

February 2020

神奈川大学

# 工学研究

No. **3**



# 目 次

## 1. 巻頭言

激動の平成、そしてこれから .....	原村 嘉彦..... 1
---------------------	--------------

## 2. 新任者の研究紹介

2-1 建築鋼構造の長寿命化に関する研究 .....	藤田 正則..... 3
2-2 A Simple Approach for Estimating the First Resonance Peak of Layered Soil Profiles .....	Haizhong ZHANG, Yan-gang ZHAO..... 9
2-3 次世代地上デジタルテレビジョン放送における移動受信特性改善 .....	中村 聡, 伊丹 誠..... 13
2-4 制約条件付き有限要素法による繊維強化複合材料の界面すべり解析 .....	喜多村 竜太..... 21
2-5 ウエハのロータリ研削における新しい研削条件選定方法 .....	楠山 純平..... 27
2-6 均一分散を目指したナノコンポジットの連続混練技術に関する研究 .....	松本 紘宜..... 32
2-7 気泡合体過程における気泡間液膜厚さの測定 .....	諸隈 崇幸..... 37
2-8 鉄5核錯体を用いた酸素発生反応 .....	岡村 将也..... 42
2-9 身体運動からみる人間の“こころ”の情報処理 .....	市川 淳..... 46
2-10 従属故障を伴うシステムの信頼性解析に関する研究 .....	太田 修平..... 49

## 3. 受賞研究の紹介

3-1 ナノ材料の疎水性 / 親水性の研究 .....	客野 遥..... 53
3-2 Design of Polarization Rotator Based on Square Lattice Photonic Crystal Fiber with Double-hole Unit .....	Zejun ZHANG..... 57

## 4. 工学部重要機器整備費関連研究

4-1 触媒構造解析システムの実研究への応用 .....	石川 理史, 上田 渉..... 61
4-2 バイオマス原材料が高密度円柱ブリケットの有炎燃焼挙動に及ぼす影響 .....	伊東 弘行, 三浦 正義..... 63
4-3 多数室建物の熱・換気性能現場測定システム .....	奥山 博康, 吉浦 温雅, 井出 大輝..... 67
4-4 走査プローブ顕微鏡によるナノ物質の構造研究 .....	客野 遥..... 72
4-5 宇宙線大気蛍光観測における紫外線パルスレーザーの活用 .....	有働 慈治..... 75

## 5. 私学助成重要機器整備費関連研究

5-1 蛍光 X 線元素分析システムについて .....	井川 学..... 77
------------------------------	--------------

## 6. 工学研究所共同研究

6-1 軽量・高性能ハイブリッドロケットエンジンの研究・開発 (2018) .....	高野 敦, 船見 祐揮..... 81
6-2 外部磁界の二次元走査による Nb 超伝導トンネル接合と dc-SQUID の評価 .....	渡邊 騎通, 穴田 哲夫, 中山 明芳..... 85
6-3 多分岐ポリアミドからなる両親媒性 Janus 型ジブロック共重合体の合成と自己組織化 .....	太田 佳宏, 實吉 尚郎..... 89
6-4 $Ba(Zn_xNb_{1-x})O_{3-\delta}$ における赤外分光法を用いた脱水挙動の分析 .....	齋藤 美和, 貝掛 勝也, 安川 雪子..... 93

## 7. 工学研究所プロジェクト研究

7-1 大三島町宗方における地域交流拠点づくりについて—まちづくり研究所の活動・2018 年度— ..... 吉岡 寛之, 曾我部 昌史, 石田 敏明, 内田 青蔵, 山家 京子, 中井 邦夫, 須崎 文代, 田野 耕平, 重村 力, 丸山 美紀, 長谷川 明, 鈴木 成也..... 97	
7-2 高周波回路の解析・設計理論の整備と対応ソフト開発—方形断面光導波路等価回路解析法の妥当性— .....	平岡 隆晴, 許 瑞邦..... 99
7-3 A simple approach for the fundamental period of MDOF structures .....	Yan-gang ZHAO, Haizhong ZHANG..... 101
7-4 “新たな低炭素エネルギー社会に対応した新型電池の開発 (4)” ..... 松本 太, 池原 飛之, 郡司 貴雄, 大坂 武男, 長澤 浩, 入井 友海太, 安東 信雄..... 106	
7-5 ロードノイズを対象とした自動車車体の概念設計モデルの構築 .....	山崎 徹, 菊地 通..... 109
7-6 グリーンイノベーションの基盤となるナノ構造制御触媒の開発研究 ..... 引地 史郎, 内藤 周式, 上田 渉, 中澤 順, Shigeo T. Oyama, 宮尾 敏広, 赤間 弘, 星野 真樹..... 111	

7-7	車両等に装備するためのポリカーボネート窓の表面改質に関する研究（最終報告）	新中 新二, 井上 成美, 野尻 秀智, 大越 昌幸, 植田 博臣, 岩井 和史, 中村 先男	113
7-8	微細構造創成用ビルトインモータスピンドルの熱的特性の検討	中尾 陽一, Sangkee MIN	119
7-9	パルスレーザー光を利用した反応開発および機構解析	岩倉 いずみ, 赤井 昭二, 小林 孝嘉, 藪下 篤史, 橋本 征奈, 岡村 幸太郎, 織作 恵子	121
7-10	フォトニック結晶構造を応用した電磁波回路の解析と応用（成果報告書）	穴田 哲夫, 陳 春平, 中山 明芳	123
7-11	新規物質の自己組織化を基盤とした界面制御	亀山 敦, 川口 春馬, 高橋 明	125
7-12	企業ロボットと分析・管理系	石井 信明, 松井 正之	127
7-13	ポリペプチドのフォールディングと集積化により形成される高次構造と機能	亀山 敦, 岩岡 道夫, 森井 尚之, 高橋 明	129
7-14	戸建住宅における全館空調の一次エネルギー消費量に関する研究(2)	岩本 静男, 傳法谷 郁乃, 児保 茂樹	131
7-15	連続時間量子ウォーク探索とグラフ縮約・固有解析	井出 勇介, 小松 堯, 今野 紀雄, 佐々木 太良, 吉田 稔	133
7-16	次世代無線通信を支えるマイクロ波・ミリ波・テラヘルツ波・光波パッシブデバイスの理論設計と応用	陳 春平, 張 沢君, 穴田 哲夫, 武田 重喜, 王 小龍	135
8. 工学研究所テクノサークル			
8-1	環境科学テクノサークル活動報告	井川 学	137
8-2	テクノサークル「けんちくをつくる会」2018年度活動報告	吉岡 寛之, 林 淳平	138
8-3	テクノサークル KURAFT18-19 シーズン活動報告	中村 弘毅, 山口 光弘	140
8-4	「神奈川大学宇宙ロケット部」活動報告(2018)	高野 敦	142
8-5	神奈川大学ロボットプロジェクト活動報告	江上 正, 中村 嘉孝, 野中 祐太郎	144
8-6	2018年度ものづくり・電子工作テクノサークル活動報告	土屋 健伸	146
9. 随想			
9-1	42年間の神奈川大学での思い出	井川 学	149
9-2	千変万化の風に吹かれて	矢島 幸信	153
10. 工学部通信			
1.	研究活動(2018年10月～2019年9月)		A-1
2.	講演会開催記録(2018年10月～2019年9月)		A-43
3.	研究分野紹介および2018年度博士論文・修士論文・卒業研究テーマ一覧		A-46
11.	工学研究所 2018年度(平成30年度)年次報告		A-67
12.	神奈川大学工学研究執筆規程		
13.	「神奈川大学工学研究」原稿執筆要領		
14.	編集後記		

## 激動の平成，そしてこれから

原村 嘉彦\*

### Heisei, era of significant change, and tomorrow

Yoshihiko HARAMURA\*

5月に改元があり時代が平成から令和に代わった。地震や大雨など災害が多かった平成年間であったが、工学部関連部署も大きく変化した。この機会に平成の30年を振り返ってみよう。

先ず大学院である。工学研究科は、平成2年に博士課程を設置し、平成間に65名の課程博士、26名の論文博士を輩出してきた。平成15年には入学定員を前期課程合計で195名、後期課程合計で30名とし、学生の受け入れ枠を増やした。平成17年から20年の前期課程各専攻の修了者が、入学定員の95～73%になるなど、定員充足にもう少しの域まで健闘したものの、その後、入学者の伸び悩みがあり、平成27年度に行われた大学評価で、収容定員に対する在籍学生数比率が前期課程で0.46、後期課程で0.09と低く改善が望まれるという指摘を受けた。工学研究科では、横澤勉委員長の下、この指摘に対応し、工学部・工学研究科の将来の発展を睨んで、建築学専攻を除いた部分について、大幅な組織改革を行った。その実施が、くしくも平成の最後の年度初めである平成31年4月に行われた。その内容は、(1)学部の再編も見据え、境界領域の教育・研究を重視する専攻の統合、(2)教室系教員の大学院教育への本格的参入、(3)定員の削減(入学定員:前期150名、後期14名)、の3つからなる。なお、経営工学専攻の増設も平成の初期であった。

学部では、学科名称変更と、学部再編案作りが行われるとともに、任期制の助手・助教制度への移行など、いくつかの改革が試みられた。平成6年には経営工学科に、平成18年には電子情報フロンティア学科、物質生命化学科、情報システム創成学科に、平成24年には電気電子情報工学科に名称を変えてきた。一方学部再編として、西久保忠臣学部長時代の平成18年に第二工学部の募集を停止した。佐藤祐一学部長時代には、数理工学科とロボットメカトロニクス学科の新設の提案(平成19年、実現せず)が、庄司正弘学部長時代には、理学部の数理物理学科の新設に協力する形で数学教室の7名が理学部に移籍、経営工学科と総合工学プログラムの新設の提案(平成24年に実施)が、林憲玉学部長の第1期には、1学科に統合する提案(平成27年5月、教授会否決)が、現在の林憲玉学部長の第3期には、建築学科を学部として独立させその他の学科を1学科へ統合する案(現在細部の検討中)が提案された。

教育改革の一環として、平成15年度には、西久保忠臣工学部長の指揮の下、工学部独自の外部評価を行った。さらに平成16年に応用化学科(当時)が、平成17年には他の4学科すべてがJABEE(日本技術者教育認定機構)の審査を受け、認定を獲得した。

平成18年には、「実員の定員化」として、工学部の入学定員を720から870に変更した。その後平成24年には数学教室の教員移籍に伴って入学定員を850削減(理学部へ移行)して現在に至っている。免震装置を設備した23号館が竣工し、主に4号館から23号館に工学部の過半数の研究室が移転したのも平成(12年)である。

人事制度としても、従来から問題となっていた高齢助手の問題を解決するために、平成14年から、新たに任用する定数外教員を任期制の助手である特別助手(その後特別助教も加わる)とする制度を工学部主導で導入した。

このように、平成の30年間、外的要因もあり、本学部は様々な変革に向けた取り組みをしてきた。ただ、本学部が社会から求められている役割に対して、まだやりきれていないことがあるように思う。本学は、教員の研究に裏打ちされた教育を目指している。紙面の都合で割愛したが、教員の意識の高さもあって、多くの教員によって優れた研究がなされている。一方で、私学である以上、教育が使命である。そして最近では、大学教育の本来の姿とは違う、手取り足取りで教育する必要性が増してきている。入学者の能力に対応し、時代に合った卒業生を輩出するために何を指すのか、各教育単位で真剣に議論することが必要だろう。学生の多様性に応じた教育をすることは望ましいが、人的資源をどこまで投入できるかを併せて検討しておかなければ、絵に描いた餅になる。現在進んでいる学科再編案が固まった暁には、これを是非進めて行きたいものだ。

さらに、上述の任期制教員制度は、これを導入したときには想定しなかった社会の動きによって、制度の趣旨に沿わない運用に変化してきている。研究活動の発信を活性化する上でも、この半数程度を研究室を主宰する任期のない教員に格上げするような制度改革が解決策の一つである。全学的な合意に向けてのハードルは高いが、工学部をより良い方向に向かわせることにつながると思う。

\*工学研究科委員会委員長，教授 機械工学科  
Dean of Graduate School of Engineering,  
Professor, Dept. of Mechanical Engineering



## 2. 新任者の研究紹介

2-1 建築鋼構造の長寿命化に関する研究	藤田 正則
2-2 A Simple Approach for Estimating the First Resonance Peak of Layered Soil Profiles	Haizhong ZHANG, Yan-gang ZHAO
2-3 次世代地上デジタルテレビジョン放送における移動受信特性改善	中村 聡, 伊丹 誠
2-4 制約条件付き有限要素法による繊維強化複合材料の界面すべり解析	喜多村 竜太
2-5 ウエハのロータリ研削における新しい研削条件選定方法	楠山 純平
2-6 均一分散を目指したナノコンポジットの連続混練技術に関する研究	松本 紘宜
2-7 気泡合体過程における気泡間液膜厚さの測定	諸隈 崇幸
2-8 鉄5核錯体を用いた酸素発生反応	岡村 将也
2-9 身体運動からみる人間の“こころ”の情報処理	市川 淳
2-10 従属故障を伴うシステムの信頼性解析に関する研究	太田 修平



# A Simple Approach for Estimating the First Resonance Peak of Layered Soil Profiles

Haizhong ZHANG \*

Yan-gang ZHAO\*\*

## 1. Introduction

It has long been recognized that the effects of the local site on ground motion should be considered in the seismic design of structures. In most seismic codes throughout the world, the site effects are generally considered according to several site classes. For example, in Eurocode 8 [1] and the International Building Code [2], site effects are reflected in terms of site factors or site coefficients for several site classes. In the Chinese Seismic Code [3] and the 1993 Japanese Loads Recommendation [4], the free-field response spectrum is defined to directly correspond to several site classes, and site effects are implicitly considered by the site classification.

However, in some regions, such as Japan, geological feature is known to vary significantly through the country, the site effects can hardly be described in detail by several classes of sites. In reality, many important site-specific characteristics can be masked by the site classifications. For example, for a site consisting of soft soil on stiffer rock, soil resonance caused by multiple reflections within the soil medium can cause significant amplification of seismic motion with a frequency near the site's fundamental frequency; however, the resonance effect of a specific site is 'averaged' by the site classification and typically cannot be accurately accounted for by a specific site class.

Hence, a site-specific method for estimation of the site effects is incorporated into the 2000 Japanese Seismic Code [5]. In this method, estimation of the first resonance peak,  $G_{S1}$ , is a very important step. Currently,  $G_{S1}$  and fundamental period  $T_1$  are evaluated by approximating a multi-layer soil profile as an equivalent single-layer profile by weighted averaging the soil shear wave velocity and density.

$$G_{S1} = \frac{1}{1.57h + a_G} \quad (1)$$

$$T_1 = \frac{4H}{V} \quad (2)$$

where,  $h$  is the soil damping ratio, and  $a_G$  is the impedance ratio,  $H$  is the soil thickness,  $V$  is the soil shear wave velocity. However, this method may underestimate  $G_{S1}$ , when the impedance contrast of the soil layers is large. In this paper, a new simple procedure for determining the  $G_{S1}$  of layered soil profiles is proposed.

## 2. Development of The TTS Procedure

To overcome the shortcomings of the current method, we introduce a



Fig. 1. Illustration of the concept of replacing a two-layer soil profile on bedrock with an equivalent single-layer soil profile.

method to equate the fundamental period and  $G_{S1}$  of a multi-layer soil profile with those of an equivalent single-layer soil profile; that is, the method replaces a multi-layer soil profile by an equivalent single-layer soil profile with same fundamental period and  $G_{S1}$ . Therefore, the  $G_{S1}$  of the multi-layer soil profile can be simply calculated from that of the equivalent single-layer soil profile. For this purpose, we firstly develop a procedure to replace a two-layer soil profile on bedrock with an equivalent single-layer soil profile with the same fundamental period and  $G_{S1}$ . This method is called two-to-single (TTS) procedure.

Figure 1 schematically shows the procedure developed to replace a two-layer soil profile on bedrock (a) with an equivalent single-layer soil profile (b) with the same fundamental period and  $G_{S1}$ . To develop this procedure, the fundamental parameters including shear wave velocity  $V_{eq}$ , thickness  $H_{eq}$ , density  $\rho_{eq}$  and damping ratio  $h_{eq}$  of the equivalent single-layer soil profile should be expressed in terms of those of the two-layer soil profile based on the following two equivalence equations:

$$T_{1-2L} = T_{1-eq} \quad (3)$$

$$G_{S1-2L} = G_{S1-eq} \quad (4)$$

where  $T_{1-2L}$  and  $G_{S1-2L}$  represent the fundamental period and first resonance peak of the two-layer soil profile, respectively;  $T_{1-eq}$  and  $G_{S1-eq}$  represent the fundamental period and first resonance peak of the equivalent single-layer soil profile, respectively.

To obtain the equations for the fundamental parameters of the equivalent single-layer soil profile according to Eqs. (3) and (4), the equations for  $T_{1-eq}$ ,  $G_{S1-eq}$ ,  $T_{1-2L}$  and  $G_{S1-2L}$  expressed in terms of the fundamental parameters of soil profiles must be known. Approximate expressions for  $G_{S1-eq}$  and  $T_{1-eq}$  are given by Eqs. (1) and (2), respectively. The expression for  $T_{1-2L}$  was derived by Madera [6], and an approximate expression was subsequently developed by Hadjian [7]. The expression for  $G_{S1-2L}$  was derived by Zhang et al. [8].

Substituting Eqs. (1) and for  $G_{S1-2L}$  [8] into Eq. (4), the shear wave velocity  $V_{eq}$  of the equivalent single layer can be obtained by:

\* Assistant Professor, Dept. of Architecture

\*\* Professor, Dept. of Architecture



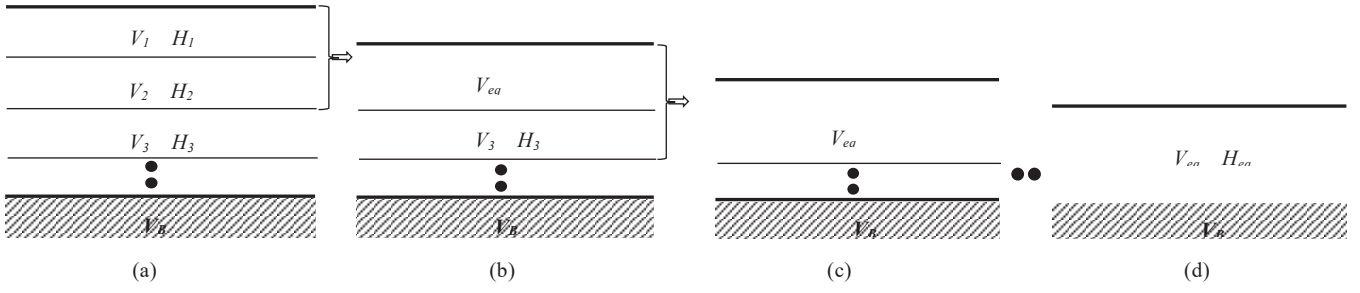


Fig. 2. Illustration of the concept of replacing a multi-layer soil profile on bedrock with an equivalent single-layer soil

$$V_{eq} = \left| \frac{V_1 \rho_1}{\rho_{eq}} \sin \frac{\pi T_1}{2T_{1-2L}} \cos \frac{\pi T_2}{2T_{1-2L}} + \frac{V_2 \rho_2}{\rho_{eq}} \cos \frac{\pi T_1}{2T_{1-2L}} \sin \frac{\pi T_2}{2T_{1-2L}} \right| \quad (5)$$

and the thickness  $H_{eq}$  of the equivalent single-layer soil can be given by:

$$H_{eq} = \frac{T_{1-2L} V_{eq}}{4} \quad (6)$$

where,  $m$  is the layer number ( $m = 1, 2$ );  $\rho_m$ ,  $V_m$ , and  $T_m$  are the density, shear wave velocity, period of  $m$ th soil layer, respectively.  $\rho_{eq}$  is the density of the equivalent layer.  $T_{1-2L}$  is the fundamental period of the two-layer soil profile and can be estimated by the equation by Hadjian [7].

### 3. $G_{S1}$ of Multi-layer Soil Profiles on Bedrock

This section presents a simple procedure for determining the  $G_{S1}$  of multi-layer soil profiles on bedrock by successively applying the TTS procedure developed in Section 2. Specifically, for a multi-layer soil on bedrock [Fig. 2(a)], the top two layers are assumed to overlie bedrock and are replaced by an equivalent single layer using the TTS procedure. Subsequently, the equivalent single layer and the third layer can be treated as a new top two-layer soil and can also be replaced by an equivalent single layer. By applying the TTS procedure successively to the remaining lower layers of the soil profile, the multiple soil layers can finally be replaced by an equivalent single layer, and the fundamental period and  $G_{S1}$  of the total soil profile can be obtained. The concept of this procedure is illustrated in Fig. 2 and involves the following steps:

- (a) For a multi-layer soil on bedrock [Fig. 2(a)], the top two soil layers are assumed to overlie bedrock and can be replaced with an equivalent soil layer using the TTS procedure [i.e., Eqs. (5), (6)]. Next, a new multi-layer soil [Fig. 2(b)] is formed.
- (b) For the new multi-layer soil shown in Fig. 2(b), the top two layers are again assumed to overlie bedrock and are replaced by another equivalent single layer using the TTS procedure. Another new multi-layer soil [Fig. 2(c)] is then formed.
- (c) By successively applying the TTS procedure until the last soil layer is considered, a final equivalent single-layer soil is obtained, as shown in Fig. 2(d).
- (d) Finally, the  $G_{S1}$  for the final single-layer soil can be readily obtained using Eq. (1).

It should be noted that, the developed procedure for  $G_{S1}$  is applicable for not only linear analysis but also the equivalent-linear analysis considering soil nonlinearity. For the equivalent-linear analysis, the

proposed procedure is applied just using the final strain-compatible shear modulus and damping ratios after the iteration. Many simple equivalent-linear methods have been developed for estimation of soil nonlinearity (i.e. strain-compatible shear modulus and damping ratio) using bedrock response spectrum directly [9, 10]. The method by Miura et al. [9] has been introduced in the Japanese seismic code. Here, any one of these simple methods can be used to consider soil nonlinear in estimation of  $G_{S1}$ .

### 4. Numerical Examples Using the Proposed Procedure

In order to investigate the accuracy of the proposed method, 67 representative soil profiles selected from Strong-motion Seismograph Networks (K-NET, KIK-net) are used. According to Japan Road Association [11], these soil profiles are divided into three site classes, and the shear wave velocity profiles above the engineering bedrock of each site classification are presented in Fig. 3. According to Japanese Seismic Code, engineering bedrock is defined as the layer where the shear wave velocity is greater than approximately 400 m/s. The unit weights are not given for some sites; these weights are empirically determined according to Sakai et al. [12] as 15.68 KN/m<sup>3</sup> for clay, 18.62 KN/m<sup>3</sup> for sand, 19.60 KN/m<sup>3</sup> for engineering bedrock with shear wave velocity in the range of 400~800 m/s, and 21.56 KN/m<sup>3</sup> for engineering bedrock with shear wave velocity greater than 800 m/s. The initial fundamental periods of the selected soil profiles are calculated by the SHAKE program, and the results vary widely from 0.05 to 1.72 s.

Both linear and equivalent-linear analysis are conducted for the accuracy investigation. For linear analysis, damping ratios of all soil layers are simply considered to be 2%. For the equivalent-linear analysis, the simple method by Inoue et al. [10] is adopted to estimate the strain-compatible soil damping ratios and shear modulus. Here, the modulus reduction and damping curves in Japanese seismic code is used for the analysis. Both the Level 1 and Level 2 response spectra defined on bedrock in Japanese seismic code are used as input motions. For the SHAKE analysis, 10 spectrum-compatible time histories are generated for each of the two load levels. The durations of the Level 1 and Level 2 motions are set to be 60s and 120s, respectively. Peak ground accelerations of the ground motions generated using the Level 2 response spectrum vary from 0.34 to 0.4g.

The fundamental periods and  $G_{S1}$  of the 67 soil profiles are estimated by the proposed procedure and compared with those obtained using the

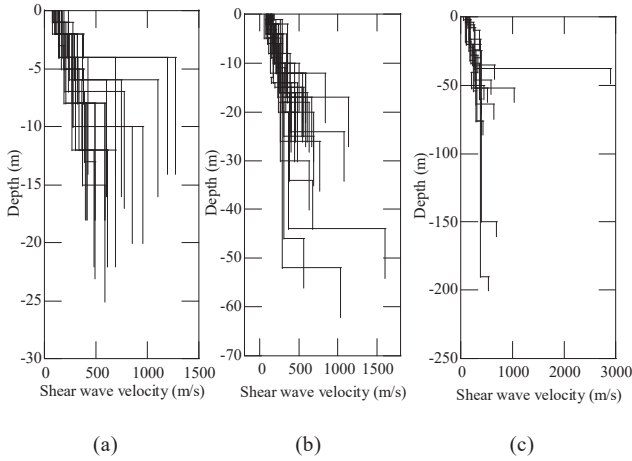


Fig. 3. Shear wave velocity profiles above engineering bedrock used for analyses: (a) first site class, (b) second site class, and (c) third site class.

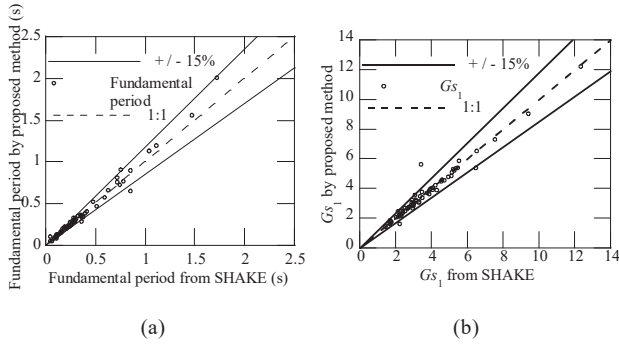


Fig. 4. Comparisons of fundamental period and  $G_{s1}$  calculated using the proposed method and SHAKE program for linear analysis.

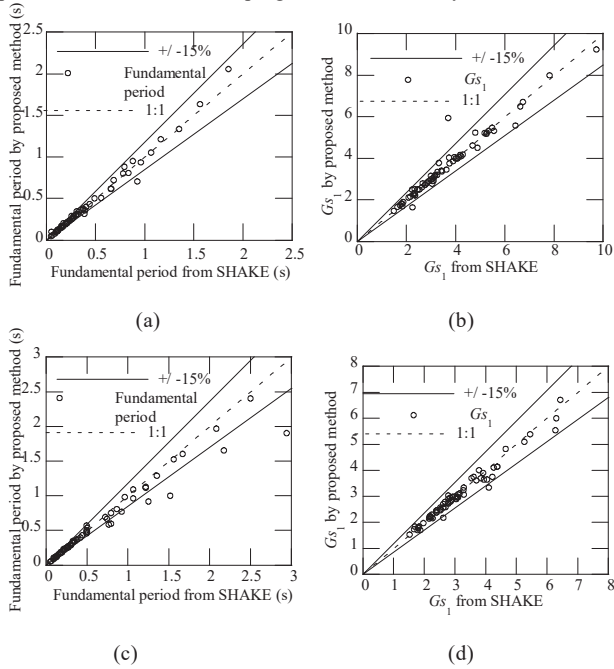


Fig. 5. Comparisons of  $T_1$  and  $G_{s1}$  calculated using the proposed method and SHAKE program for equivalent-linear analysis: (a)  $T_1$  corresponding to the Level 1; (b)  $G_{s1}$  corresponding to the Level 1; (c)  $T_1$  corresponding to the Level 2; (d)  $G_{s1}$  corresponding to the Level 2.

SHAKE program. Figs. 4 and 5, respectively, show the linear and equivalent-linear results. The  $G_{s1}$  obtained by the proposed method are remarkably accurate. For the linear analysis, the average error is only 4.6%, and 94% of estimated values are within 15% of the SHAKE results. For equivalent-linear analysis, the average errors corresponding to the Level 1 and Level 2 motions are, respectively, 4.0% and 3.7%; and for both the two levels, 97% of estimates are within 15% of the SHAKE results. The accuracy in fundamental period is also remarkably good. For the linear analysis, 85% of the estimates are within 15% of SHAKE results. For the equivalent-linear analysis, 94% of estimates corresponding to the Level 1 and 88% of estimates corresponding to the Level 2 are within 15% of SHAKE results. The accuracy of the proposed method is considered sufficient for engineering calculation.

In addition, the fundamental periods and  $G_{s1}$  are also estimated using the method in the Japanese Seismic Code and compared with those obtained using the proposed method and the SHAKE program. Figs. 6 and 7, respectively, show the linear and equivalent-linear results. The errors in  $G_{s1}$  obtained by the code method are significant. For linear analysis, the average error is as large as 17.2%. For equivalent-linear analysis, the average errors corresponding to the Level 1 and Level 2 motions are, respectively, 25% and 24%, which are much greater than that for the proposed method. For both the linear and equivalent-linear analyses, most of the  $G_{s1}$  estimated by the code method are underestimated by over 15% compared to the SHAKE results, which is consistent with previous studies [8-10, 12]. The errors in the fundamental period obtained by the code method are also significant. For linear analysis, 37% of the estimates have errors greater than 15%. For equivalent-linear analysis, 73% of the Level 1 estimates and 67% of the Level 2 estimates have errors greater than 15%.

Generally speaking, the proposed procedure produces accurate estimates of both fundamental period and  $G_{s1}$  and is much more accurate than the method used in the Japanese Seismic Code.

The results of  $G_{s1}$  by the proposed method shown in Fig.4 (b) are also compared with those by our methods developed previously shown in Figs.6 (a) of both the earlier two papers [8, 13]. It is found that the results obtained by the method proposed in this paper are more accurate than those by the previous methods.

It should be noted that the equivalent linear method (SHAKE) used for calibration above is an approximate method. The method is generally applicable for the cases when the computed shear strain is less than about 1% [9]. In this section, the computed maximum shear strains of most soil profiles using even the Level 2 motions are less than 1%, thus the findings above are valid. However, when the computed shear strains are larger, errors by the equivalent linear method may be significant [14], and hence the equivalent linear method may be not appropriate for calibration. Validity of the proposed method for larger ground motions than those considered in this paper needs be investigated in the further study.

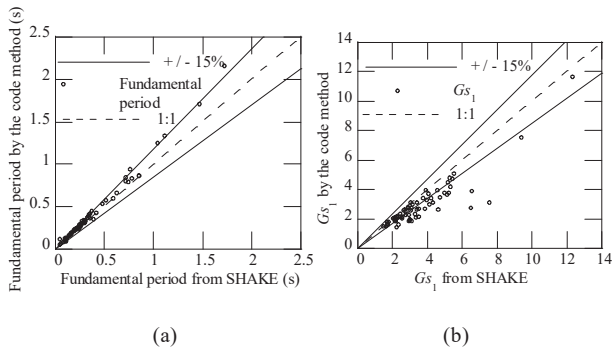


Fig. 6. Comparisons of fundamental period and  $G_{S1}$  calculated by the code method and SHAKE program for linear analysis.

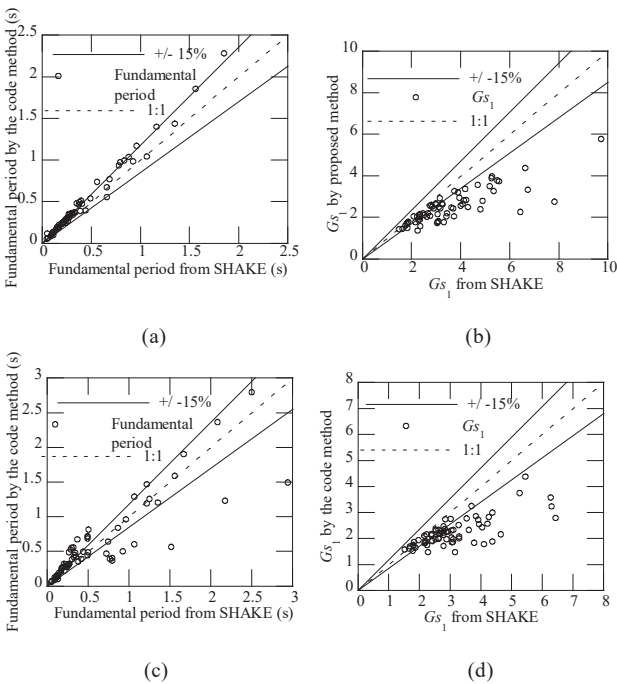


Fig. 7. Comparisons of fundamental period and  $G_{S1}$  calculated by the code method and SHAKE program for equivalent-linear analysis: (a)  $T_1$  corresponding to the Level 1; (b)  $G_{S1}$  corresponding to the Level 1; (c)  $T_1$  corresponding to the Level 2; (d)  $G_{S1}$  corresponding to the Level 2.

## 5. Conclusions

The content of this paper and the main conclusions are summarized as follows:

- (a) A procedure to replace a two-layer soil profile on bedrock with an equivalent single-layer soil profile with the same  $G_{S1}$  and fundamental period is developed. The accuracy of the developed procedure is verified using a series of two-layer soil profiles on bedrock.
- (b) Based on the developed TTS procedure, a simple procedure for estimating the  $G_{S1}$  of a multi-layer soil profile is proposed. The proposed procedure is applied in an example calculation. It is found that the procedure can be easily implemented in a spreadsheet, and the estimated results are highly accurate.
- (c) To investigate the validity of the proposed method, the  $G_{S1}$  and

fundamental periods of 67 representative soil profiles are estimated. The proposed method shows remarkably good accuracy in estimating both the  $G_{S1}$  and fundamental period and is clearly more accurate than the current code method.

## References

- [1] EN 1998-1 [2004] Eurocode 8- Design of structures for earthquake resistance-Part 1: General rules, seismic actions and rules for building, European Committee for Standardization, European Standard, United Kingdom.
- [2] IBC, Country Club Hill, Illinois, USA: International Code Council, International Building Code 2012.
- [3] GB 50011 The Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China, Code for seismic design of buildings 2010, Beijing China. (In Chinese).
- [4] AIJ. Architectural institute of Japan. Recommendations for loads on Buildings 1993. (In Japanese).
- [5] Ministry of Land, Infrastructure and Transport. Notification No.1457-2000, Technical Standard for Structural Calculation of Response and Limit Strength of Buildings 2000. (In Japanese).
- [6] G.A. Madera. Fundamental period and amplification of peak acceleration in layered systems. Research Report R 70-37, June 1970. Cambridge, MA: MIT Press.
- [7] A.H. Hadjian. Fundamental period and mode shape of layered soil profiles. *Soil Dyn Earthq Eng*, **22**(9-12), 885–891 (2002).
- [8] H. Zhang, T. Saito, Y.Gang Zhao. Simple calculation method of seismic motion amplification ratio corresponding to fundamental period. *J Struct Constr Eng AIJ*, **82** (734), 597-604 (2017). (In Japanese)
- [9] K. Miura, K. Koyamada, M. Iiba. Response spectrum method for evaluating nonlinear amplification of surface strata. *J Struct Constr Eng AIJ*, **539**, 57–62 (2001). (In Japanese).
- [10] W Inoue, Y Hayashi, H. A, et al. A study on method to evaluate seismic amplification ratios of surface strata. *J Struct Constr Eng AIJ*, **16**(32),107–112 (2010). (In Japanese).
- [11] Japan Road Association, Specifications for highway bridges (2012). (In Japanese).
- [12] Y. Sakai, S. Tsuno, K. Kudo, et al. Simplified method to evaluate ground surface amplification assuming the input motions on the engineering bedrock in the revised enforcement order of the building standard law. *J Struct Constr Eng AIJ*, 565, 73–78 (2003). (In Japanese).
- [13] H. Zhang, T. Saito, Y.G. Zhao. Calculation method of seismic motion amplification ratio corresponding to fundamental period of layered soil profiles. *Journal of Structural Engineering*, **63B**, 343-349 (2017). (In Japanese)
- [14] B. Kim, and Y. M. A. Hashash. Site Response Analysis Using Downhole Array Recordings during the March 2011 Tohoku-Oki Earthquake and the Effect of Long-Duration Ground Motions. *Earthq spectra*, **29**, S37-S54 (2013).

# 次世代地上デジタルテレビジョン放送における移動受信特性改善

中村 聡\*<sup>1</sup>, 伊丹 誠\*<sup>2</sup>

## Improving Scheme for Mobile Reception in Next Generation DTTB

Akira NAKAMURA\*<sup>1</sup> and Makoto ITAMI\*<sup>2</sup>

### 1. はじめに

現在, 4K および 8K の UHDTV(Ultra-Hight Definition Television)放送の地上伝送に向け研究・開発が進められている<sup>[1-3]</sup>. アメリカでは ATSC3.0(Advanced Television Systems Committee standards 3.0)として標準化されており, 韓国では 2017 年 5 月に ATSC3.0 を用いた UHDTV 放送が開始された<sup>[4]</sup>. また, 欧州では次世代放送方式として DVB-T2(Digital Video Broadcasting-Terrestrial 2)が規格化されている<sup>[5]</sup>.

日本においても, 衛星および地上波での UHDTV 放送の実現に向け研究開発が行われている<sup>[6-9]</sup>. 4K/8K 衛星放送では, 2016 年 8 月に試験放送が開始し, 2018 年 12 月には本放送が開始された. 地上波 4K/8K 放送においては研究段階であり, 暫定方式では伝送方式として超多値 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing : 直交周波数分割多重) と偏波 MIMO (Multi-Input Multi-Output : 多入力多出力) を組み合わせた方式が提案されている<sup>[10, 11]</sup>. また, 所要 CNR(Carrier to Noise Ratio: 搬送波対雑音比)を改善させるため, NU-QAM(Non-Uniform Quadrature Amplitude Modulation : 不均一直角位相真福振幅変調)の適用が検討されている<sup>[7]</sup>.

OFDM 変調された信号を移動受信した場合, 受信された OFDM 信号はドップラー偏移の影響を受ける. ドップラー偏移によりサブキャリア間の直交性が崩れ ICI(Inter-Carrier Interference : キャリヤ間干渉)が発生し, 受信特性が著しく劣化する. 受信特性を改善させるため様々な ICI キャンセラが提案されている<sup>[12, 13]</sup>. また, 偏波 MIMO-OFDM においても水平偏波および垂直偏波で受信された OFDM 信号もドップラー偏移の影響を受けるため ICI の補償が必要となる.

そこで本稿では, 移動受信環境下における偏波 MIMO-OFDM を用いた場合の移動受信特性の改善技術<sup>[14-21]</sup>について述べる. 改善技術では, 偏波 MIMO における ZF (Zero-Forcing) 基準および MMSE

(Minimum Mean Square Error : 最小平均二乗誤差) 基準の ICI キャンセラについて紹介する. また MIMO-ICI キャンセラは演算量が膨大となるため演算量の削減を図った演算量軽減型 MIMO-ICI キャンセラおよび繰り返し復調型 MIMO-ICI キャンセラについても述べる. 地上波 4K/8K 放送の暫定方式を適用した場合の MIMO-ICI キャンセラの受信特性および演算量について示す.

### 2. 移動受信モデル

本章では, 偏波 MIMO-OFDM における移動受信モデルについて述べる.

偏波 MIMO-OFDM における伝送路行列  $\mathbf{H}_{DP}(k, l)$  は以下のように表される.

$$\mathbf{H}_{DP}(k, l) = \begin{bmatrix} H_{HH}(k, l) & H_{VH}(k, l) \\ H_{HV}(k, l) & H_{VV}(k, l) \end{bmatrix} \quad (1)$$

ここで,  $H_{HH}(k, l)$  と  $H_{VV}(k, l)$  は, それぞれ水平偏波の送信アンテナから水平偏波の受信アンテナおよび垂直偏波の送信アンテナから垂直偏波の受信アンテナ間の伝達関数を表す. また,  $H_{VH}(k, l)$  および  $H_{HV}(k, l)$  は, 水平偏波の送信アンテナから垂直偏波の受信アンテナおよび垂直偏波の送信アンテナから水平偏波の受信アンテナへの伝達関数を表す.  $k$  および  $l$  は OFDM シンボル番号およびサブキャリア番号を表す. 伝送路行列における各要素は以下のように表される.

$$\begin{bmatrix} H_{HH}(k, l) & H_{VH}(k, l) \\ H_{HV}(k, l) & H_{VV}(k, l) \end{bmatrix} = \sum_{i=0}^{N_p-1} r_i \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i \\ \sin \theta_i & \cos \theta_i \end{bmatrix} e^{-j2\pi(f_c + lf_0)\tau_i} \quad (2)$$

(2)式において,  $r_i$ ,  $\tau_i$  および  $\theta_i$  はそれぞれ,  $i$  番目のパスにおける振幅, 遅延時間および偏波回転である. FFT 後の受信ベクトル  $\mathbf{Y}(k, l)$  は以下のように表される.

$$\mathbf{Y}(k, l) = \mathbf{H}_{DP}(k, l)\mathbf{X}(k, l) + \mathbf{Z}(k, l) \quad (3)$$

ここで,  $\mathbf{X}(k, l)$  および  $\mathbf{Z}(k, l)$  は送信ベクトルと雑音ベクトルを表し, 各ベクトルは,

$$\mathbf{X}(k, l) = [x_H(k, l) \quad x_V(k, l)]^T \quad (4)$$

$$\mathbf{Y}(k, l) = [y_H(k, l) \quad y_V(k, l)]^T \quad (5)$$

$$\mathbf{Z}(k, l) = [z_H(k, l) \quad z_V(k, l)]^T \quad (6)$$

と表され, “H” および “V” の下付き文字は水平偏波および垂直偏

\*<sup>1</sup> 准教授 電気電子情報工学科

Associate Professor, Dept. of Electrical and Electronic Information Engineering

\*<sup>2</sup> 教授 東京理科大学 基礎工学部 電子応用工学科

Professor, Dept. of Applied Electronic, Tokyo Univ. of Science

波のアンテナを表す.

偏波 MIMO 環境下において OFDM 信号を移動受信した場合においてもドップラー偏移により ICI が発生する. 時刻  $t$  における水平および垂直アンテナの受信信号  $s_{r,H}(t)$  および  $s_{r,V}(t)$  は以下のように表される.

$$s_{r,H}(t) = \sum_{i=0}^{N_p-1} r_i \cos \theta_i s_H(t - \tau_i) e^{j2\pi \Delta f_i (t - \tau_i)} + \sum_{i=0}^{N_p-1} r_i (-\sin \theta_i) s_V(t - \tau_i) e^{j2\pi \Delta f_i (t - \tau_i)} \quad (7)$$

$$s_{r,V}(t) = \sum_{i=0}^{N_p-1} r_i \sin \theta_i s_H(t - \tau_i) e^{j2\pi \Delta f_i (t - \tau_i)} + \sum_{i=0}^{N_p-1} r_i \cos \theta_i s_V(t - \tau_i) e^{j2\pi \Delta f_i (t - \tau_i)} \quad (8)$$

ここで,  $\Delta f_i$  はパス  $i$  における周波数オフセットを表し, (7) および (8) 式は FFT により時間軸から周波数軸へと変換される. このときの周波数軸の受信シンボルは,

$$y_H(k, l) = \sum_{n=0}^{N-1} H_{HH}(k, l, n) x_H(k, n) + \sum_{n=0}^{N-1} H_{VH}(k, l, n) x_V(k, n) + z_H(k, l) \quad (9)$$

$$y_V(k, l) = \sum_{n=0}^{N-1} H_{HV}(k, l, n) x_H(k, n) + \sum_{n=0}^{N-1} H_{VV}(k, l, n) x_V(k, n) + z_V(k, l) \quad (10)$$

となり, 伝達関数は(11)式で表される.

$$\begin{bmatrix} H_{HH}(k, l, n) & H_{VH}(k, l, n) \\ H_{HV}(k, l, n) & H_{VV}(k, l, n) \end{bmatrix} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N_p-1} r_i \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i \\ \sin \theta_i & \cos \theta_i \end{bmatrix} e^{j2\pi k \Delta f_i T_s} e^{-j2\pi (f_c + n f_0 + \Delta f_i) \tau_i} \times \sum_{p=0}^{N-1} e^{j \frac{2\pi (n-l+\alpha_i)p}{N}} \quad (11)$$

ここで,  $\alpha_i$  は  $i$  番目のパスの正規化周波数オフセットであり, 以下の式で表される.

$$\alpha_i = \frac{\Delta f_i}{f_0} \quad (12)$$

また(9), (10)式は行列式として以下のように表される.

$$\mathbf{Y}(k) = \mathbf{H}_{DP}(k) \mathbf{X}(k) + \mathbf{Z}(k) \quad (13)$$

ここで, 受信ベクトル  $\mathbf{Y}(k)$ , 送信ベクトル  $\mathbf{X}(k)$ , 雑音ベクトル  $\mathbf{Z}(k)$  は以下のように構成される.

$$\mathbf{Y}(k) = \begin{bmatrix} \mathbf{Y}_H(k) & \mathbf{Y}_V(k) \end{bmatrix}^T \quad (14)$$

$$\mathbf{X}(k) = \begin{bmatrix} \mathbf{X}_H(k) & \mathbf{X}_V(k) \end{bmatrix}^T \quad (15)$$

$$\mathbf{Z}(k) = \begin{bmatrix} \mathbf{Z}_H(k) & \mathbf{Z}_V(k) \end{bmatrix}^T \quad (16)$$

これらのベクトルの各要素は以下のように表される.

$$\mathbf{Y}_H(k) = [y_H(k, 0) \cdots y_H(k, n) \cdots y_H(k, N-1)]^T \quad (17)$$

$$\mathbf{X}_H(k) = [x_H(k, 0) \cdots x_H(k, n) \cdots x_H(k, N-1)]^T \quad (18)$$

$$\mathbf{Z}_H(k) = [z_H(k, 0) \cdots z_H(k, n) \cdots z_H(k, N-1)]^T \quad (19)$$

$$\mathbf{Y}_V(k) = [y_V(k, 0) \cdots y_V(k, n) \cdots y_V(k, N-1)]^T \quad (20)$$

$$\mathbf{X}_V(k) = [x_V(k, 0) \cdots x_V(k, n) \cdots x_V(k, N-1)]^T \quad (21)$$

$$\mathbf{Z}_V(k) = [z_V(k, 0) \cdots z_V(k, n) \cdots z_V(k, N-1)]^T \quad (22)$$

また, 伝送路行列  $\mathbf{H}_{DP}(k)$  は,

$$\mathbf{H}_{DP}(k) = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_{HH}(k) & \mathbf{H}_{VH}(k) \\ \mathbf{H}_{HV}(k) & \mathbf{H}_{VV}(k) \end{bmatrix} \quad (23)$$

と表され,  $\mathbf{H}_{HH}(k)$  は(24)式のように表される.

$$\mathbf{H}_{HH}(k) = \begin{bmatrix} H_{HH}(k, 0, 0) & H_{HH}(k, 0, 1) & \cdots & H_{HH}(k, 0, N-1) \\ H_{HH}(k, 1, 0) & H_{HH}(k, 1, 1) & \cdots & H_{HH}(k, 1, N-1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{HH}(k, N-1, 0) & H_{HH}(k, N-1, 1) & \cdots & H_{HH}(k, N-1, N-1) \end{bmatrix} \quad (24)$$

その他の  $\mathbf{H}_{VH}(k)$ ,  $\mathbf{H}_{HV}(k)$ ,  $\mathbf{H}_{VV}(k)$  も同様に表される.

### 3. MIMO-ICI キャンセラ

本章では, 偏波 MIMO における ICI 補償方式として, ZF 基準および MMSE 基準における ICI キャンセラについて述べる. また, ICI の補償には膨大な演算量が必要となるため演算量軽減方式についても紹介する.

#### 3. 1. ZF 基準

ZF 基準における ICI キャンセラでは受信ベクトル  $\mathbf{Y}(k)$  に伝送路行列  $\mathbf{H}_{DP}(k)$  の逆行列を乗算することにより復調ベクトルは(25)式のように得られる.

$$\tilde{\mathbf{X}}(k) = \mathbf{H}_{DP}^{-1}(k) \mathbf{Y}(k) = \mathbf{X}(k) + \mathbf{H}_{DP}^{-1}(k) \mathbf{Z}(k) \quad (25)$$

ここで, 復調ベクトルは以下のように構成されている.

$$\tilde{\mathbf{X}}(k) = [\tilde{\mathbf{X}}_H(k) \quad \tilde{\mathbf{X}}_V(k)]^T \quad (26)$$

復調ベクトルの各要素は,

$$\tilde{\mathbf{X}}_H(k) = [\tilde{x}_H(k, 0) \cdots \tilde{x}_H(k, n) \cdots \tilde{x}_H(k, N-1)]^T \quad (27)$$

$$\tilde{\mathbf{X}}_V(k) = [\tilde{x}_V(k, 0) \cdots \tilde{x}_V(k, n) \cdots \tilde{x}_V(k, N-1)]^T \quad (28)$$

のように表される. しかし, 伝送路行列  $\mathbf{H}_{DP}(k)$  の逆行列演算はサブキャリア数と偏波数に依存するため演算量が膨大となる. そこで, 演算量の軽減を図った演算量軽減型 MIMO-ICI キャンセラについて述べる.

#### 3. 1. 1. 演算量軽減型

演算量軽減型 MIMO-ICI キャンセラでは, あるサブキャリアにおいて考慮する隣接サブキャリアの干渉を(29)式のように制限することにより演算量の削減が可能である.

$$H_{HH}(k, l, n) = 0, \quad |l - n| > N_{AS} \quad (29)$$

ここで,  $N_{AS}$  は隣接干渉サブキャリア数を表す. 伝送路行列  $\mathbf{H}_{DP}(k)$  の要素の行列である  $\mathbf{H}_{HH}(k)$  は帯行列と見なすことが可能となる. 帯行列と見なした  $\mathbf{H}_{HH}(k)$  より(30)式のように  $l$  番目のサブキャリアに対する仮想要素行列が生成される.

$$\mathbf{H}'_{HH}(k, l) = \begin{bmatrix} H_{HH}(k, l^-, n^-) & \cdots & H_{HH}(k, l^-, n) & \cdots & H_{HH}(k, l^-, n^+) \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{HH}(k, l, n^-) & \cdots & H_{HH}(k, l, n) & \cdots & H_{HH}(k, l, n^+) \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{HH}(k, l^+, n^-) & \cdots & H_{HH}(k, l^+, n) & \cdots & H_{HH}(k, l^+, n^+) \end{bmatrix} \quad (30)$$

ここで,  $l^-$  および  $l^+$  は,  $l + N_{AS}$  および  $l - N_{AS}$  および  $n^-$  および  $n^+$  は,  $n + N_{AS}$

および  $n-N_{AS}$  を表す. 同様に  $\mathbf{H}_{VH}(k)$ ,  $\mathbf{H}_{HV}(k)$ ,  $\mathbf{H}_{VV}(k)$  も帯行列とみなすことができ, それぞれサブキャリア  $l$  に対する仮要素行列を生成し, 伝送路行列における  $l$  番目のサブキャリアに対する仮伝送路行列は以下のように生成される.

$$\mathbf{H}'_{DP}(k, l) = \begin{bmatrix} \mathbf{H}'_{HH}(k, l) & \mathbf{H}'_{VH}(k, l) \\ \mathbf{H}'_{HV}(k, l) & \mathbf{H}'_{VV}(k, l) \end{bmatrix} \quad (31)$$

(31)式に示した仮伝送路行列の次元は,  $2 \times (2N_{AS} + 1)$  となり, 逆行行列演算の演算量の削減が可能となる.

$k$  番目の OFDM シンボルにおける  $l$  番目のサブキャリアで伝送された送信シンボルは, 以下のようにして復調される.

$$\tilde{\mathbf{X}}'(k, l) = \mathbf{H}'_{DP}(k, l)^{-1} \mathbf{Y}'(k, l) \quad (32)$$

ここで, サブキャリア  $l$  に対する仮受信ベクトルおよび仮復調ベクトルは,

$$\mathbf{Y}'(k, l) = [\mathbf{Y}'_H(k, l) \quad \mathbf{Y}'_V(k, l)]^T \quad (33)$$

$$\tilde{\mathbf{X}}'(k, l) = [\tilde{\mathbf{X}}'_H(k, l) \quad \tilde{\mathbf{X}}'_V(k, l)]^T \quad (34)$$

のように構成されており, 各要素は以下の式で表される.

$$\mathbf{Y}'_H(k, l) = [y_H(k, l^-) \quad \dots \quad y_H(k, l) \quad \dots \quad y_H(k, l^+)]^T \quad (35)$$

$$\tilde{\mathbf{X}}'_H(k, l) = [\tilde{x}_H(k, l^-) \quad \dots \quad \tilde{x}_H(k, l) \quad \dots \quad \tilde{x}_H(k, l^+)]^T \quad (36)$$

演算量軽減型 MIMO-ICI キャンセラにおける仮伝送路行列および仮受信ベクトル構成の概要を図 1 に示す.

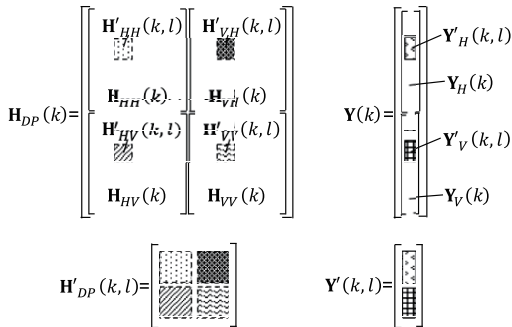


図 1. 演算量軽減型 MIMO-ICI キャンセラにおける仮伝送路行列および仮受信ベクトルの構成

演算量軽減型 MIMO-ICI キャンセラは, ZF 基準 MIMO-ICI キャンセラに比べ演算量を大幅に削減可能である. しかし, 隣接するサブキャリアの影響しか考慮されていないため, ZF 基準 MIMO-ICI キャンセラに比べ受信特性が劣化してしまう. そのため, 演算量を削減しつつ受信特性の改善を図った繰り返し復調型 MIMO-ICI キャンセラについても紹介する.

### 3. 1. 2. 繰り返し復調型

繰り返し復調型 MIMO-ICI キャンセラでは, 演算量軽減型 MIMO-ICI キャンセラにおいて考慮されていないサブキャリアの影響(残留干渉成分)を仮復調したシンボルを用いて干渉除去を行う. 繰り返し復調型 MIMO-ICI キャンセラの構成図を図 2 に示す. 図 2 おいて受信シンボル  $\mathbf{Y}'(k, l)$  は, 演算量軽減型 MIMO-ICI キャンセラにより仮復調される. 仮復調されたシンボルは, 干渉および雑音が含まれるため図 3 に示すリマッピングが行われる. リマッピングされたシンボルは, 図 2 における“Interference Reduction”において推

定された伝達関数と乗算され, 残留干渉成分が受信シンボルから除去される. 残留干渉成分の除去は以下の式で行われる.

$$\bar{y}_H(k, l') = y_H(k, l') - \sum_{n'=0}^{N-1} H_{HH}(k, l', n') \tilde{x}_H(k, n') - \sum_{n'=0}^{N-1} H_{VH}(k, l', n') \tilde{x}_V(k, n') \quad (37)$$

$$\bar{y}_V(k, l') = y_V(k, l') - \sum_{n'=0}^{N-1} H_{HV}(k, l', n') \tilde{x}_H(k, n') - \sum_{n'=0}^{N-1} H_{VV}(k, l', n') \tilde{x}_V(k, n') \quad (38)$$

ここで,  $l'$  は演算量軽減型 MIMO-ICI キャンセラにより制限されたサブキャリア番号を示し,

$$l - N_{AS} \leq l' \leq l + N_{AS} \quad (39)$$

の範囲となる. また,  $n'$  は演算量軽減型 MIMO-ICI キャンセラでは考慮されていないサブキャリア番号を表し,

$$n' \leq l - N_{AS}, l + N_{AS} \leq n' \quad (40)$$

の範囲である. 干渉除去は全てのサブキャリアにおいて行われる.

図 4 に干渉除去の概要図を示す. 仮復調および干渉除去を繰り返すことにより受信特性を改善させることが可能である.

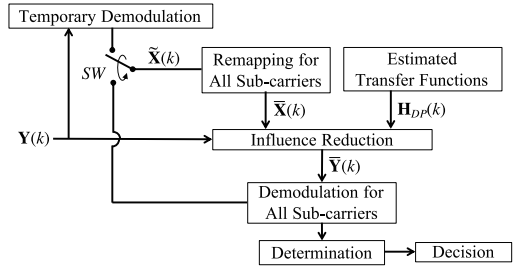


図 2. 繰り返し復調型 MIMO-ICI キャンセラの構成

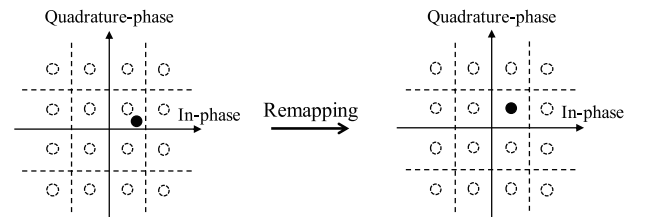


図 3. リマッピングの概要 (16QAM)

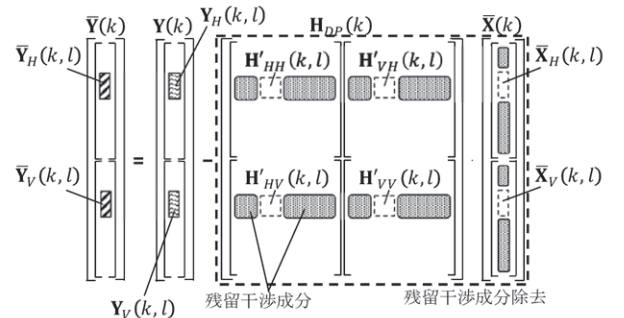


図 4. 残留干渉成分除去の構成

### 3. 2. MMSE 基準

ZF 基準の MIMO-ICI キャンセラを用いた場合、低電力のサブキャリアにおいて雑音強調が発生してしまう。そこで本節では、MMSE 基準における MIMO-ICI キャンセラについて紹介する。

MMSE 基準の MIMO-ICI キャンセラにおいて、送信シンボルは MMSE ウェイト  $w_{HH}(k,l,n)$ ,  $w_{VH}(k,l,n)$ ,  $w_{HV}(k,l,n)$ ,  $w_{VV}(k,l,n)$  を用いることにより以下のように復調することが可能である。

$$\hat{y}_H(k,l) = \sum_{n=0}^{N-1} w_{HH}(k,l,n) y_H(k,n) + \sum_{n=0}^{N-1} w_{VH}(k,l,n) y_V(k,n) \quad (41)$$

$$\hat{y}_V(k,l) = \sum_{n=0}^{N-1} w_{HV}(k,l,n) y_H(k,n) + \sum_{n=0}^{N-1} w_{VV}(k,l,n) y_V(k,n) \quad (42)$$

(41), (42)式における MMSE ウェイトは、

$$E \left[ |x_H(k,l) - \hat{y}_H(k,l)|^2 \right] \rightarrow \min \quad (43)$$

$$E \left[ |x_V(k,l) - \hat{y}_V(k,l)|^2 \right] \rightarrow \min \quad (44)$$

を最小にすることで得られ、得られた MMSE ウェイトベクトルは以下のように表される。

$$\begin{aligned} \mathbf{w}_{HH}(k,l) &= \sigma_{d,H}^2 (\mathbf{R}_A(k,l) - \mathbf{R}_B(k,l) \mathbf{R}_D^{-1}(k,l) \mathbf{R}_C(k,l))^{-1} \\ &\times (\mathbf{H}_{HH}(k,l) - \mathbf{R}_B(k,l) \mathbf{R}_D^{-1}(k,l) \mathbf{H}_{HV}(k,l)) \end{aligned} \quad (45)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{w}_{VH}(k,l) &= \sigma_{d,H}^2 (\mathbf{R}_D(k,l) - \mathbf{R}_C(k,l) \mathbf{R}_A^{-1}(k,l) \mathbf{R}_B(k,l))^{-1} \\ &\times (\mathbf{H}_{HV}(k,l) - \mathbf{R}_C(k,l) \mathbf{R}_A^{-1}(k,l) \mathbf{H}_{HH}(k,l)) \end{aligned} \quad (46)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{w}_{HV}(k,l) &= \sigma_{d,V}^2 (\mathbf{R}_A(k,l) - \mathbf{R}_B(k,l) \mathbf{R}_D^{-1}(k,l) \mathbf{R}_C(k,l))^{-1} \\ &\times (\mathbf{H}_{VH}(k,l) - \mathbf{R}_B(k,l) \mathbf{R}_D^{-1}(k,l) \mathbf{H}_{VV}(k,l)) \end{aligned} \quad (47)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{w}_{VV}(k,l) &= \sigma_{d,V}^2 (\mathbf{R}_D(k,l) - \mathbf{R}_C(k,l) \mathbf{R}_A^{-1}(k,l) \mathbf{R}_B(k,l))^{-1} \\ &\times (\mathbf{H}_{VV}(k,l) - \mathbf{R}_C(k,l) \mathbf{R}_A^{-1}(k,l) \mathbf{H}_{VH}(k,l)) \end{aligned} \quad (48)$$

ここで、(45), (46)式における各要素は以下のように表される。

$$\mathbf{w}_{HH}(k,l) = [w_{HH}(k,l,0) \ \cdots \ w_{HH}(k,l,n) \ \cdots \ w_{HH}(k,l,N-1)]^T \quad (49)$$

$$\mathbf{w}_{VH}(k,l) = [w_{VH}(k,l,0) \ \cdots \ w_{VH}(k,l,n) \ \cdots \ w_{VH}(k,l,N-1)]^T \quad (50)$$

$$\mathbf{H}_{HH}^*(k,l) = [H_{HH}^*(k,0,l) \ \cdots \ H_{HH}^*(k,n,l) \ \cdots \ H_{HH}^*(k,N-1,l)]^T \quad (51)$$

$$\mathbf{H}_{HV}^*(k,l) = [H_{HV}^*(k,0,l) \ \cdots \ H_{HV}^*(k,n,l) \ \cdots \ H_{HV}^*(k,N-1,l)]^T \quad (52)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{R}_A(k,l) &= \sigma_{d,H}^2 \sum_{p=0}^{N-1} \begin{bmatrix} |H_{HH}(k,0,p)|^2 & \cdots & H_{HH}^*(k,0,p) H_{HH}(k,N-1,p) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{HH}^*(k,N-1,p) H_{HH}(k,0,p) & \cdots & |H_{HH}(k,N-1,p)|^2 \end{bmatrix} \\ &+ \sigma_{d,V}^2 \sum_{p=0}^{N-1} \begin{bmatrix} |H_{VH}(k,0,p)|^2 & \cdots & H_{VH}^*(k,0,p) H_{VH}(k,N-1,p) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{VH}^*(k,N-1,p) H_{VH}(k,0,p) & \cdots & |H_{VH}(k,N-1,p)|^2 \end{bmatrix} \\ &+ 2\sigma_n^2 \mathbf{I} \end{aligned} \quad (53)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{R}_B(k,l) &= \sigma_{d,H}^2 \sum_{p=0}^{N-1} \begin{bmatrix} H_{HH}^*(k,0,p) H_{HV}(k,0,p) & \cdots & H_{HH}^*(k,0,p) H_{HV}(k,N-1,p) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{HH}^*(k,N-1,p) H_{HV}(k,0,p) & \cdots & H_{HH}^*(k,N-1,p) H_{HV}(k,N-1,p) \end{bmatrix} \\ &+ \sigma_{d,V}^2 \sum_{p=0}^{N-1} \begin{bmatrix} H_{VH}^*(k,0,p) H_{VV}(k,0,p) & \cdots & H_{VH}^*(k,0,p) H_{VV}(k,N-1,p) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{VH}^*(k,N-1,p) H_{VV}(k,0,p) & \cdots & H_{VH}^*(k,N-1,p) H_{VV}(k,N-1,p) \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (54)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{R}_C(k,l) &= \sigma_{d,H}^2 \sum_{p=0}^{N-1} \begin{bmatrix} H_{HV}^*(k,0,p) H_{HH}(k,0,p) & \cdots & H_{HV}^*(k,0,p) H_{HH}(k,N-1,p) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{HV}^*(k,N-1,p) H_{HH}(k,0,p) & \cdots & H_{HV}^*(k,N-1,p) H_{HH}(k,N-1,p) \end{bmatrix} \\ &+ \sigma_{d,V}^2 \sum_{p=0}^{N-1} \begin{bmatrix} H_{VH}^*(k,0,p) H_{VH}(k,0,p) & \cdots & H_{VH}^*(k,0,p) H_{VH}(k,N-1,p) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{VH}^*(k,N-1,p) H_{VH}(k,0,p) & \cdots & H_{VH}^*(k,N-1,p) H_{VH}(k,N-1,p) \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (55)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{R}_D(k,l) &= \sigma_{d,H}^2 \sum_{p=0}^{N-1} \begin{bmatrix} |H_{HV}(k,0,p)|^2 & \cdots & H_{HV}^*(k,0,p) H_{HV}(k,N-1,p) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{HV}^*(k,N-1,p) H_{HV}(k,0,p) & \cdots & |H_{HV}(k,N-1,p)|^2 \end{bmatrix} \\ &+ \sigma_{d,V}^2 \sum_{p=0}^{N-1} \begin{bmatrix} |H_{VH}(k,0,p)|^2 & \cdots & H_{VH}^*(k,0,p) H_{VH}(k,N-1,p) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{VH}^*(k,N-1,p) H_{VH}(k,0,p) & \cdots & |H_{VH}(k,N-1,p)|^2 \end{bmatrix} \\ &+ 2\sigma_n^2 \mathbf{I} \end{aligned} \quad (56)$$

これらの要素における“\*”の上付き文字は複素共役を表し、(47), (48)式の MMSE ウェイトベクトルも同様に表される。MMSE 基準において送信シンボルは以下のようにして復調される。

$$x_H(k,l) = \mathbf{w}_{HH}(k,l) \mathbf{Y}_H + \mathbf{w}_{VH}(k,l) \mathbf{Y}_V \quad (57)$$

$$x_V(k,l) = \mathbf{w}_{HV}(k,l) \mathbf{Y}_H + \mathbf{w}_{VV}(k,l) \mathbf{Y}_V \quad (58)$$

MMSE 基準の MIMO-ICI キャンセラでは、全てのサブキャリアにおいて  $\mathbf{R}_A(k,l)$  や  $\mathbf{R}_D(k,l)$  などの逆行列を計算する必要がある。しかし、 $\mathbf{R}_A(k,l)$  および  $\mathbf{R}_D(k,l)$  はサブキャリア数に応じた次元となるため、逆行列演算には膨大な演算量が必要となる。そのため、MMSE 基準における MIMO-ICI キャンセラも ZF 基準 MIMO-ICI キャンセラと同様に演算量の軽減が必要となる。

#### 3. 2. 1. 演算量軽減型

MMSE 基準 MIMO-ICI キャンセラにおいて ZF 基準と同様に隣接するサブキャリアの干渉のみを考慮した MMSE 基準演算量軽減型 MIMO-ICI キャンセラについて述べる。

隣接サブキャリアのみ考慮した場合の復調シンボルは以下のように表される。

$$\begin{aligned} \hat{y}_H(k,l) &= \sum_{n'=l-N_{AS}}^{l+N_{AS}} w_{HH}(k,l',n') y_H(k,n') \\ &+ \sum_{n'=l-N_{AS}}^{l+N_{AS}} w_{VH}(k,l',n') y_V(k,n') \end{aligned} \quad (59)$$

$$\begin{aligned} \hat{y}_V(k,l) &= \sum_{n'=l-N_{AS}}^{l+N_{AS}} w_{HV}(k,l',n') y_H(k,n') \\ &+ \sum_{n'=l-N_{AS}}^{l+N_{AS}} w_{VV}(k,l',n') y_V(k,n') \end{aligned} \quad (60)$$

MMSE 基準における演算量軽減型 MIMO-ICI キャンセラの MMSE ウェイトは、通常の MMSE 基準 MIMO-ICI キャンセラと同様に、

$$E \left[ |x_H(k,l) - \hat{y}_H(k,l)|^2 \right] \rightarrow \min \quad (61)$$

$$E \left[ |x_V(k,l) - \hat{y}_V(k,l)|^2 \right] \rightarrow \min \quad (62)$$

を最小にすることで得られ、演算量軽減型 MIMO-ICI キャンセラの MMSE ウェイトベクトルは以下のように得られる。

$$\begin{aligned} \mathbf{w}'_{HH}(k,l) &= \sigma_{d,H}^2 (\mathbf{R}'_A(k,l) - \mathbf{R}'_B(k,l) \mathbf{R}'_D^{-1}(k,l) \mathbf{R}'_C(k,l))^{-1} \\ &\times (\mathbf{H}'_{HH}(k,l) - \mathbf{R}'_B(k,l) \mathbf{R}'_D^{-1}(k,l) \mathbf{H}'_{HV}(k,l)) \end{aligned} \quad (63)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{w}'_{VH}(k, l) &= \sigma_{d,H}^2 (\mathbf{R}'_D(k, l) - \mathbf{R}'_C(k, l) \mathbf{R}'_A^{-1}(k, l) \mathbf{R}'_B(k, l))^{-1} \\ &\quad \times (\mathbf{H}'_{HV}(k, l) - \mathbf{R}'_C(k, l) \mathbf{R}'_A^{-1}(k, l) \mathbf{H}'_{HH}(k, l)) \end{aligned} \quad (64)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{w}'_{HV}(k, l) &= \sigma_{d,V}^2 (\mathbf{R}'_A(k, l) - \mathbf{R}'_B(k, l) \mathbf{R}'_D^{-1}(k, l) \mathbf{R}'_C(k, l))^{-1} \\ &\quad \times (\mathbf{H}'_{VH}(k, l) - \mathbf{R}'_B(k, l) \mathbf{R}'_D^{-1}(k, l) \mathbf{H}'_{VV}(k, l)) \end{aligned} \quad (65)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{w}'_{VV}(k, l) &= \sigma_{d,V}^2 (\mathbf{R}'_D(k, l) - \mathbf{R}'_C(k, l) \mathbf{R}'_A^{-1}(k, l) \mathbf{R}'_B(k, l))^{-1} \\ &\quad \times (\mathbf{H}'_{VV}(k, l) - \mathbf{R}'_C(k, l) \mathbf{R}'_A^{-1}(k, l) \mathbf{H}'_{VH}(k, l)) \end{aligned} \quad (66)$$

ここで, (63), (64)式における各要素は以下のように表される.

$$\mathbf{w}'_{HH}(k, l) = [w_{HH}(k, l, l^-) \cdots w_{HH}(k, l, l^+) \cdots w_{HH}(k, l, l^+)]^T \quad (67)$$

$$\mathbf{w}'_{VH}(k, l) = [w_{VH}(k, l, l^-) \cdots w_{VH}(k, l, l^+) \cdots w_{VH}(k, l, l^+)]^T \quad (68)$$

$$\mathbf{H}'_{HH}(k, l) = [H_{HH}^*(k, l^-, l) \cdots H_{HH}^*(k, l, l) \cdots H_{HH}^*(k, l^+, l)]^T \quad (69)$$

$$\mathbf{H}'_{HV}(k, l) = [H_{HV}^*(k, l^-, l) \cdots H_{HV}^*(k, l, l) \cdots H_{HV}^*(k, l^+, l)]^T \quad (70)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{R}'_A(k, l) &= \sigma_{d,H}^2 \sum_{p=0}^{N-1} \begin{bmatrix} |H_{HH}(k, l^-, p)|^2 & \cdots & H_{HH}^*(k, l^-, p) H_{HH}(k, l^+, p) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{HH}^*(k, l^+, p) H_{HH}(k, l^-, p) & \cdots & |H_{HH}(k, l^+, p)|^2 \end{bmatrix} \\ &+ \sigma_{d,V}^2 \sum_{p=0}^{N-1} \begin{bmatrix} |H_{VH}(k, l^-, p)|^2 & \cdots & H_{VH}^*(k, l^-, p) H_{VH}(k, l^+, p) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{VH}^*(k, l^+, p) H_{VH}(k, l^-, p) & \cdots & |H_{VH}(k, l^+, p)|^2 \end{bmatrix} \\ &+ 2\sigma_n^2 \mathbf{I}_{N_{AS}} \end{aligned} \quad (71)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{R}'_B(k, l) &= \sigma_{d,H}^2 \sum_{p=0}^{N-1} \begin{bmatrix} H_{HH}^*(k, l^-, p) H_{HV}(k, l^-, p) & \cdots & H_{HH}^*(k, l^-, p) H_{HV}(k, l^+, p) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{HH}^*(k, l^+, p) H_{HV}(k, l^-, p) & \cdots & H_{HH}^*(k, l^+, p) H_{HV}(k, l^+, p) \end{bmatrix} \\ &+ \sigma_{d,V}^2 \sum_{p=0}^{N-1} \begin{bmatrix} H_{VH}^*(k, l^-, p) H_{VV}(k, l^-, p) & \cdots & H_{VH}^*(k, l^-, p) H_{VV}(k, l^+, p) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{VH}^*(k, l^+, p) H_{VV}(k, l^-, p) & \cdots & H_{VH}^*(k, l^+, p) H_{VV}(k, l^+, p) \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (72)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{R}'_C(k, l) &= \sigma_{d,H}^2 \sum_{p=0}^{N-1} \begin{bmatrix} H_{HV}^*(k, l^-, p) H_{HH}(k, l^-, p) & \cdots & H_{HV}^*(k, l^-, p) H_{HH}(k, l^+, p) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{HV}^*(k, l^+, p) H_{HH}(k, l^-, p) & \cdots & H_{HV}^*(k, l^+, p) H_{HH}(k, l^+, p) \end{bmatrix} \\ &+ \sigma_{d,V}^2 \sum_{p=0}^{N-1} \begin{bmatrix} H_{VH}^*(k, l^-, p) H_{VH}(k, l^-, p) & \cdots & H_{VH}^*(k, l^-, p) H_{VH}(k, l^+, p) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{VH}^*(k, l^+, p) H_{VH}(k, l^-, p) & \cdots & H_{VH}^*(k, l^+, p) H_{VH}(k, l^+, p) \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (73)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{R}'_D(k, l) &= \sigma_{d,H}^2 \sum_{p=0}^{N-1} \begin{bmatrix} |H_{HV}(k, l^-, p)|^2 & \cdots & H_{HV}^*(k, l^-, p) H_{HV}(k, l^+, p) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{HV}^*(k, l^+, p) H_{HV}(k, l^-, p) & \cdots & |H_{HV}(k, l^+, p)|^2 \end{bmatrix} \\ &+ \sigma_{d,V}^2 \sum_{p=0}^{N-1} \begin{bmatrix} |H_{VV}(k, l^-, p)|^2 & \cdots & H_{VV}^*(k, l^-, p) H_{VV}(k, l^+, p) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{VV}^*(k, l^+, p) H_{VV}(k, l^-, p) & \cdots & |H_{VV}(k, l^+, p)|^2 \end{bmatrix} \\ &+ 2\sigma_n^2 \mathbf{I}_{N_{AS}} \end{aligned} \quad (74)$$

$\mathbf{R}'_A(k, l)$  および  $\mathbf{R}'_D(k, l)$  の次元は,  $2N_{AS} + 1$  となり, MMSE 基準 MIMO-ICI キャンセラに比べ MMSE 基準演算量軽減型 MIMO-ICI キャンセラでは演算量を削減することが可能である. しかし, ZF 基準の演算量軽減型 MIMO-ICI キャンセラと同様に隣接するサブキャリアの影響しか考慮していないため, MMSE 基準 MIMO-ICI キャンセラに比べ受信特性が劣化してしまう. そのため, 演算量を削減しつつ受信特性の改善を図った繰り返し復調型 MIMO-ICI キャンセラについても述べる.

ンセラについても述べる.

### 3. 1. 2. 繰り返し復調型

演算量軽減型 MIMO-ICI キャンセラにおいて残留干渉成分を除去し受信特性の改善が可能である繰り返し復調を適用した MMSE 基準 MIMO-ICI キャンセラについて述べる.

MMSE 基準における繰り返し復調型 MIMO-ICI キャンセラでは, ZF 基準と同様に図 2 に示したブロック図に従い復調される. ただし, MMSE 基準演算量軽減型 MIMO-ICI キャンセラでは, MMSE ウェイト計算の際に一部の行列において隣接干渉サブキャリア数よりも離れたサブキャリアの影響も考慮されている. そのため, リマッピングされた仮復調シンボルを用いて離れたサブキャリアの影響を除去した後, MMSE 基準演算量軽減型 MIMO-ICI キャンセラを用いて再度復調を行う場合, MMSE ウェイトは以下の行列を用いて計算する必要がある.

$$\begin{aligned} \mathbf{R}'_A(k, l) &= \sigma_{d,H}^2 \sum_{p'=p^-}^{p^+} \begin{bmatrix} |H_{HH}(k, l^-, p')|^2 & \cdots & H_{HH}^*(k, l^-, p') H_{HH}(k, l^+, p') \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{HH}^*(k, l^+, p') H_{HH}(k, l^-, p') & \cdots & |H_{HH}(k, l^+, p')|^2 \end{bmatrix} \\ &+ \sigma_{d,V}^2 \sum_{p'=p^-}^{p^+} \begin{bmatrix} |H_{VH}(k, l^-, p')|^2 & \cdots & H_{VH}^*(k, l^-, p') H_{VH}(k, l^+, p') \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{VH}^*(k, l^+, p') H_{VH}(k, l^-, p') & \cdots & |H_{VH}(k, l^+, p')|^2 \end{bmatrix} \\ &+ 2\sigma_n^2 \mathbf{I}_{N_{AS}} \end{aligned} \quad (75)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{R}'_B(k, l) &= \sigma_{d,H}^2 \sum_{p'=p^-}^{p^+} \begin{bmatrix} H_{HH}^*(k, l^-, p') H_{HV}(k, l^-, p') & \cdots & H_{HH}^*(k, l^-, p') H_{HV}(k, l^+, p') \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{HH}^*(k, l^+, p') H_{HV}(k, l^-, p') & \cdots & H_{HH}^*(k, l^+, p') H_{HV}(k, l^+, p') \end{bmatrix} \\ &+ \sigma_{d,V}^2 \sum_{p'=p^-}^{p^+} \begin{bmatrix} H_{VH}^*(k, l^-, p') H_{VV}(k, l^-, p') & \cdots & H_{VH}^*(k, l^-, p') H_{VV}(k, l^+, p') \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{VH}^*(k, l^+, p') H_{VV}(k, l^-, p') & \cdots & H_{VH}^*(k, l^+, p') H_{VV}(k, l^+, p') \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (76)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{R}'_C(k, l) &= \sigma_{d,H}^2 \sum_{p'=p^-}^{p^+} \begin{bmatrix} H_{HV}^*(k, l^-, p') H_{HH}(k, l^-, p') & \cdots & H_{HV}^*(k, l^-, p') H_{HH}(k, l^+, p') \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{HV}^*(k, l^+, p') H_{HH}(k, l^-, p') & \cdots & H_{HV}^*(k, l^+, p') H_{HH}(k, l^+, p') \end{bmatrix} \\ &+ \sigma_{d,V}^2 \sum_{p'=p^-}^{p^+} \begin{bmatrix} H_{VH}^*(k, l^-, p') H_{VH}(k, l^-, p') & \cdots & H_{VH}^*(k, l^-, p') H_{VH}(k, l^+, p') \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{VH}^*(k, l^+, p') H_{VH}(k, l^-, p') & \cdots & H_{VH}^*(k, l^+, p') H_{VH}(k, l^+, p') \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (77)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{R}'_D(k, l) &= \sigma_{d,H}^2 \sum_{p'=p^-}^{p^+} \begin{bmatrix} |H_{HV}(k, l^-, p')|^2 & \cdots & H_{HV}^*(k, l^-, p') H_{HV}(k, l^+, p') \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{HV}^*(k, l^+, p') H_{HV}(k, l^-, p') & \cdots & |H_{HV}(k, l^+, p')|^2 \end{bmatrix} \\ &+ \sigma_{d,V}^2 \sum_{p'=p^-}^{p^+} \begin{bmatrix} |H_{VV}(k, l^-, p')|^2 & \cdots & H_{VV}^*(k, l^-, p') H_{VV}(k, l^+, p') \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{VV}^*(k, l^+, p') H_{VV}(k, l^-, p') & \cdots & |H_{VV}(k, l^+, p')|^2 \end{bmatrix} \\ &+ 2\sigma_n^2 \mathbf{I}_{N_{AS}} \end{aligned} \quad (78)$$

ここで,  $p^+$  および  $p^-$  は,  $p+N_{AS}$  および  $p-N_{AS}$  を表す. 仮復調および干渉除去を複数回繰り返すことにより受信特性を改善させることが可能である.



#### 4. 特性評価

本章では ZF 基準および MMSE 基準における MIMO-ICI キャンセラの特性および演算量について述べる。

コンピュータシミュレーションによる BER (Bit Error Rate : ビット誤り率) 特性評価では, 表 1 に示したシミュレーションパラメータおよび表 2 に示したマルチパスパラメータを用いた. 表 1 のシミュレーションパラメータは次世代放送の暫定方式におけるモード 5 のパラメータを用い, 受信機側において伝送路は既知として BER 評価を行った.

表 1. シミュレーションパラメータ

Number of Sub-carriers, $N$		30241
Modulation Scheme of Sub-carriers		NU-4096QAM
Carrier Frequency, $f_c$		518.142851 MHz
Interval of Sub-carrier, $f_0$		125/648 kHz
Length of Guard Interval		1/32
Number of Adjacent Sub-carriers, $N_{AS}$		1, 3
LDPC Code	Code Length	69120
	Code Rate	10/16
	Number of Iterative Decode	50
BCH Code		43008/43200

表 2. マルチパスパラメータ

$i$ -th Path	DUR [dB]	Delay Time, $\tau_i$ [ $\mu$ s]	NFO <sup>※1</sup> , $\alpha_i$	PRA <sup>※2</sup> , $\theta_i$ [ $^\circ$ ]
1	-	0	0.1395	0
2	13.45	0.2350	-0.0589	317
3	14.24	9.981	-0.0218	53
4	18.67	8.871	0.0969	228
5	18.83	0.4580	0.1254	357

※1 Normalize Frequency Offset

※2 Polarization Rotation Angle

##### 4. 1. BER 評価

図 5 および図 6 に隣接干渉サブキャリア数を 1 および 3 とした場合の ZF 基準における MIMO-ICI キャンセラの BER 特性をそれぞれ示す. 図中における“Static”は ICI が発生していない場合, “w/o Cancellation”は ICI 補償を行っていない場合の特性を示す. また, “Num. of Ite.= $x$ ”は  $x$  回繰り返し復調を行なった場合の繰り返し復調型 MIMO-ICI キャンセラの特性を示す. ただし, “Num. of Ite.=0”については, 演算量軽減型 MIMO-ICI キャンセラの特性を示す.

図 5, 6 より, 演算量軽減型 MIMO-ICI キャンセラでは BER 特性を改善させることができないが, 繰り返し復調型 MIMO-ICI キャンセラでは仮復調と干渉除去を繰り返すことにより BER 特性の改善が可能である.

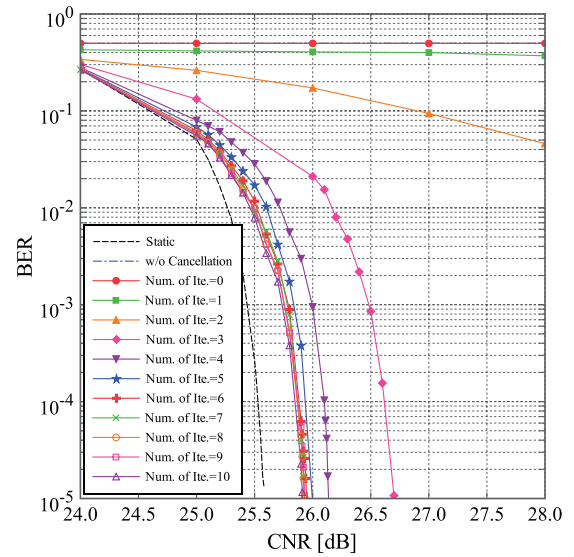


図 5. CNR に対する BER 特性 (ZF 基準,  $N_{AS}=1$ )

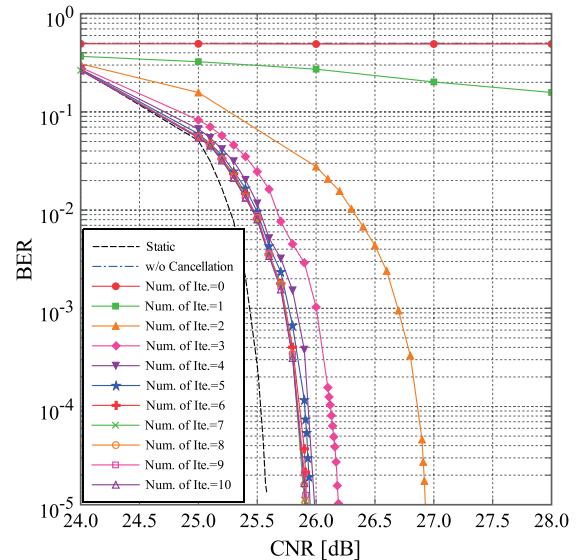


図 6. CNR に対する BER 特性 (ZF 基準,  $N_{AS}=3$ )

図 7 および図 8 に隣接干渉サブキャリア数を 1 および 3 とした場合の MMSE 基準における MIMO-ICI キャンセラの BER 特性をそれぞれ示す. 図中における凡例は図 5 および図 6 と同様である.

図 7 および図 8 より ZF 基準と同様, 演算量軽減型 MIMO-ICI キャンセラでは BER 特性を改善させることができないが, 繰り返し復調型 MIMO-ICI キャンセラでは BER 特性の改善が可能である. また, 同じ繰り返し復調回数の場合, ZF 基準に比べ MMSE 基準の方が雑音と干渉を考慮することができるため, より良い BER 特性が得られる.

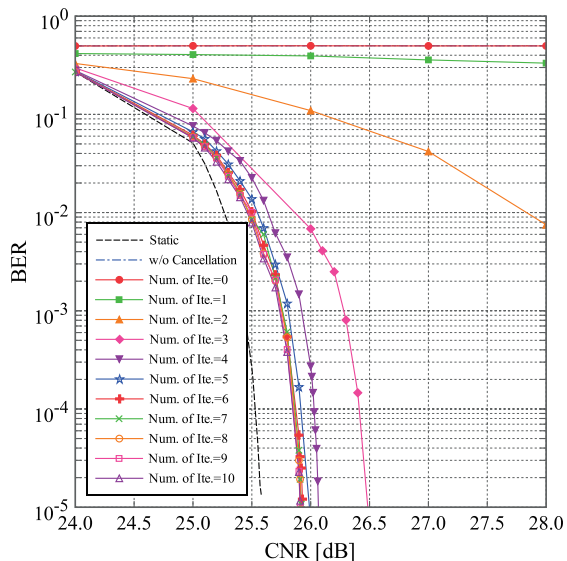


図7. CNR に対する BER 特性 (MMSE 基準,  $N_{AS}=1$ )

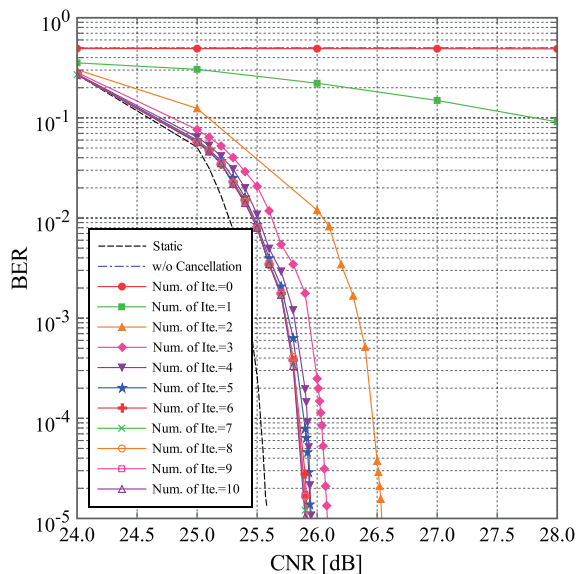


図8. CNR に対する BER 特性 (MMSE 基準,  $N_{AS}=3$ )

#### 4. 2. 演算量評価

MIMO-ICI キャンセラは演算量が膨大となるため、演算量に関する評価も必要となる。そこで、演算量軽減型および繰り返し復調型 MIMO-ICI キャンセラの CRR(Complexity Reduction Ratio)の評価も行った。繰り返し復調回数に対する CRR 特性を図9に示す。評価に用いた CRR は(79)式で定義される。

$$CRR[\%] = \frac{X_{Full} - X_{Pro}}{X_{Full}} \times 100 \quad (79)$$

ここで、 $X_{Full}$  は ZF 基準 MIMO-ICI キャンセラの演算量を示す。 $X_{Pro}$  は ZF 基準もしくは MMSE 基準における演算量軽減型および繰り返し復調型 MIMO-ICI キャンセラの演算量を示す。図中における繰り返し回数“0”は演算量軽減型 MIMO-ICI キャンセラの特性を示す。

図9より ZF 基準 MIMO-ICI キャンセラに比べ演算量の削減を図った MIMO-ICI キャンセラでは演算量を大幅に削減することが可能である。

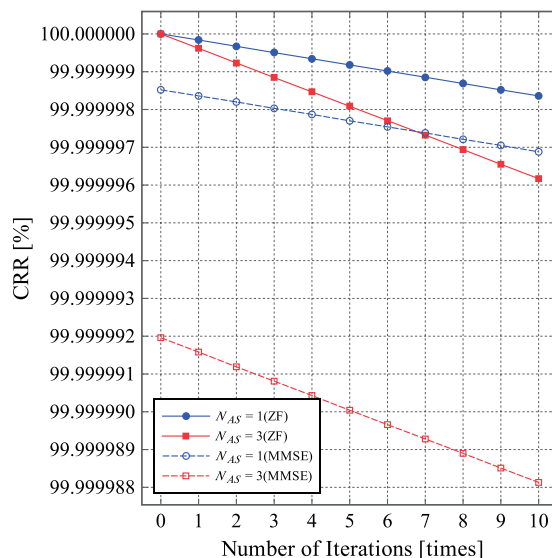


図9. 繰り返し復調回数に対する CRR 特性

#### 5. まとめ

本稿では、日本において地上 4K/8K デジタル放送において採用が検討されている偏波 MIMO-超多値 OFDM における移動受信特性の改善技術について紹介した。ZF 基準および MMSE 基準における繰り返し復調型 MIMO-ICI キャンセラにより受信特性を改善しつつ演算量も低減可能であることを示した。

#### 謝辞

本研究は、総務省の電波資源拡大のための研究開発「地上テレビジョン放送の高度化技術に関する研究開発」による委託研究として実施した。

#### 参考文献

- [1] Atsuro ICHIGAYA and Yukihiro NISHIDA : “Required bit rates analysis for a new broadcasting service using HEVC/H.265”, IEEE Transactions on Broadcasting, 62(2), 417–425 (2016).
- [2] Jon Barrueco, Jon Montalban, Cristina Regueiro, Manuel Vélez, Juan Luis Ordiales, Heung-Mook Kim, Sung-Ik Park and Sunhyoung Kwon : “Constellation design for bit-interleaved coded modulation (BICM) systems in advanced broadcast standards”, IEEE Transactions on Broadcasting, 63(4), 603–614 (2017).
- [3] S. S. Krishna Chaitanya Bulusu, Matthieu Crussière, Jean-Francois Hiélaud, Ralph Mounzer and Youssef Nasser : “A low latency algorithm for efficient PAPR reduction for DVB-T2 and ATSC 3.0 broadcast”, IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB), 1–5 (2017).
- [4] ATSC Standard: ATSC3.0 System, Advanced Television System Committee Standard A/300:2017 (2017).
- [5] Digital Video Broadcasting (DVB); Frame Structure Channel Coding and Modulation for a Second Generation Digital Terrestrial Television Broadcasting System (DVB-T2), V1.4.1, ETSI Standard EN 302 755 (2015).
- [6] 村山研一 : “スーパーハイビジョン放送に向けた次世代地上大容量伝送技術”, NHK 技研 R&D, 134, 26-34 (2012).
- [7] Susumu SAITO, Takuya SHITOMI, Shingo ASAKURA, Akihiko SATOU, Masahiro OKANO, Kenichi MURAYAMA and Kenichi

- TSUCHIDA : “8K terrestrial transmission field tests using dual-polarized MIMO and higher-order modulation OFDM”, IEEE Transactions on Broadcasting, 62(1), 306–315 (2016).
- [8] Lachlan Michael, Kazuyuki TAKAHASHI, Yuji SHINOHARA, Lui SAKAI; Makiko KAN and Samuel Atungsiri : “Terrestrial broadcast system using preamble and frequency division multiplexing”, IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB), 1–7 (2017).
- [9] Satoshi HARA, Akira HANADA, Ichie MASUHARA, Takayuki YAMASHITA and Kohji MITANI : “Celebrating the launch of 8K/4K UHD TV satellite broadcasting and progress on full-featured 8K UHD TV in Japan”, SMPTE Motion Imaging Journal, 127(2), 1–8 (2018).
- [10] 菰拓也 : “マルチパス環境における偏波 MIMO-超多値 OFDM の伝送特性”, NHK 技研 R&D, 136, 24-32 (2012).
- [11] 斎藤藤進, 菰拓也, 朝倉慎吾, 土田健一, 齊藤知弘, 渋谷一彦 : “偏波 MIMO-超多値 OFDM 方式を用いた 8K スーパーハイビジョン地上波伝送実験”, ITE Technical Report, 38(8), 53-56 (2014).
- [12] 中村聡, 大野光平, 伊丹誠 : “OFDM 移動受信における繰り返し復調を用いたゼロフォーシング型 ICI キャンセラに関する検討”, ITE Technical Report, 37(34), 37-40 (2013).
- [13] 中村聡, 大野光平, 伊丹誠 : “OFDM 移動受信における繰り返し復調を用いた MIMO-ICI キャンセラに関する検討”, IEICE Technical Report, 113(275), 37-42 (2013).
- [14] 大坪弘明, 中村聡, 伊丹誠 : “移移動受信環境下における偏波 MIMO-超多値 OFDM の特性改善に関する研究”, 映情学技報 BCT2016-27, 40(4), 41-44 (2016).
- [15] 大坪弘明, 中村聡, 伊丹誠 : “移動受信環境下における誤り訂正符号を用いた偏波 MIMO-超多値 OFDM の特性評価”, 映情学 冬季大会, 12A-3 (2016).
- [16] Hiroaki OTSUBO, Akira NAKAMURA and Makoto ITAMI : “Improving Performance of Dual-Polarized MIMO Ultra-Multilevel OFDM Under Mobile Reception”, IEEE International Conference on Consumer Electronics (2017).
- [17] 大坪弘明, 中村聡, 伊丹誠 : “NU-QAM を用いた偏波 MIMO-超多値 OFDM の移動受信特性の評価”, 映情学技報 BCT2017-33, 41(6), 41-44 (2017).
- [18] Hiroaki OTSUBO, Akira NAKAMURA and Makoto ITAMI : “Performance Evaluation of Dual-Polarized MIMO Ultra-Multilevel OFDM Using NU-QAM Under Mobile Reception”, IEEE International Conference on Consumer Electronics (2018).
- [19] 大坪弘明, 中村聡, 伊丹誠 : “移動受信環境下における MMSE 型偏波 MIMO-ICI キャンセラの特性評価”, 映情学技報 BCT2018-26, 42(5), 9-12 (2018).
- [20] 大坪弘明, 布施卓哉, 中村聡, 伊丹誠 : “次世代地上デジタル放送の部分受信における移動受信特性評価”, 映情学技報 BCT2018-47, 42(11), 39-42 (2018).
- [21] Akira NAKAMURA, Hiroaki OTSUBO and Makoto ITAMI : “A Study on Dual-Polarizes MIMO-ICI Canceller with Complexity Reduction Under Mobile Reception of OFDM Signals”, IEEE Transactions on Broadcasting, Early Access (2018).

# 制約条件付き有限要素法による繊維強化複合材料の界面すべり解析

喜多村 竜太\*

## Constraint conditional finite element method for interfacial sliding simulation of fiber reinforced composite materials

Ryuta KITAMURA\*

### 1. 緒言

セラミックスは耐熱性, 耐摩耗性, 耐食性などに優れるが, その脆弱性から単体での構造用材料用途は限定的であった. 一方, このセラミックスをセラミックス繊維などで強化したセラミックス基化複合材料 (CMC; Ceramic Matrix Composites) は, 繊維架橋, 繊維破断, 繊維引抜け, 界面はく離・すべり, き裂偏向などの微視損傷の発現により高靱化を実現した材料であり, 従来の金属材料などでは適用困難だった航空宇宙分野など的高温環境下構造材料として期待されている<sup>[1,2]</sup>.

この CMC に代表される繊維複合材料の界面すべりの接触問題には, 従来, ペナルティ法などを用いた有限要素解析などが行われてきたが, これらの手法では繰返し計算を必要とするため, 解析時間が長く, 解析精度が繰返し数に依存することが問題視されてきた<sup>[3]</sup>. そこで, 著者らはこの問題に対して制約条件付き有限有限要素法 (CC-FEM: Constraint Conditional Finite Element Method) を提案した<sup>[4]</sup>. 同手法は繊維-母材界面に多重節点を導入し, 節点変位の等価性や接触力のつりあい式を立てて, 界面接触状態を定義するもので, 従来手法と異なり, 繰返し計算を必要としないため, 精度向上および解析時間の短縮が期待できる. しかし, これらの定式化は界面方向と負荷方向が同一な On-axis 界面すべりを対象としたもので, 実材料における繊維配向や繊維径変動, すなわち, Off-axis 界面すべりを考慮したものではなかった.

そこで本研究では, この CC-FEM を用いて Off-axis 界面すべり状態を定式化し, 有限要素解析を行った. また, 同手法による解析結果を汎用解析および理論モデルと比較することでその妥当性を検証するとともに, Off-axis 界面すべりの影響について検証した.

### 2. 解析方法

#### 2-1 接触解析における剛性方程式

接触力を取り入れた仮想仕事の原理は, 一般的に次式のように与えられる.

$$\iiint_V \sigma_{ij} \delta \varepsilon_{ij} dV - \left( \iiint_V p_i \delta u_i dV + \iint_{S_c} T_i \delta u_i dS_c \right) - \iint_{S_c} R_i \delta u_i dS_c = 0 \quad (1)$$

ここで,  $\sigma_{ij}$  は応力,  $\delta u_i$  は仮想変位,  $\delta \varepsilon_{ij}$  は仮想ひずみであり, 添字  $i, j$  は半径方向  $r$  およびすべり方向  $z$  のいずれかを示す. また, 図 1 に示すように,  $S_c$  は接触面  $C$  の表面積,  $S_c$  は接触面  $C$  以外の力学的境界の表面積,  $V$  は体積である. ここで, 式(1)の第 1 項は仮想ひずみ  $\delta \varepsilon_{ij}$  による弾性仕事, 第 2 項は体積力  $p_i$  による仕事と表面力  $T_i$  による仕事の和, 第 3 項は接触力  $R_i$  による仕事を示している.

式(1)を離散化し, 各要素上の節点に等価節点力を定義すると, 通常の有限要素法の剛性方程式に接触力を加えた次式が導かれる.

$$[K]\{\Delta u\} = \{\Delta f\} \quad (2)$$

ここで,  $[K]$  は式(1)の第 1 項から導かれる全体剛性マトリックス,  $\{\Delta u\}$  は節点変位増分,  $\{\Delta f\}$  は第 2 項から導かれる節点荷重増分である. さらに,  $\{\Delta R\}$  は第 3 項から導かれる接触力増分であり, 未知変数として扱う.

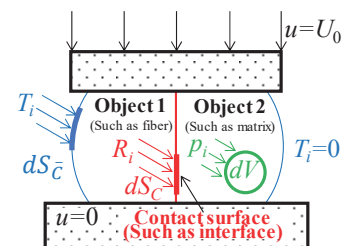


図 1 2つの物体間に働く接触力

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

## 2-2 界面接触状態の定義

CMC の強化材として用いられるセラミックス繊維などは局所的に径が変動することがあり、はく離界面において Off-axis 方向の界面すべりが生じると予想される。そこで、以下のような損傷過程を想定して界面接触状態（制約条件）を定義した。

- 1) On-axis 界面すべりと同じく、まず繊維破断または母材き裂が発生する。
- 2) その周りに界面はく離が起こる。
- 3) 続いて界面摩擦を通じて力学的つり合い状態に達するまで繊維-母材間で Off-axis 方向に界面すべりが生じる。

以上のような状態を図2に示すような、(a) 固着状態、(b) 界面はく離し、摩擦すべりが生じた後、静止した状態（以降、界面すべり状態と呼ぶ）、(c) 母材き裂、および(d) 繊維破断を伴う界面すべり状態の4種類<sup>[1,3,4]</sup>の非損傷・損傷状態として定義した。なお、節点は要素間に複数個配置されており、節点1, 3は繊維側、2, 4は母材側にある。図2(a)は非損傷状態であり、4つの節点が固着し、常に同じ位置にある。また、図1(b),(c),(d)は、負荷方向（z方向）に対して繊維と母材の節点が角度 $\alpha$ （反時計回りを正）を持った Off-axis 界面に沿って相対的な界面すべりを起こした状態である。

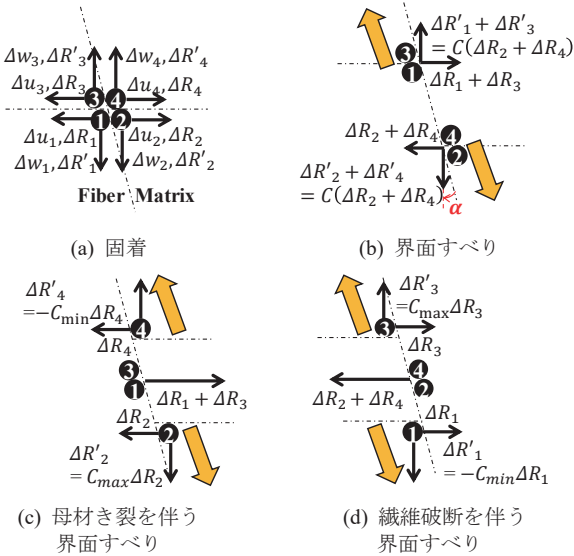


図2 CC-FEMにおける界面接触状態のモデル化

## 2-3 界面接触条件（制約条件）

図2の各界面接触状態において、制約条件（変位増分の等価性、接触力増分のつり合い式）はそれぞれ以下ようになる。

### (a) 固着（図2(a)）

界面の同じ位置で節点1~4が固着しているため、それらの変位は等しく、接触力の和は0であるので、制約条件は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} \Delta u_1 &= \Delta u_2 = \Delta u_3 = \Delta u_4 \\ \Delta w_1 &= \Delta w_2 = \Delta w_3 = \Delta w_4 \\ \Delta R_1 + \Delta R_2 + \Delta R_3 + \Delta R_4 &= 0 \\ \Delta R'_1 + \Delta R'_2 + \Delta R'_3 + \Delta R'_4 &= 0 \end{aligned} \quad (3)$$

ここで、 $\Delta u$  および  $\Delta w$  は節点1~4の  $r$  および  $z$  方向変位増分、 $\Delta R$  および  $\Delta R'$  は  $r$  および  $z$  方向の接触力増分を表す。

### (b) 界面すべり（図2(b)）

図2(b)の Off-axis 界面すべりでは接触力と摩擦力の作用方向が異なるため、図3のように  $r$  および  $z$  方向の接触力をすべり方向およびすべり垂直方向に分解し、クーロン摩擦則を適用させる。即ち、

$$(\Delta R'_1 + \Delta R'_3)\cos\alpha - (\Delta R_1 + \Delta R_3)\sin\alpha \quad (4)$$

$$= \mu\{(\Delta R_1 + \Delta R_3)\cos\alpha + (\Delta R'_1 + \Delta R'_3)\sin\alpha\}$$

$$\therefore (\Delta R'_1 + \Delta R'_3) = C(\Delta R_1 + \Delta R_3) \quad (5)$$

となる。ここで、 $C$  は等価摩擦係数であり、

$$C = C_{\max} = (\mu + \tan\alpha)/(1 - \mu\tan\alpha) \quad (6)$$

と定義される。これは、図2(b)に示すように界面で繊維と母材が互いに押し合う方向に接触力が働く場合、角度 $\alpha$ により摩擦係数 $\mu$ が見掛け上  $C=C_{\max}$  に増加することを意味し、 $\alpha$ の増加とともに摩擦力は大きくなる。

一方、界面が互いに離れようとする方向に接触力が作用するとき、等価摩擦係数  $C$  は、

$$C = C_{\min} = (\mu - \tan\alpha)/(1 + \mu\tan\alpha) \quad (7)$$

となり、 $\alpha$ の増加とともに摩擦力は小さくなる。以上より、界面すべり状態（図2(b)）の界面接触条件は次式で与えられる。

$$\Delta u_1 = \Delta u_3 \quad \Delta u_2 = \Delta u_4 \quad \Delta w_1 = \Delta w_3 \quad \Delta w_2 = \Delta w_4$$

$$\tan\alpha = (\Delta u_2 - \Delta u_1)/(\Delta w_1 - \Delta w_2)$$

$$(\Delta R'_1 + \Delta R'_3) = C(\Delta R_1 + \Delta R_3) \quad (8)$$

$$(\Delta R'_2 + \Delta R'_4) = C(\Delta R_2 + \Delta R_4)$$

$$(\Delta R_1 + \Delta R_3) + (\Delta R_2 + \Delta R_4) = 0$$

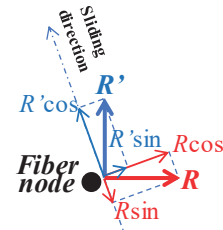


図3 off-axis 界面における接触力

同様に、図2(c)および(d)の制約条件は次式で与えられる。

### (c) 母材き裂を伴う界面すべり（図2(c)）

$$\Delta u_1 = \Delta u_3 \quad \Delta w_1 = \Delta w_3$$

$$\tan\alpha = \frac{\Delta u_2 - \Delta u_1}{\Delta w_1 - \Delta w_2} = \frac{\Delta u_3 - \Delta u_1}{\Delta w_1 - \Delta w_3}$$

$$\Delta R'_2 = C_{\max}\Delta R_2 \quad R'_4 = -C_{\min}\Delta R_4 \quad (9)$$

$$(\Delta R_1 + \Delta R_3) + \Delta R_2 + \Delta R_4 = 0$$

$$(\Delta R'_1 + \Delta R'_3) + \Delta R'_2 + \Delta R'_4 = 0$$

$$\Delta R'_1 + \Delta R'_3 = 0$$

## (d) 繊維破断を伴う界面すべり (図 2(d))

$$\begin{aligned}
\Delta u_2 &= \Delta u_4 & \Delta w_2 &= \Delta w_4 \\
\tan\alpha &= \frac{\Delta u_2 - \Delta u_1}{\Delta w_1 - \Delta w_2} = \frac{\Delta u_4 - \Delta u_1}{\Delta w_1 - \Delta w_4} \\
\Delta R'_1 &= -C_{\min}\Delta R_1 & R'_3 &= C_{\max}\Delta R_3 \\
\Delta R_1 + \Delta R_3 + (\Delta R_2 + \Delta R_4) &= 0 \\
\Delta R'_1 + \Delta R'_3 + (\Delta R'_2 + \Delta R'_4) &= 0 \\
\Delta R'_2 + \Delta R'_4 &= 0
\end{aligned} \tag{10}$$

なお、式(3),(8)~(10)の界面接触条件において、 $\alpha=0[^\circ]$ とくと On-axis の制約条件と一致し、上記の Off-axis 界面接触条件は On-axis を包含する。

式(11)の 1 行目を書き下すと

$$K_{11}\Delta u_1 + K_{12}\Delta w_1 + K_{13}\Delta u_2 + K_{14}\Delta w_2 + K_{15}\Delta u_3 + K_{16}\Delta w_3 + K_{17}\Delta u_4 + K_{18}\Delta w_4 = \Delta f_{r1} + \Delta R_1 \tag{12}$$

となる。さらに、表 1 の式を用いると、

$$K_{11}\Delta u_1 + K_{12}\Delta w_1 + K_{13}\{(\Delta w_1 - \Delta w_2)\tan\alpha + \Delta u_1\} + K_{14}\Delta w_2 + K_{15}\Delta u_1 + K_{16}\Delta w_1 + K_{17}\{(\Delta w_1 - \Delta w_2)\tan\alpha + \Delta u_1\} + K_{18}\Delta w_4 = \Delta f_{r1} - (\Delta R_2 + \Delta R_3 + \Delta R_4) \tag{13}$$

$$\cdot (K_{11} + K_{13} + K_{15} + K_{17})\Delta u_1 + \{(K_{12} + K_{16}) + (K_{13} + K_{17})\tan\alpha\}\Delta w_1 + \{(K_{14} + K_{18}) - (K_{13} + K_{17})\tan\alpha\}\Delta w_2 + \Delta R_2 + \Delta R_3 + \Delta R_4 = \Delta f_{r1} \tag{14}$$

のように書き換えられる。式(14)は $\{\Delta u_c\}^T = \{\Delta u_1, \Delta w_1, \Delta w_2, \Delta R_2, \Delta R_3, \Delta R'_3, \Delta R_4, \Delta R'_4\}^T$ 中の 8 つの未知変数の内、6 つの未知変数 $\Delta u_1, \Delta w_1, \Delta w_2, \Delta R_2, \Delta R_3, \Delta R_4$ で表わされている。また、2~8 行目も $\{\Delta u_c\}$ 中の 8 つの変数のみを使って表すことができるため、式(11)の剛性方程式は

$$\begin{bmatrix}
K_{11} + K_{13} + K_{15} + K_{17} & (K_{12} + K_{16}) + (K_{13} + K_{17})\tan\alpha & 1 & (K_{14} + K_{18}) - (K_{13} + K_{17})\tan\alpha & 1 & 0 & 1 & 0 \\
K_{21} + K_{23} + K_{25} + K_{27} & (K_{22} + K_{26}) + (K_{23} + K_{27})\tan\alpha & +C & (K_{24} + K_{28}) - (K_{23} + K_{27})\tan\alpha & 0 & 1 & +C & 0 \\
K_{31} + K_{33} + K_{35} + K_{37} & (K_{32} + K_{36}) + (K_{33} + K_{37})\tan\alpha & -1 & (K_{34} + K_{38}) - (K_{33} + K_{37})\tan\alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\
K_{41} + K_{43} + K_{45} + K_{47} & (K_{42} + K_{46}) + (K_{43} + K_{47})\tan\alpha & -C & (K_{44} + K_{48}) - (K_{43} + K_{47})\tan\alpha & 0 & 0 & -C & 1 \\
K_{51} + K_{53} + K_{55} + K_{57} & (K_{52} + K_{56}) + (K_{53} + K_{57})\tan\alpha & 0 & (K_{54} + K_{58}) - (K_{53} + K_{57})\tan\alpha & -1 & 0 & 0 & 0 \\
K_{61} + K_{63} + K_{65} + K_{67} & (K_{62} + K_{66}) + (K_{63} + K_{67})\tan\alpha & 0 & (K_{64} + K_{68}) - (K_{63} + K_{67})\tan\alpha & 0 & -1 & 0 & 0 \\
K_{71} + K_{73} + K_{75} + K_{77} & (K_{72} + K_{76}) + (K_{73} + K_{77})\tan\alpha & 0 & (K_{74} + K_{78}) - (K_{73} + K_{77})\tan\alpha & 0 & 0 & -1 & 0 \\
K_{81} + K_{83} + K_{85} + K_{87} & (K_{82} + K_{86}) + (K_{83} + K_{87})\tan\alpha & 0 & (K_{84} + K_{88}) - (K_{83} + K_{87})\tan\alpha & 0 & 0 & 0 & -1
\end{bmatrix}
\begin{bmatrix}
\Delta u_1 \\
\Delta w_1 \\
\Delta R_2 \\
\Delta w_2 \\
\Delta R_3 \\
\Delta R'_3 \\
\Delta R_4 \\
\Delta R'_4
\end{bmatrix}
=
\begin{bmatrix}
\Delta f_{r1} \\
\Delta f_{z1} \\
\Delta f_{r2} \\
\Delta f_{z2} \\
\Delta f_{r3} \\
\Delta f_{z3} \\
\Delta f_{r4} \\
\Delta f_{z4}
\end{bmatrix} \tag{15}$$

すなわち、 $[K_c]$ を変形後の剛性マトリックス、 $\{\Delta u_c\}$ を接触力を含む変位ベクトルとして

$$[K_c]\{\Delta u_c\} = \{\Delta f\} \tag{16}$$

のように変形できる。この式(16)をガウスの消去法などで数値的に解くことで、 $\{\Delta u_c\}$ 、すなわち $\Delta u_1, \Delta w_1, \Delta w_2, \Delta R_2, \Delta R_3, \Delta R'_3, \Delta R_4, \Delta R'_4$ が直接求められる。また、他の未知変位 $\Delta u_2, \Delta u_3, \Delta w_3, \Delta u_4, \Delta w_4$ および未知接触

## 2-4 制約条件付き有限要素法の仕組み

制約条件 (式(3), (8), (9), (10)など) 中の変位の等価性の式 ( $\Delta u_1 = \Delta u_2 = \Delta u_3 = \Delta u_4$ など) より、いくつかの計算すべき未知変位増分 $\Delta u$ を削減できるため、この削減分を未知接触力 $\Delta R$ に充てることができる。例えば、図 2(b)の界面すべり状態の場合、式(8)より全ての未知変数は表 1 に示すように、8 つの変数 (3 つの変位増分 $\Delta u_1, \Delta w_1, \Delta u_2$ および 5 つの接触力 $\Delta R_2, \Delta R_3, \Delta R'_3, \Delta R_4, \Delta R'_4$ ) で表すことができる。

ここで、式(2)の剛性方程式のある多重 (4 重) 節点の箇所のみを書き出すと、 $K_{ij}$  ( $i, j=1\sim 8$ ) を剛性マトリックス成分として、

$$\begin{bmatrix}
K_{11} & K_{12} & K_{13} & \cdots & K_{18} \\
K_{21} & K_{22} & K_{23} & & \\
K_{31} & K_{32} & K_{33} & & \\
\vdots & & & \ddots & \\
K_{81} & & & & K_{88}
\end{bmatrix}
\begin{bmatrix}
\Delta u_1 \\
\Delta w_1 \\
\Delta w_2 \\
\vdots \\
\Delta w_4
\end{bmatrix}
=
\begin{bmatrix}
\Delta f_{r1} \\
\Delta f_{z1} \\
\Delta f_{r2} \\
\vdots \\
\Delta f_{z4}
\end{bmatrix}
+
\begin{bmatrix}
\Delta R_1 \\
\Delta R_2 \\
\vdots \\
\Delta R'_4
\end{bmatrix} \tag{11}$$

となる。ここで、未知変数は $\Delta u_1\sim \Delta w_4, \Delta R_1\sim \Delta R'_4$ の計 16 個であるが、方程式は 8 個 (式(11)は 8 行) であり、このままでは全ての未知変数を求めることはできない。そこで、制約条件 (式(8)) を用いて式(11)を変形し、接触力項 $\{\Delta R\}$ を左辺に組み込むことを考える。

力 $\Delta R_1, \Delta R'_1, \Delta R'_2$ は、表 1 の式を用いて求めることができる。

以上のように、接触条件により計算すべき未知変数が削減できるため、剛性方程式の接触力項 $\{\Delta R\}$ を左辺に組み込むことができる。これにより繰返し計算を必要とせず、1 回の計算で変位解を得られるため、CC-FEM では解析時間の短縮および精度の向上が期待できる。

表1 接触条件による未知変数の削減 (界面すべりの場合)

$\{\Delta u_c\}$	変位 $\Delta u, \Delta w$	接触力 $\Delta R, \Delta R'$
$\Delta u_1$	$\Delta u_1$	$\Delta R_1 = -(\Delta R_2 + \Delta R_3 + \Delta R_4)$
$\Delta w_1$	$\Delta w_1$	$\Delta R'_1 = -(\Delta R'_2 + \Delta R'_4) - \Delta R'_3 = -C(\Delta R_2 + \Delta R_4) - \Delta R'_3$
$\Delta R_2$	$\Delta u_2 = \Delta u_1 + (\Delta w_1 - \Delta w_2)\tan\alpha$	$\Delta R_2$
$\Delta w_2$	$\Delta w_2$	$\Delta R'_2 = (\Delta R'_2 + \Delta R'_4) - \Delta R'_4 = C(\Delta R_2 + \Delta R_4) - \Delta R'_4$
$\Delta R_3$	$\Delta u_3 = \Delta u_1$	$\Delta R_3$
$\Delta R'_3$	$\Delta w_3 = \Delta w_1$	$\Delta R'_3$
$\Delta R_4$	$\Delta u_4 = \Delta u_1 + (\Delta w_1 - \Delta w_2)\tan\alpha$	$\Delta R_4$
$\Delta R'_4$	$\Delta w_4 = \Delta w_2$	$\Delta R'_4$

※ $\{\Delta u_c\}$ は式(16)から直接求める。すべての変位 $\Delta u, \Delta w$ は $\Delta u_1, \Delta w_1, \Delta w_2$ で表せる。全ての接触力 $\Delta R, \Delta R'$ は $\Delta R_2, \Delta R_3, \Delta R'_3, \Delta R_4, \Delta R'_4$ で表せる。

## 2-5 理論界面すべりモデル

CMCは焼成後の冷却過程で熱ひずみを生じ、無負荷状態でも繊維-母材界面に縮付け応力が働く<sup>[8,9]</sup>。この状態で負荷を与えると、縮付け応力が徐々に緩くなって界面すべりが生じるが、そのすべり抵抗はクーロン摩擦力によって決定される。Chiangはこのような現象も界面すべりの一形態と見なし、熱ひずみおよびポアソン効果を考慮した理論界面すべりモデルを提案している<sup>[9]</sup>。

Chiangは母材き裂面( $z=0$ )周りの界面すべり領域( $0 < z \leq L_d$ )における繊維、母材の負荷方向応力 $(\sigma_z)_f, (\sigma_z)_m$ および界面せん断応力 $\tau_i$ を

$$(\sigma_z)_f = \frac{\sigma}{V_f} - \frac{\alpha v_f (\sigma - \bar{\sigma})}{V_f (\alpha v_f + \gamma v_m)} (1 - e^{-\lambda z}) \quad (16)$$

$$(\sigma_z)_m = \frac{\alpha v_f (\sigma - \bar{\sigma})}{V_m (\alpha v_f + \gamma v_m)} (1 - e^{-\lambda z}) \quad (17)$$

$$\tau_i = \frac{r_f \lambda \alpha v_f (\sigma - \bar{\sigma})}{2 V_f (\alpha v_f + \gamma v_m)} e^{-\lambda z} \quad (18)$$

と与えている。また、固着領域( $z \geq L_d$ )では、

$$(\sigma_z)_f = [(\sigma_z)_f(L_d) - (\sigma_z)_f(\infty)] e^{-\rho(z-L_d)/r_f} + (\sigma_z)_f(\infty) \quad (19)$$

$$(\sigma_z)_m = \sigma/V_m - \gamma \{ [(\sigma_z)_f(L_d) - (\sigma_z)_f(\infty)] e^{-\rho(z-L_d)/r_f} + (\sigma_z)_f(\infty) \} \quad (20)$$

$$\tau_i = (\rho/2) [(\sigma_z)_f(L_d) - (\sigma_z)_f(\infty)] e^{-\rho(z-L_d)/r_f} \quad (21)$$

と与えている。さらに、 $r$ 方向応力 $(\sigma_r)$ および $\theta$ 方向応力 $(\sigma_\theta)$ は

$$(\sigma_r)_f = (\sigma_\theta)_f = \frac{\alpha v_f (\sigma_z)_f - v_m (\sigma_z)_m}{1 + v_m + 2\gamma + \alpha(1 - v_f)} = q_0 \quad (22)$$

$$(\sigma_r)_m = [(r_m/r)^2 - 1] \gamma q_0 \quad (23)$$

$$(\sigma_\theta)_m = [- (r_m/r)^2 - 1] \gamma q_0 \quad (24)$$

と与えている。ただし、

$$\bar{\sigma} = - \frac{V_f q_i}{\alpha v_f} [1 + v_m + 2\gamma + \alpha(1 - v_f)] \quad (25)$$

$$q_i = \frac{(\alpha_f - \alpha_m) E_m \Delta T}{(1 + v_m) + \alpha(1 - v_f)} \quad (26)$$

$$\lambda = \frac{2\mu}{r_f} \kappa = \frac{2\mu}{r_f} \frac{\alpha v_f + \gamma v_m}{1 + v_m + 2\gamma + \alpha(1 - v_f)} \quad (27)$$

$$(\sigma_z)_f(\infty) = \frac{1 + 2v_m \kappa}{V_m [\alpha + \gamma - 2\kappa(\alpha v_f + \gamma v_m)]} \sigma + \frac{(\alpha_m - \alpha_f) \Delta T}{\alpha + \gamma + 2\kappa(\alpha v_f + \gamma v_m)} E_m \quad (28)$$

$$(\sigma_z)_m(\infty) = \frac{\alpha(1 + 2v_f \kappa)}{V_m [\alpha + \gamma - 2\kappa(\alpha v_f + \gamma v_m)]} \sigma - \frac{\gamma(\alpha_m - \alpha_f) \Delta T}{\alpha + \gamma + 2\kappa(\alpha v_f + \gamma v_m)} E_m \quad (29)$$

$$\rho = \sqrt{\frac{2G_m [\alpha + \gamma + 2\kappa(\alpha v_f + \gamma v_m)]}{E_m \ln(\bar{R}/r_f)}} \quad (30)$$

$$\ln(\bar{R}/r_f) = \frac{2 \ln V_f + V_m (3 - V_f)}{4 V_m^2} \quad (31)$$

$$\alpha = E_m / E_f \quad (32)$$

$$\gamma = V_f / V_m \quad (33)$$

ここで、 $E_f, E_m$ はヤング率[MPa]、 $v_f, v_m$ はポアソン比[-]、 $\alpha_f, \alpha_m$ は熱膨張係数[K<sup>-1</sup>]、 $V_f, V_m$ は体積率[-]、 $r_f, r_m$ は外半径[mm]、 $(\sigma_z)_f(\infty), (\sigma_z)_m(\infty)$ は $z=\infty$ における $z$ 方向応力[MPa]であり、添字の $f, m$ は繊維および母材を示す。また、 $\sigma$ は負荷応力[MPa]、 $\Delta T$ は温度変化[K]、 $q_i$ および $q_0$ は熱ひずみおよびポアソン効果による縮付け応力[MPa]、 $\mu$ は摩擦係数[-]、 $r$ は任意の $r$ 座標[mm] ( $r_f \leq r \leq r_m$ )、 $\bar{R}$ は有効半径[mm] (母材の $z$ 方向応力は $r=\bar{R}$ に集中し、 $r_f \leq r \leq \bar{R}$ の領域のみにせん断応力が働く) である。本研究ではこの理論モデルの応力分布を CC-FEM および ANSYS の解析結果と比較した。

## 2-6 要素分割および境界条件

従来の論文<sup>[10-15]</sup>でも指摘されているように、CMCでは界面はく離規模が大きく、よって、繊維破断点周りの応力集中は著しく小さく、繊維間の相互干渉も小さい。そこで、本研究では円筒状の母材(外半径 $r_m=0.011$  [mm])に単繊維1本(外半径 $r_f=0.0055$  [mm])を埋め込んだ長さ $L/2=2.5$  [mm]のCMCを解析対象とし、図4のように要素分割を行った。要素は軸対称三角形要素を用い、CC-FEMの節点数は1250、要素数は1000とした。また、ANSYSでは節点数752、要素数1000とした。そして、母材き裂面( $z=2.5$  [mm])から長さ $L_d=1.0$  [mm]のOn-axis界面すべり状態を適用させた後、繊維側の節点に変位境界条件を与えて解析を行った。

図4にOff-axis界面すべり解析に用いた有限要素モデルの模式図を示す。要素分割では母材き裂面の位置( $z=2.5$  [mm])における繊維径を $r_f=0.0055$  [mm]とし、 $z=2.5$  [mm]を中心に高さ $\Delta r$ 、長さ $\Delta z$ の凸部が存在するような繊維形状を便宜上想定した。ここで、 $\Delta r=(r_m-r_f)/4=1.375$  [ $\mu\text{m}$ ]については一定とし、 $\Delta z$ の値を $\Delta z=0.5\sim 2.0$  [mm]と変化させた。これはOff-axis角度 $\alpha=0.158\sim 0.039$  [°]に相当する。また、Off-axis角度の増加に伴い、等価摩擦係数も $C=0.0528\sim 0.0507$ のようにそれぞれ増加する。

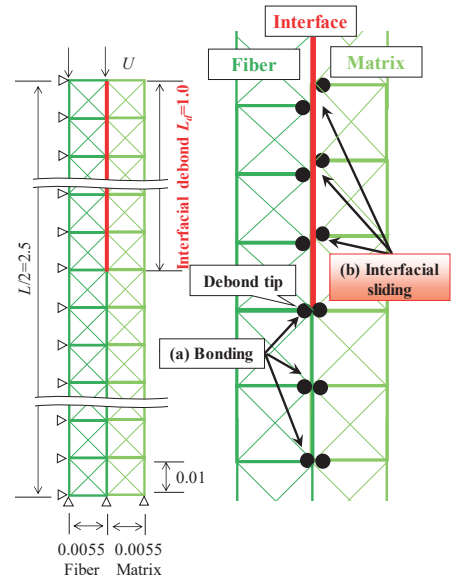


図4 On-axis界面すべりの解析モデル

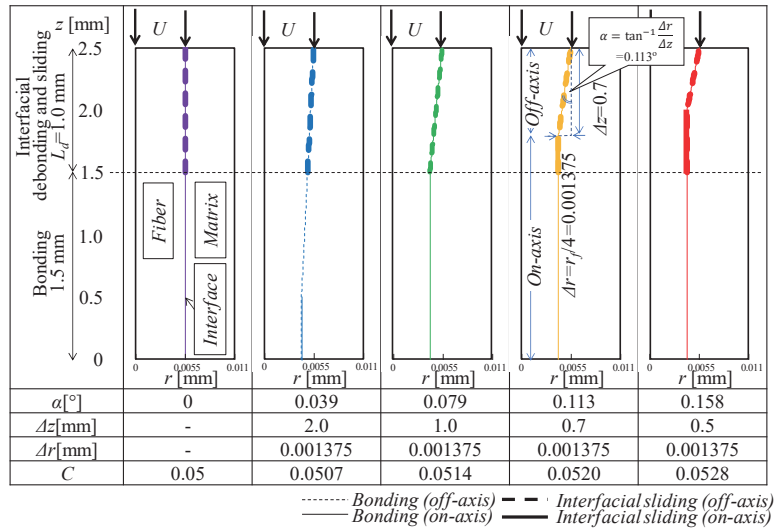


図5 Off-axis 界面すべりの解析モデル

### 3. 解析結果および考察

#### 3.1 On-axis 界面すべり

On-axis 界面すべり ( $\alpha=0^\circ$ , 図4および図5左) の場合の CC-FEM および ANSYS による応力分布の比較を図6に示す。ここでは、便宜上、ヤング率  $E_f=E_m=200$ [GPa], ポアソン比  $\nu_f=\nu_m=0.2$ [-], 摩擦係数  $\mu=0.05$ [-], 温度変化  $\Delta T=0$ [K], 界面すべり長さ  $L_d=1.0$ [mm]とし, 境界条件として圧縮負荷を想定した。

図6(a)より, CC-FEM では母材き裂面 ( $z=0$ ) から 1[mm]以上の固着領域 ( $1.0 \leq z \leq 2.5$ ) において,  $\sigma_r$  および  $\sigma_m$  の値は一致し, 一定で推移していることが確認できる。一方, き裂面から 1 [mm]以内の界面すべり領域 ( $0 \leq z \leq 1.0$ ) において,  $\sigma_m$  は母材き裂面から非線形の応力回復を示し, 一方で  $\sigma_r$  は母材き裂面で負の最大値を示した後, 大きく減少している。これは, 母材き裂により, 本来, 母材側で受け持つべき荷重を繊維側で全て受け持つためである。また, はく離先端近傍において, 繊維および母材の応力が急激に変化している。これは, 界面の接触状態が界面すべりから固着へ変化していることに起因する。

一方, 図6(b)に示すように, 固着領域において,  $\sigma_r$  および  $\sigma_m$  は共に 0 である。これは熱応力を初期に与えておらず, 繊維と母材のポアソン比を同値 ( $\nu_f=\nu_m=0.2$ ) としたためである。また, すべり領域では,  $\sigma_r$  および  $\sigma_m$  の分布は非線形を描き, 繊維および母材に  $r$  方向の圧縮応力が働いている。これは, 繊維と母材の  $z$  方向のひずみに差異が生じ, ポアソン効果によって  $r$  方向のひずみにも差異が生じた結果である。また, 母材側の  $\sigma_r$  および  $\sigma_m$  については,  $r$  座標の位置によりひずみ分布が変化し, 外側の要素の応力が小さくなった。

さらに, ANSYS による解析結果 (図6の破線) および Chiang の理論式 (図6の一点破線) でも, すべり領域において応力分布は非線形を示すことが確認できる。また,  $z$ ,  $r$  および  $\theta$  方向いずれの応力分布に関しても良好な一致を示しており, On-axis 界面すべりにおいて CC-FEM の定式化は妥当であるといえる。

#### 3.2 Off-axis 界面すべり

図7(a), (b)に CC-FEM および ANSYS による Off-axis 界面すべり解析結果を示す。両者の  $\sigma_r$  および  $\sigma_m$  の応力分布はほぼ一致し,  $\sigma_r$  および  $\sigma_m$  も同様に一致した。以上から, 本研究で提案した CC-FEM による Off-axis 界面すべりの定式化は妥当であるといえる。

また, 図7の応力分布の変化に着目してみると, Off-axis 界面すべり状態を設けることで, その応力回復の傾きが大きくなっていることが確認できる。これは, 繊維径が変化する領域 (Off-axis 界面) において, 界面が角度  $\alpha$  だけ傾くことにより等価摩擦係数  $C$  が大きくなり, 母材き裂面からの母材応力の回復が圧縮側へより早く生じるためである。また,  $\sigma_r$  および  $\sigma_m$  においても同様に急激な応力変化が生じる領域が確認された。以上のように, Off-axis 界面において等価摩擦係数  $C$  が増加することで, 摩擦力の急激な変化が生じ, いわゆる, 機械的結合 (アンカー効果) が働いていると言える。

次に, 同様な Off-axis 角度条件に対し, 摩擦係数を  $\mu=0.03$  および 0.1 と変化させて解析を行った。解析結果のうち,  $\sigma_r$  の分布を図8に示す。図7(a)および図8(a),(b)に示すように,  $\mu$  が大きくなるにつれて母材応力の圧縮側への回復がより早く生じている。また, 図8(a)に示すように,  $\mu$  が小さいときは  $\alpha=0.0788^\circ$  と  $0.158^\circ$  の応力分布の差が大きくなる。すなわち,  $\mu$  が小さければ  $\mu$  に対する等価摩擦係数  $C$  の割合 ( $=C/\mu$ ) が大きく変化するために, 両者の差がより顕在化する。換言すると,  $\mu$  が小さいときは, 界面の傾きによるアンカー効果がより強く現れるようにといえる。



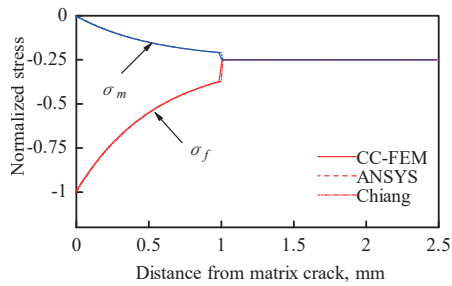
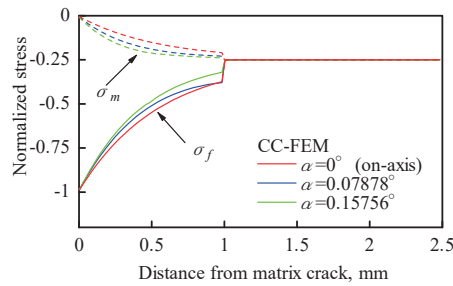
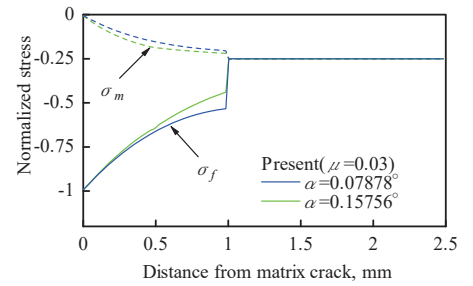
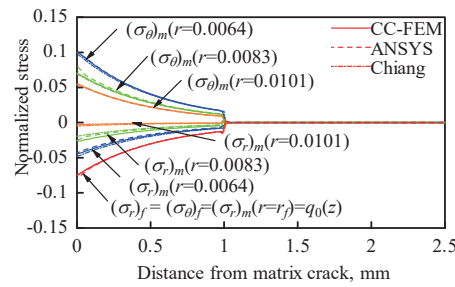
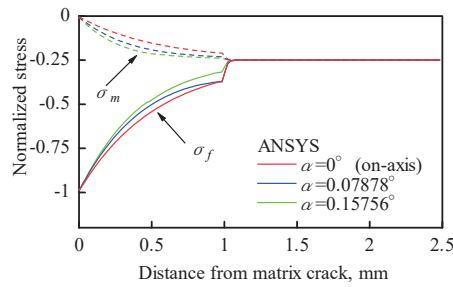
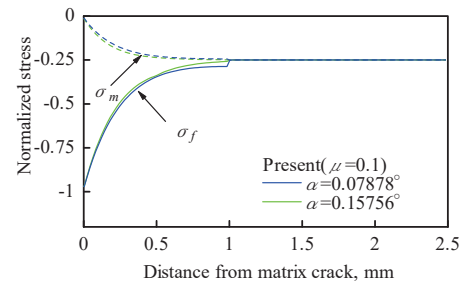
(a)  $\sigma_z$ (a) CC-FEM ( $\mu=0.05$ )(a) CC-FEM ( $\mu=0.03$ )(b)  $\sigma_r, \sigma_\theta$ (b) ANSYS ( $\mu=0.05$ )(b) CC-FEM ( $\mu=0.1$ )

図6 On-axis 界面すべり解析の応力分布  
(CC-FEM, ANSYS, 理論モデル)

図7 Off-axis 界面すべり解析の応力分布  
(CC-FEM, ANSYS)

図8 Off-axis 界面すべり解析の応力分布にお  
ける摩擦係数の影響 (CC-FEM)

#### 4. 結言

本研究では、制約条件付き有限要素モデル (CC-FEM) による CMC の Off-axis 界面すべり問題を定式化した。まず、単繊維が埋め込まれた CMC への圧縮負荷を対象に、On-axis 界面すべりによる CC-FEM による解の妥当性を ANSYS および理論式による解との比較から確認した。続いて、Off-axis 界面すべりを CC-FEM によって解析した結果、母材き裂面からの応力回復が早くなり、静摩擦係数  $\mu$  が小さいほど角度  $\alpha$  の影響、すなわち、Off-axis の影響がより強く現れることが確認できた。

以上のように、本研究で提案した CC-FEM は、On-axis 界面すべりだけでなく、Off-axis 界面すべり、繊維破断、母材き裂などの損傷を多重節点と制約条件により的確に定義でき、複合材料の損傷問題における様々な物理現象の再現が期待できる。

#### 参考文献

- [1] 邊吾一他, 複合材料活用辞典 (初版), 産業調査会事典出版センター, 719-735 (2001).
- [2] 山口章三郎他, 複合材料と界面 (初版), 材料技術研究協会, 347-352 (1988).
- [3] P.H. Geubelle and J. S. Baylor, Impact-induced delamination of composites: a 2D simulation, *Composites Part B: Engineering*, 29(5), 589-603 (1998).
- [4] 合田公一, 大木順司, 玉置純一, 鈴木道之, セラミックス基繊維強化複合材料の界面接触モデルによる FEM 定式化と強度シミュレーション, *日本複合材料学会誌*, 31(4), 184-191 (2005).
- [5] 喜多村竜太, 合田公一, セラミックス基複合材料の損傷モデルの検証と繰返し変形挙動解析, *日本機械学会論文集*, 80 (812), SMM0080 (2014).

- [6] 喜多村竜太, 合田公一, 界面はく離をとまなうセラミックス基複合材料への制約条件付き有限要素モデルの適用, *日本接着学会誌*, 50(12), 428-434 (2014).
- [7] 喜多村竜太, 山口雄大, 合田公一, 制約条件付き有限要素法による Off-axis 界面すべり問題の定式化, *日本複合材料学会誌*, 41(4), 106-111 (2015).
- [8] Y.C. Gao and Y.W. Mai, Fracture of fiber-reinforced materials, *Journal of Applied Mathematics and Physics*, 39(4), 550-572 (1988).
- [9] Y.C. Chiang, On a matrix cracking model using Coulomb's friction law, *Engineering Fracture Mechanics*, 74(10), 1602-1616 (2007).
- [10] H. Cao and M.D. Thouless, Tensile tests of ceramic-matrix composites: Theory and experiment, *Journal of The American Ceramic Society*, 73(7), 2091-2094 (1990).
- [11] W.A. Curtin, Theory of mechanical properties of ceramic-matrix composites, *Journal of the American Ceramic Society*, 74(11), 2837-2845 (1991).
- [12] S.L. Phoenix and R. Raj, Scalings in fracture probabilities for a brittle matrix fiber composite, *Acta Metallurgica et Materialia*, 40(11), 2813-2828 (1992).
- [13] J.M. Neumeister, A constitutive law for continuous fiber-reinforced brittle-matrix composites with fiber fragmentation and stress recovery autore, *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 41(8), 1383-1404 (1993).
- [14] A. Kelly and W.R. Tyson, Tensile properties of fibre-reinforced metals: Copper/tungsten and copper/molybdenum, *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 13(6), 329-338 (1965).
- [15] J.K. Kim and Y.W. Mai, *Engineered interfaces in fiber reinforced composites* (1st ed), ELSEVIER SCIENCE Ltd, Kidlington Press (1998).

# 均一分散を目指したナノコンポジットの連続混練技術に関する研究

松本 紘宜\*

## Study on continuous mixing process of nanoparticles into polymer matrix to achieve a uniform dispersion and distribution state.

Koki MATSUMOTO\*

### 1. 緒言

#### 1. 1 研究背景

約 1~100 nm の機能性ナノ粒子がポリマーマトリックス中に均一分散したナノコンポジット (図 1) は世界各国で 30 年以上に渡り活発に研究が行われている<sup>[1]</sup>。ナノ粒子の粒子サイズはナノレベルであることから、大きな比表面積を有しており、ポリマーに少量 (数%程度) の様々な形状の機能性ナノ粒子を添加するだけで、電気・熱伝導性、ガスバリア性、振動特性、光学特性等を付与・制御が可能となる。

しかしながら、ナノ粒子間では静電気力やファンデルワールス力が働き、凝集が引き起こされるために、本来の特性を発揮できずにいる。そのため、このナノ粒子の機能性を最大限に活かすためには、如何にしてポリマー中に均一分散させるかが、技術的課題点となっている。ナノコンポジットが市場へ普及しない大きな原因は、ナノ粒子の材料コストだけでなく、均一分散の難しさ、プロセスの煩雑さ、プロセスコスト、品質管理等が挙げられる。特に、粘度の高い熱可塑性樹脂においては、ナノ粒子の分散が困難であり<sup>[2]</sup>、その分散技術は未だ確立されていない。

図 1. ナノコンポジットと使用されるナノフィラー

#### 1. 2 ナノ粒子分散の従来技術と新規に取り組む研究課題

ナノ粒子を樹脂中へ均一分散させる方法として、溶媒にナノ粒子を分散させる湿式法と、樹脂に熱をかけて溶融させながらナノ粒子を混練する乾式法 (溶融混練法) に大別される。均一分散を達成するには、効率の良い機械的な混練と、粒子間の相互作用エネルギーを減少させるような粒子表面の化学処理が必要となる。

湿式法では、比較的分散は容易ではあるが、生産性が悪く、連

続化が困難である。また、分散剤等の溶媒の利用は材料コストの増加を招き、ポリマーへのダメージも考えられる。一方で、分散は困難であるが、実際の工業化を考えると溶融混練法を用いた連続式プロセスが望ましい。また、出来るだけ物理的に分散状態を改善できる安価で簡易的なプロセスが望まれている。その中で、連続的に混練しながら押出・造粒化が行える、同方向回転二軸押出機 (図 2) に注目が集まっている。しかしながら、連続式のため、限られた混練時間にてナノ粒子を分散させることが求められ、均一分散を達成するためには、非常に技術的難易度が高くなる。

図 2. 二軸押出機のスクリュ断面図と樹脂の流動状態

溶融混練法にて分散させるメカニズムは、二軸押出機に備えられている二本のスクリュが回転することで発生する流動場中の応力の大きさに依存する。二軸押出機中ではせん断流動が支配的であり、せん断応力は樹脂粘度・スクリュ回転数・スクリュ形状に依存する。しかしながら、分散させるためには適切なせん断応力値が存在し、閾値を超えるとナノ粒子が破壊やポリマーの熱劣化が生じてしまう。また、閾値以下であれば、分散は不十分となる。

そこで、本研究では新たに、せん断流動 (図 3 左側) と異なる伸長流動 (図 3 右側) を使って分散させる方法に着目した。ポリマーブレンド・アロイ化の技術においては、経験的に伸長流動によって分散相を微分散化可能であることが知られている。そのため、単軸押出機、射出成形機のスクリュ形状において、伸長流動を発生させるスクリュ形状が検討されつづけている。しかしながら、ナノ粒子の分散において、その効果は詳細に検討されておらず、体系的に研究は実施されていない状況にある。

本研究では、カーボンナノチューブ (CNT) ナノコンポジットを材料モデルとして選定し、伸長流動が持つ分散効果の基礎的な検討

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

を行った。ポリマー中のCNTの分散状態は、SEMやTEMの電子顕微鏡観察では限界があるため、機械的特性のみならず、動的粘弾性や結晶特性、電気伝導性の測定によって定量的に評価を行った。また、二軸押出プロセスのための伸長流動が発生可能な混練セグメントを新規に開発した。本稿では、それらの研究成果を紹介する。

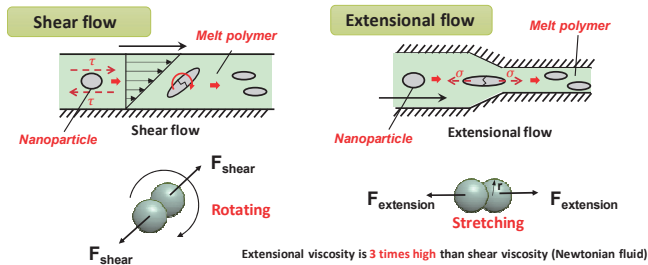


図3. せん断流動と伸長流動場における粒子の分散挙動

## 2. 単一軸伸長流動場におけるCNTの分散状態

図2に示す様に、混練中では流れ方向に速度差が生じる箇所にて伸長流動変形が生じる。しかしながら、混練中は非常に複雑な流れが生じるため、ここでは理論的な展開が容易な一軸伸長流動変形場におけるCNTの分散について検討を行った。伸長流動は図4に示すキャピラリー粘度計の拡大→縮小部にて伸長流動が発生する。その伸長流動発生に伴い圧力損失（入口圧力損失： $\Delta P_0$ ）が生じる。この損失により、式(1)から伸長応力が求められる<sup>[3]</sup>。

$$\sigma = \frac{3}{8}(n+1)\Delta P_0 \quad (1)$$

ここで、 $n$ は非ニュートン流体指数(power-law index)で、ポリマーによって異なる。CNTの分散が応力に依存するという仮定の下で、入口圧力損失と伸長応力が線形関係にあることから、入口圧力損失とCNTの分散の関係性についての議論が可能となる。また、限りなく純粋な伸長流動を発生させるために、オリフィスダイを使用し、オリフィスダイの穴径及び、押出速度を変化させながら、押出されたナノコンポジット中のCNTの分散状態を調査した。

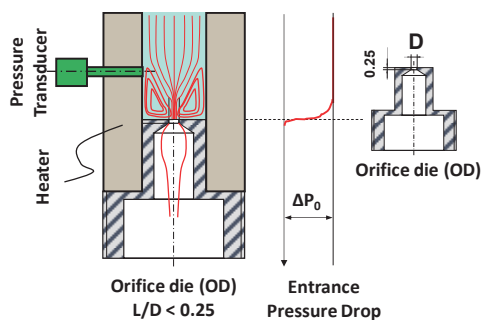


図4. 単一軸伸長流動場におけるCNT分散実験方法

図5に押出中の入口圧力損失とCNTの凝集体面積の関係を示す。MBは二軸押出機にて極力分散させずに作製したマスターバッチペレットを示す。また、オリフィスダイの穴径をそれぞれ変化させたデータも図5中に示している。低い入口圧力損失値では、CNTの分散は余り進んでいないが、10 kPaを超えるとCNTの分散状態が改善

され、500 kPa程度まで圧力をかけると、図中に示すようにCNTの凝集体（黒）が微細化していることが分かった。この結果より、伸長流動によってナノファイバーを分散させることが可能であること、入口圧力損失の増加に伴いCNTの凝集体面積は大きく減少する傾向が得られ、伸長流動による圧力損失により分散の制御が可能であることが示唆された。

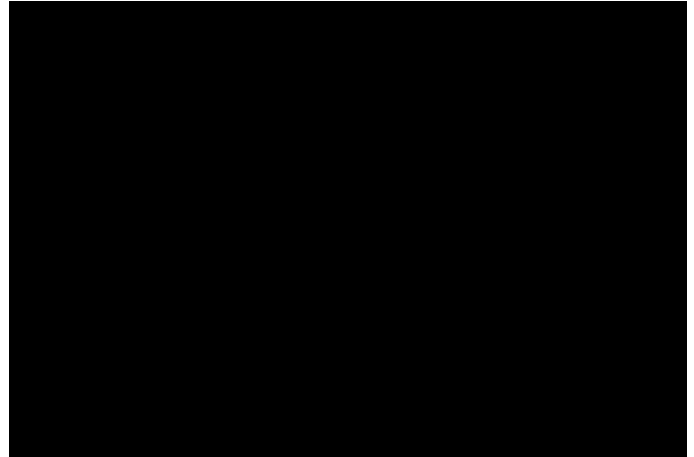


図5. 入口圧力損失とCNT凝集体面積の関係

## 3. 多貫通孔セグメントにおけるCNTの分散状態

前項では、単純な伸長流動場の分散効果について調査を行った。この技術を工業プロセスに展開するためには、多貫通孔にして生産性を確保する必要がある。そこで、前項と同様に、多貫通孔の場合において、圧力損失とCNTの分散状態を把握する必要がある。また、貫通孔の個数・貫通孔の穴径・貫通孔の長さが圧力損失及び、CNTの分散状態に影響を与えると想定される。ここでは、その影響を調査出来るように、二軸押出機用の多貫通孔セグメントを配置出来るような、図6に示す押出装置を自作した。押出ながら圧力を計測し、押出後にサンプルを取り出せるようになっている。

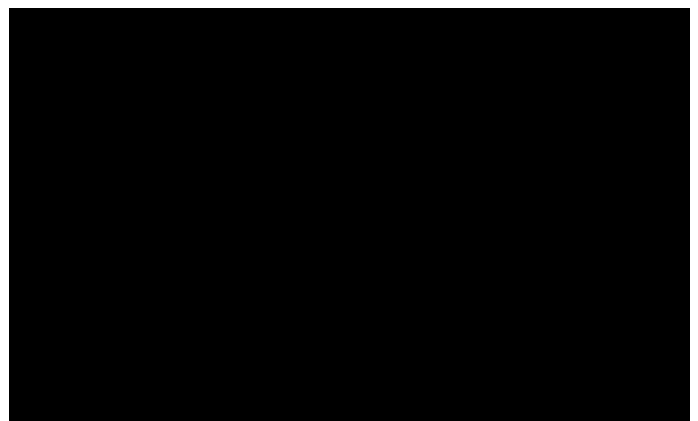


図6. 多貫通孔を備えた基礎押出実験装置の概要図

第2項の基礎実験とは異なり、貫通孔内部ではせん断流動による圧力損失が発生するため、計測した圧力損失は入口圧力損失、管内圧力損失、出口圧力損失が含まれる。この圧力損失は、貫通孔径が小さく、孔数の減少に伴って急激に増加することが、ハーゲン・ポアズイユの式より導出される。従って、大まかには貫通孔部の透過

面積（収縮率）と圧力損失値・応力値に相関性があると言える。図7に多貫通孔を通過させた場合の圧力損失とCNT凝集面積の関係を示す。この結果からも、図5と同様に、圧力損失値の増加に伴って、CNTの分散は進むことが示され、分散に必要な圧力損失の域値（約1.5 MPa）が存在することが示された。この値は二軸押出プロセスにおいても、「圧力によって分散の制御が可能であり、1.5 MPa程度の圧力損失を達成できれば、CNTはおおよそ分散可能である」ということが言える。

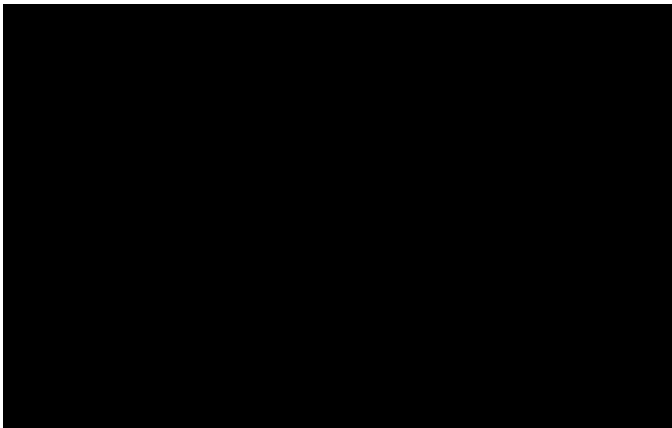


図7. 多貫通孔部における圧力損失とCNT凝集面積の関係

4. 連続プロセスにおける伸長流動混練技術

4.1 研究概要

伸長流動を用いた混練技術を二軸押出プロセスに適応するためには、伸長流動を効率よく発生させるセグメント形状が求められる。第3項で用いたディスク型セグメントでは、図8左側に示す様に、セグメントの噛合い部に隙間が生じるために、昇圧が出来ずに貫通孔部における伸長流動の効果を十分に発揮できていないことが判明した。そこで、図8右側に示す、貫通孔部を取り除いた新たなディスク型セグメントを考案した（特許取得済）<sup>[4]</sup>。ここではその新規混練セグメントが有する混練特性と分散効果について記述する。

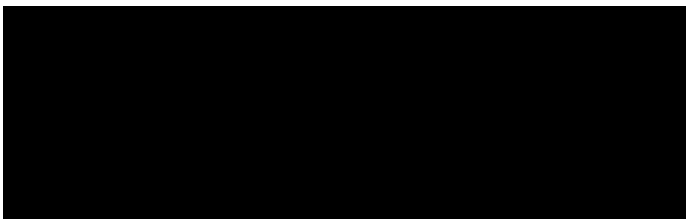


図8. 従来型の貫通孔セグメント形状と新規貫通孔セグメント形状

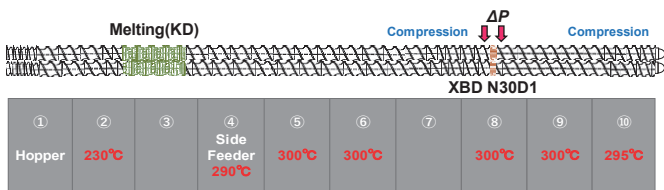


図9. 二軸押出機のスクリュウにおける新規セグメントの配置位置

図9に示すように、新規に発案したセグメント（XBD）を二軸押

出機の混練ゾーンに配置し、XBDセグメントの前後の圧力値を計測できるように、バレルを自作した。混練条件は表1に示すように、バレル温度のみを変化させた条件、スクリュウ回転数のみを変化させた条件、吐出量のみを変化させた条件でCNTとポリマーを混練し、混練後の材料の分散状態をそれぞれ調べた。

表1. 二軸押出機の混練条件

	Process Condition			
	T [°C]	Ns [min <sup>-1</sup> ]	Q [kg/h]	Q/Ns
1	270	300	4.0	0.013
2	285			
3	300			
4	300	200	4.0	0.020
5		500		0.008
6		300	2.0	0.007
7			6.0	0.020

4.2 ディスクセグメントの混練特性

バレル温度が300℃の場合（実験番号No.4~No.7）の混練データを図10に示す。横軸は流量と回転数の比を示しており、ディスク間で生じる圧力損失と、比エネルギーとの相関を表している。この結果は、押出流量が高く回転数が低い場合に高い圧力損失が生じるが、一方で全体的に材料に与えられるエネルギーが小さいことを示している。

さらに、横軸に比エネルギーを取り、圧力損失と樹脂温度の関係を表したものを図11に示す。このデータより、圧力損失と比エネルギーは反比例の関係にあり、樹脂温度は比エネルギーの増加に伴って上昇する傾向が得られた。つまり、樹脂温度は圧力損失よりも比エネルギーに大きく依存し、伸長流動による樹脂の発熱は支配的ではないことが示された。本セグメントは従来の混練プロセスと異なる特性を有していることが判明した。

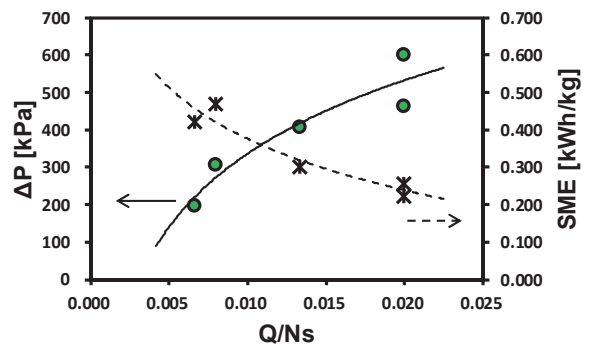


図10. 二軸押出における新規セグメントのプロセス特性

4.3 プロセスデータとナノ粒子分散の相関関係

前項にて得られたデータを基に、測定した物性がプロセス物性になるのか調査し、分散状態について考察を行った。図12に表面抵抗率と引張強度の結果を示す。比エネルギーの増加と共に抵抗率は減少し、導電性が改善されているが、一方で比エネルギー

と反比例関係にある圧力損失の向上に伴い引張特性は大きく改善される結果となった。つまり、良い導電特性を有する試料は引張特性が悪く、悪い導電特性を有する試料は引張特性が向上する特異的な結果となった。

この原因について、引張破断面の組織状態(図 13)を観察すると、高い比エネルギーを与えたものは非常に大きな凝集塊が存在し、分散のばらつきが大きな状態となっていた。一方で、高い圧力を与えたものは分散のばらつきが小さい組織形態をとっており、結果的に引張特性の向上が見られたと推察される。

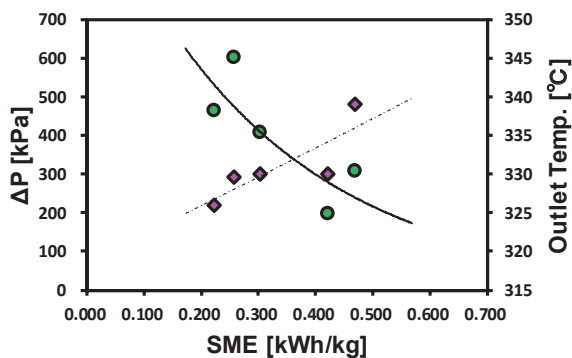


図 11. 比エネルギーと圧力損失・吐出温度の関係

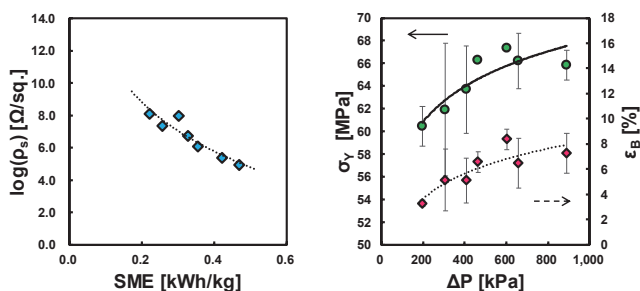


図 12. 比エネルギーと表面抵抗率、圧力損失と引張強度・破断伸びの関係

性を有することが示唆された。しかしながら、本技術の要点は大きな圧力損失を与えることにあるが、押出機の性質上昇圧能力に乏しく、目標となる圧力損失は達成できていない。これらの課題はプロセスパラメータの制御やスクリュ構成の最適化を通して実現可能であると考えており、さらに深く研究を進めていく計画である。

現在では、この伸長流動の分散技術を射出成形機へ、適応を試みており、射出成形機のノズルの改造の検討を行っている。射出成形では、押出機と異なり高速で押出が可能であるため、これまでは得られなかった、高速流動・高圧押出下(高伸長ひずみ速度場)でのナノフィラーの分散効果についての検討が可能である。

## 5. 複合材料におけるマルチマテリアル化・接合技術

自動車部品における樹脂材料の適応化が進む中、異なる部品の金属-樹脂接合や樹脂-樹脂接合の課題とその成形品の需要が増加している。特に、樹脂-樹脂接合においては、連続繊維強化からなるテキスタイルコンポジットと短繊維若しくは長繊維強化コンポジットを射出成形機内で一度に成形・接合させる技術が注目されており、強度と超軽量化を兼ねそろえた複雑形状の部品の成形が可能となっている。一度で成形が可能であるメリットも有しながら、接合部の強度は射出成形時の条件に大きく依存し、その信頼性については検討され続けており、十分とは言えない状況にある<sup>[5,6]</sup>。

そこで、ナノフィラーが炭素繊維織物の層間補強効果があるという知見<sup>[7-9]</sup>をもとに、新たに、この接合界面部に CNT を挿入し接合部をナノレベルで補強できないか検討を行った(文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業, 2013年~2017年)。具体的には、前項で培った二軸押出分散技術を利用して、押出フィルム成形にて CNT が分散した可塑樹脂フィルムを作製し、そのフィルムを界面に配置した状態で、基材の上に射出成形を行う単純なプロセスである。その概略図を図 14 に示す。

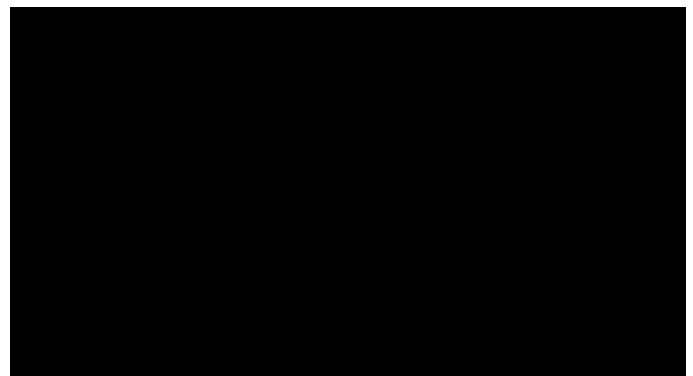


図 14. ナノフィラーを用いた新規接合技術と接合方法

接合強度の評価として、ここは3点曲げショートビーム試験を用いて、層間せん断強度(ILSS)を算出した。図 15 に、CNT の配置をしたものと、配置を行っていないショートビーム試験片の ILSS を比較した結果を示す。基材にオーバーインジェクションをした樹脂が単純なポリプロピレン (PP) と PP に短繊維のカーボンファイバー (CF) が添加された場合でも層間せん断強度は大きく異なるが、CNT の添加により、射出樹脂が PP の場合で 50%、CF 添加 PP の場合で 13% の大きな改善が見られた。

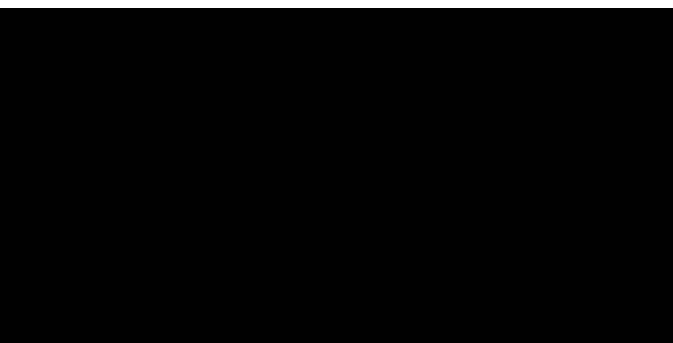


図 13. 各混練条件下 (No. 3~7) における引張試験片の破断面

## 4. 4 本研究の今後の展望

本技術はスクリュの回転方向での混練ではなく、伸長流動を用いて押出方向に混練作用を持たせる技術である。伸長流動によって生じる圧力損失は熱可塑性樹脂中に均一にナノ粒子を分散させる可能

改善が見られた原因については、明確な理由は明らかになっていないが、層間のせん断方向に作用する力に対して、CNTがアンカー効果を発揮したか、CNT配置部のポリマーの結晶化度が改善され、接合強度の向上につながったのではないかと考えている。

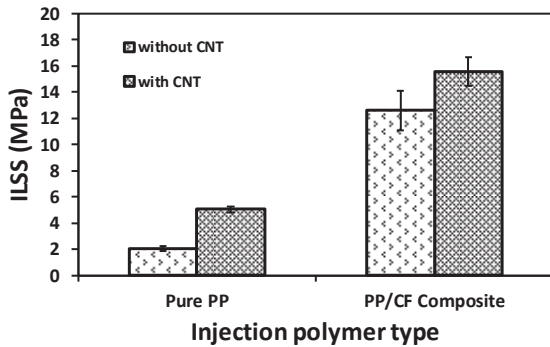


図 15. CNT 配置の有無が層間せん断強度に与える影響

また、CNTの添加率や分散状態が接合強度に大きく及ぼすことも確認された(図16)。CNT自身はフィルム押出方向に配向していると考えられ、界面挿入時も界面部分をつなぎとめる方向への補強効果はないと考えられていたが、図17に示すように、剥離後のそれぞれの剥離面をSEMで観察すると、両面にCNTが観察され、剥離後の破面が荒れている状態となっていた。これらの原因については調査中ではあるが、界面接合強度の一つの手法として有効であることが示唆された。また、本プロセスは多くのCNTを必要としない点と優れた生産性という点にメリットがあり、非常に有用な方法であると言える。

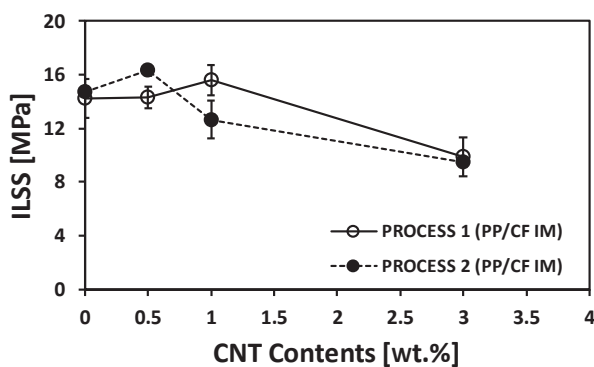


図 16. CNTの含有率及び分散状態とILSSの関係

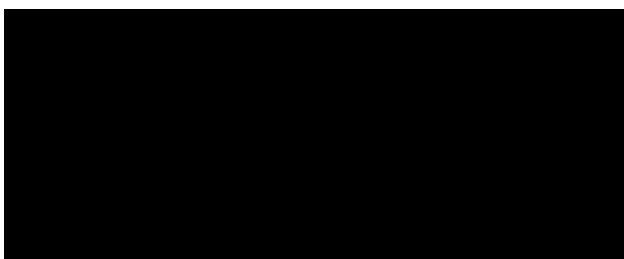


図 17. ショートビーム試験後の剥離面(基材と射出樹脂)

## 5. おわりに

本稿で紹介したように、プラスチック成形に関する内容を中心に研究を行っている。プラスチック成形は、プラスチック単体から、ポリマーブレンド、複合材料までそれらの材料に様々な付加価値をつけるべく、最大の特性を発揮させるための材料をデザインする過程である。従来技術の高度化も含め、現在盛んに研究されているナノ技術に着目しながら、新たな成形方法の開発・新規材料の創成に取り組む所存である。

## 謝辞

The author(s) disclosed receipt of the following financial support for the research, authorship and/or publication of this article. This work was financially supported by a (advanced technological) research project from the “Research and Development Center for Advanced Composite Materials” of Doshisha University, Mitsubishi Chemical Corporation, and the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT) of Japan-Supported Program for the Strategic Research Foundation at Private Universities (No. S1311036).

## 参考文献

- [1] K. Müller et al., Nanomaterials (Basel), Review on the Processing and Properties of Polymer Nanocomposites and Nanocoatings and Their Applications in the Packaging, Automotive and Solar Energy Fields, 7(4), (2017), 74.
- [2] M. Hosokawa, K. Nogi, M. Naito, and T. Yokoyama, Nanoparticle Technology Handbook, Elsevier Science, Oxford, UK, (2007).
- [3] F.N. Cogswell, converging flow of polymer melts in extrusion dies, Polym. Eng. Sci., 12, (1972), 64-73.
- [4] 「多軸混練機を用いたナノコンポジットの製造方法並びにこれらに用いるディスク型セグメント」, 特許第 6532628 号, 田中達也, 松本紘宜
- [5] T. Joppich, A. Menrath, F. Henning, Advanced Molds and Methods for the Fundamental Analysis of Process Induced Interface Bonding Properties of Hybrid, Thermoplastic Composites, Procedia CIRP 2017, 66, (2017), 137-142.
- [6] M. Fiorotto, G. Lucchetta, Experimental investigation of a new hybrid molding process to manufacture high-performance composites, International Journal of Material Forming, 6(1), (2013), 179-185.
- [7] E.J. Garcia, B.L. Wardle, A.J. Hart, et al., Fabrication and multifunctional properties of a hybrid laminate with aligned carbon nanotubes grown in Situ. Composites Science and Technology, 68(9), (2008), 2034-2041.
- [8] S.S. Wicks, R.G. De Villoria and B.L. Wardle, Interlaminar and interlaminar reinforcement of composite laminates with aligned carbon nanotubes. Composites Science and Technology, 70(1), (2010), 20-28.
- [9] V.P. Veedu, A. Cao, X. Li, et al., Multifunctional composites using reinforced laminae with carbon-nanotube forests. Nature Materials, 5, (2006), 457-462.

## 鉄5核錯体を用いた酸素発生反応

岡村 将也\*

## Water oxidation reaction catalyzed by a penta-nuclear iron catalyst

Masaya OKAMURA\*

## 1. 緒言

植物は太陽光エネルギーを使って、水と二酸化炭素から酸素とデンプンを合成し、自らのエネルギー源を作っている。この光合成のプロセスを模倣して人類もエネルギーを持続的に生み出せないか、そんな夢の方法が人工光合成である。人工光合成の実現は環境・エネルギー問題の解決に直結するため、その研究開発が大いに注目されている。

人工光合成では、水や二酸化炭素から水素やアルコールといった化学燃料を合成する還元反応、ならびに還元に必要な電子を創出する水の酸化反応(酸素発生反応)の2つの反応から構成される。これらの反応の進行には触媒の存在が不可欠であるが、高活性・高耐久な触媒の開発は容易ではない。特に酸素発生反応はその反応プロセスの複雑さから触媒開発が難しく、人工光合成を実現するうえでのボトルネックの一つとなっている。

植物の光合成に目を向けると、葉緑体に存在する OEC (Oxygen Evolving Complex) と呼ばれる金属錯体が非常に高効率で酸素発生反応を行っている<sup>[1,2]</sup>。この OEC は生体内でのみ安定な構造であるため、OEC そのものを取り出して酸素発生触媒として使うことは困難である。従って、人工的にデザインされた金属錯体触媒の開発がこれまでに多く試みられている<sup>[3-18]</sup>。近年では、第一遷移金属元素 (Mn~Cu) を有する単核錯体が精力的に研究されており、なかでも鉄錯体は、安価で環境負荷が小さいという点で最も魅力的な研究対象である。しかし、既存のほとんどの鉄錯体触媒は<sup>[8,11,15,17]</sup>、反応中に分解することによって触媒活性を失い、さらに、その反応速度は最大でも TOF (触媒回転頻度) = 1.6 s<sup>-1</sup> であり<sup>[8]</sup>、他の金属元素を用いた錯体 (TOF = 300 s<sup>-1</sup> (Ru 錯体))<sup>[12]</sup> に比べると非常に低い。そのため、人工光合成の実現に向けて、安価な鉄を用いた錯体で耐久性が高く、天然の光合成系に匹敵するような触媒活性を有する酸素発生触媒の開発が求められている。

## 2. 触媒デザイン

酸素発生反応は化学反応式で (2H<sub>2</sub>O → O<sub>2</sub> + 4H<sup>+</sup> + 4e<sup>-</sup>) と表され、2つの水分子から、1つの酸素分子、4つのプロトン、4つの電子

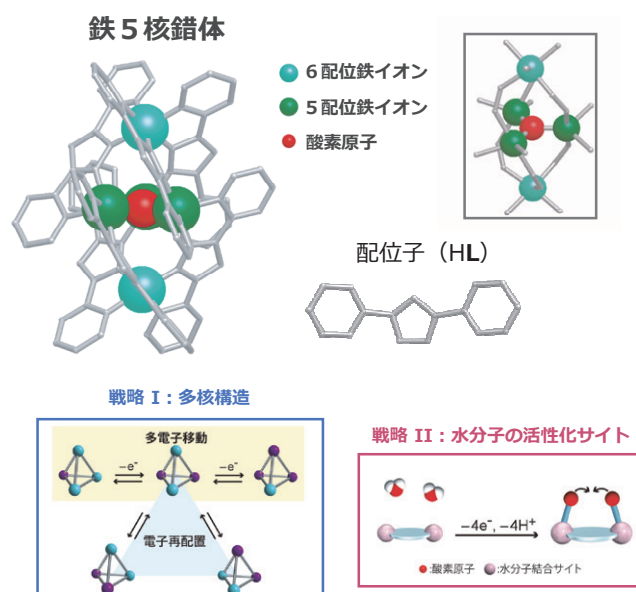


図1. 鉄5核錯体 (1) の構造, および2つの特徴 (多核構造, 分子内の水分子活性化サイト).

が生じる反応である。この反応の触媒を作るうえで、特に重要となるポイントは2つある。1つ目は4電子が移動する多電子移動過程である。2つ目は2分子の水がそれぞれ酸素原子(O)を1つずつ供給して酸素分子(O-O)を作る結合生成過程である。すなわち、触媒開発においては、多電子移動と結合生成という2つの過程を効率的に行う戦略を導入しなければならない。そこで本研究では、触媒設計に「多核構造」と「分子内の水分子活性化サイト」という2つの特徴を取り入れることが重要だと考えた(図1)。1つ目の「多核構造」は、酸化還元活性な金属イオンを集積することによって、反応に必要な4電子の移動を容易にする。2つ目の「分子内の水分子活性化サイト」は、分子内での O-O 結合形成を促進するためである。酸素発生反応の律速段階は、2分子の会合を必要とする分子間の O-O 結合生成であることが多い<sup>[10,13,14,16]</sup>。すなわち、その分子間のプロセスを経由しないようにするため、分子内に近接した水分子活性化サイトを配置し、分子内反応によって反応速度を向上させることを目的とした。

以上のような考察に基づき、鉄イオンと 3, 5-bis(2-pyridyl)pyrazole

\*助教 物質生命化学科

Assistant Professor, Dept. of Material &amp; Life Chemistry

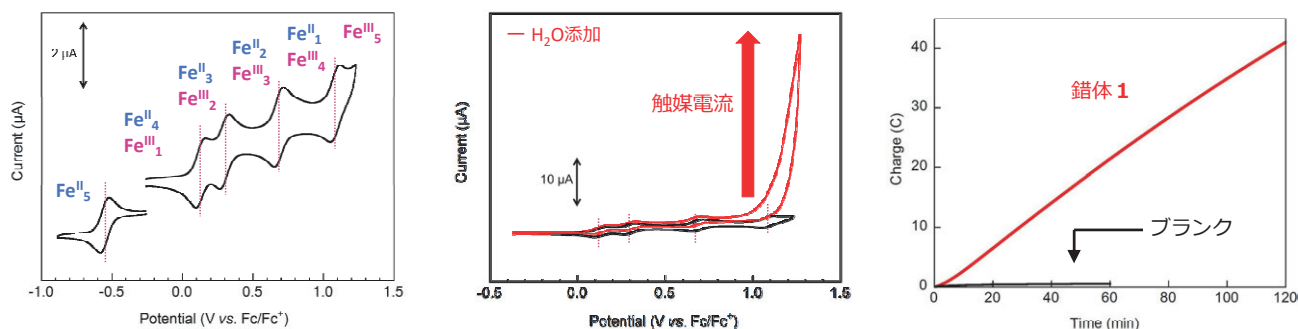


図2. (左) 錯体 **1** (0.2 mM) のアセトニトリル溶液中におけるサイクリックボルタモグラム, 掃引速度:  $10 \text{ mV s}^{-1}$ . (中央) 錯体 **1** (0.2 mM) のアセトニトリル溶液中における 5 M の水添加時ならびに水非添加時のサイクリックボルタモグラム, 掃引速度:  $10 \text{ mV s}^{-1}$ . (右) アセトニトリル/水混合溶媒 (10 : 1) 中での定電位電解実験における電荷量の時間変化. 印加電圧:  $1.42 \text{ V vs. Fc/Fc}^+$ .

(HL) により構築される鉄5核錯体 $[\{\text{Fe}^{\text{II}}(\mu\text{-L})_3\}_2\text{Fe}^{\text{II}}_2\text{Fe}^{\text{III}}(\mu\text{-O})]^{3+}$  (**1**, 図1) に注目した. 本錯体 **1** は, 酸化還元活性な鉄イオンを5つ有していることから良好な電子伝達能を示すことが期待される. また, 上下の2つの鉄イオンが6配位八面体構造である一方で, 中央の3つの鉄イオンは5配位三方両錐構造(配位不飽和)である. 従って, この3つの鉄イオンは水分子が配位することによって, 分子内の近接した位置に鉄オキソ種(O-O結合生成の活性種)が得られ, O-O結合生成が促進されるのではないかと期待した. そこで, 錯体 **1** を用いた酸素発生触媒機能を検討することとした.

### 3. 合成と酸素発生触媒機能

鉄錯体 **1** は  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  と配位子(HL)を6:5のモル比でメタノール中に混合し, 塩基の存在下で攪拌することで合成される<sup>[18]</sup>. アセトニトリル, 水の混合溶媒中から結晶化を行い, 赤色結晶を72%の収率で得た. 同定は単結晶X線構造解析, ESI-TOF-MS,  $^{57}\text{Fe}$ Mössbauer測定, および元素分析によって行い, 錯体 **1** の5つの鉄イオンのうち1つは3価の鉄( $\text{Fe}^{\text{III}}$ )であり,  $\text{Fe}^{\text{II}}_4\text{Fe}^{\text{III}}_1$ の状態として得られたことが分かった. 錯体 **1** は上記のように加熱を必要とせず簡単な方法で合成できるため, 省エネルギーで生産可能という工業的なメリットがある.

錯体 **1** の電気化学的性質を調べるため, アセトニトリル中(水非存在下)でのサイクリックボルタンメトリーを測定したところ, 1つの可逆な還元波( $E_{1/2} = -0.55 \text{ V vs. Fc/Fc}^+$ )と4つの可逆な酸化波( $E_{1/2} = 0.13, 0.30, 0.68$  and  $1.08 \text{ V}$ )が観測された(図2左). この5つのピークは, 鉄5核錯体の  $\text{Fe}^{\text{II}}/\text{Fe}^{\text{III}}$  に由来する電子移動によるものと考えられる. すなわち, 逐次的な電子移動により錯体 **1** はすべての鉄が2価の  $\text{Fe}^{\text{II}}$  状態からすべての鉄が3価の  $\text{Fe}^{\text{III}}$  状態まで6つの酸化還元状態をとることができる. このように錯体 **1** は多核構造に由来した柔軟な電子移動能を有していると考えられ, 4電子の移動を要する酸素発生反応の触媒に利用できるのではないかと期待される.

そこで錯体 **1** の溶液に水を添加し, サイクリックボルタンメトリーを測定することで酸素発生触媒機能について調べた. その結果, 大きな不可逆な電流値の増加が4つ目の酸化電位の辺りから観測された(図2中央). このような連続的な電流値の増加は, 触媒反応の進行に伴って還元種が再生されることによって生じると考えられ,

水の添加に起因していることから触媒的な酸素発生反応の進行を示唆している. 次に酸素発生反応を定量的に評価するため, 陽極と陰極を陰イオン交換膜で仕切ったH型セルを用いて定電位電解を試みた. 錯体 **1** および錯体非存在下の溶液に電圧( $1.42 \text{ V vs. Fc/Fc}^+$ )を印加し, 流れた電流値を観測した結果を図2右に示す. 鉄錯体を含む溶液では, 大きな電流が観測され, 陽極の表面から気泡の発生が確認された. ガスクロマトグラフィーによって, セル内のガス成分を分析したところ, 酸素が検出された. 一方で鉄錯体を含まない溶液では電流が流れず酸素の発生も確認されなかった. 錯体 **1** の反応についてファラデー効率を計算すると, 96%という非常に高い値が得られ, 鉄錯体が酸素発生反応を選択的に進行させる触媒であることが確認された.

### 4. TOFの算出

電気化学的な酸素発生反応の活性評価の一つとして, 触媒反応速度(TOF)の決定を検討した. 錯体の電子移動速度が十分に速く, 基質が豊富に存在する場合, 触媒電流は化学反応にのみ依存し, 以下に示す(式1)を用いて, 反応速度係数  $k_{\text{cat}}$  (TOF)を求めることができる<sup>[13, 19-21]</sup>.

$$\frac{i_{\text{cat}}}{i_{\text{p}}} = 2.242n_{\text{cat}} \left( \frac{k_{\text{cat}}RT}{F} \right)^{\frac{1}{2}} \nu^{-\frac{1}{2}} \dots \dots \text{(式1)}$$

この式から, 触媒電流の大きさ  $i_{\text{cat}}$  を可逆な1電子過程のピーク電流の大きさ  $i_{\text{p}}$  で割った比は,  $\nu$  (掃引速度)の $-\frac{1}{2}$ 乗に比例することが分かる. したがって, 図3に示すようにサイクリックボルタンメトリーを用いて錯体 **1** の掃引速度依存性を測定し各  $i_{\text{cat}}$ ,  $i_{\text{p}}$  の値を決定した. 得られた値から  $i_{\text{cat}}/i_{\text{p}}$  を  $\nu^{-\frac{1}{2}}$  でプロットしたところ, 比例関係が得られた. そこで, その傾きから  $k_{\text{cat}} = \text{TOF}$  を求めた結果, TOFは  $1,900 \text{ s}^{-1}$  であることが分かった. 反応条件が異なるため厳密なTOF値の比較はできないが, 錯体 **1** のTOF値はこれまでに報告されていた鉄錯体 ( $\sim 1.6 \text{ s}^{-1}$ ) よりも大きく, 植物の光合成におけるOECの酸素発生反応速度 ( $\sim 400 \text{ s}^{-1}$ )<sup>[2]</sup>をも上回っていた. また, 触媒の耐久性を示す触媒回転数TONも100万回以上であったことから, 耐久性も十分に高いことが明らかになった.



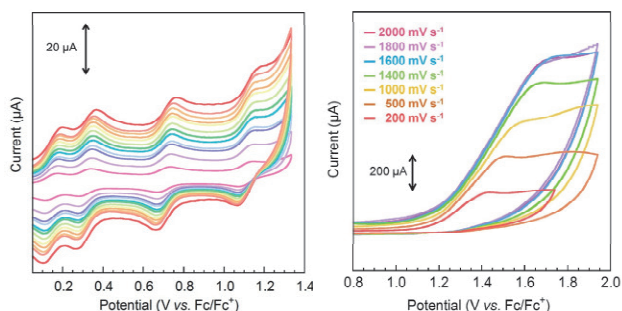


図3. (左)水の非存在下における錯体 **1** の掃引速度依存性. (右) 水存在化における触媒電流の掃引速度依存性.

## 5. 触媒サイクル

錯体 **1** の触媒反応機構を理解することは、その高い触媒機能の根源を明らかにするうえで非常に重要である。そこで、実験的および計算化学的に錯体 **1** の反応メカニズムを調査した。鉄錯体は初期状態では図4に示す  $S_0$  状態である。電気化学測定の結果から、4段階の電子移動により  $S_4$  状態が生成し、その後水分子と反応する。この水分子との反応の活性化エネルギーは  $15 \text{ kcal mol}^{-1}$  程度と見積もられ、水との反応が室温で十分に進行することが示唆された。続いて、A 状態からもう1分子の水との反応とプロトン解離が起き、オキソ種 (B) が生成すると考えられる。この B 状態では、分子内電子移動で生じる混合原子価状態が最安定であることが明らかとなっている。続けて起こる酸素-酸素(O-O)間の結合生成反応は、活性化エネルギーが  $10 \text{ kcal mol}^{-1}$  未満であり、結合生成反応がすばやく進行すると考えられる。最後に、酸素分子が鉄錯体から離れて、鉄錯体は初期の  $S_0$  状態に戻る。以上の反応機構では、錯体 **1** の有する5つの鉄イオンが4電子の移動に寄与しており、近接した位置にある2つの鉄イオンが酸素-酸素結合生成反応の効率化に深く関わっている。従って、想定した「多核構造」と「分子内の水分子活性化サイト」という二つの戦略が触媒機能の向上に寄与したと考えられる。

## 6. まとめ

本研究では、「多核構造」と「分子内の水分子活性化サイト」という2つの戦略を導入した鉄5核錯体を酸素発生触媒に用いた。本錯体は電気化学的な酸素発生反応において、高い酸素発生速度と高い耐久性を示し、既存の鉄錯体、および植物の光合成における触媒よりも優れた触媒性能を持つことが分かった。今後は開発された高活性触媒を使ってより実用化を目指した試みが進展し、分子を基盤とした人工光合成研究の発展につながると期待される。

## 謝辞

本報は、筆者が分子科学研究所 錯体物性研究部門 正岡グループにて行った研究 (Nature, 530, 465, (2016).) の一部をまとめたものである。本研究を進めるにあたり、様々な場面で懇切丁寧な御指導をくださった分子科学研究所の正岡重行先生と近藤美欧先生、各種測定などで多大なるサポートをくださった技術支援員の久我れい子さんに心より感謝いたします。また、 $^{57}\text{Fe}$ Mössbauer 測

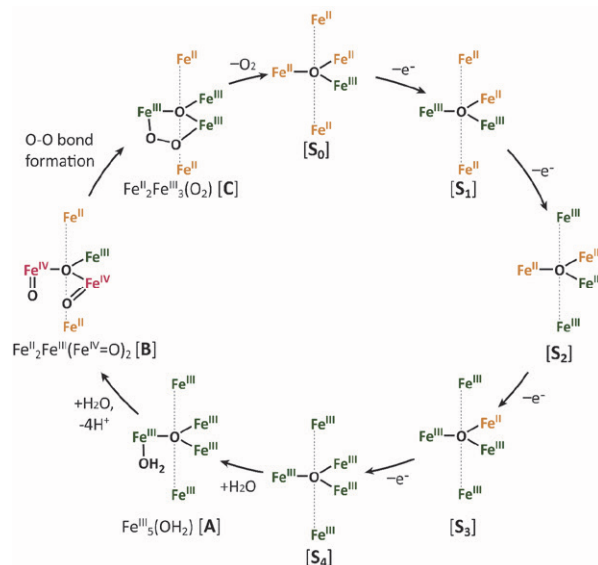


図4. 錯体 **1** の酸素発生反応における推定触媒反応サイクル.

定は熊本大学の速水真也先生、量子化学計算は分子科学研究所の柳井毅先生、倉重佑輝先生、錯体合成の知見は福岡大学の川田知先生と佐賀大学の米田宏先生のご協力を得て行いました。この場を借りて厚く御礼申し上げます。

## 参考文献

- [1] Y. Umena, K. Kawakami, J.-R. Shen and N. Kamiya, Crystal structure of oxygen-evolving photosystem II at a resolution of  $1.9 \text{ \AA}$ . Nature, 473, 55 (2011).
- [2] G. C. Dismukes, R. Brimblecombe, G. N. Felton, R. S. Pryadun, J. Sheats, L. Spiccia and G. F. Swiegers, Development of bioinspired  $\text{Mn}_4\text{O}_4$  - Cubane water oxidation catalysts: Lessons from photosynthesis. Acc. Chem. Res., 42, 1935 (2009).
- [3] S. W. Gersten, G. J. Samuels and T. J. Meyer, Catalytic oxidation of water by an oxo-bridged ruthenium dimer. J. Am. Chem. Soc., 104, 4029 (1982).
- [4] T. Wada, K. Tsuge and K. Tanaka, Electrochemical oxidation of water to dioxygen catalyzed by the oxidized form of the bis(ruthenium-hydroxo)complex in  $\text{H}_2\text{O}$ . Angew. Chem. Int. Ed., 39, 1479 (2000).
- [5] R. Zong and R. P. Thummel, A new family of Ru complexes for water oxidation. J. Am. Chem. Soc., 127, 12802 (2005).
- [6] J. J. Concepcion, J. W. Jurss, J. L. Templeton and T. J. Meyer, One site is enough. Catalytic water oxidation by  $[\text{Ru}(\text{tpy})(\text{bpm})(\text{OH}_2)]^{2+}$  and  $[\text{Ru}(\text{tpy})(\text{bpz})(\text{OH}_2)]^{2+}$ . J. Am. Chem. Soc., 130, 16462 (2008).
- [7] S. Masaoka and K. Sakai, Clear evidence showing the robustness of a highly active oxygen-evolving mononuclear ruthenium complex with an aqua ligand. Chem. Lett., 38, 182 (2009).
- [8] W. C. Ellis, N. D. McDaniel, S. Bernhard and T. J. Collins, Fast water oxidation using iron. J. Am. Chem. Soc., 132, 10990 (2010).
- [9] Q. Yin, J. M. Tan, C. Besson, Y. V. Geletii, D. G. Musaev, A. E. Kuznetsov, Z. Luo, K. I. Hardcastle and C. L. Hill, A fast soluble

carbon-free molecular water oxidation catalyst based on abundant metals. *Science*, 328, 342 (2010).

[10] M. Yoshida, S. Masaoka, J. Abe and K. Sakai, Catalysis of mononuclear aquaruthenium complexes in oxygen evolution from water: A new radical coupling path using hydroxocerium(IV) species. *Chem. Asian J.*, 5, 2369 (2010).

[11] J. L. Filloi, Z. Codolà, I. G.-Bosch, L. Gómez, J. J. Pla and M. Costas, Efficient water oxidation catalysts based on readily available iron coordination complexes. *Nature Chem.*, 3, 807 (2011).

[12] L. Duan, F. Bozoglian, S. Mandal, B. Stewart, T. Privalov, A. Llobet and L. Sun, A molecular ruthenium catalyst with water-oxidation activity comparable to that of photosystem II. *Nature Chem.*, 4, 418 (2012).

[13] S. M. Barnett, K. I. Goldberg and J. M. Mayer, A soluble copper-bipyridine water-oxidation electrocatalyst. *Nature Chem.*, 4, 498 (2012).

[14] L. Vigara, M. Z. Ertem, N. Planas, F. Bozoglian, N. Leidel, H. Dau, M. Haumann, L. Gagliardi, C. J. Cramer and A. Llobet, Experimental and quantum chemical characterization of the water oxidation cycle catalysed by  $[\text{Ru}^{\text{II}}(\text{damp})(\text{bpy})(\text{H}_2\text{O})]^{2+}$ . *Chem. Sci.*, 3, 2576 (2012).

[15] D. Hong, S. Mandal, Y. Yamada, Y.-M. Lee, W. Nam, A. Llobet and S. Fukuzumi, Water oxidation catalysis with nonheme iron complexes under acidic and basic conditions: Homogeneous or heterogeneous? *Inorg. Chem.*, 52, 9522 (2013).

[16] D. Wang and J. T. Groves, Efficient water oxidation catalyzed by homogeneous cationic cobalt porphyrins with critical roles for the buffer base. *Proc. Natl Acad. Sci. USA*, 110, 15579 (2013).

[17] M. K. Coggins, M.-T. Zhang, A. K. Vannucci, C. J. Dares and T. J. Meyer, Electrocatalytic water oxidation by a monomeric amidate-ligated Fe(III)-aqua complex. *J. Am. Chem. Soc.*, 136, 5531 (2014).

[18] R. Matheu, MZ. Ertem, J. Benet-Buchholz, E. Coronado, VS. Batista, X. Sala and A. Llobet, Intramolecular proton transfer boosts water oxidation catalyzed by a Ru complex. *J. Am. Chem. Soc.*, 137, 10786 (2015).

[18] K. Yoneda, K. Adachi, K. Nishio, M. Yamasaki, A. Fuyuhiko, M. Katada, S. Kaizaki and S. Kawata, An  $[\text{Fe}^{\text{II}}_3\text{O}]^{4+}$  core wrapped by two  $[\text{Fe}^{\text{II}}\text{L}_3]^-$  units. *Angew. Chem. Int. Ed.*, 45, 5459 (2006).

[19] M. L. Helm, M. P. Stewart, R. M. Bullock, M. R. DuBois and D. L. DuBois, A synthetic nickel electrocatalyst with a turnover frequency above  $100,000 \text{ s}^{-1}$  for  $\text{H}_2$  production. *Science*, 333, 863 (2011).

[20] C. C. L. McCrory, C. Uyeda and J. C. Peters, Electrocatalytic hydrogen evolution in acidic water with molecular cobalt tetraazamacrocycles. *J. Am. Chem. Soc.*, 134, 3164 (2012).

[21] S. C. Marinescu, J. R. Winkler and H. B. Gray, Molecular mechanisms of cobalt-catalyzed hydrogen evolution. *Proc. Natl Acad. Sci. USA*, 109, 15127 (2012).

# 従属故障を伴うシステムの信頼性解析に関する研究

太田 修平\*

## A Study on Reliability Analysis of Systems Under Dependent Failure Environment

Shuhei OTA\*

### 1. 緒言

情報通信技術の発展と普及によって、送電網や通信ネットワークのような大規模システムは、人々の生活を支える重要な社会基盤となっている。しかし、これら大規模システムでは、一部の故障が短時間で広範囲の故障を引き起こし、人々の安全・安心な生活を脅かすリスクを伴ってきた。その故障の大きな要因の1つが、システムの従属故障である。

従属故障とは、あるシステムの故障原因が他のシステムの故障に起因する故障である。様々なシステムが相互依存的に機能する中で、熱や電流といった負荷の共有によって従属故障は発生する。例えば従属故障の例として、2018年9月6日に発生した北海道全域（約295万戸）での大規模停電が挙げられる。地震の影響による苫東厚真発電所の緊急停止が引き金となり、負荷の共有によって近隣の発電所も運転を停止し、最終的には地震発生から20分以内に大規模停電という甚大な被害が発生した。このように、従属故障はシステムの信頼性に大きな影響を与えているため、その場合、その発生要因を考慮したシステムの信頼性解析が必要となる。

本報では上述の背景を基に、従属故障環境下でのシステムに対する予防保全方策について検討する[1]。予防保全とはシステムの可用性を高め、その運用コストを削減する有用な手法である[2]。その予防保全の一つとして、一定の時間間隔でシステムを新品に取替える周期的取替え方策がある。既存研究では、システムを構成する各素子（コンポーネント、サブシステム）の寿命時間が、確率的に独立であると仮定した下で、様々なシステムに対する周期的取替え方策の研究がなされてきた（例えば[2]が詳しい）。しかし、実現象ではその仮定が成り立つとは限らない。その場合には、適切に素子間の従属性を考慮することで最適な保全活動を行うことが必要となる。例えば[3]は、各素子のハザードレート関数が相互依存関係を持つ場合のシステムに対して、最適な周期的取替え方策を提案した。

素子間の従属性のモデル化には、近年[4,5]などによって従属故障のモデリングで用いられている、多変量確率分布のFarlie-Gumbel-Morgenstern（以降、FGMと記す）コピュラを導入する。そして、周期的取替えのコストと、システム故障後の取替えコストを考慮して、長期的なシステムの運用コストが期待値として最小となるような、周期的取替え方策の存在条件を解析的に明らかにする。最終的に、素子間に従属性がある場合の、すなわち従属故障環境下での、 $n$ 素子

直列システムに対する最適な周期的取替え方策を提案する。従って本研究は従来研究の拡張研究であり、より実システムに適用可能な、運用コストの削減手法に貢献することが見込まれる。

### 2. モデル

#### 2-1. FGM コピュラ

確率変数ベクトル  $\mathbf{T} = (T_1, \dots, T_n)$  が FGM コピュラに従うとする。このとき、 $\mathbf{T}$  の同時分布関数は次式で定義される[6,7]。

$$F(t_1, \dots, t_n; \boldsymbol{\theta}) = \Pr[T_1 \leq t_1, \dots, T_n \leq t_n] \\ = \prod_{i=1}^n G_i(t_i) \left( 1 + \sum_{k=2}^n \sum_{1 \leq j_1 < \dots < j_k \leq n} \theta_{j_1, \dots, j_k} \bar{G}_{j_1} \dots \bar{G}_{j_k} \right) \quad (1)$$

ここで  $\theta_{j_1, \dots, j_k} \in \boldsymbol{\theta}$  は、各変量間の確率的な依存関係を表す依存パラメータであり、 $G_1(t_1), \dots, G_n(t_n)$  は各変量の周辺分布関数である。また  $\bar{G}_i \equiv 1 - G_i(t_i)$  とする ( $i = 1, \dots, n$ )。例えば、 $n = 3$  のとき、3変量 FGM コピュラの同時分布関数は

$$F(t_1, t_2, t_3; \boldsymbol{\theta}) = G_1(t_1)G_2(t_2)G_3(t_3) \left( 1 + \theta_{1,2} \bar{G}_1 \bar{G}_2 + \theta_{1,3} \bar{G}_1 \bar{G}_3 + \theta_{2,3} \bar{G}_2 \bar{G}_3 + \theta_{1,2,3} \bar{G}_1 \bar{G}_2 \bar{G}_3 \right).$$

となる。このとき、依存パラメータをすべて0とすれば、同時分布関数は周辺分布関数の積のみで表され、すなわち各変量が独立となることを確認できる。本論文ではこれ以降、モデルの簡素化のために依存パラメータはすべて同一の  $\theta$  で与えられると仮定する（すなわち、 $\boldsymbol{\theta} \equiv \theta_{j_1, \dots, j_k}$  とする）。

依存パラメータ  $\theta$  の取りうる値は、 $\mathbf{T}$  の同時密度関数が常に非負となる範囲で定められる[8]。例えば  $n = 3$  のとき、 $\theta$  に与えられる値は  $-1/4 \leq \theta \leq 1/2$  でなければならない。

次に周辺分布がパラメータ  $\lambda (> 0)$  で同一の指数分布に従うと仮定する。この仮定は、各素子の寿命時間（稼働してから故障するまでの時間）が指数分布し、そして互いに従属関係をもつことを意味する。このとき式(1)は次式に一致する。

$$F(t_1, \dots, t_n; \theta) = \prod_{i=1}^n (1 - e^{-\lambda t_i}) \left( 1 + \theta \sum_{k=2}^n \sum_{1 \leq j_1 < \dots < j_k \leq n} e^{-\lambda t_{j_1}} \dots e^{-\lambda t_{j_k}} \right) \quad (2)$$

次節では式(2)を用いて、 $n$ 素子直列システムの信頼性モデルを導入する。

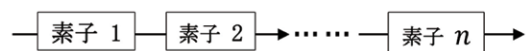


図1  $n$ 素子直列システムの模式図

\*助教 経営工学科

Assistant Professor, Department of Industrial Engineering and Management

## 2-2. 従属性のある $n$ 素子直列システム

本節では従属故障を伴う、 $n$ 個の素子からなる直列システム（図1を参照）の信頼性モデルを導入する。直列システムとは、ひとつでも素子が故障した場合に故障するシステムである。本モデルでは各素子の寿命時間の従属性を、FGM コピュラのパラメータ $\theta$ によって表現する。これはすなわち、任意の $k$ 素子間の従属性は等しく $\theta$ で表現されることを意味する（ $k = 2, 3, \dots, n$ ）。

$T_i$ を $i$ 番目の素子の寿命時間を表す確率変数と仮定する（ $i = 1, \dots, n$ ）。そして $(T_1, \dots, T_n)$ の同時分布関数が式（2）で与えられるとする。このとき、直列システムの寿命時間を $T_{min}$ で表すとすると、 $T_{min} = \text{Min}(T_1, \dots, T_n)$ となる。

$T_{min}$ の分布関数、すなわち対象とする直列システムの寿命時間分布を $F_{min}(t; \lambda, \theta) \equiv \text{Pr}[T_{min} \leq t]$ とすると、 $F_{min}(t; \lambda, \theta)$ は次式で与えられる[8]。

$$F_{min}(t; \lambda, \theta) = 1 - e^{-n\lambda t} \left(1 + \theta \sum_{k=2}^n \binom{n}{k} (-1)^k (1 - e^{-\lambda t})^k\right). \quad (3)$$

例えば $\theta = 0$ を代入すると

$$F_{min}(t; \lambda, \theta) = 1 - e^{-n\lambda t},$$

となる。これはつまり $\theta = 0$ の場合、式（3）はパラメータが $n\lambda$ の指数分布に一致することを意味する。

この直列システムの平均寿命時間 $E[T_{min}]$ 、すなわち $T_{min}$ の期待値は次式で与えられる。

$$E[T_{min}] = \int_0^{\infty} 1 - F_{min}(t; \lambda, \theta) dt = \frac{2(1+n) + (n-1)\theta}{2n(1+n)\lambda}. \quad (4)$$

式（4）では、 $\theta = 0$ ならば以下の式が成り立つ。

$$E[T_{min}] = \frac{1}{n\lambda}.$$

また、式（4）は $\theta$ の線形関数であるから、 $E[T_{min}]$ は $\theta$ に比例して増減する。従って本モデルにおいて、素子間の従属性は、直列システムの寿命時間を長くまたは短くする意味をもっている。

最後に、図2に $n = 2$ かつ $\lambda = 1$ における $T_{min}$ のハザードレート関数[2]のいくつかの振る舞いを示す。図2はハザードレート関数が $\theta = -1$ のときのみ IFR (increasing failure rate)であり、それ以外はCFR (constant failure rate)またはIFRとDFR (decreasing failure rate)の組み合わせであることを表している。

## 2-3. $F_{min}(t; \lambda, \theta)$ の再生関数

本研究は新たに、 $F_{min}(t; \lambda, \theta)$ を基礎とした再生関数[2]を、以下のように閉じた式で導出した（導出過程は紙面の都合上省略する）。

$$M(t; \lambda, \theta) = \frac{1}{2B_1^2 B_2} [2B_2 \{ -(n-1)^2(-1+\theta)\theta + 2n(1+n)B_1\lambda t \} + e^{\frac{(1+3n)\lambda t}{2}} \{ (n-1)^2(-1+\theta)\theta B_2 (e^{\frac{B_3\lambda t}{2}} + e^{-\frac{B_3\lambda t}{2}}) - B_3\theta(1+6n + n^2 + (n-1)(1+5n)\theta) (e^{\frac{B_3\lambda t}{2}} - e^{-\frac{B_3\lambda t}{2}}) \}]. \quad (5)$$

ただし、

$$\begin{aligned} B_1 &= 2(1+n) + (n-1)\theta, \\ B_2 &= 1 - n + 4n\theta, \\ B_3 &= \sqrt{(n-1)(-1+n-4n\theta)}. \end{aligned}$$

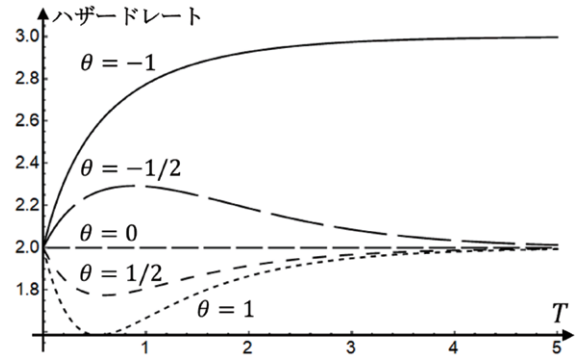


図2 ハザードレート関数の振る舞い（ $n = 2$ かつ $\lambda = 1$ ）

例えば $\theta = 0$ ならば、式（5）は

$$M(t; \lambda, \theta) = n\lambda t,$$

となる。よって $\theta = 0$ における式（5）は、従来よく知られている $n$ 個の独立な指数分布に基づく再生関数に一致することが確認できる。そして $\theta \neq 0$ ならば従属性を含んだ式となる。

## 3. 最適取替え方策

周期的取替え方策の条件下では、システムは次の2つの内どちらかの方法によって新品に取替えられる。なお、システムを取替えとはすべての素子を同時に取替えることを意味する。1つ目は周期的取替えと呼び、周期的な時刻 $kT$ （ $k = 1, 2, \dots$ かつ $T > 0$ ）で行われる。そして2つ目はシステムが故障した時点で行われる。ここで $c_p$ を周期的取替えに掛かるコスト、 $c_f$ をシステム故障時の取替えに掛かるコストとする。このとき、長期的にシステムを運用した際の周期 $T$ における単位時間当たりの総期待コスト $C(T)$ は、以下の通りである。

$$C(T) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{E[\text{total cost on } [0, T]]}{T} = \frac{c_f M(T; \cdot) + c_p}{T}, \quad (6)$$

ただし

$$\begin{aligned} C(0) &\equiv \lim_{T \rightarrow +0} C(T) = \infty, \\ C(\infty) &\equiv \lim_{T \rightarrow \infty} C(T) = \frac{2n(1+n)\lambda c_f}{2(1+n) + (n-1)\theta}. \end{aligned}$$

一般的に、システムの寿命時間分布がCFRまたはDFRの場合に周期的取替え方策は必要ではない。従って本研究では、 $\theta < 0$ の場合のみを扱う。

今、我々はコスト $C(T)$ を最小とするような最適な周期的取替え時間 $T^*$ を求めたい。 $C(T)$ の独立変数は $c_p, c_f, \lambda$ そして $\theta$ である。 $T^*$ の必要条件は $C'(T) = 0$ の解を満たすことであるから、 $C'(T) = 0$ を変形し次式を解けばよい。

$$T \frac{d}{dT} M(T; \cdot) - M(T; \cdot) = \frac{c_p}{c_f}. \quad (7)$$

式（7）の左辺を $\xi(T)$ とすると、 $\xi(T)$ と定数 $c_p/c_f$ との交点の個数が $C(T)$ の極値の候補の個数となる。

より具体的に、 $\xi(T)$ と定数 $c_p/c_f$ との関係を示す。 $\tilde{T}$ を $\xi(T)$ の極値の候補とすると、次式で与えられる。

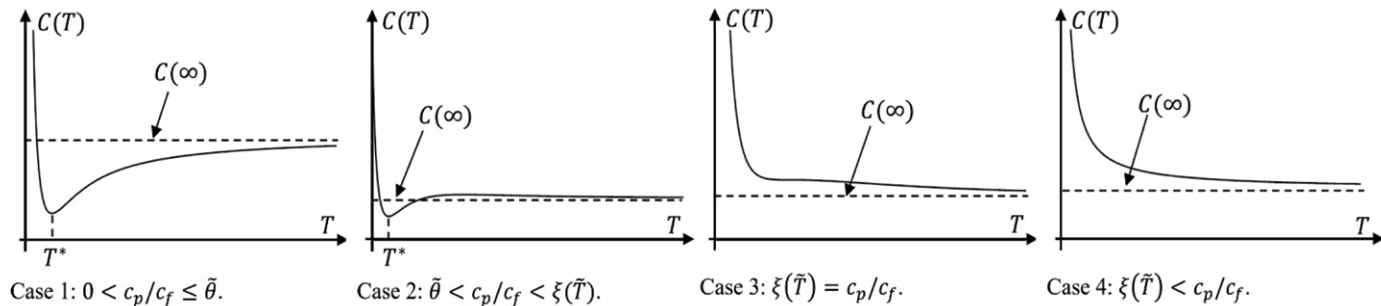


図3 コスト $C(T)$ の振る舞い

$$\bar{T} = \frac{\log\left(\frac{1+B_3+n(B_3+n+2\theta-2n\theta)}{2n(1+(n-1)\theta)}\right)}{B_3\lambda}. \quad (8)$$

また、 $\xi(T)$ は以下の極限をもつ。

$$\xi(\infty) \equiv \lim_{T \rightarrow \infty} \xi(T) = \frac{(n-1)^2(-1+\theta)\theta}{(2(1+n)+(n-1)\theta)^2}$$

$\theta \neq -1/(n-1)$ ならば、すなわち、式(8)において $2n(1+(n-1)\theta) \neq 0$ ならば $\xi(T)$ は極大値をただ一つもつ。一方で、もし $\theta = -1/(n-1)$ ならば $\xi(T)$ は極値をもたず、単調増加関数である。

以上より、 $\theta = -1/(n-1)$ ならば、 $0 < c_p/c_f < \xi(\infty)$ の条件のもとで有限の $T^*$ が唯一存在する。このとき $C(T^*)$ が最適解である。

他の場合は、 $c_p/c_f$ に関して次の4つのケースを考える必要がある。なお、それぞれのケースにおける $C(T)$ の振る舞いは図3に示される。

- Case 1 ( $0 < c_p/c_f \leq \xi(\infty)$ ).

有限の $T^*$ がただ一つ存在する。

- Case 2 ( $\xi(\infty) < c_p/c_f < \xi(\bar{T})$ ).

$C(T^*) > C(\infty)$ ならば有限の $T^*$ がただ一つ存在する。それ以外は有限の $T^*$ は存在しない。

- Case 3 ( $\xi(\bar{T}) = c_p/c_f$ ).

有限の $T^*$ は存在しない。

- Case 4 (条件4:  $\xi(\bar{T}) < c_p/c_f$ ).

有限の $T^*$ は存在しない。

以上のことから周期的取替え方策は、負の従属性(すなわち、 $\theta < 0$ )をもった $n$ 個の素子からなる直列システムに対して、いくつかの条件下で有効といえる。

最後に一つの数値例を示す。パラメータは $n=2, \lambda=1$ そして $\theta=-1$ とする。この場合、 $\theta = -1/(n-1)$ であり、 $\xi(T)$ は次の単調増加関数で与えられる。

$$\xi(T) = \frac{2}{25}(1 - e^{-5T}(1+5T)).$$

よって、 $\xi(\infty) = 2/25$ であるから、 $0 < c_p/c_f < 2/25$ ならば、最適な周期的取替え時刻 $T^*$ がただ一つ存在する。

#### 4. 結言

本研究では、素子間に従属性が潜在する場合の直列システムに対する、最適な周期的取替え方策を提案した。まず初めに、直列システムの寿命分布は周辺分布に指数分布をもったFGMコピュラによってモデル化した。そして、その寿命分布の再生関数を閉じた式

で明らかにした。最終的に、その直列システムを長期的に運用した際に、周期 $T$ でかかる期待コスト $C(T)$ を最小化する取替え方策を提案した。結果として、その直列システムに対しては素子が負の従属性をもつときに、いくつかの条件を満たすならば、周期的取替え方策は有用であることを明らかにした。これによって、素子の従属故障を伴う直列システムを運用する際に、最適な保全計画を立てることが可能になった。

#### 謝辞

本報は、著者が法政大学大学院理工学研究科システム理工学専攻、博士後期課程在学時に行った研究の一部をまとめたものである。本研究の遂行に当たり、指導教員としてご指導と貴重なご助言をいただいた法政大学理工学部木村光宏教授に、ここに深謝致します。

#### 参考文献

- [1] S. Ota, M. Kimura, N. Tazi and T. Nakagawa, Optimal block-replacement policy for an  $n$ -unit series system with dependency based on an FGM copula, Proc. 11th Intern. Conf. Mathematical Methods in Reliability, 8 page (Hong Kong, 2019. 6).
- [2] T. Nakagawa, Maintenance Theory of Reliability, Springer, London (2005).
- [3] M. T. Lai and Y. C. Chen, Optimal periodic replacement policy for a two-unit system with failure rate interaction, Int. J. Adv. Manuf. Tech., 29, 367-371 (2006).
- [4] J. Navarro, J. M. Ruiz and C. J. Sandoval, Properties of coherent systems with dependent components, Commun. Stat. Theory 36, 175-191 (2007).
- [5] S. Eryilmaz and F. Tank, On reliability analysis of a two-dependent-unit series system with a standby unit, Appl. Math. Comput., 218 (15), 7792-7797 (2012).
- [6] N. L. Johnson and S. Kotz, On some generalized Farlie-Gumbel-Morgenstern distributions, Commun. Stat., 4 (5), 415-427 (1975).
- [7] R. B. Nelsen, An introduction to copulas (2nd edition), Springer-Verlag, New York (2010).
- [8] S. Ota and M. Kimura, On necessary conditions for dependence parameters of minimum and maximum value distributions based on  $n$ -variate FGM copula, IEICE Trans. Fundamentals, E102-A (3), 586-589 (2019).



### 3. 受賞研究の紹介

3-1 ナノ材料の疎水性 / 親水性の研究

客野 遥

3-2 Design of Polarization Rotator Based on Square Lattice Photonic Crystal Fiber with Double-hole Unit

Zejun ZHANG





# ナノ材料の疎水性/親水性の研究

客野 遥\*

## Hydrophobic/hydrophilic Properties of Nanomaterials

Haruka KYAKUNO\*

### 1. 緒言

このたび、公益財団法人新世代研究所（ATI）の主催する「ATI 研究奨励賞」を受賞することができた。ATI では、「ナノサイエンス」をキーワードとする若手研究者の研究を奨励することを目的とし、公募により毎年数件の研究テーマを採択して研究費の助成を行っている（ATI 研究助成）。ATI 研究奨励賞は、ATI 研究助成を受けた研究者を対象に、助成により研究計画が十分に達成され、かつ優れた研究成果を出したと評価しうる研究を表彰するものである。

筆者は、「水のナノ構造制御による新規物性・機能の設計」という研究課題で 2014 年度に ATI 研究助成を受け、その成果が評価されて今回の受賞に至った。当該研究課題において、筆者はナノ材料の「疎水性/親水性」に着目した。単層カーボンナノチューブ（single-walled carbon nanotubes; SWCNTs）の 1 次元円筒空洞を用いた実験により、温度と直径に依存する SWCNT の特異な疎水性/親水性を明らかにした。本稿では、その研究内容の概要を紹介する。

### 2. 研究の背景

疎水性/親水性は水に対する物質の親和性のことであり、疎水性の物質は水になじみにくく、親水性の物質は水になじみやすい。たとえば疎水性は、たんぱく質の折り畳みや生体分子の自己集合化、蓮の葉の自浄作用など、多くの自然現象において重要な役割を果たしていると考えられており[1-3]、その特性を応用した革新的な生体医療材料や自浄性材料、ナノ流体デバイスなどの創製が期待されている[4-6]。疎水性/親水性は、定量的には物質表面と水との間の接触角  $\theta$  を用いてしばしば表現される。すなわち、 $\theta$  が  $90^\circ$  以下（もしくは  $\theta$  が 0 に近い）表面を親水性、 $\theta$  が  $90^\circ$  以上の表面を疎水性と呼ぶ。 $\theta$  の測定は、巨視的に材料表面を特徴づける方法として有用である。しかし一方で、より根本的かつ分子レベルで疎水性/親水性を理解するための試みも近年盛んに行われている[7-9]。たとえば、材料表面の疎水性/親水性は、水滴の大きさや水のミクロな構造に影響を受けることが指摘されている[7]。さらに、材料表面と水とのなじみにくさを表す「疎水性」という性質も近年注目されている。大変興味深いことに、疎水性の表面は必ずしも疎水性ではない、という

報告もある[10-11]。ただし、これら研究のほとんどは平坦な材料表面について行われている。そのため、疎水性/親水性および疎水性に関する根本的・多角的理解を深めるために、より複雑な材料表面を用いた研究が必要とされている。

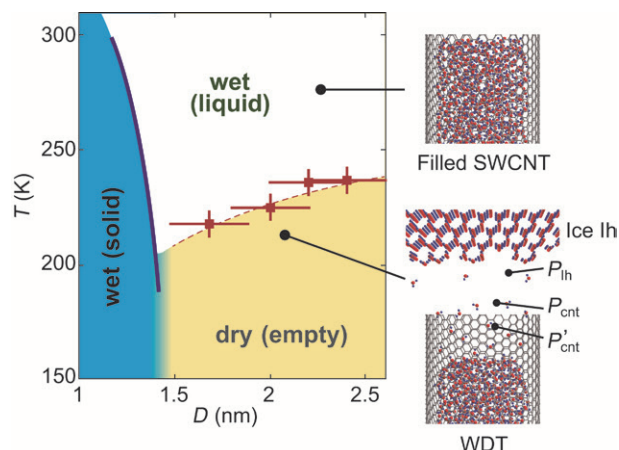


図1. SWCNT 内包水の性質に関する温度-直径( $T$ - $D$ )相図。実線と破線は、それぞれ液体-固体転移と wet-dry 現象の境界線を示す。図中の“wet (solid)”相では、内包水の構造は筒状の氷 (ice-NT) である。“wet (liquid)-dry (empty)”境界は、XRD 実験によって決定された[17]。右の模式図は、wet-dry 現象の様子を表す。

### 3. 研究の目的

以上のような背景をふまえ、我々はナノサイズの 1 次元円筒空洞を有する SWCNT の疎水性/親水性に着目した。SWCNT は炭素原子のみから成り、その空洞壁は原子レベルで滑らかである。また、その空洞サイズは 1 nm 以下から数 nm まで系統的に変化させることが可能である。SWCNT 空洞内に閉じ込められた水は、理論・実験の両面から広く世界的に研究されている[12-18]。近年になり、SWCNT 内包水の性質に関する温度-直径 ( $T$ - $D$ ) 相図が提案された[13, 17, 18] (図 1)。この相図に示されるように、SWCNT に内包された水の性質は、温度と直径によって著しく変化する。すなわち、ある直径  $D_c$  ( $D_c \sim 1.4$ - $1.6$  nm) 以下では、SWCNT のチューブ軸方向に一次元の周期性をもつ筒状の氷 (Ice-NT) が形成される。一方、 $D_c$  より直径の大きい SWCNT では、内包された水がある温度  $T_{wd} \sim 220$  K 以下で SWCNT 内部から外部へと排出される現象 (wet-dry 現象、もしくは

\*准教授 物理学教室

Associate Professor, Institute of Physics

親水性-疎水性転移)が起こる。この wet-dry 現象は可逆的であり、温度を上げると  $T_{wd}$  以上で SWCNT 内部は再び水で満たされる。 $T_{wd}$  は直径  $D$  に依存し、 $D$  が大きいほど高くなることも X 線回折 (XRD) 実験などによって示された[17]。しかし、このようなごく低温 (220 K 付近) で SWCNT 内外を水がどのように行き来するのか、そのメカニズムは明らかにされていない。そこで本研究では、複数の実験手法を用いてこの wet-dry 現象のメカニズムを詳細に調べた。

#### 4. 研究手法

本研究で用いた実験手法は、光学顕微鏡観察、X 線回折 (XRD) 実験、示差走査熱量 (DSC) 測定、古典分子動力学 (MD) 計算などである。本稿では紙面の都合により、光学顕微鏡観察と MD 計算について主に紹介する。

光学顕微鏡観察には、Nikon Eclipse LV100D を用いた。光学顕微鏡用温度制御システム (Linkam THMS350V) を使用することにより、wet-dry 現象のその場観察を可能にした。試料には、eDIPS 法[19]によって作製された平均直径 1.68-2.40 nm の SWCNT 試料 (5 種類) を用いた。これらの試料は、600 °C 以上の空気中加熱処理を行うことによりチューブの先端や壁面に穴を開け、内部空洞を利用可能にした。SWCNT 試料は、0.7 mm  $\phi$  の石英ガラス管に超純水の飽和水蒸気とともに封入した。測定温度領域は室温から 150 K までとし、冷却/加熱スピードは 10 K/min とした。

古典 MD 計算では、有限長 SWCNT に内包された水のメニスカス (液面形状) を調べた。SWCNT を構成する炭素原子は空間に固定し、水分子には SPC/E モデルを用いた。数値積分法には Gear 法を用い、数値積分の時間刻み幅は  $\Delta t = 1.0$  fs として計算を行った。系の粒子数と体積は一定とし、温度は速度スケール法によって制御した。まず水の分子運動が十分に速い温度 (おおよそ 220 K 以上) で、温度を一定としてシミュレーション時間 2 ns 程度の MD 計算を行い、系を熱平衡状態にした。その後、降温速度 25-50 K/ns で徐々に 100 K まで冷却した。直径の異なる 2 種類の SWCNT ( $D = 2.400$  nm と  $D = 1.317$  nm) について独立した計算をそれぞれ 40 回以上行い、内包水のメニスカスの解析を行った。 $D = 2.400$  nm の SWCNT は長さ  $L=13.05$  nm で内包水分子数  $N=395$  個、 $D = 1.317$  nm の SWCNT は  $L=7.166$  nm で  $N=100$  個とした。

### 5. 実験結果と考察

#### 5. 1. 光学顕微鏡観察

図 2 に、得られた顕微鏡写真の一例を示す。温度  $T_{wd}$  (約 220 K) 以下まで冷却すると、水滴が SWCNT 試料の表面に出現した (図中の矢印)。水滴は、SWCNT 試料表面だけでなく、試料から遠く離れたガラス管の内壁にも成長した。よく観察すると、これらの水滴は多面体のような形状をしている。つまり、氷結晶であると考えられる。一方、温度を上げると水滴は 240 K 近傍で消失した。

これらの振る舞いは、XRD 実験の結果とよく整合している。XRD 実験では、温度を下げると  $T_{wd}$  以下で SWCNT の内包水量が減少するとともに氷結晶 (ice Ih) が形成されること、温度を上げると  $T_{wd}$  以上で ice Ih が消失するとともに SWCNT 内部が再び水で満たされることが示唆されている[17, 18]。この XRD 実験の結果をふまえると、顕微鏡観察で観察された水滴 (氷) は XRD 実験で観測された

氷 (ice Ih) と同一であり、その氷の源は wet-dry 現象によって SWCNT 内部から外部へと排出された水であると考えられる。また本顕微鏡観察により、 $T_{wd}$  以下で起こる SWCNT 外部への水の排出 (もしくは  $T_{wd}$  以上で起こる SWCNT 内部への水吸着) は、SWCNT 内外の水蒸気相を介して起こることが明白に示された。

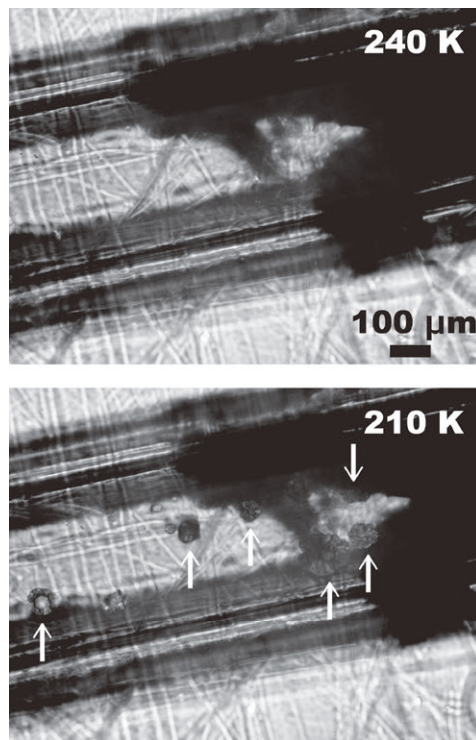


図 2. Wet-dry 現象の光学顕微鏡写真の一例。黒色の領域が SWCNT 試料である。矢印は、wet-dry 転移温度  $T_{wd}$  以下で出現した水滴 (または氷結晶) を示している。

#### 5. 2. 古典 MD 計算

図 3 に、SWCNT 内部における水分子の分布を示す。温度 285 K では、どちらの SWCNT でも内包水のメニスカスは親水的 (下に凸) な形状をしている。一方低温では、直径によってメニスカスの形状が異なる。直径の小さい SWCNT ( $D = 1.317$  nm) では、温度を下げると内包水は ice-NI を形成し、これは強親水的なメニスカスと見なすことができる。それに対し、直径の大きい SWCNT ( $D = 2.400$  nm) では、低温 (温度 185 K) のメニスカスは疎水性 (上に凸) に近い形状をしている。すなわち SWCNT 内壁と水との接触角を  $\theta$  とすれば、 $D = 2.400$  nm において 285 K では  $\theta \sim 66^\circ$  であるのに対し、185 K では  $\theta \sim 90^\circ$  となっており、降温とともに SWCNT 内壁が疎水性へと変化している。なお、低温 (おおよそ 200 K 以下) における水分子の運動は非常に遅いため、本 MD 計算のシミュレーション時間内では系を十分な熱平衡状態にすることができなかった。よって現実の系では、 $D = 2.400$  nm の低温におけるメニスカスは MD 計算結果よりも疎水的な形状になり得ると考えている。

このようなメニスカスの変化は、内包水の水素結合ネットワーク構造の発達と強い相関があると思われる。すなわち、水素結合ネットワークの発達度が SWCNT の疎水性/親水性 (もしくはメニスカスの形状) を決める重要な要素になっており、それにより wet-dry

現象が引き起こされるのではないかと考えた。図4に、水分子の配位数の温度変化を示す。図の縦軸は、系の全水分子数に対して配位数4の水分子数が占める割合、 $f_4$ とした。まず、室温付近での値に着目する。温度285 Kでは、 $D=1.317$  nmよりも $D=2.400$  nmの方が $f_4$ は大きい(それぞれ、0.35と0.45)。このときの接触角はそれぞれ $\theta \sim 40^\circ$ と $\theta \sim 66^\circ$ であり、 $D=2.400$  nmの方が $\theta$ も大きい。このことから、もし $f_4$ がSWCNT直径 $D$ とともに増加するならば、 $D$ の大きいSWCNTはより疎水的であることが期待される。

次に低温での振る舞いに着目する。温度を下げると、 $D=2.400$  nmでは $f_4$ と $\theta$ どちらも徐々に増加する。一方 $D=1.317$  nmでは、250 K近傍で $f_4$ が急激な増加を見せると同時に $\theta \sim 0^\circ$ (強親水性)となる。つまり、どちらのSWCNTにおいても低温で $f_4$ は増加するが、接触角 $\theta$ の振る舞いが異なる。この違いは内包水の水素結合ネットワーク構造の違いによるものであると推測している。直径の大きいSWCNTでは、低温で発達した水素結合ネットワーク構造がSWCNT空洞の形状に適合しないために $\theta$ が増加する。一方、直径の小さいSWCNTでは、低温( $D=1.317$  nmでは250 K近傍)でice-NTが形成されるために $f_4$ が急増する。このice-NTの構造はSWCNT空洞によく適合しており、 $\theta \sim 0^\circ$ となる。

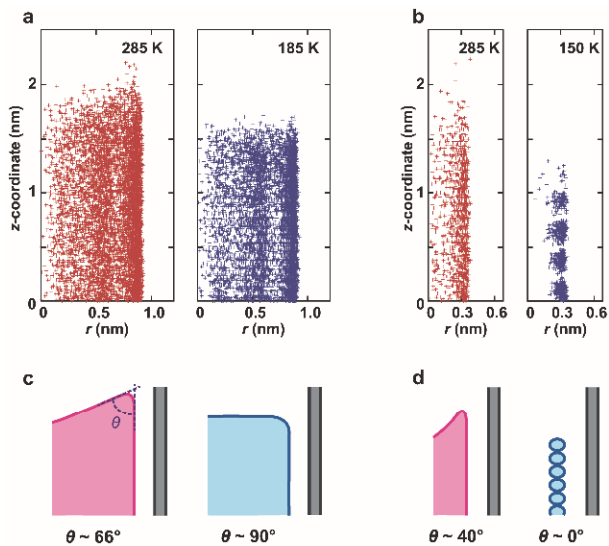


図3.  $r$ - $z$  面内での水の分布(MD計算)。ここで、 $r$ はSWCNTのチューブ軸からの距離、 $z$ はチューブ軸に沿った座標である。+印は、水分子内の酸素原子位置を示す。独立した40回のMD計算を行い、その結果を重ね合わせた。(a)直径2.400 nm、(b)直径1.317 nmでの結果。(b)の150 Kでは、内包水は7員環の中空ice-NTを形成している。(c)と(d)は、SWCNT壁と水との接触角 $\theta$ の模式図。

### 5.3. Wet-dry現象のメカニズム

これより、wet-dry現象のメカニズムについて議論する。光学顕微鏡観察により、wet-dry現象はSWCNT内外の水蒸気相を介して起こることが示された。そこでdry(wet)現象は、SWCNT外部の飽和水蒸気圧 $P_{\text{cnt}}$ が、バルク水(ice Ih)表面の飽和水蒸気圧 $P_{\text{lh}}$ より大きい(小さい)ときに起こると考える(図1)。水はSWCNTの円筒空洞に内包されているので、SWCNT内部の飽和水蒸気圧 $P'_{\text{cnt}}$ は内包水のメニスカスに依存する。また、内包水とSWCNT壁との相互

作用のために、 $P'_{\text{cnt}}$ は、 $P_{\text{cnt}}$ より大きいことが期待される。 $P'_{\text{cnt}}$ は、古典的なケルビン方程式を用いると以下のように書ける[20]。

$$P'_{\text{cnt}} = P'_{\text{cnt}}(\infty) \exp\left(-\frac{4V_t}{D'RT} \gamma \cos\theta\right) \quad (1)$$

ここで、 $V_t$ は水のモル体積、 $\gamma$ は水の表面張力、 $R$ は気体定数である。 $D'$ は有効空洞径であり、 $D'=D-t$ と定義した。 $t$ はSWCNT壁の厚みと水分子の大きさに相当し、 $t \sim 0.3-0.6$  nmとした。 $P'_{\text{cnt}}(\infty)$ は $\gamma \cos\theta \rightarrow 0$ での圧力であり、疎水性( $\theta > 90^\circ$ )の場合は $P'_{\text{cnt}} > P'_{\text{cnt}}(\infty)$ となる。式(1)は巨視的な系に適用されるものであるが、最近のMD計算において、直径1 nm程度の水滴にもこの基礎的な方程式が使用できることが提案されている[21]。

以上を踏まえ、wet-dry現象について準定量的な検証を行う。まず、式(1)を以下のように書き直してみる。

$$\begin{aligned} P_{\text{cnt}} &\approx P'_{\text{cnt}} \exp\left(-\frac{U_0}{RT}\right) \\ &= \exp\left(-\frac{U_0}{RT}\right) P'_{\text{cnt}}(\infty) \exp\left(-\frac{4V_t}{D'RT} \gamma \cos\theta\right) \\ &\approx \exp\left(-\frac{100}{T}\right) P_{\text{sc}} \exp\left(-\frac{330}{T} \cos\theta\right) \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、 $V_t \approx 1.8 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{mol}$ 、 $\gamma \approx 7.6 \times 10^{-2} \text{ N/m}$ 、 $D' \approx 2 \text{ nm}$ とし、これらの値は温度に依らず一定であると仮定した。 $P_{\text{cnt}}/P'_{\text{cnt}}$ は $\exp(-U_0/RT)$ に等しいとし、さらにSWCNT内外の水分子のポテンシャル差を $U_0/R \approx 100 \text{ K}$ と見なした[22]。また、バルク過冷却水の飽和水蒸気圧 $P_{\text{sc}}$ を $P'_{\text{cnt}}(\infty)$ として用いた。式(2)より、温度240 Kにおいて内包水の接触角が $\theta \approx 78^\circ$ であったとすると、 $P_{\text{cnt}} = 0.50 P_{\text{sc}}$ となる。ここで $\theta$ の値は、MD計算結果の285 Kと185 Kの間を補間した値である。文献[23]より温度240 Kにおいて $P_{\text{lh}} \approx 0.71 P_{\text{sc}}$ であるので、 $P_{\text{cnt}} < P_{\text{lh}}$ となる。これは、温度240 K近傍において水はSWCNTの内部に凝縮することを意味する。一方、もし温度200 K付近で $\theta \geq 96^\circ$ ならば、 $P_{\text{lh}} < 0.71 P_{\text{sc}} \leq P_{\text{cnt}}$ となるので、内包水は蒸発してSWCNT外部のice Ihへと凝集する。

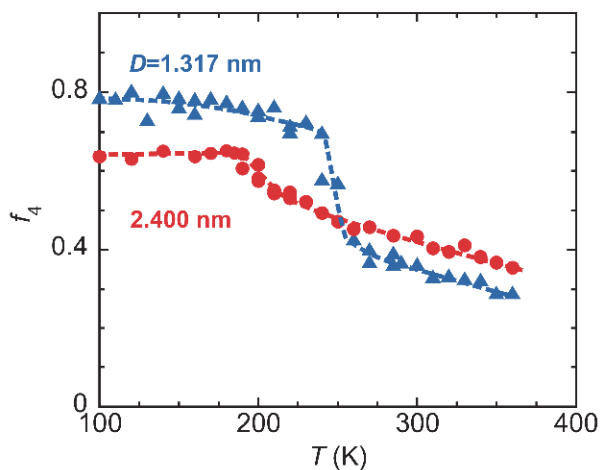


図 4. SWCNT に内包された水分子の配位数の温度変化 (MD 計算). 図の縦軸は、系の全水分子数に対して配位数 4 の水分子数が占める割合  $f_4$ . なお配位数は、ある水分子に着目したときに、その水分子に最隣接する水分子の数 (着目した水分子を中心として 距離 0.33 nm 以内の範囲に存在する水分子の数) と定義した. 計算は降温過程について行われた.

## 6. 結言

本研究により、温度と直径に依存する SWCNT の特異な疎水性/親水性が明らかになった. 光学顕微鏡観察では、直径  $D > D_c$  の SWCNT ( $D_c \sim 1.4\text{-}1.6$  nm) に内包された水は  $T_{wd}$  以下で SWCNT 外部へと排出されバルク氷 (ice Ih) を形成すること、そして水の排出は SWCNT 内外の水蒸気相を介して起こることが示された. MD 計算では、 $D = 2.400$  nm と  $D = 1.317$  nm の SWCNT に内包された水のメニスカスを解析した. その結果、室温ではどちらの SWCNT も親水的であるのに対し、低温では直径によって異なる振舞いが見られた. 直径の小さい SWCNT に内包された水は、SWCNT の円筒空洞によく適合した水素結合ネットワーク構造を有する ice NT を低温で形成する. 一方、直径の大きい SWCNT においても低温で水素結合ネットワーク構造が発達するが、その構造は空洞の次元や形状に適合しない. その結果、メニスカスは降温とともに徐々に疎水的な形状に変化し、wet-dry 現象が引き起こされる. また、MD 計算の結果からは SWCNT 直径が大きいほどより発達した水素結合ネットワーク構造が形成されることが期待された. これは wet-dry 現象の転移温度  $T_{wd}$  が直径によって増加することの要因となりうる. 本研究は SWCNT を用いて行われたものであるが、他のナノ材料の疎水/親水の性質を制御・デザインする上でも重要な知見を与えるものと考えられる.

## 謝辞

本研究は、真庭豊教授 (首都大学東京)、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す. 共同研究者の方々に深く感謝いたします.

## 参考文献

[1] C. M. Dobson, *Nature* 426, 884-890 (2003).

[2] S. Granick, and S. C. Bae, *Science* 322, 1477-1478 (2008).

[3] Y.-T. Cheng, and D. E. Rodak, *Appl. Phys. Lett.* 86, 144101 (2005).

[4] S. Huang, M. Bai, and L. Wang, *Sci. Rep.* 3, 2023 (2013).

[5] R. Blossey, *Nature Mater.* 2, 301-306 (2003).

[6] A. Noy, H. G. Parka, F. Fornasiero, J. K. Holt, C. P. Grigoropoulos, and O. Bakajin, *Nano Today* 2, 22-29 (2007).

[7] L. Lupi, N. Kastelowitz, and V. Molinero, *J. Chem. Phys.* 141, 18C508 (2014).

[8] T. A. Ho, D. V. Papavassiliou, L. L. Lee, and A. Striolo, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 108, 16170-16175 (2011).

[9] J. Driskill, D. Vanzo, D. Bratko, and A. Luzar, *J. Chem. Phys.* 141, 18C517 (2014).

[10] V. Hejazi, K. Sobolev, and M. Nosonovsky, *Sci. Rep.* 3, 2194 (2013).

[11] M. Nosonovsky, and V. Hejazi, *ACS Nano*. 6, 8488-8491 (2012).

[12] K. Koga, G. T. Gao, H. Tanaka, X. C. Zeng, *Nature* 412, 802-805 (2001).

[13] D. Takaiwa, I. Hatano, K. Koga, and H. Tanaka, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 105, 39-43 (2008).

[14] J. Bai, J. Wang, and X. C. Zeng, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 103, 19664-19667 (2006).

[15] A. I. Kolesnikov, J.-M. Zanotti, C.-K. Loong, P. Thiyagarajan, A. P. Moravsky, R. O. Loutfy, and C. J. Burnham, *Phys. Rev. Lett.* 93, 035503 (2004).

[16] Y. Maniwa, H. Kataura, M. Abe, U. Udaka, S. Suzuki, Y. Achiba, H. Kira, K. Matsuda, H. Kadowaki, and Y. Okabe, *Chem. Phys. Lett.* 401, 534-538 (2005).

[17] 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, 244501 (2011).

[18] H. Kyakuno, M. Fukasawa, R. Ichimura, K. Matsuda, Y. Nakai, Y. Miyata, T. Saito, and Y. Maniwa, *J. Chem. Phys.* 145, 064514 (2016).

[19] T. Saito, W.-C. Xu, S. Ohshima, H. Ago, M. Yumura, and S. Iijima, *J. Phys. Chem. B* 110, 5849-5853 (2006).

[20] W. Thomson, *Philos. Mag. Series 4*, 42, 448-452 (1871).

[21] M. H. Factorovich, V. Molinero, and D. A. Scherlis, *J. Am. Chem. Soc.* 136, 4508-4514 (2014).

[22] K. Hanami, T. Umetsaki, K. Matsuda, Y. Miyata, H. Kataura, Y. Okabe, and Y. Maniwa, *J. Phys. Soc. Jpn.* 79, 023601 (2010).

[23] D. M. Murphy, and T. Koop, *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 131, 1539-1565 (2005).

## 4. 工学部重要機器整備費関連研究

- |     |                                  |                     |
|-----|----------------------------------|---------------------|
| 4-1 | 触媒構造解析システムの実研究への応用               | 石川 理史, 上田 渉         |
| 4-2 | バイオマス原材料が高密度円柱ブリケットの有炎燃焼挙動に及ぼす影響 | 伊東 弘行, 三浦 正義        |
| 4-3 | 多数室建物の熱・換気性能現場測定システム             | 奥山 博康, 吉浦 温雅, 井出 大輝 |
| 4-4 | 走査プローブ顕微鏡によるナノ物質の構造研究            | 客野 遥                |
| 4-5 | 宇宙線大気蛍光観測における紫外線パルスレーザーの活用       | 有働 慈治               |



# 触媒構造解析システムの実研究への応用

石川 理史\* 上田 渉\*\*

## Application of calculation systems for catalysis research

Satoshi ISHIKAWA\* Wataru Ueda\*\*

### 1. 緒言

固体触媒は現在の産業技術の中で欠かせない重要な位置づけにあり、そのため多くの研究者が新たな固体触媒開発に従事している。近年ではインフォマティクスの発展もあり、戦略的な固体触媒開発を指向した研究も立案されている。しかし、周辺技術の発展は著しい一方で固体触媒開発は難航しており、特に筆者らが専門とする固体酸化触媒の世界では、旧来の触媒に代わる革新的な固体触媒は久しく出現していない。この理由の一端として、固体触媒の複雑さが挙げられよう。固体触媒は多くの場合、構造的に不均一であり、これにより触媒活性点に関する情報を得るのが極めて困難である。そのため、触媒活性点構造を考慮した触媒開発には至らず、触媒の開発は未だに絨毯爆撃的な元素の組み合わせの検討に依存している。現状を打破するためには固体触媒作用における基礎学理を蓄積し、触媒活性点構造をベースとした議論を進展させることが重要と思われる。

この目的のため、構造が明確に規定され、高い触媒活性を示す触媒の開発が急務であろう。筆者らはエタンやアクロレインなどの選択酸化反応に極めて高い触媒活性を示す結晶性  $\text{Mo}_3\text{VO}_x$  複合酸化物 (Figure 1) の研究を通して、本触媒上の触媒作用について分子レベルな議論を可能としている。この研究を進展させる中で、触媒構造解析システムの貢献はなくてはならないものであった。本稿では触媒活性点構造解析を指向した触媒構造解析システムの応用について概説する。

### 2. 触媒構造解析-Rietveld 解析-

結晶性  $\text{Mo}_3\text{VO}_x$  複合酸化物 (MoVO) は  $\{\text{Mo}_6\text{O}_{21}\}^6$  で表される 5 員環ユニットと  $\{\text{MO}_6\}$  (M = Mo, V) 金属酸素八面体の配列で形成する棒状結晶で、棒状結晶断面には 6, 7 員環を含む複雑な組織が形成している。筆者らはこのうち 7 員環組織が小分子を吸着するマイクロ細孔として機能すること、また、エタン選択酸化反応において、細孔内が触媒作用場として機能することを見出している<sup>[1]</sup>。興味深いことに MoVO は構成金属の酸化還元状態変化によって、基本的な結晶構造を変えることなく 7 員環に由来したマイクロ細孔吸着能が変化し、

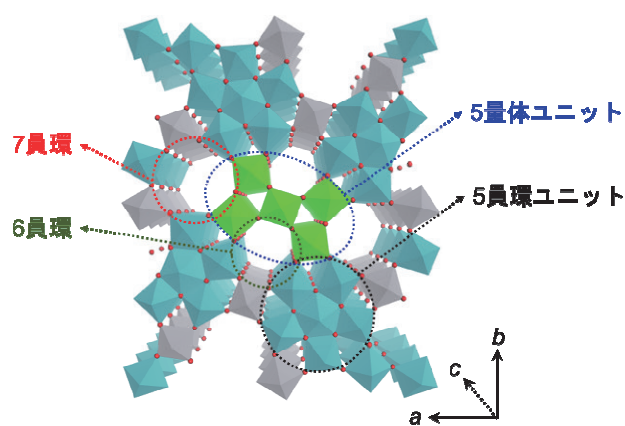


Figure 1. Structural model of MoVO. Mo, light blue; V, gray; O, red; mixture of Mo and V, light green.

これによりエタン酸化触媒活性が大きく変化した。これは、結晶構造中のわずかな局所構造変化が触媒活性に関係していることを物語っている。本局所構造変化を解析することは実測定のみでは困難であったが、触媒構造解析システムを利用することで、局所構造変化における知見を得ることができた。触媒の局所構造解析において、Rietveld 解析がある。本解析はある構造モデルから計算される XRD パターンを実測 XRD パターンと比較しながら格子定数や原子配置を最適化する手法であり、基本結晶構造が明確に規定できていれば、その局所構造解析において強力なツールとなる。Figure 2 (A)は各種分子吸着により測定した還元状態の異なる MoVO の 7 員環由来のマイクロ細孔容積、Figure 2 (B)は Rietveld 解析により得た各 MoVO の構造モデルを用いて測定した 7 員環の短軸径および長軸径を示している。各図の  $\delta$  は MoVO の単位格子からの格子酸素脱離量 ( $\text{Mo}_{29}\text{V}_{11}\text{O}_{112-\delta}$ ) を示している。 $\delta$  が 4.2 までは各種分子吸着により測定したマイクロ細孔容積は  $20\sim 27 \times 10^{-3} \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$  であり、これは結晶構造モデルから想定される 7 員環のマイクロ細孔容積 ( $23.4 \times 10^{-3} \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ ) とほぼ一致した。一方、 $\delta$  が 4.2 以上になると吸着量は激減し、ほとんど吸着が見られなくなった。Rietveld 解析により得た構造モデルから測定した 7 員環長軸径は  $\delta$  の増大とともに連続的に増大した。しかし、7 員環短軸径は  $\delta$  が 4.2 までは連続的に増大した一方、以降の  $\delta$  の増大により短軸径は連続的に減少した。マイクロ細孔容積の減少と 7 員環短軸径の連続的な減少の関係性から、 $\delta = 4.2$  以上で観測されたマイクロ細孔容積の減少は 7 員環短軸径の減少に由来することが分

\*特別助教 物質生命化学科

Assistant Professor, Dept. of Material and Life Chemistry

\*\*教授 物質生命化学科

Professor, Dept. of Material and Life Chemistry

かった。このように、触媒の基本構造が明確な系では、本解析により局所構造を予想することが可能であり、実測定結果と照らし合わせることで、現象の理解に貢献できることがある<sup>[1]</sup>。

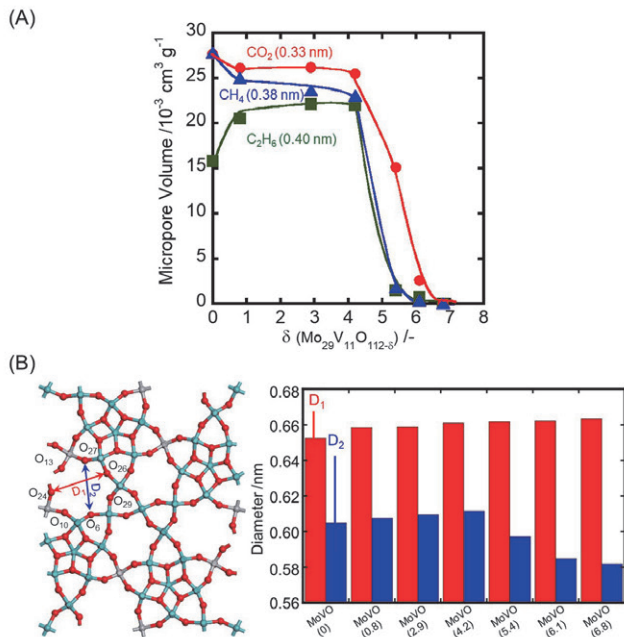


Figure 2. (A) Micropore volume measured by CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> adsorption as a function of  $d$ . (B) Diameter of the heptagonal channel in long axis (D<sub>1</sub>, O<sub>24</sub>-O<sub>26</sub>) and short axis (D<sub>2</sub>, O<sub>6</sub>-O<sub>27</sub>).

### 3. 触媒構造解析-構造最適化計算 (DFT 解析) -

続いて、MoVO 構造中への添加金属導入の例を基に、構造最適化計算の使用についてその有効性を述べる。工業的に用いられるアクロレイン選択酸化触媒では、Mo-V 複合酸化物触媒に W や Cu 等の添加金属を導入した例が多く報告されている。これらの添加金属は確かに触媒活性、選択性を改善しているが、先に述べた固体触媒の複雑性から、これらの金属が触媒活性点にどのように作用し触媒活性を変化させているのか、これまでに全く知見が得られていなかった。一方、我々は MoVO がアクロレイン選択酸化反応について極めて高い触媒活性を示し、その活性が構造中の 7 員環組織で発現していることを明らかにした。構成金属の組成や構造的性格の類似性から、我々は MoVO が工業的に用いられるアクロレイン選択酸化反応用触媒の真の活性点構造を含んでいることを提案しており、7 員環組織がその活性点に相当すると考えている。我々はその後の検討を通し、MoVO の 7 員環組織近傍に W や Cu を導入できること、また、これら添加金属の導入により触媒活性、選択性を改善できることを見出した。本触媒は工業用触媒とは異なり結晶構造が明確に規定されているため、本物質中における W や Cu の位置を明確化でき、これらが触媒活性点構造にどのように作用しているかを深く検討できる可能性がある。ここでは MoVO に Cu を導入した例を紹介する。

MoVO への Cu の導入は触媒合成条件を適切に制御することで達成した。詳細は参考文献に記載している<sup>[2]</sup>。Cu は MoVO の結晶構造を変えることなく構造中に取り込まれており、これにより XRD パターンやマイクロ細孔吸着など、物性の変化が見られた。Figure 3 (A) に XRD, 吸着測定, Rietveld 解析などを通して構築した MoVCuO の

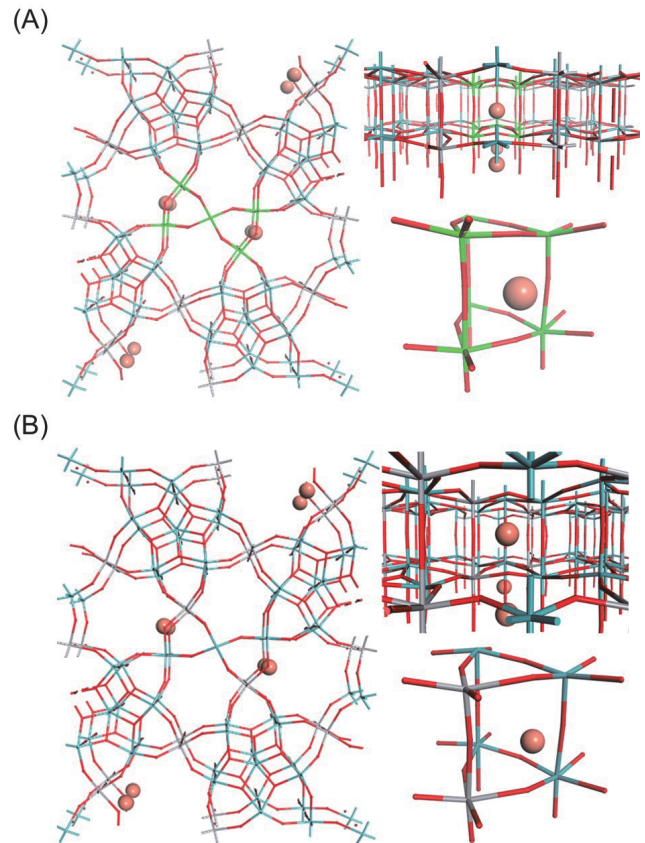


Figure 3. (A) Structural model of MoVCuO constructed by various characterizations and refined by Rietveld analysis. (B) Structural model of MoVCuO obtained by structure optimization calculation using DMol<sup>3</sup> software.

結晶構造を示す。これらの解析により、Cu は 7 員環に面した 5 量体ユニットの架橋酸素の真下に、Square planar の配座で構造中に取り込まれていることを提案できた。Figure 3 (B) は DMol<sup>3</sup> を用いて計算した構造最適化計算の結果を示している。本計算は MoVO の構造モデルに Cu を配置し、計算を行っている。計算後、Cu は我々の提案した構造部位とほぼ同様の位置に位置していた。この結果は構造最適化計算が結晶構造解析に適切な解を与えることを示しており、結晶構造を規定するうえで DFT 解析が大きく貢献できることを意味している。

### 4. 結言

以上のように、触媒の構造を解析する上で触媒構造解析システムは十分な精度を有しており、これにより新たな知見が得られ得ることは明らかである。一方、本研究で結晶構造解析システムが信頼に足るデータを提供できたのは、用いた固体の結晶構造が均質であったことにも留意するべきである。

### 5. 参考文献

- [1] S. Ishikawa, W. Ueda, Microporous Crystalline Mo-V Mixed Oxides for Selective Oxidations. *Catal. Sci. Technol.*, 6, 617-629 (2016).
- [2] S. Ishikawa, Y. Yamada, C. Qiu, Y. Kawahara, N. Hiyoshi, A. Yoshida, W. Ueda, Synthesis of a Crystalline Orthorhombic Mo-V-Cu Oxide for Selective Oxidation of Acrolein. *Chem. Mater.*, 31-1408-1417 (2019)



# 多数室建物の熱・換気性能現場測定システム

奥山 博康\* 吉浦 温雅\*\* 井出 大輝\*\*\*

## On-Site Ventilation and Thermal Performance Measurement System for Multi-Zone Buildings

Hiroyasu OKUYAMA\* Atsumasa YOSHIURA\*\* Daiki IDE\*\*\*

### 1. 緒言

建物の熱損失係数等の性能は、施工や経年劣化により設計とは異なる場合もあるので、実際の熱性能を現場測定する技術が必要になる。また室温変動に影響する有効熱容量や日射取得係数等の熱性能の現場測定法も研究課題とされている。しかし環境実験室で一定温度の定常的な条件での測定と異なり、変動する外気温と日射量と躯体熱容量等の影響により、熱性能推定は難しい。また実態の建物は、単純な単室ではなく、多数室的な状況が多く複雑である。

一方、換気性能の測定については、現状のトレーサガスを用いた換気測定法は主に単室用であり、多数室用に一定濃度法等が実用されているが、室間の風量把握は難しい。しかし例えば多数室の住宅で第三種換気が行われると換気不足の室が生じる可能性がある等、室間の空気流動だけでなく、換気効率にも関係する有効混合容積を把握できる多数室換気測定法が必要である。

これらの多数室系での熱やトレーサガスの移動は、いずれも同様な連立常微分方程式で記述される熱回路網の数学モデルで表される。筆者はこの熱回路網モデルに基づいた多数室系の一般的な拡散系のシステム同定理論<sup>[1]</sup>を考案し、FORTRAN プログラム SPID (System Parameter Identification) も開発してきた。初期のトレーサガスの供給や電熱発熱の励振は矩形波だったが、断続的な正弦波に改良し、1分間隔の時系列測定値に、数分から数時間の移動平均による低周波濾波を施し、統計的な信頼性評価方法等も加えた改良理論<sup>[2]</sup>も展開してきた。測定不確かさ標準偏差の推定の前処理を行う必要もあるので表計算プログラムの中に SPID を組み込んで SPIDS (System Parameter Identification Spreadsheet) の開発も行った。

これまで第一世代<sup>[3]</sup>と第二世代<sup>[4]</sup>の多数室換気測定システムを開発してきたが、2018年度は、熱性能測定も可能な第三世代の多数室の熱・換気性能測定システムを試作することができた。励振としての電熱発熱の計測・制御も炭酸ガス供給装置も、ラップトップパソコンから無線で行い、応答の測定装置系については、温・湿度と炭酸ガス濃度の計測装置を小型で無線化し各室に分散配置できるようにして使いやすくした。本報告では某集合住宅において2018年末に実施した本試作システムの動作確認実験を例にして述べる

### 2. 拡散系のシステム同定と表計算プログラム SPIDS

多数室の室温やトレーサガス濃度の時間変化は熱回路網の連立常微分方程式モデルで表される。システム同定されるその係数はシステムパラメータとも呼び、伝熱系の場合は一般化熱コンダクタンス  $c_{ij}$  [W/K]がある。この添え字の順番は、節点  $j$  から  $i$  への熱流の方向を表し、節点  $i$  から  $j$  の熱流方向は  $c_{ji}$  となる。熱移動が対流もしくは移流の場合は一般に非対称で  $c_{ij} \neq c_{ji}$  であるが、伝導や貫流では対称で  $c_{ij} = c_{ji}$  となる。添え字は、コンダクタンス・マトリックス内での要素の行と列の位置の記法に合わせている。また相当熱容量  $m_{ij}$  [J/K]は熱容量マトリックス内の  $i$  行  $j$  列要素を表すが、有限体積法による空間的な離散化モデルであれば対角要素だけなので  $m_{i,i}$  となる。有限要素法による離散化であれば非対角要素も存在する。日射熱取得係数等は  $r_{ij}$  [ $\text{m}^2$ ]である。これは水平面全日射量を  $g$  [W/ $\text{m}^2$ ]として節点  $i$  に入力される相当水平面積を表す。もし電熱発熱  $g$  [W]が入力される室空気節点が  $i$  であれば、 $r_{ij}$  は電熱変換効率であり  $r_{ij} = 1$  [-]である。一方、換気測定のトレーサガス流動回路網では、一般化コンダクタンス  $c_{ij}$  は、室  $j$  から室  $i$  への風量 [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]を表す。この系ではコンダクタンス  $c_{ij}$  は一般に非対称としてシステム同定する。また  $m_{i,i}$  は有効混合容積 [ $\text{m}^3$ ]となる。なお熱系も同様に、外気の節点番号は後詰めで最後の番号とする。システム同定の原理は最小二乗法である。前述の連立常微分方程式を、同定するシステムパラメータのベクトルに関する回帰式に変形する。測定時間間隔の1分ずつの台形近似で時間積分した式を全測定期間で総和して、重みマトリックスによる二次形式の評価関数を作り、最小二乗法によりシステムパラメータを推定する式を得る。これに風量収支や対称性の拘束条件式も行を増やす方向に加え、二重に最小二乗法を適用して、最終的なシステムパラメータ推定式を構成する。一方、時系列の測定値には二種類の目的で移動平均を利用する。一つは熱回路網のシステム同定モデルが持つ空間離散化誤差による悪影響を軽減するための比較的長時間の移動平均である。これを低周波濾波と呼ぶ。伝熱系では低周波濾波は必要だが、ガス流動回路網のシステム同定では殆ど必要がない。もう一つは比較的短い移動平均であり、この結果を測定不確かさ平滑化曲線と呼び、測定不確かさ標準偏差を推定するために用いる。前記の三種のシステムパラメータの不確かさ標準偏差  $\sigma_c$ ,  $\sigma_m$ ,  $\sigma_r$  は、回帰式残差からと、測定不確かさからの、二通りからの伝播式が導ける。前者の後者に対する比を測定前提の不適合率  $\beta$  と呼んでおり、これらを計算する。

\*教授 建築学科  
Professor, Dept. of Architecture

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

\*\*\*大学院博士前期課程 建築学専攻  
Graduate student, Master's degree

### 3. 多数室の熱性能測定システム

本装置システムにおける電熱発熱の励振の計測・制御・記録と、室温等の応答の計測・記録装置の概要図は図1に示す。最大10室に対応し、各室に約1kWの電熱ヒータ(a)と電力センサ(b)と温・湿度測定器(c)を置く。これらの制御と測定は箱(d)と(e)を介し無線(f)でPC(g)制御する。外気温(h)と水平面全日射量(i)の測定も行。電熱発熱は正弦波形の谷から谷までを断続的に繰り返す。室間と内外温度差および時間変化も大きくなる様に、また合計消費電力は許容値を超えない様に発熱を行う。なお搅拌ファン(j)は常時使用した。図2に電熱発熱制御装置、図3に電熱ヒータと搅拌送風機、図4に電熱発熱制御・測定・記録のパソコン、図5に温・湿度・炭酸ガス濃度測定・送信器を示す。計算機による模擬的実験<sup>[2]</sup>から、発熱周期は4日が、低周波濾波の移動平均期間は8時間が最適としている。また測定不確かさ平滑化の移動平均期間は、測定時間間隔が1分として、偶数の測定点になる9分を最適としている。

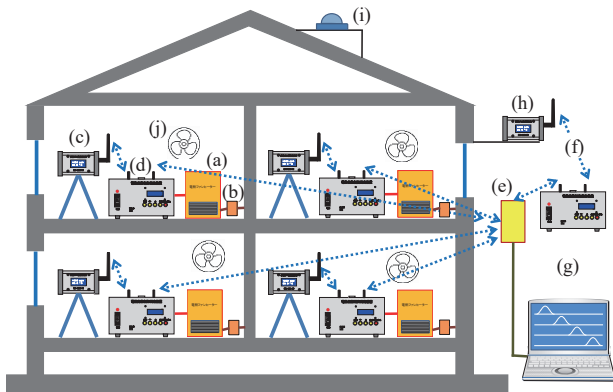


図1 多数室建物の熱性能現場測定システムの概要



図2 電熱発熱制御装置



図3 電熱ヒータと搅拌送風機



図4 電熱発熱制御・測定・記録のパソコン



図5 温・湿度・炭酸ガス濃度測定・送信器

### 5. 熱性能測定実験と結果

横浜市の某集合住宅で本測定システムを試した。機械換気は全て停止して測定した。本測定モデルは、図6の様に、外気を含め全7ゾーン(○番号)として測定した。リビングは2台の発熱装置を同時並行で使用し、トイレのドアは開放して廊下と一体化した。今回は動作確認実験なので、期間短縮のため、発熱周期は2日(48時間)にして、2018年11月14日18:10から18日18:10まで測定した。幾つかの室での電熱発熱量と室温の変化を図7と8に示す。

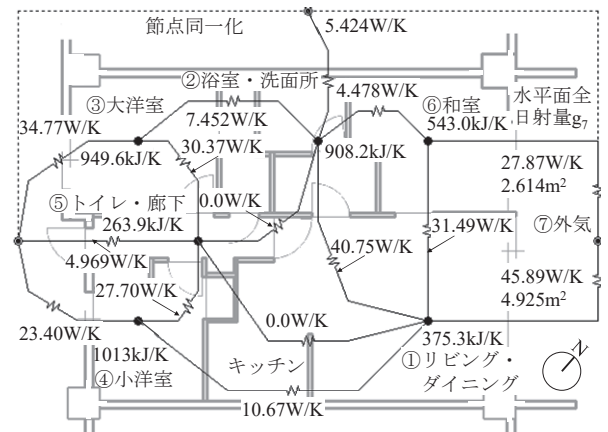


図6 測定の3LDK床面積約66m<sup>2</sup>の住戸と同定結果

これらの測定値をSPIDSに与えシステム同定した。表1~3に同定結果と信頼性評価指標の計算結果を示す。推定された相当熱容量と一般化熱コンダクタンスも図6に示す。各室での電熱発熱量は $g_1$ から $g_6$ なので、日射取得係数は水平面全日射量を $g_7$ として、リビ

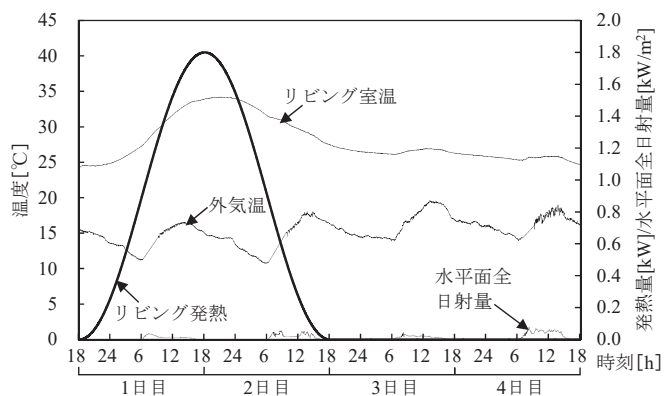


図7 発熱量と室温の変化(リビング)

ング①の日射取得係数は  $r_{1,7} = 4.925$ 、和室のそれは  $r_{6,7} = 2.614$  となった。ここに小・大洋室は隣棟により殆ど日射は当たらない。またシステム同定前提の不適合率は  $\beta = 1.46$ 、決定係数は  $COD = 0.957$ 、単位床面積当りの総合的な熱損失係数は  $2.156\text{W/Km}^2$  となった。発熱量と室温の変化形状も妥当な因果関係を示して、試作した発熱制御と測定機器の正常動作が確認できた。

6. 同定された係数による予測室温と測定室温との比較

システム同定結果の相当熱容量及び熱コンダクタンスにより熱回路網モデルを作り予測計算プログラム NETS<sup>5)</sup>で室温計算を行い、

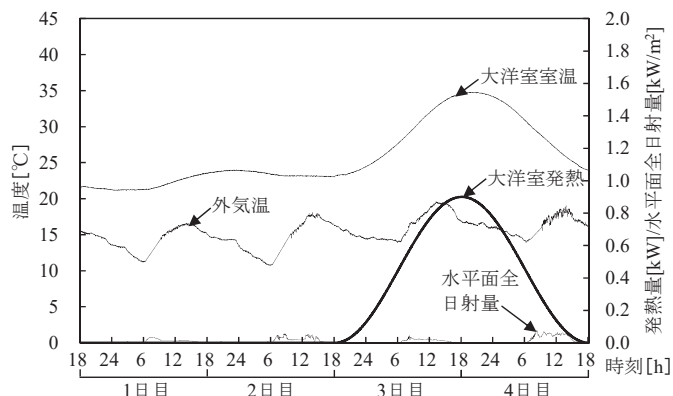


図8 発熱量と室温の変化(大洋室)

表1 相当熱容量  $m$  [kJ/K]の同定結果

$m(1,1)$	$m(2,2)$	$m(3,3)$
375.3	908.2	949.6
$m(4,4)$	$m(5,5)$	$m(6,6)$
1013	263.9	543.0

表2 熱コンダクタンス  $c$  [W/K]の同定結果

$c(1,2)$	$c(1,4)$	$c(1,5)$	$c(1,6)$	$c(1,7)$
40.75	10.67	0.0	31.49	45.89
$c(2,3)$	$c(2,5)$	$c(2,6)$	$c(2,7)$	$c(3,5)$
7.452	0.0	4.478	5.424	30.37
$c(3,7)$	$c(4,5)$	$c(4,7)$	$c(5,7)$	$c(6,7)$
34.77	27.70	23.40	4.969	27.87

表3 日射取得係数  $r$  [m<sup>2</sup>]の同定結果と信頼性評価

$r(1,7)$	$r(6,7)$	$\beta$	COD
4.925	2.614	1.460	0.957

測定された室温変化と比較した。その結果を図9~10に示す。実測室温を予測モデルでの初期室温に用いたが、最初の十数時間程は実測値を下回る現象が全ての室で見られた。その後は実測室温と予測室温が概ね近い値となった。本来は必要な上下階と左右の隣接住戸の室温測定ができず、適切なシステム同定を行える条件は満たされていない。なお既往の類似の測定法の研究では戸建て住戸が殆どで集合住宅での実施例は少ない。

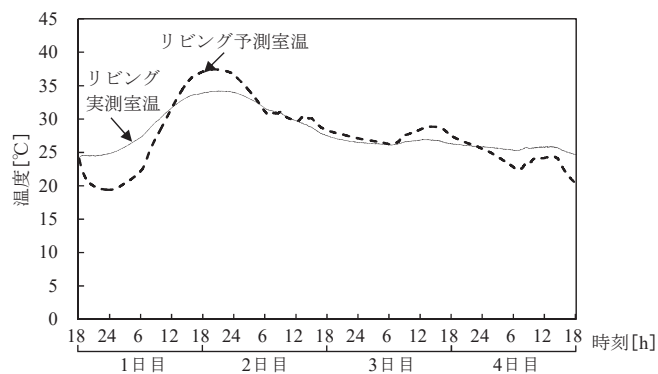


図9 実測と予測室温比較(リビング)

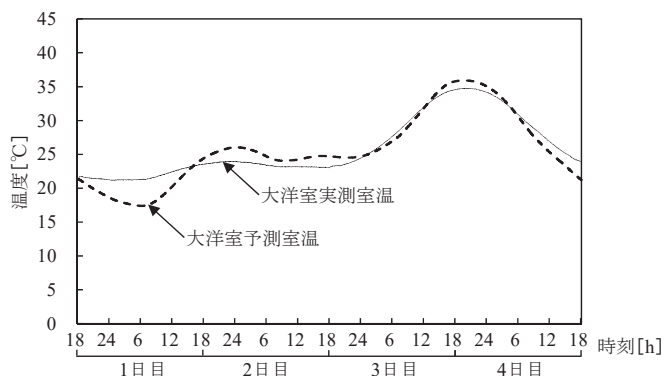


図10 実測と予測室温比較(大洋室)

隣住戸の室温の測定は実際には難しいので、隔壁の内表面の測定値が利用できるか等は今後の検討課題である。さらに本住戸のベランダ側は北向きで日射の影響が少なく、南側も別棟の日陰で日射が当たらない。推定される日射取得係数の妥当性検討も含め、戸建て住宅での実験が必要である。

7. 多数室の換気性能測定システム

本測定システムを図11に示す。炭酸ガスはボンベ(a)から、質量流量制御器と電磁弁切り替え装置の箱(b) (図12)を経由して、各室に供給される。全10室を5室ずつの二系統に分けたので、チューブ(c)は前世代の測定システムに比べて比較的短くてすむ。各室に小型の濃度計(d) (図5)を置き、PC(e)に直結した無線機(f)により(図13)、箱(b)を経由した無線(g)で、ガス流量制御・測定と濃度測定等を行う。こうして長いチューブとケーブルの煩わしきは極力低減した。なお各室のガス攪拌ファン(h) (図3)は、今回は常時稼働した。

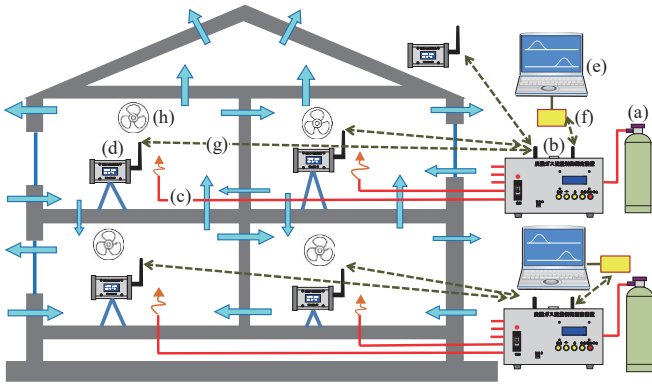


図 11 多数室換気測定システム



図 12 炭酸ガスボンベとガス流量制御装置

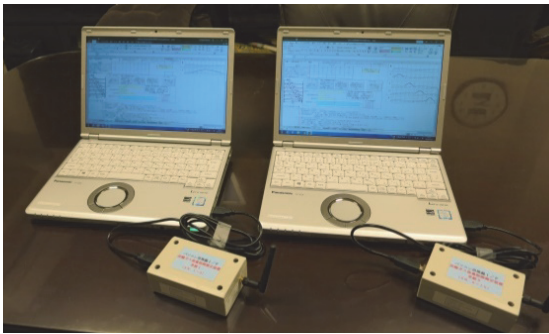


図 13 測定システム制御・測定値集録パソコン

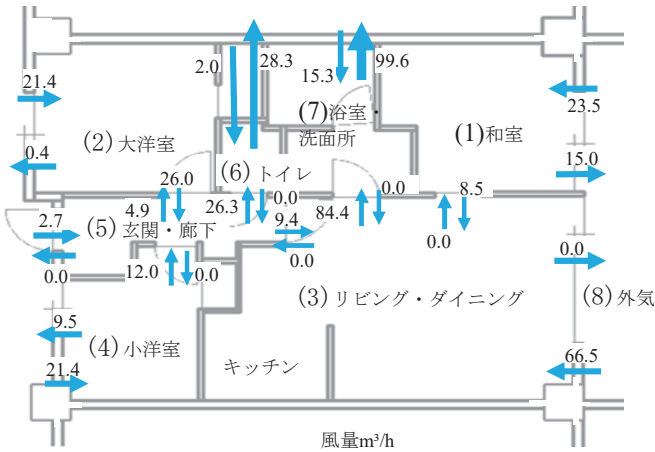


図 14 室間風量のシステム同定結果

表 4 上段は同定容積/下段は幾何的容積(m³)

容積(m³)	$m_{1,1}$	$m_{2,2}$	$m_{3,3}$
同定値	13.94	14.98	44.81
幾何的容積	20.22	24.13	47.53
$m_{4,4}$	$m_{5,5}$	$m_{6,6}$	$m_{7,7}$
13.91	8.52	2.71	7.36
17.98	8.84	5.17	14.4

8. 換気測定実験の概要

前述の集合住宅で本測定システムを試した。浴室・洗面所とトイレから排気の第三種換気状態である。図 14 に示す様に室数は 7 で、和室(節点番号(1)), 大洋室(2), リビング(3), 小洋室(4), 玄関廊下(5), トイレ(6), 洗面所と浴室(7)とした。ガス供給の正弦波形の谷から谷までは各室が同じ 15 分とし、ピーク流量は室の大きさと想定した機械換気量に応じて 2L/min から 12L/min と変えた。測定値は、室濃度、外気濃度、ガス供給流量等である。測定期間は、2019 年 4 月 22 日の 11:30 から 16:45 まで、動作確認なので短めに 215 分間行った。もし長期間にわたり測定を続ければ、各室へのガス供給が一回ずつの一周期 105 分を一括移動平均期間として、換気量の移動平均的な変化もとらえることができる<sup>16)</sup>と考えられる。

各室のガス供給流量と濃度と外気濃度の変化を図 15 と 16 に示す。これらの測定データを SPIDS に与えて得られた室間の風量は図 14 に、推定された有効混合容積は表 4 に示す。全室での換気回数は 1.1、このうち機械排気は 0.92 回毎時と設計風量に近い。なお総床面積は 66m²、平均天井高さ 2.1m、そして屋内容積は 138m³とした。この場合に COD は 0.926 で、 $\beta$  は 0.958 となった。

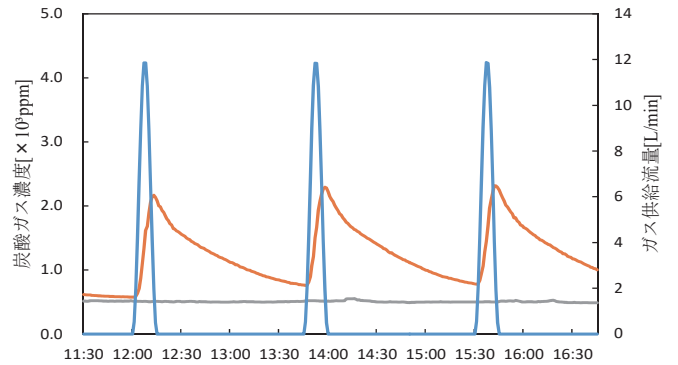


図 15 ガス供給量と濃度変化 (リビング)

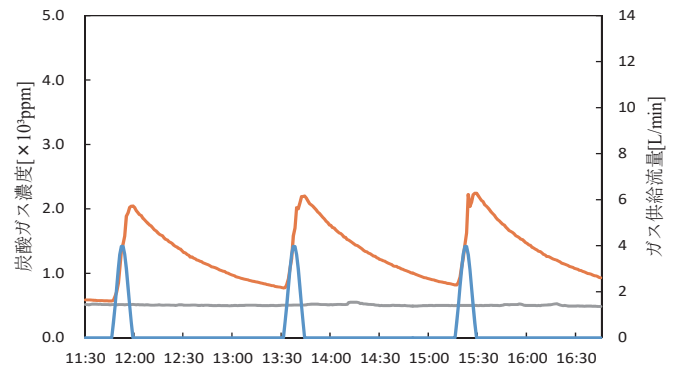


図 16 ガス供給量と濃度変化 (大洋室)

## 9. 同定された係数による予測濃度と測定値との比較

推定された有効容積と風量を用いて NETS の換気とガス流動回路網モデルを作り濃度変化の予測計算を行い測定濃度変化と比較した。これらは図 17 と図 18 に示す。予測濃度は破線で、測定濃度は実線で表す。概ね予測濃度は測定濃度に一致している。当初のシステム同定モデルは、水回り室からの排気は存在しても、外気侵入は無い構造としたところ、小洋室と廊下の間、あるいは和室とリビングの間の風量が 0 になる現象が見られたので、外気侵入もあり得る一般的な構造にしたところ、本報の同定結果になった。水回り室の天井裏にはダクトの漏れや短絡が無いとは言えない。また当住戸は 4 階なので外風圧の影響もあり、各室が平均的には負圧で、外気侵入が起こるとしても、外気への漏出が起こる場合もあり得る。なお実用上は濃度測定範囲の制約等があるので、励振のフィードバック制御機能も必要と考えられる。

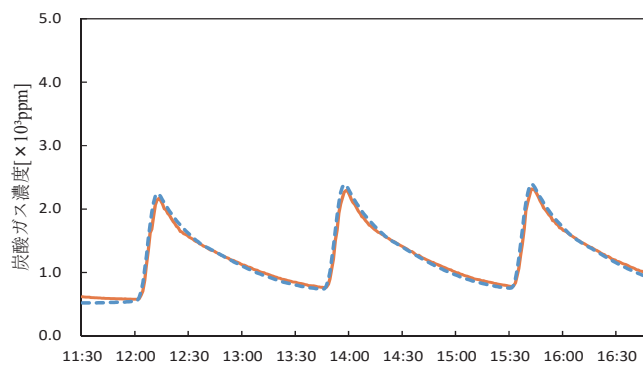


図 17 実測と予測濃度比較 (リビング)

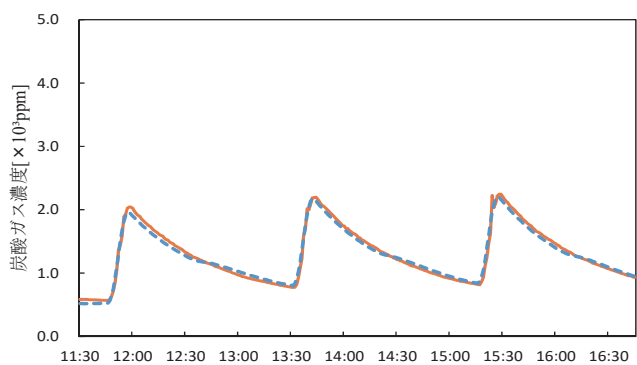


図 18 実測と予測濃度比較 (大洋室)

## 10. 結言

第二世代までの測定システムでは多数室換気測定機能だけで熱性能測定機能は無かったが、この第三世代のシステムでは熱性能測定も複合的に実施できるようにした。本装置システムは最大 10 室に対応可能とした。各室に設置する小型のセンサーは、炭酸ガス濃度を測定するだけでなく温・湿度も測定する。そしてラップトップパソコンに無線送信することで電線は不要とした。換気測定用の炭酸ガスを各室に供給する装置も、各室に独立して設置できることが望ましいが、ガス流量計測制御装置のコストから、その流量計測制御装置は 2 台で其々最大 5 室対応とした。こうして二系統に分けたことで、従来の一系統で十室程度に対応するよりも短いチューブとなり、実用性を高めた。システム同定計算プログラムも、低周波濾波

と測定不確かさ標準偏差の推定機能等を改良した表計算 SPIDS を開発した。そして集合住宅の一住戸での動作確認実験を実施して、試作装置とソフトの正常動作の確認をした。なお今後の研究・開発課題は次の事項があげられる。

- (i) 熱性能測定については、戸建住宅での実験が必要である。また可能なら環境実験室内の実験住宅での測定が望ましい。
- (ii) 集合住宅に関しては隣戸との境界壁の内表面温度を測るなど何らかの方法を考案する必要がある。
- (iii) 間欠的な正弦波形の励振の、最適な最大値、周期、停止期間そして他室の励振との時間的な関係を探る必要がある。
- (iv) 室温やガス濃度が適切な測定範囲に入る様に、励振の最大値の自動制御か遠隔制御の機能が必要である。
- (v) 提案している信頼性評価指標  $\beta$  の検証は計算機実験だけでなく実測定でさらに必要である。
- (vi) 同定パラメータは表計算 SPIDS では、既知と未知扱いが任意に設定できるので試す必要がある。
- (vii) 隙間風換気量の時間的な変化を把握する移動一括最小二乗法<sup>[6]</sup>も実験する必要がある。

## 謝辞

本研究は、神奈川大学工学部重要機器整備費と JSPS 科研費 JP16K06623 の助成も受けました。また計算プログラムの開発については日本工業検査の益子智久と、実験については 2018 年度卒研生の石橋佳大の他にも多くの卒研生の貢献がありました。

## 参考文献

- [1] 奥山博康, 一般拡散システムの回路網による状態方程式とそのシステムパラメータの同定理論, 日本建築学会論文報告集, 1984 年 10 月, 344, 103-115
- [2] Hiroyasu Okuyama et al. System parameter identification theory and uncertainty analysis methods for multi-zone building heat transfer and infiltration, *Building and Environment*, 54, 2012, 39-52.
- [3] Hiroyasu Okuyama, System Identification Theory of the Thermal Network Model and an Application for Multi-chamber Airflow Measurement, *Building and Environment*, 1990, 25, (4), 349-363
- [4] Hiroyasu Okuyama, Recent Progress on the Multi-Chamber Airflow Measurement System, 1992 International Symposium on Room Air Convection and Ventilation Effectiveness ISRACVE, 22-24 July 1992, Tokyo, 351-356.
- [5] Atsumasa Yoshiura, Hiroyasu Okuyama, et al. Calculation Examples Using the NETS Simulation Program as a General-Purpose Network Model for Heat, Air, and Gas Movement in Buildings, *Proceedings of BSO 2018: 4th Building Simulation and Optimization Conference*, Cambridge, UK: 11-12 September 2018, 124-131
- [6] 奥山, 吉浦, 移動一括最小二乗法による換気量の時間変化の測定法, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 41409, 2017, 875-876

# 走査プローブ顕微鏡によるナノ物質の構造研究

客野 遥\*

## Structure Analyses of Nanomaterials Using Scanning Probe Microscope

Haruka KYAKUNO\*

### 1. 緒言

2017年度工学部特別予算重要機器整備費により、「島津製作所製走査型プローブ顕微鏡 SPM-9700HT」を導入した。当研究室では、ナノカーボンやゼオライトなどのナノ構造物質、およびその物質に吸着した原子・分子が発現する新規な物性の探索やその発現機構の解明などの研究を行っている[1-4]。これまでの研究では、X線回折実験、示差走査熱量測定、分子動力学シミュレーションなどを主な実験手法として用いてきた。しかしこれらの測定では、物質の表面構造を選択的に調べることは困難であった。そこで、本装置を導入するに至った。後述するように、本装置は試料表面を探針で走査することで表面の3次元形状を高倍率で観測することが可能である。本装置の導入によって当研究室では現在、ナノ構造物質表面のナノスケールでの直接観察、物質表面の局所的な物性測定、新規な表面物性の探索・解明、およびそれを応用したナノデバイスの創製を目的とした研究を展開している。本稿では、この走査型プローブ顕微鏡の装置概要とともに、装置導入からこれまでに得られた研究結果を報告する。

### 2. 装置概要

走査型プローブ顕微鏡 (scanning probe microscope; SPM) とは、試料表面を微小な探針 (カンチレバー) で走査することによって3次元形状像、粘弾性像、磁気力像、摩擦力像、電流像、電位像などを高倍率で観察する顕微鏡の総称である[5]。具体的には、探針と試料との間にはたらく原子間力を利用する原子間力顕微鏡 (Atomic Force Microscope; AFM) や、探針と試料との間に流れるトンネル電流を利用する走査型トンネル顕微鏡 (STM; Scanning Tunneling Microscope) をはじめ、数多くの種類がある。SPMは光学顕微鏡に比べると分解能が非常に高く、AFMやSTMでは原子・分子レベルで試料表面の凹凸を観察することが可能である。しかも、電子顕微鏡と違って小型で扱いやすいということや、必ずしも高真空を必要とせず大気中や溶液中でも使用できるという特長もあり、近年のナノテクノロジー研究で幅広く用いられるようになった。

「走査型プローブ顕微鏡 SPM-9700HT」は、図1のように、探針

を走査して観測・測定を行う「SPMユニット」、データ収集を行う「制御ユニット」、各種測定パラメータの設定やデータ表示・解析を行う「ホストコンピュータ」などから成り、単相AC100Vで動作する。測定分解能は水平方向0.2nm、垂直方向0.01nmであり、標準仕様での最大走査範囲は水平方向10 $\mu$ m、垂直方向1 $\mu$ mである。SPM-9700HTでは、標準仕様で5つの測定モードが選択可能である。それぞれ、「コンタクトモード」、「ダイナミックモード」、「位相モード」、「水平力モード」、「フォースモジュレーションモード」である。またこれら以外に、「電流モード」、「表面電位モード」、「磁気力モード」などを後で追加することができる拡張性も備えている。本項では、代表的なAFM動作モードであるコンタクトモードとダイナミックモードについて説明する。

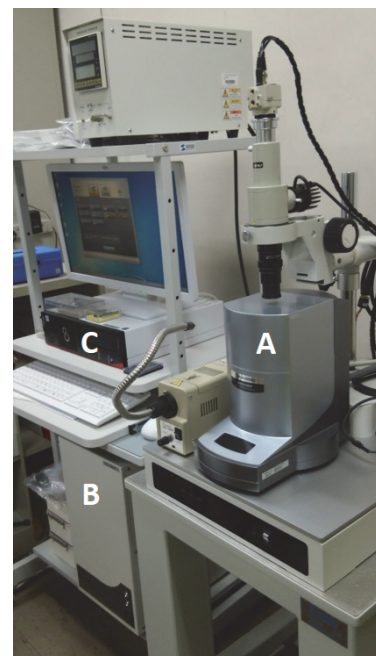


図1. 走査型プローブ顕微鏡 SPM-9700HT の測定システム。図中の各部 A-C の名称はそれぞれ、A: SPM ユニット、B: 制御ユニット、C: ホストコンピュータである。

\*准教授 物理学教室

Associate Professor, Institute of Physics

SPM-9700HT の SPM ユニット内部の写真と測定概念図を、図2に示す。AFM動作モードでは、探針を有する片持ち梁 (カンチレ

バー) を力の検出に使用している。カンチレバー先端の探針と試料との間にはたらく原子間力によって、カンチレバーの反りや振動が変化する。その変化を、カンチレバー背面に照射したレーザー光の反射により感度良く検出する(図 2(b))。それと同時に、試料を載せたステージは、 piezo素子を用いたスキャナにより 3 次元的に精密に走査・制御される。一般に、カンチレバーは試料表面 (XY 平面) 上を走査し、カンチレバーの反りが一定、または振動が一定になるように、試料からの距離 (Z 方向の高さ) をフィードバック制御する。カンチレバーの反りが一定のモードを「コンタクトモード」、カンチレバーの振動が一定のモードを「ダイナミックモード」と呼ぶ。なおフィードバックとは、検出されたカンチレバーの変位または振幅が、目標値であるオペレーティングポイントと一致するように試料とカンチレバーとの距離をスキャナで制御することを意味する。走査のそれぞれの位置 (X, Y 軸) に対応した Z 軸のフィードバック量を取り込むことにより、試料表面の 3 次元凹凸像を得ることができる。凹凸像は濃淡表示や 3 次元鳥瞰図で表現され、画像解析処理ソフトウェアで任意の断面形状や面の粗さ解析などをすることができる。以下に、コンタクトモードとダイナミックモードの原理についてももう少し詳しく説明する。

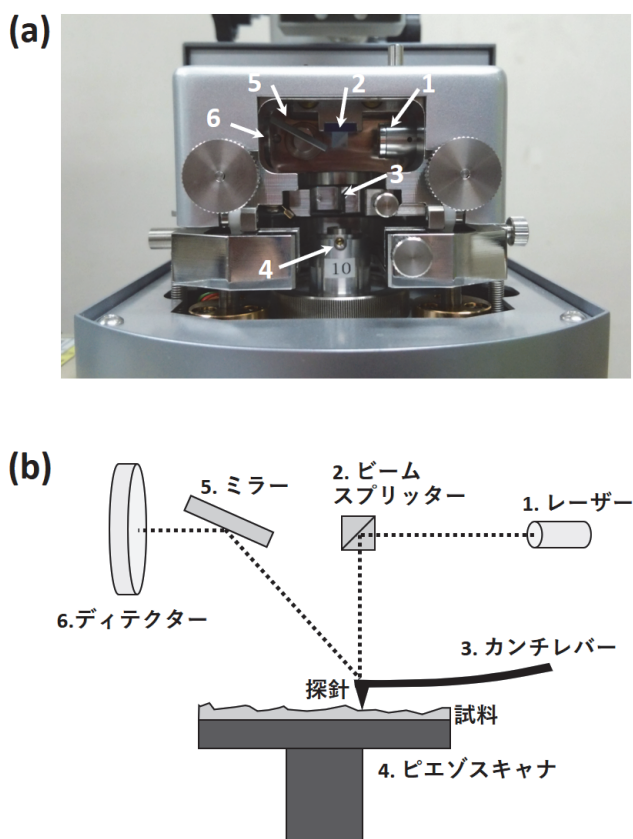


図 2. SPM ユニットの内部構造。(a)の写真に番号で示した各部は、(b)の模式図中に番号で示した各部に対応する。(b)の図中の点線は、レーザーの光路を表す。

コンタクトモードとダイナミックモードではともに、試料の表面形状である高さ像と、フィードバックの目標値からの差分である偏差像を観察することができる。コンタクトモードでは、探針と試料

との間にはたらく斥力を検出し、探針の垂直方向のたわみが一定になるようにスキャナの Z 方向をフィードバック制御しながら試料表面を走査する。一方ダイナミックモードでは、カンチレバーを共振周波数付近で振動させる。この状態でカンチレバーが試料に接近すると、原子間力によって振幅が変化する。この現象を利用して、カンチレバーの振幅が一定になるようにフィードバック制御しながら試料表面を走査する。ダイナミックモードでは走査中に試料を引っかくことが少ないため、動きやすい試料や柔らかい試料、吸着性のある試料でも観察することができる。

### 3. 実験目的と方法

本研究では、空气中加熱処理による単層カーボンナノチューブ (single-walled carbon nanotubes; SWCNTs) バンドル試料の表面構造変化を調べることを目的として実験を行った。SWCNT は炭素原子のみから成るナノ構造物質であり、1 次元の円筒空洞を有する[6]。一般に、未処理の SWCNT はチューブ先端が閉じた構造をしている。そのため、その内部空洞に原子・分子を内包させる際には開口処理が必要である。開口処理法の 1 つとして、空气中加熱処理がある。この方法では、空气中でおおよそ 600°C 以上の高温加熱をすることにより SWCNT を燃やし、チューブの先端や壁面に穴を開ける。しかし、加熱時に SWCNT がどのように燃えるのかは十分明らかにされていない。

本研究では、e-DIPS 法[7]により作製された平均直径 1.4 nm の SWCNT 試料を用いた。試料の空气中加熱処理には、熱重量分析装置 (TGA-50, 島津製作所) を用いた。昇温速度 20 °C/min で室温から 1000 °C まで空气中加熱を行い、試料の質量を約 50% 減少させた。以後、未処理の試料を「試料 A」、質量を約 50% 減少させた試料を「試料 B」と呼ぶことにする。試料 A と試料 B はそれぞれ、1-メチル-2-ピロリドン (NMP) に浸し、超音波洗浄機を用いて試料塊が無くなるまで分散処理を施した。この試料 A, B の分散溶液を、温度 150°C に熱したホットプレート上で Si 基板にそれぞれ滴下した。滴下した溶液は、常温の窒素ガスを吹き付けることによって基板上に蒸着させた。

### 4. 実験結果と考察

基板上に蒸着した試料を、SPM-9700HT の「ダイナミックモード」を用いて観察した。得られた AFM 像の一例を図 3 に示す。試料 A と試料 B のどちらにおいても、SWCNT のバンドル構造を観測することができた。試料 A において基板上的測定位置を変えて複数回の測定を行ったところ、複数のバンドルが集まり複雑に絡み合っネットワーク上の構造を形成している様子(図 3(a)左)や、1 本だけで孤立した SWCNT バンドル(図 3(a)右)が確認された。試料 B についても同様に複数回の測定を行った。図 3(b)に示すように、試料 B では、試料 A と比べてバンドルの長さが短くなっていることが分かる。なお、AFM 像中の白い斑点は、e-DIP 法による SWCNT 試料作製時に用いられた金属触媒などの不純物であると考えられる。

孤立した SWCNT バンドルの AFM 像において、解析ソフトウェアを用いてそのバンドル長さの解析を行った。解析画像の一例を図 4 に示す。図のように、SWCNT バンドルを折れ線で近似し、複数のバンドルについて平均をとることで長さを見積もった。その結果、

試料 A では孤立バンドルの平均長さが  $6.26 \mu\text{m}$  であるのに対し、試料 B では平均長さ  $1.43 \mu\text{m}$  であった。すなわち、空气中加熱処理によってバンドルの長さが短くなることが分かった。

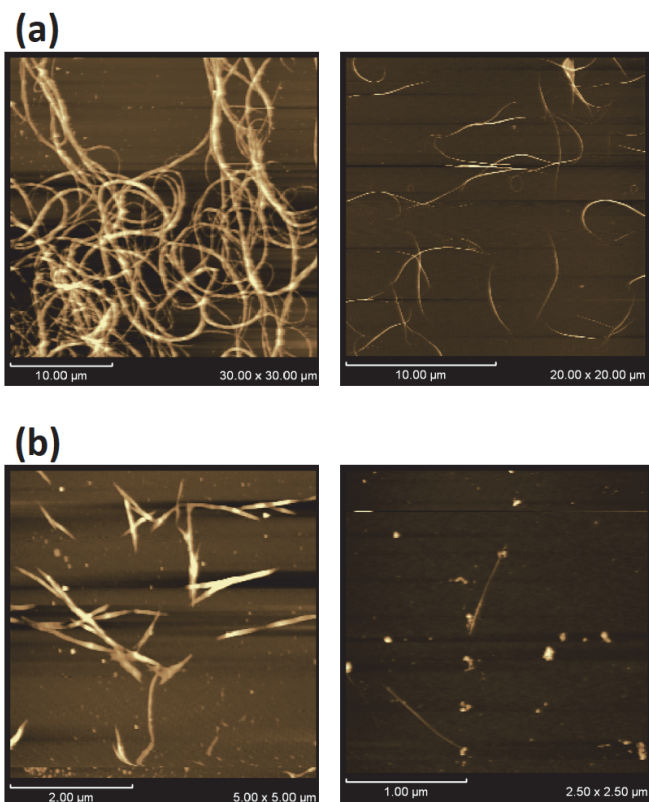


図 3. SWCNT バンドル試料の AFM 像. (a) 試料 A (未処理の試料), (b) 試料 B (空气中加熱処理により質量を 50% 減少させた試料). (a) と (b) ともに 2 枚の像を示しているが, これらの像は Si 基板上の異なる場所でそれぞれ観測された。

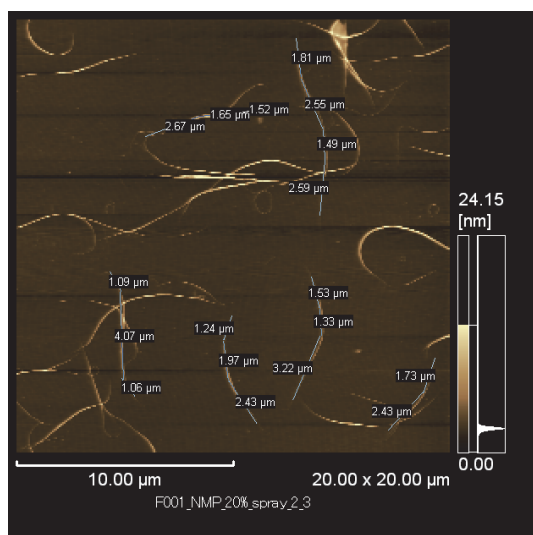


図 4. SWCNT 孤立バンドルの長さ解析画像の一例. 図は試料 A の孤立バンドルについて行われた解析結果. この画像以外にも, 複数の画像について解析を行った. また試料 B についても同様に, 複数の孤立バンドルについて解析を行った。

## 6. 結言

本研究では走査型プローブ顕微鏡 SPM-9700HT を用いて, 空气中加熱処理による SWCNT バンドルの構造変化を調べた. その結果, SWCNT バンドルは空气中加熱処理によってその長さが短くなることが分かった. バンドルの長さが短くなる機構として, 空气中最もよく触れるバンドル先端部分から選択的に燃える可能性などが考えられる. そこで現在, バンドルの太さやバンドル先端部分の高さに関する定量的解析も行っている. ただし今回の実験に用いた 2 種類の SWCNT 試料 (試料 A と試料 B) は, 別々の基板にそれぞれ蒸着された非同一試料である. よって, より系統的な実験を行うために, 試料を蒸着させた Si 基板ごと電気炉で空气中加熱し, 同一の SWCNT バンドルについて解析することを現在計画している. このような実験・解析の工夫により, 空气中加熱処理によって SWCNT バンドルがどのように燃えるのか, その機構が解明されうると考えている. さらに今後は, SWCNT をはじめとするさまざまなナノ構造物質について, その表面構造だけでなく表面物性 (粘弾性や摩擦力など) も精力的に解析し, 新規な表面物性とその応用を探究するつもりである。

## 謝辞

本装置は 2017 年度工学部特別予算重要機器整備費によって導入されたものであり, 関係各位に深く感謝いたします。

## 参考文献

- [1] H. Kyakuno, K. Matsuda, Y. Nakai, T. Fukuoka, Y. Maniwa, H. Nishihara, and T. Kyotani, *Chem. Phys. Lett.* 571, 54-60 (2013).
- [2] H. Kyakuno, M. Fukasawa, R. Ichimura, K. Matsuda, Y. Nakai, Y. Miyata, T. Saito, and Y. Maniwa, *J. Chem. Phys.* 145, 064514 (2016).
- [3] H. Kyakuno, K. Matsuda, Y. Nakai, R. Ichimura, T. Saito, Y. Miyata, K. Hata, and Y. Maniwa, *Sci. Rep.* 7, 14834 (2017).
- [4] H. Kyakuno, H. Ogura, K. Matsuda, and Y. Maniwa, *J. Phys. Chem. C* 122, 18493-18500 (2018).
- [5] 走査型プローブ顕微鏡 SPM-9700HT (島津製作所) web ページ, <https://www.an.shimadzu.co.jp/surface/spm/spm/index.htm>.
- [6] S. Iijima and T. Ichihashi, *Nature* 363, 603-605 (1993).
- [7] T. Saito, W.-C. Xu, S. Ohshima, H. Ago, M. Yumura, and S. Iijima, *J. Phys. Chem. B* 110, 5849-5853 (2006).



## 宇宙線大気蛍光観測における紫外線パルスレーザーの活用

有働 慈治\*

Application of UV pulse laser for  
Cosmic Ray observation using Air Fluorescence technique

UDO, Shigeharu\*

## 1. はじめに

宇宙線観測の手法のひとつに、空気シャワー粒子によって大気分子が発する励起光（大気蛍光）を測定する方法がある。筆者の参加するテレスコープアレイ実験でも、大気蛍光を検出する望遠鏡と空気シャワー粒子検出器群（空気シャワーアレイ）を用いた超高エネルギー宇宙線観測を続けている [1]。

大気蛍光観測では、大気中に突入した宇宙線が作る空気シャワーの発達過程を観測することができるため、元となる宇宙線のエネルギーを精度よく求めることができ、さらに宇宙線核種同定のための情報を得ることもできる。反面、遠方からの微かな光を検出するため、晴天夜にしか観測できず、晴れていても大気の状態に大きく影響されてしまうというデメリットもある。

大気による影響は、湿度に依存する大気蛍光発光効率と、観測地点までの伝播中の減衰が主であるが、ここでは減衰について述べる。大気中での減衰は、空気分子によるレイリー散乱と、塵や埃、エアロゾルによるミー散乱に大別できる。このうち入射強度  $I_0$  に対する透過強度  $I$  は、式 (1) のレイリー散乱によって計算することができる。

$$I = I_0 \frac{8\pi^4 N \alpha (1 + \cos^2 \theta)}{\lambda^4 r^2} \quad (1)$$

$N$  は経路上の大気分子数、 $\alpha$  は分子の分極率、 $\theta$  は散乱角、 $\lambda$  は大気蛍光の波長、 $r$  は散乱点から観測点までの距離である。

ここで、大気蛍光の波長  $\lambda$  毎の発光効率は実験室レベルでよく調べられており [2]、300~400 nm にいくつかの輝線を持つことが分かっている (図 1)。最も発光効率が高い波長は 337 nm、次いで 358 nm で、この波長に近い紫外線光源が大気蛍光望遠鏡の性能評価や校正に必要となる。Nd:YAG レーザーの第 3 高調波は、二番目に発光量の多い 358 nm に近く、テレスコープアレイ実験でも大気状態を測定するための LIDAR (Light Detection And Ranging) システムと、大気測定と大気蛍光望遠鏡の校正にも用いられる CLF (Central Laser Facility) で使用されている。

## 2. 装置概要

2017 年度工学部重要機器備品費の一部によって、小型 Q スイッチパルス Nd:YAG レーザー (Ultra 50 Stable, Quantel 社) を

\*准教授 物理学教室

Associate Professor, Institute of Physics

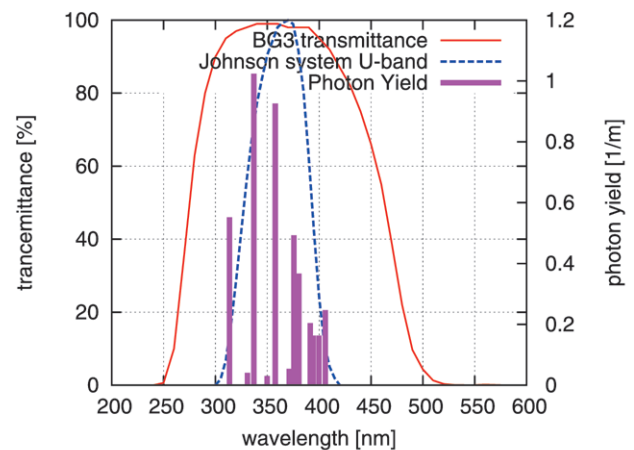


図 1: 大気蛍光の発光スペクトルと紫外領域における二種のフィルターの透過率。

購入した。1064 nm の基本波を発振する Nd:YAG 結晶を使ったもので、Q スイッチによる増幅で最大 50 mJ のパルスレーザーを得ることができる。

レーザー射出部には波長変換のための非線形結晶モジュールと、基本波と波長変換光を分離する波長セパレータが取り付けられている。非線形結晶に入射した光は、二次の非線形誘導分極による三波混合によって、式 (2) を満たす波長  $\lambda$  に変換される。

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2} \quad (2)$$

今回購入したのものには二つの結晶が入っている。一つ目の結晶に入射する波長は  $\lambda_1 = \lambda_2 = 1064$  nm であるため、発生する光は  $\lambda = 532$  nm の第 2 高調波となる。二つ目の結晶に基本波 ( $\lambda_1 = 1064$  nm) と第 2 高調波 ( $\lambda_2 = 532$  nm) を入射することで、第 3 高調波  $\lambda = 355$  [nm] を得ることができる。これによって得られる第 3 高調波は、最大エネルギー 12 mJ、繰り返し周波数 20 Hz、ビーム径 3 mm、拡がり角は 5 mrad となっている。

## 3. 測定例

このレーザーを用い、実際に大気蛍光望遠鏡に使われているフィルターと、天文用途に使われるフィルターの透過率を測定した。

図 2 のように、射出されたレーザーは 2 枚の波長分離ミラー (HBSY13, Thorlabs 社) で折り返され、波長純度を高めると同

時に水平になるよう調整されてエネルギープローブに入射する。プローブの直前にフィルターを設置(図3)し、それぞれの入射エネルギーを測定する。エネルギープローブには  $10 \mu\text{J} \sim 25\text{mJ}$  の測定が可能な焦電センサー (J-10MB-HE, Coherent 社) を使用した。プローブからの信号はエネルギーメータ (Field Max II TOP, Coherent 社) で読み取られ、USB 接続で PC に保存される。レーザー射出は 5 Hz で 1000 shots とし、エネルギープローブのセルフトリガーでデータを取得した。

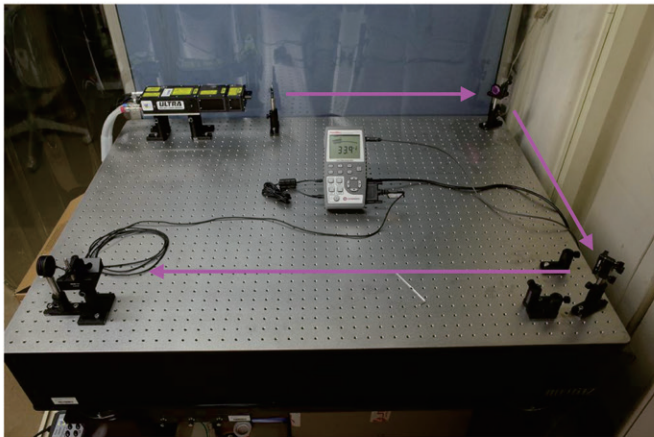


図 2: レーザーは左上のレーザー本体から射出され、左下のエネルギープローブで測定される。中央にあるのはプローブからの信号を取得・表示するエネルギーメータ。

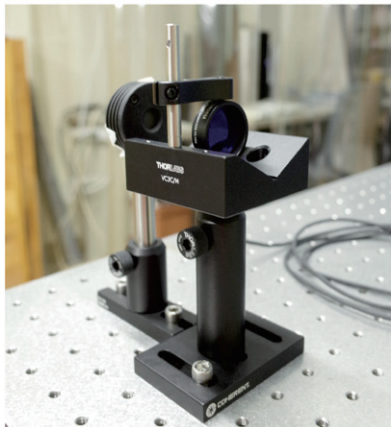


図 3: 測定するフィルターをエネルギープローブの前方に設置した。

測定したフィルターは、Schott 社製 BG3 ガラスを使用した 2 mm 厚のもの (FGB25M, Thorlabs 社) と、ジョンソン/カザンズ U バンドフィルター 5 mm 厚 (Custom Scientific 社) である。仕様上の透過率(図1)では、BG3 が 98.7% @1 mm, U バンドフィルターが 94.3% @1 mm となっている [3][4]。

レーザーのエネルギー測定結果と、それをもとに算出した透過率を表 1 に示す。透過率の理論値は、1 mm あたりの透過率をもとに、厚さについてべき乗して求めた。測定結果から求めた透過率は、U バンドフィルターでは理論値に近い値が得られたが、

BG3 フィルターでは誤差を考慮しても理論値からはずれた値となった。

表 1: エネルギー測定値と透過率

フィルター	測定値 [ $\mu\text{J}$ ]	透過率 [%]	理論値 [%]
なし	$71.6 \pm 7.1$	-	-
BG3	$60.0 \pm 5.8$	$83.8 \pm 12.0$	97.4
U バンド	$51.7 \pm 5.4$	$72.2 \pm 11.3$	74.6

また、測定データの分布を図 4 に示す。U バンドフィルターのヒストグラムには低エネルギー側にカットオフがあるように見え、エネルギープローブのセルフトリガーの閾値の影響が考えられる。従って、U バンドフィルターの透過率も、本来は今回算出した値よりも低い可能性がある。

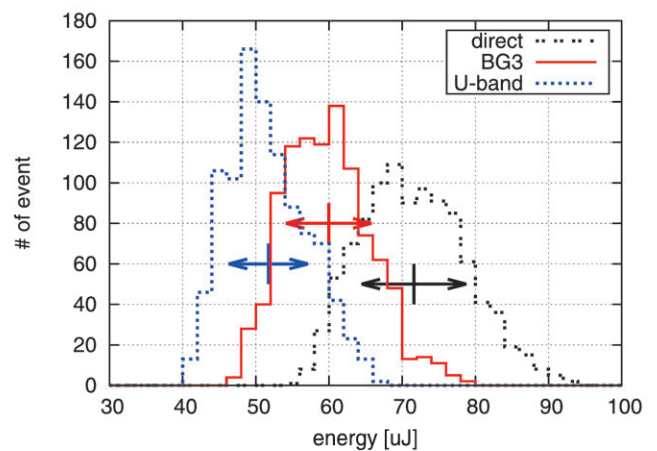


図 4: レーザー透過率の測定結果。図中の十字線は平均値と標準偏差を示す。

#### 4. まとめ

今回の測定では、レーザー射出強度を適切に設定できていなかった、または外部トリガーを使うべきだったことが結果から推測される。各種フィルター透過率の測定は、現在受け入れ中の科研費研究課題でも必要となるため、今後はより信頼できる測定を行いたい。

また、本装置は汎用レーザー光源として小型で取扱いが容易なため、教育用途でも様々な光学測定に利用できる。光学素子や周辺機器を充実させ、実験実習や卒業研究などへの活用も進めたい。

#### 参考文献

- [1] テレスコープアレイ実験による最高エネルギー宇宙線の探索, 有働慈治, 神奈川大学工学研究所所報, 第 32 号, (2009)
- [2] Photon yield from nitrogen gas and dry air excited by electrons, *Astroparticle Physics*, 20, (2003)
- [3] <https://www.schott.com>
- [4] UBVR PASSBANDS, M.S.Bessel, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 102, (1990)

## 5. 私学助成重要機器整備費関連研究

5-1 蛍光 X 線元素分析システムについて

井川 学



# 蛍光 X 線元素分析システムについて

井川 学\*

X-ray fluorescence elemental analysis system

Manabu IGAWA\*

## 1. 導入の経緯

神奈川大学工学部では、付属の研究施設である工学研究所に様々な分析機器を配備し、共同利用が行われてきた。成分分析については ICP 質量分析装置(ICP-MS)を配備し、溶液中の金属イオンの高感度分析に用いている。この ICP 質量分析装置は、2009 年度に私立学校研究設備整備費補助金を申請して購入した機種である。成分分析は材料評価の第一ステップとして無くてはならないものであり、この分析装置は多くの研究室で利用されている。しかし、この装置は極めて高感度の分析装置であり、濃度の高い試料に対しても検量線の直線性が高くそのまま分析できるものの、検出部を汚染して次の分析時にはクリーニングに時間がかかるという問題がある。また、液体試料を対象とするため、固体試料は溶解させなくてはならない不便さがある。

これに対して、2016 年度に申請し購入した蛍光 X 線システムは、試料に X 線を照射して蛍光 X 線として現れる元素ごとの特性 X 線を検出するものであり、固体を面倒な前処理無しに分析できる極めて便利な装置である。さらに、原子番号 4 以上の全ての元素を簡単に定量できることから高い汎用性がある。今後、ICP 質量分析装置は極微量の分析に、本装置はもう少し高い濃度から主成分分析までと、用途別に用いることにより材料の分析がより完全なものとなることが期待される。

## 2. 測定原理と装置の特徴

蛍光 X 線分析装置とは、試料に強度の強い X 線を当て、試料中の構成元素の最内殻電子を叩き出し、そこに外側の電子が遷移するとき生じる余分のエネルギーが X 線として放出され、その特有なエネルギーに対応する特有な波長の X 線 (蛍光 X 線) を検出することにより、波長から元素の定性、X 線強度から定量する装置である。

今回購入したシステムの特徴は以下のようにまとめられる。

(1)簡便に多元素の分析が可能であること：ICP 質量分析法と異なり、炭素、窒素、酸素など、原子番号 4 以上のより多くの元素を高感度で定量できる。また、分析時は前処理に労を要さず固体をそのまま分析できる。液体中の成分もイオン交換能を有するろ紙上に吸着させることにより簡単に分析できる。

(2)半定量が可能であること：従来の蛍光 X 線分析は非測定成分を

推定して定量を行うことによる誤差が生じる可能性があったが、ソフトウェアの充実により散乱線を使って、非測定成分をバランス計算するため、定量性が向上した。それにより、標準試料無しでも多くの含有元素の半定量が可能となっている。



図 1 走査型蛍光 X 線分析装置

(3)装置構成：システムの主要な装置は波長分散の蛍光 X 線分析装置(リガク、ZSX Primus IV)であるが、エネルギー分散の蛍光 X 線分析装置(リガク、NEX CG)もシステムの一部として購入した。エネルギー分散では分析元素数と分析感度に制限があるが、真空下で変性する試料の常圧下 (または He 雰囲気下) 分析も可能であり、スクリーニング目的にも有効に利用できる。

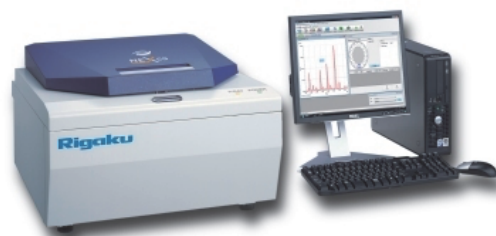


図 2 エネルギー分散型蛍光 X 線分析装置

(4)ポイント分析が可能：この装置では 500 μm のポイント分析が可能であることから、微小試料の分析やマッピング測定も可能になる。

(5)メンテナンスと分析感度の改善：従来の X 線管球に比して、X

線の出力強度がおよそ 1.5 倍高まり、寿命も長くなっている。さらに X 線が通過する窓材も薄型化され、これらにともない感度が高まり、メンテナンスもより容易になっている。

この装置は今後、従来の ICP 質量分析装置の使用だけでなく、より多くの研究室で使用されることが予想される。この装置の特徴は、簡便、高感度、非破壊に集約されるので、今後、高頻度で利用されるものと思われる。例えば、危険を伴うフッ化水素でしか溶解できないケイ素の固体のままでの迅速定量、工芸品の表面非破壊定性分析、溶解すると皮膚のかぶれを生じる漆器の固体のままでの分析なども考えられ、この機器の活用により広い分野の科学の進展が期待される。

### 3. 研究への応用例

本機器は多様な研究課題に利用されている。以下に本機器を利用することによって進展した各研究室の研究報告をまとめて示す。

#### 3.1 エアロゾル中の金属イオンの分析 (物質生命化学科井川研究室)

蛍光 X 線分析法(XRF)は簡易で非破壊的な分析法であり、一度に複数の元素を測定することのできる有効な方法であるが、測定値の信頼性に問題がある場合があり、環境分析において普及してはいない。本研究ではエアロゾル分析に XRF を適用した場合の分析値の正確性を評価するとともに、XRF によりエアロゾル中の幾つかの元素について水溶性成分と非水溶性成分の比率の変化について検討した。

実験は、横浜にある神奈川大学六角橋キャンパス講義棟屋上にて、ハイボリュームエアサンプラーを用いて粒径別(10 $\mu$ m 以上と以下)に大気中のエアロゾルを石英繊維フィルター上に採取した。その一部を切り取り XRF を用いて全量分析した。さらに、残りのフィルターの一部を細断し、純水 100 ml で 1 時間超音波抽出し吸引濾過した。使用したメンブランフィルターを乾燥させた後、XRF を用いて分析し、水への不溶性成分を

定量した。XRF との比較のために行った主要無機イオンと金属成分の ICP-MS 分析においては、石英繊維フィルターを 2cm 四方にカットし、硝酸 4ml と過酸化水素 1ml を加えて 150 $^{\circ}$ C で 4 時間加压分解した。これを純水で 20 ml に調製した後、メンブランフィルターを用いて吸引濾過後に分析した。結果はそれぞれ採取試料の値を範囲内とする検量線の式に基づいて算出した。なお、XRF には波長分散型蛍光 X 線分析装置を用いた。検量線用試料は点滴濾紙法

表1. 各元素の検量線 [kcps/ $\mu$ g]

元素	傾き	切片	相関係数
Na	0.0098	+0.0076	0.995
Mg	0.0320	+0.0182	0.999
Al	0.1700	+0.0810	0.996
P	0.2298	+0.1517	0.950
S	0.1104	+0.3996	0.993
Cl	0.0078	+0.0367	0.965
K	0.3149	+0.1778	1.000
Ca	0.2470	+0.2674	1.000
V	0.0768	+0.0098	0.989
Cr	0.0974	+0.8415	0.970
Mn	0.1120	+0.0423	0.993
Fe	0.2705	+0.4321	0.999
Co	0.1594	+0.0307	0.983
Ni	0.1845	+0.0872	0.986
Cu	0.1880	+0.0339	0.988
Zn	0.2007	+0.0351	0.980
Pb	0.1650	+0.4767	0.970

により調製し、石英繊維フィルターとセルロース混合エステルメンブランフィルターを用いたが、石英繊維フィルターでは厚みがあり、浸透した成分を十分に測定できていない可能性があったため、メンブランフィルター上の測定結果を用いて結果を算出した。表 1 に各元素の検量線の式を示す。いずれの元素も検量線の直線性は高いが、Na 等の軽元素では検出感度が低く ICP-MS やイオンクロマトグラフィーによる分析結果よりも大きな値となった。このような分析誤差は、環境試料の不均一性が原因とされる。また塩素は X 線の照射によって揮発するため、分析済試料の再分析では X 線強度が低下し、正確な結果が得られなかった。ICP-MS の分析値との対応が比較的良好なカルシウムの水溶性成分と非水溶性成分についての測定値を図 3 に示す。大気中に存在するカルシウムの多くは水溶性であるが、それぞれの粒径で非水溶性成分も確認された。この成分は、粒径 10  $\mu$ m 以上では特に水素イオン濃度が低くなる時増加し、風により巻き上がった土壌が、エアロゾルの pH の上昇を引き起こすことを反映したものと考えられる。

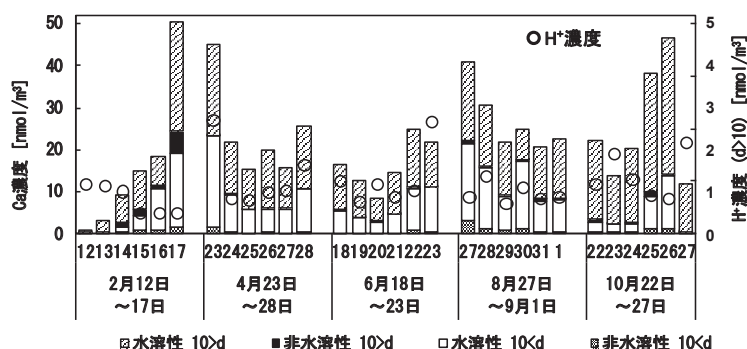


図 3. 大気中の水溶性と非水溶性のカルシウム濃度

#### 3.2 電気化学材料の分析 (物質生命化学科松本研究室)

##### (1) Ni-Sn 合金めっき中の Sn 共析率の評価

現在、様々な場で産業用機器の洗浄剤として過酸化水素(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)水溶液が主に使用されている。しかしこれらの薬品は効果が高い分、産業用機器に用いられている金属も腐食されてしまうという問題が存在する。電解 Ni-Sn めっきは高い耐食性を持つことが知られている。しかし、電解めっきの場合、被めっき物の表面状態、面積など条件が限られるため複雑な形状の素材に均一にめっきすることが難しい。そのため、複雑な形状の素材に対応し、優れた耐食性を持つめっきを施すことを目的として、松本研では無電解 Ni-Sn 合金めっきの開発を行ってきている。その研究の中でめっき被膜を非破壊で膜中の Sn の共析率・Ni-Sn 膜の膜厚を調べるために XRF を用いている。めっき浴は、金属の前駆体に硫酸ニッケル、スズ酸ナトリウム、還元剤として次亜リン酸ナトリウム、ジメチルアミンボランを用いている。また錯化剤にはクエン酸三ナトリウム、酢酸ナトリウムなどを加えたもので最適材料、濃度を検討してきている。図 4 に還元剤に 0.1 M 次亜リン酸ナトリウム、錯化剤をクエン酸ナトリウムとし、錯化剤濃度を変化させた浴で 10 回連続でめっきを行った際のめっき膜中の Sn の共析率の変化を示す。0.6 M において最も高い Sn の

共析率が得られた。この実験で得られた Ni-Sn 膜は耐薬品性試験用の溶液 25 wt%  $H_2O_2$  溶液に 3 日間浸漬させた後でも重量減少が観察されないことが確認されてきている。

## (2) 燃料電池用電極触媒中における遷移金属酸化物の定量

カップスタックカーボンナノチューブ(CSCNT)触媒担持体の表面に  $TiO_2$  などの遷移金属酸化物を析出させ、さらに遷移金属酸化物上に Pt を析出させた Pt/ $MO_x$ /CSCNT(図 5)は従来の Pt/カーボンブラック(CB)よりも燃料電池内の酸素還元反応(ORR)において高い活性を有することを、これまでに我々は明らかにしてきている。そこで、Pt の電子状態、ここでは  $d$ -バンドセンターを任意に制御することで ORR 活性をより大きくすることを目的として、種々の遷移元素( $M_1, M_2$ )を含む複合金属酸化物( $M_1M_2O_x$ )上に Pt を担持させた Pt/ $M_1M_2O_x$ /CSCNT 触媒を合成し、ORR 触媒能の向上を検討している。その検討の中で、合成した Pt/ $M_1M_2O_x$ /CSCNT 中での Pt,  $M_1, M_2$  の含有率を知るために XRF を用いている。Pt の価電子領域の電子状態( $d$ -バンドセンター)の評価を X 線光電子分光法を用いて行い、Pt の  $d$ -バンドセンターと ORR 触媒活性との相関性を検討している。

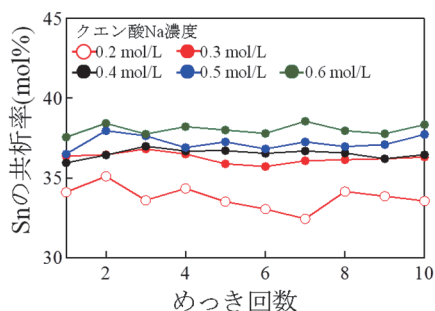


図 4 次亜リン酸ナトリウム-スズ酸ナトリウム-クエン酸ナトリウム浴におけるめっき膜中の Sn 共析率のめっき回数依存性

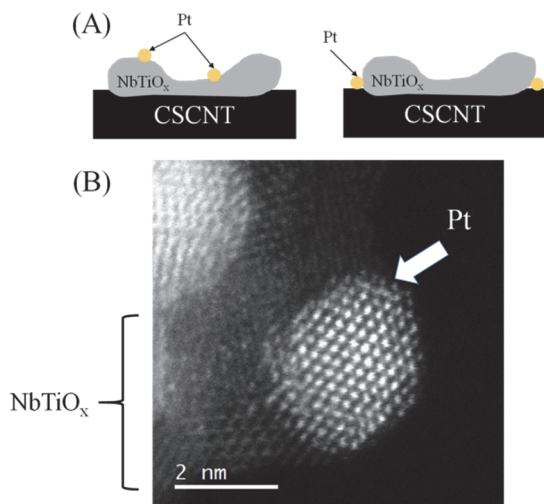


図 5 合成した Pt/NbTiO<sub>x</sub>/CSCNT 触媒の模式図および合成したサンプルを観察した TEM 像

$d$ -バンドセンターの値と ORR 活性のプロット(図 6)より、Pt/CB の  $d$ -バンドセンター値よりも約 0.2 eV 小さい触媒(d)が最も高い ORR 活性を有する火山型タイプの相関関係が得られた。これは DFT 計算を用いて予測されている理論的な結果と一致する。したがって、Pt と  $M_1M_2O_x$ /CSCNT との電子的相互作用によって Pt の電子状態を制御することによって、Pt の  $d$ -バンドセンターと ORR 活性との間に期待した相関を得ることができている。

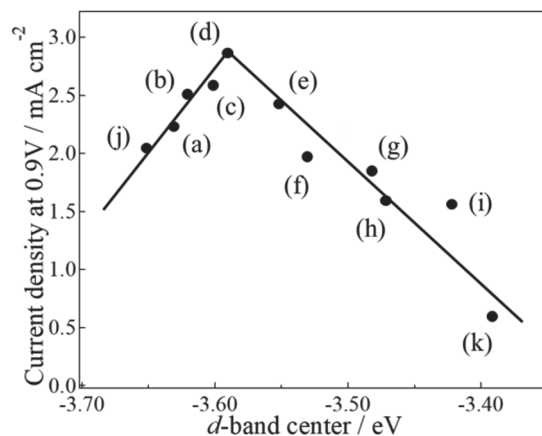


図 6 Pt/NbTiO<sub>x</sub>/CSCNT の ORR 触媒能(電流密度 (0.9 V)) と Pt の  $d$ -バンドセンターとの関係。Nb/Ti (モル比) : (a) 8.1, (b) 7.9, (c) 7.1, (d) 6.6, (e) 5.8, (f) 4.8, (g) 3.5, (h) 0.3. (i) Pt/TiO<sub>x</sub>/CSCNT, (j) Pt/NbO<sub>x</sub>/CSCNT, (k) Pt/CB.

## 3.3 難溶性ニオブ酸化物の金属組成分析(物質生命化学科本橋研究室)

本橋研究室では、複数種の金属元素を含む機能性セラミックス材料の開発研究を行っている。研究対象の一つである  $Ba(Zn_xNb_{1-x})O_{3-\delta}$  (BZN) は、450 °C 付近で高いイオン伝導性を示すことから中温域で動作する固体酸化物形燃料電池の固体電解質として期待されている。BZN では Zn と Nb の金属組成比を変化させることにより酸素欠損量  $\delta$  の制御が可能である。この材料のイオン伝導性は酸素欠損量  $\delta$  の値に強く依存するため、本材料の研究を進める上で金属組成比の

表 2 XRF により決定した  $\delta = 0 \sim 0.5$  試料の金属組成比とそれにより算出した酸素量

酸素欠損量	Ba	Zn	Nb	O
$\delta = 0$	0.86(7)	0.29(1)	0.72(1)	2.93(6)
仕込み組成	1.00	0.33	0.67	3.00
$\delta = 0.1$	0.96(5)	0.34(2)	0.66(2)	2.95(5)
仕込み組成	1.00	0.40	0.60	2.90
$\delta = 0.2$	0.96(4)	0.35(3)	0.65(3)	2.94(3)
仕込み組成	1.00	0.47	0.53	2.80
$\delta = 0.3$	0.90(4)	0.35(4)	0.65(3)	2.87(3)
仕込み組成	1.00	0.53	0.47	2.70
$\delta = 0.4$	0.97(4)	0.41(1)	0.61(3)	2.86(5)
仕込み組成	1.00	0.60	0.40	2.60
$\delta = 0.5$	0.93(5)	0.46(3)	0.54(2)	2.74(5)
仕込み組成	1.00	0.67	0.33	2.50

分析は非常に重要である。BZN は Nb を含むため強酸や強塩基の水溶液に難溶であり、ICP 発光分光分析による金属元素の定量が困難である。そこで本研究では、波長分散型蛍光エックス線分析装置 (WD-XRF) を用いて BZN 試料 ( $\delta = 0 \sim 0.5$ ) の化学組成分析を行った。表 2 に Ba, Zn, Nb の組成比、および  $Zn^{2+}$ ,  $Nb^{5+}$  を仮定して電気的中性条件 ( $\delta = (3x-1)/2$ ) から求めた酸素含有量  $3-\delta$  の値を示す。分析結果より、全ての試料において仕込み組成よりも Nb 含有量が大きく、酸素欠損量の正確な見積もりには金属組成分析が必要であることが判明した。

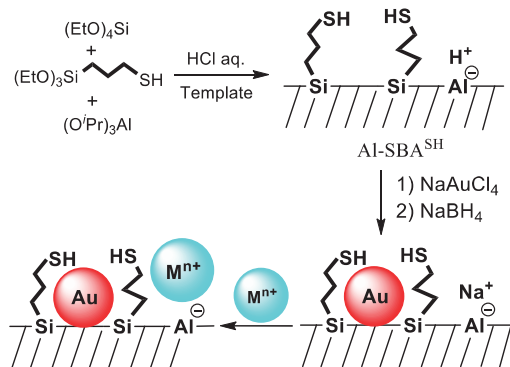
### 3.4 金属ナノ粒子-金属錯体複合触媒の構造解析(物質生命化学科引地研究室)

引地研究室では、有機官能基で修飾されたメソポーラスシリカを用いることで、“単一担体上に金属ナノ粒子活性点と有機補助配位子を含む金属錯体触媒活性点が共存した複合型固体触媒”の開発を行っている。この複合型触媒は、金属ナノ粒子が酸素分子と水やアルコールを活性化することで過酸化物を与え、生じた過酸化物が金属錯体により活性化されることで炭化水素をはじめとする有機質の酸化が進行することを期待して設計されている。本研究では、アルコール類の酸素酸化により過酸化水素を発生させることが知られている金ナノ粒子と、過酸化水素を活性化して強力な酸化剤であるヒドロキシルラジカル( $= \cdot OH$ )を発生させることができる鉄錯体  $[Fe^II(phen)_3]^{2+}$  ( $phen = 1, 10\text{-phenanthroline}$ ) を触媒活性点とし、これらを金と強く相互作用するチオール基で化学修飾した、陽イオン交換能を持つメソ多孔性アルミノシリケート Al-SBA<sup>SH</sup> へ固定した触媒の開発を検討した(Scheme 1)。

シリケート( $SiO_2$ )骨格内のケイ素( $Si(IV)$ )の一部をアルミニウム( $Al(III)$ )に置換したアルミノシリケートでは、電荷補償のために、導入されたアルミニウム原子 1 個当たり 1 個の+1 価イオンが静電的な相互作用により保持されており、これが陽イオン交換能の起源となっている。本研究では、Al-SBA<sup>SH</sup> 上のアルキルチオール基に塩化金酸ナトリウム  $Na[Au^{III}Cl_4]$  を作用させることで金イオン種を担持し、これに還元剤である  $NaBH_4$  を作用させて金ナノ粒子活性点を形成させた後に鉄錯体をイオン交換反応により担持した。調製した触媒を強アルカリ条件で加熱することでアルミノシリケート骨格を溶解させ、さらに酸で処理することで金属成分を完全に溶解させて ICP-MS により分析したところ、鉄の固定量が Al-SBA<sup>SH</sup> 中のアルミニウム含有量から導出される最大量(用いた鉄錯体は+2 価種であるため、アルミニウム含有量の半分が理論上の鉄錯体最大固定量)を上回っていることが判明した(表 3)。そしてその理由は、金ナノ粒子活性点の形成のために  $NaBH_4$  を用いたことで、新たな陽イオン交換サイトが発生したためであると考えた。すなわち、担体上のアルキルチオール基は  $[Au^{III}Cl_4]^-$  との反応に際して、一部は金(III)イオンを還元して酸化体であるジスルフィド( $= R-S-S-R$ )へと変化するが、これは後続の  $NaBH_4$  との反応により還元されてチオールのナトリウム

塩( $= R-S^-Na^+$ )に転化される。そしてこれが陽イオン交換サイトとして機能したものと考察した。

そこで金ナノ粒子活性点形成前後の触媒および金ナノ粒子と鉄錯体が担持された触媒について、蛍光 X 線分析(XRF)を行った。前述の ICP-MS による分析は、バルク固体中の金属成分の定量分析法としては汎用的な手法であるが、ナトリウムイオンについてはガラス容器等からの溶出による混入を考慮する必要があると考えられることから、非破壊での試料分析が可能な XRF を適用した。分析の結果、すべての触媒でナトリウムの存在が確認された。なお同じ Al-SBA<sup>SH</sup> に鉄錯体のみを固定したものではナトリウムは検出されなかったことより、ナトリウムは金の担持・還元過程で担持されたものであることも明らかになった。すなわち、金の前駆体として  $Na[Au^{III}Cl_4]$  を用いているため、金イオン種を担持する過程で Al サイトでの  $H^+$  から  $Na^+$  への交換が起こっていることを意味する。そして金イオンの還元剤である  $NaBH_4$  との反応時に  $Na^+$  がさらに固定されるもの、鉄錯体を作用させてもすべての  $Na^+$  が交換されないということが明らかになった。



スキーム 1 複合化触媒の調製経路

表 3 金属およびチオール基固定量

担体調製時の Al 仕込み物質比(x)	固定量 / mmol g <sup>-1</sup>				物質比	
	SH	Au	Al	Fe	Au / SH	Fe / Al
2.0	0.107	0.020	0.144	0.098	0.19	<b>0.68</b>
1.0	0.133	0.034	0.056	0.056	0.26	<b>1.00</b>

担体調製時の原料仕込み比 ;

$$Si(OEt)_4 : HSC_3H_6Si(OEt)_3 : Al(O'Pr)_3 \\ = 100 - (0.75 + x) : 0.75 : x (x = 2.0 \text{ or } 1.0)$$

### 4. おわりに

この装置は、分析値の定量評価にまだ課題はあるが、試料を分解することなく定量できる魅力的な分析装置である。試料を均一にすると定量性は向上するが、熔融装置等も揃えているので、さらなる利用を期待したい。



## 6. 工学研究所共同研究

- |     |   |                     |
|-----|---|---------------------|
| 6-1 | 軽量・高性能ハイブリッドロケットエンジンの研究・開発 (2018)   | 高野 敦, 船見 祐揮         |
| 6-2 | 外部磁界の二次元走査による Nb 超伝導トンネル接合と dc-SQUID の評価  | 渡邊 騎通, 穴田 哲夫, 中山 明芳 |
| 6-3 | 多分岐ポリアミドからなる両親媒性 Janus 型ジブロック共重合体の合成と自己組織化                                      | 太田 佳宏, 實吉 尚郎        |
| 6-4 | $\text{Ba}(\text{Zn}_x\text{Nb}_{1-x})\text{O}_{3-\delta}$ における赤外分光法を用いた脱水挙動の分析 | 齋藤 美和, 貝掛 勝也, 安川 雪子 |



# 軽量・高性能ハイブリッドロケットエンジンの研究・開発 (2018)

高野 敦\* 船見 祐揮\*\*

## Research and Development of a Light-Weight and High-Performance Hybrid Rocket Engine in 2018

Atsushi TAKANO\* Yuki FUNAMI\*\*

### 1. 緒言

近年、電子機器の小型化、特に MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) の発達と軌を一にして、超小型衛星の研究開発や打ち上げが盛んになっている。我が国においてもここ 15 年で大学や研究機関から打ち上げられた超小型衛星は 20 機以上に上る<sup>[1]</sup>。超小型衛星のメリットは開発期間が短く、低コストで開発できるという点である。しかしこれらの衛星は、大型衛星を大型ロケットで打ち上げる際に「相乗り」で打ち上げられることがほとんどである。この場合、打ち上げの時期や軌道は主目的の衛星に支配され、選択の自由度はほとんどなくなる。そこで、超小型衛星打ち上げ専用の超小型ロケットの開発が求められている。また、超小型衛星のメリットである「低コスト」、「開発期間が短い」ことを生かすためにはこれらを打ち上げる超小型ロケットにも同様の特徴が要求される。

そこで著者らはハイブリッドロケットに着目して研究および開発を続けてきた。ハイブリッドロケットとは、ポリプロピレンといった樹脂などを固体燃料とし、酸素や亜酸化窒素などを酸化剤とするロケットである。従来は、水素やメタノールなどを燃料として液体酸化剤によって燃焼させる液体ロケット、あるいは、燃料と酸化剤を混合した上で固めた固体推進薬（いわゆる火薬）を用いる固体ロケットが主流であったが、これらは反応性の高い燃料を用いるため爆発の危険を伴い、運用・管理コストが高くなるという欠点を持つ。一方でハイブリッドロケットは空気中で燃焼はするものの激しい反応性はない燃料を酸化剤の助燃性で燃焼させるため、万一ロケットが構造破壊を起こしてもすぐに消火するという利点を持つ。このため、運用・管理コストが下げられる。

他方でもともと反応性が低い樹脂を燃料とするため、大きな推力が得にくいという欠点も有する。この問題に対して、ワックスなどの低融点燃料を用いる研究<sup>[2]</sup>、あるいは、酸化剤流れを旋回させることによって燃料後退速度（単位時間当たりの燃料の後退量）を増大させる研究<sup>[3]</sup>などが進められている。著者らは 3D プリントにより造形された星形フラクタル旋回形状燃料グレインを用いることで、固体燃料の表面積増大による燃料ガス発生量の増大、および、

主流に旋回方向速度成分を付与することによる燃料後退速度の向上を狙っている。さらにハイブリッドロケット、特に亜酸化窒素を酸化剤として用いるハイブリッドロケットに特化したエンジンシステム（モータおよび酸化剤タンク）の軽量化の研究開発も進めている。

### 2. 到達高度 100 km を目指すハイブリッドロケットの概念設計<sup>[4]</sup>

将来高度 100 km（宇宙空間の下限）に 100 kg のペイロードを輸送することを目標として、ハイブリッドロケットの概念設計を行った。その中で、酸化剤の検討も合わせて行った。ハイブリッドロケットの酸化剤として広く用いられているもののうち、毒性がなく比較的扱いやすいものとしては酸素と亜酸化窒素が挙げられる。酸素を酸化剤とするハイブリッドロケットとして代表的なものとしては北海道大学および植松電機により開発された CAMUI ロケットがある<sup>[5,6]</sup>。液体酸素によるハイブリッドロケットは比推力（単位推進剤重量当たりの推力の時間積分値）が高くなることが知られているが、これを高圧のエンジン内に噴射するためにはポンプなどで加圧するか、ヘリウムなどで加圧する（いわゆる押しガス）ことが必要であり、構造質量が増大するとともに構造が複雑化することで製造コストの増大も懸念される。一方で亜酸化窒素は常温での蒸気圧が高いため自己加圧が可能であり、ポンプや押しガスが不要となるが、比推力がやや劣る。そこで本研究を推進するにあたり、いずれが有利か検討を行った。検討の前提としては以下を設定した。

- ペイロードおよび電気系統の合計質量を 100 kg とする。
- 燃料には ABS 樹脂 (Acrylonitrile Butadiene Styrene 共重合樹脂) を用いる (3D プリント製の複雑形状グレインを使用)。
- 加速度 (準静的) は 6G 以下になるよう調整する (ペイロードへの過負荷を避けるため)。
- トータルインパルス (推力の時間積分値) は到達高度 100 km となるよう設定する。

また、推進系の仕様は、亜酸化窒素または液体酸素を用いる場合の 2 通りを検討し、以下の通りとした。

亜酸化窒素を用いる場合：

- 供給方法はブローダウン方式とする。

液体酸素を用いる場合：

- 供給方法はヘリウムガスによるガス加圧式とする (ポンプ式は高価であるため除外)。
- 酸化剤タンク圧力は燃焼室圧力に 2 MPa を加えた値として、

\*准教授 機械工学科

Associate Professor, Dept. of Mechanical Engineering

\*\*助教 機械工学科 (現在, 講師 防衛大学校)

Assistant Professor, Dept. of Mechanical Engineering  
(Currently, Lecturer, National Defense Academy)

加圧ガスタンク圧力は 22 MPa として計算する。

- 加圧ガスの必要体積は理想気体の状態方程式より、温度一定と仮定して算出する。

最適酸化剤の検討を行うための前提条件として、機体構造重量(圧力容器を除く)は推進系合計重量に対して 0.2 倍と仮定して算出した。

これらの前提に基づいて、到達高度 100 km を目指すハイブリッドロケットに最適な酸化剤を選定した。ここで最適な酸化剤とは、この検討ではペイロード重量は同一としたことを踏まえて、機体がより軽量に設計できる酸化剤、つまりペイロード比がより大きな値となる酸化剤のこととした。最適酸化剤選定までの主な流れを図 1 に示す。

比推力  $I_{sp}$  は NASA CEA (RP-1311)<sup>[7]</sup> を用いて算出した。燃料は ABS 樹脂とし、酸化剤は亜酸化窒素または液体酸素とした。燃焼室圧力に関しては、亜酸化窒素の場合には燃焼試験結果を踏まえて 3 MPa と設定し、液体酸素の場合には 3, 5, 7 および 9 MPa と値を振って検討した。比推力  $I_{sp}$  が求めれば、推進剤質量  $m_p$  は推定したトータルインパルス  $I_t$  を基に次の式(1)を用いて求めることができる。記号  $g$  は重力加速度を表す。

$$I_t = I_{sp} m_p g \quad (1)$$

圧力容器(酸化剤タンク、加圧タンク、モータケース)は CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastics) で設計し、液体酸素の酸化剤タンクのみ極低温のためアルミニウムで設計する。アルミニウム合金 A7075-T7351 の引張強度には 434 MPa を、CFRP (HSX350C075S) の引張強度には擬似等方積層における 838 MPa を用いた。

これらの条件で検討を行った結果、図 2 に示すように亜酸化窒素の方が全体としての質量を小さくできることが分かった。なお、酸素の場合は燃焼室圧力 3 MPa の時にペイロード比が一番大きくなるということが分かったため、その結果を用いている。このことから本研究では引き続き酸化剤として亜酸化窒素を採用することとした。

### 3. 低コスト・軽量酸化剤タンクの開発<sup>[8]</sup>

将来の高度 100 km に到達するための打ち上げのノウハウの蓄積を目的に、2018 年度も高度 15 km 到達を目標として、ハイブリッドロケットの設計・製作および打ち上げを行った。その機体に適用す

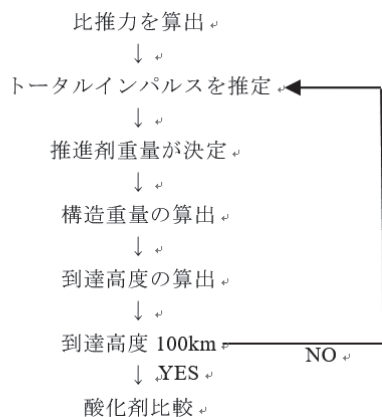


図 1 最適酸化剤選定までの流れ<sup>[4]</sup>

るために、低コスト・軽量酸化剤タンクの開発を行った。酸化剤は前述のように亜酸化窒素とし、充填量 15 kg、充填容積 16.7 L を前提として設計を行った。低コスト化のために特殊な材料や加工を用いないことを設計方針として、胴部は市販のアルミニウム合金パイプを採用し、その上で CFRP を用いて補強を行った。また、蓋部には超々ジュラルミン (7075-T651) を使用し、蓋部と胴部の接合にはねじ(胴部両端に M146×1.5 のねじを加工)を採用した。これにより加工は旋盤で可能となった。また CFRP の補強に関しては、プリプレグを用いて研究室内で積層および加熱成型を行うことで低コスト化を実現できた。強度は水を用いた耐圧試験により確認した。試験圧力は最大予想使用圧力である 5 MPa の 1.5 倍の 7.5 MPa とし、負荷時間は打ち上げ試験時の充填時間および待機時間を考慮して 20 分とした。初回の試験では 7.0 MPa において胴部から蓋部が外れるという不具合が発生したため、ねじのはめあい長さを 2 倍にして再度製作および試験を行ったところ、問題なく 7.5 MPa に耐えることができた。この結果を踏まえて、燃焼試験を実施して酸化剤タンクの健全性を確認し、2018 年 10 月 6 日には打ち上げ試験を行った。その結果、目標の高度 15 km には及ばなかったものの、高度 6204 m に到達し、北海道大学・植松電機の高度 8.3 km (推測値)<sup>[5]</sup> および高度 7.5 km<sup>[6]</sup> に次いで、国内のハイブリッドロケット打上実施団体としては第 2 位の記録を達成した。

### 4. 星型フラクタル旋回形状燃料グレインの地上燃焼試験<sup>[9]</sup>

ハイブリッドロケットは、固体燃料グレイン表面に形成される境界層の内部で燃料ガスと酸化剤が拡散および混合し、反応して火炎を生じるという境界層燃焼と呼ばれる燃焼形態を有している。このメカニズムに起因して燃料後退速度が低く、したがって燃料ガス発生速度も低くなるという技術的な課題が存在する。この点の解決を意図して、本共同研究では 2017 年度に星型フラクタル旋回形状グレインを提案した<sup>[10]</sup>。図 3 に星型フラクタル旋回形状グレインを示す。これは固体燃料グレインのポート(グレインに開けられた孔のこと。この孔の内側を燃焼ガスが流れる)形状を複雑なものとする事で固体燃料の表面積を増やすと同時に、ポートを旋回形状にすることで内部の流れに旋回方向速度成分を付与し燃料後退速度の向上も

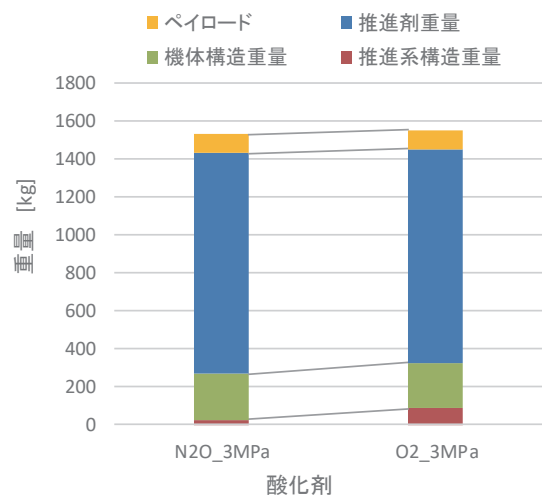


図 2 亜酸化窒素あるいは酸素を用いた場合の重量の比較<sup>[4]</sup>

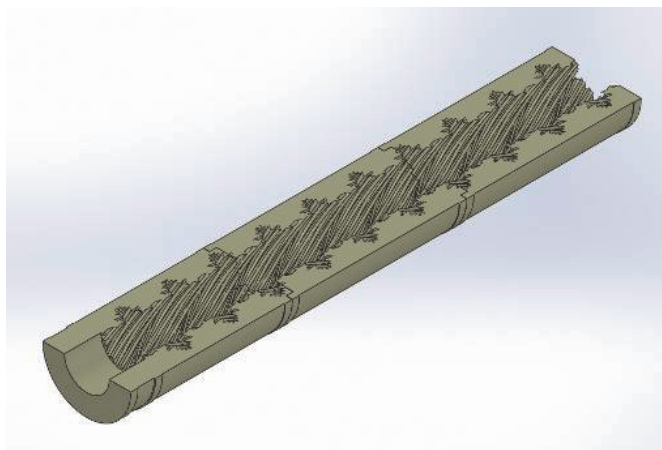


図3 星形フラクタル旋回形状グレインの断面図<sup>[9]</sup>

図ったものである。2017年度ではポート形状の旋回率をパラメータとして燃焼試験を実施することで、旋回率が燃料ガス発生速度に与える影響を明らかにした<sup>[10]</sup>。2018年度では、エンジンへ供給する酸化剤の流量をパラメータとして燃焼試験を実施し、酸化剤の流量が星形フラクタル旋回形状グレインを用いたエンジンの性能（局所燃料後退速度、推力および燃焼効率）に与える影響を調査した。

燃焼試験は神奈川大学湘南ひらつかキャンパス設置の燃焼試験設備を用いて実施した。エンジンには安価で量産可能な推力1 kN級のエンジンを使用し、板バネを用いて架台へエンジンを水平に設置した。エンジンへロードセル、圧力センサおよびオリフィスを取り付けて、推力、燃焼室圧力および酸化剤流量を測定した。エンジン内の固体燃料グレインはABS樹脂を材料として3Dプリンタを用いて作成した。酸化剤には亜酸化窒素を採用し、その高い蒸気圧を利用して供給する自己加圧方式を用いることとした。燃焼試験の様子を図4に示す。

燃焼試験後の固体燃料グレインを切断し、燃え残ったグレインの厚さを測定することで局所的な燃料後退速度を求めた。局所燃料後退速度を軸方向に平均を取った上で、旋回のない星形フラクタル形状グレインや従来形状である円形のものとの値を比較したところ、軸方向平均の局所燃料後退速度は星形フラクタル旋回形状とすることで他の形状よりも向上することがわかった。その効果は推力にも表

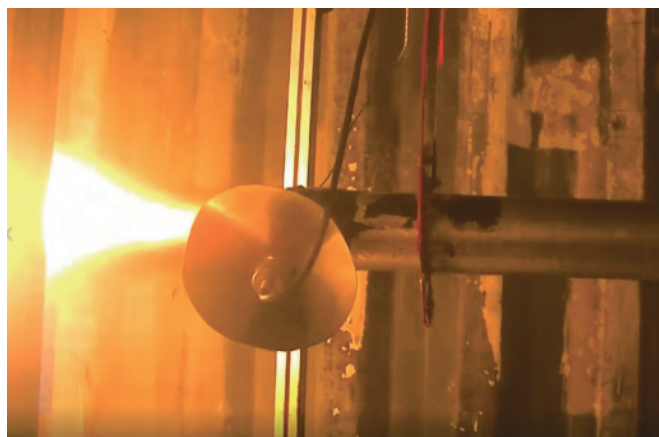


図4 燃焼試験の様子

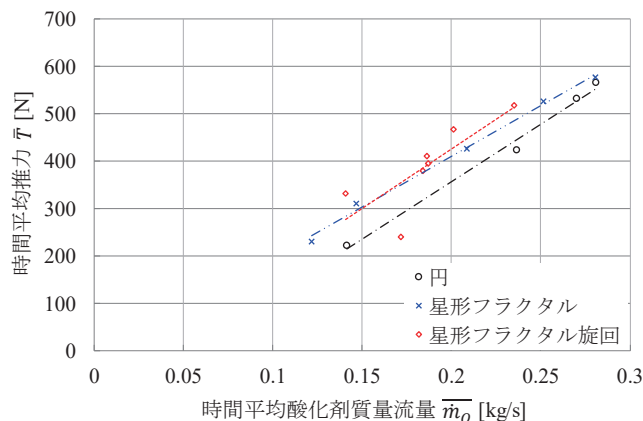


図5 時間平均推力<sup>[9]</sup>

れており、星形フラクタル旋回形状グレインにおける推力も他の形状と比べて向上した（図5）。燃焼効率に関しては、星形フラクタル旋回形状グレインにおける値は他の形状と比べて向上しているか、あるいは、ほぼ同等であった。

#### 5. 星形フラクタル旋回形状燃料グレインの平均後退速度評価<sup>[11]</sup>

ハイブリッドロケットの評価指標の一つとして時空間平均の燃料後退速度を参照することが一般的に行われている。また、時空間平均の燃料後退速度は、固体燃料壁面の厚さの決定など、燃料グレインの設計においても有益な情報となる。そこで、星形フラクタル旋回形状燃料グレインにおいても時空間平均燃料後退速度を求めることとした。

時空間平均燃料後退速度は、燃焼試験前後の燃料グレインの重量変化と燃焼時間を用いて評価される。しかしながら、従来の評価式では単純な形状である円形ポートを前提にして燃料の気化に伴う表面後退を考えており、星形フラクタル旋回形状のような複雑なポート形状に対してはそのままの評価式の形で適用することができない。この点を踏まえて複雑なポート形状にも対応可能な、固体燃料表面の後退を捉えることのできる数値的なツールを開発し、そのツールを用いた時空間平均燃料後退速度の評価方法を提案した。

固体燃料表面の後退を数値的に捉える手法として、レベルセット法<sup>[12]</sup>を採用した。この手法においては混相流（気液界面を伴う流れ）の数値解析への応用が広くみられるが、ここで扱う燃料表面の後退のような固気界面の解析にも応用が可能である。レベルセット法を用いて星形フラクタル旋回形状グレインの表面後退を解析した結果の一例を図6に示す。

星形フラクタル旋回形状グレインは軸方向に周期的な構造を有しているが、この解析ではその基本単位一つのみを解析対象とした。この解析の結果を基にして、燃焼試験前後の燃料グレインの重量変化と時空間平均燃料後退速度の関係式を構築した。実際の燃焼試験から得られた重量変化量とその関係式に代入し、時空間平均燃料後退速度を求めたところ、星形フラクタル旋回形状での値は旋回のない星形フラクタル形状や円形での値と比べて大きくなること示された。

今後は、本方法の解析精度の向上、本方法を用いたグレイン設計法の提案、あるいは、本方法による燃焼試験の評価結果から得られ

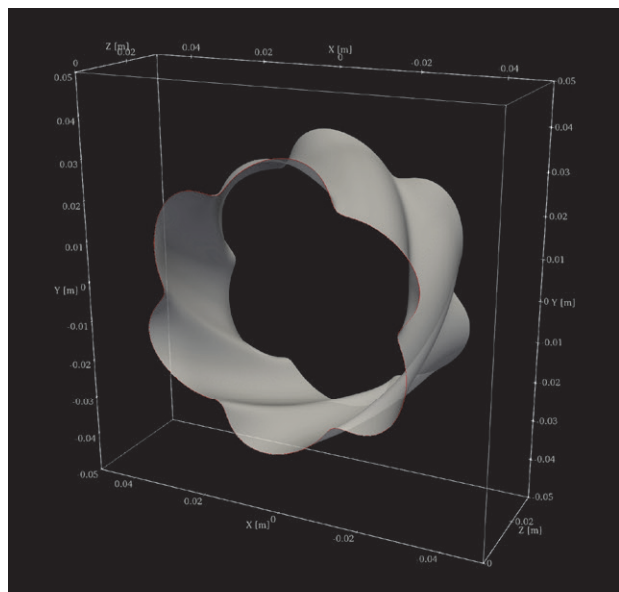


図6 燃焼開始後12sにおける固体燃料表面

た知見に基づくグレイン設計指針の策定を引き続き進めることとなる。

## 6. 結言

超小型衛星打ち上げ用の低コストな超小型ロケットの開発を最終目標に、軽量・高性能ハイブリッドロケットエンジンの研究・開発を行った。高度100kmにペイロードを輸送する機体の概念設計を行った。その問題において酸化剤の比較検討を行ったところ、亜酸化窒素が酸素に比べて有利であることを示した。これを受けて、亜酸化窒素用軽量・低コストタンクを開発し、実際に打ち上げに適用、そして成功させることができた。また、3Dプリンタで造形した星形フラクタル旋回形状グレインの地上燃焼試験を実施し、その試験結果を解析したところ、軸方向平均の局所燃料後退速度は他の形状よりも向上することがわかった。それに伴って、推力も他の形状と比べて向上した。燃焼効率に関しては、星形フラクタル旋回形状グレインにおける値は他の形状と比べて向上しているか、あるいは、ほぼ同等であることを見出した。加えてレベルセット法を適用することにより、複雑なポート形状にも対応可能な、固体燃料表面の後退を捉えることのできる数値的なツールを開発し、そのツールを用いた時空間平均燃料後退速度の評価方法を提案した。

将来超小型衛星を打ち上げるためのロケットを実現するためには、機体の軽量化・大型化も必要であるが、燃焼効率を向上させるための設計技術も重要となる。現在までに燃焼現象の研究を精力的に進めてきたが、その結果をエンジンの設計、つまりグレインの外形寸法およびポート表面積、断面積、さらに酸化剤を噴出させるインジェクタの孔径、孔数、その上流の配管系などサイジングにつなげるところまでには至っていない。そのためにはまだまだ取り組むべき課題は多くある。今後はこれらの体系化を見据えて研究を進めていく。

## 謝辞

3Dプリンタによる固体燃料グレインの印刷においては丸紅情報

システムズ株式会社の協力を得た。ここに謝意を表す。

ハイブリッドロケットの燃焼試験に関して千葉工業大学の和田豊准教授より有益な助言をいただいた。ここに記して謝意を表す。

燃焼試験の実施にあたって神奈川大学工学部機械工学科航空宇宙構造研究室および流体工学研究室の学生諸氏の協力を得た。ここに記して謝意を表す。

## 参考文献

- [1] UNISEC ホームページ, UNISEC 生まれの超小型衛星, <http://www.unisec.jp/about/satellite.html> (2019年9月10日閲覧).
- [2] M. A. Karabeyoglu, B. J. Cantwell and D. Altman, Development and Testing of Paraffin-Based Hybrid Rocket Fuels, 37th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference and Exhibit, AIAA 2001-4503 (Salt Lake City, 2001).
- [3] S. Yuasa, O. Shimada, T. Imamura, T. Tamura and K. Yamamoto, A Technique for Improving the Performance of Hybrid Rocket Engines, 35th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference and Exhibit, AIAA 1999-2322 (Los Angeles, 1999).
- [4] 館山哲也, 船見祐揮, 高野敦, 到達高度100kmを目指すハイブリッドロケットにおける構造設計を考慮した最適酸化剤, 第1回ハイブリッドロケットシンポジウム, HR-2018-003 (相模原, 2018).
- [5] H. Nagata, M. Wakita, T. Totani and T. Uematsu, Development and Flight Demonstration of 5 kN Thrust Class CAMUI Type Hybrid Rocket, Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, Aerospace Technology Japan, 12 (ists29), Ta\_1-Ta\_4 (2014).
- [6] 伊藤献一, 植松努, 永田晴紀, 高崎博之, CAMUI-500P ハイブリッドロケット/SNS 製液体ロケット「すずかぜ」打上げ実験報告 (2013).
- [7] S. Gordon and B. J. McBride, Computer Program for Calculation of Complex Chemical Equilibrium Compositions and Applications, I. Analysis, NASA Reference Publication 1311 (1994).
- [8] 館山哲也, 高野敦, ハイブリッドロケットにおける低コスト・軽量酸化剤タンクの開発, 第62回宇宙科学技術連合講演会, 1N13 (久留米, 2018).
- [9] 船見祐揮, 高野敦, 星形フラクタル旋回形状グレインを用いたハイブリッドロケットの地上燃焼試験, 第63回宇宙科学技術連合講演会, 2E07 (徳島, 2019).
- [10] 鎮目夢玄, 高野敦, 船見祐揮, 諸星宏樹, 田原鴻一, 寺田俊樹, 3Dプリンタによる星形フラクタル旋回形状グレイン搭載ハイブリッドロケットエンジンの開発, 平成29年度宇宙輸送シンポジウム, STCP-2017-012 (相模原, 2018).
- [11] 船見祐揮, 高野敦, 星形フラクタル旋回形状ハイブリッドロケット燃料グレインの平均後退速度, 第2回ハイブリッドロケットシンポジウム, HR-2019-001 (相模原, 2019).
- [12] S. Osher and R. Fedkiw, Level Set Methods and Dynamic Implicit Surfaces, Applied Mathematical Sciences 153, Springer (2003).

# 外部磁界の二次元走査による Nb 超伝導トンネル接合と dc-SQUID の評価

渡邊 騎通\* 穴田 哲夫\*\* 中山 明芳\*\*\*

## Characterization of Nb superconducting tunnel junction and dc-SQUID by two-dimensional scan of external magnetic field

Norimichi Watanabe\* Tetsuo Anada\*\* Akiyoshi Nakayama\*\*\*

### 1. 緒言

二つの超伝導体で薄い絶縁層を挟んだ構造をしている素子を超伝導トンネル接合（ジョセフソン接合）という。超伝導体をエレクトロニクスに応用する際には、ジョセフソン接合を作製する必要があり、ジョセフソン接合は、高感度な磁気センサである SQUID (Superconducting QUantum Interference Device: 超伝導量子干渉素子) や超高速・低消費電力を実現できる SFQ (Single Flux Quantum: 単一磁束量子) 回路などに応用される[1, 2]。ジョセフソン接合を流れるジョセフソン電流は、外部磁界によって変調されるが、通常、ジョセフソン電流の外部磁界変調特性は、接合面に平行に外部磁界を一方から印加することにより測定し、接合の評価が行われる[3]。それに対して我々は、接合面に平行に二方向から外部磁界を印加して接合の評価を行ってきた[4-8]。外部磁界を二次元走査することにより、ジョセフソン電流の磁界変調特性について、一次元で外部磁界を走査するよりも格段に多くの情報を得ることが可能である。例えば、ジョセフソン接合の接合形状が変化すると、ジョセフソン電流の外部磁界変調特性も接合形状に依存して変化するが、外部磁界を二次元走査して磁界変調特性を測定した方が、ジョセフソン電流の外部磁界変調特性の接合形状依存性を明瞭に観測することができる[9]。また、ジョセフソン接合に垂直磁界を印加したときのジョセフソン電流の垂直磁界依存性についても、垂直磁界  $H_z$  に加えて、平行な外部磁界 ( $H_x, H_y$ ) を二次元走査してジョセフソン電流の磁界変調特性を測定した方が、ジョセフソン電流の垂直磁界依存性を詳しく解析することができる[10-14]。垂直磁界を印加したときのジョセフソン電流の磁界変調特性に関する研究は、報告例が少なく[15, 16]、垂直方向の一方向のみから外部磁界  $H_z$  を印加してジョセフソン電流の磁界変調特性を測定しても、超伝導薄膜への磁束トラップによりジョセフソン電流が垂直磁界  $H_z$  に対して不可逆的に変調されることしかわからないが、垂直磁界  $H_z$  に加えて、接合面に平行な磁界の成分 ( $H_x, H_y$ ) 磁界を印加して測定することにより、ジョセフソ

ン電流が垂直磁界  $H_z$  に対してなぜ変調されるのかについて、より多くの情報を得ることができる。本研究では、ジョセフソン接合を二つ並列に接続した構造をしている dc-SQUID を作製し、接合面に平行な外部磁界 ( $H_x, H_y$ ) を二次元走査して超伝導電流を変調する手法を用いて、dc-SQUID を流れる超伝導電流の二次元磁界変調特性について調べた。

### 2. 実験方法

超伝導トンネル接合は、超伝導電極を Nb、バリア層に Al 酸化物を用いたものが最も多く作製されている[17]。本研究でも、Nb/Al-AIO<sub>x</sub>/Nb 構造のジョセフソン接合を作製した[18]。dc マグネトロンスパッタリング装置によって、Si 基板の上に Nb/Al-AIO<sub>x</sub>/Nb の積層膜を作製した。トンネルバリア層は、Al 層を純酸素中で自然酸化することにより作製した。Base Nb 層、Al 層、Counter Nb 層、Wiring Nb 層の膜厚は、それぞれ 300 nm、5 nm、50 nm、100 nm である。フォトリソグラフィと陽極酸化法により接合領域を形成し、ジョセフソン接合を作製した[19]。dc-SQUID は、図 1 に示すように Wiring Nb 層の下に二つのジョセフソン接合が配置されるようにして作製した。液体ヘリウムを用いて作製した試料を超伝導状態にし、ジョセフソン接合の接合面に平行に外部磁界  $H_x, H_y$  を二方向から印加して dc-SQUID を流れる超伝導電流の二次元磁界変調特性を測定した。

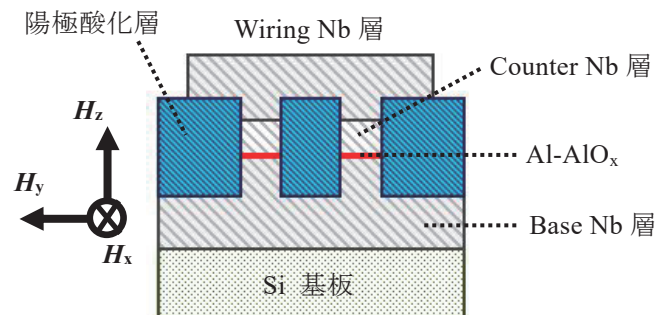


図 1 作製した dc-SQUID の構造

\*特別助教 電気電子情報工学科

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

\*\*名誉教授 電気電子情報工学科

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

\*\*\*教授 電気電子情報工学科

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

3. 実験結果

ジョセフソン接合の接合面に平行に一方から外部磁界を印加してジョセフソン電流の変調を行った場合は、図2に示すようなフラウンホーファーパターンが観測される。印加する平行磁界を大きくしていくと、接合に加わる磁束が磁束量子  $\Phi_0$  の整数倍になるごとに接合全体を流れる超伝導電流の値が0になりながら減少していく。これは、外部磁界を印加すると、接合内の電流分布が変化し、結果として接合全体を流れる超伝導電流の値が印加する外部磁界の大きさによって変化するからである[3]。さらに、接合面に平行に二方向から外部磁界を印加すると、図3に示すように  $H_x$  方向と  $H_y$  方向の二方向にフラウンホーファーパターンが観測されるようになる。

本研究では、このジョセフソン接合を二つ並列に接続して dc-SQUID を作製し、dc-SQUID を流れる超伝導電流の二次元磁界変調特性の測定を行った。測定に使用した dc-SQUID は、dc-SQUID を構成するジョセフソン接合の大きさが  $50 \mu\text{m}$  角、二つのジョセフソン接合間の距離も  $50 \mu\text{m}$  である。また、 $H_x$  磁界、 $H_y$  磁界ともに、 $40 \text{ A/m}$  の磁界ステップで外部印加磁界を変調させた。dc-SQUID と印加する外部磁界( $H_x, H_y$ )の関係を図4に示す。 $H_x$  磁界は dc-SQUID の超伝導ループに鎖交するように印加し、 $H_y$  磁界は、dc-SQUID を構成するジョセフソン接合に鎖交するように印加する。このような方法で dc-SQUID に流れる超伝導電流を変調して測定した結果を図5に示す。( $H_x, H_y$ )平面の原点付近に観測されるフラウンホーファーパターンのメインピークや、メインピーク周辺のサブピーク内に、さらに小さな電流の変調周期が観測されている。

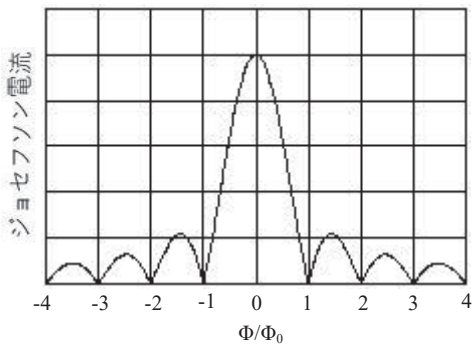


図2 ジョセフソン電流の磁束依存性 (数値計算)

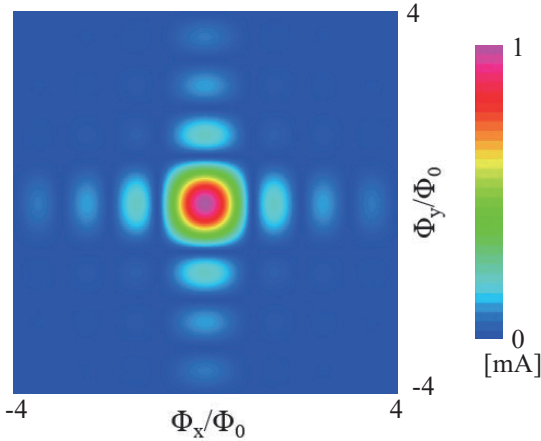


図3 ジョセフソン電流の磁束依存性 (数値計算)

図6に、 $H_y = 0$  のときの  $H_x$  磁界に対する超伝導電流の磁界変調特性を示す。 $H_x$  磁界は、 $5 \text{ A/m}$  の磁界ステップで変調させている。フラウンホーファーパターンと SQUID の超伝導ループで捕えた外部磁束によって変調される超伝導電流の短い変調パターンが重畳された特性が明瞭に観察できている。ジョセフソン接合に印加された磁束によるフラウンホーファーパターンの変調周期が  $200 \text{ A/m}$  程度で、SQUID の超伝導ループに鎖交する磁束による超伝導電流の変調周期が  $30 \text{ A/m}$  程度となっている。

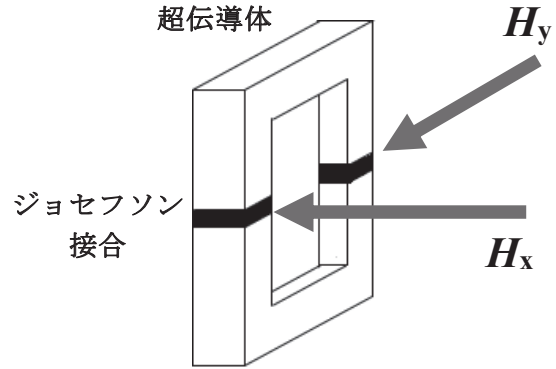


図4 dc-SQUID と外部印加磁界の関係

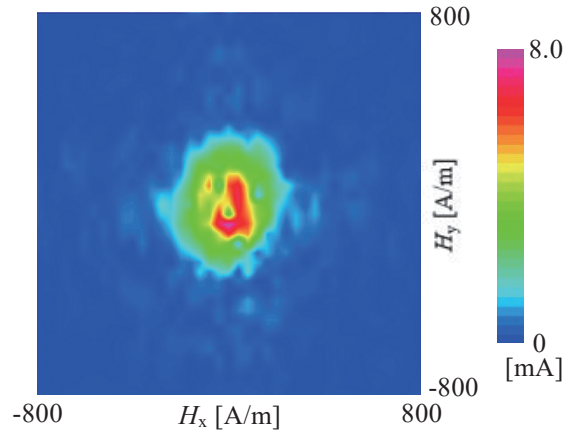


図5 dc-SQUID を流れる超伝導電流の二次元磁界変調特性 (接合間の距離は  $50 \mu\text{m}$ )

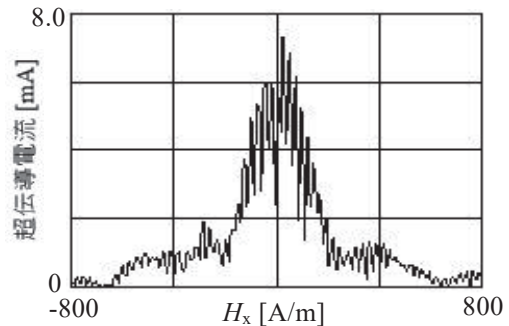


図6 dc-SQUID を流れる超伝導電流の磁界変調特性 (接合間の距離は  $50 \mu\text{m}$ , 外部印加磁界  $H_y = 0$ )



ジョセフソン接合に印加される外部磁束によって変調されるジョセフソン電流の変調パターンは、図2に示したようなフラウンホーファーパターンになる。それに対して、dc-SQUIDの超伝導ループに鎖交する磁束によって変調されるdc-SQUIDを流れる超伝導電流の変調パターンは、図7に示すように周期的に超伝導電流が振動する特性となる。SQUIDの超伝導ループの大きさに対して、ジョセフソン接合のサイズが大きいときは、ジョセフソン接合を流れる超伝導電流のフラウンホーファーパターンとdc-SQUIDの超伝導電流の変調パターンが重畳され、図8に示すような特性になる。ジョセフソン接合のフラウンホーファーパターンの変調周期は、接合のサイズに依存し、dc-SQUIDを流れる超伝導電流の変調周期は、SQUIDの超伝導ループのサイズに依存する。

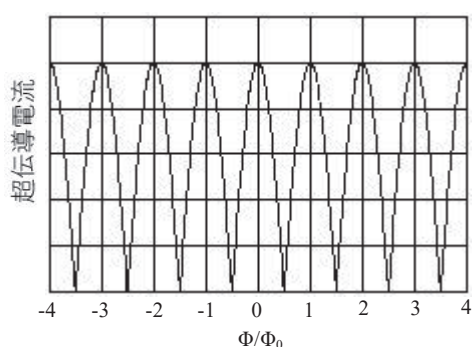


図7 dc-SQUIDを流れる超伝導電流の磁束依存性 (数値計算)

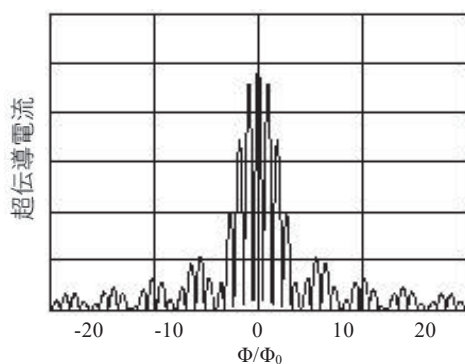


図8 dc-SQUIDを流れる超伝導電流の磁束依存性。超伝導ループの大きさに対して、ジョセフソン接合のサイズが大きいときの特性 (数値計算)

図9は、dc-SQUIDを構成するジョセフソン接合の大きさが $50\ \mu\text{m}$ 角、二つのジョセフソン接合間の距離が $150\ \mu\text{m}$ のdc-SQUIDを流れる超伝導電流の二次元磁界変調特性である。二つのジョセフソン接合間の距離が、図5で測定した試料よりも大きいため、外部磁束を捕えるdc-SQUIDの超伝導ループの面積が大きくなり、超伝導ループに鎖交する磁束によって変調される超伝導電流の変調周期は、図5の試料よりも小さくなるはずである。しがしながら、図9の測定においても、 $H_x$ 磁界、 $H_y$ 磁界の磁界変調ステップは図5の測定と同じ $40\ \text{A/m}$ の磁界ステップで測定したため、超伝導ループに鎖交する磁束によって変調される超伝導電流の変調周期が、外部

磁界 $H_x$ の変調ステップ $40\ \text{A/m}$ よりも小さくなるため、図5と比較しても超伝導電流の二次元磁界変調特性に大きな変化は見られなかった。そこで、図6の測定と同じように、 $H_x$ 磁界の変調ステップを $5\ \text{A/m}$ にして、 $H_y=0$ のときの超伝導電流の磁界変調特性を測定した。測定結果を図10に示す。dc-SQUIDを流れる超伝導電流の小さい方の変調周期は $20\ \text{A/m}$ 程度となっている。二つの接合間の距離が広がり、超伝導ループでより多くの磁束を捕えられるようになったので、図6の測定結果と比較して超伝導電流の変調周期がさらに小さくなっていることがわかる。

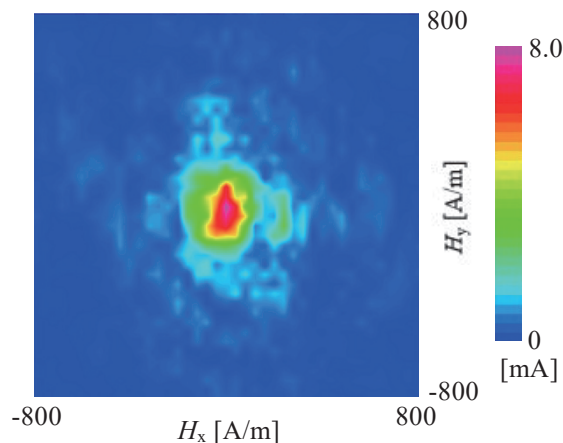


図9 dc-SQUIDを流れる超伝導電流の二次元磁界変調特性 (接合間の距離は $150\ \mu\text{m}$ )

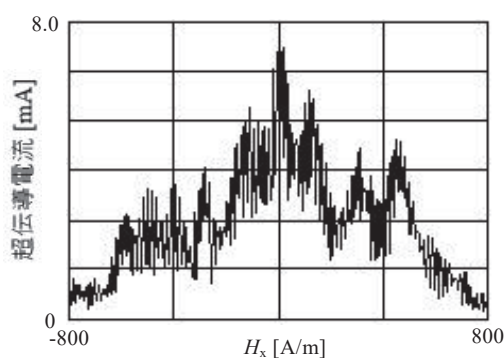


図10 dc-SQUIDを流れる超伝導電流の磁界変調特性 (接合間の距離は $150\ \mu\text{m}$ , 外部印加磁界 $H_y=0$ )

#### 4. まとめ

Nb/Al-AIO<sub>x</sub>/Nb ジョセフソン接合を作製し、接合面に平行に外部磁界を二方向から印加することにより接合を流れる超伝導電流を変調して、ジョセフソン電流の二次元磁界変調特性を測定している。本研究では、ジョセフソン接合を並列に接続したdc-SQUIDの構造をした試料を作製し、dc-SQUIDを流れる超伝導電流の二次元磁界変調特性を測定した。dc-SQUIDの二次元磁界変調特性では、超伝導ループで捕捉した外部磁束によって変調される超伝導電流の変調パターンと、dc-SQUIDを構成するジョセフソン接合が捕捉する外部磁束によって変調されるジョセフソン電流の変調パターンが重畳さ

れた特性が得られた。さらに、dc-SQUID を構成する二つの接合間の距離を大きくすることにより、外部磁束を捕獲する超伝導ループの面積が大きくなり、その結果として dc-SQUID を流れる超伝導電流の外部磁界に対する変調周期が小さくなることがわかった。

#### 参考文献

- [1] J. Clarke and A. I. Braginski, *The SQUID handbook*, WILEY-VCH (2004).
- [2] K.K. Likharev and V.K. Semenov, RSFQ logic/memory family: a new Josephson-junction technology for sub-terahertz-clock-frequency digital systems, *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, 1, 3-28 (1991).
- [3] Barone and G. Paterno, *Physics and Applications of the Josephson Effect*, Wiley-Interscience, New York (1982).
- [4] A. Nakayama, S. Abe, T. Morita, M. Iwata, and Y. Yamamoto, Modulation of Josephson Current of Nb Junctions by Two-Dimensional Scan of External Magnetic Field, *IEEE Trans. Magn.* 36, 3511-3513 (2000).
- [5] A. Nakayama, S. Abe, T. Shoji, R. Aoki, N. Watanabe, Modulation of I-V curves of Nb single and double junctions by 2D scan of magnetic field, *Physica B*, 329-333, 1493 (2003).
- [6] A. Nakayama, S. Abe, N. Watanabe, Two-dimensional magnetic field dependence of Josephson current and resonant current steps at finite voltage of square shape superconducting tunnel junctions, *J. Appl. Phys.*, 111, 113907 (2012).
- [7] A. Nakayama, S. Abe, N. Watanabe, Y. Okabe, Two-dimensional magnetic field dependence of zero and finite voltage steps in current-voltage characteristics of rectangular shape niobium tunnel junctions, *Microelectron. Eng.* 108, 163-168 (2013).
- [8] A. Suzuki, A. Nakayama, S. Abe and N. Watanabe, Restoration of the Josephson Current by Applying a Vertical Magnetic Field, *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, 28, 1200105 (2018).
- [9] N. Watanabe, A. Nakayama, S. Abe, S. Kawai, Y. Nishi, and K. Masuda, The shape dependency of two-dimensional magnetic field dependence of a Josephson junction, *J. Appl. Phys.*, 103, 07C707 (2008).
- [10] N. Watanabe, A. Nakayama, S. Abe, Influence of trapped magnetic flux quantum on two-dimensional magnetic field dependence of a Josephson junction, *J. Appl. Phys.*, 101, 09G105 (2007).
- [11] N. Watanabe, A. Nakayama, S. Abe, K. Masuda, Measurement of perpendicular magnetic field dependence of the Josephson current by a three-dimensional scan of the external magnetic field, *J. Phys. Conf. Ser.*, 234, 042038 (2010).
- [12] A. Nakayama, S. Abe, N. Watanabe and Y. Okabe, Anomalous modulation characteristics of DC Josephson current through niobium tunnel junction by applying external magnetic field 4000 A/m in perpendicular direction, *Microelectron. Eng.* 108, 93-98 (2013).
- [13] N. Watanabe, S. Abe, and A. Nakayama, Modulation of a Josephson current through an Nb/Al-AlOx/Nb Josephson junction by a parallel magnetic field and perpendicular magnetic field, *J. Appl. Phys.*, 116, 033920 (2014).
- [14] A. Nakayama, S. Abe, N. Watanabe, Deviation From Fraunhofer-Type Modulation of Josephson Current Through Niobium Tunnel Junctions by Applying Vertical Magnetic Field, *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, 26, 1100606 (2016).
- [15] S. L. Miller, Kevin R. Biagi, John R. Clem, and D. K. Finnemore, Critical currents of cross-type superconducting-normal-superconducting junctions in perpendicular magnetic fields, *Phys. Rev. B*, vol. 31, 2684-2693 (1985).
- [16] O. B. Hyun, D. K. Finnemore, L. Schwartzkopf, and J. R. Clem, Elementary pinning force for a superconducting vortex, *Phys. Rev. Lett.* 58, 599 (1987).
- [17] Y. Tarutani, M. Hirano, U. Kawabe, Niobium-based integrated circuit technologies, *Proc. IEEE*, 77, 1164-1176 (1989).
- [18] A. Nakayama, N. Inaba, S. Sawachi, K. Ishizu, Y. Okabe, Fabrication of Nb/AlOx/Nb Josephson Tunnel Junctions by Sputtering Apparatus with Load-Lock System, *IEICE Trans. Electron.* E77-C, 1164-1168 (1994).
- [19] H. Kroger, L. N. Smith, and D. W. Jillie, Selective niobium anodization process for fabricating Josephson tunnel junctions, *Appl. Phys. Lett.*, 39, 280 (1981).

# 多分岐ポリアミドからなる両親媒性 Janus 型ジブロック共重合体の合成と自己組織化

太田 佳宏\* 實吉 尚郎\*\*

## Synthesis and self-assembly of amphiphilic, Janus diblock copolymers consisting of hyperbranched polyamides

Yoshihiro OHTA\* Hisao SANEYOSHI\*\*

### 1. 緒言

親水性デンドロンと疎水性デンドロンから構成される両親媒性 Janus 型デンドリマーは、ナノ医療、蛍光プローブなどへの応用が期待されており、これらを水溶液中で自己組織化すると、ユニークなモルフォロジーを形成する<sup>[1-6]</sup>。例えば、Percec らは、両親媒性 Janus デンドリマーを水中で自己組織化すると、棒状、ディスク状、helical ribbon のミセルや、ベシクル (dendrimersome)、棒状のベシクル、cubosome などの様々なモルフォロジーを示すことを見出している<sup>[3, 4]</sup>。Sierra らは、両親媒性 Janus デンドリマー中の疎水性デンドロンの世代数より親水性デンドロンの世代数の方が大きい際は、引き伸ばされたミセルが、疎水性デンドロンと親水性デンドロンの世代数が等しい際は、ベシクルやフレキシブルな二分子層がそれぞれ観測されたことを報告している<sup>[5]</sup>。Wegner らは、両親媒性 Janus デンドリマーの集合体の構造が、熱変動によって球状からドーナツ状、ボタンのような形状に転移することを報告している<sup>[6]</sup>。しかし、構成成分のデンドロンは、保護、脱保護を含めた多段階反応によって合成されるため、各世代の精製を含めると、合成に長い時間を要する。一方、ハイパーブランチポリマーは、 $AB_n$  ( $n \geq 2$ ) 型モノマーの一段階重合によって合成することができる<sup>[7]</sup>。これまでに Zhou らは、 $\beta$ -シクロデキストリン (CD) にグラフトした疎水性ハイパーブランチポリグリセロール (CD-g-HPG) とアゾベンゼン部位を有する親水性ハイパーブランチポリ(3-エチル-3-オキセタンメタノール) との、アゾベンゼンと CD との非共有結合性ホスト-ゲスト相互作用によって結合した超分子 Janus ハイパーブランチポリマーの合成、および、それを自己組織化するとベシクルを形成し、UV 照

射下でアゾベンゼン部位の trans-cis 異性化によってベシクルが分解することを報告している<sup>[8]</sup>。一方、Janus 型デンドリマーのように、フォーカルポイント部分が共有結合でつながった Janus 型ハイパーブランチジブロック共重合体に関しては、これまで報告されていない。これは、ハイパーブランチポリマーのフォーカルポイント同士で反応を行うのに必要な官能基をフォーカルポイントに選択的に導入することが難しいためと思われる。例えば、ハイパーブランチポリマーを合成する際に分子内環化によってハイパーブランチポリマーのフォーカルポイント部分が失われると、フォーカルポイントに選択的に官能基を導入することはできない<sup>[9, 10]</sup>。

我々はこれまでに  $AB_2$  モノマーの連鎖縮合重合によって分子量および分子量分布の制御された疎水性のハイパーブランチポリアミド (HBPA) が一段階で得られることを明らかにしている<sup>[11, 12]</sup>。この重合法は、HBPA のフォーカルポイントであるコア (開始剤ユニット) 部分に官能基を導入することができる。そのため、この重合法はブロック共重合体の合成に利用できる。例えば、ヒドロキシル基を開始剤ユニット部分に持つ HBPA と片末端にカルボキシル基を有するポリエチレングリコール (PEG) との脱水縮合反応によって、両親媒性の PEG-*b*-HBPA が合成されている<sup>[13]</sup>。また、疎水性 HBPA だけでなく親水性 HBPA も  $AB_2$  モノマーの連鎖縮合重合で合成できることを報告している<sup>[14, 15]</sup>。

そこで本研究では、エステル部位にトリエチレングリコール (TEG) 鎖を有する親水性 HBPA とアミノ基にオクチル基を有する疎水性 HBPA のフォーカルポイントをそれぞれ官能基変換した後、脱水縮合反応を行うことで Janus 型ハイパーブランチポリアミドジブロック共重合体 (HBPA-*b*-HBPA) を合成し、得られたブロック共重合体の水中での自己組織化を検討した。その結果、Janus デンドリマー<sup>[6]</sup>のように温度によって集合体の構造が変わったが、Janus デンドリマーでは見られないような樹木状の集合体が観察された。

\*特別助教 物質生命化学科

Assistant Professor, Dept. of Materials and Life Chemistry

\*\*特別助教 物質生命化学科

Assistant Professor, Dept. of Materials and Life Chemistry

(現助教 滋賀医科大学 医学科生命科学講座)

Assistant Professor, Dept. of Fundamental Biosciences, Shiga University of Medical Science)

## 2. 実験・結果と考察

まず、フォーカルポイントにヒドロキシル基またはカルボキシル基を有する HBPA の合成を行った。親水性 HBPA のフォーカルポイントをカルボキシル基にすると、水に溶解しやすいことが予想され、有機溶媒による抽出が大変になると考えられる。そこで、親水性 HBPA のフォーカルポイントをヒドロキシル基に、疎水性 HBPA のフォーカルポイントをカルボキシル基にそれぞれ変換することにした。

フォーカルポイントにヒドロキシル基を有する親水性 HBPA の合成は、以下のように行った (図 1)。

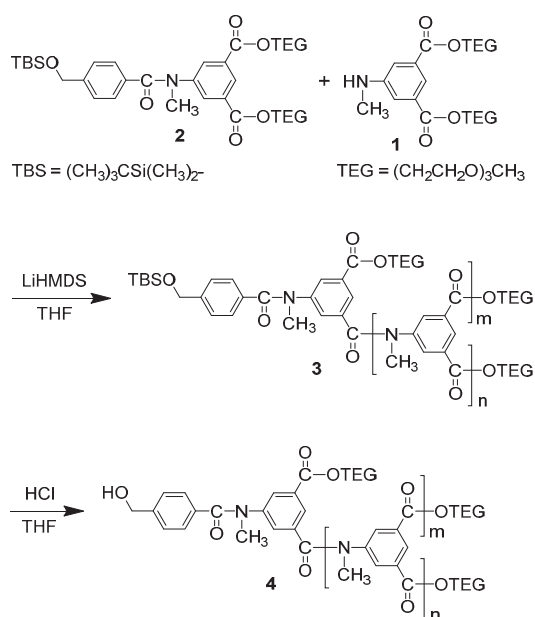


図 1. 親水性ハイパーブランチポリアミドの合成

AB<sub>2</sub> モノマー **1** に対して 1.1 当量のリチウムヘキサメチルジシラジド (LiHMDS) 存在下、*tert*-ブチルジメチルシリル (TBS) 基を有する開始剤 **2** を用いてモノマー **1** の重合を -40 °C で行い、分子量分布の狭いポリマー **3** を得た。続いて、1 M 塩酸を用いて得られたポリマーの TBS 基の脱保護を行い、**4a** を得た ( $M_n(\text{MALLS}) = 16400$ ,  $M_w/M_n = 1.19$ )。異なる分子量を持つ **4b** ( $M_n(\text{MALLS}) = 11800$ ,  $M_w/M_n = 1.15$ ) も同様の方法で得た。

次に、フォーカルポイントにカルボキシル基を有する疎水性 HBPA の合成を行った (図 2)。AB<sub>2</sub> モノマー **5** に LiHMDS を作用させて、TBS 基を有する開始剤 **6** 存在下で重合を行い、ポリマー **7** を得た。次に、得られた **7** に 1 M 塩酸を作用させて **8** とした。さらに、**8** と無水コハク酸をトリエチルアミンと 4-ジメチルアミノピリジン (DMAP) 存在下で反応させて、カルボキシル基を有する HBPA **9a** を得た ( $M_n(\text{MALLS}) = 4900$ ,  $M_w/M_n = 1.07$ )。得られた **9a** の <sup>1</sup>H NMR スペクトルより、ベンジルプロトン *a* とカルボニル基に挟まれたメチレンプロトン *b* の比が 2/4 になった。これらの結果より **9a** の生成を確認した。また、異なる分子量を持つ **9b** ( $M_n(\text{MALLS}) = 6710$ ,  $M_w/M_n = 1.08$ ) も同様の方法で得た。

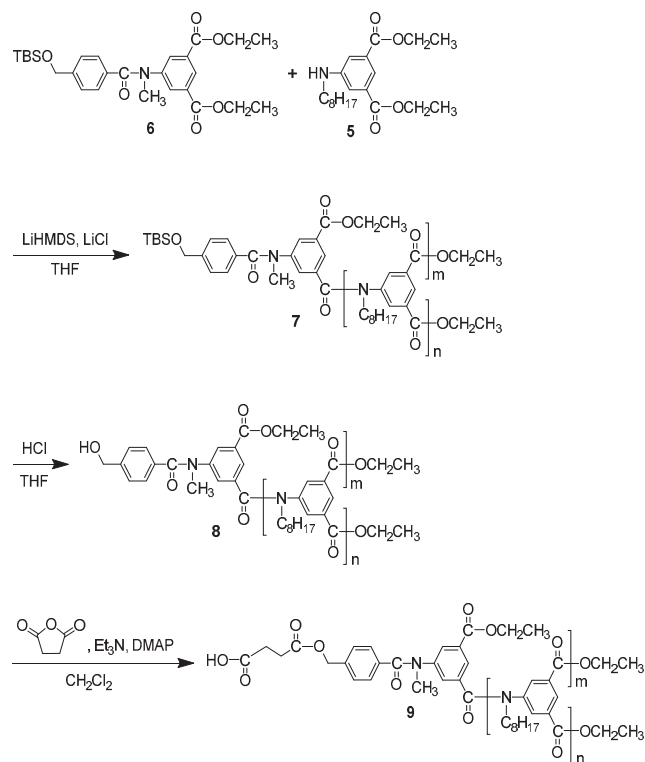


図 2. 疎水性ハイパーブランチポリアミドの合成

次に、**4** と **9** との脱水縮合反応を 1-エチル-3-(3-ジメチルアミノプロピル)カルボジイミド (EDCI) 塩酸塩と DMAP 存在下、DMF 中、室温で行った (図 3)。

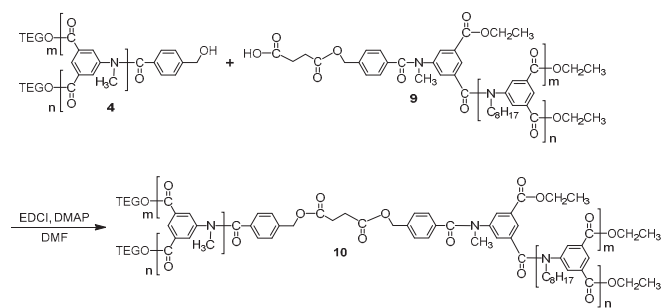


図 3. 両親媒性 Janus 型 HBPA-*b*-HBPA の合成

まず、**4a** と **9a** を用いた脱水縮合反応を行った結果、得られた粗生成物の GPC 溶出曲線は **9a** や **4a** (図 4A, B) より高分子量側に移動した (図 4C)。このポリマーを分取 HPLC (溶離液: クロロホルム) によって精製し、両親媒性ブロック共重合体 **10a** ( $M_n(\text{MALLS}) = 22300$ ,  $M_w/M_n = 1.11$ ) を得た (図 4D)。得られた **10a** の <sup>1</sup>H NMR スペクトルより、ベンジルプロトン *a* とカルボニル基に挟まれたメチレンプロトン *b* との比が 4/4 になった (図 5)。これらの結果より、**4a** と **9a** との脱水縮合反応によって Janus 型 HBPA-*b*-HBPA **10a** が得られたことが示唆された。

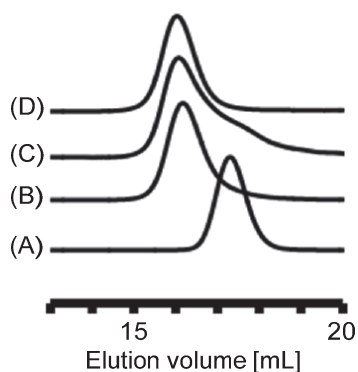


図 4. GPC 溶出曲線: (A) **9a**, (B) **4a**, (C) **10a** (粗生成物),  
(D) **10a** (分取 HPLC による精製後)

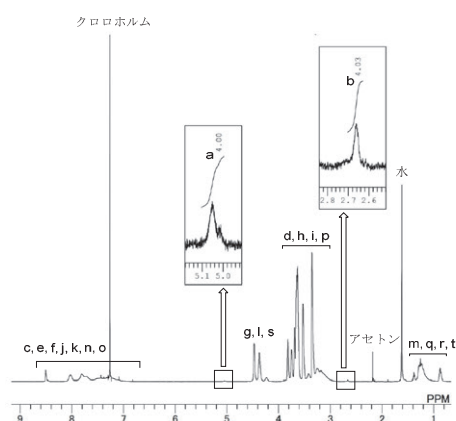


図 5. **10a** の  $^1\text{H}$  NMR スペクトル

また、**4b** と **9b** との脱水縮合反応によって、**10a** とは異なる組成比を持つ **10b** ( $M_n(\text{MALLS}) = 22100$ ,  $M_w/M_n = 1.07$ ) も同様に合成した (図 6, 7)。

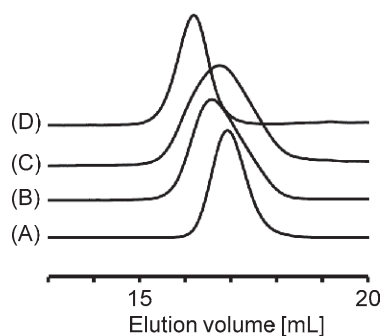


図 6. GPC 溶出曲線: (A) **9b**, (B) **4b**, (C) **10b** (粗生成物),  
(D) **10b** (分取 HPLC による精製後)

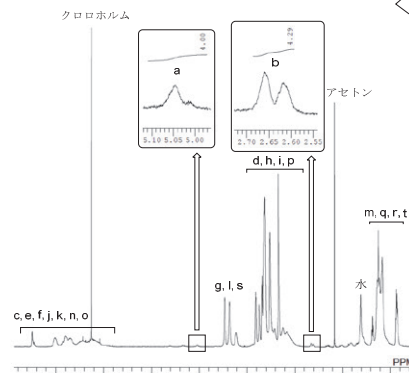
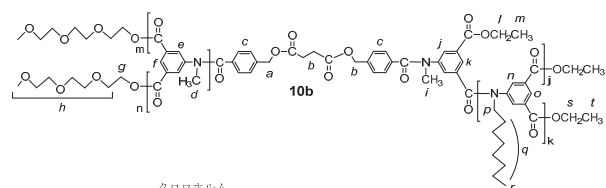


図 7. **10b** の  $^1\text{H}$  NMR スペクトル

次に、得られた **10** の水に対する溶解性をそれぞれ調べたところ、疎水/親水の比率が 23/77 の **10a**、36/64 の **10b** 共に水に溶けた。疎水鎖を含むブロック共重合体 **10** が水に溶けていることから、室温では親水鎖を外側 (コロナ)、疎水鎖を内側 (コア) に持つような集合体を形成していると考えられる。さらに、その水溶液を加熱すると白濁し、温度を下げると再び透明な溶液に戻った。そこで、各温度における **10b** の水中での自己組織体の構造を調べるために透過型電子顕微鏡 (TEM) による観察を行った。その結果、25 °C の水溶液から調製したサンプルからは、球状の集合体が観察された (図 8A)。一方、50 °C のサンプルからは棒状の集合体 (図 8B)、70 °C のサンプルからは樹木状の集合体 (図 8C) がそれぞれ観察された。

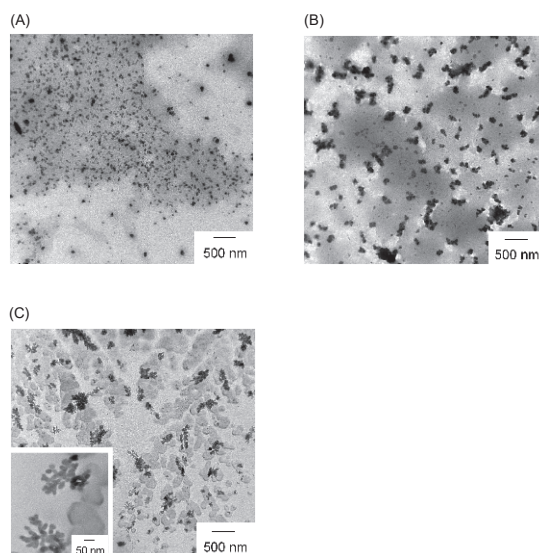


図 8. **10b** の水中での自己組織体の TEM 写真:  
(A) 25 °C, (B) 50 °C, (C) 70 °C

また、TEM と動的光散乱 (DLS) から求めた粒形は、ほぼ一致した (図 9)。

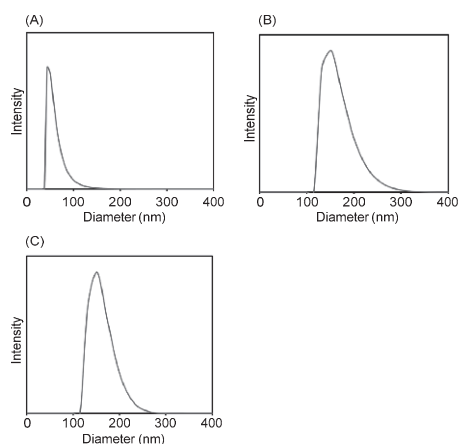


図 9. **10b** の水中での自己組織体の DLS データ：  
(A) 25 °C, (B) 50 °C, (C) 70 °C

集合体の構造が温度に応じて変化したのは、以下のように考えている。25 °C において、TEG 鎖を持つ親水性の HBPA は水に溶けるので水中でシェルとなり、疎水性の HBPA をコアとする球状の集合体を形成する。50 °C においては、脱水和によって親水性が低下するので棒状の集合体になる。70 °C にすると、最初は親水性であった HBPA は疎水性になるが、多数ある TEG 鎖で集合体全体を溶かすために集合体の外側には配置される。棒状の集合体は崩壊して、小さなベースユニットができ、それらが集まることで樹木状の集合体になる。おそらく、崩壊した棒状集合体の末端でむき出しになる小さな疎水性領域を減少させることが、樹木状の集合体を形成するための駆動力になっていると思われる<sup>[16]</sup>。

### 3. 結言

AB<sub>2</sub> モノマーの連鎖縮合重合の後に官能基変換することで得られたフォーカルポイントにヒドロキシル基を有する親水性 HBPA **4** とカルボキシル基を有する疎水性 HBPA **9** との脱水縮合反応によって、両親媒性 Janus 型 HBPA-*b*-HBPA **10** が合成できた。得られた **10b** は水に溶解し、25 °C の水中で球状構造を形成した。さらに、水溶液の温度を 50 °C、70 °C に上げると、棒状の集合体、樹木状の集合体に変わることを見出した。今後、ハイパーブランchedポリマーを含む様々なアーキテクチャーの自己組織化を行い、その挙動について検討する。最後に、TEM 測定にご協力いただいた国立台湾大学の Chi-An Dai 先生と研究室の方々へ厚く御礼申し上げる。

### 4. 参考文献

[1] B. N. S. Thota, L. H. Uner and R. Haag, Supramolecular Architectures of Dendritic Amphiphiles in Water, *Chem. Rev.*, 116 (4), 2079-2102 (2016).  
[2] S. E. Sherman, Q. Xiao and V. Percec, Mimicking Complex Biological Membranes and Their Programmable Glycan Ligands with Dendrimerosomes and Glycodendrimerosomes, *Chem. Rev.*, 117 (9), 6538-6631 (2017).  
[3] V. Percec, D. A. Wilson, P. Leowanawat, C. J. Wilson, A. D. Hughes, M. S. Kaucher, D. A. Hammer, D. H. Levine, A. J. Kim, F. S. Bates, K. P.

Davis, T. P. Lodge, M. L. Klein, R. H. DeVane, E. Aqad, B. M. Rosen, A. O. Argintaru, M. J. Sienkowska, K. Rissanen, S. Nummelin and J. Ropponen, Self-Assembly of Janus Dendrimers into Uniform Dendrimerosomes and Other Complex Architectures, *Science*, 328 (5981), 1009-1014 (2010).

[4] M. Peterca, V. Percec, P. Leowanawat and A. Bertin, Predicting the Size and Properties of Dendrimerosomes from the Lamellar Structure of Their Amphiphilic Janus Dendrimers, *J. Am. Chem. Soc.*, 133 (50), 20507-20520 (2011).

[5] E. Fedeli, A. Lancelot, J. L. Serrano, P. Calvo and T. Sierra, Self-assembling amphiphilic Janus dendrimers: mesomorphic properties and aggregation in water, *New J. Chem.*, 39 (3), 1960-1967 (2015).

[6] F. Yuan, X. Zhang, M. Yang, W. Wang, B. Minch, G. Lieser and G. Wegner, Topological transformation of aggregates formed by an amphiphilic and truncated-cone-shaped codendrimer, *Soft Matter*, 3 (11), 1372-1376 (2007).

[7] B. I. Voit and A. Lederer, Hyperbranched and Highly Branched Polymer Architectures—Synthetic Strategies and Major Characterization Aspects, *Chem. Rev.*, 109 (11), 5924-5973 (2009).

[8] Y. Liu, C. Yu, H. Jin, B. Jiang, X. Zhu, Y. Zhou, Z. Lu and D. Yan, A Supramolecular Janus Hyperbranched Polymer and Its Photoresponsive Self-Assembly of Vesicles with Narrow Size Distribution, *J. Am. Chem. Soc.*, 135 (12), 4765-4770 (2013).

[9] M. Bednarek, P. Kubisa and S. Penczek, Multihydroxyl Branched Polyethers. 2. Mechanistic Aspects of Cationic Polymerization of 3-Ethyl-3-(hydroxymethyl)oxetane, *Macromolecules*, 34 (15), 5112-5119 (2001).

[10] M. Rahm, R. Westlund, C. Eldsäter and E. Malmström, Tri-block copolymers of polyethylene glycol and hyperbranched poly-3-ethyl-3-(hydroxymethyl)oxetane through cationic ring opening polymerization, *J. Polym. Sci., Part A: Polym. Chem.*, 47 (22), 6191-6200 (2009).

[11] Y. Ohta, S. Fujii, A. Yokoyama, T. Furuyama, M. Uchiyama and T. Yokozawa, Synthesis of Well-Defined Hyperbranched Polyamides by Condensation Polymerization of AB<sub>2</sub> Monomer through Changed Substituent Effects, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 48 (32), 5942-5945 (2009).

[12] Y. Ohta, Y. Kamijyo, S. Fujii, A. Yokoyama and T. Yokozawa, Synthesis and Properties of a Variety of Well-Defined Hyperbranched N-Alkyl and N-H Polyamides by Chain-Growth Condensation Polymerization of AB<sub>2</sub> Monomers, *Macromolecules*, 44 (13), 5112-5122 (2011).

[13] Y. Ohta, T. Kanou, A. Yokoyama and T. Yokozawa, Synthesis of well-defined, amphiphilic poly(ethylene glycol)-*b*-hyperbranched polyamide, *J. Polym. Sci., Part A: Polym. Chem.*, 51 (17), 3762-3766 (2013).

[14] Y. Ohta, Y. Kamijyo, A. Yokoyama and T. Yokozawa, Synthesis of Well-Defined, Water-Soluble Hyperbranched Polyamides by Chain-Growth Condensation Polymerization of AB<sub>2</sub> Monomer, *Polymers*, 4 (2), 1170-1182 (2012).

[15] Y. Ohta, K. Sakurai, J. Matsuda and T. Yokozawa, Chain-growth condensation polymerization of 5-aminoisophthalic acid triethylene glycol ester to afford well-defined, water-soluble, thermoresponsive hyperbranched polyamides, *Polymer*, 101, 305-310 (2016).

[16] Y. Ohta, Y. Abe, K. Hoka, E. Baba, Y.-P. Lee, C.-A. Dai and T. Yokozawa, Synthesis of amphiphilic, Janus diblock hyperbranched copolyamides and their self-assembly in water, *Polym. Chem.*, 10 (31), 4246-4251 (2019).

## 7. 工学研究所プロジェクト研究

- 7-1 大三島町宗方における地域交流拠点づくりについて—まちづくり研究所の活動・2018年度—  
吉岡 寛之, 曾我部 昌史, 石田 敏明, 内田 青蔵, 山家 京子, 中井 邦夫,  
須崎 文代, 田野 耕平, 重村 力, 丸山 美紀, 長谷川 明, 鈴木 成也
- 7-2 高周波回路の解析・設計理論の整備と対応ソフト開発—方形断面光導波路等価回路解析法の妥当性— 平岡 隆晴, 許 瑞邦
- 7-3 A simple approach for the fundamental period of MDOF structures Yan-gang ZHAO, Haizhong ZHANG
- 7-4 “新たな低炭素エネルギー社会に対応した新型電池の開発(4)”  
松本 太, 池原 飛之, 郡司 貴雄, 大坂 武男, 長澤 浩, 入井 友海太, 安東 信雄
- 7-5 ロードノイズを対象とした自動車車体の概念設計モデルの構築 山崎 徹, 菊地 通
- 7-6 グリーンイノベーションの基盤となるナノ構造制御触媒の開発研究  
引地 史郎, 内藤 周弼, 上田 渉, 中澤 順, Shigeo T. Oyama, 宮尾 敏広, 赤間 弘, 星野 真樹
- 7-7 車両等に装備するためのポリカーボネート窓の表面改質に関する研究(最終報告)  
新中 新二, 井上 成美, 野尻 秀智, 大越 昌幸, 植田 博臣, 岩井 和史, 中村 先男
- 7-8 微細構造創成用ビルトインモータスピンドルの熱的特性の検討 中尾 陽一, Sangkee MIN
- 7-9 パルスレーザー光を利用した反応開発および機構解析  
岩倉 いずみ, 赤井 昭二, 小林 孝嘉, 藪下 篤史, 橋本 征奈, 岡村 幸太郎, 織作 恵子
- 7-10 フォトニック結晶構造を応用した電磁波回路の解析と応用(成果報告書) 穴田 哲夫, 陳 春平, 中山 明芳
- 7-11 新規物質の自己組織化を基盤とした界面制御 亀山 敦, 川口 春馬, 高橋 明
- 7-12 企業ロボットと分析・管理系 石井 信明, 松井 正之
- 7-13 ポリペプチドのフォールディングと集積化により形成される高次構造と機能 亀山 敦, 岩岡 道夫, 森井 尚之, 高橋 明
- 7-14 戸建住宅における全館空調の一次エネルギー消費量に関する研究(2) 岩本 静男, 傳法谷 郁乃, 児保 茂樹
- 7-15 連続時間量子ウォーク探索とグラフ縮約・固有解析 井出 勇介, 小松 亮, 今野 紀雄, 佐々木 太良, 吉田 稔
- 7-16 次世代無線通信を支えるマイクロ波・ミリ波・テラヘルツ波・光波パッシブデバイスの理論設計と応用  
陳 春平, 張 沢君, 穴田 哲夫, 武田 重喜, 王 小龍





# 大三島町宗方における地域交流拠点づくりについて

## -まちづくり研究所の活動・2018年度-

吉岡 寛之\*\* 曾我部 昌史\* 石田 敏明\* 内田 青蔵\* 山家 京子\* 中井 邦夫\*  
 須崎 文代\*\* 田野 耕平\*\*\* 重村 力\*\*\*\* 丸山 美紀\*\*\*\*\* 長谷川 明\*\*\*\*\* 鈴木 成也\*\*\*\*\*

### Making of Regional Exchange Base in Omishima-Munakata Report on Activities of the Town Planning Institute 2018

Hiroyuki YOSHIOKA\*\* Masashi SOGABE\* Toshiaki ISHIDA\* Seizo UCHIDA\* Kyoko YAMAGA\* Kunio NAKAI\*  
 Fumiyo SUZAKI\*\* Kouhei TANO\*\*\* Tsutomu SHIGEMURA\*\*\*\* Miki Maruyama\*\*\*\*\* Akira Hasegawa\*\*\*\*\* Naruya SUZUKI\*\*\*\*\*

#### 1. 大三島町宗方の地域交流拠点づくり

大三島は広島県と愛媛県をつなぐしまなみ海道の中央に位置する島で、柑橘栽培を中心とした農業が主な産業である。島内では人口減少と少子高齢化が進み、柑橘栽培の担い手が育たず、耕作放棄地が増加している。しかし、近年ではIターンによる移住者も増え、有機栽培による新たな農業の取り組みが深まりつつある。しまなみ海道は、自動車のみではなく自転車で行き来が出来る道としてサイクリストの聖地と呼ばれ、年々観光客が増えつつある。2011年の今治市伊東豊雄建築ミュージアム開館がきっかけとなり、同氏が開設した伊東建築塾と協同で、2013年から大三島の地域づくりの活動を進めている。本稿では宗方地区の地域交流拠点づくりに関する取り組みを報告する。

#### 2. 大三島ふるさと憩の家 の沿革

宗方は島の南西に位置する集落である。しまなみ海道の大三島インターチェンジから約15km先にあり、商店数の少ない不便な地域ではあるが、斜面地には手入れがされた柑橘畑が広がり大三島特有の美しい風景が残る。1986年に宗方小学校は過疎化による児童数の減少により閉校となった(図1)。その後は、大三島ふるさと憩の家と呼ばれる宿泊所として親しまれてきた。敷地南側の海辺では、2014年

から地域住民が宗方権伝馬十七夜祭という祭りを復活させた(図2)。200年以上の歴史があるとされる祭りで、手漕ぎ舟でスピードや勇壮さを競い合う。祭りの時期には集落を離れてしまった人も訪れて、賑わいが生まれていた。一方、旧宗方小学校の建物については、老朽化により取り壊しの検討がはじまっていた。島内に唯一残る木造校舎であり、地域の記憶が残る場所として存続できないかと考え、伊東豊雄建築ミュージアムでの展覧会「日本一美しい島・大三島をつくろうプロジェクト2015」にて改修案を展示した(図3, 4)。地域住民と観光で訪れたサイクリストが集える場所として、ラウンジやワークショップスタジオなどを備えた交流の場である。これが契機となり、2018年に今治市からの地方創生交付金が得られることになり、新たな地域交流拠点としての改修が実現することになった。

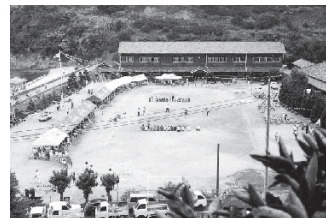


図1 . 1980年の宗方小学校



図2 . 2014年の宗方権伝馬十七夜祭

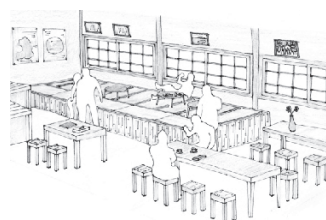


図3 . 改修案/ラウンジ

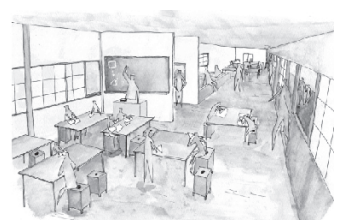


図4 . 改修案/ワークショップスタジオ

\* 教授 建築学科  
 Professor, Dept. of Architecture  
 \*\* 特別助教 建築学科  
 Assistant Professor, Dept. of Architecture  
 \*\*\* 特別助手 建築学科  
 Research Associate, Dept. of Architecture  
 \*\*\*\* 客員教授 工学研究所  
 Guest Professor, Research Institute for Engineering  
 \*\*\*\*\* 特別研究員 工学研究所  
 Research Fellow, Research Institute for Engineering

### 3. 改修の経緯について

敷地面積8147.71m<sup>2</sup>の中に北棟(木造平屋 延床面積613.43m<sup>2</sup>), 西棟(木造2階建 延床面積794.96m<sup>2</sup>)の2つの建屋があり, 宿泊所として利用されている。かねてから屋根からの漏水が深刻な問題であった。北棟では東側の一部, 西棟では様々な箇所でも漏水が発生しており, 原因箇所が特定できない状態であった。西棟の背後には斜面地が迫る。地面の水はけが悪いため床下にカビが発生しやすく, 今治市が床下に換気扇を設置し対策を行っていたが, 大半の客室でカビ臭が感じられるなど宿泊に影響がでていた。



図5. 改修前の西棟屋根裏



図6. 改修前の西棟床下

2017年3月から本格的な改修設計をはじめた。5月に実地調査を行い, 老朽化した部分の実態を把握しながら各棟を実測し, 図面化を進めた(図5, 6, 12)。宗方小学校は別の土地で創立された後に現在の場所に移転し, 西棟はその際に解体移築されたことが地域住民へのヒアリングからわかってきた。実測からも再建築の経緯がわかる柱梁材が確認できた。設計内容については, 地元の運営者である藤原大成氏と密なやりとりを行った。これまでの不具合箇所を整理し, これから地域の中でどのような拠点であるべきか, 観光客にとってどのような設えが求められるか等, 様々な視点で議論を重ねた。客室については, カビの影響が出ている西棟の和室を洋室化し, 洗面, シャワーなどの水廻りを充実し快適性を向上した(図8, 9)。食堂は, 今まで以上に様々な使い方に対応すべく, 以前は使われていなかった2階部分を改修し上下をつなぐ階段を設け, 食堂をより大きく拡張した(図10)。敷地南側には温室の建物があった。一層分ほどあるコンクリート土台を活用し, その上に新たな木造の架構を加えて, 瀬戸内の海を間近に体験できる風呂棟として改修を行った(図11)。サイクリストの休憩所としても活用されるように, 北棟トイレについても一部改修を行った。



図7. 改修後の全景(正面が西棟, 右手が北棟, 左手が風呂棟)



図8. 改修後の西棟, 北棟



図9. 改修後の客室



図10. 改修後の食堂



図11. 改修後の浴室

10月に着工し, 運営者である藤原氏の協力により半年間休業をし施工が進められた。施工期間中は, 地元施工会社, 大三島島内の大工さん, 愛媛県立今治北高等学校大三島分校の高校生(図13), 関東や関西からの大学生, 宗方の住民, 藤原氏の家族など, 合計200人を越えるメンバーが施工に携わった。従来の建築のつくり方とは違う, 多様な人の小さな力が集まることで生まれた建築である。2018年4月にリニューアルオープンを迎えた。



図12. 伊東建築塾と協同で実測調査



図13. 大三島分校生の協力

### 4. 今後の取り組みについて

改修後の大三島ふるさと憩の家では, 子どもたちの夏合宿, 地元高校性と留学生の交流授業の教室, 宗方小学校の卒業生による交流会, ウェディングパーティーなど, これまでの宿泊所の枠を越えた様々な活用が行われている。

観光で訪れた人と地元住民との接点となる場所として活用されることを目指し, 運営者と定期的にミーティングを設け, 宿泊ツアーやイベントなど活用プランを議論し, 今後の拠点の在り方を検討している。

継続して活動をつづけている徳島美波町の門前町再生, 横浜市関内エリアの防火帯建築の活用など, 他の地域での取り組みについては来年度以降, 報告を予定している。

# 高周波回路の解析・設計理論の整備と対応ソフト開発 — 方形断面光導波路等価回路解析法の妥当性 —

平岡 隆晴\* 許 瑞邦\*\*

## Validity of Analysis Method by Equivalent Network for Field and Characteristics of Rectangular Cross-section Optical Waveguide

Takaharu HIRAOKA\* Jui-Pang HSU\*\*

### 1. 解析法・開発ソフト妥当性の検証

光波帯で使用する方形断面導波路 (図 1(a)) の伝搬状態電磁界分布及び伝搬速度(実効屈折率)を正確に求めることは光回路の設計で重要である。これまで、解析の為スラブ状態展開に基づく横方向等価回路 (多線状伝送線路及び多開口理想変圧器) を提案し、対応したソフトを開発し具体的な構造に適用して一定の成果を得た。ここでは、これまでの解析法及び開発ソフトの妥当性を検証するため、光導波路を縦置きにして 3 領域等価回路 (図 2(b)) に基づいてソフトを開発し、導波路の電磁界分布・特性を計算した。横置き結果との一致は本手法の妥当性及び有効性を示すこととなる

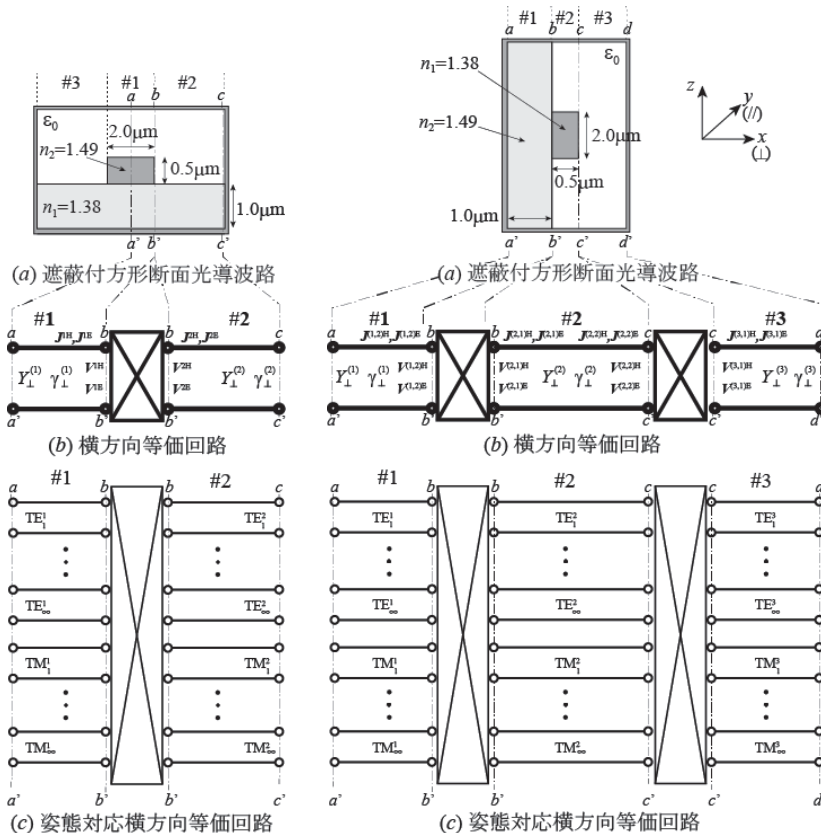


図 1 横置き構造と等価回路

図 2 縦置き構造と等価回路

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

### 2. 本文及び原稿の体裁全般

ここでは縦置きでの諸特性を図 2 の等価回路に基づいて開発したソフトで計算し横置きの結果と比較する。なお、ここでの解析は構造の対称性から横置きでは横半分、縦置きでは上下半分の構造で計算した。1) 基本伝送状態の実効屈折率: 縦・横解析結果を TE/TM 考慮状態数を横軸にして図 3(a) に示す。この結果より両解析で実効屈折率が一定値に収束していくことが分かる。また、収束が横置きでは上から縦置きでは下から収束しているので真値はこの中間にあることが分かる。2) 電磁界分布: 方形断面光導波路電磁界の縦・横解析結果を図 5 に示す。本解析では TE/TM 考慮状態数を各

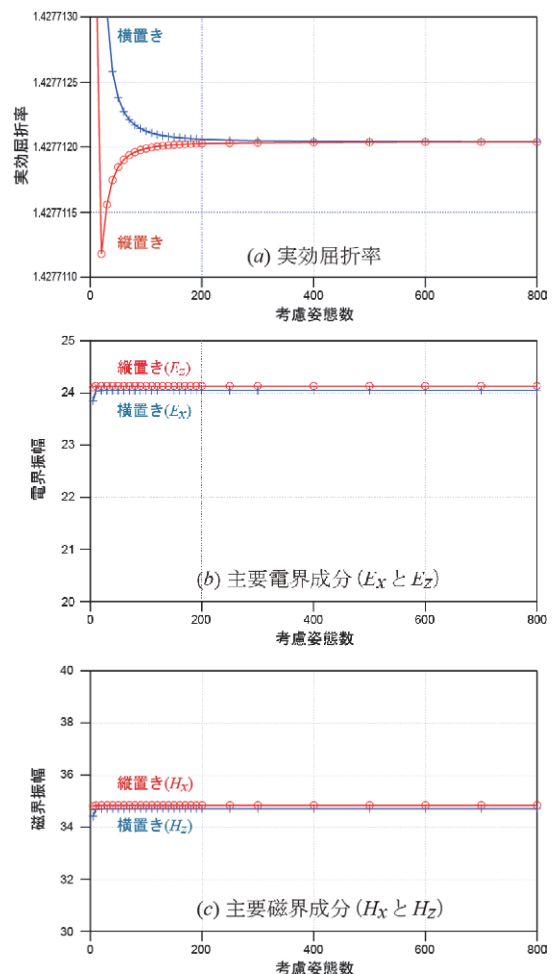


図 3 考慮状態数に対する物理量の収束性

800 姿態とした。両解析結果は同じ分布と推察される。3) 電磁界の計算精度：電磁界の計算精度を定量的に検証するため電磁界が最大となる位置（対称面床より  $1.2\mu\text{m}$ ）での主要電界・磁界の考慮姿態数に対する収束性を図 3(b), (c) に示す。両者とも 100 姿態程度で一定値に達しこれ以上考慮姿態を増やしても電磁界は変化しない。但し、両手法の収束値には 0.4% 程度の差があり、今後この差が生じる原因を追究する。4) 不連続部での電磁界連続性と一致性：方形断面光導波路の不連続部は 3 か所あり、縦横解析ですべての

不連続部で電磁界の連続性が確認した。縦横解析での不連続部の解の一致性を横置きで不連続  $bb'$  について横縦の比較を図 4 に示す。

### 3. むすび

方形断面光導波路の縦・横配置での等価回路に基づく計算結果が一致したことから本手法の妥当性及び有効性を示すことができた。

謝辞 穴田哲夫名誉教授および陳春平准教授にお世話になりました。

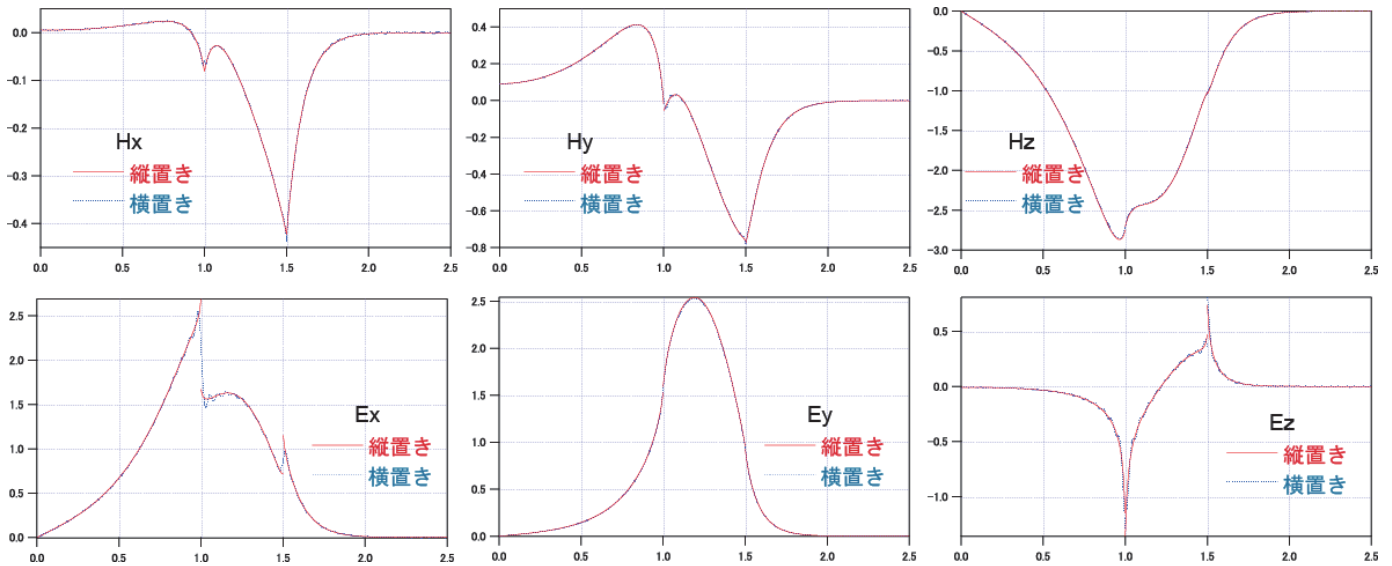
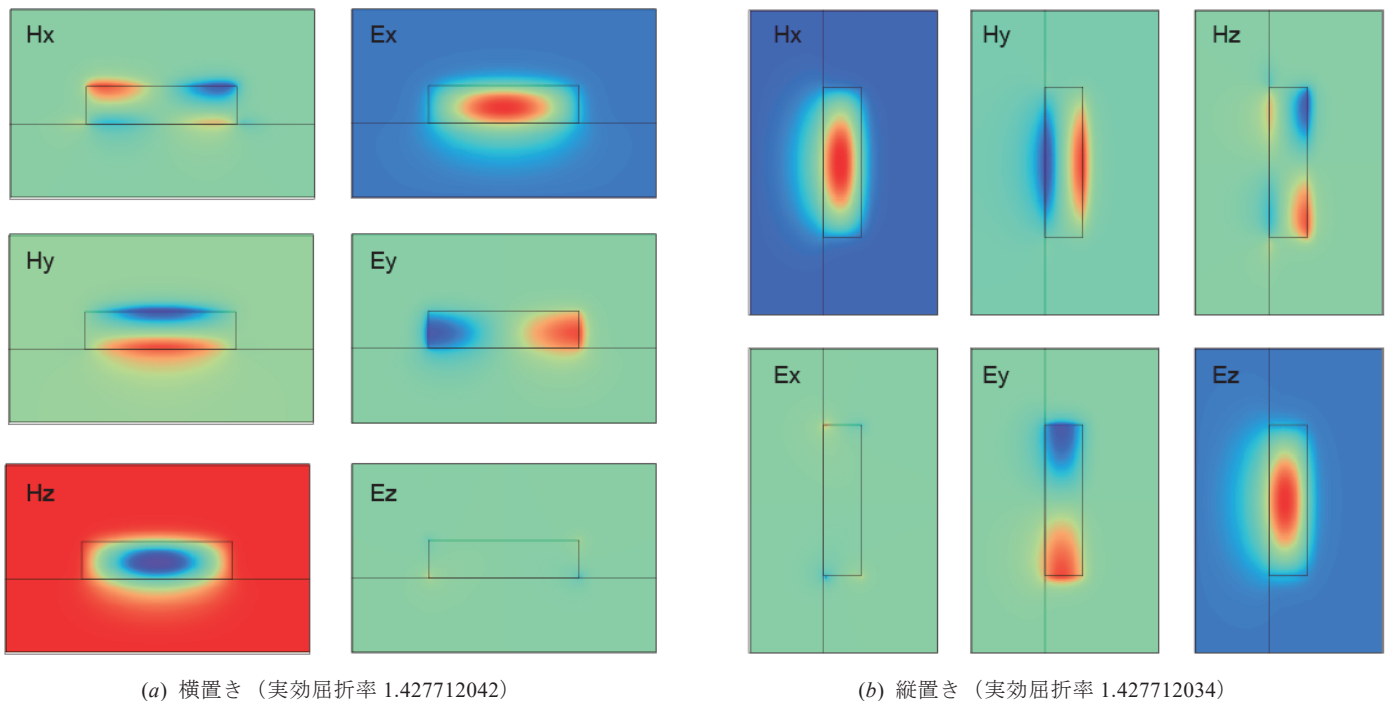


図 4 縦置き・横置きでの不連続電磁界分布の一致性



(a) 横置き (実効屈折率 1.427712042)

(b) 縦置き (実効屈折率 1.427712034)

図 5 縦置き・横置きでの電磁界分布の計算結果と一致性

## A simple approach for the fundamental period of MDOF structures

Yan-gang ZHAO \*

Haizhong ZHANG \*\*

### 1. Introduction

The fundamental period is a key parameter for the seismic design of a building structure using the equivalent-lateral-force procedure; in principle, it can be accurately evaluated by means of an eigenvalue analysis [1] on a structural model. In most building-design projects, since the building's period cannot be analytically calculated before it has been designed, accurate computation is generally not possible in the preliminary design stage, and, typically, simple formulae for the fundamental period are used to initiate the design process. These simple formulae also serve as a basis for limiting the period from a finite-element model by applying the upper-bound factor suggested in the 2003 NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and subsequently in ASCE 7-05 [2]. Therefore, at present, simple formulae for estimating the fundamental period with good accuracy play an important role in structural design [3, 4].

Many researchers have previously proposed such formulae for this purpose. Generally, there are two kinds of simple formulae for the fundamental period: empirical [3-16] and analytical [17-21]. A lot of empirical formulae have been developed. Asteris et al. [5, 6] give an extensive review of these formulae. Empirical formulae adopted in most codes are simply expressed in terms of the height of buildings [19, 21]. Some researchers take into account other parameters apart from the height of building. Kose [9] takes into account the presence of infill walls and frame type. Hatzigeorgiou and Kanapitsas [11] proposed an expression considering the soil flexibility, the influence of shear walls, and the external and internal infill wall. Asteris et al. [5, 6] proposed a more accurate formula that takes into account the number of stories, the number of span, the span length, the infill wall panel stiffness and the percentage of openings within the infill wall. Further, Asteris et al [8] recognized that the vertical geometric irregularity significantly influences the fundamental period, and proposed a reduction factor to quantify this effect.

Analytical formulae also have been adopted in many codes [19-21]. This study focuses on the analytical ones, which have generally been developed based on vibration theory for a multiple-degree-of-freedom (MDOF) system. Among these, Rayleigh's method, Geiger's method, and Dunkerley's method are the three most widely used; the first two of which were specified in the 1997 Uniform Building Code [19], the Japanese seismic code [20], respectively. In this paper, a new, simpler, and more

accurate method for estimating the fundamental period of a MDOF system is proposed.

### 2. The proposed method for estimating the fundamental period

A simple method for estimating the fundamental period of an MDOF system is proposed in this chapter. The basic principle is to replace a complicated MDOF system with an equivalent SDOF system for which the fundamental period can be easily obtained. To realize the SDOF-system equivalence, a procedure to replace a two-degree-of-freedom (2-DOF) system with an SDOF system having the same fundamental period, called the two-to-single (TTS) procedure, is developed firstly; then, using the TTS procedure successively, the MDOF system can be replaced with an equivalent SDOF system having approximately the same fundamental period.

#### 2.1 A procedure to replace a 2-DOF system with an SDOF system

In order to develop the TTS procedure to reduce a 2-DOF system to an SDOF system with the same fundamental period, a 2-DOF system and an equivalent SDOF system are considered, as shown in Fig. 1. In essence, developing the TTS procedure means expressing parameters including mass,  $m_{eq}$ , and stiffness,  $k_{eq}$ , of the equivalent SDOF system in terms of the parameters of the 2-DOF system. For this purpose, the following two equivalent equations are considered

$$m_{eq} = m_1 + m_2 \quad (1)$$

$$T_{eq} = T_{2-DOF} \quad (2)$$

here,  $m_i$ ,  $i = 1, 2$ , is mass of the  $i$ th degree of freedom and  $T_{2-DOF}$  is the fundamental period of the 2-DOF system;  $T_{eq}$  is the fundamental period of the equivalent SDOF system. In order to determine the stiffness,  $k_{eq}$ , of the equivalent SDOF system using Eq. (2), the fundamental period,  $T_{2-DOF}$ , of the 2-DOF system should be derived firstly.

Consider the 2-DOF system in free harmonic vibration. The basic eigen problem for this system is represented as

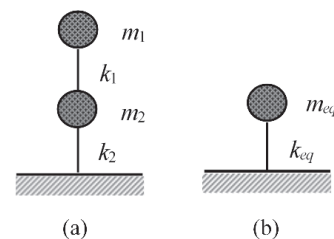


Fig. 1. Illustration of the concept of replacing a 2-DOF system with an equivalent SDOF system

\* Professor, Dept. of Architecture

\*\* Assistant Professor, Dept. of Architecture

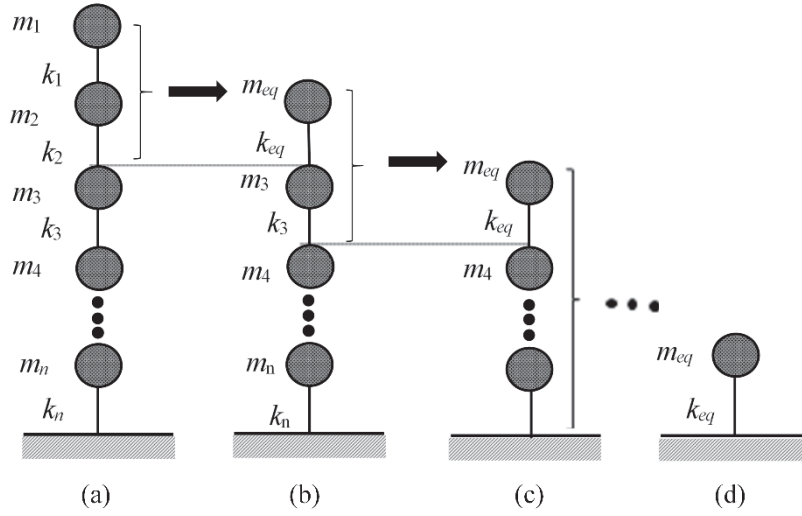


Fig. 2. Illustration of the concept of replacing an MDOF system with an equivalent SDOF system

$$(\omega^2 [M] - [K])\{u\} = 0 \quad (3)$$

where  $\omega_i$ ,  $i = 1, 2$ , are the free-vibration frequencies,  $[M]$  and  $[K]$  are the mass and stiffness matrices of the 2-DOF system, respectively, and are expressed as

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \quad [K] = \begin{bmatrix} k_1 & -k_1 \\ -k_1 & k_1 + k_2 \end{bmatrix}$$

and  $k_i$ ,  $i = 1, 2$ , is the stiffness of the  $i$ th degree of freedom.

By eigenvalue analysis, the fundamental frequency  $\omega_1$  can be given by

$$\omega_1^2 = \frac{1}{2} \left[ \frac{k_1 + k_2}{m_2} + \frac{k_1}{m_1} - \sqrt{\left( \frac{k_1 + k_2}{m_2} - \frac{k_1}{m_1} \right)^2 + 4 \frac{k_1^2}{m_1 m_2}} \right] \quad (4)$$

As  $T_{2-DOF} = 2\pi/\omega_1$ , according to Eq. (2), the stiffness,  $k_{eq}$ , of the SDOF system is given by

$$k_{eq} = \frac{(m_1 + m_2)}{2} \left[ \frac{k_1 + k_2}{m_2} + \frac{k_1}{m_1} - \sqrt{\left( \frac{k_1 + k_2}{m_2} - \frac{k_1}{m_1} \right)^2 + 4 \frac{k_1^2}{m_1 m_2}} \right] \quad (5)$$

Using Eq. (1) and (5), an equivalent SDOF system having the same fundamental period as the 2-DOF system can be obtained.

## 2.2 A procedure for estimating the fundamental period of an MDOF system

Successively using the procedure for replacing a 2-DOF system with an equivalent SDOF system as described above, a procedure for finding the fundamental period of an MDOF system can be developed. The concept of this procedure is illustrated in Fig. 2. And, the procedure includes following steps:

1. For the MDOF system shown in Fig. 2(a), the top two masses  $m_1$  and  $m_2$  are assumed to lie on rigid ground and can be considered as a 2-DOF system. Then, based on the TTS procedure (i.e., Eq. (1) and (5)), an equivalent SDOF system having the same fundamental period as the top 2-DOF system can be obtained, forming a new MDOF system as shown in Fig. 2(b).

2. Then, as in step (1), the top two masses of the new MDOF system as shown in Fig. 2(b) are considered as a new 2-DOF system lying on rigid ground and can be replaced with another equivalent SDOF system using Eq. (1) and (5) again, forming another new MDOF system, as shown in Fig. 2(c).

3. By application of the TTS procedure successively to the remaining lower masses, finally, the MDOF system is replaced with an equivalent SDOF system, as shown in Fig. 2(d). Then, the fundamental period can be readily obtained.

## 2.3 Validation of the rigid-ground assumption

In the procedure for replacing an MDOF system with an equivalent SDOF system described in the previous section, at each step of replacement, the top two masses are always considered as a 2-DOF system lying on rigid ground. However, except at the final step, the 2-DOF system lies on a floor with limited stiffness. In order to validate the rigid-ground assumption, the fundamental periods of a large number of MDOF structures are computed using the procedure described in Section 2.2 and compared with those obtained using an eigenvalue analysis.

The analyzed MDOF structures are divided into two major categories: MDOF structures with floor stiffness varying with height and those with only one special floor with different stiffness from the others. As the mass of the actual structure generally varies less significantly as a function of height than does stiffness, the mass,  $m_0$ , of the analyzed structures is considered constant.

In the first category, the variation of stiffness with height is expressed as

$$k_i = r^{i-1} k_0 \quad (6)$$

where  $k_i$  is the stiffness of the  $i$ th mass point, as shown in Fig. 2(a),  $k_0$  is a constant value, and factor  $r$  represents the variation degree of stiffness along height. Eq. (6) means that, the stiffness of the top story equals  $k_0$ , and stiffness of any lower  $i$ th story is  $r$  times as large as that of the upper

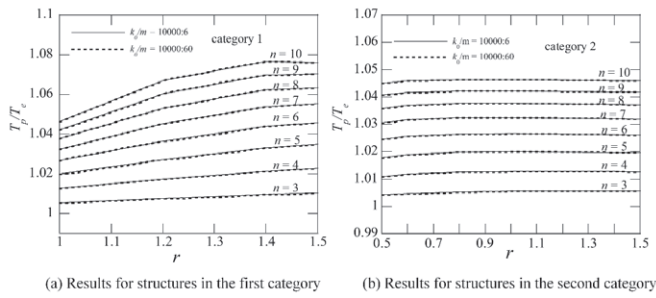


Fig. 3. Comparison of the fundamental periods obtained by the procedure described in Section 2.2 with those obtained by eigenvalue analysis

$i$ -th story. Generally, as the stiffness of the actual structure increases from the top to the bottom, factor  $r$  is considered to vary from 1 to 1.5.

In the second category, the stiffness of only a special floor,  $k_i$ , is considered variable, and the others are constant and equal to  $k_0$ . The variation of the stiffness of this special floor is expressed as

$$k_i = rk_0 \quad (7)$$

Eq. (7) means that, stiffness of the special story is  $r$  times as large as that of other stories equaling  $k_0$ . In this case, factor  $r$  is considered to vary from 0.5 to 1.5, and  $i$  varies from 1 to  $n$ , where  $n$  the number of stories.

It can be easily shown that, in these designed MDOF structures, the parameters controlling the fundamental period are the factor  $r$ , the ratio between stiffness and mass,  $k_0/m_0$ , and the number of stories  $n$ . Thus, the error in the estimated fundamental period caused by the rigid-ground assumption is also considered to be affected by these three parameters. The variation ranges of the parameter  $r$  have been introduced above, for the parameter  $k_0/m_0$ , two values, 10,000 (kN/cm)/6 (t) and 10,000 (kN/cm)/60 (t), are considered in the following calculation. The value, 10,000 (kN/cm)/6 (t), is determined according to an actual structure constructed in Japan [22]. To observe the possible effect of the parameter  $k_0/m_0$  on the error clearly, another extreme value, 10,000 (kN/cm)/60 (t), is assumed. The extreme range assumed for the parameter  $k_0/m_0$  is to observe the possible effect clearly instead of representing actual condition. And number of stories  $n$  is considered to vary from 3 to 10.

The fundamental periods of these MDOF structures are calculated using the procedure described in Section 2.2 and compared against those obtained using an eigenvalue analysis. The errors are expressed by ratios of the fundamental periods calculated by the procedure in Section 2.2,  $T_p$ , with those by an eigenvalue analysis,  $T_e$ . Fig. 3(a) shows the results of the first category of MDOF structures. For the second category of MDOF structures, results are very similar regardless of the value of  $i$  expressed in Eq. (7); for simplicity, only representative results when  $i = n$  are shown in Fig. 3(b). In these figures, the horizontal coordinate is the factor  $r$ , representing the variation degree of stiffness, and the longitudinal coordinate represents the error.

It is observed that, for both subcategories in which there is error in the estimated fundamental period, the maximum relative error is less than 8%. The errors are dependent on the factor  $r$  and the number of stories  $n$ , but

not on the ratio  $k_0/m_0$ . The errors increase with increasing  $r$  for the first category but do not change noticeably for the second category. For both subcategories, the errors increase with  $n$ . Comparing the effects of  $n$  and  $r$  on the errors, that of  $n$  is clearly more prominent.

The reason for the dependence on the number of stories is that, when replacing an MDOF system with an equivalent SDOF system, the top 2-DOF system at each step is assumed to lie on rigid ground, when in fact it lies on a floor with limited stiffness; thus, the more stories the analyzed MDOF system has, the more the assumptions used, resulting in a larger error.

Generally speaking, the rigid-bedrock assumption used in the procedure described in Section 2.2 can cause a calculation error in the fundamental period, but the maximum relative error of the analyzed MDOF structures is below about 8%. The errors are affected by the number of stories  $n$  and the variation degree of the stiffness with height, although the former effect is more significant.

#### 2.4 Correction factor

Based on the analysis in the previous subsection, the prediction of the fundamental period using the procedure described in Section 2.2 is improved with the appropriate introduction of a correction factor.

The fact that the error in the fundamental period obtained using the procedure in Section 2.2 is affected by the number of stories and the variation degree of the stiffness along height leads us to conclude that the correction factor should be expressed in terms of the number of stories,  $n$ , and a factor representing the variation degree of stiffness. However, since the variation degree of the stiffness of an actual building cannot be expressed as a single factor like the idealized one,  $r$ , used previously, and since an increase in the number of stories affects the error more significantly than variation of the stiffness, the correction factor is expressed only in terms of  $n$ .

To isolate the effects of variations of stiffness and mass, MDOF structures with constant mass and stiffness with height are used to conduct the correction. MDOF structures composed of 3–20 stories are used for the correction. Then, a correction factor  $R$  is introduced, defined as the ratio between the fundamental periods obtained by an eigenvalue analysis and by the procedure described in Section 2.2. To determine the correction factor  $R$ , the fundamental ratios of the exact and predicted periods of all analyzed MDOF structures are computed, and the results are shown in

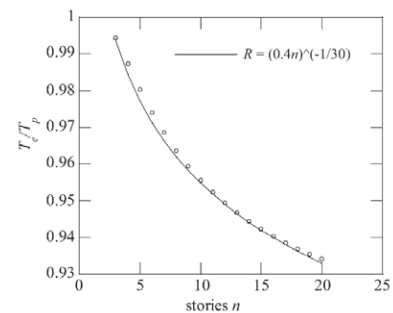


Fig. 4. Ratios between the fundamental periods obtained by eigenvalue analysis and by the method described in Section 2.2

Fig. 4. By trial-and-error analysis of a large number of functional forms, a very simple function is adopted for the correction factor  $R$ , given by

$$R = (0.4n)^{-1/30} \quad (8)$$

The accuracy of this function can also be found very well from Fig. 4. The standard deviation of residuals expressing the random variability of results by Eq. (8) is almost equal to 0.001.

Finally, considering the correction factor, the fundamental period of an MDOF structure can be estimated as

$$T_{pr} = 2\pi R \sqrt{\frac{m_{eq}}{k_{eq}}} \quad (9)$$

where  $m_{eq}$  and  $k_{eq}$  are the mass and stiffness, respectively, of the final equivalent SDOF system obtained by the procedure in Section 3.2.

The proposed method is composed of three equations (i.e., Eq. (1), (5), and (8)), of which the second equation seems more complicated than the current methods at first glance. In Rayleigh's method, the mode shape should be determined first; and, in Geiger's method, the top displacement should be estimated. As Eq. (5) is expressed in terms of only mass and stiffness without any other additional parameters, the proposed method is considered simpler and more direct than any current methods.

It should be noted that, the proposed method is developed for estimation of the fundamental period of the widely used MDOF structural model. This means that, for an actual structure, it must be simplified as an MDOF model before applying the proposed method. During the simplification, besides the structural elements, the infill walls also should be properly considered in the model, since contribution of the infill walls to the fundamental period may be also crucial [5, 6].

In addition, as the proposed method considers variations of mass and stiffness with height, thus the method is available for structures with vertical irregularity. For structures with plan irregularities, torsion may be caused to the building, thus torsional stiffness should be considered in the model of the structure. However, during the derivation of the proposed method, only lateral stiffness is considered. Thus, the proposed method is only available for the shear-type MDOF system. Improving the proposed method to analyze structures with plan irregularities is necessary in the further study.

#### 4. Examples using the proposed method

In order to investigate the accuracy of the proposed method, a recalculation of the fundamental periods of the two categories of MDOF structures introduced in Section 2.3 is performed, and fundamental period ratios between the predicted periods,  $T_{pr}$ , and the exact ones are shown in Fig. 5. It is observed that errors are very low for both categories, with the maximum relative error below 3%. Although the error increases with the number of stories for the first category of MDOF structures, the error level (3%) is considered acceptable for engineering use.

In addition, in order to compare the accuracy of the proposed method with current methods, the fundamental periods of the two categories of MDOF structures are also estimated by the current methods. MDOF

structures with as many as 60 stories are considered for comparison. Representative results are shown in Figs. 6 (a)-(d). In these figures, the horizontal coordinate is  $n$  and the longitudinal coordinates are the fundamental periods calculated by different methods.

It can be noted that all results obtained by the proposed method are much more accurate than those obtained by Dunkerley's method, the Eurocode 8 method and Geiger's method adopted in Japanese code. Indeed, the accuracy of the proposed method is nearly equivalent to that of Rayleigh's method adopted in UBC 1997.

Generally speaking, the accuracy of the proposed method is very good and is much better than that of Dunkerley's method and the Eurocode 8 method. For most of the estimated structures, the accuracy of the proposed method is better than those of Rayleigh's method adopted in UBC 1997 and Geiger's method adopted in Japanese code.

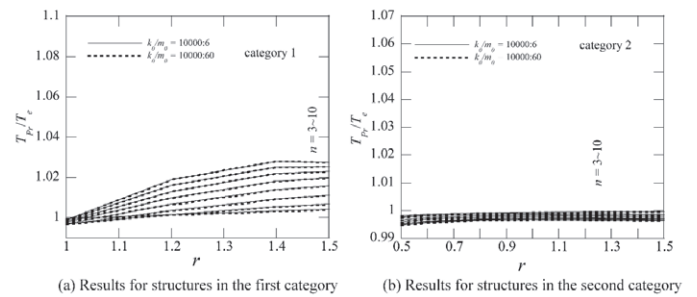


Fig. 5. Comparison between fundamental periods obtained by the proposed method and by eigenvalue analysis

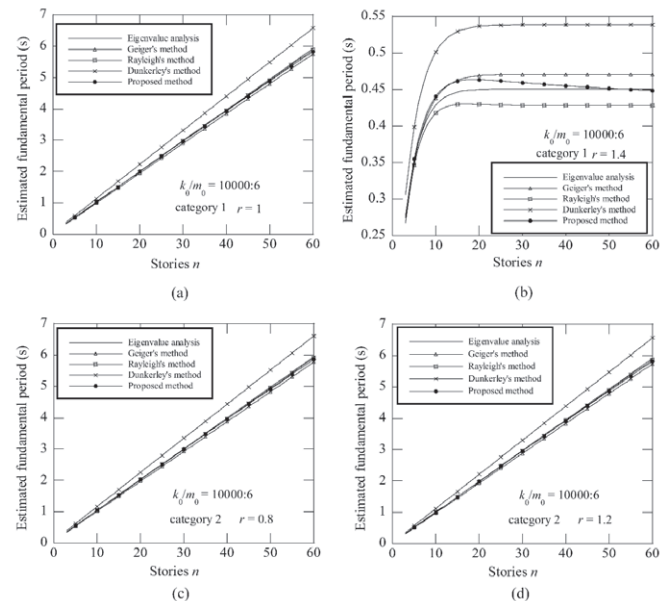


Fig.6. Fundamental periods calculated by different methods. (a) Results for structures in the first category when  $r = 1$ . (b) Results for structures in the first category when  $r = 1.4$ . (c) Result for structures in the second category when  $r = 0.8$ . (d) Results for structures in the second category when  $r = 1.2$

#### 5. Conclusions



On the basis of the preceding discussion, one can draw the following conclusions:

A simple method of evaluating the fundamental period by replacing the complicated MDOF system with an equivalent SDOF system is proposed. The proposed method is available for shear-type MDOF system. As the proposed method is composed of three simple explicit formulae, it can be conveniently implemented in simple spreadsheets. In addition, the application of the proposed method does not require expert knowledge concerning eigenvalue analysis; thus, the proposed method is thought can be used by practicing engineers conveniently. Moreover, as simple formulae are expressed in terms of the mass, stiffness, and number of stories directly without the mode shape or top displacement, the proposed method is a simpler and a more direct method.

The accuracy of the proposed method is investigated by estimating a series of designed MDOF structures and 19 MDOF models of actual structures, and is found to be reasonably good. The accuracy of the proposed method is much better than that of Dunkerley's method and the Eurocode 8 method, and is better than that of Rayleigh's method adopted in UBC 1997 and Geiger's method adopted in Japanese code for most of the analyzed structures.

#### References

- [1] A. Shibata. Dynamic Analysis of Earthquake Resistant Structures. Tohoku University, Sendai-shi, Miyagi, Japan (2010).
- [2] ASCE, Minimum design loads for buildings and other structures, American Society of Civil Engineers, USA (2005).
- [3] P.G. Asteris, C. Repapis, L. Cavaleri, V. Sarhosis, A. Athanasopoulou. On the fundamental period of infilled RC frame buildings. *Structural Engineering and Mechanics*, **54**(6), 1175-1200 (2015).
- [4] K. Young, H. Adeli. Fundamental period of irregular moment-resisting steel frame structures. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, **23** (15), 1141-1157 (2014).
- [5] P.G. Asteris, C.C. Repapis, A.K. Tsaris, F. Trapani, L. Cavaleri. Parameters affecting the fundamental period of infilled RC frame structures. *Earthquakes and Structures*, **9**(5), 999-1028 (2015).
- [6] P.G. Asteris, C.C. Repapis, E.V. Repapi, L. Cavaleri. Fundamental period of infilled reinforced concrete frame structures. *Structure and Infrastructure Engineering*, **13**(7), 929-941 (2016).
- [7] P.G. Asteris, A.K. Tsaris, L. Cavaleri, C.C. Repapis, A. Papalou, F. Di Trapani, D.F. Karypidis. Prediction of the fundamental period of infilled RC frame structures using artificial neural networks. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 5104907 (2016).
- [8] P.G. Asteris, C.C. Repapis, Foskolos, F., Fotos, A., Tsaris, A.K.. Fundamental period of infilled RC frame structures with vertical irregularity. *Structural Engineering and Mechanics*, **61**(5), 663-674 (2017).
- [9] M.M. Kose. Parameters affecting the fundamental period of RC buildings with infill walls. *Engineering Structures*, **31**(1), 93-102 (2009).
- [10] A. Shafei, M. Alirezaei. Evaluation of the fundamental period of vibration of irregular steel structures. *International journal of engineering sciences & research technology*, **3**(4), 6083-6090 (2014).
- [11] G.D. Hatzigeorgiou, G. Kanapitsas. Evaluation of fundamental period of low-rise and mid-rise reinforced concrete buildings. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **42** (11), 1599-1616 (2013).
- [12] O.S. Kwon, E.S. Kim. Evaluation of building period formulas for seismic design. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **39** (14), 1569-1583 (2010).
- [13] H. Crowley, R. Pinho. Period-height relationship for existing European reinforced concrete buildings. *Journal of Earthquake Engineering*; **8** (Special Issue 1), 93-119 (2004).
- [14] C. Balkaya, E. Kalkan. Estimation of fundamental periods of shear-wall dominant building structures. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **32**, 985-998 (2003).
- [15] R.K. Goel, A.K. Chopra. Period formulas for moment-resisting frame buildings. *Journal of Structural Engineering*, **123** (11), 1454-1461 (1997).
- [16] R.K. Goel, A.K. Chopra. Period formulas for concrete shear wall buildings. *Journal of Structural Engineering*, **124** (4), 426-433 (1998).
- [17] J.K. Hsiao. Computation of Fundamental Periods for Moment Frames Using a Hand-Calculated Approach. *Electronic Journal of Structural Engineering*, **9**, 16-28 (2009).
- [18] B. Leng, X. Yan, K. Lin. Analysis on natural frequency calculation formula of vibration system. *Shanxi architecture*, **39** (21), 20-22 (2013). (In Chinese)
- [19] International Conference of Building Officials (1997), 1997 Uniform Building Code, California, Wilier.
- [20] Editorial Committee of structure-related technical standard commentary book of the building (EC) (2007), Structure-related technical standard commentary book of the building, Tokyo, Japan. (In Japanese).
- [21] European Committee for Standardization CEN (2004), Eurocode 8: design of structures for earthquake resistance—part 1: general rules, seismic actions and rules for buildings, European Standard EN 1998-1:2004.
- [22] A. Tatsuya, I. Namihiko, I. Masanori, K. Toshihide, K. Shin, N. Hiroto, T. Takehiko and M. Koichi. Study on dynamic soil-building structure interaction based on strong motion observation. National Institute for Land and Infrastructure Management, **866** (2015). (In Japanese)

# “新たな低炭素エネルギー社会に対応した新型電池の開発 (4)”

松本 太<sup>1</sup>・池原 飛之<sup>2</sup>・郡司貴雄<sup>3</sup>・大坂武男<sup>4</sup>  
 ・長澤 浩<sup>5</sup>・入井友海太<sup>6</sup>・安東信雄<sup>7</sup>

## “Development of Novel Battery towards New Low Carbon Energy Society (4)”

Futoshi MATSUMOTO<sup>1</sup>・Takayuki IKAHARA<sup>2</sup>・Takao GUNJI<sup>3</sup>  
 ・Takeo OHSAKA<sup>4</sup>・Hiroshi NAGASAWA<sup>5</sup>・Yuuta IRII<sup>6</sup>・Nobuo ANDO<sup>7</sup>

### 1. 緒言

本プロジェクトは、次世代の新型電池の開発に焦点を当て、産学連携のもとに行われているプロジェクトである。今年度は、産学連携研究で得られたリチウムイオン電池に関する二つの研究成果を報告する。

### 2. 研究結果紹介

#### 2. 1. 水系バインダー適用のためのコーティングおよびCO<sub>2</sub>処理によるリチウムイオン電池用LiNi<sub>x</sub>Co<sub>y</sub>Al<sub>1-x-y</sub>O<sub>2</sub>正極材料表面への耐水性の付与

リチウムイオン二次電池を構成する要素の一つである正極は、主に正極材料、導電助剤とこれらを結着するバインダーによって構成されている。現在は有機溶剤に分散させるバインダーが広く用いられているが、用いている溶剤が人体に有害なため、水を分散剤として用いた水系バインダーへの移行が望まれている。しかし正極材料が水に接触すると、金属イオンの溶出による電池容量低下の問題が生じてしまう。これまでの研究により正極材料表面へのTiO<sub>x</sub>コーティングによる容量の保持性の向上を報告してきているが、耐水性自体はまだ不十分であった。本研究ではTiO<sub>x</sub>コーティングに

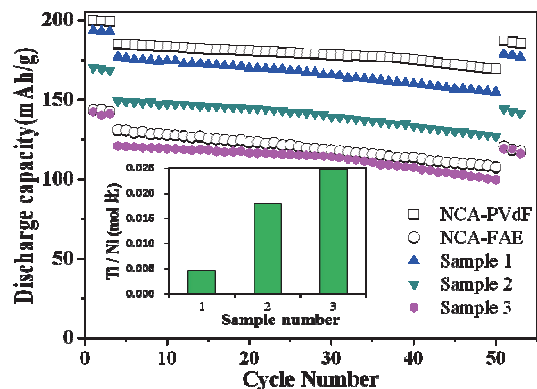


Fig.1 各TiO<sub>x</sub>-NCA サンプルのTi含有量と充放電特性

加え水系バインダースラリーにCO<sub>2</sub>処理を施すことにより、さらなる耐水性の付与と正極の容量保持性の向上を目的とした。

転動流動コーティング乾燥機 MP-micro を使い、条件を変えてTiO<sub>x</sub>コーティングを行った。さらにpH上昇抑制のため、TiO<sub>x</sub>-NCA電極スラリーに対し20分間CO<sub>2</sub>処理を行い、合成した正極材のサイクル特性およびレート特性を比較した。物性評価としてXRDやSEMを用いて電極表面と正極材料粒子形状の変化を観察した。またXRF測定により金属イオンの溶出の違いを測定し、水系バインダーによる正極材料への影響を評価した。

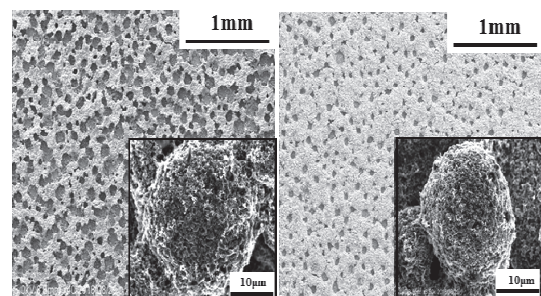


Fig.2 TiO<sub>x</sub>-NCA(左)とCO<sub>2</sub>処理後(右)の電極表面と正極粒子SEM像

\*1: 教授 神奈川県工学部物質生命化学科  
 Professor, Dept. of Material and Life Chemistry, Kanagawa University

2: 教授 神奈川県工学部物質生命化学科  
 Professor, Dept. of Material and Life Chemistry, Kanagawa University

3: 特別助教 神奈川県工学部物質生命化学科  
 Assistant Professor, Dept. of Material and Life Chemistry, Kanagawa University

4: 客員教授 神奈川県工学研究所  
 Visiting Professor Research Institute for Engineering, Kanagawa University

5: 客員教授 神奈川県工学研究所  
 Visiting Professor Research Institute for Engineering, Kanagawa University

6: 客員研究員 神奈川県工学研究所  
 Researcher Research Institute for Engineering, Kanagawa University

7: 客員研究員 神奈川県工学研究所  
 Researcher Research Institute for Engineering, Kanagawa University

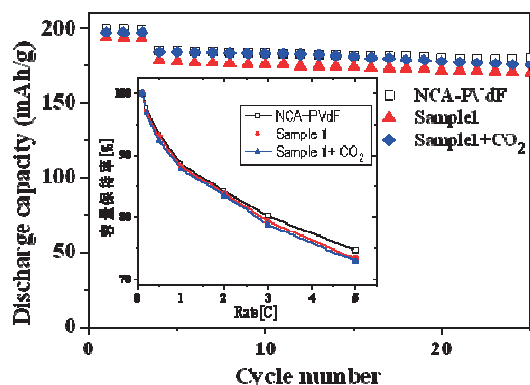


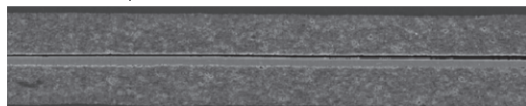
Fig.3 TiO<sub>x</sub> コーティングおよび CO<sub>2</sub> 処理によるサイクル、レート特性比較

Fig.1 に検討を行ったサンプルの XRF 測定と充放電試験の結果を示す。Ti 含有量が適度に少ないサンプルの場合、ある程度の耐水性が付与され充放電における正極材料への Li<sup>+</sup>イオンの脱挿入が阻害されずに高容量を示した。しかし完全にコートされていないので、正極材料の水への接触による Li<sup>+</sup>イオン溶出と pH 上昇は完全には抑制できず、SEM を用いて電極表面を観察した結果、Fig.2 に示すように水素ガス発生により正極膜表面にクレーターが生成してしまっている。この電極スラリーに対し CO<sub>2</sub> 処理を施し XRD 測定を行った結果、pH 上昇の要因であった LiOH が CO<sub>2</sub> と反応し、Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> が生成されたことが確認され、この Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> がコート層となって塗工後の電極表面も処理前と比較しクレーター生成が抑制されていることが確認された。また、充放電試験の結果 (Fig.3) では、TiO<sub>x</sub> コーティングのみの場合よりも CO<sub>2</sub> 処理を施した電極の方が放電容量が向上し、PVdF を用いた電極と同程度のサイクル特性、レート特性を有することが確認された。

## 2. 2. リチウムイオン電池における穴あけ・厚塗り電極による電池エネルギー密度の向上および電気化学インピーダンス法による促進機構の検討

近年、世界中で普及しつつある電気自動車への大型リチウムイオン電池の搭載において、更なるエネルギー密度の向上

穴なし電極



穴あき貫通電極



穴あき非貫通電極

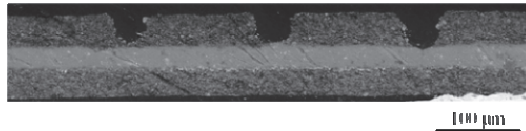


Fig.4 各厚塗り電極の断面 SEM 像

が求められる。しかし、電極一枚当たりの電極活物質質量を増加させると出力特性が低下する。一方で、我々の研究グループではレーザーを電極に照射し穴あき電極を作製することで出力特性が向上する報告をしている。本研究では、電極一枚当たりの電極活物質質量を増加させた厚塗り電極に対し上記の穴あけ加工を施し、出力特性とエネルギー密度の向上を両立する電池の開発について検討し、電気化学インピーダンス法により促進機構を解析した。

正極活物質 LiFePO<sub>4</sub> : Acetylene Black (AB) : ポリフッ化ビ

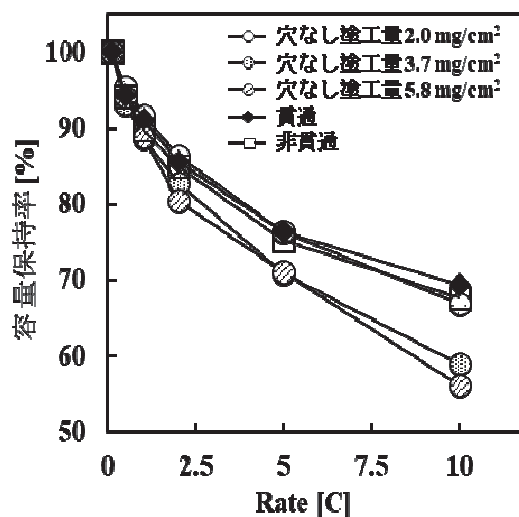


Fig.5 各厚塗り電極と穴なし標準・中間電極におけるレート試験におけるレート試験結果

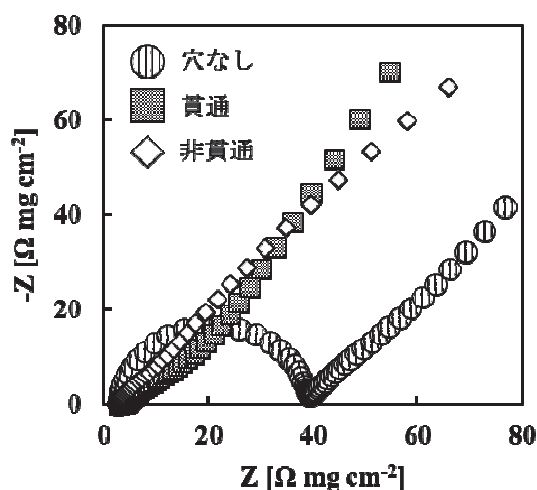


Fig.6 各厚塗り電極におけるインピーダンス

ニリデン (PVdF) = 86 : 7 : 7 の重量割合で Al 集電体に両面塗工し、電極を作製した。ピコ秒パルスレーザーを用いて開口率 1% 及び開口径 20 μm となるように貫通・非貫通加工を施した。各電極を用いてラミネート電池を作製し、レート試験を行った。電池の評価は、各 C レートにおけるレート試験結果から容量保持率を算出し、電池性能を比較した。

Fig.4 に従来の厚さの約 3 倍程度活物質を塗工した厚塗り

電極（電極目付量  $5.8 \text{ mg/cm}^2$ ）における穴なし、貫通、非貫通電極の断面 SEM 像を示す。貫通電極においてレーザーの入射方向からテーパー状に穴が形成されていることが観察できる。また、非貫通電極では活物質層のみに穴が開き、集電体には穴が開いていない事を観察した。Fig.5 に電極におけるレート試験結果を示す。穴なし電極において、塗工量の増加と共にレート性能の低下が見られた。穴あき電極では塗工量によるレート性能の違いは見られなかった。貫通加工した電極では 10C において約 69%の容量保持率を示し、穴あき加工によるレート性能の向上を確認し、電極の高エネルギー密度化を達成することが出来た。Fig.6 において各厚塗り電極におけるインピーダンスを示す。ナイキストプロットにおける内部抵抗を表す円弧の大きさにおいて、穴なし電極よりも穴あき貫通電極及び穴あき非貫通電極では円弧が著しく小さくなっていることが観測できた。このことから、電極に対して穴あき加工を施すことは、電池の内部抵抗を軽減させ、充放電反応速度の低下を抑制できることが確認できた。

*Electrochimica Acta*, 298, 827-834 (2019).

### 3. 終わりに

本研究において正極材料のコーティング及び電池用電極に穴をあけることにより、従来に比べて大きく性能が向上することを明らかにすることができた。今後は、この性能の長期維持ができるかどうかの確認を行っていく予定である。また、穴あき電極においては、電極近傍での  $\text{Li}^+$  イオンの移動が性能の向上を導いていると考えられる。 $\text{Li}^+$  イオンの移動の特徴を明らかにすることにより、さらなる性能の向上を導けるようなデザイン開発を行っていきたいと考えている。

### 4. 発表論文

(1) Takashi Tsuda, Nobuo Ando, Kazuki Matsubara, Toyokazu Tanabe, Kaoru Itagaki, Naohiko Soma, Susumu Nakamura, Narumi Hayashi, Takao Gunji, Takeo Ohsaka, Futoshi Matsumoto, Improvement of high-rate charging/discharging performance of a lithium ion battery composed of laminated  $\text{LiFePO}_4$  cathodes/ graphite anodes having porous electrode structures fabricated with a pico-second pulsed laser, *Electrochimica Acta*, 291, 267-277 (2018).

(2) Takashi Tsuda, Nobuo Ando, Susumu Nakamura, Yuuta Ishihara, Narumi Hayashi, Naohiko Soma, Takao Gunji, Toyokazu Tanabe, Takeo Ohsaka, Futoshi Matsumoto, Improvement of high-rate discharging performance of  $\text{LiFePO}_4$  cathodes by forming micrometer-sized through-holed electrode structures with a pico-second pulsed laser, *Electrochimica Acta*, 296, 27-38 (2018).

(3) Takashi Tsuda, Nobuo Ando, Tomohiro Utaka, Kenji Kojima, Susumu Nakamura, Narumi Hayashi, Naohiko Soma, Takao Gunji, Toyokazu Tanabe, Takeo Ohsaka, Futoshi Matsumoto, Improvement of High-Rate Performance of  $\text{LiFePO}_4$  Cathode with Through-Holed  $\text{LiFePO}_4$ /Activated Carbon Hybrid Electrode Structure Fabricated with a Pico-second Pulsed Laser,

# ロードノイズを対象とした自動車車体の概念設計モデルの構築

山崎 徹\* 菊地 通\*\*

## Conceptual Design for Road Noise on Automotive Body in White based on Vibration Energy Propagation Model

Toru YAMAZAKI\* Toru KIKUCHI\*\*

### 1. はじめに

”CASE”や”MaaS”などといったキーワードで表されるように、自動車はこれまでの自動車であるだけでなく、新しい概念を有する自動車であることも求められる時代になってきた。これまでの自動車車両の開発は、衝突安全性、操安性、乗り心地、快適性などさまざまな性能を高次元でバランスさせることで成り立ってきた。そこにさらに、新しい自動車としての概念を創出しつつ、その概念をも実現するための性能も含め、より高次元でバランスをとることが求められる。すなわち、今後の車両開発では、開発初期の計画段階から、各種の性能のトレードオフを把握しつつ、バランスをとる(適正化)ことがより一層重要となる(1)。このような適正化のために、近年では“1DCAE”や“MBD (Model Based Development)”といった取り組みが盛んになっている。

ところで振動騒音分野においては、以前から振動騒音設計のフロントローディングが望まれているものの、開発初期の計画段階に考慮できる現象およびモデルは限定的なようである。またそのようなモデルの多くはバネマスモデル(集中定数系)であり、3自由度系ともなると設計への展開には一工夫が必要である。

以上の背景の下、著者らは、2018年10月から「形で考えないNVHモデル研究会」(2)を立ち上げ、複数の企業と大学と連携し、開発初期の計画段階に使用できる多性能適正化技術の開発を目指した研究を開始した。その一つ目の性能として、振動騒音の中でもロードノイズを対象に、車体の初期設計モデルの開発を行った。本報では、このロードノイズのための初期設計車体モデルの考え方とこれを用いた低振動化事例を報告する。

### 2. ロードノイズの形で考えないモデルの要件とモデルの構築

**2.1 モデルの要件** ロードノイズは、入力が多岐にわたり、車体の固有モードも多く、広帯域の振動騒音問題である。このような問題に対し、著者らの一部は、問題を二段階に分けて考える二段階設計を提唱している(3)。第一段階設計は周波数応答の平均(平均

応答、基線とも称す)に、第二段階設計は応答ピークに、着眼したものである。概念設計はこの第一段階設計に相当し、半無限系の波動伝播(一方向の伝播)に対応するゆえに、伝達特性が概念設計モデルと考えられる。このモデルの一つとして、統計的エネルギー解析法(SEA)があり、伝達特性である結合損失率(Coupling Loss Factor: 以下 CLF)を数式で表現する解析SEA(3)を用いる。初期設計に利用できる。一方、SEAには、CLF以外の主要なパラメータとして内部損失率(Internal Loss Factor: 以下 ILF)がある。ILFは要素の減衰を表し、初期設計での主たる物理特性とは考えにくい。したがって、本報では、ロードノイズを問題とする車体の形で考えない概念設計モデルとして、解析SEAモデルを考える。

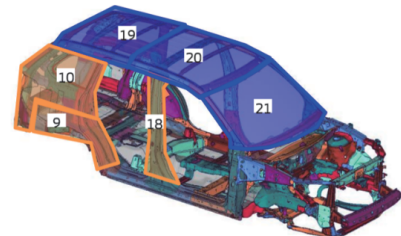


図1 対象とした自動車車体

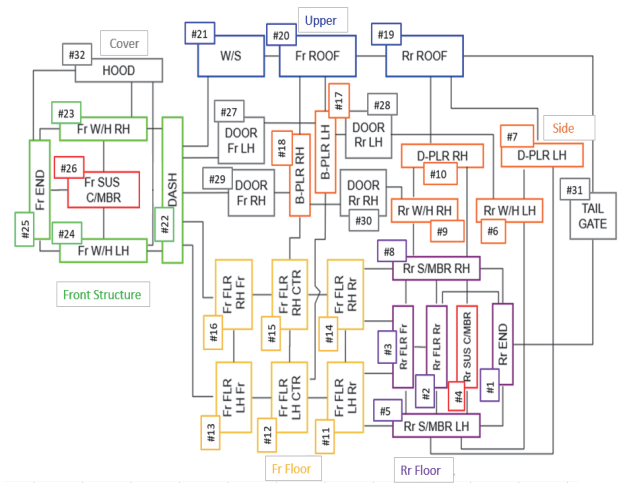


図2 SEA要素分割と要素接続

\*教授 機械工学科

Professor, Dept. of Mechanical Engineering

\*\*特別研究員 工学研究所

Researcher, Research Institute for Engineering

2. 2 モデルの構築 対象とする車体を図1に示す。また図

2にはSEAの要素分割(要素数32)を示す。このモデルのSEA基礎式は式(1)となり、32次連立方程式で表される。

$$\mathbf{P} = \omega \begin{bmatrix} \sum_{k=1}^{32} \eta_{1,k} & -\eta_{2,1} & \cdots & -\eta_{32,1} \\ -\eta_{1,2} & \sum_{k=1}^N \eta_{2,k} & \cdots & -\eta_{32,2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -\eta_{1,32} & -\eta_{2,32} & \cdots & \sum_{k=1}^{32} \eta_{32,k} \end{bmatrix} \mathbf{E} \quad (1)$$

ここで、 $\mathbf{P}$ は入力パワーベクトル、 $\mathbf{E}$ は要素エネルギーベクトル、 $\eta_{ii}$ は要素*i*の減衰を表す内部損失率(ILF)、 $\eta_{ij}$ は要素*i*から*j*への伝達特性を表す結合損失率(CLF)、 $\omega$ は角周波数である。CLFは板要素間の場合には次式で求められる。

$$\eta_{12} = -\frac{c_1}{\omega \pi S_1} L \tau_{1,2} = \frac{2L \tau_{1,2}}{\pi S_1} \sqrt{\frac{t_1}{\omega}} \sqrt{\frac{E_1}{12 \rho_1 (1-\nu_1^2)}} \quad (2)$$

ここで、 $E_1$ 、 $\rho_1$ 、 $\nu_1$ は要素1のヤング率、密度、ポアソン比である。これより、CLFに含まれる要素情報(材質、表面積、板厚)をCAD図面(その一部が図1)から見積もった。表面積は平面に投影したときの面積とし、板厚は結合部近傍の厚さとした。また結合情報(結合長さ)は投影した平面間の結合辺として見積もった。

2. 3 モデルの検証 前節に従い構築したモデルの検証として、FEMによる詳細計算結果との比較を行った。その一例を図3に示す。これは要素22(ダッシュ)の結果であり概念設計モデルとして平均挙動を狙った解析SEAモデル(SEA0.001)は、FEMの結果(黒線、要素内の複数点の結果)の平均を捉えられている。

3. 適正化によるロードノイズ低減コンセプトの獲得

ロードノイズ低減を行うためのコンセプトとして、どのようなエネルギー伝搬状態とすればよいか、伝達特性(解析SEA)モデルを用いて適正化(最適化)を行った。すなわち、モデルが数式(1)と(2)で表されているため、例えば式(2)の板厚を設計変数として、フロントサスクロス(要素26)に入力があるときのダッシュの応答最小化の最適化問題を解く、ということを実行した。その結果

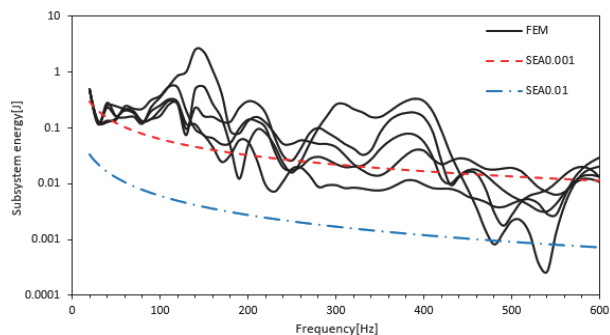


図3 構築した解析SEAモデルのFEMによる検証 (要素番号22, ダッシュ)

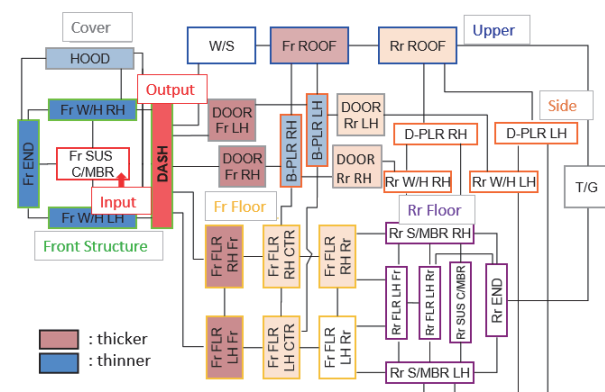


図4 適正化(最適化)の結果の一例(板厚変更)

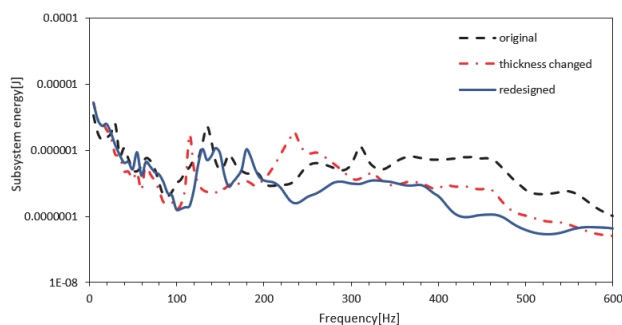


図5 低減コンセプトに基づく構造変更による低減効果検証

として板厚の変更結果を図4に示すが、これより車体前部に振動を伝えればよいという振動低減コンセプトが獲得できた。

この板厚を既存の車体(original)のFEMモデルに反映させた場合(thickness-changed)と、さらに車体前部への接続を強化した場合(redesigned)のFEMモデルを作成し、振動応答を比較した結果を図5に示す。これより広範囲の周波数域での振動低減を確認でき、構築した概念設計モデルおよびそれにより得た低減コンセプトの有効性が確認できる。

4. おわりに

本報では、開発初期の計画段階に使用できる多性能適正化技術の開発を目指し、ロードノイズを対象とした車体モデルについて、その現象を記述する物理特性である伝達特性を抽出し、それを用いた一つのモデルを検討した。その結果、概念設計モデルによる現象の記述および低減コンセプトの獲得ができることを確認した。

参考文献

- (1) D. E. Malen : Fundamentals of Automobile Body Structure Design, SAE International (2011)
- (2) 一般社団次世代音振基盤技術研究会, 形で考えないNVHモデル研究会, <http://invite-nvh.org/research.html>, 2019
- (3) 山崎徹, 三山壮, 中村弘毅, 宮崎敦子: モードと波動の両視点による機械構造物の振動低減設計, 自動車技術会論文集, 47巻6号, pp.1373-1379(2016)
- (4) 大野進一, 山崎徹: 機械音響工学, 第9章, 森北出版(2010)
- (5) Cremer, L., Heckl, M., and Petersson, B.: Structure-Borne Sound, 2nd edition, Chapter IV, Springer (1990)

# グリーンイノベーションの基盤となるナノ構造制御触媒の開発研究

引地 史郎\* 内藤 周弐\*\* 上田 渉\* 中澤 順\*\*\*

Shigeo T. Oyama\*\*\*\* 宮尾 敏広\*\*\*\*\* 赤間 弘\*\*\*\*\* 星野 真樹\*\*\*\*\*

## Development of Nano-structure Controlled Catalysts for Green Innovation

Shiro HIKICHI\* Shuichi NAITO\*\* Wataru UEDA\* Jun NAKAZAWA\*\*\*

Shigeo T. Oyama\*\*\*\* Toshihiro MIYAO\*\*\*\*\* Hiroshi AKAMA\*\*\*\*\* Masaki HOSHINO\*\*\*\*\*

### 1. プロジェクト研究の概要

既存の触媒よりも高い性能・機能を有する“革新的触媒”の開発は、将来にわたる持続的成長社会の発展を図る上で必須な、低炭素社会を実現する上で欠くべからざるものである。2014年4月より開始した本プロジェクト研究では、2019年3月までの5年間にわたって、“革新的触媒”の開発に求められる要素技術の確立を目指した研究を推進してきた。具体的には、バイオマス資源の有用化学物質への転換反応に活性な触媒<sup>(1-3)</sup>や、炭化水素資源の環境調和型酸化プロセスに適用するための酵素模倣型錯体分子触媒<sup>(4-6)</sup>、さらには有機-無機ハイブリッド触媒<sup>(7-9)</sup>に関する研究を行ってきた。以下本稿では、2018年度の研究成果のうち、触媒活性を司る金属中心の反応特性を制御する金属支持配位子の効果について紹介する。

### 2. 酵素の触媒活性点構造を模した錯体の酸素分子捕捉能

酸化酵素の触媒活性点は、鉄や銅などの酸化還元活性な金属イオンが、イミダゾール(含窒素芳香族化合物の一種)、カルボキシ基、フェノキシ基、チオラート基やチオエーテル基など、いくつかの生体必須アミノ酸残基中のヘテロ原子(窒素、酸素、硫黄)ドナーにより保持された金属錯体種である。そして多くの酸化酵素において、少なくとも2個のイミダゾールが金属配位基として機能していることを踏まえ、本プロジェクト研究では、イミダゾールやイミダゾールと同じ組成ながら5員環構造中の窒素原子の位置が異なる構造異性体であるピラゾール、さらにはピリジンやオキサゾリンなどを金属配位基とする多座窒素キレート配位子を用いた金属錯体の酸化触媒能について検討してきた。

酸化酵素の多くは大気中の酸素分子を酸化剤としており、触媒活性点の遷移金属イオンが酸素分子を捕捉し、金属中心から酸素分子への電子移動や水素イオン  $H^+$  の付加等の過程を経て酸化活性種が発生する。従って酸素分子を酸化剤とする触媒反応プロセスを構築するためには、遷移金属イオンの酸素捕捉能を向上させる必要がある。そこで2018年度は、当研究室が独自に開発した2個のイミダゾール基を含むアニオン性キレート配位子  $[B(-C-Im^{N-Me})_2(X)Me]^-$  ( $L^X: -C-Im^{N-Me} = 1$ -メチル-2-イミダゾール基)が酸素捕捉サイトとなる金属イオンの反応特性に及ぼす効果について検証した。

ピラゾールを配位基とする3座キレート配位子  $[BH(pz^{Me2})_3]^-$  ( $Tp^*: pz^{Me2} = 3,5$ -ジメチル-1-ピラゾール基)と  $L^Ph$  を配位子とする5配位単核鉄(II)あるいはコバルト(II)錯体が酸素分子を捕捉することは既に明らかにしていた<sup>(4)</sup>。そこで配位子の効果をより詳細に検討するため、鉄と類似した酸素捕捉能を示すものの錯体分子の不可逆的な酸化分解が起こらないコバルト(II)錯体の特性について検討した。ホウ素原子上の置換基  $X$  が異なる一連の  $L^X$  錯体  $[Co^{II}(L^X)(Tp^*)]$  ( $X = Ph, Me, nBu, OiPr$ ; 図1)の酸素親和性を比較したところ、その序列が  $X = Ph > OiPr > Me > nBu$  であることが判明した。そこで一連の錯体におけるコバルト(II)中心の電気化学的特性や立体的環境を精査した。酸素付加体の形成に伴って、コバルト(II)中心から酸素分子へと電子が移動することから、コバルト(II)/(III)の酸化電位が低いほうが酸素付加体の形成には有利であると考えられる。しかし一連の錯体における酸化電位の序列は  $X = Me < nBu < Ph < OiPr$  であり、上述の酸素親和性の序列とは一致していない。そこで単結晶X線構造解析により一連の錯体の分子構造を比較した。  $X$  が  $Me (= CH_3)$  基や  $nBu (= CH_2CH_2CH_2CH_3)$  の場合、ホウ素に結合している原子は3次元的なねじりを持つ  $sp^3$  炭素であるために、ホウ素に結合した  $Me$  基およびイミダゾールの窒素に結合した  $Me$  基と  $sp^3$  炭素を起点とする  $X$  ( $Me, nBu$ ) の間で立体反発を生じ、これらの  $X$  がコバルト(II)中心の方に覆い被さるように配向していた。これに対し、  $X$  が  $Ph$  や  $OiPr$  の場合、ホウ素に結合して

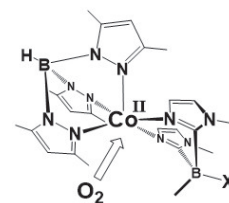


図1.  $[Co^{II}(L^X)(Tp^*)]$

\*教授 物質生命化学科

Professor, Dept. of Material and Life Chemistry

\*\*客員教授 工学研究所

Guest Professor, Research Institute for Engineering

\*\*\*特別助教 物質生命化学科

Assistant Professor, Dept. of Material and Life Chemistry

\*\*\*\*教授 東京大学大学院工学系研究科化学システム工学専攻

Professor, Dept. of Chemical System Engineering, School of Engineering, The University of Tokyo

\*\*\*\*\*教授 山梨大学燃料電池研究センター

Professor, Fuel Cell Nanomaterials Center, University of Yamanashi

\*\*\*\*\*主任研究員 日産自動車総合研究所

Senior Researcher, Nissan Research Center, Nissan Motor Corporation

いる原子は立体的にかさ高くない  $sp^2$  炭素 ( $X = Ph$ ) や酸素 ( $OiPr$ ) である。これらの  $X$  はコバルト(II)中心から離れて配向しており、その結果コバルト(II)中心の周辺には酸素分子が接近するのに十分な空間が広がっている。すなわち、金属中心から離れた位置に存在する配位子上の置換基の立体的な構造特性により酸素親和性が制御されることが明らかとなった<sup>(10)</sup>。

また  $X$  が 4,4-ジメチルオキサゾリニル基 (= Ox) である配位子  $L^{Ox}$  を開発した。この配位子は  $Tp^*$  と同様にアニオン性 3 座配位子として機能して  $Co(acac)_2$  との反応により  $[Co^{II}(acac)(L^{Ox})]$  を与えたが、この錯体は酸素付加体形成能を示した(図 2)。前年度報告した 3 つの 4,4-ジメチルオキサゾリニル基からなるアニオン性 3 座キレート配位子  $[B(Ox)_3Ph]^-$  (=  $To^M$ ) や  $Tp^*$  を配位子とするコバルト(II)-acac 錯体は酸素分子とは全く反応しないことから、 $L^{Ox}$  の電子供与能は高く、しかも酸素分子捕捉が可能で金属中心の立体的環境を与え得ることが明らかとなった。

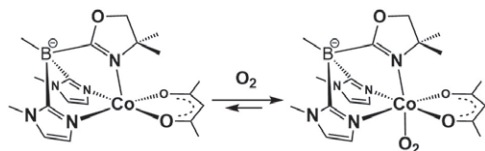


図 2.  $[Co^{II}(acac)(L^{Ox})]$  の酸素分子捕捉能

### 3. イミダゾールから誘導される有機金属錯体触媒の開発

イミダゾールの 2 つの窒素がアルキル化されることで生じるイミダゾリウムカチオンにおいて、その 2 つの窒素原子に挟まれた炭素から  $H^+$  を脱離させることにより生じる 2 価炭素種は、 $N$ -ヘテロ環状カルベン ( $N$ -heterocyclic Carbene; NHC) として知られ、様々な有機化合物の転換反応に活性な金属錯体触媒における配位子としての有効性が数多く報告されている。生体内において、ヒスチジンのイミダゾール基に由来する NHC-カルベンが配位子となった、金属-炭素結合を含む有機金属錯体種の存在は現在までのところ確認されていない。そして NHC-カルベン配位子からなる金属錯体の酸化触媒への適用例は数少ないものの、炭素ドナーに特有の高い電子供与能とソフトなルイス塩基性に起因する遷移金属中心の酸化還元特性の制御能が酸化触媒としての機能にも好影響を及ぼすことが期待される。そこで本研究ではホウ素原子に 3 つの NHC-カルベンが結合したアニオン性炭素 3 座キレート配位子  $[B(-N-Im^{N-Me})_3Ph]^-$  (=  $Tim^{Me}$ :  $-N-Im^{N-Me}$  = 1-メチル-3-イミダゾリル基) を配位子とするコバルト錯体の合成と、その酸化触媒能について検討した。

$Tim^{Me}$  と  $Co(acac)_2$  との反応により錯体合成を検討したが、コバルト(II)錯体の単離・同定には至らなかった。しかしその反応溶液に酸素を通気したところ、コバルト中心が酸化された錯体  $[Co^{III}(acac)(Tim^{Me})(Im^{N-Me}H)]^+$  ( $Im^{N-Me}H$  = 1-メチルイミダゾール) および  $[Co^{III}(Tim^{Me})_2]^+$  が得られ、その分子構造の決定に成功した(図 3)。

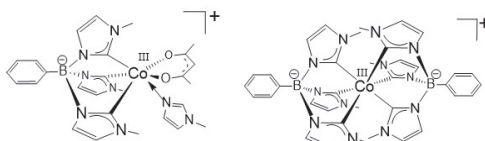


図 2.  $Tim^{Me}$  を配位子とするコバルト(III)錯体

先述したとおり、 $To^M$  や  $Tp^*$  を配位子とするコバルト(II)-acac 錯体は酸素分子とは全く反応せず、また  $L^{Ox}$  を配位子とする同様の錯体は

低温条件下では可逆的な酸素付加体形成能を示した。従って  $Tim^{Me}$  は、 $To^M$ ,  $Tp^*$ ,  $L^{Ox}$  よりも高い電子供与能を示し、高原子価状態の金属中心を安定化できることが明らかになった<sup>(11)</sup>。

そして合成した  $Tim^{Me}$  を配位子とするコバルト(III)-acac 錯体と  $To^M$ ,  $Tp^*$  および  $L^{Ox}$  を配位子とするコバルト(II)-acac 錯体について、mCPBA を酸化剤とするシクロヘキサン酸化反応に対する触媒活性を比較した。室温下での反応における総触媒回転数の序列は  $Tim^{Me} \approx L^{Ox} > To^M \gg Tp^*$  であり、しかも  $Tim^{Me}$  錯体は最も高いアルコール選択性を示した。さらにコバルト(III)中心に 2 分子の  $Tim^{Me}$  が配位した  $[Co^{III}(Tim^{Me})_2]^+$  は室温では全く触媒活性を示さなかったものの、 $35^\circ C$  では反応速度は遅いながらも  $Tim^{Me}$  を配位子とするコバルト(III)-acac 錯体に匹敵する総触媒回転数を示した。一般に低スピン型の電子配置からなる 6 配位構造コバルト(III)種は、配位子場安定化エネルギーが大きいゆえに配位子交換反応が起こりにくいことが知られている。しかし  $Tim^{Me}$  配位子のカルベン炭素ドナーの電子供与性が高いために、中心金属を挟んで向かい側(trans 位)にある配位原子が押し出されるように脱離し、それにより生じた空配位座に酸化剤が相互作用して触媒活性が発現していると考えられる。すなわち、 $Tim^{Me}$  配位子の高い電子供与能が触媒活性発現の鍵である<sup>(11)</sup>。

## 4. 結言

以上の通り、中心金属の反応特性が配位子の分子設計により制御できることを明らかにした。本プロジェクトでは、サブナノ(錯体分子触媒)からナノ(無機酸化物担体を用いた固体触媒)スケールでの構造制御に基づく触媒開発を行ってきた。これらの成果は高機能性触媒の設計・開発を行う上で有意義な知見である。今後はこれらの知見を実用的な触媒の設計・開発に反映させていきたい。

## 参考文献

- (1) T. Nozawa, Y. Mizukoshi, A. Yoshida, S. Naito, Appl. Catal. B: Environ., 146, 221–226 (2014).
- (2) T. Nozawa, A. Yoshida, S. Hikichi, S. Naito, Int. J. Hyd. Energy, 40, 4129–4140 (2015).
- (3) T. Nozawa, Y. Mizukoshi, A. Yoshida, S. Hikichi, S. Naito, Int. J. Hyd. Energy, 42, 168–176 (2017).
- (4) F. Odon, Y. Chiba, J. Nakazawa, T. Ohta, T. Ogura, S. Hikichi, Angew. Chem. Int. Ed., 54, 7336–7339 (2015).
- (5) K. Ando, J. Nakazawa, S. Hikichi, Eur. J. Inorg. Chem., 2016, 2603–2608 (2016).
- (6) T. Nishiura, T. Uramoto, Y. Takiyama, J. Nakazawa, S. Hikichi, Molecules, 23, 1466 (2018); <https://doi.org/10.3390/molecules23061466> (open access).
- (7) T. Tsuruta, T. Yamazaki, K. Watanabe, Y. Chiba, A. Yoshida, S. Naito, J. Nakazawa, S. Hikichi, Chem. Lett., 44, 144–146 (2015).
- (8) A. Nakamizu, T. Kasai, J. Nakazawa, S. Hikichi, ACS Omega., 2, 1025–1030 (2017).
- (9) J. Nakazawa, Y. Doi, S. Hikichi, Mol. Catal., 443, 14–24 (2017).
- (10) T. Nishiura, Y. Chiba, J. Nakazawa, S. Hikichi, Inorg. Chem., 57, 14218–14229 (2018).
- (11) T. Nishiura, A. Takabatake, M. Okutsu, J. Nakazawa, S. Hikichi, Dalton Trans., 48, 2564–2568 (2019).



# 車両等に装備するためのポリカーボネート窓の 表面改質に関する研究（最終報告）

新中 新二\* 井上 成美\*\* 野尻 秀智\*\* 大越 昌幸\*\*

植田 博臣\*\*\* 岩井 和史\*\*\* 中村 先男\*\*\*

## Study on Surface Modification of Polycarbonate Windows for Vehicles (Final Report)

Shinji SHINNAKA\* Narumi INOUE\*\* Hidetoshi NOJIRI\*\* Masayuki OKOSHI\*\*

Hiroomi UEDA\*\*\* Kazufumi IWAI\*\*\* Sakio NAKAMURA\*\*\*

### 1. 緒言

有史以来人類はエネルギー資源を求め有効に利用する手段を考えてきた。石油や天然ガスなどを中心とした化石燃料はエネルギー密度が高く利用価値の高い生活資源として近代のエネルギー供給の中心的な役割を果たしてきた。しかし、ここ数10年来の環境汚染や資源枯渇の憂慮などの背景から、再生可能エネルギーや水素の利用に開発の中心が移っている<sup>[1]</sup>。自動車における電動化の流れもそのような背景から必然的なものである。また、Society5.0<sup>[2]</sup>のような政府主導のスマート社会実現の取り組みの中で、自動車は豊かな社会創造のためのコアシステムとしてさらに進化しようとしている。そして自動車は社会の共通のプラットフォームの中でさらにその価値が高まることが期待される。

ところで自動車の電動化の歴史にはいくつかの転換点があった。1970年代後半から1980年代半ばには、オイルショックや公害問題を発端として、石油代替エネルギーとしてのEV(Electric Vehicle)が競って開発された。また、新規モーターの開発とその制御による高効率化によって、課題とされた電池容量を補う形で駆動系が進化した。2000年代に入り、リチウムイオン電池が実用化され、高容量で軽量の電池が開発された。同時に感電や事故時のショートに対する安全性も高まった。本学においては、1990年代後半、先駆けてEVに適したモーターやその制御方法についての理論研究やそれを実証するための実車製作を行い<sup>[3,4]</sup>、自動車メーカーとの共同研究も活発に行われた。学術と実用化の両方を本学が担う形で電動化をけん引

していった。これらの研究はメディアでも大きく取り上げられ、本学EV研究の社会的認知度が高まった。そして、2010年代に入り、Teslaなどに代表されるEV専門メーカーが台頭し、Googleなどの巨大IT企業もこぞってEVとクラウドを接続するConnected Car構想やAIや自動運転をベースとしたさまざまな利便性やサービスが追及された。

我々は来るべく究極の低排出化の時代に先駆け、EVの軽量化による走行効率の向上やCO<sub>2</sub>排出量削減のため、車両窓の軽量化に取り組んできた。具体的には、無機ガラスをポリカーボネート(PC)樹脂に置き換えることを目的とし、PC表面の耐傷性を向上するためにシリコン樹脂を塗布し、さらに光化学改質という手法でシリコン表面の所定の深さを選択的にSiO<sub>2</sub>に改質することを検討した<sup>[5]</sup>。ここで使用するシリコン樹脂は、PC表面に液体の状態で塗布し、加熱硬化によりリジッドな保護膜を形成するものであり、一般にハードコートと称されている。

光化学改質の光源としては、波長200nm以下の真空紫外と呼ばれるものでF<sub>2</sub>レーザーやXeエキシマランプなどが用いられるが、いずれの場合も、シリコン樹脂がSiO<sub>2</sub>に改質される際に収縮を伴うため、引張応力が生ずる。SiO<sub>2</sub>の膜厚増加とともに応力が増大し、引張強度に達するとクラックが発生する<sup>[6,7]</sup>。また、加熱などにより基材が膨張すると、さらにクラックが生じやすくなるという問題があった。これらは本プロセス固有の問題ともとれるが、本研究を通して、メッシュマスクを使用してF<sub>2</sub>レーザーを照射し、さらに照射後の試料表面をスチールウールで擦るラビング処理を行うことによりクラックの発生を抑制できることを明らかにした。<sup>[8-13]</sup>

本研究は、神奈川大学工学研究所のプロジェクト研究として2014年10月～2019年9月に行われ、後半の3年間は、JSPS科研費16K06754の助成を受けて行なわれた。以下、5年間の研究成果をまとめる。

\*教授 電気電子情報工学科

Professor, Dept. of Electrical and Electronic Information Engineering

\*\*客員教授 工学研究所

Guest Professor, Research Institute for Engineering

\*\*\*客員研究員 工学研究所

Guest Researcher, Research Institute for Engineering

2. 実験方法

2.1 PC 基板上へのシリコン樹脂の塗布

透明な PC 基板 (厚さ 3 mm, 大きさ 10 cm×15 cm) 上にディップコーティング装置 (SDI, MD-0408-S5) により, アクリル樹脂およびシリコン樹脂を積層して塗布した. アクリル樹脂とシリコン樹脂の塗布後には, 熱風乾燥炉 (ONDO, TD15-12M) により各々 125°C 60 min, 120°C 60 min の硬化処理を行った. さらに上記 PC 基板の長手方向の一部を切断し, 10×10 cm<sup>2</sup> の正方形の試料を得た. 硬化後の各層の厚さは, 光学干渉式膜厚計 (マミヤ OP, MSPA1000) により測定し, 各々約 4 μm であった.

2.2 メッシュマスクを使用した光化学改質

図 1 に実験概要を示す. X-Y 電動ステージ (シグマ光機, SGSP26-100XY) 上に試料を設置し, さらに試料上にステンレス製のメッシュマスクを密着させ, その上方 5 mm の位置より F<sub>2</sub> レーザー (Coherent, LPF pro 205) を照射した. このときレーザー出射口には, 開口が 10×10 mm<sup>2</sup> のステンレスマスクを装着し, 均一性のよい光路の中心付近のみにレーザー光を制限した. 光路には N<sub>2</sub> ガスを 5 L/min の流量で流し, 酸素をパージした. F<sub>2</sub> レーザーの単パルスフルエンスは 10 mJ/cm<sup>2</sup>, パルス繰り返し周波数は 10 Hz とした. メッシュマスクの開口長は, 50 μm, 150 μm, 300 μm, 1 mm, 5.5 mm の 5 種類とした. また, レーザー照射にあたり, 1 cm<sup>2</sup> 当たりの照射時間が所望の値になるように, X-Y 電動ステージを一定速度で走査し, 10×10 cm<sup>2</sup> の試料全体に均一にレーザー光を照射した. 図 2 に X-Y 電動ステージの走査方法を示す. レーザーのビームサイズは 10×24 mm<sup>2</sup> の矩形であり, 垂直方向はガウス分布, 水平方向はほぼフラットなビーム特性を有している. このビームを垂直水平ともに 10 mm に制限したため, 垂直方向の上下端が半値全幅 (FWHM) となるようなビームプロファイルを得た. また, 均一なレーザー照射が行われるよう垂直方向には一定速度で X-Y 電動ステージを走査し, 水平方向には過照射を避けるため高速で移動するように設定した. レーザーの照射後は, ASTM D1044 に従うテーパー摩耗試験, 耐熱性試験および光学顕微鏡によるクラックの観察を行った.

2.3 ラビング処理によるクラック抑制実験

レーザー照射により, シリコン樹脂の表面付近の深さ 1 μm に満たない領域が選択的に SiO<sub>2</sub> に改質されるが, 改質面の後処理による耐久性向上の検討として, スチールウールによるラビング処理を

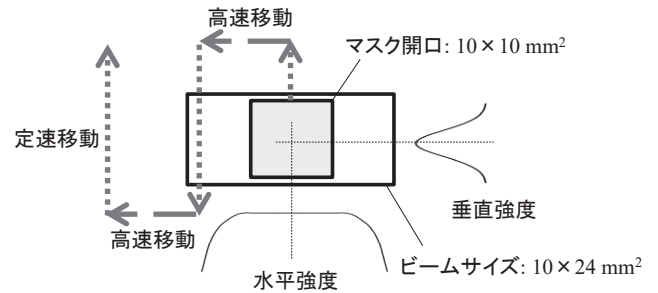


図 2 X-Y 電動ステージの走査方法<sup>[1]</sup>

行った. 図 3 にラビング処理の概要を示す. ロードセル上に試料を置き, その上に約 10 g のスチールウール (日本スチールウール, #0000) をはかり取り, 一様に広げた状態で荷重をかけた. この状態で所定回数往復させ擦傷操作を行った. 荷重は, 0.1~2 N/cm<sup>2</sup>, ラビング回数は 300 往復とした. この処理は, レーザー照射の後に行った. なお, ラビング処理に使用した試料は, 図 4 に示すような厚さ 3 mm, 大きさ 5×5 cm<sup>2</sup> の正方形形状とした. この試料表面には前項 2.1 に示した方法によりアクリル樹脂およびシリコン樹脂を塗布し, さらに図 1 に示した構成におり F<sub>2</sub> レーザーを照射した. このとき X-Y 電動ステージに替えてロードセルとしたため, レーザー光の走査は行わず, レーザーの照射時間は, 15s, 30s, 60s, 90s, 120s とし, 合計 9 点の照射領域を設けた. さらに, ラビング処理による耐熱性の向上を評価するため, 100°C 3 h または 120°C 3 h の耐熱性試験を行い, 試験後の表面を光学顕微鏡により観察し, クラックの有無や形態を調べた.

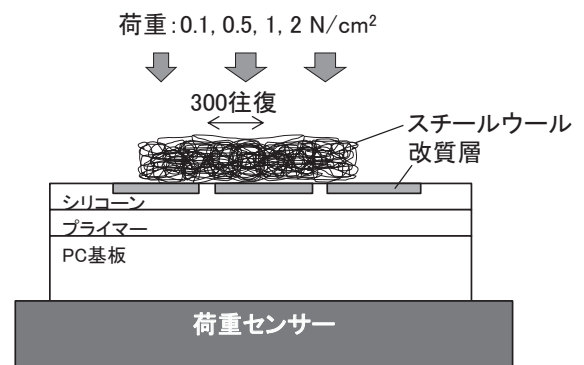


図 3 ラビング処理の概要<sup>[9]</sup>

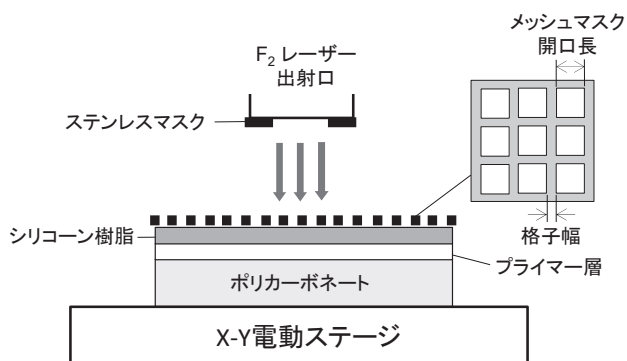


図 1 実験概要

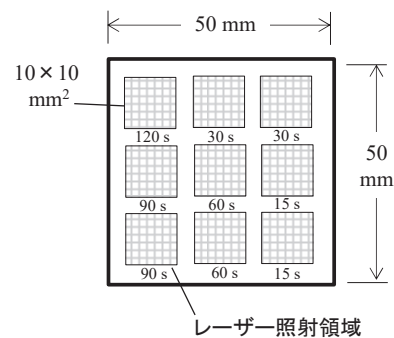


図 4 ラビング処理の概要

2.4 光改質による帯電防止性の付与

車両用窓材としての一機能として帯電防止性を評価した。一般的な窓材のソーダ石灰ガラスと同程度の帯電圧が得られれば、車両窓としての実用性に問題はないものとした。帯電圧の制御方法として、波長 172nm の Xe エキシマランプ、および波長 222nm の KrCl エキシマランプを使用し、試料表面の導電性を制御した。試料は前項 2.1 にて作製したものと同一の基板とした。上記のエキシマランプを基板に照射した試料、および比較のためソーダ石灰ガラスと合成石英基板の帯電圧を比較した。Xe エキシマランプは SiO<sub>2</sub> 形成と SiO<sub>2</sub> に誘起される欠陥に起因して形成される導電パス、KrCl エキシマランプは SiO<sub>2</sub> の形成なしに、表面に誘起される -OH 等の親水基や、内部に形成される未結合欠陥による電荷移動に伴う帯電圧の低下を期待した。試料をスピンドーター (MIKASA, MS-B150) により 3000 rpm にて回転させ、回転開始から 30 s 後に試料上方 50 mm の位置において、デジタル静電気探知機 (サンハヤト, EG-1) にて帯電圧を測定した。

3. 実験結果および考察

3.1 メッシュマスクによる耐摩耗性および耐熱性の評価

耐摩耗性の評価は、テーバー摩耗試験 (ASTM D1044) により行った。2 個一対の摩耗輪を試料表面に荷重をかけて設置し、この状態で試料を所定回数回転させ、試験前後の光学的なヘイズ (Haze) の変化を評価するものである。図 5 にテーバー摩耗試験の結果を示す。縦軸には、摩耗輪の回転が 1000 cycle のときの試験前後の Haze 変化 ( $\Delta H_{1000}$ ) を示す。数値が低いほど、傷付きによる Haze 上昇が少なく優れた耐摩耗性を示す。レーザー照射時間がゼロ、すなわちレーザーを照射しない場合の  $\Delta H_{1000}$  は約 7% であった。これは SiO<sub>2</sub> が形成されないシリコン樹脂のみの表面の耐摩耗性を示している。これに対し、レーザー照射時間の増加に伴い  $\Delta H_{1000}$  は一旦低下し 15~30 s 程度の照射時間において最小値を示したが、その後照射時間の増加とともに  $\Delta H_{1000}$  が高くなる傾向を示した。メッシュマスクの開口サイズに関わらず同様の傾向となったが、特にメッシュマスクを使用しない場合が顕著であり、次いで 5.5mm の開口の場合に  $\Delta H_{1000}$  の上昇がやや低く、メッシュの開口サイズがさらに小さな場合には Haze 上昇は低く抑えられた。光改質により得られる SiO<sub>2</sub> の膜厚は、レーザー照射時間の増加とともに増すことがわかっており、

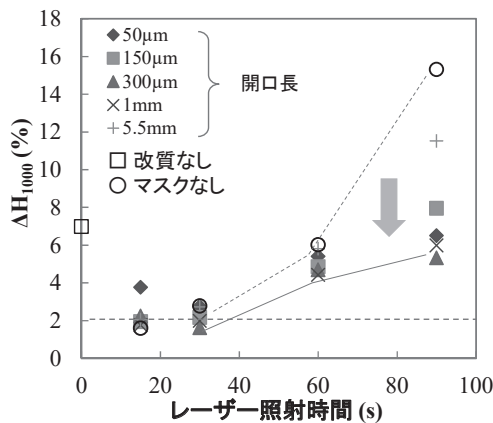


図 5 テーバー摩耗試験の結果<sup>[11]</sup>

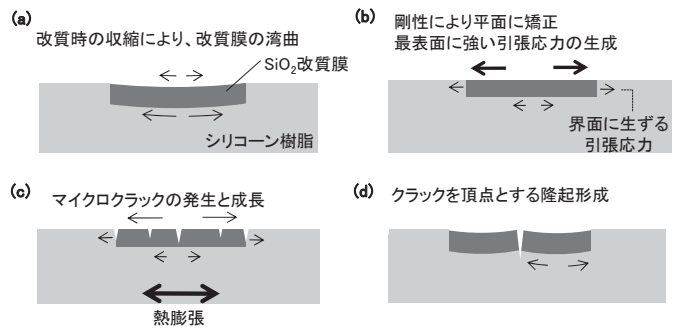


図 6 クラック発生メカニズム<sup>[9]</sup>

レーザー照射時間が 30 s のときに SiO<sub>2</sub> の膜厚は約 600 nm で、90 s では 1 μm 程度であった。SiO<sub>2</sub> の膜厚の増加とともに、 $\Delta H_{1000}$  は単調に低下するものと期待したが、レーザー照射時間が 15~30 s のときに最小値を示す結果となった。これは、膜厚の増加とともに改質膜中に生ずる引張応力が增大するため、この応力が耐摩耗性を低下させる要因になっているものと考えられる。メッシュマスクの開口サイズが大きな場合、より大きな引張応力が生ずることとなり結果的に改質層にクラックが生じやすくなるものと考えられる。さらに、耐熱性試験として 100°C 3 h の熱処理を行うと、照射時間 15s の試料を含め、すべての試料においてクラックが発生した。

以上のように硬質の SiO<sub>2</sub> が厚いと耐摩耗性も向上すると期待したが、逆に耐摩耗性が低下することが明らかとなった。以上の結果を踏まえ、図 6 に示すようなクラック発生メカニズムを考察した。シリコン樹脂が F<sub>2</sub> レーザー照射によって SiO<sub>2</sub> に改質する際には、シリコン樹脂中の有機成分が解離するとともに酸化脱離により膜の収縮が起こる。その後酸素原子との再結合により SiO<sub>2</sub> が形成されるものの全体的には収縮による引張応力が内在するものと考えられる。このとき、図 6 (a) に示すように、改質膜は湾曲しシリコン樹脂との界面において大きな引張応力が生ずる。しかし、実際にはシリコン樹脂の剛性により変形が妨げられ、図 6 (b) に示すように薄い SiO<sub>2</sub> 膜は平面に矯正される結果、最表面に引張応力が生ずることとなる。この状態で、熱膨張により基板が伸びたり、摩耗輪等で擦

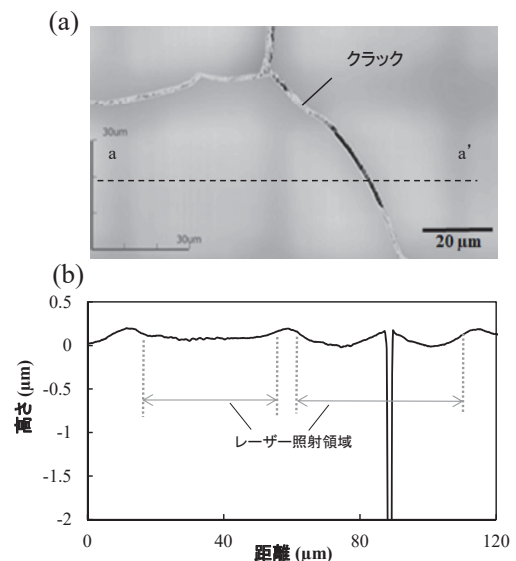


図 7 クラック周辺の起伏プロファイル<sup>[9]</sup>

られたりすると、図 6 (c)のように最表面にマイクロクラックが生ずる。さらに、マイクロクラックが成長し SiO<sub>2</sub>を貫通するとクラック周辺の応力が解放され、図 6 (d)に示すようにクラック周辺が隆起することとなる。図 7に、触針式の段差測定器（ブルカー、DEKTAK XT）にて測定したクラック周辺の起伏プロファイルを示す。図 7(a)は試料の上方から観察した光学顕微鏡写真であり、図中の薄い領域がレーザー光を照射した改質部である。クラックは、改質領域間の未改質領域から改質領域内に生じている。図 7(b)は、図 7(a)中の a-a'線に沿った起伏プロファイルを示したものである。この結果によれば、クラックを頂部として表面が隆起しており、クラックの深さは 2 μm 以上で、確実に改質層（SiO<sub>2</sub>改質膜）を貫通していることが明らかである。他に生じたクラックを複数測定した結果、すべてのクラックが改質層を貫き、クラック周辺が隆起していることが確認できた。これらの結果は図 6 (d)の考察を裏付けるものであり、耐熱性試験で生ずるクラックを抑制するためには、図 6(b)に示した最表面に生ずる引っ張り応力を低減することが重要であると考えられる。

3.2 スチールウールラビング処理によるクラック抑制効果

図 8 にラビング処理の有無における耐熱性試験後の試料表面の光学顕微鏡観察像を示す。レーザー照射時間の長さにかかわらず、ラビング処理を行わない場合にはクラックが発生したが、ラビング

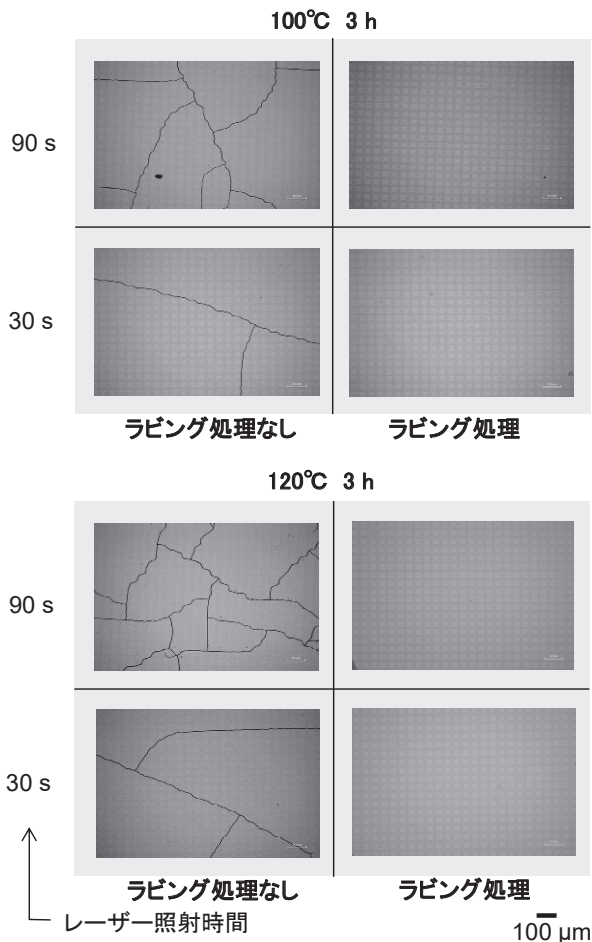


図 8 ラビング処理の有無による耐熱性試験後の試料表面の光学顕微鏡観察像<sup>[9]</sup>

表 1 ラビング処理時の荷重とクラック抑制効果<sup>[12]</sup>  
(a) 照射時間：30 s SiO<sub>2</sub>膜厚：620 nm

Load (N/cm <sup>2</sup> )	100°C			120°C		
	50 μm	300 μm	No mesh	50 μm	300 μm	No mesh
0	×	×	×	×	×	×
0.1	×	×	×	×	×	×
0.5	○	○	×	○	×	×
1	○	○	○	○	○	○
2	○	○	○	○	○	○

(b) 照射時間：90 s SiO<sub>2</sub>膜厚：1040 nm

Load (N/cm <sup>2</sup> )	100°C			120°C		
	50 μm	300 μm	No mesh	50 μm	300 μm	No mesh
0	×	×	×	×	×	×
0.1	×	×	×	×	×	×
0.5	○	×	×	×	×	×
1	○	○	×	○	×	×
2	○	○	○	○	×	×

○：クラックなし ×：クラック発生

表 2 ハードコート周辺材料の線膨張率

材料	線膨張率 (ppm/°C)
PC樹脂	70
アクリル樹脂	70 - 80
シリコーン樹脂	25 - 30
SiO <sub>2</sub> (石英ガラス)	0.5

処理を行った場合には 100°C、120°Cのいずれの耐熱性試験温度においても、クラックが完全に抑制されていることが明らかである。表 1 にラビング処理時の荷重とメッシュマスクの有無と開口長、およびレーザー照射時間をパラメータとしたクラック抑制効果についてまとめる。表 1 (a)の結果によれば、レーザー照射時間が 30 s の場合、100°C、120°Cともに、メッシュマスクの有無にかかわらず 1 N/cm<sup>2</sup>以上の荷重でラビング処理を行うことによりクラックが抑制できることを示している。また、表 1 (b)に示すようにレーザー照射時間が 90 s の場合、メッシュマスクの開口長を 50 μm に小さくした場合は 100°Cのときには 0.5 N/cm<sup>2</sup>以上、120°Cでは 1 N/cm<sup>2</sup>以上の荷重でクラックが抑制できた。また、メッシュマスクを使用しない場合は、100°Cにおいては 2 N/cm<sup>2</sup>の荷重でクラックが抑制できたが、120°Cでは抑制できなかった。以上のように、ラビング処理時の荷重が大きいほど、メッシュマスクの開口長が小さいほどクラック抑制効果が高く、SiO<sub>2</sub>改質層の厚さが厚いほど、あるいは耐熱性試験の温度が高いほど、より大きな荷重をかけなければならないことが明らかとなった。図 9 にラビング処理前後の試料表面の AFM (原子間力顕微鏡) による観察像を示す。図 9 (a)はシリコーン樹脂の塗布後、図 9 (b)はレーザー光を 30 s 照射後、図 9 (c)は荷重 1 N/cm<sup>2</sup>によるラビング処理後である。併せて表面の起伏の最大値 R<sub>max</sub>および Haze を示した。シリコーン樹脂の塗布後は極めて平坦な表面が形成されており Haze も低い。これに対し、レーザーを照射すると、表面に若干の凹凸が生じ Haze もわずかに高くなった。さらにラビング処理後は、最大 50 nm 程度の筋状のテクスチャー

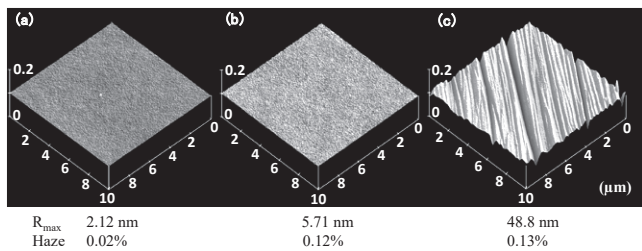


図9 試料表面のAFMによる観察像<sup>[9]</sup>

構造が形成されたが、Hazeはラビング処理前とほとんど変わらず、窓材としての透明度にほとんど影響していない。すなわち光学特性に影響しない幅・深さ共に概ね200nm以下の微細な溝が形成されている。このテクスチャー構造の形成により、表面の長さは、より長くなっており、加熱状態においては、(線膨張率) × (長さの増加分) だけ伸長するものと考えられる。

表2にPC基板を構成するハードコート周辺材料の線膨張率を示す。シリコン樹脂、アクリル樹脂、PC樹脂のいずれも数10ppmオーダーの線膨張率を有するのに対し、SiO<sub>2</sub>は0.5ppmと2桁小さい。したがって、大きな引張応力が生ずるSiO<sub>2</sub>表面に筋状のテクスチャーを形成することで、加熱時に表面のみを積極的に伸長させた結果、特に加熱時の応力緩和に寄与したと考えられる。

### 3.3 光改質後の帯電性の評価結果

PCの抵抗率は10<sup>16</sup>Ωcm程度であり電気的には絶縁性を示すため、車両用の樹脂窓として使用した場合、帯電が生じやすくごみや塵が付着しやすいという実用上の懸念がある。また、表面に塗布されるシリコン樹脂やアクリル樹脂も導電性は有していない。一方、従来のガラスもまた導電性は有していないが、樹脂材料表面に比較して帯電性は低く、ごみや塵の付着の点で窓材としての実用性が問題になることはなかった。一般に使用されるソーダ石灰ガラスの抵抗率は10<sup>10-12</sup>Ωcm程度であり、良好な導電性を有しているとは言えないが、帯電を防止するという目的では樹脂窓材においても同程度の導電性は付与する必要がある。ここで10<sup>10</sup>Ωcm以上の抵抗率を安定的に測定するのは難しいため、抵抗率測定に代えて帯電圧を測定することで帯電防止性を評価した。

図10に波長172nmおよび222nmのエキシマランプを照射した場合の積算光量に対する帯電圧の測定結果を示す。ランプを照射しない状態でのPC試料表面の帯電圧は4.4kVと測定された。この値はソーダ石灰ガラスの0.1kVや合成石英板の0.7kVに比較して高く、極めて帯電しやすいことを示している。合成石英板に172nmのエキシマ照射を行い2J/cm<sup>2</sup>の積算光量を与えると帯電圧は0.1kVに低下した。これに対し、PC基板の場合9J/cm<sup>2</sup>の照射により、ソーダ石灰ガラスとほぼ同等の帯電圧に低下した。また、波長222nmのエキシマ照射の場合は、2J/cm<sup>2</sup>程度の照射により1kV以下に帯電圧が低下したが、その後積算光量を増しても、帯電圧の低下は認められなかった。

波長172nmや222nmのエキシマ光は、試料表面に-OH基を導入し、水滴接触角を低下させ濡れ性を改善するために使用される。また、157nmのF<sub>2</sub>レーザーや172nmのランプ光などの真空紫外光は、シリコン樹脂表面をSiO<sub>2</sub>に改質する目的で使用することができ

る<sup>[13]</sup>。さらに、真空紫外光の照射は石英ガラスに欠陥を誘起することでも知られており<sup>[14]</sup>、このとき生成する欠陥は、Si-OHの生成や酸素欠乏、酸素過剰欠陥がある。そしてこれらの欠陥は電流パスを形成し、また電気的な耐圧を低下させるため、半導体デバイスでは問題となる。しかし樹脂窓のような用途では、積極的に欠陥を導入し、微小な電流パスを形成できた結果、ソーダ石灰ガラスと同等程度の帯電防止性が得られたものと考えられる。

波長172nmのエキシマランプと波長157nmのF<sub>2</sub>レーザーにおいて、照射エネルギーが同じであれば得られるSiO<sub>2</sub>の膜厚や耐摩耗性は同程度であることがわかっている<sup>[15]</sup>。したがって、比較的大きな表面への照射を考えた場合、エキシマランプを使用できる可能性が高まる。エキシマランプを照射する際にメッシュマスクを使用しても、帯電性の低下はメッシュマスクを使用しない場合と違いなく、9J/cm<sup>2</sup>程度のエキシマ照射により帯電圧は0.1kV程度に低下することが追加の実験で明らかとなった。これは、エキシマランプの場合はマスクの格子直下にも光が回り込むことにより、電気的なパスができるためと考えられる。

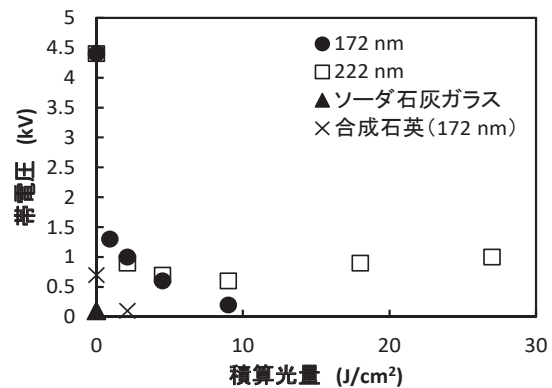


図10 エキシマランプ照射による帯電圧の測定結果

## 4. 結言

PC基板上にハードコートとしてコーティングしたシリコン樹脂に、波長200nm以下の真空紫外光を照射し、シリコン樹脂の一部をSiO<sub>2</sub>に光化学的に改質した。このとき形成されたSiO<sub>2</sub>改質層により、PC表面の耐摩耗性は格段に向上し、1000 cycleのテーパー摩耗試験におけるHaze変化(ΔH<sub>1000</sub>)は2%以下を達成し、国連欧州委員会が提唱する自動車の窓ガラスにおける安全認証規格UNECE#43<sup>[16]</sup>における運転視界にかかる窓材の規格Class Lを満たした。また、メッシュマスクを使用して真空紫外光を照射することにより改質層中に生ずる応力を低減し、加えてスチールウールによるラビング処理を行うことにより耐摩耗性と同時に耐熱性をも向上できることを見出した。さらに、真空紫外光の照射により誘起される光化学改質はSiO<sub>2</sub>の形成のみならず、SiO<sub>2</sub>中への欠陥導入をもたらし、その結果、ソーダ石灰ガラスと同等の帯電防止性が得られることも明らかにした。

車両における窓ガラスの樹脂化は、窓ガラス自体の軽量化に貢献するだけでなく、外装パネルの樹脂化とともに一体成形が可能になるなど、車両生産工程の簡略化やこれに伴うコスト低減をもたらし得る。また、プラスチックならではのデザインの自由度や加工の

容易性においても、新しい可能性が期待されている。

本研究のような、光化学改質法を適用した PC 窓材は、車両の EV 化や自動運転技術の醸成と相まって、これからの低炭素社会に資する革新的な製品として、新しい価値を発揮するものと期待される。

本プロジェクトの遂行にあたり、工学研究所技術職員の萩原健司氏、金子信悟氏にご協力いただいた。ここに謹んで謝意を表す。また本プロジェクトへの参画を許諾いただいた(株)レニアス代表取締役の前田導氏、ならびに社長 赤尾太郎氏に感謝する。

#### 参考文献

- [1] 藤野純一, 日比野剛, 榎原友樹, 芦名秀一, 低炭素社会に向けたエネルギー選択に関する考察, 地球環境, **12** (2), 171-178 (2007).
- [2] 日本国政府広報オンライン, <https://www.gov-online.go.jp/cam/s5/>
- [3] 新中新二, 計測・制御から見たセンサレス・トランスミッションレス電気自動車の開発, 計測と制御, **40** (11), 809-812 (2001).
- [4] 新中新二, 竹内 茂, 永久磁石同期モータを利用したセンサレスベクトル制御駆動・トランスミッションレス電気自動車の開発, 電気学会論文誌 D, **125** (12) 1129-1139 (2005).
- [5] Y. Nojima, M. Okoshi, H. Nojiri and N. Inoue, Formation of Transparent SiO<sub>2</sub> Protective Layer on Polycarbonate by 157 nm F<sub>2</sub> Laser for Lightweight Automobile Window, Jpn. J. Appl. Phys. **49**, 072703-1-072703-4 (2010).
- [6] K. Iwai, S. Honda, Y. Nojima, M. Okoshi, N. Inoue and H. Nojiri, Formulation and Application of Transparent Protective Layer on Polycarbonate with VUV laser, Proc. 79th Laser Materials Processing Conf., 133-137 (2013).
- [7] 大越昌幸, フッ素レーザーにより形成されたポリカーボネート上の透明硬質膜のクラック抑制, 電気学会論文誌 C **135**, 1071-1074 (2015).
- [8] H. Nojiri and M. Okoshi, Crack suppression of silica glass formed by zoned F<sub>2</sub> laser-induced photochemical surface modification of hard silicone thin film coating on polycarbonate, Jpn. J. Appl. Phys. **55** 122701-1-122701-6 (2016).
- [9] H. Nojiri and M. Okoshi, Surface texturing effect on crack suppression of SiO<sub>2</sub> film formed by F<sub>2</sub> laser-induced photochemical surface modification of silicone on polycarbonate under heat resistance test, Jpn. J. Appl. Phys. **56** 085502-1-085502-7 (2017).
- [10] 野尻秀智, 大越昌幸, フッ素レーザーにより形成した自動車用樹脂窓の耐熱試験下でのクラック抑制, レーザー学会誌 **45** 646-651 (2017).
- [11] 野尻秀智, 大越昌幸, 光化学表面改質法により形成した自動車用樹脂窓の耐摩耗性向上, レーザー学会誌 **46** 527-531 (2018).
- [12] 大越昌幸, 野尻秀智, 真空紫外フッ素レーザーによるシリコンハードコート表面改質と自動車用樹脂窓への応用, 光アライアンス **29** (12), 38-41 (2018).
- [13] 野尻秀智, 岩井和史, 中村先男, 井上成美, 大越昌幸, 萩原健司, 植田博臣, 新中新二, 光化学表面改質法によるポリカーボネート上ハードコート膜の超硬質化, プラスチック成形加工学会誌 **30** (1), 30-36 (2018).

[14] 生田順亮, 菊川信也, 日野啓吾, 峯松敏資, 小島宏, 真空紫外光用合成石英ガラス, Reports Res. Lab. Asahi Glass Co., Ltd., **53**, 31-35 (2003).

[15] 新中新二, 井上成美, 大越昌幸, 野尻秀智, 植田博臣, 岩井和史, 中村先男, 車両等に装備するためのポリカーボネート窓の表面改質に関する研究 (3), 神奈川大学工学研究, **1** 128-129 (2018).

[16] UNECE regulations No. 43, Uniform provisions concerning the approval of safety glazing materials and their installation on vehicles Rev.3 (2012).

# パルスレーザー光を利用した反応開発および機構解析

岩倉 いずみ\* 赤井 昭二\*\* 小林 孝嘉\*\*\* 簗下 篤史\*\*\*

橋本 征奈\*\*\*\* 岡村 幸太郎\*\*\*\* 織作 恵子\*\*\*\*

## Development and Analysis of Chemical Reaction Triggered by Ultrashort Laser Pulse

Izumi IWAKURA\* Shoji AKAI\*\* Takayoshi KOBAYASHI\*\*\* Atsushi YABUSHITA\*\*\*\*

Sena HASHIMOTO\*\*\*\* Kotarou OKAMURA\*\*\*\* Keiko ORISAKU\*\*\*\*

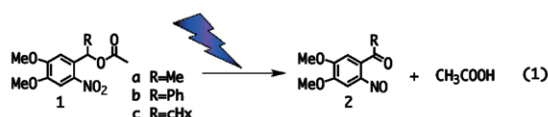
### 1. 緒言

従来、機能性材料開発は実験による試行錯誤の連続から改良を重ねることで行われてきた。その手法は現在でも有効であり、かつ、重要であるが、分光測定による中間体の同定・理論計算による遷移状態の推定など様々な手法を融合し、合理的な改良を重ねることが可能になりつつある。

我々は、閃光時間が 10 フェムト秒のパルスレーザー光を用いて反応過程を可視化することで、機構解析を試みている。本年度は、ケージド化合物として研究が多々なされている 2-ニトロベンジル誘導体の脱保護機構の解明を、紫外-紫色 10-fs パルスレーザー光<sup>(1)</sup>を用いるポンプ・プローブ測定により試みた。

### 2. ケージド化合物の光脱保護過程の可視化<sup>(2)</sup>

ケージド化合物、2-ニトロベンジル化合物は光特性に関する様々な研究がなされてきた。しかし、 $\pi_{(\text{ring})}-\pi^*_{(\text{NO}_2)}$ 由来の吸収帯を 250 nm 付近に有しており、紫外光照射により脱保護反応を誘起すると、同時に様々な副反応が進行してしまうという欠点がある。そのため、可視光照射により脱保護可能なケージド化合物の開発が望まれている。これまでの研究において、例えば、4,5 位にメトキシ基を導入すると  $\pi_{(\text{ring})}-\pi^*_{(\text{NO}_2)}$  吸収帯が 350 nm 付近までレッドシフトすることが報告されているが、脱保護効率が低くなるという欠点がある。その原因の一つとして  $n_{(\text{NO}_2)}-\pi^*_{(\text{NO}_2)}$  吸収帯の消滅が示唆されているが、詳細は不明である。本研究では 4,5 位にメトキシ基を導入した 4,5-ジメトキシ-2-ニトロベンジルアセテート誘導体 (1) を用いて、脱保護過程(反応式 1)を可視化した。



試料として用いた 3 種類の 2-ニトロベンジルアセテート誘導体 (1) の定常吸収スペクトル(図 1)は、 $\alpha$  位の置換基に依存せず、 $\pi_{(\text{ring})}-\pi^*_{(\text{NO}_2)}$  吸収帯が 350 nm 付近に現れた。測定に用いた紫外-紫色 10-fs パルスレーザー光は 350~450 nm に広がっており一光子で  $\pi_{(\text{ring})}-\pi^*_{(\text{NO}_2)}$  遷移を誘起可能である。

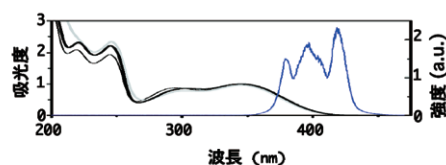


図1. 原料 4,5-ジメトキシ-2-ニトロベンジルアセテート誘導体 (1) の定常吸収スペクトル (化合物 1a: 黒細線, 化合物 1b: 灰色線, 化合物 1c: 黒太線) と紫外-紫色 10 フェムト秒パルスレーザー光スペクトル (青線) (カラー版は web 参照)

測定の結果得られた差吸光度 ( $\Delta A$ ) の 2 次元マップを図 2 に示す。横軸が検出光波長、縦軸が励起光と検出光との遅延時間、色は差吸光度を示す。いずれの場合にも、短波長側では青色で示される負の  $\Delta A$  の信号が、長波長側では赤色で示される正の  $\Delta A$  の信号が現れた。アセトニトリル溶媒のみを測定しても信号は現れないことから、化合物由来の信号が現れていると考察できる。

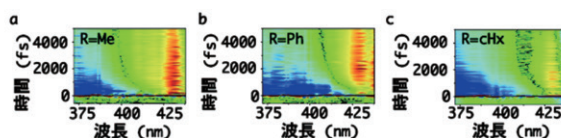


図2. ポンプ・プローブ測定結果の 2 次元マップ (カラー版は web 参照)

\*准教授 化学教室

Associate Professor, Dept. of Chemistry

\*\*准教授 物質生命化学科

Associate Professor, Dept. of Material and Life Chemistry

\*\*\*客員教授 工学研究所

Guest Professor, Research Institute for Engineering

\*\*\*\*客員研究員 工学研究所

Guest Researcher, Research Institute for Engineering

これらの信号を帰属するために、実時間差吸光度変化を指数関数近似し、時定数を求めた。その結果、いずれの $\alpha$ 位置換基の場合にも全検出波長領域において約 75 fs の時定数が算出された。また、短波長側の負の $\Delta A$ が現れている領域では約 1000 fs、長波長側の正の $\Delta A$ が現れている領域では約 500 fs の時定数が得られた。各検出波長から算出された時定数の平均値を表 1 に示す。

表 1. 得られた時定数の平均値

R	時定数 (fs)		
	$\tau_1$	$\tau_2$	$\tau_3$
Me	75 ± 20	535 ± 72	969 ± 81
Ph	62 ± 37	501 ± 33	1024 ± 115
CHx	53 ± 26	527 ± 80	1088 ± 100

次に得られた 75, 500, 1000 fs の時定数を用いて成分スペクトルを解析した。得られた  $A_{500}$  スペクトルは定常発光スペクトルと一致したため、一重項励起状態 ( $S(\pi_{\text{ring}}-\pi^*_{\text{NO}_2})$ ) からの誘導放出に帰属できる。一方、 $A_{1000}$  スペクトルは定常吸収スペクトルと一致したため、約 1000 fs で基底状態に戻る経路があることが示された。この様に、発光寿命と基底状態の回復寿命が異なることから、基底状態と  $S(\pi_{\text{ring}}-\pi^*_{\text{NO}_2})$  との間に、基底状態からの光遷移が禁制過程である新たな準位の存在が示された。

三重項励起状態の寿命が約 300 ps の寿命であると報告されていること、 $S(\pi_{\text{ring}}-\pi^*_{\text{NO}_2})$  からの遷移時間が約 1000 fs であることなどから、この準位は  $S_{1}(\pi_{\text{ring}}-\pi^*_{\text{NO}_2})$  であると考察される。

### 3. 結論

以上、2-ニトロベンジル化合物の 4, 5 位にメトキシ基を導入すると吸収スペクトルから  $n_{(\text{NO}_2)}-\pi^*_{(\text{NO}_2)}$  吸収帯が消滅するが、脱保護反応は、 $S(\pi_{\text{ring}}-\pi^*_{\text{NO}_2})$  から  $S_{1}(\pi_{\text{ring}}-\pi^*_{\text{NO}_2})$  を経由して進行することが示された。この反応においては  $S_{1}(\pi_{\text{ring}}-\pi^*_{\text{NO}_2})$  を経由すると、ニトロ基の酸素の非共有電子対が電子不足になるため、カチオンラジカルとなる。その結果、酸性度の高い $\alpha$ 位の水素原子と反応しやすくなり、反応中間体を生成しやすくなることから、本測定に用いた 2-ニトロベンジルアセテート誘導体の脱保護効率の悪さは、六員環遷移状態の形成しにくさが原因であると考察される。

(1) S. Hashimoto, A. Yabushita, T. Kobayashi, K. Okamura and I. Iwakura, Direct observation of the change in transient molecular structure of 9,9'-bianthryl using a 10 fs pulse UV laser, *Chemical Physics*, **512**, 128-134, (2018).

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



# フォトニック結晶構造を応用した電磁波回路の解析と応用（成果報告書）

穴田 哲夫\* 陳 春平\*\* 中山明芳\*\*\*

## Analysis and application of passive circuits using photonic crystal structure (Final Report)

Tetsuo ANADA\* Chun-Ping CHEN\*\* Akiyoshi NAKAYAMA\*\*

### 1. 緒言

本研究のターゲットは、ミリ波からサブミリ波帯の超広帯域周波数領域において、フォトニック結晶構造を応用した機能性回路の解析と開発を通じて周波数の利用効率を上げ、ミリ波～サブミリ波帯における短距離無線通信の開拓として新しい電磁波回路の基礎研究と実際的な応用を推進することである。従来のメタル配線の導体損を避けるために低損失が期待される（超伝導）フォトニック結晶の周期構造を利用し、空気/誘電体基板中に2次元周期の円柱（Via-hole）/空気穴による人工的周期構造の提案と具体的な電磁波回路への応用例を検討してきた。

移動通信や固定無線を含めて無線通信技術は現代社会において不可欠な社会インフラ基盤として携帯電話、無線 LAN だけでなく、RFIDやIOTセンサー、車載レーダーなども無線通信の応用例である。それに伴って、周波数帯域の逼迫が現実の問題となっており、まだ通信に利用されていない未利用周波数帯を開発することが内外から要求されている。例えば、北京オリンピックにおいて、NHKとNTTの共同開発による120GHz帯を利用した非圧縮ハイビジョン信号の6チャンネル伝送による中継などで無線による複数カメラのハイビジョン映像伝送に成功している。また欧州を中心に79GHz帯を利用する車載レーダーの開発が進められている。このようなミリ波～テラヘルツ波は、エレクトロニクス技術とフォトニクス技術の境界領域にある技術分野であり、両方の技術分野から、通信、計測、テロ対策レーダー、医療、生化学等への広範な応用が期待されており、日本がアメリカ・欧州・韓国などに勝る技術となり得る成長分野であるが、現在は世界中で覇権争いが起こっている。

過去にミリ波の広大な周波数帯は、逼迫とは無縁なものと考えられ、その高分解能や機器の小型・軽量性はセンシングや通信すべてに十分魅力あるものであった。しかし、1970年代後半に長距離伝送路の主役の座を光ファイバに譲ることになって以来、ミリ波の開発とりわけデバイスの開発が停滞し、それが利用のインセンティブをも損なう悪循環に陥っていた。ところが、最近、5Gの提案後、ミリ波・サブミリ波領域の低損失・超小型・超広帯域性を備え

た機能デバイスの開発および設計手法を確立しておくことは、日本が世界に貢献する技術に成りうるものであり、高度情報社会を背景に利用面で新しい動きが展開されつつある。その一つはITSに関連した見通の悪い交差点での識別、自動車レーダへの利用、超高速無線LANやマルチメディアモバイルアクセスなど医療・看護を含めた病院内の通信分野における利用である。一方、これらを支えるハードウェアの柔軟な設計技術を開発しておく必要があり、数十ナノメートルのゲート幅のHEMTに代表されるように、薄膜技術や微細加工技術の進歩により、高性能・高信頼性デバイスの実現が可能になってきている。このように、本格的ミリ波～サブミリ波利用に向けて、ようやく種々の条件が整ってきた。なおサブミリ波応用分野の開拓（通信、セキュリティ、医療・バイオ、農業・食品、非破壊検査、環境）は理化学研究所、NICT、大阪大学・東北大学、海外では米国、中国、および北欧などで実用研究・基礎研究・物性研究を行なっているが、実際の通信分野での電磁波回路と光波回路を融合し、回路理論のように容易に設計できるような工学的研究はあまりなされていない。筆者等は、これまでに汎用的な数値計算手法（FDTD法）や波動伝搬シミュレーション（BPM法）の計算手法の開発を行なってきた経験と実績があり、実用化達成の見通しを得るところまで進展している。以下に本プロジェクト研究の成果として金属フォトニック結晶の電磁波回路への応用に関する研究の一部について報告する。

まず、ミリ波帯において、金属PhC(MPhC)による電磁波の強い閉じ込め機能と超広帯域バンドギャップに着目し、金属円柱正方格子PhC構造を用いた点欠陥共振器による狭帯域バンドパスフィルタを提案すると共に実際に作製・測定し、検証する。そして、波動方程式のスケールリング則を利用し、マイクロ波帯で実際に回路を作製・測定し、シミュレーションあるいは設計値と比較評価した。

### 2. 2次元完全金属結晶のバンドギャップ図

図1に作製した構造の写真を示すように、2枚の上下導体板で挟み込む平行平板導波路内に正方格子導体円柱を配置した無限周期モデルのバンドギャップ(PBG)を考察する。金属円柱に平行な電界Ez成分、x-y面に磁界成分を持つE波のモードのみがバンドギャップを持ち、H波のモードに対しては存在しないことを付記する。まず、計算に用いる銅(Cu)の材料定数について簡単に議論する。数テラヘルツ以下の銅(Cu)の特性は、古典的電磁気学におけるDrudeモデルを適用すると、導電率は次式で表現される。

$$\sigma(\omega) = \frac{\sigma_0}{1 + j\omega\tau} \cong \sigma_0 \quad (\omega\tau = 1) \quad (1)$$

\*\*\*教授 電気電子情報工学科

Professor, Dept. of Electrical and Electronic Information Engineering

\*\*准教授 電気電子情報工学科

Associate Professor, Dept. of Electrical and Electronic Information Engineering

\*工学研究所客員教授

Guest Professor, Research Institute for Engineering

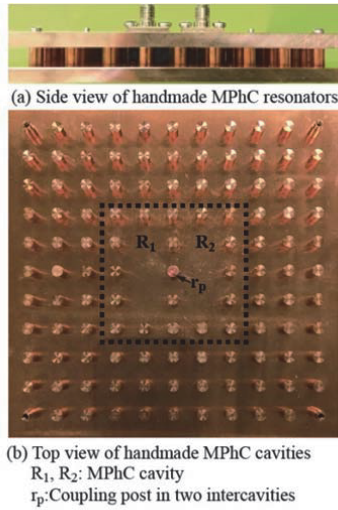


図1 金属フォトニック結晶3点欠陥共振器と同軸励振の写真

ここに、 $\sigma_0$ は直流の導電率 ( $5.8 \times 10^7$  S/m),  $\tau$ は電子の緩和時間(電子の衝突周波数の逆数)を意味し、 $\tau \approx 10^{-14}$ のオーダーとなることから式(1)の近似式が成り立つ。PhC構造のバンドギャップはFDTD法を用いて計算した。MPhCバンドパスフィルタの作製を考慮して、格子定数( $a=10\text{mm}$ )と金属円柱半径( $r$ )の比が $r=0.2a=2\text{mm}$ の場合の構造の計算結果を図2に与える。MPhCの第1, 第2PBGの周波数範囲は、直流 $\sim 16.2\text{GHz}$ ,  $22.02\text{GHz} \sim 26.20\text{GHz}$ となる。またFDTD法による5列の周期構造に平面波入射したときの波動伝搬特性を与える。遮断域と伝搬域におけるPBG特性と透過特性が対応していることがわかる。このとき、周囲の境界条件は7層のPMLを設定している。また計算時に小さいセルに設定すると $\Delta t$ も小さくなり、必要なタイムステップ数が増え、計算時間が増大するが、金属円柱モデル、上面の微小エアギャップ( $g$ )を精密に考慮するために、計算メッシュサイズは計算機能力が許す限り、 $\lambda/50$ 以上に設定した。

3. MPhC線欠陥導波路形帯域通過フィルタの伝送特性

図1(a)は入出力用の市販のSMAコネクタ、図1(b)は $r_p$ による2つのMPhC結合共振器( $R_1, R_2$ )の上面図である。実際の測定値をシミュレーション結果と共に図3に与える。図3(a)は金属円柱と上部金属プレート間のエアギャップ $g=0.05\text{mm}$ を設け、さらに結合金属円柱 $r_p$ の高さ $h=4.5\text{mm}$ の結果である。理論(結合行列法)による合成結果と比較しても良く一致した結果が得られている。また図3(b)は $g=0.05\text{mm}$ ,  $h=4.95\text{mm}$ に相当し、偶・奇共振モードの周波数は $f_{\text{odd}} \approx f_{\text{even}}=8.78\text{GHz}$ , 外部 $Q_e$ は $Q_{e\text{even}}=21.5$ と $Q_{e\text{odd}}=22.3$ , 無負荷 $Q_{o\text{even}}=3573$ ,  $Q_{o\text{odd}}=3566$ とほぼ等しい特殊条件の基で、2つの共振モードが結合し、フィルタリング特性を示すとともに測定結果ともよく一致しており、今後の益々の発展が期待される。

4. むすび

金属フォトニック結晶構造の結合点欠陥共振器間の共振特性は結合金属ポストと上部エアギャップによって動作周波数および共振器間の結合度を調整できることを明らかにした。これによりフィルタ設計の自由度が得られる。また数値シミュレーションと測定結果は

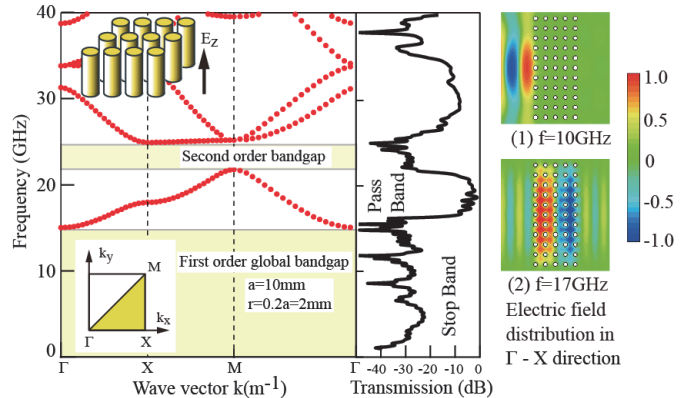
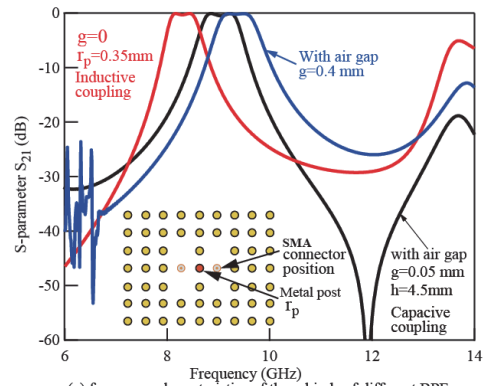
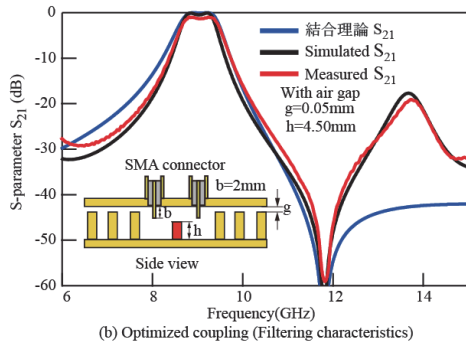


図2 金属正方形格子PhCのPBG構造と波動伝搬特性  
Fig.2 Photonic bandgap of metal square lattice in air and transmission spectra.



(a) 3種類の結合による2段チェビシェフBPFの周波数特性 (空気層g, 結合ポストhの高さによる動作周波数のシフト)



(b) Optimized coupling (Filtering characteristics)  
図3 シミュレーションと測定結果の比較  
Fig.3 Comparison result of FDTD simulation and measurement result of M-PhC BPF.

良く一致したことから、金属フォトニック結晶構造に対する数値シミュレーションの有効性が確かめられた。金属フォトニック結晶による共振器の無負荷Q値は、銅の導体損によって抑えられるが、フィルタ構成のプラットフォームとしての利用が期待される。今後、波動方程式のスケーリング則を利用し、MPhC構造をミリ波・テラヘルツ波帯における種々の電磁波回路の設計に応用したい。

謝辞 本研究の一部は、文部省科研費基盤研究C(15K06037, 16K06320)の補助を受けて行われた。関係各位に深く感謝する。

公表論文

[1] 加藤丈政, 鎌田克洋, 他, "テラヘルツ帯金属フォトニック結晶を用いた電磁波回路の伝送特性", 信学会論(C), Vol.J97-C, No.7, pp.290-297, July 2014.  
[2] 佐藤知正, 陳春平, 穴田哲夫, 馬哲旺, "金属フォトニック結晶を用いた点欠陥共振器間の結合に関する検討とバンドパスフィルタへの応用", 信学会論(C), Vol.J101-C, No.1, pp.43-48, 2017.12.11

# 企業ロボットと分析・管理系

石井 信明\* 松井 正之\*\*

## Enterprise Robot and its Analysis and Management Phase

Nobuaki ISHII\* Masayuki MATSUI\*\*

### 1. はじめに

これまで人間が作り上げてきた生産企業体、公共事業体などのさまざまな人工体は、現在、IoT（モノのインターネット）、人工知能（AI）、ビッグデータなど、個別の情報通信技術（ICT）の発展がおよぼす衝撃に見舞われている。この先には、ICTでヒト・モノ・カネ・知の膨大な社会・経営の情報が結ばれ、これらを利用したロボットやAIなどが社会の重要な意思決定にかかわるICT管理化社会が到来する可能性がある。

今後到来するICT管理化社会はロボットおよびAIなどを、経済、経営、福祉、教育や家事・育児などさまざまな場面で利用する社会である。我々はこのICT管理化社会を人間社会となじみのある、人間中心のICT共生社会にする必要がある。企業ロボット研究（以下、本研究）では、そのための自然の理知を反映した科学あるいは仕組みを明らかにすることに挑戦している。

昨年度の「工学研究（Vol. 2）」における報告<sup>[1]</sup>では、企業ロボットの概念として3相型の人工体を提示した。本稿では、企業ロボット研究の必要性、および、本研究で提案している3相型人工体の中央相に当たる「分析・管理系」について考察を行う。

### 2. 企業ロボット研究の必要性

これまで、ヒト型ロボットやAI応用をはじめとしたさまざまな技術が人工体に利用されている。しかし、これらは、動作系-知能系の二相からなる人工体の発展が中心であり、動作系と知能系それぞれが先鋭化した研究として展開してきた。両者の協調、調和、さらには人間とのかかわりを中心とした研究は少ない。

たとえば、サイバーフィジカルシステム（CPS：Cyber-Physical System）<sup>[2]</sup>、IoT（Internet of Things）、Digital Twin、Industry 4.0など、仮想空間と物理空間をつなげた次世代技術の研究・開発が進み、社会、産業に大きなインパクトを与えている。しかし、これらはやはり動作系-知能系の二相からなる人工体を前提としており、そこには人間の要求を分析し、その達成を導く管理の仕組みとの関係が明示的には示されていない。

そのため不自然で、協調性や因果性に欠ける動作をするロボット、人間の感覚と合致しない誤作動のAIなど、人間社会とのなじみへの観点が不十分な人工体が出現する可能性が否定できない。

これらのことから本研究では、図1に示すように、これまで動作系-知能系の二相とする人工体の中央に、人間がかかわる相として「分析・管理系」を加えた3相型の人工体を考案し、今後到来が予測されるICT管理化社会において、より人間・社会に近い人工体の発展を目指している。

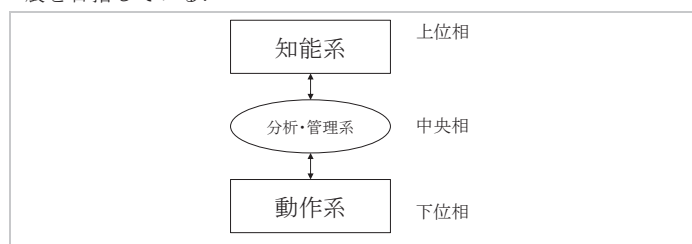


図1 人工体理論のスキーム

このように本研究は、近年急速に展開が進んでいる人工体について、その中央相の研究<sup>[3]</sup>によりこれまでの人工体研究を飛躍させ、きたるべきICT管理化社会を人間社会となじみがあり、人間中心の安心・安全な社会とすることに貢献する。そのために、ICT管理化社会における人工体の体系化、分析・管理系の人工体開発、さらに応用分野として、近年の企業情報システムの主流であるERP/SCMの次世代<sup>[4]</sup>に向けた発展とその体系化に挑戦する。

### 3. 「分析・管理系」の役割

サイバーフィジカルシステムをはじめとした近年の人工体は、クラウド環境での展開を前提としている。下位相の動作系では、モノとモノがネットワークでつながり、モノ単体では実現できないサービスが可能となっている。たとえば、スマートホンで自宅のエアコンを遠隔操作するなどである。上位相の知能系においても、AI応用をはじめとした様々なクラウドサービスがネットワークでつながったサイバー空間を作り出し、経営、生産、公共など様々な分野でサービスを提供する。Amazon、Google、Microsoftなど、最先端のIT企業はクラウドサービスを成長と利益の源泉と考えている。

しかしながら、クラウド化した人工体においては下記の様な課題があげられる。

(1) アーキテクチャ：クラウド上に有用なサービスがあったとし

\*教授 経営工学科

Professor, Dept. of Industrial Engineering and Management

\*\*客員教授 工学研究所

Visiting Professor, Research Institute for Engineering

でも、それらの設計思想、構成要素、そして仕様の共通化がなければいずれかの企業グループに属するクラウドサービスに限定した利用を強いられる。アーキテクチャを分析・管理する仕組みがないと、多くの選択肢の中から最適化した解を得るといふ、クラウド本来の良さを享受できない。

- (2) 人間の意志を反映させる仕組み：近年、製造業を中心に IT (情報技術) と OT (オペレーショナルテクノロジー) の融合による高度なサービスの開発が進んでいる。OT とは、様々な装置のオペレーションを高度化する技術のこととされる (<https://tech.nikkeibp.co.jp/it/article/COLUMN/20110817/365421/>)。たとえば生産にかかわる大量のデータを収集し、予知保全、予測制御などに利用することで、競争力を向上する。しかしここでも、効果的な IT と OT の融合にはオペレーションにかかわる知識・経験が必要であり、両者の間に分析・管理系の相が必要となる。
- (3) カイゼンと成長の仕組み：人間が関わりを持たない仕組みにはカイゼンと成長が期待できない。これらは現状に疑問を持つことが発端として始まる。近年、国内企業では、デジタル業務改革の主役として RPA (Robotic Process Automation) <sup>[5]</sup> の導入を急いでいる。しかし、RPA を過信すると業務プロセスの進化がとまる可能性が高い。RPA の導入と運用にあたっては、人間のかかわる分析・管理系の仕組みを同時に組み込む必要がある。
- (4) セキュリティーの確保：ICT 管理化社会では、世界中のモノと人がネットワークでつながり、膨大なデータが収集される。そのため、サイバー攻撃の危険が常にともなう。また、個人情報の管理も課題である。人工体には、人間の意志を適切に反映できる分析・管理系の仕組みを明示的に取り入れる必要がある。

クラウド化した空間で人工体を有効に活用するには、上記に示したように、中央相として「分析・管理系」が果たす役割が大きい。その概念図を図 2 に示す。ここに示す 3 相は階層構造ではなく、上位相と下位相が直接かかわることも想定している。中央相の「分析・管理系」は人間の意志を反映する相であり、人間の要求、各相の状況を分析し、人工体が人間の求める状態を維持するように管理する。

本研究では、生産にかかわる人工体の中央相の例として、ペア戦略マップ[4]を提案してきた。今後は、中央相の要件を洗い出し、より具体的な中央相の姿を提案する。

#### 4. これまでの成果

本研究は、2016 年 10 月より工学研究所内に設置された「企業ロボット開発研究所」を中心に進めている。現在は研究の途上であるが、外部資金の調達への挑戦、成果の発表を継続している。2017 年以降の主な研究成果には、次のものがある。

M. Matusi and N. Ishii, Artifacts formulation & realization: Matsui's matrix method, Riccati eEquation and enterprise robot, Proceedings of the 24th International Conference on Production Research, Poznan, Poland (2017).

松井正之, 松井の方程式の SW 体図解: 物理素粒子体式例, 企業体・物理体の双対系鎖と需給格子解構造, 第 8 回横幹連合コンファレンス論文集, A-5-1, 1/3 (2017)

N. Ishii and M. Ohba, A supply chain analysis and design method based on the value of information, Computer Aided Chemical Engineering, 44, 1591-1596 (2018).

松井正之, 石井信明, 企業ロボットの開発(2): 人工体原理によるコンビニ系企業ロボットの具現化問題と ODICS II ベース例, 平成 30 年度日本経営工学会秋季大会, 東海大学 (2018).  
松井正之, 中島 信, 仲田知弘, 産業のマトリックス法—一般形式, 産業連関決定法と業務適用方法論の考察, 第 9 回横幹連合コンファレンス論文集, E-3-1, 1/3 (2018).

M. Matsui, Theory, Formulation and Realization of Artifacts Science: 3M&I-Body System, Springer (2019).

M. Matusi and N. Ishii, A Realization Problem of a Demand-to-Supply Enterprise Robot and its ODICS II Type for Convenience Store Application, Proceedings of the 25th International Conference on Production Research, Chicago (2019).

#### 5. まとめ

本研究では、人工体が動作系と知能系の 2 相構造ととらえられ、それぞれが先鋭化している状況に着目した。そして両者を結びつける中央相として人間がかかわる分析・管理系を加えた 3 相構造を想定した。人工体の中央相に着目した研究により、本研究では、人間社会となじみのある、人間中心の ICT 共生社会の実現を目指し、自然の理知を反映した科学あるいは仕組みを明らかにすることに挑戦をしていく。

#### 参考文献

- [1] 松井正之, 石井信明, 山田哲男, 企業ロボットの概念, 工学研究, 2 (12), 158-159 (2019).
- [2] 岩野和生, 高島洋典, サイバーフィジカルシステムと IoT(モノのインターネット), 情報管理, 57 (11), 826-834 (2015).
- [3] 田中雅人, 三浦真由美, 田中政仁, 藤井高史, 石橋政三, 製造装置の PID 制御系における Human in the Loop, 平成 30 年度日本経営工学会春季大会予稿集, 名古屋工業大学 (2018).
- [4] 松井正之, 藤川裕晃, 石井信明, 需給マネジメント—ポスト ERP/SCM に向けて, 朝倉書店 (2009).
- [5] 阿部慶喜, 金弘潤一郎, RPA の真髄, 日経 BP (2019).

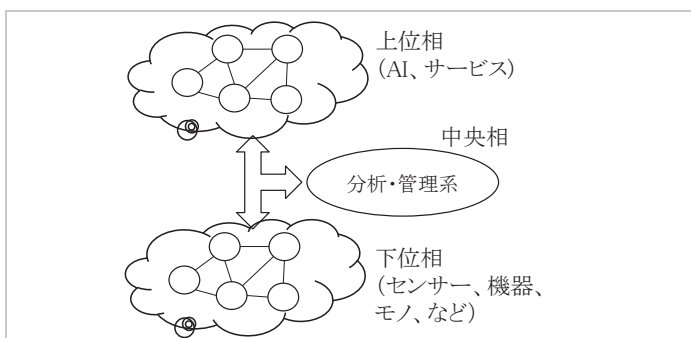


図 2 クラウド環境と人工体のスキーム

# ポリペプチドのフォールディングと集積化により形成される高次構造と機能

亀山 敦\* 岩岡 道夫\*\*\* 森井 尚之\*\*\* 高橋 明\*\*

## Higher Order Structures and Function Formed by Polypeptide Folding and Integration

Atsushi KAMEYAMA\* Michio IWAOKA\*\*\* Hisayuki MORII\*\*\* Akira TAKAHASHI\*\*

### 1. 緒言

本プロジェクト研究は、タンパク質の線維状集積体であるアミロイドの特異な高次構造、およびポリペプチドの折りたたみ（フォールディング）や集積化によるユニークな構造形成過程を明らかにするとともに、それらの構造的特徴から発現する機能の開拓を目的とする。アミロイド線維は5残基程度から200残基以上まで種々のペプチドやタンパク質のβ構造同士の水素結合によって形成される、極めて強固な集積構造である（Fig. 1）。アルツハイマー型認知症など多くの病気の原因物質として分子構造や発症機構の解明が進められているが、適用可能な構造解析手法が限定的なため詳細な解析が困難であり、現在も研究議論が続いている。

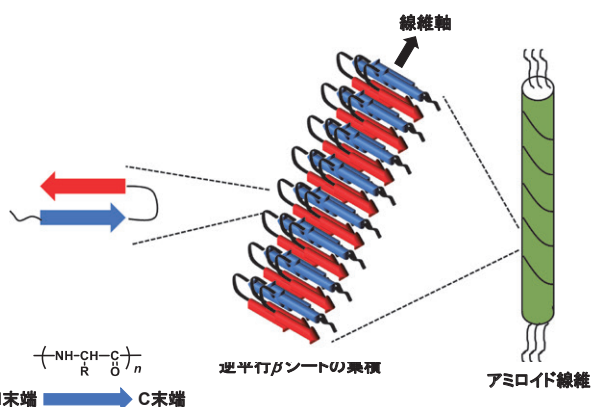


Fig. 1. Speculated hierarchical structure of amyloid fibril.

一方、アミロイド構造はシルクやクモの糸の優れた物性の起源になっていると理解されており、これを模した生体模倣（バイオミメティック）材料の研究が報告されている<sup>1,2)</sup>。以上の背景から、本研究ではシルクフィブロインの部分配列をモデルとしたセリン含有6アミノ酸残基ペプチド類の合成と、その集積構造の形成について検討を行った。

\*教授 化学教室

Professor, Dept. of Chemistry

\*\*助教 化学教室

Assistant Professor, Dept. of Chemistry

\*\*\*客員教授 工学研究所

Guest Professor, Research Institute of Engineering

### 2. 6アミノ酸残基ペプチド類の合成

固相合成法により、セリン含有6アミノ酸残基ペプチド類の合成を行った。固相合成法の概要をFig. 2に示す。シルクフィブロインには、アラニン(A)-グリシン(G)-セリン(S)-グリシン(G)-アラニン(A)-グリシン(G)の繰り返し配列が多く見られることから、本研究ではこの配列を持つペプチド類の合成を行った。また、異なる配列順序や末端構造のペプチド類を合成し、集積構造に与える違いについて検討した。Table 1に合成したペプチド類の一覧を示す。生成物の構造確認をFT-IR、<sup>1</sup>H-NMR、およびESI-TOF MSスペクトルにより行い、所定のアミノ酸6残基から成るペプチドが合成されたことを確認した。

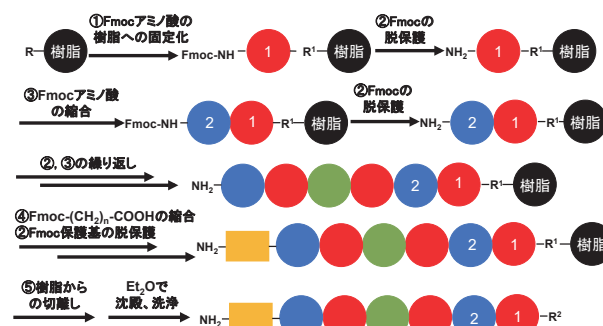


Fig. 2. Schematic representation of solid-phase synthesis of peptides.

Table 1. Sequence and yield of the obtained peptides<sup>a)</sup>

Name	N terminus	Spacer	Sequence	C terminus	Yield (%)
PE-1	NH <sub>2</sub> •TFA	(CH <sub>2</sub> ) <sub>5</sub>	G-S-G-A-G-A	CONH <sub>2</sub> •TFA	77
PE-2	NH <sub>2</sub> •TFA	—	G-S-G-A-G-A	CONH <sub>2</sub> •TFA	90
PE-3	NH <sub>2</sub>	(CH <sub>2</sub> ) <sub>5</sub>	A-G-S <sup>*</sup> -G-A-G	COOH	85
PE-4	NH <sub>2</sub> •TFA	(CH <sub>2</sub> ) <sub>5</sub>	A-G-S-G-A-G	COOH	86
PE-5	NH <sub>2</sub>	(CH <sub>2</sub> ) <sub>5</sub>	G-S <sup>*</sup> -G-A-G-A	COOH	34
PE-6	NH <sub>2</sub>	—	G-S <sup>*</sup> -G-A-G-A	COOH	65
PE-7	NH <sub>2</sub>	(CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub>	A-G-S <sup>*</sup> -G-A-G	COOH	71
PE-8	NH <sub>2</sub> •TFA	(CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub>	A-G-S-G-A-G	COOH	85

a) TFA: Trifluoroacetic acid, S: Serine with OH group, and S<sup>\*</sup>: Serine with 'Bu-protected OH group.

### 3. ペプチド類の集積構造評価

固体状態でのペプチドの集積構造について知見を得るため、得られたペプチドの KBr 錠剤を調製し、FT-IR スペクトルを測定した。ここで、インシュリンの集積構造の評価を詳細に行った先行研究より、逆平行 $\beta$ シート構造に基づいたアミロイド様の集積構造が形成されている場合、アミド I の吸収帯において  $1700\text{ cm}^{-1}$  付近に小さなピークが現れることが報告されている<sup>3)</sup>。今回得られた PE-1 ~ 8 のいずれの FT-IR スペクトルにおいても同様のピークが見られたことから (Fig. 3)、今回合成したペプチド類が固体中で逆平行 $\beta$ シート構造を形成していることが示唆された。

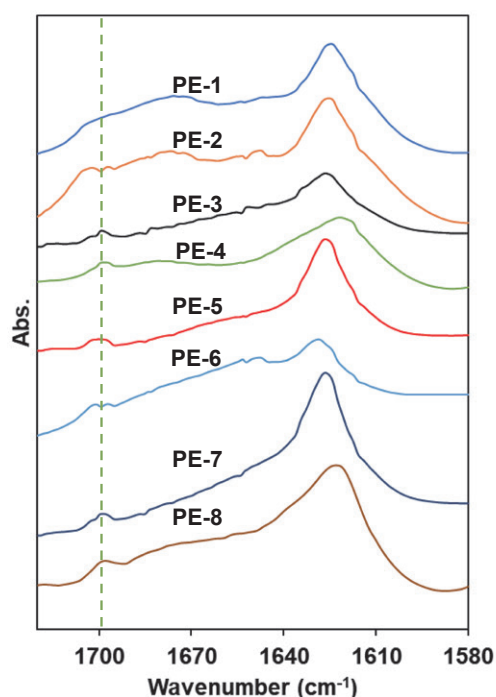


Fig. 3. FT-IR spectra of the obtained peptides.

続いて、広角 X 線散乱 (WAXS) 測定による集積構造の評価を行った。測定試料としては A-G-S-G-A-G の配列順序を有し、セリン側鎖の OH 基が 'Bu 基で保護された PE-7、およびその脱保護体である PE-8 の粉末サンプルを用いた。結果を Fig. 4 に示す。側鎖に 'Bu 基

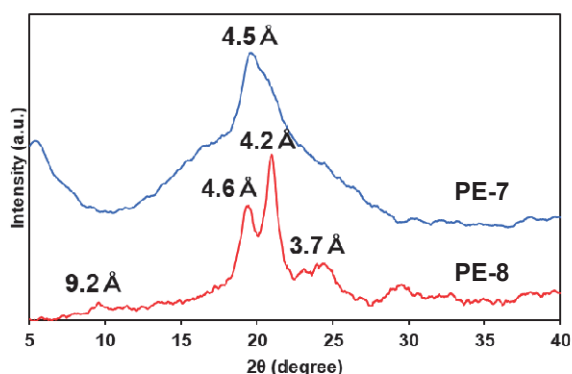


Fig. 4. WAXS spectra of PE-7 and PE-8.

を有する PE-7 では、主としてピークトップが面間隔  $d = 4.5\text{ Å}$  に対応するブロードなピークが見られた。一方で、セリン側鎖にむき出しの OH 基を有する PE-8 では面間隔  $d = 9.2, 4.6, 4.2, \text{ および } 3.7\text{ Å}$  に対応する複数のピークをそれぞれ観測した (Fig. 4)。また、そのメインピーク ( $d = 4.6, 4.2\text{ Å}$ ) は PE-7 のそれと比較してより半値幅の狭いピーク形状であった。この結果より、セリン側鎖が OH 基の方が 'Bu 基の場合と比較してより規則的な集積構造が形成されることが示唆された。これは、'Bu 基に比べ OH 基は立体障害が小さいことに加え、ペプチド分子間で水素結合を形成できるためだと考えられる。また、これらの面間隔を参考に固体中におけるペプチド類 PE-7,8 の集積構造を次のように考察した。まず、 $4.5\text{ Å}$  (PE-7) または  $4.6\text{ Å}$  (PE-8) に相当する面間隔  $d$  は、逆平行 $\beta$ シート構造の基本単位の 2 つのペプチド鎖間の距離に相当すると考えられる。PE-8 で観測された  $4.2\text{ Å}$  (PE-8) は側鎖部分の、 $3.7\text{ Å}$  はアミノ酸 1 残基の距離に、および  $9.2\text{ Å}$  は逆平行 $\beta$ シート構造のシート間のスタッキングの距離に相当することが示唆された (Fig. 5)。

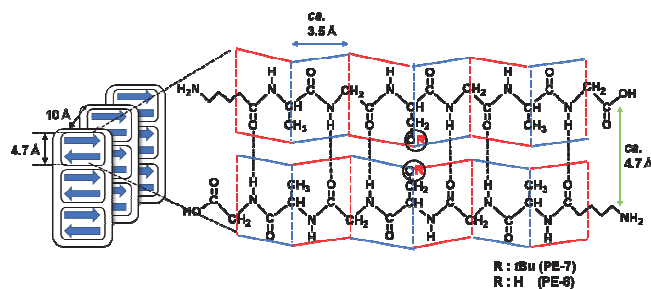


Fig. 5. Speculated ordered structure of PE-8.

以上、本研究ではシルクフィブロインの部分配列を有するセリン含有 6 アミノ酸残基ペプチド類の合成を行い、FT-IR および粉末 WAXS 測定などを用いた解析手法により、得られたペプチド類がアミロイド様の集積構造を形成することが明らかとなった。

### 6. 参考文献

- (1) O. Rathore and D. Y. Sogah, Nanostructure Formation through  $\beta$ -Sheet Self-Assembly in Silk-Based Materials, *Macromolecules*, 34, 1477-1486 (2001).
- (2) T. B. Yu, J. Z. Bai and Z. Guan, Cycloaddition-Promoted Self-Assembly of a Polymer into Well-Defined  $\beta$  Sheets and Hierarchical Nanofibrils, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 48, 1097-1101 (2009).
- (3) H. Morii, M. Nara, S. Konakahara, T. Tsuji and T. Shimizu, Infrared Studies on Amyloid Structure of Insulin, *Peptide Science* 2014, 307-308 (2015).

## 戸建住宅における全館空調の一次エネルギー消費量に関する研究 (2)

岩本 静男\* 傳法谷 郁乃\*\* 児保 茂樹\*\*\*

### Primary Energy Consumption of Central Air-conditioning in a Detached House

Shizuo IWAMOTO\* Ayano DEMPOYA\*\* Shigeki KOYASU\*\*\*

#### 1. 本研究の背景

日本の住宅においては、建築基準法で 24 時間機械換気が義務付けられている。暖冷房については、北海道などの厳寒地域を除いて、部分暖冷房・間欠暖冷房となっている。在室する室・空間のみを暖冷房し、廊下・階段・洗面所・脱衣室・浴室・トイレ等の付室では考慮しないことが多い。また不在の空間では通常暖冷房を入れない。このため、入浴など居室から付室に移動して活動する際に居住者周囲の環境が急変することになり、血圧や心拍等の急上昇を伴い、脳疾患や心臓疾患の危険性が增大する危険性がある<sup>(1)</sup>。健康者ならばともかく高齢者が居住する場合は特に注意が必要である。

この対策として、常時全館を換気・暖冷房を行う全館空調方式が有効である。住戸全体を連続的に空調するもので、外気を取り入れた空調空気をを用いるため換気基準は十分満たされており、優れた空気環境となることが期待できる。また、空調方式にもよるが付室においてもほぼ居室と同等の気温・湿度となるため、いわば温熱環境上もバリアフリーとなる。戸建住宅で設置要望の高い吹き抜け空間を有する場合でも<sup>(2)</sup>、全館空調では吹き抜け空間を含む全館の室内環境がほぼ均一に保たれるため、吹き抜け空間の良さを得てかつ温冷感においても十分な環境を得ることができる。

#### 2. 本研究の目的と方法

温熱・空気環境上は大変望ましい全館空調ではあるが、消費エネルギーが増大するのは避けられない。空調対象空間は大きくなり、24 時間連続であることから運転時間も大きくなる。室内の設定室気温を同等として空調機器が同一ならば消費エネルギーは必ず増大する。住宅に対する我が国の省エネルギー基準でも全館空調時の消費一次エネルギー量は大きく評価されており、部分・間欠空調時のおよそ 2 倍とされている。

各室に個別にエアコン等の暖冷房機器を設置して全館空調を行う場合ならばやむを得ないとしても、全館空調では室別に風量を制御することで省エネルギー化を図ることができるが、その場合で

あっても同等に扱われてしまうので、省エネルギー基準を満たすうえでは不利になってしまう。脳疾患・心臓疾患の危険性を低下させ、温冷感も向上させることのできる全館空調でかつ省エネルギーであっても、現状は妥当に評価されているとはいいがたい。そこで、本研究プロジェクトでは、学術的に妥当な方法で、全館空調による年間一次消費エネルギーを、方式別に求めることを目的とする。本稿は 2 年目にあたる 2018 年度の成果を報告するものである。

#### 3. 2018 年度の成果と今後の課題

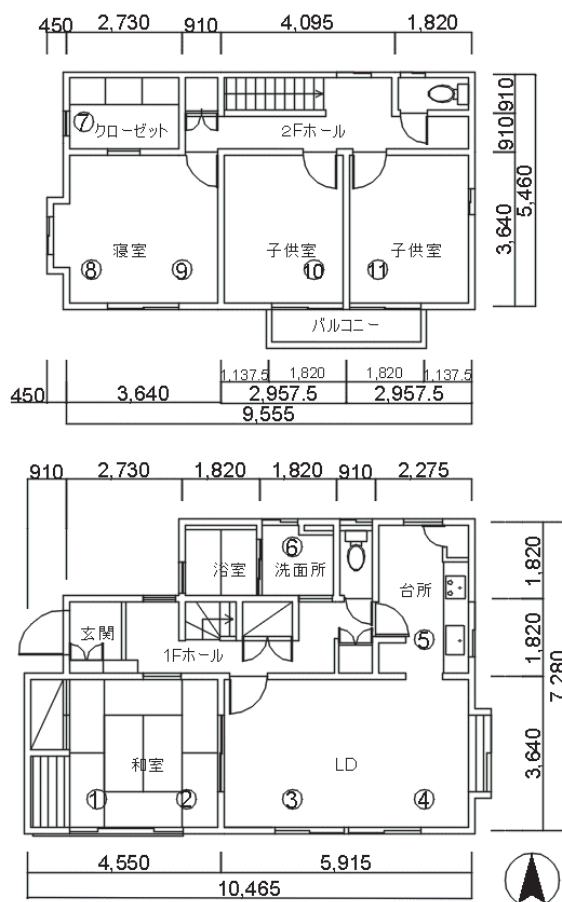


図 1 IBEC 標準住宅<sup>(3)</sup>

2018 年度では、2017 年度に構築した商用ソフトの TRNSYS と TRNFLOW による計算モデルを活用して、各室の風量を制御する VAV 方式による全館空調を用いた場合の、空調負荷を妥当に求める

\*教授 建築学科

Professor, Dept. of Architecture

\*\*†助教 建築学科

Assistant Professor, Dept. of Architecture

\*\*\*特別研究員 工学研究所

Researcher, Research Institute for Engineering

ことを目的とする。

### 3.1 計算対象と計算条件

図1に示すIBECの標準住宅<sup>(3)</sup>を対象とし、所在地は東京として標準気象データを採用する。常時換気として160 m<sup>3</sup>/hと設定する。在室者、照明、機器発熱のスケジュールも標準住宅のものに従った。このスケジュールでは、就寝時には冷暖房を行わない、図1の和室は未使用で在室者なし、の設定である。

図1の標準住戸にエアコン冷暖房と全館空調を想定して負荷計算による比較を行う。エアコン冷暖房では、図1に示す自然給気口、アンダーカット、換気扇(40m<sup>3</sup>/h・個)による常時換気をTRNFLOWにより計算し、LD、台所、寝室と2個室(以下、居室)の冷暖房・除湿負荷を求める。

全館空調では図1にある①～⑩の吹出口を想定し、⑪の吸込口から空調機へ還す。冷暖房なしのときには最小風量160 m<sup>3</sup>/hを各室床面積で按分して供給する。吹出気温を暖冷房時40℃・15℃とし、⑪の吸込口気温との気温差と風量を用いて暖冷房・除湿負荷を求める。

### 3.2 計算ケースの設定

表1 計算ケース

		Case1	Case2	Case3	Case4	Case5
運転設定	個別空調	個別空調	全館空調	全館空調	全館空調	全館空調
	間欠運転	間欠運転	連続運転	連続運転	連続運転	連続運転
設定	暖房	22℃				
気温	冷房	26℃(相対湿度50%)				
空調対象室		居室(LD、台所、寝室と子供室2室)				全空間
空調条件		条件A	条件A	条件A	条件B	条件A
全熱交換器 (効率0.6)		なし	あり	なし	あり	なし

計算ケースを表1に示す。Case1がエアコン冷暖房を想定したTRNSYSとTRNFLOWによる負荷である。空調時に室温22～26℃(冷房時50%)を保つように冷暖房・除湿負荷を計算する。同時に冷暖房の両方が発生しても集計できる。

全館空調では本来はVAVによる風量制御を追随し、空調機を含めたシステム全体のシミュレーションを行って負荷を求めるべきであるが、計算負担が大きくなる。まず本報では吹出風量はCase1の負荷(同時に冷暖房が発生している場合は日時に応じて冷暖房のどちらかに決定する)と吹出温度から逆算して理想的に決定されると想定した。室負荷の発生しないところでは最小風量とする(例えば和室・浴室では常に最小風量である)。非空調時は吹出気温は還気と外気の風量比混合とした。

常時換気に効率0.6の全熱交換器を用いた場合がCase2であり、用いない場合はCase3とした。Case2とCase3では空調時の居室の温熱環境はCase1とほぼ同等と見られる。Case2とCase3での暖房負荷の差は、全熱交換器の利用による外気負荷削減に加え、立上り負荷も緩和されて生じたと考えられる。廊下・階段や非空調時の居室の温熱環境には差があり、さらに分析する予定である。

Case4は、Case2と同様全熱交換器ありとし、非空調時であっても吹出気温は暖房時設定の22℃もしくは冷房時設定の26℃のいずれかまで調整するものとした場合である。Case5はCase1と同様に全熱交換器なしとし、住戸全体を22～26℃になるように冷暖房・除湿

した場合の負荷である。これはエアコンによって全館常時空調を実現した場合に相当し、省エネルギー基準で採用されている基準値に相当する条件である。Case4とCase5では居室の温熱環境はCase1より向上していると思われる。

### 3.3 計算結果

各ケースの冷暖房・除湿負荷の集計結果を図2に示す。ここでは加湿負荷は考慮しない。Case1を基準にするとCase2は0.98倍、Case3とCase4では1.6倍、Case5では2.2倍となる。Case2のような省エネルギーを目指した運転設定では、全熱交換器の仕様によっては全館空調の空調負荷は個別空調と大きくは変わらない場合がありえることが示された。

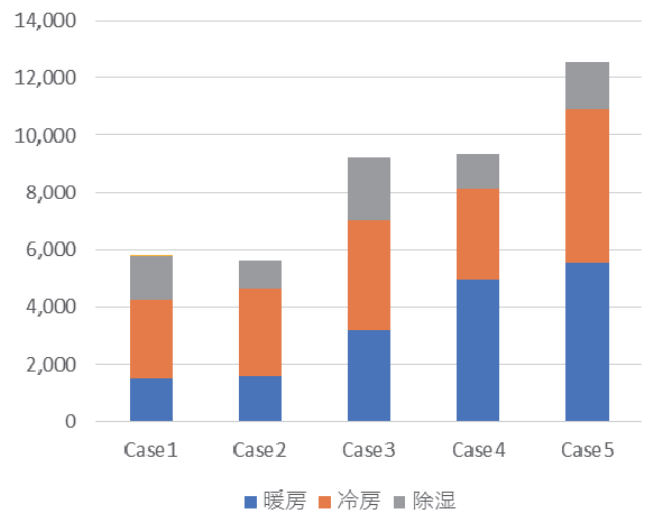


図2 計算結果(単位 kWh/年)

## 4. まとめ

本報は、エアコン等による部分間欠空調とダクト式セントラル空調機システムによる全館空調との冷暖房・除湿負荷を比較した。これらの成果は2019年度の日本建築学会<sup>(4)</sup>および人間-生活環境系シンポジウム<sup>(5)</sup>で発表する予定である。

今後は付室の温熱環境、VAV方式を模擬した精密な計算モデルの構築と省エネルギーとなる運転条件の再現方法や消費電力による検討を計画している。

(参考文献) (1) 羽山広文・他、人口動態統計を用いた疾病発生に関する研究その3 脳血管疾患と心疾患について、空気調和・衛生工学会大会講演論文集、G-21、2010年9月。

(2) 瀧野達也・岩本静男・他、住宅内の階段付き吹き抜けが室内温熱環境に与える影響(第1報)～(第5報)、空気調和・衛生工学会大会講演論文集、2010年9月～2012年9月。

(3) 建築環境・省エネルギー機構：住宅事業主の判断の基準ガイドブック。

(4) 児保茂樹・岩本静男・傳法谷郁乃、住宅における全館空調システムに関する研究、第1報 概要と空調負荷の検討、日本建築学会大会学術講演梗概集、2019.9。(投稿中)

(5) 児保茂樹・岩本静男・傳法谷郁乃、住宅における全館空調による空調負荷と室内温熱環境、人間-生活環境系シンポジウム、2019.11。(投稿中)



# 連続時間量子ウォーク探索とグラフ縮約・固有解析

井手 勇介\* 小松 堯\*\* 今野 紀雄\*\*\* 佐々木 太良\*\*\*\* 吉田 稔\*\*\*\*\*

## Analysis of continuous-time quantum walk search by spectral decomposition with reduction of graph

Yusuke IDE\* Takashi KOMATSU\*\* Norio KONNO\*\*\* Taroh SASAKI\*\*\*\* Minoru YOSHIDA\*\*\*\*\*

### 1. はじめに

本稿は、2018年度工学研究所プロジェクト研究A「量子探索アルゴリズムの数学的基礎付け」の報告である。プロジェクト研究と引き続き行った研究の成果についてまとめた論文[3]、解説記事[4]、書籍[5]の10章を基に研究成果を概説する。

### 2. 連続時間量子ウォーク探索

本節では、連続時間量子ウォーク探索を導入する。ここでは、議論を単純化するために、対象とするグラフ（ネットワーク） $G = (V(G), E(G))$ を $N$ 個の頂点からなる連結な有限単純グラフとし、その頂点集合は $V(G) = \{0, 1, \dots, N-1\}$ と番号付けされているものとする。

連続時間量子ウォークでは、与えられたグラフ $G$ に付随するヒルベルト空間 $\mathcal{H}$ を、 $\{|j\rangle : j \in V(G)\}$ で張られる複素ベクトル空間とする。ここで、 $|j\rangle$ は第 $j$ 成分のみが1でそれ以外の成分が全て0の $N$ 次元単位ベクトル（縦ベクトル）であり、特に、 $|0\rangle = {}^T[1, 0, \dots, 0]$ である。但し、 ${}^T A$ は行列 $A$ の転置を表す。このヒルベルト空間 $\mathcal{H}$ は、各頂点 $j \in V(G)$ に標準基底 $|j\rangle$ を対応させた $N$ 次元複素ベクトル空間であると解釈される。

連続時間量子ウォーク探索では、頂点に関する情報を持たない一様状態、すなわち、

$$|\psi_0\rangle = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{j=0}^{N-1} |j\rangle$$

から探索を始めて、探索したい頂点 $w \in V(G)$ を高い確率で見つけることを目的とする。以下で、より正確に記述する。

連続時間量子ウォーク探索では、 $A_G$ をグラフ $G$ の隣接行列、 $\gamma \in \mathbb{R}$ をある定数とするとき、「探索のハミルトニアン」

$$H_G = |w\rangle\langle w| + \gamma A_G$$

によって定まるユニタリ行列

\*講師 金沢工業大学数理工教育研究センター  
Lecturer, Math. and Science Education Research Center,  
Kanazawa Institute of Technology

\*\*非常勤講師 理学部

Part-time Lecturer, Faculty of Science

\*\*\*教授 横浜国立大学大学院工学研究院

Professor, Faculty of Engineering, Yokohama National University

\*\*\*\*助手 情報システム創成学科

Research Associate, Dept. of Information Systems Creation

\*\*\*\*\*教授 情報システム創成学科

Professor, Dept. of Information Systems Creation

$$U_{H_G}(t) = \exp(itH_G) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(ik)^k}{k!} H_G^k$$

（但し、 $i$ は虚数単位）によって、時刻 $t \geq 0$ における確率振幅を

$$|\Psi_{N,t}\rangle = U_{H_G}(t)|\psi_0\rangle$$

のように定める。 $|\Psi_{N,t}\rangle$ の第 $j$ 成分を $\Psi_{N,t}(j)$ と表すことにして、

$$P_{N,t}(j) = |\Psi_{N,t}(j)|^2$$

を、頂点 $j \in V(G)$ の時刻 $t$ での発見確率と定める。ここで考える探索の目標は、「うまく $\gamma \in \mathbb{R}$ を定めて、 $T = O(\sqrt{N})$ の時刻において $P_{N,T}(w) \approx 1$  ( $N \rightarrow \infty$ )とすること」である。

この探索問題では、考えているグラフ $G$ に対して「うまく $\gamma \in \mathbb{R}$ を定められるかどうか」が研究課題となる。これまで知られている結果としては、例えば、完全グラフ、超立方体、高次元正方格子の場合には、「うまく $\gamma \in \mathbb{R}$ を定めて $T = O(\sqrt{N})$ の時刻において $P_{N,T}(w) \approx 1$  ( $N \rightarrow \infty$ )とできることが示されている[2]。また、適切な条件のエルデシュ・レニーのランダムグラフの場合にも、「うまく $\gamma \in \mathbb{R}$ 」を定められることが示されている[1]。

本稿では、連続時間量子ウォーク探索において、探索したい頂点の発見確率をグラフの縮約と対応する時間発展作用素の固有値・固有ベクトルの解析によって特徴づける方法を述べる。

### 3. グラフ分割と対応する縮約

本節では、連続時間量子ウォーク探索の解析に有効なグラフ分割を導入する。但し、簡単のために探索したい頂点を $w = 0$ とする。

与えられたグラフ $G = (V(G), E(G))$ に対して、以下の3条件を満たす分割 $(G_0, G_1, \dots, G_{J-1})$ を考える。

1.  $V(G_0) = \{0\}$ .
2.  $V(G) = \bigcup_{j=0}^{J-1} V(G_j)$ ,  $V(G_j) \cap V(G_k) = \emptyset$  ( $j \neq k$ ).
3. 全ての $0 \leq j, k \leq J-1$ に対して、 $v \in V(G_j)$ の選び方に依らずに $d_{j,k} = |\{u \in V(G_k) : (v, u) \in E(G)\}|$ が定まる。

この分割は、衡分割 (equitable partition) と呼ばれる分割の特殊な場合である。定義からわかるように、この分割ではグラフ $G$ を正則（各頂点の次数が一定の）部分グラフに分割し、それぞれの部分グラフ同士を結ぶ辺の数が、頂点の選び方に依らず一定となる。

ここで、グラフ $G = (V(G), E(G))$ の分割 $(G_0, G_1, \dots, G_{J-1})$ に対応したグラフの縮約 $\bar{G}$ を考える。縮約されたグラフ $\bar{G}$ の頂点集合は $V(\bar{G}) = \{\bar{0}, \bar{1}, \dots, \bar{J-1}\}$ と定める。また、頂点 $j$ から頂点 $k$ へ向けて $d_{j,k}$ 本の有向辺（矢印）を引くものとする。但し、各頂点 $j$ は自分自身へ向いた $d_{j,j}$

本の有向辺を持つことに注意が必要である。

証明は論文[3], 解説記事[4], 書籍[5]の10章を参照して頂きたいが, 連続時間量子ウォーク探索の時間発展作用素 $U_{H_{\bar{G}}}(t)$ の作用は, 以下で定義される縮約されたグラフ $\bar{G}$ 上の「探索のハミルトニアン」 $H_{\bar{G}}$ によって定まる時間発展作用素 $U_{H_{\bar{G}}}(t)$ に置き換えられる。

$$H_{\bar{G}} = \text{diag}(1, 0, \dots, 0) + \gamma \bar{A}_{\bar{G}}.$$

但し,  $\bar{A}_{\bar{G}}$ は $(\bar{A}_{\bar{G}})_{j,k} = \sqrt{d_{j,\bar{k}}d_{k,\bar{j}}}$ で定義される $J \times J$ 実対称行列であり,  $\text{diag}(1, 0, \dots, 0)$ は $J$ 次対角行列である。これらの準備のもとで, 探したい頂点 $0 \in V(G)$ の発見確率 $P_{N,t}(0)$ について, 次の表現が得られる[5]。

$$P_{N,t}(0) = \left| \sum_{k=0}^{J-1} (U_{H_{\bar{G}}}(t))_{0,k} \sqrt{\frac{n_{\bar{k}}}{N}} \right|^2.$$

但し,  $n_{\bar{k}} = |V(G_{\bar{k}})|$ である。

ある時刻 $\tau > 0$ と複素数 $\lambda \in \mathbb{C}$  ( $|\lambda| = 1$ )が存在して $(U_{H_{\bar{G}}}(\tau))_{k,j} = \lambda$ となるとき, 時刻 $\tau$ において $j$ から $k$ への振幅 $\lambda$ の完全量子状態遷移 (Perfect State Transfer: PST) が起きると定義されるが, 上述の発見確率 $P_{N,t}(0)$ の表現より, 直ちに次が成り立つことがわかる。

#### 命題 1 [5]

時刻 $\tau$ において $0$ から $k$ への PST が起きるならば,  $P_{N,\tau}(0) = n_{\bar{k}}/N$ 。

#### 4. 連続時間量子ウォーク探索の固有解析

命題 1 により, 探したい頂点 $0 \in V(G)$ の発見確率 $P_{N,t}(0)$ を, 縮約されたグラフ $\bar{G}$ の情報と対応する時間発展作用素 $U_{H_{\bar{G}}}(t)$ に関する完全量子状態遷移 (PST) によって表現できることがわかった。本節では, PST が起きるための必要十分条件を述べる。

まず,  $H_{\bar{G}}$ は実対称行列なので固有ベクトルたちの正規直交系によって対角化可能である。この事実により,  $H_{\bar{G}} = \sum_{\ell=0}^{J-1} \theta_{\ell} |v_{\ell}\rangle\langle v_{\ell}|$ のように固有展開されることに注意が必要である。但し,  $\theta_{\ell}$ は $H_{\bar{G}}$ の固有値であり,  $|v_{\ell}\rangle$ は対応する正規化された固有ベクトルである。また,  $H_{\bar{G}}$ は非負値実行列なので, 一般性を失わずに $\theta_0 > \theta_1 \geq \dots \geq \theta_{J-1}$ とできる。これらの準備のもとで, 次の PST が起きるための必要十分条件が得られる。

#### 定理 1 (井手 2019+)

$H_{\bar{G}}$ の固有展開を $H_{\bar{G}} = \sum_{\ell=0}^{J-1} \theta_{\ell} |v_{\ell}\rangle\langle v_{\ell}|$ とする。このとき, 時刻 $\tau > 0$ において $j$ から $k$ への振幅 $\lambda$ の完全量子状態遷移が起きるための必要十分条件は, 以下の3条件を満たすことである。

1.  $\lambda = e^{i\tau\theta_0}$ .
2. 全ての $\ell = 1, \dots, J-1$ に対して,  $|v_{\ell}(j)| = |v_{\ell}(k)|$ .
3. 全ての $\ell = 1, \dots, J-1$ に対して, 以下が成り立つ。

$$\tau = \frac{\arg(v_{\ell}(k)) - \arg(v_{\ell}(j))}{\theta_0 - \theta_{\ell}} \pmod{2\pi}.$$

定理 1 の例として,  $N$ 頂点からなる完全グラフ (全ての頂点対が辺で結ばれた単純グラフ)  $K_N$ の場合を考える。この場合, 3節で考えた分割は $G_0 = K_1, G_1 = K_{N-1}$ とすれば良いことがわかる。対応する縮約されたグラフ $\bar{K}_N$ 上の「探索のハミルトニアン」 $H_{\bar{K}_N}$ は,  $\gamma = 1/(N-2)$ と定めた場合, 以下となる。

$$H_{\bar{K}_N} = \begin{bmatrix} 1 & \gamma\sqrt{N-1} \\ \gamma\sqrt{N-1} & \gamma(N-2) \end{bmatrix} = I_2 + \frac{\sqrt{N-1}}{N-2} \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}.$$

但し,  $I_2$ は2次の単位行列である。

$H_{\bar{K}_N}$ の固有値・固有ベクトルは $\theta_0 = 1 + \sqrt{N-1}/(N-2)$ ,  $|v_0\rangle = (|0\rangle + |1\rangle)/\sqrt{2}$ , および,  $\theta_1 = 1 - \sqrt{N-1}/(N-2)$ ,  $|v_1\rangle = (|0\rangle - |1\rangle)/\sqrt{2}$ であることがわかる。定理 1 を $j=0, k=1$ について適用すれば,

$$\tau = \frac{\pi - 0}{2\sqrt{N-1}/(N-2)} = \frac{N-2}{\sqrt{N-1}} \times \frac{\pi}{2}$$

が得られる。最後に, 命題 1 と組み合わせれば,  $T = \frac{N-2}{\sqrt{N-1}} \times \frac{\pi}{2} = O(\sqrt{N})$

の時刻において,  $P_{N,\tau}(0) = \frac{N-1}{N} = 1 - \frac{1}{N} \approx 1$  ( $N \rightarrow \infty$ )とできることがわかる。

#### 5. おわりに

今回の 2018 年度工学研究所プロジェクト研究 A 「量子探索アルゴリズムの数学的基礎付け」とそれに引き続く研究の成果として, 連続時間量子ウォーク探索において, 探索したい頂点の発見確率がグラフの縮約と対応する時間発展作用素の固有値・固有ベクトルの解析によって特徴づける方法を定式化することができた。

この成果は, これまでの先行研究で論じられていた, 最大固有ベクトルの摂動法 (物理) と完全状態遷移 (スペクトルグラフ理論: 数学) を連続時間量子ウォーク探索を舞台として融合したものとも捉えることができる。今後, 先行研究で論じられてきているグラフのクラスを本研究の手法から見直すことによって, 連続時間量子ウォーク探索が成功するグラフのクラスと成功しないグラフのクラスの種類に寄与できるものと考えられる。また, その過程で今まで知られていなかった成功例に関する知見が得られるものと考えられる。

プロジェクトメンバーの井手・小松・今野は連続時間量子ウォーク探索を含む研究分野である量子ウォーク研究に従事しており, その最近の成果について書籍[5]にまとめている。本稿が, 当研究分野にご興味を持たれるきっかけとなれば幸いである。

#### 謝辞

本研究の一部は, 日本学術振興会科学研究費補助金(課題番号: 16K17652), 北陸先端科学技術大学院大学平成 30 年度研究拠点形成支援事業(萌芽的研究支援), の支援を受けて行われた。

#### 参考文献

- [1] S. Chakraborty, L. Novo, A. Ambainis, Y. Omar, Spatial search by quantum walk is optimal for almost all graphs, Phys. Rev. Lett., 116, 100501 (2016).
- [2] A. M. Childs, J. Goldstone, Spatial search by quantum walk, Phys. Rev. A, 70, 022314 (2004).
- [3] Y. Ide, Partition of graphs and quantum walk based search algorithms, Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, 10 (1), 16-27 (2019).
- [4] 井手勇介, 今野紀雄, 量子ウォークによる高速探索, 日本物理学会誌, 74 (10), 「解説」掲載予定 (2019).
- [5] 今野紀雄, 井手勇介 (共編著), 量子ウォークの新展開 - 数理構造の深化と応用 -, 培風館 (2019).

# 次世代無線通信を支えるマイクロ波・ミリ波・ テラヘルツ波・光波パッシブデバイスの理論設計と応用

陳 春平<sup>1</sup> 張 沢君<sup>2</sup> 穴田 哲夫<sup>3</sup> 武田 重喜<sup>4</sup> 王 小龍<sup>5</sup>

## Theoretical design and application of microwave, millimeter wave, terahertz and optical passive devices supporting next generation wireless communications -A Study on Theoretical Design of Functional Device Using Metallic Photonic Crystal-

Chun-Ping Chen<sup>1</sup> Zejun Zhang<sup>2</sup> Tetsuo Anada<sup>3</sup> Shigeki Takeda<sup>4</sup> Wang Xiaolong<sup>5</sup>

### 1. 研究目的

本研究では、次世代無線通信（5G）と IoT（Internet of Things）社会を支える新たな光・テラヘルツ波・ミリ波・マイクロ波帯における電磁波回路（パッシブデバイス）の開発とその設計理論を確立することが望まれている。2014年10月に、総務省が第5世代無線通信（5G）に対する新しい周波数帯割当ての目標とシステム要件を発表し、国内の5Gの実用化が加速している。同年10月に公開した2020年以降の移動通信システムのコンセプト及び技術トレンドに関するホワイトペーパーには、5G無線システムの要件が以下のように発表されている。

- ①従来の1000倍ともなるネットワークの大容量化；
- ②10Gbpsを超えるピークデータレートの高速化；
- ③LTEの100倍同時接続端末の増大；
- ④無線区間の遅延を1ms以下へ短縮し低遅延化；
- ⑤低消費電力化；

そのゆえ、本研究は、①デュアル/トリプル/マルチバンド広帯域フィルタの系統的な設計/合成理論の開発、②非放射損失や超小型軽量化等の利点を有する金属フォトニック結晶を用いたミリ波帯機能デバイスの理論設計、③超小型電力配分器の理論設計、④フォトニック結晶構造に基づいた光通信用デバイスの理論設計の4つの研究内容に重点を置き、研究を進める予定である。

本研究では、デバイスの一般構造の提案と合成/設計理論の開発の両面に重点を置くので、本研究が完成すると、次世代無線通信システムの極めて厳しい仕様を満たす機能性デバイスの最短期間での開発・設計が実現できると考えている。

### 2. 電磁波回路の統一的結合行列理論

上記の仕様を満たす新たな無線通信システムの電磁波回路を開発

するために、マイクロ波・ミリ波・テラヘルツ波（=サブミリ波）、および光波領域まで含めて電磁波回路（受動回路）を統一的に取り扱う回路理論を展開することが重要である。ここでは、電気回路理論に基づく結合行列理論について簡単に説明するとともに金属フォトニック結晶を用いた帯域通過フィルタへの適用例を示すことで、本理論の有用性の一例を紹介する。

将来の無線通信システム系において、帯域通過フィルタは高選択性に関する要求を満たすべく研究・開発が期待されている。高Q共振器による帯域通過フィルタを設計するために、入出力線路および共振器間の結合メカニズムの基本的理解が必要である。ここでは、R.J. Cameronによって整理された一般化結合行列理論に基づいて帯域通過フィルタを設計する。まず、結合行列と回路方程式について簡潔に概説する。図1に示すように、N個の共振器による狭帯域帯域通過フィルタにおいて、ソースと負荷の結合を考慮したとき(N+2)×(N+2)の結合行列を構築する。最初の列はソースを表し、第2列は第1共振モード、第3列は第2共振モード、・・・、(N+1)列は第N共振モード、最後の(N+2)列は、負荷との結合を表す。このように、図1の等価回路に基づいて、(N+2)×(N+2)の結合行列が得られる。N次の共振モードとソース、負荷の結合を考慮した結合行列[M]は式(1)となる。

$$[\mathbf{M}] = \begin{bmatrix} 0 & M_{s1} & M_{s2} & K & M_{sN} & M_{sL} \\ M_{s1} & M_{11} & M_{12} & K & M_{1N} & M_{1L} \\ M_{s2} & M_{12} & M_{22} & K & M_{2N} & M_{2L} \\ M & M & M & O & M & M \\ M_{sN} & M_{1N} & M_{2N} & K & M_{NN} & M_{NL} \\ M_{sL} & M_{1L} & M_{2L} & K & M_{NL} & 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

結合行列[M]が与えられると、入出力インピーダンス  $R_s, R_L$  を含めた回路全体の行列方程式[A]は次式で与えられる。

$$[-j\mathbf{R} + \Omega\mathbf{W} + \mathbf{M}][\mathbf{I}] = [\mathbf{A}][\mathbf{I}] = -j[\mathbf{e}] \quad (2)$$

ここに[R]は(N+2)×(N+2)、 $R_{11}=R_0=1\Omega$ 、 $R_{N+2,N+2}=R_0=1\Omega$ に正規化。

[W]は単位行列、但し、 $W_{11}=W_{N+2,N+2}=0$ 、 $W_{ii}=1$ 。

[e]=[1,0,0,・・・,0]の励振ベクトルである。[I]はループ電流、Ωは正規化周波数である。

<sup>1</sup>准教授 電気電子情報工学科

Associate Professor, Dept. of Electrical and Electronic Information Engineering

<sup>2</sup>特別助教 電気電子情報工学科

Assistant Professor, Dept. of Electrical and Electronic Information Engineering

<sup>3,4</sup>客員教授 工学研究所

Guest Professor, Research Institute for Engineering

<sup>5</sup>教授 吉林大学 電気電子情報工学科

Professor, Dept. of Electrical and Electronic Information Engineering

$$\Omega = \frac{\omega_c}{\Delta\omega} \left( \frac{\omega}{\omega_c} - \frac{\omega_c}{\omega} \right) \quad (3)$$

結合行列 $[M]$ の $M_{SS}, M_{LL}$ は $M_{SS}=M_{LL}=0$ である。 $M_{S1}$  ( $M_{L1}$ )はソース(負荷)と第1共振モードとの結合を意味する。また $M_{11}, M_{22}$ は第1, 及び第2共振モードにおける自己結合係数と関連し, 共振周波数とは次式で近似的に表すことができる。

このように結合行列 $[M]$ が与えられると, 回路のフィルタリング特性を与えるS-行列 $S_{11}, S_{21}$ は次式より回路特性が得られる。

$$\begin{aligned} S_{11} &= I + 2j[A^{-1}]_{1,1} \\ S_{21} &= -2j[A^{-1}]_{N+2,1} \end{aligned} \quad (4)$$

すなわち, 上式に基づいて, 帯域幅, 中心周波数, フィルタの段数, 帯域内における反射減衰量を与えることにより, 実現すべき仕様を満たす結合行列 $[M]$ が分かれば, 回路の周波数特性は簡単に逆行列を計算することにより得られる。次章で, 本理論の適用例として, 5段帯域通過フィルタについて結果のみを示す。

### 3. 5段帯域通過フィルタの結合マトリックスの計算例

まずM-PhCの格子定数(周期) $a = 120\mu\text{m}$ , 金属円柱半径 $r = 0.2a = 24\mu\text{m}$ と設定する。設計仕様の中心周波数 $f_0 = 1.1\text{THz}$ より, 図2(a)から点欠陥共振器の中心の微小金属円柱半径 $r_p = 0.1r$ を選択する。

2) 共振器とポート間の結合窓の構造パラメータを決定するために, 結合窓の構造パラメータと外部 $Q_{ext}$ の関係を得る。このとき, 外部 $Q_{ext}$ の値55.5となり, 結合窓の円柱半径 $r_1 = 0.6r$ の場合に結合窓の構造パラメータを導出する(外部 $Q_{ext}$ に対して, 結合窓の円柱半径の選択する自由度より, 結合窓の構造パラメータが唯一ではない事に注意)。図2(b)のように, 結合スキームはインライン型とする。

3) 結合窓の円柱半径 $r_1 = 0.6r$ を選択し, 結合窓のすべての構造パラメータを得ることにより, 図2(c)の周波数特性が得られる。

4) 図2(d)に示すように, BPFを完全な単一のユニット, 即ち個々の5つの共振器ではなく, 構造全体を1つの共振器と見なしたとき, 5つの共振モードで動作していることが分かる。

### 4. 結び

金属平行平板内に挟まれた金属フォトニック結晶(M-PhC)点欠陥共振器の共振モードを用いたインライン型5段BPFを提案し, 結合マトリクス法に基づいて, 合成理論結果がシミュレーション結果とよく一致したことから本結合行列法の妥当性を明らかにした。また点欠陥共振器の中心に微小金属を装荷することによって共振周波数を制御でき, M-PhCによるBPFは将来のテラヘルツ波帯における超高速無線通信用BPFとしての利用が期待される。

### 5. 文献

[1] "Terahertz technology," IEEE Trans. Microwave Theory Tech. 50, 910-928, 2002.  
 [2] Yuguang Zhao, Daniel R. Grischkowsky, 2-D Terahertz Metallic Photonic Crystals inparallel-Plate Waveguides, IEEE MTT, VOL.55,NO.4, APRIL 2007, pp.656-663.  
 [3] C.-P. CHEN, T. ANADA, S. TAKEDA and Z. MA, Proposal and Theoretical Design of THz Bandpass Filters using Metallic Photonic Crystal Resonators, Proc. 46th European Micro. Conf., pp. 116-119, Oct. 3-7, 2016, London, UK.

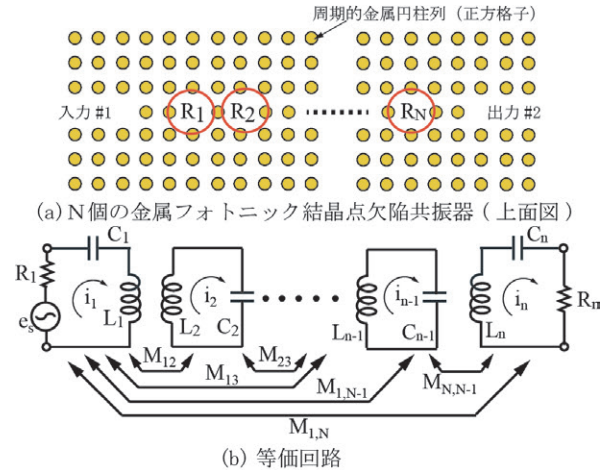


図1 N結合共振器の結合行列とその等価回路  
 Fig.1 N-coupled resonators for loop-equation formulation.

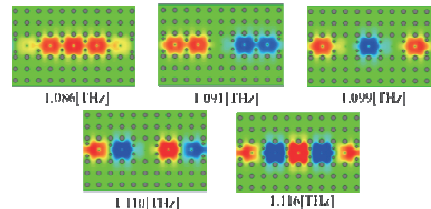
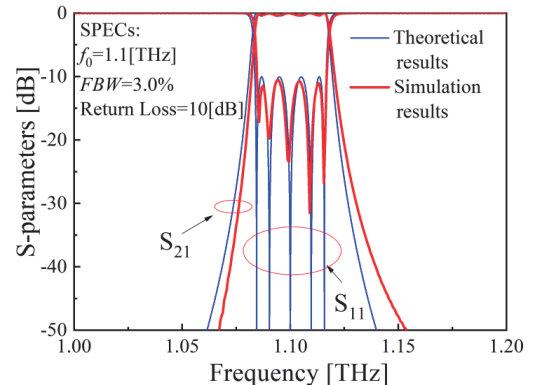
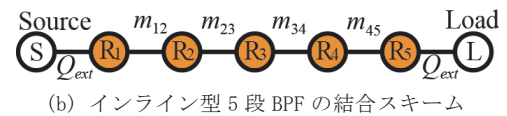
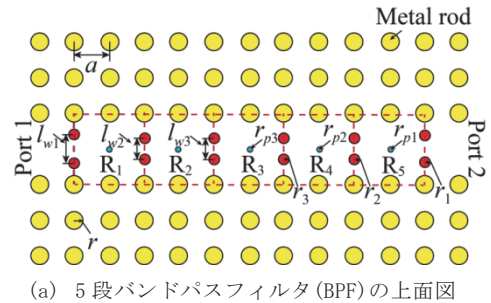


図2 M-PhC構造による5段BPFの周波数特性および伝送極の電界分布。

[4] C.-P. Chen, C. Xie, et al, "Simulation and Measurement of Properties of Metallic Photonic Crystal Point-Defect-Cavities with a Centrally-loaded Rod", IEICE Trans. Electron., Vol.E101-C, No.1, pp.91-95, Jan. 2018.

## 8. 工学研究所テクノサークル

- |     |                                 |                     |
|-----|---------------------------------|---------------------|
| 8-1 | 環境科学テクノサークル活動報告                 | 井川 学                |
| 8-2 | テクノサークル 「けんちくをつくる会」 2018 年度活動報告 | 吉岡 寛之, 林 淳平         |
| 8-3 | テクノサークル KURAFT18-19 シーズン活動報告    | 中村 弘毅, 山口 光弘        |
| 8-4 | 「神奈川大学宇宙ロケット部」 活動報告 (2018)      | 高野 敦                |
| 8-5 | 神奈川大学ロボットプロジェクト活動報告             | 江上 正, 中村 嘉孝, 野中 祐太郎 |
| 8-6 | 2018 年度ものづくり・電子工作テクノサークル活動報告    | 土屋 健伸               |



# 環境科学テクノサークル活動報告

井川 学\*

## Reports of the Activities of Environmental Science Technocircle

Manabu IGAWA\*

### 1. はじめに

環境科学テクノサークルは、2011年の5月に始まったテクノサークルの中でも最初に設立されたサークルの一つでしたが、2018年のテクノフェスタでのポスター発表を終えた後に、解散しました。解散の直接の理由はサークルの参加者数の減少によるものですが、根本的な原因は別にあったと思います。工学部、特に応用化学科ではかつて、各研究室の研究内容に対応した部活動が多くありました。私が本学に赴任したのが1978年ですが、当時もその活動は続いており、私は所属研究室（田中研）の関係で工業分析化学研究部のお世話をしました。しかし、その頃の活動は低調で参加者も少なく、1980年代になって解散しています。私自身、その経験があったのでテクノサークルの結成には消極的であったのですが、テクノサークル活動報告初回にあたる工学研究所所報38号にも記したようにテクノサークル設立の提案者であった山村教授の熱意に動かされ、旗揚げした経緯があります。現在も活発に活動しているテクノサークルもあるわけですが、そのようなサークルとの違いはサークル活動の軸を魅力的な形に打ち出すことができなかつたことに尽きると思います。環境科学テクノサークルでは環境問題に取り組もうと当然考えるわけですが、これは研究室での研究としては成立しますが、短期間の研究は実にならず、かといって、第二研究室メンバーのようにメンバーを取り込んで、研究室の仕事の一部にするわけにもいきませんでした。ただ、7年余りの活動の中で得られたものも多くありましたので、その概要をここに記しておきたいと思います。

### 2. サークル活動を振り返って

環境科学テクノサークルを設立した2011年は各地の放射能汚染が大問題になった時期でした。汚染状況の把握は研究室の研究内容とするより、テクノサークルの課題とするに打ってつけで、早速、測定器を購入し、まずは学内、平塚、中山の各キャンパスを当時のメンバー10人ほどで手分けして測定しました。幸いホットスポットは見つからなかったわけですが、汚染状況の分布をまとめました。その活動が一段落した頃、当時の工学部長や学長から学内の放射線量を測定してもらえないかという依頼が、分析の担当であるせいか私にありましたので、その結果の表を持って学長に説明しにいったものでした。結果的に、サークルのこの活動は大学にとって時期を得た有益な活動だったと思います。その次の年も、放射性物質の拡散状況の調査等、研究室ではやれない意味のある仕事ができたとあります。フィールド活動は時間が取られ、活動は夏休みに限られま

すので、それとは別に勉強会も週一回の割合で始めました。思いおもいに行う調査研究発表の中にはとても興味深い発表をする人もおり、強く印象に残っています。このサークルメンバーは設立当初は毎年10人を超えており、メンバーは学部学科を超えていて活気があり、相互に切磋琢磨していたと思います。時には諍いもあつたりしましたが、それはお互いが密接な関係を作る過程であつたと思えますし、間違いなく学生諸君はサークルの中で得るものがあつたと思えます。それは私自身にも言える事です。2011年の原発事故は、近年最大の環境問題であり、環境科学を研究する者として何か貢献したいという思いを強く持ちました。私は分離科学も研究してきましたので、私がやれることは除染であろうと思っていました。そのためのも有効な方法としてファイトリメディエーションと称される植物に放射性セシウムを取り込ませて除去する方法が最も有効ではないかと当初思っていました。そういう除染方法について、サークル員に調査研究をしてもらったのですが、当時のサークル員はそのメカニズム等を詳細に調べてテクノフェスタで発表し、その限界を明らかにしてくれました。私は今、電気泳動とセシウム吸着剤を組み合わせた方法による除染廃棄物の減容の研究を進めていますが、この方向に舵を切つたのは、このような学生諸君のお陰です。放射性物質の研究が一段落した後のサークルは、身の回りの科学の研究をしてきました。一つは、神奈川県の水源の一つである酒匂川の水質調査の研究です。私の研究室ではその源流の丹沢で酸性降下物の調査研究をしていますから、その研究と結びつけられればと思っていました。しかし、河川の研究は難しいものです。以前、私は田中研の助手として鶴見川の水質調査を学生とともに行いましたが、分析結果だけを得て終わるものでした。それを科学の領域に引き上げるのはハードルが高く、酒匂川の調査は面白い課題ではありましたが、結局は分析しただけに終わったと言えます。その他の研究の一つにエアコン室内機の排水口から出る水の分析もあります。これは空気中成分が冷却時に生じる水に溶けて排出されるものですが、室内で生成する有機酸を多く含んでいるという興味深い研究結果でした。

### 3. おわりに

このサークルは学生にとっても私自身にとっても有意義でしたが、サークルの活動目標を明確にさせ得なかつたことが反省点であつたと言えます。最後にこの活動を財政的に支援していただいた工学研究所と大学に御礼申し上げます。

\*教授 物質生命化学科

Professor, Dept. of Materials and Life Chemistry

# テクノサークル「けんちくをつくる会」2018 年度活動報告

吉岡 寛之\* 林 淳平\*\*

## Reports of Annual works of the Techno Circle “Tuku-Ken”

Hiroyuki YOSHIOKA\*

Junpei HAYASHI\*\*

### 1. 活動の報告と背景

学部における建築デザイン教育では、設計演習の中では仮想の建築を考え模型で組み上げることが中心である。実施工を伴い、実物に触れ、建築物をリアルに作り出す機会は少ない。こうした経緯から立ち上げたのが、建築サークル「けんちくをつくる会」（通称つくけん）である。2011年設立で8期目を迎え、今年度は2年生が中心となり活動した。実施工の中で建築を構成すること、建築をつくること、建築を体験することの間にある連続性を体験することは、スケール感・素材に対する感覚を促し、さらに実生活における観察力を育むことも期待できる。製作に至るまでの様々な段階においての共同作業に必要な行動力や調整力の育成も目的とする。

### 2. これまでのつくけんの活動

毎年春に1年間の活動内容を計画し学生主体で検討する。どの場所で、どのようなものを製作するのか、必要な予算の手配や敷地の交渉など全て学生自身が行う。限られた予算の中で実際の敷地の中に「建築」と呼べるものを作り、自らが決めたテーマにそっての空間構成、材料の特徴を理解した上での考察・加工・組み立て、そして最後には処分の方法。これらのプロセスを体験することで、設計演習課題では得られない建築に対する意識・見解、さらに利用者への配慮などの細かい部分に対する思考の向上が期待できる。近年は六角橋商店街の商店会の方と連携し、商店街イベントに合わせて休憩所・ステージの設営を行なっている。毎年どのような空間を創造するかは自由だが主に利用する材料を決める事が例年の決まりである。これまで、竹・布・段ボール・紙管・角材・プラスチック段ボールなどで利用者に休憩の場・賑わいの場を提供してきた。

(写真1表1)

### 3. 2018年度の活動「400mmキューブの組み合わせ」

8年目となった2018年度は昨年度の活動とは異なり、2016年度以前の活動を引き継いだ。六角橋商店街のイベントに合わせて休憩所の設営、さらに製作物の利用者を増やすために神大フェスタにおいても設営の場を設けて頂いた。活動内容は、400mm×400mm×400mmの格子を角材で製作し、それを縦に横につなげ、合板で面の部分を構造の補強材・装飾としても利用する。そうして様々なパター

表1 各年度の建築物の敷地、用途、材料

年度	敷地	用途	材料
1期 2011	旧3号館前 公開空地	神大フェスタ 休憩所	竹
2期 2012	東屋前空地	神大フェスタ 休憩所	布
3期 2013	六角橋商店街	どつきり闇市 ライブ会場	ダンボール
4期 2014	六角橋商店街	どつきり闇市 ライブ会場	紙管+ 3Dプリンター
5期 2015	六角橋商店街	どつきり闇市 ライブ会場	角材
6期 2016	六角橋商店街	食べくら横丁 ライブ会場	プラスチックダ ンボール
7期 2017	海、山、原っぱ 住宅街、公園	休憩所（フォリー）	単管パイプ+ 布
8期 2018	六角橋商店街	食べくらナイト 休憩所	角材+合板



写真1 2017年度活動「仮説式バッファー空間キット」

ンを作り上げた。商店街のイベントでも神大フェスタにおいても参加者は小さい子供から高齢の方まで幅広い。そのため、危険性を配慮し、高さは800mmに抑えた。これらの形も高さも違う製作物はどの世代がどのように利用するのか、高さのレベルを変えると似た

\* 特別助教 建築学科

Assistant Professor, Dept. of Architecture

\*\* 学部生4年生

Graduate, Dept. of Architecture



ような形の物でもどのような変化が起きるのか、等の利用者によっての機能の違いを観察することを目的とした。なぜ 400mm×400mm×400mm の形を基礎にしたかということ、極端な形での観察にした場合、機能が限定的になってしまう。そのため最低限椅子として利用でき、統一感を出すために 400mm キューブを用いた。そのうえでキューブ同士を繋げ高さも変えることで機能に幅をもたせた。

今年度の商店街のイベントは例年行っていた「食べくら横丁」と「ヤミ市場」を合わせた「食べくらナイト」という新たな試みであった。そのため来場者は例年より多くなることが予想されたため、商店会の方から要望を頂いた。それは、足元を照らせるような照明もデザインしてほしいということだ。そこで我々はキューブの中に光源を設置し面材であった合板に隙間を作ることで木漏れ日のような暖かい光をデザインした。その結果、内から溢れる光によって商店会の要望に応えると同時に製作物と空間の一体感を出すことに成功した。

イベント空間に光を用いて一体感を出すことに成功したため、休憩の場・会話の場・飲食の場・賑わいの場として利用して頂けた。そのため、当初の目的であった利用者によっての機能の違いを観察することができた。

(写真 2,3)

#### 4. つくけんの活動の成果

このサークルを設立した目的は、授業だけでは味わえない建築の魅力や楽しさを実感してもらう事だった。今年度は2年生が主体で活動し大半が初参加であった。そして商店街のイベントでも初めての試みであったため手探りの状態での活動が続いた。だが、多少不安定な状態であったことにより、メンバー各々が完成までに必要な能力を身につけることができた。自分たちで考え、複数人で試行錯誤を繰り返しながら建築空間を作り上げ、訪れた多くの人に利用してもらうという経験はとても貴重なものとなり、さらに建築への関心が深まっただろう。これらの経験が今後の課題のみならず、実社会で建築に携わっていくうえでの土台となり、参加したメンバーの活躍につながれば幸いである。



写真 2 六角橋商店街「食べくらナイト」にて



写真 3 神大フェスタ 8号館前にて

# テクノサークル KURAFT18-19 シーズン活動報告

中村 弘毅\* 山口 光弘\*\*

## Annual Activity Report of a Technocircle KURAFT

Hiroki NAKAMURA\* Mitsuhiro YAMAGUCHI\*\*

### 1. はじめに

本学テクノサークル KURAFT は 2013 年 10 月に設立され、毎年 9 月に開催される全日本学生フォーミュラ大会 EV (電気自動車) クラスへの出場、大会での上位入賞を主な目標として活動している。

学生フォーミュラ大会は、学生自らがチームを組み 1 年間で 1 人乗り小型レーシングカーを開発・製作することによって、学生がものづくりの本質やそのプロセスを学び、ものづくりの厳しさ・おもしろさ・喜びを実感することを目的に掲げている。2003 年から米国「Formula SAE®」のルール[1]に準拠し、全日本学生フォーミュラ大会が開催されており、走行性能だけでなく、車両のマーケティング、企画・設計・製作、コスト等のものづくりにおける総合力を競っている。また、2013 年から EV クラスが設立され、駆動ユニット以外はほぼ内燃機関エンジン車両と同じルールで EV 車両の性能を競っている。

また、地域貢献活動の一環として神奈川県下の中小企業と連携して展示会にて車両展示を行っている。これは神奈川大学 KURAFT の広報活動であるとともに、支援企業の技術を社会に広めることを目的としている。

本報では、学生フォーミュラの年間活動スケジュールに合わせて 2018 年 10 月から 2019 年 8 月までの活動を中心に報告する。

### 2. KURAFT の 2018-2019 シーズン活動

#### 2.1 チーム運営

2019 年大会に向けて今シーズンは「五兼」（先見、堅実、謙虚、堅牢、一件落着、5 つのケンを意識するように考えた造語）をチームコンセプトとして活動した。部品点数～点を超える 1 台の運転可能な電気自動車を作成するためには学生がこれまでに経験したことのない規模での計画性（先見）が必要であり、設計項目の取捨選択（堅実、堅牢）や、先輩、指導教員から学ぶ姿勢（謙虚）を意識したチームコンセプトを立案した。

#### 2.2 車両設計・製作

車両設計のコンセプトは「熟成と使いやすさ」とした。メンバーが低年次に集中し、昨年度車両のレイアウトに問題もなかったため、前述のコンセプトの下で製作を進めた。完成車両の写真を図 1、仕様を表 1 に示す。

電気システムに関しては、基盤などを流用し、配線の製作精度向上に注力した。その結果ペダルからの制御信号が安定し、操作性が向上した。機械システムは、モータ用に冷却システムを新たに搭載し、温度上昇を抑える工夫を行った。長時間の走行を行えていないため効果は十分に検証できていないが、次年度以降高出力のモータを搭載予定のため、今年度の知見が活かされることが期待できる。



図 1 完成車両 (KF05EV)

表 1 KF-05EV 車両仕様

全長×全幅×全高	2970mm×1400mm×1150mm
ホイールベース	1650mm
トレッド	1250mm
乾燥車重	328kg
フレーム構造	鋼管パイプスペースフレーム
材料・結合方法	STKM13A・TIG 溶接
モータ・最高出力	Motonagy 製ブラシレスモータ 15kW
バッテリーシステム	99.6V 20Ah AESC 製リチウムイオン電池 12 モジュール (2S2P, 計 48 セル)
ステアリング	ラックアンドピニオン
サスペンション	前後ダブルウィッシュボーン
ブレーキ	4 輪・油圧式アウトボードディスク

\*研究員 日本自動車研究所 (前職 機械工学科特別助教)

Researcher, Japan Automobile Research Institute

\*\*教務技術職員 機械工学科

Teaching and Technical Assistant, Dept. of Mechanical Engineering

### 3. 第17回全日本学生フォーミュラ大会

#### 3.1 大会概要

大会は車検と以下の静的審査3種目（計325点）、動的審査4種目（計675点）の総合得点（1000点満点）で競われる。今年度大会のエントリーは計120校、内書類審査通過97校であった。本学が参加しているEVクラスは27校がエントリー、内海外14校であり、初めて海外からの参加が国内を上回った。期間は2019年8月27日～31日の5日間で開催された（ラグビーW杯の影響で例年より前倒し）。大会全体の詳細なレビュー[3]がウェブ上で公開されている。

#### 3.2 車検

製作した車両が安全であることを示すために、学生フォーミュラ大会では下記の項目に対して車検が実施され、すべてに合格しないと動的競技に出走することができない。KURAFTはレインテストまで順調に合格したものの、ブレーキテストを通過できず、車検不合格となった。

##### 3.2.1 電気車検

電気システムの安全性を証明するために、計100項目以上の要件を満たすことが求められる。例えば、異常検知時の電源供給が遮断されるシステムや、電流の最大値に応じた配線の太さ、ドライバが触れる可能性がある箇所に対する絶縁性などが含まれる。

##### 3.2.2 機械車検

主にドライバの安全確保のため、機械的に安全であることが検査される。主要フレームの剛性に関する規定や、使用するボルトの強度、サスペンションの可動域に関する規定が含まれる。特に、コックピット周辺のフレーム構造は万が一車両が横転した場合にもドライバの安全が保証されるように詳細に規定されている。

##### 3.2.3 チルトテスト

大きな横荷重が発生した時（旋回時）に車両が転倒、あるいは液体が漏れないことを確認する。台上で、ドライバが乗車した車両を横に60度（0.5G相当）傾けて横荷重を模擬して試験を行う。

##### 3.2.4 レインテスト（ICVの場合は騒音テスト）

雨天時にも電気システムが漏電なく安全に機能することを示すためにレインテストを行う。約2mの高さからスプリンクラーで3分間車両に水をかけ、その後3分間浸透した水が電気システムに不具合を起こさないかを試験する。

##### 3.2.5 ブレーキテスト

十分な制動力を、安定して（4輪バランスよく）発揮できる車両であることを示すために、直線加速から急制動を行い4輪が同時にロックすることが求められる。今期のKURAFTはこの試験を合格できず、動的競技に出走ることができなかった。主な原因は油圧系の配管不良で、系内の空気が抜けにくい構造に施工してしまったため、十分な制動が行えなかった。

#### 3.3 静的審査結果

デザイン審査は事前に提出したデザインレポートと、それに対する質疑応答を中心に審査される。設計コンセプトに対する十分な検証（実走行による解析）が行えていないという評価で全チーム中81位であった。コスト審査は事前に提出したコストレポートと当日の

質疑で審査される。一般的にEV車両はコストダウンが困難であり、全チーム中76位であった。販売戦略を競うプレゼンテーション審査では、全チーム中15位。昨年度から引き続き同じ学生が担当したこともあり、過去最高の順位（得点）を獲得することができた。



図2 車両検査の様子

### 4. まとめおよび今後の展望

車検不合格のため3年ぶりに動的競技で記録を残すことができなかったが、静的審査ではプレゼンテーションで過去最高の順位を残すことができた。チーム結成以来の課題として、同一メンバーが複数年継続して担当している項目では成績が向上しているのに対して、新しい学生が担当する場合、引継ぎがうまく行えずトラブルが発生しやすい。今後大会で成績を残すためにOB/OGとの交流を増やし、彼らの経験を効果的にフィードバックする取り組みを始めている。一方、大会成績によらずこの活動で得られる経験を企業から高く評価されていることの証左として、卒業生の就職実績は引き続き良好である。

また、ある審査員は本大会の結果が数年後の自動車業界の縮図であるとも述べており、実際日本大会での中国チームの成績向上に合わせてEVの分野における中国企業の躍進が著しい。日本の産業界を担うであろう本学学生の今後の奮起に期待したい。

### 5. 謝辞

KURAFTは工学部特別予算と、以下の企業をはじめ計53社の支援を受けて活動を行っている。関係各位へ感謝の意を表する。

日本モレックス合同会社、日立金属株式会社、アナログ・デバイス株式会社、株式会社エンビジョン AESC エナジーデバイス、株式会社西川精機製作所、公益財団法人川崎市産業振興財団、株式会社オズコーポレーション、株式会社サイマコーポレーション、日圧総業株式会社、堤工業株式会社、パーソル R&D 株式会社、株式会社ヒラミヤ、株式会社ミスミ、サトーパーツ株式会社、株式会社 VSN、トーテックアメニティ株式会社 他 37 社（順不同）

### 6. 参考文献

- [1] 2020 Formula SAE® Rules  
<https://www.fsaonline.com/cdswb/gen/DocumentResources.aspx>  
 [2] 第17回学生フォーミュラ日本大会2019レビュー  
[https://www.jsae.or.jp/formula/jp/student\\_formula/17th\\_result/2019\\_review.php](https://www.jsae.or.jp/formula/jp/student_formula/17th_result/2019_review.php)

# 「神奈川県宇宙ロケット部」活動報告（2018）

高野 敦\*

## Annual Report of “Kanagawa University Space Rocket Club” in 2018

Atsushi TAKANO\*

### 1. 緒言

「神奈川県宇宙ロケット部」は2014年9月に設立され、今年で6年目となる。このサークルは「ハイブリッドロケット」の開発・設計・製作を通じて座学で得た知識を実際にモノづくりに適用することで理解を深めるとともに、将来は高度100kmの宇宙空間へ到達するロケットの開発・打ち上げを目標としている。ハイブリッドロケットとは、従来の液体ロケット（水素やエタノールなど、空気中でも爆発する燃料）や固体ロケット（火薬を用いる）と異なり、空気中では激しく燃焼することのないプラスチックやワックスなどを燃料とし、酸化剤（酸素や亜酸化窒素など）の助燃性を利用して燃焼させ、推進力を得るロケットである。ハイブリッドロケットエンジンは構造的な破壊が生じて液体ロケットや固体ロケットのように爆発しないことから実用化された場合の運用・管理コストの削減につながる。一方で、もともと爆発的に燃焼しない樹脂を用いるため、燃料後退速度（単位時間当たりの燃料の後退量）が小さいため、大きな推力が得にくいといった課題がある。そこで、この課題を解決するために近年大学や研究機関などでの研究が盛んとなっている<sup>1)</sup>。このような背景の中で、宇宙ロケット部は機械工学科航空宇宙構造研究室（以下、研究室と略記する）と共同でハイブリッドロケットおよび関連機器の開発・打ち上げを行ってきた。本報告ではこの1年間の活動実績を報告する。

### 2. 推力3.5kN級ロケットの打ち上げ

2018年10月6日に宇宙ロケット部は研究室と合同で秋田県能代市にてハイブリッドロケットの打ち上げ実験を行った。宇宙ロケット部は、2018年6月までに開発したエンジンを研究室に引き継ぎ、さらに大型化され推力3.5kN級エンジンを採用した。テレメトリ装置やデータロガーなどは、2017年に宇宙ロケット部が開発したものと同一設計のものを再度製作し搭載した。その結果、機体の設計としては研究室とロケット部で同一となったが、製作は研究室とロケット部が主体となって1機ずつ行った。当初打ち上げは研究室機体を先に行い、それが成功した場合ロケット部機体の打ち上げは行わない予定であったが、打ち上げ直前に研究室機体のテレメトリ装置の信号が途絶えたため急遽ロケット部機体に交換し、打ち上げを行った。打ち上げは朝6時に行われるため、夜12時には宿泊施設を

出発し、準備作業に取り掛かった。打ち上げは予定通り朝6時に行われた。打ち上げの瞬間の様子を図1に示す。



図1 打ち上げの瞬間の様子

機体からのテレメトリデータ（GPS座標、気圧2ch）は正常に受信でき、速報値で高度7900m、後に研究室により上空の気温による補正を行った結果6204mに到達したことが判明した。これは国内の大学・団体などのなかでは北海道大学・植松電機が有する高度8.3km（推測値）および7.5kmに次いで団体としては2位の記録である。GPS信号により着水地点が判明し、漁船にて回収に向かったところ、一段目分離機構部を除いた二段目分離機構部の一部、計測器モジュール、エンジン及びタンクの回収に成功した。フライトデータ及び回収した機体を研究室が分析した結果、一段目分離の衝撃で二段目も分離してしまったことが判明した。分離機構部は研究室により開発されたものであるため、今年度の打ち上げに向けて改良がお

\*准教授 機械工学科

Associate Professor, Dept. of Mechanical Engineering

こなわれている。

### 3. テレメトリ装置・データロガーの高信頼性化

データロガーは2016年に、テレメトリ装置は2017年にロケット部によって開発された。その後高高度化により気圧センサの載せ替えが行われたものの2018年も同一設計のものが使用された。ただし図2および図3左側にある通り、万能基板を用いて手配線で製作されていたため初心者には製作難易度が高く製作時間がかかるだけでなく、誤配線や過加熱による部品の損傷、使用中の断線などの不具合が生じていた。

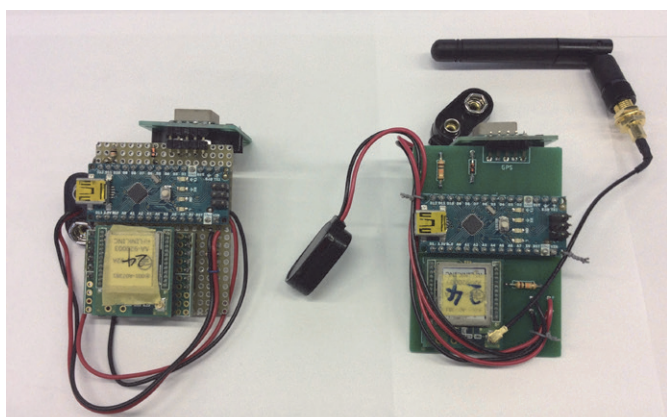


図2 テレメトリ装置のプリント基板化(表)

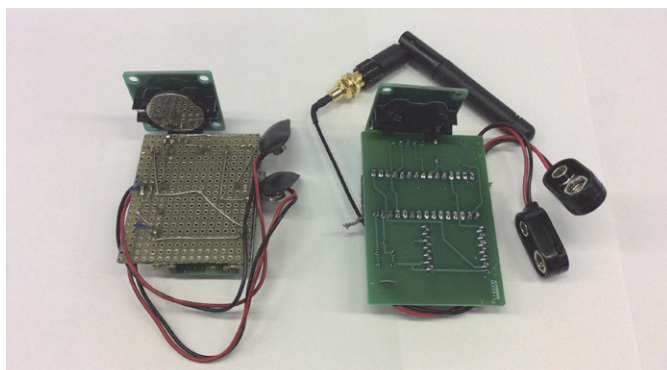


図3 テレメトリ装置のプリント基板化(表)

先も述べた通り打ち上げ直前に機体を交換した原因はテレメトリ装置の動作不具合によるものであった。そこでこれらのプリント基板化をロケット部が中心となり行った。具体的にはデータロガー及びGPSテレメトリ装置のプリント基板化をロケット部学生が、気圧テレメトリ装置のプリント基板化はロケット部学生の指導のもと研究室学生により行われた。具体的には基板設計ソフトウェアを用いて回路図を起こした後、プリントパターン設計を行うのであるがその方法はロケット部学生がロケット部下級生及び研究室学生を指導した。設計されたプリントパターンによるプリント基板の製作は設備などが必要なため外注にて製作した。プリント基板化したものを図2および図3右に示す。あわせて分離機構の分離信号を発生するタイマー基板のプリント基板化は研究室学生により行われたが、これも同様にロケット部学生の指導のもと行われた。

これにより、従来1回路を組み立てるのに1名で12時間ほどかかっていたものが、1時間ほどで動作チェックまでに至ることができた。これらの回路は下記に示す2019年10月に打ち上げ予定の高度日本記録を目指す機体に搭載予定である。

### 4. 高度日本一への挑戦

2018年の記録を受け、2019年度は高度日本記録を獲得すべく研究室と共同して機体の大型化に取り組んだ。

エンジンも昨年度の燃料質量3.6kgから2倍の7.2kgになった。このサイズになるとはや研究室単独で試作・試験・改良のサイクルを回すことは困難となり、ロケット部の協力が欠かせなくなってきた。燃料(グレイン)は3Dプリンタで造形したABS樹脂を用いる。エンジン1基に8個のグレインをプリントして接着して用いるが、1個製作するのに18時間を要するため、3Dプリンタをフル稼働させる必要がある。この作業は主にロケット部が中心となって行った。また、エンジンを燃焼火炎から保護するためのGFPR製のアブレーターも燃焼試験のたびに製作する必要があるため、その製作も研究室学生指導のもとロケット部学生が中心となって行った。機体の製作も昨年同様研究室で1機、ロケット部で1機製作し、現在エンジンの最終試験を待って打上の予定である。

### 5. アウトリーチ活動

2018年度はアウトリーチ活動にも積極的に取り組んだ。2018年10月7日は打上当日であったが旅費が捻出できず参加できなかった学生がホームカミングデーの展示を行い、打ち上げの様子などをOB/OGに紹介した。また2018年10月13日～14日に東京・お台場で開催されたロケット交流会に出展した。能代市での打ち上げの直後でありメンバーの疲労のためポスターのみの展示であったが国内第2位の記録を達成した直後であったため好評であった。続けて神大テクノフェスタではポスター賞を受賞した。

さらに2019年8月3日(土)、4日(日)には東京ビッグサイトで行われたMaker Faire Tokyoにも出展した。ここではポスターのみだけでなく、2016年に開発したエンジンも展示を行った。ここでは上述の高度日本一への挑戦を前面に押し出したこともあってか、JAXAなどの航空宇宙関係者だけでなく多くの方の興味を引き、大変好評であった。

### 6. 結言

宇宙ロケット部は2019年9月で設立後5年が経過する。5年間といった短期間で国内団体2位の成果を上げることができた。また、メンバーには機械工学科学生だけでなく、物質生命化学科や電気電子情報工学科の学生も参加するなど多様な学生の参加も見られる。しかし文系学生の参加がないなどに起因して、他の大学のロケット団体に比べ成果と比較してアウトリーチ活動やマネジメント活動の点で弱い部分が見られ、課題となっており、今後の改善が期待される。

### 参考文献

[1] 嶋田徹 他, “平成27年度ハイブリッドロケット研究WG成果報告書”, JAXA (2015-2), p.1.

# 神奈川県大学ロボットプロジェクト活動報告

江上 正\* 中村 嘉孝\*\* 野中 祐太郎\*\*\*

## Activity Reports of Kanagawa University Robot Project

Tadashi EGAMI\* Yoshitaka NAKAMURA\*\* Yutaro NONAKA\*\*\*

### 1. 緒言

神奈川県大学ロボットプロジェクトは、2008年度から活動している。2018年度で創立11周年となり、機械工学科だけでなく、電気電子情報工学科や情報システム創成学科、物質生命化学科、総合工学プログラムなどから10名ほどの学生が所属している。各学生の興味によって、ロボット相撲、二足歩行ロボット、ロボット剣道、室内飛行ロボットの4チームに分かれて活動し、複数のチームに所属する学生もいる。これらのチームはそれぞれ設計やプログラムなどの担当に分かれ、各種大会への出場を目標として、ロボット製作に取り組むのが主な活動内容である。これ以外にもオープンキャンパス、ホームカミングデー、神大フェスタなどでの実演展示で多くの来場者の注目を集めている。

今年度はロボット剣道で、プロジェクト創設以来の準優勝という成果を出せたので、これを中心として2018年度の活動を報告する。

### 2. ロボット相撲活動報告

全日本ロボット相撲大会は、富士ソフト株式会社が主催、運営している大会である。第1回大会は1989年に開かれ、2018年度で30回目を迎えた。直径1,540mmの円状の鋼板上において、縦200mm×横200mm×高さ無制限、重量3kg以内の力士ロボット同士を戦わせる。実際の相撲と同様に土俵外へ出てしまったら1本となり2本先取で勝利となる。

部門としては、手で操作するラジコン型とあらかじめ記述したプログラム通りに動作する自立型の2種類があり、ラジコン型での出場を続けている。前年度の大会から、ギア比を変更してより操作しやすいトルクを重視した仕様に変更し、相手機体を攻撃するためのブレード部の変更により剛性強化を行ったり、ネオジウム磁石の高さを調整してより土俵に密着するように改良を行った。今年度はネオジウム磁石が相撲ロボットのタイヤ周りを囲うように配置し、より土俵に密着するように改良した。また、安全面を考慮しマイコン電源をリポバッテリーから9V角電池に変更し、ケースに入れてい

たマイコンをネジで固定できるように加工した。

今年度から、従来の手動操作に加えて一部を自動操作する、通称「ラ自立」という機体の制御方法を実装した。この方法では、通常時には送信機のスティックによって機体を操作するが、土俵の縁にある白線を検出した際に自動で土俵の中心に戻したり、送信機からの信号に応じて、敵検出センサを用いて相手の機体の角を狙うなどができる。

第30回全日本ロボット相撲大会においては、いずれもラジコンの部で関東大会、北海道・東北大会、北信越・東海大会に出場した。大会の様子を図1に示す。その結果、関東大会では1台が3回戦まで勝ち進み、ベスト16になった。また北信越・東海大会でも別の機体が3回戦まで進出しベスト16だった。ただし、その他の機体はすべて1、2回戦敗退であり、試合時の断線や操作ミスによる自滅などが目立った。機体同士のぶつかり合いなどでも、性能的には決して他チームの機体に劣らないのを感じたので、今後は練習時と試合時の操作感の違いを減らすことを重視したい。



図1 第30回全日本ロボット相撲大会の様子

### 3. ロボット剣道活動報告

ロボット剣道は、二足歩行ロボット協会主催の2台のアーム型ロボットによる対戦をトーナメント方式で行う剣道大会である。相手の赤、青、黄にそれぞれ色分けされた面、胴、小手に竹刀を打ち込むことで1本取ることができる。攻撃頻度や逃げの姿勢による反則なども定められており制限時間は3分、3本勝負の2本先取で勝敗が決まり、剣道の有段者が技の判定を行う。技を決める際には面なら「面」、胴なら「胴」とスピーカーで再生、もしくは操作者が発声しなければならず、同じ技を連続して行う場合には3秒待たなければ

\*教授 機械工学科 ロボットプロジェクト顧問

Professor, Dept. of Mechanical Engineering

\*\*ロボットプロジェクト部長

President, Robot Project

\*\*ロボットプロジェクト副部長

Vice President, Robot Project

ばならない。このことにより、闇雲に攻撃をしても技は決まりにくくなっている。また、遠隔操縦による出場は初出場から2回に限られておりそれ以降は自律制御によるロボットで出場しなければならない。今回は全チーム自律制御であった。

2018年9月2日に神奈川県立青少年センターで行われた第8回 ROBO-剣(アーム部門)では「ku 剣」は準優勝という成果を得ることができた。これはロボットプロジェクト創設以来の成果である。今回の第8回 ROBO-剣では初めて二足歩行部門が設けられ、ロボットアーム部門、二足歩行部門それぞれ7チームが参加し、「ku 剣」はロボットアーム部門のトーナメントで2回連続勝利して決勝戦に進み、決勝戦では惜しくも敗れたが準優勝が確定した。この大会は同じ場所で行われた「青少年のためのロボフェスタ 2018」の中での開催であったために観客も多く、幅広い年代の方にロボットの動きを間近で見ることができた。

今年度はフレームやプログラム全体の見直しを行った。フレームについては、台の部分は分解と組み立てをスムーズにするため形状を大きく変化させ軽量化を図った。アーム部分は部室での作成を簡単に行うため3Dプリンタでの印刷を視野に入れた設計とした。さらにプログラムとしては、昨年度まではウェブカメラを2つ用いた3次元的な画像処理を行っていたが、今年度からは新しく深度カメラを用いた画像処理に変更したため、パソコン側で2つの画像から相手の3次元座標を予測する負担が減り、1つの画像から直接奥行き方向の座標を取得することができるようになった。また、今後は出場者の画像処理の技術力が高まってきたことをうけて、画像処理用の機体の色分けを無くすことが予定されているので、これに対応するため、画像の輝度と深度のみからの球体検出も行っている。これにより技を決める際の精度が増したことが勝因と思われる。これからは相手の動きの学習や予測にも挑戦し、優勝を目指したい。

#### 4. 2足歩行ロボット活動報告

ROBO-ONEとは、2足歩行ロボット協会主催の2足歩行ロボットによる格闘競技大会である。ROBO-ONEとROBO-ONE LightとROBO-ONE Autoと新設されたROBO-ONE 剣道の4つの部門がある。

今年度はROBO-ONE LightとROBO-ONE 剣道への出場を目的として取り組んだ。2018年9月22日に神奈川県立青少年センターで行われた第17回 ROBO-ONE Lightに出場した。第16回大会では、5m走のタイムを競う予選があり、上位32位以内の機体が決勝戦に進めるという方式であった。しかし、第17回大会ではそのような予選はなく、決勝トーナメントから行われることになった。決勝トーナメントの結果は初戦敗退であった。予選敗退の原因としては、操縦練習をあまりしておらず、操作ミスをしてしまったことや、モーションが不安定だったことなどがあげられる。ROBO-ONE 剣道については、大会直前に設計データにミスがあることに気付いたが、その修正が間に合わず、大会には出場することができなかった。

#### 5. 室内飛行ロボット活動報告

全日本学生室内飛行ロボットコンテスト大会は、日本航空宇宙学



図2 第4回 Robo-剣大会での試合の様子(左が神大)



図3 表彰式

会が主催している大会である。現在、一般部門・自動操縦部門・ユニークデザイン部門・マルチコプター部門の4部門が実施されている。この大会は、物資運搬・地上の目標物の上部撮影・8の字飛行などいくつかの設定された課題達成の点と達成までの時間、エアポート地点での離着陸を各々点数化し評価するといった製作した飛行ロボットの飛行性能評価によるランキング形式の大会である。

2018年度はシステムのトラブルが続き、基礎からの見直しを余儀なくされたため大会の出場は断念した。これは2017年度に問題となったフレームや機構、さらに回路内やセンサへのノイズなど数々の問題点が発覚し、マイコンやモータなどほぼ全ての部分を見直し、新しく作成し直したためである。しかし、この結果、角度を検出するためのセンサの変更によりマイコンの負担を減らしたことやwifiを搭載したことにより飛行の際の実験も効率が高まり、現在では2017年度の大会時よりもさらに安定した飛行ロボットが完成している。

#### 6. 結言

今年度は創立11周年であったが、ロボット剣道で準優勝という大きな成果を得ることができた。担当学生は、2018年度の神奈川県立青少年センター大会で表彰優秀賞も授与されている。これは長年取り組んできたプロジェクトの大きな成果であると考えている。今後はより上位の成績を残せるように努力を続けたい。

## 2018 年度ものづくり・電子工作テクノサークル活動報告

土屋 健伸\*

### 2018 Report of the Science Technocircle “Manufacturing and Electronic Work”

Takenobu TSUCHIAYA\*

#### 1. サークルの歩み

本テクノサークル「ものづくり・電子工作テクノサークル」は、2017年に発足し、今年で3年目となる。本テクノサークルのポリシーは、「電子機器工作を通じてものづくり体験を楽しく学ぶ」である。そのため、いろいろな種類の電子機器の製作やテストを実施することを主眼として活動を行っている。コンペティションや大会などへの出場を目的とせず、主に“遊びながら楽しんで学ぶ”がモットーとして、学生の積極的な意思で好きなものを楽しんで実施することを目指している。初年度のメンバーは、申請者である著者と電気電子情報工学科の土屋健伸研究室所属の4年生4名のみであったが、2018年度になってから、1年生5名、3年生2名、4年生1名、大学院生3名と人数が増え、多岐に渡る電子工作を実施するに至っている。

2018年度の主な活動日は土曜日の3～5限とした。活動場所は23号館611室「ものづくり実験工作室」および土屋研究室の604室である。ものづくり実験工作室は通常施錠されているため、日程を決定して決まった時間内で使用している。主に電子工作の半田付け作業やロボットのレース場として使用している。また、自由な時間に使用可能とするため土屋研究室にて超小型PCであるラズベリーパイのセッティングやLEGOロボットの組み立て作業を実施している。2018年度の主な活動は、ラズベリーパイによるラジコンキットの製作およびAIスピーカの製作であった。さらに小型ドローンを購入して制御系の仕組みを学修した。また、オープンキャンパスにて「ものづくり実験工作室」にて展示会を行った。

#### 2. 活動内容

2018年度に掛けて実施した内容および電子工作の成果物について以下に示す。

##### 2.1 超小型PC「ラズベリーパイ」

ものづくりとして超小型PC「ラズベリーパイ」のセットアップを実施した今回使用したラズベリーパイ3 Model Bの写真を図1に示す。

ラズベリーパイ3は、イギリスのラズベリーパイ財団によって開

発された超小型コンピュータである。実売価格は5000円弱とコストパフォーマンスが非常に優れている。ロボット制御もでき、インターネットとの接続モジュール(IoT)としてもウェブアプリケーションサーバとしても利用できる優秀なデバイスである。

まず、ラズベリーパイ用のOSとしてRaspbianのインストールを行った。次に以下の内容を実施して、Raspbianの操作方法の修得に勤めた。

1. Raspbianの基本操作、インクルードソフトの使用
2. WiFi接続、リモートログイン、VNC接続などのネットワーク関連
3. サウンド再生、インターネットラジオの再生、音声合成等のマルチメディア関連
4. Webカメラや専用カメラモジュールの接続・設定と動画のインターネット配信
5. GPIOポートを用いた電子回路制御、スマートフォンによるラズベリーパイの外部制御

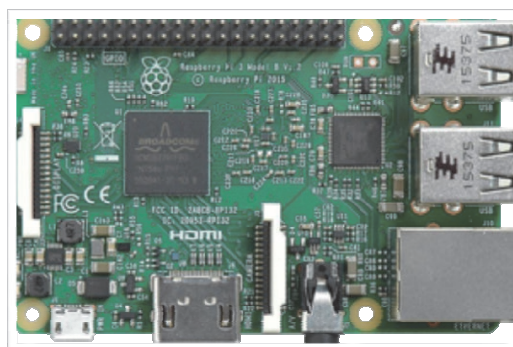


図1 ラズベリーパイ3 Model Bの概観図

##### 2.2 ラズベリーパイによるロボット制御

ラズベリーパイのセットアップが完了した後、ラズベリーパイを使ったロボット制御として戦車キットを購入して、ラジコン戦車を組み立てた。なお、組み立て途中に2018年度のオープンキャンパスにて「ものづくり実験工作室」を公開し、セットアップ後のラズベリーパイと一緒に展示も行った。その写真を図2に示す。

\*教授 電気電子情報工学科

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





図2 ラズベリーパイ 3 Model B によるラジコン戦車の展示

ラジコン戦車[2]は稼働部のモーターおよびキャタピラ部と制御部のラズベリーパイとに分かれている。キャタピラ部はタミヤ社のダブルギアボックス（型番：TAM70168）を用いた。モーターを駆動させる電源は標準で単三電池の選択肢もあるが、電流値を稼ぐためにリチウムイオンモバイルバッテリーを用いた。将来的には太陽電池を搭載したタイプのモバイルバッテリーに変更する予定である。制御部のラズベリーパイはモバイルバッテリーの上に、ユニバーサル基盤をキャタピラ部に配置した。モーター制御のICにはDRV8835 使用ステッピング&DC モータードライバモジュール、戦車車体の傾斜測定のために3軸加速度センサーモジュール ADXL345 を用いた。それらをブレッドボード上に配線し、キャタピラ部のモーターとラズベリーパイに配線した。ラズベリーパイとの接続は、ラズベリーパイ上の汎用 IO ポート（GPIO）を用いており、ラズベリーパイから自由に制御できる。ラジコン戦車のコントロールはスマートフォンを用いた。スマートフォンとラズベリーパイとの通信は、どちらの装置にも標準装備されている Bluetooth で行った。通信ソフトは、RasPiTank [3]で行った。完成したラジコン戦車を図3に示す。

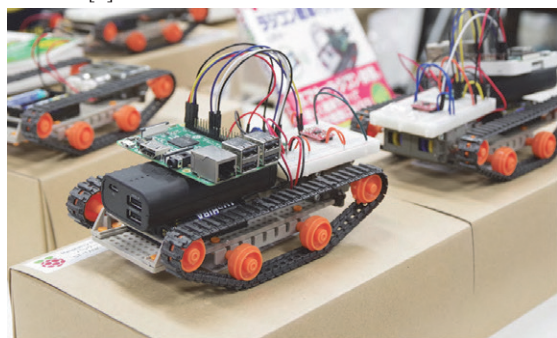


図3 完成したラズベリーパイ 3 Model B によるラジコン戦車

### 2. 3 AI スピーカの製作

現在、サークルで主に製作を行っているのは AI スピーカである。AI スピーカは巷ではスマートスピーカーと呼ばれ、対話型の音声操作に対応した AI アシスタント機能を持つスピーカであり、家電等のコントロールなどに用いられる。Amazon Echo などが代表的な装置であるが、その Amazon より提供されているソフトウェア資源を活用することで容易に自作できる。特に AI と親和性の高いラズベリーパイを用いることで大きな可能性を秘めている。現在は、Amazon より発売されているキット Google AIY Voice Kit V2 を使って AI スピーカを組み立てた。今後は、ラズベリーパイを用いて位

一から自作する予定である。また小型ドローンも制御部を自作する予定である、



図4 AI スピーカ（Google AIY Voice Kit V2）

### 3. オープンキャンパスでの展示

2019年8月8～10日の3日間に実施されたオープンキャンパスにおいて、製作した超音波スピーカやセットアップ済みのラズベリーパイ、AI スピーカ等の展示会を「ものづくり実験工作室」にて行った。展示会の様子を図5に示す。学科ツアー客以外でも、フリー参加の高校生や父兄が足を止めて熱心に見学された。作った装置を見たり、実際に操作していただいたりして大変好評であった。また、超音波スピーカの特長性に大きな関心が得られたようである。

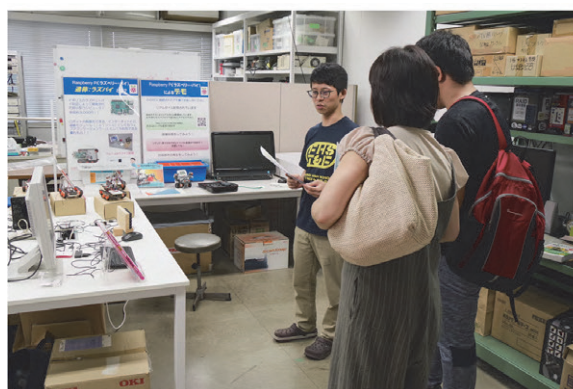


図5 オープンキャンパスにおける展示会の様子

### 4. 結言

本学科主体で初のテクノサークルとして2017年度に設立した「ものづくり・電子工作テクノサークル」は、参加人数はそれほど大人数ではないが、各自が興味あるものを楽しく実施している。今後も、サークルに参加した学生が楽しく興味ある電子工作を行い、ものづくりを介して、電子機械の世界をより深く知ってほしいと願っている。

### 参考文献

- [1] ラズベリーパイ公式 HP <https://www.raspberrypi.org/>（閲覧日 2019/08/31）
- [2] 山際伸一，親子で電子工作入門ラズパイとスマホでラジコン戦車を作ろう！（秀和システム，東京，2017），p.90.
- [3] <https://www.streamtechnology.co.jp/RasPiTank/>（閲覧日 2019/08/31）



## 9. 随想

9-1 42年間の神奈川県立神奈川大学での思い出

井川 学

9-2 千変万化の風に吹かれて

矢島 幸信



## 42年間の神奈川大学での思い出

井川 学\*

### Memories of 42 years in Kanagawa University

Manabu IGAWA\*

#### 1. はじめに

私は1978年4月、東京大学生産技術研究所にて博士課程修了後に、工学部応用化学科田中研の助手として本学に赴任した。神奈川大学工学部の各研究室は主宰教員と補助者という構成だが、私が赴任する前は阿部技術員が田中先生の前任の岡先生の研究室の時代から在籍しておられたが、工学研究所の前身である電子顕微鏡室に移動されて空席ができたことによる人事であった。様々な経験をしながら70歳となって2020年3月に定年となるが、この機会に本学で過ごした42年間について、研究面と教育面で振り返りたい。

#### 2. 研究活動を振り返って

私は逆浸透に関する研究で博士号を取得したが、赴任した頃の田中研では鶴見川の分析やイオン交換クロマトグラフィーの研究を進めていた。田中先生からは自由に研究テーマを考えて良いと言われてはいたが、工業分析化学研究室であり、研究室の趣旨に沿った研究として何をするか思い悩んだ。大学院で研究した逆浸透は、当時、いよいよ実用化しようという段階であり、もう研究テーマにはなれないと思っていたので、膜については選択透過膜の研究に限定して続けることにした。しかし、これだけではテーマが狭すぎるため、引き続き鶴見川の水質調査の研究を学生とともに進めたが、見るべき成果を出すことができなかった。この当時、助け舟となったのは以下の二つのことだった。一つは、当時、私の東大時代の恩師である山邊先生が応用化学科の教授として在籍しておられ、当時の専売公社(現在の塩事業センター)から「クラウンエーテルによるカリウムの分離」という委託研究テーマを山邊先生を介して頂いたことである。クラウンエーテルの研究は当時のはやりであったが、日本曹達からクラウンエーテルポリマーを試料として頂く等の大きな支援を得て、いくつかの論文を書くことができた。代表的な論文は、クラウンエーテルの環径と陽イオンイオン径の適合性と、陰イオンの親疎水性とクラウンエーテルポリマーとの親和性との組み合わせにより、陽イオンと陰イオンとの同時にクロマトグラフィー分離するという論文であり *Anal.Chem.* に掲載されている。もう一つは、当時、分析化学若手会が東北大学の分析化学系の研究室メンバーを中心に組織されたことである。私はこれを知って、参加するために東北に向かった。特に知己を介してというわけではない一番南からの参加

者であったために、若手会設立メンバーからは驚かれつつも大歓迎され、研究上の悩みについても議論することができた。さらに、田中先生からの暖かい励ましもあって、研究成果をある程度出しながら助手の時代を送ることができた。

赴任して6年が経ち、田中先生が定年を迎えられ、その後任として私が新たに研究室を主宰することになった。私は学生時代から環境関係の研究をしたいと考えていた。田中研の助手となって鶴見川の調査研究を始めたのは、その点では良かったのだが、私自身は環境関係の研究経験がなかったため、研究というレベルに押し上げることができなかった。その頃の神奈川大学工学部の若手は、在外研究員として外国で研鑽を積むことが奨励されていた。私は当初、「外国に行くのは箔を付けに行くようなものではないか」と思っていたが、経験した人と話す中で、外国での研究経験も有意義かもしれないし、そうなら環境科学関係の研究室にと考え、カリフォルニア工科大学で霧の研究をしていたマイケル・ホフマンの研究室で研究することにした。その詳細は、以前の工学研究所所報に詳しく書いている<sup>1)</sup>ので略すが、極めて有意義な一年であった。

1987年9月の帰国後、次の年度から霧の研究を始めることにして、まずは霧の採取機づくりと採取地探しを始めた。アメリカでは当時、自動霧水採取装置が使われていたが、これは霧発生地点に装置を置いておくことと霧の発生を装置が感知して自動的に霧を採取するというものである。しかし日本ではこのような装置はなく、霧が発生しそうな夜に研究者が山に装置を持って出向き、霧の発生を夜通し見張り、霧が発生するとスイッチを入れて霧を採取していた。私は卒業研究として取り組むには自動霧水採取装置を作ることが必須だと考えた。運よく4月から科学研究費を取得したので、従来型の採取機を作っていた臼井工業研究所に基本的な設計指針を伝え、製作を依頼した。採取地としては丹沢の山小屋の主人のご自宅を訪ねたり、この道の先達と目された当学科卒業生で今はもう故人となられた関口恭一さんが県職員として働く群馬県を訪ねたりしたが、最終的には大山阿夫利神社のご厚意により境内に装置を置かせてもらうことになった。

1988年から採取を始め、雨よりも成分濃度が10倍多く、平均pHとしては1低い霧が頻繁に発生していることが確認された。そこで

\*教授 物質生命化学科

Professor, Dept. of Materials and Life Chemistry

最初の学会発表を計画したところ、その要旨を読んだマスコミ関係者から取材を受け、その後、次々に取材を受けることになった。その当時は環境問題が我が国でもクローズアップされはじめた時期であったこともあり、その後の数年間で、ほぼ全ての新聞と、すべてのテレビチャンネル、ラジオで報道されたと行って良いと思う。最初にこの仕事を担当したのは佐賀県出身の学生であったため、故郷に錦を飾ろうと鼓舞しながら佐賀大学で行われた学会で発表してもらったが、テレビカメラが我々の発表のために会場に配置されていた。学会の合間に私は、その学生の運転で、酸性雨による立ち枯れがあるとされていた福岡県の宝満山に見学に向かったが、その車の中で流れていたカーラジオのニュースで、神奈川大学から酸性霧の研究発表があったと放送されたのにはびっくりした。NHKのクローズアップ現代にも紹介されたが、それを見ていた出身地長崎の中学の懐かしい恩師から、長崎の自宅に電話があったりしたものだ。これまで、霧のデータは日本では少なかったところに、次々と新しいデータが出たので引き続きしばらくは注目され続けたが、学会の懇親会で、東大の先輩にあたるある先生から、「低い pH の霧が出たら、研究室の皆で祝杯をあげるのですか」と、言われた。また、ある学会誌の酸性雨関連の解説記事で名指しされていないものの「低い pH が観測されて喜ぶ研究者」という文言が書かれていた。確かにマスコミは低い pH の霧ということで飛びつき、低いほどセンセーショナルな記事になる。しかし、私たちはマスコミで取り上げられるために研究しているわけではない。これらの批判は、学問として深い研究にしようという決意を新たにする契機となった。

霧の採取は当初、大山阿夫利神社の下社に自動霧水採取装置を設置し、霧の発生頻度の高い夏のみ採取であったが、その後、一年中の採取とし、週一回、学生が交互に採取に向くことを、装置を撤去する 2015 年まで続けた。さらに、1992 年からは大山全山での大気汚染物質沈着量の標高分布を月ごとに調査する研究へと仕事を拡大していった。観測対象も受動霧水採取装置による採取、風向風速、視程の観測等と広げ、2011 年から 2015 年までは丹沢山塊の鍋割山での観測も行った。大山全山の採取を始めた当初は、大河内助手と担当する学生によるものであったが、大河内助手の転出後は、私も学生とともに山に登るようになり、最終年度までこれを続けた。

酸性雨と森林衰退は、いつも結びつけて報道される。1990 年代初頭のある学会でこの趣旨の講演会が企画され、私も講演者の一人として招待された。講演の後の総合討論の時、年配の研究者から、「植物は色んな理由で枯れる。酸性雨で枯れた証拠のある森があるなら、言ってみなさい」という、発言があった。講演者の多くが黙る中で、私は、可能性があるのではないかと主張したが、推測でしかないことに弱さを感じた。そこでこの講演会が終わった後、畑違いであることを顧みず、酸性霧の暴露実験を始める決断をした。当然、一人ではできるはずもないので、当時、本学の生物教室を主宰しておられた大塚先生のご協力を得て、仕事を始めた。苗木をどこで入手するか、酸性霧をどのように発生させるか等、最初は全てが手探りだっ

たが、継続して噴霧を続けることにより、酸性霧でモミの葉は直接的な影響を受けることが確認された。この研究成果は国内学会での発表までは問題なく進んだが、外国の英文誌に投稿したところ、これまでの分野とは全く違う植物の専門家の査読がなされ、主に結果の統計的处理を巡って膨大なコメントが返ってきた。生物は個々に耐性が大きく異なるためであるが、分野による慣習や考え方の違いに驚きながら、丁寧の一つずつ反論し、無事掲載させることができた。酸性霧と森林衰退に関する研究の結論としては次のようにまとめられると思う。

pH3.5 以下の酸は植物の葉に直接的な影響があるとされているが、雨ではそこまで下がることは滅多にない。しかし、都市近郊山間部では、近年は改善されてはいるものの、酸性度の高い霧が頻繁に発生している。その主な原因は、都市部で発生する窒素酸化物が酸化されて硝酸ガスとなり、大気中の液滴量が少なく液滴径も小さい霧に高濃度で取り込まれることによる。酸性霧がモミの葉に付着するとクチクラワックス層を溶かし、葉の内部のカルシウムイオン等を溶かし出す。現場で被害のないスギの場合、酸性霧でも葉からのワックス層の溶出がない。オゾンの影響が指摘されているが、高濃度オゾンが共存すると衰退への影響は強まる、というものである<sup>2)</sup>。

霧の研究を開始した後、露にも興味を持ち、研究を開始した。最初は、どうしたら露が発生するのかということから試行錯誤であったが、厚さ 10cm の発泡スチロール上に貼ったテフロンシートの上に、頻繁に明け方に発生することを確認し、本学屋上でスチロールを大型の天秤の上に置いて質量の経時変化を測定することにより露の発生と消滅を感知し、連続観測を行った。露の研究はその後、当研究室の竹内君が取り組み、彼は露の研究で博士号を取得した。その後さらに露だけでなく、微小液滴の科学として霧雨やモヤの研究も始めた。横浜では霧の発生は稀だが、モヤは頻繁に発生する。霧は視程 1km 以内であるが、モヤとは 1km 以上 10km 以内、湿度 75%以上の現象である。霧では液体として試料を集めることができるが、モヤでは液量が少ないため、それができない。試行錯誤の末、モヤの液滴を酸化マグネシウムでコーティングしたスライドガラス上に衝突させて生じる液滴跡の径と個数を測定して大気中液量を求め、エアロゾル中の水溶性成分量から濃度を算出した。この液滴の pH を求めるのがまた一苦労だった。大気中の液量が極めてわずかなので分析時には液量を 1000 倍以上増やさなければならない。他の成分は液量を変えても物質量は変わらないが、水素イオンは液量を変えると成分の解離度が変わるので、単純計算できない。最終的には滴定により酸中和成分量を求め、平衡計算により pH を求めることにより、もや液滴は 0.1M にものぼる高濃度だが、pH は 5 前後となり強酸性にはならない、という結論を得て論文とした。このモヤの仕事は開始して 10 年以上かけてまとめたことになる。

霧の研究に関連しては、霧の国際会議のことに触れなければならない。霧の研究を開始してしばらくして、大河内助手が霧の国際会議が組織されたことに気がついて教えてくれた。それは是非とも参加しようということで、バンクーバーで開かれた第一回国際会議に

二人で出向いた。この国際会議は200人前後の小規模学会であったが、カナダの環境省のシュメナウアーさんの呼びかけによるもので、彼自身は、乾燥地帯にある開発途上国で、雨は降らなくとも霧は発生するので丘の上に霧採取の大きなネットを張り、水を確保しようという活動を進めていた。彼らのロマンに感銘を受けるとともに、非常に家庭的な雰囲気であったことから、この学会のファンになり、日本でも将来是非、開催したいと思った。この学会は3年ごとに開かれたが、2013年の第6回は立候補して日本開催となった。開催にあたって、私が日本の組織委員長となり、東大の植松先生、大阪府立大学の竹中先生、早稲田大学の大河内先生が副委員長となって、会を準備した。また、プログラム委員長にはかつてホフマン研と一緒に仕事をした仲間であるコロラド大学のジェフ・コレット教授に務めて頂いた。この会の準備の話だけでも長くなるので、詳細は割愛する。最終的には、横浜赤レンガ倉庫で開催し、成功裏に終えることができた。成功の鍵は、副委員長の3名の先生方を中心とした組織委員の皆さんの一致団結と運営資金が十分に確保できたこと、それに横浜コンベンションビューロー等の厚い援助にあったと言える。私はこの会議の開催の2年前位から、資金援助の申請書書きに追われ、結果の連絡に一喜一憂したものだ。

以上は、霧の研究を中心とした環境関係の研究紹介だが、研究室では膜法を中心とした分離化学の研究も並行して行ってきた。膜法の研究は疎水性膜とイオン交換膜を用いた研究が主であった。疎水性膜は疎水性物質を選択的に透過するという面白い性質があり、これは生体膜の選択透過にも通じる原理である。主にFEPをテフロンメンブランフィルター上にコーティングした膜を用いて研究を進め、この工業的な利用も期待したが、透過特性を明らかにすることまでで時間切れになりそうである<sup>3)</sup>。もう一つはイオン交換膜の研究で、これは濃度勾配を駆動力として、膜内に担持した様々なイオンとの相互作用を利用した選択透過である。また、二枚の膜を使い、酸溶液/陽イオン交換膜/塩溶液/陰イオン交換膜/アルカリ溶液、と配置すると塩溶液中の陽イオンと陰イオンがそれぞれ水素イオンと水酸化物イオンとイオン交換し、水素イオンと水酸化物イオンは反応して水になる。このシステムは脱塩に使えるということで、中和透析法 (neutralization dialysis)<sup>4)</sup> と銘打って論文化した。発表当時は多くの会社の研究者に注目されたが、その後も東欧とロシアの研究者が関心を持ち、私がこの研究をやめた後もこの方法の研究論文が幾つか出されている。

2011年、福島原発の爆発事故により、大量の放射性物質が広範な地域に拡散した。私は分離科学を研究するものとして、日本のこの大問題の解決に少しでも役立ちたいという思いから、対処法を様々な検討した。その結果、除染廃棄物中のセシウムを電気泳動で移動させ、特異的な吸着剤を用いてセシウムイオンのみを除去し、廃棄物を減容するという技術の開発を現在進めている<sup>5)</sup>。

### 3. 教育活動を振り返って

以上に述べたように研究活動を進めたが、研究室運営や大学行政との関わりについても触れておかなければならない。

本学に赴任して東大の少人数の研究室から、多数の学生を相手にすることに戸惑ったが、特に鮮烈な印象は卒業研究発表会だった。

当時は階段教室で学科の全教員が揃って、3日間くらい朝から夕方まで開かれていた。発表後の質問は厳しく、学生諸君は立ち往生するので、たまたま私が立って質問に答えたものだった。当学科は以前から軟式野球が盛んで、野球の強さで研究室が序列化されているような雰囲気を感じたので、私は学生諸君とともに、野球の練習に打ち込んだ。私の右手の薬指は曲がっているが、これはその時の練習での突き指によるものである。最初は学科の雰囲気に馴染めず、反発していたが、次第に学科に溶け込んでいった。印象に残った先生としていずれも故人となった辛先生、西久保先生、山村先生を挙げておきたい。辛先生は、包容力のある懐の深い親分肌の先生であった。西久保先生は、とても鋭い方であり、最終目標は非常によく一致して共鳴するものがあつたが、どういうわけかそのプロセスは180度異なつた。そのため、私が講師になって教室会議に参加するようになると対立することが多かつた。このころの学科の教室会議の雰囲気は自由活発であり、激しく議論しても最終的に決まったことは皆で協力して実行しようという雰囲気で、集団のあり方として理想的なものであつた。山村先生は私が助教だった頃に企業の研究所長から転身して赴任された。非常に学生思いの先生で、研究室学生の父兄会を毎年開かれていたが、そういう大学の研究室を私は聞いたことがない。また、飲み会を研究室でよく開いておられたが、学生から青年らしい人生の悩みを引き出して議論することのできる先生だった。

私は最初の6年間は助手であつたが、その後、研究室を主宰することになった。試行錯誤の連続であつたが、学生諸君と気持ちをつにして初めて、仕事は発展する、という思いで研究を進めてきた。その間に4人の方に助手になっていただき、それぞれに協力して仕事を進めていただいた。早下助手、大河内助手、松本特別助教、南齋特別助教であり、現在それぞれ、上智大学教授、早稲田大学教授、山梨大学准教授、静岡理工科大学准教授として活躍している。なお、最後の3年間はベテランの松野技術員が当研究室に配属され、厳しくも暖かい実験指導をしていただいている。

研究室運営の中での不幸な出来事として、A君の自殺がある。ある日の早朝、教授室で学生が硫化水素で自殺しているから、至急、大学に来るよという事務連絡があつた。急いで大学に出向くと、多くの事務職員の方が23号館の前に待機していた。消防の方はすでに入り、危険はなさそうだということで、私は他の事務職員の方とともに23号館に入り、A君の亡骸にも対面した。世を憐んだ遺書もあつた。直接の動機はわからないが、その頃は就職活動の時期だったのでそれが一因ではないかと推測された。その日の午後には学生部長等とともに、A君のご自宅に伺い事実関係を報告した。お通夜とお葬式には研究室の学生や卒業生が沢山参列してくれた。通夜の晩、学生諸君より少し遅れて会場を出たが、出口で皆が待っており、その無言の気遣いが有難かつた。その後、一周忌、三回忌、七回忌とお墓参りをして、ご両親とも話す機会があつたが、「研究室の様子で気づいてもらっていたら」と言われたのが心に残つた。

この事件の後に、中島学長から学生生活支援部長になってほしいという話があった。私はA君の寂しさを汲み取れなかったことへの贖罪の意味もあって、引き受けることにした。就任後、まずは学生諸君の希望に応えたいと思い、本学で発行されている学生生活調査報告書の中の学生諸君の声を集めているページを丹念に読んでみると、野放図に学内で喫煙が行われていることに多くの不満があることが読み取れた。そこで、学内を禁煙にする活動に取り組んだ。そのためには、喫煙施設を作ることと、喫煙室以外での喫煙を取り締まる規則作りが必要である。事務局との議論を重ねて、喫煙施設作りは順調に着工されたが、規則作りは難航した。最初は徹底を図り、喫煙所以外での喫煙を厳格に取り締まるために違反者の本人特定の方法までを織り込んだ規則を作り、全学部の教授会にかけたところいくつかの教授会で反対された。止むを得ず、違反者特定部分を弱めて、再度提出し可決された。振り返れば、最初の案は否決されてよかったと思う。それから何年か経ち、少なくとも学内での違反者は根絶されたと言っていいだろう。厳格に適用することだけがいいわけではないことを学ばされたことだった。この職にあった4年間は常に緊張を強いられたが、様々な経験をさせていただいた。

大学での教育行政に関しては学科主任のほか、法人評議員に推挙された。教学選出の法人評議員はあまり発言しない慣習になっていたようだが、私は学部から一人選出されているのだから、学部を代表して発言しなければという強い思いで臨んだ。院生の授業料減額や、教育研究活動条件の改善に関する要望での発言が多かったと思う。法人評議員の2年目の途中から副議長に指名され、評議員会を活発な議論の場に、と呼びかけて法人評議員としての活動は終わった。

最後に、最も重要な講義のことにも触れておく。授業は分析、機器分析、環境化学、演習、実験等、多くを受け持った。残念ながら、学生諸君の私の授業への評価は散々であったし、試験のでき具合もがっかりするのが毎回のことだった。しかし中には1年から毎年試験を受けて、4年目で必死に勉強したのか非常に良い成績を取る学生もいて、それは大変嬉しいことだった。やって良かったと思うことは、授業の終了後、今日の授業でわかったことと疑問点を書かせたことである。次回の授業ではその中の主な質問に答えるようにしたが、中には非常に面白い観点からの質問をする人がいたり、聞く立場の受け取り方を知ることにもなり、非常に有意義だった。

#### 4. おわりに

赴任最後の年に当たって、これまでの学生諸君の実験ノート等を整理していると、一人一人のことが思い出されるとともに、たくさんのデータをきちんと整理して記録している多くの卒業生に頭がさがる思いである。これまで、研究室で120報程度の原著論文を著すことができたが、いずれも学生諸君との共同作業の賜物であり、学生諸君の献身的な学問上の貢献に心から感謝したい。

本学での42年を振り返ると、やりたいことを自由にやらせていただき、大変ありがたいことだったと思う。本学、特に当学科のこ

とを振り返ると、全教職員が学生諸君に愛情を持って臨んでいたことが学科の特質であったと言える。私は、昔の日本の長屋のように研究室を超えて学生や教職員が触れ合う当学科が好きだった。人との付き合いはまず挨拶からであるが、近年は挨拶しない学生が増えてきたようで残念に思う。当学科の良き伝統を、是非いつまでも続けてほしいものである。

最後にいくつか要望を述べておきたい。2021年にはみなとみらいにキャンパスがつくられ、平塚から理学部が移転してくる。是非、力を合わせて理工系研究拠点になってほしい。研究の発展には人材を要すが、若い人を大事にしてほしい。特に特別助教に在外研究の機会を与えてほしい。私自身もそうであったように若い時に外国で学ぶことは得るところが大きく、本人の成長につながるの間違いはない。特別助教は長くても10年の任期制なので、在外研究員で得たことが短期的には直接本学の発展に貢献できないかもしれないが、若い人を在外研究員として海外に派遣することは日本の科学の発展に本学として貢献することになる。また、多くの活発な研究者が神奈川大学を拠点に生み出され、大学の枠を超えた研究のネットワークがつくられることにもつながるであろう。もう一つ望みたいことは、院生だけでなく学部学生諸君の学会発表に対する旅費宿泊費の援助である。本学の理工系学部の学生の大多数は4年で卒業している。彼らに学会参加の機会を与えると大きな刺激が得られ、大学院への進学意欲も高まることは経験的にも実証されるところである。学生は卒業「研究」を行っている以上、その研究経験の一環として発表する機会を得ることは教育的にも意義深いことではないだろうか。研究は、学生と教員が一体となって進めて初めて大きく前進するものである。本学の研究レベルをさらに上げるためにも是非とも実現してほしい。

本学では建学の精神として、質実剛健、積極進取を挙げている。積極進取はわかりやすいが、質実剛健は分かりにくく、詰襟学生服姿の蛮カラ学生をイメージする向きもあるかもしれない。私は質実剛健とはスタンドプレーではなく、目立たないがやるべきことをきちんとやることではないかと思う。本学においては例えば、保健室の学生への手厚い支援態勢、富士見研修所の贅沢ではないが心のこもったもてなし、学内の行き届いた掃除等に現れていたと思うし、それは担当者の持つ学生への愛情と誠意によるものと思う。私はこのような地味なことに心を込めていく神奈川大学の姿勢こそ、誇るべき日本の若者を作る素地となるのではないかと思っている。

最後に、神奈川大学の一層の発展を願うとともに、関わっていただいたすべての皆様と神奈川大学にお礼を述べて、終わりとしたい。ありがとうございました。

#### 引用文献

- (1)「カリフォルニア工科大学滞在記」、神奈川大学工学研究所所報、11、87-95 (1988).
- (2)「霧と露の化学とその環境影響に関する研究」、大気環境学会誌、50、59-66 (2015).
- (3)「疎水性物質の膜分離システム」、ケミカルエンジニアリング、63、337-340 (2018).
- (4)「中和透析法による脱塩」、日本イオン交換学会誌、9、20-25 (19980).
- (5)「除染廃棄物減容のための電場によるセシウムイオンの除去」、環境浄化技術、18(5)、25-28 (2019).



# 千変万化の風に吹かれて

矢島 幸信

## Blowing in the various winds

Yukinobu YAJIMA

### 1. 最近のこと (2018 年)

最近、「 $1+1$  は  $2$  になるとは限りません。コンピュータの世界では、 $1+1$  が  $10$  にもなります。新郎新婦も力をあわせれば…」と息子の結婚式でスピーチをした。その後、「え、 $1+1$  が  $2$  にならないんだって！」と妻が多くの人に言われたそうである。演算の定義が異なれば、いろいろな答えが出てくる。それだけのことで、一般の人がそんなにインパクトを受けたことにむしろ驚いた。

数学が好きな学生に、その理由をアンケートで尋ねると「数学の答えはひとつ」というのがよく見られる。ところが、ここ  $2, 3$  年の私の研究テーマは「数学の答えはひとつではない」である。すなわち、ある結果が成り立つことも、成り立たないことも、共に正しいということである。「そんなのは論理ではない！」と思うかもしれない。しかし、現実的に言えば、国が異なれば、同じ行為でも、一方では合法的だが、他方では罪に問われる。論理を駆使していても、結論が反対になるのは珍しくない。

何故そんなことが起こるのだろうか。実は「公理」という概念があり、それは証明せずに認める数学の論理の大前提である。従って、真逆の公理からは、真逆の結果が得られても何ら不思議ではない。それでも、どちらか一方は専門家から見ても、予想外の結果になることが多い。そこが、この研究の醍醐味である。

### 2. 私の人生を決めた 2 つの論文 (1976 年)

横浜市立大学の文理学部を卒業後、その大学に大学院がないので、東京教育大学大学院の理学研究科修士課程(現在の博士課程の前期)に入学した。そのまま就職せずに自由な時間が欲しかった私には、大学院入試のための情熱のない数学の勉強は本当につらかった。その頃の大学院の入試はかなり狭き門であった。にもかかわらず、やった問題が出題されたため合格できた。しかし、大学院に進学したものの、数学に対する情熱は生まれてこなかった。

そんな訳で、数学に対する能力などあるとは到底思えなかった。

実際、修士論文は書いたが、活字にならなかった。それでも、数学をやった証拠だけでも残したいと、筑波大学大学院の博士課程(現在の博士課程後期)に進んだ。そして最初に解いた問題は、すでにやられていた。ロシア語の論文だったので、気付かなかったのである。その後のある日、それに関連して、二日酔いのぼんやりした頭でひらめいたことを、論文にしてみた。指導教授は「特殊過ぎる」と評価しなかったものの、K 教授は「なかなか面白いから、海外の専門誌に投稿してみなさい」と言ってくれた。それに従ったところ、その論文は予想外に受理された。しかし、所詮思いつきだけで、苦勞をしていない分だけ、何の自信にもつながらなかった。

1976 年 1 月のこと、偶然にも自分の意識をこれまでになく高揚させることができた。不思議なくらい早くその効果は表れた。1976 年 2 月から 3 月にかけてのことであった。私は 1950 年 3 月生まれなので、26 歳になる直前のことである。最初の二日酔いの論文が、きれいな形になることに気が付いた。しかし、指導教授にはまたも「特殊ですね」と言われた。一方、K 教授は「面白い」と海外の専門誌への投稿をまた勧めてくれた。私も自信があったので、26 歳になった直後くらいに、これを論文にしてアメリカの専門誌に投稿した。それも受理された。実際、その論文は少なからず引用されている。

その論文投稿後に一息ついてから 1 週間後であろうか、突然にポーランドの数学者 Telgarsky の問題の答えがひらめいた。ひらめきが立て続けに訪れ、自分でもびっくり仰天した。今度は指導教授にも「海外の専門誌に投稿すれば、受理されるだろう」と言ってもらえた。振り返ってみると、公開された問題を解いたのは、今までの 45 年間で、実はこれが最初で最後のものだった。論文にまとめた後に、誰かが提起した問題の答えだったと知るとは、何度かあったけれども…。

夜中に目が覚めて、自分の頬をつねってみたが、(寝ぼけていたため)痛くなかった。「やはり夢だよな」と思いまた寝た。しかし起きてみて、夢でなかったと知ったとき、喜びに体が震えた。こうして、私は数学の研究には、感情が大いに関係することを体験した。私にも数学研究の能力があるかも…と、初めて感じた。そして、数学者になりたいと真剣に思い始めた。

1 年後の 27 歳になった頃、K 教授の推薦で本学工学部の非常勤講師として採用された。これは 1 年後の専任採用への道が開かれてい

---

教授 数学教室

Professor, Dept. of Mathematics

ただけに、喜びもひとしおであった。こうして、私は1978年4月に本学に専任教員として採用された。たった2つの論文が、私の人生を決めたといっても過言ではなかった。

### 3. 学位を取ったとき (1980年)

1948年にStoneの定理により世界の位相空間論の幕は明けた。同年のMoritaの論文により日本の位相空間論は産声を上げた。それ以来、彼は日本の位相空間論を牽引してきた。その日本の位相空間論の中で花形のひとつは、積空間の研究であろう。通常、位相空間 $X, Y$ に対して、その積空間 $X \times Y$ は元の $X, Y$ の位相的性質を保たない。ここが面白いところと言える。この分野の日本の研究者で、積空間の研究論文がない人の方が珍しかった。

私は1979年に「位相ゲームと積空間」と題する論文を書いた。K教授はこれを学位論文にまとめるように指示してくれたが、他大学のある教授が「この結果ではつまらん」と批判した。それに対して、私の感情は危機感と反発心から異常に高揚し、反論すべく「位相ゲームと積空間Ⅱ, Ⅲ」と2つの長い論文を立て続けに書いた。

何はともあれ、3部作の最初の論文で予定通り学位を取得した。1980年1月のことである。それにしても、その痛烈な批判がなければ、学位取得で満足してしまい、それ以上深くは考えなかったかもしれない。この3部作で始めた積空間の研究は、様々に形を変えて生涯の研究テーマになろうとは、その時には想像すらできなかった。

### 4. 中国長春にて (1984年)

K教授から中国の長春師範学院における「一般距離空間論」の講義を依頼され、1984年8月中旬から2か月間、中国に滞在した。そのときのことは、随想[1]にて執筆している。英語があまり話せない私でも、何とかそれなりに楽しい講義をこなしたようである。受講生は長春師範学院の大学院生と他大学の先生たちである。

これを契機に、国際会議などで何度も訪中することになった。当時18歳のかわいい少年だった受講生と10数年後に再び会って、時の流れを感じたこともあった。受講生のひとりである師維学さんは、その後日本に留学して筑波大学で学位を取り、南京大学の教授となった。師さんには2012年の南京での国際会議に招待していただいた。さらに2015年には、南京大学で私のために会議を開催し、私を含め家族3人を招待していただいた。師さんご夫妻には、大変お世話になり深く感謝している。そのとき訪れた南京や上海の高層ビル群を見るにつけ、1984年当時からは、にわかに信じ難い中国の進展ぶりを思い知らされた。

### 5. 集合論の壁 (1990年頃)

この頃の世界の研究の流れは、一般位相幾何学(位相空間論)から集合論的位相幾何学に、大きく流れを変えようとしていた。アメリカでの1年間の国外研修を通して、それを肌で感じた私は、集合論を基礎から本格的に学ぶことにした。そこで、ただ1冊の本を3ヶ

月間ひたすら読んだ。ところが、重要な後半部分になると理解はできるものの、さっぱりイメージがつかめないのである。イメージをもつことを研究の基本にしてきた者には、絶望的な状況であった。結局、集合論を諦めて、また積空間の研究に戻ることにした。そうすると、今までとは別の観点から積空間を眺めることができた。すぐに新しい研究が始まり、4~5年くらいのうちに完成した。このとき書いた5編の論文はきれいな形だったり、予想外の形だったり、特に気に入っている。しかし、世界の流れから外れていたため、期待したほど当時に引用されなかったのは残念であった。

集合論を多少なりとも使えるようになるには、集合論の研究者との共同研究が始まるまで、それから20年もの長い時を待たねばならなかった。

### 6. 本学での国際会議 (1999年)

本学において「位相数学とその応用に関する国際会議」が、1999年8月23日から27日まで開催された。その準備ために必死だった2年間は今は懐かしい。このときの詳細は随想[2]に記述している。

当時は不景気だった。参加者が162名という小規模の国際会議ながら、様々な人の協力で参加登録料を除いても、1000万円以上をかき集めたことは奇跡に近かった。この潤沢な資金のおかげで、イベントとして横浜能楽堂にて能の実演を開催し、ホテルニューグランドで生演奏付きの豪華なバンケットも行うこともできた。

多くの人に寄付していただいたので、会期中に市民講座を開くことにした。視聴者の応募は最初全くなかった。そこで「数学を手話で表現する」というアイディアが出た。しかし、対象が特別なだけに、その手話通訳者が見つからなかった。ところが何と開催日の一週間前に、妻の伝手で手話通訳者を4人も見つけることができた。それも、彼らは数学の手話通訳ができるほどの高いレベルだった。その直後に朝日新聞でこの市民講座の記事が掲載されると、定員100人をはるかに超える申し込みがあった。実際、会場では改めて椅子を用意しなければならなかった。それにしても新聞報道後も手話通訳者が見つからなかったら…、と思うと今でも冷や汗が出る。私の人生の中でも、これは間違いなく奇跡だった。

取り敢えずは大成功のうちに国際会議を無事に終えることができた。後にその成果も専門誌の特別号[3]として刊行された。今にして思えば、これも私の能力に関係なく、その時に吹いた風が、私を想像以上の場所に運んで行ってくれたように思える。

### 7. 理工再編 (2011年頃)

この頃は全国的に工学部が不人気となりつつある時期であった。本学も何らかの手を打つべく、理工再編の議論がもち上がった。そんな状況下で、工学部数学教室は理学部へ移籍することを決定していた。ある時一瞬の予期せぬ風が吹き、私は移籍反対の立場を明確にできた。教室内では完全に孤立無援の立場になったものの、その選択に迷いはなかった。

数学教室は、この移籍を当時の S1 工学部長に申し出た。しかし、S1 教授は数学の重要性を理解していたので、教授会でその移籍案を（数学教室を除く）ほぼ全会一致で否決した。ところが、残念なことに彼は定年退職となり、代わりに S2 教授が工学部長となった。彼はこの理工再編を成功させるよう命を受けていたようだ。S2 工学部長には「君は少数意見だ」と言われた。教授会では

「重要事項の採決には 3 分の 2 以上の賛成が必要」という条項がある。これに対して、彼は念のため

「この条項を適用すべきかどうかを先に採決する」という実質的に無効化する新手を用いた。論理的に全くおかしい話であるが、この手法が功を奏し、56 : 44 で再編案は可決された。私は最初の採決で負けたら、諦めようと思っていた。採決までの間、教授会において学科でただひとり私を応援してくれた S3 教授には、結果は申し訳なかったが、とても感謝している。また今年 (2019 年) の 7 月に、偶然にも S1 先生にお会いした。彼にも私の力不足を謝罪する機会に恵まれた。上記では、S 教授が 3 人にもなってしまったが、もうひとり数学教育の重要性を理解してくれていた N 教授が、この頃に体調を崩して定年前に急逝された。驚いたとともに、これも大きな痛手であった。

結果的には、工学部数学教室の 7 人の専任教員と 20 人の学生定員を理学部に移して、理工再編の幕を下ろした。当然、このお茶を濁す程度の再編に、他学部からかなりの集中砲火が浴びせられたが、それでもいつの間にか、この再編劇は収まった。

## 8. 数学は役に立たない！ (2013 年頃)

理工再編当時の私は、個人的なトラブルとも重なり、1 年半もの間不眠症となっていた。最後の方はほとんどノイローゼ寸前で、両方が終わったときは「助かった」というのが実感であった。ほとんど同時に、さわやかな風が不眠症を一瞬にして吹き飛ばしてくれた。しばらくして、その苦しかった 1 年半を、振り返ってみた。私は意識せずして、普段の思考方法を用いていたことに気づいた。それで思いついたことが、

「数学はもともと役に立たないものなんだ！」である。誤解を避けるため、もう少し詳しくに言うと「数学は役に立たない、知識としては！」であり、さらに言えば、

「役に立つのは、数学的な考え方！」であると。特に「私の研究する抽象数学などは、世の中の役に立たない」と長い間引け目を感じていたことが、この事実で嘘のように吹き飛んでいった。そして、それは誰にでも役に立つものであると思いついた。この事実を、少しでも多くの若い人たちに知ってもらいたいと思い始めた。偶然にもその頃、地方で高校生への数学の啓蒙活動の機会があった。本格的な皮切りは、本学の「高校生公開講座」だった。最初に話したときは、高校生にほとんど反応がなく、気持ちが折れた。しかし、高校生が書く最後のアンケートを見

て、私の考えが彼らに少なからず影響を与えていることを知った。

そんな頃、若いアニメーターとの出会いがあった。話をするだけでは、どうしてもインパクトが弱い。もっと高校生の心をつかむ何か欲しいと感じていただけに、「数学をアニメで表現しよう」という思いつきは極めて自然であった。アニメーターも駆け出しだったので、最初はボランティア同然の制作費で協力してくれた。

## 9. ひらめき☆ときめきサイエンス (2014~2016 年頃)

日本学術振興会による科研費の社会還元事業の一環として「ひらめき☆ときめきサイエンス」がある。2014 年度に申請した

「アニメとイラストでわかる 人生に何故数学が必要か」が採用されたが、タイトルが堅かったためか定員 30 名のところ 15 名しか集まらなかった。そこで 2015 年度は

「アニメとイラストで発見！嫌いなひとほどドキドキする数学」とタイトルと内容を大幅に変えて申請した。定員は 20 名と控えめに設定したら、なんと 103 名の申し込みがあった。やむを得ず、30 名を抽選で選ぶことになった。2016 年度は同じタイトルで定員 33 名にて申請した。これでも 60 名以上の応募があったが、抽選でちょうど 33 名の参加者となった。驚いたことに、17 名の父兄参加があった。この 3 回の講座を通して、中学 1、2 年生の参加が一番多かった。複数のリピーターもいた。最後のアンケートを見て、「数学は嫌いで苦手だけれど、できれば好きになりたいと思っている生徒は意外と多い」と実感した。それから私は数学の啓蒙活動に、ある意味では研究以上に情熱を傾けるようになった。しかし、私の油断から 2016 年度を最後に、この啓蒙活動は頓挫してしまった。もしかして待っていてくれたであろう中学生には、誠に申し訳ないことだった。



2016 年度ひらめき☆ときめきサイエンスを終えて

## 10. 嬉しかった最優秀採択 (2015 年)

アニメを数学で表現する発想は良かったのであるが、アニメ制作を継続するには資金が必要になる。いつまでもアニメーターのボランティアに頼れない。そこで、神奈川県主催の「大学発・政策提案制度」を知り、以前に本学での採用実績も 2 件あったので、「神奈川から始める数学嫌いを変える教育アニメーションの開発」という派手なタイトルで応募した。

2015 年 7 月 31 日のたった 8 分間のプレゼンのために何度も繰り

返し練習した。緊張して声が普通でないのが、自分でもわかった。ただ、最後の審査員の質問に、ある種の温かさがあったので、多少期待できるような気がした、その結果、例年より申請数が少なかったこともあり、運よく最優秀採択の荣誉に預かった。この採用を契機に、神奈川大学の別の事業にも立て続けに採択された。この事業自体は2年間のみで終了したが、現在でも県教育委員会の協力のもとに、アニメ制作を継続している。制作したアニメはすでに10本を超え、本学公式 YouTube のトップ画面にある教育用アニメーションの再生リストから誰でもいつでも再生できる。また工学部数学教室 HP からアクセスして視聴することもできる。



「平成 27 年度大学発・政策提案制度」授賞式

## 11. 研究を引退して、また復活して (2014 年～2017 年)

アニメ制作を今後の仕事と決めて、2014 年の始め頃、研究を引退する決意をした。そのとき「もうレフェリーをしないで済む」とホッとしたのをよく覚えている。

2015 年秋の中国での国際会議に招待された。引退していたので、本来見送るべきだった。しかし、私の最初の研究上の恩人である Telgarsky 氏が 71 歳で急逝したので、彼の追悼講演をという依頼だった。それで招待を受理した。その講演の最後で「歴史上の数学者オイラーがタイムスリップして、数学を嫌いな少女と対話する」という内容のアニメの短縮版 (英語字幕付き) を上映した。その時の皆の反応は、割れんばかりの拍手喝采であった。

アニメ制作の資金獲得も順調に動き出したこともあり、この中国での講演を契機に、研究に戻る決心を固めた。2 年間の完全なブランクがあったものの、共同研究者である平田康史氏の強力なサポートもあり、2016 年の春には研究復帰の手ごたえを得た。

2017 年秋には、30 年前に国外研修で 1 年間過ごしたアメリカのオーバン大学に、国際会議のため再度訪れることができた。そこでこの研究発表では、この随想の最初に述べた公理によって全く異なる結論となる結果を発表した。意外な結果だったので、多くの人が身を乗り出して聞いてくれた。そして、最後にアニメを上映した。私を 30 年前に世話してくれた Gruenhage 教授は英語字幕の作成に協

力してくれた。現在アップしている「線形と代数と世界 Part 1」の英語字幕の指導も、帰国後に彼に依頼した。著名な数学者には、誠に恐縮する仕事ではあったが…。



アニメ「線形と代数と世界」の英語字幕版

## 12. 教員免許状更新講習 (2015 年～2019 年)

小、中、高校の全教員は、教員免許状の更新のために、10 年以内に「必修領域 (6 時間)、必修選択領域 (6 時間)、選択領域 (18 時間)」の受講を法令で定められている。中学、高校の数学教員は「数学」を選択領域として、1 コマ 90 分の講習を 1 日 4 コマで 3 日間連続して受講する。かなりのハードスケジュールである。

本学ではこの制度の数学講習を最初に実施したのは 2009 年度である。その後に理工再編の組織替えなどがあり、本格的には 2012 年度から開始されて、現在に至っている。最初の 3 年間は理学部で主催し、2015 年度から 2019 年度までの 5 年間は、工学部で主催するようになった。最初の頃は講師として外部からの助っ人をお願いせざるを得なかったが、「なるべく本学の教員だけで」という要請があり、現在では工学部と理学部の講師だけの陣容となった。

毎年の受講生数は約 30 名だが、中学と高校の教員がほぼ同数で、1, 2 名の小学校の教員といった分布である。工学部の卒業生が来ることもあるし、地方からわざわざ来る受講生もいる。幸いにして、受講後の筆記試験で不合格になった受講生は今までいない。

数学の専門分野の講義よりも、数学教育に特化した内容として「教材、教具、アニメ」などのコンテンツを用いての講義に重点をおいた。先に述べた中高生への数学の啓蒙活動で挫折したので、「中学生や高校生の頃に、先生が数学をこんな面から語ってくれたら…」という思いから、かなり力を入れるようになった。

他の先生方の講義内容が評判良かったこともあり、申込受付開始の当日に定員オーバーという珍事もあった。講習期間に台風が直撃されて、時間をどう確保するか焦ったこともあった。遅刻してきた受講生をどのように扱うかの問題もあった。3 日間だけは緊張するが、始まればすぐに終わってしまう感もある。最後に受講生にお願いするアンケートは、毎年の大きな反省材料になる。大方は感謝の意見を述べてくれるが、結構厳しい意見も幾つか出てくる。

今後の運営は次の主催者にバトンタッチするが、過去 5 年間の経験が多少なりともお役に立てばと思う。本講習の評価は兎も角とし

て、何よりこの仕事を無事に終えたことにホッとしている。

## 12. 感謝

本学における私の 42 年間の活動を振り返りながら、想いに上ることを順に書きつづった形になってしまいました。時の節目で巻き起こる千変万化の風に吹かれて、軽い木の葉のように、私は自分の意志とは別に、ただただ行き着くべき場所に吹き飛ばされてきたように感じます。

その中でも K 教授、すなわち児玉之宏先生（筑波大学名誉教授）との邂逅は、間違いなく私にとっては最初の大きな風でした。人生で貴重な体験を何度もさせてもらい、深く感謝しています。

数学教室の山崎教昭先生と鈴木友之先生には、多くのことで協力してもらいました。ピンチの時には守ってもらえました。にもかかわらず、理工再編およびそれ以降のことを思い返すたびに、当時の主任としての判断に思い残すことが多く、計画倒れに終わった仕事もあります。おふたりの先生には、私の力不足を詫びつつ深い感謝の念を表したく思います。

最後に、私にとっての最大の風は、やはり何と言っても家族です。この家族があったからこそ、いくつもの大きな山を乗り越えることができたし、予想以上に充実したこれまでの人生を送ってこれました。チーム矢島としての家族全員に、深い感謝の意を捧げます。

他にも感謝すべき人が何人もいますが…。本学に奉職して以来ほぼ 42 年、人生の半分以上にもかかわらず、あっという間だったような気も致します。多くの人に感謝できる幸せを感じつつ、ここで筆をおくことに致します。

## 参考文献

- [1] 矢島幸信, 中国長春での日々 (神奈川大学工学研究所所報, 第 8 号) 120-123. (1985).
- [2] 矢島幸信, 国際大会を終えて (神奈川大学工学研究所所報, 第 23 号) 140-146. (2000).
- [3] Y. Yajima (ed.), Proceedings of the International Conference on Topology and its Applications August 23-27, 1999 Yokohama, Japan, Topology and its Applications, **122** (1-2), 1-466 (2002).



## 10. 工学部通信

1. 研究活動(2018年10月～2019年9月)
2. 講演会開催記録(2018年10月～2019年9月)
3. 研究分野紹介および2018年度博士論文・修士論文・卒業研究テーマ一覧

1. The List of Research Activities(2018,Oct.～2019,Sep.)
2. Public Lectures(2018,Oct.～2019,Sep.)
3. The List of Laboratory Activities and Student Papers(Academic Year 2018)





# 【 1 】 研 究 活 動

(2018年10月1日より2019年9月30日までの期間に公表したものについて記す)

## 凡例

### 研究活動成果報告の分類

- ・ 研究論文 I : 査読のある学会誌に掲載された研究論文
- ・ 研究論文 II : 査読のある会議の会議録に掲載された研究論文
- ・ 建築作品 : 建築学科
- ・ 口頭発表 : 会議の会議録に掲載された研究論文
- ・ 学術誌 : 専門学術誌に掲載された論文等
- ・ 著書
- ・ 調査報告書 : 学会等の委員会や公的機関が公表した調査報告書、科研費の最終報告書
- ・ 講演・展示会 : 学会等の招待講演や基調講演、展示を含む
- ・ 助成金 : 科研費等
- ・ 受託研究
- ・ 特許(取得)
- ・ 特許(公開)
- ・ 海外出張 : 学会、国際会議の論文委員会、座長、調査等による出張
- ・ 褒賞
- ・ 学位 : 学位授与
- ・ その他

## 機械工学科

### 研究論文I (レフェリー付き論文)

1. M. Miura, T. Nagasaki, Y. Ito, Experimental study on heat transport induced by phase changes associated with liquid column oscillation in pulsating heat pipes, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 133, 652-661 (2019).
2. M. Sariyeva, L. Yao, K. Sugawara and T. Egami, Synchronous position control of robotics system for infrastructure inspection moving on rope tether, *Journal of Robotics and Mechatronics*, 31(2), 317-328(2019)
3. Q.Wang, S.Ri, H.Tsuda, Y.Takashita, R.Kitamura and S.Ogihara, Interlaminar Shear Behavior of Laminated Carbon Fiber Reinforced Plastic from Microscale Strain Distributions Measured by Sampling Moiré Technique, *Materials*, 11(9), 1684 (2018.11).
4. M. Adamy, K. Matsumoto, C. Hopmann and T. Tanaka, Mechanical, rheological and thermal properties of extruded graphene filled PP composites produced in a twin-screw extruder, *Journal of Plastics Technology*, 15(2), 120-146 (2019).
5. K. Matsumoto, T. Ishikawa and T. Tanaka, A novel joining method by using carbon nanotube-based thermoplastic film for injection over-molding process, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 38(13), 616-627 (2019).
6. Y. Nakao, R. Kirigaya, D. Fedorynenko, A. Hayashi, and K. Suzuki, Thermal characteristics of spindle supported with water-lubricated hydrostatic bearings, *International Journal of Automation Technology*, Vol.13, No.5, pp. 602-609, (2019).
7. T. Morokuma, T. Ohara and Y. Utaka, Combination of laser interferometric and laser extinction methods for precise thickness measurement of liquid film between coalescing twin air bubbles, *International Journal of Heat and Mass Transfer*,

127, 154-160 (2018).

8. Y. Utaka, T. Xie, Z. Chen, T. Morokuma and H. Ohkubo, Critical heat flux enhancement in narrow gaps via different-mode-interacting boiling with nonuniform thermal conductance inside heat transfer plate, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 133, 702-711 (2019)
9. T. Yoshizawa, T. Mochida and T.Yamazaki, Study of analysis method of interior noise in railway cars by means of ray tracing method, *JSME Mechanical Engineering Journal*, 6(5), 18-00449 (2019).
10. 館山哲也,高野敦, CFRP 強化軽量ハイブリッドロケットエンジンの開発, *航空宇宙技術*, 17,237-243 (2018).
11. 小島翔, 藤本滋, 諸星陽裕, 一木正聡, La 添加 PZT 素子の発電特性評価, *電気学会論文誌 E*, 139 (9), 323-328 (2019).
12. 中村弘毅, 村山誠英, 中満翼, 川端直人, 山崎徹, 実験 SEA による低振動化と軽量化の両立設計手法の提案, *自動車技術会論文集*, 50(2), 424-429 (2019)
13. 村田和宏, 三山壯, 村山誠英, 中村弘毅, 中満翼, 川端直人, 山崎徹, 振動騒音低減のための二段階設計法の実験的検証, *自動車技術会論文集*, 50(3), 810-815 (2019)
14. 中村弘毅, 渡邊亮太, 加茂利明, 早川昇邦, 飯倉雅彦, 山崎徹, 車体制振ダンパーの減衰特性のモデル化 (第3報) -伝達関数合成法による模擬車体フレームの振動応答予測-, *自動車技術会論文集*, 50(5), 1409-1414 (2019)
15. 池田和正, 山崎徹, 低モード密度領域における実験 SEA の拡張適用, *日本機械学会論文集*, 19-00185 (2019)
16. 福井拓哉, 由井明紀, 北嶋孝之, 研削盤砥石カバーの衝突安全性に関する研究 (飛翔体圧縮強度の影響), *砥粒加工学会誌*, 63 (3), 128-133 (2019).

### 研究論文II (レフェリー付き Proceedings)

1. M. Miura, H. Arai, T. Ogura, H. Ito, Characteristics of Liquid

- Film Formed with Liquid Column Oscillation in Pulsating Heat Pipe (Observation by Using Forced Oscillation System), Proceedings of the 15th International Conference on Flow Dynamics, GS1-20 (Sendai, 2018. 11).
2. Hiroki Mineshita, Takuya Otani, Kenji Hashimoto, Masanori Sakaguchi, Yasuo Kawakami, Hun-ok Lim and Atsuo Takanishi, "Robotic Ankle Mechanism Capable of Kicking While Jumping and Running and Adaptable to Change in Running Speed," Proceedings of the IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots (Humanoids 2019), pp. 529-534 (Toronto, 2019.10).
  3. B. Zhang, M. Kaneko and H. Lim, "Robust Mapping for the Autonomous Mobile Robot Considering Potential Occupied Spaces of Objects," 9th International Workshop on Advances in Networking and Computing, pp. 1-6 (Takayama, 2018.11).
  4. B. Zhang, M. Kaneko and H. Lim "Object Recognition Based Robust Mapping for the Autonomous Mobile Robot under Dynamic Environment," Joint 10th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 19th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, pp. 1-6 (Toyama, 2018.12).
  5. B. Zhang, T. Nakamura, T. Nagai, T. Omori, M. Kaneko, H. Xia, R. Ushioji, N. Oka and H. Lim "Multiple Children Identification and Tracking for the Childcare Assisting System," IEEE 2nd International Conference on Electronic Information and Communication Technology, pp. 1-6, (Harbin, 2019.2)
  6. B. Zhang, M. Kaneko and H. Lim, "Sound Source Localization and Interaction Based Human Searching Robot under Disaster Environment," SICE International Symposium on Control Systems 2019, pp. 1-5 (Kumamoto, 2019.3).
  7. Naoto Tanaka, Shotaro Kobayashi, Hiromu Jin, Bin Zang and Hun-ok Lim, "New Passive Collision Force Suppression Mechanism for Human-Friendly Robot," Proceedings of the 15th International Conference Natural Computation, Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, pp.1-6 (Kunming, 2019.7).
  8. Haibin Xia, Bin Zhang, Tomoaki Nakamura, Takayuki Nagai, Takashi Omori, Masahide Kaneko, Rena Ushioji, Natsuki Oka, Hun-ok Lim, " User Behavior Tracking for Education Assisting System by Using an RGB-D Sensor," Proceedings of the 15th International Conference Natural Computation, Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, Kunming, China, pp.1-7 (Kunming, 2019.7).
  9. B. Zhang, S. Furukawa and H. Lim, "Study on Automatic PID Gain Adjustment for a Four-rotor Flying Robot using Neural Network," Asia-Pacific Conference on Intelligent Robot Systems, pp.1-5 (Nagoya, 2019.7).
  10. Yuta Ishiyama, Yuya Yamamoto, Atsuo Takanishi, Hun-ok Lim, "Jumping Motion Control of One-legged Jumping Robot with Pneumatic Muscles," Proceedings of the 18th International Conference on Control, Automation and Systems, pp.225-230 (PyeongChang, 2018.10).
  11. Naoto Tanaka, Takayuki Iwama, Shunsuke Kumagai, Atsuo Takanishi and Hun-ok Lim, "New Collision Force Suppression Mechanism and Base Control of Human-Friendly Robot," Proceedings of the 18th International Conference on Control, Automation and Systems, pp.29-33, (PyeongChang, 2018.10).
  12. Takuya Otani, Kenji Hashimoto, Ueta Hiroki, Masanori Sakaguchi, Yasuo Kawakami, Hun-ok Lim and Atsuo Takanishi, "Jumping Motion Generation of a Humanoid Robot Utilizing Human-like Joint Elasticity," Proceedings of the 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2018), pp.8707-8714 (Madrid, 2018.10)
  13. S. Yamazaki, D. Fedorynenko and Y. Nakao, Fundamental design study on high-speed aerostatic spindle with water-cooling function, Proceedings of 33rd ASPE Annual Meeting (LasVegas, 2018.11).
  14. Y. Nakao, R. Kirigaya, T. Yaguchi and A. Hayashi, Temperature characteristics of spindle supported with water-lubricated hydrostatic bearings, Proceedings of 19th International Conference of the European Society for Precision Engineering and Nanotechnology, pp. 560-561, (Bilbao, 2019.6).
  15. Y. Nakao, T. Yaguchi, D. Fedorynenko and J. Kusuyama, Effects of shaft-bore water flow cooling of high-speed spindle supported with water-lubricated hydrostatic bearings on thermal stability, Proceedings of the ASME-JSME-KSME 2019, 8th Joint Fluids Engineering Conference, AJKFluids2019-5651, (San Francisco, 2019.7).
  16. T. Kitajima, K. Hanamoto and A. Yui. Study on the workpiece temperature in the side milling of CFRP, Proc. of euspen's International Conference & Exhibition, Bilbao, 452-453 (2019).
  17. S. Sekiya, T. Kitajima and A. Yui, Effect of Edge Radius of diamond Tool on micro Cutting of Single Crystalline Silicon Carbide, Proc. of euspen's International Conference & Exhibition, Bilbao, 74-75 (2019).
  18. T. Fukui, A. Yui and T. Kitajima, Study on the protection performance of a grinding wheel safety guard made of polycarbonate plate, Proc. of euspen's International Conference & Exhibition, Bilbao, 158-159 (2019).
  19. T. Fukui, A. Yui and T. Kitajima, Study on wheel cover safety for grinding machines: Effect of compressive strength of abrasive projectile on cover damage, International Symposium on Advances in Abrasive technology, 52 (2018).

## 口頭発表

1. H. Ito, K. Sakakibara, Y. Nishimaki and M. Miura, Influence of oxidation gas conditions on the combustion behavior of single columned biomass briquette, International Workshop on Environmental Engineering 2019, E201 (沖縄, 2019.6).
2. 伊東弘行, 菊地悠人, 斎藤晃, 三浦正義, 高密度円筒バイオマスブリケット外周面を伝播する気相燃焼挙動, 熱工学コンファレンス 2018 講演論文集, G211 (富山, 2018.10).
3. 三浦正義, 荒井治紀, 伊東弘行, 自励振動ヒートパイプにおける液柱往復振動に伴い生じる液膜に関する研究 (垂直円管の場合), 熱工学コンファレンス 2018 講演論文集, I221 (富山, 2018.10).
4. 三浦正義, 荒井治紀, 伊東弘行, 自励振動ヒートパイプにおける往復振動液柱が形成する液膜に関する研究 (作動流体の影響), 第 56 回日本伝熱シンポジウム講演論文集, E222 (徳島, 2019. 5).
5. 水上英紀, 大谷拓也, 橋本健二, 清水自由理, 峯下弘毅, 阪口正律, 川上泰雄, 林憲玉, 高西淳夫, "骨盤運動に着目した 2 足走行ロボットの開発 (第 24 報: 2 足走行ロボットへの搭載に向けた油圧駆動股関節機構)," 第 37 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 3L3-04, (2019.9).
6. 黒岩祐志, 大谷拓也, 峯下弘毅, 阪口正律, 川上泰雄, 林憲玉, 高西淳夫, "骨盤運動に着目した 2 足走行ロボットの開発 (第 23 報: 高出力, 剛性変化可能で人間と同等の質量特性を有する下腿機構)," 第 37 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 3L3-03, (2019.9).

7. 張斌, 嶋津恒輝, 金子正秀, 林憲玉, “対人対物インタラクションを考慮した自律移動ロボットの移動制御,” 電気学会電子・情報・システム部門大会, GS1-5, (2019.9).
8. 田中直人, 小林祥太郎, 神拓夢, 高西淳夫, 張斌, 林憲玉, “受動的衝撃緩和機構を搭載した人間共存型ロボットの開発,” 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2019, 2A1-F07, (2019.6).
9. 莫俊杰, 荒木祐樹, 細野遼, 張斌, 林憲玉, “小型 2 足ヒューマノイドロボット脚部の開発—軽量化及び歩行パターンの生成—,” 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2019, 1A1-J01, (2019.6).
10. 夏海彬, 張斌, 中村友昭, 大森隆司, 長井隆行, 金子正秀, 潮木玲奈, 岡夏樹, 林憲玉, “教育支援のための RGB-D センサを用いた人の行動認識,” 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2019, 2p2-D08, (2019.6).
11. 張斌, 金子正秀, 林憲玉, “実生活空間の空間状態を理解した地図生成,” 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2019, 1A1-H04, (2019.6).
12. 張斌, 金子正秀, 林憲玉, “自律移動ロボットのための物体の潜在的な占有空間の解析,” 情報処理学会全国大会, 1D-05, (2019.3).
13. 張斌, 金子正秀, 林憲玉, “歩行者のパーソナルスペースを考慮した自律移動ロボットの移動制御,” 電気学会全国大会, 3-133, (2019.3).
14. 張斌, 中村友昭, 長井隆行, 大森隆司, 金子正秀, 林憲玉, “教育支援システムのための人物の行動追跡システムの開発,” 電子情報通信学会技術研究報告, vol 118, no 463, pp.45-59, (2019.3).
15. 菅原慧, 吉川智康, 江上正, 強化学習によるボールプレート装置の経路制御手法の開発, 第 61 回自動制御連合講演会, 12E1(名古屋, 2018.11)
16. 永田雄基, 吉川智康, 江上正, 最近点探索を用いたボールプレート装置の経路制御, 第 61 回自動制御連合講演会, 12E2(名古屋, 2018.11)
17. 志田拓哉, 吉川智康, 江上正, 梅本和希, 直列男性アクチュエータを用いた 4 脚ロボットの外力と接触点推定, 第 61 回自動制御連合講演会, 2B 2(名古屋, 2018.11)
18. 姚磊, 高橋亮, 吉川智康, 江上正, インフラ検査ロープクライマー用ジンバル雲台の開発, 第 61 回自動制御連合講演会, 9D6(名古屋, 2018.11)
19. サリエヴァマクパール, 小林慎也, 吉川智康, 江上正, 揺動機構を用いたアイリスロボットハンドの提案, 第 61 回自動制御連合講演会, 9E4(名古屋, 2018.11)
20. 菅原慧, 吉川智康, 江上正, 強化学習によるボール・プレート装置の経路制御手法の開発, 第 19 回システムインテグレーション部門講演会, 32-04(大阪, 2018.12)
21. 瀬野尾幸希, 吉川智康, 江上正, 体動による倒立振り型電動車いすの制御, 第 51 回計測自動制御学会北海道支部学術講演会, B6(札幌, 2019.3)
22. 永田雄基, 吉川智康, 江上正, 最近点探索を用いたボール&プレート装置の経路制御, 第 51 回計測自動制御学会北海道支部学術講演会, B16(札幌, 2019.3)
23. 永瀬喬介, 後藤敬雄, 江上正, 江上研究室における宇宙エレベータークライマーの開発, 第 11 回宇宙エレベーター学会 (東京, 2019.5)
24. 瀬野尾幸希, 江上正, 体動による倒立振り型電動車椅子の制御, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2019, 2A2-A09(広島, 2019.6)
25. 小林慎也, サリエヴァマクパール, 吉川智康, 江上正, 揺動機構を用いたアイリスロボットハンドの提案, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2019, 2A2-G10(広島, 2019.6)
26. 谷田貝凌太, 吉川智康, 江上正, 側面閉閉機構を有するアイリスロボットハンドの提案, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2019, 2P2-A01(広島, 2019.6)
27. 永瀬喬介, 江上正, リアクションホイールを用いた宇宙エレベータークライマーの姿勢制御, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2019, 2A2-H04(広島, 2019.6)
28. 後藤敬雄, 江上正, 渦電流ディスクブレーキを搭載したクローラ型クライマーの開発, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2019, 2P2-A03(広島, 2019.6)
29. 船見祐揮, 内島圭祐, 本目将大, 高野敦, 星形フラクタル形状グレインを用いたハイブリッドロケットの燃料後退速度特性, 第 62 回宇宙科学技術連合講演会, 1N03 (久留米, 2018.10).
30. 館山哲也, 高野敦, ハイブリッドロケットにおける低コスト・軽量化酸化剤タンクの開発, 第 62 回宇宙科学技術連合講演会, 1N13 (久留米, 2018.10).
31. 黒石直人, 高野敦, 3D プリントを用いたラティス構造の最適化, 第 34 回宇宙構造・材料シンポジウム, A20 (相模原, 2018).
32. 高野敦, 陳澤宇, 包景軒, CFRP 薄肉円筒の形状不整による座屈強度に対する影響, 第 34 回宇宙構造・材料シンポジウム, B01 (相模原, 2018) .
33. 水上諒, 高野敦, 大山聖, 竹内伸介, 火星航空機翼構造の開発, 第 34 回宇宙構造・材料シンポジウム, B02 (相模原, 2018).
34. 島崎拓己, 鈴木理史, 高野敦, 超小型ハイブリッドロケットにおける空力弾性, 第 34 回宇宙構造・材料シンポジウム, B03 (相模原, 2018).
35. 岩崎愛樹, 竹谷昇, 友田孝久, 中村和行, 久原隆博, 馬場満久, 石村康生, 齋藤宏文, 高野敦, 小型 SAR 衛星搭載アンテナの重力補償方法の改良, 第 34 回宇宙構造・材料シンポジウム, B05 (相模原, 2018).
36. 野田安晃, 近藤和人, 高野敦, 塑性・脆性めねじ強度の予測, 第 34 回宇宙構造・材料シンポジウム, B05 (相模原, 2018).
37. 西野沙也佳, 館山哲也, 船見祐揮, 高野敦, 星形フラクタル旋回形状グレイン搭載ハイブリッドロケット概念設計及び打上試験, 平成 30 年度宇宙輸送シンポジウム, STCP-2018-022 (相模原, 2019.1)
38. 高野敦, 船見祐揮, 藤方優樹, 館山哲也, 西野沙也佳, 本目将大, 内島圭祐, 星形フラクタル旋回形状グレインを用いたハイブリッドロケットエンジンの開発, 平成 30 年度宇宙輸送シンポジウム, STCP-2018-023(相模原, 2019.1).
39. 吉田誠, 島崎拓己, 高野敦, ハイブリッドロケット用テレメトリ装置の開発と打上結果, 平成 30 年度宇宙輸送シンポジウム, STCP-2018-024 (相模原, 2019.1).
40. 山口雄介, 立花優, 高野敦, 5m ハイブリッドロケット用 12m ランチャーの開発, 平成 30 年度宇宙輸送シンポジウム, STCP-2018-025 (相模原, 2019.1).
41. 北野裕己, 西野沙也佳, 高野敦, ハイブリッドロケット用無火薬式分離機構の開発と打ち上げ実験評価, 平成 30 年度宇宙輸送シンポジウム, STCP-2018-026 (相模原, 2019.1).
42. 本目将大, 内島圭祐, 館山哲也, 西野沙也佳, 藤方優樹, 高野敦, 船見祐揮, 星形フラクタルポートを用いたハイブリッドロケットグレインの局所後退速度, 平成 30 年度宇宙輸送シンポジウム, STCP-2018-031 (相模原, 2019.1).
43. 船見祐揮, 高野敦, 星形フラクタル形状ポートを有するハイブリッドロケット燃料の表面後退挙動解析, 第 59 回航空原動機・宇宙推進講演会, 1B07 (岐阜, 2019.3).

44. 西野沙也佳, 館山哲也, 船見祐揮, 高野敦, 星形フラクタル旋回形状グレイン搭載ハイブリッドロケット概念設計及び打上試験結果, 9th UNISEC Space Takumi Conference for Practical Study of Problem Finding and Solving in Space Systems (東京, 2019.3).
45. 西野沙也佳, 高野敦, ハイブリッドロケットにおけるFRP製軽量酸化剤タンクの開発, 日本航空宇宙学会第50期年会講演会, 1E-13 (駒場, 2019).
46. 包景軒, 高野敦, CFRP 円筒によるハイブリッドロケットの強度設計, 日本航空宇宙学会第50期年会講演会, 1E-14 (駒場, 2019).
47. 水上諒, 高野敦, 大山聖, 竹内伸介, 火星探査航空機主翼の設計製作と剛性試験, 日本航空宇宙学会第50期年会講演会, 1E-15 (駒場, 2019).
48. 岩崎愛樹, 中村和行, 久原隆博, 石村康生, 高野敦, 小型衛星搭載用 SAR アンテナの熱変形が最小となる構成の検討, 日本航空宇宙学会第50期年会講演会, 2E-02 (駒場, 2019).
49. 島崎拓己, 高野敦, 空力弾性を考慮した超小型ハイブリッドロケットの設計, 日本航空宇宙学会第50期年会講演会, 2E-03 (駒場, 2019).
50. Y. Funami, K. Uchishima, S. Homme, T. Tateyama, S. Nishino, and A. Takano, Evaluation of Hybrid Rocket Fuel Grain with Star Fractal Port by Combustion Experiments, 32nd International Symposium on Space Technology and Science (Fukui, 2019.6).
51. 船見祐揮, 高野敦, 星形フラクタル旋回形状ハイブリッドロケット燃料グレインの平均後退速度, 第2回ハイブリッドロケットシンポジウム, HR-2019-001 (相模原, 2019.7).
52. 包景軒, 高野敦, 喜多村竜太, 船見祐揮, 到達高度 15km を目指すハイブリッドロケットの概念設計, 第2回ハイブリッドロケットシンポジウム, HR-2019-006 (相模原, 2019.7).
53. 岩崎愛樹, 中村和行, 久原隆博, 石村康生, 齋藤宏文, 高野敦, 小型衛星搭載用 SAR アンテナの熱変形の構造的な抑制, 第61回構造強度に関する講演会, 1A07 (長野, 2019).
54. 包景軒, 高野敦, CFRP 薄肉円筒の形状不整による座屈強度に対する影響, 第61回構造強度に関する講演会, 1B09 (長野, 2019).
55. 水上諒, 高野敦, 直交異方性角パイプの座屈解析, 第61回構造強度に関する講演会, 1A18 (長野, 2019).
56. R. Kitamura, Constraint Conditional Finite Element Method for Off-Axial Interfacial Sliding of Fiber Reinforced Composite, The 2nd International Conference on Numerical Modeling in Engineering, NME1101, (Beijing, 2019.8).
57. 松本紘宜, 田中達也, 連続混練プロセスにおけるナノ粒子の分散技術とその応用, 同志社大学先端複合材料研究センター若手研究者・学生研究討論会 2018, 19-22 (京都, 2018.10).
58. 望月麻央, 竹村兼一, 加藤木秀章, 温水浸漬した CFRTP の界面せん断強度に及ぼす乾燥の影響, 日本材料学会第10回自動車用途コンボジットシンポジウム講演論文集, 95 (京都, 2018.11).
59. 増山健太, 田中達也, 笹田昌弘, 松本紘宜, バイオマス強化複合材料の発泡成形による高機能化に関する研究, 日本材料学会第10回自動車用途コンボジットシンポジウム講演論文集, (京都, 2018.11).
60. 松本紘宜, 増山健太, 笹田昌弘, 田中達也, CNF 添加 WPC 複合材料を用いた床部品における断熱性向上に関する技術開発, 同志社大学先端複合材料研究センター2018年度末研究成果発表会, 53-56 (京都, 2019.3).
61. 大森翔, 松岡京甫, 松本紘宜, 長谷朝博, 田中達也, 笹田昌弘, 伸長流動発生セグメントを用いた高粘度比材料混練の基礎検討, 同志社大学先端複合材料研究センター2018年度末研究成果発表会, 100-101 (京都, 2019.3).
62. K. Matsumoto, S. Omori, M. Sasada and T. Tanaka, Fundamental Investigation of Extensional Flow Effect on Dispersion: PP/SEBS Polymer Blends, BIT's 5th Annual World Congress of Smart Materials 2019, (Roma, 2019.3).
63. 高木初起, 寺島岳史, ガラス遷移温度が沸騰水温度以下の Au 基金属ガラスの開発, 日本機械学会講演論文集 (関東支部総会講演会), 19H02 (千葉, 2019.3).
64. 寺島岳史, ガラス遷移温度が低い Au 基金属ガラスの開発, 日本機械学会講演論文集 (年次大会), J04216 (秋田, 2019.9).
65. 小高勢也, 棚田耀介, 武笠孝之, 山崎颯生, 中尾陽一, 工作機械用スピンドルの熱的安定性, IMEC2018 (JIMTOF2019 共催), A-2, (東京, 2018.11).
66. 山崎颯生, 脇谷趣聞, 楠山純平, Dmytro Fedorynenko, 中尾陽一: 熱的安定性向上を目的とした軸心水冷機構を有する高速空気静圧ビルトインスピンドルの基本設計, 日本機械学会 北陸信越部 第56期 総会・講演会, C042, (富山, 2019.3).
67. 福井大樹, 山崎颯生, 中尾陽一, 楠山純平: 空気静圧軸受の変位制御の実験的基礎研究, 日本機械学会 関東学生会第58回学生員卒業研究発表講演会, 415, (千葉, 2019.3).
68. 川瀬美真, 小高勢也, 楠山純平, 中尾陽一: 工作機械用スピンドルのための水温制御システムに関する基礎的研究, 日本機械学会 関東学生会第58回学生員卒業研究発表講演会, 418, (千葉, 2019.3).
69. 金邊穂純, 田村健昇, Dmytro FEDORYNENKO, 楠山 純平, 中尾 陽一, 超高速水静圧スピンドルの基本設計, 日本機械学会 関東学生会第58回学生員卒業研究発表講演会, 504, (千葉, 2019.3).
70. 田村健昇, 金邊穂純, Dmytro FEDORYNENKO, 楠山純平, 中尾陽一: 超高速水静圧スピンドルの熱的安定性の基礎的検討, 日本機械学会 関東学生会第58回学生員卒業研究発表講演会, 508, (千葉, 2019.3).
71. 脇谷趣聞, 山崎颯生, Dmytro FEDORYNENKO, 楠山純平, 中尾陽一, 軸心冷却構造を備えた高速空気静圧スピンドルの設計, 日本機械学会 関東学生会第58回学生員卒業研究発表講演会, 512 (千葉, 2019.3).
72. 楠山純平, 小松奏絵, 橋本匠海, 棚田耀介, 中尾陽一, ビルトインモータスピンドルの最適冷却条件に関する研究 第1報: ビルトインモータスピンドルの温度変化シミュレーション, 2019 年度砥粒加工学会学術講演会論文集, 481-486 (埼玉, 2019.8).
73. 小高勢也, 川瀬美真, 楠山純平, 中尾陽一, 工作機械用温度制御システムの開発と制御性能の基礎的評価, 2019 年度砥粒加工学会学術講演会論文集, 487-492 (埼玉, 2019.8).
74. 小高勢也, 川瀬美真, 楠山純平, 中尾陽一, 冷却水温制御による工作機械用スピンドルの温度制御の試み, 日本機械学会 第13回生産加工・工作機械部門講演会論文集, C03, 225-229, (熊本, 2019.9).
75. T. Kanemoto, M. Inagaki, I. Samura and Y. Nakanishi, Counter-Rotating Type Power Units Playing Outstandingly at On- and Off-Shore Plants, Proc. of the 20th International Seminar on Hydropower Plants, 183-189 (Vienna, 2018. 11).
76. Y. Nakanishi and Y. Funami, Non-Contact Laser Measurement of Water Jet Spreading Widths for Impulse Turbines (Effect of

- Internal Structure of Nozzle), Proc. of the 14th International Symposium on Experimental Computational Aerothermodynamics of Internal Flows (Gdansk, 2019. 7).
76. 原村嘉彦, スターリングエンジン膨張空間の壁面熱伝達, 第21回スターリングサイクルシンポジウム, (東京, 2018.12), 29-34.
  77. 原村嘉彦, エントロピ生成の極小化によるスターリングエンジン最適化の可能性, 日本設計工学会 2019 年度春季大会研究発表会, (横浜, 2019.5) 123-126.
  78. 原村嘉彦, 酒井太誠, 梶川裕登, 定常遷移沸騰を実現するための制御パラメータの決定, 第56回日本伝熱シンポジウム, B232 (徳島, 2019.5).
  79. 諸隈 崇幸, 大久保 英敏, 杉野 大洋, 廣谷 俊樹, 宇高 義郎, 霜層被覆面を利用した飽和沸騰熱伝達の促進, 第56回日本伝熱シンポジウム, B132 (徳島, 2019.5).
  80. 諸隈 崇幸, 大久保 英敏, 宇高 義郎, 廣谷 俊樹, 杉野 大洋, 霜層被覆面を用いた大気圧飽和液体窒素の非定常ブル沸騰熱伝達の促進, 第29回 環境工学総合シンポジウム 2019, J404 (沖縄, 2019.6).
  81. 諸星陽裕, 小島翔, 藤本滋, 一木正聡, 並列型積層圧電素子を用いた振動発電による無線加速度センサ駆動, 第35回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム, Web 論文集, S-12(札幌, 2018.10).
  82. 小島翔, 藤本滋, 一木正聡, 諸星陽裕, La 添加 PZT 素子の発電特性, 第35回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム, Web 論文集, PLN-171(札幌, 2018.10).
  83. 藤本滋, 高田毅他6名, 原子力発電所の地震安全原則から具体化される耐震設計法の枠組み, UCB 講演論文集, 1447(仙台国際センター, 2018.12).
  84. 諸星陽裕, 藤本滋, 一木正聡, 小島翔, 並列型積層圧電素子の振動発電による無線加速度センサ駆動(エアコンプレッサーの振動を用いた場合), 日本機械学会関東支部第25期総会・講演会, Web 講演論文集, 19G08(千葉, 2019.3).
  85. 小島翔, 藤本滋, 一木正聡, 諸星陽裕, La 添加積層型 PZT 素子の発電特性, 日本機械学会関東支部第25期総会・講演会, Web 講演論文集, 19G07(千葉, 2019.3).
  86. 藤本滋, 小島翔, 一木正聡, La 添加積層型圧電素子の発電特性および最適負荷インピーダンスに関する検討, 日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2019, Web 論文集, 441(福岡, 2019. 8).
  87. 小島翔, 藤本滋, 一木正聡, La 添加積層型圧電素子を用いた振動発電による加速度センサの駆動実験, 日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2019, Web 論文集, 443(福岡, 2019.8).
  88. 鈴木健児, 大村裕太郎, カム機構を用いた低脈動型水圧モータの設計開発, 日本設計工学会 2019 年度春季大会研究発表講演会講演論文集, 147-148 (横浜, 2019. 5).
  89. 鈴木健児, 大村裕太郎, 放射線環境下で使用可能な低脈動型水圧モータの設計開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2019 講演論文集 DVD, 2A1-C04.pdf (広島, 2019. 6).
  90. 鈴木健児, 大村裕太郎, 放射線環境下で使用可能な低脈動型水圧モータの開発及び性能評価, 日本機械学会年次大会, J11110.pdf (秋田, 2019. 9).
  91. 澤田克人, 中村弘毅, 北原篤, 山崎徹, 実験 SEA によるスムースタイヤへの路面入力パワー推定手法の初期検討, 騒音制御工学会 2018 年秋季研究発表会, 2-2-05 (横浜, 2018.10)
  92. 三山壮, 中村弘毅, 山崎徹, 振動騒音低減のための二段階設計の提案, 騒音制御工学会 2018 年秋季研究発表会, 2-3-03 (横浜, 2018.10)
  93. 村山誠英, 中村弘毅, 山崎徹, 統計的エネルギー解析法に基づく低振動化設計指針の獲得, 騒音制御工学会 2018 年秋季研究発表会, 2-3-04 (横浜, 2018.10)
  94. 武田章善, 池田和正, 山崎徹, 中村弘毅, 解析 SEA に基づく噴射ポンプ筐体の低振動構造設計, 騒音制御工学会 2018 年秋季研究発表会, 2-3-05 (横浜, 2018.10)
  95. 片岡大雄, 坂口元康, 中村弘毅, 山崎徹, 解析 SEA を用いた要素追加による自動車エンジンの低振動化, 騒音制御工学会 2018 年秋季研究発表会, 2-3-06 (横浜, 2018.10)
  96. 片岡大雄, 宮澤昌也, 江戸宏一, 坂口元康, 中村弘毅, 山崎徹, 解析 SEA を用いたエンジンの要素追加による低振動化, 自動車技術会 2018 年秋季大会学術講演会講演予稿集, 20186038 (名古屋, 2018.10)
  97. 渡邊亮太, 中村弘毅, 加茂利明, 早川昇邦, 飯倉雅彦, 山崎徹, 車体制振ダンパーの減衰特性のモデル化, (第3報) 伝達関数合成法による車体の応答予測, 自動車技術会 2018 年秋季大会学術講演会講演予稿集, 20186044 (名古屋, 2018.10)
  98. 三山壮, 中村弘毅, 山崎徹, 村田和宏, 篠崎大輝, 動吸振要素付加による平板構造物の広帯域振動設計, 自動車技術会 2019 年春季大会学術講演会講演予稿集, 20195131 (横浜, 2019.5)
  99. 武田章善, 池田和正, 中村弘毅, 山崎徹, 解析 SEA に基づく要素配置変更による噴射ポンプ筐体の低振動化, 自動車技術会 2019 年春季大会学術講演会講演予稿集, 20195132 (横浜 2019.5)
  100. H. Nakamura, R. Watanabe, T. Kamo, N. Hayakawa, M. Iikura and T. Yamazaki, Predicting the Attenuation Characteristics of a Micro vibration Damper for Automobile Bodies using Transfer function Synthesis, Proceedings of inter-noise 2019, 1786 (Madrid, 2019.6)
  101. H. Nakamura, R. Watanabe, T. Kamo, N. Hayakawa, M. Iikura and T. Yamazaki, Predicting the Attenuation Characteristics of a Micro vibration Damper for Automobile Bodies using Transfer function Synthesis, Proceedings of inter-noise 2019, 1786 (Madrid, 2019.6)
  102. A. Takeda, K. Ikeda, H. Nakamura and T. Yamazaki, Subsystems' Layout Change Method based on Analytical SEA for Vibration Reduction; Utilization for an Injection Pump of an Engine, Proceedings of inter-noise 2019, 1613, (Madrid, 2019.6)
  103. D. Kataoka, H. Nakamura and T. Yamazaki, Vibration Reduction with Additional Subsystems as absorber or bridge by Using Analytical SEA, Proceedings of inter-noise 2019, 1553 (Madrid, 2019.6)
  104. K. Ikeda and T. Yamazaki, Extension of Experimental Statistical Energy Analysis to Structural Vibration with Low Modal Density, Proceedings of inter-noise 2019, 1512 (Madrid, 2019.6)
  105. 片岡大雄, 中村弘毅, 山崎徹, 基本構造部材間の解析 SEA モデリング, 日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2019 講演論文集, 304 (福岡, 2019.8)
  106. 磯野オクト, 山崎徹, 中村弘毅, 自動車フレームとフロアパネル間の解析 SEA モデリング, 日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2019 講演論文集, 312 (福岡, 2019.8)
  107. T. Miyama, H. Nakamura, T. Kikuchi and T. Yamazaki, Low-vibration design for shell structure based on structural intensity distribution, Proceedings of ICA2019, 000494 (Aachen, 2019.9)
  108. H. Nakamura, K. Sawada, A. Kitahara and T. Yamazaki, Estimation method of input power from road to tire based on

experimental SEA, Proceedings of ICA2019, 001527 (Aachen, 2019.9)

109. 由井明紀, 単結晶 Si ソーラパネルによる水中発電 (海面下における発電の可能性検証), 日本機械学会 第 13 回生産加工・工作機械部門講演会論文集, C27, 295-297 (熊本, 2019.9).
110. 福井 拓哉, 由井 明紀, 北嶋 孝之, 研削盤砥石カバターの衝突安全性に関する研究 (Solid to SPH による砥石破壊解析手法の検討), 日本機械学会 第 13 回生産加工・工作機械部門講演会論文集, A13, 34 (熊本, 2019.9).
111. 関谷翔一郎, 北嶋孝之, 由井明紀, 単結晶 SiC の微細切削における工具切れ刃丸みの影響, 2019 年度砥粒加工学会学術講演会 (埼玉, 2019.8).
112. 福井拓哉, 北嶋孝之, 由井明紀, 研削盤砥石カバターの衝突安全性に関する研究 (カバー材の引張お試験に基づく安全性予測), 2019 年度砥粒加工学会学術講演会 (埼玉, 2019.8).

## 学術誌

1. 江上正, 中村嘉孝, 野中祐太郎, 神奈川大学ロボットプロジェクト活動報告, 神奈川大学工学研究, 2,175-176(2019).
2. 江上正, 宇宙エレベーターへの挑戦, 学問への誘い, 85-89, 神奈川大学(2019).
3. 高野敦, 船見祐揮, 軽量・高性能ハイブリッドロケットエンジンの研究・開発, 神奈川大学工学研究, 2, 97-100 (2019.3).
4. 高野敦, 「神奈川大学宇宙ロケット部」活動報告 (2017), 神奈川大学工学研究, 2, 173-174 (2019.3).
5. 舘山哲也, 高野敦, ハイブリッドロケット開発・打上げにおける失敗許容設計およびマネジメント, PMAJ Journal, 64 (2019).
6. 藤本滋, 原子力耐震技術における機械分野の役割, ENERGY for the FUTURE, 43(3), 20-21 (2019-3) .
7. 鈴木健児, ロータリー型水圧サーボ弁を用いた水圧揺動モータの角度制御のためのモデル化, 計測と制御 (特集: 流体を用いたアクチュエーション技術の最前線), 57 (11), 790-794 (2018).
8. 鈴木健児, 水圧サーボ弁の新技術, フルードパワーシステム学会誌, 49 (6), 281-283 (2018).
9. 鈴木健児, 水圧用リリーフ弁・圧力制御弁・静圧軸受, フルードパワーシステム学会誌, 50 (3), 125-128 (2019).
10. 鈴木健児, アクアドライブシステムの新たな構成機器の開発とその制御に関する研究委員会, フルードパワーシステム電子出版緑陰特集号, 50 (E1), E68 (2019).
11. 由井明紀, 高精密・微細加工のための研削加工技術, 機械技術, 67 (9), 19-22 (2019).
12. 由井明紀, サファイアウエハの振動援用インフィード研削, 超音波 TECHNO, 3 (2019).

## 調査報告書

1. 江上正, 松野千加士, 守屋元道, 平成 29 年度 S P I D E R チャレンジ企画報告書 (2019).
2. 中西裕二 (水力発電所機器専門委員会委員長として), 水力発電所主要機器の技術提出図書記載・審査の手引き, 電気共同研究会, 75(1), 1-1115 (2019.7)
3. 鈴木健児, 丸洗い可能な食品搬送用アクアドライブパラレルリンクロボットの開発, 公益財団法人御器谷科学技術財団, 助成研究・国際交流活動報告集 No.27, 36-39 (2019).
- 4.

5. 一般社団法人日本フルードパワー工業会(経済産業省委託), 平成 30 年度省エネルギー等国際標準開発「省 28 : 安心安全、クリーン環境を実現する高効率水圧システム(ADS)に関する国際標準化」成果報告書 (鈴木健児担当分: WG.C-1 「リリーフ弁に係る基本特性と試験方法」), (2019.2)
6. 山崎徹, 平成 30 年度環境省委託業務「自動車単体騒音の低減方策 (今後の車外騒音規制) のあり方に関する調査業務」報告書, 公益社団法人自動車技術会共同研究センター 将来の車外騒音検討委員会 (2019.3)

## 講演・展示会

1. 江上正, 体動による倒立振子型電動車椅子及び段差乗り越え補助機構, 第 46 回国際福祉機器展(東京ビッグサイト, 2019.9).
2. 高野敦, 超小型ロケットの開発と構造・材料のキー技術, R&D 支援センターセミナー(東京, 2018.5).
3. 中尾陽一, 流体制御技術により浮上化した機械装置の非接触変位・姿勢制御, JST 新技術説明会, (東京, 2018.12) .
4. 楠山純平, ウエハのロータリ研削における加工条件の選定, 第 83 回 E L I D 研削セミナー. (埼玉, 2019.3)
5. 中尾陽一, 楠山純平, 2019 年度砥粒加工学会学術講演会, 研究公開 (パネル展示) (埼玉, 2019.8)
6. 諸隈崇幸, 気泡合体過程における気泡間液膜厚さ分布の可視化測定, 第 4 回相変化界面研究会 (富山, 2018.10) .
7. 鈴木健児, 低速高トルク型水圧モータの設計及び内部機構の試作, 日本フルードパワーシステム学会, アクアドライブシステムの新たな構成機器の開発とその制御に関する研究委員会 (JFPS 水圧研究会), (横浜, 2019.2).
8. 山崎徹, 二段階設計 - 素性の良い設計と味付け設計, Ricardo Japan User Conference 2019 基調講演 (2019.6)
9. 山崎徹, 音響解析手法の活用基礎～低振動低騒音化のための二段階設計をふまえて～, アドバンスソフト株式会社, 招待講演 (東京, 2019.7)
10. A. Yui, Diamond creates Industry 4.0, Project management in Industry 4.0, Bentara Persada School of Economic Science, Indonesia (2019.3).
11. A. Yui, Diamond in Industry 4.0, Universitas Raja Ali Haji (UMRAH), Indonesia (2019.3).
12. A. Yui, Diamond Creates New World, International seminar, University International Batam, Indonesia (2019.3).
13. A. Yui, Sustainable Electric Power generation in Future, International Symposium of Business, Technology and Applied Science 2019, University International Batam, Indonesia (2019.3)

## 助成金

1. 伊東弘行(代表), 新規バイオマス含有金属除去手法の開発および適用条件に関する研究, 平成 31 年度科学研究費補助金, 基盤研究 (C), 課題番号 19K12406.
2. 江上正 (代表), ロープテザーに対する宇宙エレベータークライマーの姿勢制御 (継続), 平成 30 年度科学研究費補助金, 基盤研究 (C), 課題番号 18K04031.
3. 高野敦 (代表), 軽量・高性能ハイブリッドロケットエンジンの研究・開発, 平成 30 年度神奈川大学工学研究所共同研究.
4. 高野敦 (代表), ハイブリッドロケットエンジンの軽量化, 大推力化および高燃焼効率化, 平成 31 年度神奈川大学工学研究所共同研究.

5. 高野敦 (代表), 高燃焼効率の複合材料製超小型ハイブリッドロケットの研究および開発, 公益財団法人高橋産業経済研究財団研究助成事業.
6. 中尾陽一 (代表), 温度・変位制御機能と高い熱的安定性を有する超高速高剛性水静圧スピンドルの開発, 平成 30 年度科学研究費補助金, 基盤研究 (C), 課題番号 17K06093.
7. 中尾陽一 (代表), 工作機械における各種熱移動と熱的相互干渉を考慮した統合的温度予測モデルの基礎研究, 工作機械技術振興財団, 第 40 次試験研究助成 A.
8. 中西裕二 (代表), スタビライザによる相反転プロペラの姿勢制御に関する基礎研究, 平成 31 年度共同利用研究, 佐賀大学海洋エネルギー研究センター
9. 諸隈崇幸 (分担), 高熱流束除熱達成に向けた気泡合体が沸騰伝熱に及ぼす影響, 平成 29 年度科学研究費補助金, 基盤研究 (C), 課題番号 17K06209.
10. 諸隈崇幸 (代表), 高熱流束除熱達成に向けた気泡合体が沸騰伝熱に及ぼす影響, 平成 31 年度科学研究費補助金, 若手研究, 課題番号 19K14904.
11. 藤本滋 (代表), 高出力積層圧電素子の振動発電を電源とする設備状態監視手法に関する研究, 平成 30 年度科学研究費補助金 (平成 30 年度~32 年度), 基盤研究 (C), 課題番号 18K04030.
12. 山崎徹 (代表), 振動エネルギー伝搬解析を用いた機械構造物の低振動初期設計, 公益財団法人トランスコスモス財団調査研究助成
13. 由井明紀 (代表), 工作機械安全カバーの衝突安全性に関する研究—飛翔体先端形状の影響—, 公益財団法人マザック財団, (2019.5).

## 受託研究

1. 高野敦 (代表), ロケット搭載モジュールの共同開発, 株式会社フルハートジャパン
2. 竹村兼一, CNF 複合材モデルの作成と特性評価, トクラス株式会社
3. 中尾陽一, 楠山純平, 脆性材料向け, 低振動かつ高精度回転研磨装置の開発, 不二越機械工業株式会社.
4. 山崎徹, 受託研究, 株式会社 I H I
5. 山崎徹, 受託研究, 信越ポリマー株式会社
6. 山崎徹, 受託研究, みずほ情報総研株式会社
7. 山崎徹, 共同研究, ヤマハ発動機株式会社
8. 山崎徹, 研究奨学寄附金, 三菱自動車工業株式会社
9. 山崎徹, 研究奨学寄附金, 一般社団法人次世代音振基盤技術研究会
10. 山崎徹, 研究奨学寄附金, 株式会社ブリヂストン
11. 山崎徹, 受託研究, 株式会社デンソー
12. 山崎徹, 受託研究, トヨタ自動車株式会社
13. 山崎徹, 受託研究, 日本発条株式会社
14. 中村弘毅, 受託研究, ヤマハ発動機

## 特許(取得)

1. 江上正, 梅本和希, 座位搭乗装置, 移動または向き変更を指示する座位搭乗装置, 特許第 6425265 号.
2. 江上正, 梅本和希, 自走式移動装置, スパイラル推進機構を持つ移動装置, 特許第 6472138 号.
3. 田中達也, 松本紘宜, 多軸混連機を用いたナノコンポジットの製造方法並びにこれらに用いるディスク型セグメント, 特許第 6532638 号.

## 特許(公開)

1. 由井明紀, 水中太陽光発電システム, 特開 2019-163124.

## 海外出張

1. 山崎徹, inter-noise 2019, Organizer (2019.6)
2. 由井明紀, 招聘研究, Nanyang Technological University, Singapore (2019. 8-9).
3. 由井明紀, euspen's International Conference & Exhibition, Bilbao, Spain (2019. 6).
4. 由井明紀, International Seminar 招聘講演, Universitas Raja Ali Haji (UMRAH), Indonesia (2019.3).
5. 由井明紀, The International Symposium on Advances in Abrasive Technology, Toronto, Canada (2018.10)

## その他

1. 高野敦, 神奈川大, 来月にロケット飛行実証 都内の中小と部品開発, 日刊工業新聞 (2019.8.21).
2. 高野敦, 神奈川大学, 町工場と共同でロケット開発 来月中旬打ち上げ計画, SankeiBiz (2019.9.11)
3. 高野敦, 大田区の技術で宇宙を目指す 神奈川大学と町工場連携してロケット開発, JCOM 大田 (2019.9.19)
4. 由井明紀, Visiting Professor of Bentara Persada School of Economic Science, Indonesia (2019.3).
5. 由井明紀, Principal Executive Researcher, Energy & Research Center @ Nanyang Technological University (2019.8).

## 電気電子情報工学科

### 研究論文I (レフェリー付き論文)

1. X. Wang, Z. Ma, T. Xie, M. Ohira, C.-P. Chen, G. Lu, Synthesis Theory of Ultra-Wideband Bandpass Transformer and Its Wilkinson Power Divider Application With Perfect In-Band Reflection/Isolation, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 67(8), 3377 – 3390, ISSN: 0018-9480 Online ISSN: 1557-9670 Digital Object Identifier: 10.1109/TMTT.2019.2918539, (2019.8).
2. Z. Zhang, Y. Tsuji, M. Eguchi, and C.-P. Chen, Polarization Converter Based on Square Lattice Photonic Crystal Fiber with Double-Hole Units, Crystals 9(2):58, (11 pages) (doi:10.3390/cryst9020058), (2019.1).
3. D. Gabriel, R. Kojima, K. Hoshiba, K. Itoyama, K. Nishida and K. Nakadai, 2D sound source position estimation using microphone arrays and its application to a VR-based bird song analysis system, Advanced Robotics, 33 (7-8), 403-414, (2019).
4. 齊藤隆弘, 小松隆, 三次元 DFT 領域における動画像の疎性—理論解析と統計的評価—, 電子情報通信学会論文誌 D, J102-D(4), 336-349,(2019.4).
5. 新中新二, 鉄損考慮を要する独立二重三相巻線永久磁石同期モータ(動的数学モデルとベクトルシミュレータ), 電気学会論文誌 D, Vol.138, No.10, pp.817-830, (2018.10).
6. 古泉一樹, 新中新二, 低分解能ホールセンサを用いた PMSM のための耐故障形ベクトル法の新規有用性評価, 電気学会論文誌 D, Vol.138, No.10, pp.839-840, (2018.10).
7. 新中新二, 一般化磁束推定法による位相含有磁束の推定を中核とした同期リラクタンスモータのセンサレスベクトル

- 制御), 電気学会論文誌 D, Vol.139, No.1, pp.83-92, (2019.1).
8. 中村直人, 新中新二, センサレス誘導電動機の広範囲駆動のための直接周波数形ベクトル制御, 電気学会論文誌 D, Vol.139, No.5, pp.450-458, (2019.5).
  9. 河村真吾, 辻寧英, 張沢君, 座標変換に基づく有限要素ビーム伝搬法によるテーパ型偏波分離素子の設計に関する検討”, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J102-C, No. 5, pp.124-130, (2019.5).

## 研究論文II (レフェリー付き Proceedings)

1. "Perceptual Hashing based on Machine Learning for Blockchain and Digital Watermarking", Zhaoxiong Meng, Tetsuya Morizumi, Hirotsugu Kinoshita, Sumiko Miyata, MENG Zhaoxiong, MORIZUMI Tetsuya, KINOSHITA Hirotsugu, MIYATA Sumiko, IEEE World Conference on Smart Trends in Systems, Security and Sustainability, WS4-4-08 (2019).
2. T. Komatsu, T.Saito, Statistical Modeling for 3-D DFT Coefficients of Moving-Image Sequences and its Application to Denoising, ICIP2-18,WA.P2.1.(2018.10)
3. T. Saito, T. Komatsu, Statistical Modeling of a Moving-Image Sequence in the 3-D DFT Domain, TENCON2018, No. 1570458504, (2018.10)
4. Khilda Afifah, Muhammad Arijal, Nicodimus Retdian, Takeshi Shima, Second-Order N-path Notch Filter for Hum Noise Suppression, 2018 International Symposium on Electronics and Smart Devices (ISESD), (2018).
5. Khilda Afifah, Muhammad Arijal, Nicodimus Retdian, Takeshi Shima, Experiment of 3-Phase N-Path Filter for Hum Noise Suppression, 2019 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS), (2019).
6. Tamiki Ohtsuka, Shun Kozuki, Takeshi Shima, Nicodimus Retdian, Multi-phase ring-coupled oscillator for TDC using differential inverter, 2019 5th International Conference on Event-Based Control, Communication, and Signal Processing (EBCCSP), (2019).
7. T. Shima, S. Kozuki, T. Otsuka, N. Retdian, Multi-phase ring-coupled oscillator for TDC using a differential inverter with an oscillation frequency booster circuit, 2019 IEEE 31st International Conference on Microelectronics (MIEL), (2019).
8. N. Nakamura and S. Shinnaka, A Direct-Frequency Vector Control Method for the Wide-Range Operation of Sensorless Induction Motors, Proc. of the 13th IEEE International Conference on Power Electronics and Drive Systems (PEDS 2019) (Toulouse, France, 2019.7).
9. T. Hakamata, H. Yamashita, K. Watanabe, K. Hoshiba, T. Tsuchiya and N. Endoh, Control of sound pressure in audible spot using parametric speakers, Proc. 23rd International Congress on Acoustics (ICA), 2690-2695, (Aachen, 2019. 9).
10. H. Yamashita, T. Hakamata, K. Abukawa, T. Sato, S. Matsumoto, K. Hoshiba, T. Tsuchiya and N. Endoh, Non-contact Thickness Gauging Method based on Frequency Analysis using Underwater Ultrasonic for Steel Structures, Proc. 23rd International Congress on Acoustics (ICA), Topic25-407, (Aachen, 2019. 9).
11. D. Gabriel, R. Kojima, K. Hoshiba, K. Itoyama, K. Nishida and K. Nakadai, Design and Assessment of Multiple-Sound Source Localization Using Microphone Arrays, Proc. 2019 IEEE/SICE International Symposium on System Integrations (SII), 199-294, (Paris, 2019. 1).
12. R. Kojima, O. Sugiyama, K. Hoshiba, R. Suzuki and K. Nakadai, HARK-Bird-Box: A Portable Real-Time Bird Song Scene Analysis System, Proc. 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 2497-2502, (Madrid, 2018. 10).
13. [Invited] C.-P. Chen, T. Anada and X. Wang, Novel Bandpass Filter Using Metallic Photonic Crystal Structure, International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology (ICMMT 2019), 3-pages, (2019.5).
14. [Invited] X. Wang, B. Wu, Q. Wang, Z. Ma, C.-P. Chen, Design Approach of Single-/Dual-Band Wilkinson Power Dividers with Single/Two Section Transmission Line Transformers, International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology (ICMMT 2019), 3-pages, (2019.5).
15. C. Xie, Z. Zhang, Y. Tsuji, E. Masashi, C.-P. Chen and T. Anada, Study on Polarization Rotator Based on Photonic Crystal Fiber with Double Hole Unit Cell, Asia Communications and Photonics Conference 2018(ACP2018), 3-pages, DOI: 10.1109/ACP.2018.8596207, (Hangzhou, China, 2018.10).
16. C. Xie, C.-P. Chen, Z. Zhang and T. Anada, Theoretical Design of M-PhC Bandpass Filter In THz Regime, Proc. Asia Pacific Microwave Conference 2018, pp. 116-119, (3-pages) DOI: 10.1109/EuMC.2016.7824291, ((Kyoto, 2018.11).
17. S. Takeda, T. Anada, C.-P. Chen, A Theoretical Synthesis of Coupling Matrix by Eigen Mode Expansion Method and Householder Transform, Proc. 48th European Micro. Conf. (EuMW2018), pp. 364-367, (Session EuMC21-3) DOI: 10.23919/EuMC.2018.8541567, (Madrid, Spain, 2018.9).
18. C.-P. Chen, D. Tetsuda, Z. Zhang, T. Anada, S. Takeda, X. Wang and Z. Ma, Synthesis of Novel Wideband Filter using Stub-Loaded Parallel-Coupled-Lines, Proc. 48th European Micro. Conf. (EuMW2018), pp. 372-375, (Session EuMC21-5) DOI: 10.23919/EuMC.2018.8541652, (Madrid, Spain, 2018.9).
19. X. Wang, Z. Ma, M. Ohira, C.-P. Chen, T. Anada, Compact Tunable Wilkinson Power Divider With Simple Structure, Proc. 48th European Micro. Conf. (EuMW2018), pp. 41-44, (Session EuMC03-1) DOI: 10.23919/EuMC.2018.8541384, (Madrid, Spain, 2018.9).
20. S. Namba, J. Tsuji and M. Noto, Image-based Analysis of Water Content Change in Tomato Cultivation, Proc. of 2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 2200-2205, (Miyazaki, 2018.10).
21. K. Kobayashi, J. Tsuji and M. Noto, Evaluation of Data Augmentation for Image-Based Plant-Disease Detection, Proc. of 2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 2206-2211, (Miyazaki, 2018.10).
22. N. Matsuki, T. Matsui, K. Michishio, B. E. O'Rourke, N. Oshima and A. Uedono, Fast Optical Characterization of Microvoid Size in Hydrogenated Amorphous Silicon: Study on the Universal Applicability of the Correlation between the Microvoid Size and the Optical Constant, Proc. Int. Workshop on Active-Matrix Flatpanel Displays and Devices 2019, 2-3, (Kyoto, 2018. 7).

## 口頭発表

1. 森住哲也, 確率測度的テキストと決定論的テキストを循環させる逆強化学習システムの倫理とは何か, 信学技報, 118, 345, SITE2018-62, pp. 17-23, (2018.12).
2. 森住哲也, 情報理論的尺度に基づく家族的類似クラスター



- の順序関係の学習可能性について ～ ベイジアン逆強化学習の報酬を家族的類似度と見做すこととは何か? ～, 信学技報, 118,480, SITE2018-76, pp. 133-140, (2019.3).
3. 紅林宏祐, 森住哲也, 木下宏揚, Boid 的アノテーションと Labeled-LDA による家族的類似の推論規則生成 ～ 推論攻撃分析と covert channel 攻撃分析を統合する機械学習的アプローチ ～, 信学技報, 119, 141, SITE2019-36, pp. 243-249, (2019.7).
  4. 森住哲也, 必ずしも完全に分有されないロゴスと言語ゲームをつなぐ確率的存在者 ～ セキュリティモデルの限界と人工知能の可能性 ～, 信学技報, 119, 141, SITE2019-43, pp. 317-324, (2019.7).
  5. 齊藤隆弘, 小松隆, 三次元 DFT 領域における動画像の疎性の統計的モデリングー Gaussian Scale Mixture 分布モデルから二成分混合型球対称ガウス分布モデルへー, 画像符号化シンポジウム・映像メディア処理シンポジウム, P-1-5, (2018.11).
  6. 御子柴裕一, 小松隆, 齊藤隆弘, 動画像の三次元 DFT 係数の統計的モデリングー二成分混合型球対称ガウス分布のモデルパラメータの時間変動ー, 画像符号化シンポジウム・映像メディア処理シンポジウム, P-5-4, (2018.11).
  7. 小松隆, 齊藤隆弘, 三次元 ST-DFT 動画像復元法の性能評価, 画像符号化シンポジウム・映像メディア処理シンポジウム, P-5-20, (2018.11).
  8. 小松隆, 齊藤隆弘, 3-D MS2T-DFT を用いたボアソン-ガウシアン動画像の復元, 電子情報通信学会総合大会, D-11-11, (2019.3).
  9. 齊藤隆弘, 小松隆, 飯高建, 平均値分離 3-D ST-DFT 領域での動画像の階層的クラスタリング, 電子情報通信学会総合大会, D-11-12, (2019.3).
  10. 小松隆, 齊藤隆弘, CFA 動画像データの雑音除去法の検討, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, A-8-11, (2019.9)
  11. 猪狩京司, 斎藤温, 島健, 音質変化を目的とする偶高調波発生回路に関する研究, 電気学会電子回路研究会, ECT-019-016, (2019.3).
  12. 林歩花, 斎藤温, 島健, ポートフォリオ分析による音質評価法の提案, 電気学会電子回路研究会, ECT-019-017, (2019.3).
  13. 岩田英知, 島健, LNA における周波数特性を含めた雑音除去性能の改善に関する研究, 電気学会電子回路研究会, ECT-019-026, (2019.3).
  14. 嶋田賢作, 中村直人, 新中新二, 鉄損を有する PMSM の広範囲駆動のための電流指令値決定法の実機検証, 平成 31 年電気学会全国大会講演論文集, 5, pp.161-162, (札幌, 2019.3)
  15. 杉山文哉, 中村直人, 細岡竜, 軌跡指向形ベクトル制御法による永久磁石同期モータの非電圧制限下最小銅損駆動, 平成 31 年電気学会全国大会講演論文集, 5, pp.181-182, (札幌, 2019.3)
  16. 半田秀斗, 新中新二, 非正弦誘起電圧を持つ永久磁石同期モータの高品質トルク制御, 平成 31 年電気学会全国大会講演論文集, 5, pp.183-184, (札幌, 2019.3)
  17. 近藤輝朋, 新中新二, SynRM の高周波電圧印加法によるセンサレス駆動の実機検証, 平成 31 年電気学会全国大会講演論文集, 5, pp.195-196, (札幌, 2019.3)
  18. 中村直人, 新中新二, センサレス誘導電動機のための直接周波数形ベクトル制御法のロバスト検証, 平成 31 年電気学会全国大会講演論文集, 5, pp.213-214, (札幌, 2019.3)
  19. 森田隼英, 新中新二, 誘導モータの状態オブザーバ形ベクトル制御, 平成 31 年電気学会全国大会講演論文集, 5, pp.217-218, (札幌, 2019.3)
  20. 中村直人, 新中新二, 回転子抵抗の変動のロバストなすべり周波数形ベクトル制御法を用いた誘導電動機ベクトル制御法, 2019 年電気学会産業応用部門大会講演論文集, III, pp.197-202, (長崎, 2019.8).
  21. 新中新二, dq 軸間磁束干渉をもつ同期リラクタンスモータの電流制御・効率駆動・突極位相推定, 2019 年電気学会産業応用部門大会講演論文集, III, pp.211-216, (長崎, 2019.8).
  22. 内田悠介, 中村直人, 新中新二, 非正弦誘起電圧を有する永久磁石同期モータの静的フィードフォワード制御を用いたトルクリプル抑制法, 2019 年電気学会産業応用部門大会講演論文集, III, pp.359-360, (長崎, 2019.8).
  23. 米山雄貴, 新中新二, 独立二重三相巻線永久磁石同期モータのセンサレスベクトル制御, 2019 年電気学会産業応用部門大会講演論文集, Y-132, (長崎, 2019.8).
  24. 袴田拓実, 干場功太郎, 土屋健伸, 遠藤信行, 二つのパラメトリックスピーカを用いた複数の周波数を含む局所的可聴領域形成における音圧制御の検討, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, 23, (豊中, 2019. 9).
  25. 干場功太郎, 下村竹蔵, 土屋健伸, MUSIC 法に基づく空中音響センシング手法の室内環境における実験の評価, 第 37 回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2019AC212-01, (東京, 2019. 9).
  26. 袴田拓実, 干場功太郎, 土屋健伸, 遠藤信行, 二つのパラメトリックスピーカを用いた局所的可聴領域形成における複数周波数同時制御の検討 第 37 回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2019AC211-04, (東京, 2019. 9).
  27. 峰島湖隆, 袴田拓実, 土屋健伸, 干場功太郎, 遠藤信行, 浅海における WE-FDTD 法と PE 法を組み合わせた音波伝搬解析手法, 海洋音響学会研究発表会, 1-4, (東京, 2019. 5).
  28. 峰島湖隆, 袴田拓実, 土屋健伸, 干場功太郎, 遠藤信行, 時間領域差分法と放物型方程式法を組み合わせた海洋内の長距離音波伝搬解析, 電子情報通信学会 超音波研究会, 31-34, (東京, 2019. 4).
  29. 峰島湖隆, 藤井俊一, 干場功太郎, 土屋健伸, 遠藤信行, WE-FDTD 法と PE 法を組み合わせた長距離の海洋内音波伝搬解析手法の検討, 日本音響学会春季研究発表会, 21-22, (調布, 2019. 3).
  30. 藤井俊一, 干場功太郎, 土屋健伸, 遠藤信行, 無鰾魚体内の骨がターゲットストレングスに与える影響の解析, 日本音響学会春季研究発表会, 19-20, (調布, 2019. 3).
  31. 山下洋佳, 虻川和紀, 佐藤智夫, 松本さゆり, 干場功太郎, 土屋健伸, 遠藤信行, 実環境における水中超音波を用いた非接触板厚測定手法の検討, 日本音響学会春季研究発表会, 17-18 (調布, 2019. 3).
  32. 袴田拓実, 山下洋佳, 渡邊圭祐, 干場功太郎, 土屋健伸, 遠藤信行, 周波数特性を考慮した二つのパラメトリックスピーカによる局所的可聴領域の制御, 電子情報通信学会 超音波研究会, 61-64, (京都, 2019. 1).
  33. 峰島湖隆, 藤井俊一, 干場功太郎, 土屋健伸, 遠藤信行, エアガンが生物に与える影響についての非線形性を考慮した音波伝搬解析, 電子情報通信学会 超音波研究会, 35-38, (京都, 2019. 1).
  34. 藤井俊一, 干場功太郎, 土屋健伸, 遠藤信行, 鰾の有無がターゲットストレングスに与える影響の解析, 電子情報通信学会 超音波研究会, 31-34, (京都, 2019. 1).
  35. 公文誠, 若林瑞保, 干場功太郎, 中臺一博, 奥乃博, ドローンによる地上音源の位置推定 - HARK を用いたドローン聴覚の取り組み, 第 19 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2E3-09, (大阪, 2018. 12).

36. 加川敏規, 小野文枝, 単麟, 三浦龍, 中臺一博, 干場功太郎, 公文誠, 奥乃博, 加藤晋, 児島史秀, 920MHz 帯マルチホップ無線通信システムを用いたドローン制御およびセンサデータ伝送の実証実験, 電子情報通信学会 高信頼制御通信研究会, 217-221, (宮古島, 2018. 12).
37. 干場功太郎, 土屋健伸, MUSIC 法に基づく空中音響センシング手法の検討, 第 52 回人工知能学会 AI チャレンジ研究会, 40-45, (東京, 2018. 12).
38. 公文誠, 中臺一博, 干場功太郎, 奥乃博, 地上音源の位置推定を行うドローン聴覚システムのための分散処理環境の開発, 第 52 回人工知能学会 AI チャレンジ研究会, 5-10 (東京, 2018. 12).
39. 袴田拓実, 渡邊圭祐, 干場功太郎, 土屋健伸, 遠藤信行, パラメトリックスピーカを用いた局所的可聴領域形成における領域制御の検討, 第 52 回人工知能学会 AI チャレンジ研究会, 1-4, (東京, 2018. 12).
40. D. Gabriel, R. Kojima, K. Hoshiba, K. Itoyama, K. Nishida and K. Nakadai, 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Late breaking results (Madrid, 2018. 10).
41. 勝野絵梨香, 陳 春平, 張 沢君, 穴田哲夫, 武田重喜, 結合行列に基づく非対称誘導性ポスト MPhC4 段 BPF の設計, 2019 年電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集, エレクトロニクス, C-2-70, pp.77, (大阪, 2019.9).
42. 武田重喜, 穴田哲夫, 陳 春平, スミスチャートと多次元の図式解釈, 2019 年電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集, エレクトロニクス, C-2-58, pp.65, (大阪, 2019.9).
43. 久保田倫代, 中嶋政幸, 武田重喜, 陳 春平, 28GHz 帯導波管 BPF で 2 倍波を抑制する一手法, 2019 年電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集, エレクトロニクス, C-2-69, pp.76, (大阪, 2019.9).
44. Zejun Zhang, Yasuhide Tsuji, Masashi Eguchi, Chun-ping Chen, Design of Compact Polarization Rotator Based on Slot Waveguide, 2019 年電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集, エレクトロニクス, C-3-33, pp.125, (大阪, 2019.9).
45. 勝野絵梨香, 陳 春平, 佐藤知正, 張 沢君, 穴田哲夫, 結合行列に基づく K 帯金属フォトニック結晶 BPF の合理的設計, 信学技報, vol. 119, no. 127, MW2019-50, pp. 177-182, (2019.7).
46. 張 沢君, 辻 寧英, 江口真史, 陳 春平, 非対称スロットシリコン導波路を用いた偏光変換素子の設計, 信学技報, vol. 119, no. 129, EST2019-24, pp. 97-100, (2019.7).
47. 武田重喜, 久保田倫代, 穴田哲夫, 陳 春平, 結合マトリクス法と Householder 変換, 2019 年電子情報通信学会総合大会講演論文集, エレクトロニクス, C-2-66, p.85, (東京, 2019.3).
48. 勝野絵梨香, 謝 成龍, 陳 春平, 張 沢君, 穴田哲夫, 武田重喜, 金属フォトニック結晶によるミリ波 5 段バンドパスフィルタの設計, 2019 年電子情報通信学会総合大会講演論文集, エレクトロニクス, C-15-25, p.222, (東京, 2019.3).
49. 池内裕章, 陳 春平, 牛嶋 優, 神岡 純, 高野恭弥, 村田健太郎, 清水隆志, [特別講演] 2018 年ヨーロッパマイクロ波会議出席報告, 信学技報, vol. 118, no. 403, MW2018-140, pp. 23-30, (2019.1).
50. 鐵田大輔, 陳 春平, 張 沢君, 穴田哲夫, 電子スイッチを用いたフィルタの合理的設計の一検討, 信学技報, vol. 118, no. 400, EST2018-97, pp. 113-118, (2019.1)..
51. 謝 成龍, 陳 春平, 張 沢君, 穴田哲夫, エアギャップ付き M-PhC による点欠陥共振器のシミュレーションと測定, 信学技報, vol. 118, no. 361, MW2018-114, pp. 1-5, (2018.12).
52. 鐵田大輔, 陳 春平, 張 沢君, 穴田哲夫, 電子スイッチを用いたバンドパス/オールストップ切り替え可能なフィルタの一検討, 信学技報, vol. 118, no. 361, MW2018-116, pp. 13-18, (2018.12).
53. 謝 成龍, 陳 春平, 張 沢君, 穴田哲夫, 金属フォトニック結晶による点欠陥共振器を用いたバンドパスフィルタの理論設計, 信学技報, vol. 118, no. 248, MW2018-85, pp. 95-99, (2018.10).
54. 江花昭哉 ショーン, 中山明芳, 阿部晋, 渡邊騎通, Nb/Al-AlOx/Nb ジョセフソン接合と dc-SQUID を流れる超伝導電流の二次元磁界変調特性, 2019 年電子情報通信学会ソサイエティ大会, C8-8 (大阪, 2019.9).
55. 彦坂 卓哉, 中山 明芳, 阿部 晋, 渡邊 騎通, 磁束トラップが Nb 超伝導トンネル接合に流れるジョセフソン電流に与える影響, 2019 年電子情報通信学会ソサイエティ大会, C8-9 (大阪, 2019.9).
56. 渡邊 騎通, 名取 あす加, 阿部 晋, 中山 明芳, ジョセフソン電流の二次元磁界変調特性と垂直磁界依存性, 2019 年第 80 回応用物理学会秋季学術講演会, 20a-C213-1 (北海道, 2019.9).
57. 難波脩人, 辻 順平, 能登正人, 農作物の灌水制御最適化に向けた強化学習手法の検討, 情報処理学会第 81 回全国大会, 4S-04, (福岡, 2019.3).
58. 小林賢一, 辻 順平, 能登正人, Deep Learning 向け Data Augmentation の評価手法の提案 -Fréchet Inception Distance に基づく方法-, 情報処理学会第 81 回全国大会, 4R-04, (福岡, 2019.3).
59. 杉山友亮, 辻 順平, 能登正人, 測域センサを用いた自律型水中ロボットの障害物回避シミュレーション, 情報処理学会第 81 回全国大会, 6R-01, (福岡, 2019.3).
60. 古川翔太, 辻 順平, 能登正人, テーマパーク問題におけるナッシュ均衡解と全体最適解の分析, 情報処理学会第 81 回全国大会, 5U-05, (福岡, 2019.3).
61. 難波脩人, 辻 順平, 能登正人, 農作物の自動灌水制御に向けたニューラルネットワークを用いた Q 学習, 2019 年度人工知能学会全国大会 (第 33 回), 1F3-OS-17a-04, (新潟, 2019.6).
62. 難波脩人, 辻 順平, 能登正人, ニューラルネットワークを用いた Q 学習による農作物の栽培に向けた試み, 第 18 回情報科学技術フォーラム, F-013, (岡山, 2019.9).
63. S. Hirano, K. Ide, T. Sato and N. Matsuki, Properties of Halide Perovskite thin-films Fabricated via Atmospheric Pressure Chemical Vapor Deposition, The 28th Annual Meeting of the Materials Research Society of Japan, B4-O19-003, (Kitakyusyu, 2018. 12).
64. Y. Yamazaki, R. Abe, T. Sato and N. Matsuki, Development of Electron-Catalyst Devices based on the Impact Ionization Effect in TiO<sub>2</sub>, The 28th Annual Meeting of the Materials Research Society of Japan, B4-O19-002, (Kitakyusyu, 2018. 12).
65. N. Matsuki, Development of Novel functional biomolecular thin solid films via combinatorial infrared laser molecular beam deposition, PM-48, (Tsukuba, 2019. 3).
66. 横山岬, 吉田剛, 松木伸行, 大越昌幸, ArF レーザを用いたシリコンゴム表面への微細隆起構造の作製, 第 80 回応用物理学会秋季学術講演会, 19a-N304-3 (北海道, 2019. 3).
67. 白井里奈, ミロワウメダ, 阿部優汰, 佐藤知正, 松木伸行, 静電塗布法によるペロブスカイト太陽電池の製膜プロセス

開発, 第 80 回応用物理学会秋季学術講演会, 19a-E101-12, (北海道, 2019. 3).

68. [Invited Lecture] N. Matsuki, T. Matsui, K. Michishio, B. E. O'Rourke, Nagayasu Oshima, and Akira Uedono, Characterization of the near-interface microstructure of a-Si:H/c-Si heterojunction solar cells based on positron annihilation spectroscopy, Advanced Functional Materials Congress, Session 15 No. 2, (Stockholm, 2019.3).
69. 清水慶太郎, 小林 立, 鈴木 温, 米田征司, 山口栄雄, 振動法による DNA の変性と定量評価, 電子情報通信学会音響・超音波サブソサイエティ合同研究会, US-2, (京都, 2019. 1).
70. 小林 立, 清水慶太郎, 鈴木 温, 米田征司, 山口栄雄, 可聴周波数振動による DNA 変性機構と増幅, 電子情報通信学会 音響・超音波サブソサイエティ合同研究会, US-3 (京都, 2019. 1).
71. 小林 立, 米田征司, 山口栄雄, 可聴周波数振動の DNA 増幅への応用, 2019 年電気学会産業応用部門大会, Y-177, (長崎, 2019. 8).
72. R. Kobayashi, S. Yoneda and S. Yamaguchi, DNA amplification by sound and ultrasound frequency vibration, ICA2019, (Aachen, 2019. 9).

## 学術誌

1. 米田征司, 神奈川支所における最近の活動状況, 電気学会誌, 139 (3), 175, (2019).
2. 米田征司, 研究グループ紹介, 電気学会論文誌 B (電力・エネルギー部門誌), 139 (9), NL9\_2, (2019).

## 著書

1. 新中新二, 詳解 同期モータのベクトル制御技術, ISBN 978-4-501-11820-4 東京電機大学出版局 (2019.6).
2. K. Nonami, K. Hoshiba, K. Nakadai, M. Kumon, H. G. Okuno, Y. Tanabe, K. Yonezawa, H. Tokutake, S. Suzuki, K. Yamaguchi, S. Sunada, T. Takaki, T. Nakata, R. Noda, H. Liu and S. Tadokoro, Recent R&D Technologies and Future Prospective of Flying Robot in Tough Robotics Challenge, Disaster Robotics - Results from the ImPACT Tough Robotics Challenge, 77-142, Satoshi Tadokoro Ed., Springer Tracts in Advanced Robotics 128, 77-142, (2019).
3. 陳 春平, 高周波対応部材の開発動向と 5G, ミリ波レーダーへの応用, (執筆分: 第 7 章 第 11 節 ミリ波・サブミリ波帯におけるフォトニック結晶構造を応用したバンドパスフィルタの理論設計と開発, pp.451-466), 技術情報協会, (総ページ: 554) ISBN-10: 4861047331 ISBN-13: 978-4861047336, (2019.1)

## 調査報告書

1. 松木伸行, 擬定常状態光伝導度測定システム, 平成 28 年度工学部特別予算重要機器整備費関連研究報告, 神奈川大学工学研究, 2, 91-92, (2019).
2. 松木伸行, 山口栄雄, 本橋輝樹, 米田征司, 佐藤知正, 無機触媒/半導体ハイブリッド型水素・酸素生成太陽光熱電池の創製, 神奈川大学 工学研究, 2, 101-104, (2019).

## 講演・展示会

1. 中村聡, 伊丹誠, 移動受信特性改善について, 映像情報メディア学会 年次大会, 企画 2-6, (2019.8).
2. 干場功太郎, ImPACT タフ・ロボティクス・チャレンジ 第 7 回フィールド評価会, (南相馬, 2018. 11).
3. 干場功太郎, 危機管理産業展 (RISCON TOKYO), (東京, 2018. 10).
4. 陳 春平, マイクロ波フィルタ設計入門: 基礎および設計事例, Microwave Workshops and Exhibition 2018(MWE 2018), Nov. 28-30, (横浜, 2018.11).
5. 陳・張研究室, Microwave Workshops & Exhibition 2018 (MWE2018) 出展 (横浜, 2018.11).
6. 小林一樹, 中山明芳, 阿部 晋, 渡邊騎通, Nb/Al-AlO<sub>x</sub>/Nb ジョセフソン接合における Al 層の膜厚がジョセフソン電流の磁界依存性に与える影響, 2019 年 第 80 回応用物理学会秋季学術講演会, 19a-PB2-19 (北海道, 2019.9).

## 助成金

1. 島健, 研究代表者, 初期視覚モデルの応用による時間デジタル変換回路の研究, 科研費, 基盤研究 C (一般), 2016 年 4 月より 2019 年 3 月
2. 干場功太郎 (分担), 実環境で音を聞き分けるドローン聴覚の体系化, 平成 31 年度科学研究費補助金, 基盤研究(A), 課題番号 19H00750.
3. 土屋健伸 (代表), 光・電磁波および超音波による先端的なセンサー技術の開発, 神奈川大学共同研究奨励助成金
4. 陳春平, 穴田哲夫, 5G 無線通信を支えるマルチバンドとミリ波デバイスの理論設計による迅速開発, 平成 30 年度年度科学研究費助成金・基盤研究 (C), 課題番号 16K06320.
5. 中山明芳 (代表), ジョセフソン電流の 2 次元磁界変調特性を使った超伝導量子干渉計ホログラム, 平成 29 年度科学研究費補助金, 基盤研究 (C), 課題番号 19K04538.
6. 山口栄雄 (代表), 米田征司 (分担), 振動を用いた 37°C 秒速 DNA 増幅装置の開発, 平成 31 年度科学研究費補助金, 基盤研究 (B), 課題番号 18H03524.
7. 松木伸行 (代表), 超高真空製膜装置用脱着式ポータブル走査型電気化学セル顕微鏡の開発, 地方独立行政法人神奈川県立産業技術総合研究所産学公連携事業化促進研究 (2018~2019 年度).
8. 松木伸行 (代表), DNA のレーザー分子線堆積に基づくニューパラダイム: 新奇ハイブリッド薄膜材料の創製, 2019 年度工学研究所共同研究 A (2018~2019 年度).
9. 松木伸行 (代表), ネット・ゼロ・エネルギーハウス実現のための光熱エネルギー変換システム創製, 共同研究奨励助成 (2017~2019 年度) .

## 受託研究

1. 土屋健伸, 株式会社デンソー, 車載超音波センサによるイメージングの研究
2. 松木伸行, 再生可能エネルギー分野への静電塗布工法応用開発, ナガセテクノエンジニアリング株式会社.
3. 松木伸行, コンビナトリアルレーザー-MBE(Molecular Beam Epitaxy)による新規薄膜機能材料創製, AGC 株式会社.

## 特許(取得)

1. Shigeo Yamaguchi, Nucleic Acid Denaturation Apparatus, Method for Denaturing Nucleic Acid and Method for Amplifying Nucleic Acid, US 10280448 B2, (2019.5).

## 物質生命化学科

## 海外出張

1. N. Watanabe, A. Natori, C.-P. Chen and A. Nakayama, Perpendicular magnetic field dependence of the Josephson current, 14th European Conference on Applied Superconductivity (Glasgow, 2019.9).
2. N. Watanabe, S. Atsumi, S. Abe and A. Nakayama, Two-dimensional magnetic field dependence of the dc-SQUID, 14th European Conference on Applied Superconductivity (Glasgow, 2019.9).

## 褒賞

1. D. Gabriel, R. Kojima, K. Hoshiba, K. Itoyama, K. Nishida and K. Nakadai, Design and Assessment of Multiple-Sound Source Localization Using Microphone Arrays, Best Paper Award Finalist, 2019 IEEE/SICE International Symposium on System Integrations (SII), (2019. 1).
2. 公文誠, 若林瑞保, 干場功太郎, 中臺一博, 奥乃博, ドローンによる地上音源の位置推定 - HARK を用いたドローン聴覚の取り組み, 優秀講演賞, 第 19 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, (2018. 12).
3. 張 沢君, 電子情報通信学会・エレクトロニクスシミュレーション研究会専門委員会・2018 年度 若手部門 優秀論文発表賞, (2019.4).
4. 小林 立, 清水慶太郎, 鈴木 温, 米田征司, 山口栄雄, 可聴周波数振動による DNA 変性機構と増幅, 学生研究奨励賞, 電子情報通信学会 音響・超音波サブソサイエティ合同研究会 (2019. 1).
5. 松木伸行, Advanced Functional Materials Congress, Stockholm, Sweden (2019.3).
6. 松木伸行, The Opening Ceremony of the First Gasoline Production Plant from Natural Gas, Ashgabat, Turkmenistan (2019. 6).
7. 難波脩人, 辻 順平, 能登正人, 農作物の灌水制御最適化に向けた強化学習手法の検討, 学生奨励賞, 情報処理学会第 81 回全国大会, (2019. 3).
8. 小林賢一, 辻 順平, 能登正人, Deep Learning 向け Data Augmentation の評価手法の提案 -Fréchet Inception Distance に基づく方法-, 学生奨励賞, 情報処理学会第 81 回全国大会, (2019. 3).
9. 難波脩人, 辻 順平, 能登正人, ニューラルネットワークを用いた Q 学習による農作物の栽培に向けた試み, FIT 奨励賞, 第 18 回情報科学技術フォーラム, (2019. 9).

## その他

1. 干場功太郎, 第 37 回日本ロボット学会学術講演会 オーガナイズドセッション「ロボット聴覚およびその展開」オーガナイザー, (2019. 9).
2. 干場功太郎, 第 16 回 ロボット聴覚オープンソースソフトウェア HARK 講習会 講師, (2018. 12).
3. K. Nakadai, H. G. Okuno, M. Kumon, G. Ince, O. Sugiyama, K. Itoyama, R. Kojima, R. Suzuki and K. Hoshiba, Tutorial: Robot Audition: Open Source Software HARK, 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), (2018. 10).

## 研究論文I (レフェリー付き論文)

1. T Ikehara, T. Kataoka, M. Inutsuka and R-H. Jin, Chiral Nucleating Agents Affecting the Handedness of Lamellar Twist in the Banded Spherulites in Poly( $\epsilon$ -Caprolactone)/Poly(Vinyl Butyral) Blends, ACS Macro Letters, 8(7), 871–874 (2019).
2. K. Hirooka, S. Shioda, and M. Okada. Identification of critical residues for the catalytic activity of ComQ, a Bacillus prenylation enzyme for quorum sensing, by using a simple bioassay system. Biosci. Biotechnol. Biochem., 2019, DOI: 0.1080/09168451.2019.1685371.
3. S. Ishikawa, T. Murayama, B. Katryniok, F. Dumeignil, M. Araque, S. Heyte, S. Paul, Y. Yamada, M. Iwazaki, N. Noda, W. Ueda, Influence of the structure of trigonal Mo-V-M3rd oxides (M3rd = -, Fe, Cu, W) on catalytic performances in selective oxidations of ethane, acrolein, and allyl alcohol, , Appl. Catal. A, 2019, 584,
4. Z. Zhang, M. Sadakane, M. Hara, Y.-S. Li, W. Ueda, Intermolecular electron transfer and oxygen transfer of phosphomolybdate molecular wires, Inorg. Chem., 2019, 58, 12272-12279
5. M. Sadakane, K. Kodato, N. Yasuda, S. Ishikawa, W. Ueda, Thermal behavior, crystal structure, and solid state transformation of orthorhombic Mo-V oxide under nitrogen flow or in air, ACS Omega, 2019, 4, 13165-13171
6. T. Murayama, S. Ishikawa, H. Hiyoshi, N. Goto, T. Toyao, K. Shimizu, W. Ueda, High Dimensionally Structured W-V-Oxides as Highly Efficient Catalysts for Selective Oxidation of Toluene, Catalysis Today, 2019
7. Z. Zhang, S. Ishikawa, Q. Zhu, T. Murayama, M. Sadakane, M. Hara, W. Ueda, Redox-active zeolitic transition metal oxides based on  $\epsilon$ -Keggin units for selective oxidation, Inorg. Chem., 2019, 58, 6283-6293
8. S. Ishikawa, Y. Yamada, Q. Chuntian, Y. Kawahara, N. Hiyoshi, a. Yoshida, W. Ueda, Synthesis of Crystalline Orthorhombic Mo-V-Cu Oxide for Selective Oxidation of Acrolein, Chem. Mat., 2019, 31, 1408-1417
9. S. Ishikawa, Z. Zhang, T. Murayama, N. Hiyoshi, M. Sadakane, W. Ueda, Multi-dimensional Crystal Structuring of Complex Metal Oxide Catalysts of Group V and VI Elements by Unit-Assembling, Topics in Catal., 2019, 62, 17-20.
10. Y. Kon, T. Nakashima, T. Fujitani, T. Murayama, W. Ueda, Dehydrative Allylation of Amine with Allyl Alcohol by Titanium Oxide Supported Molybdenum Oxide Catalyst, Synlett, 2019, 30, 287-292S.
11. S. Okamoto, T. Yamada, Y. Tanabe and M. Sakai, Alkyne [2+2+2] cycloisomerization catalyzed by a low-valent titanium reagent derived from CpTiX<sub>3</sub> (X = Cl, O-i-Pr), Me<sub>3</sub>SiCl, and Mg or Zn, Organometallics, 37, 4431-4438 (2018).
12. Akira Ono, Hiroki Kanazawa, Hikari Ito, Misato Goto, Koudai Nakamura, Hisao Saneyoshi, Jiro Kondo, "Novel DNA helical wire containing Hg(II) mediated T:T and T:G pairs" Angew. Chem. Int. Ed., 2019, on the web. DOI: 10.1002/anie.201910029 and 10.1002/ange.201910029 (Very Important Paper).
13. Tatsuya Funai, Megumi Aotani, Risa Kiri, Junko Nakamura, Yuki Miyazaki, Dr. Osamu Nakagawa, Dr. Shun-ichi Wada, Prof.

- Dr. Hidetaka Torigoe, Prof. Dr. Akira Ono and Hidehito Urata, "Silver(I) ion-mediated cytosine-containing base pairs: Metal ion specificity for duplex stabilization and susceptibility toward DNA polymerases" *ChemBioChem*, 2019, on the web. 10.1002/cbic.201900450
14. Akira Ono, Takahiro Atsugi, Misato Goto, Hisao Saneyoshi, Takahito Tomori, Kohji Seio, Takenori Dairaku and Jiro Kondo, "Crystal structure of a DNA duplex cross-linked by 6-thioguanine–6-thioguanine disulfides: reversible formation and cleavage catalyzed by Cu(II) ions and glutathione" *RSC Adv.*, 2019, 9, 22859–22862. DOI: 10.1039/c9ra03515j
  15. Hisao Saneyoshi, Takayuki Ohta, Yuki Hiyoshi, Akira Ono, "Design, synthesis and cellular uptake of oligonucleotides modified with glutathione-labile protecting groups" *Org. Lett.*, 2019, 21, 862–866.
  16. Xiwen Xing, Yihong Feng, Zutao Yu, Kumi Hidaka, Fenyong Liu, Akira Ono, Hiroshi Sugiyama, and Masayuki Endo, "Direct Observation of the Double-Stranded DNA Formation through Metal Ion-Mediated Base Pairing in the Nanoscale Structure" *Chem. Eur. J.*, 2019, 25, 1446-1450.
  17. Dengchao Xia, Junpeng Quan, Guodong Wu, Xinling Liu, Zongtao Zhang, Haipeng Ji, Deliang Chen, Liying Zhang, Yu Wang, Shasha Yi, Ying Zhou, Yanfeng Gao, Ren-Hua Jin, "Linear-Polyethyleneimine-templated Synthesis of N-doped Carbon Nanonet Flakes for High-performance Supercapacitor Electrodes", *Nanomaterials*, , 9, 1225 (2019).
  18. Takayuki Ikehara, Toshiyuki Kataoka, Manabu Inutsuka, and Ren-Hua Jin, "Chiral Nucleating Agents Affecting the Handedness of Lamellar Twist in the Banded Spherulites in Poly( $\epsilon$ -Caprolactone)/Poly(Vinyl Butyral) Blends", *Macro Letters*, 8, 871-874 (2019).
  19. Seiji Tsunega, Patcharapon Kongpitak, and Ren-Hua Jin, "Chiroptical phenolic resins grown on chiral silica bonding amine residues", *Polym. Chem.* 10, 3535-3546 (2019).
  20. Yoshiteru Kawakami, Tsuyoshi Ogishima, Tomoki Kawara, Shota Yamauchi, Kazuhiko Okamoto, Singo Nikaido, Daiki Souma, Ren-Hua Jin and Yoshio Kabe, "Silane catecholates: versatile tools for selfassembled dynamic covalent bond chemistry", *Chem. Commun.* 55, 6066-6069 (2019).
  21. Haruka Takebuchi, Hiroki Kubosawa, Ren-Hua Jin, "Synthesis and Thermo-responsiveness of Double Hydrophilic Block Copolymers with PNIPAM Coils and Poly(methyloxazoline) /Poly(ethyleneimine) Combs", *Chem. Letter*, 48, 647-650 (2019).
  22. Ren-Hua Jin, "Understanding silica from the viewpoint of asymmetry", *Chem. Eur. J.* 25, 25, 6270-6283 (2019).
  23. Seiji Tsunega, Toyokazu Tanabe, and Ren-Hua Jin, "Unusual Chirality Transfer from Silica to Metallic Nanoparticles with Formation of Distorted Atomic Array in Crystal Lattice Structure", *Nanoscale Adv.* 1, 581–591 (2019).
  24. Daiki Souma, Ren-Hua Jin, "Biomimetic silica deposition promoted by sub-5  $\mu\text{m}$  complexes of dicarboxylic acids/polyethyleneimine microballs: a new approach of tuning silica structures using messenger-like organic acids", *RSC Advances*, 8, 435-443 (2018).
  25. Xin-Ling Liu, Ken Murakami, Hiroyuki Matsukizono, Seiji Tsunega and Ren-Hua Jin, "Convenient Chirality Transfer from Organics to Titania: Construction and Optical Property", *RSC Adv.* 8, 15951-15950 (2018).
  26. T. Nishiura, Y. Chiba, J. Nakazawa and S. Hikichi, "Tuning the O<sub>2</sub> Binding Affinity of Cobalt(II) Centers by Changing the Structural and Electronic Properties of the Distal Substituents on Azole-Based Chelating Ligands", *Inorg. Chem.*, 57 (22), 14218 – 14229 (2018).
  27. T. Nishiura, A. Takabatake, M. Okutsu, J. Nakazawa and S. Hikichi, "Heteroleptic cobalt(III) acetylacetonato complexes with N-heterocyclic carbene-donating scorpionate ligands: synthesis, structural characterization and catalysis", *Dalton Trans.*, 48 (8), 2564 – 2568 (2019).
  28. S. Ageta, H. Komatsuzaki, M. Satoh, T. Agou, Y. Tanaka, M. Akita, J. Nakazawa and S. Hikichi, "A monomeric manganese(II) catecholato complex: Synthesis, crystal structure, and reactivity toward molecular oxygen", *Inorg. Chim. Acta*, 484, 424 – 429 (2019).
  29. Takashi Tsuda, Nobuo Ando, Kazuki Matsubara, Toyokazu Tanabe, Kaoru Itagaki, Naohiko Soma, Susumu Nakamura, Narumi Hayashi, Takao Gunji, Takeo Ohsaka, Futoshi Matsumoto, Improvement of high-rate charging/discharging performance of a lithium ion battery composed of laminated LiFePO<sub>4</sub> cathodes/ graphite anodes having porous electrode structures fabricated with a pico-second pulsed laser, *Electrochimica Acta*, 291, 267-277 (2018).
  30. Takashi Tsuda, Nobuo Ando, Susumu Nakamura, Yuuta Ishihara, Narumi Hayashi, Naohiko Soma, Takao Gunji, Toyokazu Tanabe, Takeo Ohsaka, Futoshi Matsumoto, Improvement of high-rate discharging performance of LiFePO<sub>4</sub> cathodes by forming micrometer-sized through-holed electrode structures with a pico-second pulsed laser, *Electrochimica Acta*, 296, 27-38 (2018).
  31. Yubin Liu, Toyokazu Tanabe, Yuta Irii, Fumihiko Maki, Takashi Tsuda, Takao Gunji, Shinsaku Ugawa, Yuta Asai, Hojin Lee, Takeo Ohsaka, Futoshi Matsumoto, Optimization of Synthesis Condition of Water-Resistant and Thin Titanium Oxide Layer-Coated Ni-rich Layered Cathode Materials and Their Cathode Performance, *J. Applied Electrochemistry*, 49(1), 99-110 (2019).
  32. Takashi Tsuda, Nobuo Ando, Tomohiro Utaka, Kenji Kojima, Susumu Nakamura, Narumi Hayashi, Naohiko Soma, Takao Gunji, Toyokazu Tanabe, Takeo Ohsaka, Futoshi Matsumoto, Improvement of High-Rate Performance of LiFePO<sub>4</sub> Cathode with Through-Holed LiFePO<sub>4</sub>/Activated Carbon Hybrid Electrode Structure Fabricated with a Pico-second Pulsed Laser, *Electrochimica Acta*, 298, 827-834 (2019).
  33. Tsukasa Watanabe, Yuta Inafune, Manabu Tanaka, Yasumasa Mochizuki, Futoshi Matsumoto, Hiroyoshi Kawakami, Development of all-solid-state battery based on lithium ion conductive polymer nanofiber framework, *J. Power Sources*, 423, 255-262 (2019).
  34. Tatsuya Watanabe, Takashi Tsuda, Nobuo Ando, Susumu Nakamura, Narumi Hayashi, Naohiko Soma, Takao Gunji, Takeo Ohsaka, Futoshi Matsumoto, An Improved Pre-Lithiation of Graphite Anodes Using Through-Holed Cathode and Anode Electrodes in a Laminated Lithium Ion Battery, *Electrochimica Acta*, 324, 134848 (2019).
  35. Y. Chiba, D. Koizumi, M. Saito, and T. Motohashi, Structural design of alkali-metal titanates: electrochemical growth of K<sub>x</sub>Ti<sub>8</sub>O<sub>16</sub>, Na<sub>2+x</sub>Ti<sub>6</sub>O<sub>13</sub>, and Li<sub>2+x</sub>Ti<sub>3</sub>O<sub>7</sub> single crystals with one-dimensional tunnel structures, *CrystEngComm* 21, 3223-3231 (2019).
  36. K. Nakayama, R. Ishikawa, A. Kuwabara, S. Kobayashi, T.

- Motohashi, N. Shibata, and Y. Ikuhara, Transition-Metal Distribution in Brownmillerite  $\text{Ca}_2\text{FeCoO}_5$ , *Inorganic Chemistry* 58, 10209-10216 (2019).
37. D. Kowalski, H. Kiuchi, T. Motohashi, Y. Aoki, and H. Habazaki, Activation of Catalytically Active Edge Sharing Domains in  $\text{Ca}_2\text{FeCoO}_5$  for Oxygen Evolution Reaction in Highly Alkaline Media, *ACS Applied Materials and Interfaces* 11, 28823-28829 (2019).
  38. H. Nakatsugawa, M. Saito, and Y. Okamoto, High-Temperature Thermoelectric Properties of  $\text{Pr}_{1-x}\text{Sr}_x\text{FeO}_3$  ( $0.1 \leq x \leq 0.7$ ), *Materials Transactions* 60, 1051-1060 (2019).
  39. M. Nojima, T. Kamigawara, Y. Ohta and T. Yokozawa, Catalyst-transfer Suzuki-Miyaura condensation polymerization of stilbene monomer: different polymerization behavior depending on halide and aryl group of  $\text{ArPd}(\text{Bu}_3\text{P})\text{X}$  initiator, *J. Polym. Chem. Part A: Polym. Chem.*, 57 (3), 297-304 (2019).
  40. R. Okabayashi, Y. Ohta and T. Yokozawa, Synthesis of block copolymers of polyester and polystyrene by means of cross-metathesis of cyclic unsaturated polyester and atom transfer radical polymerization, *Macromolecules*, 52 (3), 1125-1133 (2019).
  41. H. Sugita, M. Nojima, Y. Ohta and T. Yokozawa, Unstoichiometric Suzuki-Miyaura cyclic polymerization of extensively conjugated monomers, *Polym. Chem.*, 10 (10), 1182-1185 (2019).
  42. H. M. Tran, L-T T. Nguyen, T. H. Nguyen, H.L. Nguyen, N. T.S. Phan, G. Zhang, T. Yokozawa, H. L. Tran, P. T. Mai and H. T. Nguyen, Efficient synthesis of a rod-coil conjugated graft copolymer by combination of thiol-maleimide chemistry and MOF-catalyzed photopolymerization, *Eur. Polym. J.*, 116, 190-200 (2019).
  43. T. Yokozawa, N. Harada, H. Sugita and Y. Ohta, Intramolecular catalyst transfer on a variety of functional groups between benzene rings in a Suzuki-Miyaura coupling reaction, *Chem. Eur. J.*, 25 (43), 10059-10062 (2019).
  44. Y. Ohta, Y. Abe, K. Hoka, E. Baba, Y.-P. Lee, C.-A. Dai and T. Yokozawa, Synthesis of amphiphilic, Janus diblock hyperbranched copolyamides and their self-assembly in water, *Polym. Chem.*, 10 (31), 4246-4251 (2019).
  45. R. Okabayashi, Y. Ohta and T. Yokozawa, Synthesis of telechelic polyester by means of transesterification of  $\text{A}_2 + \text{B}_2$  polycondensation-derived cyclic polyester with functionalized diester, *Polym. Chem.*, 10 (36), 4973-4979 (2019).
5. Takao Gunji, Futoshi Matsumoto, Electrocatalytic Activities of Bimetallic, Trimetallic, and Core-Shell-Structured Pd-based Materials, *Inorganics*, 7, 36 (2019).

## 口頭発表

1. 井川 学, 土井遼河, 関口友麻, 中居愛都咲, 松野千加士, 「除染廃棄物減容のための電場によるセシウムイオンの除去」, 第 24 回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会, S6-22 (2018.10, 福島).
2. 井川 学, 土井 遼河, 伊海 雄飛, 松野 千加士, 「電気泳動とセシウムイオン吸着剤による除染廃棄物の減容」, 環境放射能除染学会第 8 回研究発表会, S8-1 (2019, 7, 郡山).
3. 清水雄太, 大石航也, 松野 千加士, 井川 学, 「横浜における雨と霧雨の特性」, 第 60 回大気環境学会年会, P-61 (2019.9, 府中).
4. 田中悠作, 鈴木 翔, 松野 千加士, 井川 学, 「横浜における霧の特性」, 第 60 回大気環境学会年会, P-62 (2019.9, 府中).
5. 濱田康輔, 木之下汰世, 王 一澤, 松野 千加士, 井川 学, 「丹沢大山の霧とパッシブ霧採取器の採取特性」, 第 60 回大気環境学会年会, P-63 (2019.9, 府中).
6. 王 一澤, 大場 亮, 松野 千加士, 井川 学, 「丹沢大山における大気汚染物質の沈着と樹冠との相互作用」. 第 60 回大気環境学会年会, P-64 (2019.9, 府中).
7. 井上進夢, 久保田 空, 松野 千加士, 井川 学, 「横浜における大気中微量ガス成分の経年推移と濃度支配要因」, 第 60 回大気環境学会年会, P-131 (2019.9, 府中).
8. 岩瀬巧己, 紺矢恭兵, 松野 千加士, 井川 学, 「横浜と大山における揮発性有機化合物の分析とその濃度支配要因」, 第 60 回大気環境学会年会, P-132 (2019.9, 府中).
9. 森 洋介, 大塚 裕, 松野 千加士, 井川 学, 「横浜のエアロゾルの経年変化と越境汚染の影響」, 第 60 回大気環境学会年会, P-133 (2019.9, 府中).
10. 富山裕生, 武田悠花, 松野 千加士, 井川 学, 「蛍光 X 線分析法によるエアロゾルの分析」, 第 60 回大気環境学会年会, P-134 (2019.9, 府中).
11. 佐藤大輝, 犬東学, 片岡利介, 池原飛之, Poly(ethylene oxide) 薄膜での結晶化における分子量及び膜厚の依存性, 第 68 回高分子学会年次大会, 3Pc043 (大阪, 2019.5).
12. 田中一成, 犬東学, 片岡利介, 池原飛之, 結晶性/非晶性トリブロックコポリマーの結晶化に与える非晶性ブロックの長さの影響, 第 68 回高分子学会年次大会, 3Pc059 (大阪, 2019.5).
13. 杉浦恭介, 犬東学, 片岡利介, 池原飛之, 結晶性/非晶性グラフトコポリマーの結晶化における非晶性グラフト鎖の影響, 第 68 回高分子学会年次大会, 3Pd056 (大阪, 2019.5).
14. 犬東学, 丸山祐亮, 池原飛之, 結晶性高分子薄膜の融解挙動, 第 68 回高分子学会年次大会, 2E09 (大阪, 2019.5).
15. 犬東学, 丸山祐亮, 池原飛之, 結晶性高分子薄膜の融解挙動と界面状態, 第 68 回高分子討論会, 1Pf040 (福井, 2019.9).
16. 石崎裕希, 犬東学, 片岡利介, 池原飛之, 結晶性/結晶性ブロック共重合体の結晶化に対するブロック間結合の影響, 第 68 回高分子討論会, 2Pf030 (福井, 2019.9).
17. 杉浦恭介, 犬東学, 片岡利介, 池原飛之, 結晶性/非晶性グラフトコポリマーの結晶化における非晶性グラフト鎖が与える影響, 第 68 回高分子討論会, 2Pf036 (福井, 2019.9).
18. 岡里沙子, 犬東学, 片岡利介, 池原飛之, 固体表面にグラフトされた poly(butylene succinate) の結晶化挙動と融解挙動, 第 68 回高分子討論会, 2Pe031 (福井, 2019.9).

## 研究論文II (レフェリー付き Proceedings)

1. Manabu Igawa, Sho Suzuki, Kosuke Kamijo, "Characteristics of urban thin fog or mist in Yokohama, Japan", 8th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew, IFDA2019-69 (2019.7, Taipei) .
2. Yize Wang, Taise Kinoshita, Manabu Igawa, "Deposition characteristics of fog in mountainous region", 8th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew, IFDA2019-85 (2019.7, Taipei) .
3. Yize Wang, Hiroshi Okochi, Manabu Igawa, "Three decades trend of fog in Mt. Oyama, Japan", 8th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew, IFDA2019-86 (2019.7, Taipei) .
4. 岡田正弘. 翻訳後修飾によるトリプトファン残基のイソプレニル化. 神奈川大学工学研究, 2019, 2, 18-20.

19. 佐藤大輝, 犬東学, 片岡利介, 池原飛之, 結晶性高分子の薄膜におけるレジーム転移温度の分子量及び膜厚依存性, 第 68 回高分子討論会, 2Pe037 (福井, 2019.9).
20. 田中一成, 犬東学, 片岡利介, 池原飛之, 結晶性/非晶性トリブロックコポリマーの球晶成長速度における非晶性ブロックの分子量依存性, 第 68 回高分子討論会, 2Pe027 (福井, 2019.9)
21. 池原飛之, 平本純, 犬東学, 片岡利介, 固体表面にグラフトされたポリ( $\epsilon$ -カプロラクトン)の平衡融点と結晶化速度, 第 68 回高分子討論会, 1D20 (福井, 2019.9)
22. 上田渉, 学会 60 年の歩み, 第 48 回石油・石油化学討論会 (東京, 2018. 10)
23. 石川理史, 下田光祐, 熊木政浩, 上田渉, 高次構造 Mo-Fe 複合酸化物の合成とメタノール酸化活性, 第 48 回石油・石油化学討論会 (東京, 2018. 10)
24. 石川理史, 下田光祐, 熊木政浩, 上田渉, 高次構造 Mo-Fe-O 複合酸化物触媒の合成およびメタノール選択酸化, 第 51 回酸化反応討論会 (福岡, 2018.11)
25. Z. Zhang, S. Ishikawa, M. Hara and W. Ueda, Synthesis of  $\epsilon$ -Keggin-based microporous iron vanadomolybdates for ethyl lactate oxidation, 第 51 回酸化反応討論会 (福岡, 2018.11)
26. 上田渉, New generation oxide catalysts for highly difficult reactions, FHI-JST joint symposium (ドイツ, 2018.11)
27. 上田渉, Group 5 and 6 complex metal oxide catalysts with porous crystal structure formed by metal-oxo cluster assembling, CCI-ICAT joint international symposium on catalysis (イギリス, 2019.1)
28. 石川理史, 篠田真衣, 元木裕太, 木村桃歌, 鶴見翔太, 吉田暁弘, 上田渉, 高次構造 Nb 酸化物のプレンステッド酸触媒反応における触媒活性点構造の検討. 第 123 回触媒討論会 (大阪, 2019.3)
29. 石川理史, 犬飼将慎, 上田渉, Sb を含む結晶性三方晶  $\text{Mo}_3\text{VO}_x$  複合酸化物の熱処理による斜方晶  $\text{Mo}_3\text{VO}_x$  構造への結晶構造変化およびプロパンアンモ酸化反応, 石油学会第 62 回年会 (東京, 2019.5)
30. 石川理史, 犬飼将慎, 上田渉, Introduction of Sb into trigonal  $\text{Mo}_3\text{VO}_x$  oxide and its crystal structure transformation to orthorhombic  $\text{Mo}_3\text{VO}_x$  structure by heat treatment, 12th NGCS (アメリカ, 2019. 6)
31. 上田渉, Zeolite-type crystal structuring in complex metal oxide catalysts of group V and VI elements by unit-assembling, 19th international zeolite conference (オーストラリア, 2019.7)
32. 上田渉, New Generation of Complex Metal Oxides as Soli-State Catalysts, JST - TU Delft Joint Symposium, Innovating Methodologies in Catalysis (ドイツ, 2019.8)
33. 石川理史, 上田渉, Selective oxidation of alkane and unsaturated aldehyde over crystalline  $\text{Mo}_3\text{VO}_x$  catalyst, ETH-ICAT joint symposium on catalysis (スイス, 2019. 9)
34. 大山泰輝, 白杵裕樹, 石川理史, 上田渉, 結晶性斜方晶  $\text{Mo}_3\text{VO}_x$  触媒を用いたエタンから酢酸の酸化的直接合成, 第 124 回触媒討論会 (長崎, 2019.9)
35. 野田渚紗, 石川理史, 平田純, 二宮航, 上田渉, メタクロレイン選択酸化反応における結晶性  $\text{Mo}_3\text{VO}_x$  複合酸化物とヘテロポリ酸の触媒機能比較, 第 124 回触媒討論会 (長崎, 2019.9)
36. 石川理史, 犬飼将慎, 上田渉, 三方晶  $\text{Mo}_3\text{VO}_x$  への Sb のイオン交換と熱処理による斜方晶  $\text{Mo}_3\text{VO}_x$  構造への結晶構造変化およびプロパンアンモ酸化活性, 第 124 回触媒討論会 (長崎, 2019.9)
37. 下田光祐, 石川理史, 上田渉, 5 員環ユニット  $\{\text{Mo}_6\text{O}_{27}\}$  配列構造を有する Mo 複合酸化物の合成と選択酸化触媒能, 第 124 回触媒討論会 (長崎, 2019.9)
38. 松本知大, 齋藤美和, 石川理史, 上田渉, 本橋輝樹, 結晶性複合金属酸化物  $\text{Li}_2\text{ASiO}_4$  (A = Ca, Sr) におけるメタン酸化カップリング反応の活性要因, 第 124 回触媒討論会 (長崎, 2019.9)
39. 三谷香菜子, 津野地直, 佐野庸治, 上田渉, 定金正洋, 結晶性モリブデン酸化物マイクロ細孔中へのガス分子閉じ込め方法の検討, 第 124 回触媒討論会 (長崎, 2019.9)
40. 石川理史, 山田雄大, 榎尾直樹, 上田渉, Selective Oxidation of Acrolein over Crystalline Mo-V-W-O Catalyst, 第 49 回石油・石油化学討論会 (山形, 2019, 10)
41. 青木和沙, 石川理史, 上田 渉, 酸化-還元周期処理した結晶性  $\text{Mo}_{29}\text{V}_{11}\text{O}_{112}$  複合酸化物触媒のエタン酸化活性, 第 49 回石油・石油化学討論会 (山形, 2019, 10)
42. 仁藤廣一, 石川理史, 上田 渉,  $\epsilon$ -Keggin 構造をユニットとするマイクロ細孔性複合酸化物触媒による乳酸エチルの気相酸化, 第 49 回石油・石油化学討論会 (山形, 2019, 10)
43. 神山曜帆, Z. Zhang, 石川理史, 猪股雄介, 村山 徹, 上田渉,  $\text{W}_4\text{V}_3\text{O}_{19}$  複合酸化物のイオン交換によるマイクロ細孔性質制御およびその  $\text{NH}_3$ -SCR 触媒活性, 第 49 回石油・石油化学討論会 (山形, 2019, 10)
44. 今喜裕, 石川理史, 中島拓哉, 鶴見翔太, 永島裕樹, 藤谷忠博, 上田渉,  $\text{MoO}_3/\text{TiO}_2$  触媒を用いた高効率アリル化反応における担体の効果, 第 49 回石油・石油化学討論会 (山形, 2019, 10)
45. 岡田正弘. クオラムセンシングフェロモンを介した腸内細菌とヒトのクロストーク. 旭硝子財団 2019 助成研究発表会, (ホテルグランドヒル市ヶ谷, 東京, 2019. 7.31).
46. 岡田正弘. クオラムセンシングフェロモンを介した腸内細菌とヒトのクロストーク. 公益財団法人発酵研究所第 13 回助成研究報告会, (千里ライフサイエンスセンター, 大阪, 2019. 6. 7).
47. 岡田正弘. ゲノムシャッフルによる新規二次代謝産物の探索. 野田産業科学研究所 2017 年度研究助成成果報告会, (パレスホテル東京, 東京, 2019. 5.29).
48. 岡田正弘. ComXnatto フェロモンの合成. 日本農芸化学会 2019 年度大会, 1D4p15 (東京農業大学, 東京, 2019. 3. 24).
49. 中田春樹, 竹村真太郎, 太田登茂樹, 山田健, 岡本専太郎, 二価チタン反応剤によるアルキンの分子内ビニル-およびアレニル-チタン化環化反応, 第 8 回 CSJ 化学フェスタ, P5-058 (東京, 2018.10).
50. Nana Kikuta, Takeshi Yamada, Sentaro Okamoto, Synthesis of hyperbranched polymer by  $\text{CoCl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}/\text{dipimp}/\text{Zn}$  catalyzed [2+2] cycloaddition reaction of alkynes, 日本化学会第 99 春季年会, 1PB-007 (神戸, 2019. 3.).
51. Haruka Yamamoto, Misaki Shimada, Takeshi Yamada, Rie Nakagawa, Sentaro Okamoto, Synthesis of the auxin analogs to clarify the biological activity of IBA, 日本化学会第 99 春季年会, 2PC-029 (神戸, 2019. 3.).
52. 高橋脩, 廣瀬友靖, 君嶋葵, 岩月正人, 穂苅玲, 石山亜紀, 山田健, 菅原草公, 佐藤達彦, 大村智, 砂塚敏明, 抗マラリア活性を有する Diatreol の不斉全合成と網羅的構造活性相関研究, 日本薬学会第 139 年会, 22L-pm14S (幕張, 2019. 3.).
53. 細胞内還元条件で除去される RNA 糖部保護基の開発: 寺澤 一馬、中村 康大、小野 晶、實吉 尚朗、日本核酸医薬学会第 5 回年会 (2019 年 7 月 10 日~12 日、ホテル阪急エキスポパーク)
54. 細胞内で蛍光を発する発光標識核酸の合成: 太田 貴之、山本 祐太、小野 晶、實吉 尚朗、日本核酸医薬学会

- 第5回年会 (2019年7月10日~12日、ホテル阪急エクスポパーク)
55. 2' 位に還元環境で脱離する保護基を結合した RNA の合成: プロドラッグ型核酸医薬開発に向けて: 小野 晶, 中村康大, 實吉 尚郎, 日本薬学会第 139 年会、幕張メッセ、2019年3月20日~23日 (ポスター: 21PO-pm034)
  56. サイクリックボルタンメトリーを用いたメタロ塩基対の酸化還元特性の解析: 奥山 まりん, 大樂 武範, 小野 哲也, 吉田 健太郎, 金場 哲平, 佐藤 一, 近藤 次郎, 小野 晶, 田中 好幸, 柏木 良友, 日本薬学会第 139 年会、幕張メッセ、2019年3月20日~23日 (ポスター: 22PO-pm153)
  57. 5-フルオロウラシル塩基を含むミスマッチ塩基対と金属イオンの特異的結合: 安達咲希・荒川章裕・小野晶・鳥越秀峰. 日本化学会第 99 春季年会、甲南大学・岡本キャンパス、2019年3月16日~19日 (口頭 1G4- 04)
  58. 発蛍光色素が結合したオリゴヌクレオチドの合成: 實吉尚郎・山本祐太・太田貴之・小野晶. 日本化学会第 99 春季年会、甲南大学・岡本キャンパス、2019年3月16日~19日 (口頭 1G4- 20)
  59. Synthesis of cell-membrane permeable oligonucleotides bearing GSH-activated protecting groups on the internucleotide linkages: Hisao Saneyoshi, Takayuki Ohta, Yuki Hiyoshi, Akira Ono 第 45 回国際核酸化学シンポジウム、京都、京都大学吉田キャンパス百周年時計台記念館、2018年11月7日~9日(口頭: pp40-41)
  60. Metal-mediated base pairs; the modification of DNA for future nano-electronics : Vladimír Sychrovský, Jakub Šebera, Yoshiyuki Tanaka, Akira Ono, Jiří Fukal, Magdalena Hromadová, Viliam Kolivoška 第 45 回国際核酸化学シンポジウム、京都、京都大学吉田キャンパス百周年時計台記念館、2018年11月7日~9日(口頭: pp102-103)
  61. Thermodynamic Properties of the Specific Binding of 4-Thiothymine to Each of Thymine and Cytosine in Mismatched Duplex DNA by Different Metal Ions : Ayami Yaguchi, Akira Ono, Jiro Kondo, Hidetaka Torigoe 第 45 回国際核酸化学シンポジウム、京都、京都大学吉田キャンパス百周年時計台記念館、2018年11月7日~9日(口頭: pp108-109)
  62. Consecutive formation of thymine-Hg<sup>II</sup> -thymine base pairs catalyzed by DNA polymerases : Hidehito Urata, Tatsuya Funai, Chizuko Tagawa, Akira Ono, Shun-ichi Wada 第 45 回国際核酸化学シンポジウム、京都、京都大学吉田キャンパス百周年時計台記念館、2018年11月7日~9日(ポスター: pp260-261)
  63. Effects of Hg(II) and Ag(I) on the structure of the rRNA A site molecular switches : Miki Nagashima, Chiharu Suzuki, Akari Tsudura, Yuriko Uchida, Kenta Kubodera, Akira Ono, Jiro Kondo. 第 45 回国際核酸化学シンポジウム、京都、京都大学吉田キャンパス百周年時計台記念館、2018年11月7日~9日(ポスター: pp266-267)
  64. Crystal structures of DNA and RNA duplexes containing gold- and copper-mediated base pairs : Erika Iwase, Yoshinari Tada, Akira Ono, Jiro Kondo 第 45 回国際核酸化学シンポジウム、京都、京都大学吉田キャンパス百周年時計台記念館、2018年11月7日~9日(ポスター: pp268-269)
  65. Thermodynamic Properties of the Specific Binding between Metal Ion and Mismatched Base Pairs Involving 5-Hydroxyuracil or 5-Hydroxycytosines : Fumihiro Arakawa, Ayami Yaguchi, Akira Ono, Jiro Kondo, Hidetaka Torigoe 第 45 回国際核酸化学シンポジウム、京都、京都大学吉田キャンパス百周年時計台記念館、2018年11月7日~9日(ポスター: pp292-293)
  66. Specific Binding between Metal Ion and Mismatched Base Pair Involving 5-Carboxycytosines : Saki Adachi, Fumihiro Arakawa, Akira Ono, Hidetaka Torigoe 第 45 回国際核酸化学シンポジウム、京都、京都大学吉田キャンパス百周年時計台記念館、2018年11月7日~9日(ポスター: pp294-295)
  67. Structure analyses of a novel DNA helical wire containing Hg(II) -mediated T:T and T:G base pairs : Akira Ono, Hiroki Kanazawa, Hikari Ito, Misato Goto, Hisao Saneyoshi, Jiro Kondo 第 45 回国際核酸化学シンポジウム、京都、京都大学吉田キャンパス百周年時計台記念館、2018年11月7日~9日(ポスター: pp370-371)
  68. Metal ion binding properties of modified thymine pairs with 1,2-diamine groups in duplexes : Takahiro Atsugi, Hisao Saneyoshi, Akira Ono 第 45 回国際核酸化学シンポジウム、京都、京都大学吉田キャンパス百周年時計台記念館、2018年11月7日~9日 (ポスター: pp-374-375)
  69. 伊崎真琴・金 仁華, 水溶性キラルポリマーの設計及び機能, 第 67 回高分子討論会, (北海道、北海道大学) 2018年9月12~14日
  70. Seiji Tsunega, Sora Sato, and Ren-Hua Jin, "Asymmetric Radical Polymerization of Vinyl Monomers in the Mediation of Chiral Silica", 第 68 回高分子討論会, (福井、福井大学) 2019年9月25~27日
  71. 王 文立・河合 晃輔・金 仁華, "長鎖アルキル基を有するポリ アシルエチレンイミン の合成と基礎物性", 第 68 回高分子討論会, (福井、福井大学) 2019年9月25~27日
  72. 竹淵はるか・金仁華, "PNIPAM を有するシェル架橋された親水性ナノカプセルの合成と熱応答チューニング", 第 68 回高分子討論会, (福井、福井大学) 2019年9月25~27日
  73. 太田 恵唯・恒賀 聖司・金 仁華, "キラル酸化チタン合成における有機系テンプレートの効果", 第 68 回高分子討論会, (福井、福井大学) 2019年9月25~27日
  74. 服部 沙莉菜・金 仁華, "アミド縮合剤を用いたキラル残基を有するマイクロ粒子の合成", 第 68 回高分子討論会, (福井、福井大学) 2019年9月25~27日
  75. 貝掛 勝也・城 直生・金 仁華, "テオフィリン配位由来のパラジウム系自己組織化ナノ構造体及び触媒機能", 第 68 回高分子討論会, (福井、福井大学) 2019年9月25~27日
  76. 貝掛勝也、高田将文、金仁華, "テオフィリンを配位子としたマイクロ粒子型パラジウム吸着剤", 第 30 回廃棄物資源循環学会研究発表会, (仙台、東北大学) 2019年9月19~21日
  77. Seiji Tsunega, Ren-Hua Jin, "Endowing metallic nanoparticles with chirality employing asymmetric silica as chiral sources", Sixth International Symposium Frontiers in Polymer Science, (Budapest, Hungary) May 5-8, 2019
  78. Wenli Wang, Ren-Hua Jin, "Synthesis and Self-assembly of copolymers with comb of amphiphilic diblock structures", Sixth International Symposium Frontiers in Polymer Science, (Budapest, Hungary) May 5-8, 2019
  79. Haruka Takebuchi, Ren-Hua Jin, "Self-assembly property of double hydrophilic tooth-brush like block copolymers possessing PNIPAM block", Sixth International Symposium Frontiers in Polymer Science, (Budapest, Hungary) May 5-8, 2019
  80. Kei Ohta, Seiji Tsunega, Ren-Hua Jin, "Chiral silica synthesized by crystalline catalytic templates composed of enantiomer excess", Sixth International Symposium Frontiers in Polymer



- Science, (Budapest, Hungary) May 5-8, 2019
81. Sarina Hattori, Ren-Hua Jin, "Preparation and photo-function of silica balls enclosing lanthanide oxides nanoparticles", Sixth International Symposium Frontiers in Polymer Science, (Budapest, Hungary) May 5-8, 2019
  82. 恒賀聖司, 金仁華, "キラルシリカ反応場でのビニルモノマーの不斉ラジカル重合", 第 68 回高分子学会年次大会, (大阪府, 大阪府立国際会議場) 2019 年 5 月 29~31 日
  83. 王文立, 金仁華, "ポリオキサゾリン系両親媒性ブロック共重合体に自己組織化される銀ナノワイヤ", 第 68 回高分子学会年次大会, (大阪府, 大阪府立国際会議場) 2019 年 5 月 29~31 日
  84. 竹淵はるか, 金仁華, "シェルを架橋した PNIPAM を有する親水性ナノカプセルの合成とキャリア性能", 第 68 回高分子学会年次大会, (大阪府, 大阪府立国際会議場) 2019 年 5 月 29~31 日
  85. 太田恵唯, 恒賀聖司, 金仁華, "高分子系触媒型テンプレートによるキラル酸化チタンの合成", 第 68 回高分子学会年次大会, (大阪府, 大阪府立国際会議場) 2019 年 5 月 29~31 日
  86. 服部沙莉菜, 金仁華, "D-グルカル酸を不斉源とするキラル  $\mu$ -粒子の合成", 第 68 回高分子学会年次大会, (大阪府, 大阪府立国際会議場) 2019 年 5 月 29~31 日
  87. 恒賀聖司, 金仁華, "Architecture of Chiral silica-based circularly polarized luminescent system", 日本化学会 第 99 春季年会, (兵庫県, 甲南大学 岡本キャンパス) 2019 年 3 月 16~19 日
  88. 王文立, 金仁華, "クシ型ブロックポリマーの自己組織化及び化学修飾による塩基性 ナノオブジェの設計", 日本化学会 第 99 春季年会, (兵庫県, 甲南大学 岡本キャンパス) 2019 年 3 月 16~19 日
  89. 竹淵はるか, 貝掛勝也, 金仁華, "PNIPAM を有するシェル架橋された熱応答性ナノカプセルの合成と機能評価", 日本化学会 第 99 春季年会, (兵庫県, 甲南大学 岡本キャンパス) 2019 年 3 月 16~19 日
  90. 瀧田萌美, 金仁華, "両親媒性歯ブラシ型ポリマーミセルをテンプレートとした キラル酸化チタンの合成及び光触媒機能", 日本化学会 第 99 春季年会, (兵庫県, 甲南大学 岡本キャンパス) 2019 年 3 月 16~19 日
  91. Seiji Tsunega, Ren-Hua Jin, "Chiral phenolic resins grown on chiral silica associated with amines residues", The 12th SPSJ International Polymer Conference (IPC2018), December 4-8, 2018(Hiroshima, JAPAN) Poster Award: Polymers Award
  92. Wen-Li Wang, Ren-Hua Jin, "Synthesis and Self-organization of comb-like polymers grafting amphiphilic diblock polymeric side chain", The 12th SPSJ International Polymer Conference (IPC2018), December 4-8, 2018(Hiroshima, JAPAN)
  93. Haruka Takebuchi, Ren-Hua Jin, "Preparation and Self-assembly of comb-coil block copolymers possessing PNIPAM coil", The 12th SPSJ International Polymer Conference (IPC2018), December 4-8, 2018 (Hiroshima, JAPAN)
  94. 山口優莉奈, 西浦利紀, 森田真生, 野澤遥, 中澤順, 引地史郎, 2つのイミダゾリル基と1つのオキサゾリニル基からなるアニオン性三座ボレート配位子を用いたニッケル(II)及びコバルト(II)錯体の合成と酸化触媒能, 第 51 回酸化反応討論会, P-20 (福岡, 2018. 11).
  95. 山口優莉奈, 引地史郎, 中澤順, 西浦利紀, 神原沙南, 森田真央, 野澤遥, 2つのイミダゾリル基を含む多座ボレート配位子を用いた Co 錯体の酸素捕捉能および酸化触媒能, 日本化学会第 99 春季年会, 1C2-42 (神戸, 2019. 3).
  96. 鎌田隆介, 深津亜里紗, 森本祐麻, 杉本秀樹, 引地史郎, 伊東忍, 酸化還元活性配位子を有する金属錯体のメソポーラスシリカへの担持とそれを用いたアルカンの水酸化反応, 日本化学会第 99 春季年会, 2C2-04 (神戸, 2019. 3).
  97. 寺尾郁珠, 遠藤純平, 如澤直樹, 内藤三靖, 中澤順, 引地史郎, 窒素多座配位子を有する後周期 3d 遷移金属錯体触媒のアルカン酸化活性, 第 124 回触媒討論会, 2F10 (長崎, 2019. 9)
  98. 山口優莉奈, 森田真生, 野澤遥, 神原沙南, 西浦利紀, 岡村将也, 中澤順, 引地史郎, 2つのイミダゾリル基を含む多座ボレート配位子を用いた遷移金属錯体の合成, 錯体化学会第 69 回討論会, 1PA-043 (名古屋, 2019. 9).
  99. F. Nomura, T. Tanabe, Takeo Ohsaka, T. Gunji, F. Matsumoto, Optimization of Calcination Temperature in Preparation of a High Capacity Li-Rich Solid-Solution Li[Li Ni Co Mn ]O Material and Its Cathode Performance in Lithium Ion Battery, AIMES 2018, 2018.10.1-4, Cancun, Mexico.
  100. T. Tsuda, N. Ando, T. Tanabe, K. Itagaki, N. Soma, S. Nakamura, N. Hayashi, F. Matsumoto, Improvement of High Rate Performance of a Lithium Ion Battery Composed of Laminated LiFePO<sub>4</sub> Cathodes/ Graphite Anodes with Porous Electrode Structure Fabricated with a Pico-Second Pulsed Laser, AIMES 2018, 2018.10.1-4, Cancun, Mexico.
  101. F. Ando, Toyokazu Tanabe, T. Gunji, S. Kaneko, T. Ohsaka, F. Matsumoto, An Electrochemical Dealloying of Ordered Intermetallic Platinum-Lead (PtPb) Nanoparticles Supported on TiO<sub>2</sub>-Deposited Cup-Stacked Carbon Nanotube for Highly Efficient Catalysis Toward Oxygen Reduction Reaction in Acidic Media, AIMES 2018, 2018.10.1-4, Cancun, Mexico.
  102. F. Ando, Effect of the d-Band Center on the Oxygen Reduction Reaction Activity of Electrochemically Dealloyed Ordered Intermetallic Platinum-Lead (PtPb) Nanoparticles Supported on TiO<sub>2</sub>-Deposited Cup-Stacked Carbon Nanotubes The 28th Annual Meeting of MRS-J, 2018. 12. 19, 北九州国際会議場.
  103. 郡司貴雄, 井澤 佑, 松本 太, コア-シェル構造を有する電極触媒の創生と CO<sub>2</sub>還元反応における選択性, 表面技術協会第 139 回講演大会, 2019.3.18-19, 神奈川大学.
  104. 横井健人, 河合陽賢, 林 遥介, 松本 太, 耐薬品性無電解 Sn-Ni 合金の作製および評価, 表面技術協会第 139 回講演大会, 2019.3.18-19, 神奈川大学.
  105. 鈴木慧之, 郡司貴雄, 大坂武男, 松本 太, AlCl<sub>3</sub>-EMIC イオン液体からのアルミニウム電気めっきにおける添加剤の効果(4)-添加剤の分子構造と光沢性の関係-, 表面技術協会第 139 回講演大会, 2019.3.18-19, 神奈川大学.
  106. 津田喬史, 安東信雄, 石原悠太, 中村 奨, 板垣 薫, 柚直彦, 林 成美, 郡司貴雄, 大坂武男, 松本 太, ピコ秒レーザーを用いた三次元表面構造を有する穴あき電極の作製及びリチウムイオン二次電池への適用, 表面技術協会第 139 回講演大会, 2019.3.18.19, 神奈川大学.
  107. 林 遥介, 水品愛都, 横井健人, 河合陽賢, 郡司貴雄, 大坂武男, 松本 太, 自己触媒型無電解 Ni-Sn めっき被膜の作製と耐薬品性の検討, 表面技術協会第 139 回講演大会, 2019.3.18.-19, 神奈川大学.
  108. 郡司貴雄, 難波功洋, 大坂武男, 松本 太, 種々の助触媒を担持した TiO<sub>2</sub>光触媒の CO<sub>2</sub>還元反応における選択性, 電気化学会第 86 回大会, 2019.3. 27-29 京都大学吉田キャンパス.
  109. 郡司貴雄, 井澤 佑, 大坂武男, 松本 太, Cu<sub>x</sub>Sn<sub>y</sub>金属間化合物コア-Sn シェル構造の合成と電気化学的 CO<sub>2</sub>還元反応,

- 電気化学会第 86 回大会, 2019.3. 27-29 京都大学吉田キャンパス.
110. 安藤風馬, 田邊豊和, 郡司貴雄, 金子信悟, 大坂武男, 松本 太, 担持体および第二元素を用いた Pt 系金属間化合物ナノ粒子の Pt d-バンドセンターのチューニングによる ORR 活性の向上に関する検討(4), 電気化学会第 86 回大会, 2019.3. 27-29 京都大学吉田キャンパス.
  111. 野村 文洋, 津田 喬史, 田邊 豊和, 金子 信悟, 大阪 武男, 松本 太,  $\text{Li}_2\text{MnO}_3\text{-LiMO}_2$  Li 過剰系固溶体正極材料の合成における焼成条件と充放電容量およびサイクル安定性の関係, 電気化学会第 86 回大会, 2019.3. 27-29 京都大学吉田キャンパス.
  112. 津田 喬史, 安藤 信雄, 石原 悠太, 中村 奨, 板垣 薫, 柚直彦, 林 成実, 郡司 貴雄, 大坂 武男, 松本 太, ピコ秒パルスレーザーを用いて作製された穴あき厚塗り塗工  $\text{LiFePO}_4$  電極の出力特性及び充放電メカニズムの検討, 電気化学会第 86 回大会, 2019.3. 27-29 京都大学吉田キャンパス.
  113. 渡邊 達也, 津田 喬史, 安東 信雄, 中村 奨, 板垣 薫, 柚直彦, 林 成実, 郡司 貴雄, 大坂 武男, 松本 太, 積層型穴あきグラファイト電極を用いたリチウムイオン電池における不可逆容量のキャンセルによる電池容量の向上, 電気化学会第 86 回大会, 2019.3. 27-29 京都大学吉田キャンパス.
  114. T. Watanabe, T. Tsuda, T. Gunji, N. Ando, T. Tanabe, S. Nakamura, N. Soma, N. Hayashi, T. Ohsaka, F. Matsumoto, Improvement of High-Rate Performance of  $\text{LiFePO}_4$  Cathode with through-Holed  $\text{LiFePO}_4$ /Activated Carbon Hybrid Electrode Structure Fabricated with a Pico-Second Pulsed Laser, 235th ECS meeting, 2019.5.28, Dallas, USA.
  115. F. Nomura, T. Gunji, T. Ohsaka, F. Matsumoto, Effect of the Cooling Process on the Structure and Charge/Discharge Cycling Performance of  $\text{Li}_2\text{MnO}_3\text{-LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{O}_2\text{-LiNi}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$  Li-Rich Solid-Solution Layered Oxide Cathode Materials for Li-Ion Battery, 235th ECS meeting, 2019.5.28, Dallas, USA.
  116. T. Tsuda, T. Gunji, N. Ando, T. Tanabe, S. Nakamura, N. Soma, N. Hayashi, T. Ohsaka, F. Matsumoto, Improvement of High-Rate Discharging Performance of  $\text{LiFePO}_4$  Cathodes By Forming Micrometer-Sized through-Holed Electrode Structures with a Pico-Second Pulsed Laser, 235th ECS meeting, 2019.5.28, Dallas, USA.
  117. 郡司 貴雄, 落合 弘也, 井澤 佑, 大坂 武男, 松本 太,  $\text{Cu}_x\text{Sn}_y$  金属間化合物コア-Sn シェル構造の合成と電気化学的  $\text{CO}_2$  還元反応(2), 2019 年電気化学秋季大会, 2019.9.5-6, 山梨大学.
  118. 安藤風馬, 郡司貴雄, 大坂武男, 松本 太, An Electrochemical Dealloying of Ordered Intermetallic Platinum-Lead (PtPb) Nanoparticles Supported on  $\text{TiO}_2$ -Deposited Cup-Stacked Carbon Nanotube for Highly Efficient Catalysis Toward Oxygen Reduction Reaction in Acidic Media, 第 37 回夏の学校, 2019.9.10-11, 八王子セミナーハウス.
  119. 渡邊達也, 津田喬史, 郡司貴雄, 大坂武男, 松本 太, Improvement of High-Rate Performance of  $\text{LiFePO}_4$  Cathode with Through-Holed  $\text{LiFePO}_4$ /Activated Carbon Hybrid Electrode Structure Fabricated with a Pico-second Pulsed Laser, 第 37 回夏の学校, 2019.9.10-11, 八王子セミナーハウス.
  120. 山田三瑠, 渡邊達也, 郡司貴雄, 大坂武男, 松本 太, 積層型穴あきグラファイト電極を用いたリチウムイオン電池における不可逆容量のキャンセルによる電池容量の向上, 第 37 回夏の学校, 2019.9.10-11, 八王子セミナーハウス.
  121. Y. Chiba, M. Saito, T. Hagiwara, H. Takatsu, H. Kageyama, and T. Motohashi, High-Temperature Electrochemical Crystal Growth of Alkali-Metal Titanium Oxides with Controlled Structural and Electronic Properties, 4th E-MRS & MRS-J Bilateral Symposium, P1-9, (Crete, Greece, 2018.10).
  122. 松本 知大, 齋藤 美和, 本橋 輝樹, 結晶性複合金属酸化物におけるメタン酸化カップリング反応の高活性触媒の探索, 第 51 回酸化反応討論会, p-26, (九州大学, 2018.11).
  123. 小川 哲志, 鈴木 健太, 齋藤 美和, 土井 貴弘, 本橋 輝樹, Fe/Co 複合メリライト型酸化物触媒の開発と素生反応活性, 第 59 回電池討論会, 2G16, (大阪, 2018.11).
  124. 鈴木 健太, 小川 哲志, 青木 芳尚, 幅崎 浩樹, 齋藤 美和, 本橋 輝樹, Pd 担持 Mn, Ni 酸化物の酸素還元反応および酸素発生触媒活性, 第 59 回電池討論会, 2G17, (大阪, 2018.11).
  125. 齋藤 美和, 新井 健司, 菅波 享平, 富永 希, 稲田 幹, 林 克郎, 本橋 輝樹, 第 28 回日本 MRS 年次大会, B1-I18-013, (福岡, 2018.12).
  126. 齋藤 美和, 小川 哲志, 鈴木 健太, 本橋 輝樹, NiIII 含有金属酸化物の酸素発生反応および酸素発生反応触媒活性, 第 59 回電池討論会, 2G19, (大阪, 2018.11).
  127. 本橋 輝樹, 宮本 康暉, 齋藤 美和, 鈴木 健太, 小川 哲志, Ruddlesden-Popper 型  $\text{La}_x\text{Sr}_{3-x}\text{FeCoO}_{7-\delta}$  の合成および酸素還元・発生反応触媒活性, 第 59 回電池討論会, 2G20, (大阪, 2018.11).
  128. 河原 由輝, 宮本 康暉, 齋藤 美和, 本橋 輝樹, Ruddlesden-Popper 型  $\text{La}_x\text{Sr}_{3-x}\text{FeCoO}_{7-\delta}$  の熱挙動と脱離ガス分析, 第 28 回日本 MRS 年次大会, B1-P19-013, (福岡, 2018.12).
  129. 松本 知大, 田原和典, 齋藤 美和, 本橋 輝樹, 結晶性複合金属酸化物におけるメタン酸化カップリング反応の高触媒活性, 第 123 回触媒討論会, 2P38, (大阪, 2019.3).
  130. 星野 智也, 齋藤 美和, 本橋 輝樹, 低温におけるメタン-メタノール変換反応に用いる複合酸化物触媒の活性要因, 第 35 回日本セラミックス協会 関東支部研究発表会, 1C08, (つくば, 2019.9).
  131. 井関 知宏, 田村 紗也佳, 齋藤 美和, 本橋 輝樹, 制御酸素圧下で合成したブラウンミラーライト型  $\text{Ca}_2\text{AlMnO}_{5+\delta}$  の酸素吸収放出特性, 第 35 回日本セラミックス協会 関東支部研究発表会, 1C09, (つくば, 2019.9).
  132. 大石 耕作, 田村 紗也佳, 齋藤 美和, 本橋 輝樹, メリライト型  $\text{Ba}_2\text{MnGe}_2\text{O}_{7+\delta}$  の酸素貯蔵能, 第 35 回日本セラミックス協会 関東支部研究発表会, 1C10, (つくば, 2019.9).
  133. 菅波 享平, 新井 健司, 齋藤 美和, 本橋 輝樹, プロトン伝導体  $\text{Ba}(\text{Zn}_x\text{Nb}_{1-x})\text{O}_{3-\delta}(\text{OH})_y$  における温度依存赤外分光分析, 第 35 回日本セラミックス協会 関東支部研究発表会, 1C16, (つくば, 2019.9).
  134. M. Saito, N. Tominaga, T. Nishikawa, K. Suganami, K. Arai, and T. Motohashi, Hydrothermal synthesis and characterization of niobium oxy-hydroxides with perovskite-related structures, IUMRS-ICA 2019, 270, (Perth, Australia, 2019.9).
  135. R. Okabayashi, Y. Ohta and T. Yokozawa, End-functionalization of polyester by means of transesterification of cyclic polyester, obtained by  $\text{A}_2 + \text{B}_2$  polycondensation, with diester, Polycondensation 2018 (Alexandria, 2018.10).
  136. 廣田俊城, 太田佳宏, 横澤勉, Ni 触媒を用いた熊田・玉尾触媒移動型連鎖縮合重合による制御されたハイパーブランチおよび鎖状ポリ(チエニレン-フェニレン)の合成とそれらの光学特性, 第 8 回 CSJ 化学フェスタ 2018, P1-085 (東京, 2018. 10).

137. 原田菜摘, 杉田一, 太田佳宏, 横澤勉, 様々な官能基を有する二芳香環アリレン上の Pd 触媒の分子内移動検討, 第 8 回 CSJ 化学フェスタ 2018, P3-072 (東京, 2018. 10).
138. 補伽健太, 太田佳宏, 駒村貴裕, 樋口剛志, 石田良仁, 早川晃鏡, 陣内浩司, 横澤勉 (神奈川大工・東工大院物質理工・東北大多元研・帝京科学大), ハイパーブランチまたはリニアポリアミドとポリスチレンとのジブロック共重合体の合成とそれらの相分離構造の差異, 第 8 回 CSJ 化学フェスタ 2018, P5-084 (東京, 2018. 10).
139. 亀山洗瑠, 森光亜実, 太田佳宏, 横澤勉, ポリノルボルネン担体上のアミノ酸モノマーの連鎖縮重合における高分子塩基による自己縮合の抑制, 第 8 回 CSJ 化学フェスタ 2018, P4-069 (東京, 2018. 10).
140. 上川原タケル, 杉田一, 太田佳宏, 横澤勉, 単純芳香環モノマーの非等モル下鈴木・宮浦重縮合における添加物による重合モード変換, 第 8 回 CSJ 化学フェスタ 2018, P5-081 (東京, 2018. 10).
141. N. Harada, H. Sugita, Y. Ohta and T. Yokozawa, Propensity for intramolecular transfer of Pd catalyst on two bromoarylenes connected to various functional groups and its application to polycondensation, International Polymer Conference 2018 (IPC 2018), 7P-T1-037a (Hiroshima, 2018. 12).
142. T. Kameyama, A. Morimitsu, Y. Ohta and T. Yokozawa, Study of chain-growth condensation polymerization of amino acid monomer, immobilized on polynorborne, by using polymer base, International Polymer Conference 2018 (IPC 2018), 7P-T1-041a (Hiroshima, 2018. 12).
143. T. Kimura, H. Sugita, Y. Ohta and T. Yokozawa, Synthesis of cyclic polyphenylenes grafted with various polymers, International Polymer Conference 2018 (IPC 2018), 7P-T1-040b (Hiroshima, 2018. 12).
144. T. Hirota, Y. Ohta and T. Yokozawa, Synthesis of well-defined hyperbranched and linear poly(thienylene-phenylene)s by catalyst-transfer condensation polymerization of AB<sub>2</sub> and AB monomers and investigation of their optical properties, International Polymer Conference 2018 (IPC 2018), 7P-T1-039a (Hiroshima, 2018. 12).
145. H. Sugita, T. Kamigawara, Y. Ohta and T. Yokozawa, Unstoichiometric cyclic condensation polymerization of phenylene and acceptor monomers by means of Suzuki-Miyaura coupling, International Polymer Conference 2018 (IPC 2018), 7P-T1-038b (Hiroshima, 2018. 12).
146. T. Yokozawa, Synthesis of cyclic polyarylenes by means of unstoichiometric Suzuki-Miyaura polycondensation through intra and intermolecular catalyst transfer, Frontiers in Polymer Science 2019, O3.36 (Budapest, 2019. 5).
147. N. Harada, Y. Ohta, T. Yokozawa, Suzuki-Miyaura catalyst-transfer polymerization of AB type amine monomer, Frontiers in Polymer Science 2019, P1.070 (Budapest, 2019. 5).
148. A. Watanabe, G. Zhang, Y. Ohta, R.H. Jin, T. Yokozawa, Synthesis of hybrid nanomaterials by means of self-assembly and silicification of  $\pi$ -conjugated polymer-b-poly(ethyleneimine), Frontiers in Polymer Science 2019, P1.071 (Budapest, 2019. 5).
149. Y. Ohta, K. Hoka, T. Komamura, T. Hayakawa, T. Yokozawa, Synthesis and phase separation of brush block copolymers consisting of aromatic hyperbranched polyamide and polystyrene side chains by means of ring-opening metathesis polymerization, Frontiers in Polymer Science 2019, P3.062 (Budapest, 2019. 5).
150. H. Sugita, T. Kamigawara, Y. Ohta, T. Yokozawa, Unstoichiometric cyclic polycondensation and model reaction of benzothiadiazole and phenylene monomers via Suzuki-Miyaura coupling reaction, Frontiers in Polymer Science 2019, P3.065 (Budapest, 2019. 5).
151. 岡林龍一, 太田佳宏, 横澤勉, A<sub>2</sub> + B<sub>2</sub> 重縮合によって得られる環状ポリエステルとジエステルとのエステル交換反応による両末端官能基化ポリエステルの合成と反応解析, 第 68 回高分子学会年次大会, 1Pc027 (大阪, 2019. 5).
152. 亀山洗瑠, 太田佳宏, 横澤勉, テトラフルオロスチレン固相担体を用いたアミノ酸モノマーの連鎖縮重合, 第 68 回高分子学会年次大会, 1Pc025 (大阪, 2019. 5).
153. 原田菜摘, 太田佳宏, 横澤勉, 触媒移動型縮重合による制御されたポリビフェニルアミンの合成, 第 68 回高分子学会年次大会, 1Pd024 (大阪, 2019. 5).
154. 時光果穂, 木村泰介, 杉田一, 太田佳宏, 横澤勉, 側鎖にオリゴアミドを有する m-ジブロモモノマーの非等モル下鈴木・宮浦環化重縮合, 第 68 回高分子学会年次大会, 1Pd026 (大阪, 2019. 5).
155. 杉田一, 上川原タケル, 太田佳宏, 横澤勉, ベンゾチアジアゾールとフェニレンモノマーを用いた A<sub>2</sub> + B<sub>2</sub> 非等モル下環化重合とベンゾチアジアゾール誘導体の添加剤効果, 第 68 回高分子学会年次大会, 2Pa003 (大阪, 2019. 5).
156. 上川原タケル, 杉田一, 太田佳宏, 横澤勉, 非等モル下鈴木・宮浦重縮合の添加物によるポリマーの末端基およびトポロジー変換, 第 68 回高分子学会年次大会, 2Pb004 (大阪, 2019. 5).
157. 津谷香純, 上川原タケル, 時田遊, 太田佳宏, 横澤勉, 片末端にボロン酸エステル部位を有する高分子を用いた全共役 B-A-B 型トリブロック共重合体の one-pot 合成, 第 68 回高分子学会年次大会, 2Pa005 (大阪, 2019. 5).
158. 内田達也, 太田佳宏, 横澤勉, 両末端に塩素原子及び片末端にボロン酸エステル部位を有する  $\pi$  共役系高分子の精密合成, 第 68 回高分子学会年次大会, 2Pb006 (大阪, 2019. 5).
159. 小澤康平, 補伽健太, 太田佳宏, 駒村貴裕, 早川晃鏡, 横澤勉, ハイパーブランチポリアミドと 2 本鎖ポリスチレンとの AB<sub>2</sub> 型ミクトアームスターポリマーの合成と相分離, 第 68 回高分子学会年次大会, 3Pc035 (大阪, 2019. 5).
160. 補伽健太, 太田佳宏, 駒村貴裕, 早川晃鏡, 横澤勉, 開環メタセシス重合による芳香族ハイパーブランチポリアミドとポリスチレンとのブラシブロック共重合体の合成と相分離, 第 68 回高分子学会年次大会, 3Pd036 (大阪, 2019. 5).
161. 廣田俊城, 太田佳宏, 横澤勉, 熊田・玉尾触媒移動型連鎖縮重合におけるハイパーブランチポリ(チエニレン-フェニレン)の末端官能基化, 第 68 回高分子学会年次大会, 3Pc029 (大阪, 2019. 5).
162. 渡邊純生, 太田佳宏, 横澤勉, 有機-無機ハイブリッド材料を目指したポリフルオレン-ポリエチレンイミンブロック共重合体の合成, 第 68 回高分子学会年次大会, 3Pc017 (大阪, 2019. 5).
163. 岡林龍一, 白井健一郎, 大場亮, 太田佳宏, 横澤勉, A<sub>2</sub> + B<sub>2</sub> 重縮合によって得られる環状ポリ(エーテルスルホン)と交換反応剤とのエーテル交換反応による末端官能基化された鎖状ポリ(エーテルスルホン)の合成, 第 68 回高分子討論会, 1Pe005 (福井, 2019. 9).
164. 加藤顕禎, 太田佳宏, 横澤勉, ポリエステル存在下エステル-エステル交換反応ポリエステル合成による共重合体の合成, 第 68 回高分子討論会, 1Pr004 (福井, 2019. 9).
165. 杉田一, 太田佳宏, 横澤勉, 鎖状と環状のジケトポリマーの合成と Paal-Knorr 反応を利用した主鎖骨格の変換, 第 68

回高分子討論会, 1Pe015 (福井, 2019. 9).

166. 原田菜摘, 太田佳宏, 横澤勉, 鈴木・宮浦触媒移動型縮合重合によるポリジフェニルアミンの合成検討, 第68回高分子討論会, 1Pe003 (福井, 2019. 9).
167. 渡邊純生, 太田佳宏, 横澤勉, ポリフルオレン-ポリエチレンイミンブロック共重合体を核とするシリカ微粒子の合成とその光学特性, 第68回高分子討論会, 2Pa021 (福井, 2019. 9).
168. 杉田一, 上川原タケル, 内田達也, 木村泰介, 太田佳宏, 横澤勉, 種々の全共役系 A-B-A トリブロック共重合体への普遍的アプローチ, 第68回高分子討論会, 2C08 (福井, 2019. 9).
169. 中山峰花, 川口大輔, 岩下健一, 横澤勉, 田中敬二, 熱硬化性樹脂混合物における表面偏析, 第68回高分子討論会, 3E10 (福井, 2019. 9).

## 学術誌

1. 井川 学, (解説)「疎水性物質の膜分離システム」、ケミカルエンジニアリング, 63, 337-340 (2018).
2. 井川 学, (解説)「除染廃棄物減容のための電場によるセシウムイオンの除去」、環境浄化技術, 18, 25-28 (2019).
3. 上田渉, 触媒インフォマティクスへの期待と課題, マテリアルズ・インフォマティクス, 289-293, 2019
4. 石川理史・上田渉, 新規ニオブ酸化物触媒の合成と酸点発現機構の解明, 化学工業, 408-413, 2019
5. 岡田正弘. 納豆のネバネバを誘導する ComXnatto フェロモンの同定. 日本醸造協会誌, 113, 744-750 (2018).
6. 岡田正弘. イソプレニル化. 生体の科学, 69, 492-493 (2018).
7. 松本 太, 巻頭言 「来たバスに乗れ」、表面技術, 70(3), 1 (2019).
8. 横澤勉, 太田佳宏, 触媒の分子内移動を伴う鈴木・宮浦重縮合による  $\pi$  共役系高分子の精密合成, 触媒, 61 (3), 137-143 (2019).
9. 太田佳宏, 横澤勉, 制御された親水性ハイパーブランチポリアミドとそれを含むジブロック共重合体の合成と水溶液特性, 材料の科学と工学, 56 (4), 126-129 (2019).

## 著書

1. 井川 学 (分担執筆), 大気環境の事典 (大気環境学会編), 174-175, 朝倉書店 (2019) .
2. Satoshi Ishikawa, Zhenxin Zhang, Toru Murayama, Masahiro Sadakane and Wataru Ueda, New Crystalline Complex Metal Oxide Catalysts with Porous, Acidic, and Redox Properties; Complex Oxides: An Introduction; World Scientific, 2019; 199-221
3. 引地史郎 (分担執筆), 錯体化学会編, 錯体化合物事典, 535, 540, 569, 朝倉書店 (2019).
4. 渡邊達也, 郡司貴雄, 松本 太, 次世代電池のキーテクノロジーと材料開発(1) ~電極活物質の表面コーティング, 高電位・高容量正極, レーザー加工穴あき電極~, 電材ジャーナル, 第640号 12-18 (2019).
5. 渡邊達也, 野村文洋, 安藤風馬, 松本 太, 次世代電池のキーテクノロジーと材料開発(2) ~正・負極用バインダー~, 電材ジャーナル, 第641号 15-21 (2019).
6. 松本 太, 企業・研究所訪問&インタビュー- 中小企業のリチウムイオン電池材料開発を支援- 神奈川大学新型電池オープンラボ, 工業材料, p. 1, 2019年2月号.
7. 松本 太, 巻頭言 「”電子立国日本”と”匠の時代”の先に」,

電材ジャーナル, 第642号 1 (2019).

8. 松本 太, 読者の声, 電材ジャーナル, 第642号 36-38 (2019).
9. 杉田一, 太田佳宏, 横澤勉, 第III編 設計・合成(環状高分子) 第7章 分子内触媒移動を利用する環状高分子の合成, 環状高分子の合成と機能発現, 手塚育志監修, 97-106, シーエムシー出版, (2018).
10. 横澤勉, 第12章 高分子化学, 大学院有機化学 第2版 I. 分子構造と反応・有機化学, 野依良治ら編, 497-513, 東京化学同人 (2019).

## 調査報告書

1. 岡田正弘. クオラムセンシングフェロモンを介した腸内細菌とヒトのクロストーク. 平成29年度旭硝子財団研究奨励(第1分野) 研究報告書 (Rep. Grant. Res., Asahi Glass Foundation (2019)).
2. 岡田正弘. クオラムセンシングフェロモンを介した腸内細菌とヒトのクロストーク. 公益財団法人発酵研究所平成30年度一般研究助成報告書 (IFO Research Communications).
3. 岡田正弘. ゲノムシャッフルによる新規二次代謝産物の探索. 野田産業科学研究所2017年度研究助成成果報告書.
4. 岡田正弘. 新規クオラムセンシングフェロモンを介した細菌叢と宿主のクロストークに関する研究. SUNBOR GRANT 平成30年度研究報告書.
5. 岡田正弘. 生合成リデザインによる非天然セスタテルペンの創製研究. 平成29年度新学術領域研究「生合成リデザイン」公募研究, 研究成果報告書, 課題番号17H05429.
6. 岡田正弘. 翻訳後修飾によるトリプトファンのイソプレニル化の普遍性の解明. 小林国際奨学財団2016年度研究助成最終研究成果報告書.
7. 横澤勉, 「非等モル下重縮合の添加物による重合モード制御」, 平成30年度科学研究費助成事業 (学術研究助成基金助成金) 実績報告書, 挑戦的研究 (萌芽) (2019年3月).
8. 横澤勉, 「2つの異種カップリング反応を用いる両末端官能基化された  $\pi$  共役系高分子の選択的合成」, 平成30年度科学研究費助成事業 (学術研究助成基金助成金) 実績報告書, 基盤研究(B) (一般) (2019年3月).
9. 横澤勉, 「非等モル下重縮合の添加物による重合モード制御」, 平成29-30年度科学研究費助成事業研究成果報告書, 挑戦的研究 (萌芽) (2019年6月).
10. 太田佳宏, 「ハイパーブランチブラシブロック共重合体による新規フォトニック結晶の開発」, 平成30年度科学研究費助成事業 (学術研究助成基金助成金) 実施状況報告書, 若手研究 (2019年5月).

## 講演・展示会

1. 井川 学, 「持続可能な未来のための環境化学 -酸性霧の研究からの展望-」, 神奈川大学テクノフェスタ 2018 講演会 (2018. 10).
2. 引地史郎, 遷移金属-活性酸素錯体の化学と Bio-inspired 酸化触媒の開発, 第51回酸化反応討論会 (福岡, 2018. 11)
3. 松本 太, 次世代電池のキーテクノロジーと材料開発~穴あき電極, バインダー活物質材料のコティングなど~, 電気・電子材料技術セミナー Insulation 2018 -EV 技術 と関連材料技術 と関連材料技術-, 電気機能材料工業会, 2018.11.29, 東京・亀戸.
4. 郡司貴雄, 「金属間化合物ナノ粒子の創生と電極触媒反応への適用」, 第124回電気化学会関東支部サイエンスレクチ

- ヤー, 2019. 2. 20, 東京.
5. Futoshi Matsumoto, Application of Ordered intermetallic Phases as Electrocatalysts to Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell, Qingdao Institute of Bioenergy and Bioprocess Technology, Chinese Academy of Sciences, 2019. 4. 2., Qingdao, China.
  6. 松本 太, 電気化学反応・電極反応のメカニズムと電気化学測定法および電極/溶液界面の解析～電気化学の基礎、いろいろ組み合わせた各種測定法、CV法、交流インピーダンス法～, Science&Technology セミナー, 2019. 4. 12., 東京・大井町.
  7. 松本 太, はじめての電気化学～押さえておくべき基礎から、様々な電気化学反応の測定・解釈のポイントまで～, 株式会社情報機構セミナー, 2019. 8. 5., 東京・大井町.
  8. 松本 太, ピコ秒パルスレーザーを用いて作製した穴あき電極による高速充放電、リチウムイオンプレドープの実現による次世代二次電池の創成, JSR, JM Energy 研究セミナー, 2019.8.22., JM Energy, 山梨県北杜市.
  9. 松本 太, 金属間化合物を触媒として適用した新しいエネルギー変換材料の創成、化学最前線 2019, 2019. 9. 7., 神奈川大学湘南ひらつかキャンパス.
  10. T. Motohashi, Complex transition-metal oxides as high-performance oxygen evolution reaction electrocatalysts, 22nd International Conference on Solid State Ionics (SSI-22), PyeongChang, Korea (2019.06).
  11. T. Motohashi, Complex transition metal oxides towards oxygen-related future applications, Aalto Symposium on New Functional Materials, Helsinki, Finland (2019.06).
  12. H. Sugita, Y. Ohta and T. Yokozawa, Synthesis of cyclic polymers by means of unstoichiometric Suzuki-Miyaura polycondensation, Polycondensation 2018, (Alexandria, 2018.10)
  13. 横澤勉, 種々の官能基上の分子内触媒移動を利用した重縮合, 触媒学会重合触媒設計研究会セミナー, (田町, 2019.1)
  14. H. Sugita, Y. Ohta and T. Yokozawa, Unstoichiometric Suzuki-Miyaura polycondensation for the synthesis of a variety of cyclic polymers, Polymers Meet Topology, (大岡山, 2019.1)
  15. 横澤勉, 金属触媒の分子内移動を利用した重縮合～スランブからの脱出の一例～, 高分子学会東海支部 東海高分子研究会, (名古屋, 2019.3)
  16. 横澤勉, 分子内触媒移動を利用した重縮合, 高分子学会関東支部 北関東地区第1回講演会, (桐生, 2019.3)
  17. H. Sugita, Y. Ohta and T. Yokozawa, Synthesis of cyclic polymers by means of unstoichiometric Suzuki-Miyaura polycondensation, Korea-Japan Joint Symposium on Polymer Science 2019, (Seoul, 2019.9)
  5. 石川理史 (代表), Mo を基盤とした結晶性複合酸化物の結晶構造と触媒活性の關係の解明, 平成30年度科学研究費補助金, 若手研究, 課題番号 18K14058
  6. 岡田正弘, 令和1年度 (平成31年)～令和4年度 (終了予定), 基盤研究(B), 代表, 翻訳後修飾を受けた新規ペプチドフェロモンの探索, 課題番号 19H02842.
  7. 岡田正弘, 平成30年4月～令和2年3月 (終了予定), 2018年度 内藤記念科学奨励金 (研究助成), 代表, ゲノムシャッフルによる非天然物の創製.
  8. 岡本専太郎 (代表), 低原子価チタンの発生法を基盤とする精密合成手法の開発, 平成31年度科学研究費補助金, 基盤研究 (C), 課題番号 17K05869.
  9. 岡本専太郎 (分担), トマトの花成におけるオーキシンの役割と花成調節技術への応用, 平成31年度科学研究費補助金, 基盤研究 (C), 課題番号 18K05630.
  10. 岡本専太郎 (分担), オーキシン生合成阻害剤を用いた植物のオーキシン生理作用の解析と高活性阻害剤の探索, 神奈川大学共同研究奨励助成金.
  11. 岡本専太郎 (分担), 生合成阻害剤および作動薬を用いるインドール酪酸 (IBA) 周辺科学の新機軸の導入, 神奈川大学共同研究奨励助成金.
  12. 岡本専太郎 (代表), 研究奨学寄付金, 日産化学工業株式会社.
  13. 山田健 (分担), 生合成阻害剤および作動薬を用いるインドール酪酸 (IBA) 周辺科学の新機軸の導入, 神奈川大学共同研究奨励助成金.
  14. 山田健 (代表), 光学活性 2-ピリドン共役酸・塩基触媒に用いた新規カスケード反応の開発と応用, 平成31年度科学研究費補助金, 基盤研究 (C), 課題番号 17K08219.
  15. 小野晶 (研究代表者) 2019 年度文部科学省科学研究費補助金 (基盤 B) 「DNA 二重鎖中で無限に金属イオンが連続する超分子錯体: 精密合成・結晶構造・物性」(分担者: 實吉尚郎、田中好幸、鳥越秀峰、浦田秀二、近藤次郎、山田亨) 課題番号 17H03033
  16. 小野晶 (研究代表者) 2019 年度文部科学省科学研究費補助金 (新学術研究) 「核酸構造上に構築された螺旋状金属イオン集積体のヘリシティー制御と単分子物性」 課題番号 19H04598
  17. 金仁華 (企画班分担), 「配位アシンメトリー」 (新学術領域 2016～2020) JSPS 科研費 JP16H06515.
  18. 金仁華 (研究代表), 「エナンチオ選択性手法によるキラルシリカの合成及びキラル無機機能材料の開発」(基盤研究 B 2019～2021) 19H02767\_2019.
  19. 引地史郎 (分担), 後周期遷移金属オキシラジカル錯体によるメタンの酸化反応, 戦略的創造研究推進事業 (CREST), JPMJCR16P1.
  20. 松本 太 (共同代表者), "高速パルスの正規化データを用いるリチウム電池劣化度の機械学習的評価法の技術開発", フェーズ B, 平成30年度「ベンチャー企業等による新エネルギー技術革新支援事業」.
  21. 松本 太 (代表), 研究課題目: 「イオン液体 /有機溶媒混合浴からの光沢性を有するアルミニウム電気めっき膜の作製における添加剤の影響及びそのめっき膜のバイオ応用」, 公益財団法人 高橋産業経済研究財団.
  22. 松本 太, 2019 年度日本板硝子材料工学助成会研究助成.
  23. 松本 太, 2019 年度御器谷科学技術財団研究助成.
  24. 安藤風馬(松本研究室), 日本学術振興会平成31年度特別研究員 DC1.
  25. 津田喬史(松本研究室), 日本学術振興会平成31年度特別研究員 DC2.

## 助成金

1. 井川 学 (代表), 丹沢山塊における大気汚染物質の沈着と環境影響, 2017 年度神奈川大学共同研究奨励助成金 (2017.4～2020.3).
2. 井川 学 (分担), 山間部における夏季豪雨形成と大気汚染の相乗環境影響の解明, 2019 年度科学研究費補助金, 基盤研究(A) (2019.4～2022.3).
3. 池原飛之 (代表), 固体基板上に結晶性高分子をグラフトした単分子層でのラメラ晶と分子鎖の挙動, 平成31年度科学研究費補助金, 基盤研究 (C), 課題番号 19K03775.
4. 上田渉 (代表), 全無機細孔構造結晶の金属酸化物合成展開による新触媒機能創出, 平成31年度科学研究費補助金, 基盤研究 (A), 課題番号 19H00843.

26. 郡司 貴雄, 東電記念財団 2018 年度研究助成 (一般研究), 耐久性に優れた新規電極触媒の創生.
27. 松本 太, 2019-2021 科研費基盤 (C) 「Pt 系金属間化合物触媒 d-バンドセンターチューニングによる ORR 活性の向上」.
28. 松本 太, 軽金属奨学会 教育研究資金・研究補助金 (2019).
29. 渡邊達也(松本研究室), 加藤科学振興会平成 31 年度研究奨励金.
30. 野村文洋(松本研究室), 電気化学会 若手研究者の国際交流支援 2019 年度前期.
31. 松本 太, 公益財団法人 フジクラ財団、2019 年度研究助成.
32. 渡邊達也(松本研究室), 公益財団法人横浜学術教育振興財団 2019 年度海外渡航助成.
33. 安藤風馬(松本研究室), 日本学術振興会 2019 年度若手研究者海外挑戦プログラム.
34. 本橋 輝樹 (代表), 気相水酸化物化反応による新規水酸化物の合成と機能性の創出, 2019 年度科学研究費補助金, 新学術領域研究(研究領域提案型), 課題番号 19H04707.
35. 本橋 輝樹 (代表), アニオン不定比性酸水酸化物の合成と結晶構造化学, 2018 年度科学研究費補助金, 新学術領域研究(研究領域提案型), 課題番号 17H05490.
36. 本橋輝樹 (代表), 高速酸素吸脱着材料による革新的排熱利用酸素製造装置の開発, JST 戦略的イノベーション創造プログラム (SIP).
37. 本橋輝樹 (代表), 実用空気極用複合金属酸化物触媒材料開発, 革新型蓄電池実用化促進基盤技術開発 (RISING2).
38. 横澤勉 (代表), 2 つの異種カップリング反応を用いる両末端官能基化された  $\pi$  共役系高分子の選択的合成, 平成 31 年度科学研究費補助金, 基盤研究 (B), 課題番号 18H02023.
39. 横澤勉 (分担), 「縮合系高分子を用いる接着剤の耐熱化・高強度化」, 平成 31 年度科学技術振興機構, 受託研究, 未来社会創造事業 大規模プロジェクト型 「Society5.0 の実現をもたらす革新的接着技術の開発」 (研究代表者: 九州大学・田中敬二教授) 2018 年 11 月~2022 年 3 月
40. 太田佳宏 (代表), ハイパーブランチブラスチック共重合体による新規フォトニック結晶の開発, 平成 31 年度科学研究費補助金, 若手研究, 課題番号 18K14277.

## 受託研究

1. 上田渉, アルカンからアルケンを製造する触媒に関する研究, 日本化薬株式会社
2. 上田渉, 触媒の素材・原料となる炭化水素に活性を持つ新規化合物の研究, 旭化成株式会社
3. 上田渉, 軽炭化水素の含酸素化, 旭化成株式会社
4. 上田渉, 触媒を利用した有機化合物の活性化方法, 昭和電工株式会社
5. 上田渉, 多孔性ポリオキシメタレート合成及び評価, 東ソー株式会社
6. 上田渉, プロパンを原料とするアクリル酸合成法の研究, 株式会社日本触媒
7. 上田渉, 複合酸化物を基盤とする C4 気相酸化触媒に関する研究, 三菱ケミカル株式会社
8. 上田渉, 高次元構造を持ち新しいニオブ酸化物の作成と固体, カンパニア・ブラジレイア・メタルジア・イ・ミネラソン (CBMM) 社
9. 上田渉, Trigonal and orthorhombic molybdenum and vanadium containing mixed metal oxides comprising at least one additional element for ethane oxidative dehydrogenation,

Honewell Internatuional Inc.

10. 上田渉, 研究奨学寄附金 株式会社ブリヂストン
11. 上田渉, 研究奨学寄附金 株式会社日本触媒
12. 岡本専太郎, 有機エレクトロニクス用塗布型正孔輸送材料の開発, 日立化成株式会社
13. 松本 太, 株式会社常光, “リチウムイオン電池の作製に関する研究”
14. 松本 太, 株式会社アシザワファインテック, “リチウムイオン電池作製用スラリーの調製に関する研究”
15. 松本 太, 株式会社小島化学薬品, “貴金属無電解めっきに関する研究”.
16. 松本 太, 日本蓄電器工業株式会社, “リチウムイオン電池の集電体に関する研究”
17. 松本 太, サン工業株式会社, “無電解めっきに関する研究”.
18. 松本 太, JSR 株式会社, “バインダーに関する研究”.
19. 松本 太, 日本化学産業株式会社, “正極材料に関する研究”.
20. 横澤勉, 研究奨学寄付金, 日産化学工業.
21. 横澤勉, 研究奨学寄付金, ブリヂストン.

## 特許(取得)

1. 辻悦司, 本橋輝樹, 幅崎浩樹, 野田裕之, 竹口竜弥, 亜鉛-空気二次電池の空気極用触媒, ブラウンミラーライト型遷移金属酸化物の亜鉛-空気二次電池の空気極用触媒としての使用, 亜鉛-空気二次電池用空気極, 亜鉛-空気二次電池, 電解用の電極触媒, 電解用電極及び電解方法, 特許第 6436444 号.

## 特許(公開)

1. 嶋田幸久, 岡本専太郎, 中川理絵, 「オーキシン生合成阻害活性を有する新規化合物, その製造方法及びその用途」, 特開 2019-131540.
2. 岩下健一, 田中敬二, 川口大輔, 横澤勉, (日立化成株式会社, 国立大学法人 九州大学, 学校法人 神奈川大学), 感光性樹脂組成物及びレジストパターン形成方法, 特願 2019-134581.
3. 横澤勉, ポリエステル共重合体の製造方法, 特願 2019-162637.
4. 小川哲志, 本橋輝樹, 齋藤美和, 鈴木健太, 金属空気電池用正極触媒及び金属空気電池, 特開 2019-067597.
5. 原田隆, 山原圭二, 本橋輝樹, 齋藤美和, 田邊豊和, 酸素過剰型金属酸化物並びに, 酸素吸脱着装置及び酸素濃縮装置, 特開 2019-043833.

## 海外出張

1. 井川 学, 8th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew (2019 年 7 月 14 日~18 日国立台湾大学)
2. 上田 渉, FHI-JST joint symposium, ベルリン, ドイツ (2018.11)
3. 上田 渉, CCI-ICAT joint international symposium on catalysis, カーディフ, イギリス (2019.1)
4. 石川理史, 12th Natural Gas Conversion Symposium, サンアントニオ, アメリカ (2019. 6)
5. 上田 渉, 19th international zeolite conference, オーストラリア, パース (2019.7)
6. 上田 渉, JST - TU Delft Joint Symposium Innovating

- Methodologies in Catalysis, ドイツ, デルフト (2019.8)
- 石川理史, ETH-ICAT joint symposium on catalysis, チューリッヒ, スイス (2019.9)
  - Ren-Hua. Jin, “Enantioselective Silicification toward Chiral Silica” (Invited), International Symposium on Integrated Molecular/Materials Science and Engineering (IMSE-10) July 3-6 (2019), Nanning, Guangxi, China.
  - Ren-Hua Jin, “Understanding chirality generated on metal oxides” (Invited), International Forum on Advanced Materials-2019, Sept. 24-26 (2019), Wuhan, China.
  - Futoshi Matsumoto, Application of Ordered intermetallic Phases as Electrocatalysts to Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell, Qingdao Institute of Bioenergy and Bioprocess Technology, Chinese Academy of Sciences, 2019.3.27-4.3, Qingdao, China.
  - 安藤風馬(松本研究室), 日本学術振興会 2019 年度若手研究者海外挑戦プログラム、アメリカ・コーネル大学, 2019.6.1-8.31.
  - 本橋 輝樹, 22nd International Conference on Solid State Ionics (SSI-22), PyeongChang, Korea (2019.06).
  - 本橋 輝樹, Aalto Symposium on New Functional Materials, Helsinki, Finland (2019.06).
  - 本橋 輝樹, 4th E-MRS & MRS-J Bilateral Symposium, Crete, Greece (2018. 10).
  - 齋藤 美和, IUMRS-ICA 2019, Perth, Australia, (2019.9).
  - Tateyama, et.al.(CALET collaboration), "Direct Measurement of the Cosmic-Ray Proton Spectrum from 50 GeV to 10 TeV with the Calorimetric Electron Telescope on the International Space Station", PHYSICAL REVIEW LETTERS 122, 181102 (8pages) (2019).
  - S. Shindoh, A note on signal to interference ratio feasibility problems, Journal of Nonlinear and Convex Analysis, 19 (10), 1741-1747 (2018).
  - T. Sugimoto, The Longitude Problem as the Unification of Space and Time With Special Application to the Island of St Helena, FORMA, 33(Special issue), S17-S22 (2018, 10).
  - T. Sugimoto, A Note on 'The transit of Mercury observed at St Helena in 1677 (Cl.P/21/3)', Trans. Soc. Math. Sci., 20(1), 3-7, (2019, 2).
  - S. Ito, K. Miyakoshi, H. Oya, Y. Hoshi and S. Nagai, Consensus via Adaptive Gain Controllers Considering Relative Distances for Multi-Agent Systems, Advances in Technology Innovation, 4(4) 234-246 (2019).
  - 廣田敦士, 市川淳, 早川博章, 西崎友規子, 岡夏樹, 権威のある姿勢が将来得られる報酬の割り引かれる価値に与える影響, 認知科学, 26(2), 231-242, 2019.
  - W. Lin, S. Qian (corresponding author) and T. Matsumoto, "Lossy-Forward Relaying for Lossy Communications: Rate-Distortion and Outage Probability Analyses", IEEE Transactions on Wireless Communications, 18(8), 3974-3986, (2019).

## 褒賞

- 大飼将慎, 第 123 回触媒討論会 学生ポスター賞
- 安藤風馬(松本研究室), 電気化学会関東支部第 37 回夏の学校 最優秀ポスター賞.

## 学位

- 西浦利紀, 単核コバルト-混合配位子錯体の合成と酸素分子及び過酸化物の活性化, 博士(工学), 神奈川大学 (2019.3).
- 岡林龍一,  $A_2 + B_2$  重縮合によって得られる環状高分子の交換反応を利用した両末端官能基化, 博士(工学), 神奈川大学 (2019.9).

## 情報システム創成学科

### 研究論文I (レフェリー付き論文)

- Wataru Sagisaka and Teruji Sekozawa, "Proposal method for avoiding risk and stabilizing farmer income with derivatives," WSEAS Transactions on systems, 18, 93-101, (2019-2).
- Yoichi Izunaga, Tomomi Matsui and Yoshitsugu Yamamoto, "A doubly nonnegative relaxation for modularity density maximization," Discrete Applied Mathematics, in press, (Available online Oct. 2018).
- Keisuke Sato and Yoichi Izunaga, "An enhanced MILP-based branch-and-price approach to modularity density maximization on graphs," Computers and Operations Research, 106, 236-245, (2019).
- Satoshi Takahashi, Yoichi Izunaga and Naoki Watanabe, "VCG mechanism for multi-unit auctions and appearance of information: An experiment," Evolutionary and Institutional Economics Review, in press, (Available online July 2019).
- O Adriani, K. Hibino, S. Okuno, Y. Shimizu, T. Tamura, and N.

### 研究論文II (レフェリー付き Proceedings)

- Wataru Sagisaka and Teruji Sekozawa, "Evaluation of options for stabilization of potato farmer income," WSEAS International Journal of Agricultural Science, 3, 67-72, (2018-11).
- Masanori Akiyoshi, Smart Tool for Visualizing Dense Street Crossing/Corner Area using Google Map and Google Street View, in Proc. Of IC3K 2019, 2019 (in CD-ROM)
- Jun Ichikawa, Kazuhiro Mitsukuni, Yukari Hori, Yuta Ikeno, Leblanc Alexandre, Tetsukazu Kawamoto, Yukiko Nishizaki, and Natsuki Oka, Analysis of How Personality Traits Affect Children's Conversational Play with an Utterance-Output Device, in Proc. Of ICDL-EpiRob 2019, 215-220, 2019.
- S. Shindoh, The structures of SINR regions for standard interference mappings, Proceedings of the SICE Annual Conference 2019, 1280-1285 (2019).
- S. Nagai, H. Oya, T. Matsuki and Y. Hoshi, An LMI-based Design Method of a Variable Gain Robust Controller Giving Consideration to Nominal L2 Gain Performance and Allowable Uncertainty Region for a Class of Uncertain Linear Systems, Proc. of the 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON 2018), (Washington D.C., 2018. 10).
- H. Oya, S. Nagai, T. Matsuki and Y. Hoshi, Synthesis of Point Memory-Based Adaptive Gain Robust Controllers with Guaranteed L2 Gain Performance for a Class of Uncertain Time-Delay Systems, Proc. of the 15th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision (ICARCV 2018), (Singapore, 2018. 11).
- S. Nagai, H. Oya, T. Matsuki and Y. Hoshi, Decentralized Variable Gain Robust Controllers with L2 Gain Performance for a Class of Uncertain Large-Scale Interconnected Systems, Proc. of the SICE Annual Conference 2019 (SICE 2019), (Hiroshima,

2019. 9).
8. K. Nishizawa and N. Tsumagari. Composition of Different-Type Relations via the Kleisli Category for the Continuation Monad, Proc. RAMiCS 2018, (Lecture Notes in Computer Science 11194) 97-112, (Groningen, 2018. 10).
  9. Minoru Yoshida and Sergio Albeverio ; A formulation of quasi-regular non-local Dirichlet forms on  $F\{\varphi\}$ chet spaces with application to a stochastic quantization of  $\Phi^4_3$  field, Rims Kokyu-roku, 2116, pp. 85-94, Kyoto Univ. (2019)
  10. A. Fujioka and K. Yoneyama, Single private-key generator security implies multiple private-key generators security, The 12th International Conference on Provable Security (ProvSec 2018), 56-74 (Jeju, 2018. 10).
  11. A. Fujioka, K. Takashima, S. Terada, and K. Yoneyama, Supersingular isogeny Diffie-Hellman authenticated key exchange, The 21st Annual International Conference on Information Security and Cryptology (ICISC 2018), 1-19 (Seoul, 2018. 11).
  12. J. Tomida, A. Fujioka, A. Nagai, and K. Suzuki, Strongly secure identity-based key exchange with single pairing operation, The 24th edition of the European Symposium on Research in Computer Security (ESORICS 2019), 484-503 (Luxembourg, 2019. 9).

## 口頭発表

1. 鶴見 梨沙, 今井 崇雅, 送信ダイバーシティを用いた光無線通信特性の送受信器傾き依存性, 2019年電子情報通信学会 ソサイエティ大会講演論文集, B-10-43 (大阪, 2019.9)
2. 匂坂航, 瀬古沢照治: 強化学習における環境の特徴抽出と探索効率化の提案, 2019年 電気学会 電子・情報・システム部門大会, 講演論文集, pp.1215-1216, 2019年9月
3. 角田寛和, 瀬古沢照治: 自動運転による渋滞軽減及び燃費向上に関する研究, 2019年 電気学会 電子・情報・システム部門大会, 講演論文集, pp.1217-1218, 2019年9月
4. 末永詩歩, 瀬古沢照治: 顧客間の協力を考慮した Web サービス企業の利益独占に関する提案, 2019年 電気学会 電子・情報・システム部門大会, 講演論文集, pp.1228-1229, 2019年9月
5. 末永詩歩, 瀬古沢照治: 顧客の不信感を導入した情報プラットフォームにおけるサービス企業の利益独占に関する対策, 電気学会情報システム研究会資料, IS-19-39, pp.77-80, 2019年6月
6. 角田寛和, 瀬古沢照治: ファジィ制御を利用した車の運転による渋滞軽減及び燃費向上に関する研究, 電気学会情報システム研究会資料, IS-19-40, pp.81-84, 2019年6月
7. 匂坂航, 瀬古沢照治: 環境の特徴抽出を用いたQ学習の効率化方式, 電気学会情報システム研究会資料, IS-19-44, pp.103-105, 2019年6月
8. 大島正太, 秋吉政徳, 2視点用ハイブリッド画像生成の検討, 電気学会情報システム研究会, IS18-58, 41-44 (2018.11)
9. 藤井直之, 秋吉政徳, 道路地図画像からの曲がり角密集地域抽出の実験, 電気学会情報システム研究会, IS18-59, 45-50 (2018.11)
10. 奈良清仁, 秋吉政徳, 深層学習を用いた人狼ゲームログからの役職推定, 電気学会情報システム研究会, IS19-20, 103-106 (2019.3)
11. 星野恵以子, 秋吉政徳, 書籍レビュー欄に対するネタバレ判定の評価実験, 電気学会情報システム研究会, IS19-21, 107-110 (2019.3)
12. 関口聖成, 秋吉政徳, デバックング学習のためのエラーソースコード生成方式, 電気学会情報システム研究会, IS19-22, 111-114 (2019.3)
13. 佐田和樹, 秋吉政徳, Google Street Viewを用いた曲がり角密集地域可視化ツール, 電気学会情報システム研究会, IS19-23, 115-118 (2019.3)
14. 石田龍星, 秋吉政徳, 避難群集行動における創発現象の発生を目的としたマルチエージェントモデルの構築, 電気学会情報システム研究会, IS19-37, 69-73 (2019.5)
15. 新納穰, 秋吉政徳, カメラ画像における複数人の画像の重なりに対する人物追跡への顔認識を用いた補正を組み入れた入退室判定方式, 電気学会情報システム研究会, IS19-41, 85-90 (2019.5)
16. 石田龍星, 秋吉政徳, 集団避難行動モデルを組み込んだマルチエージェントシミュレーションツール, 第33回人工知能学会全国大会, 3Rin2-24 (2019.6)
17. 田島朗弘, 秋吉政徳, 後悔値計算を利用した人狼知能エージェントの対戦実験, 電気学会情報システム研究会, IS19-50, 21-24 (2019.9)
18. 奈良清仁, 秋吉政徳, 吉新喜市, 階層構造に基づく段階的マルチレベル分類による F ターム付与方式, 電気学会情報システム研究会, IS19-51, 25-28 (2019.8)
19. 光國和宏, 市川淳, 堀紫, 池野湧太, アレクサンドルブロロン, 河本徹和, 岡夏樹, 西崎友規子, 子ども用対話型スピーカーの開発に向けた対話遊びの分析, 第33回人工知能学会全国大会, 1O4-J-12-02 (2019.6)
20. 市川淳, 光國和宏, 堀紫, 池野湧太, アレクサンドルブロロン, 河本徹和, 西崎友規子, 岡夏樹, 子どもの性格特性に着目した対話型スピーカーとの遊び行動の分析, 日本認知科学会第36回大会, 883-884 (2019.9)
21. 張賀, 奥野祥二, 内田智史, 難易度が変化する電子書籍とその開発支援環境, S1-001, 日本 e-Learning 学会第21回学術講演会, 神奈川大学, 2018年11月24日
22. 張賀, 奥野祥二, 内田智史, 難易度が変化する電子書籍とその開発支援環境, 5M-05, 情報処理学会第81回全国大会, 福岡大学, 2019年3月
23. 内田智史, 理解力の異なる読者に対応した電子書籍執筆システムの開発とその応用, ④, 日本情報ディレトリ学会第23回全国大会プログラム, 追手門学院大学 総持寺キャンパス, 2019年8月31日
24. 進藤晋, 閉凸錐上で定義される単調自己写像の固有値の存在と最適化問題への応用, 第61回自動制御連合講演会講演論文集, 1650-1651 (名古屋, 2018. 11).
25. 進藤晋, SINR 領域の性質と最適化問題への応用, 数理解析研究所共同研究「数理計画問題に対する理論とアルゴリズムの研究」, (京都, 2019. 8).
26. S. Shindoh, The structures of SINR regions for standard interference mappings, SICE Annual Conference 2019, (Hiroshima, 2019. 9).
27. 杉本剛, セント・ヘレナ島黎明期, 第86回形の科学シンポジウム講演予稿集, 3(2), 13-14, (2018, 11).
28. 杉本剛, ニュートンの「プリンキピア」第I書命題 XIV 定理 VI の誤謬 または ケプラー順問題の普遍定数, かたちシュレー 2018 in 琵琶湖予稿集, 22-23, (2018, 12).
29. 杉本剛, 手書き論文 'The transit of Mercury observed at St Helena in 1677 (Cl.P/21/3)' について, 日本科学史学会第66回年会研究講演会, 2, (2019, 5).
30. 杉本剛, インディア環礁の地理情報変遷史, 第87回形の科学シンポジウム講演予稿集, 4(1), 43-44, (2019, 6).



31. Asahi Takaoka. Linear-semiorders and their incomparability graphs. In Proceedings of the 22th Japan Conference on Discrete and Computational Geometry, Graphs, and Games (JCDCG<sup>3</sup> 2019), Tokyo, Japan, 6(6-8) Sep. 2019, pp.119-120.
32. 繁田 大輝, 森田 光, 深層学習の分類によるステガノグラフィの方法,情報処理学会, CSS2018, 3A1-3 (長野, 2018.10).
33. 繁田 大輝, 増井 孝之, 森田 光, メディア選択にハッシュ関数を用いるステガノグラフィ,信学会 SCIS2019, 4C2-5 (滋賀, 2019.1).
34. 増井 孝之, 繁田 大輝, 森田 光, 深層学習による文字列のステガノグラフィ,信学会, 118(478), pp.45-49, ISEC2018-88 (IT2018-82, WBS2018-83) (東京, 2019.3).
35. 繁田 大輝, 森田 光, 深層学習による画像のステガノグラフィ,信学会, 118(478), pp.51-55, ISEC2018-89 (IT2018-83, WBS2018-84) (東京, 2019.3).
36. 池田 大地, 繁田 大輝, 森田 光, Git とブロックチェーン を用いる 文書管理方法, 信学会, 118(478), pp.187-191, ISEC2018-112 (IT2018-106, WBS2018-107) (東京, 2019.3).
37. 安田康史, 順序と半群と Quantale の関係性について, 第三十回 ALGI (代数, 論理, 幾何と情報科学研究集会) 講演番号 7. (福岡, 2019.8)
38. 西澤弘毅, Correspondences among classes of weak preorders, partial semigroups, and quantales,第三十回 ALGI (代数, 論理, 幾何と情報科学研究集会) 講演番号 8. (福岡, 2019.8)
39. 香川智修, 吉野邦生; "The fractional Hilbert transform under the Bargmann transform", 調和解析セミナー, 東京都市大学, 2018/12/22
40. Minoru Yoshida; "non-local Dirichlet forms n infinite dimensional spaces", Random Transformations and Invariance in Stochastic Dynamics, University of Milan, (招待講演)2019/3/28
41. 香川智修; "Bargmann transform of convolution" 調和解析セミナー, 東京都市大学, 2019/7/13
42. 岩井光輝, 川口武瑠, 割木寿将, 佐々木太良, 藤岡淳, 鈴木幸太郎, 永井 彰, 非対称 pairing を利用した ID ベース認証鍵交換: IoT 機器への適用, 2019 年暗号と情報セキュリティシンポジウム, 3E3-3 (大津, 2019. 1).
43. 藤岡淳, 高島克幸, 米山一樹, 同種写像を用いた 1-ラウンド認証グループ鍵共有, 2019 年暗号と情報セキュリティシンポジウム, 3B3-4 (大津, 2019. 1).
44. K. Takashima, A. Fujioka, and K. Yoneyama, One-round authenticated group key exchange from isogenies, The CJK-SIAMs joint mini-symposium on Mathematical Cryptography in the 9th International Congress on Industrial and Applied Mathematics (ICIAM 2019), MS GH-3-4 6 (Valencia, 2019. 7).
45. 林隼輔, 佐々木太良, 藤岡淳, ボチュバルの3値論理による Garbled Circuit, 電子情報通信学会技術研究報告, 119(140), 363-368 (高知, 2019. 7).

## 学術誌

1. 今井崇雅, 工学研究所長就任にあたって, 神奈川大学工学研究, 第2号, 1(2019).
2. 進藤晋, 単調劣同次写像に付随する漸近写像の最適化問題への応用, 数理解析研究所講義録「高度情報化社会に向けた最適化問題の新潮流」, 130-134 (2019).
3. Asahi Takaoka, Linear-semiorders and their incomparability graphs, arXiv:1907.07845 (2019.7)
4. A. Fujioka, K. Takashima, and K. Yoneyama, One-round

authenticated group key exchange from isogenies, Cryptology ePrint Archive: Report 2018/1033 (2018).

## 講演・展示会

1. 市川淳, 「保育活動における子どもの集団運動からみる社会性」, 新学術領域研究成果報告シンポジウム「認知的インタラクシオンデザイン学の創成」 (2019.9)
2. 大屋英稔, 永井駿也, 生体信号解析に基づく診断における DADiSP~牛の生体データ解析事例~, 第8回 DADiSP 利用技術研究会~データ解析・AI・機械学習の実例を分野横断的に学ぶ~ (東京, 2019. 8).

## 助成金

1. 秋吉政徳(研究代表者), 「看護現場データに内在する医療安全のための暗黙知抽出への挑戦」, 科学研究費助成事業 挑戦的研究(挑戦) (平成 29 年度~31 年度, 課題番号 17K19845)
2. 市川淳(研究代表者), 「運動協調の達成過程における他者視点の理解の解明」, 科学研究費助成事業 研究活動スタート支援 (令和元年度~2 年度, 課題番号 19K24369)

## 受託研究

1. 秋吉政徳(研究代表者), 「特許調査業務における AI 応用検討」, 株式会社エムテック.

## 海外出張

1. 藤岡淳, ProvSec 2018, Jeju, Korea Republic (2018. 10).
2. 藤岡淳, ICISC 2018, Seoul, Korea Republic (2018. 11).
3. 藤岡淳, 高雄師範大学楊教授との研究議論, Kaohsiung, Taiwan (2019. 9).
4. 藤岡淳, ESORICS 2019, Luxembourg, Luxembourg (2019. 9).
5. 佐々木太良, 高雄師範大学楊教授との研究議論, Kaohsiung, Taiwan (2019. 9).
6. 秋吉正徳, IC3K2019, Vienna, Austria (2019. 9).
7. 市川淳, ICDL-EpiRob 2019, Oslo, Norway (2019. 8).
8. 森田光, 高雄師範大学楊教授との研究議論, Kaohsiung, Taiwan (2019. 9).

## 褒賞

1. 齋申, Performance Analysis for Lossy-Forward Relaying Over Nakagami-m Fading Channels, IEEE Transaction on Vehicular Technology, 66(11), 10035-10043, (2017), 東京電機大学丹羽保次郎記念論文賞, 東京電機大学 (2019. 3).
2. 藤岡淳, IWSEC 2018 の運営に対する貢献, 貢献賞(会議運営), 電子情報通信学会 基礎・境界ソサイエティ (2019. 9)
3. 清水庸平, 背面処理を用いたカードベース暗号における不正を考慮したプロトコルの提案, 情報セキュリティ研究奨励賞, 電子情報通信学会 情報セキュリティ研究専門委員会 (2019. 1).

## 経営工学科

### 研究論文I (レフェリー付き論文)

1. N. Ishii, Y. Takano and M. Muraki, A resource flow based multistage dynamic scheduling method for the state-dependent work, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 873, 300-316 (2018). (Revised Selected Papers).
2. S. Ota and M. Kimura, On necessary conditions for dependence parameters of minimum and maximum value distributions based on n-variate FGM copula, *IEICE Trans. Fundamentals*, E102-A (3), 586-589 (2019).
3. J. Weng, S. Mizoguchi, S. Akasaka and H. Onari, Smart manufacturing operating systems considering parts utilization for engineer-to-order production with make-to-stock parts, *International Journal of Production Economics*, 掲載確定印刷中 (2019.7) .
4. Q. Huang, J. Weng and H. Onari, Integrated Approach for Production Planning with Trading Prices of Global Supply Chain, *日本生産管理学会論文誌*, 6(1),43-50 (2018.11).
5. M. S. Hossain, M. Takanokura, H. Sakai and H. Katagiri, Theoretical and practical investigation of Fuzzy-AHP with voting in QFD to design communication systems for disabled individuals, *Journal of Japan Industrial Management Association*, 70(2E), 115-123 (2019).
6. Y. Takeuchi, T. Ogawa, K. Sato, H. Morimoto T. Saito, Power control optimization of an energy storage system in DC electric railways, *IEEJ Journal of Industry Applications*, 8 (5), 827-834 (2019).
7. S. Adachi, H. Kubotani and M. Toda, Exact distribution of largest Schmidt eigenvalue for quantum entanglement, *J. Physics A: Math. Theor.* 52, 405304(12pp), 2019.
8. K. Sato and K. Nakashima, Optimal pricing problem for a pay-per-use system based on the Internet of Things with intertemporal demand, *International Journal of Production Economics*, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.08.012>.
9. M. Takanokura, D. Kitayama, R. Tamura and M. Ogiya, Long-distance delivery route planning using a commercial electric vehicle including the arrangement of charging stations, *Asian Journal of Management Science and Applications*, 4(1), 15-26 (2019).
10. M. Matsui, T. Yamada, M. Takanokura, A scientific and economic view on collaboration, balancing vs. sharing, *Theoretical Economics Letters*, 9(1), 49-59 (2019).
11. 松本光広, 円を描くために必要な製図用コンパスに作用させる力の解析, *設計工学*, 54 (8), 535-550 (2019).
12. Conference 2018, ID75 (Hong Kong, 2018.12).
5. S. Ota, M. Kimura, N. Tazi and T. Nakagawa, Optimal block-replacement policy for an n-unit series system with dependency based on an FGM copula, *Proc. 11th International Conference on Mathematical Methods in Reliability*, 8 pages (USB) (Hong Kong, 2019. 6).
6. Q. Huang, J. Weng, S. Ohmori, K. Yoshimoto, The 25th International Conference on Production Research, (Chigaco, USA, 2019.8).
7. T. Uno, H. Katagiri and K. Kato, A Shop Location Optimization with Traffic Generators and Lines based on Prediction of Residents' Movement, *Proceedings of International MultiConference of Engineering and Computer Scientists 2019 (IMECS 2019)*, 491-494, (Hong Kong, 2019. 3).
8. T. Tanizaki Y. Masuda and H. Katagiri, Application of scatter search for scheduling problem with crane interference, *Proceedings of International Symposium on Scheduling 2019*, 16-21 (Matsue, 2019. 7).
9. K. Sato, Z.Cong, K. Nakashima (2019). An optimization problem in a closed-loop manufacturing system with stochastic variability, In *proceedings of 25th International Conference on Production Research Manufacturing Innovation: Cyber Physical Manufacturing*, USB-Memory.
10. T. Uchiyama, K. Sato, H. Katagiri and K. Nakashima (2018). Machine repair priority for an assembly line with consideration for delay of production, In *proceedings of the 19th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems (APIEMS 2018)*, USB-Memory.
11. Z. Cong, K. Sato, H. Hirai and K. Nakashima (2018). Optimal production policy for a closed-loop supply chain system with disruption risks, In *proceedings of the 19th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems (APIEMS 2018)*, USB-Memory.
12. S. Hisamune and K. Kogi, Effects on the WIB OSHMS program for improving safety and health of seamen, *Proc.15th International Symposium on Maritime Health*, #10 (Humbreg, 2019.6).
13. S. Hisamune, and K. Kogi, Tendency of Diseases among Seamen during the six years and program for improving health of seamen. *Proc.15th International Symposium on Maritime Health*,#14 (Humbreg, 2019.6).
14. S. Hisamune and K. Kogi, Effects on the WIB OSHMS program of Fishmen, *Proc. International Conference on Fisheries Engineering 2019*, S401 (Nagasaki, 2019.9).
15. S. Hisamune, and K. Kogi, Diseases among Fishmen during the six years and program for improving health of Fishmen, *Proc. International Conference on Fisheries Engineering 2019*, S205 (Nagasaki. 2019.9).
16. M. Nakashima, Y. Hirose, H. Hirai, Is There a Possibility to Predict Fraud Using MD&A? : Evidence from Japan, the 13th World Congress of Accounting Educators and Researchers (Sydney, 2018. 11).
17. H. Kataoka, H. Hirai, THE ACCOUNTING ISSUES IN PROCESS COSTING WITH FIFO, The 30th Asian-Pacific Conference on International Accounting Issues (San Francisco, 2018. 11).
18. K. Cong, K. Sato, H. Hirai, K. Nakashima, Optimal Production Policy for a Closed-Loop Supply Chain System with Disruption Risks, The 19th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems (Hong Kong, 2018. 12).

## 研究論文II (レフェリー付き Proceedings)

1. N. Ishii and M. Ohba, A Method of supply chain evaluation based on the structure of an information network, *Proceedings of the 25th International Conference on Production Research*, W1030-V2 (Chicago, 2019.8).
2. H. Shiokawa and N. Ishii, A method of collaborative inspection planning by integrating a production planning system, *Proceedings of the 25th International Conference on Production Research*, W1330-V4 (Chicago, 2019.8).
3. Matusi, M., Ishii, N., A Demand-to-Supply Enterprise Robot and its ODICS II Type for Convenience Store Application, *Proceedings of the 25th International Conference on Production Research*, T1330-V1 (Chicago, 2019.8).
4. N. Ishii, Y. Takano and M. Muraki, Design and evaluation of the joint venture formation in EPC projects, *Proceedings of the 19th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems*

19. M. Nakashima, Y. Hirose, H. Hirai, Fraud Prediction Using MD&A Information: Evidence from Japan, 2019 Forensic Accounting Research Conference (St. Louis, 2019. 3).
20. Y. Kusu, H. Hirai, Impact of Corporate Performance and Firm Size on Executive Compensation in Japan: Study based on Corporate Lifecycle, 2019 American Accounting Association, Southwest Region (Nice, 2019. 3).
21. M. Nakashima, Y. Hirose, H. Hirai, Fraud Prediction Using MD&A Information: Evidence from Japa, 2019 Annual Meeting of the American Accounting Association (San Francisco, 2019. 8).
- る機械学習を用いた高速欠陥検出アルゴリズム, 電気学会情報システム研究会, IS-19-042 (大分, 2019. 5).
15. 太田和希, 片桐英樹, ガラス基板の時系列非接触検査データを用いた機械学習による欠陥検出手法, 日本経営システム工学会全国研究発表大会, 124-125 (新潟, 2019. 5).
16. 倉田悠平, 藤江遼, 窪谷浩人, 噂に潜む感情, 日本経営工学会 2018 年秋季大会, A16, 東海大学, 2018 年 10 月.
17. 古屋克英, 藤江遼, 窪谷浩人, 音声を用いた感情推定と有効な特徴量の言語間比較, 平成 30 年度 統数研共同研究集会「社会物理学の新展開」, 10, 統計数理研究所, 2019 年 3 月.
18. 佐藤慎一郎, 藤江遼, 窪谷浩人, 試合展開によるスポーツの特徴抽出, 平成 30 年度 統数研共同研究集会「社会物理学の新展開」, 11, 統計数理研究所, 2019 年 3 月.
19. 倉田悠平, 藤江遼, 窪谷浩人, 階層構造を持つ組織において形成される協力関係, 日本経営工学会 2019 年秋季大会, A15, タワーホール船堀, 2019 年 9 月.
20. 倉田悠平, 藤江遼, 窪谷浩人, 階層的ネットワークにおいて形成される協力関係, 2019 年度 日本数理生物学会年会, P-28, 東京工業大学, 2019 年 9 月.
21. K. Sato, Z.Cong, K. Nakashima (August,9-14,2019). An optimization problem in a closed-loop manufacturing system with stochastic variability, In proceedings of 25th International Conference on Production Research Manufacturing Innovation: Cyber Physical Manufacturing, Chicago, USA.
22. T. Uchiyama, K. Sato, H. Katagiri and K. Nakashima (December,5-8,2018). Machine Repair Priority for an Assembly Line with Consideration for Delay of Production, The 19th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems (APIEMS 2018), The University of Hong Kong, Hong Kong, China.
23. Z. Cong, K. Sato, H. Hirai and K. Nakashima (December,5-8,2018). Optimal Production Policy for a Closed-Loop Supply Chain System with Disruption Risks, The 19th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems (APIEMS 2018), The University of Hong Kong, Hong Kong, China.
24. K. Sato (November,7,2018). The Effect of Internet Bots on Dynamic Pricing of Perishable Products, INFORMS Annual Meeting, Phoenix.
25. Z. Cong, K. Sato, H. Hirai and K. Nakashima (October,13-15,2018).Closed-Loop Supply Chain models with Uncertain Demand and Random Yield in Presence of Supply Disruption, The 6th International Workshop on Production and Logistics, Courtyard by Marriott Shin-Osaka Station HOTEL, Shin-Osaka, Japan.
26. 平塚大輝, 佐藤公俊 (2019 年 3 月 9 日) 農産物サプライチェーンにおける流通チャネル選択に関する研究, JIMA 生産・物流部門第 6 回産学交流ワークショップ, ホテルサンルート梅田.
27. 澤木勝茂, 佐藤公俊, 八木恭子 (2019 年 3 月 15 日) シナジー効果とリスク分散を考慮したリアルオプション手法による合併・買収の評価モデルについて, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2019 年春季研究発表会, 千葉工業大学.
28. 内山敬寛, 佐藤公俊, 片桐英樹, 中島健一 (2019 年 3 月 8 日) 保全作業員数を考慮した設備保全管理の最適化に関する研究, 日本経営工学会 2019 年春季大会, 予稿集, pp.67-68, 福岡工業大学.
29. 鄭聡, 佐藤公俊, 平井裕久, 中島健一 (2019 年 3 月 8 日) 循環型サプライチェーンにおける最適再生産・発注政策に

## 口頭発表

1. 大野晃太郎, 劉 功義, 石井信明, 横山真一郎, プロジェクトにおける潜在的危険性診断のための AI 的アプローチ, プロジェクトマネジメント学会 2019 年度秋季研究発表大会, 589-595 (北海道立道民活動センター, 札幌) (2019.8).
2. 塩川 寛, 石井信明, 検査計画の立案による合理的な検査方法に関する提言, 日本経営工学会 2018 年秋季大会, C05 (東海大学 高輪キャンパス, 2018.10).
3. 松井正之, 石井信明, 企業ロボットの開発(2): 人工体原理によるコンビニ系企業ロボットの具現化問題と ODICS II ベース例, 日本経営工学会 2018 年秋季大会, E10 (東海大学 高輪キャンパス, 2018.10).
4. 大場允晶, 石井信明, 中邨良樹, 納期調整業務の業務プロセス分析とマトリックス・アプローチによるサプライチェーンの情報評価, 第 9 回横幹連合コンファレンス, E-3-2 (電気通信大学 調布, 2018.10).
5. 太田修平, 木村光宏, 従属故障環境下での直列システムに対する最適な周期的取替え方策に関する一考察, 日本信頼性学会第 27 回春季信頼性シンポジウム発表報文集, 81-84 (東京, 2019. 5).
6. 太田修平, 木村光宏, FGM コピュラの漸近不偏推定量に関する研究, 電子情報通信学会技術研究報告 (信学技報) 信頼性, 1-6 (岩手, 2019. 7).
7. 翁嘉華, 溝口翔太, 赤坂信悟, 生産座席を用いた個別受注生産方式の提案 -部品活用方法についての一考察-, 日本経営工学会 2019 年度春季大会, E16 (福岡, 2019.3).
8. 翁嘉華, 繋がる工場今野製作所の事例から中小企業の将来を考える, 日本経営工学会 2019 年度春季大会, E19 (福岡, 2019.3)
9. 赤坂信悟, 翁嘉華, 大成尚, 受注設計生産における受注仕様の自動設計方式, 日本経営工学会 2018 年度秋季大会, 20-21 (東京, 2018.10)
10. 片桐英樹, 佐藤圭介, 風見公子, 佐々木拓斗, 数理最適化に基づく調理現場の制約を考慮した学校給食献立の作成, 第 14 回日本給食経営管理学会学術総会, 1P-3 (坂戸, 2018. 11).
11. 浅井康喜, 佐藤圭介, 片桐英樹, 仕業検査・交番検査を考慮した長期車両割当計画の高速作成, 第 25 回鉄道技術連合シンポジウム (J-RAIL2018), 1035 (東京, 2018. 12).
12. 田平航生, 平野洋介, 森川順平, 片桐英樹, 打者に着目した投打における左右の相性の統計的分析, 第 8 回スポーツデータ解析コンペティション, P2-03 (東京, 2018. 12).
13. 浅井康喜, 佐藤圭介, 片桐英樹, 基底解の情報を利用したビンパッキング問題の辞書式列生成, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2019 年春季研究発表会アブストラクト集, 74-75 (習志野, 2019. 3).
14. 太田和希, 片桐英樹, ガラス基板の非接触電気検査におけ

- 関する研究, 日本経営工学会 2019 年春季大会, 予稿集, pp.65-66, 福岡工業大学.
30. 鄭聡, 佐藤公俊, 平井裕久, 中島健一 (2018 年 10 月 28 日) 部品供給量における不確実性を考慮した循環型サプライチェーンの研究, 日本経営工学会 2018 年秋季大会, 東海大学.
  31. 内山敬寛, 佐藤公俊, 片桐英樹, 中島健一 (2018 年 10 月 28 日) 生産遅れを考慮した組立ラインにおける設備保全の優先順位, 日本経営工学会 2018 年秋季大会, 東海大学.
  32. M. S. Hossain, M. Takanokura, H. Sakai and H. Katagiri, Design framework for communication systems with user participation to assist language disorders, 5th East Asia Workshop on Industrial Engineering, 55 (Seoul, 2018. 11).
  33. M. S. Hossain, M. Takanokura, H. Sakai and H. Katagiri, Ensure individual satisfaction using mathematical model in QFD for communication system design to assist language disabled people, 日本経営工学会 2018 年秋季大会, 198-199 (東京, 2018. 11).
  34. D. Kitayama, M. Ogiya, M. Takanokura, S. H. R. Eksan and M. H. Ali, Supply chain integration for halal food integrity in Japan, 19th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference (APIEMS2018), (Hong Kong, 2018. 12).
  35. M. H. Talukder, M. Ogiya and M. Takanokura, Optimization of medical image data using edge detection techniques: a case study, 19th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference (APIEMS2018), (Hong Kong, 2018. 12).
  36. M. Takanokura, D. Kitayama and M. Ogiya, A study on vehicle routing and scheduling for pick-up service on an elderly day care facility in Japan, 19th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference (APIEMS2018), (Hong Kong, 2018. 12).
  37. 高野倉雅人, 芝野莉奈, 名取知晃, 荻谷光晴, 失語症者のコミュニケーションを支援するアプリケーションの開発, 日本人間工学会第 60 回大会, (東京, 2019. 6).
  38. M. Takanokura, D. Kitayama, M. Ogiya, S. H. R. Eksan, M. H. Ali, Consumer awareness of halal foods and their supply chain in Japan, 2nd International Food Research Conference (IFRC2019), 54 (Putrajaya, Malaysia, 2019. 8).
  39. M. H. Ali, N. N. Yusoff and M. Takanokura, Exploring Malaysia food service industry dilemma on migrant workers, 2nd International Food Research Conference (IFRC2019), 82 (Putrajaya, Malaysia, 2019. 8).
  40. 坂田真一郎, 久宗周二, 小企業向け安全マネジメントの効果について, 第 48 回日本人間工学会関東支部会 (神奈川大学, 2018.12)
  41. 鄭聡, 佐藤公俊, 中島健一, 平井裕久, 部品供給量における不確実性を考慮した循環型サプライチェーンの研究, 日本経営工学会 秋期大会, (東京, 2018.10).
  42. 鄭聡, 佐藤公俊, 平井裕久, 中島健一, 循環型サプライチェーンにおける最適再生産・発注政策に関する研究, 日本経営工学会 春期大会, (福岡, 2019.3).
  43. 平井裕久, 椎葉淳, 併用方式による企業価値評価の実証的検証, 日本管理会計学会 2019 年度年次全国大会, (神奈川, 2019.8).
  44. 浅田孝幸, 大浦啓輔, 平井裕久, 堀井悟志, グローバル経営における予算管理の有効性: 国内・海外子会社の管理の比較 研究, 日本原価計算研究学会 第 45 回全国大会, (東京, 2019.8).
  45. M. Hosoda, K. Mitani, Y. Hiasa, A. Komura, K. Yamawaki, The Impact of Corporate Social Responsibility Perception on Financial Performance: A Case of Japanese Hotel Chain, 8th Annual Australasian Business Ethics Network Conference 2018, (Auckland, 2018. 12).
  46. K. Yamawaki, A. Komura, K. Mitani, Y. Fukaya, The Measurement of Share of Wallet in the Questionnaire Survey: The Case of Japanese Hotel Company, 8th International Conference on Engineering Business Management (ICEBM 2019), (Kuala Lumpur, 2019. 8).
  47. J-L. Viviani, A. Komura, Customer Relationship Dynamics using Hidden Markov Model, 国際戦略経営研究学会第 12 回年次大会・研究発表大会, (埼玉, 2019. 10).
  48. 小村亜唯子, 顧客ポートフォリオ分析における費用配賦と営業利益安定性, 国際戦略経営研究学会第 12 回年次大会・研究発表大会, (埼玉, 2019.10).

## 学術誌

1. 石井信明, ロジスティクス・システムズ・エンジニアリング 第 6 回 工業管理技術と LSE, 月刊ロジスティクス・ビジネス, 19(2), 102-103 (2019.5).
2. 石井信明, ロジスティクス・システムズ・エンジニアリング 第 5 回 変化の時代の投資効果, 月刊ロジスティクス・ビジネス, 18(12), 90-93 (2019.3).
3. 松井正之, 石井信明, 山田哲男, 企業ロボットの概念, 工学研究, 2(12), 158-159 (2019.2).
4. 石井信明, ロジスティクス・システムズ・エンジニアリング 第 4 回 システム構築プロセス, 月刊ロジスティクス・ビジネス, 18(11), 98-100 (2019.2).
5. 石井信明, ロジスティクス・システムズ・エンジニアリング 第 3 回 LSE を支える管理技術, 月刊ロジスティクス・ビジネス, 18(10), 88-90 (2019.1).
6. 石井信明, ロジスティクス・システムズ・エンジニアリング 第 2 回 LSE のマクロ戦略, 月刊ロジスティクス・ビジネス, 18(9), 67-78 (2018.12).
7. 石井信明, ロジスティクス・システムズ・エンジニアリング 第 1 回 今なぜ LSE なのか?, 月刊ロジスティクス・ビジネス, 18(8), 88-90 (2018.11).
8. 佐藤公俊, 澤木勝茂, 八木恭子, シナジー効果とリスク分散を考慮したリアルオプション手法による合併・買収の評価モデルについて, リアルオプションと評価, 10(3), 35-41, (2018)
9. 久宗周二, 小木和孝 水産業の労働安全衛生の取り組み WIB (船内向け自主改善活動), 産業医学ジャーナル, 41(3), 13-16 (2019)
10. 中山光成, 久宗周二 旅客船における避難行動に関する一考察, 火災誌 68(4), 32-35 (2019)
11. 平井裕久, 吉村聡, 山浦裕幸, 日本企業における直接原価計算と CVP 分析の実態, 産業経理協会 産業経理, 79 (1), 173-193 (2019).
12. 浅田孝幸, 大浦啓輔, 平井裕久, 堀井悟志, 日本企業の国内・海外子会社に対する予算管理は成果を生むか?, 中央経済社 企業会計, 71 (5), 74-79 (2019).
13. 高野倉雅人, 片桐英樹, 松本光広, 西川昌宏, 酒井裕介, デジタルファブリケーションシステムを活用した教育・研究, 神奈川大学工学研究, 2, 93-95 (2019).

## 著書

1. S.I. Ao, H.K. Kim, O. Castillo, A.H.S. Chan and H. Katagiri (eds.), Transactions on Engineering Technologies: International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2017, Springer (2019).

- 久宗周二, 職場改善のためのヒント集, 単著, 創成社 (2019).
- 久宗周二 (分担執筆), 安全工学便覧 (第4版)産業衛生ハンドブック, 438-439, 朝倉書店 (2019).

## 調査報告書

- 翁嘉華, 中小企業をつながる工場-より良い製品・サービス提供の付加価値創出を目指す-, 工場管理, Vol.64, No.15, 29-33 (2018.10)
- 片桐英樹, 国際会議 ICOR で Best Paper Award を受賞して, 神奈川大学工学研究, 2 (2018).
- 佐藤公俊, IoT を活用した一貫生産思考に基づくビジネスモデルの確立, 工場管理, 64(15), 24-28, (2018)
- 松本光広, 指向性のない光を集光する多面鏡の開発, 八洲環境技術振興財団研究成果報告書, 1-3 (2019).
- 松本光広, 指向性のない光を集光する多面鏡の開発, 日立財団倉田奨励金研究報告, 49, 1-2 (2019).

## 講演・展示会

- 石井信明, LSE の新たな体系をどう作るか デジタル時代のロジスティクス・システムズ・エンジニアリングとは, 第42期 国際ロジスティクス学会日本支部9月度フォーラム (東京, 2019. 9).
- 石井信明, 管理技術を学ぶ, 第41期 国際ロジスティクス学会日本支部2月度フォーラム (東京, 2019. 2).
- 石井信明, ロジスティクス・システムズ・エンジニアリング(5) プロジェクトの企画と評価, 第41期 国際ロジスティクス学会日本支部12月度フォーラム (東京, 2018. 12).
- 石井信明, ロジスティクス・システムズ・エンジニアリング(4) LSE の投資評価とマネジメント, 第41期 国際ロジスティクス学会日本支部11月度フォーラム (東京, 2018. 11).
- 高野倉雅人, 障がいのあるユーザー中心視点のシステムデザイン, オーサーズカフェ (ユニコムプラザさがみはら) (相模原, 2019. 5).
- 久宗周二, 船員向け自主改善活動, 国交省補助事業敦賀講習会 (福井, 2018. 10).
- 久宗周二, 船員向け自主改善活動, 国交省補助事業福岡講習会 (福岡, 2018. 12).
- 久宗周二, 船員向け自主改善活動, 国交省補助事業広島講習会 (広島, 2018.12).
- 久宗周二, 船員向け自主改善活動, 国交省補助事業久里浜講習会 (神奈川, 2019. 1).
- 久宗周二, 船員向け自主改善活動, 国交省補助事業大阪講習会 (大阪, 2019. 2).
- 久宗周二, 船員向け自主改善活動, 国交省補助事業鳥羽講習会 (三重, 2019. 2).
- 久宗周二, 船員向け自主改善活動, 国交省補助事業神戸講習会 (兵庫, 2019. 2).
- 久宗周二, 船員向け自主改善活動, 国交省補助事業徳山講習会 (山口, 2019.9).
- 久宗周二, 船員向け自主改善活動, 国交省補助事業清水講習会 (静岡, 2019.9).
- 久宗周二, 船員向け自主改善活動, 水産庁補助事業瀬浦講習会 (徳島, 2019.7).
- 久宗周二, 船員向け自主改善活動, 水産庁補助事業宇田郷講習会 (山口, 2019.7).
- 久宗周二, 船員向け自主改善活動, 水産庁補助事業西の島

講習会 (島根, 2019.8).

- 松本光広, 手で押さえる力と同じ力で物体を固定できる装置, ハードウェアコンテスト GUGEN2018 展示会 (東京, 2018. 12).
- 松本光広, 手で押さえる力と同じ力で物体を瞬時に容易に固定できる物体固定装置, テクニカルショウヨコハマ 2019 (横浜, 2019. 2).
- 松本光広, 神奈川大学車の自動運転で使われるレーザレンジセンサを体験しよう, かながわ発・中高生のためのサイエンスフェア (横浜, 2019. 7).

## 助成金

- 石井信明 (代表), プロジェクトを成功に導く見積りと遂行体制・契約方式の研究, 平成30年度科学研究費補助金, 基盤研究 (C), 課題番号 16K01252.
- 石井信明, 需給システムの最適化, ユニバーサル製缶株式会社.
- 太田修平 (代表), 従属故障を伴う大規模システムに対する信頼性設計手法の新展開, 令和元年度科学研究費助成事業, 研究活動スタート支援, 課題番号 19K04892.
- 翁嘉華 (代表), 個別受注設計生産における「生産座席」を用いた生産方式の開発, 平成30年度科学研究費補助金, 基盤研究 (C), 課題番号 18K04620.
- 翁嘉華 (分担), AI 技術をプラットフォームとする競争力ある次世代生産システムの設計・運用基盤の構築, 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO), AI 技術の早期社会実装に向けた研究開発プロジェクト
- 片桐英樹 (代表), ファジィ確率計画に基づく健康障害発生リスクを考慮した最適献立作成, 2018年度科学研究費補助金, 基盤研究 (C), 研究課題番号 17K01276
- 片桐英樹 (分担), データ駆動型統計的観光科学の確立とその有効性の実証, 2018年度科学研究費補助金, 基盤研究 (B), 研究課題番号 26283019
- 藤江遼 (研究代表者), 2019年度 統計数理研究所公募型共同利用 共同研究集会「社会物理学の新展開」, 課題番号 2019-ISMCRP-5009.
- 佐藤公俊 (分担), 混雑と遅延に頑健な輸送・交通ネットワーク設計に関する研究, 平成30年度科学研究費補助金 (継続), 基盤研究(B), 課題番号 18H01662.
- 佐藤公俊 (代表), 消費者の安心・安全の確保に向けた価格決定モデルに関する研究, 平成29年度科学研究費補助金 (継続), 若手研究(B), 課題番号 17K12985.
- 佐藤公俊 (分担), エネルギー資源の輸入計画のための統合的リスク評価モデルの開発, 平成29年度科学研究費補助金 (継続), 基盤研究(B), 課題番号 17H02042.
- 高野倉雅人 (代表), 荻谷光晴 (分担), 人間中心アプローチによるデータドリブンな介護サービス・マネジメントシステムの創成, 2019年度科学研究費補助金, 基盤研究(C), 課題番号 19K04915.
- 高野倉雅人 (分担), ワークライフバランス支援のための技術・技能・健康のコミュニケーションデザイン, 2019年度科学研究費補助金, 基盤研究(C), 課題番号 19K04909.
- 久宗周二 (分担), 農林水産業における災害の発生状況の特性に適合した労働災害防止対策の策定のための研究, 平成30年度 厚生労働科学研究費補助金 (労働安全衛生総合研究事業), 課題番号 30180701.
- 平井裕久 (代表), 類似企業比較法を用いた企業価値評価に関する実証研究, 平成29年度科学研究費補助金, 基盤研究 (C), 課題番号 17K04059.

16. 小村亜唯子, 固定収益会計による利益安定化—製品市場戦略と業績評価の変更を通して—, 日本学術振興会: 特別研究員 (DC2), 課題番号 17J10242.

## 受託研究

1. 片桐英樹, フードロス対策での AI 活用についての検討, 山路フードシステム.
2. 佐藤公俊, 消費者視点に基づくダイナミック・プライシングの評価, ダイナミックプラス株式会社.
3. 久宗周二, 海上医学研究, 神戸マリナーズ厚生会.

## 海外出張

1. 石井信明, The 25th International Conference on Production Research, Chicago, USA (2019.8).
2. 石井信明, The19th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference, Hong Kong (2018.12).
3. 太田修平, The 11th International Conference on Mathematical Methods in Reliability, Hong Kong (2019.6).
4. 翁嘉華, 上海大学研究交流, Shanghai・China (2019.9) .
5. 翁嘉華, The 25th International Conference on Production Research 学会参加, Chigaco・USA (2019.8)
6. 翁嘉華, University Putra Malaysia 語学研修学生引率, マレーシア (2019.8) .
7. 片桐英樹, International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2019, Hong Kong (2019.3).
8. K. Sato, 25th International Conference on Production Research Manufacturing Innovation: Cyber Physical Manufacturing, Chicago, USA, (August,9-14,2019).
9. K. Sato, The 19th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems (APIEMS 2018), Hong Kong, China, (December,5-8,2018).
10. K. Sato, INFORMS Annual Meeting, Phoenix, USA, (November,7,2018).
11. 久宗周二, Proc.15th International Symposium on Maritime Health, Humbreg. Germany (2019.6).
12. 久宗周二, ハラル認証食品調査, Kuala Lumpur, Malaysia (2019.8).

## 褒賞

1. 片桐英樹, Best Paper Award of 2018 International Conference of Computational Intelligence and Intelligent Systems, International Association of Engineers (2018.10).

## 学位

1. 太田修平, Statistical modeling and reliability analysis for multi-component systems with dependent failures, 博士(工学), 法政大学 (2019. 3).

## その他

1. 翁嘉華, アリートウスコレギア応用科学大学(リトアニア)及びシビウ・ルチアンブラガ大学(ルーマニア)との「Erasmus+週間」研究交流会を実施 (2019. 6).
2. 高野倉雅人, 「失語症 アプリで支援 意思疎通円滑に シンプルさ追求 音声文字に読み上げも」, 毎日新聞 (2019.1.23).

3. 久宗周二, 久宗教授が研究し国土交通省が推進している船員災害防止のための「自主改善活動指導者養成講習会」が取材され, 久宗教授の講演が放映された, 三重テレビ「ニュースウィズ」(2019.2.26).
4. 久宗周二, 久宗教授が編集した著書『船員版 仕事別なりやすい病気と改善策』が紹介された, 日刊水産経済新聞 (2019.3.1).
5. 久宗周二, 大学の学びの場がキャンパスを飛び出して, 地域に広がりつつあることを報じる記事において, 東京五輪のヨット競技の会場となる江の島で小林 大晃 さん(工学部4年), 中嶋 優輝 さん(工学部4年), 草柳 龍一 さん(工学部4年)の3人が高齢者や障害者も楽しめるようにするため, 公衆トイレや飲食店のバリアフリーの現状を, 動画なども駆使したマップにまとめたことが掲載された, 日本経済新聞 (2019.3.20).
6. 久宗周二, 2020年の東京オリンピックに向けた学生の取り組みとして, 本学の学生がNPO法人と組んでヨット競技の会場となる江の島周辺でのバリアフリー対策の状況を調べていることが掲載された, 日本経済新聞 (2019.8.7).
7. 久宗周二, 久宗教授と本学学生の計13人が群馬県みどり市大間々町で現地調査を行い, 交流人口を増やすため具体的な地域活性化策をコメントした様子が掲載された, 桐生タイムス (2019.9.18).
8. 久宗周二, 久宗教授が, 神戸マリナーズ厚生会とともに作成した『船員版マンガで読もう 疾病と対策』を題材に, 清水港湾合同庁舎で行われた国土交通省静岡運輸支局「安全衛生講習会」の講師を務めたことが紹介された, 日本海事新聞 (2019.9.27).
9. 松本光広, 空間を感じる超人化スーツの実現松本光広, 異能 vation チャンネル (2018. 10).
10. 松本光広, 空間を感じる超人化スーツの実現, 情報処理, 60 (2), 144 (2019).
11. 松本光広, 感覚を拡張し, フツウの人を“超人化”する, ラジオライフ, 40 (8), 132-135 (2019).

## 建築学科

### 研究論文I (レフェリー付き論文)

1. T. Ochiai, T. Enomoto, Analysis on Predominant Periods Distribution by Microtremor Observations for Seismic Disaster Prevention in Yokohama, Japan Using GIS, Journal of Geographic Information System, 579-594 (2019)
2. S.Q. Lin and Y.G. Zhao, Numerical study of the behaviors of axially loaded large-diameter CFT stub columns, Journal of Constructional Steel Research 160, 54-66 (2019)
3. S.Q. Lin, Y.G. Zhao, and J.M. Li, An improved wrapping scheme of axially loaded fiber-reinforced polymer confined concrete columns, Composite Structures 226, 111242: 1-13 (2019)
4. L.L. Yan, J.F. Liang, Y.G. Zhao, Effect of high temperature on the bond performance between steel bars and recycled aggregate concrete, Computers and Concrete 23(3), 155-160 (2019)
5. Z.H. Lu, H. Li, W.G. Li, Y.G. Zhao, Z. Tang, Z.H. Sun, Shear behavior degradation and failure pattern of reinforced concrete beam with chloride-induced stirrup corrosion, Advances in Structural Engineering 22(14), 2998-3010 (2019)
6. Z.H. Lu, Y. Leng, Y. Dong, C.H. Cai, Y.G. Zhao, Fast integration algorithms for time-dependent structural reliability analysis

- considering correlated variables and processes, *Structural Safety* 78, 23-32 (2019)
7. X.Y. Zhang, Y.G. Zhao, Z.H. Lu, Straightforward Hermite polynomial model with application to marine structures, *Marine Structures* 65, 362-375 (2019)
  8. X.Y. Zhang, Y.G. Zhao, Z.H. Lu, Unified Hermite polynomial model and its application in estimating non-Gaussian processes, *Journal of Engineering Mechanics* 145(3): 04019001 (2019).
  9. C.H. Cai, Z.H. Lu, J. Xu, Y.G. Zhao, An efficient algorithm for the evaluation of the statistical moments of performance functions, *Journal of Engineering Mechanics* 145(1): 06018007 (2019).
  10. Y.G. Zhao, L.W. Zhang, Z.H. Lu, J. He, First passage probability assessment of stationary non-Gaussian process using the third-order polynomial transformation, *Advances in Structural Engineering* 22(1), 187-201 (2019)
  11. Z.H. Lu, H. Li, W.G. Li, Y.G. Zhao, W.K. Dong, An empirical model for the shear strength of corroded reinforced concrete beam, *Construction and Building Materials* 188, 1234-1248 (2018).
  12. H.Z. Zhang and Y.G. Zhao, A simple approach for estimating the fundamental mode shape of layered soil profiles, *Journal of Earthquake and Tsunami* 13(1), 1-17 (2019)
  13. Masanori Fujita, Mayo OHTAKI, Mamoru Iwata: Bending test of a composite steel-timber beam jointed by bolts, IABSE Guimaraes Conference 2019, - Towards a Resilient Built Environment Risk and Asset Management(2019.3)
  14. Y. Iwane, M. Kobayashi, H. Uchida, T. Kawasumi, H. Sekine and Y. Yasuda, Study on reduction of tunnel blasting infrasound using silencer with tube resonators, *Acoustical Science and Technology*, 39 (6), 428-431 (2018).
  15. 水野僚子, 内田青蔵, 住宅組合法の手引き書に掲載された設計図面からみる住宅像について, *日本建築学会技術報告集*, 25 (60), 953-958 (2019.6) .
  16. 姜明采, 内田青蔵, 須崎文代, 復興記念館の建設経緯について—横網町公園内建造物に求められた「日本趣味」について, *日本建築学会計画系論文集*, 757(3)、661-669(2019.3).
  17. 落合努, 犬伏徹志, 荏本孝久, 常時微動による地域特性を考慮したハザードマップの作成, *日本地震工学会論文集*, 19 (5), 5\_136-5\_145 (2019).
  18. 島崎和司, 白井佑樹, 平行配筋されたアンボント PCaPS 梁の変形に伴う軸方向力増大を考慮したせん断力-部材角関係, *コンクリート工学年次論文報告集*, 41(2), 511-516(2019).
  19. F.W. Ge, Y. G. Zhao, and M. Iwata, Reliability assessment on the buckling-restrained brace using steel mortar planks, *構造工学論文集 Vol. 65B*, 437-442 (2019).
  20. 鈴木成也, 中井邦夫, 都市中心市街地における建物の外形タイプとその立地および建設年代 —横浜市伊勢佐木町一帯を対象にして—, *日本建築学会計画系論文集*, 日本建築学会, 83(754)、2313-2323、(2018.12).
  21. 藤田正則, 岡崎駿介, 桁面プレースを有する鋼構造建物の部材リユース -設計監理フローの検証-, *日本建築学会技術報告集*, 24(58), 1047-1051(2018.10).
  22. 藤田正則, 浦 正凜, 早崎洋一, 大野文義: 熱伸縮による鋼板断熱二重折板屋根の挙動-, *日本建築学会技術報告集*, 24(58), 923-927(2018.10).
  23. 上野正也, 鈴木伸治, 横浜トリエンナーレサポーターにみる集団特性に関する研究, *文化政策研究*, (12), 102-113 (2019).

## 研究論文II (レフェリー付き Proceedings)

1. A. Dempoya and S. Iwamoto, Survey on handling of clothing when using public toilets, ARAHE 20th Biennial International Congress, 118, (China, 2019.8).
2. S. Iwamoto, A. Dempoya and K. Sakaue, The prediction method of supply water temperature for energy simulation of hot water supply systems, Part 3 A comparison between annual results of measurement and calculation of a building in Kanagawa University, the Proceedings of CIB-W062 Symposium (Melbourne, 2019.9).
3. A. Dempoya, T. Koshiba and S. Iwamoto, Thermal Comfort Wearing Kimono in Summer -Comparison of Different Combinations of Fabric Materials-, International Symposium on Smart Textile and Thermal Comfort of Clothing 2019, 99 (Nara, 2019.9).
4. A. Dempoya, T. Koshiba, Y. Uchida and M. Morimoto, Study on assessing suitable working duration wearing infection protective clothing for medical workers, The 18th ICEE2019, (Amsterdam, 2019.7).
5. Y. Satsumoto, T. Aoyagi, A. Dempoya, T. Koshiba and T. Tamura, Effect of Vapor Permeability and Apertures of Outdoor Parka and Environmental Velocity on its Evaporative Heat Transfer and Ventilation Rate, International Symposium on Smart Textile and Thermal Comfort of Clothing 2019, 82, (Nara, 2019.9).
6. K. Shimazaki and Y. Shirai, Ultimate Bending Strength for Shear Design of Precast Pre-stressed Concrete Beams Using Unbonded Tendons, The 7th Asia Conference on Earthquake Engineering, ACEE0007, (Thailand, 2018.11).
7. 曾我部昌史, 加茂紀和子, 竹内昌義, マニユエル・タルディッツ, 伊奈東小学校(長野県), 日経アーキテクチュア, 日経 BP 社 (2018. 10.25)
8. 曾我部昌史, 加茂紀和子, 竹内昌義, マニユエル・タルディッツ, みなとみらい本町小学校(神奈川県), 新建築, 新建築社 (2018.12)
9. 曾我部昌史, 吉岡寛之, 丸山美紀, 長谷川明, ほか, 大三島・憩いの家(愛媛県), 商店建築, 商店建築社 (2019.5)
10. 曾我部昌史, 加茂紀和子, 竹内昌義, マニユエル・タルディッツ, 本八幡モトツパチ(千葉県), 散歩の達人, 株式会社交通新聞社 (2019.8)
11. 曾我部昌史, 吉岡寛之, 丸山美紀, 長谷川明, ほか, 来島海峡サービスエリア店舗エリア(愛媛県)
12. 曾我部昌史, 吉岡寛之, 丸山美紀, 長谷川明, ほか, 大三島・みんなのワイナリー醸造所(愛媛県) 朝日新聞 (2019.9.20)
13. X.F. Yan, Overall buckling analysis on different formed circular steel tubular columns under axial compression, 2018 International Conference on Civil, Architectural and Environmental Engineering (ICCAEE 2018) (Wellington, New Zealand, 2018. 12).
14. X.F. Yan and Y.G. Zhao, Experimental investigation on longitudinal residual stress distribution of circular steel tube sections, 9th International Conference on Steel and Aluminium Structures (ICSAS19) (Bradford, UK, 2019. 7)
15. L. Ren, Y. I. Fang, and Y.G. Zhao, Reliability Analysis of Construction Schedule Plan Based on BIM, 21th International Conference on Application of Probability and Statistics in Civil Engineering(21ICAPSCE) (London, 2019. 3).

16. L.X. Cheng and Y.G. Zhao, A Structural Reliability Analysis Method Based on Information Exchange Krill Herd Algorithm, The 29th European Safety and Reliability Conference (ESREL-2019) (Hannover, Germany, 2019. 9)
17. P. P. Li, Y. G. Zhao and Z. H. Lu, Structural reliability assessment considering the uncertainties of distribution parameters, 13th International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering (ICASP13) (Seoul, South Korea, 2019. 5).
18. P. P. Li, Y. G. Zhao and Z. H. Lu, Bayesian model updating using method of moments with application to structural reliability assessment, 29th European Safety and Reliability Conference (ESREL 2019) (Hannover, Germany, 2019. 9)
19. J.M. Li, S.Q. Lin, and Y.G. Zhao, A New FRP Wrapping Schemes for Circular Concrete Columns under Axial Compression, 21th International Conference on Civil Engineering and Big Data (21ICAPSCE) (London, 2019. 3).
20. H.Z. Zhang and Y.G. Zhao, Relationship between response and Fourier spectral ratios based on statistical analyses of ground-motion records, The 2019 World Congress on Advances in Structural Engineering and Mechanics (ASEM 19) (Jeju, Korea, 2019. 9)
21. A. Fukushima, S. Sakamoto, Y. Yasuda and T. Yokota, Road traffic noise prediction model "ASJ RTN-Model 2018" proposed by The Acoustical Society of Japan - Part 3: calculation model of sound propagation, Proc. 23rd Int'l Cong. Acoust. 2019, 3704-3711 (Aachen, 2019. 9).
22. T. Masumoto, Y. Yasuda, N. Inoue and T. Sakuma, Efficient evaluation of flow induced sound sources at low frequency by fast multipole BEM, Proc. 23rd Int'l Cong. Acoust. 2019, 5500-5507 (Aachen, 2019. 9).
23. Y. Yasuda, K. Saito and H. Sekine, Relation between convergence tolerance for iterative solvers and calculation results in rooms using BEM, Proc. 23rd Int'l Cong. Acoust. 2019, 7489-7496 (Aachen, 2019. 9).
24. M. Ueno and K. Yamaga, A Research on Community Involvement Complementing Residents' Association -A Case of Voluntary Community Activities in Yokohama Residential Suburb, 2019 International Conference of Asia-Pacific Planning Societies, 76-79 (2019. 8).
- イツ, 伊奈東小学校(長野県), 日経アーキテクチュア, 日経 BP 社 (2018. 10.25) .
11. 曾我部昌史, 加茂紀和子, 竹内昌義, マニュエル・タルディッツ, みなとみらい本町小学校 (神奈川県), 新建築, 新建築社 (2018.12) .
12. 曾我部昌史, 吉岡寛之, 丸山美紀, 長谷川明, ほか, 大三島・憩いの家 (愛媛県), 商店建築, 商店建築社 (2019.5) .
13. 曾我部昌史, 加茂紀和子, 竹内昌義, マニュエル・タルディッツ, 本八幡モトッパチ (千葉県), 散歩の達人, 株式会社交通新聞社 (2019.8) .
14. 曾我部昌史, 吉岡寛之, 丸山美紀, 長谷川明, ほか, 来島海峡サービスエリア店舗エリア (愛媛県) .
15. 曾我部昌史, 吉岡寛之, 丸山美紀, 長谷川明, ほか, 大三島・みんなのワイナリー醸造所 (愛媛県) 朝日新聞 (2019.9.20) .

## 口頭発表

1. 石田敏明, まちづくり活動 2012~, 福山市役所(広島,2019.2).
2. 早川史洋, 石田敏明, 田野耕平, 小田凌大朗, 門田大希, 新潟市街地における空き家の再生・活用及び運用に関する研究と提案, 日本建築学会デザイン発表会, 146-147, (北陸, 2019. 9).
3. 姜明采, 内田青蔵, 朝鮮総督府美術館の建設経緯に關擦り一考察—戦前期朝鮮における建築家・萩原孝一の建築活動を中心に—, 2019 年度日本建築学会大会学術講演梗概集, 437-438(北陸, 2019. 9).
4. 野々村明佳里, 内田青蔵, 「あめりか屋式住宅」の典型例としての鳥山貞三邸 (大正 14 年) について, 2019 年度日本建築学会大会学術講演梗概集, 557-558(北陸, 2019. 9).
5. 田中和幸, 渡辺裕子, 須崎文代, 内田青蔵, ブラジル連邦共和国レジストロ市における戦前期に竣工した日本人の移住住宅 その 5—深沢邸から見る真壁造りの窓枠形状について, 2019 年度日本建築学会大会学術講演梗概集, 645-646(北陸, 2019. 9).
6. 長谷川政平, 須崎文代, 内田青蔵, 安野彰, 明治期から大正中期の住宅図面にみるガラス建具使用の動向—戦前期日本の住宅におけるガラス建具の普及過程について ②—, 2019 年度日本建築学会大会学術講演梗概集, 691-692(北陸, 2019. 9).
7. 安野彰, 大木沙来, 須崎文代, 内田青蔵, 仕様書等の記述にみる明治後期の日本家屋におけるガラス建具—戦前期日本の住宅におけるガラス建具の普及過程について ③—, 2019 年度日本建築学会大会学術講演梗概集, 693-694(北陸, 2019. 9).
8. 松川英莉奈, 内田青蔵, 同潤会職工向け調布千鳥町第四期分譲住宅について—『調布千鳥町第四期分譲住宅設計図』を主資料として—, 2019 年度日本建築学会大会学術講演梗概集, 699-700(北陸, 2019. 9).
9. 姜明采, 内田青蔵, 戦前期における震災記念堂建造物の役割に關する一考察—横網町公園に建設された群像を中心に—, 日本生活学会第 46 回研究発表大会梗概集, 26-27(2019. 6), 跡見学園女子大学.
10. 長谷川政平, 須崎文代, 内田青蔵, 安野彰, 『婦人衛生雑誌』(1888-1926 年刊行)にみるガラス建具に關する議論の動向—戦前期日本の住宅におけるガラス建具の普及過程について—, 日本生活学会第 46 回研究発表大会梗概集, 46-47, 跡見学園女子大学(2019. 6).
11. 松川英莉奈, 内田青蔵, 同潤会職工向け調布千鳥町分譲住

## 建築作品

1. 田野耕平, 木村留美, PACIFIC RIM INC.オフィスインテリア(神奈川, 2018.10).
2. 田野耕平, 木村留美, YKK 六甲環境整備計画第II期(兵庫, 2018.10).
3. 田野耕平, 木村留美, 前橋の住宅(群馬, 2019.5).
4. 田野耕平, 木村留美, 吉田明弘, あぶりこっと保育園 エミタス久本 (神奈川 2019.5) .
5. 石田敏明, 藤原陽平, 武藤匠, 岡部医院アネックス(東京, 2019.6).
6. 田野耕平, 木村留美, YKK 秋葉原オフィスインテリア (東京, 2019.8) .
7. 田野耕平, 木村留美, YKK 六甲環境整備計画第III期(兵庫, 2019.8).
8. 田野耕平, 木村留美, 八丁堀の家リノベーション(東京, 2019.8).
9. 田野耕平, 木村留美, 勝どき事務所ビル(東京, 2019.9).
10. 曾我部昌史, 加茂紀和子, 竹内昌義, マニュエル・タルデ



- 宅について—第四期分譲住宅の事例を中心に—, 日本生活学会第 46 回研究発表大会梗概集, 48-49, 跡見学園女子大学 (2019. 6).
12. 野々村明佳里, 内田青蔵, 大正期における住宅への電気の普及について—あめりか屋設計の旧鳥山貞三邸 (大正 14 年) を中心として, 日本生活学会第 46 回研究発表大会梗概集, 50-51, 跡見学園女子大学 (2019. 6).
  13. 11. 田中和也, 渡邊裕子, 須崎文代, 内田青蔵, ブラジル連邦共和国レジストロ市における戦前に竣工した日本人の移民住宅—その 4 六川邸から見る大壁造りの窓枠形状について—, 2018 年度日本建築学会関東支部研究報告集, pp.1-4 (2019.3).
  14. 金田圭祐, 傳法谷郁乃, 岩本静男, CFD 解析による大規模講義室内の温熱環境評価, 第 42 回人間—生活環境系シンポジウム報告集, 75-78 (大阪, 2018.12).
  15. 傳法谷郁乃, 山本将基, 岩本静男, トイレ環境と衣服に関するアンケート調査および脱衣実験, 第 42 回人間—生活環境系シンポジウム報告集, 91-92 (大阪, 2018.12).
  16. 傳法谷郁乃, 岩本静男, アンケート調査からみる公共トイレ利用時の衣類の取り扱い方に関する現状と課題, 日本生活学会第 46 回研究発表大会 (東京, 2019.6).
  17. 傳法谷郁乃, 小柴朋子, 岩本静男, サーマルマネキンによる夏着物の熱的快適性に関する研究, 日本建築学会学術講演梗概集 (日本建築学会), (金沢, 2019.9).
  18. 児保茂樹, 傳法谷郁乃, 岩本静男, 住宅における全館空調システムに関する研究, 第 1 報 概要と空調負荷の検討, 日本建築学会学術講演梗概集 (日本建築学会), (金沢, 2019.9).
  19. 岩本静男, 傳法谷郁乃, 坂上恭助, 大学校舎における給水温実測, 第 2 報 2018 年実測結果の分析, 日本建築学会学術講演梗概集 (日本建築学会), (金沢, 2019.9).
  20. 岩本静男, 傳法谷郁乃, 坂上恭助, 建物内給水システムにおける給水温の予測法, (第 3 報) 大学施設の受水槽水温の計測値と計算値の年間比較, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 (空気調和・衛生工学会), 109-112, (札幌, 2019.9).
  21. 傳法谷郁乃, 小柴朋子, 夏の着物の気候適応性に関する研究, 日本生理人類学会第 78 回大会概要集, (東京, 2018.10).
  22. 内田幸子, 小柴朋子, 杉山智子, 加藤登志子, 傳法谷郁乃, 森本美智子, 感染防護服着用時における看護動作による接触面圧測定の試み, 第 70 回日本衣服学会年次大会研究発表および特別講演要旨集, 46-47 (京都, 2018.12).
  23. 山田稜, 金内遥一郎, 山崎慶太, 菅重夫, 栗原浩平, 久保元人, 濱田靖弘, 小林宏一郎, 傳法谷郁乃, ファン付き作業服が建設作業員の生理・心理反応に及ぼす影響に関する研究 (第 8 報) 人工気候室内における水分損失と皮膚温の関係, 第 42 回人間—生活環境系シンポジウム報告集, 19-22 (大阪, 2018.12).
  24. 金内遥一郎, 山崎慶太, 菅重夫, 染谷俊介, 栗原浩平, 久保元人, 濱田靖弘, 小林宏一郎, 傳法谷郁乃, ファン付き作業服が建設作業員の生理・心理反応に及ぼす影響に関する研究 (第 9 報) 建設現場の屋内における実測, 第 42 回人間—生活環境系シンポジウム報告集, 23-26 (大阪, 2018.12).
  25. 小柴朋子, 荒井野恵, 松井有子, 傳法谷郁乃, 山崎慶太, 菅重夫, 栗原浩平, ファン付き作業服が建設作業員の生理・心理反応に及ぼす影響に関する研究 (第 10 報) サーマルマネキンによるファン付き作業服の温熱特性の実測, 第 42 回人間—生活環境系シンポジウム報告集, 27-30 (大阪, 2018.12).
  26. 加藤沙織, 小柴朋子, 傳法谷郁乃, 田村照子, 加圧による下腿形状変化の個人差と姿勢による変動, 日本家政学会第 71 回大会研究発表要旨集, 113 (徳島, 2019.5).
  27. 傳法谷郁乃, 小柴朋子, 内田幸子, 森本美智子, 使い捨て防護服着用時の看護動作による胸腹部への接触面圧力分布, 日本家政学会第 71 回大会研究発表要旨集, 137 (徳島, 2019.5).
  28. 傳法谷郁乃, 小柴朋子, 内田幸子, 森本美智子, 感染予防用防護服の温熱的着用評価, 日本繊維製品消費科学会 2019 年年次大会・研究発表要旨, 164 (2019.6).
  29. 小田義也, Manuel Navarro, 荻本孝久, 極小アレイ探査によるスペインムルシアの VS30 マップ, 物理探査学会第 140 回学術講演会論文集 (2019)
  30. 落合努, 荻本孝久, 犬伏徹志, 横浜市強震計ネットワークの強震記録と常時微動観測結果の比較, 日本建築学会学術講演梗概集 (北陸), 513-514 (2019)
  31. 荻本孝久, 落合努, 犬伏徹志, 応答スペクトルによる表層地盤のハザード評価法に関する基礎的研究, 日本建築学会学術講演梗概集 (北陸), 617-618 (2019)
  32. 落合努, 荻本孝久, マルチハザード評価のための基礎的研究, 第 44 回地域安全学会研究発表会 (春季), 43-46 (2019)
  33. 落合努, 荻本孝久, 犬伏徹志, 制振構造建物の強震観測と構造ヘルスマonitoring, 第 45 回地域安全学会研究発表会 (秋季), No.7 (2019)
  34. 奥山博康, 熱交換器の管内表面における指数関数の相当熱伝達係数, 日本建築学会大会, 359-360 (金沢, 2019. 9).
  35. 吉浦温雅, 奥山博康, 井出大輝, 多数室建物の熱・換気性能現場測定システムの動作確認実験 その 1 熱性能測定, 日本建築学会大会, 365-366 (金沢, 2019. 9).
  36. 井出大輝, 奥山博康, 吉浦温雅, 多数室建物の熱・換気性能現場測定システムの動作確認実験 その 2 換気性能測定, 日本建築学会大会, 367-368 (金沢, 2019. 9).
  37. 奥山博康, 熱交換器の管内表面における指数関数の相当熱伝達係数と適用例, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 157-160 (札幌, 2019. 9).
  38. 吉浦温雅, 奥山博康, 井出大輝, 多数室建物の熱・換気性能現場測定システムの動作確認実験 その 1 集合住宅における熱性能測定, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 49-52 (札幌, 2019. 9).
  39. 井出大輝, 奥山博康, 吉浦温雅, 多数室建物の熱・換気性能現場測定システムの動作確認実験 その 2 集合住宅における換気性能測定, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 53-56 (札幌, 2019. 9).
  40. 佐藤宏貴, 白井佑樹, 松浦恒久, 中村一男, 牧田敏郎, 島崎和司, 無垢板を用いた耐力壁のせん断性能 その 3 架構に組込んだ試験体による水平せん断荷重実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 22261, (金沢, 2019.9).
  41. 中村一男, 白井佑樹, 松浦恒久, 牧田敏郎, 佐藤宏貴, 島崎和司, 無垢板を用いた耐力壁のせん断性能 その 4 架構の復元力特性の算定, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 22262, (金沢, 2019.9).
  42. 島崎和司, 白井佑樹, 部材端に軸降伏型履歴ダンパーを適用したアンボンドプレストレストコンクリート梁の性能検証 その 1 デボンド異形鉄筋の軸降伏を利用した小型制振ダンパーの開発, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 23401, (金沢, 2019.9).
  43. 白井佑樹, 島崎和司, 部材端に軸降伏型履歴ダンパーを適用したアンボンドプレストレストコンクリート梁の性能検証 その 2 片持ち梁形式での水平荷重実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 23402, (金沢, 2019.9).
  44. 竹内陸人, 島崎和司, 白井佑樹, アンボンド PC 圧着梁の

- 部材耐力と曲げ降伏後の変形性能に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 23409, (金沢, 2019.9).
45. 曾我部昌史, Current Situation about Disaster Preparedness in Architectural Design, 12th CITYNET Disaster Cluster Seminar, Session 4 SFDRR Priority 3 (横浜, 2019.9.5) .
  46. 葛方雯, 張海仲, 趙衍剛, ブレース付き鉄骨骨組の耐震レジリエンス評価 その 1 耐震レジリエンス評価の流れ, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (構造I), 57-58, (2019.9).
  47. 趙衍剛, 葛方雯, 張海仲, ブレース付き鉄骨骨組の耐震レジリエンス評価 その 2 耐震レジリエンスにおけるブレースの役割, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (構造I), 59-60, (2019.9).
  48. X.F. Yan, Y.G. Zhao, A simple formula for predicting compressive strength of circular HCCFST stub columns under axial compression, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (構造 III), 1323-1324 (2019. 9).
  49. L. Ren, Y.G. Zhao, Reliability analysis of construction schedule plan based on cubic normal transformation, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (構造I), 63-64 (2019. 9).
  50. Y.X. Yao, Y.G. Zhao, Empirical Reliability Index Based on Methods of Moment, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (構造 I), 1-2 (2019. 9).
  51. L.X. Cheng, H.Z. Zhang, Y.G. Zhao, A Structural Reliability Analysis Method Based on Large and Small Krill Herd Algorithm, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (構造II), 65-66, (2019. 9).
  52. P. P. Li, Y. G. Zhao, Evaluation of failure probability under the distribution parameter uncertainty based on methods of moment, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (構造I), 61-62 (2019. 9).
  53. 張海仲, 趙衍剛, 高次モードにおける地盤応答への影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (構造II) 489-490 (2019. 9).
  54. 李健明, 林思奇, 張海仲, 趙衍剛, 拘束ルートがFRP補強コンクリート円柱軸圧縮力への影響に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (構造III), 1525-1526 (2019. 9).
  55. 向咲重, 中井邦夫, 鈴木成也, 公開領域と構えからみる家びらきを行う住宅の空間構成, 2019年度日本建築学会大会(北陸)学術講演梗概集 建築歴史・意匠, 121-122, (金沢工業大学, 2019.9).
  56. 渡辺悠介, 中井邦夫, 鈴木成也, 長屋形式防火帯建築における立面構成, 2019年度日本建築学会大会(北陸)学術講演梗概集 建築歴史・意匠, 129-130, (金沢工業大学, 2019.9).
  57. 飯田康二郎, 中井邦夫, 鈴木成也, 都市の寺院墓地における接道と経路によるまちとの関係, 2019年度日本建築学会大会(北陸)学術講演梗概集 建築歴史・意匠, 303-304, (金沢工業大学, 2019.9).
  58. 藤田正則, 吉岡励, 中澤祥二, 加藤史郎, 等価線形化法によるリユース部材を用いた鋼構造建物の耐震性能に関する一考察, 2019年度日本建築学会大会(北陸)学術講演梗概集, 1221-1222, (金沢工業大学, 2019.9).
  59. 中村 慎, 藤田正則, 谷ヶ崎庄二, 田中康一, 岩田衛, 芯材端部の拡幅寸法の異なる座屈拘束ブレースの実験, 2019年度日本建築学会大会(北陸)学術講演梗概集, 967-968, (金沢工業大学, 2019.9).
  60. 岩根康之, 小林真人, 内田季延, 川澄卓也, 関根秀久, 安田洋介, [招待講演] 発破超低周波音を対象とした共鳴型消音装置の開発, 日本騒音制御工学会秋季研究発表会講演論文集, 71-74 (横浜, 2018. 10).
  61. 川澄卓也, 関根秀久, 安田洋介, 岩根康之, 小林真人, 内田季延, トンネル発破低周波音を対象とした共鳴型消音装置の配置について —1 次元音場理論による検討—, 日本騒音制御工学会秋季研究発表会講演論文集, 75-78 (横浜, 2018. 10).
  62. 齋藤昂太, 関根秀久, 安田洋介, BEM による室内音場解析における反復解法の収束判定値が解析結果や音響指標値に与える影響 —吸音面の偏在や音場の拡散の観点から—, 日本音響学会建築音響研究会資料, AA2018-65 (横浜, 2018. 12).
  63. 榎本貴之, 安田洋介, 井上尚久, 佐久間哲哉, FMBEM に基づく指向性高速解析の HRTF 計算への応用, 日本音響学会講演論文集 (春季), 303-304 (東京, 2019. 3).
  64. 福島 昭則, 坂本慎一, 安田洋介, 横田考俊, 道路交通騒音の予測モデル “ASJ RTN-Model 2018” —伝搬計算方法—, 日本音響学会講演論文集 (春季), 1397-1400 (東京, 2019. 3).
  65. 安田洋介, 阿部菜摘, 関根秀久, 福島昭則, 3 次元波動数値解析による ASJ RTN-Model 実用計算法の検証 —厚みのある障害物での回折について—, 日本音響学会騒音・振動研究会資料, N-2019-15 (東京, 2019. 3).
  66. 菅原健, 藤本克郎, 岩根康之, 小林真人, 川澄卓也, 安田洋介, 狭小トンネルへの発破超低周波音消音装置の適用, 土木学会第 74 回年次学術講演会講演概要集, VI-538 (香川, 2019. 9).
  67. 大嶋拓也, 安田洋介, 井上尚久, 佐久間哲哉, 朝倉巧, 坂本慎一, 富来礼次, 床・天井仕上材料の音響特性に関する多機関測定 その 1 測定条件及び結果の概要, 日本建築学会学術講演梗概集 (環境工学 I), 311-312 (金沢, 2019. 9).
  68. 井上尚久, 坂本慎一, 佐久間哲哉, 富来礼次, 朝倉巧, 安田洋介, 大嶋拓也, 床・天井仕上材料の音響特性に関する多機関測定 その 2 計測結果の考察, 日本建築学会学術講演梗概集 (環境工学 I), 313-314 (金沢, 2019. 9).
  69. 千田真人, 関根秀久, 安田洋介, 岩根康之, 小林真人, 振動ふるい機の防音ハウス開口から放射される超低周波音の対策 —波動数値解析による検討—, 日本建築学会学術講演梗概集 (環境工学 I), 419-420 (金沢, 2019. 9).
  70. 榎本貴之, 安田洋介, 井上尚久, 佐久間哲哉, 流体音計算時に生じる大量の音源に対する FMBEM に基づく高速処理手法, 日本音響学会講演論文集 (秋季), 353-354 (滋賀, 2019. 9).
  71. 大谷知光, 関根秀久, 安田洋介, 福島昭則, 遮音壁が併設された I 桁構造高架道路裏面反射音の伝搬予測 —3 次元波動数値解析と ASJ RTN-Model による結果の比較—, 日本音響学会講演論文集 (秋季), 393-394 (滋賀, 2019. 9).
  72. 川澄卓也, 岩根康之, 小林真人, 内田季延, 関根秀久, 安田洋介, 坑口に拡幅部があるトンネルへのリアクティブ型消音装置の適用に関する解析検討, 日本音響学会講演論文集 (秋季), 405-406 (滋賀, 2019. 9).
  73. 上野正也, 山家京子, 公共性の高い民地の活用に向けた実験的取組みに関する研究 —その 1. 八丁畷駅前を事例とした枠組みの検討と第 1 回取組みの実施, 日本建築学会学術講演会梗概集, 253-254, (北陸, 2019. 9).
  74. 永盛菜, 山家京子, 上野正也, 水面に添う -まちと水と人の関係性を再構築する集合住宅の提案-, 日本建築学会デザイン発表会, 146-147, (北陸, 2019. 9).
  75. 永盛菜, 山家京子, 上野正也, 横浜市・郊外住宅地における地域資源の抽出及び発信の取組—その 3.愛着と思い出のある場所 (霧が丘), 日本建築学会学術講演会梗概集, 361-362, (北陸, 2019. 9).
  76. 金井賢三, 山家京子, 上野正也, SNS 画像からみた観光地の特徴 -その 1. 江ノ島を対象とした Twitter 画像に関する

考察, 日本建築学会学術講演会梗概集, 521-522, (北陸, 2019.9).

## 学術誌

1. 内田青蔵, 「最先端の“和”に住まう」, 『都心に住む 10 2019』, リクルート, 26-27 (2019.8).
2. 内田青蔵, 「旧渋沢邸の視察調査記」, 神奈川大学日本常民文化研究所 創立 100 周年記念事業, Web サイト 1-5(2019.5).
3. 内田青蔵, 大井隆弘, 「忘れられた客間—接客の間取りを振り返る」『TOTO 通信』2019 年春号, 4-9 (2019.4).
4. 内田青蔵, 「2018 年度の活動—アチック・ミュージアムのあった旧渋沢邸訪問」『日本常民文化研究所年報 2018』, 2-3 (2019.3).
5. 内田青蔵, 旧土浦亀城邸—木造乾式工法を採用したモダン住宅—, 『すまいろん』2019 年冬所収, 62-63 (2019.2).
6. 安田洋介, 日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会 (委員長: 坂本慎一, 幹事: 安田洋介他), 道路交通騒音の予測モデル“ASJ RTN-Model 2018”—日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会報告—, 日本音響学会誌, 75 (4), 188-250 (2019).

## 著書

1. 内田青蔵, 「学びは、自らの主体的な動きから」『学問への誘い—大学で何を学ぶか—』神奈川大学広報委員会 (2019.1)
2. 曾我部昌史, 吉岡寛之, 丸山美紀, 長谷川明, ほか (分担執筆), 通りからはじまる“まち”のデザイン (空き家活用術 2), 建築資料研究社 (2019.2).

## 調査報告書

1. 石田敏明, 田野耕平, 早川史洋, 小田凌大朗, 門田大希, 新潟市街地における空き家の再生・活用及び運用に関する研究と提案, 総合資格 (2019.2)
2. 石田敏明, 田野耕平, 濱松謙太, 水上翔太, 岡本晴美, 瀬戸内海地方の広島県の東部地域(尾道市及び福山市轄町の沿岸部地域)の空き家の再生・活用及び運用に関する研究と提案, 総合資格(2019.2)
3. 傳法谷郁乃, 小柴朋子, 田村照子, 膝囲への衣服圧が下肢のむくみに及ぼす影響, デザントスポーツ科学, 40, 17-26 (2019.6).
4. 中井邦夫, 鈴木成也, 中村圭那, 諸橋克哉, BA/横浜防火帯建築研究 No.16 (巣鴨特別号)、巣鴨地蔵通り商店街防火建築帯、BA 編集部 (神奈川大学中井研究室内)、(2019.7)
5. 中井邦夫, 鈴木成也、大岡晃、井上裕子、塩脇祥、BA/横浜防火帯建築研究 No.14+15、小此木第一・第二ビル、BA 編集部 (神奈川大学中井研究室内)、(2018.11)
6. 山家京子, 上野正也, 「十日市場駅勢圏域におけるまちづくりの推進に掛かる協定」に基づく活動報告書, 横浜市建築局住宅再生課, (2019.3).

## 講演・展示会

1. 石田敏明, シンポジウム—これからの建築教育における住宅課題を考える, 東京建築士会主催, (イトーキ東京イノベーションセンターSYNQA, 2018.10)
2. 田野耕平, Faculty Symposium -Presentation of their recent

Interests- (ソウル, 韓国, 2019.8)

3. 内田青蔵, 「近代住宅史—都心の名建築を訪ねる」令和元年度 文化カレッジ 豊島区千早地域文化創造館(2019.9.27).
4. 内田青蔵, 「前田侯爵見学会」自由学園講座(2019.7.20).
5. 内田青蔵, 「前田侯爵邸について」自由学園講座(2019.7.13).
6. 内田青蔵, 「和洋館並列型住宅の誕生過程について—洋館出現の意味」第 253 回日本橋フォーラム, 東京工大イノベーションセンター509B(2019.4.22).
7. 内田青蔵, 「豊島区指定文化財旧鈴木信太郎邸について」, 自由学園講座(2019.2.23).
8. 内田青蔵, 「旧川上貞奴邸の移築復原について」, 名古屋大学(2018.12.4).
9. 内田青蔵, 「旧石川組製糸西洋館の魅力」入間市教育委員会, 旧石川組製糸西洋館(2018.11.23).
10. 内田青蔵, 「近代和風建築と臨江閣」臨江閣 国重要文化財指定記念シンポジウム, 前橋市教育委員会主催, 臨江閣(2018.11.25).
11. 内田青蔵, 「“日本住宅公団”ができた頃」昭和の日本を振り返る, 神代シルバー21, 神大 3 号館, (2018.11.15).
12. 内田青蔵, 「軽井沢の別荘文化」軽井沢タリアセン, 軽井沢タリアセン旧朝吹別荘(2018.10.31).
13. 内田青蔵, 「君は、大館の文化財『曲田教会』をみたか?—建築家を目指す人へのメッセージ」秋田県立大館鳳鳴高等学校創立 120 周年記念「先輩達による課外授業」, 秋田県立大館鳳鳴高等学校創立 120 周年記念事業委員会主催 秋田県立大館鳳鳴高等学校(2018.10.14).
14. 内田青蔵, 「成瀬仁蔵邸について」日本女子大学成瀬仁蔵研究会, 日本女子大学(2018.10.10).
15. 岩本静男, 初級技術者のための研修会・給湯設備, 空気調和・衛生工学会主催(石垣記念ホール, 2019.4).
16. 荏本孝久, 大規模震災時の横浜における被災イメージ〜最悪シナリオを想定した場合の課題の抽出と整理〜, 横浜駅西口共同防管防災講演会(2018.10.11)
17. 荏本孝久, 今、改めて考える小田原市の地震災害環境と防災, 小田原市技術親睦会講演会, (2018.11.2)
18. 荏本孝久, 西日本を襲う大規模災害に対する心構え〜連鎖する複合災害への備え〜, 神奈川大学宮陵会「四国ブロック会」記念講演会(2018.11.7)
19. 荏本孝久, 自然災害の軽減化と地域防災〜地震災害を対象として〜, 本の安全教育専門家と中国教育企業代表との交流会(2019.2.10)
20. 荏本孝久, 西日本を襲う大規模災害に対する心構え〜連鎖する複合災害への備え〜, 神奈川大学宮陵会「中国ブロック総会」記念講演会(2019.3.9)
21. 荏本孝久, 横浜市の地盤と地震災害リスク, 神奈川大学宮陵会港南区・瀬谷区・泉区合同講演会(2019.4.13)
22. 荏本孝久, 地震災害と防災〜北海道を中心として〜, 神奈川大学札幌宮陵会総会講演会(2019.5.25)
23. 荏本孝久, 安全で快適な都市空間を作るために地盤という視点から地域と建物をみつめる, 神奈川工業高等学校講演会(2019.8.22)
24. 奥山博康, 多数室建物の熱・換気性能現場測定法, 空気調和・衛生工学会大会技術展示会 (札幌, 2019.9)
25. 曾我部昌史, 人口減少期の暮らしをめぐる創造性, 西日本工業大学建築学科講演会 (北九州, 2018.12.5).
26. 曾我部昌史, 人口減少期の豊かな暮らしを神戸でデザインする, デザイン・クリエイティブセンター神戸 kiito (神戸, 2019.3.12)
27. 曾我部昌史, 柳沢潤、佐々木龍郎、笠原一人, 歴史的建造物保存活用のターニングポイント・シンポジウム,

- BankART1929 (横浜, 2019.3.16)
28. 曾我部昌史, KOGANECHO - LAWLESS DISTRICT CHANGED INTO ART TOWN, Five East Asian Universities Urban & Architecture WS (Seoul, 2019.8.2)
  29. Keynote lecture, Y.G. Zhao, A Simple Site-specific Method for Estimating Site Effects of Multilayer Soil Profiles, The 8th International Symposium on Earthquake Engineering for Lifeline and Critical Infrastructure Systems (ISLIEE2018), Oct. 2019. Shenyang, China.
  30. Keynote lecture, Y.G. Zhao, Stress paths and mechanical behaviors of confined concrete in axially loaded CFT stub columns, 27th European Advanced Materials Congress, 11-14, Aug. 2019, Stockholm, Sweden.
  31. Invited lecture, Y.G. Zhao, System Reliability of Frame structures, 10th National Symposium on Structural Design Fundamentals & Reliability, Nov. 2019, Chongqing, Wuhan, China.
  32. Kunio Nakai, Urban Core Building -- Learning from Yokohama Firebreak Belt Buildings, Y-GSA Workshop, (Yokohama, 2019.8)
  33. 中井邦夫、都市建築の類型学一ひとつひとつの建築の魅力、横浜国立大学公開講座「横浜防火帯建築を読み解く」第1回 (横浜、2019.6)
  34. 中井邦夫、空間資源を活かした魚津のまちづくり —中央通りの防火建築帯を例に一、自由民主党富山県地方議員会講演会、魚津ホテルグランミラージュ (魚津、2018.10)
  35. 藤田正則、地球環境時代における建築構造分野の役割 —安全・安心社会へ向けた都市と建築の未来像を考えて—, 日本建築学会地球環境委員会 地球環境構造小委員会, (2018.11)
  36. 山家京子, 持続可能な都市-ジェロントロジー的視点から-, 神奈川大学公開講座, KUポートスクエア (横浜), (2019.6).
  37. 上野正也, ペチャクチャナイト横浜 vol.11, 泰生ビル屋上, (2018.11).
  38. 上野正也, 港の学校2限目 建築から考える, 本と屯, 三浦市三崎町, (2019.1).

## 助成金

1. 石田敏明 (代表), 田野耕平 (分担), 瀬戸内海地方の広島県東部地域 (尾道市及び福山市鞆町の沿岸部地域) 空き家の再生・活用及び運用に関する研究と提案—その2及び竹山団地センターゾーン再考と活性化計画、株式会社総合資格, 研究寄付金
2. 石田敏明 (代表), 田野耕平 (分担), 湘南の生活スタイルを喚起する「低層分譲住宅」, レモンホーム株式会社, 研究寄付金
3. 岩本静男, 傳法谷郁乃, 建物内給水温度の推定法, 文科省科学研究費助成金, 基盤研究(C), 課題番号 17K06682.
4. 傳法谷郁乃 (分担), 熱中症対策としてのファン付き衣服の有効性に関する研究, 科学研究費補助金, 基盤研究(C), 課題番号 19K04744.
5. 傳法谷郁乃 (代表), 熱中症予防のための快適な着物構成・着装方法の新提案, 科学研究費補助金, 若手研究, 課題番号 19K14037.
6. 落合努 (代表), 複数の災害リスクを認識可能なマルチハザード評価手法の研究, 公益財団法人横浜学術教育振興財団研究助成
7. 落合努 (代表), 液状化に関する研究、株式会社構造計画研究所、研究奨学寄附金
8. 安田洋介 (分担), 低周波音の家屋内外伝搬特性の解明及び遮音対策の効果検証, 令和元年度科学研究費補助金, 基盤研究 (B), 課題番号 17H03350
9. 山家京子 (代表), 他, アジアの社会遺産と地域再生手法, 神奈川大学アジア研究所共同研究 (2018-)
10. 趙衍剛 (代表), 山家京子 (分担), 他, アジア地域の災害軽減化と防災・減災ネットワーク構築に関する研究, 神奈川大学アジア研究所共同研究 (2019-)
11. 内田青蔵 (代表), 山家京子 (分担), 他, ケルムスコット・プレスとウィリアム・モリスのデザイン思想, 神奈川大学共同研究奨励助成 (2017-2019)
12. 内田青蔵 (代表), 同潤会における木造分譲住宅事業に関する基礎的研究—遺構調査を中心として—, 科学研究費補助金, 基盤研究(C), 課題番号 19K04827.

## 受託研究

1. 岩本静男, 傳法谷郁乃, 全館空調システムの省エネルギー性能評価, 受託研究, azbil.
2. 岩本静男, 様々な給湯熱源の一次エネルギー消費量のモデル化, (一社)日本サステナブル建築協会.
3. 傳法谷郁乃, 研究奨学寄附金, 竹中工務店.
4. 傳法谷郁乃, 研究奨学寄附金, YKK 株式会社.
5. 傳法谷郁乃, 小柴朋子, 内田幸子, 一般社団法人日本繊維製品消費科学会創立 60 周年記念研究委託.
6. 島崎和司, 白井佑樹, 杭頭接合部の圧縮試験, 株式会社安藤・間
7. 島崎和司, 白井佑樹, 佐藤宏費, 木造耐力壁パネルの架構性能評価(共同研究), 株式会社安藤・間
8. 島崎和司, 白井佑樹, RC 造 2 次壁 (非構造壁、スリット壁) を活用できる耐震・制振要素の研究開発(共同研究), 岡部株式会社
9. 曾我部昌史, 吉岡寛之, 丸山美紀, 長谷川明「2019 年度 門前町再生」, 徳島県美波町, 2019.4-2020.3
10. 曾我部昌史, 吉岡寛之, 丸山美紀, 長谷川明「谷屋の活用に向けた設計等官学連携事業」, 徳島県美波町, 2019.1-2020.3
11. 藤田正則, 3R 配慮建築物のリユース検討, (株)大林組技術研究所
12. 藤田正則, 機械式補修工法の曲げ特性, 研究奨学寄附金, 日之出水道(株)
13. 藤田正則, 折板屋根材の日射時の熱による挙動調査, 研究奨学寄附金, 三晃金属工業(株)
14. 安田洋介, 共鳴現象を利用した騒音低減機構の適用拡大に関する研究, 飛鳥建設
15. 山家京子, 上野正也, 神奈川大学, 京浜急行電鉄及び川崎市京急本線及び京急大師線沿線におけるまちづくり推進に関する調査研究, 京浜急行電鉄株式会社, 川崎市
16. 山家京子, 上野正也, 十日市場駅駅舎におけるまちづくりの推進に関する調査研究, 横浜市

## 海外出張

1. 石田敏明, バンコクにおける脆弱地区における調査研究, タイ (2019.1.27-1.31)
2. 石田敏明, 内田青蔵, 曾我部昌史, 中井邦夫, 山家京子, 田野耕平, 東アジア 5 大学建築都市ワークショップ、ソウル, 韓国 (2019. 8)
3. 石田敏明, 田野耕平, ベトナム・ホーチミン市の現代建築と気候風土の関係に関する調査, ホーチミン, ベトナム

- (2019.8)
4. 岩本 静男, CIB-W062 Sympojium, Merborne, Austraria (2019.9).
  5. 傳法谷郁乃, The 18th ICEE2019, Amsterdam, Netherlands (2019.7).
  6. 傳法谷郁乃, ARAHE 20th Biennial International Congress, Hangzhou, China (2019.8).
  7. 内田青蔵, 須崎文代, ウィリアム・モリス研究のための視察調査, ロンドン, イギリス (2018.11.26 -12.2).
  8. 内田青蔵, 須崎文代, バンコックの都市研究, バンコック, タイ(2019. 1.28-30).
  9. 内田青蔵他, 仁川大学との学術交流, 仁川, 韓国 (2019.2.26-3.1)
  10. 内田青蔵, 須崎文代, ウィリアム・モリス研究のための視察調査, ロンドン, イギリス(2019.3.11-15)
  11. 内田青蔵他, 青島海洋大学との学術交流, 青島, 中国 (2019.7.14-17)
  12. 内田青蔵, 須崎文代, ブラジル日本移民住宅調査, レジストロ, ブラジル(2019.8.13-20)
  13. 内田青蔵, 須崎文代, ウィリアム・モリス研究のための視察調査, ロンドン, イギリス(2019.8.28-9.1)
  14. 荏本孝久, 2004年バンコック洪水災害の調査, バンコック, タイ(2019.1.25-1.30)
  15. 荏本孝久, ムルシア市の地震災害危険度評価に関する共同研究, ムルシア, スペイン(2019.3)
  16. 曾我部昌史, 貴陽の都市脆弱地区における調査研究, 中国 (2018.12.13-12.19)
  17. 曾我部昌史, 吉岡寛之, バンコックにおける脆弱地区における調査研究, タイ(2019.1.27-1.31)
  18. 曾我部昌史, パルカン半島諸都市の地域景観の成立過程と現況についての視察調査クロアチア諸都市ほか (2019.2.23-3.4)
  19. 中井邦夫, バンコックにおける社会遺産と地域再生手法に関する視察調査, バンコック, タイ(2019. 1)
  20. 安田洋介, 23rd International Congress on Acoustics 2019, Aachen, Germany (2019. 9).
  21. 山家京子, 上野正也, バンコックにおける都市脆弱地区に関する調査研究, バンコック, タイ (2019.1).
  22. 山家京子, 上野正也, 2019 International Conference of Asia-Pacific Planning Societies,ソウル, 韓国 (2019. 8).
  23. 上野正也, クロアチア諸都市の地域景観の成立過程と現況についての視察調査, ザグレブ・プーラ・スプリト・ドブロブニク, クロアチア(2019.3).

## 学位

1. 林思奇, 軸圧縮力を受けるFRP補強コンクリート短柱におけるコンクリートの拘束ルートに関する研究, 博士(工学), 神奈川大学(2019. 3).

## その他

1. 石田敏明, 第29回 JIA 神奈川建築 week かながわ建築祭 2018「学生卒業設計コンクール」日本建築家協会関東甲信越支部神奈川地域会編, 総合資格学院賞 講評, インタビュー, 日本建築家協会 関東甲信越支部神奈川地域会 編 (2019.2)
2. 石田敏明, JIA 全国学生卒業設計コンクール 2019, 審査委員長, 日本建築家協会(2019.6.22)
3. 石田敏明, 「住宅課題賞」作品集 2018—住宅課題の仕組み

と魅力 これからの建築教育における住宅課題を考える, 総合資格学院発行(2019.8.31)

4. 内田青蔵 旧山本有三邸 百年名家 BS 朝日 2019年9月15日放映
5. 内田青蔵, 旧山本有三邸ビデオ解説 山本有三記念館 2019年2月25日撮影
6. 内田青蔵 立教大学 百年名家 BS 朝日 2019年8月25日放映
7. 内田青蔵, 「応接室」読売新聞 2019年7月19日夕刊2面
8. 内田青蔵, 大和ハウス工業総合研究所, 住まいの建築史 60-108 (2018.10.4-2019.9.26), 『週刊新潮』連載.

## 数学教室

### 研究論文I (レフェリー付き論文)

1. T. Suzuki, Scattering theory for semilinear Schrödinger equations with an inverse-square potential via energy methods, *Evolution Equations and Control Theory*, 8 (2), 447-471 (2019).
2. M. Kubo and N. Yamazaki, Global strong solutions to abstract quasi-variational evolution equations, *J. Differential Equations*, 265, 4158-4180 (2018).
3. H. Antil, K. Shirakawa and N. Yamazaki, A class of parabolic systems associated with optimal controls of grain boundary motions, *Adv. Math. Sci. Appl.*, 27, 299-336 (2018).

### 口頭発表

1. 平田康史, 矢島幸信, A characterization of certain products of ordinals and weakly inaccessible cardinals, 2019年度日本数学会秋季総合分科会, (金沢大学, 2019.9).
2. 越野克久, Absorbing sets in Hilbert manifolds and the discrete cells property, *General Topology Symposium 2018*, (松江テルサ, 2018,12).
3. 越野克久, Topological manifolds modeled on absorbing sets in Hilbert spaces and general position properties, 日本数学会 2019年度秋季総合分科会, トポロジー21 (金沢大学, 2019.9).
4. 鈴木敏行, Nonlinear Schrödinger equations with some critical inverse-square potential, 2019年度日本数学会秋季総合分科会, (金沢大学, 2019.9).
5. 山崎教昭, 剣持信幸, 白川健, Singular optimal control problems for nonlinear evolution equations governed by double time-dependent subdifferentials, 日本数学会 2019年度年会, 東京大学, 2019年3月.
6. 山崎教昭, 剣持信幸, 白川健, Approximate problems for singular optimal control of nonlinear evolution equations governed by double time-dependent subdifferentials, 日本数学会 2019年度秋季総合分科会, 金沢大学, 2019年9月.

## 学術誌

1. 平田康史, C\*--, C-, P-埋め込みと弱正規超フィルターについて, 数理解析研究所講究録 2110 一般位相幾何学の進展と諸問題, 13-16 (2019).
2. 平田康史, 矢島幸信, 自然数の積空間における C\*-埋め込まれた離散部分集合の濃度の決定不可能性, 数理解析研究所講究録 2110 一般位相幾何学の進展と諸問題, 17-20 (2019).
3. 越野克久, 写像空間、冪空間と無限次元多様体, 神奈川大学工学研究, 2, 6-12 (2019).

## 著書

1. 嶺幸太郎, 微分積分学の試練 実数の連続性と  $\varepsilon$ - $\delta$ , 日本評論社 (2018).
2. 嶺幸太郎, ひとつ, ふたつ, いっぱい, 大学数学の質問箱, 92-97, 日本評論社 (2019).
3. 嶺幸太郎, 究めよう位相空間, 大学数学の質問箱, 132-138, 日本評論社 (2019).
4. 嶺幸太郎, 数学の塔の登り方, 数学セミナー9月号, 34-37, 日本評論社 (2019).

## 講演・展示会

1. 平田康史, 単調正規空間の積における  $C^*$ -,  $P$ -埋込の差異が引き起こす超フィルター, General Topology Symposium 2018 (松江 2018.12).
2. 矢島幸信, On  $C^*$ -embedded and  $C$ -embedded subsets in  $\Sigma$ -products, General Topology Symposium 2018 (松江 2018.12).
3. 平田康史, 矢島幸信, 順序数の積空間の閉長方形の  $C^*$ -埋め込み性, 一般位相幾何学の発展と諸分野との連携・RIMS 研究集会 (京都大学数理解析研究所, 2019.6).
4. 平田康史, 矢島幸信, 順序数によるある積空間の基数関数による特性化について, 一般位相幾何学の発展と諸分野との連携・RIMS 研究集会 (京都大学数理解析研究所, 2019.6).
5. M. Murata and Y. Shibata, The global well-posedness for the compressible fluid model of Korteweg type, RIMS 研究集会「偏微分方程式の臨界現象と正則性理論及び漸近解析」(京都, 2019. 5).
6. 村田美帆, 柴田良弘, Navier-Stokes-Korteweg 方程式に対する時間大域解の一意存在性について, 第 14 回室蘭工業大学応用解析セミナー (室蘭, 2019. 7).
7. N. Yamazaki, Singular optimal control problems for quasi-variational evolution equations, Equadiff 2019, organized by Leiden University, Leiden, オランダ, 2019年7月.
8. 嶺幸太郎, ペアノ連続体は連結である, 第 42 回伊豆トポロジーセミナー (静岡, 2019. 3).
9. 嶺幸太郎,  $n$  次元ディスクの連結性について, 早稲田幾何学的トポロジーセミナー (東京, 2019. 3).
10. 嶺幸太郎, ペアノ連続体は連結である, Tsukuba Workshop on Pure and Applied Mathematics 2019 (茨城, 2019. 7).
11. 嶺幸太郎,  $n$  次元ディスクの連結性について, 五箇山トポロジー・幾何セミナー (富山, 2019. 8).

## 助成金

1. 平田康史 (代表), 単調正規空間の積における  $C^*$ -,  $C$ -,  $P$ -埋め込みの研究, 平成 31 年度科学研究費補助金, 基盤研究 (C), 課題番号 19K03606.
2. 矢島幸信 (代表), 単調正規空間と  $D$ -空間の問題に関する定常集合による集合論的考察, 平成 31 年度科学研究費補助金, 基盤研究 (C), 課題番号 17K05351.

## 褒賞

1. 矢島幸信, 2018 年度「神奈川大学教育貢献表彰」ベストティーチャー賞, (神奈川大学 2019.1).

## その他

1. 越野克久, RIMS 共同研究 (公開型)「一般位相幾何学の発展と諸分野との連携」研究代表者, 2019 年 6 月 5 日~2019 年 6 月 7 日, 京都大学総合研究 15 号館 201 セミナー室.

## 物理学教室

### 研究論文I (レフェリー付き論文)

1. R.U. Abbasi, K. Hibino, F. Kakimoto, S. Udo, *et al.*, "Testing a Reported Correlation between Arrival Directions of Ultra-high-energy Cosmic Rays and a Flux Pattern from nearby Starburst Galaxies using Telescope Array Data", The Astrophysical Journal, 867:L27 (5 pp.) (2018).
2. R.U. Abbasi, K. Hibino, F. Kakimoto, S. Udo, *et al.*, "Mass composition of ultrahigh-energy cosmic rays with the Telescope Array Surface Detector data", Physical Review, D 99, 022002 (2019).
3. M. Amenomori, K. Hibino, S. Udo, *et al.*, "First detection of photons with energy beyond 100 TeV from an astrophysical source", Physical Review Letters, 123, 051101 (6 pp.) (2019).
4. R.U. Abbasi, K. Hibino, F. Kakimoto, S. Udo, *et al.*, "Constraints on the diffuse photon flux with energies above  $10^{18}$  eV using the surface detector of the Telescope Array experiment", Astroparticle Physics, 110, pp.8-14 (2019).
5. D. Hayashi, Y. Nakai, H. Kyakuno, N. Hongo, Y. Miyata, K. Yanagi and Y. Maniwa, Thermoelectric properties of single-wall carbon nanotube networks, Jpn. J. Appl. Phys., 58 (7), 075003 (2019).
6. M. Hagiwara, T. Kida, K. Matsuda, H. Kyakuno, Y. Maniwa, Z. Honda, Y. Sakaguchi, M. Tashiro, M. Sakai, T. Fukuda, N. Kamata and K. Okunishi, Magnetic Properties of One- and Two-Dimensional Functional Materials: Oxygen Molecules Encapsulated in Single-Walled Carbon Nanotubes and Copper Ions Embedded into Phthalocyanine Sheets, Open Chemistry Journal, 6, 27-33 (2019).
7. M. Kozai, H. Fuke and Y. Shimizu *et al.*, Developing a mass-production model of large-area Si(Li) detectors with high operating temperatures, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 947, 162695 (2019).
8. F. Rogers, M. Xiao, Y. Shimizu *et al.*, Large-area Si(Li) detectors for X-ray spectrometry and particle tracking in the GAPS experiment, Journal of Instrumentation, 14, P10009 (2019).
9. Adriani, S. Torii, T. Tamura, K. Hibino, Y. Shimizu, *et al.*, Direct Measurement of the Cosmic-Ray Proton Spectrum from 50 GeV to 10 TeV with the Calorimetric Electron Telescope on the International Space Station, PHYSICAL REVIEW LETTERS, 122(18), 181102-1-181102-8 (2019).
10. A. Naruko, R. Kimura and D. Yamauchi, On Lorentz-invariant spin-2 theories, Physical Review D, 99, 084018 (2019).
11. Y. Nan, K. Yamamoto, H. Aoki, A. Iso and D. Yamauchi, Large-scale inhomogeneity of dark energy produced in the ancestor vacuum, Physical Review D, 103512 (2019).
12. D. Yamauchi, H. Aoki, S. Iso, D.-S. Lee, Y. Sekino and C.-P. Yeh, Observational signature of dark energy produced in an ancestor vacuum: Forecast for galaxy survey, Journal of Cosmology and Astroparticle Physics, 05, 055 (2019).

13. S. Hirano, T. Kobayashi, D. Yamauchi and S. Yokoyama, Constraining degenerate higher-order scalar tensor theories with linear growth of matter density fluctuations, *Physical Review D*, 99, 104051 (2019).
14. S. Hirano, T. Kobayashi and D. Yamauchi, Screening mechanism in degenerate higher-order scalar-tensor theories evading gravitational wave constraints, *Physical Review D*, 99, 104073 (2019).
15. T. Namikawa, S. Saga, D. Yamauchi and A. Taruya, CMB Constraints on the Stochastic Gravitational-Wave Background at Mpc scales, *Physical Review D (rapid communication)*, 100, 021303 (2019).

## 研究論文II (レフェリー付き Proceedings)

1. T. Sako, K. Hibino, S. Udo, *et al.*, "ALPACA air shower array to explore 100TeV gamma-ray sky in Bolivia", 36th ICRC (Jul 25 - Aug 1, 2019, Madison, Wisconsin, USA).
2. S. Kato, K. Hibino, S. Udo, *et al.*, "Expected performance of the prototype experiment for the ALPACA experiment", 36th ICRC (Jul 25 - Aug 1, 2019, Madison, Wisconsin, USA).

## 口頭発表

1. H. Aizawa, T. Koretsune, K. Kuroki and H. Seo, Anisotropic superconductivity in organic conductor  $\lambda$ -(BETS)<sub>2</sub>GaCl<sub>4</sub>, 12th International Conference on Spectroscopies in Novel Superconductors, Thur.-1-5 (東京, 2019. 6).
2. H. Aizawa and H. Seo, Pairing Competition in Carrier Doped Organic Conductors  $\kappa$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>X, The 13th International Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors and Magnets, T-O11 (ポルトガル, 2019. 9).
3. 相澤啓仁, 妹尾仁嗣,  $\kappa$ 型分子性導体における超伝導状態へのキャリアドーピングの影響, 日本物理学会2019年秋季大会, 11aK23-5 (岐阜, 2019. 9).
4. Y. Usami, "The practical realization of autonomous vehicle in Japan and the perspective in southeast Asia.", Autonomous Vehicle Test & Development Symposium, Day 2. No.2 (Detroit, USA, 2018. 10).
5. 客野遥, 小倉宏斗, 松田和之, 真庭豊, つぶれたカーボンナノチューブに内包された水の構造とダイナミクス IV, 日本物理学会 2019 年秋季大会, 12aK35-7, (岐阜, 2019.9).
6. 客野遥, 小倉宏斗, 松田和之, 真庭豊, つぶれたカーボンナノチューブに内包された水の構造とダイナミクス III, 日本物理学会第 74 回年次大会, 17aG215-3, (福岡, 2019.3).
7. 檜原太一, 佐々木志剛, 宮下精二, 長距離相互作用のある古典スピン系のダイナミクス解析手法, 日本物理学会 2019 年秋季大会, 10aK25-6 (岐阜, 2019.9).
8. 佐々木志剛, 次数一定の地理的なグラフにおける相転移現象, 日本物理学会 2019 年秋季大会, 13aPS-3 (岐阜, 2019.9).
9. 鳥居祥二, 清水雄輝, 田村忠久, 日比野欣也 他, CALET による 3 年間の軌道上観測の最新成果報告, 日本物理学会第 74 回年次大会, 15aK105-1 (九州大学伊都キャンパス, 2019.3) .
10. 毛受弘彰, 鳥居祥二, 清水雄輝, 田村忠久 他, LHCF 実験の陽子-酸素原子核衝突測定に向けた検討, 日本物理学会第 74 回年次大会, 15pK105-12 (九州大学伊都キャンパス, 2019.3) .
11. 鳥居祥二, 清水雄輝, 田村忠久, 日比野欣也 他, ISS 搭載 CALET による軌道上観測の最新成果報告, 日本物理学

- 会 2019 年秋季大会, 17aT11-5 (山形大学小白川キャンパス, 2019.9) .
12. 澤瀧誠, 田村忠久, シンチファイバーを用いたミュオグラフィ検出器のシミュレーション, 日本物理学会 2019 年秋季大会, 17aT11-10 (山形大学小白川キャンパス, 2019.9) .
13. 毛受弘彰, 鳥居祥二, 清水雄輝, 田村忠久 他, LHCF 実験における 13TeV 陽子衝突の最前方  $\pi^0$  エネルギースペクトル測定, 日本物理学会 2019 年秋季大会, 17pT11-12 (山形大学小白川キャンパス, 2019.9) .
14. 木戸英治, 有働慈治, 垣本史雄, 日比野欣也, 他, TA 実験 321:TAx4 実験全体報告 4, 日本物理学会第 74 回年次大会 (九州大, 2019. 3/14-17) .
15. 上濱孝文, 有働慈治, 他, TA 実験 322:TA 実験における CLF を用いた大気透明度測定, 日本物理学会第 74 回年次大会 (九州大, 2019. 3/14-17) .
16. 藤原亮太, 有働慈治, 他, TA 実験 325:TALE 実験全体報告 4, 日本物理学会第 74 回年次大会 (九州大, 2019. 3) .
17. 藤田慧太郎, 有働慈治, 他, TA 実験 326:TALE 実験大気蛍光望遠鏡を用いた単眼観測およびハイブリッド観測によるデータの解析, 日本物理学会第 74 回年次大会 (九州大, 2019. 3/14-17) .
18. 塩見昌司, 浅羽孝典, 大西宗博, 片寄祐作, 佐古崇志, 日比野欣也, 水チェレンコフ光検出器を用いた空気シャワー観測装置性能向上手法の研究 2, 日本物理学会第 74 回年次大会 (九州大, 2019. 3/14-17) .
19. 浅羽孝典, 日比野欣也, 有働慈治, 他, チベット YAC-II 実験での陽子・ヘリウム測定, 日本物理学会 2 第 74 回年次大会 (九州大, 2019. 3/14-17) .
20. 川田和正, 日比野欣也, 有働慈治, 他, チベット空気シャワー観測装置による超高エネルギーガンマ線源の観測 (1), 日本物理学会第 74 回年次大会 (九州大, 2019. 3/14-17) .
21. 佐古崇志, 日比野欣也, 有働慈治, 他, チベット空気シャワー観測装置による超高エネルギーガンマ線源の観測 (2), 日本物理学会第 74 回年次大会 (九州大, 2019. 3/14-17) .
22. 塔隆志, 日比野欣也, 有働慈治, 他, ALPACA 実験 9 : ALPACA の目指す物理と ALPAQUITA 進捗状況 4, 日本物理学会 2 第 74 回年次大会 (九州大, 2019. 3/14-17) .
23. 若松海帆, 日比野欣也, 有働慈治, 他, ALPACA 実験 10 : フロントエンドエレクトロニクス開発 3, 日本物理学会第 74 回年次大会 (九州大, 2019. 3/14-17) .
24. 三井嘉子, 日比野欣也, 有働慈治, 他, ALPACA 実験 11 : ALPAQUITA 実験の性能評価シミュレーション 1, 日本物理学会第 74 回年次大会 (九州大, 2019. 3/14-17) .
25. 加藤勢, 日比野欣也, 有働慈治, 他, ALPACA 実験 12 : ALPAQUITA 実験の性能評価シミュレーション 2, 日本物理学会第 74 回年次大会 (九州大, 2019. 3/14-17) .
26. 川田和正, 有働慈治, 垣本史雄, 日比野欣也, 他, TA 実験 327:地表粒子検出器アレイによる TA ホットスポットの最新結果, 日本物理学会秋季大会 (山形大, 2019. 9/17-20) .
27. 木戸英治, 有働慈治, 他, TA 実験 329:TAx4 実験全体報告 5, 日本物理学会秋季大会 (山形大, 2019. 9/17-20) .
28. 藤田慧太郎, 有働慈治, 他, TA 実験 330:TALE 実験ハイブリッド検出器の性能評価, 日本物理学会秋季大会 (山形大, 2019. 9/17-20) .
29. 瀧田正人, 日比野欣也, 有働慈治, 他, Tibet 空気シャワー観測装置による 100TeV 領域ガンマ線点源の広視野探索, 日本物理学会秋季大会 (山形大, 2019. 9/17-20) .
30. 片寄祐作, 日比野欣也, 有働慈治, 他, Tibet 空気シャワー観測装置による Geminga からの超高エネルギーガンマ線の観測, 日本物理学会秋季大会 (山形大, 2019. 9/17-20) .

31. 日比野欣也, 有働慈治, 他, Tibet 空気シャワー観測装置による 100TeV 領域ガンマ線点源からのパルサー信号の探索, 日本物理学会秋季大会 (山形大, 2019. 9/17-20) .
32. 中村佳昭, 日比野欣也, 有働慈治, 他, チベット空気シャワーアレイで観測された太陽の影による太陽磁場構造の研究 11, 日本物理学会秋季大会 (山形大, 2019. 9/17-20) .
33. 塔隆志, 日比野欣也, 有働慈治, 他, ALPACA 実験 13 : ALPAQUITA 進捗状況 5, 日本物理学会秋季大会 (山形大, 2019. 9/17-20) .
34. 加藤勢, 日比野欣也, 有働慈治, 他, ALPACA 実験 14 : ALPAQUITA 実験の性能評価シミュレーション 3, 日本物理学会秋季大会 (山形大, 2019. 9/17-20) .
35. 大西宗博, 日比野欣也, 有働慈治, 他, チベット空気シャワー観測装置による 100 TeV 領域ガンマ線の観測, 日本天文学会 2019 年秋季年会 (熊本大, 2019. 9/11-13).
36. D. Yamauchi, Cosmology and dark energy with future HI galaxy surveys, International workshop “Cosmological challenges to dark matter, dark energy and galaxy formation”, (Sao Paulo, Brazil, 2019. 2).
37. 山内大介, 位置天文による低周波重力波の性質の検証, 銀河進化と遠方宇宙 2019 研究会, (神奈川, 2019. 3).
38. D. Yamauchi, Cosmology and dark energy with future HI galaxy surveys, International workshop “East Asia SKA Science Workshop 2019”, (Shanghai, China, 2019. 5).
39. 山内大介, SKA による宇宙論(基調講演), SKA-Japan シンポジウム 2019, (東京, 2019. 3).
40. 山内大介, 位置天文を用いた背景重力波の制限, 日本物理学会 2019 年秋季大会, (山形, 2019. 9).

## 著書

1. 宇佐見義之, 誰にでも出来るティラノサウルスの走行能力の計算, Amazon Kindle (2019.8).

## 調査報告書

1. 相澤啓仁, 12th International Conference on Materials and Mechanisms of Superconductivity and Mechanism of Superconductivity and High Temperature (中国)への海外渡航費助成, 平成 30 年度助成研究等報告書, 公益財団法人横浜学術教育振興財団, 134—135 (2019).

## 講演・展示会

1. H. Aizawa, T. Koretsune, K. Kuroki and H. Seo, Electronic Band Structure and Anisotropy of Superconducting Gap in Molecular Conductor  $\lambda$ -(BETS) $_2$ GaCl $_4$ , 4th International Conference on Functional Materials Science 2018, INV-11 (インドネシア, 2018. 11, 招待講演).
2. 宇佐見義之, 恐竜の運動能力の理論的研究と日本及び世界の恐竜, 神奈川大学附属高校講演会, (神奈川大学, 2018.11).

## 助成金

1. 相澤啓仁 (代表), 神奈川大学 2019 年度科学研究費申請奨励研究費.
2. 客野遥 (代表), 1 次元リボン状氷の構造と物性: 楕円筒形カーボンナノチューブを用いた研究, 平成 31 年度科学研究費補助金, 若手研究, 課題番号 18K13518.
3. 客野遥 (代表), 佐々木志剛, 松田和之, 真庭豊, ナノカー

ボンの細孔利用による新規ナノ複合体の合成とその構造・電気・磁気物性の解明, 2019 年度神奈川大学共同研究奨励助成金.

4. 清水雄輝(代表), 長期間気球実験による宇宙線反ヘリウムの探索, 住友財団 2018 年度基礎科学助成
5. 田村忠久 (分担), CALET 長期観測による銀河宇宙線の起源解明と暗黒物質探索, 令和元年度科学研究費補助金, 基盤研究 (S), 課題番号 19H05608.
6. 有働慈治(分担), 広エネルギー領域の精密測定による超高エネルギー宇宙線の源と伝播の統一的解釈, 令和元年度科学研究費補助金, 基盤研究(S), 課題番号 19H05607.
7. 有働慈治(代表), TA 実験サイトにおける大気透明度測定法の研究・開発, 2019 年度東京大学宇宙線研究所共同利用研究.
8. 日比野欣也 (分担), アンデス高地の新しい宇宙線観測装置による PeV 粒子加速天体の探索, 令和元年度科学研究費補助金, 基盤研究 (A) , 19H00678.
9. 日比野欣也 (代表), アンデス高原における雷雲からの高エネルギー放射線の研究, 2019 年度東京大学宇宙線研究所共同利用研究.
10. 日比野欣也 (分担), 乗鞍岳における雷雲に伴う二次宇宙線の研究, 2019 年度東京大学宇宙線研究所共同利用研究.
11. 日比野欣也 (代表), 神奈川大学科研費申請奨励研究費.
12. 松田和之 (代表), 炭素ナノ空洞を利用した極性分子の配列・配向制御による極微小誘電体の作製と物性解明, 2019 年度科学研究費補助金, 基盤研究 (C), 課題番号 18K04894.

## 海外出張

1. 相澤啓仁, 4th International Conference on Functional Materials Science 2018, Bali, Indonesia (2018. 11. 13-15).
2. 相澤啓仁, The 13th International Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors and Magnets, Tomar, Portugal (2019. 9. 22-27).
3. 有働慈治, 宇宙線観測実験, Utah, USA (2019.2.21-3.16).
4. 日比野欣也, 宇宙線観測実験, La Paz, Bolivia (2019. 3.1-11).
5. 日比野欣也, 35th International Cosmic Ray Conference, Madison, Wisconsin, USA (2019.7.25-8.2).
6. 日比野欣也, 宇宙線観測実験, La Paz, Bolivia (2019. 8.23-9.5).
7. 山内大介, Cosmological challenges to dark matter, dark energy and galaxy formation, Sao Paulo, Brazil (2019. 3).
8. 山内大介, East Asia SKA Science Workshop 2019, Shanghai, China (2019. 5).

## その他

1. 恐竜たちの走りを再考する, 日経サイエンス, (2019.9) pp32-36.
2. Y. Usami, “The First Test Driving of Round Trip Between the Two Biggest Cities of Japan Using Comma.ai’s Autonomous Driving System”, <http://www.u1studio.jp/autonomous/usami-2019-8.pdf>, (An report on autonomous test driving, 2019.8).

## 化学教室

### 研究論文I (レフェリー付き論文)



1. H. Taherzadeh, Y. Ishida, A. Kameyama, Phase-separated structures of random methacrylate copolymers with pendant POSS moieties, *J. Appl. Polym. Sci.*, 136, 47246 (2018).
2. A. Takahashi, T. Watanabe, A. Kameyama, Refractive index modulation by photo-Fries rearrangement of main chain-type aromatic polyurethanes, *J. Photopolym. Sci. Technol.*, 32, 243-247 (2019).
3. A. Takahashi, R. Yuzaki, Y. Ishida, A. Kameyama, Controlled ring-expansion polymerization of thiiranes based on cyclic aromatic thiourethane initiator, *J. Polym. Sci., Part A: Polym. Chem.*, 57, 2442-2449 (2019).
4. S. Hashimoto, K. Hamada, I. Iwakura, A. Yabushita, T. Kobayashi, H. Fujita, K. Takeda, Y. Ono, N. C. Kasuga and K. Yamaguchi, Photochemical reaction mechanisms of 4,5-dimethoxy-2-nitrobenzyl acetate analysed by a sub-10 fs near-ultraviolet pulse laser, *Chemical Physics*, 524, 70-76 (2019).
5. 藤田裕字, 大野佑太, 橋本征奈, 浜田健太, 力石紀子, 岩倉いずみ, 山口和夫,  $\alpha$ 位の置換基が2-ニトロベンジル酢酸エステル誘導体の光分解反応に与える影響, 第8回CSJ化学フェスタ, P1-017, (東京, 2018. 10)
6. 高木里加子, 橋本征奈, 岩倉いずみ, 紫外10フェムト秒レーザー光を用いたドナーアクセプター分子の電荷移動機構解析, 日本女性科学者の会 第12回学術大会, P11 (東京, 2018. 11).
7. 織作恵子, 広瀬悠衣, 岩倉いずみ, レーザー光を用いた光有機合成反応の制御-1,3-CYCLOOCTADIENEの選択的光環化反応, 第76回有機合成化学協会関東支部シンポジウム, E08 (新潟, 2018. 12).
8. S. Hashimoto, A. Yabushita, T. Kobayashi and I. Iwakura, Ultrafast Spectroscopy using a UV sub-10-fs Pulse Laser to Clarify Solvent Effect on the Photo-reaction in 9,9'-bianthryl, The 10th Asian Photochemistry Conference, Mon-58 (台湾, 2018. 12).
9. I. Iwakura, S. Hashimoto, K. Hamada, A. Yabushita, H. Fujita, Y. Ono, N. C. Kasuga and K. Yamaguchi, Real-Time Measurements of Ultrafast Electronic Dynamics of 4,5-Dimethoxy-2-Nitrobenzyl Acetate using Sub-10 fs Laser Pulses, The 10th Asian Photochemistry Conference, Mon-62 (台湾, 2018. 12).
10. T. Murakami, S. Hashimoto, A. Yabushita, T. Kobayashi and I. Iwakura, Excitation Wavelength Dependence of Ultrafast Intramolecular Charge Transfer, The 10th Asian Photochemistry Conference, Mon-64 (台湾, 2018. 12).
11. 村上隆彦, 橋本征奈, 簀下篤史, 岩倉いずみ, 電子励起状態における振動準位の選択励起と振動緩和の抑制, 第14回ナノテク交流シンポジウム, 3G1-33 (横浜, 2019. 3).
12. 岡村幸太郎, 岩倉いずみ, 四分の一波長板対を用いた後方散乱配置円偏光ルミネッセンス測定, 第66回応用物理学会春季学術講演会, 9p-W935-10 (東京, 2019. 3).
13. 橋本征奈, 浜田健太, 藤田裕字, 大野佑太, 力石紀子, 岩倉いずみ, 山口和夫, 近紫外10fsパルス光を用いた2-ニトロベンジルエステルの光反応機構解析, 日本化学会第99春季年会, 2PA-085 (神戸, 2019. 3).
14. 村上隆彦, 橋本征奈, 簀下篤史, 岩倉いずみ, 分子振動の実時間計測によるビアントリルの分子内電荷移動反応の解析, 日本化学会第99春季年会, 2E2-39 (神戸, 2019. 3).
15. S. Hashimoto, A. Yabushita, T. Kobayashi and I. Iwakura, Generation of Near-UV 5-fs Pulse Laser to Clarify Charge Transfer Dynamics, The 14th Femtochemistry Conference, No.83 (上海, 2019. 7).
16. I. Iwakura, S. Hashimoto, K. Hamada, A. Yabushita, T. Kobayashi, H. Fujita, Y. Ono, N. C. Kasuga and K. Yamaguchi, UV 10-fs Spectroscopy Elucidating the  $\alpha$  Substitution Effect on Photodeprotection of *o*-Nitrobenzyl Acetate, The 14th Femtochemistry Conference, No.85 (上海, 2019. 7).
17. R. Takagi, S. Hashimoto, A. Yabushita, T. Kobayashi and I. Iwakura, Ultrafast Dynamics of Laser Dye DCM in the Excited State, The 14th Femtochemistry Conference, No.100 (上海, 2019. 7).
18. 橋本征奈, 簀下篤史, 岩倉いずみ, 振動第一励起準位への選択励起と分子振動の実時間分光, 2019年光化学討論会, 3A05 (名古屋, 2019. 9).
19. 岩倉いずみ, 赤井昭二, 織作恵子, 橋本征奈, 簀下篤史,

## 口頭発表

1. 高橋 明, 渡邊太一, 安藤慎治, 亀山 敦, キシリレン構造を有する芳香族ポリウレタンの光フリース転位と屈折率増加, 第26回日本ポリイミド・芳香族系高分子会議, P-04 (東京, 2018. 10).
2. A. Takahashi, R. Yuzaki, Y. Ishida, A. Kameyama, Controlled ring-expansion polymerization of thiiranes with benzothiazolone initiator to access novel cyclic polysulfides with well-defined topology, The 12th SPSJ international polymer conference (IPC2018), 6A03 (Hiroshima, 2018.12).
3. A. Kameyama, A. Takahashi, T. Okada, K. Nakano, Y. Ishida, Gelation of POSS-pendant copolymers based on cage scrambling mediated by fluoride ion, The 12th SPSJ international polymer conference (IPC2018), 6A03 (Hiroshima, 2018.12).
4. A. Takahashi, R. Yuzaki, Y. Ishida, A. Kameyama, An efficient approach to cyclic polysulfides with well-defined topology based on controlled ring-expansion polymerization of thiiranes with benzothiazolone initiator, 1st Glowing polymer symposium in KANTO (GPS-K 2019), C15 (Tokyo, 2018.12).
5. 土屋康佑, 岡田龍美, 中野恵一郎, 石田良仁, 高橋 明, 亀山 敦, フッ化物イオンを用いた POSS の動的かご組み換え反応に基づく側鎖 POSS 含有ポリマーのゲル化, 第30回高分子ゲル研究討論会, P1 (東京, 2019.1).
6. 高橋 明, 岸 祐太郎, 石毛 亮平, 安藤 慎治, 亀山 敦, イソブチレン部分を有する芳香族ポリウレタンの光フリース転位と屈折率増加, 第68回高分子学会年次大会, 2Pc029 (大阪, 2019. 5) .
7. 前原 健志, 高橋 明, 亀山 敦, トリベンジルチオシアヌレートの新奇な光転位反応に伴う屈折率増加, 第68回高分子学会年次大会, 2Pc030 (大阪, 2019. 5) .
8. A. Takahashi, T. Watanabe, Y. Kishi, A. Kameyama, Refractive index modulation by photo-Fries rearrangement of main chain-type aromatic polyurethanes, The 36th international conference of photopolymer science and technology, A-52 (Chiba, 2019. 6).
9. 勇崎 竜, 高橋 明, 石田 良仁, 亀山 敦, ベンゾチアゾロン類を開始剤としたチイラン類の環拡大重合による種々の環状ポリスルフィドの合成, 第68回高分子討論会, 2Pe023 (福井, 2019.9).
10. 村上隆彦, 橋本征奈, 簀下篤史, 岩倉いずみ, 紫外サブ10

可視 5 フェムト秒パルスレーザー照射による昇華結晶化, 2019 年光化学討論会, 3P098 (名古屋, 2019. 9).

## 学術誌

1. 高橋 明, 渡邊太一, 安藤慎治, 亀山 敦, キシリレン構造を有する芳香族ポリウレタンの光フリース転位と屈折率増加, ポリミド最近の進歩 2019, 26, 25-28 (2019).
2. 岩倉いづみ, 液相反応遷移状態の分子振動実時間計測, ケミカルエンジニアリング, 64 (3), 180-184 (2019).

## 講演・展示会

1. 亀山 敦, 高分子合成の基礎 2 – 逐次重合を中心に –, 若手社員のための高分子基礎講座 (高分子学会関東支部), (神奈川, 2019. 10).
2. 岩倉いづみ, 5 フェムト秒パルスレーザー光を用いる化学反応遷移状態の可視化, 東北大学 第 7 回多元研男女共同参画推進セミナー (仙台, 2019. 1, 依頼講演).

## 助成金

1. 亀山 敦 (代表), 新奇な光転位反応を基盤とした屈折率変化高分子の創製, 平成 30 年度科学研究費補助金, 基盤研究 (C), 課題番号 17K05889.
2. 亀山 敦, 研究奨学寄附金, JSR 株式会社.
3. 高橋 明 (代表), 活性な空軌道を持つカゴ型ポレートに基づく多様な結合の構築と高分子機能への展開, 平成 30 年度科学研究費補助金, 若手研究, 課題番号 19K15639.
4. 高橋 明 (代表), 強度とリサイクル性を兼ね備えたホウ酸エステル構造に基づく環境低負荷ハイブリッド材料の創製, 公益財団法人横浜学術教育振興財団, 2019 年度研究助成.
5. 岩倉いづみ (代表), 超高速分光による分子間光反応過程の直接観測と機構解明, 東レ科学振興会 第 57 回東レ科学技術研究助成金.
6. 岩倉いづみ (代表), パルスレーザー分光による反応機構解析と合成反応への応用, 神奈川大学共同研究奨励助成金.
7. 岩倉いづみ (代表), サブ 10 フェムト秒パルスレーザー光を利用する電子励起状態における核波束運動の可視化, コニカミノルタ画像科学奨励賞.
8. 岩倉いづみ (代表), 可視 5 フェムト秒パルス光を用いる“分子間熱反応遷移過程”の直接観測と機構解明, 平成 30 年度科学研究費補助金, 基盤研究 (B) .
9. 岩倉いづみ (代表), サブ 10 フェムト秒パルスレーザー光を利用する核波束制御, 戸部眞紀財団 研究助成金.
10. 橋本征奈 (代表), スペクトル可変近紫外サブ 10-fs パルス光を用いる光反応遷移状態の解析, 横浜学術教育振興財団 研究助成.
11. 岩倉いづみ (代表), 5 フェムト秒パルスレーザー光による光圧昇華結晶化システム開発, 公益財団法人 JKA 機械振興補助事業 研究補助 複数年研究.
12. 橋本征奈 (代表), 光反応遷移状態計測のコンピュータ制御システム開発, 公益財団法人 JKA 機械振興補助事業 研究補助 若手研究.
13. 橋本征奈 (代表), ダブルピーク型 5-fs パルス光発生による分子振動位相を揃えた選択励起手法の開発, 平成 31 年度科学研究費補助金, 若手研究.
14. 橋本征奈 (代表), 近紫外-5-fs パルスレーザー光の発生による電荷移動過程の解明, 公益財団法人日本科学協会, 2019

年度海外発表促進助成.

15. 岩倉いづみ (代表), 光反応とも熱反応とも異なるコヒーレント分子振動励起反応を利用する新反応開発, 平成 31 年度科学研究費補助金, 挑戦的研究 (萌芽) .

## 特許(取得)

1. 亀山 敦, 光学材料, 光学素子, 及び物品の屈折率を変化させる方法, 特許第 6497745 号.
2. 亀山 敦, 硬化性組成物, 並びにそれを用いた硬化物の製造方法及びその再溶解方法, 特許第 6534034 号.

## 褒賞

1. 橋本征奈, 広帯域サブ 10-fs パルス光発生による核波束運動の可視化と光反応コヒーレント制御への応用, 第 35 回井上研究奨励賞, 井上科学振興財団 (2019. 2).
2. 村上隆彦, 電子励起状態における振動準位の選択励起と振動緩和の抑制, 第 14 回ナノテク交流シンポジウム 優秀発表賞 (2019. 2).

## 生物学教室

### 口頭発表

1. N. Asakura, Y. Asano, S. Miyazaki, and R. Kikuchi, Simple and reproducible PCR protocols using petals from ornamental plants to promote student understanding of molecular biology, The 27th Biennial Conference of the Asian Association for Biology Education, OC-2 (Bangkok, Thailand, 2018. 12).
2. 朝倉史明, 藤田凌雅, 菊地理絵, 近藤勝彦, 河合義隆, シーベリー (*Hippophae rhamnoides* L.) における葉緑体マイクロサテライトマーカーの開発とその特徴付け, 園芸学会令和元年度秋季大会, 園芸学研究(別 2), 87 (島根, 2019. 9).
3. H. Yamamoto, M. Shimada, T. Yamada, R. Nakagawa, S. Okamoto, Synthesis of the auxin analogs to clarify the biological activity of IBA. 日本化学会第 99 回春季年会, 2PC-029 (神戸, 2019.3).

### 助成金

1. 朝倉史明 (代表), 中川理絵, 遺伝子組換えを利用したシーベリー雌雄識別 DNA マーカーの開発, 2019 年度神奈川大学工学研究所共同研究 (B) .
2. 中川理絵 (代表), 生合成阻害剤および作動薬を用いるインドール酪酸 (IBA) 周辺科学の新機軸の導入, 2019 年度神奈川大学共同研究奨励助成金.

# 【2】 講演会開催記録

(2018年10月1日より2019年9月30日までの講演会について記す)

## 学科・教室開催講演会

### 機械工学科

演題：Passive and active vibration control for ultra-precision feed drives

講師：Burak Sencer (Oregon State University, Assistant Professor)

日時：2018年11月16日(金) 17:00~18:40

場所：神奈川大学 横浜キャンパス 23号館 204室

講演要旨：CNC工作機械の高速運転を実現するための精密運動創成について紹介された。工作機械テーブルのトラッキングエラーは、システムの動特性に依存している。一般的には、制御系のバンド幅を大きくすることによって、トラッキングエラーを減少させることができる。しかしながら、送り駆動系の構造上の低周波数領域における動特性が制約となる。さらに、工作機械で発生する振動は、標準的に組み込まれたセンサーでは観測が難しく、その結果、サーボ系の制御による振動抑制も難しい。これらの問題への対応策として、参照軌跡を導入したパッシブ型の振動抑制法について紹介された。さらに、高バンド幅サーボ制御手法によるアクティブ型の振動抑制法についても紹介がなされた。

演題：建築と音環境創造

講師：清水 寧 (東京工業大学大学院総合理工学研究科連携教授)

日時：2018年12月7日(月) 16:20~17:50

場所：神奈川大学 横浜キャンパス 3号館 3-305室

講演要旨：音環境の積極的な創造により、音楽の演奏空間のみならず、コミュニケーション、プライバシーを目的とした建築空間をより快適にすることができる。音に着目することで、空間印象や空間の質は更に豊かになる。本講演では、コンサートホール、オフィス、商空間などを取り上げ、建築空間の豊かさを増すための音響設計のコンセプトとその具体的な実践例を紹介した。

演題：リアルハプティクスが拓く未来社会

講師：大西 公平 (慶應義塾大学グローバルリサーチインスティテュート特任教授)

日時：2019年1月11日(金) 17:10~18:50

場所：神奈川大学 横浜キャンパス 23号館 205室

講演要旨：仮想モデルに依存した生産体系の限界を乗り越えるためロボットに大きな期待が寄せられている。しかし人間のよう柔軟で高度な適応性がない。これは環境を認識し、経験知を豊富にしながら必要な機能を磨くという熟練化能力を欠くからである。もし、AI技術を援用して環境に適応しながら慣習的な作業に自己熟練する自己研鑽型物理エージェントが実現すれば、人に代わる労働力として超成熟社会の発展に大きな貢献があると思われる。

本講演ではその基礎となるリアルハプティクス技術の原理と応用について紹介をすると共に、どのような未来社会を築いていくのかについて議論を深めた。

演題：Micro-fibrillated cellulose hybrid epoxy resin reinforced carbon plain weave composites.

講師：Valter Carvelli (Politecnico di Milano, Professor)

日時：2019年6月7日(金) 17:10~18:50

場所：神奈川大学 横浜キャンパス 3号館 3-B104室

講演要旨：セルロースナノファイバーを添加した複合材料の力学特性評価に関する最新の研究成果が示された。複合材料にセルロースナノファイバーを添加する優位性が論理的に述べられ、従来の複合材料の疲労強度の改善が可能であることが報告された。また、繊維織物の層間にゴム微粒子とセルロースナノファイバーを組み合わせて挿入することで、衝撃特性が格段に改善されることも示された。複合材料にナノ粒子や微粒子を添加することで、材料の力学特性を制御することが可能であることが紹介された。

### 物質生命化学科

演題：ガイア（生きている地球）の健康管理

講師：大河内 博 (早稲田大学理工学術院教授)

日時：2018年10月17日(水) 16:30~18:10

場所：神奈川大学 横浜キャンパス 23号館 208講堂

講演要旨：大気化学者ラブロックは、地球は自己調整できる生命体（ガイア）であると提唱しました。人間が増えすぎたために、ガイアは様々な病気にかかっています。手遅れになる前に適切な診断と治療が必要です。ガイアにとって重要な、以下の大気と森の問題について紹介します。

1. 世界遺産・富士山頂で地球大気環境を調べる～海を越えて運ばれてくる大気汚染物質～
2. 福島県における里山の放射性物質をどうするか？～里山における放射性物質の動態と環境調和型除染手法の提言～

演題：Seeing the Light: Advancing Polymer Synthesis

講師：Prof. Cyrille Boyer (University of New South Wales)

日時：2018年11月15日(木) 16:30~18:00

場所：神奈川大学 横浜キャンパス 23号館 209号室

講演要旨：The emergence of efficient photoredox catalysts using transition metals, such as iridium and ruthenium, has recently revolutionised organic chemistry. Such catalysts have allowed the realisation of complex organic transformations under visible light with little to no by-products. Merging photoredox catalysis with reversible addition fragmentation chain transfer (RAFT) polymerisation has resulted in the development of the photoinduced electron/energy transfer-RAFT (PET-RAFT) process, enabling the synthesis of complex macromolecules and their post-modification under visible light. PET-RAFT can be operated using a broad range of wavelengths in the visible and near-infra-red regions, ranging from 460 nm to 850 nm. This process is suitable for a large range of functional monomers, including pentafluorophenyl acrylate, hydroxylethyl methacrylate, glycidyl methacrylate and

N,N-dimethylaminoethyl methacrylate, and provides excellent control of the molecular weight and dispersity.

演題：次世代燃料電池電極触媒と放射光マルチ計測評価システム

講師：岩澤 康裕（電気通信大学燃料電池イノベーション研究センターセンター長・特任教授、東京大学名誉教授）

日時：2018年12月6日（木）16:30～18:00

場所：神奈川大学 横浜キャンパス 23号館 309号室

講演要旨：エネルギー・資源に乏しい我が国の持続的発展（SDGs）のために、水素燃料電池は有力なオプションとして重要な政策課題となっている。しかし、将来の水素社会、超スマート地域社会、輸送・運搬、緊急分散電源などのクリーンで高効率エネルギー源と期待される燃料電池であるが、その電極触媒の開発設計指針および触媒の作用は、未だ“ブラックボックス”の状態であり、次世代燃料電池開発の障害となっている。それは、触媒の *in situ/operando*、時間分解、空間分解（イメージング）計測解析が依然として極めて難しいアプローチであり、特に、燃料電池電極触媒の動きがウェット状態でダイナミックに起こるため、燃料電池作動下の触媒（取り出し干乾しになった“魚の干物”でなく“泳いでいる生きた魚”）を評価・解析することが必要であるにも関わらず、それを実現できる計測評価システムがほとんど存在しなかったことが大きい。

本講演では、我々が建設した世界オンリーワン・世界最高性能のビームライン BL36XU @Spring-8 を用いた、電極触媒や燃料電池触媒の働き、挙動、実態の特徴などを紹介する。また、燃料電池の科学技術の現状と課題についても話題とする。

演題：Electro- and photo-active inks for printed organic electronics

講師：Dr. Eric Cloutet (CNRS Senior Researcher)

日時：2019年5月27日（月）17:10～18:00

場所：神奈川大学 横浜キャンパス 23号館 204号室

講演要旨：Organic conducting polymers are of increasing scientific interest and are promising candidates for various applications. Nowadays, one of the most important challenges faced by the community concerns their processability along with their long term stability. In this context, herein, I'd like to present one approach consisting in the preparation of photoactive materials stable as inks in environment-friendly phases through miniemulsification or nanoprecipitation techniques. For instance, composite particles made of the low band-gap PCDTBT polymer together with the n-type PC71BM have been prepared in aqueous media. The materials ratio was varied and the properties of composite particles were studied along with their integration.

演題：イオン伝導性高分子ナノファイバーの作製と電池応用

講師：田中 学（首都大学東京都市環境学部環境応用化学科准教授、水素エネルギー社会構築推進研究センター）

日時：2019年9月18日（水）16:30～18:00

場所：神奈川大学 横浜キャンパス 23号館 527号室

講演要旨：持続可能な開発目標（Sustainable Development Goals: SDGs）にも掲げられている「持続可能な近代的エネルギーの確保（目標7）」、「気候変動及びその影響を軽減するための対策（目標13）」に向け、水素エネルギーの活用、水素エネルギーを中軸とする低炭素社会（省エネルギー社会）の実現が求められている。水素エネルギー社会において、水素を燃料としクリーンなエネルギー産生システムである燃料電池や、太陽光や風力といった再生可能エネルギーの貯蔵および燃料電池の相補的な利用に有効な二次電池は、特に重要な役割を果たす。燃料電池、二次電池いずれも、既に実用化されている電気化学

デバイスであるが、さらなる普及、利用拡大には、それら電池の高効率化、安全性・信頼性の向上、低コスト化などが不可欠である。なかでも、電解質は電池セル中央部でイオン輸送を担う重要な部材であり、電解質特性の向上は電池の高性能化、コストダウンなどに大きく貢献する。燃料電池、二次電池ともに固体高分子電解質膜の研究の歴史は長い、長年解決できていない課題も多く、大きなブレイクスルーにつながる革新的な材料の開発が望まれている。

本講演では、我々が近年着目し研究展開しているイオン伝導性を有する高分子ナノファイバーに関し、その作製と特性評価、燃料電池・二次電池応用について述べる。ナノファイバーはナノ寸法の一次元構造を有しており、一般的な電解質膜とは異なる特異なイオン伝導挙動を示すことを見出している。さらに、イオン伝導性高分子ナノファイバーを基盤材料とする高分子複合電解質膜を作製することで、イオン伝導特性の向上に加え、膜安定性の向上や電解質膜の薄膜化にも成功している。ナノファイバー複合電解質膜を用いた、低加湿条件下でも発電可能な燃料電池への応用や、優れた安定性と良好な充放電特性を示す全固体型二次電池への応用について紹介する。

## 建築学科

演題：光と空気の輪郭をデザインする

講師：久保 秀朗（久保都島建築設計事務所）

日時：2018年10月1日（月）17:10～18:50

場所：神奈川大学 横浜キャンパス 16号館セレストホール

講演要旨：2016年にJCDデザインアワード金賞・銀賞、2017年に日本建築学会作品選集新人賞を受賞するなど、そのデザインに対する評価が高い若手建築家のひとりである講師自身の設計による、「まるほん旅館風呂小屋」、「石神井町の家」「虹のチャペル」などの代表的な作品群の紹介を通して、光、風、空気、音、人の流れなど、常に変化をするものと呼応するような空間のあり方や、敷地や用途に関する様々な条件をシンプルにまとめ上げる空間のかたちの探求、さらにそれを実現するための模型やCGを用いた設計プロセスなどについて論じた。

演題：「コンサートホールから廃棄物まで」-卒業36年の足跡-

講師：内田 季延（飛鳥建設株式会社技術研究所）

日時：2018年11月12日（月）17:10～18:50

場所：神奈川大学 横浜キャンパス 3号館 3-305講堂

講演要旨：大学院修了後、飛鳥建設に入社し環境関連分野の研究開発、現場支援に従事。同社での36年の業務を「音」、「振動」、「風・流れ・温熱・光」、「その他（資格、計算ツール、環境、廃棄物）」の4つに区分し、事例を交えて紹介した。劇場や工場、オフィスビル等の建築工事だけでなく、同社が得意とする、ダムやトンネル等の土木工事に伴う環境問題への取組の他、負の遺産であるアスベスト問題への取組を紹介した。

演題：音はいつもそこにある

講師：司馬 義英（日建設環境デザインスタジオ 技師長）

日時：2018年12月3日（月）17:10～18:50

場所：神奈川大学 横浜キャンパス 16号館セレストホール

講演要旨：健常者は忘れがちだが、音はいつもそこにある。音がもたらす「そこにいる」感覚。一方、建築することとはある空間を囲い形を変えていくことであり、そのとき必ず新しい音環境がつくられている。音により空間の質を高め、空間により生活の音を豊かにし、場面に適した音環境をつくるのが大切である。本講演では、以上の点について具体的な設計事例の紹介を通して確認した。

演題：ケルン大聖堂建築工房の歴史

講師：Peter Füssenich（ペーター・フューセニッヒ）（ケルン大聖堂建築マイスター）

日時：2019年5月13日（月）17:10～18:50

場所：神奈川大学 横浜キャンパス 3号館 3-305 講堂

講演要旨：中期ゴシック様式の大聖堂であるケルン大聖堂の建設において、1248年の定礎に合わせて設立されたケルン大聖堂建築工房の成り立ちと歴史について、各時代の社会背景なども交えて紹介した。とくに16世紀初頭以降約300年間の工事中断の後、19世紀初めに工事再開し1880年に完成するまでの過程や、第二次大戦による損傷の再建過程などにおける、同建築工房の大聖堂維持に対する理念と実践的な活動を通して、歴史的建築物の保存や改修の具体的な方法や、オリジナルの修復と現代的な技術や芸術の導入とのバランスの重要性などを論じた。

演題：鋼構造を支える鉄鋼材料の先進性とそのポテンシャル

--世界の最先端をゆく鉄鋼材料と鋼構造へのインパクト--

講師：菅野 良一（日本製鉄株式会社）

日時：2019年6月3日（月）17:10～18:50

場所：神奈川大学 横浜キャンパス 16号館セレストホール

講演要旨：1868年の鑄鉄製橋梁に端を発した日本の鋼構造は、その後約150年を経て、世界の先進国となった。長大橋に代表される世界に誇れる鋼構造物を実現してきた背景には、鉄鋼材料の貢献がある。日本では、鋼材性能の向上が鋼構造物の技術革新を促し、また逆に新しい構造物の建設が鋼材の技術革新を生んできたといえる。本講演では、日本の鋼構造物の発展過程をレビューすると共に、その発展を支えた鉄鋼材料の技術革新を概観した。さらに、鉄鋼材料が持つポテンシャルを踏まえて、自動車分野の事例なども交えながら鋼構造の更なる進化・発展を展望した。

演題：環境建築とそのエンジニアリング

講師：柳井 崇（株式会社日本設計常務執行役員）

日時：2019年7月1日（月）17:10～18:50

場所：神奈川大学 横浜キャンパス 16号館セレストホール

講演要旨：省エネルギー・省CO<sub>2</sub>、知的生産性・ウェルネス、BCP・BCDなど建築や街づくりに求められる社会的な背景及び、ZEB、スマートシティ等、最新の環境配慮建築の設計事例とそれらを実現させるためのエンジニアリングの紹介、これからの環境・設備分野の領域や技術者に必要な視点等に関して紹介した。

演題：「建築分野における風」

講師：相原 知子（大成建設株式会社技術センター）

日時：2019年7月8日（月）17:10～18:50

場所：神奈川大学 横浜キャンパス 16号館セレストホール

講演要旨：風工学に関する基本的な概要を説明する中で、デザイン、構造、環境のそれぞれの分野に携わる人が風に関してどのような関わりを持ち得るのか具体的な事例を交えて紹介した。主な事例として設計用風荷重や環境アセスメントでのビル風の評価とランドスケープ、風切り音の問題、風揺れによる居住性能評価等の紹介があったが、研究員として台風による被害やその対策と規格の改正に直接携わった経験についても紹介した。

日時：2019年6月21日（金）15:30～17:00

場所：神奈川大学 横浜キャンパス 23号館 205教室

講演要旨：高分子微粒子は溶媒を含んだ材料としての利点を生かして、接着剤・塗料・紙加工など広く産業分野において利用されてきた。演者らは、高分子微粒子にやわらかさを付与させ、ナノスケールの世界で繰り広げる新しい機能開拓に注目して研究を進めてきた。特に、水溶媒で膨潤したハイドロゲル微粒子について、新規合成法の提案から、微粒子の高次元組織化、自律的な運動の発現など、未来材料としての可能性を追求している。本講演では、柔らかい微粒子特有の機能を、演者らの最近の成果を中心に紹介した。

## 化学教室

演題：やわらかいマイクロ粒子

講師：鈴木 大介（信州大学繊維学部教授）



# 11. 工学研究所 2018 年度（平成 30 年度）年次報告

## 11.ANNUAL REPORTS OF RESEARCH INSTITUTE FOR ENGINEERING IN 2018

1. 人事
2. 予算
3. 共同研究 / プロジェクト研究
4. 講演会
5. 神大テクノフェスタ 2018 -暮らしと環境の未来-
6. 大型装置使用実績

1. Personnel affairs
2. Budget
3. The List of Interdisciplinary Joint Researches and Project Researches
4. Public Lectures
5. Kanagawa University Techno Festa 2018 "The Future of Daily Life and Environment"
6. Total Machine Time of each Large Research Facility

神奈川大学工学部研究所

RESEARCH INSTITUTE FOR ENGINEERING, KANAGAWA UNIVERSITY





## 2018年度（平成30年度）工学研究所年次報告

## 1. 人事

## 1) 運営委員

所 長	今井 崇雅	情報システム創成学科	教 授
所報編集委員会	寺島 岳史	機械工学科	准教授
所報編集委員会	松木 伸行	電気電子情報工学科	准教授
幹 事	池原 飛之	物質生命化学科	教 授
講演会企画委員会	内田 智史	情報システム創成学科	准教授
講演会企画委員会	久宗 周二	経営工学科	教 授
自己点検委員会	奥山 博康	建築学科	教 授
自己点検委員会	客野 遥	教室系（物理学教室）	准教授
研究支援委員会（所長指名）	亀山 敦	教室系（化学教室）	教 授
大型装置管理委員会（所長指名）	松本 太	物質生命化学科	教 授

## 2) 研究所客員教授

石濱 正男 (2018.4~2019.3)	孫 世国 (2018.10~2019.9)	岩田 衛 (2018.4~2019.3)
長澤 浩 (2018.4~2019.3)	大坂 武男 (2018.4~2019.3)	内藤 周弑 (2018.4~2019.3)
大越 昌幸 (2018.10~2019.9)	野尻 秀智 (2018.10~2019.9)	井上 成美 (2018.10~2019.9)
Min Sangkee (2018.10~2019.9)	金元 敏明 (2018.10~2019.9)	藪下 篤史 (2018.10~2019.9)
小林 孝嘉 (2018.10~2019.9)	穴田 哲夫 (2018.4~2019.3)	桜井 優 (2018.4~2019.3)
武尾 英哉 (2018.4~2019.3)	重村 力 (2018.4~2019.3)	川口 春馬 (2018.10~2019.9)
松井 正之 (2018.10~2019.9)	山田 哲男 (2018.10~2019.9)	岩岡 道夫 (2018.4~2019.3)
森井 尚之 (2018.4~2019.3)	高木 均 (2018.10~2019.9)	横山 真一郎 (2018.10~2019.9)
廖 紅建 (2018.10~2019.9)		

## 3) 研究所客員研究員

石川 博敏 (2018.4~2019.3)	久保 登 (2018.4~2019.3)	龍 重法 (2018.4~2019.3)
石倉 理有 (2018.4~2019.3)	堀野 定雄 (2018.4~2019.3)	徐 剛 (2018.10~2019.9)
蘆 朝輝 (2018.10~2019.9)	周 建東 (2018.10~2019.9)	徐 亞州 (2018.10~2019.9)
山口 秀一郎 (2018.10~2019.9)	郡司 貴雄 (2018.10~2019.9)	鈴木 温 (2018.4~2019.3)
植田 博臣 (2018.10~2019.9)	岩井 和史 (2018.10~2019.9)	中村 先男 (2018.10~2019.9)
大熊 武司 (2018.4~2019.3)	許 瑞邦 (2018.10~2019.9)	岡村 幸太郎 (2018.10~2019.9)
岡村 幸太郎 (2018.10~2019.9)	織作 恵子 (2018.10~2019.9)	友利 貴人 (2018.10~2019.9)
伊東 圭昌 (2018.4~2019.3)	田中 俊光 (2018.4~2019.3)	橋本 征奈 (2018.4~2019.9)
片岡 利介 (2018.4~2019.3)	小松 堯 (2018.4~2019.3)	
加藤木 秀章 (2018.10~2019.9)	劉 功義 (2018.10~2019.9)	梁 炯丰 (2018.10~2019.9)
仲田 知弘 (2018.10~2019.9)		

## 4) 研究所特別研究員

北島 創 (2018.4~2019.3)	入井 友海太 (2018.10~2019.9)	安東 信雄 (2018.10~2019.9)
渡辺 裕 (2018.10~2019.9)	望月 康正 (2017.10~2018.9)	秋山 友昭 (2017.10~2018.9)
安倍 和弥 (2018.4~2019.3)	丸山 美紀 (2018.4~2019.3)	長谷川 明 (2018.4~2019.3)
菊地 通 (2018.10~2019.9)	佐々木 敦朗 (2017.10~2018.9)	竹村 宏史 (2017.10~2018.9)
星野 健 (2018.4~2019.3)	渡邊 英昭 (2018.4~2019.3)	福井 隆史 (2018.4~2019.3)
児保 茂樹 (2018.4~2019.3)		

## 5) 研究所職員

教務技術職員 萩原 健司	教務技術職員 金子 信悟
--------------	--------------

## 2. 予算

2018年度（平成30年度）の予算・決算額を表-1に示す。

表-1

業 務 項 目		予算額（千円）	決算額（千円）
経常予算	研究所運営費	3,008	1,001
	大型共同設備運用	5,600	7,317
	工学研究所共同研究*	12,400	12,395
特別予算	テクノフェスタ	1,900	1,291
	テクノ・サークル支援事業	2,000	1,455
	工学系紹介冊子作成 （日本語・英語）	1,500	1,151
合 計		26,408	24,610

\*工学研究所共同研究内訳

共同研究代表者	予算額（千円）
高野 准教授	3,000
渡邊 助 教	1,700
太田 助 教	1,700
齋藤 助 教	6,000
計	12,400

## 3. 共同研究／プロジェクト研究

2018年度（平成30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

研究課題名	研究代表者
軽量・高性能ハイブリッドロケットエンジンの研究・開発	高野 敦／機械工学
外部磁界の二次元走査による SQUID の評価	渡邊 騎通／電気電子情報工学
ミセル化により細胞透過可能な核酸医薬の開発	太田 佳宏／物質生命化学
ペロブスカイト酸化物の欠陥構造制御とプロトン伝導	齋藤 美和／物質生命化学

## プロジェクト研究

区分	研究課題名	研究代表者
C	地元住民と協力して実施する町づくり研究所の創設と運営	曾我部 昌史／建築学
A	高周波回路の解析・設計理論の整備と対応ソフト開発	平岡 隆晴／電気電子情報工学
C	高安心・超安全交通研究所	齋藤 隆弘／電気電子情報工学
A	構造物の耐震安全性及び耐久性の評価方法に関する研究	趙 衍剛／建築学
A	新たな低炭素エネルギー社会に対応した新型電池の開発	松本 太／物質生命化学
A	三次元周波数分析を用いた振動モデル化技術の構築	山崎 徹／機械工学
A	高速高精度 DNA 増幅装置の開発	山口 栄雄／電気電子情報工学

A	グリーンイノベーションの基盤となるナノ構造制御触媒の開発研究	引地 史郎/物質生命化学
A	車両等に装備するためのポリカーボネート窓の表面改質に関する研究	新中 新二/電気電子情報工学
A	超精密加工による高品位表面の創成に関する研究	中尾 陽一/機械工学
A	潮流発電ユニット開発の最先端技術：相反回転化	中西 裕二/機械工学
A	パルスレーザー光を利用した反応開発および機構解析	岩倉 いずみ/化学
A	疎表現理論に基づく知能的視覚情報処理システムに関する研究	齊藤 隆弘/電気電子情報工学
A	ミリ波・テラヘルツ波帯におけるフォトニック結晶構造を応用した電磁波回路の解析と応用に関する研究	中山 明芳/電気電子情報工学
A	新規物質の自己組織化を基盤とした界面制御	亀山 敦/化学
A	毒性金属イオン検出・除去システムの開発研究	小野 晶/物質生命化学
C	企業ロボット開発研究所	石井 信明/経営工学
A	ポリペプチドのフォールディングと集積化により形成される高次構造と機能	亀山 敦/化学
A	加熱器・冷却器を一方にバイパスするスターリングエンジンの開発	原村 嘉彦/機械工学
A	戸建住宅における全館空調の一次エネルギー消費量に関する研究	岩本 静男/建築学
A	量子探索アルゴリズムの数学的基礎付け	吉田 稔/情報システム創成学

#### 4. 講演会

##### 「暮らしの中のサイエンス」連続講演会

テーマ：『Scratch2.0 ではじめるプログラミング入門』

場 所：神奈川大学みなとみらいエクステンションセンター

オーガナイザー：内田 智史（神奈川大学工学部准教授）

開催日程：2018年10月20日（土）～2018年10月27日（土） 10:00～16:30 全2回

講 師：神奈川大学工学部情報システム創成学科 准教授 内田 智史

神奈川大学工学部情報システム創成学科 助 教 奥野 祥二

##### ●第1回 2018年10月20日（土）

- 10:00～11:45 Scratch2.0 のインストールと動作確認
- 13:00～15:00 基本操作
- 15:15～16:30 簡単なプログラミング

##### ●第2回 2018年10月27日（土）

- 10:00～11:45 簡単なゲームプログラミングの作成演習(1)
- 13:00～15:00 簡単なゲームプログラミングの作成演習(2)
- 15:15～16:30 簡単なゲームプログラミングの作成演習(3)

#### 5. 神大テクノフェスタ2018 —暮らしと環境の未来—

場 所：神奈川大学横浜キャンパス2号館地下演習場

開催日：2018年11月16日（金）12:00～17:00

実施内容

##### 1) 講演会（2号館地下演習場）

- 工学系講演1件

「持続可能な未来のための環境化学-酸性霧の研究からの展望-」

神奈川大学工学部物質生命化学科 教 授 井川 学

- テクノサークル報告1件

学生フォーミュラプロジェクト KURAFT

##### 2) 研究ポスター発表（2号館地下演習場）

大学院生によるポスター発表・作品展示 40件

学部生によるポスター発表 38件

テクノサークルによるポスター発表・作品展示 7件 総計 85件

##### 3) 実演展示 3件（宇宙エレベーター・フォーミュラマシン・ドライブシミュレータ）

##### 4) 本学シーズ技術PR展示／（協力）研究支援部（2号館地下演習場）

##### 5) 学生—企業交流会／（協力）就職支援部（3号館305講堂）

##### 6) 技術・情報交換会（19号館地下1階「LUX」 17:00～18:30）





# 神奈川大学工学研究執筆規程

2019年6月24日

## 1. 投稿資格

投稿筆頭者は原則として神奈川大学工学部所属教職員とする。ただし原稿を編集委員会が依頼する場合はこの限りではない。また連名者については制限しない。

## 2. 記事の種類, 刷り上り頁数

### 2-1. 巻頭言, 論説, 研究紹介

**巻頭言**：原則として1頁。

**論説**：学問・技術・工学研究所の事業・動向などに関する論説, 意見。原則として4頁程度。

**新任者の研究紹介**：前年度またはその年度に着任した工学部教員の専門分野や着任前の研究成果を簡潔に紹介した内容のもの。原則として10頁以内。

**受賞研究の紹介**：前年度に受賞対象となった研究概要の紹介。原則として5頁以内。

### 2-2. 論文, 研究報告

**総合論文**：著者の一連の研究をまとめたものであり、その分野における地位を明らかにした内容のもの。原則として20頁以内。和文の場合は〔欧文内容概要(1頁以内)〕、欧文の場合は〔和文内容概要(1頁以内)〕をつけることができる。

**総説**：総合論文と略同一性格の記事であるが、解説的色彩の強いもの。原則として8頁以内。

**工学部特別予算重要機器整備費関連研究**：工学部特別予算により導入された研究設備などを用いて実施された研究で、導入年度から2年間で得られた成果を要約したもの。原則として2~5頁。

**私学助成関連研究**：国や自治体からの私学助成金により導入された研究設備などを用いて実施された研究で、導入年度から2年間で得られた成果を要約したもの。原則として2~5頁。

**工学研究所共同研究**：前年度の研究成果が報告される。原則として共同研究A・B共に4~5頁。

**工学研究所プロジェクト研究**：前年度の研究成果が報告される。原則として2頁以内。

**トピックス**：その時々の特ピックスについての展望あるいは解説。原則として8頁以内。

### 2-3. 特集

その号の特集として特別記事を設けることがある。

### 2-4. 活動報告, その他の記事

**工学研究所テクノサークル**：テクノサークルの紹介およびその現状が報告される。原則として2頁以内。

**随想**：研究・開発などの思い出, 意見, 感想, 経験談など。原則として4頁程度。

**国際交流研究**：学外(国内, 国外)における研究・講義・出張に関する経験談など。原則として4頁程度。

**工学部通信**：前年度10月からその年度の9月末までの工学部各学科の研究活動, 講演会記録, および前年度の博士論文, 修士論文, 卒業論文を体系的にまとめたもの。頁数は任意。

**工学研究所年次報告**：前年度の工学研究所活動状況をまとめたもの。頁数は任意。

## 3. 用語

用語は和文とする。ただし総合論文に限り欧文でもよい。また〔英文目次〕作成のため, 原稿には〔英文題目〕のほか〔著者氏名〕および〔職名, 所属〕の英語名をつける。

## 4. 提出期日

その年度により定める。

## 5. 原稿の書き方

原稿の書き方は, この〔規程〕ならびに〔神奈川大学工学研究 執筆要領〕による。

## 6. 原稿の責任と権利

掲載された論文など（以下記事という）の内容についての責任は著者が負うものとする。また、著者は記事が神奈川大学学術機関リポジトリにてインターネット公開されることに同意する。

神奈川大学工学研究掲載記事の著作権・編集出版権（複製権、公衆送信権）は〔神奈川大学 工学研究所〕に属する。

## 7. 採否

原稿の採否および分類は〔神奈川大学工学研究 編集委員会〕において行う。

## 8. 原稿の提出先

原稿の提出先は〔神奈川大学 工学研究所 事務室〕とする。そこで受領した日を原稿受付日とする。

## 9. その他

（1）原稿の枚数が規定限度を超過する場合は委員会の承認を要するが、状況により超過分の実費と徴することがある。

（2）図が印刷に不適當な場合は、専門家に依嘱して書直すことがある。この場合の経費は著者負担とする。



# 「神奈川大学工学研究」原稿執筆要領

工学 太郎\*      工学 花子\*\*

## Preparation of Manuscripts for “Technology Reports, Kanagawa University”

Taro KOUGAKU\*      Hanako KOUGAKU\*\*

### 1. 緒言

この「神奈川大学工学研究」執筆要領は、このファイル自体が工学研究原稿のテンプレートになっているので、著者が別にタイプしてある原稿をこの用紙内にペーストすれば、以下に記載する体裁の原稿が作成される。

テンプレートファイルは工学研究所事務局から著者宛にメールにより送付する。

原稿は、テンプレート（A4判）に従って執筆し、提出の際は原稿のデジタルデータ（ファイル）を工学研究所事務局に提出する。ファイルはMS Word（Windows または Mac）またはTeXとする。

原稿記載の順序は、標題、本文、文献、付録、である。

### 2. 本文及び原稿の体裁全般

A4判用紙を用い、本文レイアウト（1ページあたりの文字数）は、30字×50行×2段=3000字とする。ただしタイトルのみは1段組である。

MS Wordの“ページの設定”の“文字数と行数”のタブ中の設定はフォントサイズ8、段数2で文字数30、行数50とし、“余白”のタブ中の設定は上29下22左13.7右13.7としてある。

和文字はMS明朝、英文字はTimes New Romanとする。ただし、記号などにSymbolを用いることが出来る。

本文、図、表及び式は原則として左右の段にまたがらないように書く。小数点は[.]を用い、カンマ[,]を用いない。句読点は[,] [.]または[,] [.]で統一する。注釈の使用はなるべく避ける。

### 3. 見出し

諸記号の字体は次のとおりとする。

(種別)	(字体)	(例)
数学的演算記号	立体	sin, sinh
単位記号	立体	cm, kg, MΩ
ベクトル量	斜体	速度 $V$ , 力 $F$
量記号	斜体	周波数 $f$ , 長さ $l$
化学記号	立体	H <sub>2</sub> O, BaTiO <sub>2</sub>

\*教授 機械工学科  
Professor, Dept. of Mechanical Engineering  
\*\*助教 建築学科  
Assistant Professor, Dept. of Architecture

文字の大きさは表1に示すとおりとする。

### 4. 図、写真及び表の作成

図、写真及び表は全てカラー表示が可能であるが、製本印刷はモノクロで統一し、PDF版のみカラー掲載とする。このため、カラー表示を希望する場合は、モノクロ印刷時に識別できるように留意する。

図、写真及び表が単段（片側）に収まらない場合は2段（両側）にまたがって書くことができる。

図、写真及び表の横に空白ができて、その空白部には本文を記入しない。

図、写真、表と本文及び図表相互の間は1行余白をとる。

図、写真、表の見出しは本文と同一言語とする。図及び写真の見出しはその下に、表の見出しは上に書く。

図、表中の記号類は、小さすぎて判別不能にならないようにする。また、複雑な記号類は、大きめに描くようにする。

写真は本文に貼るだけでなく、写真のファイルを添付する。

### 5. 数式

数式エディタを用いて記載する。

式は単列に書くように整形する。

字体はTimes New Romanを使う。ただし、Symbolは使用できる。

数式は原則として文章の行の中に入れていない。やむを得ず挿入する場合には、1行高さを守る。

#### 例1 [分数式の例]

…これは  $(a+b)/(c+d)$  の形を取る。

#### 例2 [指数式の例]

…電流は  $i = I \exp(-t/x)$  の形となる。

文中でなく、式を別行にする場合には、次のように書いても良い。

その結果、[上例の式]は次の形を取る。

#### 例1 [分数式の例]

…その結果、これは次式の形を取る。

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

#### 例2 [指数式の例]

…その結果、電流は次式の形となる。

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

## 6. 文献記載方法

文中の文献引用は、引用箇所を文献ナンバーを上付きカッコでつける。

参考文献 (References) はナンバーに ( ) や [ ] を付して本文末に列記する。

引用文献は原則として以下のように記載し、 Vol., No., pp.等は省く (Vol. 30, No. 5, pp. 177-182 ではなく 30 (5), 177-182)。また、太字、斜体を用いない。

著者名は原則として全員記述し、あまりに多い場合は「他」や「et al.」と略してもよい。また、[,] で列挙し、欧文著者の場合、最後のつなぎに「and」を加える。

### 例1 論文の場合

(和文誌)

[1] 松原茂樹, 加藤芳秀, 江川誠二, 英文作成支援ツールとしての用例会文検索システム ESCORT, 情報管理, 51 (4), 251-259 (2008).

(欧文誌)

[2] J. E. Lee, M. L. Fusco and A. J. Hessel, Structure of the Ebola virus glycoprotein bound to an antibody from a human survivor, Nature, 454 (7201), 177-182 (2008).

### 例2 プロシーディング (Proceedings) の場合

[3] C. Büttner, S. Weinzierl, M. Yabushita and Y. Yasuda, Acoustical characteristics of preserved wooden style Kabuki theaters in Japan, Proc. Forum Acusticum 2014, R03D\_1 (Krakow, 2014. 9).

### 例3 書籍・著書の場合

[4] 坂村健, グローバルスタンダードと国家戦略 (日本の<現代>第9巻), NTT 出版 (2005).

[5] D. Frenkel and B. Smit, Understanding Molecular Simulation (2nd ed.), Academic Press (2002).

## 7. 原稿作成上のヒント

このテンプレートは Windows MS Word97-2003 文書で作成してある。著者が別に書いた原稿をコピーペーストすれば、自動的に割付が決定する。

Word からコピーペーストする際、書式情報無しテキストのみをペーストするには、対象の文字または一文をコピーした後にメニューの“ホームタブ”から“形式を選択して貼り付け…”を選択し、“テキスト”を選ぶ。

第1ページ標題部分は1段組である。この部分では、項目ごとにコピーペーストが必要である。

本文は著者原稿から図、表、脚注を除いてコピーし、テンプレートにペーストする。その後で、図等のスペースを作ってテキストボックスを挿入し、その中に図などをペースト、あるいはファイルからの挿入をする。

第1ページの脚注 (著者所属など) には、直接入力しても、コピーした内容をペーストしても良い。

このテンプレートについて不明な点がある場合は、工学研究所事務局に問い合わせる。

## 8. 結言

校正は著者に依頼するので、校正刷りが到着後、速やかに校正を

済ませて、工学研究所事務局まで返送する。校正は内容が著者提出のハードコピーと一致することを確かめるものであって、軽微な修正点を除き、変更を加えることはできない。

著者の責任による修正が生じた場合には、その修正に必要な実費を徴収する。

表1 文字及びサイズ

題目	MS明朝	14 ポ
著者名	MS明朝	10 ポ
欧文題目	Times New Roman	12 ポ
欧文著者名	Times New Roman	9 ポ
本文	MS明朝	8 ポ
本文の各節・小項目	MSゴシック	8 ポ
図・表の見出し	MSゴシック	8 ポ
参考文献・脚注	MS明朝 Times New Roman	8 ポ

## 付録

[参 考] 神奈川大学工学研究の配布  
刷り上がった神奈川大学工学研究は以下の各者に1部宛贈呈する。

- (1) 本学理事および工学部所属教職員。
- (2) 理，工学部を有する国内の大学またはそれに準ずる学校。
- (3) 官公庁の研究機関。
- (4) 主要の学協会。
- (5) 民間の主要研究機関。
- (6) その他，編集委員会が認めたもの。

[資 料] 英文用語一覧

Technology Reports, Kanagawa University	神奈川大学工学研究
Faculty of Engineering	工学部
Research Institute for Engineering	工学研究所
Department (Dept.) of	学 科
Mechanical Engineering	機械工学
Electrical and Electronic Information Engineering	電気電子情報工学
Material and Life Chemistry	物質生命化学
Information Systems Creation	情報システム創成学

Industrial Engineering and Management	経営工学
Architecture	建築学
Mathematics	数 学
Physics	物理学
Chemistry	化 学
Biology	生物学
Professor	教 授
Professor Emeritus	名誉教授
Associate Professor	准教授
Assistant Professor	助 教
Research Associate	助 手
Technical Assistant	技術員
Graduate (M.C.)	大学院（博士前期課程）
Graduate (D.C.)	大学院（博士後期課程）
Research Student	研究生
Dean	学部長
Chairman of Dept. of ...	学科主任
Abstract	概 要

注：工学部，准教授，助手，技術員，研究生などについては種々の呼称があるが，上記のように統一する。

## 編集後記

神奈川大学工学研究第3号の刊行にあたり、ご多忙のなか原稿をご執筆下さいました先生方、編集に携わられた皆様方に心より御礼申し上げます。2019年度には工学研究科が改組して工学専攻が新設されました。2021年度にはみなとみらいキャンパスが新設されます。今はまさに変化の時といえるでしょう。「神奈川大学工学研究」が新たな研究協働や実用化の一助となり、工学部のさらなる発展に繋がることを願ってやみません。

(機械工学科 寺島 岳史)

### 神奈川大学工学研究 第3号

#### 神奈川大学工学研究 編集委員会

委員長	寺島 岳史 (准教授, 機械工学科)	／工学研究所所報編集委員会 兼 工学部広報委員会
副委員長	小野 晶 (教授, 物質生命化学科)	／工学部広報委員会
委員	石田 敏明 (教授, 建築学科)	／工学部広報委員会
五十音順	中山 明芳 (教授, 電気電子情報工学科)	／工学研究所所報編集委員会

### TECHNOLOGY REPORTS, KANAGAWA UNIVERSITY (No. 3)

#### Editorial Board

Chief Editor	Takeshi TERAJIMA	(Associate Prof., Dept. of Mechanical Engineering)
Vice Chief	Akira ONO	(Prof., Dept. of Material and Life Chemistry)
Editors	Toshiaki ISHIDA	(Prof., Dept. of Architecture)
	Akiyoshi NAKAYAMA	(Prof., Dept. of Electrical, Electronics and Information Engineering)

---

神奈川大学工学研究 第3号

2020年2月25日 印刷

2020年2月28日 発行

編集兼発行者 神奈川大学工学研究所  
221-8686 横浜市神奈川区六角橋3丁目27番1号

印刷所 共立速記印刷株式会社

---

RESEARCH INSTITUTE FOR ENGINEERING, KANAGAWA UNIVERSITY

3-27-1, Rokkakubashi, Kanagawa-ku, Yokohama 221-8686, Japan

**KU**