

# 龍谷理工ジャーナル

Ryukoku Journal of Science & Technology

## 目 次

### 特集 学生の研究活動報告－国内学会大会・国際会議参加記 41

MWE2024 に参加して	古川 大夢	1
	関 郁人	
	岩本 大和	
	山木 健弘	
	中尾 晃大	
MWE 2024 に参加して	林 晃大	3
第 22 回無線電力伝送コンテストにおける		
ポスター発表に参加して	磨谷 大地	5
WPT 研ポスター発表に参加して	谷本 那有	8
WPT 研ポスター発表に参加して	村川 和也	10
第 85 回応用物理学会秋季学術講演会に参加して	池田 隼人	12
第 73 回高分子討論会に参加して	川本 智己	14
第 73 回高分子討論会に参加して	宮内 嶺	16
第 73 回高分子討論会に参加して	新井 涼太	18
高分子討論会に参加して	恒川 愛乃	20
高分子討論会に参加して	藤原 大暉	22
高分子討論会に参加して	矢下 廉	24
第 73 回 複合現実感研究会での研究発表	田中 聖也	26
第 73 回複合現実感研究会での研究発表報告	羽賀 大輝	28
日本認知科学会に参加して	別荘 貴信	30
第 10 回 International Symposium on Surface Science		
「Surface modification of amorphous carbon thin films with 4-aminobenzoic acid by electrochemical oxidation」	長島 捷悟	32

国際会議 GCCE2024 での研究発表	周 桐	34
GCCE2024 のポスターセッションにおける研究発表	安 田 尚 平	36
GCCE2024 での研究発表報告	中 嶋 洋 介	38
日本機械学会機械材料・材料加工技術講演会に参加して	吉 田 陸	40
Preparation of tin oxide thin films by liquid phase deposition method and their application to the electron transport layer of perovskite solar cells	黒 川 聖 也	42
第9回フォトニクスワークショップに参加して	光 本 涼	44
全偏波保持型モード同期 Er ファイバーレーザーを光源とする 導波路型 PPLN 結晶による広帯域中赤外コム発生	宇 田 圭 佑	46
Neuromorphic System Operation Using Multiple Devices with Integrated Memristor and Capacitor	上 尾 高 範	48
Diode Characteristics of Bilayer Ga-Sn-O Devices Fabricated by Mist CVD Method	高 橋 遼 平	50
Dependence of the characteristics of Ga-Sn-O oxide semiconductor transistors on film thickness	出 口 蓮	52
Optimization of ReRAM using Mist-CVD GTO films : Importance of substrate thickness, aging, and preparation procedure for improving switching ratio	中 川 聖 也	54
電子スピン共鳴分光法を用いた Ga-Sn-O の格子欠陥評価	… 根 本 萌	56
「第3回ソフトクリスタル研究会」に参加して	矢 木 墾	58
自然換気下の講義室の快適性評価と条件別改善効果	中 村 元 哉	60
第7回環境DNA学会つくば大会でのポスター発表	石 田 結 子	62
人文科学とコンピュータシンポジウムに参加して	中 池 天 音	64
術後の椎体圧迫骨折とスクリュー緩みの抑制に効果的な 脊柱変形矯正術の探索 —骨微小破壊解析による評価—	安 喜 友 哉	66
予測 AI・筋骨格シミュレーションを活用した 変形性股関節症大腿骨の個体別有限要素解析 (第35回バイオフロンティア講演会)	大 林 希	68
令和6年度宇宙航行の力学シンポジウムへの参加報告	辻 拓 斗	70

「2024 年度 武蔵野大学龍谷大学連携シンポジウム」				
に参加して	渋 谷 朋 晉	72		
2024 年度武蔵野大学龍谷大学連携シンポジウム	赤 堀 希	74		
「2024 年度 武蔵野大学龍谷大学連携シンポジウム」				
に参加して	植 田 彩 加	76		
多チャンネル音声強調のための Conv-TasNet の改良と				
そのマイク配置についての検討	森 川 泰 輔	78		
2025 年年会 公益社団法人日本セラミックス協会	小 柳 優 斗	80		
電子情報通信学会 SIS 研究会に参加して	村 山 慶 多	82		
第 52 回知能システムシンポジウムに参加して	田 邊 稜 太	84		
映像表現・芸術科学フォーラム 2025 に参加して	中 内 悠 太	86		
深層学習と LSTM を用いたバグの分類、限局、				
修正に関する研究	北 川 翔 麻	88		
第 72 回応用物理学会春季学術講演会に参加して	田 中 瑞 貴	90		
第 72 回応用物理学会春季学術講演会に参加して	西 塚 直 之	92		
末端カルボキシ基単分子膜上へのアミン類の積層反応	藤 友 雄 也	94		
第 72 回応用物理学会春季学術講演会に参加して	中 村 空 海	96		
「2025 年 第 72 回応用物理学会春季学術講演会」				
に参加して	北 坂 拓 己	98		
第 72 回応用物理学会春期学術講演会に参加して	松 葉 瞭	100		
混合量子ドットの発光特性評価	末 次 大 輝	102		
2025 年 第 72 回応用物理学会春季学術講演会に参加して	・ 関 矢 大 雅	105		
2 層線状パターニング供給基板を用いた MoS <sub>2</sub> の CVD 合成	河 南 昌 吾	107		
日本音響学会 2025 年春季研究発表会に参加して	大 橋 順士郎	110		
日本音響学会 第 153 回研究発表会での発表を終えて	北 山 日 向	112		
アコースティックギターのサウンドホール特性再現に基づく				
エレキギター音変換	古 田 俊 樹	114		
第 59 回日本水環境学会年会に参加して	田 中 駿 斗	116		
電気化学会第 92 回大会 公益社団法人電気化学会	武 田 知 也	118		

窒化ケイ素製容器とボールを用いて高エネルギーボール により作製した SD-SiC/C を負極材とした リチウムイオンハーフの充放電挙動	中 西 健 人	120
2025 年電子情報通信学会 総合大会に参加して	東 畑 淳 登	122
電子情報通信学会 総合大会 ジュニア&学生ポスターセッション に参加して	竹 内 槟 作	124
2025 年電子情報通信学会総合大会に参加して	竹 山 諒	126
TJMW2024 優秀発表賞特別セッションに参加して	山 木 健 弘	128
(Bi, La) <sub>4</sub> Ti <sub>3</sub> O <sub>12</sub> 膜の誘電率の周波数依存性と FeTFT の特性評価	川 崎 優 貴	130
Investigation of a Composite Model in the Operation of a Three-Layer GTO Memristor	堀 内 厚 志	132

## 彙 報

- 2024 年度 先端理工学部・理工学部・理工学研究科 就職先一覧
- 2024 年度 先端理工学部・理工学部・理工学研究科 業種別就職状況
- 2024 年度 学会発表等一覧
- 2024 年度 龍谷大学理工学会 会計報告

## MWE2024 に参加して

古川 大夢・関 郁人  
Hiromu FURUKAWA Ayato SEKI  
電子情報通信課程 3年 電子情報通信課程 3年

岩本 大和・山木 健弘  
Yamato IWAMOTO Takehiro YAMAKI  
電子情報通信課程 3年 電子情報通信課程 4年

中尾 晃大  
Koudai NAKAO  
電子情報通信課程 4年

### 1. はじめに

2024年11月27日から29日まで神奈川県横浜市パシフィコ横浜にて開催されたMicrowave Workshops & Exhibition (MWE2024) に龍谷大学先端理工学部吉田研究室として参加した。私たち吉田研究室は、「電波を活用するワイヤレス給電とデータ通信の高度な両立て充電を気にすることのない世界を実現しよう」というテーマのもと吉田研究室では高周波を直流電流に変換するレクテナの整流器の部分に注目し、今回の発表は広帯域整流器を設計・試作・評価の結果を発表した。

### 2. 参加目的

大学展示の説明を行うことで現在行っている研究に対する理解を深め、今後の研究に生かすことを目的とした。また、最新のマイクロ波関連の技術を企業のブースや他大学の展示から学び、現代社会で用いられている技術を学ぶことも行った。

### 3. 展示会内容

#### 3.1 概要

マイクロウェーブ展では約100社のマイクロ波関連企業から最新製品の出展や各大学、大学院、高等専門学校における研究内容や成果を紹介する「大学展示」が開催された。

#### 3.2 大学展示について

MWEはマイクロ波技術の発展や新しい産業の創出を目的として開催され、その一環として大学展示があった。大学展示では計32校参加しており、マイクロ波の研究だけでなくミリ波帯やテラヘルツ波帯の研究も数多く存在した。ポスター展示の際は、今回試作した整流器の展示もかねて、デモ実験という形で、実際に出ている電波をパッチアンテナで受け取り、受け取った電波を今回試作した整流器で、整流し、その電力でLEDを点灯させている様子を展示した。図1は実際にデモ実験を行っている様子である。

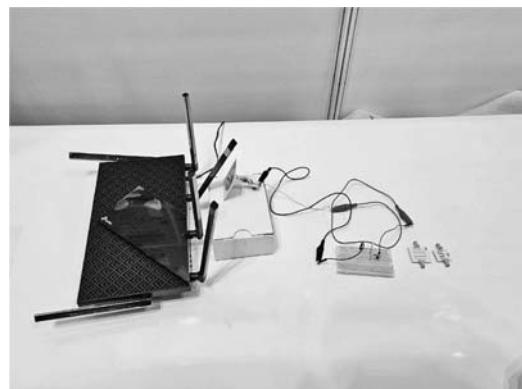


図1 実際にデモ実験を行っているときの様子

ポスターは2枚展示し、一枚は今後の研究の概要や展望について詳しく述べ、もう一枚は学会で発表された広帯域整流器の設計、試作、評価した結果と3回生が基礎専門研修で作成したアンテナとフィルタについての発表を行った。図2は展示しているときの様子である。



図 2 実際に展示したポスター

当日は企業や大学の関係者が多く、より高度な説明と質疑応答が求められた。そして説明する際は、通信関連の専門外の人や、文系出身の方も多く参加していたため、誰が聞いても分かりやすく、納得できる説明を心掛けて発表した。そして質疑応答を通じて、私たちが逆に学ばせていただくことも多くあった。また、多くの研究室の展示を見て回ったり逆にみられたりすることで、多くの学生と交流や、お互いの研究分野について議論することができ、非常に有意義な場であった。

### 3.3 大学展示プレゼンテーション

大学展示プレゼンテーションでは、各大学の交流の促進や他大学の研究内容を大まかに把握するため開催されたものである。図3は実際に発表しているときの様子である。



図 3 大学展示プレゼンテーションの様子

各大学持ち時間が一分あり、その中で自分たちの研究内容を発表するという制限のもと、自分たちの研究分野について伝えたいことを簡潔にまとめ、より興味を持ってもらうために資料作りや発表の構成に工夫を施し、マイクロ波関連の専門家や一般の方にも興味を持ってもらえるようなプレゼン作りを行った。

### 4. おわりに

今回 MWE2024 という大きな舞台で初めてのポスター発表を行った。マイクロ波という分野の専門家が多く集まる場所での発表はかけがえのない経験を得ることができたが、同時に自分たちの知識不足を痛感する場になった。結果として見識の浅さが露見してしまったがそれを恥じるのではなく、今後の研究のバネとして活用していきたいと思う。

また、発表の合間に企業様や他大学様の出展を拝見させていただき、プローブの実機体験や最新の技術が搭載されたデバイスなどを実際に見て、触ることで研究に対するモチベーションとなるような良い刺激を受けることができた。

## MWE 2024 に参加して

林 晃 大  
Kodai HAYASHI  
電子情報通信課程 3年

### 1. はじめに

2024年11月27日から29日までパシフィコ横浜で開催されたMicrowave Workshops & Exhibition 2024 (MWE2024)において龍谷大学先端理工学部石崎研究室として参加し、大学展示を行った。

### 2. 参加目的

主な参加目的は、研究室展示の説明員をすることである。また、期間中、マイクロ波技術に関する様々なワークショップや企業展示が開催されているため、それに参加して幅広い知識を吸収する共に、その応用を実際に目で見て、今後研究を進めるにあたり参考となる情報収集を行うことである。

### 3. 展示会内容

#### 3.1 概要

会場では、「マイクロウェーブワークショップ」と「マイクロウェーブ展」の2つのプログラムが同時に実施されている。

「マイクロウェーブワークショップ」では、マイクロ波工学の分野で活躍する一流研究者による先端技術の発表が行われるとともに、若手技術者や初学者を主な対象とした基礎講座も開催された。

一方、「マイクロウェーブ展」では、世界各国のマイクロ波関連企業が最新製品を出展し、出展企業による新製品や研究・開発成果に関する最新情報の発表を行う「出展企業セミナー」が行われたほか、大学や高等専門学校が研究活動やその成果を紹介する「大学展示」も実施された。

#### 3.2 大学展示について

大学展示では、マイクロ波の研究を行っている国内の大学がそれぞれ研究成果をポスターに掲載し展

示を行った。私たちの所属する石崎研究室からは、電磁界結合型フィルタ、チューナブルフィルター、アクティブ・マイクロ波電力合成システム、アクティブインピーダンス整合回路、ミリ波デバイス・回路技術、無線電力伝送の分野についてこれまでの研究成果をポスターで展示した。また、ポスターに加え、見て頂く方により伝わりやすくするため、実際に製作した機器も会場に持参し、展示を行った。図1は大学展示の様子、図2は展示したポスターである。

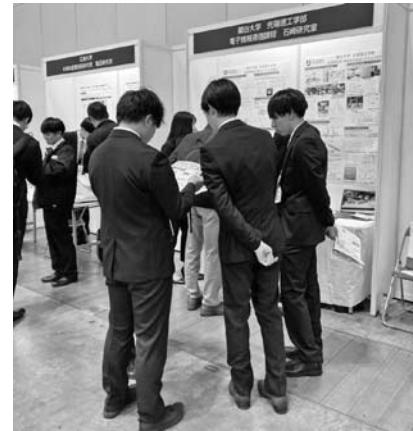
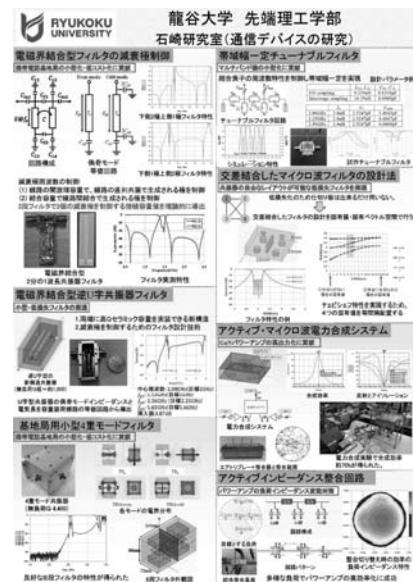


図1 大学展示の様子



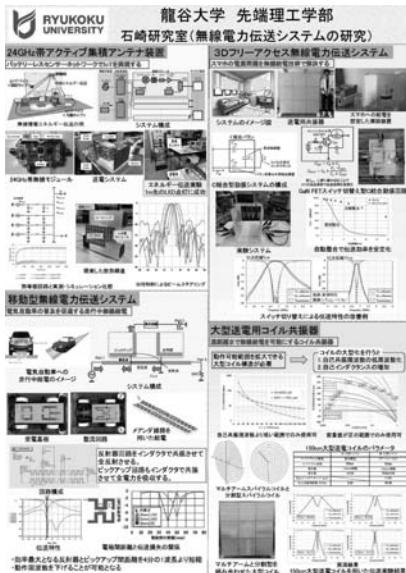


図2 展示したポスター

展示会は企業関係者だけでなく一般の方も参加可能であったため、多くの方にポスターを見て頂けた。大学展示ブースに訪れた方々から質問が寄せられた際には、私たち説明員が対応した。質問者の中には、マイクロ波を専門とする方々も多く、質疑応答を通じて逆に私たちが新たな知識を得る場面もあった。

また、他大学の展示員とも多く交流する機会があり、研究室内だけでなく、同世代の方々との意見交換を行うことができた。コロナ禍の間は学会がオンライン形式で行われることが主流となる中で、久しぶりに直接対面で意見交換ができたことは非常に貴重な経験であった。また、他大学のポスター展示を見学することで、自分の研究と共通点のある研究が多く見られ、自身の研究の参考となることも多かった。この経験を通じて、今後の研究活動に役立つ情報や知見を得ることができ、参加の意義を強く感じた。

### 3.3 ワークショップについて

ワークショップでは、マイクロ波に関する講演が行われた。図3はその様子を示す。私が聴講した「マイクロ波伝送線路接続の基本と実際」では、3

名の講演者が以下の3つの題目について解説を行った。

1. 「マイクロ波ミリ波デバイス、電力増幅器、無線装置の基礎」
  2. 「基礎と事例から学ぶマイクロ波フィルタの設計」
  3. 「初めの一歩！Sパラメータとスミスチャート」
- これらは無線通信やマイクロ波技術を扱う上で基礎となる極めて重要な知識であり、今回の聴講を通じて基礎を改めて見直す良い機会となった。このことから、参加した意義を十分に感じることができた。



図3 ワークショップの様子

### 4. おわりに

説明員として参加した学部生にとって、今回は初めての経験であり、緊張感のある中でのポスター展示となった。日頃取り組んでいる研究内容を説明する場であったが、自身の知識の不足や、口頭で相手に意見を効果的に伝えることの難しさを痛感した。しかし、MWE2024に参加したこと、自分たちに足りない点や今後の研究に活かせる新たな発見が多くあり、非常に有意義な経験となった。さらに、他大学のポスター展示を見学することで、自分と類似する研究との比較を行い、研究に活かせる要素を見つけることができた。また、全く異なる研究内容にも触れる機会があり、多くの技術を初めて知ることが出来た。

## 第 22 回無線電力伝送コンテスト におけるポスター発表に参加して

磨 谷 大 地

Daichi TOGIYA

電子情報通信コース修士課程 1 年

### 1. はじめに

2024 年 12 月 12 日に金沢工業大学扇が丘キャンパスで開催された電子情報通信学会無線電力伝送研究専門委員会が主催する無線電力伝送研究会にて、第 22 回無線電力伝送コンテストに参加した。

### 2. ポスターセッションの概要

本コンテストでは、新しい WPT 技術や、新たな WPT の使い方（アプリケーション）について、アイデアの斬新さ、独創性、社会インパクトなどを競うポスター発表型のアイデアコンテストとして実施された。今の世界にとらわれない、新しい WPT 技術や、新たな WPT の使い方を発想し、未来の世界を作るアイデアを提案することが求められている。そこで、普段の自身の研究内容を新しい WPT 技術として発表を行った。

### 3. 発表内容

#### 3.1 研究背景

共振器結合型無線電力伝送では、コイル共振器間の結合係数  $k$  と無負荷  $Q$  値によって伝送効率が決まり、コイルの直径を大きくすることにより遠距離における結合係数の向上が可能であり、伝送効率の向上を期待できる。しかしこイルの大型化は自己共振周波数低下による動作周波数や回路定数に制約が存在するといった課題が存在した。

本研究では、動作周波数や回路定数の制約が改善可能な新たなコイル構造を提案し、その構造を適用した大型コイルを開発する。最後に、大型コイルを用いた伝送実験を行い、大型コイルを用いた無線電力伝送システムの有用性を検証する。

#### 3.2 大型コイルの課題

大型コイルを使用する際の課題について説明する。一般的にコイルの大型化を行うと、自己共振周波数の低下と自己インダクタンスの増加が生じる図 1 にコイルの直径に対するコイルの自己共振周波数の変化を示す。コイルは自己共振周波数以下の周波数でのみ動作が可能であるため、コイルの大型化により動作周波数の制約が生じる。

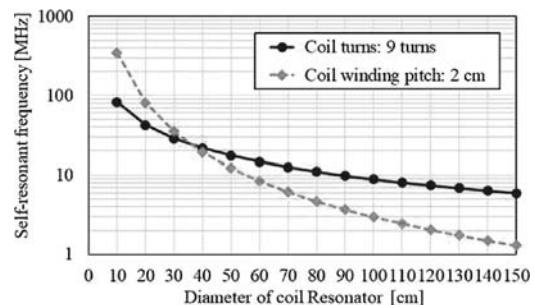


図 1 コイルの直径と自己共振周波数の関係

また図 2 の左に示す回路は C 結合励振回路と呼ばれ、外部結合調整容量  $C_{ke}$  と周波数調整容量  $C_t$  で構成され、外部結合と周波数を独立に調整可能である。

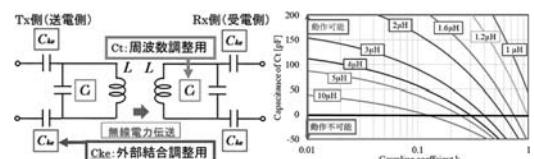


図 2 C 結合励振回路と容量  $C_t$  の変化

この回路には回路定数に制約が存在し、図 2 の右のグラフに示すように、ある一定以上の外部結合を得ようとすると、 $C_t$  が負の値となり、実現不可となる。またこの動作限界値は、コイルの自己インダクタンスに依存しているため、コイルの大型化により C 結合励振回路の動作範囲を縮小してしまう。したがって、自己共振周波数の高周波数化、自己インダクタンスの低下が可能なコイル構造の検討が必要となる。

### 3.3 分割型コイル構造

高い自己共振周波数と低い自己インダクタンスを有する大型コイルの実現のため、図3に示す2種類の分割型コイルを提案する。

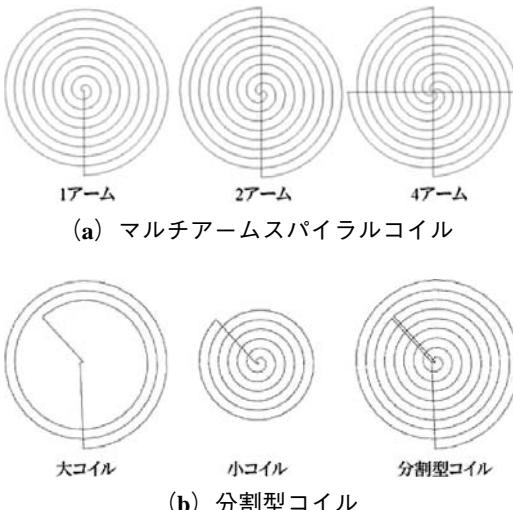


図3 提案するコイル構造

(a) のマルチアームスパイラルコイルは1つのスパイラルコイルを複数のアームコイルに分割し、並列接続することで構成される。また(b)の分割型コイルは1つのスパイラルコイルを線路の中心で大コイルと小コイルで分割し、並列接続することで構成されている。図4に提案したコイル構造の特性を示す。

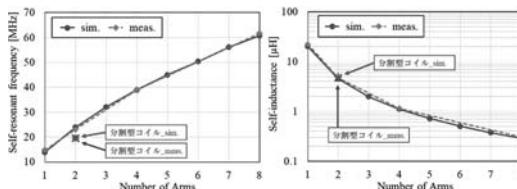


図4 提案するコイル構造の特性

図4より提案したコイル構造は自己共振周波数の高周波数化と自己インダクタンスの大幅な低下が可能であることがわかり、大型コイルに適した構造であるといえる。

### 3.4 提案構造を用いた大型コイルの開発

提案した2種類の構造を適用した直径150cmの大型コイルを作製した。図5に作製したコイルを示す。

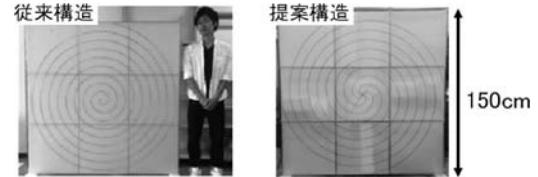


図5 作製した大型コイル

また作製したコイルの特性を表1に示す。

表1 従来構造と提案構造の比較

	従来構造	提案構造
コイル構造	基本スパイラル	4アーム&分割型スパイラル
直径	150cm	150cm
巻き数	9回巻	等価9回巻
自己共振周波数 [MHz]	5.02	20.38
自己インダクタンス [μH]		1.131 @6.78MHz

表1より従来構造の自己共振周波数5.02MHzに対し、提案構造では20.38MHzまで高周波数化することができた。また自己インダクタンスにおいても1.131μHと低インダクタンス値を実現した。

最後に提案した大型コイルを用いた結合係数の測定と伝送実験を行った。まその結果を図6に示す。

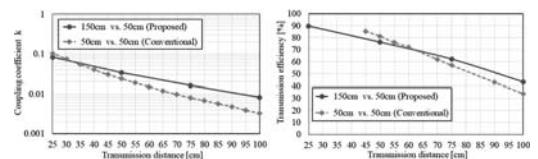


図6 結合係数の測定および伝送実験の結果

提案したコイル構造を用いたことで広範囲な電力伝送が実現できた。また送電側に大型コイルを用いることで遠距離において結合係数および伝送効率の向上が確認された。

### 4. おわりに

無線電力伝送研究会が開催するコンテストにおいて、新しいWPT技術として、自身が行っている研究内容についてポスター発表を行った。ポスターセ

ッションには、他大学の学生や、その担当教授、社会人の方々が多数参加されており、発表内容に対して多くの意見や質問、コメントをいただいた。研究内容が社会に与えるインパクトやシステムの実現性など、無線電力伝送の社会実装にフォーカスした内容を中心に議論を行い、システムの特性向上だけでなく、システムを実現するためには何が必要なのか

を考える大変有意義な議論を行うことができた。

また、他大学、企業のポスター発表を聴講することができ、中にはデモ機や製品を持参しているチームも存在した。自身の研究と類似する点や異なる点、違った発想を有する内容のものが多くあり、WPT 技術の知見を深める大変貴重な機会となった。

## WPT 研ポスター発表に参加して

谷 本 那 有  
Nayu TANIMOTO  
電子情報通信課程 4 年

### 1. はじめに

2024 年 12 月 12 日に金沢工業大学扇が丘キャンパスで開催された電子情報通信学会無線電力伝送研究専門委員会が主催する無線電力伝送研究会にて、第 22 回無線電力伝送コンテストに参加した。

### 2. ポスターセッションの概要

このコンテストは、新しい WPT 技術や、新たな WPT の使い方（アプリケーション）について、アイデアの斬新さ、独創性、社会インパクトなどを競うポスター発表型のアイデアコンテストとして実施された。今の世界にとらわれない、新しい WPT 技術や、新たな WPT の使い方を発想し、未来の世界を作るアイデアを提案することが求められている。また、対象は、結合型、空間放射型などいずれの給電方式でも受け付けられる。

### 3. 発表内容

新しい WPT 技術や、新たな WPT の活用方法について発想を広げることを目的として、ポスターセッションで発表を行った。自分が日頃から取り組んでいる研究内容が、まさに新しい WPT 技術やその応用方法の発展に関連しているため、今回のポスターセッションでは自分の研究成果をまとめ、発表することに決めた。具体的には、WPT 技術の最新の進展や、今後の実用化に向けた新たな可能性を探る内容を中心に、研究の背景、目的、手法、実験結果、考察、そして今後の展望について整理し、一つのポスターにまとめた。発表に際しては、聴講者が理解しやすいように工夫を凝らし、図表やグラフを活用しながら説明を行った。また、質疑応答の時間では、参加者からの貴重な意見や質問を受け、今後

の研究の方向性について新たな示唆を得ることができた。発表のために作成したポスターを図 1 に示す。

ポスターは、共振器結合型 WPT システムの FET スイッチ容量切り替えを用いた励振法検討というテーマであり、C 結合励振回路の結合調整容量  $C_{ke}$  と周波数調整容量  $C_t$  を送受電コイルの位置関係によって決まる適切な値にする、また、位置関係が変わってもそれに適応して値を変化させるための N ビット FET スイッチ式容量可変回路を使用し、6 ビット並列型 FET スイッチ式容量可変回路では 64 通りの周波数調整が可能になり、4 ビット直列型 FET スイッチ式容量可変回路では 16 通りの結合調整が可能になる。Arduino を使って回路制御を行うことで、伝送効率の向上につなげることができる。

発表後、多くの参加者から質問や意見を頂いた。特に伝送距離や、使用した素子について質問され、今後の研究で FET やコンデンサなどの素子を変更

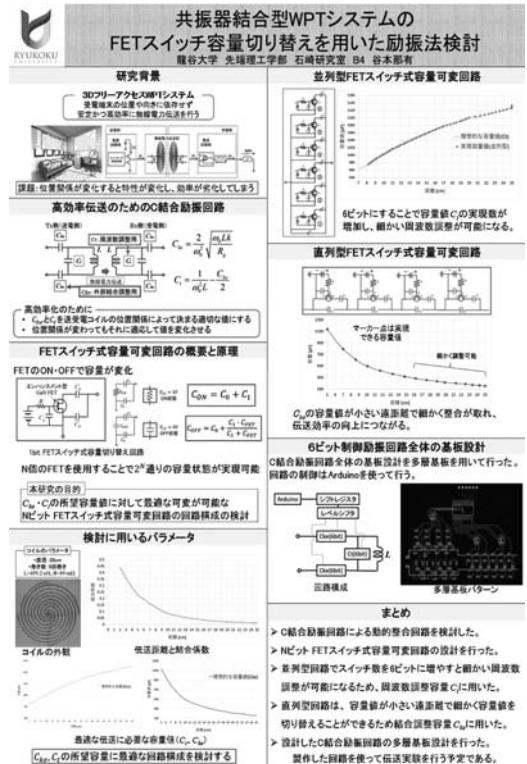


図 1 発表のために作成したポスター

した際のさらなる改善点や、使用するコイルの差異での改善点など他にも様々な改善点を指摘して頂いた。



図2 ポスター発表の会場の様子

また、今後この技術をどのように社会実装していくべきかといった実用化のプロセスについて多くの意見交換がなされ、自分の研究の今後の方向性をより明確にする貴重な機会となった。特に、異なる

分野の専門家や実務経験者からの視点は、新たな視野を広げるのに非常に有益であり、自分の研究を今まで以上に深く掘り下げるきっかけとなった。このような意見交換を通じて、研究の実用化に向けた課題や可能性をより明確に捉えることができ、今後の研究活動に対するモチベーションも高まった。図2に、ポスター発表の会場の様子を示す。

#### 4. おわりに

今回のポスターセッションは聴講者の数が多く、とても緊張感した。その分、多くの人を前にして発表する学会発表などの場面を想定した良い練習になったと感じる。普段から関わっている研究内容ではあるものの、自身の知識の不足を痛感するとともに、口頭で相手に意見を分かりやすく伝えることの難しさを改めて実感した。しかし、今回のポスターセッションを通じて、自分たちに不足している点や、今後の研究に活用できる新たな発見があり、大変有意義な経験となった。また、他の大学や企業のポスター展示を見る機会もあり、自分の研究と類似する研究との比較を行い、取り入れるべき点を見出すことができた。さらに、全く異なる研究分野にも触れることができ、多くの刺激を受けた。今後もこのような機会があれば積極的に参加し、知識や技術をさらに向上させていきたいと考える。

## WPT 研ポスター発表に参加して

村川和也  
Kazuya MURAKAWA  
電子情報通信課程 4年

### 1. はじめに

2024年12月12日に金沢工業大学扇が丘キャンパスで開催された電子情報通信学会無線電力伝送研究専門委員会が主催する無線電力伝送研究会にて、第22回無線電力伝送コンテストに参加した。

### 2. ポスターセッションの概要

このコンテストは、新しいWPT技術や、新たなWPTの使い方（アプリケーション）について、アイデアの斬新さ、独創性、社会インパクトなどを競うポスター発表型のアイデアコンテストとして実施された。今の世界にとらわれない、新しいWPT技術や、新たなWPTの使い方を発想し、未来の世界を作るアイデアを提案することが求められている。また、対象は、結合型、空間放射型などいずれの給電方式でも受け付けられる。

### 3. 発表内容

主に、新しいWPT技術や、新たなWPTの使い方の発想をポスターセッションで発表した。自分が普段から研究を行っている内容が新しいWPT技術や、新たなWPTの使い方の発想に該当するため、自分の研究をポスターにまとめて発表することにした。発表のためにそれぞれ作成したポスターを図1に示す。

ポスターは、中継器を用いた3DフリーアクセスWPTシステムの特性改善というテーマで、3Dフリーアクセス無線電力伝送システムとは、部屋などの受電空間内において、どこでも意識をすることなく無線で受電体への充電を行うことが可能なWPTシステムである。電力伝送方式として共振器を電磁界結合させることで伝送を行う共振器結合型無線電

力伝送を用いる。本システムの課題として送電可能エリアの拡大がある。共振器結合型無線電力伝送の伝送効率は結合係数  $k$  と無負荷  $Q$  で決まり、効率の向上には両方の特性向上が必要である。コイル共振器を用いた磁界結合型無線電力伝送において、結合係数  $k$  は主にコイルの直径に依存し、コイルの直径を大きくすることで遠距離における結合係数を向上させることができる。これまで、伝送効率を向上させるために共振器間の結合係数の改善や共振器の高  $Q$  化の検討が行われてきた。しかし、伝送距離が伸びた際の結合係数の改善や共振器の高  $Q$  化には限界がある。そこで、中継コイルを用いることで伝送効率を保ちつつ伝送距離を伸ばすことを検討する。WPTの設計理論はBPF設計理論と同じであり、中継コイルを用いたWPTは3段BPFと考えることが出来る。BPFの設計では、多くの場合、回路構造は中心に対して対称な回路を取り扱う。しかし、本システムでは受電コイルは送電コイ

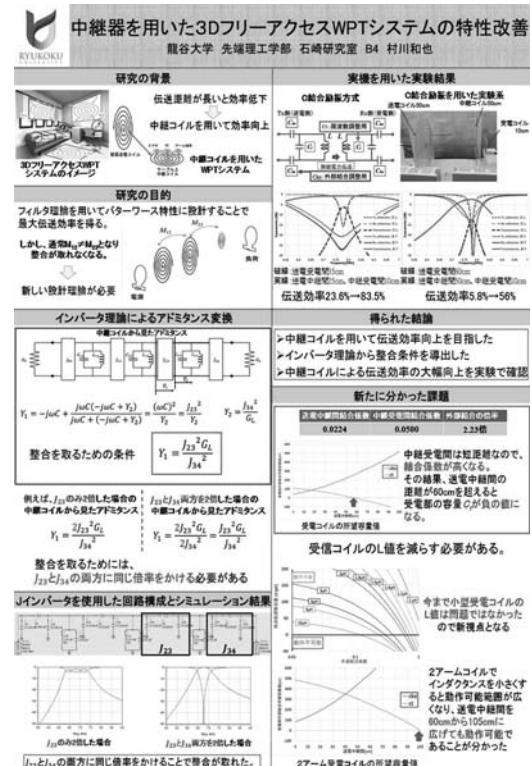


図1 発表のために作成したポスター

ルに対して小さいので構造は非対称であり、送電コイル・中継コイル間の結合係数  $k_{12}$  と中継コイル・受電コイル間の結合係数  $k_{23}$  は通常異なる。したがって、そのような条件下でも伝送効率を低下させず、バターワース特性が得られるように、受電側の結合係数を調整できるようにする必要がある。その条件をフィルタ設計理論から探っていく。

J インバータで表した 3 共振器 WTP の等価回路より整合を取るために  $J_{23}$  の変化に応じて、 $J_{34}$  の値に同じ倍率をかけることで元の設計値と同じフィルタ特性が得られることが分かる。すなわち、送電コイルと中継コイル間の結合係数に対して、中継コイルと受電コイル間の結合が  $p$  倍になった場合、受電コイルと負荷の結合係数も同じく  $p$  倍にすることで所望のバターワース特性が得られる。 $J_{23}$  と  $J_{34}$  が  $k_{23}$  と  $k_{el}$  あたるため整合を取るために  $k_{23}$  と  $k_{el}$  両方に同じ倍率をかける必要があるということが分かった。

実機による検証では、中継コイルと受電コイル間距離を 10cm に固定し、間に中継コイルが有る場合とない場合の伝送効率を比較した。伝送距離 35cm の場合では中継コイル無しで伝送効率 23.6%，中継コイル有りで伝送効率 83.5%，また伝送距離 60cm の場合では中継コイル無しで伝送効率 5.8%，中継コイル有りで伝送効率 56.0% となり、それぞれ伝送効率が大幅に上昇し、中継コイル有効性を確認す

ることことができた。

また、今回の結果から今まで小型受電コイルの L 値は問題ではなかったが、小型受電コイルの L 値を減らす必要があるという新たな課題も発見することができた。

#### 4. おわりに

今回のポスターセッションでは多くの参加者に自分自身の発表を見ていただいた。自分は今までに複数回ポスターでの発表や、スライドを使用した際の発表を行ってきた。今までではマイクロ波や無線通信など様々な分野の方が多く、WPT の基礎の部分や専門外の方が理解できなかった部分を質問して頂いていたので質疑応答が難しいと感じることがあまりなかった。だが今回のポスターセッションでは WPT を専門とした方が多く、それに伴い WPT の深いところを質問や意見してくださる方が多かつた。その結果、今までで一番苦労した質疑応答となった。だが、実使用した際の課題点や、これからの研究の課題など次の課題を多く発見することができ、とても有効的な時間となった。ここでの経験はこれから発表の場での大きな自信となるので学会発表などにつなげていきたい。今後、このような機会があれば再び参加し、知識や技術を今まで以上に高めていきたいと考える。

## 第 85 回応用物理学会秋季学術講演会に参加して

池 田 隼 人

Hayato IKEDA

電子情報学専攻修士課程 2 年

### 1. はじめに

私は 2024 年 9 月 16 日～20 日に朱鷺メッセで開催された、「第 85 回応用物理学会秋季学術講演会」に参加し、9 月 18 日に「炭酸ナトリウムの構造解析と光触媒特性」というテーマについて、ポスター発表を行った。

### 2. 研究背景

光触媒は、光を照射された際に触媒作用を示す。光触媒は、大気浄化、防汚、脱臭、防曇、抗菌、浄水の働きをもつ。光触媒は、光化学反応の一種と定義される。光触媒として用いられる  $TiO_2$  は、安価 (7.7 円/g) で、また化学的に安定である。一方、日常生活において利用される炭酸水素ナトリウム ( $NaHCO_3$ ) はより安価 (2.8 円/g) であり、加熱して得られる炭酸ナトリウム ( $Na_2CO_3$ ) は 0.47 円/g と、より安価な材料であるという特徴がある。本研究では、 $NaHCO_3$  および  $Na_2CO_3$  を光触媒材料として着目した。 $NaHCO_3$  および  $Na_2CO_3$  を加熱することで得られた  $Na_2CO_3$  とメチレンブルー (MB) 溶液を用いて光触媒特性および XRD 特性を評価した。

### 3. 実験方法

市販の  $NaHCO_3$  1g を電気炉で加熱した。加熱は 700°C\_1h. の条件で行った。加熱した粉末はすり鉢を用いて 200 回すり潰した。

$NaHCO_3$  100mg および加熱した  $NaHCO_3$  を 0.1mM のメチレンブルー (MB) 溶液 3mL にそれぞれ 50～200mg 入れ、200 回かき混ぜて透明容器に密閉した。密閉した溶液にソーラーシミュレータを用いて

疑似太陽光を 1 時間照射した。その後、遠心分離機を用いて遠心分離を 13,400rpm\_10min. の条件で行った。遠心分離後の上澄み溶液を石英セルに入れ、UV-vis 装置で透過率測定を行った。また、 $NaHCO_3$  および焼成後の  $Na_2CO_3$  の XRD スペクトルを測定した。溶液に混合する粉末の質量を 100mg に固定し、上記と同様の実験を 17 回行って再現性を評価した。

### 4. 実験結果

$Na_2CO_3$  の質量を変更し、溶液の透過率測定を行った。透過率測定結果を Fig. 1 に示す。MB の極大吸収波長は波長 664nm である。極大吸収波長 664nm に着目すると MB の透過率は 0.031% であり、加熱した  $Na_2CO_3$  の量が 50mg, 100mg, 150mg, 200mg と増加するにつれて透過率は 19.2%, 53.8%, 60.8%, 72.5% と上昇した。一方未加熱の  $NaHCO_3$  の透過率は 0.038% であり、透過率の上昇は確認出来なかった。

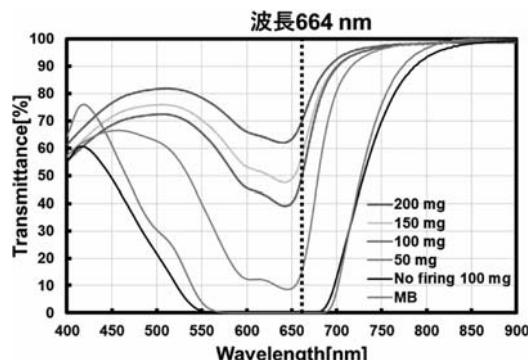


Fig. 1 Transmittances of fired sodium bicarbonate

$NaHCO_3$ 、加熱した  $Na_2CO_3$  の XRD 測定による構造解析の結果を Fig. 2 に示す。焼成前の粉末 ( $NaHCO_3$ ) と焼成後の粉末 ( $Na_2CO_3$ ) から、 $NaHCO_3$  および  $Na_2CO_3$  特有のピークを確認した。これらの違いは、 $NaHCO_3$  が加熱によって、 $Na_2CO_3$ ,  $HO_2O$ ,  $COO_2$  に分解されたためと考えられる ( $2NaHCO_3 \rightarrow Na_2CO_3 + HO_2O + COO_2$ )。

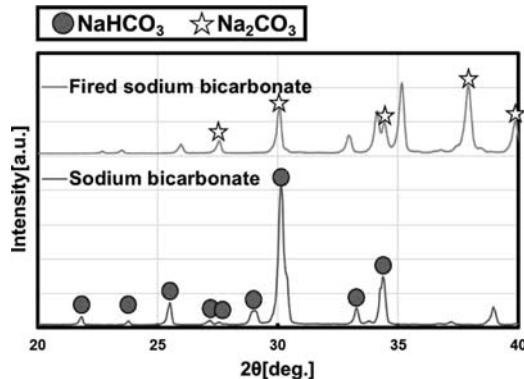


Fig. 2 XRD results of  $\text{NaHCO}_3$  and fired  $\text{Na}_2\text{CO}_3$

$\text{NaO}_2\text{CO}_3$ を混合した溶液の再現性実験において試料を17個作製した。作製した試料の透過率測定結果をFig. 3に示す。

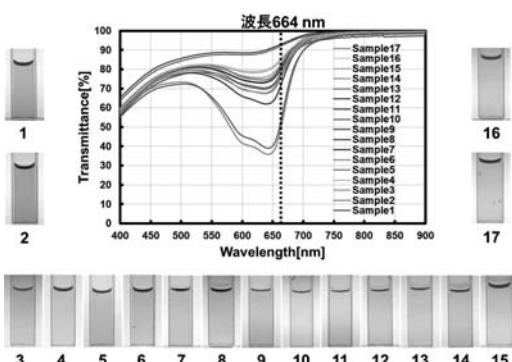


Fig. 3 Transmittance of solution containing  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  at reproducibility experiments

Fig. 3から、各溶液における差を確認した。また、Fig. 3から極大吸収波長664 nmにおける各試料の透過率を算出し、グラフを作成した。作成したグラフをFig. 4に示す。Fig. 4で極大吸収波長664 nmにおいて、Sample 1～Sample 17の透過率を求めた。求めた透過率はSample 1～Sample 17についてそれぞれ、53.8, 50.1, 77.7, 85.8, 76.0, 77.7, 72.3, 80.5, 78.4, 92.3, 93.1, 81.0, 82.4, 83.0, 84.8, 82.0, 79.1

%であった。ここで、Sample 1, Sample 2を外れ値とみなした。Sample 1, Sample 2以外のサンプルについて、最大で20.8%の差を確認した。

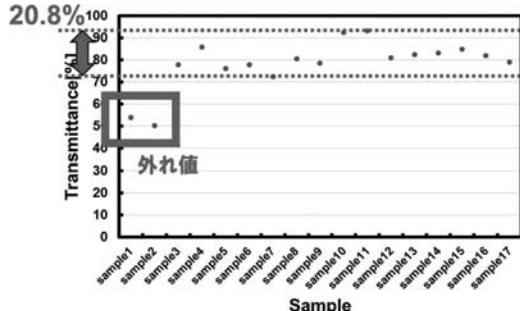


Fig. 4 Transmittance of solution containing  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  at wavelength 664 nm

## 5. まとめ

$\text{NaHCO}_3$ を700°C\_1h.で加熱することで $\text{NaO}_2\text{CO}_3$ を作製した。加熱した $\text{NaO}_2\text{CO}_3$ の量が50mg, 100mg, 150mg, 200mgと増加することで透過率が上昇した。未加熱の $\text{NaHCO}_3$ (100mg)における透過率の上昇は確認出来なかった。XRD測定結果から未加熱の粉末( $\text{NaHCO}_3$ )において $\text{NaHCO}_3$ に特有のピークを確認し、加熱後の粉末( $\text{NaO}_2\text{CO}_3$ )からは $\text{NaO}_2\text{CO}_3$ に特有のピークを確認した。この結果から、 $\text{NaHCO}_3$ の加熱により、 $\text{NaO}_2\text{CO}_3$ の生成を確認することが出来た。再現性実験においては、極大吸収波長664 nmにおいて最大20.8%の差を確認した。

## 謝辞

今回の学会発表を行うにあたり、懇切なご指導を頂きました山本伸一教授、山本研究室の先輩方や、共に協力し合い、励ましあった研究室の仲間たちに心より感謝いたします。

## 第 73 回高分子討論会に参加して

川 本 智 己

Tomoki KAWAMOTO

物質化学専攻修士課程 2 年

### 1. はじめに

私は 2024 年 9 月 25 日から 27 日にかけ、新潟大学五十嵐キャンパスで開催された「第 73 回高分子討論会」に参加し、「*P. putida* を用いた側鎖に二重結合を有するポリ(3-ヒドロキシアルカノエート)のエポキシ化と架橋」というタイトルでポスター発表を行った。

### 2. 発表内容

#### 2.1 研究背景

微生物 *Pseudomonas putida* (*P. putida*) はくり返しユニットに炭素数が 6 から 14 の中鎖長 Poly(3-hydroxyalkanoate) (*mcl*-P3HA) を菌体内に蓄積することが知られている。*mcl*-P3HA は側鎖が長いため結晶化度が低く延伸により伸びる性質を有している。二重結合を持つ脂肪酸を炭素源として用いると構造内に二重結合を導入できることが報告されている。本研究では微生物 *P. putida* にノナン酸 (NA) / 10-ウンデセン酸 (10-UND(=)) 混合基質を用いて側鎖の二重結合をエポキシ化しアミン架橋による物性を検討した。

#### 2.2 実験操作

有機培地に菌体を投入し培養する。次に、N フリーの無機培地に炭素源としてノナン酸と 10-ウンデセン酸を加えて培養を行う。その後、凍結乾燥を行い、クロロホルムで 24 時間抽出して *mcl*-P3HA を生合成する。*mcl*-P3HA を再度クロロホルムに溶解させ、*m*-クロロ過安息香酸を等モルの 10 倍加えて 24 時間反応させる。エポキシ化した P3HA にヘキサメチレンジアミンを加えて 60℃ の真空乾燥機で熱硬化処理を行った。架橋した P3HA を分析機

器により解析を行った。炭素源のノナン酸と 10-ウンデセン酸を 6 : 4 の割合で用いた。

### 2.3 結果と考察

ノナン酸と 10-ウンデセン酸を炭素源とした *mcl*-P3HA の二重結合の分率を調査した。

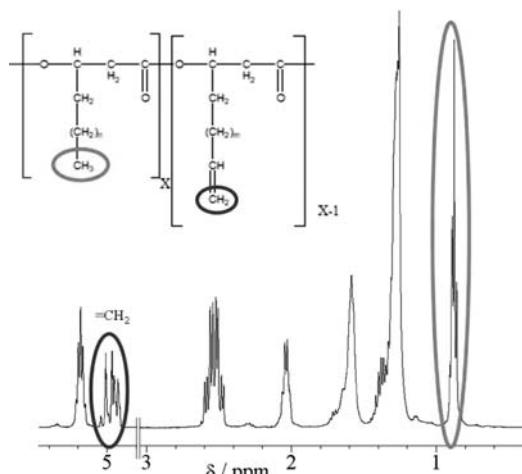


図 1 P(3HN-co-3HU(=)) の<sup>1</sup>H NMR 測定

図 1 から赤で示した 0.89 ppm 付近にあるピークはノナン酸由来のメチル基で、青で示した 4.98 ppm 付近のピークは 10-ウンデセン酸由来のメチレン基である。それぞれの積分値から分率を求めたところ、P(3HN-co-3HU(=)) = 59 : 41 となった。これは炭素源の割合とほとんど同じ結果であった。

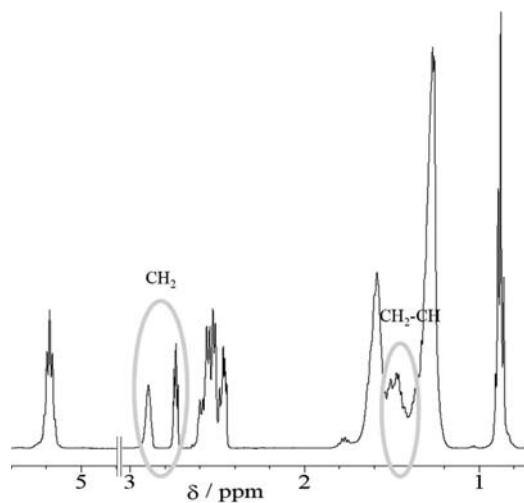


図 2 P(3HN-co-3HU(=)) のエポキシ化

図 1 で示したメチレン基のピークがなくなり、新たに 2.74 と 2.89 ppm にエポキシ基の新たなピークが確認できた。このことからエポキシ化に成功したと考えられた。

ヘキサメチレンジアミンで架橋した P3HA を IR で測定した。

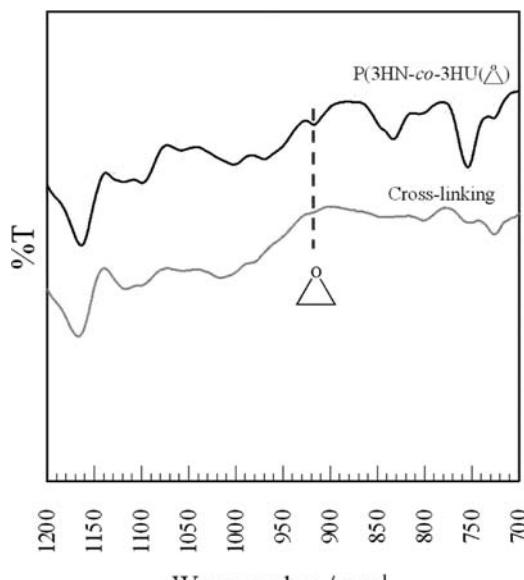
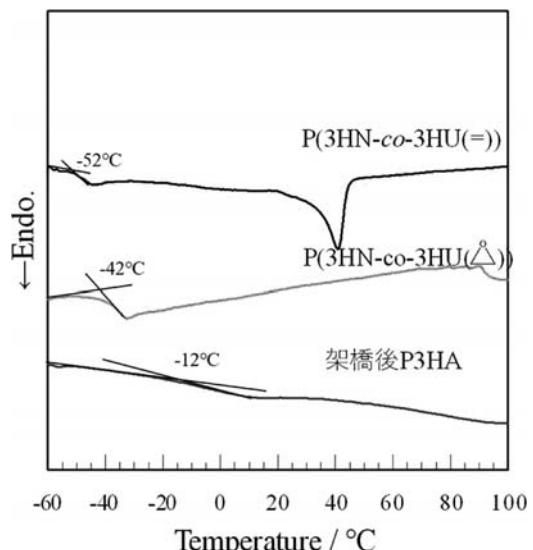


図 3 700-1200cm⁻¹ の IR スペクトル

915cm⁻¹ にあるエポキシ環の逆対称伸縮が架橋後

では見られなかった。そのため、架橋できていると考えられた。

P3HA を DSC による熱測定を行った。

図 4 P3HA の 1<sup>st</sup> ヒーティング

熱測定を行ったところ、架橋前 P3HA のガラス転移温度が -52°C に対して架橋後 P3HA の温度は -12°C と 40°C 大きくなかった。これは架橋により分子運動性が抑制されたためであると考えられる。図 3 の IR 測定と同様に架橋に成功していると考えられた。

#### 2.4 まとめ

1H NMR 測定から炭素源の割合と二重結合の割合はほとんど同じになった。また、その二重結合部分をエポキシ化の確認ができた。IR と DSC 測定から架橋できていると考えられた。

#### 3. おわりに

高分子討論会では様々な大学の学生や教授に拝見していただいた。その中で私の知らなかった技術や知識を得ることができ、有意義な時間となった。今回の学びを活かして修士論文および修論発表を完璧なものにしたい。

## 第 73 回高分子討論会に参加して

宮 内 嶺

Rei MIYAUCHI

物質化学専攻修士課程 2 年

## 1. はじめに

私は 2024 年 9 月 25 日から 27 日にかけ、新潟大学五十嵐キャンパスで開催された「第 73 回高分子討論会」に参加し、「シンジオタクチックポリスチレンのナノポアフィルムによるブタノールの取り込み速度向上の検討」というタイトルでポスター発表を行った。

## 2. 発表内容

## 2.1 研究背景

シンジオタクチックポリスチレン (sPS) は結晶化条件により様々な結晶構造をとる。sPS の  $\delta_e$  型結晶は有機溶媒存在下で誘起する分子構造で、結晶格子中に有機溶媒を含む 8 の字らせん構造をとることが知られている。有機溶媒を含む  $\delta_e$  型フィルムを超臨界二酸化炭素中で処理すると溶媒が抜けて結晶格子中にポアをもつ構造になる ( $\delta_e$  型)。このポアにゲスト分子としての有機溶媒を吸着することができる。また、微生物醸酵で得られるバイオブタノールにはアセトンと水が副生物として含まれる。本研究では  $\delta_e$  型 sPS フィルムを用いてブタノール／アセトン混合水溶液からブタノールの取り込み速度向上について検討した。

## 2.2 実験操作

sPS は出光興産(株)から提供された試料 ( $M_w = 2.4 \times 10^5$ ,  $M_w/M_n = 2.3$ ) を使用した。 $\delta_e$  型結晶は、sPS／クロロホルム溶液をキャストして作製したフィルムを超臨界二酸化炭素で処理して得た。赤外スペクトルは Jasco FT/IR-660plus を用いた。フィルムの厚さは  $3082\text{cm}^{-1}$  の CH 伸縮振動モードを内部標準バンドとして校正した。

## 2.3 結果と考察

まず  $\delta_e$  型 sPS フィルムをブタノール単体とアセトン単体に浸漬させ時間ごとに IR 測定を行った。ブタノールが結晶ポアに取り込まれると  $3588\text{cm}^{-1}$  に分子間水素結合のない OH 伸縮振動が観測され、非晶領域に取り込まれると  $3358\text{cm}^{-1}$  に分子間水素結合のある OH 伸縮振動が観測される。一方、アセトンが取り込まれると  $1717\text{cm}^{-1}$  に C=O 伸縮振動が観測される。ここで図 1 に浸漬時間ごとに吸光度をプロットした結果を示した。

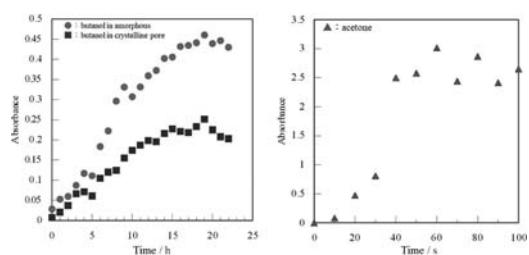


図 1 ブタノール (左) とアセトン (右) の吸光度変化

ブタノールは取り込みが完了するまで 15 時間以上要したのに対し、アセトンは 90 秒ほどで取り込みが完了した。これは分子間水素結合の強弱により取り込み時間に差が生じたと考えられた。

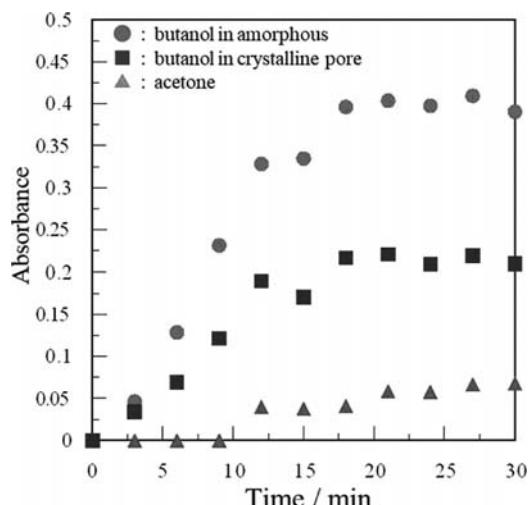


図 2 ブタノール／アセトン (2:1) 溶液の浸漬結果

次に微生物醸酵で得られるバイオブタノール中の成分の比であるブタノール／アセトン（2:1）の混合溶液に浸漬させた結果を図2に示す。ブタノールは単体時だと取り込みが完了するまでに15時間以上要したが、混合溶液では15分ほどで取り込みが完了したことからアセトンがブタノールの取り込みを促進させたと考えられた。

微生物醸酵で得られるバイオブタノールには水が含まれるため、ブタノール／アセトン（2:1）混合水溶液に20日間浸漬させ、吸光度を測定した。

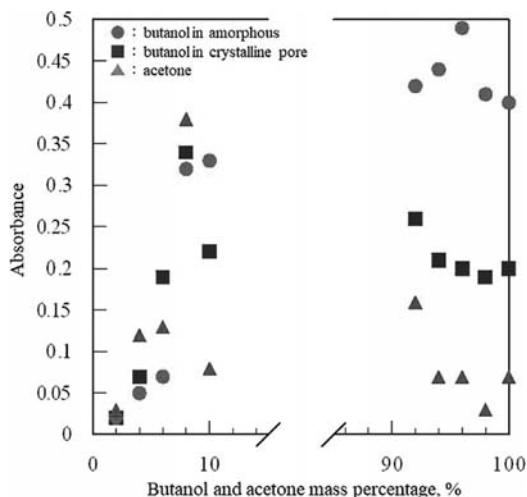


図3 ブタノール／アセトン混合水溶液の浸漬結果

微生物醸酵で得られるバイオブタノール中のブタノールの濃度である2wt%の混合水溶液では取り込みがほとんど確認できなかった。そこで図2の結果から、6wt%のブタノール／アセトン混合水溶液中のアセトンの割合を変えた実験を行い、ブタノール

の取り込み速度を検討した。

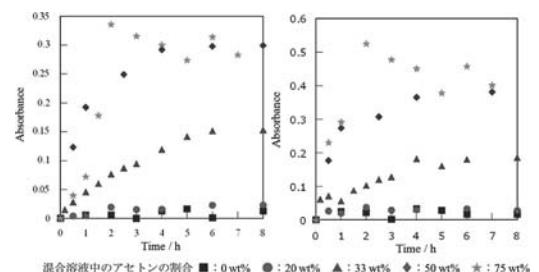


図4 結晶ポア（左）と非晶領域（右）に取り込まれたブタノールの吸光度変化

混合水溶液中のアセトンの割合が大きくなると、ブタノールが取り込まれる速さは大きくなつた。この結果からブタノールが低濃度であつてもアセトンを加えることでブタノールの取り込みを速くすることができると考えられた。

#### 2.4 まとめ

$\delta_e$ 型 sPS フィルムへのブタノールの取り込みはアセトンを加えることで水溶液であつてもブタノールの取り込みを速くすることができる事が示された。

#### 3. おわりに

今回は学生時代最後の学会として発表を行つた。学会では外部の方と自身の研究について討論することができ、大変有意義な時間を過ごすことができた。今回の学会発表の経験を活かして、残りの研究生活を過ごしていきたい。

## 第 73 回高分子討論会に参加して

新 井 涼 太

Ryota ARAI

応用化学コース修士課程 1 年

## 1. はじめに

私は 2024 年 9 月 25 日から 27 日にかけ、新潟大学五十嵐キャンパスで開催された「第 73 回高分子討論会」に参加し、「ポリ(3-ヒドロキシブチレート)/*o*-ジクロロベンゼンのゲル化と融解挙動およびその分子構造」というタイトルでポスター発表を行った。

## 2. 発表内容

## 2.1 研究背景

Poly(3-hydroxybutyrate) (P3HB) は、微生物によって菌体内に生合成される脂肪族ポリエステルで熱可塑性、生体適合性、生分解性を示す。P3HB には 2 つの結晶構造が存在することが知られており、2, らせんをもつ  $T_{2G}$  構造の  $\alpha$  型と延伸して平面ジグザグをとる TT 構造の  $\beta$  型がある。1) また、一般に結晶性高分子のゲルでは架橋点として結晶が形成されることが報告されている。本研究では P3HB のゲル化する溶媒の検討および P3HB/*o*-ジクロロベンゼンゲルを DSC を用いて融解挙動および架橋点での分子構造について検討を行った。

## 2.2 実験操作

P3HB は Sigma Aldrich から購入した試料 ( $M_w = 7.4 \times 10^5$ ,  $M_w/M_n = 3.7$ ) を使用した。ゲルは P3HB と溶媒を 10wt% に調製しオイルバスで溶液を完全に溶解させた後、氷水で急冷し作製した。DSC は Rigaku DSC 8231 を用い、昇温速度は 5°C/min で測定した。固体高分解能  $^{13}\text{C}$  NMR 測定は JNM-ECA400 II (JOEL) を用いて、回転数は 6kHz で行った。

## 2.3 結果と考察

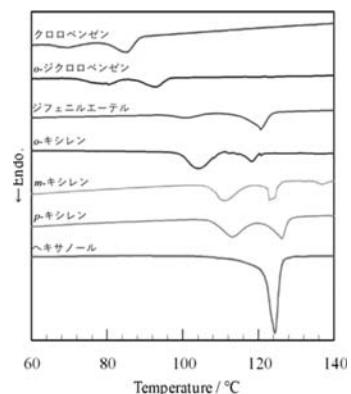


図 1 各溶媒のゲルの DSC チャート

様々な有機溶媒を P3HB 10wt% 溶媒でゲル化させた P3HB ゲルの DSC 測定を行った。1-ヘキサノールゲルのみ吸熱ピークは 1 つであったが他の溶媒では 2 つの吸熱ピークが見られた。また、溶媒によって吸熱ピークの温度が異なった。これはラメラと溶媒との表面エネルギーが溶媒によって異なるためであると考えられる。P3HB/*o*-ジクロロベンゼンゲルでは 79°C と 91.9°C に吸熱ピークが 2 つ見られた。

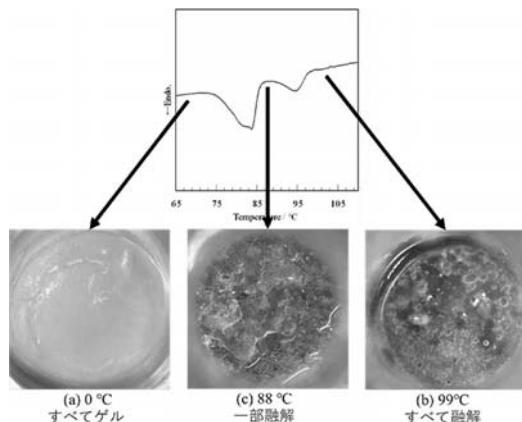


図 2 ゲルの融解の光学写真

P3HB/*o*-ジクロロベンゼン 10wt% ゲルの融ける温度を光学写真で撮影した。(a) 0°C では全体がゲルであり白濁している。(b) 88°C ではゲルが融けている部分と融けていない部分が存在することが分かる。(c) 99°C ではゲル全体が融けていることが分

かる。ゲル中で2つの構造が存在していることを示唆している。

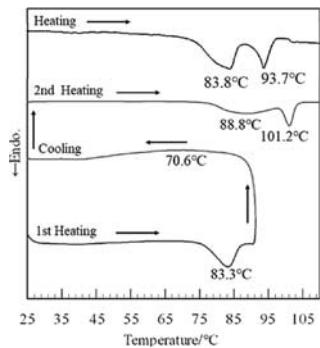


図3 88°Cまで昇温後、降温し再び昇温した時のDSCチャート

昇温-はP3HB/o-ジクロロベンゼン10wt%ゲルを昇温した時のDSCチャートであり83.3°Cで吸热ピークが見られた。徐冷-では70.6°Cに発热ピークが見られた。これは融解したゲルが結晶化したためであると考えられる。徐冷後の昇温時-には88.8°Cと101.2°Cに吸热ピークがみられた。昇温-と比較するとどちらの吸热ピークも高温側にシフトしていた。これは熱処理効果によるものだと考えられる。また、ラメラの厚化現象であれば吸热ピークは通常1本となるが2本観測されたことからラメラの厚化現象では説明できないことが分かり、それぞれの吸热ピークが独立したものであると考えられる。したがってゲル中に2つの厚さの異なるラメラが存在する可能性が示唆される。

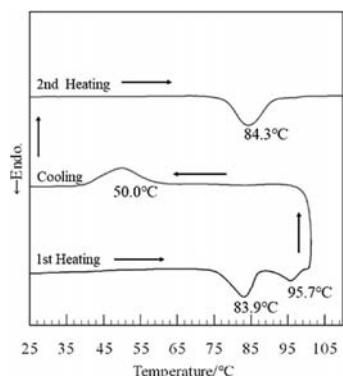


図4 101°Cまで昇温後、降温し再び昇温した時のDSCチャート

昇温時-83.9°Cと95.7°Cに吸热ピークが見られたが、完全に溶解させて徐冷後の昇温時-は高温側の吸热ピークは消えて84.3°Cの吸热ピークのみ見られた。低温側の吸热ピークは熱処理効果によって高温側にシフトしていた。高温側の吸热ピークが無くなっていたため徐冷するとラメラの小さいものだけが形成されると考えられる。

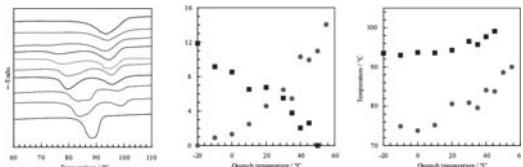


図5 ゲル化温度を変えた時のDSCチャート(左)、エンタルピー(中央)、融点(右)の関係

P3HB/o-ジクロロベンゼン溶液のゲル化温度が-20°Cの時は高温側の吸热ピークのみ見られたが、ゲル化温度を上げると共に高温側の吸热ピークは小さくなり、低温側の吸热ピークは大きくなっている。やがて高温側の吸热ピークはなくなりゲル化温度が50°Cでは低温側の吸热ピークのみとなった。ゲル化温度が低いと厚さの大きいラメラが生成され、ゲル化温度が高いと厚さの小さいラメラが生成されると考えられる。

## 2.4 まとめ

P3HBは様々な溶媒でゲル化しP3HB/o-ジクロロベンゼンゲルのDSC測定では2つの吸热ピークが現れた。2つの吸热ピークはゲル化温度に依存することが示された。

## 3. おわりに

今回は2度目のポスター発表として発表を行った。緊張することなくスムーズに発表することができ、自身の成長を感じることができた。今後も成長を感じ取れるよう研究生活に力を入れていきたい。

## 高分子討論会に参加して

恒川 愛乃

Meguno TSUNEKAWA

応用化学コース修士課程 1年

### 1. はじめに

私は2024年9月25日から27日にかけ、新潟県の新潟大学で開催された高分子討論会に参加し、「*R. eutropha* を用いたブロック共重合体の生合成での P3HBV ブロックの共重合組成」というタイトルでポスター発表を行った。

### 2. 発表内容

#### 2.1 研究背景

微生物 *Ralstonia eutropha* (*R. eutropha*) による poly(3-hydroxyalkanoate) (P3HA) の生合成では、偶数炭素脂肪酸やグルコースを炭素源に用いると P3HB が、奇数炭素脂肪酸を炭素源に用いると共重合体である poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) (P3HBV) が菌体内に蓄積される。本研究室ではペンタン酸 72 時間グルコース 24 時間培養を行った後、第 3 の炭素源としてペンタン酸を用いて培養することで 3 ブロック共重合体が合成されることを報告した。本研究では、第 2 炭素源であるグルコースの培養時間を 12 時間として P3HBV ブロック共重合体の組成について検討した。

#### 2.2 実験操作

使用した菌株は *R. eutropha* (NCIMB 11599) を用いた。P3HA ブロック共重合体の生合成は窒素フリーの条件下で第 1 炭素源であるペンタン酸、その後に培地を入れ替え第 2 の炭素源であるグルコースで培養を行った。さらに再び第 1 の炭素源であるペンタン酸を用いて培養を行った。今回、第 1 炭素源をペンタン酸で 72 時間、第 2 炭素源をグルコースで 12 時間に固定し、第 3 炭素源のペンタン酸で x 時間培養を行って生合成した三元ブロック共重合体

を P72G12Px と表記する。またペンタン酸単体で培養を行ったものを PX と表記する。培養後は 24h の凍結乾燥後に、クロロホルムで抽出した。キャストフィルムについてはクロロホルム溶液から溶媒を蒸発させて得た。

### 2.3 結果と考察

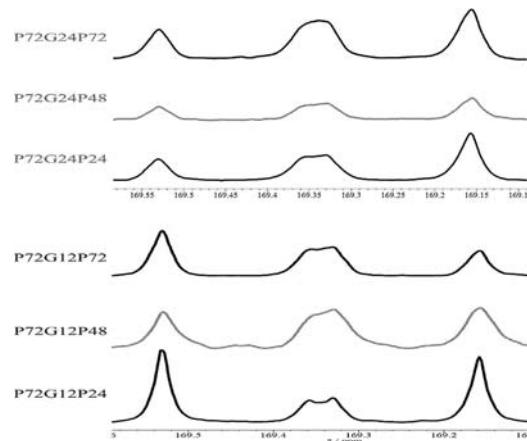


図 1 P72G24Px と P72G12Px の<sup>13</sup>C NMR (x : 培養時間)

図 1 は第 2 の炭素源であるグルコースの培養時間を 24 時間および 12 時間として、第 3 の炭素源であるペンタン酸の培養時間を変えて生合成した P3HA の<sup>13</sup>C NMR のカルボニル炭素の共鳴線を示した。カルボニル炭素のピークは 4 本に分裂しており、低磁場側から 3HV-3HV (VV), 3HB-3HV (BV) と 3HV-3HB (VB), 3HB-3HB (BB) の二連子に対応する。ペンタン酸だけを炭素源として培養すると P3HBV が生合成され、VV : VB : BV : BB = 1 : 1 : 1 : 1 のランダム共重合体となる。グルコースでの培養時間が 24 時間の時は VV : VB : BV : BB = 1 : 1 : 1 : 1 となり、ペンタン酸由来の P3HBV ブロックがランダムであることが示唆される。ここで 169.15 ppm の BB 由来のピークが大きいのは第 2 ブロックの P3HB に起因する。一方、第 2 炭素源であるグルコースの培養時間を 12 時間と短くすると 169.55 (VV) のピークが VB や BV のピークより大きくなる。

なっている。その要因はペンタン酸単体の培養によると考え、ペンタン酸のみでの培養を行った。

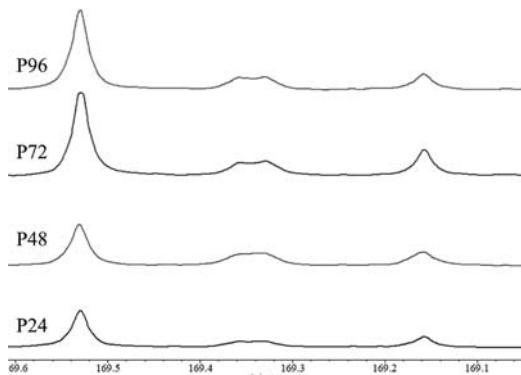


図2 ペンタン酸性単体の $^{13}\text{C}$  NMR

図2はペンタン酸のみで培養したP3HAの $^{13}\text{C}$  NMRのカルボニル炭素の共鳴線を示した。3プロックの時と同様に3HV-3HV (VV), 3HB-3HV (BV) と 3HV-3HB (VB), 3HB-3HB (BB) の二連子に対応する。ペンタン酸の培養時間によらずVVのピークが他のピークと比較すると大きいことがわかる。また、培養時間によらずVVの分率が変わらないことが分かる。また、VV:VB:BV:BB=1:1:1:1にならない要因がペンタン酸単体によるものがあることが分かり、生合成メカニズムを検討した。

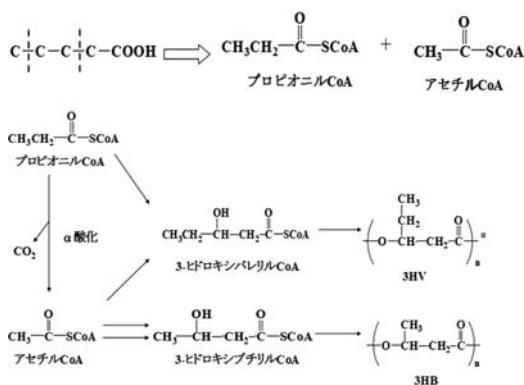


図3 生合成メカニズム

図3は生合成メカニズムを示した。ペンタン酸が $\beta$ 酸化されることによりプロピオニル CoA とアセチル CoA に分けられる。R.eutropha は $\beta$ 酸化力が強いことから、プロピオニル CoA は更に $\alpha$ 酸化され、アセチル CoA と二酸化炭素に分けられる。よって、プロピオニル CoA が $\beta$ 酸化されると VV 由来のものが、アセチル CoA は BB 由来のものが生合成される。

#### 2.4 まとめ

P72G12Px で培養すると、VV の分率が大きくなりその要因はペンタン酸単体によるものであることがわかった。また、ペンタン酸単体で培養時間長くすると VV の割合が一定であることが分かった。

#### 3. おわりに

今回初めての学会発表で多くの方に来ていただき、意見をいただいたので非常に良い機会となつた。今回の学会を活かして更に研究に力を入れたいと思います。

## 高分子討論会に参加して

藤原 大暉  
Taiki FUJIWARA

応用化学コース修士課程 1年

### 1. はじめに

私は2024年9月25日から27日にかけ、新潟大学五十嵐キャンパスで開催された「高分子討論会」に参加し、「ナノポアを持つシンジオタクチックポリスチレンを用いたプロパノール／水の比率を変えた時のプロパノールの取り込み」というタイトルでポスター発表を行った。

### 2. 発表内容

#### 2.1 研究背景

シンジオタクチックポリスチレン(sPS)は5つの結晶構造をもち、その中でも $\delta$ 型結晶は結晶格子中に有機溶媒を含む8の字らせん構造をとることが知られている。有機溶媒を含む $\delta$ 型sPSをアセトニトリルに浸漬して処理をすると溶媒が抜けて結晶格子中にポアを持つ構造( $\delta$ 型)になる。当研究室では、sPSのポアにアルコールが取り込まれることを報告している。バイオプロパノールはClos-tridia種などの嫌気発酵により生成される。生成するプロパノールの濃度が低いことと副生成物としてアセトンやブタノールなどが含まれるため、単離が難しい。本研究ではバイオプロパノール中のプロパノールを $\delta$ 型sPSフィルムに取り込ませることを目的とし、1-プロパノール／水の比率を変えた時の取り込みについて検討した。

#### 2.2 実験操作

sPSは出光興産(株)から提供された試料( $M_w=2.4 \times 10^5$ ,  $M_w/M_n=2.3$ )を使用した。sPS/クロロホルム溶液をキャストしてフィルムを作製し、アセトニトリルに浸漬して処理をし、 $\delta$ 型フィルムを得た。DSCはRigaku DSC 8231を用い、昇温速度は $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ で測定した。赤外スペクトルはJasco FT/IR-660 plusを用いた。膜厚はsPSの $3082\text{cm}^{-1}$ のCH伸縮振動を内部標準バンドとして校正した。

### 2.3 結果と考察

まず、 $\delta$ 型sPSフィルムに $30^{\circ}\text{C}$ の1-プロパノールを取り込ませた。このときsPSに1-プロパノールは約100時間で取り込みが一定になった。しかし、取り込み時間がとても長いためこの時間を短くするために浸漬時の温度を上げて実験した。

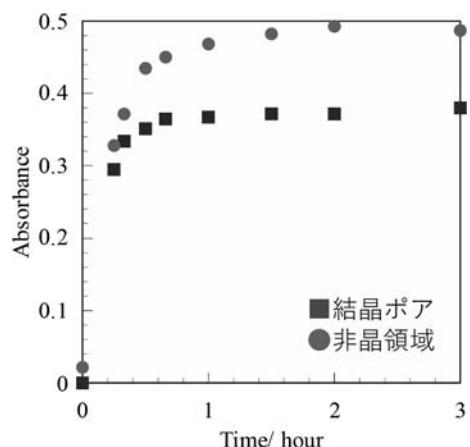


図1 sPSフィルムを $70^{\circ}\text{C}$ の1-プロパノールに浸漬させたときの吸光度変化

このとき、結晶ポア、非晶領域ともに約1時間で取り込みが一定となり、取り込み時間がとても短くなった。これは、温度が上がったことでプロパノール分子の運動性がよくなり、フィルム面との接触回数が増えたためだと考えられる。

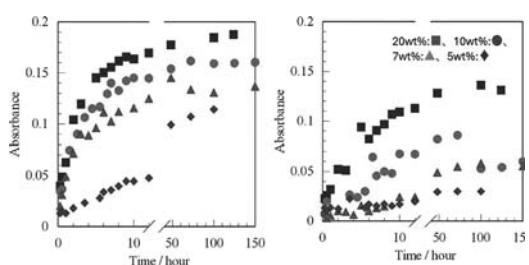


図2,3 1-プロパノール／水の比率を変えた時の吸光度変化

次に実際のバイオプロパノール中のプロパノールは数%しか含まれていないため、1-プロパノールの比率を変えて浸漬させた。プロパノールの比率が低くなるほど最大吸光度が減少したため、比率が低いほど取り込み量が少なくなると考えられる。また、水溶液になったことで取り込みが一定になるまで約50時間以上かかっているため、取り込み速度が遅くなっていると考えられる。

ここで実際に1-プロパノールが $\delta_e$ 型sPSフィルムに取り込まれる速さを検討するため次のFickの式を用いて拡散係数を算出した。

$$A_t/A_0 = 4/d \sqrt{Dt/\pi}$$

ここで、 $A_t$ は時間 $t$ での吸光度、 $A_0$ はフィルム中にブタノールが最大取り込まれた時の吸光度、 $d$ はフィルムの厚さである。

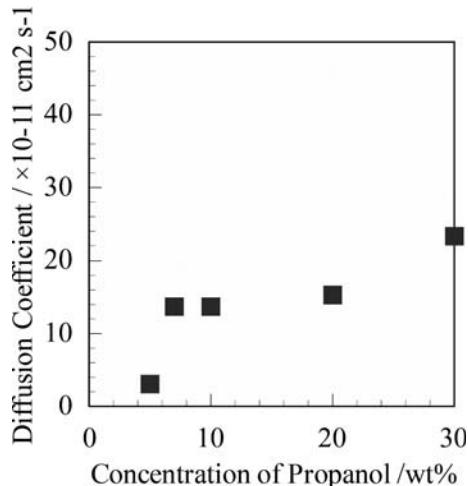


図4 1-プロパノール／水の比率を変化させたときの拡散係数

プロパノールの比率が低くなるほど拡散係数は小さくなっている。これは、プロパノールと水がクラスター構造を形成するためフィルム表面と接触しやすく取り込みづらいためと考えられる。

## 2.4まとめ

$\delta_e$ 型sPSフィルムへの取り込みは温度を上げることで速くなり、濃度が低くなるほど小さくなる。プロパノールは水溶液になることでクラスター構造を形成することが示された。

## 3.おわりに

今回は3回目の学会であったため、特に緊張することなく発表をすことができた。他大学の教授方から多くのアドバイスをいただいたので、今後の自分の研究に活かしたいと思います。また、他の大学の方のポスターは重要なところであったり内容が見やすいポスターを作っていたので、次回はより見やすいポスターを作りたいと思います。

## 高分子討論会に参加して

矢下 廉

Ren YASHITA

応用化学コース修士課程 1年

### 1. はじめに

私は2024年9月25日から27日にかけ、新潟県の新潟大学で開催された高分子討論会に参加し、「*R. eutropha* によるグルコースとペンタン酸でのブロック共重合体の生合成による各ブロックの分子量変化」というタイトルでポスター発表を行った。

### 2. 発表内容

#### 2.1 研究背景

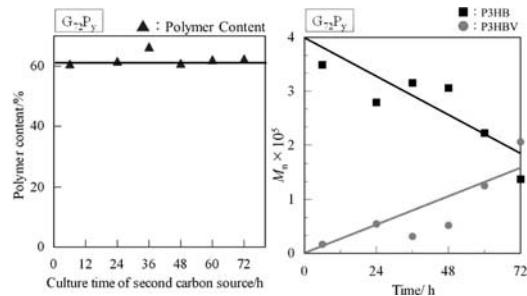
微生物 *Ralstonia eutropha* (*R. eutropha*) による poly(3-hydroxyalkanoate) (P3HA) の生合成では、偶数炭素脂肪酸やグルコースを炭素源に用いると Poly(3-hydroxybutyrate) (P3HB) が、奇数炭素脂肪酸を炭素源に用いると共重合体である poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) (P3HBV) が菌体内に蓄積される。本研究室では第一の炭素源を培養後、菌体と培養液を分離しても末端は活性であるため、第二の炭素源で培養するとブロック共重合体を生合成できることを報告した。本研究ではグルコースの培養時間を72および24, 12時間と短くし、それぞれの数平均分子量変化について検討した。

#### 2.2 実験操作

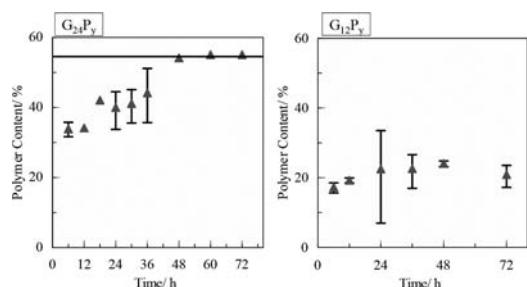
使用した菌株は *R. eutropha* (NCIMB 11599) を用いた。ブロック共重合体の生合成は窒素フリーの条件下で第一の炭素源であるグルコース、その後に培地を入れ替え第二の炭素源であるペンタン酸で培養を行った。グルコースの培養時間を72および24, 12時間にそれぞれ固定し、その後ペンタン酸の培養時間を変化させブロック共重合体を生合成した。それぞれ試料を G72Py および G24Py, G12Py と表

記する。培養後は24h凍結乾燥後に、クロロホルムで抽出した。キャストフィルムについてはクロロホルム溶液から溶媒を蒸発させて得た。ポリマー含有率 (PC) はポリマー重量／乾燥菌体重量で求めた。

### 2.3 結果と考察

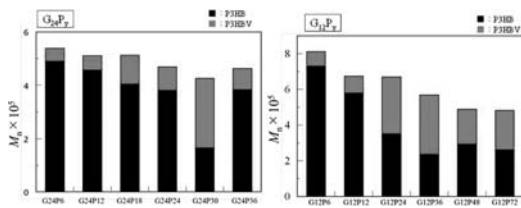


G72Py の PC (左図) と生合成による重合速度と消費速度 (右図) を上記に示した。右図の重合速度と消費速度を比較するとそれぞれ 2360g/mol·h, 2080g/mol·h とほぼ同じ値を示した。これは左図の PC がペンタン酸の培養時間によらずほぼ一定であることからグルコース 72 時間培養ですでに PC が上限までため込まれていると考えられる。そのため、グルコースの培養時間を 24 および 12 時間と短くし、第一ブロックの蓄積量を減らした。

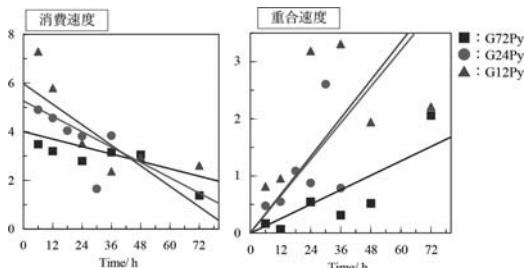


G24Py (左図), G12Py (右図) の PC を上記に示した。G24Py は P36 まで増加し、その後一定となった。P48 以降の PC は 60% でほぼ上限まで溜め込まれているため P36 までで議論する。G12Py は P72 まで約 20% でわずかに増加傾向にある。G24Py, G12Py ともに PC が 50% を下回ったため蓄積

量を減らすことができた。



<sup>13</sup>C NMR 測定より得られたカルボニルピークの積分値を求めプロック分率を算出し、SEC 測定より数平均分子量を求めた。それらを掛け合わせて各プロックの数平均分子量を示した。左図が G24Py、右図が G12Py である。G24Py の数平均分子量は約 60 万であり、ペンタン酸の培養時間が長くなるにつれて第一のプロックである数平均分子量は小さくなり、第二のプロックは大きくなった。G12Py の数平均分子量は約 60 万 – 80 万であり、G24Py 同様の結果となった。



各プロックの数平均分子量ごとにプロットを行い、傾きから重合速度・消費速度を求めた。左図は第一プロックである P3HB の消費速度であり、右図は第二のプロックである P3HBV の重合速度である。青色、赤色、緑色はそれぞれ G72Py, G24Py, G12Py で示した。消費速度は G72Py から 2080, 5556, 7292 g/mol·h であり、重合速度は 2360, 5417, 6944 g/mol·h であった。グルコースの培養時間を短くすると消費速度、重合速度ともに速くなった。グルコースの培養時間に消費速度と重合速度が依存したことについては今後の検討課題である。

#### 2.4 まとめ

第一の炭素源であるグルコースの培養時間を短くすることで蓄積量を抑えることができた。数平均分子量はグルコースの培養時間を短くすると大きくなり、ペンタン酸での培養時間が長くなると小さくなる。グルコースの培養時間を短くすると消費速度、重合速度ともに速くなった。

#### 3. おわりに

今回はデータから考察、検証が不十分だった。次回の学会では検討課題について自分の考察を述べられるようさまざまな実験を行う。

## 第 73 回 複合現実感研究会での研究発表

田 中 聖 也

Seiya TANAKA

情報メディア学専攻修士課程 2 年

### 1. はじめに

私は 2024 年 9 月 26 日から 27 日まで利尻富士町総合交流促進施設「りぶら」で開催された第 73 回複合現実感研究会 (SIG-MR) に参加した。本研究会は SIG-MR の他に複数の研究会と共に連催で行う合同研究会であり、AR/MR 技術、ヒューマンインターフェース技術、メディア情報処理技術に関する研究発表が行われた。私は MR に関する研究として「緊急時の掛け声を可視化する拡張現実感システムにおける警告機能の性能評価」という題目で発表した。

### 2. 発表内容

学会では以下の研究に関して発表を行った。また発表内での質疑についても報告する。

#### 2.1 研究内容

##### 2.1.1 研究背景

声は人どうしの基本的な情報伝達手段であり、特に緊急時に他者へ危険を知らせる際、複雑な手段は用いられず、大声での警告が最も有効である。例えばゴルフではボールが外れたときに「ファー」という掛け声を叫ぶことが慣例となっている。しかし音声は距離減衰等によって相手に届かないことや、特定の対象のみに警告することも難しいと考えられる。これらの課題に対応するためには、音以外の方法で警告し、対象を明確にする手段が必要である。そこで AR 技術を用いて視覚的に警告と警告対象の可視化を行うシステムを提案し、性能評価の実験を行った。

##### 2.1.2 提案システム

図 1 のように、掛け声をトリガーとして AR 空間上に警告範囲を表示するシステムを説明する。提案システムでは警告者が一定の音量で叫ぶと、警告ディスクという円が顔の前方に放射状に広がる。この円の内側が警告範囲となり、その範囲内にいる人が被警告者となる。これにより警告者は警告対象が範囲内にいるかを確認でき、視覚による警告が可能になる。また警告ディスクは壁や地面などの物体に接触すると、その表面に警告パーティクルが生成され、領域に対しても警告を与え、第三者にも警告ができる。また警告ディスクは常に一定の範囲を警告するため、広い範囲を警告する際は顔の向きを変えて領域を塗りつぶすように警告する必要がある。

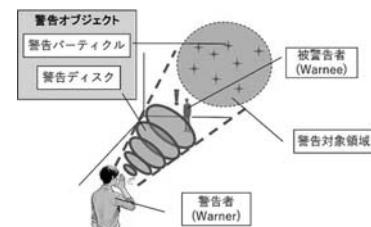


図 1 警告可視化システム

##### 2.1.3 実験結果・考察

警告機能の性能を評価するため 3 つの実験を行った。全ての実験で HMD として Hololens2 を用いた。

実験 1 は警告ディスクの半径を決定するため、頭部の振動等による警告ディスク射出方向のばらつきを計測するタスクを著者 1 名で行った。実験では円状に動くマーカーを追うように顔の向きを変えた際のマーカーとの誤差ベクトルの標準偏差を求めた。結果は  $1.35^\circ$  であり、この角度以下の範囲で正確に領域を指定することは難しいと考えられ、警告ディスクの見かけ半径  $r = 1.35^\circ * 2 = 2.7^\circ$  とした。

実験 2 は警告時の警告者が意図した方向と実際の方向との誤差（角度）を調べるタスクを 20 代男性 6 名に行ってもらった。実験では被験者には位置の違う 5 つの目標に対して警告してもらいその間の警告位置を取得した。結果を図 2 に示す。太い実線

は、各目標に対する各被験者の警告位置の平均誤差の平均を示し、エラーバーは標準偏差を表す。開始時に約  $4^{\circ}$  あった誤差は時間経過とともに約  $1^{\circ}$  まで収束しており、これは被験者が警告範囲の可視化と目標とのズレを見て誤差を修正しているためと考えられ、警告ディスクが有効に作用した証拠といえる。

実験 3 は広い領域への警告に要する時間とその精度を調べるタスクを実験 2 の被験者に続けて行ってもらった。実験では警告ディスクの半径  $r$  に対し、半径  $2r$ ,  $3r$ ,  $4r$  の円の領域を用意し、領域内を警告パーティクルで塗り潰すよう指示した。結果を図 3 に示す。グラフはそれぞれ各領域の平均達成率を表し、達成率 95% に達する時間を縦線で示す。結果から各領域で 10 秒以内に警告できており、最長发声持続時間（男性 30 秒、女性 19 秒）より、今回の領域では一回の発声で警告が可能であるといえる。

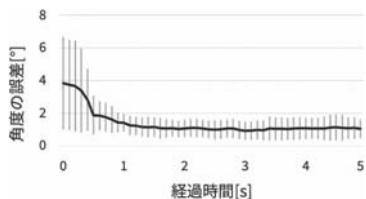


図 2 位置精度の変化

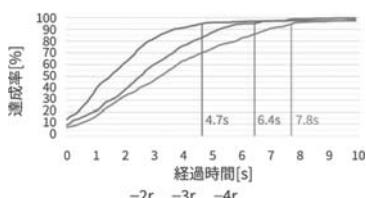


図 3 達成率の推移

## 2.2 質疑内容

発表に対して他の研究者から得られた質問や意見について紹介する。まず本研究の利用例として想定していたゴルフでの問題として、「ゴルフボールがどこから飛んでくるのかわからないのではないか」という指摘をいただいた。この問題に関しては被警告者から見たゴルフボールと警告者の水平方向の位置はおおよそ同じであるため、警告ディスクが飛ん

できた方向から把握できるのではないかと考える。ただし視界の邪魔になる等の問題もあるため被警告者に対する警告表示の方法については検討の必要がある。また「音響的な声の可視化を行わないのか」といった質問も頂いたが、この場合視覚による警告は可能であるが、距離減衰の問題や特定の対象に対する警告が行えないため活用できない。

## 3. 研究会に参加して

今回 SIG-MR において現地参加で学会発表を行い多くの経験と知見を得ることができた。発表では機材や音声のトラブルなど現地ならではの経験をし、事前準備の大切さを改めて再認識した。また本研究会は 4 つの研究会での合同開催であったこともあり様々な研究が紹介されており、例えば、VR 環境の仮想物体に物体の大きさや身体の動作を変化させることで重量を疑似的に知覚させる研究や、VR 空間内でのジャンプの衝撃を足の筋肉に電気刺激を与えることで再現する研究などが発表されており、それら発表の聴講や質疑を通して新たな知見を得ることができた。今後はこれらの経験や知識を研究や発表に活かせるよう努めたい。また発表以外にも研究者間で意見を交換する場は多々あり、本研究に関しても大阪大学の名誉教授である竹村教授からシステムを実際に利用する際、緊急時にすぐに正確な対象に向かって声を出すことができるのかといった指摘や、機械学習を用いて対象に向かって警告範囲が設定されるように補正をしてはどうかという意見も頂いた。

## 4. おわりに

今回、第 73 回複合現実感研究会（SIG-MR）に参加し、緊急時における他者への警告をより確実かつ正確に伝えるシステム提案と警告機能の評価結果について発表した。発表内やその他交流の場で、他の研究者からゴルフなどの実利用の場面における問題点に関して様々な意見を得たため、今後は実利用を想定したシステムの改良及び実験を行う。

## 第 73 回複合現実感研究会での研究発表報告

羽賀 大輝  
Taiki HAGA

知能情報メディアコース修士課程 1 年

### 1. はじめに

私は 2024 年 9 月 26 日から 27 日に開催された複合現実感研究会に参加した。複合現実感研究会は、北海道の様々な地域で定期的に開催される学術的な研究会で、現実世界と仮想世界を融合させた技術や応用に関する研究を発表や議論をする場である。この研究会では、仮想現実 (VR)、拡張現実 (AR)、複合現実 (MR) などの技術を利用した研究成果が共有され、産学の研究者や専門家が集い、知見を交換することを目的としている。今回は利尻島の利尻富士町総合交流促進施設「りぶら」で開催され、北海道内外から幅広い参加者が集まり、それぞれの取り組みや新しい技術の活用について活発な議論が行われている。

また本研究会は 4 つの研究会が合同で開催され、各分野の専門家が集まり、分野横断的な視点からの議論が展開された。このような合同開催により、異なる分野の知識や技術の融合が図られ、より広範な視点から複合現実感の可能性が探求されている。

私は本研究会に参加し、「HMD 内蔵視線計測機の較正と複数視能検査の同時実施法の検討」という題目でショート発表を行った。

### 2. 研究内容

#### 2.1 研究背景

バーチャルリアリティ (VR) や拡張現実感 (AR) の技術が進化し、ヘッドマウントディスプレイ (HMD) にも視機能を考慮した機能が追加されてきたが、視機能をさらに詳細に測定するには多くの時間が必要となる。そのため、本研究は、視機能計測として視線計測と視力検査を取り上げ、視線計測に

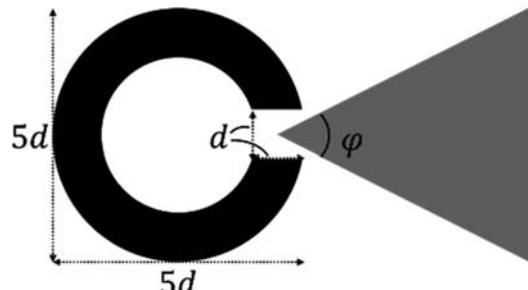


図 1 ランドルト環と方向マーカ

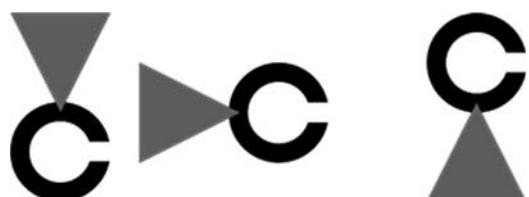


図 2 ランドルト環と方向マーカと位置関係

必要な較正と視力検査の時間短縮を可能にするシステムの提案を目的とし、実現性を示す。

#### 2.2 提案手法

目的達成のために次の要求仕様を設定する。

1. 視力測定ができる
  2. 視線較正ができる
  3. 1 と 2 をそれぞれ行う時よりも時間短縮できる
- 上記仕様を満たすシステムは、次の通りである。図 1 に示すように、ランドルト環を視力測定に使用し、視線較正のための固視点として三角形の方向マーカを用いる。ランドルト環は視力測定に広く用いられている標準的な視標であり、その切れ目の方向を回答することで被験者の視力を推定する。一方で、方向マーカは視線較正の固視点とランドルト環の切れ目の方向を回答するための視覚フィードバックとして機能する。このシステムにより、視力検査と視線較正を一度に行なうことが可能となり、測定時間の短縮を図ることができる。また、提案システムでは、ランドルト環の切れ目方向の回答の正誤に関わらず方向マーカの頂点を注視するものとする。切れ目方向の回答は次の順で行う。

1. 表示されたランドルト環に対して切れ目の方向

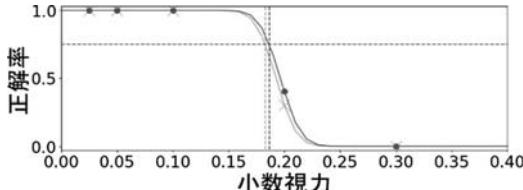


図 3 視力測定結果

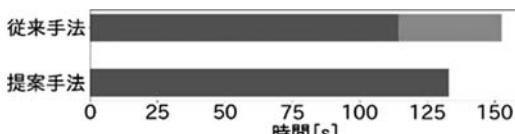


図 4 従来手法と提案手法の時間比較

をスティック入力により回答する

2. コントローラのトリガを  $t$  秒間引き続け、その間頂点を注視し続ける

これを様々なサイズのランドルト環を図 2 のように無作為に異なる 4 方向を表示することで、視力測定と視線較正のデータを取得する。

### 2.3 実験

実験では、提案システムの有効性を確認するため、従来の方法と比較を行った。HMD には Meta Quest Pro を使用し、視線データは Meta XR core SDK を用いて取得した。視力測定は視力 0.025, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3 の五つの区分で恒常法により測定した。提案法ではランドルト環を様々な位置に配置し、従来法ではランドルト環を中心配置した。視線較正は視野角 20 度の範囲を縦横 5 等分し、格子点上に指標を配置し、注視した点と指標の座標の距離を誤差とし、最小二乗法によりアフィン変換パラメータを求めて較正した。視線較正の指標として、提案法ではランドルト環を、従来法では十字マーカーを用いた。

#### 2.3.1 結果

視力は図 3 に示すように提案法で 0.186、従来法で 0.182 であった。また、視線較正の誤差は提案法で 0.62 度、従来法で 0.53 度であった。測定時間は図 4 に示すように、従来法では視力測定と視線較正を別々に行うため 152 秒を要したのに対し、提案法

では 133 秒であり、約 20 秒の短縮が確認された。

### 2.4 考察

結果より、提案システムが視力測定と視線較正を効率的に行い、時間短縮を達成できることが実証された。ただし、今回の実験では Meta Quest Pro の解像度の制約により、測定できる視力は 0.4 までに限られていた。視力 1.0 まで測定する場合、さらに時間が必要となることが予想される。また、今回使用した従来法はランドルト環を HMD の中央に配置する形式であったが、一般的な視力測定ではさらに簡易的な手順が採用されることが多い。

### 3. おわりに

研究会閉会後、大阪大学の名誉教授の方からお話を伺う機会をいただいた。このような著名な方と直接対話できる機会は非常に貴重であり、私にとって大変有意義な体験となった。特に、私の発表時には得られなかつた改善案をいただくことができ、今後の研究活動に大いに参考になる内容であった。

その中で、特に印象深かったのは「較正や視機能の測定は最初の一回だけで十分であり、何度も測定する必要性はない」というご意見である。私の発表内容では、複数人の測定や HMD を使用する時の毎回の較正に合わせて複数回の測定を行う手法を提案していたが、教授からの指摘により、実際の応用場面では初回の測定だけで十分であるという考え方もあることに気づかされた。この意見は、私が提案するシステムの対象を改めて考えるきっかけになるような視点を提供していただいたものだった。

このように、研究会での発表後に専門家からのフィードバックを直接得ることができたのは非常に貴重な経験である。この経験を通して、研究を発展させるためには、他者からの意見や指摘を積極的に取り入れることの重要性を改めて実感した。今後は、いただいたご意見を元に、より実用的で効率的なシステムの開発を目指して研究を進めていきたいと考えている。

## 日本認知科学会に参加して

別 莊 貴 信

Takanobu BESSHO

電子情報学専攻修士課程 2 年

### 1. はじめに

2024 年 10 月 12 日から 14 日までの 3 日間、東京大学本郷キャンパスにて「日本認知科学会 第 41 回大会」が開催された。その内、13, 14 日の 2 日間参加し、「シルエット錯視の認識における視線位置と視線移動の影響について」という題目でポスターセッションを行った。

認知科学とは、認知心理学や AI、コンピュータサイエンス、哲学、教育学などの研究者たちが集まって、人間や機械の認知システムの解明を目指す学際的な学問分野である。

### 2. 研究内容

#### 2.1 背景

本研究では、女性ダンサーのシルエットの図形を用いる（図 1）。この図形が連続的に変化することで、女性ダンサーが回転しているように見えるが、見方によって時計回りにも反時計回りにも見える。この多義的解釈が生じる現象をシルエット錯視という。この錯視はウェブデザイナーの茅原伸幸氏によって最初に作られものであり、視覚的曖昧性を利用した双安定性錯視の一例である。

シルエット錯視についての研究としては、多義的解釈に観察者の身体動作が影響を与えるという報告（阿部、2012）がある。また、反時計回りよりも時計回りに感じられる割合が高いことの理由として「上方からの視線のバイアス」（viewing-from-above bias）を提唱している報告（Troje et al., 2010）もある。

こうした研究例を踏まえて、本研究では視線位置や視線移動（眼球運動）が主観的な回転方向の切り替わりの回数に影響を与えるのではないかと推察し

た。



図 1 シルエット錯視画像

#### 2.2 実験課題

本実験では、被験者にディスプレイに表示されたシルエット錯視の画像を 120s 間提示し、ダンサーの回転がどちら回りに見えるのかをテンキーの入力により答えさせる。さらに、ディスプレイ上に視線位置を指示するマーカ（赤い十字）を表示し（図 2）、被験者には指定した箇所を見るよう指示する。

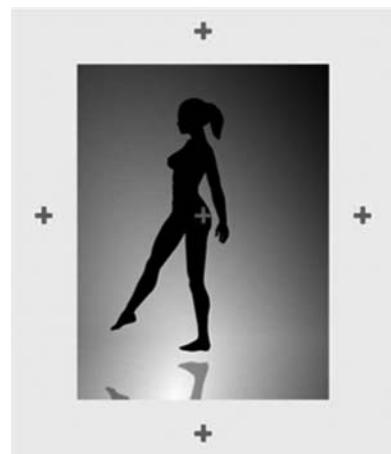


図 2 マーカ表示位置

実験課題は以下の通りである。大別すると、視線を 1 箇所に固定しながら見る視線固定と視線を動か

しながら見る視線移動の2種類の課題がある。

〈課題I〉 被験者数：16名

(視線固定)

・視線を上部に固定

・視線を女性ダンサーの腰部に固定

・視線を下部に固定

(視線移動)

・視線を上部→腰部→下部の順に移動 (Down)

・視線を下部→腰部→上部の順に移動 (Up)

〈課題II〉 被験者数：17名

(視線固定)

・視線を左部に固定

・視線を腰部に固定

・視線を右部に固定

(視線移動)

・視線を左部→腰部→右部の順に移動 (Left)

・視線を右部→腰部→左部の順に移動 (Right)

### 2.3 結果

視線を移動させた場合は、視線を固定させた場合と比べて有意に回転の切り替わり回数が多い結果となった (課題I :  $F(1, 110) = 34.191, p < 0.001$ , 課題II :  $F(1, 117) = 8.285, p < 0.01$ ).

視線を固定する位置による違いとしては視線を腰部に固定した場合に、視線を下部に固定した場合と比べ有意に回転の切り替わり回数が多くなった ( $t(15) = 1.792, p < 0.05$ ). また、右部に固定した場合は左部に固定した場合と比べ、有意に回転の切り替わり回数が多く ( $t(16) = 2.225, p < 0.05$ ), 視線固定の位置による左右差が確認された。

視線移動については、上からの移動 (Down) の方が、下からの移動 (Up) に比べ回転が切り替わりやすい傾向にある。

また、何も指示を与えずに被験者にシルエット錯

視の画像を見させた場合、時計回りに感じた割合と反時計回りに感じた割合はおおむね 6:4 になるという報告がある (時計回りの方が多くなるというバイアスがある). 本実験でも、ほとんどの課題においておおむね 6:4 であったが、視線を下部に固定させた場合と右部に固定させた場合のみ例外で、時計回りに感じた割合と反時計回りに感じた割合は 5:5 ほどであった.

### 2.4 総括

視線を固定させた場合より、視線を移動させながら画像を見た場合の方が回転が切り替わりやすいことが示された。

視線の固定位置による違いとして、下部に固定した場合に回転が切り替わりにくくなる傾向がある. また、視線の固定位置による左右差も確認でき、左部より右部に視線を固定した場合の方が、回転が切り替わりやすい.

視線移動のパターンによる違いとして、上から下に視線を動かしたときの方が、下から上へ視線を動かしたときより回転が切り替わりやすい. 一方で、視線移動による左右差は確認されなかった.

### 3. おわりに

限られた時間の中ではあったが、他大学の先生方や学生とディスカッションをすることができた. 様々な視点から意見をいただき、視野が広がる良い機会となった. 今回の経験を活かし、今後も研究活動に注力していきたい.

### 参考文献

- 阿部慶賀 (2012). 多義的図形解釈における身体動作の影響. 認知科学, 19(2), 226-229  
Troje, N., & McAdam, M. (2010). The Viewing-from-Above Bias and the Silhouette Illusion. *i-Perception*, 1 (3), 143-148

第 10 回 International Symposium on Surface Science  
「Surface modification of amorphous carbon thin films with 4-aminobenzoic acid by electrochemical oxidation」

長島 捷悟  
Shogo NAGASHIMA  
物質化学専攻修士課程 2 年

### 1. はじめに

私は、2024 年 10 月 21 日から 24 日に北九州国際会議場で開催された第 10 回 International Symposium on Surface Science に参加し、「Surface modification of amorphous carbon thin films with 4-aminobenzoic acid by electrochemical oxidation」という題目でポスター発表を行った。

### 2. 緒言

アモルファス炭素 (a-C) 薄膜は、水溶液中で広い電位窓を持ち、バックグラウンド電流が低いことから電気化学用の電極材料として期待されている。一方、薄膜材料への表面修飾は表面に新たな機能を付与することが可能であり、a-C 薄膜電極への表面修飾はセンサーやスーパー・キャパシター、バッテリーなどへの応用が期待されている。

薄膜材料への表面修飾法の 1 つである電気化学的手法による表面修飾の利点は分子を薄膜表面に共有結合によって固定できることや、ワンステップで修飾できること、修飾量を簡単にコントロールできることなどがあげられる。本研究では 4-アミノ安息香酸 (4-ABA) の電気化学酸化を用いた a-C 薄膜の表面修飾法の確立と、4-ABA による修飾層の特性を明らかにすることを目的とした。

### 3. 実験方法、結果、考察

a-C 薄膜は Nd:YAG レーザー ( $\lambda=266\text{nm}$ , 繰り

返し周波数 10Hz) を用いたパルスレーザー堆積法によって Si (100) ウエハー ( $0.01\text{-}0.02\Omega\text{cm}$ ) 上に基板温度 298K で作製した。膜厚は約 100nm とした。バックグラウンド圧力は  $5.0\times 10^{-5}\text{Pa}$  以下、レーザーエネルギー密度は  $1.0\text{Jcm}^{-2}$  で製膜を行った。a-C 薄膜の表面修飾は 4-アミノ安息香酸を含む  $10\text{mmol dm}^{-3}$  リン酸緩衝液 (pH=7.0) 中でサイクリックボルタモグラムを用いて行った。作用電極に PLD 法により作製した a-C 薄膜、対極に白金電極、参照電極に Ag/AgCl 電極を使用し、電位走査範囲 0-1.1V または 0.4-1.1V、走査速度  $20\text{mV s}^{-1}$  で行った。

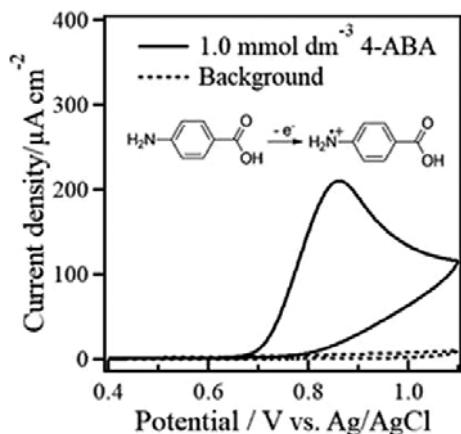


図 1  $1.0\text{mmol dm}^{-3}$  4-ABA を含む  $10\text{mmol dm}^{-3}$  phosphate buffer 中、a-C 薄膜上におけるサイクリックボルタモグラム

図 1 は  $1.0\text{mmol dm}^{-3}$  4-ABA を含む  $10\text{mmol dm}^{-3}$  リン酸緩衝液 (pH=7.0) 中におけるサイクリックボルタモグラムである。0.85V 付近に 4-ABA のアミノ基の酸化に起因するピークが見られた。

図 2 に a-C 薄膜と表面修飾された a-C 薄膜の XPS N 1s スペクトルを示す。表面修飾された a-C 薄膜では XPS N 1s スペクトルが確認され、4-ABA による修飾層の形成が確認できた。図 3 に AFM によって修飾層の一部を削り取った修飾 a-C 薄膜表面の AFM 像を示す。AFM によって修飾層削り取られている様子が明瞭に観察され、これからも 4-ABA による修飾層の形成が確認できた。

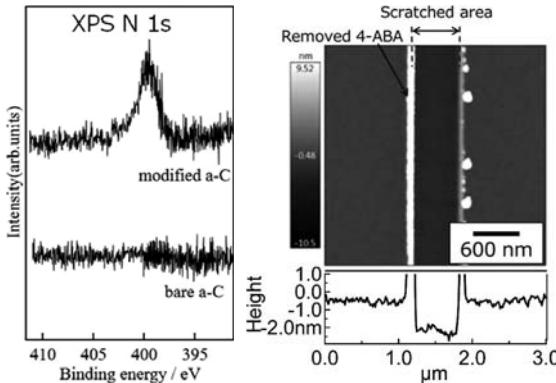


図2 修飾されたa-C薄膜と修飾されていないa-C薄膜のXPS N 1sスペクトル  
図3 AFM scratching test後

修飾されたa-C薄膜と修飾されていないa-C薄膜のAFM像

XPS N 1sスペクトル

次に修飾層形成時は溶液中に含まれる4-ABAの濃度変化とサイクリックボルタモグラムのサイクル数変化の2つの実験を行った。

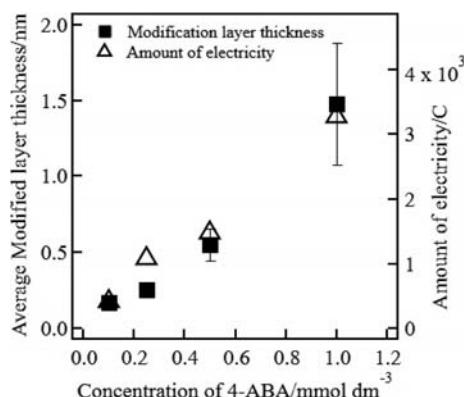


図4 溶液中に含まれる4-ABAの濃度変化に対する修飾層の厚みと反応電気量の変化

図4は溶液中に含まれる4-ABAの濃度変化に対するAFMから求めた修飾層の厚みと反応電気量の関係を示している。溶液中に含まれる4-ABAの濃度を増加させると、修飾層の厚みと反応電気量は共に増加した。

図5はサイクリックボルタモグラムのサイクル数変化に対するAFMから求めた修飾層の厚みと反応電気量の関係を示している。サイクル数を変化さ

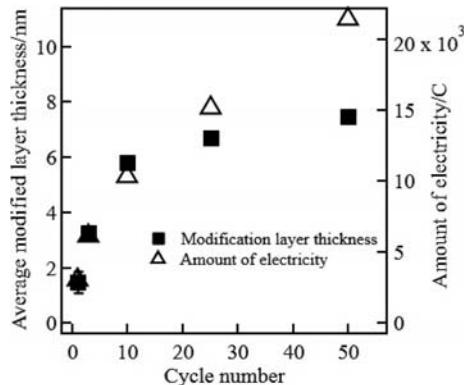


図5 サイクリックボルタモグラムのサイクル数変化に対する修飾層の厚みと反応電気量の変化

ると、1サイクルから10サイクルまではサイクル数の増加に伴い修飾層の厚みと反応電気量は増加した。10サイクルを超えると反応電気量の増加に比べて修飾層の厚みの増加率は鈍化する傾向が見られた。サイクル数が50になると修飾層の厚みは約8nmに達した。4-ABAの分子長が0.68nmであるのに対して修飾層の厚みが8nmであることは4-ABAがグラフト化することで多層膜を形成しているためと推測している。

#### 4. おわりに

私は今回初めて国際学会で発表を行った。英語での発表も行ったので研究目的や研究成果を正確に伝えることの難しさを実感した。様々な方から質問や意見をいただき自分の研究を客観的に見つめなおすいい機会となった。4日間にわたっていくつもの口頭発表やポスター発表を聴講してきたが、研究内容が似ている方や全く異なる研究を行っている方からプレゼンテーションやデータの解析法、計算化学について多くの学びがあった。今回の学びを研究に取り入れて研究活動を発展させていきたい。

最後に、このような貴重な機会を与えてくださいり、丁寧にご指導していただいた青井芳史教授、支えてくれた研究室の皆様方に深く感謝いたします。

## 国際会議 GCCE2024 での研究発表

周 桐

Tong ZHOU

情報メディア学専攻博士後期課程 3年

### 1. はじめに

2024年10月29日から11月1日までの4日間、福岡県北九州市にあるアジア太平洋インポートマートで開催されたIEEE 13th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2024)に参加し、「Adaptive Frequency-Dependent Regularization for Multi-Zone Sound Field Reproduction」というタイトルで、会議の2日目である10月30日にて口頭発表を行った。今回の会議では、発表件数は約500件であり、その内訳は口頭発表が321件、ポスター発表が163件、デモ発表が16件だった。

### 2. 発表・研究内容

本研究は、最小二乗法による音場制御において、性能と安定性を同時に考慮ながら、周波数ごとに一度の計算で適切な正則化パラメータを決定する手法である Adaptive Normalized Tikhonov (ANT) を提案した。

#### 2.1 多点音圧制御法

多点音圧制御法 (Pressure Matching) は、空間上に複数の制御点 (マイクロホン) を配置し、スピーカアレーを用いて制御点に与えた音圧特性によって音場を制御する手法である。各スピーカから各制御点までの伝達関数  $\mathbf{G}$ 、スピーカのフィルタ係数  $\mathbf{q}$ 、および制御点における所望の音圧特性  $\mathbf{p}$  の関係は、周波数領域で下の式で示される。

$$\mathbf{G}(\omega)\mathbf{q}(\omega) = \mathbf{p}(\omega)$$

$\omega$  は角周波数であり、以下の文で省略する。 $\mathbf{G}$  の逆行列が存在する場合、フィルタ  $\mathbf{q}$  は直接に求められる。しかし、 $\mathbf{G}$  の逆行列が存在しない場合

が多いため、 $\mathbf{q}$  の最適解を最小二乗法で近似する手法は広く用いられている。このとき、フィルタの近似解は以下の式で表される。

$$\hat{\mathbf{q}} = (\mathbf{G}^H \mathbf{G} + \lambda \mathbf{I})^{-1} \mathbf{G}^H \mathbf{p}^{des}$$

ここで、 $\mathbf{p}^{des}$  は各制御点で所望の音圧である。 $\lambda$  は合成音場の性能と安定性を左右する Tikhonov 正則化パラメータであり、システムの悪条件を改善するためのパラメータである。 $\lambda$  の値が小さくなるほど再生誤差が減少し、性能が向上する一方で、音場を制御するために必要なスピーカアレーの出力パワーが過大となり、システムが不安定になる可能性がある。そのため、スピーカ・制御点配置ごと、周波数ごとに適切な値を選ぶ必要がある。

#### 2.2 従来の正則化パラメータ決定法

同じスピーカ・制御点配置のシステムであっても、周波数が変わるとシステム条件数が大きく変化するため、周波数ごとに適切な  $\lambda$  の値を計算する必要がある。繰り返すの計算を要さない方法の方が計算量が少なく、より広く応用できる。

Normalized Tikhonov (NT) は、Gauthier らに2013年に提案した手法であり、各周波数の伝達関数における  $\mathbf{G}^H \mathbf{G}$  の最大固有値  $\sigma_1^2$  の定数倍  $\alpha$  によって  $\lambda$  の値を決定する手法である。

$$\lambda_{NT} = \alpha \sigma_1^2$$

この手法は、周波数の変化に応じて自動的に  $\lambda$  の値を調整できるが、しかし、一つの定数  $\alpha$  では全ての周波数に適切な結果が得られないことが分かっている。

もう一つよく用いられる手法に L-curve がある。この手法では、多数の  $\lambda$  の候補値を試し、それぞれの値における再生誤差とアレーのパワーを図で表現する。図のカーブがアルファベットの「L」に似ている場合が多く、そのカーブの曲率が最大となる点での  $\lambda$  は選ばれる。しかし、この手法は周波数ごとに最大曲率点を見つけるために繰り返し計算が必要であり、さらに、すべての周波数に対して必ずしも「L」の形状が現れるとは限らないため、実際

の使用には困難が伴うと考えられる。

### 2.3 提案手法：ANT

本研究では、NT と L-curve を組み合わせて各手法の長所のみを活用し、全周波数帯域に適応可能で繰り返し計算を不要とする ANT を提案する。具体的な処理は以下の通りである。

1. いくつかの  $\omega$  で L-curve により  $\lambda_L(\omega)$  を決定
2. 各周波数に対して  $\alpha(\omega) = \frac{\lambda_L(\omega)}{\sigma_1(\omega)^2}$  を算出
3. Step1 と Step2 で得た  $\omega - \alpha$  のサンプルデータを指數減衰関数で近似し、 $\alpha$  を周波数に関する関数として  $\alpha_{ANT}(\omega) = f(\omega)$  を求める
4. 他の周波数に対して、 $\lambda_{ANT}(\omega) = \alpha_{ANT}(\omega)\sigma_1(\omega)^2$  を算出

### 3. シミュレーション結果

提案手法の性能を確認するため、計算機シミュレーションによる評価実験を行った。Step3 における  $\alpha_{ANT}$  は、周波数に関する関数は表 1 のデータで近似した。その近似結果である指數減衰関数は図 1 に示している。

表 1 サンプルデータ

Frequency	$\lambda_L$	$\sigma_1^2$	$\alpha = \lambda_L / \sigma_1^2$
200Hz	$1.245 \times 10^{-1}$	$1.515 \times 10$	$8.222 \times 10^{-3}$
600Hz	$2.994 \times 10^{-4}$	4.390	$6.819 \times 10^{-5}$
1000Hz	$6.450 \times 10^{-6}$	1.738	$3.710 \times 10^{-6}$
1400Hz	$1.390 \times 10^{-7}$	$9.520 \times 10^{-1}$	$1.460 \times 10^{-7}$
1800Hz	$5.180 \times 10^{-9}$	$6.395 \times 10^{-1}$	$8.099 \times 10^{-9}$

従来の L-curve では、候補の  $\lambda$  の値は 10 から  $10^{-14}$  の間で対数的に 64 個選んだ。一方、NT では、固定の  $\alpha$  値として、 $10^{-2}$ ,  $10^{-5}$  及び  $10^{-8}$  の 3 つにした。それぞれの実験結果は図 2 に示している。図 2 から、提案した ANT は L-curve と収束傾向が似ており、周波数ごとの適応的な  $\alpha$  の有効性が確認された。L-curve では、一部の周波数で極小や極大の値が突然現れることがあったが、これはその周波数で得られたカーブは「L」の形に形成しないため

である。従来の NT では、 $\alpha$  の値にかかわらず周波数の変化に伴う減少率がほぼ同じ傾向を示した。これは、固定された  $\alpha$  の場合、 $\lambda$  は  $\sigma_1^2$  と線形的に変化するが、システム自体の条件数は周波数の変化によって指數的に減衰するため、すべての周波数に対して適切な値にならないからだ。

各手法で決定した  $\lambda$  における再生誤差とアレーの出力パワーを比較した結果（ここでは省略）、提案手法は従来手法よりも全ての対象周波数範囲において、音場制御の性能と安定性のバランスを維持できたことが分かった。

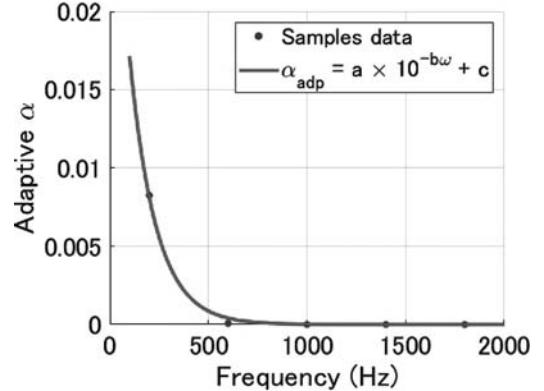


図 1 適応  $\alpha$  の近似関数結果

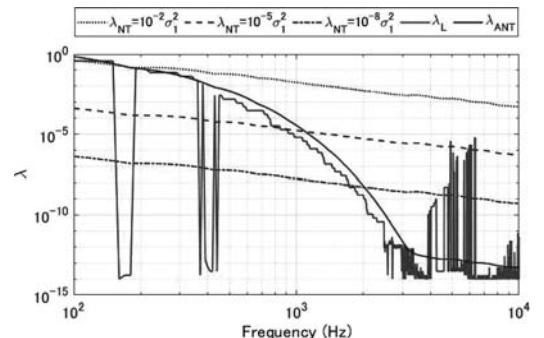


図 2 各手法による正則化パラメータ結果

### 4. おわりに

本研究は周波数ごとに一度の計算で正則化パラメータ決定法の ANT を提案した。

最後に、本研究および発表にあたりご指導をいたいた片岡章俊教授に感謝する。

## GCCE2024 のポスターセッションにおける研究発表

安 田 尚 平

Shohei YASUDA

電子情報通信コース修士課程 1年

### 1. はじめに

2024年10月29日から11月1日に北九州市で開催された IEEE 13th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE2024) のポスターセッションで研究成果を発表した (図1参照)。私が発表したセッションは10月31日であった。本学会は国際学会であり、英語での発表と質疑応答を行った。

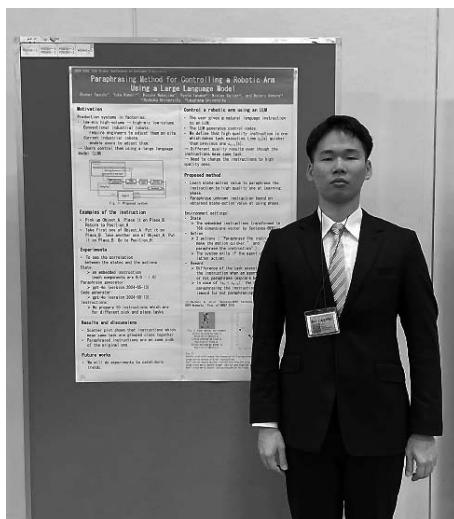


図1 ポスターと筆者

### 2. 研究内容

本学会において、私は「Paraphrasing Method for Controlling a Robotic Arm Using a Large Language Model」という題目でポスター発表を行った。本研究に関する説明を2.1節から2.4節で行う。

#### 2.1 背景

工場の生産体制は少品種大量生産から多品種少量生産へと移り変わっており、生産ラインの頻繁な設

計変更が予測される。従来、生産ラインの導入時と動作変更時には、技術者による現場調整が必要であり、そのコストは産業用ロボットをシステムとして統合するためにかかる全体のコストの半数以上を占める。本研究では、生産ラインの導入時と動作変更時にかかるコストを削減するために、ユーザが自然言語の指示文を与えることによって生産ラインを設計することを目指し、大規模言語モデル (LLM) を用いた生産ラインの設計を扱う。本研究では、アーム型ロボットを用いたピックアンドプレースタスクを扱う。

#### 2.2 大規模言語モデル (LLM)

LLM は、多数のパラメータを持つ人工ニューラルネットワークの言語モデルである。Attention 機構に基づく Transformer が主流である<sup>[1]</sup>。インターネットレベルの大量のデータを用いて事前学習することで、次に現れる単語を確率的に予測する機能を有する学習済みモデルとなる。LLM はユーザの自然言語の形式のプロンプトを受け入れ、前後の単語を基に尤度の高い単語を逐次的に生成することでプロンプトに対する回答を行う。LLM は自然言語の文章での回答だけでなく、Python のようなプログラミング言語のソースコードでの回答が可能である。つまり、ユーザが人に指示を与えるような感じの指示文でアーム型ロボットのような生産ライン上の機器を制御することが可能である。

#### 2.3 問題点と提案法

LLM を用いてアーム型ロボットを制御する時、同じタスクを表す指示文を与えるても、指示文の書き方によって異なる制御結果を得ることがある。そこで、質が高い制御となるような指示文の言い換え方を学習する方法を提案する。ここで、質が高い制御をタスク実行時間が短い制御と定義する。

本手法では、指示文を言い換えるために言い換え生成器を用意する。状態空間を現在の指示文の埋め込みベクトルとする。SentenceBERT<sup>[2]</sup>を用いて指

示文を 768 次元のベクトルに変換し、状態として扱う。行動の集合として、現在の指示文を速い動作になるように言い換えるという行動と言い換えないという行動の 2 つの行動を扱う。タスクの実行時間を負の報酬  $r$  として使用し、式 1 の SARSA<sup>[3]</sup>の更新式に基づいて状態行動価値を更新する。本手法は、言い換え方学習時と言い換え方使用時の 2 つのフェーズから成り、言い換え方学習時に、言い換えによって得る報酬から指示文の質を向上するための状態行動価値を学習する。言い換え方使用時に、得た状態行動価値を用いて指示文を言い換える（図 2 参照）。

$$Q(s_t, a_t) = (1 - \alpha)Q(s_t, a_t) + \alpha[r_{t+1} + \gamma Q(s_{t+1}, a_{t+1})] \quad \dots \text{ (式 1)}$$

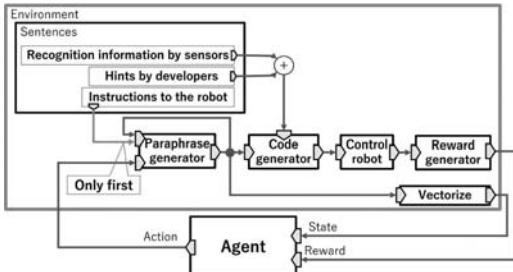


図 2 提案システムの模式図

#### 2.4 実験

提案法の状態と行動の相関を見るために、実験を行う。指示文を 10 個用意し、それぞれに対して 3 個言い換えを生成する。元の指示文を合わせて合計 40 個の指示文に対して状態ベクトルを得て、図 3 に示すシミュレータ上のデンソーウェーブ社製の 6 自由度アーム型ロボットである Cobotta の制御を行い、状態ベクトルとタスク実行時間を得る。

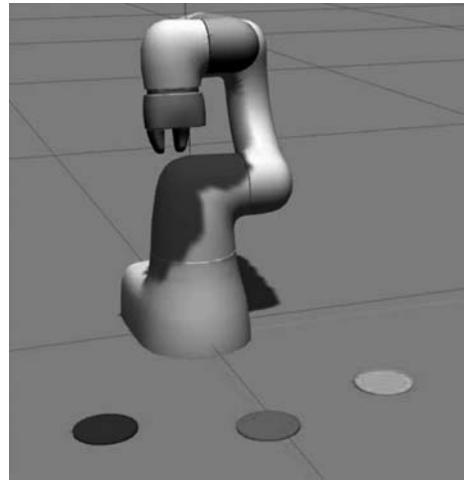


図 3 シミュレータ上の Cobotta

赤い円の位置が Object\_A の位置、青い円の位置が Place\_B の位置、緑の円の位置が Object\_C の位置である。

#### 3. おわりに

これらの研究成果を GCCE2024 のポスターセッションで発表した。国際学会での発表は初めてであった、滞りなく、英語での研究の説明と質疑応答ができた。参加者からの質問の中には、今後の研究に活きるような内容もあり、有意義なセッションとなつた。

最後に、本研究における熱心な指導と原稿執筆のための添削でお世話になった指導教員の植村涉先生に感謝する。

#### 参考文献

- [1] A. Vaswani, et al., "Attention is All you Need," Neural Information Processing Systems, pp.6000-6010, 2017.
- [2] N. Reimers, et al., "Sentence-BERT: Sentence Embeddings using Siamese BERT-Networks," Proc. of EMNLP2019, pp.3982-3992.
- [3] Rummery, G. & Niranjan, Mahesan. (1994). On-Line Q-Learning Using Connectionist Systems. Technical Report CUED/F-INFENG/TR 166.

## GCCE2024 での研究発表報告

中嶋 洸介  
Kosuke NAKAJIMA  
電子情報通信課程 4 年

### 1. はじめに

2024 IEEE 13th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE2024) という国際学会にて、デモのセッションで発表を行った。本報告では、研究・発表内容を記載した上で、国際学会全体についてまとめる。

### 2. 研究内容・発表内容

#### 2.1 背景

第四次産業革命により、少品種大量生産の時代から、多品種少量生産の生産体制に移り変わっている。多品種少量生産の生産体制にするためには、1つの生産ラインにて色々な種類の製品を同時に扱う必要がある。このような生産体制を実現するためには、自律移動ロボットが注文ごとに部品を対応する加工マシンに運搬することが必要である。この時、自律移動ロボットは自分で設定した経路を走行することが求められる。目的地までの走行を正確に行うために、自己位置推定が必要である。この自己位置推定について、二次元バーコードである ArUco マーカーを用いた研究がある（図 1）。

カメラで撮影したマーカーの大きさや傾きから位置関係を計算する。ロボットとマーカーの距離に応じて、マーカーの大きさが変わり、マーカーが貼っている面とロボットに角度がついていると、画像上のマーカーは台形に歪むので、その歪みから傾きがわかる。このマーカーを加工マシンの側面に貼り、ロボットのカメラで撮影することにより、位置情報を計算する。そして、マーカーの白黒の組み合わせに ID 番号が紐づけられている。走行中にも自己位置推定ができると、走行性能の向上が期待できる。ここで、走行時にマーカーを撮影すると、ブレが発

生し、識別率が低下する。本研究では、そのブレを対象とする。

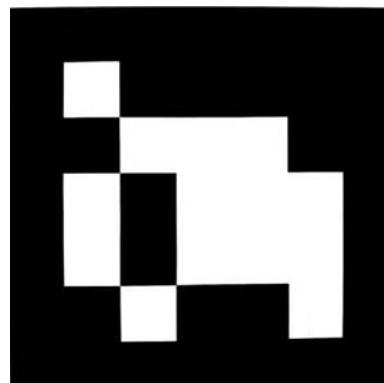


図 1 ArUco マーカー

#### 2.2 ArUco マーカーについて

本研究で用いた ArUco マーカー (ARUCO\_ORIGINAL\_DICT) は、各マーカー間のハミング距離が 3 以上離れているため、1 マスの誤り訂正能力を持っている。1024 通りのマーカー全てのハミング距離を確保するのは難しいため、マーカーのパターンを行に分けて扱い、各行は 4 通りのパターンのみに限定している（図 2）。この 4 通りのパターンは、それぞれハミング距離が 3 もしくは 4 離れているため、このパターンを 5 つ選んで作ったマーカーは、どこか 1 行でも異なっていれば、必ず 3 マスは異なっているためハミング距離 3 が保証される。これにより、1 マスの誤りが発生しても誤り訂正能力により正しい識別が可能である。

#### 2.3 ロボット走行時のブレ

本研究では、ロボット走行中に ArUco マーカーを識別することを想定している。走行中、カメラのブレによりマーカー内のマスの識別を間違えることがある。特に、マーカー全体がブレるため、複数箇所を同時に間違えることが多い。この場合、従来の ArUco マーカーの 1 マスの誤り訂正能力では対応が不十分となり、識別率が著しく低下してしまう。

## 2.4 行ごとの誤り訂正方法の提案

ロボット走行中には、2マス以上の識別誤りが発生しやすい。この2マス以上の誤りに対して、行ごとに誤りを訂正する方法を提案する。ArUcoマーカーは行単位で、ハミング距離が3以上離れた4パターンの白黒の組み合わせから作成されている。つまり、行ごとのパターンにおいて、すでに1マスの誤り訂正能力を持っている。これを利用すると、5行のArUcoマーカーの場合、最大5マスの誤りの訂正が可能である。

- ①
- ②
- ③
- ④

図2 マスの白黒パターン

## 2.5 実験

ArUcoマーカーの前方4mのところから、カメラのついたロボットが、マーカーに向かって一定速度で走行し、その走行中に撮影する。実験環境の写真は、図3である。カメラは、C920、ロボットは、Robotino 3を使用する。ロボットの速度は、0.1m/sから0.5m/sまで、0.1m/s単位で変更する。



図3 実験環境

## 2.6 結果と考察

従来法と提案法の認識率の結果を図4と図5に示す。提案法の方が、距離と速度共に認識できる範囲が広がったことが分かる。1行ごとに誤り訂正をする提案法が有効であることがわかった。

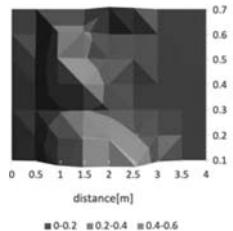


図4 従来法

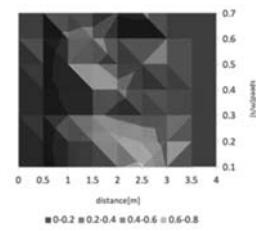


図5 提案法

## 3. 発表した感想

今回の国際学会では、デモ形式の発表ということで多くの質問を頂けたり、デモを提示するタイミングを調整したりと考えることが多くとても良い経験になったと感じています（図6）。

このような機会をくださった植村先生に感謝いたします。



図6 発表中の写真

## 日本機械学会機械材料・材料加工 技術講演会に参加して

吉 田 隆

Riku YOSHIDA

機械システム工学専攻修士課程 2年

### 1. はじめに

私は 2024 年 11 月 2 日から 3 日にかけ、富山大学にて開催された「日本機械学会機械材料・材料加工技術講演会 (M&P2024)」に参加、研究テーマである「摩擦圧接により作製した SUS304 鋼薄肉円管の機械的性質」について口頭発表を行った。

### 2. 研究内容

#### 2.1 研究背景

現代社会において薄肉円管は広い分野、様々な用途で使用されている。一般的にそれらの接合に適用されている TIG 溶接などの接合法に比べ、利点が多い摩擦圧接の適用が期待されている。しかし円管の摩擦圧接、特に薄肉円管の接合に関する研究は少ない。

そこで本研究では広く用いられている SUS304 鋼の薄肉円管の摩擦圧接に注目し、摩擦圧接実験を行い、良好な継手を得られる摩擦圧接条件を検討した。加えて、圧接条件が継手の特性に対して及ぼす影響を調査した。

#### 2.2 実験方法

実験に使用した供試材は外径 25.4mm、肉厚 1.2mm の SUS304 薄肉管材である。供試材の形状を図 1 に示す。摩擦圧接条件を表 1 に示す。回転数および摩擦時間を一定として摩擦圧力を変化させた (アップセット圧力は摩擦圧力の 2 倍とした)。摩擦圧接により作製した継手で引張試験を行い、継手強度を評価した。摩擦圧接により作製した試料の外観を図 2 に示す。作製した継手から接合部周辺を切り出し、樹脂包埋を行った後に接合部断面を鏡面まで研

磨した。研磨後、王水を用いてエッチングを行い、接合部とその周辺の微細組織を光学顕微鏡 (BX53 M, OLYMPUS) および電子顕微鏡 (JIB-460F, JEOL) で観察した。

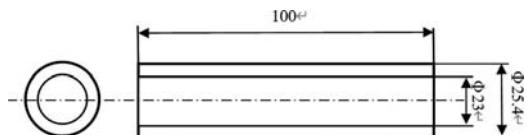


図 1 供試材形状

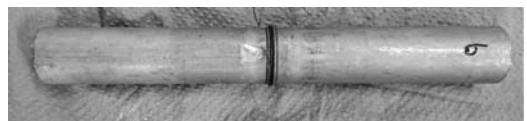


図 2 摩擦圧接試料の外観

表 1 摩擦圧接条件

No.	1	2	3
摩擦圧力 [MPa]	20	30	40
摩擦時間 [s]	0.5	0.5	0.5
アップセット圧力 [MPa]	40	60	80
アップセット時間 [s]	10	10	10
回転数 [rpm]	7000	7000	7000

#### 2.3 実験結果

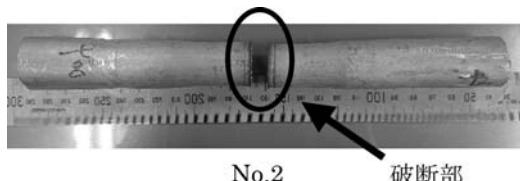
表 2 に引張試験結果を示す。本研究で摩擦圧接により作製した試料の継手効率は摩擦圧力の増加に伴い上昇し、試料 No.1 は 67%, No.2 は 91%, No.3 は 100% となった。また、No.2, No.3 試料の引張試験後の外観を図 3 に示す。No.1, No.2 の摩擦圧接条件で作製した継手の破断位置は接合部、No.3 の摩擦圧接条件で作製した継手の破断位置は母材であった。接合部の組織観察結果から、接合部においてき裂や未接合部は確認されず、また接合界面から約 0.5mm の領域における結晶粒の大きさは母材と比

較して小さいことが分かった。接合界面とその周辺及び母材の微細組織を FE-SEM で観察した。FE-SEM による微細組織の観察では、母材の結晶粒径が約  $10\mu\text{m}$  であるのに対し、接合界面周辺の結晶粒径は数  $\mu\text{m}$  程度となっており、接合部周辺で結晶粒の微細化が生じている。

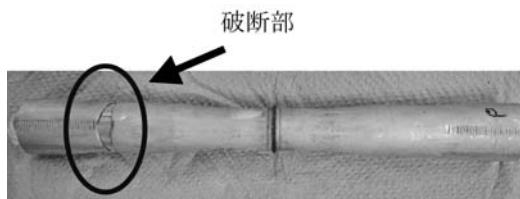
これらの結果より、適切な摩擦圧接条件を用いることで、高い継手強度を示し、接合界面に未接合領域の無い薄肉円管の継手を得られることが分かった。

表 2 引張試験結果

No.	1	2	3
引張強さ [MPa]	447	606	662
継手効率 [%]	67	91	100
破断形態	接合部	接合部	母材



No.2 破断部



No.3

図 3 引張試験後の試料外観

## 2.4 結言

外径 25.4mm、肉厚 1.2mm の SUS 薄肉管材を用いた摩擦圧接を行い、継手特性に及ぼす摩擦圧接条件の影響を明らかにすることを目的として実験を行い、以下の結論を得た。

- 適切な摩擦圧力およびアップセット圧力を用いることで、接合界面に未接合領域がなく、高い継手強度を示す配管用の薄肉管材継手を得られることがわかった。
- 接合界面から約 0.5mm の領域における結晶粒の大きさは、母材と比較して小さいことがわかった。

## 3. 発表を終えて

初の学外研究発表であったため、様々な面で有意義な経験ができた。学会発表を通して多様な意見をいただき、新たな視点から研究方針について得られるものがあった。また自身の研究テーマに非常に近い研究をされている方々の発表を直接聴くことにより、分野への理解も深まった。

## 4. おわりに

学内での発表に比べ、より広い範囲の方々と接する貴重な機会を得られた。

最後に本技術講演会の司会者として尽力していただいた森先生、阪大接合研の藤井先生、森貞先生にこの場を借りて厚くお礼申し上げます。

## Preparation of tin oxide thin films by liquid phase deposition method and their application to the electron transport layer of perovskite solar cells

黒川 聖也

Seiya KUROKAWA

物質化学専攻修士課程 2年

### 1. はじめに

今回私は 11 月 11 日から 15 日にキラメッセ沼津で開催された PVSEC-35 に参加しました。

### 2. 研究内容

本学会では液相析出法による酸化スズ薄膜の作製とそのペロブスカイト太陽電池の電子輸送層への応用というテーマで発表行いました。ペロブスカイト太陽電池 (PSC) とは発電層に  $ABX_3$  のペロブスカイト構造を持つハロゲン化ペロブスカイト材料を用いた太陽電池であり、次世代の太陽電池として注目されている。PSC は、透明導電膜、電子輸送層 (ETL)、ペロブスカイト層、正孔輸送層 (HTL)、電極で構成されており、ペロブスカイト層だけでなく、ETL と HTL も性能向上の重要な要素である。ETL に求められる特性は、高い電気伝導率、高い透過率、および ETL の伝導帯のエネルギー準位がペロブスカイト層の伝導帯 (CBM) のエネルギー準位よりも低いことが挙げられる。平面ヘテロ型 PSC の ETL には、 $TiO_2$ 、 $ZnO$ 、 $SnO_2$  などの金属酸化物が使用されている。 $TiO_2$  は ETL に広く使用されているが  $TiO_2$  は高い焼成温度 ( $\geq 450^\circ C$ ) を必要とし、フレキシブルデバイスには適用できない。また グルゲル法で作製された  $ZnO$  では、 $ZnO$  に残留するヒドロキシル基がペロブスカイトの分解を促進してしまうという問題がある。一方、 $SnO_2$  は、その高い電気伝導性、広いバンドギャップ、および低温で製造が可能であるということから、PSC の性能

を向上させる有望な材料として注目されている。多くの場合、 $SnO_2$  はグルゲル法および原子層堆積 (ALD) によって堆積されているが、グルゲル法では複雑な形態の表面に追従して薄膜を形成することが難しく、ALD では高価な真空装置を使用する必要がある。本研究では、液相析出 (LPD) 法によって  $SnO_2$  薄膜を作製し、PSC の ETL への適用について検討した。LPD 法は金属フッ化物錯体の加水分解平衡反応をフッ化物捕捉剤により金属酸化物生成側にシフトさせることで金属酸化物薄膜を得る方法であり、低温の水溶液プロセスで複雑な形態の表面に金属酸化物薄膜を形成することが可能で、高価な装置を必要としない。

LPD 法の母液として、 $SnF_2$  溶解した 5%  $H_2O_2$ -5% HF 水溶液と  $H_3BO_3$  水溶液を使用した。 $SnO_2$  薄膜は、0.01mol dm<sup>-3</sup>  $SnF_2$  と 0.20mol dm<sup>-3</sup>  $H_3BO_3$  溶液を含む反応溶液に FTO 基板を  $60^\circ C$  で浸漬して作製し、反応時間は膜厚が 50nm になるように調整した。その後得られた  $SnO_2$  薄膜は、空気中  $100\sim 500^\circ C$  で 30 分間焼成した。PSC は以下のように製造した。ペロブスカイト層 ( $Cs_{0.05}(FA_{0.83}MA_{0.17})_{0.92}Pb(I_{0.83}Br_{0.17})_3$ ) を  $SnO_2$  上にスピンドルコートで堆積し、 $100^\circ C$  で 10 分間アニールした。次に、正孔輸送層 (Spiro-OMeTAD) をスピンドルコートで堆積し、 $70^\circ C$  で 30 分間アニールした。最後に、金電極を真空蒸着して、平面ヘテロペロブスカイト太陽電池を製造した。

FTO 上に成膜された  $SnO_2$  薄膜の表面 SEM 像から、 $SnO_2$  が FTO の複雑な表面に追従して堆積していることが確認でき、得られた  $SnO_2$  薄膜の焼成温度の変化による表面形態の差は見られなかった。

次に XPS により  $SnO_2$  の組成を調べたところ、得られた  $SnO_2$  は  $Sn$ 、 $O$ 、 $F$  で構成されており、成膜直後では  $F$  は 6.56% 存在していたが焼成温度の上昇に伴い減少した。 $O1s$  スペクトルは  $Sn-O$  結合、酸素空孔、水酸基 (-OH) で波形分離され焼成温度が上昇するに従って、酸素空孔は増加、-OH は減少することが確認できた。

次に  $\text{SnO}_2$  の電気化学特性の評価をモットショットキー (MS) プロットにより行った。フラットバンド電位は焼成温度が上昇するに従って増加した。MS プロットからドナー濃度を算出したところ、100°C で焼成した  $\text{SnO}_2$  が最も大きくなかった。また、CBM のエネルギー準位 ( $E_{\text{CBM}}$ ) を算出したところ、焼成温度が上昇するに従って低下することが確認できた。

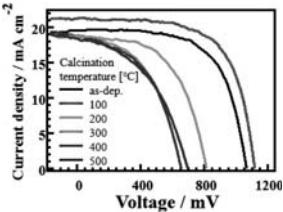


図 1 PSC の J-V 測定結果

得られた  $\text{SnO}_2$  薄膜を PSC の ETL に応用した。図 1 は各条件で焼成された  $\text{SnO}_2$  を ETL として用いた PSC の J-V 測定 (チャンピオンデータ) の結果を示している。100°C で焼成した  $\text{SnO}_2$  を ETL として用いたとき、最も良い性能を示し、最大電力変換効率 15.94% であった。さらに短絡電流密度 ( $J_{\text{sc}}$ ) は 100°C で焼成した  $\text{SnO}_2$  を ETL として用いたとき最も高く、それ以上の温度で焼成すると減少する傾向が得られた。開放電圧とフィルファクターは  $\text{SnO}_2$  の焼成温度が上昇するに従って減少することが確認できた。次に、PSC のインピーダンス測定を行った。ナイキストプロットの結果から、デバイスの電荷移動抵抗は  $\text{SnO}_2$  の焼成温度が上昇するに従って大きくなることが確認できた。さらにペロブスカイト層で励起した電子と正孔の再結合について調べるため、PL 測定を行った。PL スペクトルは励起電子と正孔が再結合する際に生じる蛍光によるものである。PL 測定の結果、 $\text{SnO}_2$  の焼成温度が上昇するに従ってピーク強度が大きくなかった。これは  $\text{SnO}_2$  の焼成温度が高いほど励起電子と正孔がより再結合しやすいことを示す。

次に、 $\text{SnO}_2$  の焼成温度が太陽電池特性に及ぼす影響について考察した。

図 2 には PSC のエネルギーダイアグラムを示す。 $\text{SnO}_2$  のエネルギー準位は光学的バンドギャップと  $E_{\text{CBM}}$  から推定し、FTO、ペロブスカイト、spiro-OMeTAD、および Au 電極の値は文献値を用いた。

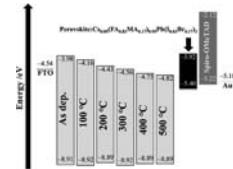


図 2 PSC のエネルギーダイアグラム

エネルギーダイアグラムから  $\text{SnO}_2$  とペロブスカイトの  $E_{\text{CBM}}$  の差が焼成温度の上昇に伴い、大きくなることがわかる。これより、焼成温度の上昇に伴い電荷移動抵抗が増加することが考えられる。この結果は、 $\text{SnO}_2$  の焼成温度が低いと、 $\text{SnO}_2$ /ペロブスカイト界面のエネルギーレベルがよりよく一致し、ペロブスカイトから  $\text{SnO}_2$  ETL への電荷移動がより効率的になり、 $J_{\text{sc}}$  が向上することを示唆する。さらに、XPS により、焼成温度の上昇とともに酸素空孔が増加することから、焼成温度が高いほど電子が酸素空孔にトラップされ、その結果電荷移動抵抗が増加し、 $J_{\text{sc}}$  が小さくなることも考えられる。加えて、100°C -  $\text{SnO}_2$  のドナー濃度が最も高いことからも高い  $J_{\text{sc}}$  を示したと考えられる。次に、開放電圧 ( $V_{\text{oc}}$ ) の変化について考察した。焼成温度の上昇に伴い  $V_{\text{oc}}$  が減少するのは  $\text{SnO}_2$  の  $E_{\text{CBM}}$  と HTL の  $E_{\text{VBM}}$  間のエネルギー差が減少したためであると考えられた。これらの結果から、ETL として 100°C で焼成した  $\text{SnO}_2$  を使用した PSC が最高の性能を示すことを明らかにした。

### 3. おわりに

本学会に参加するにあたって、本研究の内容を英語で伝えることの難しさを感じました。また質疑を受けることで、本研究の強みや課題点など理解することにもつながりました。今回の学会で得たことを次の研究に活かすことで更なる発展が期待できると考えています。

## 第9回フォトニクスワークショップ に参加して

光 本 涼  
Ryo MITSUMOTO

電子情報通信コース博士後期課程 1年

### 1. はじめに

2024年11月14日から2日間、沖縄県那覇市で開催された、応用物理学会フォトニクス分科会が主催する「第9回フォトニクスワークショップ」において龍谷大学先端理工学研究科として、「導波路型PPLN結晶を用いたmW級広帯域中赤外コム発生とデュアルコム分光への応用」という題目でポスター発表を行った。

### 2. 研究背景

中赤外（MIR）領域は分子の吸収線が豊富に存在することから、分子の指紋領域と呼ばれ微量ガスや大気などの物質同定に利用される。一方で、近赤外域では光周波数コム（光コム）を2台用いたデュアルコム分光法が、広帯域・高精度・高速な次世代フーリエ変換赤外分光法として注目されている。近赤外域で開発されたデュアルコム分光計をMIR領域で開発することができれば、ガスや大気に含まれる複数分子の検出を高精度かつ高速に行うことが可能となる。この技術を実現するために、MIR領域での光周波数コム（MIRコム）の開発が環境や医療分野での新たな実用光源として期待されている。

MIR域光コム（MIRコム）発生の実用的手法は、光コム技術の成熟しているエルビウム（Er）ファイバーコムを基本波光源とし非線形光学結晶を用いた差周波発生を用いることである。ポンプ光とシグナル光を分けそれを光増幅した後結晶に集光するマルチパス構成では数百mWのMIRコム発生が可能である。近年、よりシンプルな構成でMIRコム発生を目指すシングルパス構成の研究が盛んに行われている。広帯域化したErファイバーコムの光を

導波路型周期分極反転ニオブ酸リチウム（PPLN WG）結晶に入射することで、2.5-4.5μmにわたる広帯域光コム発生に成功している<sup>[1-3]</sup>。しかしながら、MIRコムの出力は数百μWほどであり実用的な分光応用には不十分であった。

以上の背景から、本研究ではPPLN WGを用いたシングルパス構成による広帯域MIRコム発生の出力をmW級に向上させ、その光源を用いた広帯域MIR-DCSを開発することを目的とする。

### 3. セットアップ

広帯域MIRコムの発生出力の向上を目的に、セットアップ各構成部の最適なパラメーター探索を行った。広帯域MIRコムの実験セットアップをFig. 1に示す。光源には繰り返し周波数100MHzのErファイバーレーザーを用いた。光源は偏波保持Er添加ファイバーアンプ（PM EDFA）で増幅した後、偏波保持ファイバー（PMF）を介して、偏波保持高非線形ファイバー（PM HNLF）で広帯域させ、PPLN WGにバット結合させた。PM HNLFからの出力は300mW、光パルスのエネルギーは3nJで、PPLN WGへの結合は70%であった。PM HNLFに入射する光パルスの幅の測定にはオートコリレーターを用いた。PPLN WGからのMIR出力はロングパスフィルター2枚を介して、熱式のパワーメーターで測定した。スペクトルの測定には光スペクトラムアナライザーを用いた。

### 4. mW級広帯域MIRコム発生

セットアップ各構成部の最適なパラメーターの探索を行い、PM HNLFに入射する光パルスの分散値を可能な限り0になるよう調整し、ファイバー長さと結晶長さを最適化したPM HNLFとPPLN WGのセットに入射することで広帯域MIRコムを発生させた。広帯域MIRコムの出力を各帯域に分けて測定した結果をTable 1に、スペクトルを約3秒おきに600秒間測定した結果をFig. 2に示す。発生したMIRコムは2.4-4.5μmの広帯域なMIRスペクト

ルを有しており、 $2.4\mu\text{m}$  より長波長側の出力は約 4 mW であった。また、各波長帯域に分けても、数百  $\mu\text{W}$  の出力を有していた。以上の結果より、本研究では PPLN WG を用いたシングルパス構成での mW 級広帯域 MIR コムの開発を達成した<sup>[4]</sup>。

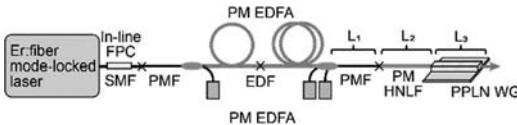


Fig. 1 Experimental setup of MIR comb generation

## 5. 広帯域 MIR-DCS の開発

本研究で開発した mW 級広帯域 MIR コムを 2 台用いて、広帯域 MIR デュアルコム分光計を開発した。それぞれのコムは CW レーザーを介して位相同期させた。繰り返し周波数 (frep) は 100 MHz, 2 台の MIR コムの繰り返し周波数の差 ( $\Delta f_{\text{rep}}$ ) は 80 Hz に設定した。デュアルコムスペクトルは 100,000 回積算したインターフェログラムを高速フーリエ変換 (FFT) することで取得した。実験の結果、 $2.8\text{-}4.5\mu\text{m}$  にわたる広帯域 MIR デュアルコムスペクトルを測定することができ、空気中の  $\text{CO}_2$  やガスセル中の  $\text{CH}_4, \text{N}_2\text{O}$  による光の吸収を同時に観測することに成功した<sup>[5]</sup>。

## 6. まとめ

本研究では、PPLN WG を用いたシングルパス構成での広帯域 MIR コム発生出力を向上させるため、セットアップ各構成部の最適なパラメーターの探索を行った。セットアップ最適化の結果、約 4 mW の出力と  $2.4\text{-}4.5\mu\text{m}$  の MIR スペクトルを有した、mW 級広帯域 MIR コムを発生させることに成

Table 1 MIR comb output for each wavelength band

Wavelength ( $\mu\text{m}$ )	2.4 - 4.5	3.0 - 4.6	3.0 - 3.5	3.25 - 3.75	3.75 - 4.25	4.0 - 4.5
MIR power (mW)	4.21	2.28	0.69	0.43	0.53	0.46

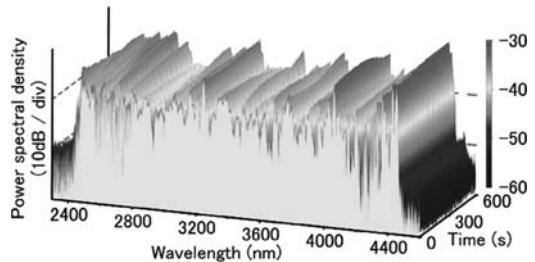


Fig. 2 MIR comb output for each wavelength band.

功した。mW 級の出力を有した MIR コム 2 台を用いて開発した広帯域 MIR デュアルコム分光計では、 $2.8\text{-}4.5\mu\text{m}$  にわたる広帯域 MIR デュアルコムスペクトルを取得することができ、複数分子による光の吸収を同時に観測することに成功した。

## 謝辞

この度の学会参加は龍谷大学理工学会からの支援によるものであり、ここに深く感謝いたします。学会に参加することで、多くの研究者と議論を行う事ができ、大変有意義な経験となりました。

最後に、日ごろからご指導いただいている山本伸一教授、吉井一倫講師、そして研究室のメンバーに厚くお礼申し上げます。

## 参考文献

- [1] G. Ycas, et al., Nat. Photon., 12, 202 (2018).
- [2] A. S. Kowlgy, et al., Opt. Lett., 43, 1678 (2018).
- [3] K. Iwakuni, et al., Opt. Lett., 41, 3980 (2016).
- [4] Ryo Mitsumoto, et al., CLEO 2023, Th2A.91 (2023).
- [5] 吉井一倫、光本涼、et al., 第 43 回レーザー学会, E06-19p-IX (2023).

# 全偏波保持型モード同期 Er ファイバーレーザーを光源とする導波路型 PPLN 結晶による広帯域中赤外コム発生

宇田圭佑

Keisuke UDA

電子情報通信課程 4 年

## 1. はじめに

2024 年 11 月 14 日、沖縄青年会館で開催された第 9 回フォトニクスワークショップにて「全偏波保持型モード同期 Er ファイバーレーザーを光源とする導波路型 PPLN 結晶による広帯域中赤外コム発生」というテーマで発表を行った。

## 2. 発表内容

### 2.1 背景・目的

中赤外 (MIR) 領域は分子の指紋領域と呼ばれる微量ガスをはじめとする物質同定に利用される。MIR 領域での光コム (MIR コム) の発生には光コム技術の成熟しているエルビウム (Er) ファイバーコムを基本波光源とし非線形光学結晶を用いた差周波発生を用いる。我々は広帯域化した Er ファイバーコムの光を導波路型周期分極反転ニオブ酸リチウム (PPLN WG) 結晶に入射することで mW 級の出力を有す広帯域 MIR コム発生に成功している<sup>[1, 2]</sup>。これまでの研究では基本波光源として非線形偏波回転型モード同期 Er ファイバーコムを用いていた。そのため共振器はシングルモードファイバーで構成され、振動に敏感であり、可搬に伴う応用には不十分であった。本研究の目的は、基本波光源に全偏波保持 Er ファイバーコムを用い、当研究グループの先行研究と同型の PPLN WG 結晶を用いたシングルパス構成で mW 級の出力を有する広帯域 MIR コム発生を実現することである。

### 2.2 セットアップ

MIR コム発生のためのセットアップを Fig. 1 (a) に示す。繰り返し周波数  $F_{\text{rep}}$  が 250MHz の非線形増幅ループミラー (NALM) 型モード同期 Er ファイバーコムを用いた。出力光を偏波保持型エルビウム添加ファイバー光増幅器 (PM EDFA) で 400mW まで増幅した後、長さ  $L_{\text{mm}}$  の偏波保持ファイバー (PMF) を通し偏波保持型高非線形ファイバー (PM HNLF) に送り  $1\text{-}2\mu\text{m}$  に広帯域化した。PM HNLF と PPLN WG をバット結合し差周波発生を行った。発生した MIR コムを無販社コートされた非球面レンズでコリメートした後波長  $2.4\mu\text{m}$  以上のロングパスフィルター 2 枚を透過させ基本波成分を十分にカットした。

MIR 光の出力測定には温調した熱式パワーセンサーを用いた (Fig. 1 (b))。また、MIR コムを放物面鏡でマルチモードファイバーに結合し光スペクトラムアナライザー (OSA) を用いてスペクトルを測定した (Fig. 1 (c))。

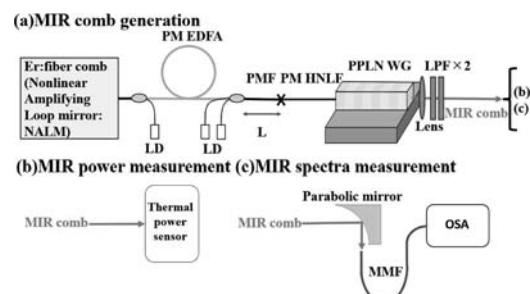


Fig. 1 実験のセットアップ

### 2.3 結果

PM EDFA 後の PMF 長 ( $L$ ) を変化させ MIR コムの出力を測定した。その結果  $L = 160\text{mm}$  の時  $3.7\text{mW}$  ( $>2.4\mu\text{m}$ ) を得た。また OSA でスペクトルを測定した結果  $2.4\text{-}4.5\mu\text{m}$  までの MIR コムの発生を確認した (Fig. 2)。結晶への入射出力  $320\text{mW}$  に対する MIR 光の発生効率は  $1.2\%$  であり、先行研究<sup>[1, 2]</sup>の発生効率と比較し同程度の結果が得られた。

PM EDFA には励起用 LD が前方 1 台、後方 2 台の合計 3 台ありそれらの電流値の組み合わせは膨大であるため、電流値の調整から MIR 出力の測定までを自動化した。この自動化により、より細かい電流値の探索を複数回行うことができるようになり、手動での測定では確認できなかった LD の電流値と MIR 出力の依存性を確認した。

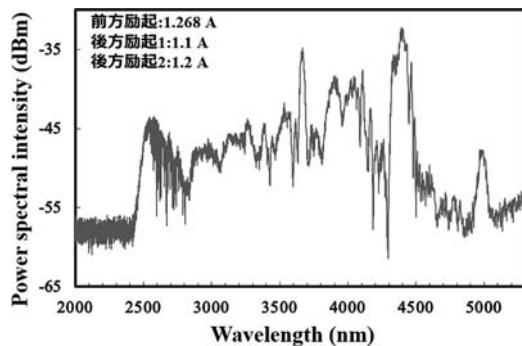


Fig. 2 PPLN 結晶による広帯域 MIR スペクトル

## 2.4 まとめ

基本波光源から HNLF に至るまで全偏波保持ファイバーで構成された堅牢性の高い mW 級広帯域 MIR コム光源の開発に成功した。今後は可搬化に伴う屋外での実験、励起用 LD の電流値と MIR 出力との依存性の物理的な原因の究明を目標とする。

## 3. フォトニクスワークショップ

フォトニクスワークショップでは招待講演、ポス

ター発表、研究交流会などのプログラムが用意されており、同世代、同分野の学生と交流することができ、良い経験となった。自分自身の発表としては上記の内容を 1 分半に要約してのショートプレゼン発表、その後 3 時間のポスター発表を行った。ショートプレゼンでは初めての口頭発表ということもあり緊張して上手く言葉が出ない場面もあった。ポスター発表は今回で 3 度目ということもあり落ち着いて発表、議論ができた。

他の参加者の発表を聴講した際には自分の研究テーマと関わりの深いものもあり、研究内容やまとめ方、伝え方などとても参考になった。自分の研究テーマとは関わりが深いわけではない発表も聴講したが、詳しくない人にも自身の研究のことを伝えるための工夫がなされており、良い刺激になった。自分と同世代の研究者との交流は今回のフォトニクスワークショップの大きな目的の一つであり、大変有意義な時間を過ごすことができた。

最後に今回の発表を行うにあたり、ご指導いただいた吉井一倫先生に感謝いたします。

## 参考文献

- [1] 光本, 他, レーザー学会学術講演会第 43 回年次大会, B05-18p (2023).
- [2] R. Mitsumoto, N. Kuse, K. Inoue, Y. Nakajima, T. Yasui, K. Minoshima, and K. Yoshii, Conference on Lasers and Electro-Optics, JTh2A. 91 (2023).

# Neuromorphic System Operation Using Multiple Devices with Integrated Memristor and Capacitor

上尾 高範

Takanori UEO

電子情報通信課程 4 年

On November 22, 2024, I participated in “IMFEDK 2024” held at Jojukan, Fukakusa Campus, Ryukoku University, and gave a presentation titled “Neuromorphic System Operation Using Multiple Devices with Integrated Memristor and Capacitor”.

## 1. INTRODUCTION

Artificial intelligence research has been active in recent years. Especially, technology based on neural networks has been attracted attention. A neural network is an information processing model based on the neural circuits of the human brain. Neural networks are formed by neurons and synapses. Neurons have the function of holding signals which serve as information, and synapses have the function of connecting neurons and transmitting signals between them. Currently, most research is conducted in software, and these problems in software are parallel distributed processing, robustness, and power consumption. In contrast, neural networks in hardware can overcome these problems in software.

The goal of this research is to get performance close to that of the human brain. We aim to realize a spiking neuromorphic system, which is expected to consume significantly less power, by mimicking a synaptic element through the integration of memristors and capacitors.

So far, the operation of membrane potentials for a single serial pulse signal has been confirmed. In this

paper, we measure changes in the potential of the neuromorphic system for multiple pulse signals to see if the membrane potentials are similar to those of actual synaptic elements in the brain. We then evaluated the device integrating memristors and capacitors. Therefore, we configured a circuit that uses two pulse signals and compared it to a circuit that uses a single pulse signal. Then, we see if there is a difference in the increase of the membrane potential. From the results, we will evaluate the thin-film device to see if it can be used as a synaptic element in a neural network.

## 2. EXPERIMENTAL METHODS

### A. Membrane potential measurement circuit

Fig. 1 realizes a sum-of-products circuit for serial pulse signals. The potential of Out rises when an arbitrary pulse is applied from In. The rise in potential is positively correlated with the conductance of the analog memristor. Fig. 2 is a circuit that measures the operation of a thin-film device for multiple pulse signals. This circuit confirms that the rise in potential can be varied by applying two different pulses.

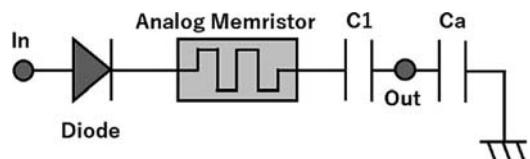


Fig. 1 Circuit with a single pulse

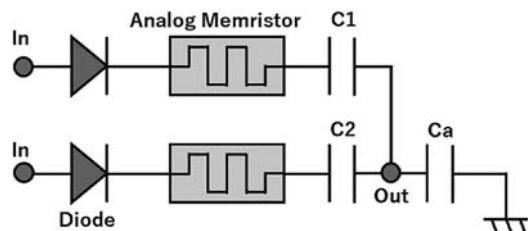
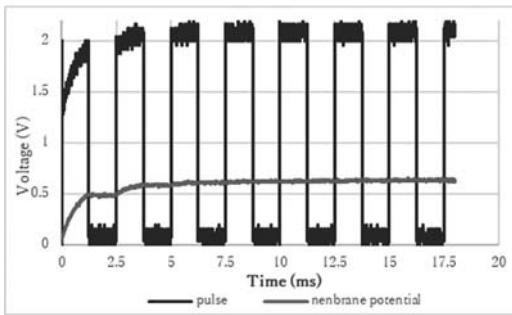


Fig. 2 Circuits with multiple pulses

### 3. RESULT AND DISCUSSION

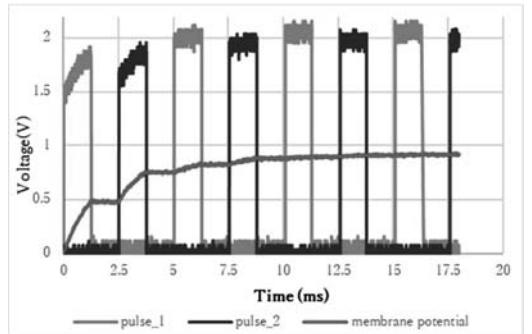
Fig. 3 shows the change in potential when the circuit shown in Fig. 1 is used. It shows the pulse signal applied at regular intervals and the operation of the potential in response to the pulse signal. It was confirmed that the potential increased in steps while the pulse signal was applied and was held while the signal was not applied.



**Fig. 3 Out potential under single pulse conditions**

Fig. 4 shows the results of an experiment using the circuit in Fig. 2. It shows alternately applied pulses with time differences and the change in potential in response to the pulses. Since the capacitors ( $C_1$  and  $C_2$ ) are connected in parallel, the capacitance of the capacitors in the entire circuit has increased. Therefore, the maximum value of the potential has increased compared to Fig. 1. Accompanying this, a stepwise increase in the potential became clearly visible. This suggests that a parallel-connected circuit allows for a variety of potential increases. In addition, by changing the conditions, variations can be added to the amount of increase in potential. If this can be done, we believe that we will be able to come closer to reproducing the actual

brain's operation, which changes its operation according to various signals.



**Fig. 4 Out potential under multiple pulse conditions**

### 4. CONCLUSION

This experiment confirmed the operation of the neuromorphic system for serial pulse trains of memristors and capacitors. Building on previous experiments in which a single pulse was applied, we constructed a method in which several different pulses were applied. Compared to the single pulse application, the increase in potential was larger, and the stepwise increase was clearly visible. This method showed that thin-film devices integrating memristors and capacitors can be used more than ever as synaptic elements in neural networks.

### 5. ACKNOWLEDGMENT

This research was conducted under the guidance of Professor Mutsumi Kimura, for which I would like to express my deepest gratitude. I had a very meaningful time discussing with people from inside and outside of Japan through this presentation.

# Diode Characteristics of Bi-layer Ga-Sn-O Devices Fabricated by Mist CVD Method

高橋 遼平

Ryohei TAKAHASHI

電子情報通信課程 4 年

私は IMFEDK2024 にて「Diode Characteristics of Bilayer Ga-Sn-O Devices Fabricated by Mist CVD Method」というタイトルで発表を行いました。

Abstract—Diode devices were fabricated by a fine-channel mist CVD method in which GTO was divided into two layers and the composition ratio of Ga : Sn in the upper and lower layers was varied. As a result, when the composition ratio of Ga : Sn is 1 : 1 and 1 : 2, the film is rich in SnO, and when the composition ratio is 1 : 3 or higher, the film may be rich in SnO<sub>2</sub>. It was thereby suggested that the unidirectional diode property is exhibited when the lower Ga : Sn < upper Ga : Sn, and the bidirectional diode property may be exhibited when the lower Ga : Sn  $\geq$  upper Ga : Sn. By changing the composition ratio, we succeeded in creating devices with two different diode characteristics.

## 1. INTRODUCTION

Amorphous oxide semiconductors have been attracting attention in recent years for their excellent properties such as high electron mobility and high light transmittance. Among them, Ga-Sn-O has the advantage of containing fewer rare metals than In-Ga-Zn-O. In addition, the mist CVD method is a non-vacuum process and has the advantage of being able to form films in a short time and at low cost. In this paper, GTO films were fabricated by mist CVD method to fabricate diode devices. If GTO diodes can be fabricated by mist CVD, devices with a variety of excellent characteristics can

be fabricated at low cost. For example, applications to transparent devices are expected.

## 2. EXPERIMENTAL METHOD

A schematic diagram of the diode device fabricated in this study is shown in Fig. 1. A Ga-Sn-O (hereafter GTO) thin film is deposited by mist CVD. A Ga : Sn composition ratio is Ga : Sn = 1 : 1 ~ 1 : 5. Two layers of GTO films were formed using these solutions. The composition of the upper GTO layer was fixed at Ga : Sn = 1 : 3, whereas that of the lower layer was varied from 1.1 to 1.5, and each layer was deposited for 10 minutes. A fine channel mist CVD system was used with a carrier gas of 2 L/min, a dilution gas of 1 L/min, and a deposition temperature of 350°C. A diagram of the fine channel mist CVD system is shown in Fig. 2.

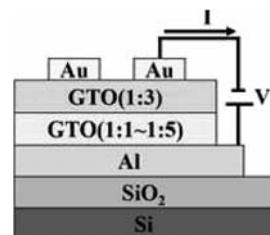


Fig. 1 Schematic diagram of the diode device

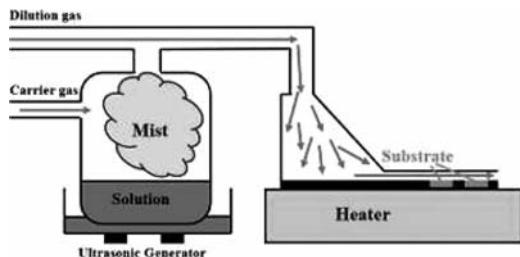


Fig. 2 Diagram of fine channel mist CVD system

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

The measured I-V characteristics for Ga : Sn composition ratios of 1 : 1 and 1 : 2 are shown in Fig. 3 and for 1 : 3, 1 : 4, and 1 : 5 in Fig. 4. Its properties depend on the composition and thickness of the underlying

layer and are classified as Type 1 and Type 2.

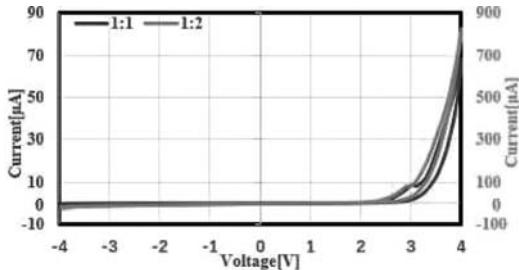


Fig. 3 Measured I-V characteristics for Type 1

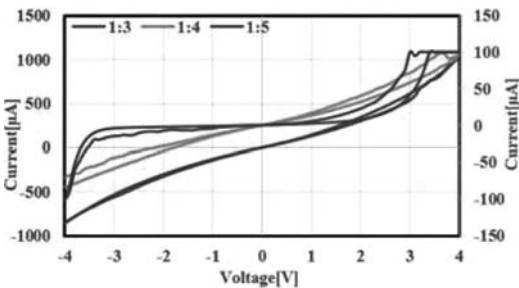


Fig. 4 Measured I-V characteristics for Type 2

Previous studies have reported that  $\text{SnO}_x$  films prepared by mist CVD consist of  $\text{SnO}$  and  $\text{SnO}_2$ . Other studies have reported that the ratio of  $\text{Sn}^{2+}$  to  $\text{Sn}^{4+}$  can be changed by changing the solution conditions when ATO films are formed by mist CVD. In the present study, the  $\text{Ga} : \text{Sn}$  ratio was changed, which may have changed the ratio of  $\text{SnO}$  to  $\text{SnO}_2$  in the GTO films, with the  $\text{Ga} : \text{Sn}$  composition ratios of 1 : 1 and 1 : 2 resulting in films with more  $\text{SnO}$  and those with a  $\text{Ga} : \text{Sn}$  composition ratio of 1 : 3 or higher resulting in films with more  $\text{SnO}_2$ . The rationale for this is that in previous studies of GTO films prepared by mist CVD,  $\text{SnO}_2$  crystals were seen as peaks in those with  $\text{Ga} : \text{Sn}$  composition ratios of 1 : 4 and 1 : 5. Type1 Type1 has a composition ratio of Lower  $\text{Ga} : \text{Sn} < \text{Upper} \text{ Ga} : \text{Sn}$ . The I-V characteristics in Fig. 3 show that it has unidirectional diode-like characteristics. It is not Schottky because its properties are opposite to those of a metal and semiconductor assumed to be Schottky. This characteristic is presumably not due to the metal semi-

conductor junction but to the difference in the composition ratio of the upper and lower layers of GTO. Past studies have reported that  $\text{SnO}$  is a p-type and  $\text{SnO}_2$  is an n-type semiconductor. From the previous discussion, in type1, the lower layer is a p-type semiconductor, and the upper layer is an n-type semiconductor. Therefore, a pn junction is formed at the GTO film, and the bottom electrode is forward biased by a positive voltage and reverse biased by a negative voltage. This result is consistent with IV measurements. Type2 Type2 has a composition ratio of Lower  $\text{Ga} : \text{Sn} \geq \text{Upper} \text{ Ga} : \text{Sn}$ . The I-V characteristics in Figure 4 show that it has bidirectional diode-like characteristics. From the previous discussion, the GTO film is an n-type semiconductor film. Unlike type1, it is a single film of n-type semiconductor and has bidirectional diode-like characteristics.

#### 4. CONCULSION

In this paper, diode devices with two layers of GTO and varying  $\text{Ga} : \text{Sn}$  composition ratios of the upper and lower layers were fabricated by a fine-channel mist CVD method. As a result,  $\text{SnO}$ -rich films were obtained for  $\text{Ga} : \text{Sn}$  composition ratios of 1 : 1 and 1 : 2, and  $\text{SiO}_2$ -rich films were obtained for ratios of 1 : 3 or higher. As for the characteristics, lower  $\text{Ga} : \text{Sn} < \text{upper} \text{ Ga} : \text{Sn}$  shows unidirectional diode characteristics, and lower  $\text{Ga} : \text{Sn} \geq \text{upper} \text{ Ga} : \text{Sn}$  may show bidirectional diode characteristics. By changing the composition ratio, we succeeded in creating devices with two different diode characteristics. Further development is expected by increasing the combination of upper and lower layers and the number of GTO layers.

#### 5. おわりに

発表の成果として、自身では気づかない疑問を得ることができました。自己評価としては口頭発表ではもう少し前を向くべきだと感じました。

## Dependence of the characteristics of Ga-Sn-O oxide semiconductor transistors on film thickness

出口 蓮

Ren DEGUCHI

電子情報通信課程 4 年

### はじめに

2024 年 11 月 21 日に龍谷大学深草キャンパス成就館で開催された「IMFEDK2024」に参加し、「Ga-Sn-O 系酸化物半導体トランジスタの特性の膜厚依存性」という題名で発表を行った。

### Introduction

Amorphous oxide semiconductors (AOS) are being actively investigated as a new low-temperature, large-area TFT device material. AOS has a large band gap and is transparent in the visible light range. It also functions as a semiconductor even when deposited at room temperature and has the advantage of high field-effect mobility. The representative material, IGZO achieves high mobility due to the role of indium in forming electronic orbitals. However, indium is a rare metal with limited reserves and production. To leverage the advantages of a-IGZO and address these issues, GTO has been proposed as an alternative. The most distinctive feature of GTO is that the indium in IGZO is replaced by tin, which has a similar electronic orbital. Therefore, it is a non-toxic AOS. In addition, GTO has stronger oxygen bonding than IGZO, which inhibits oxygen desorption. Therefore, it is an oxide semiconductor that has excellent stability, is non-toxic, and solves the problem of stable supply because it is a rare metal-free semiconductor. In this study, we evaluated the I-V characteristics of GTO TFT and investigated the thickness dependence of GTO TFT transistor

characteristics.

### Experimental

The structure of the fabricated GTO TFT is shown below. A film was deposited on a Si wafer with a 150 nm thermal oxide layer using a GTO (Ga : Sn = 1 : 3) target. The substrate was heated to 150°C during deposition. First, GTO was deposited on SiO<sub>2</sub>/Si substrates using RF magnetron sputtering equipment. Detailed deposition conditions for the GTO films are shown below. In this experiment, the film thickness was varied by adjusting the deposition time to check the film thickness dependence. Then, Au electrodes were deposited using a vacuum evaporation system for 5 minutes and finally post-annealed at 350°C for 60 minutes. The GTO TFT was evaluated using a semiconductor parameter analyzer.

### Results and Discussion

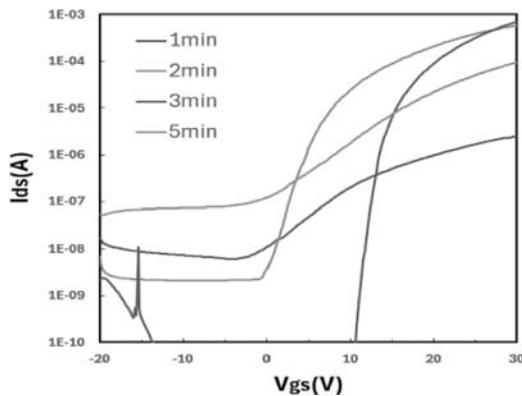


Fig. 1 I-V characteristics of GTO film

The I-V measurement results of the GTO TFTs are shown in Fig. 1. The results show that the best properties were obtained when the deposition time was 2 and 3 minutes. A rise voltage of 2 minutes is desirable, but the maximum mobility value was obtained at 3 minutes. This is thought to be related to the electron traps present in the GTO film.

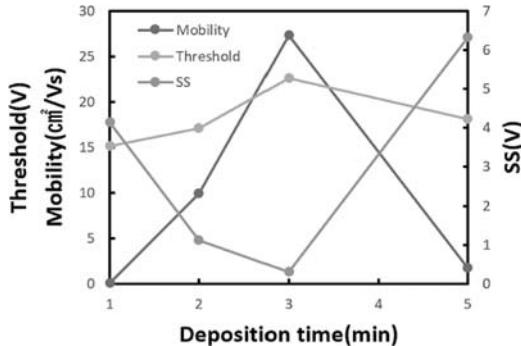


Fig. 2 Summary of GTO TFT parameters

Fig. 2 shows each parameter of the GTO TFT created in this study. Fig. 2 shows that as the deposition time increases, starting from 1 minute, the mobility increases and SS decreases, confirming the improvement in TFT performance. However, when the deposition time exceeds 3 minutes, the TFT performance gradually degrades. This suggests that the performance of GTO TFTs is optimal at a film thickness of 25 nm. In addition, the threshold voltage of the IGZO TFT decreased with increasing film thickness, whereas the threshold voltage of the GTO TFT increased with increasing film thickness. This is thought to be the result of the difference in the dependence of IGZO and GTO on oxygen vacancies. In the case of IGZO, electrons are produced by oxygen vacancies. The increase in film thickness increases oxygen vacancies and carrier concentration, which facilitates the formation of channels. As a result, in the case of IGZO, the threshold value decreases as the film thickness increases. On the other hand, GTO tends to be less dependent on oxygen vacancies than IGZO. This may be due to the difference in the mecha-

nism of carrier supply between In and Sn. Electronegativity of In and Sn was checked to compare their binding strength to oxygen. Electronegativity was 1.78 for In and 1.96 for Sn. The results show that In has a weaker oxygen bonding strength than Sn, which makes it easier for oxygen to be dislodged, resulting in more oxygen vacancies. On the other hand, tin has a strong bond with oxygen, making it difficult for oxygen vacancies to form. Therefore, it is thought that Sn, which has fewer oxygen vacancies, is not as dependent on oxygen vacancies as In. Therefore, as the film thickness increases in GTO, gate control over the channel region becomes weaker and the gate voltage effect decreases. As a result, higher gate voltages are required to form a channel, resulting in an increase in the threshold value as the film thickness increases.

## Conclusions

The best TFT characteristics were exhibited by devices with a film thickness of 25 nm, with a high mobility of 27.3 ( $\text{cm}^2/\text{Vs}$ ). Threshold values also increased with increasing film thickness. This study confirms that GTO TFT performance is strongly dependent on film thickness. This is believed to be because the performance varies significantly depending on the amount and arrangement of electron traps in the GTO film.

## おわりに

本研究は、木村睦教授のご指導のもと進められたものであり深く感謝の意を表します。今回の発表で国内外からの人と議論することができ、とても有意義な時間を過ごすことができました。

## Optimization of ReRAM using Mist-CVD GTO films: Importance of substrate thickness, aging, and preparation procedure for improving switching ratio

中川 聖也  
Seiya NAKAGAWA  
電子情報通信課程 4 年

### 1. はじめに

2024 年 11 月 23 日に龍谷大学深草キャンパス成就館で開催された「IMFEDK2024」に参加し、「Optimization of ReRAM using Mist-CVD GTO films: Importance of substrate thickness, aging, and preparation procedure for improving switching ratio.」という題目で short presentation および poster session を行いました。

### 2. Introduction

「Resistance change memory (ReRAM) based on amorphous oxide semiconductors (AOS) has been attracting attention in the development of resistance change devices and neuromorphic systems because of its superiority in terms of high charge mobility and low power consumption. Neuromorphic devices require the production of the same number of memory elements as the human brain in large quantities and at low cost.」

### 3. Experiential

「To fabricate the ReRAM, the bottom electrode, Ti, is first deposited on a glass substrate using the vacuum evaporation method. the bottom electrode. The deposition time is 5 minutes. Next, to accurately and optimally prepare a solution with a (1:1) ratio of gallium acetylacetone to tin acetylacetone we first added (1) 3 g of hydrochloric acid, (2) tin acetylacetone, (3)

gallium acetylacetone, and (4) 40 ml of pure water and allowed it to mature for one week. Two substrate thicknesses, 0.5 mm and 0.7 mm, were used for comparison. The deposition conditions were as follows: temperature 350°C, deposition time 20 minutes, carrier gas is 1 [L/min] and dilution gas is 2 [L/min]. During deposition, a portion of the top electrodes to be deposited next was masked using a portion of the silicon substrate with thermal oxide film so that it would not overlap with the deposition of the GTO layer. Next, the top electrode was fabricated by vacuum evaporation of a Ti film with a deposition time of 5 minutes.」

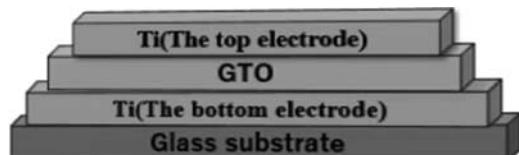


Fig. 1 Stucture of ReRAM deposited with GTO using mist CVD method

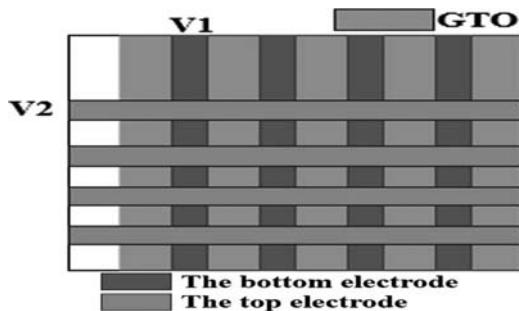


Fig. 2 Top view of the created ReRAM structure

### 4. Result and Discussion

The assumption is that devices with high switching characteristics at low voltages have good switching characteristics because they are energy efficient and are rated as high performance. First, comparing substrates (1) and (2) in Table 1, the switching ratio is higher when the substrate thickness is 0.5 nm than when it is 0.7 nm. This is attributed to the uniformity of the temperature distribution; thicker substrates conduct heat

more slowly, resulting in a temperature gradient and non-uniform deposition. We believe that by using an appropriate substrate thickness, adsorption of the precursor will proceed uniformly and high-quality thin films will be easily obtained. Comparing the substrates in (2) and (3) next, devices fabricated within one day from the deposition of the bottom electrode, the first step in device fabrication, to the deposition of the top electrode, the final step, have higher switching ratios than devices fabricated within one week. This is thought to be due to degradation caused by oxidation and contamination of the devices. Degradation of semiconductor devices due to material oxidation and other factors adversely affects the electrical characteristics of the device surface, resulting in changes in characteristics over time. It is believed that early completion and evaluation of devices will minimize degradation factors and accurately determine their original performance.」

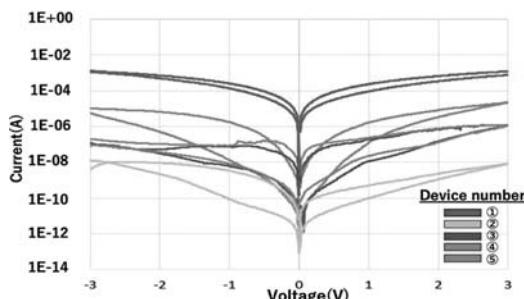


Fig. 3 Results of I-V characteristics for each experimental condition

Table 1 Table showing each device by experimental condition

Experimental Conditions	Each Device	①	②	③	④	⑤
Substrate thickness: 0.7 nm		○			○	
Substrate thickness: 0.5 nm			○	○		○
Device Creation Term: 1 week		○	○			
Device Creation Term: 1 day				○	○	○
Preparation of solution: <sup>*1</sup>		○	○	○	○	
Preparation of solution: <sup>*2</sup>						○
Switching ratio	2.52	5.25	10.4	12.3	16.8	

## 5. Conclusion

「In this study, ReRAM was fabricated by mist CVD method using GTO film. The highest switching ratio was obtained when (1) uniform temperature distribution, (2) prevention of device degradation due to oxidation, and (3) appropriate precursor concentration and uniformity were used, and it was confirmed that all of these conditions (1) to (3) affect the switching ratio of the GTO film.」

## 6. Acknowledgment

「This work was supported by Grant-in-Aid for Scientific Research (KAKENHI (C) 19K11876), Japan Science and Technology Agency, Strategic International Collaborative Research Program (SICORP), joint research with Taiwan, Ryukoku University High Technology Research Center, Materials Structure Research Institute, Tokyo Institute of Technology, Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, Shinsho Co. Shonan Institute of Technology, Inc. and many others, and we would like to express our deep appreciation for their support in making this project possible.」という内容で発表した。

## 7. おわりに

本研究は、木村睦教授のご指導のもと進められたものであり深く感謝の意を表します。今回の発表で国内外からの人と議論することができ、とても有意義な時間を過ごすことができました。

## 電子スピン共鳴分光法を用いた Ga-Sn-O の格子欠陥評価

根本 茂

Kizashi NEMOTO

電子情報通信課程 4 年

### はじめに

2024 年 11 月 22 日に龍谷大学深草キャンパス成樹館で開催された「IMFEDK2024」に参加し、「電子スピン共鳴分光法を用いた Ga-Sn-O の格子欠陥評価」という題名で発表を行った。

Abstract- 金属酸化物半導体 Ga-Sn-O (GTO) の ESR での欠陥評価の結果を示す。本研究では、未処理 GTO 粉末とスパッタリング装置を用いてプラズマ処理を行った粉末、石英ガラス基板に成膜した a-GTO 膜のサンプルを測定した。プラズマ処理を行った粉末と a-GTO 膜で、酸素流量に応じて強度が変化する酸素空孔などの欠陥による信号が検出された。今回の結果から、酸素流量の変化は a-GTO の変化に密接に関係していることが確認できたことを報告する。

### 1. 研究背景・目的

近年、酸化物半導体として a-IGZO が主流となり、TFT の活性層などで使用されている。a-IGZO は、高価で資源枯渇の危険性が懸念されているインジウム (In) を含んでいる。そこで私たちは、インジウムよりも 8 倍も豊富で安価なスズ (Sn) を使用する Ga-Sn-O (GTO) に注目している。酸化物半導体の格子欠陥は研究されているが、そのほとんどは IGZO などに対するもので、GTO に関する報告はない。酸素空孔などの格子欠陥は、酸化物半導体の電子特性に重要な役割を果たすため、非常に重要である。効率的に利用するためには、材料中で欠陥が発生する条件を評価する必要がある。

### 2. 結果と考察

#### 2.1 GTO 粉末

図 1 に GTO 粉末の ESR シグナルを示す。プラズマ処理をしていない GTO 粉末では、341mT 付近に 1 つの ESR シグナル ( $g = 1.977$ ) が検出された。プラズマ処理した GTO 粉末では、334mT と 341mT 付近に 2 つの ESR シグナル (A;  $g = 2.018$ , B;  $g = 1.977$ ) が検出された。シグナル A のピークからピークまでの線幅は約 0.5mT, シグナル B は約 0.6mT であった。

検出された 2 種類の ESR 信号のうち信号 A ( $g = 2.018$ ) は、プラズマ処理における酸素量に応じて信号強度が変化している。これは、酸素の導入量に応じて GTO 内の酸素空孔の量が変化することで、信号強度にも変化をもたらしていると考えられる。このことから  $g$  値 2.018 の信号は酸素空孔などの欠陥による信号であることがわかった。

信号 B ( $g = 1.977$ ) は、酸素による影響を受けていない。そのため、GTO を構成する要素である  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  や  $\text{SnO}_2$  に検出される ESR 信号と関係している可能性があると考えられる。報告されているプラズマ処理を行った粉末の  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  の  $g$  値 1.969 に近い値である。ただし 2 つの信号は  $\text{Ga}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SnO}_2$  の ESR 信号とは異なった  $g$  値を示しており、GTO 固有の信号と言える。

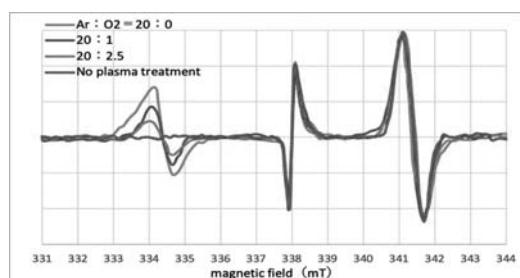


図 1 GTO 粉末の ESR 信号

#### 2.2 a-GTO 膜

図 2 に a-GTO 膜の ESR 信号を示す。a-GTO 膜では、333~335mT 付近に ESR 信号 ( $g = 2.022$ ) が

検出された。この信号は、プラズマ処理を行ったGTO粉末の  $g$  値 2.018 と近い値になっている。この信号のピーク to ピークの線幅は 2.2mT 程度となっており、粉末と比べて幅が広い。よって粉末と比較して緩和時間が短くなっている。この ESR 信号は、 $\text{Ar} : \text{O}_2 = 20 : 1$  と比較して  $20 : 10$  のほうが信号強度が弱くなっている。このことから、この信号は粉末と同じく酸素空孔などの欠陥による信号であると言える。粉末の結果から酸素空孔の数が信号強度に影響を与えており、粉末の結果を当てはめると  $\text{Ar} : \text{O}_2 = 20 : 1$  と比較して  $\text{Ar} : \text{O}_2 = 20 : 10$  のとき a-GTO 膜内の酸素空孔などの欠陥が少なくなったと言える。

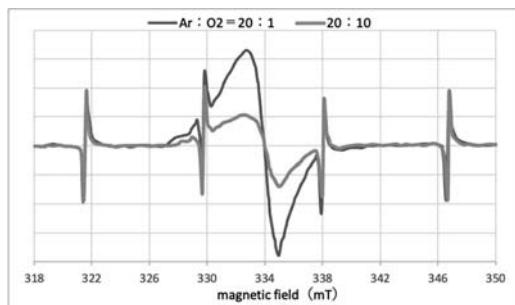


図 2 a-GTO 膜の ESR 信号

### 3. 結論

私たちは、GTO 粉末と a-GTO 膜の ESR 信号を

測定することに成功した。未処理の GTO 粉末では、 $g = 1.977$  に GTO を構成する要素である  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  や  $\text{SnO}_2$  に関係していると考えられる信号が検出された。プラズマ処理をした粉末では、 $g = 1.977$  と  $g = 2.018$  の 2 種類の信号が検出された。 $g = 2.018$  の信号は酸素流量に応じて変化して、酸素空孔などの欠陥に影響される。a-GTO 膜では、酸素流量を増加させると信号強度が低下する信号が  $g = 2.021$  に観測できた。この信号は粉末と同じく酸素空孔などの欠陥による信号であると考えられる。粉末の結果を適用すると a-GTO 膜内の酸素空孔は、 $\text{Ar} : \text{O}_2 = 20 : 1$  と比較して  $\text{Ar} : \text{O}_2 = 20 : 10$  のときに減少したと言える。今回の結果からするとスパッタリング成膜において、酸素流量の変化は a-GTO の変化に密接に関係していることが確認できた。将来的には、a-GTO 薄膜中の格子欠陥と、メモリスタや TFT などの特性との相関を調べたい。そのためには、a-GTO 試料の薄膜化を行いたい。

### おわりに

本研究は、木村睦教授のご指導のもと進められたものであり深く感謝の意を表します。今回の発表で国内外からの人と議論することができ、とても有意義な時間を過ごすことができました。

## 「第3回ソフトクリスタル研究会」に参加して

矢木 墓  
Rui YAGI  
応用化学課程 4年

### 1. はじめに

私は2024年11月22日から23日にかけ、東京ビッグサイト、東京スポーツ文化館で開催された「第3回ソフトクリスタル研究会」に参加し、「長鎖アルキル基をもつクロロフィル分子集積体の相転移挙動と光物性の変化」をテーマにポスター発表を行った。

### 2. 発表内容

#### 2.1 研究背景・目的

クロロフィルは天然に存在する光合成色素であり、構造上の特徴としてピロールが4つ環状に連結したテトラピロール骨格と一本の長鎖アルキル基をもち、可視領域に強い吸収帯を示す分光学的特性を有している。またクロロフィルは、生体内および生体外において容易に自己会合し色素間相互作用を発現し、その分光学的特性を変化させることが知られている。本研究では天然より抽出したクロロフィルを用いて3位、17位にそれぞれ炭素数の異なるN-アルキルアミド基を有するクロロフィル誘導体1(図1)を合成し、固体状態における相転移挙動と分光学的特性について検討することで、クロロフィル化合物の新しい物性の開拓を目指した。

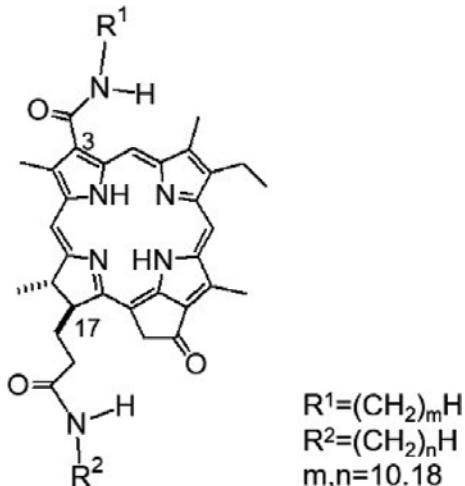


図1 クロロフィル誘導体1の構造

#### 2.2 結果と考察

クロロフィル誘導体1はN-アルキルアミド基の炭素数にかかわらずCHCl<sub>3</sub>溶液において672nmにQy吸収帯を示し、この溶液をガラス板上にキャストして乾燥させたフィルムではクロロフィル色素が集積することによって679nmに長波長シフトしたQy吸収帯を示した。このことからクロロフィル誘導体1は固体状態において色素間相互作用を示し、その吸収スペクトルはR<sup>1</sup>, R<sup>2</sup>の構造に依存しないことがわかった。またこれらのキャストフィルムを50°Cに加温するとそのQy吸収帯が679nm(A型)から711nm(B型)へと変化し、さらに100°Cに加温することで685nm(C型)へと変化した。このことからクロロフィル誘導体の集積体は3種の集積体(A, B, C型)を生じ、それらは加温することでA型→B型→C型へと転移することがわかった。また加温により生じたB型およびC型の集積体を冷却してもQy吸収帯に変化はみられず、一方このフィルムをガラス板で挟み軽く擦ることで加温前のA型に対応する679nmに吸収を持つフィルムが得られた。以上のことからこのクロロフィル誘導体1はサーモクロミズムとメカノクロミズムを共に有することがわかった。また1のキャストフィルムの円二色性スペクトル測定すると、集積体A, B, C型はそ

それぞれ異なる波形のスペクトルを示し、これらの集積体は異なるキラル配列をもつことがわかった。

つぎにクロロフィル誘導体**1**の示差走査熱量測定を行ったところ、**1**( $m=18, n=18$ ) では  $73^{\circ}\text{C}$  と  $91^{\circ}\text{C}$  の二か所に単一の発熱ピークが見られた。これらの発熱ピークはそれぞれ A型→B型の転移と B型→C型の転移に伴うものと考えられ、これらの転移温度はクロロフィル誘導体**1**の  $\text{R}^1$  および  $\text{R}^2$  の構造に依存し、**1**( $m=18, n=10$ ) では  $75^{\circ}\text{C}$ 、 $102^{\circ}\text{C}$  にそれぞれピークが見られた。一方、 $240^{\circ}\text{C}$  にみられた**1**の融解による単一の吸熱ピークは  $\text{R}^1, \text{R}^2$  の構造に依存しなかった。つぎに示差熱分析の時と同じ速度で昇温しながら**1**の Vis スペクトルを測定したところ、**1**( $m=18, n=18$ ) では  $60^{\circ}\text{C}$ 、**1**( $m=18, n=10$ ) では  $70^{\circ}\text{C}$ 、**1**( $m=10, n=18$ ) では  $80^{\circ}\text{C}$  にそれぞれ A型から B型への転移がみられた。以上のことをから 3位と 17位に導入する *N*-アルキルアミド基の炭素数により**1**の集積体における構造転移の温度が変化することがわかった。以上の結果から、クロロフィル誘導体**1**はキャストフィルムの状態で図2のような相転移挙動がおこると考えられる。

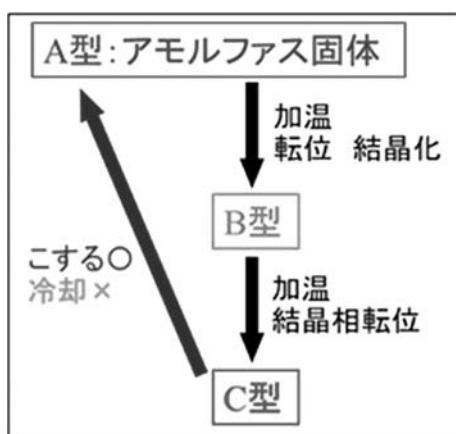


図2 クロロフィル誘導体**1**の相転移挙動

### 3. 学会発表にあたって

ポスター発表はこの研究会の1日目に行われ、ポスター発表に発表のデータを展示し、観覧に来られた方にポスター内容を説明するという流れであった。初めての学会発表であったため非常に緊張していたが、ありがたいことに数名の方が私のポスターに興味を持ってくださり、今後の課題発見や追求すべきこととなる質問を数多くいただいたので以降の研究に役立てていきたいと考えている。また、他大学の学生や研究者の研究発表を聴講したところ、要点を絞った非常にわかりやすく興味深い発表ばかりであり、プレゼンテーションの技術と最新の研究を学ぶことができた。さらに自分の研究と類似した研究発表もあり、今後の研究の進め方に関する解決策を得ることができたので今後の発展に生かしていきたいと思う。

### 4. おわりに

今回データの準備から初めての学会発表を通じて、実験や発表などで様々な改善点を見つけることができた。今後はアルキル鎖の長さを変えて同様の検討を行うと共にキャストフィルムでの XRD 測定を行っていきたいと考えている。

最後に今回の発表を行うにあたって、懇切丁寧なご指導を頂いた宮武智弘教授をはじめ、宮武研究室の皆様に、この場を借りて厚く御礼申し上げます。

## 自然換気下の講義室の快適性評価と条件別改善効果

中村 元哉  
Motoya NAKAMURA  
環境科学コース修士課程 1年

### 1. はじめに

#### 1.1 本大会について

今回私が研究活動の一環として参加したのは「2024年室内環境学会学術大会」である。開催地は北海道札幌市にある北海道大学学術交流会館である。この学術大会は11月29日～12月2日の4日間にわたり開催され自身の研究発表は11月30日、12月1日に行われた。日本中の大学や研究所、企業の方たちが研究報告を行い12月2日で沖縄建築と住環境の視察が行われた。本大会では様々な催しがあった。口頭発表やポスター発表なども見所でしたが機器展示や分科会、学生懇談会、懇親会など充実した内容がたくさんあった。

#### 1.2 室内環境という分野について

室内環境というフィールドにおいて様々な問題が今まで提示してきた。近年流行した新型コロナウイルスの感染やタバコの主流煙・副流煙による影響評価、シックハウス症候群の対策や予防、室内汚染物質に対する暴露経路とリスク評価、環境影響評価、温熱環境の変化による人的快適性など様々な取り組むべきテーマがある。実際に今回の大会に過敏症経験者がお話を聞くために直接来られたということもあった。その方は自身や周囲の人たちが体験した苦痛を涙ながらに語っておられ、その姿からもわかるように室内環境において苦しんでいる人がいる。その人たちのためにも取り組むべきテーマである。

### 2. 大会の参加報告

#### 2.1 発表内容

私は今回『自然換気下の講義室の快適性評価と条件別改善効果』というタイトルでポスター発表を行った。その発表内容について以下にまとめた。

室内環境ではCO<sub>2</sub>濃度が高くなりやすくそれにより思考能力の衰退や意思決定能力の低下など社会経済的に影響をもたらすと考えられている。そこで本研究では大学の講義中に窓の開け方を変えることでどれほどCO<sub>2</sub>濃度を減少させ室内環境の改善と在室者の快適性が向上できるかを目的とした。授業担当教員と受講生に許可をいただき、大学の講義室でCO<sub>2</sub>濃度を測定し室内環境の改善効果の評価を行った。また、授業の受講生にアンケートをとり窓を開けることで温度や風による快適性がどのように変わったのか調べました。さらにCFD解析という気流シミュレーションを行うことで室内の空気の流れを可視化し自身の研究の考察に磨きをかけるために行った。

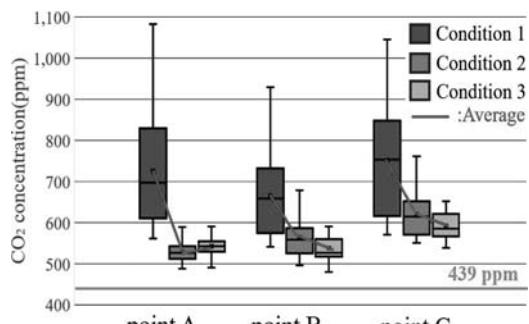


図1 各地点のCO<sub>2</sub>濃度分布

図1は実際の講義室で測定したCO<sub>2</sub>濃度の分布を表したものである。講義室の3地点にCO<sub>2</sub>測定機を設置し、その位置を図2に示されている。図2は講義室に対して、気流解析を行ったものであるが詳細は後に説明する。Condition 1は窓を開けない状態、Condition 2は講義室前後の窓を1.2m<sup>2</sup>開けた状態、Condition 3はその窓を0.6m<sup>3</sup>開けた状態を示した。つまり窓の開口量の変化により室内CO<sub>2</sub>濃

度の変化を表したグラフとなっている。図1をみるとCondition 2とCondition 3でCO<sub>2</sub>濃度分布に明確な差が見られず、この窓の開口量の変化では室内環境に対する変化も見られないと考えられる。

アンケートでは窓を開けても気流による快適性は変わらないが、温度による快適性に関しては窓を開けることで暖かい方が快適になる傾向を示した。なので、窓を開けた時は快適性の観点から温度管理が大切になってくる。また、風を直接受けたことにより腹痛を訴える生徒もいたため直接風が当たらないようにし室内温度を下げない取り組みが必要であることがわかった。

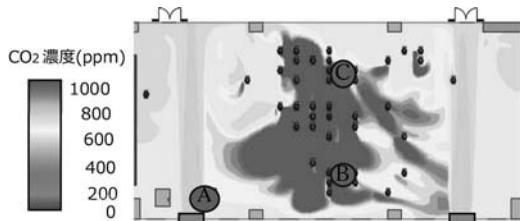


図2 窓を0.6m<sup>3</sup>開放した時のCO<sub>2</sub>濃度分布

図2はCFD解析により講義室内の窓を0.6m<sup>3</sup>開放した場合のCO<sub>2</sub>濃度分布をシミュレーションした時の様子である。これは2つの窓を開放しそこから風を流入した場合を示している。これを見ると、窓から流入した低濃度のCO<sub>2</sub>がドアまで届き、ドア近くで対流するが窓の付近では高濃度のCO<sub>2</sub>がたまりやすいとわかった。窓の開け方により、室内の中でもCO<sub>2</sub>が高濃度になりやすい位置となりにくい位置が明確となったため、今後さらに別の条件で室内CO<sub>2</sub>濃度分布がどうなるのか解析して行きたい。

## 2.2 自身の発表に対する他者の印象や評価

自分の研究のように、実際の講義室の換気効果をみる研究は多くの人に興味を抱くものになったみたいだった。しかし、図1に関して風速の影響を加味すべきであり、それに伴いグラフも違う表し方をした方がよりよい解析になるというアドバイスや条件の比較の仕方を変えてみてもいいといった意見をいただき分析の幅が広がったように感じた。また、図2に関して、着手したてだったためうまくできているのかわからず、相談も複数の方にのってくださった。乱流モデルを変えた方がいいのではないかという声や熱による影響を考慮すること、人の呼吸モデルの再現することをすれば改善がはかれると助言をたくさんしていただいた。これらのアドバイスをもとに、正確に再現したシミュレーションによる解析で研究を進めていきたいと思った。

## 3. おわりに

今回の学会において発表の場以外でも学ぶ機会があったように思えた。学生懇談会と懇親会では他大学の院生と交流をすることができました。お互いの研究のことや論文執筆についてたくさん情報交換ができ、互いの研究について語る機会があり、そこでも自身の研究の深堀をする場となった。

他者の口頭発表も公聴した。自身と似た研究をしている方もいたため実験手法はとても参考になった。また、最近の研究がどこまで進歩しているのかを知る機会となりこの分野についてより学ぶことができた。そのような研究の進捗状況は自分の研究背景に取り入れられる箇所があるため、今後の学会発表や修論に生かしたいと思った。

## 第7回環境DNA学会つくば大会でのポスター発表

石田 結子

Yuko ISHIDA

環境ソリューション工学専攻修士課程 2年

### 1. はじめに

今回、私は第7回環境DNA学会つくば大会に参加した。この学会では「瀬田川におけるチャネルキャットフィッシュの分布とその季節変化」というタイトルでポスター発表をしました。

### 2. 研究背景

チャネルキャットフィッシュは北アメリカ大陸原産の淡水魚で、日本では特定外来生物に指定されている。1971年に養殖目的で日本に持ち込まれ、霞ヶ浦や北浦、利根川水系で分布を拡大している。この種が侵入した水域では生態系への影響のほか、漁業者の負傷や漁獲物の損傷、漁具の破損など様々な問題が起きている。滋賀県内では2001年に北湖で、2008年に琵琶湖から流れ出る唯一の河川である瀬田川で確認された。2008年以降、瀬田川下流では継続的に本種が確認されている。瀬田川には洗堰があり、下流から上流に向けた魚類の移動は少ないため、堰の上流と下流では本種の生息状況も異なることが予想されるが、明らかになっていない。また、滋賀県水産試験場が定期的に捕獲調査を行っているが、水質やその他の環境要因によって採捕できるかどうかにばらつきがあるため、環境DNAを用いた生物モニタリングを行うことにした。本研究の目的は、洗堰の下流側に本種が多く生息しているという仮説について、環境DNA分析を用いて検証することと、瀬田川のどのような場所に本種が生息しているか明らかにすることである。

### 3. 方法

2023年4月から12月に計20回の採水を行った。区間はグループA：天ヶ瀬ダム下流から洗堰上流

までの16地点と、グループB：瀬田川洗堰上流から琵琶湖南湖までの9地点に分けて行った。採水量は1Lで、BACを加えて持ち帰り、当日GF/Fフィルターで濾過した。抽出時にグループAは200μL、グループBは100μLで溶出した。各サンプルは3繰り返しでリアルタイムPCRを行い、検出限界以上のものを陽性として扱った。抽出に失敗したと思われるサンプルを除外した18日分のサンプルで解析を行った。洗堰の上流と下流で陽性反応数に差があるかをU検定で、採水の季節（春：4～5月、夏：6～8月、秋：9～11月、冬：12月）と陽性反応数に差があるかをクラスカル・ウォリス検定で調べた。

### 4. 結果

瀬田川洗堰からの距離をqPCRの陽性反応数を示したものが図1である。破線が洗堰の位置を示している。堰下流ではどの地点でも恒常に検出され、堰上流での反応が少なく、堰上流側では堰に近いほど陽性反応数が多くみられていた。これは捕獲調査での、堰の上流と下流では下流側の捕獲数が多く、堰上流側では堰から2km以内に集中していたという内容と一致していた。

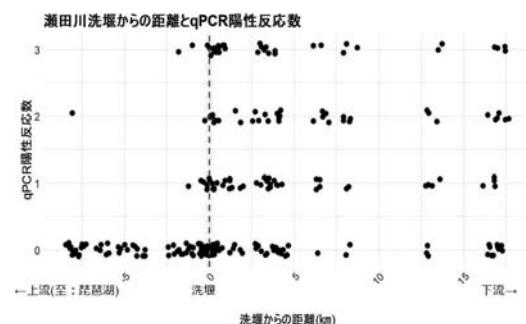


図1 瀬田川洗堰からの距離とqPCRの陽性反応数

図2では採水地点とqPCRの陽性反応数に統計的な差があるかを示した図である。やはり統計的に見ても下流側の方が陽性反応数は有意に高かった( $p=2.37e-16$ )。

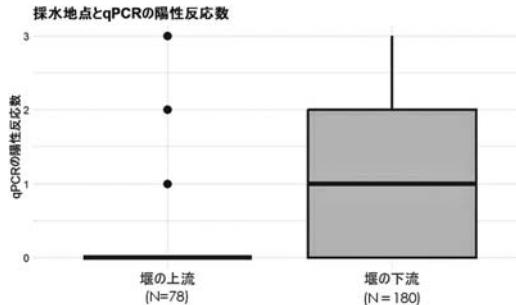


図2 採水地点とqPCRの陽性反応数

図3では採水時期とqPCRの陽性反応数に統計的な差があるかを示した図である。採水時期とqPCRの陽性反応数には相関がみられなかった( $p = 0.4495$ )。

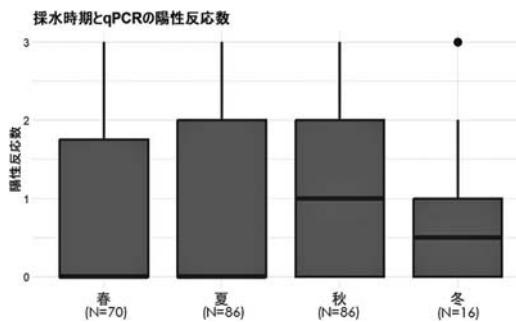


図3 採水時期とqPCRの陽性反応数

## 5. 考察

本実験のサンプルでチャネルキャットフィッシュのDNAが検出できることから、環境DNA分析が捕獲調査と同様にモニタリングに活用できることが分かり、本種が河川内のどこにでも生息しているこ

とが分かった。また、堰の上流側と下流側を比較すると、下流側の方が多いDNAが検出されたことから、瀬田川洗堰が本種の琵琶湖への侵入の障壁になっていることが強く示されることになったと考える。さらに、季節間で検出数に差がないことから、季節・場所によらず偏在しており、産卵とは関係なく堰下流に恒常に広く分布していると考えた。

## 6. 提言

瀬田川の様々な場所でDNAが検出されたことから、季節や場所によらず常に駆除などの対策が必要である。洗堰の下流側でDNAが多く検出されることから、総数を減らすという面では下流側での駆除が効率的である。特に堰直下は、直接的な侵入を阻止するうえで非常に効果的だが、すでに侵入してしまった個体が上流で繁殖しないためにも、堰上流側での駆除も継続していく必要がある。堰直上での捕獲が効率的である。

## 7. 学会を通して

学会ではポスターセッションのほかに、企画集会もあり、環境DNAにおける最前線について学ぶことができた。ポスターセッションでは開催地がつくばということもあり、霞ヶ浦でチャネルキャットフィッシュに関わっている方々から多くのアドバイスや応援の言葉をいただき、対象種や研究について深い話ができる場が持てた。

## 人文科学とコンピュータ シンポジウムに参加して

中 池 天 音

Amane NAKAIKE

情報メディア学専攻修士課程 2年

### 1. はじめに

私は、2024年12月7日・8日に東北大学川内キャンパスにて開催された人文科学とコンピュータシンポジウム2024に参加し、「小袖資料の3D鑑賞と仮想試着を目的とした博物館展示デザイン」という題目で口頭発表を行った。

### 2. 研究背景と目的

近年、博物館や美術館では、文化財などの展示品のデジタルアーカイブ化が進むと同時に、デジタル技術を活用したインタラクティブ展示も増加している。衣裳資料の小袖においても、画像としてデジタルアーカイブ化はされているが、インタラクティブ展示への活用はまだあまり行われていない。そこで、本研究では小袖を対象としたインタラクティブコンテンツ「小袖試着システム」を開発し、博物館で展示運用した。また、資料画像をベースに小袖を3DCG化し、システムに使用することで従来展示では見ることが難しい部分の鑑賞や試着体験を可能にした。

### 3. 小袖の3D化と小袖試着システムの開発

本研究では国立歴史民俗博物館所蔵の「野村正治郎衣裳コレクション」を使用した。所蔵されている衣裳資料は300領以上あり、仮に全資料を一から3D化するとなるとコストが多くかかる。そこで、3Dのテンプレートモデルを1つ作成し、開発したシステムではそのモデルのテクスチャを差し替えるのみで様々な小袖を表示できるようにした。また、システムの試着体験に対応できるよう、小袖CGには人体関節も追加した。

本研究では、鑑賞者が小袖をまとう感覚を味わいながら、前身頃や柄のつながり、袖の動きが鑑賞できるインタラクティブシステムを開発した。

システムは図1のようにKinect, PC, モニタで構成され、Kinectで取得したユーザの骨格情報をジェスチャ認識や小袖CGの向きの制御、試着状態時のCGの操作に使用する。ジェスチャでは小袖の柄、視点、試着状態への切り替えができる。また、システムでは取得した体験者の関節情報を、小袖CGに追加されている人体関節の骨盤(Pelvis)と両肩(r\_shoulder, l\_shoulder)に反映する。Pelvisには小袖の向きの制御のため、常に体験者から取得した身体の向きが反映され、r\_shoulder, l\_shoulderには、試着状態時、小袖の腕部分を動かせるようにするため、体験者の関節情報が割り当てられる。また、体験者に小袖をまとう感覚を与えるため、小袖が前向きの場合は鏡合わせの向き、後ろ向きの場合は背後から見る感覚で小袖のCGが動くようにしている。図2に試着状態で後ろ向きのCGを動かしている際の様子を示す。

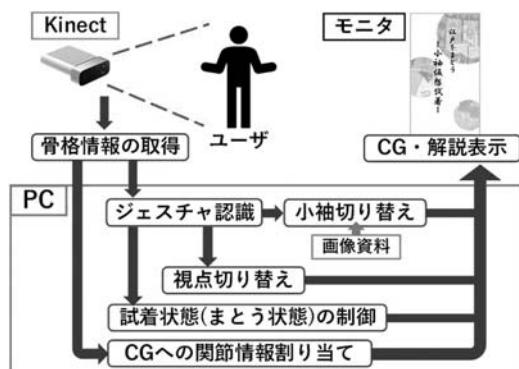


図1 システム構成図



図2 システム実行例

#### 4. 博物館展示

開発したシステムは、小袖の実物と共に国立歴史民俗博物館の企画展示「歴史の未来—過去を伝えるひと・もの・データー」にて2ヶ月間展示した。

博物館では、操作方法を教える補助員などがない、無人の状態でシステムが展示されるため、来館者のみで体験可能にするための機能追加を行った。具体的には、複数人で認識範囲内に入った場合には、その中で最初に認識した体験者の動きがシステムへ反映されるようにし、その体験者が範囲から出ると他の体験者の動きが反映されるようにする機能、そして、認識が外れ、次の体験者が直ぐに入らなかった場合は、認識が外れる直前の状態の3DCGが一定時間静止した状態で表示される機能を追加した。

#### 5. 評価実験

システムのコンセプトと身体感覚（まとっているように感じるか）について調査を行うため、博物館と同様の環境を実験室に再現し、被験者11名に事前説明なしで5分間システムを体験してもらい、その後、アンケートによる評価をしてもらった。各ジェスチャを実行できたかの質問に対する回答結果を図3に示す。回答結果より、右手・左手スワイプは全員が実行可能であることが確認できた一方、お辞儀や腕を広げるジェスチャでは一部で低評価が見られた。操作指示に関する質問においても「わかりやすい」「とてもわかりやすい」の評価が7割を占め、

否定的な評価もなかったことから、システムでの操作指示方法は概ね有効であると考えられる。身体感覚に関する質問では、システムで動かせるCGの部分が少なかったために、まとう感覚を持てないと答える人もいたため、CGで動かせる部分を増やすことや操作方法を工夫することで改善したいと考える。

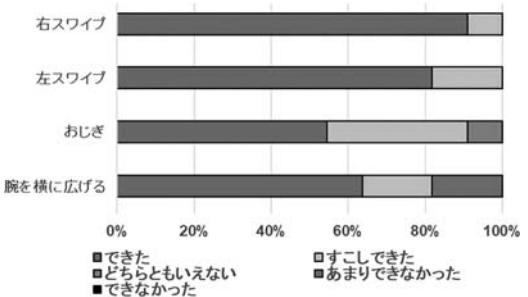


図3 アンケート回答結果（一部）

#### 6. おわりに

本研究では、小袖を「まとう」体験をしながら、通常では鑑賞が難しい部分の鑑賞も可能にするインタラクティブな展示システムを開発し、実際の博物館で展示を行った。システムで使用する3DCGは、資料画像を活用して作成し、インタラクティブコンテンツにも対応できるものにした。また、体験者のみでも容易に体験可能なものにするため、システムに実装する機能や使用するジェスチャ、操作説明の提示方法についても検討を行った。評価実験では、一部のジェスチャを除き、体験者のみでも実行できるという評価を得られた。

今回の発表は、他大学の先生からの質問や貴重な意見をいただくことができ、有意義なものにすることができた。また、いただいた意見を基に今後の研究活動に活かしていきたい。

最後に、発表や研究に対して多大なご指導を頂いた曾我麻佐子准教授、小袖資料の提供・CG監修、博物館展示にご協力頂いた国立歴史民俗博物館の澤田和人准教授、後藤真准教授、システム開発にご協力頂いた小林京平氏に感謝の意を表します。

## 術後の椎体圧迫骨折とスクリュー緩みの抑制に効果的な脊柱変形矯正術の探索

### —骨微小破壊解析による評価—

安 喜 友 哉

Tomoya AKI

機械システム工学専攻修士課程 2年

### 1. 緒言

脊柱変形矯正手術では、固定最上端の強固な固定力の集中により、スクリューの緩みや椎体の圧迫骨折が好発するため、力学的に妥当な固定方法の確立が必要である。これまで著者らが多椎体への固定術の有限要素モデルを作成して静弾性解析を行った結果、固定最上端に適用するフック形状の固定具がそれ以下の椎体のスクリュー周囲の応力を低減させることが示された。しかし、スクリューの緩みはスクリュー周囲の骨の微小破壊に起因して発生すると考えられるため、骨の微小破壊を考慮した力学解析を行うことが望ましい。本研究では、術後のスクリューの緩みと椎体圧迫骨折の抑制に効果的な矯正術の確立を目的とし、著者らがこれまでに構築した多椎体への固定術の有限要素モデルを用い、フック形状固定具の導入、従来からのスクリュー固定、スクリューの挿入角度を変更した条件で、スクリュー周囲の骨の微小破壊解析を行った。また、得られた破壊要素の発生位置と分布から、それぞれの固定術法の力学的な妥当性を評価・考察した。

### 2. 方法

有限要素解析には、これまで作成した椎体の有限要素モデル（脊柱変形患者のX線CT画像を基にMechanical Finder（Version 12.0）上で第7胸椎（T7）から骨盤まで作成）を使用した。また、第9胸椎（T9）から骨盤までのスクリュー・ロッドのモデルを簡易的に作成し、固定最上端（T9）をそれぞれフック形状固定具、椎体に平行に挿入するス

クリュー、挿入角度を変更したスクリューで固定した3つのモデルを作成した。以下、それぞれ「フックモデル」、「従来モデル」、「スクリュー角度変更モデル」とし、図1 (a), (b), (c) にそれぞれ示す。

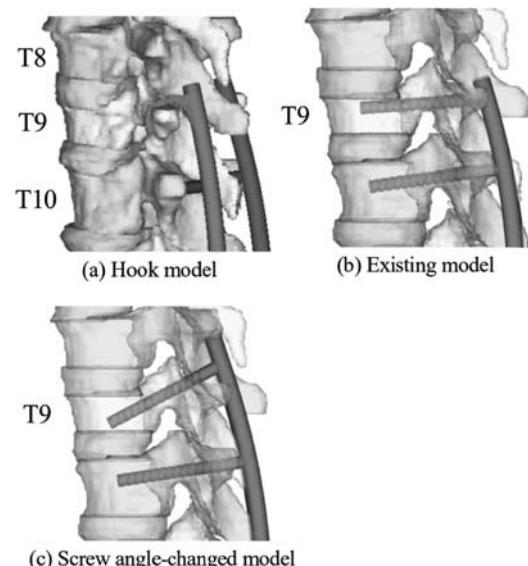


Fig. 1 Upper part of spinal instrumentation of each model

その上で、それぞれの固定具のモデルと、荷重を付与するためのモデル最上のT7から50mm突出させた平板を椎体モデルに挿入し、要素長1.4mmで有限要素分割を施した。椎体の材料特性として、CT画像の白黒の濃淡値から算出する各有限要素の骨の質量密度を基に、非均質なヤング率分布を反映した。境界条件として、前屈方向の変形を再現するために平板の先端に荷重60Nを付与し、骨盤下部を完全拘束した。以上の条件で、微小破壊解析（非線形骨折解析）を行い、各モデルの破壊要素の発生位置と個数を比較した。微小破壊解析では、設定した荷重を任意のステップ数に分割して付与し、各ステップにおいて、破壊基準に対するモデルの各要素の引張と圧縮の応力の大きさを判定した。引張の破壊基準は、要素の引張主応力が降伏応力の0.8倍を超えたとき破壊開始する。圧縮の破壊基準は、要素のDrucker-Prager相当応力が降伏応力を超えたとき

降伏状態から遷移し、圧縮主ひずみが-10000を超えたとき破壊開始とした。また、スクリュー周囲の応力を詳細に評価するために、微小破壊解析と同じ境界条件で従来モデルとスクリュー角度変更モデルの静弾性解析を行い、合わせて評価を行った。

### 3. 結果

フックモデル、従来モデル、スクリュー角度変更モデルの60N付与時点の引張破壊要素分布を図4(a), (b), (c)にそれぞれ示す。フックモデルと従来モデルにおいて、破壊要素は固定最上端T9に集中し、破壊要素数はフックモデルで8470、従来モデルで7084であった。破壊の発生位置はフックモデルでは椎体後方が中心であり、従来モデルでは椎体前方のスクリュー先端付近が中心であった。一方、スクリュー角度変更モデルではT9にほぼ破壊要素が発生せず、T8後方に4235の引張破壊要素が発生した。T9前方の赤色で示す領域における合成変位の平均値は、フックモデルで4.75mm、従来モデルで5.17mm、スクリュー角度変更モデルで4.81mmであった。また、静弾性解析において、T9スクリュー周囲の骨に発生した最大主応力の最大値は、従来モデルで9.45MPa、スクリュー角度変更モデルで1.88MPaであった。

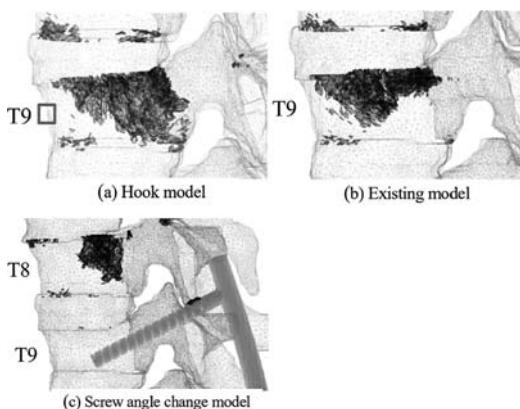


Fig. 2 Distribution of tensile fracture elements

### 4. 考察

破壊の発生位置は、従来モデルでは椎体前方のスクリューの上部と先端付近であった。従来モデルでは、骨の微小破壊によるスクリューの緩みの危険性が示唆された。一方、フックモデルでは、横突起を介して変形を支持するため、椎体後方の広範囲に分散して破壊が発生したと考えられ、椎体後方には一定の骨折の危険性があると考えられる。また、スクリュー角度変更モデルはT9内の広い範囲に挿入されているため、T9スクリュー周囲で負担する負荷が平均的に低下し、破壊が抑制されたと考えられる。T8の破壊要素の発生は、T9が破壊の抑制により、変形も抑制された結果、T8へ負荷が集中し、破壊につながった結果と考えられる。以上から、T8における破壊が大きく影響を及ぼさない範囲に留まつていれば、本研究で提示した固定法の中では、角度変更モデルが最もスクリューの緩みの危険性が低いことが示唆された。本解析のこれらの評価は簡易的な荷重条件下で得られているため、今後、筋骨格解析との連携等により現実的な荷重条件を同定し、フックモデルのT9後方やスクリュー角度変更モデルのT8の破壊について、詳細な評価が求められる。

### 5. 発表に関して

本内容は第35回バイオフロンティア講演会で発表を行ったものである。会場では、スクリュー角度変更モデルのT9に破壊が発生せず、T8に発生したメカニズムについて質問を受けた。このことがメカニズムについてより詳しく考えるきっかけ、学びとなつた。

## 予測 AI・筋骨格シミュレーションを活用した変形性股関節症大腿骨の個体別有限要素解析（第 35 回バイオフロンティア講演会）

大林 希

Nozomu OBAYASHI

機械工学・ロボティクスコース修士課程 1 年

### 1. はじめに

私は、2024 年 12 月 14 日から 15 日にかけて横浜市立大学にて開催された、「第 35 回バイオフロンティア講演会」に参加し、「予測 AI・筋骨格シミュレーションを活用した変形性股関節症大腿骨の個体別有限要素解析」という題目で研究発表を行った。

### 2. 緒言

変形性股関節症の股関節周囲の力学場推定には、著者らが確立した筋骨格シミュレーションと骨の有限要素解析（FEA）の連携が有用だが、FEA の荷重条件となる個体別の高精度で実用的な筋力推定には、筋骨格モデルに円滑に個体別の骨形状を反映する必要がある。本研究では、予測 AI を用い、医用画像として撮影された／されていない骨形状を抽出・生成し筋骨格モデルに反映した上で患者の歩行中の関節反力・筋力の推定を行い、それらを荷重条件として FEA を行った。また、予測 AI 活用の有無による比較から手法の有用性を考察した。

### 3. 方法

まず、変形性股関節症患者の身体の運動部位に 37 個の光学マーカーを装着し、モーションキャプチャーシステム Vicon512 を用いて、フォースプレート上を直線的に進む歩行を計測した。このモーションキャプチャデータと床反力を筋骨格解析システム AnyBody Modeling System (AMS, Version 7.4.3) 上に挿入し、患者の身長、体重を基に標準サイズの筋骨格モデルをスケーリングした。次に、下肢の骨盤

から膝まで撮影された X 線 CT 画像に対して自動セグメンテーションを行うことにより、CT 画像のピクセルごとに、どの筋であるかの情報（解剖学的名称）を付与した筋骨格ラベルを生成した。大量の患者の医療画像を基に形状のばらつきや特徴を統計的に表現する手法である統計形状モデル（SSM: Statistical Shape Models）を用いて、患者の筋骨格ラベルの特微量から下肢全体の筋骨格形状を予測・生成した。この生成された下肢全体の骨形状を AMS の筋骨格モデルに反映し、逆動力学に基づき各筋力と関節反力の推定を行った。また、生成された左右の大腿骨を Mechanical Finder (Version 13) 上で均質材料（ヤング率：1 GPa, ポアソン比：0.3）として有限要素モデル化（要素長：5mm）した。さらに、外側顆と内側顆を完全拘束し、推定された左右それぞれの歩行周期 10% 時点の大腿骨に作用する各筋力と関節反力のベクトルを荷重として付与した上で FEA を行った。本モデルの有用性を評価するため、患者 2 名を以上 の方法で解析し、患者の身長・体重と歩行動作を反映させた「標準モデル（Standard model）」と、身長・体重と歩行動作に加え、骨形状を反映させた「反映モデル（Reflected model）」の圧縮主ひずみ分布を比較した。これらのモデルの荷重条件の分布を図 1 に示す。

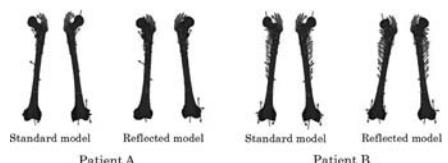


Fig. 1 Load conditions of femur models

### 4. 結果

歩行動作のみを反映させた標準モデルと、歩行動作および骨形状を反映させた反映モデルの圧縮主ひずみ分布、その定量ヒストグラムを図 2、図 3 にそれぞれ示す。図 2 より、患者の骨形状の反映により、圧縮主ひずみ分布が変化し、反映モデルのひずみの絶対値は、標準モデルより小さかった。図 3 より、患者 A は健側（左側）より患側（右側）の方

がひずみの絶対値が小さいのに対し、患者 B は患側（左側）の方が大きい。さらに、患者の骨形状の反映により、ひずみの左右差は、患者 A では大きく、患者 B では小さくなつた。

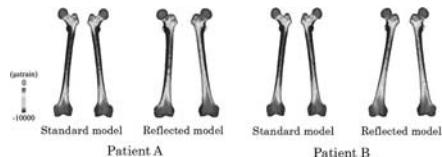


Fig. 2 Compressive principal strain distribution of femur models

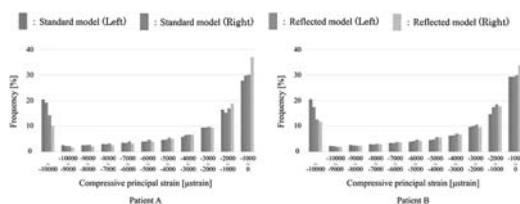


Fig. 3 Frequency of compressive principal strain distribution

## 5. 考察

図 2, 3 より、反映モデルのひずみの絶対値が標準モデルより小さかったことは、大腿骨の形状変化と荷重の大きさや方向に起因すると考えられる。荷重の大きさと方向について、モデル間において分布の特徴、大きな差異は見られなかつた。標準モデルと反映モデルそれぞれの大転骨の長軸に対する骨の平均断面積を表 1 に示す。表 1 より、反映モデルは、標準モデルに比べ断面積が大きいため、断面積の変化がモデル間でのひずみの差異の主な原因と考えられる。これらから、股関節周囲の応力に対して骨形状の反映が大きく影響するため、患者固有の骨形状の反映が重要であることが示唆された。そのため、標準モデルより患者の骨形状を反映した反映モデルが FEA に適切と考えられる。また、図 2, 3 において示された左右のひずみの大きな差は、患者特有の体幹の動搖が生じる異常な歩行姿勢に起因すると考えられる。変形性股関節症患者は、外転筋群の筋力不足により反対側の骨盤が落ち込み、股関節に生じる負荷や股関節周囲筋の筋活動量を減少させ

る。これは、本研究で対象とした被験者においても生じていると予想され、それが左右の大転骨に作用する荷重の差となり、ひずみに影響したと考えられる。以上のように、本モデルは変形性股関節症患者の股関節周囲における力学的な特徴を捉えることができた。

本研究では、下肢一部の医用画像から下肢全体の筋骨格形状を生成する予測 AI を用いて FEA を行った。予測 AI は医用画像の撮影から形状生成までの時間と労力を削減するだけではなく、撮影領域が一部にとどまるため、撮影時の被ばく量の観点からも有用である。したがつて、従来手法より低コストに患者固有の骨形状を筋骨格シミュレーション・FEA に反映することができるため、今後、リハビリテーションや診断などの臨床の場への応用が期待できる。

Table 1 Average of cross-sectional area of femur

	Patient A				Patient B			
	Standard model		Reflected model		Standard model		Reflected model	
	Left	Right	Left	Right	Left	Right	Left	Right
CSA [cm <sup>2</sup> ]	9.128	9.218	10.848	10.711	9.313	9.203	10.124	10.126

## 6. 結言

本研究では、予測 AI を用いて骨形状を抽出・生成し、筋骨格モデルに反映した上で患者の歩行中の関節反力・筋力の推定を行い、それらを荷重条件として FEA を行った。その結果、股関節周囲の応力に対し、骨形状の変化が大きく影響することが示され、患者の骨形状を反映する重要性が示唆された。また、予測 AI と筋骨格シミュレーションを活用したモデルは、患者の特徴的な骨形状や筋の付着位置を捉えることが可能であることが示され、股関節周囲に作用する力の推定に有用である可能性が示された。

## 7. おわりに

学外で初めての口頭発表で緊張したが、伝えたいことをしっかりと伝えることができてよかつた。公聴された方々から質問やコメントをいただき、今後の研究の進め方の参考になった。

## 令和 6 年度宇宙航行の力学 シンポジウムへの参加報告

辻 拓斗

Takuto TSUJI

機械工学・ロボティクス課程 4 年

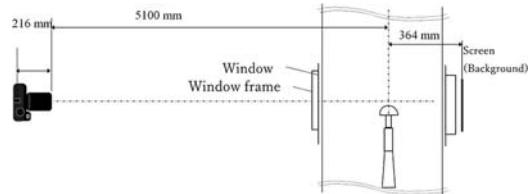


図 1 実験時の模式図

### 1. はじめに

2024 年 12 月 16 日から 17 日まで宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所相模原キャンパス (JAXA/ISAS) にて開催された令和 6 年度宇宙航行の力学シンポジウムに参加し、12 月 17 日の 09:20 から 09:40 の 20 分間学会発表を行った。

本研究は超音速流での模型周りの空気密度勾配について BOS (Background Oriented Schlieren) 法を用いて衝撃波をともなう密度変化を簡便に可視化することを目的として行った。

### 2. 実験手法

BOS 法は、シュリーレン法とは異なり、カメラと背景画像のみを使用して空気密度勾配を計測するため大掛かりな光学装置を使用せず、手軽に計測することが可能である。

具体的な計測手順としては、密度変化が発生していない通風前にカメラで画像を取得。同様に密度変化が発生している通風中の画像を取得。取得した 2 枚の画像について画像処理を加えることで背景画像の変位量を計測。視線方向の密度勾配の積分値が背景画像の変位量として計測することができるというものである。

今回の研究では宇宙航空研究開発機構 (JAXA) が所有する超音速風洞を用いて実験を行った。模型は将来の深宇宙探査を目的とした薄殻型サンプルリターンカプセルの模型とキューブサットの模型を使用し、ともに 3D プリンタで作成した。

図 1 にカメラと風洞の位置関係を示した実験時の模式図を示す。

使用した実験模型を図 2 に示す。

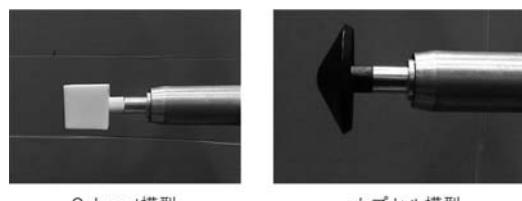


図 2 実験模型

背景画像はランダムドットと輝度値の変化が 1 周期を 30pixel とする正弦波を縦方向と横方向に足し合わせた正弦波格子を使用した。使用した背景画像を図 3 に示す。

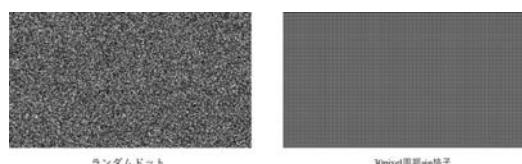


図 3 背景画像

画像処理の手法として相互相関法を用いて変位量の計測を行う Optical Flow (OF) と画像の位相差から変位量の計測を行う Fast Checkerboard Demodulation (FCD) の 2 種類の処理を行い、それぞれの結果を比較した。また、OF では背景にランダムドットと正弦波格子、FCD では背景に正弦波格子のみを用いた。

### 3. 実験結果

研究結果の一例としてキューブサット模型の OF, FCD による解析結果を図 4-6 に示す。図 4-6 は横方向の変位量をカラーコンターとして表示し、上流方

向への変位を赤色、下流後方への変位を青色で表した。

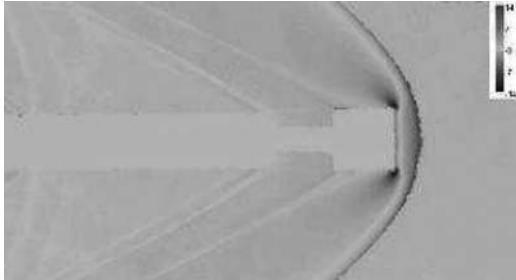


図4 ランダムドットを用いたOFによる解析結果

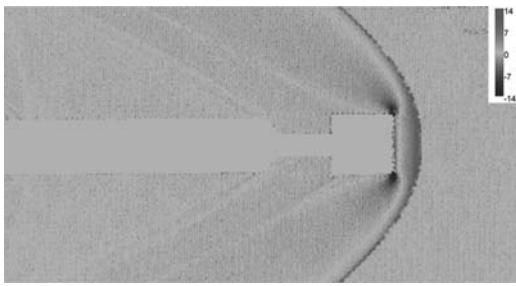


図5 正弦波格子を用いたOFによる解析結果

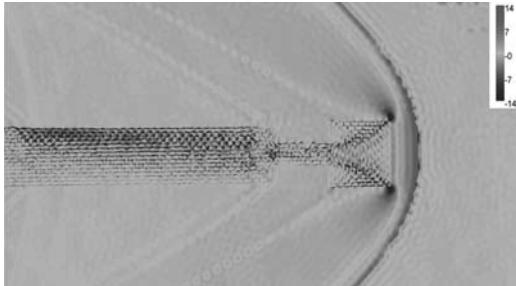


図6 正弦波格子を用いたFCDによる解析結果

FCDによる解析ではマスクによる影響で模型部分に誤ベクトルが発生したが、それぞれの解析で前面の衝撃波、模型肩部の膨張波、ステイングからの衝撃波をとらえることができた。

次に前面衝撃波から肩部の膨張波を通る位置で流

れ方向の変位量を800pixel分取得し、解析方法、背景画像の種類で解析結果を比較した。図7に変位量をプロットしたグラフを示す。

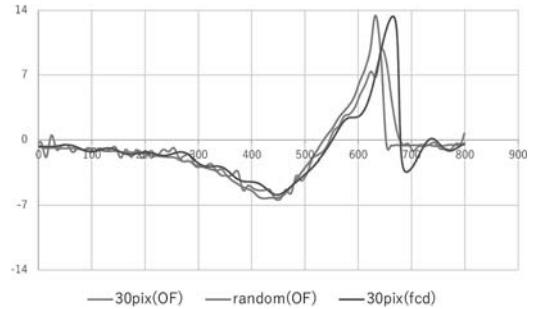


図7 変位量のプロット図

すべての解析結果で変位量はおおよそ同じ傾向にあることが分かる。一方で、背景画像に正弦波格子を用いたOFによる解析結果は変位量のばらつきが大きく、背景画像や解析方法の違いによって変位量に違いが発生する結果となった。解析結果に差が生まれた原因の一つとして図5において背景由来の模様が見えていることが考えられる。

#### 4. おわりに

今回の学会では多くのご意見やご質問をいただき、貴重な体験をさせていただきました。学会発表は私自身初めての体験で緊張もありましたが、他大学の人や他の研究者に本研究を知っていただく良い機会となりました。質疑応答ではご意見やご質問を頂戴することができ、学内だけでは得ることが出来なかつた新しい視点を得ることが出来ました。今後は、本学会で得られた知識や経験を活かして、より良い研究活動に励んでいきたいと思います。最後に、本研究に関わった全ての方に感謝申し上げます。

## 「2024 年度 武蔵野大学龍谷大学連携シンポジウム」に参加して

渋谷 朋 崇

Tomoki SHIBUYA

数理情報学専攻修士課程 2 年

### 1. はじめに

2025 年 2 月 11 日から 13 日にかけて開催された 2024 年度 武蔵野大学龍谷大学連携シンポジウムに参加した。私は「機械学習を用いた慣性式モーションキャプチャによる動作識別システム」という題目で口頭発表を行った。

### 2. 研究背景

近年、Meta Quest 3 などのバーチャルリアリティ (VR) デバイスの普及に伴い、VR 空間を活用したゲーム・シミュレーション、教育、医療などの多様な分野での応用事例が増加している。しかし、VR 空間での操作インターフェースは依然としてコントローラのボタン・トリガー操作が中心であり、身体的自由度や没入感を十分に活用できていない。他方、機械学習や大規模設備を用いたカメラベースのモーションキャプチャ技術も用いられるが、これらは環境光や遮蔽物、画角外への対応が難しいという問題が残る。さらに、また、物理的空間と VR 空間を正確にマッピングさせるという方向性は、現実の部屋の大きさや身体的制約により却って VR 空間内で可能な行動が制限されてしまう。そのため、ユーザの行動を用いるとともに、行動を直接入力にせず、変換することが必要である。そこで本研究では、軽量かつ行動環境に制限されにくい慣性式モーションキャプチャ (IMU) デバイスでの、軽量な機械学習を用いた身体動作を VR コマンド入力を実装する。

### 3. 作成したシステムについて

作成したシステムのフローを図 1 に示す。

IMU センサとしてソニー製「mocopi」(図 2) を使用した。mocopi は両手首・両足首・頭部・腰の計 6 点に装着し、そこから得られる加速度および回転情報を取得する。mocopi 公式アプリでは情報の送信に制約があったため、同公式が配布している SDK を用いて自作通信アプリを制作した。

機械学習モデルでは多層パーセプトロン (MLP) を採用し、学習することで、特定動作 (腕を振る、ジャンプするなど) をリアルタイムに判定・分類することを可能とした。IMU センサデータは常時連続的に取得され、一定フレーム数 (時系列ウインドウ長) とステップ数 (フレームずらし幅) を組み合わせて短い時系列データを生成することで、応答速度と識別精度を両立させる設計を行った。

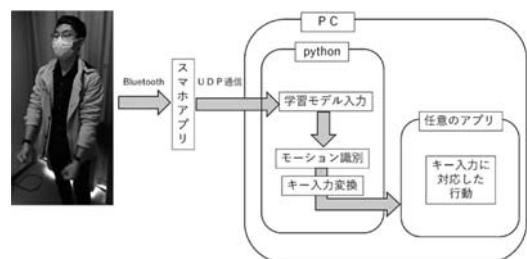


図 1 作成したシステムのフロー



図 2 使用した IMU センサ「mocopi」

### 4. モデル性能実験

実験では、まず単一被験者に多様な動作を行わせ、類似動作の除外や学習パラメータ (フレーム数・ステップ数・MLP の隠れ層ユニット数など) の最適化を行い、18 種類の動作を高い精度で識別

できることを確認した。図3はステップ数を1としたときのユニット数、フレーム数ごとの識別率のヒートマップである。

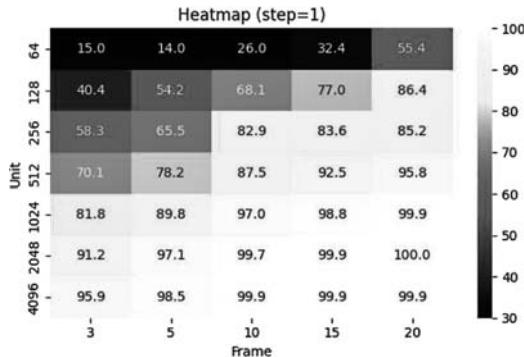


図3 step 数が1のときのパラメータごとの識別率

複数被験者を対象にした実験では、

1. 被験者のみのデータを使ったモデル
2. 被験者以外の2名のデータを使ったモデル
3. 2. に自身のデータを追加学習させたモデルの3つのモデルを作成し、識別率を比較した。

その結果を表1から表3に示す。表2、表3の下部の数値はモデル1との差を示している。

表1 モデル1の識別率 (%)

Subj.	1	2	3	4	5
A	99.6	100	98.2	99.1	97.1
B	84.2	90.8	88.7	94.2	96.6
C	54.4	97.2	94.9	99.8	96.2

表2 モデル2の識別率 (%)

Subj.	1	2	3	4	5
A	87.9	88.5	85.9	81.2	88.5
	-11.7	-11.5	-12.3	-17.9	-8.6
B	78.0	62.5	36.9	63.5	71.7
	-6.2	-28.3	-52.2	-30.7	-24.9
C	27.6	77.6	83.9	95.0	83.1
	-26.8	-19.6	-11.0	-4.8	-13.1

表3 モデル3の識別率 (%)

Subj.	1	2	3	4	5
A	99.2	99.0	96.0	99.0	99.3
	-0.4	-1.0	-2.2	-0.1	+2.2
B	93.5	96.1	73.2	95.8	96.8
	+9.3	+5.3	-15.5	+1.6	+0.2
C	29.9	97.1	96.1	99.8	95.8
	-24.5	-0.1	+1.5	±0	-0.3

モデル2では本人のデータがないことでモデル1と比較して大幅に識別率が低下しているが、モデル3では追加学習データを加えることで80~95%程度まで精度を回復できることが分かった。

図4は実際にシステムを用いて行動したときの、モデルの出力をフレーム毎に記録し、グラフにしたものである。

行動に応じて識別できており、また数フレームで識別結果の切り替えが行われていることが確認できた。

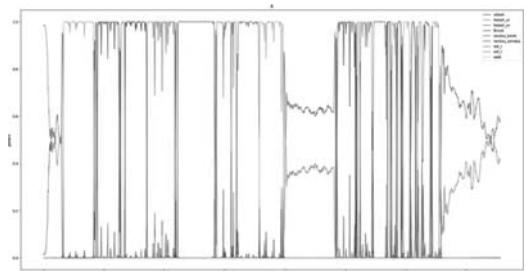


図4 運用検証でのモデル出力

今後は、学習外の動作を誤識別する問題への対処や、装着中のキャリブレーション設計、さらに使用するシーンに応じての動作リスト拡張が課題となる。本研究が示すように、IMUと機械学習を組み合わせたモーション識別手法は、大掛かりな機材を要せずに身体動作を直感的なコマンドとして活かせる可能性を持ち、VRならではの没入感や操作自由度を一層高めることが期待される。

## 5. シンポジウムを終えて

同シンポジウムでは、15分の発表と5分の質疑応答があった。質疑応答では、コマンド化の利点についてや、学習部分に意見をいただいた。また、双方の院生の研究内容やその過程を交流の中で実際に詳しく聞くことができ、学生だけでなく教員の研究成果についても聴講することができ有意義なものを感じられた。

# 2024 年度武藏野大学龍谷大学連携シンポジウム

赤 堀 希  
Nozomi AKAHORI  
数理・情報科学課程 4 年

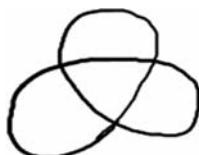
## 1. はじめに

2025 年 2 月 12 日に武藏野大学で行われた 2024 年度武藏野大学龍谷大学連携シンポジウムに参加しました。

## 2. 発表内容

### 2.1 交差交換と領域交差交換について

結び目とは一本のひもの両端が閉じた 3 次元空間における閉曲線を表します。下図のように結び目を 2 次元で表したときに交わっている点を交点と呼びます。またこの図のことを射影図とよびます。



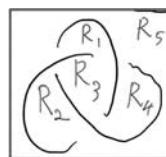
下図のように射影図の各 2 重点に上下の情報を表したものと図式と呼びます。また、上下の情報を持った交点を交差点と呼びます。



交差交換とはある結び目の交差点での上下の情報を入れ替える操作のことです。この操作により結び目が解消されたものを自明な結び目と呼びます。



ある結び目の図式の線で囲まれた場所を結び目図式の領域と呼びます。また、囲まれていないその外側のことも結び目図式の領域と呼びます。

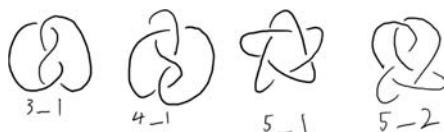


下図のようにある結び目図式の任意の領域  $R$  を選び、領域  $R$  に接している交差点で交差交換をする操作を領域交差交換と呼びます。



複数の領域で領域交差交換を行う場合、選択した領域が同じ交差点に接しているときその接している数だけ交差交換を行います。

下図は今回の実験で使った図式です。



### 2.2 実験

実験の方法として対象のすべての組み合わせの各領域、各交差点で領域交差交換と交差交換を行い、それぞれどのような結び目が得られたか調べます。自明な結び目に変化した数、別の結び目に変化した数、形が変化しなかった数をそれぞれまとめ全体の割合を領域交差交換と交差交換で比較します。ただし鏡像は今回は同型として扱います。

結び目 3-1 で領域交差交換と交差交換をそれぞれ行うと領域の数は 5 個なので組み合わせの総数は  $2^5 = 32$  通りとなり、交差点の数は 3 個なので組み合わせの総数は  $2^3 = 8$  通りとなる。このうち自明な結び目となったのは領域交差交換が 24、交差交換が 6 通り、3-1 になったのは領域交差交換が 8、

交差交換が2通りとなった。この結び目では領域交差交換と交差交換では総数は変わるが自明な結び目となる割合は等しくなっている。また、領域交差交換の値が交差交換の4倍になっていることがわかった。

結び目4\_1で領域交差交換と交差交換をそれぞれ行うと領域の数は6個なので組み合わせの総数は $2^6 = 64$ 通りとなり、交差点の数は4個なので組み合わせの総数は $2^4 = 16$ 通りとなる。このうち自明な結び目となったのは領域交差交換が48、交差交換が12通り、3\_1になったのは領域交差交換が8、交差交換が2通り、4\_1になったのは領域交差交換が8、交差交換が2通りとなった。この結び目でも領域交差交換と交差交換では合計の数は変わるが自明な結び目となる割合は等しく、3\_1, 4\_1の結び目となる割合も等しくなった。また、領域交差交換の値が交差交換の4倍になっていることがわかった。

結び目5\_1で領域交差交換と交差交換をそれぞれ行うと領域の数は7個なので組み合わせの総数は $2^7 = 128$ 通りとなり、交差点の数は5個なので組み合わせの総数は $2^5 = 32$ 通りとなる。このうち自明な結び目となったのは領域交差交換が80、交差交換が20通り、3\_1になったのは領域交差交換が40、交差交換が10通り、4\_1になったのは領域交差交換が0、交差交換が0通り、5\_1になったのは領域交差交換が8、交差交換が2通りとなった。この結び目でも領域交差交換と交差交換では合計の数は変わるが自明な結び目となる割合は等しく、3\_1, 4\_1, 5\_1の結び目となる割合も等しくなった。また、領域交差交換の値が交差交換の4倍になっていることがわかった。

結び目5\_2で領域交差交換と交差交換をそれぞれ行うと領域の数は7個なので組み合わせの総数は $2^7 = 128$ 通りとなり、交差点の数は5個なので組み合わせの総数は $2^5 = 32$ 通りとなる。このうち自明な結び目となったのは領域交差交換が88、交差交換が22通り、3\_1になったのは領域交差交換が24、交差交換が6通り、4\_1になったのは領域交差交換

が8、交差交換が2通り、5\_2になったのは領域交差交換が8、交差交換が2通りとなった。この結び目でも領域交差交換と交差交換では合計の数は変わるが自明な結び目となる割合は等しく、3\_1, 4\_1, 5\_2の結び目となる割合も等しくなった。また、領域交差交換の値が交差交換の4倍になっていることがわかった。

実験の結果から領域交差交換を行った場合、領域交差交換の組み合わせの総数、自明な結び目になる数、それぞれの別の結び目となる数は全て交差交換を行った場合の4倍になることがわかりました。またこのことから領域交差交換では任意の交差点で交差交換をするための領域選択が4通り存在することがわかりました。

### 2.3 まとめ

今後の課題としては交差点が6以上の結び目においても同じことが言えるのかどうかの検証と一部の領域を選択不可能にした時の領域交差交換にどのような変化が起るのかを調べることが課題です。

### 3. おわりに

発表は知らない人が見ても分かるようにして作ろうとしたため、参加していた学生からは興味を持たれて質問などがあったので、初めて結び目に触れる人が観て聴いても分かるように作れたのではないかとおもいます。しかし、証明に関して聞かれることが多かったため証明を入れたほうがよかったなど考えました。

発表では証明をできなかったのですが、私がした予想の証明を武藏野大の兎玉大樹先生からいただきました。

### 参考文献

- [1] 河内明夫 岸本健吾 清水理佳 著「結び目理論とゲーム 領域選択ゲームでみる数学の世界」
- [2] 山本和磨 著「2023年度卒業論文 結び目の交差交換」

## 「2024 年度 武蔵野大学龍谷大学連携シンポジウム」に参加して

植 田 彩 加

Sayaka UEDA

数理・情報科学課程 4 年

### 1. はじめに

2025 年 2 月 11 日から 13 日まで武蔵野大学で開催された、2024 年度武蔵野大学龍谷大学連携シンポジウムに参加した。2 月 12 日に、「正五角形二面体の最遠点写像」という題目で口頭発表を行った。

### 2. 発表内容

#### 2.1 正五角形二面体

$$\tau = \frac{1 + \sqrt{5}}{2} \text{ とし,}$$

$$H = \{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3 \mid y - \tau z = 0\}$$

とする。この平面  $H$  上の 5 点  $A = (-1, 0, 0)$ ,

$$B = \left( \frac{1 - \tau}{2}, -\frac{\tau}{2}, -\frac{1}{2} \right), C = \left( \frac{\tau}{2}, -\frac{1}{2}, \frac{1 - \tau}{2} \right),$$

$$D = \left( \frac{\tau}{2}, \frac{1}{2}, \frac{\tau - 1}{2} \right), E = \left( \frac{1 - \tau}{2}, \frac{\tau}{2}, \frac{1}{2} \right)$$

が頂点となる、 $O = (0, 0, 0)$  を中心とする正五角形を考える。この正五角形を  $M$  とおく。

$M$  と同じ正五角形  $M_1, M_2$  を用意し、境界を貼り合わせたようなものを正五角形  $M$  の二面体と呼び、 $M_1 \bowtie M_2$  で表す。ここで、 $M_1, M_2$  をシートと呼ぶ。

$M_1 \bowtie M_2$  上の内在的距離  $d$  を次のように与える。

$M_1 \bowtie M_2$  上の 2 点  $p, q$  が同じシート上にあるときは

$$d(p, q) = |p - q| = \sqrt{\langle p - q, p - q \rangle},$$

異なるシート上にあるときは

$$d(p, q) = \rho(p, q),$$

$$\rho(p, q) = \min_s \{ |p - s| + |s - q| \mid s \in \partial M \}$$

とする。同じ面上ではユークリッド距離、表面と裏面の点はそれらの点を結ぶ最短距離で測るイメージである。

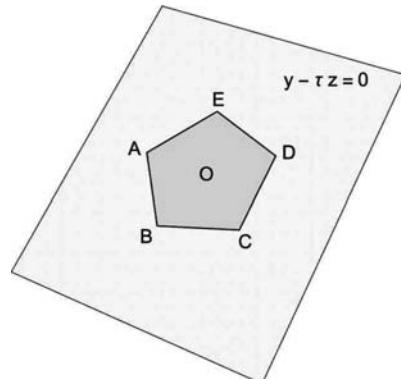


図 1 正五角形  $M$

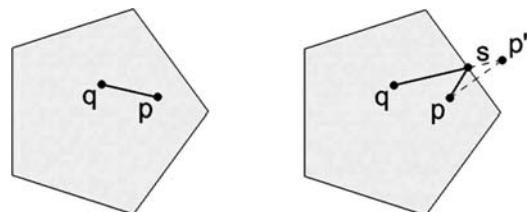


図 2 正五角形二面体上の距離の測り方

#### 2.2 最遠点写像

正五角形  $M$  の二面体上の最遠点写像を

$$f(p) = \{q \in M \mid \rho(p, q) \geq \rho(p, q'), \forall q' \in M\}$$

とする。ただし、 $f$  は集合値写像である。これは、 $\rho(p, q)$  が最も大きくなるような  $M$  上の点の集合を表す。

#### 2.3 始点の動く範囲

$A$  と  $B$  の中点を  $F$  とする。始点  $p$  は三角形  $OAF$  上を動くものとする。

#### 2.4 最遠点の候補

始点  $p$  の各辺に対する鏡映点を母点としてボロノイ図を描くと、ボロノイ点は最遠点の候補となる。

まず鏡映点を考える。 $p_1$  は辺  $AB$ ,  $p_2$  は辺  $BC$ ,  $p_3$  は辺  $CD$ ,  $p_4$  は辺  $DE$ ,  $p_5$  は辺  $EA$  に関する鏡映点とする。

次に  $p_1, \dots, p_5$  を母点とするボロノイ図を考える。

$$V(p_i) = \{q \in H \mid |q - p_i| \leq |q - p_j|, j \neq i\}$$

を,  $p_i$  を母点とするボロノイ領域と呼ぶ. これは,  $p_1, \dots, p_5$  の中で最も近いのは  $p_i$  であるという性質を持つ点を全て集めた集合である. この分割図形をボロノイ図と呼び, 3つ以上のボロノイ領域の境界が共有する点をボロノイ点と呼ぶ. ここで, ボロノイ点は, その周りの3個の母点を頂点とする三角形の外心である<sup>[1]</sup>.

$q \in V(p_i)$  に対して,  $\rho(p, q) = |q - p_i|$  が成り立つ. また, ボロノイ点が最遠点の候補となる.

$\psi_{ijk}(p)$  を,  $p_i, p_j, p_k$  を頂点とする三角形の外心とする. ボロノイ点となる点は,  $p$  の位置によって異なり, 大きく分けて2通りあることがわかった.

## 2.5 最遠点

$\psi_{123}(p), \psi_{134}(p), \psi_{145}(p)$  がボロノイ点になるような  $p$  の集合を  $\Delta_1$ ,  $\psi_{123}(p), \psi_{135}(p), \psi_{345}(p)$  がボロノイ点になるような  $p$  の集合を  $\Delta_2$  とする. それぞれの場合について,  $p$  とボロノイ点との距離をコンピュータで計算して比較し, 最遠点を調べた.

$p$  が  $\Delta_1$  の内部にあるときは,  $f(p) = \{\psi_{134}(p)\}$  となることがわかった. 一方,  $p$  が  $\Delta_2$  の内部にあるときは,  $f(p) = \{\psi_{135}(p)\}$  または  $f(p) = \{\psi_{345}(p)\}$  となることがわかった. 逆算して  $\psi_{135}$  が最遠点になるような  $p$  の集合を  $\Delta_{21}$ ,  $\psi_{345}$  が最遠点になるような  $p$  の集合を  $\Delta_{22}$  とすると, それぞれの場合のボロノイ図は下図のようになる. 図中の円の半径は  $\rho(p, f(p))$  である.

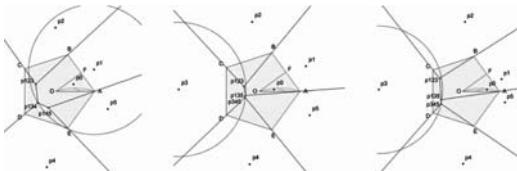


図3 左から  $p \in \Delta_1$ ,  $p \in \Delta_{21}$ ,  $p \in \Delta_{22}$  のときのボロノイ図

## 2.6 最遠点写像を繰り返すとどうなるのか

$B, C$  の中点と  $E$  を通る直線に関する  $M$  から  $M$  への鏡映変換を  $r$  とおく. コンピューターで図を描くと,  $p \in \Delta_1$  のとき  $r \circ \psi_{134}(p) \in \Delta_2$ ,  $p \in \Delta_2$  のとき  $r \circ \psi_{135}(p) \in \Delta_1$  となることが確認できる.

辺  $AB$ , 辺  $CD$  の延長線の交点を  $B'$ , 辺  $AE$ , 辺  $CD$  の延長線の交点を  $E'$  とすると, 三角形  $AB'E'$  に関して,  $\psi_{135}(p)$  は  $p$  の等角共役点となるため,  $\psi_{135} \circ \psi_{135} = id$  となる. ただし  $id$  は恒等写像を表す. また,  $M$  の対称性より  $r \circ \psi_{134} \circ r = \psi_{135}$  が成り立つため,  $r \circ \psi_{134} \circ r \circ \psi_{135} = \psi_{135} \circ \psi_{135} = id$  である.

よって,  $p$  や  $f(p)$  が  $\Delta_{21}$  の内部にあるような場合は, 最遠点の最遠点は元の点に戻ってくることがわかった.

## 3. おわりに

このシンポジウムでは, 武藏野大学と龍谷大学の学生, 先生方が発表を行っていた. 他大学の学生の発表を聞くことは刺激になり, 大変良い経験となつた. 発表にあたりご指導いただいた山岸先生に深く感謝いたします.

## 参考文献

- [1] 杉原厚吉 (2009), なわばりの数理モデル, 共立出版

## 多チャンネル音声強調のための Conv-TasNet の改良とそのマイク配置についての検討

森川 泰輔

Taisuke MORIKAWA

知能情報メディアコース修士課程 1年

### 1. はじめに

私は、2025年3月2日から4日に沖縄青年会館で開催された音声・音響・信号処理ワークショップ(SPEASIP)に参加し、「多チャンネル音声強調のためのConv-TasNetの改良とそのマイク配置についての検討」という題目で発表を行った。

### 2. 研究背景と目的

近年、音声入力システムやテレビ会議の普及に伴い、マイクを用いた音声処理技術の重要性が増している。しかし、マイクに入力される雑音や残響は、音声認識の精度低下や会話品質の劣化を引き起こす要因となる。この問題に対処するため、入力信号から目的とする音源を抽出する音源強調技術が不可欠である。

機械学習を用いた音源強調手法の一つにConv-TasNetがある。本手法は高い雑音抑圧性能を有するが、残響を含む環境においてはその性能が著しく低下するという課題がある。一方、機械学習を用いない古典的手法としてビームフォーミングが広く知られている。ビームフォーミングは複数のマイクを用いて空間的な情報を活用し音源を強調する手法であり、音の歪みが小さい利点を持つが、抑圧性能において機械学習手法には劣る。そこで本研究では、従来の单一チャネルConv-TasNetを多チャネルへ拡張し、空間情報を活用可能な機械学習モデルを提案する。

### 3. 多チャンネル Conv-TasNet

本研究では、従来の单一チャネルConv-TasNet

を拡張し、複数のマイクを用いた多チャネルConv-TasNetを提案する。マイク数を増加させることで、各マイクに入力される信号には遅延や強度の差が生じ、空間情報が得られる。本手法では、この空間情報を活用することで、任意の到来方向の信号を抽出し、目的音と残響を分離することを目的とする。

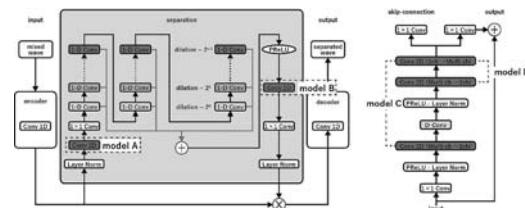


図1 提案手法の構成図

具体的には、従来のConv-TasNetに畳み込み層(Conv2D)を追加し、空間情報を取得可能なモデルを構築する。Conv2Dの追加にあたり、その数および目的音・雑音・残響の分離順序に応じて、以下の4種類のモデルを検討する。

新たにConv2Dを追加するにあたり、追加する数および目的音・雑音・残響の分離の順番に応じて、4種類のモデルを検討する。

- A) Conv2Dを1つ追加し、目的音と残響を分離した後に、目的音と雑音を分離
  - B) Conv2Dを1つ追加し、目的音と雑音を分離した後に、目的音と残響を分離
  - C) Conv2Dを複数追加し、目的音と残響を分離した後に、目的音と雑音を分離
  - D) Conv2Dを複数追加し、目的音と雑音を分離した後に、目的音と残響を分離
- これらのモデルを比較・評価することで、多チャネルConv-TasNetにおける最適な構造を検討する。

### 4. 実験

提案手法の性能評価は、シミュレーションで作成した音に対する客観評価値で行う。モデルの評価は雑音抑圧のみ、残響除去のみ雑音抑圧と残響除去の3つのタスクで行う。客観評価指標としてPESQ, STOI, SI-SDRを使用する。実験の内容は提案手法

と従来手法の比較とマイク配置による性能差の 2 点である。

表 1 音声条件

データ	条件
学習用データ	男女各14名合10音声計280音声
評価用データ	男女各1名各10音声計10音声
被音	ooth雜音 (室内雜音)
SNR (信号対雜音比)	10.0 [dB]
残響時間	0.5 [s]
音声時間 (平均)	4.0 [s]
サンプリング周波数	16.0 [kHz]

表 2 部屋の条件

データ	条件
寸法	3.0×3.0×3.0 [m]
アレイマイクの中心点	[1.5, 1.5, 1.5] (x, y, z)
マイク数	4 [ch]
話者の位置	[1.5, 2.0, 1.5] (x, y, z)
話者とアレイの中心点との距離	0.5 [m]
被音の位置	[1.5, 1.5, 1.5] (x, y, z)
被音とアレイの中心点との距離	0.7 [m]

### 実験 1：提案手法と従来手法の比較

表 3 モデルの比較

モデル	雜音抑圧			残響除去			雜音抑圧+残響除去		
	PESQ	STOI	SI-SDR	PESQ	STOI	SI-SDR	PESQ	STOI	SI-SDR
原音	4.644	1.000	-	4.644	1.000	-	4.644	1.000	-
入力信号	1.159	0.859	2.917	1.192	0.745	-4.509	1.058	0.643	-24.521
Conv-TasNet	1.745	0.894	11.548	1.395	0.847	4.367	1.106	0.694	-0.096
モデルA	2.514	0.921	16.856	2.393	0.960	17.058	1.387	0.843	9.369
モデルB	2.852	0.921	26.951	2.464	0.960	17.521	1.364	0.837	9.369
モデルC	<b>3.592</b>	<b>0.985</b>	<b>35.080</b>	<b>2.867</b>	0.975	21.030	<b>2.083</b>	0.920	17.582
モデルD	3.301	0.984	33.164	2.740	<b>0.976</b>	<b>21.187</b>	1.999	<b>0.926</b>	<b>18.880</b>

実験 1 では、空間情報の畳み込み回数および目的音・雜音・残響の分離順序が性能に与える影響を比較する。各モデルの性能を表 3 に示す。

まず、従来の单一チャネル Conv-TasNet と提案手法を比較すると、提案手法の評価値が高いことが確認された。これは、空間情報を学習に取り入れることで、音源分離性能が向上することを示唆している。

次に、空間情報の畳み込み回数による影響を比較すると、Conv2D を複数追加したモデル C およびモデル D の評価値が高いことが確認された。この結果から、空間情報の畳み込み回数を増やすことで、より高精度な音源分離が可能になることが示された。

さらに、分離の順序による影響を検討すると、モデル C の評価値が最も高い結果となった。これは、残響除去を先に行い、その後に雜音抑圧を行うことで、不快なノイズの発生を抑え、高い分離性能を達成できることを示している。本研究では、人が聴取することを最終的な目的とするため、実験 1 の結果より、PESQ 値が最も高かったモデル C を最良のモデルとし、次の実験 2 ではマイクの配置が音源分離性能に与える影響について調査を行う。

### 実験 2：モデル C におけるマイク配置による性能差

実験 2 では、モデル C においてマイクの配置が性能にどのような影響を与えるのかを調査する。マイク配置の検討にあたり、アレイの形状（線形／円形）、線形アレイの場合はマイク数（2 チャンネル／4 チャンネル）およびマイク間隔（3cm/6cm/10cm）、円形アレイの場合はアレイの角度（0 度／45 度）およびアレイの直径（6cm/10cm）を考慮する。

表 4 線形マイク

マイクの条件	雜音抑圧			残響除去			雜音抑圧+残響除去		
	PESQ	STOI	SI-SDR	PESQ	STOI	SI-SDR	PESQ	STOI	SI-SDR
マイク数	4	1.000	-	4.644	1.000	-	4.644	1.000	-
原音	4.644	1.000	-	4.644	1.000	-	4.644	1.000	-
入力信号	1.159	0.859	2.917	1.192	0.745	-4.509	1.058	0.643	-24.521
Conv-TasNet	1.745	0.894	11.548	1.395	0.847	4.367	1.106	0.694	-0.096
2ch	3cm	3.089	0.956	27.140	2.243	0.957	15.512	1.518	0.871
2ch	6cm	3.301	0.966	29.425	2.234	0.946	15.229	1.581	0.869
2ch	10cm	3.252	0.967	29.632	2.299	0.956	16.139	1.587	0.869
4ch	3cm	3.188	0.968	28.170	3.091	0.988	23.775	1.513	0.888
4ch	6cm	3.344	0.968	30.345	2.803	0.973	20.567	1.969	0.921
4ch	10cm	3.592	0.985	35.080	2.867	0.975	21.030	2.083	0.920

表 5 円形マイク

マイクの条件	雜音抑圧			残響除去			雜音抑圧+残響除去		
	PESQ	STOI	SI-SDR	PESQ	STOI	SI-SDR	PESQ	STOI	SI-SDR
角度	45 度	1.000	-	4.644	1.000	-	4.644	1.000	-
直徑	6cm	3.005	0.962	27.164	<b>2.956</b>	<b>0.977</b>	<b>21.622</b>	2.014	0.938
原音	4.644	1.000	-	4.644	1.000	-	4.644	1.000	-
入力信号	1.159	0.859	2.917	1.192	0.745	-4.509	1.058	0.643	-24.521
Conv-TasNet	1.745	0.894	11.548	1.395	0.847	4.367	1.106	0.694	-0.096
0度	6cm	3.005	0.962	27.164	<b>2.956</b>	<b>0.977</b>	<b>21.622</b>	2.014	0.938
0度	10cm	2.878	0.955	25.251	2.643	0.973	20.244	1.957	0.933
45度	6cm	2.945	0.960	26.071	2.636	0.965	19.523	2.058	0.935
45度	10cm	<b>3.398</b>	<b>0.970</b>	<b>29.486</b>	2.836	0.975	20.775	<b>2.178</b>	<b>0.940</b>

表 4 および表 5 の結果より、従来手法である単一チャネルモデルと比較して、マイク数を 2 チャネルに増やすだけでも音源分離性能が向上することが確認された。さらに、マイク間隔に関しては、6cm 以上の間隔を確保した場合、性能差がほとんど見られないことが示された。同様に、マイクアレイの形状や円形アレイの角度を変更しても、分離性能に大きな影響を及ぼさないことが確認された。このことから提案したモデルは 4 チャンネルで 6cm 以上のマイク間隔であればマイク配置に関わらず性能を担保できることが確認された。

### 5. おわりに

発表に参加し、多くの方々から意見を頂き、大変参考になりました。研究や発表に対して多大なご指導を頂いた片岡章俊教授に深く感謝いたします。

## 2025 年年会 公益社団法人 日本セラミックス協会

小柳 優斗

Yuto KOYANAGI

応用化学コース修士課程 1年

### 1. はじめに

2025 年 3 月 5 日から 3 月 7 日の 3 日間、静岡県浜松市にある静岡大学浜松キャンパスにて開催された「2025 年年会 公益社団法人日本セラミックス協会」に参加し、「共晶組成の  $ZrO_2/Al_2O_3$  固溶体と  $\alpha-Al_2O_3$  の複合材料における破壊靭性」という題目にて口頭発表を行った。

### 2. 概要

#### 2.1 緒言

$ZrO_2$  は、 $Y_2O_3$ などを添加した  $t-ZrO_2$  において圧力誘起変態に基づく高い破壊靭性を示すことが良く知られている。一方、 $ZrO_2/Al_2O_3$  混合系では、共晶を形成することが知られており、 $t-ZrO_2(Y_2O_3)/Al_2O_3$  の亜共晶-過共晶焼結体において、それぞれ単体の破壊靭性を超える複合材料が研究されている。また、気相法により合成した  $t-ZrO_2(Y_2O_3)/Al_2O_3$  複合粉体を放電プラズマ焼結することにより、各粒子が約 200nm からなるナノ複合材料が得られ、高い靭性を示すことが報告されている。我々のグループでは、これまで共晶組成の  $ZrO_2/Al_2O_3$  混合粉体を高エネルギーボールミルすることで、 $ZrO_2/Al_2O_3$  固溶体を含むアモルファス粉体を合成し、放電プラズマ焼結を行ってきた。例えば共晶組成 ( $ZrO_2/Al_2O_3$  モル比、36.5 : 63.5 in mol%) で作製した固溶体粉の焼結を行うと、破壊靭性は  $9.19 \pm 1.00 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$  (IF 法: JIS) とそれぞれ単体の破壊靭性より高くなつた。本研究では、高い破壊靭性を可能とする  $ZrO_2/Al_2O_3$  粉体と  $\alpha-Al_2O_3$  を混合して放電プラズマ焼結すると、最終的に  $ZrO_2/Al_2O_3 = 17.5 : 82.5 \text{ mol\%}$  となるような組成において、破壊靭性が  $6.17 \pm 0.37 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$  となつた。この値は、 $t-ZrO_2$  (3Y) の  $4.55 \pm 0.25 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$  より高く、 $\alpha-Al_2O_3$  の破壊靭性の約 2 倍である。

$\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$  (IF 法: JIS) となり、 $Al_2O_3$  成分の多い複合材料でも高い破壊靭性を示したので報告する。

#### 2.2 実験方法

$ZrO_2$  (東ソー株式会社製 TZ-0Y, 粒径 40nm) に  $\gamma-Al_2O_3$  (大明化学工業株式会社製 TM-300, 純度 99.9%, 粒径 7nm) 粉末を共晶組成比 ( $ZrO_2/Al_2O_3$  モル比, 36.5 : 63.5 in mol%) で高エネルギーボールミルを用いて  $ZrO_2/Al_2O_3$  粉体を含む非晶質粉体を作製した。作製した  $ZrO_2/Al_2O_3$  粉体と  $\alpha-Al_2O_3$  (大明化学工業株式会社製 TM-DAR, 純度 99.9%, 粒径 120nm) を重量比でそれぞれ 50 : 50 in wt% の割合で水系スラリーを搅拌脱泡後 (2000rpm, 1 min), 乾燥し、焼結するための混合粉を調製した ( $ZrO_2/Al_2O_3$  モル比, 17.5 : 82.5 in mol%)。この固溶体の放電プラズマ焼結 (焼結温度: 1325°C, 升温速度: 100°C/min, 保持時間: 5min, 印加圧力: 100 MPa) を行った。焼結体は、相同定後、密度測定、超音波パルス法 (UMS-R-PR TP-1001, ジーネス製) による弾性率測定、ビッカース硬度測定 (HSV-20, 島津製作所製) 及び破壊靭性値 (IF 法: JIS) を算出し、評価を行つた。

#### 2.3 実験結果

Fig.1 (a), (b) より、高エネルギーボールミルで作製した粉体が、 $ZrO_2/Al_2O_3$  粉体を含む非晶質であることがわかる。また、この粉体を 1325°C で焼結して得た  $ZrO_2-Al_2O_3/Al_2O_3$  焼結体の XRD 結果を Fig. (c) に示す。焼結により  $\alpha-Al_2O_3$  のピークだけでなく  $t-ZrO_2$  と  $m-ZrO_2$  のピークが観測された。焼結体の回折強度から計算した  $t-ZrO_2$  は 76.7% となつた。この焼結体 ( $ZrO_2/Al_2O_3$  モル比, 17.5 : 82.5 in mol%) の破壊靭性値は、 $6.17 \pm 0.37 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$  となつた。この値は、 $t-ZrO_2$  (3Y) の  $4.55 \pm 0.25 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$  より高く、 $\alpha-Al_2O_3$  の破壊靭性の約 2 倍である。Fig.2 は、この焼結体を FE-SEM で表面観察したものであり、ビッカース痕によるクラック先端の様子である。 $\alpha-Al_2O_3$  が母相となり、共晶組成比から成

るグレー組織の  $t\text{-ZrO}_2/\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  複合粒子が分散している。拡大するとグレー組織中のそれぞれ各構成粒子は、約 100nm であった。 $\text{Al}_2\text{O}_3$  を固溶した  $t\text{-ZrO}_2$  が、一部  $m\text{-ZrO}_2$  へ結晶変態していることから、 $t\text{-ZrO}_2$  の不安定性が破壊靭性に寄与していると考えられる。

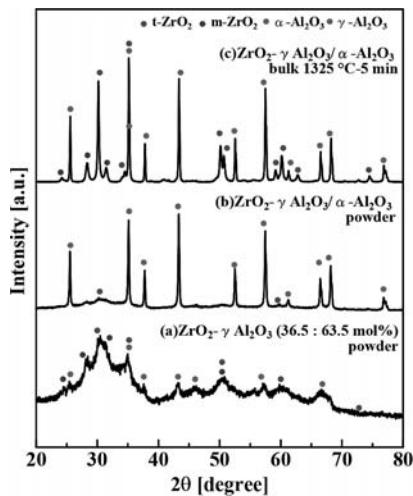


Fig. 1 XRD patterns of (a)  $\text{ZrO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{ss}$  (36.5 : 63.5 in mol%) powder (b)  $\text{ZrO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{ss}/\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3 = 50 : 50$  in wt% powder (c)  $\text{ZrO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{ss}/\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  50 : 50 in wt% ( $\text{ZrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 17.5 : 82.5$  in mol%) sintered at 1325°C under 100 MPa for 5 min.

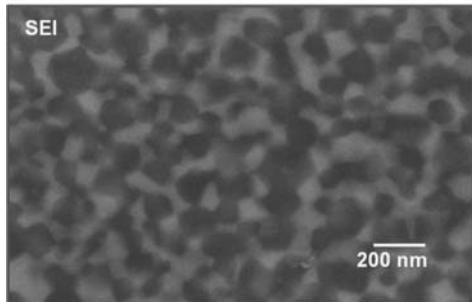
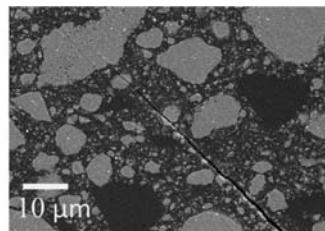


Fig. 2 SEM image of  $\text{ZrO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{ss}/\alpha\text{Al}_2\text{O}_3$  compact, 50 : 50 in wt%.

## 2.4 結言

共晶  $\text{ZrO}_2 : \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  (= 36.5 : 63.5 mol%) を用いることで  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  の機械的性質を向上させることができた。→焼結温度 : 1325°C, 保持時間 : 5min の場合, 破壊靭性値は  $6.20 \pm 0.81 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$  ( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  :  $3.29 \pm 0.46 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ ) となった。また, 硬度は 17.48  $\pm 0.27 \text{ GPa}$  ( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  :  $20.35 \pm 0.45 \text{ GPa}$ ) と  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  に近い値となった。考察として靭性の高い共晶  $\text{ZrO}_2 : \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  組織が分散したことと、高  $\text{Al}_2\text{O}_3$  組成焼結体でも破壊靭性が向上したと考えられる。

## 3. おわりに

今回の学会における研究発表にて貴重なご指摘やアドバイスを頂くことができた。さらに、発表後も他のセクションでの発表を公聴し、自分の知識を増やすよう努力し、口頭発表のセクションが終わると、ポスター発表に出向いた。ポスター発表では気になるテーマは進んで質問し、気になる箇所や、自分で理解しがたい内容を中心に行なった。初の学会発表であったので緊張したが、得られたものは非常に多いと考える。

最後に今回の学会発表を行うにあたり、多大なるご指摘、有益な御検討を頂いた大柳満之先生、白井健士郎実験講師、今井崇人実験講師、清水吉大助教、大柳研究室の皆様に厚く御礼申し上げます。

## 電子情報通信学会 SIS 研究会に 参加して

村山 慶多

Keita MURAYAMA

知能情報メディア課程 4 年

### 1. はじめに

私は 2025 年 3 月 6 日から 7 日にかけて、東京都の機械振興会館にて開催された、スマートインフォメディアシステム研究会に参加し、「CIELAB 色空間を用いた凸結合の係数変換に基づくカラー画像強調法」という題目で研究発表を行った（図 1）。



図 1 研究発表の様子

### 2. 研究内容

カラー画像のコントラスト強調はコンピュータビジョンなど様々な分野で重要な技術の一つとなっている。暗所や逆光といった悪条件の元で撮影された画像は画像全体が暗くなり、視認性が低下してしまう。そのような問題を解決するためには明暗差や彩度の強調が必要となる。明暗差や彩度を強調するにあたって、色相が保存される手法であることが望ましい。色相保存型のカラー画像強調法の一つに、画素を凸結合表現し、係数の変換によって強調処理を行うものがある<sup>[1]</sup>。この手法では等色相平面の形状に注目し、画素を白、黒、純色の凸結合で表現する。凸結合の係数をヒストグラム指定法によって変換することで、カラー画像の強調が行われる。

また、従来手法の凸結合表現は HSV 色空間と密接な関係があると指摘されている。しかし、HSV

色空間は人間の視覚特性を考慮した色空間となっていない。例えば、黄色と青は人間の視覚では異なる明るさで知覚されるが、HSV 色空間では同じ明度として扱われるため、明度コントラストや彩度の強調が適切に行われない場合がある。

本研究では、画素を凸結合表現するという利点を維持しつつ、人間の視覚特性を考慮した均等色空間である CIELAB 色空間で画素の分布を広げる方法を提案する。ただし、CIELAB 色空間は形状が複雑であるため、凸結合表現をしたときに色空間を包むことができるような 4 つの成分を定義して画素を凸結合表現する。そして、凸結合における係数を変換することによってカラー画像の強調を行う。

### 3. 提案手法の概要

提案手法では CIELAB 色空間で画素の凸結合表現を行うため、入力画像の RGB 値の画素  $x(i, j)$  を XYZ 表色系の三刺激値に変換してから CIELAB 色空間へと変換する。CIELAB 色空間上で、白 ( $w$ )、黒 ( $k$ )、明度の高い純色 ( $ch$ )、明度の低い純色 ( $cl$ ) の 4 つの成分を定義すると、図 2 に示すように、画素  $x(i, j)$  は 4 点で囲まれる矩形の内点となるため、画素を凸結合で表現することができる。

ここで、白は  $L^*$  軸の最大値、黒は  $L^*$  軸の最小値で表現することができる。純色については画素  $x(i, j)$  と同じ色相でノルムが彩度軸の最大値となるような値で、明度成分が最大のものを明度の高い純色、明度成分が最小のものを明度の低い純色として定義する。

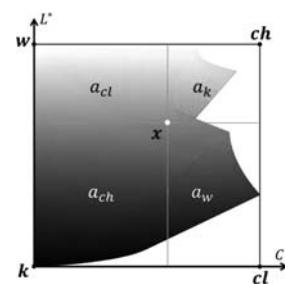


図 2 CIELAB 色空間において 4 つの成分で凸結合表現したときの  $L^*C^*$  平面

凸結合表現における4つの成分に対する係数は、図2に示すように、凸結合で表現したときの各矩形の面積の大きさに対応する。また、各係数は4つの成分からなる矩形の総面積で除しているため、各係数の和は1となる。

このように凸結合表現によって求めた、原画像における係数はヒストグラム指定法を用いて変換する。ヒストグラム指定法における目標ヒストグラムにはRGB色空間の一様分布から算出した各係数のヒストグラムを用いる。原画像のヒストグラムと目標ヒストグラムの正規化累積ヒストグラムを用いて、変換を行う。さらに、画像の強調度合いをパラメータで調整して変化させることができるように、 $\alpha$ -ブレンディングを用いてさらに変換する。

凸結合の係数変換後の各画素はCIELAB色空間の色域からはみ出ている場合がある。そのため、色域からはみ出た画素に対して色域内へ収まるようにマッピングを行う。マッピングには対象の画素と $L^*$ 軸の中点との二分法によって色域の境界値を探索し、その値を最終的な画素値として適用する。

#### 4. 実験

提案手法の有効性を検証するために、標準的なカラー画像や低照度画像のデータセットに含まれる計109枚の画像を用いて実験を行った。また、HSV色空間を用いた凸結合による手法と、学習ベースの低照度画像強調法であるCIDNetと提案手法との比較と評価を行った。図3に結果画像、表1に客観評価の結果を示す。



図3 実験結果。左から原画像、HSV色空間での凸結合による強調、CIDNet、提案手法

表1 客観評価指標の平均値

手法	SIDBA		MEF	
	NIQE ↓	BRISQUE ↓	NIQE ↓	BRISQUE ↓
原画像	4.3371	12.3908	4.2659	21.0217
HSV 凸結合	4.3562	12.1790	3.7478	17.8664
CIDNet	4.3365	12.2240	3.3428	12.0701
提案手法	4.1536	11.3357	3.6015	23.4194

実験の結果、提案手法は従来手法と比較して画像全体が明るく鮮やかに強調された。客観評価指標を見ると、SIDBAでは提案手法が2つの評価指標で最も良い結果となったが、MEFでは学習ベースの手法であるCIDNetが最も良い結果となった。これは、極端に暗い画像に対して、提案手法ではノイズが強調されたことによって評価が低くなってしまったと考えられる。そのため、今後は低照度画像に対する処理を加える点が課題である。

#### 5. おわりに

本研究会での発表が初めての経験となったが、他大学の先生方から様々な質問やご意見を頂き、今後の課題への参考となり良い機会となった。また、本研究会は幅広い分野の講演を聴講することができたため、貴重な経験となった。

本研究に取り組むにあたって、ご指導や助言を頂いた植田祥明講師に深く感謝いたします。

#### 参考文献

- [1] Y. Ueda and N. Suetake, "Hue-preserving color image enhancement on a vector space of convex combination coefficients," 2019 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP) IEEE, pp.939-943

## 第 52 回知能システムシンポジウム に参加して

田邊 棋汰  
Ryota TANABE

電子情報学専攻修士課程 2 年

### 1. はじめに

私は 3 月 10 日と 11 日に近畿大学東大阪キャンパスで開催された第 52 回知能システムシンポジウムに参加した。知能システムシンポジウムとは計測自動制御学会 システム・情報部門知能工学部会が主催するシステムの高度知能化を目指したさまざまな分野に関する研究発表の場である。私は 3 月 10 日に「自律移動ロボットにおける相手ロボットの速度を考慮した評価関数に関する一考察」という題目で、口頭発表した（図 1）。



図 1 発表の様子

### 2. 発表内容

#### 2.1 研究背景

近年の労働力不足を背景に、自律移動ロボットの導入が進んでいる。しかし、相手ロボットが存在する環境では衝突リスクがあり、安全な経路計画が必要となる。従来の手法では相手ロボットの動きを考慮していないため、衝突を回避できない場合がある。本研究では、相手ロボットの将来の位置を確率的に表現し、その影響を考慮した経路選択を行う手法を提案する。

#### 2.2 経路計画

Dynamic Window Approach (DWA)<sup>[1]</sup>は局所的経路計画の 1 つで、進行方向、障害物との距離、速度を評価し最適な経路を決定する。式 (1) は評価関数  $G(v, \omega)$  である。

$$G(v, \omega) = \alpha \times \text{heading}(v, \omega) + \beta \times \text{distance}(v, \omega) + \gamma \times \text{velocity}(v, \omega) \quad (1)$$

ここで、DWA は相手ロボットの動きを考慮しないため、相手ロボットが存在する環境では適用が難しい。本研究では、DWA を相手ロボットが存在する環境に適用するために、衝突リスクを考慮する手法を検討する。

#### 2.3 提案法

本研究では、相手ロボットの将来の位置を確率分布で表し、DWA の評価関数に衝突リスクを考慮することで、相手ロボットが存在する環境にも適用可能な経路計画を提案する。相手ロボットの動きは二輪駆動型の運動モデルに基づき、シミュレートし、将来の存在分布を作成する。自ロボットの予測経路が相手ロボットの影響領域に進入する確率を衝突リスクとして定義し、新たな評価関数  $R(v, \omega)$  を導入する。 $R(v, \omega)$  を式 (2) で定義する。

$$R(v, \omega) = \iint_{D(x_r, y_r)} p_s(x, y) dx dy \quad (2)$$

ここで、 $p_s(x, y)$  は相手ロボットの存在確率を表

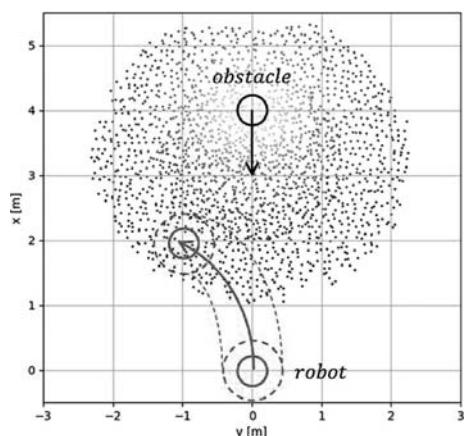


図 2 予測経路上の影響領域

し,  $D(x_r, y_r)$  は予測経路上における影響領域を示す(図 2). ここで,  $(x_r, y_r)$  は時刻  $t$  におけるロボットの予測位置を表し, これは速度  $v$  および角速度  $\omega$  を用いて計算する. この衝突リスクを考慮し, 評価関数を式 (3) のように拡張する.

$$G'(v, \omega) = G(v, \omega) - \alpha \times R(v, \omega) \times \text{heading}(v, \omega) \quad (3)$$

これにより, 衝突リスクが高い場合には, 目標方向への評価値を低減し, ロボットの向きに関係なく障害物から離れ, 移動速度が速くなる経路を優先する. その結果, 安全な経路を選択する. 本手法により, 自ロボットは相手ロボットの動きを考慮しつつ, 効率的かつ安全な経路を選択できる.

## 2.4 実験

実験では, 数値シミュレータを用いて, 相手ロボットが存在する環境で経路計画を行い, 性能を評価する. 自ロボットが安全に目的地へ到達できるかを評価するため, 相手ロボットとの距離の変化を測定し, 常に十分な距離が確保されているかを確認することで安全性を検証する. シミュレーションでは, DWA を適用した際に, 自ロボットが相手ロボットと衝突する場面を設定する. 自ロボットの出発点は  $(0.0, 0.0)$ , 目的地は  $(5.0, 0.0)$  に設定し, 2 パターンで検証する. 相手ロボットの出発点と移動方向を表 1 に示す.

実験結果(図 3)から, 相手ロボットが直線的に移動する場合, 衝突リスクを考慮することで安全に

表 1 相手ロボットの条件

実験	出発点	進行方向
Case (a)	$(5.0, 0.0)$	$x$ 軸の負の方向へ移動
Case (b)	$(4.0, -1.0)$	$(4.0, 1.5)$ を中心に半径 2.5m で円運動

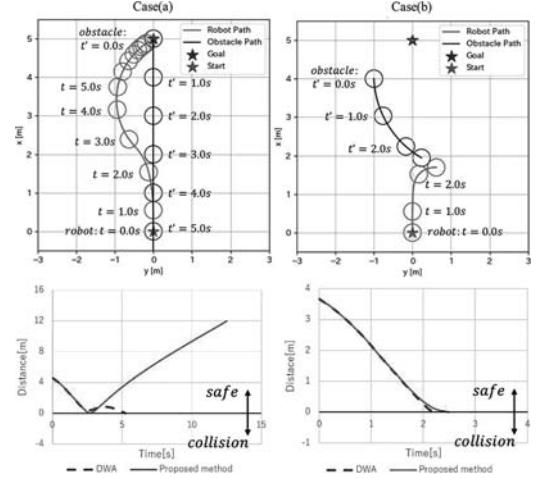


図 3 実験結果(左: Case (a), 右: Case (b), 上: 走行経路, 下: 相手ロボットとの距離の変化)

目的地へ到達できたことが確認できた. しかし, 相手ロボットが円運動する場合には衝突が発生した. これは存在確率分布を計算する際に相手ロボットの角速度を考慮していないためと考えられる. 今後の課題として, 角速度を考慮したより正確な予測モデルの検討が必要である.

## 3. おわりに

第 52 回知能システムシンポジウムで口頭発表を行った. 発表や研究に関して多くの反省点があったが, 他の参加者の発表を聴講することで, さまざまな学びを得ることができた. 今回の経験を今後の研究活動に活かしていきたい.

最後に, ご指導, 助言していただきました植村涉先生に厚く御礼申し上げます.

## 参考文献

- [1] Dieter Fox, Wolfram Burgard, and Sebastian Thrun. The Dynamic Window Approach to Collision Avoidance. IEEE Robotics & Automation Magazine Volume: 4, pp.23-33, Issue: 1, March 1997

## 映像表現・芸術科学フォーラム 2025 に参加して

中内 悠太

Yuta NAKAUCHI

知能情報メディアコース修士課程 1年

### 1. はじめに

私は、2025年3月10日に開催された「映像表現・芸術科学フォーラム 2025」に参加し、「ダンス動作学習のための特徴可視化と動作合成システムを用いた実演実験」というテーマで口頭発表を行った。

### 2. 研究内容

#### 2.1 背景・目的

近年では、モーションキャプチャシステムの利用により、3次元動作情報をより正確に取得することが可能となった。ダンサーなどの人体動作を取り扱うクリエイターにとって、動作のバランスや動作特徴を把握することは違和感のない動作の作成や動作の流れを理解するうえで重要な要素である。しかし、動作の分析で重要な重心位置や動きの流れは、単に動作をCGアニメーションで表示するだけでは確認することができない。そこで、本稿ではダンサーのトレーニング支援を目的として、3次元モーションデータに基づく姿勢および動作の特徴を可視化する手法を提案する。本手法では、モーションキャプチャで取得したデータを用いて3DCGによる人体アニメーションの表示とともに特徴量の表示を行うことで姿勢の安定性や動きの流れを可視化する。また、動作合成システム BMSS に提案手法を機能として導入し、提案手法が身体の使い方を理解することに役立つかを検証するため、ダンサーによる実演を交えた評価実験を実施した。

#### 2.2 BMSS

本研究では提案した可視化手法を動作合成システ

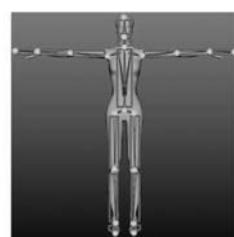
ム Body-part Motion Synthesis System (BMSS) Ver.4.5.4 の機能として組み込み、再生する舞踊動作に合わせて表示できるようにした。BMSS は、パソコンやタブレット上で動作し、舞踊動作を3DCGで再生するシステムである。

### 2.3 可視化特徴

今回、BMSS に導入した可視化特徴は、支持基底、重心とゼロモーメントポイント (ZMP)、モーションラインの三つである。

支持基底は、人体を支えられる面であり、床に接地している部位の外周を結んだ凸空間によって構成される。算出には CG モデルに設置したマーカの 3D 座標の床への投影点に対して凸包走査を用いている。

重心は CG モデルのボーンを基準として 15 個の体節に分割し、各体節の重心位置を算出する。次に各体節の重心を重心比に逆比例する内分点を求ることで 2 つの体節を合成した重心位置を求める。これを合成した重心が一つになるまで繰り返すことで最終的な身体重心位置を求めることができる。



(a) 15 個の体節



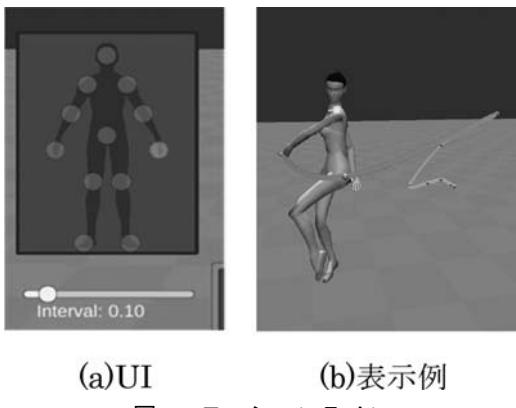
(b) ZMP の表示例

図 1 分割した体節と ZMP

BMSS では重心を床へ投影した点である Gravity Point (GP) と、重力と慣性力の合力が床と交わる点である ZMP を確認することができ、重心から GP または ZMP までの線分を切り替えて表示することで各フレームのバランスを把握できる。図 1 (a) に分割した 15 個の体節を、(b) に ZMP を表示した例を示す。

モーションラインは、CG モデルの特定の関節位

置に一定時間間隔で制御点を生成した Catmull-Rom スプラインによって表現される。BMSS では、制御点を生成する関節位置と時間間隔を UI から指定できるようにした。また、モーションラインは時間的な変化をわかりやすくするため、彩度にグラデーションをかけている。図 2 (a) にモーションラインのパラメータを制御する UI を、(b) にモーションラインの表示例を示す。



(a)UI (b)表示例  
図 2 モーションライン

### 3. 実演実験と結果

提案手法が身体の使い方の理解に繋がるかを調査するため、BMSS を用いてダンスの実演を交えた評価実験を行った。本実験の参加者はダンス経験のある 9 名である。

図 3 にアンケートの項目と 5 段階リッカート尺度を肯定的な意見が正の数になるよう、-2 から +2 のスコアに変換した結果を示す。評価の結果、支持基底、GP、ZMP、モーションラインとともに高いスコアを得ており、提案した可視化手法が身体の使い方の理解に繋がることが示唆された。また、GP と ZMP を比較すると、両者の間には顕著な差は見られなかったが、ZMP の方が若干高い評価を受ける

傾向が見られ、自由記述でも ZMP で見たほうがよいというコメントが見られた。

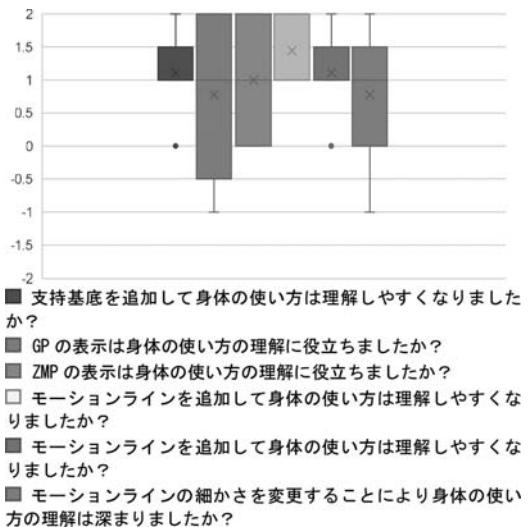


図 3 アンケート項目と結果

### 4. おわりに

本研究では、ダンスのトレーニング支援を目的とし、3DCG による人体動作の特徴として運動学的要素である支持基底と重心、ZMP および抽象化した軌道の可視化手法を提案し、ダンス経験のある学生に対して評価実験を行った。また、映像表現・芸術科学フォーラム 2025 にて口頭発表を行い、提案手法の説明を行った。発表では、提案手法の算出方法や精度についての質問をいただき、今後の改善の手がかりを得ることができた。最後に評価実験を行うにあたり、協力して頂いた参加者の皆様と、本研究に関して多大なご指導を賜った尚美学園大学芸術情報学部舞台表現学科の三輪亜希子先生、龍谷大学先端理工学部の曾我麻佐子先生に深く御礼申し上げます。

## 深層学習と LSTM を用いたバグの分類、限局、修正に関する研究

北川 翔 麻

Shoma KITAGAWA

情報メディア学専攻修士課程 2 年

### 1. はじめに

2025 年 3 月 13 日～15 日に立命館大学大阪いばらきキャンパスで開催された情報処理学会第 87 回全国大会に参加し「深層学習と LSTM を用いたバグの分類、限局、修正に関する研究」という題目で研究発表を行った。

### 2. 研究背景

深層学習はここ数年、プログラム解析タスクにおいて良い成果を上げている。しかし、データセットに実際のバグが多く存在しないため多くの既存研究では正しいソースコードに意図的にバグを合成することでデータセットを構築している。そのため Jingxuan ら<sup>[1]</sup>によるとバグが合成されたソースコードでは高い精度を示したモデルでも実際のバグを用いて評価したとき精度が低下することが報告されている。

先行研究<sup>[1]</sup>ではこの問題に対して、2 段階学習を行うことで実際のバグの検出精度を向上させる手法が提案されている。2 段階学習とはファインチューニング時に、バグが合成されたソースコードを用いて学習を行ったあと、実際のバグで学習するというものである。

本研究では、先行研究のモデルに LSTM を組み合わせることで、更なる精度向上を行う。

また、先行研究のモデルと本研究のモデルを比較し、その有効性を示す。

### 3. 手法

先行研究では、入力されたソースコードをトークン化した後、CuBERT と呼ばれるモデルを用いて

埋め込み表現に変換し、その後、分類と限局、修正のタスクに対してそれぞれ別の方法で処理を行う。分類タスクでは BERTPooler を用いてソースコードにバグが含まれているかを判定し、限局タスクでは CuBERT から得られた埋め込み表現を全結合層に入力しバグである確率が高いトークンをバグとして検出、その箇所をバグとして限局し、そのバグに対して修復タスクを行う。

また、検出するバグの種類は、変数の誤用である。変数の誤用とは、ソースコード中で本来使用すべき変数を誤って別の変数に置き換えてしまっており、型やスコープの制約を満たす変数が正しい候補がソースコード中に存在するバグのことを指す。つまり、修復タスクでは、限局されたバグの箇所に本来使用すべき変数をソースコード中から探す。

本研究では、限局、修復タスク時に CuBERT から得られた埋め込み表現を LSTM に入力し、その出力を全結合層に入力することでより時系列を考慮した埋め込み表現を取得し、バグの検出精度を向上させる。

### 4. 実験

#### 4.1 データセット

実験に使用するデータセットは、先行研究で使用されたデータセットと同じものを用いる。このデータセットは、オープンソースのリポジトリである ETH Py150 Open を用いて作られたもので、リポジトリ単位でバグが含まれているかを確認し、バグが含まれていないリポジトリを 1 段階目の学習に、バグが含まれているものを 2 段階目の学習に使用する。1 段階目の学習で使用するバグが合成されたソースコードは、バグが見つからなかったリポジトリ内にある。

表 1 分類タスクの評価結果

	適合率(%)	再現率(%)	F1 値(%)
既存手法	56.79	13.69	22.06
提案手法	61.84	13.99	22.82

表2 限局タスクの評価結果

	適合率(%)	再現率(%)	F1値(%)
既存手法	54.32	13.10	21.10
提案手法	60.53	13.69	22.33

表3 修正タスクの評価結果

	適合率(%)	再現率(%)	F1値(%)
既存手法	49.38	11.90	19.18
提案手法	55.26	12.50	20.39

147,409 個の関数と、それにバグを合成した 147,409 個の関数である構成されている。ETH Py 150 Open で実際のバグが確認できたリポジトリ内に ある 1,309 個のバグが含まれている関数と 244,130 個のバグが含まれていない関数のうち約 50 % ずつを 2 段階目の学習で使用し、残りの約 25 % ずつをそれぞれ評価用データセット・テストデータとして使用する。

#### 4.2 評価指標

実験では、先行研究のモデルと今回提案するモデルをそれぞれ学習させ、比較し評価する。比較する項目は、分類タスク、限局タスク、修復タスクの 3 つの適合率、再現率、F1 値である。限局・修正タスクのスコアは、分類タスクでバグありと検出された関数に対してのみ計算する。

### 5. 結果

結果をタスク別でそれぞれ表1、表2、表3に示す。表2、表3より、限局タスク、修復タスクにおいて、提案モデルの方が既存モデルよりも適合率、再現率、F1 値が高いことがわかる。これは 2 段階

学習においても LSTM を用いることで、より時系列を考慮した埋め込み表現を取得できるため、バグの検出精度が向上していると考える。また、表1より、分類タスクにおいても提案モデルの方が既存モデルよりも適合率、再現率、F1 値が高いことがわかる。本研究では限局、修復タスクのみに LSTM を用いているが、CuBERT は全てのタスクで共有しているため、限局、修復タスクを学習する際、CuBERT のパラメータがより適切になったことで分類タスクにおいても精度が向上していると考える。

### 6. まとめ

2 段階学習において、CuBERT と LSTM を用いることでバグの検出精度が向上することを示した。また、処理に直接 LSTM を使用していない分類タスクにおいても別のタスクの学習時に CuBERT のパラメータがより適切になったことで精度が向上しているといえる。

### 7. おわりに

本学会は初めての発表であったが、様々な方の話を聞くことができ大変有意義なものであった。

最後に本研究を行うにあたり、ご指導いただいた山本哲男准教授をはじめ、山本研究室の先輩に、この場を借りて厚く御礼申し上げます。

### 参考文献

- [1] Jingxuan He, Luca Beurer-Kellner, and Martin Vechev. On distribution shift in learning-based bug detectors. Proceedings of the 39th International Conference on Machine Learning, Vol.162 of Proceedings of Machine Learning Research, pp.8559-8580. PMLR, 17-23 Jul 2022.

## 第 72 回応用物理学会春季学術講演会に参加して

田 中 瑞 貴

Mizuki TANAKA

電子情報通信課程 4 年

### 1. はじめに

私は 2025 年 3 月 14 日から 17 日にかけて開催された第 72 回応用物理学会春季学術講演会に参加し、「線状パターニング基板を用いた  $\text{MoS}_2$  の CVD 合成」という題目でポスター発表を行った。

### 2. 背景

近年、グラフェンの研究を契機にして、遷移金属ダイカルコゲナイト (TMDC) に関する研究が盛んに行われている。また、TMDC の優れた光・電子特性によりフレキシブルな種々の光・電子デバイスへの応用が期待されている。TMDC の最も典型的な物質が二硫化モリブデン ( $\text{MoS}_2$ ) であり、そのバンド構造は層数に依存して変化することが知られており、バルク  $\text{MoS}_2$  は、約 1.3eV のバンドギャップを持つ間接遷移半導体である。

我々は成長基板に対向配置させた供給基板上に成膜した  $\text{MoO}_3$  薄膜をその供給源とする成膜手法について検討を進めているが、本研究では、 $\text{MoO}_3$  を供給基板上一様膜に代えて線状形状にパターニングした供給基板を利用した、 $\text{MoS}_2$  の CVD 合成結果について報告する。

### 3. 実験方法

フィラメント上に  $\text{MoO}_3$  粉末 5mg をのせ、 $\text{SiO}_2/\text{Si}$  基板にメタルマスクを被せて  $\text{MoO}_3$  薄膜を蒸着し、線状パターニング供給基板を作製した。6 ゾーン管状炉内において、硫黄を Zone 2 に、 $\text{MoO}_3$  の線状パターニング供給基板を Zone 4~6 に配置した (Fig. 1 参照)。さらに、線状パターニング供給基板に対して、鏡面側を下側にした  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  成長基板を

重ねて配置した。Ar ガス雰囲気下で  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  基板を 750°C で 30min. で加熱を行うことにより  $\text{MoS}_2$  成膜を実施し、その際の昇温は 20°C/min. で行い、加熱後に自然冷却を行った。



Fig. 1 Schematic diagram of a 6 Zone tube furnace

### 4. 実験結果

作製した  $\text{MoS}_2$  の光学顕微鏡像と各論文に掲載されている  $\text{MoS}_2$  の粒径との比較をした図を Fig. 2, Fig. 3 に示す。

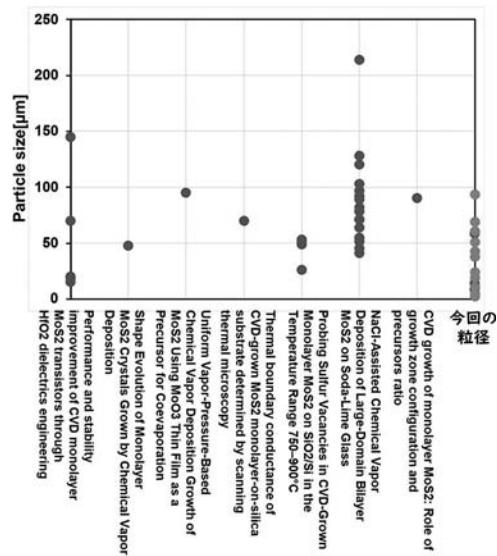


Fig. 2 Comparison with the particle size  $\text{MoS}_2$  published in each paper

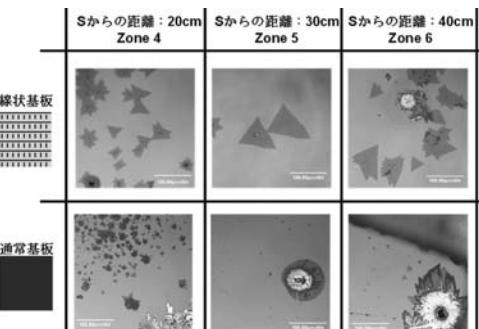


Fig. 3 Optical microscope image  $\text{MoS}_2$

通常基板と線状パターニング供給基板をそれぞれ用いて作製した。MoS<sub>2</sub>の粒径と硫黄からの距離の関係を Fig. 4, Fig. 5 に示す。

Fig. 4 より硫黄からの距離が 20, 30cm の時が最も大きな粒径が作製することが出来た。

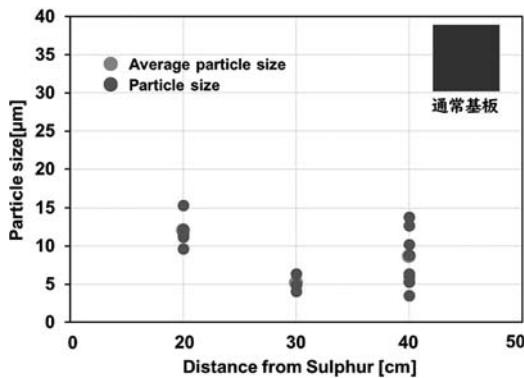


Fig. 4 Relationship between particle size of MoS<sub>2</sub> and distance from sulfur

Fig. 5 より硫黄からの距離が 30cm の時が最も大きな粒径を作製することができた。

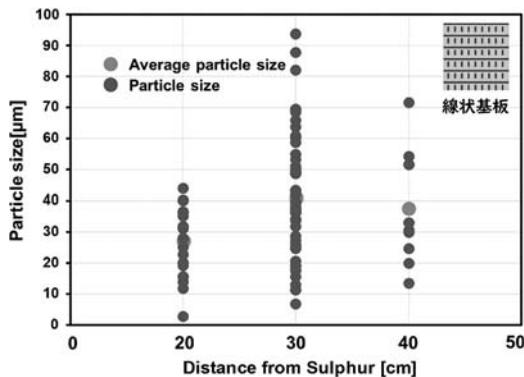


Fig. 5 Relationship between particle size of MoS<sub>2</sub> and distance from sulfur

Fig. 6 より硫黄からの距離が 30cm の時が最も大きな粒径を作製することができた。

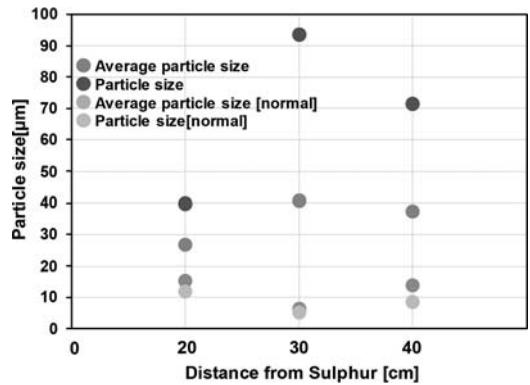


Fig. 6 Comparative relationship between grain size and distance from sulfur

Table 1 Comparative relationship between grain size and distance from sulfur

MoS <sub>2</sub> 線状パターニング基板 Mo <sub>2</sub> S全面基板	Sからの距離 20cm	Sからの距離 30cm	Sからの距離 40cm
平均粒径	2.2 倍	7.8 倍	4.3 倍
最大粒径	2.6 倍	14 倍	5.1 倍

## 5. まとめ

メタルマスクを使用した場合の方が平均粒径、最大粒径の二点の観点より大きな粒径ができたといえる。

## 謝辞

本研究を行うにあたり、ご指導頂いた山本伸一先生に心より感謝いたします。そして、日頃の研究においてご協力していただき、活発な議論をしていただいた研究室の同級生、先輩方にも謝礼申し上げます。

## 第 72 回応用物理学会春季学術講演会に参加して

西塚 直之

Naoyuki NISHIZUKA

電子情報通信課程 4 年

### 1. はじめに

私は 2025 年 3 月 14 日から 17 日にかけて開催された第 72 回応用物理学会春季学術講演会に参加し、「近赤外線照射による金属酸化物アップコンバージョン光触媒の特性評価」という題目でポスター発表を行った。

### 2. 背景

光触媒とは光を照射することで有機物やウイルスを分解する材料である。また、Up-Conversion (UC) 蛍光体とは長波長光を短波長光に変換する蛍光体である。これまで光触媒に UC 蛍光体を用いることで、光触媒効果が向上したことを報告してきた。本研究では金属酸化物（母体材料）に  $\text{Yb}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Tm}_2\text{O}_3$  を添加することで光触媒と UC 蛍光体の両方の性質を持つ試料を作製した。作製した試料を用いてコンゴーレッド溶液の光触媒反応を解析した。

### 3. 実験方法

母体材料を  $\text{MoO}_3$ ,  $\text{CaMoO}_4$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$ ,  $\text{MoVO}_x$  ( $\text{MoO}_3:\text{NH}_4\text{VO}_3$ ) とした。母体材料 :  $\text{Yb}_2\text{O}_3$ : $\text{Tm}_2\text{O}_3$  を混合し、その試料を乳鉢ですりつぶした。大気下において、焼成温度  $800^\circ\text{C}$  3h. で焼成した。焼成した粉末を乳鉢ですりつぶし、 $\text{MoO}_3:\text{Yb}^{3+}$ : $\text{Tm}^{3+}$  粉末を作製した。

作製した試料 0.1g を 0.1mM の CR (コンゴーレッド) 溶液 3ml に入れ、透明容器に密閉した。密閉した透明容器に近赤外線レーザー (980nm) を 1 h. 照射した。その後、13,200rpm\_30min. の条件で遠心分離を行った。遠心分離後の上澄み溶液を石英セルに入れ、UV-vis 装置で透過率測定を行った。

また、作製した試料において XRD 測定を行った。

### 4. 実験結果

焼成により得られたアップコンバージョン粉末の XRD 測定結果を Fig. 1 に示す。すべての粉末において母体材料のピークに加え、 $\text{Yb}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Tm}_2\text{O}_3$  のピークが確認された。

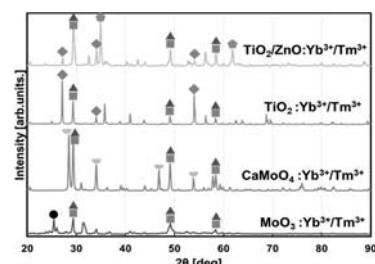


Fig. 1 XRD measurement results of Up-conversion powder

作製したアップコンバージョン粉末の PL 測定結果を Fig. 2, Fig. 3 に示す。母体材料に  $\text{MoO}_3$ ,  $\text{CaMoO}_4$ ,  $\text{MoVO}_x$  を用いた試料では青色の発光を示し、波長 476nm にピークを確認した。また、母体材料に  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  を用いた試料では赤色の発光を示し、波長 691nm にピークを確認した。

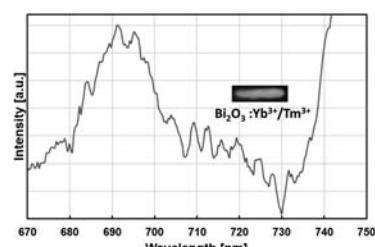
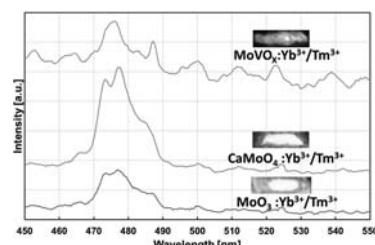


Fig. 2 PL measurement results of Up-conversion powder

作製した粉末と MB 溶液の混合溶液の透過率測定結果を Fig. 4 に示す。MB 溶液の最大吸収波長 664nm に着目すると、 $\text{MoO}_3\text{:Yb}^{3+}/\text{Tm}^{3+}$  は 11.7% の透過率を示した。 $\text{MoVO}_x\text{:Yb}^{3+}/\text{Tm}^{3+}$  は透過率 95.6% を示した。

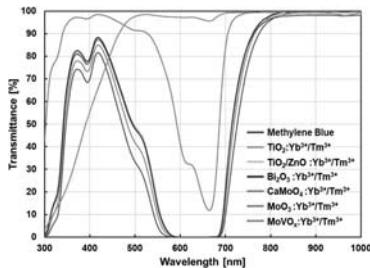


Fig. 3 Transmittance measurement results of Methylene Blue solution

作製した粉末と CR 溶液の混合溶液の透過率測定結果を Fig. 5 に示す。波長 400nm で透過率を比較すると、波長 400nm において  $\text{MoVO}_x\text{:Yb}^{3+}/\text{Tm}^{3+}$  は透過率 45.9% を示した。 $\text{MoO}_3\text{:Yb}^{3+}/\text{Tm}^{3+}$  は 95.7% の透過率を示した。

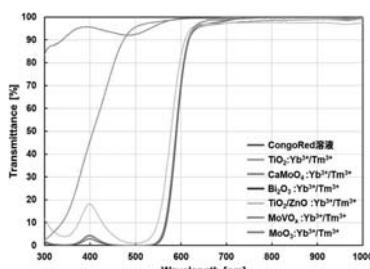


Fig. 4 Transmittance measurement results of congo red solution

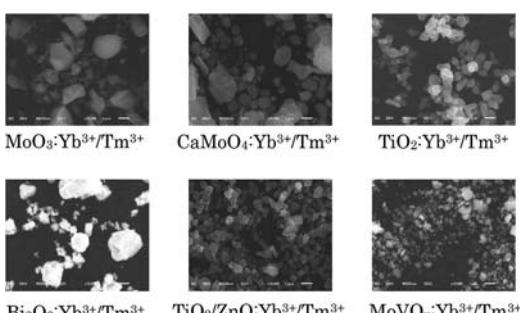


Fig. 5 SEM images of Up-conversion powder

作製したアップコンバージョン粉末の SEM 画像を Fig. 6 に示す。

作製したアップコンバージョン粉末の粒径測定結果を Fig. 7 に示す。平均粒径は  $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{:Yb}^{3+}/\text{Tm}^{3+}$  が最大となり、 $2.13\mu\text{m}$  となった。また、 $\text{MoVO}_x\text{:Yb}^{3+}/\text{Tm}^{3+}$  が最小となり、 $1.12\mu\text{m}$  となった。

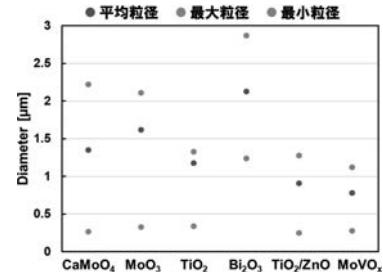


Fig. 6 Diameter measurement results of Up-conversion powder

## 5.まとめ

透過率測定結果より  $\text{MoVO}_x\text{:Yb}^{3+}/\text{Tm}^{3+}$  は CR 溶液、MB 溶液の両方において溶液が黄色に変色してしまい、低波長の領域において高い透過率を得ることができなかった。しかし、 $\text{MoVO}_x\text{:Yb}^{3+}/\text{Tm}^{3+}$  は CR 溶液において変色することなく、どの波長でも透過率が改善された。

## 謝辞

本研究を行うにあたり、ご指導頂いた山本伸一先生、に心より感謝いたします。そして、日ごろの研究においてご協力していただき、活発な議論をしていただいた研究室の同級生、先輩方に御礼申し上げます。

## 末端カルボキシ基単分子膜上へのアミン類の積層反応

藤 友 雄 也

Yuya FUJITOMO

電子情報通信課程 4 年

### 1. はじめに

私は、2025 年 3 月 14 日から 17 日にかけて、千葉県野田市の東京理科大学 野田キャンパスにて開催となった、第 72 回応用物理学会春季学術講演会に参加し、「末端カルボキシ基単分子膜上へのアミン類の積層反応」という題目で研究発表を行った。

### 2. 研究背景

有機分子が基材表面に吸着／結合して形成される自己組織化単分子膜 (Self-Assembled Monolayers: SAMs) は、1) 超薄膜、2) 成膜の簡便さ、3) 機能化の簡便さ等により、広範な応用が期待されている。本研究では、膜最表面にカルボキシ基を有するホスホン酸系 SAMs の水滴接触角及び FT-IR RAS の評価を行った。

### 3. 実験方法

①成膜：基材は、Si 基板上に抵抗加熱蒸着成膜した Al 薄膜表面を UV 酸化により  $\text{Al}_2\text{O}_3$  層を形成したもの用いた。次に、CEA ((2-カルボキシエチル) ホスホン酸)、CPA (4-カルボキシフェニルホスホン酸) をそれぞれ、アニソールを溶媒として吸着溶液を調製した。この吸着溶液に基材を、浸漬時間を見て (6h. ~24h.) 浸漬し、その後素早く 3 回洗浄することで入念に未反応物を除去した。

②水滴接触角測定：超純水を  $3\mu\text{L}$  滴下して行った。

③FT-IR RAS 測定：MCT 検出器、偏光光入射角  $85^\circ$ 、積算回数 200 回、分解能  $2\text{cm}^{-1}$  にて測定した。

### 4. 実験結果

図 1 に CEA の FT IR-RAS 測定結果を示す。浸

漬時間 6h. で水滴接触角が CEA は約  $60^\circ$  を示した。

図 2 に CPA の FT IR-RAS 測定結果を示す。浸漬時間 6h. で水滴接触角が CPA は約  $57^\circ$  を示した。

波数が  $3500\sim3800\ [\text{cm}^{-1}]$  で表面の吸着水を示す波形が確認できた。過去の実験では、末端が  $\text{CH}_3$  の SAMs にはこれらの波形が確認できなかった。これは親水性基が表面に存在しないため、吸着水が存在しないと考えられる。

一方、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}$  基板には、多数の親水性基の OH 基があるため吸着水が存在すると考えられる。そのため、CEA と CPA は末端が  $\text{CH}_3$  の SAMs とは異なる親水性基が多数あることが分かった。また、 $1250\ [\text{cm}^{-1}]$  に C-O 結合の伸縮振動を示す波形が確認できた。すなわち、COOH 基の存在を示している。

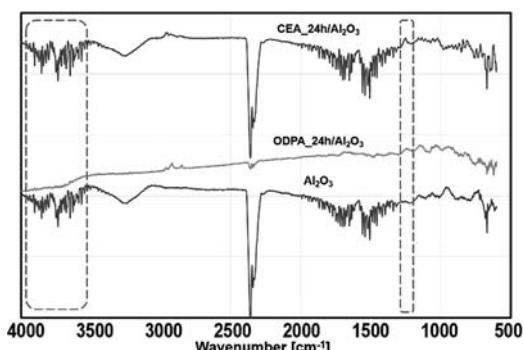


図 1 CEA の FT-IR RAS 測定結果

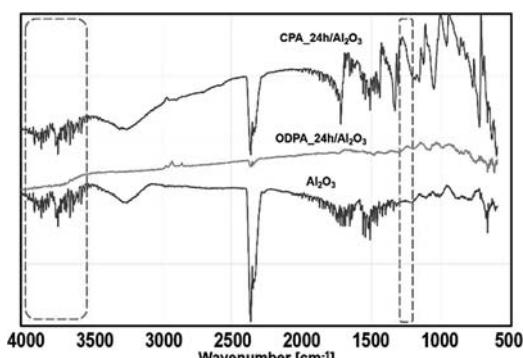


図 2 CPA の FT-IR RAS 測定結果

図3にCEAの水滴接触角測定結果、図4にCEA膜上にPPDを積層させた際の水滴接触角測定結果を示した。図3、4よりCEA膜上にPPD膜を成膜したが、水滴接触角の変化は見られなかった。

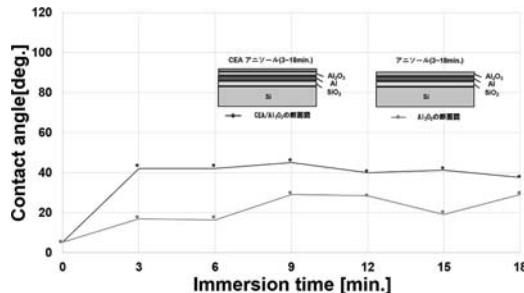


図3 CEAの水滴接触角測定結果

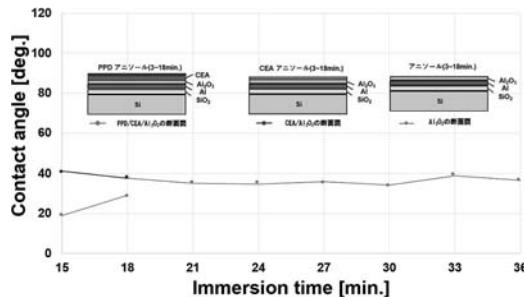


図4 CEA膜上にPPDを積層させた際の水滴接触角測定結果

図5にCPAの水滴接触角測定結果、図6にCPA膜上にPPDを積層させた際の水滴接触角測定結果を示した。図3、4よりCPA膜上にPPD膜を成膜したが、水滴接触角の変化は見られなかった。

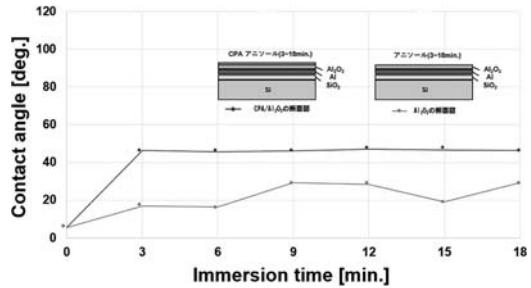


図5 CPAの水滴接触角測定結果

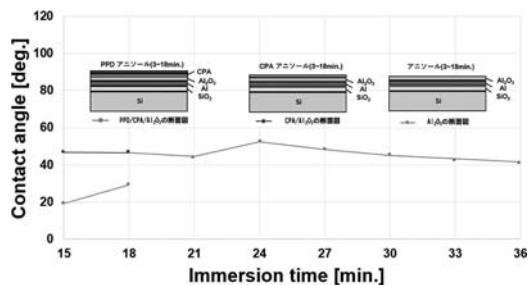


図6 CPA膜上にPPDを積層させた際の水滴接触角測定結果

## 5. まとめ

FT-IR RAS測定の結果より、C-Oの伸縮振動の波形が確認でき、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>基板にCEA, CPA膜が形成されていることが分かり、水滴接触角の結果から末端にCOOH基を持つCEA, CPAは親水性を示しており、FT-IR RAS測定の結果からも親水性を示す波形が確認された。

## 謝辞

今回の学会発表を行うにあたり、懇切なご指導を頂きました山本伸一教授、山本研究室の先輩方や、共に協力し合い、励ましあった研究室の仲間たちに心より感謝いたします。

## 第 72 回応用物理学会春季学術講演会に参加して

中村 空海

Kuu NAKAMURA

電子情報通信課程 3 年

### 1. はじめに

私は 2025 年 3 月 14 日から 17 日にかけて、東京理科大学野田キャンパスにて開催された、第 71 回応用物理学会春季学術講演会に参加し「円状パターンニング MoO<sub>3</sub> 供給基板を用いた MoS<sub>2</sub> の CVD 合成」という題目でポスター発表を行った。

### 2. 背景

現在使用されているシリコン大規模集積回路 (LSI) の性能向上は、主にデバイスの微細化によって実現されている。さらなる微細化を達成するためには、電界効果トランジスタ (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor: MOSFET) のチャネル膜厚を薄くする必要がある。しかし、加工の揺らぎが避けられない 3 次元結晶材料では実現が困難とされている。近年、層数を制御可能な遷移金属ダイカルコゲナイト (TMDC) などの層状物質に注目が集まっている。特に、層状二硫化モリブデン (MoS<sub>2</sub>) を含む遷移金属ダイカルコゲナイト (Transition Metal Dichalcogenides: TMDC) は、原子層厚の層構造を持ち、表面積対体積比が非常に大きいため、優れた感度を示す。本研究では、成長基板に対向配置した供給基板上に成膜した MoO<sub>3</sub> 薄膜を供給源とする成膜手法に着目し、これを基にした MoS<sub>2</sub> の CVD 合成を検討した。特に、供給基板上の MoO<sub>3</sub> を円状にパターンニングした基板を使用した CVD 合成結果を報告する。同様の手法で行った WS<sub>2</sub> の CVD 合成結果についても併せて報告する。

### 3. 実験方法

まず、Si 基板表面の洗浄を行った。洗浄方法と

して、SiO<sub>2</sub>/Si 基板をアセトン、メタノール、超純水の順に、それぞれ 10min、超音波洗浄した。その後、UV 洗浄を 10min、行った。次に、抵抗加熱蒸着によって以下の MoO<sub>3</sub> 供給基板を作製した。試料は、パターン 1: (MoO<sub>3</sub> 蒸着面積 42.4mm<sup>2</sup>、直径 1 mm、縁間隔 1mm)、パターン 2: (MoO<sub>3</sub> 蒸着面積 50mm<sup>2</sup>、直径 3mm、縁間隔 2mm)、パターン 3: (MoO<sub>3</sub> 蒸着面積 225mm<sup>2</sup>、基板上一様膜) の 3 種類を用意した。円状パターンニング供給基板の上に、鏡面を下向きに配置した SiO<sub>2</sub>/Si 基板を重ね、管状炉に設置した (Fig. 1 参照)。管状炉を Ar ガス雰囲気下にし、硫黄: 150°C, 30min、基板: 750°C, 30 min の加熱条件で CVD 合成を行った (Fig. 2 参照)。昇温は 20°C/min で行い、加熱後は自然冷却によって室温まで冷却した。WS<sub>2</sub> 供給基板を作製する際も、管状炉を Ar ガス雰囲気下にし、硫黄: 150 °C, 30min、基板: 850°C, 30min の加熱条件で CVD 合成を行った。昇温は 20°C/min で行い、加熱後は自然冷却によって室温まで冷却した。WS<sub>2</sub> 供給基板の円形パターンニングは、パターン 2 と同様の方法で行った。

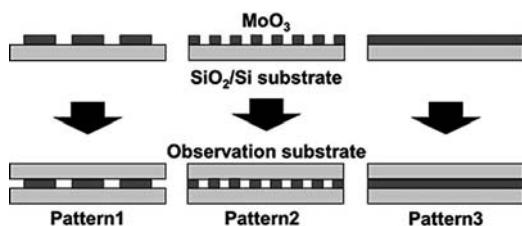


Fig. 1 Radial patterning diagram

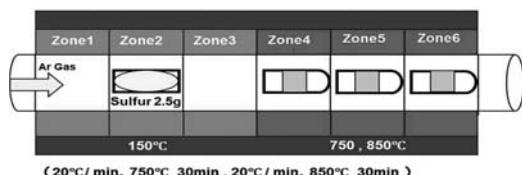


Fig. 2 The setup inside the tubular furnace

### 4. 実験結果 I (MoS<sub>2</sub>)

Fig. 3 には、MoO<sub>3</sub> の蒸着面積と MoS<sub>2</sub> が形成された面積との関係を示す。パターン 1, 2, 3 の MoS<sub>2</sub>

の各合計面積は、約  $0.055\text{mm}^2$ 、約  $0.095\text{mm}^2$ 、約  $0.020\text{mm}^2$  であった。パターン 3 のように円形マスクを施していない供給基板を用いた場合、基板に対する  $\text{MoO}_3$  の蒸着面積は最大であるが、形成された  $\text{MoS}_2$  の総面積は最小となった。このことから、供給基板の蒸着面積と形成される結晶面積には比例関係がないと考えられる。また、パターン 1 およびパターン 2 において  $\text{MoS}_2$  の結晶面積が向上しているのは、円形パターニング供給基板を使用することで硫黄の供給量が増加し、観測基板全体に結晶化が進行したためであると推測される。Fig. 4 には、 $\text{MoS}_2$  の粒形サイズごとの個数を示す。パターン 1, 2, 3 の各平均粒径は約  $3.9\mu\text{m}$ 、約  $3.5\mu\text{m}$ 、約  $3.2\mu\text{m}$  であった。また、パターン 1~3 の各最大粒径は、それぞれ約  $44\mu\text{m}$ 、約  $48\mu\text{m}$ 、約  $41\mu\text{m}$  となった。

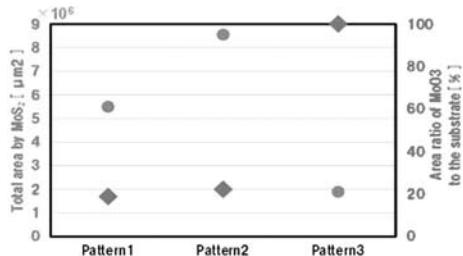


Fig. 3 Total surface area of  $\text{MoS}_2$  and the deposition area on the  $\text{MoO}_3$

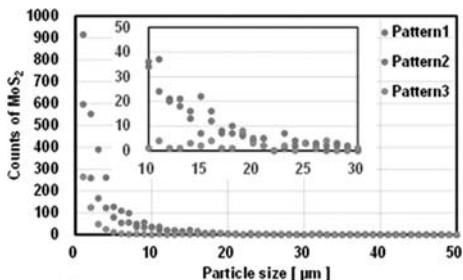


Fig. 4 Counts of crystals of  $\text{MoS}_2$  for each particle shape

## 5. 実験結果Ⅱ ( $\text{WS}_2$ )

実験結果Ⅰより、 $\text{WS}_2$  の付着面積が最も大きくなる結果を得られたパターン 2 において  $\text{WS}_2$  の CVD 合成を行った。Fig. 5 に形成された  $\text{WS}_2$  の総面積と平均粒径の関係を示す。 $\text{WO}_3$  が 8mg の時、総面積

は  $1.412 \times 10^6\mu\text{m}^2$ 、平均粒径は  $7.544\mu\text{m}$  であった。一方、 $\text{WO}_3$  が 5mg の時、総面積は  $0.0141 \times 10^6\mu\text{m}^2$ 、平均粒径は  $3.224\mu\text{m}$  であった。 $\text{WO}_3$  が 5mg の場合と比較して、 $\text{WO}_3$  が 8mg の場合には総面積が約 100 倍、平均粒径が約 2.3 倍向上した。これは、結果が良好だった  $\text{MoO}_3$  5mg と  $\text{WO}_3$  8mg のモル質量が一致することから、 $\text{WO}_3$  5mg では供給量が不足していたと考えられる。Fig. 6 に  $\text{WS}_2$  の粒形サイズごとの個数を示す。このグラフから、 $\text{WO}_3$  が 8mg の場合、全体的に結晶数も増加していることが分かる。

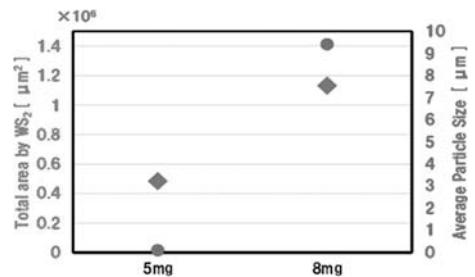


Fig. 5 Total surface area and average particle size of  $\text{WS}_2$

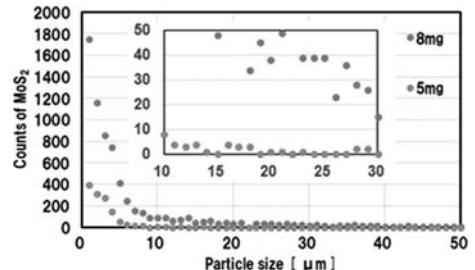


Fig. 6 Counts of crystals of  $\text{WS}_2$  for each particle shape

## 6. おわりに

自分と同じテーマに取り組む他大学の学生や企業の方々と交流することができ、多くのアイデアや刺激を受けました。自分とは異なる視点やアプローチに触れることで、これまでにない発見があり、研究に対する理解も深まりました。また、最先端の研究や実際の応用例に触れる中で、自身の研究にもさらに意欲を持って取り組んでいきたいという思いが強まりました。

## 「2025年 第72回応用物理学会 春季学術講演会」に参加して

北坂 拓己  
Takumi KITASAKA  
電子情報通信課程 3年

### 1. はじめに

3月14日～17日に、東京理科大野田キャンパスで行われた応用物理学会に参加し、ポスターセッションを行った。

### 2. 研究内容

#### 2.1 研究背景・目的

光触媒とは、光に照射された際に酸化還元反応を起こし、空気中の酸素と水に反応することで活性酸素を発生させる物質である。この活性酸素は細菌など環境汚染物質を無害な物質に分解・除去する性質を持っており、空気清浄機などに使用され、意欲的に研究が取り組まれている。 $TiO_2$  ( $E_g = 3.2\text{eV}$ )などの従来の光触媒は、紫外線のみを吸収し、可視光は吸収しない。そのため、紫外線より長波長の光が照射された場合、十分な効果を発揮しないなどの課題がある。本研究では可視光で光触媒作用を示す $ZnGa_2S_4:Mn$  ( $E_g = 0.8\text{eV}$ ) 混合粉末を用いて、焼成温度変化による触媒反応の効果を調べた。

#### 2.2 実験方法

Fig. 1より $ZnS$ と $Ga$ と $MnS$ をそれぞれ1:2:0.05のモル比で混合した。大気下において、焼成温度を600°C, 700°C, 800°Cの条件で変更して焼成し、 $ZnGa_2S_4:Mn$ 混合粉末を作製した。一部凝集している粉末を乳鉢で粉碎した。作製した $ZnGa_2S_4:Mn$ 粉末0.05gをそれぞれ0.1mMのMB(メチレンブルー)、CR(コンゴーレッド)、BB(ビスマルクブラウン)溶液3mlに入れ、透明容器に密閉した。密閉した透明容器に可視光を1h.照射した。その後、13,200rpm\_10min.の条件で遠心分離を行った。

遠心分離後の上澄み溶液を石英セルに入れ、UV-vis装置で透過率測定を行った。

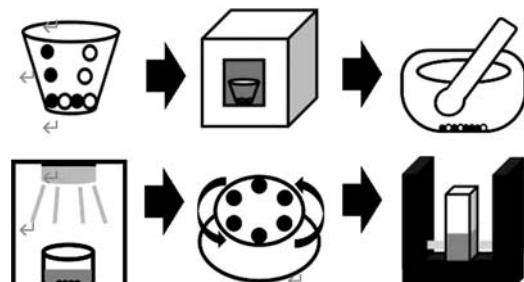


Fig. 1 Illustration of experimental procedure

#### 2.3 実験結果

作製した $ZnGa_2S_4:Mn$ 混合粉末とMB溶液、CR溶液、BB溶液の分散液のそれぞれの透過率をFig. 2～Fig. 4に示す。

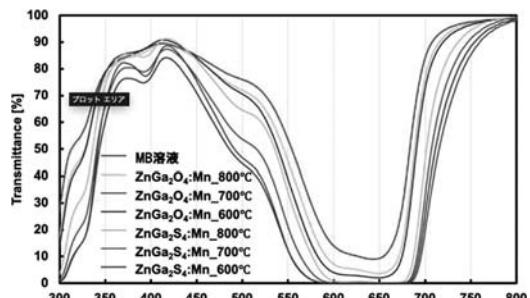


Fig. 2 Transmittance measurement results of MB solution

Fig. 2に示したMB溶液の最大吸収波長である664nmに注目すると、分散液の透過率は、焼成前は0.005%上昇し、焼成後は0.018%下降した。

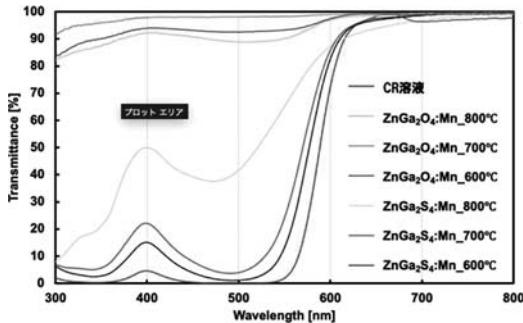


Fig. 3 Transmittance measurement results of CR solution

Fig. 3 に示した CR 溶液の最大吸収波長である 498nm に注目すると、分散液の透過率は、焼成前は 13.702% 上昇し、焼成後は 69.232% 上昇した。

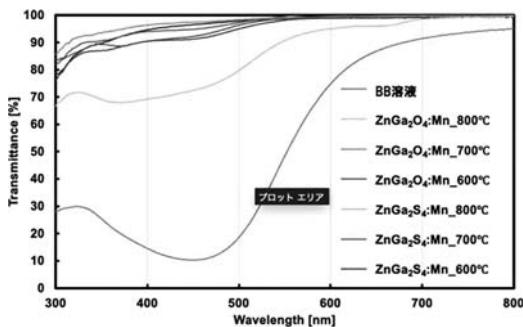


Fig. 4 Transmittance measurement results of BB solution

Fig. 4 に示した BB 溶液の最大吸収波長である 459nm に着目すると、分散液の透過率は、焼成前は 75.184% 上昇し、焼成後は 75.324% 上昇した。

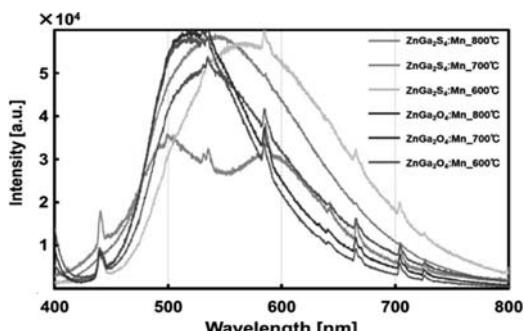


Fig. 5 Graphs of ZnS, Ga, and MnS mixed powder before and after firing

Fig. 5 は ZnGa<sub>2</sub>S<sub>4</sub>:MnS 混合粉末の焼成前と焼成後

の PhotoLuminescence (PL) の測定結果である。焼成前は、ピークを確認できなかった。焼成後は、波長 642nm の橙色の単一のピークを確認できた。

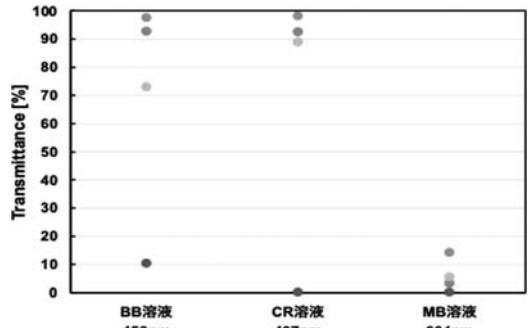


Fig. 6 ZnGa<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:Mn の透過率のプロット図

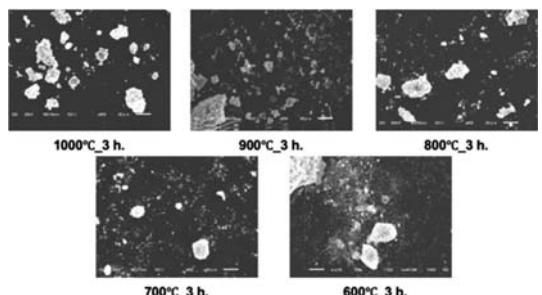


Fig. 7 ZnGa<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:Mn の SEM 画像

### 3. まとめ

透過率測定により、それぞれの溶液ごとに適している焼成温度条件があると考えられる。特に、MB 溶液の透過率が上昇しにくく、下降したところも見られたことから ZnGa<sub>2</sub>S<sub>4</sub>:Mn の混合粉末と溶液に相性があると思われる。BB 溶液では、焼成前と焼成後で高い透過率を示した。これにより茶色成分を分解しやすいことを実証した。また、焼成前と焼成後での物質の質量をみると、焼成前は 1.22g に対して焼成後は 0.453g と 0.76g 質量が減っていることを確認した。それは、Ga の融点が 29°C であるため焼成時に Ga が気化したと考えられる。Fig. 5 の測定結果より、焼成後各粉末が反応し、ZnGa<sub>2</sub>S<sub>4</sub>:Mn に変化したことにより、焼成後のみピークが確認できたと考えられる。

## 第 72 回応用物理学会春季学術講演会に参加して

松 葉 瞼

Ryo MATSUBA

電子情報通信課程 3 年

### 1. はじめに

私は、2024 年 3 月 14 日～17 日に東京理科大学野田キャンパスで開催された、「2025 年第 72 回応用物理学会春季学術講演会」に参加し、3 月 14 日に「g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 粉末を用いた光触媒性能の粒径依存性」というテーマについてポスター発表を行った。

### 2. 研究背景

触媒作用をもつ光触媒は、細菌などの環境汚染物質を無害な物質に分解・除去する性質を持っており、精力的に研究が行われている。しかし、酸化チタン (Titanium dioxide: TiO<sub>2</sub>) などの従来の光触媒は、作製費用が高額であり、紫外線より長波長の光が照射された場合は、十分な効果を発揮しない課題がある。したがって、本研究では、有機化合物を加熱・作製するグラファイト状窒化炭素 (Graphitic carbon nitride: g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) に着目した。作製が簡単で材料費が安く、g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 粉末が可視光で光触媒作用を示すためである。この粉末を用いて、加熱時間、および試料の粉碎回数による触媒反応の効果の違いを調べた。

### 3. 実験手順

実験手順を Fig. 1 に示す。まず、メラミンを熱分解するために、650°C の条件下で加熱処理した後、乳鉢で粉碎し、g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 粉末を作製した。g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 粉末を作製するにあたって、本実験では、加熱処理時間がそれぞれ 5h, 6h の 2 種類、粉碎回数がそれぞれ 75, 150, 300 回の 3 種類、計 6 種類の g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 粉末 0.1g を用意した。また、同様の手順で加熱処理時間と粉碎回数の異なる 6 種類の g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 粉末 0.2g

を用意した。それぞれの g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 粉末計 12 種類を MB (メチレンブルー) 溶液 3ml (0.1mM) に入れ、各容器を密閉した。密閉した容器ごとに疑似太陽光 60min. の照射をそれぞれ行った。その後、13,200 rpm\_30min. の遠心分離を行い、粉末を取り除いた MB 溶液の上澄み液を測定用セルに移し、透過率の測定・評価を行った。

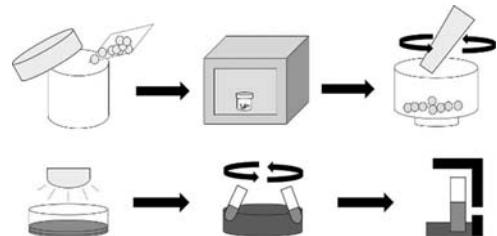


Fig. 1 Illustration of experimental procedure

### 4. 実験結果

g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 粉末 0.1g を入れた溶液の透過率の測定結果を Fig. 2、粉末 0.2g を入れた溶液の透過率の測定結果を Fig. 3 に示す。本実験では、MB 溶液の最大吸収波長を 664nm とし、これを Fig. 2, Fig. 3 に赤線で示した。最大吸収波長において、g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 粉末 0.1g を入れた溶液では最大 78.2%、g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 粉末 0.2g を入れた溶液では最大 89.5% という透過率が得られた。また、g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 粉末 0.2g、焼成時間 6h、粉碎回数 300 回の試料を除き、加熱処理時間を長く、粉碎回数を多くするほど透過率が高くなる関係性が見られた。この傾向は、入れる粉末の量を少なくした場合や、試料の焼成時間を短くするほど強く現れた。

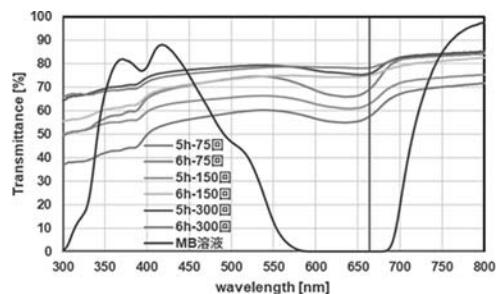


Fig. 2 Transmittance of each MB solution containing 0.1g of g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> powders

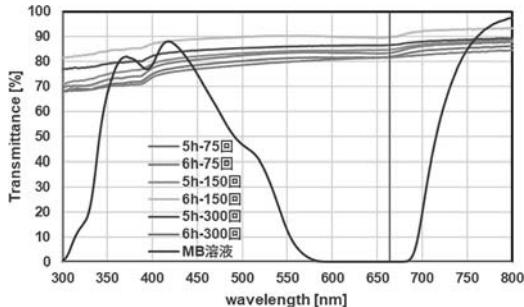


Fig. 3 Transmittance of each MB solution containing 0.2g of  $\text{g-C}_3\text{N}_4$  powders

また、作製した各粉末を走査電子顕微鏡 (SEM) で拡大観察し、その粒径を測定した。粉末ごとに拡大観察をして得られた画像を Fig. 4、その画像をもとに粒径を 1 つずつ測定し、最低 10 個以上の粒をプロットした結果を Fig. 5 に示す。これらの結果から、粉碎回数を多くするほど透過率が上がる要因は、粉碎回数に応じて粒径が小さくなることであると Fig. 5 から考えられる。よって、試料の粉碎回数を増やすことで  $\text{g-C}_3\text{N}_4$  粉末の光触媒性能が向上すると思われる。

Table 1 Particle size of  $\text{g-C}_3\text{N}_4$  and transmittance results using 0.1g and 0.2g, respectively

	粒径 [ $\mu\text{m}$ ]	透過率 [%]	
		0.1g	0.2g
5h-75回	12.107	57.71	81.91
5h-150回	9.698	63.11	84.79
5h-300回	8.187	75.75	86.59
6h-75回	15.151	69.22	83.46
6h-150回	10.322	74.97	89.49
6h-300回	7.423	78.23	81.65

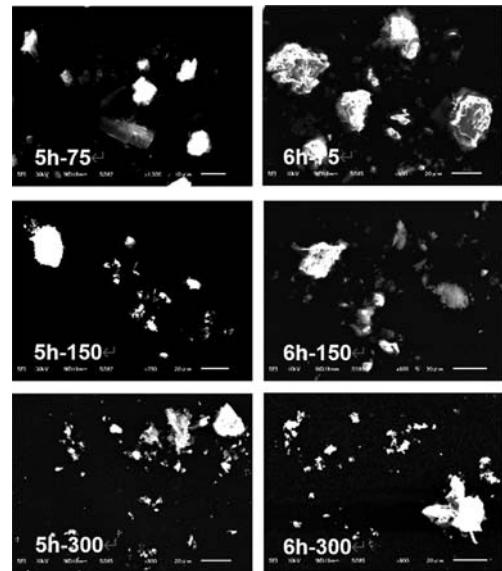


Fig. 4 SEM images of  $\text{g-C}_3\text{N}_4$

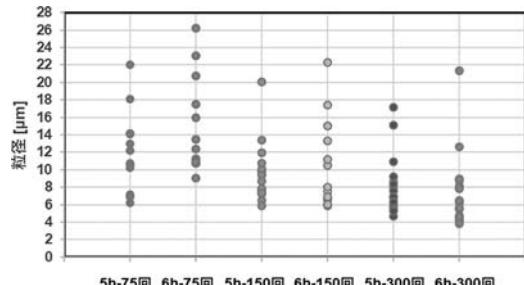


Fig. 5 Comparison of particle size of each  $\text{g-C}_3\text{N}_4$  powder

## 5.まとめ

同じ量の  $\text{g-C}_3\text{N}_4$  粉末においては、加熱処理時間を長く、粉碎回数を多くするほど透過率が高くなることがわかった。試料の粉碎回数を多くするほど透過率が上がる要因は、粉碎回数を増やすにつれて粒径が小さくなることと関係があると考えている。粒径の縮小に沿って粉末の表面積が増加することで、光触媒性能が向上したと考えられる。

## 謝辞

今回の学会発表にあたり、懇切なご指導を頂きました山本伸一教授、および山本研究室の皆様に心より感謝いたします。

## 混合量子ドットの発光特性評価

末次 大輝  
Daiki SUETSUGU  
電子情報通信課程 3年

### 1. はじめに

私は、2025年3月15日から17日にかけて東京理科大学野田キャンパスで開催された2025年第72回応用物理学会春季学術講演会において、「混合量子ドットの発光特性・評価」という題目で研究発表を行った。

### 2. 研究背景

量子ドット (Quantum Dots: QDs) は、電子の動きを3次元的に制限する量子効果により広い波長領域を吸収し、狭い波長領域の光を放出する。また粒径やバンドギャップを制御することで発光強度が向上する。また色度値を変化させることも可能である。以上の特性から QDs はディスプレイをはじめ、太陽電池など様々なデバイスへの応用が期待されている。量子ドットの作製にはカドミウムのような有害な物質を用いるが、RoHS 指令により使用が制限される。そこで本研究はカドミウムレスの QDs を作製することを目的とした。Cu(OAc)<sub>2</sub> と Ag (OAc)<sub>2</sub> を加熱攪拌することで2種類の金属前駆体を作製し、QDs の PL 測定、および色度値の測定を行った。

### 3. 実験方法

最初に金属前駆体の作製手順として、Fig. 1 に示すように質量比で酢酸銅 (Cu(OAc)<sub>2</sub>)、酢酸銀 (Ag(OAc)<sub>2</sub>) の合計が 11.6mg になるよう Cu : Ag を 1 : 1, 1 : 3, 3 : 1 の比率で混合し、酢酸亜鉛 (Zn (OCOCH<sub>3</sub>))、酢酸インジウム (In(C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>O<sub>2</sub>)<sub>3</sub>) とオレイン酸 (OAC) を加え、加熱温度 200°C で加熱時間 10, 30, 40min の条件で作製を行った。また加熱温度を 150°C, 250°C、加熱時間それぞれ 30

min の条件で作製を行った。その後、オクタデセン (ODE) を混合し、再度同様の条件で加熱し、金属前駆体を作製した。純硫黄前駆体の作製手順として、純硫黄 (S)、オレインアミン (OAm) を混合加熱し作製を行った。次に金属前駆体とドデカンチオール (DDT) を二口フラスコに入れ、混合加熱後、S 前駆体を入れながら再度加熱した。最後に、QDs を遠心分離によって有機溶媒から分離させ、シクロヘキサン中に分散させた溶液を作製した。作製した試料 CuInS<sub>2</sub>/ZnS に Ag をドープした QDs を 10倍希釈し、励起波長  $\lambda_{ex} = 365\text{nm}$  で PL 測定を行った。さらに Ag ドープの量を変化させながら発光強度が大きくなる条件を調べた。Cu : Ag = 1 : 0, 5 : 1, 4 : 1, 3 : 1, 2 : 1, 1 : 1, 1 : 3, 1 : 5, 0 : 1 の比率で加熱攪拌を行い発光強度が最も高い混合条件を調べた。また、CuInS<sub>2</sub>/ZnS : AgInS<sub>2</sub>/ZnS = 1 : 0, 5 : 1, 4 : 1, 3 : 1, 2 : 1, 1 : 1, 1 : 3, 1 : 5, 0 : 1 の比率で攪拌を行い、発光強度が最も高い混合条件を見つけた。

### 4. 実験結果

作製した混合量子ドット Cu : Ag = 1 : 1 の PL 測定結果を Fig. 2 に示す。最大発光強度値は、200°C, 30min の時に 12.4 であった。200°C で 30min, 200°C で 10min, また 150°C で 30min の条件において、発光強度は同等であることがわかった。200°C で、30 min, 40min の加熱条件の時、発光色は 570nm 波長で最大発光を示した。

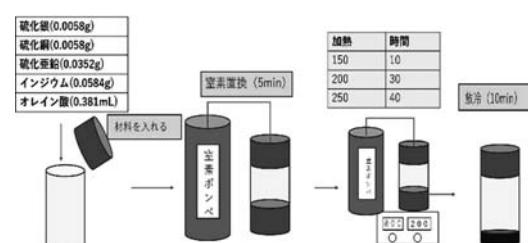


Fig. 1 Metallic quantum dot fabrication procedure

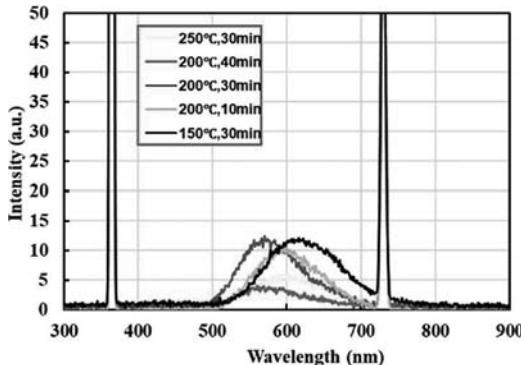


Fig. 2 PL measurement results at mixed metal quantum dot  $\text{Cu} : \text{Ag} = 1 : 1$  excitation wavelength of 365nm

$\text{Cu} : \text{Ag} = 1 : 3$  の PL 測定の結果を Fig. 3 に示す。最大発光強度値は 200°C で 30min の時に 8.6 であった。発光色は 200°C および 250°C で 30min の条件において 570nm 波長で最大発光を示し黄色発光を得た。他の加熱条件では短波長の青色発光を得た。PL 測定の結果から発光強度に変化は無いことがわかる。

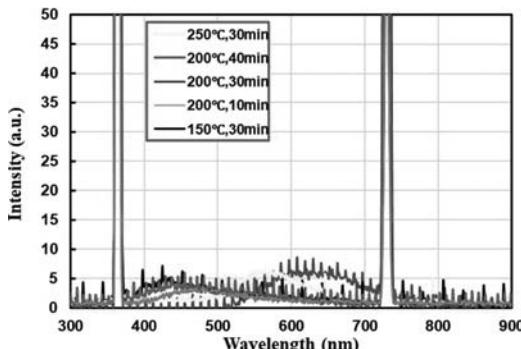


Fig. 3 PL measurement results at mixed metal quantum dot  $\text{Cu} : \text{Ag} = 1 : 3$  excitation wavelength of 365nm

$\text{Cu} : \text{Ag} = 3 : 1$  の結果を Fig. 4 に示す。最大発光強度値は加熱条件が 200°C で 10min の時、40.8 であった。発光色は全加熱条件において 600nm 波長で最大発光を示し赤色に近い発光が得られた。PL 測定の結果から発光強度は比率 3 : 1 で比較すると 200°C で 10min の条件で大きく変化していることがわかる。

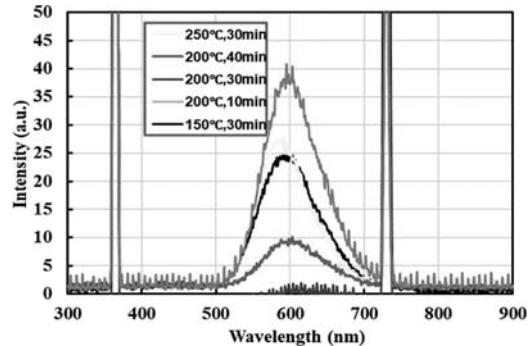


Fig. 4 PL measurement results at mixed metal quantum dot  $\text{Cu} : \text{Ag} = 3 : 1$  excitation wavelength of 365nm

最も発光強度が大きい混合比率 3 : 1 で最大発光強度と加熱温度 × 加熱時間 ( $^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}$ ) のグラフを Fig. 5 に示す。Fig. 5 から加熱温度 × 加熱時間の数値が大きくなると発光強度が減少傾向にあることを確認した。また、加熱条件 200°C, 10min の条件下で混合比率を  $\text{Cu} : \text{Ag} = 1 : 0, 5 : 1, 4 : 1, 3 : 1, 2 : 1, 1 : 1, 1 : 3, 1 : 5, 0 : 1$  シクロヘキサン溶液を 10 倍、40 倍で希釈させた。QDs の最大発光強度を比較したグラフを Fig. 6 に示す。希釈倍率 10 倍に注目すると、金属単体のみでは  $\text{Cu}(\text{OAc})_2$  のみの発光強度が大きいことがわかる。また横軸を  $\text{Cu}(\text{OAc})_2 / (\text{Cu}(\text{OAc})_2 + \text{Ag}(\text{OAc})_2)$  の比率で表記すると、0.68 ~ 0.8 の間で発光強度が大きくなることを確認した。次に希釈倍率 40 倍に注目すると、発光強度の最も高い条件は 1 : 0 であることがわかる。希釈倍率 10 倍 ~ 40 倍での上昇率に注目すると、 $\text{Ag}(\text{OAc})_2$  のみの上昇率が最も高く次に  $\text{Cu}(\text{OAc})_2$  となり希釈上昇率は、混合するほど低くなることがわかる。Fig. 6 の結果から 40 倍の希釈倍率より 10 倍の希釈倍率が高くなるので、金属粉末を混ぜ合わせることにより濃度消光が起こりづらくなることがわかる。また、単体の金属量子ドットの混合において発光強度は著しく低下しないことがわかる。

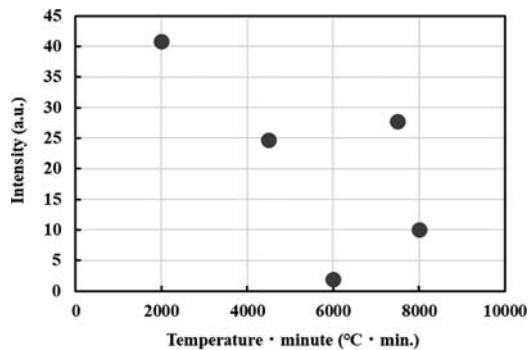


Fig. 5 Temperature time and luminescence intensity

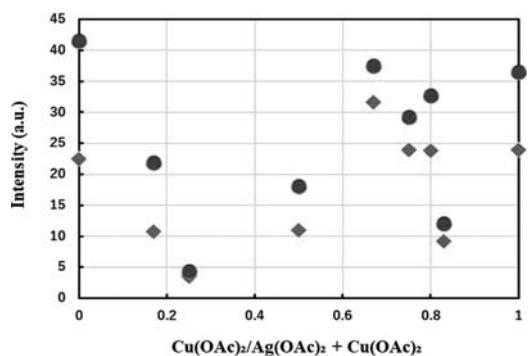


Fig. 6 Luminescence intensity and mixing ratio

#### 謝辞

本学会発表を通じて、同分野の異なる作製方法や活用方法の意見を頂くことで、次に取り組む計画の一助となつた。また、様々な専門分野の方々の発表を聴講し新たな視点を取り入れることが出来た。

## 2025年 第72回応用物理学会 春季学術講演会に参加して

関矢 大雅

Taiga SEKIYA

電子情報通信課程 3年

同士を重量比1:1で混合し、透過率測定、水素生成量測定を行い光触媒性能の比較をした。



Fig. 1 Experimental method

### 1. はじめに

3月14日～17日に、東京理科大野田キャンパスで行われた応用物理学会に参加し、ポスターセッションを行った。

### 2. 研究内容

#### 2.1 研究背景・目的

光触媒は、光エネルギーを利用して化学反応を促進する材料であり、環境浄化やエネルギー変換の分野で注目されている。本実験では酸素の生成に優れている  $\text{SrTiO}_3$  と水素の生成に優れている  $\text{ZnS}$  を組み合わせた光触媒の作製を試みた。作製した試料において、光触媒反応を評価するために、MB（メチレンブルー）溶液を用いた実験と水素生成量の測定を行った。

#### 2.2 実験方法

$\text{SrTiO}_3$  と Mn をモル比 100:1, 5, 10, 30, 50 で混合した。同様に  $\text{ZnS}$  と Cu をモル比 100:1, 5, 10, 30, 50 で混合した。大気化において、500°C で 1h. 焼成しそれぞれ  $\text{SrTiO}_3:\text{Mn}$ ,  $\text{ZnS}:\text{Cu}$  粉末を作製した。作製した試料を乳鉢で 100 回粉碎し、凝集している部分を除去した。作製した試料 0.1g を 0.1mM の MB 溶液 3mL に加え、透明容器に入れて密閉した。密閉容器に可視光を 1h. 照射した後、13,400 rpm で 30min. の条件で遠心分離を行った。遠心分離後の上澄みを石英セルに移し、UV-vis 装置で透過率を測定した。水素生成量は、純水 3mL と混合した試料 0.1g を加え、可視光を照射しながら、水素検知器を用いて生成量を測定した。

加えて、上記の実験で光触媒性能が高かったもの

#### 2.3 実験結果

試料と MB 溶液との混合液の透過率を Fig. 2～4 に示す。MB 溶液の最大吸収波長である 664nm に着目すると、 $\text{SrTiO}_3$  に Mn を混合し焼成した試料では透過率の向上は見られなかった。

一方、 $\text{ZnS}$  に Cu を混合し焼成した試料では、モル比 100:5 以上の場合、透過率が大きく向上した。透過率が最も向上した試料は混合割合 100:30 の試料であり、透過率は 98.4% であった。

上記の結果より透過率が大きく向上した  $\text{ZnS}$  に Cu をモル比 100:30 で混合し焼成した試料、 $\text{SrTiO}_3$  に Mn をモル比 100:1, 5, 10, 30, 50 で混合し焼成した試料、これらの試料を重量比 1:1 で混合した場合、 $\text{SrTiO}_3$  と Mn のモル比がどのような場合であっても MB 溶液の透過率は大きく向上し、80% 以上であった。

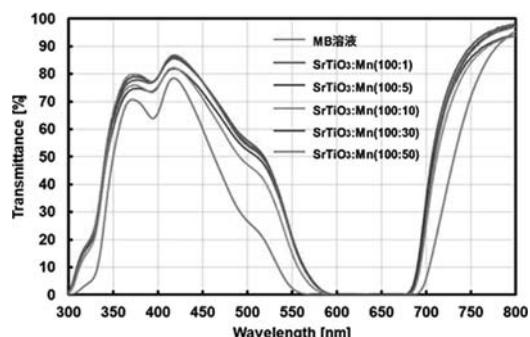


Fig. 2 Transmittance of methylene blue solution by sample consisting of  $\text{SrTiO}_3$  and Mn

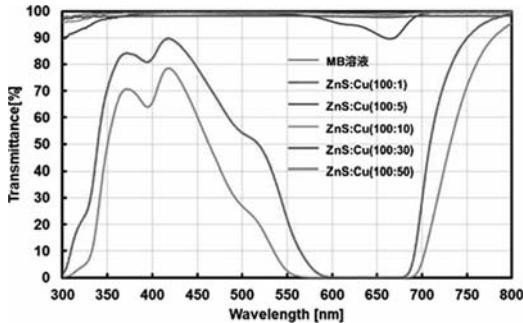


Fig. 3 Transmittance of methylene blue solution by sample consisting of ZnS and Cu

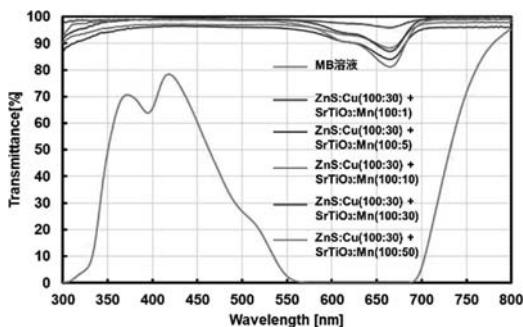


Fig. 4 Transmittance of methylene blue solution using 1 : 1 weight ratio sample

可視光を1h. 照射した際の水素生成量をFig. 5～7に示す。SrTiO<sub>3</sub>にMnを混合し焼成した試料の場合、SrTiO<sub>3</sub>にMnを混合するモル比を多くするにつれ水素の生成量も多くなる傾向にある。モル比100:50が一番水素生成量が多く、1h. での水素生成量は46ppmであった。

ZnSにCuを混合し焼成した試料の場合、モル比100:30の試料の水素生成量が多く、1h. での水素生成量は60ppmであった。

作製した試料を重量比1:1で混合した場合、SrTiO<sub>3</sub>:Mn(100:50)の試料の水素生成量が著しく向上し、1h. での水素生成量は98ppmであった。

SrTiO<sub>3</sub>にMnを混合した場合でも、ZnSにCuを混合した場合でも混合した割合が高くなるにつれ、試料の平均粒径は小さくなる傾向にある。

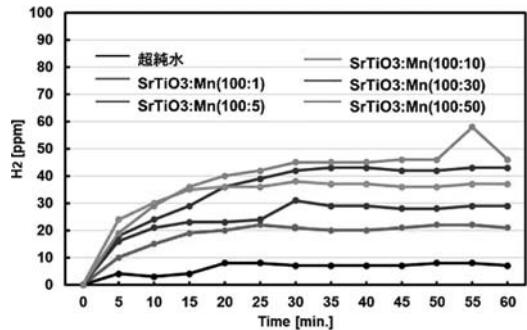


Fig. 5 Amount of hydrogen produced by SrTiO<sub>3</sub> and Mn samples

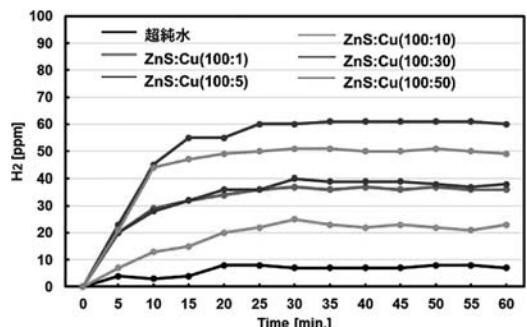


Fig. 6 Amount of hydrogen produced by ZnS and Cu samples

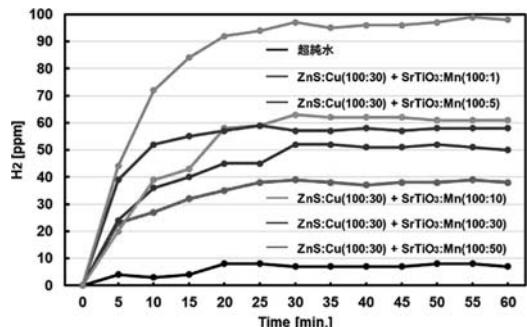


Fig. 7 Hydrogen production amount with 1 : 1 weight ratio sample

### 3. おわりに

光触媒を混合することによって光触媒特性が向上した。また、発表を通じて自分の研究を客観視できた。

## 2層線状パターニング供給基板 を用いた MoS<sub>2</sub> の CVD 合成

河南 昌吾  
Shogo KAWAMINAMI  
電子情報通信課程 3年

### 1. はじめに

4月15日に東京理科大学野田キャンパスで開催された応用物理学会に参加し、ポスター展示を行い、説明員として参加した。

### 2. 研究内容

#### 2.1 研究背景・目的

現在、シリコンを基盤とする大規模集積回路 (LSI) の性能向上は、デバイスの微細化を進めることで達成されている。しかし、さらなる微細化を実現するには、電界効果トランジスタ (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor: MOSFET) のチャネル膜厚をさらに薄くする必要がある。一方で、3次元立方体結晶材料における加工精度の揺らぎは避けられない問題とされ、微細化の限界が指摘されている。このような背景から、層数を精密に制御可能な遷移金属ダイカルコゲナイト (Transition Metal Dichalcogenides: TMDC) をはじめとする層状物質が注目されつつある。層状物質である MoS<sub>2</sub> (二硫化モリブデン) は、単層では約 1.8eV のバンドギャップを持つ直接遷移半導体である。

成長基板に対向配置させた供給基板上に成膜した MoO<sub>3</sub> 薄膜を遷移金属の供給源とする成膜手法について検討を進めているが、本研究では、MoO<sub>3</sub> を 1 本線状、ブロック状、格子状にパターニングした供給基板を利用した際の、MoO<sub>3</sub> 堆積量の MoS<sub>2</sub> の CVD 合成結果への影響について報告する (Fig. 1 参照)。

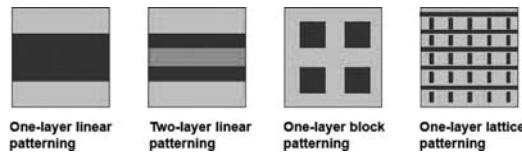


Fig. 1 Schematic diagram of substrates with various MoO<sub>3</sub> patterns

#### 2.2 実験方法

まず、基板洗浄を行った。基板洗浄の方法は SiO<sub>2</sub>/Si 基板をアセトン、メタノール、超純水の順に 10min. ずつ超音波洗浄を行い、次に UV 洗浄を 10min. 行った。

MoO<sub>3</sub> 供給基板を次の方法で作製した。フライメント上に MoO<sub>3</sub> 粉末 5mg をのせ、SiO<sub>2</sub>/Si 基板にメタルマスクを重ねて MoO<sub>3</sub> 薄膜を蒸着し、MoO<sub>3</sub> パターニング供給基板を作製した。2層線状パターニング供給基板において 1回目および 2回目の蒸着に使用した MoO<sub>3</sub> の量はいずれも 2.5mg である。また、管状炉内の加熱部分 6ヶ所をそれぞれ Zone 1 ~ 6 とした。CVD 合成の準備として、硫黄を Zone 2 に、MoO<sub>3</sub> のパターニング供給基板を管状炉内の Zone 4~6 に配置した (Fig. 2 参照)。さらに、MoO<sub>3</sub> パターニング供給基板に対して、鏡面側を下にした SiO<sub>2</sub>/Si 基板を重ねて配置した。Ar ガス雰囲気下で、750°C で 30min. 加熱することにより MoS<sub>2</sub> を CVD 合成した。昇温は 20°C/min. で行い、合成後は自然冷却を実施した。供給基板作成から MoS<sub>2</sub> 合成までの基板の模式図を Fig. 3 に示す。

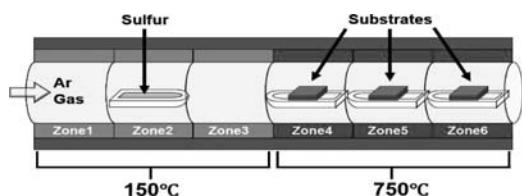


Fig. 2 Schematic diagram of a 6-zone tube furnace

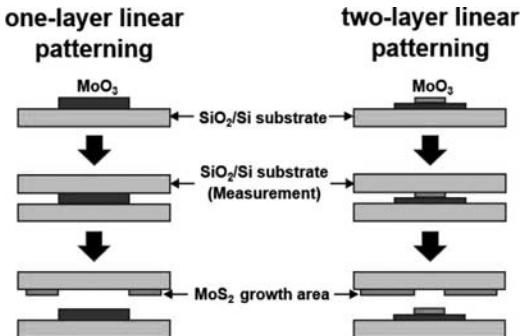


Fig. 3 Cross-sectional schematic diagram of  $\text{MoO}_3$  linear pattern substrate

### 2.3 実験結果

CVD 合成を行った基板の光学顕微鏡像 (Fig. 4 参照) より, 各 Zone で  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  基板上に  $\text{MoS}_2$  と考えられる三角形状の結晶が確認された. Fig. 5 に, 線状パターニングを施した 1 層および 2 層供給基板, 格子状, ブロック状パターニングを施した供給基板における粒径分布の比較結果を示す. 粒径が  $10\mu\text{m}$  未満の  $\text{MoS}_2$  結晶でのパターニングごとの比較において, 1 層ブロック状パターニング供給基板が最も多くの結晶を合成できることが確認された. 一方, 粒径が  $20\mu\text{m}$  以上の  $\text{MoS}_2$  結晶では, 2 層線状パターニング供給基板が最も多くの結晶を合成できることが確認された. さらに, 本研究での最大粒径  $59.7\mu\text{m}$  の結晶が 2 層線状パターニング供給基板で観測されており, この結果は  $\text{MoO}_3$  供給層数の増加によって, より大きな粒径を持つ結晶が形成されやすくなることを示唆している. また,  $\text{MoS}_2$  結晶の形態観察から, 線状, 格子状, ブロック状の各パターニング供給基板は, それぞれ異なる粒径分布と結晶形成の特徴を示すことが確認された. 特に, 1 層ブロック状パターニング供給基板では, 他の 1 層パターニング供給基板と比較しても顕著に多くの  $\text{MoS}_2$  結晶が形成され, 形成された結晶の総面積が増加した (Fig. 6 参照). これは, 供給基板のパターニング構造が硫黄との反応効率や気相反応の制御に寄与している可能性を示唆している. さらに, 供給層数を 2 層に増加させた場合, 結晶粒径の増大

が観察され, 形成された  $\text{MoS}_2$  結晶の総面積が最大となった. このことから, 供給基板の設計と反応条件の最適化が, 効率的かつ均一な結晶形成において重要であることが示唆される.

### 2.4まとめ

パターニング供給基板の形状が  $\text{MoS}_2$  結晶の形成および粒径分布に大きく影響を与えることが示された. 特にブロック状パターニング供給基板は結晶形成の効率を向上させる変化が顕著であった. この結果は, 供給基板上の  $\text{MoO}_3$  分布が化学気相成長プロセス中の物質拡散や硫黄供給に影響を及ぼす可能性を示唆している. さらに, 2 層線状パターニング供給基板での粒径拡大は,  $\text{MoS}_2$  合成範囲の増加が結晶形成に影響し, より大きな粒径の結晶が形成されたと考えられる (Fig. 4 参照). ただし, 2 層線状パターニング供給基板では総結晶形成数の減少も確認されたため, 供給基板の設計において, 適切な供給量と反応条件の最適化が重要である (Fig. 5 参照).

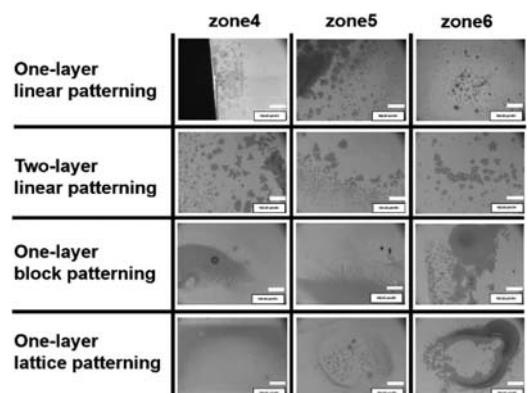


Fig. 4 Optical microscope images of  $\text{MoS}_2$  films deposited in each zone

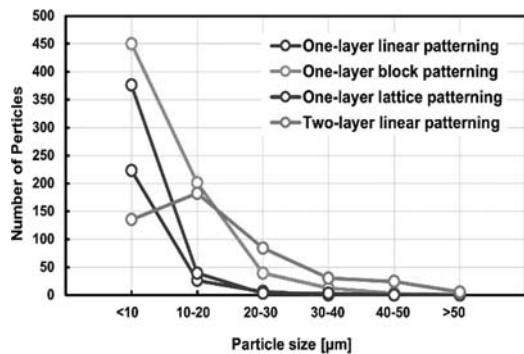


Fig. 5 Diameter distribution of MoS<sub>2</sub> samples obtained by sulfurizing MoO<sub>3</sub> thin films at 750°C

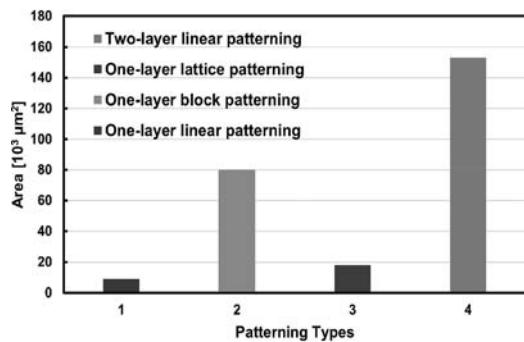


Fig. 6 Comparison of the total area of MoS<sub>2</sub> crystals formed by various MoO<sub>3</sub> patterning

## 日本音響学会 2025 年 春季研究発表会に参加して

大 橋 鳩土郎

Sojiro OHASHI

情報メディア学専攻修士課程 2 年

### 1. はじめに

私は 2025 年 3 月 17 日から 19 日にかけて埼玉大学で開催された、日本音響学会が主催する 2025 年春季研究発表会に参加した。この研究発表会にて「エリア再生による音漏れを考慮した音場制御を用いたマスキング手法に関する検討」という題目で研究発表を行った。

### 2. 発表内容

#### 2.1 研究背景・目的

音場制御技術により特定のエリアのみ音を再生するエリア再生の研究が行われている。先行研究で多点制御法 (PM) を用い、再生領域内の音圧を均一化した音場を生成する研究を行った。均一化は実現できたが、抑圧性能が低下し音声内容が漏洩することが挙げられる。この問題を解決するために、本研究では環境音によるマスキング音を抑圧領域に再生する手法として、多点制御法と音響コントラスト制御法 (ACC) を比較する。2 つの手法について、環境音の再生領域と抑圧領域における音圧差の性能評価を行い、DMOS 評価法を用いて主観評価実験を行った。

#### 2.2 環境音領域のマスキング手法

図 1 に音場制御を用いたエリア再生による音漏れを考慮したマスキング手法の構成を示す。図中の S は音声信号、N は環境音、HS, HN はそれぞれフィルタを表している。図 1 (a) エリアの左側に音圧を均一化する音声領域とすることにより、エリアの右側の抑圧領域に音漏れが発生する。そのため、図 1 (b) 環境音を再生するフィルタをエリアの右側に

用いる。環境音領域のフィルタとして、図 2 に多点制御法と音響コントラスト制御法における制御点の配置図を示す。音響コントラスト制御法は、抑圧制御点と応答制御点の音響コントラストを最大化するフィルタを設計する。多点制御法と比べ再生領域と抑圧領域の音圧差が大きくなる。そのため、音声領域において環境音の不快さの軽減を期待する。

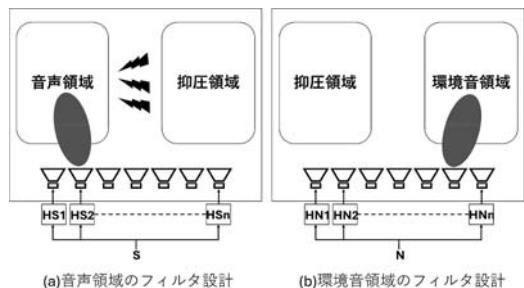


図 1 音場制御を用いたマスキングの構成

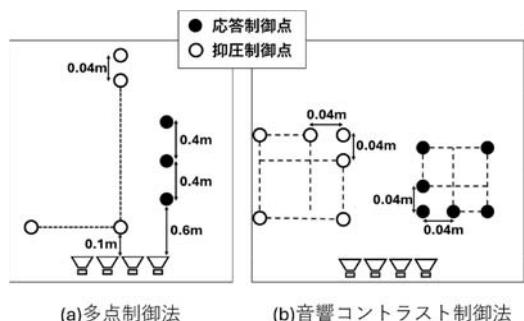


図 2 環境音を再生する制御点配置

#### 2.3 PM と ACC の性能比較

多点制御法と音響コントラスト制御法の性能比較を防音室で行った。測定点は図 3 に示すように  $y = 1.0\text{m}$  における 7 点とし、測定点 2 は応答制御点の位置である。騒音計を 5 回測定し平均した騒音レベルを図 4 に示す。音源は white 雜音を使用した。測定点 2 と測定点 5 の差は、音響コントラスト制御法の音圧差の方が  $5.16\text{dB}$  大きいことが確認できる。これにより、音響コントラスト制御法は多点制御法と比べ環境音領域と抑圧領域の音圧差において性能が良いといえる。

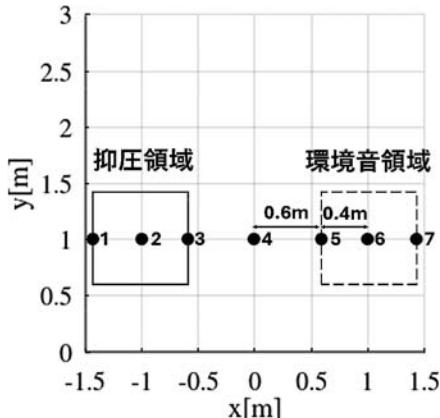


図3 環境音領域と抑制領域の測定点

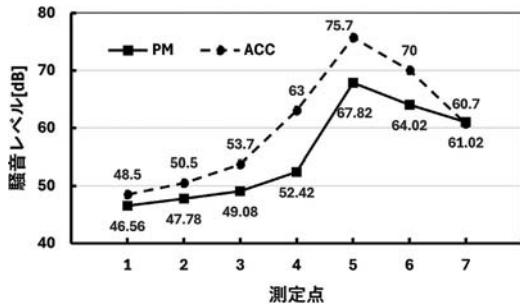


図4 防音室での音圧レベル

#### 2.4 主観評価実験

提案手法の評価として、DMOS評価法を用いて主観評価実験を行った。評価実験には、目的音声として男女各2音声、計4音声、被験者は男女計16名である。環境音は、White雑音、Hoth雑音、Multiple Talkersの計3種類とする。Multiple Talkersは目的音声とは異なる話者の会話音声を複数合成したものである。目的音声には多点制御法を適用した。評価実験は防音室で録音した音に対して聞き取り難さについて評価し、評価カテゴリは5段階（1. 聞き取れない、2. 一部は聞き取れる、3. 聞き取れる、4. 容易に聞き取れる、5. はっきりと聞き取れる）とした。不快さについても同様に5段階（1. 聞くに耐えない、2. 非常に不快である、3. 不快である、4. やや不快である、5. 不快ではない）とした。サンプリング周波数は48kHzとした。目的音声聴取位置は測定点2とし、環境音聴取位置は測定

点5とした。環境音は環境音聴取位置において漏洩した目的音声に対してSNRが-10dBとなるように調整を行った。

図5に聴取実験結果を示す。左図が聞き取り難さ、右図が不快さとなっている。結果から、聞き取り難さにおいては多点制御法と音響コントラスト制御法とともに、音声領域でDMOS値が4.5付近、環境音領域では1.5付近であることから同等の効果が確認できる。不快さにおいては図5(b) (c) 音声領域のPink雑音やWhite雑音では、多点制御法に比べ音響コントラスト制御法のDMOS値が0.5程度高いことから、不快さが減少していることが確認できる。

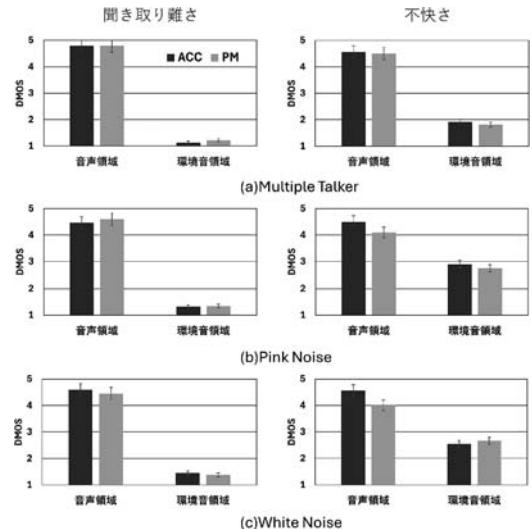


図5 主観評価実験結果

#### 3. おわりに

本研究ではエリア再生の音漏れを考慮したマスキングとして、多点制御法と音響コントラスト制御法を比較した。主観評価実験の結果、音響コントラスト制御法の方が音声領域において不快さが減少していることが分かった。

今回の学会での研究発表では多くの方々から貴重なご意見をいただき、大変参考になった。最後に、今回の学会発表にあたり、多大なご指導をいただいた片岡章俊教授に深く感謝いたします。

## 日本音響学会 第 153 回 研究発表会での発表を終えて

北山日向

Hyuga KITAYAMA

情報メディア学専攻修士課程 2 年

### 1. はじめに

2025 年 3 月 17 日から 3 日間、埼玉大学にて開催された日本音響学会 第 153 回研究発表会に参加し、「上下に分離した 2 次元スピーカアレイを用いたスポット再生に関する検討」という題目でポスター発表を行った。

### 2. 背景と目的

音場制御技術を用いて空間内の特定のエリアにのみ音を再生するエリア再生の研究が行われている。本研究では、多点制御法を用いて特に小さい範囲に再生を行うスポット再生の実現を目的としてスピーカ配置の検討を行った。まず、再生スポットを固定して、5 種類のスピーカ配置を比較した。また、再生スポットを移動する場合として、スピーカを再生スポットの位置によって使い分けることについても検討を行った。

### 3. 制御点配置

応答制御点 1 個を再生スポットの中心に配置する。また、抑圧制御点を再生スポット以外にまんべんなく配置する。なお、天井から床まで抑圧制御点を配置するとスピーカのすぐ近くにも抑圧制御点が並ぶことになり制御が難しいため、人間の耳の高さを優先し、高さ 1.25m~1.75m に制御点を配置した。

### 4. スピーカ配置

本研究では、1 次元スピーカアレイ 2 列配置 (A)、1 次元スピーカアレイ 2 列を上下に分離した配置 (B)、2 次元スピーカアレイ配置 (C)、2 次元

スピーカアレイを上下に分離した配置 (D)、スピーカの天井配置 (E) の 5 種類のスピーカ配置について検討を行った。複数の評価点から再生スポット内外での平均音圧差を求め評価指標とした。値が大きいほどスポット再生の性能が高いといえる。各配置での平均音圧差を図 1 に示す。最も性能が高いのは D の配置であった。D のスピーカ配置を図 2 に示す。

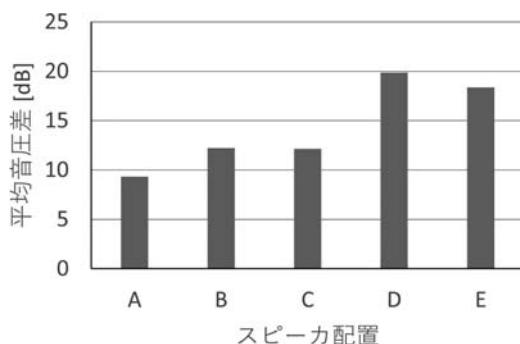


図 1 各スピーカ配置での平均音圧差

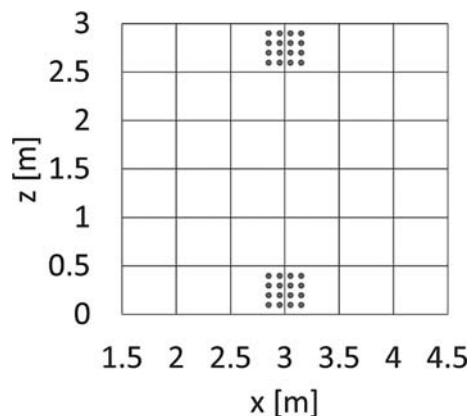


図 2 D のスピーカ配置

図 3 に、D のスピーカ配置での相対音圧グラフを示す。上のグラフは  $x=3, z=1.5$  の直線上の相対音圧を、下のグラフは  $y=2.5, z=1.5$  の直線上の相対音圧を示している。枠で囲われた部分での音圧が周囲に比べて高くなっていることがわかる。

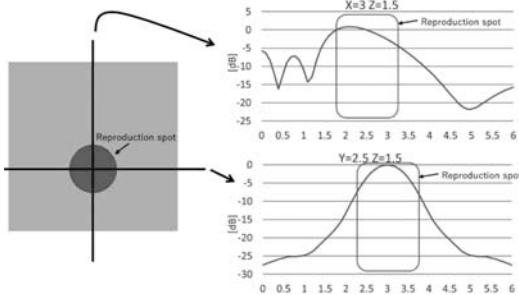


図3 配置Dでの相対音圧グラフ

## 5. 再生スポットの移動

スポット再生を行う場合、スピーカを固定した状態で再生スポットを様々な位置に設定して対応できることが望ましい。そこで、再生スポットの位置によってスピーカを使い分けることについて提案する。まず48個のスピーカを配置する。そのうちどのスピーカを使用するかを、図4に示した3パターンで検証した。中心のスピーカ32個(A)、Y座標をずらしたスピーカ32個(B)、48個すべて(C)である。4つの再生スポットの位置でシミュレーションを行い、それぞれのパターンでの再生スポット内外の平均音圧差を評価した(図5)。再生スポットの位置によって性能が高くなったスピーカ配置は異なるため、位置によってスピーカを使い分ける手法は有効であると考えられる。

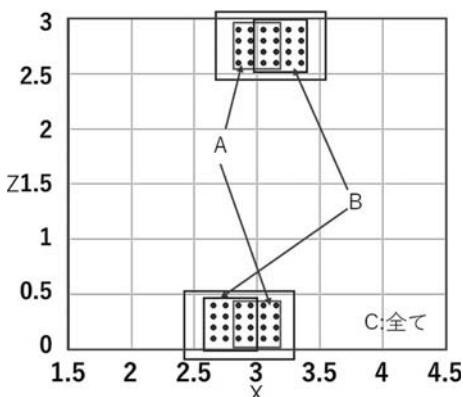


図4 スピーカの使い分けパターン

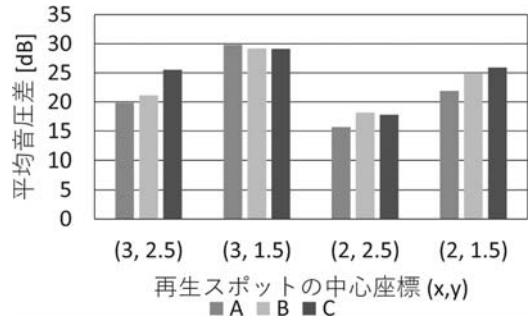


図5 各パターンでの平均音圧差

## 6. 研究のまとめ

スポット再生実現のためのスピーカ配置を検討した。スポット再生には、2次元スピーカアレイを上下に分離する配置が適していることがわかった。また、再生スポットの位置によって使用するスピーカを使い分けることも有効であるとわかった。今後の課題としては、他の位置でのスポット再生の検証や同時複数スポット再生などがある。

## 7. おわりに

ポスター発表では、他大学の学生、企業の方など多くの方に研究成果を聞いていただきました。たくさんの意見や質問をいただき有意義な時間となりました。

また、研究発表会の中で、自分の分野に関連する他の方の発表も聞くことができ、理解を深めることができました。

最後に、研究や発表に対して多大なご指導をいただきました片岡章俊教授、また、研究中多方面に渡りご支援下さった研究室の皆様にも厚く御礼申し上げます。

## アコースティックギターの サウンドホール特性再現に基づく エレキギター音変換

古 田 俊 樹

Toshiki FURUTA

情報メディア学専攻修士課程 2 年

### 1. はじめに

2025 年 3 月 17 日から 19 日にかけて埼玉大学で開催された音響学会にて本研究を発表した。

近年、自宅での音楽制作が手軽になり、家庭用 PC 用の安価な音楽制作ソフトや SNS の普及によりプロ・アマ問わず制作・プロモーションが可能になった。アコースティックギターは多くの楽曲で使用されており、録音時には雑音や騒音トラブルが課題となり、防音環境が必要である。一方、エレキギターはピックアップを用いるため雑音が入りにくく、PC での録音が容易である。

エレクトリックギター（エレキギター）でアコースティックギターの音を再現する「アコースティックシミュレーター」が存在し、これを用いれば上記の問題点を解決することができる。しかし、その音は実際に目の前で聞いたアコースティックギターの音とは異なる。本研究ではシミュレーターの再現性向上を目指し、従来のシミュレーターの作用と問題点を分析し、提案手法を主観評価によって検証する。

### 2. 従来手法の分析

アコースティックシミュレーターには既存の製品が存在するがアルゴリズムは公開されていない。そのため従来製品の動作を分析する。アコースティックギターをマイクで収録した音、エレキギターをオーディオインターフェース経由で収録した音、収録したエレキギターに従来製品を使い変換した音の 3 つを比較する。比較する音はドミソの和音で構成される C コードを 1 回弾いた音を使用し、周波数

分析を Fig. 1~3 に示す。

Fig. 1-1, 1-2 から従来手法では高周波数帯域での音圧が持ち上げられていることがわかる。

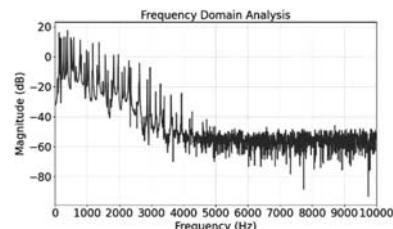


Fig. 1-1 エレキギター音

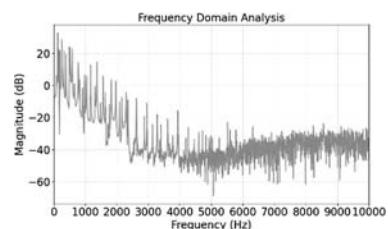


Fig. 1-2 従来手法適用音

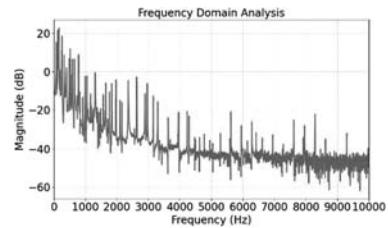


Fig. 1-3 アコースティックギター音

### 3. 従来手法の問題点

次にアコースティックギターと従来手法を比較する。Fig. 1-2, 1-3 から従来手法とアコースティックギターを比べた時、アコースティックギターは従来手法に比べ倍音が豊かに響いている。エレキギターも弦を弾いた瞬間は同じように倍音が発生するのだがすぐに減衰してしまう。倍音を再現できるかどうかがポイントになってくると考えた。

### 4. エレキギターとアコースティックギターの違い

両ギター共に弦振動があった後に本体振動が発生

する。エレキギターの場合はピックアップマイクが音を拾い電気信号に変換される。アコースティックギターの場合は中が空洞（ホロウ）になっているために反響音が発生し空気中に伝わっていく。空洞内で反射するたびに材の反射率によって特定の音が吸音される。本手法はこの特徴を再現することを目指す。

## 5. ホロウボディ再現

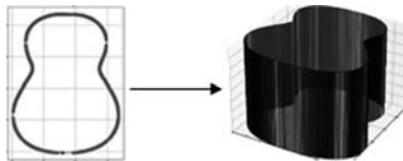


Fig. 2 ホロウボディ

Fig. 2 のようにアコースティックギターを撮影し輪郭を抽出し座標を取得し高さ情報を与え空洞空間を作成する。

イメージソース法により元の座標  $s$ , 音源  $S$ , 法線ベクトル  $a_i$ , 音源から反射面までの距離を  $d_i$ , として仮想音源  $S_{image}$  を作成。

$$S_{image} = S + 2a_i \cdot d_i \quad (1)$$

反射するたびにエネルギーを失うので反射率  $R$ , 初期エネルギー  $E_0$ , を用いて  $n$  回反射後のエネルギー  $E_n$  を計算。

$$E_n = E_0 \prod_{i=1}^n R_i \quad (2)$$

室内でのインパルス応答  $h(t)$  は, 各反射音の到達時間と強度の和で表されるので最大反射回数を  $N$  回, 反射音到達時間  $t_n$ , ディラックデルタ関数  $\delta(t)$  を用いて

$$h(t) = \sum_{n=0}^N E_n \delta(t - t_n) \quad (3)$$

このインパルス応答を畳み込むことでホロウボディ内の反響を反映させることができる。

イ内の反響を反映させることができる。

## 6. 主観評価実験

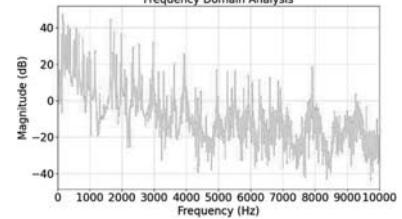


Fig. 3 提案手法スペクトラム

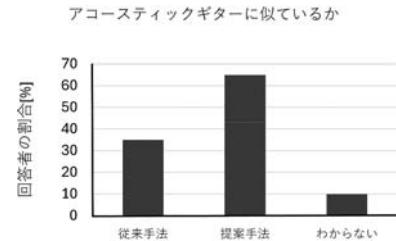


Fig. 4 主観評価

Fig. 3 は提案手法のスペクトラムである。従来手法と比較して倍音がより目立つようになっている。反射回数が増えることで強調されたと推測する。

また、アコースティックギター演奏経験者 20 人を対象に従来手法と提案手法のどちらのほうがアコースティックギターに似ているかという主観評価実験を行った。「いきものがかり」の「ありがとう」のサビを演奏したものを 2 分割し、2 つのフレーズで比較してもらい各手法ごとの回答者の割合を Fig. 4 に示す。従来手法が似ていると答えた人数の約 2 倍の人数が提案手法の方が似ていると回答した。各フレーズで回答が変わることがなかったので、コードによって再現性に差が出ることは確認できなかった。

## 7. おわりに

本学会に参加したことで貴重な意見をいただけた。また、似た研究をしている方が発表されており、交流を深めることができ、より一層自身の研究活動に意欲が沸いた。

## 第 59 回日本水環境学会年会に 参加して

田 中 駿 斗

Hayato TANAKA

環境科学コース修士課程 1 年

### 1. はじめに

私は 2025 年 3 月 17 日から 19 日にかけて、北海道大学で開催された第 59 回日本水環境学会年会に参加し、この研究発表会にて「*Moringa oleifera* の種子から塩抽出する凝集剤の能力改善」という題目で口頭発表を行い、専門家から意見を頂き、議論をする機会を頂いた。

発表以外でも関連の研究発表を聴講し、専門知識を深めることができたが、発表の内容を以下にまとめる。図については、年会の講演集と同じもの（引用）である。

### 2. 発表内容

#### 2.1 研究背景

水処理に使用される高分子系凝集剤の代替品の一つとして、熱帯植物 *Moringa oleifera*（以後「モリンガ」）の種に含まれる凝集活性成分（以後「モリンガ凝集剤」）がある。凝集剤とは、水中の懸濁物質の反発力を弱めるなどの効果を持つ添加剤で、水道水を作る際に一般に用いられる場合は、ポリ塩化アルミニウムなどが用いられることが多い。モリンガは植物であることから、通常の凝集剤と比較して原料の種の生産時に二酸化炭素を吸収することや、凝集剤が濃縮される汚泥の安全性が向上すると考えられるなどの利点がある。しかし現状のモリンガ凝集剤は、特に原水濁度が低い場合に沈殿性が悪く、また夾雜物により処理水中の有機物質濃度が増加するため実用化には至っていない。今西（2018）らは 52 回日本水環境学会年会で、ゲル化により塩水抽出したモリンガ凝集剤の精製を報告し、上の残留 DOC の増加の解決法の一つを示した。本研究では

ゲル化したモリンガ凝集剤の能力改善として、ゲルの酸処理や加熱処理、濃縮などによる能力改善に挑戦しているが、ここでは低濁水での沈殿性の改善を狙った、セルロースの添加効果、つまり凝集助剤としての利用効果を把握することを目的とした。

#### 2.2 実験方法

モリンガ凝集剤は、種子 1g を粉碎後、100ml 蒸留水に加え、マグネチックスターラーで 10 分間攪拌することで非凝集活性成分を主に抽出、孔径 3  $\mu\text{m}$  の濾紙で濾過して除いた（前洗浄）。濾紙に残った残留物（種粉末）に、凝集活性成分の抽出液として 0.3M の NaCl を 100ml 加え 10 分間攪拌、同様の濾過を行い、ろ液をモリンガ凝集剤（抽出液）とした。さらに、それを 50 倍量の水道水と混合して生成させたゲルの沈殿により濃縮し、ゲル分散液としてのモリンガ凝集剤に精製した（以後「ゲル」）。

凝集能は、水道水に良く水和させたカオリンを約 40mg/L になるように分散した懸濁液 500ml に対して、ジャーテスターを用いた凝集を行い、その後の沈殿中の上澄み濁度から下式で算出した凝集活性で評価した。凝集条件はゲル添加後の急速攪拌を 150 rpm で 2 分間、緩速攪拌を 60rpm で 30 分間行った。添加するセルロースは安全性の点から選択し、添加する分散液の濃度は 10g/L とし、最大で 100mg/L になるように、凝集剤添加時に添加した。

凝集活性 =

$$\frac{\text{凝集剤無添加での実験の残留濁度} - \text{各条件での残留濁度}}{\text{凝集剤無添加での実験の残留濁度}}$$

#### 2.3 実験結果

図 1 に、ゲルのみの能力と異なる濃度でセルロースを添加（共存）した場合の結果を示す。異なるゲル添加量と沈殿時間で測定を行ったが、ここでは懸濁液 500ml に対してゲル添加量 1ml、30 分の沈殿後の結果のみをまとめる。セルロース分散液を 2ml 以上添加すると、凝集活性を 0.15 程度（約 2 割）

改善できることが分かった。

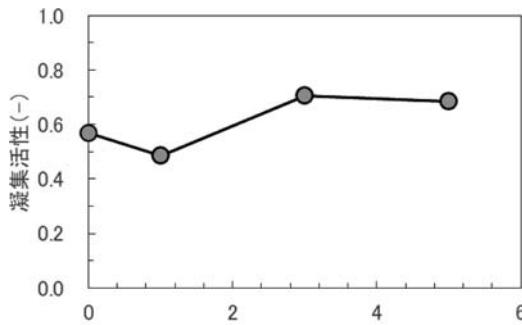


図1 セルロース分散液の効果  
(ゲル1ml: 30分沈殿後)

## 2.4 考察

セルロースを混合した際に凝集能力向上した理由を考察する。モリンガ凝集剤は有機性の物質であり、特に低濁度水の場合や緩速攪拌強度が小さい場合は、フロック径が小さくて沈殿しにくいと考えられる。またセルロースも有機物質でありカオリン粒子より低比重であるため、フロックの密度が増加するとは考えられない。よって、セルロースの添加による凝集活性の改善は、フロック径の増大（粗大化）によるものと考える。ここで、1mlの添加で凝集活性が僅かながら低下したのは、フロックの粗大化効果が無い中で、セルロース自体が濁度として検出された可能性がある。ただ、セルロースのみを低濃度で添加した場合は（モリンガ凝集剤なし）、凝集活性は低下せず（データ示さず）、少量のセルロースの共存は、それを取り込んだ粗大化しなかったフロックの沈殿速度が低いため、凝集活性が低下した可能性がある。（図2：イメージ）ただ、粗大化しても見かけ密度が同じ、あるいは低下した場合は沈殿速度が低下するとも考えられるので、適度な添加により粗大化しながらカオリンのフロックを引

き締める（高密度化）するなどの作用もある可能性は考えられる。



図2 セルロースの濃度別の影響イメージ

## 2.5 結論

セルロースの添加により、おそらくフロックの粗大化促進により、凝集能を改善できることが分かった。

## 3. おわりに

第59回日本水環境学会に参加して、時間内に自身の研究内容を要約して伝えることの難しさや、頂いた質問などから説明不足や理解不足、さらに研究内容の新たな課題が見つかり、有意義な経験となつた。モリンガの研究をされている他大学の研究者とも接することができ、自身の研究のモチベーションアップと研究の参考になった。

研究に直接関係ないところでも、学会を通して他大学の教授や学生との交流もでき、同じ学会に参加する方の研究などの話を聞いて見習うべき点や反省すべき点に気づけたため、この経験をこれから研究や発表に生かしたいと考える。

## 参考文献

- 今西 他 (2018) 热帯植物 *Moringa oleifera* の種に含まれる凝集活性成分の抽出・精製方法の改善. 52回日本水環境学会年会講演集, p31
- 奥田哲士, 西嶋渉, 岡田光正 (2006) 热帯植物 *Moringa oleifera* の種に含まれる凝集活性成分の净水処理への応用のための精製と評価, 環境工学研究論文集 43 p605-610

## 電気化学会第 92 回大会 公益社団法人電気化学会

武 田 知 也

Tomoya TAKEDA

応用化学コース修士課程 1 年

### 1. はじめに

2025 年 3 月 18 日から 20 日の 3 日間、東京都小金井市にある東京農工大学小金井キャンパスにて開催された「電気化学会第 92 回大会 公益社団法人電気化学会」に参加し、「ステンレス製の容器とボールを用いた高エネルギーボールミルにより作製した SD-SiC/C/Fe を負極活物質としたリチウムイオンハーフセルの充放電挙動」という題目にて口頭発表を行った。

### 2. 概要

#### 2.1 緒言

リチウムイオン電池の負極材料には黒鉛が用いられているが、放電比容量が 372mAh/g と限られるため、より比容量の大きい活物質の開発が求められている。Si はその候補の代表例であり、Li+イオンのホストとして作用した場合、負極において例えば Li<sub>15</sub>Si<sub>4</sub> のような化合物を形成する。この場合、放電比容量は高く 3579mAh/g と報告されているが、Si は 4 倍にも及ぶ体積膨張を起こし、サイクル特性に課題がある。一方、閃亜鉛鉱構造を有する InSb では、Li+イオンのインターラーニングにより 5.6% という低い膨張率が報告されている。閃亜鉛鉱構造における四面体サイトや八面体サイトのすべてが Li+イオンのホストとして作用した場合、同じ構造の  $\beta$ -SiC の理論比容量は 1336mAh/g と計算できる。我々のグループでは、窒化ケイ素製の容器とボールを用いた高エネルギーボールミルにより、積層不規則構造 (stacking-sequence disordered: SD) を示す SiC/C 粉末を作製し、負極材としてリチウムイオンハーフセルの充放電挙動を調べてき

た。本研究では、実用的な観点から窒化ケイ素製に替えてステンレス製の容器とボールを用いて SD-SiC/C を合成した。仕込み量より多くの粉体が回収されたため、ステンレス媒体の試料内への混入が示唆された。これをリチウムイオンハーフセルの負極活物質として用い充放電挙動を観測した結果、放電比容量はステンレス媒体の混入により増加したので報告する。

#### 2.2 実験方法

黒鉛 (G), Fe/G (33.3/66.7wt%) 粉末を活物質として、また Si, C (G), AB をステンレス製の容器とボールを用いて高エネルギーボールミル処理することで Fe 成分を含む SD-SiC/C ( : SD-SiC+C+Fe) 粉末を作製し活物質として用いた。活物質、バインダー、増粘剤が (85.0 : 7.5 : 7.5 及び 92 : 4 : 4wt %) となるように調整し、蒸留水を溶媒として攪拌脱泡処理 (攪拌 60sec, 脱泡 30sec, THINKY 製) 負電極用スラリーを Cu 集電体に被覆し、真空乾燥 (80°C, 12hrs) を行い電極の作製を行った。作製した電極を作用電極に、対極に市販の Li 箔を用いてリチウムイオンハーフセルを作製し充放電試験を行った。

#### 2.3 実験結果

Fig. 1 は、(a) Fe/黒鉛 (Fe/G) 粉末、(b) 黒鉛 (G) の充放電曲線である。(a) は 229mAh/g-(Fe+G), (b) は 299mAh/g-(G+AB) の放電比容量が観測された。その結果、各活物質の放電比容量を案分すると、Fe/G 中の黒鉛は 325mAh/g, Fe/G 中の Fe は 37mAh/g の放電比容量をもとと計算される。Fe は、単体では Li+イオンのホストとして作用しないと考えられているので、Fe と SEI などの界面で、Job-sharing 効果が影響したかもしれない。一方、SD-SiC : C = 40 : 60wt%における初期放電容量は、活物質をステンレス製の容器で作製した鉄系成分を含む系と、窒化ケイ素製の容器で作製した鉄系成分を含まない系で、それぞれ 628mAh/g-(SD-SiC+C

+ Fe) 及び 492mAh/g-(SD-SiC+C) となつた. 前者では, 鉄系成分が 16% 程度活物質に混入することにより, 活物質周辺の電子伝導性が促進され, Li<sup>+</sup>の放電反応が起こり易くなるため, 放電比容量が増加したと考えられる. Fig. 2 に 5 サイクル後の容量保持率を示した. 前者は (a) 85.2%, 後者は (b) 88.8% の容量保持率が確認された.

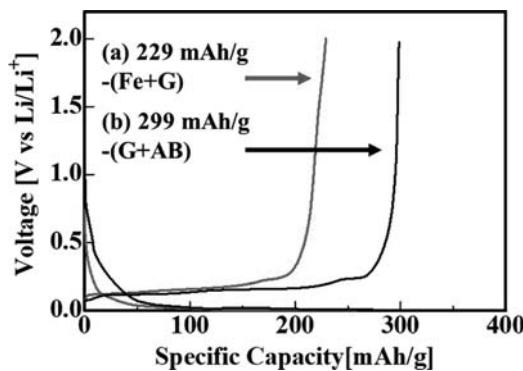


Fig. 1 Charge-discharge curves of (a) Fe : G = 33.3 : 66.7wt%, (b) G.

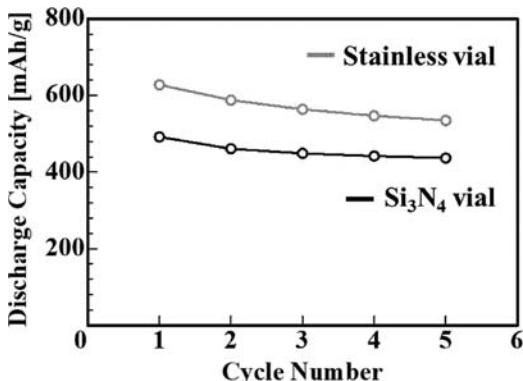


Fig. 2 Charge-discharge curves of SD-SiC : C = 40 : 60 wt %, (a) SD-SiC/C/Fe prepared by Stainless vial and ball (b) SD-SiC/C prepared by Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> vial and ball.

### 3. おわりに

今回の学会における研究発表にて貴重なご指摘やアドバイスを頂くことができた. さらに, 発表後も他のセクションでの発表を公聴し, 自分の知識や見識を増やすように努力をした. また, 他のセクションでは自信の研究とは離れている分野の発表もあったが, 積極的に理解することに励んだ. 初の学会発表だったので緊張したが, 得られたものは多いと考える.

最後に今回の学会発表を行うにあたり, 多大なるご指摘, 有益なご検討をいただいた大柳満之先生, 白井健士郎実験講師, 今井崇人実験講師, 清水吉大助教, 大柳研究室の皆様に厚く御礼申し上げます.

## 窒化ケイ素製容器とボール を用いて高エネルギーボール により作製した SD-SiC/C を 負極材としたリチウムイオンハーフ の充放電挙動

中 西 健 人  
Kento NAKANISHI  
応用化学コース修士課程 1年

### 1. はじめに

2025年3月18日から20日の3日間、東京都小金井市にある東京農工大学小金井キャンパスにて開催された「電気化学会第92回大会」に参加し、「窒化ケイ素製容器とボールを用いて高エネルギーボールミルにより作製した SD-SiC/C を負極材としたリチウムイオンハーフセルの充放電挙動」という題目にて口頭発表を行った。

### 2. 概要

#### 2.1 緒言

リチウムイオン二次電池の活物質として、理論比容量が 372mAh/g である黒鉛材に替わる高比容量の負極材の開発が盛んに行われている。Si は、その代表例として期待されており、リチウム化前後での膨張・収縮を吸収するための検討が精力的になされている。一方、閃亜鉛鉱構造を有する InSb では 5.6% という低い膨張率が報告されており、同じ構造の  $\beta$ -SiC についても、理論比容量は 1336mAh/g と従来の負極材よりも高く、多くの研究が報告されている。しかし、 $\beta$ -SiC は、半導体特性を持つが導電体ではないので、ナノ粒子の周辺に導電性の炭素材が必要と考えられる。本研究では、 $\beta$ -SiC と同様に四面体、八面体サイトがあるので Li+イオンのホストとして期待できる積層不規則構造 (Stacking-sequence disordered: SD) を持つ SiC を高エネルギーボールミルにより合成した。SD-SiC ナノ粒子を導電性炭素が覆うように活物質を作製した。ここ

では、SD-SiC/C の混合比を変えることによる比容量とサイクル特性に与える影響について調べる。その結果、すべての SD-SiC が、Li+イオンのホストとして作用しているわけではないことが示唆された。

#### 2.2 実験方法

天然黒鉛 (16.5 $\mu$ m, Shanshan technology) とシリコン (45 $\mu$ m, 99.99%, 高純度化学製) とアセチレンブロック (AB, Li-100, デンカ株式会社) を用い、高エネルギーボールミルにより過剰炭素を含む積層不規則構造型 SiC (SD-SiC) を合成した。合成した SD-SiC は、結着剤と増粘剤を重量比 85:7.5:7.5 になるように混合し、銅集電体に塗工を行い、電極の作製を行った。電池試験用ハーフセルの作製は負極に SD-SiC/C、対極に Li 箔、電解液に 1M LiPF<sub>6</sub>/(EC:DEC) = (50:50vol%) を用いた。電気化学的評価として、ポテンショガルバノスタットを用いて充放電試験を行った。

#### 2.3 実験結果

Fig. 1 は (a) SD-SiC = 100wt%, (b) SD-SiC : C = 50:50wt%, (c) MG-Graphite の充放電曲線である。(a) での SD-SiC は理論比容量の約 3.6% しか吸収しておらず、凝集した SD-SiC のほとんどは Li+イオンのホストとして機能しなかったと考えられる。SD-SiC の凝集を回避するために過剰 C を 50wt% を含んだ (b) SD-SiC : C = 50:50wt% では、354mAh/g-(SiC+C) の放電比容量を確認できた。次にその時の SD-SiC の Li+イオンのホストとしての稼働率を調べた。Fig. 1 (c) のように 100mA/g-C での MG-Graphite の充放電容量は、529mAh/g と測定された。SD-SiC : C = 50:50wt%において、まず MG-Graphite が単独で 100% の充放電が行われると仮定すると、もう一方の SD-SiC に割り振られる放電比容量は、理論放電量の 15.3% (179mAh/g) と計算された。

過剰 C を含む SD-SiC の稼働率がどのように変

化するかを調べるために、SD-SiC : C = 10 : 90wt% ~ 90 : 10wt% の 1 サイクル目の SD-SiC/C の放電比容量 (実線) と SD-SiC/C 中の C に対応する電流密度で測定した MG-Graphite の容量 (mAh/C-fraction-g) (破線) とともに Fig. 2 に示した。Fig. 2 における両矢印が、SD-SiC に割り当てられる容量となる。SD-SiC が、10wt% の時に Li<sup>+</sup>イオンのホストとして稼働率は、100% と計算された。

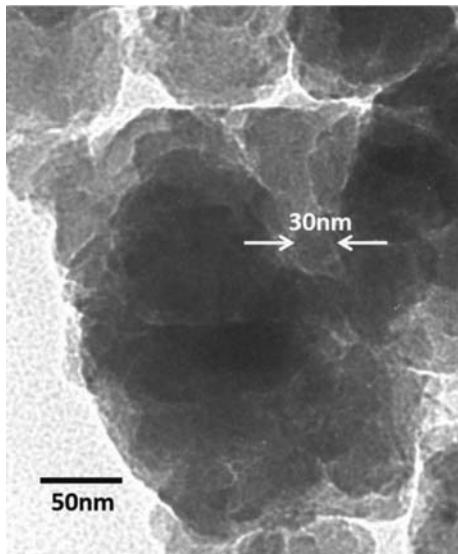


Fig. 1 TEM image of SD-SiC

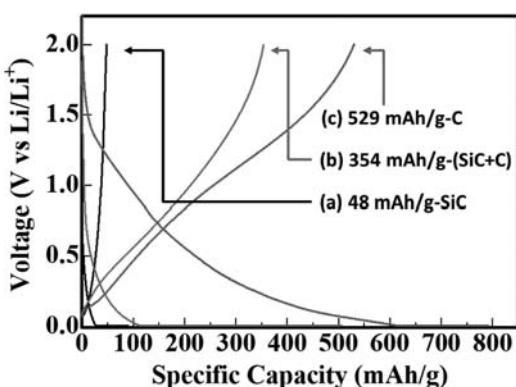


Fig. 2 Charge-discharge curve of (a) SD-SiC : C=100 wt%, (b) SD-SiC : C=50 : 50 wt%, (c) MG-Graphite.

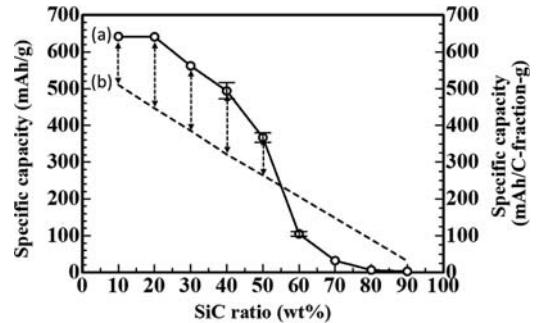


Fig. 3 Specific capacity of (a) SD-SiC/C at 100 mAh/g-SiC and (b) the capacity / C-fraction-g of MG-graphite at current densities corresponded for C in SD-SiC/C in each SiC composition.

## 2.4 結言

SD-SiC を活物質とし、導電材として AB を加えた場合、SD-SiC は凝集してしまい Li のホストとして作用しなかった。そこで過剰 C を 40wt% 加えた SD-SiC : C = 40 : 60wt% の組成を持つ活物質の場合、初期放電量は 516mAh/g となり、70 サイクル後も 261mAh/g の比容量を示した。また充放電測定と XPS の結果から、過剰 C を含む SD-SiC<sub>1.35</sub> の生成が示唆され、SD-SiC = 40 : 60wt% の組成を持つ活物質では、SD-SiC における理論比容量の 46.4% が Li のホストとして作用すると計算できた。

## 3. おわりに

今回の学会発表の準備の際に、たくさんある研究内容を改めて整理し、見直す良い機会となりました。口頭発表の際には、貴重なご指摘やアドバイスを頂くことができました。また他発表者の発表を公聴し、私が研究しているリチウムイオン電池の負極材だけでなく、電気化学全体の知見を深めることができました。

最後に今回の学会発表を行うにあたり、ご多忙にも関わらず熱心かつ丁寧なご指導、ご検討頂いた大柳満之先生、白井健士郎実験講師、今井崇人実験講師、清水吉大助教、青井研究室の長島捷悟氏、大柳研究室の皆様に厚く御礼申し上げます。

## 2025 年電子情報通信学会 総合大会に参加して

東 畑 勇 登

Yuto HIGASHIHATA

知能情報メディアコース修士課程 1年

### 1. はじめに

2025 年 3 月 24 日から 28 日にかけて東京都市大学にて開催された 2025 年電子情報通信学会総合大会における「ジュニア&学生ポスターセッション」に参加し、「深層学習を用いた店舗のジャンル推定の精度向上に向けた人物除去の検討」というタイトルでポスター発表を行った。

### 2. 研究内容

#### 2.1 研究背景・目的

近年、スマートフォンなどの端末の普及により、屋外環境において、地図アプリによるナビゲーションが利用されている。一方で、屋内施設、特に、大型商業施設におけるナビゲーションは、多層で店舗が密集している複雑性や、店舗の入れ替わりやレイアウトの変更に伴う測位インフラの更新などの要因により普及が進んでいない。この問題を解決するための手法として、文字検出を用いた現在地推定システムが提案されているが、精度や障害物、店舗名のフォントなどの要因により、誤検出のリスクがあり、補足情報の活用が求められている。

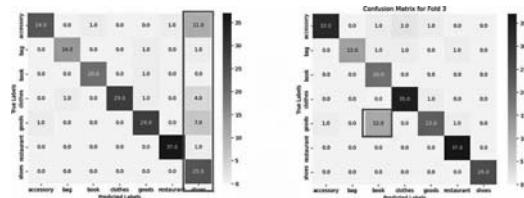
本研究では、現在地推定に用いる情報の 1 つとして、店舗のジャンル推定を提案し、その精度向上を目的とする。

#### 2.2 従来手法

学習済みの画像認識モデル ResNet-50 [2] を店舗の外見画像のデータセットで転移学習をさせ、店舗のジャンル推定を行う。データ量が少ないため、k-分割交差検証を行う。また、予備実験において、画像に人物が含まれると分類精度が低下する問題が

確認され、複数のクラスの同じ特定クラスへの分類間違いの偏る課題があった（表 1 左）ため、従来手法では、YOLOv5 を用いて人物を検出し、検出部分を塗りつぶすことで人物を除去した。しかし、人物を除去しない場合よりも少しだけ精度が落ち、不安定性が見られた。これらの結果の原因としては、人物が写るデータ量の少なさと人物除去のために黒く塗りつぶした領域が影響したと考えられる。混同行列では、人物除去しない場合の課題を解決できず、加えて表 1 の右側のように特定クラスが特定クラスに間違える課題が発生した。

表 1 従来手法における混同行列



#### 2.3 提案手法

そこで、本研究では、画像データの人物を検出するだけでなく、その領域に対してインペインティングを用いることで自然な人物除去が可能になり、従来手法の課題を解決できると考えた。

具体的な手法を以下に示す。YOLOv5 で画像データ中の人物を検出し、その領域をマスク化する。学習済みのインペインティングモデルを使用し、マスク部分をインペインティングすることで人物が写らない画像を再現する。これによって作成されたデータセットで ResNet-50 を転移学習する。

#### 2.4 実験

データセットを LaMa と DeepFill v2 でインペインティングし、それぞれのモデルで作成されたデータを用いて ResNet-50 を転移学習する。

交差検証で生成される各モデルの訓練時及び検証時の平均正解率に加え、各モデルの最終エポックでの検証時の混同行列で評価する。

## 2.5 インペインティング例

使用した2つのインペインティングモデルの出力結果の比較を行う。

両モデルともマスクが小さいと自然なインペインティング結果が得られ、差はあまり見られなかった。一方で、マスクが大きいと両モデルとも歪みが目立った。



図1 成功例 (元画像, DeepFssill v2, LaMa)



図2 失敗例 (DeepFill v2, LaMa)

## 2.6 結果

提案手法における訓練時及び検証時の平均正解率は、従来手法と比べて向上は見られなかった。(表2)

表2 交差検証で生成されるモデルの正解率 (%)

	人物除去なし	塗りつぶし	LaMa	DeepFill v2
訓練時	94.66	95.69	94.09	94.73
検証時	83.72	85.17	88.69	85.53

一方で、混同行列を見ると、提案手法では複数のクラスの同じ特定クラスへの分類間違いの偏りが緩和された。(表3左)しかし、特定クラスが特定クラスに間違える課題は解決しなかったのに加え、

(表3右、表4左) LaMa のデータセットを使用した学習の結果では、間違いやすいクラスが存在するモデルが生成された。(表4右)

表3 DeepFill v2 の混同行列

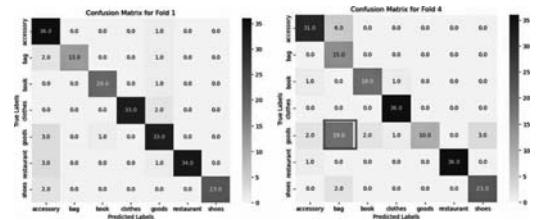
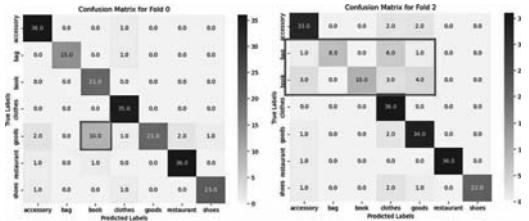


表4 LaMa の混同行列



## 2.7まとめ

提案手法による精度の向上が見られなかったため、人物による分類の影響を分析する必要があると考える。

一方で、提案手法により、複数のクラスの同じ特定クラスへの分類間違いの偏りの減少が見られた。しかし、特定クラスが特定クラスに間違える課題は解決しなかったのに加え、LaMa のデータセットを使用した学習の結果では、間違いやすいクラスが存在するモデルが生成された。

## 3. おわりに

90分間のポスター発表で他大学の方に様々な意見や質問をいただきました。

最後に、今回の発表を行うにあたり、ご指導を頂いた菅谷教授、及び、助言や意見を頂いた菅谷研究室の皆様に感謝申し上げます。

## 電子情報通信学会 総合大会 ジュニア&学生ポスターセッション に参加して

竹内 槟作  
Shinsaku TAKEUCHI  
知能情報メディア課程 4年

### 1. はじめに

2025年3月24日から28日にかけて東京都市大学世田谷キャンパスにて開催された、電子情報通信学会総合大会におけるISS特別企画「ジュニア&学生ポスターセッション」に参加し、「展示物検出による自己キャリブレーション型ナビゲーションシステムの検討」というタイトルでポスター発表を行った。

### 2. 発表内容

#### 2.1 研究背景・目的

現在、屋内でのナビゲーションシステムの手法が様々開発されている。その一つに、外崎らのPDRと屋内の案内板地図を用いた研究<sup>[1]</sup>が存在する。この手法は粒子フィルタを用いたマップマッチングによる推定補正を行うが、時間が経つにつれてPDR (Pedestrian Dead Reckoning) の累積誤差が大きくなりズレが大きくなってしまう。先行研究には現在地をタップし直すことで絶対位置の補正を行う機能があるが、初めて利用する屋内で正確な位置を把握してタップすることが難しいといった課題点がある。

そこで本研究ではこのような課題を解決する手段として、物体検出による自己キャリブレーション型ナビゲーションシステムの検討をするとともに、博物館や展示場などの使用を想定した検出物体の紹介機能を実装した。(図1)



図1 提案手法の流れ

#### 2.2 システム概要

本研究で提案するナビゲーションシステムは、展示物の検出と位置推定を通じて、ユーザの現在地を自動でキャリブレーション（補正）することを目的としている。特に博物館や展示会場のような環境では、空間内に多数のランドマーク（=展示物）が存在することが多く、これらを活用することで位置推定の基準点として機能させることができると考えた。展示物の検出および位置推定にはAndroid端末を用い、アプリケーションはAndroid Studioによって開発した。アプリには、事前に学習済みの物体検出モデルを組み込んでおり、スマートフォンのカメラで撮影された画像をもとに、端末上でリアルタイムにモデル推論を実行する構成となっている。物体検出モデルには、YOLOv8が提供するCOCOデータセットで事前学習された“yolov8l.pt”を採用し、精度と処理速度のバランスを考慮してファインチューニングを施した。さらに、Android端末上でのリアルタイム推論を実現するために、本モデルをTensorFlow Lite形式に変換して組み込んでいる。本システムでは、会場管理者があらかじめ「展示物のデータベース」および「物体検出モデル」をアプリに登録しておき、ユーザはそれらのデータをもとに展示物情報を取得できる設計となっている（図2）。なお、データベースにはSQLiteを使用しており、展示物のタイトル、作者、説明文、絶対位置、およびラベル情報が含まれる。これにより、ユーザは展示物の検出と同時に、その展示物に関する詳細情報を即座に取得できるようになる。

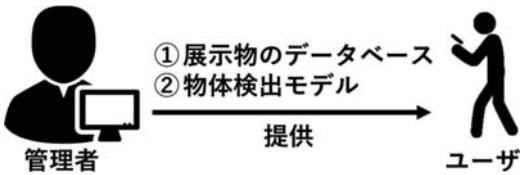


図2 管理者がユーザに提供するもの

### 2.3 実験

本手法の有用性を検証するため、既存手法であるタップによるキャリブレーションとの比較実験を行った。被験者は8人で、検証場所は龍谷大学7号館1階で行った。アンケートの偏りを防ぐため、被験者のうち4名には①既存手法②提案手法の順で試用、残りの4名には②→①の順で試用してもらった。

検証後、以下の4項目について、5段階評価でアンケート実施をした。

- A) キャリブレーション手法は直感的でしたか。
- B) 位置が正確になったと感じますか。
- C) キャリブレーションの満足度はどうでしたか。
- D) 使いやすいと感じましたか。

統計手法には、各項目についてT検定を用いて有意差の検証を行った。

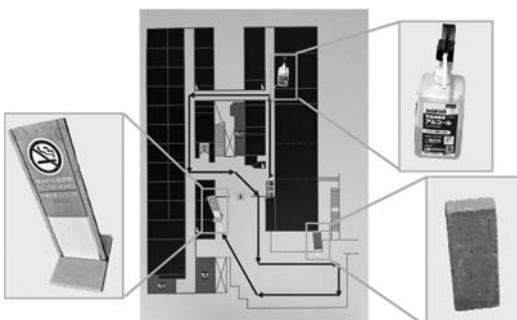


図3 実験環境 & 認識可能物体

### 2.4 結果・考察

アンケートの結果から、直感性（A）と使いやす

さ（D）において、提案手法が既存手法（タップ手法）に比べて有意に優れていることが統計的に示された。これにより、提案手法は初めての場所でもユーザにとって操作しやすいキャリブレーション手法として有望であると考えられる。

一方で、位置の正確性（B）および満足度（C）においては、統計的に有意な差は見られず、精度面での改善の余地があることが明らかになった。特に自由記述によるフィードバックからは、「物体検出までに時間がかかる」「キャリブレーション後の移動量・移動方向が補正前と大きく異なるときがある」「キャリブレーションできる場所が限られており、補正したいときにできない」といった課題点が見つかった。

今後の展望は、キャリブレーションプログラムの見直しによる補正精度の向上に加えて、物体検出アルゴリズムの最適化による推論速度の向上を目指していく。また現在は管理者の事前準備が負担であるため、事前準備の負担軽減にアプローチしていく。

表1 各アンケート項目の有意差検証結果

項目	p値（両側）	有意差の有無
A	0.0199	有意差あり
B	0.7627	有意差なし
C	0.3807	有意差なし
D	0.0112	有意差あり

### 3. おわりに

最後に、今回の発表を行うにあたり、ご指導を頂いた菅谷教授、及び、助言や意見を頂いた菅谷研究室の皆様に感謝申し上げます。

#### 参考文献

- [1] Kento Tonosaki, Yoshihiro Sugaya, Tomo Miyazaki, and Shinichiro Omachi. Improvement of map matching for indoor navigation exploiting photo of information board. In Int. Conf. on IPIN, 2016.

## 2025 年電子情報通信学会 総合大会に参加して

竹山 謙

Ryo TAKEYAMA

知能情報メディア課程 4 年

### 1. はじめに

2025 年 3 月 24 日から 28 日にかけて東京都市大学世田谷キャンパスにて開催された、2025 年電子情報通信学会総合大会に参加し、「歪みのある屋内マップにおける部分縮尺の推定とナビゲーションの基礎的検討」という題目でポスター発表を行った。

### 2. 研究内容

#### 2.1 背景・目的

屋内ナビゲーションは、低コストでの位置推定が難しく、屋外ナビゲーションと比較して普及が進んでいない。この問題に対して、コストを抑えた手法が提案されている。PDR (Pedestrian Dead Reckoning) によって歩行者のステップ毎の歩幅と移動方向を算出し、これらの情報と施設に設置されている案内板地図を撮影、解析することで得られる通路領域情報を用いて、粒子フィルタによるマップマッチングを行い、地図上での位置推定を行う。しかし、地図の縮尺に歪みがある場合に誤推定が生じてしまう。曲がり角で多くの粒子が消滅し、粒子の縮尺分布が偏ることで、地図の様々な縮尺の変化に対応できないためである。粒子の縮尺分布に偏りが生じる前に粒子の縮尺制御を行う手法<sup>[1]</sup>では、一部で誤推定の軽減が見られるが、あらゆる歪みに対応できているわけではない。

本研究では、地図の縮尺の歪みによる誤推定の軽減を目的として、複数回の位置推定試行で収集される地図の部分縮尺情報を利用し、方向転換後に粒子の縮尺補正を行う位置推定手法を提案する。

#### 2.2 提案手法

提案手法における粒子フィルタによる推定は、ベースとして座標に加えて縮尺と方位の情報を持つ粒子で推定し、多くの粒子が通路領域外を推定した場合に粒子の拡散を行う。

また、PDR による方向転換情報を元に、地図の部分縮尺情報の収集を行う。部分縮尺情報は、方向転換時に検出したステップと地図上の曲がり角を対応づけた後に、2つの曲がり角間の実際の移動距離と地図上の距離の比率から求める。曲がり角の対応付けは、歩行者の方向転換時の推定位置と各曲がり角間の距離情報に加え、過去の推定位置から算出される進行方向情報を用いて、条件を満たした場合のみを行う。

そして、複数回の位置推定試行により、各曲がり角間の縮尺値を収集し、尤もらしい縮尺値を推定して部分縮尺マップに保存する。複数の試行で得られる縮尺値の中には、PDR で算出した移動量と実際の移動量が異なるために生じる、外れ値が含まれていることがある。そのため、ロバスト推定アルゴリズムの一種である RANSAC (Random Sample Consensus) を用いることで、外れ値の影響を軽減した縮尺値の推定を行う。

位置推定では、方向転換を検出した際に算出した縮尺と方向転換後の進行方向、および部分縮尺マップから算出される曲がり角での縮尺の変化情報を用いて、粒子の縮尺の一部を予測される縮尺に置き換える処理を行う。これは、粒子の地図上での移動量を調節する処理であり、実際の移動量に対する進みすぎやもたつきを防止する。

#### 2.3 実験結果と考察

元の地図画像のアスペクト比を変更することで縮尺に歪みを加えた 2 つの地図を使用して、それぞれ 100 回ずつ位置推定シミュレーションを行った。DTW (Dynamic Time Warping) に基づく誤差の平均値を評価値とした、提案手法と従来手法<sup>[1]</sup>での実験結果をそれぞれ表 1、表 2 に示す。また、評価値

に大きな差が見られた、提案手法と従来手法での典型的な推定例を、それぞれ図1、図2に示す。推定例でのルートは、時計回りである。

表1 横方向に歪んだ地図での平均誤差 [pixel]

	Route 1	Route 2	Route 3	Route 4
提案手法	10.60	20.86	22.77	9.69
従来手法	18.14	21.31	27.94	9.00

表2 縦方向に歪んだ地図での平均誤差 [pixel]

	Route 1	Route 2	Route 3	Route 4
提案手法	10.82	9.45	11.86	12.32
従来手法	10.36	9.53	12.18	13.39

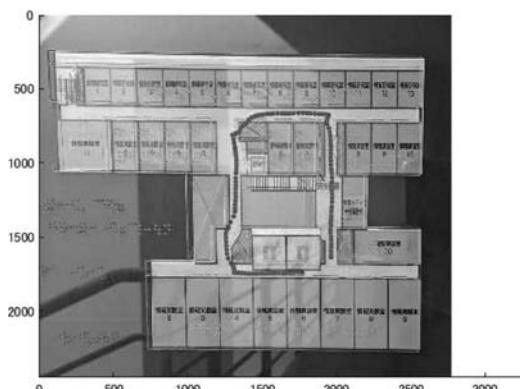


図1 評価値 10.64

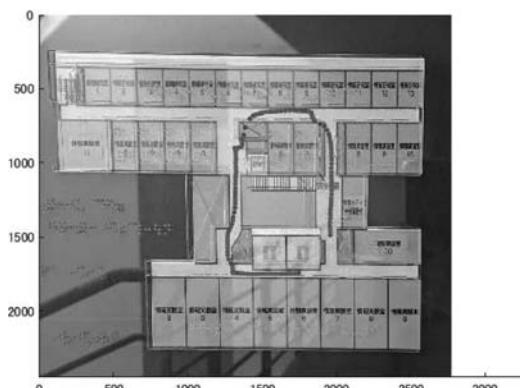


図2 評価値 16.43

表1と表2から、一部で誤差の平均値が大きく改善され、多くの場合で僅かに平均値が改善されたことが分かる。図1と図2から、曲がり角付近での推定は提案手法がより適切な位置を示していることが読み取れる。また、終了位置の推定結果においては大きな差が見られる。従来手法では、曲がり角付近で消滅すべき移動量の小さな粒子が多く生存し、もたついために誤推定が生じていると考えられる。一方で、提案手法では不適切な移動量の粒子を消滅させ、生存した粒子の移動量を調節することで地図の縮尺の歪みに対応できていると考えられる。

## 2.4 まとめ

地図の部分縮尺情報を活用した、方向転換後の粒子の縮尺制御により、位置推定の安定性が向上した。しかし、全ての歪みと経路の組み合わせで評価値の大きな改善があったわけではないため、部分縮尺情報の活用方法について検討の余地を残している。また、様々な形状の地図や複雑な移動パターンでの実験により、提案手法の汎用性について評価する必要がある。

## 3. おわりに

今回のポスター発表を通じて、多くの方から意見や質問を頂き、自身の研究を見直す貴重な機会となった。得られた知見を活かし、今後の研究活動により良い成果をもたらすよう努めていきたい。

最後に、今回の発表を行うにあたり、ご指導いただいた菅谷至寛教授、ならびに助言や意見を頂いた菅谷研究室の皆様に感謝申し上げます。

## 参考文献

- [1] 本田大智，“縮尺に歪みを持つ地図画像を用いたナビゲーションに関する研究”，東北大学大学院 修士学位論文, 2022.

## TJMW2024 優秀発表賞 特別セッションに参加して

山木 健弘  
Takehiro YAMAKI  
電子情報通信課程 4年

### 1. はじめに

2025年3月24日から28日にかけて東京都市大学世田谷キャンパスにて開催された電子情報通信学会総合大会 Thailand-Japan Microwave (TJMW) 2024 優秀発表賞特別セッションに参加した。本セッションは昨秋タイのバンコクで開催された Thailand-Japan Microwave 2024 の Young Engineers Session において Best Presentation Award 受賞者 (タイから2名, 日本から2名) の研究成果及びタイの教員1名によるタイにおけるマイクロ波関連研究の最新動向を紹介するセッションとなっている。

### 2. 研究内容

#### 2.1 研究概要

近年、ワイヤレスで電力を供給できる夢のような次世代システムの研究開発が行われている。私たちは高周波エネルギーを直流エネルギーに変換するレクテナと呼ばれる部品に注目した。今回はレクテナで使用する整流器について、多くの周波数に対応できる広帯域整流器の製作を行った。広帯域整流器実現のため、多段マッチング技術に着目した。比較対象として教科書等でも取り上げられる2素子マッチングの整流器も製作し、特性を比較した。

#### 2.2 理論

はじめに整流回路のおおまかな動作について説明する。高周波信号が入力端子から入力され、マッチング回路を経て、直流電流をカットするコンデンサを通り、ダイオード部に通過する。この時、ダイオード部を通過する高周波信号はダイオードの整流作用により DC 電力に変換される。その後平滑コ

ンデンサを経てリップルを除去した DC 電力は、負荷抵抗に流れ込み消費される。本稿では、入力インピーダンスと信号源の  $50\text{ohm}$  とのマッチングをとる回路を設計した。インピーダンスマッチングを行うことで反射係数を抑え、電力の伝送効率を最大化することが可能である。

#### 2.3 提案する整流回路

設計した整流回路を図 1 に示す。(a) はマッチングをとる際に 2 素子でマッチングをとった整流回路である。(b) は、多段マッチング技術を用いた整流回路であり、マッチングをとる際 LC 素子を 6 素子用いた。マッチング回路は集中定数設計を行うことで小型化した。また、整流器コア回路にはダイオードを 2 つ用いた倍電圧整流回路を採用した。

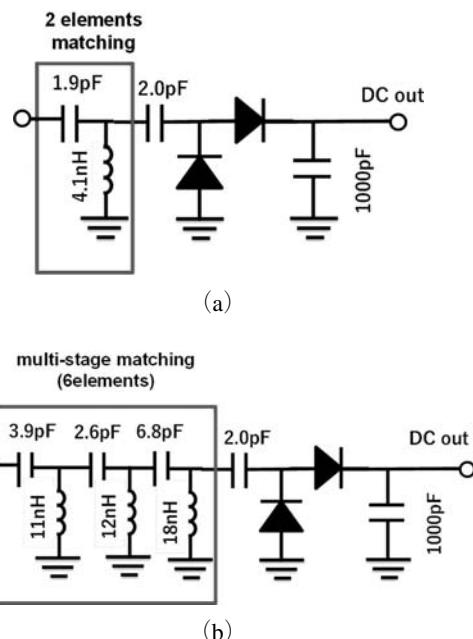
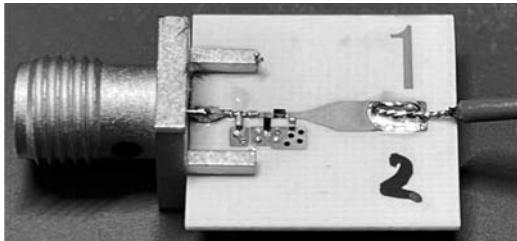


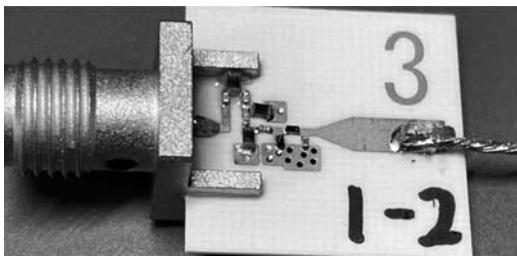
図 1 提案する整流回路図. (a) 2 素子マッチング. (b) 多段マッチング.

図 2 に実際に試作した整流器の写真を示す。基板の大きさは  $15\text{mm} \times 13\text{mm}$  である。これらのチップ部品は、はんだペーストを用いて実装した。整流器に用いた基板は厚さ  $0.5\text{mm}$  の ROGERS 材 4350B

である。高周波信号入力端には SMA コネクタを配置し、DC 出力端にはリード線をはんだ付けした。



(a)



(b)

図 2 試作した整流器の写真. (a) 2 素子マッチング. (b) 多段マッチング.

## 2.4 測定結果

RF-DC 変換効率が 50% 以上の帯域を周波数帯域とし、それを周波数帯域の中心周波数で割った数値を比帯域と定義する。図 3 より、二素子でマッチングをとった場合、最大比帯域は入力電力 22dBm、DC 負荷抵抗 500ohm となる条件下で周波数帯域が 1.7GHz から 9.9GHz となり、比帯域は 141.3% であ

った。多段マッチング回路を用いた場合、最大比帯域は入力電力 25dBm、DC 負荷抵抗 200ohm となる条件下で周波数帯域が 1.1GHz から 10.7GHz となり、比帯域は 162.7% であった。

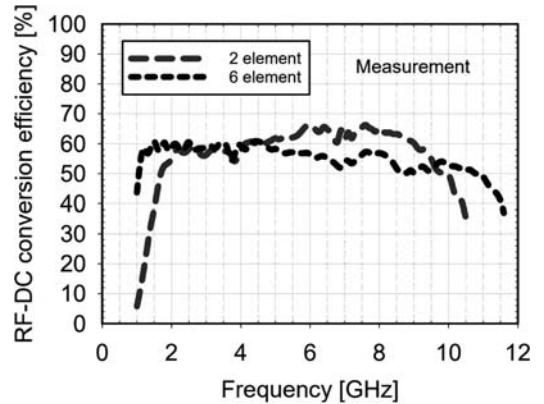


図 3 提案した整流器の周波数特性

## 3. むすび

今回は電子情報通信学会総合大会 Thailand-Japan Microwave (TJMW) 2024 優秀発表賞特別セッションに参加した。講演時間は約 25 分あり、発表 20 分質疑応答が 5 分といった構成になっている。今回は海外からの参加者も多くいらしたので、英語を用いて自身の研究成果を発表した。また、質疑応答においても今後の研究の発展につながる貴重なご意見やご質問をいただきいた。それらを踏まえ、さらなる検討を重ねていきたい。

## (Bi, La)<sub>4</sub>Ti<sub>3</sub>O<sub>12</sub> 膜の誘電率の周波数依存性と FeTFT の特性評価

川崎 優貴

Yuki KAWASAKI

電子情報通信課程 4 年

### 1. はじめに

私は、3月24日～26日にかけて奈良公園バスターミナルで開催された「International TFT Conference 2025」で「Frequency dependence of dielectric constant of (Bi, La)<sub>4</sub>Ti<sub>3</sub>O<sub>12</sub> films deposited by RF magnetron sputtering」というタイトルでポスター発表を行った。

### 2. 緒論

強誘電体を薄膜トランジスタのゲート絶縁膜に用いた強誘電体ゲート薄膜トランジスタ (FeTFT; Ferroelectric Thin Film Transistor) は、現在実用化されているキャパシタ型よりも微細化が可能であり、高速・低消費電力で動作するため、次世代の不揮発性メモリとして有望である。TFT で使われるチャネル層の酸化物半導体としては特に In-Ga-Zn-O (IGZO) を用いた研究開発が注目されている。しかし、In はレアメタルであり、資源枯渇、安定供給、毒性などの様々な問題がある。本研究では、In に近い電子軌道をもつ Sn を用いた Ga-Sn-O (GTO) をチャネル層として使用した。ゲート絶縁膜に、強誘電体であり疲労特性に優れ、薄膜化しても特性劣化が少ない (Bi, La)<sub>4</sub>Ti<sub>3</sub>O<sub>12</sub> (BLT) を使用した FeTFT を作製し、評価した。また、TFT の性能の一つである移動度を算出する際に必要なパラメータである絶縁層の膜誘電率の周波数依存性についても調査を行った。

### 3. 実験方法

Si 基板上に RF マグネットロニンスパッタリング法にて BLT 膜を投入電力 40W、成膜時間 90min、成

膜圧力 2Pa、酸素流量比を 20 : 1sccm で成膜した。次に 550°C、650°C、750°C で各 60 分ずつの 3 段階のアニールを行い、BLT 膜を結晶化させた。続いて BLT 膜上に GTO 膜を RF マグネットロニンスパッタリング法により堆積した。成膜条件は投入電力 60W、成膜時間 1min、成膜圧力 1Pa、酸素流量比 Ar : O<sub>2</sub> = 20 : 1sccm で成膜した。引き続き真空蒸着法を用いて電極 Au を GTO 膜上に蒸着し、最後に 350°C のポストアニールを施すことによって FeTFT 素子が完成した。特性評価には半導体パラメータアナライザーを用い伝達特性を調べた。BLT 膜の結晶構造の評価には、XRD 解析を用いた。さらに、GTO 膜を成膜する前にソーヤタワー回路を用いた分極-電界 (P-E) 測定により BLT 膜が強誘電体であることを確認し、BLT の膜誘電率の周波数依存性を調べた。

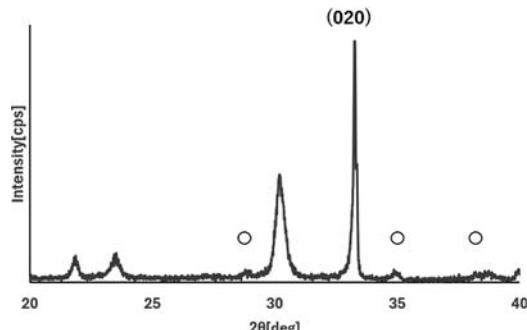


図 1 BLT 膜の XRD 測定結果

図 1 の BLT 膜の XRD 測定結果では、c 軸配向ではなく、(020) の a・b 軸方向に配向しており、図 1 中の○で示されている箇所が常誘電体相を示すピークであるが、顕著なピークは確認されなかったことから、良好な BLT 膜が成膜されたことが確認できた。

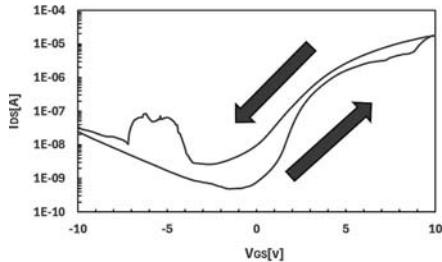


図 2 FeTFT の I-V 測定結果

移動度は  $1.03 \text{ [cm}^2/\text{Vs]}$  と高移動度の実現には至らなかったが、反時計回りのヒステリシスを確認することができたため、FeTFT として動作することが確認された。

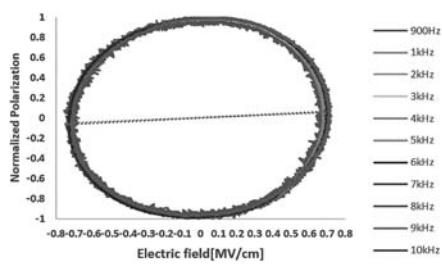


図 3 最大値で規格化した P-E 特性

図 3 の最大値で規格化した P-E 特性結果では全ての測定条件において、リーク電流が大きい際に見られる橢円形が見られたことから今回作成したデバイスのリーク電流が大きいことが確認された。

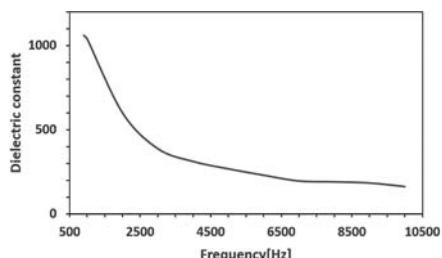


図 4 BLT 膜の誘電率の周波数依存性

BLT 膜の誘電率の周波数依存性は印加周波数が高くなるにつれて、比誘電率の値が小さくなる挙動が確認された。この結果は固体反応法と溶融塩法で成膜した BLT でも同様の報告がされており、RF マグネトロンスパッタリング法でも同様の挙動を確

認できた。

#### 4. 考察

FeTFT 特性の挙動の考察としては、XRD の測定結果より、BLT の結晶構造は良かったが、低投入電力による膜厚の減少によりリーク電力が増加したため、移動度が低く、反時計回りのヒステリシスが確認できる FeTFT 特性になったと考えられる。低周波領域では空間電荷の分極が局所的になるため、分極が安定せず比誘電率が高くなるためであり、高周波領域では電気双極子が電界の方向に向き、電気双極子による分極が支配的になるため、比誘電率の値が低下し、一定の値に近づくためであると考えられる。また他の成膜方法でも同様の挙動が確認されていることから、リーク電流は観測された挙動に大きな影響を与えることはないと考えられる。FeTFT の作成を行い、移動度の算出を行う際には、絶縁層の膜誘電率の算出が必要となるため、適切な印加周波数を設定する必要があり、より低周波領域でも安定した比誘電率となる成膜条件の検討をしていくべきである。

#### 5. 結論

本研究で作成した、強誘電体層 BLT を用いた FeTFT において強誘電体挙動である反時計回りのヒステリシス特性を確認できたが、高移動度の実現には至らなかった。また RF マグネトロンスパッタリング法で成膜した BLT 膜の比誘電率は周波数が高くなるにつれ低下していくことが確認された。今後はより低周波領域で比誘電率が安定し、リーク電流が少ない BLT の成膜条件の最適化をする必要がある。

#### 6. おわりに

本研究は、木村睦教授のご指導のもと進められたものであり深く感謝の意を表します。発表を通じ国内外の人と議論することで知見を広めることができ、有意義な時間を過ごせた。

## Investigation of a Composite Model in the Operation of a Three-Layer GTO Memristor

堀内 厚志

Atsushi HORIUCHI

電子情報通信課程 4年

### 1. はじめに

2025年3月24日に奈良先端科学技術大学院大学で開催された「ITC2025」に参加し、「3層GTOメモリスタの動作における複合モデルの検討」という題名で発表を行った。

本研究では、メモリスタを用いて神経回路網のシナプスを再現するデバイスを提案する。RFスパッタリングで成膜した酸化物半導体GaN-Sn-O(GTO)を用いてデバイスを作製し、そのI-V特性と再現性を調べた。理想的には、測定を繰り返しても特性が安定していることが望ましい。今回の実験では、一度はヒステリシス特性を失ったデバイスが、測定を続けるとヒステリシス特性を回復した。そのメカニズムに関して、今回考察を行った。そのうえで、このデバイスは2つのモデルに基づいて動作することが分かった。電気化学的メタライゼーション(ECM)と価数変化メモリ(VCM)である。このモデルは、今まで一つの動作モデルでしか考えられていない。GTOメモリスタでは、画期的な考えである。また、今回の実験で得られたデータは、酸素空孔とフィラメント形成の移行が制御可能である。このことにより、今後のデバイス設計においても、ヒステリシス特性やスイッチング挙動をより精密に制御できる可能性が見出された。

本研究は、低消費電力でロバスト性のある人工知能デバイスの開発に取り組むことである。将来的には、並列処理が可能で電力消費を抑えた神経回路システムが実現され、人間の脳より近い学習能力を持つデバイスの開発が期待される。このデュアルモード動作は、シナプス・エミュレーションのためのメ

モリスタのメカニズムに貴重な洞察を与るものになっている。

### 2. デバイス作成手順

真空蒸着法を用いて、下部電極としてガラス基板上に幅0.8mmのAuを10列、メタルマスクを用いて5分間蒸着した。次に、RFマグネットロンスパッタリングでa-GTO薄膜(Ga:Sn=1:3)を成膜した。アルゴン流量は3層とも20sccmに固定し、酸素流量は0, 5, 20sccmで変化させた。最後に、真空蒸着法により、メタルマスクを用いて、Au上部電極を横切るように、幅0.8mmのAlを10列、5分間蒸着した。デバイスのイメージと画像を図1と図2に示す。

Al
GTO (20:0)
GTO (20:5)
GTO (20:20)
Au

図1 デバイス断面図  
(Ar流量:O<sub>2</sub>流量)



図2 デバイス写真

このデバイス構造では、酸素流量比を変化させた3層GTO成膜を採用することで、抵抗状態の変調が可能である。この場合、下層に向かって酸素流量を増加させることで、抵抗値が徐々に増加し、電圧上昇に伴う電流の急激な上昇を防ぎ、高抵抗状態(HRS)を維持することができる。さらに、より抵抗の高い層を組み込むことで、低抵抗状態(LRS)とHRSの差を広げ、ヒステリシス特性のスイッチング比を高める狙いもある。

### 3. 結果・考察

メモリスタにおけるヒステリシス特性の動作原理を詳しく解析した。1回目および15~18回目のヒステリシスループの挙動を観察した結果、フィラメント型の動作原理によるヒステリシス特性が現れていることが確認された。一方で、他の測定サイクル

においては、電子の移動が支配的な動作が観察され、電子移動型の動作原理に基づくヒステリシス特性が示した。異なる動作原理が、同一デバイス内で交互に観測されたことは興味深く、デバイス内でのフィラメント形成と電子移動が異なるタイミングや条件で優勢になることを示唆しており以下で説明する。ECM と VCM の複合動作原理を図 3 にまとめ、以下に説明する。図 3A はデバイスの初期状態です。今回の条件では、最上層は高濃度の酸素空孔を有し、最下層は酸素イオンが多く存在する。図 3B では、上部電極に正電圧を印加すると、酸素イオンが上部電極に向かって移動し、Al 層と上部層の酸素空孔に蓄積する。図 3C において、上部電極に正電圧を印加すると電界が発生し、 $Al^+$  イオンに力が働く。これにより、 $Al^+$  イオンが下側に移動し、導電性のフィラメントが形成され、低抵抗状態となり、電流が急激に増加する。図 3D において、上部電極に負電圧を印加すると、 $Al^+$  によって形成された導電性フィラメントが破壊され、上層に蓄積された酸素イオンが下層に移動し、デバイスがリセットされる。このデュアルモード動作は、シナプス・エミュレーションのためのメモリスターのメカニズムに貴重な洞察を与える。

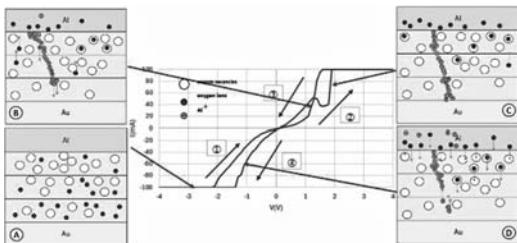


図 3 1回目 I-V 测定結果とその動作原理

図 3 では、ECM と VCM の複合動作原理を説明した。今回は、フィラメント接合しない状態の VCM の時の動作原理を説明する。

図 4 は、8回目の動作原理である。複合型とは異なり、プラスの電圧では、低抵抗状態から始まり、高抵抗状態になるような抵抗変化を行っている。

1. 負電圧をかけたときに、上層にある酸素空孔が

飽和している層を通過し、酸素イオンが下層に流れる。

- 正電圧をかけることにより、下層の酸素イオンが上層に上ることにより、下層に酸素イオンがなくなり低抵抗状態になる。
- そして酸素イオンが上層と Al 層に溜まり上層の酸素空孔が少なくなることにより、高抵抗状態に変化する。
- 負電圧がかかることにより、上層に溜まった、酸素イオンが下層に流れることでデバイスがリセットされる。

このようにこの複合型以外での動作に関しては、フィラメントが形成されないため VCM の動作のようになり、複合型と異なるヒステリシスの抵抗変化の仕方をしている。

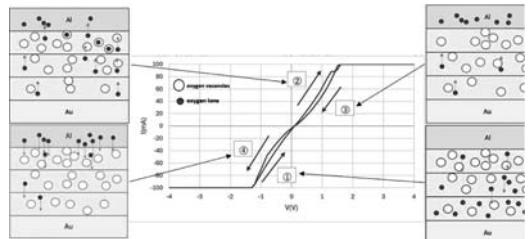


図 4 8回目 I-V 测定結果とその動作原理

#### 4.まとめ

アルミニウム (Al) 上部電極と金 (Au) 下部電極を持つ 3 層 GTO メモリスタを作成しその I-V 測定をして、その性能評価を行った。1 回目と 15~18 回目の結果とそのほかの結果では、ヒステリシス特性が異なり、そのメカニズムに関して考察を行った。そのうえで、このデバイスは 2 つのモデルに基づいて動作することを確認した。その結果、1 回目と 15~18 回目の結果とそのほかの結果では、ヒステリシス特性が異なり、そのメカニズムに関して、今回考察を行った。そのうえで、このデバイスは 2 つのモデルに基づいて動作することが分かった。電気化学的メタライゼーション (ECM) と価数変化メモリ (VCM) である。I-V 測定の 20 回うち、

ECM と VCM の複合動作は第 1 サイクルと第 15～18 サイクルで観測され、それ以外のサイクルでは VCM 動作のみが観測されたと考えられた。このモデルは、今まで一つの動作モデルでしか考えられていない GTO メモリスタでは、画期的な考え方である。また、今回の実験で得られたデータは、酸素空孔とフィラメント形成の移行が制御可能であることこれにより、今後のデバイス設計においても、ヒス

テリシス特性やスイッチング挙動をより精密に制御できる可能性が見出された。

## 5. おわりに

本研究は、木村睦教授のご指導のもと進められたものであり深く感謝の意を表します。今回の発表で国内外からの人と議論することができ、とても有意義な時間を過ごすことができました。

## 彙報

## 2024 年度 先端理工学部・理工学部・理工学研究科 就職先一覧

業種 コード	業種名	企業名等	学部 研究 科計	採用者数					
				数理 情報 科学	電子 情報 通信	機械 工学	応用 化学	知能 情報 メディア	環境 生態 工学
				(課程・学科・専攻計)					
6	建設業:総合(土木・建築)	株式会社ジャクエツ	1	1					
6	建設業:総合(土木・建築)	株式会社三東工業社	1					1	
7	建設業:土木・橋梁・造園・鉄骨	蛭川造園土木株式会社	1						1
10	建設業:設備工事・プラント・内装	JR 東日本メカトロニクス株式会社	1					1	
10	建設業:設備工事・プラント・内装	クボタ環境エンジニアリング株式会社	2			1			1
10	建設業:設備工事・プラント・内装	ダイキンエアテクノ株式会社	2				1		1
10	建設業:設備工事・プラント・内装	パナソニック環境エンジニアリング株式会社	3						3
10	建設業:設備工事・プラント・内装	レイズネクスト株式会社	1						1
10	建設業:設備工事・プラント・内装	安全索道株式会社	2		1	1			
10	建設業:設備工事・プラント・内装	岡本電気株式会社	1		1				
10	建設業:設備工事・プラント・内装	株式会社カンドー	1	1					
10	建設業:設備工事・プラント・内装	株式会社きんでん	1	1					
10	建設業:設備工事・プラント・内装	株式会社プランテック	1						1
10	建設業:設備工事・プラント・内装	株式会社ほくつう	1					1	
10	建設業:設備工事・プラント・内装	株式会社中電工	1				1		
10	建設業:設備工事・プラント・内装	関電プラント株式会社	1					1	
10	建設業:設備工事・プラント・内装	三精テクノロジーズ株式会社	1			1			
10	建設業:設備工事・プラント・内装	三和ペイント株式会社	1				1		
10	建設業:設備工事・プラント・内装	新日本空調株式会社	1						1
10	建設業:設備工事・プラント・内装	岬工業株式会社	1						1
11	建設業:住宅	住友林業株式会社	1						1
11	建設業:住宅	積水ハウス株式会社	1						1
11	建設業:住宅	大和ハウス工業株式会社	1		1				
12	建設業:コンサルタント・設計事務所	株式会社西日本技術コンサルタント	1						1
12	建設業:コンサルタント・設計事務所	近畿技術コンサルタント株式会社	1						1
14	不動産賃貸業(賃貸・管理)	株式会社長谷工ビジネスプロクシー	1				1		
15	メーカー:食品・食料	フジパングループ本社株式会社	1			1			
15	メーカー:食品・食料	ローゼン製菓株式会社	1						1
15	メーカー:食品・食料	株式会社ロピア	1						1
15	メーカー:食品・食料	株式会社青木松風庵	1						1
15	メーカー:食品・食料	山崎製パン株式会社	1			1			
17	メーカー:繊維工業	倉敷紡績株式会社	1						1
18	メーカー:繊維製品・衣料	グンゼ株式会社	1				1		
18	メーカー:繊維製品・衣料	大和紡績株式会社	1			1			
20	メーカー:家具・装備品	株式会社イトーキ	1			1			
20	メーカー:家具・装備品	株式会社オカムラ	1					1	
20	メーカー:家具・装備品	三進金属工業株式会社	1		1				
21	メーカー:パルプ・製紙・紙製品	TOPPAN インフォメディア株式会社	1						1
21	メーカー:パルプ・製紙・紙製品	レンゴー株式会社	1		1				
21	メーカー:パルプ・製紙・紙製品	菊水テープ株式会社	1						1
23	メーカー:印刷・印刷関連サービス	TOPPAN 株式会社	3		1			2	
24	メーカー:化学・医薬・化粧品	JNC 株式会社	1				1		
24	メーカー:化学・医薬・化粧品	サンスター技研株式会社	1				1		
24	メーカー:化学・医薬・化粧品	サンユレック株式会社	1				1		
24	メーカー:化学・医薬・化粧品	テイカ株式会社	1				1		

業種コード	業種名	企業名等	学部・研究科 計	採用者数					
				数理 科学	電子 情報 通信	機械 工学	応用 化学	知能 情報 メディア	環境 生態 工学
24	メーカー:化学・医薬・化粧品	ビッグテクノス株式会社	1					1	
24	メーカー:化学・医薬・化粧品	フィルネクスト株式会社	1				1		
24	メーカー:化学・医薬・化粧品	株式会社 ADEKA	1				1		
24	メーカー:化学・医薬・化粧品	株式会社カネカ	1				1		
24	メーカー:化学・医薬・化粧品	株式会社三若純薬研究所	1				1		
24	メーカー:化学・医薬・化粧品	株式会社三宝化学研究所	1				1		
24	メーカー:化学・医薬・化粧品	株式会社成和化成	1				1		
24	メーカー:化学・医薬・化粧品	森田化学工業株式会社	1				1		
24	メーカー:化学・医薬・化粧品	積水樹脂株式会社	1				1		
24	メーカー:化学・医薬・化粧品	大塚化学株式会社	1				1		
24	メーカー:化学・医薬・化粧品	大東化成工業株式会社	1				1		
24	メーカー:化学・医薬・化粧品	大日精化工業株式会社	1				1		
24	メーカー:化学・医薬・化粧品	大日本塗料株式会社	1				1		
24	メーカー:化学・医薬・化粧品	東洋合成工業株式会社	1				1		
24	メーカー:化学・医薬・化粧品	日正井（上海）国際貿易有限公司	1				1		
24	メーカー:化学・医薬・化粧品	日榮新化株式会社	1						1
24	メーカー:化学・医薬・化粧品	林純薬工業株式会社	1				1		
28	メーカー:プラスチック製品	キヨーラク株式会社	1			1			
28	メーカー:プラスチック製品	宮川化成工業株式会社	2				2		
28	メーカー:プラスチック製品	積水化成品工業株式会社	1				1		
30	メーカー:鉄鋼業	株式会社淀川製鋼所	1			1			
31	メーカー:非鉄金属	DOWA ホールディングス株式会社	1				1		
31	メーカー:非鉄金属	古河 AS 株式会社	1		1				
32	メーカー:金属製品・金属加工品	YKK AP 株式会社	1						1
32	メーカー:金属製品・金属加工品	サイチ工業株式会社	1			1			
32	メーカー:金属製品・金属加工品	株式会社ノーリツ	3			2		1	
32	メーカー:金属製品・金属加工品	株式会社ミヤケ	1			1			
32	メーカー:金属製品・金属加工品	株式会社ミヤジマ	1			1			
32	メーカー:金属製品・金属加工品	株式会社メタルアート	1			1			
32	メーカー:金属製品・金属加工品	日伸工業株式会社	1			1			
32	メーカー:金属製品・金属加工品	日本アイ・ティ・エフ株式会社	1				1		
33	メーカー:一般機械・産業機械	エア・ウォーター・エンジニアリング株式会社	1				1		
33	メーカー:一般機械・産業機械	オムロンアミューズメント株式会社	1				1		
33	メーカー:一般機械・産業機械	オルガノ株式会社	1						1
33	メーカー:一般機械・産業機械	カナデビア株式会社	1						1
33	メーカー:一般機械・産業機械	キヤノンマシナリー株式会社	1			1			
33	メーカー:一般機械・産業機械	クボタメンブレン株式会社	1						1
33	メーカー:一般機械・産業機械	ダイキン工業株式会社	1			1			
33	メーカー:一般機械・産業機械	フクシマガリレイ株式会社	1						1
33	メーカー:一般機械・産業機械	フジテック株式会社	5	2		2		1	
33	メーカー:一般機械・産業機械	ミネベアミツミ株式会社	1			1			
33	メーカー:一般機械・産業機械	株式会社 SCREEN SPE テック	1				1		
33	メーカー:一般機械・産業機械	株式会社ジラフ	1					1	
33	メーカー:一般機械・産業機械	株式会社テクノスマート	1		1				
33	メーカー:一般機械・産業機械	株式会社ナガオカ	1						1
33	メーカー:一般機械・産業機械	株式会社パウレック	1			1			
33	メーカー:一般機械・産業機械	株式会社ユーシン精機	1		1				
33	メーカー:一般機械・産業機械	株式会社荏原製作所	2		1	1			

業種コード	業種名	企業名等	学部・研究科 計	採用者数					
				数理 科学	電子 情報 通信	機械 工学	応用 化学	知能 情報 メディア	環境 生態 工学
33	メーカー:一般機械・産業機械	株式会社松井製作所	1			1			
33	メーカー:一般機械・産業機械	株式会社鶴見製作所	1						1
33	メーカー:一般機械・産業機械	株式会社日本製鋼所	1				1		
33	メーカー:一般機械・産業機械	三菱重工業株式会社	1				1		
33	メーカー:一般機械・産業機械	菅原精機株式会社	1				1		
33	メーカー:一般機械・産業機械	前澤工業株式会社	1						1
33	メーカー:一般機械・産業機械	東レエンジニアリング株式会社	5		1	2	1	1	
33	メーカー:一般機械・産業機械	東レエンジニアリング西日本株式会社	1	1					
33	メーカー:一般機械・産業機械	日新イオン機器株式会社	1					1	
33	メーカー:一般機械・産業機械	日本トムソン株式会社	1			1			
33	メーカー:一般機械・産業機械	兵神装備株式会社	1			1			
34	メーカー:電気機械・照明	アズビル株式会社	1		1				
34	メーカー:電気機械・照明	シンフォニアテクノロジー株式会社	1		1				
34	メーカー:電気機械・照明	ニデック株式会社	3			1	1	1	
34	メーカー:電気機械・照明	株式会社 GS ユアサ	9		3	5	1		
34	メーカー:電気機械・照明	株式会社 TMEIC	1					1	
34	メーカー:電気機械・照明	株式会社日立製作所	2	1					1
34	メーカー:電気機械・照明	株式会社片岡製作所	3		3				
34	メーカー:電気機械・照明	京都電機器株式会社	1				1		
34	メーカー:電気機械・照明	三菱電機株式会社	2		2				
34	メーカー:電気機械・照明	星和電機株式会社	2		1	1			
34	メーカー:電気機械・照明	富士工業株式会社	1		1				
35	メーカー:電子・デバイス	NISSHA 株式会社	1				1		
35	メーカー:電子・デバイス	イビデン株式会社	1				1		
35	メーカー:電子・デバイス	シャープ福山レーザー株式会社	1		1				
35	メーカー:電子・デバイス	パナソニックインダストリー株式会社	1		1				
35	メーカー:電子・デバイス	マリオクラブ株式会社	1		1				
35	メーカー:電子・デバイス	ローム株式会社	1		1				
35	メーカー:電子・デバイス	株式会社エスケーエレクトロニクス	1		1				
35	メーカー:電子・デバイス	株式会社京写	1				1		
35	メーカー:電子・デバイス	株式会社村田製作所	2	1		1			
35	メーカー:電子・デバイス	湖北工業株式会社	1					1	
35	メーカー:電子・デバイス	東レ・プレシジョン株式会社	2		1	1			
35	メーカー:電子・デバイス	日本電気硝子株式会社	1			1			
36	メーカー:情報通信機械器具	アイコム株式会社	2		1			1	
36	メーカー:情報通信機械器具	アイホン株式会社	1		1				
36	メーカー:情報通信機械器具	オムロン株式会社	1					1	
36	メーカー:情報通信機械器具	株式会社バッファロー	1		1				
36	メーカー:情報通信機械器具	京セラ株式会社	1			1			
36	メーカー:情報通信機械器具	三菱電機デイエンス&スペーステクノロジーズ株式会社	1		1				
37	メーカー:自動車・輸送機器・関連	Joyson Safety Systems Japan 合同会社	1			1			
37	メーカー:自動車・輸送機器・関連	スズキ株式会社	1			1			
37	メーカー:自動車・輸送機器・関連	ダイハツ工業株式会社	1			1			
37	メーカー:自動車・輸送機器・関連	トヨタ自動車九州株式会社	1			1			
37	メーカー:自動車・輸送機器・関連	パナソニック オートモーティブシステムズ株式会社	1					1	
37	メーカー:自動車・輸送機器・関連	ヤマハ発動機株式会社	2			2			
37	メーカー:自動車・輸送機器・関連	ヤンマーパワー・テクノロジー株式会社	1			1			
37	メーカー:自動車・輸送機器・関連	芦森工業株式会社	1			1			

業種コード	業種名	企業名等	学部・研究科 計	採用者数					
				数理 科学	電子 情報 通信	機械 工学	応用 化学	知能 情報 メディア	環境 生態 工学
(課程・学科・専攻計)									
37	メーカー:自動車・輸送機器・関連	株式会社アイシン	1					1	
37	メーカー:自動車・輸送機器・関連	株式会社エクセディ	1	1					
37	メーカー:自動車・輸送機器・関連	三菱ロジスネクスト株式会社	3		1	2			
37	メーカー:自動車・輸送機器・関連	三菱自動車工業株式会社	1			1			
37	メーカー:自動車・輸送機器・関連	太平洋工業株式会社	1				1		
37	メーカー:自動車・輸送機器・関連	豊田鉄工株式会社	1						1
38	メーカー:精密・光学・レンズ・医療	アトムメディカル株式会社	1			1			
38	メーカー:精密・光学・レンズ・医療	株式会社イシダ	4	2	2				
38	メーカー:精密・光学・レンズ・医療	株式会社光響	1		1				
38	メーカー:精密・光学・レンズ・医療	大塚電子株式会社	1		1				
39	メーカー:その他製品	ヨネックス株式会社	1			1			
39	メーカー:その他製品	株式会社アナテック・ヤナコ	1						1
40	電気・ガス・熱・水道供給業	Daigas エナジー株式会社	1						1
40	電気・ガス・熱・水道供給業	関西電力株式会社	1		1				
40	電気・ガス・熱・水道供給業	日本メンテナスエンジニアリング株式会社	1				1		
42	輸送:陸上	京阪電気鉄道株式会社	1		1				
42	輸送:陸上	山九株式会社	1			1			
42	輸送:陸上	西日本旅客鉄道株式会社 (JR 西日本)	3			2			1
42	輸送:陸上	東京地下鉄株式会社 (東京メトロ)	1	1					
45	商社:総合	クラレトレーディング株式会社	1						1
45	商社:総合	三谷商事株式会社	2	2					
49	商社:医薬・化学・化粧品・ゴム・プラスチック	ナカライトスク株式会社	1				1		
51	商社:機械器具・OA 製品	オプテックス・エフエー株式会社	1		1				
51	商社:機械器具・OA 製品	キヤノンシステムアンドサポート株式会社	2	1		1			
51	商社:機械器具・OA 製品	キヤノンマーケティングジャパン株式会社	2	1					1
51	商社:機械器具・OA 製品	シャープマーケティングジャパン株式会社	1		1				
51	商社:機械器具・OA 製品	ダイトロン株式会社	1			1			
51	商社:機械器具・OA 製品	ヤンマーエネルギーシステム株式会社	1			1			
51	商社:機械器具・OA 製品	因幡電機産業株式会社	1			1			
51	商社:機械器具・OA 製品	株式会社カワサキマシンシステムズ	1			1			
51	商社:機械器具・OA 製品	株式会社たけびし	1						1
51	商社:機械器具・OA 製品	株式会社ティ・アイ・ディ	1			1			
51	商社:機械器具・OA 製品	株式会社ナニワ	1						1
51	商社:機械器具・OA 製品	株式会社レイズ	1				1		
51	商社:機械器具・OA 製品	株式会社寺岡精工	2				1	1	
51	商社:機械器具・OA 製品	株式会社日立ハイテク	2			2			
51	商社:機械器具・OA 製品	橋本総業株式会社	1				1		
51	商社:機械器具・OA 製品	三菱マヒンドラ農機株式会社	1			1			
51	商社:機械器具・OA 製品	矢崎総業株式会社	1		1				
56	流通:飲食料品・食品スーパー	株式会社ライフコーポレーション	1			1			
59	流通:レストラン・外食・給食	一富士フードサービス株式会社	1				1		
61	流通:家具・建具・什器・家電・ホームセンター	株式会社ヨドバシカメラ	1						1
62	流通:その他(メガネ・薬局・書籍・スポーツ等)	株式会社 MOVE	1		1				
62	流通:その他(メガネ・薬局・書籍・スポーツ等)	株式会社ジンズ	1				1		
63	金融:銀行・信託銀行	株式会社滋賀銀行	3	1	1				1
63	金融:銀行・信託銀行	株式会社池田泉州銀行	1	1					
64	金融:信用金庫・信用協同組合	滋賀中央信用金庫	1						1
67	金融:生命保険	株式会社かんぽ生命保険	1		1				

業種コード	業種名	企業名等	学部・研究科 計	採用者数					
				数理 情報 科学	電子 情報 通信	機械 工学	応用 化学	知能 情報 メディア	環境 生態 工学
67	金融:生命保険	日本生命保険相互会社	1						1
72	金融:消費者・クレジット・投資・他	アイフル株式会社	1					1	
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	NCS&A 株式会社	1		1				
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	NEC ソリューションイノベータ株式会社	1					1	
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	SCSK 株式会社	1		1				
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	SG システム株式会社	1					1	
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	Sky 株式会社 大阪本社	2					2	
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	TDC ソフト株式会社	1					1	
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	アイテック阪急阪神株式会社	1					1	
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	エスエイティーティー株式会社	1	1					
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	エフサステクノロジーズ株式会社	1				1		
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	オムロンソフトウェア株式会社	2	1				1	
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	スマセイ情報システム株式会社 大阪本社	1			1			
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	ディップ株式会社	1				1		
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	トヨタコネクティッド株式会社	1	1					
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	ニュートラル株式会社	1		1				
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	パーソル AVC テクノロジー株式会社	1					1	
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	フェリカネットワークス株式会社	1					1	
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	フェンリル株式会社	1					1	
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	フラットシステムソリューションズ株式会社	1						1
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	ムラタシステム株式会社	1			1			
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	ヤマトシステム開発株式会社	1					1	
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	ワールドビジネスセンター株式会社	2					2	
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	株式会社 KSK	1					1	
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	株式会社 NTT データ MSE	1		1				
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	株式会社 NTT データ関西	1					1	
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	株式会社 SRA	1					1	
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	株式会社アイディス	1	1					
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	株式会社アルファシステムズ	2	2					
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	株式会社インテック	1	1					
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	株式会社エイエイエスティ	1					1	
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	株式会社オービックビジネスコンサルタント	1	1					
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	株式会社カプコン	1			1			
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	株式会社クラックスシステム	2					2	
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	株式会社コアテック	1			1			
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	株式会社ジェリコネットワーク	1					1	
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	株式会社シスコ	1					1	
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	株式会社システムサポート	1	1					
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	株式会社システムディ	1			1			
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	株式会社システムリサーチ	1			1			
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	株式会社ゼネックコミュニケーションズ	2	1				1	
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	株式会社ソフトウェア・サービス	1				1		
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	株式会社テイジイエル	1					1	
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	株式会社テラスカイ	1					1	
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	株式会社トピー商事	1					1	
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	株式会社トヨタシステムズ	1					1	
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	株式会社ニッセイコム	2					2	
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	株式会社ビーネックスソリューションズ	1				1		

業種コード	業種名	企業名等	学部・研究科 計	採用者数					
				数理 情報 科学	電子 情報 通信	機械 工学 門学科	応用 化学	知能 情報 メディア	環境 生態 工学
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	株式会社ミロク情報サービス	1		1				
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	株式会社レック	1	1					
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	株式会社演算工房	1						1
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	株式会社京信システムサービス	1				1		
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	株式会社京都システム技研	1	1					
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	株式会社島津ビジネスシステムズ	1	1					
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	株式会社日新システムズ	1					1	
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	株式会社日本ビジネスデータープロセシングセンター	1	1					
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	株式会社日立システムズ	1			1			
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	株式会社日立ソリューションズ	2	1				1	
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	株式会社日立ソリューションズ・クリエイト	1					1	
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	京セラコミュニケーションシステム株式会社	2		2				
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	京都電子計算株式会社	1					1	
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	勤次郎株式会社	1		1				
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	三菱電機ソフトウェア株式会社	1	1					
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	東芝情報システム株式会社	1		1				
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	日本システム技術株式会社 大阪本社	1					1	
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	日本ソフト開発株式会社	1					1	
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	日本情報システム株式会社	1	1					
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	富士ソフト株式会社	8	1	1			6	
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	富士通株式会社	1					1	
73	情報通信:ソフトウェア・情報処理・情報サービス	鈴与シンワート株式会社	1	1					
74	情報通信:通信業・同関連	株式会社 NTT ドコモ	1		1				
79	サービス:旅行代理店	JTB ビジネストラベルソリューションズ	1			1			
79	サービス:旅行代理店	株式会社 JTB	1				1		
79	サービス:旅行代理店	株式会社エンジョブ	1		1				
80	サービス:ホテル・旅館	株式会社星野リゾート	1			1			
81	サービス:病院・医院・医療・保健衛生	SBC メディカルグループ	1				1		
84	サービス:協同組合・郵便局	特別地方公共団体城南衛生管理組合	1						1
85	サービス:税理・会計・特許・経営コンサルタント	SOLIZE 株式会社	2			1		1	
85	サービス:税理・会計・特許・経営コンサルタント	レイスクループ	1	1					
85	サービス:税理・会計・特許・経営コンサルタント	株式会社マネジメントソリューションズ	1				1		
85	サービス:税理・会計・特許・経営コンサルタント	日本アイ・ビー・エムデジタルサービス株式会社	1						1
86	サービス:その他専門サービス(デザイン・機械設計等)	NTT アドバンステクノロジ株式会社	1		1				
86	サービス:その他専門サービス(デザイン・機械設計等)	クリタ分析センター株式会社	1						1
86	サービス:その他専門サービス(デザイン・機械設計等)	シー・アイ・シー	1						1
86	サービス:その他専門サービス(デザイン・機械設計等)	ミラクシアエッジテクノロジー株式会社	1					1	
86	サービス:その他専門サービス(デザイン・機械設計等)	株式会社クオルティック	1				1		
86	サービス:その他専門サービス(デザイン・機械設計等)	株式会社パナソニックシステムネットワークス開発研究所	1		1				
86	サービス:その他専門サービス(デザイン・機械設計等)	株式会社関電エネルギーソリューション	2						2
86	サービス:その他専門サービス(デザイン・機械設計等)	株式会社日産オートモーティブテクノロジー	1			1			
86	サービス:その他専門サービス(デザイン・機械設計等)	三菱電機エンジニアリング株式会社	3		2	1			
86	サービス:その他専門サービス(デザイン・機械設計等)	不動技研工業株式会社	1			1			
87	サービス:学校・専門学校	京都府教育委員会	6	4			1		1
87	サービス:学校・専門学校	滋賀県教育委員会	6	3			1		2
87	サービス:学校・専門学校	大阪府教育委員会	3	3					
87	サービス:学校・専門学校	福岡県教育委員会	1	1					
88	サービス:メンテナンス・保守・修理	サノヤスホールディングス株式会社	1	1					

業種コード	業種名	企業名等	学部・研究科 計	採用者数					
				数理 情報 科学	電子 情報 通信	機械 工学	応用 化学	知能 情報 メディア	環境 生態 工学
88	サービス:メンテナンス・保守・修理	株式会社日立システムズフィールドサービス	1					1	
88	サービス:メンテナンス・保守・修理	株式会社堀場テクノサービス	1						1
88	サービス:メンテナンス・保守・修理	三菱電機ビルソリューションズ株式会社	1			1			
92	サービス:物品レンタル・物品リース	株式会社アクティオ	1				1		
93	サービス:その他	UT エイム株式会社	1						1
93	サービス:その他	UT 東芝株式会社	1		1				
93	サービス:その他	トーテックアメニティ株式会社	1					1	
93	サービス:その他	トランスクスモス株式会社	2					1	1
93	サービス:その他	パーソルエクセル HR パートナーズ株式会社	5	2	1	1		1	
93	サービス:その他	パーソルクロステクノロジー株式会社	3				1	2	
93	サービス:その他	株式会社 ESS ソリューションズ	1					1	
93	サービス:その他	株式会社 GENOVA	1						1
93	サービス:その他	株式会社 TSACE	1		1				
93	サービス:その他	株式会社アートフリーク	1						1
93	サービス:その他	株式会社アウトソーシングテクノロジー	7	1	3	2		1	
93	サービス:その他	株式会社アソシエ	1					1	
93	サービス:その他	株式会社アライブコーポレーション	1					1	
93	サービス:その他	株式会社アルプラス技研	4	1	2		1		
93	サービス:その他	株式会社エスユース	2	1				1	
93	サービス:その他	株式会社シーアールイー	1				1		
93	サービス:その他	株式会社スタッフサービス	2					2	
93	サービス:その他	株式会社テクノプロ テクノプロ・IT 社	2	1				1	
93	サービス:その他	株式会社テクノプロ テクノプロ・デザイン社	1		1				
93	サービス:その他	株式会社ヒップ	2	1	1				
93	サービス:その他	株式会社ホンダテクノフォート	1				1		
93	サービス:その他	株式会社マイテック	7	1		4	1	1	
93	サービス:その他	株式会社ワールドインテック	1					1	
93	サービス:その他	株式会社京阪ビジネスマネジメント	1		1				
93	サービス:その他	大栄環境株式会社	1						1
96	サービス:学習塾・教育支援	株式会社スプリックス	1				1		
98	分類不能	コード無し企業	1		1				
99	公務(国家)	国土交通省	1						1
101	公務(地方)	亀岡市役所	1					1	
101	公務(地方)	京都市役所	1						1
101	公務(地方)	京都府警察本部	1	1					
101	公務(地方)	滋賀県庁	2	1					1
101	公務(地方)	草津市役所	1			1			
101	公務(地方)	津市役所	1					1	
101	公務(地方)	兵庫県庁	1			1			

## 2024 年度 先端理工学部・理工学部・理工学研究科 業種別就職状況

業種コード	業種分類	学部・研究科計	数理・	電子情報	機械工学・	応用化学	知能情報	環境生態
			情報科学	通信	ロボティクス			
6	建設業：総合（土木・建築）	2	1				1	
7	建設業：土木・橋梁・造園・鉄骨	1						1
10	建設業：設備工事・プラント・内装	22	2	2	3	3	3	9
11	建設業：住宅	3		1				2
12	建設業：コンサルタント・設計事務所	2						2
	土木・建設業 小計	30	3	3	3	3	4	14
14	不動産賃貸業（賃貸・管理）	1				1		
	不動産 小計	1	0	0	0	1	0	0
15	メーカー：食品・食料	5			2			3
17	メーカー：繊維工業	1						1
18	メーカー：繊維製品・衣料	2			1	1		
20	メーカー：家具・装備品	3		1	1		1	
21	メーカー：パルプ・製紙・紙製品	3		1				2
23	メーカー：印刷・印刷関連サービス	3		1			2	
24	メーカー：化学・医薬・化粧品	21				19	1	1
28	メーカー：プラスチック製品	4			1	3		
30	メーカー：鉄鋼業	1			1			
31	メーカー：非鉄金属	2		1		1		
32	メーカー：金属製品・金属加工品	10			7	1	1	1
33	メーカー：一般機械・産業機械	37	3	4	12	7	4	7
34	メーカー：電気機械・照明	26	1	12	7	3	2	1
35	メーカー：電子・デバイス	14	1	6	3	3	1	
36	メーカー：情報通信機械器具	7		4	1		2	
37	メーカー：自動車・輸送機器・関連	17	1	1	11	1	1	2
38	メーカー：精密・光学・レンズ・医療	7	2	4	1			
39	メーカー：その他製品	2			1			1
	製造業 小計	165	8	35	49	39	15	19
40	電気・ガス・熱・水道供給業	3		1		1		1
	エネルギー 小計	3	0	1	0	1	0	1
42	輸送：陸上	6	1	1	3			1
	運輸業 小計	6	1	1	3	0	0	1
45	商社：総合	3	2					1
49	商社：医薬・化学・化粧品・ゴム・プラスチック	1				1		
51	商社：機械器具・OA 製品	21	2	3	9	3	3	1
	卸売業 小計	25	4	3	9	4	3	2
56	流通：飲食料品・食品スーパー	1			1			
59	流通：レストラン・外食・給食	1				1		
61	流通：家具・什器・家電・ホームセンター	1						1
62	流通：その他（メガネ・薬局・書籍・スポーツ等）	2		1		1		
	小売業 小計	5		1	1	2	1	0
63	金融：銀行・信託銀行	4	2	1				1
64	金融：信用金庫・信用協同組合	1						1
67	金融：生命保険	2		1				1
72	金融：消費者・クレジット・投資・他	1					1	
	金融業 小計	8	2	2	0	0	1	3
73	情報通信：ソフトウェア・情報処理・情報サービス	84	19	14	5	4	40	2
74	情報通信：通信業・同関連	1		1				
	情報通信業 小計	85	19	15	5	4	40	2

業種コード	業種分類	学部・研究科計	数理・	電子情報	機械工学・	応用化学	知能情報	環境生態
			情報科学	通信	ロボティクス	メディア	工学	
79	サービス：旅行代理店	<b>3</b>		1	1	1		
80	サービス：ホテル・旅館	<b>1</b>			1			
81	サービス：病院・医院・医療・保健衛生	<b>1</b>				1		
84	サービス：協同組合・郵便局	<b>1</b>						1
85	サービス:税理・会計・特許・経営コンサルタント	<b>5</b>	1		1	1	1	1
86	サービス:その他専門サービス(デザイン・機械設計等)	<b>13</b>		4	3	1	1	4
88	サービス：メンテナンス・保守・修理	<b>4</b>	1		1		1	1
92	サービス：物品レンタル・物品リース	<b>1</b>				1		
93	サービス：その他	<b>51</b>	8	11	9	4	14	5
	サービス業 小計	<b>80</b>	10	16	16	9	17	12
87	サービス：学校・専門学校	<b>16</b>	11			2		3
96	サービス：学習塾・教育支援	<b>1</b>			1			
	教育 小計	<b>17</b>	11	0	1	2	0	3
99	公務（国家）	<b>1</b>						1
101	公務（地方）	<b>8</b>	2		2	2		2
	公務員 小計	<b>9</b>	2	0	2	2	0	3
98	分類不能	<b>1</b>		1				
	その他 小計	<b>1</b>	0	1	0	0	0	0

## 2024 年度 学会発表等一覧

2024 年度において、理工学会の補助を受け、学会等で発表を行いました。

### 〈国外での発表〉

発表者	所 属	指導教員	学会・講演会等名	時 期	会 場
戸田 佳宏	電子情報学専攻	張 陽軍	PIERS 2024 in Chengdu	2024 年 4 月	Jinjiang Hotel (中国)

### 〈国内での発表〉

発表者	所 属	指導教員	学会・講演会等名	時 期	会 場
平賀 民恵	機械工学・ロボティクスコース	永瀬 純也	ロボティクス・メカトロニクス講演会 2024 in Utsunomiya	2024 年 5 月	ライトキューブ宇都宮
中田 光星	物質化学専攻	河内 岳大	第 73 回高分子学会年次大会	2024 年 6 月	仙台国際センター
西村 天真	物質化学専攻	中沖 隆彦	第 73 回高分子学会年次大会	2024 年 6 月	仙台国際センター
黒田 一成	応用化学コース	河内 岳大	第 73 回高分子学会年次大会	2024 年 6 月	仙台国際センター
徳川 乃円	応用化学コース	河内 岳大	第 73 回高分子学会年次大会	2024 年 6 月	仙台国際センター
北 栄人	電子情報通信コース	木村 瞳	AM-FPD'24	2024 年 7 月	龍谷大学深草キャンパス成就館
澤井 一輝	電子情報通信コース	木村 瞳	AM-FPD'24	2024 年 7 月	龍谷大学深草キャンパス成就館
青木 啓悟	機械システム工学専攻	大津 広敬	第 56 回流体力学講演会／第 42 回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム	2024 年 7 月	カクイックス交流センター
池上 友翼	機械システム工学専攻	大津 広敬	第 56 回流体力学講演会／第 42 回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム	2024 年 7 月	カクイックス交流センター
神谷 悠	機械工学・ロボティクスコース	大津 広敬	第 56 回流体力学講演会／第 42 回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム	2024 年 7 月	カクイックス交流センター
粉室 明弘	機械工学・ロボティクスコース	大津 広敬	第 56 回流体力学講演会／第 42 回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム	2024 年 7 月	カクイックス交流センター
一宮 悠晟	環境科学コース	岸本 直之	Water and Environment Technology Conference 2024 (WEST2024)	2024 年 7 月	岡山大学津島キャンパス
江南 梓亮	情報メディア学専攻	野村 竜也	情報処理学会 第 209 回ヒューマンコンピュータインターフェース研究会	2024 年 7 月	北海道大学学術交流会館
近藤 智也	物質化学専攻	宮武 智弘	第 35 回配置化合物の光化学討論会	2024 年 8 月	国連大学ウ・タン国際会議場、青山学院大学
橋本 一海	機械システム工学専攻	坂上 憲光	第 42 回日本ロボット学会学術講演会	2024 年 9 月	大阪工業大学梅田キャンパス
松前 辰武	機械システム工学専攻	坂上 憲光	第 42 回日本ロボット学会学術講演会	2024 年 9 月	大阪工業大学梅田キャンパス
野田 能修	機械システム工学専攻	森 正和	溶接学会 2024 年度秋季全国大会	2024 年 9 月	北海道科学大学
益野 岳登	機械システム工学専攻	森 正和	溶接学会 2024 年度秋季全国大会	2024 年 9 月	北海道科学大学
楠 純哉	情報メディア学専攻	吉見 穀彦	FIT2024 第 23 回情報科学技術フォーラム	2024 年 9 月	広島工業大学五日市キャンパス
高木 裕也	情報メディア学専攻	藤田 和弘	FIT2024 第 23 回情報科学技術フォーラム	2024 年 9 月	広島工業大学五日市キャンパス
峯田 蓮大	応用化学課程	藤原 学	第 36 回 DV-Xα 研究会	2024 年 9 月	福岡大学中央図書館
大村 拓海	応用化学コース	藤原 学	第 36 回 DV-Xα 研究会	2024 年 9 月	福岡大学中央図書館
立脇 大雅	機械システム工学専攻	譽田 登	日本機械学会 2024 年度年次大会	2024 年 9 月	愛媛大学城北キャンパス
能勢 剛史	機械システム工学専攻	譽田 登	日本機械学会 2024 年度年次大会	2024 年 9 月	愛媛大学城北キャンパス
矢羽田聰志	機械システム工学専攻	小川 圭二	日本機械学会 2024 年度年次大会	2024 年 9 月	愛媛大学城北キャンパス

発表者	所 属	指導教員	学会・講演会等名	時 期	会 場
村上 太一	環境ソリューション工学専攻	藤森 崇	第 35 回廃棄物資源循環学会研究発表会	2024 年 9 月	つくば国際会議場
岡 明澄	応用化学コース	内田 欣吾	2024 年日本液晶学会討論会・液晶交流会	2024 年 9 月	富山大学五福キャンパス
上本 瞻	電子情報学専攻	石崎 俊雄	2024 年電子情報通信学会ソサイエティ大会 2024 年度学生マイクロ波回路設計試作コンテスト	2024 年 9 月	日本工業大学埼玉キャンパス
磨谷 大地	電子情報通信コース	石崎 俊雄	2024 年電子情報通信学会ソサイエティ大会 2024 年度学生マイクロ波回路設計試作コンテスト	2024 年 9 月	日本工業大学埼玉キャンパス
小島 拓斗	電子情報通信課程	石崎 俊雄	2024 年電子情報通信学会ソサイエティ大会 2024 年度学生マイクロ波回路設計試作コンテスト	2024 年 9 月	日本工業大学埼玉キャンパス
小西 優雅	電子情報通信課程	石崎 俊雄	2024 年電子情報通信学会ソサイエティ大会 2024 年度学生マイクロ波回路設計試作コンテスト	2024 年 9 月	日本工業大学埼玉キャンパス
中尾 晃大	電子情報通信課程	吉田 賢史	2024 年電子情報通信学会ソサイエティ大会 2024 年度学生マイクロ波回路設計試作コンテスト	2024 年 9 月	日本工業大学埼玉キャンパス
中山慎太郎	電子情報通信課程	石崎 俊雄	2024 年電子情報通信学会ソサイエティ大会 2024 年度学生マイクロ波回路設計試作コンテスト	2024 年 9 月	日本工業大学埼玉キャンパス
村川 和也	電子情報通信課程	石崎 俊雄	2024 年電子情報通信学会ソサイエティ大会 2024 年度学生マイクロ波回路設計試作コンテスト	2024 年 9 月	日本工業大学埼玉キャンパス
塙見 忠広	電子情報通信課程	石崎 俊雄	2024 年電子情報通信学会ソサイエティ大会 2024 年度学生マイクロ波回路設計試作コンテスト	2024 年 9 月	日本工業大学埼玉キャンパス
片岡 是宗	環境ソリューション工学専攻	藤森 崇	第 65 回大気環境学会年会	2024 年 9 月	慶應義塾大学日吉キャンパス
川又 康平	応用化学課程	糟野 潤	日本分析化学会第 73 年会	2024 年 9 月	名古屋工業大学
草野 佑衣	応用化学課程	藤原 学	日本分析化学会第 73 年会	2024 年 9 月	名古屋工業大学
佐野 力架	応用化学課程	藤原 学	日本分析化学会第 73 年会	2024 年 9 月	名古屋工業大学
林 龍之介	応用化学課程	糟野 潤	日本分析化学会第 73 年会	2024 年 9 月	名古屋工業大学
前田健太郎	応用化学課程	藤原 学	日本分析化学会第 73 年会	2024 年 9 月	名古屋工業大学
神田ららほ	物質化学専攻	富崎 欣也	第 18 回バイオ関連化学シンポジウム	2024 年 9 月	つくば国際会議場
田中かれん	物質化学専攻	富崎 欣也	第 18 回バイオ関連化学シンポジウム	2024 年 9 月	つくば国際会議場
藤本 駿也	物質化学専攻	富崎 欣也	第 18 回バイオ関連化学シンポジウム	2024 年 9 月	つくば国際会議場
齋田 肇心	応用化学コース	富崎 欣也	第 18 回バイオ関連化学シンポジウム	2024 年 9 月	つくば国際会議場
山岡湖ノ波	応用化学コース	富崎 欣也	第 18 回バイオ関連化学シンポジウム	2024 年 9 月	つくば国際会議場
永井 慶	電子情報学専攻	山本 伸一	第 85 回応用物理学会秋季学術講演会	2024 年 9 月	朱鷺メッセ
池田 隼人	電子情報学専攻	山本 伸一	第 85 回応用物理学会秋季学術講演会	2024 年 9 月	朱鷺メッセ
篠田 太陽	電子情報通信コース	木村 瞳	第 85 回応用物理学会秋季学術講演会	2024 年 9 月	朱鷺メッセ
油木 直斗	機械システム工学専攻	辻上 哲也	日本実験力学会 2024 年度次講演会	2024 年 9 月	山形大学工学部
原田 叔和	機械システム工学専攻	辻上 哲也	日本実験力学会 2024 年度次講演会	2024 年 9 月	山形大学工学部
水井 樹	機械システム工学専攻	辻上 哲也	日本実験力学会 2024 年度次講演会	2024 年 9 月	山形大学工学部
久門 新	物質化学専攻	大柳 満之	日本金属学会 2024 年秋期（第 175 回）講演大会	2024 年 9 月	大阪大学豊中キャンパス
塙田 大智	物質化学専攻	大柳 満之	日本金属学会 2024 年秋期（第 175 回）講演大会	2024 年 9 月	大阪大学豊中キャンパス

発表者	所 属	指導教員	学会・講演会等名	時 期	会 場
佐藤 良亮	応用化学コース	大柳 満之	日本金属学会 2024年秋期（第 175 回）講演大会	2024 年 9 月	大阪大学豊中キャンパス
須藤 謙大	物質化学専攻	河内 岳大	第 73 回高分子討論会	2024 年 9 月	新潟大学五十嵐キャンパス
川本 智己	物質化学専攻	中沖 隆彦	第 73 回高分子討論会	2024 年 9 月	新潟大学五十嵐キャンパス
宮内 嶺	物質化学専攻	中沖 隆彦	第 73 回高分子討論会	2024 年 9 月	新潟大学五十嵐キャンパス
新井 涼太	応用化学コース	中沖 隆彦	第 73 回高分子討論会	2024 年 9 月	新潟大学五十嵐キャンパス
恒川 愛乃	応用化学コース	中沖 隆彦	第 73 回高分子討論会	2024 年 9 月	新潟大学五十嵐キャンパス
藤原 大暉	応用化学コース	中沖 隆彦	第 73 回高分子討論会	2024 年 9 月	新潟大学五十嵐キャンパス
矢下 廉	応用化学コース	中沖 隆彦	第 73 回高分子討論会	2024 年 9 月	新潟大学五十嵐キャンパス
山本 大輝	環境科学コース	水原 詞治	第 24 回環境技術学会年次大会	2024 年 9 月	大阪公立大学杉本キャンパス
田中 聖也	情報メディア学専攻	池田 聖	第 73 回複合現実感研究会	2024 年 9 月	利尻富士町総合交流促進施設りぶら
羽賀 大輝	知能情報メディアコース	池田 聖	第 73 回複合現実感研究会	2024 年 9 月	利尻富士町総合交流促進施設りぶら
別荘 貴信	電子情報学専攻	小堀 聰	日本認知科学会第 41 回大会	2024 年 10 月	東京大学本郷キャンパス
長島 捷悟	物質化学専攻	青井 芳史	The 10th International Symposium on Surface Science (ISSS-10)	2024 年 10 月	北九州国際会議場
周 桐	情報メディア学専攻	片岡 章俊	2024 IEEE 13th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2024)	2024 年 10 月	アジア太平洋インポートマート
安田 尚平	電子情報通信コース	植村 渉	2024 IEEE 13th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2024)	2024 年 10 月	アジア太平洋インポートマート
中嶋 洋介	電子情報通信課程	植村 渉	2025 IEEE 13th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2024)	2024 年 10 月	アジア太平洋インポートマート
吉田 陸	機械システム工学専攻	森 正和	第 31 回機械材料・材料加工技術講演会 (M&P2024)	2024 年 11 月	富山大学五福キャンパス
黒川 聖也	物質化学専攻	青井 芳史	35th International Photovoltaic Science and Engineering Conference	2024 年 11 月	プラサヴェルデ
光本 涼	電子情報通信コース	山本 伸一	第 9 回フォトニクスワークショップ「光で探る多彩な未来図！」	2024 年 11 月	沖縄県青年会館
宇田 圭佑	電子情報通信課程	吉井 一倫	第 9 回フォトニクスワークショップ「光で探る多彩な未来図！」	2024 年 11 月	沖縄県青年会館
上尾 高範	電子情報通信課程	木村 瞳	IMFEDK2024	2024 年 11 月	龍谷大学深草キャンパス成就館
高橋 遼平	電子情報通信課程	木村 瞳	IMFEDK2024	2024 年 11 月	龍谷大学深草キャンパス成就館
出口 蓮	電子情報通信課程	木村 瞳	IMFEDK2024	2024 年 11 月	龍谷大学深草キャンパス成就館
中川 聖也	電子情報通信課程	木村 瞳	IMFEDK2024	2024 年 11 月	龍谷大学深草キャンパス成就館
根本 萌	電子情報通信課程	木村 瞳	IMFEDK2024	2024 年 11 月	龍谷大学深草キャンパス成就館
矢木 墨	応用化学課程	宮武 智弘	第 3 回ソフトクリスタル研究会	2024 年 11 月	東京ビッグサイト
中村 元哉	環境科学コース	藤森 崇	2024 年室内環境学会学術大会	2024 年 11 月	北海道大学学術交流会館
石田 結子	環境ソリューション工学専攻	山中 裕樹	第 7 回環境 DNA 学会つくば大会	2024 年 11 月	つくば国際会議場
中池 天音	情報メディア学専攻	奥 健太	人文科学とコンピュータシンポジウム（じんもんこん 2024）	2024 年 12 月	東北大学川内キャンパス
安喜 友哉	機械システム工学専攻	田原 大輔	第 35 回バイオフロンティア講演会	2024 年 12 月	横浜国立大学

発表者	所 属	指導教員	学会・講演会等名	時 期	会 場
大林 希	機械工学・ロボティクスコース	田原 大輔	第35回バイオフロンティア講演会	2024年12月	横浜国立大学
辻 拓斗	機械工学・ロボティクス課程	大津 広敬	令和6年度宇宙航行の力学シンポジウム	2024年12月	宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所
渋谷 朋暉	数理情報学専攻	高橋 隆史	2024年度武蔵野大学龍谷大学連携シンポジウム	2025年2月	武蔵野大学有明キャンパス
赤堀 希	数理・情報科学課程	山岸 義和	2024年度武蔵野大学龍谷大学連携シンポジウム	2025年2月	武蔵野大学有明キャンパス
植田 彩加	数理・情報科学課程	山岸 義和	2024年度武蔵野大学龍谷大学連携シンポジウム	2025年2月	武蔵野大学有明キャンパス
森川 泰輔	知能情報メディアコース	片岡 章俊	第11回音声・音響・信号処理ワークショップ (SPEASIP)	2025年3月	沖縄県青年会館
小柳 優斗	応用化学コース	大柳 満之	日本セラミックス協会2025年年会	2025年3月	静岡大学浜松キャンパス
村山 慶多	知能情報メディア課程	植田 祥明	スマートインフォメディア システム研究会 (SIS)	2025年3月	機械振興会館
田邊 稔汰	電子情報学専攻	植村 渉	第52回知能システムシンポジウム	2025年3月	近畿大学東大阪キャンパス
中内 悠太	知能情報メディアコース	植田 祥明	映像表現・芸術科学フォーラム 2025	2025年3月	東京工芸大学中野キャンパス
北川 翔麻	情報メディア学専攻	山本 哲男	情報処理学会第87回全国大会	2025年3月	立命館大学大阪いばらきキャンパス
田中 瑞貴	電子情報通信課程	山本 伸一	2025年第72回応用物理学会春季学術講演会	2025年3月	東京理科大学野田キャンパス
西塚 直之	電子情報通信課程	山本 伸一	2025年第72回応用物理学会春季学術講演会	2025年3月	東京理科大学野田キャンパス
藤友 雄也	電子情報通信課程	山本 伸一	2025年第72回応用物理学会春季学術講演会	2025年3月	東京理科大学野田キャンパス
中村 空海	電子情報通信課程	山本 伸一	2025年第72回応用物理学会春季学術講演会	2025年3月	東京理科大学野田キャンパス
北坂 拓己	電子情報通信課程	山本 伸一	2025年第72回応用物理学会春季学術講演会	2025年3月	東京理科大学野田キャンパス
松葉 瞭	電子情報通信課程	山本 伸一	2025年第72回応用物理学会春季学術講演会	2025年3月	東京理科大学野田キャンパス
末次 大輝	電子情報通信課程	山本 伸一	2025年第72回応用物理学会春季学術講演会	2025年3月	東京理科大学野田キャンパス
関矢 大雅	電子情報通信課程	山本 伸一	2025年第72回応用物理学会春季学術講演会	2025年3月	東京理科大学野田キャンパス
河南 昌吾	電子情報通信課程	山本 伸一	2025年第72回応用物理学会春季学術講演会	2025年3月	東京理科大学野田キャンパス
大橋颯士郎	情報メディア学専攻	片岡 章俊	日本音響学会第153回(2025年春季)研究発表会	2025年3月	埼玉大学
北山 日向	情報メディア学専攻	片岡 章俊	日本音響学会第153回(2025年春季)研究発表会	2025年3月	埼玉大学
古田 俊樹	情報メディア学専攻	片岡 章俊	日本音響学会第153回(2025年春季)研究発表会	2025年3月	埼玉大学
田中 駿斗	環境科学コース	奥田 哲士	第59回日本水環境学会年会	2025年3月	北海道大学工学部
武田 知也	応用化学コース	大柳 満之	電気化学会第92回大会	2025年3月	東京農工大学小金井キャンパス
中西 健人	応用化学コース	大柳 満之	電気化学会第92回大会	2025年3月	東京農工大学小金井キャンパス
東畑 淳登	知能情報メディアコース	菅谷 至寛	2025年電子情報通信学会 総合大会	2025年3月	東京都市大学世田谷キャンパス
竹内 横作	知能情報メディア課程	菅谷 至寛	2025年電子情報通信学会 総合大会	2025年3月	東京都市大学世田谷キャンパス
竹山 諒	知能情報メディア課程	菅谷 至寛	2025年電子情報通信学会 総合大会	2025年3月	東京都市大学世田谷キャンパス

発表者	所 属	指導教員	学会・講演会等名	時 期	会 場
山木 健弘	電子情報通信課程	吉田 賢史	2025 年電子情報通信学会 総合大会	2025 年 3 月	東京都市大学世田谷キャンパス
川崎 優貴	電子情報通信課程	木村 瞳	19th International TFT Conference 2025	2025 年 3 月	奈良公園バスター・ミナル
堀内 厚志	電子情報通信課程	木村 瞳	19th International TFT Conference 2025	2025 年 3 月	奈良公園バスター・ミナル

〈競技会・展示会出場〉

代表者	所 属	指導教員	競技会・展示会名	時 期	会 場
田邊 稔汰	電子情報学専攻	植村 渉	ロボカップジャパンオープン 2024	2024 年 4 月	滋賀ダイハツアリーナ
中嶋 洋介	電子情報通信課程	植村 渉	RoboCup2024	2024 年 7 月	Gennep Parken (オランダ)
村井 隼人	機械工学・ロボティクスコース	野口 佳樹	2024 Ene-1 SUZUKA Challenge	2024 年 7 月	鈴鹿サーキット
大谷 隼平	機械工学・ロボティクス課程	野口 佳樹	2024 Ene-1 SUZUKA Challenge	2024 年 7 月	鈴鹿サーキット
村井 隼人	機械工学・ロボティクスコース	野口 佳樹	2024 Ene-1 MOTEGI GP	2024 年 9 月	モビリティリゾートもてぎ
大谷 隼平	機械工学・ロボティクス課程	野口 佳樹	2024 Ene-1 MOTEGI GP	2024 年 9 月	モビリティリゾートもてぎ
古川 大夢	電子情報通信課程	吉田 賢史	MWE (マイクロウェーブ展 2024)	2024 年 11 月	パシフィコ横浜
林 晃大	電子情報通信課程	石崎 俊雄	MWE (マイクロウェーブ展 2024)	2024 年 11 月	パシフィコ横浜
磨谷 大地	電子情報通信コース	石崎 俊雄	無線電力伝送研究会 (WPT)	2024 年 12 月	金沢工業大学扇が丘キャンパス
谷本 那有	電子情報通信課程	石崎 俊雄	無線電力伝送研究会 (WPT)	2024 年 12 月	金沢工業大学扇が丘キャンパス
村川 和也	電子情報通信課程	石崎 俊雄	無線電力伝送研究会 (WPT)	2024 年 12 月	金沢工業大学扇が丘キャンパス

〈北米拠点科目履修 (RUBeC 演習)〉

履修者	所 属	指導教員	履修内容	時 期	場 所
磯 智貴	機械工学・ロボティクスコース	大津 広敬	RUBeC 演習	2024 年 8 月	Jodo Shinshu Center (アメリカ)
小熊 龍	機械工学・ロボティクスコース	大津 広敬	RUBeC 演習	2024 年 8 月	Jodo Shinshu Center (アメリカ)
杉本 将佑	機械工学・ロボティクスコース	大津 広敬	RUBeC 演習	2024 年 8 月	Jodo Shinshu Center (アメリカ)
鈴木 翔太	機械工学・ロボティクスコース	大津 広敬	RUBeC 演習	2024 年 8 月	Jodo Shinshu Center (アメリカ)
出島 韶	機械工学・ロボティクスコース	大津 広敬	RUBeC 演習	2024 年 8 月	Jodo Shinshu Center (アメリカ)
長谷川航大	機械工学・ロボティクスコース	野口 佳樹	RUBeC 演習	2024 年 8 月	Jodo Shinshu Center (アメリカ)
原口 勇斗	機械工学・ロボティクスコース	森 正和	RUBeC 演習	2024 年 8 月	Jodo Shinshu Center (アメリカ)
村井 隼人	機械工学・ロボティクスコース	野口 佳樹	RUBeC 演習	2024 年 8 月	Jodo Shinshu Center (アメリカ)
村上 悠	機械工学・ロボティクスコース	大津 広敬	RUBeC 演習	2024 年 8 月	Jodo Shinshu Center (アメリカ)
森田 峻登	機械工学・ロボティクスコース	野口 佳樹	RUBeC 演習	2024 年 8 月	Jodo Shinshu Center (アメリカ)
池田 佳輔	応用化学コース	大津 広敬	RUBeC 演習	2024 年 8 月	Jodo Shinshu Center (アメリカ)
村松 拓実	応用化学コース	小寺 康博	RUBeC 演習	2024 年 8 月	Jodo Shinshu Center (アメリカ)

〈グローバル人材育成プログラム〉

履修者	所 属	指導教員	履修内容	時 期	場 所
浦山 健太郎	知能情報メディア課程	富崎 欣也	グローバル人材育成プログラム	2024年8月	サンフランシスコ(アメリカ)
中井 陽斗	知能情報メディア課程	富崎 欣也	グローバル人材育成プログラム	2024年8月	サンフランシスコ(アメリカ)
山根 広嗣	電子情報通信課程	富崎 欣也	グローバル人材育成プログラム	2024年8月	サンフランシスコ(アメリカ)
山本 崇	機械工学・ロボティクス課程	富崎 欣也	グローバル人材育成プログラム	2024年8月	サンフランシスコ(アメリカ)
白井 優貴	機械工学・ロボティクス課程	富崎 欣也	グローバル人材育成プログラム	2024年8月	サンフランシスコ(アメリカ)
沖田 藍莉	応用化学課程	富崎 欣也	グローバル人材育成プログラム	2024年8月	サンフランシスコ(アメリカ)
東 里穂	応用化学課程	富崎 欣也	グローバル人材育成プログラム	2024年8月	サンフランシスコ(アメリカ)
榎本 千聖	環境生態工学課程	富崎 欣也	グローバル人材育成プログラム	2024年8月	サンフランシスコ(アメリカ)
藤田 朝子	環境生態工学課程	富崎 欣也	グローバル人材育成プログラム	2024年8月	サンフランシスコ(アメリカ)

〈ASEAN グローバルプログラム〉

履修者	所 属	指導教員	履修内容	時 期	場 所
濱野 蒼生	電子情報通信課程	奥田 哲士	ASEAN グローバルプログラム	2024年8月	ハノイ(ベトナム)
西山 怜成	環境生態工学課程	奥田 哲士	ASEAN グローバルプログラム	2024年8月	ハノイ(ベトナム)

〈学会聴講〉

聴講者	所 属	指導教員	学会・講演会等名	時 期	会 場
内林 一雄	機械工学・ロボティクス課程	森 正和	溶接学会 2024年度春季全国大会講演会	2024年4月	大阪大学中之島センター
田中 駿佑	機械工学・ロボティクス課程	森 正和	溶接学会 2024年度春季全国大会講演会	2024年4月	大阪大学中之島センター
桂田 治輝	知能情報メディア課程	植田 祥明	FIT2024 第23回情報科学技術フォーラム	2024年9月	広島工業大学五日市キャンパス
岡本 怜大	機械工学・ロボティクス課程	大塩 裕哉	第68回宇宙科学技術連合講演会	2024年11月	姫路市文化コンベンションセンター アクリエひめじ
荒巻 友亮	電子情報通信課程	吉井 一倫	第9回フォトニクスワークショップ「光で探る多彩な未来図!」	2024年11月	沖縄県青年会館
岡山 玲太	電子情報通信課程	吉井 一倫	第9回フォトニクスワークショップ「光で探る多彩な未来図!」	2024年11月	沖縄県青年会館
兼房 蒼空	電子情報通信課程	吉井 一倫	第9回フォトニクスワークショップ「光で探る多彩な未来図!」	2024年11月	沖縄県青年会館
立田 怜也	電子情報通信課程	吉井 一倫	第9回フォトニクスワークショップ「光で探る多彩な未来図!」	2024年11月	沖縄県青年会館
森 志音	電子情報通信課程	吉井 一倫	第9回フォトニクスワークショップ「光で探る多彩な未来図!」	2024年11月	沖縄県青年会館

## 2024 年度 龍谷大学理工学会 会計報告

2024 年 4 月 1 日～2025 年 3 月 31 日

### 〈収入の部〉

(単位:円)

科 目	決算額	備 考
普通会員会費 年会費 4,000 円 入会金 2,000 円	436,000	〈入会金〉 新規 @2,000 × 4 名 〈年会費〉 継続 @4,000 × 102 名 新規 @4,000 × 4 名 新規 (本学部出身者) @4,000 × 1 名
学生会員会費 年会費 3,000 円 入会金 2,000 円	8,891,500	〈入会金〉 学部生 @2,000 × 601 名 大学院修士課程 @2,000 × 0 名 大学院博士課程 @2,000 × 1 名 〈年会費〉 学部生 @3,000 × 2,355 名 学部生 (半期のみ) @1,500 × 34 名 大学院修士課程 @3,000 × 181 名 大学院修士課程 (半期のみ) @1,500 × 3 名 大学院博士課程 @3,000 × 8 名 大学院博士課程 (半期のみ) @1,500 × 0 名
雑 収 入	0	
合 計	9,327,500	

### 〈支出の部〉

(単位:円)

科 目	決算額	備 考
業務委託費	753,500	龍谷理工ジャーナル 36-1(補遺版), 36-2(本誌), 37-1(本誌)
原稿料	147,005	龍谷理工ジャーナル 36-2 (本誌), 37-1 (本誌)
発送費	0	
会議費	0	
消耗品費	0	
通信費	0	
事務印刷費	0	
備品費	0	
学生研究活動助成費	7,259,775	学生会員の研究・開発活動に対する補助 ・国内・国外学会参加 ①国内学会発表 127 件 ②国外学会発表 3 件 ・競技会・展示会参加 11 件 ・派遣留学 1 件 ・北米拠点科目履修 (RUBeC) 12 件 ・明治大学, 広島大学単位互換 0 件 ・グローバル人材育成プログラム 9 件 ・ASEAN グローバルプログラム 2 件 学部生の学会聴講参加に対する補助 計 10 件
合 計	8,160,280	

# 龍谷理工ジャーナル VOL. 37-2 2025

---

2025年10月31日発行

編集・発行 龍谷大学理工学会

編集委員長 越川 博元（環境科学課程）

編集委員 数理・情報科学課程 …… 谷 綾子

知能情報メディア課程 …… 渡邊 靖彦

電子情報通信課程 …… 里井 久輝

機械工学・ロボティクス課程 … 前田 英史

応用化学課程 …… 渡辺 英児

環境科学課程 …… 菊池隆之助

〒520-2194 大津市瀬田大江町横谷1-5

TEL 077-543-5111(代)

製 作 協 和 印 刷 (株)

〒615-0052 京都市右京区西院清水町13

TEL 075-312-4010

---