用いた二次元レーザレンジスキャナの死角 における走査の開発,日本機械学会関東支部第24期総会・ 講演会講演論文集,180-1,OS0423 (東京, 2018.3).
- 50. 松本光広,背中の触覚により皮膚表面の法線方向における 背後の物体を感じ取るセンシングベストの開発,日本機械 学会関東支部第 24 期総会・講演会講演論文集,180-1, OS0424 (東京, 2018.3).
- 51. 松本光広,二次元レーザレンジスキャナおよび鏡を用いた 物体の正面,側面および背面における走査の性能評価,日 本機械学会 2018 年度年次大会講演論文集,18-1,G1500103 (大阪, 2018.9).
- 52. 松本光広,鏡を用いた二次元レーザレンジスキャナの死角 における走査の性能評価,日本機械学会 2018 年度年次大会 講演論文集, 18-1,G1500104 (大阪, 2018.9).
- 53. 松本光広,背中の触覚により皮膚表面の法線方向における 背後の物体を感じ取るセンシングベストの性能評価,日本 機械学会2018年度年次大会講演論文集,18-1,G1500105(大 阪,2018.9).
- 54. 松本光広,鏡面の平面における傾きおよび範囲の同時測定の開発,日本機械学会九州支部北九州講演会講演論文集, 188-3,104(北九州, 2018.9).
- 55. 松本光広,鏡面の平面における傾きおよび範囲の同時測定 の性能評価,日本機械学会九州支部北九州講演会講演論文 集,188-3,105 (北九州,2018.9).

学術誌

- 石井信明,ロジスティクス・システムズ・エンジニアリン グ(1) LSEの概念、第40期 国際ロジスティクス学会日本 支部7月度フォーラム (2018.7).
- 石井信明,ロジスティクス・システムズ・エンジニアリン グ(2) LSE のマクロ戦略、第40期 国際ロジスティクス学 会日本支部 8 月度フォーラム (2018.8).
- 石井信明、ロジスティクス・システムズ・エンジニアリン グ(3) ロジスティクスシステム構築、第40期国際ロジ スティクス学会日本支部9月度フォーラム (2018.9).
- 片桐英樹, 宇野剛史, プリント基板検査経路最適化問題に 対する分枝カット法に基づく解法, 電気学会研究会資料, IS-18-021-034, 27-32 (2018)
- 5. 若松諒太, 宇野剛史, 片桐英樹, 非接触電気検査データか らの機械学習によるガラス基板の欠陥検出, 電気学会研究 会資料, IS-18-021-034, 22-26 (2018)
- 武内陽子,佐藤圭介,運転操縦方法の選択による列車運行 エネルギーの最小化,鉄道総研報告,31 (10),41-46 (2017).
- Y. Izunaga and K. Sato, A bounding algorithm for selective graph coloring problem, RIMS Kôkyûroku, 2069, 84–94 (2018).
- 佐藤公俊,高速鉄道と航空の提携効果に関する分析、オペレーションズ・リサーチ学会、機関紙、Vol. 62, No.9, pp.586-592, 2017 年 9 月.
- 高野倉雅人、ハラール食品サプライチェーンーマレーシア と日本の比較一,神奈川大学アジア・レビュー,5,100-105 (2018)
- 久宗周二,小木和孝,水産業の労働安全衛生の取り組み WIB(船内向け自主改善活動),産業医学ジャーナル,41(4), 13-16 (2018).
- 11. 久宗周二,中山光成,旅客船おける避難行動に関する一考

察, 火災, 355, 32-35 (2018).

- 松浦春樹,森みどり,堀野定雄,久保登,石川博敏,龍重法,石倉理有,北島創,高安心超安全交通研究所 (KU-WIRF)活動報告(2016)ドライブレコーダー活用最前線,神奈川大学工学研究,1,115-116(2018-3)
- 松浦春樹,堀野定雄,松田洋,後藤航太,高橋綱喜,金澤優太,浮穴浩二,ドラレコ・テクノサークル活動報告 (2016)自転車通学路でウェアラブルカメラが記録した危険な側溝排水蓋,神奈川大学工学研究,1,146-147 (2018-3)
- 14. 松本光広, ハードウエアコンテスト GUGEN2016 で「おしいね」賞を受賞して, 神奈川大学工学研究, 1, 63-64 (2018).

著書

- S.-I. Ao, H. K. Kim, O. Castillo, A. H.-S. Chan, H. Katagiri (eds.), Transactions on Engineering Technologies: International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2017, Springer (2018).
- 岩田悦之,平井裕久,「見積る」「測る」将来会計の実務, 同文舘出版 (2017).
- 3. 園田智昭編著,平井裕久(分担執筆),企業グループの管理 会計,中央経済社 (2017).
- 企業予算制度研究会編集,平井裕久(分担執筆),日本企業 の予算管理の実態,中央経済社 (2018).

調査報告書

1. 松本光広,分光情報の三次元地図から消化器系の病変を発 見する分光センサの開発,立石科学技術振興財団助成研究 成果集,26,1-4 (2017).

講演・展示会

- 片桐英樹,一般化集荷配達巡回セールスマン問題とその応用,日本オペレーションズ・リサーチ学会「数理的発想と その実践」第15回研究会(富山,2018.3).
- 高野倉雅人, ThingWorx を利用した介護福祉サービスの質 向上に向けた取り組み, PTC Forum Japan 2017 (東京, 2017. 12).
- 3. 久宗周二,小木和孝,漁業の労働安全衛生の取り組み WIB (船内向け自主改善活動),第91回産業衛生学会自由集会, (熊本, 2018.5).
- 松本光広、ヘッドホンで音楽を聴く人に音を消して危険を 知らせるシステム、第7回おおた研究・開発フェア産学連 携・新技術展 (東京, 2017.10).
- 5. 松本光広,指向性のない散乱光を集光する多面鏡の開発, 第 27 回三次元工学シンポジウム (横浜, 2017.12).
- 松本光広、イヤホンで音を聴く人に音を小さくして背後の 危険を知らせるデバイス、ハードウエアコンテスト GUGEN2017 (東京, 2017.12).

助成金

- 1. 石井信明(代表), プロジェクトを成功に導く見積りと遂行 体制・契約方式の研究, 平成 30 年度科学研究費補助金, 基 盤研究(C), 課題番号 16K01252.
- 片桐英樹(分担),データ駆動型統計的観光科学の確立とその有効性の実証研究課題,平成30年度科学研究費補助金, 基盤研究(B),課題番号26283019
- 3. 片桐英樹 (代表), ファジィ確率計画に基づく健康障害発生

リスクを考慮した最適献立作成,平成 30 年度科学研究費補助金,基盤研究 (C),課題番号 17K01276.

- 藤江遼(研究代表者),平成30年度統計数理研究所公募型 共同利用 共同研究集会「社会物理学の新展開」,課題番号 30-共研-5007.
- 5. 佐藤公俊, 混雑と遅延に頑健な輸送・交通ネットワーク設 計に関する研究, 平成 30 年度科学研究費補助金(新規) 基盤研究(B)(研究分担者)
- 6. 佐藤公俊,消費者の安心・安全の確保に向けた価格決定モデルに関する研究,平成29年度科学研究費補助金(継続)若手研究(B)(研究代表者)
- 佐藤公俊,エネルギー資源の輸入計画のための統合的リス ク評価モデルの開発,平成 29 年度科学研究費補助金(継続) 基盤研究(B)(研究分担者)
- 高野倉雅人(代表),ビッグデータ活用によるワークライフ バランス支援サービスシステムの創成,平成 30 年度科学研 究費補助金,挑戦的萌芽研究,課題番号 16K12829.
- 久宗周二(分担),農林水産業における災害の発生状況の特性に適合した労働災害防止対策の策定のための研究,平成 30年度厚生労働科学研究費補助金,労働安全衛生総合研究 事業,課題番号 30180701.
- 平井裕久(代表),類似企業比較法を用いた企業価値評価に 関する実証研究,平成30年度科学研究費補助金,基盤研究 (C),課題番号17K04059.
- 平井裕久(分担),予算管理論の再構築: グローバル経営に おけるダイナミックな環境適応を切り口に,平成 30 年度科 学研究費補助金,挑戦的萌芽研究,課題番号 16K13404.
- 松本光広(代表),指向性のない光を集光する多面鏡の開発, 日立財団 2017 年度(第49回)倉田奨励金.
- 松本光広(代表),指向性のない光を集光する多面鏡の開発, 八洲環境技術振興財団平成29年度研究開発・調査助成.
- 14. 松本光広(代表),指向性のない光を集光する多面鏡の開発, 高橋産業経済研究財団平成 30 年度助成金.

受託研究

- 1. 久宗周二,委託研究,東洋漁業.
- 2. 久宗周二,委託研究,神戸マリナーズ厚生会病院.

特許(取得)

- 1. 佐藤圭介,熊澤一将,小川知行,プログラム及び運転曲線 作成装置,特許第 6250371 号.
- 小川知行,佐藤圭介,プログラム及び運転曲線作成装置, 特許第 6315811 号.

特許(公開)

- 1. 松本光広, 危険報知システム, 特開 2018-005820.
- 2. 松本光広, 危険報知システム, WO/2018/008162.
- 3. 松本光広,音出力装置及び携帯装置,特開 2018-060403.

海外出張

- 石井信明, The 13th International Symposium on Process Systems Engineering - PSE 2018, 1591-1596, San Diego (2018.7).
- 2. 佐藤圭介, The 14th International Conference on Advanced Systems in Public Transport (CASPT2018) and the 4th International Workshop on Research and Applications on the

Use of Passive Data from Public Transport (TransitData2018), Brisbane, Australia (2018.7).

褒賞

- 草野有稀,横山真弘,劉功義,田村智幸,石井信明,岡田 公治,横山真一郎,経験データを活用したプロジェクト成 否逐次予測法の提案,一般社団法人 プロジェクトマネジメ ント学会 論文奨励賞 (2018.8)
- 廣瀬喜貴,平井裕久,新井康平,学会賞(論文の部),日本 経営分析学会 (2017.12).
- Yusuke Taira, Haruki Matsuura, Akiko Asada and Kenji Hirano, The effect of an exclusive-use line on line length in a mixed-model line, Best paper award for workshop, 2017 Asian Conference of Management Science & Applications (ACMSA2017).

建築学科

研究論文I(レフェリー付き論文)

- M. Iwata, M. Midorikawa and K. Koyano, Buckling-restrained brace having high structural performance, The Steel Construction -Design and Research, 11, 3-9 (2018. 2).
- 成井涼平、小谷野一尚、緑川光正、中込忠男、岩田衛、鋼 モルタル板厚タイプを用いた座屈拘束ブレース付き架構と ブレース単体の性能比較実験、日本建築学会構造工学論文 集,64B,165-172 (2018.3).
- 3. 菊池剛和,小谷野一尚,毎田悠承,坂田弘安,岩田 衛,座 屈拘束ブレースとアンカーレス鉄骨枠を用いた損傷制御 RC 構造,日本建築学会構造工学論文集,(2018.3).
- 4. 渕上貴由樹,内田 青蔵,敷地規模からみた二階建て住宅に 対する提案の変化―明治後期から昭和初期の住宅関係単行 本にみる近代都市独立住宅の二階建てに関する研究―, 24-43,日本生活文化史学会機関誌生活文化史,72,24-43 (2017.9).
- 須崎文代,『茨城県映画』にみる 1950~1960 年代の農村住 宅の台所改善-映像を史料とした台所の変容に関する研究 -,技術と文明,21 別刷,日本産業技術史学会,ej2102 1-14 (2018.3).
- H. Ma, T. Enomoto, T. Ochiai and S. Senna, Microzoning study for seismic risk reduction in the areas covered soft soil deposit, Japan, Journal of Geological Resource and Engineering, 6, 160-175 (2018).
- 大伏徹志,宮本裕司,荏本孝久,擁壁部水平抵抗簡易評価 法を用いた免震建物模型の擁壁衝突実験のシミュレーション解析,日本建築学会技術報告集,24 (56),53-57 (2018).
- 8. 吉浦温雅,奥山博康,蒸発冷却利用の環境親和型クラディ ングのための基礎実験と予測計算,日本ヒートアイランド 学会論文集,13(1),1-6(2018).
- 9. Y.G. Zhao, H.Z. Zhang, T. Saito, A simple approach for the fundamental period of MDOF structures, Earthquakes and structures 13 (3), 231-239 (2017).
- Y. G. Zhao, X. Y. Zhang, Z. H. Lu, Complete monotonic expression of the fourth-moment normal transformation for structural reliability, Computers & Structures, 196, 186-199 (2018).
- 11. Y. G. Zhao, X. Y. Zhang, Z. H. Lu, A flexible distribution and its

application in reliability engineering, Reliability Engineering & System Safety, 176, 1-12 (2018).

- Y.G. Zhao, S.Q. Lin, Z.H. Lu, T. Saito, L.S He, Loading paths of confined concrete in circular concrete loaded CFT stub columns subjected to axial compression, 156, 21-31 (2018).
- X. Y. Zhang, Y. G. Zhao, Z. H. Lu, The inverse transformation of the explicit fourth-moment standardization for structural reliability, Advances in Structural Engineering, 21 (5), 769-782 (2018).
- S.Q. Lin, Y.G. Zhao, L.S. He, Stress paths of confined concrete in axially loaded circular concrete-filled steel tube stub columns, 173, 1019-1028 (2018).
- H.Z. Zhang, Y.G. Zhao, A simple procedure for estimating first resonance peak of layered soil profiles, Journal of Earthquake and Tsunami 12 (1), 1-22 (2018).
- 16. 藤田正則,吉岡励,中澤祥二,加藤史郎,リユース部材を 用いた鋼構造建物の設計法に関する研究 -桁方向ブレース 構造の耐震性能評価-,日本建築学会構造系論文集,83 (748), 903-911 (2018.6).
- 17.藤田正則,浦正凛,杉原大祐,大野文義,促進腐食試験に 基づく屋根取付金物用ボルトの引張耐力に関する研究,日 本建築学会技術報告集,25 (57),535-539 (2018.6).
- 藤田正則, 大瀧麻世, 大越友樹, 菊池剛和, 小谷野一尚, 岩田衛, 鋼木質複合構造システムに適合する CLT 床接合部 の面内せん断実験, 日本建築学会技術報告集, 24 (56), 189-193 (2018. 2).

研究論文II(レフェリー付き Proceedings)

- K. Koyano, M. Fujita and M. Iwata, Verification of Clearance and Gap for Fabricating the Buckling-Restrained Brace Using Steel Mortar Planks, The 9th International Conference on the Behaviour of Steel Structures in Seismic Areas (2018. 2).
- R. Narui, K. Koyano, T. Nakagomi, M. Midorikawa and M. Iwata, Performance evaluation of buckling-restrained braces installed in a mid-rise steel structure, 9th International Conference on Behavior of Steel Structures in Seismic Areas, 884-891 (Christchurch, 2018. 2).
- S. Iwamoto, A. Dempoya and K. Sakaue, The prediction method of supply water temperature for energy simulation of hot water supply system Part 2 Comparison between results of measurement and calculation of buildings in Kanagawa University, the Proceedings of CIB-W062 Symposium, 119-127 (Portugal, 2018. 8).
- T. Enomoto, H. Ma, T. Ochiai, Microzoning Study for seismic risk reduction in the areas covered soft soil deposit, Japan, 16th Europe Conference on Earthquake Engineering, 10391 (Thessaloniki, 2018. 6).
- H. Ma, T. Enomoto, T. Inubushi, T. Ochiai and S. Senna, Estimation of soil structure characteristics of damaged areas due to the 2016 Kumamoto earthquake by using microtremor observation, 16th Europe Conference on Earthquake Engineering, 10420 (Thessaloniki, 2018. 6).
- T. Ochiai, T. Inubushi, H. Ma and T. Enomoto, Creation of a new hazard map reflecting the local ground characteristics, 16th Europe Conference on Earthquake Engineering, 10533 (Thessaloniki, 2018. 6).
- T. Inubushi, T. Enomoto, S. Sato and T. Kuriyama, Vibration characteristics evaluation of a low-rise steel structure at Kanagawa University, 16th Europe Conference on Earthquake

Engineering, 10616 (Thessaloniki, 2018. 6).

- A. Yoshiura, H. Okuyama, M. Yamaguchi, N. Ishigaki, R. Harada, T. Someya, Calculation examples using the NETS simulation program as a general-purpose network model for heat, air, and gas movement in buildings, Building Simulation and Optimization, 124-131(Cambridge, 2018. 9).
- X. Y. Zhang, Y. G. Zhao, Z. H. Lu, Various types in cubic normal distribution. 6th International Symposium on Reliability Engineering and Risk Management (6ISRERM) (Singapore, 2018. 6).
- X. Y. Zhang, Y. G. Zhao, Z. H. Lu, Y. X. Yao, A straightforward moment method to estimate the load and resistance factors, Proceedings of the 6th International Symposium on Reliability Engineering and Risk Management (ISRERM 2018) (Singapore, 2018. 5).
- H. Z. Zhang, F. W. Ge, Y. G. Zhao, Comparison of response spectral ratio and Fourier spectral ratio based on statistical analysis of ground-motion records, International Symposium on Life-cycle Engineering and Sustainability of Infrastructure (ISLES 2017) (Taipei, 2017.11).
- F. W. Ge, M. Iwata, Y. G. Zhao, Reliability assessment on the performance evaluation formula of buckling restrained brace using steel mortar planks, the 6th International Symposium on Reliability Engineering and Risk Management (ISRERM, 2018) (Singapore, 2018. 5).
- J. Wang, Y. X. Yao, Y. G. Zhao, Third-moment method for the computation of load and resistance factors without limitation and iteration, Proceedings of International Symposium on Life-cycle Engineering and Sustainability of Infrastructure (ISLES 2017) (Taipei, 2017. 11).
- S.Q. Lin, Y.G. Zhao, An investigation on the loading path of confined concrete in axially loaded circular concrete-filled steel tube columns, International Symposium on Life-cycle Engineering and Sustainability of Infrastructure (ISLES 2017) (Taipei, 2017. 11).
- S.Q. Lin, Y.G. Zhao, Ultimate Stress of The Steel Tube in Circular CFT Stub Columns Subjected to Axial Compression, International Conference on Civil Engineering (ICCEN 2017) (Queensland, 2017. 11).
- S.Q. Lin, Y.G. Zhao, Finite element modelling of axially loaded large-dimension circular concrete-filled steel tube stub columns, 4th International Conference on Mechanics of Composites (MECHCOMP 2018) (Madrid, 2018. 7).

建築作品

- 石田敏明,田野耕平,シェアフラット馬場川,特集/まちを 起こす戦略としての建築 ケーススタディ (その 4), 「TOTO 通信」2017 年秋 (2017).
- 曽我部昌史,加茂紀和子,竹内昌義,マニュエル・タルディッツ,みなとみらい本町小学校(神奈川県),近代建築,建築画報社 (2018.8).
- 3. 曽我部昌史,加茂紀和子,竹内昌義,マニュエル・タルディッツ, M邸(茨城県, 2018.5).
- 5. 曽我部昌史,加茂紀和子,竹内昌義,マニュエル・タルデ イッツ,ヨリドコロ 横芝光町横芝駅前情報交流館(千葉県, 2018.3).
- 6. 曽我部昌史,吉岡寛之,丸山美紀,長谷川明,ほか,来島

海峡サービスエリア仮店舗, (愛媛県, 2018.5).

- 7. 曽我部昌史,吉岡寛之,丸山美紀,長谷川明,ほか,桜町 永晴邸リノベーション,(徳島県, 2018.8).
- 曽我部昌史,吉岡寛之,丸山美紀,長谷川明,ほか,N社 宿泊所,(徳島県, 2018.4).
- 9. 吉岡寛之,木平岳彦,近藤奈々子,NPOこれからの建築を 考える,大三島憩いの家,(愛媛県, 2018.4).
- 10. 吉岡寛之, 伊東豊雄建築設計事務所, 百島みんなの家(広島県), 工文社, 建材フォーラム(2018.9).

口頭発表

- 石田敏明,田野耕平,早川史洋,小田凌大朗,濱松謙太, 水上翔太,門田大希,岡本晴美,瀬戸内海地方の広島県の 東部地域(尾道市及び福山市鞆町の沿岸部地域)及び甲信 越地方の新潟新潟市内の空き家の再生・活用及び運用に関 する研究と提案,総合資格学院横浜校(横浜,2018.4).
- 石田敏明, Research and proposal on revitalization/utilization of former Ohtake family's historical brick warehouse in Maebashi-city, 2018 Four East Asia Universities Design Workshop Organizing Committee (横浜, 2018.8).
- 3. 傳法谷郁乃,小柴朋子,岩本靜男,冬期の大学講義室内温 熱環境と着衣行動調査,第41回人間-生活環境系シンポジ ウム報告集,23-24 (上田,2017.12).
- 傳法谷郁乃,山下直之,小柴朋子,スポーツウェア用素材の遮熱性に関する研究,第41回人間-生活環境系シンポジウム報告集,37-38 (上田,2017.12).
- 5. 金田圭祐, 傳法谷郁乃, 岩本靜男, アクティブチルドビー ムによる室内温熱環境の CFD 解析, 第 41 回人間-生活環 境系シンポジウム報告集, 95-98 (上田, 2017.12).
- 6. 傳法谷郁乃,小柴朋子,岩本靜男,冬期の講義室内における巻物衣類の種類および着用方法の違いに関する研究,日本繊維製品消費科学会2018年年次大会・研究発表要旨,60(名古屋,2018.6).
- 内田幸子,小柴朋子,杉山智子,加藤登志子,傳法谷郁乃, 森本美智子,日本繊維製品消費科学会 2018 年年次大会・研 究発表要旨,164 (名古屋,2018.6).
- 8. 小柴朋子,傳法谷郁乃,古澤詩織,青木識子,石黒正,永 井伸夫,室内靴のアッパー材の違いが快適性に及ぼす影響, 日本繊維製品消費科学会 2018 年年次大会・研究発表要旨, 166 (名古屋, 2018.6).
- 9. 傳法谷郁乃,加藤沙織,小柴朋子,田村照子,運動時の膝 囲圧迫が下肢のむくみに及ぼす影響,日本繊維製品消費科 学会 2018 年年次大会・研究発表要旨,167 (名古屋, 2018. 6).
- 10. 傳法谷郁乃,小柴朋子,岩本靜男,冬期の大学講義室にお ける巻物衣類の着用に関する研究,日本建築学会大会学術 講演梗概集(環境工学Ⅱ),405-406(仙台,2018.9).
- 岩本靜男,傳法谷郁乃,坂上恭助,大学校舎における給水 温実測 第1報実測概要と2017年の実測結果,日本建 築学会大会学術講演梗概集(環境工学I),663-664(仙台, 2018.9).
- 12. 岩本靜男,傳法谷郁乃,坂上恭助,建物内給水システムにおける給水温の予測法(第2報)大学施設の受水槽水温の計測値と計算値の比較,空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集,G-10,37-40(名古屋,2018.9).
- 木下和也,内田青蔵,豊島区に現存する旧鈴木家住宅(豊島区立鈴木信太郎記念館)に関する一考察,2018 年度日本建築学会大会学術講演梗概集(建築歴史意匠),891-892 (仙台,2018.9).
- 14. 渕上貴由樹, 内田 青蔵, わが国近代の住宅における二階建

て間取りに関する一考察一戦前期刊行の住宅関係単行本に おける接客用居室に着目して一,2018年度日本建築学会大 会学術講演梗概集(建築歴史意匠),905-906(仙台,2018.9).

- 15. 田中和幸,須崎文代,渡辺裕子,内田青蔵,ブラジル連邦 共和国レジストロ市における戦前に竣工した日本人の移民 住宅 その 3一沖山スズ邸の現状と架構形状について一, 2018 年度日本建築学会大会学術講演梗概集(建築歴史意 匠),907-908 (仙台, 2018.9).
- 16. 松川英莉奈,内田青蔵,同潤会が手掛けた分譲住宅事業についてーその3 遺構調査の結果報告を中心に一,2018 年度日本建築学会大会学術講演梗概集(建築歴史意匠),911-912(仙台,2018.9).
- 17. 内田青蔵,松川英莉奈,同潤会が東京都大田区に建設した 分譲住宅についてーその4 雪ヶ谷分譲住宅の遺構調査結 果を中心に一,2018年度日本建築学会大会学術講演梗概集 (建築歴史意匠),913-914(仙台,2018.9).
- 差明采,内田青蔵,朝鮮建築会会長・萩原紘一について一 朝鮮での建築活動を中心として一,2018 年度日本建築学会 大会学術講演梗概集(建築歴史意匠),987-988,(仙台,2018. 9).
- 19. 渕上貴由樹,内田 青蔵,わが国近代の住宅における二階建 て間取りに関する一考察一戦前期刊行の住宅関係単行本に 掲載された実例図面を中心に一,2017年度日本生活文化史 学会大会・総会,23-24 (2017.10).
- 20. 須崎文代,宮川寿美子(大江スミ)がイギリス留学で修得した住居衛生論について(2) —バタシー・ポリテクニックにおける衛生、住居関連科目に着目して一,2018年度日本生活学会大会(慶応大学),(藤沢,2018.5).
- 21. 須崎文代,田中和幸,渡邉裕子,内田青蔵,ブラジル連邦 共和国レジストロ市における戦前に竣工した日本人の移民 住宅 その1沖山剛造邸の現状と窓枠の形状について,建 築学会北海道支部研究発表会,401-404(旭川,2018.6).
- 22. 渡邉裕子,須崎文代,田中和幸,内田青蔵,ブラジル連邦 共和国レジストロ市における戦前に竣工した日本人の移民 住宅 その2 天谷邸の現状と推定復元について,405-408 (旭川,2018.6).
- 23. 須崎文代,明治・大正期の衛生論における畳の批判-『婦人衛生会雑誌』(明治21年~同26年)、『婦人衛生雑誌』(明治26年~大正15年)の記述を中心として-,日本生活文化史学会平成30年度大会(横浜,2018.9).
- 24. 荏本孝久, 落合努, 馬赫, 犬伏徹志, 常時微動の H/V スペクトル比を利用した地震ハザード評価に関する基礎的検討, 地盤工学会研究発表会, 0987 (高松, 2018.7).
- 25. 馬赫, 荏本孝久, 矢野武, 極小アレイ観測結果による表層 地盤構造の推定精度に関する検討, 地盤工学会研究発表会, 0988 (高松, 2018.7).
- 26. 大野春雄, 荏本孝久, 夜間の津波避難誘導を可能とする蓄 光標識等の有効性に関する研究, 土木学会年次講演会, CS12-001 (札幌, 2018.8).
- 27. 荏本孝久,大野春雄,夜間の津波避難誘導を可能とする蓄 光標識等の設置事例に関する研究,土木学会年次講演会, CS12-002 (札幌, 2018.8).
- 28. 馬赫,犬伏徹志, 荏本孝久,極小微動アレイにより評価した動的相互作用ばねを用いた建物振動解析 神奈川大学横浜キャンパス3号館を対象として,日本建築学会大会学術 講演梗概集,491-492(仙台,2018.9).
- 29. 落合努,犬伏徹志, 荏本孝久,卓越周期と増幅率を用いた ハザード評価法の適用性に関する基礎的検討,日本建築学 会大会学術講演梗概集, 595-596 (仙台, 2018.9).
- 30. 荏本孝久, 馬赫, 落合努, 犬伏徹志, 先名重樹, 極小微動

アレイ観測による横浜市域の表層地盤構造の推定に関する 研究 その1 観測概要とS波速度構造の推定例,日本建築 学会大会学術講演梗概集, 607-608 (仙台, 2018.9).

- 31. 白山敦子,犬伏徹志,山下忠道,伊藤真二,南海トラフ地 震を想定した長周期地震動に対する基礎免震建物の応答特 性 その4免震層の特性変化を考慮した擁壁衝突挙動,日 本建築学会大会学術講演梗概集,811-812(仙台,2018.9).
- 32. 犬伏徹志, 荏本孝久, 免震建物の擁壁衝突時における擁壁 部水平抵抗簡易評価法の一質点系への縮約に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 827-828 (仙台, 2018.9).
- 清水英、山下忠道、犬伏徹志、佐藤大樹、高山峯夫、免震 建物の耐震性能評価指標の提案に関する基礎的検討 その
 5 限界状態クライテリアと地震入力倍率および経済性の検 討、日本建築学会大会学術講演梗概集、871-872 (仙台, 2018. 9).
- 34. 竹内貞光,神田亮,森隆浩,山下忠道,佐藤大樹,犬伏徹志,扇谷匠己,超高層免震建築物に用いた高減衰ゴム系積層ゴムの地震および風応答時における累積吸収エネルギー評価 その3 中間階免震による検討,日本建築学会大会学術講演梗概集,873-874 (仙台,2018.9).
- 35. 松永裕樹,井上竜太,犬伏徹志,荏本孝久,歩行振動測定 結果に基づく歩行加振力の考察,日本建築学会大会学術講 演梗概集,419-420 (仙台,2018.9).
- R. Candela-Medel, Y. Oda, M. Navarro, T. Enomoto and A. García-Jerez, Vs30 structure of Murcia city (southeast of Spain) from mini-array observations and HVSR measurements, Conference & Exhibition on Near Surface, Geoscience2018 (Porto, 2018. 9).
- M. Navarro, R. Candela-Medel, Y. Oda, M. Martínez-Segura, T. Enomoto, A. García-Jerez and H. Seivane, Local site effect microzonation of Murcia city (Southeast of Spain) from Mini-Array, HVSR and MASW methods, 12IWSMRR, K04 (Yokohama, 2018. 9).
- T. Enomoto, H. Ma, M. Navarro, T. Ochiai, T. Inubushi and S. Senna, Fundamental study of estimation on surface soil structure by microtremor miniature array observation method in Yokohama, Japan, 12IWSMRR, A01 (Yokohama, 2018. 9).
- H. Ma, T. Enomoto, T. Inubushi, T. Ochiai and S. Senna, Study on estimation of soil structure and simulation of earthquake ground motion of damaged area due to the 2016 Kumamoto earthquake, 12IWSMRR, A02 (Yokohama, 2018. 9).
- T. Ochiai, T. Kuriyama, T. Yamamoto, H. Ma and T. Enomoto, Simplified method of hazard index estimation of surface soil structure considering on microtremor's H/V spectrum characteristics, 12IWSMRR, A05 (Yokohama, 2018. 9).
- 41. 奥山博康,吉浦温雅,建物の相当隙間面積の指数則モデル と二次式モデルの比較検討,日本建築学会大会学術講演梗 概集,105-106 (仙台,2018.9).
- 42. 井出大輝,奥山博康,吉浦温雅,住宅の熱性能現場測定に おける測定不確かさ標準偏差の推定のための最適移動平均 期間,日本建築学会大会学術講演梗概集,649-650 (仙台, 2018.9).
- 43. 毎田悠承,竹中啓之,和泉信之,坂田弘安,島崎和司,渡辺 亨,佐伯英一郎,突起付きプレート圧着接合法を用いてダ ンパーを取り付けた RC フレームの実験,日本建築学会関 東支部研究報告集,88,305-308 (東京, 2018.3).
- 44. 白井佑樹,島崎和司,圧着接合された短スパンのアンボン ドプレストレストコンクリート梁のせん断耐力評価に関す る検討日本建築学会関東支部研究報告集,88,549-552(東京, 2018.3).

- 45. 佐藤宏貴, 白井佑樹, 松浦恒久, 中村一男, 牧田敏郎, 島崎 和司, 無垢板を用いた耐力壁のせん断性能 その 1 実験概 要, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東北), 22261, 521-522 (仙台, 2018.9).
- 46. 中村一男,白井佑樹,松浦恒久,牧田敏郎,佐藤宏貴,島崎和司,無垢板を用いた耐力壁のせん断性能 その 2 せん断剛性とせん断降伏耐力の算定,日本建築学会大会学術講演 梗概集(東北),22262,523-524 (仙台, 2018.9).
- 47. 石井冴次郎,白井佑樹,島崎和司,RC 梁のせん断補強筋と クラック幅に関する研究 その 6. 残留クラック幅の推定, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東北),23031,61-62(仙 台, 2018.9).
- 48. 白井佑樹, 島崎和司,頭付きアンカーボルトと接着系アンカ ーボルトの載荷点をピンに模擬したせん断載荷実験,日本 建築学会大会学術講演梗概集(東北),23067,133-134(仙台, 2018.9).
- 49. 五十嵐直人,毎田悠承,竹中啓之,和泉信之,坂田弘安,島崎和司,渡辺亨,佐伯英一郎,突起付き鋳鉄製プレート圧着接合法によるコンクリート系骨組へのダンパー適用に関する研究 その4 座屈拘束ブレースを取り付けた RC フレーム実験の概要,日本建築学会大会学術講演梗概集(東北),23265,529-530 (仙台,2018.9).
- 50. 毎田悠承,竹中啓之,和泉信之,坂田弘安,島崎和司,渡辺 亨,佐伯英一郎,突起付き鋳鉄製プレート圧着接合法によ るコンクリート系骨組へのダンパー適用に関する研究 その5 座屈拘束ブレースを取り付けた RC フレーム実験結果 の考察,日本建築学会大会学術講演梗概集(東北),23266, 531-532 (仙台, 2018.9).
- 51. 竹内陸人, 白井佑樹, 島崎和司, アンボンド PC 圧着梁のせん断耐力と損傷評価に関する研究, 日本建築学会大会学術 講演梗概集(東北), 23388, 775-776 (仙台, 2018.9).
- 52. 島崎和司,白井佑樹,粘弾性ダンパーを用いたアンボンド PC フレームの動的載荷実験 その 3 粘弾性ダンパーを付加した試験体の挙動 2,日本建築学会大会学術講演梗概集 (東北),23391,781-782 (仙台, 2018.9).
- H.Z Zhang, Y.G. Zhao, Relationship between Fourier and response spectral ratios based on random vibration theory, 日本 建築学会大会学術講演梗概集(構造II), 621-622 (仙台, 2018. 9).
- 54. 李健明, 張海仲, 趙衍剛, 一次元波動理論による応答スペクトル増幅率とフーリエスペクトル増幅率の比較日本建築学会大会学術講演梗概集(構造Ⅱ), 623-624 (仙台, 2018.9).
- X. Y. Zhang, Y. G. Zhao. Simple Hermite Polynomial Model for Softening Process, 日本建築学会大会学術講演梗概集(構造 I), 51-52 (仙台, 2018.9).
- 56. F.W. Ge, M. Iwata and Y.G. Zhao, Reliability assessment on performance evaluation formula of buckling-restrained brace using steel mortar planks, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (構造 I), 53-54 (仙台, 2018.9).
- 57. L. Ren, Y.G. Zhao, Construction Monitoring of Bridge Structure Based on BIM, 日本建築学会大会学術講演梗概集(構造 I), 97-98 (仙台, 2018.9).
- Y. X. Yao, X. Y. Zhang and Y. G. Zhao, A straightforward moment method to estimate the load and resistance factors, 日 本建築学会大会学術講演梗概集(構造 I), 47-48 (仙台, 2018. 9).
- Y.G. Zhao, S.Q. Lin, Loading path effects on the compressive strength of concrete in axially loaded CFT columns: Part-1 Loading path, 日本建築学会大会学術講演梗概集(構造III), 1399-1400 (仙台, 2018.9).

- S.Q. Lin, Y.G. Zhao, Loading path effects on the compressive strength of concrete in axially loaded CFT columns: Part-2 Loading path effect, 日本建築学会大会学術講演梗概集(構 造Ⅲ), 1401-1402 (仙台, 2018.9).
- X.F. Yan, Y.G. Zhao, Overall buckling study on different formed circular steel tubular columns under axial compression, 日本建 築学会大会学術講演梗概集(構造I), 417-418 (仙台, 2018. 9).
- 62. 齊藤隆典, 佐藤宏貴, 趙衍剛, CFRP 補強 RC 梁部材の光学 的全視野変形計測に関する基礎検討, 日本建築学会大会学 術講演梗概集(構造Ⅱ), 1507-1508 (仙台, 2018.9).
- 63. 須山高志,中井邦夫,鈴木成也,街区内の道と建物の高さからみた新潟市旧市街地の街区構成,日本建築学会大会(東北)学術講演梗概集 建築歴史・意匠,543-544(仙台,2018.9).
- 64. 中村圭那,中井邦夫,鈴木成也,近年の図書館における室・ 部位・家具による構成,日本建築学会大会(東北)学術講 演梗概集 建築歴史・意匠,465-466 (仙台,2018.9).
- 65. 三浦みづき,中井邦夫,鈴木成也,ヨーロッパアルプスに 立地する山岳展望施設の構成,日本建築学会大会(東北) 学術講演梗概集 建築歴史・意匠,471-472 (仙台, 2018.9).
- 66. 藤田正則,大瀧麻世,小谷野一尚,岩田衛,ボルト接合した鋼木質複合構造の曲げ実験,日本建築学会大会(東北), 1161-1162 (仙台, 2018.9).
- 67.藤田正則,大瀧麻世,中澤祥二,加藤史郎,等価線形化法によるリユース部材を用いた鋼構造建物の耐震性能に関する研究,日本建築学会大会(東北),1163-1165,(仙台,2018.9).
- 68. 川澄卓也,関根秀久,安田洋介,岩根康之,小林真人,内田季延,音響管を用いた断面縮小型の消音装置によるトンネル発破超低周波音の低減 —1 次元音場理論と模型実験による検討—,日本音響学会講演論文集(春季),853-854(埼玉, 2018.3).
- 齋藤昂太,関根秀久,安田洋介,BE/FMBE 解析における 反復解法の収束判定値が解析結果や音響指標値に与える影響,日本音響学会講演論文集(春季),931-934(埼玉,2018. 3).
- 70. 福島昭則,坂本慎一,安田洋介,厚みのある障壁での回折 計算の実用計算法に関する検討,日本音響学会騒音・振動 研究会資料,N-2018-35 (新潟, 2018.7).
- 71. 阿部菜摘,関根秀久,安田洋介,3次元波動数値解析を用 いたI桁構造高架道路裏面での音響反射の検討,日本建築 学会学術講演梗概集(環境工学I),361-362(仙台,2018.9).
- 72. 佐藤淳平,坂本慎一,李孝珍,菅原彬子,米村美紀,安田 洋介,音環境評価に及ぼす視覚情報の影響 ―ヘッドマウン トディスプレイを使用した評価実験―,日本建築学会学術 講演梗概集(環境工学 I),405-406 (仙台, 2018.9).
- 73. 齋藤昂太,関根秀久,安田洋介,BEMによる室内音場解析 における反復解法の収束判定一吸音面と拡散体の配置に よる影響一,日本音響学会講演論文集(秋季),643-646(大 分,2018.9).
- 74. 桝本貴之,井上尚久,佐久間哲哉,安田洋介,FMBEM を 用いた擬似拡散入射によるランダム入射乱反射率の推定, 日本音響学会講演論文集(秋季),647-648 (仙台, 2018.9).
- 75. 上野正也、山家京子、自治会・町内会を補完する地域活動 に関する研究-その1. 横浜市栄区「庄戸の元気づくり実行 委員会」を事例として-、日本建築学会学術講演梗概集、 1057-1058 (仙台, 2018.9).
- 76. 佐藤滉子,山家京子,上野正也,横浜市・郊外住宅地にお ける地域資源の抽出及び発信の取組-その2. 愛着と思い出 のある場所-,日本建築学会学術講演梗概集,1079-1080(仙

台, 2018. 9).

- 77. 山家京子,まちへの愛着が形成される場所に関する考察, 日本建築学会学術講演梗概集,795-796 (仙台, 2018.9).
- 78. 竹島大地,山家京子,上野正也,憶いを綴る住処-住みなれ た場における看取り介護施設の提案-,日本建築学会建築デ ザイン発表会, 328-329 (仙台, 2018.9).

学術誌

- 内田青蔵,「受け継がれる住まい」の大切さ―「スクラップ・ アンド・ビルド」から「キープ・アンド・チェンジ」へ―, 住まいと電気, 30(5), 1-6(2018).
- 内田青蔵, 第三回中期・普及期 日本の新しい住宅のモデル となったアメリカ住宅, ツーバイフォー, 215, 8-9 (2017).
- 内田青蔵,第四回後期 戦前におけるアメリカ住宅の評価と 普及の課題,ツーバイフォー,216,12-13 (2018).
- 内田青蔵,日本のツーバイフォー建築の歴史 前編,ツーバ イフォー,217,8-11 (2018)
- 5. 内田青蔵, 日本のツーバイフォー建築の歴史 後編, ツー バイフォー, 218, 12-13 (2018).
- 内田青蔵,材料からみた近代日本建築史―米材の普及と枠 組み壁工法の導入の様相―,建築施工単価,前文 10-18 (2018.7).
- 7. 内田青蔵,明治時代の生活に学ぶ一和洋館並列型住宅の誕 生とその後の住まいの変化一,国民生活,24-25 (2018.6).
- 8. 内田青蔵,明治時代の生活に学ぶ一家族団らんを取り入れ た明治の家族生活一,国民生活,26-27 (2018.7).
- 9. 内田青蔵,明治時代の生活に学ぶ―明治時代の家庭生活・ 商品化された住生活―,国民生活,25-26 (2018.8).
- 10. 須崎文代,台所の近代化と住まいに纏わる衛生論、能率論の実践に関する研究,神奈川大学工学研究,19-52 (2018.3).
- 11. 荏本孝久, ニュージーランド・クライストチャーチ地震の 被災地を訪ねて, CAS News Letter, 9, 5-8, 神奈川大学アジ ア研究センター (2018.9).
- 12. 島崎和司,免震構造に関する初等教育,MENSIN,一般社団 法人 日本免震構造協会,1-3 (2018.7).
- 曽我部昌史,加茂紀和子,竹内昌義,マニュエル・タルディッツ,非作家性の時代に,建築と日常 No5/平凡建築,88-91 (2018.5).
- 14. 小林真人, 岩根康之, 安田洋介, トンネル発破で発生する 超低周波音の消音装置, 騒音制御, 41 (6), 258-261 (2017).

著書

- 石田敏明(分担執筆),書百冊-鹿島出版会の本と雑誌,鹿 島出版会(転載:SD レビューの25年)「未だ見ぬ建築の 可能性を求めて」,367 (2017.12).
- 石田敏明(分担執筆),故知新「処女作から思うこと」Bulletin 275/2018 春号,公益社団 法人 日本建築家協会 関東甲信 越支部,18 (2018.4)
- 石田敏明(分担執筆),特集「日本の住宅デザインの30年」 -[初期]時代と住宅デザインの密接な関係/バブル経済とメ ディア,建築士 67 (792),公益社団法人日本建築士連合会, 24-27 (2018.9).
- 内田青蔵(分担執筆),藤田洋三著,別府ゲニウスロキⅡ所 収「『大分近代建築史資料』を目の前にして」,2-3 (2018.3).
- 曽我部昌史,加茂紀和子,竹内昌義,マニュエル・タルデ ィッツほか,分担執筆,リノベーションの教科書(企画デ ザインプロジェクト),学芸出版社,174-185 (2018.4).
- 6. 曽我部昌史,吉岡寛之,編著,聖地・大三島を護る=創る,

20-27, NPO これからの建築を考える(2018.8).

- 安田洋介(分担執筆),シリーズ(建築工学)8 光と音の 建築環境工学,朝倉書店 (2018).
- 山家京子(分担執筆),アジア社会と水-アジアが抱える現 代の水問題-,文眞堂,99-137 (2018).

調査報告書

- 1. 石田敏明,田野耕平,早川史洋,小田凌大朗,門田大希, 新潟市街地の空き家の再生・活用及び運用に関する研究と 提案 (2018.4.29).
- 内田青蔵(分担),大田区の文化財第42集 大田区歴史的建 造物調査報告書(大田区教育委員会),61-71・75-79・88-100・ 136-162 (2018.3).
- 内田青蔵(分担),文京区文化財調査報告書 旧伊勢屋質店 調査報告書(文京区教育委員会),43-56 (2018.3).
- 内田青蔵(分担),日本建築学会日本建築和室の世界遺産的 価値特別調査委員会「和室」の日本建築における価値を改 めて問い直す,16-18 (2018.9).
- 5. 中井邦夫, 鈴木成也, 古永家由記, 中野聡太, BA/横浜防 火帯建築研究 No.13, 徳永ビル, BA 編集部(神奈川大学中 井研究室内), (2018.7).
- 中井邦夫,鈴木成也,杉江知樹,原川菜奈子,小泉恵子, 木下優奈,BA/横浜防火帯建築研究 No.12,商栄ビル,BA 編集部(神奈川大学中井研究室内),(2018.3).
- 藤田正則, CO₂ 排出量削減を目指した鋼木質複合構造シス テムに適合する木質床構造に関する研究,科学研究費助成 事業研究成果報告書,基盤研究 (C),課題番号 15K06297 (2018).

講演・展示会

- 1. 石田敏明,村上徹,佐藤光彦,玉置順,西沢立衛,藤本寿 徳,前田圭介,これからの建築,広島工業大学 (2018.3.3).
- 石田敏明,住宅設計のプロセスとプレゼンテーション,記 念講演会,神奈川県建築士会横浜支部 (2018.5.26).
- 3. 岩本靜男,初級技術者のための研修会・給湯設備,空気調 和・衛生工学会主催,石垣記念ホール (2018.4.17).
- 4. Stanley Russell, 内田青蔵, 田野耕平, 長谷川明, From Learning Asian Architecture, KU アーキラボ (2018.7.25).
- 5. 内田青蔵,横浜洋館探訪一横浜洋館の魅力と楽しみ方一, 神奈川大学建築学科同窓会「かんな会」主催講演会(横浜, 2017.10).
- 6. 内田青蔵,神奈川大学キャンパスの過去と未来,神奈川大 学宮陵会近畿ブロック会主催講演会(大阪, 2017.10).
- 7. 内田青蔵,神奈川大学キャンパス計画に見る過去と未来, 神奈川大学宮陵会主催(横浜, 2017.10).
- 内田青蔵,「文化住宅」を生み出した平和博の「文化村」, 分離派 100 年研究会(東京, 2017.11).
- 9. 内田青蔵,横浜市における建築保存について,神奈川大学 工学研究所主催講演会(横浜, 2017.11).
- 10. 内田青蔵, 内子と横浜の町並み一伝統を未来に繋げる町づ くり一, 米田吉盛展講演会(内子, 2017.11).
- 内田青蔵,欧米住宅導入の歴史,ジャパンホームショー(東京, 2017.11).
- 12. 内田青蔵, 土浦邸の日本近代住宅史における位置づけとその重要性, 土浦邸フレンズ主催(東京, 2017.12).
- 13. 内田青蔵,清澄庭園の建築と庭園について一建築家保岡勝 也を中心に一,日本庭園協会主催(東京,2018.1).
- 14. 内田青蔵, 近現代建築の保存活用について, 公益財団法人

横浜歴史資産調査会主催(横浜, 2018.2).

- 15. 内田青蔵, 同潤会の住宅について, 大田区桜フェステイバル(東京, 2018.3).
- 16. 内田青蔵,軽井沢の別荘誕生とその歴史,ヨコハマ洋館建 築探偵団主催(横浜,2018.3).
- 17. 内田青蔵, 都市・建築からパブリックスペースへ, 竹中工務店主催(横浜, 2018.6).
- 18. 内田青蔵,未来に向けた神奈川大学新キャンパスについて, 神奈川大学三浦支部宮陵会主催(横須賀, 2018.6).
- 19. 内田青蔵,シンポジウム「和室」の日本建築における価値 を改めて問い直す,日本建築学会日本建築和室の世界遺産 的価値特別調査委員会主催(仙台,2018.5).
- 20. 内田青蔵,近代化の象徴としての宮殿と刑務所一後藤啓二 と豊多摩監獄一,日本建築家協会近代洋風建築研究会主催 (東京,2018.9).
- 21. 須崎文代「レジストロ移民住宅調査の概要と移民住宅の特徴」、日本常民文化研究所公開研究会「ブラジルにおける日本人移民の住まいと生活」(横浜, 2018. 3. 13).
- 22. 荏本孝久,大学研究者と地域をつなぐ防災・減災研究集会 について報告,横浜商工会議所第 31 回産業防災連絡会議 (神奈川, 2018.4)
- 24. 荏本孝久, 地震と建築〜横浜の地震災害を考える〜, 高大 連携「一日神大生」(神奈川, 2018.7).
- 25. 犬伏徹志,免震建物の擁壁衝突に関する課題と検討事例, 一般社団法人日本振動技術協会講演会「巨大地震に備える 免震構造の取り組み」(東京, 2018.1).
- 大伏徹志,免震建物の擁壁衝突を模擬する解析モデル,第 99回耐震工学研究会 (東京, 2018.9).
- 奥山博康,奥山・吉浦研の卒業研究の紹介,2017 年度第4 回伝熱+熱環境シミュレーション合同小委員会・合同 WG (東京,2018.3).
- 曽我部昌史,丸山純子,高橋啓祐,シンポジウム,BankART Life V「今、考えていること、行っていること」, BankART1929 (神奈川, 2017. 10. 25).
- 29. 曽我部昌史,藤浩史,塚本由晴,シンポジウム, powwow トーク「アートと建築のスキマ東京論」,アーツ千代田 3331 (東京, 2017. 11. 4).
- 30. 曽我部昌史,講演会,高知建築文化賞記念講演会「地方に おける建築」,高知県地区文化賞(高知,2017.11.18).
- 31. 曽我部昌史, 講演会, Cast of Vision International Taiwan, 台湾科技大学 (台北, 2017. 12. 4).
- 曽我部昌史,伊東豊雄,桂英昭,末廣香織,小川次郎ほか, シンポジウム,くまもとアートポリス 2017「一緒に考え、 一緒につくる」,熊本県(熊本, 2017.12.10).
- 33. 曽我部昌史, 講演会, クリエイティブ産業における「デザ イン」の役割について, 九州大学法学部 (福岡, 2017. 12. 17).
- 35. 曽我部昌史, 講演会, LUNCH TALK "MASASHI SOGABE", Persons School of Constructed Environments + Japan Foundation (ニューヨーク, 2018. 2. 22).
- 36. 曽我部昌史, 講演会, Design strategies in the Population Decreasing Period, Rhode Island School of Design+ Japan Foundation (プロビデンス, 2018.2.24).
- 37. 曽我部昌史, 講演会, 建築家に何が可能か, 日本建築家協 会四国支部(高知, 2018.2.28).
- 38. 曽我部昌史,田村誠邦,佐々木龍郎,河本一満,シンポジ ウム,横浜市文化観光局(神奈川, 2018.3.13).

- 39. 曽我部昌史,伊東豊雄,桂英昭,末廣香織,千葉学,塚本 由晴,シンポジウム,くまもとアートポリス 2017「一緒に 考え、一緒につくる」,熊本県(熊本, 2018.5.12).
- 40. 曽我部昌史,講演会,人口減少期の暮らしをめぐる創造性, 関東学院大学(神奈川, 2018.6.4).
- 41. 曽我部昌史, 講演会, Design strategies in the Population Decreasing Period, PUCP(Pontificia Universidad Católica del Perú) (リマ, 2018. 8. 13).
- Keynote lecture, Y.G. Zhao, A simple procedure for estimating first resonance peak of layered soil profiles, The International symposium on Life-cycle Engineering and Sustainability of Infrastructures (ISLESL 2017) (Taiwan, 2017. 11. 8-11).
- 43. Invited lecture, Y.G. Zhao, Loading path effects on the compressive strength of concrete in axially loaded CFT columns, The 7th International symposium on Innovation and sustainability of Structures in Civil Engineering (ISISS-2018) (Xi'an, 2018. 5. 25-27)
- 44. 中井邦夫ほか,魚津中央通り名店街活性化計画,魚津防火 建築帯 FES (展示),(魚津,2018.3).
- 中井邦夫, 横浜の防火帯建築について, バンカート・スク ール, BankART Studio NYK(横浜、2018.3).
- 46. 山家京子,横浜・人・まち・パブリックスペース,都市・ 建築からパブリックスペースへシンポジウム (横浜, 2018.
 6).
- 47. 上野正也,横浜トリエンナーレ,サポーターズサロン vol.5 「新市庁舎、水辺に建つ」~新横浜市庁舎にまつわる横浜 のまちづくり~フィールドワーク編コーディネーター (横 浜, 2017.11).
- 48. 上野正也, 横浜トリエンナーレ「ひらいて・つなげる横浜 トリエンナーレ」モデレーター (横浜, 2018. 2)

助成金

- 石田敏明,田野耕平,瀬戸内海地方の広島県の東部地域(尾 道市及び福山市鞆町の沿岸部地域と甲信越地方の新潟新 潟市内の空き家の再生・活用及び運用に関する研究と提案)
 一その1,研究寄付金,株式会社総合資格.
- 2. 石田敏明,田野耕平,30年後の住宅地の風景をつくる,研 究寄付金,レモンホーム株式会社.
- 3. 岩本靜男,傳法谷郁乃,建物內給水温度の推定法,文科省 科学研究費助成金,基盤研究 (C),2017~2019.
- 傳法谷郁乃,小柴朋子,田村照子,膝囲への衣服圧が下肢のむくみに及ぼす影響,平成30年度公益財団法人石本記念 デサントスポーツ科学振興財団学術研究助成金,最優秀入 選.
- 内田青蔵(分担),日本建築和室の世界遺産的価値に関する 建築学的総合研究,平成29年度科学研究費補助金,基盤研 究(B),課題番号17H03360.
- 内田青蔵(分担),ブラジル日本人入植地の歴史民俗学的研究,平成27年度科学研究費補助金,基盤研究(B),課題 番号15H05172.
- 須崎文代(代表),大江スミのイギリス留学による明治期の 住居衛生論の導入と国内での展開に関する研究,平成28 年度科学研究費補助金,若手研究(B),課題番号16K18222
- 奥山博康(代表),建物の熱・換気性能現場測定法の研究, 平成28年度科学研究費補助金,基盤研究(C),課題番号 16K06623.
- 9. 藤田正則(代表), CO2排出量削減を目指した鋼木質複合構 造システムに適合する木質床構造に関する研究, 平成 28 年度科学研究費補助金,基盤研究(C),課題番号15K06297

10. 安田洋介(分担),低周波音の家屋内外伝搬特性の解明及び 遮音対策の効果検証,平成 30 年度科学研究費補助金,基盤 研究(B),課題番号 17H03350.

受託研究

- 1. 岩本靜男, 傳法谷郁乃, 受託研究, azbil.
- 2. 岩本靜男,研究奨学寄付金,塩ビ工業・環境協会.
- 3. 傳法谷郁乃,研究奨学寄付金,竹中工務店.
- 4. 荏本孝久,研究奨学寄付金,株式会社ニュージェック.
- 5. 荏本孝久,研究奨学寄付金, BT 東急コミュニティ.
- 犬伏徹志,質点系モデルを用いた免震建物の擁壁衝突解析, 株式会社大林組.
- 7. 島崎和司,研究奨学寄付金,日の出水道.
- 8. 島崎和司,共同研究,安藤ハザマ.
- 9. 白井佑樹,研究奨学寄付金,岡部.
- · 曽我部昌史,吉岡寛之,丸山美紀,長谷川明,「2018 年度 門 前町再生」(徳島県美波町, 2018.4-2019.4).
- 11. 曽我部昌史,吉岡寛之,「くまもとアートポリス仮設住宅住 環境構想計画業務に伴う実践的被災地支援活動」,伊東豊雄 建築設計事務所 (2016.9-2019.3)
- 藤田正則,3R配慮建築物のリユース検討,大林組 技術研 究所 (2018.4-2020.3).
- 13. 安田洋介, 共鳴型消音器の適用範囲拡大に関する研究, 飛 島建設.
- 14. 山家京子,上野正也,神奈川大学,京浜急行電鉄及び川崎市の京急本線及び京急大師線沿線におけるまちづくり推進に 関する調査研究,京浜急行電鉄株式会社,川崎市.
- 15. 山家京子,上野正也,十日市場駅勢圏におけるまちづくりの 推進に関する調査研究,横浜市.
- 16. 山家京子,上野正也,横浜市南区弘明寺地区における遊休不 動産の活用に関する調査研究,泰有社,オンデザイン.

海外出張

- 1. 石田敏明,田野耕平,台南台中の歴史的景観と現代建築の 研究,台湾 (2018.9.17-20).
- 岩本靜男, CIB-W062 シンポジウム発表, アゾレス諸島, ポルトガル (2018.8.26-9.1).
- 3. 内田青蔵, ソウル建築視察, 韓国 (2017.11).
- 内田青蔵, 須崎文代, 建築史フィールドワーク・上海建築 視察, 中国 (2018.9).
- 5. 須崎文代,ドイツ近代住宅・台所視察調査,ドイツ (2018. 3).
- 須崎文代,明治期住居衛生論の文献・遺構調査,イギリス (2018.3).
- 花本孝久、ムルシア市の地盤震動特性に関する共同研究、 Murcia, Spain (2017.10).
- 8. 荏本孝久, 16th Europe Conference on Earthquake Engineering, Thessaloniki, Greece (2018. 6).
- 9. 犬伏徹志, 16th Europe Conference on Earthquake Engineering, Thessaloniki, Greece (2018. 6).
- 10. 奥山博康, Building Simulation and Optimization, Cambridge, UK (2018.9).
- 吉浦温雅, Building Simulation and Optimization, Cambridge, UK (2018.9).
- 12. 曽我部昌史, カンボジアの都市脆弱地区における調査研究, カンボジア (2017. 10. 27 - 11. 1).
- 13. 曽我部昌史,台湾科技大学での講演とワークショップ参加 のため,台湾 (2017.12.2-12.5).

- 曽我部昌史,パーソンズ大学での展示企画に関する調査打 合せのため,アメリカ (2018.2.20 - 2018.2.26).
- 15. 曽我部昌史,吉岡博之,ネパールの都市脆弱地区における 調査研究,ネパール (2018.3.24-3.31).
- 16. 曽我部昌史,重村力,鄭一止,韓国諸都市における近代都 市景観の成り立ちと現況についての視察,韓国 (2018.3.8-2018.3.1).
- 曽我部昌史,マカティ市防災ミュージアムプロジェクト会 議出席のため、フィリピン (2018.8.5-8.7).
- 曽我部昌史, PUCPeru International Architectural workshop 2018 での講演・講評, ペルー (2018. 8. 25 - 2018. 8. 20).
- 曽我部昌史,吉岡博之,台湾宜蘭地区の建築調査,台湾 (2018.9.12-9.15).
- 20. 中井邦夫, インドネシアにおける自然環境建築に関する視察調査, インドネシア (2018.8.11 20).
- 21. 山家京子, 韓国のハンギル・ブック博物館の視察ならびに 館長へのインタヴュー, ソウル, 韓国 (2017.9)

褒賞

A-36

- 田野耕平, O-house (建築作品), グッドデザイン賞, 公益財 団法人日本デザイン振興会 (2018.9).
- 傳法谷郁乃,冬期の講義室内における巻物衣類の種類および着用方法の違いに関する研究,日本繊維製品消費科学会 2018年年次大会若手優秀発表賞,日本繊維製品消費科学会 (2018.6).
- 3. 曽我部昌史,加茂紀和子,竹内昌義,マニュエル・タルデ ィッツ,IKETEI VILLA (東京都),台東区景観まちづくり 賞建築部門,台東区 (2018.2).
- 曽我部昌史,加茂紀和子,竹内昌義,マニュエル・タルデ ィッツ,イリコ庵(香川県),JIA 神奈川デザインアワード 大賞(2018.2).
- 吉岡寛之, 原浩人, 松野由夏, 北方のクリニック(愛知県), 中部建築賞 (2017.12).
- 飛島建設株式会社,神奈川大学(安田洋介),株式会社藤 崎商会,音響管の共鳴現象を利用した発破超低周波音消音 装置の開発,日本騒音制御工学会平成29年度環境デザイ ン賞(2018.1).

学位

- 1. 小谷野一尚, 鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースの疲労性能に関する研究, 博士(工学), 神奈川大学 (2018.3).
- 2. 犬伏徹志,免震建物の擁壁衝突を模擬する簡易解析モデル の構築に関する研究,博士(工学),神奈川大学(2018.3).
- 3. 張海仲, A Simple Site-specific Method for Estimating Nonlinear Site Effects, 博士 (工学), 神奈川大学 (2018.3).

その他

- 石田敏明(取材協力)、シェアハウス図鑑(編著者 篠原聡子+日本女子大学篠原聡子研究室シェアフラット馬場川-廃ビルを商店街の拠点へ)、彰国社、35-42 (2017.12.10).
- 石田敏明(分担執筆),村上徹教授退任記念講演記念誌寄 稿文,広島工業大学.
- 3. 石田敏明, 日本建築学会, 作品選奨審査委員.
- 4. 石田敏明,川辺直哉,内田青蔵,山家京子,中井邦夫,杉

山太造, 八幡一郎, KU+LEMON HOME Design Forum V 審 査会・講評会 (2017.11.18).

- 5. 王恵君, 曽我部昌史, 鄭一止, 上野正也, 重村力, 山家京 子, アジアのまち再生, 神奈川大学アジア研究センター (2018.1.30).
- 石田敏明(分担執筆), -シェアフラット馬場川-特集/まち を起こす戦略としての建築 ケーススタディ その 4 商店 街に学生シェアハウス, TOTO 通信, 2017 年秋号.
- 7. 内田青蔵,住まいの建築史, No.11-59, 週刊新潮 (2017.10 2018.9).
- 8. 内田青蔵,木しか見えない建築家たちへの贈り物,週刊読 書人,第 3217 号,6 (2017.12.1).
- 9. 内田青蔵, 伝統と原爆-アマチュア建築家からの脱却-, 週刊読書人, 第3257号, 6 (2018.9.21).
- 内田青蔵, 談話, 食卓が初めて家庭に, 読売新聞, 16 (2018.
 1.8).
- 須崎文代,材料からみた近代日本建築史 その19 台所流し 材料の変遷-ステンレスに至るまでの道程,建築施工単価, 2018 年冬号 (2018.4).
- 12. 山家京子, YOKOHAMA GREEN BATON PROJECT ~つな がる十日市場~ (TV 出演), イッツコム (CATV) (2017. 12).

数学教室

研究論文I(レフェリー付き論文)

- Y. Hirata and Y. Yajima, C*-embedding implies P-embedding in products of ordinals, Topology and its Applications, 231, 251-265 (2017).
- N. Kenmochi, K. Shirakawa and N. Yamazaki, New class of doubly nonlinear evolution equations governed by time-dependent subdifferentials, Solvability, regularity, and optimal control of boundary value problems for PDEs, Springer INdAM Ser., 22, Springer, Cham, 281-304 (2017).
- T. Fukao and N. Yamazaki, A boundary control problem for the equation and dynamic boundary condition of Cahn--Hilliard type, Solvability, regularity, and optimal control of boundary value problems for PDEs, Springer INdAM Ser., 22, Springer, Cham, 255-280 (2017).
- N. Kenmochi, K. Shirakawa and N. Yamazaki, Singular optimal control problems for doubly nonlinear and quasi-variational evolution equations, Advances in Mathematical Sciences and Applications, 26, 313-379 (2017).

- K. Koshino, Function spaces with their compactifications homeomorphic to the Hilbert cube, The 2nd Pan Pacific International Conference on Topology and Applications, GT-12 (Busan, Korea, 2017. 11).
- T. Suzuki, Construction of wave operators for Hartree equations with a critical Hardy potential, Theory of Evolution Equation and Mathematical Analysis of Nonlinear Phenomena, (Research Institute for Mathematical Sciences Kyoto University, 2017. 10).
- 鈴木敏行, Semilinear Schrödinger evolution equations with inverse-square potentials, 日本数学会 2018 年度 秋季総合分 科会 特別講演,(岡山大学, 2018.9).
- 4. 平田康史, 矢島幸信, Undecidability of the existence of C*-embedded but not C-embedded subsets in a product of

natural numbers, 2018 年度日本数学会春季総合分科会, (東 京大学, 2018.3).

- 平田康史, 矢島幸信, Three embeddings and their implications in products of generalized metric spaces, 2018 年度日本数学 会春季総合分科会, (東京大学, 2018.3).
- 平田康史, 矢島幸信, Undecidability of the cardinality of C*-embedded discrete subsets in products of natural numbers, 2018 年度日本数学会秋季総合分科会(岡山大学, 2018.9).
- 柴田良弘,村田美帆, Navier-Stokes-Korteweg 方程式の全空 間における時間大域的適切性について,日本数学会秋季総 合分科会(岡山, 2018.9).
- 山崎教昭, 剣持信幸, 白川健, Quasi-variational evolution equations governed by double time-dependent subdifferentials, 日本数学会 2018 年度年会, (東京大学, 2018.3).
- 山崎教昭, 剣持信幸, 白川健, New class of doubly nonlinear evolution equations governed by double time-dependent subdifferentials, 日本数学会 2018 年度秋季総合分科会, (岡 山大学, 2018.9).

学術誌

 平田康史,矢島幸信,可算離散空間の積へのC*-,C-および P-埋め込み,数理解析研究所講究録2064 集合論的・幾何学 的トポロジーの動向と諸分野の連携,66-68 (2018).

調査報告書

 越野克久,非可分無限次元多様体と写像空間、冪空間の位相に関する研究,科学研究費助成事業研究成果報告書,若 手研究(B),課題番号 15K17530 (2015~2016).

講演・展示会

- 1. 平田康史, C*-, C-, P-埋め込みと弱正規超フィルターについて, 一般位相幾何学の進展と諸問題・RIMS 研究集会 (京都大学数理解析研究所, 2018.6).
- M. Murata and Y. Shibata, The global well-posedness for the compressible fluid model of Korteweg type, International Workshop on the Multi-Phase Flow; Analysis, Modeling and Numerics (東京, 2017.11).
- M. Murata and Y. Shibata, Decay estimates of solutions for the Navier-Stokes-Korteweg system in RN, The 15th Japanese-German International Workshop on Mathematical Fluid Dynamics (東京, 2018.1).
- M. Murata and Y. Shibata, The global well-posedness for the Navier-Stokes-Korteweg system, Japanese-Indonesian International Workshop on Mathematical Fluid Dynamics (東京, 2018.3).
- 5. M. Murata and Y. Shibata, The global well-posedness for the Navier-Stokes-Korteweg system, Conference on Mathematical Fluid Dynamics (ドイツ, 2018.5).
- M. Murata and Y. Shibata, Global well-posedness for the Navier-Stokes-Korteweg system, 名古屋大学微分方程式セミ ナー (名古屋, 2018.5).
- 7. M. Murata, On the local and global well-posedness for the compressible Navier-Sokes equations , Seminar Nasional Matematikadan Terapannya 2018 (インドネシア, 2018.9).
- M. Murata and Y. Shibata, Global well-posedness for the Navier-Stokes-Korteweg system, Workshop on the Navier-Stokes flow (名古屋, 2018.9).

- 9. 平田康史, 矢島幸信, 自然数の積空間における C*-埋込さ れた離散な部分集合の濃度の決定不可能性について, 一般 位相幾何学の進展と諸問題・RIMS 研究集会 (京都大学数 理解析研究所, 2018. 6).
- Y. Yajima, Undecidability of the existence of C*-embedded but not C-embedded subsets in a product of natural numbers, Special Conference in Set-theoretic Topology in honor of Gary Gruenhage' s 70th Birthday, Auburn University, (Auburn, USA) (2017.10).
- 11. 矢島幸信,なぜ数学をアニメにするか,第31回神奈川大学 高大連携協議会(神奈川大学,2018.6).
- 12. N. Yamazaki, Double quasi-variational evolution equations governed by time-dependent subdifferentials and applications, The 12th AIMS Conference on Dynamical Systems,Differential Equations and Applications, organized by The American Institute of Mathematical Sciences, Taipei, 台湾 (2018.7).

助成金

 矢島幸信、単調正規空間と D-空間の問題に関する定常集 合による集合論的考察, 平成 30 度日本学術振興会科学研 究費補助金,基盤研究 (C)

海外出張

1. 越野克久, The 2nd Pan Pacific International Conference on Topology and Applications, Busan, Korea (2017. 11).

その他

 研究集会の開催 研究集会名:RIMS 共同研究(公開型)「一般位相幾何学の 進展と諸問題」(研究代表者: 嶺 幸太郎) 日時:2018年6月20日(水)13:50~6月22日(金)12:15 場所:京都大学数理解析研究所111号室 講演数:17講演 URL:http://www.math.kanagawa-u.ac.jp/mine/RIMS_J.html

物理学教室

研究論文I(レフェリー付き論文)

- H. Aizawa and K. Kuroki, Microscopic theory of the superconducting gap in the quasi-one-dimensional organic conductor (TMTSF)2ClO4: Model derivation and two-particle self-consistent analysis, Physical Review B, 97 (10), 104507-1—12 (2018).
- H. Aizawa, T. Koretsune, K. Kuroki and H. Seo, Electronic Structure Calculation and Superconductivity in λ-(BETS)2GaCl4, Journal of the Physical Society of Japan, 87 (9), 093701-1-5 (2018).
- M. Amenomori, K. Hibino, S. Udo, et al., Evaluation of the Interplanetary Magnetic Field Strength Using the Cosmic-Ray Shadow of the Sun, Physical Review Letters, 120, 0311101 (2018).
- R. U. Abbasi, K. Hibino, F. Kakimoto, S. Udo, K. Yamazaki, et al., Depth of Ultra High Energy Cosmic Ray Induced Air Shower Maxima Measured by the Telescope Array Black Rock and Long Ridge FADC Fluorescence Detectors and Surface

Array in Hybrid Mode, Astrophysical Journal, 858:76 (2018).

- R. U. Abbasi, K. Hibino, F. Kakimoto, S. Udo, K. Yamazaki, et al.,Influence of Earth-directed Coronal Mass Ejections on the Sun's Shadow Observed by the Tibet-III Air Shower Array, The Astrophysical Journal, 860:13 (2018).
- R. U. Abbasi, K. Hibino, F. Kakimoto, S. Udo, K. Yamazaki, et al., Gamma - ray Showers Observed at Ground Level in Coincidence With Downward Lightning Leaders, Journal of Geophysical Research: Atmosphere, 123, 13, 6864-6879 (2018)
- R. U. Abbasi, K. Hibino, F. Kakimoto, S. Udo, K. Yamazaki, et al., Study of muons from ultra-high energy cosmic ray air showers measured with the Telescope Array experiment, Physical Review D, 98, 2, 022002 (2018).
- R. U. Abbasi, K. Hibino, F. Kakimoto, S. Udo, K. Yamazaki, et al., Evidence of Intermediate-scale Energy Spectrum Anisotropy of Cosmic Rays E ≥ 10^19.2 eV with the Telescope Array Surface Detector, The Astrophysical Journal, 862:91 (2018)
- R. U. Abbasi, K. Hibino, F. Kakimoto, S. Udo, K. Yamazaki, et al., The Cosmic Ray Energy Spectrum between 2PeV and 2EeV Observed with the TALE Detector in Monocular Mode, The Astrophysical Journal, 865:74 (2018).
- H. Kyakuno, K. Matsuda, Y. Nakai, R. Ichimura, T. Saito, Y. Miyata, K. Hata, and Y. Maniwa, Rotational dynamics and dynamical transition of water inside hydrophobic pores of carbon nanotubes, Sci. Rep. 7 (1), 14834 (2017).
- H. Kyakuno, H. Ogura, K. Matsuda, and Y. Maniwa, Ice Nanoribbons Confined in Uniaxially Distorted Carbon Nanotubes, J. Phys. Chem. C 122, 18493 (2018).
- M. Hagiwara, T. Kida, K. Matsuda, H. Kyakuno, Y. Maniwa, Z. Honda, Y. Sakaguchi, M. Tashiro, M. Sakai, T. Fukuda, N. Kamata, K. Okunishi, Magnetic Properties of One- and Two-Dimensional Functional Materials, Current Inorganic Chemistry, 8, 1-6 (2018).
- D.Yamauchi, S.Yokoyama, H. Tashiro, Constraining modified theories of gravity with the galaxy bispectrum, Physical Review D, 96, 123516 (2017).
- D.Steer, M. Lilley, D. Yamauchi, T. Hiramatsu, Y-junction intercommutation of current carrying string, Physical Review D, 97, 023507 (2018).
- D. Langlois, R. Saito, D. Yamauchi, K. Noui, Scalar-tensor theories and modified gravity in the wake of GW170817, Physical Review D, 97, 061501(R) (2018).
- R. Kimura, T. Suyama, M. Yamaguchi, D. Yamauchi, S. Yokoyama, Are redshift space distortions actually a probe of growth of structure?, Publications of the Astronomical Society of Japan, psy083 (2018).

研究論文II(レフェリー付き Proceedings)

- H. Aizawa, Phase diagram of the magnetic state obtained from a two-particle self-consistent analysis of the half-filled Hubbard model on a honeycomb lattice, Journal of Physics: Conference Series, 969, 012095 (2018).
- H. Fuke, T. Aramaki, Y. Shimizu, et al., Present Status and Future Plans of GAPS Antiproton and Antideuteron Measurement for Indirect Dark Matter Search, JPS Conf. Proc., 12th International Conf. on Low Energy Antiproton Phys. (LEAP2016), 18, 011003 (2017).

- 相澤啓仁, 是常隆, 黒木和彦, 妹尾仁嗣, 有機導体 λ -(BETS)2GaCl4 のスピン揺らぎ媒介による超伝導ギャップ の異方性 II, 日本物理学会 2018 年秋季大会, 12aK302-5 (京都, 2018.9).
- 中村佳昭, 日比野欣也, 有働慈治他, チベット空気シャワーアレイで観測された太陽の影による太陽磁場構造の研究10, 日本物理学会第73回年次大会, 22aK308-10(千葉, 2018.3).
- さこ隆志,有働慈治,垣本史雄,日比野欣也,山崎勝 也他,TA実験 306:TA実験全体報告,日本物理学会第 73回年次大会,23pK202-5(千葉,2018.3).
- 木戸英治, 有働慈治他, TA 実験 312: TAx4 実験全体 報告 3, 日本物理学会第 73 回年次大会, 23pK202-11 (千 葉, 2018.3).
- 荻尾彰一, 有働慈治他, TA 実験 313: TALE 実験全体 報告 3, 日本物理学会第 73 回年次大会, 23pK202-12 (千 葉, 2018.3).
- 川田和正,日比野欣也,有働慈治他,ALPACA 実験 7: ALPAQUITA 進捗状況 2,日本物理学会第 73回年次大会, 25pK202-4(千葉, 2018.3).
- 野中敏幸, 有働慈治, 垣本史雄, 日比野欣也, 山崎勝 也 他, TA 実験 315: TA 実験全体報告, 日本物理学会 2018 年秋季大会, 14pS37-1 (長野, 2018.9).
- 藤田慧太郎, 有働慈治他, TA 実験 320: モンテカルロ シミュレーションによる TA と TALE による FD 複眼観 測の性能評価, 日本物理学会 2018 年秋季大会, 14pS37-6 (長野, 2018.9).
- きこ隆志,日比野欣也,有働慈治他,ALPACA 実験 8: ALPACA の性能評価と ALPAQUITA 進捗状況,日本物理 学会 2018 年秋季大会,17aS36-4 (長野, 2018.9).
- 川田和正, 日比野欣也, 有働慈治他, チベット空気シャワー観測装置におけるガンマ線起源空気シャワーの再構成, 日本物理学会 2018 年秋季大会, 17aS36-5 (長野, 2018.9).
- 客野遥、小倉宏斗、松田和之、真庭豊、つぶれたカーボンナノチューブに内包された水の構造とダイナミクス、 日本物理学会第73回年次大会、23aK605-6(千葉、2018.3).
- 客野遥、小倉宏斗、松田和之、真庭豊、つぶれたカーボンナノチューブに内包された水の構造とダイナミクス II, 日本物理学会 2018 年秋季大会、9pM102-8 (京都、2018.9).
- 佐々木志剛, モンテカルロ法と cavity 法によるランダム グラフ上の格子ガラス模型の解析, ネットワーク科学セミ ナー:つながりと相互作用のランダムネス (横浜, 2016.3).
- 佐々木志剛, 外場を導入した Biroli-Mezard 格子ガラスモデルの熱平衡状態Ⅱ, 日本物理学会第 73 回年次大会, 23pK605-11 (千葉, 2018.3).
- 小財正義, 福家英之, 清水雄輝他, 宇宙線反粒子探索 GAPS 実験用リチウムドリフト型シリコン検出器の開発(2), 日本物理学会 2018 年秋季大会, 14aS37-6 (長野, 2018.9).
- 和田拓也、小財正義、清水雄輝他、宇宙線反粒子探索 GAPS実験用トリガースキームの開発、日本物理学会 2018 年秋季大会、14aS37-7 (長野、2018.9).
- 清水雄輝, GAPS チーム, 宇宙線反粒子探索計画 GAPS, 平成 29 年度 ISEE 研究集会 太陽圏宇宙線シンポジウム (名古屋, 2018.2).
- 福家英之, 井上剛良, 清水雄輝他, 南極周回気球による宇宙線反粒子探索計画 GAPS, 宇宙航空研究開発機構宇 宙科学研究所宇宙科学シンポジウム(第 18 回)(神奈川,

2018.1).

- 19. 小財正義, 福家英之, 清水雄輝他, 宇宙線反粒子探索 GAPS 実験用リチウムドリフト型シリコン検出器の開発, 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所宇宙科学シンポジウム(第18回)(神奈川, 2018.1).
- 20. 西野晃徳, 羽田野直道, G. Ordonez, 開放型二重量子ド ットの非平衡電流:多電子散乱状態による解析, 日本物理 学会第73回年次大会, 23pK604-10 (千葉, 2018.3).
- 21. 山内大介, GW170817 後のスカラーテンソル理論, 若手 による重力・宇宙論研究会 (京都, 2018.3).
- 22. 山内大介, 青木一, 磯暁, D.-S. Lee, 関野恭弘, C.-P. Yeh, Testing ancestor vacuum fluctuations as the origin of dark energy from galaxy surveys, 初期宇宙・重力セミナー (東京, 2018.6).
- 山内大介, 青木一, 磯暁, D.-S. Lee, 関野恭弘, C.-P. Yeh, Testing ancestor vacuum fluctuations as the origin of dark energy from galaxy surveys, 日本物理学会 2018 年秋季大会, 14pS34-5 (長野, 2018.9).

調査報告書

- 客野遥,制限空間内の水の研究:圧力依存性とwet-dry 現象,科学研究費助成事業研究成果報告書,若手研究(B), 課題番号 15K17738 (2015-2017).
- K. Matsuda, Synthesis of dielectric nanomaterials by aligning polar molecules inside carbon nanotubes, Annual report of the murata science foundation, 31 (2), 450-458 (2017).

講演・展示会

- 1. 宇佐見義之, 古代生物の復元について, 神奈川大学付属 中学校講演会 (横浜, 2017.11).
- H. Kyakuno, K. Matsuda, R. Ichimura, T. Saito, K. Hata, Y. Maniwa, Fast molecular dynamics and phase transition of water confined inside carbon nanotubes, The 12th Mini-Symposium on Liquids (福岡, 2018.7).
- H. Kyakuno, Water confined inside carbon nanospace, International Symposium on Water on Materials Surface 2018 (千葉, 2018.7).
- 4. 客野遥, 真庭豊, ナノカーボンに閉じ込められた水, ナ ノカーボンワークショップ 2018 (東京, 2018.8).

助成金

- 1. 相澤啓仁(代表), キャリアドープされたハニカム格子ハ バード模型の磁性と新奇超伝導, 平成28年度 科学研究費 補助金, 若手研究(B), 課題番号 16K17754.
- 相 澤 啓 仁 (代表), Electronic Band Structure and Superconducting Gap Symmetry in Organic Conductor λ -(BETS)2GaCl4, 平成 30 年度 海外渡航費助成 (公益財団法 人 横浜学術教育振興財団).
- 有働慈治(代表), 最高エネルギー宇宙線の電波的観測の 研究, 平成30年度東京大学宇宙線研究所共同利用研究.
- 有働慈治(分担),日比野欣也(分担),山崎勝也(分担), 乗鞍岳における雷雲に伴う二次宇宙線の研究,平成30年 度東京大学宇宙線研究所共同利用研究.
- 5. 客野遥(代表), 1 次元リボン状氷の構造と物性: 楕円筒 形カーボンナノチューブを用いた研究, 平成 30 年度科学 研究費補助金, 若手研究, 課題番号 18K13518.
- 6. 客野遥(代表), 佐々木志剛, 松田和之, 真庭豊, ナノ

カーボンの細孔利用による新規ナノ複合体の合成とその構造・電気・磁気物性の解明, 2018 年度神奈川大学共同研 究奨励助成金.

- 日比野欣也(代表), アンデス高原における雷雲からの高 エネルギー放射線の研究, 平成 30 年度東京大学宇宙線研 究所共同利用研究.
- 松田和之(代表),炭素ナノ空洞を利用した極性分子の配列・配向制御による極微小誘電体の作製と物性解明,平成 30年度科学研究費補助金,基盤研究(C),課題番号 18K04894.

海外出張

- 相澤啓仁, 12th International Conference on Materials and Mechanisms of Superconductivity and Mechanism of Superconductivity and High Temperature (M2S 2018), Beijing, China (2018. 8).
- 2. 有働慈治, 宇宙線観測実験, State of Utah, USA (2018.3).

褒賞

 客野遥, 水のナノ構造制御による新規物性・機能の設計, 2018 年度第5回 ATI 研究奨励賞, 公益財団法人 新世代研 究所 (2018.5).

その他

 Yoshiyuki Usami, Autonomous Driving for Long Distance Tokyo ⇔ Osaka, " https://www.youtube.com /dit?o=U&video_id=a56ruWMINF8" (2018.9.19).

化学教室

研究論文I(レフェリー付き論文)

- S. Hashimoto, A. Yabushita, T. Kobayashi, K. Okamura and I. Iwakura, Direct observation of the change in transient molecular structure of 9,9'-bianthryl using a 10 fs pulse UV laser, Chemical Physics, 512, 128-134 (2018).
- A. Takahashi, R. Goseki, K. Ito, H. Otsuka, Thermally healable and reprocessable bis(hindered amino)disulfide-cross-linked polymethacrylate networks, ACS Macro Lett., 6, 1280-1284 (2017).
- N. Suzuki, A. Takahashi, T. Ohishi, R. Goseki, H. Otsuka, Enhancement of the stimuli-responsiveness and photo-stability of dynamic diselenide bonds and diselenide- containing polymers by neighboring aromatic groups, Polymer, 154, 281-290 (2018).

- 1. 田中翼, 石田良仁, 亀山敦, 第 7 回 CSJ 化学フェス タ, P5-095 (東京, 2017.10).
- . 勇崎竜, 石田良仁, 亀山敦, 第 7 回 CSJ 化学フェス タ, P9-094 (東京, 2017.10).
- A. Takahashi, R. Yuzaki, Y. Ishida, A. Kameyama, Controlled ring-expansion polymerization of thiiranes with benzothiazolone initiator to access well-defined cyclic polysulfides, The 28th

International Symposium on the Organic Chemistry of Sulfur, PB-37 (東京, 2018. 8).

- 田中翼, 高橋明, 石田良仁, 亀山敦, 側鎖フェニルア ソイミダゾール部分を有するポリマーの合成と光応答性, 第67回高分子討論会, 2Pc069 (北海道, 2018.9).
- 5. 勇崎竜, 高橋明, 石田良仁, 亀山敦, ベンゾチアゾロ ン類を開始剤としたチイラン類の環拡大重合による環状ポ リマーの合成, 第67回高分子討論会, 2Pd012(北海道, 2018.9).
- 橋本征奈, 籔下篤史, 岡村幸太郎, 岩倉いずみ, 近紫 外-紫色・超短パルス光発生による電子移動過程の超高速分 光, 第7回 CSJ 化学フェスタ, P2-012 (東京, 2017.10).
- 村上隆彦, 橋本征奈, 高木里伽子, 籔下篤史, 岡村幸 太郎, 岩倉いずみ, ビアントラセンにおける紫外励起波 長に依存した超高速電子移動過程のフェムト秒時間分解計 測, 第 7 回 CSJ 化学フェスタ, P4-010 (東京, 2017.10).
- 高木里伽子,村上隆彦,橋本征奈,籔下篤史,岡村幸 太郎,岩倉いずみ,レーザー色素の電子励起状態におけ る動的過程に対する溶媒効果,第74回有機合成化学協会 関東支部シンポジウム,B03(新潟, 2017.11).
- 吉田拓也, 舘田健太, 織作恵子, 岩倉いずみ, レーザ ー光を用いた 6-HELICENE の合成, 第 74 回有機合成化学 協会関東支部シンポジウム, B04 (新潟, 2017.11).
- 岩倉いずみ、化学反応に伴う分子構造変化の時間分解計測、 SJWS 新春シンポジウム 2018、 P19、 (東京、 2018.1).
- 中島信昭, 八ッ橋知幸, 迫田憲治, 岩倉いずみ, 横山 啓一, Eu 回収のためのレーザー化学, 日本化学会第 98 春季年会, 1PB-039 (船橋, 2018.3).
- 橋本征奈, 籔下篤史, 岩倉いずみ, 9,9'-ビアントリル における光励起後の核波束運動,日本化学会第98春季年会, 3G1-31(船橋, 2018.3).
- 村上隆彦, 橋本征奈, 籔下篤史, 岩倉いずみ, 振動準位の選択励起に依存した励起状態の動的過程,日本化学会第98春季年会, 3G1-33 (船橋, 2017.3).
- 14. I. Iwakura and A. Yabushita, Transition state spectroscopy of the thermal reactions induced by coherent molecular vibrational excitation using a visible 5-fs pulse laser, The XXI International Conference on Ultrafast Phenomena, Poster number 14 (ドイツ, 2018. 7).
- 村上隆彦, 橋本征奈, 籔下篤史, 岩倉いずみ, 紫外-サブ 10-FS パルスレーザー光のスペクトル整形と波束制御, 2018 年光化学討論会, 1P-002 (神戸, 2018.9).
- 橋本征奈, 籔下篤史, 岩倉いずみ, スペクトル可変紫外 サブ 10-fs パルスレーザー光による分子振動の選択励起, 2018 年光化学討論会, 3B-07 (神戸, 2018.9).

講演・展示会

 岩倉いずみ、フェムト超高速ストロボを利用する化学反応の可視化、埼玉大学第一回女性科学者の芽セミナー(埼玉、2018.8、依頼講演).

助成金

- 亀山敦(代表),「新奇な光転位反応を基盤とした屈折率 変化高分子の創製,平成29年度科学研究費補助金」,基盤 研究(C),課題番号17K05889.
- 2. 岩倉いずみ(代表), アミノ酸誘導体による希土類錯体の合成:同時多色発光材料の設計, キャノン財団第6回キヤノン財団研究助成プログラム「産業基盤の創生」.

- 岩倉いずみ(代表),超高速分光による分子間光反応過程の 直接観測と機構解明,東レ科学振興会第57回東レ科学技 術研究助成金.
- 岩倉いずみ(代表), 超短パルスレーザー光を利用する選択 的な反応の開発, 公益財団法人 高橋産業経済研究財団 研 究助成.
- 5. 岩倉いずみ(代表), パルスレーザー分光による反応機構解 析と合成反応への応用, 神奈川大学共同研究奨励助成金.
- 橋本征奈(代表),紫外-極限的超短パルスレーザー光発生装置の構築と分子間光反応過程の直接計測への応用,平成 29年度笹川科学研究助成.
- 橋本征奈(代表),円偏光 5-fs パルスレーザー発生装置の構築と不斉合成反応への応用,2017 年度神奈川大学大学院生研究助成.
- 岩倉いずみ(代表), サブ 10 フェムト秒パルスレーザー光 を利用する電子励起状態における核波束運動の可視化,コ ニカミノルタ画像科学奨励賞.
- 9. 岩倉いずみ(代表),可視5フェムト秒パルス光を用いる"分 子間熱反応遷移過程"の直接観測と機構解明,平成30年 度科学研究費補助金,基盤研究(B),課題番号18H01946.
- 治倉いずみ(代表), サブ 10 フェムト秒パルスレーザー光 を利用する核波束制御, 戸部眞紀財団 研究助成金.
- 11. 橋本征奈(代表), スペクトル可変近紫外サブ 10-fs パルス 光を用いる光反応遷移状態の解析, 横浜学術教育振興財団 研究助成.

特許(取得)

1. 赤井昭二, 岩倉いずみ, 織作恵子, 化合物、化合物製造 方法、並びに当該化合物を用いたポリマー架橋剤及び方法, 特許第 6201173 号.

褒賞

- 橋本征奈, 近紫外-紫色・超短パルス光発生による電子移 動過程の超高速分光, 第7回 CSJ 化学フェスタ 優秀ポ スター発表賞, 日本化学会 (2017.12).
- 3. 岩倉いずみ,分子間光反応の遷移状態を含む反応機構の解明,2017 年度 神奈川大学学術褒賞,神奈川大学 (2017. 10).

学位

橋本征奈,広帯域サブ 10-fs パルス光発生による核波束運動の可視化と光反応コヒーレント制御への応用,博士(工学),神奈川大学(2018.3).

生物学教室

- 浅野優人,宮崎哲,菊地理絵,朝倉史明,植物の遺伝的多 様性を DNA レベルで体感する教育プログラム 'ガーデン PCR'の開発,日本育種学会第 132 回講演会,育種学研究(別 2), 112(岩手, 2017.10).
- 上野伸治,河合義隆,長谷川聖,菊地理絵,近藤勝彦,朝 倉史明,ロシア、ドイツ、フィンランドで育成されたシー ベリー品種の分子的特徴付け,日本育種学会第134回講演

会, 育種学研究(別 2), 102(岡山, 2018.9).

- 3. 高橋薫,菊地理絵,筧雄介,佐藤明子,東出忠桐,添野和 雄,嶋田幸久,トマトにおけるオーキシン生合成阻害剤の 作用機構の解析,植物化学調節学会第52回記念大会(鹿児 島,2017.10).
- 4. 高橋薫,菊地理絵,筧雄介,佐藤明子,東出忠桐,添野和 雄,嶋田幸久,トマトにおいてオーキシン生合成阻害剤 KOK2052BPの処理は花成を促進する,第59回日本植物生 理学会年会,P-026(札幌, 2018.3).

助成金

1. 中川理絵(代表),トマトの花成におけるオーキシンの役割 と花成調節技術への応用,平成30年度科学研究費補助金, 基盤研究(C),課題番号18K05630

特許(取得)

 岡本専太郎、中川理絵、嶋田幸久、「オーキシン生合成阻害 活性を有する新規化合物、その製造方法及びその用途」特 願 2018-013493

【2】 講 演 会 開 催 記 録

(2017年10月1日より2018年9月30日までの講演会について記す)

学科・教室開催講演会

機械工学科

演題:グリーンコンポジット~古くて新しいサステナブル複合 材料~

講師:高木 均(徳島大学 大学院 社会産業理工学研究部 機械 科学系 教授)

日時:2017年11月21日(火) 16:20~17:50

場所:神奈川大学 横浜キャンパス 23 号館 310 室

講演要旨:国民の環境意識の高まりに呼応して,環境への負荷 を低減させたサステナブル複合材料としてグリーンコンポジッ トに注目が集まっている.日本のみならず欧米でも活発に研究 開発が続けられているこのグリーンコンポジットについて,こ れまでの研究で行ってきた製造方法,強度特性,機能性などに 関するトピックについてわかりやすく紹介した.

物質生命化学科

<戦略的研究基盤形成支援事業主催>

演題: Trianionic Pincer Ligands and their Role in Metal Catalyzed Cyclic Polymer Synthesis

講師: Prof. Adam S. Veige (Department of Chemistry, University of Florida)

日時: 2017年12月7日(木) 16:30~18:00

場所:神奈川大学 横浜キャンパス 23 号館 310 号室

講演要旨: Cyclic polymers do not contain end groups, and as a result they demonstrate a number of unique physical properties. For example, the density, refractive index, T_g, viscoelasticity, reptation, and surface properties of cyclic polymers all differ from those of their more common linear analogs. Over the past fifty years a handful of catalysts have been discovered that can create cyclic polymers. In this seminar, three new catalysts will be presented that are capable of creating cyclic polymers. The catalysts are derived from using trianionic pincer ligands and tungsten(VI). Aspects of catalyst design and two distinct mechanisms of polymerization will be discussed. Dynamic and static light scattering techniques provide <Rg2> and RH ratios of cyclic vs. linear samples that clearly indicate a difference in topology. Complementing the light scattering data, intrinsic viscosities $([\eta])$ measured over a wide-range of molecular weights clearly demonstrate the topological relationship between authentic linear and cyclic samples.

<物質生命化学科主催>

演題:次世代蓄電デバイスの作動原理と研究動向
 講師:荒井 創(東京工業大学物質理工学院 教授)
 日時:2017年12月6日(水) 16:00~17:00
 場所:神奈川大学 横浜キャンパス 23号館204号室
 講演要旨:電気自動車用電源や再生可能エネルギー貯蔵用途と

して、蓄電池のニーズが高まっている。リチウムイオン電池は エネルギー密度とサイクル特性に優れた電池であるが、さらに その特性を凌駕する可能性を秘めた次世代蓄電デバイスの研究 開発も活発に行われている。本講演では様々な蓄電デバイスの 作動原理と特徴、そして最近の研究開発動向をレビューした。

演題:新規な感温性ゲルの開発とその応用 講師:飯澤 孝司 教授 (広島大学大学院工学研究院 化学工学 専攻)

日時:2017年12月9日(土) 15:30~17:00

場所:神奈川大学 横浜キャンパス 23 号館 210 号室

講演要旨:感温性ゲル、特に Poly(N-isopropylacrylamide) (PNIPA)ゲルは、スマートゲルとして広く知られ、様々な応用 が提案されているが、なかなか実用化するまでは至っていない。 本研究では、PNIPA ゲルに代わる新規の感温性ゲルとして Poly[oligo(ethylene glycol) mono(m)ethyl ether (meth)acrylate] (POEG(M)A) 類ゲルに着目した。このゲルは、 高濃度塩水中でも純水と同様によく膨潤し、しかも感温性を示 す。また、水、アルコール中では、それぞれ下部臨界溶液温度 (LCST)、上部臨界溶液温度(UCST)と異なる感温性を示すな ど、これまでの感温性ゲルにない優れた特性を明らかにした。 さらに、この特性を巧みに利用した難脱水性の汚泥(スラッジ) の脱水システムを実用化した。これらのことについて解説し た。

情報システム創成学科

演題:キャリア形成支援のための講演会(情報システム創成学 科主催)

講師:神奈川大学 工学部,工学研究科 OB・OG 6名 日時:2018年9月24日(月) 15:20~17:30 場所:神奈川大学 横浜キャンパス 23 号館 204 室 講演要旨:講演者各人の価値観に基づく講演を視聴できた。講 演内容については、人生における志,自分らしく生きる・仕事 するとは、大学院での研究・学会発表を通じ得た自信.就職に必 要となる能力・自己表現、働き方の勘どころ、情報革命におけ る現在なすべきこと、就職活動と仕事についてなど。学部学生・ 大学院生は,実践的で内容の濃い講演が聴講でき、今後の就職 活動や仕事への取り組み姿勢について参考になった。教職員は OB・OG の社会での活躍ぶりを見ることができ有意義な時間を 過ごすことができた。

建築学科

演題:建つ意味から問う ―状況のデザインを目指して―
講師:野田 恒雄(横浜市都市デザイン専門職)
日時:2017年10月2日(月)16:20~17:50
場所:神奈川大学 横浜キャンパス3号館305教室

講演要旨:地方都市の衰退や空き家の増加などが社会的問題と なっている現代においては,建物を建てることばかりではなく, 既存の建物を利活用することが重要な課題となっている.本講 演では、使われていない古いビルを,オーナーや地域のコミュ ニティと協働して,使い方やその後の運営までを含めた総合的 なデザインについて,講師が携わったいくつかの実例を通して 紹介した.

演題:「地盤情報の高度化と活用 ―防災・減災に役立つ全国電 子地盤図の作成―」

講師:大井 昌弘(防災科学技術研究所)

日時: 2017年11月6日(月) 16:20~17:50

場所:神奈川大学 横浜キャンパス 3 号館 3-305 室

講演要旨:東北地方太平洋沖地震など過去の国内外の地震時に 液状化などの地盤被害が発生し、大きな問題となっている.本 講演では、過去の地震時における地盤被害を振り返った後、地 盤特性を知るための取り組みとして"全国電子地盤図"につい て紹介した.これは全国にある膨大な数の地盤調査情報を活用 するためのシステムであり、Web上で閲覧可能である.250m 区面メッシュ内の情報からそのメッシュを代表する地盤モデル を作成することができ、これを用いた防災・減災対策への展開 についても解説した.

演題:地図に残る仕事 ―ゼネコン設計部の今!―(「かんな会」 主催講演会)

講師:教誓勉(大成建設(株)設計本部)

日時:2017年11月27日(月)18:00~19:30 場所:神奈川大学 横浜キャンパス3号館3-305室 講演要旨:設計業務は、建築・構造・設備のほか、専門的な部 門の技術支援を受けながら、他社との差別化にも注力して、プ ロジェクトに取り組んでいる.2020年に向け建設業界は繁忙期 を迎え、ゼネコンの設計部がどのように物づくりに向き合って いるか、いくつかのプロジェクトの中から事例を紹介し、コン ペなどで勝ち得たエピソードなどにも触れた.

演題:先進的建築外皮による環境負荷削減と快適性向上

講師:井上隆(東京理科大学教授)

日時: 2017年12月4日(月) 16:20~17:50

場所:神奈川大学 横浜キャンパス 16 号館セレストホール 講演要旨:建築外皮のうち窓など透明部位において,如何に「熱」 と「光」をコントロールするかは,冷暖房空調・照明用エネル ギーのみならず室内温熱・光環境など快適性に大きな影響を及 ぼす.ここでは,超高層オフィスビル等の実例に基づき,窓面 において先進的外皮を用いることによる省エネルギー・環境負 荷削減効果および快適性向上効果について説明した.

演題:家具はもっとも肌に近い建築 -建築・家具・人-

講師:藤江 和子(多摩美術大学客員教授)

日時:2018年5月14日(月)17:10~18:50

場所:神奈川大学 横浜キャンパス 16 号館(セレストホール) 講演要旨:人々の生活や活動の場は,建物だけでなく様々な家 具によって成り立っている.本講演では,長年家具デザイナー として第一線で活躍してきた講師の経歴に沿った各年代の作品 の紹介,それらを通じた家具デザインの可能性についての解説 とともに,近年より重要視されつつある建築家と家具デザイナ ーとの協働の実例などを紹介した.

演題:構造デザインの可能性 ―構造設計者だから出来ること― 講師:人見 泰義(株式会社 日本設計) 日時:2018年6月4日(月)17:10~18:50 場所:神奈川大学 横浜キャンパス 16 号館(セレストホール) 講演要旨:優れた建築物をつくりあげるためには,各分野の設 計者が協働する必要がある.ここでは,多目的ホール,美術館, 高層オフィスブル,スポーツプラザなどの実例を取り上げ,設 計から施工,そして実際に利用されるまでの一連のプロセスが 紹介された.その中で,構造計算をするだけではなく,意匠設 計者や設備設計者と協働する構造設計者としての役割や今後の 更なる可能性が紹介された.

演題:快適衣住環境を考える ―ヒトの温熱生理・心理・行動反応から―

講師:田村 照子 (文化学園大学名誉教授) 日時:2018年7月2日(月)17:10~18:50

場所:神奈川大学 横浜キャンパス16号館セレストホール 講演要旨:人を取り巻く衣住環境を快適に保つことは、人類の 種の保存や生活の質の向上につながる.快適な衣住環境を設 計・実現するため、温熱的快適性を評価する研究方法について ご講演いただいた.人体生理学の基礎知識をおさえたうえで、 人の温熱生理・心理・行動反応を指標とした被験者実験事例を 紹介し、衣住環境が人に与える刺激を物理的な評価手法として、 クールビズやウォームビズを例に、サーマルマネキンによる測 定事例を用いて、分かりやすく解説していただいた.

演題:土佐派の家

講師 : 松澤 敏明(徳弘・松澤建築事務所)(「かんな会」 主催講 演会)

日時:2018年7月9日(月)17:10~18:50

場所:神奈川大学 横浜キャンパス3号館 3-305 室

講演要旨:「土佐杉・土佐檜」「土佐漆喰」「土佐和紙」といった 土佐の産材と、伝統的な職人の技を用いて現代の感性にこたえ る家づくりを県外に提案し、林業・製材・乾燥・建設に至る工 程までを視野に入れ、地域にふさわしい木造住宅・木造建築を 作るためのトータルな環境づくりを目指した「土佐派の家」の 活動について、多くの設計例で紹介した.

10. 工学研究所 2017 年度(平成 29 年度)年次報告10.ANNUAL REPORTS OF RESEARCH INSTITUTE FOR ENGINEERING IN 2017

1. 人事

2. 予算

3. 共同研究 / プロジェクト研究

4. 講演会

5. 神大テクノフェスタ 2018 - 暮らしと環境の未来-

6. 大型装置使用実績

- 1. Personnel affairs
- 2. Budget
- 3. The List of Interdisciplinary Joint Researches and Project Researches
- 4. Public Lectures
- 5. Kanagawa University Techno Festa 2018 "The Future of Daily Life and Environment"
- 6. Total Machine Time of each Large Research Facility

神奈川大学工学部研究所 RESEARCH INSTITUTE FOR ENGINEERING, KANAGAWA UNIVERSITY

2017年度(平成 29年度)工学研究所年次報告

1.	人事										
	1)運営	委員									
	所	長		井川	学	物質生	 	教	授		
	自己点	藏検委員	会	高野	敦	機械	L学科	准制	教授		
	所報線	幕集委員	슻	松木	伸行	電気電	፪子情報工学科	准書	教授		
	講演会	企画委	員会 兼								
	大型装	长置管理	委員会(所長指名)	松本	太	物質生	 	教	授		
	講演会	全面委	員会	内田	智史	情報	レステム創成学科	准制	教授		
	自己点	ā.検委員	会	石井	信明	経営	L学科	教	授		
	幹	事		奥山	博康	建築	学科	教	授		
	所報線	幕委員	숮	岩倉い	ッずみ	教室科	系(化学教室)	准書	教授		
	研究す	え援委員	会(所長指名)	竹村	兼一	機械	L学科	教	授		
2	2)研究	所客員教	2.11.11.11.11.11.11.11.11.11.11.11.11.11								
	田中	俊光	(2017.4~2018.3)		石濱	正男	(2017.4~2018.3)		孫	世国	(2017.10~2018.9)
	長澤	浩	(2017.4~2018.3)		大坂	武男	(2017.4~2018.3)		花畑	誠	(2017.4~2018.3)
	内藤	周弌	(2017.4~2018.3)		大越	昌幸	(2017.10~2018.9)	野尻	秀智	(2017.10~2018.9)
	井上	成美	(2017.10~2018.9)		Min S	Sangkee	(2017.10~2018.9)	緑川	光正	(2017.4~2018.3)
	金元	敏明	(2017.10~2018.9)		籔下	篤史	(2017.10~2018.9)	小林	孝嘉	(2017.10~2018.9)
	穴田	哲夫	(2017.4~2018.3)		桜井	優	(2017.4~2018.3)		武尾	英哉	(2017.4~2018.3)
	重村	力	(2017.4~2018.3)		川口	春馬	(2017.10~2018.9)	松井	正之	(2017.10~2018.9)
	山田	哲男	(2017.10~2018.9)		岩岡	道夫	(2017.4~2018.3)		森井	尚之	(2017.4~2018.3)
(3)研究	所客員研	F究員								
	石川	博敏	(2017.4~2018.3)		久保	登	(2017.4~2018.3)		育宦	重法	(2017.4~2018.3)
	石倉	理有	(2017.4~2018.3)		堀野	定雄	(2017.4~2018.3)		徐	剛	(2017.10~2018.9)
	蘆	朝輝	(2017.10~2018.9)		周	建東	(2017.10~2018.9)	徐	亞州	(2017.10~2018.9)
	持田	由幸	(2017.4~2018.3)		山口	秀一郎	(2017.10~2018.9)	郡司	貴雄	(2017.10~2018.9)
	鈴木	溫	(2017.4~2018.3)		植田	博臣	(2017.10~2018.9)	岩井	和史	(2017.10~2018.9)
	中村	先男	(2017.10~2018.9)		大熊	武司	(2017.4~2018.3)		許	瑞邦	(2017.10~2018.9)
	岡村킠	全太郎	(2017.10~2018.9)		織作	恵子	(2017.10~2018.9)	友利	貴人	(2017.10~2018.9)
	伊東	圭昌	(2017.4~2018.3)		山田	保治	(2017.4~2018.3)				
4	4)研究	所特別研	F究員								
	北島	創	(2017.4~2018.3)		入井	友海太	(2017.10~2018.9)	安東	信雄	(2017.10~2018.9)
	渡辺	裕	(2017.10~2018.9)		望月	康正	(2017.10~2018.9)	秋山	友昭	(2017.10~2018.9)
	安倍	和弥	(2017.4~2018.3)		丸山	美紀	(2017.4~2018.3)		長谷」	明	(2017.4~2018.3)
	菊地	通	(2017.10~2018.9)		佐々	木敦朗	(2017.10~2018.9)	竹村	宏史	(2017.10~2018.9)
	星野	健	(2017.4~2018.3)		渡邉	英昭	(2017.4~2018.3)		福井	隆史	(2017.4~2018.3)
	児保	茂樹	(2017.4~2018.3)								
Ę	5)研究	所職員									
	教務打	技術職員	金子 信悟		技術	職員	三浦 貴博				

平成 29 年度の予算・決算額を表-1 に示す。

表一1

*	Т	学	研	究	所	#	冒	研	究	内	訳	
	_	-	11/1	7 LL	171	~	11	11/1	7 LL	1 1	H/	

業務項目	予算額(千円)	決算額(千円)
研究所運営費	3,188	2,467
大型共同設備管理運営	4,000	3,828
工学研究所共同研究*	14,000	13,014
(特) テクノフェスタ	1,900	1,359
(特) テクノサークル	2,000	1,875
(特) 工学系紹介冊子作成	700	659
금 計	25,788	23,202

予算額(千円)	表者	究代表	共同研究	
1,000	教授	准教	森	
	中止:	期中回	*	
2,100	教授	准教	高野	
2,500	教	助	齋藤	
1,400	教	助	松原	
2,500	教	助	客野	
1,500	教授	准教	松木	
3,000	教授	准裁	赤井	
14,000	計			

3. 共同研究/プロジェクト研究

平成29年度の工学研究所共同研究/プロジェクト研究を表-2に示す。

共同研究								
研究課題名	研究代表者							
無機触媒/半導体ハイブリッド型水素・酸素生成太陽光熱電池の創製	松木 伸行/電気電子情報工学							
希少糖や核酸誘導体を基盤とする次世代型エピジェネティック医薬の開発	赤井 昭二/物質生命化学							
微細空間における流体の特異な挙動の解明とそれを利用した新規ナノ流体デ バイスの創製	客野 遥/物理学							
軽量・高性能ハイブリッドロケットエンジンの研究・開発	高野 敦/機械工学							
ペロブスカイト酸化物の欠陥構造制御とプロトン伝導	齋藤 美和/物質生命化学							
二酸化炭素の資源化のための有機半導体-金属錯体複合光電極の創成	松原 康郎/物質生命化学							

表-2

プロジェクト研究

区分	研究課題名	研究代表者
С	地元住民と協力して実施する町づくり研究所の創設と運営	曽我部 昌史/建築学
А	高周波回路の解析・設計理論の整備と対応ソフト開発	平岡 隆晴/電気電子情報工学
С	高安心・超安全交通研究所	松浦 春樹/経営工学 (期中交代) 齊藤 隆弘/電気電子情報工学
А	構造物の耐震安全性及び耐久性の評価方法に関する研究	趙衍剛/建築学
А	新たな低炭素エネルギー社会に対応した新型電池の開発	松本 太/物質生命化学

A-64
А	三次元周波数分析を用いた振動モデル化技術の構築	山崎 徹/機械工学
А	多分岐ポリマー系ナノハイブリッド材料の開発と応用	橫澤 勉/物質生命化学
А	高速高精度 DNA 増幅装置の開発	山口 栄雄/電気電子情報工学
А	グリーンイノベーションの基盤となるナノ構造制御触媒の開発研究	引地 史郎/物質生命化学
А	車両等に装備するためのポリカーボネート窓の表面改質に関する研 究	新中新二/電気電子情報工学
А	超精密加工による高品位表面の創成に関する研究	中尾 陽一/機械工学
А	座屈拘束ブレースの風と地震における多段サイクル疲労性能の研究	岩田 衛/建築学
А	潮流発電ユニット開発の最先端技術:相反回転化	中西 裕二/機械工学
А	パルスレーザー光を利用した反応開発および機構解析	岩倉 いずみ/化学
А	疎表現理論に基づく知能的視覚情報処理システムに関する研究	齊藤 隆弘/電気電子情報工学
А	ミリ波・テラヘルツ波帯におけるフォトニック結晶構造を応用した 電磁波回路の解析と応用に関する研究	中山 明芳/電気電子情報工学
А	新規物質の自己組織化を基盤とした界面制御	亀山 敦/化学
А	毒性金属イオン検出・除去システムの開発研究	小野 晶/物質生命化学
С	企業ロボット開発研究所	石井 信明/経営工学
А	ポリペプチドのフォールディングと集積化により形成される高次構造と機能	亀山 敦/化学
А	加熱器・冷却器を一方向にバイパスするスターリングエンジンの開 発	原村 嘉彦/機械工学
А	戸建住宅における全館空調の一次エネルギー消費量に関する研究	岩本 靜男/建築学

4. 講演会

「暮らしの中のサイエンス」連続講演会

テーマ:『ワイヤレス給電技術の最前線』 場 所:神奈川大学みなとみらいエクステンションセンター オーガナイザー:松本 太(神奈川大学工学部教授) 開催日:2017年12月19日(火)10:00~16:30 ○モータ/キャパシタ/ワイヤレスというパラダイム─ 電池をあまり使わないクルマをめざして 東京大学大学院新領域創成科学研究科 教授 堀 洋一 ○ワイヤレス充電の国内外最新動向 株式会社テクノバ 岸 洋之 ○リチウムイオンキャパシタの開発― これからの車社会に必要な蓄電源を目指して JSR 株式会社 神奈川大学工学研究所 特別研究員 安東 信雄 ○ワイヤレス給電が開く電動車両の未来 株式会社 SUBARU 第2 技術本部電動ユニット設計部 荒井 一真

5. 神大テクノフェスタ2018 ―暮らしと環境の未来―

場 所:神奈川大学横浜キャンパス2号館地下演習場 開催日:2018年11月16日(金)12:00-17:00 実施内容 1) 講演会(2号館地下演習場) ○工学系講演1件 「持続可能な未来のための環境化学-酸性霧の研究からの展望-」 神奈川大学工学部物質生命化学科 教授 井川 学 ○テクノサークル報告1件 学生フォーミュラプロジェクト KURAFT 2)研究ポスター発表(2号館地下演習場) 大学院生によるポスター発表・作品展示 40件 学部生によるポスター発表 38件 テクノサークルによるポスター発表・作品展示 7件 総計 85件 3) 実演展示 3件(宇宙エレベーター・フォーミュラマシン・ドライブシミュレータ) 4)本学シーズ技術 PR 展示:研究支援部主催(2号館地下演習場)

- 5)【同時開催】学生--企業交流会:就職支援部主催(3号館305講堂)
- 6) 技術・情報交換会(19号館地下1階「LUX」 17:00-18:30)

6. 大型装置使用実績

平成29年度の大型装置装置使用実績を表-3に示す。

		表-	- 3					(単位	ī:時間)		
研究室名	TEM	SEM	粉末X線	薄膜X線	XPS	ICP	単結X線	ZYGO ·	XF WD-	RF	-
機械工学科	0	136	142.5	0	36	0	0	75.5	9	3	
										3	Ì
竹村研究室		89	37		36						
寺島研究室		45	105.5						9		
中尾研究室		2		<u> </u>		-		75.7			
電気電子情報工学科	0	164.5	167	0	9	0	0	76.5	0	9.5	
新中研究室					9						
中山研究室										0.5	
松木研究室		160.5	167					76.5		9	
山口研究室		4									
物質生命化学科	263	704.5	161.4	748	577.5	560	704	73.5	352.5	99.5	
井川研究室		1.5				472			268	4.5	
池原研究室		26		110	4			72.5			
上田研究室	2	183.5			199	8					
岡本研究室								1			
小野研究室											
金研究室	149	148	120		110	16			2	2	
小出研究室											
引地研究室				14	28.5	32	704			7.5	
松本研究室	32	145	1494	622	212	32			57	85.5	
本橋研究室	68	156.5		2	24				25.5		
横澤研究室	12	44									
化学教室	0	5.5	42.5	0	0	0	0	0	0	0	
岩倉研究室		1.5									
亀山研究室		4	42.5								
三相乳化プロジェクト											
合計時間	263	1011	1966	748	622.5	560	704	225.5	361.5	112	
機械工学科(%)	0.0	13.5	7.2	0.0	5.8	0.0	0.0	33.5	2.5	2.7	
電気電子情報工学科(%)	0.0	16.3	8.5	0.0	1.4	0.0	0.0	33.9	0.0	8.5	
物質生命化学科(%)	100.0	69.7	82.1	100.0	92.8	100.0	100.0	32.6	97.5	88.8	
化学教室(%)	0.0	0.5	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
三相乳化(%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

編集後記

神奈川大学工学研究第2号の刊行にあたり、ご多忙のなか原稿をご執筆下さいました先生方、編集に携わられた皆様方に心より御礼申し上げ ます.本学には教員・学生が自由闊達に協働し研究へ邁進することが奨励されている恵まれた雰囲気と環境があります.本誌は、その研究活動の まさに「現場」をレポートする役割を担っていることが、読者の方にも感じられることと思います.「神奈川大学工学研究」が、本学部の研究を 広く世に知らしめるのみならず、学内外の新たな研究協働や実用化への発展を促す触媒として効果を発現することを願ってやみません.

(電気電子情報工学科 松木 伸行)

神奈川大学工学研究 第2号

神奈川大学工学研究 編集委員会

委員長	松木	伸行(准教授,電気電子情報工学科)	/工学研究所所報編集委員会
副委員長	髙野倉	雅人(准教授,経営工学科)	/工学部広報委員会
委員	小野	晶 (教授,物質生命化学科)	/工学部広報委員会
五十音順	寺島	岳史(准教授,機械工学科)	/工学研究所所報編集委員会
			兼 工学部広報委員会

TECHNOLOGY REPORTS, KANAGAWA UNIVERSITY (No. 2)

Editorial Board

Chief Editor	Nobuyuki MATSUKI	(Associate Prof., Dept. of Electrical, Electronics
		and Information Engineering)
Vice Chief	Masato TAKANOKURA	(Associate Prof., Dept. of Industrial Engineering
		and Management)
Editors	Akira ONO	(Prof., Dept. of Material and Life Chemistry)
	Takeshi TERAJIMA	(Associate Prof., Dept. of Mechanical Engineering)

神奈川大学工学研究 第2号
2019年3月11日 印刷
2019年3月15日 発 行
編集兼発行者 神 奈 川 大 学 工 学 研 究 所 221-8686 横浜市神奈川区六角橋3丁目27番1号
印刷 所 共立速記印刷株式会社

RESEARCH INSTITUTE FOR ENGINEERING, KANAGAWA UNIVERSITY

3-27-1, Rokkakubashi, Kanagawa-ku, Yokohama 221-8686, Japan

