

龍谷理工ジャーナル

Ryukoku Journal of Science & Technology

龍谷理工ジャーナル

No. 88
VOL.37-1
2025

目 次

解 説

多視点幾何学を VR/AR での視線解析に応用してみた	池 田 聖	1
公設試の利活用と公設試で取り組んだ研究紹介 (小径エンドミルを用いた高精度・ 高品質な微細金型加工技術)	今 田 琢 巳	8
水素貯蔵材料の速度論・平衡論と基礎物性 ——マグネシウム・パラジウム・ アンモニアボランに注目して——	清 水 吉 大	14
クリーンで効率的なエネルギーの生成、貯蔵、使用のための絶え間ない探求 ——材料とエネルギーの相乗効果——	ヘルナンデス ホセ	24

隨 想

2023 年 NY 滞在記 part 1	山 本 伸	29
----------------------	-------	----

学生の広場

2024 Ene-1 活動報告	小 熊 龍 村 井 隼 人 近 藤 悠 輝	39
-----------------	-----------------------------	----

特集 学生の研究活動報告－国内学会大会・国際会議参加記 40

ロボカップジャパンオープン 2024 に参加して	田 邁 稲 汰	49
オランダでの RoboCup2024 世界大会への参加	中 嶋 洋 介	51
2024 Ene-1 SUZUKA Challenge に参加して	村 井 隼 人	53
2024 Ene-1 SUZUKA challenge に参加して	大 谷 隼 平	55
Ene-1 MOTEGI GP に参加して	村 井 隼 人	57
2024 Ene-1 MOTEGI GP に参加して	大 谷 隼 平	59

グローバル人材育成プログラム	浦 山 健太郎	61
アメリカでの研修を経て	中 井 陽 斗	63
グローバル人材育成プログラムに参加して変化した私の心境	山 根 広 翔	65
グローバル人材育成プログラム活動報告書	山 本 崇	67
「グローバル人材育成プログラム」にて得た知見	白 井 優 貴	69
グローバル人材育成プログラムに 参加したことによる考え方の変化	沖 田 藍 莉	71
グローバル人材育成プログラムを経て	東 里 穏	73
グローバル人材育成プログラムに参加して	榎 本 千 聖	75
グローバル人材育成プログラムを終えて／ Challenge each other	藤 田 朝 子	77
ASEAN グローバルプログラムに参加して	濱 野 蒼 生	79
ASEAN グローバルプログラムに参加して	西 山 怜 成	81
RUBeC 演習に参加して	磯 智 貴	83
RUBeC 演習に参加して	小 熊 龍	85
RUBeC 演習を終えて	杉 本 将 佑	87
RUBeC 演習を終えて	鈴 木 翔 太	89
RUBeC 演習を終えて	出 島 韶	91
RUBeC 演習に参加して	長谷川 航 大	93
RUBeC 演習に参加して	原 口 勇 斗	95
RUBeC 演習参加報告書	村 井 隼 人	97
「RUBeC 演習」を終えて	村 上 悠	99
RUBeC 演習について	森 田 峻 登	101
RUBeC 演習	池 田 佳 輔	103
RUBeC 演習の報告および感想	村 松 拓 実	105
PIERS in Chengdu でのポスター発表の報告	戸 田 佳 宏	107
ロボティクス・メカトロニクス講演会 2024 in Utsunomiya に参加して	平 賀 民 恵	109
第 73 回高分子学会年次大会に参加して	中 田 光 星	111
第 73 回高分子学会年次大会に参加して	西 村 天 真	113

種々のアミノフェノールを原料とした可溶性ベンゾオキサジン 共重合体の合成とその熱硬化物の特性	黒田一成	115
脂環式骨格を導入した高分子量ベンゾオキサジンの合成と その熱硬化物の特性	徳川乃円	117
Fast learning in spike-timing-dependent-plasticity using Ga-Sn-O thin film Ga-Sn-O 薄膜を用いた スパイクタイミング依存可塑性の高速学習	北栄人	119
Synaptic device for neuromorphic systems integrating ferroelectric-gate field effect transistor and capacitor (強誘電体ゲート電界効果トランジスタとキャパシタを統合した ニューロモルフィックシステム用シナプス素子)	澤井一輝	121
第 56 回流体力学講演会に参加して	青木啓悟	123
第 56 回流体力学講演会を終えて	池上友翼	125
第 56 回流体力学講演会／第 42 回 ANSS に参加して	神谷悠	127
第 56 回流体力学講演会／第 42 回 ANSS への参加報告	粉室明弘	129
Water and Environment Technology Conference 2024 (WET2024) での研究発表	一宮悠晟	131
情報処理学会 第 209 回ヒューマンコンピュータ インタラクション研究会に参加して	江南柊亮	133
「第 35 回配位化合物の光化学討論会」に参加して	近藤智也	135
第 42 回日本ロボット学会学術講演会に参加して	橋本一海	137
水中遺跡調査のためのスラスタを用いた 発掘デバイスの試作と実現可能性	松前辰武	139
2024 年度溶接学会秋季全国大会での研究成果の発表	野田能修	141
溶接学会 2024 年度秋季全国大会に参加して	益野岳登	143
第 23 回情報科学技術フォーラム (FIT2024) に参加して	楠純哉	145
第 22 回情報科学フォーラム (FIT2024) に参加して	高木裕也	147
種々の貴金属とヒ素化合物の相互作用の評価	峯田蓮大	149
種々のアルミニウム塩およびリン酸化合物の X 線光電子スペクトルと DV-X α 分子軌道計算	大村拓海	151
樹脂材料 POM の疲労寿命に及ぼす繰返し速度の影響	立脇大雅	153
日本機械学会 2024 年度年次大会に参加して	能勢剛史	155

日本機械学会 2024 年度年次大会に参加して	矢羽田 聰志	157
第 35 回廃棄物資源循環学会研究発表会に参加して	村 上 太一	159
2024 年日本液晶学会討論会・液晶交流会	岡 明澄	161
電子情報通信学会ソサエティ大会に参加して	上 本 瞭	163
2024 年度学生マイクロ波回路設計試作コンテスト		
に参加して	磨 谷 大地	165
学生マイクロ波回路設計試作コンテストに参加して	小 島 拓斗	167
学生マイクロ波回路設計試作コンテストに参加して	小 西 優雅	169
2024 年電子情報通信学会ソサイエティ大会に参加して	中 尾 晃大	171
2024 年電子情報学会ソサイエティ大会に参加して	中 山 慎太郎	173
2024 年度学生マイクロ波回路設計試作コンテスト		
に参加して	村 川 和也	175
2024 年度学生マイクロ波回路設計試作コンテスト		
に参加して	塩 見 忠広	177
「第 65 回大気環境学会年会」における研究発表	片 岡 是宗	179
液液界面イオン移動ボルタンメトリー用の		
新規有機溶媒の探査	川 又 康平	181
日本分析化学会第 73 年会に参加して	草 野 佑衣	183
日本分析化学会第 73 年会に参加して	佐 野 力架	185
液液界面イオン移動ボルタンメトリー用の		
新規有機溶媒の探査	林 龍之介	187
日本分析化学会第 73 年会に参加して	前 田 健太郎	189
第 18 回バイオ関連化学シンポジウム	神 田 ららほ	191
Analysis of intracellular behavior of peptide		
heterodimers labeled with FRET probes	田 中 かれん	193
第 18 回バイオ関連化学シンポジウム	藤 本 翔也	195
第 18 回バイオ関連科学シンポジウム	齋 田 颯心	197
第 18 回バイオ関連化学シンポジウム	山 岡 湖ノ波	199
第 85 回応用物理学会秋季学術講演会に参加して	永 井 慈	201
第 85 回応用物理学会秋季学術講演会に参加して	篠 田 太陽	203

手術シミュレーター用模擬骨のドリリング特性評価 に関する研究	油 木 直 斗	205
手術シミュレーター用模擬臓器のための軟材料の 力学的パラメータ評価に関する研究	原 田 叔 和	208
ジャイロイド構造の有限要素モデリングと 力学的特性評価に関する研究	水 井 樹	211
第 175 回秋季日本金属学会での研究発表	久 門 新	214
α -Li ₂ TiO ₃ 及び β -Li ₂ TiO ₃ が触媒として Mg への 水素化反応に与える影響	塩 田 大 智	216
第 175 回日本金属学会公演大会における研究発表	佐 藤 良 亮	218
第 73 回高分子討論会に参加して	須 藤 諒 大	220
第 24 回環境技術学会年次大会に参加して	山 本 大 輝	222

多視点幾何学を VR/AR での 視線解析に応用してみた

池 田 聖
Sei IKEDA

先端理工学部知能情報メディア課程 教授
Professor, Intelligent Media Informatics Course



はじめに

私は 2024 年 4 月に知能情報メディア課程に着任したバーチャルリアリティ (Virtual Reality, VR) および拡張現実感 (Augmented Reality, AR) の研究者である。本稿では、自己紹介を兼ねてこれまで取り組んできた研究を紹介し、これから取り組む研究を述べたい。私が大学院生時代に必死で勉強したのは、実環境の 3 次元的な認識を取り扱うコンピュータビジョンの一分野である多視点幾何学であった。学部生時代は、線形代数などは、数字をこねくり回すパズル程度のものであって現実には役には立たないと決めつけて、二度も単位を落とすくらい基礎勉強をさぼっていた。そんな私にとってこの多視点幾何学の教科書を読み込むのは相当な労力が必要であった。ところがそれだけ苦労して学んだにも関わらず、それから約 20 年経った前職の大蔵大学においては、気がつけば一見それとは全く異なる分野のように見える視線解析、とりわけ VR や AR を含む三次元空間内を動き回る利用者を対象とした三次元的な視線解析という分野にどっぷり浸かっていた。

本稿では、まず多視点幾何学のどの要素が重要で、どのような分野に応用できるのかを説明し、次に、それと三次元視線解析の間にどのような共通点

があるのかを説明する。その共通点を見出すことができれば視線解析にその考え方を導入することができ、複数の新しい応用が可能になることが分かるはずである。

多視点幾何学とその応用

多視点幾何学とは、カメラが複数箇所に存在する際にその画像と撮影対象であるシーンの幾何学的関係を記述する幾何学である。これは一台のカメラが移動しながら何枚も画像を取得する場合や動画像として連続して画像が得られる場合も当てはまる。

多視点幾何学の代表的な応用先は、三次元復元、任意視点画像生成、パノラマ画像生成、カメラ位置推定、カメラキャリブレーションなどである。三次元復元とは、複数の画像が与えられたときに、画像に共通して写る部分の三次元形状を推定する技術である。2 台のカメラにより特定の箇所の奥行き画像を取得する場合はステレオ法、多数の画像の場合は多視点ステレオ法 (Multi-view Stereo) と呼ぶ。Structure from Motion (SfM) は、多数の特徴点群の三次元位置とカメラの位置姿勢を同時に推定する技術であり、こうした技術は総称して Photogrammetry とも呼ばれる。任意視点画像生成とは、複数の画像が与えられたときにそれらとは異なる位置から

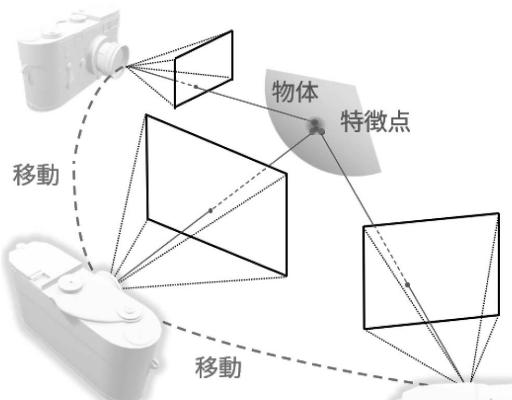


図1 カメラと特徴点

見える画像を生成する画像生成技術である。同じ画像生成技術の一種である、パノラマ画像生成は、現在はスマートフォンのカメラの撮影モードの一つとして広く知られている。カメラ位置推定は、画像からその画像を取得したカメラの位置と姿勢を推定する技術であり、カメラキャリブレーションはそれに加えてカメラの焦点距離やレンズ歪みのパラメータを推定する技術である。SfMをライブ動画に適用する技術は、Visual SLAM (Simultaneous localization and mapping) と呼ばれ、現在スマートフォンの位置姿勢推定の機能として標準搭載されている。

何れの応用においても重要なのは、図1に示すような複数の画像中に写る共通の点（対応点）を多数獲得することである。それが一旦得られれば確立された幾何学的な計算を施すことができる訳であるが、実際にはこれが簡単なことではなく、どのようなシーンでも必ずうまくいくという方法は存在しない。そのため、上記応用の初期段階の処理においては、色や形が既知であるマーカを用いることや、対応が一意に定まりやすい点（特徴点）を検出することが殆どである。

VR/AR における視線計測

VR や AR では、利用者の視界にコンピュータグラフィクス (Computer Graphics, CG) により描かれた像が提示される。CG を描くためには、シーンの

三次元形状や色を与え、仮想の光源を設置し、そこに仮想のカメラを配置する必要がある。VR や AR では、更にその CG を立体的に感じさせるために、両眼に視差を含む異なる像を提示する必要がある。このためには、各眼の位置に仮想のカメラを配置して、それぞれで CG 像を描画する。つまりこの CG のシーンを描くカメラ（シーンカメラ）の存在が、多視点幾何学との 1 つ目の共通点である。

近年、VR や AR に対応したヘッドマウントディスプレイ (Head-mounted Display, HMD) のハイエンドモデルには視線計測器が標準で内蔵される傾向にある。Meta Quest Pro, Apple Vision Pro, Microsoft HoloLens 2, Magic Leap 2, Vive Focus Vision などはその良い例である。

CG シーンの提示装置である VR/AR 用の HMD になぜ視線計測が必要なのか疑問に思われる方もいるかも知れない。実は VR や AR においては、視線だけでなく、利用者の様々な状態を計測するセンサが必要となる。利用者の視界が仮想空間内でどの位置からどの方向に捉えているのかが分からなければ、CG 像を描くことはできないため、HMD には頭部の位置と姿勢を計測する様々なセンサが搭載されている。仮想物体を操作するために、手の位置や指の状態を計測するセンサも必要であり、それらと同様に視線も必要となる¹⁾。

VR における視線計測のもっとも分かりやすい利用例は、アバターの眼球運動の表現である。VR 空間内で他の利用者とのコミュニケーションには、アバターの視線が重要であることは良く知られている²⁾。他の利用者の分身であるアバターの眼球を利用者のそれと同期させるために、視線計測が使われる所以である。同様にアバターの表情も重要な要素であるため、近年は表情を捉えるセンサも標準搭載される傾向にあり、今後より高品質な VR/AR を実現するには利用者の身体の各部位を詳細に計測するようになるであろう。

中心窓レンダリング³⁾も視線計測の理解しやすい応用例である。人間は、対象物を視細胞が最も密集

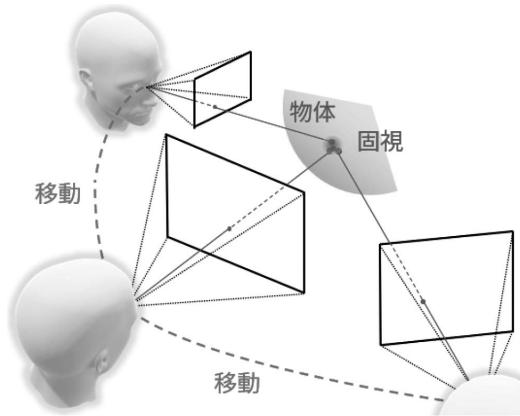


図 2 シーンカメラと固視

する中心窓で鮮明に捉える。そのため、注視している対象以外の周辺視野はピンボケしていて鮮明には見えない。HMD が、人の視野と視力に対応する像を提示するためには、両眼で 180 度以上の視野角に対して視力 1.0 相当の画素密度 (1/60pixel/deg) での CG 像を描かなければならず、単純計算で水平 10,800 (= 180 × 60) 以上の画素数となる。近年においても高性能なデスクトップ PC でなければ十分な更新レートで描けないほど計算負荷が高くなる。しかし、周辺視野をピンボケすることを考慮すると、必ずしも視野全体を高解像度で描画する必要はなく、利用者の注視位置付近以外は低解像度で描けば良いことになる。この中心窓レンダリングが上手くいけば利用者は一切気づくことなく、計算負荷を削減することができる。これを実現するには、利用者の視線を計測し、リアルタイムで描画結果に反映させなければならない。

その他にも、注視対象の奥行きに応じて提示像の焦点ボケが変化する焦点深度の再現技術、眼球が回転することでレンズ中心が移動することにより生じる視差（眼内視差）を再現する技術など様々な技術に、視線計測を利用できることが分かる。

三次元固視検出に基づく視線解析

ここまで話は、VR/AR に視線の情報は重要で様々な技術に応用できるという話だった。ここから

はその中でも視線を三次元的に捉えて解析する三次元視線解析の話に焦点を当てる。三次元的に捉えるとは、単にディスプレイ上に表示される画像上のどの位置（二次元位置）に視線が衝突するのかではなく、三次元空間内のどこに視線が衝突するのかを扱うことである。この二つが大きく異なるのは、利用者の頭部位置が大きく移動するときであり、本稿でいう三次元視線解析とはそのようなケースのみを扱う。

この三次元視線解析においても、はじめに述べたような多視点幾何学とのもう一つの共通点が見いだせる。先程は、カメラが移動することと利用者の視界がシーンカメラとして移動することとの共通点を述べたが、ここではもう一つの重要な点の話である。それは、異なるシーンカメラに写る（利用者の視界にある）共通点である。図 2 のように、もし一定の時間頭部が移動しながらも視線が物体上の同一点を指すようなことがあれば、この状態は図 1 とそっくりであり同じ考え方が適用できると考えられる。しかし、そのような都合の良い視線が生じるものなのか？

好都合にも、固視という眼球運動中にそのようなことが起きるのである。教科書や Web 上で固視の定義を調べると、眼球が殆ど動かず一定の方向を見るように停留することという主旨の説明が見つかるが、実は専門家の間でも「固視」の定義は定まっていない⁴⁾。我々は、注視する物体表面上で視線の衝突点が狭い範囲に収まるように眼球が運動することと定義している。これは眼球がものを鮮明に捉るためにシーンが静止していれば、眼球が一時的に殆ど停止するが（実際にはわずかに小刻みに動くマイクロサッケードが生じている）、対象が動いている場合にはその対象を追跡するように眼球が動く。追跡するのでこの現象を追跡眼球運動 (smooth pursuit eye movement) などと呼ぶが、我々の定義では固視と追跡眼球運動の区別はしない。

図 3 は、固視眼球運動の特徴を表している。同図上段は、水平線に沿って滑らかに視線を移動しよう

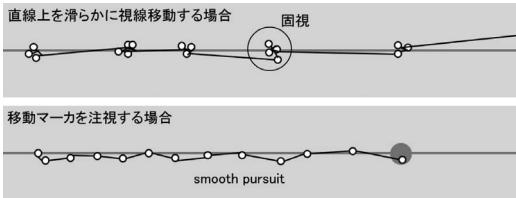


図 3 固視は無意識でも生じる眼球運動

とした際の注視点の動きを表す。注視点は、決して滑らかに移動することなく、特定の箇所で何度も停留する。同図下段のように水平線上を移動する灰色の丸マーカを見るように指示した場合は、滑らかに注視点が移動する。教科書などでは上段の状態を固視と呼び、下段の状態を追跡眼球運動と呼ぶが、これは頭部が固定された状況下での眼球運動の分類であって、三次元環境中で頭部が移動する状況下では、これらが同時に起きるため二つは区別できない。

ここで重要な点は、特定の箇所で注視点が停留する固視は、意識せども生じる眼球運動という事である。意識する必要がないので、自然と発生する固視を解析する限りにおいては、利用者にマーカなどの特定箇所を注視させる必要がないということを意味する。つまり自然に仮想環境内や実環境内を移動する際に発生する眼球運動から解析できるということである。

従来の視線解析においては、頭部を固定し、平面のディスプレイを視覚刺激として様々な実験が行われてきたが、近年の VR/AR 用の位置・姿勢センサの発達により、大掛かりな設備を導入しなくても頭部移動中の任意の環境における視線解析が可能になった。

以上のように VR/AR センサの技術発展によって初めて、より自然な状態での人の視線解析が可能となったことを述べた。次節では具体的に三次元固視検出に基づく視線解析の具体的な応用先を説明する。

三次元固視検出に基づく注視対象の推定

第一の応用先は、AR 環境における注視対象の推定である⁵⁾。視線計測により視線方向がわかれば、その方向を延長し物体との衝突点を算出することができるので、注視する物体や注視位置は簡単に分かることはないかと思われるかもしれない。基本的にはそれは正しいが、半透明な物体がないという条件付きである。

しかし、AR 環境、とりわけ提示する仮想物体が半透明になる光学透過型の HMD や透明な据え置きディスプレイなどを用いる場合は、そうではない。AR 環境の場合は、メニューや案内などの仮想物体を半透明にすることで視野が完全に遮蔽されてしまうことを防ぐことができるため、半透明の仮想物体が提示されることが多い。これらの半透明の仮想物体と実物体の 2 つが視線と衝突する可能性がある。つまり、利用者の視線方向を計測しても、利用者が仮想物体を見ているのか、実物体を見ているのか判別がつかない。図 4 は、AR 環境において視線が衝突する物体が 2 つあることを示している。実環境を注視する場合においても、仮想物体を注視する場合においても、視線の衝突点は二箇所あり視線計測機の情報だけでは、どちらを注視しているのかは分からぬ。

注視点の奥行きを推定する技術は従来から研究されている。両眼の輻輳角から奥行きを推定するものや、水晶体調節をセンシングする手法などがあるが、何れも利用者から 1m 以内の近距離で有効な手法であり、一般的の環境に対して有効な手法は存在しない。

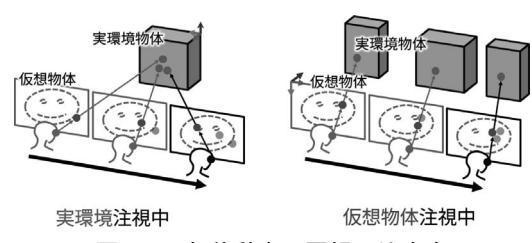


図 4 頭部移動中の固視と衝突点

これに対して我々が提案する手法は、利用者が移動中であることに限定されるが、移動速度によってはかなりの遠景まで対応可能な手法である。注視対象を推定する手法の原理は、次の通りである。図4を再び見て頂きたい。移動する車両のガラス窓（透明ディスプレイ）に仮想物体が提示されている状況下での、視線の動きを表している。左図では、利用者が透明ディスプレイを通して実環境を注視している。固視が生じている間は、この図のとおり実物体表面上の一点に視線の衝突点が密集するはずである。一方、車両の移動に伴い頭部とディスプレイが移動しており、視線はディスプレイにも衝突する。しかし、この場合の衝突点は、眼窓が中心窓に捉えようとする対象ではないため、一箇所に密集することなく車両の移動とともにその位置がばらつくはずである。

逆に、右図のように利用者が透明ディスプレイ上の像（仮想物体）を注視している場合は、この関係が逆になる。固視が発生している間の複数の視線とディスプレイの衝突点は、仮想物体像の一箇所に集中するはずである。逆に実環境との衝突点は、車両の移動とともにばらつく。この性質を利用して我々の手法では、両物体上で3次元固視検出を実施し、より多くの固視が検出された方を注視対象だと推定できる訳である。

この技術の有効性は現在VR環境でのみ確認されている。図5は、VR環境内に仮想の町並みを構築し、透明ディスプレイである窓を通して移動する車両から見える風景をシミュレートした。窓にはロンドンの地下鉄の路線図が表示されており、半透明に描画されている。図中には、大小の2種類の球体が描画されているが、小さい球体が視線とディスプレイの交点（手前）を表し、大きな球体が視線と実環境との交点（奥）を表す。この球体の動きを見れば人の目で見ても、仮想物体（手前）と実物体（奥）のどちらを注視しているかが分かる。注視されている側は、球体が固視により一定箇所にとどまり、サッケードによりジャンプする。注視していな

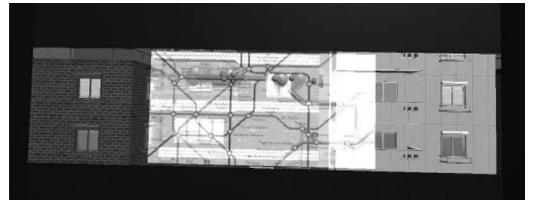


図5 移動車両をシミュレートするVR環境

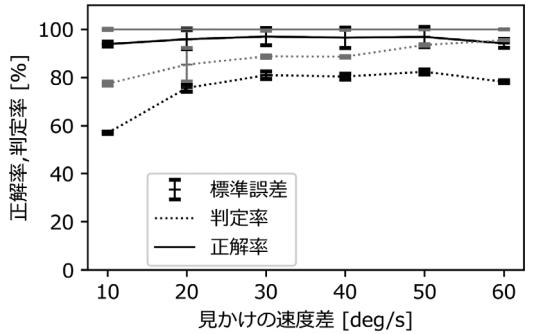


図6 注視対象の判定率と正解率

い側では球体が流れる。

図6は、計算機による判定の判定率と正解率を示す。判定率とは、固視がどちらか一方で検出される割合であり、そうでない場合は判定不能となる。正解率は、判定されたフレームに対して、正しい判定結果であった割合を示す。見かけの速度差とは、利用者の視点を中心として、提示された像の見かけの速度と実環境の見かけの速度の差を示しており、この見かけの速度差がなければ原理的にどちらを見ているか判定できない。灰色の線は仮想物体を注視している際の結果を表し、黒い線は実環境を注視している際の結果を表す。

図6の結果からは、見かけの速度差が10deg/sあたりでは、判定率が明らかに下がるもの、判定された結果に対しては90%以上の精度であることが分かる。

以上のように、多視点幾何学に基づき三次元固視検出を組み合わせることで、従来は難しかった注視箇所の奥行き（異なる奥行きの物体の何れを注視しているか）を高い精度で判定できるようになったことが分かる。続いて説明する視線計測器の自動較正

技術についても、大凡の原理については理解できるはずである。

三次元固視検出に基づく視線計測器の自動較正

視線計測器の計測原理には様々な方式があるが、HMD に搭載されるものの多くは、基本的に光学センサにより瞳孔の位置を計測している。一方で、図 7 のように瞳孔の方向（光軸）が視線方向（視軸）と一致するわけではない。眼球は、瞳孔中心に対し注視対象の反対側が中心窓になるように回転する。すべての人の光軸と視軸の間の角度が一定であれば、光軸から視軸を単純に求めることができるはずであるが、この角度（オフセット角）には個人差があり、多くの場合 4 度から 7 度程度であると言わわれている。したがって、何らかのマーカを注視してもらい視軸を固定し、その際の光軸方向を計測することでこの、このオフセット角を求める作業が、伝統的な方法での視線計測器の較正であると言える。この方法は、最新の HMD の一つである Apple Vision Pro（2025 年 1 月現在）においても採用されている。

我々の研究では、このオフセット角を求めるためにマーカを注視するなど利用者に意識的な動作を強いる必要ない技術を提案している⁶⁾。原理は非常に単純であり、図 8 は、頭部が移動する際に発生した固視中における、較正前と較正後の視線を表す。較正後の視線は、固視中においては物体表面上の一箇所に密集して衝突するが、較正前はオフセット角の影響によりそのように密集するとは限らない。この

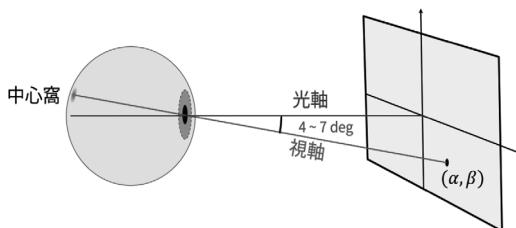


図 7 視線計測器較正のための眼球モデル

ように、物体上の衝突点の分散が推定するオフセット角の正しさを示す指標となりうる。提案法では、検出されたすべての固視における分散の総和を最適化の評価関数としてオフセット角を推定する。

図 9 に示す 2 種類の VR 環境内で 18 名の 20 代健常者を対象に提案法を実施した結果を図 10 に示す。Methods の I-VT, I-DT, I-VDT は固視検出のアルゴリズムであり、I-VDT が最も精度が高い。Optical axis は較正前の精度で Visual axis はマーカを用いた較正精度を表す。点線で示す従来法に比べて提案法の精度が良いことが分かる。

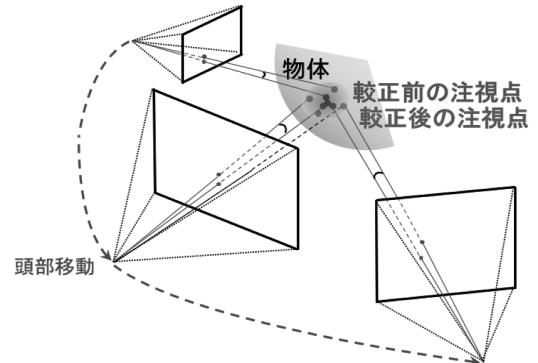


図 8 視線計測器較正のための眼球モデル

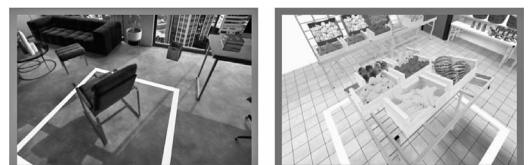


図 9 視線計測器較正のための眼球モデル

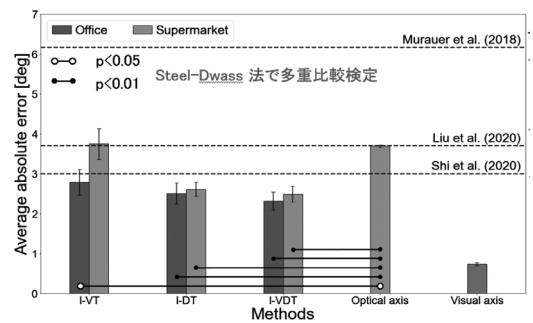


図 10 自動較正手法の精度比較

まとめ

以上のように3次元視線解析が多視点幾何学と複数の点で共通しており、共通点を見出すことにより一見全く異なる技術に応用できることを示した。ここでは詳しく述べられなかつたが、他にも3次元固視検出の精度評価や斜視などの異常眼球運動の検出に応用できるはずである。今後はVRやARの利用者の視覚機能を詳しく検査することにHMDを活用する手法を検討する予定であり、利用者の視覚機能に応じて提示像を変えるより高度なVR/ARの実現を目指したい。

参考文献

- 1) I. B. Adhanom, et al.: Eye tracking in virtual reality: a broad review of applications and challenges, *Virtual Reality*, vol.27, no,2, pp.1481-1505, 2023.
- 2) M. Garau, et al.: The impact of avatar realism and eye gaze control on perceived quality of communication in a shared immersive virtual environment, *Proc. SIGCHI Conf. on Human Factors in Computing Systems*, pp.529-536, 2003.
- 3) A. Patney, et al.: Towards foveated rendering for gaze-tracked virtual reality, *ACM Trans. Graphics*, vol.35, no.6, pp.179: 1-179: 12, 2016.
- 4) R. S. Hessels, D. C. Niehorster, M. Nyström, R. Andersson, and I. T. C. Hooge: Is the eye-movement field confused about fixations and saccades? A survey among 124 researchers, *Royal Society Open Science*, vol.5, no.8, pp.1-23, 2018.
- 5) R. Uramune, et al.: Gaze depth estimation for in-vehicle AR displays, *Proc. Augmented Humans Int. Conf.*, pp.323-325, 2023.
- 6) R. Uramune, et al.: Fixation-based self-calibration for eye tracking in VR headsets, *arXiv*, 2311.00391, 2024.

公設試の利活用と公設試で取り組んだ研究紹介 (小径エンドミルを用いた高精度・ 高品質な微細金型加工技術)

今 田 琢 巳
Takumi IMADA

先端理工学部機械工学・ロボティクス課程 実験講師
Senior Teaching Associate, Mechanical Engineering and Robotics Course



1. はじめに

令和6年4月に龍谷大学先端理工学部に着任しました今田琢巳です。主に第2実験棟（第2工作室）にて、NC工作機械を用いたモノづくりに関する学生教育や工作支援に取り組んでいます。本稿では、私が前職で勤務しておりました滋賀県の公設試である「滋賀県工業技術総合センター」について紹介します。また、センター在職時に県内企業などと取り組んだ共同研究テーマ「小径エンドミルを用いた高精度・高品質な微細金型加工技術」について説明させていただきます。大学機関と公設試との連携強化や公設試の利活用についてご参考にしていただければと思います。

2. 滋賀県工業技術センターの概要

モノづくり産業の工業振興や技術開発の拠点として、全国の地方自治体には、モノづくり企業を技術的に支援する公設試験研究機関（通称：公設試）が設置されている。本学瀬田キャンパスが所在する滋賀県でも、滋賀県工業技術総合センター（栗東市・信楽：図1に示す）と東北部工業技術センター（長浜市・彦根市）の2拠点体制で運営されている。総合センターは、電子・機械・有機材料・無機材料・



図1 滋賀県工業技術総合センターの外観

食品・デザイン・セラミック・窯業など広範な分野に対応し、県内モノづくり企業の新製品開発や新技術開発、品質評価など、総合的な技術支援を行っている。一方、東北部工業技術センターは、滋賀県の地場産業である繊維産業やバルブ産業などの支援機関としての役割も担い、全国の公設試では、唯一、バルブ実流性能試験を導入し、特色ある公設試として運営している。

3. 主な業務内容

工業技術センターの主な業務には、技術相談、試験機器利用、依頼試験分析、研究開発、人材育成、情報発信などがある。企業の研究開発や品質管理など、自社のみでは解決困難な技術的な課題に対し

て、企業と共に一緒に課題解決に向け技術支援を行っている。また、企業のほか大学機関とも連携し、多くの共同研究にも取組み、企業への技術移転や新技術開発などの地域産業の発展に取り組んでいる。

3.1 技術相談

中小企業や大企業を問わず、新製品評価や品質トラブルなど、技術的な問題に対し年間10,000件以上の技術相談を受けている。技術相談を受けた担当者は、技術相談の内容に合わせて、課題解決方法の提案などアドバイスを行っている。

3.2 試験機器利用

各種物性試験や材料分析、モノづくり支援機器など、300種類以上の試験研究分析機器を導入し、企業等へ開放している。特に滋賀県は、全国に先駆けて企業へ試験研究設備を開放し、多くの企業に利用いただいている。機器利用の際には、試験の目的に合わせ試験方法の提案や試験結果の見方についても解説し、企業人材の技術レベルの向上にも繋げている。なお、滋賀県では企業のみならず、大学機関にも研究目的で設備開放しており、大学での研究開発を推進するため、適宜、利用することが可能である。

参考のため、主な試験機器（図2に示す）を紹介する。センターのホームページでは、保有する試験機器の検索も可能で、機器設備の詳細な仕様についても公開しているので参考されたい。

○電気特性・EMC評価

電子機器などの電磁ノイズ対策に関する評価が可能な電波暗室・EMC試験設備は、令和5年にリニューアルし、各種EMC規格に応じた試験が可能で、新たに、Wi-Fi通信品質評価も試験できる環境を構築している。

○精密計測・形状評価

形状や寸法を μm オーダで高精度に計測可能なCNC三次元測定機や、形状の全面のデータを取得できる3Dスキャナ、輪郭形状測定機などの各種精密計測機を保有している。

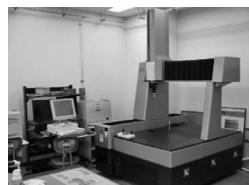


(a) 3m 法電波暗室



(b) 絶縁抵抗計

(1) 電気特性・EMC評価



(c) CNC 三次元測定機



(d) 3D スキャナ

(2) 精密計測評価



(e) 万能材料試験機 50kN



(f) ロックウェル硬さ試験

(3) 材料物性評価



(g) 高機能赤外分光光度計



(h) ICP 発光分析装置

(4) 材料分析評価

図2 主な試験機器

○材料物性評価

金属材料やプラスチック材料、ゴム材料など引張特性や圧縮特性を評価できる万能材料試験機（恒温槽付き）や疲労試験機、各種硬さ測定機などが設置されている。

○材料分析評価

赤外分光光度計などの有機物の分析評価や、ICP発光分析装置などの金属成分分析など、結晶構造の分析に用いるX線回折装置など、様々な分析装置を保有している。

○観察装置

製品の外観をマクロ観察できる顕微鏡システムや、内部構造を観察するX線透視装置など、マクロからミクロまで観察できる観察設備を保有している。

○環境試験機

恒温恒湿槽、冷熱衝撃試験機、キセノンウェザーメータなど、任意の環境下における劣化評価などの各種環境試験が実施できる。

3.3 人材育成

工業技術センターでは、年間10件以上、技術研修セミナーを開催し、企業人材の技術力向上を図っている。試験機器の測定原理や測定技術のポイントなど、基本的な技術情報を座学と実習から学ぶことができる。本事業も学生の方の受講も可能であり、興味がある研修テーマは、是非、参加されたい。

4. 試験機器の利用方法について

センターの機器設備を利用する場合は、事前に工業技術センターへ電話（TEL077-558-1500）し、機器担当者と測定内容（測定目的・試料・測定方法など）について相談する必要がある。実際に試験することが決定した場合は、事前に電話にて機器予約を行う。試験当日は、機器担当者から装置の使用方法

について説明があり、その後は、利用者が実際に装置を用いて評価を行う。試験当日に使用時間分の設備使用料を支払う。

以上、滋賀県の機器利用の方法について紹介した。なお、滋賀県が保有していない設備については、他府県の全国の公設試の利用も検討されたい。下記サイトでは、保有する試験機器を一括検索することができる。

〈全国鉱工業公設試験研究機関保有機器・研究者情報検索システム〉

<https://www.meti.go.jp/kousetsushi/top>

5. 工業技術センターで取り組んだ研究紹介

工業技術センターでは、地域企業の新技術開発や新製品開発に共同研究に取り組んでいる。また、より高度で解決が困難な課題については、近隣の大学機関の指導・助言をいただき、あるいは、産官学連携による共同研究を実施するなど、幅広く大学機関とも連携している。ここでは、私が産官学で取り組んだ研究テーマの1つとして、「小径エンドミルを用いた高精度・高品質な微細金型加工技術」について紹介する。

5.1 研究背景

近年、医療分野や電子デバイス分野において、部材の集積化や微細化の進展が目覚ましく、微細金型の複雑形状化や高精度化、低コスト化などの要望が高まっている。そのため、高精度かつ微細な金型の切削加工技術が求められている。これらの微細金型の切削加工で形状を仕上げるには、直径φ1mm以下の小径エンドミルが一般的に用いられている。しかしながら、工具径が小径化するに伴い工具剛性が低下するため、工具たわみが発生しやすく形状精度が悪化する。また、工具剛性が低く切込み量の設定が小さいため、工作物の弾性変形の影響も受け加工メカニズムが複雑化する。さらには、加工バリの後処理が難しいなど、小径工具特有の技術的課題がある。

表 1 実験条件

Workpiece	SKD61 53HRC
Spindle speed N_s min ⁻¹	10,000, 30,000, 100,000
Feed rate f_t $\mu\text{m}/\text{tooth}$	5, 15
Radial depth of cut R_d μm	10
Axial depth of cut A_d mm	0.5
Cutting length L m	0~10
Cutting direction	Up-cut, Down-cut
Tool run out μm	<3
Coolant	Dry air

5.2 研究内容

小径エンドミルを用いた金型焼入れ鋼の切削において、高精度かつ高品質な切削加工技術の構築を目指した。本研究では $\phi 0.5\text{mm}$ の小径エンドミルを用いて金型焼入れ鋼の側面切削を実施し、小径エンドミルの基礎的な切削現象を明らかにするため、実験的に検討した。実験では、工具摩耗の進行に伴う切削抵抗の変化や加工面形状、形状誤差及び寸法誤差について評価を行った。また、一般的に使用される右ねじれ工具では底刃損傷による加工面悪化への影響が大きいため、左ねじれ工具を試作し、左ねじれ工具の効果について検討を行った。

5.3 実験方法

超精密マシニングセンタ YMC325（安田工業社製）を用い、切削工具には $\phi 0.5\text{mm}$ の TiSiAlN コーティング超硬スクエアエンドミル（2枚刃、ねじれ角 30° ）を用いた。図 3 に実験で使用した工具を示す。実験では右ねじれ工具（標準工具）と左ねじれ工具（試作工具）を準備し、基礎的な実験は右ねじれ工具を用いて実施した。図 4 に工具と工作物

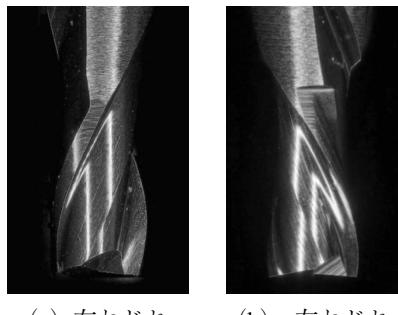


図 3 実験で使用した $\phi 0.5$ 小径エンドミル

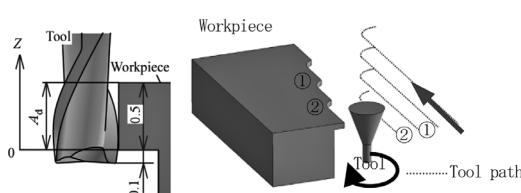


図 4 工具と工作物の干渉状態と加工経路

との干渉状態と、工作物の概略図およびアップカット加工の加工経路を示す。図に示す通り、切削現象の解析を単純化させるため、工具の底刃が切削に関与しない完全側面切削となるように実験を行った。なお、主軸回転数 $10,000\text{min}^{-1}$ の実験は、マシニングセンタ主軸を用い、 $100,000\text{min}^{-1}$ の実験は、高速エアタービンスピンドル RBX12（大昭和精機社製）を用いた。実験では、摩耗用工作物を所定距離分だけ切削し、工具を摩耗させた後、切削動力計 9265C 1（キスラー社製）を用いて切削抵抗を測定した。工具摩耗量の測定は、Cs 軸制御が可能な工作機械を用いて、工具を一定角速度で回転させながら、粗さ検出器により刃先形状を工具軸方向に 5ヶ所測定し、それらの平均値を平均逃げ面摩耗幅とした^{[1][2]}。実験条件を表 1 に示す。

5.4 研究成果

5.4.1 切削速度の高速化による効果

小径エンドミルの場合、適正な切削速度を得るには主軸の高速回転が必須である。切削速度の違いによる切削性への影響を調べるため、主軸回転数を $10,000\text{min}^{-1}$ (15.7m/min)、 $30,000\text{min}^{-1}$ (47.1m/min)、 $100,000\text{min}^{-1}$ (157m/min) の 3 条件にて、ダウンカットにより側面切削を実施した。図 5 に切削速度の違いによる工具逃げ面摩耗幅の推移を示す。図より、切削速度を高速化する程、工具逃げ面摩耗幅の

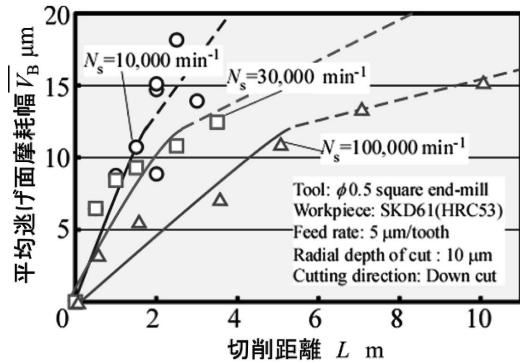


図 5 切削速度の高速化に伴う工具摩耗への影響

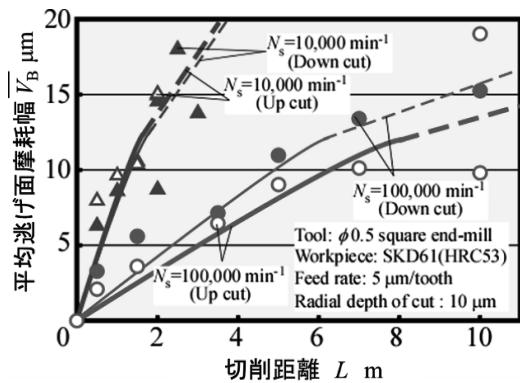


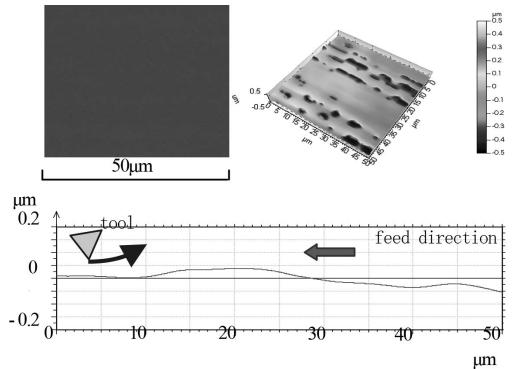
図 6 切削方向の違いによる工具摩耗への影響

進展が抑制できており、主軸回転数を $10,000\text{min}^{-1}$ から $100,000\text{min}^{-1}$ へ切削速度を高速化することで、約 4 倍の工具寿命の向上効果が得られた^{[1]~[6]}。

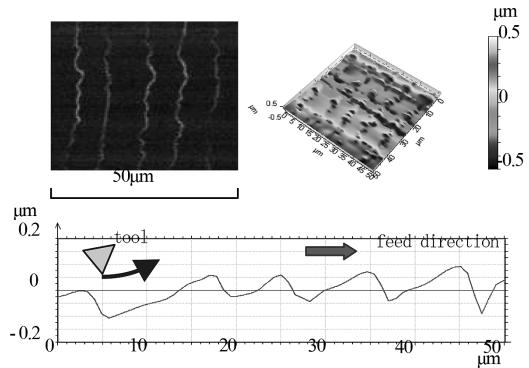
5.4.2 アップカット加工の効果

図 6 には切削方向の違いによる逃げ面摩耗幅の推移を示す。平均逃げ面摩耗幅 V_B が約 $12\mu\text{m}$ の時に工具寿命^[2]と判断すると、 $100,000\text{min}^{-1}$ で切削した場合、ダウンカットに比べアップカット加工は、工具寿命が約 1.3 倍 ($6\text{m} \rightarrow 8\text{m}$) に向上することが分かった。

図 7 には、切削方向の違いによる表面性状への影響を調べるため、 $L = 1.5\text{m}$ を切削した際の、外周刃で加工した加工面の SEM 観察写真、3D 表面性状および工具送り方向における表面粗さ曲線を示す。図より、ダウンカット加工面では、約 $10\mu\text{m}$ 程度の間隔（工具一回転分に相当）毎に、工具回転方向に



(a) アップカット加工



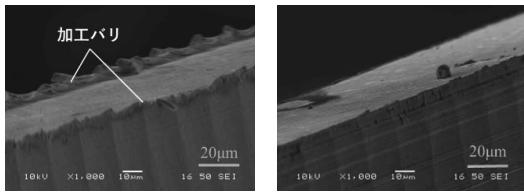
(b) ダウンカット加工

図 7 切削方向の違いによる加工面性状

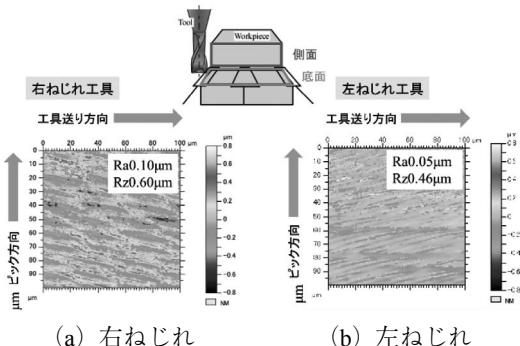
材料が盛り上がった形状の切削痕が観察される。これは、工具刃先が工作物から離れる際に発生する加工バリが、加工面上に残存したものと考えられる。一方、アップカット加工面は、これらの切削痕は見られず、表面が平滑化していることがわかる。アップカットの場合、一回転前に創成された切削痕は次のときに削り取られる、あるいは押しつぶされるため、平滑な仕上げ面を形成したと考えられる^{[6][7][8]}。

5.4.3 左ねじれ工具による効果

底刃から切削を開始する右ねじれ工具は、底刃が損傷し加工面品質の悪化が確認された。また、加工上面には微細な加工バリが発生し、後処理の問題があった。そこで底刃の刃先強度の高い左ねじれ工具（図 3）を試作し切削性について検討を行った。その結果、左ねじれ工具は切削力が下向きに発生するため、図 8 に示すように加工バリはほとんど発生せ



(a) 右ねじれ (b) 左ねじれ
図8 左ねじれ工具によるバリレス加工



(a) 右ねじれ (b) 左ねじれ
図9 左ねじれ工具による底面品質の向上

すバリレス加工が実現できた。また、図9に示すように、加工面の底面品質においても右ねじれ工具に比べ左ねじれ工具は良好な面が得られた。左ねじれ工具は工具の剛性が比較的高い刃元側から工作物への切込みを開始するため、工具が倒れにくく寸法精度・形状精度共に高精度加工が実現でき、仕上げ加工用工具として有効であることがわかった^{[9][10]}。

6. 最後に

以上、私が前職で勤務していた工業技術センターの概要と、センターで取り組んだ研究について紹介した。センター在職中は、研究を行うにあたり、センター職員、県内企業の担当の方の多大なるご協力や大学機関の先生方から、多大なるご助言ご指導を

頂戴し取り組むことができた。皆様に感謝を述べるとともに、今後も、これらの経験を活かしながら、学生指導と地域社会への貢献に取り組んでいく所存である。

参考文献

- [1] 西村ほか：極小径エンドミルの摩耗機構、2010 精密春季論文集、(2010) 235
- [2] 今田ほか：極小径エンドミル加工における側面切削現象、2012 精密春季論文集、(2012) 153
- [3] 今田ほか：極小径エンドミル加工における側面切削現象、2012 精密秋季論文集、(2012) 161
- [4] H. Kino, et al. Fundamental study of cutting phenomena in the micro-end-milling process: In case of the side milling operation, Procs. of ICPMT (2012), 187
- [5] 今田ほか：極小径エンドミル加工における側面切削現象、2013 精密春季論文集、(2013) 441
- [6] 今田ほか：極小径エンドミル加工における切削現象、2013 年度日本機械学会関西支部第 89 期定期総会講演会論文集、(2014) 407
- [7] 今田ほか：極小径エンドミル加工における側面切削現象、2014 精密秋季論文集、(2014) 221
- [8] 今田ほか：極小径エンドミル加工における側面切削現象、2015 精密秋季論文集、(2015) 167
- [9] 今田ほか：極小径エンドミル加工における側面切削現象、2017 精密秋季論文集、(2017) 989
- [10] 今田ほか：極小径エンドミル加工における側面切削現象、2018 精密秋季論文集、(2018) 385

引用

滋賀県工業技術総合センター HP

<https://www.shiga-irc.go.jp/>

東北部工業技術センター HP

<https://www.hik.shiga-irc.go.jp>

※工業技術センター関係の写真の使用については、実施許可を得たうえで掲載しております。

水素貯蔵材料の速度論・平衡論と基礎物性

—マグネシウム・パラジウム・アンモニアボランに注目して—

清水 吉大
Yoshihiro SHIMIZU

先端理工学部応用化学課程 助教
Assistant Professor, Materials Chemistry Course



2024年10月に応用化学課程の助教として着任した清水吉大です。私は2021年に龍谷大学大学院で博士号を取得後、琉球大学理学部でポストドク研究員として研究に邁進してきました。専門分野は「水素貯蔵材料」及び「無機材料」で、その物理化学的な視点、また電子顕微鏡を用いた微視的な視点での研究です。本稿では、これまでの水素貯蔵材料に関する研究について紹介します。

1. はじめに

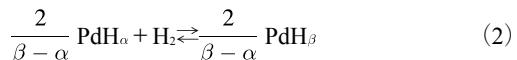
地球温暖化が深刻な問題となっている中、温室効果ガス(CO_2)排出の抑制が求められている。日本では、2016年パリ協定で「2030年に2013年度比で26%の CO_2 排出削減」の目標が掲げられ、2021年には「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」が策定された。この中で、温室効果ガス排出を抑制する一つの手法として「水素」の利活用が注目されている。その理由の一つとして、水素を用いた燃料電池発電では発電時に水のみが生成し、 CO_2 を排出しないためである。このように水素をエネルギーとして利活用するためには、水素を「つくる」「はこぶ」「ためる」「つかう」の研究が必須となる。筆者はこれまで「ためる」に注目した。中でも水素を高圧ガスボンベや液化水素として貯め

るのではなく、水素貯蔵材料に貯める、すなわち水素貯蔵材料と水素の化学反応を利用して吸蔵する手法に関する研究を行ってきた。特に水素貯蔵材料である「マグネシウム(Mg)」「パラジウム(Pd)」「アンモニアボラン(NH_3BH_3 、本稿ではABと略す)」の水素吸蔵・放出における速度論的・平衡論的研究、基礎物性に関する研究を行ってきた。

研究内容を紹介する前に、前述した水素貯蔵材料について簡単に紹介する。 Mg は理論水素吸蔵量が7.6wt%であり、金属の中では水素吸蔵量が高いことが特徴である^[1]。また、 Mg と水素とは可逆的な下記の反応によって化学量論的化合物の MgH_2 (図1(a))を形成する。



Pd は水素付加触媒、金属の水素還元触媒として知られている。その水素吸蔵反応は Pd 格子内に水素原子が固溶し、非化学量論的化合物の水素化パラジウム PdH_x (図1(b))を形成する^[2]。下記に低水素濃度相 PdH_α と高水素濃度相 PdH_β の平衡反応を示す。



反応式(1)および(2)で示した通り、 Mg と Pd の水素化反応は平衡反応である。そのため、ルシャ

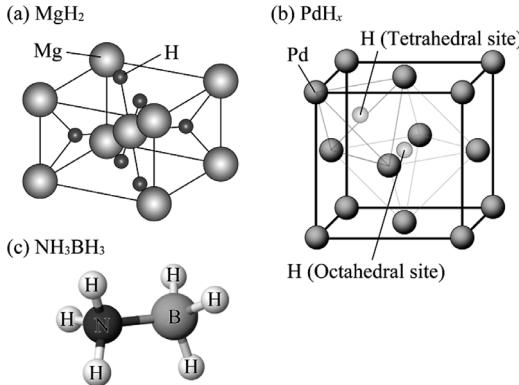


図1 本稿で紹介する水素貯蔵材料 (a) 水素化マグネシウム (MgH_2), (b) 水素化パラジウム (PdH_x), (c) アンモニアボラン (NH_3BH_3 , 本稿では AB と略す)

トリエの原理（平衡状態に対して変化を与えると、それを打ち消す方向に反応が進行する）に基づいて、雰囲気中の水素を平衡状態より過剰に与えると水素が吸蔵し、雰囲気中の水素を取り除くと水素が放出する。AB（図1(c)）は理論最大水素吸蔵量が19.6wt%と、水素貯蔵材料の中でも最大クラスの水素吸蔵量を示す^[3, 4]。また、前述の水素貯蔵材料は空気に暴露すると劣化するが、ABは大気中で長時間の保管が可能であり、利活用する上では取り扱いやすい材料である。

2. Mg の水素吸蔵における速度論的研究

Mgは前述の通り、金属の中では水素貯蔵量が高く、魅力的な材料である。しかし、 MgH_2 からの水素放出速度、またMgの水素吸蔵速度が遅いという課題点がある^[5]。ここで、反応速度（定数）は活性化エネルギーと頻度因子の関係で表される。式3にその関係式（Arrhenius式）を示す。

$$\ln k = -\frac{E}{RT} + \ln f \quad (3)$$

k は反応速度定数、 E は活性化エネルギー、 f は頻度因子、 R は気体定数、 T は温度である。この関係式に基づくと、活性化エネルギーが小さくなればなるほど、また頻度因子が大きくなればなるほど、

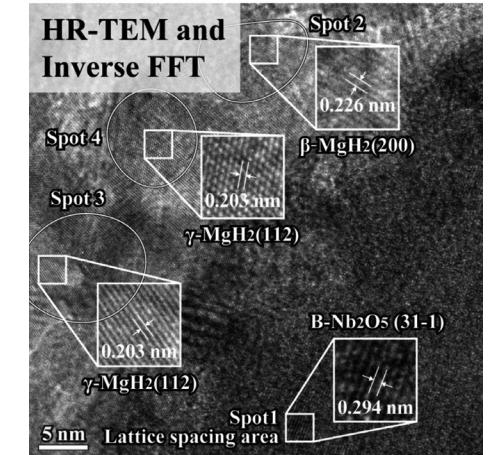
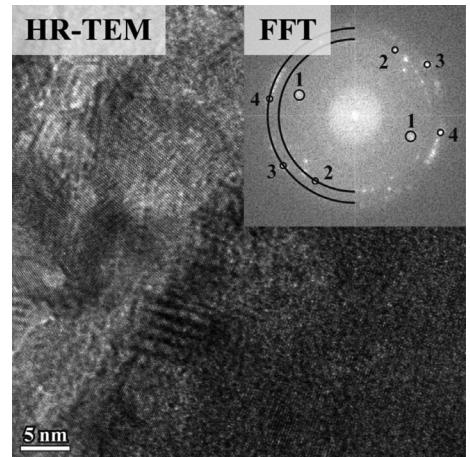


図2 Nb_2O_5 を添加し、機械的粉碎をした MgH_2 の高分解(HR)-TEM像、そのTEM像に対する高速フーリエ変換(FFT)と選択したスポットに対する逆FFT結果

反応速度定数は上昇することがわかる。そのため、この関係式に基づいて、機械的粉碎（ポールミル）処理^[6, 7]や、触媒添加^[8, 9]によって反応速度への課題の解決が目指してきた。機械的粉碎処理では、結晶子サイズを低下させることできる。これにより反応時の比表面積が大きくなり、頻度因子が向上する。一方、触媒添加では活性化エネルギーを低減させることができる。

筆者の研究^[10]においても、Mgの水素吸蔵における触媒として優秀であることが知られている酸化ニオブ(Nb_2O_5)を添加し、機械的粉碎して、Mgの水素吸蔵速度の評価を行った。 MgH_2 に10wt%の

Nb_2O_5 を添加し、機械的粉碎処理を行った粉末の高分解 TEM 画像を図 2 に示す。図 2 より、 MgH_2 の結晶子サイズは 10 nm 程度であった。さらに、高圧相である γ - MgH_2 相および B - Nb_2O_5 相の生成も確認した。

この粉末に対して一度水素を放出させ（脱水素化し）、水素を吸収させた時の各温度における水素圧変化を図 3 に示す。図 3 より比較的低温（~46 °C）での水素吸収においては緩やかな水素圧変化が観測された。比較的高温（52 °C～）では緩やかな水素圧変化に続いて、急峻な水素圧変化が観測された。さらに 118 °C 以上では、緩やかな水素圧変化は観測されず、最初から急峻な水素圧変化が観測された。また、急峻な水素圧変化の部分における水素消費速度は温度に依存せず、ほぼ同じ速度で水素が吸収した。急峻な水素圧変化が生じている時の試料温度に注目したところ、急激な発熱を伴っていたことを確認した。これらのことと踏まえて、緩やかな水素圧変化と急峻な水素圧変化について、それらのメカニズムを仮定した。緩やかな水素圧変化では、触媒無添加での Mg の水素吸収における反応メカニズムは水素吸収反応の律速段階が Mg 粒子表面であること^[11]や、 Mg マトリックス中での水素原子の拡散過程が律速段階ではないこと^[12]が報告されている。そのため、触媒無添加系では Mg 表面全体において水素解離（ $\text{H}_2 \rightarrow 2\text{H}$ ）吸着反応が進行すると考えられる。触媒添加系では、触媒が反応速度に寄与することから、 Mg と接している触媒表面における水素解離吸着反応が律速段階（RRL）となると仮定した。一方、急峻な水素圧変化では、次のような反応メカニズムを仮定した。触媒表面において、水素解離吸着反応が進行し、 $\text{Mg}-\text{H}$ 結合が形成する。その $\text{Mg}-\text{H}$ 結合の生成によって、部分的に発熱し、水素解離吸着反応が加速する。水素解離吸着反応が加速することによって、 Mg 粒子表面での水素分子の濃度勾配が生じ、境界層を形成する。境界層を形成することで境界層内の水素分子の拡散が律速段階（DRL）となり、水素消費速度が温度にあ

まり依存しないと仮定した。このような現象は炭素の燃焼反応などで生じることが知られており^[13]、同様の現象であると考えられる。これらの仮定をもとに速度論解析を行い、 Mg の水素化における見かけの活性化エネルギー及び頻度因子を算出した結果を表 1 に示す。表 1 より、 Nb_2O_5 添加試料は触媒無添加試料よりも見かけの活性化エネルギーが低下し、触媒効果を確認した。一方、頻度因子も低下した。これは、触媒無添加の場合 Mg 表面上に反応活性点が存在する。それに対して、 Nb_2O_5 添加試料では反応活性点が触媒表面上となり、減少するためである。 Nb_2O_5 添加試料において、律速段階を RRL 及び DRL と仮定した見かけの活性化エネルギーを比較すると、DRL と仮定した値は著しく低下した。ここで、炭素との燃焼反応^[13]や金属の酸化反応^[14]では境界層の生成によって見かけの活性化エネル

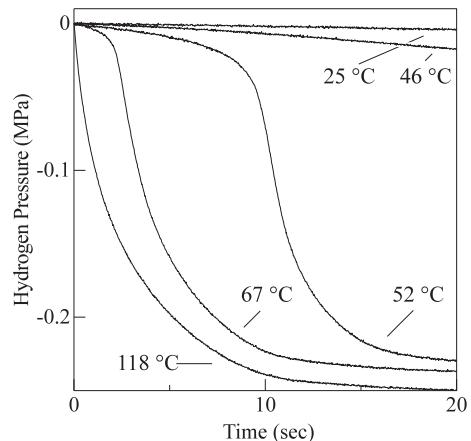


図 3 Nb_2O_5 添加・機械的粉碎した MgH_2 を脱水素化し、水素を吸収させた時の水素圧変化

表 1 Nb_2O_5 を添加した Mg と触媒無添加 Mg の水素化における見かけの活性化エネルギーと頻度因子

試料	律速段階	見かけの活性化エネルギー (kJ/mol)	頻度因子 (s ⁻¹)
Nb_2O_5 添加試料	RRL	52.9	1.4×10^8
触媒無添加	DRL	≈0	—
	RRL	105	9.0×10^8

ギーが極めて減少する現象が報告されている^[15]。したがって、境界層内での水素分子の拡散が反応の律速段階と仮定したメカニズムが定量的にも説明できた。

3. Mg と Pd の水素吸蔵における平衡論的研究

筆者は Mg と Pd の水素吸蔵における平衡論的研究として熱力学パラメータ（標準生成エンタルピー $\Delta_f H^\circ$ 、標準生成エントロピー $\Delta_f S^\circ$ ）に関する研究を行ってきた。そこで、本章では水素貯蔵材料 Mg と Pd の水素化反応における熱力学パラメータに関する研究内容を紹介したい。

熱力学パラメータは材料を扱う上で非常に重要なパラメータの一つである。特に、水素貯蔵材料においては、「どれくらいの水素（圧力）を加えれば水素貯蔵材料に水素が吸蔵できるのか？どのくらい水素を取り除けば（減圧すれば）水素貯蔵材料から水素が取り出せるのか？」という問い合わせへの回答になるためである。この問い合わせに対して明確に答えられなければ、製品開発時に仕様が決定できず、事故の原因になるかもしれない。

水素貯蔵材料における熱力学パラメータの多くは PCT (Pressure-Composition-Temperature, 圧力-組成-等温) 曲線によって算出される。図 4 に「ある水素貯蔵材料」の α (水素含有率が低い) 相と β (水素含有率が高い) 相を想定した、ある温度での PCT 曲線の模式図を示す。横軸は組成 (水素原子の数 H と金属元素の数 M の比 (H/M)、または水素化物相の重量パーセント (wt%)) であり、縦軸はその組成時での水素吸蔵放出平衡圧である。したがって、PCT 曲線はある一定温度での圧力と組成の関係を示す。例えば (図 4 の PCT 曲線を左から右に辿りながら次の文章を読んでいただきたい)、 α 相の状態に対して水素圧をかけた場合わずかにしか組成変化は起こらない。さらに水素圧をかけると水素の最大溶解度を超えると、 β 相が生成し、 α 相と β 相が共存する領域 (プラトー領域、PCT 曲線が横

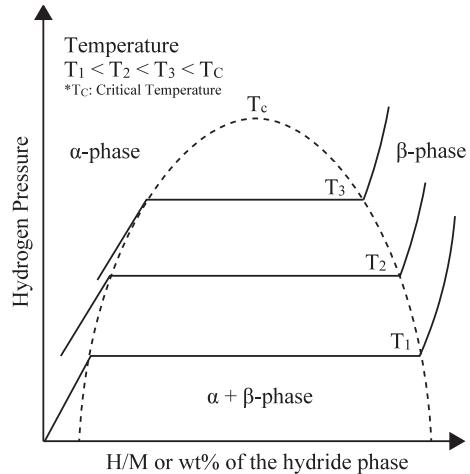


図 4 PCT 曲線の模式図。実線：PCT 曲線、点線： α 相と β 相のプラトー領域

ぱいになる領域) が生じる。この領域では、水素圧をかけることで組成変化は大きく起こるもの、水素吸蔵放出の平衡圧 (プラトー圧) は変化しない。全ての α 相が β 相になると、高い圧力で水素圧をかけるとわずかに水素を吸蔵する。この例は水素を吸蔵する場合を説明した。水素を放出する場合でも同様に PCT 曲線 (右側から左側方向) に従い、先ほどの例とは逆のプロセスで水素放出及び平衡圧が観測される。PCT 曲線で得られたプラトー圧は式 (4) に示す van't Hoff 式によって熱力学パラメータが算出できる。

$$\ln \frac{P_{eq}}{P^\circ} = \frac{\Delta_f H^\circ}{RT} - \frac{\Delta_f S^\circ}{R} \quad (4)$$

P_{eq} は平衡圧、 P° は標準圧 (0.1 MPa)、 R は気体定数、 T は温度である。なお本稿での説明は割愛するが、van't Hoff 式はギブスの自由エネルギーの定義とギブスの自由エネルギー等温式から導出できる。

PCT 曲線と式 (4) から算出された $\Delta_f H^\circ$ と $\Delta_f S^\circ$ の値は多くの文献で報告されている。Mg の場合、 $\Delta_f H^\circ = -70 \sim -81.86$ kJ/mol であり、 $\Delta_f S^\circ = -127 \sim -146$ J/mol · K であった^[16]。また、同じ試料を用いているのにも関わらず、水素吸蔵と放出過程で $\Delta_f H^\circ$ は 9.7 kJ/mol、 $\Delta_f S^\circ$ は 10.4 J/mol · K の差が報告

されていた^[17]。またPdの場合では、 $\Delta_fH^\circ = -30.8 \sim -41.7 \text{ kJ/mol}$ であり、 $\Delta_fS^\circ = -78.7 \sim -99.4 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$ であった^[18]。このように、文献値では幅広い値の Δ_fH° 及び Δ_fS° が報告されている。この理由として温度測定の誤差や水素吸蔵・放出過程におけるPCT曲線におけるヒステリシス（プラトー圧が水素吸蔵・放出過程で一致しない）が生じているためだと考えられる。また、ヒステリシスの本質は水素吸蔵による体積膨張によって格子欠陥が生じることが原因と考えられている^[19]。他にも、著しく小さい結晶子サイズや格子ひずみの導入は ΔH に影響を与えることが知られている^[20-22]。筆者はそれらに加え、十分に平衡状態に達さずにPCT曲線が測定されていることもその要因の一つであると考えた。そこで、次節以降（3.1および3.2）に①MgH₂にMgOを触媒として添加することで脱水素化・水素化速度を加速させたて評価した、MgH₂の実験的な生成エントロピーと熱力学第三法則に基づく分光学エントロピー（分子分光法によって得られた情報を元に統計熱力学を用いて計算したエントロピー）との一貫性、②MgH₂での平衡論的研究を応用した、PdH_xのガラス転移温度と臨界温度における配置のエントロピーとCommunalエントロピーについての研究を紹介する。

3.1 MgH₂実験的な生成エントロピーと熱力学第三法則に基づく分光学エントロピーとの一貫性^[16]

前述した、結晶子サイズ・格子ひずみが与える影響を吟味すべく、MgO添加・機械的粉碎したMgH₂のPCT測定前後（脱水素化状態）のMgの結晶子サイズ・格子ひずみをXRD測定によって評価した。その結果、PCT測定前ではMgの結晶子サイズと格子ひずみは36.8 nmと0.08%，PCT測定ではMgの結晶子サイズ・格子ひずみは25.2 nmと0%であった。このことから、結晶子サイズ・格子ひずみが ΔH に与える影響は少ないと考えた。この試料を用いて、十分に温度校正を行った上で

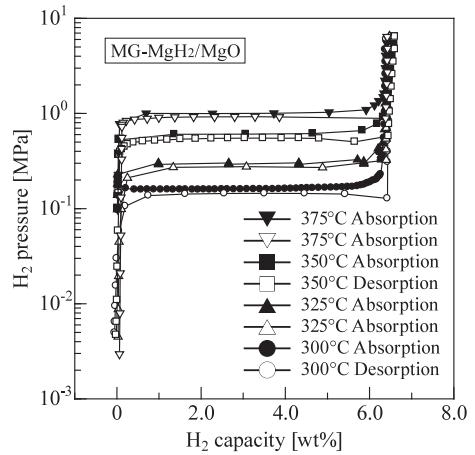


図5 MgO添加・機械的粉碎したMgH₂のPCT曲線

表2 PCT曲線から算出したMgの水素化における熱力学パラメータ

	$\Delta_fH^\circ \text{ (kJ/mol)}$	$\Delta_fS^\circ \text{ (J/mol} \cdot \text{K)}$
水素化過程	-77.3 ± 2.9	-138.6 ± 4.8
脱水素化過程	-77.5 ± 2.2	-138.2 ± 3.7

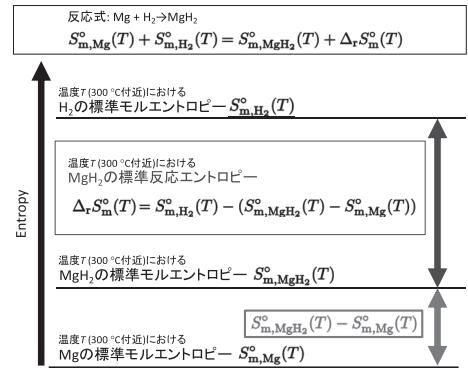


図6 反応式 $\text{Mg} + \text{H}_2 \rightarrow \text{MgH}_2$ におけるエントロピー変化

PCT測定したところ、図5のPCT曲線を得た。このPCT曲線を元にvan't Hoff式から Δ_fH° と Δ_fS° を算出したところ、表2のように水素化・脱水素化過程でほぼ一致した熱力学パラメータが算出された。

この算出した Δ_fS° の整合性を検討するために分光学的エントロピーを元に Δ_fS° の計算を試みた。

分光学的エントロピーを計算するにあたり、Mg の水素化におけるエントロピー変化は図 6 のように理解できる。したがって、分光学的エントロピーをもとにした MgH_2 の ΔS° を算出するためには、 $S_{m,MgH_2}^\circ(T) - S_{m,Mg}^\circ(T)$ を考慮する必要がある。ここで、600 K における Mg-H 結合における水素原子の振動エントロピーを中性子散乱の測定結果^[23]を用いて統計熱力学的に計算した。その結果、11.8 J/mol · K となり、熱力学データベースを元に計算した値 (11.465 J/mol · K) とほとんど一致した。このことから、 $S_{m,MgH_2}^\circ(T) - S_{m,Mg}^\circ(T)$ が Mg-H 結合における水素原子の振動エントロピーに近似できると考えた。一方、水素分子のエントロピーは水素分子の並進・回転・振動エントロピーの和で表すことができる。そこで各エントロピーについて 300~375 °C の範囲で計算し、図 6 にしたがって ΔS° を計算した。その結果、300~375 °C において ΔS° は -138.6~ -138.9 J/mol · K となった。実験的に算出した ΔS° と比較すると、ほとんど一致した。したがって、実験によって算出した ΔS° の整合性が確認された。

3.2 PdH_x のガラス転移温度と臨界温度における配置のエントロピーと Communal エントロピー^[18]

機械的粉碎処理を施した Pd の PCT 曲線を測定した。その結果を図 7 に示す。図 7 より、ヒステリシスの少ない PCT 曲線を得られた。この PCT 曲線を元に van't Hoff 式より熱力学パラメータを算出したところ、表 3 に示す値を得た。これらの値は水素化・脱水素化過程でほとんど一致していた。ここで、 PdH_x は Pd 格子中に水素が固溶する固溶体であり、水素原子欠損を含む。また、ガラス転移温度 (T_g) が存在することが報告されている^[24]。そのため、反応式 (2) における ΔS° には、Mg の際に採用した振動エントロピーや部分電子エントロピーのみならず、水素原子の配置 (残余) エントロピーや Communal エントロピーの存在が考えられる。ここ

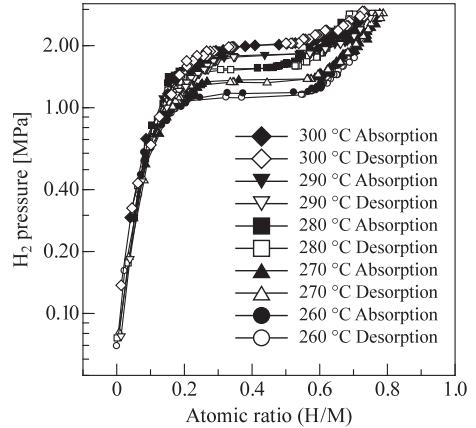


図 7 機械的粉碎した Pd の PCT 曲線 [18]

表 3 PCT 曲線から算出した Pd の水素化における熱力学パラメータ

	ΔH° (kJ/mol)	ΔS° (J/mol · K)
水素化過程	-33.0 ± 0.7	-83.4 ± 1.3
脱水素化過程	-35.8 ± 0.9	-87.3 ± 1.7

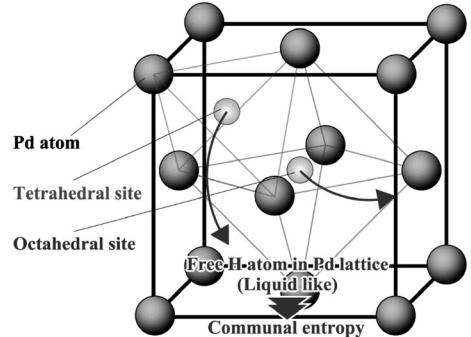


図 8 Communal エントロピーのイメージ

で、配置エントロピーと Communal エントロピーについて簡単に紹介する。配置エントロピーはガラス転移温度以下の凍結状態における H 原子の配置パターンに基づくエントロピーであり、Pd 格子の 8 面体サイト、4 面体サイトに配置する H 原子や空孔の配置パターンに起因する。一方、Communal エントロピーは図 8 に示すように、ガラス転移温度以上、特に高温で Pd 格子中の空の 4 面体サイト・8 面体サイトを自由に動く H 原子に起因したエントロピーである。なお、ガラス転移温度以下で

の Communal エントロピーは $0 \text{ J}/(\text{K} \cdot \text{mol H})$ となる。このことを踏まえると、式(2)における標準反応エントロピー ($\Delta_r S_m^\circ = -\Delta_f S_m^\circ$) は式(5)のように、水素分子のエントロピー ($S_{m,\text{H}_2}^\circ(T)$)、PdH_α 格子中での水素原子の振動エントロピー差 ($\Delta S_{\text{vib},\text{Pd-H}}^\circ(T)$)、部分電子エントロピー差 ($\Delta S_{\text{ele.}}^\circ(T)$)、配置エントロピー差 ($\Delta S_{\text{conf.}}^\circ$)、Communal エントロピー差 ($\Delta S_{\text{com.}}^\circ(T)$) で表すことができる。

$$\Delta_r S_m^\circ = S_{m,\text{H}_2}^\circ(T) -$$

$$\frac{2}{\beta - \alpha} (\Delta S_{\text{vib},\text{Pd-H}}^\circ(T) + \Delta S_{\text{ele.}}^\circ(T) + \Delta S_{\text{conf.}}^\circ + \Delta S_{\text{com.}}^\circ(T)) \quad (5)$$

式(5)において、 $\Delta S_{\text{com.}}^\circ(T)$ 以外の値は実測や分光学的手法によって求められるため、Communal エントロピー差は計算によって求められる。そこで、PdH_α は PdH_{0.006}、PdH_β は PdH_{0.6} と仮定して臨界温度付近 (260~300 °C) とガラス転移温度 (48 K, -225 °C) 付近における $\Delta S_{\text{com.}}^\circ(T)$ を計算した。その結果、臨界温度付近では PdH_{0.006} は 8 面体サイトのみ、PdH_{0.6} は 8 面体サイトと 4 面体サイトすべてに水素原子が配置すると仮定すると $\Delta S_{\text{com.}}^\circ(T)$ が Communal エントロピーの最大値である 8.314 J/(K · molH) に近づいた。一方、Communal エントロピー差が 0 J/(K · molH) になる温度は、水素原子が PdH_{0.006} と PdH_{0.6} の 8 面体サイトのみに配置すると考えるとガラス転移温度に近くなった。したがって、臨界温度付近には PdH_{0.006} は 8 面体サイトのみ、PdH_{0.6} は 8 面体サイトと 4 面体サイトすべてに水素原子が配置しており、ガラス転移温度付近では PdH_{0.006} と PdH_{0.6} の 8 面体サイトのみに水素原子が配置することが推定された。

4. AB の基礎物性と水素放出に関する研究

筆者はボスドク研究員として、NEDO 「燃料電池等利用の飛躍的拡大に向けた共通課題解決型産学官連携研究開発事業、アンモニアボランを用いた 1 kW 級 FC 用水素供給装置開発」 のプロジェクトに

携わった。このプロジェクトでは AB を「つくる」・「輸送する」・「水素源として使う」・「水素放出後残渣をリサイクルする」といった、AB を水素供給源として使用する際の「初め」から「終わり」まで全ての過程を一貫した研究を行っている。筆者は特に AB を輸送する・使う・リサイクルする内容を研究してきた。本稿で研究内容を全て紹介できないので、①AB 水溶液の基礎物性に関する研究、②クエン酸を用いた AB の加水分解について簡単に紹介する。

4.1 AB 水溶液の基礎物性

「1. はじめに」でも紹介した通り、AB は理論水素重量密度が高く、大気中でも劣化しにくい。また、AB から水素を取り出す際には加水分解や熱水分解などの手法が有効である。しかし、それらの手法を実用化するためには、AB の溶解度や水溶液としての保存性などの解明が必要である。文献では、室温での溶解度や濃度別水溶液密度は報告されていた。しかし、溶解エンタルピーや溶解度曲線、AB - 水系の状態図、AB 水溶液の安定性については未だ評価されていない。もしくは解明が不十分であった。特に AB - 水系の状態図は AB 合成における精製時や水素発生時、輸送時などに AB 水溶液が劣化していない水溶液として使用可能な温度範囲を推定するために必須である。そこで、前述の未解明もしくは不十分な基礎物性について解明を行なった。中でも、本稿では AB - 水系の状態図について紹介する。状態図を作成するにあたって、学生実験でも取り扱うような基本的な測定手法（凝固点降下測定や冷却・昇温曲線の測定）や各温度における飽和溶液の NMR 測定を元にした濃度の評価、DSC による相変態温度の推定を行なった。その結果、図 9 に AB - 水系の状態図^[25]を得た。図 9 より共晶温度が -5.05 °C であることが推定された。また、文献値^[26]と比較すると、過共晶側ではよく一致していたが、亜共晶側では一致しなかった。このことは共晶と水の融点温度が非常に近く、文献での測定が十

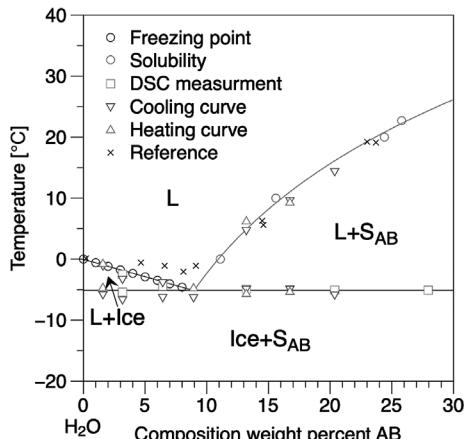


図 9 AB-水系の状態図 [25]

分な精度ではなかったことに起因すると考えられる。一方で、8 mol/L AB 水溶液をさまざまな温度で保存した場合、40 °C 以上で分解した。したがって、この状態図とさまざまな温度での保存結果を踏まえると、AB 水溶液として取り扱う際には -5 °C から 40 °C まで取り扱う必要があることが提唱された。

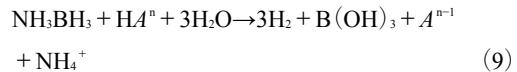
4.2 クエン酸を用いた AB の加水分解

AB の加水分解は反応速度が遅く、白金などの触媒を使用することが多い。その AB 加水分解は、式 (6) – (8) によって水素が放出する。



この反応式によると水素放出時には副生成物としてアンモニア (NH_3) ガスが含まれ、残渣にはホウ酸 ($\text{B}(\text{OH})_3$) が生じる。ここで、燃料電池（特にプロトン交換膜（PEM）型燃料電池）への水素利用では、高純度水素が要求されている。ISO-14687:2019によると、PEM 型燃料電池にはアンモニア濃度 0.1 ppm 以下の高純度水素が要求されている。したがって、AB 由来水素を PEM 型燃料電池などに使用するには、AB 由来水素中におけるアンモニア生成量の連続的に定量した上でアンモニアを抑制するこ

とが必要となる。筆者はアンモニアを抑制でき、より安価な触媒として、クエン酸を「酸触媒」として使用することに注目した。AB と HA^n （酸）の反応は式 (9) で表すことができる。



式 (9) に基づき、クエン酸を用いることでクエン酸アンモニウムが形成し、アンモニア放出の抑制が期待できる。

これまでの報告ではアンモニアガスの連続的な定量はほとんど行われていない。この理由の一つとして、現状の微量不純物ガスの定量手法が限られていることがある。現状の微量不純物ガス定量手法に紫外分光法や質量分析法などがあるが、これらの手法は高価な装置や多量の分析ガスが必要であり、連続測定も困難である。そこで、筆者はガス検知管（ガスを吸入することで検知管内の着色剤の色が変化し、その変色した長さによって対象物質の濃度を推定する）を使用した「安価」で「微量での定量が可能」な測定装置を開発した^[27]。開発した装置の概略図を図 10 に示す。この装置は反応容器部分で発生した水素とアンモニアをガス検知管に通過させる。これにより、アンモニアのみを検知管で捕捉する。変色部分の長さはタイムラプス撮影によって、その経時変化を記録する。アンモニアが捕捉された水素は水の入ったタンクに流入し、水素ガスの体積分の水が天秤上に置かれた容器へ押し出され、その押し出された水の重量の経時変化を記録する。これによって、水素とアンモニアの同時連続定量を行

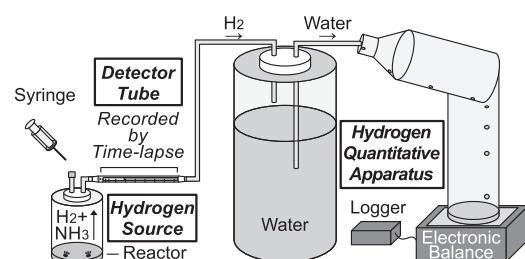


図 10 開発した「安価」で「微量での定量が可能」な測定装置の概略図

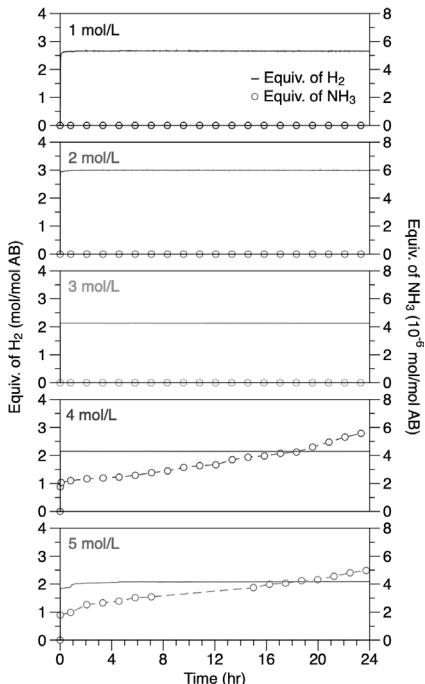


図 11 AB 水溶液とクエン酸 1 水和物粉末との反応によって生じた水素・アンモニアの放出挙動

う。また、この装置では検知管の種類を変更するまたは追加することで様々な種類のガスにも対応可能である。開発した水素・アンモニア同時連続測定装置を用いて、クエン酸 1 水和物粉末に種々の濃度に調整した AB 水溶液を mol 比 1:1 になるように混合し、発生した水素とアンモニアの放出挙動を図 11 に示す。図 11 より、2 mol/L AB 水溶液の場合、水素放出量は 3.0 mol H₂/mol AB (理論最大) であり、アンモニアは検知下限値以下であった。一方、4 mol/L 以上の AB 水溶液ではアンモニアの放出を確認した。またそのアンモニア放出は反応時に一度放出したのち、しばらくはアンモニアが放出されず、時間が経つと再放出した。以上より、アンモニアを抑制しつつ理論最大の水素を得るには、2 mol/L AB 水溶液+クエン酸 (1 水和物) 粉末 (mol 比 1:1) が最適であることが明らかとなった。反応後溶液の¹¹B-NMR 測定より、AB 濃度の上昇と経時変化によって、ホウ酸含有濃度の低下とクエン酸-ホウ酸ジエステル含有濃度の増加を確認した。このこ

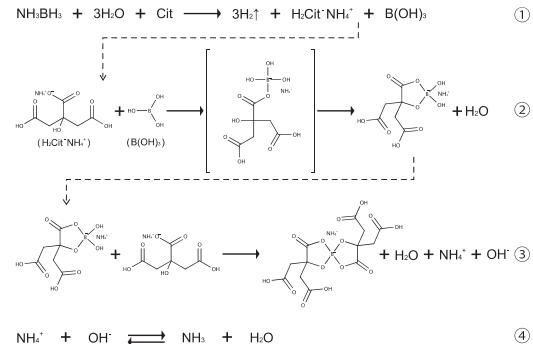


図 12 AB とクエン酸との反応メカニズム

とより、AB 水溶液+クエン酸における反応メカニズムの推定に成功した。推定されたメカニズムを図 12 に示す。図 12 では、生成したクエン酸 1 アンモニウム (H₂CitNH₄⁺) とホウ酸が反応することでホウ酸モノエステル (図中②の生成物において構造式で示している化合物) が形成する。さらにクエン酸 1 アンモニウムとホウ酸モノエステルが反応することでホウ酸ジエステル (図中③の生成物において構造式で示している化合物) が形成する。このホウ酸ジエステルが形成することによって、NH₄⁺が液中に溶出し、その NH₄⁺溶出量が溶解度を超えることでアンモニアガスが再放出したと考えられた。

参考文献

- [1] G. Barkhordarian, T. Klassen, and R. Bormann, *J. Phys. Chem. B*, **110**, 11020-11024 (2006).
- [2] S. Dekura, H. Akiba, O. Yamamoto, H. Kobayashi, M. Maesato, and H. Kitagawa, *J. Phys. Chem. C Nanomater. Interfaces*, **124**, 8663-8668 (2020).
- [3] C. W. Hamilton, R. T. Baker, A. Staubitz, and I. Manterns, *Chem. Soc. Rev.*, **38**, 279-293 (2009).
- [4] B. Peng and J. Chen, *Energy Environ. Sci.*, 10.1039.b 809243p (2008).
- [5] M. Y. Song, *J. Mater. Sci.*, **30**, 1343-1351 (1995).
- [6] A. Zaluska, L. Zaluski, and J. O. Ström-Olsen, *Appl. Phys. A: Mater. Sci. Process.*, **72**, 157-165 (2001).
- [7] N. Hanada, T. Ichikawa, S.-I. Orimo, and H. Fujii, *J. Alloys Compd.*, **366**, 269-273 (2004).
- [8] N. Hanada, T. Ichikawa, S. Hino, and H. Fujii, *J. Alloys Compd.*, **420**, 46-49 (2006).
- [9] S. Li, P. Jena, and R. Ahuja, *Phys. Rev. B: Condens.*

Mater Mater. Phys., **74**, 132106 (2006).

- [10] Y. Shimizu, M. Otowaki, T. Imai, K. Shirai, and M. Ohyanagi, *Mater. Trans.*, **61**, 787-794 (2020).
- [11] A. Montone, A. Aurora, D. Mirabile Gattia, and M. Vittori Antisari, *Scr. Mater.*, **63**, 456-459 (2010).
- [12] A. Borgschulte, J. Rector, B. Dam, R. Griessen, and A. Zuttel, *J. Catal.*, **235**, 353-358 (2005).
- [13] S.-Y. Lin, Y. Suzuki, H. Hatano, and K. Tsuchiya, *Chem. Eng. Sci.*, **55**, 43-50 (2000).
- [14] B. G. Miller, Introduction to Coal Utilization Technologies, in: Clean Coal Engineering Technology, Elsevier, (2017), pp.147-229.
- [15] K. Murakami, K. Sugawara, and T. Kawaguchi, *ISIJ Int.*, **53**, 1580-1587 (2013).
- [16] Y. Shimizu, M. Otowaki, K. Shirai, and M. Ohyanagi, *J. Alloys Compd.*, **811**, 152062 (2019).
- [17] H. Shao, Y. Wang, H. Xu, and X. Li, *Mater. Sci. Eng. B*, **110**, 221-226 (2004).
- [18] Y. Shimizu and M. Ohyanagi, *J. Alloys Compd.*, **845**, 156294 (2020).
- [19] 深井有, 田中一英, 内田裕久, 「水素と金属 次世代への材料学」, 内田老鶴園 (1998), pp.153-175.
- [20] C. S. Sunandana, *Reson.*, **12**, 31-36 (2007).
- [21] K. C. Kim, B. Dai, J. Karl Johnson, and D. S. Sholl, *Nanotechnology*, **20**, 204001 (2009).
- [22] J. Zhang, Y. C. Zhou, Z. S. Ma, L. Q. Sun, and P. Peng, *Int. J. Hydrogen Energy*, **38**, 3661-3669 (2013).
- [23] N. Bourgeois, J.-C. Crivello, P. Cenedese, V. Paul-Boncour, and J.-M. Joubert, *J. Phys. Condens. Matter*, **30**, 335402 (2018).
- [24] H. Akiba, H. Kobayashi, H. Kitagawa, M. Kofu, and O. Yamamuro, *Phys. Rev. B: Condens. Matter Mater. Phys.*, **92**, 064202 (2015).
- [25] Y. Shimizu, R. Tamaki, A. K. Tripathi, S. Takamine, Y. Tian, K. Kishimoto, T. Teruya, Y. Unten, H. Shinjo, and T. Nakagawa, *J. Jpn. Inst. Energy*, **102**, 65-76 (2023).
- [26] P. A. Storozhenko, R. A. Svitsyn, V. A. Ketsko, A. K. Buryak, A. V. Ul'yanov, *Russ. J. Inorganic Chem.*, **50**, 980-985 (2005).
- [27] Y. Shimizu, A. Miyagi, and T. Nakagawa, *Rev. Sci. Instrum.*, **94**, 095114 (2023).

クリーンで効率的なエネルギーの 生成、貯蔵、使用のための絶え間ない探求

——材料とエネルギーの相乗効果——

ヘルナンデス ホセ
Jose HERNANDEZ

先端理工学部応用化学課程 助教
Assistant Professor, Materials Chemistry Course



はじめに

Hola! (こんにちは) 先端理工学部のエルナンデス・ホセと申します。中央アメリカの美しい国、グアテマラ出身で、自然の驚異、美しい気候、そして一年を通して様々な種類の果物や野菜が豊富にあります。グアテマラのコーヒーの風味が栽培された地域によって異なることでよく知られています。

よろしくお願ひいたします。

最近では、私たちは自分たちの生存に必要な多くのものを当たり前のように受け入れています。毎朝目を覚ますと、蛇口をひねることで水を簡単に手に入れることができます。夜になると、スイッチを一つ押すことで家全体を明るく照らすことができ、寒かったり暑かったりすると、エアコンのボタンを押すだけで簡単に温度を調整できます。

しかし、もしこれらの基本的なサービスが突然使えなくなったら、どうするでしょうか？想像してみてください。

ある日、蛇口を開けても水が出ず、スイッチを押しても明かりが点かず、滋賀の寒さを感じている中で、エアコンのリモコンのオンボタンを押してもエアコンが動かない。

もし、これらのサービスが使えなくなった場合、

最寄りの水源はどこにあるか、考えたことはありますか？例えば、琵琶湖の近くに住んでいたとしても、水を手に入れるためにかなりの距離を歩かなければならぬでしょう。そして、水源にたどり着いたとして、どれくらいの水を家まで運ぶことができるでしょうか？さらに冬の状況で水を探さなければならぬ場合、その探索に加えて暖を取るための燃料源を確保しなければならなくなります。

このシナリオで私が注目している主要な要素は、何だと思いますか？私たちの現在の技術やシステムが円滑に機能するために必要な重要な要素は何でしょうか？どうすれば、水を一地点から別の地点に速く大量に移動させたり、冬の間に暖を取るための熱を生み出したり、大きな荷物を簡単に移動させたりできるのでしょうか。

もし、エネルギーだとお考えになったなら、それはまさにおっしゃる通りです。人間の現代技術はすべてにエネルギーを利用してしています。電力は、水を遠くまで速く移動させるポンプを動かすために、また電球やエアコンに使用されます。あるいは、車両や輸送のために燃料が使われます。したがって、エネルギーの生成、貯蔵、効率の重要性が非常に大きいのです。

1. エネルギー

1.1 現在のエネルギーの展望

現在の世界のエネルギー状況に関して、主に3つの懸念があります。それは、エネルギー安全保障、クリーンエネルギーの展望、そして将来の不確実性です。

中東や東ヨーロッパなど、世界のさまざまな地域での紛争の激化は、世界のエネルギー安全保障に対する脅威となっています。例えば、世界の石油および液化天然ガス（LNG）の20%がホルムズ海峡を通過していますが、この重要な水路の安全が脅かされています。しかし、2030年までに余剰の原油生産量が1日800万バレルに増加し、新しいLNGプロジェクトによって輸出能力が約50%向上することが期待されています。これにより、エネルギーセクターの安全保障 outlook（見通し）が徐々に改善し、再生可能エネルギーに焦点を当てるための余裕が生まれると予想されています¹⁾。

2023年だけでも、世界の再生可能エネルギー容量は560ギガワット（GW）以上増加し、太陽光発電の製造能力は2020年代には年間1,100GWを超えると予測されています。2030年までには、再生可能エネルギーや原子力などの低排出エネルギー源が世界の電力の半分以上を供給し、電気自動車（EV）は新車販売の50%に近づき、道路輸送における石油需要を削減する見込みです¹⁾。

これらの再生可能エネルギーソリューションの実施におけるレジリエンス（回復力）は、2050年までに設定された気候目標（ネットゼロ排出）を達成するために重要です。

1.2 再生可能エネルギー

再生可能エネルギーとは、人間の時間尺度で補充可能なすべてのエネルギー源を指し、そのため比較的短期間で繰り返し生産することができます。再生可能エネルギーには、太陽光エネルギー、風力エネルギー、バイオエネルギー、地熱エネルギー、水力

発電、海洋エネルギーなどが含まれ、これらは発電、輸送、家庭用、都市の暖房などに利用することができます²⁾。

パリ協定で定められた気候目標を達成するための現在の競争と、エネルギー供給と地政学的変動との微妙な相互関係に対する意識の高まりを踏まえ、再生可能エネルギー源への移行の必要性はこれまで以上に明確となっております。

図1は、2019年の世界全体のエネルギー供給を示しております。1973年と比較して、私たちはエネルギー生成における化石燃料への依存を徐々に減らし、よりクリーンで再生可能なエネルギー源への移行を始めました。

過去46年間で、重要な進展がありました。私たちは石油への依存度を15.3%削減し、天然ガスの消費は増加し、石炭の消費は比較的安定しています。最も重要なのは、再生可能エネルギー源への大きな投資が行われ、エネルギー供給のミックスに54EJ以上が追加されたことです。さらに、エネルギー効率の向上により、全体の消費量が削減されました³⁾。

日本もまた、野心的なエネルギー目標を設定しています。図2は、2030年に向けた日本の電力生成ミックスの見通しを示しています。日本は、電力需要を864TWhで抑えることを目指しており、これは効率向上への大きな努力を反映しています。ま

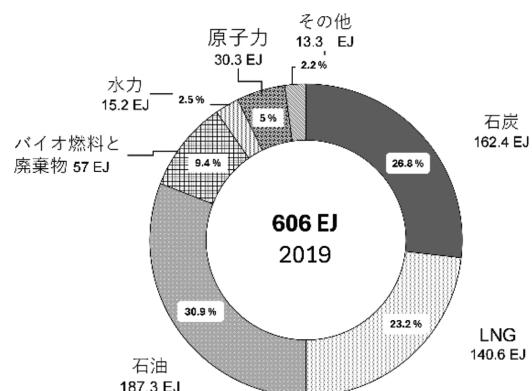


図1 2019年のエネルギー供給源別の世界シェア

*1 EJ/年はおよそ31.7GWです。

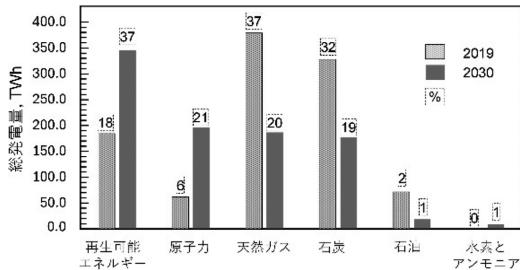


図2 日本の電力発電ミックスの見通し
*年間 1TWh の消費には、0.114GW を発電する
必要があります。

た、再生可能エネルギー源からの総発電能力を 2030 年までに 20% 増加させる計画も立てています⁴⁾。

これらの重要な取り組みは、日本がエネルギー輸入への依存を減らすのを助けるだけでなく、環境汚染の削減に向けた世界的な取り組みにも貢献することが期待されます。

1.3 エネルギー研究における私の個人的な道

日本をはじめとする多くの例に触発され、私はエネルギー解決策に関連する研究に強い興味を持つようになりました。

幼い頃から、日常生活に必要な物品がどのように作られているのかを常に疑問に思っていました。その好奇心から化学工学を職業に選びました。

グアテマラで化学工学の学士号を取得するための勉強をしましたが、そこから研究への情熱が始まりました。その後、同じ大学に就職し、様々な研究プロジェクトを主導することと 2012 年に経営学の修士号を取得して研究能力と管理スキルを磨きました。

1.3.1 バイオディーゼル

バイオディーゼルは、植物油、動物脂肪、または藻類などの有機物から作られる再生可能な燃料です。ディーゼルエンジンで使用でき、石油ディーゼルよりも低い排出ガスで環境に優しいと考えられています。バイオディーゼルは、油や脂肪がアルコールと反応してバイオディーゼルとグリセリンを生成

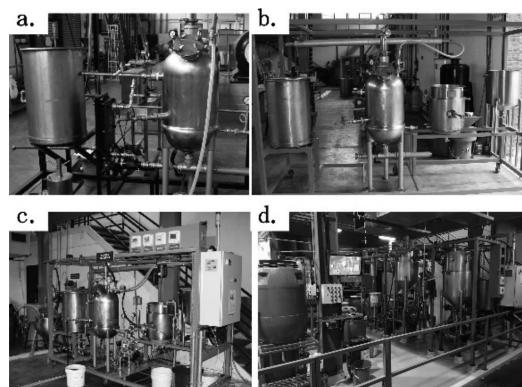
する化学プロセスであるトランスエステリファイケーションによって製造されます⁵⁾。

Universidad del Valle de Guatemala に働いていた間、化学工学部のバイオディーゼルパイロットプラントの立ち上げから管理を担当させていただきました。この期間、私のチームと私は再生可能な燃料の製造に関する化学工学のプロセスの研究に注力いたします判明しました。

パイロットプラントを監督していた 10 年間に、生産能力を 1 日 25 リットルから 175 リットルに増加させ、平均収率は 84.79% に達成しました。酸性油の処理には二重触媒システムを導入し、バイオディーゼルとグリセリンの分離および洗浄システムには半自動的なデカンテさらに、グアテマラ市場から 11 トンの使用済み油をリサイクルでの、アメリカ材料協会 (ASTM) の基準に準拠してバイオディーゼルを 9 トン以上製造し、いくつかの政府機関や交通機関の車両に使用されました。

画像 1 では、バイオディーゼルプラントの年々の進化をご覧いただけます (2010 年「a」から 2017 年「d」までの変遷)。

このプロジェクトから非常に多くのことを学びました。なぜなら、毎日、パイロットプラントの設備を操作するや研究のために化学や化学工学の基礎的なおよび高度な知識を活用する必要があったからです。しかし、最も重要なのは、科学のキャリアが私



画像1 Universidad del Valle de Guatemala の
化学工学のパイロットプラントの進化

たちに新しいものを創造し、最適化、改善するためには必要なツールを提供してくれることです。

1.3.2 代替燃料と効率性

超効率的車両プロジェクトを監督して、簡単に言うと私の最も好きなプロジェクトの一つでした。

この期間中、私はキャリアに関係のない多くの新しいことを学ぶことができました。なぜなら、車両の設計と製作には、工学の多分野にわたるチームが必要だからです。例えば、車が前軸を壊さずに曲がることができるようにアケルマン角を計算することから、4ストロークエンジンのインジェクションシステムとタイミングを調整して、チューニングソフトウェアを使用して純エタノールで動作させることまで行いました。このプロジェクトは非常に要求が厳しかっただけでなく、とても刺激的で充実したものでした。

全体として、私は再生可能な燃料を製造し、それをさらにエネルギーに変換するを製造し、現在の技術をこれらの燃料に適応させて改良し、実験する機会を得ました。これ以上の科学の楽しみ方はないと思います！

これらのプロジェクトやその他多くのプロジェクトを通じて、私は材料工学の情熱的な世界を発見しました。材料は、再生可能燃料の製造や再生可能エネルギー全般において重要な役割を果たします。材料を設計し、制御することができれば、新しい可能

性を開くことができます。例えば、軽量でありながら強靭な材料を合成して、人を守りながら車両の重量を減らすことができることや、再生可能資源を利用、変換、または改善する新しい触媒を作成し、人類の利益に貢献することなどが挙げられます。

2. 再生可能エネルギー

日本で材料科学の博士課程を進めることを決意し、現在の製造プロセスや生命維持システムがエネルギーフリー社会に向かって進化できるよう、未来の材料を開発するための努力に参加することにしました。

日本を選んだ理由は数多くありますが、私はそれを「日本は、美しさと規律が結びつき、思いやりと細部への注意が融合した素晴らしい場所である」と要約できます。

現在、私はソフトテンプレート法を用いてさまざまなナノ材料を合成し、それらの触媒応用に取り組んでいます。

ナノ技術の研究とナノ材料開発に割り当たられる予算は、過去30年間で増加しています。これらの材料は、優れた表面積、高い触媒性能と選択性、サイズや形態を制御できる能力を持っており、さまざまな科学技術分野での応用が期待されるため、非常に魅力的です。

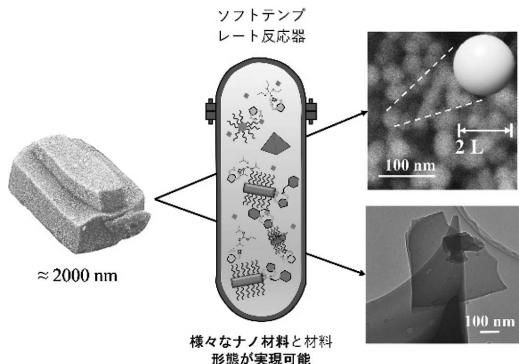
ナノ材料を合成する方法には、大きく分けて二つのアプローチがあります。トップダウン法とボトムアップ法です。トップダウン法は高い収率を誇り、現在では低成本ですが、ナノ材料の品質は低いです。逆に、ボトムアップ法は高品質の材料を得ることができ、その特性が保持されますが、コストは高くなります。

ナノ技術を改善するためには、高品質のナノ材料が必要です。したがって、私はボトムアップ法の研究とその多様な合成能力に焦点を当てることに決めました。

液晶の一種であるリオトロピック混合物の自己組織会合構造により形成される球状ミセル、棒状ミセ



画像2 Universidad del Valle de Guatemala の Shell Eco-marathon の 2018 年チーム



画像3 ソフトテンプレートの反応器で使用して新しい材料を設計および改良するナノ技術の可能性

ル、二次元ナノシートを鋳型（ソフトテンプレート）として使用することで、特定の形態、構造を設計し、サイズを精密に制御した種々のポリマーを合成することが可能である。この方法は、あらゆるタイプのポリマーの合成に適応可能であり、さらにその形態を調整できる新規なソフトリアクターである。

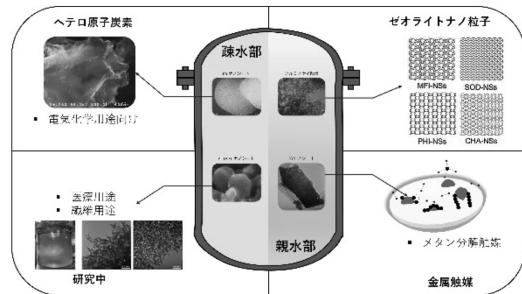
特定の界面活性剤は、様々な形状異方性とサイズの自己組織化超構造を可能にするリオトロピックメソフェーズの水の親和性特性により、さまざまな材料の合成が可能になります。

2.1 設計プロセスの一般的な側面

材料の用途から、表面積、触媒性能、安定性など、ナノ材料の望ましい最適な特性を決定できます。この特性を利用して、ナノ材料（形状、要素、表面、多孔質など）とその合成に最適な合成経路の設計を進めます。

これに基づいて、必要な構成要素、その溶解度、合成条件、TDR ソリューションとの適合性を決定できます。そうすることで、TDR が親水性リオトロピック混合物を使用するか疎水性リオトロピック混合物を使用するか、その特定の混合物の状態図、およびその推定組成を確立できます。

ソフトテンプレート法の可能性は現在進行中の研究であり、これは材料の理解を深め、ナノスケール



画像4 ナノ材料と形態の合成のためのソフトテンプレート反応器の多用途性

での挙動や応用に関する新たな知見を提供しています。電気化学や電子材料への応用がある高分子ナノ粒子から、表面積と選択性が改善された特定のゼオライト触媒の設計、さらには効率と安定性が向上した特定の反応に適した金属触媒の設計に至るまで、多岐にわたる分野で利用されています。

参考文献

- IEA (2024). World Energy Outlook 2024. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024>, Licence: CC BY 4.0 (report); CC BY NC SA 4.0 (Annex A).
- Halkos, G. E., & Gkampoura, E.-C. (2020). Reviewing usage, potentials, and limitations of renewable energy sources. *Energies*, 13(11), 2906. <https://doi.org/10.3390/en13112906>
- International Energy Agency (IEA). Key World Energy Statistics 2021: Supply. International Energy Agency, 2021. Access date (December 02, 2024) <https://www.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2021-supply>.
- Japan Electric Power Information Center (JEPIC). The Electric Power Industry in Japan 2023. Japan Electric Power Information Center, 2023. Access date (December 03, 2024), <https://www.jepic.or.jp/>
- Vivas, A., Leal, M., & Rodriguez, L. (2022). "Recent advances in biodiesel production: A review on the latest feedstock and technologies." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 162, 112423. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112423>

2023 年 NY 滞在記 part 1

山 本 伸 一
Shin-ichi YAMAMOTO



先端理工学部電子情報通信課程 教授
Professor, Electronics, Information and Communication Engineering Course

はじめに

1月6日に「中国の武漢で原因不明の肺炎、厚労省が注意喚起！」のニュースの見出しを見た。ようやく2020年が明けた時であった。中国内陸部の湖北省武漢で2019年12月以降、原因となる病原体が特定されていない肺炎の患者が59人確認され、このうち7人が重症となったとのことであった。私はそのニュースを少し意識しながら、2020年3月25日に米国へ入国するためのビザ申請書を仕上げていた。ビザ用顔写真の撮影も終え、すべてが順調のように思えていた。

2020年1月8日に「WHO=世界保健機関は武漢で2019年12月以降、相次いでいる原因不明の肺炎の患者について病原体を検査した結果、「新型ウイルスの可能性が否定できない」との発表があった。そして2003年に感染が拡大した「SARS」、重い肺炎を引き起こす「MERS」、「鳥インフルエンザ」の可能性はいずれも否定された。このころから何かいやな予感がし始めていた。一方で、まだ留学することにとても前向きに考えてもいた。結果は題目「2023年NY滞在記」の通り、それから3年間は足止めを食らうことになる。ニューヨーク滞在記を執筆する今日までの長い長い道のりの始まりであつ

た。

1. 國際的な緊急事態「COVID-19」

2020年1月23日にWHOの緊急委員会が、現状について協議した。記者会見を開いたテドロス事務局長（当時）は、中国でのヒトからヒトへの感染は主に家族や患者の治療にあたる医療従事者にとどまっているほか、中国の外ではヒトからヒトへの感染が確認されていないと指摘し、「国際的に懸念される公衆衛生上の緊急事態」には現時点ではあたらないと発表した。

2020年1月29日に、感染が拡大する武漢から帰国を希望する日本人を乗せたチャーター機の第1便が羽田空港に到着した。帰国した人々は国が手配したホテルや宿泊施設に滞在した。この後、武漢からのチャーター機は2020年2月17日の第5便まで運航された。

1月30日にWHOの緊急委員会が現状について協議した。1週間前は「緊急事態にはあならない」と判断していたが、記者会見したテドロス事務局長は、感染が中国以外でも拡大するおそれがあるとして「国際的に懸念される公衆衛生上の緊急事態」との宣言があった。すでに、東京五輪・パラリンピックの開催を半年後に控えたときの報道であった。

翌月の2月11日にWHOは、新型コロナウイルスを「COVID-19（コビッド）」と名付けたと発表した。「コロナウイルス」と「病気」の英語表記に感染が確認された年（2019）を組み合わせていた。

2. 出国延期

2020年2月13日、国内で初めて感染者が天に召された。当時80代だった女性は1月22日に体調が悪くなり、2月1日に医療機関で肺炎と診断され、その後12日に症状が悪化し、ウイルス検査を受けた結果、新型コロナウイルスへの感染が確認されたとのことであった。

2月27日、政府の対策本部では3月2日から全国すべての小学校、中学校、高校などは春休みに入るまで臨時休校とするよう要請する考えを示した。当学部にも3月2日の月曜日に卒業式の中止の案内が流れてきた。

このニュースを聞いた1か月後の3月24日が筆者の出国日であった。すでにフライトを予約済みであり、米国・東海岸にあるニューヨーク市のコロンビア大学からビザが自宅に送られていた。

3月18日に本校から留学の見直しを検討するよう電子メールが入った。「渡航禁止」とは書かれていたが、来年に延期をしないかとの内容であり、事態の重さを痛感した時でもあった。航空会社へのネットも電話もつながらない異常な情勢でもあったため、伊丹空港まで車を走らせ現地で出国延期の手続きを試みるしかなかった。普段はとても混雑する空港までの道のりも、その日は珍しく空いていた。日本国内での外出制限・自宅待機の重さを痛感した日でもあった。

3. 米国の渡航制限対象国の拡大

2020年3月3日、米ペンス副大統領（当時）は入国拒否や渡航制限の対象国拡大の検討を始めた。ペンス副大統領は米国内での新型コロナウイルスによる死者が6人に増えたことを明らかにしたうえで、感染拡大を防ぐため米国への入国を拒否する国

や、米国民の渡航を制限する国について対象の拡大を検討する考えを示した。

一方、日本では厚生労働省と文部科学省が、学童保育を行う際には席の間隔を1メートル以上離して配置するなどして、できるかぎり子供どうしが接触しないよう求める感染防止策を全国の自治体などに通知した。

2020年3月22日、米ニューヨーク州は感染者が急増していることから外出制限を開始した。現地時間の22日午後8時から警察や医療従事者など一部の職種を除いたすべての社員や従業員などの出勤を禁じたほか、住民に外出を控え自宅にとどまるよう求めた。クオモ知事（当時）は20日の記者会見で、このままのペースで感染者が増え続ければ病院内の必要なベッドの数は45日以内に収容能力の2倍に達するとして危機感をあらわにした。ニューヨーク州では22日時点で、感染者数が前日より4,812人増え、1万5,168人になっていた。その他、全米で人口が最多の西部カリフォルニア州では、外出を原則禁止する命令を出したほか、ニューヨーク州に隣接するニュージャージー州や中西部のイリノイ州などでも住民の外出を制限した。



写真1 ニューヨークでお世話になった寮に隣接する公園（Sakura Park）。I-House のバルコニーから筆者が撮影。

2020年3月24日、東京五輪・パラリンピックを1年程度延期にするという安倍首相とIOCのバッハ会長（当時）との電話会談が発表された。首相が「東京オリンピックとパラリンピックの1年程度の延期を軸に検討してもらいたい」と述べたのに対し、バッハ会長は「100%同意する」と回答された。そしてIOCと大会組織委員会、東京都などの関係機関が一体となり、遅くとも2021年夏までに開催することで合意した。その後、オリンピックは2021年7月23日に開幕する17日間に、パラリンピックは8月24日開幕の13日間の日程に決まった。

4. 毎年のビザ申請

米国に渡航するため、出発の72時間前までに電子渡航認証ESTAも申請していた。キャンセルすることも出来ず、人生で初めての経験にただただ狼狽えるのみであった。その後、日本のこの事態をコロンビア大学側に電子メールで連絡して渡航の延期を承諾していただけた。ちょうどそのころ、コロンビア大学内でもコロナ感染者がいるとの連絡を受けた。長い長いトンネルを進んでいるようであったが、前向きに事態が収束するであろうことも考え、いつでも渡航できるよう毎年（2020年から2023年の計4回）ビザを申請することにした。PCを前にした非常にハードな作業で、計4回の長時間作業は2度と経験したくないプロセスでもあった。

ちなみに、すでにそのころニューヨークは新型コロナの「戦場」と化していた。大学キャンパスから人影は消え、教授陣はオンラインで講義を行い、また学生は自宅（または出身国にもどり）で学び続けたと聞く。追って日本でも同じ経験することとなり、Microsoft Teamsなどのオンライン講義の勉強会が始まった。

5. ついに International House に入寮

当初の渡米予定からすでに3年が過ぎた2023年3月、まだ日本はマスク着用者が多くいた時であつ

た。米国に滞在している友人からは、だれもマスク着用をしていないことを聞いていた。さらに、米国はインフレの真っただ中で、すべての物価がとても高いことを聞いていた。「インフレーションの米国」と「デフレーションの日本国」間のカルチャーの違いを目の当たりにするのに、渡米してからそれほど時間はかからなかった。

さらに円安が加速度的に進んでいた時期でもあり、貯金を崩して留学に臨まざるを得なかった。すでに住むべき場所をNPO法人が運営している寮であるInternational House（アイハウス）に決めていた。JFK国際空港に降り立つと、予約していたタクシーで現地へ向かった。自分は外国から来ていると語ったドライバーは、道中、日本製のいろいろな自動車の性能を何度も一生懸命にほめていた。それを聞いて何か嫌な予感がしていた。もちろんドライバーの精一杯のパフォーマンスであることに気づいていた。およそ1時間程度の道のりであったが、アイハウスに到着するや否やチップ20ドルを要求してきた。チップ込みの価格をすでにクレジットカードで支払っていることをこちらが主張すると、今度はWashington bridgeを通るのに必要だった通行料20ドルを支払ってほしいと話題を変えてきた。1ド



写真2 3月25日 I-House の south に到着した直後の写真。とても荘厳な雰囲気であった。

ル 70 円のころは 1400 円で済んだが、今回渡米したときは円安で 3000 円の計算であった。しかし、長旅と 13 時間の時差で疲れていた私は彼と戦う気にもなれず、またアイハウスに 14 時に到着する約束をしていたこともあり（やむを得ず）、彼の主張する 20 ドルをキャッシュで支払った。日本ではあり得ないアシデントではあるが、海外では何度も耳にする事例もある。海外に行くたびに思うが、日本人の勤勉さを自慢したい。昔から海外のレベルの低さには、呆れ果てているが、残念なことに海外ではまったく進歩が無い。

一方、私がお世話になるコロンビア大学は、世界的に有名な名門校である。高いポテンシャルを持った人が多いことも記述しておきたい。ここモーニングサイド・ハイツは、コロンビア大学のキャンパスが広がるエリアである。西にはハドソン川に沿って広がるリバーサイドパークがあり、東にはセントラルパークがある。大都会でありながら、とてもんびりした気分になれる。生活に慣れてくると、少し早起きをしてリバーサイドパークでニューヨーカーたちに混ざってジョギングやウォーキングをしていたが、必ず訪れたい場所である。また、リバーサイドパーク内には南北戦争での将軍（後の 18 代大統領ユリシーズ・グラント）の墓や展示室もあるなどアイハウス周辺には、見所が沢山ある。リバーサイド・ドライブ沿いには、19 世紀の住宅や豪邸も多く立ち並んでおり、歴史的に有名なリバーサイド教会（キング牧師が講演したところ）や、セントジョン・ザ・ディヴィайн大聖堂も近接していて、一見の価値がある。

さらに、メインキャンパスには徒歩で行ける。メトロの最寄り駅である 125St には徒歩 5 分、116St へは 10 分以内である。休日にダウンタウンへ遊びに行くときも、とても便利な立地である。このようにコロンビア大学の学生からすると、アイハウスはとても恵まれた場所にある。

私が通った電気工学科のあるシャピロビルディング棟のメインエントランスまではアイハウスから 7



写真 3 南側にある Sakura Park から見た I-House

分で到着する。そこからエレベーターで実験室のある 10 階まで行っても 10 分程度である。特にランチの時間はアイハウスまで戻り、食事後に再度実験室に戻って研究に従事するのが日課であった。

さて、アイハウスのエントランスには“Claremont Avenue”と“Riverside Drive”的 2 つの入り口がある。Riverside のエントランスは、North 棟は基本的に終日利用ができず、South 棟は平日の限られた時間しか開いていないため、基本的に Claremont Avenue のエントランスを使うことになる。それぞれの住所は 122nd Street & Riverside Drive (500 Riverside Drive), 122nd Street & Claremont Avenue



写真 4 Riverside Park 側から見た北館（通称 North : 左側）と南館（通称 South : 右側）



写真5 秋に I-House のエントランス近くを撮影 (Claremont Avenue), 写真の左が Sakura Park

(155 Claremont Avenue) である。文字通りモーニングサイド・ハイツの高級住宅街であることから、治安も大変良いことがわかる。

6. International House の歴史

アイハウスはグローバルコミュニティであり、ニューヨーク東部イーストリバー沿いにある国連本部より 21 年も前に設立された。100 年にわたり 65,000 人以上の卒業生を輩出しており、卒業生には、ノーベル賞受賞者、国家元首、受賞歴のある作家・歌手・俳優、CEO だけでなく、世界中の教師、医師、中小企業の経営者、コミュニティリーダー、ボランティアも含まれている。私たちには、モーニングサイド・ハイツの施設内で提供される自然な出会いがあり、そして比類のない一連のプログラムで構成される実体験を通じて、尊敬、共感、道徳的勇気という中核的な価値観を構築することができる。これらのことからもグローバル・コミュニティのリーダーを育成していることが良くわかる。歴代の理事長には、2人の元米国大統領（アイゼンハワー、フォード）、3人の元国務長官（スティムソン、マーシャル、キッシンジャー）、および米国連邦準備制度理事会（FRB）の元議長（ボルカー）が含まれている。



写真6 アイハウス内の2階に展示されている写真。多くのVIPが来訪されている。

1912 年に日本からの桜植樹歓迎式典が行われた公園がアイハウスに隣接している。式典を機に公園の名称も現在のサクラパークへ変更された。公園内北側には 1960 年に東京との姉妹都市となったことを記念して贈られた石灯籠もある。サクラパークとすぐ隣のリバーサイドパークとをあわせて周辺住民の和みスペースとなっている。とても静かな環境で、ジョギングしたり子供と遊ぶニューヨーカーの姿が多いことが、今でも印象に残る。



写真7 コロンビア大学の最寄り駅 116st

7. International House を案内

ニューヨークの長期生活が初めてで、アパート探しに不安を感じる方には、このアイハウスが特にお勧めである。アイハウスは670人程度の大学院生と企業研修生（筆者も含まれている）が暮らす集合住宅であり、前述したようにコロンビア大学のキャンパスから歩いて行け、かつモーニングサイド・ハイツと呼ばれる治安のとても良い地区に在る。特に、マンハッタン島の中でも一番治安が良い地区であるため、安心して暮らすことができた。留学生とその家族向けの住居でもあるため、家賃は相場に比べると安く設定していただいている。

さらに、食堂も建物の中にあるため食事に困ることはない。アイハウスの建物は寮タイプの南館と、スタジオ及びアパートタイプの北館に分かれている。

まずは筆者が住んでいた南館を紹介する。南館の部屋は個人向けのため狭く、シャワールームやトイレは共用である。さらに、キッチンは無く、部屋によつては洗面台もない。

以下、南館の家賃等について記述する。アイハウスでは、家賃とDining FeeなるものをMembership Feeとして1学期分まとめて支払う必要がある。Studio Apartmentに住んでいる筆者の場合、4か月でのMembership Fee（家賃）である\$11,000（家賃）程度を支払った。家賃は決して安くないが、ニューヨークの物価が非常に高いことがすべての人の生活を苦しめていたことを考えると安いと思わざるを得ない。ちなみに、この家賃には電気代、水道代、Wi-Fi費用が含まれていることを記述しておきたい。それではSouthのみ詳細を紹介しておくことにする（2023年当時）。

○Room without a sink → Average Monthly Rate: \$1,365 (Daily Rate: \$44.88)

○Room with a sink → Average Monthly Rate: \$1,472 (Daily Rate: \$48.39)

○Room with a Semi Private Bathroom → Average Monthly Rate: \$1,811 (Daily Rate: \$59.55)

○Room with a Private Bathroom → Average Monthly Rate: \$1,968 (Daily Rate: \$64.72)

8. 入寮の申し込みと設備

続いて、入寮申し込みについて記述する。アイハウスには、ホームページからオンラインで申し込みができる。申し込み際に、アイハウスのプログラムにどのような貢献ができるのか等を記述する“Personal Statement”を書面で提出しなければならない。つまり英語で小論文を書くことで入寮を認めていただく必要がある。入寮ができなかった知り合いも多くいたことを考えると、とても重要な書類である。当然だが、英語を長期にわたって真剣に取り組んでいなければならない。

北館のうち、スタジオと1ベッドルームについては、夫婦や家族が優先されるため、個人の学生はアパートでのシェア、または南館の寮で暮らすことが多い。南館の部屋の広さは平均して2.4m×3.4m程度であり、最初のうちはとてもせまく感じる。しかし、1か月ほど住んでいると慣れてくるのも事実である。大学院博士課程まで進学する学生は5年間住むことになる。アイハウスで友人も多く出来たが、



写真8 同じフロアの仲間たち（左からコロンビア共和国出身（音楽家）、筆者、グアテマラ共和国出身（修了後は銀行マン）、パキスタン・イスラム共和国出身（修士課程2年生、円谷プロのゴジラ映画の大ファン））

彼らはとても快適に生活しているように思えた。もちろん筆者もその一人である。

シャワールームとトイレが共同であることは記述したが、アイハウスのスタッフが毎日掃除してくれるためとても清潔である。また、各自の部屋が狭いことから、各階にあるラウンジでくつろぐことが多く、必然的に知り合いを増やす機会が多くなった。さらに、日本語以外の言語を話す・聞き取る機会も自然に増えた。

家賃には電気代や水道代、インターネット通信費等が含まれていることは既に述べたが、食堂での食事代は含まれておらず、家賃とは別途に支払う必要がある。日本人の感覚からすると安いとは言えないが、外食するよりも日々の食事が安く取れる食堂（Dining Hall）がアイハウス内にある。基本的にピュッフェ形式であるが、オムレツ、サンドイッチやハンバーガーなどを注文することもできる。平日は Breakfast が 07:30-11:30, Lunch が 11:30-14:00, Dinner が 18:00-21:00 である。土曜日は Brunch のみであるが、09:00-14:00 まで開いている。日曜日と休日は休みとなる。

食事代は1日\$8程度で、1学期毎（4ヶ月）に900ドル前払いすることになる。筆者も南館に住んでいたことから部屋で料理ができなかつたため、食



写真 10 毎日お世話になったダイニングホール、友人は香港出身

堂で食事をすることが多かった。

普通はキッチンがないタイプのアパートに住んでいると、ニューヨークのダウンタウンで外食せざるを得ない。日本食の何倍ものカロリーがある食べ物ばかりで健康にも良くないと思われる。筆者は毎日炊飯器でご飯を炊き、総菜を目当てに毎日友人と食堂で料理を数品購入していた。外食をする必要が無かつたため、とても安くニューヨーク生活を楽しむことができたことに感謝したい。

洗濯場（Laundry Room）については、北館には1階、南館には地下にそれぞれ共用の洗濯機と乾燥機が複数設置されている。各部屋には洗濯機はなく、洗濯する度に South と North にそれぞれある Laundry Room に行って、洗濯にお金を支払う必要がある。料金は、基本的に洗濯は\$2.75、乾燥は10分で\$0.85である。スマホを用いてアプリで支払えるため気軽であった。

筆者がよく利用していたアメニティについて記述する。一番気に入っていたのはトレーニングルーム（Fitness Center）である。米国では、生活する建物の中にトレーニングルームがあることが多く、とても便利である。アイハウスにも同様にトレーニングルームがあり、大学から帰宅後、週に2回ほど利用した。多くの学生が利用している施設であり、ここでもたくさんの友人ができた。

アイハウスには、スタディルーム（Study Center,



写真 9 アイハウスのディナーパーティーで仲間たち（中華人民共和国、サウジアラビア王国の出身）と筆者、筆者の右隣りはタイ王国の出身



写真 11 North の Laundry Room は、トレーニングジムの正面にある。洗濯中にトレーニングも可能。

HR Commons, Dodge Room) という勉強できるスペースがいくつもある。自分の部屋だと集中できない人にとっては、24 時間オープンしていることもあり、とても便利である。Study Center の中にはコンピューターセンターがある。アイハウスの PC を自分の I-House アカウントを通して使用することができる。その他、Game Room には、卓球台やビリヤードの他にボードゲームも揃っている。



写真 12 とても広いトレーニングジム。無料で利用可能



写真 13 写真の正面にあるスタディーセンターと、毎日使用した 2 つのエレベーター

大学で Group Project があるときは、ゲストとしてそのグループメンバーを I-House に招いてミーティングをすることも可能である。筆者も何度か友人を招待したが、必ず受付でゲストが ID 等を見せてからでないと入れないシステムになっている。外部からの侵入はまず不可能な建物（および構造）になっている。

もちろん、個々の部屋は自分たちで掃除する必要があるが、共有スペースがとても広いため自然とそちらの方へ行くことになる。アイハウスは居住者同士のコミュニケーションを大事にしておりとても良いシステムになっていると思う。

9. 筆者の生活スタイル

2023 年 3 月からの 1 年間、South の 1 人部屋の Room with a sink に住んでいた。窓から有名なハドソン川が一望できるとても眺めの良い部屋だった。ただしそれページの写真のとおり、部屋は非常に狭い。また壁も薄く、隣に住む外国人の一人カラオケや夜中まで賑やかな状況（携帯電話での大声通話など）に 4 か月ほど悩まされることになった。寝るのが早い時は、イヤホンで音楽を聞きながら眠る習慣がついた。その後、その隣人と話をする中で、同じ電気工学科に所属する 4 年生であることが分かった。しかし、その後も夜中の賑やかさはほとんど変わることはなかった。その国の東側の文化は、どん



写真 14 入寮直後の貴重な写真（スーツケース 2 つとディーパック 1 つのみであった）

な時も大声で歌を歌うようであった。私がお世話になっていた研究室のボスドクで同国出身者は、「大声で歌う文化は日本人には理解できないだろうなあー」と説明をしてくれた。文化の違いを勉強させていただけた。不思議なもので、日々の状況に慣れるとさほど気にならなくなつた。当然のことながら、その後も米国での生活において日本の常識がまったく通用しない多くの洗礼を受けることとなつた。

アイハウスの中には Programs Office という部署があり、そこが中心となって居住者同士が交流するプログラムを多く企画している。ニューヨークヤンキースやニューヨークメッツなどの野球観戦、言語交換プログラム、著名人の講演、ニューヨーク交響楽団のコンサート、ミュージカルやオペラ鑑賞、さらには、お互いの国の文化や言語を紹介しあう行事等々、貴重なプログラムが用意されている。

筆者は日本から来ている有名選手の試合を何度も観戦することができた。いろいろな国の人と知り合う機会が多いのはアイハウスに住む大きなメリットの一つだと思う。Ice Cream Social も月イチで開催されていた。アイスクリーム食べ放題のイベントで多くの人がロビーに集結していた。こういったイベ



写真 15 1 年間使用した南館 3 階、生涯の仲間との共同生活がここにあった。



写真 16 ハドソン川の夕焼け
春・夏・秋・冬でそれぞれの違う景色
を自分の部屋から楽しめる。

ントを通して各国から来ている留学生たちと友達になることができる。人材交流、語学のスピーキング力・ヒアリング力の向上等、色々なものが会得できる。

まとめ

世界でコロナ（ウィルス）感染者の第一号が報告



写真 17 アイハウスのメンバー（毎年一回ディナーパーティー前に撮影される。長く住んでいるメンバーはいつ撮影があるかを知っているため、前列を陣取る。筆者は矢印の下）

されてから、瞬く間に世界的なパンデミックになった。そして社会は大きな不安と混乱に包まれ、すべての人々が様々な戦いを強いられた。どんな時も教育、研究、社会貢献の機能維持が必要であることを痛感する。しかし時が過ぎ、日本では2023年5月8日から新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の感染症法上の分類が第5類となった。人々の記憶も時とともに色あせ風化するが、歴史は繰り返される。このNY滞在記が次世代の方々に対する何らかの教訓となれば幸甚である。教職員・学生の皆様には様々な面でご尽力いただいたことに、この場を借りて深く感謝申し上げたい。また、1年間の長期国外研究員制度にあらためて感謝したい。

2024 Ene-1 活動報告



小熊 龍*
Ryu OGUMA



村井 隼人*
Hayato MURAI



近藤 悠輝**
Haruki KONDO

*先端理工学研究科機械工学・ロボティクスコース 1年
Mechanical Engineering and Robotics Course
**先端理工学部知能情報メディア課程 3年
Intelligent Media Informatics Course

1. はじめに

本記事は2024年7月に開催された「Ene-1 SUZUKA Challenge」(以下鈴鹿大会)と、9月に開催された電気自動車の大会である「Ene-1 MOTEGI GP」(以下もてぎ大会)の大学・高専・専門学校部門「KV-40 DivNEXT」カテゴリに参加したマシンの製作過程、大会の結果はじめ2024年のEne-1活動について報告するものである。

2. Ene-1 GPについて

Ene-1とは充電式単3電池「eneloop」40本を動力源とする自作の電気自動車の大会で、毎年夏に鈴鹿サーキット、秋にモビリティリゾートもてぎで開催されている。

今年から大会規定が変更され、鈴鹿大会ともてぎ大会共にサーキット3周の合計タイムで順位が決まることになった。

3. 目的

昨年度大学生部門で2位になったため、大学生部門で優勝できるようEne-1マシンのさらなる改良を目指し、鈴鹿大会およびもてぎ大会に参加して、レースでの積算電流値や電圧の推移といった走行データを取得することを目的とした。

また、今年からチームに参加したメンバーには車両の製作を行う体験をしてもらうことで、モノづくりの経験や課題解決能力を高めてもらうことも目的とした。

4. 大会参戦マシン製作過程

4.1 マシンの改良点

2023年のもてぎ大会を終え、次年度のマシン構想を練った。もてぎ大会では決勝で降った雨により、カウル後方のニスが塗られていない木製部分やテープが濡れて垂れ下がった。また、乗り降りのための開口部を設けたことで変形し隙間が生じ、空気

抵抗増加の原因となっていた。このため、雨天に対応でき、かつ耐久性の高いカウルが求められた。

2024年はカウルの分割ラインを変更し、上部、下部、後部の3分割にして剛性と整備性の向上を図った。下部のカウルを昨年の一枚板から立体的な構造を有するものとし、剛性を高めると共にニスや塗装を施すことで水が染み込むことが無いようにした。上部のカウルは枠を付けて剛性を高めた。さらに、モーターが収まる後部のカウルを単体で脱着できるようにし、整備性が向上した。

上面のカウルはアンダーカウル先端部分にヒンジを付け、容易に開閉できるようにすることで、ドライバーが一人でもスムーズに乗り降りできるようにした。

昨年のレースにおいて、マシンデータはドライバーが車載のアナログ電流計と小さなデジタル計器に表示される電圧・積算電流値を見る方法で確認していた。そこで、今年からはマシンで計測したデータをBluetoothで車載スマホに送って画面に表示することで、視認性を向上させるとともに、スマホの画面をピットクルーのスマホにも映し出すことで、ピットでもドライバーが見ている値をリアルタイムで共有できるようにした。

4.2 フルカウル設計

4.2.1 カウルに働く力

Ene-1大会では、より少ない電力で走行距離を稼ぎたいので、空力6分力のうち、抗力が小さいことが特にカウルに求められる性能である。私たちのマシンは車体重量によるメカニカルグリップでコーナーを旋回できることから、鉛直下向きの力（ダウンフォース）も少ない方がよい。

昨年はドライバーの足元が狭く、靴が前方視界を妨げたため、足元を広く、かつさらなる空気抵抗の低減を狙って形状を検討した。検討に用いたパラメータについて簡単に説明する。

カウルが空気から受ける流れ方向の力 D [N] は、空気密度 ρ [kg/m³]、前面投影面積 A [m²]、速度 v

[m/s]、抗力係数 C_d を用いて

$$D = \frac{1}{2} \rho A v^2 C_d \quad (1)$$

で計算できる。揚力 L [N] については揚力係数 C_l を用いて

$$L = \frac{1}{2} \rho A v^2 C_l \quad (2)$$

で計算できる。

さて、自動車に働く空気抵抗は、大きく分けて圧力抗力、摩擦抗力、ほか干渉抗力、誘導抗力などに分けられる。中でも形状に由来する圧力抗力が最も大きな抵抗の要因である。

圧力抗力は前方の正圧と、流れが剥離し渦が発生するなどして生じる後方の負圧との差で生じる。このため、カウル形状をなるべく流れが剥離しにくい形に変えることで抗力を小さくできる。

4.2.2 カウル形状の検討

カウル形状は5つの改良案を作成し、その中最も抗力あるいはダウンフォースが小さい形状を2024年のカウルに採用することとした。

2023年はマシンのフレームをすっぽりと覆いつつ、抗力が小さくなるようなフルカウルというコンセプトで設計した。製作を容易にするため、平面から切り出した5つの面を組み合わせ、空気抵抗の低減を狙って前方は丸みを帯び、後ろはすぼまつた形とした。図1に2023年マシンのカウル3Dモデルを示す。

改良案1は、2023年モデルは足元が狭かったことから、カウルを前方に100mm延長したものである。さらにドライバーのヘルメット上に余裕が残っていたことから、40mm程度全高を下げ、後ろにも100mmほど延長して、下側を斜め上側に切り上げて後輪で乱される流れの改善を狙った。したがって、2024年は昨年から200mm長いカウルとなった。改良案1の3Dモデルを図2に示す。

改良案2は、側面の合わせ目の位置を上方向に移動させ、側面に設けるスクリーンをドライバーが見やすい位置に設置できるようにして視認性の向上を

狙ったモデルである。これを図3に示す。

改良案3は、後部下面の角を後方に絞るように変形させ、カウルに沿って空気が流れしていくことを狙った。また、後部上面を改良案2よりあまり下げないようにし、気流の剥離を改善しようとした。先端の形状は改良案2よりも鋭くなっている。これを図4に示す。

改良案4は、下部の後輪の前に円錐形の突起をつけ、後輪にあたって乱れる流れを、あらかじめ分割することで、後輪に当たる前に流れが分かれることを狙った。上面の形は後部の絞込みを除いて幅を一定にし、面のつなぎ目を気流が跨ぐ際の剥離を防止しようとした。先端の鋭さは改良案3と同じである。これを図5に示す。

改良案5は前面の傾斜を緩やかにして、先端で圧力が高まる領域の減少を狙った。そして先端をやや上方に向けることで、マシン下に流れを取り込み、上向きの力が発生することを期待した。これにより、全長を変えずに前面の傾斜を緩やかにでき、かつマシンを移動させる際に地面の段差で下面を擦らないようにできる。3Dモデルを図6に示す。なお、改良案1～5まですべて全長は3000mmである。

改良案1から5のモデルを「Ansys Discovery」を用いて車速（風速）を30～60km/hまで10km/hごとに変化させ、カウル全表面に働く力のうち、進行



図3 改良案2



図4 改良案3



図5 改良案4



図6 改良案5

方向に働く力（抗力）と鉛直上向きの力（揚力）を表示させた。解析は定常解析とし、計算格子の粗さは、設定できた最小サイズの0.015mとした。

解析結果を、横軸に車速、縦軸に抗力をとった図を図7に、縦軸にダウンフォースをとった図を図8に示す。

図7では、2023年モデルの車速ごとの抗力を実線で示している。この線より下にプロットされていれば抗力が小さく、好ましい性能といえる。速度が大きくなるにつれて各モデルでの抗力の差が開いていく傾向が読み取れる。各速度条件下において、最も抗力の小さいモデルは異なるが、60km/hの条件においては2023年モデルが7.67Nであるのに対



図1 2023年モデル

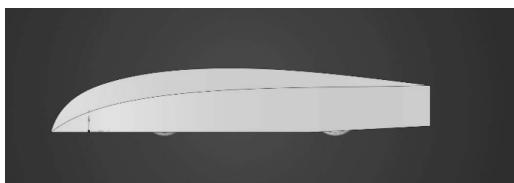


図2 改良案1

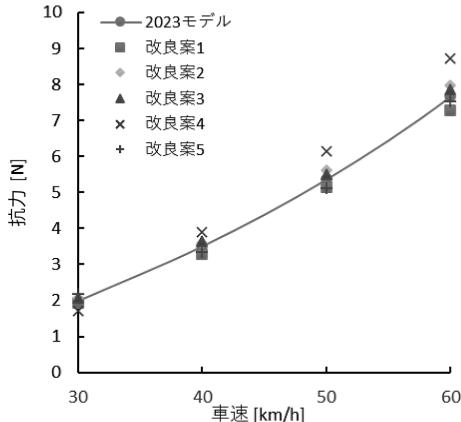


図 7 各モデルの車速ごとの抗力

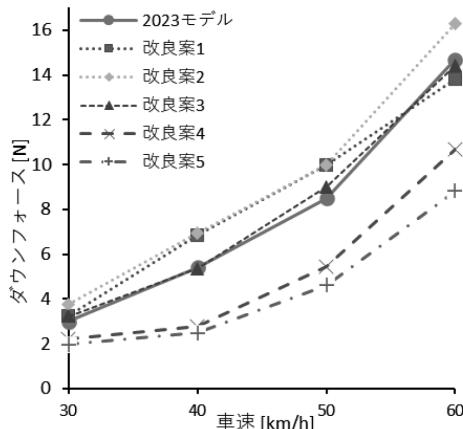


図 8 各モデルの車速ごとのダウンフォース

し、改良案 1 が 7.27N、改良案 5 が 7.53N と抗力は小さい結果となっている。ただし、その差は 1N に満たない。

図 8 に示したダウンフォースの値は、下向きを正としている。図 8 を見ると各モデルで車速に応じてかかる力の差が明らかである。60km/h のとき、2023 年モデルは 13.8N であるが、改良案 5 は 8.81 N と、約 5N の差がある。改良案 5 の値の傾向は改良案 4 に似ており、改良案 1~3 もまた、それぞれで傾向が似ている。改良案 1~3 と改良案 4, 5 の違いは先頭形状の鋭さである。

最もダウンフォースが発生している改良案 2 と、元も小さい改良案 5 の静圧分布は、カウル上面はあ

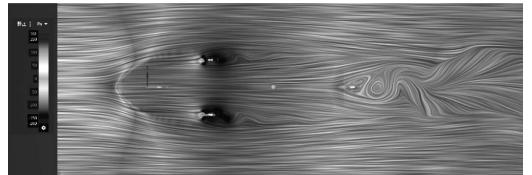


図 9 改良案 2 の底面静圧分布

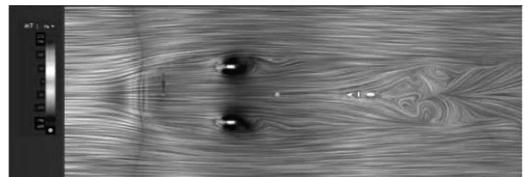


図 10 改良案 5 の底面静圧分布

まり差が見られなかったが、下面において差が見られた。カウル底面の静圧分布を流線に色を付けて図 9 と図 10 に示す。センター図の色合いは 150Pa (赤)～150Pa (青) で設定しているが、白黒印刷で見にくい点ご容赦いただきたい。

図 9 (改良案 2) では、カウル先頭の輪郭が色の違いによって確認できる。これは輪郭底面が低圧かつ急激に静圧が変化しているためである。一方図 10 (改良案 5) ではカウル先端の輪郭はわかりにくい。これは先頭部分に低圧領域が少なく、かつ圧力がなだらかに変化しているためである。

ダウンフォースの大きさに差が生じた理由のひとつに、カウル先頭下部の静圧の差が挙げられる。さらなる改良の余地があるとすれば、フロントタイヤ後方に濃く表示された、タイヤによって剥離した流れによって生じる負圧の領域の改善である。ほかにもリアタイヤや後方に渦が生じている。カウル上面と底面の速度差を小さくしたり、タイヤ周辺の剥離を抑えたり工夫をすることで、ダウンフォースはさらに小さくできるだろう。

さて、図 7 と図 8 の結果より、形状による抗力の差は 60km/h でも 1.5N の範囲に収まっているが、ダウンフォースは 8N と範囲が大きいことから、よりダウンフォースが小さい改良案 5 を採用し、2024 年モデルとすることにとした。結果として、2024

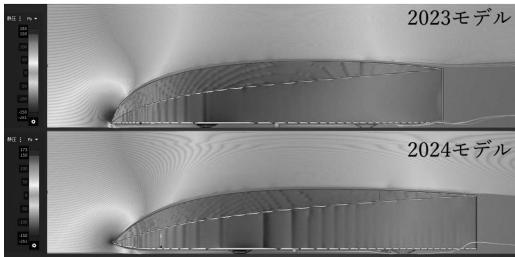


図 11 2023, 24 年モデルの横視点静圧分布比較

年モデルの前面投影面積は昨年のカウルと比べて 2 %小さくなり、その結果 C_d 値は 0.149 と昨年のモデルより小さくできた。

2023 年モデルと 2024 年モデルのマシンの中央を通る面と、カウル表面の静圧分布を横から見た図を図 11 に示す。

図 11 より、マシン先端で静圧が高くなっている領域の大きさに差が見られ、先端を尖らせることで、圧力の高い領域を少なくできている。

4.3 カウル製作

カウルは昨年に引き続き、SolidWorks でフレームやタイヤに干渉しない形状で設計し、各面を展開した後に実寸大に拡大して、STEAM コモンズの大型インクジェットプリンターにて印刷し、材料に直接張り付けこれを型紙とし、型紙に沿って切ることによって、設計した形状の実現を期待した。

アンダーカウルは 1 枚のベニヤ板から底面部分を切り出し、側面を作り立体にし、強度を高めた。上から被せるカウルとリアに取り付けるカウルの主材料には加工の容易さ、入手しやすさ、軽量という点からプラスチック段ボールを選定した。窓となるスクリーン部分には 1mm 厚のポリカーボネート板を用いた。被せるカウルの剛性を高めるため、中に支えとなるアーチを追加した。切り出した木材を図 12 に示す。

カウル作成の様子を図 13、作成したアンダーカウルを図 14、上から被せるカウルの構造を図 15 に示す。

切り出したカウルの材料を組み合わせ、アンダー

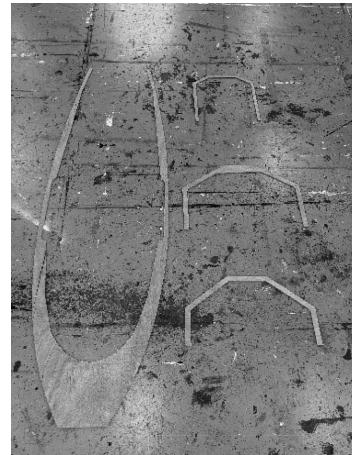


図 12 カウルの骨組み



図 13 カウル作成の様子



図 14 アンダーカウル

カウルにつけた状態で昨年のカウルと並べた様子を図 16 に示す。

図 16 のように、2024 年のカウルは昨年のデザインに比べて先頭が尖っており、前後に長い形状になっている。なおカウルは前方に開くようになっており、開けたときの様子を図 17 に示す。

カウルに穴を空けて窓をつけ、完成したカウルをフレームに装着し、ステッカーを貼った後の様子を図 18 に示す。

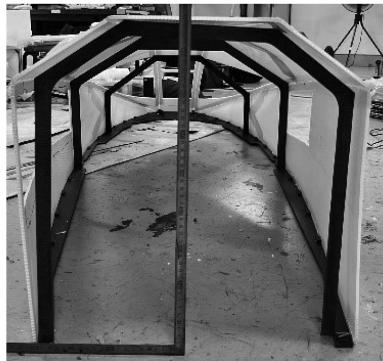


図 15 上から被せるカウルの内部構造



図 16 昨年のカウルと並べたところ



図 17 カウルを開けた様子



図 18 鈴鹿大会参加車両

マシンの諸元を表 1 に示す。全長 3000mm, 全高 480mm, 全幅 670mm, 車重 32kg で、ドライバーの

表 1 マシン諸元

全長 × 全幅 × 全高 [mm]	3000 × 670 × 540
車体重量 [kg]	32
ホイールベース [mm]	1350
使用モーター	ミツバ M0348D-VII ダイレクトドライブ

体重規定に合わせるために 3.6kg の重りを搭載した。昨年のマシン名は RE23A だったので、今年のマシン名はそれに倣って RE24 とした。

5. 鈴鹿大会

5.1 鈴鹿大会概要

鈴鹿大会は昨年同様に国際レーシングコースを時間を開けて 1 周ずつ走行し、その合計タイムで競われた。この大会にはマシンの材料に制限のあるクラスとないクラスがあり、今回は材料制限のある「KV-40 DivNEXT」カテゴリに参加した。

大会前日にはフリー走行の時間が設定され、2 周走行した。そこで得られた積算電流の推移を基に決勝レースの電力配分を考えた。鈴鹿サーキットを走行している様子を図 19 に示す。

決勝レースは昨年から 4 分 20 秒短い 31'49.179 で走り切り完走した。特に、3 周目は 8 分 42 秒で周回し、本チームにおける過去最速タイムを記録した。このタイムは毎年上位を占めるチーム同等であり、マシンスペックの高さが示された。

なお、総合順位は 106 台中 36 位、DivNEXT b カ

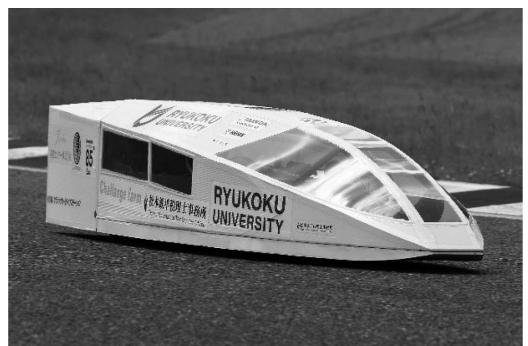


図 19 鈴鹿サーキットを走行している様子

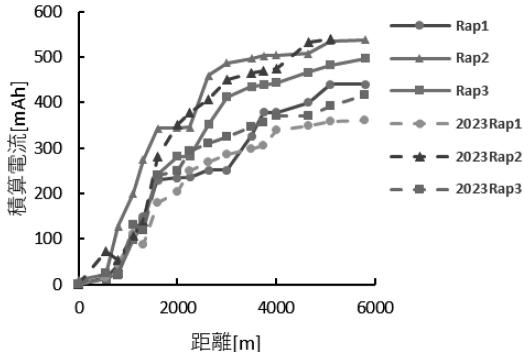


図 20 今年と昨年の走行距離ごとの積算電流値

テゴリでは 8 台中 4 位の結果であった。

5.2 鈴鹿大会で得られたデータ

今大会で得た、走行距離ごとの積算電流の値と昨年大会で得られた積算電流値を図 20 に示す。

図 20において、スタートからおよそ 1600m 地点にある最大勾配上り 7.8% の NIPPO コーナーで、各周回における積算電流の約半分の値を記録している。2024 年は 1 周目と 3 周目では約 50 秒の差があった。電気の使いどころの差という観点では、2~3000m の間での電力使用量の推移が異なる。ここから、ヘアピンまでの上り (110R) に電気を使う方がよりタイムの向上が期待できると言える。

また、カウル形状が異なるため昨年のデータを単純に比較することはできないが、今年と昨年は 2000m 走行後からの値の推移に差が見られる。昨年よりも立体交差を抜けたあとにより電気を使用しているが、これもタイム向上の一因である可能性がある。

6. もてぎ大会

6.1 もてぎ大会概要

もてぎ大会は今年からフルコース 4.8km の逆走 3 周タイムアタックで行われた。

決勝前日には鈴鹿大会同様にフリー走行の時間が設けられ、2 周走行した。タイムは 8'00.167 と 8'06.136 で、それぞれ DivNEXT-b カテゴリで 2 位と



図 21 サーキットを走行している様子

3 位、総合では 18 位と 23 位のタイムであった。鈴鹿大会で行ったように、フリー走行のデータを基に、決勝レースの作戦を練った。

サーキットを走行している様子を図 21 に示す。

決勝レースにおいては 1 周目と 2, 3 周目でドライバーを交代した。3 周のタイムはそれぞれ 6'50.700, 6'15.410, 6'43.803 であり、合計 19'49.913 で完走した。1 周目終了時点で DivNEXT-b カテゴリ 1 位になり、以後トップを維持したままセッションを終え、DivNEXT-b カテゴリ 1 位／9 台、



図 22 DivNEXT-b カテゴリ表彰式



図 23 DivNEXT カテゴリ表彰式

DivNEXT カテゴリ 2 位／29 台、総合 13 位となつた。総合 12 位のチームとは 0.5 秒差であった。

大会後、DivNEXT-b カテゴリと DivNEXT カテゴリそれぞれの表彰式で登壇し、株式会社ミツバよりミツバ賞を受賞した。表彰式の様子を図 22 と図 23 に示す。

DivNEXT-b カテゴリは 2 位までの表彰であった。DivNEXT カテゴリ 1 位のチームとは合計タイムに約 1 分 5 秒の差があった。これは 1 周あたり平均で 22 秒程度の差に相当する。

6.2 もてぎ大会で得られたデータ

今大会決勝で記録した積算電流値の推移を図 24 に示す。

図 24 において、1, 2 周目はほぼ同じ積算電流値の推移をしている。1, 2 周目は 1 周で約 460mAh 使用している。もてぎフルコースは逆走すると、1 つ目の立体交差下から東コースコントロールラインまで 4.65% の上りが続くことになる。このため走行距離 1000m 付近のグラフの傾きが最も急である。

図 24 において、立体交差から東コースコントロールラインまでの約 600m で 170mAh 消費している。1 周に 460mAh 使っているため、1 周の 40% を 1 つ目の立体交差から始まる上りで使用することになる。上り終えたあたりの 1600m 地点では 1 周の約 60% の電気を使っている。

その後 2000m 付近までに 20mAh ほどの電力を消

費したのち、3700m 地点までの距離を 10mAh 弱で走行している。この区間は下りであるため、惰性で走行している。最後に 3400m から 4300m 地点で再び勾配が大きくなっているが、この区間は 2 コーナーと 3 コーナーの間の直線区間を走行しているときに対応する。次に、1 周目と 2 周目の車速の推移を縦軸を車速、横軸をスタート後の経過時間として図 25 に示す。

図 25 を見ると、グラフはおおまかには同じような波形をとっていることがわかる。スタート後 100 秒あたりで横軸方向に差が生じる。その後、グラフはほぼ同じだけ位相がずれた状態で 35 秒ほど差がついて速度 0 (ゴール) を迎える。スタート後 65 秒～110 秒あたりは直線の上り区間を走行している。これは、上りの直線でついた差がそのままゴールまで影響していることを示している。1 周目と 2 周目でこの区間で使用している図 24 を見るとわかるように、この区間の積算電流値はほぼ同じである。

直線区間は多少傾斜に差があるが、走行ラインが速度低下を招いて 35 秒の差を生むとは考えにくい。タイムの差は直線区間の速度差つまり出力の差に起因すると言える。

また、1st アタックドライバーと 2nd アタックドライバーの体重差は約 15kg ある。直線は上り 4.65 % (2.66°) であるが、マシン後ろ向きにかかる力 $mg \sin \theta$ のうち、 $g \sin \theta$ は相殺されるため、ドライ

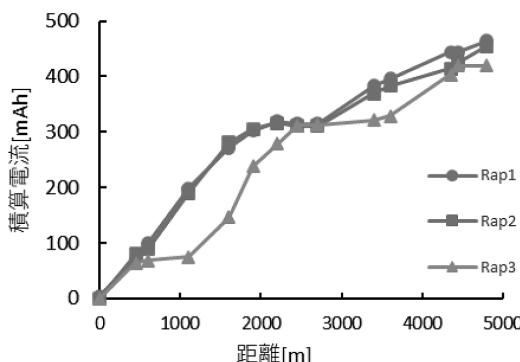


図 24 決勝での積算電流値の推移

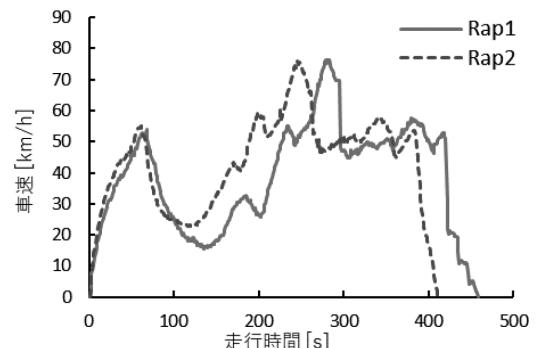


図 25 もてぎ大会決勝における車速の推移

イバーの体重（質量）差がそのまま効く。やはり軽いドライバーが有利なのである。

図 24 の結果から、モビリティリゾートもてぎフルコース逆走 1 周に使用する電力量は電池の満充電量の 1/3 以下であるから、上り区間で電気を使用し、なるべく速く下り区間に入る走り方がよいと言え、これは図 25 の結果からも支持される。

7. もてぎ大会後の活動

10 月 13 日に新潟県三条市で県内最大級の旧車イベント「20 世紀ミーティング」が開催された。そこでマシン展示の機会を頂き、マシンの展示、紹介のみならずデモ走行をした。展示中に多くの方に声をかけていただき、質問もいただくなど、龍大における Ene-1 活動を知ってもらうきっかけになった。展示の様子を図 26 に示す。

主催者によると当日の来場者数は 9500 人とのことであった。中越地方の地元紙朝刊にはマシンの写真が掲載され、イベント後にはネットニュースにも写真付きでマシンが掲載された。また、当日映像を撮影していた一般客が動画を投稿しているが、いずれの媒体でもマシンカウルに貼った「RYUKOKU UNIVERSITY」の文字がはっきり読め、龍大の広報にも寄与できたと考えている。

11 月 6 日にはプロジェクトリサーチの表彰式が執り行われた。ここで、2022 年度以来 2 度目となる龍谷エクステンションセンター長賞を受賞した。



図 26 三条市での展示の様子

8. おわりに

2022 年のプロジェクトリサーチに端を発した有志のメンバーによる「Ene-1 Challenge」への挑戦は、チーム結成 3 年目で大学生部門 1 位を達成した。優勝を報告したとき、学内に限らず多方面から祝福の言葉を頂戴し、私たちはやはり多くのご縁に生かされていると痛感した。

ほかにも、今年はご縁を意識する機会が多かった。新メンバーの中には、昨年のオープンキャンパスで展示した Ene-1 マシンを見て龍大に興味を持ったことがきっかけで入学された方がいたり、新潟でのイベントに招いていただいたり、サーキットではミツバの方がご挨拶においてなったり、企業の方から応援メッセージをいただいたりと、枚挙にいとまがない。

2024 年に Ryukoku Racing 発足時のメンバーの一部は本学大学院に進学した。次年度には発足時のメンバーが卒業年次にあたるため、大学院生は後進の育成に注力し、学部生が活動を継続できるよう知識や技術を承継していく。

謝辞

本学先端理工学部機械工学・ロボティクス課程 野口佳樹先生は昨年に引き続き、活動を指導頂きました。

知能情報メディア課程の芝公仁先生には、マシンの諸データ収集技術を提供頂きました。

入澤崇学長、機械工学・ロボティクス課程の森正和先生、大津広敬先生は日ごろから活動を気にかけてくださいり、温かく応援して頂きました。

龍谷大学工作室の森岡様、STEAM コモンズのみなさんには部品製作で多大なご協力を頂きました。

本年もみなさまのご支援とご声援によって活動を終えることができました。応援頂きました全ての方に深く感謝申し上げます。

最後に、本年 Ryukoku Racing を応援いただきました企業のみなさまをご紹介します。

SoftBank ソフトバンク株式会社

 松本鉄平税理士事務所
Teppei Matsumoto Tax Service Office



吉原写真館



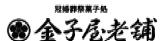
株式会社小林モータース
Honda Cars 木津

Challenge farm

株式会社チャレンジファーム

 音楽センター株式会社

フリーダム音楽センター株式会社



御菓子司 金子屋老舗



龍谷大学付属平安高等学校・中学校

KYOWA クラシックカー&ライフステーション

ロボカップジャパンオープン 2024 に参加して

田 邊 棋 汎

Ryota TANABE

電子情報学専攻修士課程 2 年

1. はじめに

RoboCup とは、ラジコンのような人の操作によって動くロボットではなく、周囲の環境を認識して自分自身で動作する自律移動ロボットによる競技会である。「FIFA ルールに従い、2050 年までに自律型のヒューマノイドロボット 11 台で人間のワールドカップチャンピオンを打破する」^[1] という目標を掲げ、発足した大会である。これは、人工知能やロボット工学の研究を推進し、様々な分野において基礎技術として波及させることを目的としている。ロボカップには、ロボット同士がサッカー競技を行う「ロボカップサッカー」、地震や災害などの緊急時の救助活動を模した「ロボカップレスキュー」、家事や介護などの日常生活の課題を解決する「ロボカップ@ホーム」、物流や倉庫管理などの工場内での作業を想定した「ロボカップインダストリアル」の四つの分野が存在する。今回の大会でも、これらの四分野の競技が行われた。

私たちは BabyTigers-R として、ロボカップジャパンオープン 2024 のインダストリアルのロジスティクスリーグに出場した。チームは、教員 1 名と学生 11 名で構成される。参加チームは奈良県立奈良商工高等学校の NaraSuzaku、三重県立四日市工業高等学校の WhiteLobster、モンクット王工科大学ラー ト クラ バン 校 (King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang) の RAI KMITL と私たち BabyTigers-R の 4 チームである。4 月 25 日に会場設営や海外チームとのやり取り、26 日から 29 日まで大会受付を行った。競技日は 4 月 27 日から 29 日である。

2. 競技内容

ロジスティクスリーグでは、Festo 社が開発した 3 輪のオムニホイールを持ち、全方位への移動や回転ができる Robotino (図 1) というロボットを自律移動ロボットとして使用する。各チームは Robotino にセンサーやアームなどの機器を取り付け、必要な作業を実行できるようにしなければならない。また、競技では、製品の組み立てや部品の供給を行う装置として、Modular Production System (MPS) を使用する。

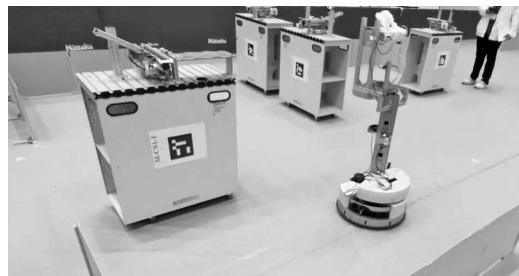


図 1 大会の様子と競技に用いた MPS (左) と Robotino (右)

今回のジャパンオープンで実施したロジスティクスリーグは、世界大会の競技の要素技術を抜き出した Challenge Track の競技内容になっている。縦 5 m、横 5 m のフィールドで競技を行い、そのフィールドは縦 1 m、横 1 m の 25 個の正方形のエリアで構成されている。競技には Navigation Challenge, Exploration Challenge, Grasping Challenge, Product Challenge, Exploration + Production Challenge, Simulation Challenge, Markerless Detection Challenge の 7 つの課題がある。それぞれの課題では難易度があり、難易度が高いほど得点が高く設定されている。

Navigation Challenge はフィールドの指定された 12箇所のエリアを目標にロボットを移動させる課題であり、難易度によって最大 4 台の MPS が障害物として設置される。

Exploration Challenge はロボットがフィールドを探索し、フィールド上に配置された MPS を報告す

る課題である。難易度によって2~4台のMPSが配置される。

Grasping Challenge はアームロボットを使って MPS の上部に設置されたコンベアの上から部品をつかむ課題であり、最大3台のロボットが同時にいる、成功した回数に応じた得点が与えられる。

Product Challenge はロボットを使って MPS の上部に設置された部品を組み立てる課題であり、難易度が上がると複雑になる。

Exploration + Production Challenge は Product Challenge と同様に部品を組み立てる課題であるが、MPS の情報が事前に提供されず、ロボットが探索する必要がある。

Simulation Challenge では、シミュレーター上でロボットが協働して作業を行い、部品を配達する課題であり、競技は2~3台のロボットで行う。

Markerless Detection Challenge は画像認識を用いて、AR タグを使わずに MPS の種類を識別する課題である。

3. 競技結果

私たちのチームは2種の課題に挑戦し、Navigation Challenge では、4台のMPSが配置された難易度 hard をクリアし、15点、Grasping Challenge では、3台のロボットで競技を行う難易度 hard に挑戦したが、失敗し点を得られなかった。結果15点を獲得して BabyTigers-R は4チーム中2位という順位であった。

Navigation Challenge は二回目の挑戦で点を得た。一回目の挑戦では、ロボットが動作しなかった。また、Grasping Challenge でも二回挑戦したが、二回

とも動作しなかった。動作しなかった原因是、審査として使用されるプログラムの調整が間に合わず、RAI KMITL のメンバーに協力してもらった際にプログラムの設定が間違っていたためである。

今回はロジスティクスリーグの運営にも携わった。初めての経験であったため、計画通りに進めることができず、本番までに準備が間に合わなかったが、他のチームの協力を得て、競技を行うことができた。

4. おわりに

今回のロボカップジャパンオープン 2024 ロジスティクスリーグは私たち BabyTigers-R は15点、RAI KMITL は57点、NaraSuzaku と WhiteLobster はそれぞれ、0点という結果となり、私たちは参画した4チーム中2位という結果だった。今回は Navigation Challenge の得点ができなかったため、今回の大会での反省を活かして、次回7月にオランダのアントホーヘンで開催される世界大会 RoboCup 2024 では、他の課題にも挑戦できるようにしていきたい。

最後に、温かいご指導、助言いただきました植村先生に厚く御礼申し上げます。今回のロボカップで得た経験を今後の研究活動に活かしたい。

参考文献

- [1] 浅田稔／北野宏明、「ロボカップ戦略：研究プロジェクトとしての意義と価値」、日本ロボット学会誌 Vol.20, No.20, pp.1001~1004, 1994
- [2] <https://vega.elec.ryukoku.ac.jp/trac/wiki/robocupLogisticsLeague/JapanOpen2024>

オランダでの RoboCup2024 世界大会への参加

中嶋 洗介
Kosuke NAKAJIMA
電子情報通信課程 4年

1. はじめに

私たちは、工場のオートメーション化を想定した自律移動ロボットの研究を行っている。このようなロボット技術を競う大会として RoboCup2024 世界大会がある。この大会には、人工知能とロボットの様々な問題に取り組んでいる世界中の研究者が集まるため、技術や問題への解法などを議論することができ、自分たちにとって刺激を得ることができる場である。工業分野以外にも様々な目的のリーグがあり、最先端の技術が提案され、試されている。世界大会ということもあり、参加者は幅広い年齢層となっており、バックグラウンドが違う人たちがたくさん集まるため、技術はもちろん、それ以外の価値観にもいろいろな発見や驚き、楽しみが期待できる環境でもある。

2. RoboCup

RoboCup とは、1997 年に日本の研究者らが主体となって立ち上げた自律移動ロボットの世界大会である。学術的な取り組みを主としており、当初はサッカーを題材としていた。今年の世界大会はオランダのアントホーヘンで行われた。私たちが出場したリーグは Logistics League である。このリーグは、工場での多品種少量の製品の生産を目的とした競技である。各チームで開発したプログラムやロボットなど様々な工夫が詰め込まれた自律移動ロボットが、それぞれの注文とその生産過程に合わせて、早く正確に素材を運び、製品を仕上げる競技である。この工程を総合的に競うメイントラックと、メイントラックで必要となる要素技術を個別に競うチャレンジトラックの 2 種類がある。メイントラック

に出場するためにはチャレンジトラックの Product Challenge の課題をクリアする必要がある。そのため、まず私たちはチャレンジトラックに挑戦した。

3. Product Challenge とは

Product Challenge は、メイントラックに出るためには通過しないといけないチャレンジであり、作成する製品を選ぶことができる。その種類としては、C0 から C3 の 4 つである。それぞれの種類の違いは、製品を組み立てるための手順の複雑さである。C0 から C3 に進むにつれて、製品の組立手順の複雑度が増す。今回私たちが選んだのは、C0 である。図 1 が Product C0 challenge を行っている私たちのチームのロボットである。私たちは、メイントラックに出場する制限時間内に、C0 を作成できなかつた。しかし、本大会終了までに C0 の作成に成功し、チャレンジトラックの総合得点がトップとなり、チャレンジトラックにおいて優勝した。

図 2 は私たちが目指すメイントラックの写真である。写真には 2 つの移動式ロボットが写っており、左が優勝チームのロボットで、右が 2 位のチームのロボットである。四角の箱型のものが、製品を加工するマシンである。

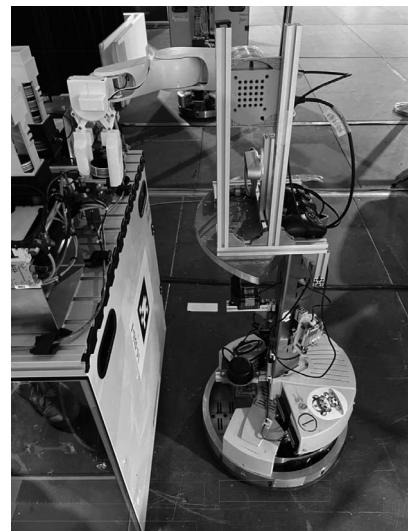


図 1 Product C0 Challenge に挑戦する
龍大チームのロボット



図2 メイントラックの競技の様子
2チームが同時に競技を行う

4. 学んだこと

オランダで開催された RoboCup 世界大会に参加して、様々なことを学ぶことができた。特に、コミュニケーションと技術的な学びが大きいと感じた。

コミュニケーション能力に関しては、審判の時に咄嗟に相手に言いたいことを伝えないといけないため、英語での会話の必要性を大きく感じた。また、トラブルでルールが変更になった際は、それについての説明を聞き取り、分からなかつたら自ら聞きに行くなど、積極性が求められた。これにより、行動力、積極性など自分がこれから社会に出る上で必要になるスキルに気づくことができ、またその場で身をもって学ぶことができた。

技術的な面では、海外チームから技術的なフィードバックを頂くことができ、新しい視野に気づくことができた。例えば、自分達のロボットについて、アームの先についている爪の形を、素材の設置面に合わせて変えた方が素材をより掴みやすくなるとい

うアドバイスなどを頂くことができた。海外のチームには、修士生だけでなく博士生やポスドクの方もおり、また一度社会に出てから院生になっている方もいるので高い年齢層の方も多く、経験を積んだ技術力も高い方々からの意見をシャワーのように浴びることができた。この議論の時間は、とても要意義な時間だと感じた。図3は、オランダ現地で撮影した写真とチャレンジトラックで優勝した賞状との集合写真である。

5.まとめ

いつもとは違った環境で、様々な方たちと関わり、学ぶことができた経験はこれから的人生においてかけがえのないものになっていると感じた。次回までに、もっとたくさんの方と話すことができるよう、技術力はもちろん、コミュニケーション能力や英語の勉強もたくさんしたいと思う。次回に向けて、色々な人たちと関わり、英語を通してもっと会話することを目標としたい。

最後に、温かいご指導、助言いただきました植村先生に厚く御礼申し上げます。RoboCup2024 で得た経験を今後の大会、研究活動に活かします。



図3 集合写真
(左 オランダでの写真・右 賞状との写真)

2024 Ene-1 SUZUKA Challenge に参加して

村 井 隼 人

Hayato MURAI

機械工学・ロボティクスコース修士課程 1年

1. はじめに

2024年7月27日～28日に鈴鹿サーキットで行われた「2024 Ene-1 SUZUKA Challenge」(以下鈴鹿大会)のKV-40 Div NEXT bクラス(大学・高専カテゴリー)に参加した。

2. 大会概要

この大会は充電式単3電池「eneloop」40本を動力源とする自作の電気自動車の大会である。鈴鹿大会はサーキットを3周し、その合計タイムで順位が決まる。今年は全国から106台がエントリーした。うち、Div NEXT bクラスには8台が出走した。

3. 目的

Ene-1マシンのカウルを新製して鈴鹿大会に参加し、レースでの積算電流値や電圧の推移といった走行データを取得することを目的とした。

4. 参加車両について

今回の大会参加にかかり、カウルを新調した。主な昨年との変更点は、前後、上下で分割できるようになったこと、カウルが分割したポイントから前に



図1 カウルを開けたときの様子

開くことである。カウルを開けたときの様子を図1に示す。

カウルのデザインは、昨年よりもなるべく抗力を増やさずに、かつ40km/h以上の速度でなるべくダウンフォースが小さくなるように流体解析を行うことで決定した。

検討の結果、カウルの前方をそり上がらせることで、空気から上向きの力を受けることを意図したデザインとした。決定した形状では、流体計算において40km/h走行時に昨年のカウルに比べて抗力は3.5Nで等しく、それでいてダウンフォースは3.5N低減できる結果を得た。この傾向は速度が高まるにつれて大きくなり、60km/h走行時では、抗力が昨年比0.04N小さいとほぼ同等でありながら、ダウンフォースは9.2N小さくなる。60km/hとは、鈴鹿第1コーナー進入時の速度に相当し、9.2Nは約1kg弱のマシン軽量化に相当する力である。

この形状の実現のため、カウルの展開図をSTEAMコモンズの大判プリンターで印刷して型とし、プラスチック段ボールを切り出して作成した。切り出した際の写真を図2に示す。

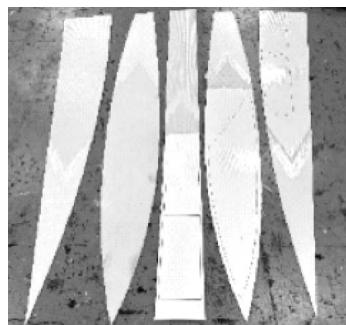


図2 加工後のプラスチック段ボール

図2の部材を組み合わせてカウルを製作し、窓をはめてカウルを完成させた。

カウルの土台は数枚のベニヤ板を切り出して製作した。切り出したベニヤ板を組み合わせてタイヤの位置に穴を開けた様子を図3に示す。

この図3の底板はフレームの中央にビス留めして固定した。

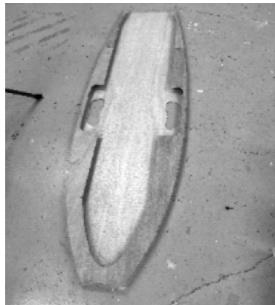


図3 カウル底部

鈴鹿大会に参加した車両を図4に示す。2024年度のマシンは全長3000mm、全高480mm、全幅670mm、車重32kgで、ドライバーの体重規定に合わせるために3.6kgの重りを搭載した。



図4 鈴鹿大会参加車両

昨年よりもカウルの全長が大きくなっているが、これによりドライバーの足元に余裕が生まれ、靴による視界不良を低減することを狙った。また、ドライバーの視界にも配慮し、昨年よりも前方確認用の窓を大きく取った。

5. 試走会

今年は大会本番前日に試走会が実施された。試走会でサーキットを2周し、積算電流データを取得した。その結果を基に翌日の競技のペース配分を考えた。

6. 競技結果

決勝レースにおいて3周をタイム31'49.179で走り切り、完走した。このタイムは、昨年から4分20秒短い。そして3周目は8分42秒で周回し、本チームにおける過去最速タイムを記録した。このタイムは毎年上位を占めるチーム同等であり、マシン

のスペックの高さが示唆された。

なお、総合順位は106台中36位、DivNEXT bクラスでは8台中4位の結果であった。

7. 考察

今大会で得た、走行距離ごとの積算電流の値を図5に示す。

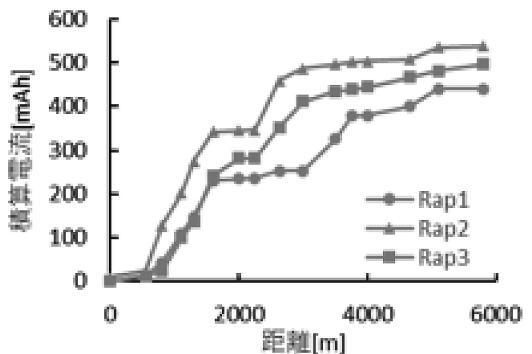


図5 鈴鹿大会での積算電流の推移

図5において、スタートからおよそ1600m地点にある最大勾配上り7.8%のNIPPOコーナーで、各周回における積算電流の半分に値になっている。次いで、約2600m地点にあるヘアピンに向けて積算電流値の勾配が大きくなっている。1周目と3周目では約50秒の差があった。電気の使いどころの差という観点で言えば、2~3000mの間での電力使用量の推移が異なる。ここから、ヘアピンまでの上り(110R)に電気を使う方がよりタイムの向上が期待できると言える。

8. おわりに

今回の大会では、昨年の結果を上回るタイムを記録することができた。次年度の鈴鹿ではこのマシンのスペックを最大に発揮できるよう作戦を練る考えである。

謝辞

大会の参加にかかり、機械工学・ロボティクス課程 野口佳樹先生、情報メディア課程 芝公仁先生に多くのアドバイスをいただきました。感謝申し上げます。

2024 Ene-1 SUZUKA challenge に参加して

大 谷 隼 平

Shunpei OOTANI

機械工学・ロボティクス課程 3年

1. はじめに

2024年7月28日に鈴鹿サーキットにて行われた「Ene-1 SUZUKA challenge」のKV-moto（Div-1 bクラス）に参加した。

2. 大会概要

この大会はPanasonic製の単3形充電池40本を動力源としたバイクでサーキットを3周し、その合計タイムで競う。

3. 目的

新しくモーターを新調することによって去年出場する際に使用したインホイールモーターとの比較、またミッドモーターを使用することによって可能となった変速機構がどれだけタイムに影響を及ぼすかの確認、そして走行データの取得することを目的とした。

4. 車両について

今回は去年使用したインホイールモーター（ホイール内蔵型のモーター）だけでなく、今年に新しく用意したチェーンを回すところにモーターを内蔵したものであるミッドモーターを使用したバイクの2台で大会に参加した。インホイールモーターは完走を重視、ミッドモーターはタイムを重視して使用した。またミッドモーターは変速が可能となっており、7段変速式のスプロケットが装着されている。その概要をそれぞれ図1、図2、表1、表2に示す。



図1 インホイールモータを使用したバイク



図2 ミッドモーターを使用したバイク

表1 インホイールモータの車体概要

車体重量 (kg)	15.0
ホイールインチ幅 (mm)	20×1.75
使用モーター	Leaf bike インホイールモーター 48V 250W
電池回路	24V×2 並列

表2 ミッドモーターの車体概要

車両重量 (kg)	15.0
ホイールインチ幅 (mm)	20×1.75
使用モーター	bafang bbs01 ミッドモーター 36V 250W
電池回路	36V 直列

表2より、ミッドモーターは36Vとなっているので、乾電池30本をローテーションさせてレースに臨むことにした。

5. 試走会

今年は大会本番前日に試走会が実施された。この試走会にてサーキットを走り、積算電流データを取得し、その結果を基に翌日の競技のペース配分を考えた。

6. プログラミング制御について

今回使用しているミッドモーターはプログラミング制御が可能となっている。その画面の一部を図3に示す。

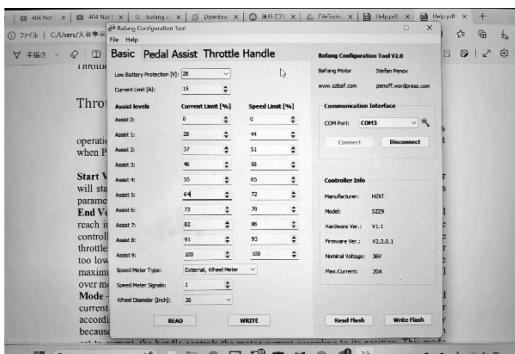


図3 プログラミング制御の画面

上から最小電圧、最大電流、アシストレベル、スピードメーター、ホイールインチに応じた時速表示

の変更ができる。その内の最小電圧（一番上の数字）を今回は図3のように下限である28Vとしている。

7. 競技結果

まず、2台分それぞれのタイムを表3に示す。

表3 大会本番のタイム

	インホイールモーターのバイク	ミッドモーターのバイク
1周目	41分29秒	36分16秒
2週目	41分56秒	35分48秒
3周目	完走せず	完走せず

また、3周目の走った距離について、図1のバイクは5400m、図2のバイクは3000m走った。

8. 考察

まずはインホイールモーターについて。走り切った時点で乾電池の容量を見てみると、すべて燃料切れだったことから、鈴鹿サーキットを3周することは難しいと考えられる。

次にミッドモーターについて。乾電池の容量を見てみると20本ほど容量がまだ残っていたので、30本をローテーションさせることは効率の悪い燃料の消費方法であると考えられる。タイムもインホイールモーターより良いので、このまま電池の効率のよい消費法を考えればよい。

9. おわりに

今大会の参加にかかり、機械工学・ロボティクス課程 野口佳樹先生や情報メディア課程 芝公仁先生に多くのアドバイスをいただきました。ありがとうございました。

Ene-1 MOTEGI GP に参加して

村 井 隼 人
Hayato MURAI

機械工学・ロボティクスコース修士課程 1年

1. はじめに

2024年9月14, 15日にモビリティリゾートもてぎで開催された2024 Ene-1 MOTEGI GPに参加した。

2. 大会概要

Ene-1 MOTEGI GPは例年モビリティリゾートもてぎの西コースをどれだけ多く周回できるか競う大会であったが、2024年大会からはフルコース4.8kmの逆走3周タイムアタックで行われた。

Ene-1は充電式単3電池eneloop40本を動力源とする自作の電気自動車であり、今大会は中学生から一般まで広い世代のチームが参加し、総参加台数は71台であった。

この大会にはマシンの重量制限のあるクラスといいクラスがあり、今回はマシン重量が35kg以上の「KV-40 DivNEXT」カテゴリに参加した。なお、このカテゴリの参加台数は29台であった。

3. 目的

今大会は初のもてぎフルコース開催であり、ドライビング方法やエネルギー管理について各チーム手探りの状態と考えられる。したがって、マシン以外は例年になくフラットコンディションと予想されるため、これまで改良してきたEne-1マシンでの上位入賞、そしてレースでの積算電流値と電圧の推移等走行データをすることを目的とした。

4. 大会の進行について

決勝前日に試走があり、そこでシェイクダウンとなった。天候は晴れ、昨年の大会とほぼ同じコンディションで走行できた。2023年大会は雨で走行に

支障をきたしたが、今年は走行会と決勝両日とも晴れた。

5. 参加車両について

今大会に参加した車両は2024 Ene-1 SUZUKA Challengeで走行したマシン「RE24」である。参加車両がサーキットを走行する様子を図1に示す。

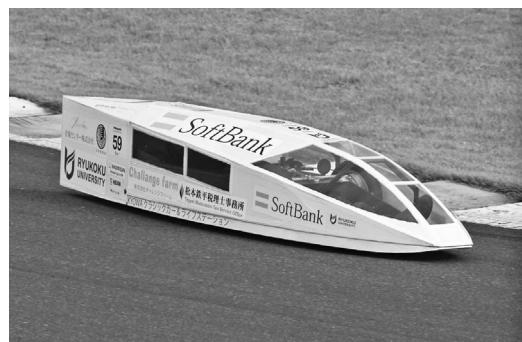


図1 サーキットを走行する様子

続いて、マシンの概要を表5-1に示す。

表5-1 マシン概要

全長×全幅×全高 [mm]	3000×670×540
車体重量 [kg]	32
ホイールベース [mm]	1350
使用モーター	ミツバ M0348D-VⅡ ダイレクトドライブ

6. 結果

決勝前日の走行会タイムは8'00.167と8'06.136で、それぞれDivNEXT-bカテゴリで2位と3位、総合では18位と23位のタイムであった。

決勝レースにおいては3周のタイムがそれぞれ6'50.700, 6'15.410, 6'43.803であり、合計19'49.913で完走した。1周目終了時点でDivNEXT-bカテゴリ1位になり、以後トップを維持したままセッションが終了し、DivNEXT-bカテゴリ1位/9台、DivNEXTカテゴリ2位/29台、総合13位という結果となった。なお、総合12位のチームとは0.5

秒差であった。

表彰式では DivNEXT-b カテゴリと DivNEXT カテゴリで登壇した。それぞれの様子を図 2 と図 3 に示す。



図 2 DivNEXT-b カテゴリ表彰式

DivNEXT-b カテゴリは 2 位までの表彰であった。2 位のチームは走行会で DivNEXT-b カテゴリ 1 位のタイムを記録していた。



図 3 DivNEXT カテゴリ表彰式

NEXT カテゴリ 1 位のチームとは合計タイムに約 1 分 5 秒の差があった。これは 1 周あたり平均で 22 秒程度の差に相当する。

7. 考察

今大会決勝 3 周目で記録した積算電流値の推移を図 4 に示す。

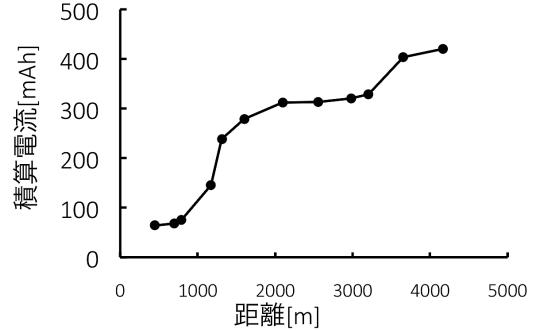


図 4 決勝 3 周目の積算電流値の推移

図 4 において、1 周で 420mA·h 使用している。そして走行距離 1000m 付近でグラフの傾きが最も急である。もてぎフルコースは逆走すると、1 つ目の立体交差下から東コースコントロールラインまで上りが続くことになる。

したがって走行距離 1000m 付近は約 700m の直線上り区間を走行しているときになる。図 4 においては、立体交差から東コースコントロールラインまでの約 600m で 170mA·h 消費している。1 周に 420 mA·h 使っているため、1 周の 40% を 1 つ目の立体交差から始まる上りで使用していることになる。

その後 2000m 付近までに 70mA·h ほどの電力を消費したのち、3000m 地点まで約 1km の距離を 20 mA·h 弱で走行している。この区間は下りであるため、惰性で走行していることがわかる。最後に 3200m から 3600m 地点で再び勾配が大きくなっているが、この区間は 2 コーナーと 3 コーナーの間の直線区間を走行しているときに対応する。

図 4 及び今大会の結果から、1 周に使用する電力量は電池の満充電量の 1/3 以下であるから、上り区間で電気を使用し、なるべく速く下り区間に抜ける走り方が効果的であったと言える。

謝辞

大会の参加にかかり、機械工学・ロボティクス課程 野口佳樹先生、情報メディア課程 芝公仁先生に多くのアドバイスをいただきました。

2024 Ene-1 MOTEGI GP に 参加して

大 谷 隼 平
Shunpei OOTANI
機械工学・ロボティクス課程 3年

表 1 車体概要

車両重量 (kg)	15.0
ホイールインチ幅 (mm)	20 × 1.75
使用モーター	bafang bbs01
電池回路	36V 直列

1. はじめに

2024年9月15日にモビリティリゾートもてぎにて行われた「Ene-1 MOTEGI GP」の KV-moto (Div-1 b クラス) に参加した。

2. 大会概要

この大会は Panasonic 製の単3形充電池40本を動力源としたバイクでサーキットを3周し、その合計タイムを競う競技となっている。

3. 目的

Ene-1 SUZUKA Challenge で習得したデータや経験に基づいてマシンやモーターのプログラミング制御、電気回路の改善をすることによってもてぎを完走することを目的とした。

4. 車体概要と主な改良点

4.1 車体概要

まず、車体の概要をそれぞれ図1、表1に示す。



図 1 kv-moto 参戦車体

4.2 主な改良点

2024 Ene-1 SUZUKA Challenge より以下のような改善を行った

- ・自転車のフレームの変更
- ・モーターのプログラミング制御による設定の変更
- ・電気回路の変更

である。

まず自転車のフレーム変更について述べる。bafang bbs01 を使用して鈴鹿サーキットを走った自転車のフレームに付いていたホイールの変更が原因による2速や1速の低速ギアに入りづらかった現象や、機械式ディスクブレーキの効きの悪さを改善するため、カンチブレーキを採用している7段変速型の20×1.75のホイールインチ幅が付いた自転車のフレームにモーターを取り付けた。

次に、モーターのプログラミング制御による設定の変更について、最高速度を設定できる画面の概要を図2に示す。

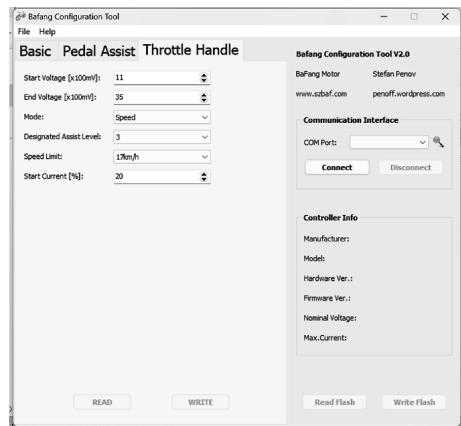


図 2 最高速度を変更できる画面の概要

図2に「Speed Limit」と表示されているところに速度が表示されていることが分かる。これが最高速度の設定となっている。この設定を今回は一番高い設定にあたる40km/hとした。

最後に、電気回路の変更について、鈴鹿の際に乾電池30本をローテーションして走らせたことが原因による電池の消費量の分散を改善するために、48Vを36Vに電圧を下げるDC/DCコンバーターを採用した。

5. 試走

まず、校内で走った際に取ったモーターが電池切れになるまでの積算電流のデータを図3に示す。



図3 換算電流のデータ

図3より、左下の数値にあたる積算電流では2.179Ahで電池切れとなっていることがわかる。なのでもてぎでの試走会の結果を見て、一周0.5~0.6Ahのペースで走ることにした。

6. 競技結果

総合順位は32台中20位、大学・高専・専門学校クラス内では11台中6位、そしてタイムは以下のようになつた。

1週目：22分25秒068

2週目：22分41秒256

3週目：19分34秒788

7. 考察

まず、自転車のフレームを変更したことについて、これによってブレーキ周りやギアの改善はできたが、ホイールを空転させる際にすぐに止まってしまう現象があつたため、転がりを良くするためにペアリングの交換やグリスの塗布をすると改善すると考えられる。

次にプログラミング制御について、設定を変えたことによって鈴鹿より10km/hほど速い速度で走行できたため、最高速度の向上という面ではよい結果であると考えている。しかし、これを維持して走行すると3週走り切れずに電池切れとなつてしまうため、より速く、そして燃費をよくするにはモーターの中身を見る必要があると考えられる。

最後に電気回路の変更についてだが、DC/DCコンバーターを付け試走させた後40本の電池の残量を見てみるとすべて燃料切れとなつていたため、乾電池を30本ローテーションさせて使用していた鈴鹿のときと比べて効率よく燃料を使用できていたと考えられる。

8. おわりに

今大会の参加にかかり、機械工学・ロボティクス課程 野口佳樹先生や情報メディア課程 芝公仁先生に多くのアドバイスをいただきました。ありがとうございました。

グローバル人材育成 プログラム

浦 山 健太郎
Kentarou URAYAMA
知能情報メディア課程 3年

1. プログラムの概要

8月15日～9月2日の約2週間のこのプログラムは主に6つのイベントから構成されている。以下に6つのイベントを中心とした時系列を以下の表1に載せる。またプログラムに参加した目的、イベントの具体的な内容、研修で学んだことを以下に示す。

表1 プログラムの日程

8月15日	サンフランシスコ観光
8月16日	IT企業見学
8月17日	スタンフォード大学見学
	キャリアセミナー
8月18日～9月2日	ホームステイ
	企業研修

2. 研修目的

今回このプログラムに参加した目的は、日本とアメリカの文化の違いを学びグローバル人材とは何かを考えると共に、自身の英語力を向上させることである。進路を考える上で海外の大学院に興味が生まれ、このプログラムでは海外の生活を体験することができるため参加することを決意した。

3. シリコンバレーツアー

最初の二日間はサンフランシスコ観光とIT企業見学を行った。サンフランシスコ観光ではゴールデンゲートブリッジなど有名観光地を巡り、アメリカの町並みを感じた。IT企業見学はIntelから始まり、OracleやGoogle, Appleなど大企業の訪問、見学を行った。Oracleでは社員の方から実際のアメリ

カの働き方についてお話を聞くことができた。アメリカではチームでの成果が大切であり、他の会社を買収することで必要でなくなった部署をまるごとクビにすることがある。しかし会社の都合によるクビが多いいため就職の際はクビがマイナスになることは無い。これは日本の終身雇用を前提とした働き方と大きく異なる。

4. スタンフォード大学見学&キャリアセミナー

スタンフォード大学見学では実際に通っている学生と交流をした。この交流で日本とアメリカの大学の違いについて知ることができた。日本の大学は先生と生徒という上下の関係があるが、アメリカの大学は先生と生徒は対等にされている。

キャリアセミナーでは井坂暁さんと楠山健一郎さんからAIの未来やビジネスについてのお話を聞いた。実際にAIの最先端であるアメリカで研究をされていた方からロボットがどのように進化した行くのか、またビジネスをする上でどのように目標を立て実行していくのかについて話を聞き、しっかりと未来を考えて行動し、細かな目標を立て期限を決めた大切さを知ることができた。

5. ホームステイ

私は中国からカナダそしてアメリカに移住してこられた中国系アメリカ人の家にホームステイをさせていただいた。家族は父、母、息子の3人家族で仕事はオンラインも多くアジアなど他の国と仕事をしていた。ホームステイ先の人はとても優しく晩ご飯を食べるときは毎回今日一日あった出来事などを話した。ご飯は朝はシリアルとタコスで夜はハンバーガーが多くアメリカの食を体験することができた。最初はなかなか聞き取るのが難しかったが言い換えてくれたりと分かりやすく話してくださり段々とスムーズにコミュニケーションを取ることができた。

6. 企業研修

6.1 企業研修先

私はカリフォルニア州のフリーモントにある Ardenwood Historic Farm で研修をさせていただいた。ここは 1850 年代にゴールドラッシュで富を築いたジョージ・パターソンが所有していた土地でありファーム内にはパターソンが住んでいた邸宅や羊やチキンなどの動物、多くの種類の植物なども見ることができた。

6.2 企業研修の内容

企業研修の主な仕事は、主に枯れ葉の掃除、動物の小屋の清掃、ガーデニングの整備を行った。このファームににある枯れ葉は処分されるのではなく集められ微生物が落ち葉を分解して樹木などの肥料として使われている。動物の小屋の清掃は動物たちが出した糞やワラの清掃を行った。動物たちの衛生環境を整え感染症を予防するためにこの仕事は週に一回行った。ガーデニングはグリーンハウスの周りにある木の撤去や、内装の整備などを行った。枯れ葉が周りにあると見栄えが良くなくまた他の木への日光を妨げてしまうため時々気をつけなければいけない。他には土壌の検査を実施し、pH などから土壌が正常な状態なのかを判断する仕事も行った。



図 1 Ardenwood Historic Farm

6.3 企業研修で学んだこと

今夏の研修で学んだことは持続可能な社会にするためには何が必要なのかと、コミュニケーションの大切さを学んだ。このファームはここで出た枯れ葉など一見不要に見えるものも活用し他の木などの生長に生かすことで不要なゴミを出さない循環型のファームを作っている。近年地中温暖化などで地球上に負荷がかかっている中でゴミをどのように活用することで生かすことができるのかまた循環させることができると学んだ。

アメリカは日本と文化が違う為コミュニケーションの取り方も違った。日本では空気を読むなど察する事もあるがアメリカではしっかりとと思ったことを口に出し伝える事が必要である。しかしアメリカは多民族国家であるため伝えれば良いと言うことではなく相手も意見も聞きしっかりと受け入れる事も必要なことであると学んだ。

7. このプログラムを終えて

今回の研修では自信の英語力の低さを痛感した。言いたいことが言えなかったり、相手の言っていることが分からず聞き返す場面も多々あった。しかしそんな中でも言葉だけでなく表情やジェスチャーを交えることで分かる事も多くあった。そのため真剣に何かを伝えようとする気持ちが非常に大切である。また私は今回グローバル人材とは何かを知る事を目標としていた。事前に考えたグローバル人材については一番英語力が大切であると考えていた。しかし実際に体験することでグローバル人とは「多様な文化を理解し積極的に楽しむ事ができる人、また多様な価値観の中で自分の考えをしっかりと持つ事ができる人」であると考える。これはホストファミリーとの多様な文化が大切であるという話や多国籍な職場で相手の考えを尊重する意識を感じたためである。このように英語力も重要だが相手の文化を否定せず受け入れる事がグローバルな人材には大切な事であると考える。

アメリカでの研修を経て

中 井 陽 斗

Haruto NAKAI

知能情報メディア課程 3年

1. はじめに

8月15日から9月2日までの19日間、カリフォルニア州のIT企業の見学と現地でインターンができるこのグローバル人材育成プログラムに参加した。このプログラムに参加した目的は、異文化理解とグローバルな視野の拡大を図るためにある。また、異なる環境で働くことで、日本とは異なるビジネスを体験できると考えたからである。

2. 1日目～4日目まで

8月15日から19日までの4日間は主にサンフランシスコ観光とシリコンバレーの企業見学を行った。

1日目のサンフランシスコ観光では、初めてアメリカでドルを使って食事をした。ここでチップという存在と触れ日本とは違う文化を初めて感じた機会であった。



図1 ゴールデンゲートブリッジ

2日目3日目の企業見学ではIntel, Google, Oracle, Appleといった私たち日本人にも聞きなじみのある企業に訪れた。Oracle社では、現地で働いておられる従業員の方のお話を伺った。Oracle社では、社員

一人一人にあわせた働き方を認めていることや、日本と違った解雇の方法や社員の健康のためにジムがあるなど日本の会社とは大きく異なる働き方を見学できた。

4日目はスタンフォード大学を訪れ大学の学生に学校を案内していただいた。

まず私が初めに感じた事は、大学のスケールの違いである。スタンフォード大学は東京ドーム700個分と日本では考えられないほどの大きさであった。観光地になっており、誰でも入ることができるようになっていた。

スタンフォードの日本人の学生に日本とアメリカの教育の違いについてお話をいただいた。ここでは日本との教育制度の違いについて学ぶことができた。日本の大学では、講義ベースの授業が多いがアメリカの大学では、教師と生徒の立場が平等という考えがあるため教師と生徒の質疑応答がベースになっているとおっしゃられていた。

3. ホームステイについて

今回のプログラムでは、最初の3日間はホテルでの生活でそれ以降の15日間はホームステイでの生活になっていた。ホストファミリーの方はフィリピン人の夫婦の方で、アメリカに移住されている。ここでの生活では、おふたりともフィリピン人ということもあり主にフィリピンの料理を振舞っていただいた。日本での生活と違いを感じた点でいうと家が土足ということや、お風呂がシャワーだけということなどである。この生活で私は自分の意見を相手に伝えるということが大切だと改めて感じた。意見を伝えることで疑問に思っていたことが解消された。

4. 企業研修

4.1 研修先の企業について

アメリカのサンノゼにあるNorcal Aviation Servicesという、小型航空機のメンテナンス、修理、検査を行う企業で研修を行った。ここではアメリカの他にも多国籍の方が働かれていた。

4.2 実習内容

倉庫内の床の清掃
ねじ締めとねじ外しの作業
エンジンの分解
潤滑油の投入で清掃
機体の拭き取り
空気圧チェック
グリースチェック
機体浮かせ
機内の床と座席の取り外し取り付け
プロペラ周りの取り外し・取り付け
ガソリンの補給
を行った。

4.3 研修を通して

Norcal Aviation Services では、8月19日から8月30日までの2週間働かせてもらいました。私は、この研修を通して積極的な行動の重要性を実感した。自ら進んで質問し、わからないことをその場で確認する姿勢を持つことで、より深く学ぶことができ、現場の信頼を得ることにもつながった。実習が始まった当初は、受動的で何か指示をもらえるまで動けていなかったが、それでは仕事をもらうことができないということがわかった。そこから能動的に動くようになり、多くの仕事をさせていただけるようになった。日本では相手側から仕事を与えてもらえることが多いように感じるが、アメリカでは自分自身が主体的となって動くことが大切だと痛感した。そしてこの考えはアメリカのみならず日本でも必要とされる力だと感じた。ここでの学びは、単に技術的なスキルを習得するだけでなく、一従業員としての責任感やプロ意識を育む貴重な機会となつた。



図2 研修先の方々との集合写真

5. おわりに

私は、渡米前までグローバル人材とは、他言語でのコミュニケーションができ、チームの多様性を活かし、協力して目標を達成するリーダーシップを持っている人材だと考えていた。しかし、実際に渡米し、多国籍の環境でのインターンシップを通じて、グローバル人材とはそれほど難しいものではなく、求められるものはより実践的で柔軟なスキルだと感じた。異なる文化の中で働くには、理論だけでなく、その場に応じた対応が求められる。文化や言語の違いによる誤解や意見の食い違いに対しても、その都度柔軟にコミュニケーション方法を変え、相手の意図を正確に理解し伝える力が求められた。さらに、ただ知識やスキルを持っているだけではなく、「思ったことをすぐに行動に移せる人物」であることが大切だと学んだ。考えを行動に移し、現場で積極的に発言し、問題解決に関与することで、初めてその能力が発揮されると感じた。このような実践的な経験を通して、グローバル人材に求められるのは、単なる理論的な知識や言語力だけではなく、現場で柔軟に対応できる実行力と適応力だという考えに至った。

グローバル人材育成プログラム に参加して変化した私の心境

山根 広嗣
Hirotugu YAMANE
電子情報通信課程 3年



図1 シリコンバレーを代表するIT企業

1. はじめに

私は8月15日から9月2日の19日間、アメリカのサンフランシスコで行われたグローバル人材育成プログラムに参加した。到着後4日間はシリコンバレーの様々なIT企業やスタンフォード大学への訪問を行い、その後2週間のホームステイと10日間のインターンシップを行った。

2. 参加目的

私は将来海外で働くことを視野に入れており、海外での生活を大学生の内に体験したいと思ったためである。加えて、経済成長が停滞し続けている日本と成長をし続けているアメリカとの働き方の違いを知り、アメリカで学んだ物事を日本国内に還元していきたいと思ったためである。

3. 企業見学

巨大IT企業であるIntel社、Oracle社、Google社、Apple社、Meta社の企業見学を行った。

Oracle社では、現地日本人社員の方から、アメリカでの働き方や将来的に海外で働くためのノウハウを伺った。働き方に関して、アメリカの職場環境では、レイオフの制度が浸透しているため、常に緊張感を持って仕事をすることが求められている。しかしながら、成果を出せば自由に休んでも良いという成果主義であるという。

4. スタンフォード大学への訪問

スタンフォード大学では、現地学生の案内のもと大学構内を見学し、その後、昼食をとりながら交流を行った。

その中の日本人の学生は、大学に入学する前に大変優秀な成績を修められていたので、今後の勉強や研究をしていくにあたって、自身のモチベーションを高める良い刺激となった。

5. 講演会

人工知能とロボットの研究と開発を行われている井坂 晓博士と株式会社プリンシパルの代表取締役で、日米でデジタルマーケティングの経営をしていらっしゃる楠山健一郎社長からお話を伺った。

井坂博士からは、日本の人工知能の遅れや格差是正の必要性について議論を行った。また、楠山社長からは、成功者になるために必要なことや夢の実現方法、社長目線の理想の社員像についてお話を伺った。

お二方から頂いたアドバイスは、これから就職活動や海外で就業する際の糧としていきたい。



図2 講演会の様子

6. ホームステイ

2週間のホームステイでは、フィリピン系のアラ

ンさん一家の一員となり、生活を共にした。

アランさんは寡黙な方であったが、同じ空間で過ごしていく内に、徐々に打ち解け合っていき、中華レストランに連れて行って下さったり、娘さんとともに愛犬の散歩に行ったりなど、有意義な時間を過ごした。

7. 研修

私は、Napa Valley Winery Exchange という日米にワインを輸出する小売店で就業体験を行った。

初日は店長 Rick Jone さんと従業員の方々に自己紹介を行った。彼らから、英語を上手く話せているとお褒めの言葉をいただき、自身の英語力に自信を持つようになり、積極的に発言していった。その後、ワインを発送する際に用いる段ボールの組み立てを行った。

2日目は店長 Rick さんからテイスティングの方法を教わった。鼻でワインの香りを確かめ、ワインを口に入れ、空気を含まし、舌の中央で甘味、縁で酸味、奥でアルコールの強さを感じて評価を行った。また、ワイングラスを傾けたときのワインの縁の透明度を見ることによって、年数の経過を確認するといい、年数が経っているほど、ワインの色が濃くなるという。また、より熟しているぶどうを使い醸造すると、よりアルコール度数の高いワインを得るという。

初めてテイスティング試してみて、ワイン一つひとつに特徴があることは、味覚から容易に分かったが、見た目や香り、風味などを自分のことばで表現する難しさを感じたとともに、それを基にお客様に説明するとなると、大変多くの知識が必要であると感じた。

3日目～7日目は主に、日本人従業員の曾志崎ゆりさんからタスクを頼まれ、現地日系企業の情報リ

ストの作成やメール広告の文章作成などを行った。加えて、公式ウェブサイト修正の立案や収益拡大のための立案を行った。収益拡大のための立案に関して、商品購入者にくじを配布し、抽選で割引の特典を付与することを提案し、それを基に、店長が会員向けに「ありがとうキャンペーン」を今後実施していくことを仰り、自分のアイデアが実現する喜びを感じた。

8日目～最終日では、ワインに値札ラベルを張り付けることやワインの仕入れリストの作成、取引先とのメール頻度に関する議論を店長と他従業員と共に行った。議論に関して、従業員一人ひとりが明確な意見を持ち、活発に共有をしており、私自身も、これから見習っていかなければならないと感じた。



図3 研修先の様子

8. おわりに

私が本プログラムを通じて感じたのは、確固たる自身の意見を持ち、主張する重要性である。

アメリカでは、一つの議題に対して一人ひとりが間髪を入れずに、集団の中で積極的に主張していたことに触れ、自身の考えに自信を持ち、状況を解決するために最善を尽くす姿勢を感じた。

また、日本とアメリカの経済成長の差を生んだ原因として、職場環境のメリハリの違いのためであると感じた。アメリカは、レイオフの緊張感と成果を出せば自由に休んで良いというメリハリが明確であるが故に、現在も、経済成長をしていると感じた。

グローバル人材育成プログラム 活動報告書

山 本 崇
Takashi YAMAMOTO
機械工学・ロボティクス課程 3年

1. はじめに

私は、8月15日から9月2日までの19日間、グローバル人材育成プログラムに参加しました。

このプログラムに参加した理由は3つあります。

一つ目は、映像の中でしか見たことのないアメリカの生活様式や文化、町の雰囲気を、実際に訪問して生活することで知りたかったからです。

二つ目は、異なる文化・環境下に身を置くことで、自分の視野を広げたかったからです。

三つ目は、英語を実際に生活や仕事で使う事で、英語力を高めたかったからです。

2. シリコンバレーの企業訪問と見学

企業訪問と見学では、Intel や Oracle, Google, Apple に行きました。

Intel では、本社の中に博物館があり、Intel がどのように発展していったのか等についての説明を受けました。

Oracle では、日本人の社員の方に、どのようなスタイルで仕事を行っているのかや、アメリカでの働き方についての説明を受けました。アメリカの大きい企業の、自由な働き方のスタイルを聞き、この自由さにより、様々なアイデアが生まれているのではないかと考えました。

3. グローバルキャリアセミナー

グローバルキャリアセミナーでは、A. I. の研究とアメリカでの企業とビジネス展開をされている、井坂暁博士と株式会社プリンシバルの代表取締役である楠山健一郎さんからお話を伺いました。お話の中で印象に残ったことが4つあります。

一つ目は、近い未来、ロボットは自分の意思で動くようになると井坂博士が言い切っていたことです。

二つ目は、運が良かったと感じる方法として、必死にやりきる事が重要ということです。

三つ目は、自分の思いや経験が、付加価値になるということです。

四つ目は、コミュニケーションで重要なのは、相手の関心を見抜くことであるということです。

4. ホームステイ

私は、サンフランシスコの Hynson さんの家に、二週間ホームステイしました。ホストファザー、マザー共にフィリピン人の方で、ホストファザーがレイさん、ホストマザーがデットさんです。他にもホームステイしている日本人の方が二人おり、ヒロさんとケイさんがいました。毎日、朝と晩ご飯の時間の後に、1時間ほど会話をし、日本のことやサンフランシスコのことについての話をしました。私の英語力不足から、会話が綺麗に続かないことが多々ありましたが、私が理解できるまで、繰り返して頂いたり、簡単な単語を使って頂くことで、楽しく交流することができました。初めてのホームステイで不安でしたが、暖かくやさしい家庭でしたので、2週間充実した日々を過ごすことができました。ホームステイ先での写真を図1に示す。



図1 ホームステイ先の写真

5. 企業研修

5.1 研修先

私は、サンフランシスコのJapan townにある「スーパー・ミラ・マーケット」で研修を行いました。

スーパー・ミラ・マーケットは、主に日本の商品を販売しているスーパーです。店長さんと店員さんの多くは日本人の方でした。

5.2 研修内容と学んだこと

今回の実習では、レジ打ち、品出し、商品案内を中心に行いました。

1日目は、挨拶の重要性、レジ打ちの仕方等を教えて頂きました。また、値段の書かれていない商品があるのでメモをとりました。

2,3日目は、売れ残った商品の片付け方や偽札の見分け方、ロトやスクラッチの売り方を教えて頂きました。

また、レジ打ちの時に、挨拶を笑顔で返してくれることは、話しかけると雑談ができることが分かったので、お客様が少ない時間帯に英語で雑談するようになりました。

4,5日目は、品出しの仕方と商品の値段の付け方を教えて頂きました。

6,7日目、この辺りから耳が英語に慣れてきたのか、ある程度のことが聞き取れるようになりました。しかし、語彙力不足から自分の意見を伝えることの難しさを痛感しました。

8,9日目、トラブルが発生したときに、どのように考え対応したら良いか教えて頂きました。また、付加価値を付けるためには何かしらにこだわることが大事だと教えて頂きました。

10日目、創造力を高めるには、色々なことを経験することが大切だと教えて頂きました。

6. おわりに

このプログラムを通して、主体的かつ積極的に動くことの重要性と分からなかったことを聞き返すことの大切さを再認識することができました。ホームステイ先での生活、企業研修において、積極的に行動すれば、色々なことを教えて頂けるし、英語を使う機会を増やすこともできました。また、仕事内容や会話中に分からぬことがあった時に、聞き返すことでやさしく教えて頂きました。積極的に動いた結果、自分の英語力、特にスピーキング力が不足しているという課題を見つけることができました。

グローバルな人材とは、「世界で活躍することができる人材」、「英語を用いて不自由なくコミュニケーションをとることができる人材」だと考えていましたが、このプログラムを通して、グローバルな人材とは、「あらゆる出来事、文化の違いや環境の変化、問題発生時などに、柔軟に対応することができる人材」ではないかと考えました。

「グローバル人材育成プログラム」 にて得た知見

白井 優貴

Yuki SHIRAI

機械工学・ロボティクス課程 3年

1. はじめに

私は2024年8月15日から9月2日までの計19日間において、「グローバル人材育成プログラム」というアメリカ合衆国カリフォルニア州のサンフランシスコ並びにサンノゼにて開催されるプログラムに参加した。今回のプログラムは以下の表1に示すような日程で活動をした。

表1 プログラムの行程

8/15	日本出国、アメリカ入国 サンフランシスコ見学ツアー
8/16	シリコンバレー IT 企業見学ツアー インターンシップオリエンテーション
8/17	スタンフォード大学見学 スタンフォード大学の学生との交流 グローバルキャリアセミナー（講演会）
8/18	ホストファミリーや現地学生との交流会
8/19-8/30	グローバルキャリア実習プログラム 企業での実務研修とホームステイ
9/1-9/2	日本へ帰国

2. 参加目的

今回のプログラムに参加した目的は大きく2つある。1つ目として様々な経験をする機会があることから、世界をリードするアメリカを知って、日本との違いを考える機会になると考えたためである。そして2つ目に、コミュニケーションツールとしての英語力を現地の方との交流を通じて向上させたいと考えたためである。国際交流に高校生から興味が強くあり、大学生になったら留学に行きたいという思いを強く持っていた。また、このプログラムではアメリカの企業でのインターンシップも経験できるこ

とから、私にとって多く得るものがあると感じて参加する決意をした。

そしてこのプログラムに参加するにあたって積極的に現地の方と交流をすること、様々なプログラムにおける体験を「言葉」として形に残すことを目標として定めた。積極的に動いて交流をたくさんすることで想定以上の成果を得られ、また自分が聞いたことや考えたことなど詳細に記録を付けることで、プログラムの後でも容易に振り返ることが出来ると考えたためにこの2つの目標を掲げた。

3. プログラム内容

プログラムにて取り組んだことを、以下では出来るだけ簡潔にまとめて記載する。

3.1 サンフランシスコ近辺の観光や企業訪問

1日目から3日目はサンフランシスコ周辺にある観光地や企業を回るツアーを行った。足を運んだ観光地としてはゴールデンゲートブリッジ、ツインピークス、フィッシュヤーマンズワーフなどである。アメリカならではの景色と雰囲気に圧倒された。またOracleやMeta、Google、Apple、Intelなどの企業とスタンフォード大学には足を運び、見学をした。最も強く印象に残っているのはアメリカのOracleにて現在勤務されている日本人の方から伺った、アメリカは日本と違って社員を辞めさせることが比較的容易にできるため、競合会社を買収して部署ごと社員を入れ替えるという実際のケースに衝撃を受けた。しかしアメリカでは会社を辞めさせられることにマイナスなイメージが少ないため、新たな職を見つけることが日本のようにハードルが高くないことも衝撃を受けた。

3.2 起業家とビジネスマンによる講演会と交流

今回はAIの研究をされている井坂 晓博士と起業家の楠山健一郎社長の2名から、アメリカと日本の違い、今後予想されるアメリカの動向、夢を叶えるために必要な3つのことなど様々な視点からのお

話を伺い、貴重な時間を過ごすことが出来た。

3.3 企業でのインターンシップ

8月19日から8月30日までの平日計10日間で、航空機のメンテナンスや修理を行っておられる「Norcal Aviation Service」にてインターンシップをさせて頂いた。



写真1 インターンシップ先の企業の様子

具体的に取り組んだ仕事の内容としては点検の補助作業としてねじ取り外しや取り付けの作業、タイヤの空気圧の確認、タイヤの展開と格納の確認の補助、航空機の移動作業の補助、航空機のペダルの踏み応えの確認の補助などが挙げられる。積極的に仕事を求め、与えて頂いた仕事に足しては全力で取り組んだ成果もあって、多くの仕事を体験させて頂いた。また分からることは身振り手振りも使いながら社員の方に聞くと、優しく丁寧に教えてくださった。そして様々な体験をした中でも強く印象に残っている仕事の内容として、目視では見えにくい箇所のねじの取り外しを社員の方と協力しながら行ったことである。機体の中での作業であったためにとても暑い中ではあったが小型のカメラも使いながら、

適宜正しいかどうかを社員の方に確認してもらって作業を進め、最終的には必要な箇所のねじを全て取り外すことが出来た。作業後には「完璧だね、ありがとう」と声を掛けて頂いて頑張ってよかったと心の底から思うことが出来た。

3.4 ホームステイ

私は企業でのインターンシップの間の約2週間、Marylou & Deck 夫妻のご家族にお世話になった。最初は上手く意思疎通が出来るか不安を感じていたがたくさん話をしてくださり、すぐに打ち解けることが出来た。企業での仕事が体力仕事であったこともあり、疲れて帰宅した際には冷たい飲み物やアイスを渡して頂いた。さらにホストファミリーからの提案で夕食を外で食べたり、スーパーマーケットへ一緒に車で出かけたりもした。ホームステイをした期間は2週間と短い間であったが、毎日たくさん話ををしていただき、楽しい時間を過ごすことが出来た。

4. おわりに

今回のプログラムを通じて、世界をリードしているアメリカと日本の違いを現地の方から伺い、そして自分自身も体感することが出来た。またプログラムの名前にもなっている「グローバル人材」とは英語を使いこなせるだけではなく、相手の文化や価値観を否定することなく受け入れて、共存することの出来る人材であると考えた。そして目標として掲げていた2つは現地の学生と友達になれたり、日記のような形で記録をしたことから達成できたと考える。日本では経験できないことを多くの方々と関わりながら貴重な経験を得ることが出来た。

グローバル人材育成プログラム に参加したことによる考え方の変化

沖 田 藍 莉

Airi OKITA

応用化学課程 3年

グローバル人材育成プログラムは、4日間のサンフランシスコ市内観光と、約2週間の企業研修を行うプログラムである。これに参加した目的としては、主に3つある。まず、アメリカで働くとはどのような事が体験したかったからだ。大学院でのアメリカへの留学も考えている上、就業する場所としても視野に入れていることから、前段階として自身に適しているか確かめたいと考えた。また、様々な文化に触れたいためである。様々な場所から人が集まるエリアで多くの人と交流を持つことは、日本で過ごすことと比べ、私の考える普通や常識は遙かに通用しないであろう。これによって新たな価値観や考え方を得たいと考えた。また、英語力の向上を図るために、現地の方が良く使用する文の形や単語を捉えたいと考えた。そして、アメリカ渡航前にはグローバル人材とは、英語でコミュニケーションが取れ、スムーズに仕事を進めることができる方々を指すと考えていた。

1日目から4日目までは、主にサンフランシスコ市内の観光に向かった。中でも Intel 博物館が特に印象に残った。私の専門は無機化学であり、博物館内には半導体関連の様々な物の展示や、シリコンの単結晶等が展示されているなど、講義では写真で見ていたものを、目の前で見る経験が出来た。また、3日目にはスタンフォード大学を在籍している学生の方と一緒に大学内を見学させていただき、どのような講義をうけていらっしゃるのか解説していただいた。そして、ホテルに戻った後は、井坂博士からの AI 等についてのご講演や楠山社長からのアメリカでの会社経営についてお話を伺った。

ホストマザーには、カリフォルニアについてや、

アメリカの大学についてのお話を聞かせていただいた。また、滞在後半には日本人の学生の方が1人いらっしゃり、その方とも基本英語でお話しし、英語力の向上を図った。

そして、研修先である、Nippon Trends Food Service, Inc. は、日本でよく食べられるラーメンやうどんなどを業務用にも家庭用にも製造している会社であり、その中でも QAQC (Quality Assurance and Quality Control) という部署で研修していただいた。ここでは、生産に関わる品質管理や、何か問題があった際の原因究明を行っている。

まず、毎日行っていた作業としては、サンプルとお客様にクレームを頂いた製品を比較し、日を追うごとに何か差や変化が見られるか確認、記録していくことで、ロット自体に問題があったのかどうか確認することであった。



図1 黒点が見られた麺

また、これらに含まれる点は何であるのか顕微鏡を用いて観察、推定した。例として、図2に顕微鏡観察後、撮影した写真を示した。素材別にサンプルの写真が用意されており、撮影もしたため、それらと比較したところ、これは紙の纖維であると考えられた。ここから、ここで用いられる原因推定方法を学んだ。

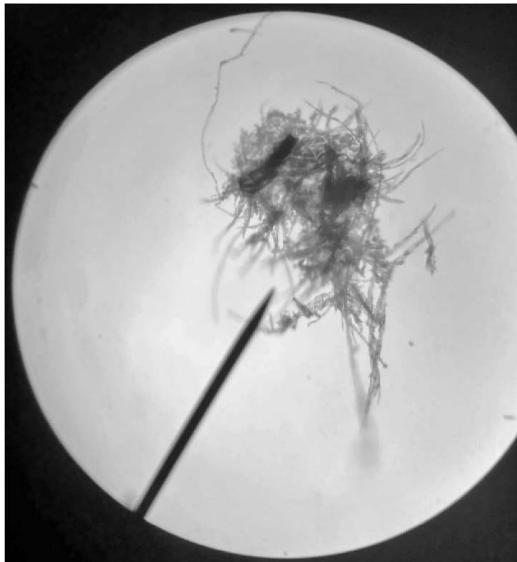


図2 麺に含まれた纖維

そして、製麺に使う水溶液をレシピ通りに作れていないとき、図1のような黒点が麺に発生する場合がある。そこで、普段からpHメーターでこの水溶液のpHを測っているとのことから、最初は、インターネットで、ある1種類の原材料を水に溶かしたときのpHを調べるようご指導いただいたが、pHの推定に必要なデータをそろえるよりも、水溶液を作成し、普段使用するpHメーターで測定する方が普段工場内でとれるデータにより近い上に早く得られるのではないかと考え、それをお伝えすると、快く受け入れてくださった。英語で化学的なことを説明することは非常に難しかったが、この経験は将来的に確実に役に立つものになると確信した。この水溶液の、pHを測定すると、普段工場内でとれるデータと異なった。お話を伺うと、普段は他にも複数の材料を溶かした後にpHを測定しているとのことであったため、それも加え、新たなデータを取り直した。このデータはとったことがなかったそうで、私のメモも写真に撮らせてほしいとおっしゃってくださった。正しい材料を正しい割合で溶かさせて

いるのか確認する際に使用される指標の基礎を作成することができたことに加え、可能な範囲でよりよいデータはこのように取れるのではないかと提案することもでき、非常に光栄であった。

目的及び目標の達成度としては、アメリカで働くとはどのような事か体験することに関して、日本と比較した際に、意見と積極性が求められるように感じた。待っているだけでは、難しい仕事を任せていただくことはあまりないのではないかと感じる。言われた仕事を淡々とこなすことよりも、自分が何をしたいか、どうしたいか主張することも大切だという風に感じた。このような見解を得られたため、この点に関して目標は達成できたと考える。また、自身の性格上、意見を交わすことが出来る良さを感じ、これも収穫となつた。様々な文化に触れる点に関しても、この会社にはアメリカ出身の方のみではなく、中南米や日本、ベトナムをはじめとしたアジアにルーツを持つ方も多くいらっしゃり、業務外でもスペイン語での交流やメキシコ出身の方にタコスを作つていただくことで、食文化にも触れることが出来たことから、この点に関しても大いに目標を達成できたと考える。様々な文化の理解を深めるという点では、より多くの時間を過ごして得ていきたいと感じた。そして、英語力向上に関して、職場の方がよく使われる英語表現から、文の形や単語を習得した。また、ホームステイ先でも英語を使うことで、語学力向上につながったと考えられ、この点においても目標を達成できた。

渡航後に考えたグローバル人材とは、渡航前に考えた英語でコミュニケーションが取れ、スムーズに仕事を進めることができる方々ということのみならず、自ら積極的に意見交換を行い、何に取り組みたいか、どのようにしていくべきだと考えるか主張し、他者と協力しながら英語をはじめとする様々な言語で業務を円滑に進めることができる方々を指すのではないかと考えた。

グローバル人材育成プログラム を経て

東 里 穂

Rion AZUMA

応用化学課程 3年



た。

販売されている商品には、日本の製品に英語のラベルが上から貼られたものが多くったが、

プログラムに参加するにあたって、私は「自分から積極的に行動する」ということを目標として、このプログラムに参加した。1日目は、ゴールデンゲートブリッジ、フィッシャーマンズワーフ、サンフランシスコ市庁舎、ツインピークスを観光した。2日目は、Intel, Google, Meta, Oracle, Apple, NASAリサーチセンターに行った。Intelでは博物館の中を案内して頂き、Oracleでは社員の方からアメリカでの働き方について教えて頂いた。3日目は、ステイーブ・ジョブズの家、ヒューレット・パッカードのガレージスタンフォード大学に行った。スタンフォード大学では、学生の方に大学のキャンパス内を案内して頂いた。ホテルに帰った後にグローバルキャリアセミナーがあり、アメリカで博士をされている井坂さんと起業家をされている楠山さんのお話を聞かせて頂いた。お二人の公演を聞いて、積極的に行動することの大切さを改めて感じた。4日目は、コンピューター歴史博物館に行き、シリコンバレーとコンピューター開発の歴史について説明して頂いた。その後、公園でピクニック交流会があり、ホストファミリーや現地の学生とランチや、ゲームを行って交流を深めた。

5日目からの2週間はホームステイを行いホスト企業で実習を行った。私の実習先は、ジャパンタウンのモールにある Candy Doll Beauty という日本や韓国の化粧品を販売しているお店であった。お店の向かいには、日本や韓国の服やぬいぐるみを販売している姉妹店があった。スタッフの数は姉妹店も合わせて14人で、そのほとんどが学生であった。また、日本人はいなかったが、台湾や中国出身の日本のゲームやキャラクターが好きなスタッフが多かつ

た。海外向けにパッケージを作り直している商品もあった。実習の内容としては、品出しや、ストック作業、接客、レジ対応、領収書の記入、ごみ捨て、発送作業、値付けなどであった。レジの操作は初日から教えて頂き、実践を行っていた。日本では何度か練習を行って実践というスタイルが多いと思うが、説明だけを聞いてすぐに実践というスタイルに日米の企業文化の違いを感じた。前半の5日間の接客では、化粧品の専門的な用語など初めて聞いた英単語にかなり苦戦をした。そこで、後半で同じようなことにならないよう、成分とその効果が書かれた表を使って学習を行った。覚えた単語は他の商品を説明する時にも応用することが出来た。商品の違いを、成分表を覚えたことによってお客様におすすめすることができ、お客様の商品購入に繋がった。日本語が母国語である私はパッケージを理解して、英語に変換しお客様に伝えることが出来た。この事は、他のスタッフにできない、「日本に住んでいる私だから出来た接客」があると感じた。また、この経験を経て、私は異なる言語を話せることの素晴らしさを改めて感じた。様々な言語を話せることが出来れば、今回のような接客の場だけでなく、交流の場で自分の事を知ってもらうことや、相手の事をもっと知る事も可能である。

日米の企業文化の違いについて、日本でも看板犬としてお店に犬がいることはあるが、右の写真のようにレジにいてクレジット支払いの機会に顎をのせて寝ていることは無いと思う。また、このお店はショッピングモールの中の化粧品店なので、日本では考えられない光景であった。お客様の犬も来店可能なのでその事にもビックリした。このように日本

とは犬に対する考え方が違うなと感じた。50ドル札以上は必ず偽札かどうかをチェックしてからお会計を行う。日本で頻繁にチェックするお店はなかなかないと思う。このことは、偽札がかなり流通しているということだと考えられる。



他にも、スタッフが店頭でお菓子を食べたりスマートフォンを触ったりと日本より働き方が自由であると感じた。また、約9割のお客様の支払い方法がキャッシュレスであり、近くのお店ではキャッシュレスのみ対応のお店も何店舗かあった。日本では逆に現金払いのみのお店は見かけるが、キャッシュレスのみのお店は少ない。ホームステイについて、私のホストファミリーはホストファザー、ホストマザー、娘さんの3人であった。

お家はオークランドの住宅街にあり、丘の上にあるため海が見えたり夜景が綺麗だったりととても景色のいいお家であった。お部屋は母屋とは別の中屋にあり、寝るところや自分用のお風呂、トイレ、冷蔵庫、電子レンジなどがあった。特にルールなどはなく自由に過ごすことが出来た。

朝ごはんや夜ごはんは母屋の方に行って一緒に話しながら食べた。メインに加えてサラダやフルーツ、デザートなどがあった。英語でお話をしながら、日本料理とはまた違った味の料理を食べ、日本では味わえない、アメリカでの生活を味わうことが出来た。ホストファザーさんが趣味でお手入れされているガーデンで夜ごはんを食べたり、娘さんが食後にスモアを作ってくれたり、初日と最終日には娘さんのバイト先のマンゴータピオカを買ってくださった。私も、研修の最終日にジャパンタウンでドーナツを買って帰り一緒に食べた。食を通じて交流し、たくさんの思い出を作った。休日、人生で初めてのコストコに連れて行ってもらった。全ての商品が大きく驚きました。ピザは顔よりも大きく、とてもおなかいっぱいになった。また、ギラデリチョ

コレートを買うならギラデリファクトリーが1番安いよ！と連れて行って下さり、たくさんお土産を買った。とても明るいホストファミリーさんですごく楽しい日々を過ごした。



目標の達成度について、研修先やホームステイ先で自分から積極的に話しかけてコミュニケーションを取り、仲を深めることができた。また、1周目よりも2週目の方が英単語などを勉強したため接客も上手くできた。しかし、お客様とは初対面なので緊張し、あまり自分から声掛けをすることが出来なかつた。

最後にグローバル人材についてです。渡航前は言語や文化の違いを理解してコミュニケーションを行うことが出来る人材と考えていました。しかし、このプログラムを経て、積極的に行動する大切さや、相手の話を聞くだけでなく自分の話をしたり、互いに分かり合うことの大切さを学びました。そのため、渡航後に考えるグローバル人材とは、言語や文化の違いを理解して積極的にコミュニケーションを行い、互いの事を分かり合おうとすることができる人材であると私は考えます。

グローバル人材育成プログラム に参加して

榎本千聖
Chise ENOMOTO
環境生態工学課程 3年

1. はじめに

私は、2024年8月15日～9月2日の19日間、アメリカのカリフォルニア州のサンノゼとサンフランシスコで、先端理工学部のグローバル人材育成プログラムに参加した。今回のプログラムの参加目的は、実習とホームステイを通じて新たな価値観や考え方を持つためと、語学力向上のためである。

2. シリコンバレー企業見学

見学企業は、Intel, Google, Oracle, Appleなどの企業を訪れた。Oracleでは、実際に日本から渡米し、勤務されている方からお話をうかがうことができた。アメリカの企業は、会社によって出勤形態が異なることや、買収などによって部署ごとクビになってしまうことがあるなど日本との違いを実感した。図1に訪問した企業を示す。



図1 訪問した企業

3. グローバルキャリアセミナー

AI研究者の井坂暁さんと株式会社プリンシパルの代表取締役楠山健一郎さんからお話を伺った。井坂さんからは、人工知能は賃金をあげるのか、人口汎用知能、アメリカ合衆国の大統領選挙などのトピックについてお話を伺った。お話を聞いていた際に、アメリカの学生だと自分の意見に対して、思うことがあれば意見を発表して熱いディスカッションが始まるとおっしゃった。その時に日本の学生との違いを実感した。

楠山さんは、企業に成功した人の考え方や夢を叶える方法についてお話を伺った。企業に成功した人の考え方とは、運が良いと思うことである。運が良いと思うには、ダメ元でやってみると成功した時に運が良いと思えるとお話を伺った。夢を叶える方法は3つの項目があり、紙に書く、人に話す、期限を決めるである。3つとも出来そうではあるが、実際に行動に移す人は少ないというお話をまで含めてとても深い学びを得た。

4. ホームステイ

サンホセアベニューのフィリピン人の夫婦の方の家に二週間ホームステイさせていただいた。始まった当初は会話が聞き取れなかったが、一週間経った頃には聞き取れるようになった。私の他に短期で語学学校に通う日本人の女子大学生と男子高校生と一緒にホームステイしていた。朝食はシリアルかパンの選択肢があった。夕食は、基本的にお米とサラダ、スープ、メイン料理、フルーツという構成で全員揃って食べた。洗濯は週に一回行った。平日の夜に何度か買い物へ連れて行ってくれた。

5. 企業研修

5.1 研修先の企業

私が研修させていただいたのは、ABC Preschoolである。ABC Preschoolは、日本語を主体として教育活動を行っている日米バイリンガルのプリスクー

ルである。先生や園児、保護者の方などは色々な出身の方で、日常言語も様々である。

5.2 研修内容

私が ABC Preschool で研修させていただいた内容は、主に先生たちのサポートである。朝、登園すると園児たちは外遊びか中遊びを行っているため、そこに混ざり、怪我をしないように注意しながら見守ったり、喧嘩の仲裁を行った。朝の遊びの時間の途中に3~5歳クラスのさくら組と3~4歳弱クラスのもも組二つに別れた。最初の一週間はさくら組の補助に行き、次の二週間はもも組の補助へ行った。朝遊びが終わると、おやつを食べ、朝の会を行った。食べ終わると遊びに戻る前に全員に手指消毒を行わせ、その後公園へ出かける前にお手洗いに行かせたり、持っていくバックパックの準備を行った。公園まで歩いて向かう間の安全を確保し、公園でも遊具や他の遊んでいる子供たちとの事故防止などをしながら、一緒に遊んだ。公園から帰ると手洗いを行わせ、お昼ご飯を一緒に食べた。食べ終わるとナップタイムのためのベッドや布団などの準備を行い、寝かしつけを行った。起きるとお手洗いに向かわせ、スナックを食べる準備を行った。その際にお迎え組と延長保育のたんぽぽ組に教室を分けた。スナックのゴミを片付けてもらい、17時まで遊びの見守りを行った。

6. 企業研修を通じて

子供は思考の柔軟性が高く、枠にとらわれずに行動することができる実感した。例えば、塗り絵だからといって色を分けて塗るのではなく全て自分の好きな色で塗ったり、紙を何枚か使ってプレスレット屋さんごっこなどをしていました。私が実習を始

めた初日には、自分の思い道理にできないと泣き出してしまう子が大半あったが、五日が経過する頃には「待つ」ことや、「時間を決めて遊ぶ」、「自分で遊びを見つける」ことができるようになっていて学習速度がいかに早いかが分かった。休憩時間が割り当てられており、自分で報告するか声を掛けていただいて休憩をとるため、しっかりと休憩時間を過ごすことができた。休憩の間も泣き声が聞こえたらどの子の声かを考えたり、情報共有が行われていて暗示に対する愛情をとても感じた。

7. おわりに

初めての海外だったので不安がとても大きかったが、グローバル人材育成プログラムを通じて経験できた全てが充実しており、自身の成長へ大きく貢献したと考える。今回の目的であった「新たな価値観と考え方を持つ」は研修で普段関わることのない園児たちとのかかわりや、日常生活やホームステイを通じて達成できた。語学力に関しては、聞き取る力は付いたと感じたが、単語から文章を作る力の弱さと発音の不正確さを実感した。

グローバル人材育成プログラムを通じて様々な方からお話を伺うことができた結果、英語をネイティブに話せる力を持つことで人生の幅が広がると考えた。情報を集め、知識を蓄える行為は人生において重要だと考えていたが、初めて英語でしか会話ができないという状況になり、会話することができなければどんなに多くの人と出会っても何も得られないことを痛感した。なので知識を集める道具として英語を使えるようになれば、今までよりもっと多くの情報を得ることができ、自分の人生を豊かにすることができると考えた。プログラム終了後も継続して学習し続けたいと考える。

グローバル人材育成プログラムを 終えて／Challenge each other

藤 田 朝 子

Asako FUJITA

環境生態工学課程 3年

1. はじめに

8月15日から9月2日まで、アメリカのカリフォルニアで活動した。現地到着後4日間は企業、大学見学およびキャリアセミナーを行った。その後2週間はホストファミリーにお世話になりながら、実習先で実務研修を行った。

2. 目的

世界中から人々が集まる場所で企業の方々と関わり、海外の環境に対する人々の意識や考え方について意見を交換して多角的な視点で人と自然が共生できる環境について考えられるようになること、現地の方と共に働くことで、多種多様な仕事への向き合い方を知り、今後自身がどのように働き、社会に貢献していくことができるのかを考えることを目的とし、より多くのことを知ることができるよう積極的に話すことを目指とした。

3. 実習

3.1 実習先について

Ardenwood Historic Farm (34600 Ardenwood Blvd. Fremont, CA 94555)

もともと個人の農場であったが、環境豊かな土地を残したいという思いから政府によって守られ、今はフリーモント市およびイーストベイ・リージョナルパークスによって管理されている。ファーム内には植物や動物のほか、昔の農耕器具もあり、実際に体験することができる。ファームは、スタッフのほか多くのボランティアに支えられている。毎日、スタッフとボランティア、来園者の挨拶と会話がいろいろなところから聞こえてくる。私は、このファームで交わされる温かい会話が一番気に入っていた。

3.2 実習内容

スタッフのダイアナさんのご指導の下、植物・動物の管理とファームの歴史・動植物について学ぶことを行った。

3.3 ファームで学んだオーガニックな農業スタイル

アーデンウッド・ヒストリック・ファームのオーガニックな農業スタイルに興味を持った。私たちが集めた動物の糞を、倒木から作った木炭・木質チップと混ぜ合わせると、コンポストという堆肥ができる。堆肥を土に混ぜると、肥沃な土壤になり、農作物ができ、それを動物が食べてまた堆肥ができるというサイクルが生まれる。木炭は、鍛冶に使われた後動物の糞の下に敷いて消臭に使われる。来園者が歴史を体験できるイベントがある木曜日には、実をとり乾燥させたトウモロコシの芯を燃やしてポップコーンをつくったりする。このようにファームでは、複数のエコサイクルがみられる。

指導してくださったダイアナさんは、メキシコの方なので、アメリカとメキシコの農業スタイルの違いについて質問すると、メキシコは、アメリカよりもオーガニックだったが、最近は時代の変化とともに化学製品が使用されるようになったこと、一度化学製品を使用すると、土壤中の動物が死んでしまい、土壤を元に戻すことは難しいため、ダイアナさんもこのファームのオーガニックなスタイルが好きだということを教えてくれた。

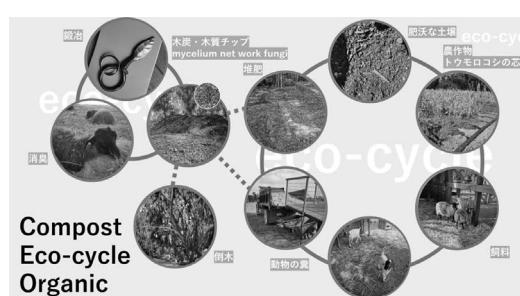


図1 エコサイクルの概略

3.4 実習を通じて学んだこと

実習を通して、コミュニケーションの重要性に気付いた。英語を十分に話せなくても、仕事をすることはできる。しかし、アメリカの職場では、人とのコミュニケーションや意見交換、助け合いが重要視されているように感じた。挨拶と、ちょっとした会話をすることで、非常に雰囲気がよくなり、仕事の効率が上がった。そして、会話の中からファームをよりよくする意見がうまれていた。

4. ホームステイ

ホストファミリーと私は動物好きという共通点があり、ハチドリの話やアメリカにおける環境系の仕事についてなどの話をした。週末はオークランドズーのチケットをプレゼントして連れて行ってくれた。温かく私を迎えてくれたファミリーにとても感謝している。

私にとって貴重な出会いがもう一つあった。それは、ルームメイトとその友人との出会いだ。ステイ中、台湾出身、ベトナム出身、ベリーズ出身の人たちと親しくなることができた。みんな私にいろいろな経験をさせてくれた。特に会話はとても楽しかった。友人同士の会話でも「何か質問はある？」や「アメリカのダイソーハンガーリーに行ってみてどう思った？」など質問や感想を聞かれることも多く驚いた。一方で、みんなとの会話のおかげで、職場での会話も緊張せずにできるようになった。楽しい話のなかにも、ドッヂボールの議論や、これまでの人生の話、これから将来の話など真剣な話もあり、とても貴重な時間になった。真剣な話をした後に、

ベリーズ出身の人が「こうやって友達同士お互いに良くなり合わないと」、「Challenge each other.」と言っていたのが印象に残っている。

5. プログラムを通じて学んだこと

プログラム参加前は環境に対する海外の考え方を知ることができたら良いと思っていた。しかし、実際プログラムを終えて得たことは、人とのかかわりを持ちコミュニケーションをとることの楽しさを知ったことだった。

アメリカでは、みんながお互いの考えを尊重している。そして、"How do I feel?" を大事にしている。そこから、違いの魅力と人が人に与える影響力の凄さにも気付かされた。違いを学びを与えてくれるものとして捉え、いろいろな人と関わって影響をもらい、そして影響を与えられるような人になりたいと思った。そうすることで、いつか私もグローバルの一員になれるのではないかと考えた。まずは、自分を知ることそして、いろいろな人のコミュニケーションを大切にすることをこれから目標にしたいと思う。

プログラムを終えたいまグローバル人材とは何かと考えてみると、社会をよりよくしたいという共通の目標に向かって、国・言語に関係なく協力して取り組むことができる人、共に未来を考えることができる人なのではないかと思う。

このプログラム参加中、協力してくださった多くの皆さんに、そして、やさしさに溢れる方々との出会いに感謝しています。

ASEAN グローバルプログラムに参加して

濱野 蒼生

Aoi HAMANO

電子情報通信課程 3年

1. はじめに

2024年8月25日から31日までの約1週間、ベトナムの首都ハノイで ASEAN グローバルプログラムに参加した。今回のプログラムの目的は、株式会社 WILLER さんに協力頂き、ハノイの交通課題を解決する事業案を考え、提案するという PBL がメインだった。プログラムは表1のスケジュールで進んだ。

表1 日程表（すべて8月）

実習日	実習内容
25日	ハノイへ移動、キャリアフォーラム
26日	ハノイ工業大学で交流、協力企業の講演
27日	旧市街でのアンケート、IT 関連会社見学
28日	ハノイ工業大学でのアンケート、打合せ等
29日	モールでのアンケート、最終打合せ等
30日	最終発表、振り返り
31日	帰国

2. 参加動機

今回、私が ASEAN グローバルプログラムに参加した理由は、2つある。1つ目は、海外でのキャリアを考えているからである。何事にも挑戦することが大事だと考えており、異国での仕事は言語や文化の壁を乗り越える必要があり、自分の成長につながると考えた。また、日本のみに依存するのではなく、グローバルな視野をもつことで、新たなビジネスのチャンスにつながると考えた。2つ目は、父親の影響である。父は、出張で何度もベトナムにいっており、父がどのような環境で仕事をしているのか

に興味があり、同じ環境で活動してみたかったからである。

3. プログラム内容

各プログラムの概要や学んだことを紹介する。

3.1 キャリアフォーラム

キャリアフォーラムでは、ベトナムで働く4名の日本人の方にお話を聞くことができた。いきなり海外で働くことはとても精神的に辛いとおっしゃっていて、準備がとても重要だと感じた。印象に残った話は就活の話で、企業を分析し、企業の弱みを自分の能力でどう補うことができるのかを伝えることができると有利と教わり、とても参考になった。

3.2 IT 関連会社の見学

私たちは FPT という、交通関連のデータも扱うベトナムの IT 関連会社に訪問する機会があった。FPT は、ベトナム最大規模の IT 企業の1つで、ソフトウェア開発、IT サービスなど、幅広い技術分野でグローバルにサービスを提供している。FPT を訪問した際、会社の規模の大きさ、また、接客力、英語力、事業内容などに驚くばかりであった。写真1は会社の事業分野が示されたボードである。事業内容として、街頭カメラでの車を監視するシステムなどに興味を持ったが、紹介が英語であったため内容をすべて理解することができず、とても悔しかった。



写真1 FPT 社のロビーの会社紹介ボードの一部

3.3 PBL でのアンケート調査

ハノイの交通課題解決に資する事業提案をすると

いう目標で行ったPBLでは、自分たちの考えた提案の有効性を調べるアンケートを作成し、ハノイでベトナム人や観光客の老若男女に回答をお願いした。まず27日の観光地のホアンキエム周辺で行ったアンケートでは、46人ほどの方から回答を頂けた。初めての海外でのアンケート調査で、初めは声をかけるのもとても緊張した。しかし、現地の学生が率先してくれ、自分たちもやる気が出てきた。もちろんベトナム語は話すことができないので、現地の学生の手伝いを借りたり、話せないながらにもジエスチャーや気持ちで乗り切ることができた。ほとんどスマートフォンの翻訳アプリなどを使わなかつたことが、何より自分の成長につながったと感じた。28, 29日目も同様にアンケート調査を行った。

3.4 アンケート集計・解析

現地でのチームごとの打合せでは、WILLERの箱田様からのアドバイスをもとに解決につながる事業内容を考えた。仮説を証明するためにどのようなアンケート内容にするのか、発表資料で示す内容、どのように説明するかの3つを軸に考えた。主に日本人はアンケートと発表内容を考え、現地の学生に発表スライドの内容を考えてもらった。ミーティングでの後悔していることは、コミュニケーションをあまりとれなかったこと、時間を有効活用できなかったことである。もう少し解決策について、時間を気にして積極的に話あえばよかったと後悔している。2回目の打合せ中に、コミュニケーションをするために遊んだ時間が長くなってしまうこともあつたので、もう少し時間を有効活用できたらよかったです。尚、その原因をしっかりと見てみると、今から思えば作業内容の見落としと、時間計画の甘さであり、そのような計画力のなさを改善すればより良いプレゼン資料を作成できたと考える。

3.5 最終発表と振り返り

最終日の発表は、内容も自分としては十分であり、うまく発表もできたと思う。しかし、質疑応答

をしっかり準備していなかったので、解答することができなかった。ここでも計画力のなさが一番の課題だと感じたので、今後、自分が改善する課題と捉えた。



写真2 振り返り時のチームの風景

4. まとめ

このASEANグローバルプログラムを通じて、自分の強みと弱みをはっきり理解できた。現地の学生とコミュニケーションをとることができたし、アンケート調査では多くを方からの回答を得ることができた。よって、自分の強みには、主体性とコミュニケーション能力があると認識した。さらには、リーダーではなかつたがチームをまとめるこつにも貢献できたと感じている。この強みは、営業などコミュニケーション力が必要とされる仕事に向いているかもしれません、将来、この力を活かせることができればよいと考える。逆に、先にも述べたが、弱みとして計画力のなさがあると思う。今回のプログラムではギリギリまで終わらず、最終日はほとんど寝ずにパワーポイント作成に取り掛かることになってしまい、そのことが発表の完成度にも影響したと思い、とても後悔している。この弱みは様々なことに影響すると思うので、気づくことができて良かった。

他にも、日本との文化の違いで学んだことや、ベトナムでしか気づけなかつたことがたくさんあつた。このプログラムで得たたくさんの経験や学んだことを、今後の学生生活や社会人になつても活かせるようにしたい。

ASEAN グローバルプログラムに 参加して

西山 恵成
Ryosei NISHIYAMA
環境生態工学課程 2年

1. はじめに

2024年8月25日から31日にかけて、ASEAN グローバルプログラムに参加し、ベトナムの首都ハノイに滞在した。ハノイではビジネスパーソンとの交流、現地 IT 企業訪問、ハノイ工業大学の学生との PBL などのプログラムが用意されていた。

2. 本プログラムの簡単な説明と日程の概要

本プログラムのうち PBL についてでは、龍大生が4つのチームに分かれ、「ベトナムの交通課題を解決する新たなサービスを創出せよ！」という課題について、事前学習で解決策の案を決め、現地でのアンケートやベトナム人学生とのコミュニケーションを通じて、実証や修正を行った。その中では、ハノイでバスなどを運行している WILLER VIETNAM の箱田様にも協力頂き、現地のハノイ工業大学の学生と共に解決策の提案まで行った。日程は以下の表に示す。

日程表

8月	内容
25日	移動（日本→ハノイ）、キャリアフォーラム
26日	ハノイ工業大学での大学間交流と実習
27日	ハノイ旧市街にて調査、FPT IS 社訪問
28日	ハノイ工業大学にて調査と解析等
29日	2か所のショッピングセンターにて調査
30日	最終プレゼンテーション、振り返り
31日	移動（ハノイ→日本）

3. 研修内容

3.1 交通課題に関する PBL

ベトナムでの実習の約1ヶ月前から瀬田キャンパスで事前学習が実施され、ベトナムの交通事情、文化やマーケティングについての基本情報を得た。その上で、各チームで仮説を考案した。

ベトナムに到着後は、ハノイ工業大学の学生2人がチームに加わり、仮説について確認や議論を行い、修正を行った。私達のチームは、新設されているメトロと連携した駐車場のサブスクで、メトロ区間分のバイクや車の量を減らせるという仮説を考えていたが、実際にハノイで生活している2人からは、そのような商品に魅力が無く、売れないだろうとの結論になった。ベトナムはバイク社会であり、公共交通に移行することはとても難しいということであった。そこで、私達は仮説を練り直し、観光客をターゲットとし、観光地間を結ぶ観光バスという商品を新たに考えた。タクシーで観光地を回っている交通をバスに集約すると交通量を減らせると考えたのである。この商品の価値を確認するために Google Forms を用いて観光客向けのアンケートを作成した。アンケートはベトナム語や英語で記入し、外国から来た観光客にも回答しやすいようにした。アンケートは外国人観光客が多く訪れる、旧市街付近にある Ngoc Son 寺院周辺で行った。結果、ヨーロッパやアジア、オセアニアなど幅広い国の観光客約40人から回答を得ることができた。

3.2 PBL の最終プレゼンテーション

アンケートを実施した後、収集したアンケート結果を基に、実現性や事業性を考慮しながら説明資料を作成した。そこでは、アンケートで得た観光客の要望や、WILLER さんの日本での実績のあるシステムとの関連も入れた。それらをまとめてスライドを作成し、最終日に WILLER VIETNAM の箱田様に提案をした。そこでは自分達で考えた5つの強み、即ち「音声ガイドシステム」「オンライン予約」

「安全性」「回数券の導入」「GPS の設置」の 5 つの「売り」を解説した。箱田様からの質問にも答えることができ、皆で夜遅くまで念入りに準備した甲斐があったが、悔しくも最優秀賞は獲得できなかつた。これまでに人前で発表する機会は何度もあったが、企業の方の前での発表は初めてで、しかも事業提案をしたことはなく、新鮮で緊張感のあるものであったが、他のチームの発表を聞く事も、とても有意義だった。PBL の多くの活動は、非常に実りのあるものになった。



写真 1 発表原稿作成の様子

3.3 多様な価値観や文化

PBL ではハノイ工業大学のキャンパスで、工業大の学生にもアンケートを行ったが、その際に、チームのベトナム人学生の 2 人が、授業中の教室に入っていたり、図書室で自習している学生に話しかけたりしていた。恐らく「邪魔したいという悪気はなく、必要だからお願いしているので、相手が迷惑だったら断ればいいだけ」という価値観で、日本人が気にする「悪く思われると嫌」という感覚は全く小さいようで、前向きな思考にカルチャーショックを受けた。

各自で夕飯を食べる機会が多くあり、日本とは異なるベトナムの食も楽しむことができた。フォーやベトナム炒飯、ブンチャといった、日本では味わうことのできない東南アジア特有の味を堪能できた。日本ではお店への信頼度が高いが、念のために使用前に皿や箸を紙で拭くという自己防衛も身に付いた。

4. おわりに

今回のプログラムを通じて、今まで経験したことのなかった海外の文化や食、雰囲気について知ることができた。特に学べたと思うことに英語があるが、自分の英語力の低さも痛感した。ハノイでの実習の最初の大学間交流の際には、代表として英語で大学の紹介にチャレンジしたが、たどたどしい英語になってしまっていたと反省した。それもあり、市街地に出た際には、英語を話すハノイ工業大学の 2 人に負けないよう、英語で話す努力ができた。外国の方のフレンドリーさを頼って、臆することなく気軽に話しかけることができるようになった。今回の活動の中で、副次的な収穫だが、外国の方とのコミュニケーションに少し慣れることができたので、英語力の強化を今後の課題としたい。



写真 2 発表会後の集合写真

このプログラムでは、自分の将来のことや、今までに経験のなかった海外の文化について触れることができ、とても重要な機会となった。メンバーと協力し合ってプレゼン資料を作成したり、外国人にアンケートのお願いをできたことで自信ももてた。この経験を今後の大学生活に活かして、新しい事に積極的にチャレンジしていきたいと思う。

このようなプログラムに参加できたことを有難く思い、ハノイ工業大学の皆さん、先生方、関係者の皆様に感謝する。貴重な経験をさせていただき、本当にありがとうございました。

RUBeC 演習に参加して

磯 智 貴

Tomoki ISO

機械工学・ロボティクスコース修士課程 1年

1. はじめに

2024年8月18日から9月2日までの期間、龍谷大学での留学プログラムの一つである「RUBeC 演習」に参加した。RUBeC 演習では、アメリカ合衆国カリフォルニア州バークレーにある Jodo Shinshu Center (RUBeC) にて行われた RUBeC 演習に参加し、活動内容としては、2週間の期間で1週目に英語論文の読み方・要旨の作り方を学び、2週目に自分自身の研究内容に関するプレゼンテーションの資料作りとその発表を行った。

2. プrezentationで発表した研究内容

私が発表した論文のタイトルは「A study on the aerodynamic characteristics of delta wing kites」であり、日本語に訳すと「デルタ翼凧の空力特性に関する研究」である。

まず、災害時の現場においてドローンによる空撮の代わりとして長時間撮影かつ軽量化を駆使できるような空撮システムの代表例として凧が挙げられており、凧の安定した飛行を実現するためには、凧の空力特性の研究が必要であるが、これに関する研究報告がこれまでにほとんど報告されていない。

そこで、本研究では空撮を安定して行うための凧の設計及び開発、形状・位置関係を工夫することで、飛行安定性に関して評価していくことを目指し、さらに簡単に安全かつ安定して空撮が出来る装置の開発を行うことを目的とし、図1に示すデルタ翼形状凧を用いた。

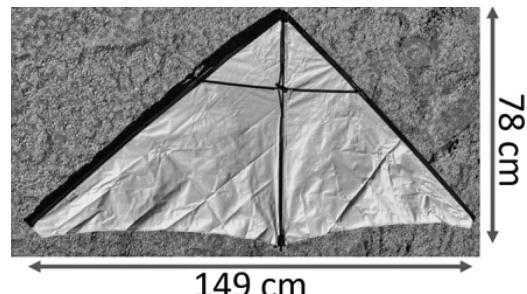


図1 デルタ翼形状凧

まず、凧の飛行安定性評価に関して説明していきます。凧の飛行安定性評価は図2に示す横軸に迎え角、縦軸にトルクを取ったグラフから評価をする事が出来る。

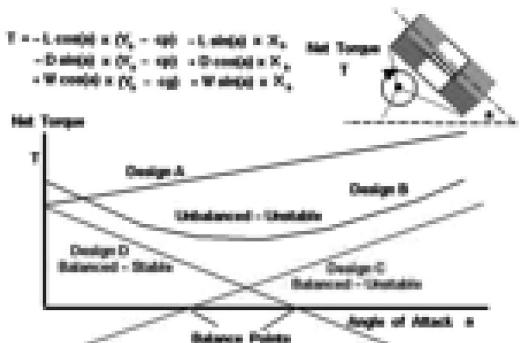


図2 凧のつり合いと安定性^[1]

ここで、凧の姿勢が安定する条件は、右下がり（負の傾き）のグラフであり、かつトルクの総和が0となる迎え角が存在することが条件として知られていることから、図2においてDesign Dとなる。一方、Design D以外のグラフに関しては、先述した条件を満たしていないことから、不安定の判断とみなす。

次に、ブリドルポイントに関して説明していきます。凧の飛行安定性を評価する上でブリドルポイントの位置が影響し、ブリドルポイントとは凧の回転の中心となる点である。また、ブリドルポイントの形状を図3に示し、ブリドルポイントにおける力は、支点からの距離が0によりトルクには影響しないが、ブリドルポイントの位置によってトルクに影

響することが知られている。併せて、ブリドルポイントの位置を (X_b, Y_b) とする。

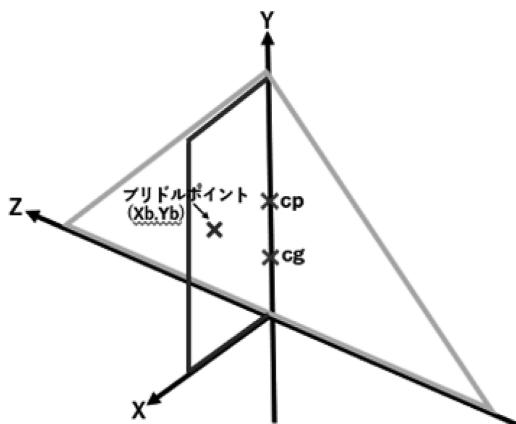


図3 ブリドルポイントの形状

最後に、ブリドルポイントの位置を変化させた場合の姿勢安定性を調べた。その結果を表1に示す。表1より、 X_b の値によらず、 Y_b の値が 0.40m 以上だと安定となることが明らかとなった。さらに、上記の結果を飛行実験により検証を試みた。その結果を表2に示す。この結果から X_b を 0.11~0.26 [m]、 Y_b を 0.60~0.70 [m] とした範囲で、安定性の傾向が表1に示す解析結果と近似することが分かった。

表1 解析結果

	Xb [m]				
	0.06	0.11	0.16	0.21	0.26
Yb [m]	0.3	○	△	△	△
	0.4	○	○	○	○
	0.5	○	○	○	○
	0.6	○	○	○	○
	0.7	○	○	○	○

表2 実験結果

	Xb [m]				
	0.06	0.11	0.16	0.21	0.26
Yb [m]	0.3	○	△	○	○
	0.4	△	○	△	○
	0.5	△	△	△	○
	0.6	△	○	○	○
	0.7	△	○	○	△

よって、表1及び表2に示す解析結果と実験結果から空撮を安定して行うためには、ブリドルポイントの位置を風の上部に設置した方が良く、下部に設置すると不安定になる傾向があることが分かった。

3. おわりに

今回の米国での授業を通して、日本とは違い、先生が英語で話しながら授業を進めていったので、少し発音が聞きづらかったところもあったが、ネイティブの発音を繰り返し聞いていくことで、耳慣れしていくことが出来、最終的に授業を重ねていくうちに、英語の発音が聞き取りやすくなっていたのだと実感出来たので、先生の英語での授業を体験しながら楽しんで受講することが出来たのでとても良い学習になったのだと思った。

また、今回は実際に現地の方の自宅を訪れてホームステイを体験する事が出来、ホームステイ先でも日本とは違った色々な事を体験し、具体的にはホームステイ先でしか味わえない料理を沢山堪能し、料理も日本では頂くことがあまりない珍しい料理も色々と出てきて、味も非常に美味しいだったのでとてもいい経験になったのだと思い、さらに、料理以外にも、ホームステイ先のホストと一緒に英語で会話を楽しむことが出来たりとホームステイでの生活を大いに体験することが出来、とても楽しかった。

参考文献

[1] NASA, Kite Balance and Stability

URL: <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/kitestab.html>

RUBeC 演習に参加して

小 熊 龍

Ryu OGUMA

機械工学・ロボティクスコース修士課程 1年

1. はじめに

本稿は 2024 年 8 月 18 日から 9 月 2 日にかけてカリフォルニア州バークレーで展開された「RUBeC 演習」に参加した報告である。

例年、RUBeC 演習は龍谷大学の北米拠点で開催されるようだが、今回はバークレーにある LSI という語学学校での開催となった。LSI の外観を図 1 に示す。



図 1 LSI (語学学校) の外観

2. 参加目的

RUBeC 演習は自分の研究について英語で発表する力をつけることを目的としている。このため本科目は国際学会で自身の研究内容を英語で発表する練習になると考えた。また、将来研究者として活動することを考えた際に、海外で研究発表をする経験をしたかったことも本科目に参加した理由である。

3. 演習の内容

2 週間ある期間の内、前半 1 週間は論文の要旨の構造について学び、後半 1 週間は自身の研究をプレゼンテーションする準備とその発表であった。

3.1 前半 1 週間の学習

はじめの 1 週間は、海外の論文の Abstract を読み、それがイントロダクション、目的、手法、結果、結論の 5 つのパートで構成されていることを学び、それぞれのパートが英語でどのような表現・書き方がされているかを学んだ。そして、自分たちが要旨を書く際にどのようなことに注意して書くとよいかについて教えてもらった。

また、要旨部分が隠された英字論文を読み、班に分かれて自分たちで要旨を作り上げる活動も行い、要旨が論文の要約であり、顔であることを体験した。

毎日の授業開始前には、講師の先生と参加学生で会話の練習を兼ねて前日の学習内容の振り返りをした。各学生が前日の学びで重要だと思ったことや、自身にとって新しい発見などを発表し、全員で共有した。こうした会話の機会は、英語で自分の意見を発信する練習になり、積極的に英語でコミュニケーションをとることができた。

講師の先生と会話している様子を図 2 に示す。



図 2 講師の先生と会話する様子

3.2 後半 1 週間での学習

後半の授業ではクリティカルライティングについて学んだ。相手に伝わる文章を書くにはどのような構成にすればよいかや、どのような内容を含めるべきかを主に扱った。ここで新たな学びであったのは、自身の主張についての反論を自分の論に組み込

むことである。あらかじめ予想される反論に対するさらなる反論を、自分の主張に盛り込むとよいと学んだ。

そして1週目に要旨の構造について学んだ知識を活用して、自身の研究内容の要約を作成した。この要約に基づいてプレゼンテーション資料を作成した。

資料は講師の先生と会話しながら添削を繰り返した。このとき、自分の研究内容について説明すると専門用語が出てくるため、それをどう異なる言葉で説明するか考えるよい経験になった。自分の知っている言葉で説明することで、言い換えの練習にもなったと感じている。

プレゼンテーションはパワーポイントを使用して自身の研究内容について5分間で発表するもので、講師の先生と相談しながら資料を作り上げて発表に臨んだ。

発表はバークレーにある浄土真宗センターで行われ、各人が発表したのち、2名が質問し、発表の良かった点と改善点について2名ないしは1名がフィードバックする形式で行われた。プレゼンテーションの様子を図3に示す。

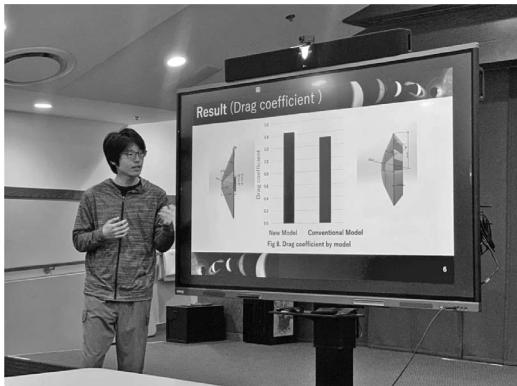


図3 プrezentationの様子

プレゼンテーション後、「研究の目的が明確であった」、「ゆっくりと話して聞き取りやすかった」、「わかりやすい単語で話してもらえて理解できた」

といった意見をもらうことができた。

3.3 アクティビティ

LSIでは水曜と金曜にアクティビティが開催されていた。アクティビティとは、現地の学生がサンフランシスコの観光地を案内するものである。

滞在期間中には、各開催日にフィッシャーマンズワーフ・ゴールデンゲートブリッジ・Museum of Craft and Design (MCD)・ケーブルカー博物館へ行くアクティビティが開催された。

私はその中でフィッシャーマンズワーフとゴールデンゲートブリッジに行くアクティビティに参加し、観光地に足を運ぶとともに、ケーブルカーやストリートカーといった現地の交通機関に乗る機会を得た。現地での買い物で店員と話した際には、そのスピードから時折聞き取れないときがあり、日本で聞いてきた英語のスピードに慣れてしまっていることを実感した。

4. ホームステイ先での生活

ホームステイ先はBARTのSouth San Francisco駅から徒歩20分のところで、Joanという長年学生を受け入れているホストマザーの家だった。

家からLSIまで1時間半程度であり、今回参加した学生の中で1,2番目に通学時間が長かった。朝は7時半に家を出て、帰りは6時半前の生活が続いた。

ホストマザーとのコミュニケーションはおおむねスムーズにでき、昔のサンフランシスコの話や、思い出話を聞くことができ、貴重な経験になった。

5. おわりに

RUBeC演習に参加し、自身の研究について英語で発表して、専門用語や研究発表で使える英語表現を学ぶことができ、とても有意義な経験ができた。この経験は将来の国際学会に向けた自信につながることと思う。

RUBeC 演習を終えて

杉 本 将 佑

Shosuke SUGIMOTO

機械工学・ロボティクスコース修士課程 1年

1. はじめに

8月17日から9月2日で留学プログラムであるRUBeC 演習に参加した。RUBeC 演習にて受講した英語の授業はアメリカ合衆国カリフォルニア州バークレーにある LSI というインターナショナルスクールにて活動を行い、2週目の終盤にある自身の研究の英語でのプレゼンテーションを目標にし、英語学習に取り組んだ。

2. 参加目的

私が RUBeC 演習に参加した理由は、将来、海外の方と一緒に仕事をする機会などがある可能性があると思ったからである。また、ホームステイなどを通して、海外の人と関わったり、他の文化に触れることで、自分の価値観や考え方など何か心動かされることがあるのではないかと考え、参加した。

3. 授業内容

3.1 英会話を重視した時間

毎授業の30から40分、現地の先生と会話する、いわゆる英会話の時間が設けられた。それにより、ある質問に対して自分の言いたいことを英語にするということに対して緊張はしたもの少しづつ慣れることができた気がした。また、ジェスチャーしたり、ゆっくり話すことで伝わりやすくなつたと感じた。その経験から必死に伝えようとする姿勢が大切であると感じた。

3.2 英語の論文の読み方

前半の1週間はいくつかの論文のアブストラクトを読み、論文のなかのどの文の内容をキーワードおよびキーセンテンスとし、アブストラクトが書かれ

ているかをつかみ、アブストラクトの書き方を理解するといった内容、また、論文を読み、その内容を理解し、実際にアブストラクトを学んだ書き方に沿い、書いてみるといった内容の授業だった。論文の内容を重要な内容を抜粋し、簡潔にまとめるのがアブストラクトの書き方において重要であるということがわかった。



図 1 現地の講師から指導を受けている様子

3.3 プrezentationの準備および発表

後半の1週間はプレゼンテーションの準備と発表だった。まず、良いプレゼンテーションの仕方を学び、それを実践する練習をした。次に、自身の研究について英語でプレゼンテーションするためのスライド作成を始めた。そこでは、先生からスライドには文ではなく、キーワードだけを書くなどで「理解しやすいスライド」をアドバイスされた結果、わかりやすいスライドに仕上がったと感じた。

英語での発表では、言葉つまる部分が多々あったものの、最後の内容まで説明でき、安堵感があった。また、他の学生の発表に対しての質問・評価をすることが要求された。質問の内容が浮かびにくかったところもあったが、質問や評価を英語でできることが良かつたと感じるし、海外で行われる学会ではあたりまえのように英語で発表し、英語で質問され、英語で返すことが行われるため、その模

擬練習のようなことが行えるのは貴重な経験だったと感じた。



図2 プレゼン後の現地講師との写真

4. ホームステイ先での生活

ホームステイで一番心配であった点は自分がお世話になるホストファミリーと良好な関係を築けるかでした。そのためには英語でのコミュニケーションがもちろん必要だと思った。まず、お世話になる初日、お会いしたときから、明るく歓迎してくれて、質問など多くしてくれ、自分のことを知ろうしてくれた。また、ホストファミリーが用意してくれた料理はとても美味しかった。作ってくれたたくさんの料理のなかでも、ホットドッグが一番美味しく、今まで食べたホットドッグのなかで一番美味く感じた。また、ホストファミリーの家の犬と触れ合う時間もあり、その犬は家の中を駆け回る元気な犬だったが、とても愛おしく、気持ちが和んだ。

温厚に日々接してくれたホストファミリー、犬がいたからこそ、このRUBeC演習は自分の中で成功しただと感じるため、感謝でしかない。

5. 観光地巡り

日々の授業は午前中で終わるため、午後は観光地などを巡る時間に当てることができた。

ゴールデンゲートヴィリッジやピア39やユニオンスクエアなどの観光地を巡ることができた。

ゴールデンゲートヴィリッジは天気が悪い日にいたものの迫力満天で感動した。橋を渡ったが、とても橋が長く半分くらいで折り返した。それくらい長さもあり、驚いた。

ピア39では有名なパンの器の中に入ったクラムチャウダーを食べることができて良かったし、とても美味しかった。

6. まとめ

今回参加したRUBeC演習は8月17日から9月2日の短い期間ではあったが、とても楽しく、学べることも多かったと感じた。また、貴重な経験となったと感じた。

特に、現地で受講した授業はオールイングリッシュで頭の使う授業で非常にエネルギーを使ったが、資料の作り方、プレゼンの仕方、英語論文の読み方、英会話など多くのことが学べ、非常に貴重な経験となり、良かったと感じた。

このRUBeC演習を通して、英語をもっと学んでいきたいという向上心が生まれた。また、その向上心を大切に、英語を日々勉強していき、英語のスキルアップにつなげていきたいと思った。そのスキルを海外の学会発表や日本で見かける外国人との道案内などそのスキルがさまざまな人々のために活かされたら良いと感じた。

RUBeC 演習を終えて

鈴木 翔太
Shota SUZUKI

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、2023年8月18日から9月2日までの16日間、龍谷大学の留学プログラムのうちの1つである「RUBeC 演習」に参加した。RUBeC 演習では、アメリカ合衆国カリフォルニア州にある Ryukoku University Berkeley Center (RUBeC) にて行われたRUBeC 演習に参加した。2週間という期間の中での主な活動内容としては、論文の要旨の作成方法やプレゼンテーションについて、LSI Berkeley (English language school) で平日の8日間は学びつつ、LSI の学生によるアクティビティなどがあった。そして、最終的にRUBeCにおいて自身の研究に関するプレゼンテーションを英語で行った。最終日にはセレブレーションセレモニーとして、卒業証書の授与やパーティーが行われた。

また、今回の演習では、ホームステイ先に宿泊したため、ホストファミリーの方々との英語でのコミュニケーションを通して、自身の英語力の乏しさを痛感とともに、日が経つにつれて徐々に英語力が向上していることが実感できた。この2週間という短い期間の中で、アメリカの文化を大いに感じることができた。

2. 講義およびプレゼンテーションについて

2.1 講義

RUBeC 演習における講義では、1週目では主に論文の要旨の作成方法に関する講義を受講した。英語の場合の論文や要旨の構成に関する講義や、実際に英語の論文を読み、グループに分かれてそれぞれ考えて抜粋し、作成した要旨を発表するなど行った。また、講義は午前で終了し、課題も与えられなかったため、午後は LSI の近辺にあるカリフォル

ニア州サンフランシスコやオークランドなどにおいて観光を行う生徒が大半だったため、「前日の午後は何をしたか」について先生と英語で軽く会話をする練習も行った。



図1 講義の様子

2.2 プrezentation

RUBeC 演習の2週目では、実際に発表するため自身の研究について要旨を作成し、発表に使用するためのパワーポイントの作成などを行った。発表は5分程度にまとめる必要があったため、適切なパワーポイントの文字の量や、使用する図、さらには分かりやすくするための言い回しの変更など、日本語での論文作成などにも直結する指導内容であったため、今後の卒業論文の作成においても大きな糧となるのではないかと感じた。

そして、演習12日目にあたる8月29日にはRUBeCにおいて発表を行った。適切なジェスチャーの使用や、聴衆全体へのアイコンタクト、はきはきとした大きな口での発音など、プレゼンテーションにおける重要なスキルを習得することができた。これは日本での論文発表や学会発表においても役立つのではないかと感じた。



図2 プレゼンテーション発表の様子

2.3 アクティビティ

毎週水曜日と金曜日には、LSI の学生がガイドを務め、サンフランシスコの観光地を巡る「アクティビティ」が行われた。最初の水曜日はフィッシャーマンズワーフやケーブルカーの乗車など、金曜日はゴールデンゲートブリッジ、2週目の水曜日は近代アート美術館、金曜日はケーブルカー博物館を観光した。このアクティビティを通して、アメリカの文化の一端に触れるとともに、現地の学生と会話をすることで英語力の向上に役立った。



図3 アクティビティ

ゴールデンゲートブリッジの 1/3 を歩いて渡った。

3. ホームステイ先での生活

2週間のアメリカ生活の宿泊先はホームステイであった。当然英語しか通じないわけだが、私は返事を短い文章や単語で返すことは出来たとしても、ほとんど聞き取ることができなかつたため、会話がなかなかかみ合はず、非常に難しい試練だった。しかし、ホストファミリーがゆっくりとしたスピードで言い直してくださいたことや、一緒に同居していた友人の手助けもあってなんとかコミュニケーションをとることができた。朝食の時間や夕食の時間などに積極的に会話をしてくれたため、徐々に英語力は向上したのではないかと思う。

この経験を通じて、厳しい言語の壁があったとしても、キーとなる単語を聞き取り、それに対応する文章や単語をある程度話すことができれば意味が通じ、コミュニケーションをとることが可能であることがわかった。

4. まとめ

今回の RUBeC 演習における 2 週間の短期留学は、短いながらも非常に素晴らしい経験となった。今回が初めての海外であったため、渡米前は、言語の壁や文化の違いなどに対して非常に怯えていたが、この経験を通してその不安がすべて楽しみに変わり、他の国にも行ってみたいと思うようになった。

RUBeC 演習を終えて

出 島 韶

Hibiki DEJIMA

機械工学・ロボティクスコース修士課程 1年

1. 緒言

2024年8月18日から9月2日までの期間、龍谷大学の留学プログラムの一つである「RUBeC 演習」に参加した。RUBeC 演習では、約2週間にわたりアメリカ合衆国カリフォルニア州バークレーにあるLSI (Language Studies International) Berkeley で授業を受けた。活動内容としては、アブストラクトとプレゼンテーションがあり、授業後にはアクティビティといったガイドの方と観光名所を回る活動があった。

2. 参加目的

私がこのプログラムに参加した主な理由は、言葉の通じない体験したことのない環境での生活は、自立心や問題解決能力を高め、自分自身の成長につながると考えたからである。また、異なる文化や習慣に触ることで、視野が広がり、柔軟な考え方方が身につき、ホームステイなどを通して、異なる言語での対人スキルなども身に着けることにより、今後の研究や社会人になってから活かすことができ、必ず自分の役に立つと考えたからである。

3. 活動内容

3.1 講義内容

講義では、主にアブストラクトについての授業を行った。まず、アブストラクトなどの短い文章を読んで、文の構成を学び、日にちがたつにつれてアブストラクトがない論文を読んで、自分たちでアブストラクトを作り出すという講義を行っていた。この講義からは、アブストラクトの基本的な書き方や、キーワードやキーフレーズの見つけ出し方など、今後の研究や論文の執筆などに活かせるようなスキル

を身に着けることができた。

3.2 プレゼンテーション

プレゼンテーションの授業では、自分の研究内容を英語で作成したパワーポイントを発表する授業となっている。この授業からは、基本的なプレゼンのテクニックのほかに、英語の発音、適切なジェスチャー、抑揚をつけて話すなどのスキルを身に着けることができた。また、聴衆の関心をひきつけるために、ジョークを交えること、また、1枚のスライドからなるべく文字を減らしシンプルにすることにより、より良い資料を作成できるということも学ぶことができた。私は英語があまり得意ではなかったこともあり、専門用語は避け、簡単な表現で話すことにより、聞いている人にもわかりやすい資料を作成した。また、自分がわかる範囲の簡単な表現を使うことにより、プレゼンの話す内容を覚えていなくても資料を見てその場で文を組み立てることができ、自分の成長にもつながったと感じている。

この講義で学んだことは、日本でのプレゼンテーションにも活かせることが多いと感じた。特に、スライドの作り方、話し方、ジェスチャーなど今まで自分が意識していなかったことである。この講義からは今後必ず必要になってくるスキルを身に着けることができたので、注意しつつスライドの作成や発表できるよう心がけたいと思う。



図1 プレゼンテーションの様子

4. アクティビティ

アクティビティとは、1週目と2週目の水曜日と金曜日の午前中の授業が終わった後にガイドの方に案内をしてもらい、観光をしに行くといったプログラムである。そのプログラムでは、1週目の水曜日にはフィッシャーマンズワーフ、金曜日にはゴールデンゲートブリッジ、2週目の水曜日には美術館、金曜日にはケーブルカーミュージアムなどを訪問することができた。ガイドの方とのコミュニケーションや自分たちだけではできなかつた様な体験ができた。

アクティビティを通じて、現地の人々が普段どのように周囲の人々とコミュニケーションを取っているかを間近で観察でき、新しい視野を広げる素晴らしい機会となった。



図2 アクティビティの様子

5. ホームステイ先での生活

ホームステイ先での生活では、なかなかホストマーとのコミュニケーションが上手くいかなかつ

た。なぜなら、リスニングができるスピーチングが上手くいかず、そもそもリスニングができるいなく、話がかみ合わないこともあった。また、発音についても苦労しており、特に車のメーカーであるシボレー (chevrolet) はまったく通じず、焦っていた覚えがある。しかし、シボレーが何かわかった瞬間、ホストマザーが発音の仕方など熱心に教えてくれ、私の英語スキルの向上に役立ったと感じる。

ホストマザーは非常に温かく料理上手で毎晩手の混んだ料理を提供してくれた。特に印象に残っているのは、日本が恋しいのではないかと心配して日本食のカレーライスやお好み焼きを出してくれるなどの心遣いには非常に感激した。この経験を通じて、私は単に英語を学ぶことだけでなく、ホストマザーの温かさに触れることで、相手のことを思いやる大切さを学び、人間としても成長することができたと感じる。

6. 結言

今回のアメリカへの短期留学は、2週間という非常に短い期間でありながらも、私にとってはいい経験になり、人間としての成長を促す素晴らしい留学になったと思う。また、全体として異なる言語での対人スキルやコミュニケーション能力なども身に着けられ、自分に自信が持てるようになったと感じた。特に、ホームステイを通じて体験したことのない環境での生活や異なる文化や習慣に触れることで、自立心や問題解決能力を高め、視野が広がり、柔軟な考え方方が身についたと感じる。

この経験から、自分の中で抱いていた海外での生活や異文化に対する偏見が軽減された。今後、仕事などでこの経験を活かし、海外でも活躍してみたいという気持ちが高まった。

RUBeC 演習に参加して

長谷川 航 大

Kodai HASEGAWA

機械工学・ロボティクスコース修士課程 1年

1. はじめに

2024年8月18日から9月2日までの期間、龍谷大学の留学プログラムの一環である「RUBeC 演習」に参加した。この演習では、アメリカ合衆国カリフォルニア州にある LSI Berkeley 「English language school」にて2週間の期間ライティングやアブストラクト、プレゼンテーションを学習した。

2. 目的

私がこのプログラムに参加しようと決めたきっかけは、「挑戦力」を身に着けたいと考えたからだ。会社説明会やインターンなどで「挑戦すること」を大切にしている企業がたくさんあることを知り、私も社会に出る前に挑戦する力を身に着けることで、行動力の向上や自分に自信をつけることのできる良い機会になるとを考えたからである。またホームステイ先での一人での生活や、アメリカ文化や言語の違いがどれほど通用し、成長することができるかという思いから参加を決意した。

3. 授業内容とアクティビティ

3.1 授業内容

授業内容は前半一週間と後半一週間で違う内容で進められ、二週間 Beth 先生に授業を担当してもらった。主に前半では用意された英語の論文の文脈が何を意味しているかという穴埋め問題形式のものが提出された。ここでは実際の論文を introduction や result 等の文脈で段落付けすることで英語の長文読解の向上につながるものであったと考える。また後半におけるプレゼンテーションを考える際にも作りやすくなつた印象を受けた。

3.1.1 プrezentation

プレゼンテーションでは、自身の研究内容を英語で作成し、5分間の資料をパワーポイントで作った。

プレゼンテーションでは、いかに分かりやすくスライドを作成するかという点と大きなジェスチャーや声の大きさ、スピード等を気にして発表する点が難しく感じた。日本での発表と類似するところは多々あると思うが、実際に英語での発表となると分かりやすいジェスチャーや聞く側に対しての訴え方などの優先順位が高いように感じた。またほかの発表者を見ていた時に視覚で訴えるようなスライドは、先生にも好評であり、堅苦しい感じとは逆にポップな表現が受け入れられるのは文化の違いを感じた点であった。



図1 発表終了後の全体写真

3.2 アクティビティ

毎週水曜日と金曜日はガイドの Nara さんとサンフランシスコの名所を案内してもらい英語に自然と触れ合う事を目的としたアクティビティがあり、英語での説明や質問など自然に英語に触れあえると思い積極的に参加した。一日目は、フィッシャーマンズマンズワーフに行き、サンフランシスコのお土産や野生のアシカの群れを見ることができた。Nara さんには、おすすめのお土産を英語で質問し、帰りに乗車したケーブルカーでは職員さんが陽気な方たちで英語での会話をすることが出来た。自然に英語

に触れ合う良い経験になった。

金曜日のアクティビティでは、ゴールデンゲートブリッジに行きゴールデンゲートブリッジの半分までを歩くプランであった。橋上ではサイクリングする人や歩いている人は多くいた。またゴールデンゲートブリッジから見ることのできるアルカトラズ島の話を Nara さんから聞くことができ、三人の脱獄犯の話を聞くことができた。友達に通訳してもらうところもあったが、積極的に話し質問できただことがうれしく、目標どおり行うことが出来き、少し自信につながった。



図2 ゴールデンゲートブリッジを歩いた時の様子

4. ホームステイでの生活

私は、これまでの英語を学んできた事がどこまで通用するかの試練であると考え臨んだ。特に最初は聞き返すことや、簡単な英語で説明してもらうことが多く、自分の話したいことも話せないことが多かったが、家族と打ち解けて行くごとに英語の聞き取る能力は向上していったと思えた。

一つの理由に、私のホームステイの家族には男子の兄弟がおり土曜日の予定を話していた時、私がお土産を買いに行きたいと話をすると出かける用があ

るからゴールデンゲートブリッジパークまで車に乗せてもらうことができた。ホームステイ先の家族とコミュニケーションが取れたという実感と認めてもらえたような嬉しさを感じることができた。

ホームステイでの生活は私にとって大きな価値となり自信を与えてもらうことができたと思う。

またアメリカと日本との文化の違いについて気づく点が多かった。アメリカでは「Lyft」や「Uber」などの個人タクシーが盛んであり、実際利用する場面も多く車社会特有の文化を感じることができた。



図3 ホームステイ家族との写真

5. まとめ

この2週間の留学は短かかったと思われるかもしれないが、私にとって大きな一歩であったと確信している。話すことや伝えることの大切さを実感できた。また目標であった「挑戦力」はホームステイでの生活やアメリカでの買い物、公共交通機関の利用など何気ないことから成長させてくれたと思う。

また車や雑貨など日本の物が多くあり、日本のモノ作りは世界も見据えて行われているということを実感でき、工学を学ぶものとして良い刺激を受けた。

RUBeC 演習に参加して

原 口 勇 斗

Yuto HARAGUCHI

機械工学・ロボティクスコース修士課程 1年

1. はじめに

2024年8月18日から9月2日の期間、RUBeC 演習に参加した。この演習は先端理工学研究科の修士課程学生を対象とした龍谷大学の短期留学プログラムの一つである。アメリカのカリフォルニア州にある JodoShinsyu Center で活動を行った。活動内容は2週間の期間、LSI (English language school) で英語を用いたプレゼンの作り方について学び、最終日にその成果について発表した。また、滞在中はホームステイでの宿泊を行った。

2. 参加目的

この演習に参加した参加した主な目的は今後の進路で今よりも多くの場面で英語が必要だと感じたからである。私は将来、現在の研究分野で博士課程への進学を考えている。その場合、英会話や英語の読み書きができることで有利になると考えた。論文の執筆はもちろんであるが、海外での学会発表や外国人研究者とのコミュニケーションが円滑になることも大事である。本プログラムは理工系の修士を対象としているためこのような動機を満足すると考えた。

3. LSI での活動

3.1 主な講義内容

LSI での講義は終始プレゼンの作り方についてであった。最初の1週間は論文の読み方について学び英語でプレゼンテーションをするための基礎を習得した。それ以降はプレゼンテーションのためのパワーポイントを作成した。講義は基本的に英語のみで会話をした。また、授業の最初にカンバセーションがあり英会話の習得の役に立った。またアクテ

ィビティと称して観光地に赴く課外授業が実施された。

3.2 テクニカルライティング

全体的な講義の内容は論文の読み方についてであった。論文の構成は Introduction, Purpose, Method, Results, Conclusion に分けることができ、それらが重要な役割をしていると先生は言っていた。最初の1週間では論文の構成を理解するために先生が用意したプリントを用いて演習を行った。論文の要素を象徴するキーワードを見つけることで筆者の主張したい内容について理解することが目的である。この演習を取り組むまで私は英語の論文を読んだ際、漠然と読んできた文章が着眼点を変えることで劇的に読みやすくなることに気づいた。また、ここで学んだ内容は日本語の論文でも共通するところが多くあり、言語が異なっていても必要な要素が変わらないことに気づいた。

3.3 レクリエーション

講義には学術的な論文を読むだけでなく、英会話を鍛えるものもあった。講義の開始時点で毎回、先日の出来事など個人的なイベントをクラスで共有したり、お題に対してクラスメイトと討論などを行った。自分が話したい内容を実際に口にて相手に伝えることは英会話を修得するにあたって一番の成功体験になったと感じた。また、会話中にわからないものや発音ができていないことによって伝わらない単語に気づくことができ今後の学習の参考になった。その他に会話中に感じた点として、日本でよく使用されている和製英語が通じなかったことである。原因は発音がカタカナと実際とで大きく異なっていたからである。私はその時「Theme」という単語を話そうとしたが、和製英語では「テーマ」と発音すると思う。しかし実際は「スィーム」に近い発音をするため通じなかった。このような気づくことができるのはネイティブスピーカーと会話することの利点だと感じた。

3.4 プレゼンテーション



図1 発表の様子

授業の終盤で自身の研究内容を題材とした発表を行った。発表資料の作成は今まで取り組んできた授業の内容を参考に現地の先生と相談しながら作成した。研究内容の説明は日本語でも難しく感じるが、英語ではより一層感じた。発表は現地の専門分野について一切知らない相手に行うため、より簡潔にわかりやすく伝えることが重要だと感じた。発表本番では発表のみでなく質問に回答する必要がある。私が答えられるかは重要だが、相手に質問してもらえる発表がやはり大切だと感じた。また、自身の発表だけでなくクラスメンバーの発表を聞くことで英語で発表する際の表情やジェスチャーなどの工

夫や発音、文章の区切り方などを参考にすることができた。

4. ホームステイ

ホームステイ先は LSI や RUBeC から少し離れたオークランドという地域であった。こちらでは自分を含めて 5 人の学生がお世話になった。ホストマザーは親切な方で生活するうえで必要なことについて丁寧に教えてくれた。ホストマザーとは生活の事務的な会話をはじめ、食事中やすれ違いざまの簡単なコミュニケーションを行った。また、LSI から距離があるため電車とバスを利用して通学した。これらの経験からこの地で生きるために必要な力について少し気づくことができた。

5. まとめ

初めて海外に行ったこともあり今回の演習より、海外へ行くこと自体が不安である状態であった。だが、この演習を終えた今では不安の大部分は解消されたと感じている。2週間と短い期間であったため英会話が急激に上達したわけではないが、自分が発した言葉が通じた経験は英会話において重要だと思う。今後、海外での学会発表などで困難な場面に直面した時や不安を抱いた時に今回の経験を思い出すことで乗り越えていけると考えている。

RUBeC 演習参加報告書

村 井 隼 人

Hayato MURAI

機械工学・ロボティクスコース修士課程 1年

1. はじめに

2024年8月18日から9月1日の期間に、龍谷大学の留学プログラムの1つである「RUBeC 演習」に参加した。RUBeC 演習では、一般家庭にホームステイしながらアメリカ合衆国カリフォルニア州バークリーにある語学学校の「LSI」で英語の講義を受け、龍谷大学の海外拠点の「RUBeC」にて自習や発表等を行った。講義内容としては、英語の論文を読み英語で要旨を書き上げるロジカルライティング、ロジカルアーギュメント、プレゼンテーション、スピーキングを学習した。

2. 参加目的

私がこの留学プログラムに参加した目的は、グローバル化が進んだ今日において、異なる文化や価値観を肌で感じ、より柔軟な視野を持つことで自分自身を成長させることが重要だと考えたからである。また、2週間の現地生活やホームステイでの交流を通して実践的な英語を知ることで、対人スキルをより成長させる機会となると考えたからである。

3. 講義内容

3.1 講義概要

LSIでの講義は、平日の9時10分から10時50分と11時10分から12時50分の2コマであり、講義に入る前には簡単なアクティビティとして英会話をすることもあった。主な講義内容としては、ロジカルライティング、ロジカルアーギュメント、プレゼンテーションの3つであり、2, 3人のグループワークが多かった。



図1 講義中の様子

3.2 講義内容

まずは、要旨の構成を学び、英語論文から要旨を自力で書く事に取り組んだ。要旨はその論文の紹介という役割も持つ為、簡潔さと詳細のバランスをグループや先生と英語で相談しながら吟味した。

次に、自身の主張を理由と反論を交えて説明する文章をつくり、皆の前で発表した。文章は日本語で考えたものをそのまま翻訳するより、簡単な英語を使って書く方がより伝わりやすいことが分かった。また、発表ではジェスチャー、声の大きさや抑揚、視線なども意識する必要があり、バランス良くこなすには練習が必要である為、プレゼンテーションの準備に役立った。

3.3 プrezentation

最後に、これまで学んだことを活かして自身の研究についてPowerPointを用いて5分間のプレゼンテーションを行った。聴衆が理解しやすいよう、極力専門用語を省いた原稿をつくり、発表スライドは文字の大きさや矢印で関係性を表し、2, 3色で色分けするなど、視覚的に理解しやすいスライドを心がけた。他の発表者の批評も行ったが、「but」から始めず、どうすればより良い、とポジティブに伝えるよう繰り返し教わった。発表者を萎縮させる要因となるためであり、普段のゼミでも意識することにより有意義な議論の場にできると感じた。

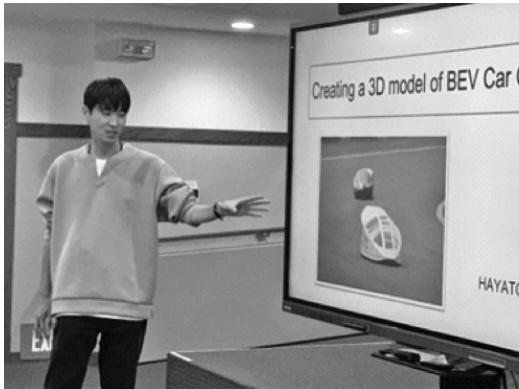


図2 プレゼンテーションの様子

4. 現地での生活

ホームステイ先での生活は、苦労もあったが充実したものであった。特に苦労したのが受け答えである。例えば、「You need not dinner, right?」と聞かれた時、日本語では「はい、必要ありません」と答える為、「Yes, I need not.」と咄嗟に答えてしまい、ホストマザーを混乱させてしまったことがあった。日常生活の中では咄嗟の判断が求められる場面も多く、英語特有の言い回しも多いため、日本語から訳すことは不適切な場合もあり、英語特有の表現を学ぶことが自身の成長につながると感じた。

5. オンタリオまでの一人旅

帰国前日の休日を利用して、サンフランシスコから国内線で1時間半ほどのオンタリオにある航空博物館「Planes Of Fame (POF)」を訪れた。この博物館は、第二次世界大戦で使用された航空機をはじめ、多数の歴史的な航空機が動態保存されていることで有名である。博物館では、売店の店員さんや博物館のスタッフと積極的に話し、航空機の紹介やどのような歴史をたどってきたのかを聞いた。すべてを理解できた訳ではないが、相槌をうち表情で反応し、簡単な質問や意見を述べて会話を続けることができた。また、エアレース界で伝説的な存在のスティー

ブ・ヒントン館長と幸運にもお会いした際に「I'm glad to meet you.」と咄嗟に挨拶できた。このように、英語でコミュニケーションが取れた事はとても喜ばしかったが、文を組み立て過ぎると会話のテンポが悪くなると感じた。さらに、自身の語彙が足りず思うように質問できなかったことや、発音が悪かったり考えながら話した為に声が小さくなり、会話がかみ合わなかったりした。しかし、最低でも相手が何を言っているかを理解することができれば、コミュニケーションは可能であると強く感じた。そして、この経験が更に英語を学びたいと強く思うきっかけとなった。



図3 POF に保存されている日本の戦闘機「雷電」

6. まとめ

RUBeC 演習を通して、英文の作成技術や英語でのトークやプレゼンスキルを学び、ホームステイや国内線を利用した一人旅では、異なる文化とはどういうものかを肌で感じた。積極的な行動で多くの人々と交流でき、日本とは異なった考え方や社交的なふるまいを体験し、異文化理解とは何かを口だけでなく体験を持って理解することができたと思う。また、うまくコミュニケーションが取れず悔しい思いをしたことをバネとして、さらなる英語力の向上に努めたい。

「RUBeC 演習」を終えて

村 上 悠

Yu MURAKAMI

機械工学・ロボティクスコース修士課程 1年

1. はじめに

2024年8月18日から9月2日までの期間に開催された龍谷大学留学プログラムの一つである「RUBeC 演習」に参加した。RUBeC 演習はアメリカ合衆国カリフォルニア州にある本学の海外拠点で、英語論文の作成や国際会議での発表を可能とする程度の英語スキル習得を目的としたプログラムである。

2. 目的

私は本プログラムを通して、国際会議の参加を見据えた英語でのプレゼンテーションが出来る程度のスピーチング、リスニング能力の習得を目的とした。また、海外での生活を通してその土地の文化や風土を学び、自身の知見を広げることも目的として本プログラムに参加した。

3. 講義

3.1 講義内容

平日の午前中はバークレーにある語学学校にて英語での講義を受けた。講義内容は、1週目は主に論文の構成や執筆に関する講義を多く行った。特にabstractに関する講義が多く、論文内の情報から自分たちでabstractを書くなどして、論文内の必要な情報を抜き出す、まとめる力を身に着けた。英論文については自身の研究活動で読む機会が多くあるため、重要な情報を的確に見つける力を身に付けられたことは非常に大きな成果であると感じている。

2週目はプレゼンテーションに関する講義を中心に行った。プレゼンテーションのintroductionとbody, conclusionに関して、自身の研究を題材としてパワーポイントを作成しながら講義が進められ

た。パワーポイントは講師に添削してもらいながら作成を行ったが、特に1スライドにおける情報を増やしすぎないように、というアドバイスを多く頂いた。またintroductionの組み立て方も、単純に背景や目的を述べるのではなく、問題提起をしたりストーリーを作ったりと、相手を惹きつけるような手法も学ぶことができ、非常に有意義な講義であった。



図1 講義の様子

また、毎講義前には前日の授業の感想や出来事などを話す、簡単なアクティビティを行った。はじめは文を書き出して、それを読み上げる事しかできなかつたが、回数を重ねることで書き出す量が減り、メモ程度でも頭の中で文章を作りながら発表できるようになった。

講師との質疑応答や会話の中で難しいと感じたことは、発音や単語のアクセントの違いで伝わらないことがあったことだ。単語は知っていてもアクセントとセットで覚えることをしていなかったため、今回の経験で正しい発音とアクセントまで覚える必要があることが分かった。

3.2 プrezentation

講義最終日には自身の研究に関して5分程度のプレゼンテーションを行った。今回のプレゼンテーションでは分かりやすさを重視し、専門的な英語をなるべく避け、皆に伝わるプレゼンを心掛けた。スライド資料に関しても情報を入れすぎないようにする

ことを心掛けた。また、スライドだけでなく、発表の仕方や発表時の態度なども気を付けて発表を行った。例えばアイコンタクトや抑揚をつけて発表、ジェスチャーなどを交えてプレゼンを行った。特にアイコンタクトに関しては、発表内容をある程度暗記することで常に視線を上げたままでいられるようにした。2週間のアメリカでの生活もあってか、事前に発表原稿を覚えることなく、その場で文を作り、発表が出来るようになっており、英語力の向上を感じることが出来た。



図2 プレゼンテーションの様子

4. 現地インストラクターによるアクティビティ

毎週水、金曜日には現地インストラクターによるサンフランシスコ市内のガイドがあり、名所を観光しながらその土地や建物の文化などを学ぶことが出来た。また、インストラクターとは年齢が同じであったので会話もしやすく、英語で会話する機会を多く得ることが出来た。講師との授業での会話とは違い、より日常的かつ実践的な会話が多かったため、会話のテンポが早く、苦労することが多かったが非

常に良い経験となった。

5. ホームステイ先での生活

RUBeC 演習中最も会話をしたのがホームステイ先のホストマザーであった。始めこそコミュニケーションをとるのに苦労したが、日を重ねるごとに会話も多くなりスムーズなやり取りができるようになった。最終的には、料理のレシピや材料の名前を教わるなど、自身の趣味に関連した会話が不自由なく出来るようになっていた。これほど短期間で会話ができるようになったのはホストマザーが私たちの言語習得に非常に協力的であったからだ。なるべく分かりやすい単語で会話してくれていたことや、文法の指摘などを頂いたことで良いコミュニケーションが出来るようになった。

6. おわりに

本プログラムを通して、自身の英語スキルの向上や異国の文化等を多く学ぶことができ、非常に有意義な2週間であった。特に本プログラムに参加した最大の目的である、国際学会参加を見据えた英語でのプレゼンスキルの習得については、実際にプレゼンを行うことで現時点での自身の能力や今後の課題を見つけることができ、完璧とは言えずとも、十分に達成できたと考えている。

また、アメリカでの生活を通して、日本との文化の違いや人との距離感の違いなどを肌で感じることが出来た。特に人との距離感については、フレンドリーな方が多く、見知らぬ人とも会話をしたりすることが多かった。英語を学ぶ身としては会話をする機会が多く得られたので非常に良い経験であった。

今後は本プログラムでの経験を活かして国際学会への参加を目指し、より一層の努力を行っていく。

RUBeC 演習について

森 田 峻 登
Shunto MORITA

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、8/18（日）から9/2（月）の二週間で、アメリカ合衆国カリフォルニア州で行われたRUBeC演習に参加した。カリフォルニア州バークレーにあるLSIと呼ばれる学校で約二週間にわたって英語の論文の読み方、英語でのプレゼンテーションについて学習した。そして、最終日にはJodo Shinshu Centerにて英語でのプレゼンテーションを行った。また、現地の大学訪問を行った。滞在中はホームステイをした。今回は、私がRUBeC演習で経験したことについて報告する。

2. 授業

授業は月曜から金曜の午前中に行われた。二週間の授業の内、前半の8/19（月）から23（金）の授業では主に英語の論文読解、Abstractの作成方法、プレゼンテーションの方法について学習した。後半の8/26（月）から30（金）の授業では、各自の研究内容について英語でプレゼンテーションを行うための発表資料の作成を行った。授業は全て英語で行われるため戸惑うことが多かった。しかし、他にも同じくRUBeC演習で参加している生徒がいるため、理解できなかった時には頼ることができた。

基本的に授業で課題が出ることがなかったため、午後は自由にサンフランシスコやバークレーを散策することができた。私が行ったときは、毎週水曜日と金曜日の放課後に現地の方がサンフランシスコの観光案内をしてくれるactivityがあった。そのため、様々なサンフランシスコの有名な観光地に行くことができた。

2.1 8/19（月）から23（金）の授業内容について

8/19（月）から23（金）の授業は主に英語でAbstractを書く練習とプレゼンテーションの発表資料の作り方、発表方法について学んだ。Abstractを書く練習では、論文を読む読者が理解できるようにAbstractにキーワードを入れること、またどういったキーワードが用いられるかについて学んだ。最後には渡された論文のAbstractを各グループで作成し発表した。この授業により、英語の論文を書く際に必要な知識を身に着けることができた。また、読むときに注目するワードを知ることができた。

プレゼンテーションについての授業では、発表資料の構成や発表中の立ち振る舞いなどについて学んだ。この授業では、プレゼンする際の構成を学んだ後、先生が出したお題に対しての意見を学んだ構成に沿って各自発表した。

2.2 8/26（月）から30（金）の授業内容について

8/26（月）から30（金）の授業は各自の研究内容についてプレゼンするための資料作成が主な授業内容でした。学んだことを活かして、構成などを意識しながら発表資料を作成した。発表資料を作成する際、パワーポイントの各ページの文字数を少なくし、読者が理解できるように専門的な言葉を使わずに簡単な言葉で言い換えるのが難しかった。二週目の木曜日には英語で各自の研究内容について五分間のプレゼンを行った。発表をするのにあたって、先生がテストではなく学習だと言っていたのでリラックスしてプレゼンを行うことができました。プレゼンの原稿は覚える必要があったので、二日ほど練習する必要がありました。この授業により、英語でプレゼンする際のポイントを多く学べたため、英語によるプレゼンのスキルが向上したと感じる。

最終日には海外の番組で行われているゲーム、パーティ、修了証書の授与を行われた。

3. 大学訪問

大学訪問では、UC Berkeleyに訪問した。授業初

日の8/19（月）の放課後に訪問した。龍谷大学瀬田学舎と比較すると、土地面積がかなり大きかった。そのため、移動に時間がかかるのか大学内では電動スケートボードや自転車で移動している学生が見受けられた。また、大学内には様々な人種の生徒がいて日本との違いを感じられた。図1は大学訪問をしたときの写真である。

後日、私はホストファミリーに勧められてフットボールの試合を見るために再度訪れた。かなりの規模のフットボールの試合会場が大学の敷地内にあり、観客が大勢押し寄せていて日本の大学との違いに驚いた。試合会場に入ると、大学の敷地内とは思えないほどの演出があり日本との文化の違いを感じることができた。

4. ホームステイ

滞在中の二週間はホームステイをした。基本的に二人以上の複数人でホームステイをすることになるが、私は一人でホームステイをすることとなり行く前はかなり不安でした。ホームステイ初日は全く話すことができなかつたが、学校から帰宅する前に何を話すかあらかじめ決めて文章を考える、簡単な日常会話を練習することで日を重ねるごとに話せるようになっていきました。それに加えて、ホストファミリーはとても親切で、私が英語を話している時は耳を傾けて聞いてくれたので落ち着いて話すことができ、私に話すときにはゆっくりと英語を話してくれたのもあり、想像していたよりも英語で会話することができました。他にも、お勧めの観光地やお店

を教えてくれる、フットボールのチケットを代わりに買ってくれるなどとても優しくしていただけた。また、私が行った時期には大統領選挙が行われていたため、実際にアメリカで暮らしている人（ホストファミリー）の意見を聞きながら大統領選挙を見るという貴重な経験ができました。私は一人でのホームステイであったため英語を話す機会が多くあり、出発前は不安であったが結果的には一人でのホームステイで良かったと感じている。ホストファミリーにはとても感謝しています。

5. おわりに

私は英語が苦手でしたが、今回のRUBeC演習で拙い英語でも工夫をすればある程度話せることがわかりました。しかし、話したいことがあっても英語で話せないということが多々ありました。そのため、英語でもっと会話ができるようにこれからも英語の勉強を継続していこうと思います。



図1 大学訪問の様子

RUBeC 演習

池 田 佳 輔

Keisuke IKEDA

応用化学コース修士課程 1年

1. RUBeC 演習

1.1 緒言

私が RUBeC 演習を受講した理由は、英語がこれから必要になると感じているからです。私は理系ですが理系だからこそ英語が重要だと感じるようになりました。なぜかというと、情報収集をするのに日本語だけだと情報が縛られてしまうからです。やはり世界の標準言語である英語に触れることがこれからも大事になっていくと感じこの科目を受講することを決めました。

1.2 目的

この講義の目的としては、英語に触れるということです。日本にいるとなかなかネイティブスピーカーと話すことはありませんが、現地の人と話すことにより英語に興味をもち、英語学習の幅も広げることができる。

2. 英語学習

2.1 LSI での英語学習

LSI での講義は主に 3 つでした。一つ目は conversations (会話) です。まず、英語を話してみようという内容でした。図 1 は conversations の様子です。それぞれの将来について、日本で好きな場所など簡単なお題から始まりました。自分で知っている単語を何とかして組み合わせ相手に伝えようとするることはとてもいい経験になりました。はじめは英語を話すということに恥ずかしさを持っていましたが、最終日にはそんなことも忘れて何とかして伝えようしていました。



図 1 Conversations の様子

この写真は、最終日に他の学生と会話している様子です。

二つ目は、論文の読み方についての講義でした。私の中ではこの内容はとても役立つ情報が多かったです。特にある論文を読んで自身で Abstract を構築する講義は良い学習になりました。なぜかというと、Abstract は論文の本文に入る前にどのような内容なのか短い文で読み手に伝える必要があるためとても重要な役割を果たします。そのため Abstract を作成するには本文の重要な文章を理解する必要があります。それがどこにあるのかパズルのように当てはめていくのですが、その過程で論文の読み方や重要な文の前にはキーポイントとなるような単語が置いてあるなど多くのことを学びました。

三つ目は自分がやっている研究内容についてのスピーチでした。



図 2 スピーチの様子

図2は私が行った研究内容のスピーチの様子です。今後、国際学会に参加する機会があればとても役に立つ経験でした。スピーチする時、どのように立ち回るか、何を意識してスピーチするかなどとてもためになる内容でした。

2.2 ホームステイ先での英語学習

私はここが一番 RUBeC を受講して良かったと思えるポイントです。ホストマザーとの会話はとてもためになりました。また、ホストマザーとは出来るだけ会話をしようと心掛けていました。日常会話といわれるものに触れるのは初めてで、文法に囚われて話しをしてしまいがちでしたが、ネイティブならこのような言い回しをするなどその場に応じての返答の仕方など多くのことを教えて頂きました。



図3 ホストマザーと会話している様子

この写真は、ホストマザーと料理を作りながら会話している様子です。この他にも一緒に買い物にも行ってレジではこのように話すんだなど日常会話を多く教えて頂きました。とても貴重な経験でした。

3. アクティビティ



図4 ゴールデンゲートブリッジの写真

講義終了後にはアクティビティとしてサンフランシスコの観光スポットである、ゴールデンゲートブリッジやピア39やケーブルカーなどを観光しました。この写真は曇に覆われていますがサンフランシスコはとても天気がよく凄く住みやすい町だと感じました。また、この様なアクティビティがあるおかげでリフレッシュすることも出来ました。

4. まとめ

RUBeC 演習を通じて英語を学習する意欲が一段と向上しました。本来の目的である英語に触ることを行ってみてより英語を話せるようになりたいと感じました。伝えたいことがあるけど上手く伝わらないことや、話が理解しきれないなどの経験をしたことでよりそう感じるようになりました。また、広い視野を持つことも大切だと感じました。これはアメリカに行ってみて思った事ですが、様々な国籍の方が居たので一つ意見に固定する考え方大事ですが、色々な意見を取り入れることも大切なことだと感じました。

RUBeC 演習の報告および感想

村松 拓実
Takumi MURAMATSU
応用化学コース修士課程 1年

1. はじめに

8月19日から9月2日にかけてアメリカのサンフランシスコ州にてRUBeC演習が行われ、8月29日にはJodo Shinshu Centreで研究発表会が開催された。参加したきっかけは今後グローバルな人材のニーズが高まると常々考えており、自分もその一人になる必要があるからである。大手企業は英語を話すことが出来る人材を欲している事をインターンや説明会で知り、高いTOEICの点数が昇給で役職を得るために必要な企業もある程である。なので私は日本でもTOEIC試験を受験したり、研究室に所属する外国の方と交流したりと語学向上に対して真摯に取り組んでいると自負しているが、現地学習をした事が無く英語をアウトプットする機会が少なかった。その為、実際の英語に慣れ今後に備えるべくこの度の語学学習への参加を決意した次第である。

2. 演習内容

今回のRUBeC演習は実際に米国に行き、現地で英語学習をすることによりリアルな英語を学ぶ機会であったと思う。具体的な行った事としては、サンフランシスコのLanguage Studies International (LSI)で論文のアブストラクトの作成や英語で大学での研究内容の発表を行うと同時に、アメリカでの生活を体験することで大学までに学習した英語がどのように用いることが出来るかを学んだ。また、同じ演習参加者とも交流を行う機会でもあり、他学科の研究内容を知り、充実した内容であった。

2.1 LSIでの授業

LSIで大きく行った事は2つあり、1つは実際に出版されている英語論文の本文を読み、アブストラ

クトの部分を自分達で作成するというものだった。英語の論文は日頃から読む機会があるが、論文を作成した事は無かった為これは思った以上に難しかった。しかし“We expect”や“It say that~”のようなその段落の重要語句を意識すると、本文からその段落で最も言いたいことを抜き取りやすくなり、明確なabstractの作成をすることが出来た。この経験は卒業論文の執筆や学会発表などで大きく役立つだろうと考えている。

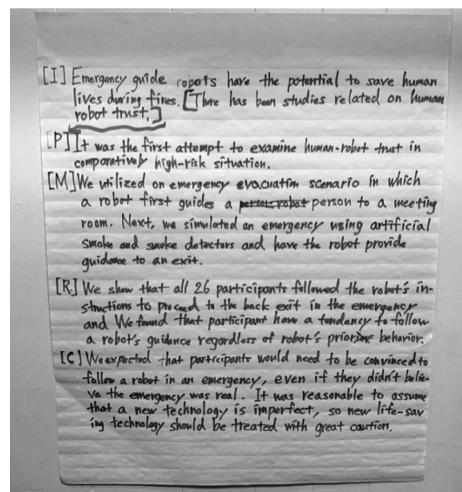


図1 自分達で作成した Abstract

もう一つは英語での資料作成から発表までをすべて行うというもので、これらは初めての経験だった。この発表での経験は演習に参加する前から英語のアウトプットに対しての考え方方が大きく変わった。今まででは早くしゃべる事を心掛けていたのだが、日本では些細だと思っていたbとvの違いやアクセントの付け方のような聞き手が分かりやすいような明確な発音が大事だと気づかされた。これは同じ参加者の小熊龍君に感銘を受けた事で、彼の発表はとても分かりやすく発音もとても綺麗だった。それから私は遅くなつても聞き取りやすい英語を意識している。



図2 研究発表の様子

2.2 現地での交流

現地での交流は特にホストファミリーとの交流を中心掛けた。ホストマザーだった Alice は私たち 5 人の料理、掃除や洗濯を行ってくれ大変そうだった為、家事を積極的に手伝った。常日頃から当たり前のように野菜を切る、炒める、風呂場の床を磨くといった行動が言語が変わるだけでスムーズに行う事が難しかった点もあるが、自分の英語が伝わった時や Alice とコミュニケーションを取ることが出来た時の喜びもあり、大学までに学んできたことは無駄ではなかったことに気づくことが出来た。また Alice と SMS でのメッセージも行き、携帯電話でのやり取りも初めて行う機会でもあった。色々な経験をさせてくれた Alice に感謝している。

現地での交流は他にもショッピングや交通機関の利用、外食をする際等、英語を体験する機会であふれており、そのどれもが新鮮で興味深いものだった。アメリカの人々はとても親しみやすい方たちであふれており、特に印象的だった人物が Eureka! と言うハンバーガーショップの店員さんで英語が未だ不十分な私たちにも配慮して頂きつつおすすめのメ

ニューや私たちの実習内容について会話をしてくれた。このような人と人との距離が近い海外の文化を触れることが出来たおかげで、より海外に対する意欲が高まり国外でも仕事をしてみたいと思えるような経験であった。



図3 ホストマザーの Alice との 2 ショット

3. おわりに

発表を終えて、英語でのプレゼンや質疑応答を落ち着いて受け答えを行った。しかし、質問に対しての返答で話す英語を考え時間を消費してしまった。Q & A セクションでは自信を持って答える、円滑に議論を行うと言う点からより反射的に答える必要があったと考える。この経験から普段の英語で話すことに対して自信を持つ事が出来た。

この演習は語学学習だけでなく、海外の人々や場所の雰囲気を知る良い機会であり、日本とは違う部分を多数見つけることが出来たと思う。プログラムの内容で特に良かった点は自分で会話する機会を多く設けて頂けたことで、実践での英語を知る事が出来た良い機会だった。

PIERS in Chengdu での ポスター発表の報告

戸田 佳宏

Yoshihiro TODA

電子情報学専攻修士課程 2年

1. はじめに

私は中国の成都で2024年4月22日から25日に開催されたPIERS(PhotonIcs & Electromagnetics Research Symposium)で、「A Resonating Cavity Antenna with an Integrated Structure Utilizing Artificial Material」というタイトルでポスター発表を行った。

2. 研究概要

2.1 研究背景

アンテナの利得向上の方法にRCA(Resonant Cavity Antenna)とよばれるものがあり、これはアンテナに外部構造として誘電体を装荷することによって、アンテナの利得向上を行うものである^[1]。本研究室では、以前人工誘電体を用いたRCAの設計に成功している^[2]。しかし、アンテナと人工誘電体の間は空間になっており構造的に不安定である。本研究では、その空間に誘電体を装荷し、構造の不安定さをなくした一体化RCAの設計を目指す。

2.2 人工誘電体

人工誘電体は、特殊な構造で配置された金属粒子で構成されている。比誘電率(ϵ_r)と比透磁率(μ_r)は電磁界シミュレーションから得たデータか

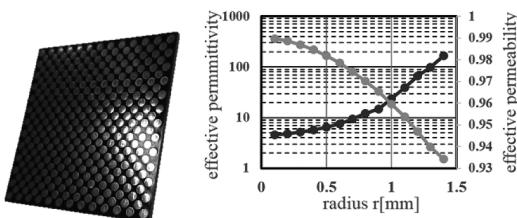


図1 人工誘電体（左）と金属粒子の半径の変化による ϵ_r と μ_r の違い（右）

ら計算することができる。金属粒子のサイズや構造を変えることにより、比誘電率を制御できる。

2.3 二種類のRCA

1つ目は、人工誘電体の厚さ h を実効波長の2分の1の長さ $\{h = \lambda_0/(2\sqrt{\epsilon_r})\}$ としたRCAである。パッチアンテナは15GHzで動作し、 $h = 1.2\text{mm}$, $\epsilon_r = 69$ の人工誘電体を用いて、パッチアンテナと人工誘電体の間の距離 d を変化させてRCAの利得の変化を調べた。結果はパッチアンテナの利得をシミュレーションで6.1dBi、実験で5.5dBi向上させることに成功したが、 d が32mmと一体化を目指すには大きすぎた。

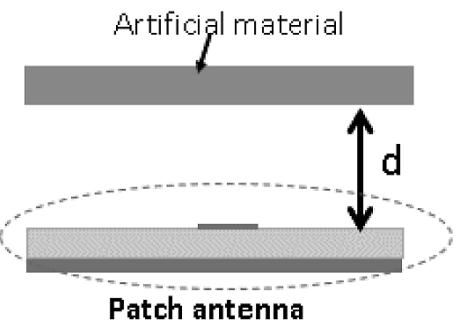


図2 RCAの構造図

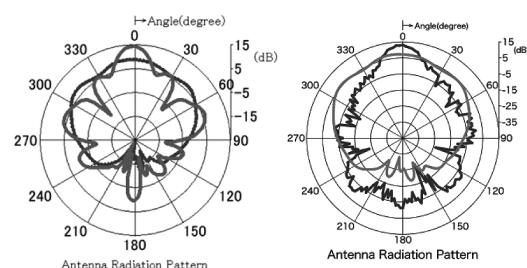


図3 シミュレーション（左）と実験（右）の放射パターン

2つ目は人工誘電体の厚さ h を実効波長の4分の1の長さ $\{h = \lambda_0/(4\sqrt{\epsilon_r})\}$ としたRCAである。 $h = 1.6\text{mm}$, $\epsilon_r = 9.8$ の人工誘電体を用いて、先ほどと同様の実験を行う。結果はシミュレーションで8.8dBi、実験で4.9dBi利得を向上させることに成功した。最大利得となる d は31mmだが、20mm付近

でもそれに近い利得となり、先ほどの RCA よりも d を短くすることができる。

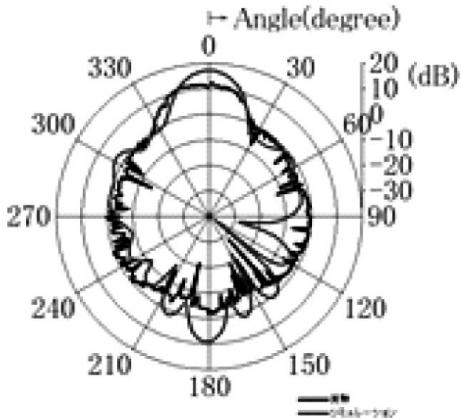


図 4 最大利得時の放射パターン

2.4 一体型 RCA の設計

2.3 の結果から、 $h = 0.6\text{mm}$ $\{h = \lambda_0/(4\sqrt{\varepsilon_r})\}$, $\varepsilon_r = 69$ の人工誘電体を用いる。図 5 に一体型 RCA の設計図と用いたパッチアンテナの図を示す。1 層目に用いているものが人工誘電体である。2 層目に用いているものは $\varepsilon_r = 2.0$ の誘電体で厚さは 14.05mm である。3 層目はパッチアンテナの基板で $\varepsilon_r = 2.2$ 、厚さは 0.8mm である。パッチアンテナの寸法は $W = 5.7\text{mm}$, $L = 5.56\text{mm}$, $X = 1.75\text{mm}$ である。空間と誘電体内では誘電率が異なっているため、電波の挙動が変わってくる。そのため、一体型 RCA が 15GHz で動作するようにパッチアンテナの寸法を変更した。

図 6 はこの RCA のシミュレーション結果である。左はアンテナの入力特性を表しており、15GHz で -37.5dB となっており、この RCA が 15GHz で動作していることを表している。右の図はパッチアンテナと RCA の放射パターンの比較の図である。RCA の利得は 15.7dBi であり、これはパッチアンテナの利得を 7.5dB 向上させていることを表している。

この結果から 15GHz で動作する一体型の RCA

の設計にシミュレーション上で成功したといえる。

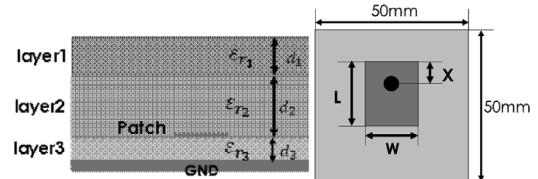


図 5 一体型 RCA の設計図 (左) と用いるパッチアンテナの図 (右)

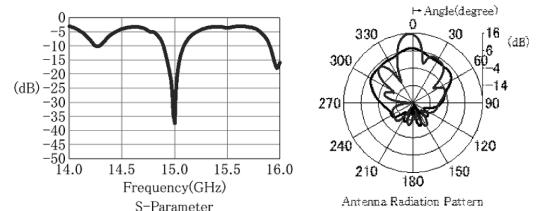


図 6 RCA の入力特性 (左) と放射パターンの比較 (右)

3. おわりに

私は、国際学会を通じて英語でのコミュニケーションの不足を痛感した。発表の前に予想される質問に対する答えを考えていたが、それらの質問されることではなく日本語では答えることができたのだが英語となると答えることに苦戦した。さらに質問の聞き取りも十分に行えていないと感じる場面もあった。これを解決するために日常的に英語に取り組む必要があると改めて実感した。

最後に、今回の発表を行うにあたってご指導を頂いた張陽軍教授に深く感謝致します。

参考文献

- [1] G. V. Trentini, "Partially reflecting sheet arrays," IRE Trans. Antennas Propagate., vol.4, no.4, pp.666-671, Oct. 1956.
- [2] Yangjun Zhang, Takumu Imahori and Yoshikazu Fujita, "Artificial Material for Patch Antenna Gain Enhancement and Its Application in Microwave Free-Space Method", ICEAA-IEEE APWC 2019.

ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2024 in Utsunomiya に 参加して

平賀 民恵

Tamie HIRAGA

機械工学・ロボティクスコース修士課程 1年

1. はじめに

2024年5月31日に宇都宮で開催されたロボティクス・メカトロニクス講演会において、「円筒状柔軟弹性クローラの湿润環境下におけるグリップ力向上の検討－カエルの足裏構造を参考にしたベルト試験片の製作と評価－」という題目でポスター発表を行った。

2. 研究背景・目的

本研究室ではこれまでに、管径の小さな管状空間を容易に走行可能なクローラ型ロボットの実現を目的として、複数の柔軟なベルトを単一のウォームを介して単一のモータで駆動させる、シンプルな機構の円筒状クローラ型ロボットを考案し、研究開発を行ってきた。このロボットは極めてシンプルかつコンパクトなクローラ構造であるため、細管内や大腸モデル内、異径管内、凹凸面においても柔軟なベルトの形状適応性により推進可能であるが、濡れた走行面に対しては、ベルトと走行面間にスリップが発生し、グリップ力（推進力）が低下する問題が残っている。そこで、クローラベルトの接地面にカエルの足裏のように微細な溝構造を形成し、排水機能を持たせることで、ベルトのグリップ力を飛躍的に向上できるのではないかと考えた。本研究では、クローラロボットのグリップ力向上を目指す第一段階として、ゴム試験片を用いた要素試験を実施し、溝構造が静止摩擦力におよぼす影響を調査した。

3. ゴム試験片の製作

溝構造が静止摩擦力におよぼす影響を明らかにす

ることを目的とした要素試験を行うため、溝なしゴム試験片および溝付きゴム試験片を製作した。図1(a)に示すように、試験片の突起幅を a [mm]、溝幅を w [mm] として設計した。まず、CNC 切削機を用いてポリアセタール樹脂でシリコン型を製作した。同一面積内に溝幅を変化させて溝を付けたときの摩擦力を比較するため、溝幅 w を $0 \sim 0.23$ mm の間で変化させた 5 パターンのシリコン型を製作した。次に、シリコンゴム (KE-1603, 信越シリコーン) を型に流し入れ固め、ゴム試験片を製作した。また、ゴム硬度による差異の比較用として低硬度シリコンゴム (Dragon Skin 10 Slow, サツク株式会社)、高硬度シリコンゴム (KE-1600, 信越シリコーン) を使用し同様の手順で試験片を製作した。最後に、試験片の溝構造についてコンフォーカル顕微鏡を使用して観察・計測を行った。製作した溝付きゴム試験片を図1(b)に、溝構造の観察結果について図1(c)に示す。

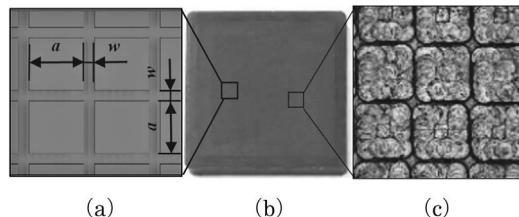


図1 溝付きゴム試験片
(a) 設計, (b) ゴム試験片, (c) 顕微鏡観察写真

4. 実験

4.1 実験方法

実験装置について図2に示す。水を入れたアクリルケースに敷いた塩化ビニル板上にデジタルフォースゲージを置き、測定部に何も触れていない状態をONに設定した。負荷を載せた試験片にフォースゲージを横から押し当て、動き始めの力を最大静止摩擦力として測定した。実験は各試験片につきそれぞれ20回ずつ行った。負荷荷重は500.8gとした。

4.2 実験結果

溝幅 w [mm] を変化させた溝付きゴム試験片と溝なしゴム試験片の水中における最大静止摩擦力を比較した実験結果を図 3 に示す。実験の結果、溝付きゴム試験片は水中においてすべての溝幅で溝なしゴム試験片の最大静止摩擦力を上回る結果となつた。また、最大静止摩擦力は溝幅 0.03mm のとき最も大きくなり、溝幅を太くするほど低下する結果となつた。これは、溝幅が細いほど突起の総面積が大きくなるからではないかと考えられる。

同一のゴム型で製作したゴム硬度の異なる試験片の水中における最大静止摩擦力を比較した実験結果を図 4 に示す。実験の結果、通常ゴム硬度を低くすると摩擦力が増加するとされている通り、hard から medium にゴム硬度を低くすると摩擦力が増加した。しかし、medium から soft にゴム硬度を低くすると摩擦力は逆に低下した。これはゴム硬度が低い場合、溝付きゴム試験片の突起が弾性変形てしまい、真実接触面積が減少したことによるものではないかと考えられる。

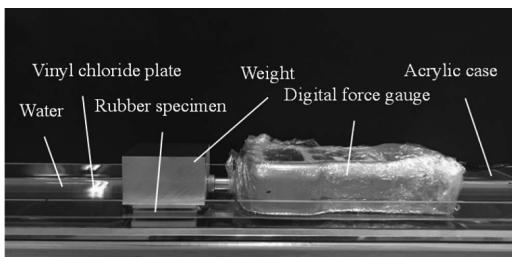


図 2 実験装置

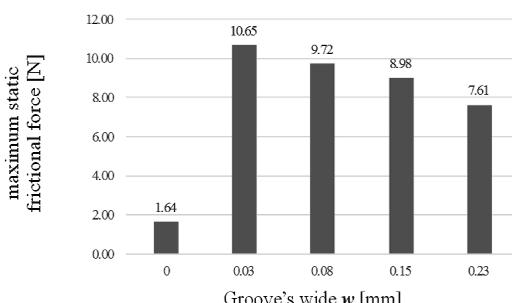


図 3 実験結果（溝幅 w を変化）

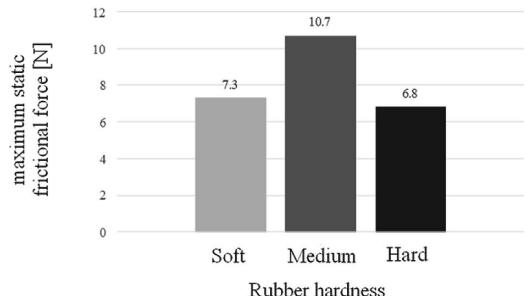


図 4 実験結果（ゴム硬度を変化）

5. まとめ

本研究では、クローラロボットのグリップ力向上を目指す第一段階として、ゴム試験片を用いた要素試験を実施し、溝構造が静止摩擦力におよぼす影響を調査した。その結果、水中における静止摩擦力は溝をつけることで向上し、その値は溝幅、ゴム硬度のそれぞれが影響し変化する特性を示し、クローラロボットのグリップ力向上のための基礎的知見を得られた。

6. おわりに

今回のロボティクス・メカトロニクス講演会は、私にとって初めて外部で発表を行う場であった。様々な分野の方が参加する講演会であったため、分野外の方が聴講に来られることがあり、わかりやすく説明することが求められたほか、自身とは異なる視点からの質問を受けることもあり非常に勉強になった。この経験を忘れることなく、今後の研究及び発表に活かしていきたいと考える。

第 73 回高分子学会年次大会に 参加して

中田光星

Kosei NAKATA

物質化学専攻修士課程 2 年

1. はじめに

2024 年 6 月 5 日から 7 日までの 3 日間、仙台国際センターで開催された「第 73 回高分子学会年次大会」に参加し、「ゲスト分子を 2 種以上添加した際のシンジオタクチック PMMA 包接錯体形成挙動」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

シンジオタクチックポリメタクリル酸メチル (st-PMMA) は、トルエンなどの有機溶媒中で緩やかな 7/4らせん構造を形成し、その結晶構造を架橋点としてゲル化する。この st-PMMA らせん内孔の直径は約 1nm にも達し、その内孔にフラーレン類などのゲスト分子を包接して、結晶性の包接錯体を形成する。最近我々は、フラーレン類以外のゲスト分子を探索し、コロネンもトルエン中で st-PMMA と包接錯体を形成することを見出した。本研究では、C₆₀, C₇₀, コロネンを組み合わせてゲスト分子として用いた際の包接現象を詳細に検討し、ゲスト分子の構造が錯体形成に及ぼす影響を調べた。

2.2 実験操作

st-PMMA ($M_n = 580\text{k}$, $M_w/M_n = 1.55$, $rr = 95\%$) はチーグラー-ナッタ触媒による低温での配位アニオニ重合により合成した。ゲスト分子を溶解させたトルエン溶液に st-PMMA を加え、110°C で加熱し均一溶液とした後、室温まで徐冷してゲル化させた。遠心分離により包接錯体ゲルを沈降させ、上澄み液の HPLC 測定 (COSMOSIL Buckyprep カラム) から包接率を算出した。また、包接錯体ゲルを減圧乾

燥して得られた包接錯体フィルムについて DSC 測定を行った。

2.3 結果と考察

まず、C₆₀, C₇₀, コロネンをそれぞれ単独でゲスト分子として用いた包接実験を行った (st-PMMA 0.5 mg, トルエン 1mL)。添加したゲスト濃度に対し、st-PMMA に包接されたゲスト分子の量をプロットしたものを Fig. 1 に示す。C₆₀ と C₇₀ を比較した場合、等モル濃度であれば C₇₀ の方が C₆₀ よりも包接されやすく、例えば、フラーレン濃度 0.6μmol/mL においては、C₇₀ の方が 2 倍程度包接され易いことがわかった。一方、コロネンの包接挙動は大きく異なり、0.6μmol/mL 以上の濃度では C₇₀ よりも高い包接量となるものの、低濃度 (<0.35μmol/mL) では C₆₀ よりも低い包接量となり、0.17μmol/mL 以下では全く包接されなかった。

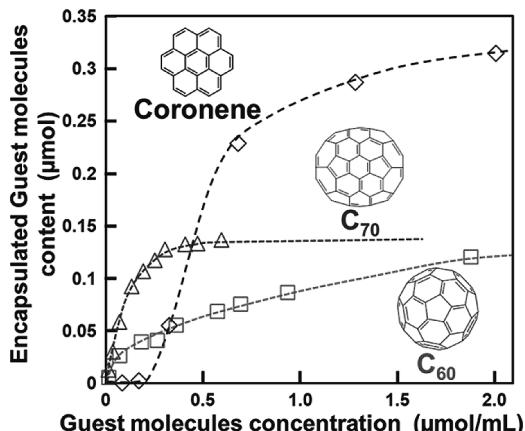


Fig. 1 Plots of encapsulated C₆₀ (□), C₇₀ (△), coronene (◇) contents versus the concentration of C₆₀ or C₇₀ alone in the feed upon gelation of st-PMMA (0.5mg) with toluene (1mL).

次に、ゲスト分子を 2 種組み合わせた包接実験として、C₇₀ とコロネンの混合物をゲストとする包接実験を行った。C₇₀/コロネン混合モル比 50/50 で混合ゲスト濃度を変化させると、C₇₀ は単独の場合と同様に包接された (Fig. 2)。対してコロネンは、0.35μmol/mL 以下では単独の場合と同様な挙動を示

すが、高濃度になると包接が抑制された。しかしながら、その抑制は25%程度と小さく、ゲスト全体の包接量は増加していることから、包接会合定数の大きなC₇₀とコロネンの組み合わせでは包接錯体の形成量が増加することがわかった。

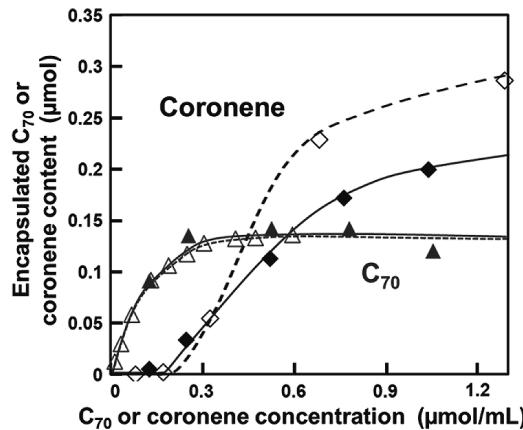


Fig. 2 Plots of encapsulated C₇₀ alone (△), coronene alone (◇), C₇₀ in mixture (▲) and coronene in mixture (◆) contents versus the concentration of C₇₀ or coronene in the feed upon gelation of st-PMMA (0.5mg) with toluene (1mL).

さらに、包接錯体ゲルを減圧乾燥することで作製したst-PMMA/C₇₀包接錯体フィルム (C₇₀ 17.8wt%), st-PMMA/コロネン包接錯体フィルム (コロネン 8.1wt%), st-PMMA/(C₇₀/コロネン)包接錯体フィルム (ゲスト 24.6wt%)のDSC測定を行った (Fig. 3)。混合包接錯体フィルムでは、271.3°Cと290.5°Cに二つの融解による吸熱ピークが観測され、結晶構造の異なる錯体を形成していることが示差された。また、そのΔHは24.6J/gと、単独包接錯体フィルムよりも高い値を示し、C₇₀とコロネンの組み合わせでの結晶化度の向上が確認できた。

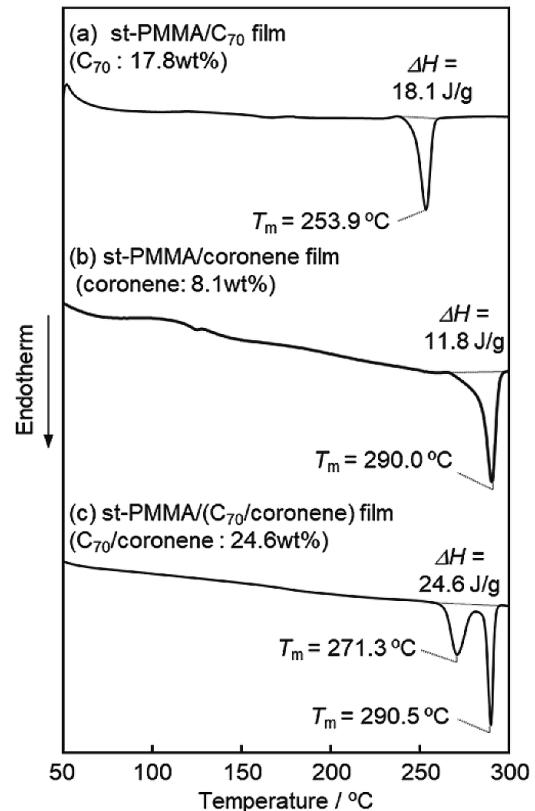


Fig. 3 DSC thermograms of (a) st-PMMA/C₇₀ film containing 17.8 wt % C₇₀, (b) st-PMMA/coronene film containing 8.1 wt % coronene and (c) st-PMMA/(C₇₀/coronene) complex film containing 24.6 wt % guest molecules. These films were prepared by evaporating the solvents from the st-PMMA/(guest molecules) complex gels in toluene. The measurements were conducted by heating to 310°C at the heating rate of 10°C/min under nitrogen.

3. おわりに

120分ほどのポスターセッションであったが、多くの方からご意見やご指摘をいただくことができ、新たな視点に気づける貴重な機会となった。今学会にて得られた学びを活かして、これからも日々の研究活動に打ち込んでいきたい。

第 73 回高分子学会年次大会に 参加して

西 村 天 真

Tenma NISHIMURA

物質化学専攻修士課程 2 年

1. はじめに

私は 2024 年 6 月 5 日から 6 日にかけ、仙台の仙台国際センターで開催された「第 73 回高分子学会年次大会」に参加し、「微生物 *P. putida* によるノナン酸とデカン酸での培養時間を変えた P3HA ブロック共重合体の生合成と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

Poly (3-hydroxyalkanoate) (P3HA) はエネルギー貯蓄物質として多様な微生物中に蓄積されるバイオポリエステルであり、菌体 *Pseudomonas putida* (*P. putida*) に炭素源として脂肪酸を与えると、繰り返しユニットの炭素数が 5-12 の中鎖長 P3HA が生合成される。本研究室では、菌体 *Ralstonia eutropha* を用いて、第一の炭素源を含む培養液で培養後、菌体と培養液を分離して第二の炭素源で培養することで、ブロック共重合体を生合成できることを示した。そこで、本研究では、菌体 *P. putida* に第一の炭素源として奇数鎖炭素脂肪酸であるノナン酸、第二の炭素源として偶数鎖脂肪酸であるデカン酸を用いて、ブロック共重合体の生合成および各ブロックの分子量変化について検討した。

2.2 実験操作

P. putida (JCM No.6160) を窒素フリーの無機培地に第一の炭素源であるノナン酸 5mmol に加えて 48h 振とう培養した。次に *P. putida* を遠心分離し第二の炭素源であるデカン酸 5mmol を加えて振とう培養した。得られた試料は、ノナン酸での培養時

間を x 時間、デカン酸での培養時間を y 時間として、Nx-Dy と表す。

2.3 結果と考察

脂肪酸による生合成では、 β 酸化により偶数脂肪酸からは繰り返しユニットが偶数炭素の P3HA が生合成され、奇数脂肪酸からは奇数炭素の P3HA が生合成される。したがって炭素源にノナン酸を用いた時は 3HN (C=9), 3HHp (C=7), 3HV (C=5) が、デカン酸を用いた時は 3HD (C=10), 3HO (C=8), 3HHx (C=6) が生合成され、それぞれランダムに重合される。 ^{13}C NMR のメチル基の分裂からノナン酸およびデカン酸由来のブロック分率を求めた。図 1 にそれぞれのブロックのブロック分率を示した。

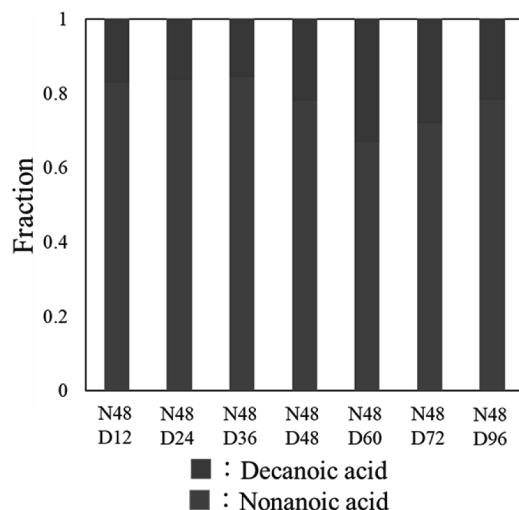


図 1 ノナン酸での培養時間を 48 時間で固定し、デカン酸での培養時間を変えた時のブロック分率

デカン酸での培養時間が長くなると第一炭素源のノナン酸由来の第一ブロック分率は小さくなり、第二炭素源のデカン酸由来の第二ブロック分率は大きくなつた。これは、ノナン酸由来のブロックが消費され、デカン酸由来のブロックが重合されていると考えられる。図 2 にそれぞれのブロックの数平均分子量 (M_n) を示した。

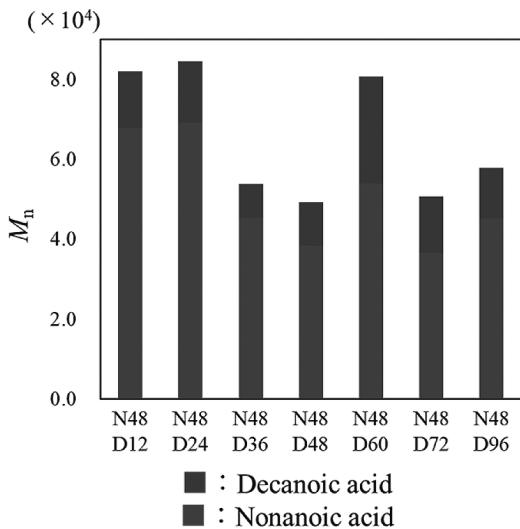


図 2 各ブロックの数平均分子量

デカン酸での培養時間が長くなると第一炭素源のノナン酸由来の第一ブロックは小さくなり、第二炭素源のデカン酸由来の第二ブロックは大きくなつた。図 3 に各ブロックの M_n をデカン酸での培養時間に対してプロットした。

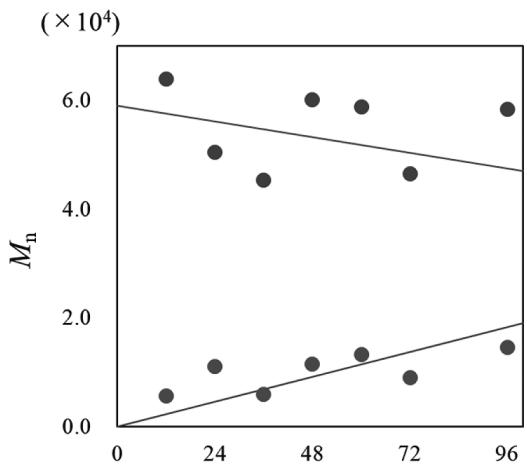


図 3 各ブロックの分子量のデカン酸での培養時間依存性

傾きからノナン酸由来の第一ブロックからは消費速度、デカン酸由来の第二ブロックからは重合速度が求められる。消費速度は約 $180\text{g/mol} \cdot \text{h}$ 重合速度は約 $220\text{g/mol} \cdot \text{h}$ であった。これまで我々は第一炭素源のノナン酸での培養時間 72h で固定したものは消費速度が $120\text{g/mol} \cdot \text{h}$ 、重合速度が $190\text{g/mol} \cdot \text{h}$ であることを報告した。これらを比較するとあまり大きな違いはなく、どちらも第一炭素源のノナン酸での培養でほぼ最大まで P3HA が蓄積されたため、第一ブロックが消費された分のみ分子量が大きくなつたと考えられる。

種々のアミノフェノールを原料とした可溶性ベンゾオキサジン共重合体の合成とその熱硬化物の特性

黒田 一成
Kazunari KURODA
応用化学コース修士課程 1年

1. はじめに

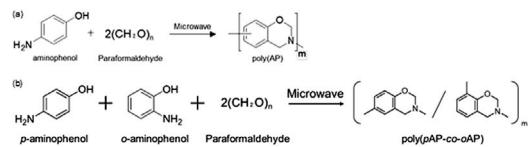
2024年6月5日から7日の3日間、仙台国際センターで開催された「第73回高分子学会年次大会」に参加し、「種々のアミノフェノールを原料とした可溶性ベンゾオキサジン共重合体の合成とその熱硬化物の特性」というタイトルでポスター発表を行った。

2. 研究内容

2.1 研究背景

ポリベンゾオキサジンは、環状オキサジン骨格を有するモノマーの開環重合によって得られる新規フェノール樹脂であり、FRPのマトリックス樹脂、プリント基板の絶縁材料などとして利用されている。さらなる用途展開が期待されており、市場からは可撓性やガラス転移点(T_g)の向上が望まれている。韌性と耐熱性を両立させるアプローチとして、ビスフェノールとジアミンのマンニッヒ縮合反応によるベンゾオキサジンの高分子量化が挙げられる。しかしながら、本手法では、モノマー合成時にビスフェノールとジアミンを正確に等モルで混合する必要があるのに加え、有機溶媒中還流下で数時間の反応時間を要する。また、不溶物が生成し、収率が低下する問題点もあった。これまでに我々は、フェノール水酸基とアミノ基の両方を分子骨格に有する *p*-アミノフェノール(*p*-AP)のマンニッヒ縮合反応をマイクロ波加熱により行うことで、可溶性の高分子量ベンゾオキサジン poly(AP)が得られることを報告した (Scheme 1a)。本研究では、APの *p*-

体、*m*-体、*o*-体の共重合について検討した (Scheme 1b)。また、得られたベンゾオキサジン共重合体前駆体の重合能を調査し、得られる熱硬化物の熱的・機械的特性について調べた。



Scheme 1 Synthesis of poly(AP) (a) and, poly(*p*AP-*co*-*o*AP) (b).

2.2 実験操作

p-AP, *o*-AP 及びパラホルムアルデヒドをジオキサンに溶かし、マイクロ波により 170°C で 10 分間加熱した。室温徐冷後の反応混合物をクロロホルムに溶解させ、5% 炭酸ナトリウム水溶液で抽出操作により洗浄し、その後中性になるまで蒸留水で洗浄した。有機層を硫酸ナトリウムで乾燥後、無機塩を濾別した。エバポレーターにより溶媒を取り除いた後、室温減圧下で 24 時間乾燥することで、茶色粉末の poly(*p*AP-*co*-*o*AP) を収率 86% で得た。poly(*p*AP-*co*-*o*AP) の DMAc 溶液 (15wt%) をシラン処理したガラス板にキャストし、110°C で乾燥させることで自己支持性を持つ前駆体フィルムを得た。前駆体フィルムを 240°C まで段階的に熱処理を行い、茶褐色で透明なポリベンゾオキサジンフィルム P[poly(*p*AP-*co*-*o*AP)] が得られた。

2.3 結果と考察

得られたベンゾオキサジン共重合体前駆体は、サイズ排除クロマトグラフィー (SEC) により求めたポリスチレン換算数平均分子量 (M_n) は 1300 であった。構造確認は¹H NMR により行い、オキサジン環メチレンのシグナルの積分比より求めたオキサジン環の閉環率 (閉環率の生成率) は 77% であった。単独重合で得られた poly(*p*AP) の M_n は 820 で、閉環率は 51% であり、共重合の方がいずれも高い値となった。重合条件の最適化を行い、重合温度

170°C, モノマー濃度 10wt%以上において、収率、分子量、閉環率のいずれもが比較的高い値となることがわかった (Table 1). *p*-体と *m*-体の組み合わせでも同様に重合条件を検討したところ、高温かつ高濃度の条件では不溶物が主として生成し、可溶性前駆体は得られなかった。また、*m*-体と *o*-体の組み合わせでも同様の傾向であった。

Table 1 Synthesis of poly(*p*AP-*co*-*o*AP) in dioxane by microwave heating for 10 min.^a

Monomer	Temp. °C	Conc. ^b wt%	Yield / % ^c		M_n^d	M_w^d / M_n	Ratio of cyclic structure / % ^e
<i>p</i> -AP + <i>m</i> -AP	130	10.6	5	0	1100	1.41	23
	150	5.3	0	0	-	-	-
	150	10.6	10	0	1200	1.35	24
	150	15.9	0	100	-	-	-
<i>m</i> -AP + <i>o</i> -AP	130	10.6	0	100	-	-	-
	130	5.3	18	0	1400	1.60	50
	130	10.6	31	0	1400	1.50	52
	130	15.9	25	0	1100	1.30	53
<i>p</i> -AP + <i>o</i> -AP	130	10.6	0	100	-	-	-
	130	10.6	58	0	1000	1.20	64
	150	10.6	52	0	1100	1.21	69
	170	5.3	42	0	1200	1.21	57
	170	10.6	86	0	1300	1.42	77
	170	15.9	74	0	1300	1.30	82

^a Aminophenol (AP) 10 mmol, paraformaldehyde 40 unit mmol. ^b Concentration of AP.

^c Determined for soluble and insoluble parts in chloroform. ^d Determined by SEC. Polystyrene standards were used for the calibration. ^e Determined by ¹H NMR.

得られた前駆体フィルムおよび熱硬化フィルムの外観を Figure 1 に示す。共重合体の前駆体フィルムは自己支持性を持っていた。単独重合の前駆体フィルムは脆く、成形できなかったことから、韌性の向上が示唆された。また、共重合体の熱硬化フィルムは熱処理することで、韌性の向上が示唆された。

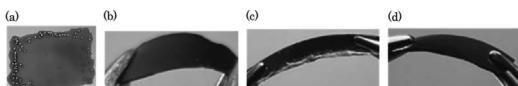


Figure 1 Photographs of poly(*p*AP) (a), P[poly(*p*AP)] (b), poly(*p*AP-*co*-*o*AP) (c) and P[poly(*p*AP-*co*-*o*AP)] (d).

得られたフィルムの機械的特性を引張試験によって調べた (Figure 2a)。共重合体熱硬化物の破断強度 (s_b) は 49 MPa, 破断伸び (e_b) は 2.4% であった。また、熱特性を熱重量分析 (TGA) によって調べた (Figure 2b)。共重合体熱硬化物の 5% 重量減少温度 (T_{d5}) は 315°C, 850°C でのチャーハン率 (CY₈₅₀) は 62% であった。典型的なポリベンゾオキサジン PB-a の s_b は 37 MPa, e_b は 1.6%, T_{d5} は 308 °C, CY₈₅₀ は 42 であり、共重合体熱硬化物の方がいずれも高い値となった。

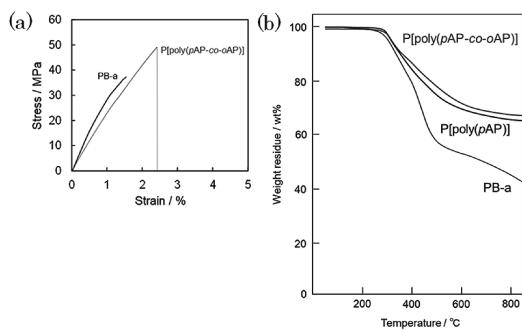


Figure 2 Stress-strain curves of PB-a and P[poly(*p*AP-*co*-*o*AP)] (a). TGA curves of PB-a, P[poly(*p*AP)] and P[poly(*p*AP-*co*-*o*AP)] (b).

3. おわりに

ポスターの掲示時間を含め 120 分間という限られた時間の中ではあったが、企業の方や他大学の先生方を含む 10 名以上の方とディスカッションすることができた。異なる視点からの鋭い指摘や質問をいくつもいただいた。今回の経験を活かし、今後も研究活動に邁進していきたい。

脂環式骨格を導入した高分子量 ベンゾオキサジンの合成と その熱硬化物の特性

徳川 乃円

Noe TOKUGAWA

応用化学コース修士課程 1年

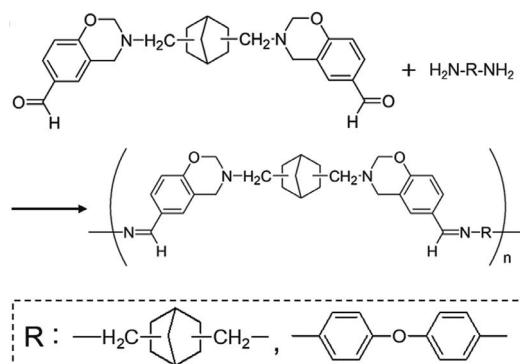
1. はじめに

私は2024年6月5日から7日に仙台国際センターで開催された第73回高分子学会年次大会に参加し、「脂環式骨格を導入した高分子量ベンゾオキサジンの合成とその熱硬化物の特性」という題目でポスター発表を行った。

2. 研究背景

ポリベンゾオキサジンはベンゾオキサジンの開環重合によって得られ、その化学構造からフェノール樹脂の一種とみなされる熱硬化性樹脂である。難燃性や絶縁性、耐水性に優れているなどの物性のみならず、原料のフェノール類やアミン類が豊富に存在することからテーラーメイドな分子設計が可能な点も大きな長所である。しかし、代表的なポリベンゾオキサジンであるPB-aのガラス転移温度は約160°Cとそれほど高くないため、より一層の物理的耐熱性の向上が求められている。我々はこれまでに、フェノール類としてビスフェノール、アミン類としてジアミンを用いることでポリマー化したベンゾオキサジン（高分子量ベンゾオキサジン）を合成し、その熱硬化物は従来のポリベンゾオキサジンよりも高い可撓性を示し、ガラス転移温度も高温化することを報告している。また、アルデヒド基を有するベンゾオキサジンとジアミンとの反応による主鎖にアゾメチジン骨格を有する高分子量ベンゾオキサジンを合成し、その熱硬化物が高い耐熱性および韌性を有していることを報告している。本研究では、脂環式ジアミンを原料としたアゾメチジン型高分子量前駆体を合成し（Scheme 1）、その熱硬化物の特性について

調査した。



Scheme 1 Synthesis of benzoxazine-containing polyazomethine

3. 実験方法

ベンゾオキサジン含有ジアルデヒド ANB は、p-ヒドロキシベンズアルデヒドと脂環式ジアミン NBDA を原料としてパラホルムアルデヒドを用いたマンニッヒ反応を行い合成した。得られた ANB と NBDA を CHCl₃ に溶かし、室温で所定時間静置することで前駆体溶液を調製した。この前駆体溶液をシラン処理したガラス板にキャストし、室温で10時間乾燥させ、前駆体フィルム ANB-NBDA を得た。送風乾燥機で 240°C まで段階的に熱処理することで、ポリベンゾオキサジンフィルム (PANB-NBDA) を作製した。また、ANB とオキシジアニリン (ODA) の組み合わせでも前駆体溶液を調製し、前駆体フィルム ANB-ODA ならびに熱硬化フィルム PANB-ODA を作製した。

4. 結果と考察

合成した前駆体フィルムは、ANB-NBDA, ANB-ODA のいずれも茶色透明で自己支持性があった。240°C まで段階的に熱処理した熱硬化フィルムはいずれも曲げができるほどの韌性を有しており、特に PANB-ODA はより柔軟であった (Figure 1)。熱硬化フィルムのガラス転移温度 (T_g) を動的粘弾性測定 (DMA) により調べたところ、典型的

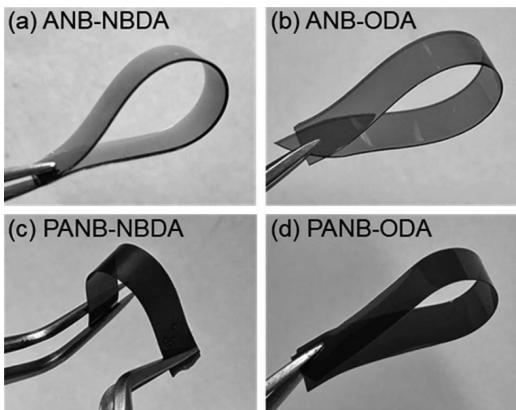


Figure 1 Photographs of ANB-NBDA (a), ANB-ODA (b) precursor films and PANB-NBDA (c), PANB-ODA (d) films.

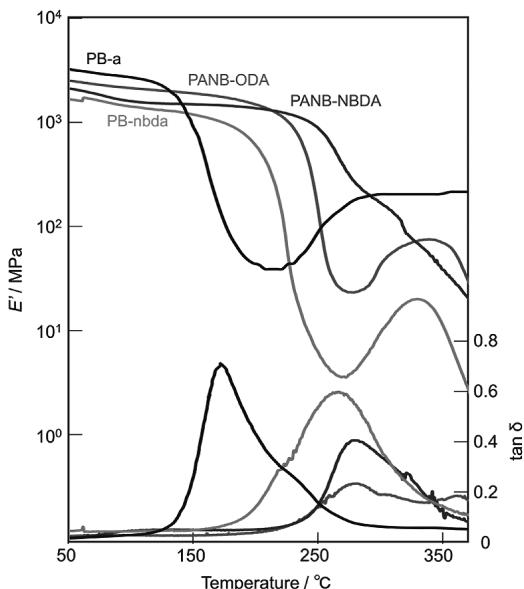


Figure 2 DMA of PB-a and PAO-ODA films.

なポリベンゾオキサジン PB-a では 172°C であるのに対し, PANB-NBDA, PANB-ODA の T_g はそれぞれ 279°C, 276°C と 100°C 以上向上していた (Figure 2). 热硬化フィルムの热分解温度を热重量分析

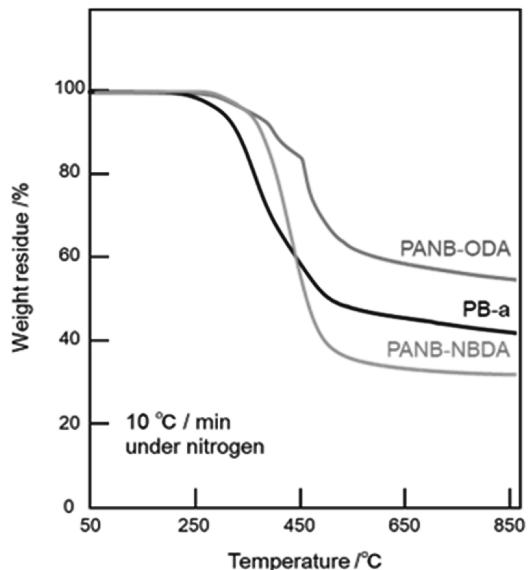


Figure 3 TGA curves of PB-a, PANB-NBDA, and PANB-ODA films.

(TGA) により調べたところ, PB-a の 5% 重量減少温度 (T_{d5}) が 301°C であるのに対し, PANB-NBDA, PANB-ODA の T_{d5} はそれぞれ 349°C, 345°C となり, 热分解温度が向上していることが分かった. 850°C でのチャー収率については PANB-NBDA では 33% と PB-a の 42% よりも低下したものの, PANB-ODA では 54% にまで向上した (Figure 3).

5. おわりに

研究のポスター発表を通して, 多くの方から質問や意見をいただくことができ, 今後の自身の研究に関する知見を深めることができました. 初めての参加でしたが, 今後の研究活動にとって有意義な経験となりました. 今後もさらに研究活動に励んでいきたいと思います.

Fast learning in spike-timing-dependent-plasticity using Ga-Sn-O thin film

Ga-Sn-O 薄膜を用いたスパイクタイミング依存可塑性の高速学習

北 栄人

Hidehito KITA

電子情報通信コース修士課程 1年

1. はじめに

2024 年の 7 月 4 日に龍谷大学深草キャンパス成就館で行われた AM-FPD という学会に、Ga-Sn-O 薄膜を用いたスパイクタイミング依存可塑性の高速学習という題目で参加しました。

2. 研究背景と目的

現在、人工知能の研究が盛んに行われており、その中でもニューラルネットワークが注目されている。しかし、現在のソフトウェアによるニューラルネットワークは、並列分散処理ができない、ロバス性に欠ける、消費電力が大きいなどの問題がある。そこで、集積化が容易な酸化物半導体をシナプスに用い、細いスパイクパルスの時間差に応じてシナプスの結合強度 (Δw) が変化する STDP 学習則を用いれば（図 1）、人間の脳の機能に近いデバイスを低消費電力で実現できる可能性がある。本研究では、酸化物半導体 GTO (Ga-Sn-O) を用いた、これまでの STDP 実験では 1Hz の電圧波形を用いていたが、今回は高速学習が可能かどうかを調べるため、1kHz の電圧波形を用いた。

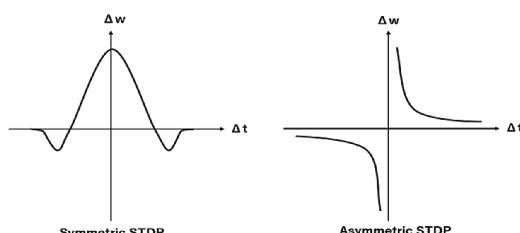


図 1 対称および非対称 STDP

3. 実験方法

この実験で使用したデバイスは、図 2 に示すような構造をしている。まず、下部電極を成膜した。使用した材料は金で、真空蒸着装置を用いて 5 分間成膜した。次に、スパッタリング装置を用いて GTO 層を成膜した。第 1 層はアルゴン酸素比 20:0 で 3 分間、2 層はアルゴン酸素比 20:10 で 3 分間、第 3 層はアルゴン酸素比 20:10 で 3 分間成膜した。半導体層を 3 層にしたのは、中間層のスイッチング層を電極の影響から保護するためで、酸素ガスを導入しない層を上層と下層に成膜した。最後に上部電極を成膜した。材料はアルミニウムで、真空蒸着装置を用いて 5 分間成膜した。下部電極に金を用いたのは、スパッタリングで半導体層を成膜する際、アルミニウムだと電極が酸化する可能性があるため。上部電極をアルミニウムとしたのは、電極と半導体層がオーミック接合を形成するためである。最後に、大気アニールを 400°C で 30 分間行った。デバイスの性能は I-V 特性で確認した、その後、STDP 実験を行った。

図 3 に STDP 測定システムを示す。Pre 波形では

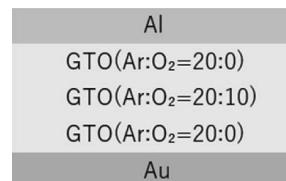


図 2 デバイスの構造

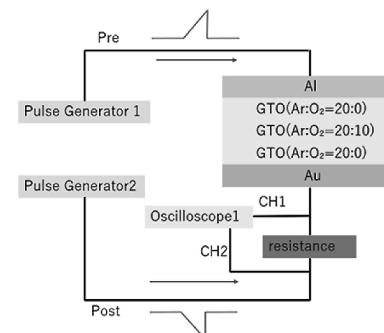


図 3 STDP 実験システム

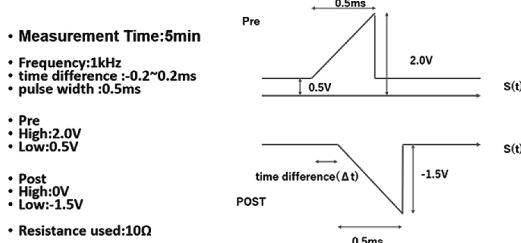


図 4 STDP に使用した波形の詳細

上部電極に、Post 波形では下部電極に図 4 の電圧波形を印加した。波形のない Pre 波形では、パルス印加後の抵抗変化を確認するため、読み出し電圧として 0.5V を印加した。

4. 結果と考察

図 5 に測定した I-V 特性を示す。図 5 に I-V 特性の測定結果を示す。高抵抗状態と低抵抗状態の間で電流値が変わった。これは、正電圧を印加することで GTO 中の酸素イオンが移動し、酸素空孔が発生して導電性フィラメントが形成され、高抵抗状態から低抵抗状態に遷移するためと考えられる。負電圧を印加すると、正電圧とは逆の電界が発生し、酸素イオンが逆方向に移動して導電性フィラメントが消失するため、低抵抗状態から高抵抗状態に変化する。

図 6 は STDP の実験結果で、横軸は Pre と Post の時間差、縦軸は抵抗変化率である。対称的な STDP の形状が観察された。特に、時間差 0 において抵抗変化率が大きくなっている。他のポイントでも変化が見られた。これは、時間差によって電圧波

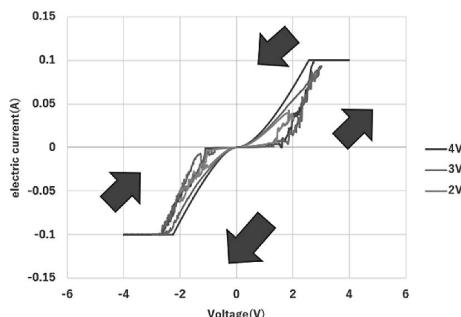


図 5 I-V 特性の測定結果

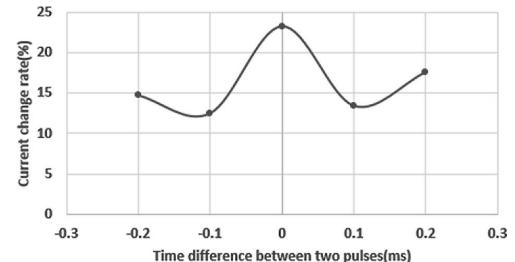


図 6 STDP 測定結果

形の最大電圧が異なるためである。図 7 を見ると、時間差 0ms では最大 3.5V が印加されているが、時間差 0.2ms では 2.9V が印加されている。図 5 の I-V 特性結果のように最大印加電圧に応じてヒステリシスが変化していることから、最大印加電圧に応じて導電性フィラメントの形成量が変化していると考えられる。このことから、Fig. 6 に示す結果では、抵抗値の変化率も時間差に応じて変化していると推測できる。

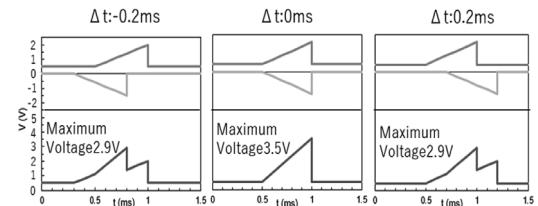


図 7 各時間差の最大印加電圧

5. 結論

STDP 実験に用いた電圧波形の周波数を上げることで、学習の高速化を検証した。その結果、対称型 STDP が観測された。この結果は、高速学習の可能性を示していると考えている。今後は、抵抗変化速度を上げるためにデバイスの作製条件を見直したいと考えている。

6. おわりに

本研究を行うにあたり、ご指導頂いた木村睦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皆様に御礼申し上げます。

Synaptic device for neuromorphic systems integrating ferroelectric-gate field effect transistor and capacitor (強誘電体ゲート電界効果トランジスタとキャパシタを統合したニューロモルフィックシステム用シナプス素子)

澤 井 一 輝

Kazuki SAWAI

電子情報通信コース修士課程 1年

1. はじめに

2024年7月4日に龍谷大学深草キャンパス成就館で開催された「Active-Matrix Flatpanel Displays and Devices」に参加し、「Synaptic device for neuromorphic systems integrating ferroelectric-gate field effect transistor and capacitor」という題名で発表を行った。

2. 研究背景と目的

近年、人工知能に関する研究が活発であり、その中でもニューラルネットワークを用いた技術が注目を集めています。ニューラルネットワークは生物の神経回路であり、特に人間の脳の神経回路を基にした情報処理モデルとされています。ニューラルネットワークは、信号を保持するニューロンと、ニューロン同士を接続して信号を伝達するシナプスで構成されています。現在、ほとんどの研究はソフトウェアで行われていますが、並列分散処理、ロバスト性、消費電力の面で問題があります。これに対して、ハードウェアでのニューラルネットワーク、すなわちニューロモルフィックシステムは、ソフトウェアの問題を克服できます。さらに、スパイクのパルスを用いたスパイキングニューロモルフィックシステムの実現を目指しており、これにより消費電力

の大幅な削減が期待されています。実際の神経回路では、膜電位がある閾値に達すると発火し、リセットされます。このような膜電位の動作が実現できれば、ニューロモルフィックシステムに応用できると考えています。本研究では、強誘電体ゲート電界効果トランジスタ(FeFET)とキャパシタを統合したデバイスを用いて膜電位の動作を確認しました。その結果に基づいて、このデバイスがニューラルネットワークのシナプスとして使用できるかを評価しました。また、提案するシナプスデバイスは、定常電流が流れず、一過性の電圧伝播のみを必要とするため、超低消費電力の課題を解決できると考えています。

3. 実験方法

本研究で使用したFeFETとキャパシタを統合したデバイスの構造は、図1に示されています。

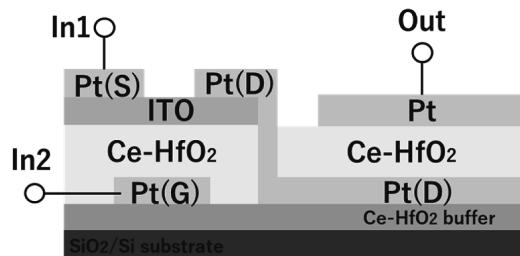


図1 FeFETとキャパシタの構造

FeFETの伝達特性は、ゲート電圧(V_g)に-10~10Vを、ドレイン電圧(V_d)に0.1Vを印加して測定しました。次に、今回の実験の等価回路を図2に示します。In1とIn2から印加された一連のパルスは、FeFETとキャパシタを通過し、“Out”端子に蓄積されます。“Out”端子の電圧上昇量は、FeFETのコンダクタンスと正の相関があります。つまり、これは連続スパイクパルスの積和回路です。この回路のFeFETおよびキャパシタ1の部分は作製したデバイスであり、キャパシタ2とリースイッチは電気部品を使用してブレッドボード上に再現しました。

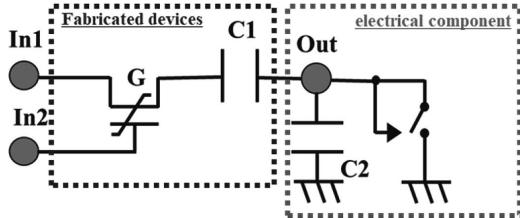


図 2 FeFET とキャパシタの回路図

さらに、デバイスはゲート電極に +10V を印加することで高コンダクタンス状態に切り替わり (SET 動作)、ゲート電極に -10V を印加することで低コンダクタンス状態に切り替わります (RESET 動作)。SET および RESET 動作後の膜電位 (“Out” 電位) の動作を測定しました。各パラメータの条件は表 1 に示されています。

表 1 測定条件

Conditions	Value
In1 (High/Low)	4V/0V
In2 (High/Low)	2V/-9V
Period/Pulse width	10ms/5ms
C1/C2	96nF/2.2μF

4. 結果と考察

図 3 は膜電位測定の結果を示しています。スパイクパルスが印加されている間は電位が段階的に上昇し、パルスが印加されていない間も維持されました。また、“Out” の電位がリレースイッチのしきい値に応じてリセットされ、リセット後、時間とともに段階的に電位が上昇する動作が再び繰り返されることが確認されました。さらに、ステップごとの上昇量はコンダクタンス値によって異なり、“Out” 電位がリセットされるタイミングも変化しました。この結果は、FeFET の分極を制御することで異なるシナプス強度での信号伝達が可能であることを示しています。

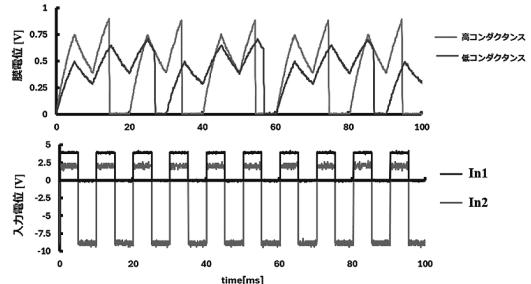


図 3 “Out” 電位の変化

5. まとめ

私たちは、ニューロモルフィックシステム用のシナプス素子として、FeFET とキャパシタを統合したものを提案しました。本研究では、このシナプス素子にスパイクパルスを印加してその動作を確認しました。その結果、パルスが印加されている間は膜電位が上昇し、パルスが印加されていない間も維持され、この一連の動作を繰り返すことができる事が示されました。これは、ニューロンの発火による膜電位のリセット後でも動作が可能であることを示しています。また、分極制御により異なるシナプス強度での信号伝達が可能であることもわかりました。したがって、このデバイスはニューラルネットワークのシナプスとして使用できる可能性があります。将来的には、提案するシナプスを文字認識に応用する予定です。

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。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 56 回流体力学講演会に 参加して

青木 啓悟

Keigo AOKI

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 7 月 3 日から 5 日にかけて開催された第 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に参加し、「数値流体解析による垂直軸風車の翼形状の検討」という題目で発表を行った。以下に発表した内容を記載する。

2. 発表内容

2.1 研究背景

近年、IoT 技術やドローン、無人トラクターなどを用いたスマート農業のプロジェクトが進められている。このようなプロジェクトの中で、本研究では、農地の気温や水温などの環境情報を測るセンサや無線 LAN などの自立電源として、マイクロ発電システムに用いる垂直軸風車の研究を進めている。

風力発電に用いられる風車は、回転軸の方向によって水平軸風車と垂直軸風車の 2 種類に分けられる。水平軸風車は回転軸が地面に対して水平であるのに対して、垂直軸風車は回転軸が地面に対して垂直に位置する。垂直軸風車の特徴として、風向きに依存しない点や、水平軸風車と比べて小型に適しているといった点が挙げられる。

一方、垂直軸風車の翼には航空機などの翼型を参考にしているが、迎え角が回転位置に応じて常に変化するため、垂直軸風車に最適な翼形状は現状不明である。そのため、幅広い迎え角において効率の良い翼形状を見出すことが重要である。そこで本研究では、数値流体解析により、小規模の垂直軸風車の最適設計を見出すことを目的としている。

2.2 結果・考察

解析結果の一例として、翼弦長と半径の関係について示す。

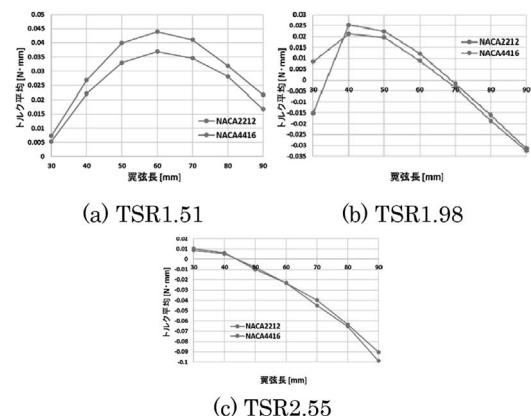


図 1 翼弦長の変化に対するトルクの推移

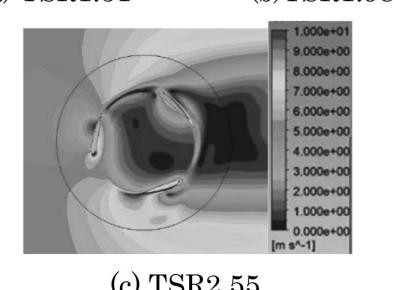
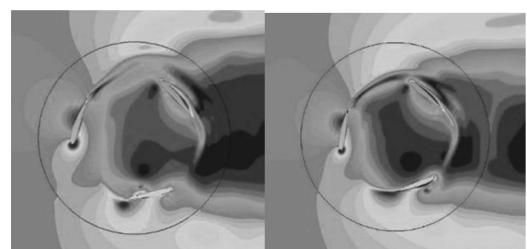


図 2 速度コンター (翼弦長 60mm)

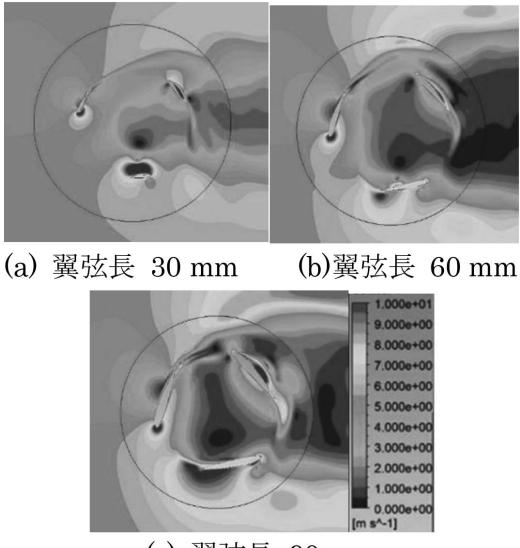


図3 速度コンター (TSR1.51)

図1より、NACA2212とNACA4416とともにTSR 1.51では翼弦長60mm, TSR1.98では40mm, TSR 2.55では30mmが最大となっており、TSRが大きくなるほど最もトルクの高い翼弦長の大きさは小さくなしていくことが分かった。また、3つのTSRの中でトルクの最大値は1.51が最も高いという結果となった。2つの翼型の最大値の結果に差が無いことから、翼弦長と半径の比率は本研究で調査した範囲に関しては、翼形状に依存しないと言える。

翼弦長60mmにおける、TSR1.51, 1.98, 2.55の速度コンターのアニメーションの一部を図2に示す。また、TSR1.51における、翼弦長30, 60, 90mmの速度コンターのアニメーションの一部を図3に示す。TSRが大きくなるということは、ある一定の風速に対して風車の回転速度が速くなるということであるから、回転する翼の後ろの風はTSRが大きくなるほど乱れることになる。つまり、その後ろの

翼は外側からの風と前の翼の後流の入り混じった風を受けるので、トルクを得られる迎え角の範囲内に翼が位置していたとしても、前の翼の後流との干渉によって発生トルクが減少する原因に繋がると考えられる。図2より、TSR1.51のときは前の翼の後流による干渉を受けている様子はほとんど見受けられないが、TSRが上がるにつれ後流の範囲が大きくなり、干渉の影響が大きくなっている。それが、TSRが大きくなるほどある半径に対する適する翼弦長の大きさが小さくなることに繋がったと考えられる。また図3より、TSR1.51で最適であった翼弦長60mmでは後流の干渉を受けている様子はほとんど見受けられないが、翼弦長90mmでは後流の影響を受けている要素が確認できる。基本的には翼弦長が大きくなるほど風を受ける投影面積が大きくなるため発生トルクは大きくなるが、ある一定の半径との比率を超えると後流の干渉を後ろの翼が大きく受けることになり、トルクの損失に繋がる。こうした理由で翼弦長と半径の間に適した比率があると考えられる。

したがって、本研究で用いたNACA2212, NACA4416に関しては、トルクの最大値がTSR1.51が最も大きい結果となったことから、翼弦長と半径を60:75つまり4:5の比率で設定するのが良いと考えられる。

3. おわりに

20分という限られた時間の中ではあったが、他大学の先生方や学生の方とディスカッションすることができ、今後の研究へのプラスに繋がった。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。

第 56 回流体力学講演会を終えて

池上 友翼

Yusuke IKEGAMI

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 7 月 3 日から 5 日の鹿児島県で開催された「第 56 回流体力学講演会」に参加した。発表内容と学会を通して感じたことについて報告する。

2. 発表内容

私は、「風洞実験による垂直軸風車の翼形状の検討」というテーマで発表を行った。発表内容の一部を以下に示す。

2.1 研究背景

再生可能エネルギーの一つとして風力発電がある。風力発電に用いられる風車は、回転する方向によって水平軸風車と垂直軸風車の 2 種類に分けられる。水平軸風車は翼が地面に対して垂直に回転するのに対して、垂直軸風車は翼が地面に対して水平に回転する。本研究では、スマート農業（IoT 等を活用した農業）において、農地の気温や水温などの環境情報を測るために用いるセンサや無線 LAN 等の小電力の発電に使用するための独立電源としてマイクロ垂直軸風車の研究を進めている。垂直軸風車の特徴として、風向きに左右されないため全方向の風に対応が可能であることや小型化が容易であるといった利点があげられる。一方で、垂直軸風車の翼には航空機等の翼が用いられるが、迎え角（AOA）が回転角度に応じて常に変化するため垂直軸風車に適した翼形状が現段階では不明である。そのため、幅広い迎え角において効率の良い翼形状を見出すことが重要である。そこで本研究では、流体解析と 3D プリンタにより作製した風車モデルの風洞実験により垂直軸風車に適した効率的な翼形状を見出す

ことを目的としている。そして、本稿では低速風洞を用いて、翼弦長が回転数に与える影響を調査した実験結果について報告する。

2.2 風洞実験

本実験で用いた小型低速風洞を図 1 に示す。

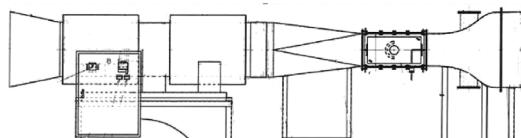


図 1 実験で使用した低速風洞

また、本実験で用いた翼型は NACA4416 であり、翼枚数は 3 枚である。翼は 3DCAD で作成した形状データ（図 2）を利用して製作した。3D プリンタ form3 を用いて製作した。3D プリンタが光造形タイプであるため、材料には光硬化性レジンを使用した。実験の際は、製作した翼 3 枚の上面部と下面部を図 3 のような厚み 0.3mm の円形のアルミ板で挟み込み実験を行った。アルミ板の側面には穴が開いており、ねじで固定することで様々な翼を実験することが可能である。実験の様子を図 4 に示す。

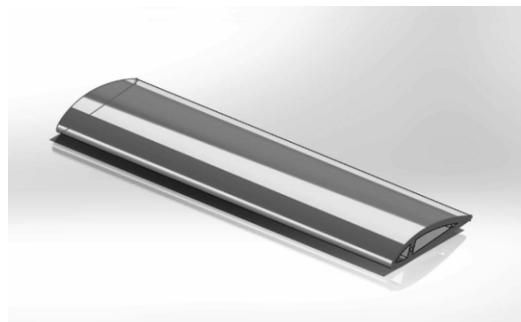


図 2 実験で使用した翼



図 3 円形アルミ板

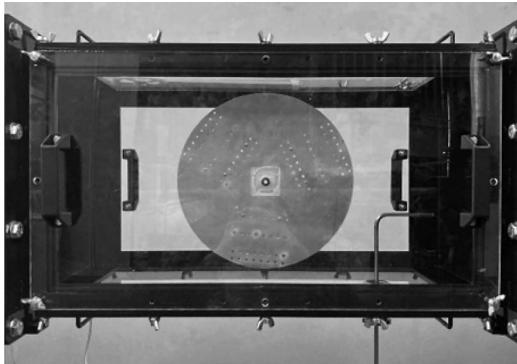


図 4 実験の様子

2.3 実験条件

実験風速は 5.0 [m/s] とした。翼の側面に反射マークを張り付け、可視光光電反射式のデジタルタコメータを用いて回転数を測定し、回転数により評価を行った。変化させたパラメータは、翼弦長である。翼弦長は、30, 40, 60, 90, 105 [mm] と変化させた。また、それぞれの翼に対して半径を 50, 75, 100 [mm] と変化させた。

2.4 実験結果

実験結果を図 5 に示す。

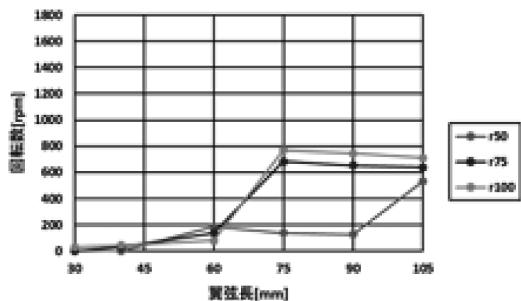


図 5 風速 5.0 [m/s] における翼弦長と回転数の関係

図 5 より、半径 50, 75, 100 [mm] どの半径においても翼弦長 60 [mm] を境に回転数に差がみられることが分かる。一方で回転数のピーク値は半径により半径 60, 75, 90, 105 [mm] と様々であった。

2.5 まとめ

本研究では、NACA 翼を用いて翼弦長を変化させて風洞実験を行った結果について紹介した。実験により翼弦長が固定されている場合、今回の実験の範囲では翼弦長が 60 [mm] を境に差がみられることが分かった。また、翼弦長が大きくなると回転数に与える影響が大きくなる傾向があることが分かった。

3. おわりに

発表は 20 分間という短い時間であったが、慣れない環境で様々な方々の前での発表は非常に緊張したが、良い経験になったと感じている。また、他大学や企業の発表を聞くことで、多くの知見を得ることができた。この経験を今後の研究や学生生活に活かしていきたいと思う。

第 56 回流体力学講演会／ 第 42 回 ANSS に参加して

神 谷 悠

Yu KAMITANI

機械工学・ロボティクスコース修士課程 1 年

1. はじめに

7 月 3 日から 5 日にかけて、鹿児島県鹿児島市に位置するカクイックス交流センターで、流体力学講演会／航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウムが開催された。今回、この学会にて 7 月 4 日に「遷音速領域における数値解析を用いたバルートの空力特性値及び空気力による変形量の測定」というタイトルで発表した。

2. 研究内容

2.1 研究概要及び研究目的

大気圏再突入飛行体の設計において、空力加熱から機体を守ることは非常に重要な課題となっている。この課題に対し、現在は耐熱材料やアブレータの開発を通して、空力加熱に耐えることの出来る設計を行っている。しかしこの対処法では、機体が非常に危険な状態に晒される上、機体総重量制限によるペイロード質量の減少などの問題が生じてしまう。それに対し、空力加熱を避けることをコンセプトに、エアロシェルの開発が行われている。

本研究では、バルートを用いた空力加熱を避ける大気圏再突入飛行体の設計を大きな目標に掲げ、研究を実施している。現在思考しているバルートは、基本的にはカプセル内にバルートを格納し、大気圏再突入時に空気を充填することで展開・形状維持を行うものである。そのため、バルートはフレキシブルな素材となる。それにより、空気力によってバルートが変形し、空力特性値に影響を及ぼす可能性が示唆されている。そこで、今回の研究目的として、遷音速領域における空力特性値・空気力による変形量について調査することを目的とした。また、風洞

実験の結果と数値解析の結果を比較することで、数値解析の有用性を調査することも目的とした。

2.2 研究手法

風洞実験に使用した実験設備は、ISAS/JAXA（宇宙科学研究所）の所有する遷音速風洞を用いて実施した。また、模型を設計するにあたり、外径 20 mm、内径 10mm のトーラス形状とした。

数値解析では、3 種類のソフトを用いて実施した。まず、解析モデル作成には OpenSCAD を用いた。次に、流体解析には FaSTAR を用いた。最後に構造解析には ANSYS Discovery を用いた。

実験及び解析の条件は、マッハ数が 1.3 になるように設定した。

2.3 研究結果

まず、抗力係数に関する結果を図 1 及び図 2 に示す。図 1 及び図 2 より、抗力係数の定性的には概ね一致していることが分かる。しかし、定量的には実験値よりも解析値が 2 割程度大きな値となった。

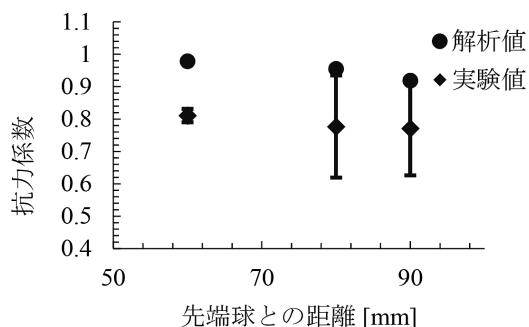


図 1 抗力係数の推移（テザー 8 本）

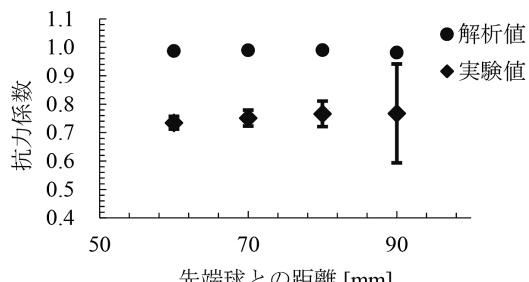


図 2 抗力係数の推移（テザー 4 本）

次に、空気力による変形量に関する結果を、図3に示す。図3より、実験模型と類似した解析モデルを用いることで、実験値の8割程度の変形量となつた。

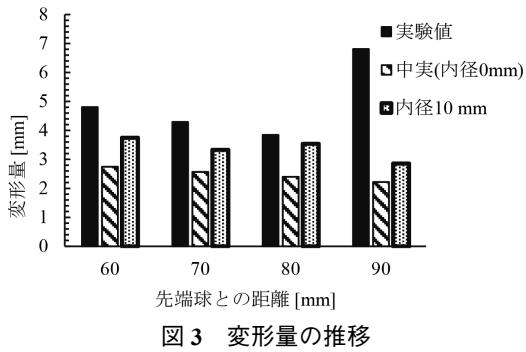


図3 変形量の推移

2.4 現在の課題

2.3節の結果を受けて現在では、数値解析において、定量的に一致していない点が重要な課題となっている。

3. 学会発表にて指摘していただいた点

今回の学会を通して、様々なご意見・ご指摘を頂いた。中でも2.4節に示した課題に対して、2点のご意見を頂いた。1点目に、テザーの影響である。この点に関して、テザーを模倣した円柱を解析モデルに加えることで、解析結果における抗力係数がさらに大きくなることが確認されている。そのため、テザーよりも大きな影響を与える要因があることを説明した。2点目はステイティングである。この点に関して、ステイティングを模した円柱を配置して解析したが、テザー同様の結果が得られた。しかし、亜音速

において、ステイティングを考慮して解析することで、実験値と解析値が一致する結果が得られた事例があるとのことだった。よって、ステイティングの影響を再度、検討する必要があると考えている。

4. 今後の研究方針

今回の研究では流体解析と構造解析を分けて実施した。しかし、実際は流体の流れと変形が同時に発生する。よって、今後は、流体構造連成解析の実施を検討している。また、学会でのご指摘を受けて、ステイティングの影響について、より実際のステイティングに類似する解析モデルを用いて再度検証することを考えている。

5. おわりに

今回、初めて学会に参加した。そのため、発表時間直前まで練習を重ねた。そのため発表時は、緊張しながらも、練習通りの発表が出来た。しかし、質疑応答において、ある質問者の質問の一部を聞き逃し、質問内容を勘違いしてしまった。その結果、適切でない回答をしてしまったことは、反省するべきであると考えている。だからこそ、次回の学会参加では、適切な回答が出来るよう心がけたい。

また、このような緊張の中での発表は、今後の人生では欠かせない。だからこそ、今回の学会参加によって、私の弱点がはっきりとした点では、非常に勉強になった。よって、今後も学会を含めた発表の機会に挑戦し、緊張の中でも冷静な判断能力を身につけたいと考えている。

第 56 回流体力学講演会／ 第 42 回 ANSS への参加報告

粉室 明弘
Akihiro KOMURO

機械工学・ロボティクスコース修士課程 1 年

1. はじめに

今回は、2024 年 7 月 3 日から 5 日まで鹿児島県カクイックス交流センターにて開催された第 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に参加した。7 月 2 日の 17:00 から 17:20 の 20 分間学会発表を行った。

本研究は宇宙航空研究開発機構 (JAXA) の遷音速風洞を用いて、カプセルの姿勢不安定領域と呼ばれる遷音速域において、「はやぶさ」カプセルの前面部を双曲線形状にすることでカプセル前面部の圧力分布や空力特性がどのように変化するかを調査することを目的とした。

2. 実験モデル及び実験手法

「はやぶさ」に用いられた再突入カプセルは半頂角 45 度の鈍頭円錐形状をしている。これと同等の形状として本研究では以下の双曲線を設定した。この式のパラメータ b の値に対する概形を Fig. 1 に示す。

$$\left(x - \sqrt{1 + \frac{1}{b^2}} \right)^2 - \left(\frac{y}{b} \right)^2 = 1$$

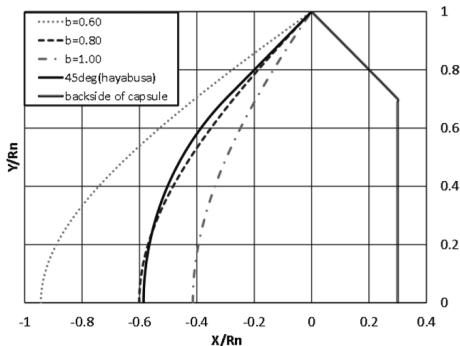


Fig. 1 再突入カプセルの前面部形状

この式の特徴としては、パラメータ b の値に関わらず、座標 $(0,1)$ を通る点、パラメータ b の値により漸近線の傾きが変化する点が挙げられる。本研究では実際のはやぶさカプセルの 1/5 スケールである底面半径が 40mm のモデルを 3D プリンタにて作成し、空力特性の測定を行った。圧力の測定ではカプセルの表面付近のスイープを直 1.5mm、その他のスイープを直径 2.6mm とした静圧孔を開けたモデルを使用し、抗力値、揚力値の測定ではモデル表面に穴が開いていないモデルを使用した。(Fig. 2)

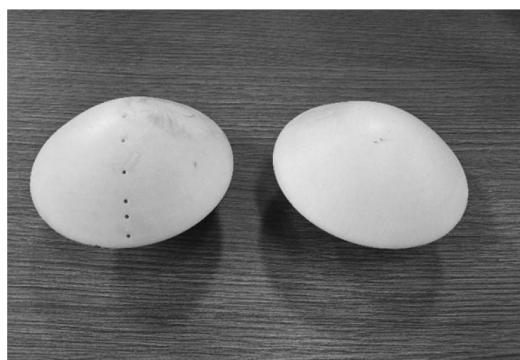


Fig. 2 実験モデル

次に、遷音速風洞について、本研究で使用した遷音速風洞を Fig. 3 に示す。また、本研究で用いた気流条件を Table 1 に示す。

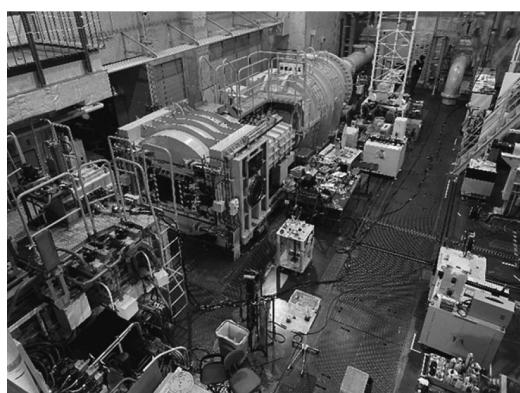


Fig. 3 遷音速風洞

Table 1 気流条件

マッハ数 M	1.3
総圧 P_0 [kPa]	150
静圧 [kPa]	54.14
静温 [K]	224.22

3. 実験結果

まず、今回の研究結果の一例として「はやぶさ」形状及び双曲線形状の圧力分布、迎角に対する抗力係数・揚力係数の関係のグラフを Fig. 4-6 に示す。

Fig. 4 より再突入カプセルの前面部を双曲線形状にすることで局所的な圧力の低下を改善していることが分かる。また、Fig. 5-6 より、双曲線形状とはやぶさカプセルはほぼ同等の抗力・揚力を得ていることが分かる。したがって、遷音速域において、カプセルの前面部を双曲線にすることで「はやぶさ」再突入カプセルの空力特性を殆ど変化させずに、前面部に生じる局所的な圧力の低下を改善することが可能であることが分かった。

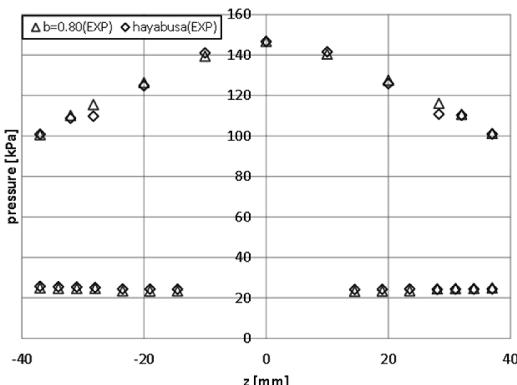


Fig. 4 迎え角 0° の時の圧力分布

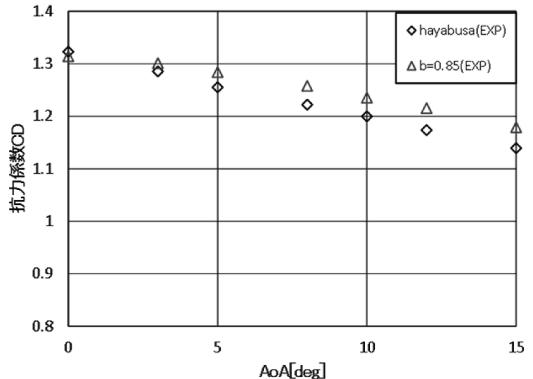


Fig. 5 迎え角に対する抗力係数

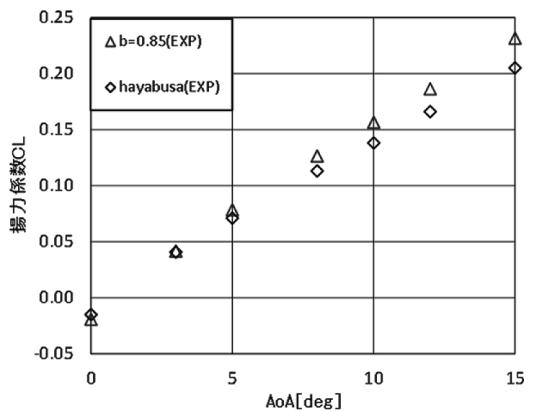


Fig. 6 迎え角に対する揚力係数

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。質疑応答の際には一部答えることができないご質問もあり、私自身の勉強不足さを痛感しましたが、ご意見やご質問を頂く中で、学内だけでは得ることが出来なかっ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。

Water and Environment
Technology Conference 2024
(WET2024) での研究発表

一宮 悠晟

Yusei ICHIMIYA

環境科学コース修士課程 1年

1. はじめに

2024年7月20日から21日にかけて岡山大学津島キャンパスで開催された Water and Environment Technology Conference 2024 (WET2024) に参加し、「Effect of pH on solubility of phosphate-adsorbed coagulation sludge and phosphorus removal by crystallization」という題目でショートプレゼンテーションおよびポスター発表を行った。

2. 研究内容

2.1 緒言

わが国は枯渉資源であるリンの世界有数の消費大国でありながら、海外からの輸入に頼っているため、下水に含まれるリンを資源として回収する方法が注目されている。その一つとして、汚泥発生量の少ない晶析法を用いて凝集剤循環型リン回収プロセスを開発した。本プロセスではリン濃縮分離を凝集沈殿法で行い、晶析法でリン回収を行う。図1に本研究の処理フローを示す。本研究では、凝集沈殿法で生成したリン吸着凝集汚泥の溶解におけるpHの影響と晶析反応におけるリン除去性能および凝集剤再利用ためのアルミニウム回収性能の評価を目的とした。除去されたリンはヒドロキシアバタイト (HAP) となっており、肥料として有効活用できる。

2.2 実験方法

本研究では図2の実験装置を用いて、リン吸着凝集汚泥の溶解実験および凝集剤循環型晶析リン回収実験を行った。凝集沈殿槽にて模擬排水 (2mg-P/L) に硫酸アルミニウム (8mg-Al/L) を添加し、リン吸着凝集汚泥を連続的に生成した。得られた凝集

汚泥に0.1Mの塩酸を添加し (pH4.5以下)、2時間の曝気 (脱炭酸工程) を行った。

2.2.1 リン吸着凝集汚泥の溶解性実験

脱炭酸後、0.1Mの水酸化ナトリウムでpHを調整し、pHが凝集汚泥の溶解性に及ぼす影響を評価した。水酸化ナトリウム添加後のアルミニウム濃度をエリオクロムシアニンR吸光光度法により求め、pHはガラス電極式水素イオン濃度指示計 (D-210P HORIBA) を用いて測定した。

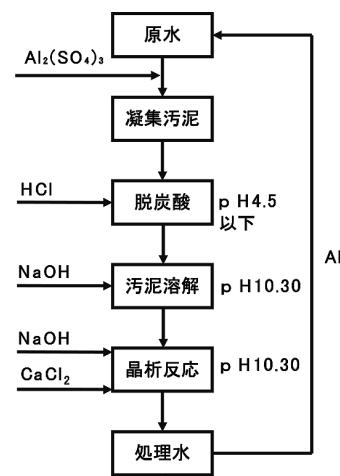


図1 処理フロー

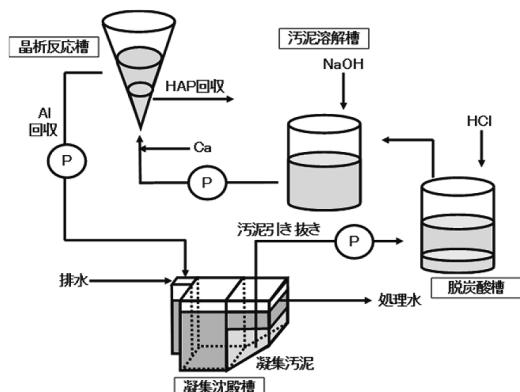


図2 実験装置

2.2.2 凝集剤循環型晶析リン回収実験

脱炭酸後、0.1Mの水酸化ナトリウムで溶解させた凝集汚泥1500mLを900mL/minで晶析カラムへ

循環通水するとともに、リン除去率が約60%になるように初期リン濃度に対して1.32~1.52倍のカルシウム（塩化カルシウム溶液）を3mL/minで3時間かけて540mL添加し、pHを維持しながら24時間循環させた。晶析処理前後におけるリン濃度をモリブデン青吸光光度法、アルミニウム濃度をエリオクロムシアニンR吸光光度法により求め、リン・アルミニウムの除去率・回収率を算出した。

2.3 結果と考察

2.3.1 リン吸着凝集汚泥の溶解性実験

pHとアルミニウム濃度の測定結果を図3に示す。pHとともにアルミニウム濃度も上昇し、pH 10.3以上でリン吸着凝集汚泥がほぼ完全に溶解した。

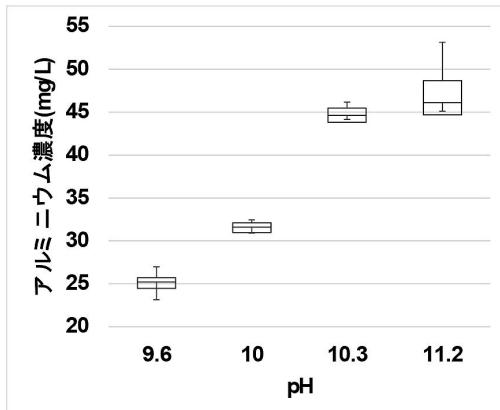


図3 リン吸着凝集汚泥の溶解性実験におけるpHとアルミニウム濃度の関係性

2.3.2 凝集剤循環型晶析リン回収実験

晶析処理前後のリン濃度とリン除去率を表1に示す。初期リン濃度と添加するカルシウムから想定されるリン除去率は53.2~65.9%であったが、12~1月に行った実験では、リンの除去率は想定されるリン除去率を下回った。想定よりもリンが除去されなかつた要因としては水温が低くHAP生成反応に時間がかかり、反応が完了するまでに至らなかつたことや、添加したカルシウムがHAPだけでなく炭酸カルシウムの生成に消費され、カルシウムの不足が起こり、リンが除去されなかつたことが考えられ

た。一方、6月に行った実験では、リン除去率は想定されるリン除去率を上回る結果となり、冬季よりも水温が高いことでHAP生成の反応時間が十分であったことと添加したケイ酸カルシウムの種結晶からカルシウムの溶出供給が起こり、想定よりもリンが除去されたことが考えられた。

表1 晶析処理におけるリン濃度と除去率
(カッコ内は想定されるリン除去率)

	処理前リン濃度(mg/L)	処理後リン濃度(mg/L)	リン除去率(%)
Run1(12/20)	20.9	7.87	46.3(65.9)
Run2(1/12)	12.6	6.29	23.5(53.2)
Run3(6/4)	7.50	0.31	94.2(58.0)
Run4(6/5)	6.70	0.70	85.0(56.9)

晶析処理前後のアルミニウム濃度とアルミニウム回収率を表2に示す。実験によってアルミニウム回収率にばらつきが見られた。

表2 晶析処理におけるアルミニウム濃度と回収率

	処理前アルミニウム濃度(mg/L)	処理後アルミニウム濃度(mg/L)	アルミニウム回収率(%)
Run1(12/20)	25.6	15.3	85.3
Run2(1/12)	27.1	12.0	67.9
Run3(6/4)	23.6	15.5	92.4
Run4(6/5)	20.4	14.0	98.4

2.4 結論

本処理プロセスにおいて、リン吸着凝集汚泥はpH10.3以上で溶解し、水温がリン除去率に影響を及ぼすことが考えられた。また、炭酸カルシウムの生成も示唆され、回収物の純度を考えると、炭酸カルシウムの生成抑制やアルミニウムの回収率を安定させることが今後の課題と考えられた。

3. おわりに

学会発表を行って、様々な方からご質問や助言を頂き、研究内容を深める有意義な機会となった。今回の学会発表での経験を今後の研究活動に生かしていきたい。

最後に学会発表を行うにあたり、多大なるご指導を頂いた岸本直之教授に厚く御礼申し上げます。

情報処理学会 第 209 回ヒューマン
コンピュータインタラクション
研究会に参加して

江南 栄亮

Shusuke ENAMI

情報メディア学専攻修士課程 2 年

1. はじめに

2024 年 8 月 22 日から 23 日にかけて、淡路夢舞台国際会議場にて開催された、情報処理学会 第 205 回ヒューマンコンピュータインタラクション研究会に参加し、「クリエイターを対象とした生成系 AI に対する評価バイアスに関する探索」という題目で研究発表を行った。

2. 研究背景と目的

近年、生成系 AI は急速に進化し、幅広いユーザーに利用されている。「ChatGPT」や「Stable Diffusion」、音楽生成 AI 「Stable Audio」などが代表例である。AI による作品は展覧会で展示され、何十万ドルもの価値が評価されることもあるが、AI の創造性については議論が続いている。AI 生成作品は人間の作品に比べて評価が低い傾向にあり、単なる模倣だという意見もある。本研究ではクリエイターを対象に調査を行い、人間と AI の創作状況に対する評価を比較し、AI に対するバイアスの存在を検証した。

3. 方法

まず、AI に対する信頼感の分析を行った。これは 10 個の下位尺度を用いて「AI の社会への有益性への信頼感」と「AI の忠実性への不信感」を調査した。次に、8 つの絵画制作状況を設定し、それらを構成する因子を表 1 にまとめる。表 1 の絵画制作状況に対して、表 2 の評価項目で評価を行った。最後に、評価項目得点と、対 AI 信頼感との相関関係を分析する。

表 1 各絵画制作状況の因子

製作者	意図・偶発	種類	NO
人間	意図的	抽象画	1
		風景画	5
	偶発的	抽象画	3
		風景画	7
AI	意図的	抽象画	2
		風景画	6
	偶発的	抽象画	4
		風景画	8

表 2 制作物に対する評価項目

NO	評価項目
1	描かれた絵は芸術としての価値をもつ。
2	この絵を描いた主体は、芸術家と認められる。
3	この絵を描いた主体は、それがやりたくて実行した。
4	この絵を描いた主体は、自分自身が絵を描いたことを認識している。
5	この絵を描いた主体は、一定の意図を持ってそれを実行した。

4. 結果

まず、信頼感の分析のために事前に調査した 10 項目を 2 つの因子に分け、信頼感の分析を行った。信頼性分析の結果から、Cronbach の α が 0.8 以上となり、これらの結果はいずれも尺度としての使用が適切である事が確認された。

次に、表 3 に分散分析の結果を示す。表 3 より、全評価項目において、人間と AI を搭載したロボット間で統計的に有意な差異が観察された。また、意図性と偶然性の間でも有意な差が確認された。さらに、製作者と意図性・偶然性との間には交互作用が存在することが示された。次に、全ての調査項目において、一貫して人間が制作した場合は高評価を受け、AI が制作した場合は低評価を受けている。一方で、偶然に絵が制作された場合には、評価に差は

見られなかった。また、AIが制作した時には、意図的であっても偶然であっても評価に差が見えにくいた。

表3 分散分析の結果

主効果	製作者	1次交互作用				2次交互作用			
		偶発性	制作者×偶発性	意図性	制作者×意図性	偶発性	制作者×偶発性	意図性	制作者×意図性
芸術的価値	58.935	<0.001	7.133	0.008	1.614	0.205	16.733	0.012	0.003
芸術家性	42.191	<0.001	6.083	0.015	1.669	0.198	15.038	<0.001	0.338
自己認識	45.619	<0.001	34.946	<0.001	0.183	0.669	69.964	<0.001	0.001
自己実現	59.213	<0.001	28.575	<0.001	0.190	0.891	48.770	<0.001	0.239
意図性	31.167	<0.001	39.327	<0.001	0.003	0.957	44.636	<0.001	0.410

そこで、AIが制作した場合の各調査項目得点に対して、制作動機（意図・偶然）を因子としてT検定を行った結果から、「意図」の項目以外ではAIの制作動機（意図・偶然）による評価差は見受けられなかった。

最後に、「AIの社会への有益性への信頼感」と「AIの忠実性への不信感」に対する調査項目の評価得点と、事後評価項目得点の相関分析の結果を表9に示す。

表4 相関分析の結果

	信頼感	不信感
信頼感	0.051	
芸術的価値（人間）	0.005	-0.162*
芸術家性（人間）	0.024	0.079
自主性（人間）	0.213**	0.171*
自己認識（人間）	0.217**	0.117
意図性（人間）	-0.021	0.170*
芸術的価値（AI）	0.176*	0.177*
芸術家性（AI）	0.026	0.196**
自主性（AI）	0.307**	0.063
自己認識（AI）	0.151*	0.079
意図性（AI）	0.109	0.052

*p<.05, **p<.01.

相関分析の結果から、「信頼感」「不信感」のいずれの因子でも項目得点に影響を与えていたことが分かった。

5. 考察

本調査では、製作者間で全ての評価項目で有意な差が確認された。また、偶発性、製作者と偶発性の交互作用が確認された。また、この結果から、AIの社会進出が進む中で、AIの社会的な有益性を認識させることの重要性が認識された。制作意図が評価に大きな影響を与えることが確認された。人間の意図を認めるのに対して、AIの意図を認めない傾向が示された。

6. おわりに

各大学の教授だけでなく学生たちも積極的に質問をしていた。この研究会に参加するのは2度目なので、見知った顔もあった。そのためあまり緊張はしなかった。今後の展望としては、実際にイラストを用いた実験の実施を検討している。

「第 35 回配位化合物の光化学討論会」に参加して

近藤智也

Tomoya KONDO

物質化学専攻修士課程 2 年

1. はじめに

私は、2024 年 8 月 11 日から 13 日にかけ、国連大学ウ・タント国際会議場、青山学院大学青山キャンパスで開催された「第 35 回配位化合物の光化学討論会」に参加し、『外部刺激によって可逆的に光物性を変化させる両親媒性クロロフィル誘導体の集合体』をテーマにポスター発表を行った。

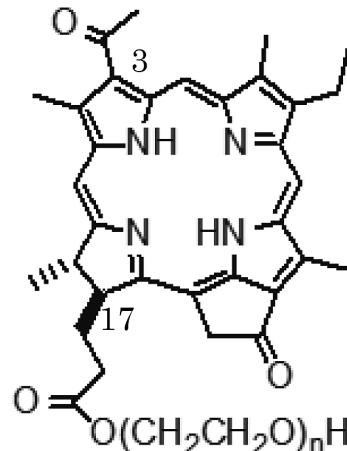
2. 発表内容

2.1 研究背景

天然色素であるクロロフィル分子は、生体内および生体外で容易に自己会合して色素間相互作用に伴う分光学的特性の変化を示す。また、テトラピロール骨格の 3 位に導入された置換基はこの色素の光吸収特性に影響を与え、3-アセチル基をもつ誘導体は 3-ビニルをもつクロロフィル-*a* に比べ長波長シフトした Qy 吸収帯をもつことが知られている。また、17 位の側鎖に親水性のオキシエチレン鎖を導入することで水中で安定なクロロフィルの自己会合体が形成でき、色素間相互作用の発現による吸収帯の長波長化が期待できる。ここでは、天然より抽出したクロロフィル-*a* から、親水性のオキシエチレン鎖を有する 3-アセチルクロロフィル類（図 1）を合成し、その分子集合体の物性について検討した。

2.2 実験方法

ここでは、水中で自己会合するクロロフィル誘導体としてフリーベース体 **1** ($n=2, 4, 8, 13.3, 22.6, 44.1$) を用いた。（図 1）



n=2, 4, 8, 8.6, 13.3, 22.6, 44.1

図 1 クロロフィル誘導体の構造

MeOH に溶解させたクロロフィル誘導体を MeOH : 水 = 1 : 99 になるように水と混合し、会合体を得た。また、メタノール溶液をガラス板に滴下したのち溶媒を留去して作成したキャストフィルム状態でもクロロフィルの別の会合体を得た。その状態での分光学的特性と外部刺激による物性の変化の検討を行った。

2.3 結果と考察

まず、クロロフィル誘導体は 1% MeOH / 水で自己会合し色素間相互作用を発現することで単量体と比べ Qy 吸収帯が長波長シフトした。またオキシエチレン基が 8 個のときは調製直後から時間が経つと構造の転移がおこり吸収帯が変化した。このとき **1** ($n=8$) は溶液の温度を 4°C にしておくことでより長波長側に吸収 (775nm) を持つ構造に変化し、エキシマー発光 (780, 830nm) を示した。この会合体溶液を加温し 55°C にすると吸収帯が短波長シフト (750nm) しエキシマー発光も示さなくなった。クロロフィル誘導体 **1** ($n=2, 4, 8.6, 22.6, 44.1$) の場合このような変化は見られなかった。加温時の吸収帯の変化を詳細に調べると 30°C から 36°C で変化が起きていることがわかった。この変化は等吸収点を通

る変化であったため、各温度での会合体の比をファントフォッフプロットすると加温時の変化はエントロピー支配の変化であることがわかった。クロロフィル誘導体 **1** ($n=13.3$) も温度によって光物性が変化したが、クロロフィル誘導体 **1** ($n=8$) とは異なる温度 $35^{\circ}\text{C} \sim 45^{\circ}\text{C}$ で変化が起きていた。このことからクロロフィル誘導体 **1** の 17 位に修飾する OE 鎖の長さを調製することで自己会合体の温度による変化をコントロールできる可能性を見いだした。

次に、作成したクロロフィル誘導体 ($n=4$) のキャストフィルムの吸収帯は単量体に比べ長波長シフトおりのことから固体状態でも **1** は自己会合し色素間相互作用が発現することがわかった。このときの吸収帯は同じクロロフィル誘導体の溶液中での会合体と異なっていたため、固体状態では異なった構造をもつ分子集合体となっていると考えられる。この **1** のキャストフィルムをスパチュラで擦る物理的刺激を加えると、一部が脱会合しその吸収帯が短波長シフトすることがわかった。このキャストフィルムを **1** 時間静置したとき、**1** は元の分子集合体のスペクトルを再び示したことから **1** の分子集合体は自己修復性を示した。

2.4 まとめ

今回合成したクロロフィル誘導体は 1% MeOH／水中または固体状態で色素間相互作用を発現した。クロロフィル誘導体 ($n=8$) は、調製直後の準安定な状態から、温度を変化することによって Q_y 吸収帯の異なる会合体を形成することがわかった。その

2 種の会合体は温度を変化することによって可逆的に変化することがわかった。また、クロロフィル誘導体 ($n=4$) は固体状態で自己会合し色素間相互作用を発現した。この固体状態での分子集合体は物理的刺激に応答してその吸収帯を変化させた。静置しておくことでもとの吸収帯に戻る自己修復性を示した。

3. 発表にあたって

今回は昨年度もポスター発表をおこなわせてもらった学会だったので見知った顔も多くとてもリラックスして発表することが出来、しっかりと報告することが出来たと思っている。会場の参加者の方々からいくつかの質問もいただくことができ、内容を理解いただけたと感じた。

4. おわりに

ポスター発表は何度も経験しているので今までよりもさらにわかりやすく丁寧な説明が出来ていると感じた。これまでポスター発表よりも自分の成長を感じる学会発表だった。発表を聞きに来てくださった方からの質問にはかなり具体的に答えられていたと思うが、今後の課題になることもあったので今後の研究の参考にしたい。

最後に今回発表を行うにあたって懇切丁寧なご指導をいただいた宮武智弘教授、学会発表を行う機会をくださった学会運営方々にこの場を借りて厚く御礼申し上げます。

第42回日本ロボット学会 学術講演会に参加して

橋本一海

Kazuumi HASHIMOTO

機械システム工学専攻修士課程 2年

1. はじめに

2024年9月3日から6日まで大阪工業大学梅田キャンパスで開催された第42回日本ロボット学会学術講演会に参加し、「水中ロボットのための構造物検査ユニットの提案と試作」というタイトルでオーラルセッションを行った。

2. 研究概要

2.1 研究背景

近年、水中におけるインフラ設備や船舶は老朽化や生物の付着による影響から定期的な検査やメンテナンスの実施が行われている。こういった検査やメンテナンスではダイバーや専用の水中ロボットが利用されているが、安全性や効率、コストの面から実施には課題が残されている。このため、本研究では経済的かつ入手容易な市販の水中ロボットに取り付けることで、定期的な検査やメンテナンスを可能にする機能拡張ユニットを提案する。

提案するユニットはスラスタによって、メンテナンス対象の構造物壁面に合わせた姿勢制御と吸着を実現する。壁面への吸着方法としては、平面に近い壁面に対して効果的な吸着力を生み出す負圧効果板を利用する^[1]。

本研究では機能拡張ユニットの試作を行い、実験を通してコンセプトの実現が可能かを検証する。

2.2 機能拡張ユニット

2.2.1 ユニットの概要

今回、機能拡張ユニットとして試作を行った。その外観を図1に示す。ユニットの全高200 [mm]、最大幅740 [mm]、奥行き600 [mm]である。

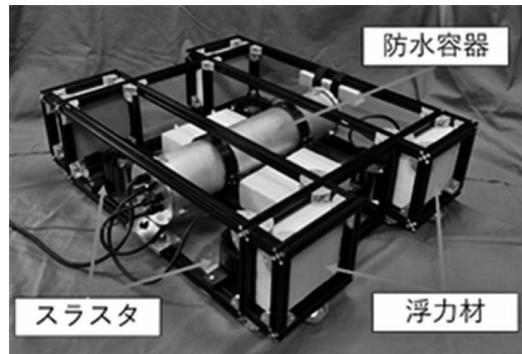


図1 機能拡張ユニット

ユニットには負圧効果板^[2]を取り付けたT200スラスタを4機搭載し、壁面に対する姿勢制御のための推力と壁面への吸着力を発生させる。このユニットの目的は正確な姿勢制御を行い、吸着面へのアプローチ、そして壁面への吸着といった一連の動作の実現することである。

2.2.2 設計思想

市販の水中ロボットに本ユニットを取り付け、姿勢制御を行った時のモデルを図2に示す。

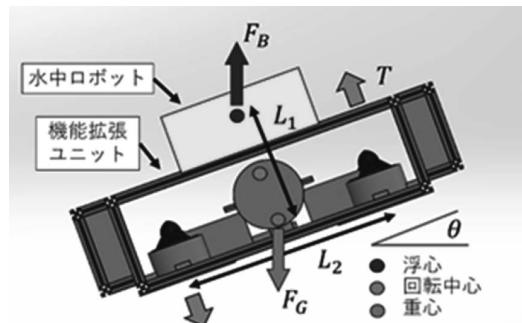


図2 姿勢制御モデル

この時、 F_B は全体の浮力、 F_G は全体の重力とする。水中ロボットとユニット共に中性浮力を持っていると仮定すると、 $F_B = F_G$ が成り立つ。ただし、浮心と重心が一致しない場合、これらが傾くと元の姿勢に戻ろうとする復原モーメントが発生する。傾き角を θ [rad] とし、浮心と重心の距離を L_1 [m] とすると復原モーメント M_R [Nm] は、

$$M_R = F_B \times \sin \theta \times L_1 \quad (1)$$

と表すことができる。姿勢制御を行うスラスターはユニットの4隅に搭載されており、スラスター1つあたりの推力を T [kgf]、スラスター間距離を L_2 [m] とすると姿勢変更時に発生するモーメント M_T [Nm] は、

$$M_T = 2T \times 9.8 \times L_2 \quad (2)$$

となる。傾き角 $\theta = \pi/2$ で M_R は最大となり、その時に $M_T > M_R$ を満たすと静的には姿勢制御が可能となる。復原モーメントは水中ロボットとユニットの浮心重心間距離に依存しており、市販されている水中ロボットの浮心重心間距離は仕様書等に記載されていないことが多い、未知である。一方、ユニットの復原モーメントは、我々が設計できる。このため、より多種の水中ロボットの姿勢制御が行えるようユニット自身の復原モーメントは可能な限り小さくなるよう浮心重心間距離を短く設計した。

2.3 実験と結果

本実験では試作したユニットに水中ロボットを模した疑似 ROV を取り付けて行った。この疑似 ROV の復原モーメントは 4.99 [Nm] である。実験の目的はユニットによる目標姿勢角への変更及び姿勢角の維持、そして水中移動を行えるかを検証することである。実験では 10 秒間で 0 度から 90 度まで変化する目標角を与え、ユニットに搭載されたジャイロセンサによってその姿勢角を計測し、スラスターを用いて姿勢角のフィードバック制御を行う。そして、姿勢角を維持したまま壁面方向へのスラスター推力を大きくしていく、壁面へのアプローチと吸着を目指す。

水槽実験における姿勢変更時の様子を図 3 に、その時の目標角及び計測した姿勢角を図 4 に示す。目標角に対して姿勢角が近い値をとっていることから、疑似 ROV を取り付けた状態での姿勢角制御を実現したことを確認した。また、姿勢角の変更後は壁面に向かって移動し、ユニットが壁面に吸着する

ことも確認できた。しかし、移動を開始する際ユニット自身に回転が生じ、壁面へ直進できない現象が見られた。このことから、壁面に対するユニットの姿勢角制御も必要であることが分かった。

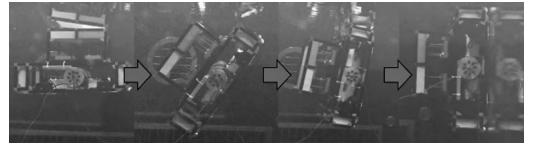


図 3 姿勢角変更の様子

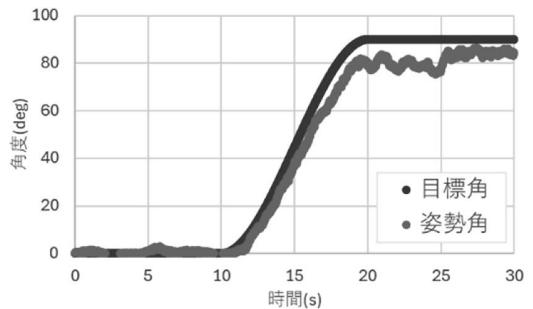


図 4 目標角と姿勢角の比較

3. おわりに

私は今回講演会に参加し、オーラルセッションを行った。今回の講演会は、発表を聞いていただいた方々からの質問や意見によって再度自身の研究に対して考えることや、他の参加者のオーラルセッションを拝見することで様々な研究に触れる貴重な機会になったと考えている。

最後に、今回の発表を行うにあたってご指導を頂いた坂上憲光教授に深く感謝致します。

参考文献

- [1] 岩堀貴純、山田大貴、坂上憲光、川村貞夫：“負圧効果による吸着機能を有する壁面作業用水中ロボットの設計と開発”，ロボティクス・メカトロニクス講演会 2020, 1A1-B14
- [2] 竹林嵩紘、油本陽介、坂上憲光、川村貞夫：“水中ロボットの本体位置姿勢維持のための負圧効果板”，ロボティクス・メカトロニクス講演会 2017, 2A2-F 08

水中遺跡調査のためのスラスタを用いた発掘デバイスの試作と実現可能性

松 前 辰 武

Tatsumu MATSUMAE

機械システム工学専攻修士課程 2年

1. はじめに

2024年9月4日に第42回日本ロボット学会学術講演会に参加し、「水中遺跡調査のためのスラスタを用いた発掘デバイスの試作と実現可能性」という題目で研究発表を行った。

2. 緒言

人類は古くから水辺を活用し、生活してきた。そのため水中には今多くの遺物が眠っている可能性がある。しかしながら、水中の遺物は保存状態の推定が困難であるため、扱いを誤ると滅失の恐れがある。これらの懸念から、2001年にはUNESCOが定める「水中文化遺産保護条約」において、水中遺物や遺跡への不可侵、現状維持が定められており、発掘調査時には申請手続きが義務づけられている。近年では、臨海開発の活発化を受け、水中遺物損失の危険性が高まっており、水中の埋蔵文化財の保護に向け、調査・発掘・保護活動の拡大が喫緊の課題とされている。本研究では、デバイスの開発目標を「人間の手元で使用可能なポータブル発掘デバイス」と設定し、デバイスの試作と性能評価を実施した。本研究で製作したデバイスは、ウォータードレッジと呼ばれる従来の発掘方法を参考に試作を行った。ウォータードレッジは船に搭載された大型ポンプが発生する水流を利用して土砂除去を行う方法である。

本研究では、デバイスの小型化を実現するため、従来のウォータードレッジ手法で使用されていた大型ポンプに代わって、小型スラスタを起用した。本研究で採用したスラスタは、水中での使用が可能

で、小型ながらも高出力に対応しているため、ポンプの代替品として水流発生に利用できると考えている。しかしながら、スラスタの水流特性や出力が、発掘性能に与える影響は明らかにされていないため、「人間の手元で使用可能なポータブル発掘デバイス」の実現に向け、デバイスの発掘性能の評価が求められた。また、酸素ボンベを装備したダイバーが潜水活動を行う最大水深や活動時間、潜水回数には制限がある。この為、本研究の発掘デバイスは防水性能をもち、ダイバーの潜水時間以上の稼働時間が求められた。

本研究では試作した発掘デバイスを用いて、デバイスの吸引部の流速の測定、デバイスが発生する反力の測定、デバイスの消費電力の測定を実施し、その実現可能性を検討、評価する。

3. 実験・結果

3.1 流速測定実験

「人間の手元で使用可能なポータブル発掘デバイス」を実現するにあたって、本研究では小型スラスタを起用したが、小型スラスタで十分な吸引力を確保できるかを評価するために、吸引口での流速を測定した。実験では、デバイスの形状、出力を変化させて吸引口の流速を測定し、比較した。試作した曲管、直管2種類のデバイスを図1に示す。

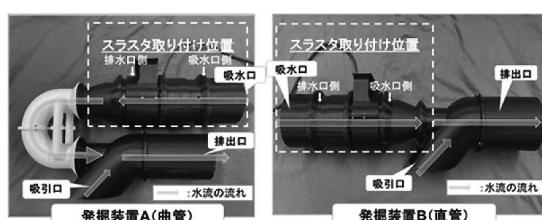


図1 2種類の発掘デバイス

曲管デバイスは、ダイバーが発掘時に吸引口を確認する際、視界の邪魔にならないところにスラスタを取り付けるように設計した。一方、直管デバイスは少ない損失で水流を流せるように設計を行った。実験結果を表1に示す。

実験結果より、2種類のデバイスの吸引口で流速が発生しており、吸引性能を確認できたため、試作したデバイスは発掘デバイスとして有用であると考えられる。

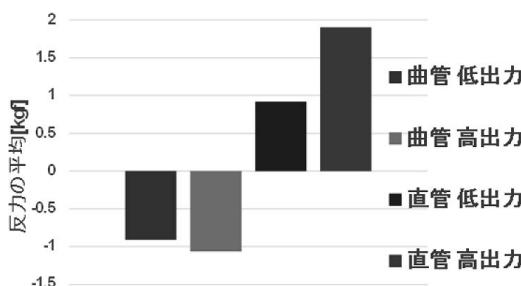
表1 流速測定実験結果

平均流速[m/s]		
出力	直管	曲管
低出力	0.246	0.168
高出力	0.341	0.241

3.2 反力測定実験

デバイス動作時にスラスタによって生じる反力を測定する。スラスタ反力が大きい場合、ダイバーがその反力を受け、作業効率が低下する可能性があるからである。実験結果を図2に示す。

まず、発掘デバイスの直管形状と曲管形状で反力の向きが逆になることが確認できた。力の大きさを見た時、曲管デバイスの反力が小さく、発掘作業時にダイバーに及ぼす影響が少ないため、より安定した動作が実現可能であると考えられる。



3.3 消費電力測定実験

デバイスに搭載予定のバッテリーを用いて十分な駆動時間を確保できるか評価した。実験では、スラスタの出力別の消費電力を測定した。実験結果を表2に示す。

表2より、発掘デバイスの曲管、直管で比較したとき、消費電力にほとんど差がないことが確認でき

たため、今回はデバイスの形状の違いによる消費電力への影響は受けにくいことが分かった。

表2 消費電力測定実験結果

消費電力[W]		
出力	直管	曲管
低出力	52.51	53.63
高出力	157.35	159.51

4. 結言

流速測定実験の結果より、試作した2種類のデバイスの吸引口で流速が発生しており、吸引性能が確認できたため、試作したデバイスは、発掘デバイスとして有用であると考えられる。

反力測定実験の結果より、曲管と直管の違いで、反力がかかる方向が逆であることが確認できた。また、高出力でスラスタを回転させた場合で比較すると、曲管デバイスの反力が小さいことが確認できた。消費電力測定の結果より、曲管と直管で、大きな差がないことも明らかとなった。

曲管デバイスはダイバーの視界を妨げない構造でもあるため、作業効率に悪影響を及ぼす可能性が低い曲管デバイスを採用すべきであると考える。また、消費電力測定の結果から、利用予定のバッテリーを用いると約40分以上駆動できる。このため、ダイバーの一回の潜水時間以上の稼働時間を確保できることが明らかとなった。

5. おわりに

初めての口頭発表形式での発表で多くの方々に公聴していただき、緊張したが多くの助言をいただきことができ、良い経験が得られたと感じている。

最後に、本学会に参加するにあたり、坂上憲光教授をはじめ、ご指導いただいた皆様に感謝申し上げます。

2024 年度溶接学会秋季全国大会 での研究成果の発表

野 田 能 修

Yoshinobu NODA

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 9 月 4 日から 6 日まで北海道科学大学で開催された 2024 年度溶接学会秋季全国大会に参加し、「窒化ケイ素製ツールを用いた鉄鋼材料の傾斜摩擦攪拌接合」というタイトルで研究発表を行った。

2. 研究内容

2.1 背景・目的

摩擦攪拌接合 (Friction Stir Welding: FSW) は、回転ツールと被接合材の間で生じる摩擦熱および加工発熱を用いて材料を軟化させ、ツールの回転力により生じる塑性流動を利用して接合を達成する固相接合法である。産業応用の観点から、鉄鋼材料の接合法に FSW を展開することが期待されている^[1]。高強度を有する鉄鋼材料の FSW においては、ツール寿命が課題となる。我々は、応力集中による折損や摩耗の抑制によるツールの長寿命化を目的として、単純形状を有する球状ツールを用いた傾斜摩擦攪拌接合の研究開発を進めている^[2]。本研究では、鉄鋼材料の FSW ツールに要求される材料特性を有し、安価な材質の候補のひとつとして注目される窒化ケイ素製の球状ツールを用いた傾斜摩擦攪拌接合を行い、超硬合金製の球状ツールにて得られた結果と比較検討を行った。

2.2 実験方法

供試材は、板厚 5mm の熱間圧延鋼板 SPHC である。球状ツールを用いた傾斜摩擦攪拌接合の概略図を図 1 に示す。本接合の特徴は、先端が球状となつたツールを使用すること、および後退 (Retreating

Side: RS) 側に傾斜角を付与することである。

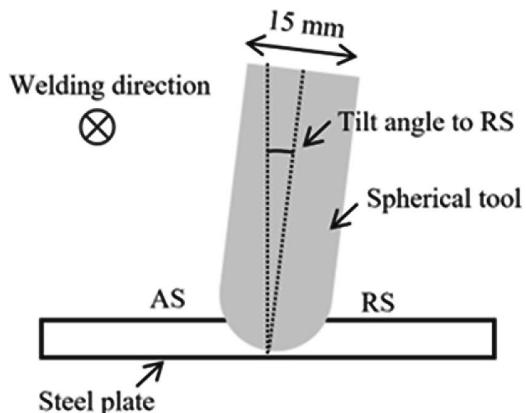
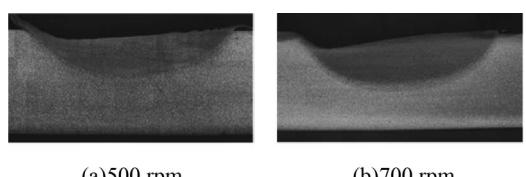


図 1 傾斜摩擦攪拌接合の模式図

ツールの材質は窒化ケイ素および超硬合金である。この 2 種類の材質によって作製された球状ツールで寿命評価を行った。接合条件は超硬合金製ツールではツール回転数 700rpm、接合速度 300mm/min, RS 側への傾斜角 7° とした。一方で、窒化ケイ素製では超硬合金製と同様の接合条件に加え、ツール回転数を 500rpm に変更しても接合実験を行った。また、1 回の接合距離を 250mm とし、500mm 毎に接合後のツール形状を 3 次元形状測定装置にて測定し、ツール摩耗の評価を行った。

2.3 実験結果および考察

はじめに、本研究で窒化ケイ素製ツールを用いて作製した継手の断面観察結果を図 2 に示す。図 2 より、いずれの条件でも接合部表面および内部に欠陥のない継手であることが明らかになった。



(a)500 rpm (b)700 rpm

図 2 SPHC 継手の断面観察結果

図 3 に窒化ケイ素ツールの形状測定結果を示す。1500mm 接合後ではいずれの条件でも摩耗は見受け

られなかった。3000mm 接合後では 500rpm では同様に摩耗は見受けられなかったが、700rpm では摩耗が開始した。その後、引き続きツール寿命評価を行いうと 500rpm では 6000mm までツール破損せず、接合することが可能であった。その一方で 700rpm では約 5.8m 接合後にツールが破損した。

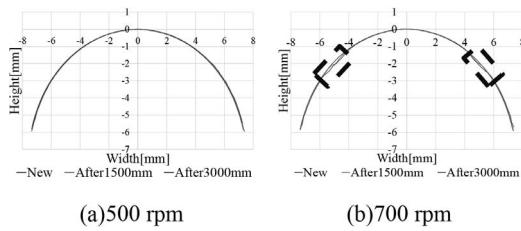


図 3 窒化ケイ素製ツールの形状測定結果

図 4 に超硬合金製ツールで 1500mm 接合後のツール形状測定結果を示す。図 4 より超硬合金製ツールでは 1500mm 接合後に摩耗が開始した。このことから図 3 と比較すると、ツール材質に窒化ケイ素を用いると摩耗が抑制されることが明らかになった。

また、窒化ケイ素製ツールにおいて回転数がツール寿命に与える影響を考察するために接合実験中にツール温度を測定した結果を図 5 に示す。図 5 より 500rpm では 700rpm よりも 110°C 低かった。窒化ケイ素という材質は強度に関する温度依存性があり、一定温度を超えると急激に強度低下することが既に明らかにされている^[3]。よって、500rpm では急激な強度低下が始まる温度よりも低温で接合したことによって高温下での強度低下を抑制し、高寿命化したと考えている。

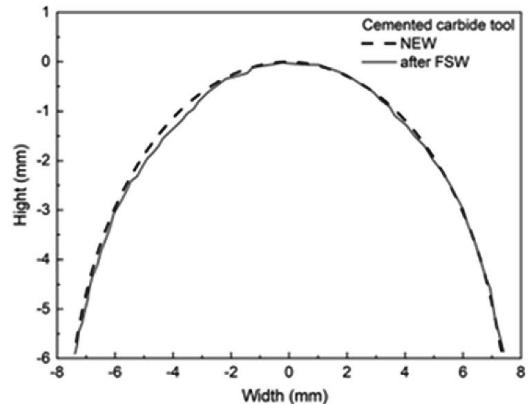


図 4 超硬合金製ツールの形状測定結果

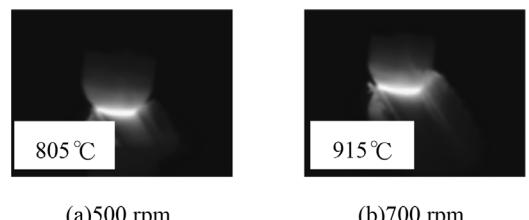


図 5 溫度測定中の熱画像カメラ

参考文献

- [1] 森ら, 窒化珪素製ツールを用いた厚鋼板の摩擦攪拌接合, 鉄と鋼 (2022), 108-12, 958-965.
- [2] Muneaki et al., Development of friction stir welding method using a tilted spherical tool", Sci. Technol. Weld. Join., 29, 2 (2024) 81-89.
- [3] 田中ら, 常温および高温における常圧焼結窒化ケイ素の引張強度, 材料 (1987), 第 36 卷, 第 405 号, p.563-569

溶接学会 2024 年度秋季全国大会 に参加して

益野 岳登

Gakuto MASUNO

機械システム工学専攻修士課程 2 年

1. はじめに

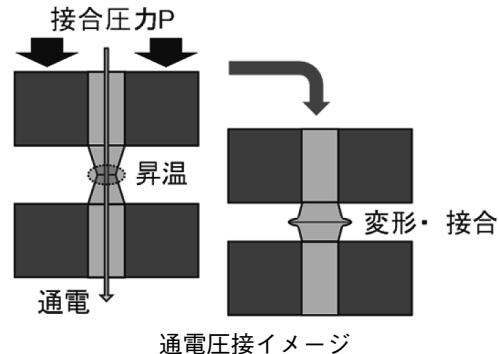
私は、2024 年 9 月 4 日から 6 日まで北海道科学大学で開催された、溶接学会 2024 年度秋季全国大会に参加した。本学会では、「A6061 壓力制御通電圧接に及ぼす通電条件の影響」という題目でポスターセッションを行った。

2. 緒言

圧力制御通電圧接法は、固相接合法の一種であり、接合圧力により接合温度を任意に制御可能である。これにより、加工硬化させたアルミニウム合金においても接合温度を下げることで熱影響部の軟化を抑制し、AA5052 では継手効率 100% が得られた。本研究では、種々の接合条件下において析出強化型のアルミニウム合金 A6061 の継手を作製し、接合条件が継手特性に及ぼす影響を評価した。

3. 原理

通電圧接は、接合部に生じるジュール熱と高い接合圧力により被接合材を変形させ、接合を行う。摩擦圧接と異なり回転機構が不要のため、小径材や薄肉材の接合に有利である。また、従来の固相接合法では、接合圧力が低いことにより、材料の変形に比較的高い温度が必要であったが、今回用いる手法では、接合圧力の制御により材料への入熱を最小限に留めることができる。



4. 実験方法

A6061 について、圧力制御通電圧接による継手の作製を行った。被接合材には、先端を $\phi 5$ にテープ加工した $\phi 10$ の A6061 丸棒を用いた。接合装置は、大阪大学接合科学研究所の通電圧接装置を使用し、接合電流 6000A、接合圧力 90~360MPa の条件で接合を行った。作製した継手について、引張試験、硬さ試験、金属顕微鏡による微細組織観察、温度測定等の手法により、機械的性質の評価を行った。

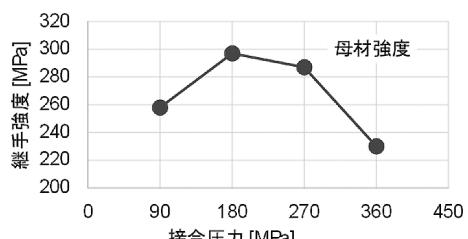
5. 実験結果

5.1 接合圧力と継手強度の関係

接合圧力が 180~270MPa の範囲で、高強度の接合が得られ、継手は母材部で破断した。それ以下の接合圧力では、継手は熱影響部で破断、それ以上の接合圧力では継手は接合部で破断し、いずれも継手強度の低下が見られた。



A6061 継手の外観



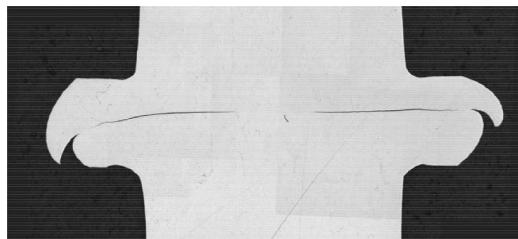
接合圧力と継手強度の関係

5.2 接合圧力と接合部の硬さ

接合面付近の硬さについて、接合圧力が過小であるときのみ、他の継手に比べ20HV程度小さい70 MPaまで硬度が大きく低下していた。このことより、接合温度が過大となり組織に軟化が生じていると考えられる。

5.3 継手断面の観察結果

接合圧力が過大であるとき、接合面外周部に未接合領域が確認された。これにより、接合圧力が過大であるとき、未接合領域により継手強度が低下していると考えられる。



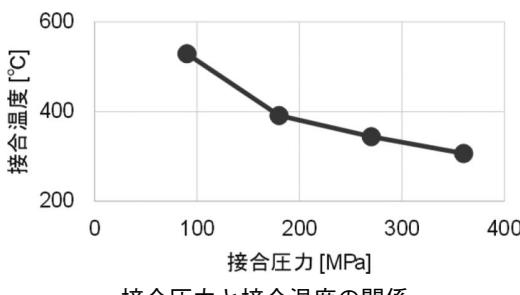
接合圧力が過大（360MPa）の継手断面

5.4 接合部の微細組織

接合圧力が低い継手断面において、熱影響部の幅が広く、接合面で再結晶している様子を確認した。接合圧力の小さい継手について、軟化の要因は過度の入熱による組織の変質であると考えられる。

5.5 接合温度の測定

放射温度計を用いた接合温度の測定により、接合圧力の増加に伴い接合温度が低下する様子が確認された。



接合圧力と接合温度の関係

5.6 小径の継手作成

接合圧力360MPa、接合電流3000Aにおいて、小径（ $\phi 5$ ）の接合に成功した。摩擦圧接では接合できない小径材の接合に有用である。

6. 結言

本研究では、圧力制御通電圧接法を用いてA6061の継手を作製し、継手の機械的特性を調査した結果、以下の結論を得た。

- 1) 圧力制御通電圧接法において、接合圧力270 MPaにて製作したA6061継手の継手効率は100%であった。
- 2) 接合圧力が低く、接合温度が高い条件では熱影響部での破断、接合圧力が高く、接合温度が低い条件では接合部破断が生じた。A6061-T6材においても、当該接合法を用いて適切な接合圧力を選択することで、熱影響部の軟化を抑制し、母材破断を呈する継手作製が可能であることを明らかにした。
- 3) $\phi 10$ のみならず、より小径（ $\phi 0.5$ ）のA6061丸棒の継手作製に成功した。

7. おわりに

今回のポスターセッションを通じて、自らの研究成果を報告するのみならず、質疑応答を通じ様々な意見やアイデアを得ることができた。

最後に、今回の発表にあたりご指導を頂いた森正和准教授ならびに大阪大学接合科学研究所の藤井英俊教授始め、藤井研究室の皆様に深く感謝致します。

第23回情報科学技術フォーラム (FIT2024)に参加して

楠 純哉

Junya KUSUNOKI

情報メディア学専攻修士課程 2年

1. はじめに

2024年9月4日から6日、広島工業大学五日市キャンパスで開催されたFIT2024にて「大規模言語モデルを用いた将棋の解説文生成のためのデータセットの構築」というテーマで発表を行った。

近年、プロ棋士による将棋の対局がネット上で多く配信されているが、初心者にとって解説がされていない対局を理解するのは、難しい。そのため、初心者の理解を手助けするために将棋解説文を自動生成する必要がある。これまでに、亀甲ら（2014）は対局の局面の特徴を用いて単語を予測し、対数線形言語モデルを利用することによって将棋解説文を生成している。亀甲ら（2021）は将棋解説文の自動生成システムのためのコーパスを作成している。また佐々木ら（2022）は将棋解説文に含まれる構成要素を定義して、将棋解説文コーパスを作成している。

本研究の目的は専門家が作成した解説に近い解説文を生成することである。本研究では局面図を入力として受け取り、大規模言語モデル（LLM）を用いて解説文を生成する。将棋解説文の品質を上げるために、LLMをファインチューニングする。そのためのデータセットを構築する。従来研究の亀甲ら（2021）と佐々木ら（2022）がコーパス作成であるのに対して、本研究は将棋解説文の生成まで行う点で異なる。また、亀甲ら（2014）は対数線形言語モデルを使用したのに対して、本研究はLLMを使用する。

2. 将棋解説文の生成

本研究の解説文生成システムは局面図から手数と指し手を抽出し、LLMを用いて解説文を生成する。

ここで、手数は何手目に指されているかを表し、指し手はどの駒をどの位置に動かしたかを表す。例えば“1 ▲26歩”などである。

解説文生成システムのプロンプトの一般形式は“次の手と指し手から解説文を生成して、手指し手”である。“手指し手”には“1 ▲26歩”などが入る。

LLMとしてELYZA-japanese-Llama-2-7b-instructを用いる。

将棋解説文の品質を向上させるために、LLMをファインチューニングする。チューニングデータのInputには手と指し手であり、OutputはInputに対応する解説文である。ファインチューニング手法としてQLoRAを用いる。

3. 解説文生成のためのデータセットの構築

3.1 棋譜データの収集

LLMのファインチューニングのために将棋解説文付き棋譜を利用してデータセットを構築する。データとして日本将棋連盟による棋譜配信サイト（名人戦棋譜速報）<https://www.meijinsen.jp/>で公開されている解説文付き棋譜を収集する。収集する棋譜は名人戦と順位戦の対局からなり、将棋に詳しい観戦記者や対局者以外のプロ棋士が解説文を作成している。

これらの棋譜のうち68期から81期までの名人戦及び順位戦のものを約10000局収集し、データセットを構築する。データセットである棋譜付き解説文の収集スクリプトを利用し、解説がされている棋譜のみを収集する。このツールは棋譜を柿木形式として収集する。柿木形式は手数、指し手、解説文などで構成される。解説文の先頭にはアスタリスクがついており、手数と指し手の行との区別がされている。柿木形式の例を次に示す。

1 5六歩

*先手は▲5六歩と5筋の歩を突いた。

2 8四歩

*後手は8筋の歩を伸ばした。

将棋解説文は、局面に対する解説の他にも、消費時間、対局地、対局者がとった食事などの情報で構成される。

3.2 データセットの品質向上のための加工

本研究ではデータセットの品質向上のために次の4つの加工を行う。第1に収集した将棋解説文をすべて利用するのではなく、指し手を含む文のみを利用する。将棋解説文には、局面内容とは直接関係ない情報も含まれているためである。

第2に解説文に含まれる人名を「先手」か「後手」に置き換える。その理由は対局ごとに対局者が異なるからである。人名は、名前の後ろについている段位やタイトル名を含む。人名の判定では、Chasenを用いて解説文を形態素解析し、単語の品詞が固有名詞の人名である場合、その単語を人名と判断する。

第3に消費時間などを含む文を削除する。

第4にInputに対応するOutputがないデータは、データセットとして利用しない。これは、Inputに対応するOutputがないケースが多くあるため、生成する将棋解説文の品質が悪くなるからである。これらの加工の結果、データセットとして指し手とそれに対応する解説文からなる28万ペアを得ることができた。

4. 実験と考察

4.1 実験方法

68期から81期までの名人戦及び順位戦の棋譜約10000局のうち81期名人戦第一局111手分を評価データとし、それ以外を学習データとする。ファインチューニングの前後で、生成される将棋解説文の品質を第1著者が「1. 完全に間違い」、「2. ほとんど間違い」、「3. どちらでもない」、「4. ほぼ正しい」、「5. 完全に正しい」の5段階で評価する。

4.2 実験結果と考察

ファインチューニング前後の生成文に対する5段

階評価結果を表1に示す。横軸がファインチューニング前(FT前)を表し、縦軸がファインチューニング後(FT後)を表す。表1から分かるように、評価値が「1. 完全に間違い」の文の数がファインチューニング前後で23文から0文に減っている。例として、ファインチューニング前の生成文を次に示す。

・“手牌：1松2摸3摸4摸5摸6摸”

ファインチューニング後の生成文を次に示す。

・“△2四歩があれば、後手玉の捌きが難しくなる。”

評価値1の文数が減った理由はファインチューニングによってある程度、解説文の形式を学習し、完全に間違えている解説文の生成がされなくなったからである。

表1 ファインチューニング前後の生成文に対する5段階評価結果

FT後 FT前	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	15	39	26	0	0
3	8	12	11	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0

5. おわりに

FIT2024に参加し、他大学の学生や企業の方々の発表を通じて、LLMの最新技術やその応用例について学ぶことができた。特に、LLMを活用した自然言語生成の高度な技術に触れ、これまで考えていなかった新たなアプローチや改善の可能性を見出すことができた。

今後は、これらの知見を基に自身の研究にLLM技術を取り入れ、将棋解説文の生成においてさらなる精度向上を目指したいと考えている。

第 22 回情報科学フォーラム (FIT2024) に参加して

高木 裕也

Yuya TAKAGI

情報メディア学専攻修士課程 2 年

1. はじめに

2024 年 9 月 5 日、広島工業大学五日市キャンパスで開催された FIT2024 にて「ドメイン適応を用いた Vision Transformer による鍛造部品の不良品検出」というテーマで発表を行った。

現在、鍛造部品の外観検査の多くは人間による目視で行われている。そのため、検査員の違いによる検査精度のバラツキや、人手不足といった課題がある。そこで、画像検査による外観検査の自動化によって、これらの課題を解決することを目的として Vision Transformer (ViT) を用いた鍛造部品の不良品検出について研究を行った。その結果、撮影時期による環境変化や部品の表面テクスチャの変化によって識別率が低下することがわかった。本研究では、ドメイン適応を用いて、異なる時期に撮影された鍛造部品の画像データ間の特徴量のギャップを小さくすることで、学習データとは異なる撮影時期のデータでも識別精度低下を抑える方法を検討し、従来手法との比較実験を行った。

2. データセット

本研究では、高橋金属（株）提供の鍛造部品の底面部と側面部が写っている画像をデータセットとする。側面部について傷や欠け、打痕が見られる不良品画像と、良品画像でラベル付けされている。用いるデータセットの撮影時期とラベル、枚数を、表 1 に示す。

撮影時期が 2023 年 1 月から 2023 年 4 月までのデータは、学習用データ 2,048 枚、検証用データ 256 枚、評価用データ 1,440 枚に分割した。また、2023 年 5 月に撮影された良品と不良品のデータは、

学習していない撮影時期のデータの識別精度について評価するために用いた。画像の例を図 1 に示す。

表 1 データセット

撮影時期	ラベル	枚数	データ用途
2023/01	不良品	1000	学習、検証、評価用
2023/02	良品	1000	学習、検証、評価用
2023/03	不良品	744	学習、検証、評価用
2023/04	良品	1000	学習、検証、評価用
2023/05	不良品	595	評価用
2023/05	良品	1000	評価用



(a) 1月不良品



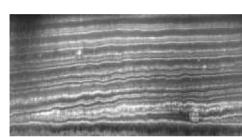
(b) 5月良品

図 1 サンプルデータ

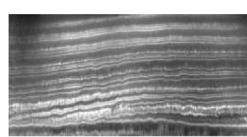
3. 手法

データセットの不良品画像は側面部（ネジ部）についての欠陥だけなので、原画像から側面部のみが写った画像に変換する。原画像を鍛造部品の中心を原点として極座標変換を行い、横軸を角度、縦軸を動径とした 256×278 画素にリサイズし、上部 150 画素を除去することで、256×128 画素の画像にする。変換後の不良品画像の例を図 2 に示す。

ViT_DA のモデル構造を図 3 に示す。ViT_DA の構造は、入力画像の特徴量を出力する ViT、良品および不良品のラベル識別用の全結合層、撮影時期のドメイン識別用の全結合層で構成されている。



(a) 不良品画像



(b) 良品画像

図 2 変換後の画像

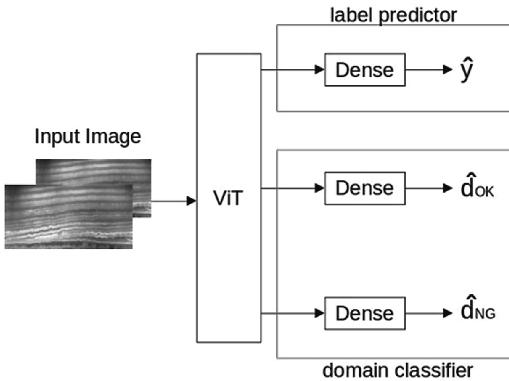


図3 ドメイン適応を用いて学習する ViT

また、本研究の学習用データは、撮影時期でラベルが統一されているため、撮影時期を識別することがラベルを識別することと同義になってしまふ。そこで、ドメイン識別用の全結合層を良品画像用と不良品画像用の2種類用意することで、ラベルごとにドメインを識別する構造にした。

ViT とラベル識別層の損失関数 L_y は以下のよう に定義する。

$$L_y = \lambda \sum_i y_i \log(\hat{y}_i) - (1 - \lambda)(L_{d,ok} + L_{d,ng})$$

ここで、 y_i は正解ラベル、 \hat{y}_i は予測ラベル、 λ はドメイン損失の影響を調整するハイパーパラメータである。 $L_{d,ok}$ は良品画像用のドメインを識別するクロスエントロピー、 $L_{d,ng}$ は不良品画像用のドメイ ンを識別するクロスエントロピーである。

4. 結果

作成した学習済みモデルを用いて、良品画像および不良品画像に対して識別を行った。評価用データおよび、2023年5月撮影のデータに対する識別の ROC 曲線を図4に示す。

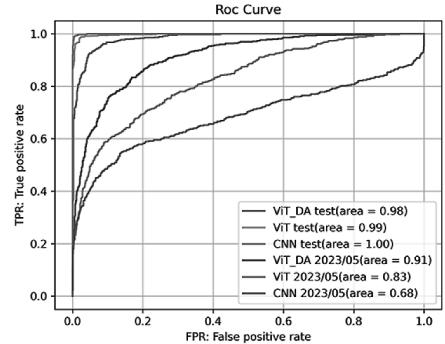


図4 ROC 曲線

図4より、学習データと同時期に撮影された評価用データに対しては、AUCの値が0.98から1.0となっており、どのモデルにおいても識別精度が高いことが分かる。一方で、2023年5月撮影の学習データと異なる撮影時期のデータに関しては、ViT_DA のAUCが0.91と他のモデルと比べて高い。

ViT_DA と ViT に対して、t-SNE で2次元に次元削減した特微量を図5に示す。

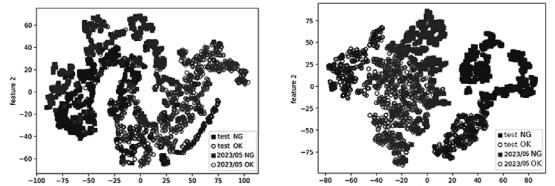


図5 特微量の分布

図5より、ドメイン適応を用いていないViTは、学習用データと、学習用データとは異なる撮影時期のデータの特微量が分離されている。一方 ViT_DA は、学習用データと2023年5月撮影のデータの分布が重なりあっていることが分かる。

5. おわりに

本発表は、奨励賞を受賞することができた。また、発表後の質疑応答では、様々な質問を頂いたことから、関心を寄せる有意義な発表ができたと考える。しかし、質疑応答の中には発表における説明不足を感じるものもあり、より分かりやすい説明を心がける必要があると考える。

種々の貴金属とヒ素化合物の相互作用の評価

峯 田 蓮 大

Rendai MINETA

応用化学課程 4 年

1. はじめに

私は 2024 年 9 月 5 日・6 日の 2 日間福岡大学で開催された「第 36 回 DV-Xa 研究会」に参加し、「種々の貴金属とヒ素化合物の相互作用の評価」という題目でポスター発表を行った。

2. 実験内容

ヒ素は、安定な酸化数として 3 値と 5 値があり、3 値の方が 5 値よりも毒性が高い。ヒ素の定量分析には、ICP 発光分析法や原子吸光分析法があるが、3 値と 5 値を分別して定量するためには、非常に煩雑な化学的操作が必要である。電気化学分析法によるヒ素を簡便に分別定量する試みが、いろいろなされているが、そこにおいて、電極として用いる金属の中で金の場合の感度が高く、金と還元電着されたヒ素の間に強い相互作用があることが示唆された。そこで本研究では、まず種々の相互作用で結合させた金属原子とヒ素原子について、相互作用の強さを分子軌道計算によって求めた。さらに、3 値と 5 値のヒ素酸化物ならびにそれらと種々の金属化合物について XPS スペクトルを測定し、理論 VBXPS スペクトルと比較し、この手法の評価を行った。

金属原子単体 (Cu, Rh, Pd, Ag, Pt, Au) とヒ素原子単体で分子モデルを SCIGREES を用いて作成し、構造最適化を行った。結合の種類については、弱い相互作用、配向結合、共有結合を有する分子モデルを作成した。得られた原子座標を用いて、DV-Xa 分子軌道計算を行い、求められた有効電荷、共有結合性電子数の値から、各々の構造原子の電子状態を評価した。次いで $\text{As}_2(\text{III})\text{O}_3$ と $\text{Na}_2\text{HAs(V)}\text{O}_4$ の 2 種のヒ素酸化物の XPS スペクトルを測定した。そ

れらの分子モデルを作成し、DV-Xa 分子軌道計算によって理論 XPS スペクトルを導出し、実測の XPS スペクトルとの比較を行った。

2.1 ヒ素原子単体—金属原子単体

ヒ素原子単体 (As) と Cu, Rh, Pd, Ag, Pt, Au の金属原子単体 (M) について、弱い相互作用 ($M \cdots As$)、配向結合 ($M \leftarrow As$, $M \rightarrow As$)、共有結合 ($M-As$) の相互作用の異なる 4 種の分子モデルを作成し、分子軌道計算を行い、金属原子の有効電荷ならびにヒ素-金属間の共有結合性電子数を評価した。その計算結果を表 1 にまとめた。

表 1 ヒ素 As と M の相互作用における計算結果

金属 (M)	弱い相互作用 $M \cdots As$	配向結合 $M \leftarrow As$	配向結合 $M \rightarrow As$	共有結合 $M-As$
Cu (Z=29)	有効電荷 0.0096	0.0103	0.0108	0.0112
	共有結合性電子数 0.6200	0.6114	0.6106	0.6146
Rh (Z=45)	結合距離(D) 2.365	2.376	2.376	2.369
	有効電荷 -0.1064	-0.1025	-0.1080	0.1145
Pd (Z=46)	共有結合性電子数 0.7471	0.7369	0.7424	0.7534
	結合距離(D) 2.445	2.456	2.456	2.449
Ag (Z=47)	有効電荷 -0.0897	-0.0870	-0.0824	0.0764
	共有結合性電子数 0.6746	0.6657	0.6596	0.6545
Pt (Z=78)	結合距離(D) 2.475	2.487	2.487	2.479
	有効電荷 -0.0499	-0.0488	-0.0498	0.0498
Au (Z=79)	共有結合性電子数 0.5899	0.5843	0.5822	0.5877
	結合距離(D) 2.535	2.547	2.547	2.539
	有効電荷 0.0810	0.0866	0.0868	0.0890
	共有結合性電子数 0.6666	0.6485	0.6304	0.6455
	結合距離(D) 2.495	2.507	2.507	2.499
	有効電荷 -0.0409	-0.0329	-0.0315	0.0377
	共有結合性電子数 0.6014	0.5944	0.5941	0.5989
	結合距離(D) 2.535	2.547	2.547	2.539

分子モデルによっては、結合距離が異なるが、いずれにおいても、弱い相互作用と共有結合、配向結合 ($M \rightarrow As$, $M \leftarrow As$) は、それぞれよく似た値となつた。Rh, Pd, Ag, Au においては有効電荷の値がマイナス (As がプラス) となつた。共有結合性電子数の値は、 $\text{Rh} > \text{Pd} > \text{Pt} > \text{Cu} > \text{Au} > \text{Ag}$ との順である。

〈亜ヒ酸 (As_2O_3) とヒ酸二ナトリウム (Na_2HAsO_4)〉

ヒ素が 3 値である亜ヒ酸 ($\text{As}_2(\text{III})\text{O}_3$) を 2 種 (直線構造, Adamantan 型構造) と 5 値であるヒ酸二ナトリウム ($\text{Na}_2\text{HAs(V)}\text{O}_4$) の分子モデルを作成し、分子軌道計算を行い、有効電荷ならびに共有結合性電子数を評価した。その計算結果を表 2 にま

とめた。また、それらの実測 XPS スペクトルを亜ヒ酸を図 1 にヒ酸二ナトリウムを図 2 に、実測 VB XPS スペクトルと理論 VB XPS スペクトルを比較したものを図 3 に示した。

表 2 亜ヒ酸とヒ酸二ナトリウムの分子軌道計算の計算結果

化合物	有効電荷	共有結合性電子数	結合距離(Å)
$\text{As}(\text{O})_3$ (直線構造)	As: 0.9309, 0.9736		
	O=As: -0.6321, -0.6143	0.2101, 0.2470	1.830
	O=As: -0.6581	0.5112, 0.5442	1.632
Adamantan	As: 1.1825, 1.3626		
	O=As: -0.9925, -0.6983	-0.3002, -0.1636	1.758
	As: 1.8022		
Na_2HAsO_4	O=As: -1.0221, -0.8937	0.2353, 0.4512	1.768, 1.797
	O=As: -0.9500	0.5068	1.624
	H=O: 0.4591	0.4884	1.054
	Na=O: 0.7481, 0.7629	0.1495, 0.1701	2.248

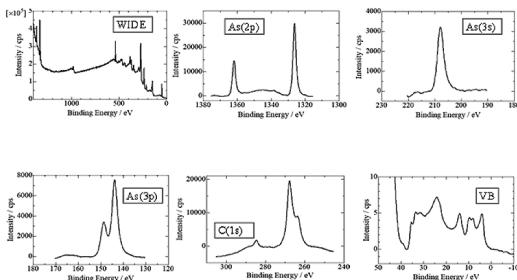


図 1 亜ヒ酸の実測 XPS スペクトル

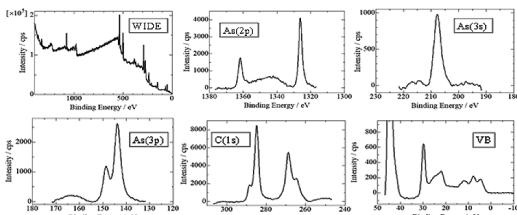


図 2 ヒ酸二ナトリウムの実測 XPS スペクトル

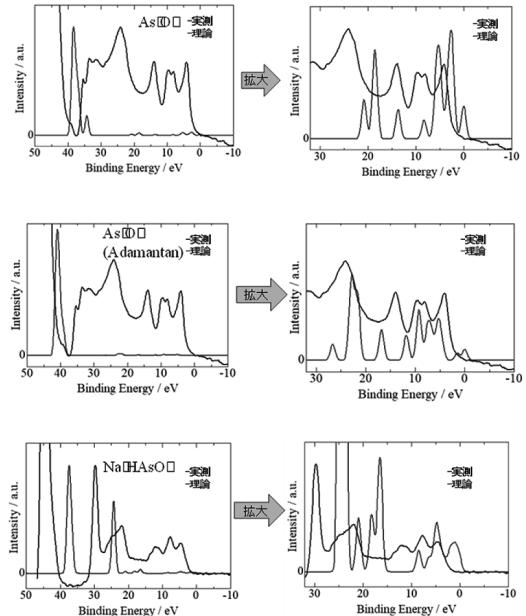


図 3 実測および理論 VB XPS スペクトル

図 1 と図 2 を比較すると、ピーク位置とピーク形状が類似していることより、3 値と 5 値を分別することは困難であると考える。また、図 3 より実測スペクトルと理論スペクトルを比較すると、いくつかのピークにずれが認められる。 As_2O_3 においては、直線構造の理論スペクトルに比べ、Adamantan 型構造の理論スペクトル方が実測スペクトルとのピーク形状によく対応していると考えられる。このことより As_2O_3 の分子モデルでは Adamantan 型構造が適当と判断した。 Na_2HAsO_4 においても理論スペクトルが実測スペクトルのピーク形状の特徴をよく示していると思われる。

3. おわりに

短い時間であったが、他大学の先生方や学生と意見交換を行い、いい勉強となった。得た知識を今後の研究の糧にしたいと考える。

種々のアルミニウム塩および リン酸化合物の X 線光電子 スペクトルと DV-X α 分子軌道計算

大村 拓海

Takumi OMURA

応用化学コース修士課程 1 年

1. はじめに

2024 年 9 月 5 日と 6 日の 2 日間、福岡大学で開催された「第 36 回 DV-X α 研究会」に参加し、「種々のアルミニウム塩およびリン酸化合物の X 線光電子スペクトルと DV-X α 分子軌道計算」という題目でポスター発表を行った。

2. 研究内容

2.1 研究背景

リン (P) は窒素 (N), カリウム (K) と並び植物の三大栄養の一つである。無機のリンは、土壌中で主にリン酸二水素イオン ($H_2PO_4^-$) のとして存在しており、酸性ないし中性条件下でリン酸イオンは鉄 (III) やアルミニウムイオンと難溶性の化合物を生成し、これらは植物が利用しにくい化学形態である。このことが、Al の生物への有害性 (リン欠乏による植物の枯死) の要因であると考えられている。

そこで本研究では、土壌中に存在する金属イオンとリン酸イオンの間の化学結合の特徴を電子の観点より明らかにすることを目的として、種々のアルミニウム塩およびリン酸化合物について X 線光電子分光法 (XPS) と DV-X α 法を用いた検討を行った。

2.2 実験

まず、Al 化合物が主に O 原子と形成する結合について検討するため、種々の Al 化合物について XPS スペクトル測定と DV-X α 分子軌道計算を行った。Al(2s)XPS ピークの Binding energy における Al 単体からのシフト、Al の有効電荷から化合物中

の電子の状態を明らかにした。なお、XPS スペクトル測定は 1.0×10^{-6} Pa 以下の高真空中で Mg K α 線 (1253.6 eV, 400W) を X 線源として行った。C (1s) ピークを 284.8 eV に設定することで帶電補正を行った。

2.3 結果と考察

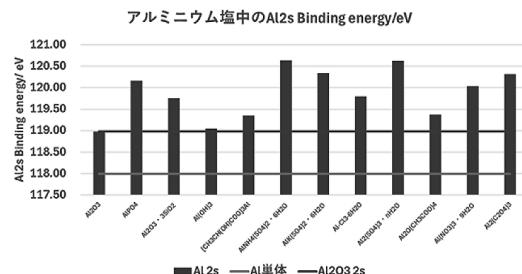


図 1 Al 化合物 XPS スペクトル測定結果

上昇する結果が得られた。このことから、化合物中で周囲の原子に電子を供与して、Al の電子密度が低下していると考えられ、化合物によって電子供与の程度が大きく異なっていると考えられる。

Al と O の電気陰性度の差は約 1.8 で、イオン結合性が高いと考えられるが、約 1.5 eV のシフトが確認できた。そこで、Al 化合物に DV-X α 法を適用することで、化合物中の Al の有効電荷の変化を数値的に評価することとした。

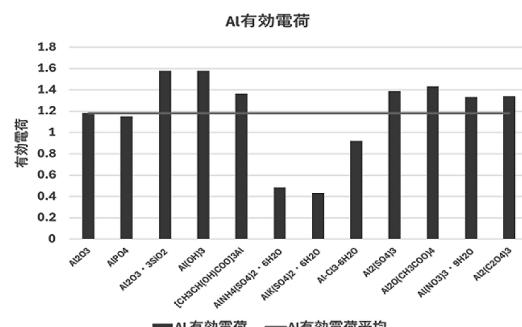


図 2 Al 化合物分子軌道計算結果

分子軌道計算を行う際の Al の初期電荷を +3 に設定したが、有効電荷が +1 前後へと大きく低下する結果が得られた。これは Al³⁺に対し、周りの O²⁻

が強い電子供与を行っていることを示している。また、化合物ごとの大きな変化が確認できた。このことから、Al と O の間の結合は単なるイオン結合ではなく、共有結合性がかなり強い化合物も存在することが明らかとなった。

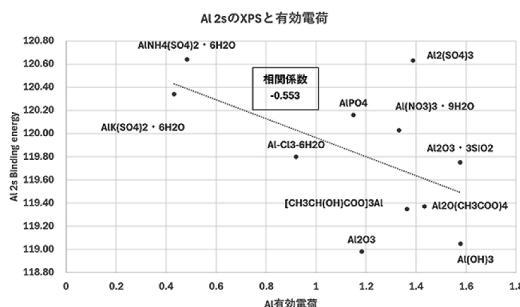


図 3 Al(2s) のピークと有効電荷の相関

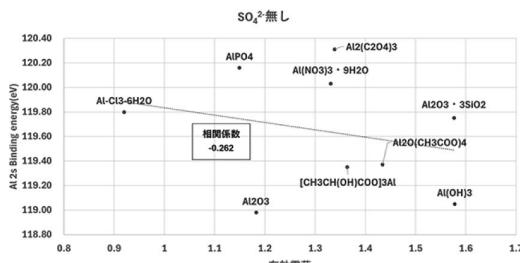


図 4 Al(2s) のピークと有効電荷の相関 (SO42- 無し)

XPS スペクトルでは、観測された電子の原子核との結合エネルギーを直接的に求めることができる。原子の有効電荷が上昇すると、その原子の電子密度は低下し、結合エネルギーは増加する。しかし、それらの相関を検討すると、相関係数はマイナスの値を示した。

ここで、硫酸イオンと結合した金属は予想されるより高エネルギー側にシフトすることが知られている。よって、硫酸イオンを含む化合物を除いて相関係数を計算してみた、これらには明瞭な相関関係が

認められなかった。

このことにより、Al 化合物は分子間相互作用が強く、また構造による影響が大きく現れると考えられ、実際の電子状態を分子軌道方で再現するには、多原子モデルで行う必要がある。

リン酸塩を構成している O 原子と金属間の結合における共有結合性を示す指標である Bond Overlap population (BOP) を以下に示す。

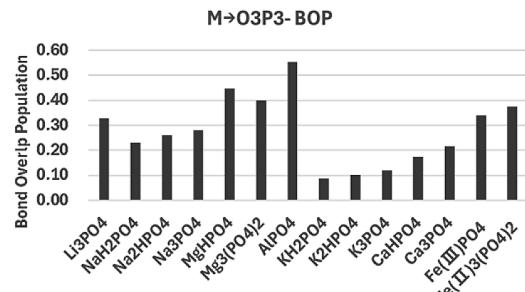


図 5 M→OPO43- 間の BOP

Mg を除く金属塩では H3PO4 の H が脱離し、金属に置換されるにつれて、BOP の値が上昇する傾向が確認できた。また、同族の原子では、原子番号が大きくなるにつれて BOP の値は低下し、共有結合性が低下していることが分かった。

3. おわりに

限られた時間の中であったが、多くの他大学の先生方や学生の方々とディスカッションすることができた。今回の経験を今後の研究の糧にしていきたい。

参考文献

- [1] 初めての電子状態計算 足立裕彦著
- [2] 新版はじめての電子状態計算 足立裕彦著

樹脂材料 POM の疲労寿命に及ぼす繰返し速度の影響

立脇 大雅

Taiga TACHIWAKI

機械システム工学専攻修士課程 2年

1. はじめに

2023年9月8日から11日にかけて愛媛大学城北キャンパスで開催された「日本機械学会2024年次大会」に参加し、「樹脂材料POMの疲労寿命に及ぼす繰返し速度の影響」という題目でポスター発表を行った。

2. 緒言

樹脂材料の廃棄は、自然環境への負荷が大きい^[1]。廃棄量を減らすためには疲労強度設計を高精度化し、樹脂材料の使用量を極力削減（必要最小限）する必要がある。樹脂材料の疲労強度設計で注意すべき点として、応力ひずみ関係が、ひずみ速度と温度に敏感である点が挙げられる。

使用環境に対応したひずみ速度、温度の条件下で、設計の基礎データとしてS-N線図を都度測定するのは非現実的である。必要最小限の疲労試験によって、任意のひずみ速度でのS-N線図を精度良く推定することは、疲労強度設計の高精度化に必要不可欠である。

しかしながら、樹脂材料のS-N線図に及ぼす、ひずみ速度の影響を予測する方法は解明されていない。

そこで、本研究では、ひずみ速度依存性を考慮でき、繰返し応力下での応力ひずみ関係の予測も可能な、金属材料の粘塑性モデルとして実績のあるAnandモデル^[2]を樹脂材料に初めて適用して、S-N線図を予測方法の提案を目指す。

3. 実験方法および解析方法

3.1 引張試験方法

引張試験片形状は幅10mm 平行部長さ72mmとした。ゲージ長5mmのプラスチック専用ひずみゲージにより、ひずみを測定した。ゲージの接着には専用の瞬間接着剤を用いた。室温大気中、変位速度は5, 50, 500mm/minの3速度で行った。

3.2 疲労試験方法

疲労試験は試験片と治具をボルトで固定し、軸力で引張負荷し、応力比は0.1、室温・大気中、繰返し速度は0.1, 1, 2Hzとした。

3.3 応力解析方法

解析にはAnsys Workbench 2019R3を用いた。Anandパラメータの決定には、林ら^[3]が開発した計算システムを用いた。このAnandパラメータを用いて疲労試験片の有限要素解析を行った。

4. 結果および考察

4.1 引張試験結果とAnandパラメータ

引張試験結果から得られた、最大応力までの応力・ひずみ関係から決定したAnandパラメータを表1に示す。

表1 Anandパラメータ

s_0	290 [MPa]
Q/R	7730 [K]
A	1338000 [1/sec]
ξ	9
m	0.04
h_0	91000 [MPa]
\hat{s}	542.7 [MPa]
n	0.0001
a	1.1

4.2 疲労試験結果

疲労試験結果の途中結果を図1に示す。これより、繰返し速度1Hzでは疲労限度は約23MPaである。破壊位置は平行部中央付近であった。繰返し速度が遅くなると疲労強度が向上する傾向が示唆された。

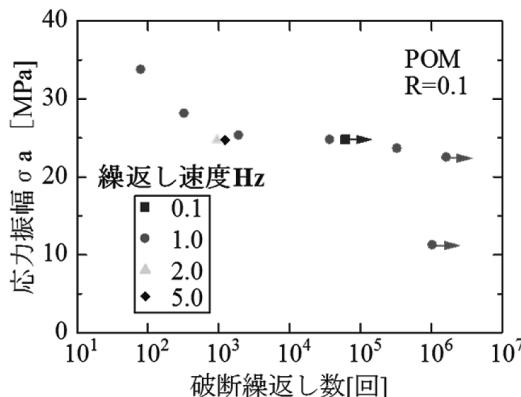


図1 S-N線図

4.3 解析結果

疲労試験開始直後で荷重漸増中の10, 50波目の変位と荷重の関係を図2に示す。繰返し荷重変位曲線を再現することができた。

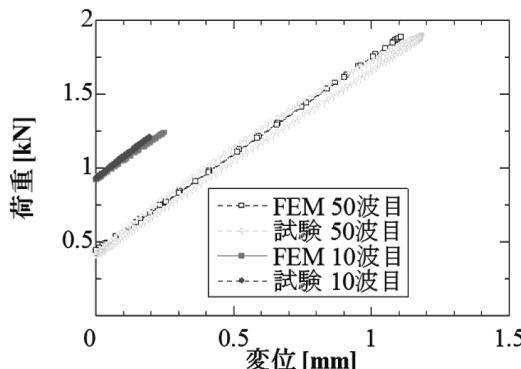


図2 ヒステリシスループ（10波目・50波目）

5. 結言

POMの繰り返し荷重変位曲線をAnandモデルで解析を行った結果、以下の2点が得られた。

1. 変位速度の異なる引張試験によって、POMの応力ひずみ関係を再現することができる、Anandパラメータを決定できた。

2. Anandモデルで有限要素法を用いて応力解析を行い、10波目と50波目の荷重と変位の関係と実験結果比較したところ、繰返し荷重変位曲線を再現することができた。

6. まとめ

学会での発表で様々な分野の方々から貴重なご助言を頂くことができた。この経験を今後の研究活動に役立てていきたい。

参考文献

- [1] 森口祐一, “循環型社会から廃プラスチック問題を考える”, 廃棄物学会誌, Vol16, No.5, 2005
- [2] S. B. Brown, K. H. Kim and L. Anand, “An Internal Variable Constitutive Model for Hot Working of Metals”, International Journal of Plasticity, Vol. 5 pp. 95-130, 1989.
- [3] 林丈晴, 高部真彰, 海老原理徳, 志村穂, “表計算ソフトによる鉛フリーはんだのAnandパラメータ決定”, 東京工業高等専門学校研究報告書 第45巻(2)号, 2014
- [4] 中川隆夫, 空野信吉, 日和千秋, “ポリアセタールの静引張および疲労性質に及ぼす速度および温度の影響”, 「材料」23巻252号, 1974

日本機械学会 2024 年度年次大会 に参加して

能勢 剛史

Tsuyoshi NOSE

機械システム工学専攻修士課程 2 年

1. はじめに

2024 年 9 月 8 日から 11 日まで行われた日本機械学会 2024 年度年次大会に参加し発表を行った。

2. 諸言

樹脂材料の廃棄は、自然環境への負荷が大きい^[1]。そのため強度設計法を高精度化し、樹脂材料の使用量を極力削減する必要がある。樹脂材料の強度設計で注意すべき点として、応力ひずみ関係さらには破壊特性が、ひずみ速度と温度に極めて敏感である点が挙げられる^[2]。使用環境に対応したひずみ速度、温度で、設計の基礎となる応力ひずみ関係を都度測定するのは非現実的である。必要最小限の材料試験によって、任意のひずみ速度、任意の温度での応力ひずみ関係を精度良く推定することは、必要不可欠である。

しかしながら、現状、任意のひずみ速度、温度の組合せの下において、樹脂材料の応力ひずみ関係を工学的に精度良く予測する方法は十分検討されていない。

そこで、本研究では、金属材料の粘塑性モデルとして実績のある Anand モデル^[3]を樹脂材料に初めて適用して、応力ひずみ関係および破壊特性を予測することを考えた。最終的には、シャルピー試験片の切欠き底における応力、ひずみ分布を数値解析で明らかにし、任意の変位速度、任意の環境温度下における破壊特性の推定式の提案を目指す。

ここでは、まず、室温並びに高温環境下の引張試験を行い、ヤング率、流動応力に及ぼす温度、ひずみ速度の影響を明らかにする。

3. 実験方法

3.1 供試材

産業界で使われている代表的なエンジニアリングプラスチックとして、POM を供試材に使用した。

3.2 試験片

Anand モデルのパラメータ導出するために実施した引張試験では、図 1 に示す形状・寸法で厚さ 2 mm の平滑板状試験片を用いた。

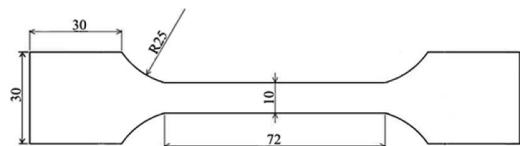


図 1 試験片の寸法 ($t=2$)

3.3 引張試験方法

引張試験の変位速度は、5, 50, 500 mm/min の 3 水準で実施した。また、温度は室温、50°C、80°C の 3 水準で実験した。室温ではプラスチック用のひずみゲージを用いて平行部中央のひずみのデータを採取した。高温環境の試験では引張試験機に付属している電気炉を用いる。高温下ではひずみゲージが使用できないため、室温で測定した変位とひずみの関係を考慮し、変位からひずみを推定した。

4. 実験結果及び考察

4.1 引張試験結果

引張試験で得られた塑性ひずみ-真応力曲線を図 2 に示す。いずれの温度、ひずみ速度においても、ひずみ 0.02 以降でほぼ一定の応力、すなわち流動応力になっていることがわかる。また、流動応力は温度の上昇に伴い減少する傾向にあり、室温 (22°C) に比べ、80°C では 6~7 割程度に低下している。また、ひずみ速度の低下によっても流動応力は低下し、ひずみ速度が 2 衍低下することにより、流動応力は概ね 10 MPa 程度低下している。

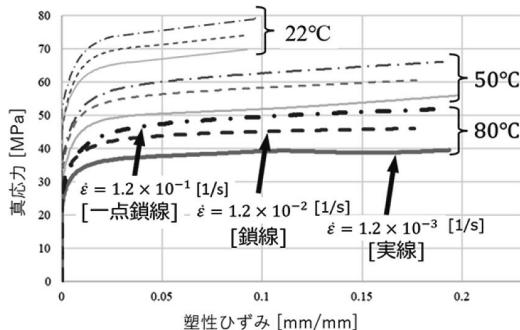


図2 塑性ひずみー真応力曲線に及ぼす温度とひずみ速度の影響

4.2 ヤング率の測定結果

また、引張試験により求めた各試験条件でのヤング率をそれぞれ表1に示す。ヤング率は温度の上昇に伴い減少する傾向にあり、室温（22°C）に比べ、80°Cでは概ね半分程度まで低下している。また、ひずみ速度の低下によってもヤング率は低下し、ひずみ速度が2桁低下することにより、6~7割程度に低下している。

表1 ヤング率に及ぼす温度とひずみ速度の影響 [GPa]

ひずみ速度 [1/s]	温度 [°C]		
	22	50	80
1.2×10^{-3}	2.7	1.8	1.2
1.2×10^{-2}	3.3	2.3	1.6
1.2×10^{-1}	3.8	2.8	2.0

4.3 他の樹脂材との比較

今回測定したPOMのヤング率をポリカーボネイト(PC-Idemitsu A2500)と比較した。PC材のヤング率は、室温（22°C）で、ひずみ速度 1.28×10^{-3}

[1/s] の場合 2.21 GPa , 1.24×10^{-2} [1/s] の場合、 2.22 GPa であった(4)。POMはPCと比較してヤング率が若干大きく、ひずみ速度依存性はPOMの方がPCよりも敏感である。

5. 結言

POMのヤング率に及ぼすひずみ速度、温度の影響を定量的に明らかにできた。また、流動応力に及ぼすひずみ速度、温度の影響を定量的に明らかにできた。

6. おわりに

今回が初めてのポスター発表であり非常に緊張したが、何も知らない相手に1から研究内容を伝えるという経験、そして相手からの質問に答えるという経験を得ることができたため有意義な発表になったと感じた。

参考文献

- [1] 斎藤優子、熊谷将吾、亀田知人、吉岡敏明，“プラスチックリサイクルが直面する課題と将来展望”，廃棄物資源循環学会誌、Vol.29, No.2 (2018), pp. 152-162
- [2] 平尾雅彦、藤井昌浩、河野俊一、藤野宏史，“ABS樹脂の機械的性質に及ぼすひずみ速度および温度の影響”，成形加工、Vol.6, No.4 (1994), pp.271-277
- [3] S. B. Brown, K. H. Kim and L. Anand, “An Internal Variable Constitute Model for Hot Working of Metals”, International Journal of Plasticity, Vol.5, (1989), pp.95-130
- [4] 谷村眞治、林寛幸、山本照美，“各種プラスチック材料の広ひずみ速度域での動的引張強度特性”，日本機械学会論文集(A編), 77卷, 780号 (2011), pp.192-201

日本機械学会 2024 年度 年次大会に参加して

矢羽田 智志

Satoshi YAHATA

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9月8日～11日に愛媛大学で開催された日本機械学会2024年度年次大会に参加し、伝統産業工学の一般口頭セッションにて「6軸制御マシニングセンタを用いた彫金文様の再現（曲面上の毛彫り加工における誤差要因の検討）」という題目で発表を行った。

2. 研究内容

2.1 緒言

鑿と呼ばれる工具を用いて金属に彫刻する技法を彫金と呼び、金属装飾として多種多様な文様を表現する日本の伝統工芸の一つである。彫金文様の創製には、高度な技を有する彫金師の繊細な力加減や鑿を打ち込む角度の調整といった手技が必要になるが、習得・継承は容易なことではない。そこで、機械加工を応用した平面上の彫金文様再現に取り組んできた。ここで、6軸制御マシニングセンタの優れた特徴を生かすことで、平面加工の場合よりも多くの軸運動制御が必要であると考えられる曲面上の文様の再現を行うことができれば、機械加工による彫金加工の適応範囲を広げることができると期待される。そこで、再現性の定量評価として加工誤差を検討し、各軸の運動挙動の観点からその要因を分析することにした。

2.2 実験方法

図1(a)に、本研究で使用した6軸制御マシニングセンタの軸構成を示す。図のように、並進直交3軸(X, Y, Z軸)と傾斜2軸(A, C軸)の計5軸に、主軸の回転制御軸(Cs軸)を加えた6軸を同

時制御できる。使用する非回転工具は、60°と大きななすくい角を有し、また工具進行方向に開口部を有していることから切り屑を進行方向後方に排出することで、加工面品質の向上とバリ発生の抑制効果を得ることができることが特徴である。

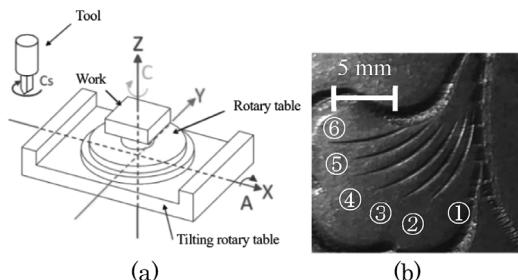


図1 6軸制御マシニングセンタ(a)と再現対象(b)

再現対象とした文様（平面上）の外観写真を図1(b)に示す。葉脈を表現している6つの毛彫り線を、右から順に、①, ②, …, ⑥とした。ワーク形状は、円柱（半径100mm）の一部を蒲鉾状（100mm×100mm）に切り出したものを使用した。ワーク材質はタフピッチ銅を使用し、送り速度は250mm/minとし、法線方向切込み量は0.1mmとした。

図2に葉脈①, ④, ⑥の加工を行うときの、特に加工に寄与していると考えられるX, Y, A, Cs軸の運動指令を示す。なお、実加工では6つの毛彫り線を一つのNCデータとしているが、本図では各葉脈の加工開始時をt=0として、CAD上での加工線の長さや送り速度の条件から、それぞれの軸運動の時間変化を示している。

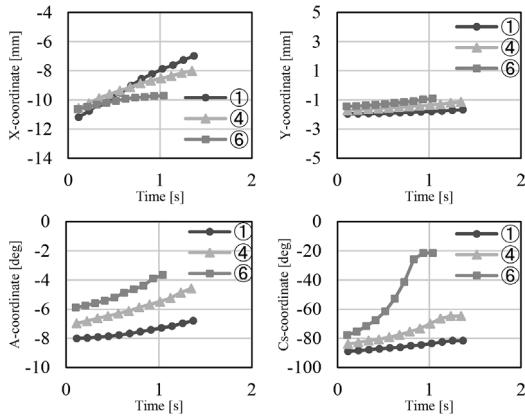


図 2 各軸の運動位置指令

2.3 実験結果

加工結果を図 3 に示す。非回転工具により、材料を掬い取り、煌めきを有する加工溝が創製されていることがわかる。しかし、マシニングセンタへの運動指令として与えた工具軌跡線と比較すると、部分的な不一致があることがわかる。特に葉脈⑥においては、その他の葉脈よりも誤差が大きいことがわかる。すなわち、位置精度における再現性の低さが確認された。

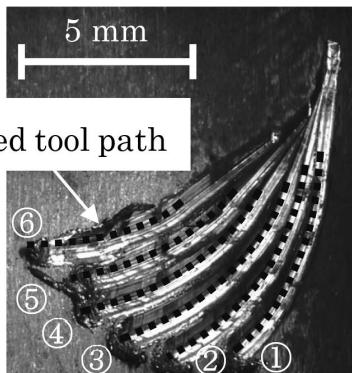


図 3 加工結果

その要因について検討するために、運動指令値（座標値）から各軸の速度および加速度の時間変化を算出してグラフ化したものを図 4 に示す。これらは、葉脈①、④、⑥の加工を行うときの X, Y, A, Cs 軸の速度と角速度の時間変化である。図より、

X 軸は減少傾向、Y 軸と A 軸は増加傾向にある。葉脈の形状同様に緩やかに位置変化していることがわかるが、Cs 軸の角速度について、葉脈⑥をみると運動開始後に単調増加したのち、時刻 0.7s で急激に減少していることがわかる。Cs 軸の指令値は X 軸、Y 軸の指令値の変化量をもとに算出しているが、この Cs 軸の角速度が増加から減少に転じている点は、A 軸の運動に大きく影響を与えている可能性があると考えられる。Cs 軸が加減速をしている間も A 軸など他の軸は単調な加速運動ないし減速運動を続けるため、Cs 軸がその他の軸運動に追従できておらず、これが加工誤差として顕在化したものと考えられる。

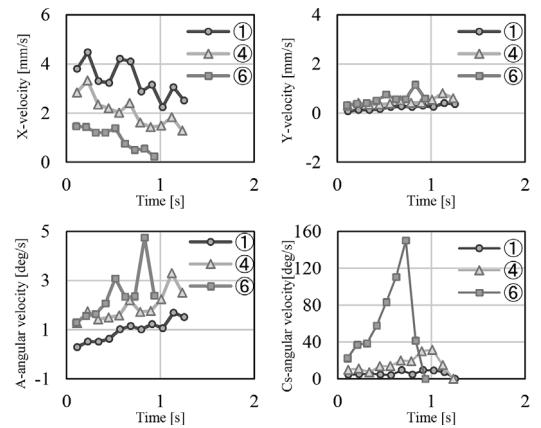


図 4 各軸の速度、角速度

2.4 結言

曲面上への文様再現性を評価した結果、加工面品位の観点での再現性は良好であったものの、位置精度の観点での課題が顕在化した。その要因として、工具回転軸制御と他の軸の運動挙動との不一致が考えられた。

3. まとめ

学会発表を行い、ディスカッションをすることで様々な視点からのご意見を頂くことができた。

自身の研究について見つめなおす良い機会となり、学会に参加する重要性を学んだ。

第 35 回廃棄物資源循環学会 研究発表会に参加して

村 上 太 一

Taichi MURAKAMI

環境ソリューション工学専攻修士課程 2 年

1. はじめに

私は、2024 年 9 月 9 日～11 日にかけて行われた第 35 回廃棄物資源循環学会研究発表会に参加し、「ペルフルオロオクタン酸 (PFOA) 及びペルフルオロオクタデカン酸 (PFOcDA) の焼却による副生成物発生挙動」という題目で発表を行った。以下に発表した内容を記載する。

2. 研究内容

2.1 緒言

ペルフルオロアルキル化合物およびポリフルオロアルキル化合物 (PFAS) は様々な製品に使われてきた。その反面、PFAS の一種であるペルフルオロオクタン酸 (PFOA) は、環境や動物に対する長期毒性が懸念され、2019 年 6 月に POPs 条約への追加が決定した。また、PFOA 類似物質群の長鎖ペルフルオロアルキル酸 (長鎖 PFCAAs(C_{9~21})) が 2023 年に POPs 条約第 12 回締約国会議 (COP12) への勧告が決定した。POPs 条約に追加された物質や、新規に追加される可能性のある POPs についても、適切な処理の検討が必要とされる。PFOA 含有廃棄物は焼却による分解処理が進められており、1000°C 以上、燃焼ガスの滞留時間 2 秒以上といった運転条件が定められている。しかし、焼却炉内では 1000°C 以下の温度域が存在することで、不完全な分解により短鎖 PFAS などの有害な化合物が生成する可能性がある。本研究では焼却後のサンプル捕集媒体を細分化したラボスケール焼却試験を実施することで、短鎖 PFAS などの実態を焼却由来による副生成の観点から把握することを試みた。

2.2 実験方法

本研究ではペルフルオロオクタン酸 (PFOA, C₈ 粉体、純度 98.0 + %, SIGMA-ALDRICH 製) とペルフルオロオクタデカン酸 (PFOcDA, C₁₈ 粉体、純度不明、Apollo Scientific Ltd 製) を焼却試料とした。機器分析により試薬中の PFOA, PFOcDA を定量した結果、含有量はそれぞれ 100%, 95% であった。

焼却試験はラボスケール制御炉を用いて行った。同炉は加熱温度・ガス流量を精密に制御できる構造となっている。炉下流から順にガラスフィルター、吸着剤、2 本のトルエントラップ、2 本の NaOH トラップを接続し、排ガスを捕集した。吸着剤には PUF および XAD 樹脂を使用した。トルエントラップは 120mL ずつ、NaOH トラップ (0.1mol/L) は 50mL ずつ用いた。焼却試験は 450°C, 700°C, 850°C で実施し、滞留時間 2 秒、純空気雰囲気とした。同一温度で各 2 回の試験を行い、分解挙動の再現性を確認した。石英製の試料ポート内の総量を約 100 mg とした。1cm/30sec の速度で炉内石英管に石英ポートを投入した。これは一般的な廃棄物処理施設での試料負荷量 (5-10kg/h/m³) に基づいて設定した。

焼却後に石英ポート (残渣)、炉心管内壁・各媒体接続ガラス管内壁 (付着物)、ガラスフィルター、吸着剤、トルエン前段・後段、NaOH 前段・後段の計 8 種類に分けてサンプルを採取した。各サンプル別に適宜前処理を実施、機器分析に供し、副生成物の網羅的な定量を行った。

2.3 結果と考察

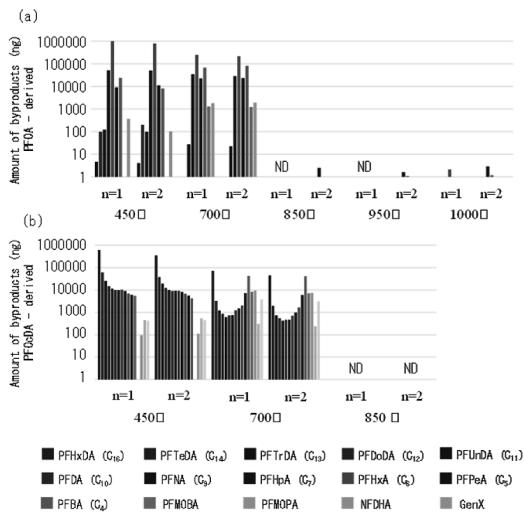


図 1 各温度条件での焼却後の副生成量。
(a) PFOA, (b) PFOcDA

図 1 はそれぞれ PFOA 由来と PFOcDA 由来の副生成物量を示す。縦軸に定量された副生成物の総量 (ng) をとり、横軸に温度条件を示している。グラフ中の赤棒は偶数鎖、青棒は奇数鎖、灰棒はエーテル結合を有する副生成物を示している。PFOA 由来と PFOcDA 由来ともに 850°C 以上の温度条件では副生成物は微量であったが、700°C 以下になると複数の副生成物が多量に定量された。このとき図 1 (a) より、PFOA から炭素鎖が減少した短鎖 PFCAs や、エーテル結合を有する化合物が副生成した。また微量であるが炭素鎖が増加した PFCAs も副生成したことから、焼却は分解だけでなく再結合を引き起こすことが示唆された。各副生成物の定量結果より、焼却前の PFOA および PFOcDA の重量を 100% とする副生成率を算出した。450°C の焼却試験で最も多く定量された PFHxA については、副生成率が 1.016% にも達した。700°C の焼却試験についても PFHxA の副生成率は 0.1% を超える結果となった。また、奇数鎖より偶数鎖が多い傾向にあり単調減少にならなかった。PTFE は熱により解重合し、TFE(C2F4) のみ観測されていることから、

炭素が 2 つずつ切断される分解経路が優位であると予想される。図 1 (b) より、PFOcDA よりも炭素数の少ない PFCAs が定量された。PFOA も副生成することが判明し、450°C 焼却試験の PFOA の副生成率は 0.01% 超であった。また、PFOA の焼却では定量されなかった規制傾向のある GenX も定量された。ここで、分解によって生じると考えられる副生成される PFCAs の傾向として、450°C 焼却の際は炭素数が少ない化合物ほど生成量が少なく単調減少であった。700°C 焼却時の際には PFHxDA(C16) から PFUnDA(C11) までは生成量が減少し、PFUnDA(C11) から PFBA(C4) までは増加した。

これら副生成物の捕集媒体別の分配挙動として、共通点として排ガス成分へ逃げやすい傾向が挙げられる。特に短鎖になるにつれガラスフィルター、吸着剤、NaOH トップの順に捕集割合が増加した。以上より、短鎖 PFCAs は捕集系を抜けやすく環境中へ放出される可能性の高い物質であるといえる。

2.4 結論

本研究では PFOA、PFOcDA を使用し、ラボスケール制御炉を使用し低温焼却試験を実施することで副生成物の発生挙動を把握した。その結果 700°C 以下の焼却試験では副生成物が増大することが判明した。この時短鎖 PFCAs も多く定量され、また長鎖 PFCAs である PFOcDA の焼却時には PFOA や GenX が副生成されることが判明した。以上より、長鎖 PFCAs を焼却処理する際は PFOS 及び PFOA 含有廃棄物の処理に関する技術的留意事項に従い、分解処理を行うことが有効であり、副生成物も同様に厳重に管理する必要があるといえる。

3. おわりに

学会発表を行う中で様々な観点からご質問を頂き、今後研究を進める上で非常に有意義な経験となつた。また、多大なるご指導やご助言を頂いた藤森崇教授に厚く御礼申し上げる。

2024 年日本液晶学会討論会・液晶交流会

岡 明澄

Asumi OKA

応用化学コース修士課程 1 年

1. はじめに

私は 2024 年 9 月 11 日に、富山大学五福キャンパスで開催された「2024 年日本液晶学会討論会・液晶交流会」に参加した。この学会で「アルコキシアゾベンゼンアルキル鎖の液晶性」をタイトルにポスター発表を行った。

2. 緒言

我々は、6 個の長鎖アルコキシアゾベンゼンをブロピレンエステル基により結合させたトリフェニル誘導体 (**1-C_n-3**: n はアルキル鎖の炭素数) がカラミティック液晶性とディスコティック液晶性を示す双液晶性化合物であることを見出した。また、末端炭素数の異なるアルキル同族体についても検討を行った。本研究では、これまで合成及び液晶性を検討してきた **1-C_n-3** のエステル結合部をエーテル結合に置換した誘導体 (**2-C_n-3**) のアルキル同族体の液晶相転移についての結果を報告するとともに、対応するエステル誘導体と比較する。

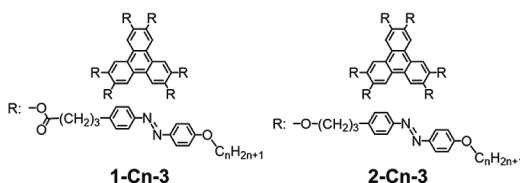


Fig. 1 Chemical structure of ester derivative **1-C_n-3** and ether one **2-C_n-3**. n: carbon number of alkyl chains

3. 実験

エステル誘導体は **1-C14-3** と同様の反応経路で合

成し、エーテル誘導体はドデシルオキシアゾベンゼンアルキルプロミドとヘキサアルコキシトリフェニルの Williamson 合成により得た。液晶性の確認には、示差走査熱量計 (DSC, Perkin Elmer 社 DSC8500) 及び偏光顕微鏡 (POM, Leica 社 DMLP + Mettler 社 FP 82HT) を用いた。また、高輝度光 X 線散乱測定は、SPring-8 (BL40B2, 強度: 12.4keV, 波長: 1.0 Å) において実施した。ホットステージ (Mettler 社 82HT) に試料を注入したサンドイッチ型ガラスセル (7.5 μm ポリイミドスペーサ) をセットし、透過型での測定を行った。なお、放射光照射前後で偏光顕微鏡により配向状況の変化の確認を行った。

4. 結果と考察

これまでに行った末端炭素数が 11~16 のエステル誘導体の液晶性解明に加えて、相当するエーテル誘導体のアルキル同族体を合成し、DSC 測定、偏光顕微鏡観察、高輝度 XRD 測定により、液晶熱相転移を検討した (Fig. 2)。エステル誘導体 (**1-C_n-3**) では、C11, C12, C14 同族体がカラミティック・ディスコティック双液晶化合物であり、末端アルキル鎖長が増えるにつれて、結晶相の熱安定性が減少し、相対的に液晶相の温度幅が増加する。一方、エーテル誘導体 (**2-C_n-3**) では、まだ多くの液晶相の構造は解析中であるが、C14 同族体は、低温側から SmA 相、SmF/I 相を、C16 同族体の一番低温側は SmA 相を示した。

また、C12 と C15 同族体について、それぞれ SmA-Col_{ob} 相転移、SmA-Col_{ob} 相転移を示す双液晶性化合物であることが判った。また、末端アルキル鎖長による液晶相の温度幅は **1-C_n-3** のような顕著な温度幅増大は見られなかったが、多様な中間相の発現が見られる。C12 同族体について比較すると、**1-C12-3** が SmA 相、SmC 相、Col_{ob} 相の 3 つの液晶相を示すのに対し、**2-C12-3** では 6 つの液晶相を発現し、SmA-Col_{ob} 相転移を示す双液晶性化合物である。

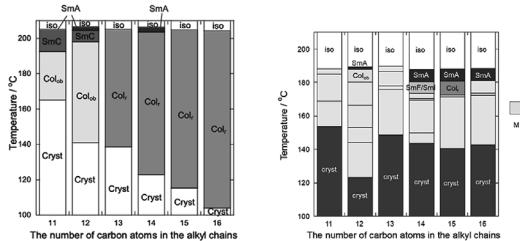


Fig. 2 Phase transitions of (a) 1-C11-3 to 1-C16-3 and (b) 2-C11-3 to 2-C16-3.

限定的ではあるが、カラミティック液晶→デイスコティック液晶に転移における相転移エンタルピー(ΔH)について、エステル誘導体では、末端炭素数の増加に伴い増加するのに対し、エーテル誘導体では、末端炭素数の増減による値の変化は小さい。このことから、棒状から円盤状分子へのコンフォメーション変化の機構に差異があると考えられる (Table 1)。

Table 1 Phase transition temperature and enthalpy ΔH /entropy ΔS (kJmol⁻¹/JK⁻¹)

1-C11-3	Cryst 204.2 °C (23.4 / 111.9) SmC 199.1 °C (6.5 / 34.3) Iso	2-C11-3	Cryst 159.0 °C (13.7 / 21.7) M1 160.1 °C (0.4 / 0.9) M2 184.8 °C (0.8 / 1.75) M3 177.8 °C (20.3 / 44.0) Iso
1-C12-3	Cryst 195.8 °C (8.46 / 20.4) Col _o 201.5 °C (0.83 / 12.4) SmC 203.9 °C (0.61 / 1.32) SmA 206.5 °C (16.8 / 22.5) Iso	2-C12-3	Cryst 120.6 °C (2.59 / 6.11) M1 137.7 °C (0.27 / 3.05) M2 156.5 °C (27.9 / 64.9) Col _o 169.9 °C (0.42 / 0.89) SmC 180.0 °C (0.32 / 11.6) Iso Col _o 181.1 °C (2.70 / 5.89) SmA 189.0 °C (13.9 / 30.1) Iso
1-C13-3	Cryst 140 °C Col 205.0 °C (17.7 / 37.0) Iso	2-C13-3	Cryst 122.8 °C (13.1 / 30.6) M1 178.2 °C (0.6 / 1.34) M2 178.2 °C (0.8 / 3.99) M3 187.0 °C (14.1 / 3.04) M1 199.2 °C (15.7 / 23.6) Iso
1-C14-3	Cryst 124.5 °C (2.5 / 6.29) Col 202.8 °C (0.7 / 20.4) SmA 206.3 °C (6.6 / 13.8) Iso	2-C14-3	Cryst 141.4 °C (26.4 / 43.7) Col 156.3 °C (0.07 / 0.18) M1 168.8 °C (0.25 / 0.57) SmC 170.4 °C (1.2 / 1.2) M2 173.7 °C (1.87 / 1.87) Iso SmF 174.4 °C (1.96 / 1.96) SmA 180.0 °C (1.71 / 1.71) Iso
1-C15-3	Cryst 117.5 °C (4.94 / 12.8) Col 204.9 °C (21.3 / 44.8) Iso	2-C15-3	Cryst 145.1 °C (17.8 / 45.2) M1 178.0 °C (0.01 / 1.07) M2 172.7 °C (2.45 / 5.5) Col 180.9 °C (2.79 / 6.12) SmA 189.0 °C (11.4 / 24.7) Iso
1-C16-3	Cryst 108.1 °C (4.06 / 10.6) Col 205.0 °C (16.4 / 34.3) Iso	2-C16-3	Cryst 141.4 °C (28.5 / 42.8) M1 172.1 °C (0.46 / 1.03) M2 173.1 °C (2.16 / 4.84) M3 178.9 °C (1.74 / 3.83) SmA 188.9 °C (7.50 / 16.2) Iso

このように、エステル誘導体・エーテル誘導体とともに、いくつかの化合物はカラミティックデイスコティック双液晶性を示した。しかし、両アルキル同族体を比較すると、エーテル誘導体では、エステル誘導体に比べて、明らかに発現する液晶相の多様化が見られ、また、液晶相転移温度が10°C程減少し、中間相の熱安定性は低下している。これは、トリフェニレンコアを6つのアルコキシアゾベンゼンユニットを結ぶ結合基の柔軟性が液晶性の変化に大きく影響すると考えられる。

5. 学会を通じて

ポスター発表や講演を通じて、様々な先生方や学生の方と意見交換を行い、研究の課題や問題点を相談することができ、とても充実した学会であったとともに、同じ液晶分野でも様々な研究や視点があることを改めて実感し、学びの多い貴重な経験であった。今回の学会での課題点を改め次の学会へと挑もうと思う。

最後に今回の発表を行うにあたりまして、指導を頂きました内田欣吾教授と清水洋特任教授、及び、学会発表の機会を設けてくださいました日本液晶討論会の運営の方々にこの場を借りて厚く御礼申し上げます。

電子情報通信学会ソサイエティ大会に参加して

上 本 瞭

Ryo UEMOTO

電子情報学専攻修士課程 2年

1. はじめに

2024年9月11日から13日まで埼玉県日本工業大学で開催された電子情報通信学会ソサイエティ大会において学会の聴講と、大会と同時に開催されたマイクロ波研究会主催の学生マイクロ波回路設計試作フィルタコンテストに参加した。

2. 参加目的

フィルタコンテストでは上位入賞を目指し、学会聴講ではマイクロ波技術に関する講演を聞き、技術の進歩に関する情報を収集し、今後の研究に役立てることである。また、自分が非常に興味のある移動帯通信について進化の展望など、新情報を企業の研究者や政府関係者などの発表から収集を行うことである。

3. ソサイエティ大会の内容

3.1 概要

本大会では、基礎・境界／NOLTA、通信、エレクトロニクスといった広範な分野の研究発表が行われる場で、1200件の発表が予定され、延べ6000人以上が参加する。大会期間中、研究者や技術者が集まり、最新の技術動向に関する意見交換や議論が活発に行われる。大会内ではフィルタコンテストという技術力を競いあうイベントも開催され、自分が所属している石崎研究室から、自分を含めた7人が参加した。

3.2 講演聴講について

コンテストは、最終日に行われるため、その前日に行われた講演も聴講した。自分の研究分野に関係

する移動体通信（5G）やその未来である次世代移動帯通信（beyond5G）の研究者による講演や政府関係者による発表が行われ、それらを聴講した。

講演の内容は非常に興味深いものであり、これからの移動体通信がどうなっていくかについて発表されていた。特に気になったのは、これまでの移動体端末はデータを受け取ることを主として研究開発がなされてきたが、今後はchatGPTなどの生成型AIがより普及してくるため、AIにデータを送ることが主となり、従来の端末から変化することが必要とされているということである。例えば、データを自在に送るために、端末は眼鏡や服などのウェアラブル端末とセットにして、送信能力を強化するというものであった。このようなbeyond5Gや6Gなどのこれから移動帯通信についての進化の方向性が明らかになった。また、政府関係者の講演では、2020年から始まった5Gでは日本は研究で出遅れてしまい、それと共に5Gになった実感がありわかないという結果に終わってしまった。そこで、次世代に向けて、従来以上に予算などを使い研究活動を促進していくという旨の発表があった。これを聞いて、私は今後の日本の次世代移動帯通信の研究にさらに興味がわき、研究活動のモチベーションになった。

3.3 フィルタコンテストについて

今回開催されたコンテストは、指定された仕様を満たすバンドパスフィルタ（BPF）を作成し、通過帯域の挿入損失と阻止域の減衰量を数値化し得点を競うといったものである。この部門には、他大学からも9人が参加し競い合った。私はヘアピン型共振器を採用して3.5GHz帯BPFを作成した。ヘアピン型共振器を選んだ理由としては、設計が簡単であり、挿入損失に関係のある共振器のQ値が向上できるからである。基板はMegtron6を採用し、設計周波数帯域を400MHzに設定した。仕様の周波数帯域は200MHzだが、実際に200MHzで設計してみたところ、フィルタのスカート特性が良好で減衰量が評価される阻止域まで余裕があった。そこで、

周波数帯域が広いほど帯域内の挿入損失が減ることから、通過域と阻止域とのバランスを検討し一番いい点数が取れる設計値を設定した。より良い特性を出せる構造になるように、ヘアピン型共振器の折り曲がり部の幅を両端と比べて太くすることで、共振器のQ値を上げるようにした。最終的に作成したフィルタには、外部からの影響を受け難くして特性を向上させるためにシールドケースを作成した。また、作成したフィルタを実際に測定したのち共振器部分に銅テープを貼り付け、特性の調整を行った。図1は実際に作成したフィルタの写真である。



図1 レース前調整の様子

結果は、9人中8位と良い結果とはならなかつた。理由としては、誘電体基板にはコストパフォーマンスが良い基板を選定したため必ずしもベストではなかったこと、作成したシールドケースの検討と調整が時間不足で不完全であったことが考えられる。それ以上に、普段使っているのと違うシミュレーションソフトを使って設計を行ったため、ソフトになれるのに手間取ってしまった。そのため、実機作成や治具作成に時間を取れなかったことが非常に悔やまれる。他の参加者にもヘアピン型共振器を用いた人があり、彼らの作品も自分と似たような見た目であったが、治具の性能や設計で負けてしまった。

図2は実際に現地で計測したフィルタ特性である。減衰量が62.96dB、挿入損失が3.39dB、得点は

29.06であった。



図2 実際のフィルタ特性

しかし、今回コンテストに参加したことで、フィルタの知識を増やすことが出来、新たなシミュレーションソフトを使いこなすことが出来るようになつた。また、これからマイクロ波技術者として必要となるスキルを磨くことができた。特性向上のためのアイデアをひねり、実際に設計に反映させていくサイクルの中でフィルタを製作していくのは非常に楽しく、良い経験になった。

4. おわりに

コンテスト出場は始めてであり、非常に不安な中で参加したが、普段から関わっている分野の知識を増やすことができ、自分の技術、スキルを磨くことで大変有意義な経験を積むことができた。しかし、スケジュール管理や実機作成など自分の技術不足や経験不足を実感する結果となつた。これらの自分の不足部分を自覚し、これから技術者として活かしていきたいと思う。また、他研究者の発表を聞き自分の研究の目的でもある次世代移動帯通信に関する未来の展望などを知ることができ、これから通信を支える技術者としての活動のモチベーションを高めることができた。

2024 年度学生マイクロ波回路 設計試作コンテストに参加して

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 9 月 10 日～13 日に日本工業大学で開催された電子情報通信学会ソサイエティ大会および 13 日に同大学で開催されたマイクロ波研究会主催の「学生マイクロ波回路設計試作コンテスト」の BPF (バンドパスフィルタ) 部門に参加した。

2. コンテストの概要

2.1 BPF の設計・試作条件および評価項目

設計・試作条件は以下の 3 つである。

- ① 3.4-3.6 [GHz] の周波数範囲で挿入損失が 5 [dB] 以下であること。
- ② 3.4-3.6 [GHz] の周波数範囲で反射損失が 10 [dB] 以上であること。
- ③ 2.5-2.9 [GHz], 4.1-4.5 [GHz] の周波数範囲における減衰量で 20 [dB] 以上であること。

以上の設計・試作条件を満たした上で以下の判定式で求められる判定値で順位を決める。

$$\text{判定値} = \text{ATT} [\text{dB}] - 10 \times \text{IL} [\text{dB}]$$

ここで、ATT は減衰量の最小値（阻止域内減衰量の最悪値（最小値））、IL は挿入損失の最大値（通過帯域内の挿入損失の最悪値（最大値））である。

3. BPF の設計・試作

3.1 設計方針

本コンテストの評価項目（判定値を決める項目）において、阻止域における減衰量の最小値により判定値の最大値が決定するため、減衰量を重視した設計を行うこととした。減衰量は一般的にフィルタを構成する共振器の数、すなわち段数を多くすること

によって高い減衰特性を実現できるため、挿入損失とのバランスを考え、共振器を 8 段構成とした。

3.2 BPF の設計

本報告で提案するフィルタにおける共振器には、設計・調整が容易かつ小型化が可能なオープンリニア型 SIR (Stepped Impedance Resonator) を採用した。共振器構造は使用する基板においてマイクロストリップラインの実効的な波長の 2 分の 1 波長共振器として 3.5 [GHz] で共振している。基板には、日本ピラー工業株式会社の NPC-H220A を採用した。基板厚さは 0.8 [mm] であり、誘電率 2.16 (@1GHz)、誘電正接 0.0005 (@1GHz) の特性を持つ。図 1 にその共振器構造と周波数特性を示す。解析には Agilent Technology 社の ADS (Advanced Design System) を使用した。

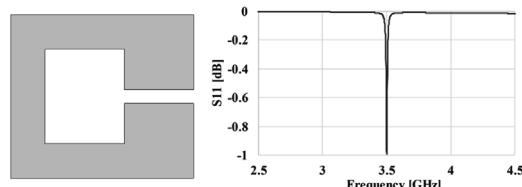


図 1 共振器構造と周波数特性

電磁界解析により共振器の無負荷 Q 値は 354 と平面共振器の中でも比較的高い値が得られた。

次に設計したチェビシェフ型 8 段 BPF の構造を図 2 に示す。設計仕様は中心周波数 $f_0 = 3.5$ [GHz]、帯域幅 350 [MHz]、帯域内リップル 0.1 [dB] とした。

実際に上記のフィルタ構造で電磁界解析を行い、その解析結果を図 3 に示す。



図 2 チェビシェフ型 8 段 BPF のレイアウト

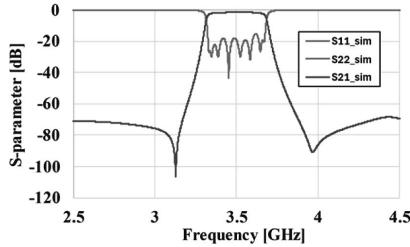


図 3 電磁界解析結果

電磁界解析で得られた特性は設計条件を十分に満たしていることが確認でき、阻止域内減衰量（最小値）68.44 [dB] (@4.43GHz)、通過帯域内挿入損失（最大値）1.61 [dB] (@3.53GHz) と良好な特性が得られた。

3.3 BPF の試作と評価

設計した構造を元に実際にマスクパターンを作製し、基板に露光、現像した後、ウェットエッチングプロセスにて不要銅薄膜を剥離し、回路パターンを作製した。作製した基板に SMA コネクタを接続し、VNA（ベクトル・ネットワーク・アナライザ）で周波数特性を測定した。測定結果を図 4 に示す。

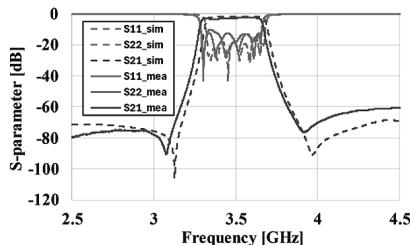


図 4 試作したフィルタの周波数特性

試作したフィルタの特性は、通過帯域のわずかなシフトや不整合による挿入損失の増加が見られたが、試作条件を満たし、阻止域内減衰量（最小値）60.40 [dB] (@4.5GHz)、通過帯域内挿入損失（最大値）3.23 [dB] (@3.4GHz) と良好な特性が得られた。ここで銅箔を残した基板をグランド壁としてフィルタ基板を囲うように取り付け、シールドケースとすることでさらなる減衰特性の向上を図った。その外観を図 5、シールド時の周波数特性を図 6 に

示す。

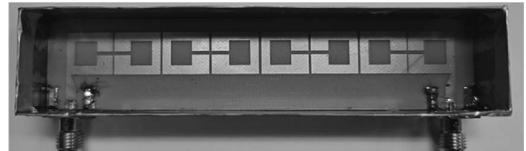


図 5 導体壁を取り付けた基板（実際には蓋あり）

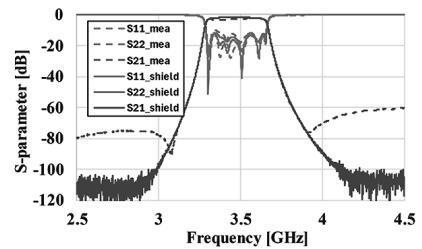


図 6 シールド時の周波数特性

入出力間での直接結合を大幅に抑え、90dB を超える高い減衰特性を実現した。また挿入損失に関しても共振器同士の結合度がわずかに変動し、不整合部分が改善し、2.09 [dB] (@3.6GHz) に改善した。

4. コンテスト当日の結果

コンテスト当日の測定結果では、阻止域内減衰量（最小値）100.82 [dB]、通過帯域内挿入損失（最大値）2.15 [dB] と他を圧倒する減衰量と良好な挿入損失が得られ、判定値 79.35 点で最優秀賞を受賞した。

5. おわりに

本コンテストでは、オープンリング型 SIR を用いた 8 段チェビシェフ型 BPF を設計し試作した。

段数、共振器構造、基板材料、シールドなどを工夫することで低損失かつ高減衰特性を有するフィルタを実現でき、コンテスト当日において 79.35 点の他を圧倒する判定値を記録し、最優秀賞を受賞した。

また電子情報通信学会ソサイエティ大会においても他大学や企業の研究を講聴することで、自身の研究と近い分野の研究がどの程度進んでいるのかを確認できた他、自身の分野以外の研究も講聴でき、非常に貴重な経験ができた。

学生マイクロ波回路設計試作コンテストに参加して

小島 拓斗

Takuto KOJIMA

電子情報通信課程 4 年

1. はじめに

2024 年 9 月 10 日から 13 日までの 4 日間日本工業大学で開催された「2024 年電子情報通信学会ソサイエティ大会」に参加し、「学生マイクロ波回路設計試作コンテスト」の帯域通過フィルタ (BPF) 部門に参加して設計・試作したフィルタの測定を行った。

2. コンテストの設計・試作条件、評価項目

2.1 設計・試作条件

帯域通過フィルタ部門での主な設計・試作条件は以下の通りである。

- ① 3.4~3.6GHz の周波数範囲内で挿入損失を 5 dB 以下に抑えること。
- ② 3.4~3.6GHz の周波数範囲内で反射損失を 10 dB にすること。
- ③ 2.5~2.9GHz, 4.1~4.5GHz の周波数範囲で減衰量が 20dB 以上を有すること。

のほか、基板は片面または両面の樹脂製プリント基板としパターン形成は片面または両面で可能であることや、遮へいケースは使用可であるが審査時に内部を確認できるようにするという条件があった。

2.2 評価項目

帯域通過フィルタ (BPF) では作成したフィルタは規定の周波数範囲における「挿入損失」、「減衰量」の 2 点で評価され、「点数 = 減衰量の最小値 - 10 × 挿入損失の最大値」で採点されるため、減衰量はより大きく、挿入損失はより小さくすることが必

要である。点数の最も高かった者には最優秀賞が贈られる。

3. フィルタ設計・試作について

3.1 設計方法

回路設計に用いたソフトは Keysight 社製の Advanced Design System (ADS) である。まず共振器を決定した。共振器は 1/2 波長線路を折り曲げたヘアピン型共振器を用いることにした。フィルタの段数を増やすことで高い減衰量が期待できるが、段数を増やしすぎると挿入損失の低下に繋がるため今回は 7 段のフィルタを作成することにした。実機での周波数ずれに対応するため帯域幅を 350MHz で設計している。

また、今回、基板は日本ピラー工業製の NPC-H 220A を用いた。本基板は普段使用している megtron6 と比較して誘電正接が 0.0005 であるため挿入損失の低減が期待できる。入出力部分と共振器で電磁界結合を行い疎結合状態で共振器の Q 値を確認した。結合係数に合わせて直列に共振器を配置した。当初は電磁界結合で給電していたが入出力結合が不足していたためタップ結合での給電方式にした。作成したフィルタのパターン図を図 1、シミュレーション結果を図 2 に示す。



図 1 フィルタのレイアウト
(オレンジ色の部分が線路)

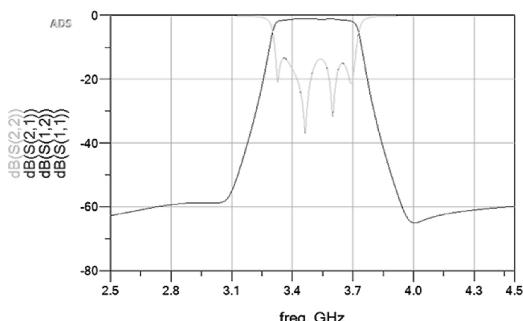


図 2 フィルタの周波数特性

3.2 試作したフィルタ

3.1で作成した回路を実際に基板化するためにエッチング処理を行いパターン化した。ベクトルネットワークアナライザで測定を行ったが、反射損失が10dB以下だったため、誘電体をパターン上に配置し、調整を行った。またコネクタによる飛び越し結合を低減するため、基板周囲に使用しなかった基板で遮蔽ケースを作製した。試作したフィルタを図3に示す。



図3 試作したフィルタ

4. 結果と考察

4.1 結果

コンテスト当日に測定した測定結果の写真を図4に示す。4.43GHzで減衰量-71.6dB、挿入損失は3.4GHzで1.68dBであり、点数は54点だった。今回のコンテストの一位は78点であり入賞は果たせなかった。

4.2 考察

遮蔽ケースに用いていた基板の誘電体の部分が天板の部分と壁部分で接触していたため高域側で余分な共振が発生してしまったことが考えられる。ケースの壁部分を銅テープで覆うことでさらに減衰量を増やすことができたと推測される。

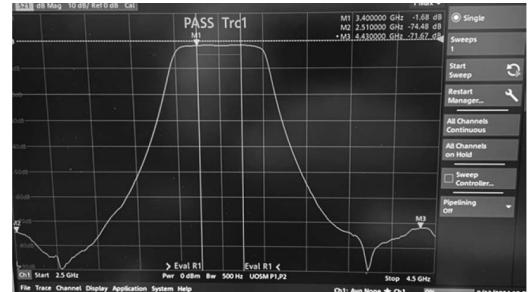


図4 測定結果

5. まとめ

ソサイエティ大会にて開催された学生マイクロ波回路試作コンテストに参加し、試作したヘアピン型共振器を用いた7段フィルタの測定を行った。

当日は他の参加者のフィルタを鑑賞したが、ヘアピン共振器を用いた作品が多かったように感じた。その中でもスチールワールを用いた筐体や有極型BPFなど他の学生がどのように課題に取り組み、創意工夫を凝らしているのかを学ぶことができ、自分の視野を広げる貴重な体験となった。フィルタはマイクロ波工学の基礎であるため今回のコンテストを通じてその重要性を改めて勉強することができた。

また、コンテスト開催日以外の11日、12日には無線電力伝送やマイクロ波に関するセッションに参加し、発表を聴講した。多くの視点から問題が議論されることで、自分の知識を深めるだけでなく、新たな発見や考え方のヒントを得ることができた。今回の経験を今後の研究に生かして行きたいと思った。

学生マイクロ波回路設計 試作コンテストに参加して

小 西 優 雅

Yuga KONISHI

電子情報通信課程 4 年

1. はじめに

2024 年 9 月 10 日から 9 月 13 日に埼玉県日本工業大学で開催された「電子情報通信学会ソサイエティ大会」に参加し、期間中に開催された「学生マイクロ波回路設計試作コンテスト」の帯域通過フィルタ部門にて設計・試作したフィルタの測定を行った。

2. コンテストの仕様条件、評価項目

2.1 仕様条件

帯域通過フィルタ部門での仕様条件は以下の 3 つである。

- ① 挿入損失 : 3.4~3.6 [GHz] で 5 [dB] 以下
- ② 反射損失 : 3.4~3.6 [GHz] で 10 [dB] 以上
- ③ 減衰量 : 2.5~2.9 [GHz], 4.1~4.5 [GHz] で 20 [dB] 以上

2.2 評価項目

帯域通過フィルタ部門では作製したフィルタは以下の 2 点で評価される。

- (a) 規定の周波数範囲における「挿入損失」、「減衰量」の測定結果。
- (b) 評価判定値は、帯域外の減衰量最小値から通過帯域内の挿入損失最大値を 10 倍した値の差によって算出される。

3. 帯域通過フィルタ設計・試作について

3.1 使用基板と共振器構造

回路設計・解析には、Keysight 社製の Advanced

Design System (ADS) を用い、回路基板には日本ピラー工業株式会社の NPC-H220A を使用した。基板厚さは 0.8 [mm]、誘電率 $\epsilon_r = 2.16$ 、誘電正接 0.0005 の特性を持つ基板となっている。はじめに、共振器構造を決定した。共振器には作製が比較的容易であるヘアピン型を採用し、コンテストの仕様条件である中心周波数 3.5GHz となるように共振器の線路長を決定した (図 1)。解析の結果、共振器の無負荷 Q 値は 364 という高い値を得られた。

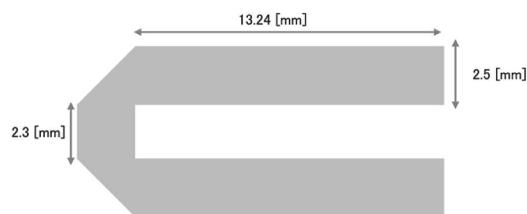


図 1 共振器構造

3.2 設計手順

帯域幅の設計は 350MHz とし、仕様値である 3.4~3.6GHz の 200MHz より大きく設定することで、通過域における周波数特性の平坦化を狙った。また、本コンテストでは帯域外の減衰量が評価値に影響する為、段数の設計を 7 段と多段化することで阻止域における高い減衰量を得ようと考えた。それぞれの段間の結合係数は g パラメータと設計帯域幅から算出した。以下に、実際に作製したフィルタのレイアウト (図 2) と電磁界解析を行って得られたフィルタ特性図を示す (図 3)。



図 2 フィルタのレイアウト

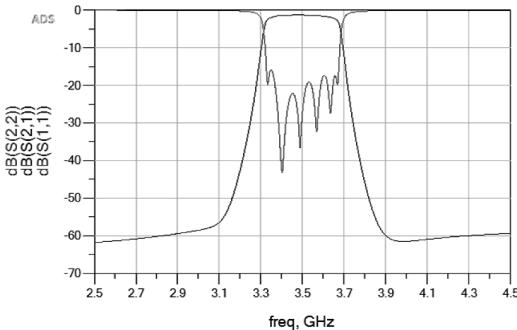


図3 電磁界解析で得られたフィルタ特性図

電磁界解析を行った結果、3.4～3.6 [GHz] における挿入損失は1.66 [dB]、反射損失は17.56 [dB]、2.5～2.9 [GHz]、4.1～4.5 [GHz] における減衰量は59.39 [dB] となり、仕様条件を十分に満たしていることが確認できた。

3.3 フィルタの試作

設計した構造を実際に露光、エッチング処理し、回路パターンの作製を行った。作製した基板にはSMAコネクタを接続し、また、基板を囲みこむよう側面に遮蔽ケースを装荷した。これは、コネクタ入出力間の飛び越しの放射結合による減衰量悪化の影響を防ぐ為に作製した。実際に試作したフィルタの外観を以下に示す（図4）。

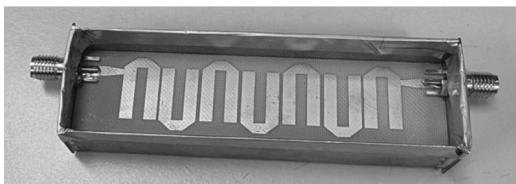


図4 作製したフィルタ外観

3.4 試作フィルタの評価

試作フィルタの評価にはVNA（ベクトル・ネットワーク・アナライザ）を使用した。測定で得られたフィルタ特性を以下に示す（図5）。

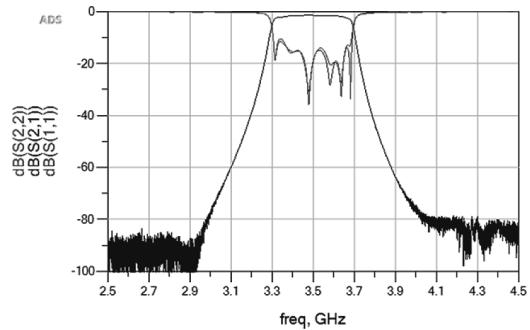


図5 作製したフィルタ特性図

遮蔽ケースを装荷した影響もあり、減衰量は84.12 [dB] と電磁界解析で得られたフィルタ特性よりも大きな減衰量を得ることに成功した。挿入損失は1.65 [dB]、反射損失は15.34 [dB] と多少の悪化はみられたが、仕様条件を満たしたフィルタが完成できたといえる。

4. コンテスト当日の測定結果

コンテスト当日の測定結果では、3.4～3.6 [GHz] における挿入損失は1.63 [dB]、2.5～2.9 [GHz]、4.1～4.5 [GHz] における減衰量は83.05 [dB] となり判定値は66.75点で、全体の2位にあたる特性を記録することができた。

5. まとめ

学生マイクロ波回路設計試作コンテストに参加し、ヘアピン型共振器を用いた7段フィルタの設計・試作を行った。コネクタ入出力間の飛び越しの放射結合による減衰量悪化の影響を防ぐ為の工夫として、遮蔽ケースを作製した。測定後には、他の参加者と交流を深め、それぞれが作製したフィルタの工夫点を聞くことで実機作製における知見を高めることができた。また、電子情報通信学会ソサイエティ大会において、聴講者として他大学・企業の研究を聴講し、自らの研究分野における知識を蓄える貴重な経験ができた。

2024 年電子情報通信学会 ソサイエティ大会に参加して

中尾 晃大

Kodai NAKAO

電子情報通信課程 4 年

1. はじめに

2024 年 9 月 10 日から 13 日にかけて日本工業大学、埼玉キャンパスで開催された「2024 年ソサイエティ大会」に参加し、「集中定数素子を活用する広帯域マイクロ波整流器の実装と測定」という題目で発表を行った。

2. 研究内容

2.1 まえがき

近年、MWPT (Microwave Wireless Power Transfer) が大きな注目を集めている。MWPT 技術の研究が進む中で、整流器はシステムの効率を決定する重要な要素の 1 つである。そのため本研究では、倍電圧整流回路にマイクロストリップ線路を利用し、集中定数による設計を行い、広帯域性を付与したマイクロ波整流回路の試作・測定結果について報告する。

2.2 試作した回路

図 1 は設計した倍電圧整流回路であり、使用している素子の値は表 1 の通りである。図 2 は試作した整流器の写真である。試作した整流器に使用した SBD (Schottky Barrier Diode) は MA4E1317 である。コイルは LQW15AN シリーズと LQP03TN シリーズであり、コンデンサは GRM03 シリーズを用いた。部品実装パターンを加工した基板上に理論設計値に最も近い値の素子を実装した。具体的には、C1 は 1.594pF から 1.6pF へ、L1 は 7.030nH から 6.8nH へ、L2 は 0.562nH から 0.6nH へと変更した。基板の大きさは 15mm × 13mm である。コンデンサとコイルのサイズはそれぞれ 0603 と 1005 である。これらのチップは、はんだペーストを用いて実装し

た。基板は厚さ 0.5mm の ROGERS 材 RO4350B である。裏面は全て GND であり表面とはスルーホールを用いて接続している。信号入力端には SMA コネクタを、直流出力端にはリード線をはんだ付けした。

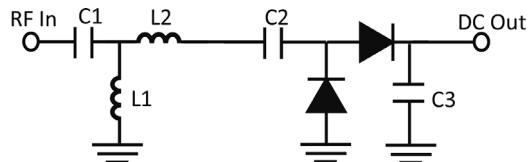


図 1 試作した回路

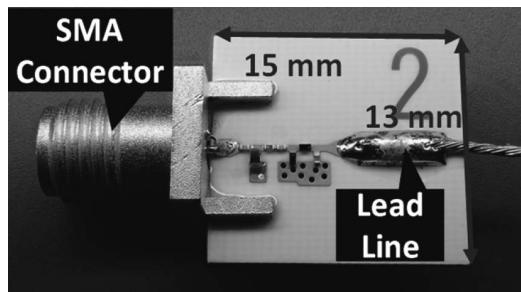


図 2 試作した倍電圧整流回路

表 1 整流器に実装したコンデンサ・コイルの素子値

C1	C2	C3	L1	L2
1.6pF	2.0pF	1000pF	6.8nH	0.6nH

2.3 測定結果

図 3a より、DC 負荷抵抗が 500ohm、入力電力が 20dBm の際、RF-DC 変換効率が 63.9% となった。同様に図 3a より、DC 負荷抵抗が 500ohm、入力電力が 22dBm の際、RF-DC 変換効率が 68.8% となった。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した。図 4 より、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 1.2GHz から 9.6GHz となる、155.6% であった。

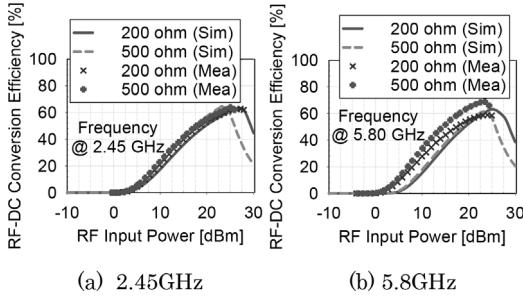


図3 入出力特性のシミュレーションと測定結果の比較

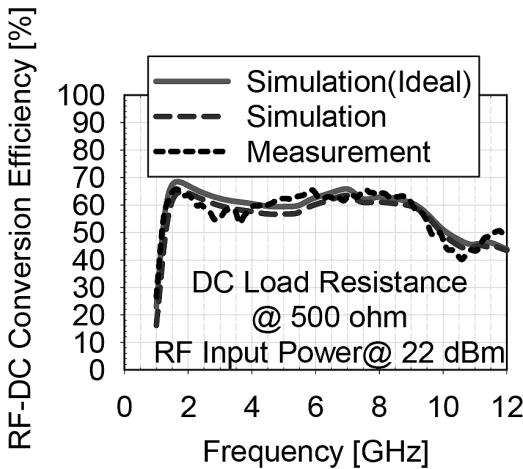


図4 提案整流器の周波数特性

2.4 まとめ

多段マッチング回路を用いた倍電圧整流回路の設計・開発評価を行った。測定結果として、RF-DC変換効率の最高効率点は入力電力22dBm、直列負荷抵抗500ohmとなる条件下で68.8%と記録した。

加えて、周波数特性での最大比帯域は入直電力22dBm、直列負荷抵抗500ohmとなる条件下で周波数帯幅が1.2GHzから9.6GHzとなる、155.6%と記録した。

3. おわりに

本大会は今まで参加した大会の中で最も大規模な大会での発表であったため、今までとは違う雰囲気であったので新たな刺激を受けた。具体的には、今までの大会では、多少研究分野のかぶっている発表を聞くことはあったが、大きく分野のかぶっている発表を聞くのは初めてだったため、見たことのない視点だったので今後に生かしていきたい。

また、様々な発表を見たことで自分に足りていないものに気づくことができたため今後の研究や、発表に役立てていきたい。

加えて、発表をおこなった時には今まで自分では考えていなかったことや、想定していない質問などを受けることで、これまで以上に分からることをなくし、理論を構築することで理論的にわかりやすく説明できるようになると考えられるので、これからはできる限り数式化しなければならないと改めて実感した。

これらの体験により、今まで以上に研究の進め方や、発表資料作成においてより、明確な指針を立てることができるようになった。そのため、この体験は今後の研究に生きていく非常に良い結果となつた。

2024 年電子情報学会 ソサイエティ大会に参加して

中山 慎太郎
Shintaro NAKAYAMA
電子情報通信課程 4 年

1. はじめに

2024 年 9 月 11 日から 13 日まで埼玉県日本工業大学で開催された 2024 年電子情報学会ソサイエティ大会において、学会の聴講と学生マイクロ波回路設計試作フィルタコンテストに参加した。

2. コンテストについて

2.1 概要

フィルタコンテストは、マイクロ波研究専門委員会主催の学生イベントで、学生が作成したマイクロ波フィルタの性能を競う。今年のフィルタコンテストでは、初心者向けの低域通過フィルタ (LPF) 部門と、経験者向けの帯域通過フィルタ (BPF) 部門の 2 部門があり、私は LPF 部門に参加した。

LPF 部門の判定値と基準は以下の通りである。

$$\text{判定値} = \text{ATT}[\text{dB}] - 10 * \text{IL}[\text{dB}]$$

ATT：減衰量の最小値(阻止域内減衰量の最悪値)

IL：挿入損失の最大値(通過域内の挿入損失の最悪値)

また、フィルタ作成の規定は以下のようになって いる。

リターンロス 10dB 以上

IL5dB 以下

減衰量 20dB 以上

通過域 (1.0~1.5GHz)

阻止域 (3.0~3.5GHz)

2.2 設計と製作について

LPF 部門では、会場において、用意された材料を用いて、その場で製作することになっている。私は、3 年生の時に作成した 5 段の LPP を参考に設計した。

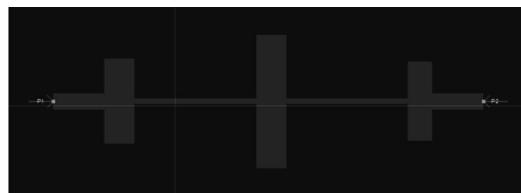


図 1 設計のレイアウト

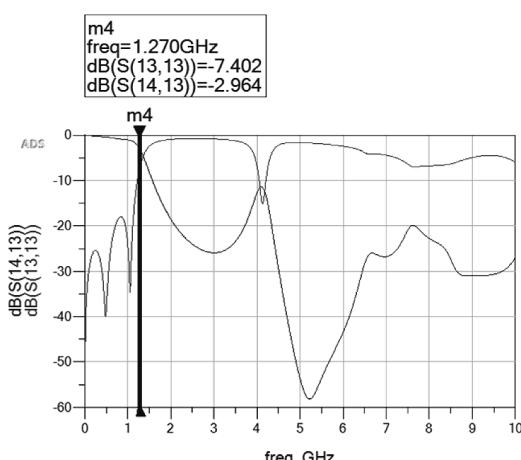


図 2 レイアウトの特性

本番ではガラスエポキシ基板 FR4 を使用し銅箔テープで回路パターンを作成し、SMA コネクタ (142-0701-801) を使用している。

私がフィルタ製作で工夫した点は、あらかじめ設計したフィルタ・パターンを紙に印刷して会場に持っていく、銅箔テープを重ねてカッターナイフで切ることで正確な製作が出来るようにしたことである。

3. 結果と考察

3.1 結果

今回作成したフィルタを図 3 に示す。

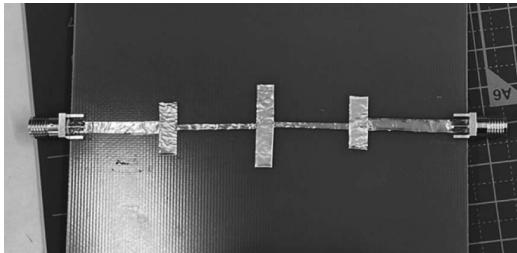


図3 当日作成したフィルタ

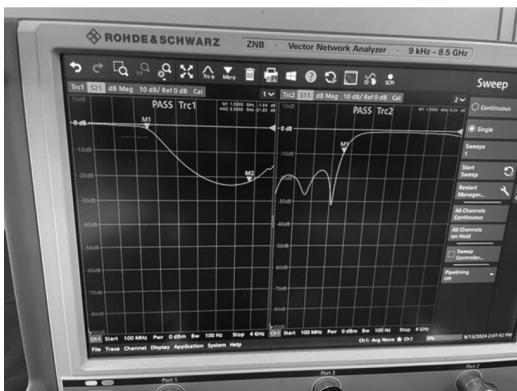


図4 作成したフィルタの特性

製作したフィルタはリターンロスが少しずれており、仕様条件ギリギリとなってしまった。また、減衰量が21dBだったため得点は5点であった。

3.2 考察

今回、リターンロスが設計からずれていたので、あらかじめカットオフ周波数がずれることを想定した上で、設計しておくことが必要だと思った。

また、フィルタの段数を増やして設計することで、さらに減衰量が取れたと考えられる。

4. 学会を聴講して

9月12日は学会のセッションに参加し、発表を聴講した。様々なセッションがあり、その中の二つ

に聴講者として参加した。

まず、Beyond5G/6Gを支えるミリ波・テラヘルツ波アンテナ・伝搬技術の「300GHz帯における広角ビーム走査のための一次放射器を円弧配置したフェーズドレンズアレーランテナ」を聴講した。この講演は、次世代通信（6G）で使うサブテラヘルツ波を様々な中継デバイスから送る仮想化端末技術を使うためのマルチビームレンジアンテナの開発の研究であった。このテーマは私の研究テーマと近いのでこの講演を通してレンズアンテナに使われるホーン型の一次放射器を使いアンテナ一つでビームの走査角を操作できる技術など、自分の研究に参考になる考え方や知識をたくさん吸収することができた。

また、もう一つ参加したセッションの6G実現に向けた研究開発プロジェクトの最新動向と展望では「100GHz以上の高周波数帯通信デバイスに関する研究開発」、「Beyond 5G/6Gを支える高周波半導体デバイスの開発と実験検証」、「端末拡張型無線通信システム実現のための研究開発」、「アクティブ空間無線リソース制御技術に関する研究開発の最新成果報告」などの4つの講演を聞いた。このセッションでは、各企業の5・6G通信の最新の技術を知ることが出来た。

5. おわりに

今回のソサイエティ大会では、フィルタコンテストで、改めて高周波回路の基礎を勉強し直すきっかけになった。ここで学んだ知識を今後の研究や学習に生かしていきたいと思う。また、学会の聴講では、自分の研究の参考になる話を聞け、最新の通信技術を知ることで興味を持つことができた。同じ分野で研究をしている自分の今後の研究の意欲を向上させる貴重な体験となった。

2024 年度学生マイクロ波回路 設計試作コンテストに参加して

村川 和也

Kazuya MURAKAWA

電子情報通信課程 4 年

1. はじめに

2024 年 9 月 10 日から 13 日まで埼玉県で開催された電子情報通信学会が主催するソサエティ大会と、同期間中に開催されたマイクロ波研究会主催の 2024 年度学生マイクロ波回路設計試作コンテストに参加した。

2. コンテストの概要

2.1 帯域通過フィルタの仕様条件

仕様条件は以下の 3 つである。

- ① 挿入損失 : 3.4~3.6 (GHz) で 5 (dB) 以下
- ② 反射損失 : 3.4~3.6 (GHz) で 10 (dB) 以上
- ③ 減衰量 : 2.5~2.9 (GHz), 4.1~4.5 (GHz) で 20 (dB) 以上

2.2 帯域通過フィルタの設計・試作条件

設計・試作条件は以下の 10 つである。

- ① 基板は片面または両面の樹脂製プリント基板とする。多層基板は不可。
- ② パターン形成は片面または両面で可能。
- ③ 基板の材料はガラスやセラミックフィラー等を含んだコンポジット材も可とする。
- ④ 基板の外形は正方形または長方形とする。厚さは自由。
- ⑤ 基板の使用枚数は 1 枚とする。
- ⑥ 入出力は SMA コネクタ (メス) を使用すること。
- ⑦ 受動素子 (抵抗, キャパシタ, インダクタ) は使用可。

- ⑧ 遮へいケースは使用可。ただし、審査時に内部を確認できるようにすること。
- ⑨ 上記以外の受動素子、および能動素子は使用不可。
- ⑩ 測定環境による変動要因も考慮して設計すること。(例えば、環境温度の変化など)

2.3 帯域通過フィルタの評価項目

評価項目は以下の 2 つである。

- ① 3.4~3.6 (GHz) における挿入損失の測定結果
- ② 2.5~2.9 (GHz), 4.1~4.5 (GHz) における減衰量の測定結果
- ③ 判定値は減衰量の最小値 (阻止域内減衰量の最悪値 (最小値)) から挿入損失の最大値 (通過域内の挿入損失の最悪値 (最大値)) の 10 倍を引いた値が得点となる。

3. 帯域通過フィルタの設計・試作

3.1 带域通過フィルタの設計

回路設計に用いたソフトは Keysight 社製の Advanced Design System (ADS) である。まず共振器を決定した。2 分の 1 波長線路を変形させたスパイラル型のマイクロストリップ共振器を用いたフィルタ構造となっている。遮蔽ケースのカットオフ周波数を考慮して共振器の横幅は広くなりすぎないようにし、また、共振器間の必要な結合係数を得るために共振器の縦幅は適切な長さを確保するように調整を行った。図 1 にその共振器構造を示す。



図 1 共振器構造

要求される仕様の中では減衰量を重視し、共振器を10段として高減衰特性を目指した。段数を増やすことで挿入損失は悪化するが減衰量は増加する。また、共振器間で必要な結合係数の減少を見つめる。実機での周波数ずれに対応するため帯域幅を350MHzで設計している。今回の基板は日本ピラー工業製のNPC-H220Aを用いた。本基板は普段使用しているmegtron6と比較して誘正接が0.0005であるため挿入損失の低減が期待できる。

外部回路と共振器を疎結合状態で共振させ、共振器のQ値を確認した。また、共振器間隔と結合係数の関係を算出し、必要な結合係数に合うように直列に共振器を配置した。フィルタの外部回路と共振器との結合はタップ給電、すなわち、直結型にすることで必要な外部結合を得ることができた。



図2 フィルタのレイアウト

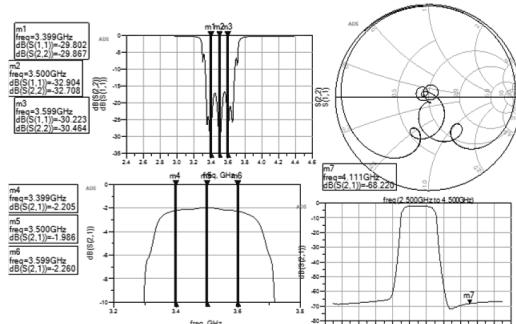


図3 フィルタのシミュレーション結果

図2に設計したフィルタのレイアウト、図3に設計したフィルタのシミュレーション結果を示す。

3.2 試作したフィルタ

3.1で作成した回路を実際に基板化するためにエ

ッティング処理を行いパターン化した。ペクトルネットワークアナライザで測定を行った。遮蔽ケースを使用することで、コネクタ間の直接結合を防ぎつつ共振器間の電磁界結合の調整を行うことができる。その結果、通過損失、減衰量ともに改善することができた。図4に試作したフィルタ、図5に測定した結果を示す。

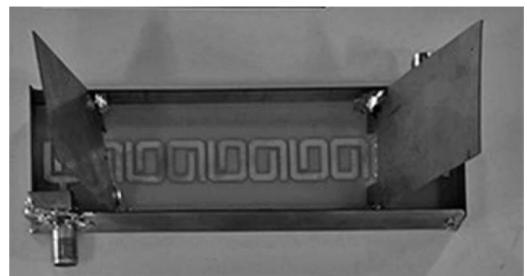


図4 試作したフィルタ

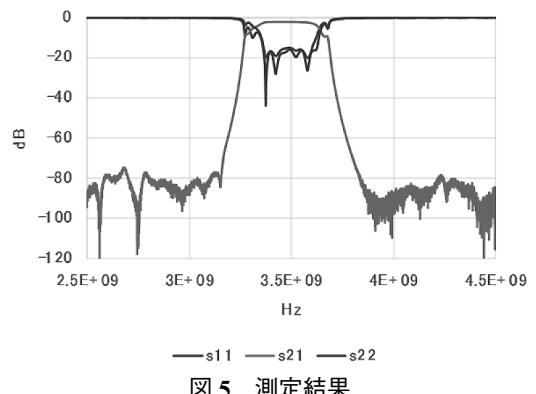


図5 測定結果

4. コンテストでの結果

当日の測定結果は、通過損失が2.94dB、減衰量が77.49dBであり得点は48.09点であった。

5. おわりに

2024年度学生マイクロ波回路設計試作コンテストに参加した。遮蔽ケースの出来栄えが良ければ、不要共振を除去して70点を超える賞も狙えたが、残念ながらそれには届かなかった。次回は賞を狙っていきたいと考える。

2024 年度学生マイクロ波回路 設計試作コンテストに参加して

塩見忠広
Tadahiro SHIOMI
電子情報通信課程 3 年

1. はじめに

2024 年 9 月 13 日に埼玉県に所在する日本工業大学で開催されたマイクロ波研究会主催の「学生マイクロ波回路設計試作コンテスト」において、私は低域通過フィルタ (LPF) 部門に参加した。

2. コンテストの概要

2.1 低域通過フィルタの設計・試作条件

設計・試作条件は以下の 5 つである。

- ① 基板はガラスエポキシ基板で、サンハヤトの片面銅張板である。基板の使用枚数は 1 枚であり、基板自体の加工は禁止である。
- ② 銅箔テープは幅 12.7mm である。
- ③ 外部からの材料の持ち込みは禁止である。
- ④ 挿入損失は 1~1.5GHz で 5dB 以下とするこ
- と。
- ⑤ 反射損失は 1~1.5GHz で 10dB 以上とするこ
- と。
- ⑥ 減衰量は 3~3.5GHz で 20dB 以上とするこ
- と。

2.2 評価項目

図 1 の特性評価指標において、以下の判定値により評価される。

$$\text{判定値} = \text{ATT} [\text{dB}] - 10 * \text{IL} [\text{dB}]$$

ATT : 減衰量の最小値(阻止域内減衰量の最悪値)

IL : 挿入損失の最大値 (通過域内の挿入損失の最悪値)

判定値が同じ場合は挿入損失 (最大値) が小さい方が優先される。

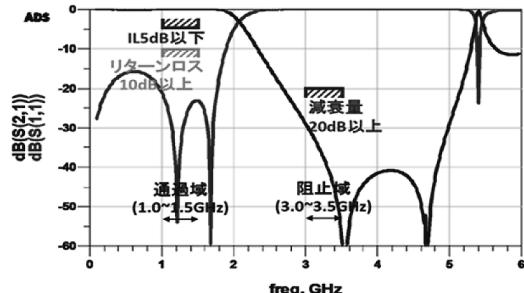


図 1 ローパスフィルタの評価指標

3. 低域通過フィルタの設計・試作

3.1 設計

今回設計した低域通過フィルタは、7 段で作成したものと、5 段で作成したものがある。設計には Keysight 社製の Advanced Design System (ADS) を使用した。

設計した低域通過フィルタの回路図を図 2、図 3 に示す。コンテストで入賞するためには、阻止域内の減衰量が大きくし、通過域内の挿入損失が小さくする必要があるため、段数を増やし、回路の中で損失が小さくなるように銅テープを貼り合わせて作成する。

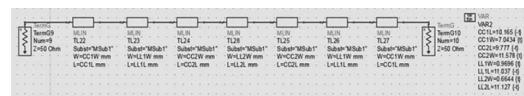


図 2 7 段低域通過フィルタの回路図

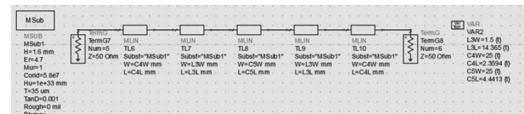


図 3 5 段低域通過フィルタの回路図

図 4、図 5 にフィルタのシミュレーション結果を示す。

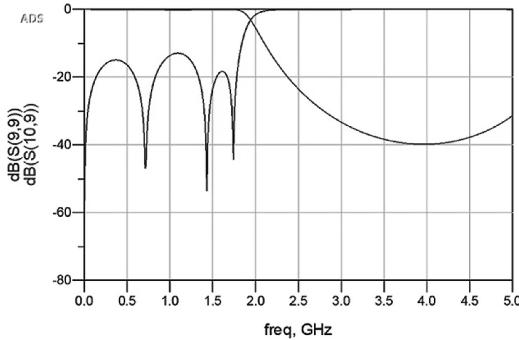


図 4 7段低域通過フィルタのシミュレーション結果

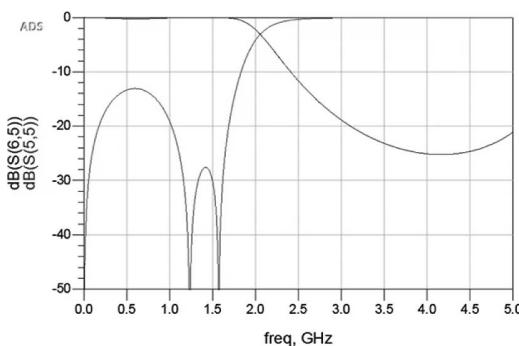


図 5 5段低域通過フィルタのシミュレーション結果

3.2 試作した低域通過フィルタ

3.1 で設計した回路を試作し、特性評価を行った。試作した低域通過フィルタの特性を図 6、図 7 に示す。両方の回路で、低域通過フィルタの特性が今回のコンテストの基準を満たしていることを確認することができた。

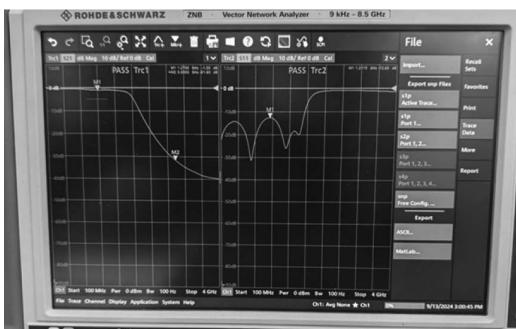


図 6 7段低域通過フィルタの特性評価



図 7 5段低域通過フィルタの特性評価

コンテスト当日の測定結果は、7段低域通過フィルタは $ATT = 20.56\text{dB}$ 、5段低域通過フィルタは $ATT = 24.49\text{dB}$ となった。今回の結果は、低域通過フィルタの特性を作成することができたが、残念ながら賞を受賞できるほどのスコアを達成することはできなかった。

4. おわりに

本コンテストで、私は低域通過フィルタを設計・試作した。設計段階で減衰量を増やすため、段数を増やすなどの設計を工夫した。

コンテストに臨むにあたり、研究室配属後の 3 年生前期に行われたフィルタ講義の内容に含まれる知識をもとに低域フィルタを作成した。今までの知識や経験を活かしてコンテストに挑むことで、改めて自分に何の知識や経験、技術が足りないのかを確認することができ、大変貴重な経験となった。

今回は設計方法、減衰量などの特性面で優秀な結果を残すことはできなかった。しかし、今回のコンテストの経験を踏まえて、次回のコンテストでは賞を狙えるように成長していきたいと考えている。

「第 65 回大気環境学会年会」における研究発表

片 岡 是 宗

Yukimune KATAOKA

環境ソリューション工学専攻修士課程 2 年

1. はじめに

2024 年 9 月 11 日から 13 日にかけて慶應義塾大学日吉キャンパスで開催された「第 65 回大気環境学会年会」に参加し、「滋賀県里山林内で観測したオゾン濃度の鉛直・水平分布の季節変動パターン」を題目としてポスター発表を行った。

2. 研究内容

2.1 背景・目的

光化学オキシダント (Ox) は、窒素酸化物 (NOx) や揮発性有機化合物 (VOCs) の光化学反応によって生成されるオゾン (O3) を主成分とする大気汚染物質である。Ox の環境基準達成率が極めて低く、改善のために大気物質の浄化機能を持つ森林が注目されている。森林内のオゾン観測は紫外線吸収式オゾン計を用いることが多いが、大型電源が必要であるため、持ち運びが困難である。パッシブサンプラーを用いたオゾン観測もあるが、時間変動の高いデータを得ることが難しい。そのため、森林内のオゾン観測は 1, 2 箇所かつ数日の期間で行われており、詳細なオゾン濃度の季節変動を調査した研究は少ない。本研究は龍谷大学瀬田学舎に隣接する里山演習林「龍谷の森」でオゾン濃度を多地点・多日数で測定し、データの自動記録が可能な可搬型オゾン濃度計を用いてオゾン濃度の鉛直・水平分布の季節変動を観測した。

2.2 調査方法

可搬型オゾン濃度計（株式会社エムケーサイエンス フィック SKY-O3）、多機能環境計測器（株式会社 CUSTOM AHLT-102SD）、紫外線強度計（株

式会社 CUSTOM UV-37SD）、携帯型 LAI 分析計（日本環境計測株式会社 MIJ-15 LAI/P）を龍谷の森に運搬し、林縁 2 地点と林内 6 地点、森中央 4 地点（図 1 左）で 5 秒おきに 25 回連続でオゾン濃度、気温、湿度、紫外線強度、葉面積指数 (LAI) を同時測定した。林縁 2 地点と林内 2 地点、森中央 3 地点ではオゾン濃度の水平分布の観測も行った。高さ 25m 観測タワーを用いてオゾン濃度の鉛直分布測定を行い（図 1 右）、50,000 個の測定値を用いて解析した。

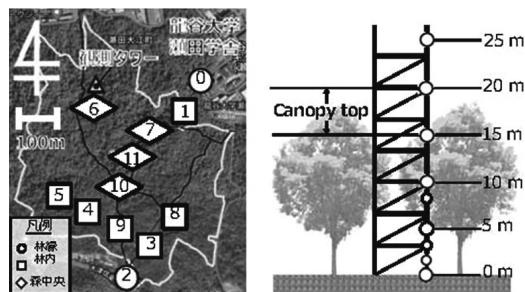


図 1 地点別 (左図) と鉛直分布 (右図) の測定地点

2.3 結果と考察

2.3.1 オゾン濃度の鉛直分布

図 2 にオゾン濃度の鉛直分布観測結果を示す。図 2 のグラフ上の数字は年月、横波線は樹冠高さ (20 m)、エラバーはオゾン濃度の標準偏差であり、1 ヶ月に 1 日から 3 日測定した。図 2 より冬季以外でオゾン濃度が樹冠から地表面にかけて減衰し、葉や土壌による分解・吸着が示唆された。冬季では全ての高度で 0.00ppm から 0.01ppm で変動するなど、夏季のような減衰が観測されず、オゾン生成が促進されなかったことが示唆された。

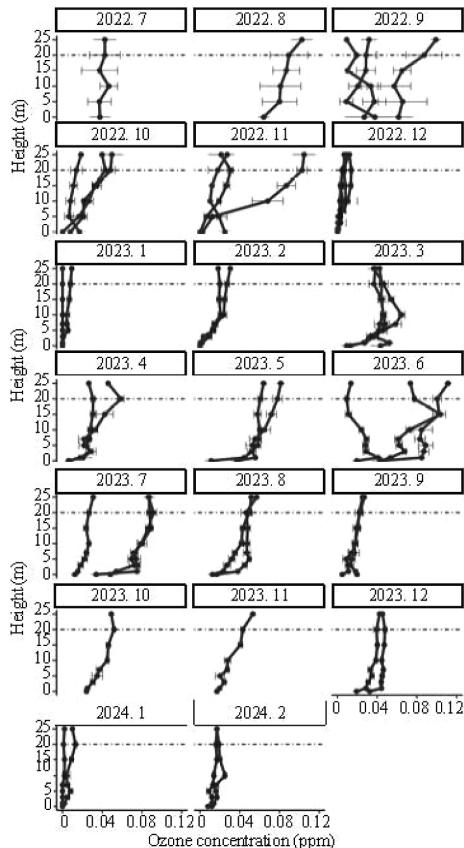


図 2 オゾン濃度の鉛直分布観測結果

2.3.2 オゾン濃度の水平分布

図 3 にオゾン濃度の水平分布観測結果を示す。図 3 のグラフ上の数字は年月、エラバーはオゾン濃度の標準偏差であり、1ヶ月に1日から5日測定した。オゾン濃度は冬季以外で林縁 (No.0, 6) から森中央 (No.7, 11) にかけて減衰し、樹木の遮蔽による流体力学的効果が示唆された。森林内 12 地点のオゾン濃度は春季から夏季にかけて増大し、秋季から冬季にかけて減衰する季節変動が観測され、春季・夏季では環境基準値を超えた日も観測された。林縁を除く 10 地点のオゾン濃度と UVA、気温に正の相関が見られ ($p < 0.05$)、気温が 30°C を超えるとオゾンの光化学生産が活発に行われることや地表面が熱せられ、土壤に付着したオゾンが脱着したと考えられる。

森林内 3 地点でオゾン濃度と湿度に負の相関が見

られ ($p < 0.05$)、湿潤土壤ではオゾン吸着しづらいと考えられる。さらに、LAI, PAR, NIR には一部の地点で弱い正の相関が見られ ($p < 0.05$)、葉から排出される植物由来揮発性有機化合物 (BVOCs) や NOx との光化学反応によってオゾンが生成されたと考えられる。

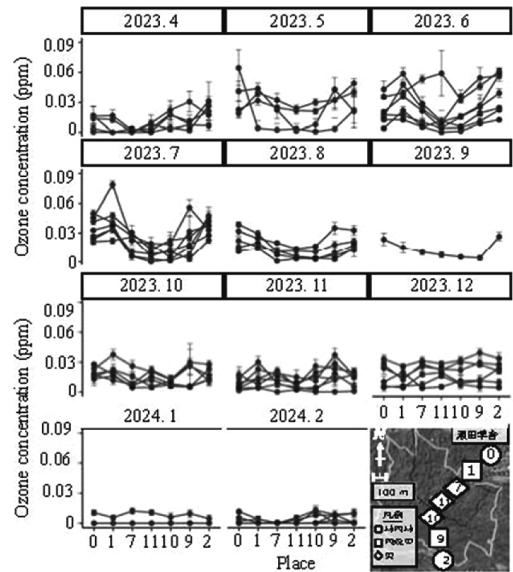


図 3 オゾン濃度の水平分布観測結果

2.4 結論

森林内のオゾン濃度を測定した結果、樹冠から地表面にかけて減衰する鉛直分布が観測され、夏季で最も増大し、秋季、冬季にかけて減衰する季節変動が観測された。また、オゾン濃度が林縁から森中央にかけて減衰し、樹木の遮蔽による流体力学的減衰効果があることが示唆された。

3. おわりに

学会発表を行って、質問者の方々から助言や激励の言葉を頂き、研究活動の視野が広がったことを痛感し、非常に有意義な経験となった。今回の学会発表を行うにあたり、多大なるご指導や助言を頂いた藤森崇教授、市川陽一名誉教授、測定の際、ご協力して頂いた藤森研究室の皆様に厚く御礼申し上げる。

液液界面イオン移動 ボルタンメトリー用の 新規有機溶媒の探査

川又 康平
Kohei KAWAMATA
応用化学課程 4年

1. はじめに

私は 2024 年 9 月 11 日～13 日に愛知県名古屋市の名古屋工業大学で開催された「日本分析化学会第 73 年会」に参加し、「液液界面イオン移動ボルタンメトリー用の新規有機溶媒の探査」についてのポスター発表を行った。

2. 研究背景

液液界面電荷移動ボルタンメトリー (VITIES) は、水 (W) と有機溶液 (O) との界面に電位 (E) を印加・掃引し、イオンや電子が界面を移動するときに流れる電流 (I) を E の関数として記録する手法である。従来から、VITIES の O として 1,2-dichloroethane や nitrobenzene がよく使用されている。

近年、界面面積を小さくした微小界面電解セル (例えば、直径 30 μm) が開発され、比誘電率 (ϵ) が小さい有機溶媒でも VITIES が可能になった。当研究室では、微小界面セルと適切な支持電解質を用いることで W|toluene, benzene あるいは anisole 界面での VITIES に初めて成功した^[1, 2]。

本研究では、新たな O として aniline や各種アルコール系有機溶媒の VITIES の O への適用性を微小界面セルで調べた。

3. 実験方法

O として aniline ($\epsilon = 6.9$), 1-butanol ($\epsilon = 17.51$), 1-pentanol ($\epsilon = 13.9$), 1-hexanol ($\epsilon = 13.3$), 1-heptanol ($\epsilon = 11.75$) を用いた。W の支持電解質として 0.1M MgSO_4 を、移動イオンとして四級アンモ

ニウム塩の tetraethylammonium chloride (TEA $^+$ Cl $^-$), tetrabutyl-ammonium chloride (TBA $^+$ Cl $^-$) をそれぞれ用いた。O の支持電解質は 0.01M bis (triphenyl-phosphoranylidene) ammonium tetrakis-[3,5-bis (trifluoro-methyl) phenyl] borate (BTPPA $^+$ TFPB $^-$) あるいは tetraoctylammonium tetrakis[3,5-bis (trifluoromethyl)-phenyl] borate (TOA $^+$ TFPB $^-$) を用いた。微小界面は、ポリエチルフィルムにレーザー光を照射して作製した微小孔に形成した。

4. 結果と考察

4.1 アニリンを用いた VITIES

アニリンを用いて VITIES を行ったところ、BTPPA $^+$ TFPB $^-$ よりも TOA $^+$ TFPB $^-$ を用いた方が電位窓が約 0.1V ほど広くなった。したがって、以降の測定では TOA $^+$ TFPB $^-$ をアニリンの支持電解質として使用した。0.1M MgSO_4 を含む W に TEA $^+$ Cl $^-$ あるいは TBA $^+$ Cl $^-$ を溶かして VITIES を行ったところ、どちらも $5.0 \times 10^{-4}\text{M}$ のとき、イオン移動による正電流波が観察された。ただし、正側の電位窓が狭く明瞭な限界電流は観察されなかった。

4.2 アニリウムイオンが VITIES に与える影響

図 1 は、W とアニリンの界面で測定したバックグラウンドのボルタモグラムである。測定時間の経過と共に正電流が増加した。W とアニリンが界面を形成することで界面近傍にアニリウムイオンが生成され、その界面移動反応が生じて正電流が増加した可能性が考えられる。

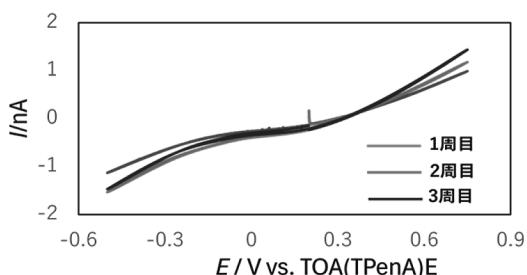


図 1 時間経過による繰り返し測定

またアニリウムイオンは酸性条件下で生成するため、Wの支持電解質が0.01M NaOHを用いた時よりも0.01M H₂SO₄を用いた方が特に正側の電位窓が約0.2V負側にシフトした（図2）。

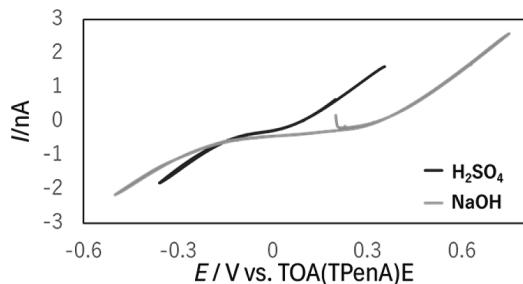


図2 酸・塩基性条件下でのVITIES比較

以上の結果から、アニリウムイオンの移動によって正側の電位窓が決定されることが示唆された。

4.3 アルコール系有機溶媒を用いたVITIES

Oに飽和BTPPA⁺TFPB⁻の1-butanol溶液用いて、Wの支持電解質を種々変えて1-butanol VITIESを行ったところ、MgSO₄を用いた時に最も明瞭な電位窓が得られた（図3）。次に、O側の有機溶媒を1-butanol, 1-pentanol, 1-hexanol, 1-heptanolと変えて測定を行ったところ、1-hexanolをOとして用いたときに最も広い電位窓（0.4V）が観察された。

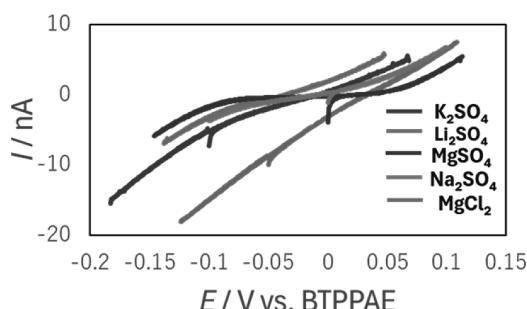


図3 種々の支持電解質を含むWと1-butanol界面でのVITIES

W|1-pentanol界面およびW|1-hexanol界面において、それぞれTEA⁺あるいはClO₄⁻の移動反応を観察したところ、WからOへの移動による正電流あるいは負電流を観察することに成功した。

5. 結論

アニリンおよびアルコール系有機溶媒もOとして使用可能であることが分かった。ただし、カチオンの溶媒和エネルギーが大きいことやアニリウムイオンの生成によって正側の電位窓が狭くなるため、電位窓を広くする必要である。

6. おわりに

初めての学会でしたが、落ち着いてポスター発表ができたと思います。他大学の学生や教授に質疑応答される中で、自分の研究を説明することの難しさを痛感しました。また他大学の液液界面の研究発表を聞くことができ、有意義な時間を過ごすことができました。

今回の学会で得た経験を卒業研究や修士で生かしていきたいと思いました。

最後に、今回ポスター発表を行うにあたり終始ご指導いただいた糟野潤准教授に深く感謝します。

参考文献

- [1] M. Kasuno, Y. Matsuyama, M. Iijima, *ChemElectroChem*, 3 (2016) 1-5.
- [2] M. Kasuno, K. Wakabayasi, Y. Matsuyama, R. Yamamura, *Electrochimica Acta*, 343 (2020) 136069.

日本分析化学会第 73 年会に 参加して

草野佑衣
Yui KUSANO
応用化学課程 4 年

1. はじめに

私は、2024 年 9 月 11 日から 13 日に名古屋工業大学において開催された日本分析化学会第 73 年会に参加し、「浮世絵に用いられているブルシアンブルーの分析化学的アプローチ」という題目でポスター発表を行った。

2. 研究内容

2.1 研究背景

日本絵画の歴史は飛鳥時代の仏画に始まり、江戸時代初期に絵画様式の一つとして浮世絵が成立した。浮世絵には様々な種類の色材が使用されており、中でも浮世絵に使用されている鉄系青色顔料のブルシアンブルー (PB) は、他の色材に比べて着色力が高く、相対的に安価であるため現在でも使用されている。なお、現在使用されている PB にはカリウムが含まれておらず、 $\text{Fe}_4 [\text{Fe} (\text{CN})_6]_3$ の構造をしており、浮世絵とはわずかに異なる青色を呈する。この色の違いとカリウム含量の関係を明らかにするため、種々の条件で PB を合成し、紫外可視反射スペクトル (UV-vis), X 線分析顕微鏡 (XGT) を用いた点分析と面分析、X 線光電子スペクトル (XPS) により科学分析を行い、それぞれを比較した。

2.2 実験操作

Fig. 1 に示した浮世絵 (a), (b) の青色部分を測定対象とし、XGT (HORIBA, XGT-5000, X 線源: Rh K α), XPS (アルバックファイ, ESCA-1600 R, X 線源: Mg K α) を用いて元素分析するとともに反射率スペクトルを測定した。また、異なる条件

で合成したカリウム含量がおよそ 0, 10, 20wt%の顔料においても同様の評価を行った。

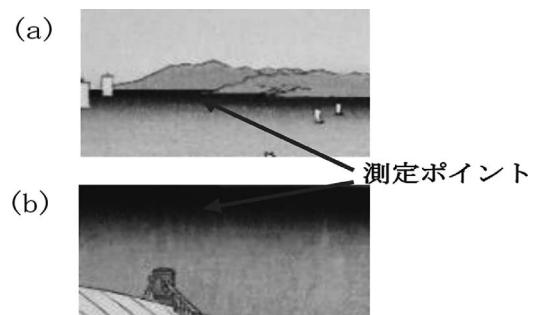


Fig. 1 (a) 五十三次名所図会 小田原
(b) 五十三次名所図会 桑名

2.3 結果・考察

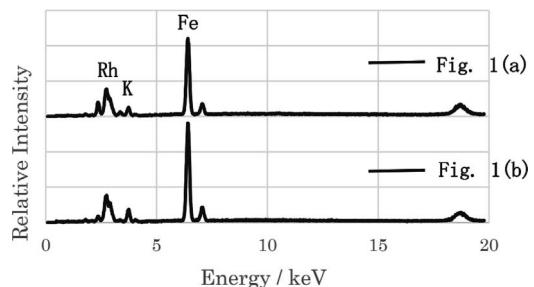


Fig. 2 Fig. 1 (a), (b) の青色部分の XGT
測定結果

浮世絵の青色部分の測定ポイントでは Fe のピークが明瞭に認められた。これより、PB が使用されていると特定できる。さらに、他の元素によるピークも含めたスペクトルがよく似ていることにより、それぞれ同じ PB が使用されている可能性がある。また、市販顔料を測定した結果、カリウムのピークが認められなかったため、 $\text{Fe}_4 [\text{Fe} (\text{CN})_6]_3$ の構造をしていることが確認できる。

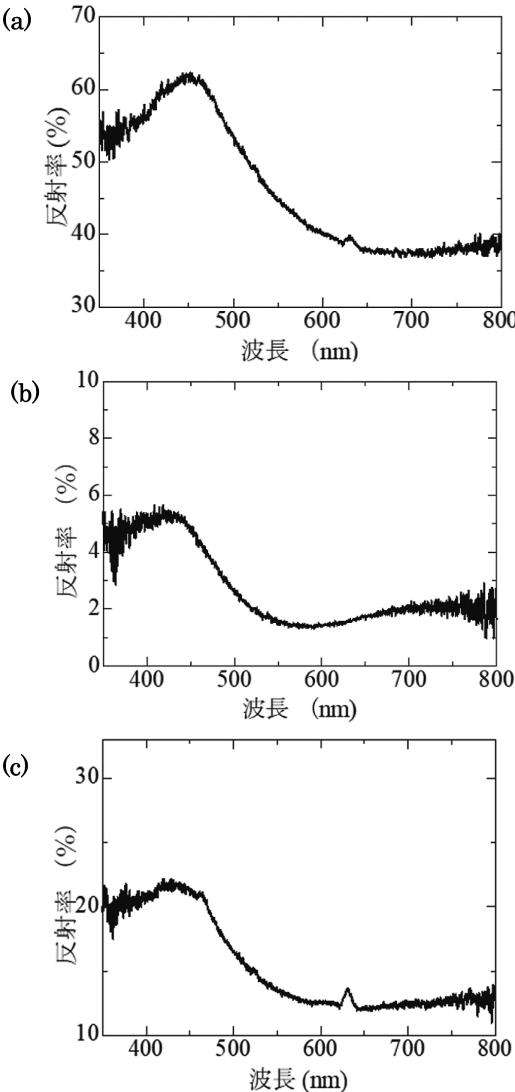


Fig 3 UV-vis 測定結果
 (a) 市販顔料 (PB)
 (b) カリウム含量 10wt%
 (c) リウム含量 20wt%

市販顔料と合成顔料ではスペクトルが概ね似ているが、市販顔料はカリウム含量 10, 20wt%の合成顔料に比べわずかに長波長側にシフトできることが確認できた。浮世絵のスペクトルでは、さらに長波長側にシフトしている。これについては、カリウム含量の違い、膠の添加、100 年以上の経年による変化などが考えられる。しかし、今のところ特定するのには困難であり、今後さらに検討する必要がある。

2.4 まとめ

浮世絵の青彩色部分を XGT 測定すると、顔料の場合ピークが明瞭に現れた。本研究で測定した浮世絵は Fe Ka の明瞭なピークが認められたことから鉄系青色顔料が使用されていることが分かる。また、浮世絵にはカリウムが含まれていることが確認できた。浮世絵については、紙の成分として K が含まれていることにより、ブルシアンブルー中の K 含量を正確に求めることが困難である。

3. おわりに

今回の学会では、様々な研究をされている方々から貴重なご意見や質問を多くいただき、大きな学びとなった。今回の経験を活かし、今後の研究のさらなる発展に繋げていきたい。

また、今回の学会でのポスター発表を行うにあたり、ご指導していただいた藤原学教授をはじめ、藤原研究室の皆様方に深く感謝申し上げます。

日本分析化学会第 73 年会に 参加して

佐野力架

Ryoga SANO

応用化学課程 4 年

1. はじめに

私は、2024 年 9 月 11 日～13 日に名古屋工業大学で開催された日本分析化学会第 73 年会に参加した。この学会で私は、「異なる条件で育成したムギの各部位における元素分布」というタイトルでポスター発表を行った。

2. 研究背景

ムギ類は根からムギネ酸（図 1）を放出し、制限要素である鉄を土壌（ Fe_2O_3 の形態で存在）から効率的に体内に取り入れていることはよく知られている。X 線分析によって、ムギの成長過程において部位ごとに特徴的な元素分布を示すことが明らかになりつつある。また、葉緑素の構成要素にマンガンが含まれ、このことから鉄とマンガンはそれぞれ微量でありながら植物の生育に深い関わりをもつ。そこで、土壌中で種々の条件下で育成させた昨年度の研究に引き続き、水耕栽培によってムギ（古代小麦・猫草）を育成し、種子およびいくつかの途中段階でのムギの各部位における点分析および面分析を行った。

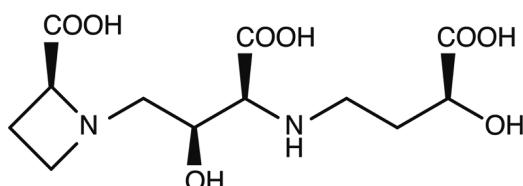


図 1 ムギネ酸 構造式

3. 実験操作

土壌からの物質移動も起こり評価が困難であるた

め、土壌フリーの水耕栽培を行った。種子を脱脂綿で保持し、①脱イオン水、②0.01M 成長塩水溶液（表 1）を乾燥したら追加するという条件下で育成した。測定対象のムギとして成長速度の速い猫草・古代小麦の二種類を用いた。発芽前は暗所で、発芽後は日光のある場所で育成した。HORIBA XGT-5000（X 線源：Rh-K α ）により種子・茎・葉・根の各部位においてそれぞれ点分析と面分析を行い、鉄・マンガンの含有量や分布変化などを調べた。点分析における最適な条件を求めるため測定時間を 100s～1000s で変化させた。測定時間により少し振幅するような変化が見られたが、500s 以上でほぼ一定の定量値を示すようになったため測定時間は 500s に設定した。（図 2）

表 1 成長塩 組成

	試薬の量 (mg/L)
硝酸アンモニウム	65.7
酸化リン (V)	13
酸化マグネシウム	22.1
酸化カルシウム	20.5
酸化鉄 (III)	2.5

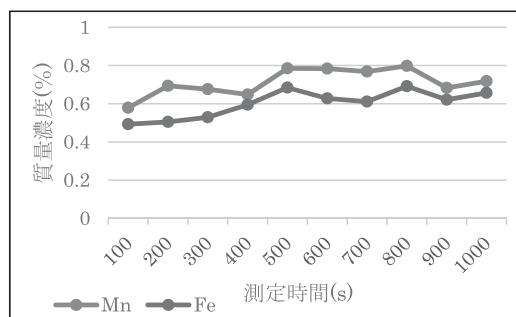


図 2 測定時間と質量濃度の関係

4. 実験結果

図 3、図 4 は脱イオン水で育成した際の点分析の測定結果である。

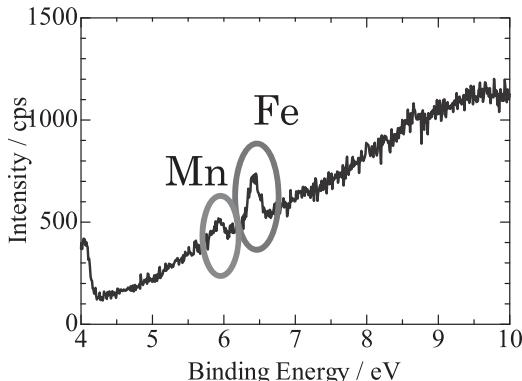


図3 脱イオン水で育成した猫草の種子

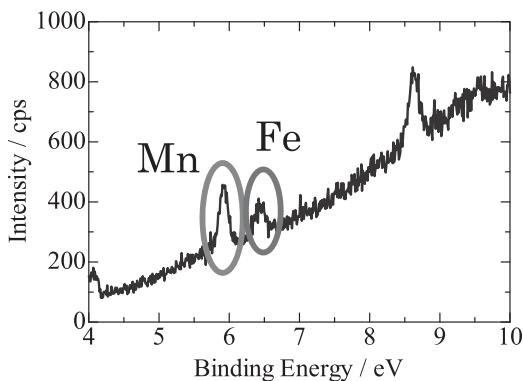


図4 脱イオン水で育成した古代小麦の種子

成長塩水溶液で育成した際の点分析の測定結果を図5、図6に示す。いずれも強度が低いもののFeとMnによるピークが明瞭に観測された。

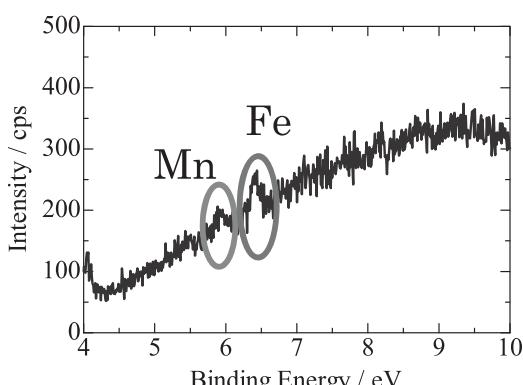


図5 成長塩水溶液で育成した猫草の種子

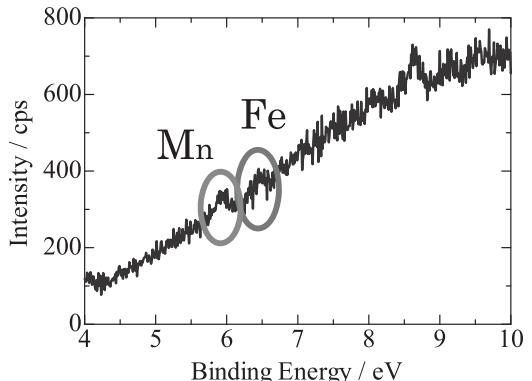


図6 成長塩水溶液で育成した古代小麦の種子

点分析の結果から種子の部分からは、他の部位よりも**Fe, Mn**ともにピークが高強度で明瞭に検出された。葉・根・茎からは、ピークが低強度で検出が困難であった。根の点分析では、水耕栽培では根の発達が阻害されており、焦点を合わせにくく、正確な定量値を出せなかった。そのため、点分析ではなく、極超面積の面分析に切り替え、面分析の平均値より定量値を算出するようにした。

面分析の結果から、根の部分は細いため、分布の確認が少々困難であるが、**Fe, Mn**ともに全体的に分布していることが分かった。特に、種子の部分では定量値が高いという結果が得られ、分布も明瞭に確認できた。ただ、面分析により、それぞれの金属イオンの分布を明らかにすることができるが、面分析データにはピークよりも大きいバックグラウンドの影響が強く現れることに注意しなければならない。今後は、これらのことの検討を進めたいと考えている。

5. おわりに

今回の学会では私にとって初の学会でした。学会の雰囲気を感じることができ、多くの方々から貴重なご意見をいただきました。この経験を活かし今後の研究に役立てていきたいと思いました。また、ご指導していただいた藤原学教授、研究室の皆様方に深く感謝致します。

液液界面イオン移動
ボルタンメトリー用の
新規有機溶媒の探査

林 龍之介

Ryunosuke HAYASHI

応用化学課程 4 年

1. はじめに

私は 2024 年 9 月 11 日～9 月 13 日に愛知県名古屋市の名古屋工業大学で開催された「日本分析化学会第 73 年会」に参加し、「液液界面イオン移動ボルタンメトリー用の新規有機溶媒の探査」についてのポスター発表を行った。

2. 概要

2.1 Introduction

液液界面イオン移動ボルタンメトリー (VITIES) とは、水 (W) と混じり合わない有機溶液 (O) と W との界面をイオンが横切って移動する様子を、移動エネルギーを界面電位差 (E)，イオンの移動量を電流 (I) として同時に測定し、 $I-E$ 曲線 (ボルタモグラム) を観察する方法である。従来から、VITIES の O として 1,2-dichloroethane や nitrobenzene がよく使用されている。

一般的に用いられてきた液液界面電界セルでは、高濃度の支持電解質を溶解できる比較的高い比誘電率 (ϵ) の O が必要であった。一方、界面面積を小さくした微小界面電解セル (直径 30 μm) が開発され、同セルを用いれば低濃度の支持電解質や ϵ が小さい有機溶媒でも VITIES が可能になった。当研究室では、微小界面電解セルを用いて、 ϵ が低い toluene ($\epsilon = 2.4$)、benzene ($\epsilon = 2.2$)、anisole ($\epsilon = 4.3$) が VITIES に適用できることを初めて明らかにした^[1, 2]。

本研究では、新たな O として各種アルコール系有機溶媒の VITIES の O への適用性について微小界面電界セルを用いて調べた。

2.2 Material and Methods

O として 1-butanol ($\epsilon = 17.51$)、1-pentanol ($\epsilon = 13.9$)、1-hexanol ($\epsilon = 13.3$)、1-heptanol ($\epsilon = 11.75$) を用いた。W の支持電解質として 0.01M MgSO_4 を、移動イオンとして四級アンモニウム塩の tetrabutylammonium chloride (TBA^+Cl^-) および sodium perchlorate ($\text{Na}^+\text{ClO}_4^-$) をそれぞれ用いた。O の支持電解質は 0.01M bis (triphenylphosphoranylidene) ammonium tetrakis [3,5-bis (trifluoromethyl) phenyl] borate (BTPPA $^+$ TFPB $^-$) を用いた。

2.3 Results and Discussion

O として BTPPA $^+$ TFPB $^-$ を限界まで 1-butanol に溶解した飽和溶液を用い、W 中の 0.1M 支持電解質を種々変えて VITIES をおこなった。得られた結果を図 1 に示す。 MgSO_4 を用いたときに最も広く明瞭な電位窓が得られたことから、W 中の支持電解質として MgSO_4 が最適であることが分かった。

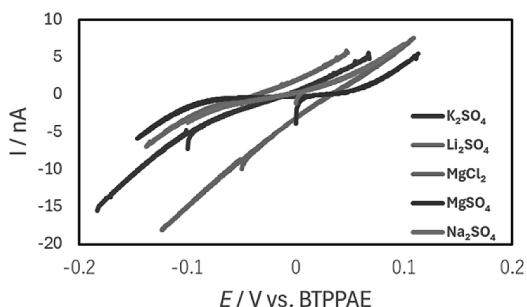


図 1 種々の支持電解質を含む W と 1-butanol 界面での VITIES

次に、0.1M MgSO_4 を含む W と種々のアルコール系有機溶媒に BTPPA $^+$ TFPB $^-$ を限界まで溶かした飽和溶液の O との界面で VITIES をおこなったところ、いずれのアルコール有機溶媒でも明瞭な電位窓が観察された (図 2)。炭素鎖が長くなるにつれて、正電流と負電流の傾きが大きくなつたことから、オーム降下の影響が無視できないことが示唆された。電位窓の広さとオーム降下の影響を考慮して、以降の実験は 1-pentanol および 1-hexanol を O として用いた。

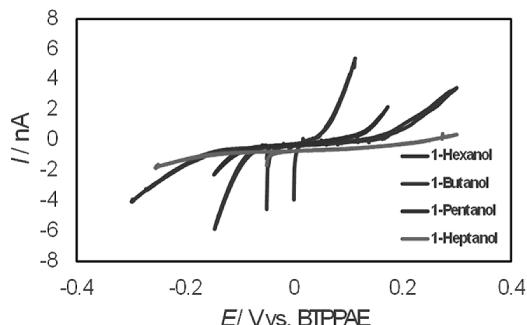


図 2 0.1M MgSO_4 を含む W と種々のアルコール系有機溶液界面での VITIES

W|1-pentanol および W|1-hexanol 界面において、それぞれ TBA⁺あるいは ClO_4^- の移動反応を観察したところ、W から O への移動に起因する正電流あるいは負電流が観察された（図 3）。

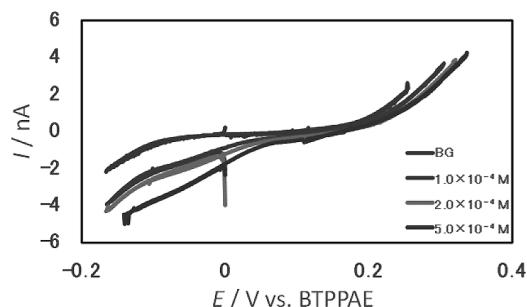


図 3 1.0×10^{-4} , 2.0×10^{-4} , 5.0×10^{-4} M $\text{Na}^+\text{ClO}_4^-$ と 0.01M MgSO_4 を含む W と 1-pentanol, 界面への ClO_4^- の VITIES

アルコール系有機溶液 VITIES を用いた O として使用可能であるが、カチオンの溶媒和が大きく正側の電位窓が狭いことから明瞭な限界電流が観察さ

れなかった。今回の実験において飽和 BTPPA⁺ TFPB⁻ 溶液を用いていることから電位窓が狭いといえ、電位窓を広げるため各有機溶媒に適した支持電界質を探査する必要がある。

3. ポスター展示での質問

ポスター展示の質問の中で、電位窓を決定するイオンの移動種や、カチオンの溶媒和が大きいとなぜ電位窓が狭くなる理由など様々な質問を受けた。その中で、長い炭素鎖を持つアルコール系有機溶媒の方がより応用でき、実用性が高いのではないかとアドバイスも頂いた。このことから今回の実験結果と関連付けて、新しい有機溶媒の探査が可能であるのではないかと考え、とても良い機会となった。

4. おわりに

今回の学会で他大学の講演やポスターなどから電気化学についての新しい知見を得ることができた。また、ポスター発表では多くの教授などから様々な質問や疑問が寄せられ、非常に学びの多い経験となつた。

最後に、今回ポスター発表を行うにあたり終始ご指導いただいた糟野 潤准教授に深く感謝します。

参考文献

- [1] M. Kasuno, Y. Matsuyama, M. Iijima, *ChemElectroChem*, 3 (2016) 1-5.
- [2] M. Kasuno, K. Wakabayasi, Y. Matsuyama, R. Yamamura, *Electrochimica Acta*, b343 (2020) 136069.

日本分析化学会第 73 年会に 参加して

前 田 健太郎

Kentaro MAEDA

応用化学課程 4 年

1. はじめに

私は 2024 年 9 月 11 日から 13 日に名古屋工業大学にて開催された日本分析化学会第 73 年会に参加し、「ニトロ基を有するシップ塩基配位子の銅（II）および亜鉛（II）錯体の時間分解 X 線光電子スペクトル」という題目でポスター発表を行った。

2. 研究背景

窒素-炭素二重結合を有するシップ塩基配位子は窒素原子上の電子密度が高く、種々の金属イオンと強い配位結合を形成する。シップ塩基配位子を有する金属錯体は、中心金属や置換基の種類により有機反応の触媒や顔料などとして機能することから数多く合成され、それぞれの性質が詳しく調べられている。また、これまでいくつかの高原子価の金属イオン化合物が X 線光電子 XPS スペクトル測定の際に還元反応を起こし、それに伴うスペクトル変化が観測されている。ニトロ基を有するシップ塩基配位子の銅（II）および亜鉛（II）錯体においても、XPS 測定の際にスペクトル変化が起こることを見出した。そこで本研究ではこれらの錯体を対象に時間分解 XPS スペクトル測定を行い、X 線照射によるニトロ基の還元反応について検討した。また、X 線照射前後の金属錯体について、IR スペクトルの測定を行った。

3. 実験操作

研究対象である $\text{Cu}^{\text{II}}(5\text{-NO}_2\text{ salen})$ および $\text{Zn}^{\text{II}}(5\text{-NO}_2\text{ salen})$ はいずれも平面 4 配位型錯体である。これらを導電性両面テープで試料ホルダーに固定し、N(1s), O(1s), C(1s)XPS スペクトルを一定時

間ごとに測定した。このとき、X 線源として Mg-K α (1253.6eV, 400W) 線を用い、 $1.0 \times 10^{-6}\text{Pa}$ 以下の高真空下で測定した。X 線照射前後の金属錯体は固体であるため、KBr 錠剤法を用いて IR スペクトル測定を行い、現れた伸縮振動ピークの同定を行った。

4. 結果と考察

$\text{Cu}^{\text{II}}(5\text{-NO}_2\text{ salen})$ および $\text{Zn}^{\text{II}}(5\text{-NO}_2\text{ salen})$ の時間分解 N(1s)XPS スペクトル測定を行った結果を図 1 に示す。X 線照射 15 分後には 407eV 付近のニトロ基の窒素によるピークと 400eV 付近のシップ塩基の窒素によるピークが確認された。X 線照射時間の経過とともに高エネルギー側のピーク強度が減少し、低エネルギー側のピーク強度が徐々に増大した。また、両方の金属錯体で X 線照射による表面全体の色変化が観測された（図 2）。どちらの金属錯体も黒がかった色へと変化した。

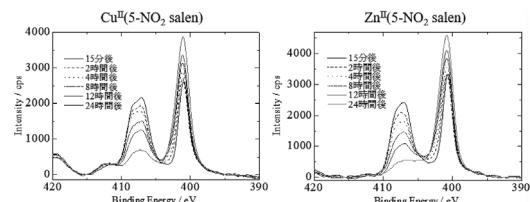


図 1 金属錯体の時間分解 N(1s)XPS スペクトル（15 分～24 時間）

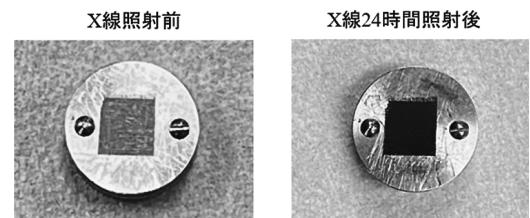


図 2 $\text{Zn}^{\text{II}}(5\text{-NO}_2\text{ salen})$ の X 線照射による色変化

$\text{Zn}^{\text{II}}(5\text{-NO}_2\text{ salen})$ の時間分解 O(1s)XPS スペクトル測定結果を図 3 に示す。X 線照射時間が経過するにつれてピーク強度が減少した。X 線照射 30 分後には 534eV 付近にショルダーピークが観測されたが、照射 16 時間後にはそのピークが消失した。

時間分解 C(1s)XPS スペクトルの測定結果については、285eV 付近の強大なピークに増減は観測されなかったが、289eV 付近の弱いピークが照射時間の経過とともに減少し、照射 20 時間後に消失が確認された。

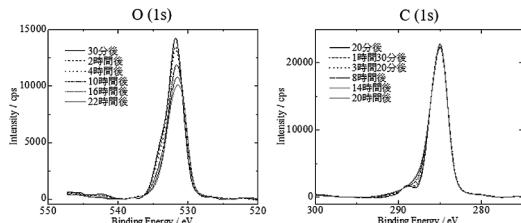


図 3 Zn^{2+} (5- NO_2 salen) の時間分解 O(1s), C(1s)XPS スペクトル

X 線照射前後の金属錯体の IR スペクトル測定結果を図 4 に示す。照射前の金属錯体ではともにニトロ基の伸縮振動やイミンの伸縮振動による強いピークが確認された。照射後の金属錯体では、それぞれニトロ基由来の強大なピークは消失し、 1750cm^{-1} 付近に X 照射前にはなかった強いピークが観測された。さらに、 2900cm^{-1} 付近に観測されるメチレン基等の伸縮振動によるピークが強まった。なお、照射後の金属錯体の分子構造を明らかにするため重クロロホルム溶液中の NMR スペクトルを測定したが、金属錯体の溶解性が低く、解析できなかった。今後は配位子のみで検討する予定である。

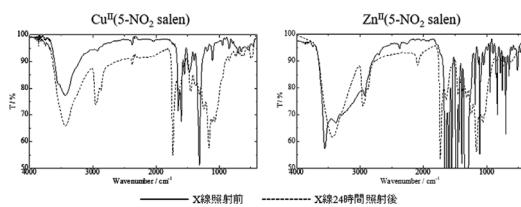


図 4 金属錯体の IR スペクトル

5. 結論

時間分解 N(1s), C(1s), O(1s)XPS スペクトルより、ニトロ基によるピークおよびニトロ基によりシフトした高エネルギー側のピークの強度の減少と消失が観測された。加えて IR スペクトルでは、X 線照射後の金属錯体でニトロ基由来の高強度のピークが消失した。以上の結果より、X 線照射によって金属錯体のニトロ基が還元され、ニトロ基の酸素が脱離したと考えられる。このことは、時間分解 N(1s)XPS スペクトルの低エネルギー側のピーク強度が増大したことと関連している。還元された金属錯体の構造の決定には至らず、現在も検討中である。

6. おわりに

今回初めて学会でポスター発表をさせていただき、多くの方からアドバイスをいただいた。研究について新たな発見もあり、研究を見つめ直すのに良い機会となった。

最後に、今回の発表を行うにあたってご指導をいただいた藤原学教授、藤原研究室の皆様に御礼申し上げます。

第18回バイオ関連化学 シンポジウム

神 田 ららほ

Raraho KANDA

物質化学専攻修士課程 2年

1. はじめに

私は2024年9月12日から14日にかけ、つくば国際会議場で開催された「第18回バイオ関連化学シンポジウム」に参加した。この学会で私は、「Synthesis and properties of collagen model peptides incorporating N-terminal His-tag」というタイトルでポスター発表を行った。

2. 研究背景

骨が欠損した場合の主な治療法としてインプラントや人工骨の利用がある。チタンは耐腐食性および生体適合性が高く、実用化されているが、チタン表面への初期細胞接着量が少ないとによる細菌感染のリスクが課題として挙げられる。また、人工骨の主成分であるヒドロキシアパタイト（HA）は高い骨親和性と吸着力をもっているが、無機物ゆえに硬く脆いため骨の組織になじみにくい。それらの対応策として、チタンに対しては初期細胞接着量を増大させるなどが取り組まれているが、完全な問題解決には至っていない。また、ヒドロキシアパタイトとコラーゲンを複合化するなど骨再生能力の向上を図る研究が行われている。例えば天然コラーゲンを用いる場合、陸生生物由来の人獣共通感染症のリスクや水生生物由来の変性温度の低さといった課題がある。そこで、それらを改善するために感染症のリスクが少なく変性温度にすぐれ機能制御が容易な化学合成されたコラーゲンモデルペプチド（CMP）の利用が効果的と考える。

本研究では、細胞表面のインテグリンと特異的に結合する細胞接着配列および銅イオンとHisタグによるCMP同士の連結および抗菌効果の付与を目

指し Hisタグの二種の配列を典型的なコラーゲン配列に組み込んだ CMP-9 を設計・合成した。さらに、銅イオン存在下における二次構造評価により Hisタグの性質を調査後、チタン表面への修飾を試みた。

3. 実験操作

まず、液相合成法によりジペプチド（Fmoc-Gly-Pro-OH）（図1）を合成し、次いで、固相合成法によりトリペプチド（Fmoc-Gly-Pro-Hyp（'Bu）-OH）（図2）を合成した。得られたトリペプチドをビルディングブロックとして固相合成法により CMP-9 (Ac-His-His-His-Ape(5)-(Gly-Pro-Hyp)₄-Gly-Phe-Hyp-Gly-Glu-Arg-(Gly-Pro-Hyp)₄-NH₂)（図3）を合成し、逆相 HPLC により精製、MALDI-TOF-MS にて同定した。次に精製ペプチドをリン酸ナトリウム水溶液中 100μM の濃度で 4°C, 24h 自己集合化を行い、銅イオンを加えて [CMP] = 100μM, [Cu²⁺] = 0,33 および 66μM の条件で CD スペクトルによる二次構造評価を行った（図4）。

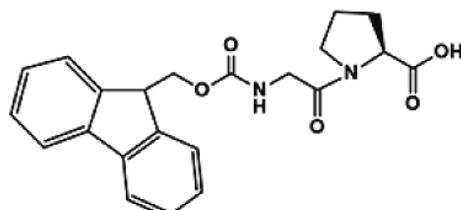


図1 ジペプチドの構造

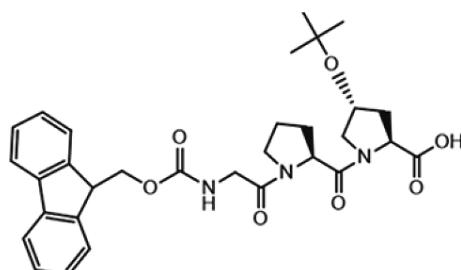


図2 トリペプチドの構造

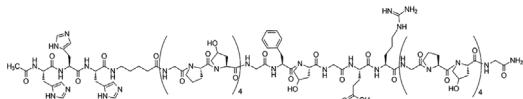


図3 CMP-9 の構造

4. 結果

CDスペクトルでは、200nm付近に負のピーク、225nm付近に正のピークが確認されたことから、CMPは三重らせん構造を形成したと考えられる(図4)。また、温度によって構造が転移し、熱変成温度が52°Cであることわかった(図4)。また、銅イオン添加により、若干トリプルヘリックス構造が不安定化し、ランダム構造からトリプルヘリックスへの巻き戻り速度が若干速くなった。これらは、銅イオンとの錯形成によってHisが内側を向くことでトリプルヘリックスのN末端構造が緩むの、トリプルヘリックスへの緩和が促進されたためと考えられる(図4)。

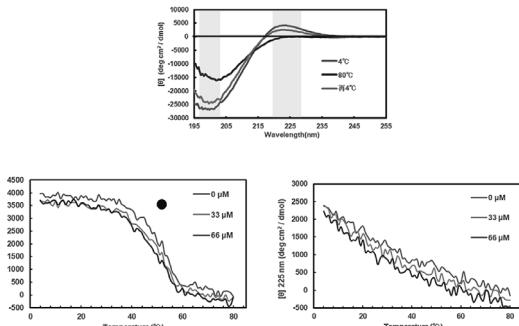


図4 CMP-9 の CD スペクトルの測定結果

さらに、CMP-9によるチタン表面修飾をXPSで確認したところ、CMPおよび銅イオン由来のピークが確認できたため、表面修飾に成功したと考える。(図5)今後は銅錯体形成におけるトリプルヘリックスのマルチマーの評価および骨原性細胞にお

ける抗菌活性を行う予定である。

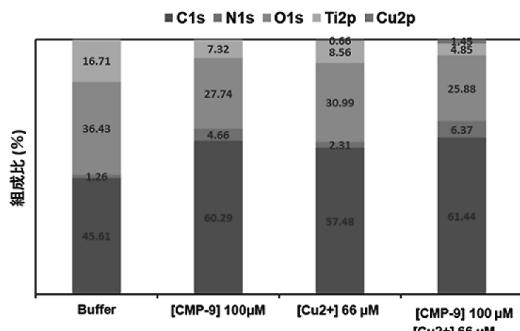


図5 Ti 上における CMP 修飾後の XPS の測定結果

5. 学会を通じて

ある程度の学会発表を経験してきたこともあり、今回の学会は適度な緊張感を持ちながらもリラックスして臨めた。対面発表というのもあり、コミュニケーションが取りやすく、対面開催ならではの学会の楽しみを感じることができた。

今回の学会では、今まで以上に同じ分野を研究している先生方や学生の方と意見交換を行うことができ、非常にためになる有意義な時間を過ごせた。また、日々の実験の課題や悩みを共有する経験はやはり対面開催の学会に参加することで得られた貴重な経験であると感じた。

6. おわりに

最後に今回の発表を行うにあたりまして、丁寧な指導を頂きました富崎欣也教授と対面での学会発表の機会を設けてくださいましたバイオ関連化学シンポジウムの運営の方々にこの場を借りて厚く御礼申し上げます。

Analysis of intracellular behavior of peptide heterodimers labeled with FRET probes

田 中 かれん

Karen TANAKA

物質化学専攻修士課程 2年

1. はじめに

2024年9月12日から14日までの間、茨城県つくば市にあるつくば国際会議場で開催された第18回バイオ関連化学シンポジウムに参加した。この学会で私は、「Analysis of intracellular behavior of peptide heterodimers labeled with FRET probes」というタイトルで発表を行った。

2. 実験内容

2.1 研究背景

近年、細胞小器官を標的としたドラックデリバリーシステムの研究が注目されている。しかし、薬剤がエンドサイトーシスにより細胞内へ取り込まれる際、エンドソームによる内包が細胞質送達への障壁となる。したがって、エンドソーム膜を乱すことで薬物のエンドソーム脱出が促進され、効率的な薬物送達が可能となる。

2.2 先行研究

先行研究では、エンドソームからの薬物の脱出を誘導するために、薬物キャリアペプチド (Cap-p) のN末端にpH応答性膜融合ペプチド (GALA peptide) および核移行シグナルペプチド (NLS) を修飾した2つのペプチドをヘテロ二量化し、ジスルフィド結合を介したペプチドヘテロダイマー (GALA-NLS) を合成した。

2.3 本研究

本研究では、GALA-NLSを二種類の蛍光色素で

標識したペプチド (HC-GALA-NLS-FAM) を合成し (図1)、細胞内を模倣した還元環境下においてジスルフィド結合が解離することを、FRETを利用して評価した。

3. 実験操作

まず、固相合成法を用いて HC-GALA-NLS-FAM を合成した。(図1)



図1 ペプチドの配列

次いで、集合化させたペプチド 10μM にジチオトレイイトール (DTT) 10mM を添加し、還元処理を行った。DTT 添加前後の HPLC および MALDI-TOF-MS の分析結果を図2 および図3 に示す。DTT 還元処理により HPLC での HC-GALA-NLS-FAM のピークが消失し、新たなピークが得られ。MALDI-TOF-MS によってジスルフィド結合解離後の分子量が得られた。以上のことから、DTT 還元処理によりジスルフィド結合が十分に解離していることが確認された。

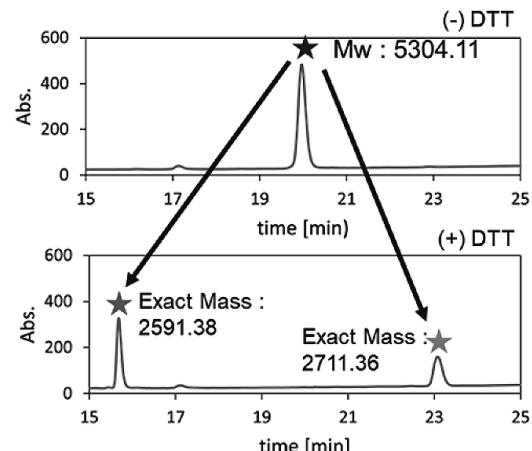


図2 HPLC による DTT 添加前後の解離評価

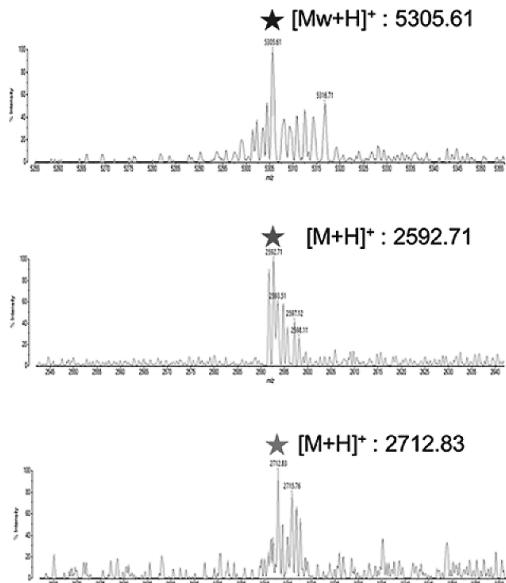


図3 MALDI-TOF-MS による質量分析

また、DTT 添加前後のペプチドの蛍光スペクトル測定の結果を図4に示す。DTT 添加前の蛍光スペクトルでは、凝集によるものと考えられる消光が起きたため、正規化した蛍光スペクトルを図5に示す。DTT 添加後ではDTT 添加前と比較して、FAM に由来するピーク (535nm) が減少し、HC に由来するピーク (453nm) が増加した。このことから、DTT 添加前ではFRET により HC が消光し、DTT 添加後ではジスルフィド結合の解離により FRET が解消され HC の発光が増強したのだと考えられる。

実際に、ヒト子宮頸がん由来の HeLa 細胞を用いてヘテロダイマーペプチドの解離評価を行った結果

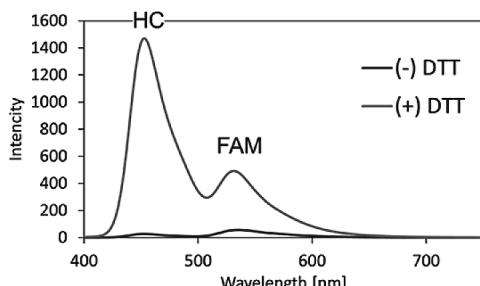


図4 HC-GALA-NLS-FAM の蛍光スペクトル ($\lambda_{\text{ex}}: 365\text{nm}$)

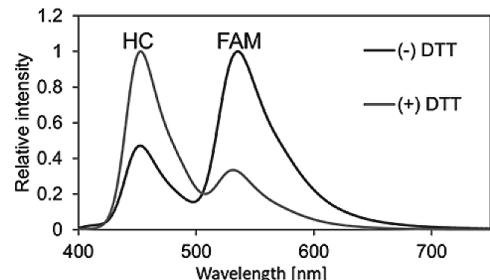


図5 正規化した HC-GALA-NLS-FAM の蛍光スペクトル ($\lambda_{\text{ex}}: 365\text{nm}$)

を図6に示す。インキュベーション時間90分でFRETが解消され、FAMとHCが解離したことが示唆された。また、ペプチドとエンドソームとの局在評価を行った結果を図7に示す。ペプチドとエンドソームとの共局在が示された。このことからペプチドは細胞内において色素間の距離が広がるもの、エンドソームにトラップされたままであると考えられる。

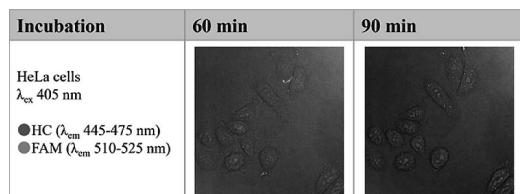


図6 CLSM によるペプチドの解離評価

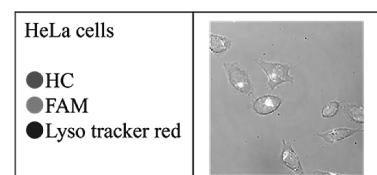


図7 CLSM によるペプチドの局在評価

4. おわりに

今回の学会発表では、同じ分野を研究している先生方や学生の方と意見交換を行うことができ、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まして、丁寧な指導を頂きました富崎欣也教授にこの場をお借りして厚く御礼申し上げます。

第18回バイオ関連化学 シンポジウム

藤 本 翔 也

Shoya FUJIMOTO

物質化学専攻修士課程 2年

1. はじめに

私は2024年9月12日から14日にかけ、つくば国際会議場で開催された「第18回バイオ関連化学シンポジウム」に参加した。この学会で私は、「Photothermal Effects of Gold Nanorods Modified with Hepatocellular Carcinoma Targeting Peptides」というタイトルでポスター発表を行った。

2. 研究背景

金ナノ粒子は電気伝導性および光学的特性により様々な用途に向けて幅広く研究されている。その中でも細胞透過性の高い近赤外線を吸収し、熱に変換する光熱変換特性をもつ金ナノロッドを用いたDDS（ドラックデリバリーシステム）が近年注目されている。また、肝細胞ガンは高い再発・転移率からガン死亡の主要原因の一つとして知られている。効果的な治療法のひとつに化学療法剤が近年注目されている。しかし、近年用いられる化学療法剤は生体内の非特異的な生体分布のため腫瘍への薬剤の蓄積が不充分になり副作用を生じる。したがって、効果的な肝細胞ガンの標的薬物治療剤の開発が必要である。そこで、当研究室では肝細胞ガン標的配列ペプチドであるSP94ペプチドを用いて、肝細胞ガン上に存在するグルコース制御タンパク質であるGRP78と特異的に結合させることで薬剤を肝細胞ガンに優先的に集積させることを指向した。そこで当研究室では肝細胞ガン標的配列ペプチドであるSP94ペプチドを用いて、肝細胞ガン上に存在するグルコース制御タンパク質であるGRP78と特異的に結合させることで薬剤を肝細胞ガンに優先的に集積させることを指向した。そこで本研究では、肝細

胞ガンに金ナノロッドを送達・蓄積させることを指向し、肝細胞ガン標的ペプチド（RU188）と金ナノロッドの複合体の形成および評価を行った。また、金ナノロッド-ペプチド複合化の細胞毒性の評価を行った。

3. 実験操作

まず固相合成法を用いて金ナノロッドの表面修飾に用いる肝細胞ガン標的配列ペプチドRU188を合成した。そしてCTAB（ヘキサデシルトリメチルアンモニウムプロミド）法を用いて金ナノロッドを合成した。次いで、金ナノロッド表面のCTABの分子膜をPEG（ポリエチレングリコール）で置換するため、得られた金ナノロッド溶液にPEG溶液を加え、25°Cで30分反応させた。その後、遠心分離を行い未反応のPEGを除去したのちに金ナノロッドとPEGの複合体にRU188ペプチドの溶液を加え25°Cで24時間反応させた。このようにして得られたRU188ペプチド修飾金ナノロッドを用いて吸収波長をUV-visスペクトル測定により測定し、ゼータ電位測定を用いて表面電荷の測定した。また、近赤外光を5分間照射した際の、温度上昇をサーモカメラで確認した。細胞毒性評価では、ヒト肝細胞ガンとヒト子宮頸ガンに金ナノロッド-ペプチド複合体を7.5, 5.0 μg/ml入れたのち近赤外光を5分間照射した際の細胞毒性を確認した。また、金ナノロッド-ペプチド複合体の細胞送達能をICP-OESによって評価した。

4. 結果

図1に各金ナノロッドの吸収波長を示す。CTABの分子膜が形成している金ナノロッド、PEGで置換した金ナノロッド及び金ナノロッドとペプチドの複合体を吸収スペクトル測定した結果、金ナノロッドの表面環境の変化に由来する吸収スペクトルのレッドシフトを確認した。

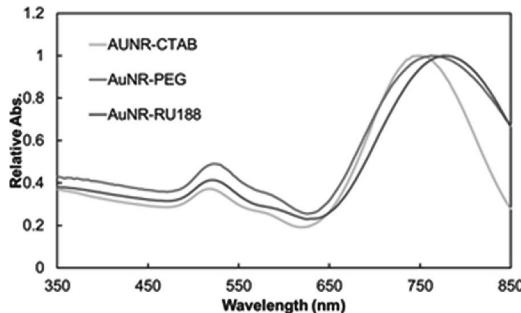


図 1 吸収スペクトル測定

また、ゼータ電位測定によりペプチド表面修飾における正から中性付近への電位の変化を確認した。

図 2 に IR スペクトル測定の結果を示す。金ナノロッドと PEG の複合体では見られなかった、1540 cm^{-1} 付近のペプチド由来のアミド N-H 変角振動、C-N 伸縮振動と 1650 cm^{-1} 付近のアミド C=O 伸縮を確認した。

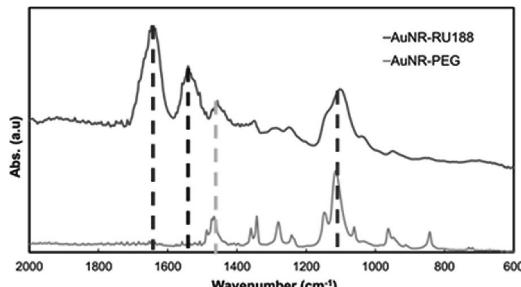


図 2 IR スペクトル測定

808nm 近赤外光照射時の各金ナノロッドの光熱変換特性評価を示す。近赤外光 5 分間の照射で溶液の温度は最大 43°C を示し、照射時間・金濃度に依存した温度上昇を確認した。

図 3 の近赤外光照射時の細胞毒性評価では、金濃度 7.5 $\mu\text{g}/\text{ml}$ でヒト肝細胞ガンとヒト子宮頸ガンに PTT の効果を示した。しかし、二種類のガン細胞間で顕著な毒性の差は見られなかった。これは、遊

離金ナノロッドの発熱の影響が考えられる。細胞送達能評価では、合成した金ナノロッド-ペプチド複合体はヒト肝細胞ガンにヒト子宮頸ガンより 2 倍の送達能を持つことを確認した。

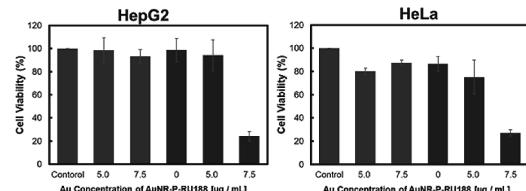


図 3 PTT 時の細胞毒性評価

5. まとめ

金ナノロッドと RU188 ペプチドの複合体評価を吸収スペクトル測定、ゼータ電位測定、IR スペクトル測定により行った。合成した金ナノロッド-ペプチド複合体は近赤外光 5 分間の照射で溶液の温度は最大 43°C を示し細胞死を引き起こすのに十分な能力を確認した。また、近赤外光照射時の細胞毒性評価では、ヒト肝細胞ガンとヒト子宮頸ガンに PTT の効果を示したが二種類のガン細胞間で顕著な毒性の差は見られなかった。細胞送達能評価では、ヒト肝細胞ガンにヒト子宮頸ガンより 2 倍の送達能を持つことを確認した。

6. おわりに

今回の学会発表は、同じ分野を研究している先生方や学生の方と意見交換を行うにとどまらず、日々の実験の課題や悩みを共有する経験はやはり学会に参加することで得られた貴重な経験であると感じる。

最後に今回の発表を行うにあたりまして、丁寧な指導を頂きました富崎欣也教授にこの場をお借りして厚く御礼申し上げます。

第18回バイオ関連科学 シンポジウム

齋 田 飛 心

Soshin SAITA

応用化学コース修士課程 1年

1. はじめに

2024年9月12日から14日までの間、つくば国際会議場で開催された第18回バイオ関連化学シンポジウムに参加し、ポスター発表を行った。この学会では、「Synthesis and characterization of cancer selective peptides using mitochondria transfer signal peptide derivative.」というタイトルでポスター発表を行った。

2. 実験内容

2.1 研究背景

がんの化学治療を行う上で副作用の低減が一つの課題とされており、がんを標的化することが副作用低減につながる。

2.2 先行研究

薬物キャリアペプチド (Cap-p) のN末端にミトコンドリア移行シグナル (MTS) を結合した新規キャリアペプチド (MTS-p) と Cap-p のイソロイシンをアラニンに置換した MTS-pA で細胞毒性評価を行ったところ、アフリカミドリザル腎臓由来 COS-7 細胞に比べてヒト子宮頸がん由来 HeLa 細胞への優位な毒性が確認された。また MTS-pA によりがん選択性の結果が得られた。

2.3 本研究

先行研究での MTS-p と MTS-pA のがんに優先的な細胞毒性の結果から、より優先的にがんに作用していることが確認された MTS-pA をベースに MTS の細胞毒性に寄与する構造を特定する為に MTS が有する二つの螺旋をそれぞれ欠損させたペプチドを

2種設計・合成しC末端側の螺旋を欠損させたペプチドを MTSΔC-pA、またN末端側の螺旋を欠損させたペプチド wpMTSΔN-pAとした。(図1)ペプチド二次構造の評価のため、100μMの濃度でCDスペクトルの測定を行った。また、先行研究で MTS-pA が HeLa 細胞に対して $IC_{50}=10\mu M$ であったことからペプチド濃度を 5, 10μM に調製して細胞毒性を評価した。

2.4 実験結果

CDスペクトル測定の結果、MTS-pA は生体膜模倣環境において 222nm の残基構造率は約 -25000 deg cm²/dmol であった。一方、MTSΔC-pA 及び MTSΔN-pA は同条件において残基構造率は約 -28000deg cm²/dmol であった。(図2-3)

よって MTSΔC-pA 及び MTSΔN-pA は MTS-pA と比べて若干のヘリックス含有率の向上が見られた。細胞毒性評価の結果、MTS-pA では HeLa 細胞に顕著ながん選択性が確認された。MTSΔC-pA では HeLa 細胞・COS-7 細胞のそれぞれに対して MTS-pA と比較してすこし生存率が上昇したがおよそ同じような結果が得られた。(図4-5)一方、MTSΔN-pA では HeLa 細胞に対しては MTS-pA と比較して少し生存率の上昇が確認されたが COS-7 細胞に対して少しの生存率の低下が確認された。(図4-5)この結果より MTS が有する螺旋のうち N 末端側の螺旋には正常細胞を保護するような役割がある可能性が示唆された。

2.5 まとめ

MTS-pA の MTS 配列から片方ずつ螺旋を欠損させた MTSΔC-pA 及び MTSΔN-pA は二次構造に関して欠損させる前の MTS-pA と同じような構造をとっていることを示した。また細胞毒性に関して MTSΔC-pA は MTS-pA と同じような結果が得られたのに対して、MTSΔN-pA では正常細胞に対しての弱い毒性も確認された。

今後は MTSΔC-pA 及び MTSΔN-pA を他の濃度

で細胞毒性評価を評価する。

2.6 図表

Cap-p	: Ac-	A-I-A-K-A-2Naf-K-I-A-NH ₂
MTS-p	: Ac-M-L-R-A-A-L-S-T-A-R-R-G-P-R-L-S-R-L-L-G-G-A-I-A-K-A-2Naf-K-I-A-NH ₂	
MTS-pA	: Ac-M-L-R-A-A-L-S-T-A-R-R-G-P-R-L-S-R-L-L-G-G-G-A-A-A-K-A-2Naf-K-A-A-NH ₂	
MTSAC-pA	: Ac-M-L-R-A-A-L-S-T-A-R-R-G-P-	-G-G-G-A-A-A-K-A-2Naf-K-A-A-NH ₂
MTSAN-pA	: Ac-	-G-P-R-L-S-R-L-L-G-G-G-A-A-A-K-A-2Naf-K-A-A-NH ₂

図 1 各ペプチドの配列

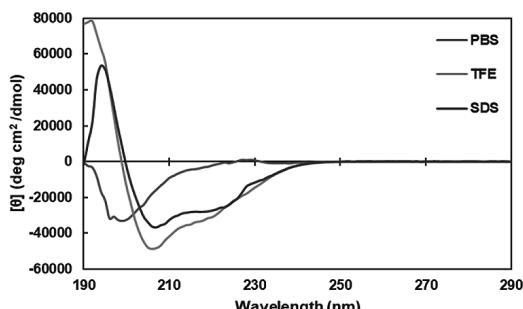


図 2 MTSAC-pA の CD 測定結果

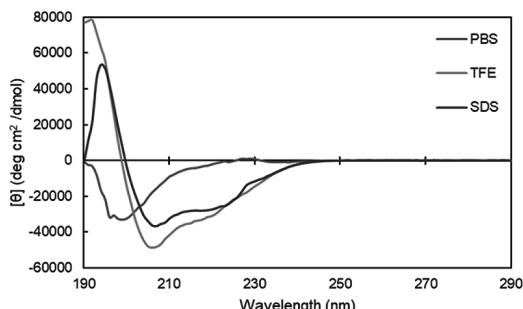


図 3 MTSAN-pA の CD 測定結果

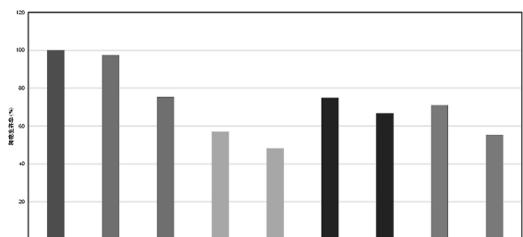


図 4 HeLa 細胞での細胞毒性評価 (5-10μM)

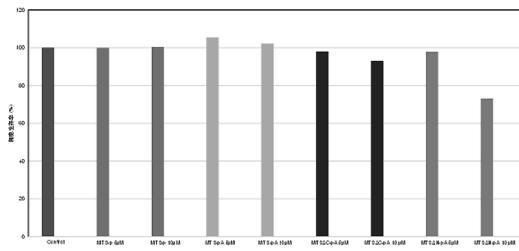


図 5 COS-7 細胞での細胞毒性評価 (5-10μM)

※図 4, 5 (青, control : 橙, MTS-p : 黄, MTS-pA : 赤, MTSAC-pA : 緑, MTSAN-pA)

3. 学会を通じて

今回、半年ぶり 2 度目の学会でのポスター発表の機会でしたが学会ごとの特性上なのか前回よりも聞きたく来てくださる方も多く様々な視点からアドバイス、ご意見をいただきました。

4. おわりに

最後に、今回の発表を行うに当たりご指導いただいた富崎欣也教授、細胞実験にご助力頂きました山崎正幸教授と対面での学会発表の機会を設けてくださいました第 18 回バイオ関連化学シンポジウムの運営の方々にこの場をお借りして厚く御礼申し上げます。

第 18 回バイオ関連化学 シンポジウム

山 岡 湖ノ波
Conoha YAMAOKA
応用化学コース修士課程 1 年

私は 2024 年 9 月 12 日から 14 日にかけ、つくば国際会議場で開催された「第 18 回バイオ関連化学シンポジウム」に参加した。この学会で私は、「細胞認識部位含有ペプチドによる金ナノロッドによる金ナノロッドの修飾と疎水環境による抗ガン剤の担持性能評価」というタイトルでポスター発表を行った。

1. 研究背景

近年、腫瘍を標的とする併用療法が注目されている。複数の治療法を併用する併用療法は、薬剤による毒性の低下、相乗的な抗がん効果の創出、異なるメカニズムによる多剤耐性の抑制など、単一療法よりも効率的である。そのため、2 つの方法、あるいは異なる種類の治療方法、あるいは別の治療方法を後押しする方法を用いることで、がん治療の新しい潮流を生み出している。化学療法とフォトサーマル療法の併用は、単一療法よりも効果的である。局所的な熱は、細胞膜の透過性を高めるため腫瘍への薬物導入を促進することが分かっており、ドキソルビシンなどの化学療法薬の抗がん効果を向上させるからである。また、PTT 材料としては金ナノロッド (AuNR) を使用する。しかし、AuNR には標的指向性、薬剤担持能がないという課題が指摘されている。本研究では、ガン細胞に過剰発現しているインテグリンの $\alpha 5\beta 1$ を認識し細胞接着を誘発する RGDS 配列を含むペプチド (RGDS ペプチド) を金ナノロッドに表面修飾することにより標的面指向性を付与し、11-メルカプトウンデシルテトラエチレングリコール (MUTEG) も金ナノロッドに修飾し、ペプチドと MUTEG の疎水環境に抗ガン剤ド

キソルビシン (Dox) を担持させる。

2. 実験方法

まず、Fmoc 固相合成法により金ナノロッド表面に修飾する RGDS ペプチド (図 1) を合成した。そして、CTAB (ヘキサデシルトリメチルアンモニウム) 法を用いて金ナノロッドの合成を行った。得られた金ナノロッドにポリエチレングリコールメチルエーテルチオール (PEG) と MUTEG を加え 30 分間水溶液中で反応させ表面修飾した (AuNR-P-U)。次いで、RGDS ペプチドと 24 時間水溶液中で反応させ表面修飾した (AuNR-P-U-p)。最後に、Dox と 48 時間水溶液中で反応させることにより AuNR-PEG-MUTEG-peptide-Dox (AuNR-P-U-p-Dox) を合成し、物性評価を行った。

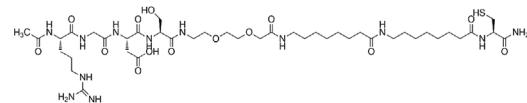


図 1 RGDS ペプチド

3. 結果

図 2 に各金ナノロッドの吸収波長を示す。AuNR-CTAB, AuNR-P-U, AuNR-P-U-p を PEG : MUTEG の濃度比を変化させ UV-vis 測定した結果、金ナノロッドの表面環境の変化に由来する吸収スペクトルのシフトが確認された。また、AuNR-P-M-p (PEG : MUTEG = 13 : 7) ではスペクトルのブロードも確認された。

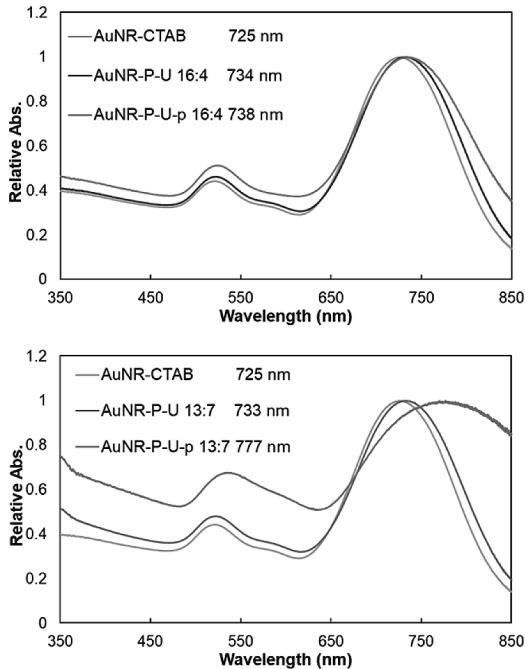


図 2 UV-vis 測定

担持能評価は蛍光測定により行い、その結果を図 3 に示す。5 μ M の Dox 溶液の蛍光強度と上澄み溶液の蛍光強度を比較してみると、AuNR-P-U-p 13:7 のスペクトルより担持能が小さい事を確認した。図 2 より AuNR-P-U-p が凝集していることが示唆され、担持能が低い原因として凝集が挙げられる。

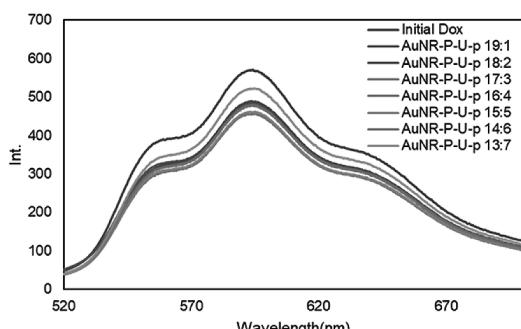


図 3 Dox 溶液と上澄み溶液の蛍光スペクトル

図 3 より Dox の担持率を計算し、図 4 に示した。これより、PEG : MUTEG = 16 : 4 が担持率最大であることを確認した。19 : 1-17 : 3 までは疎水性環境の不足、15 : 5-13 : 7 では凝集による担持能の低下が示唆された。

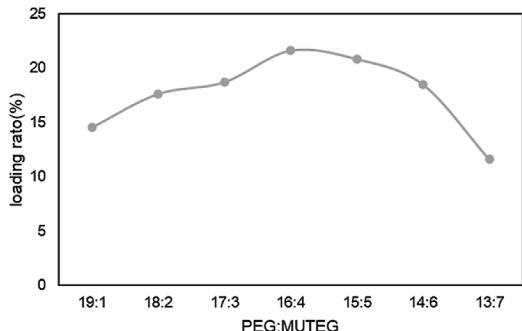


図 4 それぞれの濃度比における担持率

4. まとめ

金ナノロッド表面に PEG, MUTEG およびペプチドを修飾が UV-vis 測定より確認できた。また、Dox のみの溶液と攪拌後、遠心分離した上澄み溶液を蛍光測定より AuNR-P-U-p には Dox 担持能があることを確認した。また、担持率は PEG : MUTEG = 16 : 4 で最大となることが分かった。

5. おわりに

今回の学会発表は学会の楽しみを感じることができた。同じ分野を研究している先生方や学生の方と意見交換を行うにとどまらず、日々の実験の課題や悩みを共有する経験はやはり学会に参加することで得られた貴重な経験であると感じた。

最後に今回の発表を行うにあたりまして、丁寧な指導を頂きました富崎欣也教授にこの場をお借りして厚く御礼申し上げます。

第 85 回応用物理学会秋季 学術講演会に参加して

永 井 慶

Meguru NAGAI

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 日から 20 日にかけて開催された第 85 回応用物理学会秋季学術講演会に参加し、「IGZO 薄膜 TFT の酸素流量依存性」という題目でポスター発表を行った。

2. 研究背景

薄型テレビに代表されるフラットパネルディスプレイ (FPD) は、高精細化と駆動周波数の高速化に加えて、スマートフォンやタブレット PC の普及とともに低消費電力、高コントラストなどの特性が要求されている。水素化アモルファスシリコン (a-Si:H) は低温では充分な性能が得られず、また充分な性能を得るために 250°C 以上で製膜する必要がある。従来のディスプレイを実現するためには、これまで薄膜トランジスタ (Thin-Film Transistor: TFT) に広く用いられてきたアモルファス Si(a-Si) に代わって、高い移動度をもつ半導体材料が必要となる。In-Ga-Zn-O(IGZO) に代表されるアモルファス酸化物半導体は、a-Si と比べて高い移動度をもつとともに、スパッタリングプロセスにより薄膜が形成でき、様々な分野において応用が期待されている。

3. 実験方法

SiO₂ 付き Si 基板上にスパッタリングによって、ガス圧 5mTorr、ガス流量比 Ar/O₂ = 24/0.3 – 0.7sccm, 150W_10min. の条件で IGZO 薄膜を成膜した。成膜した IGZO 薄膜は膜厚 38~33nm 程であった。スパッタリングに用いたターゲットは Zn:Ga:In:O = 1:1:1:4 である。TFT 用のサンプルでは大気アニールを 350°C_30min. 行った。フォトリソグラフ

イでパターンを形成し、Au/Ti を成膜して、チャネル幅 70μm 電極を作製した。

4. 実験結果

IGZO/Au/Ti/Si の試料での H₂O の昇温脱離ガス分析 (TDS) 測定結果を Fig. 1 に示す。Au は H₂O を吸着・結合が発生しないため、IGZO のみの評価が可能になる。プレアニールを行っていないサンプルでは、70°C と 230°C で 2 つのピークが確認でき、400°C を超えたあたりから H₂O の脱離がなくなることが分かる。しかし TDS 内超高真空中で 150°C プレアニールを行うと、ピークは 1 つ減り 220°C 辺りで脱離することがわかった。一方、238°C, 294°C でプレアニールを行ったサンプルでは、全体の脱離強度は大きく減少した。IGZO 薄膜中の水分はデバイス動作に悪影響を与えるため、プレアニールを 150°C 以上で行うことは有用であると考えられる。

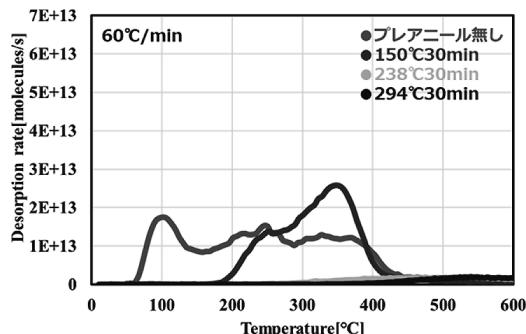


Fig. 1 Ar/O₂ = 24/0.3sccm の試料における TDS 測定結果

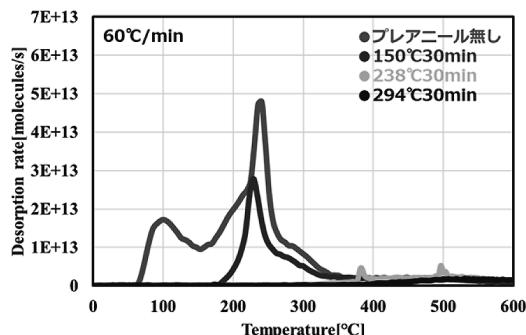


Fig. 2 Ar/O₂ = 24/0.6sccm の試料における TDS 測定結果

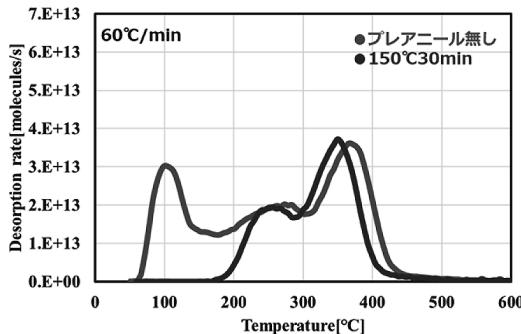


Fig. 3 $\text{Ar}/\text{O}_2 = 24/0.9 \text{sccm}$ の試料における TDS 測定結果

次に、作製したデバイスに対して半導体パラメータアナライザーを用いて電気特性の測定を行った。IGZO-TFT の伝達特性を Fig. 2 に示す。酸素流量が 0.5sccm の IGZO-TFT でシャープな立ち上がりが見られた。0.3, 0.4, 及び 0.7sccm では立ち上がりが緩やかになった。立ち上がりは 0.5sccm で -4V 付近、0.4sccm, 0.7sccm で -10V 付近であった。また、ON/OFF 比は 0.5sccm で約 10^7 , 0.4, 0.7sccm で約 10^6 であった。また、各酸素流量における計算 ($\mu_{EFE} = (\partial I_{ds} / \partial V_{gs}) \times (L/W) \times (1/C_{ox}) \times (1/V_{ds})$) より求めた電界効果移動度を Fig. 3 に示す。0.7sccm で $2.3\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$, 0.5sccm で $7.0\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$, 0.4sccm で $1.5\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$, 0.3sccm で $1.7\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ と求められ、0.5sccm において上昇していることがわかる。

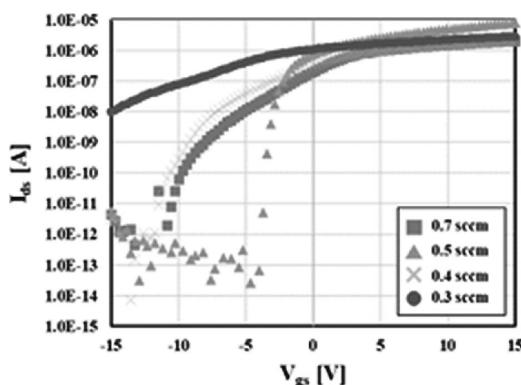


Fig. 4 酸素流量ごとの TFT 伝達特性

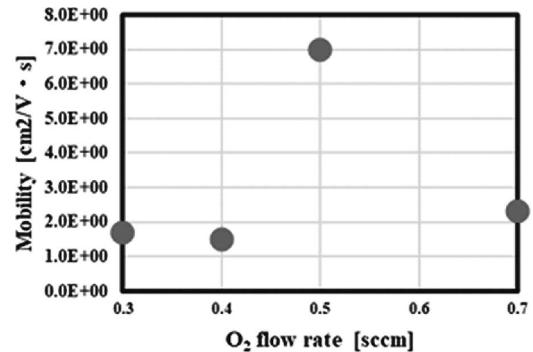


Fig. 5 酸素流量ごとの電界効果移動度

5. 考察

IGZO-TFT では 0.5sccm が最も良い特性を示した。Fig. 1, 2, 3 に示した TDS の結果より、0.3sccm, 0.9sccm では 400°C 以上から H_2O の脱離が見られなくなった。一方で、酸素流量が 0.6sccm では 340°C 付近から H_2O の脱離が見られなくなった。本研究で用いた TFT の IGZO 薄膜は $350\text{°C}_30\text{min}$ でアニールしている。そのため、0.5sccm の TFT では IGZO 中の水分が最も少なくなっている。TFT の動作に違いが現れた原因だと考えられる。

6.まとめ

TDS の結果より、スパッタリングにおいて IGZO を成膜する際に流す酸素流量によって、膜中に吸収される水分の量が変化することが分かった。また、IGZO を半導体層に用いた TFT では 0.5sccm で最も良好な動作を示した。これは、0.5sccm の IGZO 膜中に含まれる水分が他の試料より少ないことが原因であると考えられる。

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皆様に御礼申し上げます。

第 85 回応用物理学会秋季 学術講演会に参加して

篠 田 太 陽

Taiyo SHINODA

電子情報通信コース修士課程 1 年

1. はじめに

私は 2024 年 9 月 16 日～20 日にかけて新潟県の朱鷺メッセで行われた第 85 回応用物理学会秋季学術講演会に参加し、「非晶質 Ga-Sn-O TFT のトランジスタ特性のスパッタ成膜投入電力依存性」というテーマでポスター発表を行った。

2. 研究内容

2.1 緒言

今日の IoT 社会や人工知能などの機械学習では高性能かつ持続可能な薄膜トランジスタ (TFT) が求められている。そのなかで In-Ga-Zn-O (IGZO) に代表されるインジウム系アモルファス酸化物半導体 (AOS) を用いた AOSTFT は、非晶質にもかかわらず高い電子移動度を実現できることなどから広く研究が行われてきた。しかし、インジウムはレアメタルであり、資源の枯渇や安全性の問題がある。そこで、代替材料として IGZO のインジウムをスズに置き換えた Ga-Sn-O (GTO) が提案されている。GTO は、毒性がなく、レアメタルを含まない半導体であるため、安定供給の問題を解決できる AOS である。しかし、GTO をチャネル層に用いた TFT に関する報告は少なく、成膜条件に関する議論も少ない。そこで、本研究では、スパッタリング法で成膜する際の投入電力を調整した GTO 薄膜をチャネル層に用いた TFT を作製し、トランジスタ特性の投入電力依存性について評価した。

2.2 実験方法

50nm の熱酸化膜付き p^+ Si 基板上に RF マグネットロンスパッタリング法で GTO を投入電力 120, 180,

240W で同じ膜厚になるように成膜した。成膜に用いた GTO ターゲットは 50.8φ である。次に真空蒸着法により、上部電極として Au を成膜した。最後に大気雰囲気中で 350°C, 60min の条件でポストアニールを行った。作製した TFT の構造を Fig. 1 に示す。

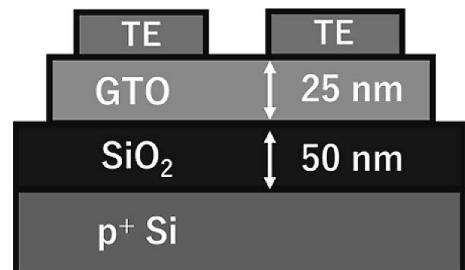


Fig. 1 GTOTFT の構造

2.3 結果と考察

今回作製した GTOTFT の伝達特性を Fig. 2、得られたパラメータを Table 1 に示す。

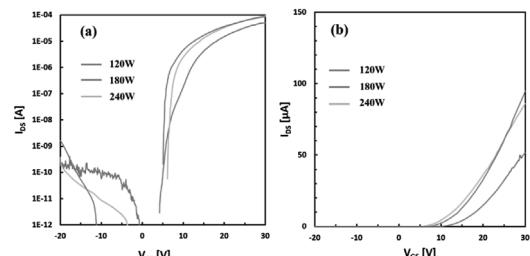


Fig. 2 今回作製した GTOTFT の伝達特性
(a) 対数 (b) 線形

Table 1 得られた GTOTFT の各パラメータ

	V_{TH} [V]	μ_{FE} [cm^2/Vs]	SS
120 W	26.6	2.66	0.44
180 W	16.5	5.64	0.15
240 W	20.2	8.01	0.17

成膜時の投入電力が上昇するにつれ、移動度とサブスレッショルド・スイングの向上が見られる。特に 120W で成膜された GTOTFT と 240W で成膜された GTOTFT の移動度を比較すると約 3 倍の向上が見られた。また閾値電圧を比較すると、120W か

ら 180W に投入電力を上げると、閾値電圧は 0 に近づくが、240W に上げると正電圧方向にシフトしている。成膜時の投入電力と GTOTFT の移動度、閾値電圧の関係を示したグラフを以下に示す。

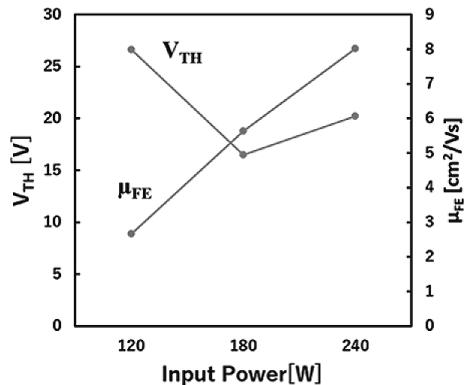


Fig. 3 成膜時投入電力-GTOTFT の移動度、閾値電圧の関係

次にそれぞれの GTOTFT の断面透過型電子顕微鏡 (TEM) を用いて観察した。それぞれの TEM 像を Fig. 4 に示す。

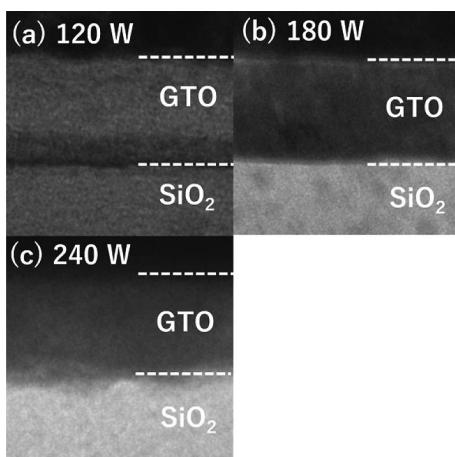


Fig. 4 各 GTOTFT の断面図

それぞれの断面図を比較すると、成膜時の投入電力が上昇に伴い、膜が明瞭になっていることが分かる。

今回、これらの結果を得られた理由として高投入電力下で成膜された GTO 膜は欠陥の少ない膜であったためだと考えられる。240W で成膜された膜は成膜中にチャンバ内の気体分子に衝突する回数が少なく、高エネルギーのターゲット分子が基板にされ、酸素空孔などの欠陥が少ない膜が成膜されたと考える。

2.4 結言

スパッタリング法で成膜する際の投入電力を調整した GTO 薄膜をチャネル層に用いた TFT を作製し、トランジスタ特性の投入電力依存性について評価し、投入電力が高いほど、TFT の特性が向上することが確認された。

3. まとめ

今回の学会での研究発表を通じて、沢山の貴重なご意見やアドバイスをいただいた。それらを活かして今後の研究活動に勤しんでいきたいと思う。

手術シミュレーター用模擬骨のドリリング特性評価に関する研究

油木直斗

Naoto ABURAGI

機械システム工学専攻修士課程 2年

はじめに

2024年9月17日から19日に山形大学米沢キャンパスで行われた日本実験力学会2024年度年次講演会において「手術シミュレーター用模擬骨の力学的特性評価に関する研究」と題して学会での発表を行った。

1. 緒言

若手医師の外科手術技術向上のためには、事前の手術練習が必要となり、骨に近似する機械的特性を有する模擬骨が、骨ドリリング手術のシミュレーターとして使用される。しかし既存の模擬骨は日本人の実骨と比較して切削特性が異なるため、手術シミュレーターとしての役割を十分に達成できない。これに対し、新規模擬骨材料の開発が進められており、そのためには模擬骨製作の指標となる、客観的で定量的な特徴的パラメーターの抽出が必要となる。

ドリリング試験を実施するに当たり、手動試験では送り速度が試験者に依存し、また一定の荷重をかけ続けることが難しい。そこで本研究では、試験機の自動化を検討し、定送り速度制御および定荷重制御が可能な骨ドリリング試験機の開発を行い、様々な条件下での試験結果から模擬骨のドリリング特性評価方法の確立を行うことを目的とした。

2. 自動ドリリング試験機の開発

ドリリング試験の試験機の自動化モードとして、一定の送り速度で切削できる定送り速度制御が一般的²⁾であるが、本研究においては、一定の荷重をかけながら切削できる定荷重制御についても検討し

た。定送り速度制御モードは、アクチュエーターを制御装置で稼働させることで、任意の定送り速度での切削を可能とした。定荷重制御モードは、ロードセルでスラスト力を測定し、その値を制御装置にフィードバックさせることで、任意の定荷重での切削を可能とした。Fig. 1に開発した試験機の概要を示す。アクチュエーターにはモーターが取り付けられ、ドリルチャックにより任意の径のドリルチップを用いたドリリング試験が可能である。使用したロードセルはスラスト力とトルクが同時に測定でき、制御装置とデータロガーに送信され、記録することができる。

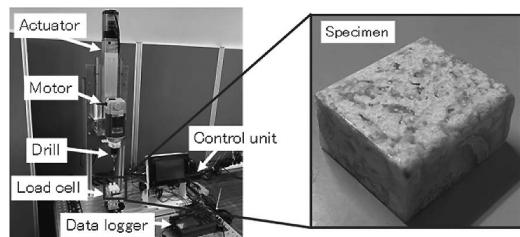


Fig. 1 Overview of developed drilling test machine and simulated bone specimen.

3. 自動ドリリング試験の実施

開発した試験機の両制御モードでの動作を確認するため、定送り速度試験(50mm/min.)と定荷重試験(50N)を実施した。なお、径5mmのドリルチップを使用し、両試験のドリルの回転数は3000 rpm、切削深さは10mmとした。

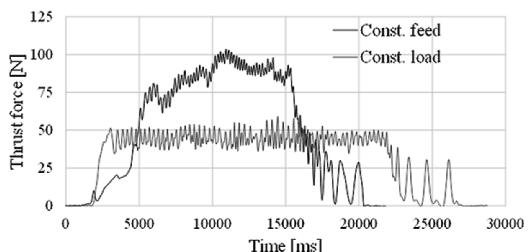


Fig. 2 Thrust forces versus time diagram by constant feed rate test and constant load test.

試験片として、Fig. 1 に示す模擬頭蓋骨（WetLab 社製）を使用した。Fig. 2 にそれぞれの試験におけるスラスト力の推移を示す。定送り速度試験では、スラスト力が山形になり、定荷重試験では、設定した荷重値でスラスト力が推移していることが確認できる。

4. 条件を変更したドリリング試験結果の比較

4.1 評価指標の比較

まず、模擬頭蓋骨試験片の評価を行うための指標を検討するため、定送り速度モード（10~70mm/min.）でドリリング試験を実施した。平均スラスト力と平均トルクの値で比較した結果を Fig. 3 に示す。それらの値は送り速度に依存することが分かる。そのため、測定波形の時刻区間について瞬時の力を時間で積分したスラスト力積とトルク積で比較した結果を Fig. 4 に示す。スラスト力積は、送り速度によらずほぼ一定の値をとるのに対し、トルク積は、送り速度の影響が見られる。

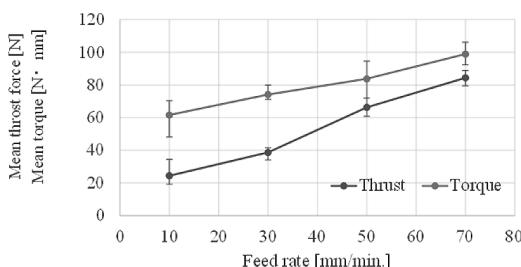


Fig. 3 Mean thrust force and mean torque with feed rate.

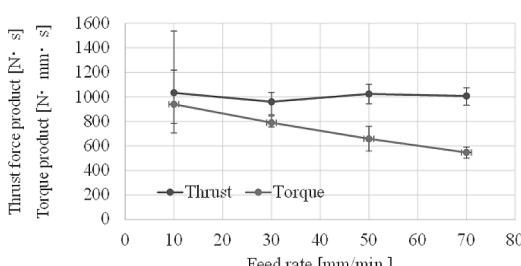


Fig. 4 Thrust force product and torque product with feed rate.

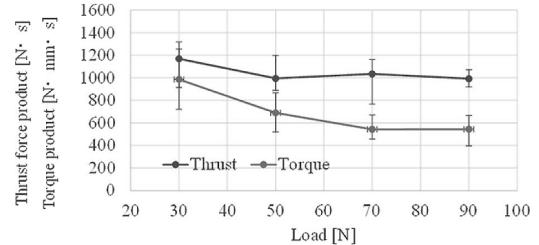


Fig. 5 Thrust force product and torque product with load.

トルクは、回転による摩擦や切りくずの排出性による影響が大きいものと考えられる。

4.2 定送り速度試験と定荷重試験の比較

次に、定荷重試験モード（30~90N）でドリリング試験を実施した。同様にスラスト力積とトルク積で比較した結果を Fig. 5 に示す。前述したようにスラスト力積は送り速度の影響を受けなかったが、定荷重試験でも、スラスト力積の値はほぼ一定となることが分かった。また、定送り速度試験と定荷重試験それぞれのスラスト力積は同程度の値が得られることが分かった。

4.3 回転数の影響について

回転数の影響を調査するため、定送り速度試験と定荷重試験のトルク積の値が同程度となる送り速度 50mm/min.、荷重 50N の条件を採用し、回転数 2000rpm と 3000rpm 時の両モードでのドリリング試験を実施した。試験結果を Fig. 6 に示す。定送り速度試験と定荷重試験の両試験において、回転数が大きくなると、スラスト力積、トルク積ともに低下することが分かる。なお、定送り速度試験では、試験中のドリルの回転数が低下しており、その影響を含んだ結果となっている。一方、定荷重試験では、試験中に回転数は低下しなかった。

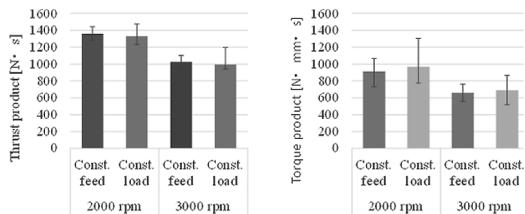


Fig. 6 Effect of rotation speed on drilling tests

おわりに

私は今年年次講演会に参加し、研究発表を行った。今回の講演会は、発表を聞いていただいた方々から、様々な角度から見た質問や意見をいただきたり、参加者の研究発表を拝見することで様々な研究に触れる貴重な機会になったと考えている。

最後に、今回の発表を行うにあたってご指導を頂いた辻上哲也教授に深く感謝致します。

手術シミュレーター用模擬臓器 のための軟材料の力学的 パラメータ評価に関する研究

原田 叔和

Yoshikazu HARADA

機械システム工学専攻修士課程 2年

1. はじめに

2024年9月17日～19日に、山形大学理工学部で開催された日本実験力学会2024年度年次講演会において、「手術シミュレーター用模擬臓器のための軟材料の力学的パラメータ評価に関する研究」という題目で発表を行った。

2. 緒言

現在、外科手術の練習や若手医師の教育などに手術シミュレーションとして利用されている模擬臓器には、実際の手術感覚を可能な限り再現できることが求められる。従来、手術シミュレーターとして、豚などの動物の臓器やシリコーンゴム製の模擬臓器が使用されているが、調達や管理の問題や手術感覚の再現性が低いことが指摘されている。生体組織のような軟材料の評価として、押し込み試験による検討がなされている。そこで本研究では、新たに開発した模擬臓器の定量的な評価を行うため、2種類の試験機を用いた押し込み試験を実施し、力学的指標としての有効な機械的特性を抽出することを目的とした。

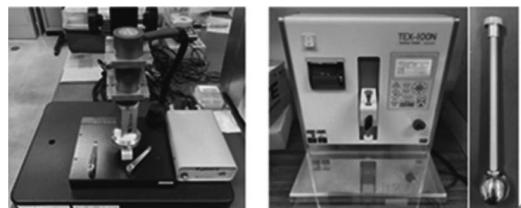
3. 実験方法

3.1 押し込み試験

押し込み試験には、Fig. 1 (a) に示す YAWASA 試験機（テック技販社製）および Fig. 1 (b) に示すテクスチャ試験機（日本計測システム社製）を用いた。

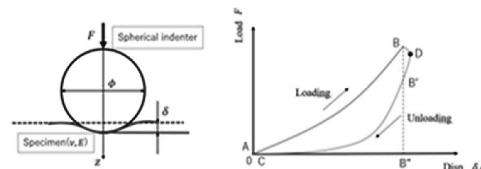
YAWASA 試験により、Fig. 2 (a) のように球状圧子で押し込み試験を行い、式 (1) の Hertz の接

触理論に基づくヤング率とヒステリシス損率が得られる。一方、テクスチャ試験では、テクスチャプロファイル分析法に基づいて、剛性（硬さ）やヒステリシス損率が得られる。なお、ヒステリシス損率は、Fig. 2 (b) に示すような押し込み試験プロファイルから式 (2) で求められる。



(a) YAWASA tester (b) Texture tester and indenter

Fig. 1 Push-in test machine



(a) Schematic of spherical indenter (b) Push-in test profile

Fig. 2 Evaluation by push-in test

$$E = \frac{3F \cdot (1 - \nu^2)}{4 \sqrt{\frac{\phi}{2} \cdot \delta^3}} \quad (1)$$

$$\text{ヒステリシス損率} = \frac{ABB'D \text{ の面積}}{ABB'' \text{ の面積}} \times 100 \quad (2)$$

3.2 試験片

Fig. 3 (a) に示す柔らかさの異なる4種類の試験片を用いた。ここで、緑色の試験片は腸の柔らかさ、紫色の試験片は前立腺の柔らかさ、赤色の試験片は肝臓の柔らかさ、黄色の試験片が脳実質の柔らかさを想定した軟材料である。また、Fig. 3 (b) に示す脳実質よりもさらに柔らかい脳腫瘍モデルの試験片を用いた。

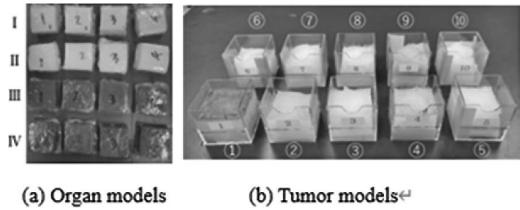


Fig. 3 Test pieces with different softness

4. 押し込み試験結果

4.1 臓器モデルの結果

YAWASA 試験から得られたヤング率とヒステリシス損率を Fig. 4 に示す。ヤング率の大きさは、緑 > 紫 > 赤 > 黄の順となり、ヤング率が低下するにつれ、ヒステリシス損率は増加傾向にあることが分かる。また、緑と紫のヒステリシス損率には差がほとんどなく、硬い素材ほど差が出にくい傾向があると言える。

テクスチャ試験機から得られた剛性とヒステリシス損率を Fig. 5 に示す。なお、試験速度は 300

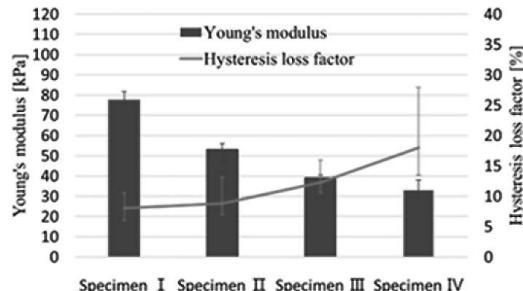


Fig. 4 Young's modulus and hysteresis loss ratio of organ models by YAWASA test

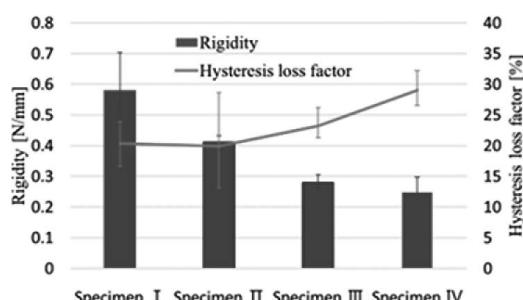


Fig. 5 Rigidity and hysteresis loss ratio of organ models by texture test

mm/min. とした。テクスチャ試験による結果は、YAWASA 試験結果と傾向が一致していることが分かる。

4.2 腫瘍モデルの結果

YAWASA 試験により得られたヤング率とヒステリシス損率の結果を Fig. 6 に、テクスチャ試験により得られた剛性とヒステリシス損率の結果を Fig. 7 に示す。なお、ヤング率（剛性）の大きさによって並び替えて表示した。YAWASA 試験とテクスチャ試験結果は、ほぼ同様の傾向であることが確認できる。ヤング率（剛性）の差は見られるが、ヒステリシス損率はほとんど差が無く、ヤング率が極端に低い試験片で大きくなっている。

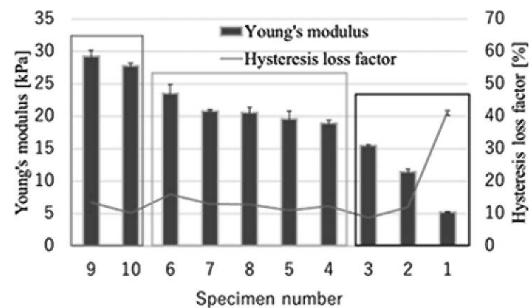


Fig. 6 Young's modulus and hysteresis loss ratio of tumor models by YAWASA test

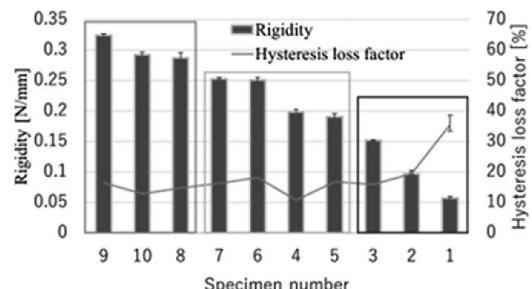


Fig. 7 Rigidity and hysteresis loss ratio of tumor models by texture test

5. 結言

本研究では、模擬臓器のような軟材料の定量的な評価を行う力学的指標として、ヤング率とヒステリ

シス損率に着目し、YAWASA 試験とテクスチャー試験を行った。ヤング率（剛性）が低下するにつれ、ヒステリシス損率は増加傾向にあることが分かった。また、YAWASA 試験とテクスチャー試験の結果は、相対的にほぼ一致することが分かった。ヤング率（剛性）とヒステリシス損率は、模擬臓器の力学的指標として有効であると考える。

6. おわりに

日本実験力学会 2024 年度年次講演会の発表を通して、他分野の方々からも多くの質問を頂き、自分自身の視野を広げることができ、新たな発見や検討の余地を知ることができ、学会に参加することの重要性を実感することができた。

最後に、今回の発表を行うにあたってご指導を頂いた辻上哲也教授に深く感謝致します。

ジャイロイド構造の有限要素 モデリングと力学的特性評価に 関する研究

水 井 樹

Tatsuki MIZUI

機械システム工学専攻修士課程 2年

1. はじめに

2024年9月17日から19日に山形大学工学部で開催された日本実験力学会2024年度年次講演会において、「ジャイロイド構造の有限要素モデリングと力学的特性評価に関する研究」という題目で、発表を行った。

2. 緒言

ラティス構造は最適設計が可能で、軽量化や生体適合性などの特徴から、模擬骨などへの活用が期待されている。しかし、ラティス構造は、従来の切削加工や穴あけ加工などの工作機械での作製が困難であった。近年、3Dプリント技術が向上したことでも、複雑な内部構造を有した形状でも自由に作製できるようになってきた。本研究では、数学的に表現された曲面を持つ、完全周期的な構造をしたジャイロイド構造に着目し、その有限要素モデリング手法の検討と均質化解析、および3Dプリンターを用いたジャイロイド試験片の強度実験を実施し、ジャイロイド構造の力学的特性評価を行うことを目的とした。

3. ジャイロイドモデルの作成

解析や強度実験で用いるジャイロイドモデルは、Fig. 1に示すMSLattice³⁾を用いて作成した。MSLatticeでは、相対密度、単位セルのサイズ、周期などが指定でき、メッシュの細かさを調節することでモデルのSTLデータを出力することができる。そのSTLデータを活用することで、3Dプリンターにより造形することができる。

4. ジャイロイドモデルの均質化解析

MSLatticeで作成したジャイロイドモデルを使用して、Quint社の“Voxelcon”によりボクセルメッシュを作成し、均質化解析を実施した。Fig. 2に示すような相対密度を10%から90%まで変化させたジャイロイドモデルを作成し、それらの機械的特性について比較を行った。解析で使用したジャイロイド構造材のヤング率は2700MPa、ポアソン比は0.35である。均質化解析で得られた相対密度に伴う等価ヤング率の変化をFig. 3に示す。相対密度が大きくなるにつれて等価ヤング率は非線形的に上昇することが分かる。

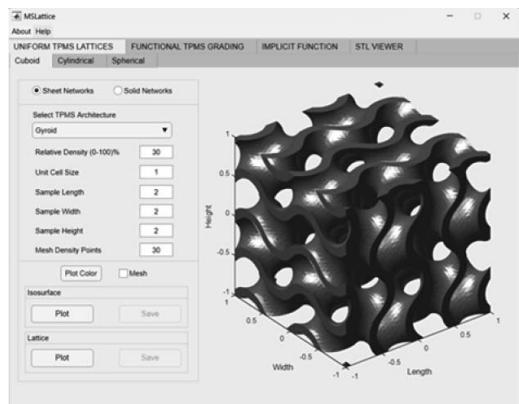


Fig. 1 Gyroid modeling tool “MSLattice”.

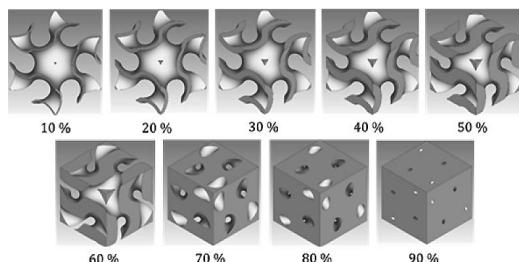


Fig. 2 Gyroid model with relative density.

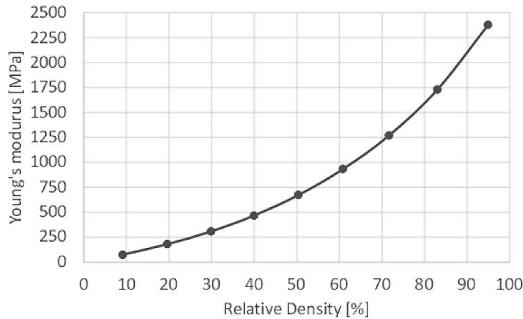


Fig. 3 Equivalent Young's modulus of gyroid model with relative density.

5. ジャイロイドモデルの強度試験

5.1 強度試験用ジャイロイドモデルの作製

強度実験に用いるジャイロイド試験片は、MSLattice で作成した $90 \times 20 \times 2\text{mm}$ の直方体モデルをトリミングしてダンベル型のモデルを作成し、3D プリンターを用いて作製した。使用した 3D プリンターは QIDI TECH 社製の X-Plus3 で、同社の PLA Rapid Filament を用いた。相対密度を 40%～70% に変化させて作製した引張試験用ジャイロイドモデルを Fig. 4 に示す。なお、ジャイロイド構造は、長さ方向に 22.5 周期、幅方向に 5 周期、試験部分は幅方向に 2.5 周期、厚さ方向に 0.5 周期である。

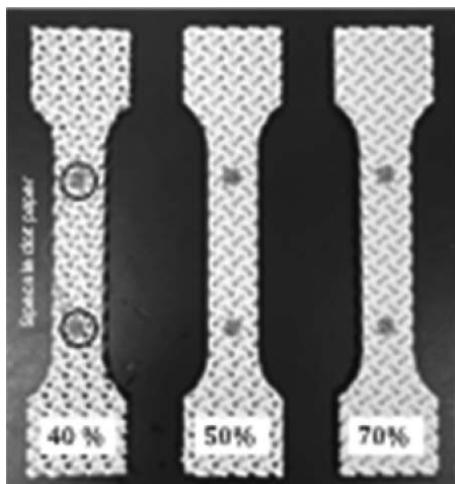


Fig. 4 Gyroid specimens made by 3D printer for tensile test.

5.2 リアルタイム画像相関法によるひずみ測定

画像相関法は、試験部材にスペックルパターンを塗布してその点をカメラで撮影し解析することでひずみ測定が可能で、ひずみゲージの貼り付けが困難な材料に適用できる。しかしながら、ジャイロイド構造は表面形状が複雑で、通常のスペックルパターン塗布による測定には適さない。そこで本研究では、スペックルパターンを印刷した用紙 ($3 \times 3\text{ mm}$) を 2箇所に貼り付け、その移動量を画像相関法で測定し、ひずみを算出する手法 (「Extensometer」機能) を試みた。なお、画像相関法には、CorrelatedSolusion 社のリアルタイム画像相関法システム “Vic-Gauge3D” を使用した。

5.3 引張試験結果

3D プリンターを用いて作製したジャイロイド試験片の引張試験結果から得られた応力 - ひずみ線図を Fig. 5 に示す。相対密度が 40, 50, 70, 100% 時の等価ヤング率は、それぞれ $465, 576, 1351, 3046\text{ MPa}$ となり、相対密度が大きくなるにつれて等価ヤング率の値が上昇する結果となった。また、Fig. 3 に示す均質化解析から得られた相対密度が 40, 50, 70% 時の等価ヤング率は、それぞれ $468, 673, 1271\text{ MPa}$ であり、解析で使用したヤング率が 2700 MPa であることから、引張試験結果と比較的良い一致が見られ、画像相関法によるジャイロイドモデル評価の妥当性が確認できる。

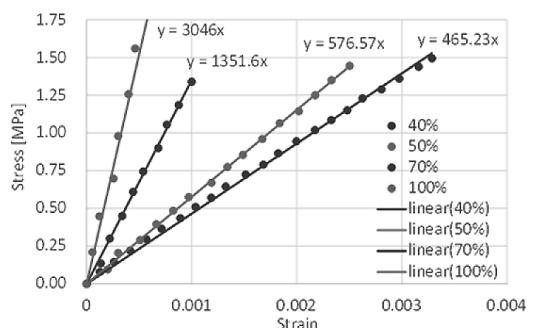


Fig. 5 Stress-Strain diagram of gyroid specimens by image correlation.

6. 結言

ジャイロイド構造の有限要素モデリングと均質化解析を実施し、3D プリンターを用いたジャイロイド試験片の引張試験を行った結果、以下のような結論を得た。

- 1) 均質化法によるジャイロイド構造の等価ヤング率は、相対密度が高くなるにつれて非線形的に上昇する。
- 2) リアルタイム画像相関法において、スペックルパターンを印刷した用紙を張り付ける手法によって、妥当なひずみ値が得られることが分かった。
- 3) 引張試験によるジャイロイド構造の等価ヤン

グ率は、均質化法の解析結果とよく一致する結果が得られた。

今後、3D プリンターによる試験片の作製方法や画像相関法による評価方法を検討し、圧縮や衝撃荷重におけるシミュレーションや実験を実施する予定である。

7. おわりに

学会での研究発表を通して様々なご意見を頂き、研究に対しての新たな発見を見出すことができた。他の研究発表を聞き、幅広い分野の研究について知ることができた。最後に、発表を行うにあたってご指導いただいた辻上哲也教授に深く感謝いたします。

第 175 回秋季日本金属学会での研究発表

久 門 新

Arata KUMON

物質化学専攻修士課程 2 年

1. はじめに

2024 年 9 月 18 日から 20 日の期間に、大阪大学豊中キャンパスにて開催された「第 175 回秋季日本金属学会」に参加した。水素・電池関連材料のセッションにて「ペロブスカイト型高エントロピー酸化物が Mg の水素化反応に与える触媒効果」というテーマで口頭発表を行ったため報告する。

2. 研究内容

2.1 緒言

Mg は水素貯蔵材料として魅力的な物質とされているが、水素化・脱水素化速度が遅いという課題がある。改善策として、一般的に金属酸化物等の触媒添加や機械的粉碎 (MG: Mechanical Grinding) 処理が行われている。BaTiO₃ が、Mg への水素化触媒として優れた触媒効果を示すことが報告されている^[1]。また、SrTiO₃ 表面では酸素欠陥が存在すると水素分子が吸着することが知られている^[2]。我々は BaTiO₃ に酸素欠陥を導入することで触媒効果が向上する事を確認しており、これについて、酸素欠陥の導入による触媒活性点の増加に起因しているのではないかと考えている^[3]。本研究では、酸素欠陥の生成が期待できるペロブスカイト型構造を持つ高エントロピー酸化物（以下 P-HEO）および B サイトに 3 値の金属を導入し、酸素欠陥を積極的に導入した P-HEO をメカノケミカル反応にて合成し、Mg への水素化反応に与える触媒効果の影響を調べたので報告する。

2.2 実験方法

触媒となる P-HEO について、BaO (Sigma-Aldrich

製) と ZrO₂, SnO₂, MnO₂, NbO₂, TiO₂, Ti₂O₃, Y₂O₃ (高純度化学研究所製) を組成に合わせて調整し、高エネルギー遊星型ボールミル (Premium Line 7, ボール: 粉末 = 20:1 (重量比), 回転数: 720rpm, 自転/公転 = 1/-2, 粉碎時間: 3h, Si₃N₄ 製粉碎容器 (80ml), Si₃N₄ 製 ボール (φ 10mm), FRITSCH 製) を用いて、MA (Mechanical Alloying) 法で合成を行った。次に、MgH₂ 粉末 (純度インゴッド 99.9 %, 水素化率 98%, 粒径 60μm, バイオコーク技研製) 1.800g に合成した P-HEO を 0.200g (10wt%相当) を添加し、再度遊星型ボールミルを用いて 1h の MG 処理にて MgH₂ に触媒を添加した。試料粉末の脱水素化処理 (350°C, 2h, VAC) 後、PCT 特性測定 (350°C) 及び水素吸蔵試験を PCT 特性測定装置 (Sieverts 型、鈴木商館製) で行った。

2.3 結果

合成した P-HEO[Ba(Zr_{0.2}Sn_{0.2}Mn_{0.2}Nb_{0.2}Ti_{0.2})O₃] の XRD 測定の結果を Fig. 1 に示す。使用した原料である BaO、または ZrO₂, SnO₂, MnO₂, NbO₂, TiO₂ のピークは見られず立方晶系ペロブスカイト相の生成を確認した。また、原料として Ti₂O₃, Y₂O₃ を使用した他 2 種の P-HEO でも同様に立方晶系ペロブスカイト相の生成を確認した。合成した P-HEO を触媒として添加した Mg の水素吸蔵試験の結果では、緩やかな水素吸蔵挙動と急峻な水素吸蔵挙動が確認できた。緩やかな水素吸蔵挙動での律速段階を水素分子の解離吸着反応として反応速度定数を算出し、Arrhenius plot (Fig. 2) を作成した。いずれの P-HEO 触媒を添加した場合でも MG-MgH₂ の見かけの活性化エネルギーの値 102.5kJ/mol より活性化エネルギーが低下し、触媒効果を確認した。また、BaTiO₃ を添加した場合よりも活性化エネルギーが低下したことから、B サイト配置エントロピーを増大させることは有効である事が分かった。

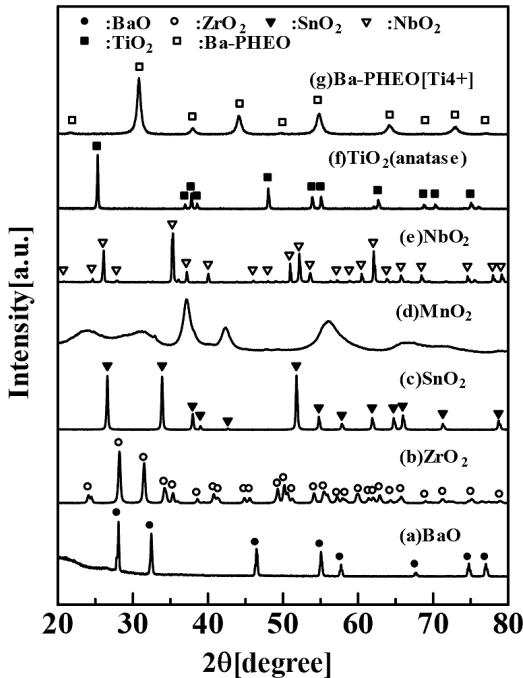


Fig. 1 XRD patterns of (a) BaO, (b) ZrO₂, (c) SnO₂, (d) MnO₂, (e) NbO₂, (f) TiO₂, (g) Ba_(Zr_{0.2}Sn_{0.2}Mn_{0.2}Nb_{0.2}Ti_{0.2})O₃.

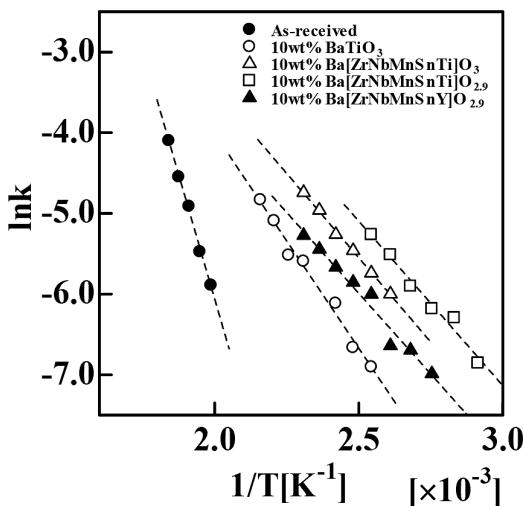


Fig. 2 Arrhenius plot of MG-MgH₂/10wt% P-HEO and As-received MG-MgH₂.

3. 口頭発表を終えて

3.1 口頭発表後に頂いた助言

学会での口頭発表を終えて、他大学の教授や企業

の方から、様々な助言を頂いた。中でも有益であり、今後の展開に活かせるものを抜粋してまとめる。

- (1) 水素吸蔵メカニズムよりも、放出メカニズムの方が単純であるため、水素吸蔵試験ではなく、水素放出試験で触媒効果を比較した方が誤差は少ない
- (2) 有名な論文に記載された水素化触媒である Nb₂O₅ と比較するべきである。今回発表した算出方法で比較したいのであれば、その論文と同じ製造社の Nb₂O₅ を使用すべきである。

3.2 助言を踏まえた今後の展開

本研究で使用した Ba-PHEO を使用して Mg の水素放出試験を行う。また、私の研究では同研究室の先輩が残した結果と比較していた。今後は実験方法の違う論文の結果と比較できる方法を考える。

4. 他大学の発表を公聴して

18日のポスター発表にて興味深い発表を聞いた。テーマは「Nb 酸化物添加による Mg 系水素吸蔵合金の水素吸収・放出特性の改善」で、内容は Mg に Nb 系酸化物を添加し、さらにそこへ有機溶媒を混合すると言う手法であった。遊星型ボールミルを使用する、酸化物を添加している等、私が行っている研究と似ているものでありながら、トルエンやベンゼン、シクロヘキサンなど有機溶媒を使用して湿式で MA 処理を行っており、新規性も感じられ、非常に参考になった。酸化物を乾式で添加するという、今まで行ってきた操作にあたる固定観念を払拭しなければならないと考えている。

参考文献

- [1] Bolrin, J. et al., J. Phys. Chem. C, Vol.125, pp.19631-19641, 2021.
- [2] S. Ogura et al. Vacuum and Surface Science Vol.61, pp.27-32, 2018.
- [3] 久門新、大柳満之、「Ti³⁺ 及び酸素欠損を有する Ba-TiO₃ が Mg の水素化反応に与える触媒効果」、日本金属学会 2024 年春期 第 174 回 講演大会

α -Li₂TiO₃ 及び β -Li₂TiO₃ が触媒として Mg への水素化反応に与える影響

塩田 大智

Daichi SHIOTA

物質化学専攻修士課程 2 年

1. 緒言

私は水素貯蔵に関する研究を行っている。

水素は体積当たりのエネルギーが低く、貯蔵効率に課題がある。

この課題を改善する材料として、金属に水素を吸蔵させることができる水素貯蔵合金が注目されている。水素貯蔵合金の中でも理論水素吸蔵量が高く、安価で軽量である「Mg」が期待されている。

Mg は理想水素吸蔵量が 7.6wt% と高く、非枯渇性・軽量・安価のため水素吸蔵材料として魅力的な材料であるが、Mg 表面上での水素分子の解離吸着速度が非常に遅いという欠点がある。

この改善策として、機械的粉碎 (MG: Mechanical Grinding) 处理や金属酸化物等の触媒添加が挙げられる。NaCl 型構造の Li₂TiO₃ は、Li イオン電池の活物質として注目されており^[1]、イオン電導性が高いことから Li⁺欠陥・酸素欠陥 (ショットキーヤー欠陥) が期待できる。また、SrTiO₃ 表面では酸素欠陥が存在すると水素分子が吸着するという報告がある^[2]。

本研究では触媒として Li₂TiO₃ を用いて、Mg への水素化反応に与える触媒効果を調べたので報告する。

2. 実験方法

α -Li₂TiO₃ (立方晶) は、Li₂O (純度: 99.9%, 高純度化学製) と TiO₂ (純度: 99.9%, アナターゼ型, 高純度化学製) を用いて高エネルギー遊星型ポールミル (Premium line P-7, Fritsch 製, Si₃N₄ 製粉碎容器, Si₃N₄ 製ポール径 (ϕ 10mm)), ポール:

粉末 = 20:1 (重量比), 自転/公転 = 1/2, 回転数: 720rpm, 粉碎時間: 3h) で合成した。 β -Li₂TiO₃ (単斜晶) は、電気炉を用いて α -Li₂TiO₃ を熱処理 (800 °C, 1h 保持) することによって作製した。次に MgH₂ 粉末 (純度インゴット 99.9%, 水素化率 98 %, 粒径 60μm, バイオコーク技研製) 1.800g に合成した触媒 0.200g (10wt%) を添加し MG 处理 (回転数: 720rpm, 粉碎時間: 1h) を行った。MG 粉は脱水素化処理 (350°C, 2h, VAC) を行った後、PCT 特性測定 (350°C) 及び水素吸蔵試験 (100~200°C) を PCT 特性測定装置 (Sieverts 型, 鈴木商館製) で行った。

3. 結果

Fig. 1 に原料 Li₂O と TiO₂ 及び合成した粉末の XRD 結果を示す。触媒の XRD には、すべての組成範囲で、 α -Li₂TiO₃ 及び β -Li₂TiO₃ のピークが観測された。MG 粉の XRD 測定を行ったところ、 β -MgH₂, γ -MgH₂, 各触媒ピークが観測された。PCT 特性測定の結果、最大水素吸蔵量は 6.60~6.75wt% で理論水素吸蔵量の 6.83wt% と比較すると 97~99 % で、水素吸蔵に有効な Mg はほとんど減少していないかった。

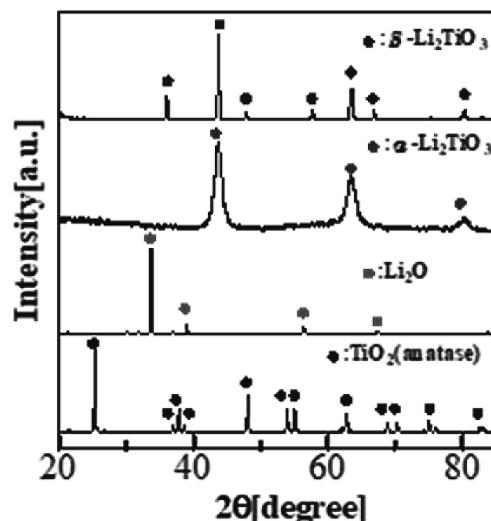


Fig. 1 XRD patterns of TiO₂ · Li₂O and α · β -Li₂TiO₃.

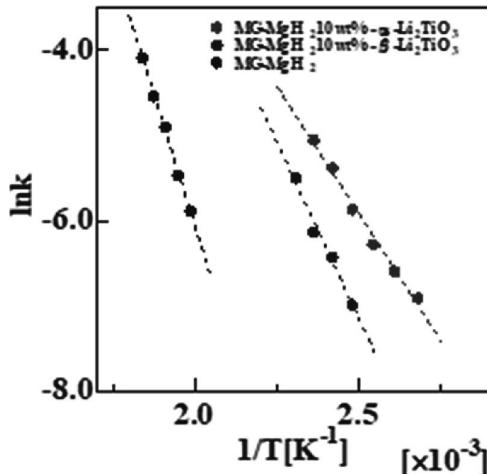


Fig. 2 Activation energy of MG-MgH₂-10wt% α · β -Li₂TiO₃.

水素吸蔵試験の結果、反応速度定数が温度に依存する緩やかな水素吸蔵挙動と温度にあまり依存しない著しく速い水素吸蔵挙動が観測された。各消費挙動について、水素分子の解離吸着反応（RRL）を律速段階と仮定して反応速度定数を算出し、Arrhenius plot (Fig. 2) を作製した。 α -Li₂TiO₃ 及び β -Li₂TiO₃ を触媒とした見かけの活性化エネルギーは、49.9, 69.0kJ/mol であった。

触媒無添加 Mg と比較を行い、 α -Li₂TiO₃ 及び β -Li₂TiO₃ に触媒効果があることが確認できた。また、両触媒を比較すると、見かけの活性化エネルギーは α -Li₂TiO₃ を触媒として用いた試料が低く、反応速度も速いことが確認できた。

4. 結論

- ① XRD の結果から、原料 Li₂O, TiO₂ をモル比 (1:1) で合成すると立方晶の α -Li₂TiO₃ が作製でき、TEM 観察から約 10~25nm の粒子であることが確認できた。
- ② 合成した α -Li₂TiO₃ を熱処理 (800°C · 1h 保持) することによって単斜晶の β -Li₂TiO₃ が作製できた。
- ③ 热処理 (350°C, 2h, VAC) を行った MG-Mg /10wt% α · β -Li₂TiO₃ の水素吸蔵挙動を観測し、Arrhenius plot から見かけの活性化エネルギーを算出した所、 α · β -Li₂TiO₃ に触媒効果があることが確認できた。
- ④ 両触媒を比較すると、見かけの活性化エネルギーは α -Li₂TiO₃ を触媒として用いた試料が低く、反応速度も速いことが確認できた。

5. 感想

学会に参加して、研究室では気づかない視点の質問をもらい、良い経験になりました。

この経験を研究活動に活かしていきたいと考えています。

参考文献

- [1] Y. Kang et al. Dalton Transactions vol.51, pp.18277-18283, 2022.
- [2] S. Ogura et al. Vacuum and Surface Science Vol.61, pp.27-32, 2018.

第 175 回日本金属学会公演大会 における研究発表

佐 藤 良 亮

Ryosuke SATO

応用化学コース修士課程 1 年

1. はじめに

2024 年 9 月 18 日から 20 日の 3 日間、大阪府豊中市にある大阪大学豊中キャンパスにて開催された「第 175 回日本金属学会公演大会」に参加し、「NaCl 型ハイエントロピー酸化物が Mg の水素化反応に与える触媒効果」という題目にてポスター発表を行った。

2. 概要

2.1 緒言

Mg は地球上に多く存在し、理論水素吸蔵量が 7.6wt% と高く水素貯蔵材料として魅力的であるが、Mg の水素化・脱衣水素化反応が遅いという課題がある。その改善策として、金属酸化物等の触媒添加や器械的粉碎 (MG: Mechanical Grinding) 処理が知られている。一方、SrTiO₃ 表面では酸素欠陥が存在すると水素分子が吸着するという報告がある。本研究では、酸素欠陥を活性点に持つ可能性が示唆されている NaCl 型ハイエントロピー酸化物 (以下 HEO) の (Cu_{0.2}Zn_{0.2}Ni_{0.2}Co_{0.2}Mg_{0.2}) O における Cu²⁺ を Li⁺ に置換することによる酸素欠陥生成を目的とした (Li_{0.2}Zn_{0.2}Ni_{0.2}Co_{0.2}Mg_{0.2}) O_{0.9} を合成し、水素化反応における触媒効果を調べたので報告する。

2.2 実験方法

減量にはすべて高純度化学社製のものを使用し、(Cu_{0.2}Zn_{0.2}Ni_{0.2}Co_{0.2}Mg_{0.2}) O (以下 Cu-HEO) 及び (Li_{0.2}Zn_{0.2}Ni_{0.2}Co_{0.2}Mg_{0.2}) O_{0.9} (以下 Li-HEO) は原料である CuO (純度: 99%)、Li₂O (純度: 99%)、ZnO (純度: 99.9%)、NiO (純度: 99.99%)、CoO (純度: 99.7%)、MgO (純度: 99.99%) をそれぞ

れ陽イオン (金属イオン) が等モル比になるよう Ar 霧囲気下にて調整し、高エネルギー遊星型ボールミル (P-7 Premium Line, ボール: 粉末 = 20:1 (重量比), 回転数 720rpm, 自転/公転 = 1/2, 粉碎時間: 3h, Si₃N₄ 製粉碎容器 (80ml), Si₃N₄ 製ボール (φ 10mm), FRITSCH 製) にてボールミル処理を行い作製した。これらの試料 0.200g に対して MgH₂ 粉末 (純度インゴット: 99.9%, 水素化率 98%, 粒径: 60μm, バイオコーク技研製) 1.800g へ Ar 霧囲気下にて添加し、再度 P-7 を用いて 1h のボールミル処理を行い、測定試料を作成した。試料粉末は脱水素化処理 (350°C, 2h, VAC) 後 PCT 測定装置 (Sievers 型、鈴木商館製) を用いて PCT 特定測定 (350°C) 及び水素吸蔵試験 (130°C – 190°C) を行った。

2.3 実験結果

図 1 に合成した 2 種類の試料の XRD 結果を示す。各試料の XRD 測定結果には単相の FCC ピークのみが確認され、すべて NaCl 型 HEO であることが分かった。各 HEO の結晶子サイズを Halder-Wagner 式により算出した結果、5.7-11.7nm であり、各試料に大きな差がないことが確認された。

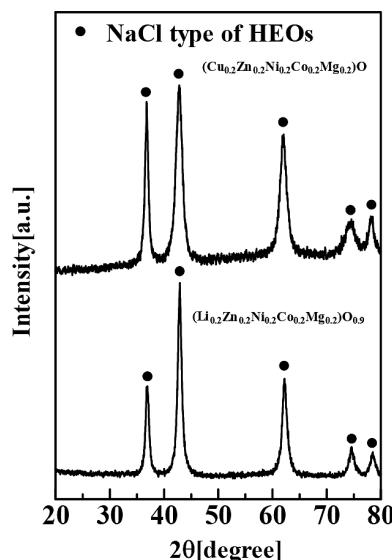


図 1 HEO の XRD 測定結果

次に、図2のPCT特性測定結果より最大水素吸蔵量を算出した結果 Cu-HEO は 6.372wt%，Li-HEO は 6.418wt% と測定条件における理論値の約 93-94% の吸蔵が確認され、93% 以上の容量の保持を確認した。

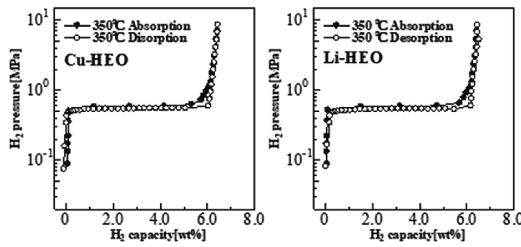


図2 PCT 特性測定グラフ

また、水素吸蔵試験結果から緩やかな水素吸蔵挙動と急峻な水素吸蔵挙動の2種の水素吸蔵挙動が確認され、緩やかな水素吸蔵挙動での水素分子の解離吸着反応を律速段階として反応速度定数を算出し、Arrhenius plot（図3）を作成した。結果より、いずれの触媒も無添加計 MG-MgH₂ の活性化エネルギーの値 102.5kJ/mol より活性化エネルギーが低下し、触媒効果を確認した。また Cu-HEO と Li-HEO の比較から Li-HEO 触媒の活性化エネルギーは 39.4kJ/mol から 64.4kJ/mol へと約 1.6 倍に上昇したのに対し、頻度因子は 7.73×10^1 から 4.40×10^5 へと約 6000 倍の上昇が確認された。

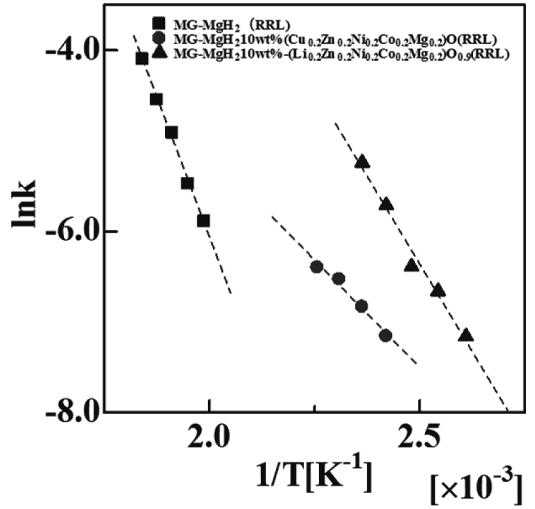


図3 Arrhenius plot

2.4 結言

今回合成した触媒は単相の NaCl 型 HEO として合成に成功し、水素吸蔵試験において共に触媒効果が確認された。さらに、Cu-HEO と Li-HEO から活性化エネルギーと頻度因子の上昇が確認され、結果から Li⁺ または Li⁺を添加することにより導入された酸素欠陥がより多くの活性点として作用することが示唆された。

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・アドバイスを頂くことができた。また、今回初の学会発表を行い、外部への自分の研究の発表経験を得た。

この経験を今後の研究活動にいかしていきたいと考える。

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

第 73 回高分子討論会に参加して

須藤 諒 大

Ryota SUDO

物質化学専攻修士課程 2 年

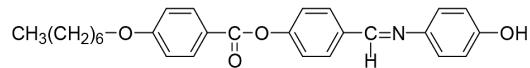
1. はじめに

2024 年 9 月 25 日から 27 日までの 3 日間、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、「液晶性フェノールを原料としたベンゾオキサジン熱硬化物の作製」という題目でポスター発表を行った。

2. 研究内容

2.1 緒言

ポリベンゾオキサジンは、アミン、フェノール、ホルムアルデヒドから合成される環状モノマーの開環重合によって得られる熱硬化性樹脂である。難燃性や絶縁性に優れ、低吸水性や低誘電率といった特徴に加え、原料であるアミンとフェノールの組み合わせによりテーラーメイドな分子設計が可能という長所も有している。リジッド基板や封止材等の電子材料への展開が期待されており、機器の小型化の要望から放熱特性の向上も強く求められている。本研究では、液晶 (LC) 配向を利用したネットワークの構造制御による高熱伝導率化を目指し、メソゲンとアルキル鎖を導入した液晶性フェノールとしたベンゾオキサジンを合成し、その相変化と重合挙動について調査した。また、液晶性フェノールと液晶性ベンゾオキサジン (7EAP, Fig. 2) との複合体の作製についても検討した。



7EAP

Fig. 2 Chemical structure of 7EAP.

2.2 結果と考察

ビフェニル骨格を有する液晶性フェノール (7BEAP), オクチルアミン, ホルムアルデヒドをクロロホルム中, 150°C で 10 分間マイクロ波加熱を行い、単官能 LC ベンゾオキサジン 7BEAB8 を合成した (Fig. 1)。得られた LC ベンゾオキサジンの示差走査熱量計 (DSC) 測定結果を Fig. 3a に示す。昇温時において、117°C 及び 211°C に相転移による吸熱が観測された後、246°C をピークとしたベンゾオキサジンの開環による発熱が見られた。同じ条件で行ったクロスニコル下での偏光顕微鏡 (POM) 観察では、119-180°C の温度範囲では複屈折性が見られたものの、重合後のフィルムは等方相であった。

液晶性フェノール (7EAP) と 7BEAB8 の複合化について検討した。まず、7EAP の液晶性を調査したところ、DSC において 153°C 及び 203°C に相転移による吸熱が観測され、POM 観察では 160-202°C の温度範囲でネマチック相に特徴的なシュリーレン組織が観測された (Fig. 3b)。次に、7BEAB8 と 7EAP の混合物 (7BEAB8/7EAP = 4/6, wt/wt) の DSC ならびに POM 観察を行った (Fig. 3c)。興味深いことに、重合が起こっている 180-220°C の温度範囲でも POM 観察で複屈折性を示した。220°C で 1 時間の熱処理を行うことで作製した 7BEAB8/7EAP 複合体熱硬化フィルムは、室温においても複屈折を示した。

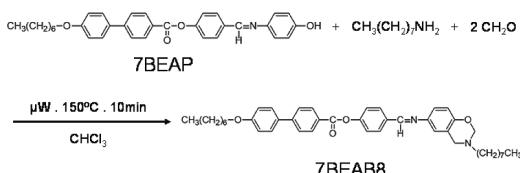


Fig. 1 Synthetic route of 7BEAB8.

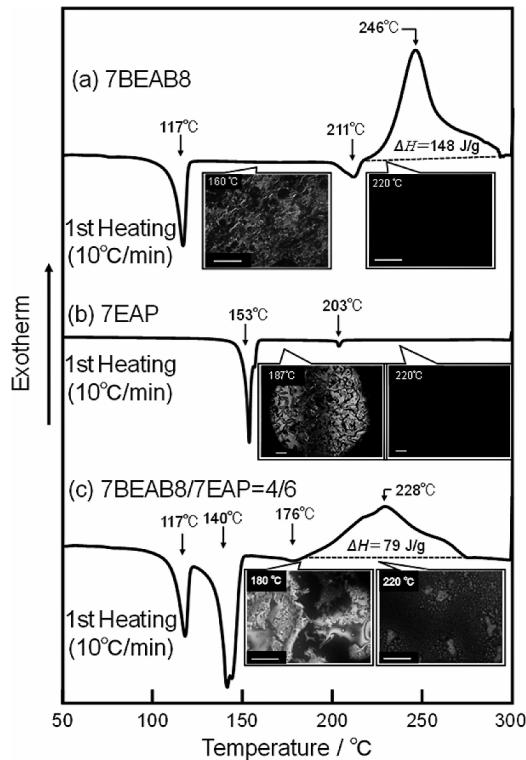


Fig. 3 DSC thermograms of 7BEAB8 (a), 7EAP (b) and the 7BEAB8/7EAP (4/6, wt/wt) mixture (c) from 50 to 300°C at a heating rate of 10°C/min. Inset: polarized optical micrographs of the samples at the temperature (bar: 250μm).

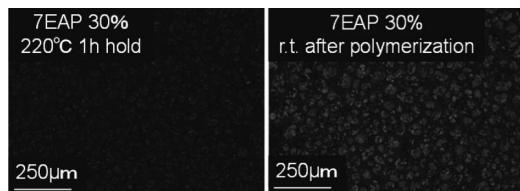


Fig. 4 polarized optical micrographs of the 7BEAB8/7EAP (7/3, wt/wt) at the temperature.

7BEAB8 の混合比が 7EAP に比べて大きい割合 (7:3) で、複合体熱硬化物を作製すると、重合温度で複屈折を示し、室温に戻しても、複屈折を示し

たままだった。

複合化の際に 7EAP がネットワークに組み込まれているかをモデル反応により調査した。二官能ベンゾオキサジンである B-a と 7EAP との複合化をいくつかの混合比で実施し、得られる熱硬化物の THF への溶解性を調べた。B-a のみでは不溶部収率が 100%、7EAP のみでは 0% (全て溶解) であったのに対し、B-a/7BEAB8 = 7/3 では 94%、5/5 では 81% となり、7EAP が化学結合を介してネットワーク構造に組み込まれていることが示唆された (Fig. 5, Table 1)。

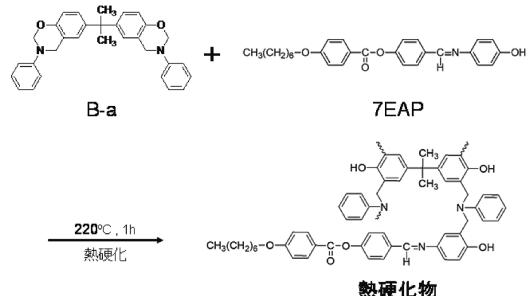


Fig. 5 Thermosets prepared in various mixture of the B-a/7EAP (wt/wt).

Table 1 Weight yield of the mixture of the B-a/7EAP (wt/wt).

PB-a / 7EAP	不溶部収率 (%)	可溶部収率 (%)
100 / 0	100	0
70 / 30	94	6
50 / 50	81	19
0 / 100	0	100

3. おわりに

100 分ほどのポスター発表であったが、たくさん企業の方や他大学の先生方と議論することができ、新しい視点や解決策への糸口をたくさん得ることができた。今学会にて得られた知識を活かしてこれからのおわりに努めていきたい。

第 24 回環境技術学会年次大会に 参加して

山 本 大 輝
Taiki YAMAMOTO
環境科学コース修士課程 1 年

1. はじめに

私は、2024 年 9 月 24 日に開催された第 24 回環境技術学会年次大会に参加し、「薪ストーブ燃焼ガス中 CO 低減のための金属酸化物触媒の実用化研究」という題目で口頭発表を行った。以下に発表した内容を記載する。

2. 背景

再生可能エネルギーのひとつとして木質バイオマスのエネルギー利用が注目されている。木質バイオマスの利用方法の一つとして薪ストーブがあげられる。薪ストーブによる燃焼からは CO 等を含む未燃ガスが排出される。未燃ガスをクリーン化するために触媒が用いられることがあるが、薪ストーブの触媒には貴金属系触媒が使用されることが多く、埋蔵量が少なく高価なため、貴金属に比べ安価で埋蔵量が多い金属酸化物触媒等の利用が課題となる。これまで、占部ら (2020) (2022) は褐鉄鉱 (鉱石、主成分 γ -FeOOH) に着目した CO の低減効果に関する研究を行い、褐鉄鉱の中には薪ストーブの通常燃焼時、貴金属系触媒に近い CO 低減効果を示すものがあるが、低温の炭火燃焼時と 800°C 程度の高温時ではその効果が低下することを明らかにしている。本研究では薪ストーブで試験できる小型の触媒試験装置を作成し、CO 低減効果が期待される酸化銅 (I)、酸化銅 (II)、酸化チタン (アナターゼ型) の触媒効果を薪ストーブの触媒入口温度との関係や長期使用に着目し、評価することを目的とした。なお、触媒はステンレスメッシュと耐熱性接着剤を担体とし、表面に触媒粉末を担持させる新方式を試みた。

3. 方法

今回用いた触媒試料は NHC, NHC 粉末、LMS, LSL, Cu_2O , CuO , TiO_2 の全 7 種類である。NHC 粉末、LMS, LSL は 180 μm 以下の粉末を使い、 Cu_2O , CuO , TiO_2 は試薬のまま (粉末状) で使用した。

50 × 36mm に切断したステンレスメッシュに耐熱性接着剤を用いて粉末触媒を片面に接着 (担持) させた。片面に触媒が接着された板 2 枚を触媒付着面が外側になるようにホッチキスで留め、表裏に触媒粉末が接着された触媒板を各種粉末触媒ごとに作成した。粉末触媒に関しては、触媒板を 11 枚程度、40 × 40mm 角型装置に装着することで小型試験装置を作成した。NHC は貴金属系セラミック製ハニカムを切り出し角型装置に装着することで小型試験装置を作成した。小型試験装置を既存の触媒が設置されていた位置付近に固定し、装置の入口と出口部分それぞれからガスを採集した。採集したガスは CO, O_2 濃度を燃焼排ガス分析計 (testo310) で測定し、CO が高濃度だった場合、CO は希釀後 NOA-7000 で O_2 は希釀せずに CGT-7000 でそれぞれ計測した。実測した CO, O_2 濃度から O_2 12% 換算 CO 濃度を求め、これにより CO 低減率 (CDR) を算出した。

4. 結果及び考察

4.1 参考用 (貴金属系触媒、褐鉄鉱触媒)

貴金属系セラミック製ハニカム NHC は、構成物のほとんどを占めるセラミックの表面部のみに貴金属が付着していることもあるが、CDR は最大で 99.9%、最小で 99.0% を示し、温度関係なくきわめて高い CDR を示すことが確認できた (図 1 参照)。NHC 全体を粉末化して得られた NHC 粉末中の貴金属はかなり分散している。それにもかかわらず、NHC 粉末の CDR は、通常燃焼時、炭火時においても、いずれも平均で約 90% と高かった (図 1 参照)。

褐鉄鉱触媒の LMS, LSL の場合、炭火燃焼時の CDR の平均値が LMS49.8%, LSL35.3% であり、

これまでと同様に通常燃焼時に比べて CDR がかなり低かった。

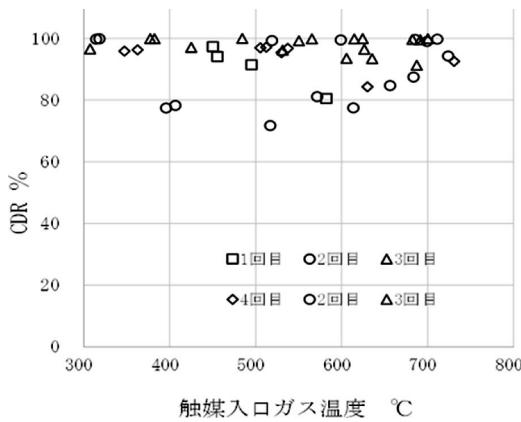


図1 触媒入口ガス温度と CDR との関係
触媒: NHC (赤), NHC 粉末 (青)

4.2 Cu₂O, CuO, TiO₂触媒

Cu₂O触媒のCDRは5回(2~6回目)の繰り返し実験で若干減少傾向がみられたが、CDRの平均で通常燃焼時86%、炭火時で81%であり、800°C、1H前加熱をしさらに2回(9回目、10回目)繰返使用しても落ち込みは比較的少なかった(図2参照)。Cu₂Oは薪の燃焼ガス雰囲気でCuOへの変化が進みCDRがCuO並みに低下することが懸念されたが、今回の試験では高いCDRが保持された。CuO触媒のCDRの平均は、通常燃焼時は約75%、炭火燃焼時は約44%でありCu₂O触媒に比べて低目であった。TiO₂触媒のCDRの平均は、通常燃焼時で54%、炭火燃焼時26%であり、Cu₂O, CuO触媒に比べて低かった。しかし、TiO₂にもこれだけの酸化触媒効果があることは、酸化触媒機構を考える上で興味深い。

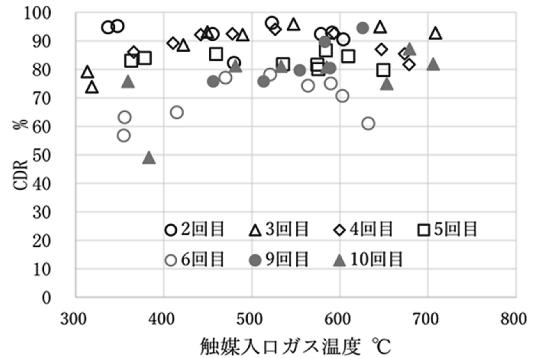


図2 触媒入口ガス温度と CDR との関係
触媒: Cu₂O

4.3 試験後の触媒平板の変化(剥離性等)

試験を計画した際は、試験後の触媒粉末の剥離、接着剤過多による触媒効果の低位が懸念された。しかし、試験後の触媒平板を観察したところ、試験前とほとんど変わらず触媒粉末の剥離あまりみられなかった。

今後の課題としては、角型試験装置でのCu₂Oなどを用いたハニカム状触媒によるCO, 炭化水素ガス(HC)の酸化触媒効果と触媒粉末の剥離性等の評価を行うこと。実寸(直径約150mm, 高さ50mm)に近いハニカム状触媒によるCO, HCの酸化触媒効果と触媒粉末の剥離性等の確認が挙げられる。

5. おわりに

環境技術学会年次大会での口頭発表を通して、様々な質問をいただいたことによって、研究活動の視野が広がり勉強になった。この経験を生かして今後の研究に役立てていきたい。

龍谷理工ジャーナル VOL. 37-1 2025

2025年3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（環境生態工学課程）
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 …… 小堀 聰
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
環境生態工学課程 …… 岸本 圭子

〒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
