ISSN-2433-5169

TECHNOLOGY REPORTS, KANAGAWA UNIVERSITY

March 2022

神奈川大学
工学研究

No.5

目　　次

建築学部創設にあたって―建築学科の思い出とともに―

内田　青藏*

About the establishment of the Faculty of Architecture
-With my personal memories of the Department of Architecture-

Seizo UCHIDA *

2022 年 4 月 1 日、建築学科は工学部から分離し、建築学部として新たに始動することになりました。所属も工学部から建築学部へと変わり、心情的には母屋を離れ、数寄屋風の離れに移る気分です。ただ、独立するとはいえ、今後も共同研究などを通して工学部とはフランクに行き来する関係を創り上げていきたいと願いつつ、これまでの工学部への感謝を込めて、個人史となる思いを書かせていただきます。

建築学科は 1965 年、5 番目の学科として工学部に増設されました。高度成長期における産業界の要請を背景とした誕生で、建築構造学の権威であった東京工業大学教授の谷口忠先生を中心に組織され、出発しました。大学院が工学部に設置されたのは 1967 年で、少し遅れて建築にも修士課程ができました。この 1967 年には、現 12 号館の総合実験所も開設し、高度な建築構造系の実験施設として建築界でも注目されました。また、1975 年には工学部に工学研究所が設置され、教育と研究の場の両輪が揃うことになりました。そして、1990 年には建築を含め、博士課程が増設されるなど、今日に至っています。

私は、1975 年に 7 期生として建築学科を卒業しました。4 年次には建築史と住宅設計を専門とする森史夫先生のゼミに所属しました。卒業後は大学院に進学しましたが、指導教員である森先生が他大学に転任されてしまい、急遽、白浜研究室に所属を変え、非常勤で来られていた東京工業大学の平井聖先生の指導のもとで修士課程を終えました。そして、その後は東京工業大学大学院博士課程に進み、研究を続けました。

私の大学院時代、森先生の後任が決まらず建築史研究室は空席でしたが、修士修了と同じ 1977 年に西和夫先生が赴任され、西先生のご尽力もあって研究者として活躍する本学出身の弟子たちが誕生しています。私は、修士修了後は神大と疎遠でしたが、西先生から「近代建築史」の非常勤で呼ばれ、その縁もあって現在に至っているように思います。

2009 年に神大に戻ってみると、他大学にも劣らない教育と研究を可能とする充実した環境が整い、また、建築学会などでご活躍の先生方も沢山おられました。しかしながら、創設以来 50 年を迎えようとする歴史がありながら、建築学科としての独自性や時代に則した教育への積極的な取り組みなどはあまり感じられず、卒業生としてはいささか気になりました。

神大に戻る前の私は、埼玉大学教育学部に勤めていました。建築から少し離れていたのには訳がありました。当時、建築界では高度成長の弊害から歴史的建造物が次々と壊されるという状況が問題視され、所属する建築学会の活動で、私も歴史的建造物の保存に深く関わっていました。歴史的な建物の価値を人々に伝え、保存を促すという活動でした。ただ、現実社会では経済的問題が立ちはだかり、経済性が優先されるだけで歴史的価値や意義は理解されず、保存運動は全敗という状況でした。そんな中で、私は建築の歴史や文化を大切にする価値観を有する人間教育の必要性を強く感じていました。それが、教育学部に奉職していた理由でした。

また、同時に、これからの社会では、新築以上に歴史的建造物の活用が求められる時代になってくることを実感していました。社会は、保存理念の追求を超えて具体的利活用の提案の時代に変化していたのです。新時代に対応するためには、自分の専門とする建築史領域とは別に、既存建築の再利用を様々な角度から追及する新研究領域の構築の必要性を感じていました。そして、この新研究領域は、単なる効率をめざす工学的分野だけではなく、設計やその提案にあたっては、その歴史的建造物の歴史と文化を解き明かし、かつ、経済性や改修に係る法的制限を熟知するなどの文理融合の教育が求められるという思いに至りました。そんな新たな建築学科の構築の思いを、建築学科創設 50 周年事業を契機に諸先生に伝え、また、先生方の賛同を得て、人々の生活やまちづくりなども視野に入れた新しい建築学科を一緒に模索し始めたのです。そんな動きが、今回ようやく実を結び、建築学部創設を迎えることになったのです。

顧みれば、建築学科創設にあたった谷口先生は、「最近の建築教育は、単なる知識と技能を授けた職人の養成に終っているように思われる。社会科学と精神科学の一致した広い視野に立って総合的な見解を持つ建築技術者の養成こそ急務だ」と、その建築教育について述べています。ここで謳われている「社会科学と精神科学」の融合こそ、まさしく新たな建築学部が目指す文理融合の教育と研究そのものを指しているように思います。その意味では、この谷口先生の理念こそ、今でも新しく、これからの建築学部の教育理念として受け継ぐべきものであると考えています。そして今後とも、工学部とともに神奈川大学を牽引していく学部として発展していきたいと願っています。

*教授　建築学科
Professor, Dept. of Architecture

2. 新任者の研究紹介

電力・エネルギーシステムを対象とした 不確実環境下における解析・制御・運用手法の創出

根岸　信太郎*

Creation of analysis, control, and operation methods for power and energy systems under uncertainty.

Shintaro NEGISHI *

１．はじめに

筆者が専門分野としている電力システム工学は，その時々の社会からの電力供給体制・電力システムに対する要請に応じて発展してきた学際的な学問体系である。電力システム工学と関わりのある分野を図 1 に示す。電力システム工学は，同期発電機の制御およびそれらをつなぐ送電線の解析をメインターゲットとして発展し，電気工学や制御工学，非線形科学と密接な関係があった。時代が進み，多数台の発電機を運用する必要が出てくると，発電コストを最小にしたり，二酸化炭素の排出量を削減したりするような発電機運用計画を立てる必要が出てきたため，数理最適化や統計的予測分析などの情報工学分野の一部との関係性が出てきた。さらに近年では，太陽光発電や風力発電などの変動性再生可能エネルギー（VRE: Variable Renewable Energy）の導入やヒートポンプ給湯機，電気自動車などといった，これまで化石燃料で動いていたエネルギー機器の電化があり，電力システムに様々な特性を持つ機器が統合されるようになった。また，従来の垂直統合型の電力会社だけではなく，発電・小売部門に多数のプレイヤーが電気事業に参入するようになった。そのため，事業者間の電力の取引は相対取引だけではなく，電力市場を通じた取引も急激に増加してきている。このように電力エネルギー供給体制が複雑化，不確実化したことにより，ゲーム理論や機械学習などといった数理科学・データサイエンス分野との関わりも深くなってきている。このように，多様な学問分野の知見を取り込みながらひとつのシステムとして融合し，世界で一番大きい人工システムのひとつと言われている電力システムの解析・運用・技術が発展した。その結果，今日まで電力の安定供給が維持されている。

筆者はこれまでに，数理最適化や統計的機械学習技術をベースに電力システムの解析･制御･運用技術に関する研究に携わってきた。本稿では，筆者の研究紹介として，これまでの研究内容を紹介し，これから本学において実施していく研究ビジョンについて述べる。

*准教授　電気電子情報工学科
Associate Professor, Dept. of Electrical and Electronic Information Engineering

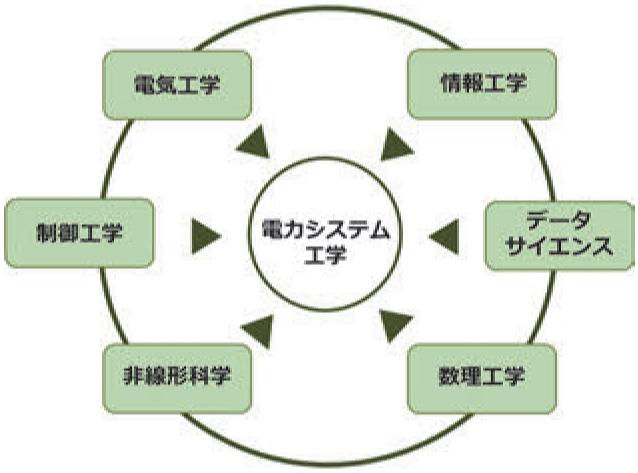


図 1 電力システム工学と他分野の関わり

２．これまでの研究内容

これまで，電力・エネルギー分野を対象としてエネルギー供給システムの 3E（エネルギーの安定供給・経済性・環境性）達成に向けたシステム運用技術や分析エンジンの開発，分析評価に関する研究を行ってきた。技術開発および分析評価にあたって，おもに数理最適化や統計的機械学習に関する技術を援用してきた。具体的には大きく分けて 3 つの研究課題に取り組んできた。電力・エネルギーシステムと各研究課題を対応させた概要図を図 2 に示す。

①電力システムの電源及び需要家側機器の運用最適化技術に関する研究では，電力システムの電源および需要家側に設置されているエネルギー機器を対象とした運用最適化モデルについて研究を行った。②将来の電力システムの電力需給に関する定量的評価では，太陽光発電や風力発電といった VRE が大量導入された将来の電力システム全体における需給対策の便益分析を行った。また，分析に用いる電力需給の最適化モデルを基にした経済計算エンジンの開発も並行して実施した。③小規模な学習サンプルに基づく電力需要予測手法の開発では，電力システム改革に伴って生まれた電力の小売

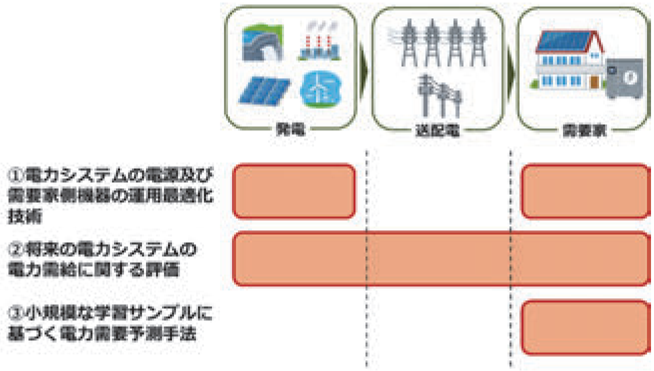


図 2 これまでの研究課題と対象とする部門

だけを行う小売電気事業者を対象にした電力需要予測手法に関する研究を行った。以降，各研究課題について詳説する。

２．１． 再生可能エネルギー大量導入に向けた電源および需要家側機器の運用最適化

本研究課題では，電力システムへの導入量が年々増加している再生可能エネルギー電源に対応するための運用技術を開発した[1]-[8]。再生可能エネルギー電源は気象条件によって発電量が増減する電源であるため，発電出力を予測する技術の開発が進められている。予測情報は誤差を含む不確実な情報であるため，その不確実性を含めて発電計画を立てる必要がある。

論文[6]では，風力発電と蓄電池が併設された風力発電所を対象に電源出力に関する技術要件を満たしながら計画的に発電する手法を提案した。風力発電出力の予測誤差に関する同時分布を構成した確率計画問題としたモデルを提案し，年間 99.7% (3 シグマ範囲相当）の時間で技術要件を満たすことのできる蓄電池容量を削減することができた。

また，再生可能エネルギー電源には短周期的な出力変動が含まれる。この出力変動に合わせて，従来は発電側だけで需給の調整を行っていたが，近年では需要側も含めてコントロールすることで必要な対策費用を抑えようとする取り組みが行われている。論文[8]では，上水道の送水ポンプを周波数調整力として活用できるようにする運転計画最適化モデルを提案した。周波数調整力を提供することで配水池の推移が変化するため，その変化量も含めて配水池の容量内に収め安定的な水供給が行えるようにした。

２．２． 再生可能エネルギーが大量導入された電力需給に関する定量的評価

本研究課題では，再生可能エネルギー電源が大量導入された将来の電力系統において，従来から連系されている火力機や水力機などが供給する必要のあるネット電力需要に関する変動特性に関する分析を行った[9]。加えて，検討されている対策（例えば，デマンドレスポンス）がもたらす運用コスト削減効果や温室効果ガス削減効果の程度を評価できる電力需給解析モデル（発電機運用に関する最適化モデル）の開発および多様なシナリオに基づいた定量的評価を行ってきた[10]-[13]。例えば論文[12]では，RE 電源の普及が進んだ 2030 年の電力システムを対象として，住宅用ヒートポンプを太陽光発電の出力抑制が増える日中にデマンドシフトした場合における発電コストおよび CO_2 排出量の削減効果について検証した。

２．３． 小規模な学習サンプルに基づく電力需要予測手法の開発

本研究課題では，電力システム改革の一環として行われた電力小売完全自由化によって生まれた，電力の小売を行う小売電気事業者の電力需要予測プロセスを対象とした研究である。小売電気事業者は，電力広域的運用推進機関に対して 1 日の自社の顧客である需要家の電力需要の総量について計画をあらかじめ報告する義務がある。また，計画と実績の乖離に応じてインバランス料金と呼ばれる金銭的ペナルティが生じるため，電力需要予測は自社の利益にかかわる重要な業務プロセスとなっている。

しかしその一方で，小売電気事業者は新規契約した需要家の電力需要データを過去 13 か月分しか入手することができない。そのため，一般電気事業者のように過去数年分の需要データを学習データとした予測ができない。そこで，本課題では小規模な学習サンプルでも予測が可能な予測手法の開発を行った。論文[16]では，小サンプルの学習データでも予測が可能なタグチの T 法をベースとした翌日最大電力需要予測手法を提案した。本論文で提案した予測手法によって，次のような成果が得られた。① タグチの T 法は原点を通る単回帰モデルに対する分散を評価し，説明変数ごとの予測誤差を重みづけする手法であるため，非線形性のある説明変数での予測精度が悪かった。そこで，非線形性の強い説明変数に対しては非線形回帰モデルを用いて分散を評価することによって予測精度の向上を達成した。② 電力需要予測に広く用いられている重回帰分析と比較して，短期間の学習データしかないケースにおいて重回帰分析よりも良好な予測精度を得ることができた。

３．これからの研究ビジョン

これからの研究活動を通じて，「低炭素社会の実現に向けたエネルギーシステム統合に関わるシステム技術および意思決定支援システムに関する研究」を行っていく。

現代社会のエネルギー供給体制の中核を担う電力システムは，解析・制御・運用の 3 つのシステム技術によって成り立っている。システムの状態を解析し，それを基に必要な制御量を計算し電圧や電流を定められた範囲に収める。さらに，事業者が負担する費用が最小となる発電機の運用計画や設備の拡充計画を決定し電力システム全体を運用する。これらの要素が密接に連携することにより，安定した電力供給体制を維持することができている。

近年，発電出力が気象条件等によって増減する VRE の導入量の増加や，電力自由化に伴う電力市場の取引量の増加により，電力・エネルギーシステムを取り巻く環境が複雑化し，状態量の不確実性がより高まっていくと想定される。そこで，システムが持つ状態量の不確実性やそれに伴うリスクを把握し，適切に制御・運用する必

要がある。また，社会と電力システムの関係性は時代とともに大きく変化する。日本の電気事業は，日本の経済発展とともに拡大し，人々の暮らしや工業をはじめとした産業を下支えする存在となった。石炭や天然ガス，石油といった化石燃料の価格高騰による電気料金の値上げとともに，日本の産業・経済に非常に大きな影響を与えてきた歴史は，電力システムの公共性を物語っている。さらに，2011年の東日本大震災によって発生した福島第一原発事故を契機に，エネルギーシステムに対して安心･安全に関する要求が高まっている。また，わが国では，温室効果ガス排出量について 2030 年には 2013 年度比で 46%削減，2050 年にはカーボンニュートラルを長期目標としている。このように，社会の変化に伴って電力システムに対する要求やそれを満足する機能・構成要素も併せて変化する。そこで，電力システムに対する要求の変化を捉え，そこから将来の電力システムに必要な機能・構成要素を考え提案する方法論が必要になる。さらに，この要求の変化は都度生じていく。この要求の変化に対しても，柔軟に計画を修正しながら電力の安定供給を維持できるシステムが必要である。

そこで，筆者は数理最適化や機械学習をベースとしたシステム技術を基盤として「環境変化に対して順応的な電力・エネルギーシステム」を実現するという研究ビジョンを立てた。順応的な電力・エネルギーシステムの概念図を図 3 に示す。先述した不確実性への対応と社会の要請への対応を踏まえた 3 要素で構成させている。

順応的というキーワードは，自然資源管理の分野で注目されている「順応的ガバナンス（Adaptive Governance）」から着想を得た。順応的ガバナンスとは，環境保全や自然資源管理のための社会的しくみ，制度，価値をその地域ごとその時代ごとに順応的に変化させながら試行錯誤していく協働のガバナンスのあり方を指す[21]。このガバナンスは，環境の不確実性を扱うだけではなく，科学の「答え」と社会の「答え」の間にあるズレに着目し，そのズレを埋めるということも目的としている。

以上のような研究の背景および研究ビジョンを踏まえ，具体的に以下のような 3 つの研究課題に取り組んでいく。

３．１．電力・エネルギーシステムを取り巻く不確実性の解析・モデリングに関する研究

電力・エネルギーシステムを取り巻く環境には様々な不確実性がある。例えば，電力需要予測や太陽光･風力発電をはじめとした VRE の発電出力予測といった様々な予測情報である。予測値には確率的な予測誤差が生じる。このような確率的事象をモデル化し，最適化モデルをはじめとした数理モデルに組み込み，計画の策定や制御を行う。しかし，計算リソースとの兼ね合いで電力・エネルギーシステムにおける確率モデルは複雑化させず簡易なモデルで扱うケースが多かった。例えば，先行研究[22]では，各時間帯の給湯需要量に対して離散的な確率分布を与えてヒートポンプ(HP: Heat Pump)給湯機等の運転計画を作成する手法を提案している。しかし，各時間帯が独立試行となっており，連続した時間を確率シナリオとして組み込むことができていない。

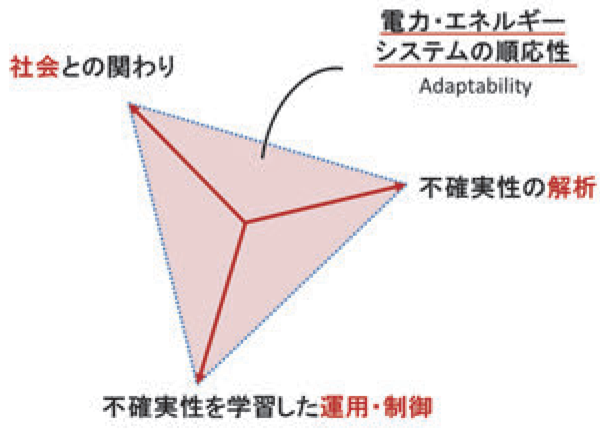


図 3 順応的な電力・エネルギーシステムのイメージ

確率モデルを簡易なものにすることで，計算コストを抑えることができる一方で供給支障の確率や供給余力の見積もりをする上で，簡易なモデルで実装することは思わぬリスクの見落としにつながる。そこで，電力・エネルギーシステムにおける短期／長期的かつ局所的／面的な不確実性の解析・モデリング手法に関する研究を推進することで，将来の電力・エネルギーシステム運用・制御におけるリスク管理に貢献したい。

３．２．不確実環境下における電力・エネルギーシステム管理・意思決定手法の創出

これまで筆者は風力発電に蓄電池が併設された発電システムを対象にして，出力予測情報を基にした不確実環境下での計画発電手法に関する研究を行ってきた[1]-[6]。この研究で得られた知見を基にして，不確実環境下における電力・エネルギーシステムの管理・意思決定手法の創出を図っていきたい。

3.1 節で述べた確率モデルをベースとして，不確実環境下における日間や週間などの比較的短期なエネルギー設備の運用や，数秒～数分オーダの超短期の発電機の確率制御や，電力・エネルギーシステムの設備投資のような長期の意思決定を扱う。

現在，パワーアカデミー研究助成の支援を受けて，ヒートポンプ給湯機や蓄電池などの需要家側機器を電力需給調整に活用するための手法に関する研究を実施している。一般家庭のような単独の需要家の電力需要や温水需要は非常に不確実性が高い。そのような環境の中でも，需要家の需要に対する供給支障リスクを最小化しつつ，電力系統全体に貢献できるような制御手法の創出を図っている。

３．３．意思決定支援を目的としたマルチタイムスケールなエネルギーシステム解析

これまで筆者は電力需給対策の便益分析の経済計算を行うための需給解析モデルに関する研究を行ってきた[10]-[14]。本研究課題はその上位モデルに関する研究である。これまでの電力需給解析モデルでは，電源や蓄エネルギー機器の容量を所与のシナリオとして

入力してきた。しかしこれでは，長期の温室効果ガス削減目標や燃料価格，炭素税や設備導入に対する補助金など多様なシナリオに対して柔軟な評価ができない。そこで，従来の電力需給解析モデルの上位モデルとして長期電力・エネルギー需給解析モデルと関連するエネルギー関連政策の費用便益分析に関する研究を行う。

これまで，電力需給の大規模計算に伴う計算コスト増大により，長期間の電力・エネルギー需給分析モデルは一年単位の需給解析[23]や 1 地域の電源計画[24]にとどまっていた。近年，HPC や最適化ソルバの高性能化により，長期の電力・エネルギー需給を評価可能になってきた。提案モデルを用いた長期分析で，我が国のみならず世界各国のエネルギー政策の定量的評価に大きな貢献をもたらすことができる。

４．おわりに

本稿では，筆者の研究紹介として，これまでの研究内容を紹介し，これから本学において実施していく研究ビジョンについて述べた。

これらの研究テーマは，多様なエネルギーリソースが統合される将来のエネルギーシステムにとって不可欠なシステム技術である。研究成果については，学会発表や論文誌への投稿に加えて，開発したソフトウェアのオープンソース化といったオープンイノベーションに向けた活動をしていきたい。さらに，社会課題に近いテーマであるため，電力会社やメーカーと共同研究や民間の研究助成を活用しながら，開発したシステム技術の社会実装に対して精力的に取り組んでいきたい。

５．参考文献

[1] 吉田孝太郎，根岸信太郎，高山聡志，石亀篤司，ランプ変動への対応を目的としたウィンドファームの発電計画手法および蓄電池必要容量の評価，電気学会論文誌Ｂ，137 (10), 687-696 (2017).

[2] K. Yoshida, S. Negishi, S. Takayama, and A. Ishigame, Scheduled Operation of Wind Farm with Battery Energy Storage System Considering Ramp Events, Proc. of The International Conference on Electrical Engineering 2017, S4-1-01 (2017).

[3] 根岸信太郎，吉田孝太郎，高山聡志，石亀篤司，風力発電所の確率論的計画発電における発電出力シナリオ生成手法，電気学会論文誌 B，138 (3)，249-250 (2018).

[4] 吉田孝太郎，根岸信太郎，高山聡志，石亀篤司，コピュラを用いた発電出力シナリオに基づくウィンドファームの確率論的計画発電，電気学会論文誌 B，138 (6)，482-493 (2018).

[5] K. Yoshida, S. Negishi, S. Takayama, and A. Ishigame, Scheduled Operation of Wind Farm with a Battery-Energy-Storage System Considering Ramp Events, Journal of International Council on Electrical Engineering, 8 (1), 144-154 (2018).

[6] K. Yoshida, S. Negishi, S. Takayama, and A. Ishigame, A stochastic scheduled operation of wind farm based on scenarios of the generated power with copula, Electrical Engineering in Japan, 205 (3), 41-54 (2018).

[7] 根岸信太郎，池上貴志：「電力系統への周波数調整力の提供を行う上水道送水ポンプの最適運用計画手法」，電気学会論文誌 B，139 (12)，757-766 (2019).

[8] S. Negishi, and T. Ikegami, Robust Scheduling for Water Pumping in Water Distribution System under Uncertainty of Activating Regulation Reserves, Energies, 14(2), 302 (2021).

[9] 根岸信太郎，高山聡志，石亀篤司，出野賢一，広瀬道雄，種村健一，岩田不二雄，太陽光発電システムの導入が進む電力系統におけるネット電力需要の長周期変動特性，エネルギー・資源学会論文誌，39 (3)，1-10 (2018).

[10] 根岸信太郎，木村圭佑，鈴木郁海，池上貴志，クラスタ化した発電機起動停止計画問題に基づく広域的電力需給解析モデル，電気学会論文誌 B，141 (10)，629-641 (2021).

[11] 鈴木郁海，根岸信太郎，池上貴志，再エネ普及シナリオに基づく長期的な太陽光・風力発電導入価値変遷の分析，電気学会論文誌 B，140 (6)，521-530 (2020).

[12] 大森洋幸，根岸信太郎，池上貴志，家庭用ヒートポンプ給湯機による電力需給調整力の提供効果の評価，電気学会論文誌 B，140 (4)，313-322 (2020).

[13] 猿橋大，根岸信太郎，池上貴志，電気自動車の充電タイミングの制御による需要シフトに関する環境的評価，電気学会電力系統技術研究会資料，PSE-22-016 (2022).

[14] 根岸信太郎，高山聡志，石亀篤司，非線形補正 T 法を用いた翌日最大電力需要予測，電気学会論文誌Ｂ，135 (3), 207-208 (2015)

[15] S. Negishi, S. Takayama, and A. Ishigame, An Insolation Forecasting Method by Taguchi's T method, 5th International Workshop on Integration of Solar into Power Systems, SIW15-46 (2015)

[16] 根岸信太郎，森本裕介，高山聡志，石亀篤司，タグチの T 法を用いた翌日最大電力需要予測，電気学会論文誌Ｃ，136 (6), 794-801 (2016)

[17] Y. Morimoto, S. Negishi, S. Takayama, and A. Ishigame, Study of Net Power Demand Forecasting by T method, Proceedings of International Conferrence on Electrical Engineering 2016, 90143 (2016)

[18] S. Negishi, S. Takayama, and A. Ishigame, Daily Load Curve Forecasting by Taguchi's T method, Proceedings of International Conferrence on Electrical Engineering 2016, 90068 (2016)

[19] S. Negishi, Y. Morimoto, S. Takayama, and A. Ishigame, Daily Peak Load Forecasting by Taguchi's T Method, Electrical Engineering in Japan, 201 (1), 57-65 (2017)

[20] 森本裕介，根岸信太郎，高山聡志，石亀篤司，PV が導入された小・中規模の電力需要に対するタグチの T 法を用いたネット需要予測，電気学会論文誌Ｃ，137 (8)，1043-1051 (2017)

[21] 宮内泰介，なぜ環境保全はうまくいかないのか 現場から考える「順応的ガバナンス」の可能性，新泉社 (2013)

[22] 尾添俊介，田中洋一，福島雅夫，リコース付き確率混合整数計画法によるスマートハウスの運用最適化，電気学会論文誌 B，131 (11)，885−895 (2011)

[23] R. Komiyama, and Y. Fujii, Long-term scenario analysis of nuclear energy and variable renewables in Japan's power generation mix

considering flexible power resources, Energy Policy, 83, 169-184 (2015).

[24] K. Poncelet, H. H¨oschle, E. Delarue, A. Virag, and W. D'haeseleer, Selecting Representative Days for Capturing the Implications of Integrating Intermittent Renewables in Generation Expansion Planning Problems, IEEE Trans. on Power Systems, 32 (3), 1936-1948 (2016).

エマルションスペクトロメーター

渋谷　寛*

Emulsion Spectrometer

Hiroshi SHIBUYA*

1．はじめに

原子核乾板は優れた空間分解能をもつ放射線飛跡検出器として素粒子・原子核研究に古くから用いられてきた[1]．近年では，種々の検出器を組み合わせたハイブリッド実験装置[2]のなかで，素粒子・原子核反応点近傍のバーテックス検出器として使用されることが多い．そうした実験装置では，荷電粒子の運動量測定と電荷符号識別を担うスペクトロメーターは通常，バーテックス検出器とは離れた下流に設置されている．原子核乾板を素粒子飛跡の精密な位置検出器として使い，磁場を印加して運動量測定と電荷符号識別を行うことができれば，実験装置全体をコンパクトにすることができ，実験設計上，有利なことは多い．こうした原子核乾板の使い方をエマルションスペクトロメーター[3]，あるいは磁場印加型エマルション検出器と呼んでいる．その利点は，原子核乾板の飛跡位置測定精度が極めて高いため，短距離でも磁場による粒子軌跡の曲がりを検出できることである．また，電源不要で狭い空間に配置できることも利点として挙げられる．本稿では，そうした原子核乾板の使用例と将来の実験における使用を目指したテスト実験を紹介する．

2．CHORUS 実験の大面積エマルショントラッカー

CERN-WA95/CHORUS 実験は，CERN SPS Wide-Band Neutrino Beam を用いて，ミューニュートリノからタウニュートリノへの振動を出現モードで探索する短基線ニュートリノ振動実験で，1994 から 1997 年にかけてデータ収集が行われた[4]．ニュートリノ源から検出器までの距離は400~800 mで，ミューニュートリノの平均エネルギーは 26.9 GeV である．探索できるニュートリノ振動のパラメーター領域は，大きな質量差Δm^2に対して$\sin^2 2\theta$の値で $4.4\ \times 10^{-4}$ [5]にまで達し，既存の実験[6]の約 10 倍の感度を持っていた．当時，ニュートリノ振動は未発見で，その存在はニュートリノに質量と混合があることを意味し，さらに当時はタウニュートリノが暗黒物質の有力な候補のひとつと考えられていたので，素粒子物理学だけでなく宇宙物理学的にも注目された実験であった[7]．CHORUS 実験装置全体を図1[4]に示す．標的兼検出器は，ニュートリノ反応の観察がしやすいように乳剤層の厚い原子核乾板（サイズは$(0.71 \times 0.36)\ \mathrm{m}^2$，厚さ 90 μm

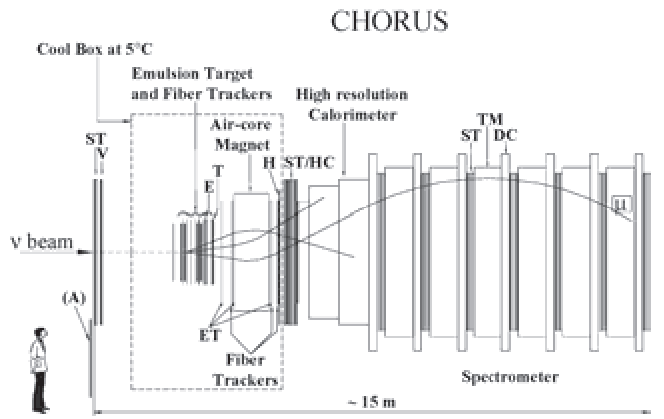


図１ CHORUS 実験装置

のTACベース両面に厚さ350 μmの原子核乳剤を塗布したもの）で，質量770 kgの標的を構成した[4, 8]．ニュートリノ振動によって出現したタウニュートリノの荷電カレント反応 $\nu_\tau N \rightarrow \tau^- X$ は，原子核乾板標的内部で起こるタウレプトンの崩壊を直接観測することによって，検出される．その崩壊の娘粒子がミューオン(μ^-)のとき，下流に設置したミューオンスペクトロメーターで電荷符号と運動量が測定され，あらかじめ設定した条件を満たせば，シグナルとなる．特にチャーム粒子のバックグラウンドを除くために，ミューオンが負電荷であることが重要で，これが CHORUS 実験のニュートリノ振動検出の基本戦略である．一方，このタウレプトンのミューオンへの崩壊分岐比は約18%であるのに対し，ハドロンへの崩壊分岐比は約65% である[9]．したがって，ハドロンに対しても電荷符号を決定し，運動量を測定できれば，ハドロンへの崩壊も解析対象に入れることにより，タウレプトンの検出効率は大きく向上する可能性がある．CHORUS 実験では，原子核乾板標的とミューオンスペクトロメーターの間に，空芯六辺形電磁石とダイヤモンド型シンチレーティングファイバートラッカーDT(Diamond shaped Tracker) からなるハドロンスペクトロメーターを設置して，10 GeV/c までの負電荷ハドロンを捉える計画であった．そこで筆者らはさらに娘ハドロンの測定可能運動量領域を向上させることを目指し，そのハドロンスペクロメーターの領域に原子核乾板からなる大型の飛跡検出器 ET(Emulsion Tracker) を挿入することを提案した．この提案はすぐ

*教授　物理学教室
Professor, Institute of Physics

に承認され，実行に移すことになった．

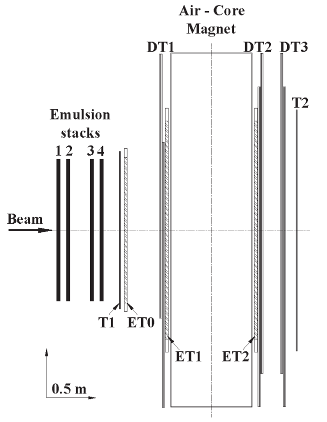


図２ 原子核乾板標的と電磁石，DT，ET からなるハドロンスペクトロメーター

図２[4, 10]には 3 層の ET（上流から ET0, ET1, ET2)の挿入場所が示されている．使用した原子核乾板のサイズは(0.74×0.37) m^2 で厚さ 800 μm のアクリルベース両面に厚さ 100 μm の原子核乳剤を塗布したものである[10]．これをラミネート紙で包み，真空パックする．そして厚さ20 mmのハニカム支持板に貼り付け，真空ポンプで吸着させる．ET0 は 8 枚の乾板をハニカム板表面に貼り付けて構成した．一方，ET1 と ET2 はそれぞれ 18 枚の乾板からなる．原子核乾板を展開し全体の面積は，ET0 の場合で(1.480×1.480) m^2，ET1 と ET2 の場合には，(2.220×2.220) m^{2}である．ハニカム支持板と各原子核乾板との位置関係は，ハニカム板に埋め込んだ X 線照射装置で対応をとった．直径約 1mm の黒い円形スポットとして乾板表面に観測できる．この ET システムの弱点は，乾板を貫通する（無関係な）荷電粒子のバックグラウンドで，測定すべき粒子飛跡と区別ができないと，電荷符号や運動量がひとつに決まらず，ET システムは機能しない．このバックグラウンドをできるだけ抑えるために，各年のデータ収集（6 か月間）の中間時に（すなわち，3 か月ごとに）乾板を新しい乾板に交換した．また，原子核乾板は長期間保存すると潜像退行により，飛跡の認識効率が低下する．これを避けるために，標的システム全体は5.0 ± 0.5℃ のクールボックスに入っている．交換のたびに，そのクールボックスの天井を開けるわけにはいかないので，設置や交換は，実験装置の中にハニカム支持板は設置しておき，折りたたんだ乾板を挿入して，展開，設置してから真空ポンプで吸着する方法が採られた．このような挿入設置ができるのも原子核乾板の利点のひとつである．ET システムは 1996 年春 CHORUS 実験装置に導入され，1996 年と 1997 年のニュートリノビーム照射によるデータ収集が行われた[10, 11]．したがって，ET の照射は全部で 4 つの期間となる．その 4 期間に対し，それぞれごく短時間電磁石の電源を切り，磁場ゼロの特別照射を行った．その時間帯にはビームに付随したミューオンが ET 乾板を含め，実験装置全体を貫通する．これを利用し，検出器全体のアラインメントを行った．取り出した原子核乾板に対し，現像後，ファイバートラッカーによる予測位置をスキャンし，対象となる荷電粒子飛跡の位置と傾きを精密に測定する．全 ET システム（3 層の原子核乾板）で当該荷電粒子飛跡が測定されると，原子核乾板同士のアラインメントの後，ET システム内で飛跡の再構成を行うことができる．

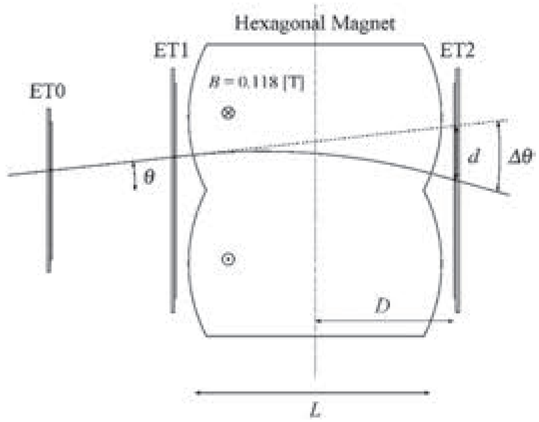


図３ 磁場による飛跡の曲がりの再構成

その原理を図 3[10]に示す．小さな曲がり角の近似で，磁場中の飛跡の曲がりによる位置の変位d(m)は，磁場に垂直な面において，次のように表される．

$$d = \Delta\theta D(1 + \tan^2\theta)$$
$$= 0.3\frac{LB}{p}D(1 + \tan^2\theta)^{3/2}$$

ここでD(m)は電磁石中心から ET2 までの距離，L(m) は電磁石の長さ，B(T) は磁束密度の大きさ，$\Delta\theta$は曲がりの角度，θは飛跡のx軸（水平軸）に対する角度で，p(GeV/c)は磁場に垂直な面における運動量の成分である．具体的な数値として，

$$D = 0.48\ \mathrm{m}, L = 0.75\ \mathrm{m}, B = 0.118\ \mathrm{T},$$

を代入し，

$$p = 10\ \mathrm{GeV}/c, \tan\theta = 0$$

の場合を考えると，変位d(m)は

$$d = 0.00127\ \mathrm{m}$$

となる．この変位 d と運動量p は反比例の関係にあるので，変位dを実測することにより，運動量pを求めることができる．

まず，電磁石オフ（磁場ゼロ）時の貫通ミューオンを用いて，変位 d を求めると，結果は$\sigma \sim 100$ μm のガウス分布となった．この値は各 ET での飛跡位置測定誤差とアラインメント誤差を反映しており，各 ET での飛跡位置測定誤差$\sigma \sim 25$ μm に対応する[10]．

ET システムの運動量測定精度は，電磁石オン時の貫通ミューオンに対して ET システムで測定した運動量とミューオンスペクトロメーターで測定した値を比較することによって見積もることができる．これを図 4[10]に示す．

結論として，ET システムの運動量分解能は

$$\frac{\Delta p}{p} = \sqrt{(0.22)^2 + (0.010p[\mathrm{GeV}/c])^2}$$

と求めることができた[10]．右辺第 1 項はハドロンスペクトロメーター部の物質による多重電磁散乱によるものである．第 2 項が位置測定誤差によるもので，DT のみの場合（$0.035p[\mathrm{GeV}/c]$）[4]と比べ，大きな改善が認められた[11]．

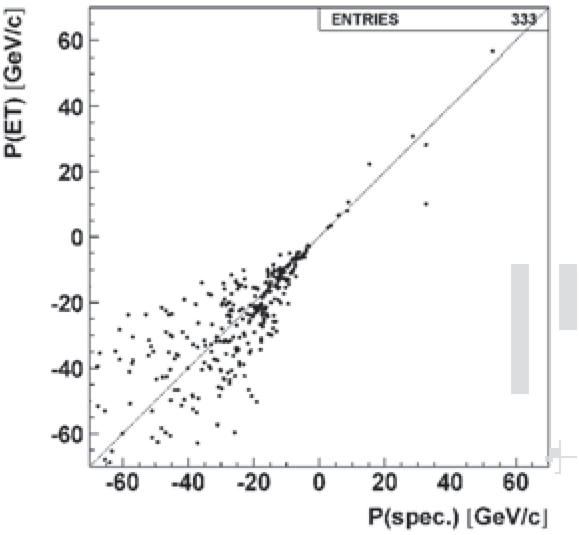


図４ 貫通ミューオンに対して，ET で測定された運動量 P(ET) vs. ミューオンスペクトロメーターで測定された運動量 P(spec)

３．永久磁石を用いた小型エマルションスペクトロメーター

タウニュートリノの存在は，Fermilab E872 実験（DONUT 実験）により，2001 年に初めて実験的に確認された[12]．その標的兼検出器は ECC(Emulsion Cloud Chamber)で，金属板と原子核乾板を交互に積層した構造である[13]．これはタウニュートリノの発見であると同時に，ECC がタウニュートリノ反応の検出に有効であることの証明である．そのすぐ下流に磁場を印加したエマルション検出器を配置できれば，全６種類のニュートリノを識別できるコンパクトで理想的なニュートリノ検出器を構成できる．そのコンパクト・エマルション・スペクトロメーターCES (Compact Emulsion Spectrometer) の基本原理を実証するため，小型の永久磁石(1 テスラ）を用いて，筆者らは KEK-PS においてビーム照射実験を行った[14, 15]．図５[14]は使用した永久磁石で，ネオジム・鉄・ボロン系焼結磁石(NEOMAX)を用いたハルバッハ型磁気回路である．全体のサイズは248 mm × 248 mm × 244 mm，検出器本体を挿入できる内部のサイズは 67 mm × 67 mm × 200 mm，中心部の磁束密度は，1.06 T でほぼ一様である．原子核乾板 3 枚からなる図６[14]のようなスタック（検出器本体）をその中に挿入した．使用した原子核乾板は標準の OPERA film[16]で，205 μm 厚の TAC ベースの両側に44 μm の乳剤層が機械塗布されているものである．中心部分 40 mm × 40 mm に穴の空いた塩化ビニル板を，原子核乾板の間に挿入して間隔を15 mm に保ち，ラミネート紙でパックした．この磁気回路と小型検出器（エマルションスタック）からなるエマルションスペクトロメーターを，KEK-PS T1 ビームラインに持ち込み，運動量0.5 GeV/c， 1.0 GeV/c，2.0 GeV/c の正電荷および負電荷のハドロンビームを照射した[14, 15]．負電荷のハドロンは主にπ中間子だが，正電荷のハドロンは主にπ中間子と陽子からなる．乾板の現像後，自動飛跡読み取り装置 UTS により，中心部の面積4 cm²内の粒子飛跡を読みとり，アラインメントを経て，ハドロンビームの粒子飛跡を 3 次元再構成した．測定の最後のステップとして，3 層の原子核乾板のうち，最上流と最下流 2 層の乾板での各飛跡の位置を直線で結び，中間の乾板で観測された飛跡位置と直線との距離サジッタs(m)を計算する．図７[14]は，上から運動量0.5 GeV/c， 1.0 GeV/c，2.0 GeV/c の正電荷および負電荷のハドロンのサジッタ分布で，よく分離できていることがわかる．

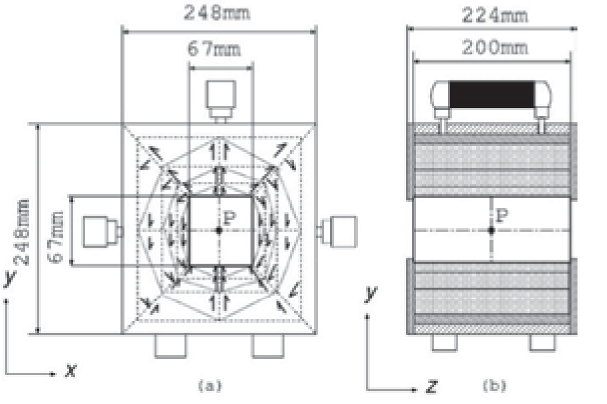


図５ ハルバッハ型磁気回路

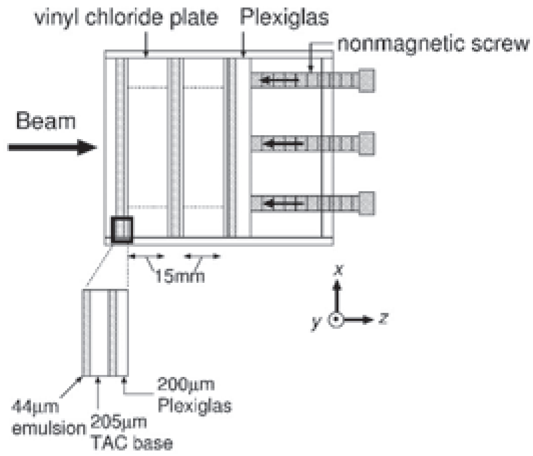


図６ エマルションスタック

さらにこのサジッタ s(m) から各粒子飛跡の運動量p(GeV/c)は，小角度近似において，

$$p(\mathrm{GeV}/c) = \frac{0.3\, z\, B(\mathrm{T})\,\left(L(\mathrm{m})\right)^2}{8s(\mathrm{m})}$$

と求めることができる．ここで，z は各粒子の電気素量eを単位とした電荷，B(T)は磁束密度の大きさ，L(m) はスペクトロターの長さである．解析の結果，運動量0.5 GeV/c， 1.0 GeV/c，2.0 GeV/c の正電荷および負電荷のハドロンビームに対して，運動量分解能$\sigma(p)/p =$ $13.3 \pm 0.3\%$ [14]で測定できることがわかった．図８[14]は測定された

ビームの運動量/電荷 p/z の分布である．これらのことから，3 層構造の薄型エマルションスペクトロメーターが，原理的にはうまく機能することがわかる．

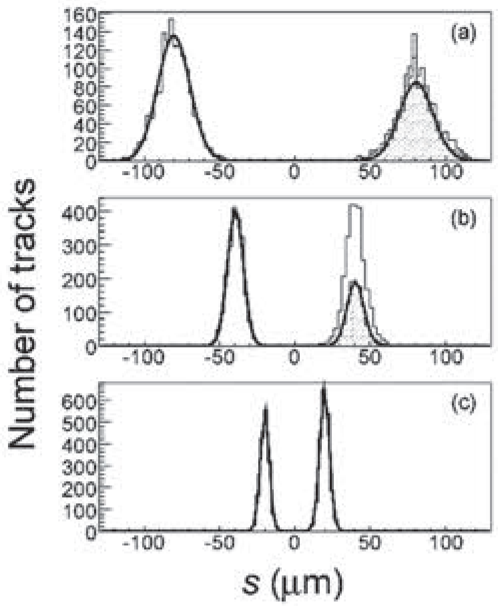


図７ 観測された正電荷粒子と負電荷粒子のサジッタの分布
(a) 0.5 GeV/c, (b) 1.0 GeV/c, (c) 2.0 GeV/c

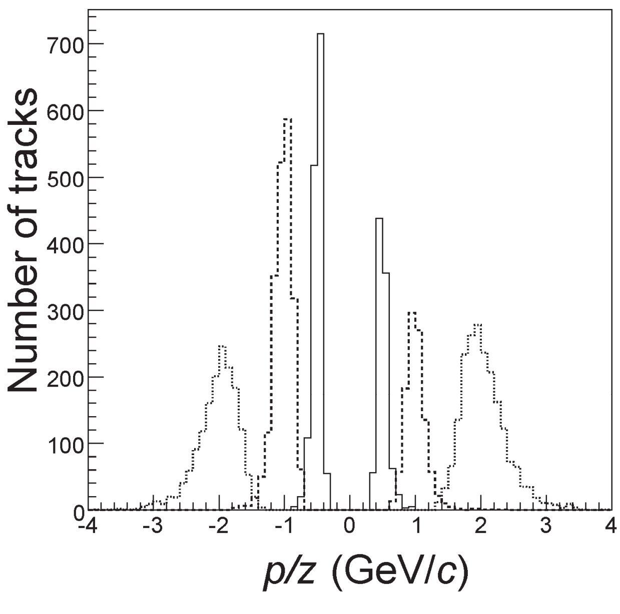


図８ 測定された正電荷粒子と負電荷粒子の運動量/電荷の分布

４．SHiP 実験における CES の実用化に向けた開発

長基線ニュートリノ振動実験 OPERA でのタウニュートリノ出現の確認[17, 18]の後，タウニュートリノの研究を進める機運が高まった．純粋なタウニュートリノビームの生成は難しいが，タウニュートリノを多く含むビームは原子番号の大きな高密度物質を標的として用いるビームダンプ法により生成可能である．このビームダンプ法による新しい研究施設を CERN に建設し，隠れた粒子を探索する SHiP(Search for Hidden Particles)実験が立案された[19]．この中でタウニュートリノ研究が可能になるので，筆者らも参画することになった．SHiP 実験計画でタウニュートリノの標的兼検出器となるのは，DONUT 実験[13]や OPERA 実験[18]でタウニュートリノ観測に実績のある ECC(Emulsion Cloud Chamber)である．これは原子核乾板と厚さ 1mm の鉛板を交互に積層した構造で，密度の高い鉛板がニュートリノの標的となり，その両側の原子核乾板を飛跡検出器として，荷電カレント反応により生成したタウレプトンの崩壊を効率よく観測する．しかし，既存の ECC では電荷符号は分からないので，タウニュートリノと反タウニュートリノを識別することはできない．そこで SHiP 実験では強力な磁場中に 3 枚の原子核乾板をそれぞれ15 mm 離して配置する CES(Compact Emulsion Spectrometer)の導入を計画している[19]．これは前述の CES 原理検証実験の応用である．標的兼検出器 ECC のすぐ下流に CES を配置して，タウニュートリノ荷電カレント反応から放出されたタウレプトンの崩壊娘粒子の飛跡の曲がりの向きからその電荷符号の正負を判別し，さらに飛跡の曲がりの大きさ（サジッタ）から運動量を測定する．この娘粒子の電荷符号により，正・反ニュートリノを判別できるので，分離した研究が可能になる．例として運動量10 GeV/cの荷電粒子の場合，1.2 T の磁場を用いても，全長30 mm の CES でのサジッタは約4 μmしかない．このサジッタの検出は通常の検出器では難しく，原子核乾板の特長を生かした装置である． CES の原理は前述のように KEK のビーム照射実験によって実証されている．しかし，この実証実験は小さな乾板（約 50 mm ×50 mm）を用いた小型 CES でビーム運動量は 0.5~2.0 GeV/c，垂直照射という限られた条件下での検証であった[14]．実際の SHiP 実験で使用するためには，原子核乾板のサイズとして標準 OPERA film[16]サイズの 125 mm ×100 mm，運動量は10 GeV/c 程度まで，また飛跡の原子核乾板に対する傾きも$\tan\theta = 0.3$ 程度まで，測定可能領域を拡張する必要がある．そのためには，原子核乾板自体の平面性や一様性がより厳しく要求されるので，CES 本体のスタックも大きくなった乾板の平行性を保ち，長い照射期間にわたって固定する構造が必要である．さらに，解析方法やその手順についても，大量の粒子飛跡を処理し，電荷符号識別と運動量測定を

可能にする方法を確立する必要がある．これらの課題を解決し，使用条件を満たす CES 原型を作り上げ，加速器ビームや宇宙線を照射してその性能を確認し，この技術の実用化を推進する研究を行った．具体的には以下の項目を検討課題とした．(1) 原子核乾板は透明なベースの両面に乳剤を塗布したものである．平面性と扱いやすさを考え，ベース材料として最適なものは何か．(2) CES 構造体として最適なものはどのようなものか．低密度物質をスペーサーとして乾板間に挿入して，乾板間の距離を保証するか，それとも中央部分に穴を空けた枠の構造体か．(3)大量の自動解析に適した解析方法はどのようなものか．これらを念頭に，研究を進めた．検討課題(1) のベース素材としては，厚さ約200 μmのポリスチレンシート，アクリル板，ガラス板の三種類の候補それぞれの原子核乾板を作製した．また，検討課題(2)の CES 構造体として，低密度物質としてロハセル板（$\rho = 0.057\ \mathrm{g/cm^3}$）を用い，バネで押さえ込む構造体，アクリル製枠で乾板間に空気ギャップをつくる構造体の 2 種類を原型として作製した．これらを 2017 年 8 月，CERN に持ち込み，PS T9 ビームラインにて磁束密度 1 T の電磁石 MNP17 の内部に挿入して，運動量 $1\ \mathrm{GeV}/c$ ~$10\ \mathrm{GeV}/c$ の正電荷および負電荷のハドロンビームを照射した[20]．

この加速器ビーム照射実験の結果，わかったことをまとめる[20, 21]．

・運動量$1\ \mathrm{GeV}/c$ から$6\ \mathrm{GeV}/c$ までの電荷符号が正・負のハドロンビームのサジッタを測定したところ，きれいに分離できることがわかった（測定可能な運動量領域の拡張）．この結果を図９[21]と図１０[21]に示す．

・使用した原子核乾板の中央部（全乾板面の約半分の面積）において，飛跡のサジッタをよい分解能で測定できることがわかった（測定可能な CES 面積の拡張）．

・粒子飛跡の乾板に対する傾きが，$\tan\theta = 0.3$まで，飛跡のサジッタをよい分解能で測定できることがわかった（測定可能な角度領域の拡張）．

すなわち，当初の目標のうち，測定可能領域拡張の目標はほぼ達成できた．また，CES 製作に関して，以下の知見を得た．

・ベース素材としては，ガラス板が最適である．ただし，今回の加速器ビーム照射実験で試したガラス板厚さ200 μm では，特別に注意深い取扱いを必要とすることがわかった．

・CES 構造体として，低密度スペーサーを乾板の間に挟む構造のスタックは，低密度スペーサーとして使用したロハセル板の厚みの一様性が十分ではなく，またバネで押すことによるたわみも観測され，本研究に必要なサジッタ測定には十分な性能ではない．一方，空気ギャップを作り出す枠型の CES 構造体は，乾板を押さえる機構を工夫し，ガラス板を厚くすれば，改良型を作れそうなことがわかった．

その後の SHiP 実験グループの内部では，ECC には金属板として，より平面性が高く密度も大きいタングステン合金板を使用し，サイズも400 mm × 400 mm にすることが検討されている[22]．それに伴って CES も大型化することになる．構造体やその材質も含め，現実化のためにはさらなる改良や工夫が必要になるが，上述の CES 構造体を基本的なモジュールとして，これを積み重ねていけば解決可能と考えられる．

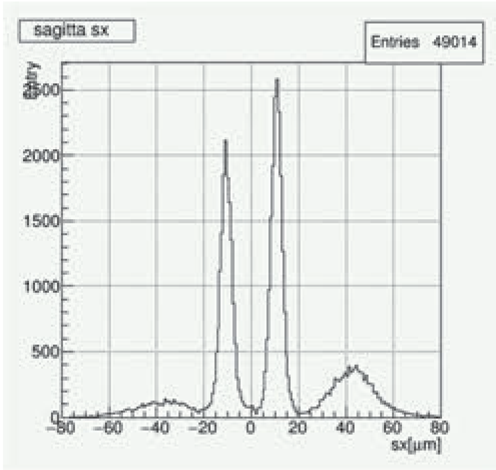


図９ 観測された正電荷粒子と負電荷粒子のサジッタ分布
（運動量 $1\ \mathrm{GeV}/c$, $4\ \mathrm{GeV}/c$ ）

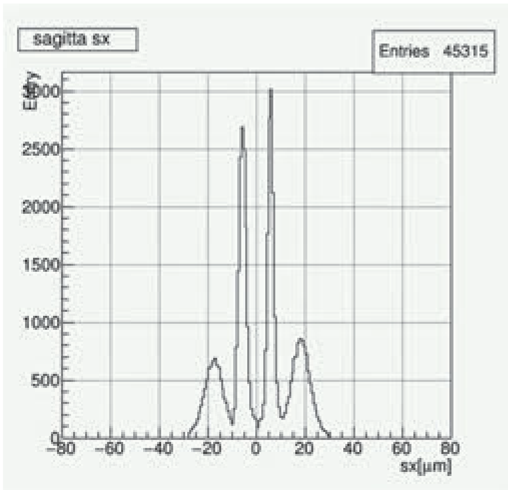


図１０ 観測された正電荷粒子と負電荷粒子のサジッタ分布
（運動量 $2\ \mathrm{GeV}/c$, $6\ \mathrm{GeV}/c$ ）

５．まとめと今後の展望

原子核乾板の技術も反応点近傍の観測という伝統的な使用法からラジオグラフィーやガンマ線天文学への応用[23, 24]などその使われ方は広がっている．本稿では，原子核乾板を高精度な粒子飛跡位置検出器として用い，磁場と組み合わせたエマルションスペクトロメーターについて，その使用例とテスト実験の結果を紹介した．ニュートリノ実験においては，荷電カレント反応から放出されたレプトンの電荷符号の識別は正・反ニュートリノの判別に直接つながる重要な技術である．エマルションスペクトロメーターの技術が今後，特にタウニュートリノ関連の研究でその真価を発揮し，新しい物理の発見に寄与することを期待している．

参考文献

[1] a) S. Kinoshita, The Photographic Action of the α-Particles emitted from Radioactive Substances, Proc. Roy. Soc. 83A, 432-458 (1910); b) C.M.G. Lattes, H. Muirhead, G.P.S. Occhialini and C.F. Powell, Processes Involving Charged Mesons, Nature 159, 694-697 (1947); c) K. Niu, E. Mikumo and Y. Maeda, A Possible Decay in Flight of a New Type Particle, Prog. Theor. Phys. 46, 1644-1646 (1971).

[2] a) E.H.S. Burhop et al., Observation of a likely example of the decay of a charmed particle produced in a high energy neutrino interaction, Phys. Lett. 65B, 299-304 (1976); b) N. Ushida et al. (Fermilab E531 Collaboration), Measurement of the D^0 Lifetime, Phys. Rev. Lett. 45, 1049-1052; c) N. Ushida et al., Measurement of D^+, F^+, and Λ_c^+ Charmed-Particle Lifetimes, Phys. Rev. Lett. 45, 1053-1056; d) N. Ushida et al. (Fermilab E531 Collaboration), Experimental details on Lifetime Measurements of Neutrino-Produced Charmed Particles in at Tagged Emulsion Spectrometer, Nucl. Instrum. Meth. 224, 50-64 (1984); e) K. Kodama et al. (Fermilab E653 Collaboration), Hybrid Emulsion Spectrometer for the Detection of Hadronically Produced Heavy Flavor States, Nucl. Instrum. Meth. A 289, 146-167 (1990).

[3] a) T. Hayashino et al., A new method for momentum measurement of particle tracks in nuclear emulsions, Nucl. Instrum. Meth. A 255, 482-485 (1987); b) Tests of a magnetic emulsion spectrometer by high-energy heavy ions, Nucl. Instrum. Meth. A 271, 518-522 (1988); c) S. Buontempo et al., The compact emulsion spectrometer, Nucl. Instrum. Meth. A 457, 464-470 (2001).

[4] E. Eskut et al. (CHORUS Collaboration), The CHORUS experiment to search for $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ oscillation, Nucl. Instrum. Meth. A 401 7-44 (1997).

[5] E. Eskut et al. (CHORUS Collaboration), Final results on $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ oscillation from the CHORUS experiment, Nucl. Phys. B 793, 326-343 (2008).

[6] N. Ushida et al. (Fermilab E531 Collaboration), Limits to $\nu_\mu, \nu_e \rightarrow \nu_\tau$ Oscillations and $\nu_\mu, \nu_e \rightarrow \tau^-$ Direct Coupling, Phys. Rev. Lett. 57, 2897-2900 (1986).

[7] H. Harari, Light neutrinos as cosmological dark matter. A crucial experimental test, Phys. Lett. B 216 413-418 (1988).

[8] S. Aoki et al., Nuclear emulsions in a large hybrid experiment (CHORUS) to search for $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ oscillations, Nucl. Instrum. Meth. A 447, 361-376 (2000).

[9] P.A. Zyla et al. (Particle Data Group), Review of Particle Physics, Prog. Theor. Exp. Phys. 2020, 083C01 (2020).

[10] S. Aoki, J. Dupraz, J.P. Fabre, W. Flegel, T. Hara, Y. Ishii, T. Kawamura, D.C. Kim, T. Kurihara, E. Niu, S. Ogawa, H. Shibuya, J.S. Song, G. Van Beek, P. Vilain, J. Watanabe, G. Wilquet and C.S. Yoon, The large area emulsion tracker of the CHORUS experiment, Nucl. Instrum. Meth. A 488, 144-154 (2002).

[11] a) T. Kawamura, Development of Large Area Emulsion Tracker for the CHORUS Experiment, Ph.D. Thesis, Toho University (1999); b) T. Kawamura, Developments in the Emulsion Technique, Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) 85, 105-110 (2000).

[12] a) K. Kodama et al. (DONUT Collaboration), Observation of tau neutrino interactions, Phys. Lett. B 504, 218-224 (2001); b) K. Kodama et al. (DONuT Collaboration), Final tau-neutrino results from the DONuT experiment, Phys. Rev. D 78, 052002 (2008).

[13] K. Kodama et al. (DONUT Collaboration), Detection and analysis of tau neutrino interactions in DONUT emulsion target, Nucl. Instrum. Meth. A 493, 45-66 (2002).

[14] C. Fukushima, M. Kimura, S. Ogawa, H. Shibuya, G. Takahashi, K. Kodama, T. Hara and S. Mikado, A thin emulsion spectrometer using a compact permanent magnet, Nucl. Instrum. Meth. A 592, 56-62 (2008).

[15] 福島知佳，ニュートリノ・反ニュートリノ反応識別のための薄型エマルションスペクトロメーターの基礎研究，博士論文，東邦大学 (2008).

[16] The OPERA film: New nuclear emulsion for large-scale, high-precision experiments, Nucl. Instrum. Meth. A 556, 80-86 (2006).

[17] a) N. Agafonova et al. (OPERA Collaboration), Discovery of τ Neutrino Appearance in the CNGS Neutrino Beam with the OPERA Experiment, Phys. Rev. Lett. 115, 121802 (2015); b) N. Agafonova et al. (OPERA Collaboration), Final Results of the OPERA Experiment on ν_τ Appearance in the CNGS Neutrino Beam, Phys. Rev. Lett. 120, 211801 (2018).

[18] R. Acquafredda et al. (OPERA Collaboration), The OPERA experiment in the CERN experiment in the CERN to Gran Sasso neutrino beam, JINST 4, P04018 (2009).

[19] M. Anelli et al. (SHiP Collaboration), Technical Proposal, A Facility to Search for Hidden Particles (SHiP) at the CERN SPS, CERN-SPSC-2015-016/ SPSC-P-350 (2015).

[20] 河野歩実，SHiP 実験へ向けたコンパクトエマルションスペクトロメーター，修士論文（東邦大学），(2019).

[21] 河野歩実，SHiP 実験へ向けたコンパクトエマルションスペクトロメーターの開発，日本物理学会第 74 回年次大会 14aK305-06, 九州大学伊都キャンパス (2019.3).

[22] SHiP Collaboration, SHiP Experiment PROGRESS REPORT, CERN-SPSC-2019-010 / SPSC-SR-248 (2019).

[23] K. Morishima, A. Nishio, M. Muto, T. Nakano and M. Nakamura, Development of nuclear emulsion for muography, ANNALS OF GEOPHYSICS, 60, S0112 (2017).

[24] a) S. Takahashi, S. Aoki, K. Kamada, S. Mizutani, R. Nakagawa, K. Ozaki and H. Rokujo, GRAINE project: The first balloon-borne, emulsion gamma-ray telescope experiment, Prog. Theor. Exp. Phys. 2015, 043H01 (2015); b) K. Ozaki, S. Aoki, K. Kamada, T. Kosaka, F. Mizutani, E. Shibayama, S. Takahashi, Y. Tateishi, S. Tawa, K. Yamada, H. Kawahara, N. Otsuka and H. Rokujo, Development of new-type nuclear emulsion for a balloon-borne emulsion gamma-ray telescope experiment, JINST 10 P12018 (2015).

金属錯体を用いた弾性結晶繊維の開発

楠本壮太郎*

Elastic crystalline fibres composed of metal complex

Sotaro Kusumoto*

1．緒言

エラストマー、高分子ポリマー、液晶・柔軟結晶などのソフトマテリアルは、フレキシブルエレクトロニクス、光学デバイス、センサー、人工筋肉、スマートナノマテリアルなどの分野への応用が期待され、大きな注目を集めている。特に、高秩序なソフトマテリアルである応力に応答可能な柔軟な結晶系は、近年ますます注目されている[1-3]。結晶が破壊されることなく可能な応答は、、結晶の弾性と塑性に大別される。弾性変形とは、結晶に応力が加えられ、変形が生じるが、応力を取り除くと 100%元に戻る。対して塑性変形とは、結晶に応力を加えると同様に変形するが、力を取り除くと曲げられた結晶は 元には戻らず永久変形となる変形のことを言う。これら応力に柔軟な結晶の研究は、カフェイン共結晶での発見を機に盛んになった比較的新しい研究分野である[4]。結晶の弾性曲げは、結晶内で分子が滑ることなく応力に対応して、分子間が伸縮することで生じる[5]。結晶の塑性曲げは、異方的な分子間相互作用強度の存在が重要であり、弱い相互作用が切断及び回復することによって、永久変形である塑性変形が起きる[6]。近年、ここ 2,3 年で有機結晶の柔軟性（弾性・塑性）の例が多く報告されているが、金属錯体結晶における同様の報告は非常に限られている[5, 7-11]。

新しいタイプの繊維を作ることは、材料科学において重要な、発展途上の研究分野である。最近、π 共役分子からなるセンチメートルスケールの弾性有機結晶を機械的に分割・剥離し、結晶繊維を得ることが報告されている。これは光化学的あるいは熱的刺激による結晶破壊(サーモサリエント、フォトサリエント)とは異なる[12,13]。機械的刺激によって変形する弾性単結晶の開発とその機構の解明は、様々な用途に適した形状の単結晶を製造することができるため、結晶工学の重要な研究分野である。

ここでは、新しい例として、金属錯体による弾性結晶繊維の形成とその特性について報告する。H_2salophen = N,N′-bis(salicylidene)-o-phenylenediamine] の Ni(II)錯体の板状結晶に機械的刺激を加えると、結晶繊維に成形可能であることを見出した。また、機械的な刺激による分割の挙動は、再結晶溶媒を変えることで制御できる。

*助教　物質生命化学科
Assistant Professor, Dept. of Material and Life Chemistry

2．結晶の合成と応力刺激に対する挙動

H_2(salophen)とその Ni (II)錯体(**1**)を既報の手順で調製した。

1 と 1-1.5CHCl$_3$ の結晶は、メタノール（**1**）とクロロホルム（**1**-1.5CHCl$_3$）から再結晶させ、それぞれの溶媒をゆっくりと蒸発させることにより得た（図 1）。**1** の結晶面を決定し、その結果を図 3c に示す。

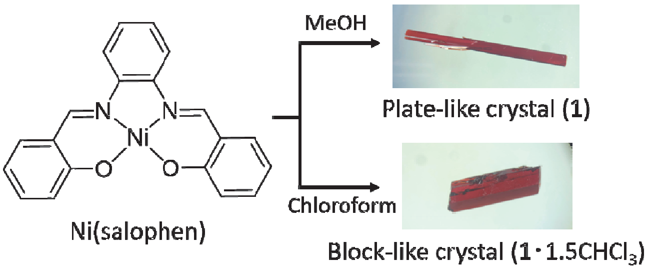


図 1. 板状(**1**)とブロック状(1-1.5CHCl$_3$)の形成および Ni(salophen)の再結晶に使用する溶媒の違いによる結晶形状の変化。

1 の直線結晶の(001)面を金属針で押すと(反対側の端をピンセットで押さえながら)、曲がった形状に変化した。同時に、長さ方向に平行に分裂し、繊維状結晶が得られた（図 2a)。このような弾性有機結晶（π 共役分子からなる）の分裂は、これまでにも観察されたことがあるが[14]、知る限りでは 金属錯体で同様の挙動を示した報告は 1 件のみである[5]。1 の繊維状結晶をループ状に曲げ、ガラス板を外すと、結晶はすぐに元の状態に戻った（図 2b, c)。曲げ戻しのサイクルは何度も行うことができた。結晶の曲げは一方向にしか観察されなかった。*c* 方向に沿って曲げることは可能だが、*b* 方向に沿って曲げると即座に破壊された。これは結晶の構造異方性を反映していると言える。曲げひずみ（ε_n）は、オイラー・ベルヌーイ方程式 $\varepsilon_n = (t/2R)$ を用いて見積もられる。ここで、*t* は結晶の厚さ(26.1μm)、*R* は弾性の限界まで曲げた結晶の半径であり 129 μm と測定された。これらのデータから計算される 1 の ε_n 値は 10.1%であり、ほとんどの分子性結晶は 1 より低いことが示されているため、これまで報告されている値よりもかなり高いことがわかる。例えば、CdBr$_2$(Brpz)$_2$]$_n$[8]では 0.8%、1,4-bis[2-(4-メチルチエニル)]-2,3,5,6-テトラフルオロベンゼンでは 4.3%[15]、dithieno [3,2-a:2′,3′-c]phenazine では 2.8%[16]だが 1,4-bis [2-(4 methylthienyl)]-2,3,5,6 tetrafluorobenzene では 14.28%[17] である

ことが示された。結晶の厚みや円弧半径の測定誤差の可能性を考慮しても、ε_n の値が 10.1%というのは、これまで報告されている金属錯体の結晶の中で最も高い値であることがわかる。

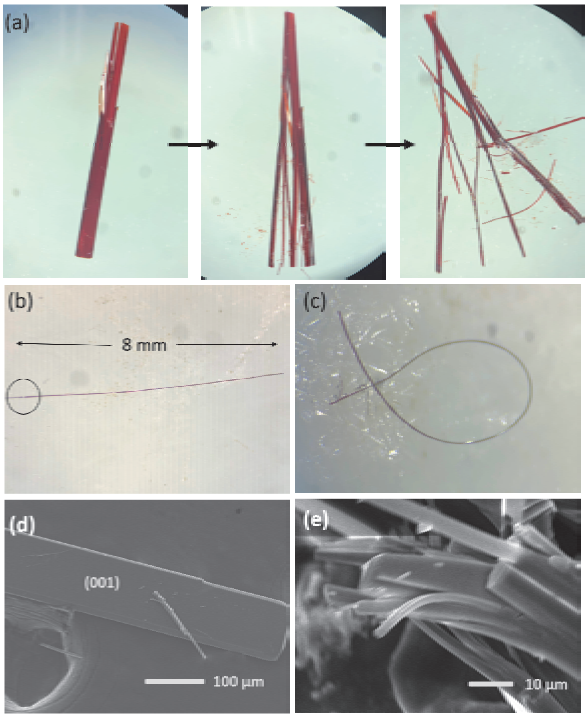


図 2. (a) 機械的刺激による板状結晶の繊維状結晶への段階的変換。(b,c) 繊維状結晶の弾性曲げ. (d)板状結晶の SEM 画像。(e)機械的な力によって剥離した結晶繊維の先端。

クロロホルムからの再結晶で得られた **1**-1.5$CHCl_3$ のブロック状結晶は、厚さ 30μm 以上、幅 50μm 以上、長さ 1-5mm であった。**1**-1.5$CHCl_3$ は結晶 **1** とは異なり、ピンセットで持ち、金属針で最大面の中央を押すと、曲がることなく割れることが分かった。

図 2d,e に、1 の板状結晶と繊維状結晶の両方の走査型電子顕微鏡（SEM）画像を示す。板状結晶の（001）面は滑らかな表面を呈し、これは多結晶ではないことを示している（図 2d）。さらに、分割前と分割後の 1 の結晶は、すべての面で平滑であることがわかる。また、細い繊維が曲がったり、ねじれたりしているものも観察され、高い柔軟性があることがわかる。また、板状結晶は、機械的刺激を与えると、非常に細い繊維（厚みと幅が 5μm 以下）に成形可能であることが分かった（図 2e）。

3．単結晶構造解析

1 と **1**-1.5$CHCl_3$ の単結晶 X 線構造解析(SXRD)を行い、構造と曲げの関係を調査した（図 3）。**1** は格子空間群 $P2_12_12_1$ で Z=4 で結晶化した。結晶格子内には溶媒分子は存在しなかった。外側のベンゼン環の間に形成される二面角は 13.44° で、この分子がわずかに湾曲した形状をとっていることがわかる（図 3b)。これらは Ni---π 相互作用（d = 3.83 Å）および C---O 相互作用（3.04 Å）により［100］方向に滑り積層されている（図 3c)。これらの 1 次元分子は隣接する 1 次元配列と C-H---π 相互作用（d = 2.81 Å）および水素結合（d = 2.33-2.56 Å）により相互作用していた。**1**-1.5$CHCl_3$ は空間群 $P\bar{1}$ で 2 つの独立した錯体として結晶化した。その 1 次元分子間配列は、Ni(salophen)分子間の[010]方向の π---π 相互作用（d = 3.76-4.76 Å）により安定化されていた。2 つの独立した Ni(salophen)分子は、head-to-tail で配置され、Ni-Ni 距離が 3.32Å と 3.14Å の短い 2 量体を形成していた。クロロホルム分子は 1 次元配置間に置かれ、積層 Ni(salophen)錯体のフェノキシ基と水素結合（d = 2.07-2.14Å）を形成していた。このことから、クロロホルム分子を結晶に導入することで、機械的に脆い結晶形成に繋がった。

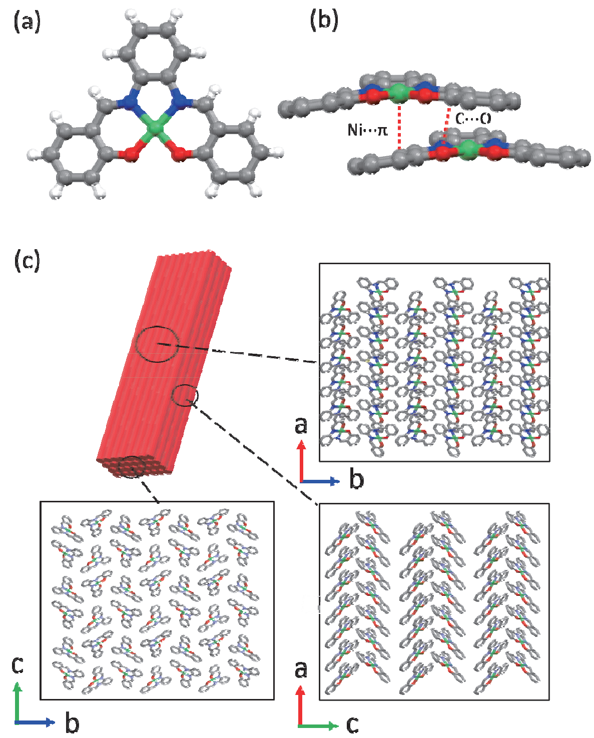


図 3. (a)1 の分子構造 (b)二分子間の Ni---π と C---O の分子間相互作用による積層 (c)1 の結晶の Faxe index による模式図

4．分子間相互作用強度計算を用いた柔軟性の考察

さらに錯体の定量的な分子間相互作用を調べるために、エネルギーフレームワーク解析を適用した[18]。エネルギーフレームワークとは、結晶中の分子間の相互作用を、分子対の相互作用エネルギー（IE）の強さに基づきマッピングしたもので、円筒形のチューブで表現される。チューブの太さは、それぞれの二量体の安定化エネルギーの強さに比例している。最近、エネルギーフレームワーク解析により、分子間相互作用強度と結晶の硬さの関係が明らかにされつつある。**1** と **1**-1.5$CHCl_3$ のエネルギーフレームワークを図 4 に示す。1 の相互作用トポロジーでは、最も太いチューブ（IE = -78.5 kJ mol^{-1}）で表されるほぼ平面状の分子が最もエネルギー的に安定化されていることがわかる。他の相互作用トポロジーは、より小さな円筒形のチューブ（-5.6～-41.4 kJ mol^{-1}）で表現される。これらの異方的な相互作用トポロジーは、高弾性や結晶性繊維への機械的成形に重要な役割を果たすことが考えられる。**1**-1.5$CHCl_3$ の相互作用トポロジーでは、b 軸方向のニッケル錯体間の π-π 相互作用に基づく強い相互作用（IE = -115 kJ mol^{-1}）と ac 面内のクロロホルムとの水素結合による強い相互作用（IE = -128.2 kJ mol^{-1}）が観察された。錯体 1 と比較して、結晶 **1**-1.5$CHCl_3$ には強い相互作用が存在するため、弾

性変形時の曲げひずみに対応する分子のストレスを緩和能力が低くなっていることがわかった。

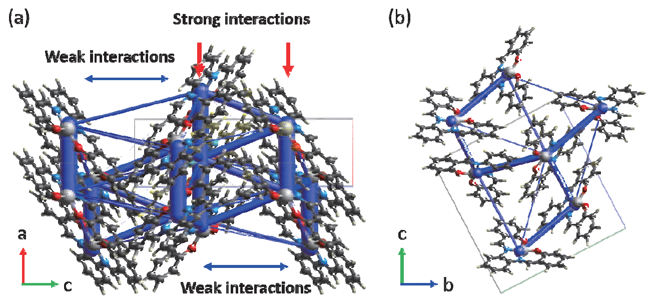


図 4．エネルギーフレームワーク解析。分子間相互作用の Total energy を（a）b 軸方向から見た場合と（b）a 軸方向に見た場合

５．放射光を用いた局所 X 線構造解析

応力を受けた弾性結晶が、機械的応力の除去後に回復する場合、すべての分子が元の（熱力学的に安定な）状態に戻らなければならない。これを考察するために、**1** の繊維状結晶をループ状に曲げて単結晶 X 線に装着し、オーストラリアの放射光で可能なマイクロフォーカス XRD を用いてこの現象を評価した（図 5）。繊維状結晶の直線部分の XRD パターンとは対照的に、曲げた部分にはいくつかの細長い回折点が見られた。これは、分子間の非共有結合が伸びたり縮んだりして長距離秩序が失われ、曲げによって生じた分子間距離の差が反映されているためと考えられる（図 6）。

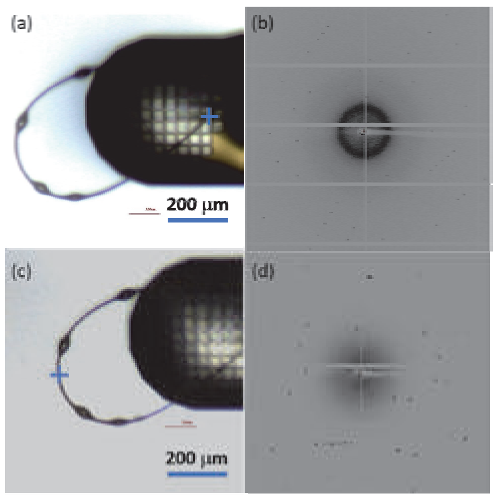


図５．ループ状に曲げた 1 の結晶と、マイクロビーム（直径 7.5μm）で得られた回折パターン。結晶の直線部分(b)と曲げた部分(d)の回折パターン（図 a、c の中の青い×印は X 線焦点）。

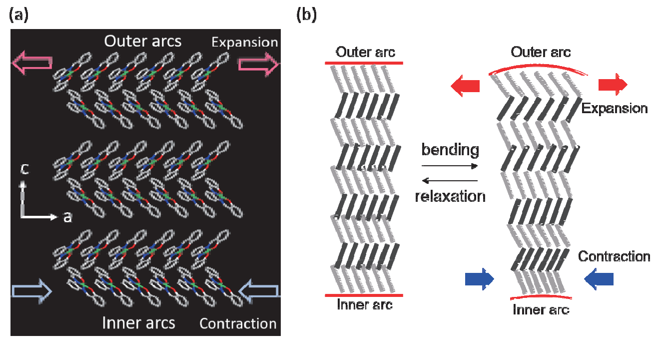


図 6. (a) b 軸方向から見た分子充填構造。(b) 弾性屈曲のメカニズムを図式化したもの。

６．まとめ

結論として、Ni^{II}(salophen)からなる弾性的に柔軟な結晶を報告した。これはサレン配位子ファミリーの金属錯体単結晶として初めて柔軟な挙動（塑性または弾性）を観察したものである。また、機械的な刺激により、1 の板状結晶を繊維状結晶に変化させることができることを実証した。この変化は、Ni(salophen)分子がほぼ平面的にスリップスタックした 1 次元集合体の存在を反映している。また、クロロホルムを結晶格子に取り込むことで、結晶の堅牢性を調整できることも確認された。本研究は、電子デバイスへの応用が期待される金属錯体ベースの新規結晶性繊維のさらなる開発への扉を開くものである。この目標に向けて、現在、サレンをベースとしたπ共役型配位子を持つ他の金属錯体の研究を進めている。

謝辞

本研究は、筆者が博士課程において熊本大学 速水研究室にて行った研究(Inorg. Chem., 2021)である。本研究を進めるにあたって、ご指導いただきました速水真也先生、中村政明先生、Yang Kim 先生、オーストラリアの放射光での測定をしてくださった Yingjie Zhang 先生、実験を手伝ってくださった杉本祥君には厚く御礼申し上げます。

参考文献

[1] A. J. Thompson, A. I. C. Orué, A. J. Nair, J. R. Price, J. McMurtrie and J. K. Clegg, *Chem. Soc. Rev.*, 2021, **50**, 11725-11740.

[2] S. Das, A. Mondal and C. M. Reddy, *Chem. Soc. Rev.*, 2020, **49**, 8878-8896.

[3] P. Naumov, S. Chizhik, M. K. Panda, N. K. Nath and E. Boldyreva, *Chem. Rev.*, 2015, **115**, 12440-12490.

[4] S. Ghosh and C. M. Reddy, *Angew. Chem., Int. Ed.*, 2012, **51**, 10319-10323.

[5] A. Worthy, A. Grosjean, M. C. Pfrunder, Y. Xu, C. Yan, G. Edwards, J. K. Clegg and J. C. McMurtrie, *Nat. Chem.*, 2018, **10**, 65‐69.

[6] M. K. Panda, S. Ghosh, N. Yasuda, T. Moriwaki, G. D. Mukherjee, C. M. Reddy and P. Naumov, *Nat. Chem.*, 2015, **7**, 65‐72.

[7] M. Yoshida, Y. Makino, T. Sasaki, S. Sakamoto, S. Takamizawa, A. Kobayashi, M. Kato, *CrystEngComm*, 2021, **23**, 5891-5898.

[8] B. Bhattacharya, A. A. L. Michalchuk, D. Silbernagl, M. Rautenberg,

T. Schmid, T. Feiler, K. Reimann, A. Ghalgaoui, H. Sturm, B. Paulus, F. Emmerling, *Angew. Chem., Int. Ed.,* 2020, **59**, 5557-5561

[9] B. B. Rath, J. J. Vittal, *Chem. Mater.,* 2021, **33**, 4621-4627.

[10] M. Pisačič, I. Biljan, I. Kodrin, N. Popov, Z. Soldin, M. Đakovic, *Chem. Mater*., 2021, **33**, 3660-3668

[11] M. Dakovic, M. Borovina, M. Pisacic, C. B. Aakeroy, Z. Soldin, B. -M. Kukovec, I. Kodrin, *Angew. Chem. Int. Ed.,* 2018, **57**, 14801-14805.

[12] B. B. Rath and J. J. Vittal, *J. Am. Chem. Soc.,* 2020, **142**, 20117-20123.

[13] K. Omoto, T. Nakae, M. Nishio, Y. Yamanoi, H. Kasai, E. Nishibori, T. Mashimo, T. Seki, H. Ito, K. Nakamura, N. Kobayashi, N. Nakayama, H. Goto and H. Nishihara, *J. Am. Chem. Soc.,* 2020, **142**, 12651-12657.

[14] S. Hayashi and T. Koizumi, *Chem. Eur. J.,* 2018, **24**, 8507-8512.

[15] S. Hayashi, T. Koizumi, *Angew. Chem., Int. Ed.,* 2016, **55**, 2701-2704.

[16] M. Annadhasan, A. R. Agrawal, S. Bhunia, V. V. Pradeep, S. S. Zade, *Angew. Chem., Int. Ed.,* 2020, **59**, 13852-13858.

[17] S. Hayashi, T. Koizumi, *Chem. - Eur. J.,* 2018, **24**, 8507−8512.

[18] M. J. Turner, J. J. McKinnon, S. K. Wolff, D. J. Grimwood, P. R. Spackman, D. Jayatilaka, M. A. Spackman, CrystalExplorer17.

航空機騒音の音響情報を用いた機械学習による機種識別

森長　誠*

Aircraft model identification using acoustic information of aircraft noise by machine learning

Makoto MORINAGA*

１．はじめに

近年，欧米諸国を中心として，環境騒音による生理ストレス反応が心臓血管系疾患の罹患リスクを増大させるとの見解を示す研究が盛んに報告されている[1]．この背景の下，2018 年に WHO 欧州事務局が環境騒音ガイドライン[2]を策定し，騒音レベルの勧告値が示された．一方，我が国における各種の交通騒音の環境基準は，いずれも制定から数十年が経過しており，2020 年に環境省は，騒音の環境基準の再評価を行うための検討業務を実施し，欧米とは身体的・社会文化的な違いがあり WHO の勧告値をそのまま我が国に適用することは困難であるため，我が国独自のデータに基づいて騒音の曝露－反応関係を構築することが必要不可欠であるとの意見がなされた．特に航空機騒音に関しては調査事例が殆ど無く，調査の実施と騒音曝露量に対する各種アウトカムの発生割合（曝露-反応関係）の把握が喫緊の課題とされている[3].

騒音の曝露-反応関係は社会調査や疫学調査によって反応データを収集するのはもちろん，長期間を代表する騒音の曝露量を推計する必要がある．民間空港や自衛隊・米軍飛行場の周辺において，長期間を代表する航空機騒音の曝露状況を面的に推定するためには，機種別および離着陸別の音源データ, 飛行経路, 飛行回数をパラメータとした予測計算によるノイズマップの作成が必要である．これらのパラメータの内，機種別および離着陸別の飛行回数に関して，国または航空会社が主体の調査では実際の運行記録を使用できるが研究ベースでの調査の多くは，空港の時刻表や Web 上で公開されている Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B)の記録等により回数を推定している．しかしながら，時刻表は必ずしも実績と一致しないことや ADS-B での捕捉に必要な Mode S のトランスポンダ信号を発信していない航空機も存在するなど，いずれの推定にも誤差が生じる. 自衛隊の飛行場周辺の調査でも, 米軍飛行場の場合は，飛行実績に関する情報の入手が困難であると考えられ，また，自衛隊機・米軍機ともに，一部の輸送機以外は Mode S のトランスポンダ信号を発信しておらず, ADS-B を利用した回数の推定は不可能である．このため，我々は，航空機騒音の発生源となる機種を無人で識別することを目的として，音響情報を用いた機械学習による機種識別システムの開発を進めている．本稿では大阪国際空港および成田国際空港の周辺で取得した騒音データから機種識別を試みた結果を紹介する．

２．本稿で使用している機械学習の手法

本稿で紹介する手法は，教示あり学習である Convolutional Neural Network (CNN) を使用している．CNN は主として画像識別の分野で用いられる手法であり，画像の色の濃淡を 2 次元の数値データに変換することで分析が可能となる．色の RGB も考慮する場合，3 次元の配列による数値データでの分析となる．本稿の分析では，単発騒音イベントにおける 1 s 間隔の 1/3 オクターブバンドレベルの数値データを使用しており，最大騒音レベル（$L_{A,Smax}$）の時点を中心として前後 30 s の 1 分間のデータを用いた(計 60 コマのデータ)．1/3 オクターブバンドレベルの中心周波数は 20 Hz から 16 kHz までの 30 帯域である．これらの 30×60 (周波数×時間) の 2 次元マトリクスの数値データを用いて分析に使用した. CNN には様々なアーキテクチャが提案されているが，本稿では Residual Neural Network の一種である，ResNet-50 を使用し，学習のフレームワークには MXNet を使用した．その構成の概要を Fig. 1 に示す．ResNet-50 の仕様上の関係で，入力データは 224×224 のサイズに変換している．

３．ケーススタディ１：１地点の着陸音のみを対象とした事例

３－１．入力データ

CNN は教示あり学習であるため, 機械学習の入力データである音響情報に加え，その音源が何であるか定義するための正解ラベルを付与する必要がある．これらの情報を収集するため，大阪国際空港の着陸経路の直下（滑走路端から 5 km 離れた地点）に該当する位置においてフィールド調査を行い，長期間の録音と，ADS-B による機体情報の収集をおこなった．フィールド調査は 2017 年 12 月～2018 年 2 月までの 69 日間，無人で連続記録をおこなった．全て，着陸の音である．録音は全天候型ウィンドスクリーンを装着したサウンドレベルメータ（Rion, NL-52）を PC に接続してハードディスクに記録した．周波数重み特性は Z である．

*助教　建築学科
Assistant Professor, Dept. of Architecture

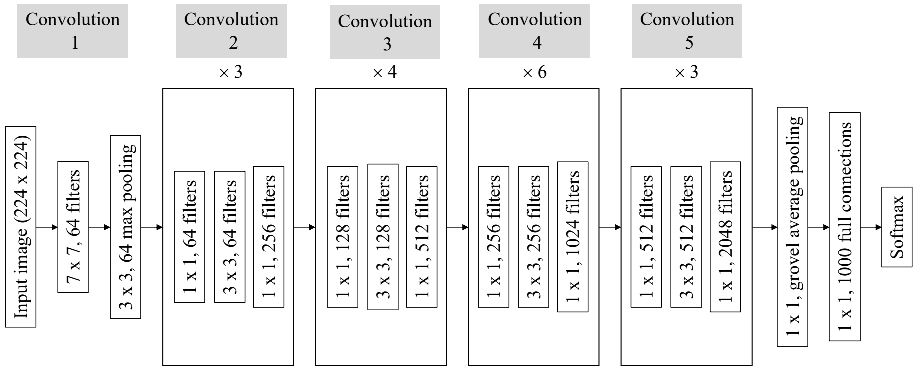


Fig.1　Structure of CNN used in this study (ResNet-50)

Table 1　Targeted noise sources used for classification in case study 1

No.	Classification ID	Aircraft model	Engine type	Number of data
1-1	B737_CFM56_LD	B737-700 B737-800	CFM56-7	1821
1-2	B767_CF6_LD	B767-300	CF6-80	989
1-3	B777_PW4000_LD	B777-200 B777-300	PW4000	771
1-4	B787_TR1000_LD	B787-8 B787-9	Trent 1000	361
1-5	CRJ700_CF34_LD	CRJ700	CF34	298
1-6	A32_CFM56_LD	A320 A321	CFM56-5	52
1-7	ATR42_PW100_LD	ATR42	PW100	52

ケーススタディ 1 で対象とした音源を Table 1 に示す．表中の No. 1-1〜1-6 はジェット機であり，No. 1-7 はターボプロップ機である．総データ数は 4344 である．一般的に，同じ機種であっても，搭載しているエンジンが異なれば音響情報も異なる．このため，フィールド調査で収集した ADS-B 情報から，個々の航空機騒音イベントにおける機体の固有情報を入手し，搭載しているエンジンの型式を同定し，識別の分類を構築した．Table 1 で示した No. 1-1〜No. 1-7 の音源について，入力したサウンドスペクトログラム画像のサンプルを Fig. 2 に示す．図の横軸は時間，縦軸は周波数，色の濃淡は音圧レベルの強さを意味する．いずれの音源も広帯域ノイズであることがわかる．また，目視でそれぞれの特徴を把握することは非常に困難である．

３－２．識別制度を評価する方法

分析は 10 分割交差検定を採用し各音源の識別精度を評価した．すなわち，学習とテストのデータ比は 9:1 であり，この比率でランダムに選択された学習データとテストデータの組み合わせによる分析を 10 回繰り返した．識別精度の評価には，全体の正答率 (Accuracy)，各音源の適合率 (Precision)，再現率 (Recall)，F-measure を指標とした．Accuracy は，予測と実測が一致した回数を全サンプル数で割った値である．この値は，入力された全てのデータのうち，何割のデータを正しく識別できたかを表している．Precision と Recall, F-measure の算出方法を以下の式で示す. TP (True Positive) は，ある音源に属するデータを正しく識別した数であり，FN (False Negative) は，その音源には属さないと誤識別した数であ

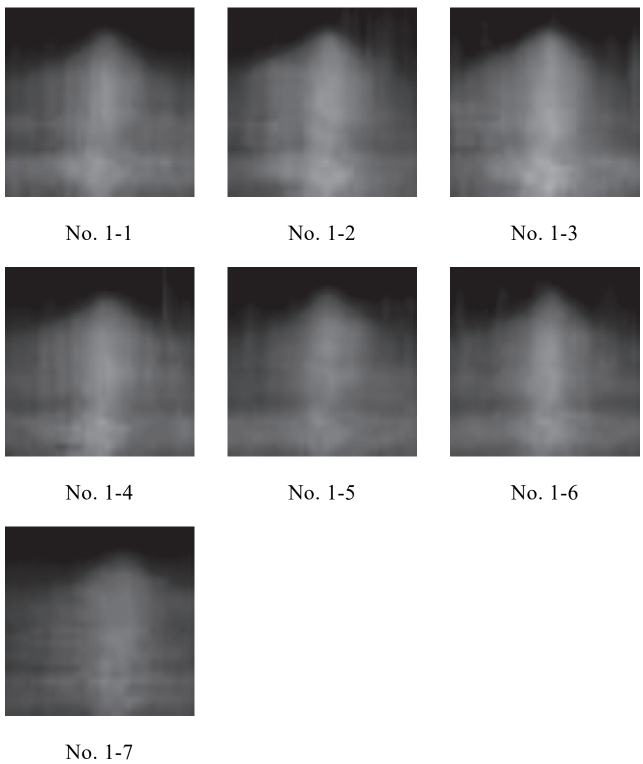


Fig.2　Images of time-frequency characteristics of aircraft noises used as input data to CNN in case study 1

Table 2　Correspondence of test-data prediction and correct answer in 10-fold cross validation in case study 1

No.	Classification ID	*N*	Precision	Recall	F-measure
1-1	B737_CFM56_LD	1821	0.995	0.996	0.995
1-2	B767_CF6_LD	989	0.993	0.995	0.994
1-3	B777_PW4000_LD	771	0.994	0.994	0.994
1-4	B787_TR1000_LD	361	0.989	0.983	0.986
1-5	CRJ700_CF34_LD	298	0.990	0.990	0.990
1-6	A32_CFM56_LD	52	0.981	0.981	0.981
1-7	ATR42_PW100_LD	52	1.000	0.981	0.990
Accuracy = 0.996					

る．一方で TN (True Negative)は，ある音源に属さないデータをその音源ではないと正しく識別した数であり，FP (False Positive)はその音源に属すると誤識別した数である．ここで記号「i」は音源番号を意味する．

$$\mathrm{Precision}_i=\frac{\mathrm{TP}_i}{\mathrm{TP}_i+\mathrm{FP}_i} \quad (1)$$

$$\mathrm{Recall}_i=\frac{\mathrm{TP}_i}{\mathrm{TP}_i+\mathrm{FN}_i} \quad (2)$$

$$\text{F-measure}_i=\frac{2\times\mathrm{Precision}_i\times\mathrm{Recall}_i}{\mathrm{Precision}_i+\mathrm{Recall}_i} \quad (3)$$

３－３．識別結果

テスト結果を Table 2 に示す．Accuracy は 99.6%と非常に高い値であり，諸外国における機械学習を用いた先行研究[4-7]の結果と比較しても正解率が高い結果であった．また，Accuracy だけでなく，Precision や Recall，F-measure のいずれも非常に高い値となっていることが分かる．

４．ケーススタディ 2：離着陸音が混在する条件での事例

４－１．入力データ

分析に用いた音源とそのデータ数を Table 3 に示す．これらは成田国際空港の飛行経路の直下付近における 3 カ所において，延べ 10 日間の測定で得られたデータ数である．測定はいずれも冬期に実施されたものであり，2016 年および 2017 年の 12 月に測定されたデータを用いた．測定機器はケーススタディ 1 と同じサウンドレベルメータを用いている．測定地点は滑走路端から 1 km～20 km の範囲に位置し，いずれも飛行経路の直下に位置する．ケーススタディ 1 とは異なり，測定期間中の風向きの変化により，離陸音と着陸音が混在している．このため，ケーススタディ 2 では，エンジン型式のみならず，離着陸の違いも考慮した分類をおこなった．表中に示す「Classification ID」は，分析で識別対象とした「機種・エンジン型式・離着陸」の音源種別である．今回は，全 52 種類の音源の中から，データ数が 100 以上であった 18 種類の音源を採用して分析を行った．ここでのデータは有人測定によって得られたものであり，正解ラベルは人が測定中に目で判断して記録したものである．Table 3 で示した No. 2-1～No. 2-18 の音源について，入力したサウンドスペクトログラム画像のサンプルを Fig. 3 に示す．図の横軸は時間，縦軸は周波数，色の濃淡は音圧レベルの強さを意味する．

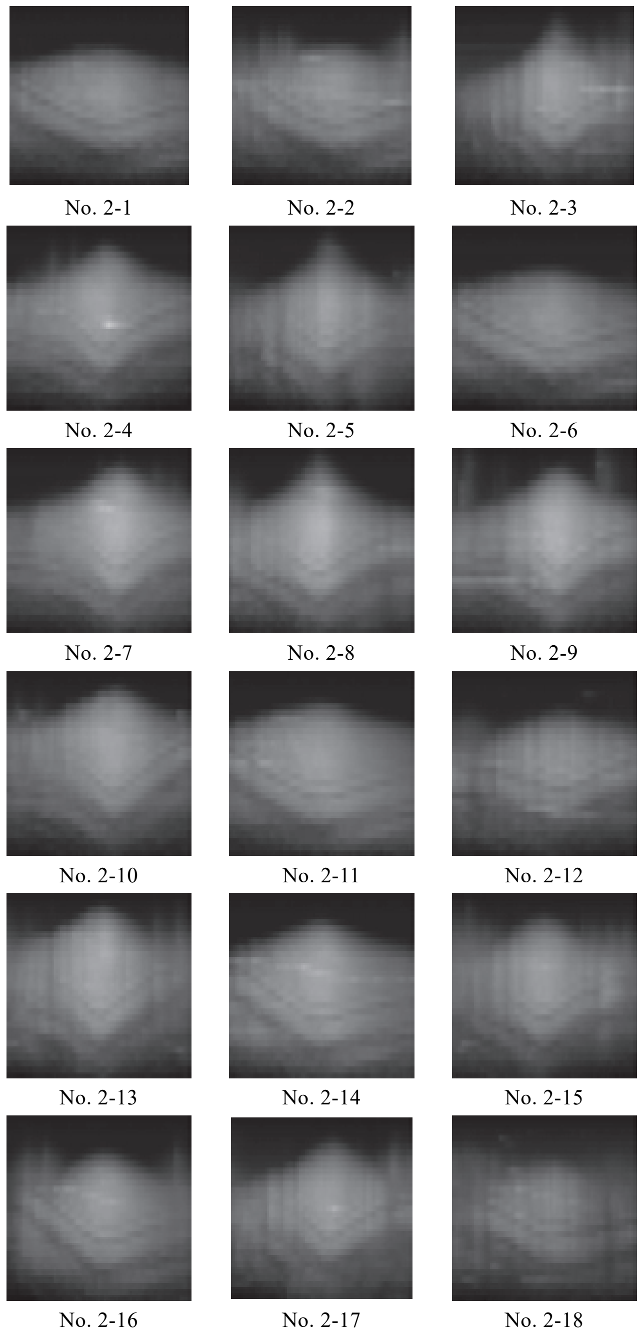


Fig. 3　Images of time-frequency characteristics of aircraft noises used as input data to CNN in case study 2

Table 3　Targeted noise sources used for classification in case study 2

No.	Classification ID	Aircraft model	Engine type	Number of data
2-1	A32_CFM56_TO	A320	CFM56-5	195
2-2	A32_V25_TO	A320 A321	V2527 V2530 V2533	302
2-3	A32_V25_LD	A321	V2530 V2533	110
2-4	A33_TR772_LD	A332 A333	TRENT 772	132
2-5	B737_CFM56_LD	B737-700 B737-800 B737-900	CFM56-7	191
2-6	B737_CFM56_TO	B737-700 B737-800 B737-900	CFM56-7	224
2-7	B747_CF6_LD	B747-400	CF6-80	146
2-8	B747_PW40_LD	B747-400	PW4056	144
2-9	B747_GEnx-2_LD	B747-8	GEnx-2	186
2-10	B767_CF6_LD	B767-300	CF6-80	631
2-11	B767_CF6_TO	B767-300	CF6-80	437
2-12	B777_GE90_LD	B777-200 B777-200LR/F B777-300ER	GE90-90 GE90-110 GE90-115	788
2-13	B777_PW40_LD	B777-200	PW4077 PW4090	189
2-14	B777_GE90_TO	B777-200 B777-200LR/F B777-300ER	GE90-90 GE90-110 GE90-115	265
2-15	B787_GEnx-1_LD	B787-8 B787-9	GEnx-1	249
2-16	B787_GEnx-1_TO	B787-8 B787-9	GEnx-1	245
2-17	B787_TR1000_LD	B787-8 B787-9	TRENT 1000	328
2-18	B787_TR1000_TO	B787-8 B787-9	TRENT 1000	162

４－２．識別精度を評価する方法

ケーススタディ 1 と同じ方法で，識別精度を評価した．

４－３．識別結果

テスト結果を Table 4 に示す．ケーススタディ 1 と同様に，Accuracy は 98.3%と非常に高い値であった．ケーススタディ 1 と比較すると，F-measure はわずかに低下したが，それでも 95.5～99.8%の範囲であり，非常に高い識別性能を有しているといえる．No. 2-7 と No. 2-8 の F-measures が相対的に低く，これらの音源における全 17 件の誤識別の内，47%に該当する 8 件はこの 2 つの音源を互いに誤識別したものであった．同じく，No. 2-15 と No. 2-17 における誤識別の総数 29 件のうち，48%に該当する 14 件は，やはりこの 2 つの音源を互いに誤識別したものであった．

ケーススタディ 2 では同じ機種・エンジン型式であっても，離陸と着陸を識別できるか検討したが，離陸音と着陸音の誤識別はほとんど見られなかった．

５．考察

５－１．ノイズマップ作成における機械学習の有効性

本研究では，2 つの異なる飛行場それぞれでの測定環境で収集した音源データを用いて機械学習を行い，その有効性を検討した．いずれの飛行場も飛行経路の直下の測定点で得られた音響データを用いており，その範囲内では極めて高い識別が可能であることがわかった．しかしながら，ここでの学習結果が他の飛行場で測定したデータに適用可能であるか検討できていないことが一つ目の課題と

Table 4　Correspondence of test-data prediction and correct answer in 10-fold cross validation in case study 2

No.	Classification ID	*N*	Precision	Recall	F-measure
2-1	A32_CFM56_TO	195	0.974	0.969	0.972
2-2	A32_V25_TO	302	0.997	0.993	0.995
2-3	A32_V25_LD	110	0.991	1.000	0.995
2-4	A33_TR772_LD	132	0.992	0.955	0.973
2-5	B737_CFM56_LD	191	0.984	0.995	0.990
2-6	B737_CFM56_TO	224	0.987	0.987	0.987
2-7	B747_CF6_LD	146	0.953	0.966	0.959
2-8	B747_PW40_LD	144	0.958	0.951	0.955
2-9	B747_GEnx-2_LD	186	0.995	0.989	0.992
2-10	B767_CF6_LD	631	0.986	0.992	0.989
2-11	B767_CF6_TO	437	0.989	0.986	0.987
2-12	B777_GE90 _LD	788	0.986	0.986	0.986
2-13	B777_PW40_LD	189	0.995	0.958	0.976
2-14	B777_GE90 _TO	265	0.996	1.000	0.998
2-15	B787_GEnx-1_LD	249	0.960	0.964	0.962
2-16	B787_GEnx-1_TO	245	0.980	1.000	0.990
2-17	B787_TR1000_LD	328	0.961	0.966	0.964
2-18	B787_TR1000_TO	162	0.981	0.975	0.978
Accuracy = 0.983					

考えている．今回構築した学習機に別の飛行場周辺で測定された音源データを入力し，正しく判定がなされるか検証したい．

また，ノイズマップの作成には，飛行場周辺で広範囲に広がるあるゆる飛行経路ごとの機種別の飛行回数を把握する必要があるが，必ずしも飛行経路の直下で測定できないような環境もあり得る．そのような測定環境の場合，音の伝搬過程において地表面影響による音の超過減衰が生じ,受音点における周波数特性に変化が生じる(主に,高周波数帯域の減衰が生じる)．同じく,今回の分析で用いたデータはいずれも冬季に収集されたデータであるが，音の空気吸収は季節によって異なる（正確には気圧，湿度により吸収量が異なる)．このような，同じ飛行場の周辺であっても，異なる測定環境で学習機を汎用的に利用可能といえるか検討することも重要である.ただし,広い範囲を対象とした汎用的な学習に関しては，実測データのみでは限界があるため，シミュレーションを活用した学習データの構築に取り組んでおり，今後の重要課題の一つと位置づけている．

５－２．誤識別に見られた特徴

ケーススタディ 2 では，いくつかの音源で，やや識別制度が低いものが見られ，No. 2-7 と No. 2-8 を相互に間違え，また No. 2-15 と No. 2-17 を相互に間違えるケースがいくらか見られた．この 2 組には，同型機種で異なるエンジンを搭載した着陸音という共通の特徴がある．一方で同型機の離陸音である No. 2-16 と No. 2-18 の F-measure はいずれも高い識別率となっている．航空機は着陸時に推力を絞るため，様々な音源で構成される航空機騒音全体に対するエンジン音の寄与が相対的に低下し，空力音等のエンジンに由来しない音の寄与が増加する．このため，特に着陸音に関してはエンジンのジェットノイズだけでなく，機体の空力音も主たる音源である可能性があり，今回，そのことが識別率の低下の原因であるかもしれない．

５－３．入力データの作成方法の検討課題

今回の分析では，1 s 間隔の 1/3 オクターブバンドノイズレベルを用いたが，時間間隔を 0.1 s など，さらに細かい間隔で入力することにより，識別精度を向上できる可能性がある。また，筆者らの先行研究[8]で行ったような，FFT による入力データの分析は行っていない．このような，より精緻な入力データによる分析は，今後の課題である．入力データの時間範囲に関しては，今回は経験則的に 60 s を採用したが,最適化計算を行うことで,どの程度の長さが良いか,検討する余地も残されている．これは周波数範囲に関しても同様のことが言える．森長ら (2018) [9]では，ジェット航空機の識別には，画像の中心付近である $L_{A,Smax}$ 時点の周辺の特徴だけでなく，接近時の高域の情報も特徴的であり，この傾向は，とりわけ離陸音で顕著であることを示している．これらも参考に，適切な周波数・時間範囲の検討が必要であると考えられる．

５－４．音以外の情報の併用

ジェット機を対象とした識別精度の向上には，機体の写真など，音響特徴量以外のデータを用いた分析も有効であると考えている．実際に，航空機の画像による機械学習で機種識別を行った先行研究が存在している[10-12]．これらの研究で分析対象とされている機種数は必ずしも多くなく，またその識別率は研究によって様々であるが，CNN を適用した結果も報告されている[13]．機体のサイズやドアの位置の違いなど，視覚情報においては比較的分かりやすい特徴を利用することが可能であると思われる.ただし,夜間や悪天候時,あるいは草木で空が見えづらい等，視認性の悪い環境も想定しておく必要があるため，音響情報による識別と視覚情報による識別の併用が望まれると考えている．

６．おわりに

著者らは機械学習による環境音の識別に取り組んできており，本稿では，Deep Neural Network の一手法である CNN を用いたジェット航空機の機種識別の事例を紹介した．エンジンの型式や離着陸の違いを考慮した 18 種類の音源の識別であっても，全体の Accuracy は非常に高い結果であった．現在は，本稿に示した課題を精査しつつ，道路交通騒音や鉄道騒音など，さらに異なる音源を対象としたケーススタディを実施しており，今後，より本システムの実用性や汎用性を高めていきたいと考えている．

参考文献

[1] E. van Kempen, M. Casas, G. Pershagen and M. Foraster, WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Cardiovascular and Metabolic Effects: A Summary, Int. J. Environ. Res. Public Health, 379, 15 (2018).

[2] World Health Organization, Environmental Noise Guidelines for the European Region (2018).

[3] 森長誠，我が国の曝露反応関係に基づいた航空機騒音の基準についての考察, 日本騒音制御工学会秋季研究発表会，115-118 (2020).

[4] V. Quaranta, I. Dimino, Experimental Training and Validation of a System for Aircraft Acoustic Signature Identification, Journal of Aircraft, 44(4), 1196-1204 (2007).

[5] L. A. Sanchez-Perez, L. P. Sanchez-Fernandez, S. Suarez-Guerra, M. G. Lopez-Pacheco, Dynamic hierarchical aggregation of parallel outputs for aircraft take-off noise identification, Engineering Applications of Artificial Intelligence, 46, 33-42 (2015).

[6] L. A. Sánchez-Pérez, L. P. Sánchez-Fernández, S. Suárez-Guerra, J. J. Carbajal-Hernández, Aircraft class identification based on take-off noise signal segmentation in time, Expert Systems with Applications, 40, 5148-5159 (2013).

[7] V. Quaranta, I. Dimino, A method for acoustic signature identification of aircraft, Proc. ICSV 12 (Lisbon, 2005).

[8] J. Mori, M. Morinaga, I. Yamamoto, T. Matsui, Development of a system for identifying aircraft type acoustically using a convolutional neural network, Proc. Inter-Noise 2017 (Hong Kong, 2017).

[9] 森長誠，森淳一，山元一平，松井孝典，川瀬康彰，花香和之，Convolutional Neural Network によるジェット航空機の機種識別，日本音響学会 2018 年 2 月騒音・振動研究会資料 (東京，2018)

[10] F. Saghafi, S. M. Khansari Zadeh, V. Etminan Bakhsh, Aircraft Visual Identification by Neural Networks, Journal of Aerospace Science and Technology, 5(3), 123-128 (2008).

[11] A. G. Karacor, E. Torun, R. Abay, Aircraft classification using image processing techniques and artificial neural networks, International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 25(8), 1321-1335 (2011).

[12] K. Roopa, T. V. Ramamurthy, Aircraft Recognition System Using Image Analysis, Emerging Research in Electronics, Computer Science and Technology, Lecture Notes in Electrical Engineering, 248, 195-204 (2014).

[13] R. Mash, B. Borghetti, J. Pecarina, “Improved Aircraft Recognition for Aerial Refueling Through Data Augmentation in Convolutional Neural Networks”, ISVC 2016, Part I, LNCS 10072, 113–122 (2016).

流体力学に現れる偏微分方程式の数学解析

中村　憲史*

Mathematical Analysis of PDEs appearing in fluid mechanics

Kenji NAKAMURA*

1　はじめに

流体力学の基礎方程式であるナヴィエ－ストークス方程式は，非圧縮性粘性流体の運動を記述する非線形偏微分方程式である．すなわち，$u=(u_1(x,t),u_2(x,t),u_3(x,t))$，$\pi=\pi(x,t)$ をそれぞれ座標 $x=(x_1,x_2,x_3)\in\mathbb{R}^3$，時刻 $t>0$ における流体の流速ベクトルと圧力とすると，$\{u,\pi\}$ はナヴィエ－ストクス方程式

$$\begin{cases}\partial_t u + u\cdot\nabla u = \mathrm{Div}\,S - \nabla\pi,\\ \mathrm{div}\ u=0,\\ u|_{t=0}=a\end{cases}\tag{NS}$$

に従う．ここで，$a=a(x)=(a_1(x),\dots,a_n(x))$ は初期速度ベクトル，S は粘性応力を表す．粘性応力が変形速度 $\nabla u+(\nabla u)^T$ と定数 $\mu>0$ を用いて $S=\mu(\nabla u+(\nabla u)^T)$ で与えられるときは，非圧縮条件 div $u=0$ から Div $S=\mu\Delta u$ が従い，古典的なナヴィエ－ストークス方程式

$$\begin{cases}\partial_t u - \mu\Delta u + u\cdot\nabla u + \nabla\pi = 0,\\ \mathrm{div}\ u=0,\\ u|_{t=0}=a\end{cases}\tag{CNS}$$

を得る．(CNS) は粘性応力と変形速度が線形の関係となる，いわゆる非圧縮性ニュートン粘性流体の運動を記述した偏微分方程式である．(CNS) の数学的研究は Leray [10] によって本格的に始められ，彼は乱流解（弱解）の存在を示した．また，Kato [6] は小さな初期値に対する強解の時間大域的一意存在を示した．これらの結果は，現在のナヴィエ－ストークス方程式を数学的に取り扱う際の一つの典型的な手法を与えている．しかし，未だに任意の初期値に対する解 $\{u,\pi\}$ の時間大域的な一意存在が示されておらず，懸賞金付きの未解決問題としても有名である．

一方, 粘性応力と変形速度の関係が定数 $\tau>0$ を用いて $S+\tau\partial_t S=\mu(\nabla u+(\nabla u)^T)$ で与えられるときは，非圧縮条件 div $u=0$ から Div $(S+\tau\partial_t S)=\mu\Delta u$ が従う．よって，(NS) の第 1 式に $(1+\tau\partial_t)$ を施せば，双曲型ナヴィエ－ストークス方程式

$$\begin{cases}\tau\partial_t^2 u + \partial_t u - \mu\Delta u + (1+\tau\partial_t)(u\cdot\nabla u) + \nabla\theta = 0,\\ \mathrm{div}\ u=0,\\ (u,\partial_t u)|_{t=0}=(u_0,u_1)\end{cases}\tag{HNS}$$

を得る．ただし，$\theta=(1+\tau\partial_t)\pi$ とした．(HNS) は非ニュートン流体の一種である非圧縮性マクスウェル流体の運動を記述した偏微分方程式として提案されており，時間局所解の一意存在と小さな初期値に対する時間大域解の一意存在が Racke，Saal [13, 14] により示された．

本稿では，筆者がこれまで (CNS) と (HNS) に関して得た結果と，関連する内容について紹介する．

2　2 次元初期値問題の時空 L^2 有界性

ナヴィエ－ストークス方程式を数学解析する際は，ヘルムホルツ分解 $L^2=L^2_\sigma\oplus G$ を用いる．ここで，$L^2_\sigma=\{u\in L^2\mid \mathrm{div}\ u=0\}$，$G=\{\nabla\pi\in L^2\mid \pi\in L^2_{loc}\}$ である．したがって，射影 $P:L^2\to L^2_\sigma$ が定義でき, これをヘルムホルツ射影という．これにより, 速度場と圧力場をわけて議論することができる．また，全空間では $P\Delta=\Delta P$ が成り立つ．したがって，(CNS) の 2 次元初期値問題にヘルムホルツ射影を施せば

$$\begin{cases}\partial_t u - \Delta u + Pu\cdot\nabla u = 0 & \text{in } \mathbb{R}^2\times(0,\infty),\\ u|_{t=0}=a & \text{in } \mathbb{R}^2\end{cases}\tag{PCNS}$$

を得る．(PCNS) の主要部分は熱方程式

$$\begin{cases}\partial_t u - \Delta u = 0 & \text{in } \mathbb{R}^2\times(0,\infty),\\ u|_{t=0}=a & \text{in } \mathbb{R}^2\end{cases}\tag{HE}$$

と同じ形になる．熱方程式 (HE) において，初期値 a を $L^1(\mathbb{R}^2)$ の元とすると，次が成り立つ ([8])：

$$\lim_{t\to\infty} t\|u(t)\|^2_{L^2(\mathbb{R}^2)} = \frac{1}{8\pi}\left|\int_{\mathbb{R}^2} a(x)dx\right|^2.$$

このことから，$a\in L^1(\mathbb{R}^2)$ に対しては解の時空 L^2 有界性

$$\int_0^\infty \|u(t)\|^2_{L^2(\mathbb{R}^2)}dt \le C\|a\|^2_{L^1(\mathbb{R}^2)}\tag{1}$$

は期待できない．しかし, 初期値のクラスを $L^1(\mathbb{R}^2)$ よりも狭いハーディー空間 $\mathscr{H}^1(\mathbb{R}^2)$ とすることにより，解の時空 L^2 有界性

$$\int_0^\infty \|u(t)\|^2_{L^2(\mathbb{R}^2)}dt \le C\|a\|^2_{\mathscr{H}^1(\mathbb{R}^2)}$$

を得ることができる ([8, 11, 12]).

* 助教　数学教室
Assistant Professor, Dept. of Mathematics

初期値をハーディー空間としたときの時空 L^2 有界性は，消散波動方程式

$$\begin{cases} \partial_t^2 u + \partial_t u - \Delta u = 0 & \text{in } \mathbb{R}^2 \times (0,\infty), \\ (u, \partial_t u)|_{t=0} = (u_0, u_1) & \text{in } \mathbb{R}^2 \end{cases} \tag{DW}$$

の解に対しても成り立つ．消散波動方程式 (DW) は，(HNS) にヘルムホルツ射影を施して得られる方程式の主要部分と同じ形であり，(HNS) を解析する際に重要な役割を果たすと考えられる．

(CNS) の 2 次元初期値問題は 3 次元以上の場合とは異なり，初期値を $L^2_\sigma(\mathbb{R}^2)$ としたときの弱解と強解の時間大域的一意存在は示されている．また，初期値を $L^2_\sigma(\mathbb{R}^2) \cap L^1(\mathbb{R}^2)$ のクラスとしたとき，(CNS) の弱解に対して次の評価が成り立つ ([16])：

$$\|u(t)\|_{L^2(\mathbb{R}^2)} \leq C(1+t)^{-\frac{1}{2}}, \quad t \geq 0. \tag{2}$$

時間減衰評価 (2) から，(CNS) の 2 次元初期値問題においては (1) と同様の時空 L^2 有界性は自明ではないが，次の結果を得た．

定理 1 ([9])**.** $a \in L^2_\sigma(\mathbb{R}^2) \cap L^1(\mathbb{R}^2)$ とし，u を (CNS) の 2 次元初期値問題の弱解とする．このとき

$$\int_0^t \|u(s)\|^2_{L^2(\mathbb{R}^2)} ds \leq C$$

が成り立つ．ただし，C は t によらない正定数である．

定理 1 は初期値のクラスがハーディー空間 $\mathscr{H}^1(\mathbb{R}^2)$ ではなく $L^1(\mathbb{R}^2)$ として成り立っていることに注意する．これは熱方程式の場合には示されていないことであり，(CNS) に非圧縮条件があるため，Amrouche，Nguyen [1] の結果が使えることによる．

また，(HNS) の 2 次元初期値問題に対しても解の時間減衰評価

$$\|u(t)\|_{L^2(\mathbb{R}^2)} \leq C(1+t)^{-\frac{1}{2}}, \quad t \geq 0$$

が成り立つが，この場合も (1) と同様の時空 L^2 有界性は自明ではない．我々は，解の時空 L^2 有界性が (HNS) の 2 次元初期値問題においても成り立つことを示した．

定理 2 ([9])**.** (HNS) の 2 次元初期値問題において，u を [13, 14] で得られる解とする．このとき

$$\int_0^t \|u(s)\|^2_{L^2(\mathbb{R}^2)} ds \leq C$$

が成り立つ．ただし，C は t によらない正定数である．

定理 1，定理 2 はともにエネルギー法に基づいて示される．

3　局所エネルギー減衰評価

本節では，双曲型ナヴィエーストークス方程式 (HNS) を線形化した問題である双曲型ストークス方程式

$$\begin{cases} \tau\partial_t^2 u + \partial_t u - \Delta u + \nabla\theta = 0 & \text{in } \Omega \times (0,\infty), \\ \operatorname{div} u = 0 & \text{in } \Omega \times (0,\infty), \\ u|_{\partial\Omega} = 0, \quad (u, \partial_t u)|_{t=0} = (u_0, u_1) & \text{in } \Omega \end{cases} \tag{HS}$$

を外部領域で考察する．ここで，n 次元ユークリッド空間 $\mathbb{R}^n$ の領域 Ω が外部領域であるとは，$\mathcal{O}$ を $\mathbb{R}^n$ の有界領域として $\Omega = \mathbb{R}^n \setminus \mathcal{O}$ が成り立つときをいう．以下，Ω の境界は十分なめらかであると仮定する．

3 次元以上の外部領域において，Iwashita [5] は (CNS) の小さな初期値に対する時間大域解の一意存在を示した．彼の証明は，線形化問題の L^p-L^q 評価に基づく Kato [6] の方法による．外部領域における線形化問題の L^p-L^q 評価は，局所エネルギー減衰評価と全空間の L^p-L^q 評価を組み合わせることで得られる．また，Dan, Kobayashi, Shibata [2]，Dan, Shibata [4] は [5] の結果を改良し，さらに 2 次元外部領域の場合にも L^p-L^q 評価を導出した．

一方，(HNS) の外部領域における結果は筆者の知る限り見当たらない．そこで，(HNS) を外部領域で解析するための第一歩として，(HS) の $\Omega_r = \Omega \cap B_r$ における減衰評価である局所エネルギー減衰評価を導出した．ただし，$B_r = \{x \in \mathbb{R}^n \mid |x| < r\}$ である．

局所エネルギー減衰評価を導出するためには，(HS) にヘルムホルツ射影を施して得られる方程式

$$\begin{cases} \tau\partial_t^2 u + \partial_t u - Au = 0 & \text{in } \Omega \times (0,\infty), \\ (u, \partial_t u)|_{t=0} = (u_0, u_1) & \text{in } \Omega \end{cases} \tag{PHS}$$

を解析する．ここで，$A = P\Delta$ であり，A をストークス作用素という．(PHS) をヒルベルト空間上の常微分方程式として扱い，半群理論に基づいて (PHS) の解の存在が示される．さらに，(PHS) の対応するレゾルベント問題

$$\tau\lambda^2 v + \lambda v - Av = f \quad \text{in } \Omega$$

において，レゾルベントパラメータ λ が複素平面上原点付近の場合を解析することにより，次の定理を得た．

定理 3 ([7])**.** $n \geq 2$，$0 < \tau < 1$ とする．また，$r_0 > 0$ とし，$r > r_0$ とする．さらに，初期値 $u_0 \in H^1_0(\Omega) \cap L^2_\sigma(\Omega)$，$u_1 \in L^2_\sigma(\Omega)$ は $\operatorname{supp} u_0$，$\operatorname{supp} u_1 \subset \Omega_r$ を満たすとする．このとき，双曲型ストークス方程式 (PHS) の解に対して，局所エネルギー減衰評価

$$\begin{aligned} &\|(u(t), \nabla u(t), \sqrt{\tau}\partial_t u(t))\|_{L^2(\Omega_r)} \\ &\qquad \leq C(1+t)^{-\frac{n}{2}} \|(u_0, \nabla u_0, \sqrt{\tau} u_1)\|_{L^2(\Omega)} \end{aligned}$$

が成り立つ．ここで，$C > 0$ は n，r に依存する定数である．

レゾルベントパラメータ λ が原点付近の場合，λ^2 よりも λ のほうが支配的になるため，ストークス方程式のレゾルベント問題 $\lambda v - Av = f$ に関する結果 [2, 4] を使うことができる．これが定理 3 の証明の鍵となる部分である．

4　今後の展望

双曲型ナヴィエーストークス方程式の境界値問題に関する結果はほとんど見当たらず，研究テーマは多くあると筆者は考えている．しかし，対応する非線形消散波動方程式の外部領域における解の一意存在に関する結果は Shibata [15] にあるが，その証明はかなり複雑である．そのため，(HNS) の場合も困難が予想される．

一方で，前節でみたように古典的なナヴィエーストークス方程式の線形化問題に関する結果をうまく使うことにより，双曲型ナヴィエーストークス方程式の解析を進めることができる部分もある．消散波動方程式や古典的なナヴィエーストークス方程式で得られている結果を踏まえながら，双曲型ナヴィエーストークス方程式の解析を進めたいと考えている．

参考文献

[1] C. Amrouche and H. H. Nguyen, New estimates for the div-curl-grad operators and elliptic problems with L^1-data in the whole space and in the half-space, J. Differential Equations, 250, 3150–3195 (2011).

[2] W. Dan, T. Kobayashi and Y. Shibata, On the local energy decay approach to some fluid flow in an exterior domain, Lecture Notes Numer. Appl. Anal., 16, Kinokuniya, Tokyo (1998).

[3] W. Dan and Y. Shibata, On a local energy decay of solutions of a dissipative wave equation, Funkcial. Ekvac, 38, 545–568 (1995).

[4] W. Dan and Y. Shibata, On the L_q-L_r estimates of the Stokes semigroup in a two-dimensional exterior domain, J. Math. Soc. Japan, 51, 181–207 (1999).

[5] H. Iwashita, L_q-L_r estimates for solutions of the nonstationary Stokes equations in an exterior domain and the Navier-Stokes initial value problems in L_q, Math. Ann., 285, 265–288 (1989).

[6] T. Kato, Strong L^p-solutions of the Navier-Stokes equation in $\mathbf{R}^m$, with application to weak solutions, Math. Z, 187, 471–480 (1984).

[7] T. Kobayashi, T. Kubo and K. Nakamura, On a local energy decay estimate of solutions to the hyperbolic type Stokes equations, J. Differential Equations, 264, 6061–6081 (2018).

[8] T. Kobayashi and M. Misawa, L^2 boundedness for the 2D exterior problems for the semilinear heat and dissipative wave equations, RIMS Kôkyûroku, B42, 1–11 (2013).

[9] T. Kobayashi, M. Misawa and K. Nakamura Time space L^2 boundedness for the 2D Navier-Stokes equations and hyperbolic Navier-Stokes equations, Tsukuba J. Math., 43, 223–239 (2019).

[10] J. Leray, Sur le mouvement d'un liquide visqueux emplissant l'espace, Acta Math., 63, 193–248 (1934).

[11] M. Misawa, S. Okamura and T. Kobayashi, Decay property for the linear wave equations in two dimensional exterior domains, Differential and Integral Equations, 24, 941–964 (2011).

[12] T. Ogawa and S. Shimizu, The drift-diffusion system in two-dimensional critical Hardy space J. Funct. Anal., 255, 1107–1138 (2008).

[13] R. Racke and J. Saal, Hyperbolic Navier-Stokes equations I: Local well-posedness, Evol. Equ. Control Theory, 1, 195–215 (2012).

[14] R. Racke and J. Saal, Hyperbolic Navier-Stokes equations II: Global existence of small solutions, Evol. Equ. Control Theory, 1, 217–234 (2012).

[15] Y. Shibata, On the global existence of classical solutions of second order fully nonlinear hyperbolic equations with first order dissipation in the exterior domain, Tsukuba J. Math., 7, 1–68 (1983).

[16] M. Wiegner, Decay results for weak solutions of the Navier-Stokes equations on $\mathbf{R}^n$, J. London. Math. Soc., 35, 303–313 (1987).

3. 受賞研究の紹介

金属間化合物触媒の開発と電気化学反応

郡司　貴雄*

Development of Ordered Intermetallic Compounds and Electrochemical Reactions

Takao GUNJI*

１．はじめに

燃料電池用電極触媒など様々な用途に使用されている「金属触媒」は近年ますます需要が高まってきており，高活性・高耐久性・高選択性を示す新規な触媒開発はいわば喫緊の重要課題であると言える．著者は現在までに，燃料電池用電極触媒，光触媒，電気化学的 CO_2 還元反応触媒など，多岐にわたってこの金属触媒の開発に取り組んでおり，その成果は 15 編以上の論文にまとめられている.[1-17] さらに，これらの研究が評価され, 2021 年には「電気化学会佐野賞(進歩賞)」および「表面技術協会進歩賞」を受賞した.[18] また，これらの研究概要は最近，総説として電気化学会誌および表面技術協会誌にそれぞれ掲載されている.[1-2] 本稿では代表的な成果を一部だけ取り上げ紹介するが，詳細に興味がある読者は参考文献に挙げた総説論文や原著論文を参考にしてほしい．

２．金属間化合物触媒

金属間化合物(Figure 1 右)とはランダムに金属が混ざった合金(Figure 1 中央)とは違い 2 種類の金属が秩序正しく規則的に配列していることが特徴である．金属間化合物は元素種の組み合わせにより構造を任意にチューニングすることが可能であるため，成分元素とは異なる化学的性質を示す．本稿ではこの金属間化合物に焦点を当て，著者が作製した触媒についていくつか取り上げ解説する．

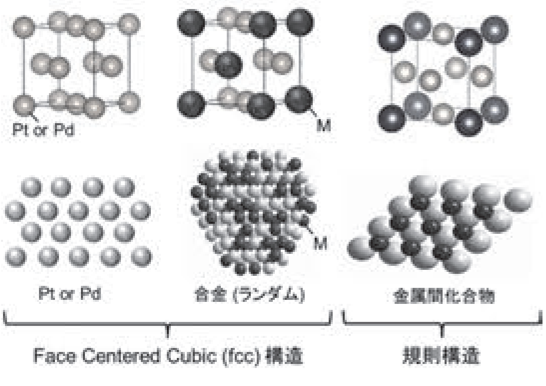


Figure 1. 合金と金属間化合物の模式図

*助教　物質生命化学科
Assistant Professor, Dept. of Material and Life Chemistry

３．Pd 系金属間化合物による燃料電池用電極触媒の開発 [3]

金属間化合物はそれぞれのサイトに金属が化学量論的に占有することによって，規則化した表面構造，触媒反応場が形成でき，より効率的な結晶的，電子的作用によって，さらなる新規な触媒活性が発現されることが期待できる．さらに，化学量論的組成で構築された金属間化合物は構造が全く既定されていないランダムな合金はことなり極めて高い規則性を有していることから，理論的に触媒現象をアプローチすることができる点でも優れている．ゆえに金属間化合物を触媒のモデルとして適用することにより，理論的な触媒反応の予測や理解を可能にすることが期待できる．Figure 2 に申請者が実際に開発した金属間化合物触媒の表面状態と酸素還元反応の律速段階である酸素脱離過程を計算的にアプローチした結果を示している．電気化学処理によって触媒表面に歪を与えることで，その触媒活性は著しく向上し，酸素還元反応において最も高活性を示す単体触媒である Pt に匹敵する活性を示した．

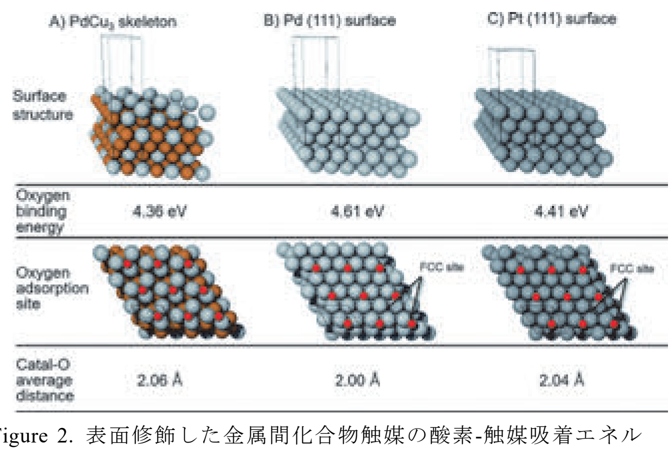


Figure 2. 表面修飾した金属間化合物触媒の酸素-触媒吸着エネルギーの第一原理計算結果

４．新規光触媒用助触媒の開発 [4]

電極触媒上で CO_2 を還元し, HCOOH, CO および炭化水素などの有用資源に変換する技術が注目されており, 高活性, 高選択性を有する新規触媒材料開発が求められている. Sn は卑金属でありながら CO_2 を HCOOH まで還元することができる材料として知られている. しかしながら Sn を電極触媒として用いた場合, 高い過電圧を要するだけでなく, CO_2 還元に関する電流効率が低いなどの問題がある. Sn の結晶構造を修飾するために Cu との金属間化合物の合成を試みた. 金属間化合物は NiAs 型構造(Cu_6Sn_5)を合成し, 表面状態と CO_2 還元反応における生成物選択性および電流効率の関係を調査した. CO_2 から HCOOH に還元する電流効率を算出した結果, -0.25 V の場合 Sn では約 27 %のギ酸が生成したのに対し Cu_6Sn_5 の場合では約 43%のファラデー効率が得られている. CO_2 還元に伴うギ酸生成の還元電位は-0.19 V (vs. RHE)であることから Cu_6Sn_5 触媒上ではほとんど過電圧を要することなく高効率に還元反応が進行していることを突き止めた. この活性向上の要因を突き止めるために表面構造を STEM や XAFS を用いて考察したところ, 表面の Sn-Sn 結合が約 3%圧縮されていることがわかった. すなわち, CO_2 還元反応は表面 Sn-Sn 原子間距離に依存していることを突き止めた. Figure 3 に電極触媒上における CO_2 還元反応の概念図を示している. このように Cu を添加したことによって, 表面の Sn-Sn 原子間距離が制御され, CO_2 還元反応におけるギ酸生成において、理想的な表面を形成したと考えた.

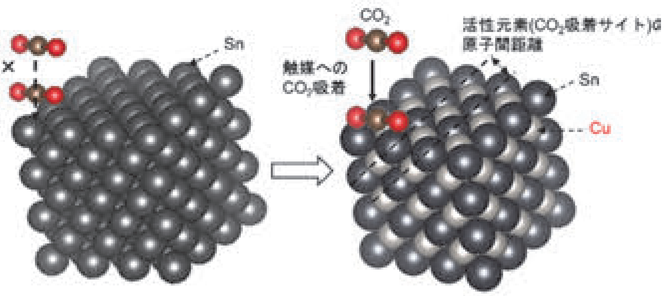


Figure 3. Sn および SnCu 金属間化合物上における表面の原子間距離と CO_2 吸着の概念図

５．新規光触媒用助触媒の開発 [5-6]

いままでの光触媒の助触媒の研究では, 金属間化合物などの二種類からなる触媒の調製が困難であることから, ほとんど検討されてこなかった. しかし申請者は約 4～6 nm で光触媒表面上に原子秩序性を兼ね備えた金属間化合物の担持に初めて成功した. Figure 4 は光触媒(WO_3)に, Pt 助触媒(Pt/WO_3), PtPb 助触媒を担持した光触媒($PtPb/WO_3$)を比較した可視光照射下における酢酸の分解反応に関する触媒活性を示している. 助触媒(Pt や PtPb)を担持していない WO_3 においては酢酸の分解反応はほとんど進行しなかったのに対し, Pt ナノ粒子を WO_3 上に担持した場合, 酢酸の分解反応が進行し, 二酸化炭素(CO_2)を検出した. また PtPb 金属間化合物を助触媒として用いた結果, 従来報告されてきた Pt/WO_3 よりも 5 時間で 6 倍以上の光触媒活性を示した. このことから助触媒としての金属間化合物の有用性を世界で初めて実証することに成功した.

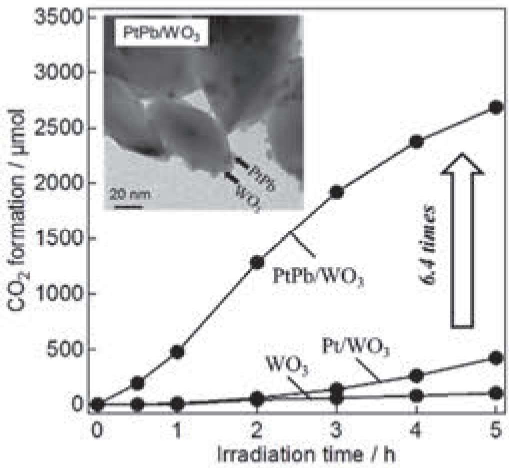


Figure 4. 合成した金属間化合物 PtPb を担持した WO3 触媒の酢酸の分解反応に関する経時変化

６．おわりに

著者は高い触媒活性を示す材料開発において「金属間化合物」という独自の切り口から試行を重ね, エネルギー材料化学の研究分野において高い成果を挙げてきた. 本稿では特に燃料電池用電極触媒, CO_2 電解用電極触媒, 光触媒用助触媒の成果の一部を取り上げ紹介した. また, 近年では第一原理計算を取り入れ, 実験・計算を連動させ, 力強く研究分野を開拓している.

これらの成果の多くは, 神奈川大学工学部物質生命化学科から発信した内容であり, 分析装置もほとんど神奈川大学工学研究所に設置してある共同機器を使用している. さらにこれらの研究は著者や本学学生とともに切り開いてきたものであり, 教育研究の過程で実施された成果である. このような機会を与えて頂いた物質生命化学科関係者および研究に携わってもらった多くの学生および共同研究者に深く感謝申し上げる.

７．研究助成

本研究の一部は科学研究費若手研究(No.20K15096)の助成を受けて実施されました.

８．参考文献

[1] T. Gunji, Preparation of Ordered Intermetallic Compounds and Their Application in Electrocatalytic Reactions, Electrochemistry, 2021, 89, 518.

[2] 郡司貴雄, 松本太「酸素還元反応用電極触媒の開発 ～表面構造と触媒活性の関係～」表面技術, 2021, 72, 586.

[3] T. Gunji, S. H. Noh, F. Ando, T. Tanabe, B. Han, T. Ohsaka, F. Matsumoto, Electrocatalytic Activity of Electrochemically Dealloyed $PdCu_3$ Intermetallic Compound towards Oxygen Reduction Reaction in Acidic Media, J. Mater. Chem. A 2018, 8, 14828.

[4] T. Gunji, H. Ochiai, Y. Isawa, Y. Liu, F. Nomura, M. Miyauchi, F. Matsumoto, Electrocatalytic Conversion of Carbon Dioxide to Formic Acid over Nanosized Cu6Sn5 Intermetallic Compounds with a SnO_2 Shell Layer,

Catal. Sci. Technol. 2019, 9, 6577.
[5] T. Gunji, A. J. Jeevagan, M. Hashimoto, T. Nozawa, T. Tanabe, S. Kaneko, M. Miyauchi, F. Matsumoto, Photocatalytic Decomposition of Various Organic Compounds Over WO_3-Supported Ordered Intermetallic PtPb co-Catalysts, Appl. Catal. B: Environ. 2016, 181, 475.
[6] T. Gunji, T. Tsuda, A. J. Jeevagan, M. Hashimoto, T. Tanabe, S. Kaneko, M. Miyauchi, G. Saravanan, H. Abe, F. Matsumoto, Visible light induced decomposition of organic compounds onWO_3 loaded PtPb co-catalysts, Catal. Commun. 2014, 56, 96.
[7] T. Gunji, Y. Umehashi, H. Tsunoi, K. Yokoi, A. Kawai, F. Matsumoto, Preparation of Chemical-resistant Atomically Ordered Sn-Ni Alloy Films by Electroless Plating, J. Alloys Compd., 2021, 877, 160100.
[8] T. Gunji, S. Tanaka, T. Inagawa, K. Otsuka, F. Matsumoto, Preparation of Atomically Ordered Pt_5La Nanoparticles and their Electrocatalytic Activity Toward Oxygen Reduction Reaction, ACS Appl. Nano Mater., (Revision)
[9] T. Gunji, H. Ochiai, T. Ohira, Y. Liu, Y. Nakajima, F. Matsumoto, Preparation of Various Pd-based Alloys for Electrocatalytic CO_2 Reduction Reaction - Selectivity Depending on Secondary Elements, Chem. Mater. 2020, 32, 6855.
[10] X. Zhao, T. Gunji, T. Kaneko, S. Takao, T. Sakata, K. Higashi, Y. Yoshida, J. Ge, C. Liu, W. Xing, J. Zhu, M. Xiao, T. Uruga, F. F. Tao, Z. Chen, J. Mater. Chem. A 2020, 8, 1368.
[11] X. Zhao, T. Gunji, T. Kaneko, Y. Yoshida, S. Takao, K. Higashi, T. Uruga, W. He, J. Liu, Z. Zou, An Integrated Single-Electrode Method Reveals the Template Roles of Atomic Steps: Disturb Interfacial Water Networks and Thus Affect the Reactivity of Electrocatalysts, J. Am. Chem. Soc. 2019, 141, 8516.
[12] T. Gunji, R. H. Wakabayashi, S. H. Noh, B. Han, F. Matsumoto, F. J. DiSalvo, H. D. Abruña, The Effect of Alloying of Transition Metals (M = Fe, Co, Ni) with Palladium Catalysts on the Electrocatalytic Activity for the Oxygen Reduction Reaction in Alkaline Media, Electrochim. Acta 2018, 283, 1045.
[13] T. Gunji, S. H. Noh, T. Tanabe, C. Y. Nien, T. Ohsaka, F. Matsumoto, Enhanced Electrocatalytic Activity of Carbon-Supported Ordered Intermetallic Palladium-Lead (Pd_3Pb) Nanoparticles towards Electrooxidation of Formic Acid, Chem. Mater. 2017, 29, 2906.
[14] T. Gunji, T. Tanabe, G. Saravanan, S. Kaneko, H. Yoshikawa, Y. Matsushita, N. Sekido, Y. Xu, S. Ueda, H. Abe, F. Matsumoto, Enhanced Activity for Oxygen Reduction Reactions (ORRs) by Carbon-supported High-index-facet Pt-Ti Nanoparticles, Electrochemistry 2015, 83, 7.
[15] T. Gunji, T. Tanabe, A. J. Jeevagan, S. Usui, T. Tsuda, S. Kaneko, G. Saravanan, H. Abe, F. Matsumoto, Facile route for the preparation of ordered intermetallic Pt3Pb-PtPb core-shell nanoparticles and its enhanced activity for alkaline methanol and ethanol oxidation, J. Power Sources 2015, 273, 990.
[16] T. Gunji, K. Sakai, Y. Suzuki, S. Kaneko, T. Tanabe, F. Matsumoto, Enhanced oxygen reduction reaction on PtPb ordered intermetallic nanoparticle/TiO_2/carbon black in acidic aqueous solutions Catal. Commun. 2015, 61, 1.
[17] T. Gunji, G. Saravanan, T. Tanabe, T. Tsuda, M. Miyauchi, G. Kobayashi, H. Abe, F. Matsumoto, Long-term, stable, and improved oxygen-reduction performance of titania-supported PtPb nanoparticles, Catal. Sci. Techno. 2014, 4, 1436.
[18] M. Atobe, M. Mizuhata, History of ECSJ Awards and Introduction of Award Winners in 2021, Electrochemistry, 2021, 89, 485.

国際会議 APARM2020 Best Paper Award を受賞して

太田　修平*

Acknowledgment for receiving “Best Paper Award of APARM 2020”

Shuhei OTA*

１．はじめに

2020 年 8 月 20 日～23 日に開催された国際会議「The 9th Asia-Pacific International Symposium on Advanced Reliability and Maintenance Modeling」（APARM 2020）において，筆者は木村光宏氏（法政大学）との共著論文[1]を発表し，Best Paper Award を受賞した．APARM 2020 は，信頼性工学と保全性工学の研究分野に関わる研究者が幅広く参加する国際会議であり，COVID-19 の影響のためオンライン上で開催された．Best Paper Award は，会議で発表された全 138 件の論文の中から，プレゼンテーションの内容を加味して，内容が最も優れた 3 件の論文に与えられたものである．受賞した研究内容は，信頼性工学において長年研究されてきた，複数のシステムが共倒れ的に故障するリスクの評価を，より柔軟に利用できるように，かつ高精度化する手法を提案したものである．本稿ではその概要を述べる．なお本稿は[2]を加筆修正したものである．

２．研究の概要

システムを構成するコンポーネントが互いに従属して故障することを従属故障という．システムの信頼性解析において，従属故障の要因を考慮しなければわれわれはシステムの信頼性を過少または過大評価する可能性がある[3]．従属故障はコンポーネントが熱，振動，そして処理などを共有することによって生じる．その場合，従属故障の要因を考慮することで，信頼性解析の精度を向上させることができる[4]．

システムの信頼性評価には確率モデルが有用である．コンポーネントの寿命時間が確率分布していると仮定し，またシステムの構造を構造関数で表現することで，システム全体の信頼度関数が求められる．コンポーネントが独立して故障する場合は，信頼度関数は比較的簡易に求まることが知られているが，従属故障が起こる場合は，多変量の同時分布関数が必要となり数学的な扱いが難しい．

近年では，従属故障の発生を考慮した信頼性解析に，同時分布関数の別表現であるコピュラ[5]を取り入れた手法が提案されている．コピュラは接合関数とも呼ばれ，複数の１変量確率分布を組み合わせて，多変量確率分布を構成するための関数である．１変量確率分布には従来，信頼性工学で用いられてきた指数分布やワイブル分布を仮定し，コピュラによってそれらを結び付けることでコンポーネント間の従属性を表現することができる．例えば，Navarro, Ruiz and Sandoval[6]は，従属したn個のコンポーネントからなるコヒーレントシステムの信頼性評価モデルをコピュラを用いて提案した．

しかしながら，１つのコピュラによって表現される従属性には限界がある．コピュラにはアルキメディアンコピュラなど，さまざま種類があるが，その多くが従属性を表現するためのパラメータを１つしか有していない．それ故に，２個以上のコンポーネント間の従属性を細微にわたり表現することが難しい．

そこで本研究[1,2]は，ファクターコピュラ[5]を用いて，柔軟かつ高次元の従属性を考慮した信頼性評価モデルを提案する．ファクターコピュラとは，２つ以上のコピュラを組み合わせて，新しいコピュラを構築する手法である．多くの既存研究はn個のコンポーネント間の従属性を１つのコピュラで表現していたのに対して，本研究はn個のコピュラで表現する．これによって，提案モデルは従属性を表現するためのパラメータを従来よりも多くもつことができる．

ファクターコピュラの性質を視覚的に示す．図 1 はクレイトンコピュラ，フランクコピュラ，FGM (Farlie-Gumbel-Morgenstern) コピュラ，そして正規コピュラの４種類のコピュラ[5]に基づく２変量ファクターコピュラの標本の散布図である．ただし，それぞれのファクターコピュラの周辺分布は平均が 1 の指数分布とする．このように，周辺分布は同一であっても，組み合わせるコピュラによってさまざまな従属性を表現できることが，ファクターコピュラをモデリングに用いる１つのメリットである．

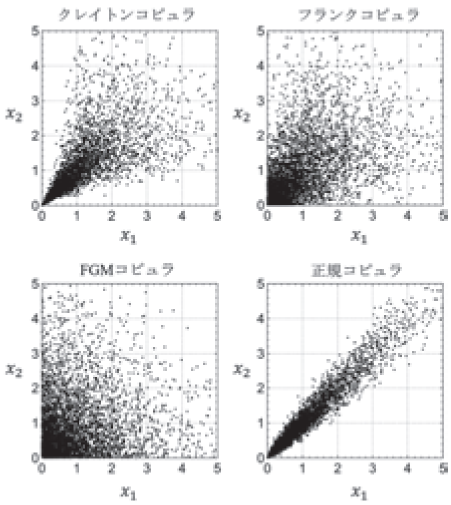


図１ ファクターコピュラのサンプル

*助教　経営工学科
Assistant Professor, Dept. of Industrial Engineering and Management,

ここからはファクターコピュラを用いた，n個の従属したコンポーネントからなるコヒーレントシステムの信頼性評価モデルを提案する．さらに，ファクターコピュラの構築に FGM コピュラを用いた場合に，提案モデルが解析的に評価できることを示す．

システムに対していくつかの仮定をする．システムはn個のコンポーネントから構成され，それぞれの寿命時間を確率変数X_iで表す（$i = 1, \dots, n$）．$X_1, \dots, X_n$は共通因子Vによって条件付き独立とする．またそれぞれの周辺分布は同一で$G(x_1), \dots, G(x_n)$とする．そして対象とするシステムの寿命時間を確率変数Tで表す．これらに対して，本研究はコンポーネントが互いに交換可能であるという条件のもとでTの寿命分布を分析する．この提案モデルにおいて，Vは熱や振動といった，コンポーネント間の従属故障の要因として扱う．

もしコヒーレントシステムのコンポーネントが互いに交換可能であるならば，そのシステムの寿命分布は$(X_1, \dots, X_n)$の同時分布と，システムの構造関数の情報をもったsignatureを組み合わせることで導出できる．Navarro, Ruiz and Sandoval [6]によれば，システムの寿命分布$\Pr[T \le t]$に関して次式が成り立つ．

$$\Pr[T \le t] = \sum_{i=1}^{n} \beta_i \Pr[\max(X_1, \dots, X_i) \le t]. \tag{1}$$

ここで，β_iは maximal signature $\boldsymbol{\beta} = (\beta_1, \dots, \beta_n)$ のi番目の要素である．このことは，互いに交換可能なコンポネントからなる任意のコヒーレントシステムの寿命分布関数は，maximal signature と順序統計量の線形結合で表せることを意味する．Vが与えられたもとでのX_jの条件付き確率分布を，条件付きコピュラを用いて$G_{j|V}(G(t)|v)$と表すと，式(1)において次式が成り立つ．

$$\Pr[\max(X_1, \dots, X_i) \le t] = \prod_{j=1}^{i} C_{j|V}(G(t)|v).$$

以上をふまえて，本研究は次式で与えられるシステムの寿命分布を提案モデルと呼ぶ．

$$\Pr[T \le t] = \sum_{i=1}^{n} \beta_i \int_0^1 \prod_{j=1}^{i} C_{j|V}(G(t)|v)\, dv. \tag{2}$$

特徴的なシステム構造の場合，maximal signature はその値が知られている[6]．例えば，nコンポーネント並列システムの maximal signature は，$\beta_1 = \cdots = \beta_{n-1} = 0, \beta_n = 1$である．このように，式(2)で与えられる本モデルを用いる場合，$C_{j|V}(G(t)|v)$として任意のn個のコピュラおよび maximal signature を選択する必要がある．ただし，式(2)が陽に解けるかは，選択するコピュラに依存する．

ここでは式(2)の解析例として，FGM コピュラに基づく本提案モデルの並列システムの寿命分布を陽に導出する．VとX_iが FGM コピュラに従う場合（$i = 1, \dots, n$），$C_{i|V}(G(t)|v)$は以下で与えられる．

$$C_{i|V}(G(t)|v) = G(t)\left(1 + \theta_i\big(1 - G(t)\big)(1 - 2v)\right), \quad (-1 \le \theta_i \le 1).$$

さらに，$G(t) = 1 - \mathrm{Exp}[-\lambda t]$を仮定する（ただし，$\lambda > 0$）．このとき，以下の関係式が得られる．

$$\int_0^1 \prod_{i=1}^{n} C_{i|V}(G(t)|v)\, dv = \left(1 - e^{-\lambda t}\right)^n \Bigg(1 + \sum_{k=2}^{n} \frac{1 + (-1)^k}{2(k+1)} \sum_{1 \le j_1 < \cdots < j_k \le n} \theta_{j_1} \cdots \theta_{j_k} e^{-k\lambda t}\Bigg).$$

ただし，$n \ge 2, n \in \mathbb{N}$である．例えば，$n = 2$ならば次式が得られる．

$$\int_0^1 \prod_{i=1}^{2} C_{i|V}(G(t)|v)\, dv = \left(1 - e^{-\lambda t}\right)^2 \left(1 + \frac{\theta_1\theta_2}{3} e^{-2\lambda t}\right). \tag{3}$$

本提案モデルにおける，並列システムの寿命分布は以下で与えられる．

$$\Pr[T \le t] = \int_0^1 \prod_{i=1}^{n} C_{i|V}(G(t)|v)\, dv. \tag{4}$$

式(3)より式(4)の右辺は陽に求まる．さらに，この並列システムの寿命時間の期待値は以下のようになる．

$$E[T] = \frac{1}{\lambda}\left(\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{i} - \sum_{k=2}^{n} \frac{(1 + (-1)^k) n!\,(k-1)!}{2(k+1)\big((k+n)!\big)} \sum_{1 \le j_1 < \cdots < j_k \le n} \theta_{j_1} \cdots \theta_{j_k}\right).$$

例えば，$n = 2$の場合は，

$$E[T] = \frac{3}{2\lambda}\left(1 - \frac{\theta_1\theta_2}{54}\right),$$

が成り立つ．従って，θ_1とθ_2とが同符号であるならば，コンポーネントが独立な場合（すなわち，$\theta_1 = 0$または$\theta_2 = 0$）と比べて$E[T]$が小さくなり，異符号ならば大きくなることが分かる．

並列システムと同様の議論は，maximal signature を変更することで，実システムの解析上で重要な直列システムや他のネットワーク構造をもったシステムに対しても可能である．

3．おわりに

コロナ禍において，本国際会議はオンラインで開催された．オンラインでは，音質の問題や質問者の顔が見えにくいために，対面よりも質問が聞き取りにくく，筆者は質疑応答の時間にとても緊張した．今回の受賞を励みに，今後ともシステムの信頼性評価技術を研究し，信頼性の高いシステム開発に役立ちたい．

最後に，本執筆の機会をくださった工学研究所の皆さまに心より御礼申し上げます．そして，本研究にご協力頂きました，受賞論文の共著者である木村光宏氏に感謝申し上げます．また，日頃より筆者の研究を応援してくださる石井信明教授に御礼申し上げます．

参考文献

[1] S. Ota and M. Kimura, Factor copula modeling of coherent systems with dependent components, Proc. 9-th Asia-Pacific International Symposium on Advanced Reliability and Maintenance Modeling (APARM 2020), 5 pages (Online, 2020. 8).

[2] 太田修平，木村光宏，ファクターコピュラを用いたシステムにおける従属故障のモデリングと信頼性評価の一考察，電子情報通信学会技術研究報告（信学技報）信頼性， 120 (60), 7-12 (2020).

[3] W. Q. Meeker and L. A. Escobar, Statistical methods for reliability data, John Wiley & Sons (1998).

[4] J. McCool, Testing for dependency of failure times in life testing, Technometrics, 48 (1), 41-48 (2012).

[5] H. Joe, Dependence modeling with copulas, Chapman & Hall (2014).

[6] J. Navarro, J. M. Ruiz and C. J. Sandoval, Properties of coherent systems with dependent components, Commun. Stat. Theory Methods, 36 (1), 175-191 (2007).

4. 工学部重要機器整備費関連研究

地震災害時の「安全・安心」の分析に向けた情報基盤

秋吉　政徳[*]

Information Platform towards Analyzing "Safety" and "Relief" in case of Earthquake Disaster

Masanori AKIYOSHI[*]

１．はじめに

近年、大規模災害が多発する我が国では、従来にも増して「災害対策」が喫緊の問題としてクローズアップされている。災害は、大別すると「風雨」、「地震」によるものがあるが、対策には次の違いを考えなければならない。「風雨」の場合には、最近の「ゲリラ豪雨」のようなものを除けば、台風の進路予測や地域ごとの降雨量予測のように予測にもとづいた対策をある程度立案が可能である。一方、「地震」の場合には、まずは危険箇所を同定して安全な待避場所へと誘導することを迅速に行わなければならないが、そのためとしてシミュレーションなどによる事前検討が従来から取り組まれてきた[1]。このようなシミュレーションは、主として行政担当部局や建物管理企業の主導で行われてきているが、いまだ十分な対策立案には至っていない。その背景には、例えば大規模な地下街などのように不特定多数の人を対象にした場合には、学校や企業あるいは地域コミュニティとは異なり、たまたまそこにいる避難対象の人々の行動としては統制だったものが難しく、行動特性の把握が難しい。また、そのような不特定多数の集団の場合には、パニック行動が発生する場合もあり、複雑で再現性のない状況の下での地震時の災害対応はまだまだ難しいといえる。

本稿では、「地震」発生時に不特定多数の人が集まる場所を対象に、その際の災害対応を検討するために必要な技術についての方向性について述べる。まずは、複雑で再現性のない状況をシミュレーションとしてどのようにモデル化するか、さらにそのような状況下での人々のパニック行動をシミュレーションモデルにどのように反映するか、さらにそのような状況下での人の認知心理特性をどのように把握するか、といった点について述べる。そして、これらの技術を統合することで、新しい「安全・安心」の分析に向けた情報基盤としての構想を述べる。

２．地震発生時避難課題への対応

「はじめに」で述べたように、「地震」発生時に不特定多数の人が集まる場所を対象にした場合には、避難訓練を通しての基本行動を個々人が有していたとしても、例えば「初めてきた場所でどの方向に出口があるかわからない」、「集団の動きに飲み込まれる中で不安になり、基本行動がとれなくなる」といったことで、結果的に統制の取れた避難行動に繋がらないことを含め、複雑で再現性のない状況を分析できる必要がある。分析の前提として、そもそも現実の避難行動のログはほとんどなく、シミュレーションに基づいたものを前提としなければならない。

２．１　マルチエージェントモデルによる避難シミュレーション

マルチエージェントモデルに基づく避難シミュレーションにより、行動特性を把握しようとする試みがいろいろと取り組まれている[2][3][4]。このような試みでは、空間モデルや歩行者モデルとしてさまざまな検討がなされているとともに、災害データとの連動も行われている。筆者の研究グループでは、同様に空間モデルや歩行者モデルをもとにしたマルチエージェントモデル[5][6]を構築してきたが、人のパニックといった側面に焦点をあてたシミュレーションモデルがないことから、次のような点をシミュレーションモデルに取り入れることで、パニック行動の発現を試みた。従来の「建物火災における避難行動」として緊急時の人間行動特性として 10 個の特性[7]が触れられている中で、以下の行動特性を組み入れた。

- 追従性(多くの人が逃げる方向を追っていく)
- 向開放性(開かれた感じのする方向へ逃げようとする)
- 出口再検索(向かっている出口到達が困難と判断した場合の向かう出口を再検索する)
- ランダム移動(現在地点からの移動方向が一定でない)

これらに加えて、移動方向先の集団に応じて「歩行速度」 を変化させることを歩行者モデルに組み入れる。図 1 は、避難シミュレーションツールの構成を示している。

[*]教授　情報システム創成学科
Professor, Dept. of Information Systems Creation

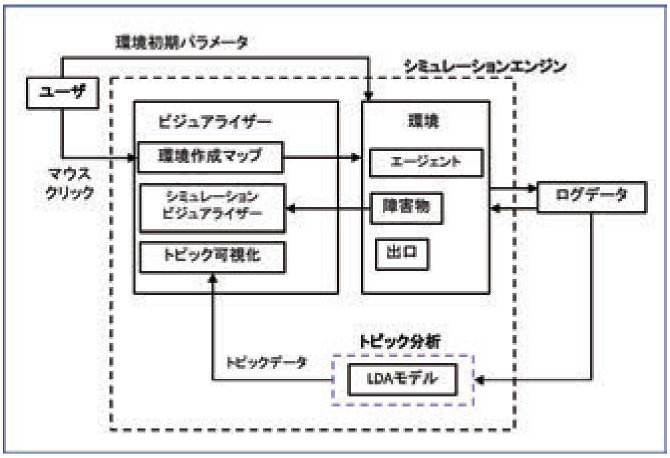


図 1 避難シミュレーションツールの構成

エージェントの行動は、環境（周囲の状況）を移動ステップごとに認識することで、各エージェントが行動ルールを切り替えてそのルールを実行することで行動が決定されるが、周囲のエージェントや壁などの空間的影響も反映して最終的な移動先が決定される。行動ルールとしては、前述の行動特性にあるように図 2 に示す視野を通して環境を認識した上で、「if-then」形式のルールで表現されるものを用いていて、図 3 に示すような行動モデルとなっている。一方、空間的影響の反映においては、ポテンシャルモデル[8]と呼ばれるものを用いており、他のエージェントや壁などからは「斥力」、避難出口からは「引力」を受ける形となっている。エージェントごとに、シミュレーションステップのたびに図 4 に示すようなポテンシャル場を算出し、その結果と行動ルールから図 5 に示すように移動先が算出される。

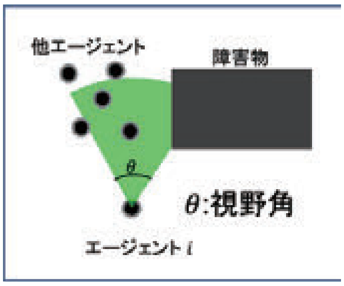


図 2 エージェントの視野

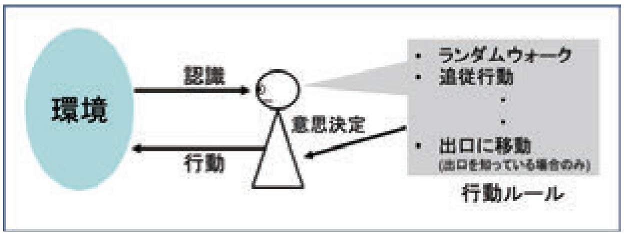


図 3 エージェントの行動モデル

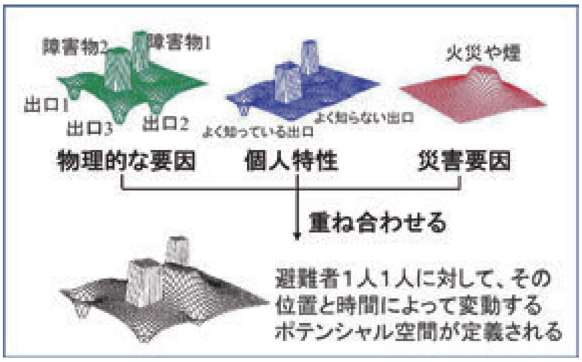


図 4 ポテンシャル場で表現される環境

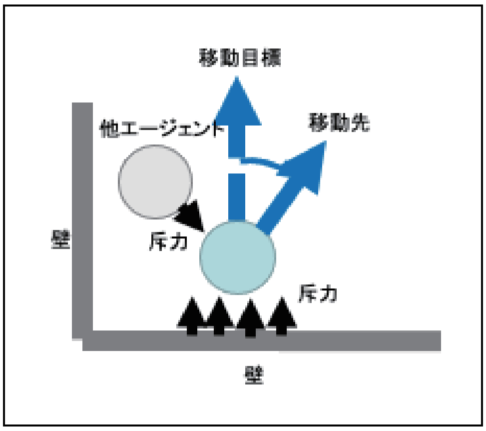


図 5 エージェントの移動先の算出

２．２　避難シミュレーションの行動ログからの集団行動分析

2.1 節によって算出されるシミュレーション結果、すなわちエージェントごとの行動ログが得られるが、例えば数百体のエージェントの移動ステップを 2 次元平面上にアニメーション表示したとしても、対策を考えるにあたって、それを集団の行動特性として捉えていちいち目視によって行うことは現実的でない。つまり、前述のパニック行動などのように特徴的な行動の集団を自動的に捉える必要があり、そのためにはエージェントごとの行動ログから集団行動特性に自動的に変換する必要がある。

そこで、「トピックモデルを用いた集団行動分析」[9]を新たに構築した。トピックモデルは、一般的に文章の潜在的なトピックを抽出するモデルとして用いられているが、Bag of Words（BoW） 形式に表現されたデータに関わる確率モデルであることから、文書以外でも BoW 形式に変換することができれば、トピックモデルを適用することができる。井上は実際に行われたサッカーの試合における選手とボールのトラッキングデータを、BoW 形式に落とし込むことで、チームの攻撃パターンなどをトピックとして抽出している[10]。井上のトピックモデルを参考に、避難シミュレーションにおける避難集団行動特性の分析として、新たなトピックモデルの適用方法を試みた。避難シミュレーションログから、トピック分析可能な BoW 形式の文書を作成し、トピックの抽出を行う。さらに、各トピックの出現タイミングの同定および、トピックデータをシミュレーション空間に可視化することによって集団行動の分析を行う。

２．２．１　語彙の生成

トピックモデルとしての語彙は図 6 に示すように、シミュレーション空間を任意に分割したエージェントの位置、方向を 8 分割したエージェントの移動方向、そして行動ルール名を組み合わせたものを一つの語彙として、トピックモデルに適用可能な BoW 形式にする。

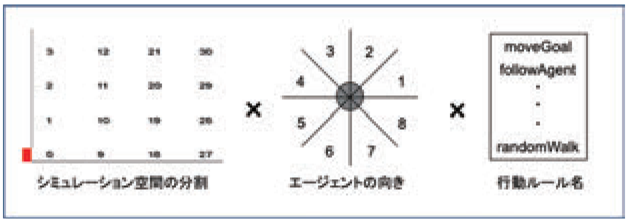


図 6 語彙の構成要素

２．２．２　文書の生成

文書の生成には、避難エージェントの集団数が変化した瞬間をシーンの区切りとして生成する。エージェント間の距離が予め設定した距離より短い場合に同じ集団数とした。エージェント行動によっては集団数が少ないステップの間に細かく変化してしまう場合を想定し、文書の単語数が一定数より少なかった場合には、前シーンで作られた文書に追加した。

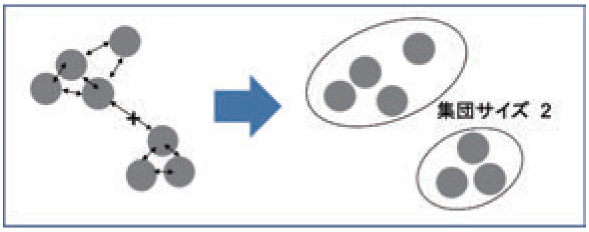


図 7 集団数区切りによる文書の生成

２．２．３　集団行動の可視化

行動ログから生成した文書に対してトピックモデルを適用し、トピックの抽出を行うが、その際にトピックに含まれる適合度の高い単語上位 10 件を、対応する場所にヒートマップとして表示し、移動方向と行動ルールを矢印で表すこととする．なお、矢印の色は行動ルールを表している。このようにして得られたトピック分布を、図 8 に示すように 2 次元平面上に可視化する。さらに、2.2.2 節の文書の生成を集団数ではなく、時間区切りとして生成し直すことで、抽出されたトピックの出現順序を明らかにすることができる。図 9 に集団行動の可視化のための分析処理の構成を示す[11]。

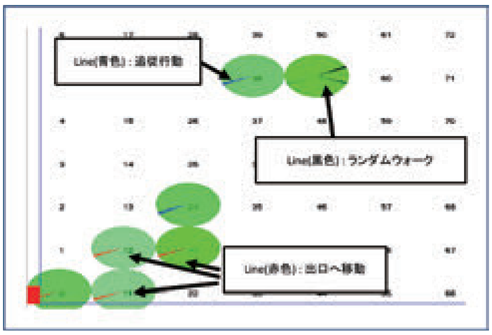


図 8 可視化された集団行動の例

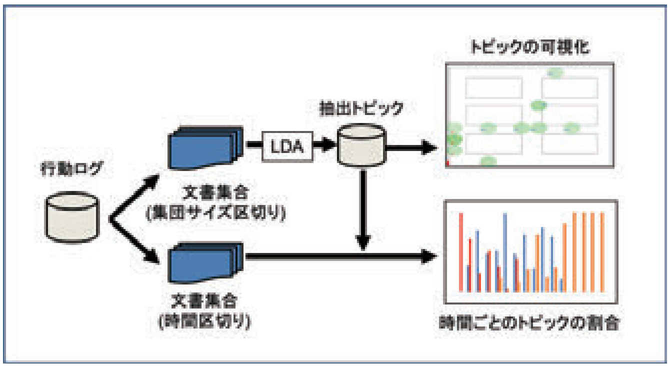


図 9 集団行動の可視化と出現順序抽出の処理

このような機能をもとにして、通路が複雑な地下街などでのシミュレーションでは、各エージェントは 2.1 節で示したような「行動特性」として妥当な判断を行なっているにもかかわらず、出口に向かう途中の場所で出口に向かうエージェントと右往左往するエージェントがぶつかり合って、集団として見ると正しい判断（ある意味での統制がとれた行動）ができないままに避難がうまくいかない場合が発現した。これを現象的にみると、集団としての「パニック」が創発されたと解釈できる。

２．３　避難時の認知特性

前述のシミュレーションでも発現できた「パニック」については、災害時のパニック行動として多くの研究が行われているものの、少人数による実験室実験を始め、まだまだ現実場面と乖離しているものとなっている。その背景にあるのは、実験室実験であれ現実規模のものであれ、「パニック行動」を起こさせた時の「実験参加者の安全」の担保があるために、なかなか取り組みが難しいという問題となっている。

そこで、VR（Virtual Reality）を用いてパニック行動を分析するための検証基盤の構築に取り組んだ。具体的には、多数のエージェント（アバター）がいる屋内施設の中で、先行研究に基づく災害イベントを発生させ、 その時の生理反応（心拍、皮膚電位、指尖温度）や視線、位置を計測することとした。パニック行動を起こす要因として「注意の一点集中」が挙げられている[7]。これは、緊急時にごく一部の情報に注意が集中し、広範囲に注意を向けることができなくなる状態のこととされている。そこで、VR 環境の中で、避難時にどこを見ているのかの視線を計測し分析することで、パニック行動時における注視傾向を明らかにできる可能性があると考えた。さらに、生理反応を計測することで、パニック行動時の心的状態を捉えることを試みる。

エクマンら[12]は、文化や年齢にかかわらず誰もが同じように表出する情動である、「喜び」「驚き」「悲しみ」「怒り」「恐怖」「嫌悪」の 6 情動における心拍、皮膚伝導率、指尖温度の変化のパターンの違いによってそれぞれの情動を分離した。災害時の情動として考えられる「恐怖」の情動は、心拍、血圧、皮膚伝導率が上昇し、指尖温度は減少することが分かっている。パニック行動は、その個人が持っている過去経験(施設の事前情報など)と、集団との相互作用、そして被災場面の状況、これら 3 つの相互作用から発生すると考えて迷路探索実験を行った研究[13]や古田[7]の研究を参考に、パニック行動を誘発する災害シーンを表 1 ならびに表 2 のように定義して

VR 内で発生させることとした。

表 1 パニック行動誘発のための要因（個人的特徴）と対応する災害シーン

要因	説明	災害シーン
脅威の認知	自分の生命・財産に切迫した脅威を 認知する必要がある	爆発音、煙、火災
強い恐怖感	逃走や殺到といった方向性を持った 行動を引き起こしやすい	悲鳴の声、走って逃走 停電、サイレン
効力感の喪失	自分の力ではどうすることもできないと認知する場合、パニック行動に駆り立てられやすい	火災、出口が閉まっている
脱出路が断たれつつ ある という認知	パニックに陥る人は一刻も早くしなければ脱出路が断たれてしまうという切迫した意識を持つ	人の多さ

表 2 パニック行動誘発のための要因（環境的特徴）と対応する災害シーン

要因	説明	災害シーン
脱出路の不足	出入り口が少なく、脱出が困難な構 造を持つ施設は、他の施設と比べパニックが発生しやすい	閉じた出口
閉鎖空間での過密状態	群集が狭い室内や地下街にある程度 以上の密集状態に置かれている場合 にはパニックが誘発しやすい	群集の多さ、空間の狭さ
情報システムの不備	警報装置が正しく作動しないと、公式 情報の欠落により流言などによってパニックが発生する可能性もある	群集デマ
避難を困難にする障害物	煙、停電、非常口の欠如、非常扉の 故障はパニックを誘発する物理的環 境的要因	煙、停電

２．３．１　システムの概要[14]

図 10 に VR 装置と生理指標計測装置を統合したシステム構成を示す。

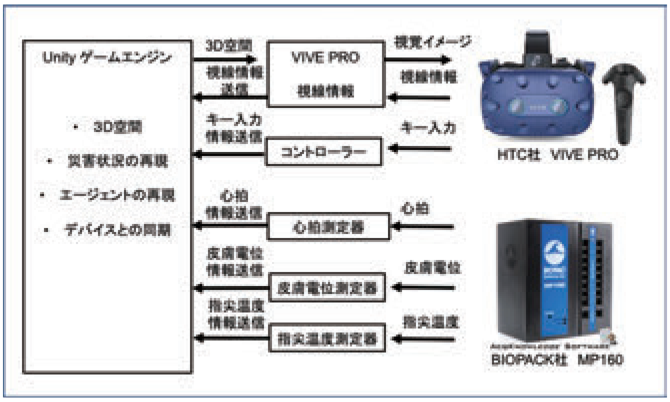


図 10 VR 環境生成と生理指標計測のシステム構成

VR の Head Mounted Display（HMD）は HTC 社の Vive Pro を導入し、Vive Pro のコントローラを用いている。本機は視線の計測も同時に可能である。実験中は、図 11 に示すように片手に計測器を多く取り付けるので、片手で操作が可能なコントローラを選んだ。また、生理指標として BIOPACK 社の汎用生体アンプ MP160 を用いた。心拍数（Heart Rate: HR）、皮膚伝導反応（Skin Conductance response: SCR）に加え、指尖温度（Fingertip Temperature: FT）の 3 つを計測することができる。

システム開発には、ゲームエンジンである Unity を用いている。図 12 に、本システムによって生成される VR 内での被験者が見ている災害時のシーンの例を示す。

図 11 生理計測のための 計測器の装着の様子

図 12 生成された災害時シーンの例

被験者実験では、HMD と計測器の装着した上で、片手でコントローラを操作する必要があり、被験者の安全を担保するために「立位」ではなく「座位」で行うこととし、地点ごとの周りを確認する際の HMD を装着したままでの振り向き動作については首の回転だけでは大変なこともあると考え、椅子の回転も用いることとした。図 13 に、被験者実験時の様子を示す。

図 13 被験者実験時の様子

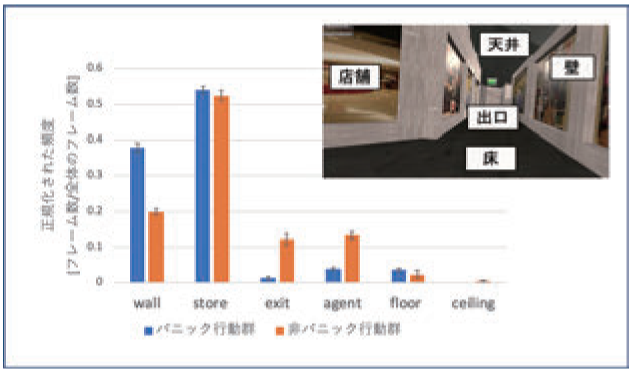


図 14 視線先の対象物の違い

２．３．２　実験内容と結果

実験では、ショッピングモールを模した VR 環境を作成し、被験者に予めフロアマップを提示して適当に歩き回って出口や通路の状況を認識してもらい、その後に実験開始時には目標とする地点に向かってもらうこととした。目標地点付近で災害である地震による火災を発生させ、自らの判断で出口への避難を行うこととした。出入口は 3 つあり、出口 3 のみ脱出することが可能であるとした。出口 1 と出口 2 は扉が閉まっておりそこから避難することはできない。また、被験者以外の VR 環境内でのエージェントは 99 体として、災害発生前はショッピングモール内をランダムに歩き回っており、災害発生後では、「出口を知っているエージェント」は 3 つの出口のいずれかに向かい、「出口を知らないエージェント」は「フードコート付近へ移動」あるいは「出口でない方にランダムに移動」という振る舞いをプログラムで実行している。その結果、出口 1 と出口 2 は扉が閉まっているために、エージェントは出口付近で滞留している状態になる。

「パニック行動群」の定義として、アンケート回答で「パニックに陥った」と 6 段階中 4 以上で評価した被験者の中で、以下の行動のいずれかが観測された被験者としたところ、6 名が該当した。

- 一ヶ所の入り口に集中することによる押し合い
- あえて煙の方へ走る
- 避難口でない方への逃走
- 同じ場所を往復

被験者 18 名で実験を行い、実験後はアンケートを行い、視線や生理指標計測とともにまとめた実験結果は、以下のとおりである。

「視線先の距離」について、パニック行動群、非パニック行動群ともに 0～15m 先のものを見ていたが、今回の火災発生時のシーンの中の「壁」、「店舗」、「非常口」、「エージェント（アバタ）」、「床」、「天井」のいずれを見ていたかを分析した結果を、図 14 に示す。

パニック行動群は「壁」や「店舗」を注視している傾向があり、非パニック行動群は全体を見ている傾向があった。

「生理指標」としては、以下のようになった。安静期を基準とした時に、「災害期」と「避難期」での心拍の変化を調べると、パニック行動群は災害期で有意差が見られ、非パニック行動群は災害期と避難期それぞれで有意差が見られた。同様に、皮膚電位の変化を調べると、パニック行動群は災害期･避難期それぞれで有意差が見られ、非パニック行動群も災害期・避難期それぞれで有意差が見られた。しかし、災害期・避難期それぞれでのパニック行動群と非パニック行動群での群間では有意な差は見られなかった。同様に、指尖温度での変化を調べると、パニック行動群は災害期・避難期それぞれで有意差が見られた。しかし、災害期・避難期それぞれでパニック行動群と非パニック行動群での群間に有意な差は見られなかった。これらをまとめたものが、図 15 である。

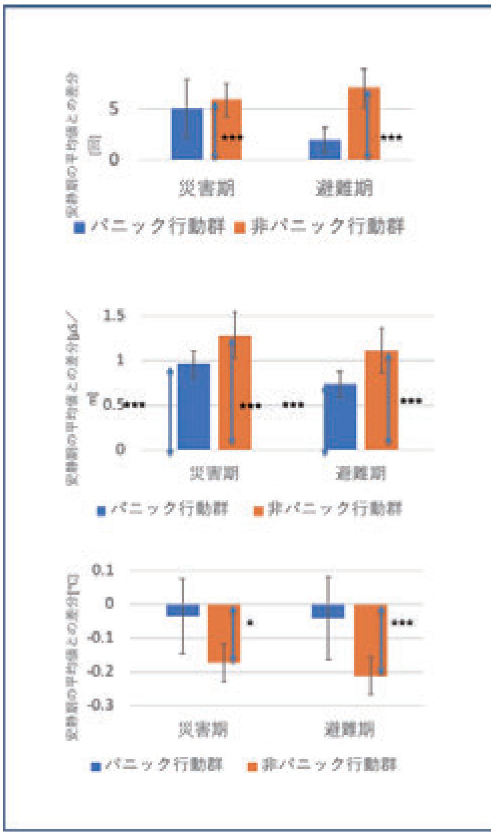


図 15 安静期を基準としたパニックイベント期（災害発生）と避難期の生理指標の変化

３.「安全・安心」の分析のための情報基盤

2 節で述べた技術は、マルチエージェントモデルによるシミュレーションでのパニック行動を捉えるといった災害時の「集団行動に関わる気づき」、さらにそのような場合の「人の認知心理特性」を明らかにすることによって、「対象空間や設備、避難誘導方法のよりよい策定」といったことへの展開が考えられる。

超高齢社会を迎えた我が国では、高齢者への配慮がますます重要となる中で、デザインの分野では、これまでの「ユーザビリティ」や「バリアフリー」に代えて「インクルーシブデザイン」という考え広まりつつある[15][16]。高齢者や障がい者、外国人は、災害弱者と位置付けられるが、これまではこれらの人々への聞き取り調査等によってデザインが改善されてきたことは明らかであるが、インクルーシブデザインとはデザインの上流プロセスにこれらの人々を巻き込んで、共にデザインを考えていくという点で、デザインプロセスそのものの変革である。2 節の技術を連携させせつつ、この考え方に沿った「情報基盤」としての一つの形を示したのが、図 16 である。

図 16 中の右の空間模擬環境では、VR による 3 次元模擬空間では 2.3 節で実施したように HMD や生理計測機器を装着した被験者が、避難者のアバターや自律ロボット（人型ロボットや自律走行車椅子）のアバターとともに災害発生に遭遇し、自らの考えに従って避難行動（移動）を起こす。その際の「行動・視線・生理データ」が、図 16 中の左のシミュレーション環境に伝達され、シミュレーション環境では被験者に対応したエージェントがまず移動し、その次に他の避難者のアバターや自律ロボットに対応したエージェントが、2.1 節の行動モデルに基づいて移動する。このエージェントの行動データが再び図 16 中の右の空間模擬環境に伝達され、アバターの移動となる。すなわち、被験者とエージェント（アバター）が、3 次元 VR 空間と 2 次元シミュレーション平面の中にともに表現され、2 つの環境間でデータの送受信を繰り返すことで、できるだけ現実での不特定多数の人々が集まっている空間での災害時発生の避難行動を情報基盤として算出する。

図 16 中の左のシミュレーション環境に HMD を装着した「リードユーザ」が組み込まれている。「インクルーシブデザイン」では、対象ユーザの意見を代表する「リードユーザ」をデザインプロセスに組み入れることが提唱されており、ここでは前述の災害弱者である「高齢者」、「障がい者」、「外国人」をリードユーザとして設定し、上記の避難行動のデータ更新サイクルを繰り返した結果をもとに、シミュレーション環境でのエージェント群の行動、あるいは特定のエージェントの視点を反映した行動を VR 画像生成プログラムによりリードユーザに提示し、提示中あるいは提示後の意見収集（例えば、誘導灯が車椅子からは見えにくい、周囲のまごまごする集団によって移動できなくなる）を行い、意見分析プログラムをもとに、実空間模擬のデータ修正プログラムによって実空間での空間構成や自律ロボットの行動データを修正する。

４．まとめ

本稿では、「地震」発生時に不特定多数の人が集まる場所（鉄道駅を中心とした複合施設、ショッピングモールなど）を対象に、その際の災害対応を検討するために必要な技術として、マルチエージェントモデルによる避難シミュレーション及び VR と生理指標計測機器の活用環境について述べた。さらに、それらを有機的に統合することで、実験室実験や避難訓練等では明らかにできない人々の集団行動特性を明らかにすると共に、災害弱者の意見をデザインプロセスの設計に組み込むこととその活用方法を提案し、「安全・安心」の分析に向けた情報基盤としての構想とした。今後は、この構想の実現に向けて、要素技術の研究とともに、実現には不可欠の計算処理の高速化について検討・開発を進めるつもりである。

参考文献

[1] 山下倫央, 野田五十樹, 避難シミュレーションの実社会への応用, 情報処理, 55(6), 572-578(2014)

[2] 太田正幸, 山下倫央, 車谷浩一, 非常時における避難政策の学習による獲得, 情報処理学会研究報告, 2007-ICS-147(5), 31-34(2007)

[3] 政金裕太, 佐藤佳穂, 岡村吉泰, 岡部篤行, 木村謙, 震災時における避難経路の混雑箇所推定のためのシミュレーション, Proc. of the General Meeting of the Association of Japanese Geographers, 2015s P083(2015)

[4] 松島弘, 狩野均, 避難者の情報伝達能力を考慮した広域災害避難シミュレーション, 情報処理学会第 76 回全国大会, 4T-7(2014)

[5] 石田龍星, 秋吉政徳, 避難群集行動における創発現象の発生を目的としたマルチエージェントモデルの構築, 電気学会情報システム研究会, IS19-37, 69-73(2019)

[6] 石田龍星, 秋吉政徳, 集団避難行動モデルを組み込んだマルチエージェントシミュレーションツール, 2019 年度人工知能学会全国大会, 3Rin2-24(2019)

[7] 古田富彦: 安全・危機管理に関する考察 (その 2) 緊急時の人間行動特性, 国際地域学研究, 6, 239-254(2003)

[8] D. H. Kim, S. Shin, Local path planning using a new artificial potential function configuration and its analytical design guidelines, Advanced Robotics 20, 111-135(2006)

[9] 石田龍星, 秋吉政徳, 市川淳, トピックモデルを用いた避難における集団行動特性の分析, 2020 年度人工知能学会全国大会, 4G3GS703(2020)

[10] 井上寛康, サッカーのトラッキングデータから集団行動を読み取る:行動のシンボル化による試み, 人工知能学会学会誌, 34(4), 517-524(2019)

[11] 石田龍星, 秋吉政徳, 市川淳, マルチエージェントシミュレーションによる集団避難行動特性の分析ツール, 電気学会情報システム研究会, IS-20-044(2020)

[12] P. Ekman, R. W. Levenson, W. V. Friesen, Autonomic nervous system activity distinguishes among emotions, Science, 221, 1208-1210(1983)

[13] 金田英子, 大規模複合災害における被災者の心理過程の特徴, 東洋法学, 58(2), 222-213(2014)

[14] 新納穣, 市川淳, 秋吉政徳, 屋内災害におけるパニック行動分析に向けた VR による検証基盤, 電子情報通信学会ヒューマンコミュニケーション基礎研究会, HCS-21-005(2021)

[15] 塩瀬隆之, 対話から共創する安心：インクルーシブデザインワークショップからの提言, デザイン学研究, 15(3), 44(2007)

[16] ジュリアカセム他(編), インクルーシブデザイン:社会の課題

を解決する参加型デザイン，学芸出版社(2014)

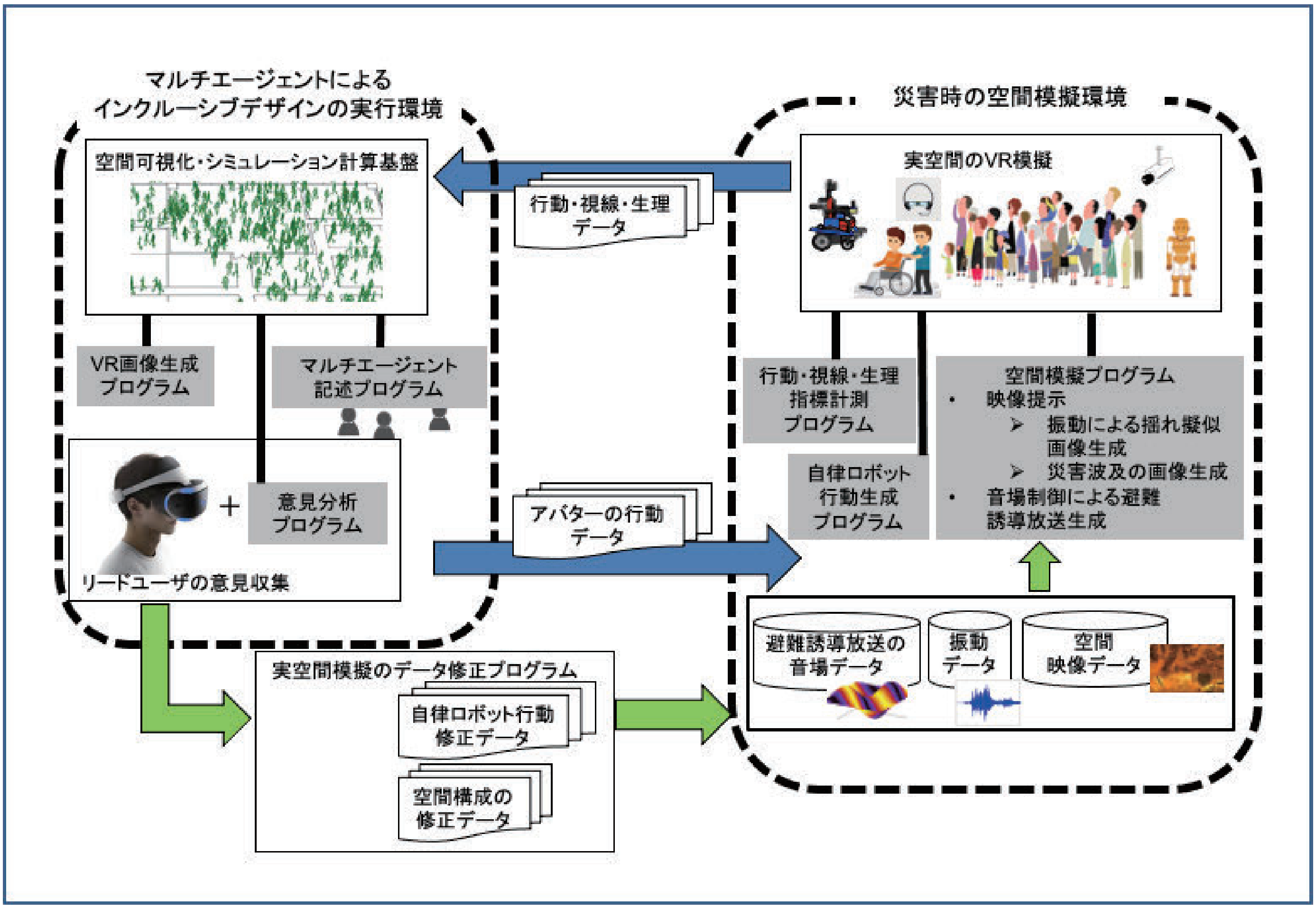


図 16 「安全・安心」の分析に向けた情報基盤

5.　工学研究所共同研究

5−1　ハイブリッドロケットエンジンの軽量化 , 大推力化および高燃焼効率化 (2020)

高野　敦、 船見　祐揮、 喜多村　竜太、 正井　卓馬

5−2　DNA のレーザー分子線堆積に基づくニューパラダイム : 新奇ハイブリッド薄膜材料の創製 (II)

松木　伸行、 有賀　克彦、 小野　晶、 亀山　敦、 佐藤　知正、 山口　栄雄、 横澤　勉

5−3　曲げ履歴を受けた鋼材の機械的性質に関する研究　藤田　正則、 中村　慎

5−4　単結晶ダイヤモンド工具による硬脆材料の UV レーザ援用微細加工　由井　明紀

5−5　ナノ繊維添加繊維強化熱可塑性樹脂複合材料の創製プロセスに関する研究

松本　紘宜、 竹村　兼一、 喜多村　竜太、 高木　均、 加藤木　秀章、 田中　達也

5−6　体育館を対象とした継続使用性の判断方法に関する検討—振動特性とコンクリート基礎の損傷の関係—

白井　佑樹、 島崎　和司、 伊山　潤、 涌井　将貴、 荏本　孝久

単結晶ダイヤモンド工具による硬脆材料の UV レーザ援用微細加工

由井　明紀[*]

Micro Cutting of Brittle Material using Monocrystalline Diamond Tool Assisted by UV-laser

Akinori YUI[*]

1．緒言

近年実用化が進んでいる高機能製品の主要材料として，硬質性，電気的特性，化学的安定性，熱的特性，透明性などに優れているガラス，セラミックス，サファイアなどの硬脆材料の需要が高まっている．特に，超硬合金はダイヤモンド，立方晶窒化ホウ素に次いで高硬度な材料であり，切削工具や金型等，工業的に幅広い分野で利用されている．従来，超硬合金の精密加工は，ダイヤモンド砥石による研削加工やダイヤモンドバイトによる微細切削加工により比較的低能率で行われている．特に切削加工では，工具損耗や工具損傷に起因して加工能率が低く，学術的のみならず産業界からも工具寿命の延命が熱望されている．

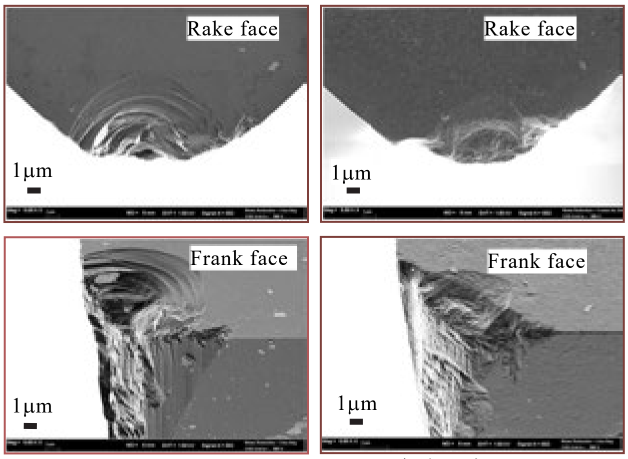
硬脆材料の微細加工に関する研究報告は様々なアプローチから成されている．社本らは，工具に超音波を用いた楕円振動を付与した楕円振動切削を提案している [1)]．超音波振動を付与することにより切りくず厚さが大幅に減少し，研削抵抗も抑制することにより延性モード切削に成功しているが，加工時間が長くなる問題を抱えている．また，角谷らは微粒ダイヤモンドを高温・高圧条件にて焼成することにより，工具損耗を抑制できるナノ多結晶ダイヤモンド工具の商品化に成功した [2)]．これにより，単結晶ダイヤモンド工具と比較し，硬脆材料の高能率・高精度加工をある程度まで可能にしている．さらに，鈴木らは，レーザを用いて単結晶ダイヤモンド製マイクロフライス工具を試作し，多刃切削工具による超硬合金製金型の高能率加工に成功している [3)]．

超硬合金の中で，特に結合相量（バインダ）が 1wt%以下の合金は，バインダレス超硬合金と呼ばれており，高い精度や鏡面性が必要な金型材料として用いられている．バインダレス超硬合金の硬度は HRA93 以上 [7)]と特に高いため，加工用の工具材質としては，一般にダイヤモンドが使用される．

筆者らは単結晶ダイヤモンドや住友電工が開発中のナノ多結晶ダイヤモンド工具を用いてバインダレス超硬合金のシェーパ加工および溝入れ正面切削を試みたが，工具寿命の十分な延命には至っていない [7)]．すなわち，ダイヤモンド工具に図 1 に示すような刃先損耗が発生し，工具材料として実用化に必要な寿命を得るに至っていない [4)~6)]．さらに，王立ストックホルム工科大学の Peter らが開発したカーボンナノチューブを混入した植物性油剤を用いて工具と工作物接触面の潤滑性を高めて正面切削を行うことにより，工具寿命の延命に成功したが，実用的な工具寿命には至っていない [8)]．

一方レーザ加工では，材料の硬度や破砕性に関係することはなく材料加工することができ，その加工特性はレーザ光の吸収率により左右される．すなわち，使用するレーザ波長と加工する材料の光吸収特性により加工能率は決まる．一方，レーザ加工では，十分な加工面性状を得ることができず，仕上げ研磨加工が必要とされている．

硬脆材料のレーザ加工に関しては，池野らが単結晶 SiC のレーザスライシング加工に関する報告をしている [8)]．また，レーザ照射によってガラス内部に生じる現象を解明し [9)],ガラスレンズの製造を試みている [10)]．いずれの論文でも，レーザで加工した仕上げ面をマイクロメートルレベルで観察するとその形状が不均一になり，形状



(a) 単結晶ダイヤモンド工具（切削距離: 440m）　(b) ナノ多結晶ダイヤモンド工具（切削距離: 3000m）

図 1 ダイヤモンド工具の刃先損耗例

表 1　ダイヤモンドの分類

タイプI型	Ia 型	窒素が集合体を作る．一般的なダイヤモンドのほとんどがIa 型	98%
	Ib 型	窒素が単独で存在．濃い黄色系を生む．	
タイプII型	IIa 型	窒素やホウ素など不純元素を含まない．全ダイヤモンドの 0.5%程度	2%
	IIb 型	ホウ素を含む．電気を通す特異な性質がある．	

[*]教授　機械工学科
Professor, Dept. of Mechanical Engineering

に対する制御性は低い．また，レーザ加工では，一般に熱化学反応により昇華した材料粉によるデブリが発生するため，硬脆材料に微細精密加工をするのは困難である．

本研究では，UV レーザ加工とダイヤモンド切削加工を複合して，硬脆材料を高能率・高精度に微細加工することを目的とする．まず，バインダレス超硬合金に対して UV レーザ加工を試み，レーザ照射面の機械的強度の変化を確認する．次に，**表 1** に示す一般的な工具材料に使用されるⅠa タイプと高純度のⅡa タイプのダイヤモンドに対してレーザ加工を試み，レーザ援用工具として使用できるか否かの可能性を確認する．最終目的として，バインダレス超硬合金などの硬脆材料に対して UV レーザを援用したダイヤモンド工具による微細切削加工を試み，援用効果の確認を行う．

２．レーザによる硬脆材料の微細加工

2.1　供試短パルス UV レーザ

供試レーザとして，**表 2** に示す Advanced Optwave 製の短パルス UV レーザ（Aonano-355-5-30-V）を用いた．照射される平行光のビーム径 2mm を 10μm 以下に集光するため，**図 2** に示すように反射ミラー（シグマ光機製，TFM-30C05-352/355），ビームエキスパンダ（Thorlabs 製 BE02-UVB）と焦点距離 f=100mm の集光レンズ（シグマ光機製 LA4380-UV-ML）で構成した光学系を組み立てた．本光学系により，焦点距離 f=149.3mm においてビーム径 6.72μm を得ることができた．

レーザ光の平均出力はデジタルパワーエネルギーメータ（Thorlabs 製，PM100D）にて計測した．**図 3** に示すように，平均出力は発振周波数が高くなるほど低くなり，発信周波数 30kHz で最大出力 5.7W を得る．また，光学系（ミラー＆レンズ）を介在することにより，発信周波数が高い 300Hz 付近における出力の減衰はほとんど見られないが，平均出力が高い領域（発信周波数が低い 30Hz 付近）では 20%程度減衰し，平均出力の最大値は 4.5W となる．

またレーザ出力を安定させるため，主電源は常に ON とするが，実験開始前には毎回パワーセンサ（Thorlabs 製，S425C）を用いて，発信周波数と平均出力のキャリブレーションを実施し，実験データの再現性を確保する．

2.2　バインダレス超鋼合金の UV レーザによるスポット加工

図 4 に UV レーザを用いて平均出力 4.5W（発信周波数 30kHz）の条件でバインダレス超硬合金に穴加工を施した例を示す．図より，

表 2　供試 UV レーザの仕様

レーザ型式	Aonano-355-5-30-V(Advanced Optwave 製)
パルス幅	16～68ns
平均出力	0.9～5.7W
波長	355nm
ビーム径	2mm
ビーム真円度	90%

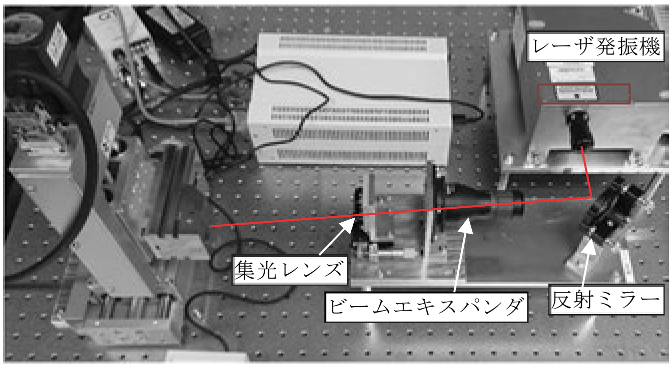


図 2　短パルス UV レーザの光学系

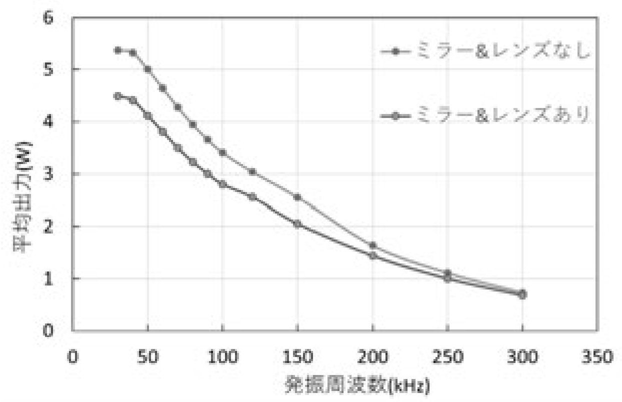
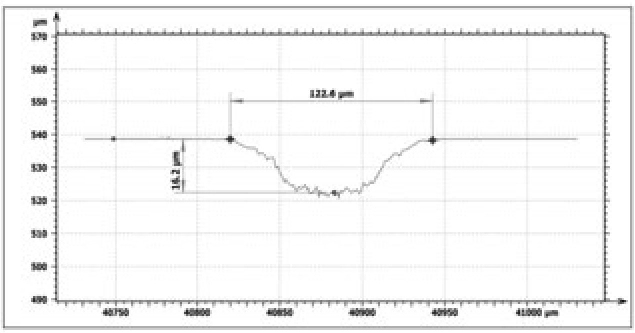


図 3　ミラー＆レンズによる出力損失
（レーザ出力と繰り返し周波数の関係）



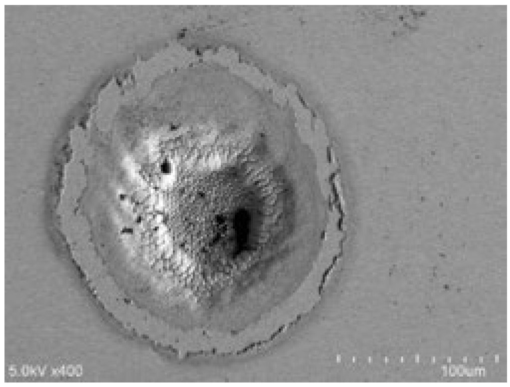


図 4　バインダレス超硬合金レーザ照射部の断面形状と SEM 写真
（照射時間：5s，平均出力 4.5W）

UV レーザによりバインダレス超硬合金を加工することができる．そこで，レーザ援用に適した加工サイズ（深さおよび加工径）の設定条件を求める．

図 5 にレーザ光平均出力と穴径の関係を示す．平均出力の上昇に伴い穴径は大きくなり，平均出力 0.45W で直径 16μm だった穴径は 4.15W で直径 36μm まで拡大する．すなわち，発振周波数を制御することによりレーザ加工による援用度合いを制御することができる．一方，穴径は加工時間の影響をほとんど受けない．

また，**図 6** に示すように，穴深さは照射時間とともに深くなり，5s 照射 16.2μm だった穴深さは 40s 照射で 159μm に達する．さらに，穴深さは平均出力の上昇に伴い深くなり，**図 7** に示すように発信周波数 80kHz（3.0W）では 7.91μm であった穴深さは 40kHz（4.5W）では 71.1μm に達する．すなわち，レーザの発振周波数と照射時間を制御することにより，レーザ援用に適した加工サイズを設定することができる．

2.3 バインダレス超硬合金の UV レーザによる溝加工

図 8 に平均出力 1.0W（発信周波数 250kHz），工作物移動速度 0.02mm/s の条件で溝加工を施したバインダレス超硬合金の光学顕微鏡写真（ニコン製，MM-400/U）を示す． 図より，UV レーザによりバインダレス超硬合金に溝加工を行うことができる．

図 9 にレーザ出力と溝幅の関係を示す．平均出力 0.45W 以下では溝は形成されない．平均出力の上昇に伴い溝幅は大きくなり 4.15W では 37.5μm の幅になる．溝幅はレーザ周波数や照射時間の影響は殆ど受けないが，平均出力が低くなるほど溝深さは浅く，照射時間

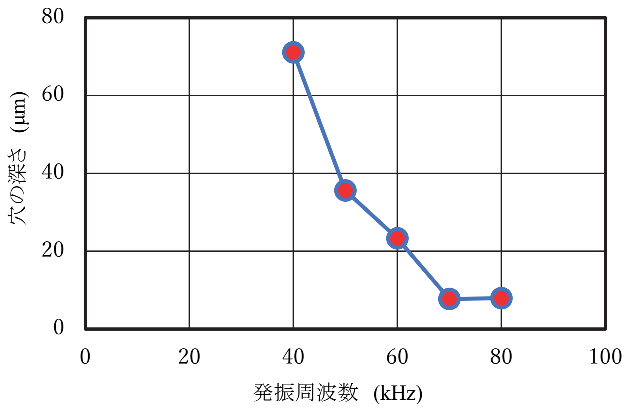


図 7　レーザ出力と穴深さの関係

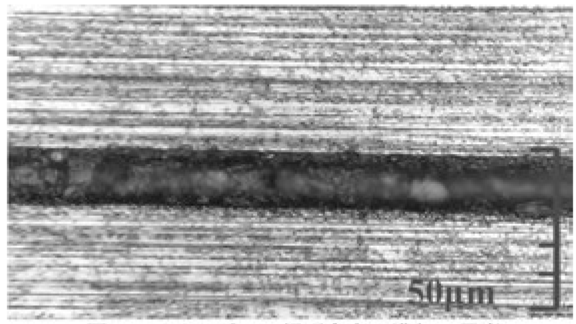


図 8　バインダレス超硬合金の溝加工写真
（平均出力 1.0W（250kHz），移動速度 0.02mm/s）

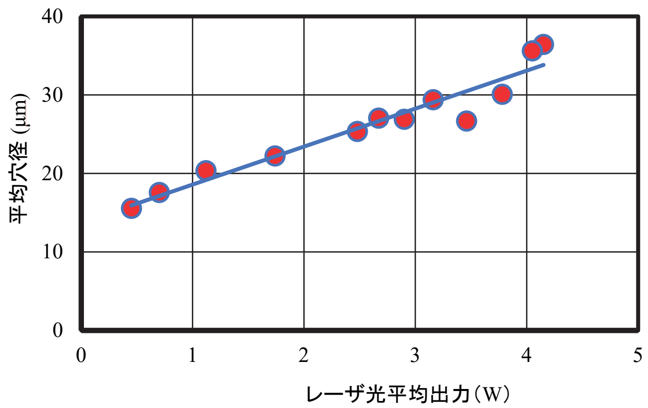


図 5　発振周波数と穴径の関係

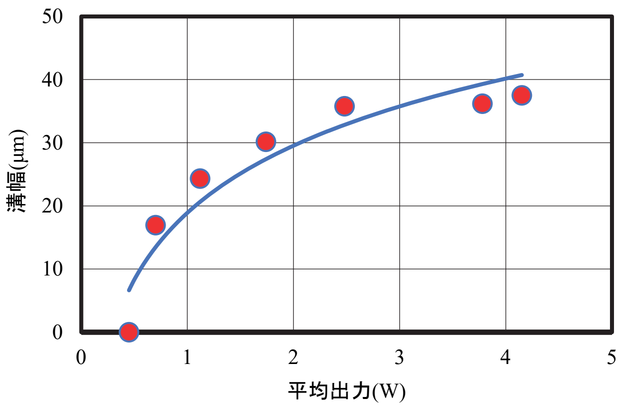


図 9　レーザ出力と溝幅の関係
（操作速度 0.02mm/s）

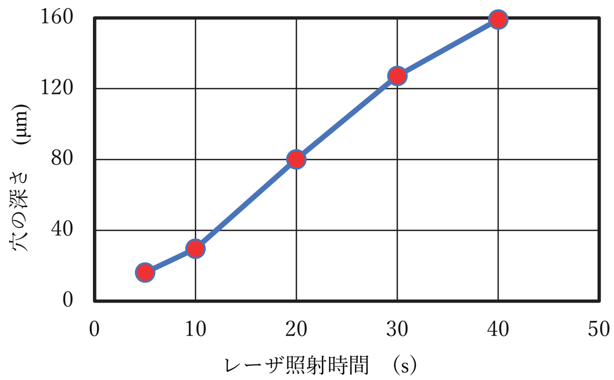


図 6 レーザ照射時間と穴の深さの関係

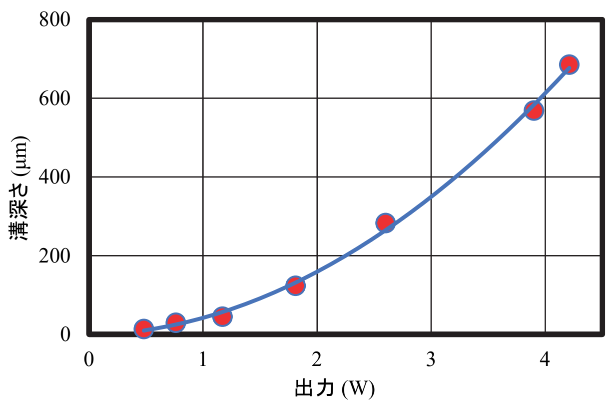


図 10　レーザ出力が加工溝深さに及ぼす影響

が長くなるほど溝深さは深くなる．ダイヤモンド工具の工作物との接触面積を 5μm と仮定すると，レーザ加工による溝幅が 5μm 以下となる 0.6W 程度の出力がレーザ援用の最適値となる．

図 11 にレーザ操作速度が 0.02mm/s に於けるレーザ平均出力と溝深さの関係を示す．レーザ出力の上昇に伴い溝は深くなり，平均出力 0.48W のレーザでは 13.6μm の溝幅が形成されるが，平均出力 4.5W のレーザでは 685μm の溝幅に達する．

３．ダイヤモンドの光学特性

3.1 ダイヤモンドの光透過特性

短パルス UV レーザによるダイヤモンドの加工を試みる．**表 3** に示すように，一般的に工具材料として用いられる 1a タイプダイヤモンド（住友電工製，PD1540KK）と不純物の少ないⅡa タイプダイヤモンド（天然ダイヤモンド）を供試ダイヤモンドとして用いる．

ダイヤモンドの光透過特性を**図 12** に示す．1a タイプのダイヤモンドはグリーンレーザ（波長 600nm）以下の波長領域では，透過率が極端に低下し，400nm 以下の波長は殆ど透過しない．一方，Ⅱa タイプのダイヤモンドは UV 領域の 300nm 以下までレーザ光の透過率はほとんど低減しない．すなわち，Ⅰa タイプのダイヤモンド工具は波長 355nm の UV レーザ光を透過することができないので援用工具として使用できないが，Ⅱa タイプのダイヤモンド工具では UV レーザ援用工具として使用できる可能性がある．以下で，実証実験によりダイヤモンド工具のレーザ光透過特性を調べる．

3.2 ダイヤモンドの UV レーザ加工実験

Ia タイプのダイヤモンドに超硬合金表面に UV レーザを集光した結果を**図 13** に示す．Ia タイプのダイヤモンドは UV レーザ光を透過しないため，ダイヤモンドはレーザ光を吸収して加工される．すなわち，レーザ援用加工用のダイヤモンド工具としては不適当である．

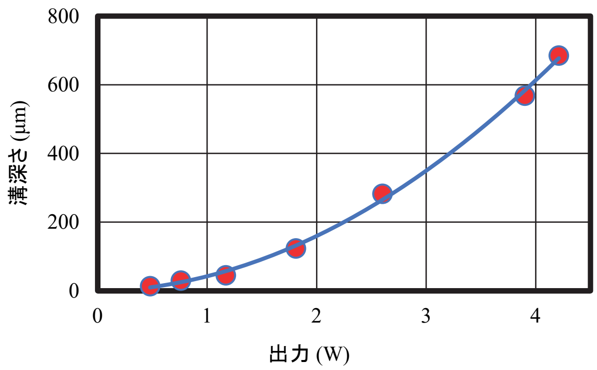


図 11　レーザ出力が加工溝深さに及ぼす影響

表 3　ダイヤモンドの仕様

ダイヤモンド	Ia タイプ
型式･メーカ	PD1540KK（住友電工製）
硬度	Hk10700
ヤング率	1050 [GPa]
線膨張係数	1.5×10^{-6} [1/K]
熱伝導率	2000 [W/(M･K)]
比熱	516 [J/(KG･K)]
融点	4000 [K]

一方，**図 14** に示すように，Ⅱa タイプのダイヤモンドは 4.8W の UV レーザを照射しても，照射面に変化は生じない．すなわち，Ⅱa タイプのダイヤモンドはレーザ援用加工における工具として使用できる．

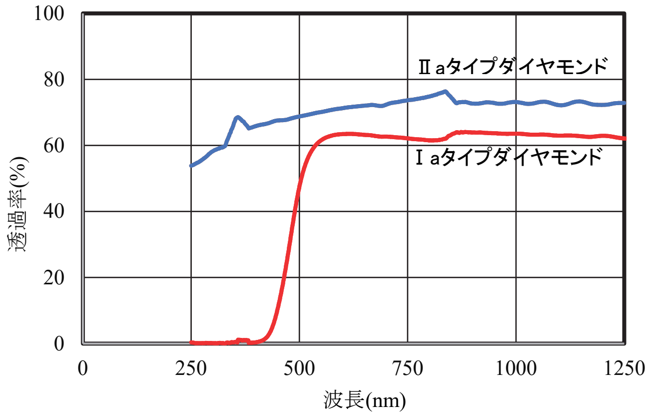


図 12　供試ダイヤモンドの光透過特性

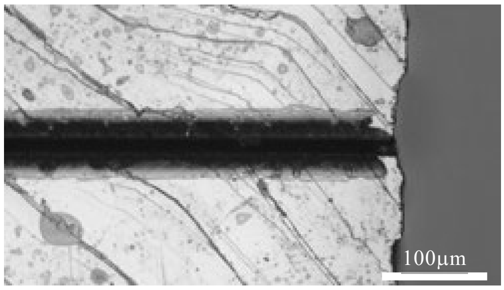


図 13　Ia タイプダイヤモンド UV レーザ照射
(3W, 1.0mm/s)

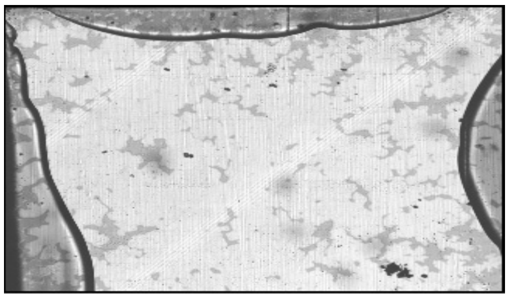


図 14 Ⅱa タイプダイヤモンド UV レーザ照射
（4.8W）

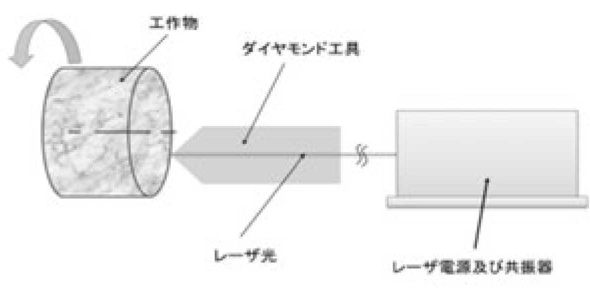


図 15　レーザ援用微細切削装置

４．レーザ援用切削装置

本研究により，硬脆材料のレーザ援用ダイヤモンド切削に関する基礎的研究がほぼ終了したので，引き続き**図 15** に示す装置を用いて，バインダレス超硬合金をはじめとする硬脆材料のレーザ援用加工を実施する．

５．結論

1）コバルトレス超硬合金は UV レーザにより加工でき，平均出力および照射時間を変更することにより加工能率を制御することができる．

2）Ⅰa タイプのダイヤモンドは UV レーザ光を吸収するが，Ⅱa タイプのダイヤモンドは UV レーザを透過する．

3）Ⅰa タイプのダイヤモンド工具内部に UV レーザを透過することにより，レーザ援用切削加工の実現可能性がある．

謝辞

本研究は 2020 年度および 2021 年度工学研究所共同研究の助成研究である．本研究のために研究助成いただいた神奈川大学工学研究所に感謝申し上げる．また，研究分担者として様々なアドバイスをいただいた工学部機械工学科の中尾陽一教授，楠山純平特別助教，防衛大学校の北嶋孝之准教授，中部大学の鈴木浩文教授，埼玉大学の池野順一教授，千葉大学の比田井洋史教授に感謝申し上げる．また，レーザ加工面の測定にご協力いただいた㈱菱光社の松岡伸夫様，芝田英孝様，ダイヤモンドに関して様々なご協力いただいた城南ダイヤモンド工業㈱の森泉利之社長に感謝申し上げる．

参考文献

[1] 社本英二，森本祥之，森脇俊道，楕円振動切削加工方法（第 1 報）—加工原理と基本特性—，精密工学会誌，62 (8), 1127-1131 (1996).
[2] 角谷均，原野佳津子，佐藤武，バインダレスナノ多結晶ダイヤモンドの実用化開発，2021 年度精密工学会技術賞，精密工学会誌，78 (2), 108-111 (2012).
[3] 鈴木浩文，単結晶ダイヤモンド製マイクロフライス工具による超硬合金の精密研削，砥粒加工学会誌，59(8), 433-436 (2015).
[4] 由井明紀，松岡浩司，田中隆行，奥山繁樹，北嶋孝之，単結晶ダイヤモンド工具による超硬合金の切削加工-第 1 報　ダイヤモンドと超硬合金の摩擦特性，砥粒加工学会誌，54(9), 545-550, (2010).
[5] 由井明紀，松岡浩司，奥山繁樹，北嶋孝之，岡畑豪，単結晶ダイヤモンド工具による超硬合金の切削加工 -加工雰囲気が切削温度と工具摩耗に及ぼす影響，砥粒加工学会誌，54(10), 613-618, (2010).
[6] 由井明紀，松岡浩司，奥山繁樹，北嶋孝之，岡畑豪，単結晶ダイヤモンド工具による超硬合金の切削加工-切削油剤が工具の摩耗・摩擦特性に及ぼす影響，砥粒加工学会誌，54(11), 654-659, (2010).
[7] Peter Krajinik, Amir Rashid, Franci Pusavec, Maja Remskar and Akinori Yui, Transitioning to sustainable production, Part IIIdevelopments and possibilities for integration of nanotechnology into material processing technology, Journal of Cleaner Production, (2015).
[8] 小松崎玲美，池野順一ら，2021 年度砥粒加工学会学術講演会講演論文集，ナノ秒レーザを用いた単結晶 SiC のレーザスライシング加工 (2021).
[9] 齊籐雅文，池野順一ら，2021 年度砥粒加工学会学術講演会講演論文集，レーザ照射によって内部で生じる現象について (2021).
[10] 高塚望史，池野順一ら，2021 年度砥粒加工学会学術講演会講演論文集，レーザスライシングによるガラスレンズ製造の試み (2021).

ナノ繊維添加繊維強化熱可塑性樹脂複合材料の創製プロセスに関する研究

松本　紘宜* 竹村　兼一** 喜多村　竜太* 高木　均*** 加藤木　秀章**** 田中　達也*****

A Study of Fabrication Process for Nanofiber Introduced Fiber Reinforced Thermoplastic Composites

Koki MATSUMOTO* Kenichi TAKEMURA** Ryuta KITAMURA* Hitoshi TAKAGI*** Hideaki KATOGI**** Tatsuya TANAKA*****

１．緒言

繊維強化熱可塑性樹脂（FRTP）は軽量ながら優れた機械的特性を有し，繊維強化熱硬化性樹脂（FRP）と比較してショートサイクルの成形およびリサイクルが可能であるため，モビリティ用途を中心に大きな関心を集めている．FRTP に用いられる強化繊維の形態は連続繊維および非連続繊維に大別される．非連続繊維強化形態による複合材料の成形には，射出成形もしくはプレス成形が一般的に採用され[1]，複雑な形状を有する成形品が得られる．しかしながら，成形品中の繊維の配向角や繊維長は機械特性に大きな影響を与えるため，適切に成形を行う必要がある．一方で，連続繊維強化形態の複合材料には，強化繊維に編物や織物などのテキスタイルが用いられ，非連続繊維強化形態の複合材料よりも優れた機械特性が得られる[2]が，複雑な形状への成形が困難となる．

そこで，近年ではその問題点を解決するための新たな成形法や成形自由度の高い FRTP の中間基材が提案されている．例えば，射出オーバーモールド法は，予備加熱したテキスタイル複合材料を射出成形機の金型内で賦形し，その上に非連続繊維強化の CFRTP を射出成形することでリブやボス等を付加造形することができる技術[3]である．そのほかにも，連続繊維を一方向（UD）に配列し，熱可塑性樹脂を含浸させた UD テープ[4]をロボットアームにより複雑曲面上に積層するオートテーププレースメント技術[5]や，連続繊維によって補強されたフィラメントを 3D プリンターにより成形する方法[6]等が提案されている．

上記の成形法により，FRTP の機械的特性を大幅に向上させることができるにも関わらず，中間基材の UD テープや連続繊維強化フィラメントにおける繊維束内への樹脂の含浸状態や，繊維/樹脂間の界面接着力[6,7]，積層間の接着強度[8]に依存して最終成形品の機械的特性が決まる．近年では，熱硬化性樹脂を母材とする複合材料において，繊維表面や樹脂母材，積層間に選択的にナノ繊維を配置することで部分的に補強する試み[9]が行われている．マイクロオーダー以上の直径を有する繊維強化複合材料にナノ繊維を添加する試みはほぼ熱硬化性樹脂を中心に行われており，熱可塑性樹脂においては深くは議論が進んでいない状況にある．これまでに，結晶性樹脂であるポリプロピレン（PP）にカーボンナノチューブを添加することで，ナノ繊維の結晶核剤効果により PP の結晶サイズが微細化し，短繊維ガラス繊維強化 PP の引張強さが最大 23%，破断伸びが最大 96%向上した[10]ことが報告されている．また，ラミー繊維の表面に酸化グラフェンを吸着させることにより，繊維表面からポリ乳酸（PLA）のトランスクリスタルと呼ばれる結晶化が促進し，界面せん断強度が改善される[11]ことも報告されている．また，熱可塑性樹脂へのナノ繊維の分散が困難であることから，マトリックスにナノ繊維を添加するよりも繊維表面にナノ繊維を配置する方が FRTP の曲げ強度を大幅に向上させることができる[12]と報告されている．

そこで，本研究では今後市場規模の拡大が見込まれる 3D プリンター用フィラメントに着目し，連続繊維の表面にナノ繊維を配置することでフィラメントの機械的特性を向上させることを試みる．持続可能な開発目標（SDGs）も考慮し，強化繊維にラミー繊維の撚糸，ナノ繊維のセルロースナノファイバー（CNF），マトリックスに PLA を用いたオールバイオマスグリーンコンポジットとした．図 1 に使用材料とそのコンポジットの概念図を示す．フィラメントは押出機を用いて連続的に製造される[13,14]．本研究では新たに，ラミー糸表面に CNF を配置し，PLA と複合化する連続式成形プロセスの開発を目指す．

[redacted]

図 1．構成材料およびナノ繊維添加複合材料のモデル

２．フィラメント製造装置

２．１．フィラメント装置の概要

フィラメントの製造装置は，①連続的に撚糸を供給するための巻

*助教　機械工学科
Assistant Professor, Dept. of Mechanical Engineering
**教授　機械工学科
Professor, Dept. of Mechanical 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
Invited Researcher, Research Institute for Engineering
*****教授　同志社大学理工学部機械理工学科
Professor, Dept. of Mechanical Engineering and Science

出し装置（クリール），②CNF を含浸させるユニット，③単軸押出機により連続的に供給される溶融ポリマーと撚糸を複合化させるクロスヘッドダイ，④冷却固化が完了したフィラメントを巻取るためのトラバース付き巻きワインディング装置から構成される．本研究では，既存の設備導入ではなく，独自による設計および製作を行った．図 2 に装置の概要と図 3 に実際に製作を行った装置図を示す．

図 2．フィラメント製造装置の概要図

図 3．実際に製作を行ったフィラメント製造装置

本装置は，それぞれ独立したユニットから構成されるモジュール式となっており，各ユニットの位置を入れ替えることができる．なお，撚糸の搬送速度および撚糸と樹脂を複合化した後のフィラメントの引取り速度を安定させるために，搬送部（図 3 における①の部分）および巻取り部（図 3 における④の部分）にそれぞれウレタンゴムのローラーを備えたニップローラーを配置することにより，搬送・及び引取り速度を調整できるようにした．以下に主なユニットについて説明する．

２．２．撚糸の張力調整方法および測定方法

搬送部と巻取り部のニップローラーの回転数の速度差を付けることで，撚糸の張力の調整も可能となっており，①部に設置したダンサーロールにより張力を測定できるようにした．張力計の機構を図 4 に示す．ダンサーロールは，位置が固定され，自由に回転できるローラーと，丸棒を軸にしてばね定数 k が既知のばねの上に配置された，上下に移動が可能なハウジングユニットに固定されたローラーからなる．この機構を用いることにより，張力の発生に伴うハウジングユニットの変位 δ から求められる反力 W および，変位によって変化する図に示す糸と中心線のなす角 θ から張力 T が求められる．よって，張力 T が求めるためにレーザー変位計（HG-C1050, パナソニック株式会社）を用いてハウジングユニットの変位の測定を行った．

図 4．張力計（ダンサーロール）の機構

２．３．仮撚り機構を用いたＣＮＦの添加方法

ここでは，撚糸にナノ繊維を添加する方法について説明する．今回用いるナノ繊維の CNF は製造方法に由来して水に CNF が分散したスラリー状態となっている．ナノ繊維の絡まり合いによるネットワーク構造の構築により，スラリーの粘度は水よりも非常に高い．また，強化繊維に用いたラミー糸は，複数の短い繊維を撚り合わせた撚糸（S 撚り）であり，マイグレーション[15]と呼ばれるらせん状の構造となっている．撚糸表面は凹凸となるので，撚糸に直接スラリーを塗布しても撚糸の表面に均一に CNF を配置することは困難であると想定される．そこで，本研究では新たに「仮撚り(false-twist)」機構を応用した「ニップツイスター」を用いて撚糸を解撚させ, そこに CNF スラリーを滴下した上で撚り戻しをする方法を用いた．撚り戻し時やローラーの押し付けによるスクイーズ効果や，ローラーによる余分についた CNF をこそぎ取る効果によって，撚糸表面に均一に CNF を均一に配置することを目的とした. 仮撚り機構の概念図を図 5 に示す.

図 5．仮撚り機構：a) 撚糸を搬送しない場合，b) 搬送する場合

撚糸を搬送しない場合において，ニップローラーによって挟まれた区間にて解撚した撚りの状態は図 5(a)となり，区間 AX は解撚される一方で，区間 BX では加撚される．一方で，撚糸を搬送する場合は図 5(b)の通り，区間 AX で解撚されるが，区間 BX では A 点の撚りに戻ることになる．よって，連続的に糸を搬送しながら一時的に糸の解撚が可能となる． また，搬送速度 V_d と回転速度 N_s の比 N_s/V_d によって解撚度合いが変化する[16]．本研究では，村田機械が開

発した連続的に搬送と解撚を行うことのできるニップツイスター機構[17]を用いており，ウレタンゴムの 2 本のローラーを角度 φ にて交差させ，摩擦によって解撚を行う方式を用いた．その装置の概要を図 6 に示す．

図 6. ニップツイスターによる撚糸の解撚機構

本研究では，ローラーの交差角を $\varphi = 90°$とし，ローラーは S 撚りと逆の方向に回転させた．ローラーを引張方向に回転させた場合，解撚部で糸の破断が懸念されたため，圧縮方向に速度が与えられるように回転させた．さらに，CNF スラリーが溜まる構造になった含浸ユニットにローラーチューブポンプ（MCRP204，株式会社ミナトコンセプト）を用いて，スラリーを滴下した．解撚された撚糸が CNF スラリー内を潜り抜けるようになっている．撚りが戻った後の撚糸に含まれた水分を除去するために，遠赤外線ヒーターを用いて繊維中の水分の除去を行った．以上の手法を用いて，連続的に撚糸を搬送しながら CNF を連続的に添加した．

３．実験方法

３．１．材料

強化繊維には単糸のラミー糸（トスコ株式会社，番手 20/1）を用い，ナノ繊維には CNF（BiNFi-s BWFo-10002，スギノマシン株式会社）を用いた．2wt%の CNF が水に分散したスラリーであり，平均繊維径は 10-50 nm，比表面積は 120 m^2/g，粘度は 6.0 Pa· s である．マトリックスには，PLA（TERRAMAC，TE-2000，ユニチカ株式会社）を用いた．数平均分子量 M_n[18]は 6.7×10^4，分子量分散度 M_w/M_n[18]は 2.63，融点およびガラス転移温度[18]は，170 °C 及び 55 °C である．

３．２．ニップツイスターによる解撚実験

ニップツイスターの解撚効果の把握およびラミー糸表面の CNF の状態を把握するために，撚糸のみを用いて解撚及び CNF の添加を行った．濃度 2 wt%の CNF スラリーに蒸留水を加え，ハイフレックスホモジナイザー（Cell Master，CM-100，アズワン株式会社）を用いて，回転数 5000 rpm にて 5 分間攪拌を行い，CNF 濃度 0.5，1.0，2.0 wt%の CNF スラリーを得た．搬送速度 V_d とニップローラーの回転数 N_s を変化させながら，解撚された位置に CNF の添加を行った．解撚状態を把握するために，解撚された撚糸表面部を高速度カメラ（ハイスピードマイクロスコープ VW-9000，キーエンス株式会社）によって撮影し，画像解析によって撚り角を求めた．また，CNF 添加後のラミー糸を温度 170 °C に設定した遠赤外線ヒーター内に通過させることで乾燥し，巻き取りを行った．

得られた CNF 添加ラミー糸の表面観察のために，金スパッタリングを行った上で，走査型電子顕微鏡 SEM（VE-7800，キーエンス株式会社）を用いて，加速電圧 10 kV にて観察を行った．さらに，機械的特性を調べるために，標点間距離 10 mm，試験速度 1 mm/min，試験本数 10 本として，テンシロン万能材料試験機（RTC-1250A，株式会社エー・アンド・デイ）を用いて撚糸単体の引張試験を行った．

３．３．フィラメントの作製方法

赤外線ヒーターにより乾燥させた CNF 添加ラミー糸をクロスヘッドダイにおくりながら，スクリュ径 15 mm の単軸押出機（VS-15，田辺プラスチックス機械株式会社）を用いて，溶融 PLA をクロスヘッドダイに搬送することで複合化を行った．押出機のバレル温度を 190 °C とし，スクリュ回転数は 3.5 min^{-1} とした．撚糸供給側への極端な樹脂の逆流が発生しない流量と，流量から決定されるフィラメント直径の兼合いからスクリュ速度を決定した．また，クロスヘッドダイの温度も 190 °C とした．PLA は 80 °C にて 24 時間以上乾燥させたものを用いた．クロスヘッドダイ先端には 2mm の丸穴が設けられており，ダイから出たフィラメントをエアーにより空冷し，直径約 2 mm のフィラメントを真直ぐに引取った．

得られた CNF 添加ラミー糸強化フィラメントの機械的特性を調べるために，標点間距離 50 mm，試験速度 1 mm/min，試験本数 7 本として，精密万能試験機 オートグラフ（AG-IS 10 kN，島津製作所）を用いてフィラメントの引張試験を行った．

４．結果および考察

４．１．ニップツイスターの解撚効果

本実験では，撚糸の搬送速度は 1.8 – 12.8 mm/s での実験を行った．実際の製造ラインでは生産性の観点から，高速の搬送速度下にて解撚を行う必要がある．そこで，解撚時の糸の撚り角を，ニップローラーによる糸の搬送方向と垂直方向のニップローラーの周速度と搬送速度の比 V_n/V_d で整理し，その結果を図 7 に示す．また，高速度カメラによって得られた，解撚前・解撚中・CNF スラリーを含浸させながら解撚している糸の状態も併せて示す．

図 7 より，V_n/V_d の増加に伴い撚り角が減少する傾向がみられ，搬送速度に関わらず，V_n/V_d に対する撚角がおおよそ一致していることから，撚り角は V_n/V_d で決定されることが分かった．また，撚り角が約 5 °に漸近する結果が得られた．ニップツイスターは摩擦による解撚機構を用いているため，スリップ等の現象により完全に解撚出来ない可能性がある．しかしながら，ラミー糸は短繊維の集合体であるため，完全に解撚させた場合は，撚糸の破断が懸念される．そのため，撚糸が破断しない範囲で解撚させることが重要となる．ある程度撚糸を解撚させるには，V_n/V_d が約 10 以上必要であることが分かり，実際にはわずかに撚り角が残った状態で，CNF を含浸させている状態になることが分かった．また，CNF スラリーを含浸させた場合においても，ニップツイスターの解撚効果には大きな影響を及ぼさないことが分かった．

図 7. a) 解撚前の撚糸の状態及び解撚後の撚糸の状態,
b) V_n/V_dと撚り角の関係(凡例は搬送速度を示す)

４．２．ニップツイスターの処理と撚糸の機械的特性の関係

搬送速度 V_d が 9.1 mm/s における解撚処理無し（$V_n/V_d = 0$）および，ニップツイスターの回転速度 N_s を 80 rpm とした場合（$V_n/V_d = 11.3$）の撚糸の状態を CNF 添加濃度別に図 8 に示す．解撚処理を行わない場合においては，撚糸の表面に凝集した CNF とみられる大きな塊が付着しており，付着している場所としていない場所の差が大きいことが分かった．一方で，おおよそ解撚が進んでいる $V_n/V_d > 10$ の領域で解撚処理を行った場合においては，大きな塊は減少し，糸表面に毛羽立ちが見られた．大きな CNF の凝集体が減少した理由は，ローラーの押付けによって CNF スラリーが内部に含浸したか，余分についた表面の CNF が適度にこそぎ取られた可能性が考えられる．また，毛羽立ちについては CNF 未添加の状態においても確認され，ニップツイスターによる摩擦の影響を受けていると考えられる．

そこで，ニップツイスターによる糸へのダメージが懸念されるため，本研究では撚糸単体の引張試験を行った．搬送速度 V_d が 9.1 mm/s において，V_n/V_d が 0-28.5（ニップローラーの回転数が 0-200 rpm）の範囲にて解撚処理を行った撚糸の破断荷重と破断伸びの結果を図 9 に示す．破断荷重については，ニップツイスターの回転数に依存せず，破断荷重はおおよそ 30-35 N であった．また，CNF を添加した場合においても CNF 自体は撚糸の破断荷重に大きな影響を与えないことが分かった．また，撚糸の見かけの直径は約 0.3 mm 程度であることから，CNF 添加ラミー糸の引張強さは約 425-495 MPa である．一方で，破断伸びについては，CNF 添加による違いは認められないが，ニップツイスターの回転速度の増加に伴い，破断伸びも少しずつ減少する傾向が見られた．破断荷重・破断伸びいずれも，解撚処理による大きな機械的特性の低下は認められなかったが，極端に V_n/V_d を増加させることは望ましくないことが言える．以上のことから，ニップツイスターを用いることで，撚糸の機械的特性の低下を抑えながら，CNF スラリーを均一に塗布できることが分かった．本成果は特許出願も行っている[19].

図 8. a-c)解撚処理を行わなかった CNF 添加ラミー糸の SEM 像,
d-f)解撚処理を行った CNF 添加ラミー糸の SEM 像

図 9. ニップツイスターの回転速度 N_s および CNF の添加率と
CNF 添加ラミー糸の引張機械特性の関係

４．３．CNF 添加ラミー糸強化 PLA フィラメントの機械的特性

CNF 添加ラミー糸と PLA と複合化し，製作したフィラメントを図 10 に示す．なお，解撚条件は V_d を 5.5 mm/s とし，ニップツイスターの回転数を 0, 40, 80 rpm とした．よって，V_n/V_d に換算すると，0, 7.3, 14.6 となる．CNF 添加ラミー強化 PLA フィラメントの機械的特性の結果を図 11 に示す．

ニップツイスターの解撚処理を行わない場合においても，ラミー糸を一本 PLA と複合化するだけで 14%の引張強さの向上がみられ，CNF1.0wt%の添加により引張強さはさらに 5%増加した．一方で，CNF2.0wt%においては，引張強さは低下した．これは，図 8 に示したように，ラミー糸表面の CNF の凝集体がラミー糸と PLA の界面接着を妨げていることが考えられる．ニップツイスターの回転数を増加させると，CNF 未添加の条件および CNF2.0wt%を除き，引張強さは少しずつ増加する傾向を示した．破断ひずみについては，ニップツイスターによる解撚操作の影響や，CNF 添加率の影響は見られなかった．以上のことから，ニップツイスターを用いた解撚操作によってラミー糸表面に形成される繊維の毛羽立ちに加えて，比較的均一に配置された CNF が界面強度の向上に寄与し，フィラメント自体の機械的特性の向上につながったと考えられる．

５．結言

本研究では，新たにナノ繊維である CNF をラミー糸の表面に配置し，PLA とラミー糸の界面接着強度の向上を目指した．また，フィ

ラメントの連続生産を可能とすべく，連続的にラミー糸表面に CNF を均一配置させるプロセスの開発及び装置の開発を行った．

本研究では，CNF の添加プロセスにおいて，連続的に糸を搬送しながら解撚し，撚りを戻すことができる「仮撚り」技術に着目した．本技術を用いることで，解撚した糸に CNF スラリーを含浸させることが可能となり，ラミー糸表面の CNF の凝集を防ぎながら比較的に均一にラミー糸の表面に CNF を配置することが可能となった．また，ニップツイスターによる解撚操作によって，CNF 添加ラミー強化フィラメントの機械的特性も向上させることもわかった．

しかしながら，現状としてラミー糸 1 本と PLA を複合化した場合の体積含有率は 2 Vol%程度と非常に低く，樹脂とラミー繊維の界面接触面積は小さいため，本稿の条件下では CNF の添加効果はまだ見られていないと想定している．今後はラミー糸の体積含有率を増やし，ナノ繊維である CNF の添加効果を明らかにし，樹脂と繊維の界面特性について明らかにしていく．

[redacted]

図 10. 作製した CNF 添加ラミー糸強化 PLA フィラメント

[redacted]

図 11. CNF 添加ラミー糸強化 PLA フィラメントの引張機械特性

謝辞

本研究は工学研究所共同研究Ａ「ナノ繊維の高度利用を目的としたマルチスケール複合材料の新規創製プロセスに関する研究（2020 年度）」の助成を受けた．ここに謝意を表する．

参考文献

[1] U. N. Gandhi, S. Goris, T. A. Osswald and Y.-Y. Song, Discontinuous fiber-reinforced composites, Hanser (2020).

[2] H. Ning, N. Lu, A. A. Hassen, K. Chawla, M. Selim and S. Pillay, A review of long fibre thermoplastic (LFT) composites, International Materials Reviews, 65(3), 164-188 (2020).

[3] A. Remko, B. Mark and W. Sebastiaan, Analysis of the thermoplastic composite overmolding process: interface strength, Frontiers in Materials, 7, 27 (2020).

[4] O. P. L. McGregor, M. Duhovic, A. A. Somashekar and D. Bhattacharyya, Pre-impregnated natural fibre-thermoplastic composite tape manufacture using a novel process, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 101, 59-71 (2017).

[5] A. Brasington, C. Sacco, J. Halbritter, R. Wehbe and R. Harik, Automated fiber placement: A review of history, current technologies, and future paths forward, Composites Part C: Open Access, 6, 100182 (2021).

[6] R. Matsuzaki, M. Ueda, M. Namiki, T. -K. Jeong, H. Asahara, K. Horiguchi, T. Nakamura, A. Todoroki and Y. Hirano, Three-dimensional printing of continuous-fiber composites by in-nozzle impregnation, Scientific Reports, 6, 23058 (2016).

[7] T. Cersoli, B. Yelamanchi, E. MacDonald, J. G. Carrillo and P. Cortes, 3D printing of a continuous fiber-reinforced composite based on a coaxial Kevlar/PLA filament, Composites and Advanced Materials, 30, 1-9 (2021).

[8] G. Struzziero, M. Barbezat and A. A. Skordos, Consolidation of continuous fibre reinforced composites in additive processes: A review, Additive Manufacturing, Additive Manufacturing, 48, 102458 (2021).

[9] V. Dikshit, S. K. Bhudolia, S. C. Joshi, Multiscale Polymer Composites: A Review of the Interlaminar Fracture Toughness Improvement, Fibers, 5, 38 (2017).

[10] N. Rasana, K. Jayanarayanan and A. Pegoretti, Non-isothermal crystallization kinetics of polypropylene/short glass fibre/multiwalled carbon nanotube composites, RSC Advances, 8, 39127-39139 (2018).

[11] L. Xie, B. Shan, X. Sun, Y. Tian, H. Xie, M. He, Y. Xiong, and Q. Zheng, Natural fiber-anchored few-layer graphene oxide nanosheets for ultrastrong interfaces in poly(lactic acid), ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 5 (4), 3279-3289 (2017).

[12] K. Matsumoto and K. Takemura, The influence of the addition position of cellulose nanofibers on the crystalline and mechanical properties of carbon fiber-reinforced polypropylene composites, Composite Interfaces (2021)

[13] H. Zhang, D. Liu, T. Huang, Q. Hu, H. Lammer, Three-dimensional printing of continuous flax fiber-reinforced thermoplastic composites by five-axis machine. Materials, 13, 1678 (2020).

[14] A. Le Duigou, A. Barbé, E. Guillou and M. Castro, 3D printing of continuous flax fibre reinforced biocomposites for structural applications, Materials & Design, 180, 107884 (2019).

[15] S. Zheng, D. Liu and Y. He, The influence of fiber migration on the mechanical properties of yarns with hierarchical helical structures, The Journal of Strain Analysis for Engineering Design, 53(2), 88-105 (2018).

[16] C. A. Lawrence, Advances in yarn spinning technology, Woodhead Publishing (2010).

[17] T. Takahashi and T. Kojima, Fundamental properties of belt nip twister for yarn texturing, Journal of the Textile Machinery Society of Japan, 37(12), 487-491 (1984).

[18] M. Kawasaki, S. Yoshida, H. He, K. Kashimura, M. Karikomi, T. Kimura and S. Maruo, The effect of added calcium fine powders derived from scallop shells on the deterioration of biodegradable aliphatic polyester films, Kobunshi Ronbunshu, 73(1), 87-95 (2017).

[19] 松本紘宜，竹村兼一，複合フィラメントの製造方法及び複合フィラメント，特願 2021-142375 (2021).

体育館を対象とした継続使用性の判断方法に関する検討

―振動特性とコンクリート基礎の損傷の関係―

白井　佑樹[*]　島崎　和司[**]　伊山　潤[***]　涌井　将貴[****]　荏本　孝久[**]

Study on the methods for determining the continuous usability of steel-framed gymnasiums

－ Relationship between seismic vibration characteristics and damage to concrete foundations －

Yuki SHIRAI[*]　Kazushi SHIMAZAKI[**]　Jun IYAMA[***]　Masaki WAKUI[****]　Takehisa ENOMOTO[**]

１．緒言

神奈川県横浜市内市立小学校等に設置された体育館の多くは，地震や台風等の災害時に避難所として機能する。地震時に避難所は，自宅が被災した住民にとっての避難中の生活空間となるだけでなく，地域の物資的拠点として，一時的なものでなく継続して機能することが求められる。そのため地震本震だけでなく，余震経験後も避難所として継続使用できるかどうかを被災度区分判定に基づいて適切に判断することが重要となる。

通常は，災害後に一級建築士等の資格を有する専門家が現地に赴き判断を行うため即時性はなく，余震経験後に再び専門家が判断することは現実的でない。また，本来物資の乏しい被災地に専門家が立入ることによる二次災害の危険性がある。さらに，熊本地震のように本震と思われていた地震が前震であり，その後さらに大きな本震が発生する場合も考えられる。一方で，各自治体が所有する体育館の継続使用性を専門家ではない自治体職員が判断することができれば，即時性があり，繰返しの余震にも対応することができる。

そこで本研究では，体育館を IoT 化し常時監視することで専門家以外でも継続使用性を判断することができるシステムを開発することを目指す。IoT 化することで，建物に立入ることによる二次災害発生を最小限に抑えることができる。常時監視する対象は，微動あるいは地震時の加速度とひずみ度の計測とする。一方，クライテリアとして被災度区分判定に基づいた項目のうち，体育館の多くが鉄筋コンクリート基礎にアンカーボルトによって接続されていることに着目して，コンクリート基礎のひび割れ幅，およびアンカーボルトの損傷を対象とする。また本研究では，従来と比較して 1/100～1/10 程度の極めて低コストでの実測を目標にしており，実用化に耐えうる計測装置，設置方法，実測から分析までの一体的なシステムが確立できれば，高い実用性が期待できる。

[*]助教　建築学科
Assist. Professor, Dept. of Architecture
[**]教授　建築学科
Professor, Dept. of Architecture
[***]准教授　東京大学　工学系研究科建築学専攻
Assoc. Professor, Dept. of Arch., GSE. The Univ. of Tokyo
[****]准教授　新潟工科大学　工学部工学科
Assoc. Professor, Faculty of Eng., Niigata Institue of Technology

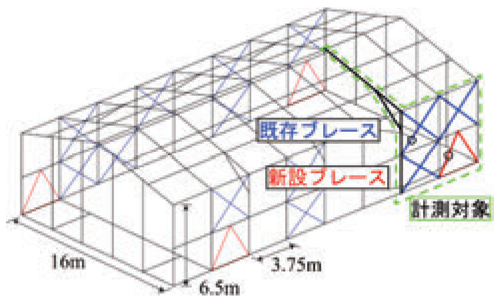


図１　計測対象建物の骨組全体概要

本研究ではまじめに，神奈川県横浜市内市立小学校の鉄骨造体育館に，開発した低コストの加速度計測装置とひずみ計測装置を設置し，常時の監視を開始した。監視のためのネットワーク環境を整備し，オンラインで小学校の地盤加速度履歴，建物加速度履歴，そして建物主要部材の歪履歴を確認できるようになった。観測結果から，対象建物の基礎的な振動特性を把握する。

また，鉄骨造体育館を模擬した骨組み解析モデルを作成し，観測結果との比較検証を行った。解析モデルは設計図書等に基づき作成することで，設計で想定される振動特性や部材の応力状態を再現できると考える。ここでは地震時の固有振動数と鉛直ブレース軸力の観測結果と解析結果を比較することで，現状と設計での構造性能の違いについて検討する。

最後に，鉄骨造体育館基礎を模擬した構造実験を行った。観測対象とした体育館は，上部構造が鉄骨造，基礎構造が鉄筋コンクリート造で，H 形鋼柱のフランジ内にアンカーボルトが設置された露出型柱脚であった。ここでは，静的載荷実験を行い，振動特性に重要な柱脚の回転剛性について検討する。

２．鉄骨造体育館の観測概要

計測対象は神奈川県横浜市内の市立小学校体育館である。図１に

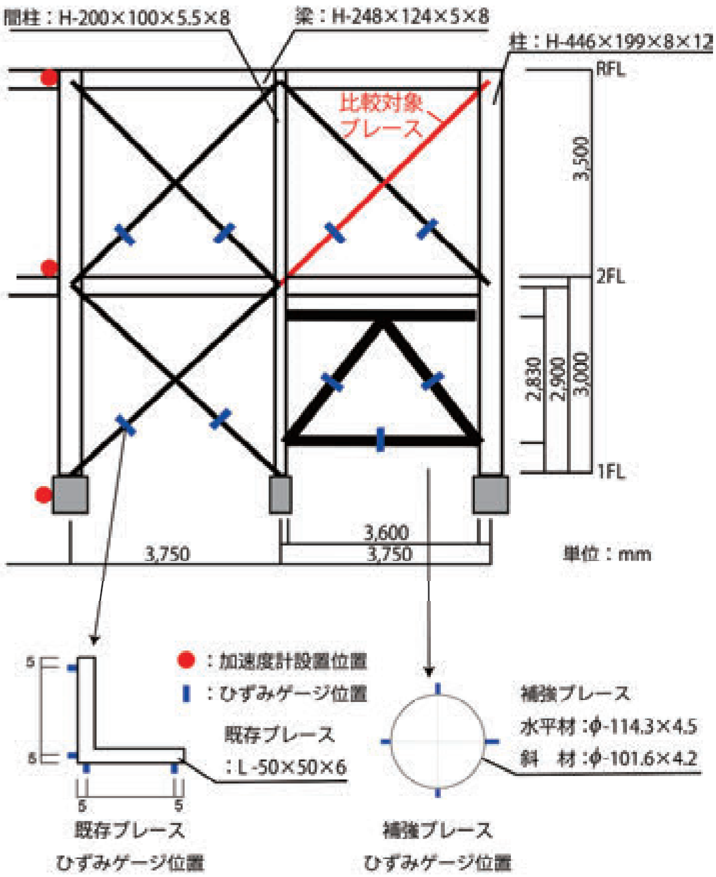


図2　計測ユニット概要

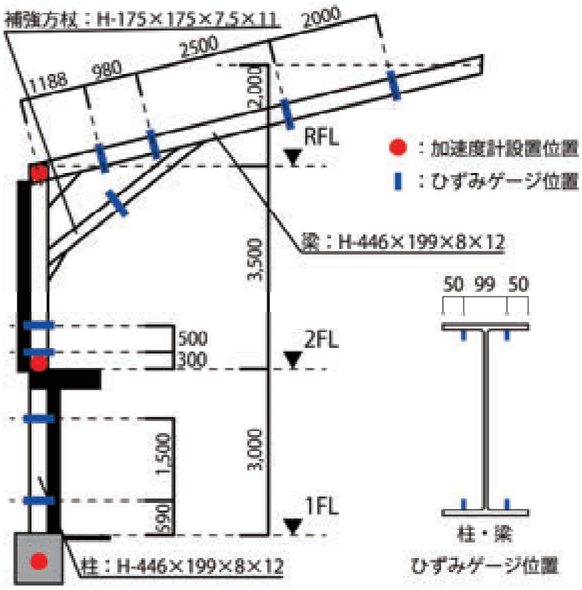


図3　計測位置

計測対象建物の骨組全体概要を示す。体育館は基礎が鉄筋コンクリート造，上部構造が鉄骨造であり，桁行方向はブレース構造，梁間方向は山形ラーメン構造である。1977年に竣工し，1996年頃の耐震補強工事によって，梁間方向の柱梁接合部への方杖，および桁行方向への補強ブレースとして円形鋼管Φ-101.6×4.2，Φ-114.3×4.5の増設が行われている。

計測システムの構成について，1つのセンサユニットは，1つのRaspberry Pi Zero WHとMEMS加速度センサ，あるいはひずみセンサが接続されている。計測データは，各センサユニットからWi-Fi経由でMQTTプロトコルを通じて，随時サーバーPCに送信される。各加速度センサユニットおよびひずみ計測ユニット間では厳密な時刻同期を取っていないが，NTPクライアントが作動し，秒単位以下での時刻同期は取られており，データはタイムスタンプとともにサーバーに送信される。

図2に加速度計測ユニットとひずみ計測ユニットを示す。加速度計測ユニットは，MEMS加速度センサADXL355を取り付けた基板をRaspberry Pi Zero WHにSPIにより接続している[1]。今回の計測では，データ取得の安定性と適切なサンプリング周波数の範囲から，サンプリング周波数を125Hz，計測レンジを±2.0Gとした。

ひずみ計測ユニットはAD変換にはHX711を用いている[2]。HX711はホイートストンブリッジを用いた差分電位の計測を主目的としたマイクロチップである。極めて安価であるが，安定性や計測精度について適用性を検証する必要がある。図2(b)に示すように，今回の計測ユニットは，4つのHX711を1つのRaspberry Pi Zero WHに接続しているため，1つの計測ユニットで4点の計測が可能である。サンプリング周波数はひずみ計測ユニットのクロック周波数によって決まっており，ユニットごとに若干の違いがあるが，87Hz程度のサンプリング周波数で安定して計測されている。

図3に梁間方向，桁行方向の計測位置を示す。梁間方向は柱頭2箇所，キャットウォーク位置に1箇所，柱脚基礎に1箇所の計4箇所に加速度計を1台ずつ設置し，柱4断面，梁4断面，方杖1断面の計9断面に半導体ひずみゲージ（共和電業製，KSNB-2-120-E4-11）を貼付した。ひずみゲージは，軸力および曲げモーメントが計測できるよう，各断面のH形鋼フランジの内側に計4枚ずつ貼付している。また桁行方向では鉛直ブレースを対象として，L-50×50×6の既存ブレース6断面，補強ブレース3断面の計9断面にひずみゲージを貼付した。なお，柱と間柱は桁行方向が弱軸となっている。また，補強ブレース，既存ブレースともに柱のフランジにピン接合されている。

以上より，加速度計測ユニット4台，ひずみ計測ユニット18台の計22台の計測ユニットによって計測を行った。計測は2020年11月下旬から開始している。

3．鉄骨造体育館を模擬した骨組み解析と観測結果との比較

はじめに，解析概要について説明する。使用する解析ソフトは汎用立体フレームの弾塑性解析ソフトSNAPである[3]。設計図書及び実測により得られた数値を元に部材の寸法を決定し，モデル化を行った。SNAPによって作成したモデル及び計測対象は図1に示す骨組みである。モデル化に際し，非構造壁，体育館内部のステージなど解析結果に影響が少ないと想定されるものに関してはモデル化

を行っていない。柱脚は剛とし，基礎梁のモデル化も行っていない。なお屋根葺き材，キャットウォークはモデル化を行っていないが，それぞれ自重を屋根，2 階の梁に固定荷重として加えている。また，補強ブレースである K 型ブレースは水平ブレースが負担する力が少ないと判断し，斜材のみをモデル化している。解析は弾性での固有値解析と地震時の応答解析である。

また屋根葺き材とキャットウォークの自重に関して SNAP のモデルの精度確認のため，一貫構造計算ソフト SS7 によるモデル化および常時荷重による軸力の解析を行った[4]。SNAP のモデルとの比較を行った結果，常時荷重の軸力は両者ほぼ同じ値を示していることを確認した。

以降は，2021 年 12 月 3 日午前 6 時ころ山梨県東部を震源とする M4.8，対象小学校所在地での震度 3 の地震を対象として検討する。

図 4 に観測例として，最大加速度を観測した任意の時刻範囲での加速度の時刻歴波形を示す。前述した通り，加速度記録には計測ユニットごとに時刻ずれがあるため，最大値を示す時刻が同一となるように修正している。1FL での最大加速度は 15gal，RFL での最大加速度は 26gal である。図 4 より加速度は，梁間方向について 1FL，2FL，RFL の順に大きく，2FL は RFL に近い。桁行方向について，RFL が突出しており，1FL，2FL はほぼ等しい。このことから，梁間方向では 1 層部分での変形が大きく，桁行方向では 2 層部分での変形が大きいことがわかる。

表 1 に加速度記録の伝達関数から求めた固有振動数と，解析での固有値解析結果を併せて示す。観測での伝達関数の固有振動数は，梁間方向 2FL で 4.8Hz 付近，桁行方向 RFL で 5.4Hz 付近，解析での固有振動数は，梁間方向 2FL で 3.8Hz，桁行方向 RFL で 4.9Hz であった。梁間方向はラーメン構造，桁行方向はブレース構造であるため，桁行方向の固有振動数が高いことが想定されるが，観測値と解析値とも桁行方向の固有振動数が高い結果となっている。観測値は解析値より高くなっており，梁間方向では体育館内ステージを構成する化粧板の水平力負担が想定より大きいことや，妻面壁内にブレースなどの耐震要素がある可能性などが考えられる。桁行方向では，キャットウォークの曲げ剛性を勘案できていないことが考えられる。鉛直ブレースについては後述する

図 5 に既存ブレースの軸力のフーリエスペクトルを，解析での地震時の応力解析の結果と併せて示す。解析では，地震時の建物基礎で観測された加速度記録を入力している。対象とした比較対象ブレースは，図 3 に示すように 2 層にあり，貼付した 4 枚の歪ゲージにヤング係数と断面積を乗ずることで軸力とした。なお，曲げ成分は小さかった。図 5 より，観測と解析ともに，固有振動数が 1.7Hz 付近と 5.4Hz 付近であり，表 1 に示す加速度桁行方向の固有振動数との対応が見られた。各周波数成分での軸力を比べると，1 桁程度観測値が小さい結果となり，ブレースが地震力を負担していないことを示唆する結果となっていた。これは，ブレースがボルト接合されているためズレが生じることが指摘されていることと対応する[5]。一方，前述の固有振動数では解析値が高いことと反する結果となっているので，解析モデルの高精度化等，引き続き検討していく。

4．鉄骨造体育館柱脚を模擬した部材実験

図 6 に試験体を示す。試験体は，1000mm×800mm×500mm の基礎部を模したスタブと H-200×450×14×9mm の H 形鋼柱から成る。スタブと柱の間には 200×450mm 厚さ 20mm のモルタルを敷設した。アンカーボルトは鋼種 SS400，軸径 Φ20 ねじ部 M20 で，その有効埋込み長さを 370mm とした。柱のベースプレート厚さは 15mm としたが，現行の告示ではアンカーボルト径の 1.3 倍以上（26mm 以上）とされており，既存不適格となっている[6]。スタブは実在の基礎部よりも大きくコンクリート部での破壊が起こらないよう，2 重にせん断補強筋を設けた強剛なスタブとした。

表 1　固有振動数の比較

	梁間方向	桁行方向
観測値	4.8	5.4
解析値	3.8	4.9

[Hz]

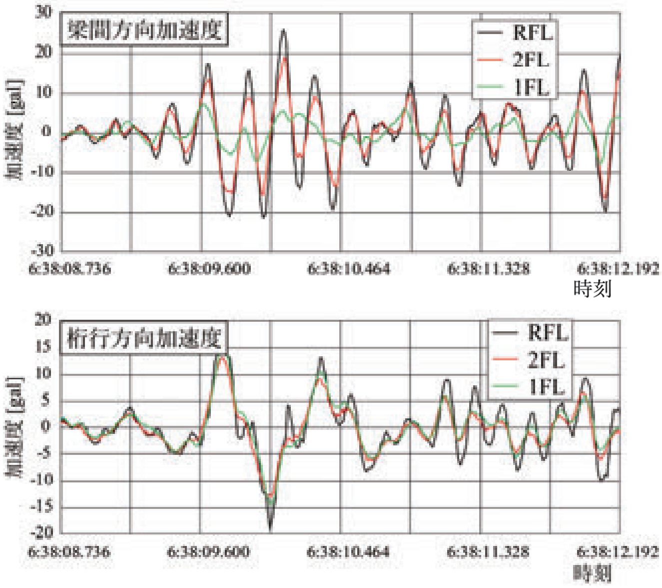


図 4　観測例　加速度の時刻歴

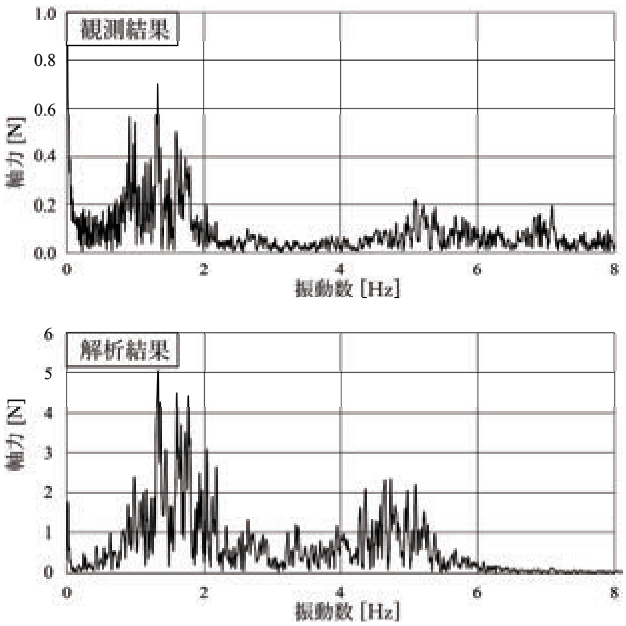


図 5　ブレース軸力のフーリエスペクトル　観測と解析の比較

表 2　材料試験結果

コンクリート 圧縮強度	モルタル 圧縮強度	アンカーボルト 降伏強度	アンカーボルト 引張強度
[N/mm^2]	[N/mm^2]	[N/mm^2]	[N/mm^2]
37.5	45.6	321	465

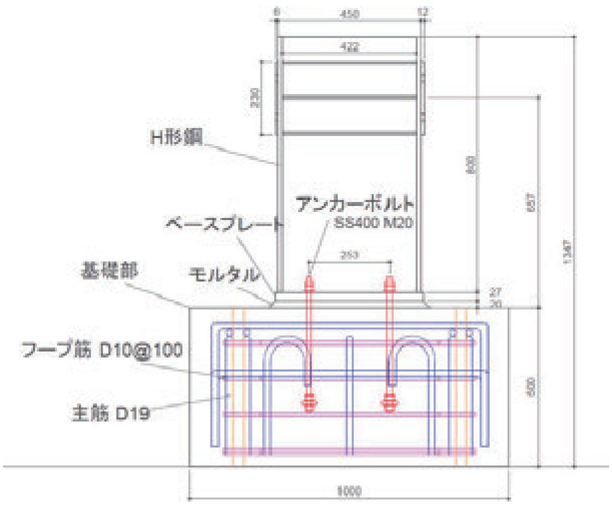


図 6　試験体形状

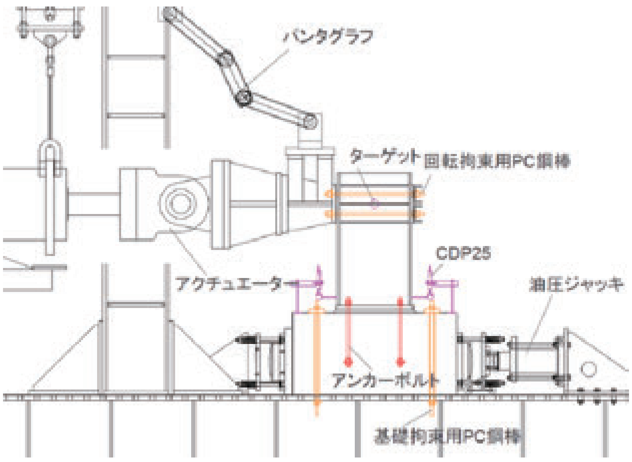


図 7　加力セットアップ

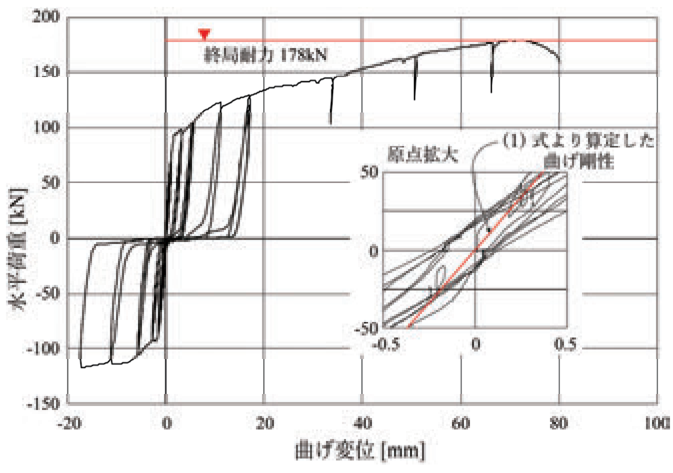


図 8　水平荷重 - 曲げ変位関係

表 2 に材料試験結果，図 7 に加力セットアップを示す。スタブを加力フレームに固定し，アクチュエータにより地震力を模した正負交番繰返し載荷を行った。加力点高さ h は，反曲点位置が脚部の曲げ剛性が低いことから，階高 1/4 あると仮定して，スタブから 645mm の位置とした。実験は変位制御で，加力点高さ h での水平変位を，加力点高さ h で除した層間変形角 R により抑制し，±1/800, ±1/600, ±1/400, ±1/200, ±1/100rad を 2 サイクルずつ行った後±1/50, ±1/33rad を 1 サイクルずつ行った。

図 8 に水平荷重と曲げ変位の関係を示す。水平荷重はアクチュエータ荷重から，曲げ変位は柱脚付近に鉛直方向に設置した変位計から求めた。実験は耐力が低下するまで加力を行った。層間変形角 R が 1/200rad でアンカーボルトの降伏，水平荷重 178kN でアンカーボルトのネジ部で破断した。このことから実建物の大地震による破壊形状もアンカーボルトの破断をすると考えられる。

柱脚の曲げ剛性について，圧縮端をベースプレート端、引張端を引張側アンカーボルト位置とし、アンカーボルトのコンクリート内定着板までの長さが伸びることを仮定した(1)式より，水平荷重と曲げ変位の傾きである回転剛性を算出できることを確認した。

$$Q = \frac{AE \cdot j^2}{h^2} \cdot \frac{1}{L} \cdot \delta_M \qquad (1)$$

ここで，Q は水平荷重，δ_M は曲げ変位，A はアンカーボルトの断面積（314mm^2），E はアンカーボルトのヤング係数（20500N/mm^2），j は引張側のアンカーボルトから圧縮側のフランジ部までの距離（375mm），L はアンカーボルトの埋め込み長さ 400mm とした。

5．結語

・神奈川県横浜市内の市立小学校に計測ユニットを設置し，オンラインで観測データを閲覧できるシステムを構築した。

・観測結果から梁間方向と桁行方向で変形が大きい層が異なるなど，基礎的な振動特性について把握した。また骨組み解析との比較を行い，鉛直ブレースの地震力負担が想定より小さい可能性を指摘した。

・フランジ内にアンカーボルトが配置された露出型柱脚の曲げ剛性の算定式を示し，実験結果との対応を確認した。

参考文献

[1] ANALOG DEVICES, Low Noise, Low Friff, Low Power, 3-Axis MEMS Accelerometers Data Sheet ADXK345/ADXL355 , https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/adxl354_355.pdf (最終参照日：2020.08.10)

[2] AVIA Semiconductor 24-Bit Analog-to-Digital Converter (ADC) for Weigh Scales, http://akizukidenshi.com/download/ds/avia/hx711.pdf (最終参照日：2020.08.10)

[3] (株)構造システム：SNAP Ver. 8 テクニカルマニュアル, 2020

[4] ユニオンシステム株式会社 Super Build/ SS7 ver. 1.1.1.16, 解説書, 2021

[5] 日本建築学会：鋼構造設計基準，2005.09

[6] 建築行政情報センター：2020 年版建築物の構造関係技術基準解説書. 2020.10

6. 工学研究所プロジェクト研究

まちづくり研究所 2021 年度の活動より

曽我部昌史[*1] 吉岡寛之[*2] 丸山美紀[*6] 長谷川明[*6] 内田青蔵[*1] 山家京子[*1] 中井邦夫[*1]
六角美瑠[*1] 須崎文代[*2] 上野正也[*2] 鈴木成也[*3] 重村力[*4] 石田敏明[*5]

Reports from the Activities of Town Planning Institute 2021

Masashi SOGABE[*1] Hiroyuki YOSHIOKA[*2] Miki MARUYAMA[*6] Akira HASEGAWA[*6] Seizo UCHIDA[*1] Kyoko YAMAGA[*1] Kunio NAKAI[*1]
Miru ROKKAKU[*1] Fumiyo SUZAKI[*2] Masaya UENO[*2] Naruya SUZUKI[*3] Tsutomu SHIGEMURA[*4] Toshiaki ISHIDA[*5]

１．KIITO｜デザイン・クリエイティブセンター神戸改修計画
／曽我部昌史・吉岡寛之・丸山美紀・長谷川明

デザイン・クリエイティブセンター神戸（以下 KIITO）は、2012 年 8 月に開館した「デザイン都市・神戸」の拠点施設である。元神戸市立生糸検査所（1927 年竣工）を改修してつくられた「デザインを人々の生活に採り入れ、より豊かに生きることを提案し、神戸だけでなく世界中をつなぐ、デザインの拠点」[1]である。さまざまな活動に対応するため、ホールやギャラリーなどのスペースがあり、上層階はひろく創造的活動団体のオフィスとして貸し出されている（クリエイティブラボスペース）。

2021 年 10 月、新たな活動の場が加わった。3 階に新設された二つの拠点「KIITO:300 キャンプ」「KIITO:300 ファーム」および 1 階を改修して生まれた「クリエイティブラウンジ」である。2022 年度以降三宮図書館が同建物２階に移転することも視野に、より開かれ繋がりの広がる拠点として更新されたのである。ここでは、新たに設けられた場所を中心に、そのデザインの背景と内容を紹介する。

２．KIITO:300

３階は、貸会議室やレンタルオフィスのあるフロアで、その中の片廊下に面した多目的スペースが改修対象であった。全体で約 900 ㎡である。この中に、「KIITO：キャンプ」＝子どもの創造的学びのプラットフォーム、「KIITO：ファーム」＝社会貢献活動のプラットフォームという 2 種類の場所をつくることが目的であった。さまざまな立場の方々が、社会活動や地域活動を軸につながる場所とするために、個別の場所を完全に独立させずに、全体を横断する空間的にもプラットフォームのような場所が必要ではないかと考えた。そこで、一部の壁を撤去し、約 50m の通路がキャンプとファームの中を横断する構成とした。エントランスから真っ直ぐ延びる通路沿いには、インフォメーションコーナー、ワークスペース、ミーティングコーナー、セミナールームなどが面しており、さまざまなコミュニティや活動に自然に触れられるようになっている。

全体は、ほぼワンルームであるが、多様な活動を支える装置や道具を散りばめることでで、特徴的な居場所を複数設えた。旧生糸検査所で使われていた家具を組み込んだり、地域と縁の深い材料を用いることで、この場所ならではの空間づくりを行った（図 1)。

図１　旧検査所の家具や地域産材を用いた什器

・キャンプ（図 2)：子どもを対象としたデザインやアートのワークショップやイベントを行う場所で、放課後利用や週末の親子連れでの利用が予定されている。前述した地域ならではの素材に加え、コンクリートブロックやベニヤといった加工の余地のある材料を用いた。使い方に合わせて利用者が手を加えていくことを想定している。六甲山材を保管・利用促進する地域団体シェアウッズから入手した

図 2 KIITO：キャンプのエントランス周辺

*1 教授　建築学科
Professor, Dept. of Architecture
*2 特別助教　建築学科
Assistant Professor, Dept. of Architecture
*3 特別助手　建築学科
Research Associate, Dept. of Architecture
*4 客員研究員　工学研究所
Guest ResearchFellow, Research Institute for Engineering
*5 客員教授　工学研究所
Guest Professor, Research Institute for Engineering
*6 特別研究員　工学研究所
ResearchFellow, Research Institute for Engineering

様々な樹種・形状の木材を適材適所配置した。伐採した街路樹を丸太ベンチにしたり、間伐材や地酒の酒樽を解体して出た木材で既存の列柱を囲い、空間のアクセントとした。その他にも、旧生糸検査場の時代の街灯や什器などを効果的に配置することで、コストを抑えながらも独自性のある場作りを目指した。

・ファーム：大学、企業、NPO などを対象としたプラットフォームで、社会貢献活動の支援や相談を行う窓口業務まで、広く市民の活動をサポートする場所である。大小のセミナールーム、ミーティングルームや活動展示スペースを用意して、キャンプと一体の空間のなかにありながら単独利用したり、研究目的で長期間専有利用もできる。セミナールームは、防音カーテンによる開閉で 2 室 1 室利用やオープンレクチャーなど、利用形態や規模によって広さをコントロールできる（図 3）。ミーティングルームの間仕切り壁は、活動のアクティブな状況が部屋の外からも見えるように透明ガラスで間仕切り、出入口扉には生糸検査所時代の建具を再利用した（図 4）。

図 3　セミナールーム

図 4　ﾐｰﾃｨﾝｸﾞﾙｰﾑ

3．クリエイティブラウンジ

・エントランス、インフォメーション、ショップ

2 階三宮図書館への動線や施設 1 階の利用率改善のため、利用頻度の低かった南エントランスを施設全体のメインエントランスへと改変するという要望に対して、1 階共用部にエントランスとしての設え、施設全体のインフォメーションを兼ねたショップを配置した。エントランス空間には、廃棄された六甲山麓の御影石を保管・管理する「石の銀行」[2]から入手した御影石と植栽を配置してアプローチ空間としての演出を行った。将来的には自動ドアを設置して風除室とする計画にも配慮している。エントランスの先に設えたショップは、ニッチを利用して既存施設の平面形状に合わせて製作した展示什器に加えて、生糸試験所時代の什器や周辺公共施設から譲渡された什器を組み合わせて可変性のあるレイアウトとした。

図 5　エントランス

図 6　ショップ

・クリエイティブラウンジ

生糸検査所時代には出荷スペースとして利用されていた場所である。改修以前はレンタルスペースとして利用されていた細長い空間に対して、常時無料で利用できるラウンジスペースとして改修した。細長い空間を活かした 30m のロングテーブルは、コロナ禍でも快適に利用できるゆったりした自習スペースとして施設入居者や来館者の利用が可能である（図 7）。マーケットなどのイベント開催時には、テーブルを挟んで出店者と客がやりとりするなど、空間の特性を活かした利用も行われている（図 8）。改修以前同様のギャラリーとしての利用時にも、ロングテーブルが展示什器として活用されることを想定するなど、レンタルスペースとしての機能を拡張することも期待している。ロングテーブルの前に配置した椅子と机は、デザイン教育にふさわしいロングデザインの什器を選定した。三宮図書館の移転に伴い、以前より多目的な来館者が増えることへの対応として、ちょっとした待合い、ミーティングや飲食等で気軽に使える居心地のよい公共空間としてのフリースペースを計画した。窓際にカーテンで区切られた大小のミーティングスペースは、来客対応時のミーティングにも利用できるなど、既存入居者への機能拡張とともに、新規施設入居希望者への訴求効果も期待できる。

図 7　ｸﾘｴｲﾃｨﾌﾞﾗｳﾝｼﾞ（平常時）

図 8　ｸﾘｴｲﾃｨﾌﾞﾗｳﾝｼﾞ（ｲﾍﾞﾝﾄ利用時）

4．エントランス・キャノピー

エントランスが面した歩道上にキャノピーを新設した。来館者に対する施設メインエントランスを明示することや、対面に立つ歴史的建造物である神戸税関の庇と対をなし、港から三宮駅まで続くフラワーロードの玄関口としての景観要素とすることが目的である。敷地外の道路(歩道)上に設置するため、屋外広告物として申請を通している。関係する行政機関と長期間にわたる調整を重ね実現した。道路掘削時に撤去が容易なディテールとしている。

図 9　キャノピー

5．（仮）クリエイティブ屋台

KIITO300 キャンプに隣接する一室に、キャンプでの製作活動をサポートする什器を設計している。可動の屋台形式で、作業台としての役割から展示台まで使える土台をベースに、予め用意したカスタムパーツを必要に応じて利用者が手を加えられる仕様としている。

（出典・参考文献）

[1]KIITO HP About　https://kiito.jp/about/

[2]石の銀行　http://www.ishi-bank.net/

写真：図 1,3,4　©いとう写真

方形導波管 H 面直角曲がりのアドミタンス型等価回路に基づく解析

平岡　隆晴[*]　　許　瑞邦[**]

Analysis of Rectangular Waveguide H-Plane Right-angled Bend based on Admittance type Equivalent Network

Takaharu HIRAOKA[*]　　Jui-Pang HSU[**]

１．研究の目的

開放境界線路及び短絡境界線路における接合回路型不連続問題の解析は，スカラ関数である固有電圧モードおよび開放境界の接続部から電流励振としたモードインピーダンスに基づいて計算する方法とベクトル関数である固有電流モードおよび短絡境界の接続部から電圧励振としたモードアドミタンスに基づく方法がある．ここでは方形導波管 H 面直角曲がりを例にとり，固有電流モードを用いたモードアドミタンス型等価回路の導出や適用結果について報告する．

２．平面接合回路に関する式導出

平面接合回路では，座標系を幅方向 x，伝搬方向 y，高さ方向 z とする．同様に単位ベクトルをそれぞれ，$\boldsymbol{i}, \boldsymbol{j}, \boldsymbol{k}$ とする．対応するモード次数は，m,n,k であるが，高さ方向の電磁界が一様の場合は k=0 となる． TM(E)モードの平面回路方程式は，式(1),(2)となる．

$$grad\dot{V}_k^E(x,y) = j\frac{\beta_{t\,k}^2 \cdot d^2}{\omega\varepsilon_0\varepsilon_s}\dot{\boldsymbol{J}}_k^E(x,y) \tag{1}$$

$$div\dot{\boldsymbol{J}}_k^E(x,y) = j\frac{\omega\varepsilon_0\varepsilon_s}{d^2}\dot{V}_k^E(x,y) \tag{2}$$

式(2)の両辺に $grad$ を取って，$\dot{V}_k^E(x,y)$ を消去するように(1)へ代入すると，式(3)を得る．

$$grad\left[div\boldsymbol{J}_k^E(x,y)\right] - \left(j\beta_{t\,k}\right)^2 \cdot \boldsymbol{J}_k^E(x,y) = 0 \tag{3}$$

また，TM(E)モードの固有電圧モードと固有電流モードに関する平面回路方程式は，式(4),(5)で与えられる．

$$grad\varphi_{m,n}^E(x,y) = j\frac{\beta_{t\,m,n}^2 \cdot d^2}{\omega_{m,n}\varepsilon_0\varepsilon_s}\boldsymbol{\psi}_{m,n}^E(x,y) \tag{4}$$

$$div\boldsymbol{\psi}_{m,n}^E(x,y) = j\frac{\omega_{m,n}\varepsilon_0\varepsilon_s}{d^2}\varphi_{m,n}^E(x,y) \tag{5}$$

式(5)の両辺に $grad$ を取って，$\varphi_{m,n}^E(x,y)$ を消去するように(4)へ代入すると，式(6)を得る．

$$grad\left[div\boldsymbol{\psi}_{m,n}^E(x,y)\right] - \left(j\beta_{t\,m,n}\right)^2 \cdot \boldsymbol{\psi}_{m,n}^E(x,y) = 0 \tag{6}$$

ここで固有電流モード $\boldsymbol{\psi}_{m,n}^E(x,y)$ はベクトル場であるため，次のようにわけて考える．

(A) 非回転な場：$rot\boldsymbol{\psi}_{m,n}^{Eg} = 0$（勾配場($g$)）　(7)

(B) 非発散な場：$div\boldsymbol{\psi}_{m,n}^{Er} = 0$（回転場($r$)）　(8)

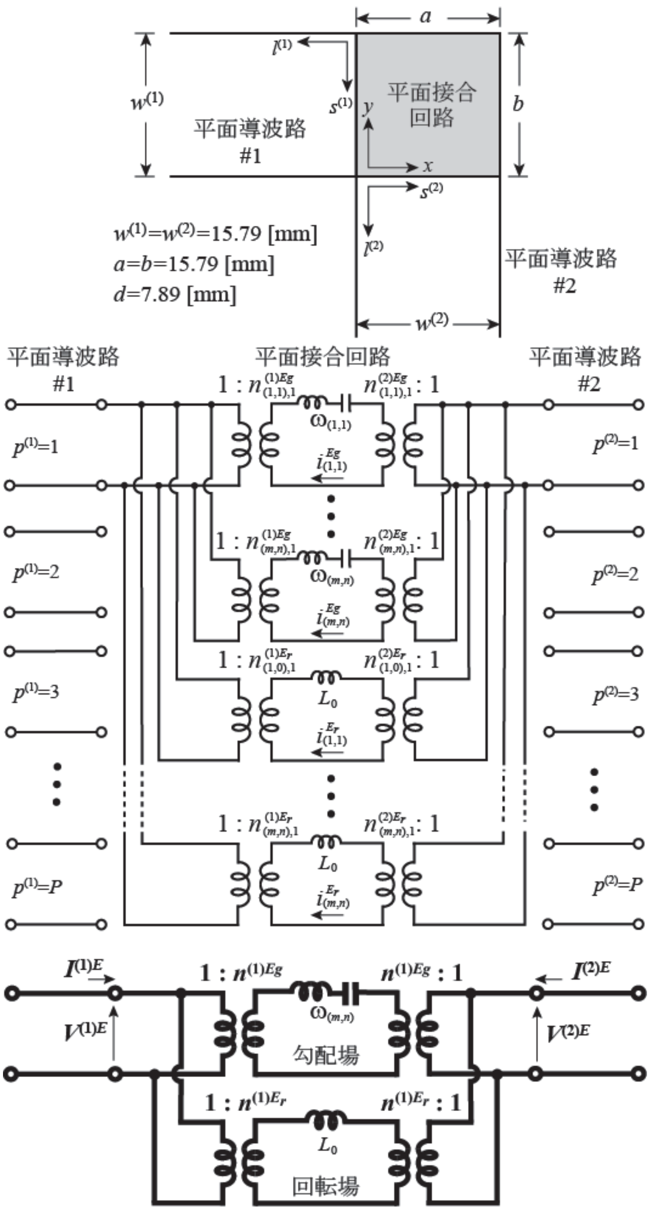


図１　直列共振器及び理想変圧器によるアドミタンス型等価回路

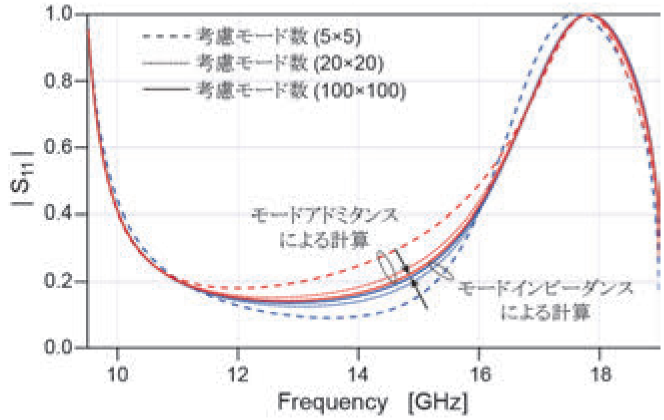
[*]准教授　電気電子情報工学科　Associate Professor, Dept. of Electrical, Electronics and Information Engineering
[**]客員研究員　工学研究所
Invited Researcher, Research Institute for Engineering

３．開口モードアドミタンスおよび等価回路の導出

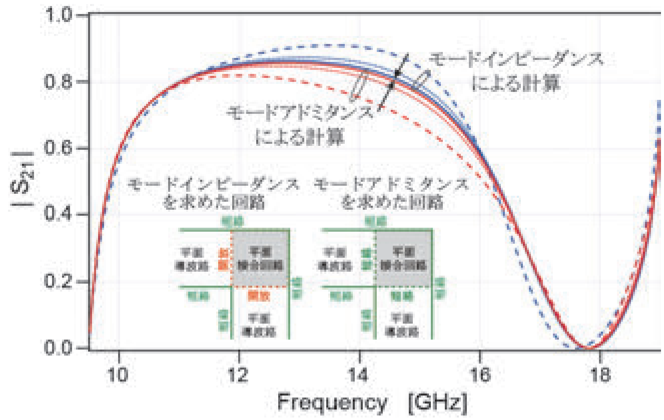
平面接合回路と平面導波路の結合度が得られると，入力(#j)側平面導波路から電圧励振されたとき，平面接合回路の内部モードアドミタンスと結合度から出力(#i)側平面導波路の電流振幅が次式で得ることができる．

$$
\begin{aligned}
\dot{I}_{p_i}^{(i)E}(l) &= \sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{N} n_{p_i,(m,n)}^{(i)Eg}\cdot i_{m,n}^{Eg} + \sum_{m=0}^{M}\sum_{n=0}^{N} n_{p_i,(m,n)}^{(i)Er}\cdot i_{m,n}^{Er} \\
&= \sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{N} n_{p_i,(m,n)}^{(i)Eg}\cdot\left[\frac{1}{jL_0}\frac{\omega}{\omega^2-\omega_{m,n}^2}\right]\cdot\sum_{p_j=1}^{P} n_{(m,n),p_j}^{(j)Eg}\cdot\dot{V}_{p_j}^{(j)E}(l) \\
&\quad+\sum_{m=0}^{M}\sum_{n=0}^{N} n_{p_i,(m,n)}^{(i)Er}\cdot\frac{1}{j\omega L_k}\cdot\sum_{p_j=1}^{P} n_{(m,n),p_j}^{(j)Er}\cdot\dot{V}_{p_j}^{(j)E}(l) \\
&= \sum_{p_j=1}^{P}\dot{Y}_{p_i,p_j}^{(i),(j)}\cdot\dot{V}_{p_j}^{(j)E}(l)
\end{aligned}
\tag{9}
$$

したがって，開口モードアドミタンスは式(9)に示すように勾配場と回転場の和で与えられ，アドミタンス型等価回路を図 1 に示す．勾配場では，(m,n)次の固有電流モードの共振周波数$\omega_{m,n}$に対応する LC 直列共振器が結合度を表す理想変圧器を介して入出力側の多線条伝送線路と接続される．同様に回転場では，(m,n)次の固有電流モードに対応するインダクタンス L_k（k=0 のときは L_0）が理想変圧器を介して入出力多線条線路と接続される．



(a) 反射係数の考慮モード次数に対する収束性



(b) 透過係数の考慮モード次数に対する収束性

図 2　方形導波管 H 面直角曲がり回路の周波数特性

４．方形導波管直角曲がりの計算結果

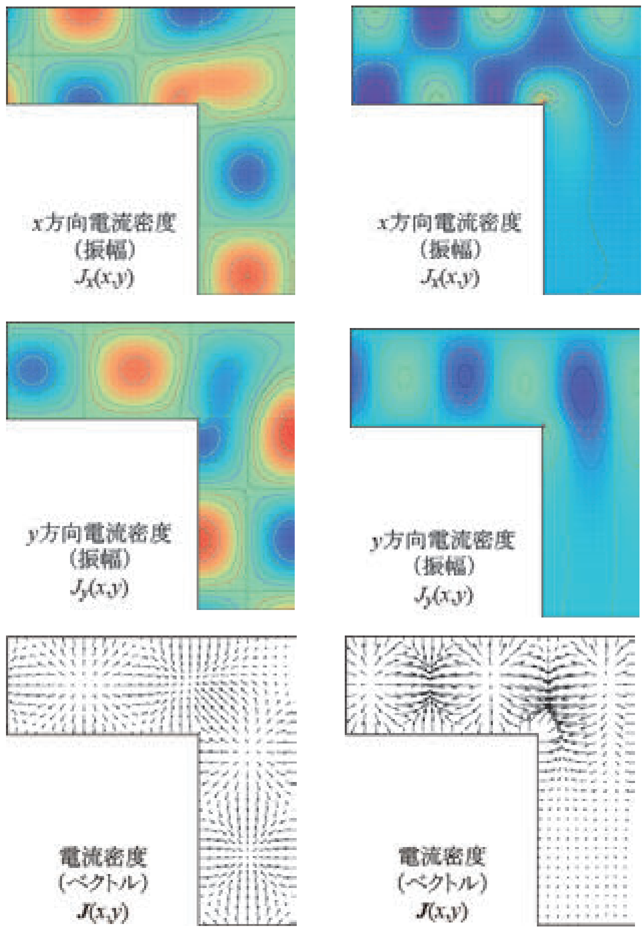
接合型不連続問題の一例として，一辺 a=b=15.79 [mm]，高さ d=7.89[mm]の正方形接合回路で構成された方形導波管直角曲がりの反射及び透過係数特性を図 2 に示す. 同時にモードインピーダンスより計算した電力散乱係数も示す．平面接合回路における考慮モード次数(m,n)は(5×5)，(20×20)，(100×100)と増やすにしたがって，アドミタンスとインピーダンスの結果は一致してくることがわかる．入力側導波管より TE_{10} モードを励振したとき，直角曲がりにおける動作時の電流密度分布を図 3 に示す．図 3(a)に通過域 f=13[GHz]，図 3(b)に阻止域 f=17.8 [GHz]の特性を示す．

５．むすび

接合回路型不連続問題を解析的に取り扱う方法として方形導波管直角曲がりについて適用した結果を報告した．平面導波路と平面接合回路の接続部を短絡境界としたときは，ベクトル場である勾配場及び回転場の固有電流モード及び直列共振器から構成されるアドミタンス型等価回路に基づく手法で特性が記述できる．

（参考文献）

許瑞邦，平岡隆晴，短絡平行平板平面回路のアドミタンス対応フォスタ型等価回路導出と適用結果，信学技報, Vol. 119, No. 459, MW2019-151, pp.65-70, （2020.03）



(a) 通過域(f=13[GHz])　(b) 阻止域(f=17.8[GHz])

図 3　TE_{10} モード励振時の電流密度分布

KU-WIRF（神奈川大学高安心超安全交通研究所）活動報告 ～ドラプリ（ドライブレコーダー活用実践）の歴史～

髙野倉雅人[1]、堀野定雄[2]、石川博敏[2]、龍 重法[2]、石倉理有[2]、久保 登[2]、北島 創[3]

Annual Report on Activity of KU-WIRF (Kanagawa University Research Institute for Well-Informed and Risk Free Transportation) —History of Drappli. Drive-Recorder (Driving Event Video Recorder) Application—

Masato TAKANOKURA[1], Sadao HORINO[2], Hirotoshi ISHIKAWA[2], Shigenori RYU[2], Masatomo ISHIKURA[2], Noboru KUBO[2] and Sou KITAJIMA[3]

１．はじめに

ドライブレコーダーは、自動車の新しい予防安全装置としてタクシー、トラック、バス、そして一般の自家用車に急速に普及して効果を上げています。記録されたデータを体系的に活用し、安全向上に活かすため、利用現場を意識し、データ活用の展望や方法を解説する目的で全国に先駆けて神奈川大学工学研究所高安心超安全交通研究所（Kanagawa University Research Institute for Well-Informed and Risk Free Transportation, KU-WIRF）はその設立記念事業として「ドラプリ 2009 シンポジウム」を開催しました。当シンポジウムではドライブレコーダーを効果的な予防安全技術手法として用いる工夫や方法について参加者と共に考えました。

以来 13 年間官民を挙げて多くの方々が学際的に地道な努力を積み重ね、ドライブレコーダーは交通事故原因の科学的究明に不可欠な技術として定着し今や日常化しています。ここに我国におけるドライブレコーダー活用実践の発展を振り返ることにしました。

２．ドラプリの歴史

ドラプリの歴史として第 1 回から第 13 回までの主題と講演者名と演題を以下にまとめました。読者皆様のご参考になれば幸甚です。

2009 年 第 1 回『交通事故と予防安全～ドライブレコーダーとその応用技術～』KU-WIRF 設立記念シンポジウム

堀野定雄（KU-WIRF 所長）「基調講演　研究所構想とドラレコに期待する予防安全」

力武知路（りきたけ ともつぐ　ふくおか IST）「自動車の安全・安心に関する研究開発～福岡の取り組み～」

林 豊洋（九州工業大学）「車載カメラによる安全センサーシステムの研究開発」

石倉理有（いしくら まさとも（株）ホリバアイテック）「ドラレコデータ分析システム開発のメーカー構想」

石川博敏（警察庁 科学警察研究所）「ドライブレコーダー・EDR による事故自動通報と傷害予測」

久保 登（KU-WIRF）「ドラレコ映像の見方と交通事故分析」

森 みどり（KU-WIRF）「テレフィールド調査の活用」

2010 年 第 2 回『ドライブレコーダーを活用した安全な自動車社会の実現に向けて』

堀野定雄（KU-WIRF）「基調講演 ドライブレコーダーの可能性と課題～予防安全を軸にして～」

龍 重法（（株）堀場製作所）「ドライブレコーダーデータ分析システム開発のメーカー構想」

力武知路（ふくおか IST）「シリコンシーベルトプロジェクトにおける自動車関連の研究開発」

武藤雅仁（（財）北九州産業学術推進機構）「カーエレクトロニクス拠点構想とカーエレセンターの取り組み」

久保 登（KU-WIRF）「ドライブレコーダー大量データ収集・分析システムとデータ利用」

林 豊洋（九州工業大学）「ドライブレコーダー大量データ収集システムの構築」

今長 久（（一社）日本自動車研究所）「ドライブレコーダーデータの積極的活用（事故削減）に向けて」

榎田修一（九州工業大学）「画像処理を用いたドライブレコーダーデータからの追突事故検出」

片山 硬（久留米工業大学）「追従走行時の危険度指標とその応用」

北島 創（（一社）日本自動車研究所）「衝突余裕度と衝突危険度を用いた運転支援システムの提案」

2011 年 第 3 回 『交通事故の劇的削減～ドライブレコーダー活用実践～』

三上哲史（国土交通省 自動車交通局 安全政策課）「ドライブレコーダーの更なる普及に向けて」

永井正夫（東京農工大学大学院）「ドライブレコーダー オールジャパン体制構築に向けて」

久保 登（KU-WIRF）「ドライブレコーダーデータの自動分類」

大慈弥拓也（（株）日本交通事故鑑識研究所）「ドライブレコーダーデータ活用の効果的交通安全教育達成 事故激減へ」

１.KU-WIRF 所長、教授 経営工学科 Director of KU-WIRF, Prof. Dept. of Industrial Engineering and Management、2.客員研究員 Guest Researcher, Research Institute for Engineering、3.特別研究員 Special Researcher, Research Institute for Engineering

森澤三郎（(株）審調社)「ドライブレコーダー活用実践事例：中国での現場展開」

綿引正明（社団法人 東京都トラック協会)「ドライブレコーダーを活用した事故半減計画の達成について」

榎元紀二郎（東日本交通（株))「タクシー搭載ドライブレコーダーの効用と課題」

2012 年 第 4 回 『多様化するドライブレコーダー応用』

清谷伸吾 (国土交通省 自動車局 次長)「安全行政から見た多様化するドライブレコーダーの応用普及と課題」

西本哲也 (日本大学)「交通事故負傷者の早期救命を目指したドライブレコーダーの開発」

鳥塚俊洋（(株）JAF Mate)「事故削減を目指したマイカーにおけるドライブレコーダーおよびその画像データの活用について」

重盛真樹（(株）三菱オートリース)「法人使用車両を対象としたドライブレコーダー活用事例」

内田信行（(一社）日本自動車研究所)「ニアミスデータを利用した危険場面再現による事故防止対策の検討」

道辻洋平 (茨城大学)「ドライブレコーダーを活用した予測運転メカニズムに関する研究」

2013 年 第 5 回 『ドライブレコーダーのビックデータ 』

清谷伸吾 (国土交通省 自動車局 次長)「ドライブレコーダーの更なる活用」

茂呂克己（東京農工大学)、永井正夫（東京農工大学)、鎌田 実（東京大学)「ドライブレコーダー・データベースの現状と分析事例」

久保 登（KU-WIRF)「ビッグデータとして捉えたドライブレコーダーシステム」

島田孝司（(株）富士通)「クラウド型車載機による安全運行サポート」

坂下秀行（(株）三井住友海上火災保険)、蒲池 康浩（(株）インターリスク総研)「スマ保『運転力』診断アプリを活用した事故削減の取組みとデータの活用」

2014 年 第 6 回 『高齢者とドライブレコーダー』

和迩健二（国土交通省 自動車局 次長)「最近の自動車安全対策とドライブレコーダーについて」

西田 泰（(公益財法）交通事故総合分析センターITARDA)「交通事故統計データ分析からみる高齢運転者の事故特性～ドラレコデータ解析のヒント～」

岩越和紀（NPO 法人 高齢者安全運転技術支援研究会 理事長)「運転・認知障害を見分けるために ドラレコの役割」

小竹元基（しの もとき、東京大学大学院 新領域創成科学研究科)「ドライブレコーダーが知る高齢ドライバーの運転特性とその活用技術」

粂田佳奈（(株）東京海上日動リスクコンサルティング)「多発事故環境における高齢ドライバーの注意確認行動の特徴とドライブレコーダーへの期待」

2015 年 第 7 回 『ドライブレコーダーと自動運転(高度運転支援)』

久保田秀暢 (国土交通省 自動車局 技術企画課 国際業務室長)「基調講演 自動運転に関する国内外の動向」

内村孝彦（ITS Japan 理事 自動運転プロジェクトリーダー)「自動運転の技術と市場」

宮嵜拓郎（(株）NTT データ アイ 特別参与)「自動運転時代におけるドライブレコーダーの役割」

森澤三郎（(株）審調社)「暴走事故から見えてくるドライブレコーダーの役割」

中山幸二（明治大学 法科大学院)「自動運転における立証責任」

2016 年 第 8 回 『交通事故のトラブルをなくせ。劇的に普及するドライブレコーダー活用の挑戦！』

平井隆志（国土交通省 自動車局 安全政策課 課長)「基調講演 軽井沢スキーバス事故から」

大慈彌拓也（日本交通事故鑑識研究所)「ドライブレコーダー映像活用による効果的安全教育」

竹村公一（(株）SOMPO リスケアマネジメント)「事故防止に向けたドライブレコーダーの活用事例」「高度運転支援機能とドライブレコーダー」

岡本 努（警察庁 運転免許課 高齢運転者支援室長)「高齢者講習へドライブレコーダーの活用」

相川春雄（(株）東武バスセントラル 取締役社長)「バス業界の取り組みと成果」

山田貴範（(株）豊田通商)「V2X（車と車・路側機・人が通信する安全支援システム）の普及にむけて」

2017 年 第 9 回 『ソーシャル化するドライブレコーダー』

笹本 翔 (国土交通省 自動車局 技術政策課)「ADAS 自動運転の実現に向けた国土交通省の取組」

舟橋 信（特定非営利法人デジタル・フォレンジック理事)「デジタル・フォレンジックの基礎～電子証拠の保全と解析～」

平田洋一（(株）東京海上日動火災保険)「DR＋ACN（緊急発報）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～」

2018 年 第 10 回『自動運転時代にドライブレコーダー映像をどう活かすか？』

久保 巧（国土交通省 自動車局 技術政策課)「自動運転の実現に向けた政府の取組み～自動運転車の安全技術ガイドラインを中心に～」

佐藤典仁（国土交通省 自動車局 保障制度参事官室)「自動運転関係の法制について 国土交通省 自動運転における損害賠償責任に関する 研究会報告書を中心に」

佐藤昌之（ITS-JAPAN、法務主査) 「国内外における自動運転車事故の詳細～テスラ、ウーバー、国産車の事故解析～」

2019 年 第 11 回 『自動車保険とドライブレコーダー』

猪股博之（国土交通省 自動車局 技術政策課 国際業務室長)「基調講演 交通事故の現状と削減に向けたドライブレコーダーへの期待などの最新の動向について」

伊東 健（(株) 東京海上日動火災保険)「自動車保険ドライブレコーダー特約による社会課題解決への挑戦」

坂口正樹（(株) 損害保険ジャパン日本興亜）「通信機能付きドライブレコーダーを活用した事故削減支援サービスについて」

坂下秀行（(株) 三井住友海上火災保険）「安心・安全をお届けするドライブレコーダー活用型自動車保険」

高瀬里美（(株) あいおいニッセイ同和損害保険）「ドライブレコーダー・テレマティクス技術を活用した『事故を起こさないための保険』」

2020 年 第 12 回 『ドライブレコーダーの過去・現在・未来』

東海太郎（国土交通省 自動車局 安全・環境基準課）「車載記録装置の国際動向や普及に向けた取り組み」

重松智史（(株) デンソーテン）「進化し続けるドライブレコーダー～ドライブレコーダーを支える技術 黎明期・現在・将来～」

中村良幸（(株) カーメイト）「360° ドライブレコーダーの課題と展望」

吉澤成一朗（(株) プレミア・エイド）「「つながる」ドライブレコーダー活用の将来展望」

毛利 宏（東京農工大学）「ドライブレコーダーのデータ活用について～データベースの現状と将来展望～」

2021 年 第 13 回 『ドライブレコーダーの AI の発展可能性を探る』

山村真也（国土交通省 自動車局 技術政策課）「特別講演 車両安全対策の動向」

鈴木浩明（ジャパン・トゥエンティワン（株））「安全運転に寄与する AI 技術の展開（Mobileye）」

立石圭太（Streamax Japan）「AI と通信で進化し続けるドライブレコーダー（中国系）」

大下朋也（富士通（株）Digital Transportation 事業本部ソリューション事業部）「ドラレコデータ分析用 AI アプリケーション」

3. まとめ

この 13 年間で合計延べ 74 名がドライブレコーダーをテーマに講演を行いました。産官学の内訳は、産業界から延べ 28 名、官界から同 23 名、学界から同 23 名でした。

具体的に夫々講演者名を閲覧します。産業界からは、(株) ホリバアイテック 石倉理有（いしくら まさとも）氏、(株) 堀場製作所 龍 重法氏、(株) 日本交通事故鑑識研究所 大慈弥拓也氏、(株) 審調社 森澤三郎氏、(株) 東日本交通 代表取締役会長 榎元紀二郎氏、(株) JAF Mate 鳥塚俊洋氏、(株) 三菱オートリース 重盛真樹氏、(株) 富士通 島田孝司氏、(株) 三井住友海上火災保険 坂下秀行氏、(株) インターリスク総研 蒲池康浩氏、(株) 東京海上日動リスクコンサルティング 粂田佳奈氏、(株) NTT データ アイ 宮嵜拓郎氏、(株) SOMPO リスケアマネジメント 竹村公一氏、(株) 東武バスセントラル 取締役社長 相川春雄氏、(株) 豊田通商 山田貴範氏、(株) 東京海上日動火災保険 平田洋一氏、(株) 東京海上日動火災保険 伊東 健氏、(株) 損害保険ジャパン日本興亜 坂口正樹氏、(株) 三井住友海上火災保険 坂下秀行氏、(株) あいおいニッセイ同和損害保険 高瀬里美氏、(株) デンソーテン 重松智文氏、(株) カーメイト 中村吉幸氏、(株) プレミア・エイド 吉澤成一朗氏、(株) ジャパン・トゥエンティワン 鈴木浩明氏、Streamax Japan 立石圭太氏、(株) 富士通 Digital Transportation 事業本部 大下朋也氏です。

以上閲覧して判ります様にドライブレコーダー利活用をキーワードとする企業はバス、タクシー、トラックなど公共交通輸送業界、日本を代表するメガ損保企業 4 社を初めとする保険業界、その他ドライブレコーダーを活かして交通安全達成を企業の生業とする車関連企業です。これら民間企業のご努力に敬意を表します。

官から 23 名です。その内、国土交通省からは 12 名で、交通安全行政最前線で我が国から交通事故を科学的に劇的に減らそうと知恵を絞り官民連携の質的発展に汗を掻き、霞ヶ関で頑張る次の高官たちです。 三上哲史氏、清谷伸吾氏、和迩健二氏、久保田秀暢氏、平井隆志氏、笹本 翔氏、久保 巧氏、佐藤典仁氏、猪股博之氏、東海太郎氏、山村真也氏、関連官庁として警察庁科学警察研究所 石川博敏氏です。

更に、官に準ずる中立機関の ITS Japan 内村孝彦氏、ITS Japan 佐藤昌之氏、ふくおか IST 力武知路氏、(財) 北九州産業学術推進機構 武藤雅仁氏、(公益財法) 交通事故総合分析センターITARDA 西田 泰氏、社団法人東京都トラック協会 綿引正明氏、NPO 法人高齢者安全運転技術支援研究会 岩越和紀氏など 11 名です。

大学・研究所からは 23 名で、神奈川大学から堀野定雄、久保 登氏と故森 みどり氏、九州工業大学から林 豊洋氏と榎田修一氏、久留米工業大学 片山 硬氏、茨城大学 道辻洋平氏、日本大学 西本哲也氏、東京大学から鎌田 実氏と小竹元基（しの もとき）氏、明治大学 中山幸二氏、東京農工大学から永井正夫氏、茂呂克己氏と毛利 宏氏、日本自動車研究所から北島 創氏と今長 久氏でした。

ここに登場された講演者は我が国に於いてドライブレコーダーの開発、活用実践において積極的に活動している人材です。

4. ドライブレコーダーの進化

手軽に扱える小型ビデオカメラが市場に登場した頃、筆者らはこれを走行中助手席のアイ・ポイント位置に設置して出発地から到着地までの全走行を画像と音声同時に記録し、安全な研究室内で大型スクリーンに再生し搭乗者が観察を共有して実際に経験したニアミス分析を有効に行い再発防止に実践的に活かしました。

車載ビデオ記録の実践活用成果がきっかけで車載型小型カメラ装置の市場化が急速に進み運輸省（当時）の支援もあり、トラック、タクシーなど業務用車両、マイカーへと急速に広がりました。

これからのドライブレコーダー技術に期待することとして、カメラが記録した事象を映像解析し交通状況の過去・現在・未来をより正確に描けるソフト開発、交通事故における救命救急への更なる活用、大容量記憶媒体を駆使して全走行状況を常時記録出来るドライブレコーダーの日常化、有事の際 AI 技術を活かして運転席で直前発生イベントを分析・整理しドライバーにフィードバックする常時監視ドライブレコーダーの開発など、夢が膨らみます。

これまで人類が経験して来た技術進化とは、既存の技術が少しずつ進歩するにつれて自由自在に出来ることが増えて産業活動や人々の生活が豊かになる事でした。全く同質の技術進化がドライブレコーダーでも正に今現在起こっています。皆で確認しましょう。

A Structural Demand Model for Seismic Fragility Analysis Based on 3P-Lognormal Distribution

Fangwen GE* Haizhong ZHANG ** and Yan-Gang ZHAO ***

1. Introduction

Seismic fragility analysis plays an important role in the overall seismic risk assessment of a structure [1], in which the dynamic relationship between earthquake intensity and structural failure probability can be quantitatively determined and is usually represented through so-called fragility curves. According to the damage data source, fragility curves can be divided into four types: (1) empirical, (2) judgmental, (3) analytical, and (4) hybrid [2–5]. Each type of curve has its own applications, among which, analytical fragility curves, which avoid interference of the human decision and are easily constructed based on the objective analytical engineering demand parameter (EDP) predicted by structural nonlinear dynamic analysis [6, 7] or the capacity spectrum approach [8, 9] have become the most commonly used type and are therefore addressed in this study.

For analytical fragility curve construction based on nonlinear dynamic analysis, three procedures are commonly used, i.e., incremental dynamic analysis (IDA), cloud Analysis and multiple stripe analysis (MSA). Among these, cloud Analysis [10] is recognized as relatively simple because of its unscaled ground motions used in nonlinear dynamic analysis. It has been adopted in numerous studies [11–18], however, its application is limited due to the accuracy of the results and the fact that the input ground motions need to be selected carefully [19]. Differing from cloud analysis, both IDA and MSA are procedures for obtaining EDP data at considered earthquake intensity (IM) level through scaled earthquake ground motion input. Specifically, IDA [20–22] uses a fixed suite of records scaled successively to higher IM levels and is good at capturing the uncertainty of record-to-record variability. In contrast, MSA [23–25] shows its flexibility in the selection of different suites of input ground motions, and thereby appropriately represents of the seismic threat at the corresponding IM level.

Based on the analytical EDP data predicted through the aforementioned procedures, fragility curves are usually generated using a probabilistic model, the most commonly used of which is the lognormal distribution with two parameters, i.e., logarithmic mean and logarithmic standard deviation. This model is widely accepted and used in most parametric analytical fragility analyses [8–19, 21–25]. However, the accuracy of the lognormal hypothesis, which is especially important for the seismic fragility analysis results has received little attention. Therefore, a more appropriate structural demand model to improve the accuracy of the fragility analysis is necessary, which is the object of this study.

* Graduated student, Dept. of Architecture
** Assistant Professor, Dept. of Architecture
*** Professor, Dept. of Architecture

2. Review of the lognormal structural demand model

Given an earthquake intensity measure, $IM = \alpha$, the probability that the *EDP* will reach or exceed the threshold (*edp*) of the considered performance limit state can be expressed through a fragility function in the following conditional probability form:

$$P_f(\alpha) = \Pr ob\left[EDP \geq edp \mid IM = \alpha\right], \quad (1)$$

Considering cases of structural global collapse for each *IM* level in nonlinear dynamic analysis, the structure fragility function needs to be modified as follows based on the law of total probability [23]:

$$\begin{aligned} P_f(\alpha) &= \Pr ob\left[EDP \geq edp \mid IM = \alpha, NC\right] \times \Pr ob\left[NC \mid IM = \alpha\right] \\ &+ \Pr ob\left[EDP \geq edp \mid IM = \alpha, C\right] \times \Pr ob\left[C \mid IM = \alpha\right] \end{aligned}, \quad (2)$$

where *C* and *NC* represent the occurrence of structural "collapse" and "non-collapse," respectively, which have the following relations:

$$\Pr ob\left[NC \mid IM = \alpha\right] + \Pr ob\left[C \mid IM = \alpha\right] = 1. \quad (3)$$

When a structure collapses, the probability of the structure reaching or exceeding any performance limit state will be considered as one. Thus, the fragility function can be rewritten as

$$P_f(\alpha) = 1 - \Pr ob\left[NC \mid IM = \alpha\right] \times F_{EDP}\left(edp \mid IM = \alpha, NC\right), \quad (4)$$

where $F_{EDP}(\cdot)$ is the cumulative distribution function (CDF) of the *EDP*.

The probability of non-collapse at each *IM* level can be approximately estimated using the proportion of the non-collapse data from the nonlinear dynamic analysis as follows:

$$\Pr ob\left[NC \mid IM = \alpha\right] = \frac{N_{NC,\alpha}}{N_{total}}, \quad (5)$$

where $N_{NC,\alpha}$ is the number of non-collapse cases at $IM = \alpha$ and N_{total} is the total number of input ground motions for each *IM* level.

Under the procedures using scaled input ground motions, i.e., the nonlinear dynamic analysis conducted on the object model with the input of a suite of *N* ground motions scaled into considered *IM* levels or different suites of *N* ground motions for different *IM* levels, a sample of *IM-EDP* pairs (α, $EDP_{\alpha i}$) at $IM = \alpha$ (i = 1, 2, …, *N*) can be obtained. In practice, the structural demand at $IM = \alpha$ is empirically assumed to follow a lognormal distribution [8–19, 21–25]. Thus, analytical fragility curves can be generated as follows:

$$P_f(\alpha) = 1 - \Pr ob\left[NC \mid IM = \alpha\right] \times \Phi\left(\frac{\ln edp - \lambda_\alpha}{\xi_\alpha} \mid IM = \alpha, NC\right), \quad (6)$$

where $\Phi(\cdot)$ is the normalized Gaussian CDF; $\lambda\alpha$ and $\xi\alpha$ are the two distribution parameters of the random variable *EDP* at $IM = \alpha$, i.e., the logarithmic mean and logarithmic standard deviation, and can be calculated as follows:

$$\lambda_{\alpha} = \frac{1}{N_{NC}} \sum_{i=1}^{N_{NC}} \ln EDP_{\alpha i} \quad , \tag{7a}$$

$$\xi_{\alpha} = \sqrt{\frac{1}{N_{NC}-1} \sum_{i=1}^{N_{NC}} \left(\ln EDP_{\alpha i} - \lambda_{\alpha} \right)^2} \quad . \tag{7b}$$

3. Proposed 3P-lognormal structural demand model

A structural demand model based on a 3P-lognormal distribution with parameters of mean, standard deviation, and skewness is proposed to meet this requirement for fragility curve construction. The probability density function (PDF) and CDF of the 3P-lognormal distribution [26] can be expressed as in Eqs. (8) and (9), respectively.

$$f_X(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi \ln(A)} \left| \frac{x-\mu_x}{\sigma_x} - u_b \right|} \exp\left\{ -\frac{1}{2\ln(A)} \left[\ln\left| \frac{x-\mu_x}{\sigma_x} - u_b \right| - \ln\frac{|u_b|}{\sqrt{A}} \right]^2 \right\} \times \frac{1}{\sigma_x} , \tag{8}$$

$$F_X(x) = \Phi\left(\frac{\ln\left| \frac{x-\mu_x}{\sigma_x} - u_b \right| - \ln\frac{|u_b|}{\sqrt{A}}}{\sqrt{\ln A}} \right) \quad , \tag{9}$$

where [27]

$$A = 1 + \frac{1}{u_b^2} \, , \tag{10a}$$

$$u_b = (a+b)^{\frac{1}{3}} + (a-b)^{\frac{1}{3}} - \frac{1}{\alpha_{3x}} \, , \tag{10b}$$

$$a = -\frac{1}{\alpha_{3x}} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{\alpha_{3x}^2} \right) , \tag{10c}$$

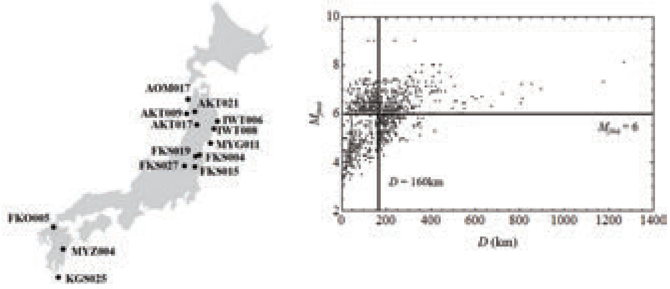
$$b = \frac{1}{2\alpha_{3x}} \sqrt{\alpha_{3x}^2 + 4} \, . \tag{10d}$$

Here, μ_x, σ_x, and α_{3x} are the mean, standard deviation, and skewness, respectively, i.e., the first three central moments of random variable *x*.

4. Investigation into the structural demand model

4.1 *Input ground motions and analytical model*

It is well known that the uncertainty of random variable *EDP* at $IM = \alpha$ from the nonlinear dynamic analysis mainly depends on the variance of the input ground motions. To obtain a more referenceable structural demand distribution reflecting the uncertainty of record-to-record variability, it is beneficial to apply as many of the input ground motions as possible. Thus, in this study, a total of 1,000 ground motions considering a wide range of epicenter distances (*D*) and magnitudes as estimated by the Japan Meteorological Agency (M_{jma}) recorded at 14 Japanese sites with nearly the same site characteristics were selected from Japanese strong-motion seismograph networks (K-NET, KiK-net) [28]. To make the selected records general, four groups contained 250 records were considered. The input information, i.e., the location of the recorded sites, and M_{jma} and *D* of the selected ground motions, is plotted in Figs. 1(a) and (b). The selected ground motions were scaled into six peak ground acceleration (PGA) levels (used to represent IM as an example), i.e., PGA = 100, 300, 500, 700, 900, and 1,100 gal, as the nonlinear dynamic analysis input.



(a) (b)

Fig. 1 Input ground motion information

A simplified three-story three-span conventional steel frame model [29] (Fig. 2 and Table 1) was used as an analytical model to illustrate the distribution of structural demand in this study. The dimensions of the model were set as follows: The height of the first floor was 3,800 mm and that of the other floors was 3,000 mm; the length of all spans was 6,000 mm. The story weight was set to 39 kN/m of the beam and distributed evenly to all nodes. The yield stress for all structural members was set to 235 N/mm2. The columns and beams were designed as square steel pipes and H-shaped steel, respectively.

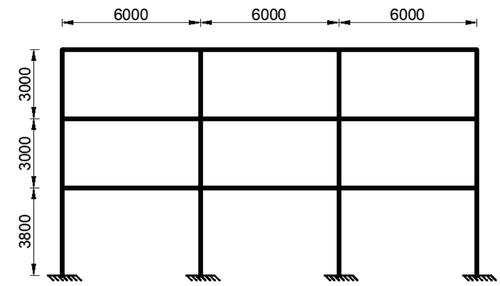


Fig. 2 Elevation of the analytical steel frame model (mm)

Table 1. Detailed dimensions of structural members

Story	Column (mm)	Beam (mm)
1	350 × 350 × 9	340 × 250 × 9 × 14
2	350 × 350 × 8	300 × 200 × 9 × 14
3	250 × 250 × 6	240 × 170 × 7 × 11

The maximum interstory drift ratio was used to represent the EDP. To investigate the distribution of structural demand, a nonlinear dynamic analysis was conducted with the following properties: a Young's modulus of 205 kN/mm2; a bilinear model for restoring the force characteristic; a secondary stiffness 1/50th that of the initial stiffness and a damping ratio of 2% for the fundamental period.

4.2 *Investigation of the distribution shape of the structural demand model*

Based on the nonlinear dynamic analytical *EDP* data, the three parameters (i.e., the mean [μ_α], standard deviation [σ_α] and skewness [$\alpha_{3\alpha}$] of the *EDP* at $IM = \alpha$) of the 3P-lognormal distribution could be calculated as

$$\mu_\alpha = \frac{1}{N_{NC}} \sum_{i=1}^{NNC} EDP_i \quad , \tag{11a}$$

$$\sigma_\alpha = \sqrt{\frac{1}{N_{NC}-1} \sum_{i=1}^{NNC} \left(EDP_i - \mu_\alpha\right)^2} \quad , \tag{11b}$$

$$\alpha_{3\alpha} = \frac{1}{N_{NC}} \left(\sum_{i=1}^{NNC} EDP_i \right)^3 / \sigma_\alpha^3 \quad . \tag{11c}$$

In this study, an *IM*-based rule named as the 20% tangent slop approach [30], i.e., a method to determine the structural capacity point when the *EDP* begins to increase at increasingly higher rates under a small amount of IM growth, was used to determine the collapse cases for each *IM* level. The results of the PDF and CDF fitting of the non-collapse *EDP* data for each *PGA* case using the existing lognormal model and proposed 3P-lognormal model were compared. For distinction, the lognormal distribution in the previous assumption was referred to as the 2P-lognormal distribution. Two goodness-of-fit tests, i.e., chi-squared test (Chi) for the PDF and Kolmogorov–Smirnov (KS) test for the CDF, were conducted, and the test statistics as the fitting results are listed in Table 2. Because the structural demand was more inclined to follow a distribution with a smaller statistic in both tests, it was observed that the proposed 3P-lognormal structural demand model showed a better fitting effect compared with the existing 2P-lognormal method for all considered PGA cases.

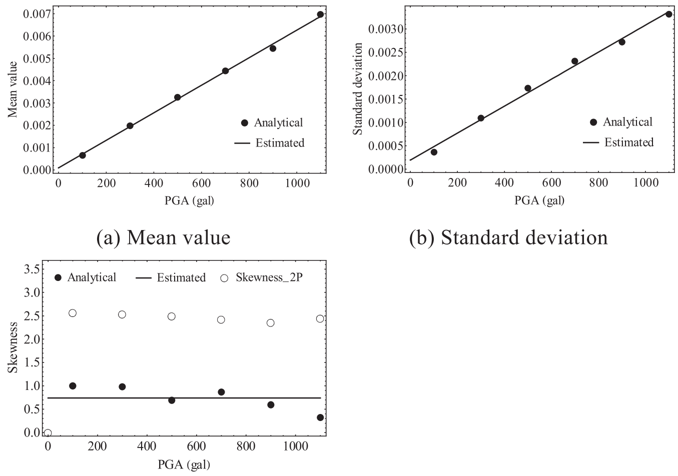
Table 2 Statistics of goodness-of-fit test

PGA (gal)	Chi		KS	
	2P	3P	2P	3P
100	157.952	46.016	0.091	0.025
300	154.560	46.016	0.089	0.023
500	159.168	59.648	0.090	0.024
700	181.928	46.360	0.098	0.027
900	176.912	41.829	0.104	0.024
1100	142.122	25.653	0.134	0.030

4.3 *Investigation of the distribution shape of the structural demand model*

Based on the first three central moments of the *EDP* calculated using Eqs. (11a)–(11c), the relationships between the three parameters with *IM* could be estimated as shown in Fig. 3. Specifically, the mean and standard deviation of the *EDP* showed strong linear relationships with *IM*, and the skewness of the *EDP* displayed a slight fluctuation around a fixed value. Moreover, the skewness estimated using the 2P-lognormal model with the analytical mean value and standard deviation (Fig. 3[c]) was approximately 2.5, which induced a serious overestimation compared with the analytical data. Thus, to address this error caused by the 2P-lognormal model, the skewness could be estimated as a constant within the entire *IM* range based on the analytical results, i.e., the mean of the calculated skewness for all considered *IM* cases.

The aforementioned relations could be used to estimate the parameters of the 3P-lognormal model for the arbitrary *IM*, thereby avoiding a large number of structural nonlinear dynamic analyses that must be repeated for each *IM* level. It should be noted that although the accurate estimation of skewness introduced in this study required more sample data than the mean and standard deviation, the dependence of the estimated parameters and their relationships to *IM* on the number of records and considered *IM* levels was principally similar to those of the previous 2P-lognormal model. As shown in Fig. 3(c), the skewness focused on reflecting the asymmetry of the distribution flexibly; thus, the proposed model, which considers three parameters could theoretically obtain a more accurate solution for seismic fragility analysis.



(a) Mean value (b) Standard deviation

(c) Skewness

Fig. 3 Relationships between the three parameters with *IM*

5. Numerical examples

A seismic fragility analysis of the three-story three-span steel frame model (Fig. 2) was conducted using the proposed 3P-lognormal structural demand model. Fig. 4 shows the results of the non-collapsed nonlinear dynamic analytical *EDP* data for the six considered *PGA* levels and the estimated relationship between the probability of structural non-collapse and *PGA*. Based on the analytical *EDP* data, the relationships between the three parameters of the proposed 3P-lognormal model and *IM* could be estimated as follows:

$$\mu = 6.16829 \times 10^{-6} IM + 0.000092 \quad , \tag{12a}$$

$$\sigma = 2.88586 \times 10^{-6} IM + 0.000194 \quad , \tag{12b}$$

$$\alpha_3 = 0.74059 \quad . \tag{12c}$$

The two parameters of the 2P-lognormal model were also estimated based on the analytical EDP data. Specifically, the relationship between logarithmic mean value (λ) of the *EDP* and *IM* was given by a linear regression in log space, and the logarithmic standard deviation (ξ) was considered the "dispersion of the ground motions" to reflect the uncertainty of the record-to-record variability; thereby, it was assumed to be a fixed value for all *IM* levels.

Four levels of performance limit states (i.e., none, slight, moderate and extensive) of the steel structures were considered, and the threshold of the maximum interstory drift ratio edp for each limit state was defined as in Table 3 [31]. The fragility curves of this steel frame structure could be generated for the four performance limit states, as shown in Fig. 5.

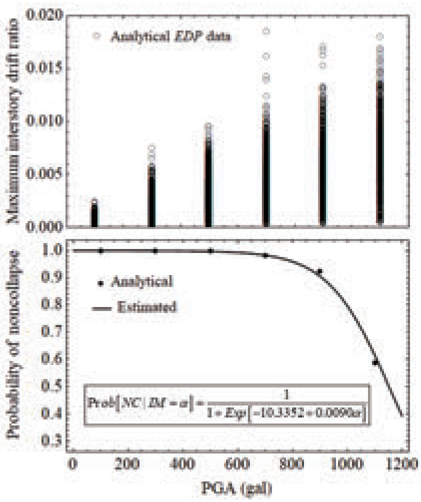


Fig. 4 Analytical *EDP* data and the estimated relationship between the probability of structural non-collapse and *IM*

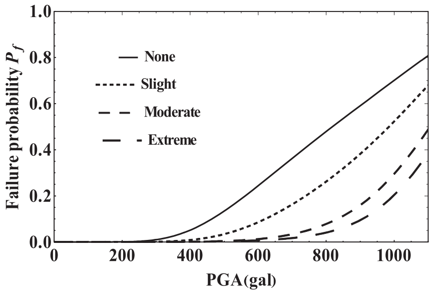


Fig. 5 Analytical fragility curves generated by the proposed model

Table 3 Threshold of the performance limit state for steel structures

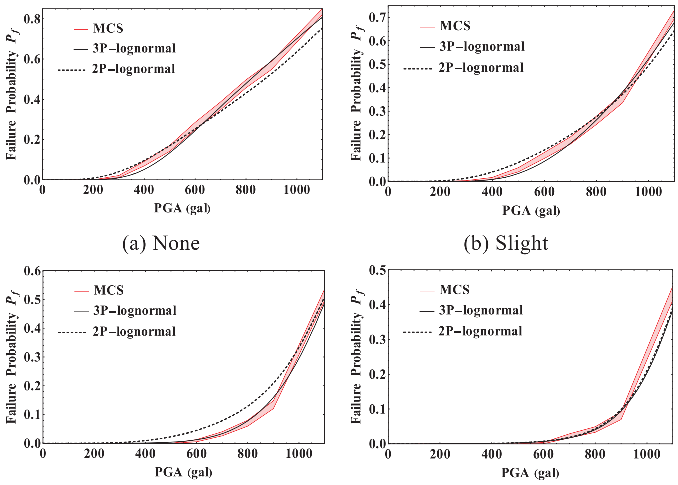
Performance limit state	None	Slight	Moderate	Extensive
edp	1/200	1/150	1/100	1/40

The Monte Carlo Simulation (MCS) results based on the analytical data at each *IM* level (considering the errors yielded using the simulation trials and estimated failure probability) were recognized as a reference of the exact values. Specifically, for the MCS with N trials, the actual failure probability with confidence level C, $P_{f,C}$, could be considered as [33]

$$P_{f,C} = P_{f,MCS} \pm P_{f,MCS} \times \left[-\Phi^{-1}\left(\frac{1-C}{2}\right) \right] \times \left(\frac{1-P_{f,MCS}}{NP_{f,MCS}} \right)^{0.5} , \quad (13)$$

where $P_{f,MCS}$ is the failure probability estimated using the MCS.

Based on the aforementioned discussion, the performance of the two structural demand models was compared with the MCS results with 80% confidence for the four performance limit states as shown in Figs. 6 (a)–(d). Difference of the seismic fragility results estimated between the two models at $IM = \alpha$ might change with the structural type, the investigated *IM* level, the probability of structural collapse in structural nonlinear dynamic analysis at the considered *IM* level or the evaluated performance limit state. From the comparison results it was observed that the proposed structural demand model based on 3P-lognormal distribution showed different degrees of accuracy improvement compared to the existing 2P-lognormal model for different performance limit states and *IM* levels. Thus, the proposed model proved to be more appropriate for use as a structural demand model in a seismic fragility analysis.



(a) None (b) Slight

(c) Moderate (d) Extensive

Fig.6 Comparisons of the fragility curves between the two models

5. Conclusions

A new structural demand model based on 3P-lognormal distribution was proposed for analytical seismic fragility analysis. The model's performance was verified based on a large amount of analytical *EDP* data obtained from the nonlinear dynamic analysis of a simplified steel frame model. Through a numerical fragility analysis example, the improvement of the proposed model on analytical fragility curve construction considering the asymmetry of structural demand distribution through skewness was proven. The conclusions can be summarized as follows:

(1) From the goodness-of-fit test for both the PDFs and CDFs of structural demand obtained from the large amount of analytical *EDP* data, the proposed 3P-lognormal model showed a better fitting effect than the existing 2P-lognormal model and, thus, proved to be a more appropriate assumption in seismic fragility analysis.

(2) The relationships between the three parameters of the proposed model and *IM* could be estimated to generate smooth fragility curves efficiently. Specifically, the mean and standard deviation of the *EDP* could be estimated through linear regression at an arbitrary *IM*, and the skewness of the *EDP* could be estimated as a fixed value.

(3) The analytical fragility curves generated using the proposed and existing models were compared with the MCS results in a numerical example of a simplified steel frame structure. From the comparison results it was observed that the proposed structural demand model based on 3P-lognormal distribution showed different degrees of accuracy improvement compared to the existing 2P-lognormal modal for different performance limit states and *IM* levels. Thus, the proposed model proved to be more appropriate for use as a structural demand model in a seismic

fragility analysis.

References

[1] Ellingwood BR, Celik OC, Kinali K. Fragility assessment of building structural systems in Mid-America. Earthq. Eng. Struct. Dyn. 2007; 36: 1935-1952.

[2] Jeong SH, Elnashai AS. Probabilistic fragility analysis parameterized by fundamental response quantities. Eng. Struct. 2007; 29(6): 1238-1251.

[3] Ioannou I, Chandler RE, Rossetto T. Empirical fragility curves: The effect of uncertainty in ground motion intensity. Soil Dyn. Earthq. Eng. 2020; 129: 105908.

[4] Mai C, Konakli K, Sudret B. Seismic fragility curves for structures using non-parametric representations. Front. Struct. Civ. Eng. 2017; 11: 169-186.

[5] Román-De La Sancha A, Mayoral JM, Hutchinson TC, Candia G, Montgomery J, Tepalcapa S. Assessment of fragility models based on the Sept 19th, 2017 earthquake observed damage. Soil Dyn. Earthq. Eng. 2019; 125:105707.

[6] Zentner I. Numerical computation of fragility curves for NPP equipment. Nucl. Eng. Des. 2010; 240(6): 1614-1621.

[7] Hariri-Ardebili MA, Saouma VA. Probabilistic seismic demand model and optimal intensity measure for concrete dams. Struct. Saf. 2016; 59: 67-85.

[8] Fajfar P. Capacity spectrum method based on inelastic demand spectra. Earthq. Eng. Struct. Dyn. 1999. 28 (9): 979-993.

[9] Rossetto T, Gehl P, Minas S, Galasso C, Duffour P, Douglas J, Cook O. FRACAS: A capacity spectrum approach for seismic fragility assessment including record-record variability. Eng. Struct. 2016. 125 (15): 337-348.

[10] Cornell CA, Jalayer F, Hamburger RO, Foutch DA. Probabilistic basis for 2000 SAC federal emergency management agency steel moment frame guidelines. J Struct Eng ASCE. 2002; 128 (4): 526-533.

[11] Ellingwood BR. Earthquake risk assessment of building structures. Reliab. Eng. Syst. Saf. 2001; 74(3): 251-262.

[12] Ellingwood BR, Kinali K. Quantifying and communicating uncertainty in seismic risk assessment. Struct. Saf. 2009; 31(2): 179-187.

[13] Padgett JE, DesRoches R. Methodology for the development of analytical fragility curves for retrofitted bridges. Earthq. Eng. Struct. Dyn. 2008; 37(8): 1157-1174.

[14] Choudhury T, Kaushik HB. Treatment of uncertainties in seismic fragility assessment of RC frames with masonry infill walls. Soil Dyn. Earthq. Eng. 2019; 126: 105771.

[15] Jeong SH, Mwafy AM, Elnashai AS. Probabilistic seismic performance assessment of code-compliant multi-story RC buildings. Eng. Struct. 2012; 34: 527-537.

[16] Wang JT, Zhang MX, Jin AY, Zhang CH. Seismic fragility of arch dams based on damage analysis. Soil Dyn. Earthq. Eng. 2018; 109: 58-68.

[17] Gencturk B, Elnashai A, Song J. Fragility relationships for populations of woodframe structures based on inelastic response. J. Earthq. Eng. 2008; 12(2): 119-128.

[18] Shinozuka M, Feng MQ, Lee J, Naganuma T. Statistical analysis of fragility curves. J. Eng. Mech. 2000; 126(12): 1224-1231.

[19] Jalayer F, Ebrahimian H, Miano A, Manfredi G, Sezen H. Analytical fragility assessment using unscaled ground motion. Earthq Eng Struct Dyn. 2017; 46 (15):2639-2663.

[20] Vamvattsikos D, Cornell CA. Incremental dynamic analysis. Earthq Eng Struct D. 2002; 31 (3): 491-514.

[21] Singhal A, Kiremidjian AS. Method for probabilistic evaluation of seismic structural damage. J. Struct. Eng. 1996; 122(12): 1459-1467.

[22] He X, Lu Z. Seismic fragility assessment of a super tall building with hybrid control strategy using IDA method. Soil Dyn. Earthq. Eng. 2019; 123: 278-291.

[23] Jalayer F, Cornell CA. Alternative non-linear demand estimation methods for probability-based seismic assessments. Earthq Eng Struct D. 2009; 38: 951-972.

[24] Yu X, Lv D, Wang G. Discussions on probabilistic seismic demand models. Eng Mech. 2013; 30(8): 172-179. (in Chinese)

[25] Baker JW. Efficient fragility function fitting using dynamic structural analysis. Earthq Spectra. 2015; 31 (1): 579-599.

[26] Tichy M. First-order third-moment reliability method. Struct. Saf. 1994; 16(3): 189-200.

[27] Zhao YG, Ono T. Third-moment standardization for structural reliability analysis. J. Struct. Eng. 2000; 126(6): 724-732.

[28] NIED K-NET, KIK-net. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience (2019).

[29] Katoh T, Iwata M, Wada A. Performance evaluation of buckling-restrained braces on damage controlled structure. J Struct Constr Eng. AIJ. 2002; 552:101-108. (in Japanese)

[30] FEMA. Recommended seismic design criteria for new steel moment-frame buildings. Report No. FEMA-350. SAC Joint Venture. Federal Emergency Management Agency. Washington DC. 2000

[31] Tokyo Association of Architectural Firms. Architectural structural design guideline 2019. 2019. 4 (in Japanese)

[33] Shooman ML. Probabilistic Reliability: An Engineering Approach. New York: McGraw-Hill; 1968.

“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 (6)”

松本 太 *・池原 飛之 **・郡司貴雄 ***・大坂武男 ****・安東信雄 *****・森下正典******・田中学*******

“Development of Novel Battery towards New Low Carbon Energy Society (6)”

Futoshi MATSUMOTO *・Takayuki IKAHARA **・Takao GUNJI ***・Takeo OHSAKA ****
・Nobuo ANDO *****・Masanori MORISHITA ******・Manabu TANAKA*******

1．緒言

近年、リチウムイオン二次電池（LIB）の製造プロセスにおいてコストを削減するため、あるいは環境問題への意識の高まりから、有機溶剤を用いるものから水を溶媒とするプロセスへの移行が望まれている。有機系バインダーを使用した際に用いられる有機溶媒 N-メチルピロリドン(NMP)が水やエタノールなどに比べ蒸発しにくいために、大きなエネルギーが必要になる。さらに NMP は有毒物質であるため大気放出ができないため全回収が必要である。そのため、水系バインダーへの移行が望まれている[1]。しかし高電圧、高容量正極材料である $LiNi_aCo_bAl_{1-a-b}O_2$（a> 0.85、NCA）を水に曝すと、遷移金属の溶出により pH が上昇し、集電箔へのダメージがあり、性能が低下してしまう問題が挙げられている。よって水性ポリマーバインダーへ適応させるためには金属の溶出を防ぐ保護層が粒子表面に必要である。我々の研究グループでは、Al_2O_3、Nb_2O_5 及びカーボンコーティングを行い、耐水性を得たことを報告している[2]。しかし，これらの材料はコーティングの厚さの制御が難しくレート試験において容量保持率が急激に低下した。本研究では二種類のコーティング材料の検討を行った。一つは TiO_x 及び Li_2CO_3 でダブルコーティングを行う方法である。転動流動コーティング装置により、大量且つ効率的な工業的手法で合成した TiO_x-NCA サンプルの検討を行った。さらに TiO_x-NCA 表面に水に Li_2CO_3 層で二重にコーティング行うことによって NCA と水の接触を防ぎ耐水性・充放電特性の向上を目的とした。二つ目の試みは、Li^+イオンの伝導性が高い Li_3PO_4 で表面コーティングを行うことである。表面コーティング層は、Li^+イオンの正極材料への挿入脱離に阻害層として作用してはいけない。Li_3PO_4 は Li^+イオン伝導性が高い特性を有する。この Li_3PO_4 に水に対する不溶性を与えることによって、本研究の目的に合ったコーティング層が完成できると考えた。

*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: 客員研究員　神奈川大学工学研究所
Researcher Research Institute for Engineering, Kanagawa University.
5: 客員研究員　神奈川大学工学研究所
Researcher 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.

2．実験操作

NCA への TiO_x 表面コーティングは、転動流動コーティング装置(MP-micro)(図 1)を用い大量生産を見据えた手法で行った。しかしこの手法では NCA 表面を TiO_x 層で完全に被覆することができなかった。そこで TiO_x でコーティングされていない NCA 表面に対し Li_2CO_3 層でコーティングすることを試みた。コーティング方法は TiO_x コーティングされた NCA を用いた水性スラリーに CO_2 ガスで 1 時間バブリングしコーティングを施した。バブリングした際にスラリー中に存在する LiOH 残留物と CO_2 イオンとの反応によって NCA 表面に Li_2CO_3 層が形成させることを今回検討した。CO_2 バブリングのみを行った。Li_2CO_3 コーティングの検討も行った。Li_3PO_4 コーティングではエタノール中に NCA を分散させ水に H_3PO_4 を分散させた溶液を 10 分間かけて滴下した。その後、20 分攪拌させた後、吸引ろ過後、120℃で 6 時間真空乾燥をさせた。真空乾燥後のサンプルをアルゴン、空気雰囲気下で 200 から 450℃の範囲で 50℃ごと焼成を行いサンプルの合成を行った。以上のコーティング法の模式図を図 2 に示す。NCA の耐水性・充放電特性が得られたかを確認するためにコーティングした各 NCA を用い水系バインダーを使用した電極を作製し、そ

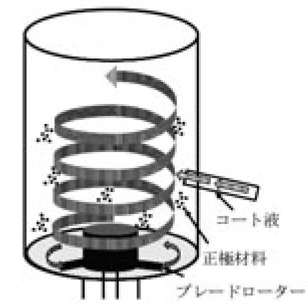


図 1　転動流動コーティング装置図

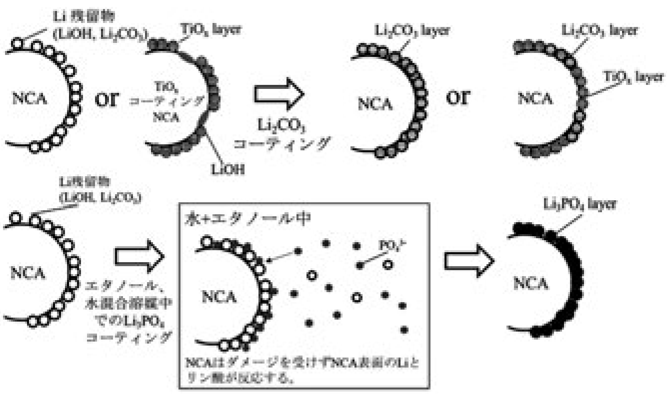


図 2　TiO_x/ Li_2CO_3 及び Li_3PO_4 コーティング模式図

の電極の充放電試験を行った。

3．NCA 正極材料への TiO_x/ Li_2CO_3 コーティングによる耐水性の検討

電池の充放電試験による結果を図 3 に示す。TiO_x 及び Li_2CO_3 のみをコーティングしたサンプルの充放電試験結果は有機系バインダーを使用したサンプルと比較し性能が低下していることが分かった。低下した理由として TiO_x のみでは NCA を完全に覆うことができず NCA が露出している部分から金属が溶出しているため性能が低下したと考えられる。また

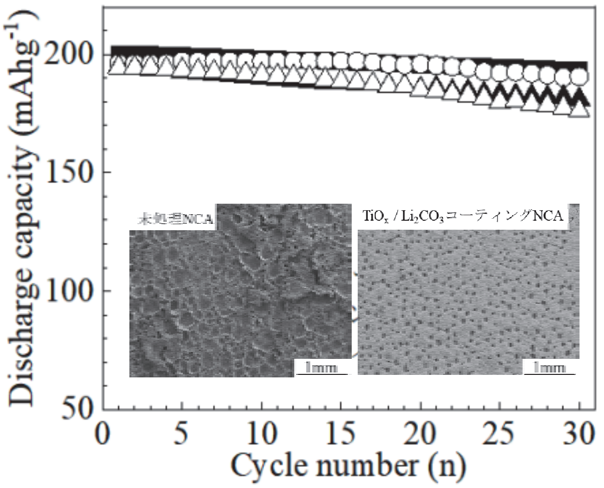


図 3　充放電試験結果((■)有機系バインダー(○) TiO_x / Li_2CO_3 コーティング NCA (△) Li_2CO_3 コーティング NCA (▲) TiO_x コーティング)及び電極 SEM 像

Li_2CO_3 コーティングではスラリーの pH は抑えられているが Li_2CO_3 の導電性が低いため性能が低下していると考えられる。そして有機バンダーを用いた電池と比べ TiO_x / Li_2CO_3 コーティングした NCA を用いた電池では同等の性能を得た。この結果より NCA に TiO_x / Li_2CO_3 コーティングを施すことによって耐水性及び充放電特性の向上が確認され、本研究の目的を達成した。

4．NCA 正極材料への Li_3PO_4 コーティングによる耐水性の検討[3]

Li_3PO_4 コーティングを施したサンプルについてコーティングの状態を確認するために TEM 用いて測定を行った。図 4 に測定結果を示す。NCA 表面にコーティング層が形成されていることが確認された。焼成前のサンプルは層が 100 nm 程度の層が存在するのに対して焼成後のサンプルは

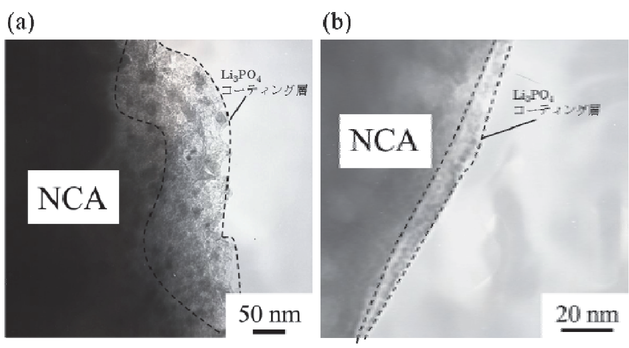


図 4　Li_3PO_4 コーティング NCA の TEM 像(a)焼成前 (b)焼成後

6 nm 程度とコーティング層の厚さが変化している。焼成前のサンプルではコーティング過程に付着した不純物が残留しているため厚い層になっていると考えられる。焼成することによって不純物が除去され、Li_3PO_4 コーティング層のみで生成されたと考えることができる。次にコーティングを施した NCA を用い電極を作製し、充放電性能試験を行った結果を図 5 に示す。目標容量は NCA の理論容量である 200 mAh/g とした。Li_3PO_4 コーティングを施した NCA は有機系バインダーを用いた NCA と同等の性能を示したことが確認されたためコーティングによる耐水性及び充放電特性の向上が確認された。また焼成雰囲気で比較すると空気雰囲気下の条件で高い容量保持率を示した。ここでは示さないが XPS の結果より P-O-Me 結合が増加していることが影響していることが考えられる。そして空気雰囲気下 400℃の条件で最も高い性能を示した。また 20 サイクル後の容量保持率についても有機系バインダーと比較すると Li_3PO_4 コーティングを施した NCA の方が高い値を示した。Li_3PO_4 層が電解液中に存在する H-F による劣化を防いでいることが考えられる。以上の結果からコーティングを施し空気雰囲気下、400℃の条件で焼成したサンプルについて耐水性及び充放電特性の向上が確認され本研究の目的を達成した。

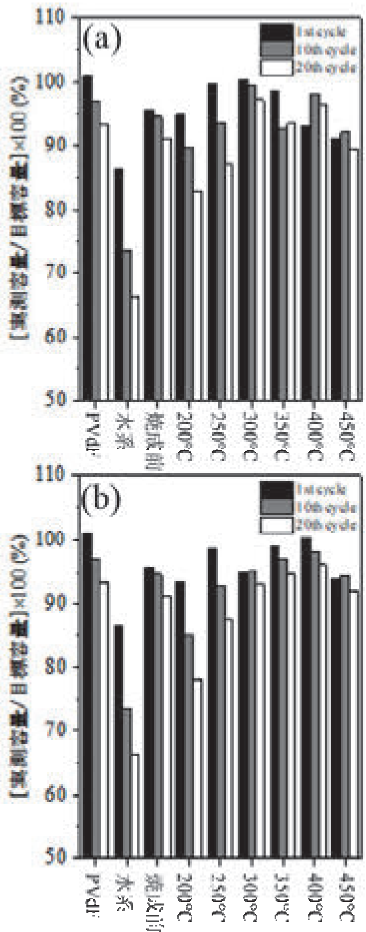


図 5　Li_3PO_4 コーティングを施した NCA の充放電試験結果

5．結言

本検討では、正極材料を水系バインダーに適用させることを目的として NCA に Li_3PO_4 コーティングを施した。本検討では溶液中に正極材料を分散させる方法でコーティングを行った。しかし本検討ではコーティングによって得られるサンプルは 4 g であり実用化できるレベルではない。よって大量生産に向けたコーティング方法の開発及び性能の維持に向けた検討を行っていく必要がある。

参考文献

[1] David L.WoodIII, *et al*, *J. Power Sources*, 275, 234-242 (2015).

[2] T. Tanabe, F. Matsumoto, *et. al.*, *Electrochim. Acta*, 224, 429-438 (2017).

[3] T. Watanabe, F. Matsumoto, *et al.*, *RSC Adv.*, 11, 37150 (2021).

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*　　岡本　専太郎**　　織作　恵子***　　赤井　昭二****　　岡田　繁****

小林　孝嘉*****　　岡村　幸太郎*****　　橋本　征奈*****　　籔下　篤史*****

Development and Analysis of Chemical Reaction Triggered by Ultrashort Laser Pulse

Izumi IWAKURA*　　Sentaro OKAMOTO**　　Keiko ORISAKU***　　Shoji AKAI****　　Shigeru OKADA****

Takayoshi KOBAYASHI*****　　Kotarou OKAMURA*****　　Sena HASHIMOTO*****　　Atsushi YABUSHITA*****

１．緒言

我々は，閃光時間がサブ 10 フェムト秒の紫外パルスレーザー光を用いて化学反応機構を解析している[1,2]．本年度は，レーザー色素として用いられている 4-(Dicyanomethylene)-2-methyl-6-(4-dimethylaminostyryl)-4*H*-pyran（DCM）の光励起後の動的過程を解析した[3]．

レーザー色素 DCM は，電子受容性基であるピラニリデンマロノニトリル基と電子供与性基である4-アミノスチリル基を共に有しており（図１），光励起によりシス-トランス異性化反応と，電荷移動反応（CT 状態生成）が競合する．反応効率は，溶媒の種類により大きく異なり，異性化量子収率は，クロロホルム中では 0.28 と高いのに対し，ジメチルスルホキシド（DMSO）やアセトニトリル中では 0.014，0.011 と非常に低いことが報告されている．本研究では，電荷移動機構の解明を目的に，異性化量子収率が低い DMSO 溶液，およびアセトニトリル溶液を用いて解析した．

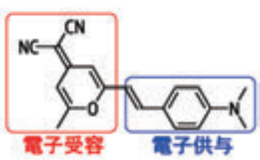


図1．レーザー色素 DCM

*教授　化学教室
Professor, Dept. of Chemistry
**教授　物質生命化学科
Professor, Dept. of Material and Life 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

２．紫外６-fs パルスレーザー光

本研究に使用したポンプ･プローブ測定系では，同一の紫外パルスレーザー光をビームスプリッターにより分割し，時間波形（パルス幅）が等しい２つのパルスレーザー光を，励起光と検出光に用いている．そのため，励起光と検出光を用いる自己回折-時間分解周波数光ゲート法（SD-FROG）により，励起光のパルス幅を評価できる．この測定では，２つのパルスレーザー光を，BBO 結晶中で時間的，および空間的に重ね合わせて発生させる自己回折光のスペクトル形状を，２つのパルスレーザー光の時間差の関数として計測する．

液相反応の測定では，石英セルに封入した溶液を試料として用いる．サブ 10 フェムト秒パルスレーザー光は，フィルターなどの媒質を透過するとパルス幅が伸びるため，液体試料測定に用いるセルの窓板透過後のパルス幅を評価する必要がある．そのため，BBO 結晶の手前に石英セルの窓板と同じ厚み（1.1 mm）の石英板を挿入し，SD-FROG 信号を測定した（図２）．得られた２次元マップでは，全波長域のピークが 0 fs に集中しており，波長毎の時間分散がほぼ無いことが示された．また，パルス時間幅は 5.8 fs であった．図３黒太線で示す紫外パルスレーザー光のスペクトルから計算したパルス幅の理論的な限界値は 5.3 fs であり，理論限界に迫る極短パルス幅まで圧縮できていることが示された．本稿では，この紫外域を含む極限的超短パルスレーザー光を紫外６-fs パルスレーザー光と呼ぶ．

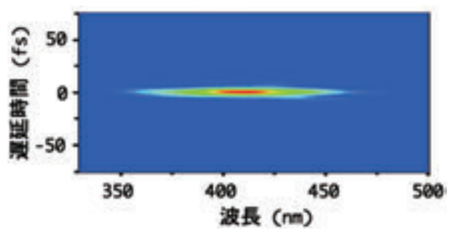


図 2．SD-FROG 測定結果

３．レーザー色素 DCM のポンプ・プローブ測定

レーザー色素 DCM（トランス体）溶液を調製し，光路長 1 mm の石英セルに封入した．紫外 6-fs パルスレーザー光のスペクトルは，DCM の吸収スペクトルと重なっており，DCM の電子状態を一光子励起可能である（図３）．他方，紫外 6-fs パルスレーザー光を照射しても，溶媒（DMSO，アセトニトリル）の電子状態を一光子励起することは不可能である．各々の溶媒のみを，光路長 1 mm の石英セルに封入し，試料として用い，バックグラウンド測定を行った．

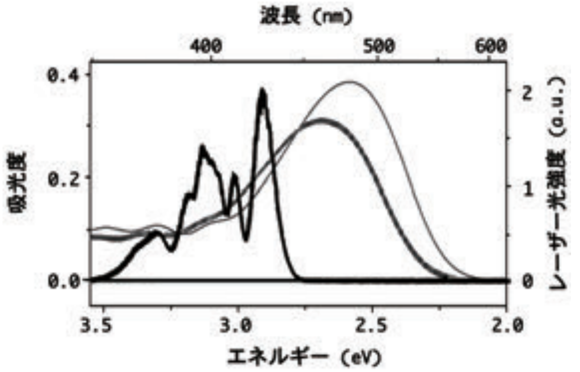


図 3.吸収スペクトル（DCM-DMSO 溶液:灰細線，DMSO 溶媒:灰太線，DCM アセトニトリル溶液:濃灰太線，アセトニトリル溶媒:黒細線）と紫外 6-fs パルスレーザー光スペクトル（黒太線）

測定結果の実時間差吸光度変化（ΔA）を図４，５に示す．溶媒のみの測定では，いずれの溶媒を用いた場合にも，ゼロを中心にΔA 信号が現れており，紫外 6-fs パルスレーザー光照射により，電子状態が励起されていないことが示された（図４，５黒線）．他方，DCM 溶液の測定では，検出波長 385 nm を境に短波長側には負のΔA 信号が，長波長側には正のΔA 信号が現れた（図４，５灰色線）．

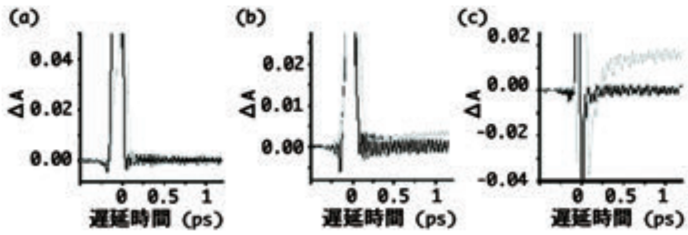


図 4. DCM-DMSO 溶液と DMSO 溶媒のポンプ･プローブ測定結果
検出波長(a) 365 nm. (b) 388 nm. (c) 413 nm.

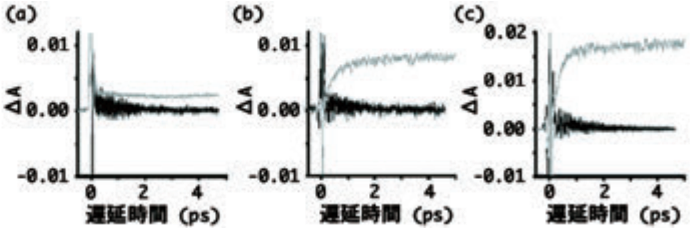


図 5 DCM-アセトニトリル溶液とアセトニトリル溶媒のポンプ･プローブ測定結果.
検出波長(a) 365 nm. (b) 388 nm. (c) 413 nm.

得られた信号は，溶質（DCM）由来であると考え，次に指数関数解析した．溶媒の種類に依らず，DCM 溶液では，全検出波長領域において 50 fs の減衰成分が算出された．次に一光子励起された DCM 単分子由来の信号であることを確認するために，励起光強度依存性（20，100，180 nJ/pulse）と溶液濃度依存性（0.1，0.07，0.03 mM）を測定した．その結果，励起光強度，および溶液濃度に依存しないことが示され，これらの信号は，一光子励起された DCM 単分子由来の反応過程を反映していることが示唆された．

図３に示すように，紫外 6-fs パルスレーザー光（350 ~ 450 nm）を用いて DCM を励起すると，S_1，および S_2 状態へと，電子状態が励起される．密度汎関数法（CAM-B3LYP/6–31+G*）を用いる分子軌道計算から，最高被占軌道（HOMO）は，4-アミノスチリル基まで広がるのに対して，最低空軌道（LUMO），および HOMO-1 は，主にピラニリデンマロノニトリル基に広がることが示された（図６）．これらの結果から，最低励起状態（S_1 状態）への HOMO→LUMO 遷移は，4-アミノスチリル基からピラニリデンマロノニトリル基への CT 遷移，HOMO-1 が関与する高励起状態（S_2，S_3 状態）への遷移は，ピラニリデンマロノニトリル基自身の局所励起（LE 励起）であると推測される．

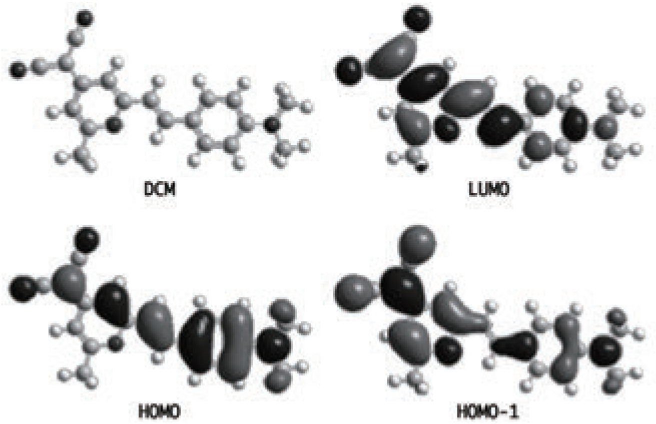


図 6. 分子軌道

これらの計算結果と本測定結果から，DCM を高励起状態へ励起すると 50 fs の時定数で LE 状態から CT 状態へと遷移することが示された．

(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, **512,** 128-134, (2018).

(2) S. Hashimoto, K. Hamada, I. Iwakura, A. Yabushita, T. Kobayashi, H. Fujita, K. Takeda, Y. Ono, N. Chikaraishi Kasuga, K. Yamaguchi, Photochemical reaction mechanisms of 4,5-dimethoxy-2-nitrobenzyl acetate analyzed by a sub-10 fs near-ultraviolet pulse laser, Chemical Physics, **524,** 70-76, (2019). **Front Cover 採用**

(3) S. Hashimoto, R. Takagi, K. Okamura, A. Yabushita, T. Kobayashi and I. Iwakura, Ultrafast charge transfer dynamics in the excited state of DCM measured by a 6-fs UV pulse laser. Chemical Physics, **551**, 11326 (2021). **Front Cover 採用**

不確定状況下でのプロジェクトマネジメント支援システム

石井　信明*　　横山　真一郎**　　劉　功義***　　大野　晃太郎****

A Project Management Support System under Uncertainty

Nobuaki ISHII *　Shin-ichiro YOKOYAMA **　Gongyi LIU ***　Kotaro OHNO ****

１．はじめに

2018 年 10 月に神奈川大学工学研究所に設置されたプロジェクト研究 C「不確定状況下におけるプロジェクトマネジメントの定量的管理方法」（以下，本研究）では，社会の損失を招く失敗プロジェクト事例が後を絶たないことを背景に，失敗しないプロジェクトを目指したマネジメント技術の研究を進めている．

VUCA 時代とも呼ばれ，将来の見通しが困難な環境下にある現代企業には，常に変化が求められる．VUCA とは，Volatility，Uncertainty，Complexity，Ambiguity のことである．そのため現代企業では，プロジェクト形式での非定常な業務遂行が増加しており[1]，プロジェクトを管理するプロジェクトマネジメントの導入が進んでいる．しかし現状では，依然として多数のプロジェクトで，手戻り，コスト超過などが発生しており，プロジェクトを成功に導く活動を支援する新たなプロジェクトマネジメント手法の確立が望まれている．

これまでに実務家そして研究者から，プロジェクトマネジメント手法に関して多くの研究成果が発表されている．しかしこれまでのところ，経験則に基づく手法，あるいは事例紹介が多く，定量的で科学的なマネジメントシステムの構築までには至っていない．さらに，プロジェクト推進に必要な経験豊富な技術者・プロジェクトマネジャーも減少傾向にある．このことは，プロジェクトの大規模化と複雑化が進む中，今後の社会の発展への懸念事項と言える．

プロジェクトが失敗する原因の多くは，正しい情報の不足にあると言われる．ICT の進歩により，より多くのプロジェクトデータと情報が得られるようになっている．しかし得られるデータと情報には，不必要，あるいは曖昧な内容が多く含まれる．またそれらの活用方法は，プロジェクトマネジャー個人の経験によるところが大きい．すなわちプロジェクトの成功には，必要かつ正しいデータと情報を収集・蓄積・抽出する技術と，それらを定量的に分析しマネジメントに活用するシステム，あるいは手法の開発が必要と言える．

本稿では本研究のこれまでの研究成果として，不確定状況下でプロジェクト遂行を支援するプロジェクトマネジメントシステム（以下，PMS）のプロトタイプシステムについて，その基本方針と概要について述べる．

２．プロトタイプシステムの基本方針

プロジェクトの成功・失敗は，プロジェクトマネジャーにかかっていると言っても良い．すなわち，プロジェクトを成功に導くマネジメント活動を支援する新たな PMS は，プロジェクトマネジャーを支援するシステムとも言える．

これまでプロジェクトマネジャーを支援する手法あるいはシステムとして，古くは EVM（出来高管理），PERT をはじめとした手法[2]が開発されている．また近年では，プロジェクトデータの蓄積とデータに基づく管理を行うための PMS の利用が進んでいる．さらに，TeamPort (https://www. teamport.com/)のように，チーム内で情報を共有しながらプロジェクトを計画するシステムも開発されている．これら PMS は，プロジェクトの膨大な時系列データを収集し，プロジェクトマネジャーをはじめとしたステークホルダーにさまざまな角度から情報を提供することができる．

本来，経験豊富なプロジェクトマネジャーがこれらのシステムを用いてプロジェクト情報を適時収集し，適切な判断を下すことが出来れば，プロジェクトの失敗が頻繁に起きることは無い．しかし現状，多くの企業では，増加するプロジェクトに対しプロジェクトマネジャーの育成が間に合っていない．大規模化，複雑化するプロジェクトの増加も，人材不足に拍車をかけている．

表 1 は，プロジェクトマネジャーの育成に必要な学習領域の例である．表 1 からわかるように，第一線で活躍できるプロジェクトマネジャーには広い領域の学習が必要であり，その習得には長い期間と多くの資源を要する．すなわち，短期間でプロジェクトマネジャーを実践に送り出すには，経験不足を補う PMS が求められる．しかし，情報を提供するだけのこれまでの PMS では，経験不足のプロジェクトマネジャーの支援として多くを期待できない．プロジェクトマネジャーが意思決定を行う際，代替案を提示する，あるいは代替案それぞれの成功確率を示すなど，冷静に状況を分析し，積極的に意思決定を支援するシステムが必要と言える．

本研究で研究を進めている PMS のプロトタイプは，プロジェクトマネジャーに対してプロジェクトの状況を正確に知らせるシステム

*教授　経営工学科
Professor, Dept. of Industrial Engineering and Management
**客員教授　工学研究所
Visiting Professor, Research Institute for Engineering
***客員研究員　工学研究所
Visiting Researcher, Research Institute for Engineering
****特別研究員　工学研究所
Research Fellow, Research Institute for Engineering

と，プロジェクトマネジャーの意思決定を支援する AI (Artificial Intelligence)手法を用いた仕組みからなる. AI を用いてデータに基づく冷静な状況分析結果をプロジェクトマネジャーに示し，意思決定を支援する仕組みである．AI を構成する諸技術と協働することで，人間の判断や経験値を補うことが可能となる．

表 1　プロジェクトマネジャーの学習領域と概要

領域	概要		
スキル	コミュニケーション，プレゼンテーション，交渉・調整		
知識	マネジメントプロセス	・プロジェクトマネジメントプロセス ・成果物	
	リスク	進捗把握，リスクの認識，リスクへの対処	
	プロジェクト関連知識	マネジメント領域	・プロジェクトマネジメント ・経営管理　・財務管理 ・経済性検討
		行政領域	・契約　・法務　・保険 ・事務
		技術領域	・対象システムの業務知識 ・情報技術
	一般教養		
業務経験	・見積り，設計，現場管理など，プロジェクト業務の経験 ・アシスタントとしてのプロジェクトマネジメント経験		

３．プロトタイプシステムの概要

プロトタイプシステムの基本方針に基づき現在研究中のプロトタイプシステム[3]を紹介する．なおプロトタイプシステムは，計画段階においてプロジェクトマネジャーを支援する PMS として開発を進めている．

本システムでは，ステークホルダー間のコミュニケーションに焦点を当てることで，プロジェクトの進捗データに潜むプロジェクトの危険性を判断する．このシステムによりプロジェクトマネジャーは，システムからステークホルダー間のコミュニケーション状況とそこに潜む危険性について適時報告を受け，影響回避のための対応を判断することが可能となる．検討中のプロトタイプシステムは，図 1 に示すように，3 つのパートからなる．

すなわちパート 1 では，プロジェクトデータの収集とプロジェクト状況の評価を行う．このパートは，現在広く利用されている PMS の機能と同じと言える．

パート 2 では，蓄積された過去のプロジェクトデータから類似プロジェクトを抽出する．抽出した類似プロジェクトの記録と遂行中プロジェクトデータとの比較から，プロジェクトに潜む危険因子の判定を行う．その際，単に判定を示すだけでなく，そのように判定した理由を過去のプロジェクト事例から類推して説明する．近年，リモートワークやバーチャルチーム化の進展，職場環境のデジタル化に伴い，企業ではコミュニケーションに関係する多くのデータが取得可能となっている. 本システムでは, それらのデータをプロジェクトの危険性因子を判別するために活用する．

そしてパート 3 では, パート 2 の判定結果を含め, 進行中プロジェクトのデータを蓄積する．蓄積したデータは，将来のプロジェクトの管理に利用される．

なお模擬データを用いた数値計算では，プロトタイプシステムが，プロジェクト途中段階における，プロジェクトの成否予測と対処方法を示すことが出来ることを確認した．

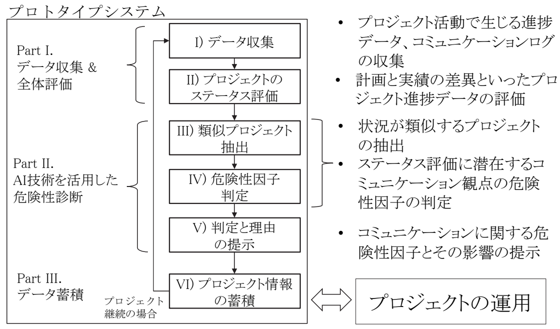


図 1　プロトタイプシステムの例[3]

４．これまでの研究成果

以下に 2021 年の主な研究成果を示す.

劉 功義, DX を支えるサイト信頼性エンジニアリング実装のプロジェクト, プロジェクトマネジメント学会 2021 年度春期研究発表大会予稿集, ID 1307, 152-153, オンライン開催 (2021).

Liu, G., Ohno, K., Yokoyama, S., Ishii, N., Project management evaluation method using the log data of inter-organizational communication, Proceedings of the 14th International Conference on Project Management, ID 2C13, 1-8, Kumamoto (2021).

石井信明,「設備投資プロジェクトにおける入札要請コントラクターの選択問題」，日本設備管理学会誌，Vol.33，No.3, pp.105-112 (2021).

海野拳市，太田修平，石井信明，要件定義工程の進捗管理における構造化率の提案，情報システム学会 第 17 回全国大会・研究発表大会 (専修大学 神田キャンパス)（2021）.

5. まとめ

現代企業では, プロジェクトマネジメントへの期待が高まる一方で，経験豊富なプロジェクトマネジャーはむしろ減少している．そのため, 組織が蓄積したデータを活用することでプロジェクトマネジャーの経験不足を補うことが期待さる．本報では，データ活用による新たな PMS のプロトタイプを紹介した．

本研究を推進することで，プロジェクトの状況を客観的に分析しプロジェクトマネジャーに適時的確な支援を提供する仕組みの導入が可能になると考えている．そのために，プロジェクトデータの収集と蓄積，各種 AI 手法を用いた支援システムの確立に向けた研究を推進していく．

参考文献

[1] Tuner, J. R., The Handbook of Project-Based Management, 4th Ed., McGraw-Hill, New York (2014)

[2] Project Management Institute, プロジェクトマネジメント知識体系ガイド PMBOK ガイド 第 6 版, Project Management Institute (2018)

[3] 石井信明，横山真一郎，劉 功義，不確定状況下でのプロジェクトマネジメントの定量的評価の概念，神奈川大学工学研究, 4, 111-112（2021）.

ある総合病院における給湯用熱源設備に関する長期実測

岩本靜男*　傳法谷郁乃**　児保茂樹***

Long-term measurements on heat sources for hot water supply in a hospital

Shizuo IWAMOTO*　Ayano Dempoya**　Shigeki KOYASU***

１．本研究の背景と目的

業務用の建物における一次エネルギー消費量は、日本全体の 10％以上を占めている。ホテルや病院では給湯設備に関する一次エネルギー消費量が大きく、建物全体の 30％に及ぶ場合があり、その削減が求められている。

給湯設備に関する消費エネルギーは、湯を作るためのエネルギーに設備機器の損失エネルギーを加えて熱源の効率で除して求められる。さらにポンプ等の電力消費があれば加算する。ガスボイラ等の燃焼系熱源では定格効率の運転が期待される。省エネルギーのためにコージェネレーションによる排熱利用や多種類のボイラによる運用も採用される。また近年ではヒートポンプによる給湯熱源も採用されるようになり、燃焼系熱源と組み合わせてハイブリッド給湯熱源を構成する場合もある。これらの運用方法は物件によりさまざまであり、効率よく運転されることが望ましい。

本研究では関東に建つ大規模な病院における BEMS による実測データを、2020 年 5 月頃から 5 年間にわたる実測データを入手できる予定である。このデータから給湯用熱源の挙動と運転効率等を解析し、より省エネルギーとなる運転パターンを考察することが本研究の目的である。

２．病院における実測の概要

図 1 に示すような給湯用熱源について解析を行う。ヒートポンプ熱源はないが、TH1 にはコージェネレーションによる排熱で給水予熱があり、TH2・TH3 では消毒に用いる蒸気ボイラからの加熱があり、さらに不足する場合は TH4・TH5 にある温水ボイラ BH1 と BH2 により加熱されて給湯を行う。各熱源機器に供給されるガスや電力の使用量と､各タンクや熱源の温度と温水等流量が計測されており、各熱源の運転状況を確認し、熱効率等を解析できる。

３．2020 年度の解析

2020 年 12 月に給湯系の BEMS による自動計測データを入手し､5 月頃から 12 月までの解析を試みた。一般に病院の 60℃換算の湯使用量は 1 日当たり病床当たりで表示することが多く、100～200 L/日床であるが[1]、本実測ではおよそ 50 L/日床程度であり、極端に少ない。温水ボイラでは頻繁に低負荷運転となり、その効率は 0.7～0.8 程度であり､定格の 0.90 よりかなり低くなっている。コージェネレーション排熱や蒸気ボイラの運転データが乏しいため具体的な運転パターンの解析には至らなかった。

４．2021 年度の解析

2021 年 12 月に 2020 年 5 月～2021 年 12 月の広範囲な実測データを入手できた。現在はこの解析を始めている。コージェネレーションについては、日曜日は運休、平日は日中の運転として夜間は停止していること、中間期は 1 基、夏季と冬季は 2 基と運転台数を制御していること、夏季ではコージェネレーション排熱は 70％以上の有効活用となっていること、などの知見が得られている。

５．今後の課題

コロナ禍で実測値の入手が大幅に遅れたため解析は十分でないが、今後 2021 年 12 月までのデータを中心に解析を進めたい。

【参考文献】

[1] 空気調和・衛生工学会編、給排水衛生設備計画設計の実務の知識、改訂 4 版、オーム社、2017 年 3 月.

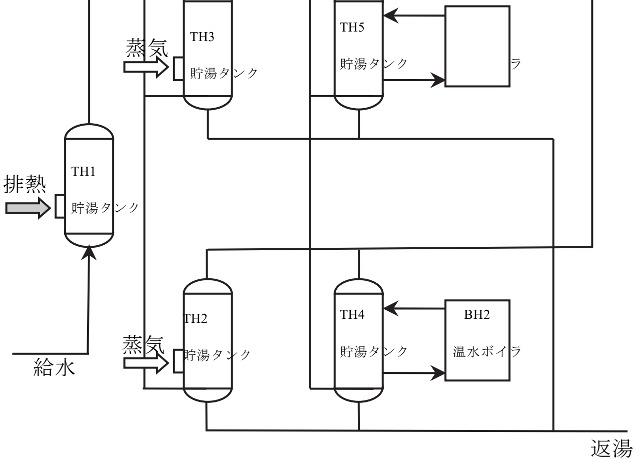


図 1　実測対象の給湯設備熱源系統の概要

*教授　建築学科
Professor, Dept. of Architecture
**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

人間中心の人工体の実現に向けて

石井　信明*　　松井　正之**

Toward the Realization of a Human-Centered Artifacts

Nobuaki ISHII *　　Masayuki MATSUI **

1．はじめに

神奈川大学工学研究所に設置された「企業ロボット開発研究所」（以下，本研究）では，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の調査・研究を行っている．

これまでの報告[1-3]にも示したように，現代社会は，IoT（モノのインターネット），人工知能（AI），ビッグデータなど，個別に発展してきた情報通信技術（ICT）がおよぼす相乗効果により未知なる世界の入り口にいる．その先には，ICT でヒト・モノ・カネ・知の膨大な社会・経営の情報が結ばれ，これらを利用したロボットや AI などの人工体が，経済，経営，福祉，教育，家事，育児など，社会のさまざまな場面で重要な意思決定にかかわるICT管理化社会が到来する．すなわち，人工体の判断が，社会を左右することになる可能性がある．

このような状況下にあって，本研究では，ICT 管理化社会を人間社会となじみのある，人間中心の ICT 共生社会にすることを目標に，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ことに挑戦している．

「工学研究（Vol. 2)」[1]では，企業ロボットの概念として三相型の人工体を提示した．「工学研究（Vol. 3)」[2]では，企業ロボット研究の必要性，および，本研究で提案している三相型人工体の中央相に当たる「分析・管理系」について考察を行った．また「工学研究（Vol. 4)」[3]では，企業ロボット研究へのモデリング＆シミュレーションの活用の可能性について述べた．本稿では，人間中心の人工体を実現する観点から，人工体と人間との関わりについて考察を行う．

2．人工体の基本構造

これまで，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，すでに多くの分野で運用が始まっている．これら人工体の基本構造は，図 1 に示すように，動作系－知能系の二相からなる構造が中心といえる．しかしこの基本構造には，下記の課題がある．

・動作系と知能系はそれぞれが個別の研究領域として展開しており，両者の協調・調和への配慮は少ない．
・人間と人工体とのかかわりを中心とした研究は少ない．

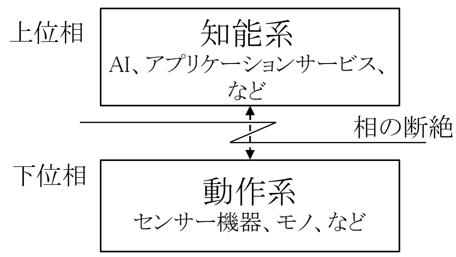


図 1　従来型人工体の基本構造の現状

たとえば，サイバーフィジカルシステム（CPS： Cyber Physical System)， IoT (Internet of Things)，Digital Twin，Industry 4.0 など，仮想空間と物理空間をつなげた次世代技術の研究・開発は，上位層を仮想空間，下位相を物理空間とした二相型の人工体ととらえることが出来る．そしてこれらの研究・開発の中心は，統計，アルゴリズム，プログラムなど，科学技術が中心のハード思考であり，人間の意思決定を極力挟まない仕組みが検討されている．すなわち，人間の要求を分析し，その達成を導く仕組みとの関係が明示的には示されていない．言い換えると，人間の思考を反映する側面が不足している．

ハード思考アプローチである科学技術が，ICT 共生社会の実現に必要であることは間違いない．しかし，常に状況が変化し，将来の見通しが困難な環境下において，ハード思考アプローチのみでは正しい判断を下すことはできない．人間の思考を意思決定過程に入れる必要がある．むしろ，人間の意思決定を支援する仕組みを取り込むことが，人工体の理想的な姿と言える．

これらのことから本研究では，図 2 に示すように，これまで動作系－知能系の二相としてきた人工体の間に，人間の思考を反映する相として中央相を加えた三相型の人工体[2]を考案した．それぞれ AI，アプリケーションサービスを中心として発展している知能系とセンサー等を含めた動作系の間に，中央相として人間の思考を取り入れることが出来る「分析・管理系」を加える構造である．この三相型人工体により，ICT 管理化社会において，将来の見通しが困難な環境下でも利用できる，より人間・社会となじみのある人工体の発展が目指せると考えている[1，2，3]．

*教授　経営工学科
Professor, Dept. of Industrial Engineering and Management
**客員教授　工学研究所
Visiting Professor, Research Institute for Engineering

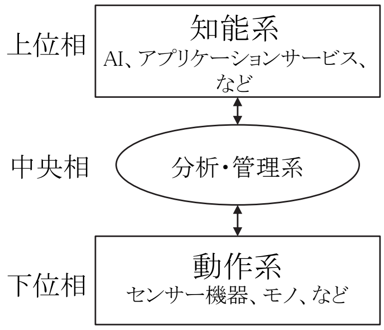


図 2　三相型人工体の基本構造

3．三相構造から成るデジタルツインの例

中央相に必要な，人間の思考を反映する仕組みにはさまざまな方法が考えられる．以下では，図 3 に示す自動車整備へのデジタルツインの適用について，三相型人工体を当てはめた例を取り上げて考察をおこなう．

この例では，物理空間からのセンサー入力，ユーザー入力による整備データと仮想空間に位置するデジタルツインとの間に，中央相として，人間が設計・実装する自動車整備モデルを配置している．

上位層では，中央相における人間の思考を反映したシミュレーションモデルを用いたシミュレーションにより，システムの挙動を予測したデータを収集する．そして，収集データに基づいて最適化，機械学習などの数理技術を利用した故障診断，故障予知などをおこなう．その結果は中央相，あるいは物理空間にフィードバックされ，自動車の制御，あるいは整備方針，パーツ交換時期の判断などに利用される．

このように，デジタルツインに三相型人工体の基本構造を当てはめることで，人工体に人間の意思を取り入れた仕組みを作ることができる．

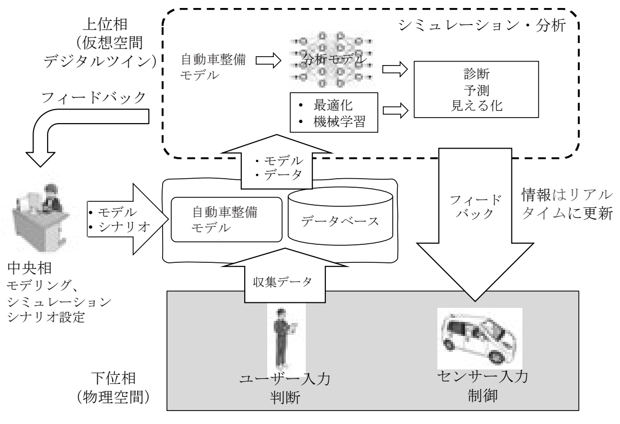


図 3　三相型デジタルツインの基本構造　自動車整備の例

4．これまでの研究成果

現在は研究の途上であるが，外部資金調達への挑戦，成果の発表を継続している．2020 年以降の主な研究成果は，次のように公表している．

Ishii, N., Ohba, M., Quantitative Evaluation of the Information Network in Supply Chain, The 26th International Conference on Production Research, No. 0007, pp. 1-6, Taichung, Taiwan (On line Streaming) (2021).

Matsui1, M., Ohto-Fujita, E., Ishii, N., Humanized Robot of New Method & Time System and its Management: A Digital Transformation Case of Convenience Store Type, The 26th International Conference on Production Research, No. 0013, pp. 1-6, Taichung, Taiwan (On line Streaming) (2021).

松井正之，個体学，双曲面タイプと入れ子モデル仮説　自然対人工体のあるべき姿，中央 2 重性とカメレオン基準Ⅱ，第 12 回横幹連合コンファレンス, A-3-1 (オンライン開催)（2021）.

大場允晶，石井信明，サプライチェーンの情報ネットワークの定量評価 - 見込生産製造企業のサプライチェーンを事例として-，第 12 回横幹連合コンファレンス, A-3-3 (オンライン開催)（2021）.

塩川　寛，太田修平，石井信明，検査部門の負荷を考慮した販売・生産・検査部門協働による需給計画手法，日本設備管理学会 2021 春季研究発表会, B-3.2，(オンライン開催)（2021）.

大場允晶，石井信明，災害時の対応サプライチェーン情報ネットワーク価値評価，第 11 回横幹連合コンファレンス, (オンライン開催)（2020）.

松井正之，石井信明，大戸-藤田理恵，企業ロボットの開発（3）: ヒューマナイズド H=W 系ロボットによる企業体の新・方法&時間研究法例，日本設備管理学会 2020 春季研究発表会, B-1.4, (電気通信大学)（2020）.

松井正之, 知識社会における情報不等式問題　II　―知識系ペアマップ創出，カメレオン多様性と人工体マネジメント考―，第 11 回横幹連合コン ファレンス, B-3-1（2020）.

松井正之，自然対人工体のあるべき姿，中央 2 重性とカメレオン基準，第 11 回横幹連合コン ファレンス, B-3-2（2020）.

5. まとめ

本研究では，従来の人工体が動作系と知能系の二相構造ととらえられ，それぞれが個別に先鋭化している状況に着目している．そして両者を結びつける中央相として人間がかかわる分析・管理系を加えた三相構造を提案し，人工体の中央相に着目した研究を進めている．本報では，その一例としてデジタルツインを取り上げ，三相型人工体への適用について考察した．

本研究では，人間社会となじみのある，人間中心の ICT 共生社会の実現を目指し，その仕組みを明らかにすることに挑戦をしていく．

参考文献

[1] 松井正之，石井信明，山田哲男，企業ロボットの概念，神奈川大学工学研究，2 (12), 158-159 (2019).

[2] 石井信明，松井正之，企業ロボットと分析・管理系，神奈川大学工学研究, 3, pp.127-128（2020）.

[3] 石井信明，松井正之，企業ロボット研究へのモデリング＆シミュレーションの活用，神奈川大学工学研究，4，pp.105-106（2021.3）.

機械学習を用いた倒産予知モデルの研究

片桐　英樹*　平井　裕久*　松丸　正延**

Bankruptcy prediction model using machine learning

Hideki KATAGIRI*　Hirohisa　HIRAI*　Masanobu MATSUMRU**

1．緒言

本研究では，倒産予知と関連の深い企業格付に焦点を当て，機械学習を用いた格付推計モデルを提案する．一般に，倒産予知モデルにおいて，企業の倒産あるいは倒産はそれぞれ「1」,「0」の 2 段階の 2 値で判断される．しかし，2 段階の情報では，企業の経営状態を十分に表現できない場合もある．そこで，倒産予知モデルを多段階に展開し，ランキングすることによって，企業の財務状況を知ることは，経営活動を行う企業にとって有益である．この多段階に展開してランキングすることが格付の考え方に相当する．

本研究では，eXtreme Gradient Boosting (XGBoost) [1] , LightGBM, CatBoost [2]の 3 種類の決定木を用いた勾配ブースティングを用いた企業格付推計モデルの構築を行う．　これまでに財務データと投融資ネットワークを用いた　3　種類の決定木を用いた勾配ブースティングと Support Vector Machine (SVM) による企業格付推計モデルは研究されていない．本研究では日経　NEEDS-Financial QUEST2.0　から収集した財務データを用いた数値実験を行い，各モデルの性能と比較することにより，各モデルの有用性について検証する．また, SVMも構築し，勾配ブースティングモデルとの比較を行う．

2．先行研究

Daoud [3]は，ホームクレジットデータセットを用いて，CPU の実行時間と精度の観点から，XGBoost, LightGBM, CatBoost　の比較を行っている．LightGBM　は他の勾配ブースティングよりも高速であり，正確であると結論付けている．田中ら[4]は財務指標とニューラル・ネットワークによる格付推計モデルの提案を行った．金，松尾[5]らは，ニュース記事に基づく企業間ネットワーク関係から得られる情報をもとに，企業価値を予測する新しい方法を提案した．

3．本研究の企業格付推計モデルとその特徴

本研究では, 日本企業の財務データと投融資ネットワークを用いた 3 種類の決定木を用いた勾配ブースティングと SVM による企業格付推計モデルを開発する. モデル開発においては変数選択を実施し，特徴集合において予知に寄与する部分集合のみを選択する．また，交差検証を行い，訓練データと評価用の検証データを分割して性能を計測することで，特定のデータに拠らない汎化能力の高いモデルを得る．格付推計には財務データを用いることが主流であるが，企業業績は短期的な評価のみを表し，長期的な視点は欠けていると考えられる．

そこで，従来モデルの欠点を補うために，長期的な企業間の関係性を導入する．具体的には大株主および企業保有株式株主との長期的な信頼関係性を表す株式保有関係に注目し、投資ネットワーク指標を計算する．しかしながら企業間の関係性の把握は投資関係の導入だけでは十分とは言えない．投資の資金調達を考慮する必要性から，金融機関などの借入金関係の融資ネットワーク指標を計算し，長期的な信頼関係性をとらえることにした．

4．分析手法

4．1　格付推計モデルに用いる機械学習アルゴリズム

財務指標とネットワーク指標を合わせた格付推計モデルを構築し，格付の推計を行う．モデルの構築にはXGBoost, LightGBM, CatBoost の 3 種類の決定木を用いた勾配ブースティングを用いる．

4．2　モデルの性能評価と検証

モデルの評価指標としては, 実際の格付とモデルの推計値が一致した割合の正確度を示す　Accuracy　と不一致度のペナルティを表す Quadratic　Weighted　Kappa（QWK）の 2 種類を使用する．QWK は分類するクラス間に順序関係がある場合に用いられる評価指標で，真の値から大きく外れるほど大きなペナルティが科される．
また，検証には，個々のモデルの汎化性能を評価する交差検証（10分割）と機械学習のハイパーパラメータ探索の方法であるグリッドセーチ（grid search）を用いた．

4．3　使用する投融資ネットワーク指標

ネットワーク指標は，金，松尾らの研究と大西の研究[6]で使用されているものを引用し，次数中心性，近接中心性，媒介中心性，平均パス長，ネットワーク密度，クラスタ係数，オーソリティ度，ハブ度，ページランクを用いる．

5.実証実験

5．1　分析データ

格付推計モデルの特徴量は財務指標とネットワーク指標とする．財

*教授　経営工学科
Professor, Dept. of Industrial Engineering and Management
**客員教授　工学研究所
Visiting Professor, Research Institute for Engineering

務指標は日経 NEEDS-FinancialQUEST から取得した 149 指標とした．また，大株主および企業保有株式のデータを取得し，18 種類の投融資ネットワーク指標を計算した．さらに，推計の対象とする格付データを日本格付研究所（JCR）から取得し，これを格付推計モデルの教師データとした．具体的には JCR から 2000 年から 2020 年までの 21 年期間の農林水産，金融，その他の業種を除く業種を対象に取得した格付データは 3298 社（製造業 1,741 社，非製造業 1,556 社）であった．上場していない企業については大株主および企業保有株主の株式数が取得できない場合があるため，最終的に取得できた企業数は 1,974 社（製造業 1,135 社，非製造業 839 社）となった．

５.２ 実証実験の結果と検討・考察

XGBoost, LightGBM, CatBoost の 3 種類の決定木を用いた勾配ブースティングを用いた結果を表 1 に示す. 149 種類の財務指標と 18 種類の投融資ネットワーク指標を用いた合計 167 指標の基本モデルと 149 種類の財務指標のみを用いた財務モデルの比較表である．表 1における評価指標の Accuracy と QWK の値から，基本モデルは財務モデルよりも数値が良く，投融資関係を導入したモデルがより正確に格付を推計できていることがわかる． また，Accuracy と QWK の評価指標について, 3 種類の勾配ブースティングは SVM よりも良い結果を示した． 3 種類の勾配ブースティングの中では, LightGBM が XGBoost と CatBoost よりも良い値を示した．この結果は先行研究で述べた Daoud[1]の結果と同様であり，LightGBM は他の勾配ブースティングよりも高精度なアルゴリズムと結論付けることができる.計算時間については紙面の制約上割愛するが，計算時間においても LightGBM は他の勾配ブースティングよりも高速であった. CatBoost は他のアルゴリズムに比較すると計算時間が長く， 3 種類の勾配ブースティングの中では非効率なアルゴリズムである．

表 1 全業種の精度比較

手法	モデル	Accuracy	QWK
SVM	基本モデル	0.6956	0.8606
	財務モデル	0.6753	0.8621
XGBoost	基本モデル	0.7371	0.9053
	財務モデル	0.7178	0.8850
LightGBM	基本モデル	0.7513	0.9097
	財務モデル	0.7391	0.8987
CatBoost	基本モデル	0.7396	0.9038
	財務モデル	0.7315	0.8991

図 1 は基本モデルの混同行列（LightGBM）を，例として示した．縦軸が実際の格付，横軸が本研究のモデルの推計結果を示している．対角線上の企業数の合計は 1,483 社であり，全企業数 1,974 社で割った値が表 1 の Accuracy の 0.7513 である．

6．結言

本研究では, 勾配ブースティングと投融資ネットワーク指標を用いた格付推計モデルを提案し, 企業の財務データの数値実験により提案モデルの有用性を検証した．具体的には，格付推計に投融資ネットワーク指標を組み込んだモデルを提案し, 実証実験により精度の向上と投融資ネットワーク指標の重要性を明確にした. 3 種類の決定木を用いた勾配ブースティングは，評価指標の Accuracy と QWK において SVM よりも優れた結果を示した. 3 種類の勾配ブースティングについて， CPU の実行時間と精度の観点から評価すると, LightGBM は，他の勾配ブースティングよりも大幅に高速であり，Accuracy と QWKにおいても XGBoost と CatBoost よりもより精度の良い値を示した．

今後の研究として，自然言語処理を用いて有価証券報告書から倒産を表す言語を抽出し,モデルに組み込むことを計画している．

	AAA	AA+	AA	AA-	A+	A	A-	BBB+	BBB	BBB-	BB+	BB	BB-	B+	B	B-	CCC+	CCC	CCC-	CC	C	D
AAA	41	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AA+	2	6	4	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AA	0	1	117	16	4	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AA-	1	1	5	159	16	4	4	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A+	0	0	3	8	234	42	11	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A	0	0	2	4	35	300	38	10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A-	0	0	0	3	9	38	292	27	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BBB+	0	0	0	1	5	14	38	178	18	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BBB	0	0	0	3	4	2	8	38	128	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BBB-	0	0	0	0	0	1	2	4	22	28	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
BB+	0	0	0	0	0	0	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BB-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CCC+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CCC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CCC-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

図 1 基本モデルの混同行列（LightGBM）

参考文献

[1] T. Chen, C. Guestrin, XGBoost: A Scalable Tree Boosting System, KDD ’16, August 13-17, 2016, San Francisco, CA, USA (KDD 2016, oral presentation)

[2] A. V. Dorogush, V. Ershov, A. Gulin, CatBoost: gradient boosting with categorical features support, https://www.research-gate.net/publication/328576065(参照 2021-12-7)

[3] E. A. Daoud, Comparison between XGBoost, LightGBM and CatBoost Using a Home Credit dataset, World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Computer and Information Engineering, Vol.13, No.1, 2019

[4] 田中克明，勝田英紀，萩原統宏，ニューラル・ネットワークによる格付付与構造の安定性について，経営情報研究，第 17 巻，第 1 号，pp.17-32 （2009）

[5] 金英子，Ching-Yung Lin，松尾豊，石塚満，動的ネットワークのマイニングと企業価値の予測，第 25 回人工知能学会全国大会論文集，pp.1-4 （2011）

[6] 大西立顕，企業間取引の大規模ネットワーク構造からみた企業の特徴，ttps://www.cc.u-tokyo.ac.jp/public/VOL12/special/201002SP-ohnishi.pdf （参照 2020-5-22）

次世代無線通信を支えるマイクロ波・ミリ波・テラヘルツ・光パッシブデバイスの理論設計と応用（第2報）

陳　春平*　　武田　重喜**　穴田哲夫***

Theoretical Design and Its Application in Microwave, Millimeter-wave, Terahertz-wave, and Light-wave Passive Devices for Next-generation Wireless Communications (The 2nd Report)

Chun-Ping CHEN*　　Shigeki TAKEDA**　　Tetsuo ANADA***

１．緒言

1979 年に最初の移動通信システムが商用開始されて以降，概ね 10 年ごとに次の世代の通信規格に進化・発展を遂げる中，携帯電話，WiFi 技術は我々の日常生活において無くてはならない存在となっている．この新たな 5G 無線通信に利用される周波数帯は，各国によって若干異なっており，日本では 3.7GHz 帯と 4.5GHz 帯の Sub6(6GHz 未満の周波数帯)とミリ波(28GHz 帯)の周波数帯を利用する．米国では 2.4GHz 帯と 28GHz 帯，39GHz 帯を利用し，隣国の韓国では 3.5GHz 帯，28GHz 帯を利用する．また中国では 3.5GHz，4.9GHz と 25GHz 及び 38GHz 帯を許可している．この 5G 無線通信システムの本格的な普及・発展に向けて，キーコンポーネントである高周波フィルタに対して超小型・低損失および高性能化の電気的仕様を満たす集積技術開発，さらに回路基板の誘電損失を少なくする材料・測定技術の開発が必要となる（この誘電損失とは誘電体に高周波電界の印加時にエネルギーが熱として失われることで高周波信号の劣化がおこる）．従って，5G 移動体通信システムの基盤構築に対応するために迅速なフィルタ設計手法を確立することが急務である．今後，5G，IoT 及び車載レーダ技術などの進展に伴い，高周波回路技術の開発はさらに加速し，基本的デバイスとしてのストリップ線路（MSL）構造は，比較的容易な PCB 加工プロセスと適度の Q 値の共振素子を実現できることから盛んに研究されている．

日本の総務省により発表した移動通信システムのコンセプト及び技術トレンドに関するホワイトペーパー [1]には，5G 無線システムの要件が以下のように発表されている．①従来の 1000 倍ともなるネットワークの大容量化；②10Gb/s を超えるピークデータレートの高速化；③100 倍同時接続端末の増大；④無線区間の遅延を 1ms 以下へ短縮し低遅延化；⑤低消費電力化．

シャノン限界法則により，5G の 10Gbps 以上の通信容量を実現するために，非常に広い帯域幅が必要である．このような超広帯域を持つ UWB 無線システムを実現するためには，必要不可欠な機能デバイスである UWB フィルタの開発が解決すべき焦点課題として注目を集めている．

一方，平行結合線路は構造が単純，設計が簡単，適用範囲が広いなどの利点を有するため，バンドパスフィルタの設計にはよく用いられている[2]-[4]．多段平行結合線路を用いたフィルタの設計において，これまで，幾つかの合成/設計理論が提案されている．文献[4]では原型低域通過型（はしご型）フィルタの係数を用いて，フィルタの設計式を導出した．分布定数回路素子で，集中定数回路素子を近似するため，[4]で提案した合成手法で設計したフィルタの伝送線路理論モデルによる実際の周波数特性において，中心周波数のところではフィルタの設計に使用する目標関数と完全に一致するが，中心周波数から離れれば離れるほど目標関数との乖離が大きくなるた

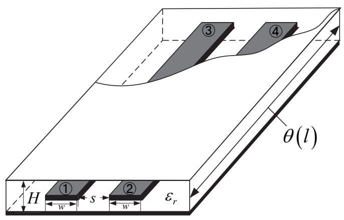


図 1　ストリップ平行結合線路構造の立体図

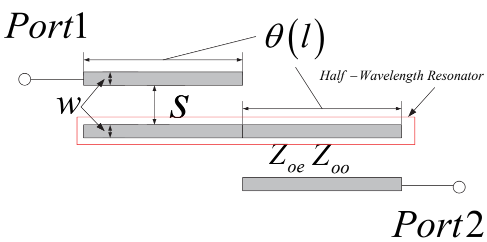


図 2　ストリップ平行結合線路を用いた 2 段広帯域バンドパスフィルタの上面図

*准教授　電気電子情報工学科
Associate Professor, Associate Professor, Dept. of Electrical and Electronic Information Engineering
**客員研究員（名誉教授）　神奈川大学工学研究所
Guest Researcher (Professor Emeritu), Research Institute for Engineering
***客員研究員 神奈川大学工学研究所
Guest Researcher, Research Institute for Engineering

め，比帯域幅（FBW）20%以上の広帯域フィルタを設計する際に，帯域幅などにおける大きな誤差が生じる．本稿では，次世代無線通信システムに向けて，平行結合線路を用いた比帯域幅（FBW）30%以上の広帯域バンドパスフィルタの新たな合成理論を提案する．

2．ストリップライン平行結合線路バンドパスフィルタの設計

2 段ストリップライン平行結合線路バンドパスフィルタを例として提案の設計手法を説明する．図 1 にストリップ平行結合線路の立体図を示す．ポート②と③を開放してポート①と④をそれぞれ入出力ポートとした場合の平行結合線路の ABCD 行列は以下のように与えられる．

$$F=\begin{bmatrix}\dfrac{Z_{0e}+Z_{0o}}{Z_{0e}-Z_{0o}}\cos\theta & j\dfrac{(Z_{0e}-Z_{0o})^2+(Z_{0e}+Z_{0o})^2\cos^2\theta}{2(Z_{0e}-Z_{0o})\sin\theta}\\ j\dfrac{2\sin\theta}{Z_{0e}-Z_{0o}} & \dfrac{Z_{0e}+Z_{0o}}{Z_{0e}-Z_{0o}}\cos\theta\end{bmatrix} \quad (1)$$

ここで，θは線路の電気長であり，Z_{oe} と Z_{oo} はそれぞれ線路の偶－奇モードインピーダンスである．

図 2 にストリップ平行結合線路を用いた 2 段広帯域バンドパスフィルタの上面図を示す．以下の手順により，広帯域バンドパスフィルタを設計する．

Step 1：フィルタの実際の伝達特性の算出

伝送線路理論に基づき，実際の 2 ポート回路の散乱パラメータ S_{11} と S_{21} は以下の式によって与えられる[3].

$$S_{11m}=S_{22m}=\frac{A_t+B_t/z_0-C_tz_0-D_t}{A_t+B_t/z_0+C_tz_0+D_t}$$
$$S_{21m}=S_{12m}=\frac{2(A_tD_t-B_tC_t)}{A_t+B_t/z_0+C_tz_0+D_t} \quad (2)$$

ここで，A_t，B_t，C_t，D_t は ABCD 行列の 4 つの要素であり，z_0 は入出力ポートの特性インピーダンスで 50Ωに設定した．

無損失の場合は，散乱パラメータ S_{11} と S_{12} と特性関数 T の関係は以下の式によって与えられる．

$$\left|S_{21m}\right|^2=\frac{1}{1+|T|^2}=\frac{1}{1+\left|S_{11m}/S_{21m}\right|^2} \quad (3)$$

ここで，$T=(p_2\tan^2\theta+p_0)/[\tan\theta\,(1+\tan^2\theta)]$であり，$p_2$と$p_0$は$\theta$と無関係で$Z_{oe}$と$Z_{oo}$の関数である．

Step 2：広帯域フィルタの理論フィルタリング関数の計算

伝送線路理論により，実際のフィルタ回路の特性関数 T に対応するチェビシェフ形フィルタの理論フィルタリング関数を $H=(q_2\tan^2\theta+q_0)/[\tan\theta\,(1+\tan^2\theta)]$のように導出ができる．理論関数のグラフを図 3 に示す．ここで，q_2 と q_0 はθと無関係の関数である．

Step 3：広帯域バンドパスフィルタの設計方程式の導出

実際の特性関数を理論フィルタリングと比較することにより，広帯域バンドパスフィルタの設計方程式を以下のように得られる．

$$\begin{cases}q_2(Z_{oo},Z_{oe})=\varepsilon\cdot p_2(\theta_c)\\ q_0(Z_{oo},Z_{oe})=\varepsilon\cdot p_0(\theta_c)\end{cases} \quad (4)$$

ここで，θ_c は設計するフィルタの低域側の遮断周波数に対応する電気長であり，εはリプル定数である．

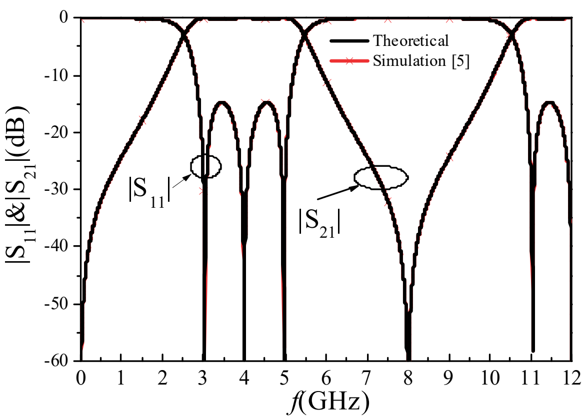


図3　ストリップ先端開放平行結合線路による広帯域バンドパスフィルタ（Z_{oe} =68.4Ω，Z_{oo} =205.8Ω，基板誘電率：ε_r=2.2，基板厚さH=3mm，w=0.243mm，s=0.135mm，l=12.633mm）の理論周波数特性とシミュレーション結果との比較

設計例として，中心周波数 f_0=4GHz，比帯域幅 55.56%（θ_c=65°），帯域内リプル値ε=0.1875（L_{Ar} =0.15dB）を持つ広帯域フィルタの設計を行った．上記のフィルタの仕様を設計式(4)に代入すると，Z_{oe} と Z_{oo} はそれぞれ 68.40Ωと 205.79Ωとして決定される．更に，式(4)による設計結果の有効性を確かめるために，ストリップ線路を用いてフィルタを実現し，シミュレーション[5]により確認した．ここで，基板比誘電率ε_r = 2.2，tanδ = 0，基板厚さ H = 3.0mm，中心導体の厚み t = 0, w = 0.243mm, s = 0.135mm，l = 12.633mm (1/4 波長). 図 3 に示すフィルタの理論（チェビシェフ型）周波数特性とシミュレーション[5]結果がよく一致しているため，式(4)の有効性が確認された．

4．むすび

本稿では，1/4 波長ストリップライン平行結合構造を用いた広帯域バンドパスフィルタの新たな合成理論を提案した．実際例として，比帯域幅 55%のフィルタを設計し，数値計算手法により確認した．理論結果とシミュレーション結果が良く一致することにより，新設計理論の有効性が確かめられた．

参考文献

[1] 20B AH ホワイトペーパー，“Mobile Communications Systems for 2020 and beyond,”　http://www.arib.or.jp/english/20bah-wp-100.pdf

[2] J.S. Hong and M. J. Lancaster, Microstrip Filters for RF/Microwave Applications, Wiley, New York, 2001.

[3] G. Mattaei, L Young, and E.M.T. Jones, Microwave Filters, Impedance-Matching Networks, and Coupling Structures, McGraw-Hill, 1964.

[4] S. B. Cohn, "Parallel-Coupled Transmission-Line-Resonator Filters," in IRE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 6, no. 2, pp. 223-231, April 1958.

[5] ANSYS HFSS 2020, ANSYS, Inc., 2020.

超小型ロケット向け低コスト複合構造の開発

正井　卓馬*　　高野　敦**　　喜多村　竜太***

Development of Low Cost CFRP Structures for Ultra-small rocket

Takuma MASAI*　　Atsushi TAKANO**　　Ryuta KITAMURA***

１．緒言

近年，ベンチャー企業や研究機関によって数 kg から数十 kg 程度の超小型衛星の開発・打ち上げが活発になっている．しかしこれらの衛星は大型ロケットによる大型衛星打ち上げ時の相乗りとして打ち上げられることが主流であるため，打ち上げ時期や軌道は大型衛星により決定されてしまい，超小型衛星側としてはこれらの選択の自由度がほとんどない．更なる開発機会の確保のためには，超小型衛星打ち上げ専用で，かつ低コストな超小型ロケットの開発が望まれている.低コスト化のためには,火薬など爆発物を用いないため，運用管理コストを含めたトータルコストが安価となるハイブリッドロケットが着目されている．一方で多様な衛星の軌道投入を実現化するためには軌道投入質量の増大が必要であり，エンジン推力の増大とともに，ロケット全体の軽量化も重要となる．しかし，従来からロケットの軽量化のための研究は多く行われているが，低コスト化を意識した研究・開発は充分に行われて来たとはいいがたい．このため，更なる軽量化を志向し，ロケット構造体の Carbon Fiber Reinforced Plastics (以下 CFRP) 化への研究開発成果について示す．2019 年度までの研究成果では，燃焼試験にて耐荷することが確認できたものの，今後のタンク内圧の上昇に向けて強度余裕が少なく，今後の拡張性に課題も残った．2020 年度は上記の点を考慮し，主に気密性の高い　(強度余裕のある) CFRP ねじの開発についてその開発概略を示す.

２．2019 年度開発成果（CFRP ねじ）[1]

2019 年度開発した CFRP ねじは図 1 に示すようにプリプレグでの成形を容易にするために丸ねじ (図 2 参照) とし，3D プリンタにて成形治具を製作し成形を行った．成形した CFRP ねじはその後の引張試験，燃焼試験に耐荷した (図 3 及び図 4 参照)．しかし，別途実施した耐圧試験においては，今後の拡張性を考慮した目標 7.5MPa の耐圧試験では，2.0MPa を超えたあたりより漏洩が確認されている．これは現在のエンジン圧力での使用は可能であっても，今後のエンジンの高出力化 (高圧力化) には懸念が残る結果となっている．今後のエンジンの高出力化に向けて今年度は，CFRP ねじの成形方法の見直しを行っている．以下，2020 年度の開発成果について示す.

図 1　プリプレグの巻き付け

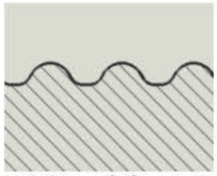


図 2　丸ねじ

図 3　引張試験

図 4　燃焼試験の様子

３．2019 年度耐圧試験の再考察

2019 年度，燃焼試験に耐荷した CFRP ねじと同様のものでの耐圧試験結果は目標 7.5MPa に対して，最大負荷 7.2MPa と目標を下回るものとなった．また，破壊は生じなかったものの，最大負荷荷重よりも低い圧力から水漏れが発生していた.

なお，酸化剤として使用する亜酸化窒素の臨界圧力が 7.24MPa であり，7.5MPa まで耐荷することができれば，今後の拡張性として十分である.

耐圧試験後に内部の確認を行ったところ，内部に塗布したライナー樹脂が剥がれていたことが確認された．また，図 1 に示しているプリプレグ成形時にプリプレグ間にトラップされた空気，プリプレグの過熱硬化反応により発生したガスをトラップしたことによるボイドの発生，このボイドからの水の漏洩が疑われた.

このため, 2020 年度より CFRP ねじの成形はプリプレグではなく，樹脂の含侵されていない炭素繊維クロスやマット材に樹脂を含侵する方法へと変更することとした.

*客員研究員　工学研究所
Visiting Researcher, Research Institute for Engineering
**教授　機械工学科
Professor, Dept. of Mechanical Engineering
***助教　機械工学科
Assistant Professor, Dept. of Mechanical Engineering

4．CFRP ねじ成形法[2]

2019 年度の CFRP ねじの成形法は図 1 に示すように，炭素繊維に樹脂が含侵されたプリプレグを細い幅に切り分け, 図 2 に示すような丸ねじの断面に積層するものであった．そのため，直線状のプリプレグに 3D プリンタにて製作した治具面に合わせて押し付けることで，その形状に成形するものであった．しかし，積層数が多くなると，その押し付け力が積層全体に伝播させることができず，一部には，積層間で空気を巻き込む可能性や，プリプレグ内の樹脂の硬化反応にて発生するガスをトラップしてしまう可能性が残されていた．これらの点から，2020 年度は治具に対して，離型剤を塗布し，その後ライナー樹脂として，インパラ樹脂を塗布し，その上にガラス繊維, CFRP クロスを積層し，樹脂は別途塗布することで，繊維の積層間の空気だまりを回避する方法を開発した．
今回開発した手法による積層順は以下である．

1 層目：ガラス繊維&インパラ樹脂
2 層目：ガラス繊維&インパラ樹脂
3 層目：ガラス繊維&インパラ樹脂
CFRP マット繊維
ナイロン紐とすずメッキ線によるねじ部の巻き付け
4 層目：ガラス繊維&インパラ樹脂
5 層目：ガラス繊維&インパラ樹脂
CFRP マット繊維
6 層目：CFRP マット
7 層目：CFRP マット

成形後のねじ部脱型状態を図 5 に示す. 図 5 よりねじ部が丸ねじ形状に成形されていることが確認できる．

図 5　試験片ねじ部脱型状態

5．耐圧試験[2]

上記にて成形したねじ部を有するタンク供試体に対して耐圧試験を実施した．耐圧試験としては，2019 年度の供試体にて漏洩が発生したと考えられる 1.0MPa 及び 2.0MPa では特に漏洩は確認できず，5.0MPa 負荷試験時において，4.8MPa 負荷近傍で漏洩が確認されている（図 6 参照)．その後，6.0MPa まで負荷を上げることは出来たが, その時点にてタンクより漏洩が確認され試験を終了している．6.0MPa 負荷時の漏洩状態の拡大図を図 7 に示す．

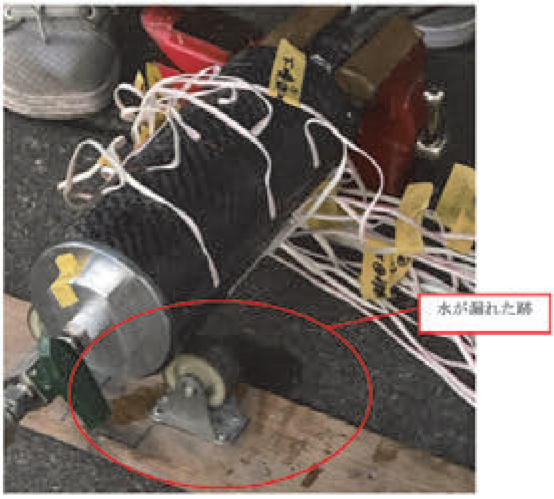


図 6　4.8MPa 負荷状況（漏洩状態)

図 7　6.0MPa 負荷時漏洩状況拡大図

6．結言及び今後の課題

2019 年度開発した CFRP ねじは燃焼試験には耐荷したものの，今後の拡張性を考えた場合に，耐圧試験にて漏洩が確認され，今後の拡張性に懸念が残ることとなった．その結果を受け，2020 年度は 2019 年度と異なる方法にてねじ部を成形する方法を開発した．2020 年度開発した方法にて成形された供試体は耐圧試験にて 2019 年度の供試体よりも高い耐圧性を有することが確認できたが，目標とする耐圧性までは達成することが出来なかった．しかし，2019 年度と異なる成形方法を 2020 年度開発出来たことにより，今後，2019 年度までの成形方法，2020 年度の成形方法を基に，各々の成形方法の改良，各成形方法の融合等，今後の開発への選択肢を広げるためには一様の効果があったものと考える．2021 年度以降，これらを考えあわせた上で，開発計画を策定していく予定である．

参考文献

[1] 西野沙也佳，高野敦，ハイブリッドロケットにおける FRP 製軽量酸化剤タンクの開発, 日本航空宇宙学会第 50 期年会講演会講演集, 2019.

[2] 兼頼晴香，濱崎綾子，亜酸化窒素の自己発熱分解反応と CFRP タンクの開発，神奈川大学卒業論文，2020.

ナノ流体現象の機構解明とその応用
: カーボンナノチューブによる水輸送

客野　遥[*]　　松田　和之[**]　　小倉　宏斗[***]　　宮田　耕充[****]　　真庭　豊[****]

Study on the Mechanism and Application of Nanoscale Fluid Flows
: Water Transport through Carbon Nanotubes

Haruka KYAKUNO[*]　Kazuyuki MATSUDA[**]　Hiroto OGURA[***]　Yasumitsu MIYATA[****]　Yutaka MANIWA[****]

１． 緒言

ナノ空洞内の物質は，バルク状態の性質からは予測できない新規な振舞いを示す．例えば単層カーボンナノチューブ（SWCNT）内部の流体においては，高速流体輸送，高速プロトン伝導などに関する多数の理論的・実験的報告がなされている[1-3]．とくに流体輸送については，SWCNT の“ナノサイズの管”において，マクロな流体力学のいわゆる「滑りなしの条件」が破綻することが示唆されている（図 1）．これは摩擦なしの流れの実現可能性として注目されているが，その輸送メカニズムはまだじゅうぶんに明らかにされていない．

本プロジェクト研究は，ナノ空洞における流体のバルクとは異なる流動性の起源を明らかにすること，およびそれを応用したナノ材料の新規物性制御・新規機能開発を行うことを目的とする．2020 年度は，SWCNT の水輸送について分子動力学（MD）計算による研究を行った．概要を以下に報告する．

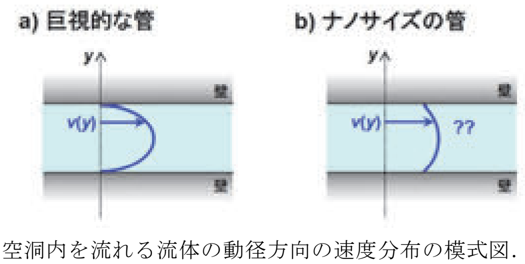


図 1. 空洞内を流れる流体の動径方向の速度分布の模式図．a)の巨視的な管において流体は連続体として振舞い，壁面での流体の速度はゼロである（滑りなしの条件）．b)のナノサイズの管では，壁面との摩擦がない(または非常に小さい)流れの可能性が議論されている．

[*]准教授　物理学教室
Associate Professor, Institute of Physics
[**]教授　物理学教室
Professor, Institute of Physics
[***]特別研究員　工学研究所
Researcher, Research Institute for Engineering
[****]客員教授　工学研究所
Guest Professor, Research Institute for Engineering

２． 方法と結果

従来のマクロな流体力学によれば，水などの粘性流体が半径一定の円管内を流れるときの流速分布は，Navier-Stokes (N-S)方程式の厳密解として

$$v(r) = \frac{\Delta P}{4\eta L}(R^2 - r^2) \tag{1}$$

と表される．ここでΔPは管の両端の圧力差，Rは管の半径，rは管中心からの半径方向の距離，L は管の長さ，ηは流体の粘性係数である．また，このとき体積流量は

$$Q_{\mathrm{H-P}} = \frac{\pi \Delta P}{8\eta L} R^4 \tag{2}$$

となる．この関係式は Hagen–Poiseuille (H-P)の式と呼ばれる．

本研究では MD 計算を用いて，SWCNT の円筒空洞内に水を流したときの流速分布と体積流量を求め，それらをマクロな流体力学の式(1), (2)から予測される値と比較した．本研究で用いた MD 計算モデルを図 2 に示す．このモデルでは，SWCNT の両端にグラフェンからなる水容器を接続し，容器と SWCNT 空洞内を水で満たした．SWCNT とグラフェンはともに空間に固定されている．水分子を構成する全ての酸素原子と水素原子に等しい大きさの外力を SWCNT のチューブ軸方向（図 2 の z 方向）に与えることで，SWCNT 両端に圧力差ΔPを生じさせた．

まず, MD 計算結果から SWCNT 内の水分子の平均流速を求めた．一例として，直径 D=1.93 nm の SWCNT 円筒動径方向における水の流速分布を示す（図 3）. 式(1)から計算される流速分布（図中の破線）と比較すると，SWCNT 内での水の流速は空洞中心部において 5 倍程度大きい．また SWCNT 空洞の壁近傍において，空洞中心部と同程度の有限の流れが発生している．すなわち，マクロな流体力学の「滑りなしの条件」が破綻している．このようにメガパスカル単位の圧力差を SWCNT の両端に与えたときに滑りなしの条件が破綻することは，先行研究[4]で報告されている傾向と一致する．

次に，SWCNT 内での水の体積流量Q_{CNT}を求めた．図 4 に，式(2)と比較した体積流量の増大率$Q_{\mathrm{CNT}}/Q_{\mathrm{H-P}}$の直径依存性を示す．

ΔP =200 MPa では，SWCNT 内の水は D に依らず乱れた液体様の構造であり，D が小さいほど$Q_{\mathrm{CNT}}/Q_{\mathrm{H-P}}$の値は大きい．一方$\Delta P$ ≤100MPa では，D = 1.15 nm の SWCNT 内の水は筒状の氷（ice-NT）構造を形成し，$Q_{\mathrm{CNT}}/Q_{\mathrm{H-P}}$が減少した．$Q_{\mathrm{CNT}}/Q_{\mathrm{H-P}}$が減少する原因には，SWCNT 内部の ice-NT（固相）と外部のバルク水（液相）との相境界で流れが妨げられる，または液体に比べて ice-NT では空洞壁との間の摩擦が大きい，などの可能性が考えられる．

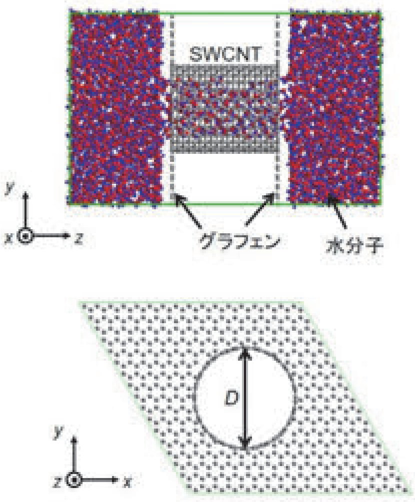


図 2. SWCNT による水輸送の MD 計算モデル．水分子には SPC/E モデル[5]を用いた．本研究では，直径 D = 1.15, 1.93 nm の SWCNT について計算を行った．シミュレーション温度は 300 K である．

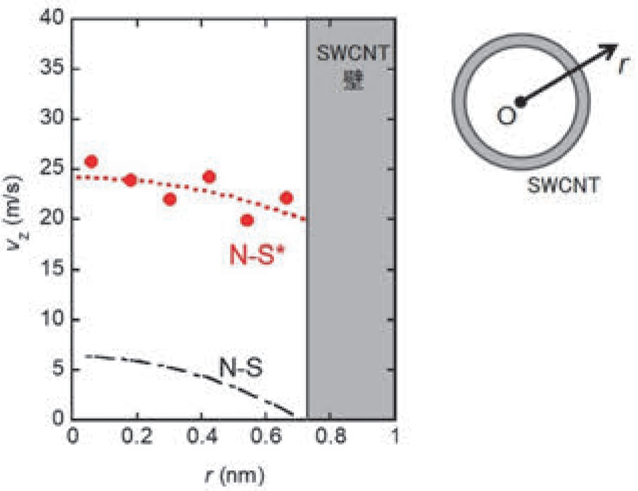


図 3. SWCNT 内の水の流速分布（D=1.93 nm，ΔP =100 MPa）．丸印が MD 計算の解析から得られた流速．図中の破線（N-S）は，式(1)から予測される流速分布である．このときηは 300 K でのバルク水の値である 0.854 mPa・s とした．点線（N-S*）では，壁面での流速が有限値になるように式(1)を修正し，かつη =1.3 mPa・s とした．挿入図は SWCNT 円筒断面の模式図．

３．まとめと今後の展望

MD 計算により，SWCNT 壁近傍の水が有限の流速をもつこと（滑りなしの条件が破綻していること），および体積流量Q_{CNT}はマクロな流体力学による予測値$Q_{\mathrm{H-P}}$と比較して 1 ケタ以上大きいことが示された．また，SWCNT 内の水が ice-NT 構造のときには，液体様の構造のときに比べてQ_{CNT}は減少した．これらの結果は，先行研究と定性的におおむね一致するものである．

なお本研究では，SWCNT を空間に固定して MD 計算を行った．しかし，現実系の SWCNT は熱振動をしており，それは SWCNT 壁と水との摩擦に無視できない影響を与える可能性がある．実際に，これらの点を考慮した計算モデルがいくつか提唱されている[6]．それらのモデルを用いると，SWCNT を固定したモデルと比べて水分子の温度分布に明確な違いが現れるという報告もある．今後は，このような計算モデルの妥当性をじゅうぶんに検討しながら，SWCNT におけるマクロ流体力学の破綻の原因を検討したい．

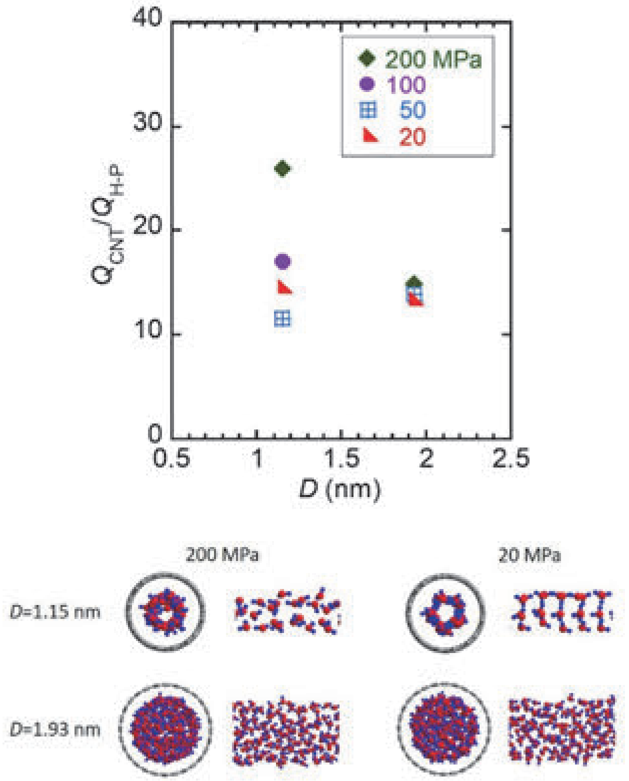


図 4. 体積流量の増大率$Q_{\mathrm{CNT}}/Q_{\mathrm{H-P}}$の SWCNT 直径依存性．下図は SWCNT 内部での水の構造のスナップショット．D =1.93 nm ではΔPに依らず水は乱れた液体様の構造である．一方D =1.15 nm においては，ΔP = 200 MPa では乱れた構造であるのに対し，ΔP =20 MPa では ice-NT 構造を形成している．

参考文献

[1] A. Noy, H. G. Parka, F. Fornasiero, J. K. Holt, C. P. Grigoropoulos, O. Bakajin, NanoToday 2(6), 22-29 (2007).

[2] J. C. Rasaiah, S. Garde, G. Hummer, Annu. Rev. Phys. Chem. 59, 713-740 (2008)

[3] H.G. Park, Y. Jung, Chem. Soc. Rev. 43, 565–576 (2014).

[4] J. A. Thomas, A. J. H. McGaughey, Nano Lett. 8(9), 2788–2793 (2008).

[5] 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).

[6] Y. Li, J. Xu, D. Li, Microfluid Nanofluid 9, 1011-1031 (2010).

7. 工学研究所テクノサークル

「神奈川大学宇宙ロケット部」活動報告（2020）

高野　敦*

Annual Report of “Kanagawa University Space Rocket Club” in 2020

Atsushi TAKANO*

１．緒言

「神奈川大学宇宙ロケット部」は講義で得た工学をハイブリッドロケットの設計・開発，打ち上げを通して実践的に学ぶ，あるいは逆にハイブリッドロケットの設計・開発，打ち上げを通し工学的問題に対して興味，関心を持つことで講義に前向きに取り組むためのきっかけを与える場として 2014 年 9 月に設立された．この活動は工学部機械工学科航空宇宙構造研究室（以下,「研究室」と呼ぶ）と共同して行いつつも，その時点での学生の特性に合わせながら卒論，修論では取り組みづらい製品開発に近い課題や試験設備構築，広報・アウトリーチ活動などに取り組んでいる[1]．2020 年は特にコロナ禍で活動が多いに制約されたがその中でも宇宙ロケット部は活動を休止することなく粘り強く活動を続けついに2021年9月にはハイブリッドロケット国内高度記録を更新することに大いに貢献した．そこでこの報告では 2020 年 10 月~2021 年 9 月までの活動を報告する．

２．エンジン破裂対策に基づく基本設計

2019 年に高度 15km を目標に 2018 年度のハイブリッドロケットエンジンの大型化が研究室学生により取り組まれた．しかし点火と同時に酸化剤の亜酸化窒素による自己発熱分解反応が原因と思われる破裂にたびたび見舞われ，打ち上げを断念した．2020 年にはコロナ禍の中，研究室学生のもと，亜酸化窒素の自己発熱分解反応の原因調査が行われ，それを反映した 2019 改エンジンが開発された．これにより点火直後の破裂は解消できたものの，点火後十数秒後にノズル及びそれを保持するハウジングが飛散するという不具合に 2 度見舞われた．これらの活動においてもロケット部は実験や試験機材開発を通じて一体となり取り組んだ．当初この原因は自己発熱分解反応が抑え込まれていない可能性とハウジングの強度不足などが考えられたが，コロナ禍で実験が十分に行えないため，これらいずれに対しても対策を施したエンジンを複数案立案し，その設計にロケット部が 2021 年 2 月から 3 月の間にリモートで取り組んだ．この検討の中でハウジングの強度試験が行われ，従来の試験結果に比べ著しく低い強度しか得られなかったため，それが有力な推定原因となり，設計案の絞り込みにつながった．結局，ハウジング部の締結方法を着目点として 2 案が採用された．その後の開発及び試験は 2021 年 4 月以降, ロケット部支援のもと, 研究室学生に引き継がれ，破裂事象の解消と打ち上げにつなげることができた．

*教授　機械工学科
Professor, Dept. of Mechanical Engineering

３．酸化剤供給用電磁バルブシステムの開発

ハイブリッドロケットは燃料に樹脂などを，酸化剤に酸素や亜酸化窒素などの液体を用いるため，固体燃料ロケットに比べ推力の調整が可能であるという利点を有する．しかしその実現のためには，流量制御可能なバルブが必要となる．また現在はバルブの代わりにステムと呼ばれる配管を用い，点火によりステムが抜けることにより亜酸化窒素が流出する方式をとっているが燃焼試験のたびにステムやその配管が損傷するという問題がある．そこでロケット部により電磁バルブの開発が着手された．まず機体搭載前の試験として，GSE（Ground Support Equipment）の亜酸化窒素供給用として市販のボールバルブにギヤヘッド付きステップモータで駆動するバルブの試作が行われた．試作した電磁バルブを図 1 に示す．2021 年 12 月に実際の亜酸化窒素を供給する試験が行われたもの，トルク不足による脱調が発生した．必要トルクは事前に文献調査の上決定したため，今後は酸化剤供給中のトルク測定およびステップモータートルク向上のための速度制御などに取り組む予定である．

図 1　試作した電磁バルブ

４．打ち上げ試験[2]

本機体の飛翔実証およびハイブリッドロケットの到達高度の日本記録更新を目的として，2021 年 9 月 19 日の AM6:00 に秋田県能代市旧落合浜海水浴場において打上試験を行った．発射の様子を図 2 に示す．目視および後で述べる高度データからエンジンの燃焼は正常に行われたと判断された．大気圧による高度データの取得にも成功した．打ち上げは予備日を含めて 2021 年 9 月 18 日~20 日のいずれか天候の良い日に実施する計画であったが，東シナ海に停滞した

図２　打ち上げの瞬間
（道浦直人氏提供）

後に西日本から東日本へ抜けるという特異な進路を取った台風 14 号の影響により，18 日は海上のうねりが高く回収船の航行及び回収作業が困難との判断から打ち上げを見送った．19 日も前日では海上のうねりが残るとの予報であったが 20 日のみの打ち上げでは機体や GSE 等のトラブルで打ち上げができないリスクを懸念し，19 日 AM4 時の天候で最終判断を行い，海上は靄がかかっているものの，射点付近から海面は目視できたため，打ち上げを決行することとした．機体の準備は前日の深夜 23:30 に宿泊施設内に集合し，射場へ向かい開始した．宇宙ロケット部は研究室学生と協力し，テント設営，電源確保，機体組立，GSE 設営，計測器接続，受信局設営，立ち入り規制，漁船に搭乗しての機体回収などほぼすべての作業に参加した．

図３　深夜作業の様子

図 3 に深夜作業の様子を示す．特に宿泊や食事の手当及び各種報道機関からの取材対応はロケット部のみが行ったため，外部に対しては「宇宙ロケット部による打ち上げ」の印象が強く残る結果となった．また食事の手当は市内へコロナを拡散させない配慮としてすべて射場にてお弁当を配送してもらうこととし，その手配などもロケット部が行った．

打ち上げ直前において 2 台ずつある大気圧テレメトリおよび GPS テレメトリのうち 1 台ずつの通信ができていない状態であったが，従来からの経験で機体姿勢によるアンテナ位置と受信局の位置関係により改善するという知見があったため，そのまま打ち上げを行った．打ち上げ後には GPS の受信もできなくなったがこれは高速移動体に対する GPS の受信制限によるものと思われる．また強制分離回路との通信ができなくなる事象も発生し，分離のためのニクロム線への電圧供給信号の確認および分離信号の受信もできなかった．この原因は現在究明中である．しかし大気圧テレメトリのうち 1 台のデータが得られたため，そのデータから高度を推定した結果を図 4 に示す．図 4 には高度のシミュレーション結果も併せて示した．高度の推定には ICAO (International Civil Aviation Organization)標準大気から求められる測高公式を用いた．打ち上げ前の圧力 1014.42 hPa，地上温度 13℃および測定された気圧の最小値 256.85 hPa を用いて計算した結果，最高到達高度は 10124[m]と求められ，これまで CAMUI-500P が有していた高度 8.3km（推測値）[3]を更新した．

図 4 の実測高度データを見ると，頂点を過ぎた後のデータは弾道落下（ストリーマおよびパラシュートが展開しない場合の落下）および減速落下（ストリーマおよびパラシュートが展開した場合の落下）の間にプロットされている．この結果と分離信号が受信できなかったことを考え合わせると，１段目が正常に分離せずに落下し，２段目分離時刻前に着水してしまったものと考えられる．この原因も今後究明が必要である．

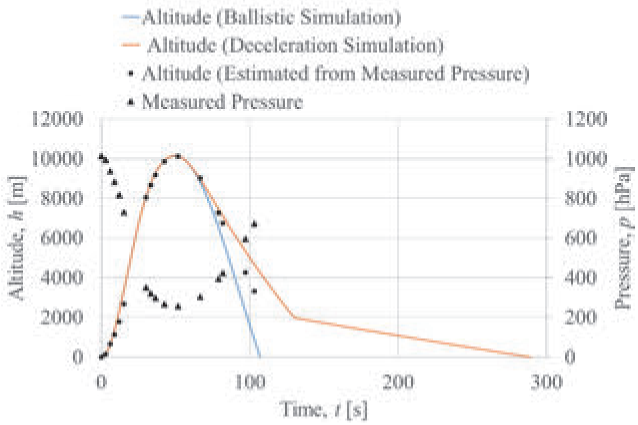


図４　実測高度データと事前飛行解析との比較[2]

５．広報・アウトリーチ活動

広報･アウトリーチ活動はもっぱらロケット部により取り組まれた．コロナ禍で 2020 年及び 2021 年入学の学生，特に 2020 年入学の学生はほぼオンラインでの授業となり，実験実習の機会がほとんどなかった．また，大学構内での課外活動参加もできないため，友人関係を築く機会も極端に限られていた．そのような中でロケット部は積極的に Twitter, ツイキャス，LINE などの SNS や ZOOM を駆使しこれら新入生に対してプログラミングや CAD 講習会などを行った．また打ち上げ前後の各種報道機関への対応も積極的に行った結果，テレビ番組 2 件を含め確認できているだけで計 72 件のメディアに報道される結果となった．

６．結言

宇宙ロケット部は 2021 年 9 月で設立後 7 年を迎え，ついに研究室と共同でハイブリッドロケットの国内高度記録更新を達成した．今後はさらなる努力を重ね，高度 100km の宇宙を根到達してくれるものと信ずる．

参考文献

[1] 高野敦，「神奈川大学宇宙ロケット部」活動報告（2019），工学研究，神奈川大学工学研究所 (2020).

[2] 高野敦，他，高度 15km を目指したハイブリッドロケットの打ち上げ結果，MoVic2021/SEC’21, A23(2021).

[3] 伊藤献一，植松努，永田晴紀，高橋博之，“CAMU-500P ハイブリッドロケット／SNS 製液体ロケット「すずかぜ」打ち上げ実験報告”，(2013).

8. 随想

神大 45 年間の地震工学研究と都市防災への展開

荏本　孝久*

Research Works on Earthquake Engineering for 45 Years at Kanagawa University

Takahisa ENOMOTO*

１．緒言

1976 年 8 月 1 日に神奈川大学に着任した。所属は工学部建築学科である。建築学科が開設されたのは昭和 43 年（1968 年 4 月）とされているので、開設されて８年後ということなる。建築学科には耐震工学の研究を進めておられた多治米辰雄先生（東京都立大学名誉教授）が着任しておられ、研究室の助手として採用された。当時、首都圏を始めとして全国の大学で始まった学生運動の波が収まりつつあるなか､神奈川大学では､まだその余波が続いていた時代であったが。私が東京都立大学大学院在学中からご指導頂いていた国井隆弘先生（土木工学）、望月利男先生（建築工学）、松田磐余先生（自然地理学）との共同研究で、まだ比較的新しい地盤や構造物の動的挙動の解析を行う分野の研究を始めていて、普及し始めたコンピュータを利用して耐震工学や地震工学と言った新しい分野であった。東京大学での大型計算機利用システムを利用したり、神奈川大学工学研究所に設置された電子計算機共同利用システムを利用してプログラム開発やシミュレーション解析を行っていた。このようなコンピュータ技術や科学的知見の進展に伴って、地震が発生した際の建物や構造物の被害を予測する手法の開発が社会的に急務とされていた時代であった。1960 年代になって提唱されるようになった地球規模のプレートテクトニクス理論により地震発生現象の理解が進むようになったことと「関東大震災 69 年説」や「東海地震切迫説」など巨大化する首都圏の防災対策の面から大地震発生の危機感が背景にあった。その状況の中 1974 年伊豆半島沖地震が発生し東京、横浜で震度 5 を記録し、伊豆半島南端の石廊崎に活断層が出現し、周辺の町々に大きな被害が発生した。当時始まった「震災予防研究」に参加されていた多くの研究者も現地調査を開始した。私も初めて実際の地震被災地へ入ることとなった。それ以来、地震災害の被災地へは必ず訪れて調査を行っている。

そのような経験から、事前に地震時の被害を予測する必要性を感じた。計算上で予測するためには、地震の震源モデルにより地震動の予測し、対象地域の地盤震動を計算し、その結果を建物など構造物に入力して、その応答特性から被害を推定するという流れが必要であった。いずれもコンピュータの利用無くしては不可能であった。新しい技術であり、また数値計算で得られる推定結果と実際の被害との整合性について十分な検証が必要であった。

この技術は、現在では地震被害想定調査として、より高度な技術を利用して、国を始めとして多くの地方自治体で地域防災計画策定のために実施されている。

神奈川大学で過ごした 45 年間の教育・研究活動は、殆どこの一連の研究活動であった。大きくまとめると 3 つの柱があったように思う。「合理的な地震動の予測」、「詳細な地盤区分図と地震防災マップの作成」、「地盤震動特性の理解」の３つの課題であり、それらを統合して地震被害予測を考えてきた。その中で、特に将来的に重要であると考えるようになった課題は「地盤震動特性の解釈」の問題で、後半の 20 年間余りは”地盤震動”の観測と分析・理解に多くの時間を掛けてきた。地盤震動の問題は、実際の地盤構造が大きく関与しているため、地盤資料（実際には、ボーリングデータ）の収集と“常時微動”の観測という方法を用いて、多くの地域で実施した。建物に被害が発生した地震災害が起きる度に現地調査に出向いて、データの収集に努めた。そして、将来の地震災害に備えて、事前に常時微動観測を行って地震災害リスクのマイクロゾーニングを行って、被害の発生し易い地域を細かく特定する研究に繋げてきた。そして、そのような知見を公開し、地域の住民の方が伝え、防災・減災に役立てていく取組みとした。

２．合理的な地震動予測の研究

コンピュータ技術が急速に普及し始めた 1970 年代当時､構造物の耐震設計や地震災害予測評価の際に用いる入力地震動をどのように設定するかは重要な課題であった。入力地震動を合理的に設定することは大変重要なことであったが、理論的な背景や必要なデータが十分ではなかったため試行錯誤が繰り返されていた。私が携わった地震被害想定の研究では、想定する地域に関係する想定地震を設定した上で地震動特性を評価する必要があり、関東地方においては主要な活断層と 1923 年関東大地震 CM=7.9)を対象とするケースが一般的であった。このように地震災害予測評価を試みる場合に地震動特性の設定は基本的に重要であった。

そこで、任意の地点の入力地震動を評価するため、これまでの巨視的断層モデルを用いて多数の中小規模地震の観測記録と比較しながら、地震動の類似性とその震源区域を抽出する試みを実施した。しかしながら、震源過程が複雑であると考えられる大規模な地震については、この種のモデルで震源特性を説明するのは困難であり、断層面上の破壊強度の不均一性を考慮できる多重震源モデルの適用

*教授　建築学科
Professor, Dept. of Architecture

が必要であると考えられる。関東大地震の断層面は余震分布、地殻変動などから推定されており、その断層面内での複雑な破壊を本震及び余震の規模や、既往の研究から得た中小規模地震の地域的な定常性と結び付けることができるのではないかと考えた。このような解析手法として多重震源モデル（Specific Barrier Model4）（以下、バリアモデル)）を用いて 1923 年関東大地震の地震動特性を検討した。

そこだ、図１の小円（○）に示すように、関東地方に震源をもつ多数の中小規模地震（M=3〜6 程度）の検討から、地震動特性の地域な定常性を検討して、多重震源モデルによる関東地震の地震動特性の検討を行うこととした。その際に森岡・山田によって復元された東京大学本郷構内における加速度記録と比較検討し、表面波による影響を考慮しながら関東地震の震源過程を評価した。さらに首都圏の地下構造をモデル化し、表層地盤のひずみ依存性による弾塑性効果を考慮しながら関東大地震の地震動特性の検討を行った。

図１に示した小領域（要素震源）毎の震源パラメータと要素震源の破壊の順番となる断層課程を変化させながら多数のパターンで計算し、観測された復元記録に整合する震源モデルと震源パラメータの推定を行った。最終的な結果は図１に示したモデルとなり、震源パラメータは表１のように設定された。この組み合わせで計算した地震動の時刻歴と復元された時刻歴を図２に示めした。また、両者のフーリエスペクトルを図３に示した。この震源モデルを用いて、神奈川県を含む関東地方を対象として震度分布を計算して、既往の震度分布図との比較を行い、ある程度の整合性を確認することができた。すなわち、このような多重震源モデルを利用して、要素震源の震源パラメータと震源課程を精度よく設定することができれば合理的な地震動の設定が可能となることが理解できた。

問題は、本手法が既に起きた地震で地震動の観測記録が得られている場合には適用できるが、まだ起きていない地震に関しては要素震源の震源パラメータと震源課程を設定するには不確定性が大きく、確定的かつ合理的な地震動の予測は困難であるということであった。

最近では、このような確定論的な地震動の推定法ではなく、歴史的な地震発生の履歴を整理して発生確率を考慮した“確率論的地震動予測法”が開発されて、NIED（国立研究開発法人防災科学技術研究所）から結果が公開されている。

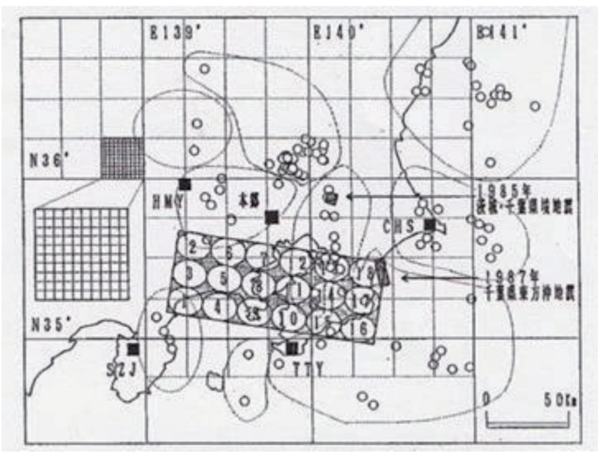


図１　設定した断層位置と要素資源の破壊順序

表１　各要素震源に設定した震源パラメーター

破壊順序	東経 (° ′ ″)	北緯 (° ′ ″)	β(Km/s)	V(Km/s)	ρ(Km)	μ(dyn·cm)	Δσ(bar)	R(Km)	θ(°)
1	139.11.00	35.18.00	3.00	2.70	10.83	2.25E+11	12.00	67.0831	57.3097
2	139.19.00	35.38.00	5.00	6.50	10.83	6.25E+11	10.00	47.5430	41.2385
3	139.15.00	35.28.00	4.00	4.80	10.83	4.00E+11	25.00	53.1795	47.4091
4	139.24.00	35.14.00	3.00	3.80	10.83	2.25E+11	20.00	60.8274	53.5705
5	139.27.00	35.24.00	4.00	4.80	10.83	4.00E+11	12.00	45.2817	38.9218
6	139.30.00	35.34.00	5.00	7.50	10.83	6.25E+11	15.00	38.4582	18.9833
7	139.43.00	35.30.00	5.00	2.50	10.83	6.25E+11	15.00	37.4803	13.4749
8	139.39.00	35.20.00	4.00	4.60	10.83	4.00E+11	10.00	45.4586	36.4821
9	139.38.00	35.10.00	3.00	2.70	10.83	2.25E+11	10.00	61.6040	53.8333
10	139.49.00	35.05.00	3.00	2.70	10.83	2.25E+11	10.00	66.8115	58.0438
11	139.53.00	35.15.00	4.00	2.00	10.83	4.00E+11	15.00	55.7189	47.5813
12	139.56.00	35.25.00	5.00	2.50	10.83	6.25E+11	10.00	48.4485	39.2745
13	140.07.00	35.21.00	5.00	2.50	10.83	6.25E+11	15.00	62.2603	53.1842
14	140.06.00	35.11.00	4.00	2.00	10.83	4.00E+11	15.00	69.0538	57.4307
15	140.01.00	35.02.00	3.00	3.80	10.83	2.25E+11	10.00	80.6071	67.4558
16	140.14.00	34.57.00	3.00	3.80	10.83	2.25E+11	30.00	97.5171	67.1900
17	140.17.00	35.07.00	3.00	3.80	10.83	2.25E+11	30.00	86.1977	63.8311
18	140.20.00	35.17.00	3.00	3.80	10.83	2.25E+11	50.00	80.1324	61.5103

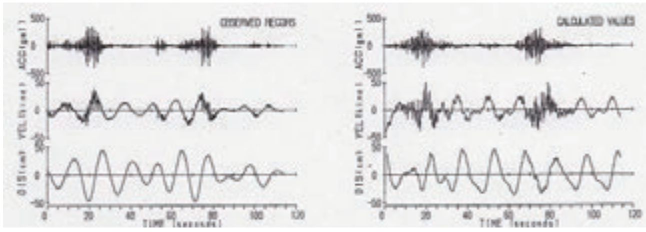


図２　再現された関東大地震の観測記録（左）と計算結果（右）

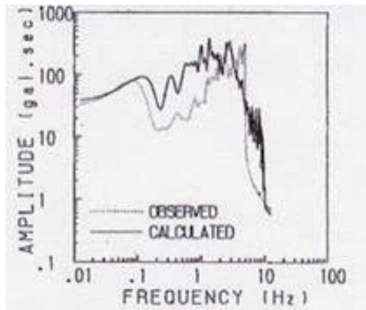


図３　フーリエスペクトルの比較結果

３．詳細な地盤区分図と地震防災マップの作成

地震時の被害想定手法もコンピュータ技術の進展に伴って徐々に精緻な方法が取り入れられるようになり、1995 年阪神・淡路大震災以降の 2000 年頃には震源モデルとともに地盤条件も詳細な検討が進められてきた。地盤震動特性（卓越周期や地盤増幅率）は地盤構造に依存するため、ボーリングデータが必要となるが、このデータは限定的であるため、平面的に均質なデータにはならず、地域の地震被害想定調査には限界があった。そのため、既往の地形・地質図などの高度な利用が不可欠であった。

3.1 地盤区分図の作成

全国の揺れやすさマップは，2005 年に内閣府が統一的な作成方法マニュアル（地震防災マップ作成技術資料，以下，技術資料）をまとめ，1km メッシュで作成した事例を公表しており，地域内の詳細な揺れの違いを把握するためには，地域の地形の違いに対応したメッシュ規模での評価が必要であるとしている。そのため，神奈川県内各自治体レベルの詳細な地盤の揺れやすさマップ作成のために，神奈川県全域を対象として 50m メッシュでの微地形区分図と地盤増幅率図の作成を行った。

(1)　微地形区分図と地盤増幅率図

神奈川県の微地形区分を縮尺 1／5 万の土地分類基本調査図のうち，地形分類図と表層地質図を用いて 50m メッシュ単位で地形，地質を読み取って作成した神奈川県のデジタル地盤区分図を用い，技術資料による微地形区分設定手順に基づき 15 区分の微地形を設定し，微

地形区分図を作成した。作成した微地形区分図を図 1 に示す。より原図に示されているような自然に近い形で微地形区分が表現されている。作成した地盤増幅率図を図 4 に示す。なお、作成した神奈川県全域の 50m メッシュによる微地形区分図と地盤増幅率図は防災フロンティア HP で“神奈川県版揺れ易さマップ”として公開した。

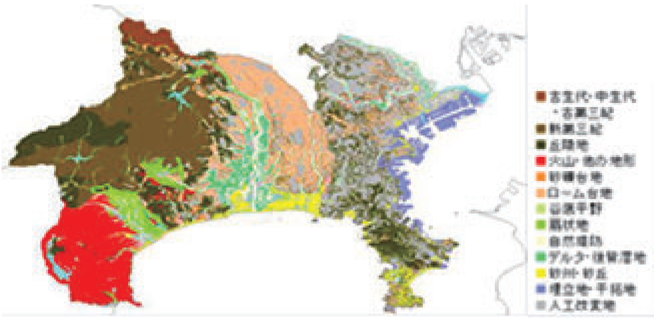


図 4　微地形区分図（50m メッシュ）

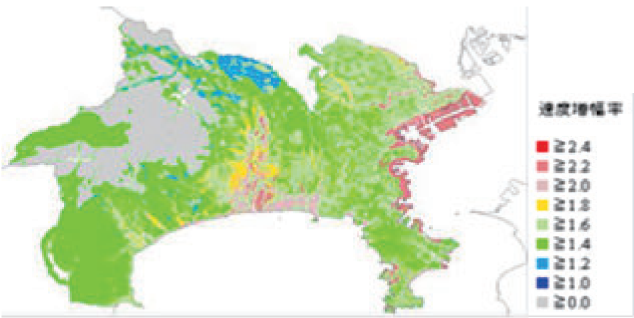


図 5　地盤増幅率図（50m メッシュ）

3,2 地震防災マップの作成

近い将来、来るべき大地震への備えにおいては、地域住民の防災意識の高揚が重要で、それを喚起するための情報が不可欠である。国や自治体などの行政機関も防災情報を公開していたが、より住民の防災意識を高めるためには、地域に密着した情報が必要であった。

地域防災力の向上には、住民が地域の地震災害に対する危険性を正しく理解・認識することが必要である。住民に理解されやすい情報としては、具体的な地域やシナリオに基づいた評価を視覚的に表現することが重要である。ここでは、神奈川県全域において建物データを整備し、神奈川県に影響を及ぼすと考えられる地震が発生した場合の建物被害率を算出し、地域危険度マップの作成を行った。

（1）建物の構造別・建築年代別データの作成

地域危険度マップの作成にあたって、建物の構造種別や建築年代別の分布状況を把握することが重要となる。ここでは、神奈川県県土整備部による平成 12 年度基礎調査・建物現況の 1 棟単位のデータを用いて、建物の構造種別・建築年代別棟数を 50m メッシュ単位で整備した。構造種別に関しては、木造・RC 造(SRC 造含む)・S 造・軽量 S 造・その他・不明の 6 種類、建築年代に関しては、1971 年以前・1972 年～1981 年・1982 年以降の 3 期間に分けてそれぞれ集計を行った。結果の一例として 50m メッシュの木造建物の棟数分布を図 6 に、非木造建物の棟数分布を図 7 に示す(全建築年代の総数)。

（2）地震動の予測

神奈川県に影響を及ぼすと考えられる 10 地震を想定地震として設定した。各想定地震による工学的基盤の最大速度を司ほか(1999)による距離減衰式で求め、表層地盤増幅率を乗じることにより地表での最大速度を算定した。地表での震度は、童ほか(1996)による最大速度と計測震度の経験式を用いて換算し、震度分布図を作成した。各地震による震度分布図を図 8 に示す。

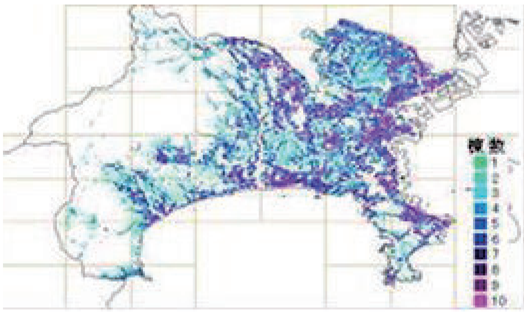


図 6　木造建物の棟数分布(50m メッシュ)

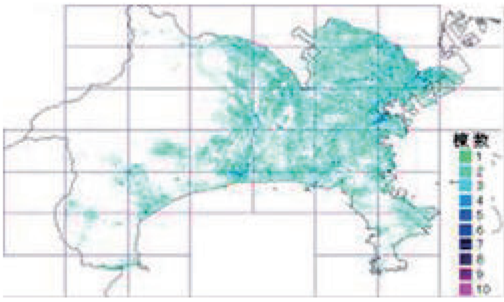


図 7　被木造建物の棟数分布(50m メッシュ)

（3）地域危険度マップの作成

建物全壊棟数は、地表の最大速度と建物棟数から村尾ほか(2000)の被害関数を用いて 50m メッシュで計算した。地域危険度マップ作成においては、50m メッシュで計算した建物全壊棟数を 250m メッシュで集計して建物全壊棟数率を算出し、建物全壊棟数率を基に 7 段階の建物被害危険度ランクを設定した。地域危険度マップの一例として、関東地震の結果を図 9 に示す。同図から、太平洋沿岸付近と河川沿いの平野部を中心に、建物危険度 7（全壊率 30%以上）の地域が広がっている。図 8 から神奈川県では関東地震が支配的であり、他の地震の最大震度を概ね包含しているこがわかる。

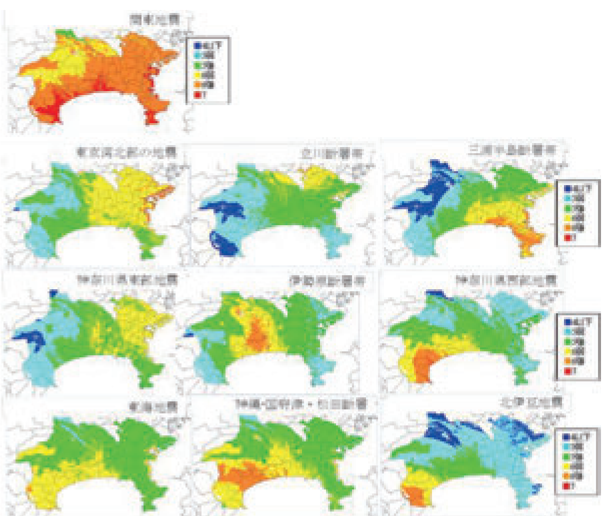


図 8　各想定地震による震度分布

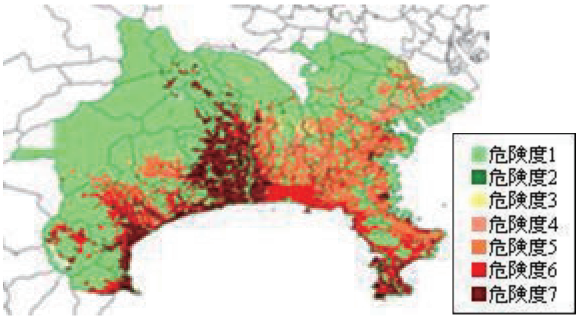


図 9　関東地震を想定した場合の危険度マップ

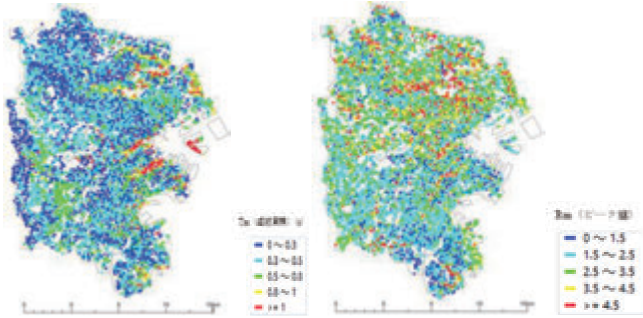


図 10　卓越周期 Tm（左）とピーク値 Rm（右）の分布

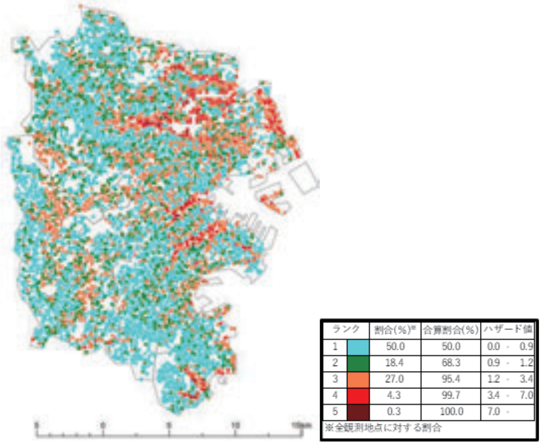


図 11　地盤ハザード（PE）の分布

４．地盤震動特性の理解

地震時の被害を予測するため地震動の合理的な特性を理解することが重要であると考えて、震源特性や地盤特性をより精緻に考慮することを考えてきたが、中でも表層地盤の特性が重要であるとの考えに至り、その特性を分析に取り入れることを考える必要があった。表層の地盤震動特性の把握のためには、ボーリング調査や地震観測記録など、幾つかの方法が利用されているが、広域を対象として詳細な地盤震動特性を把握するための効果的な方法の一つに、常時微動観測による方法が挙げられた。常時微動は人工的あるいは自然現象で発生する微細な振動(ノイズ)で地盤も常時揺れている。その信号をセンサーで記録・分析するもので、我国では 1950 年ころから利用されている。研究室では 1990 年代から神奈川県を中心に継続的に高密度微動観測を行ってきた。そして、HVSR 特性（水平動と上下動のスペクトル比）から、卓越周期（Tm）とピーク値（Rm）の両者を用いて簡便な地盤の評価指標として定義した地盤ハザード（PE）の適用性について検討を行った。ここでは、横浜市を対象とした研究結果を示す。

横浜市の地形は、丘陵地・台地・段丘・低地・埋立地に分けられる。丘陵地と台地が市域全体の約 7 割を占め、残りの 3 割が河川に沿った沖積低地と臨海部の埋立地から成っている。2000 年頃に横浜市では 150 地点の強震観測施設が整備され、しかもボーリングデータが多数存在していることから、常時微動観測結果の有用性を検討するうえで多くの利点があった。

この常時観測によるの HVSR 特性による卓越周期分布とピーク値の分布を微地形毎に整理した、Tm と Rm の分布を図 10 をまとめた。分布図から、河川沿いで Tm、Rm 共通して値が大きい地域がいくつか確認できる。一方で、Tm はそれほど大きくないが、Rm が大きな地域や、両者が中程度の大きさの地域、両者が小さい地域などが確認できる。また、上述の地盤ハザード（PE）を算定し 5 区分のランクで図 11 に示した。ランクが高い場所は地震災害リスクの高い場所に該当している。

５．結言

以上のような地域の地震時の揺れの強さを事前に評価する研究は、大変時間が掛かる現地調査が必要で、多くの調査は研究に所属した大学院生や学部の卒研生の協力で実現することができた。本報告書には触れなかったが、神奈川県全域（低地が主体）では約 20 年かけて 10,000 点超の観測データを収録し分析した。

また神奈川県に限らず、神戸市、新潟市、長野市、熊本市、福島県、山形県など多くの被害地震が発生して地域を中心に常時微動観測を行ってきた。また、1977 年から 1978 に掛けて当時の長期在外研究員制度でスペイン･アルメリア大学に滞在して共同研究を実施した。アルメリアが位置するスペイン南部は、ヨーロッパでも地震危険度の高い地域で、一緒にアルメリア市のマイクロゾーニング研究を行って、その成果を国際会議などで発表した。当時欧州での常時微動を用いた研究は殆ど無く、その有用性を認めてもらう契機となり、現在も共同研究は続いている。

謝辞

神奈川大学で 45 年間という長い期間在職し多岐に亘り多くの経験をさせて頂いた。その間、建築学科に在職された先生方、研究室の助手の先生方、ゼミ生の方々には、多大なご支援とご協力を頂きました。最後になりましたが、心より感謝申し上げます。

参考文献

1) 中野尊正；震災予防研究の課題，総合都市研究第 2 号，1978
2) 日本建築学会地盤震動小委員会；地震動と地盤―地盤震動シンポジウム 10 年の歩み―，日本建築学会，1983
3) 長橋純男:建築構造物を対象とした設計用入力地震 8 動の強さ，地震，第 2 輯，第 46 巻，pp.513-532，1994
4) 笹本　努；多重震源モデルによる 1923 年関東大震災の地震動特性の再検討とその震度分布に関する研究，神奈川大学大学院修士論文，1992 年
5) 落合　努，犬伏徹志，荏本孝久；常時微動による地域特性を考慮したハザードマップの作成，日本地震工学会論文集，pp.13-22, 2020 年

多数室建物の伝熱と換気性能の現場測定のためのシステム同定法

奥山　博康

System Identification Method for Heat Transfer and Ventilation Performance Field Measurement of Multi-Zonal Buildings

Hiroyasu OKUYAMA

1．緒言

実態の住宅の熱性能には，外皮の熱貫流的な熱損失性能と，建物の熱容量による室温変化の均し効果と日射熱の取得性能等がある．しかし断熱材の経年劣化や熱橋の影響や施工にも影響されるので性能評価の現場測定法が必要である．しかし変動する外気温度や日射量が作用し，壁体等の熱容量の影響と多数室的な問題等もあり，多くの研究が為されているが，標準化され，広く実用化されている測定法は未だ無いようである．

一方，多数室換気測定法では，各室と外気の間だけでなく，室間の両方向の風量も求める．実際の住宅等の多数室的な状況により，換気の性能評価には，室間の空気流動の把握が必要である．炭酸ガス等をトレーサーガスとして，濃度変化の測定等から，これらの風量を推定する方法がとられることが多い．筆者の多数室換気測定法では，実用に向けた装置的な改良と展開を残している．

筆者は，これらの測定法を，熱とトレーサーガスの多数室系での拡散系のシステム同定と捉え，研究開発してきた．この方法では，各室に断続的な励振としての電熱発熱あるいは炭酸ガス供給を行い，室温とガス濃度の状態値の変化を生成し，これらの状態値と，励振および気象条件等の時間変化の測定を行う．夫々の拡散系の回路網モデルの状態値に関する連立常微分方程式を，室間の風量と有効混合容積あるいは熱貫流コンダクタンスと相当熱容量と日射熱取得係数等の回帰式にし，最小二乗法を基本にしてこれらの係数を推定し，また信頼性評価も行う理論を展開してきた[1][2][7][27][31][32][36][41]．そしてこの計算プログラム SPIDS を開発してきた．

しかし回路網のシステム同定モデルが実現象に良く適合するのは，トレーサーガスの多数室での拡散系である．熱の拡散系では，室空気だけでなく壁体等の熱容量の影響が大きい場合が多い．また日射量は，直接に室空気に吸収されるのではなく，壁体の外表面等に吸収されてから，遅れて影響する．従って室温の節点系だけのシステム同定モデルでは実現象への適合性はよくない．

こうした問題があったので，本システム同定理論の応用を熱性能の現場測定法として試みたことも初期にあったが[5]うまくいかなかった．

しかし 2011 年頃になって，多数室熱性能測定については，励振発熱は矩形ではなく，3 日周期の間欠的な正弦波形にし，全ての測定値に 8 時間程の移動平均を加えることで，良好なシステム同定結果が得られることが分かった[32]．この移動平均を低周波濾波とも呼んでいる[32]．多数室熱性能測定システムについては第二世代を試作[37]した．しかし電熱発熱を用いると，実住宅では加熱力不足になり，十分な内外温度差が生成し難い場合が多いので，実験さえも実施し難かった．

一方，多数室換気測定法は比較的多く実験できた．第一世代[4]，第二世代[9]，第三世代[38]まで試作した．幾つかの測定実験[6]~[8], [11]~[18], [37]~[40]も行ってきた．

しかしこの多数室換気測定でも，炭酸ガスをボンベから供給する方法では，流量制御装置だけでなく，各室へのガス供給の切り替え装置等も複雑で，長いチューブ配管も煩わしく，実用性に問題が残っていた．

そこで灯油暖房器を，熱と炭酸ガスの励振発生装置として利用し，伝熱と換気の性能の測定を同時的に行う方法を検討し始めた[41]．

灯油暖房器を用いれば，長時間の適切な燃焼には，仮設でも給・排気換気装置が必要と考えられるので，壁体の熱貫流だけでなく，空気移動による熱流は無視できなくなる．従って熱性能と換気性状の同時測定は，むしろ必要になる．

一方，既報の研究等[32]により，多数室伝熱系のシステム同定では，同定する熱コンダクタンスには，対称性等の拘束条件を与えないと適切な結果が得られ難いことが分かっている．しかし一般には，室間の両方向の風量は等しくないので，対称性を仮定できるのは隙間風的に風量が小さい場合等に限られる．

また従来の熱性能測定法でも，測定中は機械換気を停止し，隙間風換気の影響は小さいと見なし，熱貫流による熱損失に含めて性能評価を行うことが多い．

仮に，室間の非対称の隙間風的な風量が測定できたとしても，単室扱いの簡単な場合を除き，一般の多数室系では，壁体熱貫流と空気移動による熱コンダクタンスを分けて同定する一般的な理論は未だ導かれていない．

---

*教授　建築学科
Professor, Dept. of Architecture

そこで本論では，多数室建物の伝熱モデルを，熱貫流と空気移動に分けてシステム同定する一般的な方法を既報の理論[32]に追加し，これを計算機実験で検証する．

また多数室の熱性能測定法では，換気測定に比べ，長い測定期間が必要となる．熱性能測定で考慮すべき室間風量は，同じ長い期間での平均値が適切であるから，ガス拡散系でのシステム同定期間も同じにする．

室間の一般化熱コンダクタンスは両方向で二つあり，これらは，対称性を持つ貫流の分と非対称の風量の分を合わせて，二本の式が記述できる．これら二式を辺々差し引けば，貫流は対称性を持つので消え，二つの一般化熱コンダクタンスの差を，二つの風量の差で表す式が得られる．これらを最小二乗法の拘束条件式として評価式に加える．

また灯油暖房器を励振発生に用いた場合は矩形波に近くなる．そこで本論では，矩形波であっても，二重の移動平均を施せば改善される可能性を探る．さらに発熱励振を停止して，室温が低下する期間を設けることで，良いシステム同定結果が得られる可能性があることにも言及する．

2．最小二乗法の回帰式と拘束条件式

多数室での熱とガスの移動を回路網でモデル化し，各節点でこれらの拡散量の収支から常微分方程式を記述する．節点 i の温度やガス濃度の状態値を xi で表し，j 節点から i 節点への一般化コンダクタンスを ci,j で表す．節点 i に関する容量は mi,j で表す．熱やガスの発生量を gj で表し総数は ng とする．発生源から i 節点への入力係数を ri,j で表す．また未知の状態値の節点数を n とし，外気の様な既知量の節点数は no とする．全 n 個の節点の状態ベクトル $\boldsymbol{x}={}^t(x_1, x_2, \cdots, x_n)$について(1)式をまとめて，(2)の連立常微分方程式が記述できる．なお，続く(9)式までの演繹過程は簡略化するので，詳しくは既報[32]を参照されたい．

$$\sum_{j=1}^{n} m_{i,j}\cdot\dot{x}_j=\sum_{j=1}^{n+no} c_{i,j}\cdot(x_j-x_i)+\sum_{j=1}^{ng} r_{i,j}\cdot g_j \tag{1}$$

$$\mathbf{M}\cdot\dot{\mathbf{x}}=\mathbf{C}\cdot\mathbf{x}+\mathbf{C_o}\cdot\mathbf{x_o}+\mathbf{R}\cdot\mathbf{g} \tag{2}$$

この(2)式で入力係数 ri,j=1 等の既知の係数による項は左辺に移項しベクトル $\boldsymbol{y}$ を構成する．右辺に残った同定すべき係数をベクトル $\mathbf{a}$ にまとめて，変数 xj と，この時間微分と，gj を，$(k\text{-}1)\Delta t$ から $k\Delta t$ で台形近似積分し，次の被同定係数 $\mathbf{a}$ の回帰方程式が構成される．

$$\mathbf{y}_k=\mathbf{Z}_k\cdot\mathbf{a} \tag{3}$$

測定期間は nt･Δt あるとし，方程式誤差 ${}_n\mathbf{e}_k$ の二次形式 ${}^t{}_n\mathbf{e}_k\cdot{}_n\mathbf{e}_k$ を測定期間で総和した最小二乗法の評価関数 J_n を $\mathbf{a}$ で微分して $\mathbf{a}$ を解く式が得られるが，さらなる拘束条件式も含めた最小二乗法を適用するために $\boldsymbol{e}_a$ の誤差を持つとして次式が書ける．

$$\mathbf{e_a}=\sum_{k=1}^{nt}{}^t\mathbf{Z}_k\cdot\mathbf{y}_k-\sum_{k=1}^{nt}{}^t\mathbf{Z}_k\cdot\mathbf{Z}_k\cdot\mathbf{a} \tag{4}$$

一方，n 本の風量収支の $\Sigma ci,j=\Sigma cj,i$ の条件式や，何本かの壁貫流の対称性 $ci,j=cj,i$ の拘束条件式を行方向に並べ，被同定係数ベクトル $\mathbf{a}$ でまとめると $\mathbf{S}\cdot\mathbf{a}=\mathbf{d}$ が記述できる．これも(3)式と同様に，誤差 $\mathbf{e}_d=\boldsymbol{d}-\mathbf{S}\cdot\mathbf{a}$ の二次形式 ${}^t\boldsymbol{e}_d\cdot\boldsymbol{e}_d$ を最小二乗法で最適にする $\mathbf{a}$ としても，さらに(4)式と連成した最小二乗法では $\mathbf{e}_s$ の誤差を持つとして次式が書ける．既報では Δt^2 が乗じられていたが，後述する重みマトリックスにより結局は同じ結果になり不要であった．

$$\mathbf{e_S}={}^t\mathbf{S}\cdot\mathbf{d}-{}^t\mathbf{S}\cdot\mathbf{S}\cdot\mathbf{a} \tag{5}$$

こうして(4)式と(5)式により二重の最小二乗法を適用する．ただし両式の物理単位は異なる上に，$\mathbf{a}$ に乗じられるマトリックス内の行間の要素の大きさのばらつきにより，適切な最小二乗解が得られ難い問題がある．

そこで(4)式に関しては，マトリックス $\Sigma{}^t\mathbf{Z}_k\cdot\mathbf{Z}_k$ の各行の絶対値最大の要素の二乗の逆数を対角要素に持ち他の要素は 0 の重みマトリックス $\mathbf{Wa}$ を導入する．同様に(5)式に関しては，${}^t\mathbf{S}\cdot\mathbf{S}$ について重みマトリックス $\mathbf{W_S}$ を導入する．

ここで，(4)と(5)式から，次の(6)式のマトリックス $\mathbf{F}$ と，(7)式のベクトル $\mathbf{b}$ を定義して，最小二乗法で最小化すべき誤差ベクトルを ${}^t\mathbf{e}=[{}^t\mathbf{e}_a\ {}^t\mathbf{e}_s]$とした二次形式の評価関数 J の(8)式が書ける．

$$\mathbf{F}=\begin{bmatrix}\displaystyle\sum_{k=1}^{nt}{}^t\mathbf{Z}_k\cdot\mathbf{Z}_k\\ {}^t\mathbf{S}\cdot\mathbf{S}\end{bmatrix} \tag{6}$$

$$\mathbf{b}=\begin{bmatrix}\displaystyle\sum_{k=1}^{nt}{}^t\mathbf{Z}_k\cdot\mathbf{y}_k\\ {}^t\mathbf{S}\cdot\mathbf{d}\end{bmatrix} \tag{7}$$

$$\begin{aligned}J&={}^t\mathbf{e}\cdot\begin{bmatrix}\mathbf{W_a}&0\\0&\mathbf{W_S}\end{bmatrix}\cdot\mathbf{e}={}^t\mathbf{e}\cdot\mathbf{W}\cdot\mathbf{e}\\&={}^t\left(\mathbf{b}-\mathbf{F}\cdot\mathbf{a}\right)\cdot\mathbf{W}\cdot\left(\mathbf{b}-\mathbf{F}\cdot\mathbf{a}\right)\end{aligned} \tag{8}$$

これを $\mathbf{a}$ で微分した最小二乗解が次の(9)式で計算できる．

$$\hat{\mathbf{a}}=\left({}^t\mathbf{F}\cdot\mathbf{W}\cdot\mathbf{F}\right)^{-1}\cdot\left({}^t\mathbf{F}\cdot\mathbf{W}\cdot\mathbf{b}\right) \tag{9}$$

実際には非負最小二乗法で計算する．本論では，室 i（節点 i）と室 j（節点 j）の間の一般化熱コンダクタンス ci,j と cj,i の内訳として，対称性を持つ壁貫流のコンダクタンス $ui,j=uj,i$ と同時に，非対称性の空気移動のコンダクタンス $c_p\cdot\rho\cdot qi,j$ と $c_p\cdot\rho\cdot qj,i$ があるので，夫々に分けて同定する方法を追加する．ここに qi,j[m^3/s]は j 室から i 室への体積風量，c_p は定圧比熱，ρ は密度である．ci,j と cj,i の其々を貫流分と空気移動分を合わせて記述すれば(10)と(11)式となる．

$$c_{i,j}=u_{i,j}+c_p\cdot\rho\cdot q_{i,j} \tag{10}$$

$$c_{j,i}=u_{j,i}+c_p\cdot\rho\cdot q_{j,i} \tag{11}$$

これら(10)から(11)式を辺々差し引けば次式となる．

$$c_{i,j}-c_{j,i}=c_p\cdot\rho\cdot(q_{i,j}-q_{j,i}) \tag{12}$$

従って，伝熱系とガス移動系の同時並行的な測定を行い，室間風量 qi,j を求めてから伝熱系のシステム同定を行う．なお ci,j が求められ

れば(10)と(11)式から $u_{i,j}$ 等も求められる．ガス移動系のシステム同定モデルは伝熱系に比べて実現象への適合性が良く，$c_{i,j}$ の対称性や非対称性の拘束条件が無くても良好な同定結果が得られるが，伝熱系は非対称の(12)式や対称性 $c_{i,j}=c_{j,i}$ の拘束条件が無いと良い同定結果が得られ難い．(12)式を **S** と **d** に取り込むアルゴリズムを述べる．この条件式が **S** の中で p 行目として，被同定係数ベクトル **a** の中では，$c_{i,j}$ は m 番目で，$c_{j,i}$ は l 番目とする．**S** の p 行 m 列には 1 を，p 行 l 列には－1 を代入する．そして **d** 内の p 番目には(12)式の右辺の値を代入する．さらに被同定 **a** を計算し，信頼性の評価をする過程は既報[32]と同様である．

３．灯油暖房器を用いた測定システム

Fig-1 に示す様に，システム同定の励振に灯油暖房器を用い，灯油の重量減少を精密な電子秤で連続的に測定して発熱量と炭酸ガス発生量を推算する．不完全燃焼を避けるため，必要に応じ，仮設的に窓等に給・排気装置を取り付ける．放射式の暖房器は壁を直接的に温め，システム同定モデルの構造と異なるので，熱対流式を使用する．

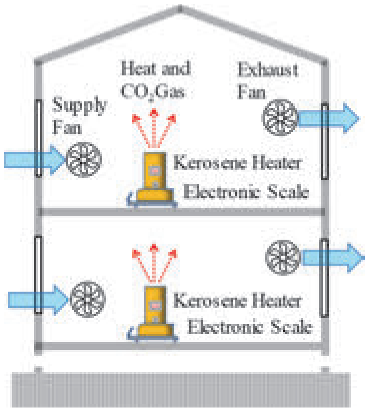


Fig-1 Kerosene heaters, electronic scale, supply and exhaust fans

これまでの計算機実験によれば，発熱の断続周期は 3 日間程が良く，発熱量と室温等の変化には低周波濾波として 8 時間の移動平均を施すのが良い[32]．暖房器の発停と給油に，数分間ぐらい人が立ち入っても，その移動平均により，悪影響は少ないと考えられ，複雑な制御装置は不要である．

４．計算機実験

本論での，熱貫流成分と空気移動成分を分けるシステム同定法を，既報[32]の建物の計算モデルを用いて検討した．この二階建ての住宅の熱・換気回路網モデルを南北の断面で Fig-2 に示す．東西の横幅は 10m,，南北 10m で全床面積は 200m^2 である．1 階と 2 階の階高は 2.5m と 3.5m である．壁体は 15mm の合板 2 枚の間に 100mm のグラスウール断熱材を持つ．窓は 3mm の 2 枚ガラスである．

東京の標準気象データを用い，計算期間は 1 月 1 日から 8 日の 24時まで Δt は 1 分で計算し，初めの 2 日間は助走計算期間として出力はしない．そこで外気温と水平面全日射量を 1 月 3 日の 0 時から8 日の 24 時までの 6 日間を Fig-3 に示す．

灯油暖房器を想定した各室への加熱量は，既報の電熱発熱に等しく 4kW とし，この場合の炭酸ガス発生量は，暖房器メーカーの資料から 9.58 L/min･L とした．灯油密度は 795kg/m^3 とした．この場合の灯油消費量は 5.53g/min となる．最小二乗法の原理から室間の温度差も，大きいことが望ましい．また断続的な発熱の周期は長い方が壁体熱容量の影響が少ない定常状態に近づく．反面，実用性からは短い方がよい．そこで今回は 2 日間加熱の周期を試した．燃焼は 1 階で 1 月 4 日の 0 時から 2 日間行い，直後に 2 階で 2 日間行う Fig-4 と 5 の様な発熱と炭酸ガス発生のスケジュールとした．

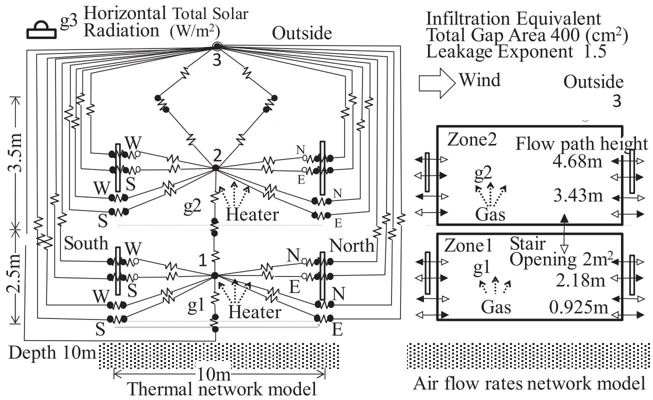


Fig-2 Thermal and air flow rate network models for measurement simulation

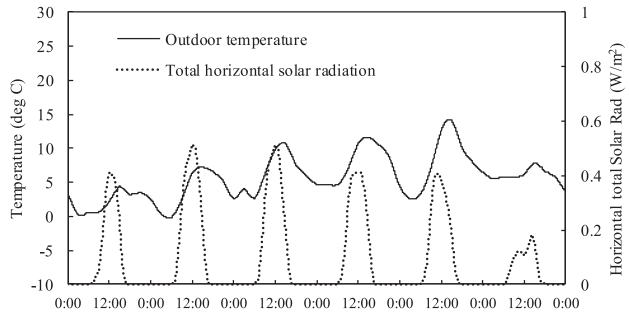


Fig-3 Outdoor temp. and horizontal total solar radiation

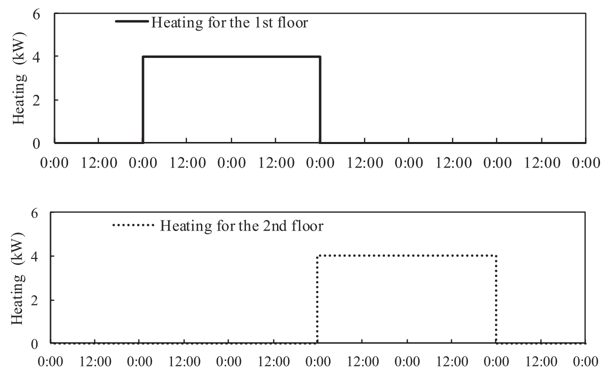


Fig-4 Heat generation in each chamber

換気量は既報と異なり，機械給排気換気を想定し，各階で約 1 回毎時をねらい，1 階が 250m^3/h，2 階は 300m^3/h の送風機風量とした．さらに変動する隙間風が加わるのは既報[32]と同様である．

伝熱・換気・ガスが連成した予測計算を熱・換気回路網計算プログラム NETS で行い，Fig-6 に建物全体の換気回数を示す．概ね 1 回毎時であるが，僅かに隙間風の分だけ大きい．また 1 階から 2 階に階段開口を経由した上昇風量を示す．全期間上昇流で下降流は生じていない．

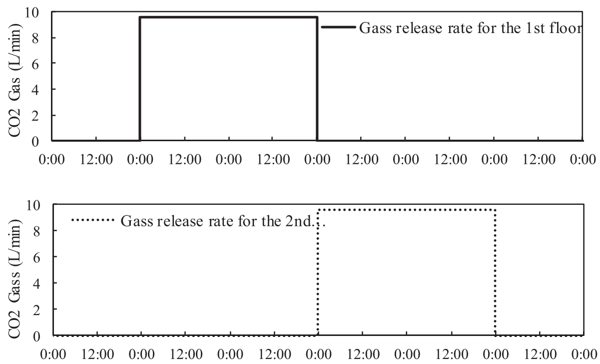


Fig-5　Carbon dioxide generation in each chamber

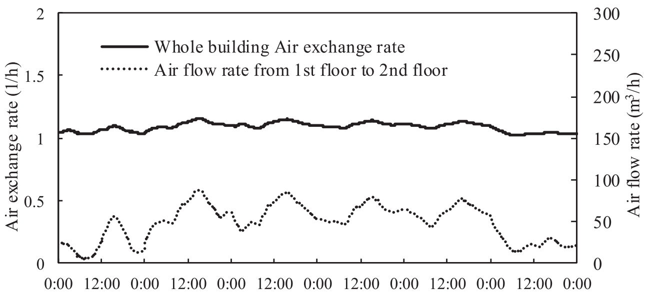


Fig-6　Whole building ventilation rate and air flow rate from first to second floor

Fig-7 に各階の炭酸ガス濃度の変化を示す．濃度は 2500ppm 以下であり，短時間の立ち入りに危害が及ぶ程の高濃度ではない．2 階は 1 階の影響を受けている．

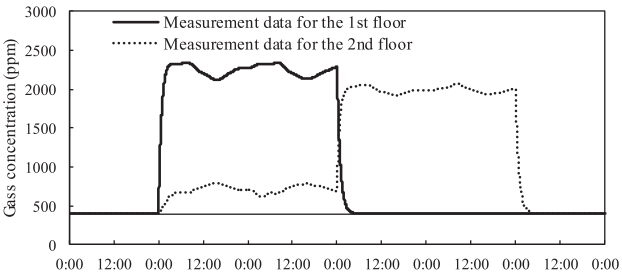


Fig-7　CO_2 concentration change in each chamber

Fig-8 には，各階の室温と，比較のために外気温の変化も示す．外気温と日射量の影響だけでなく暖房器発熱の影響の変化も表れている．

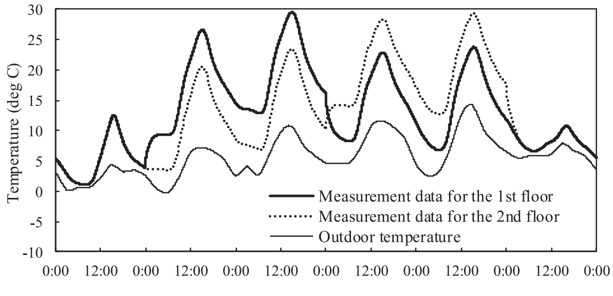


Fig-8　Temperature change in each chamber

５．システム同定と結果

以上の模擬的な測定値の中で，システム同定に用いたのは 1 月 3 日 16 時から，8 日 8 時までである．これは低周波濾波の移動平均期間の 8 時間等を考慮した．前述した数学的な計算を行う Fortran プログラムを SPID と呼び，入出力処理等を行う表計算プログラムを SPIDS と呼んでいる．Fig-9 には，伝熱系とガス移動系のシステム同定モデル図を示す．既報と伝熱系の図が異なる．ガス移動系のシステム同定で得られた風量は，伝熱系のモデル図に破線で示す既知の空気移動の一般化熱コンダクタンスとなり拘束条件の(12)式として考慮される．

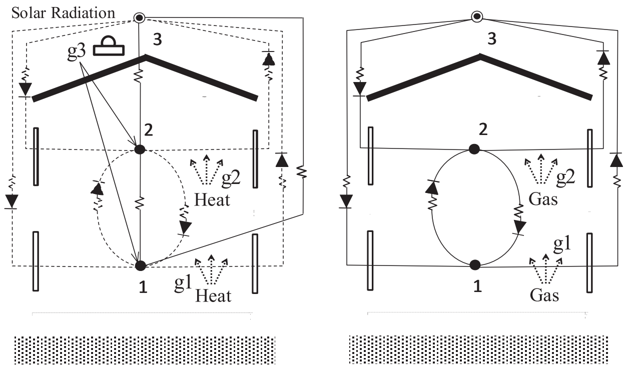


Fig-9　System identification models of heat and gas transfers

前述の改良をした SPID と SPIDS によって得られた，相当熱容量，風量，風量の一般化熱コンダクタンス，総合一般化熱コンダクタンス，貫流の一般化熱コンダクタンス，日射熱取得係数等のシステム同定結果を Table-1 から Table-6 に表す．

Table-1 は，推定された各室の相当熱容量を表す．熱回路網の連立常微分方程式の熱容量マトリックスの対角要素だけを被同定係数とした．既報[32]の値は（　）に示すが，二室合計で，既報に対し本条件では約 11%小さくなったのは，励振が正弦波形から矩形になり，発熱期間が 3 日から 2 日に短くなったからと思わる．もし励振波形や測定値の移動平均により，ゆっくりした滑らかな温度変化になれば，壁の内部の熱容量が室温へ及ぼす影響が引き出されると考えられる．

Table-1 Estimated equivalent thermal capacity *mi,j* (kJ/K) of each chamber (*i*:row, *j*:column), former results are in ( )

Chamber	1	2
1	2802 (3307)	0
2	0	3008(3244)

Table-2 はガス移動系の風量の推定結果である．各階へ与えた前述の機械換気量に，煙突効果と風圧の自然の隙間風が加わった程度の風量になっている．既報[32]では隙間風だけなので，既報の風量との比較は示さない．

Table-2　Estimated air flow rate *qi,j* (m^3/h) between chambers or outdoors (flow direction: from *j* to *i*)

Chamber	1	2	3 (outdoor)
1	0	0	310.8
2	60.83	0	300.0
3	249.9	360.9	0

Table-3 は，Table-2 の風量を，空気移動の一般化熱コンダクタンスに換算したものである．この Table-3 の一般化熱コンダクタンスにより，(12)式の拘束条件が最小二乗法に寄与する式として考慮される．

Table-3 Converted convective thermal conductance $c_p{\cdot}\rho{\cdot}q_{i,j}$ (W/K) between chambers or outdoors

Chamber	1	2	3 (outdoor)
1	0	0	104.1
2	20.38	0	100.5
3	83.73	120. 9	0

そして(9)式を非負最小二乗法で解いた一般化熱コンダクタンス $c_{i,j}$ を Table-4 に表す．結果は非対称性を持つことになる．

Table-4 Estimated generalized thermal conductance $c_{i,j}$ (W/K) between chambers or outdoors, $c_{i,j}=u_{i,j}+c_p{\cdot}\rho{\cdot}q_{i,j}$

Chamber	1	2	3 (outdoor)
1	0	186.9	290.7
2	207.3	0	297.7
3	270.3	318.1	0

壁貫流熱コンダクタンス $u_{i,j}$ は，(10)と(11)式から，Table-5 の様に計算される．これらは対称性を持つので拘束条件が適切に考慮されている．

Table-5 Estimated overall heat transmission conductance $u_{i,j}$ (W/K) between chambers or outdoors ($u_{i,j}=u_{j,i}$), former results are in ( )

Chamber	1	2	3 (outdoor)
1	0	186.9(174.4)	186.6 (207.3)
2	186.9(174.4)	0	197.2 (210.3)
3	186.6(207.3)	197.2(210.3)	0

外皮貫流は外気節点番号 3 に関するものである．また既報[32]での壁貫流分の値を( )に表す．これらは測定期間の貫流熱流を平均して得た．内外温度差を 1℃にする定常熱負荷計算も試みて，ほぼ同じ結果を得ているので，正解値と考えてよい．外皮全体では，既報に対して本条件では約 8.1%小さめの値になっている．さらに日射熱取得係数は Table-6 に表す．こちらも二室合計で既報に対し本条件は約 12%小さめの値になっている．

Table-6 Estimated coefficient $r_{i,j}$ (m^2) to chamber from heat source g3 (horizontal total solar radiation W/m^2), former results are in ( )

Chamber	$r_{i,3}$	$r_{i,3}$(m^2)
1	$r_{1,3}$	8.300 (9.871)
2	$r_{2,3}$	8.196 (8.954)

なお本条件の最小二乗法の決定係数は測定誤差を加えなかったこともあり 0.9973 と良好であった．

既報[32]との励振発熱の違いがあるが，低周波濾波の移動平均期間は同じ 8 時間である．本論では，測定法としての実用性を考慮して，測定期間は短めにするため，発熱期間を短くし，発熱量の制御も簡単な波形にしてみたが，やはりシステム同定精度の劣化が起こる様である．しかし励振の与え方ではなく，測定データの処理方法で改善をする方向を探る．

6．低周波濾波の移動平均の二重適用の検討

最小二乗法の回帰式は，拡散系の多節点モデルで，熱流収支等を記述する連立常微分方程式を，時間間隔 Δt で近似的に台形積分したものである．従って状態値の変化が激しいと誤差が大きくなる．また実際の建物の熱容量は，躯体や室空気に連続的に分布するが，数少ない節点に集中させた近似モデルにしている．こうしたことから，既報[32]では励振にゆっくり滑らかな波形を導入した．また測定値には 8 時間もの移動平均を施した．

しかし矩形波の場合は，Fig-10 に示す様に，1 回の移動平均を施しただけでは角が残る台形になる．さらに 2 回目の移動平均を施せば滑らかな曲線が得られる．

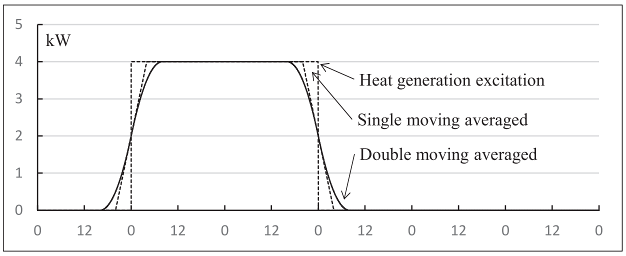


Fig-10 Double moving average effect for the excitation

移動平均の低周波濾波は全ての測定値に施す．例えば 1 階の室温について，一度の移動平均を施した場合と，二重に移動平均を施した場合の変化曲線を Fig-11 に示す．当然ながら二重移動平均により変化は均される．

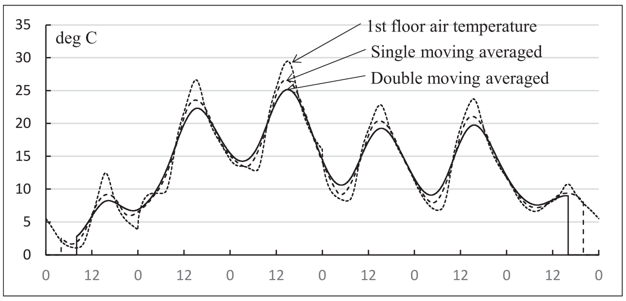


Fig-11 Double moving average effect for the 1st floor air temperature

なお移動平均期間は Δt の 1 分ずつ進めていく．各期間の平均値は，その期間の中央の時刻の値とする．従って，例えば 8 時間移動平均の場合には，1 度目の移動平均では，元の全期間の測定値の最初と最後の 4 時間が使えなくなる．2 度目の移動平均では全期間の両端が 8 時間ずつ使えなくなる．

移動平均を施しても，熱流収支等の保存則は成立する．また状態値の Δt での増分値を全期間で総和した値も同じにするため，移動平均を施す前も後も，全期間の開始と終了での状態値の差は，同程度の大きさにする．

なお移動平均期間が長くなり，極限の全期間となれば，時間変化の性状の利用ができず，被同定係数が種類も数も多い場合のシステム同定が困難になる．

7．二重の移動平均によるシステム同定結果

前節で述べた様な二重移動平均を施した場合の効果を調べた．シ

ステム同定結果 Table-7 は，推定された各室の相当熱容量を表す．既報[32]の値は（　）に示すが，二室合計値で，既報[32]に対し，差異が11%から約 7%に小さくなり改善効果が認められた．

Table-7 Using double moving average, Estimated equivalent thermal capacity *mi,j* (kJ/K) of each chamber (*i*:row, *j*:column), former results are in ( )

Chamber	1	2
1	2982 (3307)	0
2	0	3166(3244)

Table-8 は，同じく二重移動平均を施したガス移動系の測定値による風量の推定結果である．一重移動平均の場合と殆ど同じである．

Table-8 Using double moving average, Estimated air flow rate *qi,j* (m^3/h) between chambers or outdoors (flow direction: from *j* to

Chamber	1	2	3 (outdoor)
1	0	0.8758	310.8
2	61.41	0	300.0
3	250.3	360.5	0

Table-9 は，Table-8 の風量を，空気移動の一般化熱コンダクタンスに換算したものである．

Table-9 Using double moving average, Converted convective thermal conductance $c_p{\cdot}\rho{\cdot}qi,j$ (W/K) between chambers or outdoors

Chamber	1	2	3 (outdoor)
1	0	0.2934	104.1
2	20.57	0	100.5
3	83.84	120. 8	0

この Table-9 による(12)式の拘束条件を最小二乗法で考慮し，非負最小二乗法で解いた一般化熱コンダクタンス *ci,j* を Table-10 に表す．

Table-10 Using double moving average, Estimated generalized thermal conductance *ci,j* (W/K) between chambers or outdoors, $ci,j=ui,j+c_p{\cdot}\rho{\cdot}qi,j$

Chamber	1	2	3 (outdoor)
1	0	182.5	298.8
2	202.7	0	305.2
3	278.5	325.5	0

壁貫流熱コンダクタンス *ui,j* は，(10)と(11)式から，Table-11 の様に計算される．

Table-11 Using double moving average, Estimated overall heat transmission conductance *ui,j* (W/K) between chambers or outdoors (*ui,j=uj,i*), former results are in (　)

Chamber	1	2	3 (outdoor)
1	0	182.2 (174.4)	194.7 (207.3)
2	182.2(174.4)	0	204.7 (210.3)
3	194.7(207.3)	204.7 (210.3)	0

外皮貫流は外気節点番号 3 に関するものである．また既報[32]での壁貫流分の値を(　)に表す．外皮全体では，既報[32]に対して本条件では約 4.4%程小さめの値になり，一重移動平均での差異が半分に改善されている．

さらに日射熱取得係数は Table-12 に表す．こちらも二室合計で既報に対し本条件では約 5.7%小さめの値になり，一重移動平均の差異の半分に改善されている．

Table-12 Using double moving average, Estimated coefficient *ri,j* (m^2) to chamber from heat source g3 (horizontal total solar radiation W/m^2), former results are in (　)

Chamber	*ri,*3	*r i,*3(m^2)
1	*r* 1,3	8.983 (9.871)
2	*r* 2,3	8.777 (8.954)

なお本条件の最小二乗法の決定係数は，一回だけの移動平均の場合は 0.9973 であったのに対して，この二重移動平均の場合には 0.9986 と少し良くなっている．

８．三種のシステム同定の室温変化比較

一つ目の同定法は既報[32]の発熱励振が比較的に長い 3 日周期の正弦波形，二つ目は 2 日間の矩形的な発熱で，三つめは，さらに移動平均は二重に施して同定された係数で，熱回路網モデルが構成され室温変化が予測計算できる．例えば，2　階の室温について，模擬測定値と比較したグラフを作った．前述の三種のシステム同定法の夫々に対応して Fig-12，Fig-13，Fig-14 となる．温度差の違いはわずかであるが，やはり Fig-12 の場合が最も適合度が良好に見える．次に二重移動平均の Fig-14 と思われる．模擬測定値生成の熱回路網モデルの節点数は，壁体の方位別と，壁体内部の節点も含め，全部で 63 節点ある．一方，システム同定モデルは，各室の相当熱容量の 2節点だけである．しかしこの程度の一致は得られる．

９．最適減衰期間を伴う最適励振スケジュール

本論で述べた事例では，測定期間をなるべく短くしたいこともあり，隣室間でも間断なく励振を与えた．しかし換気回数の測定法でガス濃度減衰法があり，筆者が最適減衰時間の決め方[31]を導いている．そして伝熱系でも隣室間では両方ともに発熱停止期間の必要性があると思われる．伝熱系の最適室温低下期間 *Th* として．熱貫流率 *K* と面積 *A* の *K*・*A*［W/K］，相当熱容量は *M*［J/K］とすれば，既報[31]にならって次の式から停止期間 *Th* が計算できる．

$$\left(K\cdot A/M\right)\cdot T_h = 1.25 \tag{13}$$

１０．結言

多数室系での伝熱と換気性状を，同時的にシステム同定する方法を，既報[32]の方法に追加した．まず室間の風量をシステム同定してから，これを拘束条件として，非対称の一般化熱コンダクタンスをシステム同定する．そして対称性の貫流分を求める．また実用的な現場測定法とするため，灯油暖房器を用いて励振の発熱と炭酸ガス発生をする方法を考案した．既報[32]の励振は正弦波形だったが，この方法では矩形波的になり，同定精度は劣化する．そこでこれを改善するために，二重に移動平均を測定値に施す方法も考案した．これらの方法を二室モデルの計算機実験で確かめた．矩形の励振でも二重に移動平均を施してシステム同定誤差は半減できた．さらに隣室間では同時的で適切な長さの発熱停止期間を設けるのが望ましい．

【謝辞】

日本工業検査(株)の益子智久氏には，計算プログラムのコーディングと事例計算でお世話になりました．また吉浦温雅特別助教にも計算結果の図表の作成等でお世話になりました．

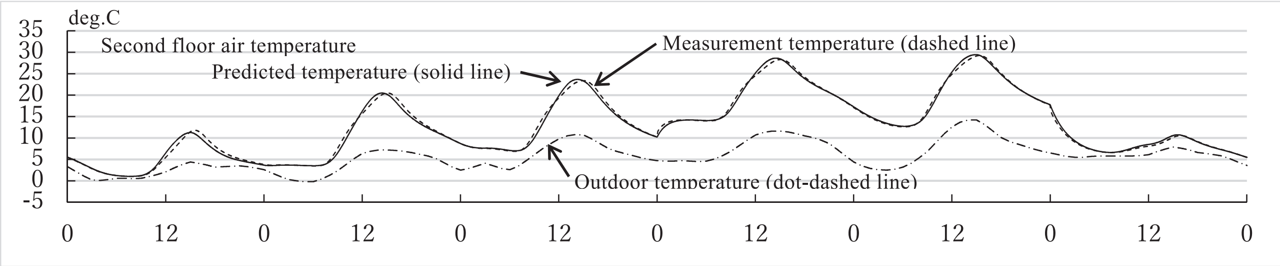


Fig-12 Former system identification model[32] made by sinusoidal excitation predicted the 2nd floor air temp and compared with measurements

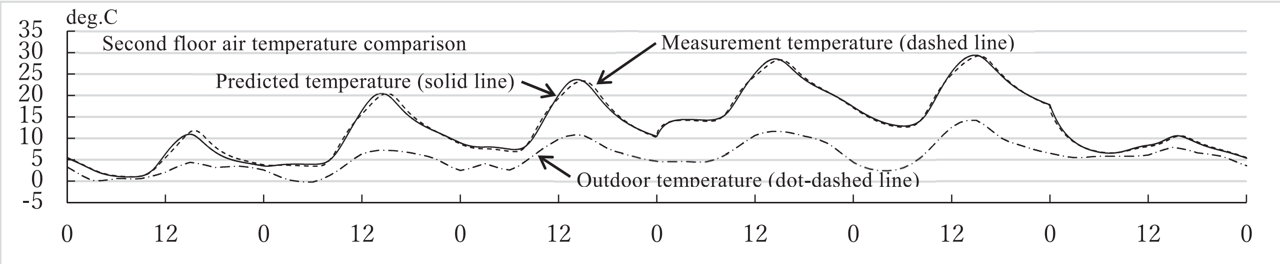


Fig-13 Single moving average used system identification model predicted the 2nd floor air temp and compared with measurements

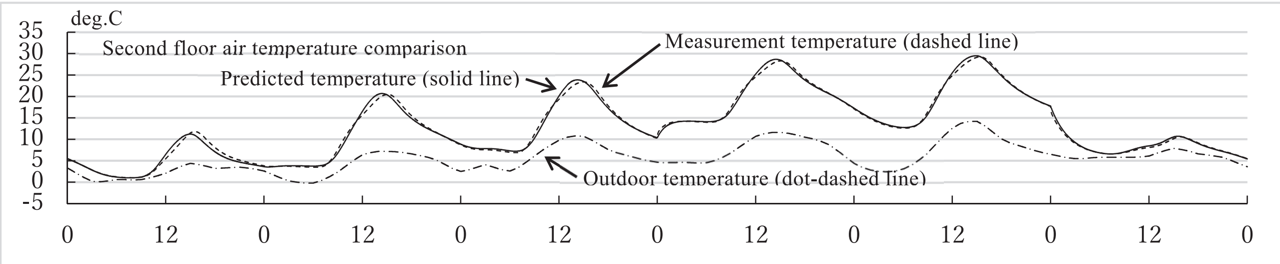


Fig-14 Double moving average used system identification model predicted the 2nd floor air temp and compared with measurements

【建築の伝熱と換気の現場測定法に関する既報の関連論文】

[1] 奥山博康，一般拡散システムの回路網による状態方程式とそのシステムパラメーターの同定理論，日本建築学会大会学術講演梗概集，511-512，1983 年 9 月

[2] 奥山博康. 一般拡散システムの回路網による状態方程式とそのシステムパラメーターの同定理論, 日本建築学会論文報告集, 344, 103-115，1984 年 10 月

[3] 奥山博康，一般拡散システムの回路網による状態方程式とそのシステムパラメーターの同定理論（その 2：有限要素法によるシステムパラメーターの逆探問題への適用）, 日本建築学会大会学術講演梗概集，657-658，1984 年 10 月

[4] 奥山博康，一般拡散システムの回路網による状態方程式とそのシステムパラメーターの同定理論（その 3：多数室換気測定システムへの適用），日本建築学会大会学術講演梗概集，409-410，1985 年 10 月

[5] 奥山博康，一般拡散システムの回路網による状態方程式とそのシステムパラメーターの同定理論（その 4：建物の熱的性能の現場測定法への適用）, 日本建築学会大会学術請演梗概集, 723-724, 1986 年 8 月

[6] 奥山博康，一般拡散システムの回路網による状態方程式とそのシステムパラメータの同定理論,（その５：多数室換気測定システムの検証実験）, 建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学, 827-828, 1988 年 10 月

[7] Hiroyasu Okuyama, System Identification Theory of the Thermal Network Model and an Application for Multi-chamber Airflow Measurement, Building and Environment, 25, (4),349-363,1990 年

[8] 奥山博康，多数室換気測定システムの新たな進展，空気調和衛生工学会学術講演会講演論文集, 1089-1092,1991 年

[9] Hiroyasu Okuyama, Recent Progress on the Multi-Chamber Airflow Measurement System, 1992 International Symposium on Room Air Convection and Ventilation Effectiveness ISRACVE, 351-356, 22-24 July 1992, Tokyo

[10] Hiroyasu Okuyama, Thermal and Airflow Network Models for Computer Simulation and Measurement in Building Multi-zone Systems, Proceedings of the 4th international symposium on Ventilation for Contaminant Control, 121-126,held in Stockholm, September 5-9, 1994

[11] 奥山博康，大西由哲，竹林芳久，鈴木道哉，長島由明，辻賢二，多数室換気測定法の理論的改良と誤差検討，空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, A-21, 525-528, 1996 年 9 月

[12] 奥山博康，梶間智明，鈴木道哉，竹林芳久，多数室換気測定法の現場測定における誤差検討，建築学会大会学術講演梗概集（環境工学 2）,613-614, 1996 年 9 月

[13] Hiroyasu Okuyama, Yoshiaki Nagashima, Kenji Tsuji, Akira Hatanaka, Error Analysis and verification of Multi-chamber Airflow Measurement, Proceedings of the 5th International Conference on Air Distribution in Rooms, ROOMVENT’96, 39-46, July 17-19,1996

[14] David Etheridge, Mats Sandberg, (Partially contribution by Hiroyasu Okuyama), Building Ventilation: Theory and Measurement, 1996, 12.5 OVERVIEW OF METHODS FOR MEASURING INTER-ZONAL AIR FLOW RATES, 607-610, John Wiley & Sons Ltd

[15] 奥山博康，澤地孝男，瀬戸裕直，大西由哲，トレーサーガスを用いた換気性状把握手法の検証と改良（その２）検証実験の結果，空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集，A-27，437-440，1997年８月

[16] 奥山博康，澤地孝男，瀬戸裕直，大西由哲，トレーサーガスを用いた換気性状把握手法の検証と改良（その１）予備実験の結果，建築学会大会学術講演梗概集（環境工学２），641-642，1997年９月

[17] 奥山博康，澤地孝男,瀬戸裕直,高橋泰雄,成田健一,岡部実,田島昌樹,尾本英晴,根本孝明，多数室換気測定法の現場測定による事例研究，建築学会大会学術講演梗概集，D-2，645-646, 2002年８月

[18] 奥山博康，澤地孝男,瀬戸裕直,高橋泰雄,成田健一,岡部実,田島昌樹,尾本英晴,根本孝明，換気測定法に関する考察と事例研究，空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集，D-38，821-824，2002年９月

[19] 奥山博康，換気を含めた熱性能指標の推定，日本建築学会・熱環境小委員会・伝熱ワーキンググループシンポジュウム「建物の熱性能とその評価-品確法・コミッショニングを視野に入れて-」，33-38，2003年03月

[20] 奥山博康,システム理論に基づく建築の伝熱･換気モデル,応用数理，日本応用数理学会編集，岩波書店，13 (1)，61-71, March 2003

[21] 奥山博康，付録C断続供給法　最小二乗によるシステム同定法で換気風量 Q と有効混合容積 Vefc を同時に求める方法と残差分析に基づく同定誤差評価方法，空気調和・衛生工学会規格，SHASE-S116-2003 トレーサーガスを用いた単一空間の換気量測定法，26-28，2004年４月

[22] 奥山博康，熱回路網モデルのシステム同定理論の展開　低次化高階微分システムの観測から元の高次状態方程式をパラメータ同定する理論への拡張，建築学会大会学術講演梗概集，D-2，863-864，2004年８月

[23] 奥山博康，熱回路網の原高次状態方程式モデルのシステムパラメータ同定を状態変数の高階微分による低次化方程式システムの観測から行う理論への展開，空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集，F-9，437-440，2004年９月

[24] 奥山博康，吉野 博，加藤信介，倉渕 隆，早川 眞，内海康雄，濃度減衰換気測定法の統計的データ分析法，建築学会大会学術講演梗概集，D-2，669-670，2007年９月

[25] 奥山博康，田辺 新一，柏原 誠一，大西 由哲，多種 PFT による多数室換気測定の統計的データ分析法，空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集，D-4，257-260，2007年９月

[26] Hiroyasu Okuyama, Yoshinori Onishi, Shin-ichi Tanabe, Seiichi Kashihara, Statistical Data Analysis Method for Multi-zonal Airflow Measurement Using Multiple Kinds of Perfluorocarbon Tracer Gas, Proceeding Ⅲ, IAQVEC,169-176, Oct.2007, Sendai, Japan

[27] Hiroyasu Okuyama, Yoshinori Onishi, Shin-ichi Tanabe, Seiichi Kashihara, Statistical Data Analysis Method for Multi-zonal Airflow Measurement Using Multiple Kinds of Perfluorocarbon Tracer Gas, Building and Environment, Volume44, Issue3, 546-557, March 2009, ISSN0360-1323

[28] 奥山博康，不偏推定を考慮した拡散系システム同定理論，日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸），環境工学Ⅱ，梗概番号 41321, 641-64, 2010年９月

[29] 奥山博康，大西由哲，不偏推定を考慮した拡散システム同定理論と事例検討，空気調和・衛生工学会大会（山口県）学術講演論文, I-71, 2519-2522, 2010年９月

[30] Hiroyasu Okuyama, Yoshinori Onishi, Reconsideration of parameter estimation and reliability evaluation methods for building airtightness measurement using fan pressurization, Building and Environment, Elsevier, 373-3844, 7 (2012)

[31] Hiroyasu Okuyama, Yoshinori Onishi, Uncertainty analysis and optimum concentration decay term for air exchange rate measurements: Estimation methods for effective volume and infiltration rate, Building and Environment, Elsevier, 182-192, 49 (2012)

[32] Hiroyasu Okuyama, Yoshinori Onishi, System parameter identification theory and uncertainty analysis methods for multi-zone building heat transfer and infiltration, Building and Environment, Elsevier, 54, 39-52, (2012)

[33] 奥山博康，多数室建物の伝熱換気のシステム同定理論と不確かさ分析法及び事例検討，空気調和衛生工学会大会・学術講演会講演論文集, J-65, 3037-3040, 2012年９月

[34] 奥山博康，住宅の熱･換気性能現場測定法の理論と可能性実験，空気調和衛生工学会大会・学術講演会講演論文集, A-62, 49-52, 2015年９月

[35] 奥山博康，住宅の伝熱と換気と気密性の現場測定法の理論と実験，空気調和・衛生工学会大会学術講演会論文集, E-9, 113-116, 2016年９月

[36] 奥山博康，移動一括最小二乗法による換気量の時間変化の測定法，日本建築学会大会学術講演梗概集, 875-876, 2017年８月

[37] 吉浦温雅，奥山博康，井出大輝，多数室建物の熱・換気性能現場測定システムの動作確認実験　その１　集合住宅における熱性能測定，D-12，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 49-52, 2019年９月

[38] 井出大輝，奥山博康，吉浦温雅，多数室建物の熱・換気性能現場測定システムの動作確認実験　その２ 集合住宅における換気性能測定，D-13，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 53-56, 2019年９月

[39] 吉浦温雅，奥山博康，中谷剛，多数室換気測定法と簡易換気測定法の実験的な研究, D-26, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 101-104, 2020年９月

[40] 藤崎詩織，奥山博康，吉浦温雅，熱回収給排気換気設備を持つ住宅での多数室換気測定法の実験, D-9, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 37-40, 2021年９月

[41] 奥山博康，益子智久，吉浦温雅，多数室住宅における伝熱・換気性能の灯油暖房器を用いた現場測定法，D-2，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 9-12, 2021年９月

9.　工学部通信

【１】 研 究 活 動

（2020 年 10 月 1 日より 2021 年 9 月 30 日までの期間に公表したものについて記す）

凡例
研究活動成果報告の分類
・研究論文Ⅰ：査読のある学会誌に掲載された研究論文
・研究論文Ⅱ：査読のある会議の会議録に掲載された研究論文
・建築作品：建築学科
・口頭発表：会議の会議録に掲載された研究論文
・学術誌：専門学術誌に掲載された論文等
・著書
・調査報告書：学会等の委員会や公的機関が公表した調査報告書、科研費の最終報告書
・講演・展示会：学会等の招待講演や基調講演、展示を含む
・助成金：科研費等
・受託研究
・特許(取得)
・特許(公開)
・海外出張：学会、国際会議の論文委員会、座長、調査等による出張
・褒賞
・学位：学位授与
・その他

機械工学科

研究論文I（レフェリー付き論文）

1. H. Ito, R. Tokunaga, S. Nogami, and M. Miura, Influence of biomass raw materials on combustion behavior of highly densified single cylindrical biomass briquette, [https://doi.org/10.1080/00102202.2020.1858286] (2020)
2. A. Takano, R. Mizukami, R. Kitamura, "Buckling of Rectangular Composite Pipes under Torsion," Applied Sciences, 11 (3), 2021.
3. A. Takano, C. Li and R. Kitamura, "Effect of Lap Length and Stiffness of Peel-Stop Fasteners in Single Lap Joints," Applied Sciences, 11 (3), 2021.
4. A. Takano, R. Kitamura, T. Masai and J. Bao, "Buckling Test of Composite Cylindrical Shells with Large Radius Thickness Ratio," Applied Sciences, 11 (2), 2021.
5. Takano, R. Kitamura, T. Masai, and S. Nishino, "Development of pre-molded internal thread on composite tubes," Composites and Advanced Materials, 30, 1–8, 2021.
6. Y. Funami, K. Uchishima, S. Homme, S. Nishino and A. Takano, "Evaluation of Hybrid Rocket Fuel Grain with Star Fractal Port Using Combustion Experiments," Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, Aerospace Technology Japan, 19 (3), 295-303, 2021.
7. T. Nagasaka, K. Takemura, K. Matsumoto and H. Katogi, Mechanical properties of jute fiber using the heat treatment method, WIT Transaction on The Built Environment, 196, 61-68 (2020).
8. K. Matsumoto, T. Nagasaka, K. Takemura and T. Tanaka, Influence of nanofiber loading and moulding conditions on the joining strength of thermoplastic composites fabricated by injection over-moulding process, WIT Transaction on The Built Environment, 196, 113-124 (2020).
9. K. Matsumoto, T. Tanaka, M. Sasada, N. Sano and K. Masuyama, A mechanism for fire retardancy realized by a combination of biofillers and ammonium polyphosphate in various polymer systems, Cellulose, 28, 3833-3846 (2021).
10. K. Matsumoto and T. Tanaka, Basic study of extensional flow mixing for the dispersion of carbon nanotubes in polypropylene by using capillary extrusion, International Polymer Processing, 36(4), 379-387 (2021).
11. Yoshihiko Haramura, Inverse heat conduction utilizing the difference method with an exact matching rule — A robustly stable and easy-to-use scheme, Thermal Science and Engineering, 29 (2), 33-43, (2021).
12. H. Mori, K. Kurihara, N. Sowa and T. Kondou, Suppression of residual vibration in nonlinear systems with temporal variation and uncertainty in parameters by elimination of the natural frequency component, Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, 143 (10), 101007 (2021).
13. 伊東弘行，宮田滉也，三浦正義，竹含有灰分の洗浄除去への洗浄条件の影響，スマートプロセス学会誌，9(6)，281-285(2020).
14. 三浦正義，趙懿斌，伊東弘行，流路内を往復振動する液柱が形成する液膜の平均厚さの予測式, 日本機械学会論文集, 87(894), 1-13 (2021).
15. 張斌，田中直人，林憲玉，"人間共存型ロボットのための衝突緩和システムに関する研究," 電気学会論文誌Ｃ（電子・情報・システム部門誌）, 141(9), 1016-1022 (2021).
16. 張斌，古川将司，林憲玉，"ニューラルネットワークを利用した 4 ロータフライングロボットの適応 PID 制御に関する研究," 電気学会論文誌Ｃ（電子・情報・システム部門誌）, 141(3), 464-470 (2021).
17. 瀬野尾幸希，江上正，体動による旋回機能を持つ倒立振子型電動車いすの開発，日本のロボット学会誌，

39(1),78-86(2021.1).
18. 小林慎也，谷田貝凌太，江上正，アイリスロボットハンドの開発，日本ロボット学会誌，39 (5), 445-454 (2021.5).
19. 高橋亮，後藤敬雄，野中祐太郎，江上正，H 型インフラ検査用クライマーの開発とその最適同期化制御，日本機械学会論文集，87(902)，(2021.9).
20. 高野敦，西野沙也佳：セパレーションナットによる低衝撃無火薬分離機構の開発：航空宇宙技術，Vol. 19, pp. 179-185, 2020.
21. 中西裕二，松井純，杉下懐夫，林義一郎，中村高紀，鈴木敏暁，鈴木良治，谷清人，水車及びポンプ水車の新しい性能換算法，ターボ機械，49 (4), 229-240 (2021).
22. 池田和正，山崎徹，解析 SEA を活用した初期設計による低周波数帯域の平均振動低減効果，日本機械学会論文集，86（891），20-00279(2020).
23. 福井拓哉，由井明紀，猪狩龍樹，北嶋孝之，研削盤砥石カバーの衝突安全性に関する研究－Solid to SPH を用いた砥石破壊解析手法の提案－, 砥粒加工学会誌, 64 (12), 624-629 (2020).
24. 福井拓也，由井明紀，山田浩之，猪狩龍樹，北嶋孝之，工作機械安全カバーの衝突安全性－ポリカーボネート製目視窓の防護性能－，砥粒加工学会誌，65 (2) 92-97 (2021).

研究論文II（レフェリー付き Proceedings）

1. B. Zhang, S. Tsuchiya and H. Lim, Development of a Lightweight Octocopter Drone for Monitoring Complex Indoor Environment, 2021 6th Asia-Pacific Conference on Intelligent Robot Systems (ACIRS), pp.1-5, (online, 2021.7).
2. Hiroki Mineshita, Takuya Otani, Masanori Sakaguchi, Yasuo Kawakami, Hun-ok Lim and Atsuo Takanishi, “Jumping Motion Generation for Humanoid Robot Using Arm Swing Effectively and Changing in Foot Contact Status,” Proceedings of the 2020 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), pp. 3823-3828, (online，2020.10).
3. S. Wakiya，S. Yamazaki，J. Kusuyama，D. Fedorynenko and Y. Nakao，Fundamental analysis on thermal characteristics of high-speed aerostatic spindle，American Society for Precision Engineering 35th Annual Meeting (2020. 10).
4. H. Kanabe, S. Ikushima, J. Kusuyama and Y. Nakao, Basic study of temperature prediction model for machine tools, Proc. of American Society for Precision Engineering 35th Annual Meeting (2020.10).
5. H. Kanabe，S. Ikushima，J. Kusuyama and Y. Nakao，Fundamental investigation for measuring heat transfer coefficients using simplified model of machine tool components, 18th International Conference on Precision Engineering (2020.11).
6. J. Kusuyama, M. Tanaka, B. Kawase and Y. Nakao, Theoretical Derivation of Mean Cutting-Point Space of Grinding Wheel, Advances in Manufacturing Technology, XXXIV15, 70-75 (2021.9).
7. Yoshihiko Haramura and Yuto Kajikawa, Development of a control system to maintain steady transition boiling, Proc. 8th European Thermal Science Conference, S7-1, (2021.9).
8. T. Ikari, M. Honda, T. Kitajima, A. Yui，Effect of grinding fluid on the grinding characteristics of CMSX, Proceedings of euspen's 21st International Conference & Exhibition, (Copenhagen, 2021.6).

口頭発表

1. 伊東弘行，奥谷海斗，岡崎将亮，三浦正義，高密度単一円柱バイオマスブリケット燃焼継続時間への構成成分の影響，熱工学コンファレンス 2020 講演論文集，F222(online，2020.10).
2. 三浦正義，趙懿斌，伊東弘行，垂直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，熱工学コンファレンス 2020 講演論文集，C214(online，2020.10).
3. 趙懿斌，伊東弘行，三浦正義，細管流路内において液柱往復振動に伴い形成される液膜の厚さ(作動流体および流路直径の影響)，第 58 回日本伝熱シンポジウム講演論文集，BPA1404(online, 2021.5).
4. 伊東弘行，岡崎将亮，奥谷海斗，三浦正義，高密度単一円柱バイオマスブリケットチャー燃焼継続時間への原材料の影響, 第 31 回環境工学総合シンポジウム 2021, 220(online，2021.7).
5. 張斌，仙石龍司，中村友昭，金子正秀，林憲玉，空間リスクマップに基づく自律移動ロボットの移動制御，ロボット学会学術講演会, 1F4-04 (online, 2021.9).
6. 張斌，平野太一，林憲玉，“マルチモーダルインタラクションに基づく外国語教育支援ロボットシステム,” ロボット学会学術講演会, 1C1-03 (online, 2021.9).
7. 張斌，田中直人，林憲玉，“ロボット衝突緩和システムの評価,” ロボット学会学術講演会, 2J2-01, (online, 2021.9).
8. 宮澤啓吾，渡部竜也，峯下弘毅，大谷拓也，川上泰雄，林憲玉，高西淳夫，“人間の特徴に着目した投球ヒューマノイドロボットの開発（第 1 報：人間と同等の出力発揮が可能な前腕部および手部機構の開発），”第 39 回日本ロボット学会学術講演会予稿集，3C1-04，(online, 2021.9).
9. 江上顕勝，伊藤柊治，宮嵜拓人，張斌，林憲玉，“小型 2 足ヒューマノイドロボットの脚部開発,” ROBOMEC2021, 1A1-D08, (online, 2021.6).
10. 中村嘉孝，山崎悠生，張斌，林憲玉，“2 足ヒューマノイドロボットの開発-上体部の設計開発-,” ROBOMEC2021, 1A1-D09, (online, 2021.6).
11. 梅宇政，莫俊杰，江上顕勝，張斌，林憲玉，“二足ヒューマノイドロボットの自動ナビゲーションに関する研究,” ROBOMEC2021, 1A1-D10, (online, 2021.6).
12. 陳展，海老塚卓，張斌，林憲玉，“パンダ型ロボットにおける感情認識及び感情表現システムの構築,” ROBOMEC2021, 2P1-C08, (online, 2021.6).
13. 金子光希，土屋秀斗，張斌，林憲玉，“夜間の屋内巡回警備を目的としたクワッドロータードローンの開発,” ROBOMEC2021, 1P3-B11, (online, 2021.6).
14. 渡部竜也，峯下弘毅，大谷拓也，川上泰雄，林憲玉，高西淳夫，“人間の特徴に着目した投球ヒューマノイドロボットの開発（第 1 報：弾性力と慣性力を利用した投球が可能な投球腕部機構の開発），”第 38 回日本ロボット学会学術講演会予稿集，2H3-04，(online, 2020.10).
15. 野中祐太郎，中村俊貴，江上正，３次元ジンバル雲台を用いた架空送電工事支援ロボットの開発, 第 53 回計測自動制御学会北海道支部学術講演会，A03 (札幌，2021. 3).
16. 高橋亮，江上正，H 型インフラ検査用クライマーの同期化制御，第 53 回計測自動制御学会北海道支部学術講演会，B06 (札幌，2021. 3).
17. 横川公平，江上正，車いすの体動による進行方向指示装置の開発，ロボティクス・メカトロニクス講演会 2021，1P1-F05(オンライン，2021.6)
18. 鹿島僚太，渡部颯太，原戸柊，江上正，アイリスハンドを

搭載したドローンの搬送物認識と制御，ロボティクス・メカトロニクス講演会 2021，1P3-B02(オンライン，2021.6)
19. 渡部颯太，谷田貝凌太，江上正，アイリス機構を応用したドローン用多指ロボットハンドの開発，ロボティクス・メカトロニクス講演会 2021，2P1-F04(オンライン，2021.6)
20. 野中祐太郎，江上正，水平移動機構を有する壁面検査用ジンバル雲台の開発，ロボティクス・メカトロニクス講演会 2021，2P2-A08(オンライン，2021.6)
21. 五十嵐裕貴，高野敦，喜多村竜太，正井卓馬，政木清考，中山昇，堤健児，下川養雄，長谷川真人，齋藤準一，Ti-6Al-4V によるハイブリッドロケット酸化剤タンクの開発計画と進捗，第 63 回構造強度に関する講演会，3A15 (2021.8，オンライン).
22. 三宅真，國廣愛彦，グエン・スアン・ミー，高野敦，三澤智也，超高速データロガーの試作開発，11th UNISEC Space Takumi Conference, UNISEC 2021-02 (2021.7，オンライン).
23. 濵崎綾子，兼頼晴香，升啓太郎，熊田光樹，船見祐揮，喜多村竜太，高野敦，ハイブリッドロケットエンジンのための亜酸化窒素の反応調査，令和 2 年度宇宙輸送シンポジウム，STCP-2019-014 (2021.1，オンライン).
24. 星拓磨，高野敦，三宅真，國廣愛彦，超小型ロケット用独立搭載型テレメトリの開発， 第 3 回 ハイブリッドロケットシンポジウム，HR-2020-01 (2020.11，オンライン).
25. Y. Funami and A. Takano, “Characteristic-Exhaust-Velocity Efficiency of Hybrid Rocket Fuel Grain with a Star-Fractal Swirl Port,” The 10th Asian Joint Conference on Propulsion and Power AJCPP2021, 4D1-3, (2021.3, Online).
26. 松本紘宜，CFRTP の軽量構造体の成形及び異種材接合技術，ナノ繊維を用いた新規接合技術，第 12 回自動車用途コンポジットシンポジウム講演論文集，K-02（基調講演）(オンライン，2020. 11).
27. 松本紘宜，竹村兼一，射出オーバーモールド成形品の界面へのナノファイバーの添加および金型ランナー形状が接合強度に与える影響，2020 年度 JCOM 若手ウェビナー【若手研究者発表セッション研究要旨集】，13-14 (オンライン，2021.12).
28. 松本紘宜，竹村兼一，木粉及びセルロース添加ポリプロピレンの 高温下におけるクリープ特性，第 24 回先端複合材料センターコロキウム，AC24-14 (オンライン，2021. 1).
29. 松本紘宜，竹村兼一， 木粉及びセルロースフィラーと難燃剤の添加がポリプロピレンのクリープ特性に与える影響，同志社大学先端複合材料研究センター 2020 年度末研究成果発表会，PS-6-5 (オンライン，2021. 2).
30. 進士和樹，寺島岳史，レーザクラッディング法による Zr 基金属ガラス表面の Cu メタライズとはんだぬれ性の改善，溶接学会全国大会（秋季），270-271 (オンライン，2021. 9).
31. 寺島岳史，進士和樹，Zr 基金属ガラスの Cu 表面改質によるはんだぬれ性の改善，日本機械学会年次大会，J043-05 (オンライン，2021. 9).
32. 高橋直樹，中尾陽一，炭素繊維強化プラスチックの加工における新しい切りくず収集方法の提案，関東学生会第６０回学生員卒業研究発表講演会，116 (2021. 3).
33. 金子拓海，山口大貴，楠山純平，中尾陽一，ビルトインモータスピンドルのフィードバック温度制御の実験的検討，関東学生会第６０回学生員卒業研究発表講演会，820 (2021. 3).
34. 楠山純平，中尾陽一，川瀬美真，金澤雅喜，石川一政，余語政輝，SiC ウェーハのロータリ研削における加工特性，2021 年度砥粒加工学会学術講演会，A03 (2021. 9).
35. 山口大貴，金子拓海，楠山純平，中尾陽一，冷却水の高精度温度制御によるビルトインモータスピンドルの熱的安定化，2021 年度砥粒加工学会学術講演会，C37 (2021. 9).
36. 髙橋直樹，楠山純平，中尾陽一，炭素繊維強化プラスチックの加工における新しい切りくず収集方法の開発，2021 年度砥粒加工学会学術講演会，C27 (2021. 9).
37. 脇谷趣聞，楠山純平，Fedorynenko Dmytro，中尾陽一，軸心水冷機構を有する高速空気静圧スピンドルの熱的安定性に関する研究，2021 年度砥粒加工学会学術講演会，C38 (2021. 9).
38. 古浦太庸，楠山純平，中尾陽一，和田弘光，鈴木直彦，金子義幸，ビルトインモータスピンドルの冷却構造設計，2021 年度精密工学会秋季大会学術講演会，D85 (2021. 9).
39. 矢野大志，西野耕一，強制対流熱伝達とふく射伝熱が高プラントル数液柱内表面張力流に及ぼす影響の数値シミュレーション，日本マイクログラビティ応用学会第 32 回学術講演会講演論文集，OR-0701 (オンライン，2020. 10).
40. T. Yano and K. Nishino, Numerical Investigation of the Effects of Convective and Radiative Heat Transfers on Steady Marangoni Convection in a High-Prandtl-Number Liquid Bridge in Microgravity, 43rd COSPAR Scientific Assembly, G0.1-0004-21 (On demand, 2021. 1).
41. 原村 嘉彦，梶川 裕登，諸隈 崇幸，温度不均一を抑えた大きな水平伝熱面における定常遷移沸騰の伝熱特性と気泡の挙動，第 58 回日本伝熱シンポジウム，A234 (郡山，2021. 5).
42. 諸隈 崇幸，加藤 一輝，木内 晋作，原村 嘉彦，エタノール水溶液のプール沸騰におけるミクロ液膜厚さの測定，第 58 回日本伝熱シンポジウム，A134 (郡山，2021. 5).
43. 諸隈 崇幸，高橋 恭平，川森 重弘，宮田 成紀，宇高 義朗，大久保 英敏，球まわりの飽和沸騰熱伝達に及ぼす冷却面材料熱伝導性の影響，2021 年度日本冷凍空調学会年次大会，A134(大岡山，2021.9).
44. 中西康介，山崎徹，栗原海，塩崎弘隆，振動エネルギー伝搬モデルにおける分系の扱いに関する検討，自動車技術会 2020 秋季大会学術講演会講演予稿集．20205156，2020-10
45. 山崎徹，白橋良宏，山内勝也，横島潤紀，辻村 壮平，自動車技術会将来の車外騒音検討委員会の概要紹介，pp.155-158，日本騒音制御工学会秋季研究発表会講演論文集，2020-11
46. 白橋良宏，山崎徹，自動車騒音規制における世界の動向と日本の状況の比較，pp.151-154，日本騒音制御工学会秋季研究発表会講演論文集，2020-11
47. 須田直樹，横島潤紀，梅﨑良樹，山崎徹，社会調査における道路交通騒音曝露量の推計，pp.155-158，日本騒音制御工学会秋季研究発表会講演論文集，2020-11
48. 横島潤紀，辻村壮平，森長誠，梅﨑良樹，山崎徹，自動車単体騒音に関する住民意識，pp.163-166，日本騒音制御工学会秋季研究発表会講演論文集，2020-11
49. 辻村壮平，森長誠，須田直樹，横島 潤紀，山崎徹，道路交通騒音に対するアノイアンスへの非音響要因の個人差に関する検討，pp.171-174，日本騒音制御工学会秋季研究発表会講演論文集，2020-11
50. 鵜嶋涼，村上和希，中村弘毅，加茂利明，早川昇邦，飯倉雅彦，山崎徹，車体制振ダンパーの減衰特性のモデル化（第 4 報）－実車体フレームの振動特性の伝達関数合成法による予測と実測－，自動車技術会 2021 春季大会学術講演会講演予稿集．20215117，2021-5
51. 栗原海，近藤孝広，森博輝，松崎健一郎，宗和伸行，固有振動数成分除去法による残留振動抑制に関する実験的検証（固有振動数の推定誤差に対するロバスト性の向上），第 31 回環境工学総合シンポジウム 講演論文集，125，2021-7

52. 浅田展立，栗原海，山崎徹，実験 SEA モデルの構築方法による入力同定結果の違い，日本機械学会年次大会 2021 講演論文集，2021-9
53. 吉田夕貴夫，山崎徹，複数現象関連モデルによる企業間設計基盤の再構築－新産業革命を起こす，次世代設計の考え方・やり方を提案，実装する提言・報告－，日本機械学会年次大会 2021 講演論文集，2021-9
54. 栗原海，山崎徹，陳冠池，厳鵬程，池田和正，解析 SEA による管路内の音響解析，日本機械学会 Dynamics and Design Conference2021 講演論文集，308，2021-9
55. 小礒翔，鈴木健児，由井明紀, 超短パルス UV レーザによるバインダレス超硬合金の微細加工に関する研究，砥粒加工学会学術講演会 ABTEC2021，A13，(大阪，2021. 9).
56. 船崎佑人，鈴木健児，由井明紀，坂本博，山本稔真，レジノイドボンドダイヤモンドホイールのブラストドレッシングに関する研究，砥粒加工学会学術講演会 ABTEC2021，B06，(大阪，2021. 9).
57. 北嶋孝之，福井拓哉，猪狩龍樹，由井明紀，研削盤砥石カバーの衝突安全性に関する研究 －円錐形砥石製飛翔体の衝突－，砥粒加工学会学術講演会 ABTEC2021，C25，(大阪，2021. 9).
58. 鈴木浩文，由井明紀，牧野俊清，森泉利之，中川恒裕，浜田晴司，超音波援用ナノインデンテーションによる微細金型の精密加工，砥粒加工学会学術講演会 ABTEC2021，B15 (大阪，2021.9).

学術誌

1. 江上正，谷村章太，野中祐太朗，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，4,127-128(2021).
2. 松本紘宜，伸長流動を用いたナノコンポジットの押出・混練分散技術，成形加工，33 (5)，151-153 (2021).
3. 原村嘉彦，酒井太誠，遷移沸騰における面内温度不均一に関する研究，日本機械学会熱工学部門ニュースレター，94, 2-10，(2021.9).
4. 山崎徹, 総論 : 振動エネルギーの伝搬に着目した騒音解析・騒音制御，騒音制御，44（3），117-121（2020）
5. 山崎徹，振動エネルギーの伝達特性に着目した音振動を伝えない筐体・システム設計手法，自動車技術，Journal of Society of Automotive Engineers of Japan，74（7），43-49,（2020）
6. 由井明紀，研究室紹介 神奈川大学 由井研究室，超音波技術，33 (5), 92-95 (2021).

調査報告書

1. 江上正，ロープテザーに対する宇宙エレベーターの姿勢制御，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 18K04031 (2021).
2. 山崎徹，令和 2 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（2021）

講演・展示会

1. 松本紘宜，伸長流動場を用いたカーボンナノチューブの混練・分散技術の開発，金沢大学　ボトムアップ型研究課題セミナー（理機 2 : 低炭素社会実現のためのエネルギー材料・プロセス・利用技術の開発）(オンライン，2021. 3).
2. 松本紘宜，伸長流動の基礎、メカニズムと混練技術への応用, 株式会社 R&D 支援センター　No.210463 (オンライン, 2021. 7).
3. 楠山純平，シリコンウェーハのロータリ研削における最適加工条件の選定, 第 154 回結晶工学分化研究会　（2021. 4）
4. 中尾陽一，スピンドル温度のフィードバック制御，第２８回研削・研磨盤の高度化専門委員会研究会（2021. 7）
5. 楠山純平，作用砥粒数の簡易的導出方法の提案，第２８回研削・研磨盤の高度化専門委員会研究会（2021. 7）
6. 中尾陽一，研究室紹介，2021 年度砥粒加工学会学術講演会（2021. 9）.
7. 山崎徹，ロードノイズを対象とした車体の振動エネルギー伝達特性による初期設計，自動車技術会シンポジウム「時代の変革期に求められる振動騒音技術」（オンライン，2021.1）
8. 山崎徹，振動エネルギー伝達特性に基づくバイクフレームの低振動構造の初期設計, 第 11 回自動車技術に関する CAE フォーラム（オンライン，2021.2）
9. 山崎徹，自動車開発の革新のための活動紹介～自動車技術会振動騒音部門委員会と形で考えないモデル研究会の取組～，モデルベース開発とモデル流通による自動車開発の革新に向けて, 自動車技術会フォーラム（オンライン, 2021.7）
10. 山崎徹，大変革時代の音振・自動車・人づくり～新たな日本の「ものづくり」提案～，自動車技術会フォーラム（オンライン，2021.7）
11. 由井明紀，水中ソーラ発電システムは SDG s の切り札となるか，神奈川大学　百人論文，(2021.7).
12. 由井明紀，ダイヤモンドの工学的魅力，神奈川大学オープンキャンパス公開講座（オンライン 2021.8）

助成金

1. 伊東弘行（代表），新規バイオマス含有金属除去手法の開発および適用条件に関する研究，令和 3 年度科学研究費補助金（継続），基盤研究 (C)，課題番号 19K12406.
2. 三浦正義（代表），伊東弘行，未利用熱エネルギーを有効利用するための自励振動ヒートパイプ型熱スイッチの開発，公益財団法人 御器谷科学技術財団, 2020 年度研究助成金.
3. 三浦正義（代表），趙懿斌，伊東弘行，流路内を往復振動する液柱が流路内壁に形成する液膜のダイナミクス，公益財団法人 不二科学技術振興財団，令和 3 年度研究助成金.
4. 張斌（代表），視覚環境を音声で表現可能な盲導犬ロボットに関する研究，立石科学技術振興財団　2021 年研究助成.
5. 高野敦（代表），船見祐揮（協力），喜多村竜太（分担），正井卓馬（分担），高燃焼効率の複合材料製超小型ハイブリッドロケットの研究および開発，令和 2 年度研究助成，公益財団法人高橋産業経済研究財団.
6. 高野敦，江上正，日比野欣也，田村忠久，清水雄輝，超高高度観測用低コストハイブリッドロケットプラットフォームの開発, 2021 年度神奈川大学共同研究奨励助成金.
7. 松本紘宜（代表），ナノ繊維の高度利用を目的としたマルチスケール複合材料の新規創製プロセスに関する研究，2021 年度神奈川大学工学研究所共同研究 A，神奈川大学工学研究所.
8. 松本紘宜（代表），ナノ繊維添加によるハイブリッド CFRTP の接合強度・耐久性発現メカニズムの解明，令和 3 年度科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金），若手研究，課題番号 21K14060.
9. 寺島岳史（代表），パルスファイバーレーザ照射による金属ガラス合金のアモルファス化および温度履歴解析，2020 年

度天田財団，一般研究開発助成，課題番号 16K06623.

10. 楠山純平（代表），同芯異径回転軸周りの圧力差を利用した新しい切くず収集機構の開発，工作機械技術振興財団 2019 年度第 41 次試験研究助成 A.
11. 楠山純平（代表），動圧軸受と転がり軸受を混成した自転車用軸受の開発，油空圧機器技術振興財団.
12. 楠山純平（代表），開発した工作機械用温度制御システムの性能評価（ビルトインモータスピンドルの温度制御）マザック財団
13. 中西裕二，矢野大志，係留されたスタビライザ付き相反転発電ユニットの姿勢制御に関する基礎的研究，令和 3 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.
14. 諸限崇幸（代表），高熱流束除熱達成に向けた気泡合体が沸騰伝熱に及ぼす影響，2019 年度科学研究費補助金，若手研究，課題番号 19K14904.
15. 原村嘉彦(代表)，諸限崇幸(分担)，限界熱流束近傍における伝熱面上の液の拡大縮小の特性とその機構，2021 年度科学研究費補助金，基盤研究（C），課題番号 21K03923.
16. 山崎徹，全周波数対応振動エネルギー伝搬解析法の開発，2020 年度調査研究助成，公益財団法人トランスコスモス財団
17. 栗原海，固有振動数成分除去法を用いた残留振動制御に関する研究，令和 3 年度科学研究費助成事業，若手研究，課題番号 21K14108.
18. 由井明紀（プロジェクトリーダー），高発電効率と汚れ防止機能を有する海中設置型高機能ソーラパネルの研究開発，令和３年度中小企業経営支援等対策費補助金（戦略的基盤技術高度化支援事業），20210329 関東第 35 号.
19. 由井明紀（研究代表者），ダイヤモンド工具によるバインダレス超硬合金のレーザ援用微細切削加工，高橋産業技術研究財団，受付番号 No.312.
20. 由井明紀（研究代表者），先鋭ダイヤモンド工具による有機ガラスの高速シェーパ加工に関する研究，大澤科学技術振興財団，一般研究開発.
21. 由井明紀（研究代表者），硬脆材料のダイヤモンド工具によるレーザ援用微細切削加工，2021 年度工学研究所プロジェクト研究 A.

受託研究

1. 江上正，架空送電工事用ロボットの開発，日本電設工業株式会社.
2. 竹村兼一（代表），松本紘宜（分担），CNF 添加 FRP 素材の疲労強度評価，トクラス株式会社
3. 中尾陽一，楠山純平，脆性材料向け低振動かつ高精度回転研磨装置の開発，不二越機械工業株式会
4. 社.
5. 山崎徹，受託研究，株式会社デンソー
6. 山崎徹，共同研究，コマツ
7. 山崎徹，研究奨学寄付金，公益社団法人次世代音振基盤技術研究会
8. 山崎徹，研究奨学寄付金，株式会社ブリヂストン
9. 栗原海，受託研究，自動車用動力伝達技術研究組合
10. 由井明紀，ブラスト技術を応用したダイヤモンド砥石のドレッシング，共同研究，株式会社 MOLDNO.

特許（取得）

1. 田中達也，荒尾与史彦，荒木邦紘，松岡敬，松本紘宜，熱溶解積層型 3 次元プリンタ用フィラメントの製造方法，特許第 6860774 号.
2. 由井明紀，水中太陽光発電システム，特許第 6872812 号.

褒賞

1. 松本紘宜，熱可塑性樹脂へのナノフィラー分散技術を用いたナノフィラー添加複合材料の高機能化に関する研究，令和２年度　日本材料学会　複合材料部門委員会　奨励賞，日本材料学会 (2021.7).
2. 高橋直樹，中尾陽一，楠山純平，工作機械技術振興財団，2020 年度第 42 次奨励賞，炭素繊維強化プラスチックの加工における新しい切りくず収集方法の提案.
3. 小高勢也，川瀬美真，楠山純平，中尾陽一，工作機械技術振興財団，2020 年度第 42 次論文賞，工作機械用温度制御システムの開発と制御性能の基礎的評価.

その他

1. 江上正，だれでも宇宙に行ける乗り物は実現できる？宇宙エレベーターの開発，Dream Navi，10 月号（2021.9）.
2. 高野敦，船見祐揮，喜多村竜太，正井卓馬，ハイブリッドロケットエンジンの軽量化，大推力化および高燃焼効率化（2019），神奈川大学工学研究，4, 65-69, 2021.
3. 正井卓馬，高野敦，喜多村竜太，超小型ロケット向け低コスト複合構造の開発，神奈川大学工学研究，4，118-119, 2021.
4. 高野敦，「神奈川大学宇宙ロケット部」活動報告（2019），4, 125-126, 2021.
5. 「神奈川大、ハイブリッドロケット実証　独自エンジン・燃料搭載」，日刊工業新聞(2021.8.24).
6. 「【エンジントラブル・コロナ禍を乗り越え】　3 年分の思い大空へ～安全･低コストのハイブリッドロケット 高度日本新に挑戦 ‼ ～」，沖縄タイムス＋プラス(2021.9.3).
7. 「夢を乗せ 飛び立て 神大製開発『ハイブリッドロケット』」，神奈川新聞(2021.9.15).
8. 「ハイブリッドロケット打ち上げへ 神奈川大が実験準備 目標は高度日本記録更新」，北羽新報(2021.9.16).
9. 「【神奈川大学】航空宇宙構造研究室（工学部 教授 高野敦）と宇宙ロケット部　3 年分の思い大空へ～安全・低コストのハイブリッドロケット 高度日本新に挑戦 ‼ ～」，沖縄の進学情報シンガク図鑑(2021.9.17).
10. 「ハイブリッドで日本記録　ロケット打ち上げ成功　神奈川大など」，時事通信，Yahoo!ニュースにて配信(2021.9.19).
11. 「環境優しいハイブリッドロケット　高度、国内記録を更新」，日本経済新聞(2021.9.19).
12. 「小型ロケット打ち上げに成功 神奈川大､国内最高高度を更新」，共同通信(2021.9.19).
13. 「小型ロケット打ち上げに成功 神奈川大､国内最高高度を更新」，熊本日日新聞社(2021.9.19).
14. 「ハイブリッドロケット、神奈川大が日本記録更新　能代で実験」，秋田魁新報(2021.9.20).
15. 「ハイブリッドロケット打ち上げ高度日本記録を更新、能代市落合浜、分離確認と回収は出来ず」，北羽新報(2021.9.20).
16. 「小型ロケット打ち上げ成功 神奈川大、高度国内最高」，南日本新聞(2021.9.20).
17. 「能代で小型ロケット打ち上げ　神奈川大、学生ら　ハイブリッド国内最高高度／秋田」，毎日新聞(2021.9.21).
18. 「＜ＢＵＳＳＳＴＯＲＹ＞ハイブリッドロケット新記録…学生たちの奮闘記」，フジテレビ「バイキングＭＯＲＥ」

(2021.9.22).
19. 「宇宙に近づく神大ロケット 民間ハイブリッド機 高度新記録」，朝日新聞神奈川県版(2021.9.28).
20. 「ハイブリッドロケット　神奈川大学が高度日本一に　3年ぶり挑戦、10Km 到達」，タウンニュース神奈川区版(2021.9.30).
21. 竹村兼一，松本紘宜，同志社大学　先端複合材料研究センター　嘱託研究員
22. 山崎徹，暮らしとお金のライフマガジン H-style，2021.5.10

電気電子情報工学科

研究論文I（レフェリー付き論文）

1. Z. ZHANG, Y. TSUJI, M. EGUCHI, C.-P. CHEN, Study on Silicon-Based Polarization Converter Using Asymmetric Slot Waveguide, IEICE TRANSACTIONS on Electronics, E103-C (11), 605-608 (2020).
2. T. Hikosaka, N. Watanabe, S. Abe, A. Nakayama, Influence of the thickness of the base Nb layer in a Josephson junction on magnetic flux trapping, Physica C: Superconductivity and its applications, Vol. 587, 1353897 (2021).
3. S. Negishi, and T. Ikegami, Robust Scheduling for Water Pumping in Water Distribution System under Uncertainty of Activating Regulation Reserves, Energies, 14(2), 302 (2021).
4. Y. Zhang, J. Li and L. Li, Time-Dependent Theme Park Routing Problem by Partheno-Genetic Algorithm, Mathematics, 8 (12), 2193 (2020).
5. 根岸信太郎，木村圭佑，鈴木郁海，池上貴志，クラスタ化した発電機起動停止計画問題に基づく広域的電力需給解析モデル，電気学会論文誌 B，141(10), 629-641 (2021).

研究論文II（レフェリー付き Proceedings）

1. Zhaoxiong Meng, Tetsuya Morizumi, Sumiko Miyata, Hirotsugu Kinoshita, Design Scheme of Perceptual Hashing based on Output of CNN for Digital Watermarking, 2021 IEEE 45th Annual Computers, Software, and Applications Conference (COMPSAC), pp.1345-1350, DOI: 10.1109/COMPSAC51774.2021.00189. (2021.7).
2. C.-P. Chen, H. Wu, T. Anada, X. Wang and Z. Ma, Theoretical Synthesis of Broadband Filters with New Coupled-Lines Units, 2021 International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology (ICMMT), (Nanjin, China, Online, 2021.5).
3. E. Katsuno, C.-P. Chen, T. Anada, S. Takeda and Z. Ma, Efficient Design and Experimental Verification of High-Q PhC BPF for mm-Wave Applications, Proc. 50th European Micro. Conf. (EuMW2020), pp. 364-367, (Online, 2021.1)
4. C.-P. Chen, E. Katsuno, H. Sun, T. Anada and X. Wang, Modified Metallic Photonic Crystal Structure for Planar Microwave Devices, 2020 IEEE Asia-Pacific Microwave Conference (APMC), pp. 893-895, (Online, 2020.12).
5. Z. Wang, N. Zhang, X. Wang, Z. Ma and C.-P. Chen, Miniaturized Horst-Type Wilkinson Power Divider with Harmonic Suppression, 2020 IEEE Asia-Pacific Microwave Conference (APMC), pp. 881-883, (Online, 2020.12).
6. N. Zhang, X. Wang, Z. Ma and C.-P. Chen, Wideband Bandpass Filter Using Coupled Lines with Multiple Transmission Poles and Good Outband Performance, 2020 IEEE Asia-Pacific Microwave Conference (APMC), pp. 884-886, (Online, 2020.12).
7. K.Hoshiba, R. Noda, T. Nakata, H. Liu, K. Senda, K. Nakadai, M. Kumon, H. G. Okuno, “Development of surface-processed low-noise propeller for search and rescue tasks with drone audition”, Quiet Drones, pp. 1-13, (2020.10)..
8. J. Li, M. Noto and Y. Zhang, Optimization Model of Takeout-Delivery Process Based on Concept of Crowdsourcing, IEEE Xplore (Proc. of Joint 11th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 21st International Symposium on Advanced Intelligent Systems, 385-390), (Online, 2020.12).
9. Y. Zhang, J. Li and L. Li, An Improved Clustering-Based Harmony Search Algorithm (IC-HS), Proc. of Intelligent Systems Conference (IntelliSys) 2021, 115-124 (Online, 2021.9).
10. N. Matsuki, Y. Iida, K. Kamada, S. Toda and T. Sato, Fabrication of Lead Halide Perovskite Thin Films by Laser Alternate Deposition: Variation of Physical Properties with Layered Structure, IEEE Xplore Proceedings, the 27th Active-Matrix Flatpanel Displays and Devices, 122-124, (Online, 2021. 7).

口頭発表

1. 呉皓, 陳春平, 穴田哲夫, 武田重喜, 同軸プローブによる電波吸収体の複素電磁パラメータの快速測定に関する一検討, 2021 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-2-30, pp.40, (オンライン，2021.9).
2. 孫航，陳春平，勝野絵里香，呉皓，穴田哲夫，減衰極を有する広帯域 BPF の理論設計に関する一検討, 信学技報，vol. 120, no. 240, MW2020-69, pp. 23-28, (オンライン，2020.11).
3. 干場功太郎，野田龍介，中田敏是，劉浩，泉田啓，中臺一博，公文誠，奥乃博，“ドローン搭載マイクロホンアレイを用いた音源探査の高精度化に向けた静音プロペラの開発”，第 38 回日本ロボット学会学術講演会, 1D3-03-1-4, (2020.10).
4. 上前舜，蛇川和紀，佐藤智夫，松本さゆり，干場功太郎，土屋健伸，遠藤信行，“傾斜を持つ鋼板に対する空間周波数フィルタを用いた非接触式超音波板厚測定手法の評価 ", 電子情報通信学会　超音波研究会, pp.18-23, (2021.3).
5. 上前舜，蛇川和紀，佐藤智夫，松本さゆり，干場功太郎，土屋健伸，遠藤信行，“空間周波数フィルタを用いた非接触式超音波板厚測定手法による厚さが一定でない鋼板の測定”海洋音響学会 2021 年度研究発表会講演論文集，pp. 25-28, (2021.5).
6. 高山蓮，平岡隆晴，豊嶋久道，取引履歴の外れ値を考慮した評価による外国為替取引システムの最適化，2021 年電子情報通信学会総合大会，ISS-A-067，(オンライン，2021.3).
7. 高山蓮，平岡隆晴，豊嶋久道，取引履歴の外れ値を考慮した評価による外国為替取引システムの最適化, 第 20 回情報科学技術フォーラム，A-017，(オンライン，2021.8).
8. 小松隆，西沢豪，中村聡, CFA 動画像データの 3D-DFT 雑音除去法の性能評価，PCSJ/IMPS2020, P2-B-4, (2020.11).
9. 平等尚貴，中村聡，小松隆，OFDM 移動受信環境下における ZF 等化の演算量軽減法，電子情報通信学会総合大会，A-9-7, (2021.3)
10. 西沢豪，小松隆，中村聡, CFA raw 動画像用 3-D MS2T-DFT の雑音除去性能評価，電子情報通信学会総合大会，D-11-7, (2021.3)
11. 吉田優太，根岸信太郎，池上貴志，年間にわたるエネルギー貯蔵最適運用を考慮した電力需給解析モデルの開発，令

和 3 年電気学会電力・エネルギー部門大会，128, (オンライン，2021.8).

12. 金丸竣，宮崎梓，根岸信太郎，池上貴志，長期的な電力市場の変化を考慮した地域エネルギーシステム最適設備計画モデルの構築，令和 3 年電気学会電力・エネルギー部門大会，174, (オンライン，2021.8).
13. 秋本勇士，根岸信太郎，池上貴志，上水道システムの運用制御による電力系統への需給調整力提供効果の評価，令和 3 年電気学会電力･エネルギー部門大会, 177, (オンライン，2021.8).
14. 中川太一, PC パーツのスペックと消費電力を考慮した最適セットアップ提案システム, 第 11 回電気学会東京支部学生研究発表会，1-6, (オンライン，2021.9).
15. 藤井正輝，最適潮流計算モデルに基づく配電網のエネルギーデバイス運用の最適化, 第 11 回電気学会東京支部学生研究発表会，2-5, (オンライン，2021.9).
16. 小西澪矢, 調整力を提供する太陽光発電の計画発電モデル, 第 11 回電気学会東京支部学生研究発表会，3-1, (オンライン，2021.9).
17. 大財光貴，複数地域のエネルギーミックス最適化モデル, 第 11 回電気学会東京支部学生研究発表会，4-5, (オンライン，2021.9).
18. 谷口領皇，一般家庭の需要家側機器を活用した仮想発電所（VPP）の運用最適化モデル，第 11 回電気学会東京支部学生研究発表会，5-14, (オンライン，2021.9).
19. 前久保拓也，一般家庭における電力需要と給湯需要の確率モデルに関する研究, 第 11 回電気学会東京支部学生研究発表会，6-15,　(オンライン，2021.9).
20. 鈴木拓真，太陽光発電設備と蓄電池を併設した電気自動車スタンドの設備容量最適化, 第 11 回電気学会東京支部学生研究発表会，7-4,　(オンライン，2021.9).
21. 田村純一，李嘉誠，能登正人：Half Field Offense における探索ボーナス生成手法の検討, 情報処理学会第 83 回全国大会，2R-04,　(オンライン，2021.3).
22. N. Matsuki, K. Ogawa, E. Tamechika, A. Masuda, Gender Equality in the Field of Applied Physics in Japan: Clarification of Issues and Design of Policy Based on Statistical Data, The 7th IUPAP International Conference on Women in Physics, Paper Session 3- No. 210, International Union of Pure and Applied Physics, (Online, 2021.7).
23. N. Matsuki, Study on Solid-Phase Reaction of Lead Halide Perovskite Multilayers Fabricated Via Infrared Laser Molecular Beam Deposition, The 30th International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-30) & Global Photovoltaic Conference 2020 (GPVC 2020), T5-06-OP-7, (Online, 2020.11).
24. [Invited] N. Matsuki, Y. Iida, Y. Abe, T. Sato, Interlayer Solid-Phase Reaction in Halide Perovskite Thin Films Fabricated Via Alternate Infrared Laser Deposition, PRiME 2020 (Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid State Science), H02-1860, (Online, 2020.10).
25. 飯田裕貴，鎌田光貴，戸田昇太郎，佐藤知正，松木伸行，レーザー交互堆積ハライドペロブスカイト：交互積層構造と分解耐性との相関，第 82 回 応用物理学会秋季学術講演会，11p-N322-1，(オンライン, 2021.9).
26. 飯田裕貴，鎌田光貴，戸田昇太郎，佐藤知正，松木伸行，レーザー交互堆積 CH3NH3PbI3 における正方晶・直方晶混晶構造, 第 68 回 応用物理学会春季学術講演会, 16p-Z20-4, (オンライン, 2021.3).

学術誌

1. 干場功太郎，The 23rd International Congress on Acoustic (ICA2019)報告，海洋音響学会誌，47 (4), 167-171 (2020).
2. 土屋健伸，第 28 回海洋工学シンポジウム報告，海洋音響学会誌，48 (1), 32-35 (2021).
3. 土屋健伸，水中可視化用音響レンズの特性，海洋音響学会誌，48 (3), 127-135 (2021).
4. 根岸信太郎，用語解説（第 122 回テーマ：コピュラ），電気学会電力・エネルギー部門ニュースレター，141(5)，NL5_6 (2021).

調査報告書

1. 海洋音響学会編，海中音の計測手法・評価手法のガイダンス (2021.3).
2. 松木伸行，水素化アモルファスシリコン／結晶シリコンヘテロ接合太陽電池の陽電子消滅法に基づく界面近傍微細構造評価，神奈川大学工学研究，4，55-57, (2020).
3. 松木伸行，光学特性測定システム，神奈川大学工学研究，4, 59-61, (2020).
4. 松木伸行，有賀克彦，小野晶，亀山敦，佐藤知正，山口栄雄，横澤勉，DNA のレーザー分子線堆積に基づくニューパラダイム：新奇ハイブリッド薄膜材料の創製，神奈川大学工学研究，4，70-74, (2020).

講演・展示会

1. 陳研究室，Microwave Workshops & Exhibition 2020(MWE2020) 出展 (オンライン開催，2020.11).
2. 土屋健伸，水中可視化用音響レンズの特性，第 52 回海洋工学パネル (東京，2021. 3).
3. 土屋健伸，洋上風力発電海域を想定した浅海域での音波伝搬, 2021 年度海洋音響学会第 1 回シンポジウム(東京, 2021. 3).

助成金

1. 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 30 年度年度科学研究費助成金･基盤研究(C)，課題番号 16K06320.
2. 土屋健伸（代表），光・電磁波および超音波による先端的なセンサー技術の開発，神奈川大学共同研究奨励助成金（2020）.
3. 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，科学研究費補助金，基盤研究（B）2018 年 4 月～2021 年 3 月（2022 年 3 月まで延長）

受託研究

1. 中村聡，“放送用周波数を有効活用する技術方策に関する調査検討”，一般社団法人　放送サービス高度化推進協会（2021 年度）
2. 松木伸行，再生可能エネルギー分野への静電塗布工法応用開発，ナガセテクノエンジニアリング株式会社.

褒賞

1. 孫航，2020 年度マイクロ波研究会・学生研究発表奨励賞，電子情報通信学会・マイクロ波研究会（2021.3）

2. 千場 功太郎「第 16 回競基弘賞技術業績賞」国際レスキューシステム研究機構 (2021. 1).
3. 根岸信太郎，電気学会電力系統技術委員会奨励賞 (2021.3).
4. 田村純一，李嘉誠，能登正人：Half Field Offense における探索ボーナス生成手法の検討，学生奨励賞，情報処理学会第 83 回全国大会, (2021.3).

その他

1. 松木伸行，有害な紫外線をカットし，発電もする窓ガラスとは，夢ナビ No. 10534, テレメール進学サイト.

物質生命化学科

研究論文I（レフェリー付き論文）

1. N. Kikuta, T. Shindo, Y. Sugiyama, T. Yamada and S. Okamoto, Cobalt-Catalyzed [2+2+2] Cycloaddition Polymerization of Diyne and Internal Alkyne Monomers to Highly Branched Polymers, Polymer, 212, 123133 (2021).
2. S. Okamoto, T. Yamada, T. Uchida, N. Kikuta and Y. Kimura, Dual-Mode Coupling Copolymerization of Aryl Dialdehyde and Alkynylaldehyde Monomers Via Concurrent McMurry Olefination and Alkyne [2+2+2] Cycloaddition Trimerization Reactions Mediated by A Low-Valent Titanium Reagent, Polymer, 214, 123344 (2021).
3. S. Takahashi, A. Kimishima, T. Hirose, T. Yamada, A. Sugawara, T. Shirahata, Y. Noguchi, M. Iwatsuki, R. Hokari, A. Ishiyama, Y. Kobayashi and T. Sunazuka, Unified Enantioselective Total Synthesis of 3,6-Dioxygenated diketopiperazine (DKP) Natural Products, Diatretol and Lepistamide A, B and C, Tetrahedron Letters, 67, 152895 (2021).
4. A. Sugawara, H. Takada, T. Hirose, A. Kimishima, T. Yamada, M. Toda, T. Kojima, T. Matsumaru and T. Sunazuka, Pd-catalyzed Regio- and Stereoselective Hydrostannylation of an Alkyl Ethynyl Ether/One-Pot Stille Coupling Enable the Synthesis of 14-Membered Macrolactone of Luminamicin, Organic Letters, 23, 1758-1763 (2021).
5. T, Yamada, Y. Watanabe and S. Okamoto, 6-Halo-2-pyridone as an efficient organocatalyst for ester aminolysis, RSC Advances, 11, 24588-24593 (2021).
6. T. Yamada, K. Arai, R. Kikuchi and S. Okamoto, Deuteration of Indole Compounds: Synthesis of Deuterated Auxins, Indole-3-acetic Acid-d5 and Indole-3-butyric Acid-d5, ACS Omega, 6, 19956-19963 (2021).
7. S. Okamoto, Y. Naito, R. Nomura, Synthesis of Folded H-Stacking Skipped p-polymers consisting of different 2-substituted trimethylene tethering units and their optical and conductive property, Polymer, 230, 124037 (2021).
8. T. Dairaku, R. Kawai, T. Kanaba, T. Ono, K. Yoshida, H. Sato, K. Nozawa-Kumada, Y. Kondo, J. Kondo, A. Ono, Y. Tanaka, and Y. Kashiwagi, “Effect of cytosine–Ag+–cytosine base pairing on the redox potential of the Ag+/Ag couple and the chemical reduction of Ag+ to Ag by tetrathiafulvalene” Dalton Trans, 2021, 50, 7633-7639. DOI: 10.1039/d1dt00975c.
9. T. Funai, C. Tagawa, O. Nakagawa, S.-I, Wada, A. Ono and H. Urata “Enzymatic formation of consecutive thymine-HgII-thymine base pairs by DNA polymerases”Chem. Commun., 2020, 56, 12025-12028. https://doi.org/10.1039/D0CC04423G.
10. S. Kusumoto, H. Umeno, Y. Kim, M. Nakamura and S. Hayami, "Structural and Magnetic Characterization of Homo- and Heterometallic Trinuclear Ni(II) and Cu(II) Clusters with N_2O_6 Acyclic Polydentate Ligand", Chemistry Letters, 2021, in Press.
11. S. Kusumoto, A. Sugimoto, D. Kosumi, Y. Kim, M. Nakamura and S. Hayami, "A plastically bendable and polar organic crystal", CrystEngComm, 2021, 2021,23, 5560-5563.
12. A. Hara, S. Kusumoto, Y. Sekine, J. Harrowfield, Y. Kim, S. Hayami and M. Nakamura, "1D Mn(III) Coordination Polymers Exhibiting Chiral Symmetry Breaking and Weak Ferromagnetism", Dalton Transactions, 2021, 16, 5428-5432.
13. Y. H. Lee, J. Y. Kim, S. Kusumoto, H. Ohmagari, M. Hasegawa, P. Thuery, J. Harrowfield, S. Hayami and Y. Kim, "Functionalised terpyridines and their metal complexes - solid state interactions", Chemistry, 2021, 3, 199-227.
14. T. Kuramitsu, S. Kusumoto, H. Ohmagari, M. Hasegawa, P. Thuery, Y. Kim, S. Hayami and M. Nakamura, "Coordinated halide and pseudo halide-dependent structures and photoluminescence of defective double cubane Zn(II) clusters", European Journal of Inorganic Chemistry, 2021, 46, pp1160-1164.
15. S. Kusumoto, A. Sugimoto, Y. Zhang, Y. Kim, M. Nakamura, L. F. Lindoy and S. Hayami, "Elastic Crystalline Fibres Composed of Ni(II) Complex", Inorganic Chemistry, 2021, 60, 1294-1298.
16. P. Thuery, Y. Atoini, S. Kusumoto, S. Hayami, Y. Kim, J. Harrowfield, “Optimizing Photoluminescence Quantum Yields in Uranyl Dicarboxylate Complexes", European Journal of Inorganic Chemistry, 2020, 1160-1164.
17. Yuji Masubuchi, Naoki Sada, Yoshiteru Kawahara, Kenji Arai, Teruki Motohashi, and Mikio Higuchi, Low temperature synthesis of barium oxynitridosilicates using $BaCN_2$ and SiO_2, *Dalton Transactions* **50**, 5883-5889 (2021).
18. Saburo Hosokawa, Yudai Oshino, Toyokazu Tanabe, Hiroaki Koga, Kosuke Beppu, Hiroyuki Asakura, Kentaro Teramura, Teruki Motohashi, Mitsutaka Okumura, and Tsunehiro Tanaka, Strong Metal–Support Interaction in Pd/$Ca_2AlMnO_{5+\delta}$: Catalytic NO Reduction over Mn-Doped CaO Shell, *ACS Catalysis* **11**, 7996-8003 (2021).
19. Hiroshi Okamoto, Takanobu Kajino, Hiroaki Yoto, Kazuki Tamai, Yuji Yoshiyama, Saburo Hosokawa, Tsunehiro Tanaka, Takaki Yamada, and Teruki Motohashi, Low-Temperature NO_x Storage Capability of $YBaCo_4O_{7+\delta}$ Originating from Large Oxygen Nonstoichiometry, *Industrial & Engineering Chemistry Research* **60**, 9817-9823 (2021).
20. Yusuke Chiba, Kengo Shibata, Hiroshi Takatsu, Kotaro Fujii, Miwa Saito, Hiroshi Kageyama, Kazuhiko Maeda, Masatomo Yashima, and Teruki Motohashi, Electrochemical Crystal Growth of Titanium Oxyfluorides—A Strategy for Development of Electron-Doped Materials, *Inorganic Chemistry* **60**, 14613-14621 (2021).
21. Tingru Chen, Takuya Hasegawa, Yusuke Asakura, Masato Kakihana, and Teruki Motohashi, and Shu Yin, Improvement of the Oxygen Storage/Release Speed of $YBaCo_4O_{7+\delta}$ Synthesized by a Glycine-Complex Decomposition Method, *ACS Applied Materials & Interfaces* **13**, 51008-51017 (2021).
22. K. Ozaki, A. Jinno, N. Natsume, S. Sumimoto, A. Iwasaki, K. Suenaga and T. Teruya. Komesuamide and odopenicillatamide, two linear lipopeptides from the marine cyanobacterium *Caldora penicillate*. *Tetrahedron*, **2021**, 85, 131969.

23. H. Nuryadi, S. Sumimoto, T. Teruya, K. Suenaga and S. Suda. Characterization of Macroscopic Colony-Forming Filamentous Cyanobacteria from Okinawan Coasts as Potential Sources of Bioactive Compounds. *J. Mar. Biotechnol.*, **2020**, 22, 824–835.
24. K. Hirooka, S. Shioda, and M. Okada. Identification of critical residues for the catalytic activity of ComQ, a *Bacillus* prenylation enzyme for quorum sensing, by using a simple bioassay system. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **2020**, 84(2), 347–357.
25. C. Yang, Q. Zhu, M. Sadakane, Z. Zhang, Y. Li and W. Ueda, Vanadium-Enhanced Intramolecular Redox Property of a Transition-Metal Oxide Molecular Wire, Inorg. Chem., 59, 16557−16566 (2020).
26. C. Chen, W. Zeng, Q. Zhu, Z. Zhang, Y. Li and W. Ueda, Zeolitic octahedral metal oxide-based membranes for pervaporative desalination of concentrated brines, Chem. Commun., 57,2420-2423 (2021).
27. T. Taher, A. Yoshida, A. Lesbani, I. Kurnia, G. Guan, A. Abudula and W. Ueda, Adsorptive removal and photocatalytic decomposition of cationic dyes on niobium oxide with deformed orthorhombic structure, J. Hazard. Mater., 415, 125635 (2021).
28. T. Murayama, S. Ishikawa, N. Hiyoshi, Y. Goto, Z. Zhang, T. Toyao, K. Shimizu, S. Lee and W. Ueda, High dimensionally structured W-V oxides as highly effective catalysts for selective oxidation of toluene, Catal. Today 363, 60-66 (2021).
29. Y. Inomata, H. Kubota, S. Hata, E. Kiyonaga, K. Morita, K. Yoshida, N. Sakaguchi, T. Toyao, K. Shimizu, S. Ishikawa, W. Ueda, M. Haruta and T. Murayama, Bulk tungsten-substituted vanadium oxide for low-temperature NOx removal in the presence of water, Nat. Commun. 12, 557 (2021).
30. M. Tao, S. Ishikawa, T. Murayama, Y. Inomata, A. Kamiyama and W. Ueda, Synthesis of Zeolitic Mo-Doped Vanadotungstates and Their Catalytic Activity for Low-Temperature NH3-SCR, Inorg. Chem., 60, 5081-5086 (2021).
31. Q. Zhu, S. Yin, M. Zhou, J. Wang, C. Chen, P. Hu, X. Jiang, Z. Zhang, Y. Li and W. Ueda, Aerobic Alcohol Oxidation by a Zeolitic Octahedral Metal Oxide based on Iron Vanadomolybdates Under Mild Conditions, ChemCatChem, 13, 1763-1771 (2021).
32. K. Shimoda, S. Ishikawa, K. Matsumoto, M. Miyasawa, M. Takebe, Riku Matsumoto, S. Lee and W. Ueda, Nb V Mixed Oxide with a Random Assembly of Pentagonal Units: A Catalyst for Oxidative Dehydrogenation of Ethane and Propane, ChemCatChem, 13, 3132-3139 (2021).
33. S. Ishikawa, Y. Yamada, N. Kashio, N. Noda, K. Shimoda, M. Hayashi, T. Murayama and W. Ueda, True Catalytically Active Structure in Mo−V-Based Mixed Oxide Catalysts for Selective Oxidation of Acrolein, ACS Catal., 11, 10294-10307. (2021)
34. J. Wang, Q. Zhu, Z. Zhang, M. Sadakane, Y. Li and W. Ueda, Zeolitic Octahedral Metal Oxideswith Ultra-SmallMicropores for C2 HydrocarbonSeparation, Angew. Chem. Int. Ed., 60, 18328-18334 (2021).
35. Haruka Takebuchi, Ren-Hua Jin, "A Unique Nano-Capsule Possessing Inner Thermo-Responsive Surface Prepared from a Toothbrush-Like Comb−Coil Block Copolymer", ***Macromol. Chem. Phys.***, **222**, 2100174 (pp1-8) (2021) (selected as front cover page), DOI: 10.1002/macp.202100174.
36. Wen-Li Wang, Ren-Hua Jin, "Novel Process to Conductive Silver Nanowires Film via Simple Evaporative Crystallization of Silver Acetate/Polymer Solution on Substrates", ***Adv. Mater. Interfaces***, **8**, 2002001 (pp1-8) (2021). (selected as inside cover page) DOI: 10.1002/admi.202002001.
37. Seiji Tsunega, Ren-Hua Jin, "Chiroptical Cross-Linked Polymers Grown via Radical Polymerization around Chiral Nano-Silica", ***Macromol. Chem. Phys.***, **222**, 2000436 (pp1-9) (2021). (selected as front cover page) DOI: 10.1002/macp.202000436.
38. Wen-Li Wang, Ren-Hua Jin, "Synthesis and self-assembly of amphiphilic comb-copolymers possessing polyethyleneimine and its derivatives: Site-selective formation of loop-cluster covered vesicles and flower micelles", ***Polymer***, **212**, 123239 (pp1-11) (2021). doi.org/10.1016/j.polymer.2020.123289
39. Huanjun Kong, Xueping Sun, Liu Yang, Xinling Liu, Haifeng Yang and Ren-Hua Jin, "Chirality detection by Raman spectroscopy: the case of enantioselective interactions between amino acids and polymer-modified chiral silica", ***Anal. Chem***. 92, 14292-14296 (2020). doi:10.1021/acs.analchem.0c03286
40. T. Izumi, N. Matsuba, J. Nakazawa and S. Hikichi, Aliphatic C–H hydroxylation activity and durability of a nickel complex catalyst according to the molecular structure of the bis(oxazoline) ligands, Molecular Catalysis, 511, 111718 (2021).
41. H. Komatsuzaki, K. Ohira, S. Tadokoro, Y. Yamazaki, H. Oouchi, M. Satoh, T. Agou, Y. Tanaka, M. Akita, J. Nakazawa and S. Hikichi, Synthesis, structural characterization, and reactivity of a dinuclear cobalt(II) (μ-hydroxo)(μ-pyrazolato) complex based on a hydrotris(pyrazolyl)borate ligand, Inorg. Chim. Acta, 527, 120533 (2021).
42. Takushi Shimane, Tsukasa Watanabe, Nohara Yokota, Futoshi Matsumoto, Manabu Tanaka, Hiroyoshi Kawakami,Secondary battery Performance of Solid Polymer Electrolyte membrances Based on Lithium Ion Conductive Polyimide Nanofibers, J. Photopolym. Sci. Technol., 33(3), 321-325 (2020).
43. Toyokazu Tanabe, Tatsuhiro Tanikawa, Katsutoshi Nakamori, Shigenori Ueda, Ben Nanzai, Yasuo Matsubara, Futoshi Matsumoto, Solar hydrogen evolution over native visible-light-driven Sn_3O_4, Int. J. Hydrog. Energy, 45, 28607-28615 (2020).
44. 林遥介, 水品愛都, 横井健人, 河合陽賢, 郡司貴雄, 松本太, 無電解めっき法を用いた Fe 基板への Sn 高含有(> 30 at.%) Ni-Sn 薄膜の作製 (2) ～錯化剤および浴の安定化に関する検討～, 表面技術協会誌, 71(11), 708-714 (2020).
45. T. Gunji, H. Ochiai, T. Ohira, Y. Liu, Y. Nakajima, F. Matsumoto, Preparation of Various Pd-based Alloys for Electrocatalytic CO_2 Reduction Reaction - Selectivity Depending on Secondary Elements -, Chem. Mater., 32, 16, 6855-6863 (2020).
46. 田中詩乃, 加藤友人, 渡邊秀人, 吉田曉弘, 郡司貴雄, 松本太 Cu 配線上への無電解パラジウム/金めっきに及ぼす Pd 触媒付与溶液中の添加剤の影響, 表面技術協会誌,72(1), 43-49 (2021).
47. Depeng Song, Xiaolin Sun, Quanhai Niu, Qing Zhao, Cheng Wang, Li Yang, Yue Wu, Minmin Li, Takeo Ohsaka, Futoshi Matsumotoc, Jianfei Wu, High-Efficiency Electrolyte for Li-Rich Cathode Materials Achieving Enhanced Cycle Stability and Suppressed Voltage Fading Capable of Practical Applications on a Li-Ion Battery, ACS Appl. Mater. Interfaces, 12, 44, 49666-49679 (2020).
48. Fumihiro Nomura, Tatsuya Watanabe, Hiroya Ochiai, Takao Gunji, Takeshi Hagiwara, Jianfei Wu, Futoshi Matsumoto, Effect of the Cooling Process on the Structure and Charge/Discharge Capacities of Li-rich Solid-Solution Layered

Oxide Cathode Materials for Li-Ion Battery, RSC Advances, 11, 1715-1728 (2021).
49. Cheng Wang, Xiaolin Sun, Li Yang, Depeng Song, Yue Wu, Takeo Ohsaka, Futoshi Matsumoto, Jianfei Wu, In Situ Ion-Conducting Protective Layer Strategy to Stable Lithium Metal Anode for All-Solid-State Sulfide-Based Lithium Metal Batteries, Adv. Mater. Interfaces, 2001698 (2020).
50. 水品愛都，角井大暉，安藤風馬，河合陽賢，郡司貴雄，松本太，Sn 高含有無電解 Ni-Sn めっき膜の次亜塩素酸ナトリウム水溶液に対する耐性に関する検討 ，表面技術協会誌,72(5), 303-305 (2021).
51. Takao Gunji, Yumi Umehashi, Hiroki Tsunoi, Kento Yokoi, Akimasa Kawai, Futoshi Matsumoto, Preparation of Chemical-resistant Atomically Ordered Sn-Ni Alloy Films by Electroless Plating, J. Alloys Compd., 877, 160100 (2021).
52. Fuma Ando, Takao Gunji, Toyokazu Tanabe, Isao Fukano, Héctor D. Abruña, Jianfei Wu, Takeo Ohsaka, Futoshi Matsumoto, Enhancement of Oxygen Reduction Reaction Activity of Pt by Tuning its d-Band Center via Transition Metal Oxide Support Interactions, ACS Catalysis, 11, 9317-9332 (2021).
53. Toyokazu Tanabe, Katsutoshi Nakamori, Tatsuhiro Tanikawa, Yasuo Matsubara, Futoshi Matsumoto, Ultrathin nanosheet Sn_3O_4 for highly effective hydrogen evolution under visi- ble light, Journal of Photochemistry & Photobiology, A: Chemistry, 420, 113486 (2021).
54. T. Yokozawa and Y. Ohta, Nonstoichiometric Suzuki-Miyaura Polycondensation for the Synthesis of Aromatic Polymers, Polym. Sci., Series C, 62 (2), 78-89 (2020).
55. T. Katoh, Y. Ogawa, Y. Ohta and T. Yokozawa, Synthesis of Polyester by Means of Polycondensation of Diol Ester an of Diol Ester and Dicarboxylic Acid Ester through Ester-Ester, J. Polym. Sci., 59 (9), 787-797 (2021).
56. 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).
57. 横澤勉, 太田佳宏, Pd 触媒の分子内移動を利用した非等モル下鈴木ー宮浦重縮合による鎖状および環状芳香族ポリマーの合成, 有機合成化学協会誌, 79(5), 449-456 (2021).

口頭発表

1. 杉浦恭介，片岡利介，犬束学，池原飛之，結晶性/非晶性グラフトコポリマーの結晶化に対する非晶性グラフト鎖の影響, 第 70 回高分子学会年次大会, Polymer Preprints, Japan, 70 (1), 1Pd030 (オンライン，2021. 5).
2. 手賀雄大，犬束学，池原飛之，シリコン基板にグラフトされた poly(ε-caprolactone)の分子量と結晶化挙動，Polymer Preprints, Japan, 70 (1), 1Pd032 (オンライン，2021. 5).
3. 手賀雄大，犬束学，原秀太，池原飛之，シリコン基板にグラフトされた poly(ε-caprolactone)の結晶化と分子量の関係，第 70 回高分子討論会，Polymer Preprints, Japan, 70 (2), 2Pe023 (オンライン，2021. 9).
4. 山田健, 豊島郁哉, 岡本専太郎，3,5,6-トリフルオロ-2-ピリドンを共役酸塩基触媒に用いた 2-イソシアノエチルインドールの Interrupted Passerini 反応，第 47 回 反応と合成の進歩シンポジウム，講演番号 1P97（オンライン，2021.10）.
5. 岡部優作，山田健，岡本専太郎，1,6-ジインの Ni 触媒環化付加重合, 日本化学会第 101 春季年会，講演番号 P02-2vn-02（オンライン，2021.3）.
6. 荒井一輝，山田健，中川理絵，岡本専太郎，重水素化インドール誘導体の実用的合成, 日本化学会第 101 春季年会，講演番号 P02-2pm-15（オンライン，2021.3）
7. 山田健，名倉陸，三浦隆靖，岡本専太郎，NHC-Zn 触媒を用いたアリル位アルキル化反応，日本化学会第 101 春季年会，講演番号 P02-2am-15（オンライン，2021.3）.
8. 田口崇頌，山田健，矢田龍一郎，岩崎祐紀，岡本専太郎，1,3-ジフェニルプロパンを骨格とするエキシマー発光分子の開発，日本化学会第 101 春季年会，講演番号 P02-2vn-05（オンライン，2021.3）
9. 山田健，渡辺裕介，岡本専太郎，6-クロロ-2-ピリドンを触媒に用いたエステルのアミノリシス，日本薬学会第 141 年会，講演番号 28P01-021（オンライン，2021.3）.
10. 高橋脩，君嶋葵，山田健，菅原章公，白畑辰弥，野口吉彦，岩月正人，穂苅玲，石山亜紀，小林義典，廣瀬友靖，砂塚敏明, 抗マラリア活性を有する(+)-Diatretol の不斉全合成と構造活性相関研究，日本薬学会第 141 年会，講演番号 29V01-am (オンライン，2021. 3).
11. K. Suzuki, S. Fujiwara, A. Ono*"Synthesis of cyclodextrin modified oligonucleotides" The 48th International Symposium on Nucleic Acids Chemistry, (on line), November 10 (Wed) - November 12 (Fri) 2021, (Poster)
12. R. Marui, Y. Nakazawa, M. Matsumoto, A. Ono* "Synthesis and structure formations of oligonucleotides carrying functional groups on pyrimidine bases" The 48th International Symposium on Nucleic Acids Chemistry, (on line), November 10 (Wed) - November 12 (Fri) 2021, (Poster)
13. K. Hyugaji, Y. Shinkai, T. Kemmoku, A. Ono* "Development of reduction sensitive protecting groups for oligonucleotide synthesis" The 48th International Symposium on Nucleic Acids Chemistry, (on line), November 10 (Wed) - November 12 (Fri) 2021, (Poster)
14. T. Mikami, A. Funama, A. Ono* "Preparation of oligonucleotides carrying thiol groups: Formation and cleavage of disulfide bonds" The 48th International Symposium on Nucleic Acids Chemistry, (on line), November 10 (Wed) - November 12 (Fri) 2021, (Poster)
15. A. Ono,* C. Yazawa, T. Atsug, J. Kondo "Novel structures of non-natural nucleic acid duplexes" The 48th International Symposium on Nucleic Acids Chemistry, (on line), November 10 (Wed) - November 12 (Fri) 2021, (Poster)
16. S. Nakayama, H. Kida, A. Ono, K. Hirabayashi, H. Torigoe* "Thermodynamic Properties of the Specific Binding between Metal Ion and Mismatched Base Pair under Molecular Crowding Condition" The 48th International Symposium on Nucleic Acids Chemistry, (on line), November 10 (Wed) - November 12 (Fri) 2021, (Poster)
17. H. Kida, S. Nakayama, A. Ono, K. Hirabayashi, H. Torigoe* "Thermodynamic Properties of the Specific Binding between Metal Ion and Mismatched Base Pair in a Duplex Containing 2'-O, 4'-C Methylene Bridged Nucleic Acid" The 48th International Symposium on Nucleic Acids Chemistry, (on line), November 10 (Wed) - November 12 (Fri) 2021, (Poster)
18. N, Eguchi, T, Atsugi, T. Dairaku, Y. Tanaka, A. Ono, J. Kondo* "Synthesis and purification of reduced DNA-silver hybrid nanowires" The 48th International Symposium on Nucleic Acids Chemistry, (on line), November 10 (Wed) - November 12 (Fri) 2021, (Poster)
19. T. Atsugi, R. Yoshikawa, J. Kondo, A. Ono* "Preparation and structure analysis of oligonucleotide- metal ion complexes" The

48th International Symposium on Nucleic Acids Chemistry, (on line), November 10(Wed) - November 12 (Fri) 2021, (Poster)

20. D. Miyano, A. Murata, R. Nishihara, A. Ono* "Synthesis and metal ion bindings of oligonucleotides having functional groups on pyrimidine bases" The 48th International Symposium on Nucleic Acids Chemistry, (on line), November 10 (Wed) - November 12 (Fri) 2021, (Poster)
21. 小野晶、中村康大、寺沢一馬、堀川匡嗣、鈴木海斗、實吉尚郎 "プロドラッグ型核酸医薬に利用する還元条件で脱離する保護基の開発" 日本核酸医薬学会第 6 回年会（オンライン開催）2021 年 6 月 27 日～29 日（ポスター発表 2P-10）
22. 三上智紀、小野晶 "ジスルフィド側鎖を有するオリゴヌクレオチド：合成、複合体形成、安定性"
23. 日本核酸医薬学会第 6 回年会（オンライン開催）2021 年 6 月 27 日～29 日（ポスター発表 1P-10）
24. 厚木隆裕、近藤次郎、小野晶 "短鎖 Ag-DNA ワイヤーの溶液中での形成と結晶構造"日本化学会第 101 春季年会（オンライン開催）2021 年 3 月 19 日～22 日（口頭発表 A25-1am-05）
25. 三上智紀、小野晶 "チオール側鎖を有するオリゴヌクレオチドの合成と高次構造形成"日本化学会第 101 春季年会（オンライン開催） 2021 年 3 月 19 日～22 日（ポスター P03-3pm-34）
26. 鈴木海斗、藤原章司、小野晶 "塩基部修飾オリゴヌクレオチドの合成と高次構造形成"日本化学会第 101 春季年会（オンライン開催） 2021 年 3 月 19 日～22 日（ポスター P03-3pm-35）
27. 小野晶、太田貴之、中村康大、實吉尚郎 "細胞内反応によって脱離するオリゴヌクレオチドの保護基の開発" 日本化学会第 101 春季年会（オンライン開催）2021 年 3 月 19 日～22 日（口頭発表 A25-2pm-04）
28. 小野晶、太田貴之、中村康大、實吉尚郎 "プロドラッグ型核酸医薬開発を志向するオリゴヌクレオチド保護基の開発" 日本薬学会第 141 年会（オンライン開催・広島大学） 2021 年 3 月 26 日～29 （口頭発表 29V01-pm11）
29. Sotaro Kusumoto，Yoshihiro Koide，Shinya Hayami，Properties and Mechanism of Mechanically Flexible Molecular Crystals Composed of Salen-Derived Compounds，錯体化学討論会，S-04, 招待講演 (Interplay between mechanical and physical properties of functional molecular crystals).
30. 鈴木健太, 小林俊介, 桑原彰秀, 小川哲志, 荻野泰代, 齋藤美和, 青木芳尚, 幅崎浩樹, 本橋輝樹,「Pd 担持 Mn, Ni 酸化物の酸素還元反応および酸素発生反応触媒活性」第 61 回電池討論会, 3H11, 2020 年 11 月 20 日，オンライン
31. 田村紗也佳, 井関知宏, 齋藤美和, 田邉豊和, 本橋 輝樹,「焼成雰囲気制御によるブラウンミラーライト型 $Ca_2AlMnO_{5+\delta}$の構造変化と酸素吸収放出特性」MRM フォーラム 2020, TS9-09, 2020 年 12 月 8 日，オンライン
32. 石村真優子, 松本知大, 田原和典, 渡邉悠, 齋藤美和, 本橋輝樹, 「Li 含有化合物におけるメタン酸化カップリング反応の触媒活性」第 15 回セラミックフェスタ in 神奈川, P02, 2020 年 12 月 12 日，オンライン
33. 高倉皓，大石耕作，井関知宏，松永拓己，田村紗也佳，齋藤美和，本橋 輝樹,「酸素貯蔵材料における高温 X 線回折測定を用いた酸素吸収放出のその場観察」第 15 回セラミックフェスタ in 神奈川, P03, 2020 年 12 月 12 日，オンライン
34. 山田崇樹，大石耕作，田村紗也佳，齋藤美和，本橋輝樹，「酸素欠損ペロブスカイト化合物$YBa_2FeO_{5+\delta}$の酸素吸収放出特性」第 15 回セラミックフェスタ in 神奈川，P04, 2020 年 12 月 12 日，オンライン
35. 千葉裕介, 柴田健吾, 高津浩, 齋藤美和, 陰山洋, 前田和彦, 本橋輝樹，「リチウムチタン酸化物・酸フッ化物の電気化学的結晶育成」日本セラミックス協会 2021 年年会, 3K17, 2021 年 3 月 25 日，オンライン
36. Alicja Klimkowicz, Takahiro Toyama, Nur Adilah Binti Norsham, Kacper Cichy, Konrad Świerczek, Akito Takasaki, Teruki Motohashi, and Bogdan Dabrowski, Oxygen production and storage using hexagonal manganites, 15th International conference on materials chemistry (MC15), O58, July 12-15, 2021, Online.
37. 山田崇樹, 田村紗也佳, 齋藤美和, 本橋輝樹,「$YBa_nFe_{n-1}O_{2.5n}$ (n = 2 ~ 5) の合成と酸素吸収放出特性」日本セラミックス協会第 34 回秋季シンポジウム, 1L03, 2021 年 9 月 1 日, オンライン
38. 田村紗也佳，志賀隆憲，齋藤美和，本橋輝樹，「酸素欠損ペロブスカイト型 $LnCa_2Fe_3O_{8+\delta}$（Ln = 希土類元素）の合成と酸素吸収放出特性」日本セラミックス協会第 34 回秋季シンポジウム，1L04，2021 年 9 月 1 日，オンライン
39. 松本知大, 石川理史, 齋藤美和, 上田渉, 本橋輝樹, 「メタン酸化カップリング反応に対する複合金属酸化物の触媒設計」日本セラミックス協会第 34 回秋季シンポジウム, 1L07, 2021 年 9 月 1 日, オンライン
40. 仲山啓, 石川亮, 桑原彰秀, 小林俊介, 本橋輝樹, 柴田直哉, 幾原雄一,「Ca_2FeCoO_5 における Fe/Co 分布の原子分解能 STEM-EDX 直接観察」日本セラミックス協会第 34 回秋季シンポジウム, 2W18, 2021 年 9 月 2 日, オンライン
41. 黄馨慧, 小林俊介, 桑原彰秀, 齋藤美和, 本橋輝樹,「酸素吸蔵材料 $YBaCo_4O_{7+\delta}$の原子構造解析」本セラミックス協会第 34 回秋季シンポジウム, 2W19, 2021 年 9 月 2 日, オンライン
42. 松原康郎，小川哲志，鈴木健太，荻野泰代，齋藤美和，本橋輝樹，「Co-Fe 混合水酸化物表面での酸素発生反応における Tafel プロットの理論的解釈」2021 年電気化学秋季大会, 2K05，2021 年 9 月 9 日，オンライン
43. 岡田正弘. 納豆のネバネバを誘導するペプチドの発見. *神大テクノフェスタ 2020『健康長寿にむけたテクノロジー』*, (神奈川大学, 神奈川, 2020. 11. 13)
44. 石川理史, 田中良裕, 上田渉, 結晶性 $MO_3VO_{11.2}$ への Ga の導入とプロパンアンモ酸化活性, 第 50 回石油・石油化学討論会, (オンライン, 2020. 11)
45. 田中良裕, 大山泰輝, 石川理史, 上田渉, 異金属元素導入した結晶性 Mo_3VO_x 複合酸化物によるエタンから酢酸への気相選択酸化反応, 第 50 回石油・石油化学討論会, (オンライン, 2020. 11)
46. M. Tao, S. Ishikawa, Y. Inomata, T. Murayama and W. Ueda, Synthesis of zeolitic Mo-doped vanadotungstate materials with tailorable oxidability and acidity, 第 50 回石油・石油化学討論会, (オンライン, 2020. 11)
47. K. Shimoda, M. Miyasawa, S. Ishikawa and W. Ueda, Synthesis of high-dimensionally structured Mo and W oxide and its oxidation properties", 第 50 回石油・石油化学討論会, (オンライン, 2020. 11)
48. 石川理史, 山田雄大, 樫尾直樹, 下田光祐, 野田渚沙, 村山徹, 上田渉, アクロレイン選択酸化反応用工業触媒としての多元系 Mo-V 複合酸化物の触媒活性場の考察, 第 127 回触媒討論会, (オンライン, 2021. 1)
49. 石川理史, 山田雄大, 樫尾直樹, 下田光祐, 野田渚紗, 上田渉, 多元系 Mo-V 複合酸化物を用いたアクロレイン選択酸化反応における触媒活性構造, 石油学会第 63 回年会第 69 回研究発表会, (オンライン, 2021. 5)
50. S. Ishikawa and W. Ueda, Structure-activity relationship in

crystalline Mo_3VO_x in selective oxidations, Twelfth International Conference on the Science and Technology for Advanced Ceramics (STAC-12), (オンライン, 2021. 7)

51. S. Ishikawa, T. Ikeda, M. Koutani and W. Ueda, Clarification of the Crystal Structure of Pyridine-coordinated Keggin type $PMo_{12}O_{40}$ and its Oxidation Catalysis, International Network on Polyoxometalate Science for Advanced Functional Energy Materials (INPOMS) Conference, (オンライン, 2021. 7)
52. S. Ishikawa and W. Ueda, Local catalyst structure of mixed metal oxide for selective oxidations, 12th International Fundamental Science Congress, (オンライン, 2021. 8)
53. 石川理史, 上田渉, 複合酸化物の局所構造で発現する酸化触媒作用, 第 128 回触媒討論会, (オンライン, 2021. 9)
54. 陶美林, 石川理史, 猪俣雄介, 村山徹, 上田渉, ミクロ細孔性 $W_4V_3O_{19}$ 複合酸化物への Ti または Zr の導入と低温 NH_3-SCR, 第 128 回触媒討論会, (オンライン, 2021. 9)
55. 下田光祐, 宮沢真維, 松本克也, 松元陸, 石川理史, 上田渉, エタンおよびプロパン酸化的脱水素反応における M-V 複合酸化物(M = Nb, Mo, W)の触媒活性比較および活性サイトの考察, 第 128 回触媒討論会, (オンライン, 2021. 9)
56. 田中良裕, 大山泰輝, 石川理史, 上田渉, 結晶性 Mo_3VO_x 複合酸化物への異金属元素の導入およびエタンから酢酸への気相選択酸化反応, 第 128 回触媒討論会, (オンライン, 2021. 9)
57. 宮沢真維, 下田光祐, 石川理史, 上田渉, 低酸化数金属種から構成される Mo 酸化物の酸化触媒機能, 第 128 回触媒討論会, (オンライン, 2021. 9)
58. 吉井絵海, 田中良裕, 下田光祐, 石川理史, 上田渉, 結晶性 Mo_3VO_x 複合酸化物の多元化によるプロパンアンモ酸化活性制御, 第 128 回触媒討論会, (オンライン, 2021. 9)
59. 重光大晃, 王文立, 金 仁華, "機能性側鎖を有するクシ型ポリ(アルキルオキサゾリン)と親水性 PNIPAM からなる歯ブラシポリマーの合成と相分離", 第 70 回高分子学会年次大会, (オンライン開催) 2021 年 5 月 26 日～28 日
60. 茂木駿弥,金仁華, "ポリエチレンイミンとアキラル/キラル酸からなる錯体にテンプレートされるシリカ構造体", 第 70 回高分子学会年次大会, (オンライン開催) 2021 年 5 月 26 日～28 日
61. 糸賀稜, 王文立, 金仁華, "Pd 錯体化に駆動される環化ポリオキサゾリンの構造と物性", 第 70 回高分子学会年次大会, (オンライン開催) 2021 年 5 月 26 日～28 日
62. 竹渕はるか, 貝掛勝也, 金仁華, "テオフィリン残基を有する疎水ブロックと親水性 PNIPAM からなる熱応答性両親媒性ポリマーの合成及び物性" , 第 70 回高分子学会年次大会, (オンライン開催) 2021 年 5 月 26 日～28 日
63. 菅野綾華, 王文立, 金仁華, "ポリアミンループクラスターで被覆された特殊ベシクルと金属ナノ粒子との複合体", 第 70 回高分子学会年次大会, (オンライン開催) 2021 年 5 月 26 日～28 日
64. 貝掛勝也, 松尾和樹, 金仁華, "テオフィリンパラジウム触媒を充填した連続反応リアクターによる鈴木宮浦 C-C カップリング反応", 第 70 回高分子討論会, (東京理科大学・オンライン開催) 2021 年 9 月 6 日～8 日
65. 菅野綾華, 王文立, 金仁華,"ポリマーベシクルの親水性ループクラスター層に閉じられた金ナノ粒子の触媒機能", 第 70 回高分子討論会, (東京理科大学・オンライン開催) 2021 年 9 月 6 日～8 日
66. 糸賀稜, 王文立, 金仁華, "ポリオキサゾリンの末端修飾体を利用した Pd(II)との自己組織化", 第 70 回高分子討論会, (東京理科大学・オンライン開催) 2021 年 9 月 6 日～8 日
67. 竹渕はるか・金仁華, "蛍光特性を示すテオフィリン残基を有する疎水ブロックと親水性 PNIPAM からなる熱応答性両親媒性ポリマーの合成", 第 70 回高分子討論会, (東京理科大学・オンライン開催) 2021 年 9 月 6 日～8 日
68. 重光大晃, 王文立, 金仁華, "疎水性ポリオキサゾリンと熱応答性 PNIPAM からなる多元高分子の自己組織化", 第70 回高分子討論会, (東京理科大学・オンライン開催) 2021 年 9 月 6 日～8 日
69. 寺尾郁珠, 堀井世菜, 中澤順, 岡村将也, 引地史郎, オキサゾリン含有三脚型窒素 4 座キレート配位子に保持されたニッケル錯体のアルカン酸化活性, 第 53 回酸化反応討論会, 2A-06 (オンライン, 2020. 11).
70. 佐藤由奈, 鈴木泉音, 岡村将也, 引地史郎, トリス(N-ヘテロサイクリックカルベン)ボレート配位子を有する鉄錯体の合成および反応性, 錯体化学会第 71 回討論会, PF1-39 (オンライン, 2021.9)
71. F. Matsumoto, T. Watanabe, T. Gunji, T. Ohsaka, S. Nakamura, N. Soma, N. Ando, N. Hayashi, An Improved High-Rate Discharging Performance of "Unbalanced" $LiFePO_4$ Cathodes with Different $LiFePO_4$ Loadingsby a Grid-Patterned Micrometer Size-Holed Electrode Structuring, PRiME2020, 2020.10.4-9 (Web conference).
72. F. Matsumoto, F. Ando, T. Gunji, T. Ohsaka, Improvement of ORR Activity and Durability of Pt Electrocatalyst Nanoparticles Anchored on TiO_2/Cup-Stacked Carbon Nanotube in Acidic Aqueous Media, PRiME2020, 2020.10.4-9 (Web conference).
73. F. Ando, T. Gunji, T. Ohsaka, F. Matsumoto, Tuning of d-Band Center of Platinum Nanoparticles By Changing Transition Metal Oxide Support Materials for Enhancement of Oxygen Reduction Reaction (2), PRiME2020, 2020.10.4-9 (Web conference).
74. T. Watanabe, K. Hirai, F. Ando, S. Kurosumi, S. Ugawa, H. J. Lee, Y. Irii, F. Maki, T. Gunji, J. Wu, T. Ohsaka, F. Matsumoto, Surface Double Coating of $LiNi_aCo_bAl_{1-a-b}O_2$ (a > 0.85) Cathode with TiO_x and Li_2CO_3 to Apply a Water-Based Hybrid Polymer Binder to Li-Ion Batteries' Preparation, PRiME2020, 2020.10.4-9 (Web conference).
75. 田中詩乃、亀谷聡、加藤友人、渡邊秀人、吉田曉弘、郡司貴雄、大坂武男、松本太、Cu 配線上への無電解 Pd/Au めっきにおける Cu ボイドを抑制するための Pd 触媒付与溶液の添加剤の検討, 第 10 回 CSJ 化学フェスタ 2020, 2020.10.20 (Web 開催).
76. 落合弘也、郡司貴雄、松本太 Pd 系合金触媒を用いた CO_2 電解還元における生成物選択性と第二元素種の関係, 第 10 回 CSJ 化学フェスタ 2020, 2020.10.20 (Web 開催).
77. 渡邉達也、平井孝仁、安藤風馬、鵜川晋作、イホジン、入井友海太、槙文彦、郡司貴雄、武建飛、大坂武男、松本太（神奈川大院工）Surface Double Coating of $LiNi_aCo_bAl_{1-a-b}O_2$ (a > 0.85) Cathode with TiO_x and Li_2CO_3 to Apply a Water-Based Hybrid Polymer Binder to Li-Ion Batteries' Preparation, 第10回CSJ化学フェスタ 2020, 2020.10.22 (Web 開催).
78. 山田三瑠, 松本太、XPS を用いた充電およびプレドープ過程で生成するグラファイト負極上の SEI 被膜の組成分析, 第 10 回 CSJ 化学フェスタ 2020, 2020.10.22 (Web 開催).
79. 安藤風馬, 郡司貴雄, 大坂武男, 松本 太, 電極触媒表面の電子状態のチューニングによる ORR 活性の向上に関する検討, 第 30 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」, 2020. 12.3 (Web 開催).
80. 安藤風馬, 郡司貴雄, 大坂武男, 松本太, 電極触媒表面の電

子状態のチューニングによる ORR 活性の向上に関する検討, 第 30 回日本 MRS 年次大会, 2020. 12.9-11 (Web 開催).

81. 渡邉達也, 平井孝仁, 安藤風馬, 鵜川晋作, イホジン, 入井友海太, 槙文彦, 郡司貴雄, 武建飛, 大坂武男, 松本太, TiO_x と Li_2CO_3 のダブルコーティングによる $LiNi_aCo_bAl_{1-a-b}O_2$ (a > 0.85)正極の耐水性の向上および水系バインダー工程への適用, 電気化学会第 88 回講演大会, 2021. 3. 22 (Web 開催).
82. 山田三瑠, 渡邉達也, 郡司貴雄, 安藤信雄, 中村奨, 板垣薫, 杣直彦, 林成実, 大坂武男, 松本太,マイクロメーターサイズの貫通孔を有する LFP/AC ハイブリッド構造を用いた高入出力正極の開発, 電気化学会第88回講演大会, 2021. 3. 22 (Web 開催).
83. 安藤風馬, 郡司貴雄, 大坂武男, 松本太, ORR 活性の向上のための金属酸化物担持体と Pt ナノ粒子の電子的な相互作用による Pt d-バンドセンターのコントロール(2), 電気化学会第 88 回講演大会, 2021. 3. 24 (Web 開催).
84. 落合弘也, 郡司貴雄, 松本太, Pd 系合金電極触媒における第二元素とCO_2還元反応の反応選択性, 電気化学会第88回講演大会, 2021. 3. 24 (Web 開催).
85. 郡司貴雄, 落合弘也, 松本太, 電気化学的 CO_2 還元反応における Pd 系合金の添加元素種と選択性の関係, 日本材料科学会 2021 年度学術講演大会, 2021.5.20 (Web 開催).
86. 稲川友貴, 郡司貴雄, 松本太, ギ酸からの水素生成に高い活性を有する Pd 系合金の合成, 日本材料科学会 2021 年度学術講演大会, 2021.5.20 (Web 開催).
87. 角井大暉, 松本有未, 郡司貴雄, 大坂武男, 松本太, 林遥介, 水品愛都, 河合陽賢, 自己触媒型無電解 Ni-Sn めっき被膜の作製と耐薬品性の検討, 日本材料科学会2021年度学術講演大会, 2021.5.20 (Web 開催).
88. M. Yamada, T. Gunji, N. Ando, S. Nakamura, N. Soma, T. Ohsaka, F. Matsumoto, Improvement of Performance of $LiFePO_4$ Cathode and Graphite Anode By Forming Micrometer-Sized through-Holed Electrode Structures with a Pico-Second Pulsed Laser, 239th ECS meeting, 2021.5.30-6.3 (Web conference).
89. 田中詩乃, 稲川友貴, 大塚海斗, 松本太, 郡司貴雄, La, Gd による Pt 粒子表面の合金化処理と酸素還元反応における電極触媒活性の検討, 2021 年電気化学会秋季大会, 2021.9.8-9 (Web 開催).
90. 山田三留, 蔦将哉, 中村奨, 渡辺裕, 杣直彦, 安東信雄, 郡司貴雄, 松本　太, 高容量･高出力特性を有するリチウムイオン二次電池の実現のための電極へのレーザー加工, 表面技術協会第 144 回講演大会, 2021.9.16-17 (Web 開催).
91. 加藤顕禎, 太田佳宏, 横澤勉, エステル-エステル交換反応によるポリアクリレート側鎖の修飾, 第70回高分子学会年次大会, 1Pf020 (オンライン, 2021.5).
92. 島田涼太, 太田佳宏, 横澤勉, 鈴木・宮浦重縮合によるジアルコキシナフタレンとナフタレンジイミドを含む 1:1 環状物の合成とその光学特性, 第 70 回高分子学会年次大会, 1Pe009 (オンライン, 2021.5).
93. 瀧本梨紗, 時田遊, 太田佳宏, 横澤勉, 熊田・玉尾触媒移動重合後の鈴木・宮浦カップリング反応によるポリフェニレンの両末端官能基化, 第 70 回高分子学会年次大会, 2Pb010 (オンライン, 2021.5).
94. 島田龍佑, 高橋友輝, 杉田一, 太田佳宏, 横澤勉, 分子内触媒移動を伴う非等モル下 A_2+B_3 鈴木・宮浦重縮合による多分岐ポリフェニレンの末端制御, 第70回高分子学会年次大会, 3Pd026 (オンライン, 2021.5).
95. 宮﨑聡, 上川原タケル, 太田佳宏, 横澤勉, 環状ポリマーから鎖状ポリマーへの添加物によるトポロジースイッチング, 第 70 回高分子学会年次大会, 3Pa015 (オンライン, 2021.5).
96. 小林浩熙, 太田佳宏, 横澤勉, 生長末端を官能基化した制御されたハイパーブランチポリアミドの合成とその性質, 第 70 回高分子学会年次大会, 3Pc027 (オンライン, 2021.5).
97. 小林紗奈, 杉田一, 太田佳宏, 横澤勉, アクセプターベンゾ縮環ジブロモアリーレン上の Pd 触媒の分子内移動と A_2+B_2 非等モル下鈴木・宮浦重縮合, 第 70 回高分子学会年次大会, 3Pa013 (オンライン, 2021.9).
98. 加藤顕禎, 太田佳宏, 横澤勉, 種々のエステルとポリ（メチルアクリレート）とのエステル-エステル交換反応による高分子反応, 第 70 回高分子討論会, 1Pe013 (オンライン, 2021.9).
99. 小林紗奈, 太田佳宏, 横澤勉, 過剰のアクセプタージブロモアリーレンを用いた非等モル下重縮合による鎖状・環状ポリマーの合成、および汎用ビニルポリマーとのグラフト共重合体の合成, 第 70 回高分子討論会, 2B01 (オンライン, 2021.9).
100. 島田涼太, 太田佳宏, 横澤勉, 鈴木・宮浦重縮合による湾曲したチオフェン三量体を含む環状物の合成とその光学特性, 第 70 回高分子討論会, 2Pc011 (オンライン, 2021.9).
101. 大川優介, 渡邊純生, 太田佳宏, 横澤勉, マクロ開始剤法を用いたポリフルオレン-ポリエチレンイミンブロック共重合体の合成とそのシリカ複合体の形成, 第70回高分子討論会, 2Pd010 (オンライン, 2021.9).
102. 島田龍佑, 高橋友輝, 杉田一, 太田佳宏, 横澤勉, 分子内触媒移動を伴う非等モル下 A_2+B_3 鈴木・宮浦重縮合による多分岐ポリフェニレンの合成とそのボロン酸エステル末端の反応, 第70回高分子討論会, 3Pd004 (オンライン, 2021.9).
103. 宮﨑聡, 上川原タケル, 太田佳宏, 横澤勉, 環状ポリマーから末端制御された鎖状ポリマーへの添加物によるトポロジースイッチング, 第 70 回高分子討論会, 3Pb016 (オンライン, 2021.9).
104. 小林浩熙, 太田佳宏, 横澤勉, 生長末端を機能化したハイパーブランチポリアミドおよびポリスチレンとのジブロック共重合体の精密合成とその性質, 第 70 回高分子討論会, 3Pc005 (オンライン, 2021.9).

学術誌

1. 本橋輝樹, 田村紗也佳, 新井健司, 齋藤美和,「精密・広範囲制御された雰囲気中での機能性無機材料の合成」セラミックス **56** (No. 8), 540-543 (2021).
2. M. Okada* and S. Sumimoto. Bacillus Quorum Sensing Pheromones: ComX and Phr. Quorum Sensing: Microbial Rules of Life, Ed. S. S. Dhiman, in *ACS Symposium Series* vol. 1374, Chap. 11, 201–217 (2020).
3. 澄本慎平. フッ化スルフリル基を用いた硫黄(VI)フッ化物交換反応(SuFEx)とアジド化反応. *有機合成化学協会誌,* **2020**, *78(10)*, 979–980.
4. 上田渉, メタンを化学転換する固体触媒研究の現状と動向, 触媒, 62, 346-350 (2020).
5. 松本太、次世代高機能材料の動向(7)、Yano E plus ((株)矢野経済研究所)、No.150、2020 年 9 月号, 9-14 (2020).
6. 松本太, 中村奨, 杣直彦, 渡辺裕, 林成実, 安東信雄, 郡司貴雄, レーザー加工穴あき電極によるリチウムイオン二次電池の高性能化, 特集『電池×レーザー応用～Li 電池/全固体Li電池を中心に』, 月刊OPTRONICS 2020年11月号, 467, 159-163(2020).
7. 松本太, 50 歳からの表面技術, シリーズ:研究者紹介 16, 表

面技術, 71(10), 629 (2020).

8. 郡司貴雄，無電解めっきによる Ni-Sn 合金層および Al 層の成膜に関する研究 ，アカデミアシリーズ：第 83 回，鍍金の世界 12 月号(2020).
9. Mitsuru Yamada, Tatsuya Watanabe, Takao Gunji, Jianfei Wu, Futoshi Matsumoto, Review of the design of current collectors for improving the battery performance in lithium-ion and post-lithium-ion batteries, Electrochem, MDPI, 2, 124-159 (2020).
10. 松本太，渡辺裕，中村奨，杣直彦，林成実，安東信雄，郡司貴雄， 非接触給電社会に対応した新型二次電池の開発, 「材料の科学と工学」 58 巻 1 号, 6-9 (2021).
11. T. Gunji, Preparation of Ordered Intermetallic Compounds and Their Application in Electrocatalytic Reactions (Invited Paper in Young Researcher Award of The Electrochemical Society of Japan (Sano Award)), Electrochemistry, 21-00081 (2021).

著書

1. 石川理史，上田渉，触媒構造解析システムの実研究への応用，神奈川大学工学研究, 3, 61-62 (2020).
2. 上田渉，考えを深め、理解を高める力を持ち、人と協働する，学問への誘い大学で何を学ぶか, 66-70 (2020).
3. 上田渉，科研費から見つける大学の選び方とは？，アイテクノロジー，創刊号, 62 (2021).
4. 松本太，郡司貴雄，化学の魅力Ⅲ エネルギーと電池 神奈川大学入門テキストシリーズ，御茶の水書房(2020).

調査報告書

1. 横澤勉,「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」, 令和 2 年度科学研究費助成事業(学術研究助成基金助成金) 実績報告書, 基盤研究（B）（一般）（繰越）(2021 年 5 月).

講演・展示会

1. T. Motohashi, Crystalline lithium calcium silicate as a high active catalyst for oxidative coupling of methane, *The 8th Workshop on Next-Generation Utilization of Natural Gas*, Mar. 27, 2021, online.
2. 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，サイエンス＆テクノロジーセミナー(東京、大井町) 2020.10.29-30.
3. Takao Gunji, The 2nd Japan-China Symposium on Power Batteries for New Energy Vehicles, Preparation of Pd-based Atomically Ordered Intermetallic Compounds for Fuel cell catalysts, Qingdao Institute of Bioenergy and Bioprocess Technology, Chinese Academy of Sciences, 2020. 10. 29 (Web conference).
4. 松本太，ピコレザーを使った穴あけ技術による Ｌｉプレドープ次世代エネルギーデバイス，第９３回（第１２５回）キャパシタフォーラム, 2020.12.9 (Web 開催).
5. 松本太，レーザー加工穴あき電極によるリチウムイオン二次電池の高性能化，オプトニクス Web セミナー，2021.2.17 (Web 開催).
6. 郡司貴雄，電気化学会進歩賞(佐野賞)受賞講演 金属間化合物触媒の創出と電気化学反応への応用、電気化学会第 88 回講演大会, 2021. 3. 24 (Web 開催).
7. 松本太，初心者のためのインピーダンス測定法の基礎とリチウムイオン電池評価方法, ㈱R&D 支援センターセミナー, 2021.3.31(Web 開催).
8. 松本太，レーザー加工穴あき電極によるリチウムイオン二次電池の高性能化, TeraWatt Technology セミナー, 2021.4.14 (Web 開催).
9. 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／溶液界面の解析サイエンス＆テクノロジーセミナー, 2021.4.15-16 (Web 開催).
10. 松本太，無電解めっき法を用いた Fe 基板への Sn 高含有(> 30 at.%) Ni-Sn 薄膜の作製と応用展開，2021 年度一般社団法人日本材料科学会学術講演大会，2021.5.20-21 (慶應義塾大学 日吉キャンパス).
11. 松本太，はじめてのインピーダンス測定 ～知っておくべき基礎からリチウムイオン電池の評価方法～，情報機構セミナー, 2021.6.4 (Web 開催).
12. 松本太，電気化学測定の基礎と解析データの解釈のポイント，技術情報協会セミナー, 2021.7.15 (Web 開催).
13. 松本太，金属間化合物および金属酸化物担持体による電極触媒反応の促進，2021 年電気化学秋季大会，2021.9.8-9 (北海道大学).
14. 郡司貴雄，金属間化合物触媒の合成と電極触媒への応用，トークシャワー・イン・九州 2021(電気化学会九州支部主催), 2021. 9.13 (Web 開催).
15. T. Yokozawa, R. Okabayashi, T. Katoh, T. Suzuki and Y. Ohta, Importance of Reversible Reaction for the Synthesis of Telechelic Polymer in Polycondensation, IUPAC-MACRO2020+ (Jeju, Korea & Online, 2021.5).

助成金

1. 池原飛之（代表），固体基板に結晶性高分子をグラフトした単分子層でのラメラ晶と分子鎖の挙動，2021 年度科学研究費補助金，基盤研究（C），課題番号 19K03775.
2. 岡本専太郎（分担），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，令和２年度科学研究費補助金，基盤研究（C），課題番号 18K05630.
3. 岡本専太郎（分担），生合成阻害剤および作動薬を用いるインドール酪酸（IBA）周辺科学の新機軸の導入，神奈川大学共同研究奨励助成金.
4. 山田健（代表），光学活性 2-ピリドンを共役酸・塩基触媒に用いた新規カスケード反応の開発と応用，令和２年度科学研究費補助金，基盤研究（C），課題番号 20K05502.
5. 岡本専太郎（代表），アルキン環化付加重合による実践的高分岐高分子合成法の開発と高分子有機 EL 材料への応用，小笠原敏晶記念財団，令和２年度 一般研究助成.
6. 岡本専太郎（代表），1,6-ジインの環化重合による環状ポリエンの合成および物性と利用，令和３年度科学研究費補助金，基盤研究（C），課題番号 21K05172.
7. 小野晶（代表）「核酸－金属複合体の合成・構造・機能：DNA 超分子錯体と蛍光性 Ag ナノクラスター」令和 3 年度科学研究費補助金，基盤研究（B），課題番号 21H01956.
8. 楠本壮太郎, 2021 年度「公益財団法人 戸部真紀財団」
9. 楠本壮太郎，2021 年度 「公益財団法人 横浜学術教育振興財団」
10. 岡田正弘. 令和 3 年度 ~ 令和 5 年度 (終了予定), 挑戦的研究 (萌芽), 代表, 微生物が生産する新規ペプチド型フェロモンの探索, 課題番号 21K19056.
11. 澄本慎平. 令和 3 年度～令和 5 年度 (終了予定), 若手研究, 代表, 新たな天然物ソースとしての気生シアノバクテリア, 課題番号 21K14748.

12. 岡田正弘. 令和 1 年度 (平成 31 年) ~ 令和 4 年度 (終了予定), 基盤研究(B), 代表, 翻訳後修飾を受けた新規ペプチドフェロモンの探索, 課題番号 19H02842.
13. 上田渉（代表）, 全無機細孔構造結晶の金属酸化物合成展開による新触媒機能創出, 科学研究費助成事業（化学研究費補助金）, 基盤研究（A）, 課題番号 19H00843.
14. 石川理史（代表）,石油学会 2020 年度研究助成金
15. 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, 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）, 若手研究, 課題番号 18K14058
16. 石川理史（代表）, 結晶性 Mo_3VO_x の酸化触媒機能解明と多元化による触媒機能制御, 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）, 若手研究, 課題番号 21K1446 4
17. 金仁華 (研究代表)「エナンチオ選択性手法によるキラルシリカの合成及びキラル無機機能材料の開発」(基盤研究 B 2019～2021) 19H02767_2019.
18. 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.
19. 松本太, 2019-2020 山東省主要研究開発計画　新エネルギー電気自動車カーソリッドバッテリー開発と応用.
20. 松本太, 令和元年度　次世代イノベーション創出プロジェクト 2020　（東京都中小企業振興公社）, 2020-2023 (再委託).
21. 松本太, 2019-2021 科研費基盤（C）「Pt 系金属間化合物触媒 *d*-バンドセンターチューニングによる ORR 活性の向上.
22. 松本太, 軽金属奨学会　教育研究資金・研究補助金 (2021).
23. 山田三瑠 (松本研究室), 加藤科学振興会令和 3 年度研究奨励金.
24. 郡司貴雄, 2020 年度科学研究費助成事業 若手研究 「光触媒/助触媒界面が誘発する二酸化炭素還元反応の高選択・高活性化」
25. 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, 令和 3 年度科学研究費補助金, 基盤研究（B）（繰越）, 課題番号 18H02023.
26. 横澤勉 (代表), 重縮合によるテレケリックポリマーの選択的合成における可逆反応の重要性, 令和 3 年度科学研究費補助金, 基盤研究（B）, 課題番号 21H01989.
27. 横澤勉（分担）,「縮合系高分子を用いる接着剤の耐熱化・高強度化」, 令和 3 年度科学技術振興機構, 受託研究, 未来社会創造事業　大規模プロジェクト型「Society5.0 の実現をもたらす革新的接着技術の開発 」(研究代表者：九州大学・田中敬二教授）2018 年 11 月～2022 年 3 月.

受託研究

1. 上田渉, アルカンからアルケンを製造する触媒並びにプロピレン、イソブチレン及びメタクロレインを部分酸化するための触媒に関する研究, 日本化薬株式会社
2. 上田渉, 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
3. 上田渉, 軽炭化水素の含酸素化, 旭化成株式会社
4. 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
5. 上田渉, Trigonal and orthorhombic molybdenum and vanadium containing mixed metal oxides comprising at least one additional element for ethane oxidative dehydrogenation, Honewell Internatuional Inc.
6. 上田渉, ビスメタル固体触媒によるホルメート経由型化学品製造の国際共同研究開発, 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
7. 上田渉, 研究奨学寄附金　株式会社日本触媒
8. 上田渉, 研究奨学寄附金　株式会社ダイセル
9. 郡司貴雄, 株式会社小島化学薬品、"貴金属無電解めっきに関する研究".
10. 松本太, サン工業株式会社, "無電解めっきに関する研究".
11. 松本太, JSR 株式会社, "バインダーに関する研究".
12. 松本太, 武蔵精密工業, "ハイブリッド電極に関する研究".
13. 松本太, 理研計器, "酸素センサに関する研究".
14. 松本太, SUBARU, "リチウムイオン電池に関する研究".
15. 横澤勉, 研究奨学寄付金, 日産化学工業.
16. 横澤勉, 研究奨学寄付金, ブリジストン.
17. 横澤勉, 研究奨学寄付金, 日本化学工業.

特許(取得)

1. 小川哲志、本橋輝樹、齋藤美和、鈴木健太, メリライト型複合酸化物, 特許第 6858992 号.
2. 横澤勉, 江原和也, (学校法人　神奈川大学, 日産化学工業株式会社), ハイパーブランチ芳香族ポリアミド及び表面修飾剤, 特許第 6904538 号.
3. 横澤勉, 江原和也, (学校法人　神奈川大学, 日産化学工業株式会社), 芳香族ポリアミド及び表面修飾剤, 特許第 6904537 号.

特許(公開)

1. 嶋田幸久, 岡本専太郎, 中川理絵,「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 2019-9335, 特開 2019-131540.
2. 小川哲志、本橋輝樹、齋藤美和、鈴木健太、荻野泰代、電極及び金属空気電池、特開 2021-011627.
3. 本橋輝樹、小川哲志、齋藤美和、高岡謙次、金属空気電池用正極触媒、金属空気電池用正極及び金属空気電池、特開 2021-101416.
4. 金子信悟, 松本太, 「フレキシブル熱電変換部材の作製方法」, 特許第 6878752 号(P6878752).

褒賞

1. 石川理史, 優秀講演賞, 第 127 回触媒討論会, (2021. 3)
2. 宮澤真維, 優秀ポスター賞, 第 25 回 JPIJS 若手研究者のためのポスターセッション, (2021. 5)

その他

1. 本橋輝樹, 「低コスト貯蔵材　酸素吸収　体積の 100 倍」日刊工業新聞 (2021/8/30)

日刊工業新聞

酸素吸収 体積の100倍

低コスト貯蔵材

明治大・神奈川大

明治大学の田村紗也佳助教と神奈川大学の本橋輝樹教授らは、体積の100倍の酸素を吸収できる酸素貯蔵材料を開発した。サマリウム・カルシウム鉄酸化物の酸化還元反応で吸収放出するため窒素が混ざらず、空気から高純度酸素を回収できる。工業向けなどの用途を想定する。資源制約の低い元素が主成分のため、低コストで高性能な実用材料になる。

酸素の回収に使われる酸素欠損ペロブスカイト型サマリウム・カルシウム鉄酸化物（明治大提供）

酸素欠損ペロブスカイト型サマリウム・カルシウム鉄酸化物の合成に成功した。サマリウムとカルシウム・鉄・酸素が1対2対3対8の構造から、酸素を吸収すると鉄が酸化されて1対2対3対9になる。還元反応で酸素が外れ放出される。酸化還元反応を利用するため窒素が混入せず高純度酸素を得られる。重量で2・5%、体積では100倍の酸素を吸収できる。

窒素混ざらず高純度

吸収放出の過程で結晶構造の基本骨格は、維持されるため体積変化が少ない。結晶が膨縮して壊れると耐久性を下げる要因になっていた。

酸素の製造プラントで大気から高純度酸素を回収する際は、新材料の酸素貯蔵材料をペレット状にして吸収塔に充填する。400度Cで空気から酸素を吸収させ、ポンプで減圧して高純度酸素ガスを回収する。400度Cまで運転温度を下げられたため、廃熱利用が可能になった。従来、鉄化合物で動作温度が500度C以下の材料はなかった。

主成分は鉄とカルシウムなので資源制約がない。サマリウムもレアアース（希土類）の中では価格が比較的安く済む。今後はより低い温度での稼働を目指す。詳細は日本セラミックス協会が9月1－3日にオンラインで開く「第34回秋季シンポジウム」で発表する。

2. 岡田正弘. 大学の研究室は、何をするところですか? 高校生が潜入レポート!! 神奈川大学工学部の研究室ってどんなところ? *朝日新聞 EduA,* 2021 年 5 月 9 日.

情報システム創成学科

研究論文I（レフェリー付き論文）

1. K. Iwai, M. Akiyoshi, and T. Hamagami, Bayesian Network Oriented Transfer Learning Method for Credit Scoring Model, IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering（電気学会共通英文論文誌）, 16 (9), 1195-1202 (2021.9).
2. J. Tomida, A. Fujioka, A. Nagai, and K. Suzuki, Strongly secure identity-based key exchange with single pairing operation, IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, E104-A (1), 58-68 (2021).
3. J. Ichikawa, K. Fujii, T. Nagai, T. Omori, and N. Oka, Quantitative Analysis of Spontaneous Sociality in Children's Group Behavior during Nursery Activity, PLOS ONE, 16 (2), e0246041, https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246041 (2021.2).
4. S. Ito, K. Ohara, Y. Hoshi, H. Oya and S. Nagai, A Robust Formation Control Strategy for Multi-Agent Systems with Uncertainties via Adaptive Gain Robust Controllers, Int. J. Engineering and Technology Innovation, 11(2), 71-87 (2021. 4).
5. O. Adriani, Y. Akaike , K. Hibino, S. Okuno, Y. Shimizu, T. Tamura, et al., "Measurement of the Iron Spectrum in Cosmic Rays from 10 GeV/n to 2.0 TeV/n with the Calorimetric Electron Telescope on the International Space Station", PHYSICAL REVIEW LETTERS 126, 241101, 7 pages (2021).
6. C. Kiumi and K. Saito, Eigenvalues of two-phase quantum walks with one defect in one dimension, Quantum Information Processing, 20 (171), (2021).
7. T. Sugimoto, The Metallic Right-Triangles, Forma, 35(1), 33-35 (2020. 12).
8. S. Albeverio, T. Kagawa, Y. Yahagi and M. W. Yoshida, Non-local Markovian symmetric forms on infinite dimensional spaces (I. The closability and quasi-regularity), Communications in Mathematical Physics, online, (2021).
9. 市川淳，鍾津儀，喜古泰一，秋吉政徳，着席と起立の同期運動が仮想エージェントに対する印象評価に与える影響，電子情報通信学会論文誌 A, J104-A (2), 49-63 (2021.2).
10. 市川淳，藤井慶輔，なぞり課題を用いた運動協調における役割の検討＜大会発表賞受賞論文＞，認知科学，28 (1), 170-173 (2021.3).
11. 久保智裕，松木剛志，大屋英稔，永井駿也，状態にむだ時間を含む系における最適メモリーレスレギュレータに基づく一巡伝達関数回復，電気学会論文誌Ｃ（電子・情報・システム部門誌），141 (3), 446-452 (2021. 3).

研究論文II（レフェリー付き Proceedings）

1. K. Iwai, M. Akiyoshi and T. Hamagami, Structured Feature Derivation for Transfer Learning, 2020 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 818-823 (2020.10).
2. J. Ichikawa and K. Fujii, Understanding Others' Roles Based on Perspective Taking in Coordinated Group Behavior, Proceedings of the 43rd Annual Meeting of the Cognitive Science Society, 1285-1291 (2021.7).
3. M. Rahman, T. Kagawa, S. Kawasaki, S. Nagai, H. Oya, Y. Yahagi, T. Okai and M. Yoshida, An analysis of electrocardiograms through the wavelet transform with pseudo-differential operator like operators, Japan Society for Simulation and Technology 2021, Proceedings, 63-66.

口頭発表

1. 石田龍星，秋吉政徳，市川淳，マルチエージェントシミュレーションによる集団避難行動特性の分析ツール，電気学会情報システム研究会, IS-20-044, (2020.10).
2. 浅井幸大，市川淳，秋吉政徳，ナッジを用いた姿勢変化が将来得られる報酬の割り引かれる価値に与える影響，電子情報通信学会ヒューマンコミュニケーション基礎研究会, HCS-21-002, (2021.1).
3. 新納穣，市川淳，秋吉政徳，屋内災害におけるパニック行動分析に向けた VR による検証基盤，電子情報通信学会ヒューマンコミュニケーション基礎研究会，HCS-21-005, (2021.1).
4. 菊地正樹，市川淳，秋吉政徳，スマートスピーカーによる発話模倣が印象評価や向社会的行動に与える影響，電子情報通信学会ヒューマンコミュニケーション基礎研究会, HCS-21-010, (2021.1).
5. 喜古泰一，市川淳，秋吉政徳，Kinect を用いた仮想エージェントによる同期運動が印象評価や行動に与える影響-リハビリテーションやトレーニング支援からの検討-，電子情報通信学会ヒューマンコミュニケーション基礎研究会, HCS-21-015, (2021.1).

6. 加藤壮一郎，秋吉政徳，VR 空間オブジェクトに対する地震波を反映した揺れ運動生成の検討，電気学会分野横断型システム創成研究会, TSI-21-004, (2021.1).
7. 信末竜空，秋吉政徳，意外性を創出する取り合わせ俳句自動生成の検討，電気学会分野横断型システム創成研究会, TSI-21-006, (2021.1).
8. 信末竜空，秋吉政徳，取り合わせ語による意外性を創出する俳句の自動生成方式，情報処理学会第 83 回全国大会, 5S-06, 585-586 (2021.3).
9. 仲川紗彩香，秋吉政徳，GAN を用いた画像データへの意外性組み込み方式の実験，電気学会情報システム研究会, IS-21-005, (2021.3).
10. 加畑悠太郎，秋吉政徳，発話分類モデルを含んだ対話破綻検出器の構築，電気学会情報システム研究会，IS-21-006, (2021.3).
11. 新納穣，市川淳，秋吉政徳，Virtual Reality を用いた屋内災害におけるパニック行動分析，日本認知科学会知覚と行動モデリング研究分科会 (2021.3).
12. 市川淳，喜古泰一，秋吉政徳，擬人化エージェントとの同期運動が身体活動の印象に与える影響に関する検討，人工知能学会全国大会論文集, 1J4-GS-9a-01 (2021.6).
13. 信末竜空，秋吉政徳，敵対的学習により意外性を創出する俳句自動生成方式，人工知能学会全国大会論文集，4J4-GS-6g-04 (2021.6).
14. 遠藤拓人，秋吉政徳，亀丸敏久，吉新喜一，岩渕信顕，SIFT 特徴点の動的マッチングによる類似意匠画像検索方式，電気学会情報システム研究会, IS-21-020, (2021.6).
15. 遠藤拓人，秋吉政徳，亀丸敏久，吉新喜一，岩渕信顕，意匠画像における破線部自動削除方式，電気学会電子・情報・システム部門大会, OS1-20 (2021.9).
16. 林隼輔，佐々木太良，藤岡淳，3 値論理による Garbled Circuit におけるエンコードと暗号文数，電子情報通信学会技術研究報告, 120 (224), 19-25 (オンライン, 2020. 11).
17. 岡野裕樹，米山一樹，藤岡淳，永井彰，失効可能な階層型 ID ベース認証鍵交換の安全性モデルと構成について，2021 年暗号と情報セキュリティシンポジウム，3B1-2 (オンライン, 2021. 1).
18. 宮永英和，藤岡淳，佐々木太良，岡野裕樹，永井彰，米山一樹，複数デバイスでの ID ベース暗号の利用に関する考察，2021 年暗号と情報セキュリティシンポジウム，3B1-3 (オンライン, 2021. 1).
19. 林隼輔，佐々木太良，藤岡淳，3 値論理における Garbled Circuit の効率性, 2021 年暗号と情報セキュリティシンポジウム, 3B4-3 (オンライン, 2021. 1).
20. 川口武瑠，鈴木誠十郎，藤岡淳，佐々木太良，認証鍵交換方式 FSXY におけるハイブリッド安全性の検証，電子情報通信学会技術研究報告，121 (118)，60-67 (オンライン，2021. 7).
21. 市川淳，藤井慶輔，数理モデルを用いた三者の運動協調における不均一な役割の検討，日本認知科学会第 38 回大会発表論文集, 255-261 (2021.9).
22. S. Qian, J. He, S. Song, T. Imai and T. Matsumoto, Outage Analysis of One-Source-with-One-Helper Transmission in κ-μ Shadowed Fading Multiple Access Channels, Proceedings of the 2021 IEICE General Conference, B-5-112, 388, (online, 2021.3).
23. 鶴見梨沙，今井崇雅，傾き角変動のある光無線移動端末の角度ダイバーシティ受信特性，2021 年電子情報通信学会，総合大会講演論文集，B-10-35(online, 2021.3).
24. 工藤蓮，伊豆永洋一，Signed Modularity Density 最大化問題に対する半正定値計画緩和の実験的評価，令和 2 年度電気学会全国大会，講演論文集，pp.40-41，2021 年 3 月.
25. 増井孝之，森田光，ZDD の Garbled Circuit 構成法の安全性評価，コンピュータセキュリティシンポジウム 2020, CSS2020-3D3-1，1103-1109（Online, 2020.10）.
26. 池田大地, 森田光, 主観評価を加えたベイズ分類器の改良，コンピュータセキュリティシンポジウム 2020, CSS2020-4B1-3，1202-1205（Online, 2020.10）.
27. 増井孝之，森田光，ZDD の Garbled Circuit 構成法のシミュレーションによる性能評価, 2021 年暗号と情報セキュリティシンポジウム（SCIS2021), 3B4-4（Online, 2021.1）.
28. 池田大地，森田光，主観的評価を伴う因果推論への提案，電子情報通信学会　情報セキュリティ研究専門委員会 ISEC2020-76（Online, 2021.3）.
29. 角田寛和，瀬古沢照治：信号渋滞緩和を図る予見ファジィを用いた運転方法の提案，電気学会情報システム研究会資料, IS-20-051, pp.81-84，2020 年 10 月.
30. 末永詩歩，瀬古沢照治:産業を考慮したタンクモデルによる所得格差の表現,電気学会情報システム研究会資料,IS-20-064, pp.151-154，2020 年 10 月.
31. 平良碩男、瀬古沢照治：ロジットモデルと AHP を用いた都市交通計画の評価, 2021 年電気学会　電子・情報・システム部門大会、講演論文集，2021 年 9 月.
32. 齋藤渓，久保田匠，吉江佑介，グラフ上の Grover walk における新しいスペクトル写像定理(無限編), (オンライン，2020.12）.
33. 齋藤渓，久保田匠，吉江佑介，多角形分割上の量子ウォークのスペクトル解析，離散数学とその応用研究集会，(オンライン，2021.8）.
34. 杉本剛，「天文楽」表・裏，第 89 回形の科学シンポジウム予稿集，40-41 (Online，2020. 12).
35. 杉本剛，貴金属比直角三角形，かたちシューレ 2020 予稿集，4-5 (Online，2021. 02).
36. 杉本剛，伊藤東涯写本「無人嶋圖記」および厳覚写本「日本南方無人嶼記」，日本科学史学会第 68 回年会研究発表講演要旨集，31 (Online，2021. 05).
37. 杉本剛，欧州・遭遇・日本，第 90 回形の科学シンポジウム予稿集，30-31 (Online，2021. 06).
38. T. Sugimoto, THE STRUCTURE OF THE SOLUTION SPACE IN THE DIRECT AND INVERSE KEPLER PROBLEMS, Symmetry: Culture and Science, 32(2), 125-128 (Sofia, Bulgaria & Online, 2021. 07).
39. M. Rahman, T. Kagawa and M. Yoshida, Shockable and non-shockable arrhythmias detection using wavelet analysis with pseudo-differential operator like operators, OR 学会研究部会「動的決定モデルとその応用」, (Zoom, 2021.1.23).
40. M. Rahman, T. Kagawa, S. Kawasaki, S. Nagai, H. Oya, Y. Yahagi, T. Okai, and M. Yoshida, An analysis of electrocardiograms through the wavelet transform with pseudo differential operator like operators, The 40th JSST Annual International Conference on Simulation Technology, (Doshisha University, 2021.9.1).
41. M. W. Yoshida and S. Kawaski, On a formulation of Cauchy relativistic quantum field theory, October 15, 2021, Friday - Main Session, The Virtual QBIC Workshop 2021, Noda Campus of Tokyo University of Science. (An invited speaker, Taking a chair person at the session 13rd Oct., 2021).

著書

1. 内田智史 監修, 株式会社システム計画研究所編, C 言語によるプログラミング－基礎編－（第 3 版）, オーム社, (2020).

講演・展示会

1. 市川淳, 行動実験と計算機シミュレーションを組み合わせた三者の運動協調に関する検討, 日本認知科学会第 38 回大会オーガナイズドセッション「行動実験と計算機シミュレーションの接続−認知的インタラクションフレームワークの構築に向けて−」 (2021.9).
2. 市川淳, 心理統計を学ぶ意義－身体活動に関連する認知・行動データの分析を例として－, 常葉大学経営学部経営学科「専門基礎演習」「専門演習Ⅱ」「卒業研究Ⅱ」招待講演 (2021.9).
3. 齋藤渓, グラフ上のスプリットステップ量子ウォーク, RIMS 共同研究（グループ型）有限グラフ上の量子ウォークと量子探索の数理（オンライン, 2021. 6).

助成金

1. 藤岡淳(代表), 耐量子暗号技術への移行に向けた暗号技術, 令和 2 年度科学研究費補助金, 基盤研究(C), 課題番号 20K11686.
2. 市川淳（代表), 「身体運動の協調における他者の行動予測に関する認知モデルの構築」, 日本学術振興会 科学研究費助成事業 若手研究（令和 3 年度～4 年度, 課題番号 21K18033).
3. 市川淳（代表), “Understanding Others’ Roles Based on Perspective Taking in Coordinated Group Behavior”, 日本認知科学会 2021 年度若手研究者国際会議発表助成（令和 3 年度).
4. 鶱申（代表), 有歪み復号転送を用いた非信頼中継ネットワーク物理層セキュリティに関する研究, 令和 3 年度科学研究費助成事業(学術研究助成基金助成金), 若手研究, 課題番号 21K17738.
5. 齋藤渓（代表), 量子ウォークの二相系における粒子の漸近挙動についての研究, 令和 3 年度科学研究費補助金, 若手研究, 課題番号 21K13841.

受託研究

1. 秋吉政徳(代表),「特許調査業務における AI 応用検討」, 株式会社エムテック.
2. 藤岡淳(代表), 高効率セキュアメッセージングの共同研究, 日本電信電話株式会社, 豊橋技術科学大学, 茨城大学.

特許（取得）

1. 高島克幸, 藤岡淳, 鍵共有装置、鍵共有方法、鍵共有プログラムおよび鍵共有システム, 特許 6818220 号.

特許（公開）

1. 永井彰, 富田潤一, 星野文学, 藤岡淳, 鈴木幸太郎, 鍵交換システム、通信装置、鍵交換方法及びプログラム, 特開 2021-319223.
2. 永井彰, 富田潤一, 星野文学, 藤岡淳, 鈴木幸太郎, 鍵交換システム、機器、情報処理装置、鍵交換方法およびプログラム, 特開 2021-34979.
3. A. Nagai, J. Tomida, F. Hoshino, A. Fujioka, and K. Suzuki, Key exchange system, communication apparatus, key exchange method and program, PCT/JP2020/027712.

褒賞

1. 石田龍星, 秋吉政徳, 市川淳, トピックモデルを用いた避難における集団行動特性の分析, 第 34 回人工知能学会全国大会(JSAI 2020)優秀賞(2020.11).
2. 秋吉政徳, 電気学会フェロー称号(2021.3).
3. 新納穣, 市川淳, 秋吉政徳, Virtual Reality を用いた屋内災害におけるパニック行動分析, 日本認知科学会知覚と行動モデリング研究分科会 2020 年度研究会発表賞(2021.3).
4. 石田龍星, 秋吉政徳, 市川淳, マルチエージェントシミュレーションによる集団避難行動特性の分析ツール, 電気学会電子・情報・システム部門優秀発表論文賞(2021.9).
5. 市川淳, なぞり課題を用いた運動協調における役割の検討, 日本認知科学会第 37 回大会 (JCSS 2020) 大会発表賞(2020.12).

その他

1. 藤岡淳,「鍵共有」でさらなる安心と便利を, YouTube kanagawaunivofficial（神奈川大学公式 YouTube), https://www.youtube.com/watch?v=kyj68Paz8hM (2021. 8).
2. 藤岡淳, 神奈川大学の先生に突っ込んで聞いてみた！ ～工学部・情報システム創成学科編～,YouTube 神奈川大学サブチャンネル, https://www.youtube.com/watch?v=dXmpAoShYnE (2021. 8).
3. ジョン パトリック ラグリマス, 小山幸保, 神奈川大学工学部情報システム創成学科 研究室紹介(暗号システム研究室）, YouTube 神奈川大学サブチャンネル, https://www.youtube.com/watch?v=6WywxMpS39c (2021. 9).
4. 市川淳, 坂本孝丈, 大澤正彦, 日本認知科学会第 38 回大会オーガナイズドセッション「行動実験と計算機シミュレーションの接続－認知的インタラクションフレームワークの構築に向けて－」オーガナイザ, OS10 (2021.9).
5. 森田光, II 情報処理の研究開発 5.3 認証技術の鍵管理, 篠原弘道監修「平成の研究開発 ～ネットワークの広帯域化・IP 化とサービスの多様化に資した R＆D～」, NTT, 513-516 (2021.4）.

経営工学科

研究論文I（レフェリー付き論文）

1. M. H. Talukder, S. Ota, M. Takanokura and N. Ishii, Crack detection in concrete structures under varied environmental conditions using CNN, Journal of the Society of Plant Engineer Japan, 33, 14-21 (2021).
2. S. Ota and M. Kimura, Effective estimation algorithm for parameters of multivariate Farlie-Gumbel-Morgenstern copula, Japanese Journal

of Statistics and Data Science, 4, 1049-1078 (2021).

3. S. Ota and M. Kimura, Exact range of the parameter of an n-variate FGM copula under homogeneous dependence structure, IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, E104-A (5), 823-826 (2021).
4. X. Fan and J. Weng, Tabu-search-based Order Seat Planning for Engineer-to-order Manufacturing, Asian Journal of Management Science and Applications, Vol. 5, No.2, pp.160-180 (2021).
5. K. Sato, Dynamic pricing with automated purchase-reservation algorithms, Journal of Revenue and Pricing Management, 20, 33-41 (2021).
6. M. Takanokura, R. Kurashima, T. Ohhira, Y. Kawahara, M. Ogiya, Implementation and user acceptance of social service robot for an elderly care program in a daycare facility, Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, Online first (2021)
7. J-L. Viviani, A. Komura, and K. Suzuki, Integrating dynamic segmentation and portfolio theories for better customer portfolio performance, Journal of Strategic Marketing, DOI: 10.1080/0965254X.2021.1881148 (2021.2).
8. M. Matsumoto, Circular Truncated Conical Mirror with Cavity Shape and Inner Reflection for Concentrating Diffused Light to Collector Mouth from a Half Celestial Sphere, Journal of the Institute of Industrial Applications Engineers, 9 (2), 40-51 (2021).
9. M. Matsumoto, Performance Evaluation and Optimization of Design of Light Focus in Otoscope during Otoscopic Examination by Headlight, Journal of Science and Technology in Lighting, 44, 34-44 (2021).
10. 片桐英樹，松丸正延，XGBoost と多期間データセットを用いた業界別倒産予知モデルの構築，日本経営システム学会誌，38 (1), 1-10 (2021).
11. 滝聖子，泉孝昌，山田哲男，髙野倉雅人，母親の育児および職業ストレスの要因分析，日本福祉工学会誌，22 (2), 23-29 (2020).
12. 滝聖子，西村峻，冨澤侑介，髙野倉雅人，川上勝，主観評価法および生体情報計測を用いた並行作業の作業負荷の基礎分析，日本設備管理学会誌，33 (1), 22-28 (2021).
13. 于亜婷，滝聖子，内島典子，髙野倉雅人，他 2 名，因子分析を用いた介護職従事者の職業性ストレス対策の検討，日本ホスピタリティ･マネジメント学会誌, 31, 57-64 (2021).
14. 軽部幸起，山田哲男，髙野倉雅人，筧宗徳，スタッフによる見守りを考慮した通所デイケア施設におけるリハビリ器具のレイアウト設計，日本設備管理学会誌，32 (4)，83-92 (2021).
15. 于亜婷，滝聖子，加藤貴浩，髙野倉雅人，他 2 名，介護職従事者の職業性ストレス要因に関する研究，日本設備管理学会誌，32 (4)，93-98 (2021).
16. 松本光広，設置面との静止摩擦係数や形状に依らず設置場所やテープの長さを限定しない据置型のテープディスペンサー，産業応用工学会論文誌，9 (2), 59-72 (2021).

研究論文II（レフェリー付き Proceedings）

1. M. H. Talukder, S. Ota, M. Takanokura and N. Ishii, Sub-dataset generation and matching for crack detection on brick walls using convolutional neural networks, Proceedings of the 2nd International Conference on Deep Learning Theory and Applications (DeLTA 2021), 191-197, Lisbon - Portugal (Online Streaming) (2021).
2. N. Ishii and M. Ohba, Quantitative evaluation of the information network in supply chain, The 26th International Conference on Production Research, No. 0007, Taichung, Taiwan (On line Streaming) (2021).
3. A. Zhang, H. Hirai, M. Matsumaru and H. Katagiri, Corporate rating model using threshold optimization and XGBoost, Proc. International Conference on Industrial & Mechanical Engineering and Operations Management 2020 (Dhaka, 2020.12).
4. K. Ueda, A. Komura, and H. Hirai, Relationship between the Power Law Distribution of the Number of TV Viewer's Contact with Commercials and Advertising Expenditure, 11th Annual International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM), ISBN: 978-1-7923-6124-1 (2021. 6).
5. N. Sato, A. Komura, and H. Hirai, Building a Model for Detecting Accounting Fraud in Tokyo Stock Exchange Listed Companies Using Machine Learning Method, 11th Annual International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM), ISBN: 978-1-7923-6124-1 (2021. 6).

口頭発表

1. 大場允晶，石井信明，災害時の対応サプライチェーン情報ネットワーク価値評価，第 11 回横幹連合コンファレンス, B-3-5 (オンライン開催) (2020).
2. M. H. Talukder, S. Ota, M. Takanokura and N. Ishii, Training Dataset Generation by Data Augmentation for Crack Detection of Concrete Structures by CNN, 日本設備管理学会 2020 秋季研究発表会, B-2.2, (オンライン開催) (2020).
3. 石井信明，設備投資プロジェクトにおける入札要請コントラクターの選択問題，日本設備管理学会 2020 秋季研究発表会, B-2.1,（オンライン開催）(2020)．
4. 石井信明，新たな LSE 教材への追加項目（1）, 第 42 期 国際ロジスティクス学会日本支部 3 月度フォーラム（2021).
5. 石井信明，モデリング、シミュレーション、メタモデリング，第 42 期 国際ロジスティクス学会日本支部 4 月度フォーラム（2021).
6. 松井正之，大戸-藤田恵理，石井信明，自然対人工体科学による Heart=Waist=Lung タイプの人間化対経営化個体ロボット研究, 日本経営工学会 2021 年春期大会, E11 (オンライン開催)（2021)．
7. 石井信明，太田修平，複雑なシステムへのメタモデリングの活用について 欠品数推定を例として， 日本経営工学会 2021 年春期大会, F17 (オンライン開催)（2021)．
8. 石井信明，新たな LSE 教材をどう作るか ものがたり集の期待と課題，第 42 期 国際ロジスティクス学会日本支部 6 月度フォーラム（2021).
9. 塩川寛，太田修平，石井信明，検査部門の負荷を考慮した販売・生産・検査部門協働による需給計画手法，日本設備管理学会 2021 春季研究発表会，B-3.2，(オンライン開催)（2021)．
10. M. H. Talukder, S. Ota, M. Takanokura and N. Ishii, A Proposal of Crack Cropping Method for Image Augmentation of Concrete Structure, 日本設備管理学会

2021 春季研究発表会, B-3.1,（オンライン開催）（2021）.
11. 太田修平，木村光宏，力士の確率モデルと休場予測の一考察，電子情報通信学会技術研究報告（信学技報）信頼性, 13-18 (オンライン開催, 2021. 6).
12. 太田修平，木村光宏，信頼性解析における多変量 FGM コピュラを用いたモデリングについて，統計関連学会連合大会報告集，2BAM-01 (オンライン開催, 2021. 9).
13. N. Liyanaarachchi, S. Akasaka and J. Weng，Engineer-to-order Production Systems in Machinery Production Supply Chains: A Literature Review，14th Forum on Innovation and Supply Chain Management (ZOOM Online，2021. 2).
14. 赤坂信悟，村中達弥，翁嘉華，工作機組立工程における習熟過程を考慮した作業員割付シミュレーション，日本機械学会生産システム部門研究発表講演会，21-22 (ZOOM Online，2021. 3).
15. 翁嘉華，出口拓海，赤坂信悟，松野思迪，個別仕様に対応した機械加工ショップにおけるリソース割付方法の研究，日本機械学会生産システム部門研究発表講演会，27-28 (ZOOM Online，2021. 3).
16. 翁嘉華，赤坂信悟，個別仕様受注生産における加工工程基準日程設定法に関する研究，日本生産管理学会第 53 回全国大会，62-63 (ZOOM Online，2021. 3).
17. 赤坂信悟，翁嘉華，大型製品組立作業におけるリードタイム短縮施策に関する研究，日本生産管理学会第 53 回全国大会，64-65 (ZOOM Online，2021. 3).
18. 柴田有里奈，赤坂信悟，翁嘉華，部品コストを考慮した製品機能仕様の決定方式，日本経営工学会春季大会，280-281(ZOOM Online，2021. 5).
19. 出口拓海，赤坂信悟，翁嘉華，部品加工ショップリソース決定に関する一考察，日本経営工学会春季大会，59-60 (ZOOM Online，2021. 5).
20. N. Liyanaarachchi, S. Akasaka and J. Weng，Lead Time Evaluation in a High-Mix Low-Volume Manufacturing Environment by using Data Visualization Tools，日本生産管理学会第 54 回全国大会，126-127 (ZOOM Online，2021. 9).
21. 張安達，平井裕久，松丸正延，片桐英樹，XGBoost とクラス閾値の最適化を用いた企業格付けの研究，日本経営工学会 2020 年秋季大会，33-34 (オンライン開催，2020. 10).
22. 狩野桜，太田和希，片桐英樹，商品の人気度を考慮した状態空間モデルによる仕出し弁当の需要予測，第 65 回日本経営システム学会全国研究発表大会，146-147 (オンライン開催，2020. 11).
23. 菅原一将，太田和希，片桐英樹，数理最適化に基づく仕出し弁当の献立作成，日本経営工学会 2021 年度春季大会，93-94 (オンライン開催，2021.5).
24. 髙橋淳，片桐英樹，下調理の手間と食材の重量を考慮した組合せ最適化に基づく学校給食の献立作成，日本経営工学会 2021 年度春季大会, 276-277 (オンライン開催, 2021.5).
25. 窪谷浩人,「量子結合系の量子ダイナミックス」(招待講演), シンポジウム「複雑系数理：物理・化学・生物・情報とカオス」(主催:奈良女子大学物理領域), (北海道大学, 2021.3).
26. 殷宏梅，佐藤公俊，中島健一，クーポン配布を考慮した最適販売政策に関する研究，日本経営工学会2020年秋季大会, (オンライン開催，2020. 10).
27. 佐藤公俊，二次流通市場を考慮した収益管理モデル，日本リアルオプション学会2020年度研究発表大会，(オンライン開催，2020. 11).
28. 佐藤優，佐藤公俊，機械学習による J リーグのチケット販売枚数の予測とシミュレータ開発，日本経営工学会 2021 年春季研究大会，(オンライン開催，2021. 5).
29. 佐藤公俊，協調的行動からの逸脱を考慮したダイナミックプライシングについて，数理解析研究所研究集会，ファイナンスの数理解析とその応用, (オンライン開催, 2021. 9).
30. 髙野倉雅人，笠岡誠一，レストランのユーザエクスペリエンス向上を目指したメニュー開発の取り組み，日本人間工学会関東支部第 50 回大会, 55-56(オンライン, 2020. 12).
31. 髙野倉雅人，土田みのり，笠岡誠一，コロナ禍の顧客ニーズを踏まえたレストランのテーブルポップの UX デザイン, 日本人間工学会第 62 回大会，188-189 (オンライン，2021. 5).
32. 髙野倉雅人，久保千尋，荻谷光晴，ウィズコロナにおけるテーマパークの体験価値向上を目指した写真投稿アプリのデザイン，日本人間工学会第 62 回大会，190-191（オンライン，2021. 5）.
33. 髙野倉雅人，黒川智弘，荻谷光晴，デイサービス施設でのレクリエーションへのコミュニケーションロボットの活用, 日本経営工学会 2021 年春季大会, 190-191 (オンライン, 2021. 5).
34. 久宗周二，小木和孝，石井泰介，船員の健康情報の提供とその効果に関する研究，日本人間工学会全国大会，1F1-1（大阪，2021).
35. 荒木匠平，小村亜唯子，平井裕久, 情報サイトにおけるランキングと口コミ文章に関する研究, 日本経営工学会 2020 年秋季大会，(オンライン，2020. 10).
36. A. Zhang, M. Matsumaru, H. Katagiri, and H. Hirai, Corporate Rating Model using Threshold Optimization and XGBoost, 3rd International Conference on Industrial and Mechanical Engineering and Operations Management (IMEOM), (Online, 2020.12).
37. K. Ueda, A. Komura, and H. Hirai, Relationship between the Power Law Distribution of the Number of TV Viewer's Contact with Commercials and Advertising Expenditure, 11th Annual International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM), (Online, 2021.3).
38. N. Sato, A. Komura, and H. Hirai, Building a Model for Detecting Accounting Fraud in Tokyo Stock Exchange Listed Companies Using Machine Learning Method, 11th Annual International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM), (Online, 2021.3).
39. 緒方勇，平井裕久，座標空間上で原価計算や生産管理を行うシステム，及びアロー図の提案，日本経営工学会春季大会, (オンライン，2021. 5).
40. 譚西子，小村亜唯子，平井裕久, 日本企業の CCC にみる短期運転資金管理, 日本経営工学会春季大会, (オンライン, 2021. 5).
41. 佐藤夏輝，小村亜唯子，平井裕久，ロジスティック回帰による目的別不正会計の検知, 日本経営工学会春季大会, (オンライン，2021. 5).
42. 奥優里菜，小村亜唯子，平井裕久, 食品製造会社における固定収益会計の差異分析の適用事例研究, 日本経営工学会春季大会, (オンライン，2021. 5).
43. 荒木匠平，小村亜唯子，平井裕久, 旅行情報サイトにおける口コミのトピックがランキングに与える影響, 日本経営工学会春季大会, (オンライン，2021. 5).
44. 片桐英樹，平井裕久，松丸正延，株式の保有関係を考慮した機械学習による企業格付の推計，日本経営システム学会全国研究発表大会, (オンライン，2021. 5).
45. 佐藤夏輝，小村亜唯子，平井裕久, 機械学習による不正会

計の検知, 日本経営システム学会全国研究発表大会, (オンライン, 2021. 5).
46. 譚西子, 小村亜唯子, 平井裕久, CCC と短期運転資金管理, 日本経営システム学会全国研究発表大会, 2021 年 5 月 23 日, (オンライン, 2021. 5).
47. 小村亜唯子, 伊藤大真, 平井裕久, 予算目標の困難度, 達成志向的ワークモチベーション, 予算業績に関する定量的研究, 日本管理会計学会 2021 年度第 1 回関西・中部部会, (オンライン, 2021. 5).
48. 小村亜唯子, わが国企業の売上高の安定性・利益の安定性の言及割合-有価証券報告書を分析対象として-, 国際戦略経営研究学会 2020 年年次大会, (オンライン, 2020. 10).
49. 小村亜唯子, 顧客ロイヤルティが顧客別限界利益の持続性に与える影響, 国際戦略経営研究学会 2021 年度年次大会, (オンライン, 2021. 9).
50. 工藤浩童, 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無人搬送車の正面および側面における走査の設計, 日本機械学会関東支部第 27 期総会・講演会講演論文集, 210-1, 11F07 (Web, 2021, 3).
51. 工藤浩童, 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無人搬送車の正面および側面における走査の小型化, 第 29 回茨城講演会講演論文集, 210-1, 603 (オンライン, 2021, 8).
52. 工藤浩童, 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無人搬送車の正面および側面における走査の解析, 日本機械学会 2021 年度年次大会予稿集, 21-1, J181-04 (千葉, 2021, 9).

学術誌

1. 石井信明, システム分析・設計とモデリング－LSE の新体系化に向けて－, 月刊ロジスティクス・ビジネス, 2021 年 3 月号, 84-86 (2021).
2. 石井信明, 松井正之, 企業ロボット研究へのモデリング＆シミュレーションの活用, 神奈川大学工学研究, 4, 105-106 (2021).
3. 石井信明, 横山真一郎, 劉 功義, 不確定状況下でのプロジェクトマネジメントの定量的評価の概念, 神奈川大学工学研究, 4, 111-112 (2021).
4. 石井信明, モデリングとシミュレーション－LSE の新体系化に向けて－, 月刊ロジスティクス・ビジネス, 2021 年 7 月号, 98-99 (2021).
5. 石井信明, 交渉と目標の設定 －LSE の新体系化に向けて－, 月刊ロジスティクス・ビジネス, 2021 年 8 月号, 108-110 (2021).
6. 赤坂信悟, 翁嘉華, マスカスタマイゼーションに対応した次世代生産・受注システムの開発-工作機械を例に-, 神奈川大学工学研究, 4, 3-7 (2021).
7. 佐藤公俊, 廖星, ニホンウナギのサプライチェーンに関する研究：資源の持続的利用に向けて, 神奈川大学アジア・レビュー, 8, 32-41 (2021).
8. 永井岳大, 小濱剛, 荻谷光晴, 映像情報メディア年報 2021 シリーズ（第 5 回）ヒューマンインフォメーションの研究動向, 映像情報メディア学会誌, 75(5), 627-632 (2021).
9. 久宗 周二, 小木 和孝, 石井 泰介,情報機器を活用した遠隔での船員の労働安全衛生体制の構築の試み, 行動医療研究, 26（1）, 3-9(2021).
10. 平井裕久, 小村亜唯子, 会計学研究の潮流と今後の課題（70 周年記念特集 : 70 年の歴史を土台に経営工学の未来に向かって）, 経営システム, 30(2), 182-186 (2020).
11. 池島真策, 平井裕久, 会社分割における適時開示とそのテキスト情報に関する基礎的分析, 大阪経大論集, 72(2), 87-197 (2021).

著書

1. K. Ota and H. Katagiri (coauthor), S.-I. Ao, H.-K. Kim, M.A. Amouzegar (eds.), Transactions on Engineering Technologies, Chap. 2, Springer (2021).
2. 佐藤公俊, 藤江遼, 後藤晃範, 平井裕久, やさしいデータ分析基礎 : Excel から R へステップアップ, 三恵社 (2021).
3. 佐藤公俊, 澤木勝茂, レベニューマネジメント：収益管理の基礎からダイナミックプライシングまで, 共立出版, (2020).

調査報告書

1. 久宗周二, 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　厚生労働科学研究費助成事業研究成果報告書, (H30-労働-一般-006).

講演・展示会

1. 片桐英樹, 機械学習を用いた仕出し弁当の需要予測　－産学公連携による中小企業の DX と大学教育－, 日本経営システム学会中国四国支部講演会（オンライン開催, 2021.6).
2. 佐藤公俊, 需要関数の学習を考慮したダイナミックプライシング, 日本オペレーションズ・リサーチ学会, 不確実状況下における意思決定とその周辺, 第10回研究会（オンライン, 2021. 1).
3. 久宗周二, 新しい船員の健康管理について, 国土交通省神戸監理部　安全大会　基調講演（神戸, 2021. 9).
4. 松本光広, 九州にゆかりのある「破壊的な挑戦部門」挑戦課題の事例発表, 異能 vation チャレンジセミナーin 九州 (オンライン, 2021. 7).

助成金

1. 石井信明（代表）, プロジェクトの見積り戦略と遂行体制・契約方式の研究, 令和２年度科学研究費補助金, 基盤研究（C）, 課題番号 20K04991.
2. 石井信明, 需給システムの最適化, ユニバーサル製缶株式会社.
3. 太田修平（代表）, 従属故障を伴う大規模システムに対する信頼性設計手法の新展開, 令和元年度科学研究費助成事業, 研究活動スタート支援, 課題番号 19K04892.
4. 太田修平（代表）, 従属故障を伴う大規模システムの統合的高信頼性設計手法の研究, 令和３年度科学研究費助成事業, 若手研究, 課題番号 21K14373.
5. 翁嘉華（分担）, ＡＩ技術をプラットフォームとする競争力ある次世代生産システムの設計・運用基盤の構築, NEDO 受託事業・次世代人工知能・ロボットの中核となるインテグレート技術開発.
6. 片桐英樹（代表）, 不確実性と曖昧性を考慮した数理最適化に基づく給食献立と調理スケジュールの作成, 2021 年度科学研究費補助金, 基盤研究（C）, 課題番号 21K04538.
7. 片桐英樹（分担）, 観光科学のための数理システム基盤整備とその有効性の実証, 2021 年度科学研究費補助金, 基盤研究（A）, 課題番号 20H00088.
8. 藤江遼（代表）, 社会物理学とその周辺, 2021 年度共同利

用・共同研究拠点 MIMS 現象数理学研究拠点 共同研究集会.

9. 佐藤公俊（分担），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（継続），基盤研究(B)，課題番号 18H01662.
10. 佐藤公俊（分担），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)，課題番号 17H02042.
11. 佐藤公俊（代表），価格決定アルゴリズムの公平性評価における数理的手法の理論と応用，令和 2 年度科学研究費補助金（継続），基盤研究(C)，課題番号 20K04976.
12. 髙野倉雅人（代表），荻谷光晴（分担），人間中心アプローチによるデータドリブンな介護サービス・マネジメントシステムの創成, 2021 年度科学研究費補助金, 基盤研究(C)，課題番号 19K04915.
13. 髙野倉雅人（分担），ワークライフバランス支援のための技術・技能・健康のコミュニケーションデザイン，2021 年度科学研究費補助金，基盤研究(C)，課題番号 19K04909.
14. 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 29 年度科学研究費補助金，基盤研究（C），課題番号 17K04059.
15. 平井裕久（分担），会社分割におけるテキストマイニングを用いた企業の開示情報と企業価値の関連性，全国銀行学術研究振興財団　平成 29 年度科学研究費補助金，研究助成（研究コード 1924）.
16. 小村亜唯子（代表），企業と顧客との関係性管理による営業利益安定化メカニズム，令和 3 年度科学研究費補助金，若手研究，課題番号 20K13652.
17. 小村亜唯子（分担），固定収益会計による人的サービス業の現場従業員を対象とするコントロール理論の構築，令和 3 年度科学研究費補助金, 基盤研究(C), 課題番号21K01824.
18. 松本光広（代表）, Circular Truncated Conical Mirror with Cavity Shape and Inner Reflection for Concentrating Diffused Light to Collector Mouth from a Half Celestial Sphere，中部電気利用基礎研究振興財団令和 3 年度出版助成.

受託研究

1. 片桐英樹，フードロス対策での AI 活用についての検討，山路フードシステム.
2. 佐藤公俊，ダイナミックプライシングにおける効果測定及び需要推定精度の研究，ダイナミックプラス株式会社.
3. 佐藤公俊，SMB(Small and Medium Business)のレベニューマネジメント業務の高度化を目的としたデータ駆動型モデリング，株式会社リクルート.

特許(取得)

1. 松本光広，音出力装置及び携帯装置，特許第 6781898 号.

その他

1. 久宗周二，久宗周二 教授（工学部）が座長となっている国土交通省海事局「船員の健康確保に関する検討会」の取り組みと，現在の遠隔での船員の労働安全衛生体制の社会実験が特集で掲載されました．水産経済新聞　(2021. 2.24).
2. 久宗周二，工学部 経営工学科 社会行動科学研究室（久宗教授）のゼミ生が，群馬県みどり市に対しオンラインで，コロナ禍で変わる働き方や暮らしに焦点を当て「地域資源による活性化政策」を提言したことが掲載されました．桐生タイムス　(2021. 9.1).
3. 松本光広，空間を感じる超人化スーツ : This Superhuman Suit，InnoUvators (2020. 12).
4. 松本光広, 空間を感じる超人化スーツの実現, InnoUvators (2021. 1).
5. 松本光広，新たな未来を創る InnoUvators，InnoUvators (2021. 3).
6. 松本光広，かまいたちと最新技術を体をはってたしかめよう!，天才てれびくん hello，日本放送協会 (2021. 5).
7. 松本光広，柔らかさを撮るカメラ/電子楽器ウダー/気配を感じられるスーツへの挑戦，InnoUvators (2021. 9).

建築学科

研究論文I（レフェリー付き論文）

1. S. Park, A. Dempoya and T. Koshiba, Evaluation on Wear Sensation of Safety Clothing for Current Street Cleaners -Focusing on Publicly Supplied Safety Clothing for Street Cleaners- (in Korean), Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles, 44 (6), 1037-1052 (2020).
2. T. Enomoto, Ma He, T. Ochiai, M. Navarro, S. Senna, Estimation on Surface Soil Structure for Seismic Disaster Mitigation By Microtremor Miniature Array Observation Method in Yokohama, Japan, 17th World Conference on Earthquake, Sendai, Japan, 2021
3. T. Enomoto, T. Ochiai, Study on Quantitative Evaluation Method for Earthquake Disaster Prevention Potential Based on Statistical Information, 17th World Conference on Earthquake, Sendai, Japan, 2021
4. M. Navarro, Y. Oda, M. Martínez-Segura, T. Enomoto, A. García-Jerez, F. López, Vs30 structure of Murcia city (Southeast of Spain) derived from Mini-array observations, MASW measurements and the Topographic slope method., 17th World Conference on Earthquake, Sendai, Japan, 2021
5. T. Ochiai, T. Enomoto, Study on Hazard Evaluation Method for Surface Ground Using Respons Spectrum, 17th World Conference on Earthquake, Sendai, Japan, C000582 (2021)
6. T. Ochiai, T. Enomoto, Multi-Hazard Evaluation Using Cluster Analysis—For Designated Evacuation Centers of Yokohama, Journal of Geographic Information System, 13, 243-259 (2021).
7. T. Ochiai, T. Inubushi, T. Enomoto, Creation of Hazard Maps by Considering Regional Characteristics by Microtremors, Journal of Japan Association for Earthquake Engineering, 20, 8, 19-31 (2021)
8. C.H. Cai, Z.H. Lu, Y. Leng, Y.G. Zhao and C.Q. Li, Time-dependent structural reliability assessment for nonstationary non-gaussian performance functions, Journal of Engineering Mechanics 147(2), 04020145 (2021).
9. D.H. Hu, Z.H. Lu and Y.G. Zhao, Estimation of statistical moments of performance functions using efficient importance measure, Journal of Asian Architecture and Building Engineering. (2021).
10. F.W. Ge, M.N. Tong and Y.G. Zhao, A structural demand model for seismic fragility analysis based on three-parameter lognormal distribution Soil Dynamics and Earthquake Engineering,147, 106770 (2021)
11. H.Z. Zhang and Y.G. Zhao, Effects of earthquake magnitude,

distance, and site conditions on spectral and pseudospectral velocity relationship, Bulletin of the Seismological Society of America, https://doi.org/10.1785/012021015 (2021).

12. H.Z. Zhang and Y.G. Zhao. Effect of radiation damping on the fundamental period of linear soil profiles. Journal of Earthquake Engineering, 2021, https://doi.org/10.1080/13632469.2021.1911884 (2021).
13. H.Z. Zhang and Y.G. Zhao, Analytical model for response spectral ratio considering the effect of earthquake scenarios, Bulletin of Earthquake Engineering, 19: 5288-5305 (2021).
14. H.Z. Zhang and Y.G. Zhao, Damping modification factor of acceleration response spectrum considering seismological effects, Journal of Earthquake Engineering, https://doi.org/10.1080/13632469.2021.1991521. (2021).
15. L.W. Zhang, Z.H. Lu and Y.G. Zhao, Dynamic reliability assessment of nonlinear structures using extreme value distribution based on L-moments, Mechanical System and Signal Processing 159, 107832 (2021).
16. M.N. Tong, Y.G. Zhao and Z.H. Lu, Normal transformation for correlated random variables based on L-moments and its application in reliability engineering, Reliability Engineering and System Safety 207, 107334 (2020).
17. M.N. Tong, Y.G. Zhao and Z. Zhao, Simulating strongly non-Gaussian and non-stationary processes using Karhunen–Loève expansion and L-moments-based Hermite polynomial model, Mechanical Systems and Signal Processing 160, 107953 (2021).
18. P.P. Li, Z.H. Lu and Y.G. Zhao, Bayesian updating of time-dependent structural reliability using the method of moment. ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part A: Civil Engineering 7(4), 04021066 (2021).
19. P.P. Li, Z.H. Lu and Y.G. Zhao, Practical method for determining load and resistance factors using three-moment transformation. Structural Engineering and Mechanics 80(2), 143–155 (2021).
20. X.F. Yan and Y.G. Zhao, Experimental and numerical studies of circular sandwiched concrete axially loaded CFDST short columns, Engineering Structures 230, 111617 (2021).
21. X.F. Yan, Y.G. Zhao and S.Q. Lin, Compressive behaviour of circular CFDST short columns with high- and ultrahigh-strength concrete, Thin-Walled Structures 164, 107898(2021).
22. X.F. Yan, Y.G. Zhao, S.Q. Lin and H.Z. Zhang, Confining stress path-based compressive strength model of axially compressed circular concrete-filled double-skin steel tubular short columns, Thin-Walled Structures 165, 107949 (2021).
23. X.W. Ji, B.Y. Zhang, Z.H. Lu and Y.G. Zhao, Fragility assessment of typhoon-induced hazard to roof sheathing panels of low-rise building, Journal of Structural Engineering 147(7), 1-10 (2021).
24. Y. Leng, Z.H. Lu, C.Q. Li and Y.G. Zhao, Time-variant probabilistic assessment of corrosion initiation of marine concrete structures considering maximum phenomenon, Construction and Building Materials 272, 121967 (2020).
25. Y.G. Zhao, M.J. Qin, Z.H. Lu and L.W. Zhang, Seismic fragility analysis of nuclear power plants considering structural parameter uncertainty. Reliability Engineering & System Safety 216, 107970 (2021).
26. Y.G. Zhao, Y.Y. Weng and Z.H. Lu, An orthogonal normal transformation of correlated non-normal random variables for structural reliability, Probabilistic Engineering Mechanics 64, 103-130 (2021).
27. Z. Zhao, Z.H. Lu, C.Q. Li and Y.G. Zhao, Dynamic reliability analysis for non-stationary non-Gaussian response based on the bivariate vector translation process, Probabilistic Engineering Mechanics 66, 103143 (2021).
28. Z.H. Lu, D.Z. Hu and Y.G. Zhao, System reliability assessment of ductile frame structures using methods of moment, Advance in Structural Engineering, Accepted.
29. Z.H. Lu, S.Y. Wu, Z. Tang, W.G. Li and Y.G. Zhao, Effect of chloride-induced corrosion on bond behavior between steel strand and concrete, Materials and structures 129 (54), 1-16 (2021).
30. T. Masumoto, Y. Yasuda, N. Inoue and T. Sakuma, Fast calculation of far-field sound directivity based on fast multipole boundary element method, Journal of Theoretical and Computational Acoustics, 28 (4), 1950024 (2020).
31. T. L. Bui, T. L. Nguyen, M. Morinaga, T. Morihara and Y. Hiraguri, Effect of measurement-based noise source model of military airplanes on the validity of aircraft noise estimation in Vietnam, Acoustical Science and Technology, 42 (1), 50-57 (2021).
32. T. L. Nguyen, S. Kuwano, I. Yamada, T. Yano and M. Morinaga, Picture-Frustration test to assess environmental attitudes of residents exposed to aircraft noise from Hanoi Noi Bai International Airport, SUSTAINABILITY, 13 (4), 2016 (2021).
33. B. L. Trieu, T. L. Nguyen, Y. Hiraguri, M. Morinaga and T. Morihara, How does a community respond to changes in aircraft noise? A comparison of two surveys conducted 11 years apart in Ho Chi Minh City, Int. J. Environ. Res. Public Health 18 (8), 4307 (2021).
34. M. Morinaga, T. L. Nguyen, S. Yokoshima, K. Shimoyama, T. Morihara and T. Yano, The effect of an alternative definition of “percent highly annoyed” on the exposure–response relationship: comparison of noise annoyance responses measured by ICBEN 5-point verbal and 11-point numerical scales, Int. J. Environ. Res. Public Health 18 (12), 6258 (2021).
35. 内田幸子，小柴朋子，傳法谷郁乃，田辺文憲，荒川創一，森本美智子，感染防護服着用時の生理・心理反応に関する研究，繊維製品消費科学，62 (1), 44-53 (2021).
36. 内田幸子，森本美智子，傳法谷郁乃，田辺文憲，荒川創一，新興感染症に対する個人防護具の現状と要望 医療従事者への質問紙調査結果，日本環境感染学会誌，36 (5), 242-252 (2020)
37. L. Ren, H.Z. Zhang, P.P. Li and Y.G. Zhao, Reliability evaluation of project completion time using fourth-moment normal transformation. 構造工学論文集 Vol.67B, 279-285 (2021).
38. 中村慎，瀧澤裕貴，藤田正則，岩田衛：芯材に低降伏点鋼を用いた座屈拘束ブレースの疲労実験-, 日本建築学会構造工学論文集，Vol.67B，pp.331-337，2021.3
39. 上野正也，山家京子，民有空地の活用検討プロセスに関する実践的研究 -川崎市八丁畷駅前空地における実験的取組みを事例として一，日本建築学会技術報告集，26 (64), 1173-1178 (2020).

研究論文II（レフェリー付き Proceedings）

1. S.Iwamoto, A.Dempoya, R.Ohnishi and K.Sakaue, The prediction method of supply water temperature for energy

simulation of hot water supply system Part 4 Prediction methods of supply water temperature based on measurements in purification plants of 52 cities in Japan, the Proceedings of CIB-W062 Symposium, Online, 2021.9.

2. 内田青蔵，日本近代における「民家」へのまなざしと民芸運動について，歴史と民俗，(37)，神奈川大学日本常民文化研究所論集，463-505 (2021.3.1).
3. 須崎文代, 生活の《解体》考 : 暮らしと住まいを見つめる学問の軌跡 (小特集 新考・再考・再再考, 歴史と民俗, (37), 神奈川大学日本常民文化研究所論集，301-325 (2021.3.1).
4. T. Ochiai, T. Enomoto, Y. Oda, M. Miyano, E. Ikuta, M. Navarro, Comparison of house damage and microtremor results in past earthquakes, Proceedings of the 14th Society of Exploration Geophysiciste of Japan International Symposium, DM-P-03 (2021)
5. T. Ochiai, T. Enomoto, S. Senna, Study of Ground Amplification Characteristics by Strong Motion and Microtremor Observations - A Simple Study on Ground Nonlinearity by Equivalent Linear Analysis, 1st Croatian Conference on Earthquake Engineering, Session 5B (2021)
6. 奥山博康，益子智久，吉浦温雅，多数室建物の伝熱と換気の測定のためのシステム同定法，日本建築学会・環境工学委員会・熱環境運営委員会, 第 50 回熱シンポジウム, 33-40, (2021.10.30)
7. Yuki SHIRAI and Kazushi SHIMAZAKI : Performance of Prestressed Concrete Beam Incorporating an Axial Yield Damper Using Unbonded Rebar, Proceedings of International Structural Engineering and Construction, 7(2), STR-30, Christchurch, New Zealand (2020.11)
8. M.N. Tong, Z.H. Lu and Y.G. Zhao. Polynomial normal transform based on L-moments. The International Engineering Mechanics Forum (IEMForum2020) (Yokohama, Japan, 2021.2)
9. F.W. Ge and Y.G. Zhao, Seismic fragility analysis based on 3P-lognormal distribution, The International Engineering Mechanics Forum 2020 (IEMForum 2020) (Yokohama, Japan, 2021.2)
10. L. Ren and Y.G. Zhao, Reliability analysis of total activity duration in PERT using cubic normal distribution, 7th International Symposium on Reliability Engineering and Risk Management (ISRERM2020) (Beijing, China, 2020.11)
11. P.P. Li, Y.G. Zhao and Z.H. Lu. Bayesian updating using point estimate method with application to structural reliability analysis. 7th International Symposium on Reliability Engineering and Risk Management (ISRERM2020) (Beijing, China, 2020.11).
12. P.P. Li, Y.G. Zhao and Z.H. Lu. Estimation of load and resistance factors using the 3P-lognormal transformation. The International Engineering Mechanics Forum 2020 (IEMForum 2020) (Yokohama, Japan, 2021.2).
13. Masanori FUJITA, Kazuo TAMURA: Earthquake response analyzes of a tall building considering in-plane floor stiffness, 17th World Conference on Earthquake Engineering, C002801, 17WCEE, Sendai, 2021.9
14. Masanori FUJITA, Shoji NAKAZAWA, Shiro KATO: Seismic performance of building steel structures using equivalent linearization method, Proceedings of the IASS Annual Symposium 2020/21 and the 7th International Conference on Spatial Structures, Inspiring the Next Generation, S31, 2021.8
15. T. L. Nguyen, T. T. Hong, N. Nguyen, B. L. Trieu, M. Morinaga, Y. Hiraguri, T. Yano and Y. Sasazawa, Effects of the reduction of aircraft noise emission due to the travel restriction during the COVID-19 pandemic at residential areas around Tan Son Nhat Airport, Proc. Inter-Noise 2021, 2972 (Washington, D. C., 2021. 8).
16. B. L. Trieu, T. T. Hong, N. Nguyen, T. L. Nguyen, M. Morinaga, Y. Hiraguri, T. Yano and Y. Sasazawa, Change in the self-reported health status of residents associated with the reduced aircraft noise around Tan Son Nhat Airport after the epidemic outbreak, Proc. Inter-Noise 2021, 3128 (Washington, D. C., 2021. 8).
17. M. Morinaga, T. Matsui, S. Kuwano and S. Namba, An experiment on the feeling of separation when multiple aircraft noises are overlapped, Proc. Inter-Noise 2021, 2041 (Washington, D. C., 2021. 8).
18. T. L. Nguyen, B. L. Trieu, Y. Hiraguri, M. Morinaga, T. Morihara and Takashi Yano, Does the community response to noise change? A follow-up investigation on the impact of aircraft noise around Tan Son Nhat Airport after 11 years, Proc. 13th ICBEN Congress on Noise as a Public Health Problem, 29073 (e-Congress, 2021. 6).
19. M. Morinaga, S. Yokoshima, K. Shimoyama, T. Morihara and T. Yano, Exposure response relationship of self reported sleep disturbance derived from Japanese socio acoustic surveys, Proceedings of 13th ICBEN Congress on Noise as a Public Health Problem, 28467 (e-Congress, 2021. 6).
20. C. Clark, T. Gjestland, L. Lavia, H. Notley, D. Michaud and M. Morinaga, Revising ISO/TS 15666 - the noise annoyance standard, Proceedings of 13th ICBEN Congress on Noise as a Public Health Problem, 33788 (e-Congress, 2021. 6).

建築作品

1. 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，酒匂小学校木質改修，東洋経済，12-13, 東洋経済新報社 (2020. 10).
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，東北電力奥会津水力館 みお里 MIORI，建築ジャーナル，49-52，建築ジャーナル（2021.1）
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，本八幡 moto.8，新建築，118-123,186，新建築社（2021.2）
4. 吉岡寛之,原浩人,行田協立診療所・ケアセンターさきたま, 医療生協さいたま生活協同組合 (2020.10)

口頭発表

1. 藤本遼，岩本靜男，傳法谷郁乃，CFD 解析による大規模講義室内の温熱環境評価　その 2　単位モデルによる詳細解析, 第 44 回人間-生活環境系シンポジウム(人間-生活環境系学会)，(2020.12).
2. 梶谷達希，岩本靜男，傳法谷郁乃，児保茂樹，住宅における全館空調による空調負荷と室内温熱環境　その 2　CAV システムのシミュレーショ ン, 第 44 回人間-生活環境系シンポジウム(人間-生活環境系学会)，(2020.12).
3. 梶谷達希，岩本靜男，傳法谷郁乃，児保茂樹，住宅における全館空調システムに関する研究　第 3 報　VAV 方式のシミュレーション, 日本建築学会学術講演梗概集(日本建築学会)，(2021.9).
4. 藤本遼，岩本靜男，傳法谷郁乃，単位モデルによる大規模講義室の温熱環境評価　第 2 報　冬季における空調方式の比較および座席配置の検討，日本建築学会学術講演梗概集

(日本建築学会), (2021.9).

5. 光永威彦，坂上恭助，岩本静男，趙旺熙，他，集合住宅におけるサイホン雑排水システムの評価，日本建築学会学術講演梗概集(日本建築学会), (2021.9).
6. 梶谷達希，岩本静男，傳法谷郁乃，児保茂樹，住宅における全館空調システムに関する研究（第 1 報）VAV 方式のシミュレーション，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集(空気調和・衛生工学会), (2021.9).
7. 大西玲暢，岩本静男，稲田朝夫，岡内繁和，坂上恭助，趙旺熙，藤村和也，光永威彦，呉光正，給湯設備設計用水道水温の予測（第 2 報）全国の県庁所在地と政令指定都市について，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集(空気調和・衛生工学会), (2021.9).
8. 油利航大，趙旺熙，岩本静男，永野秀明，空調負荷削減のための天井吊り下げパネルに関する研究（その 1）天井吊り下げパネルの概要と冷房時の基本性能，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集(空気調和・衛生工学会), (2021.9).
9. 山田稜，染谷俊介，井野隼人，山崎慶太，高橋泰斗，藤崎幸一郎，栗原浩平，傳法谷郁乃，他，ファン付き作業服が建設作業員の生理･心理反応に及ぼす影響に関する研究（第 16 報）夏季の建設作業現場における屋外温熱環境及びアンケート調査，第 44 回人間-生活環境系シンポジウム(人間-生活環境系学会), (2020.12).
10. 傳法谷郁乃，小柴朋子，杉山瑠美，岩本静男，夏着物の着用実態調査，日本家政学会第 73 回大会(日本家政学会), (2021.5).
11. 内田幸子，傳法谷郁乃，小柴朋子，森本美智子，田辺文憲，荒川創一，感染対策用防護具に関する医療従事者への質問紙調査−自由記述の分析からみる改善点−，日本家政学会第 73 回大会(日本家政学会), (2021.5).
12. 傳法谷郁乃，辻村壮平，岩本静男，小柴朋子，内田幸子，感染防護服着用時の看護動作において発生する騒音の音響特性，日本繊維製品消費科学会 2021 年年次大会(日本繊維製品消費科学会), (2021.6).
13. 栗原浩平，染谷俊介，山崎慶太，藤崎幸市郎，傳法谷郁乃，濱田靖弘，小林宏一郎，ファン付き作業服内の T シャツ素材が生理・心理反応に及ぼす影響，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集(空気調和・衛生工学会), (2021.9).
14. 竹本真，内田青蔵，ドイツ人建築家ポール・シュルツエ＝ナウムブルクの建築思想について―1920 年代の「屋根論争」を中心に―, 日本生活学会第 48 回研究発表大会, 17-18, (オンライン，2021.6.13).
15. 茶谷亜矢，内田青蔵，田園都市株式会社時代の渡辺栄治の住宅作品について―中浜東一郎邸について―，日本生活学会第 48 回研究発表大会，19-20，(オンライン，2021.6.13).
16. 野々村明佳里，内田青蔵，横浜市営住宅との関わりからみた同潤会の分譲住宅事業の開始について―斎藤分分譲住宅を中心として―，日本生活学会第 48 回研究発表大会，21-22，(オンライン，2021.6.13).
17. 高田晃，内田青蔵，国登録有形文化財の実態―202 例の抹消理由の分析―, 日本建築学会大会学術講演梗概集（東海），45-46 (オンライン, 2021.9).
18. 竹本真，内田青蔵，ドイツ人建築家ポール・シュルツエ＝ナウムブルクの建築思想について―著書『文化研究（1）家の建設』(1901）を中心に―，日本建築学会大会学術講演梗概集（東海），583-584 (オンライン, 2021.9).
19. 姜明采，内田青蔵，京城府民館の建設経緯に関する一考察―朝鮮建築会会長・萩原紘一の建築活動を中心に―，日本建築学会大会学術講演梗概集（東海），181-182 (オンライン, 2021.9).
20. 田中和幸，渡邊裕子，須崎文代，内田青蔵，肱岡明美，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 7　断面寸法からみる二階建て住宅の特徴について, 日本建築学会大会学術講演梗概集（東海），651-652 (オンライン, 2021.9).
21. 野々村明佳里，内田青蔵，松川英莉奈，「同潤会最初の分譲住宅地･斎藤分分譲住宅（昭和 3 年）の建設経緯について」，日本建築学会大会学術講演梗概集（東海），655-656 (オンライン, 2021.9).
22. 茶谷亜矢，内田青蔵，「旧前田家鎌倉別邸の設計者渡辺栄治の経歴について」, 日本建築学会大会学術講演梗概集（東海），661-662 (オンライン, 2021.9).
23. 須崎文代, 泉水英計, A Study on the Situation of Farmhouses in Pre-war Japan Using the Photograph Archive of the Attic Museum, 14th ICIM 国際会議（レフェリー付き），（ポルトガル，オンデマンド，2021.9.8-10).
24. 荏本孝久，落合努，宮野道雄，生田英輔，過去の地震による家屋被害と常時微動観測結果の比較 その 2 1995 年兵庫県南部地震を対象として, 日本建築学会学術講演梗概集（東海），331-332 (2021)
25. 落合努，荏本孝久，先名重樹，2016 年 6 月山形県沖の地震の被害と地盤振動特性の検討, 第 48 回地盤震動シンポジウム，49-52 (2020)
26. 落合努，荏本孝久，宮野道雄，生田英輔，過去の地震による家屋被害と常時微動観測結果の比較 その 1 1974 年伊豆半島沖地震を対象として, 日本建築学会学術講演梗概集（東海），329-330 (2021)
27. 落合努，荏本孝久，横浜市の地域防災拠点を対象としたマルチハザード評価　-避難者数に着目した基礎的研究-，地域安全学会梗概集 No.48，203-206 (2021)
28. 落合努，荏本孝久，地震ハザード評価時の表層地盤増幅率の検討　-SH 波伝達関数と応答スペクトル増幅率の関係-，第 41 回土木学会地震工学研究発表会，B14-2291 (2021)
29. 落合努，荏本孝久，木村克己，横浜市東部低地部を対象とした三次元グリッドモデルの作成と常時微動結果の比較，第 56 回地盤工学研究発表会，DS-3-02 (2021)
30. 落合努，荏本孝久，小田義也，三辻和弥，先名重樹，庄内平野を対象とした常時微動による地盤特性と 1894 年庄内地震の住家被害の比較, 土木学会全国大会第 76 回年次学術講演会，CS10-43 (2021)
31. 奥山博康，吉浦温雅，建築における伝熱と物質移動を連成する熱・換気回路網モデル，日本建築学会大会学術講演梗概集，841-844 (名古屋，2021. 9).
32. 吉浦温雅，奥山博康，固形アルコール燃焼による換気量変化と有効混合容積の簡易測定法，日本建築学会大会学術講演梗概集，1321-1322 (名古屋，2021. 9).
33. 藤崎詩織，奥山博康，吉浦温雅，給排気換気設備を持つ住宅での多数室換気測定法の実験，日本建築学会大会学術講演梗概集，1327-1328 (名古屋，2021. 9).
34. 奥山博康，吉浦温雅，益子智久，多数室住宅における伝熱・換気性能の灯油暖房器を用いた現場測定法，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，9-12 (福島，2021. 9).
35. 藤崎詩織，奥山博康，吉浦温雅，熱回収給排気換気設備を持つ住宅での多数室換気測定法の実験，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，37-40 (福島，2021. 9).
36. 吉浦温雅，奥山博康，固形アルコール燃焼を用いて換気量変化と有効混合容積を現場測定する方法，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，157-160 (福島，2021. 9).
37. 鈴木俊裕、白井佑樹、島崎和司：部材端に軸降伏型履歴ダ

ンパーを適用したアンボンドプレストレストコンクリート梁の性能検証　その 3 多数回繰り返し載荷による性能への影響、日本建築学会大会学術講演梗概集（愛知）, 23364, 2021.9

38. 佐藤宏貴、白井佑樹、松浦恒久、牧田敏郎、島崎和司、國分直輝：無垢板を用いた耐力壁のせん断性能　その 6 追加要素実験、日本建築学会大会学術講演梗概集（愛知）, 22191, 2021.9
39. 白井佑樹、中村一男、松浦恒久、佐藤宏貴、牧田敏郎、島崎和司、國分直輝：無垢板を用いた耐力壁のせん断性能　その 7 復元力特性の詳細、日本建築学会大会学術講演梗概集（愛知）, 22192, 2021.9
40. 中村一男、白井佑樹、松浦恒久、佐藤宏貴、牧田敏郎、島崎和司、國分直輝：無垢板を用いた耐力壁のせん断性能　その 8 追加架構試験体、日本建築学会大会学術講演梗概集（愛知）, 22193, 2021.9
41. 長谷川泉輝、米澤泰斗、白井佑樹、島崎和司：合成スラブの構造性能に関する研究　デッキプレート細部の影響に関する解析検討、日本建築学会大会学術講演梗概集（愛知）, 22632, 2021.9
42. 島崎和司、小野真鈴、渡辺亨、白井佑樹、田口朝康、佐藤宏貴、宇田川亮：RC 非構造壁に取付ける鋼板円形ダンパーに関する研究　その 1 部分試験体の実験概要及び履歴特性、日本建築学会大会学術講演梗概集（愛知）, 23179, 2021.9
43. 小野真鈴、渡辺亨、白井佑樹、佐藤宏貴、田口朝康、島崎和司、宇田川亮：RC 非構造壁に取付ける鋼板円形ダンパーに関する研究　その 2 部分試験体の力学モデルの構築、日本建築学会大会学術講演梗概集（愛知）, 23180, 2021.9
44. 松浦恒久、松本大亮、牧田敏郎、白井佑樹、佐藤宏貴、島崎和司：円形鋼管を用いた杭頭接合工法の開発　その 1 押抜き・引抜き試験、日本建築学会大会学術講演梗概集（愛知）, 23285, 2021.9
45. F.W. Ge and Y.G. Zhao, Seismic fragility analysis based on 3P-lognormal distribution, Part 1 Investigation of the distribution shape and parameter estimation of the proposed structural demand model, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (構造Ⅰ), 309-310, (2021. 9).
46. L.X. Cheng and Y.G. Zhao, A structural reliability analysis method based on target-oriented krill herd algorithm, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (構造Ⅰ), 14-15, (2021. 9).
47. P.P. Li and Y.G. Zhao. Uncertainty quantification in reliability evaluation involving correlated random variables based on the method of moments, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (構造Ⅰ), 7-8, (2021. 9).
48. Y.G. Zhao and F.W. Ge, Seismic fragility analysis based on 3P-lognormal distribution, Part 2 Numerical examples, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (構造Ⅰ), 311-312, (2021. 9).
49. D. Yang, 張海仲, 趙衍剛. Preparation and Mechanical Research on Artificial Transversely Isotropic Rock, 317-318, (2021. 9).
50. 張海仲, 趙衍剛. マグニチュードと震央距離が応答スペクトルの減衰調整係数に対する影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (構造 II), 419-420, (2021. 9).
51. フイ, 趙衍剛. 円形 CFDST 短柱の中押し軸圧縮強度に関する実験的研究中空率が CFDST 短柱の圧縮強度に与える影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (構造Ⅰ), 21-22, (2021. 9).
52. 方英馳, 張海仲, 趙衍剛. 高次モードにおける地盤応答への影響変位に対する検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (構造 II), 351-352, (2021. 9).
53. 陸昱韜, 趙衍剛. 3 次モーメント信頼性指標に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (構造Ⅰ), 9-10, (2021. 9).
54. 小澤美月, 飯田康二朗, 中井邦夫, 鈴木成也, 現代都市における周辺からの見え方に基づく寺院のランドマーク性－東京都新宿区を対象として－, 日本建築学会大会（東海）学術講演梗概集 建築歴史・意匠, 363-364（2021. 9）
55. 渡辺悠介, 中井邦夫, 鈴木成也, 類型の年代的傾向と系譜　防災建築街区造成法下における住商併存建築の外形構成の変遷（2）, 2021 年度日本建築学会大会（東海）学術講演梗概集 建築歴史・意匠, 297-298（2021. 9）
56. 池原なつ子, 渡辺悠介, 中井邦夫, 鈴木成也, ヴォリューム, 高さ, 立面からみた外形構成類型　防災建築街区造成法下における住商併存建築の外形構成の変遷（1）, 2021 年度日本建築学会大会（東海）学術講演梗概集 建築歴史・意匠, 295-296（2021. 9）
57. 中澤実那, 鈴木成也, 中井邦夫, 銀座の建物における立面構成およびその年代傾向, 2021 年度日本建築学会大会（東海）学術講演梗概集 建築歴史・意匠, 301-302（2021. 9）
58. 伊藤伸一郎, 中井邦夫, 鈴木成也, 戦後住宅作品における空所の形態と手法からみた増改築の変遷, 2021 年度日本建築学会大会（東海）学術講演梗概集 建築歴史・意匠, 285-286（2021. 9）
59. 鈴木成也, 中井邦夫, 山間の斜面地における商店街の空間構成　－伊勢原市大山こま参道を例として－, 2021 年度日本建築学会大会（東海）学術講演梗概集 建築歴史・意匠, 299-300（2021. 9）
60. 長谷川舞, 中井邦夫, 鈴木成也, 密集地に建つ近年の住宅作品における内外空間と開口部による住宅の開放性, 2021 年度日本建築学会大会（東海）学術講演梗概集 建築計画, 1175-1176（2021. 9）
61. 簾内俊希, 中井邦夫, 鈴木成也, 家びらきを行う現代の住宅作品における公開領域と周辺環境の関係, 2021 年度日本建築学会大会（東海）学術講演梗概集 建築計画, 1173-1174（2021. 9）
62. 藤田正則, 中村慎, 瀧澤裕貴, 岩田衛：鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースのクリアランス調整工法に関する実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), pp.989-990, 2021.9
63. 瀧澤裕貴, 中村慎, 田中康一, 内野卓, 藤田正則, 緑川光正：座屈拘束ブレースの拘束材の局部破壊実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), pp.991-992, 2021.9
64. 中村慎, 藤田正則, 岩田衛：座屈拘束ブレース付きの鉄骨フレームを用いた方立壁の改修に関する実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), pp.363-364, 2021.9
65. 粟津賢吾, 飯原護, 中村慎, 藤田正則：曲げ履歴を受けた鋼材の機械的性質に関する研究 その 1 SM 鋼材の曲げ実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), pp.669-670, 2021.9
66. 飯原護, 粟津賢吾, 中村慎, 藤田正則：曲げ履歴を受けた鋼材の機械的性質に関する研究 その 2 FEM 解析, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), pp.671-672, 2021.9
67. 劉翠平, 藤田正則：リユースを想定したサステナブル小規模 S 造架構の提案, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), pp.987-988, 2021.9
68. 渕田安浩, 杉村剛, 中村慎, 榎本浩之, 藤田正則：接続材のピッチの異なる LVL の弱軸曲げ実験 その 1 梁, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), pp.65-66, 2021.9
69. 杉村剛, 中村慎, 渕田安浩, 榎本浩之, 藤田正則：接続材のピッチの異なる LVL の弱軸曲げ実験 その 2 柱, 日本建

築学会大会学術講演梗概集(東海)，pp.67-68，2021.9
70. 田村和夫，藤田正則，中村慎：木造家屋の浸水特性評価に関する基礎的模型実験と考察，日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)，pp.273-274，2021.9
71. 千田真人，関根秀久，安田洋介，川澄卓也，岩根康之，小林真人，振動ふるい機の防音ハウス開口から放射される超低周波音に関する波動数値解析 ―振動ふるい機のモデル化と適切な位置の検討―, 日本音響学会講演論文集（春季）, 503-506 (2021. 3).
72. 安田洋介，桝本貴之，井上尚久，佐久間哲哉，FMBEM に基づく入射指向性解析 ―その 1 平面波展開に起因する誤差の検討―, 日本音響学会講演論文集（春季）, 549-552 (2021. 3).
73. 桝本貴之，安田洋介，井上尚久，佐久間哲哉，FMBEM に基づく入射指向性解析 ―その 2 有限平板による散乱音場への適用―, 日本音響学会講演論文集（春季）, 553-554 (2021. 3).
74. 佐藤考浩，内田季延，小林真人，岩根康之，安田洋介，CLT 床構造の重量床衝撃音に関する実験的検討，日本建築学会学術講演梗概集（環境工学 I），317-318 (2021. 9).
75. 神谷優，森長誠，安田洋介，伝搬経路ごとのエネルギー和に基づく道路交通騒音予測手法の 3 次元波動数値解析による検証, 日本音響学会講演論文集 (秋季), 473-476 (2021. 9).
76. 桝本貴之，安田洋介，井上尚久，佐久間哲哉，FMBEM に基づく入射指向性解析に関する基礎的検討，日本音響学会建築音響研究会資料，AA2021-30 (2021. 9).
77. 横島潤紀，森長誠，下山晃司，森原崇，矢野隆，交通騒音の曝露量と高度の睡眠妨害反応との関係，日本音響学会騒音・振動研究会資料，NV2020-34 (2020. 10).
78. 森長誠，我が国の曝露反応関係に基づいた航空機騒音の基準についての考察，日本騒音制御工学会秋季研究発表会講演論文集，115-118 (2020. 11).
79. 森淳一，森長誠，松井孝典，横島潤紀，動体検出と機械学習を組み合わせた航空機追跡システムの開発，日本騒音制御工学会秋季研究発表会講演論文集，17-20 (2020. 11).
80. B. L. Trieu, T. L. Nguyen, Y. Hiraguri, M. Morinaga, T. Morihara, T. Yano and Y. Sasazawa, A study on the health effects of aircraft noise on residents living around Tan Son Nhat International Airport, 日本騒音制御工学会秋季研究発表会講演論文集，71-74 (2020. 11).
81. 横島潤紀，辻村壮平，森長誠，梅崎良樹，山崎徹，自動車単体騒音に関する住民意識，日本騒音制御工学会秋季研究発表会講演論文集，163-166 (2020. 11).
82. 辻村壮平，森長誠，須田直樹，横島潤紀，山崎徹，道路交通騒音に対するアノイアンスへの非音響要因の個人差に関する検討, 日本騒音制御工学会秋季研究発表会講演論文集, 171-174 (2020. 11).
83. 森長誠，横島潤紀，牧野康一，小林知尋，横山栄，低周波数の純音による圧迫感・振動感の優先感覚実験，日本音響学会騒音・振動研究会資料，NV2020-39 (2020. 11).
84. 横島潤紀，森長誠，牧野康一，小林知尋，横山栄，土肥哲也，低周波音による圧迫感・振動感の知覚に関する主観評価実験，日本音響学会騒音・振動研究会資料，NV2020-40 (2020. 11).
85. 森長誠，航空機騒音の苦情内容の解析方法に関する考察，日本音響学会騒音・振動研究会資料，NV2020-45 (2020. 12).
86. 森長誠，松井孝典，桑野園子，難波精一郎，複数機が重畳した航空機騒音のノイジネスに関する実験，日本音響学会講演論文集（春季），479-480 (2021. 3).
87. T. L. Nguyen，平栗靖浩，森長誠，森原崇，ホーチミン市圏での航空機騒音曝露の変化が住民の反応に及ぼす影響，日本音響学会騒音・振動研究会資料，NV2021-25 (2021. 6).
88. 十河孝夫，松井孝典，森長誠，細見幸太朗，小松宏昭，機械学習による火山ガス濃度基準超過予測, 第 62 回大気環境学会年会講演要旨集，2C0950 (2021. 9).
89. 永幡幸司，森長誠，音響用語としての「サウンドスケープ」をめぐって, 日本音響学会講演論文集（秋季）, 427-428 (2021. 9).
90. 横山優莉菜，山家京子，上野正也，多地域居住における生活と交流に関する研究 その 1. シェアハウス利用事例を対象とした予備的考察，日本建築学会学術講演会梗概集，99-100 (東海，2021. 9)
91. 菅野麻衣子，山家京子，上野正也，心の拠り所 神社周辺の環境を生かした自然に溶け込む地域交流施設の提案，日本建築学会デザイン発表，50-51 (東海，2021. 9)
92. 城所真緒，山家京子，上野正也，気づきの小屋 神奈川県秦野市におけるハイキングコースと休憩所の提案，日本建築学会デザイン発表，348-349 (東海，2021. 9)
93. 日下紗菜，山家京子，上野正也，みちに溢れる 商店街の裏側空間で考える暮らしの場，日本建築学会デザイン発表，400-401 (東海，2021. 9)
94. 鈴木伸治，鈴木涼太，上野正也，横浜市の創造産業の集積状況に関する研究(その 1)統計調査からみる創造産業の動向分析，日本建築学会学術講演会梗概集，243-244 (東海，2021. 9)
95. 鈴木涼太，鈴木伸治，上野正也，横浜市の創造産業の集積状況に関する研究(その 2)横浜市中区を対象としたアンケート調査及び分析，日本建築学会学術講演会梗概集，245-246 (東海，2021. 9)

学術誌

1. 内田青藏，清澄庭園の建築と庭園について，庭園協会ニュース, (104)，日本庭園協会，13-20 (2021.4.15).
2. 内田青藏，建築学科から建築学部への展開をめざして，Kyu-Ryo, (70)，神奈川大学宮陵会, 33 (2021.4).
3. 内田青藏，日本建築と木の文化，和風住宅，(26)，34-39 (2021.7.31).
4. 須崎文代，セイナルベンジョ ：便所のこれからを思考する(前編)，巻頭特別記事，新建築 住宅特集，(423)，2-7 (2021.7).
5. 須崎文代，風呂の歓びを取り戻せるか ：風呂と入浴のこれからを思考する(中編)，巻頭特別記事，新建築 住宅特集，(420), 4-9 (2021.4).
6. 須崎文代，蘇える身体 ：風呂と入浴のこれからを思考する(前編)，巻頭特別記事，新建築 住宅特集，(418)，4-9 (2021.2).
7. 須崎文代，共同研究 便所の歴史・民俗に関する総合的研究 第 I 部研究活動報告，神奈川大学日本常民文化研究所年報=Institute for the Study of Japanese Folk Culture Annual report (2019), 8-9 (2021-03-03).
8. 須崎文代，近代日本における台所のモデル (特集 世界の台所),Vesta=食文化誌ヴェスタ，(122)，味の素食の文化センター, 34-41 (2021.4.12).
9. 須崎文代，フランクフルト・キッチン ：近代ドイツにおけるコンパクトキッチンの誕生 (特集 世界の台所)，Vesta = 食文化誌ヴェスタ，(122)，味の素食の文化センター，10-13 (2021.4.12).
10. 須崎文代，近代における住居衛生論の展開と実践，早稲田建築学報，早稲田大学建築専攻／建築学科 早稲田大学建

築研究所 編，建築資料研究社, 12-13 (2021.5).
11. 須崎文代，台所の 100 年史－歴史からみるキッチンのこれから, NHK テキスト 趣味ドキッ！ 人と暮らしと、台所 ～夏, NHK 出版, 70-75 (2021.7).
12. 鈴木芳隆，島崎和司：鉄筋コンクリート構造の技術的変遷第 26 回　制震（振）･免震、ビルデイングレター、668、1-10, 一般財団法人日本建築センター, 2021.7
13. 曽我部昌史, 個性的なネイバーフッドをつくる-３つの事例からみる活動の密度と個性的な居心地の関係，都市計画，70 (5), 66-69 (2021.9).
14. 藤田正則：自然災害が多発する時代に建築構造ができること -地球環境問題への対応-，主旨説明，座屈拘束ブレースの構造ヘルスモニタリング，日本建築学会大会地球環境部門 PD 資料，日本建築学会地球環境委員会 地球環境構造小委員会，pp.1-2，pp.42-44, 2021.9
15. 安田洋介, 高速多重極境界要素法による道路交通騒音予測，騒音制御，45 (2), 61-65 (2021).
16. 森長誠，環境騒音を対象にした音響心理実験における課題と解決例，騒音制御，44 (6), 308-311 (2020).
17. 横島潤紀，森長誠，欧州地域向け環境騒音ガイドライン (2018)の解説，日本音響学会誌，77 (2), 135-142 (2021).
18. 森長誠，アンケート調査の設計とデータ分析，音響技術，50 (2), 30-37 (2021).
19. 山家京子，オランダの空間計画と大都市圏における広域連携，神奈川法学，53(1)，111-129(2021.1)

著書

1. 内田幸子，傳法谷郁乃（分担執筆），矢井田修監修，新材料・新素材シリーズ　不織布の最新開発動向，35-43，シーエムシー出版 (2021).
2. 内田青藏（分担執筆），都市づくりから婦女子の領分に飛び込んだ建築家（『丸の内建築図集 1890-1973』），54-55，新建築社 (2020.9.29).
3. 内田青藏（分担執筆），6 章　明治維新以後の和室（『和室学―政界で日本にしかない空間』），187-221，平凡社 (2020.10.16).
4. 内田青藏（分担執筆），「文化住宅」にみる住宅デザインの多様性の意味（『分離派建築界―日本のモダニズム建築誕生』）, 242-263，京都大学学術出版会 (2020.10.20).
5. 内田青藏（分担執筆），神奈川大学入門テキストシリーズ横浜建築，第１-２章・「はじめに」「おわりに」，6-7・14-32・141，お茶の水書房 (2021.9).
6. 須崎文代（分担執筆），神奈川大学入門テキストシリーズ横浜建築，第 8-9 章，pp.78-97，お茶の水書房(2021.9).
7. 須崎文代（分担執筆）他，「台所の歴史」「風呂とトイレの歴史」（『住まいの百科事典』），日本家政学会編，丸善出版，2-16・2-17 (2021.4).
8. 内田青藏、島崎和司、他、神奈川大学入門テキストシリーズ「横浜建築」、御茶の水書房、2021 年 9 月
9. 島崎和司、坂田弘安、図説「鉄筋コンクリート構造」、学芸出版社、2021 年 5 月
10. 島崎和司、他、鉄筋コンクリート構造保有水平耐力計算規準・同解説（共著）日本建築学会，2021 年 2 月
11. 曽我部昌史（分担執筆），神奈川大学入門テキストシリーズ「横浜建築」，49-59,133-140 (2005).
12. Yan-Gang Zhao and Zhao-Hui Lu, Structural Reliability: Approaches from Perspectives of Statistical Moments, Wiley-BlackWell 社出版 (2021)
13. 内田青藏，中井邦夫，曽我部昌史，安田洋介，島崎和司，須崎文代，山家京子，上野正也（担当頁順）『横浜建築（神奈川大学入門テキストシリーズ）』，御茶の水書房，第三章　知られざる戦後復興都市・横浜―防火帯建築―, 第四章　まちの歴史と文脈を継承する現代建築―浦辺鎮太郎の横浜建築―，33-48 頁（総頁数 147）（2021. 9）
14. 安田洋介（分担執筆），神奈川大学入門テキストシリーズ横浜建築，第 6 章，御茶の水書房 (2021).
15. 山家京子（分担執筆），日本建築学会編，空間五感：世界の建築・都市デザイン，井上書院(2021)
16. 内田青藏，中井邦夫，曽我部昌史，安田洋介，島崎和司，須崎文代，山家京子，上野正也，横浜建築（神奈川大学入門テキストシリーズ），御茶の水書房(2021)

調査報告書

1. 内田青藏，須崎文代，田中和幸，渡邉裕子，ブラジル日本人入植地の常民文化　建築編，神奈川大学日本常民文化研究所 (2021.3).
2. 内田青藏，山家京子，村井まや子，出雲雅志，須崎文代，『ケルムスコット・プレルとウィリアム・モリスのデザイン思想』，神奈川大学共同研究（2017 - 2019 年度）報告書 (2021.3).
3. 内田青藏，中谷礼仁，三浦清史，須崎文代，2020 年度 VSPORT 研究助成 共同研究成果報告書 旧渡辺甚吉邸の建築的特徴に関する歴史的調査と評価 (2021. 9) .
4. 中井邦夫，長谷川舞，水上翔太，BA／横浜防火帯建築研究 No.24, キニヤビル, BA 編集部（神奈川大学中井研究室内），(2021.8)
5. 中井邦夫，内山大輝，馬鳥夏美，長谷川舞，BA／横浜防火帯建築研究 No.22+23, 厚木中央通り商店街, BA 編集部（神奈川大学中井研究室内），(2021.6)
6. 中井邦夫，曳田百香，長谷川舞，BA／横浜防火帯建築研究 No.21，若葉町２丁目共同ビル，BA 編集部（神奈川大学中井研究室内），(2021.4)
7. 中井邦夫, 古本将大, 鈴木啓生, 前田沙希， 向咲重, 白露, 原巧, 佐塚将太, 飯田康二朗, 長谷川舞, 渡辺悠介, 梁訊, 下山美月,『浦辺鎮太郎の建築類型学』, 神奈川大学浦辺鎮太郎建築研究会（中井研究室内），(2020.11)
8. 金子将太，神田貴之，渡辺悠介，中井邦夫，鈴木成也，BA／横浜防火帯建築研究 No.20，同栄ビル・第二長生館，BA 編集部（神奈川大学中井研究室内），(2020.10)
9. 山家京子，上野正也，「十日市場駅勢圏域におけるまちづくりの推進に掛かる協定」に基づく活動報告書(若葉台編)，横浜市建築局住宅再生課，(2020.12).
10. 上野正也，ナミキアートプラス―並木のパブリックアートプロジェクト―事業評価報告書，YOKOHAMA AIR ACT 実行委員会，(2021.3).
11. 上野正也，ナミキアートプラス―並木のパブリックアートプロジェクト―記録集，YOKOHAMA AIR ACT 実行委員会，(2021.3).

講演・展示会

1. 内田青藏他，歴史を生かしたまちづくりセミナーvol43，旧横浜市庁舎あの歴史・文化的価値を探る，横浜歴史資産調査会・横浜市・JIA 神奈川，横浜市庁舎ホール（横浜，2020.12.5).
2. 内田青藏他、第 9 回首都防災ウィーク座談会「2023 年関東大震災 100 年を考える」，東京都慰霊協会，東京都横網町公園内東京都慰霊堂(東京, 2021.9.4).

3. 内田青蔵，旧豊多摩監獄表門（通称：平和の門）文化財指定を祝うオンライン交流会・講演会，平和の門を考える会（東京, 2021.9.20).
4. 内田青蔵，「邸宅」に学ぶ近代日本の住宅史―旧本多忠次邸１，豊島区千早地域文化創造館 (東京, 2021.9.21).
5. 内田青蔵，「邸宅」に学ぶ近代日本の住宅史―旧本多忠次邸2，豊島区千早地域文化創造館 (東京, 2021.9.30).
6. 須崎文代，岡部明子，「所有」を問い直し、古くて新しいシェアのかたちを実践する, LIXIL ビジネス情報 インタビュー記事 (東京, 2021.3.29).
7. 須崎文代，基調講演「ドメスティック・ディスタンス ー人間のふるまいと衛生の尺度ー "DOMESTIC DISTANCE" -Human Behavior and Hygiene Order-, The 10th mASEANa International Conference, mASEANa+DOCOMOMO International (フィリピン，オンライン, 2021.2.27).
8. 須崎文代他，動画配信 トイレの歴史，新建築+LIXIL (オンライン, 2021.4).
9. 須崎文代，講演会「トイレと衛生の変遷」株式会社LIXIL 未来住宅研究会 (オンライン, 2021.1.18).
10. 荏本孝久，地域で備える・かながわ防災・減災フォーラム～住み続けられるまちづくりを目指して～，かながわ防災・減災フォーラム，はまぎんホールヴィアマーレ，2021年３月６日
11. 荏本孝久，神奈川県に想定される巨大地震災害と事前準備，神奈川経済同友会，産業貿易センタービル，2021 年５月 21日
12. 荏本孝久，近代の自然災害から目指す防災まちづくり～災害史と防災対策の変遷、そして新時代の防災への展望～，新時代の防災力向上セミナー，KU ポートスクエア，2021年９月 30 日
13. 奥山博康，吉浦温雅，通気層を持つ二重ガラス窓のダイナミックインシュレーションの研究紹介など（遠隔），日本建築学会・環境工学・2020 年度第三回伝熱小委員会・合同WG，遠隔，（2021.3.6）
14. 島崎和司、他、鉄筋コンクリート構造保有水平耐力計算規準講習会、日本建築学会（オンライン）、2021 年２月
15. 曽我部昌史，くまもとアートポリスのコンペティション，伊東塾公開講座 (東京，2020.10).
16. 曽我部昌史，シンポジウム・ヨコハマのまちづくりと浦辺鎮太郎，浦辺鎮太郎展覧会（横浜，2020.11）
17. 曽我部昌史，シンポジウム・創造都市横浜にとっての資産としての建築，M meets M 展（横浜，2020.12）
18. 曽我部昌史，シンポジウム・地域で備える　かながわ防災・減災フォーラム，神奈川大学（横浜，2021.3）
19. 曽我部昌史，Koganecho, The art as a trigger for urban regeneration processes. , Intl, conference on railway embarkments（Milano/Online，2021.4）
20. 曽我部昌史，街の記憶，NHK World デザイントークスプラス（TV, 初回放映 2021.5）
21. Keynote lecture, Y.G. Zhao, Seismic fragility analysis of nuclear power plants considering structural parameter uncertainty, The first Belt and Road Initiative Forum on Disaster prevention and mitigation, Nov. 26-28, 2020, Dalian, China. (Online)
22. 趙衍剛、国際公開講義，JCSS Continuing Education & Advanced School on: structural reliability and probabilistic model code & Risk informed decision making and decision analysis, 12-17, July 2021, Shanghai, China. (Online)
23. 趙衍剛、鉄骨骨組の耐震レジリエンス評価、2021 年度日本建築学会大会(東海)構造部門(応用力学)パネルディスカッション、2021 年９月７日. (Online)
24. 中井邦夫,「都市更新の起点となる建築ストックー横浜防火帯建築群を例に」，都市住宅学会関東支部 2021 年度講演会（オンライン，2021.4)
25. 中井邦夫，「浦辺鎮太郎の建築類型学」，浦辺鎮太郎ヨコハマ金曜セミナー 第１回 (横浜赤レンガ倉庫, 横浜, 2020.11)
26. 中井邦夫，古本将大，鈴木啓生，前田沙希， 向咲重，白露，原巧，佐塚将太，飯田康二朗，長谷川舞，渡辺悠介，梁訊，下山美月 （以上、神奈川大学浦辺鎮太郎建築研究会)，「浦辺鎮太郎の建築類型学（展示)」，展覧会「建築家 浦辺鎮太郎の仕事」，横浜赤レンガ倉庫，浦辺鎮太郎建築展実行委員会(2020.11.14～12.13)
27. 安田洋介，新しい道路交通騒音の予測モデル "ASJ RTN-Model 2018" 伝搬計算 1, 伝搬計算 2, 日本音響学会 第 23 回音響技術セミナー (東京，2020. 10, 2021. 8).
28. 山家京子，地域の魅力を発見・発信する，第４回よこはま団地再生コンソーシアムシンポジウム(オンライン, 2021.1).

助成金

1. 岩本靜男，傳法谷郁乃，多様化する給湯用熱源の一次エネルギー消費量算定, 文科省科学研究費助成金, 基盤研究(C), 課題番号 20K04817.
2. 傳法谷郁乃（分担)，熱中症対策としてのファン付き衣服の有効性に関する研究，科学研究費補助金，基盤研究(C)，課題番号 19K04744.
3. 傳法谷郁乃（代表)，熱中症予防のための快適な着物構成・着装方法の新提案，科学研究費補助金，若手研究，課題番号 19K14037.
4. 傳法谷郁乃（分担)，衣服内換気の最適化に基づく快適被服デザイン，科学研究費補助金，基盤研究(C)，課題番号 20K02364.
5. 内田青蔵（主査)，須崎文代，安野彰，「同潤会おける木造分譲住宅事業に関する基礎的研究」，基盤研究(C), 課題番号 19K04827,(2019.4-2022.3).
6. 内田青蔵（主査)，須崎文代，中谷礼仁，三浦清史，一般社団法人ベンチャーシップスポート（VS Port）研究助成, (2020.2-2021.9).
7. 須崎文代（主査)，田中和幸，水野僚子，内田青蔵，泉水英計,「近代日本のセツルメントハウスと公営住宅に関する史的研究ー英・米の動向を参考として」，基盤研究(B)，課題番号 21H01521, (2021.4-2024.3).
8. 須崎文代（主査)，出版助成「キュイジーヌ フランスの台所近代史」（翻訳），一般財団法人住総研, (2020.6-2022.9).
9. 島崎和司（代表)，鉄筋コンクリート柱部材の材端部拘束による曲げ・せん断挙動への影響に関する研究，令和３度科学研究費補助金，基盤研究（B)，課題番号２１Ｈ０１４８2.
10. 白井佑樹（代表)，体育館を対象とした継続使用性の判断方法に関する検討-振動特性とコンクリート基礎の損傷の関係-，令和２年度神奈川大学工学研究所共同研究
11. 白井佑樹（代表)，アンボンド PC 構造梁端の継続使用可能な制振要素接合方法の確立, 科学研究費補助金, 若手研究, 課題番号 20K14876
12. 白井佑樹（共同研究者)，露出型柱脚の被災後微動ひずみ振幅計測による損傷の定量化，日本鉄鋼連盟鋼構造研究支援助成
13. 曽我部昌史，吉岡寛之，丸山美紀，長谷川明，改修前後の変化からみる古民家活用による新たな地域再生手法に関する研究−徳島県美波町薬王寺門前町のまちづくりを事例として−，前田記念工学振興財団研究助成，2020.6-2021.10(延伸)

14. 中井邦夫（代表者），（以下，分担）内田青蔵，曽我部昌史，石黒由紀，藤岡泰寛，「戦後の防火建築帯に学ぶ都市建築類型学の構築と新しい都市建築モデルの探求」，科学研究費補助金（基盤研究 C），日本学術振興財団，（2020.04～2023.03）
15. 中井邦夫（代表者），神奈川大学浦辺鎮太郎建築研究会，「浦辺鎮太郎の建築類型学」，研究奨学寄附金，株式会社浦辺設計（2020.11）
16. 藤田正則(研究代表者)，浸水被害に対応した建築物の設計法に関する基礎研究，令和 2～4 年度科学研究費助成事業(学術研究助成基金)，挑戦的研究（萌芽），課題番号 20K21039
17. 藤田正則(研究代表者)，機械式亀裂補修工法の強度特性，奨学寄附金，日出水道(株)，2021.4-2022.3
18. 藤田正則(研究代表者)，リユース鋼材を用いた S 造建物の構築システム，奨学寄附金，青木あすなろ建設(株)，2020.4-2021.3
19. 森長誠（代表），光電式容積脈波記録法を用いた環境騒音による睡眠影響の評価ツール開発，令和 3 年度科学研究費補助金，研究活動スタート支援，課題番号 21K20467.
20. 山家京子（代表），他，アジアの社会遺産と地域再生手法，神奈川大学アジア研究所共同研究（2018-）
21. 趙衍剛（代表），山家京子（分担），他，アジア地域の災害軽減化と防災・減災ネットワーク構築に関する研究，神奈川大学アジア研究所共同研究（2019-）

受託研究

1. 岩本静男，傳法谷郁乃，全館空調システムの省エネルギー性能評価，受託研究，アズビル(株).
2. 岩本静男，ビジネスホテルと病院に対する給湯熱源システムの一次エネルギー消費量計算ツールによる検討，(一社)日本サステナブル建築協会.
3. 傳法谷郁乃，研究奨学寄附金，竹中工務店.
4. 奥山博康，吉浦温雅，藤崎詩織(M1)，全熱回収換気システムを持つ外断熱戸建て住宅での温熱環境測定と多数室換気測定法実施の結果報告，約 150 万円，(株)創建　，2020.11.26
5. 島崎和司，白井佑樹，木造耐力壁パネルに関する架構性能実験（共同研究），株式会社安藤・間
6. 島崎和司，白井佑樹，耐震・制振機能を有する RC 造２次壁の研究（共同研究），岡部株式会社
7. 島崎和司，白井佑樹，合成スラブ用デッキプレートの蟻溝形状の検討（共同研究），JFE 建材株式会社
8. 曽我部昌史，吉岡寛之，丸山美紀，長谷川明「令和 3 年度谷屋の活用に向けた設計等官学連携事業」，徳島県美波町，2021.6-2022.3
9. 曽我部昌史，吉岡寛之，丸山美紀，長谷川明「令和 3 年度日和佐町漁業協同組合移転改築と日和佐港賑わいづくり検討事業」，徳島県美波町，2021.4-2022.3
10. 曽我部昌史，吉岡寛之，丸山美紀，長谷川明「2021 年度　門前町持続のためのまちづくり」，徳島県美波町，2021.4-2022.3
11. 藤田正則（研究代表者），リユース可能な木造構造体に関する検討，共同研究，大林組(株)，2021.4-2022.3
12. 安田洋介，木造建築物の床衝撃音設計手法の検討，飛島建設.
13. 森長誠，航空機騒音による心理的影響に関する評価指標等の検討，防衛基盤整備協会.
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

褒賞

1. 岩本静男，篠原記念賞，空気調和・衛生工学会 (2021.5).
2. 2020 年都市住宅学会賞著作賞，『横浜防火帯建築を読み解く―現代に語りかける未完の都市建築―』，藤岡泰寛，菅孝能，松井陽子，桂有生，林一則，中井邦夫，笠井三義，黒田和司（担当頁順），花伝社，2020 年 3 月（2020. 11）

学位

1. 閆西峰，軸圧縮力を受けるコンクリート充填円形二重鋼管短柱の力学的挙動，博士（工学），神奈川大学(2021. 3).
2. 任　璐，モーメント法に基づくプロジェクト納期の信頼性評価，博士（工学），神奈川大学(2021. 3).

その他

3. 内田青蔵他，文化学院の創立者が造った“自由な家”，BS 朝日百年名家，2020.10.11 放送
4. 内田青蔵他，教教養主義宣言・トークイベント vol.９　和洋折衷の発明，2020.10.13
5. 内田青蔵他，本多忠次邸，BS 朝日百年名家，2020.11.29 放送
6. 内田青蔵他，同潤会江古田住宅，BS 朝日百年名家，2021.5.2 放送
7. 内田青蔵他，旧青木家那須別邸，BS 朝日百年名家，2021.7.18 放送

数学教室

研究論文I（レフェリー付き論文）

1. N. Kenmochi, K. Shirakawa and N. Yamazaki, Doubly nonlinear evolution inclusions of time-dependent subdifferentials --quasi-variational approach--, Adv. Math. Sci. Appl., 29 (2020), 311--343.
2. N. Kenmochi, K. Shirakawa and N. Yamazaki, Approximate methods for singular optimal control problems of nonlinear evolution inclusions with quasi-variational structure, Adv. Math. Sci. Appl., 29 (2020), 419--457.
3. Kubota, K. Shirakawa and N. Yamazaki, A class of approximate optimal control problems for 1-D phase-field system with singularity and its numerical algorithm, Adv. Math. Sci. Appl., 29 (2020), 495--561.
4. H. Antil, K. Shirakawa and N. Yamazaki, Optimal control problems governed by 1-D Kobayashi-Warren-Carter type systems, Math. Control Relat. Fields, 11 (2021), 253--289.
5. Y. Hirata and N. Kemoto, The weight of lexicographic products, Topology Appl. 284, 107357, 13pp (2020).
6. K. Koshino, Characterizations of manifolds modeled on absorbing sets in non-separable Hilbert spaces and the discrete cells property, Colloquium Mathematicum 167, 127-147 (2022, published online: 24 May 2021).

口頭発表

1. 山崎教昭，剣持信幸，白川健，Solvability of quasi-variational evolution inclusions via optimal control problems，日本数学会 2021 年度年会，慶應大学, 2021 年 3 月.
2. 山崎教昭，剣持信幸，白川健，Control of parameter-dependent evolution equations governed by time-dependent subdifferentials，日本数学会 2021 年度秋季総合分科会，千葉大学，2021 年 9 月.
3. 平田康史，矢島幸信，単調正規空間と特殊な空間の積の extent について，一般位相幾何学の動向と諸分野との連携・RIMS 研究集会（オンライン，2021.6）.
4. 中村憲史, Hyperbolic Stokes equations with perturbation，若手による流体力学の基礎方程式研究会 (オンライン, 2021.3).

学術誌

1. K. Nakamura, Local energy decay estimate for the hyperbolic type Stokes equations, 数理解析研究所講究録 2171 非圧縮性粘性流体の数理解析, 16-25 (2020).

講演・展示会

1. 山崎教昭，Doubly nonlinear evolution inclusions of time-dependent subdifferentials --quasi-variational approach--, 第 46 回発展方程式研究会，日本女子大学，2020 年 12 月.
2. 山崎教昭，Optimal control for shape memory alloys of the one-dimensional Frémond model，第 46 回偏微分方程式論札幌シンポジウム，北海道大学，2021 年 8 月.

助成金

1. 山崎教昭（代表），仮似変分発展方程式と特異最適制御問題の新展開と構造解析，令和 3 年度科学研究費補助金，基盤研究（C），課題番号 20K03665.
2. 平田康史（代表），単調正規空間の積における C*-,C-,P-埋め込みの研究, 令和 2 年度科学研究費補助金, 基盤研究（C），課題番号 19K03606.

褒賞

1. 早水桃子，町田学，中村憲史，第 9 回 WASEDA e-Teaching Award 大賞，早稲田大学 (2021.3).

その他

1. 嶺幸太郎　General Topology 研究グループのメーリングリストの管理・運営（http://www.math.kanagawa-u.ac.jp/mine/ML/index.html）
2. 嶺幸太郎　著書『微分積分学の試練』（日本評論社）に関する YouTube チャンネルの開設・運営（https://www.youtube.com/channel/UC_ElkUuLTWIK7G8gbAo5NEg）

物理学教室

研究論文I（レフェリー付き論文）

1. O. Adriani, Y. Akaike, K. Asano, Y. Asaoka, M. G. Bagliesi, E. Berti, G. Bigongiari, W.R. Binns, M. Bongi, P. Brogi, A. Bruno, J. H. Buckley, N. Cannady, G. Castellini, C. Checchia, M. L. Cherry, G. Collazuol, K. Ebisawa, H. Fuke, S. Gonzi, T. G. Guzik, T. Hams, K. Hibino, M. Ichimura, K. Ioka, W. Ishizaki, M. H. Israel, K. Kasahara, J. Kataoka, R. Kataoka, Y. Katayose, C. Kato, N. Kawanaka, Y. Kawakubo, K. Kobayashi, K. Kohri, H. S. Krawczynski, J. F. Krizmanic, J. Link, P. Maestro, P. S. Marrocchesi, A. M. Messineo, J. W. Mitchell, S. Miyake, A. A. Moiseev, M. Mori, N. Mori, H. M. Motz, K. Munakata, S. Nakahira, J. Nishimura, G. A. de Nolfo, S. Okuno, J. F. Ormes, N. Ospina, S. Ozawa, L. Pacini, F. Palma, P. Papini, B. F. Rauch, S. B. Ricciarini, K. Sakai, T. Sakamoto, M. Sasaki, Y. Shimizu, A. Shiomi, R. Sparvoli, P. Spillantini, F. Stolzi, S. Sugita, J. E. Suh, A. Sulaj, M. Takita, T. Tamura, T. Terasawa, S. Torii, Y. Tsunesada, Y. Uchihori, E. Vannuccini, J. P. Wefel, K. Yamaoka, S. Yanagita, A. Yoshida, and K. Yoshida, Direct Measurement of the Cosmic-Ray Carbon and Oxygen Spectra from 10 GeV/n to 2.2 TeV/n with the Calorimetric Electron Telescope on the International Space Station, Physical Review Letters, 125(251102), pp.1-7 (2020.12)
2. O. Adriani, Y. Akaike, K. Asano, Y. Asaoka, M. G. Bagliesi, E. Berti, G. Bigongiari, W.R. Binns, M. Bongi, P. Brogi, A. Bruno, J. H. Buckley, N. Cannady, G. Castellini, C. Checchia, M. L. Cherry, G. Collazuol, K. Ebisawa, H. Fuke, S. Gonzi, T. G. Guzik, T. Hams, K. Hibino, M. Ichimura, K. Ioka, W. Ishizaki, M. H. Israel, K. Kasahara, J. Kataoka, R. Kataoka, Y. Katayose, C. Kato, N. Kawanaka, Y. Kawakubo, K. Kobayashi, K. Kohri, H. S. Krawczynski, J. F. Krizmanic, J. Link, P. Maestro, P. S. Marrocchesi, A. M. Messineo, J. W. Mitchell, S. Miyake, A. A. Moiseev, M. Mori, N. Mori, H. M. Motz, K. Munakata, S. Nakahira, J. Nishimura, G. A. de Nolfo, S. Okuno, J. F. Ormes, N. Ospina, S. Ozawa, L. Pacini, F. Palma, P. Papini, B. F. Rauch, S. B. Ricciarini, K. Sakai, T. Sakamoto, M. Sasaki, Y. Shimizu, A. Shiomi, R. Sparvoli, P. Spillantini, F. Stolzi, S. Sugita, J. E. Suh, A. Sulaj, M. Takita, T. Tamura, T. Terasawa, S. Torii, Y. Tsunesada, Y. Uchihori, E. Vannuccini, J. P. Wefel, K. Yamaoka, S. Yanagita, A. Yoshida, and K. Yoshida, Measurement of the Iron Spectrum in Cosmic Rays from 10 GeV/n to 2.0 TeV/n with the Calorimetric Electron Telescope on the International Space Station, Physical Review Letters, 126(241101), pp.1-7 (2021.6).
3. N. Saffold, F. Rogers, M. Xiao, R. Bhatt, T. Erjavec, H. Fuke, C. J. Hailey, M. Kozai, D. Kraych, E. Martinez, C. Melo-Carrillo, K. Perez, C. Rodriguez, Y. Shimizu and B. Smallshaw, Passivation of Si(Li) detectors operated above cryogenic temperatures for space-based applications, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A, 997, 165015 (2021, 5)
4. N. Saffold,T. Aramaki, R. Bird, M. Boezio, S. E. Bogg, V. Bonvicini, D. Campana, W. W. Craig, P. von Doetinchem, E. Everson, L. Fabris, H. Fuke, F. Gahbauer, I. Garcia, C. Gerrity, C. J. Hailey, T. Hayashi, C. Kato, A. Kawachi, S. Kobayashi, M. Kozai, A. Lennie, A. Lowell, M. Manghisoni, N. Marcelli, S. I. Mognet, K. Munakata, R. Muninie, Y. Nakagami, J. Olson, R. A. Ong, G. Osteria, K. Perez, I. Pope, S. Quinn, V. Rep, M. Reed, E. Riceputi, B. Roach, F. Roger, J. L. Ryan, V. Scottih, Y. Shimizu, M. Sonzogni, R. Sparvoli, A. Stoessl, A. Tiberio, E. Vannuccini, T. Wada, M. Xiao, M. Yamatani, A. Yoshida, T. Yoshida, G. Zampa and J. Zweerink, Cosmic antihelium-3 nuclei sensitivity of the GAPS experiment, Astroparticle Physics, 130, 102580 (2021, 7)
5. J. W. Belz, K. Hibino, D. Ikeda, S. Udo, et al., Observations of

the Origin of Downward Terrestrial Gamma-Ray Flashes, Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 125, 23 (2020.12).

6. R.U. Abbasi, K. Hibino, D. Ikeda, S. Udo, et al., The Cosmic-Ray Composition between 2 PeV and 2 EeV Observed with the TALE Detector in Monocular Mode, The Astrophysical Journal, 909:178, (2021.03).
7. M.Amenomori, K.Hibino, S.Udo, et al., Potential PeVatron supernova remnant G106.3+2.7 seen in the highest-energy gamma rays, Nature Astronomy, 5, 460-464 (2021.03)
8. M.Amenomori, K.Hibino, S.Udo, et al., First Detection of sub-PeV Diffuse Gamma Rays from the Galactic Disk: Evidence for Ubiquitous Galactic Cosmic Rays beyond PeV Energies, Physical Review Letters, 126, 141101 (2021.04)
9. M.Amenomori, K.Hibino, S.Udo, et al., Gamma-Ray Observation of the Cygnus Region in the 100-TeV Energy Region, Physical Review Letters, 127, 031102 (2021.07)
10. S.Kato, K.Hibino, S.Udo, et al., Detectability of southern gamma-ray sources beyond 100 TeV with ALPAQUITA, the prototype experiment of ALPACA, Experimental Astronomy, 52, 85-107 (2021.09)
11. T. Hiramatsu, D. Yamauchi, Testing gravity theories with cosmic microwave background in the degenerate higher-order scalar-tensor theory, Physical Review D, 102, 083525 (2020).
12. S. Hirano, T. Kobayashi, D. Yamauchi, S. Yokoyama, UV sensitive one-loop matter power spectrum in degenerate higher-order scalar-tensor theories beyond Horndeski, Physical Review D, 102, 103505 (2020).
13. R. Kimura, A. Naruko, D. Yamauchi, On Lorentz-invariant bispin-2 theories, Physical Review D, 104, 044021 (2021).
14. T. Namikawa, A. Naruko, R. Saito, A. Taruya, D. Yamauchi, Unified approach to secondary effects on the CMB B-mode polarization, Journal of Cosmology and Astroparticle Physics, 10, 029 (2021).
15. H. Yokozuka, T. Oka, S. Takekawa, Y. Iwata, and S. Tsujimoto, Broad-velocity-width Molecular Features in the Galactic Plane, The Astrophysical Journal, 908, 246-263 (2021).
16. S. Tsujimoto, T. Oka, S. Takekawa, Y. Iwata, A. Uruno, H. Yokozuka, R. Nakagawara, Y. Watanabe, A. Kawakami, S. Nishiyama, M. Kaneko, S.Kanno, and T. Ogawa, New Look at the Molecular Superbubble Candidate in the Galactic Center, The Astrophysical Journal, 910, 61-69 (2021).
17. A. Hiramoto, H. Shibuya et al. (NINJA Collaboration), First measurement of (nu)over-bar(mu) and nu(mu) charged-current inclusive interactions on water using a nuclear emulsion detector, Phys. Rev. D, 102, 072006 (2020).
18. H. Oshima, H. Shibuya et al. (NINJA Collaboration), First measurement using a nuclear emulsion detector of the nu(mu) charged-current cross section on iron around the 1 GeV energy region, Prog. Theor. Exp. Phys. 2021, 033C01 (2021).
19. C. Ahdida, H. Shibuya et al. (SHiP Collaboration), Sensitivity of the SHiP experiment to light dark matter, J. High Energy Physics 04, 199 (2021).
20. C. Ahdida, H. Shibuya et al. (SHiP Collaboration), Sensitivity of the SHiP experiment to dark photons decaying to a pair of charged particles, Eur. Phys. J. C 81, 451 (2021).
21. N. Agafonova, H. Shibuya et al. (OPERA Collaboration), OPERA tau neutrino charged current interactions, Scientific Data 8, 218 (2021).

研究論文II（レフェリー付き Proceedings）

1. H. Oshima, H. Shibuya, S. Ogawa, T. Matsuo, Y. Morimoto, Y. Kosakai, K. Mizuno and T. Takagi for the NINJA collaboration, Study of neutrino charged current interactions on iron in the NINJA experiment, J. Phys.: Conf. Ser. 1468 012128 (2020).

口頭発表

1. 田村忠久, 鳥居祥二, 赤池陽水, 小林兼好, 浅岡陽一, 森正樹, 川久保雄太, MOTZ Holger, 他 CALET チーム，CALET による 5 年間の観測の進展状況と運用の概要，第 21 回 宇宙科学シンポジウム（オンライン開催，2021.1）
2. 鳥居祥二, 赤池陽水, 小林兼好, 浅岡陽一, 田村忠久, 森正樹, 浅野勝晃, 福家英之, 日比野欣也, 市村雅一, 笠原克昌, 片岡龍峰, 片寄祐作, 加藤千尋, 川久保雄太, 三宅晶子, MOTZ Holger, 宗像一起, 中平聡志, 奥野祥二, 小澤俊介, 坂本貴紀, 清水雄輝, 塩見晶司, 寺澤敏夫, 常定芳基, 山岡和貴, 柳田昭平, 吉田篤正, 吉田健二, 他 CALET チーム，CALET による 5 年間の軌道上観測の成果と展望, 日本物理学会 第 76 回年次大会 13aW3.5,（オンライン開催, 2021.3）
3. 田村忠久, 鳥居祥二, 赤池陽水, 小林兼好, 浅岡陽一, 森正樹, 川久保雄太, MOTZ Holger, 他 CALET チーム，CALET による 5 年間の観測の進展と運用の報告, 日本物理学会 第 76 回年次大会 13aW3.6,（オンライン開催，2021.3）
4. 鳥居祥二, 赤池陽水, 小林兼好, 浅岡陽一, 田村忠久, 森正樹, 浅野勝晃, 福家英之, 日比野欣也, 市村雅一, 笠原克昌, 片岡龍峰, 片寄祐作, 加藤千尋, 川久保雄太, 三宅晶子, MOTZ Holger, 宗像一起, 中平聡志, 奥野祥二, 小澤俊介, 坂本貴紀, 清水雄輝, 塩見晶司, 寺澤敏夫, 常定芳基, 山岡和貴, 柳田昭平, 吉田篤正, 吉田健二, 他 CALET チーム，ISS 搭載 CALET による 5 年間の観測の最新成果報告, 日本物理学会 2021 年秋季大会［素核宇］16aW2.1（オンライン開催，2021.9）
5. 山谷昌大, 小財正義, 清水雄輝, 中上裕輔, 福家英之, 吉田篤正, 吉田哲也, 和田拓也, Philip von Doetinchem, Riccardo Munini, 宇宙線反粒子観測計画 GAPS によるダークマター間接探索のための反粒子識別能力向上の研究, 日本物理学会 第 76 回年次大会 （オンライン開催，2021.3）
6. 小財正義, 福家英之, 岡崎峻, 小川博之, 西城大, 徳永翔, 山谷昌大, 吉田哲也, 中上裕輔, 吉田篤正, 和田拓也, 今村光拓, 清水雄輝, 山田昇, 小池貴久, 加藤千尋, 宗像一起, 永井大樹, 今西優香, 河内明子, 小林聖平, 高橋俊, 竹村薫, 奈良祥太朗, 本木誠人, 井上剛良, C.J.Hailey, K.Perez, L.Fabris, W.Craig, R.Ong, S.Boggs, P.v.Doetinchem, M.Boezio, 宇宙線反粒子探索 GAPS 実験の進捗報告, 日本物理学会 第 76 回年次大会 （オンライン開催，2021.3）
7. 今福拓海, 石川博, 山本幸生, 荒木徹也, 福家英之, 清水雄輝, 和田拓也, 中上裕輔, 宇宙線反粒子識別を対象とした機械学習の応用と根拠の可視化, 宇宙科学情報解析シンポジウム（2020 年度），（オンライン開催, 2021.2）
8. 西野晃徳, 羽田野直道, 開放型量子ドットの非平衡電流: 多電子散乱状態による相互作用 2 次の解析，日本物理学会 2021 年秋季大会概要集，1860.
9. 木戸英治, 池田大輔, 有働慈治，日比野欣也，他，TA 実験 352：TAx4 実験全体報告 8，日本物理学会第７６回年次大会（2021 年）（オンライン開催 3/12-15），2021
10. 荒井優斗, 有働慈治，他，TA 実験 355：TALE 実験全体報告 6，日本物理学会第７６回年次大会（2021 年）（オンライン開催 3/12-15），2021

11. 藤田慧太郎，有働慈治，池田大輔，他，TA 実験 356：TALE 実験ハイブリッド観測によるデータの解析，日本物理学会第７６回年次大会（2021 年）（オンライン開催 3/12-15），2021
12. 佐藤光希，池田大輔，他，TA 実験 357：TALE-SD アレイで測定された 2nd knee 領域宇宙線のエネルギースペクトル，日本物理学会第７６回年次大会（2021 年）（オンライン開催 3/12-15），2021
13. 中澤新，池田大輔，他，TA 実験 359：UAV 搭載型光源による大気蛍光望遠鏡のスポットサイズ解析，日本物理学会第７６回年次大会（2021 年）（オンライン開催 3/12-15），2021
14. 佐古崇志，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よる超高エネルギーガンマ線源の観測 (3)，日本物理学会第７６回年次大会（2021 年）（オンライン開催 3/12-15），2021
15. 横江誼衡，日比野欣也，有働慈治，他，ALPACA 実験 19：half-ALPACA 実験の性能評価シミュレーション 1，日本物理学会第７６回年次大会（2021 年）（オンライン開催 3/12-15），2021
16. 加藤勢，日比野欣也，有働慈治，他，ALPACA 実験 20：ALPAQUITA 実験の性能評価シミュレーション 6，日本物理学会第７６回年次大会（2021 年）（オンライン開催 3/12-15），2021
17. 大浦敏宏，日比野欣也，有働慈治，他，ALPACA 実験 21：ALPAQUITA 実験用データ収集システム開発，日本物理学会第７６回年次大会（2021 年）（オンライン開催 3/12-15），2021
18. 池田大輔，武多昭道，山崎勝也，小村健太郎，宇宙線ミューオンによる跡津川断層の走向・傾斜角 測定，日本地震学会 2020 年度秋季大会（オンライン開催 10/29-31），2020
19. 冨田孝幸，中村雄也，窪田悠人，多米田裕一郎，柴田規迪，池田大輔，栗栖真乃祐，山崎勝也，CRAFFT 実験 10：完全自律自動観測システムの開発状況および観測計画，日本物理学会第７６回年次大会（2021 年）（オンライン開催 3/12-15），2021
20. 山崎勝也，武多昭道，池田大輔，小村健太郎，宇宙線ミューオン検出器で探る跡津川断層帯の浅部構造，日本地球惑星科学連合 2021 年大会（オンライン開催 5/30-6/6），2021
21. A. Nakazawa, D. Ikeda et al., FOV direction and image size calibration of Fluorescence Detector using light source on UAV, 37th International Cosmic Ray Conference (Online 7/12-23), 2021
22. Y. Tameda, D. Ikeda et al., Progress and future prospect of the CRAFFT project for the next generation UHECR observation, 37th International Cosmic Ray Conference (Online 7/12-23), 2021
23. Y. Kubota, D. Ikeda et al., Progress in optimizing the detection surface structure of CRAFFT, 37th International Cosmic Ray Conference (Online 7/12-23), 2021
24. D. Ikeda et al., Status and prospects of the CRAFFT project for the next generation UHECR observation, 17th International Conference on Topics in Astroparticle and Underground Physics (Online 8/26-9/3), 2021
25. A. Shiomi, K. Hibino, et al., Study of water Cherenkov detector to determine air shower arrival directions with accuracy, 37th International Cosmic Ray Conference (Online 7/12-23), 2021
26. W. Takano, K. Hibino, Observing Ultra-High Energy Cosmic Rays using Camera Image Sensors, 37th International Cosmic Ray Conference (Online 7/12-23), 2021
27. 柴田規迪，多米田裕一郎，冨田孝幸，池田大輔，山崎勝也，窪田悠人，次世代型極高エネルギー宇宙線観測用望遠鏡 CRAFFT に用いる光電子増倍管の感度較正，第 39 回レーザセンシングシンポジウム（オンライン開催 9/1-3），2021
28. 木戸英治，池田大輔，有働慈治，日比野欣也，他，TA 実験 364：TAx4 実験全体報告 9，日本物理学会 2021 年秋季大会（オンライン開催 9/14-17），2021
29. 藤田慧太郎，有働慈治，池田大輔，他，TA 実験 367：TALE 実験ハイブリッド観測によるエネルギースペクトル及び質量組成測定，日本物理学会 2021 年秋季大会（オンライン開催 9/14-17），2021
30. 木村優介，有働慈治，池田大輔，他，TA 実験 368：TALE-SD 及び TA-SD で測定された宇宙線の到来方向の異方性解析，日本物理学会 2021 年秋季大会（オンライン開催 9/14-17），2021
31. 岩﨑葵，有働慈治，池田大輔，他，TA 実験 369：TALE 実験の infill SD アレイによる拡張と観測精度などのシミュレーションによる評価，日本物理学会 2021 年秋季大会（オンライン開催 9/14-17），2021
32. 西尾瑛司，多米田裕一郎，鍵谷鷹，柴田規迪，冨田孝幸，窪田悠人，中村雄也，池田大輔，山崎勝也，CRAFFT 実験 11：波形フィットによる宇宙線空気シャワー再構成手法の開発，日本物理学会 2021 年秋季大会（オンライン開催 9/14-17），2021
33. 佐古崇志，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よる超高エネルギーガンマ線源の観測 (4)，日本物理学会 2021 年秋季大会（オンライン開催 9/14-17），2021
34. 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よる銀河面からの sub-PeV 拡散ガンマ線の観測，日本物理学会 2021 年秋季大会（オンライン開催 9/14-17），2021
35. 五味明日香，日比野欣也，有働慈治，他，チベット空気シャワー観測装置を用いた数 TeV 領域でのガンマ線バースト探索，日本物理学会 2021 年秋季大会（オンライン開催 9/14-17），2021
36. 横江誼衡，日比野欣也，有働慈治，他，ALPACA 実験 22：Half ALPACA 実験の性能評価シミュレーション 2，日本物理学会 2021 年秋季大会（オンライン開催 9/14-17），2021
37. 加藤勢，日比野欣也，有働慈治，他，ALPACA 実験 23：ALPAQUITA 実験の性能評価シミュレーション 7，日本物理学会 2021 年秋季大会（オンライン開催 9/14-17），2021
38. 山内大介，いよいよ建設開始！SKA と 10 の科学--宇宙論--，SKA-Japan ウェビナーシリーズ, (オンライン開催, 2021.1).
39. D. Yamauchi, Cosmology with the Square Kilometre Array, 4th JSPS core-to-core program, CMB Japan group seminar for young scientists, (オンライン開催, 2021.5).
40. D. Yamauchi, Cosmology with higher-order correlation of galaxy clustering, East Asia SKA Workshop 2021, (オンライン開催, 2021.5).
41. 山内大介，科学報告−宇宙論--, Japan SKA Consortium Science Strategy Workshop 2021, (国立天文台/オンライン, 2021.7)
42. S. Takekawa, T. Oka, Y. Iwata, Y. Watanabe, R. Nakagawara, H. Yokozuka, A. Uruno, S. Nishiyama, M. Kaneko, T. Hasegawa, and M. Tsuboi, Report of a 45m Large program, ALMA/45m/ASTE Users Meeting FY2020 (online, 2021.1).
43. 竹川俊也，銀河系中心領域の特異分子雲, (サブ)ミリ波単一鏡の革新で挑む，天文学の未解決問題 (オンライン開催, 2021.3)
44. 竹川俊也，岡朋治，辻本志保，横塚弘樹，金子美由起，岩田

悠平, 次世代単一鏡による高速度コンパクト雲の研究, 日本天文学会 2021 年秋季年会, Z111a (オンライン開催, 2021.9)
45. 小松雅宏, 佐藤修, 中村光廣, 中野敏行, 宮西基明, 森島邦博, 長縄直崇, 福田努, 六條宏紀, 北川暢子, 児玉康一, 渋谷寛, 小川了, 中竜大, 鶴岡千穂, 青木茂樹, 高橋覚, 三角尚治, SHiP 実験に向けた現状と LHC ニュートリノでの検証, 日本物理学会第 76 回年次大会 14aT1-7 （オンライン開催, 2021.3）.
46. 大島仁, 渋谷寛, 小川了, 森元祐介, 水野耕作, 高木秀彰, 他 NINJA Collaboration, NINJA 実験における 1 GeV 領域のニュートリノ-鉄荷電カレント反応の断面積測定, 日本物理学会第 76 回年次大会 14aT1-12 （オンライン開催, 2021.3）.
47. 大島仁, 小川了, 森元祐介, 福田努, 佐藤修, 松尾友和, 青木茂樹, 中家剛, 木河達也, 早戸良成, 渋谷寛, 他 NINJA Collaboration, NINJA 実験における 1 GeV 領域のニュートリノ-鉄荷電カレント反応由来の陽子と荷電パイ中間子の測定, 日本物理学会 2021 年秋季大会 15aT1-5 （オンライン開催, 2021.9）.
48. 小松雅宏, 小川了, 中竜大, 渋谷寛, CERN SND@LHC 実験の現状と物理,日本物理学会 2021 年秋季大会 17aT1-3（オンライン開催, 2021.9）.

著書

1. 田村忠久, 解説がくどい「力学演習」, Kindle Direct Publishing (2021.2).

調査報告書

1. J. R. Horandel, D. Ikeda, S. Udo et al., A next-generation cosmic-ray detector to study the physics and properties of the highest-energy particles in Nature, Snowmass2021 – Letter of Interest, 2021
2. 渋谷寛，コンパクト・エマルション・スペクトロメーターを用いたタウニュートリノの研究，科学研究費助成事業研究成果報告書，基盤研究(C)（一般），課題番号 18K03680 (2021).

講演・展示会

1. 宇佐見義之, 人間の能力に匹敵する AI の政策. 新技術オンラインマッチング会(横浜銀行・千葉銀行共催). (web 開催,3/1-3/12,2021).
2. 宇佐見義之. 読んで、聞いて、見て、話す Ai の制作. 分野研究交流促進プロジェクト KU100 人論文・神奈川大学, (web 開催,7/26-8/1,2021).

助成金

1. 田村忠久（分担），CALET 長期観測による銀河宇宙線の起源解明と暗黒物質探索，令和二年度科学研究費補助金，基盤研究（S)，課題番号 19H05608.
2. 清水雄輝（代表）, 南極周回気球実験による宇宙線反重粒子探索, 令和 2 年度科学研究費補助金, 基盤研究（C）, 課題番号 20K04002.
3. 松田和之（分担），客野遥（分担），隙間水が関与した摩擦現象と隙間水の流体現象の研究，令和 3 年度科学研究費補助金 基盤研究（C)，課題番号 19K05198.
4. 池田大輔（代表)，次世代大気蛍光望遠鏡による極高エネルギー宇宙線事象再構成手法の確立，令和 3 年度科学研究費補助金，基盤研究（C)，課題番号 21K03605
5. 池田大輔（分担)，断層粗さのマルチスケール測定 : 断層はどの程度デコボコしているのか，令和 3 年度科学研究費補助金，基盤研究（B)，課題番号 21H01585
6. 日比野欣也（分担)，アンデス高地の新しい宇宙線観測装置による PeV 粒子加速天体の探索，令和 3 年度科学研究費補助金，基盤研究（A）, 19H00678.
7. 日比野欣也（代表）, 有働慈治（分担）, 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, 2021 年度東京大学宇宙線研究所共同利用研究.
8. 日比野欣也（分担）, 有働慈治（分担）, 乗鞍岳における雷雲に伴う二次宇宙線の研究, 2021 年度東京大学宇宙線研究所共同利用研究.
9. 有働慈治 (代表), TA 実験サイトにおける大気透明度測定法の研究・開発, 2021 年度東京大学宇宙線研究所共同利用研究.
10. 竹川俊也（代表）, 高速度分子雲に着目した銀河系中心領域に潜む中間質量ブラックホールの探査, 2021 年度科学研究費補助金，若手研究，課題番号 19K14768.
11. 竹川俊也（分担)，サブミリ波観測に基づく銀河系内ミッシング・ブラックホールの探査, 2021 年度科学研究費補助金，基盤研究（A)，課題番号 20H00178
12. 渋谷寛（代表)，コンパクト・エマルション・スペクトロメーターを用いたタウニュートリノの研究，科学研究費助成事業（科学研究助成基金助成金)，基盤研究(C)（一般)，課題番号 18K03680.

化学教室

研究論文I（レフェリー付き論文）

1. A. Takahashi, T. Okada, K. Nakano, Y. Ishida, and A. Kameyama, POSS cage scrambling-induced gelation of POSS-pendant random copolymers catalyzed by fluoride anions, Polym. J., 53, 1213–1222 (2021).
2. I. Iwakura, S. Hashimoto, K. Okamura, K. K.-Orisaku, S. Akai and A. Yabushita, Crystallization of Highly Soluble Thioglucopyranoside Ejected by Coherent Molecular Vibrational Excitation using a Visible 10-fs Pulsed Laser, New Journal of Chemistry, 45, 12346-12350 (2021).
3. S. Hashimoto, R. Takagi, K. Okamura, A. Yabushita T. Kobayashi and I. Iwakura, Ultrafast charge transfer dynamics in the excited state of DCM measured by a 6-fs UV pulse laser, Chemical Physics, 551, 11326 (2021).

口頭発表

1. 高橋 明、ウォン キムジン、橋本征奈、岩倉いずみ、亀山 敦, フェニル基を有するアミノアルコキシジオキサボロランが示す特異な可視光発光, 2021 年光化学討論会, 2P12 (オンライン，2021. 9).
2. 山西雅大，高橋明，亀山敦，側鎖にカゴ型ボレートを有するランダムコポリマーの合成と物性，第 70 回高分子討論会, 1Pe015（オンライン, 2020. 9）.
3. 岩倉いずみ，岡村幸太郎，橋本征奈，藪下篤史，可視 5-fs パルス光の安定化と分子振動実時間分光，2021 年光化学討論会，3P41 (オンライン，2021. 9).

4. 橋本征奈，藪下篤史，岩倉いずみ，スペクトル整形パルス光による光反応の選択誘起, 2021 年光化学討論会, 3P57 (オンライン，2021. 9).

学術誌

1. 岩倉いずみ, 可視 10 フェムト秒パルス光による昇華結晶化, 光アライアンス，62-5, 39-43 (2021).

講演・展示会

1. 亀山敦，高分子合成の基礎 2－逐次重合を中心に－ 2020 年度 若手社員のための高分子基礎講座(オンライン，2020.12.1).
2. 亀山敦，側鎖に籠状シルセスキオキサン（POSS）を有するコポリマーの合成と機能，高分子講演会（東海）主題＝有機高分子と無機材料とのハイブリッド合成とその機能 (オンライン，2021.7.30).

助成金

1. 高橋明 (代表), 橋本征奈, 岩倉いずみ,「柔らかい発光材料」の先駆開拓に向けた柔軟分子の特異な発光機構の解明, 神奈川大学工学研究所 共同研究（B）.
2. 高橋明 (代表), 活性な空軌道を持つカゴ型ボレートに基づく多様な結合の構築と高分子機能への展開, 平成 31 年度科学研究費補助金，若手研究，課題番号 19K15639.
3. 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）.
4. 岩倉いずみ(代表), 5 フェムト秒パルスレーザー光による光圧昇華結晶化システム開発，公益財団法人 JKA 機械振興補助事業 研究補助 複数年研究.
5. 橋本征奈(代表)，ダブルピーク型 5-fs パルス光発生による分子振動位相を揃えた選択励起手法の開発, 平成 31 年度科学研究費補助金，若手研究.
6. 岩倉いずみ(代表)，光反応とも熱反応とも異なるコヒーレント分子振動励起反応を利用する新反応開発, 平成 31 年度科学研究費補助金，挑戦的研究（萌芽）.
7. 岩倉いずみ(代表)，5fs 光による広帯域 fs-ns ポンプ・プローブ測定装置の開発，公益財団法人 JKA 機械振興補助事業 研究補助 複数年研究.

生物学教室

研究論文I（レフェリー付き論文）

1. Watanabe M., Shigihara M., Hirota Y., Takato S., Sato A., Kakei Y., Kikuchi R., Ishii T., Soeno K., Shimada Y. (2021) Effect of an auxin biosynthesis inhibitor, *p*-phenoxyphenyl boronic acid, on auxin biosynthesis and development in rice. ***Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry***, 85(3), 510-519
2. Yamada T., Arai K., Kikuchi R., Okamoto S. (2021) Deuteration of indole compounds: synthesis od deuterated auxin, indole-3-acetic acids-d5 and indole-3-butyric acid-d5. ***ACS Omega***, 6, 19956-19963

口頭発表

1. 近藤恵都，菊地理絵，朝倉史明，高等学校「生物」の学修に資する植物の再生現象を体感する実験プログラムの開発, 日本生物教育学会 第 105 回全国大会, 研究発表要旨集，30 (オンライン開催，2021. 1).
2. K. Arai, T. Yamada, R. Nakagawa, S. Okamoto, Practical Synthesis of Deuterium Labeled Indoles, 日本化学会第 101 春季年会，C000691, 2021 年 3 月（オンライン開催）

学術誌

1. 朝倉史明，中川理絵，河合義隆，森直樹，遺伝子組換えを利用したシーベリー雌雄識別マーカーの開発，神奈川大学工学研究，4, 84-87 (2021).

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（2018～2021 年度）
2. 中川理絵（代表） 2019 年度神奈川大学共同研究奨励助成金,「生合成阻害剤および作動薬を用いるインドール酪酸（IBA）周辺科学の新機軸の導入」(2019～2021 年度）

【２】 講 演 会 開 催 記 録

（2020 年 10 月 1 日より 2021 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

建築学科

演題：建築・住宅のゼロエネルギー化の動向と課題
講師：秋元孝之（芝浦工業大学建築学部建築学科教授）
日時：2020 年 12 月 7 日（月） 17:10～18:50
場所：オンライン（ZOOM）
講演要旨：民生部門は最終エネルギー消費の３割を占め，他部門に比べ増加が顕著であることから，徹底的な省エネルギーの推進が我が国にとって喫緊の課題となっている．ネットゼロエネルギー建築に新たに追加された ZEB oriented 定義や住宅における卒 FIT, SDGs, ESG 投資, RE100 などを紹介し, ZEB/ZEH の動向や今後の課題と展望について概説した．

演題：建築と不動産のあいだ
講師：高橋寿太郎（創造系不動産株式会社　代表）
日時：2021 年 5 月 17 日（月）17:10～18:50
場所：オンライン（ZOOM）
講演要旨：
講師が代表を務める「創造系不動産」の仕事やメンバーとして活動する「いずみラーニングセンター」での実践などの紹介を通して，不動産取引や資産価値から見たデザイン，建築技術から見た不動産の現場など，建築と不動産をつなぐ活動について解説した。

演題：よりよい建築を創造するための環境心理学
講師：辻村壮平（茨城大学大学院理工学研究科准教授）
日時：2021 年 7 月 5 日（月） 17:10～18:50
場所：オンライン（ZOOM）
講演要旨：建築環境や空間は人を中心に拡がっている．よりよい建築や環境を創造するためには，人がどのように感じながら振舞っているのかを考えながら，設計に結びつけることが大切である．本講演では，建築や環境のデザインに活用できる環境心理学について簡単に紹介した．音環境や光・視環境に関わる具体的な研究事例を示し，人の心理や行動理論を適用した環境デザインの考え方や，人の潜在的な価値観を捉えるための方法について易しく解説した．

演題：育てる家
講師：立花美緒（東京工業大学環境・社会理工学院　建築学系助教）
日時：2021 年 10 月 4 日（月）17:10～18:50
場所：オンライン（ZOOM）
講演要旨：
講師の代表作である「蝶番の家」,「モコメシ・アトリエ」などの紹介を通して，建築設計における独自の着眼点，地域における建築の役割，時間をかけて育てられてく建築や環境のあり方などについて解説した。

10.　工学研究所　2020 年度（令和 2 年度）年次報告

10.ANNUAL REPORTS OF RESEARCH INSTITUTE FOR ENGINEERING IN 2020

神奈川大学工学研究所

RESEARCH INSTITUTE FOR ENGINEERING, KANAGAWA UNIVERSITY

2020年度（令和2年度）工学研究所年次報告

１．人事

１）運営委員

所　　長	今井　崇雅	情報システム創成学科	教　授
自己点検委員会	伊東　弘行	機械工学科	教　授
所報編集委員会	中山　明芳	電気電子情報工学科	教　授
幹　　事	松本　 太	物質生命化学科	教　授
自己点検委員会	内田　智史	情報システム創成学科	准教授
所報編集委員会	石井　信明	経営工学科	教　授
講演会企画委員会	中井　邦夫	建築学科	教　授
自己点検委員会	客野　 遥	教室系（物理学教室）	准教授
研究支援委員会（所長指名）	亀山　 敦	教室系（化学教室）	教　授
大型装置管理委員会（所長指名）	松本　 太	物質生命化学科	教　授

２）研究所客員教授

石濱　正男	(2020.4～2021.3)	岩田　 衛	(2020.4～2021.3)	大坂　武男	(2020.4～2021.3)
小林　孝嘉	(2020.10～2021.9)	穴田　哲夫	(2020.4～2021.3)	重村　 力	(2020.4～2021.3)
松井　正之	(2020.10～2021.9)	山田　哲男	(2020.10～2021.9)	岩岡　道夫	(2020.4～2021.3)
森井　尚之	(2020.4～2021.3)	髙木　 均	(2020.10～2021.9)	横山　真一郎	(2020.10～2021.9)
廖　紅建	(2020.10～2021.9)	内田　幸子	(2020.10～2021.3)	松丸　正延	(2020.4～2021.3)
王　小龍	(2020.4～2021.3)	岡田　 繁	(2020.10～2021.9)	赤井　昭二	(2020.10～2021.9)
張　 丹	(2020.10～2021.9)	真庭　 豊	(2020.4～2021.3)	宮田　耕充	(2020.4～2021.3)
田中　 学	(2020.4～2021.3)	森下　正典	(2020.4～2021.3)	藤井　 透	(2020.10～2021.9)

３）研究所客員研究員

石川　博敏	(2020.4～2021.3)	久保　 登	(2020.4～2021.3)	龍　重法	(2020.4～2021.3)
石倉　理有	(2020.4～2021.3)	堀野　定雄	(2020.4～2021.3)	徐　 剛	(2020.10～2021.9)
蘆　朝輝	(2020.10～2021.9)	周　建東	(2020.10～2021.9)	山口　秀一郎	(2020.10～2021.9)
鈴木　 温	(2020.4～2021.3)	大熊　武司	(2020.4～2021.3)	許　瑞邦	(2020.10～2021.9)
岡村　幸太郎	(2020.10～2021.9)	織作　恵子	(2020.10～2021.9)	伊東　圭昌	(2020.4～2021.3)
田中　俊光	(2020.4～2021.3)	橋本　征奈	(2020.10～2021.9)	加藤木　秀章	(2020.10～2021.9)
劉　功義	(2020.10～2021.9)	梁　炯丰	(2020.10～2021.9)	仲田　知弘	(2020.10～2021.9)
正井　卓馬	(2020.4～2021.3)	岩田　和朗	(2020.4～2021.3)	中村　弘毅	(2020.4～2021.3)
武田　重喜	(2020.4～2021.3)	田村　和夫	(2020.4～2021.3)	籔下　篤史	(2020.10～2021.9)

４）研究所特別研究員

北島　 創	(2020.4～2021.3)	入井　友海太	(2020.10～2021.3)	安東　信雄	(2020.10～2021.9)
丸山　美紀	(2020.4～2021.3)	長谷川　明	(2020.4～2021.3)	菊地　 通	(2020.4～2021.3)
佐々木　敦朗	(2020.10～2021.9)	児保　茂樹	(2020.4～2021.3)	鈴木　成也	(2020.4～2021.3)
河田　京子	(2020.4～2021.3)	童　明娜	(2020.10～2021.9)	小倉　宏斗	(2020.4～2021.3)

５）研究所職員

教務技術職員　萩原　健司　　　教務技術職員　金子　信悟

２．予算

2020 年度（令和 2 年度）の予算・決算額を表－1 に示す。

表－１

業　務　項　目		予算額（千円）		決算額（千円）
経常予算	研究所運営費	2,288		1,088
	大型共同設備運用	5,800		5,678
	工学研究所共同研究*	13,000		13,007
特別予算	テクノフェスタ	917		846
	テクノサークル支援事業	1,400		（活動休止）0
	工学系紹介冊子作成（日本語・英語版）	1,300		（英文校閲費）104
合　　計		24,705		20,723

*工学研究所共同研究内訳

共同研究代表者	予算額（千円）
髙野　准教授	3,000
由井　教　授	2,900
松本(紘)　助　教	2,300
松木　准教授	2,000
藤田　教　授	1,300
白井　助　教	1,500
計	13,000

３．共同研究／プロジェクト研究

2020 年度（令和 2 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。

表－２

共同研究

区分	研　究　課　題　名	研　究　代　表　者
A	ハイブリッドロケットエンジンの軽量化､大推力化および高燃焼効率化	髙野　敦／機械工学
A	硬脆材料のダイヤモンド工具によるレーザ援用微細切削加工	由井　明紀／機械工学
A	ナノ繊維の高度利用を目的としたマルチスケール複合材料の新規創製プロセスに関する研究	松本　紘宜／機械工学
A	DNA のレーザー分子線堆積に基づくニューパラダイム：新規ハイブリッド薄膜材料の創製	松木　伸行／電気電子情報工学
A	鋼構造の部材リユースを想定しての部材の性能評価に基づく低減率の検討	藤田　正則／建築学
A	体育館を対象とした継続使用性の判断方法に関する検討-振動特性とコンクリート基礎の損傷の関係-	白井　佑樹／建築学

プロジェクト研究

区分	研　究　課　題　名	研　究　代　表　者
C	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
A	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
C	高安心・超安全交通研究所	髙野倉　雅人／経営工学
A	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
A	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	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
A	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
A	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
A	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
C	企業ロボット開発研究所	石井　信明／経営工学
A	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
A	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　静男／建築学
C	不確定状況下におけるプロジェクトマネジメントの定量的管理方法	石井　信明／経営工学
A	機械学習を用いた倒産予知モデルの構築	片桐　英樹／経営工学
A	次世代無線通信を支えるマイクロ波・ミリ波・テラヘルツ・光パッシブデバイスの理論設計と応用	陳　春平／電気電子情報工学
A	医療従事者用感染対策防護服に関する研究	傳法谷　郁乃／建築学
A	超小型ロケット向け低コスト複合構造の開発	高野　敦／機械工学
A	サステナブル建築構造に関する研究	藤田　正則／建築学
A	ナノ流体現象の機構解明とその応用	客野　遥／物理学

４．講演会

「暮らしの中のサイエンス」連続講演会

※2020 年度は、新型コロナウイルス感染症拡大防止のため、連続講演会の開催はありません。

５．神大テクノフェスタ 2020　―くらしと環境の未来―　健康長寿にむけたテクノロジー

開催日：2020 年 11 月 13 日（金）12:30－17:00

形　式：Web 会議システム Zoom アプリを用いたオンライン開催

実施内容

１）テーマ講演会 2 件

『未病産業の未来を作る神奈川県の取組』

神奈川県 政策局ヘルスケア・ニューフロンティア推進本部室 未病産業グループ 主事　篠田 歩氏

『振動を用いた DNA 増幅法』

神奈川大学工学部 電気電子情報工学科 山口 栄雄 教授

２）神奈川大学の技術シーズの紹介（教員によるショートプレゼン）5 件

３）学生研究ポスター発表

特別セッション（健康長寿・未病に関する研究）2 件

一般セッション 26 件

テクノサークル　2 件　　　　　　総計　30 件

４）宇宙エレベータ　オンデマンド展示

６．大型装置使用実績

2020 年度（令和 2 年度）の大型装置装置使用実績（当該年度に使用実績のない研究室等は一部を除き除外）を表－３に示す。

表－３

（単位:時間）

組織･研究室名	TEM	SEM	粉末Ｘ線	薄膜Ｘ線	XPS	ICP	単結Ｘ線	ZYGO	XRF	
									WD−	ED−
機械工学科	0	23	32	0	0	0	0	28	4.5	9.5
高野研究室		3.5							4.5	9.5
寺島研究室			32							
中尾研究室								28		
由井研究室		19.5								
電気電子情報工学科	0	45	35.5	0	0	0	0	54.5	0	0
中山研究室		5.5						6		
松木研究室		39.5	35.5					48.5		
物質生命化学科	42.5	394.5	30	102	864	79.1	12	11.5	249.5	0
池原研究室			10.5					8.5		
上田研究室		80			507.5					
岡本研究室							12	3		
金研究室	27.5	109	17.5							
小出研究室		3.5								
引地研究室						20.6				
松本研究室	15	200.5		102	356.5	58.5			249.5	
本橋研究室		1.5								
横澤研究室			2							
建築学科	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
藤田研究室		0								
化学教室	0	0	6.5	0	0	0	0	0	0	0
亀山研究室		5.5	25.5							
三相乳化プロジェクト	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
合計時間	42.5	462.5	104	102	864	79.1	12	94	254	9.5
機械工学科(%)	0.0	5.0	30.8	0.0	0.0	0.0	0.0	29.8	1.8	100.0
電気電子情報工学科(%)	0.0	9.7	34.1	0.0	0.0	0.0	0.0	58.0	0.0	0.0
物質生命化学科(%)	100.0	85.3	28.8	100.0	100.0	100.0	100.0	12.2	98.2	0.0
建築学科(%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
化学教室(%)	0.0	0.0	6.3	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

神奈川大学工学研究執筆規程

2019 年 6 月 24 日

１．投稿資格

投稿筆頭者は原則として神奈川大学工学部所属教職員とする．ただし原稿を編集委員会が依嘱する場合はこの限りではない．また連名者については制限しない．

２．記事の種類，刷り上り頁数

２－１．巻頭言，論説，研究紹介

巻 頭 言：原則として 1 頁.

論　　説：学問・技術・工学研究所の事業・動向などに関する論説, 意見. 原則として 4 頁程度.

新任者の研究紹介：前年度またはその年度に着任した工学部教員の専門分野や着任前の研究成果を簡潔に紹介した内容のもの．原則として 10 頁以内.

受賞研究の紹介：前年度に受賞対象となった研究概要の紹介．原則として 5 頁以内.

２－２．論文，研究報告

総合論文：著者の一連の研究をまとめたものであり，その分野における地位を明らかにした内容のもの. 原則として 20 頁以内. 和文の場合は〔欧文内容概要（1 頁以内)〕，欧文の場合は〔和文内容概要（1 頁以内)〕をつけることができる.

総　　説：総合論文と略同一性格の記事であるが，解説的色彩の強いもの. 原則として 8 頁以内.

工学部特別予算重要機器整備費関連研究：工学部特別予算により導入された研究設備などを用いて実施された研究で，導入年度から 2 年間で得られた成果を要約したもの．原則として 2～5 頁.

私学助成関連研究：国や自治体からの私学助成金により導入された研究設備などを用いて実施された研究で，導入年度から 2 年間で得られた成果を要約したもの．原則として 2～5 頁.

工学研究所共同研究：前年度の研究成果が報告される．原則として共同研究Ａ・Ｂ共に 4～5 頁.

工学研究所プロジェクト研究：前年度の研究成果が報告される．原則として 2 頁以内.

トピックス：その時々のトピックスについての展望あるいは解説．原則として 8 頁以内.

２－３．特集

その号の特集として特別記事を設けることがある.

２－４．活動報告，その他の記事

工学研究所テクノサークル：テクノサークルの紹介およびその現状が報告される．原則として 2 頁以内.

随　　想：研究・開発などの思い出，意見，感想，経験談など．原則として 4 頁程度.

国際交流研究：学外（国内，国外）における研究・講義・出張に関する経験談など．原則として 4 頁程度.

工学部通信：前年度 10 月からその年度の 9 月末までの工学部各学科の研究活動，講演会記録，および前年度の博士論文，修士論文，卒業論文を体系的にまとめたもの. 頁数は任意.

工学研究所年次報告：前年度の工学研究所活動状況をまとめたもの．頁数は任意.

３．用語

用語は和文とする．ただし総合論文に限り欧文でもよい．また〔英文目次〕作成のため，原稿には〔英文題目〕のほか〔著者氏名〕および〔職名，所属〕の英語名をつける.

４．提出期日

その年度により定める.

５．原稿の書き方

原稿の書き方は，この〔規程〕ならびに〔神奈川大学工学研究　執筆要領〕による.

６．原稿の責任と権利

掲載された論文など（以下記事という）の内容についての責任は著者が負うものとする．また，著者は記事が神奈川大学学術機関リポジトリにてインターネット公開されることに同意する．

神奈川大学工学研究掲載記事の著作権･編集出版権（複製権、公衆送信権）は〔神奈川大学　工学研究所〕に属する．

７．採否

原稿の採否および分類は〔神奈川大学工学研究　編集委員会〕において行う．

８．原稿の提出先

原稿の提出先は〔神奈川大学　工学研究所　事務室〕とする．そこで受領した日を原稿受付日とする．

９．その他

（１）原稿の枚数が規定限度を超過する場合は委員会の承認を要するが，状況により超過分の実費と徴することがある．

（２）図が印刷に不適当な場合は，専門家に依嘱して書直すことがある．この場合の経費は著者負担とする．

「神奈川大学工学研究」原稿執筆要領

工学　太郎*　　工学　花子**

Preparation of Manuscripts for “Technology Reports, Kanagawa University”

Taro KOUGAKU*　　Hanako KOUGAKU**

１．緒言

この「神奈川大学工学研究」執筆要領は，このファイル自体が工学研究原稿のテンプレートになっているので，著者が別にタイプしてある原稿をこの用紙内にペーストすれば，以下に記載する体裁の原稿が作成される．

テンプレートファイルは工学研究所事務局から著者宛にメールにより送付する．

原稿は，テンプレート（A4 判）に従って執筆し，提出の際は原稿のデジタルデータ（ファイル）を工学研究所事務局に提出する．ファイルは MS Word（Windows または Mac）または TeX（PDF 提出）とする．原稿記載の順序は，標題，本文，文献，付録，である．

２．本文及び原稿の体裁全般

A4 判用紙を用い，本文レイアウト(1 ページあたりの文字数)は，30 字×50 行×2 段＝3000 字とする．ただしタイトルのみは 1 段組である．

MS Word の“ページの設定”の“文字数と行数”のタブ中の設定はフォントサイズ 8，段数 2 で文字数 30，行数 50 とし，“余白”のタブ中の設定は上 29 下 22 左 13.7 右 13.7 としてある．

和文文字は MS 明朝，英文文字は Times New Roman とする．ただし，記号などに Symbol を用いることが出来る．

本文，図，表及び式は原則として左右の段にまたがらないように書く．小数点は〔.〕を用い，カンマ〔,〕を用いない．句読点は〔,〕〔.〕または，〔､〕〔｡〕で統一する．注釈の使用はなるべく避ける．

３．見出

諸記号の字体は次のとおりとする．

（種　別）	（字　体）	（例）
数学的演算記号	立体	sin，sinh
単位記号	立体	cm，kg，MΩ
ベクトル量	斜体	速度 *V*，力 *F*
量記号	斜体	周波数 *f*，長さ *l*
化学記号	立体	$\mathrm{H_2O}$，$\mathrm{BaTiO_2}$

*教授　機械工学科
Professor, Dept. of Mechanical Engineering
**助教　建築学科
Assistant Professor, Dept. of Architecture

文字の大きさは表 1 に示すとおりとする．

４．図，写真及び表の作成

図，写真及び表は全てカラー表示が可能であるが、製本印刷はモノクロで統一し、PDF 版のみカラー掲載とする．このため、カラー表示を希望する場合は､モノクロ印刷時に識別できるよう留意する．

図，写真及び表が単段（片側）に収まらない場合は 2 段（両側）にまたがって書くことができる．

図，写真及び表の横に空白ができても，その空白部には本文を記入しない．

図，写真，表と本文及び図表相互の間は 1 行余白をとる．

図，写真，表の見出しは本文と同一言語とする．図及び写真の見出しはその下に，表の見出しは上に書く．

図，表中の記号類は，小さすぎて判別不能にならないようにする．また，複雑な記号類は，大きめに描くようにする．

写真は本文に貼るだけでなく，写真のファイルを添付する．

５．数式

数式エディタを用いて記載する．

式は単列に書くように整形する．

字体は Times New Roman を使う．ただし，Symbol は使用できる．

数式は原則として文章の行の中に入れない．やむを得ず挿入する場合には，1 行高さを守る．

例 1〔分数式の例〕

…これは $(a + b) / (c + d)$ の形を取る．

例 2〔指数式の例〕

…電流は $i = I\exp(-t / x)$ の形となる．

文中でなく，式を別行にする場合には，次のように書いても良い．その結果，〔上例の式〕は次の形を取る．

例 1〔分数式の例〕

…その結果，これは次式の形を取る．

$$\frac{a+b}{c+d} \tag{1}$$

例 2〔指数式の例〕

…その結果，電流は次式の形となる．

$$i = Ie^{-t/x} \tag{2}$$

６．文献記載方法

文中の文献引用は，引用箇所に文献ナンバーを上付きカッコでつける．

参考文献（References）はナンバーに（　）や［　］を付して本文末に列記する．

引用文献は原則として以下のように記載し，　　　　Vol.，No.，pp.等は省く（Vol. 30, No. 5, pp. 177-182 ではなく 30 (5), 177-182）．また，太字，斜体を用いない．

著者名は原則として全員記述し，あまりに多い場合は「他」や「et al.」と略してもよい．また，〔,〕で列挙し，欧文著者の場合，最後のつなぎに「and」を加える．

<u>例１　論文の場合</u>

（和文誌）

[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).

（欧文誌）

[2] J. E. Lee, M. L. Fusco and A. J. Hessell, Structure of the Ebola virus glycoprotein bound to an antibody from a human survivor, Nature, 454 (7201), 177-182 (2008).

<u>例２　プロシーディング（Proceedings）の場合</u>

[3] C. Büttner, S. Weinzierl, M. Yabushita and Y. Yasuda, Acoustical characteristics of preserved wooden style Kabuki theaters in Japan, Proc. Forum Acusticum 2014, R03D_1 (Krakow, 2014. 9).

<u>例３　書籍・著書の場合</u>

[4] 坂村健，グローバルスタンダードと国家戦略（日本の＜現代＞第 9 巻)，NTT 出版 (2005).

[5] D. Frenkel and B. Smit, Understanding Molecular Simulation (2nd ed.), Academic Press (2002).

７．原稿作成上のヒント

このテンプレートは Windows MS Word97-2003 文書で作成してある．著者が別に書いた原稿をコピーペーストすれば，自動的に割付が決定する．

Word からコピーペーストする際，書式情報無しのテキストのみをペーストするには，対象の文字または一文をコピーした後にメニューの“ホームタブ”から“形式を選択して貼り付け…”を選択し，“テキスト”を選ぶ．

第１ページ標題部分は 1 段組である．この部分では，項目ごとにコピーペーストが必要である．

本文は著者原稿から図，表，脚注を除いてコピーし，テンプレートにペーストする．その後で，図等のスペースを作ってテキストボックスを挿入し，その中に図などをペースト，あるいはファイルからの挿入をする，

第１ページの脚注（著者所属など）には，直接入力しても，コピーした内容をペーストしても良い．

このテンプレートについて不明な点がある場合は，工学研究所事務局に問い合わせる．

８．結言

校正は著者に依頼するので，校正刷りが到着後，速やかに校正を済ませて，工学研究所事務局まで返送する．校正は内容が著者提出のハードコピーと一致することを確かめるものであって，軽微な修正点を除き，変更を加えることはできない．

著者の責任による修正が生じた場合には，その修正に必要な実費を徴収する．

表１　文字及びサイズ

題目	ＭＳ明朝	14 ポ
著者名	ＭＳ明朝	10 ポ
欧文題目	Times New Roman	12 ポ
欧文著者名	Times New Roman	9 ポ
本文	ＭＳ明朝	8 ポ
本文の各節・小項目	**MS ゴシック**	**8 ポ**
図・表の見出し	**MS ゴシック**	**8 ポ**
参考文献・脚注	ＭＳ明朝 Times New Roman	8 ポ

付録

［参　考］神奈川大学工学研究の配布

刷り上がった神奈川大学工学研究は以下の各者に 1 部宛贈呈する．

(1) 本学理事および工学部所属教職員．
(2) 理，工学部を有する国内の大学またはそれに準ずる学校．
(3) 官公庁の研究機関．
(4) 主要の学協会．
(5) 民間の主要研究機関．
(6) その他，編集委員会が認めたもの．

［資　料］英文用語一覧

Technology Reports, Kanagawa University	神奈川大学工学研究
Faculty of Engineering	工学部
Research Institute for Engineering	工学研究所
Department (Dept.) of	学　科
Mechanical Engineering	機械工学
Electrical and Electronic Information Engineering	電気電子情報工学
Material and Life Chemistry	物質生命化学
Information Systems Creation	情報システム創成学
Industrial Engineering and Management	経営工学
Architecture	建築学
Mathematics	数　学
Physics	物理学
Chemistry	化　学
Biology	生物学
Professor	教　授
Professor Emeritus	名誉教授
Associate Professor	准教授
Assistant Professor	助　教
Research Associate	助　手
Technical Assistant	技術員
Graduate (M.C.)	大学院（博士前期課程）
Graduate (D.C.)	大学院（博士後期課程）
Research Student	研究生
Dean	学部長
Chairman of Dept. of …	学科主任
Abstract	概　要

注：工学部，准教授，助手，技術員，研究生などについては種々の呼称があるが，上記のように統一する．

神奈川大学工学研究 第 5 号

TECHNOLOGY REPORTS, KANAGAWA UNIVERSITY (No. 5)

神奈川大学工学研究　第 5 号

2022 年 3 月 17 日　　印　刷
2022 年 3 月 22 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