

工学研究所所報第34号目次

卷頭言

工学研究所のあり方	庄司 正弘	1
-----------	-------	---

総 説

松井の式体系とその周辺	松井 正之	2
サプライチェーンネットワークにおける業者選択と利益最大化モデル	松丸 正延、中島 健一	6
カーボンナノチューブ内部の1次元的ナノ空間での水の相転移挙動	松田 和之	12
平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による 浦安市の被害調査報告	山本 俊雄、松田 磐余	22
神奈川大学23号館の地震・台風時の挙動	大熊 武司、島崎 和司、安井 八紀	25

共同研究

植民地朝鮮における朝鮮建築会の住宅改良に関する活動について 一機関誌『朝鮮と建築』の住宅関連記事を中心としてー	金 容範、内田 青藏	34
腐食鉄筋コンクリート部材の性能評価	盧 朝輝、趙 衍剛	43
ニオビウム接合を流れる超伝導電流の磁界特性	中山 明芳、阿部 晋、穴田 哲夫	51

隨 想

本工学部における物理学教育の一端にたずさわって 揺らぎ	大成 逸夫	62
恩師・正野崎友信先生と学生たちはざまで半世紀 ～～ 切削油剤研究のメッカ ～～	大野 吉弘	65
石渡 秋二	69	

年次報告	73
神奈川大学工学研究所所報執筆規定	87
編集後記	93

CONTENTS

Preface

- How the Research Institute for Engineering should be Masahiro SHOJI 1

Review

- An Outline on Matsui's Equation and its Circumference Masayuki MATSUI 2

Supplier selection in supply chain network

..... Masanobu MATSUMARU Kenichi NAKASHIMA 6

- Phase Transition of Water Confined Inside Pseudo-one-dimensional Nanoscopic Space of Carbon Nanotubes Kazuyuki MATSUDA 12

Damage in Urayasu City due to the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake

..... Toshio YAMAMOTO Iware MATSUDA 22

Response of the 23th building during earthquakes and typhoons

..... Takeshi OHKUMA Kazushi SHIMAZAKI Hachinori YASUI 25

Joint Research

- A Study on the Activities of Cho-Sen Architectural Group for Housing Improvement in Colonial Days of Korea Youngbum KIM Seizo UCHIDA 34

Performance Assessment of Corroded Reinforced Concrete Members

..... Zhao-Hui LU Yan-Gang ZHAO 43

Magnetic Characteristics of Superconducting Current through Niobium Junctions

..... Akiyoshi NAKAYAMA Susumu ABE Tetsuo ANADA 51

Essay

- On an education of university physics Itsuo OHNARI 62

Fluctuation Yoshihiro ONO 65

Half a Century of University Life Warmly Supported by my Respected Professor, Tomonobu Shonozaki and by my Dear Students

~~ Mecca of Cutting Fluid Research ~~ Syuji ISHIWATA 69

Annual Reports of the Institute 73

Manuscript Submission Instruction 87

Letters from the Editors 93

卷頭言

工学研究所のあり方

庄司 正弘*

How the Research Institute for Engineering should be

Masahiro SHOJI*

本学に工学研究所が設置されたのは 1975 年、今から約 35 年以前のことであり、当初の設立の目的は学内の共同研究を中心とした学際領域の研究を行うこと、新しい科学技術の芽を育てること、等にあったと聞いている。この間、大学を取り巻く環境、とりわけ工学における大学と産業界とのかかわり方は大きく変化してきた。この変化に対応する形で、本学の工学研究所も、基本理念に変更はないものの、私学研究助成による大型機器の管理運営、産学官の共同研究、知的財産の産業移転なども視野に入れた業務も守備範囲に入り、また大学あるいは工学全体の科学技術に関連した企画やイベントの立案と実施も行なうこととなった、と見受けられる。実際、現在の工学研究所の行っている主要な業務は、学内共同研究の募集とその実施、大型機器の管理運営、講演会企画（若者と語ろうシリーズ、工学研究の最前線など）、テクノフェスタを実施することにあると理解している。

本学の工学研究所に似た組織は、国立大学を始め多くの大学で付置研究所としてかなり古くより存在していた。その機能はしかし、昭和 40 年後半を境にその前後で大きく変化した。即ち、古くは工学部の研究は産業界と連携するのは悪とされ、学科・研究室に閉じられた形で行われていた。そのような状況では、産業への技術移転は教員が個別的に密に行われるのが常態であった。そのため、大学と産業界を結ぶ組織としての付置研究所は目に見える形で有効に機能し存在価値があった。然るに昭和 50 年代以降になると、事情は全く逆転し、今日のように工学研究は産業界にシーズを提供するもの、あるいはしなくてはならないものとされ、個々の研究室は企業・産業と直接的な係りを、それも積極的な連携をとるようになり、それは必然的に付置研究所の存在意義を問う問題を生起した。そして周知のように、多くの大学で付置研究所は統合あるいは廃止されることとなった。こうした流れの観点に立つと、本学の工学研究所は新たな流れの時期に創設されると位置づけられ、現在の業務も標準的なものと思われる。しかし、厳しい見方をす

れば、標準的であるために特色や魅力に欠けるということもできよう。私は、現在の基本理念は保持しつつも、そろそろ機能の再検討を行い、新しい取り組みを始めても良い時期ではないかと考えている。組織としての有り方と、仕事の内容の両面についてである。

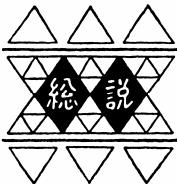
もう十数年前のことであるが、米国クリーブランドにある NASA の研究所を訪問したことがある。そこで印象的であったのは、工学技術の新しい芽を見出す方法として、研究資金と空間を提供し、身分保証をする研究プロジェクトの公募と実施体制であった。新しい課題をもち、アクティブな若手研究者を公募し、5 年ほどの年限を限って空間を提供、著名な大学研究者を顧問格に迎え、1 つのビル（建物）を準備して研究開発を行っていた。そのテーマは NASA でありながら、必ずしも航空宇宙に直接関連の無いものも許容していた。そして新進気鋭の若い研究者が数多く活発な研究を行っていた。我が工学研究所も、こうした研究の推進ができないだろうか。現在の特別助手相当の若手研究者とテーマを募集し、空間と研究費を提供し、関連のある本学教員が研究の助言者・協力者となって研究を推進し、優れた成果や研究者を本学のものとして受け入れるのである。

もう一つの提案は、組織構成の問題に関するものである。現在工学研究所は、所長と僅かの支援職員のみを本務要員に、学科から選出された数名の運営委員で業務がなされている。しかし、運営委員は研究所において実質的な研究や管理運営を担う者ではない。これでは実効的な成果は期待できない。例えば、2、3 年の年限を限り、各学科・教室から若手教員を派遣して所員を構成し、構成員はその間、共同研究やプロジェクト研究に専念し、その後学科へ帰るといった形がとれないであろうか。そこででの研究は、当該者の専門分野（学科）の枠にとらわれない形も可能であり、また前記の特別研究員とも連携した先進的な研究も行える利点がある。

以上は全くの私見、提言であり、独断に過ぎるものであるかもしれない。しかし、工学研究所は工学部、工学研究科と鼎立して発展すべきものであり、その面からの期待であることでお許しいただければと思う。

*工学部長

Dean of the Faculty of Engineering



松井の式体系とその周辺

松井 正之*

An Outline on Matsui's Equation and its Circumference

Masayuki MATSUI*

1. はじめに

世の中では、種々の現象は動いているか、停滞しているかのどちらかの渋滞問題である。動いているものは稼働で、停滞しているのは待ち（在庫）であり、これは交互に起こり、相互に依存する。待ち行列理論は初期の電話交換問題⁽¹⁾の解決から生まれたもので、この種の現象の数理モデルに関する多様な数式系と公式類からなっている⁽²⁾。

これまでに数々の解析モデルが開発されてきてるが、解きにくい、複雑な現象も多くあり、挙動解析にてシミュレーションアプローチが有用である。特に実用面では、ケースごとの対象研究になることが多く、個々の実用解が必要とされる場合には、定式化後にはシミュレーションに依存することが多い。

待ち行列対象に関する評価尺度は多様であるが、それらには種々の関係式が知られている。その中で、最重要公式はリトルの公式 (Little's formulas)⁽³⁾と呼ばれている。この公式は、待ち行列長さ（空間）と待ち時間長（時間）との関係を示しており、後に溢れを含む松井の式⁽⁴⁾として発展している。関連して、待ちや遅れ、ムダの理論となるムダ公式⁽⁵⁾がある。これは、ムダに関する遅れと流れの線形関係を示しており、待ち公式系を成している。

リトルの公式の対象は、待ち行列分野だけでなく、以前から広く物理系分野でも知られている。例えば、電気におけるオウムの法則と対応していることなど多くの場面で見られる。また、会計経済面でも見られて、マトリックス会計⁽⁶⁾における活動量と原価の基本式としても重要なである。

この総説では、この領域の知の統合として、松井の公

式体系とその周辺というタイトルで概観してみる。

2. 待ち理論の基礎

2.1 一般待ち行列系

一般に、待ち行列系はサービス・ステーションとその流入（入力）と流出（出力）からなっている。この系からの溢れ（ロス）を含む一般待ち行列系は、図1に示されている。通常の待ち行列の書物では、溢れを除いて単純系で取り扱われることが多い。

定常状態では、到着率 λ と生産率 r 、溢れ率 v には、次式のような

$$\lambda = r + v \quad (2.1)$$

の出入力関係式が成立している。ここで、サービス率 μ は、安定条件として $\mu > \lambda$ と仮定されることが一般的である。これは、溢れ（ロス）を許さない場合であるが、以下では一般化してこの制約は考えない。

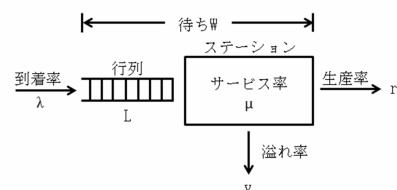


図1 一般待ち行列系

2.2 リトルの公式

一般待ち行列系（図1）において、待ち行列長さと待ち行列時間に関する基本式が、リトルの公式 (Little's formula)⁽³⁾と呼ばれている。いま、到着率 λ を $\lambda_0 = \lambda - v$ とおくと、その公式は次式で表される。

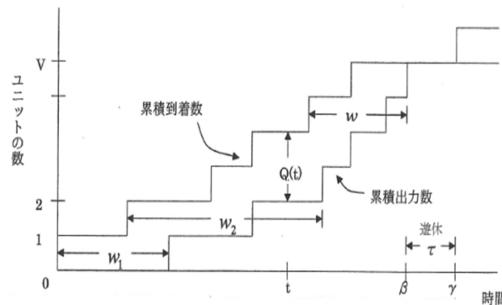
$$\lambda_0 W = L \quad (2.2)$$

この関係式は、待ち行列系 ($\mu < \lambda$) の稼働サイクル

*教授 情報システム創成学科

Professor, Dept. of Information Systems Creation

$(0, \gamma)$ (図2) から説明できる。図2のように、累積到着数と累積出力数の曲線に囲まれた面積は定まり、タテに見ると行列長であり、ヨコに見ると待ち長であり、両者には一定の依存関係が見られる。

図2 積働サイクルの例 ($\lambda W = L$)

3. 待ち公式の発展

3.1 ムダの公式

従来、待ち行列分野では、系からの溢れ（ムダ？）は正面から取り扱われてこなかった。最初の成果は、1970年代のコンベヤ生産ステーション（CSPS）の研究で見られる^④。

この待ち行列系において、作業方策による平均遅れ時間 D （一加工あたり）の最小化が研究されてきていた。小生は、この待ち系の溢れに興味を持ち、平均オーバーフロー $-\eta$ （一加工あたり）を導出した^⑥。

後に、この遅れと溢れには（ガイガーメートル参照）。

$$\lambda D = 1 - \rho + \eta \quad (3.1)$$

という線形関係式が見い出された^④。この関係式は、次の入出力公式と同値である。

$$\lambda Z = M = 1 + \eta \quad (3.2)$$

ただし、作業サイクル時間 Z は、 $Z = X(\mu^{-1}) + D$ である。

これにより、種々の生産効率の体系が明らかになっていている。表1は、生産効率における需要側（ジョブ）と供給側（ステーション）の2面性から見た生産の効率体系を示している。

表1 種々の生産効率の体系

	ジョブ効率(需要側)	ステーション効率(供給側)
変換	$P (= 1-B)$	処理率(直行率) prob. of processing
	$B (= 1-P)$	呼損率 prob. of processing
出力	$r (= \lambda P \text{ or } \mu B)$	生産率 production rate
	$v (= \lambda B)$	溢れ率 overflow rate
		P
		可動率 availability
		B
		可休率 restability
		pP ($\rho = \lambda/\mu$)
		稼働率 busy rate (utilization)
		$1-pP$
		遊休率 idle rate

3.2 松井の公式

リトルの公式において、到着率 λ_0 を作業サイクル時間 Z で置き換えると、次式のように松井の式（Matsui's equation）が得られる。

$$W = ZL \quad (3.3)$$

ここで、また上式を入出力公式 (3.2) と組み合わせると、以下のようなになる。

$$\lambda W = ML \quad (3.4)$$

松井の式 (3.3) は、図3のように、企業の価値評価（在庫）に適用できる^⑦。ここで、 Z は収益であり、 L はリードタイムであり、 $W (= ZL)$ は企業の仕掛資産に対応する。これは、次節の流動数管理法と組み合わせて活用することにより、経営の高度化が可能となる。

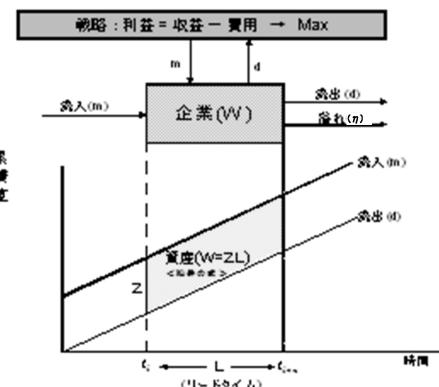
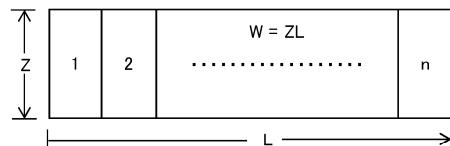


図3 企業の価値評価と松井の式

また、松井の式は、今後の需給系ネットワークなどのシステムバランス問題の原理としても有用と考えられる^⑧（図4参照）。ここで、 W は仕事量に対応しており、図4は n 分業化のバランスングを示している。

図4 仕事量 W とバランスング

4. 「松井の式」体系

4.1 物理系の視点

松井の式 ($W = ZL$) から、知の世界を見てみると、そこには物理学や経済学の知との関係が知られる。すでに、

リトルの公式とオウムの法則との類似性は既知であるが、あまり既知とはされてはいないようである。

表2は、物理系の式体系の概要をまとめている。表2から、リトルの公式とオウムの法則との類似性(対応)は確認できる。ただ、松井の式からみると、これらには溢れ(ロス)が含まれていないこともわかる。この後の統合の完成には、この穴埋めが望まれる。

表2 物理系の式体系

$$(G=1/R_j \text{ (コンダクタンス)}, B_i=1-P_i, \bar{R}_j=1-R_j)$$

	従来		松井の式系
	物理関係	OR関係	
待ち系	オウムの法則	リトルの公式	松井の式
	$V=IR$ (I:電流)	$\lambda W=L$ (λ :到着率)	$W=ZL$ (Z:サイクル時間 ¹⁾)
プロセス系	システム抵抗	システム信頼性	システム生産率
	$R_1=\sum R_i$ $R_{11}=1/\sum G_i$	$R_1=\prod R_i$ $R_{11}=1-\prod R_i$	$r_1=\lambda \prod P_i$ $r_{11}=\lambda - \prod B_i$
	?	$EC = \sum EC_i$ (*)	$EC = \sum EC_i$ (**)

$$\dagger \lambda Z = \lambda(X+D) = M = 1 + \eta \text{ (入出力公式)} \quad * \quad EC_i = a_1 Z + a_2 R_i + a_3 \bar{R}_i$$

$$\ddagger \quad EC_i = a_1 Z + a_2 P_i + a_3 B_i$$

4.2 経済系の視点

次に、経済学の視点から知の式体系を見ると、表3が得られる。表3から、エネルギー、仕事量と資産との対応が見られることがわかる。ここで、作業サイクル時間 $Z(X+D)$ は、収益ER($=EN+EC$)に対応していることか注意される。表2はまだ不完全であるが、特に物理関係の利益化(?)はまだ未知と思われる。

また、これには会計分野のマトリックス会計^⑤は含めていないが、単価(?)と活動量(L)から総額(W)を関係づけるところは、リトルの公式との対応が見られる。

表3 経済系の式体系

	従来		松井の式系
	物理関係	OR関係	
利益系	利益化(?)	スループット会計	トライック会計
	?	$EN = \min EN_i$	$EN = pp - \sum EC_i$
資産系	エネルギー (仕事量)	仕事量 (プロセス資産)	フロー資産 (仕事量?)
	$Pt (=IVt)$	$W(A) ?$	$A (=W) = ZL$

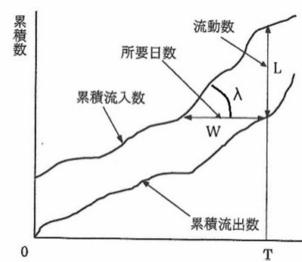
$$* \quad EC = a_1 L + a_2 pP + a_3 (1-pP) + a_4 \eta, \quad EN = ER - EC$$

$$\longleftrightarrow D(EN) = Z(ER) - X(EC): \text{ロス or ムダ?}$$

5. 式大系の周辺

5.1 流動数分析と在庫

流動数管理は、プロジェクト現象への入出力アプローチの一種で、入力・出力をそれぞれ時間的推移の累積値でとらえ、その差(流動数)とヨコの差(経過時間)に着目する手法である^⑥(図4)。ここで、流動数 L は(仕掛)タテの在庫であり、経過時間は待ち時間 W (リードタイム)とみなされる。このとき、両者にはこのとき待ち行列におけるリトルの公式($\lambda W=L$)と類似の関係が成り立っている。

図4 流動数曲線の例 ($\lambda W=L$)

これらは、もともと工場現場の停滞(所要日数)の管理手法として古くから工夫されてきたものである。伝統的には、平均所要日数 W の算定には(5.1)式^⑦が利用されている。今後はPOS/POPデータへの適用により、より広く生産や企業においても利用され、クラウド時代のリアルタイム経営等においての活躍が期待される^{⑧⑨}。

$$\text{平均所要日数} \doteq \frac{\text{毎日の流動数累計}}{\text{毎日の完成数累計}} \quad (5.1)$$

また、流動数分析は在庫評価式とも深いつながりがある^⑩。松井の式からは、生産率 r を $r=1/Z$ として、流動数分析結果(L, W)は以下のようないくつかの関係式より活用できる。

1) 行列長の計算

ボトルネック率 r のとき、行列長さ L は

$$L = rW \quad (5.2)$$

である。

2) リードタイムの計算

ボトルネック率 r のとき、リードタイム W は

$$W = L/r \quad (5.3)$$

である。

3) 計画在庫

計画期間 n (日)のとき、最終在庫 L は

$$L = nr \quad (5.4)$$

である。

4) 在庫回転率

すべての在庫が L のとき、回転率 (inventory turns) は

$$r/L \quad (5.5)$$

である。

5.2 灰色理論モデル

システムの入出力に関する、時系列データの数式モデルを作成する理論の 1 つとして、主に自動制御の領域においては、1985 年に中国の鄧聚龍により開発された灰色理論がある⁽⁹⁾⁽¹³⁾。灰色理論では、既知な情報と未知な情報を含んだシステムを灰色システムと呼び、任意の灰色システムが N 変数のモデルで表現できるとき、このモデルを GM (1, N) と呼ぶ。

流動数曲線の灰色モデルには、流入量と流出量をそれぞれ個別のシステムとして考えて変数が 1 つの GM (1, 1) モデルを組み合わせて表現する場合と、流入量と流出量の 2 変数から成るシステムとして GM (1, 2) モデルで表現する場合との 2 通りがある。

灰色理論では、おおよその範囲のみで確かな値がわからない状態を灰色と呼ぶ。そして、完全にわかっている状態を白色、全くわからない状態を黒色と呼ぶ。灰色モデル式では、灰色と白色の情報を扱うことができる。

このような中、待ち系に対する流入量や流出量は明確にわかっている情報のため、白色である。しかし、流入や流出を予測化すると、灰色モデルが有効となり、多くの研究が行われている。

参考文献

- [1] A. K. Erlang “Solution of Some Problems in the Theory of Probabilities of Significance in Automatic Telephone Exchanges”, Post Office Elec. Eng. J. , (1917), pp.189 -197
- [2] 国沢清典、本間鶴千代監修 待ち行列研究会編, “応用待ち行列事典”, 広川書店, (1971)
- [3] John D. C. Little., ” A Proof for the Queuing Formula: $L = \lambda W$ ”, Opns. Res., 9 (1961), pp.383-387
- [4] M. Matsui “CSPS Model : Look-Ahead Controls and Physics”, International Journal of Production Research, 43-10(2005), pp.2001-2025
- [5] 外山咲之, ”活動量と原価の統合理論・Paired Costing から Triplet Costing へ” 原価計算研究 , 35-1(2011-3), pp.23-38
- [6] 松井正之・新宮哲郎, ”SdSRP をもつコンベヤ生産ステーションの出力分布 - ある作業政策をもつコンベヤ生産ステーションでの作業サイクル時間分布 (2)”, 日本経営工学会春季研究発表会予稿集, (1976) , pp.239-240
- [7] 松井正之・鈴木久敏・椿広計・大場允晶・伊呂原隆, ”経営高度化のための知の統合を目指して”, 横幹, 4-1(2010-4), pp.4
- [8] M. Matsui ”Division of Work, Stochastic (re-)Balancing and Demand Speed : From Assembly Line toward Demand Chain”, Journal of Japan Industrial Management Association, 60-6E(2010-2), pp.324-330
- [9] 白杵潤・北岡正敏・松井正之, ”流動数管理問題と灰色理論モデルについて”, 電気通信大学紀要, 14-1(2001-7), pp.13-20
- [10] 池永謹一, ”作業研究”, 森北出版, (1977), pp.53-54
- [11] 松井正之, ”流動数管理システム、方法、及びプログラム”, 特許第 4706018 号, 2011-3-25
- [12] W.J.Hopp, M. L. Spearman, “Factory Physics - Foundations of Manufacturing Management”, Irwin/McGraw - Hill, (2001), p. 225
- [13] 鄧聚龍 著、趙君明・北岡正敏 翻訳, “灰色理論による予測と意思決定”, 日本理工出版会, (1999)



サプライチェーンネットワークにおける 業者選択と利益最大化モデル

松丸 正延* 中島 健一*

Supplier selection in supply chain network

Masanobu MATSUMARU* Kenichi NAKASHIMA*

1. 緒言

供給業者—製造業者—卸売業者（物流業者）一小売業者—顧客（需要市場）の段階的サプライチェーンモデルにおいて、各段階の業者は1企業だけである一本のサプライチェーンはコストを低減させ、利益を拡大するのに優れているとして多くの企業では用いられている。サプライチェーンの各段階の業者を1企業することで、大量受注・大量納品が可能になり、割引によりコストを低減することが出来、利益を拡大することが出来ると考えられるからである。しかしながら、各段階1企業のサプライチェーンは、コストと利益面で優位性を持つ半面、その経路の一部が寸断してしまうと、チェーン全体の流れが止まり多大な損失が発生してしまうことが考えられる。例えば1995年1月17日におきた阪神・淡路大震災ではトヨタ自動車をはじめ多くの生産ラインがストップしてしまった。また2007年7月16日に発生した新潟県中越沖地震で被災した自動車部品メーカー「リケン」の柏崎事業所が操業停止したため、この部品を使用している主要自動車メーカーの全8社が、全部または一部の生産停止の事態に拡大した。今年の3月11日に生じた東日本大震災でもサプライチェーンの寸断によって、生産がストップしてしまった。このように各段階の製造業が1企業であるサプライチェーンは、コストと利益面では優れているものの、生産ラインがトップしてしまうというリスクも持ち合わせている。したがって各段階で1企業の業者とだけ取引を行うデメリットを解消し、複数の業者と取引をする戦略に切り替える企業が多くなると予想される。しかしながら各段階で複数の業者と取引をするとなると、今度はどの業者と取引を行つたらよいかという取引業者選択の問題が新たに生じる。本研究では、複数の取引業者が存在する場合のサプライチェーンにおい

て、どの業者を選択するかという業者選択問題を扱うことにする。当該企業は業者を選択する場合にあたっては多くの情報を利用して、適切な業者を選択したいと言う要望をもつと考えられる。モノの流れによる製品の在庫量、コスト、販売数、利益率という情報など担当者（意思決定者）はさまざまな情報をもとに取引を行っている。取引業者に関して、「オーダー数が多い」、「支払い遅延がない」、「値引きの要求をしない」という業者の評価要素の情報も、評価者である当該企業の担当者にとって必要である。これらの評価要素の情報はあいまいである可能性も排除できない。そこでこれを企業の「業者についてのファジィ・メッセージ」として捉えることにして、取引に関する業者の情報を得て評価段階に反応するといった人間の情報処理過程を考える。ここでの関心事は、この過程においてどのような情報処理が行われているかにあるが、漠然性と偶然性の「二面性を持ったあいまいさ」に注目して、これを捉えていくことにする。

本研究では業者選択の評価要素を導入して、取引に関する取引業者の情報を「業者についてのファジィ・メッセージ」として捉え、多段階サプライチェーンにおける業者の利益と取引量の最大化のモデルを提案する。

2. サプライチェーンの利益構造

前述したように各段階1企業のサプライチェーンは、コストと利益面で優位性を持つ。いま各段階1企業のサプライチェーンではなく、複数の企業が存在するサプライチェーンの企業の売上高、コスト、利益構造を考える。具体的には、供給業者—製造業者のサプライチェーンにおいて、製造業者1社が供給業者1社から部品を購入する場合を考えると、製造業者の利益 $F(t)$ は以下のよう表現できる。

$$F(t) = \max \{ [P(t) - I(t)]D(t) - C, 0 \} \quad (1)$$

*教授 情報システム創成学科

Professor, Dept. of Information systems creation

ただし、 $P(t)$ ；時点 t の販売価格、 $I(t)$ ；時点 t の変動費、 $D(t)$ ；時点 t の需要量、 C ；固定費

製造業者はサプライチェーン寸断のリスクを考えて、部品を購入する供給業者を 1 企業より 2 企業（供給業者 1, 供給業者 2）へと拡大する。製造業者の利益は供給業者 1 から 購入した場合の利益 $F_1(t)$ と供給業者 2 から購入した場合の利益 $F_2(t)$ に区分して表現すると以下のように表せる。

$$F_1(t) = \max \{[P_1(t) - I_1(t)]D_1(t) - C, 0\} \quad (2)$$

$$F_2(t) = \max \{[P_2(t) - I_2(t)]D_2(t) - C, 0\} \quad (3)$$

ここでいう利益は売上高から変動費及び固定費を控除した営業利益である。いま製造業者が供給業者 1 と供給業者 2 から購入する部品の品質は同じであると考えれば、ここでの問題は、供給業者 1 と供給業者 2 からの購入割合 x を調整することによって、購入費である調達コストを低減させ、利益 $F(t)$ を増大させることが出来る。したがって製造業者の利益は以下のように書きなおすことが出来る。

$$F(t) = x \cdot F_1(t) + (1 - x) \cdot F_2(t) \quad (4)$$

上記の供給業者 1 と供給業者 2 が国内の業者である場合はそれほど大きな調達コスト削減は期待できないかもしれない。しかしながら、これらの業者が海外である場合を考えれば、調達コストを下げる効果は大きい。特に最近の為替相場の変動に見られるように、米国との取引における円／ドルやヨーロッパとの取引における円／ユーロに見られる円高は、まさに、調達コストを引き下げる環境としてはチャンスとも考えられる。最近のトヨタ自動車、日産、ホンダの企業行動に見られるように、海外からの部品調達の動きが急である。これは円高を利用した調達コスト低減の動きである。特に韓国のウォン安を利用して部品調達を行う動きは各社共通している。ただし、この円高は一方では、販売価格を押し下げるものであり企業にとって死活問題であるが、ここではこの問題にはこれ以上触れない。また(1)式、(2)式、(3)式、(4)式において取引価格のほかに、需要量 $D(t)$ を考慮する必要がある。当然のことながら、調達コストを押し下げる要因は、部品 1 個の値段であるが、調達する需要量に影響する。したがって調達コストを低減させる問題は需要量との関係でも考える必要があるが、指摘するに止めておきたい。

3. サプライチェーンネットワークの利益構造

複数の企業が存在するサプライチェーンの利益構造を拡大し、複数の企業が存在するサプライチェーンネットワークの利益構造を考える。競合する複数の取引業者から安く部品を調達することが基本であるが、コストだけで取引業者を選択するわけではないと仮定する。取引業者に対する納期の順守等の評価要素も考慮して、複数の業者が存在する場合にどの業者と取引を行うかを考える。

いま製造業—卸売業（小売業）—顧客（需要市場）の間の3段サプライチェーンネットワークにおける利益構造を捉えた Nagurny の SCM 均衡モデルを参考にし、モデルの拡張を行う。

3.1 SCM 均衡モデル

Nagurny の SCM 均衡モデルは、製造業—卸売業（小売業）—顧客（需要市場）との間の3段階サプライチェーンネットワークモデルにおける利益と取引量を記述したモデルである。製造業を中心とすれば、「2. サプライチェーンの利益構造」は、供給業者—製造業者の関係を述べたので、製造業の上流工程にあたる。これに対して Nagurny の SCM 均衡モデルは、製造業—卸売業（小売業）—顧客（需要市場）の関係を扱っている。製造業の下流工程を扱っているが、基本的なサプライチェーンの形は変わらないので、本節以降は、製造業—卸売業（小売業）—顧客（需要市場）の関係を主として考える。

いま複数の業者が存在し、製造業は $m = 1, 2, \dots, i$ 、卸売業 $n = 1, 2, \dots, j$ 、顧客 $o = 1, 2, \dots, k$ と仮定する。

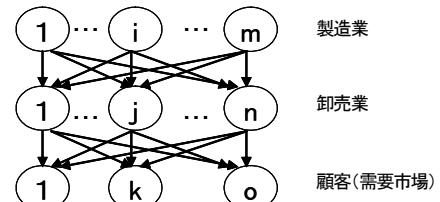


図 1 サプライチェーンネットワークモデル

ここで q_i は製造業 i の製造量であり、製造コストを f_i で表現する。製造業 i における製造コストは以下のように表す。

$$f_i = f_i(q_i), \quad \forall i \quad (5)$$

また製造業 i と卸売業 j における製造量を q_{ij} とし、製造業と卸売業 j の製造量ベクトルを Q^j とする。製造業 i と卸売業 j における取引コストを c_{ij} 、製造業 1 の卸売

業 j にする提示価格を ρ_{ij}^* とすると、利益は以下のよう
に求められる。

$$\sum_{j=1}^n \rho_{ij}^* q_{ij} - f_i(Q^1) - \sum_{j=1}^n c_{ij}(q_{ij}) \quad (6)$$

上記の製造コスト $f_i(q)$ と取引コスト c_{ij} は、「2. サブライチェーンの利益構造」における変動費 $I(t)$ である。したがって上記の利益は売上高から変動費を控除した利益であるので、売上総利益を表している。売上総利益は粗利または限界利益とも呼ばれる。

次に、卸売業 j と消費者 k においては、卸売業 j と消費者 k における取引量 q_{jk} 、卸売業者 j の消費者 k に対する提示価格 ρ_{2j} としたときの利益は次式のよう表現することが出来る。

$$\rho_{2j}^* \sum_{k=1}^o q_{jk} - c_j(Q^1) - \sum_{i=1}^m \rho_{ij}^* q_{ij} \quad (7)$$

上記の利益も売上総利益は粗利または限界利益と呼ばれる利益を表している。ここで取引量 q_{jk} は、(7)式の利益を最大にするように決定される。(6)式の q_{ij} および(7)式の q_{jk} が、サプライチェーンネットワークモデルの利益を最大化する取引量である。

3.2 サプライチェーンネットワークの利益

本研究では製造業者は非協力で、競争関係にあると仮定する。また製造コストと取引コストはそれぞれ固有で、独立し、連続で凸関数であると仮定する。したがってそれぞれの製造業者は、独自に最適生産量と出荷量を決定し、次式を満たすと考える。製造量ベクトル Q' は、利益を最大化するように決定される。

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[\frac{\partial f_i(Q^1)}{\partial q_{ij}} + \frac{\partial c_{ij}(q_{ij}^*)}{\partial q_{ij}} - \rho_{ij}^* \right] \times [q_{ij} - q_{ij}^*] \geq 0 \quad (8)$$

$$\forall Q^1 \in R_{+}^{mn}$$

(8)式により製造業者が生産し、製造業が卸売業に供給する製造量が計算される。ここで、製造コスト $f_i(Q^1)$ は「連続で凸関数である」ことを条件としている。連続で凸関数であることと、リップシツ条件を満たすことにより、式(8)は微分可能である。サプライチェーンの上流工程である製造業者の製造量は、卸売業を通じて顧客に供給される量として決定される。製造業者—卸売業者の利益と卸売業者—顧客の利益はサプライチェーン全体を流れる取引量とともに決定され、最適解がサプライチェーン全体の利益を最大化する最適な取引量として決定される。製造業—卸売業—顧客の3段階サプライチェーンネットワークモデルの

利益と取引量は次式で表される。

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[q_{ij}^{-T} + \alpha \left(\frac{\partial f_i(Q^{T-1})}{\partial q_{ij}} + \frac{\partial c_{ij}(q_{ij}^{T-1})}{\partial q_{ij}} + \frac{\partial c_i(Q^{T-1})}{\partial q_{ij}} - \gamma_j^{T-1} \right) - q_{ij}^{T-1} \right] \times [q_{ij} - q_{ij}^{-T}] \\ & + \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^o \left[q_{jk}^{-T} + \alpha \left(c_{jk}(Q^{2T-1}) + \gamma_j^{T-1} - \rho_{3k}^{T-1} \right) - q_{jk}^{T-1} \right] \times [q_{jk} - q_{jk}^{-T}] \\ & + \sum_{j=1}^n \left[\gamma_j^{-T} + \alpha \left(\sum_{i=1}^m q_{ij}^{T-1} - \sum_{k=1}^o q_{jk}^{T-1} \right) - \gamma_j^{T-1} \right] \times [\gamma_j - \gamma_j^{-T}] \\ & + \sum_{k=1}^o \left[\rho_{3k}^{-T} + \alpha \left(\sum_{j=1}^n q_{jk}^{T-1} - d_k(\rho_3^{T-1}) \right) - \rho_{3k}^{T-1} \right] \times [\rho_{3k} - \rho_{3k}^{-T}] \geq 0 \end{aligned} \quad (9)$$

ここで第1項は製造業と卸売業間における最適コスト、第2項は卸売業と顧客間における最適コストであり、この第1項と第2項でチェーン全体の取引量におけるコストが計算される。第3項は各卸売業間での発生コスト、第4項は顧客側の提示価格 ρ_{3k} のもとでのコストが計算される。この4項の合計がコストの最小化、換言すれば、利益の最大化となる取引量が決定される。

4.業者選択

現在では、ERPやPOS、WMS（倉庫・物流管理システム）の普及などにより、製品・資材の在庫や保管場所、モノの流れとともに逐次情報が更新され情報とともにモノが流れているといつても過言ではない。しかし、各業者間で業者を選択する際に担当者（意思決定者）は、コストだけではなく、なるべく多くの情報を用いて最高の取引業者を選択したいと考える。いま、担当者は取引業者に関する情報として「オーダー数が多い」、「支払い遅延がない」、「値引きの要求をしない」という評価要素を用いて業者選択を行うと仮定する。

4.1 トランクリティ

以下ではファジィ・モデルに広く適用可能な評価基準として「多段階トランクリティ」および「ファジィ・エントロピーを用いた多段階トランクリティ」に注目し、その有効性について検討していくことにする。

(1)トランクリティによるファジィ・モデルの評価

統計的なアプローチによる分析モデルにおいてモデルの有効性に関する評価を行おうとする場合、AIC(Akaike Information Criterion；赤池情報量基準)が有力な評価基準となる。しかしながら、人間や組織のあいまいな意思決定の問題をファジィ理論によって定式化したモデル（ファジィ・モデル）には、モデルの有効性を評価するための汎用的かつ有効な基準はほとんど提案されていない。

かった。こうしたファジィ・モデルの評価問題に対して、Yager は複数の代替案からただ一つの代替案を選択する際の「迷い」に注目し、その大きさを定量的に表す評価基準「トランクイリティ」を提案している。そして、複数の代替案から最良の（メンバーシップ値が最大）代替案を選択する際の「迷い」が小さいモデルが、意思決定の容易なモデルであるという意味で「良いモデル」と考え、この「迷いの大きさ」（正確には「迷いの小ささ」）を(10)式のように定式化している。(10)式の TQ が「トランクイリティ」であり、これが大きいほど意思決定者の迷いが小さく「良いモデル」であることを示している。

$$TQ = \int_0^{M_s} \frac{1}{\text{card}(\alpha)} d\alpha \quad (10)$$

ただし、 M : 最大のメンバーシップ値

$\text{card}(\alpha)$: α レベル集合の要素数

(10)式において、最大のメンバーシップ値 M が大きいほど、またその M とそれ以外（2番目以降）のメンバーシップ値との差が大きいほど、トランクイリティ TQ の値が大きくなり、 $M=1$ で、それ以外のメンバーシップ値がすべて 0 のときに TQ の値は 1 で最大となる。ここで注目すべき点は、最大のメンバーシップ値 M と 2 番目のメンバーシップ値との差のみに TQ の値が依存するのではなく、 M の大きさ自体および 3 番目以降のメンバーシップ値にも依存する点である。これにより、最良の（メンバーシップ値が最大）代替案を選択する際の「迷い」を多面的に、かつ定量的に捉えることができる。

②多段階トランクイリティとファジィ・エントロピーを用いた多段階トランクイリティ

前項の「トランクイリティ」は、複数の代替案から「ただ一つ」の最良代替案を選択する際の評価基準であり、 n 個の代替案「すべて」の序列を判定するためには、これとは異なる評価基準が必要である。そこで、松丸・山下は通常の「トランクイリティ」を n 個の代替案の序列問題へと拡張することにより、(11)式のような多段階トランクイリティ(MTQ-1)を提案している。

$$\text{MTQ-1} = \sum_{s=2}^n C_2 \int_0^{M_s} \frac{1}{\text{card}(\alpha)} d\alpha \quad (11)$$

ただし、 s : 多段階 ($n-1$ 回) の判定過程で対象となる代替案数

M_s : 判定の対象となる s 個の代替案の中で最大のメンバーシップ値

(11)式は、まず n 個の代替案から最良の代替案を選択

する場合（これは通常のトランクイリティと同様）の迷い、次に残りの $n-1$ 個の代替案から最良の代替案を選択する場合の迷い、さらに $n-2$ 個の代替案から最良の代替案を選択する場合の迷いというように、最後の 2 つの代替案から良い代替案を選択する場合の迷いまで、 $n-1$ 段階を合計しようとするものであり、 n 個の代替案の序列問題を多段階 ($n-1$ 段階) の総合的な迷いの小ささとして捉えている。その際、 n 個の代替案を比較する場合と 2 つの代替案を比較する場合とでは当然ながら迷いの大きさが異なるため、 s 個の代替案から 2 個を比較する組合せ数 ($sC2$) で各段階を重みづけしている。さらに、山下は上記の多段階トランクイリティ(MTQ-1)の組合せ数 $sC2$ を、ファジィ・エントロピー（行動エントロピー）に置き換えることにより、(12)式のファジィ・エントロピーを用いた多段階トランクイリティ(MTQ-2)を提案している。ファジィ・エントロピーは、代替案 i の選択確率 P_{ii} に介在する偶然性とメンバーシップ値 μ_{ii} に介在する漠然性の両面を考慮した総合的なあいまいさを表す指標であり、(13)式のように定式化される。

$$\text{MTQ-2} = \sum_{s=2}^n F(s) \int_0^{M_s} \frac{1}{\text{card}(\alpha)} d\alpha \quad (12)$$

$$F(s) = - \sum_{i=1}^s p_i \log p_i + \sum_{i=1}^s p_i \{-\mu_i \log \mu_i - (1-\mu_i) \log (1-\mu_i)\} \quad (13)$$

ただし、 $F(s)$: s 個の代替案を判定する際のファジィ・エントロピー

したがって、ファジィ・エントロピーが大きいほど人間の意思決定における情報のあいまいさが大きいということになるため、代替案の序列を判定する際の負荷が大きい。MTQ-2 の基本的な考え方は、こうした判定の負荷をファジィ・エントロピー（行動エントロピー）によって捉え、 s 個の代替案を判定する際の「迷い」に対してこの負荷 $F(s)$ で重みづけしようとするところにある。これにより、人間の情報処理過程における偶然性と漠然性の両面（判定の負荷）を考慮した「迷いの小ささ」を定量的に捉えることが可能になるのである。

これらの多段階トランクイリティ MTQ-1 と MTQ-2 により、 n 個の代替案から「ただ一つ」の最良代替案を選択する問題のみを取り扱っていた通常のトランクイリティを、 n 個の代替案「すべて」の序列を判定する問題、あるいは n 個の代替案を順番に選択する問題へと拡張することが可能となる。さらに、 $n-1$ 段階のプロセスを m 段階目で切れば、 n 個の代替案から m 個の代替案を選択

する問題へと一般化することもできる。

本研究では多段階トランクイリティ(MTQ-1)とファジイ・エントロピーを用いた多段階トランクイリティ(MTQ-2)を利用して業者選択を行う。

4.2 業者選択の拡張

複数の業者が存在すると、それぞれ納品コストや取引コストが異なるため、最適な業者を選択することが難しくなる。最適な業者を選択することは生産をスムーズに行うために担当者(意思決定者)にとっては重要な問題であると考えられる。Nagurny モデルでは、コストに注目しコストが最小になるように取引量を決めている。しかし、コスト最小は、良い考えであると考えられるが、コストのみに注目してサプライチェーンを構築するのは十分ではない。例えば納期通りに注文した部品が、予定通り納入されなくては生産が出来ない。

そこで本研究では Nagurny モデルをもとに、コスト以外の要因にも注目して業者を選択する問題を考える。具体的には業者を選択する際に、業者選択の評価要素を導入して評価を行う。この際にダミー変数を導入し、評価要素に関する情報を用いて業者選択をするとき $\delta=1$ とし、用いない場合 $\delta=0$ とする。また業者選択の際の意思決定の容易さ(迷いの小ささ)を表す評価基準として多段トランクイリティを用いた場合のモデル(以下、多段トランクイリティモデル(EMTQ1)とファジイエントロピーを用いた場合のモデル(以下、ファジイエントロピーモデル(EMTQ2))を用いた場合のモデルを提案する。具体的には、意思決定の容易さ(迷いの小ささ)を表す迷いの大きさを計算し業者ごとの選択ウエイトを算出する。多段トランクイリティを用いた業者選択のウエイト r_{T_j} を導入した均衡多段トランクイリティモデル(EMTQ1)を次式に示す。

$$\sum_{j=1}^n \rho_{ij}^* (q_{ij}(1 - \delta \cdot r_{T_j})) - f_i(Q^1) - \sum_{j=1}^n c_{ij}(q_{ij}(1 - \delta \cdot r_{T_j})) \quad (14)$$

多段トランクイリティにファジイ理論を援用したファジイエントロピーを用いた業者選択のウエイト r_{F_j} を導入したファジイエントロピーモデル(EMTQ2)を次式に示す。

$$\sum_{j=1}^n \rho_{ij}^* (q_{ij}(1 - \delta \cdot r_{F_j})) - f_i(Q^1) - \sum_{j=1}^n c_{ij}(q_{ij}(1 - \delta \cdot r_{F_j})) \quad (15)$$

5. 数値実験

5.1 数値実験条件

製造-卸売(小売業)-顧客の数を2社-3社-2社と仮定する。製造業は $i=1,2$ 、卸売業 $j=1,2,3$ 、顧客 $k=1,2$

である。

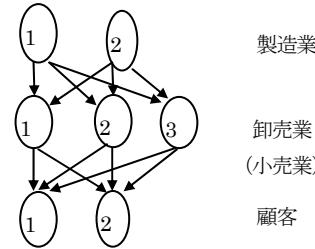


図2 2-3-2 サプライチェーン構造図

製造業は製造コスト $f_i(q)$ を次のように仮定する。

$$f_1(q) = 2.5q_1^2 + q_1q_2 + 2q_1 \quad (16)$$

$$f_2(q) = 2.5q_2^2 + q_1q_2 + 12q_2 \quad (17)$$

製造業者の卸売業者との取引コストは次のように仮定する。

$$c_{11}(q_{11}) = q_{11}^2 + 3.5q_{11}, \quad c_{12}(q_{12}) = q_{12}^2 + 3.5q_{12}$$

$$c_{13}(q_{13}) = .5q_{13}^2 + 5q_{13}, \quad c_{21}(q_{21}) = .5q_{21}^2 + 3.5q_{21}$$

$$c_{22}(q_{22}) = .5q_{22}^2 + 3.5q_{22}, \quad c_{23}(q_{23}) = .5q_{23}^2 + 5q_{23}$$

さらに卸売業者の製造業者との取り扱いコストとしては次のように仮定する。

$$c_1(Q^1) = .5 \left(\sum_{i=1}^2 q_{i1} \right)^2, \quad c_2(Q^1) = .5 \left(\sum_{i=1}^2 q_{i2} \right)^2$$

$$c_3(Q^1) = .5 \left(\sum_{i=1}^2 q_{i3} \right)^2$$

また卸売業者と顧客間の取引コストは、次のように仮定する。

$$c_{11}(Q^2) = q_{11} + 5, \quad c_{12}(Q^2) = q_{12} + 5$$

$$c_{21}(Q^2) = q_{21} + 5, \quad c_{22}(Q^2) = q_{22} + 5$$

$$c_{31}(Q^2) = q_{31} + 5, \quad c_{32}(Q^2) = q_{32} + 5$$

ここで Q^2 は卸売業者と顧客間での取引量である。

また市場における需要関数を以下のように仮定する。

$$d_1(\rho_3) = -2\rho_{31} + 1.5\rho_{32} + 1000$$

$$d_2(\rho_3) = -2\rho_{32} + 1.5\rho_{31} + 1000$$

これらの条件のもとで、Nagurny モデル、EMTQ1、EMTQ2 を利用して業者選択を行う。

5.2 数値実験結果

いま卸売業選択時の評価者である当該企業の担当者がいだく業者に対するメンバーシップ値を表1に示す。

表1 メンバーシップ値

	オーダー数	値引き	支払遅延
卸売業1	0.9	0.8	0.7
卸売業2	0.8	0.7	0.4
卸売業3	0.9	0.5	0.1

次に、この情報による業者選択の選択確率を求める。

表1のメンバーシップ値を用い、多段階トランクイリティモデル(EMTQ1)とファジィエントロピーモデル(EMTQ2)を利用した結果を表3に示す。表4はその割合の結果である。

表2 選択確率

	オーダー数	値引き	支払遅延
卸売業1	0.36	0.34	0.3
卸売業2	0.44	0.4	0.17
卸売業3	0.59	0.41	0.01

表3 MTQ1, MTQ2 の結果 表4 r_{F_j} , r_{T_j} の結果

	MTQ1	MTQ2	r_{F_j}	r_{T_j}
卸売業1	1.3	0.77	0.25	0.28
卸売業2	1.4	0.87	0.27	0.32
卸売業3	2.5	1.08	0.48	0.4

多段階トランクイティ(MTQ1)とファジィ・エントロピーを用いた多段階トランクイティ(MTQ2)と Nagurney モデルを用いた場合のサプライチェーン全体の最適な取引量による利益を図3に示す。

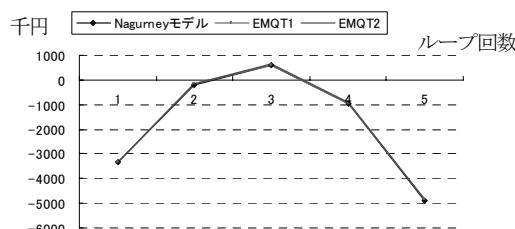


図3 利益の均衡点

上記の3つのモデルによる利益の比較を図3に示す。

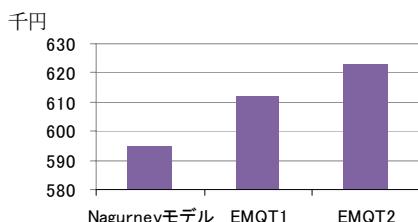


図4 各モデルにおける利益

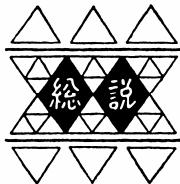
この結果からわかるように多段階トランクイティ(MTQ1)とファジィ・エントロピーを用いた多段階トランクイティ(MTQ2)を用いたほうがより適切な業者を選択することが可能となり、コストのみによる業者選択よりも利益を多く獲得することがわかった。

6. 結言

本研究では業者選択の評価要素を導入して、取引に関する取引業者の情報を「業者についてのファジィ・メッセージ」として捉え、多段階サプライチェーンにおける業者の利益と取引量の最大化のモデルを提案した。多数の取引業者から取引業者を選択する問題と利益及び取引量の最大化の提案モデルの有効性を数值例により確認した。

参考文献

- (1) Anna Nagurney, June Dong, Ding Zhang, "A supply chain network equilibrium model", Transportation Research Part E 38, (2002), p.281-303
- (2) 松丸正延, 山下洋史, “合併企業評価モデルの比較のための多段階トランクイリティ”, 日本経営システム学会全国研究発表大会講演論文集, pp.49-52, 1994
- (3) 山下洋史, “ファジィ・エントロピーを用いた多段階トランクイティ”, 山梨学院短期大学紀要, Vol.15, pp.100-112
- (4) Ronald R.Yager, "Measuring tranquility and anxiety in decision making: An application of fuzzy set", International Journal of General Systems, (1982), Vol. 8, pp.139-146
- (5) 西川智登, 清水静江, 宮本日出雄, “意思決定過程における入力情報に対する判断力の構造”, 日本経営システム学会誌, Vol.No.1, pp.35-41
- (6) 松丸正延, “財務分析・経営分析における経営品質”, 「経営品質科学の研究」, 明治大学経営品質科学研究所編, 中央経済社, (2011), pp.275-286



カーボンナノチューブ内部の1次元的ナノ空間での水の相転移挙動

松田 和之*

Phase Transition of Water Confined Inside Pseudo-one-dimensional Nanoscopic Space
of Carbon Nanotubes

Kazuyuki MATSUDA*

1. はじめに

一般に、分子を原子レベルで制御された微細な細孔に閉じ込められると、その細孔のサイズと幾何学的形状、さらには細孔壁との相互作用により、分子の運動や配向性が空間的に制御されるため、バルク状態では見られない特異な挙動を示す。特に水分子に関しては、地球上のあらゆるところに存在しており、このような細孔に閉じ込められた水も、細胞、たんぱく質、地層などに存在し、これらの物質の性質や機能の発現に深く関与している⁽¹⁾⁽²⁾。これらの発現機構を明らかにするためにも、細孔内での水の挙動を調べることは重要である。これまでの多孔質固体に吸着した水の挙動の研究では、主にゼオライト、シリカグラス、活性炭が用いられてきた。シリカグラスに吸着した水では、細孔径が小さくなるにつれて融点が低下すること、また細孔壁に束縛された水分子は不凍水として振舞うことなどが報告されている⁽³⁾。また、活性炭素繊維に吸着した水は、バルクの水に比較し、秩序化しているとの報告もある⁽⁴⁾。しかし、これら細孔内の水について実験的に得られる情報が限られているために、その相転移挙動や秩序構造については、未解明な部分が数多く残されている。本報では、放射光を用いた精密X線回折(XRD)実験と水分子の水素核(¹H, ²H)の核磁気共鳴(NMR)実験により明らかとなった、単層カーボンナノチューブ(SWCNT)内部の水の相転移挙動を紹介する⁽⁵⁾⁽⁶⁾。SWCNTはグラフェンシート1枚を円筒状に巻いた構造をしており、ナノメートルサイズの直径とミクロンサイズの長さを持つ⁽¹⁰⁾。このため、SWCNT

は他の系にはない均一性の高い疎水性壁に囲まれた1次元的ナノ空間を有していることが特徴である。

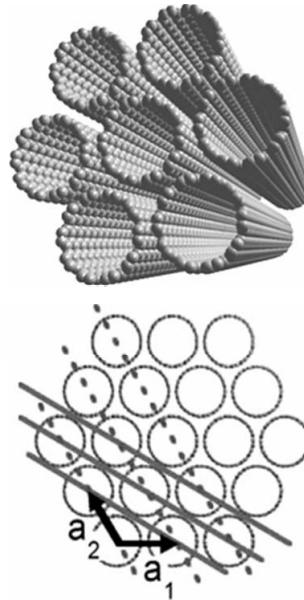


図1 SWCNT のバンドル構造。下図はバンドルの断面の模式図と単位格子ベクトル。点線と実線はそれぞれ2次元三角格子の(10)面と(11)面を示している。

2. 水内包カーボンナノチューブのNMRとX線回折

通常、SWCNTは多数本のナノチューブがファン・デル・ワールス力により凝集し、図1に示すように2次元三角格子(2次元六方晶)を組むバンドル構造をとて

*准教授 物理学教室
Associate Professor, Institute of Physics

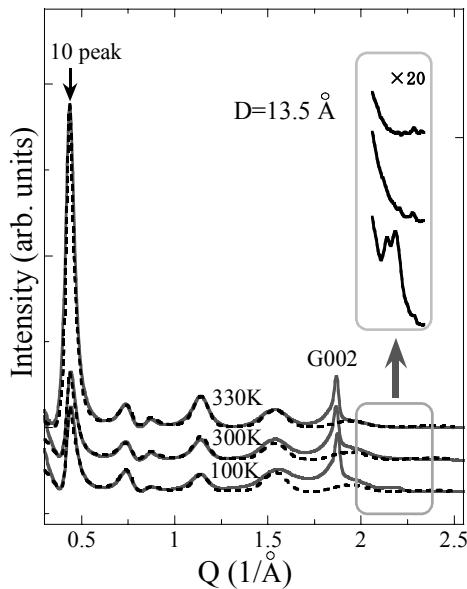


図2 水を吸着した SWCNT 試料（平均直径 13.5 Å）の粉末 XRD パターンの温度依存性。実線は測定結果、点線はシミュレーションの結果を示している。G(002)は不純物グラファイトの002回折ピーク。挿入図は、平均直径の異なる 2 つの試料の 10 ピークの温度変化。それぞれ、空の SWCNT のピーク強度で規格化している。また、 $Q \sim 2.2 \text{ \AA}^{-1}$ 付近のピークの拡大図も図中に示してある。格子の (10) 面と (11) 面を示している。

いる。実験には、直径制御されたバンドル構造がよく発達した高品質 SWCNT 試料を用いた⁽¹¹⁾。このような試料では、1 本のバンドルに含まれる各々の SWCNT の空洞が規則的に配列しているため、X 線回折法により空洞内部の物質の構造を調べることが可能である⁽¹²⁾。実験は、高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所放射光施設（粉末 X 線回折実験ライン BL1B, BL8B）において、波長 $\lambda = 1.00 \text{ \AA}$ で行なわれた。

実験には平均直径 (D) が $D = 11.7, 13.0, 13.5, 13.4, 13.8, 14.4, 16.8, 19.4, 21.8, 24.0 \text{ \AA}$ の合計 10 種類の SWCNT 試料を用いた。これらの試料のうち、比較的小さな平均直径 ($D = 11.7 \sim 13.8 \text{ \AA}$) の SWCNT 試料はレーザー蒸発法、 14.4 \AA の試料はアーカ放電法にて作製された。また、大きな平均直径 ($D = 16.8 \sim 24.0 \text{ \AA}$) の SWCNT 試料は改良直噴熱分解合成法（enhanced Direct Injection Pyrolytic Synthesis: e-DIPS）にて作製された⁽¹³⁾。それぞれの SWCNT 試料の直径分布については、アーカ放電法とレーザー蒸発法にて作製された試料では $\sim \pm 1.2 \text{ \AA}$ 、e-DIPS 法にて

作製された試料では $\sim \pm 2.5 \text{ \AA}$ であることが XRD 実験の結果より示された。したがってこれらの SWCNT 試料を合わせると、 $10.5 \sim 26.5 \text{ \AA}$ 程度の直径をカバーしている。

試料は精製後、空気中酸化の方法によりチューブ端開口処理された。XRD パターンを測定するために、試料は直径 0.5~0.7 mm の石英キャビラリーに詰められ、真空中 ($\sim 10^2 \text{ Torr}$) において $\sim 600 \text{ K}$ 以上でよく脱気した後⁽¹⁴⁾、300 K の真空脱気した純水の飽和蒸気 (27 Torr) とともに封入された。実験では窒素ガス噴き付け型の冷凍機を用いて、キャビラリーの試料部分（キャビラリーの先端から 1~2 mm）のみを温度制御し、キャビラリーの他端は常に室温 (300 K) に維持された。したがって、キャビラリー内の水の蒸気圧は、室温以上においては 27 Torr、室温以下では試料端の温度の水の蒸気圧 (< 27 Torr) に一致する。また、NMR 実験には、上記の平均直径の 13.5, 16.8, 20.0, 21.8, 24.0 Å の SWCNT 試料を用い、90° パルス法により吸着した水の ^1H , ^2H 核の NMR スペクトルを測定した⁽⁷⁾。

3. 直径の小さなカーボンナノチューブ内部の水の挙動

3. 1 カーボンナノチューブ内部の水の構造

図2に水を内包した SWCNT 試料（平均直径 $D = 13.5 \text{ \AA}$ ）の典型的な XRD パターンを示す。 Q は散乱ベクトルの大きさである。SWCNT バンドルの平均構造に由来するいくつかのブレッゲー回折ピークを確認することができる。これらのピークは、図1に示すようなバンドル構造の 2 次元三角格子で指数付けできる。また、 $Q \sim 1.9 \text{ \AA}^{-1}$ に見られる回折ピークは、試料中に混入したグラファイト様不純物によるものである。

図2において、 $Q \sim 0.45 \text{ \AA}^{-1}$ 近傍の (10) 回折ピークに注目すると、そのピーク強度は室温以上で急激に大きくなり、330 K での XRD パターンは Q のすべての領域で水がない場合と完全に一致する。図3には、平均直径 13.5 Å と 11.7 Å の 2 種類の試料で測定された (10) ピーク強度の温度依存性を示す。この変化は、SWCNT バンドルへの水の吸着・脱着が、ある温度において急激にかつ可逆的に起きることを示している。XRD パターンの詳細な解析によると⁽⁵⁾⁽⁶⁾、この (10) ピークの減少は空であった SWCNT 内部に水が吸収されたことを示し、得られる室温の平均組成は $C_7(H_2O)$ である。さらに SWCNT の内径を 10 Å と仮定すると、SWCNT 内の水の密度 0.9

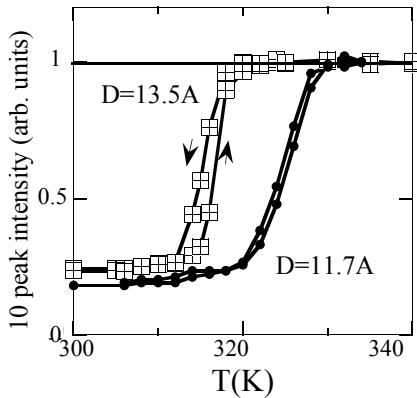


図3 水を吸着した SWCNT 試料（平均直径 13.5, 11.7 Å）の XRD パターンの 10 ピーク強度の温度変化。

g/cm^3 が得られる。この値はパルク状態の水の密度に近い。また、室温付近では水を吸着しても新しいプラグピークは出現しない。したがって、室温付近では SWCNT 内部の水は長距離秩序を持たない液体的状態であることが示唆される。後述するように、この状態では水分子は並進運動していることが NMR 実験の結果より示される。これらのことから、室温以上での急激な変化は、SWCNT 内部の水が液体的状態から気体的状態へ移行する相転移挙動であると考えられる。

一方、低温では、 $Q \sim 2.2 \text{ \AA}^{-1}$ 近傍に新しいプラグピー

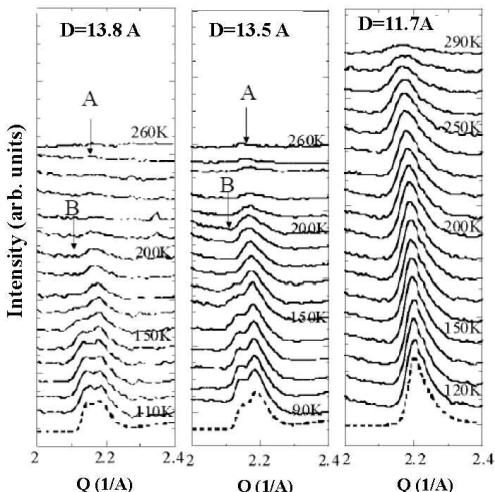


図4 平均直径の異なる SWCNT 試料のアイスピーカーの回折パターンの温度依存性。高温(~300 K)との差をプロットしてある。

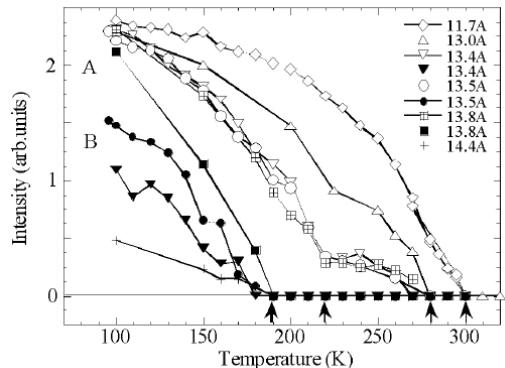


図5 アイスピーク A, B の強度の温度依存性。図中にそれぞれの ice-NT の転移温度、300 K (5 員環 ice-NT), 280 K (6 員環), 220 K (7 員環), 190 K (8 員管) を矢印で示してある。▼, ●, ■, + はアイスピーカー B、それ以外はピーク A の強度を示している。

ーク (以後、アイスピーカーと呼ぶ) が出現する。これは、SWCNT 内部の水が構造相転移を起こし、 $d = 2\pi/Q = 2.8 \sim 2.9 \text{ \AA}$ の周期を持つ秩序構造を形成したことをあらわす。この値は、パルク氷の酸素間の水素結合距離に近い。さらにアイスピーカーは、 Q の大きな方に裾を引いた、1 次元系に特徴的な形をしている。また、第 2, 第 3 のピーク強度比に注目すると明らかなように、低角領域 $Q < 1.1 \text{ \AA}^{-1}$ の回折パターンが顕著に変化する。これらの XRD パターンの解析により、この秩序化に伴って SWCNT 内部の水分子の密度分布が中空のチューブ状に変化したことがわかった。図2は、測定結果と均一電子密度の中空円筒モデルに基づくシミュレーション結果との比較も示している^{(5),(6),(12)}。

図4に、3種類の試料についてアイスピーカーの温度依存性を示す。SWCNT 試料の平均直径により、アイスピーカーの出現する温度が異なることがわかる。また、平均直径 $D=13.8, 13.5 \text{ \AA}$ の SWCNT でのアイスピーカーには、出現温度が異なる 2種類の成分（アイスピーカー A, B と呼ぶ）が重なっている。平均直径が異なる 6種類の試料で得られたアイスピーカー A, B の強度の温度依存性を図5に示す。昇温と降温過程におけるヒステリシスは 5 K 以内では見られていない。図5から、4つの転移温度 300, 280, 220, 190 K の存在がわかる。SWCNT の直径は連続的に分布しているにもかかわらず、その内部の水の転移温度がこのように離散的であることは、4種類の異なる水の秩序構造が存在することを示唆している。また、アイスピーカーには、SWCNT の直径依存性が明確にみられる。すなわち、平均直径の大きな SWCNT ほど、より

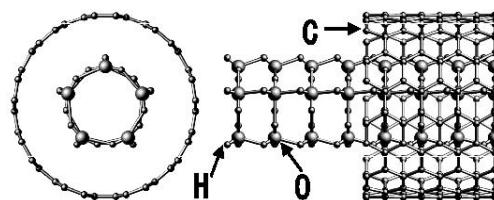


図 6 SWCNT 内部に形成された 5 員環 ice-NT の構造モデル。

低い転移温度の秩序構造が形成される。この事実は、アイスピーカーの起源が SWCNT 内部の水に秩序化によるものであることを保証する。

以上の結果をまとめると、XRD 実験により低温相での水の秩序構造について以下の 3 つが明らかとなった。

- 水は SWCNT 内部にチューブ状に分布している。
- i 次元周期構造を有し、その周期はパルク氷の水素結合距離 2.8 \AA に近い。
- それぞれ異なる転移温度 $300, 280, 220, 190 \text{ K}$ をもつ 4 種類の構造が存在する。

これらの特徴は、低温相で水がアイスナノチューブ (ice-Nanotube; ice-NT) 構造をとることを強く示唆している。ice-NT は n 個の水分子のリング (n 員環) がチューブ軸方向に 1 次元的に積み重なった構造をしており、パルク氷と同様に各水分子は 4 個の水分子と水素結合で結ばれている。甲賀・田中らは、このような ice-NT が SWCNT 内部に形成されることを計算機実験の手法により指摘していた^{(15),(16)}。図 6 に SWCNT 内部に形成された 5 員環 ice-NT の構造モデルを示す。また 4 つの転移温度が存在することは、SWCNT の直径に対応し、その内部に形成される ice-NT の直径が離散的であり、かつ各々の ice-NT の転移温度が異なることによって理解できる。これらの SWCNT 試料は、直径 $10.9 \sim 15.2 \text{ \AA}$ の直径をカバーしているので、SWCNT と ice-NT 間の距離として 3.5 \AA を仮定すると、ice-NT 直径は $3.9 \sim 8.2 \text{ \AA}$ と見積もることができる。さらに、水素結合距離 2.8 \AA を考慮すると、使用した SWCNT 内部には、4 員環 (直径 4.0 \AA) から 8 員環 (直径 7.3 \AA) の 5 種類の ice-NT が形成されうることがわかる。これは、実験で見つかった転移温度の数 4 にほぼ一致する。それぞれの試料で測定されたアイスピーカーについて、ice-NT 構造に基づく詳しい解析を行った結果、5 員環 (転移温度 300 K)、6 員環 (280 K)、7 員環 (220 K)、8 員環 (190 K) の ice-NT の存在が明らかとなつた^{(5),(6)}。また、赤外吸収測定の結果からも、このような ice-NT 構造の形成が示されている⁽⁷⁾。

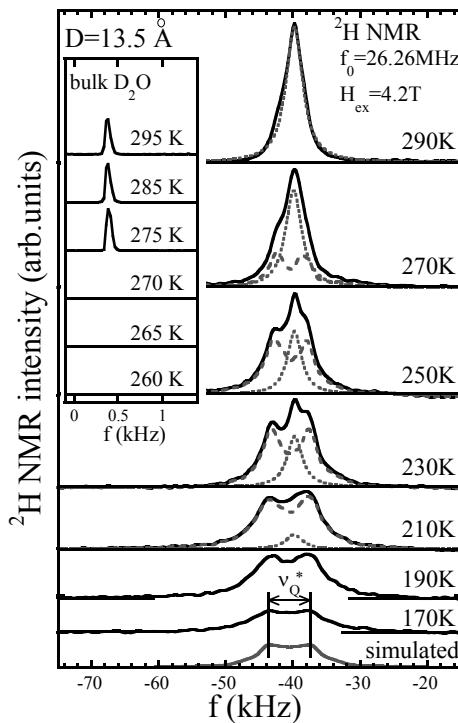


図 7 SWCNT (平均直径 13.5 \AA) 試料に吸着した水 ($^2\text{H}_2\text{O}$) の ^2H NMR スペクトルの温度依存性。点線と破線は、それぞれシングルピーク (ローレンツ関数) 成分とダブルピーク成分を表す。最下部に示したスペクトルは、シミュレーションの結果。

3. 2 カーボンナノチューブ内部の水の動的挙動

すでに述べたように、小さな直径の SWCNT ($D < 15 \text{ \AA}$) 内の水は相転移を起こし、低温で秩序化した ice-NT 構造を形成することが、XRD 実験により示された。ここでは、水分子の ^1H , ^2H 核の核磁気共鳴 (NMR) の結果をもとに、SWCNT 内部の水分子のダイナミクス、さらに ice-NT 構造におけるプロトンダイナミクスについて述べる。NMR 測定を行った SWCNT 試料 (平均直径 $D=13.5 \text{ \AA}$) では、7 員環、8 員環の ice-NT の形成が、XRD 実験により確認されている⁽⁷⁾。

図 7 に、平均直径 $D=13.5 \text{ \AA}$ の SWCNT に吸着した水の代表的な ^2H NMR スペクトルを示す。また、挿入図にパルク水の ^2H NMR スペクトルの温度変化を示す。両スペクトルともに昇温過程で測定されたものである。 ^2H 核 (核スピン $I=1$) は、核四重極モーメント ($2.8 \times 10^{-3} \text{ barns}$) をもつために ^2H 核位置の電場勾配と核四重極相互作用

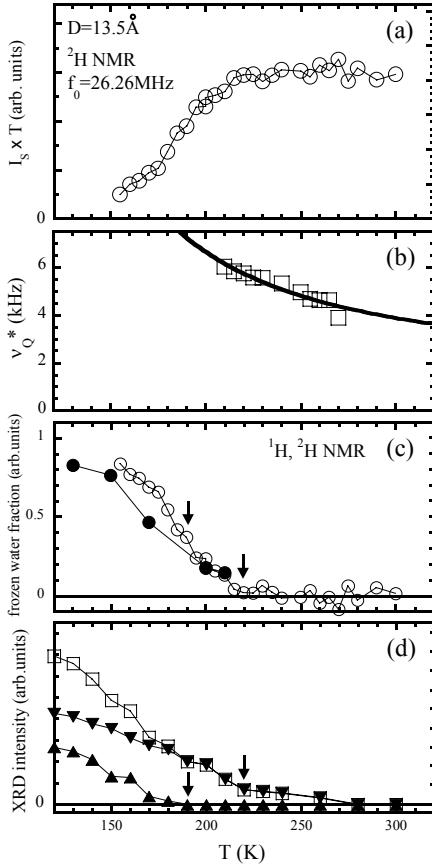


図8 (a) ^2H NMRスペクトルのダブルピーク型共鳴線の分裂幅の温度依存性。実線は $v_0=1.12 \text{ kHz}$, $T_0=365 \text{ K}$ としたとき $v_Q^*=v_0 \exp(T_0/T)$ の計算結果を示す。(b) ^2H NMRスペクトルの積分強度の温度依存性。(c) ^1H - ^2H NMR強度から見積もった固体状態の水(運動が凍結した水分子数)の割合の温度依存性。●と○は、それぞれ ^1H と ^2H NMRの結果を示す。この試料では280 K付近からわずかに6員環ice-NTが形成されることがXRD実験により確認されているが、6員環ice-NTが占める割合は非常に小さいために、NMR強度からはその形成は観測されていない。(d) 平均直径13.5 ÅのSWCNT試料で観測されるアイスピーカーの強度の温度依存性。▼と▲はそれぞれ7員環、8員環ice-NTからのピーク強度、□はそれら2つの強度の和を表す。

する⁽¹⁸⁾。また、水分子の ^2H 核位置の電場勾配テンソルの主軸($V_{zz}=3.1 \times 10^{17} \text{ V/cm}^2$)はO-H共有結合の方向を向いている。したがって、水分子の運動が完全に凍結した場合には、 ^2H NMRスペクトルは分裂幅 $v_0 \sim 150 \text{ kHz}$ (共鳴線幅 $\sim 200 \text{ kHz}$)のダブルピーク型となる。実際に

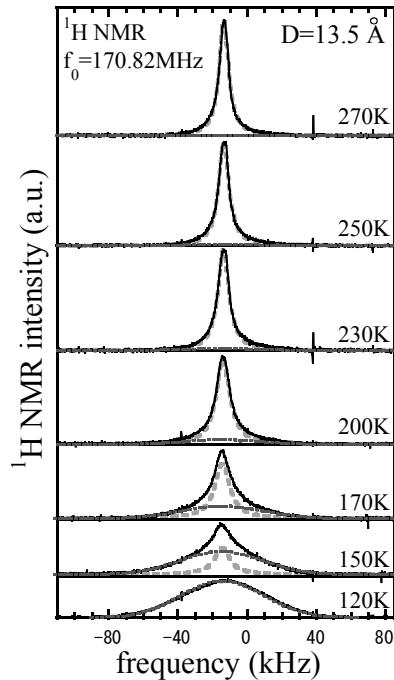


図9 SWCNT(平均直径13.5 Å)試料に吸着した水($^1\text{H}_2\text{O}$)の ^1H NMRスペクトルの温度依存性。点線と破線は、それぞれ、液体と固体状態の水からの共鳴線成分に対応する。

バルクの六方晶冰(Ih)では、そのようなスペクトルが報告されている⁽¹⁹⁾。しかし、本研究で行った90°パルス法によるNMR測定では、共鳴線幅が100 kHz程度以上のスペクトルは観測が不可能であることがわかっている。したがって、運動が凍結した水分子からのNMRスペクトルを測定することはできない。水分子が ^2H NMRの時間スケール $\sim 10^6 \text{ s}$ に比較し十分速い運動を行っている場合には、共鳴線が先鋭化を起こすことが一般的に知られている⁽¹⁸⁾。 ^2H NMR共鳴線幅は、分子内での核四重極相互作用により決まるため、水分子の回転運動が共鳴線の先鋭化を引き起こす要因となる。図7にあるように、バルク水では、液体状態で水分子の回転運動により先鋭化されたNMRスペクトルが観測されるが、固体状態では回転運動が凍結しているために共鳴線幅が増大し観測できなくなり、スペクトルが消失している。

SWCNTに吸着した水でも、高温では線幅10 kHz程度の先鋭化されたNMRスペクトルが観測される。すなわち、SWCNT内部で水分子が回転運動していることを示している。また後で詳しく述べるように、低温になるにつれ水分子の運動が等方的な自由回転からわずかにずれ

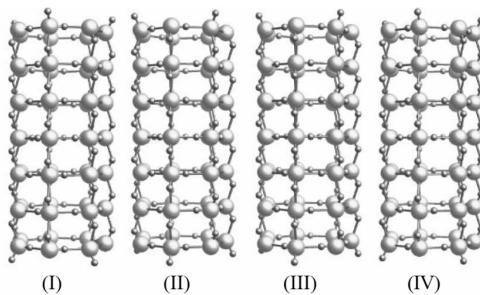


図 10 互いにエネルギーが等価なプロトン配置を持つ4種類の7員環ice-NTの構造モデル。

るために、低温ではスペクトルに構造が現れる。ここでは、²H NMRスペクトルの強度に注目する。NMRスペクトル積分強度(I_s)は核磁化に比例するために、キュリー則に従い降温とともに増大する。したがって、スペクトル強度と温度の積($I_s \times T$)はNMR観測に寄与する水分子数に比例する量である。図8(a)に示すように、高温では $I_s \times T$ はほぼ一定値をとるが、220 K以下で減少していることがわかる。この220 K以下の減少は、一部の水分子の運動が凍結することにより、観測できない大きな線幅のスペクトル成分が出現したことによると考えられる。XRD実験によりこの試料では220 K以下で7員環ice-NTの形成が確認されている。したがって、水分子がice-NTを形成することにより、その運動が凍結したと考えるのが自然である。図8(c),(d)に示すように、²H NMRから見積もった、運動が凍結した水分子数(固体状態の水の割合)の温度依存性は、XRDのアイスピーカーの成長とよく一致している。

図9に¹H核のNMRスペクトルの温度依存性を示す。¹H核($I = 1/2$)のNMRでは、共鳴線幅は¹H核間の磁気双極子相互作用により決まり、その相互作用には分子内の¹H核間のものに加え、異なる分子間からの寄与もある。したがって、水分子の回転運動だけでなく並進運動によっても、共鳴線の先鋭化が起こり得る。7員環と8員環のice-NT構造の不動格子モデルに基づき¹H核の双極子磁場を計算すると、それぞれ共鳴線半值全幅49.1 kHz, 48.6 kHzが得られる⁽⁷⁾。図9に示すように、120 K以下では共鳴線の半値全幅~56 kHzが観測される。このことは、ice-NTの水分子の運動はNMRの時間スケールで凍結していることを示している。図10に示すように、ice-NTには水素原子位置に関して縮退した構造があり、水分子が協同的な水素結合ネットワークの組み替えを起こすことにより、これらの構造間を移ることができる⁽¹⁵⁾。しかし、実験結果はNMRの時間スケールではプロトン

ダイナミクスは凍結しており、水素結合の組み替えに要するボテンシャル障壁は~100 Kよりも大きいことを示唆している。

次に、高温相での水分子ダイナミクスについて述べる。すでに述べたように、220 K以上では、SWCNT内の水分子は回転運動をしていることは明らかである。ここでは、特に並進運動について議論するために、簡単なモデルとして水分子がice-NT構造の各格子点上で、NMRの時間スケールに比較し十分速い、自由回転をしている場合を考える。この場合、分子内の¹H核間磁気双極子相互作用は平均化され消失し、残った異なる水分子間の磁気双極子相互作用がNMR共鳴線幅を決める。このモデルから計算された共鳴線の半値全幅24 kHzは、220 K以上で観測される線幅6~8 kHzに比較し十分大きい。すなわち、220 K以上では水分子は10⁶ sに比較し十分速い並進運動をしており、SWCNT内の水は液体的である。この結果は、田中・甲賀らによる分子動力学に基づく計算機シミュレーションにより得られた、拡散定数~10⁵ cm²/sと矛盾しない⁽¹⁶⁾。

最後に²H NMRスペクトルの構造から得られる、水分子の回転運動の特徴について議論する。図7に示すように、観測される²H NMRスペクトルは、ローレンツ関数で表されるシングルピーク型共鳴線(点線)と線幅の大きなダブルピーク型共鳴線(破線)の2成分に分けることができる。水分子が等方的な自由回転運動をしている場合、²H核位置での電場勾配テンソルが運動により平均化され消失するために、シングルピーク型スペクトルとして観測される。実際に、高温ではシングルピーク型スペクトルが観測され、水分子は自由回転運動をしていることを示している。一方、水分子の運動が等方的な自由回転からずれる場合、電場勾配テンソルは回転運動による平均化後も有限の値が残る。したがって、ダブルピーク型スペクトルが観測される。しかし、その分裂幅 v_Q^* はバルク氷(Ih)で得られる値($v_Q \sim 150$ kHz)に比較し小さくなる。図に示したように、低温で観測されるスペクトルは、回転運動の相関時間が10⁶ sよりも十分短く、 $v_Q^* = 6.8$ kHzとして計算した結果でよく再現することができる⁽⁷⁾。水は極性分子であるため、水分子とSWCNT壁の相互作用は水分子の向きに依存しているはずである。このために水分子の回転運動は、完全には等方的ではなくなると考えられる。同様の²H NMRスペクトルは、シリカグラス、ゼオライト、生体膜に吸着した水でも観測されている⁽²⁰⁾⁽²²⁾。図8(b)にダブルピーク型共鳴線の分裂幅 v_Q^* の温度依存性を示す。温度が高くなるにつれて回転運動がより等方的になるために v_Q^* は小さくなる。図

に示すように、 v_Q^* の温度依存性は熱活性型の式 $v_Q^* = v_0 \exp(T_0/T)$ でフィットすることができ、得られる活性化エネルギーは $T_0 = 365\text{ K} \sim 0.031\text{ eV}$ である。

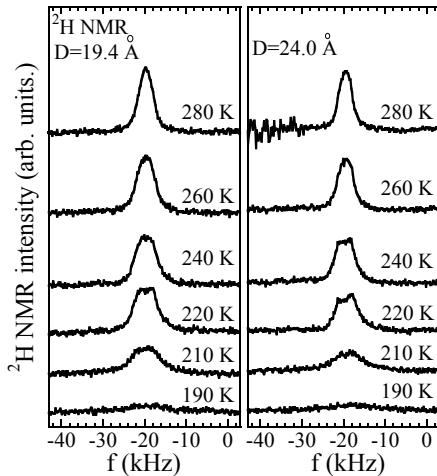


図 11 SWCNT (平均直径 19.4, 24.0 Å) 試料に吸着した水 (${}^2\text{H}_2\text{O}$) の ${}^2\text{H}$ NMR スペクトルの温度依存性。

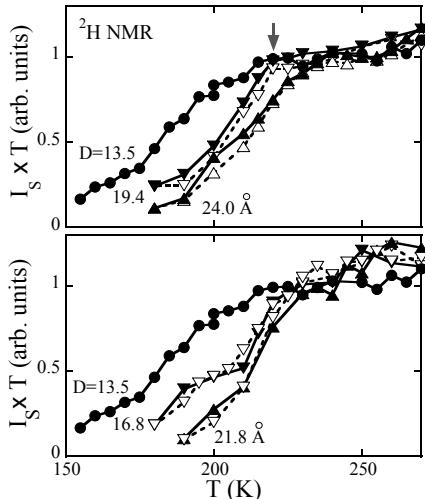


図 12 平均直径が $D=19.4, 24.0\text{ \AA}$ (上図) と $D=16.8, 21.8\text{ \AA}$ (下図) の SWCNT 試料で測定された ${}^2\text{H}$ NMR スペクトル積分強度の温度依存性。実線と点線はそれぞれ昇温過程と降温過程に対応する。比較参考のため平均直径 13.5 Å の結果も示してある。矢印は NMR 積分強度の温度変化をもとに決定された 19.4 Å の SWCNT での水の相転移温度を示している。

4. 直径の大きなカーボンナノチューブ内部の水の挙動

SWCNT 直径が~15 Å を超えると、内部の水の相転移挙動の様相が変化する。ここでは、大きな平均直径 ($D=16.8, 19.4, 21.8, 24.0\text{ \AA}$) の SWCNT に吸着した水の相転移挙動を述べる^{(8),(9)}。図 11 に平均直径 20.0 Å と 24.0 Å の SWCNT 試料で得られた ${}^2\text{H}$ NMR スペクトルの温度変化を示す。直径の小さな SWCNT ($D=13.5\text{ \AA}$) の場合と同じように、高温では水分子の回転運動により先鋭化されたスペクトルが観測される。すなわち、高温では内部の水は液体状態にある。低温では水が液体から固体へ相変化し、水分子の回転運動が凍結するために、約 240 K 以下でスペクトル強度の減少がみられる。図 12 に、スペクトル強度の温度依存性を示す。ここではスペクトル強度が急激に減少し始める温度を T_{NMR} と定義する。図からチューブ直径が大きくなるにしたがい、 T_{NMR} が上昇する傾向が見て取れる。

図 13 に水を内包した平均直径 19.4 Å と 24.0 Å の SWCNT 試料で測定された XRD パターンの温度依存性を示す。図 13(a)からわかるように、340 K での XRD パターンは水を吸蔵していない空の状態での XRD パターンと一致する。この結果は、高温では SWCNT は水を内包していないことを示している。また、300 K 以下に冷却すると SWCNT は水を内包するために、(10) $\bar{\beta}$ 峰強

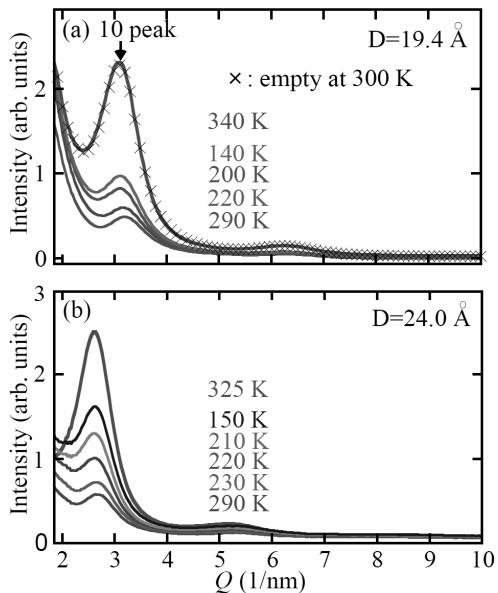


図 13 水を吸着した平均直径 19.4 Å (上図) と 24.0 Å (下図) の SWCNT 試料の粉末 XRD パターンの温度依存性。

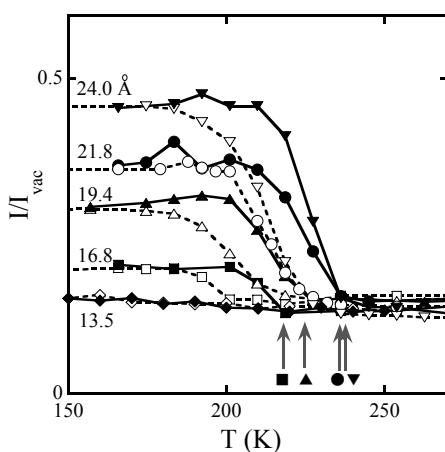


図14 水を吸着したSWCNT試料のXRDパターンの(10)ピーク強度の温度変化。実線と点線はそれぞれ昇温過程と降温過程に対応する。矢印はそれぞれのSWCNTでの相転移温度を示す。

度は急激に減少する。これらは既に述べた直径の小さなSWCNTの振る舞いと同じである。しかし、さらに低温ではまったく異なる振る舞いが観測される。(10)ピーク強度は温度を下げていくと約240 Kで顕著な増大を示し、再び温度を上昇させると約240 Kで減少し元の値にもどる。図14に平均直径 $D=16.8, 19.4, 21.8, 24.0 \text{ \AA}$ のSWCNTでの(10)ピーク強度の温度依存性を示す。(10)ピーク強度の温度依存性には降温過程と昇温過程でヒステリシスが観測される。この(10)ピーク強度の変化は、SWCNT内部の水の秩序化による、水分子の密度分布の変化では説明することはできない。また、直径の小さなSWCNTで観測されたような水の秩序構造を示すアイスピーカーは観測されない。これらの実験結果は、臨界温度以下になるとSWCNT内部の水が外部に排出され、さらにその排出された水は、温度が上昇し臨界温度を超えると再びSWCNT内部に移動することを示している。この振る舞いは一種のwet-dry転移ととらえることができる。すでに述べたように、直径が小さなSWCNT試料ではこのようなwet-dry転移は観測されない。ここでは図14に矢印で示すように、昇温過程において(10)ピーク強度が元の値にもどる温度をwet-dry転移温度(T_{WD})と定義する。図から明らかなように、 T_{WD} はSWCNT直径が大きくなるとわずかに上昇する。また、 T_{WD} はNMR実験から決定した水が凍結し始める温度 T_{NMR} とよく一致する。これは水の液体-固体相転移とwet-dry転移がほぼ同時に起こっていることを示している。

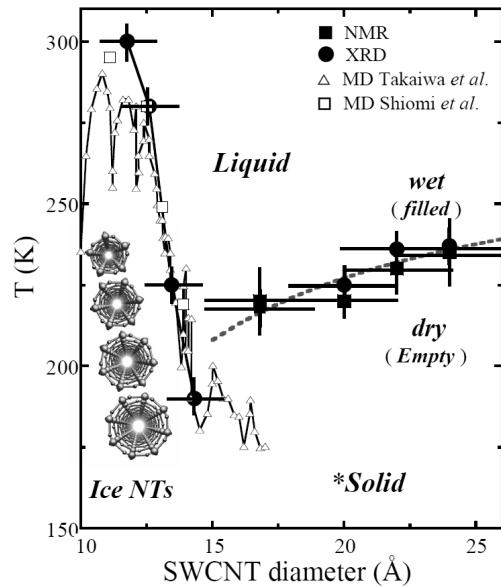


図15 SWCNT内部の水のグローバル相図。■と●はそれぞれNMRとXRD実験により決定された相転移温度。また、点線はバルク水の液体-固体相転移温度からの外挿を示している⁽⁹⁾。□と△は、それぞれ塩見らと高岩らによる計算機シミュレーションから得られた相転移温度^{(24),(25)}。挿入図は、それぞれ5, 6, 7, 8員環ice-NTを軸方向から見た構造モデル。

5. SWCNT内部の水のグローバル相図

XRDとNMR実験の結果から得られたSWCNT内部の水の相図を図15に示す。大きな直径領域($D>\sim 15 \text{ \AA}$)では、SWCNT内部の水はwet-dry転移を起こし、低温で外部に排出され凍結する。図にはNMR実験により求めた液体-固体相転移温度 T_{NMR} とXRD実験結果から決定したwet-dry転移温度 T_{WD} を示してある。従来からグラスキャビラリー内部に形成された氷の融点 T_m は、空洞径 d が小さくなるにしたがい、バルク状態の氷の融点273 Kから降下することがよく知られている。この場合、融点降下 ΔT_m Kは空洞径に反比例し、 $\Delta T_m = 273 - T_m \propto 1/d$ と表わされる。SWCNT内の水の相転移温度 T_{NMR} と T_{WD} の直径依存性は、この式により説明することができることから、wet-dry転移は水の液体-固体相転移が引き金となっていると考えられる。このwet-dry転移のメカニズムについては、今後詳細に議論する必要があるが、直径が大きなSWCNTに内包された水は氷を形成する際に不安定な状態となり、wet-dry転移を起こすのではないかと予測

される。

小さな直径領域 ($D < \sim 15 \text{ \AA}$) では水は液体-固体相転移を起こし、低温で ice-NT を形成することが実験的に明らかとなった。ice-NT の融点は空洞直径が小さくなるほど上昇し、大きな直径領域で観測されるような、従来から知られている融点降下とは逆の傾向を示す。特に、5 員環 ice-NT では、パルク氷の融点 273 K を大幅に上回っている。この ice-NT の融点の空洞径依存性は、単純に1次元性や界面の効果によるものとは考えにくい。これらの効果は、空洞径が小さくなるほど融点を下げるはずである。この異常な空洞径依存性は、計算機シミュレーションにより再現されることが報告されている^{(24),(25)}。筆者らは、この SWCNT 直径 $D \sim 15 \text{ \AA}$ を境に変化する融点の振る舞いは、パルクから原子スケール領域へのクロスオーバーが起きたことによると考えている。すなわち、SWCNT 直径 $D \sim 15 \text{ \AA}$ 以下の微細な空洞内では、もはやパルクスケールと同じ構造の氷は形成されず、代わって空洞壁との相互作用の助けを借りた、原子スケール領域での新しい水素結合ネットワークが形成される。このとき、ice-NT の形成は水の孤立クラスター (H_2O_n) から考えたほうが自然である。 n が 5 以下の孤立クラスターでは、リング構造が安定であることが知られている⁽²³⁾。Ice-NT 構造は、このような水のリングの1次元結晶と捉えることができる。 n 員環 ice-NT の融点は、SWCNT 内における n 員環クラスターの安定性と密接に関連していると推測される。

6. まとめ

SWCNT に吸着した水の構造と相転移挙動について、XRD と NMR 実験の結果を紹介した。高温では SWCNT 内部の水分子は 10^6 s よりも十分速く並進運動しており、水は液体状態であることが示された。低温に下げると、水は液体-固体構造相転移を起こし、直径の小さな SWCNT では1次元的な秩序構造をもつ ice-NT が形成される。また直径の大きな SWCNT では、wet-dry 転移を起こし、水は SWCNT 外部に排出されることが明らかとなった。この wet-dry 転移温度の SWCNT 直径依存性は、従来から知られている融点降下と同じ傾向を示すことから、SWCNT 内部の水の液体-固体相転移と密接に関係していることが示唆される。

また、ここで紹介した SWCNT よりさら細い直径 8 \AA 程度の SWCNT 内部では、水分子が1次元チェーンを形成し、非常に高いプロトン伝導度を示すことが理論的に予測されており、水内包 SWCNT のプロトン伝導度を調

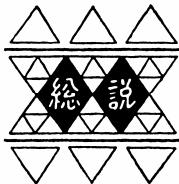
べる必要がある⁽²⁶⁾。 n 員環 ice-NT 構造は水分子の1次元チェーン n 本の集合体とみなすことができる。よく知られているように水は極性分子であり大きな双極子モーメントを有することから、この水分子1次元チェーンは強誘電性を示すことが考えられ、Ice-NT の誘電物性は興味深い⁽²⁷⁾。また、SWCNT は水分子の他にも様々な分子や原子を内包することができる。したがって SWCNT 内部の1次元的空間を利用した新しいナノ構造体の作製が可能であり、これらの物質での新奇物性の発現が期待される。

本研究は、真庭豊教授、柳和宏准教授(首都大学東京)、片浦弘道博士、斎藤毅博士(産業技術総合研究所)をはじめとする多くの方々との共同研究として行われたものである。共同研究者の方々に深く感謝いたします。

参考文献

- (1) V. Buch and J.P. Devlin (Eds.): *Water in confining geometry* (Springer, 2002).
- (2) M.S.P. Sanson and P.C. Biggin: *Nature*, **414** (2001) 156.
- (3) K. Morishige and K. Kawano: *J. Chem. Phys.*, **100** (1999) 4867.
- (4) T. Iiyama, K. Nishikawa, T. Suzuki and K. Kaneko: *Chem. Phys. Lett.*, **274** (1997) 152.
- (5) Y. Maniwa, H. Kataura, M. Abe, S. Suzuki, Y. Achiba, H. Kira and K. Matsuda: *J. Phys. Soc. Jpn.*, **71** (2002) 2863.
- (6) Y. Maniwa, H. Kataura, M. Abe, A. Ueda, S. Suzuki, Y. Achiba, H. Kira, K. Matsuda, H. Kadokawa and Y. Okabe: *Chem. Phys. Lett.*, **401** (2005) 534-538.
- (7) K. Matsuda, T. Hibti, H. Kadokawa and Y. Maniwa: *Phys. Rev. B* **74** (2006) 073415.
- (8) H. Kyakuno, K. Matsuda, H. Yahiro, T. Fukuoka, Y. Miyata, K. Yanagi, Y. Maniwa, H. Kataura, T. Saito, M. Yumura, and S. Iijima: *J. Phys. Soc. Jpn.*, **79** (2010) 083802.
- (9) H. Kyakuno, K. Matsuda, H. Yahiro, Y. Inami, T. Fukuoka, Y. Miyata, K. Yanagi, Y. Maniwa, H. Kataura, T. Saito, M. Yumura, and S. Iijima: *J. Chem. Phys.*, **134** (2011) 244501.
- (10) S. Iijima and T. Ichihashi, *Nature*, **363** (1993) 603.
- (11) H. Kataura, Y. Maniwa, T. Kodama, K. Kikuchi, H. Hirahara, K. Suenaga, S. Iijima, S. Suzuki, Y. Achiba and W. Kraetschmer: *Synth. Met.*, **121** (2001) 1195.
- (12) 真庭豊、片浦弘道、藤原明比古：放射光学会誌, **16** (2003) 296.
- (13) T. Saito, W. C. Xu, S. Ohshima, H. Ago, M. Yumura, and S. Iijima: *J. Phys. Chem. B*, **110** (2006) 5849.

- (14) Y. Maniwa, R. Fujiwara, H. Kira, H. Tou, H. Kataura, S. Suzuki, Y. Achiba, E. Nishibori, M. Takata, M. Sakata, A. Fujiwara, and H. Suematsu: *Phys. Rev. B*, **64** (2001) 241402(R).
- (15) K. Koga, R. D. Parra, H. Tanaka and X. C. Zeng: *J. Chem. Phys.*, **113** (2000) 5037.
- (16) K. Koga, G. T. Gao, H. Tanaka and X. C. Zeng: *Nature*, **412** (2001) 802.
- (17) O. Byl, J.-C. Liu, Y. Wang, W.-L. Yim, J. K. Johnson and J. T. Yates, Jr.: *J. Am. Chem. Soc.*, **129** (2005) 3198.
- (18) A. Abragam: *Principles of Nuclear Magnetism* (Oxford, London, 1961).
- (19) P. Waldstein, S. W. Rabideau and J. A. Jackson: *J. Chem. Phys.*, **41** (1964) 3407.
- (20) D. W. Hwang, A. K. Sinha, C-Y. Cheng, T-Y. Yu and L-P. Hwang: *J. Phys. Chem.*, **105** (2001) 5713.
- (21) D. Goldfarb, H-X. Li and M. E. Davis: *J. Am. Chem. Soc.*, **114** (1992) 3690.
- (22) M. Kodama, Y. Kawasaki, H. Aoki and Y. Furukawa: *Biochim. Biophys. Acta*, **1667** (2004) 56.
- (23) K. Liu, J.D. Cruzan and R.J. Saykally, *Science* **271** (1996) 929 (references therein).
- (24) J. Shiomi, T. Kimura, and S. Maruyama: *J. Phys. Chem. C* **111** (2007) 12188.
- (25) D. Takaiwa, I. Hatano, K. Koga, and H. Tanaka: *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* **105** (2008) 39.
- (26) C. Dellago, M. M. Naor, and G. Hummer: *Phys. Rev. Lett.*, **90** (2003) 105902.
- (27) F. Mikami, K. Matsuda, H. Kataura, and Y. Maniwa: *ACS Nano* **3** (2009) 1279.



平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震による 浦安市の被害調査報告

山本 俊雄* 松田 磐余**

Damage in Urayasu City due to the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake

Toshio YAMAMOTO* Iware MATSUDA**

1. はじめに

2011 年 3 月 11 日東日本に未曾有の地震被害が発生した。気象庁発表による地震の概要は以下のとおりである。

発震時刻 2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分

震源 三陸沖、北緯 38.1 度 東経 142.9 度、牡鹿半島の東南東 130 km 付近

規模 Mw9.0 (モーメントマグニチュード)

地震名 平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震

この地震により、北海道、東北地方、関東地方が大規模な津波による被害を被ると同時に、各地で地震動による被害も発生した。地震による直接被害は人的的被害とも阪神・淡路大震災を大幅に上回り、間接被害も福島第一原子力発電所のレベル 7 に達する事故による影響などで膨大となり、集計には長い年月が必要とされよう。被害状況は、国の機関、各種学会、民間組織などで逐次報告されて、その量も膨大になっているが、筆者らは、埋立地の液状化現象による被害を受けた千葉県浦安市について報告することにする。

2. 浦安市の変貌

浦安市は 1969 年の地下鉄東西線開通後激変し、公有海面の埋め立てと新たな鉄道・道路の開通により、市街地が拡大して行った。埋め立ては第一期と第二期に分かれて行われた。第一期埋立事業では、1968 年に東野・富岡・弁天・今川・鉄鋼通り地区、1971 年に海楽・美浜・入船地区、1975 年に舞浜地区の埋め立てがそれぞれ完了した。第二期埋立事業は、第一期埋立事業の南西部で

行われ、1978 年に日の出・明海地区、1979 年に千鳥・港地区、1980 年に高洲地区の埋め立てが完了し、翌年に千鳥地区に小面積が追加されるが、第二期埋立事業が終了する。埋め立てはいずれも公有海面で行われた。図 1 は 1953 年応急修正、図 2 は 2005 年要部修正の 5 万分の 1 地形図である。埋立地の地名は図 2 に記入されているので参照されたい。図 2 には、第一期と第二期の埋立事業地区を限る道沿いに、第一期埋立事業当時の防波堤の名残が見られる。浦安市はこれらの埋立事業により、市面積は 4.43ha から 16.98ha へとほぼ 4 倍に拡大した。人口は、地下鉄東西線の開通に伴い、まず駅周辺で増加し始め、第一期埋立事業地には公団による分譲住宅が建設されて急増していく。1990 年には、京葉線全線が開通し、交通の便が良くなるとさらに増加していく。しかし、バブル崩壊後は、開発が停滞して、現在では空地が目立っている。一方、舞浜地区には、1983 年に東京ディズニーランドが開園し、周辺にはホテルや商業施設が建

東京東南部



図 1 浦安市の地形図（1958 年）
1953 年応急修正 5 万分の 1 地形図「東京東南部」
原寸

*助手 建築学科

Research associate, Dept. of Architecture

**関東学院大学名誉教授

Emeritus Prof., Kanto Gakuin Univ.



図2 浦安市の地形図（2005年）

2005年要部修正5万分の1地形図「東京東南部」原寸。図1と図2はほぼ同じ範囲を示す。図2の市役所の位置が、図1では東葛飾という字の南側で水路が海に出る付近。市役所は図1の護岸の外側、すなわち埋立地にある

設された。2001年には東京ディズニーシーが隣接地に開園し、膨大な数の来園者を集めている。

浦安市は、1981年に市制を施行し、現在の人口は16万人を越えている。下水道の普及率は99%を越え、都市ガスの普及率も高い。しかし、市面積の75%が埋立地であるという弱点を持っている。

3. 浦安市の被害状況

浦安市は、今回の地震では震源からはかなり離れているため、震度5強の揺れで、地震動による被害は見られなかつたが、埋立地盤の液状化現象により甚大な被害を受けた。5月9日の市の発表では、家屋被害は木造住宅を中心に全壊8棟、半壊470棟であるが、被害の認定基準が5月10日に変更になったことにより、数値は変わると考えられる。家屋被害以外では、ライフラインの損傷に伴う日常生活への影響が多大であった。33,000戸が断水し、当初は3月17日には復旧見込みとしていたが、3月21日現在でも約4,000戸が断水中で、応急復旧工事が完了したのは、4月6日である。下水道の被害地域は、3月12日の発表から次第に拡大し、一部の地区を除いて使用制限区域となった。本管の面的な復旧工事が完了したのは4月15日であったが、一部ではなお個別家屋への取り付け管の補修工事が残されていた。ガスは、供給していた京葉ガス（株）の発表では、8,631戸で供給停止となり、東京ガス（株）からの救援職員を交えて復旧に当たり、3月30日に全戸に供給が再開された。表1に地区別の下水道とガス供給の被災状況を示した。下水道

では、弁天、鉄鋼通り、今川、舞浜（以下ディズニーランドは除く）、千鳥で、全町丁目が使用制限を受けた。ガスは、弁天、今川、舞浜の全町丁目で供給が停止された。全町丁目が供給停止された地域は下水道でも使用制限地区になった。表1からも読みとれるように、被害地域と埋立時期とには関係が認められない。

現地調査は、3月25日に行い、新浦安駅の南部を調査した。首都高速道路湾岸線より北西部には被害は見当たらなかった。主要な被害は、地下埋設管の破損と電柱の沈下や傾斜によるライフラインの破損である（写真1, 2, 3）。明海では、マンホールが2m程度抜け上がったところもあった。電気、水道、ガス、下水道が使用できなくなり、地震後2週間を経過した調査時点でも、上下水道が使用できない状況であった。ガスと電気についても復旧工事の最中であった。地盤沈下に伴うコンクリート造建物の抜け上がりがかなり深刻で（写真4），沈下量が大きいところでは1m弱沈下し、配管が引きちぎられている建物も見られた。一方、今川と入船地区では木造家屋の沈下や傾斜が認められた。噴砂の量が多く、自動車のタイヤが埋まっているものも見られた（写真5）。建物の抜け上がり量が大きいうえに、空地になっている場所では、大きな噴砂の跡が見られるのが特徴で、かなりの層厚が液状化したものと推定される（写真6）。印象的なのは、埋め立て工事の際に建設された護岸が、埋土の液状化に伴い傾斜し、埋立地盤の脆弱さを示していたことである。なお、埋立時期と被害との関係は認められなかつた。

表1 下水道とガス供給の地区別被災状況

地区名	埋立完了年	下水道	ガス供給
東野	1968	△	△
弁天	1968	×	×
富岡	1968	△	△
鉄鋼通り	1968	×	○
今川	1968	×	×
海楽	1971	△	△
美浜	1971	△	△
入船	1971	△	△
舞浜	1975	×	×
明海	1978	△	○
日の出	1978	△	△
千鳥	1979	×	○
港	1979	○	○
高洲	1980	△	△

浦安市と京葉ガス（株）のホームページより編集

×：地区内の全丁目で被災、△：地区内の一部丁目で被災

○：被災リストにない



写真1 傾いた電柱 今川2丁目



写真4 千葉県警 美浜寮 高洲



写真2 抜け上がったマンホール 明海



写真5 タイヤが埋没した自動車



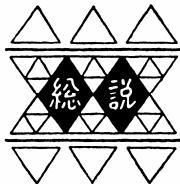
写真3 抜け上がったマンホール 切られたアスファルトが載っている 前方にもある



写真6 噴砂で埋まった倉庫 高洲



写真7 第一期埋立事業時の旧護岸 高洲



神奈川大学 23 号館の地震・台風時の挙動

大熊 武司* 島崎 和司** 安井 八紀***

Response of the 23th building during earthquakes and typhoons

Takeshi OHKUMA*, Kazushi SHIMAZAKI**, Hachinori YASUI***

1. はじめに

神奈川大学では、1998年、創立70周年記念として横浜キャンパス再開発事業を開始し、2001年3月末、本館（1号館）が角形鋼管CFT柱と鉄骨梁で構成される複合構造により、また、工学部の講義棟・研究棟の一部が統合（23号館）されて免震構造により新築された。この再開発事業にあわせて1999年度末、大学の支援のもと、工学部建築学科・工学研究科建築学専攻の構造システム系教員をコアーメンバーとする「地震・台風災害の制御低減研究プロジェクト」がスタートした（神奈川大学TEDCOMプロジェクト。ホームページへのアクセス：“TEDCOMプロジェクト”）。

本プロジェクトの大きな目的の1つに「地震時・台風時の実挙動観測」があり、完成後直ちに観測を開始した。成果の一端は2002年3月に開催した「地震・台風災害の制御・低減に関するシンポジウム」において報告させて頂いたが、東日本大震災をもたらした本年3月11日の東北地方太平洋地震では本学も震度5強の大きな地震に見舞われ、また、9月の台風15号では21日に最大平均風速約20メートル毎秒の強風に曝された。

残念ながら、3月11日当時は地震観測システムが定期点検中で観測記録は限られたものになってしまったが、台風15号時の23号館（免震棟）の挙動について分析が一段落したこの機会に、東北地方太平洋地震時および台

風15号時の挙動を、これまでの観測記録を踏まえながら報告させて頂くことにした。

2. 23号館概要

23号館は、写真1に示すような地下2階・地上8階・塔屋2階の工学部研究室、実験室、講義室及び図書館書庫からなる建物である。軒高は30.05m、最高部高さは39.25mで、階高は地上階3.7m、地下1階実験室は5.0m、地下2階書庫は6.0mである。構造種別は鉄筋コンクリート造で、地下2階と地下1階床の間に免震部材を設置した免震建物となっている。免震部材には、アイソレータとして天然ゴム系積層ゴム、エネルギー吸収部材として鉛ダンパー及び鋼棒ダンパーを用い、上部構造の重心と免震部材の剛心が一致するように配置されている。上部構造の架構形式は、X方向(長手方向)、Y方向(短手方向)共に純ラーメン構造とし、下部構造(地下2階部)は、上部構造の基礎部として十分な剛性、耐力をを持つ剛構造としている。基礎は、

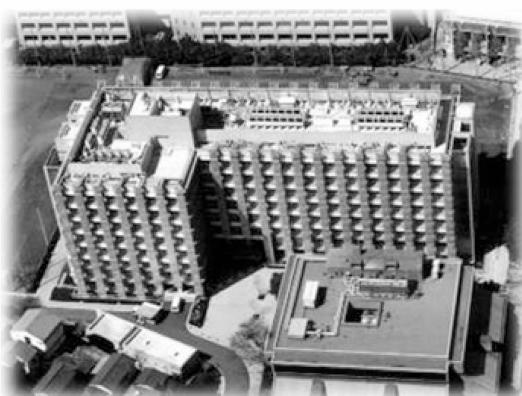


写真1 神奈川大学 23号館 遠景

*名誉教授、工学研究所客員教授

* Professor Emeritus

**建築学科 教授

**Professor, Dept. of Architecture

***泉創建エンジニアリング都市環境技術研究所

***Izumi Sohken Engineering Co., Ltd.

鉄筋コンクリート造られた基礎とし, GL-14m付近より現れるN値50以上の工学的基盤である相模層群砂礫層に直接支持させている^{1),2)}.

3. 地震時の挙動

3.1 地震観測概要

1) 地中観測

地中および地表での振動計測はボーリング坑を利用して, 工学的基盤レベル (GL-21.8m) と地表レベル (GL-1.5m) において各々3成分の振動計測を行っている。工学的基盤以浅の地盤は主にローム層で構成され, N値10以下の軟弱層がGL-21.8mまで堆積している。

2) 高さ方向観測

設置した地震計はサーボ型加速度計（一部サーボ型速度計を併置）で8階, 6階, 3階, B1階, B2階の5箇所に, 各設置階共にほぼ同位置に設置してある。設置位置および観測成分 (X, Y, Z方向) を図1に示す。

3) 平面方向観測

免震層の平面的な挙動の観測のため, 図2, 写真2に示すように, 長手方向の両端 (X1-Y3, X20-Y3) に, X, Y2方向の免震層の相対変形が計測できるように変位計を設

置し, 同一位置の免震層下部に3方向地震計を設置し, それぞれの位置での入力地震動を計測している。

これらの地震観測装置の内, 地中観測と高さ方向観測の装置は, 2011/3/11東北地方太平洋地震時においては点検中で, 記録がとれていがない。

3.2 これまでの観測結果³⁾⁻¹⁰⁾

1) 高さ方向観測

2011/3/11東北地方太平洋地震時においては点検中で, 記録がとれていないので, これまでの記録のうちで最も震度が大きかった2005年7月23日千葉県北西部地震の記録の最大加速度を高さ方向にプロットしたものを図3に示す。工学的基盤であるGL-25.5mで, 500mm/sec²程度であった最大加速度は, 地表面近くで3倍に増幅されているが, 建物への入力はおよそ1/2~1/3となり, 工学的基盤とほぼ同じ値となっている。免震層でそれが約1/2に低減され, 建物上層部ではほとんど増幅されておらず, 免震効果が確認できる。また, 上部構造の加速度分布はほぼ一定であり, 剛体的に振動しているといえる。

2) 平面方向長期変動

図2に示した変位計測位置においては, 竣工後1年を経過した後, 免震装置の変形を下げ振りを用いた手動によ

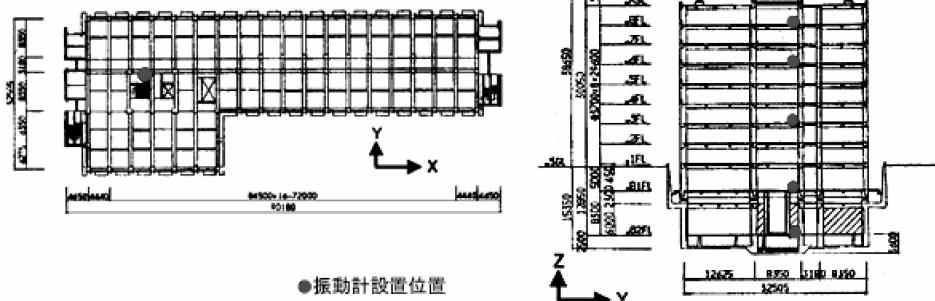


図1 高さ方向の地震観測位置

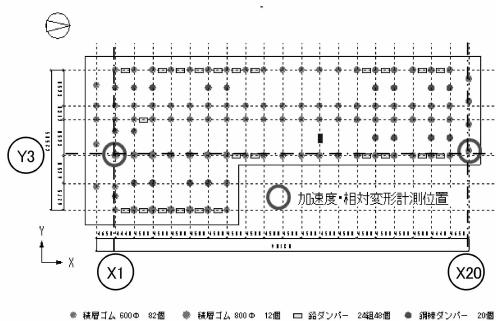


図2 免震層の平面方向の地震観測位置



写真2 免震層の変位観測装置と地震計

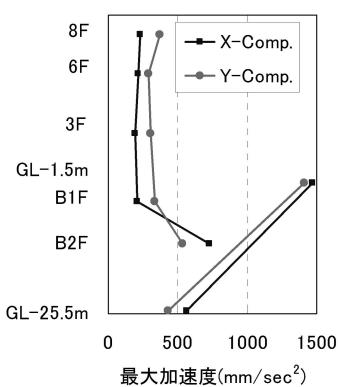


図 3 2005 年 7 月 23 日千葉県北西部地震の最大加速度の高さ方向の分布

る計測を、2005年からは地震観測装置による計測を行っている。図4はX1-Y3の積層ゴムと(図2の左側)とX20-Y3の積層ゴム(右側)の変位量の経過をコンクリートの表面温度とともに示している。符号は、図2に示したX,Y両方向の矢印の方向を正としている。

X方向変位は、未計測期間である竣工後1年までの間で、コンクリートの乾燥収縮により全体的に内側に変位し、その後コンクリート温度の上下とともに、収縮量が変動している。Y方向変位は、地震や強風などのイベント時に変位しており、免震層に残留変形が生じていると考えられる。強風時にY方向が大きく変位しているのは、Y方向の風に対して壁面の見付け面積が大きいためと考えられる。

3.3 2011/3/11東北地方太平洋地震

1) 地震動記録

図5にX1-Y3位置の本震の加速度記録の時刻歴を示す。入力加速度は50秒過ぎから大きくなり始め、200秒程度でおおむね収まるが、その後は4~5秒程度の周期の波が続いている。入力加速度のフーリエ振幅スペクトルを300秒間に各100秒区間に区切ったものを横軸を周期として図6に示す。全300秒区間、0-100, 100-200秒区間では1-4秒の周期の波の振幅が大きいが、200秒

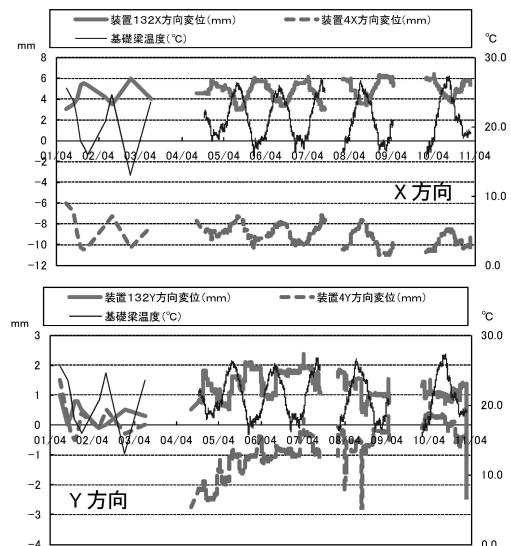


図 4 免震層の平面方向長期変動

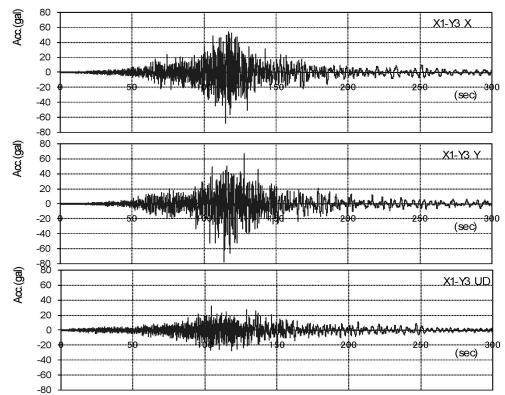


図 5 X1-Y3 の加速度記録(X,Y,UD)

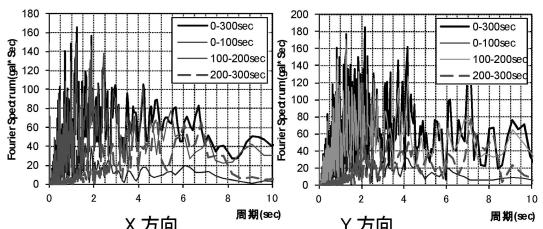


図 6 X1-Y3 の加速度記録のフーリエ振幅スペクトル

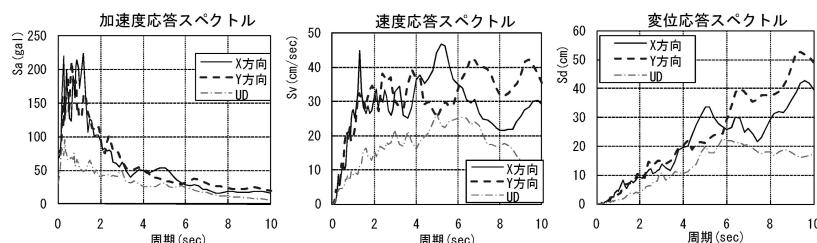


図 7 X1-Y3 の加速度記録の応答スペクトル(h=0.05)

以降では3秒以下の波の振幅は小さく、X方向で4-7秒、Y方向で7-8秒の周期の波の振幅が大きい。図7に $h=0.05$ の応答スペクトルを示す。速度応答スペクトルを見ると、y方向では1秒強から10秒程度までほぼ一定であり、速度一定域がかなりの長周期まで続いており、周期が10秒程度では応答変位一定域になっていない。

2) 入力地震動の位相差

図8にX1-Y3,X20-Y3に設置した建物の両端での免震層への入力加速度の相関をX方向、Y方向それぞれ示す。図8(a)は本震、図8(b)は加速度記録が最も大きかった余震である。比較のため、過去に最大加速度記録を示した2005/7/23 千葉県北西部地震を図8(c)に示した。y=xの直線上で推移していれば、両端部の入力加速度が等しいことになり、ループ形状になっていれば、両者に位相差があることになる。図8(c)に示すように過去の関東地方の地震動では形状がループ状で、位相差が現れる傾向にあった。今回の本震ではX方向ではあまり位相差は見られないが、Y方向は橢円状になり、ある程度の位相差が見られる。

3) 免震層の相対変位記録

図9に0秒時の変形を初期値とした免震層のX1-Y3位置の相対変位記録の時刻歴を示す。100秒から200秒の区間で大きな応答値となっており、x方向で最大65.7mm、y方向で最大56.8mmの変形となっている。入力加速度の小さい200秒以降も小振幅で変形している。図10に入力加速度と同様に区間分けをした時刻歴のフーリエ振幅スペクトルを示す。全300秒区間、0-100、100-200秒区間では2-2.5秒の周期の波の振幅が大きく、建物がこの周期で揺れているものと考えられる。200秒以降では3秒以下の波の振幅は小さく、加速度波形と同様に長周期の波の振幅がやや大きい。

図11に建物の両端の免震装置の変位記録のY方向の相関を示す。横軸にX1-Y3のY方向変位を、縦軸にX20-Y3のY方向変位をとってプロットしている。最大変形時には45°の線から外れ、捩れを伴う振動をしている。図12は、縦軸に両端のY方向変位から求めた捩れ角をとり、横軸にX1-Y3のY方向変形をとって示した関係である。最大のねじれ角はY方向最大変形時とは異なる時刻で生じており、ねじれによる最大変形の増大を考慮する場合、水平変位の最大値とねじれによる変形の最大値の絶対値とよりは少ないといえる。

4) 免震層の地震応答解析

計測された記録をシミュレーションするために立体弾塑性解析プログラム(RESP-T)¹⁰⁾により動的解析を行った。解析モデルは平面的な捩れ応答を検討するため、図

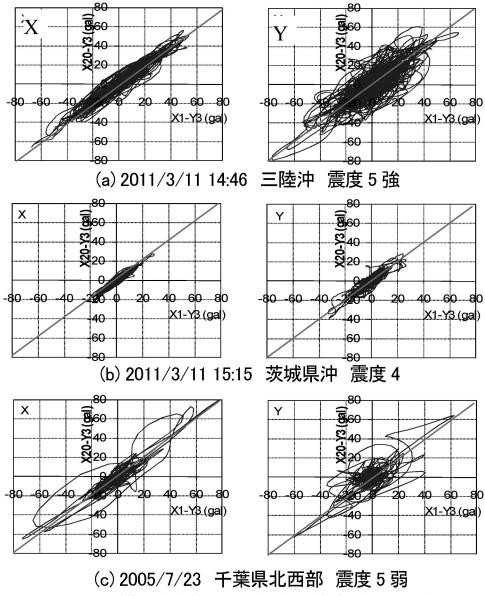


図8 建物の両端で記録された加速度記録の相関

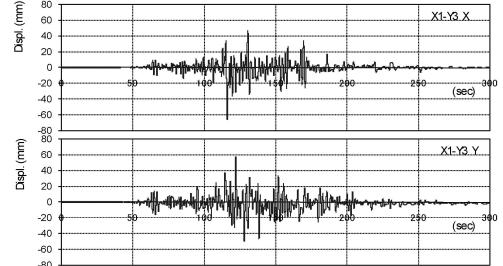


図9 X1-Y3 の免震層の相対変位記録(X,Y)

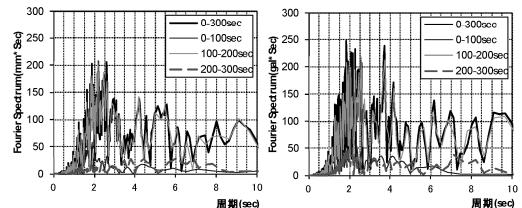


図10 X1-Y3 の相対変位記録のフーリエ振幅スペクトル

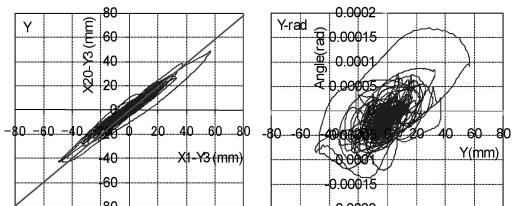


図11 建物の両端で記録さ

れた層間変位記録の相関

図12 Y 方向変位-ねじれ回転

角関係

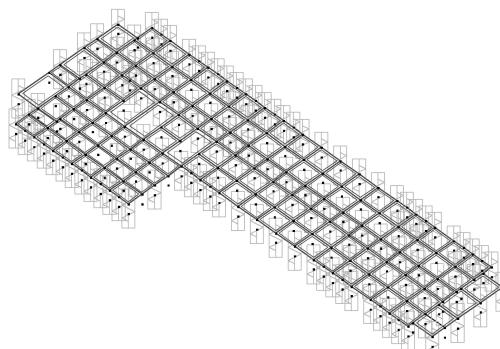


図13 解析モデル

13に示すように上部構造は剛体振動するとして、全層の重量を基礎梁フレームの各節点に集中させた。スラブの面内剛性を考慮するため、スラブ厚200mmのシアパネル要素を組み込んだ。

免震装置は4本のバネに置換したMSSモデルとした。積層ゴム 600ϕ 82基、 800ϕ 12基、鉛ダンパー24基、鋼棒ダンパー20基を本建物の配置に準じて配置した。

2基1組となっている鉛ダンパーは、2倍の剛性と耐力をを持つ1基の鉛ダンパーとして設置した。免震装置の復元力特性は、設計値を参考にして表2に示す値を設定した。鉛ダンパーの復元力特性は、これまでの地震時のシミュレーションにおいては図14の破線となるよう設定していたが、今回は設計値そのままの値とした。入力地震動は、X1-Y3で記録された水平2方向の加速度記録とした。

図15にX1-Y3とX20-Y3におけるX,Y両方向の解析結果と計測記録の時刻歴の比較を、図16にX1-Y3の変形の大きい区間の時刻歴の比較を示す。残留変形に多少の違いはあるが、おおむね対応している。図17は両端のY方向変位をXY軸にとり、その相関を計測値と比較して示したものである。解析結果はあまり45°の線から外れていないく、計測結果に比べてねじれが少ない結果になっている。

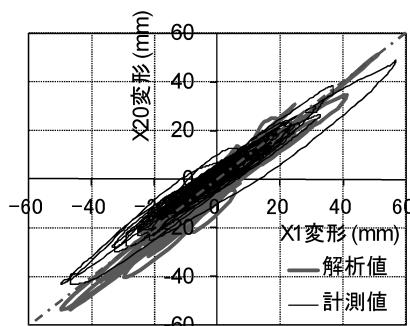


図17 建物の両端の層間変位の相関の比較

表2 免震装置の基本特性

免震装置	外径 (mm)	初期剛性 (kN/mm)	二次剛性 (kN/mm)	降伏せん断力 (kN)	降伏変位 (mm)
天然ゴム系	600ϕ	0.92	—	—	—
	800ϕ	1.23	—	—	—
鉛ダンパー		11.76	0.62	24.5	8.3
鋼棒ダンパー		7.84	0.25	254.8	32.5

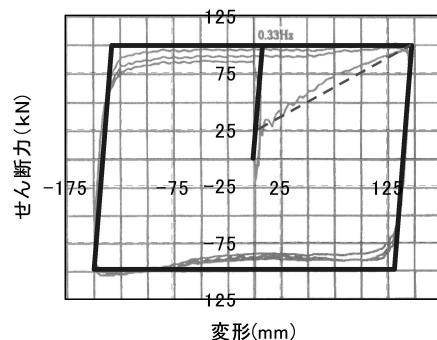


図14 設計で想定した鉛ダンパーの復元力

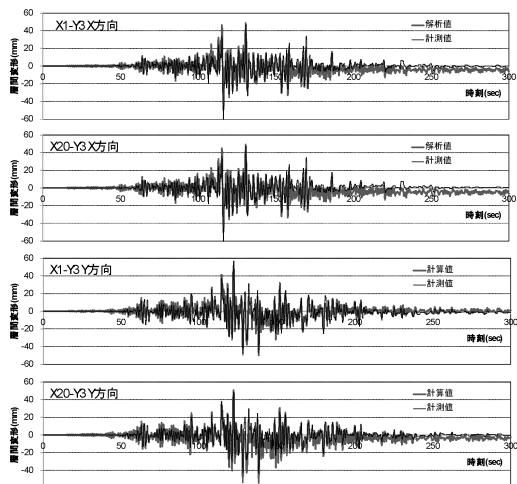


図15 解析と実測の応答変位の比較

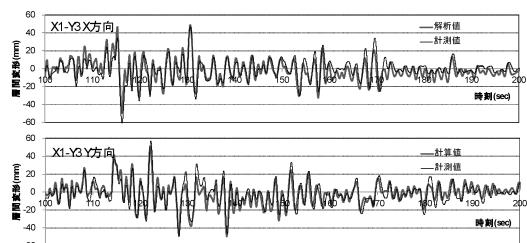


図16 解析と実測の応答変位の比較(主要動部分)

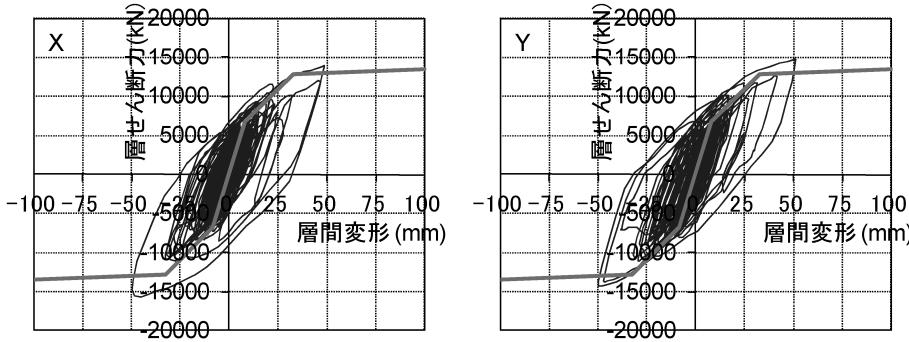


図17 免震層の復元力

これは、解析がX1-Y3で記録された波を均一入力として算定しているが、実際は図8(a)に示したようにY方向入力加速度は両端で位相差があり、この入力地震動の相違によるよるねじれ振動の隆起が考慮されていないためと思われる。図17に解析から求めた免震層の復元力を示す。地震時の実測値による復元力特性は、上部構造の加速度記録がとれていないので、推定できていない。解析結果から見ると、鋼棒、鉛両ダンパーが塑性化している。写真3は、鋼棒ダンパーの状況であるが、ペンキが剥離し塑性化した状況が伺える。

これらの結果より、ここで用いたモデルにより免震層の地震時挙動がシミュレーションできることがわかったので、今後は建物両端での入力地震動の相違による影響（位相差入力）が建物の振れ振動にどのように影響し、耐震性能の評価にどのように関わってくるかを検討する予定である。

3.4 データ公開

23号館で観測された地震動記録は公開されており、サーバーには、以下のアドレスよりアクセス可能である。
<http://www.arch.kanagawa-u.ac.jp/TEDCOM/>

これまでに観測されたデータのうち、23号館B2階の水平最大加速度値が5gal以上を記録したデータで、観測後およそ1年を経過したものを公開している。現在は図18に示した59記録を公開している。今回の地震のように震度が5を超えるような地震の場合には、計測値の最大値と波形図を速報として掲載している。

4. 強風時の挙動

4.1 風観測概要

風観測は、図23に示す塔屋屋上の南西側隅角部(建物最高高さから2.5m、地上41.75m)に設置された風車型風向風速計(日本エレクトリック・インスツルメン

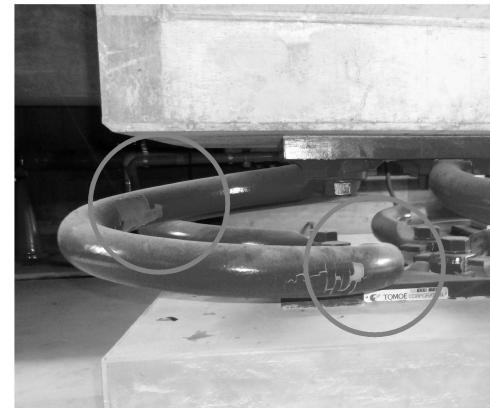


写真3 鋼棒ダンパーの状況

TEDCOM PROJECT
学校法人 神奈川大学

ホーム 建物データ 地盤データ 地図記録 録音機器 参考文献 テーマ利用 TEDCOM
はいめに 計測チャンネル 記録データ ダウンロード方法

全観測点のデータ収録状況

表中の○をクリックすると波形図と詳しいデータが見られます。

No.	発生日	震源時	震央地名	緯度	経度	深さ	規模	震度	震度方向	波形	データ	波形図	データ
59	2011/4/21	22:37	千葉県東方沖	35°40'5"	140°41'1"	46	6.0	3	北	○	○	○	○
58	2011/4/19	23:10	茨城県南西部	36°10'1"	139°48'4"	53	5.0	3	○	○	○	○	○
57	2011/4/19	02:37	神奈川県東部	35°33'2"	139°40'0"	84	4.2	2	○	○	○	○	○
56	2011/4/16	11:19	茨城県南西部	36°20'4"	139°56'7"	79	5.9	3	○	○	○	○	○
65	2011/4/12	8:08	千葉県東方沖	35°28'9"	140°52'0"	28	6.4	3	○	○	○	○	○
54	2011/4/12	17:19	福島県浜通り	36°41'3"	141°53'2"	70	5.4	3	○	○	○	○	○
53	2011/4/12	23:32	福島県浜通り	36°12'2"	141°55'2"	66	7.1	2	○	○	○	○	○
62	2011/3/16	12:52	千葉県東方沖	35°48'0"	141°0'2"	10	6	3	—	○	○	○	○
51	2011/3/15	22:31	静岡県東部	35°18'0"	138°42'0"	10	6	3	—	○	○	○	○
50	2011/3/11	15:15	茨城県沖	36°0'0"	141°12'0"	80	7.4	3	—	○	○	○	○
49	2011/3/10	15:50	東京都大手町	35°45'0"	142°54'0"	10	5.9	5強	—	○	○	○	○
48	2010/6/2	23:00	茨城県南部	35°45'1"	141°53'4"	43	5.2	2	—	○	○	○	○
47	2009/12/19	05:41	茨城県南部	36°2'0"	139°43'1"	78	5.1	3	○	○	—	—	—
46	2009/9/41	11:30	千葉県西北部	35°48'8"	140°5'5"	67	4.5	3	○	○	○	○	○
45	2008/8/11	05:07	熊本県	34°47'1"	138°29'9"	23	6.5	4	○	○	○	○	○
44	2008/8/9	15:55	東海道南方沖	33°7'6"	138°24'2"	333	6.8	3	○	○	○	○	○

図22 公開中のデータ一覧

ト,N-262LVS)による風向・風速、建物8階に設置された加速度計による加速度の3成分(東京測振,SS-1:FS 500mm/s²)によっている。加速度測定点における加速度の測定方向は、測定点P1においてはX方向およびY方向、測定点P2においてはY方向である。

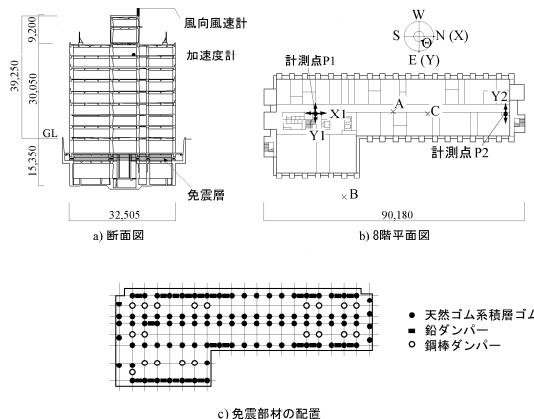


図 23 風観測概要

風向・風速および加速度のデータはサンプリング周波数 50Hz で常時時刻歴がハードディスクに記録され、弱風時から強風時のデータの解析が可能である。なお、加速度データは不要なノイズ等を除去するため、20Hz のローパス・フィルター(NF 回路設計ブロック,P-84)を施した後 A/D 変換している。

また、避雷等の理由により風向・風速計の設置高さが十分高くできなかつたため、観測される風速は風向によっては建物自身の影響を受けるものと予想された。そこで、風洞実験により風向毎の平均風速の増減率を調査し、その結果に基づいて平均風速を補正した。ここでいう平均風速は、この補正した平均風速である。

4.2 これまでの観測結果

2001年7月の観測開始以来、23号館に接近した台風としては 200115 号台風(9月11日に最接近)、200709 号台風(9月7日に最接近)および 201115 号台風(9月21日に最接近)である。いずれの台風時においても横浜地方気象台では、最大瞬間風速として 30m/s を超えるような強風の記録が得られている。それぞれの台風接近前後の風向風速および応答加速度の時刻歴を図 24 に示す。なお、この内 0115 号台風を含む 2001 年～2004 年の観測データについては、文献 12)～17)によって公表されている。

1) 横浜地方気象台と23号館の風向風速の関係

図 24a) 200115 号台風および b) 200709 号台風に示すように、23号館の風向および風速は横浜地方気象台のそれらに良く対応している。201115 台風においては風速計のトラブルのため、23号館における風速を測定することができなかつたが、図 24c)に示す横浜地方気象台の風速が 23号館における風速とみて良いものと考えられる。

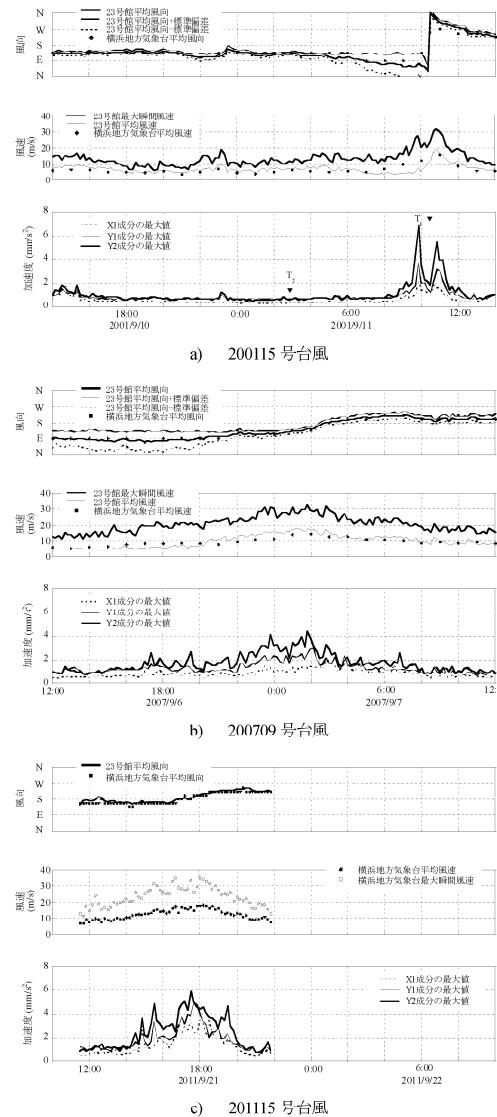


図 24 台風時の風向風速および応答加速度

2) 応答加速度のスペクトル特性

図 24a)に示す風速および応答加速度が大きな時刻 T1 とそれらが小さな時刻 T2 における加速度応答スペクトルを図 25 に示す。

平均風速が 5m/s 程度で 8 階での最大応答加速度が 1mm/s² 程度である時刻 T2 では Y1 成分および Y2 成分共に 1.6Hz および 1.8Hz 付近に明瞭なピークが認められる。一方、平均風速が 10m/s 程度で 8 階での最大応答加速度が 7mm/s² 程度である時刻 T1 においては 1Hz～2Hz にかけてパワーは大きいが明瞭なピークはない。

時刻 T_2 における 1.6Hz 付近のピークは Y 方向の固有 1 次振動によるもので、1.8Hz 付近のピークは捩れの固有 1 次振動によるものである。時刻 T_1 における 1Hz～2Hz にかけてのブロードに卓越した領域は、Y 方向振動と捩れ振動による減衰がそれぞれ増加したことによってそれぞれのパワースペクトルのバンド幅が広がり、2 つのピーク付近の領域が重なり合って不明瞭になった結果である。

また、風速が高く応答の大きい時刻である T_1 時の卓越周期は、免震層の非線形性によって長くなっていることがわかる。

図 25 の時刻 T_1 における Y_1 および Y_2 の加速度時刻歴を用いて Y 方向の並進成分と捩れ成分を分離し、それらの時刻歴から求めたパワースペクトル密度を Y_1 および Y_2 のパワースペクトル密度と比較して図 26 に示す。

同図に示すように、重なり合っていた領域が明瞭なピークをもつ Y 方向並進成分と捩れ成分に分離できていることが分かる、なお、この捩れ成分は、 Y_2 成分測定点での値に換算した加速度であり、 P_2 測定点においては、並進成分による加速度より捩れによる加速度が上回っていることがわかる。因みに、対象データに対して捩れ中心を推定した結果、捩れ中心の位置はデータ毎にばらついており、その標準偏差は 2.9m、平均的には設計時に想定した免震層の剛心位置(図 23 の A 点)から約 12m 北側(図 23 の C 点)である。

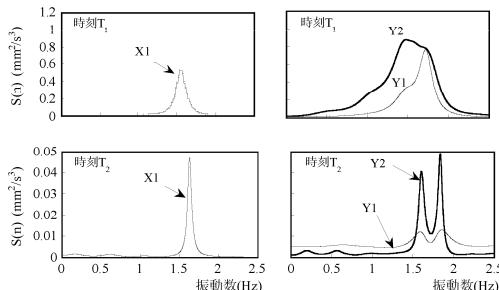


図 25 風応答加速度のパワースペクトル密度

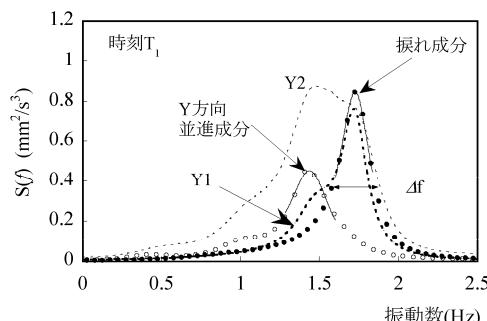


図 26 並進成分と捩れ成分のパワースペクトル密度

以上のことから、免震層は風速の高まりと共に塑性化が進行していること、風力の捩れ成分によって捩れ振動が生じ、無視し得ないことが明らかになった。

3) 固有振動数と減衰定数

図 27 に応答加速度と固有 1 次振動数の関係を、図 28 に応答加速度と固有 1 次振動数における減衰定数の関係を示す。ただし、捩れ成分については P_2 の位置(図 23 参照)での Y 方向の加速度に換算している。また、同図には文献 18)による起振機実験による結果、2001 年 9 月 18 日に東京湾を震源地とする M4.2 とする地震の際に地震観測によって得られた結果も併せて示している。

固有 1 次振動数は、いずれの方向においても応答加速度が大きくなるに従って低くなる傾向が認められる。最大応答加速度が 1.0mm/s² 以下では、X および Y 方向共に約 1.6Hz である。得られた風応答の大きさの範囲では、Y 方向の固有振動数は 1.5Hz を若干下回る程度まで低下している。さらに、最も大きな最大応答加速度(X 方向 65.4mm/s²、Y 方向 75.2mm/s²)が記録された地震時には、X、Y 両方向共に約 1Hz まで固有振動数が低下している。

減衰定数は、固有 1 次振動数とは逆に、応答加速度が大きくなるに従って両対数軸上で概ね直線的に大きくなる傾向が認められる。また、固有 1 次振動数に比較して推定値のばらつきが大きい。減衰定数の値としては、最大応答加速度が 1.0mm/s² 以下では、X 方向では 2% 前後、Y 方向および捩れで 2~8% である。得られた風応答の大きさの範囲では、Y 方向で 10% を上回る程度まで増加している。さらに、地震時には 18~20% の減衰定数となっている。

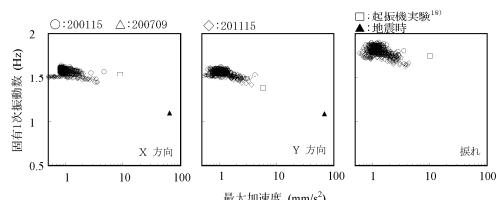


図 27 応答加速度と固有振動数の関係

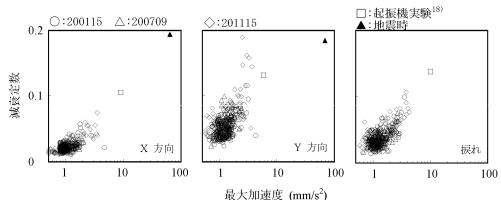


図 28 応答加速度と減衰定数の関係

5. おわりに

1995年1月の阪神・淡路大震災を契機に急速に増え始めた免震建築物がこの3月、初めてといえる大地震に見舞われた。日本免震構造協会は特別調査委員会を設置し、この地震に対する免震・制振建築物の挙動について、調査・解析・評価し、効果の確認と課題の抽出を行うことにし、その中間報告を9月に開催された第14回免震フォーラムにて公表した¹⁹⁾。免震建築物については、①建物は今回の地震に伴う長周期地震動に対しても免震効果を発揮した、②長く続いた本震と数多く発生した余震による多数回の繰り返し変動を受けた免震層に幾つかの変状が発生した、ということが具体例とともに報告された。

「小振幅の振動による亀裂発生はない」と言われてきた鉛ダンパーが地震以前にすでに亀裂を生じていた、という事例も公表された。建物竣工から今日に至る間に受けた繰り返し変動によるものと考えられるが、今後、風の影響を含めて原因について検討することである。因みに、風の影響の問題について、同協会は2007年9月に技術委員会内に耐風設計部会（委員長：大熊武司）を設置し、来年度刊行を目処に「免震建築物の耐風設計指針」の作成を目指している²⁰⁾。高層免震建築物のような風に敏感な免震建築物が増えたことに対処するため、極めて希な暴風に対する安全性ならびに供用期間中の累積損傷について具体的な評価法を提示することを目標としている。

免震建築物に限らず、建築物の対地震・台風安全性の確保には「地震・台風時の実挙動の記録」が欠かせない。関係者のご尽力によって、より多くの観測建築物が誕生することを期待したい。

参考文献

- 1) 常木康弘、大熊武司、吉田和彦、23号館（免震校舎）の構造設計、地震・台風災害の制御・低減に関するシンポジウム－制振・免震構造と実挙動観測－、神奈川大学TEDCOMプロジェクト pp.43-46, 2002.3
- 2) 佐本孝久、神奈川大学23号館の免震構造概要、神奈川大学工学部報告、pp.5-6, 2002.3
- 3) 佐本孝久、山本俊雄、栗山利男：1号館・23号館の地震時実挙動観測、地震・台風災害の制御・低減に関するシンポジウム－制振・免震構造と実挙動観測－、神奈川大学TEDCOMプロジェクト pp.53-62, 2002.3
- 4) 栗山利男、佐本孝久：23号館の地震時実挙動観測に基づくシミュレーション－制振・免震構造と実挙動観測－、神奈川大学TEDCOMプロジェクト pp.63-68, 2002.3
- 5) 栗山利男、山本俊雄、佐本孝久、RC造免震構造建物の地震観測結果に基づく動的挙動の検討、第一回日本地震工学研究発表・討論会概要集、p.136, 2001年11月
- 6) 佐本孝久、山本俊雄、栗山利男、神奈川大学23号館（免震棟）の地震時挙動 その1.地震観測システムおよび観測結果の概要、日本建築学会学術講演梗概集、B-2, p.567, 2002
- 7) 内山正次、安達直人、引田智樹、大熊武司、神奈川大学23号館（免震棟）の地震時挙動 その2.免震層の地震時復元力特性、日本建築学会学術講演梗概集、B-2, p.5679, 2002
- 8) 栗山利男、山本俊雄、佐本孝久、神奈川大学23号館（免震棟）の地震時挙動 その3.地震観測記録による動的解析結、日本建築学会学術講演梗概集、B-2, p.571, 2002
- 9) 島崎和司：平面形状の大きな免震建物の地震時の振れ振動を伴う挙動、日本建築学会技術報告集、No.23, pp.77~82, 2006年6月
- 10) 島崎和司：免震構造物の地震時挙動の実測結果と振動モデル、日本建築学会大会学術講演梗概集、B-2, pp.853-854, 2009年8月
- 11) 構造計画研究所、RESP-T (3次元立体構造物の静的・動的非線形解析プログラム)
- 12) 安井八紀、大熊武司、古賀伸一、下村祥一：中層免震建物の強風時実挙動観測、第17回風工学シンポジウム論文集、2002, 445-450
- 13) 大熊武司、安井八紀、下村祥一、小賀伸一：学術フロンティア推進事業：地震・台風災害の制御・低減に関するシンポジウム、資料、2002.3, 69-80
- 14) 下村祥一、大熊武司、安井八紀、古賀伸一：神奈川大学23号館(免震棟)の風応答性状に関する研究、その3 地震応答観測概要および常時微動測定、日本建築学会大会学術講演梗概集 B, 2002, 207-208
- 15) 古賀伸一、大熊武司、安井八紀、下村祥一：神奈川大学23号館(免震棟)の風応答性状に関する研究、その4 風応答観測結果、日本建築学会大会学術講演梗概集 B, 2002, 209-210
- 16) 軽部英生、大熊武司、安井八紀、下村祥一：神奈川大学23号館(免震棟)の風応答性状に関する研究、その5 弹塑性応答解析による応答予測、日本建築学会大会学術講演梗概集 B, 2002, 211-212
- 17) 大熊武司、安井八紀、下村祥一、小賀伸一：23号館(免震棟)の強風時実挙動観測、学術フロンティア推進事業：地震・台風災害の制御・低減研究成果報告書、報告会資料、2005.7, 45-50
- 18) 安達直人、引田智樹、内山正次、大熊武司：神奈川大学23号館(免震棟)および新1号館の振動実験、その3. 23号館(免震棟)免震層の復元力特性、日本建築学会学術講演梗概集、2001, 811-812
- 19) 日本免震構造協会：東北地方太平洋沖地震に対する応答制御建築物調査（中間報告）、第14回免震フォーラム、2011年9月1日
- 20) 日本免震構造協会：委員会報告「免震建築物の耐風設計指針案」、MENSHIN NO.71 2011.2



植民地朝鮮における朝鮮建築会の住宅改良に関する活動について —機関誌『朝鮮と建築』の住宅関連記事を中心として—

金 容範* 内田 青蔵**

A Study on the Activities of Cho-Sen Architectural Group for Housing Improvement in Colonial Days of Korea

Youngbum KIM* Seizo UCHIDA **

1. はじめに

本研究は、日韓両国の住宅近代化に関する比較研究の一貫として行っているもので、本稿では、韓国住宅の近代化における思想的な背景として植民時代の生活改善運動に注目し、同時代の日本の生活改善や住宅改良運動からの影響を解明することを目的とした。

韓国の生活改善運動は、朝鮮総督府の政策上の運動と、朝鮮人自らの論議や社会団体の活動、建築家たちによる住宅改良に関する活動など、様々な主体によって展開された。このうち、朝鮮人建築家の住宅改良運動に大きな影響を与えたものとして朝鮮建築会(以下、建築会)の活動が挙げられる。

建築会は、植民時代(1910-1945)の韓国における在鮮日本人建築技術者たちを中心にして設立された団体である。この団体は1922年から1945年までの24年間に活発な建築活動を展開しながら、植民地朝鮮に日本近代の建築文化を伝えるという大きな役割を果したと言える。そのため、近代韓国の建築界の動向を把握するには、建築会は重要な団体といえる。また、建築会の機関誌『朝鮮と建築』は韓国で発刊された最初の建築雑誌であり、韓国の近代建築を研究する上で欠かせない基本資料として多くの研究者に知られているものである。

また、建築会は創立時から住宅改良の問題を重視し、

朝鮮駐在日本人住宅の改良とともに朝鮮人住宅の改良に関しても様々な住宅事業を展開したことも知られている⁽¹⁾。

こうした観点から、本稿は、これまで断片的にしか知られていなかった建築会の住宅改良活動に注目し、建築会の設立初期の住宅事業計画において建築会が目指した住宅改良活動の方針を示し、こうした住宅改良に関する動向を機関誌『朝鮮と建築』の記事の分析をもとに明らかにすることを目的とした。

2. 朝鮮建築会の機関誌『朝鮮と建築』の概要

『朝鮮と建築』は1922年6月25日の創刊号から1945年3・4月の合併号まで、合計第265号まで発行された⁽²⁾。

雑誌の内容は、口絵(巻頭画)、本文、会報、雑報という四つの構成が基本となる。口絵では、植民地朝鮮の近代建築物や古建築と欧米や日本などの建築物を含めて合計695件の写真や図面が掲載されている。本文は、都市計画、住宅問題、建築構造、設備や建築材料、建築法規、室内意匠と家具など様々な分野の主題を扱った1,720余件となっている。また、会報は会員動静、建築会の人事、理事会や定期総会の会議録、予算の執行と決算内訳など建築会の運営に関する内容であり、雑報は建築界の様々な事情をまとめたものだが、基本的に日本と朝鮮の建築界を区別した構成をとっている。

*客員研究員、工学研究所

Visiting Researcher, Research Institute for Engineering

**教授、建築学科

Professor, Dept. of Architecture



図1 『朝鮮と建築』の表紙。発刊初期の表紙では文字タイトルだけだったが、1930年から表紙図案懸賞募集が実施され、毎年、表紙は異なったデザインがみられる。

3. 朝鮮建築会の設立と事業計画

建築会の活動が始まった1920年代は、朝鮮各地の都市化の中で、近代社会としての都市整備が積極的に展開されていた。京城(現、ソウル)でも朝鮮総督府と京城府の新庁舎(1927)が竣工し、京城の都市計画('大京城計画')に関する議論が進められていた⁽³⁾。それと共に各種の行政機関の拡充も始まり、教育施設や企業の支社などの近代建築物の需要も増えていた。しかし、当時の朝鮮建築界は過去の「急施主義」、「拙速主義」に浸って⁽⁴⁾、社会的な課題に対して対応できずにいた。こうした中で、時代の要請に対応できるように建築界の発展を図るために建築技術者たちが結束し、組織化する必要性があるという認識⁽⁵⁾が広がり、建築会が誕生したのである。

このような機運を受け、1922年3月8日に京城在住の日本人建築技術者等112人が京城公会堂に集まって創立総会⁽⁶⁾を開き、同年4月30日に発会式を行い、建築会が誕

生することになる。建築会創立時の会員数は363名で、その内訳は、名誉会員19名、特別賛助会員21名、賛助会員36名、正会員と準会員を合わせて287名であった。役員の大半は東京帝大の出身の、朝鮮総督府(以下、総督府)官吏所属の技師であり、また、東京帝大建築学科の現職教授の伊東忠太、塚本靖、葛西萬司、佐野利器、関野貞も名誉会員として参加していた。

会員たちも主に総督府と京城府庁、鉄道局、京城高等工業学校、京畿道庁、朝鮮軍司令部など官の組織に所属する人々がほとんどであった。つまり、建築会は官の組織を中心に、民間の建築技術者たちを抱き込んだ団体であり、朝鮮建築界において大きな権威と影響力をもっていたことが窺える。

3.1 設立趣旨

建築会の設立趣旨は、発会式の前後に開かれた記念講演の主題から推測することが出来る。

建築会は発会式を記念して3回の講演会を開いた。1924年3月28日に東京帝大の黒坂勝美教授(文学博士)は、京城公会堂で「文化と建築」というタイトルで最初の講演を行った。発会式の当日には、中村誠(理事長)の講演('都市計画と生活改善')を始め、朝鮮総督府監察官であった時實秋穂の講演('現代都市の使命と其改善')、朝鮮総督府医長であり京城医学専門学校長であった志賀潔の講演('日光と建築')が第2回目の講演会として行なわれた⁽⁷⁾。そして、同年5月18日には、京城都市計画研究会と共同で、大阪工業会々長に就任した片岡安の講演('生活改善と住宅')を3回目の講演会として行った。

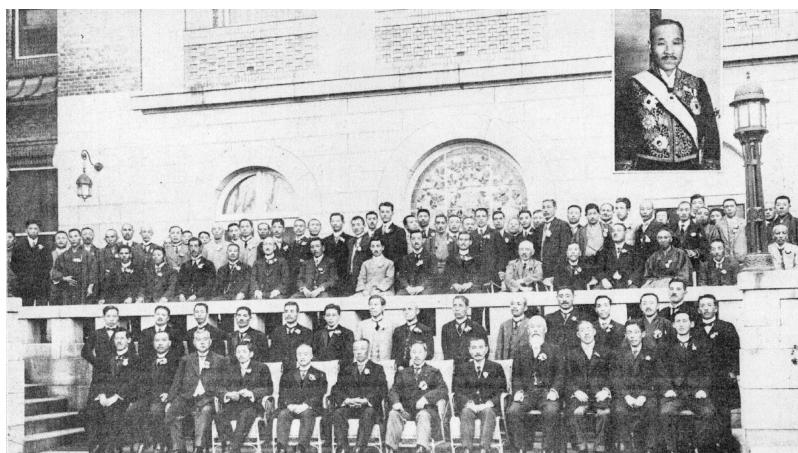


図2 朝鮮建築会の発会式記念写真(1922年4月30日)。前列右の4番目から有賀朝鮮殖産銀行頭取、志賀朝鮮総督府監察官、工藤京畿道知事、関野工学博士、吉松京城府尹、佐藤京城都市計画研究会理事、荒井朝鮮土木建築協会会長。そして右上の写真は朝鮮総督府政務監水野鍊太郎の肖像。

こうした記念講演は、都市や生活をテーマとしたものであり、建築会が都市計画と生活改善や住宅改良の問題を重視していることを明確に示すものであった。また、こうした建築会の活動方針は、機関誌『朝鮮と建築』の紙面を通じて明確に打ち出された。

発会式以後2ヶ月の準備期間を経て発刊された創刊号の巻頭に「朝鮮建築会趣意」が載せられている。この趣意文を抜粋すると、以下の通りである。

…全鮮建築界の堅実なる發展を期せんが為め科学的に組織ある文明的都市の建築を設立ことの急務なるを覺知し内鮮の文化的生活改善と共に気候風土に適応せる住宅建築の普及を設立以て… 全鮮在住の建築技術家は結束して起り吾人は… 刻下の急務たる都市計画, 建築法規, 家屋政策, 住宅改善, 建築材料の規格統一, 耐火建築防寒建築の普及等文化的社会的施設の機軸をなすべき問題に対しては… 科学的なる研究の結果を社会に発表し… 社会の各方面に其の実行を促し社会文化の発達と市民の福利増進の為めに専ら之が啓蒙の位置に立たんことを期す… (下線は筆者)

これより建築会は、①「文化的な生活改善の普及」と②「朝鮮の気候と風土に適する住宅の普及」を設立目的とし、その普及のために、都市計画をはじめ、建築政策や法規、住宅改善、建築材料の規格化など、科学的な調査研究を行うことを建築会の役割として掲げていたことが分かる。

この趣意文とともに掲載された中村誠の論説「朝鮮建築界の二大急務」には、都市計画と住宅改良が建築会の主要課題として紹介されていた。また、朝鮮銀行の營繕課長であった小野二郎(理事)は「朝鮮に於ける住宅建築の改造」と題した論説を通じて住宅改良研究の重要性を力説していた。

このように、建築会は設立当初から都市計画と住宅改良の問題を最も重要なテーマ事業として掲げていたのである。

3.2 会則からみた活動方針

建築会の会則は、創立総会からその草案が用意されていたが、前述の設立趣旨の内容は会則の事業計画に関する規定にもつながっていた。

全24条の会則の中で、先ず「本会は朝鮮に於ける建築界の堅実なる進展を期する」(第1条)ことを目的とし、本会の名称を「朝鮮建築会と称す」(第2条)と記述されている。そして、事務所や支部設置(第3条)、会員の資格(第4条)⁽⁸⁾に関する規定を示し、第1条の目的に従って建築会の活動方針は次のように明示されていた(第5条)。

- 一、建築に関する諸般事項の調査研究
 - 二、建築に関する重要事項の決議並に其実行促進
 - 三、会誌其他の刊行
 - 四、建築に関する講演会、講習会及展覧会の開催
 - 五、朝鮮に於ける建築に関する諸般の紹介及応答
 - 六、其他本会の目的を達成するに必要な事項
- (下線は筆者)

このように、建築会の会則には建築諸般の必要な調査研究を行い、その結果を機関誌などで発表すること、また、講演会、講習会、展覧会の開催などが記されており、啓蒙的な役割を重視していたことが窺える。加えて、政策的な決議事項に関する実行を促しており、朝鮮建築界における学術と実務を兼備した建築専門団体を目指していたと言えるであろう。

3.3 研究委員会の設置と活動計画

建築会は、このような会則に従って建築諸般の調査研究を実践するために研究委員会を設置している。建築会の事業に関する会則第5条と委員会の設置を明記した第11条(「本会の事業を遂行する為め必要に応じ委員会を設け委員若干名を置く委員は会員中より会長之を指名す」)に基づき、1922年7月3日の役員会で都市問題、住宅問題、材料問題の3部の研究委員会を設置することを決定した⁽⁹⁾。そして、同年11月10日の理事会では各研究会の具体的な活動を求め、11月14日に研究委員総会を開催した⁽¹⁰⁾。

委員総会では中村の‘本會今後の進行方針’の演説を始め、様々な委員の講演⁽¹¹⁾が続いた。そして、11月20日の理事会では、研究会の名称を便宜上‘1部会⁽¹²⁾’(都市問題), ‘2部会’(住宅問題), ‘3部会⁽¹³⁾’(建築材料および施工法の問題)に変更することと、委員会の幹事を選出することを決定した。その後、各委員会はそれぞれ開会式を行い、本格的な活動を開始している。

建築会が設置した研究委員会の中の2部会、すなわち、住宅問題研究委員会は11月25日の開会式で幹事を選出し、活動計画に関する議論を始めた。開会に出席した委員は中村をはじめ、富野繁一、今岡泰之助、和田佐一、勝又甲太郎、小野二郎、野中延喜、黒田安一郎、牛尾美佐雄、加納常務の10名であり、すでに11月10日の理事会では、笠慶一、富士貞吉、原義胤らの3名を嘱託の研究委員として追加することが決まっていた⁽¹⁴⁾。

開会式で無記名投票により小野と笠が幹事に選出された。研究活動としては、①朝鮮住宅に関する研究資料を収集すること、②文化村建設に関する問題を所管するこ

と、③日本人の住宅問題として衛生を優先する住宅改善を進めること、④その具体案を小野と笛幹事を中心に提案すること、四つの事項を決議した。

住宅問題研究委員会は、1925年の文化住宅敷地調査会を組織することから活動を開始した。この調査会は、当時の文化村のブーム⁽¹⁵⁾に対応して、文化住宅建設のための敷地購入の方法や施設、具体的な提案などを準備するために設置された。委員会は京城府内の対象候補地を選定して現場踏査を実施し、敷地の払い下げを出願するなど、具体的な活動を続けた⁽¹⁶⁾。

そのほか、1927年に小冊子編纂委員会が設置され、住宅改良の普及啓蒙の為のパンフレットの発行が計画された。パンフレットの存在は確認されてはいないものの、編纂委員会の会議録⁽¹⁷⁾によると、建坪20坪、25坪、35坪の3種の住宅に関する平面と立面図、説明文を作成しており、中流階層に適した改良住宅のモデルの提案として発行されたものと考えられる。

4. 『朝鮮と建築』からみる住宅改良に関する動向

建築会のおこなった様々な住宅事業、調査研究、そして報告は、機関誌『朝鮮と建築』に詳細に報告されている。口絵、会報や雑報を除いた1,720余件の本文記事の中で、論説や研究、講演、報告に関する記事は625件あるが、その中で住宅改良関係の記事は298件で、全体の約48%を占めている。

そこで、『朝鮮と建築』に掲載された住宅関係の記事の動向を見るために記事内容から日本人住宅の改良に関する記事と、朝鮮人住宅の改良に関する記事に大別し、その増減を整理したものが、図3のグラフである。

このグラフから記事内容の推移をみると、まず、建築会の創立直後の1920年代と、1940年前後の建築会の末

期の活動期に住宅改良の論議が活発に行なわれていたことが分かる。また、日本人住宅の改良に関する記事の推移は全体記事の増減と相関性がみられ、建築会の住宅改良の活動とそれに伴う論議は基本的に日本人住宅の改良問題に対応していたことが推測される。これに反して、朝鮮人住宅の改良に関する記事の推移は、全般的な推移と少し異なる増減が見られる。いずれにせよ、この機関誌『朝鮮と建築』上の住宅改良関連記事からみた時代的な推移は、建築会の活動内容に反映したものと考えられる。そのため、このグラフの記事の増減から建築会の住宅改良に関する活動状況は、以下の三つの時期に分けることができると考えられるのである。

- ①第1期：日本人住宅の改良に関する記事が多くみられる建築会の設立から1929年の博覧会の改良実物住宅の出品までの時期
- ②第2期：朝鮮人住宅の改良に関する記事が多くみられ、実物住宅の出品以後1937年の創立15周年の朝鮮人住宅の設計競技までの時期
- ③第3期：戦争の影響を受けることによる時局対策調査委員会の設置から建築会の解体までの時期

以下、各時期の活動内容を見していく。

4.1 第1期(1922-1929)

建築会の設立直後から住宅問題研究委員会が設置され、日本人住宅の改良問題を中心に論議が展開された時期といえる。

1922年3月23日の役員会で創立記念の住宅設計競技の実施が決定し⁽¹⁸⁾、建築会の最初の事業として「改善住

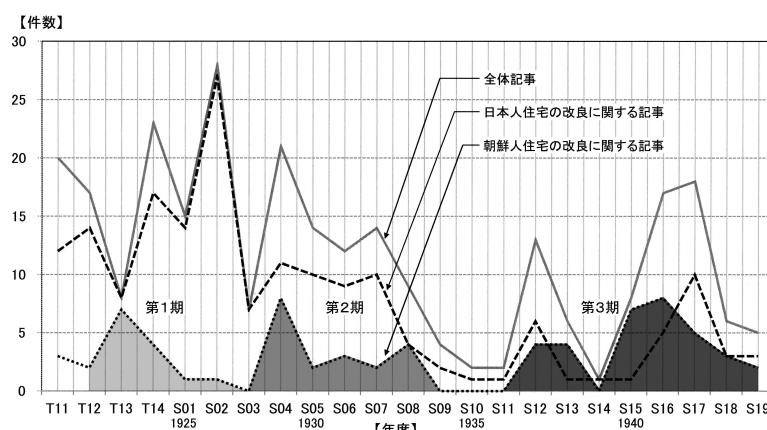


図3 『朝鮮と建築』の本文の中の住宅関連記事の掲載推移
(‘論説’と‘研究’項目のみ)

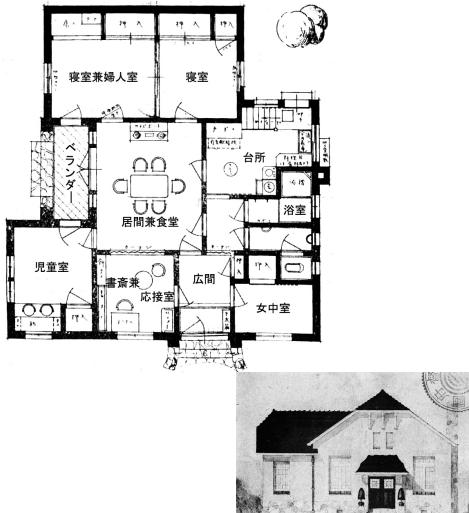


図4 改善住宅建築图案懸賞募集設計競技(1922)の1等案

「宅建築图案懸賞募集」が実施された。この設計競技は日本人住宅に適した防寒構造を明確にすることを目的としていた。その結果、防寒構造として煉瓦造の改良住宅案が当選した。このことから朝鮮の気候と風土に適切な構造として煉瓦造の可能性が模索されていたことが分かる。また、三国利道の1等案は、居間中心形の間取りによる改良住宅案(図4)である。この間取りから同時代の日本で行なわれた文化住宅展覧会の傾向がそのまま建築会の設計競技に反映された様子が窺える⁽¹⁹⁾。

この設計競技から1929年の博覧会までの『朝鮮と建築』に掲載された住宅改良関連の記事の論議では、高津寄章の「日本家屋の研究」⁽²⁰⁾や富士貞吉の「日本家屋の衛生的研究」⁽²¹⁾などの日本人住宅の衛生研究、小野の「朝鮮に於ける住宅建築の改造」⁽²²⁾、野村孝文の「建築と暖房」⁽²³⁾、あるいは日本人住宅の暖房法⁽²⁴⁾などがあり、防寒住宅の研究や暖房法など研究が活発に展開された様子が読み取

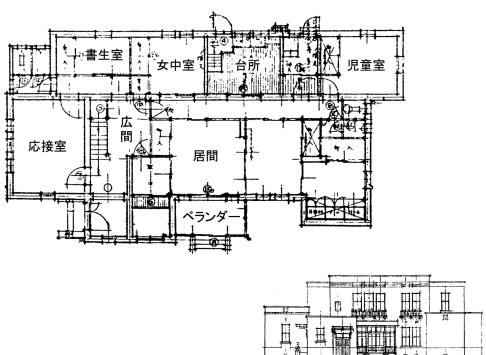


図5 小野二郎設計の朝鮮銀行社宅の一例。鉄筋コンクリート造で温水暖房と温突(オンドル)を備える。防寒住宅のモデルとして『朝鮮と建築』に紹介されており、建築会の住宅見学団が訪れた評判の良い住宅であった。

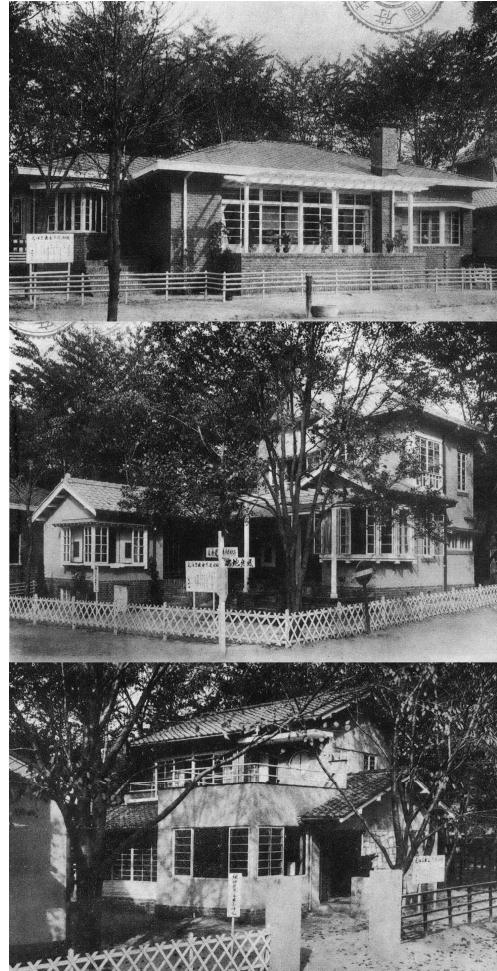


図6 朝鮮大博覧会(1929)の出品住宅

れる。特に、防寒住宅研究の中心人物であった小野二郎や閔野貞(東京帝大教授)は、朝鮮住宅の特徴を日本人の住宅に採用すべきことを主張していた⁽²⁵⁾(図5)。また、1927年5号の「官舎及社宅特輯号」では、当時の朝鮮に建てられた官舎や社宅の様々な事例を防寒構造の改良住宅のモデルとして紹介していた。

このように、日本人住宅の改良に関する議論は、防寒問題を中心に展開され、その成果は1929年の博覧会の実物住宅の出品で実を結ぶことになる(図6)。

この実物住宅は、日本人の改良住宅のモデルとして、建築会が出品したものであった。出品住宅の平面構成は和洋折衷の中廊下型の住宅に基づいていたが、暖房設備として温水暖房と温突が採用されており、建築材料も朝鮮産のものが活用されていた。

一方、この第1期における朝鮮人住宅に関する論議は、

朝鮮人住宅そのものの改良ではなく、日本人住宅の防寒問題の対策のサンプルとして紹介されたものが多くみられる。こうした朝鮮住宅の紹介の中心人物として今和次郎と南満州高等工業学校の教授であった村田次郎が挙げられる。今は、1922年9月から1924年11月まで3回の朝鮮紀行を通じて朝鮮の中部と北部の民家調査を実施し、建築会はその調査内容をもとに2回の講演会を開催した⁽²⁶⁾。また、村田は、済州島と大邱を中心に朝鮮南部の民家の調査を実施し、その内容を『朝鮮と建築』に連載した⁽²⁷⁾。

こうした朝鮮人住宅に関する調査は、主に防寒構造として適切な朝鮮家屋の構造や材料、温突に関する研究⁽²⁸⁾であり、その成果を日本人住宅に適用することを目的にしていたと考えられる。

4.2 第2期(1930-1938)

第2期は、日本人住宅の改良に関する論議にかわって、朝鮮人住宅の改良の論議が行なわれた時期であった。朝鮮人住宅の改良に関する論議が展開される契機となったのは、建築会の朝鮮大博覧会への住宅出品の後に起った設立以来の朝鮮人住宅の改良研究の軽視に対する建築会の反省であった⁽²⁹⁾。

こうした反省を受け、具体的な朝鮮人住宅の改良に関する議論は、1931年9月の「朝鮮式住宅建築改善座談会」から始まった。この座談会では、中村副会長と笹副会長(当時の役職)、京城高等工業学校の教授であった山形静智を中心として行なわれたもので、朝鮮人住宅の問題として、朝鮮人の生活様式を尊重しながら生活上の無駄をはぶくこと、特に男女の区別によって生じる二重生活を廃止することが主に挙げられた。また、生活能率の向上のために温突のユカ座の生活も廃止することが論議された⁽³⁰⁾。

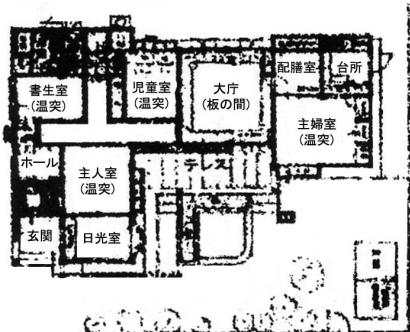


図7 朝鮮人建築家金舜河(キム・スンハ)が設計した朝鮮風住宅設計競技(1937)の2等当選案。集約された間取りで、大厅を中心にして主人室と主婦室が分離されている。

一方、1937年の創立15周年の記念事業として実施された「内地風」と「朝鮮風」の住宅設計競技で、朝鮮人建築家吳英燮(オ・ヨウンソブ)と金舜河(キム・スンハ)の設計による朝鮮人の改良住宅案がそれぞれ1等案と2等案となつた(図7)。また、建築会が開いた1938年5月の座談会⁽³¹⁾では、当時の朝鮮人住宅の改良研究の先駆者であった朝鮮人建築家朴吉龍(パク・ギルリョン)を中心として、朝鮮人の生活様式とその改良について論議された。

4.3 第3期(1939-1945)

建築会の活動期にあたる末期の第3期は、建築会の活動が太平洋戦争の影響を受けた時期であった。建築会は、創立15周年以後に会員数の大幅な増加とともに、時局にあわせて、時局対策調査委員会を設置し、その傘下に三つの部会を設けた(表1)。

表1 時局対策調査委員会の研究委員会(1938)

委員会名	活動事項
第1部	施工向上、標準仕様書の作成に関する調査
第2部	構造計算規則の作成に関する調査
第3部	住宅問題に関する調査

この時期の『朝鮮と建築』では日本人住宅の改良に関する論議と朝鮮人住宅の改良に関する論議がそれぞれ活発に展開されたが、その中でも、とりわけ労働者向きの小住宅や国民住宅の普及という目標に改良の論議が収斂されていた。

新設された第3部委員会は、朝鮮人住宅改良の現実的な解決の為に基礎調査として朝鮮人住宅の現状調査を実施した。委員会は調査の結果として、「現在京城の付近に於ける一般住宅を基準としてそれの衛生的な改善と各室の連絡及利用に重点を置いて、平面計画を改良する」(下線は筆者)ことを報告した⁽³²⁾。また、委員会はこの調査をもとに1941年の「朝鮮住宅改良試案」を発表したが、これは第2期からその必要性が主張されていた朝鮮人住宅の標準案といえるものであった(図8)。第3部委員会は、これまでの朝鮮人住宅の改良の論議に基づいて朝鮮人住宅の改良事項として、①各室の連絡を便利にすること、②大厅(注:板の間)は四季を通じて利用し得るようにすること、③大門部屋の廃止、④水道は厨房内に備えること、⑤迷信の打破、⑥敷地の緑化、⑦土地区画整理施行の場合における共同庭園の設置を考慮すること、⑧ブロック割及道路幅を実情に適するように計画することを挙げ⁽³³⁾、標準案として7種の朝鮮人の改良住宅案を作成した。

こうした第3期の建築会の住宅改良の活動は、第3部委員会の解散とともに小住宅調査委員会と建築新体制調査委員会(1941)、戦時建築規格作成委員会(1942)の活動に引き繋がれ、防空小住宅や戦時住宅規格の制定などの応急住宅の論議に切り替えられることになる。

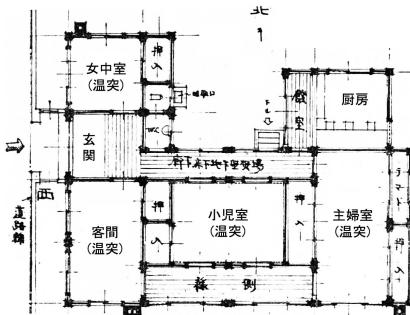


図8 朴吉龍が設計した朝鮮住宅改良試案の4案(1941)。中央の大広間(板)の間を代わりに温突を設け、玄関と廊下を導入して各室の連絡を便利にするのが改良の要点であった。

なお、建築会は、温突実験委員会と温突研究委員会(1943)を設置し、温突改良の研究を推進させている。委員会は自ら改良温突の特許を出願し、労働者向きの小住宅の防寒設備として温突を定着させ、温突と畳を併用した‘内鮮一体’の改良小住宅の提案を目指したのである⁽³⁴⁾。

5. 結言

本稿では、朝鮮建築会の設立以来、展開してきた住宅事業とその活動および内容について、主に機関誌『朝鮮と建築』に掲載された記事をもとに明らかにした。その結果、建築会は、設立当初から住宅問題を重視し、住宅改良に関する活動を積極的に行なっていたことが明らかとなった。また、この住宅事業の展開過程は、『朝鮮と建築』の記事を中心とした内容の推移から以下の3期に区分することができることを示した。すなわち、

第1期(1922-1929)は、建築会が設立の記念事業として住宅設計競技を実施し、直ちに住宅事業を展開し始めた時期である。調査研究に関する建築会の役割を表明した会則を従って住宅問題研究委員会が設けられ、委員会は衛生を重視する日本人住宅の改良研究を進めることと、朝鮮人住宅の改良のための資料の収集や基礎調査を実施することを推進した。第1期の論議の内容によれば、1929年の博覧会に改良住宅のサンプルとして建築会が住宅を出品するまでに、朝鮮の気候と風土に適応できる日本人住宅の普及がもっとも急がれる課題とされたことが

分かる。そこでは、防寒住宅としての日本人住宅の構造の改善と暖房法、温突とペチカ、電熱器など様々な暖房設備に関する研究が進められていた。一方、第1期における朝鮮人住宅の改良問題は、機関誌を通じて論議されていたが、建築会の具体的な活動としては着手されることはなかった。この時期の朝鮮人住宅の研究は、主に日本人住宅の防寒問題の解決のために朝鮮人住宅の気候的な利点を研究する民家調査を中心に展開されていたといえる。

第2期(1930-1938)は、朝鮮人住宅の改良に関する建築会の活動が展開した時期である。1931年の朝鮮式住宅建築改善座談会から本格化した論議は、1937年の朝鮮風住宅設計競技、1938年の「朝鮮人生活様式に関する座談会」に至るまで、朝鮮人住宅の改良方針を立てることに力が注がれた。その改良方針は、朝鮮人住宅における各室の連絡性を高め、温突の起居様式の衛生と経済性を改善することに焦点を合わせた。ちなみに、こうした朝鮮人住宅に対する建築会の活動は、日本人建築家だけではなく、朝鮮人建築家の参加によって具体的に展開できたと考えられる。

第3期(1939-1945)は、第2期の朝鮮人住宅の改良の論議に続いて、建築会が3部委員会を新設し、朝鮮人住宅の改良に関する研究をもっと展開していた時期である。3部委員会は、朝鮮中流住宅調査を実施し、その調査結果に基づいて作成した「朝鮮住宅改良試案」を1941年に発表した。この朝鮮人向けの改良住宅案は、植民時代以後に韓国人建築家が住宅改良の研究を続けて行う際の基礎となったと考えられる。一方、戦争の影響の下、建築会は時局対策委員会を設置し、住宅問題に関しても、労働者向きの小住宅の普及とその改良案の提案に関する論議が主に展開されていった。

以上のように、時期別の建築会の住宅改良に関する活動の様子を通じて、建築会が存続した全期間にかけて継続的に住宅事業が推進されたことが分かる。今後は、こうした各時期の住宅改良の活動に関する詳細な考察とともに、その中で展開された日本人建築家と朝鮮人建築家によるそれぞれの活動や論議の内容を比較しながら、両者間の影響関係を明らかにすることを課題としたい。

注

(1) 朝鮮建築界の住宅改良の活動に関する既往研究は、主に『朝鮮と建築』の中で載せられた住宅事例に関する図面や写真、それぞれの研究テーマに関連する記事の一部を資料として扱って、断片的な活動に注目しており、時間の軸上で活動の全体的な流れをまとめた成果に止まっている。

- (2)『朝鮮と建築』は、創刊号から1931年12月(10輯12号)までは創刊時の編集方針が維持されたが、1932年から編集部の交代による編集の変化がみられる。縦書きが横書きに変わり、本文の構成も記事の主題や内容により、講演、報告、研究、住宅談、感想、隨筆などそれぞれの項目の分類が廃止された。また、すべての記事を「本文」の項目とし、その以外の図絵と会報や雑報はそのまま維持された。しかし、このような編集の変化は長く続かず、1937年6月(16輯6号)から雑報欄が廃止された。終戦直前の1944年(23輯)には図絵も廃止され、本文の記事も徐々に減り、2ヶ月分の合併号として発刊された。また、雑報欄は、1926年(5輯)の8月号と9月号にのみ、満州建築界に関する記事が加わっていたが、基本的に日韓両国情報を収録するという構成が廃刊まで持続された。
- (3)京城の都市計画に関する議論は、京城府庁の建設から始まったが、この議論は「京城都市計画研究会」を中心に行われた。有賀光豊(殖産銀行長)、賀田直治(京城商工会議所会長)、高山孝行(京城繁栄会々長)などを中心にした本研究会は、水野鍊太郎(総督府政務総監)と朝鮮人貴族であった朴泳孝と宋秉畯を招聘し、京城府の新庁舎建設と都市計画法の制定の促進を総督府に求めた。研究会は1922年5月に京城府庁の新築促進に関する決議案を総督府に提出し、1926年には京城府の都心再開発を骨子とする京城都市計画案を発表した。この計画で提案された区画整理手法は、以後1936年に京城市街地計画令の都心街地整備手法の基礎になった。
- (4)本会創立の趣旨及経過、『朝鮮と建築』、創刊号(1922-6), p. 2
- (5)「朝鮮に於ては勿論内地に於ても、至る所此の建築上の事に就て解決を要する各種の問題が多いのである。それ故に今後は住宅改善、生活問題、都市計画に於て其中主なる事項は建築家に待つ所處が多いのである。内地に於ては現に之に關する学者及技術家の集る會が幾つもありまして、其一二に就ては私も關係して居ります。然るに此朝鮮には是迄此の種の協會の存在しなかつたのは寧ろ遺憾として居つたのであります。」、本会発会式及祝賀晚餐会－水野政務総監の挨拶、前掲書、pp. 10-11
- (6)当時の朝鮮総督府の技師であった中嶋猛矣が創立総会で開会の挨拶を宣言し、中村誠(朝鮮殖産銀行營繕課長)が議長に選出された。中村は会則を議案として可決させ、会員の中から選考委員22名を指名して役員の選挙を実施した。選挙の結果、会長は空席、副会長には岩井長三郎(総督府營繕課長)と中村與資平(朝鮮銀行嘱託技師)、理事長には中村とそのほか理事10名を選出した。前掲書、pp. 3-4
- (7)「文化と建築(一)」、黒板勝美、前掲書、pp. 13-19、「朝鮮建築會開會式記念講演會」、前掲書、pp. 60-80、「文化と建築(承前)」、黒板勝美、『朝鮮と建築』、1輯2号(1922-7), pp. 2-10、「都市計畫と建築改善(承前)」、中村誠、『朝鮮と建築』、1輯2号講演会篇(1922-7), pp. 1-8、「現在都市の使命と其改善(下)」、時實秋穂、前掲書、pp. 9-13、「日光と建築(下)」、志賀潔、前掲書、pp. 14-17
- (8)「本会は正会員、準会員、名誉会員、特別賛助会員及賛助会員を以て組織す。正会員は建築の技術及は業務に從事する者にして学識経験あるもの及特に役員会の承認したるもの。準会員は建築の技術及は業務に從事するもの。名誉会員は地位學識ある名望家及は斯界の權威者。特別賛助会員及賛助会員は本会の趣旨を贊助するもの」、会報、前掲書、p. 55
- (9)会報、『朝鮮と建築』、1輯2号(1922-7), p. 41
- (10)会報、『朝鮮と建築』、2輯1号(1923-1), pp. 66-68
- (11)「建築家としての吾人」(笛慶一)、「住宅問題の帰結」(木村靜雄)、「吾人技術家の使命」(河野誠)、「市が觀たる大阪住宅傳」(富野繁一)、「都市計画と衛生」(越川島吉)
- (12)1部会は1922年11月24日の開会式で中村理事長と河野誠を幹事に選出し、都市問題の参考資料の調査、京畿道庁の建築物取締法令の制定、京城府庁舎の建設に関する建議書の提出など、そしてこれらを京城都市計画研究会との協力を通じて行うことを決議した。このような1部会の活動計画は、1925年の建築法規具体案基礎委員会、1926年の建築法規案審議会などの調査研究活動に発展し、1927年11月25日には総督府に市街地建築物令とその施行規則案を提案するに至った。
- (13)3部会は1922年11月27日の開会式で坂本登理事と岩崎徳松理事を幹事に選出した。材料規格を調査するために朝鮮總督府山林課の技師であった齊藤音作を始めとして建築材料の販売業者の何人を委員に委嘱することを決めた。建築会の事務所内には、材料の陳列場を設置し、その利用方法の普及奨励を促進することと共に将来の役所の建築工事の設計仕様書に適用可能な採用法を研究することを決めた。また、請負業者の資格を調査してその等級を定め、請負法の改善を研究するようにした。3部会は委員会の研究の中で材料規格統一、請負法の改善、建築士の資格制定の件について、毎月3回の会議を開くこととして、緊急事項として扱うようにした。これら3部会の活動計画は、1923年のセメント瓦改良法の懸賞募集、京城商工会議所の規格統一案の検討などの具体的な活動につながった。
- (14)会報、前掲書、p. 66
- (15)京城の文化住宅が建設され始めたのは三坂通(現、龍山区厚岩洞一帯)からである。今のソウル駅から南山に上がるふもとに日本人の官舎が一つ二つ入り始め、1921年の朝鮮銀行社宅が建てられて本格的に文化住宅地が形成されて行った。過去の南山一帯は旧朝鮮総督府の庁舎を中心に日本人の居住地が形成され始め、北側には本町(今の明洞一帯)で、南側には三坂通一帯にその勢力を広げていった。特に、この三坂通一帯は朝鮮神宮(現、南山公園)の下で日当たりのよい丘陵地として住宅地が立地する最適な場所であった。

- (16) 文化住宅敷地調査委員会のその後の活動は、機関誌『朝鮮と建築』にみられない、おそらく文化村の建設計画自体が中止されてしまったと推測され、候補地の所在地に関しても確認することができない。
- (17) 会報，“朝鮮と建築”，6輯1号(1927-1), p. 32, 会報，“朝鮮と建築”，6輯7号(1927-7), p. 33, 会報，“朝鮮と建築”，6輯8号(1927-8), p. 30
- (18) 本会創立の趣旨及経過, 前掲書, p. 4
- (19) 1922年の「東京平和記念博覧会」では、文化住宅展が会場の一郭で開かれた。14棟の出品住宅は、坪20坪、坪単価200円以内、居間・食堂・客間はイス座、実用的な設備といった条件の下で集められた。出品住宅の多くは外観が洋風で、大半は家族の日常生活の場であるイス座の居間を中心に据えた家族本位の住宅で、「居間中心型住宅」と称された。内田青蔵・大川三雄・藤谷陽悦，“図説・近代日本住宅史”，鹿島出版会，(2008), pp. 5-59
- (20) “朝鮮と建築”，1輯4号(1922-9), pp. 18-25, 1輯5号(1922-11), pp. 12-18
- (21) “朝鮮と建築”，2輯1号(1923-1), pp. 32-39, 2輯2号(1923-2), pp. 17-23
- (22) “朝鮮と建築”，創刊号(1922-6), pp. 27-31
- (23) “朝鮮と建築”，1輯2号(1922-7), pp. 33-34
- (24) 「改善住宅と温水暖房」、縫月居士, 2輯1号(1923-1), pp. 47-48, 「住宅の壁體の構造と冬期保溫の關係」, XY 生, 3輯11号(1924-11), pp. 15-28, 「電熱器の家庭化に就て」, 前田昌徳, 4輯4号(1925-4), pp. 16-20, 「日本家屋の木炭燃焼による暖房法」, 日下哲夫, 5輯2号(1926-2), pp. 17-19, 「暖房装置の常識」, S 生, 前掲書, pp. 19-24, 「建物の保溫に就て」, 德永眞一, 5輯11号(1926-11), pp. 2-16, 「熱氣爐に就て」, 上田清, 前掲書, pp. 16-18, 「各家庭に暖房装置を普及したい」, 芳賀豊吉, 前掲書, pp. 18-20, 「宮崎式ペーチカ温水暖房に就いて」, 宮崎吉太郎, 前掲書, pp. 28-29, 「温水暖房もチト閉口」, 井上重禮, 6輯5号(1927-5), pp. 75-76, 「防寒設備が足りない」, 原田勘一, 前掲書, pp. 76-77, 「朝鮮に最も適する建築材料」, 正道善吉, 6輯11号(1927-11), pp. 11-13, 「家庭用暖房器具の選択に就いて」, 手塚吉次郎, 前掲書, pp. 13-15
- (25) 「内鮮融和に對する建築家の使命」, 小野二郎, 3輯1号(1924-1), pp. 9-10, 「氣候及地質より見たる日鮮の建築」, 関野貞, 4輯1号(1925-1), pp. 7-18
- (26) 「朝鮮民家に關する研究一班」, 1輯5号(1922-11), pp. 2-11, 「民家と生活」, 3輯10号(1924-10), pp. 1-12
- (27) 「慶州の家」, 3輯9号(1924-9), pp. 11-18, 「大邱の家」, 3輯10号(1924-10), pp. 13-16, 「民家一億説」, 3輯11号(1924-11), pp. 29-33, 「南鮮民家の家具に就いて」, 4輯3号(1925-3), pp. 15-22, 「南鮮民家の家具私見(二)」, 4輯5号(1925-5), pp. 12-19, 「南鮮民家の家具私見(三)」, 4輯7号(1925-7), pp. 32-39
- (28) 「温突の改造に就いて」, 藤本源市, 2輯4号(1923-4), pp. 40-41, 「温突の改造の眼目と實行方法」, 掛場定吉, 前掲書, pp. 41-42, 「朝鮮民家(オンドル室)衛生学的研究(上)」, 富士貞吉, 3輯2号(1924-2), pp. 12-19, 「朝鮮民家(オンドル室)衛生学的研究(下)」, 富士貞吉, 3輯3号(1924-3), pp. 8-16, 「温突の改良に就いて」, 掛場定吉, 5輯11号(1926-11), pp. 22-28, 「温突の煙突しらべ」, 原田寅, 8輯1号(1929-1), pp. 6-9, 「朝鮮温突の始まりに就いて」, 村田次郎, 8輯2号(1929-2), pp. 19-20, 「朝鮮の家屋建築に關する話」, 今村鞆, 8輯6号(1929-6), pp. 6-11
- (29) 「建築會の出品住宅を觀て」, 平山政十, 8輯10号(1929-10), pp. 29-30, 「朝鮮建築界に對する吾人の責務—朝鮮式住宅の改善」, 中村誠, 11輯1号(1932-1), pp. 6-8
- (30) 「朝鮮式住宅建築改善座談會(速記)」, “朝鮮と建築”, 10輯10号(1931-10), pp. 7-24
- (31) 「朴氏を中心として朝鮮の生活様式に關する座談會」, “朝鮮と建築”, 17輯7号(1938-7), pp. 26-46
- (32) 「中流住宅調査第一次報告」, 第三部委員會, “朝鮮と建築”, 19輯1号(1940-1), pp. 3-38
- (33) 「朝鮮住宅改良試案」, 第三部委員會, “朝鮮と建築”, 19輯1号(1940-1), pp. 19-22
- (34) 「温突の衛生學的研究」, 豊田有康, “朝鮮と建築”, 23輯5-6号(1944-6), pp. 2-23

出典

- 図1—“朝鮮と建築”, 9輯10号(1931-10)・11輯12号(1932-12)・16輯11号(1937-11), 朝鮮建築会, 表紙
 図2—“朝鮮と建築”, 創刊号(1922-6), 口絵
 図4—“朝鮮と建築”, 1輯5号(1922-11), 口絵
 図5—“朝鮮と建築”, 6輯5号(1927-5), pp. 27-28
 図6—“朝鮮博覧会記念写真帖”, 朝鮮総督府, 1930
 図7—“朝鮮と建築”, 16輯11号(1937-11), 口絵
 図8—“朝鮮と建築”, 20輯4号(1941-4), p. 22

参考文献

- (1) “朝鮮と建築”, 朝鮮建築会, (1922-1945)
- (2) “京城市民名鑑”, 京城中央經濟会, (1922)
- (3) 鄭昶源, “朝鮮建築会の活動について(その1)”, 日本建築学会関東支部研究報告集, 71号(2001), pp. 597-600
- (4) 鄭昶源, “朝鮮建築会の活動について(その2)”, 日本建築学会関東支部研究報告集, 72号(2002), pp. 565-568
- (5) “朝鮮技術家名鑑”, 朝鮮工業協会, (1939)



腐食鉄筋コンクリート部材の性能評価

盧 朝輝* 趙 衍剛**

Performance Assessment of Corroded Reinforced Concrete Members

Zhao-Hui LU* Yan-Gang ZHAO**

1. INTRODUCTION

Reinforcement corrosion in concrete is the predominant causal factor for the premature deterioration of reinforced concrete (RC) structures, leading to structural failure (Broomfield 1997). According to the well-known Tuutti's model (1982) as shown in Fig. 1, the corrosion process in concrete structures includes two phases: initiation and propagation. Recent research has provided a wealth of evidence that for RC structures with load-induced cracks and subjected to constant chloride invasion, as represented by a marine environment, the initiation of reinforcement corrosion at the root of cracks occurs within a short period of time in service and the initiation time period is negligibly short if service life is considered (e.g., Francois and Castel 2001; Li 2003a).

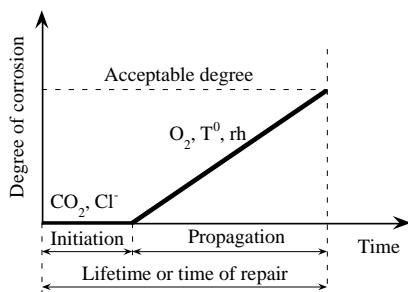


Fig. 1-Tuutti's service life model.

On the contrary, little research has been done on the corrosion propagation in concrete as measured by the corrosion rate or

corrosion current density. In general, because the corrosion rate or corrosion current density varies in different structures, it should be obtained from site-specific measurement of the structure to be assessed over as long a period of time as practical. Obviously, the above method for determining the corrosion rate or corrosion current density is unrealistic. Therefore, Ting (1989) and Andrade et al. (1993) adopted a constant. Mori and Ellingwood (1994) and Frangopol et al. (1997) proposed a time-invariant random variable to represent it. Recently, Li (2003b; 2004) proposed a time-variant random variable for modeling the corrosion current density. However, a careful examination of the mean value of the time-variant random variable revealed that it is seriously underestimated. This is the reason that the corrosion current method grossly underestimates the strength deterioration of RC flexural members compared with those obtained from destructive load testing (Li 2003b). It is in this regard that the present paper attempts to develop a rational stochastic model of the corrosion rate and focuses on the structural strength deterioration as reinforcement corrosion propagates.

The intention of this paper is to present a reliability-based methodology for performance assessment of corrosion-affected RC structures as exemplified by RC flexural members subjected to chloride-induced reinforcement corrosion. A two-phase model of service life is developed with the focus on the deterioration of structural strength due to corrosion propagation. A stochastic model of the corrosion rate is proposed for representing corrosion propagation in RC structures. A comparison of the strength deterioration as determined by a destructive load test (Li 2001; Li 2003b) and the present corrosion rate method is undertaken, and it indicates that the corrosion rate method can effectively predict the strength deterioration of corrosion-affected RC structures. The time at which a corrosion-affected RC structure becomes unsafe,

*客員研究員 工学研究所（中南大学准教授）

Assoc. Professor, Central South University

**建築学科教授

Professor, Dept. of Architecture

and hence requires strengthening or repair, can be predicted with the aid of the time-dependent reliability method. The methodology presented in this paper can be used as a tool by structural engineers and asset managers in assessing a corrosion-affected concrete infrastructure and making decisions with regard to its maintenance and rehabilitation. Timely maintenance and repairs have the potential to prolong the service life of corrosion-affected RC structures.

2. RESEARCH SIGNIFICANCE

The strength deterioration of corrosion-affected RC structures can be determined through two different methods: destructive load test and nondestructive measurement of corrosion rate. In practice, however, the strength deterioration can only be estimated based on the reduction of the cross-sectional area of reinforcing bars, and the reduction of the cross-sectional area of reinforcing bars is mainly depended on the corrosion rate. Therefore, in order to effectively predict the strength deterioration of corrosion-affected RC structures, it is necessary to develop a rational model of the corrosion rate. With the strength deterioration, methods of time-dependent reliability are employed to quantify the probability of failure so that the time the structure becomes unsafe, and hence requires repair, can be determined with confidence.

3. FORMULATION OF SERVICE LIFE

In this study, a service life comprising two phases is defined based on the deterioration of structural strength due to the reinforcement corrosion in RC structures. As schematically shown in **Fig. 2**, the first phase of the service life of a corrosion-affected RC structure is the time period from the completion of a newly built structure to the initiation of corrosion in the structure, denoted as $(0, T_i]$. The strength of the structure is seen as a constant during this period, and T_i can be predicted on the basis of recent research, such as that of Francois and Castel (2001) and Li (2003a). The second phase of the service life is the period from the initiation of corrosion to the final collapse of the structure (loss of strength), denoted as $(T_i, T_f]$. T_f can be determined once a performance-based assessment criterion is established. In the theory of structural reliability, the criterion can be expressed in the form of a limit state function as follows:

$$G(R, S, t) = R(t) - S(t) \quad (1)$$

where $R(t)$ denotes the structural resistance at time t , which can

be modeled as a time-variant random variable or a stochastic process; $S(t)$ denotes the load effect at time t , which is generally can be modeled as a stochastic process and is usually assumed to be a time-invariant random variable; and $G(R, S, t)$ is the performance function.

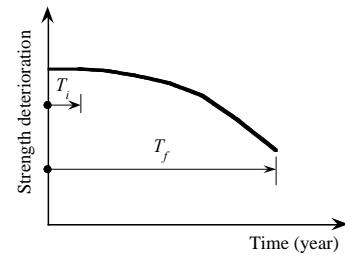


Fig. 2—Schematic model of life cycles of corrosion-affected RC structures.

Commonly, with the performance function of Eq. 1, the probability of failure, $P_f(t)$, can be determined by

$$P_f(t) = P[G(R, S, t) \leq 0] = P[R(t) - S(t) \leq 0] \quad (2)$$

Eq. 2 represents a typical upcrossing problem, which can be dealt with by time-dependent reliability methods.

When $P_f(t)$ is greater than the maximum acceptable risk in terms of the probability of failure, i.e., P_a , or the reliability index $\beta(t)$ corresponding to $P_f(t)$ is less than the reliability index β_a corresponding to P_a , then the structure becomes unsafe and requires repairs. This can be determined from the following equation:

$$P_f(T_f) \geq P_a \quad \text{or} \quad \beta(T_f) \leq \beta_a \quad (3)$$

where T_f denotes the time the structure becomes unsafe.

4. A STOCHASTIC MODEL OF THE CORROSION RATE

Typical corrosion rates of steel in various environments have been reported in recent years. According to Ting (1989), the average corrosion rate v_{corr} for passive steel in concrete attacked by chloride is about 100 m/year (3.94×10^{-3} in./year). From Mori and Ellingwood's research (1994), the typical corrosion rate v_{corr} is a time-invariant random variable described by a lognormal

distribution with a mean of 100 m/year (3.94×10^{-3} in./year) and a coefficient of variation of 0.5. A time-invariant random variable with a mean of 89 m/year (3.51×10^{-3} in./year) and a standard deviation of 25 m/year (9.85×10^{-4} in./year) for modeling v_{corr} was suggested by Frangopol et al. (1997). Based on the experimental data obtained under a simulated marine condition for flexural members (Li, 2001), the corrosion current density I_{corr} is assumed to be a time-invariant random variable with the coefficient of variation of 0.2 by Li (2004), which is expressed as

$$I_{corr} = 0.3683\ln(t) + 1.1305 \quad (4)$$

where t = time in years.

If $t = 4, 8$, and 12 years, the values of corrosion current density can be readily obtained as $1.6411, 1.7904$, and 1.8964 A/cm² ($1.5246, 1.6633$, and 1.7618 mA/ft²). Using the conversion equation 1 A/cm² (0.929 mA/ft²) = 11.6 m/year (4.57×10^{-4} in./year) (Li 2003b), the values of corrosion rate can be readily obtained as $19.0364, 20.7687$, and 21.9978 m/year ($7.5 \times 10^{-4}, 8.18 \times 10^{-4}$, and 8.67×10^{-4} in./year), which are far from the values adopted by other researchers above.

As may be appreciated, I_{corr} can only be obtained from site-specific measurement of the structure to be assessed. In this paper, considering the complexity and randomness of corrosion propagation in corroded RC structures, a stochastic model of the corrosion rate is proposed as

$$v_{corr}(t) = L_1 \ln(t) + L_2 \quad (5)$$

where L_1 and L_2 are independent time-invariant lognormal random variables with mean values of $\mu_{L1} = 2.0 \times 10^{-3}$ cm/year (7.87×10^{-4} in./year) and $\mu_{L2} = 6.0 \times 10^{-3}$ cm/year (2.364×10^{-3} in./year) and coefficients of variation of $V_{L1} = V_{L2} = 0.2$.

The mean and standard deviation functions of $v_{corr}(t)$ are

$$\mu_{v_{corr}}(t) = \mu_{L_1} \ln(t) + \mu_{L_2} \quad (6)$$

$$\sigma_{v_{corr}}(t) = \sqrt{\sigma_{L_1}^2 \ln^2(t) + \sigma_{L_2}^2} \quad (7)$$

The mean and coefficient of variation of the corrosion rate $v_{corr}(t)$ are illustrated in Fig. 3. As can be seen, there is a sharp increase of the mean corrosion rate in the first time period and in

the mean time, the coefficient of variation decreases quickly, which can effectively reflect the test results obtained by Li (2001, 2003b). As time goes on, both the mean and the coefficient of variation of corrosion rate tend to be moderate.

5. DETERIORATION OF STRUCTURAL STRENGTH

The flexural strength of corrosion-affected concrete members depends mainly on the total available area of longitudinal rebars in the tension zone. The uniform corrosion of a reinforcing bar in RC concrete structures is shown in Fig. 4. From the figure, the total bending reinforcement area as a function of time t , $A_L(t)$, can be expressed as

$$A_L(t) = \begin{cases} \frac{n\pi D_L^2}{4} & \text{for } t \leq T_i \\ \frac{n\pi[D_L - 2\int_{T_i}^t v_{corr}(t) dt]^2}{4} & \text{for } t > T_i \end{cases} \quad (8)$$

where D_L (cm) (1cm = 0.394 in.) = diameter of a longitudinal rebar; n = number of bars; T_i = time of corrosion initiation; and $v_{corr}(t)$ = rate of corrosion.

Substituting Eq. 5 in Eq. 8 produces

$$A_L(t) = \begin{cases} \frac{n\pi D_L^2}{4} & \text{for } t \leq T_i \\ \frac{n\pi(D_L - 2[L_1 t \ln t + (L_2 - L_1)t - L_1 T_i \ln T_i - (L_2 - L_1)T_i])^2}{4} & \text{for } t > T_i \end{cases} \quad (9)$$

As has been described, the initiation time period is negligibly short if the service life is considered and as will be shown in the example that the different values of T_i has only a slight effect on the structural failure; T_i is suggested to be equal to 1.0 year in this paper. Then Eq. 9 can be simplified as:

$$A_L(t) = \begin{cases} \frac{n\pi D_L^2}{4} & \text{for } t \leq 1.0 \\ \frac{n\pi(D_L - 2[L_1 t \ln t + (L_2 - L_1)(t-1)])^2}{4} & \text{for } t > 1.0 \end{cases} \quad (10)$$

The flexural strength of a RC beam at time t , $M_R(t)$, may be approximately computed as (AIJ 1991)

$$M_R(t) = 0.9 A_L(t) F_y L H_0 \quad (11)$$

where F_y = the yield strength of a longitudinal reinforcing bar;

and H_0 = the effective depth.

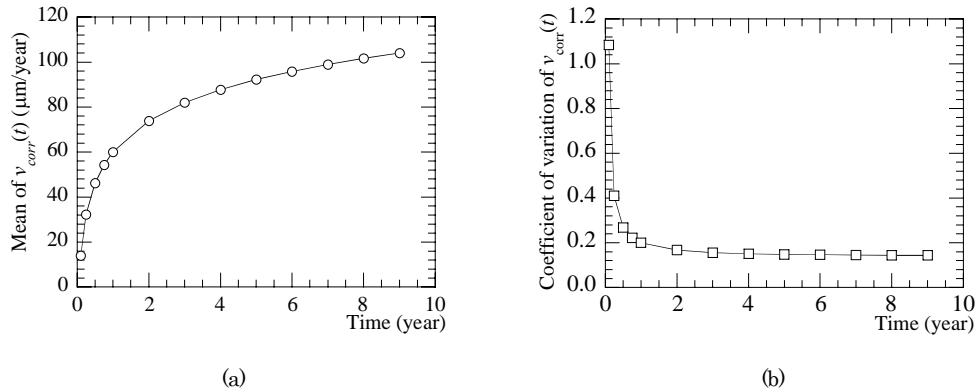


Fig. 3—Corrosion propagation as measured in corrosion rate $v_{corr}(t)$ (1.0 m/year = 3.94×10^{-5} in./year).

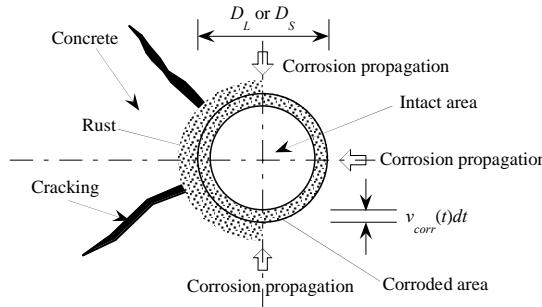


Fig. 4—Uniform corrosion of a reinforcing bar in RC concrete members.

In this analysis, the ratio of the mean damaged capacity (deterioration strength), $\mu_{MR(t)}$, to the mean intact capacity (original structural strength), $\mu_{MR(0)}$, is defined as the residual capacity function (deterioration function)

$$C_R(t) = \frac{\mu_{MR(t)}}{\mu_{MR(0)}} \quad (12)$$

According to Eq. 11, the mean flexural strength of the corrosion-affected RC members at a time t can be calculated using the Monte-Carlo simulation (Melchers 1999). A comparison of strength deterioration as determined from destructive load testing (Li 2001; Li 2003b) and that obtained using the present corrosion rate method is shown in Fig. 5. As can be seen, the results obtained by the present corrosion method

are in close agreement with those obtained from the destructive load experiments. This indicates that the present corrosion rate method can effectively predict the strength deterioration of RC flexural members.

On the other hand, if only stirrups for shear reinforcement are used, the shear strength depends on the reinforcement placed perpendicular to the axis of the member. Under uniform corrosion (also see Fig. 4), the cross-sectional area of a stirrup as a function of time, $A_s(t)$ is given by

$$A_s(t) = \begin{cases} \frac{2\pi D_s^2}{4} & \text{for } t \leq T_i \\ \frac{2\pi [D_s - 2 \int_{T_i}^t v_{corr}(t) dt]^2}{4} & \text{for } t > T_i \end{cases} \quad (13)$$

where DS (cm) (1cm = 0.394 in.) = diameter of a stirrup.

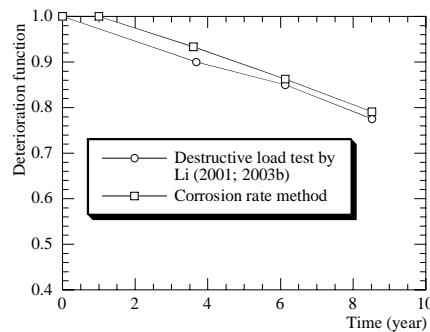


Fig. 5—Comparison of strength deterioration determined by different methods.

Again, substituting Eq. 5 in Eq. 13 produces

$$A_s(t) = \begin{cases} \frac{2\pi D_s^2}{4} & t \leq T_i \\ \frac{2\pi(D_s - 2[L_1 t \ln t + (L_2 - L_1)t - L_1 T_i \ln T_i - (L_2 - L_1)T_i])^2}{4} & t > T_i \end{cases} \quad (14)$$

Similarly, when $T_i = 1.0$ year,

$$A_s(t) = \begin{cases} \frac{2\pi D_s^2}{4} & \text{for } t \leq 1.0 \\ \frac{2\pi(D_s - 2[L_1 t \ln t + (L_2 - L_1)(t-1)])^2}{4} & \text{for } t > 1.0 \end{cases} \quad (15)$$

Thus, the time-dependent shear strength is

$$V(t) = V_c + V_s(t) \quad (16)$$

In Eq. 16, it is assumed that the shear strength of concrete V_c is time-independent. According to AIJ (1991), V_c can be computed by using the following equation.

$$V_c = \frac{7}{8} H_0 B \alpha F_s \quad (17)$$

where B = the width of a beam; α = an adjustment factor depending on the ratio of shear span to depth; and F_s = the allowable shear stress of concrete.

When only shear reinforce perpendicular to the axis of the member is used, the shear strength due to stirrups is given as

$$V_s(t) = \frac{A_s(t) F_{ys} H_0}{S} \quad (18)$$

where F_{ys} = the yield strength of a stirrups; and S = spacing between stirrups.

6. RELIABILITY ANALYSIS OF CORROSION-AFFECTED RC BEAMS

Consider a one-story one-bay RC frame located in a marine environment as shown in Fig. 6. The performance function corresponding to the flexural strength failure mode can be expressed as

$$G_1(\mathbf{X}) = 0.9 A_L(t) F_{yl} H_0 - \frac{(W_D + W_L + W_S)}{8} L^2 \quad (19)$$

where $A_L(t)$ is a time-dependent random variable; W_D = the dead load; W_L = the live load; and W_S = the snow load. The probability characteristics of the basic random variables are listed in Table 1.

The time-dependent reliability indexes obtained by using FORM (Melchers 1999) with respect to the service time are depicted in Fig. 7a, together with two different times of corrosion initiation, i.e., $T_i = 0.2, 0.6$ years. As can be seen from the figure, the reliability index decreases as the reinforcement corrosion in the RC structure propagates. Also, one can see that the time of initial corrosion has only a slight effect on the results.

For the shear strength failure mode, the performance function is given as

$$G_2(\mathbf{X}) = \frac{7}{8} H_0 B \alpha F_s + \frac{A_s(t) F_{ys} H_0}{S} - \frac{(W_D + W_L + W_S)}{2} L \quad (20)$$

where $A_s(t)$ is a time-dependent random variable and the probability characteristics of the other basic random variables are also listed in Table 1. Here, the factor α is seen as a constant instead of a random variable. According to AIJ (1991), α is calculated as 1.0 in this example.

Similarly, the time-dependent reliability indexes corresponding to the shear failure mode obtained by using FORM with respect to the service time are depicted in Fig. 7b, together with two different times of corrosion initiation, i.e., $T_i = 0.2, 0.6$ years. From the figure, one can see that the reliability index decreases as the reinforcement corrosion in the RC structures propagates. The reliability index is relatively large for this example because the load effect is relatively small. Again, one can see that the time of

corrosion initiation has only a slight effect on the results.

From Fig. 7a and 7b, it is not difficult to understand that the

beam is much more likely to collapse from the flexural failure mode.

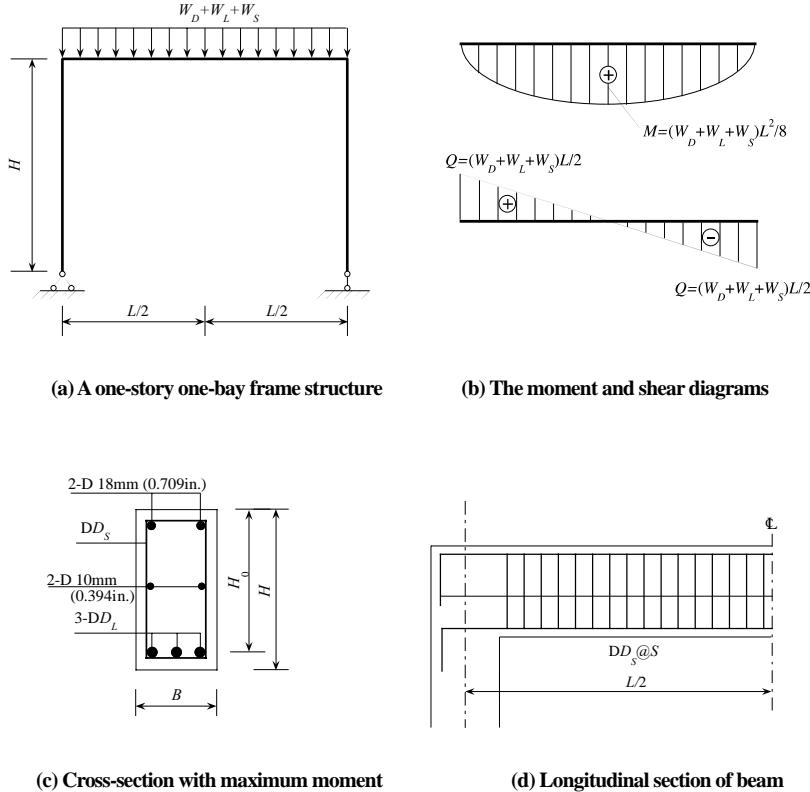


Fig. 6—A corrosion-affected reinforced concrete frame beam.

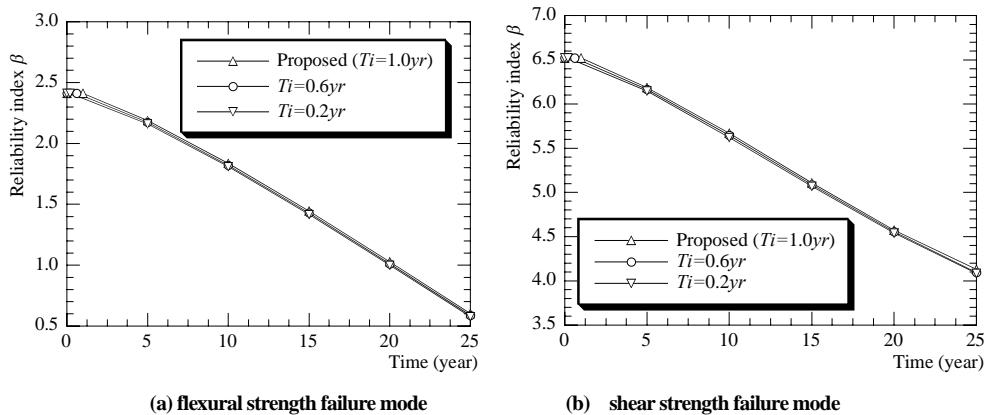


Fig. 7—Time-dependent reliability indexes.

Table 1–Basic variables and their probability characteristic.

Basic variables	Mean	Standard deviation	Distributions
$v_{corr}(t) = L_1 \ln(t) + L_2$			
L_1	2.0×10^{-3} cm/year (7.87×10^{-4} in./year)	4.0×10^{-4} cm/year (1.576×10^{-4} in./year)	Lognormal
L_2	6.0×10^{-3} cm/year (2.364×10^{-3} in./year)	1.2×10^{-3} cm/year (4.728×10^{-4} in./year)	Lognormal
B	25 cm (9.843 in.)	0.25cm (0.098 in.)	Normal
H_0	53 cm (20.866 in.)	0.5cm (0.197 in.)	Normal
L	720 cm (283.46 in.)	20 cm (7.87 in.)	Normal
D_L	2.2 cm (0.866 in.)	0.1cm (0.0394 in.)	Normal
D_S	1.0 cm (0.394 in.)	0.05cm (0.0197in.)	Normal
S	20 cm (7.87 in.)	2 cm (0.787 in.)	Normal
F_{yL}	350 MPa (5.07×10^4 psi)	35 MPa (5.07×10^3 psi)	Lognormal
F_{yS}	250 MPa (3.62×10^4 psi)	25 MPa (3.62×10^3 psi)	Lognormal
F_s	1.05 MPa (152.17 psi)	0.21MPa (15.22 psi)	Lognormal
W_D	10 kN/m (0.685 kip/ft)	1 kN/m (0.069 kip/ft)	Normal
W_L	2 kN/m (0.137 kip/ft)	0.8 N/m (0.055 kip/ft)	Lognormal
W_S	2.5 kN/m (0.171 kip/ft)	1.75 kN/m (0.12 kip/ft)	Gumbel

7. PREDICTION OF SERVICE LIFE OF CORROSION-AFFECTED RC BEAMS

With the proposed models of structural strength deterioration, it is not difficult to predict the time for corrosion-affected RC structures to be unsafe once the acceptance criteria is determined in Eq. 3. However, it is quite difficult to decide an acceptable limit for the strength deterioration since the determination of it involves social-economical considerations, in addition to risk analysis for the structure. Clearly, different acceptance criteria will result in different times for the structure to be unsafe. This is the risk involved in decision-making. Gonzales et al. (1996) observe that a damage level of 25% in terms of the reduction in cross-sectional area of reinforcement bars seems to be prominent in corrosion-affected RC structures. This observation is based on data from the Eurointernational Committee of Concrete which

classifies structural deterioration according to external signs, such as rust spots, concrete cracks, and cover delamination, as well as reduction of the cross-sectional area of reinforcement bars. Amey et al. (1998) predict the service life of corrosion-affected concrete structures using a more simplistic 30% rebar reduction as the failure criterion. Li (2003b) takes the acceptable limit for strength deterioration as 0.6 as similarly defined in Eq. 12 and predicts the time at which the structure becomes unsafe using a confidence level of 90%. Because the collapse of the frame beam will result in a serious loss of property and life, the minimum acceptable risk in terms of the reliability index, β_a , is taken as 1.0, and the time for the structure to become unsafe (failure) T_f can be predicted from Eq. 3, i.e.,

$$\beta(T_f) \leq \beta_a = 1.0 \quad (21)$$

which gives $T_f = 20.31$ years. It is apparent that, compared with the time of structural failure, the initial time of corrosion ($T_i = 1.0$ year) is negligibly short, as reported by other researchers.

8. CONCLUSIONS

- 1) A stochastic model of the corrosion rate is proposed. A comparison of the strength deterioration, as determined from a destructive load test, and the present corrosion rate method reveals that the present corrosion rate method can effectively predict the strength deterioration of corrosion-affected RC structures.
- 2) A two-phase model of service life is developed. The initial time of corrosion, i.e., $T_i = 1.0$ year, is suggested. Methods of time-dependent reliability are employed to quantify the reliability index (probability of failure) so that at which the time of a corroded RC structure becomes unsafe and hence requires repair (T_f) can be determined with confidence.
- 3) The methodology presented in the paper can be used as a tool for structural engineers and asset managers to assess a corrosion-affected concrete infrastructure and make decisions with regard to its maintenance and rehabilitation.

ACKNOWLEDGMENTS

This study is partially supported by a Grant-in-Aid from the Ministry of ESCST of Japan (No. 17560501) and the Cooperative research fond from Research Institute for Engineering, Kanagawa University. The supports are gratefully acknowledged.

REFERENCES

1. AIJ, Standard for Structural Calculation of Reinforced Concrete Structures, Tokyo, Japan, 1991. (In Japanese)
2. Amey, S.L., Johnson, D.A., Miltenberger, M. A., and Farzam, H., "Predicting the service life of concrete marine structures: An environment methodology," ACI Materials Journal, V.95, No.2, 1998, pp205-214.
3. Andrade, C., Alonso, C., and Molina, F.J., "Cover cracking as a function of bar corrosion: Part I-Experiment test," Materials and structures, 26, pp453-464, 1993.
4. Broomfield, J., Corrosion of steel in concrete, understanding, investigating & repair, E & FN Spon, London, 1997.
5. Francois, R., and Castel, A., "Discussion on influences of bending crack and water-cement ratio on chloride-induced corrosion of main reinforcing bars and stirrups," ACI Materials Journal, V.98, No.3, 2001, pp276-278.
6. Frangopol, D. M., Lin, K. Y., and Estes, A., "Reliability of reinforced concrete girders under corrosion attack," Journal of Structural Engineering, ASCE, V.123, No. 3, 1997, pp286-297.
7. Gonzales, J. A., Feliu, S., Rodriguez, P., Lopez, W., Alonso, C., and Andrade, C., "Some questions on the corrosion of steel in concrete. II: Corrosion mechanism and monitoring, service life prediction and protection methods," Materials Structure, V.29, 1996, pp97-104.
9. Li, C. Q., "Initiation of chloride induced reinforcement corrosion in concrete structural members-Experiment," ACI Structural Journal, V.98, No.4, 2001, pp501-510.
10. Li, C. Q., "Life-cycle modeling of corrosion-affected concrete structures — Initiation," Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE, V.15, No. 6, 2003a, pp594-601.
11. Li, C. Q., "Life-cycle modeling of corrosion-affected concrete structures — Propagation," Journal of Structural Engineering, ASCE, V.129, No.6, 2003b, pp753-761.
12. Li, C. Q., "Reliability based service life prediction of corrosion-affected concrete structures," Journal of Structural Engineering, ASCE, V.130, No.10, 2004, pp1570-1577.
13. Melchers, R. E., Structural reliability analysis and prediction, Wiley, Chichester, UK, 1999.
14. Mori, Y., and Ellingwood, B. R., "Maintaining reliability of concrete structures II: optimum of inspection/repair," Journal of Structural Engineering, ASCE, V.120, No.3, 1994, pp846-862.
15. Ting, S.-C., "The effects of corrosion on the reliability of concrete bridge girders." PhD thesis, 1989, Department of Civil Engineering, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan.
16. Tuutti, K., Corrosion of steel in concrete, Swedish Cement and Concrete Research Institute, pp17-21, 1982.



ニオビウム接合を流れる超伝導電流の磁界特性

中山 明芳*

阿部 晋**

穴田 哲夫***

Magnetic Characteristics of Superconducting Current through Niobium Junctions

Akiyoshi NAKAYAMA* Susumu ABE** Tetsuo ANADA***

1. 緒言

超伝導は1911年カマリン オネスにより、約4.2K以下で水銀の抵抗値が測定できないほど小さくなるというかたちではじめて発見されている。この超伝導の特徴的な性質としては

- (i) 超伝導体内的磁束密度が零(反磁場の効果で磁束線が超伝導体の外へ押し出される)
- (ii) 直流抵抗の消滅
- (iii) 超伝導体でつながれた接合間の干渉効果(超伝導量子干渉計(Superconducting Quantum Interference Devices)というかたちで利用)
- (iv) オーダパラメータにより表される超伝導状態
- (v) 超伝導サンドイッチ構造での超伝導電子(クーパー対)のトンネル効果

がある。

性質(v)について、イギリスのケンブリッジ大学のジョセフソン氏は2枚の超伝導体で薄い酸化膜を挟んだサンドイッチ構造で電流が流れても電位差が生じないことを1962年理論的に予想し、この現象は翌年実験的に観測されている。以来この構造はジョセフソン接合と呼ばれる。

ジョセフソン接合は基本的に二端子の素子である。超伝導デバイス及び超伝導集積回路は、超伝導体/バリア/超伝導体の構造である、この2端子のジョセフソン接合を中心的な構成素子として使い、回路的に工夫することでこれまで種々の超伝導回路が製作されてきている。し

かしながら、超伝導をより素子数が少なく論理回路等に応用するには、超伝導を使った三端子の構造の素子も望まれている。

超伝導体自体や超伝導デバイスの数値解析については、超伝導体中のオーダパラメータ Ψ の振る舞いをギンツブルグ-ランダウ方程式により解析するのがほとんどであった。しかし、この方法ではジョセフソン接合のトンネルバリアでの電子のトンネル効果をうまく取り込むことができない等の問題点がある。ジョセフソン接合の中で、特にトンネル型ジョセフソン接合自体の解析は、量子力学の中の場の量子論的手法が要求され、これまであまりおこなわれてこなかった。

本報告では、場の量子論の方法により超伝導接合およびより複雑な構造の超伝導構造の解析をし、数値解析もおこなった。特に、超伝導接合中の(アンドレーフ)束縛状態の波動関数の解析のための基本的な数値計算方法の開発をおこなった。

また、ニオブを使った超伝導薄膜堆積、アルミニウムの堆積とその自然酸化プロセスの最適化、及びフォトグラフィーと陽極酸化方法を使った接合部決定プロセスの改善により、実際に超伝導二端子および超伝導干渉計構造を製作し、その基本特性を測定する。特にその中でも外部から加える磁界に対する超伝導接合の電流電圧特性と超伝導電流の特性を測定する新しい測定手法を開発した。ここでは、神奈川大学工学研究所共同研究の平成22年度の研究成果を以下報告する。

本共同研究では、(1)超伝導接合理的解のため、超伝導体/常伝導体バリア/超伝導体の構造での束縛状態の波動関数の解析し数値計算した。基本的な超伝導体/常伝導体バリア/超伝導体を流れる超伝導電流を、数値計算した。

(2) 実際に、超伝導接合を製作し、その基本特性を測

*教授 電子情報フロンティア学科

Professor, Dept. of Electronics and Informatics Frontiers

**准教授 電子情報フロンティア学科

Associate Professor, Dept. of Electronics and Informatics Frontiers

***教授 電子情報フロンティア学科

Professor, Dept. of Electronics and Informatics Frontiers

定する。このとき種々の接合形状の素子を製作し、その2次元磁界特性を測定比較した。(3)超伝導接合を磁界センサーとして使用して、超伝導ニオビウム薄膜近傍の磁界を測定する。(4)超伝導電流の垂直磁界依存性を測定する。(5)シングルバリア超伝導接合を組み合わせた干渉計の構造を製作し、その基本特性を測定する。

2. 超伝導接合構造の数値解析

超伝導のジョセフソン効果は超伝導エレクトロニクスと基礎物理で重要である。ジョセフソントンネル接合では外部磁界により、ゲージ不变な位相差が変調する。

まず、磁界がない状態での超伝導接合特性を以下に調べよう。超伝導デバイスの解析は、超伝導体中のオーダーパラメータ Ψ の振る舞いをギンツブルグ-ランダウ方程式により解析するのがほとんどであった。しかし、この方法では超伝導接合の特にバリア領域での電子のトンネル効果をうまく取り込むことができない等の問題点があり、超伝導接合の中で、特にトンネル型ジョセフソン接合自体の詳しい数値解析はあまりおこなわれてこなかった。我々は、場の量子論の方法によりトンネル接合の解析をおこない、数値解析する。実際に超伝導接合を製作して特性測定して得た実験結果と比較できる数値解析モデルを作る。

「非常に薄い絶縁膜を挟んで2つの超伝導体があるとき、2つの超伝導体の間に電流が流れても、2つの超伝導体の間の電位差が0であるという現象」が、ジョセフソンにより理論的に予言され、翌年実験により確かめられ、ジョセフソン効果と呼ばれることになった。この現象は、言い換えると、一方の超伝導体から他方の超伝導体へ、電子のみならず、いわば、超伝導電子対(クーパー対)もトンネルするということである。「非常に薄い絶縁膜を挟んで2つの超伝導体のある構造」はジョセフソントンネル接合と呼ばれる。

量子力学の教えによれば、通常の量子井戸には束縛状態が存在する。束縛状態の波動関数は、局在し、無限遠で零に収束するという性質をもつ関数である。超伝導接合では、ハトリーポテンシャル $U(x)$ とペアポテンシャル $\Delta(x)$ の分布と比較するとわかるように、ペアポテンシャル $\Delta(x)$ が井戸構造をもつといえる。超伝導接合にも束縛状態があり、接合を流れる電流と相関があることが解った。超伝導接合ではいわゆるボゴリューボブ-デュジャヌ方程式を基本方程式とする。この基本方程式に従う準粒子の運動を考慮し、超伝導接合の接合部から離れると値が0に収束する束縛状態での波動関数の離散的なエネルギー準位と、そのときの具体的な2成分波動関数を数

値解析で求めた。

サンドイッチ形の超伝導接合を電流が流れてても、二つの超伝導電極間に電位差は生じない。このとき、2つの超伝導体間に電位差なしで、いくらでも大きな電流を流せるわけではなくて、流しうるある上限の値がある。2つの超伝導体を下部の超伝導体電極及び上部の超伝導体電極と呼ぶことになると、この下部超伝導体電極から上部電極に向かって、接合を電位差なしで流れる電流*i*は、二つの超伝導体電極間の「(ゲージ不变な)位相差 γ 」の \sin に比例し、

$$i = \sin\gamma \quad (1)$$

の関係が成立立つ。基準となる下部の電極内の任意の点 a のオーダーパラメータの位相を $\theta(a)$ 、この点 a から垂直に酸化膜バリアを横切って、もう一方の上部の電極内に入り点 b を考え、その点の位相を $\theta(b)$ としている。接合面を垂直に横切る経路に沿ったゲージによらない「ゲージ不变な位相差 γ 」は、

$$\gamma = \theta(b) - \theta(a) + \frac{2\pi}{\Phi_0} \int A \cdot ds \quad (2)$$

である。ここでゲージ不变な位相差 γ の前半は、上部電極の点 b の位相 $\theta(b)$ と、基準となる下部電極の点 a のオーダーパラメータの位相 $\theta(a)$ の差である。後半は点 a から垂直に酸化膜バリアを横切って、もう一方の電極の点 b までの経路に沿う電磁場のベクトルポテンシャル A の線積分の項が入っている。さらに、上部電極の点 c と下部電極の点 d を4点 $abcd$ が長方形 $abcd$ になるように考えてみる。このとき、「経路 dc に沿うゲージ不变な位相差 γ 」の、「経路 ab に沿うゲージ不变な位相差 γ 」に対する差分 $\Delta\gamma$ は、長方形 $abcd$ に鎖交する磁束 $\Delta\Phi$ の $2\pi/\Phi_0$ 倍であることになる。数式で書くと

$$\Delta\gamma = \frac{2\pi}{\Phi_0} \Delta\Phi \quad (3)$$

である。特に、長方形 $abcd$ に鎖交する磁束が磁束量子 Φ_0 1個分であれば、位相の増分は 2π である。

$i = \sin\gamma$ により、接合全体について接合内の各点各点での電流値の和をとることにより、与えられた磁界における接合を流れる電流が得られる。特別な場合として、外部磁界がなければ、この位相差は、接合内で一定で、特に $\pi/2$ のとき、最大の電流 I_c が接合を流れる。この I_c は接合の臨界の超伝導電流値である。

3. 実験

3. 1 センサー作製用スパッタリング装置

センサー接合の製作のためには、スパッタリング装置を使う。装置は以下の構成である。試料交換はロードロック室の内部空間の真空を破ることでおこなうことができる。排気はターボポンプ7台、ドライポンプ7台、イオンポンプ1台、チタンサブリメーションポンプ2台である。ドライポンプとターボポンプ下部を除いて装置全体はベーキングパネルに覆われて、150度までのベーキングが可能である。現在105度までしかベーキングできないスパッタリング用水晶振動子を使用しているため、通常100度で数時間のベーキングにより、真空内壁のガス出しをおこなっている。

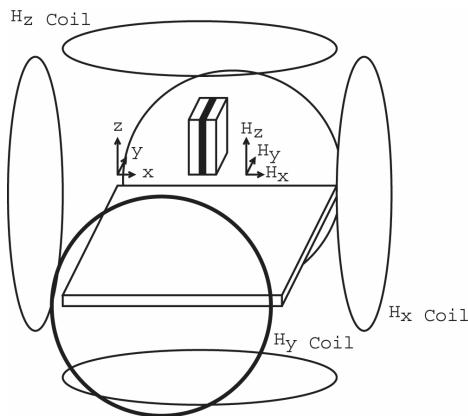


図1. 実験のセットアップ 素子に加える外部平行磁界は3対の円形コイル[ヘルムホルツコイル]で生成する。コイルはGPIB制御された電源により電流が流れ、その電流に比例して磁界が生じる。これにより設定した外部磁界を正確に生成することが可能となる。上図の例では、ニオビウム超伝導薄膜試料はx-y平面、センサー接合の面はy-z平面に平行に位置する。 H_z 磁界はニオビウム超伝導試料薄膜に垂直で、センサー接合の面に平行になる。磁束はニオビウム超伝導試料薄膜に侵入でき、センサー接合により検出可能である。

3. 2 磁界特性測定装置

円形コイル[ヘルムホルツコイル]を3対使い、x, y, z（東西南北および垂直上下）方向の外部平行磁界を生

成する。パーソナルコンピュータによりGPIB制御された直流電源によりコイルに電流を流すと、その電流に比例して磁界が生じる。これによりプログラムのファイルであらかじめ設定したアルゴリズムで、外部磁界を正確に生成することが可能となる。ニオビウム超伝導薄膜試料をx-y平面、センサー接合をy-z平面に平行に位置させた例を下図に示す。この相対位置の設定状況では、例えば H_z 磁界はニオビウム超伝導試料薄膜に垂直で、センサー接合の面に平行になる。

4. 測定結果

4. 1 磁界特性の接合形状依存性

外部から磁界を加えることにより、サンドイッチ型超伝導接合を流れる超伝導電流は変調する。このサンドイッチ型超伝導接合の酸化膜バリア自体を横切る経路に沿ってのゲージ不变な位相差は、両方の超伝導電極の位相の差に、経路に沿っての電磁場のゲージポテンシャルの線積分の項を足したものである。その結果、ゲージ不变な位相差はバリア内部の磁界の向きに垂直な方向に空間的に変調する。この変調周期は加える磁界の大きさに反比例する。このようなわけで、超伝導ジョセフソントンネル電流の変調特性から、トンネルバリアそのものの一様性等を診断することができる[1]。これまでquartic polynomial形[2,3]やx線解析のためのnormal-distribution-function形[4]の接合について調べられてきている。ただし、このような磁界特性は外部磁界を一次元方向に走査して調べられてきているのが現状である。これに対して我々は2方向、3方向に外部磁界を走査し、 $I_c\mathbf{H}(H_x, H_y)$ 特性を調べることを提案していく。実際に数値解析と、さまざまな接合形状の素子製作、実験により測定に成功している。

2方向に外部磁界を走査したとき、接合に流れる超伝導電流が変調される様子を、長方形の接合を例に考えてみる。この超伝導接合が長方形の場合の $I_c\mathbf{H}(H_x, H_y)$ 磁界特性の数値解析結果を下の図2のa)に示し、そのa)の $I_c\mathbf{H}(H_x, H_y)$ 磁界特性の各点b),c),d),e),f)での、実際の接合内においてどのように電流が流れているかを、周りの同じ記号で対応するb),c),d),e),f)の長方形の図中に示す。赤い領域と紫の領域はそれぞれ、正および負の向きに電流が流れていることを示す。長方形接合中の電流の分布はこれらの図からも解るように、外部磁界に垂直な向きに空間変調していると考える。例えば図c)のように磁界が上向きであれば、接合中の電流は横方向に変調され、図e)のように磁界が左向きであれば、接合中の電流はそれと垂直な上下方向に変調されるというわけである。長方形

接合の全領域での和が接合自体の電流となるので、数値計算で求めた和がa)に示す磁界特性ということである。

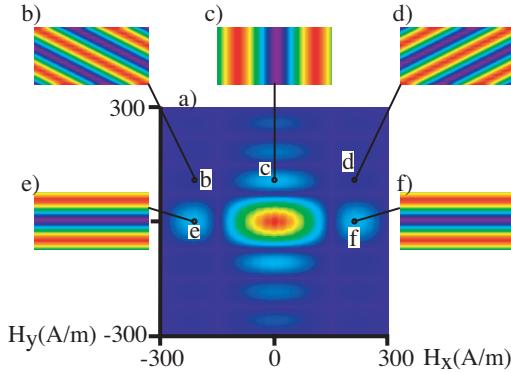


図2. 長方形の接合の $I_c\mathbf{H}(H_x, H_y)$ 磁界特性 a) $I_c\mathbf{H}(H_x, H_y)$ 磁界特性の数値解析結果と b), c), d), e), f) は a) の磁界特性の各点での、長方形接合中の電流の分布を示す。赤い領域と紫の領域はそれぞれ、正および負の向きに電流が流れていることを示す。長方形接合前領域での和が接合の電流となる。電流分布は、外部磁界の方向と垂直に空間変調される。

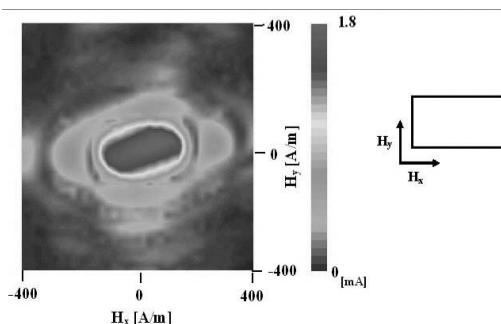


図3. 長方形の接合の $I_c\mathbf{H}(H_x, H_y)$ 磁界特性の測定結果
数値解析した図2の結果との一致は良いといえる。やや実験結果の方が丸みを帯びているのは、実際に作製した接合の形のかどの丸みを帯びていることの反映であろう。

以上は数値シミュレーションであるが、実際に素子を作成し、測定した[5-12]。図3は、長方形の接合の $I_c\mathbf{H}(H_x, H_y)$ 磁界特性の測定結果である。数値解析した図2の結果との一致は良いといえる。実際に作製した接合では、レジストの角が丸くなり、接合自体も丸みを帯びていることにより、特性そのものもやや実験結果の方が丸みを帯びている。

正六角形の形状の接合も製作した。図4にしめすように、この正六角形の形状の接合の $I_c\mathbf{H}(H_x, H_y)$ 磁界特性の測定結果では、正六角形の対称性が観測された。すなわち、正六角形の角である0度、60度、120度、180度、240度、300度の向きに磁界を加えたときに、尾根の形状となる $I_c\mathbf{H}(H_x, H_y)$ 磁界特性が観測された。

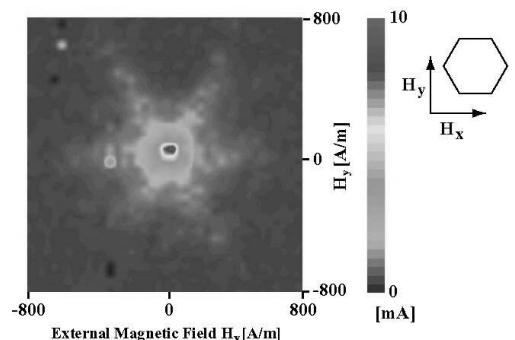


図4. 正六角形の形状の接合の $I_c\mathbf{H}(H_x, H_y)$ 磁界特性の測定結果

正三角形の形状の接合も製作した。図5にしめすように、この正三角形の接合形状の $I_c\mathbf{H}(H_x, H_y)$ 磁界特性の測定結果でも、正六角形の対称性が観測された。すなわち、正三角形の角を通る0度、60度、120度、180度、240度、300度の向きに磁界を加えたときに、尾根の形状となる $I_c\mathbf{H}(H_x, H_y)$ 磁界特性が観測された。

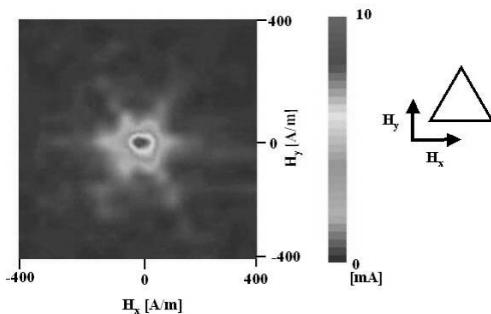


図5. 正三角形の形状の接合の $I_c\mathbf{H}(H_x, H_y)$ 磁界特性の測定結果

このような $I_c\mathbf{H}(H_x, H_y)$ 磁界特性を説明するには、いわゆる滑車モデルの発展形である、「円筒滑車モデル」が直感的な描像を得やすいと判断される。図6は円筒滑車モデルである。この図において、左のa)は正三角形の辺に垂直に磁界を加えた場合、右側のb)は正三角形の辺に平行に磁界を加えた場合である。

両者の対応関係を以下に示す。

超伝導接合の場合 \leftrightarrow 円筒滑車の場合

最大超伝導電流値 \leftrightarrow 最大引っ張り力(滑車ほぼ静止)

超伝導接合の形 \leftrightarrow 円筒表面の重りの形

超伝導接合の位相 \leftrightarrow 滑車軸からの角度

それぞれa) b)の滑車の右に示す数字は角度(位相)を表す。よって、円筒滑車自体のバランスはとれているとして、図a)のように、三角形の重りが円筒側面に張り付いていると考えてみるとよい。左の図a)で説明すると、正三角形のある辺に垂直に磁界を加えているので、その辺に垂直に接合各点の位相が変わる。左奥に示す縄が鉛直下向きに引っ張る力を徐々に徐々に大きくしていったときに、どの値までバランスをとれて滑車が定常回転しない状態でいるかの類推が成り立つ。

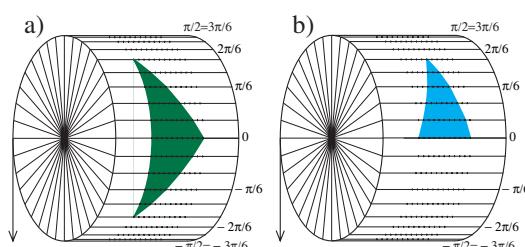


図6. 正三角形の形状の接合の $I_c\mathbf{H}(H_x, H_y)$ 磁界特性の円筒滑車モデル

超伝導量子干渉計の $I_c\mathbf{H}(H_x, H_y)$ 磁界特性の測定結果を図7に示す。図7の右上の差し込み図からもわかるように超伝導量子干渉計では、2つの超伝導接合の下と上の電極が超伝導電極で並列に接続されている。この座標設定では、大きな超伝導ループが H_x 方向の磁束を捕獲するので、 H_x 方向の感度が良くなる。

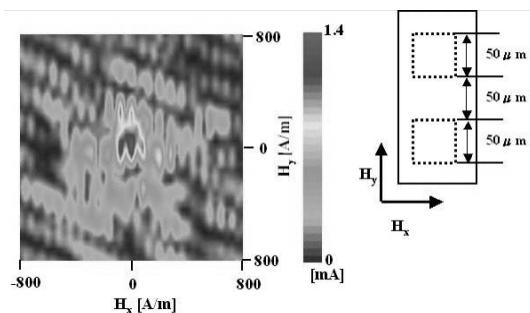


図7. 超伝導量子干渉計の $I_c\mathbf{H}(H_x, H_y)$ 磁界特性の測定結果

4. 2 磁界センサーとして接合自体を使っての超伝導薄膜の近傍磁界の測定

次に、まず、簡易に接合自体を磁界センサーとして、超伝導薄膜に近接して接合を置いた、図1の測定系でのセンサー接合の $I_c\mathbf{H}(H_x, H_y)$ 磁界特性の測定結果について述べる。測定系において、この接合形状依存性センサー接合の面はy-z平面に平行に位置する。 H_x 磁界はニオビウム超伝導試料薄膜に垂直で、センサー接合の面に平行になる。

ニオビウム超伝導薄膜試料がない場合に、Nb/AlO_x/Nb超伝導トンネル接合センサーを流れる超伝導電流 I_c の $I_c\mathbf{H}(H_x, H_y)$ 磁界特性を図8に示す。2方向にフラウンホーファーパターンの形の依存性特性となっている。

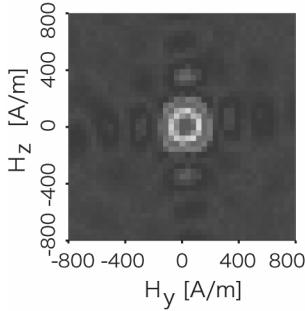


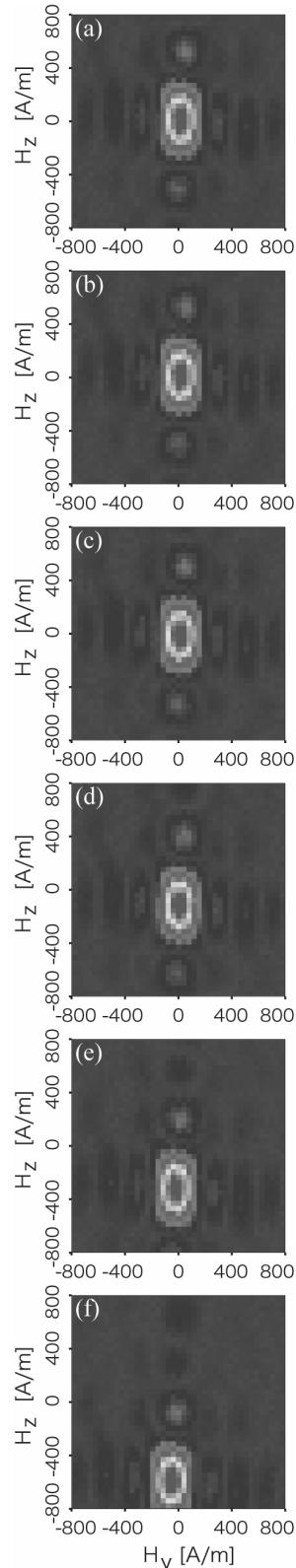
図8. ニオビウム超伝導薄膜試料が近くにない場合に、
Nb/AlO_x/Nb 超伝導トンネル接合センサーを流れる超伝
導電流 I_c の $I_c\mathbf{H}(H_y, H_z)$ 磁界特性

ニオビウム超伝導薄膜試料がある場合に、Nb/AlO_x/Nb 超伝導トンネル接合センサーを流れる超伝導電流 I_c の $I_c\mathbf{H}(H_y, H_z)$ 磁界特性を図9(a)に示す。ニオビウム超伝導薄膜試料のマイスナー効果により、磁束線を超伝導薄膜試料外部に追い出し、その分接合のある点での磁界が外部から加えたものに比べて小さくなっている。その結果、 $I_c\mathbf{H}(H_y, H_z)$ 磁界特性は、図8の特性と比べて H_z 方向に延びた特性である。

同じくニオビウム超伝導薄膜試料がある場合に、 H_z を三角形の形で0から最高値 H_{zmax} まで増加し、再び0に戻したあとに接合センサーの $I_c\mathbf{H}(H_y, H_z)$ 磁界特性を調べた、Nb/AlO_x/Nb 超伝導トンネル接合センサーを流れる超伝導電流 I_c の $I_c\mathbf{H}(H_y, H_z)$ 磁界特性を図9(b)-(f)に示した。ここで H_z を三角形の形で加える順序を図10に詳しく示す。図9(b)では $H_{zmax}=1000$ [A/m]、図9(c)では $H_{zmax}=2000$ [A/m]、図9(d)では $H_{zmax}=3000$ [A/m]、図9(e)では $H_{zmax}=4000$ [A/m]、図9(f)では $H_{zmax}=5000$ [A/m]である。図9(b)-(f)は図9(a)と比べて全体に磁界特性は H_z 負方向にシフトしている。図10に示すように、その H_z 方向のシフト量は最高値 H_{zmax} がそれぞれ(1000)-(2000)-(3000)-(4000)-(5000A/m)に対応して、(0)-(-20)-(-120)-(-320)-(-600A/m)であった。

図9. ニオビウム超伝導薄膜試料が近くにある場合に、
Nb/AlO_x/Nb 超伝導トンネル接合センサーを流れる超伝
導電流 I_c の $I_c\mathbf{H}(H_y, H_z)$ 磁界特性 [H_z を三角形の形で0か
ら最高値 H_{zmax} まで増加し、再び0に戻したあと $I_c\mathbf{H}(H_y,$
 $H_z)$ 磁界特性] H_z の加え方は次の図10を参照

図(a)は初期状態を示す。(b) $H_{zmax}=1000$ [A/m]、(c) $H_{zmax}=2000$ [A/m]、(d) $H_{zmax}=3000$ [A/m]、(e) $H_{zmax}=4000$ [A/m]、(f) $H_{zmax}=5000$ [A/m]。その H_z 方向のシフト量は最高値 H_{zmax} が(1000)-(2000)-(3000)-(4000)-(5000A/m)に対応して、それぞれ(0)-(-20)-(-120)-(-320)-(-600A/m)である。



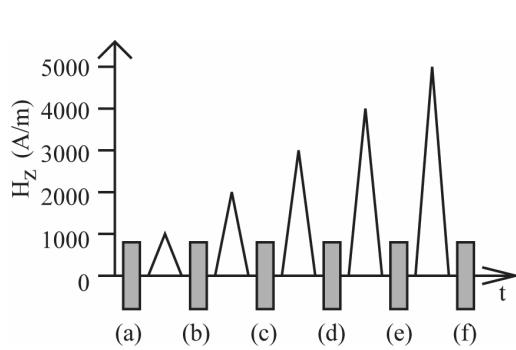


図10. 垂直磁界 H_z の加え方 (a) 初期状態 (b)-(f) 垂直磁界 H_z を三角波状で増加減少させた後、2次元磁界特性を測定した。

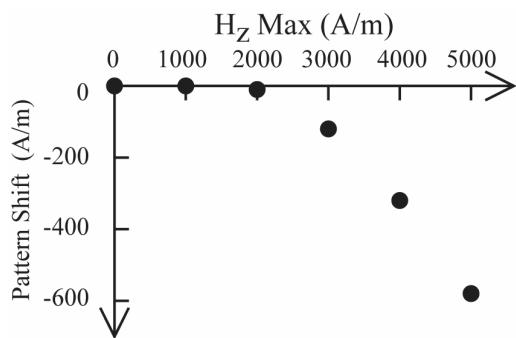
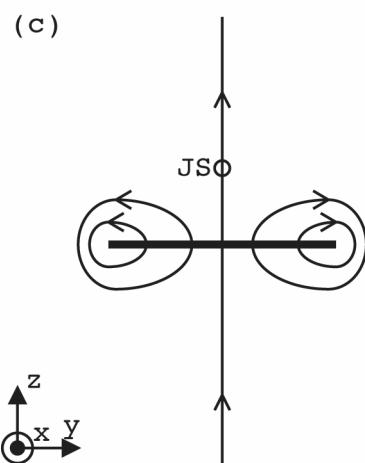
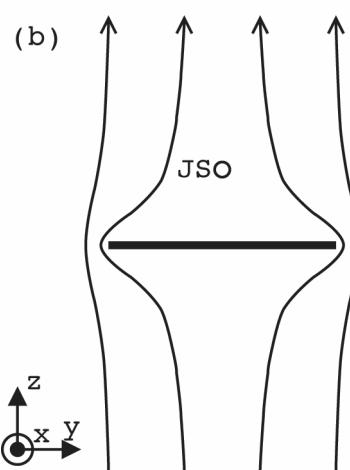
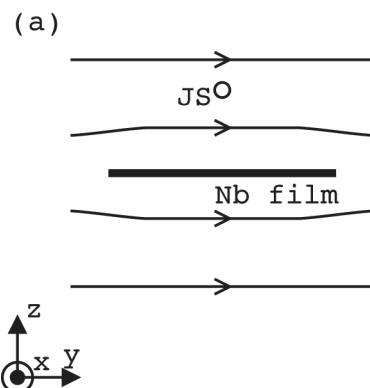


図11. 垂直磁界 H_z の加えた後の図9から読み取れる $I_c \cdot H(H_y, H_z)$ 磁界特性のシフト量。



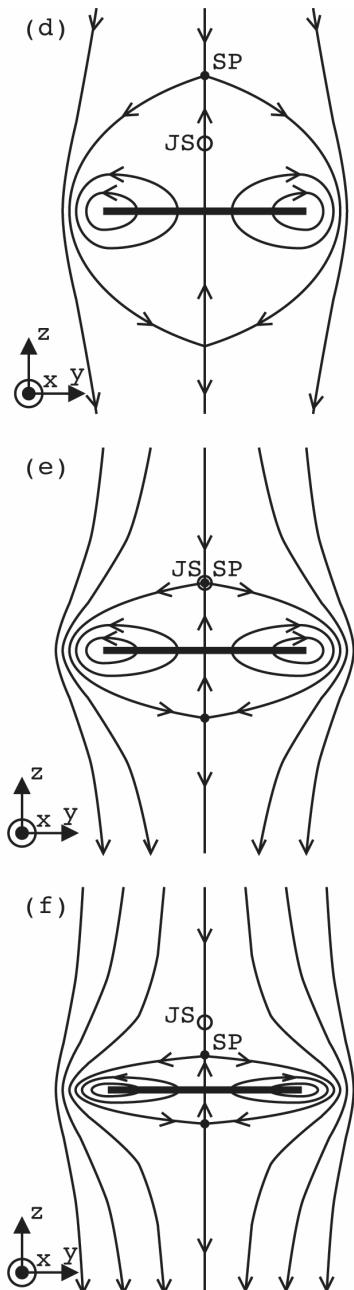


図12. 磁界モデル (a)サンプル薄膜試料と平行に外部磁界を加えた場合、(b)–(f) 垂直磁界 H_z を加えた場合、(b)では $2000\text{A}/\text{m}$ 以下で、薄膜のマイスナー効果が完全である場合 (c) 薄膜に磁束が捕獲されたときの様子。 (d) (e) (f) 薄膜に捕獲された磁束による磁界と、垂直外部磁界 H_z の合成磁界。 (d) より (e) (f) の方が大きな垂直外部磁界 H_z を加えている。

これまでの磁界特性を説明するための磁界のモデルを考えてみよう。ニオビウム薄膜試料は、測定している液体ヘリウム温度 4.2K では超伝導状態を示している。超伝導状態では、完全反磁性(マイスナー)効果を試料は示すが、ニオビウム薄膜試料に対して平行な H_y 磁界方向については、薄膜試料から磁束線は排除されるにも関わらず、図12(a)からも明らかなように、その磁束線軌跡の乱れは少なく、外部から加えた H_y 磁界値と同じ値がそのまま、センサー位置でも測定される。図(b)の超伝導試料に外部磁界が垂直な場合はこの値が $2000\text{A}/\text{m}$ 以下であるなら、薄膜試料の完全反磁性(マイスナー)効果により磁束線が排除され、その結果、センサー位置での磁界の値は、外部から加えた H_z 磁界値の半分くらいの値が、センサー位置(図中の点 JS で示す位置)で測定される。超伝導試料薄膜がある場合の図9(a)の $I_c(H_y, H)$ 特性を、超伝導試料薄膜がない場合の図8の $I_c(H_y, H)$ 特性と比較すると、特性は約 2 倍に H_z 磁界方向に伸びた形をしているので、センサー位置(図中の点 JS で示す位置)で、 H_z 磁界は半分に減少していると考えられるわけである。さらに H_z 磁界値の最大値が $2000\text{A}/\text{m}$ を大きく超えるようになると、その形状効果から、磁束線が超伝導試料薄膜に侵入し、 H_z 磁界を取り除いても、図(c)に示すように、一部の磁束線は超伝導試料薄膜に捕獲されたままになると考えられる。一度、ニオビウム超伝導薄膜試料に磁束が捕獲されると、一般に、ニオビウム超伝導薄膜試料の近傍のセンサー位置での磁界は、超伝導薄膜試料に磁束が捕獲された磁界と、ヘルムホルツコイルにより外部から加えた磁界の和になる。図(d)に示すように、センサー位置で、超伝導薄膜試料に捕獲された磁束による磁界と、外部から加えた磁界のセンサー位置での和が相殺した場合、接合センサー自体に加わる実質磁界が零となる。このように考えることにより、センサー位置で H_z 上向き磁界となるような磁束が超伝導薄膜試料に捕獲された場合、特性は H_z 下向きにその分シフトしたものとなることが解る。

4. 3 磁界 H_z の振動法による超伝導接合の超伝導電流の復活

トンネル接合の超伝導薄膜に垂直に磁界 H_z を印加し、超伝導接合自体を流れるジョセフソン電流の垂直磁界 H_z 依存特性を測定した。

測定対象の接合は DC マグネットロンスパッタリング法で Nb と Al 薄膜を作製した Nb/AlO_x/Nb 接合素子である。ヘルムホルツコイルを使い接合に対して独立に 3 方向の磁界を印加した。

図 13 は Nb/AlO_x/Nb 超伝導トンネル接合を流れる超伝導電流 I_c の H_z 磁界依存特性を示す。およそフランホーファーパターンの形状であるが、少なからず行き帰りが異なり履歴現象が見られる。

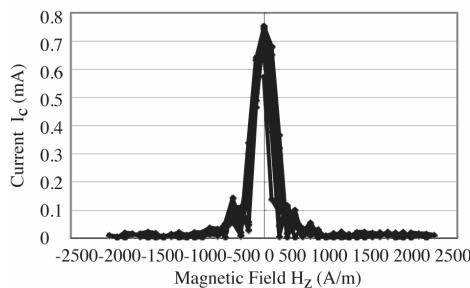


図 13. Nb/AlO_x/Nb 超伝導トンネル接合を流れる超伝導電流 I_c の H_z 磁界依存特性

この履歴を詳しく調べるため、次に H_z 方向の磁界を (a):(0)-(+200A/m)-(0)-(-400)-(0),
(b):(0)-(+600)-(0)-(-800)-(0),
(c):(0)-(+1000)-(0)-(-1200)-(0),
(d):(0)-(+1400)-(0)-(-1600)-(0),
(e):(0)-(+1800)-(0)-(-2000)-(0),
の形で増減し、それぞれ I_c - H_z 特性を測定した結果を図 14 に示す。このとき、特に H_z 磁界が 0 に戻った時の超伝導ジョセフソン電流の値は図 15 に示すようにそれぞれ (0.59mA)-(0.51)-(0.48)-(0.39)-(0.43)-(0.57)-(0.75)-(0.71)-(0.73)-(0.75)-(0.13) である。観測される I_c - H_z 特性上の I_c 变化の履歴現象は電極超伝導薄膜への磁束の捕獲と解放自体[6]が履歴をもつためと解釈される。

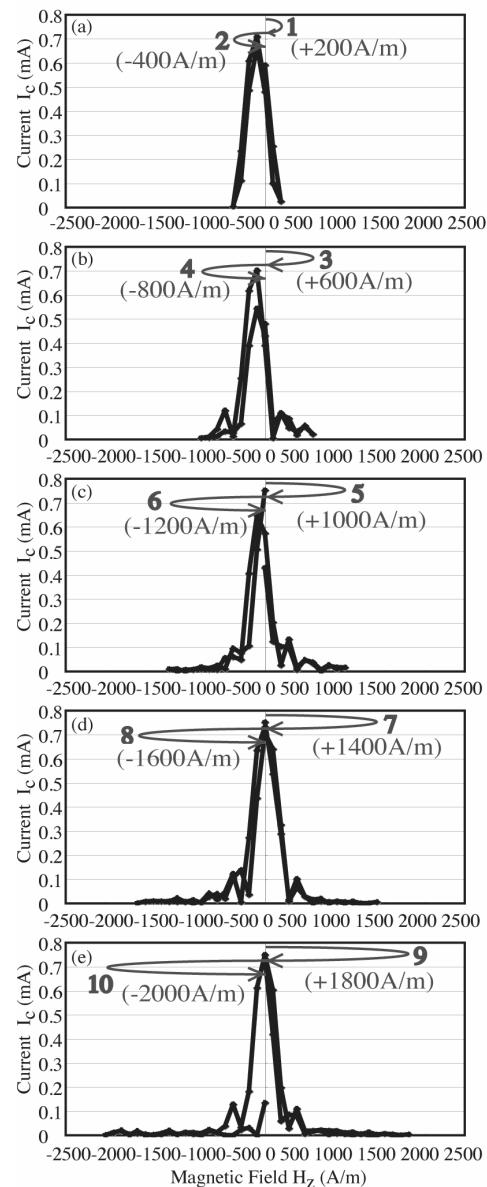


図 14. Nb/AlO_x/Nb 超伝導トンネル接合を流れる超伝導電流 I_c の H_z 磁界依存特性 H_z 磁界を (0)-(+200A/m)-(0)-(-400)-(0)-(+600)-(0)-(-800)-(0)-(+1000)-(0)-(-1200)-(0)-(+1400)-(0)-(-1600)-(0)-(+1800)-(0)-(-2000)-(0) と変化させたときの I_c の値変化を示す。

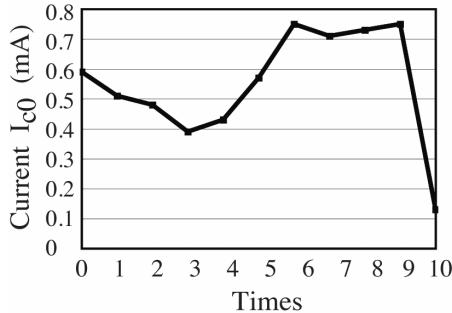


図1.5. 垂直磁界 $H_z=0$ でトンネル接合を流れる超伝導電流 I_c の履歴 H_z 磁界は図1.4に示すように (0)-(+200A/m)-(0)-(-400)-(0)-(+600)-(0)-(-800)-(0)-(+1000)-(0)-(-1200)-(0)-(+1400)-(0)-(-1600)-(0)-(+1800)-(0)-(-2000)-(0)と変化させたときの $I_c(0)$ の値変化を示す。

次に図1.6では、図1.4の結果に続き、超伝導電流 I_c の復活を目的に、垂直磁界 H_z を振動させた。具体的には図1.6(a)-(f)において H_z 方向の磁界を
(a):(0)-(+200A/m)-(0)-(-400)-(0),
(b):(0)-(+600)-(0)-(-800)-(0),
(c):(0)-(+1000)-(0)-(-1200)-(0),
(d):(0)-(+1400)-(0)-(-1600)-(0),
(e):(0)-(+1800)-(0)-(-2000)-(0),
(f):(0)-(+1800)-(0)-(-2000)-(0),

と変化させた。このとき、特に H_z 磁界が0に戻った時の超伝導電流 $I_c(0)$ の値は図1.7に示すようにそれぞれ(0.15mA)-(0.20)-(0.06)-(0.10)-(0.07)-(0.54)-(0.60)-(0.50)-(0.59)-(0.44)-(0.05)-(0.64)-(0.74)である。このように、接合に垂直な H_z 磁界を振動させることで、超伝導電流 I_c の値を初期の大きな値に復活させることができた。

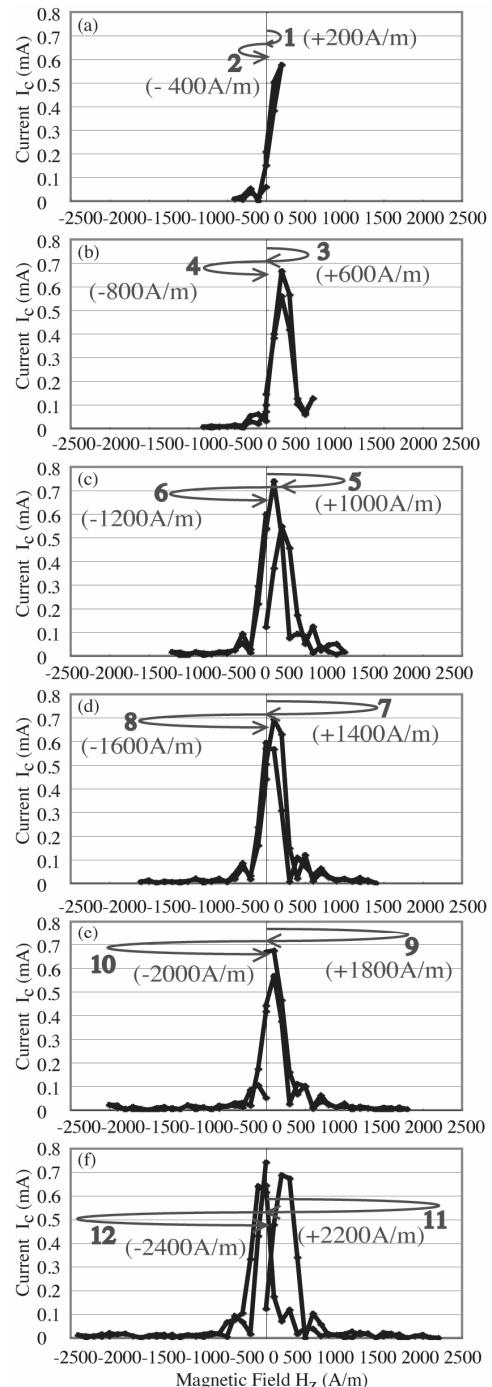


図1.6. Nb/A_xNb 超伝導トンネル接合を流れる超伝導電流 I_c の H_z 磁界依存特性 H_z 磁界を (0)-(+200A/m)-(0)-(-400)-(0)-(+600)-(0)-(-800)-(0)-(+1000)-(0)-(-1200)-(0)-(+1400)-(0)-(-1600)-(0)-(+1800)-(0)-(-2000)-(0)-(+2200)-(0)-(-2400)-(0)と変化させた。こ

の各々のシーケンスでの I_c の値変化を示す。

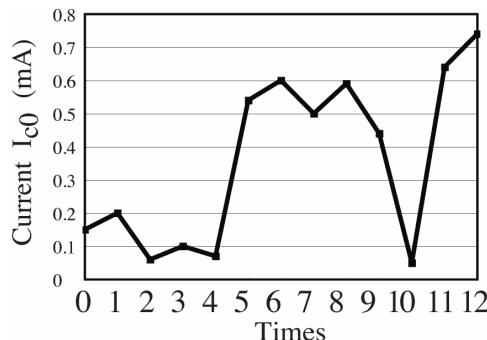


図17. 垂直磁界 $H_z=0$ でトンネル接合を流れる超伝導電流 I_c の履歴 H_z 磁界は図16に示すように(0)-(+200A/m)-(0)-(-400)-(0)-(+600)-(0)-(-800)-(0)-(+1000)-(0)-(-1200)-(0)-(+1400)-(0)-(-1600)-(0)-(+1800)-(0)-(-2000)-(0)-(+2200)-(0)-(-2400)-(0)と変化させたときの $I_c(0)$ の値変化を示す。

5. 結言

本報告は工学研究所の共同研究の平成22年度の研究成果報告である。これまで述べたように、超伝導電流の磁界特性の接合形状依存性を調べた。また、磁界のセンサーとして超伝導デバイス素子を使用して、超伝導薄膜試料近傍の磁界を測定した。その結果、超伝導薄膜試料の完全反磁性効果[マイスナー効果]を確認できた。超伝導薄膜試料に垂直に3000A/m以上の磁界を加えた場合の薄膜試料への磁束の捕獲と、それにともなう磁界特性のシフトを観察した。また、超伝導電極薄膜に垂直に加える磁界を振動させて、超伝導接合の電流の減少、およ

び復活の現象を調べた。

このような共同研究の機会を与えてくださった工学研究所所長および工学研究所に感謝する。

参考文献

- [1] A. Barone and G Paterno, "Physics and Applications of the Josephson Effect," Wiley-Interscience, New York, (1982)
- [2] R.L. Peterson, *Cryogenics*, Vol. 31, Pages 132- (1991)
- [3] J. G Gijsbertsen, E.P. Houwman, B.B.G. Klopman, J. Flokstra, H. Rogalla, D. Quenter, S. Lernke, *Physica* Vol. C249, Pages 12- (1995)
- [4] K. Kikuchi, H. Myoren, T. Iizuka, S. Takada, *Appl. Phys. Lett.*, Vol.77, Pages.3660- (2000)
- [5] Akiyoshi Nakayama, Susumu Abe, Tatsuyuki Morita, Makoto Iwata, and Yusuke Yamamoto, *IEEE Trans.Mag.*, Vol.36, Pages 3511-(2000)
- [6] A.Nakayama, S.Abe, T.Shoji, R.Aoki, and N.Watanabe, *Physica* Vol. B329-333, Pages 1493- (2003)
- [7] Norimichi Watanabe, Akiyoshi Nakayama, Susumu Abe, Kunimori Aizawa, *J. Appl. Phys.*, Vol.97, Pages 10B116 1- May (2005)
- [8] N.Watanabe, A.Nakayama, S.Abe, K.Aizawa, *J. Appl. Phys.*, Vol. 97, Pages 10B116- (2005)
- [9] Akiyoshi NAKAYAMA, Susumu ABE, Tetsuya SHIMOYAMA, Norimichi WATANABE, Hsu Jui-Pang and Yoichi OKABE, *J.Phys.Conf.Ser.* Vol. 43 Pages 1092- (2006)
- [10] N.Watanabe, A.Nakayama, S.Abe, *J. Appl. Phys.*, Vol. 101, Pages 09G105- (2007)
- [11] N.Watanabe, A.Nakayama, S.Abe, et.al, *J. Appl. Phys.*, Vol. 103, Pages 07C707- (2008)
- [12] N.Watanabe, A.Nakayama, S.Abe, et.al., *J. Appl. Phys.*, Vol. 105, Pages 07E312- (2009)



本工学部における物理学教育の一端に たずさわって

大成 逸夫*

On an education of university physics

Itsuo OHNARI*

神奈川大学に専任講師として職を得て以来、約40年に渡って本工学部学生に物理学の講義を担当してきました。担当任務の教育内容は通常の理科系大学の1,2年生に対する標準的な物理学の内容です。物理学実験実習を含めて総勢10数人（非常謹講師を含めればおよそこの2倍です）で工学部5学科の学生に対して物理学の教育を行っています。物理学といつても古典物理学を主とする内容で、各種の教科書が出版されていますから特段に難解な思考を必要としませんが、このような担当は、毎年同じ内容の講義や実験をくりかえしますので、ややもするとマンネリズムに陥りがちですが、毎年学生は入れ替わりますし、さまざまな環境や状況の変化がありますので、教育に対する心構えもその都度変化がありました。工学研究所所報に適さい話題かもしれません、私がこの40年に渡って最も時間と神経をつかいましたのは物理学教育なので、この欄をお借りして短い私見と感想を述べさせていただきます。

1. 理科離れ、物理嫌い

もっとも最近深刻な問題に遭遇しました。ここ数年間に見られている新入学生的学力の低下です。1クラスの中で、高等学校で物理を履修してこなかった学生や、履修はしたことがあるが、物理学の考え方があまり身に付いていない学生が大半を占めています。世間で言う「物理離れ」、「理科離れ」などと称されている現象の具体的な現れでありましょう。この現象はおよそ20年前に「設置基準の大綱化」の問題で全国の

教養部が廃止された当時に「近未来における少子高齢化に伴う18歳人口の減少」について大学教育関係者が繰り返し予言・予測していたことです。少子高齢化の問題に加えて、文部行政が積極的に進めた[ゆとり教育]が現状に至る進行を加速しました。大学行政に秀できた大学はこのことに対処する十分な準備を進めておりました。本学ではその準備が遅れていましたので、その荒波にまともに襲われ、兼ねて予言されたとおりの現象が眼前に生じたのです。この現象の因果関係について私は大筋次のように理解しています：

18歳人口の減少（人口動態の問題）

→ 大学は最低合格点を下げる入学者数の確保（私立大学経営の問題）

→ 理科嫌いの学生も理工系に入学。

かくして、大学の格付けのバロメータとされている偏差値は本学工学部では急落し、並の高等学校からの本学に対する評価も極端に下がりました。

一昔前に、受験勉強で腕を上げた学生がチャレンジの高目標として最難関の医学部を選ぶという現象がありました。医学部の教授が、生物学も勉強してこないで医学部に進むとは何事か、と嘆いておりました。この問題と逆さまの問題に対応するのかも知れません。

工学を学んで将来どれかの分野で活躍することを目指す学生にとって、「数学の素養と物理学の常識」は最低限の必須事項であるとの確信を私は持っていましたので、個人として出来る限りの授業の改善を尽くしてきたつもりです。私が心がけたのは、「定義や約束ごとに基づいて順序良く一歩一歩考えれば、だれでも理解できる」と考えることに自信を持たせる努力を心がけました。

2. 講義をしてみて判ること

ある日の授業風景を描写してみましょう。物理学の講義は初めの方は力学です。初学者に対する物理学の講義内容はいわば「国際的な標準」がありますので、あまり思考の順序を入れ替えたり、天下り的な授業はしませんでした。しかし、物理学は数理的な側面が強いので、微分・積分学やベクトル解析も同時に講義に含ませなければなりません。これらの事柄は講義の進行とともに自然に現れるように仕組んであります。したがって、力学の本論である「ニュートン力学の基礎法則」を始める前に何回かの準備的な授業を必要とします。

高等学校で物理を履修していない学生にとってはニュートン力学のイロハをこの時に初めて履修が始まるのです。この部分はニュートン力学の根幹に関わることなので、可能な限り平易に、噛んで含めるように説明します。そしてニュートン力学の基礎法則の本質的理解を促す興味深い問題を練習させてその日を締めくくります。

聴講した学生のうち、何人が「新知識を得たと感じた」か、その逆に何人の学生が「まったく詰らぬ退屈な授業」と思ったのかは判然としませんが、その双方の多数が存在することは確かです。もう少し詳しく、聴講学生の表情やショートテストや中間テストの答案から見ると次のようになっています。だいたい3割くらいの学生が「理解し納得している」ように思えます。4割くらいが「面倒だが覚えなければ仕方あるまい」と感じているらしくまじめな顔をしています。2割は「退屈でつまらぬ授業」と感じているらしい。そして最後の1割は「目は開いているが、耳には教師の声がさっぱり聞こえていない」らしい。最後の2例はノートもメモも取っていない様子から学ぼうという意欲がないと判断せざるを得ません。

一昔前に理工系の大学に進んでくる学生ならば当たり前の常識にしている事柄さえ、現在ではあからさまに説明しなければなりません。たとえば、物質は原子からできていることなどの科学的な常識、三角関数や円錐曲線などの初等数学、有効数字や平方根を開くなどの数値計算法、帰納法や三段論法や対偶命題などの初等ロジックなども最初から説明しなければならないことがあります。これらを説明するにはそれなりの時間を要します。したがって、大学のカリキュラムとして用意してある内容の十分な説明時間が不足するだけではなく、予定している内容を終了できません。不本意ながらこのような講義を継続していたら、専門課程

での授業内容について行かれないのでは、引いては卒業資格も得られないのでは、さらには就職活動にも支障が起るのではなどと心配ごとは尽きません。

本学でも、入学したけれども物理学、数学の力が覚束ない学生に対する補習授業が行われました。しかし、通り一遍の補修授業を用意しても、残念ながら、それを必要とする学生には殆ど役に立たなかったのではと考えています。事実ほんの数年間だけ開講しただけで、聴講者がいなくなってしまったので、閉講せざるをえなかつたのです。もしやるならば、学生一人一人に一对一応の対面授業（これは膨大な時間と労力が必要です）をやるだけの覚悟が教員にも学生にも要ります。無論文字通りの一対一の面接授業は、沢山の学生が存在するので、不可能です。せめて対話型の授業ができるまでに教員を増やし受講生数を減らすことができないだろうか、と考えていました。

3. 難しい話を易しく語る。

物理学や数学の分野には国内外に優れた教科書があります。しかし、そのどれをとっても分厚く読み手があります。したがって、これらの教科書のどれか一つを熟読すれば、かなりの知識や考え方を習得するであろうと考えられますが、おそらく辛抱して最後まで読み通す学生は少ないであります。現代の風潮かも知れませんが、学生たちが好むのは「わかる何とか」とか「スピード理解の何とか」というたぐいの「手軽な読みもの」です。

こういうのを読んで手っ取り早く内容を理解したがる傾向がありますが、おそらくその目的は達せられないでしょう。

大学1,2年生向けの講義でニュートン力学といつても、その内容は基本的だが簡単明瞭な部分に限られている。若干アドヴァンストなコースに進めば難問が沢山控えています。簡単な振り子の問題でも振れ角が大きくなつた場合とか、さらに鉛直面内でぐるぐる回りだす場合などたちまち、現代的な問題の一つ「ソリトン」に行き着いて楕円関数のお世話になります。惑星の運動の問題でも、2重星のめぐりを運動する衛星の軌道を求める問題（制限3体問題）は現在流行のカオスに行き着きます。また、力学の問題は決定論ですから、飛翔体イトカワの飛行経路を予測できても、木の枝から落下する木の葉が地面のどこに落ちるかを予測できません。アドヴァンストコースにいる学生にこの種の講義をすることはやりがいあることであります。だが微分学や積分学にすら覚束ない1,2年生に対し

では無理であります。けれども、1,2年生に対する入門的な講義であってもあえて十分に説明するに値する有意義な問題が多々存在します。たとえば機械工学では「ダッシュポット付きの振動子」と呼ばれている問題です。これは電気工学で「RLC直列閉回路に流れる電流」を与える微分方程式と同等の式で記述されます。どちらも定数係数の2回線形斎次方程式で、この双方の方程式は1,2年生の物理学で導けます。だが、この方程式を解くことに進むとき、多くの学生は「何を解くのか」が不明であります。2次方程式が頭にこびりついているから数値を求めることと誤解している学生が多いので、微分方程式は「関数を求めるんですよ」と強調しなければなりません。そして、学科の先生にこの問題について尋ねますと、すぐにラプラス変換を持ち出して説明してくれます。未だ微分、積分学も覚束ない1年生にラプラス変換は使い切れません。もっと簡単に、私は各項を足して0になるためには、全項が同じ関数でなければならない。それで1回微分したものも2回微分したものも0回微分の関数に等しいのは指數関数しかないことを言えばよい、のであります。他にも鶏肉を切るに牛刀をもつてする類の事柄が沢山存在することでしょう。

4. 覚えようとしてこと勿れ、理解し納得することを試みよ。

生真面目な学生が良く次のような質問をしてくる。「先生、それは公式ですか？ そしてそれを覚えるのですか？」

高等学校で物理を習うとたくさんの式が出てくるので、それらを正確に記憶していないと速やかに問題が解けません。そうしなければ入試に失敗することを意味します。一昔前の受験界では数学ですら暗記科目に入っていたやに聞いています。それは問題をパターン分けしてそれぞれの解法を覚えていなければ、制限時間内で正解に達しない、のだそうです。この流儀が学生たちに染み込んでいて、上記の質問になるらしい。そこで、私は「覚えたければ覚えなさい、だけど丸覚えしたって一ヶ月後や一年後にはっきり思い出すこと

が出来るかどうか？」といいます。学生は怪訝な顔をして「覚えなかつたら何もわからない」と言いたいそうです。そこで私は「その公式とやらを何も見ずに始めから導いて御覧なさい。成り立ちが解かつて納得すれば決して忘れないよ」と言います。

数学や自然科学を学ぶのに、丸暗記させようとする（初等中等教育）やり方は大変不適切であります。沢山の事柄を丸暗記すること、を勉強することと勘違いしているらしいのです。丸暗記式の勉強のやり方から学生を脱却させ、学生自身に興味と関心を持続させるには、教員であるこちらにも気分と時間の余裕がなければなりません。

5. もう一つの困難。

数学教室のスタッフが近年中に大挙して平塚キャンパスに移籍してしまうことが計画されています。そこで、彼らの仕事の一部を肩代わりしなければならないことになりそうです。したがって、来年度以後物理学教室のスタッフには教育改善を行うような余裕がないかも知れません。物理学の他に数学をも担当するのです。数理工学や数理物理を専門とするものならば始終数学を使用しますので数学を身近に感じていますが、そのことと、数学の教育に携わってそれを旨くこなせるかどうかは別のことです。餅屋は餅屋に任せておきなさい、という格言を忘れてしまったのでしょうか。このような不都合が惹起することは、ことの初めから十分に予想されていました。自らの利益を求めて横紙破りの要求を行う方も勿論だが、理系学問と教育のあり方について実践的なことを知らずにそして、その後の人員やカリキュラムの準備や計画を立てずに、大量の教員の配置換えを了承した責任ある上層部の見識は本学の歴史に深く刻まれるであります。この件は工学部にとって軽くは無い自傷であります。本工学部が長い時間をかけて培ってきた活力を減じているばかりではありません。本工学部の地位をも貶めている側面があります。ひょっとしてこの件が本工学部の死に至る病の引き金にならないことを願うばかりです。



揺らぎ

大野 吉弘*

Fluctuation

Yoshihiro ONO*

この世の森羅万象すべて変化する、だから、人は怠らず努力してその事象の根源を考察しなさい、というのが、お釈迦様の究極の教えにある。変化する森羅万象の現れの1側面である物理工学的現象はニュートン力学によれば時計仕掛けの機械の如く、因果律によつて、一方向に向かって時間の経過と共に何らかの結果に至る。そうであれば世の中味も素っ気もない。が、実際は必ずしもそのようではなく、現象の変化する様を仔細に観察すると何らかの定常的な変化の周りを揺らぎながら進行している。

揺らぎとは一体何だろうか？ 身近な例では再生可能エネルギーの代表である太陽光エネルギーは短時間でも日照条件によって電気出力は揺らいでいるし、長時間においても緩やかな揺らぎを持っている。風力発電の風車に至っては、風況次第である。このことは自然現象の揺らぎを示している。筆者の研究する燃料電池の例では電極反応に関わる物質の、時間的幾何学的な疎密の変動が発電電圧或いは電流の変化（揺らぎ）に影響している。イオンの移動経路が、そこを経由して移動するイオンの動きに影響され、緩やかに揺らぐのが理解される。

高速道路では自動車は車線の中を左右にゆらゆらと揺らぎながら走行している。運転者の心の揺らぎが反映されているのであろう。この揺らぎが過大になると事故に至る。揺らぎは単に自然現象に限らず生物の動作にも現われる。そうして見ると揺らぎは森羅万象の変化を齎す根源的な要因であろうと考えられる。

このような現象に現われる揺らぎの変動は緩やかな経過のものもあれば、極めて早い変動を呈するものも

ある。我々はこの定常的な変化の平均値(直流分)をとり、その周りの変化分を揺らぎと呼んでいる。

周期的に変化する現象の測定結果の波形は工学の分野ではフーリエ変換による処理を施し、平均値と変動の成分即ち三角関数(の無限級数和)の和で表すことが多い。三角関数は平均値の周りの揺らぎの成分を表す意味を持っていると考えができる。たとえば時間的に正負に振れる矩形波は、平均値はゼロであるが、揺らぎの項である正弦波を足し合わせると矩形波が現われる。揺らぎの中にこそ現象の変化を生起する要因が潜んでいると考えられる。

フーリエ変換による級数展開式はデータを1周期で積分してその平均値をとるので、本来もっている情報の殆どが失われてしまう。それゆえフーリエ変換から得られるパワースペクトルから、もとの現象を再現することは殆ど不可能である。しかし、揺らぎを表す項は無限級数和であるのでその項に関する意味・内容にこだわって考えれば、又何かしら新しい知見を得る事が出来るのではなかろうか？

燃料電池の研究から揺らぎに興味を持った訳であるが、そのように考えればもう少し興味の赴くところを変えてみたいと思っていたところ、大成先生から専門の話はしなくていいから、何か書けという指示を頂いた。最近大学院生に「音楽を嗜めばフーリエ変換………は怖くない」という副題の下にフーリエ変換の講義をしていたので、それを元に1文を書かせて頂くこととした。

音楽を取り上げた理由は、フーリエ級数展開式はラプラスの方程式を満足する調和関数でもある。調和(harmony)という言葉自体音楽に関係する内容をもつていて、式中の三角関数は振動を表現するので、振動＝空気振動＝音楽 ← → 調和 と結び付けたもの

*教授、電子情報フロンティア学科
Professor, Dept. of Electronics and Informatics Frontiers

である。聊か牽強付会の思いがするが、本稿はそれを基に、フーリエ変換よりもむしろ楽音（特に趣味とするピアノ）の揺らぎの方に力点をおいて、日頃良く聴く音楽の中の揺らぎとはどの様なものであろうかと考えて、書き留めたものである。

今日世界を席巻している12音平均律をベースとする西洋音楽は、完成された体系に基づいて構成されている様に思われるが必ずしもそうではない。音楽の解説書によれば、人類の音階・音程或いは音律はメソポタミア或いはアッシリアの時代に遡ることができ、今日に至るまでそれが洋の東西を問わず共通するものである事が述べられている。古代の音律を数学的な観点から考察し、体系を構築しようとした最初の人がピタゴラスの定理で知られる古代ギリシアの哲学者ピタゴラスであるとされる。

ピタゴラスは、天空はその間隔が調和音程（整数比）となる幾つかの層となっていて、この比率の秩序に基づく運行によって微妙な音楽が生ずる（但し人間の耳には聞こえない！）。それゆえ音楽における調和音は音によって生じたのではない、という学説を唱えた人である。ピタゴラスは音楽における尺度の基礎をなす協和音は簡単な整数の比率から得られると考えた。このような数学的に簡単な整数比であらわされる和音は聴いても不快にはならない（協和する）、という信念であろう。そこで一弦琴を用いて協和する音を探し出した。協和する和音とは音程の異なる2つの音である。一端に一定の重さの錘をつけ、片端を固定した一定長さの一弦琴を作れば、弦に乗る振動の基本周波数（音の高さ）は決まる。弦に乗る振動波の波長は基本波の整数倍のものが無限といえるほどあるが、普通は振幅が小さく、エネルギーが小さいので減衰が早い。しかし揺らぎの成分は既に発生している。

弦の材料、太さ、張力などの要素があるので、どの周波数（基本波）を基準とするのかは分からなければ、協和する比の関係を見出すのがピタゴラスの音律である。周波数が2倍の関係にある音は同じであるとするオクターブの考えが導入される。従って弦を倍々の関係で分割しても新しい音は生まれない。ピタゴラスは弦を1:2に分割し、その長さの弦の音は元の長さの弦の音と協和するとした。周波数は3倍となるので、2から飛び出るので弦の長さを倍にする（周波数は半分になり同じ音として認識される）。元の音、即ち根音を仮にC（ド）とすれば、こうして得られる最初の協和する音は元の音の3/2倍の高さとなりG（ソ）である。これを完全5度と呼ぶが、これは唸りを生じな

い。あとはこの操作、即ち次にGを根音として完全5度を繰り返して協和する音を決めていく。ピタゴラスの音律は完全5度と $8\cdot5+1=4$ の完全4度とから構成されることになる。このようにして決まる音律で、F#をFとして得られる音率をピタゴラス音律と呼んでいる。

天空の調和（harmony）を元に得られたピタゴラス音律は中世の教会音楽を発展させてきた。グレゴリウス頌歌がその例である。

ピタゴラス音律は1オクターブという長さを $3^m \div 2^n$ という操作で分割し最終的に1オクターブ上の音に到達するものであるが、この条件を満たす (m, n) の組み合せは存在しない。即ち分割は完成しないことになる。かろうじて $(m, n) = (12, 18)$ の組み合せが何とか2に近い近似値を与える。 m を多くすることは1オクターブ中の音を増やすことになるが、和音を見出すことの不便さ、それよりも楽器を作ること、演奏がより一層困難になる、等から、12音が最終的に選択されたのである。ピタゴラスは古代の音律を天空の調和という考え方から数学的に規定しようとしたので、分割が完成せず1オクターブから少しあはずは放置したのかもしれない。しかし、ピタゴラス音律の和音は大変美しく耳に入り揺らぎを感じない。

ピタゴラス音律ではオクターブの分割が不均一であるので、転調や移調が出来ない例が多い。これはピタゴラス音律が1オクターブを12の音程に分割したときに出現した所謂ピタゴラスのコンマ（1オクターブ上の音が2倍の周波数を越す、例として、A:440 Hzは892 Hzになる）、あるいはリンマの発生（全音あるいは半音の幅が異なるところがある）、たとえばハ調といえば、ミとファ、シとドの全音は間に黒鍵が無いことから分かるように、他の全音とは異なり幅が小さい。および長3度和音（C-E）、の響きの悪いこと、などの難点を克服できないからである。

西洋音楽の歴史はこのピタゴラス音律の不完全を如何に合理的に解決するかの努力の歴史である。それを一挙に解決したのが、協和音とは何の関係も無く機械的に一オクターブを12の音に均等分割する12音平均律である。そしてその普及拡大を支えたのがピアノである。今日の音楽は12音平均律というシステム（ソフトウェア）と、ピアノというハードウェアによって支配されているといつても過言ではないと思われる。しかし、この2つの登場によって、それまでの和音の音楽では極力排除された不協和と整数比ではない揺らぎの要素が許容されるようになった。

1オクターブは本来8を意味するが、今日ピアノには1オクターブの間に12個のキーがある。半音階である黒鍵は音階を構成する音に認められないでいたといわれる。しかし、ショパンは黒鍵を指の救い主とよんで大切にしていた。練習曲に黒鍵というのがあるが、あれは黒鍵に対する感謝の曲であろうか！実際ピアノ演奏で黒鍵がなければ指の負担は大変重くなる。ショパンの音階の練習は黒鍵の多い曲(口長)から始まって最後に一番難しいハ長にいたる方法であったと言われる。5本もしくは10本の指で1オクターブ12個の鍵盤を操作するのであるから、特にピアノ音楽は早い音の流れ(ゆらぎながら)の中に和音が旋律を奏でながら移行していくので十分な練習を積まなければならぬ訳である。

音楽の楽音は弦楽器であれば、弦の振動を楽器により空気の振動に変換する。管楽器であれば、唇の振動もしくはリードの振動を管内空気の振動に変換し、空気の振動は耳に入り鼓膜を刺激し骨を伝わって脳により音として処理される。これだけ色々の要素を経由して聴くのであるから、電池の例で考えるまでも無く楽音には音源の揺らぎと途中経路での揺らぎが関与している。

弦は一般に両端を固定されている構造であるから、これに乗る波(振動)には制約があり弦の長さの整数倍の長さの波しかない。ピアノの弦はc3型の場合(コンサート用の大型ピアノでも大体同じである),最低音A(27.5 Hz)からBb(116.5 Hz)までの10音は、張力と長さの関係から1音は1弦。c2(130.8 Hz)からBb(233 Hz)までの16音は、1音2弦。それ以上の高音部分の1音は3弦となっている。この構成が、ピアノの音を弦楽器や管楽器の音とは異なる特色(大きな揺らぎと大音量)のあるものとする大きな原因であろう。

ピアノの弦がどうして1本、2本或いは3本なのかは、浜松市にある楽器博物館所蔵の楽器の歴史を見学に行って理解した。ピアノ以前の鍵盤楽器にチェンバロ或はクラップサンがあるが、既に1音2弦の構造となっている。低音弦は1弦である。2弦としたのは音量を増すためである。チェンバロは筐体が木製であるため、弦の張力を大きく出来ない上、弦をつめで引っかく構造のため、2弦以上には出来なかつたのであろう。

博物館には、イタリア人クリストフォリにより1720年代に始めて製作された元祖ピアノの復元モデルが陳列されている、すべて木製で重量は60kg程度である。弦の張力の総和は750kgである。ピアノはその後、

産業革命の成果を取り入れ鉄のフレームを採用したことにより強度が増し、ハンマーの打撃に耐える高張力の鋼鉄製の弦を張り、現在では20tonを越す弦の張力に耐えることができる。1音3弦に出来た所以である。単純に考えると、弦の張力に弦の伸びを乘ずると、発するエネルギーの大きさになるから、現在のピアノは当初のピアノの26倍のエネルギーを放出する能力を得ている。大音量に於いて、ピアノに匹敵する弦楽器はないであろう。3弦にした根本的な理由は12音平均律の実現のためであるとしても。

ハンマーの運動エネルギーを弦の振動エネルギーに変換するが、強度に優れた鋼線の採用と弦数を3本とした事によってピアノは大音量と独特の音色を確保できたのであろう。ハンマーで弦を叩いた瞬間の最大音はパッドの機能により速やかに減衰し残響を残さない。

振動のエネルギーが最大である基本波のみが残り、高調波は速やかに消滅するように考えられる。これが揺らぎの成分が沢山あるにも関わらず、ピアノの音、特に和音が綺麗に聞こえる大きな理由であろう。

ピアノの1音は低音を除外すれば多くの場合、複数弦の振動の和である。半年に1回ピアノの調律をしてもらっているが、調律師の方に色々と伺うと、3本弦の中央弦を基準に微妙に加減するが、その加減は調律師によって異なる(腕の見せ所である)。一方すべて同じに調律するよう要求する演奏家もいるので、ピアノは1台1台すべて異なる音質をもっている。隣り合う全音1度の周波数は12音平均律により1.059倍の関係で平均化されているが、調律はこれを少しずらしている。1音2弦では音は互いに響きあうだけであるが

(うなりもあるが)、3弦では中央弦を挟んで左右2本の弦の微妙な調律の違いによる音の揺らぎがある。従って、1音が複数弦のピアノの音は本来は澄んだ音ではない。今日音の基準音Aは440Hzで音叉により得られる。ピアノの調律は中央の弦c5当たりから始める。後は協和する5度、4度、ピタゴラス音律には無かつた長3度の響きを確認しながら弦の張り具合を調整していく。2本或いは3本の弦(異なる張力で張られた)の音の振動は基本的には2つもしくは3つの弦から得られる成分を含んでいるので、整数倍でない高調波が多く含まれる。ピアノの調律は基本的には複数弦は1音そのものも揺らぎのある音であり、更に和音も或る意味では和音から僅かでも外れにしている。高調波は一般に振幅が小さく、ハンマーが弦を叩いた瞬間からパッドの効果もあり、急速に減衰するので唸りを生ずるなどの効果は比較的抑制される。この合成された基

本波による和音およびそれらの高調波からの揺らぎが本来は雑音を含んでいるにも関わらず、心地よい楽音となるのは不思議な感じがする。

古いピアノではペダルにウナコードがつけられていた。これは作曲家が一弦にして演奏をせよ、という指示をしたときに使用されるもので、やはり、澄んだ綺麗な音にする為なのであろう。ベートーベンの熱情ソナタの第2楽章の最初の部分は1弦もしくは2弦で構成されているC1弦の当たりを中心に書かれていて、大変莊厳であると同時に和音の響きが美しい。これを1オクターブ上で演奏すると何とも軽い響きになってしまう。ピアノの低音領域はベートーベンの時代に拡大したが、彼はこれを大変喜んで特に低音を意識した曲を残している。

バイオリンやチェロの演奏で左手でビブラートをかけている。このビブラートはピアノの3弦の響きに対応すると考えがちであったが、どうやら違うようである。バイオリンの弦は弓の動きにより激しく振動し空気を振り動かすが、ビブラートをかける指の動きはずっと遅くそれによる音は聞こえない(20 Hz以下の音は一般に聞こえない)。それではなぜビブラートをかけるのであろうか?ピアノであればキーを叩くと同時に3弦が鳴り響くから音は濁って聞こえる(調律師でないと分からぬレベルであるが)。バイオリンの音はビブラートをかけてもこのような音にはならない。指の遅い動きによる揺らぎは直接耳には響かなくても音楽全体を通して超低周波の音として何かしら聴覚を搖るがせているのかもしれない。

ピアノの音は12音平均律で数学的に規定された音階が古代の和音を取り入れながら修正され、更に揺らぎを加えているようなものである。ピアノの特徴はそれだけであろうか?楽器の放つ音のエネルギーはその

長さ(管あるいは弦)に乗る波のエネルギーに依存するから振幅を大きく大音量にするには、大きな楽器とするか、楽器の数を増やすか弦の数を増やすかすることが求められる。和音の演奏の集大成である管弦楽団構成はその典型である。ピアノは1音の弦の数が1から3弦である上に10本の指で演奏するから10~30の弦から音が放出される。これは音楽全体の揺らぎを発生しているとも云える。

心の揺らぎを絶え間なく表現している作曲家はシューベルトではないだろうか?常に心の揺らぎが音楽の流れに現われているような気がしてならない。音階にはフラットb(半音下げる)とシャープ#(半音上げる)の2つの半音記号がある。古い音律では、たとえばG#とAbは異なる音である。現在はこの2つによる操作は異名同音を作るだけのような印象があるが、その差は音楽の印象に大変な効果をもたらしている。半音下げると音に深みと重々しさが加わる。半音上げると音に鋭さとナイーブさが生まれる。シューベルトの楽譜は#とbが頻繁に現れては消え、消えては現われる。ピアノ曲のImromptusなどは聴いていても和音の移ろいに揺らぎを聴きとる。まさに揺らぎの音楽である。一方ピタゴラス音律による和音は、教会音楽であるポリフォニー(polyfonie)の曲で聴けば誠に心に染入る響きである。ポリフォニーの曲は美しい旋律と和音であるが、連続して聴いていると、しばらくすると疲れやすいのは揺らぎの成分が乏しい為なのであろうか?揺らぎも程ほどにあることがやはり大切なのであろう。大音量のピアノの音の個々の音の微細な揺らぎと、演奏全体の大きな揺らぎとが相乗してピアノ音楽を今日の地位に到達させたのであろう。

揺らぎとは不思議なものである。



恩師・正野崎友信先生と学生たちのはざまで半世紀

～～ 切削油剤研究のメッカ ～～

石渡 秋二*

Half a Century of University Life Warmly Supported by my Respected Professor,

Tomonobu Shonozaki and by my Dear Students

～～ Mecca of Cutting Fluid Research ～～

Syuji ISHIWATA*

1. 恩師・正野崎友信先生との出会い

昭和21年9月、神奈川大学工学部機械工学科に切削油剤研究のメッカとなる、正野崎友信研究室が誕生します。その時、私はこの世に生を受けました。22年後、先生と私は神奈川大学機械工学科で会います。正野崎先生は機械工学科の就職係、私は機械工学科内海淹夫研究室の4年生。大学の研究室での助手にあこがれていた私は、他大学の助手に応募しようと就職係の正野崎先生を訪れます。

『君は神奈川大学の助手ではいけないのかネ?』
この言葉が二人の運命を決定づけます。

『神奈川大学にも助手の募集があるのですか?』
『無いことはないよ。』
その時、先生には二人のお弟子さんがいました。日吉博先生と重松日出見先生です。お二人とも既に教授で、お年も50代、40代でした。正野崎先生は手足と成って働いてくれる若い助手がほしかったのです。先ほどの一言のために、私の面倒を見なければならなくなりました。でも、正野崎先生と私は、馬が合うというのでしょうか、他の人が羨むほどの師弟関係が続きました。研究発表も一所懸命致しました。先生は私を全国各地の機械加工工場に連れて行ってくれました。たくさんの技術者、技能者にお会いし、現実の精密加工を勉強させてくれました。そこで、精密加工を行うためには、工場の整理、整頓、清掃が重要であることを知りました。

2. 切削油剤研究のメッカ、正野崎友信研究室

第2次世界大戦後、正野崎先生は国家規格 JIS・切削油剤 (JISK2241-1961), JIS・切削油剤試験方法 (JISK2251-1961) の制定委員長になります。この規格の基になっているものは、神奈川大学機械工学科正野崎研究室において、先生と学生が一所懸命、研究、実験を重ねて作ったものが主体をなしています。パソコンもデジカメも無い時代、JISに掲載された写真(図1, 2, 3)は、学生が研究室で一所懸命切削実験、写真撮影をし、冬の冷たい水道の水に手を浸し、苦労して現像したものです。鋼を削ると工具刃先の先端に層状をなした被削材本体の硬度より、はるかに高い硬度の物質が付着します。これがたえず生成脱落を繰り返しながら、真の刃先に変わって切削にあずかるので、切削性、仕上げ面精度、工具寿命にいろいろな影響を及ぼします。

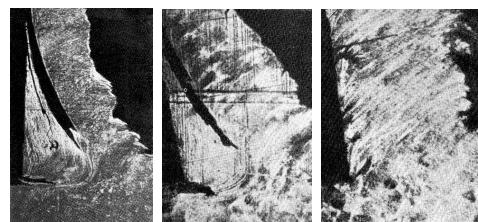


図1 構成刃先

図2 軽油

図3 極圧油

図1が構成刃先です。切削加工における癌です。この構成刃先は切削条件によって変化しますが、切削油剤の種類によっても変わります。切削油剤の大きな作用の一

*助教 機械工学科
Assistant Professor, Dept. of Mechanical Engineering

つは、構成刃先の制御作用です。図2は切削油剤として軽油を使用して削ったときに出来た構成刃先です。図3は切削油剤として極圧油を使用した場合です。同じ被削材を同じ工具で切削しても構成刃先が出来ていません。

更に、現在バイブル的存在になっている切削油剤、研削油剤の基本特性と加工性能を図4、5、6に示します。これらも第1・正野崎研究室(現・工藤研究室)、第2・正野崎研究室(現・石渡研究室)において、先生と学生が何年もかけて実験して得た成果です。これら実験結果より、切削油剤の作用効果は図7に示す工具のくい面、逃げ面に油剤が浸入し、そこでの潤滑効果により摩擦を減少し、加工性能を向上させることになっています。これは、日本においては正野崎先生の主張となっています。そのため、切削油剤は表面張力と粘度が基本的に重要な要因です。

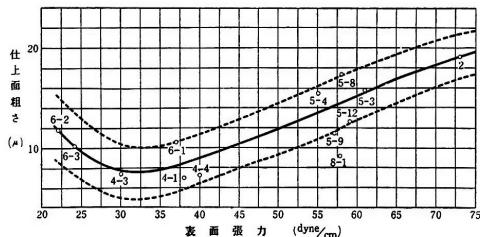


図4 切削油剤の表面張力と仕上げ面粗さ

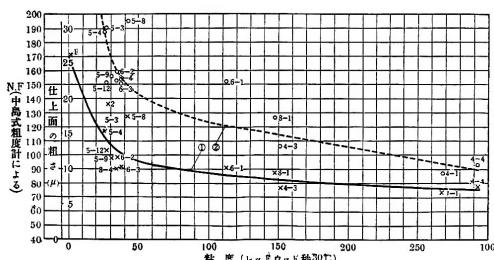


図5 切削油剤の粘度と仕上げ面粗さ

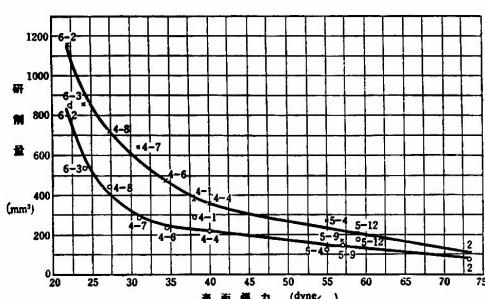


図6 研削油剤の表面張力と研削量

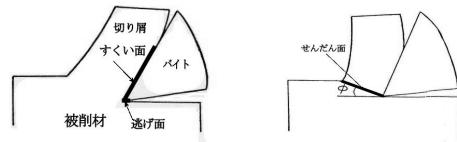


図7 二次元切削モデル

図8 せん断面

3. 正野崎友信先生の疑問

正野崎先生は、朝、登校されると私と一緒にお好きなコーヒーを飲みながら研究のお話をします。先生が常に疑問に思っていたことがあります。それは自分が提唱して、世間の人が信じていることに対する疑問です。先に述べましたように、切削油剤は工具のくい面、逃げ面に入って、そこを潤滑し摩擦を低減させ、切削状況を向上させる。しかし、大変高压高温のくい面、逃げ面に油や水が本当に効果を及ぼすのかと言う疑問です。先生の助手になった途端、私に、それを実験的に証明するように言われました。又、切り屑の自由面からせん断面(図8)に切削油剤が進入し、せん断面における内部摩擦に寄与しているのではないか。これも実験的に証明するように言われました。何年もかかりましたが、工作物から切り屑になるところ、せん断面に切削油剤が浸入し、再溶着を防ぎ、せん断面を潤滑し、内部摩擦を改善し、切削性能を向上させることを確認しました。それは、二つの方法で確認できました。

- ・工作物表面への切削油剤の塗布による効果。
- ・圧縮ねじり試験による潤滑油の圧縮ねじり面への浸入の確認です。

4. 学生たちの研究

4-1. 手の脂はよく削れる

(昭和47年・出沢功君の研究)

乾式二次元切削で、きれいに削った銅の面に小さなゴミが落ちていました。出沢功君は、それを取り除こうと、指で払い落としました。きれいな銅の面の一部が手の脂で汚れてしまいました。又、削り直しです。その時、切削抵抗測定機の記録計が動いていました。指で触れたところの切削抵抗が大きく減少していました。切り屑を探してみると、指で触ったところが薄く長くなっていました。4月から半年頑張ってきましたが、10月になって、失敗が元で油剤の塗布効果を実験的に確かめた瞬間です。その様子を図9、切り屑を図10に示します。

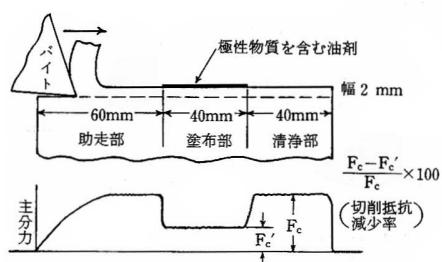


図9 油剤塗布効果の実験モデル

被削材の表面に薄く油を塗布することによって、その部分の切削抵抗が大きく減少し、切り屑が薄く長くなります。すなわち切削性能が著しく向上します。



図10 切削油剤の塗布効果による切り屑形状

4-2. 金属は日本酒にメロメロ

(昭和52年・岩崎三夫君の研究)

岩崎三夫君はせん断面への油剤の浸入を確認するため、圧縮ねじり実験を考えました。これは卓上ボール盤を改造した実験装置です。上から圧縮力を加え、ゆっくり回転ねじりを行います。すると材料は圧縮力が大きくなればなるほど、なかなか壊れません。しかし、そこにわずか潤滑油を塗布すると直ぐにねじ切れてしまいます。圧縮ねじり面に潤滑油が浸入しているのが確認できました。これで切削加工におけるせん断面への油剤の浸入をモデル実験で確認することが出来ました。この効果を別名、切削加工における切削油剤のレビンダー効果とも言います。

アルコールもレビンダー効果のある物質として知られています。そこで学生たちは考えました。飲むアルコール、お酒で実験してみようと、飲み屋さんの裏口に行き、お酒の空き瓶をもらっていました。その中には、今まで飲んだことも見たこともない、世界のお酒の瓶がいっぱいありました。もちろん日本のお酒もあります。空き瓶ですが、瓶の底に少しお酒が残っています。圧縮ねじり実験をするには十分な量です。実験をする前に思ったのは、口の中に入れると直ぐに口いっぱいに広がる、高級ブランデーが浸透性がよく、一番効果があるのではないか。ベタベタしている日本酒は一番効果が無いのではないか。

と思いました。実験をやってみて驚きました。そのベタベタしている日本酒が一番金属を弱くするのです。それも合成2級酒より、1級酒、更に特級酒がよいのです。(当時、日本酒はこのようにクラス分けされていました)最も効果が大きかったのは、古来から日本にある日本酒・剣菱です。何で日本酒が効果があるのかと思い、日本酒に関する本を図書館で探して勉強してみました。日本酒は微生物の発酵によって出来たものですから、分析しきれないくらいの物質が含まれていることがわかりました。エチルアルコールは言うに及ばず、潤滑効果の高い脂肪酸も含まれているのです。こういったものがせん断面に浸入し、せん断面に吸着して、滑り面の再溶着を防ぎ、摩擦を減少させる。

一般に金属は塑性変形すると加工硬化します、これは滑ったときに滑り面周辺に転位が密集して生じ、いわゆるディスロケーションロッキングを起こし、滑りにくくなる。切削油剤が滑り面に溶着することによって格子欠陥である転位の発生を少なくし、加工硬化を押さえると考えられます。人も金属もアルコールには弱いようです。

4-3. 掃除機でガスタンクの研磨

(平成3年・小島徹也君の研究)

小島君は東海道線で通学していました。上り電車が横浜駅近くに来ると、左手に球形の大きなガスタンクが見えてきます。ちょうどベンキの塗り直し作業中、錆落としをしていました。大きな球の錆落とし、小島君は大変だなーと思いました。そこで思いつきました。真空を利用して研磨をすれば球の上も横も下も苦労せずに錆を落とすことが出来る、研磨できるのではないか。真空研磨研究の発想です。直ぐに報告がありました。大きな真空ポンプを購入するのか、工具はいいものがあるのか、と問い合わせました。すると、古い掃除機でいいですし、日曜大工センターに行くと、いいものがたくさんありますので、自作をしますとの返事です。見事に図11のような真空研磨装置、図12の研磨工具が完成しました。それらを機械に取り付け、研磨してみた結果を図13に示します。なかなかの成果です。

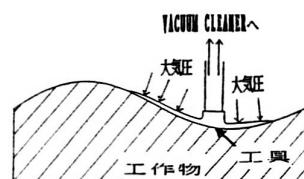


図11 真空研磨の概念図

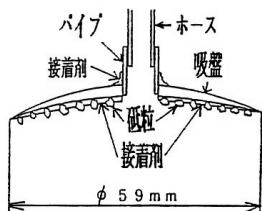


図12 真空研磨工具

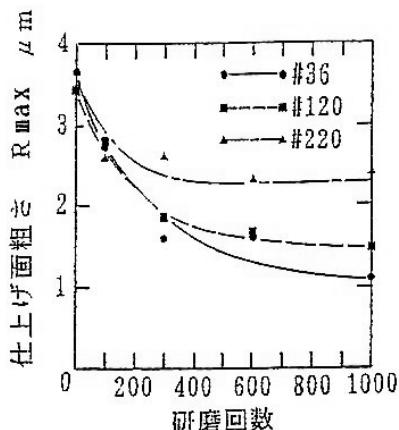


図13 真空研磨結果

4-4. 入浴剤でステンレスがピカピカに (平成11年・五十嵐隆之君の研究)

加工液としてバスクリンはどうでしょうか、五十嵐君の発言です。君の家では使っているのか、はい、冬用と夏用どちらがいいですか、お母さんにお願いして両方少しもってきて下さい。早速、バスクリンを脱イオン水に溶かして放電加工実験をしました。今までたくさんの金属、加工液を使用して実験をしてきましたが、何か、この結果は今までのものとは違います。バスクリンの成分は何なのか、五十嵐君はメーカーへ電話して聞きました。メーカーも親切に教えてくれました。重曹と硫酸ナトリウム、重曹はさわやかさに効果があり、硫酸ナトリウムは保温効果がある。それぞれ薬品として購入して放電加工実験をしてみました。ベース液として脱イオン水で加工した仕上げ面を図14に示します。典型的な放電仕上げ面で、高温で溶融した金属が飛び散り、クレーターが出来ています。重曹水溶液の結果は良くありません。硫酸ナトリウム水溶液はステンレスだけピカピカの仕上げ面(図15)になりました。鏡面状態です。放電加工は爆発的な現象ですから、ピカピカの鏡面には通常仕上がりません。この研究は、以後10年続きました。

4-5. 金魚も喜ぶハイポでステンレスがピカピカに (平成23年・横尾直樹君の研究)

横尾直樹君は加工液で環境に優しく、人畜無害なものはないかと色々考え、調べていました。チオ硫酸ナトリウム、通常ハイポ、金魚屋さんで売っています。水道水にハイポを入れると金魚の水として直ぐに使用できます。それを常に金魚は飲んでいるのですが、無害です。直ぐに購入し、色々な金属を被削材として放電加工実験をしました。やはりステンレスがピカピカに仕上がりました。電子顕微鏡で見てみると数十ミクロンほどのステンレスの結晶が浮き出て見えます。

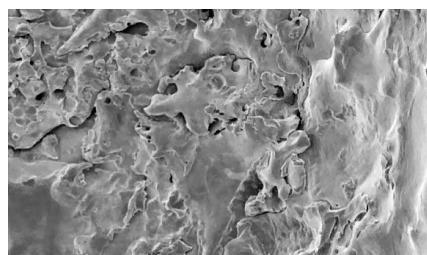


図14 脱イオン水による放電仕上げ面



図15 硫酸ナトリウム水溶液による仕上げ面

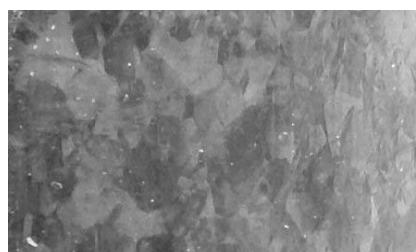


図16 ハイポ水溶液による放電仕上げ面

5. おわりに

恩師亡き後、世界的な物理学者・本学物理学教室渡邊靖志先生のお近くに接することが出来、温かいご指導を賜りましたこと、有り難く感謝に堪えません。

先生におかれましては、お身体ご自愛いただきまして、益々のご活躍、ご健勝をお祈り申し上げます。

2010 年度（平成 22 年度）工学研究所年次報告

1. 人事

1) 運営委員

所長	山村 博 教授
機械工学科	林 憲玉 教授
電子情報フロンティア学科	山口 栄雄 教授
物質生命化学科	佐藤 憲一 教授
情報システム創成学科	北岡 正敏 教授
建築学科	重村 力 教授
物理学教室	大成 逸夫 教授
電子情報フロンティア学科	新中 新二 教授（所長指名）

2) 研究所客員教授

沼田 俊一 (2010.4～2011.3)	小嶋 英一 (2010.4～2011.3)
大熊 武司 (2010.4～2011.3)	佐藤 祐一 (2010.4～2011.3)
坂田 弘安 (2010.4～2011.3)	杉原 淳 (2010.4～2011.3)
塚田 敏郎 (2010.4～2011.3)	南部 洋子 (2010.4～2011.3)
西 和夫 (2010.4～2011.3)	藤田 正則 (2010.4～2011.3)
許 瑞邦 (2010.10～2011.9)	武田 重喜 (2010.10～2011.9)
李 杰 (2010.10～2011.9)	

3) 研究所客員研究員

武田 重喜 (2007.10～2011.9)	小国 力 (2009.10～2010.9)
大和 裕幸 (2008.10～2010.9)	坂野 匠弘 (2009.10～2010.9)
久保 登 (2008.10～2010.9)	岩瀬 弘和 (2009.10～2010.9)
龍 重法 (2008.10～2010.9)	徐 剛 (2009.10～2010.9)
石倉 理有 (2008.10～2010.9)	蘆 朝輝 (2009.10～2011.9)
石川 博敏 (2008.10～2010.9)	周 建東 (2009.10～2011.9)
Tomasz kujej (2009.4～2012.3)	金 容範 (2010.4～2011.3)

4) 研究所特別研究員

小川 隆博 (2007.10～2009.9)	北島 創 (2008.10～2010.9)
黄 亮 (2010.10～2012.9)	

5) 研究所職員

教務技術職員 萩原 健司	技術員 八高 優勝
--------------	-----------

2. 予 算

平成22年度の予算・決算額を表-1に示す。

表-1 (単位:千円)

業務項目	予算額	決算額
研究所運営費	3,187	2,949
大型共同設備管理運営	4,600	4,740
工学研究所共同研究*	12,750	12,675
(特)テクノフェスタ	2,800	2,716
(特)若者と語る	223	223
合 計	23,560	23,303

*工学研究所共同研究内訳

共同研究代表者	予算額(千円)
中山 教授	3,850
堀野 准教授	4,000
趙 教授	4,000
内田 教授	900
計	12,750

3. 共同研究／プロジェクト研究

平成22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

人間工学視点に基づく安全円滑な平面交差交通システムの構築 —カーブミラーの視認性向上による交差点視環境改善—	堀野 定雄／情報システム創成
超電導粒子干渉計のオンチップ・アレイ化による高感度磁束計の製作	中山 明芳／電子情報フロンティア
鉄筋コンクリート構造物の残存寿命予測法に関する研究	趙 衍剛／建築
戦前期の韓国における住宅の近代化に与えた日本の影響について	内田 青蔵／建築

プロジェクト研究

A	高周波回路の解析・設計理論の整備と対応ソフト開発 —固有モードに基づく厳密な等価回路を適用して—	穴田 哲夫／電子情報フロンティア
B	建築鋼構造のリユースシステムに関する研究	岩田 衛／建築
C	大気環境化学研究所	井川 学／物質生命化学

A	高性能高分子膜材料の開発と評価	西久保 忠臣／物質生命化学
C	高安心・超安全交通研究所 (KU-WIPF)	堀野 定雄／情報システム創成
A	2020年の電子デバイスを想定した電子回路の研究	島 健／電子情報フロンティア
C	防災まちづくり支援研究センター	荏本 孝久／建築
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	山家 京子／建築
A	デジタル生産システムにおける CAE と品質工学の適用	北岡 正敏／情報システム創成
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
A	振動エネルギー流れに基づくシステムの評価と設計	山崎 徹／機械
A	高性能熱電発電材料の開発	山村 博／物質生命化学

4.講演会

「暮らしの中のサイエンス」連続講演会

テーマ：快適で環境にやさしい住宅内環境を創りだすために

—住宅を新築・改築・購入する前に知っておこう—

場 所：KU ポートスクエア

第1回 2010年11月6日（土）15:00～17:00

暖かく、涼しい温熱環境を創りだすために

神奈川大学工学部教授 岩本 静男

第2回 2010年11月13日（土）15:00～17:00

健康でさわやかな空気環境を創りだすために

東京理科大学工学部教授 倉渕 隆 氏

第3回 2010年11月20日（土）15:00～17:00

安全で快適な水環境を創りだすために

東京大学名誉教授 鎌田 元康 氏

第4回 2010年11月27日（土）15:00～17:00

静かで目にやさしい音・光環境を創りだすために

神奈川大学工学部准教授 安田 洋介

「科学と工学の最前線」連続講演会

テーマ：ロボット研究の最前線

場 所：神奈川大学横浜キャンパス

第1回 2010年10月9日（土）13:00～16:00

1 ヒューマノイドロボットの現状

神奈川大学工学部教授 林 憲玉

2 R Tミドルウェアと国際標準化活動

産業技術総合研究所統合知能研究グループ長

筑波大学連携大学院教授 神徳 徹雄 氏

第2回 2010年10月23日（土）13:00～16:00

1 宇宙ロボットの現状と将来

宇宙航空研究開発機構(JAXA)

有人宇宙環境利用ミッション本部主任開発員 上野 浩史 氏

2 知能ロボットから昆虫ロボットへ

工学院大学大学顧問 三浦 宏文 氏

「若者と語る」シリーズ講演会

テーマ：脳と心とインターネット

場 所：神奈川大学セレストホール

2010年7月21日（土）16:20～17:30

東京大学名誉教授 養老 孟司 氏

5. 神大テクノフェスタ2010 —暮らしと環境の未来 エコ・テクノロジー—

日時：2010年10月15日（金）12:00～17:30

場所：神奈川大学横浜キャンパス2号館演習室・1号館804室・3号館301室

実施内容

1) 講演会（1号館804室・一部3号館301室）

工学部重要機器報告会3件、テーマ講演会4件

特別講演

『電気自動車用リチウムイオン電池の開発動向』 佐藤 祐一（神奈川大学名誉教授）

2) 研究ポスター発表（2号館演習室）

工学部重要機器 10件

大学院生によるポスター発表・作品展示 51件

3) 企業展示 19社、1法人、1同窓会（2号館演習室）

4) 研究相談窓口（2号館演習室）

5) 懇親会（10号館3階学生ラウンジ 18:00～19:30）

6. 大型装置使用実績

平成 22 年度の大型装置使用実績を表－3 に示す。

表－3 (時間)

研究室名	TEM	SEM	XRD	TF-XRD	XPS	ICP	CCD
機械工学科	0	83.5	244	0	0	0	0
工藤研究室			231				
竹村研究室		83.5	13				
電子情報フロンティア科	0	449	140	17	97	0	0
大野研究室			1.5				
中山研究室			19	17			
平手研究室		408.5	140		67		
山口研究室		20			30		
物質生命化学科	373.5	311	1469	694.5	317.5	336	1708
井川研究室		59.5			240		
池原研究室	89.5		15				
小野研究室					40		
小出研究室		71.5	43		8	1338	
佐藤(憲)研究室						46	
内藤研究室	195.5		5.5	71.5			
西久保研究室			42.5				
引地研究室					324		
松本研究室	88.5	114.5	394	49	210		
山村研究室		65.5	969	645.5	36.5	24	
化学教室	150.5	46	65.5	0	0	8	0
亀山研究室		1.5	3.5				
川口研究室	66	9.5	24			8	
田島プロジェクト	84.5	35	38				
理学部	0	8	0	0	149	0	49
森研究室		8			72.5		49
山口研究室					76.5		
合計時間	524	889.5	1918.5	711.5	563.5	344	1757

工学研究所だより

2010年5月6日 発行 No. 2010-1
 神奈川大学工学研究所
 〒221-8686 横浜市神奈川区六角橋3-27-1
 Tel 045-481-5661 (内線 3631)
 hagi@kanagawa-u.ac.jp

新所長挨拶

工学研究所 所長 山村 博

この度、工学研究所の所長を拝命した山村です。前任の許先生は2期4年間の間に、プロジェクト研究の推進、神大テクノフェスタの開催、研究所だよりの発行など数多くの新しい取り組みを精力的に行ってこられました。私も運営委員会での幹事役として許所長のもとで努力してまいりましたが、所長就任に当りこれから工学研究所の方を考えますと身の引き締まる思いです。

工学研究所は設立以来35年の間、研究所報の発行や共同研究を推進するとともに、一学科や研究室では支えきれない大型装置の保守・管理・運営を通して工学部・工学研究科の研究・教育に貢献してきました。一方、工学部と組織を切り離し、独自の活動を担っている工学研究所として大学に、さらには社会や産業にどんな貢献ができるかについて考えてみたいと思います。

今の日本社会を見ますと、円高、人件費の高騰による産業の空洞化、エネルギー問題、自然環境問題、少子・高齢化社会の到来など、多くの問題が山積みになっております。このような問題を解決するには、世界や社会の産業構造の変化が求められていることを意味しています。

そこで、工学研究所において工学部・工学研究科が長年培ってきた技術力を結集し、神奈川大学が社会に誇れる強い技術を育成することにより社会に貢献したいと考えております。このため、すでに工学研究所において発足しているプロジェクト研究を始め、町づくり研究所、大気環境化学研究所、防災まちづくり支援研究センターなどの課題研究所を企業や地域社会との連携のもとで推進することにより社会や産業の発展に貢献できるのでは、と期待しております。そのためにも、外部資金の獲得等による研究資金の充実が必要になると思われます。

工学部・工学研究科・工学研究所の協力の下で、学科を越えて教員同士が連携して開催する“神大テクノフェスタ2010”（実行委員長：佐藤憲一教授）（10月15日予定）では広く企業からの展示も予定されており、学生諸君にとっても、専攻分野を超えた学生間の交流の場になるとともに、企業との新しい出会いの場でもあると位置付けております。また、広報部と連携して、「暮らしの中のサイエンス」、「科学と工学の最前線」などの連続講演会などを企画・実行しております。これらのイベントは神奈川大学の成果を世に訴える絶好の機会でもありますので、私としても全力を上げて取り組む所存です。

さらに、工学研究所としての独自の機能を活かすため、大学院専任教員の招聘に向けて努力するとともに、客員教授、

客員研究員、特別研究員システムをさらに一層充実させたいと思います。また、近隣の高校生、中・高教員、卒業生の皆さんを仲間にした課外活動を発足させることにより、いわゆる世に言う“理科離れに”歯止めをかけたいと思いますし、その活動を通して神大工学部の将来を担う助手、助教の皆さんを含む若い研究者にも活躍の場を提供したいと思っております。

私の盛りだくさんの夢を語りましたが、それらの実現に向けて一歩、一歩進めていく所存ですので、所員の皆様のご声援とご協力を切にお願い申し上げまして、私の所長就任の挨拶といたします。

2010年度運営委員の紹介と役割分担

運営委員会は各学科および教室系より選出された6人の運営委員と所長指名の運営委員（新中教授）と所長の8名で構成され、工学研究所の運営のために以下の分担で仕事を進めています。

運営委員会の構成

山村 博	(所長)
林 憲玉	(機械工：自己点検・評価、だより、Web担当)
山口 栄雄	(電子情報フロンティア：大型装置管理 委員会幹事)
佐藤 憲一	(物質生命化：テクノフェスタ実行委員長)
北岡 正敏	(情報システム創成：所報編集委員長、 研究支援委員会幹事)
重村 力	(建築：テクノフェスタ副実行委員長)
大成 逸夫	(教室系：講演会関係担当)
新中 新二	(所長指名：運営委員会幹事)
事務局	萩原健司、八高優勝、沼田智恵

研究支援委員会

委員長：青木 勇	副委員長：寺尾 道仁
委員：西久保忠臣	穴田 哲夫
渡邊 靖志	北岡 正敏 (幹事)

大型装置管理委員会

委員長：内藤 周児	
委員：井川 学 岡本 専太郎 平手 孝士 横澤 勉 山口 栄雄 (幹事) 山村 博 (オブザーバー)	

関連各種委員会

神大テクノフェスタ2010実行委員会

委員長：佐藤 憲一	副委員長：重村 力
委員：林 憲玉	山口 栄雄 小出 芳弘
内田 智史	福井 通 宇佐見 義之

工学部・工学研究科・工学研究所紹介冊子編集委員会

委員長：成田 清正 副委員長：原村 嘉彦
 委員：島 健 池原 飛之 瀬古沢 照治
 内田 青蔵
 宇佐見 義之（作業責任者）
 崩谷 浩人（協力）

講演会企画委員会

委員長：庄司 正弘
 委員：井川 学 林 憲玉 岩本 静男
 大成 逸夫 新中 新二

工学研究所共同研究、プロジェクト研究**2009年度（終了）共同研究**

- ・08-A1 計画支援を意図した空間情報視覚化システムの開発（山家：建築）
- ・08-A2 構造相転移によるカルコゲン系熱材料の高性能化に関する研究（米田：電フ）

2010年度 共同研究

- ・09-A1 人間工学視点に基づく安全円滑な平面交差交通システムの構築 カーブミラーの視認性向上による交差点視環境改善一（堀野：情シ 400万円）
- ・09-A2 超電導粒子干渉計のオンチップ・アレイ化による高感度磁束計の製作（中山：電フ 385万円）
- ・10-A1 鉄筋コンクリート構造物の残存寿命予測法に関する研究（趙：建築 400万円）
- ・10-B1 戰前期の韓国における住宅の近代化に与えた日本の影響について（内田青：建築 90万円）

2009年度（終了）プロジェクト研究

- ・07-B1 建築鋼構造のリユースシステムに関する研究（岩田：建築）
- ・08-A1 热電発電システム構成のための基礎研究（大野：電フ）
- ・08-A2 次世代自動車高性能蓄電システム技術開発事業／要素開発／高容量電池の開発（佐藤：物生）

2010年度プロジェクト研究

- ・10-A1 高性能熱電発電材料の開発（山村：物生）

工学研究所からのお知らせとお願い**1. 運営委員会報告**

前号の工学研究所だより発行からこれまでに開催した運営委員会の主な議題をお知らせします。

第1回（4月7日開催）

- ・運営委員の紹介
- ・所長指名の運営委員の了承
- ・工学研究所の現状と課題
- ・2010年度予算について
- ・神大テクノフェスタ2010企画委員会報告
- ・大学主催講演会“若者と語る”準備状況
- ・プロジェクト研究・客員研究員・特別研究員の募集
- ・工研だより10-01号について
- ・2010年度自己点検評価実施委員について

第2回（4月28日開催）

- ・工学研究所の課題の検討
- ・各委員会の委員の決定と進捗状況

2. 2010年度工学研究所予算について

本年度の工学研究所の経常予算は、申請額どおりの20,537,000円となりました。内訳は以下の通りです。

共同研究	12,750,000円
大型共同設備運用	4,600,000円
研究所運営	3,187,000円

また、特別予算として神大テクノフェスタ2010として2,800,000円、若者と語るシリーズ講演会223,000円が認められました。したがって、本年度の工学研究所総予算は23,560,000円となります。

3. 工学研究所所報原稿の募集

所報33号の総合論文、トピックス、随想等の原稿を募集いたします。詳しくは後日所属メーリングリストでお知らせいたします。 原稿締切 9月末 発行予定 11月末

4. 工学研究所プロジェクト研究の募集

平成22年度前期 工学研究所プロジェクト研究のテーマを募集しております。詳細については後日メーリングリストにてお知らせいたします。

申請書応募締切 5/28（金） ヒアリング 6月開催予定

5. 総合学術研究推進委員会／研究委員会報告

前号の工学研究だよりからこれまでの委員会での議題は以下の通りです。

2010年度 第1回（4月21日開催）議題

- ・昨年度の活動総括
- ・本年度の活動予定
- ・平成22年度学術研究振興資金の選考結果について
- ・平成22年度私立大学戦略的研究基盤形成支援事業の選考結果について
- ・2011年度日本学術振興会特別研究員の募集について
- ・教員研究費（個人研究費）の取扱いについて
- ・平成22年度科学研究費補助金採択課題一覧
- ・経常費補助金の2009年度実績について
- ・「神奈川大学・デンマーク王立芸術科学アカデミー建築大学学術交流協定書」、「神奈川大学工学部及び工学研究科とデンマーク王立芸術アカデミー建築大学との学生交換に関する覚書」の締結について
- ・各種助成金の公募案内
- ・2010年度海外学会等出張旅費配分（案）について
- ・研究所客員教授の任用及び更新について

工学研究所だよりの内容等について、ご質問、ご意見等がございましたら工学研究所 事務局：萩原（内線3631、hagi@kanagawa-u.ac.jp）までお知らせください。

工学研究所だより

神大テクノフェスタ 2010 の計画について

実行委員長 佐藤 憲一

本年度も 10 月 15 日に神大テクノフェスタ 2010 を以下の要領で開催することとなりました。実行委員会では、工学研究所所員をはじめとする多くの方のご支援のもと、充実したテクノフェスタとなるよう、委員各位が多忙の中準備を進めております。皆様のご来場を心よりお待ちしております。

開催の趣旨 :

神奈川大学工学部・工学研究科・工学研究所の研究実績・ポテンシャルを社会に広くアピールし、「神奈川大学」のブランドを高めるため、工学研究所・工学研究科・工学部が共同して、研究成果の発表・展示・実演を実施する。

テーマ：暮らしと環境の未来—エコ・テクノロジー—

開催日：2010 年 10 月 15 日（金）

開催内容 :

(1) 講演会

以下の 3 部構成として、本館 804 会議室（一部 3 号館）にて行う。

第 1 部 13:00~14:10

工学部重要機器報告会（座長：伊藤勝悦）

第 2 部 14:25~16:20

テーマ講演会（座長：宇佐見義之）

第 3 部 16:30~17:30

特別講演会（座長：小出芳弘）

佐藤祐一（神奈川大学名誉教授）

「電気自動車用リチウムイオン電池の開発動向」

(2) 大学院生/研究室によるポスター発表・作品展示・実演展示
広く研究内容とその成果を発表することを目的に、ポスター発表形式で、大學生が研究発表する。建築学専攻の作品模型展示を伴う発表を含む。発表件数 50 件程度。2 号館演習室において、12:00~15:30 を予定（後半はポスター掲示のみ）。

(3) 工学部重要機器報告に関するポスター発表

講演会で発表予定の 3 件以外で、まだ学内での発表を行っていらない工学部重要機器報告に関して、ポスター発表形式で発表していただく。2 号館演習室において、12:00~15:30 の時間帯に 10 件を予定。

(4) 研究相談窓口

産官学連携課が外部からの研究相談を受け付ける窓口を開設する。2 号館演習室において、13:00~16:00 を予定。

(5) 企業展示

企業における技術者の仕事を中心に企業紹介をしていただく。
2 号館演習室において、各学科から推薦をいただいた約 20

2010 年 7 月 30 日 発行 No. 2010-2
神奈川大学工学研究所
〒221-8686 横浜市神奈川区六角橋 3-27-1
Tel 045-481-5661 (内線 3631)
hagi@kanagawa-u.ac.jp

社の参加により、12:00~15:30 での実施を予定。

(6) 懇親会

10 号館 3 階学生ラウンジにて、18:00~19:30 に開催の予定。

開催組織 :

開催委員長 工学部長 庄司 正弘

開催副委員長 工学研究科委員長 遠藤 信行

工学研究所所長 山村 博

実行委員長 佐藤 憲一

副実行委員長 重村 力

実行委員 林 憲玉、山口 栄雄、小出 芳弘、
内田 智史、福井 通、宇佐見義之

以上

養老孟司氏による“若者と語る”講演会の報告

本年で第 3 回目となる大学主催の『若者と語る』講演会が、解剖学者で東大名誉教授の養老孟司先生をお迎えして、「脳と心とインターネット」をテーマに、7 月 21 日(水)セレストホールで開催されました。約 300 名の来場者が講演に熱心に耳を傾け、「未知の世界に向けて一步踏み出すこと。それを“勇気”というのです。」と若者に向けて語りかけました。



連続講演会の企画について

工学研究所・工学研究科共催の連続講演会のテーマ、日程が以下のとおり決定いたしましたのでお知らせいたします。

○暮らしの中のサイエンス

快適で環境にやさしい住宅内環境を創りだすために

—住宅を新築・改築・購入する前に知っておこう—

日時：11/6～11/27 土曜日 15:00～16:30 全 4 回

○科学と工学の最前線

ロボット工学の最前線

日時：10/9、10/23 土曜日 13:00～16:00 全 2 回

工学研究所からのお知らせとお願い

1. 運営委員会報告

前号の工学研究所だより発行からこれまでに開催した運営委員会の主な議題をお知らせします。

2010年度 第3回(5月19日開催)

1. 各委員会の委員の報告
 - (1) テクノフェスタ
 - (2) 講演会
 - (3) 工学系紹介冊子編集委員会
 - (4) 研究所所報編集委員会
2. 終了プロジェクト研究の報告書について
3. プロジェクト研究審査委員会の日程について
4. 工学研究所の課題の検討について
 - (1) 工学研究所規則の改定
 - (2) 所員会議内規案の新設
 - (3) 客員教授の内規の改定
 - (4) プロジェクト研究方針の変更
 - (5) 工学研究所専任の大学院教員の申請
5. 工学研究所だより2号について

2010年度 第4回(6月23日開催)

1. 各委員会の委員の報告
 - (1) テクノフェスタ実行委員会
 - (2) 講演会企画委員会
 - (3) 研究所所報編集委員会
 - (4) 大型装置管理委員会
2. 終了プロジェクト研究の報告書について
3. 研究支援委員会(6/29)について
4. 工学研究所の課題の検討について
 - (1) 工学研究所規則の改定
 - (2) 工学研究所専任の大学院教員の申請
5. 小国先生講演会について
6. オープンキャンパスの参加について
7. 所員会議(7/14)について

2. 工学研究所共同研究、プロジェクト研究の募集

2011年度共同研究と2010年度後期プロジェクト研究のテーマを募集しております。詳細については近日中に配信するメールの募集の案内をご覧ください。**締切は10月8日(金)**を予定しています。

※共同研究継続の場合も継続申請書をご提出ください。

不明な点は工学研究所事務局まで問い合わせ下さい。是非これらの制度を活用して、研究にお役立ていただければと思います。

3. 客員教授ご推薦のお願い

工学研究所客員教授の推薦をお願いいたします。必要書類は申請書/推薦書で、詳細は近日中に配信するメールをご参照ください。**締切は10月8日(金)**を予定しています。

4. 所報 原稿執筆のお願い

所報33号の原稿(総合論文・トピックス・随想)を募集いたします。詳細は7月21日送信のメールをご確認ください。申し込みの締切は**8月3日(火)**、原稿の締切は**9月17日(金)**を予定しています。

5. 総合学術研究推進委員会／研究委員会報告

今年度これまでの2回にわたる委員会での議題は以下の通りです。

2010年度 第2回(6月23日開催)議題

- ・2010年度日本私立学校振興・共済事業団学術研究振興資金の採択結果について
- ・2010年度共同研究奨励助成金交付の対象となる共同研究の審査結果について
- ・2009年度プロジェクト研究所活動報告について
- ・私立大学学術研究高度化推進事業に係る事後評価(平成21年度実施分)の結果通知について
- ・平成22年度「日本学術振興会育志賞」の推薦について
- ・助成金公募状況
- ・「神奈川大学日本民俗文化研究所非文字資料研究センターとフランス国立高等研究院の学術交流についての覚書」の締結について
- ・競争的資金に係る間接経費使用報告書(平成21年度)
- ・2011年度日本私立学校振興・共済事業団学術振興資金の公募について
- ・2011年度日本私立学校振興・共済事業団学術振興資金(若手研究者奨励金)の公募について
- ・2011年度文部科学省補助金に係る構想調書・計画調書等の資料
- ・2011年度国際交流(学術研究)事業の公募について
- ・神奈川大学出版会について
- ・学校法人神奈川大学経理規定および学校法人神奈川大学固定資産・物品管理規定の制定に伴う関係諸規定の整備に関する規定の制定および神奈川大学における競争的資金等の運営・管理に関する取扱要領の改正について
- ・プロジェクト研究所客員研究員の任用について

2010年度 第3回(7月21日開催)議題

- ・2009年度プロジェクト研究所活動報告について
- ・助成金公募状況
- ・科学研究費補助金「系・分野・分科・細目表」に関する意見募集に係る周知について
- ・神奈川大学と北京師範大学との学術交流協定及び神奈川大学外国语学部・大学院外国语学研究科と北京師範大学漢語文化学院との学生交換に関する覚書の締結について(案)
- ・神奈川大学外国语学部とヴェネツィア「カ・オスカリ」大学東アジア学科との学術交流協定及び学生交換に関する覚書の締結について(案)
- ・神奈川大学外国语学部・清华大学人文社会科学学院交流協定書、神奈川大学外国语学部と清华大学人文社会科学学院との学生交換留学に関する覚書の締結について(案)
- ・プロジェクト研究所客員研究員の任用について
- ・神奈川大学不正防止計画について(案)
- ・神奈川大学出版会について

工学研究所だよりの内容等について、ご質問、ご意見等がございましたら工学研究所 事務局:萩原(内線3631、hagi@kanagawa-u.ac.jp)までお知らせください。

工学研究所だより

神大テクノフェスタ 2010 の開催報告

実行委員長 佐藤 憲一

神大テクノフェスタは今年度で3回目を迎え、年中行事として定着しつつある。開催趣旨をこれまで通り工学系の研究実績・ポテンシャルを社会に広くアピールし、「神奈川大学」のブランドを高めることとし、工学部・工学研究科・工学研究所・学術フロンティアの協力のもと開催された。今年度のテーマも昨年度と同じ「暮らしと環境の未来」とした。また、テーマ講演は副題である「エコ・テクノロジイ」を主眼として企画された。新たな企画は、企業展示会場での学科同窓会ブースの設置や学生参加によるテクノフェスタポスター・デザインコンペであり、好評であった。計画した全ての企画を成功裏に終えることが出来たのも主催者、実行委員、発表者、参加者の協力によるものであり、この場を借りて感謝申し上げる。なお、今回の具体的な実施内容を以下の通りご報告致します。

1. 日時：2010年10月15日（金）12:00-17:30

2. 場所：2号館演習室・1号館804会議室

3. 実施内容

1) 講演会（於：1号館804会議室、3号館301）

【工学部重要機器報告会】

「人工酵素を目指して～有機ホウ素化合物を用いた

新規触媒の開発」 引地 史郎 教授

「製品のライフサイクルにおける品質機能」

北岡 正敏 教授

「恐竜は重くて走れないか？力学計算による古代生物の再現」 宇佐見義之 准教授

【テーマ講演会：エコ・テクノロジイ】

「暮らしと住まい」 岩本 静男 教授

「神奈川大学における電気自動車の研究開発」

新中 新二 教授

「エネルギー有効利用におけるスターリングエンジン」

原村 嘉彦 教授

「ヒューマノイドロボットと人間との共存」

林 憲玉 教授

【特別講演】

「電気自動車用リチウムイオン電池の開発動向」

佐藤 祐一 客員教授



写真1. 特別講演の様子（1-804室）

2010年11月4日 発行

No. 2010-3

神奈川大学工学研究所

〒221-8686 横浜市神奈川区六角橋3-27-1

Tel 045-481-5661 (内線 3631)

hagi@kanagawa-u.ac.jp

2) ポスター発表・作品展示（於：2号館演習室）

・私立大学等研究設備費等補助金報告 1件

・工学部重要機器報告 9件

・大学院生によるポスター発表・作品展示

機械工学専攻11件、電気電子情報工学専攻6件

応用化学専攻15件、経営工学専攻5件

建築学専攻13件（うち作品展示3件を伴う）

計50件

3) 企業展示 19社1法人（於：2号館演習室）

4) 研究相談窓口（於：2号館演習室）

5) 懇親会

（於：10号館3F学生ラウンジ 18:00-19:30）



写真2. 大学院生ポスター発表・建築作品展示の様子



写真3. 企業展示の様子（2号館地下演習室）

4. 参加者数ならびに講演会の聴衆

企業展示関係者：52名

一般参加者：33名

学生参加者：612名

懇親会参加者：一般 26名、学生 45名、教職員約 60名

講演会の聴衆：重要機器報告会 約 60名

テーマ講演会 約 70名

特別講演会 約 70名



写真4. 学生ポスターコンペ表彰式（懇親会場にて）

開催組織

開催委員長	工学部長	庄司 正弘
開催副委員長	工学研究科委員長	遠藤 信行
	工学研究所所長	山村 博
実行委員長	佐藤 憲一	
副実行委員長	重村 力	
実行委員	山口 栄雄、林 憲玉、小出 芳雄、 内田 智史、福井 通、宇佐見義之 赤井 昭二、岡本 到、五十嵐 泉 五十嵐徹太郎、佐々木安則、本田広幸	



写真5. ホバークラフト ‘Irene’ の展示（2号館地上）

連続講演会の企画について

工学研究所企画の連続講演会『科学と工学の最前線』が下記の日程で開催されましたのでご報告いたします。

テーマ：ロボット工学の最前線

参加人数：10/ 9(土) 一般 11 名

学生 14 名 (高校生 1 名)

教職員 2 名 計 27 名

10/23(土) 一般 9 名

学生 22 名 (他大学 1 名)

教職員 4 名 計 35 名

来月は『暮らしの中のサイエンス』がみなとみらいのKUポートで開催されます。一般の方にもとても興味深い内容となっておりますので、皆様のご参加をお待ちしております。

快適で環境にやさしい住宅内環境を創りだすために**—住宅を新築・改築・購入する前に知っておこう—**

日時：11/6～11/27 土曜日 15:00～16:30 全4回

工学研究所からのお知らせ**1. 運営委員会報告**

前号の工学研究所だより発行からこれまでに開催した運営委員会の主な議題をお知らせします。

2010年度 第5回 (7月28日開催)**1. 各委員会からの報告**

テクノフェスタ実行委員会／講演会企画委員会
研究所所報編集委員会／所員会議報告

2. 所員会議内規について**3. 来年度共同研究の募集について****4. 後期プロジェクト研究の募集について****5. 工学研究所の課題の検討について****6. 工学研究所だより 10-2 について****2010年度 第6回 (9月29日開催)****1. 各委員会からの報告**

テクノフェスタ実行委員会／講演会企画委員会
研究所所報編集委員会

2. 所員会議内規について**3. テクノフェスタ 2011企画委員会の立ち上げについて****4. 工学研究所だより 10-3 について****2010年度 第7回 (10月20日開催)****1. 各委員会からの報告**

テクノフェスタ実行委員会／講演会企画委員会
研究所所報編集委員会

2. 2011年度予算について**3. 共同研究・プロジェクト研究の応募状況****4. テクノフェスタ 2011企画委員会の立ち上げについて****5. 大型装置の申請(電子スピinn共鳴分光計：申請代表 橋澤教授)****6. 工学研究所だより 10-3 について****2. 総合学術研究推進委員会／研究委員会報告**

前号の工学研究所だより発行からこれまでに開催した委員会での議題は以下の通りです。

2010年度 第4回 (10月20日開催) 議題**・助成金報告**

・神奈川大学外国语学部とヴェネツィア「カ・オスカリ」大学東アジア学科との学術交流協定及び学生交換に関する覚書の締結について

・神奈川大学外国语学部・清华大学人文社会科学学院交流協定書、および、神奈川大学外国语学部と清华大学人文社会科学院との学生交換留学に関する覚書の締結について

・「研究機関における公的研究費の管理・監査のガイドライン（実施基準）」に基づく体制整備等の実施状況報告書の提出について

・平成23年度学術研究振興資金に係る研究計画書の提出について

・平成23年度学術研究振興資金（若手研究者奨励金）に係る計画書の提出について

・神奈川大学不正防止計画について

・研究所客員研究員の任用取り消しについて

・科研費補助金の採択率向上にむけて

工学研究所だよりの内容等について、ご質問、ご意見等がございましたら工学研究所 事務局：萩原（内線3631、hagi@kanagawa-u.ac.jp）までお知らせください。

工学研究所だより

2010年を振り返って

工学研究所長 山村 博

昨年4月に許先生の後を引き継いで、所長に就任して以来、早いものでまもなく1年が経過しようとしております。所長就任にあたり、プロジェクト研究の一層の充実、神大テクノフェスタや広報部と連携した連続講演会の企画・実行、さらに工学研究所としての独自の機能を活かすため、大学院専任教員の招聘に向けて努力するとともに、客員教授、客員研究員、特別研究員システムの一層の充実、また、近隣の高校生、中・高教員、卒業生の皆さんを仲間にした課外活動の発足などを掲げました。

ここで、昨年の活動を振り返りますと、所員の皆さんの協力もあり、7月には養老先生をお呼びした「若者と語る」講演会、さらに「暮らしの中のサイエンス」では「快適で環境にやさしい住宅内環境をつくりだすために」をテーマとし、「科学と工学の最前線」ではロボット技術をテーマにした連続講演会を実施しました。また、10月には「神大テクノフェスタ2010」（実行委員長：佐藤憲一教授）を開催することができました。ご協力をいただいた教職員の方々には心からお礼申し上げる次第です。一方、所員会議や客員教授に関する規約も一部整備できました。なお、工学研究所の大型装置ですが、新たに高性能のICP-MAS（アジレント製、7700x）（責任者：井川 学教授）が新たに設置されたことも明るいニュースの一つです。

2011年度の実施に向けて、10件のプロジェクト研究、5件の共同研究を採択とともに、現在、「若者と語る」講演会、「神大テクノフェスタ2011」の企画が進んでおります。残念ながら、当初掲げた目標の達成にはほど遠い状況であります、目標達成に向けて所員の皆様の一層のご支援をお願い申し上げます。

工学研究所からのお知らせ

1. 運営委員会報告

前号の工学研究所だより発行からこれまでに開催した運営委員会の主な議題をお知らせします。

2010年度 第8回（11月24日開催）

1. 各委員会の報告

- (1) 研究所所報編集委員会
- (2) 講演会企画委員会
- (3) 研究支援委員会
(共同研究・プロジェクト研究の審査結果)

2. 2011年度特別予算

3. テクノフェスタ2011企画委員会

4. 所員会議について

5. 小国先生の講演会について

2011年2月2日 発行 No. 2010-4
神奈川大学工学研究所
〒221-8686 横浜市神奈川区六角橋3-27-1
Tel 045-481-5661 (内線 3631)
hagi@kanagawa-u.ac.jp

2010年度 第9回（12月21日開催）

1. 各委員会の報告
 - (1) 講演会企画委員会
 - (2) 研究所所報編集委員会
2. 2010年度第2回所員会議の報告
3. 2011年度経常予算について
4. 2011年度工学部・工学研究科・工学研究所紹介冊子について
5. テクノフェスタ2011企画委員会
6. その他
 - 1) 小国先生の講演会
 - 2) 本年度予算の残額および使用
 - 3) 2010年度自己点検報告書

2010年度 第10回（1月19日開催）

1. 各委員会の報告
 - (1) 講演会企画委員会
 - (2) 神大テクノフェスタ2011企画委員会
2. 事務報告
 - (1) 2010年度自己点検報告書
 - (2) 2011年度経常予算
3. 2011年度の運営委員の選出
4. 2011年度工学部・工学研究科・工学研究所紹介冊子について

2. 次年度プロジェクト研究／共同研究のテーマ決定

2011年度工学研究所プロジェクト研究は表1に示す10件のテーマが継続しています。

表1 2011年度工学研究所プロジェクト研究テーマ

	テーマ	代表者
A	高周波回路の解析・設計理論の整備と対応ソフト開発	穴田哲夫／電情
C	大気環境化学研究所	井川 学／物生
A	高性能高分子膜材料の開発と評価	西久保忠臣／物生
C	高安心・超安全交通研究所	松浦春樹／情シ
A	2020年の電子デバイスを想定した電子回路の研究	島 健／電情
C	防災まちづくり支援研究センター	荏本孝久／建築
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	山家京子／建築
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
A	振動エネルギー流れに基づくシステムの評価と設計	山崎 徹／機械
A	高性能熱電発電材料の開発	山村 博／物生

2011年度工学研究所共同研究は5件の申請（新規4件、継続1件）がありました。工学研究所運営委員会より委嘱された工学研究所研究支援専門部会により結

成された「共同研究審査委員会」において、ヒアリングと質疑応答を行われました。その後、慎重な審議を経て、表2に示す5件のテーマの採択を決定しました。

表2 2011年度工学研究所共同研究採択テーマ

研究課題	研究代表者
鉄筋コンクリート構造物の残存寿命予測法に関する研究	趙衍剛／建築
磁性体材料と超伝導体材料を使った量子効果デバイスの試作	中山明芳／電情
持続可能社会実現のためのリーン生産・物流システムに関する研究	中島健一／情シ
戦前期における日韓の住宅近代化に関する比較研究	内田青蔵／建築
雷または雷雲期限放射線の研究	日比野欣也／物理

3. 第2回所員会議報告

2010年12月8日の教授会終了後に本年度第2回所員会議を開催いたしました。議題は以下のとおりです。

- ・工学研究所客員教授1名の申請について
- ・客員教授7名、客員研究員6名、特別研究員1名の再任申請について

審議の結果、下記の客員教授および研究員の申請が承認されました。

客員教授（新規）堀野定雄

客員教授（継続）沼田俊一／西和夫／大熊武司
佐藤祐一／南部洋子／杉原淳
小嶋英一

客員研究員（継続）石川博敏／大和裕幸／久保登龍
重法／石倉理有／金容範

特別研究員（継続）北島創

4. 神大テクノフェスタ2011準備企画委員会の構成

来年度の神大テクノフェスタ開催に向け、準備企画委員会を立ち上げました。

開催予定日時：2011年10月中旬

委員長：山村博（工学研究所所長）

副委員長：伊藤勝悦（研究委員会委員長）

幹事：新中新二（工学研究所幹事）

委員：宍田哲夫／栗原謙三／本間正明（大学院研究委員会）

重村力（工学研究所運営委員）

佐藤憲一（前実行委員長）

研究支援部／広報部

5. 「若者と語る』シリーズ講演会実行委員会の構成

来年度の『若者と語る』講演会は、2010年ノーベル化学賞受賞の根岸英一氏（パデュー大学特別教授）をお招きして開催することが決定いたしました。

日 時：2011年9月28日（水）16:20～18:00

委員長：新中新二

副委員長：佐藤憲一

委員：岡本専太郎／小野昌／小出芳弘／横澤勉

山口和夫／木原伸宏（理学部）

山村博（工学研究所所長・わざわば）

広報部／研究支援部／総務部／高大連携室

6. 連続講演会について

工学研究所企画の連続講演会『暮らしの中のサイエンス』がみなとみらいのKUポートで開催されましたのでご報告いたします。

テーマ：

快適で環境にやさしい住宅内環境を創りだすために
-住宅を新築・改築・購入する前に知っておこう-
日時：11/6～11/27 土曜日 15:00～16:30 全4回
参加人数：一般 16名、学生 2名 合計 18名

7. 総合学術研究推進委員会／研究委員会報告

前号の工学研究所だより発行からこれまでに開催した委員会での主な議題は以下の通りです。

2010年度 第5回（11月17日開催）議題

- ・助成金公募状況
- ・2011年度私立大学戦略的研究基盤形成支援事業の審査
- ・2011年度国際交流（学術交流）の事業の審査
- ・「神奈川大学・建国大学校学術交流協定書」「神奈川大学と建国大学校との学生交換留学に関する覚書」の締結
- ・プロジェクト研究所客員教授の任用更新
- ・2010年度競争的資金に係る間接経費予算（共通経費分）（案）

2010年度 第6回（12月15日開催）議題

- ・助成金公募状況
- ・2011年度私立大学戦略的研究基盤形成支援事業の審査結果
- ・2011年度国際交流（学術交流）事業の審査結果
- ・神奈川大学と北京師範大学との学術交流に関する協定書、神奈川大学外国语学部・大学院外国语学研究科と北京師範大学漢語文化学院との学生交換に関する覚書の締結
- ・2011年度文部科学省補助金（大型装置・設備等）申請に係る審査

2010年度 第7回（1月19日開催）議題

- ・助成金公募状況
- ・2011年私立大学戦略的研究基盤形成支援事業の最終結果
- ・2011年度文部科学省補助金（大型装置・設備等）申請に係る審査結果
- ・2011年度神奈川大学共同研究奨励助成金の募集及び選考日程
- ・神奈川大学・国立台湾大学学術交流協定書の締結
- ・プロジェクト研究所「神奈川大学中小企業経営理研究所」の設置
- ・神奈川大学共同研究奨励規程、神奈川大学共同研究所奨励規程施行細則の改定
- ・研究所客員教授の任用
- ・プロジェクト研究所客員研究員の任用
- ・大学出版会に関する検討の進捗状況

工学研究所だよりの内容等について、ご質問、ご意見等がございましたら工学研究所 事務局：萩原（内線3631、hagi@kanagawa-u.ac.jp）までお知らせください。

神奈川大学工学研究所所報執筆規程

1978年（昭和53年）2月 5日
 改訂 1988年（昭和63年）4月 13日
 改訂 1990年（平成2年）7月 18日
 改訂 1991年（平成3年）5月 29日
 改訂 1994年（平成6年）1月 26日
 改訂 2005年（平成17年）1月 27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附属教職員とする。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

巻頭言

論説 学問・技術・本研究所の事業・動向などに関する論説、意見。

総合論文 専門の学協会などに発表された研究論文を骨子として、著者の一連の研究をまとめ、これにその分野における地位を明らかにするような解説を若干つけたもの。

共同研究報告 発足時点では〔共同研究の紹介〕、中間時点では〔共同研究の現況〕、研究終了または一段落の時点では〔共同研究の成果要約〕として、その現状が報告される。

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。

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。

随想 研究・開発などの思い出、意見、感想、経験談など。

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。

特集 その号の特集として特別記事を設けることがある。

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. 頁数

以下の頁数はすべて〔刷り上り〕のものを示す。

総合論文 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）〕、欧文のときは〔和文内容概要（1頁以内）〕をつけることができる。

論説・随想 原則として4頁以内。

総説・トピックス・その他の記事 原則として8頁以内。

6. 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 工学研究所 所報 執筆要領〕による。

7. 原稿の責任と権利

掲載された論文などの内容についての責任は著者が負うものとする。またその著作権・編集出版権は〔神奈川大学 工学研究所〕に属する。

8. 採否

原稿の採否および分類は〔神奈川大学 工学研究所 編集委員会〕において行う。

9. 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。

10. 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を徴することがある。

(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。

工学研究所所報執筆要領

工学 太郎* 研究所 花子**

Making Reports of Research Institute for Engineering

Taro Kougaku* Hanako Kenkyujo**

1. 緒言

- この工学研究所執筆要領は、このファイル 자체が所報原稿のテンプレートになっているので、著者が別にタイピしてある原稿をこの様式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室から著者あてにメールにより送付する。
- 原稿は、テンプレート(A4版)に従って執筆し、提出の際は、印刷した原稿(ハードコピー)とそのデジタルデータ(ファイル)を提出する。ファイルはMS Word(WindowsまたはMac)またはTeX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版用紙を行い、本文レイアウト(1ページあたりの文字数)は、25字×45行×2段=2250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26、行数45とし、“余白”のタブ中の設定は上45下40左34右34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〔.〕〔.〕とし、〔.〕〔.〕を用いない。
- 脚注はなるべく避ける。

3. 記号及び単位の書き方

- 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	$\text{cm}, \text{kg}, \text{M}\Omega$
ベクトル量	斜体ゴシック	速度 \mathbf{V} 力 \mathbf{F}
量記号	斜 体	周波数 f , 長さ l
化学記号	立 体	$\text{H}_2\text{O}, \text{BaTiO}_3$

- 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るても、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、表の見出しが本文と同一言語とする。図及び写真的見出しがその下に、表の見出しが上に書く。
- 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、大きめに描くようとする。
- 写真是本文に貼るだけでなく、写真的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。
- 式は单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。

*教授 機械工学科

Professor, Dept. of Mechanical Engineering

**助手 建築学科

Research associate, Dept. of Architecture

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。

$$\frac{a+b}{c+d} \quad (1)$$

例2 [指数式の例]

…その結果、電流は次式の形となる。

$$i = I e^{-t/x} \quad (2)$$

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（）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 A, B のように記載する。

(A) 雑誌の場合

(No.) 著者名, “標題”, 雑誌名, 卷一号 (発行年-月), p.ページ。

例

(x) 赤坂憲夫, 青山幸夫, 宮下俊夫, “広帯域増幅器の特性”, 電子通信学会誌, 52-192 (1977-8), p.1125.

(x) E. W. Euller and R. F. Stoessel, “……”, Mech. Engng., 90-3 (1968-3), p.42.

(B) 単行本の場合

(No.) 著者名, “書名”, 発行所名, (発行年), p.ページ。例

(x) 田部浩三, 竹下 誠, “塩酸触媒”, 産業図書, (1976), p.1225.

7. 原稿作成上のヒント

□このテンプレートは Windows MS Word 97 で作成している。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、コピーした後にメニューの“編集”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。ただし、MS Word の制限により、脚注の機能を先頭の“1. 緒言”の後ろに見えないように白文字で“*”をつけてある。ここを削除すると脚注も消えてしまうので注意が必要である。（標題下の著者名に脚注の機能をつけるべきだが、その場合は脚注が両段にまたがってしまうため、この形式を採用した）

□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 事務室まで返送する。

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、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	7 ポ
参考文献・脚注	MS 明朝	7 ポ

参考文献

- (1) 工学太郎, 研究所花子, “執筆要領”, 工学研究所所報, 27号 (2004-11), p.126.

(雑誌の場合)

(2) 工学太郎, 研究所花子, “工学研究所所報 27 号” 工学研究所, (2004), p.126.

(単行本の場合)

付録

[参考] 研究所所報の配布

刷上がった所報は以下の各者に 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) その他委員会が認めたもの。

[資料] 英文用語一覧

Research Institute for Engineering	工学研究所
Science Reports of Research Institute for Engineering	工学研究所所報
Faculty of Engineering	工学部
Department (Dept.) of	学 科
Mechanical Engineering	機械工学

Electronics and Informatics Frontiers

電子情報フロンティア

Material and Life Chemistry	物質生命化学
Information Systems Creation	情報システム創成
Architecture	建築学
Mathematics	数 学
Physics	物 理
Chemistry	化 学
Biology	生物學
Professor	教 授
Professor Emeritus	名誉教授
Associate Professor	助教授
Lecturer	講 師
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、助教授、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。

編集後記

地震、雷、火事、親父が古来わが国では庶民の4つの恐怖であったが、近年では地震、台風、津波、原発とでもすべきでしょうか？ 現代文明生活がこの4つのうち、3つに襲われて、わが国はひどい目にあっています。この中で工学研究所所報第34号を予定期日までに刊行することが出来ました。ご多忙のおり、原稿をお寄せくださいました先生方に厚く御礼申し上げます。所報を通して工学研究所および所員の研究活動を発信できるよう編集しました。総説には新任の先生とその研究分野を紹介できるよう力作をいただきました。また共同研究の欄には協力的かつ継続的になされている研究を門外漢にもわかりやすく解説いただきました。随想欄には長らく本工学部に勤務された方の印象を書いていただきました。そして何ヶ月ごとに発行された工学研究所だよりも掲載いたしました。

研究分野が異なるばかりでなく、個性もそれぞれに違う先生方があつまって、共通の理解の下に一つの研究所を運営することは並大抵のことではないと感じています。冊子一つ作るにも多かれ少なかれこのことが影響してきます。現段階では原稿さえあれば、手書きではなくワードかテフでかかれていれば印刷屋さんで機械的に編集ができるらしいので、この点は大変簡便な作業で編集終了となります。しかし、このやり方に慣れっこになってしまふと、いずれのときか大いなるデッドロックに遭遇するかもしれません。災難は忘れたころにやってくる。

物理学教室 大成 逸夫

工学研究所 所報 (No. 34)

工学研究所 所長 山村 博

工学研究所 所報 編集委員会

委 員 長 大成 逸夫 (物理学教室)
委 員 工藤 邦男 (機械工学科)
山口 栄雄 (電子情報フロンティア学科)
新中 新二 (電子情報フロンティア学科)
佐藤 憲一 (物質生命化学科)
中島 健一 (情報システム創成学科)
安田 洋介 (建築学科)

SCIENCE REPORTS (No. 34)
of
Research Institute for Engineering (KANAGAWA University)

Director of the Institute Hiroshi YAMAMURA

Chief Editor	Itsuo OHNARI	(Dept. of Physics)
Editor	Kunio KUDOU	(Dept. of Mechanical)
	Shigeo YAMAGUCHI	(Dept. of Electronics and Informatics Frontiers)
	Shinji SHINNAKA	(Dept. of Electronics and Informatics Frontiers)
	Kenichi SATO	(Dept. of Material and Life Chemistry)
	Kenichi NAKASHIMA	(Dept. of Information Systems Creation)
	Yousuke YASUI	(Dept. of Architectonics)

神奈川大学工学研究所所報第34号

2011年12月15日 印刷
2011年12月20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3-27-1

印 刷 所 共立速記印刷株式会社
東京都千代田区飯田橋3-11-24

RESEARCH INSTITUTE FOR ENGINEERING
KANAGAWA UNIVERSITY

3-27 Rokkakubashi, Kanagawa-ku, Yokohama, 221-8686, Japan