

創造 挑戦 森 炎  
■

# 2024 年度 熊本大学技術部技術報告集

---

熊本大学 技術部



# 2024 年度熊本大学技術部 技術報告集

## 目 次

### ○発刊のご挨拶

- ・ 巻頭言「2024 年度熊本大学技術部技術報告集」の発刊に寄せて  
技術本部長 大谷 順 ..... 1
- ・ 「2024 年度熊本大学技術部技術報告集」の発刊にあたって  
技術部長 中川 雄伸 ..... 2

### ○技術レポート

- ・ 薬用植物園における植物来歴管理データベースについて  
渡邊 将人 ..... 4
- ・ 生命資源研究・支援センター 動物資源開発研究施設におけるマウスの微生物統御  
中村 直子、川辺 正等美、坂本 亘、高椋 光博、岩瀬 聖 ..... 6
- ・ 台湾で開催された生殖工学技術研修会での技術支援  
土山 修治 ..... 10
- ・ 顕微鏡の基礎講習会の実施について  
安永 桂一郎 ..... 12
- ・ パラフィン包埋組織標本作製についての技術研修  
工藤 信次、熊谷 次郎、板東 未季、大津 由紀、木庭 義和、  
園田 佳世子、光永 佳奈枝、百武 慶一郎、田中 栄緒 ..... 14
- ・ 単結晶ダイヤモンドの断面 TEM サンプル作製および観察  
豊田 洋輝 ..... 16
- ・ 衝突誤差 0 を目指したガス式対向衝突試験装置の開発  
渡邊 直人 ..... 18
- ・ 九州地区専門技術研修「地形測量のシームレス化に関する技術研修」  
外村 隆臣、吉永 徹、上田 誠、橋本 淳弘、松木 翔二郎 ..... 20
- ・ 出前授業「測量技術を使って巨大な地上絵を描こう」  
外村 隆臣、吉永 徹、友田 祐一、上田 誠、橋本 淳弘、松木 翔二郎 ..... 22
- ・ nnU-Net を用いた CT 画像セグメンテーション  
上田 誠、松木 翔二郎 ..... 24
- ・ VGSTUDIO MAX トレーニング受講報告  
橋本 淳弘、上田 誠、松木 翔二郎 ..... 29

・ 子供向け科学イベント出展内容のご紹介	
中野 恵実 .....	31
・ メタルアーチファクトの低減効果に関する研究	
松木 翔二郎 .....	33
・ マシニングセンターの基本操作の習得	
倉田 大 .....	35
・ 溶接実習時のヒューム対策	
平田 正昭 .....	37
・ 第二種電気工事士実技試験対策講習	
寺村 浩徳、榎園 佑希、大嶋 康敬、倉田 大、山口 倫、須恵 耕二 .....	39
・ はんだ付け技術研修	
松田 樹也、榎園 佑希、寺村 浩徳、大嶋 康敬、 橋本 淳弘、松木 翔二郎、須恵 耕二、吉永 徹 .....	41
・ 球面収差補正 STEM による原子カラムの観察および EDS マッピング	
津志田 雅之、庄崎 雅裕、楓 杏子 .....	43
・ EBSD 法による対称性の低い結晶構造材料の方位解析	
庄崎 雅裕 .....	45
・ Bcc 型 Ti-V-Nb 三元系ミディアムエントロピー合金の組織観察・特性評価	
楓 杏子 .....	47
・ 低エネルギー逆光電子分光分析について	
佐藤 徹哉 .....	50
・ 電子顕微鏡観察用生物試料作製：非放射性重金属染色剤の検討	
大石 智博 .....	52
・ 工学部教員の業績評価システムの構築・運用	
青木 敏裕、大村 悦彰、山口 倫 .....	54
・ Raspberry Pi を用いた室温監視システムの開発	
山口 倫 .....	56
・ 身近な生活排水の pH 計測	
松山 勇二 .....	59
・ 第一原理分子動力学法によるミクロな視点からの研究支援	
高良 明英 .....	61
・ 環境省国立水俣病総合研究センターにおける水俣湾調査	
島崎 英行 .....	63
・ 本学における作業環境測定について	
坂本 敬行、片山 謙吾 .....	68

- ・送信ドメイン認証対応メールサーバの構築  
清水 康孝 ..... 70
- ・3D プリンタを用いた構造に関する実践 ~Tinkercad を用いたデジタルものづくりへの誘い~  
西本 彰文、山下 悠太 ..... 72

○受賞

- ・令和 6 年度国立大学法人熊本大学社会貢献活動表彰（準グランプリ）  
西本 彰文、清水 康孝、山下 悠太 ..... 75
- ・令和 6 年度国立大学法人熊本大学業務改善表彰（準グランプリ）  
土山 修治、井村 みさえ ..... 76

## 巻頭言

「2024 年度熊本大学技術部技術報告集」の発刊に寄せて

技術本部長 大谷 順（研究担当理事、副学長）

「2024 年度 熊本大学技術部技術報告集」の刊行にあたり、謹んでご挨拶申し上げます。平素より、技術職員の活動に対し、格別のご理解とご高配を賜っておりますこと、心より御礼申し上げます。

技術部は、全学的な教育・研究支援体制の強化を目的として設置されて以来、2024 年度で5年の節目を迎えました。この間、技術職員一人ひとりが、大学の研究・教育活動を支える専門的支援の担い手として、その責務を自覚し、日々の業務に誠実に取り組んでまいりました。技術部が果たす役割は年々その重要性を増しており、大学運営における不可欠な基盤としての地位を確立しつつあります。

2025 年4月には、研究支援・マネジメント体制の全学的な一元化に伴い、技術部は「研究開発戦略本部 技術部門」へと改組しており、体制の更なる強化が図られます。これにより、技術職員は、研究基盤の整備・共用をはじめとする各種業務において、研究・教育・安全管理・インフラ整備、さらには地域貢献事業に至るまで、これまで以上に高度な専門性と組織的連携をもって貢献することが期待されております。

現在、技術部は4技術室および15のワーキングチームから構成されておりますが、今後は専門分野のカテゴリ化を見据えた組織再編を検討しており、その機能強化が着実に進められております。また、2022 年度の本荘北地区を皮切りに、2024 年度には大江地区において技術職員の居室が完成するなど、拠点整備も進行しております。今後は黒髪地区及び本荘中地区への設置も予定しており、これにより職員間の情報共有、業務の可視化、意識の醸成をさらに推進し、技術支援の質と量の一層の向上が見込まれます。

加えて、本学はこのたび、「地域中核・特色ある研究大学強化促進事業」に採択されました。これを機に、全構成員が一丸となって研究力の更なる強化に取り組むことが求められており、技術職員においても、その高度な専門性と現場力を生かしつつ、教職員と連携しながら、日々の支援業務に邁進しております。

本報告集には、各技術職員がそれぞれの現場において、どのような使命感と専門性をもって業務に従事しているかが記されております。ご高覧を通じて、本学における技術部の役割と活動に対するご理解を一層深めていただければ、誠に幸甚に存じます。

結びに、今後とも熊本大学技術部の活動に対し、変わらぬご支援とご厚情を賜りますよう、謹んでお願い申し上げます。

## 「2024 年度熊本大学技術部技術報告集」の発刊にあたって

技術部長 中川 雄伸

平素より、熊本大学技術部の活動に対し、ご理解とご支援を賜っておりますことに、厚く御礼申し上げます。2024 年度における技術支援活動の成果をとりまとめ、本報告集として刊行の運びとなりましたことを、ここに謹んでご報告申し上げます。

技術部は、2020 年 4 月、全学の研究・教育活動を技術面から支援する組織として発足し、以降、各技術室およびワーキングチームが連携しながら、学内外における多様なニーズに対応すべく、専門的かつ実践的な技術支援体制の構築と運用に努めてまいりました。

2024 年度は、より一層の発展を目指し、各技術室長等と緊密に連携を取りながら技術職員の資質向上と研鑽の場を確保し、技術水準の更なる向上を図りました。学内においては、7 テーマの技術部内研修を企画・実施しました。延べ 46 名が当該研修を受講し、技術室の枠を超えた技術交流の促進および技能向上を図る有意義な機会となりました。加えて、本学技術部が独自に実施している九州地区専門技術研修では、「地形測量のシームレス化に関する技術研修」「薄膜 XRD 基礎技術研修」「EPMA（電子線マイクロアナライザー）分析研修」「機能性材料の分析技術研修」「透過電子顕微鏡の観察技術研修」の 5 テーマを企画し、九州地区の国立大学法人および高等専門学校に参加を呼びかけた結果、9 名の方に受講していただきました。本研修は、技術職員の専門的技能の更なる向上を目的とし、関係業務に従事する担当職員相互の知見・技能の共有と相互研鑽を通じて、各機関における技術力の底上げおよび人材育成を図るものです。今後とも、本学および地域機関の発展に寄与すべく、研修機会の充実と技術力の継承に努めてまいり所存です。

2024 年度の技術部業務依頼システムには、学内 17 部局等から約 360 件の技術支援依頼が寄せられ、研究・教育支援、安全管理、運営支援など、多岐にわたる業務において顕著な貢献を果たしました。また、組織的な人材配置と育成機能の強化にも努め、同年度に新たに迎え入れた職員 1 名は、非破壊検査技術の一手法である産業用 X 線 CT を用いた研究支援業務において成果を上げています。

本報告集は、本学の研究・教育の基盤を支える技術職員による日々の活動の中で培われた専門性・創意工夫の一端を取りまとめたものであり、皆様におかれましては、技術部の果たす役割について、より深くご理解を賜る一助となれば幸甚に存じます。

結びに、技術部の活動に日頃よりご協力くださっております教職員の皆様ならびに関係各位に、改めて深甚なる感謝の意を表しますとともに、本報告集が今後の研究・教育の一助となることを心より祈念申し上げます。

# 技術レポート

# 薬用植物園における植物来歴管理データベースについて

渡邊 将人  
薬学応用 WT

要旨 熊本大学薬学部薬用植物園では、令和3年より保有する植物の来歴についてデータベース上でオンライン管理している。本報告ではその内容について紹介する。

キーワード：植物、データベース、来歴

## 1. はじめに

植物の研究は薬学、理学、農学など多様な分野で展開されているが、どの分野においても研究材料となる植物の来歴、特に自生地の情報は大変重要なものである。例えば、薬学においては産地が違えば含有成分や機能性に違いがあることがあり、理学（主に植物分類学）においては同種とされているものでも産地が異なれば別種である可能性すら考えられる。そのため植物園に植栽する植物は自生地の来歴情報をきちんと記録することが求められる。熊本大学薬学部薬用植物園は全国の様々な研究機関に植物を提供しているが、情報の集約と管理のしやすさを目的にオンラインデータベースで管理している。

## 2. 管理する情報の種類

### ①親情報と子情報

親情報は、登録したい植物の一般的な内容である。ここでは和名、科名、学名、環境省レッドデータブックカテゴリー、熊本県レッドデータブックカテゴリー、薬効、利用部位、生薬名、備考の項目を入力する。

子情報は個々の植物の情報である。ここでは登録日、植栽場所、導入方法、生きているか枯死したか、備考の項目を入力する。子情報は親情報の下に登録日順に配列される（図1）。

### ②導入方法

子情報として入力する内容で、データベースで最も重要な情報である。その経路は野外採取、購入、譲受、在来（雑草、情報が伝わっていないもの）の4つに分けられる。

- ・野外採取：購入日、購入店、価格などその他の情報
- ・野外採取：採取日、国・県名、地名、GPS ロガー番号、緯度経度、その他情報
- ・譲受：譲受日、譲渡者、自生地情報の有無（有の場合は野外採取に準ずる）
- ・在来：雑草であるかどうか

The screenshot displays a web-based interface for managing plant history. It is divided into two main sections: '親情報' (Parent Information) and '子情報' (Child Information).

**親情報 (Parent Information):**

和名	オミナエシ
科名	スイカズラ科
学名	Patrinia scabiosifolia Link
環境省カテゴリー	該当なし
熊本県カテゴリー	該当なし
薬効	清熱、解毒、排膿
部位	根
生薬名	敗醬根
栽培上の特性	
備考	薬効出典：漢方のくすりの事典、日本薬草全書

Buttons: 編集 (Edit), 削除 (Delete)

**子情報 (Child Information):**

● 系統登録情報

登録日	2021/11/21	編集	削除
植栽場所	K		
導入方法	採取		
採取日	2019/10/20		
国・県名	熊本県		
地名	人吉市 田野町		
GPS番号	gps A2764		
緯度経度	N32° [REDACTED]		
備考			
枯死	生		
備考	もともと株を採っていたが、2023年度に園内で採取（1本由来から採種）し次年度より系統保存用にする。これとは別に23/11/24に3株より採種。		

Buttons: 編集 (Edit), 削除 (Delete)

図1. 親情報（上部）と子情報（下部）

### ③薬効など

親情報内に入力する内容である。「カゼに利用できる植物はありますか?」、「虫刺されに効く植物はありますか?」など、イベントや講演時、および外部からの相談を受ける機会は多々ある。そのような相談に対応すべく作った項目である。薬効にあわせ、利用部位、生薬名なども入力する。薬効は国内の文献はもちろん、海外の専門誌の情報まで検索し入力を行っている。これらの情報は今後作成を予定しているオンライン植物目録にも利用する予定である。

### ④レッドデータブック等のカテゴリー

親情報として入力する内容である。当園では絶滅危惧植物の保全を積極的に行っている。最新の環境省レッドデータブック・リスト、同様に熊本県のレッドデータブック・リストのカテゴリー（絶滅危惧 IA 類、準絶滅危惧など）の情報も管理している。

### 3. 検索方法

入力した様々な情報を組み合わせて検索することが可能である（図2）。フリーワード検索欄では、直接入力した情報を横断的に検索することができる。

#### 【例】

- ・2024年3月にハンズマン画図店で購入した植物
- ・熊本市南区で採取した熊本県レッドデータブックで絶滅危惧 II 類の植物
- ・〇〇大学薬用植物園からいただいたシソ科の植物

### 4. 公開範囲

一般公開はしていない。データの入力ができるのは現在のところ著者のみである。閲覧ができるのは当園の技術職員3名である。データベースにはピンポイントで絶滅危惧種にアクセスできるような情報も含まれている。盗掘を防ぐため今後も一般公開する予定はない。

### 5. おわりに

本データベースは令和3年末に開設後、幾度かの修正を加えて現在の状態に落ち着いている。非常に有効なものとなっているが、今後は栽培上の注意点を管理する項目の追加および写真を追加できるように構築したいと考えている。

フリーワード検索欄

科名	学名	和名	薬効	件数
イノモトソウ科	Actiniopteris dimorpha Pic.Serm.	Actiniopteris dimorpha	未記載	1
イヌサフラン科	Gloriosa superba L.	キツネユリ	記載	1
シュウカイドウ科	Begonia fangii Y.M.Shui & C.I Peng	Begonia fangii	未記載	1
ヒルガオ科	Ipomoea batatas (L.) Lam.	サツマイモ	記載	1
シソ科	Leonurus cardiaca L.	モミジバキセフタ	記載	1

図2. 検索画面

# 生命資源研究・支援センター 動物資源開発研究施設における マウスの微生物統御

中村 直子、川辺 正等美、坂本 亘、高椋 光博、岩瀬 聖  
生命資源 WT

**要旨** 動物実験においては、遺伝的・微生物学的品質の高い実験動物を使用した再現性のある実験の実施が求められており、実験成績に影響を及ぼす要因の一つに実験動物の感染症がある。熊本大学生命資源研究・支援センター 動物資源開発研究施設でおこなっている、実験に使用している実験動物群の微生物学的な状態を定期的を確認するための微生物モニタリングについて紹介する。

**キーワード**：実験動物、感染症、微生物モニタリング

## 1. はじめに

動物実験を実施する際は、遺伝的品質や微生物学的品質の高い実験動物を使用した再現性のある実験をすることが求められる。さらに、実験中の実験動物への病原微生物感染は、動物実験成績に大きく影響する要因の一つであるため、感染防御を基本とする実験動物の健康管理は実験動物を飼育する者にとって最も重要な事項の一つとされている。熊本大学生命資源研究・支援センター 動物資源開発研究施設（動物資源開発研究施設）でおこなわれる多くの動物実験にはマウスあるいはラットが使用されており、ほとんどが動物生産業者に由来する、特定の病原微生物を保有していない specific-pathogen-free(SPF)動物が用いられている。さらに、実験開始時の特定の病原微生物を保有していない状態から変化がないことを確認するため、定期的な微生物モニタリングを実施している。実験動物に関連する微生物は、

- A. 人獣共通感染症の起因微生物
- B. 伝染力が強く動物を致死させる恐れがある微生物
- C. 致死させることはないが発病あるいは不顕性感染を起こす微生物
- D. 日和見病原体
- E. 通常は病原性はないが、飼育環境の指標になる微生物

の5つのカテゴリーに分類され、微生物モニタリングをおこなう際は、これらの5つのカテゴリーと国立大学法人動物実験施設協議会が推奨している「微生物学的モニタリング対象微生物および寄生虫」で示されたステータスを参考にモニタリング対象項目を定め、随時、対象微生物、検査方法さらに検査頻度を検討しながら監視を続けている。今回は、動物資源開発研究施設でおこなっているマウスの微生物モニタリングシステムを紹介する。

## 2. 動物資源開発研究施設における動物実験とマウスの微生物統御

動物資源開発研究施設でマウスの飼育を開始する場合は、動物実験計画書の作成、動物実験委員会への申請及び承認、さらに遺伝子組み換えマウスを飼育する場合は、熊本大学遺伝子組換え生物等第二種使用等安全委員会への申請及び承認を済ませ、各委員会が開催する教育訓練を受講する必要がある。これらの対応を完了させた後、動物資源開発研究施設の使用申請をおこない、静脈認証装置への登録後に施設利用が可能となる。動物資源開発研究施設における微生物統御は、

- ① 施設内にある実験動物の一般飼育室への病原微生物侵入防止のための検査
- ② 飼育中の実験動物の感染防御・微生物モニタリングのための検査
- ③ 動物資源開発研究施設から送り出す各種マウスの微生物学品質保証のための検査

の3つを軸に展開している。表 1 に①から③に関連するマウスの検査実績を示す。

表1 熊本大学生命資源研究・支援センター 動物資源開発研究施設における各種マウス検査数

	H22*	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	2019	2020	2021	2022	2023	2024
海外由来 <sup>a</sup>	27**	32	37	8	48	16	0	4	8	20	6	22	14	22	6
国内由来 <sup>a</sup>	210	105	238	216	312	77	16	18	32	20	18	6	8	14	14
国内由来 <sup>b</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	142	152	103
飼育中	1,851	1,997	3,271	3,158	2,167	2,122	1,398	1,115	1,820	1,268	1,108	1,804	1,241	1,298	1,348
搬出時	333	314	312	322	280	194	132	114	148	103	86	140	137	133	108
合計	2,420	2,438	3,383	2,754	2,897	2,409	1,546	1,251	2,008	1,411	1,411	1,411	1,542	1,619	1,579

\*: 年度、\*\*: 匹、a: 施設外からの搬入時検査検査, b: 施設外由来体外受精用マウス

①は、動物資源開発研究施設へマウスを新規搬入する際の防御である。施設へマウスを導入するルートは複数あり、ほとんどの場合、動物生産業者に由来する、特定の病原微生物を保有していないという保証のある SPF マウスを入手して実験がおこなわれるが、日本国内外の研究機関などで飼育されている SPF とは断定できない各種疾患モデルマウスを使った実験も盛んにおこなわれている。動物資源開発研究施設は二つの建物に分かれており、新館へ他機関で飼育されていたマウスの導入を希望する場合は、生きたマウスの導入が禁止されている施設であるため、生殖工学的手法を用いた体外受精・SPF マウスへの胚移植ののち生まれた産子を導入する。本館には、他機関から届くマウスを検査用の SPF マウスとともに一旦すべてビニールアイソレータ（アイソレータ）という小型の隔離装置（図 1）に搬入して、アイソレータ内の同じケージで同居飼育し、外界と隔離しながら 4 週間飼育した後、検査用マウスだけを搬出して各種微生物検査を実施する。検査の結果、動物資源開発研究施設が定める微生物（表 2）の陰性を確認した後のみ、アイソレータからマウス一般飼育室への搬入が許される。

表2 熊本大学生命資源研究・支援センター 動物資源開発研究施設におけるマウス検査項目

対象病原体・カテゴリー	マウス	ラット	検査方法	検査部位	検査頻度*
<b>細菌, マイコプラズマ</b>					
カーバチルス・C	○	○	IFA	血清	1
気管支敗血症菌・C	-	○	培養	気管・咽喉頭	3
肺炎球菌・C	-	○	培養	気管・咽喉頭	3
サルモネラ（ネズミチフス菌）・A	○	○	培養	盲腸内容	3
ティザー菌・C	○	○	ELISA, IFA	血清	6
腸粘膜肥厚症菌・C	○	-	培養	盲腸内容	3
肺マイコプラズマ・B	○	○	ELISA, IFA, 培養	血清、気管・咽喉頭	6
ヘリコバクターヘパティカス・C	○	-	PCR	糞便	3
ネズミコリネ菌・C	○	○	培養	気管・咽喉頭、盲腸内容	3
黄色ブドウ球菌・D	○	○	培養	盲腸内容	3
肺バスターレラ・D	○	○	培養	気管・咽喉頭	3
緑膿菌・D	○	○	培養	盲腸内容	3
<b>ウイルス</b>					
エクトロメリアウイルス・B	○	-	ELISA, IFA	血清	3
センダイウイルス・B	○	○	ELISA, IFA	血清	6
マウスアデノウイルス・C	○	○	ELISA, IFA	血清	3
マウス肝炎ウイルス・B	○	○	ELISA, IFA	血清	6
マウス肺炎ウイルス・C	○	○	IFA	血清	1
ラット唾液腺涙腺炎ウイルス・C	-	○	ELISA, IFA	血清	6
リンパ球性脈絡髄膜炎ウイルス・A	○	○	IFA	血清	1
<b>寄生虫</b>					
ネズミ大腸蟻虫・E	○	-	浮遊法	結腸起始部	6
ネズミ盲腸蟻虫・ラット蟻虫E	○	○	粘着テープ法	肛門周囲	6
ジアルジア・E	○	○	鏡検	十二指腸内容	6
スピロヌクレウス・E	○	○	鏡検	盲腸内容	6
外部寄生虫・E	○	○	鏡検	被毛	6

\*: 回/年, IFA: 間接蛍光抗体法, ELISA: Enzyme Linked Immuno Sorbent Assay, PCR: Polymerase Chain Reaction  
免疫不全動物における検査項目, 徐々に追加して増やした検査項目

②の施設内で飼育中の実験動物においては、まず、適切な給餌・給水、飼育室内の温湿度管理、適切な飼育室内空調管理、照明の管理、マウスを呼吸器感染症の原因微生物から守る構造の給排気直結式飼育装置の利用（図2）、定期的なケージ交換、施設内の衛生管理を徹底しており、さらに、飼養・実験中の実験動物の微生物学的な状態の変化を把握するため、1989年より、微生物モニタリングという手段を用いて飼育室内のマウスの微生物学的な状態の変化を監視している。すなわち、意図的に動物に微生物を感染させる実験をおこなう感染実験領域を除く館内の全てのマウス飼育室に、2ヶ月に一度3匹/室の検査用のおとり（モニター）マウスを導入し、その飼育室内のケージ交換の際、全てのケージから集めた糞と使用済床敷を集めたケージ(図3)を用い、飼育室内に設置してあるマウス飼育装置のモニターボックス内で飼育装置の排気に曝露させながら3ヶ月間飼育し、動物資源開発研究施設が定めた微生物（表2）の検査を実施している。



図1 ビニールアイソレータ



モニターボックス

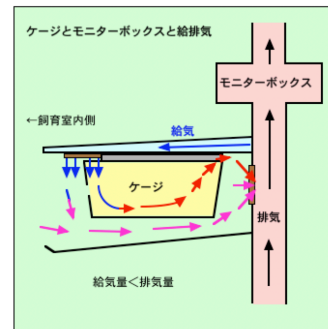


図2 モニターボックス付給排気直結式飼育装置

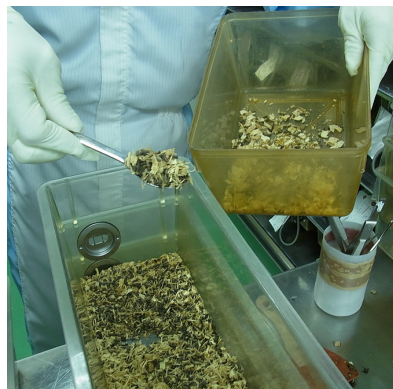


図3 検査用モニターマウスは、飼育室で飼育中全てのマウスのケージ交換後のケージから薬匙1杯分ずつ回収して集めたケージ内で飼育する

モニターマウスの検査の結果、マウスの生理学的な状態を変化させたり、マウスを死亡させる危険性のある微生物カテゴリーBやCに含まれるウイルスや細菌、寄生虫等が摘発された場合は、施設内での他の飼育室への感染拡大を防止するため、迅速に当該飼育室で飼育中の動物の隔離、淘汰あるいは駆虫薬の投与、飼育室のクリーニング、さらには飼育室の再構築等を進め、さらに、飼育・実験中のマウスに、実験以外の理由によると考えられる死亡や、病原微生物感染時に見られる症状が観察された場合等は臨時検査を実施し、施設への病原微生物侵入の早期摘発に努めてきた。モニタリング開始当初は、肺マイコプラズマ、ネズミコリネ菌、センダイウイルスやマウス肝炎ウイルスなど、現在の動物実験領域で珍しくなった病原微生物が複数の本館一般飼育室のモニターマウスから検出され、肺や肝臓などに病変のある個体、くしゃみなどの症状を示す個体や死亡する個体が多く見つかった

が、微生物モニタリングを軸とした感染症統御と排除のための様々な対策の結果、現在は、本館、新館共に病原微生物が検出されない状態となっている。

動物資源開発研究施設には、日本国内外の研究機関から①の方法を経て毎年多くの系統の疾患モデルマウスが導入され、各種実験に供されているが、反対に、熊本大学生命資源研究・支援センターは、日本国内外で作成された各種疾患モデルマウスの胚や精子を凍結保存するマウスバンクの役割も持つ。日本国内外の研究者は、マウスバンクへマウスの胚や精子の凍結保存を依頼することができ、有償であるが、マウスバンクに保存されている凍結精子・凍結胚、またはそれらから作出されたマウスを入手することが可能である。③の検査は、前述のマウスバンクからマウス生体の供給依頼があった場合の他に、施設利用研究者がマウス一般飼育室から学外の研究機関へマウスを譲渡する場合にも実施している。マウスバンクからのマウス生体供給依頼の際は、依頼系統の胚を移植したマウス（仮親）を移植後すぐにアイソレータ内に収容し、隔離飼育を開始する。仮親はアイソレータ内で出産・哺育し、産子の離乳後に仮親のみをアイソレータ外へ搬出して各種微生物検査に供し、仮親の微生物検査成績は、依頼系統の産子供給の際の微生物学的な品質の補償となる。なお、依頼系統の産子については、輸送のための梱包までアイソレータ内での隔離飼育を継続している。マウス一般飼育室から学外の研究機関へのマウス譲渡の場合は、譲渡するマウスを全て検査用マウスとともにアイソレータに隔離し、4週間後、検査用マウスだけを搬出して微生物検査をおこない、譲渡マウスの品質を保証する。

このように、動物資源開発研究施設では、施設内で飼育されているマウスを感染事故から守るため、マウスの入手、飼育中、搬出時の全ての時点において、マウスの微生物学的な品質を守るための様々な微生物統御対策をおこなっている。これらの対策は、再現性のある実験成績のためだけでなく、最終的には、実験に用いるマウス数の削減につながる。引き続き、施設内で飼育・実験に供されているマウスを含むすべての種の実験動物の適正な飼育・管理に尽力する。

# 台湾で開催された生殖工学技術研修会での技術支援

土山 修治  
生命資源 WT

要旨 2024 年台湾 NLAC 生殖工学研修会で胚移植デモ・機器設営・技術指導・Dx 講義・資料作成などを支援。台風対応を含む実践を通じ国際交流と技術普及の支援を行なった。

キーワード：生殖工学技術、研修会、国際活動

## 1. 技術研修会

生殖工学技術は、実験動物の代表であるマウスを、効率よく繁殖・保存・輸送することを可能にする技術です。マウスの精子や未受精卵や胚を、液体窒素中で保管し、必要時にそれらを融解して仮親マウスに移植することで、効率よく産子を得ることができます。

私の支援先の研究室では、それら技術を世界に先駆けて開発し、その技術普及のために国内および国外での研修会の開催を積極的に行っています。

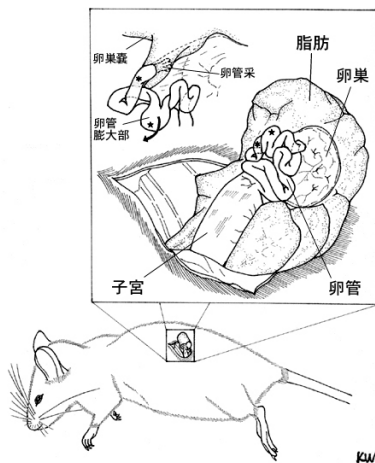


図 1 仮親マウスへの胚移植の準備

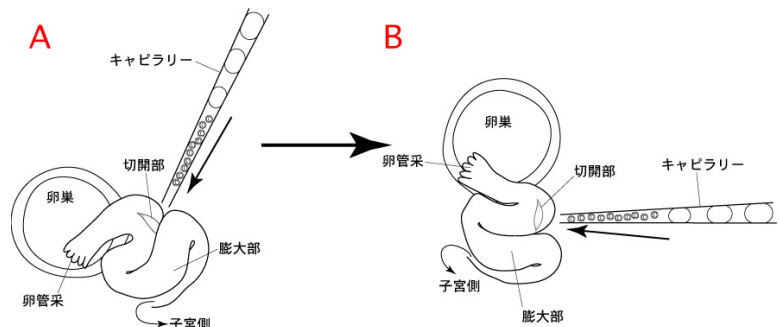


図 2 卵管膨大部への胚の移植

## 2. 研修会の歴史

マウス生殖工学研修会は、2000 年からこれまで 60 回以上開催され、日本国内、アメリカ、フランス、スペイン、中国、韓国、シンガポールなどで行われています。台湾での研修会は 2012 年に開催されていますが、今回は、それ以降の技術進歩についての講演や実技研修に加え、近年開発されつつあるラットについての技術研修会も併せて開催されました。

## 3. 台湾での研修会

この研修会は実践的な技術普及を目標にしており、教授らによるスライドでの技術解説 – デモンストラータによる技術解説 – 研修生による実習 の順番で、各技術の習得が進んでいきます。

スケジュール等は以下の通りです。

場所：台北市 National Laboratory Animal Center

日時：2024 年 9 月 30 日 – 10 月 4 日

スケジュール：以下参照

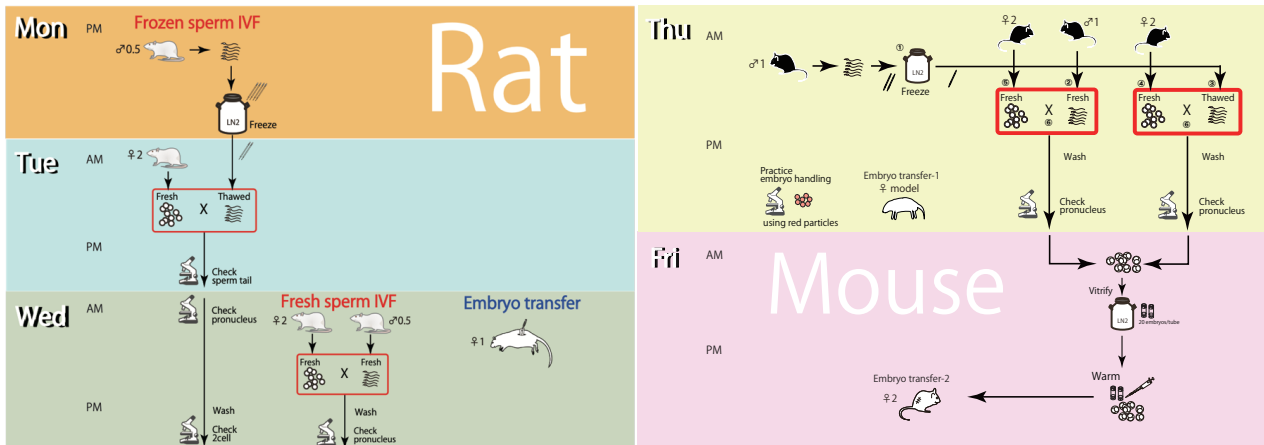


図3 スケジュール

#### 4. 技術支援

今回の研修会について、以下の通りの技術支援を行いました。

- 1-.実体顕微鏡下での微細な操作を必要とする技術（仮親マウスへの胚移植）のデモンストレーション
- 2-.デモンストレーション映像共有のための機器セットアップと操作
- 3-.研修会参加者への技術指導
- 4-.動物施設での Dx（デジタルトランスフォーメーション）に関する講義  
演題：The Use of Database Applications in Animal Facilities
- 5-.研修室レイアウト等の事前打ち合わせ
- 6-.研修会成果報告サイトの作製

<https://cardnlactraining2024.weebly.com/>

#### 5. 研修会を終えて

研修期間中に大型台風が台北市に接近したため外出を控えるようアナウンスがあり、3日目の研修はキャンセルされた。デモンストレーション映像共有のための機器を使い、デモンストレーションの実技と音声を記録し、研修生に見てもらうための対策を立てた。オンラインでのデモ動画配信や講義配信で研修会が行えるか議論し打ち合わせした。4日目には台風は通過し、研修会は続行された。

動物実験は、世界的に 3R (Replacement: 代替法の利用、Reduction: 使用動物数の削減、Refinement: 苦痛の軽減) の目標を達成するために様々な法律や規則等があり、国によりその対応も異なる。研究室では高度な技術開発が必要とされる一方、上記のような法規等に沿った技術の実践において、技術者や研究者の作業に細かな違いがある。それらについて海外の技術者および研究者と英語でディスカッションする貴重な機会を得ることができた。

動物施設の運営に関するデータの取扱いにも運用の規則や利用技術の違いがあり、自らの講義を通して理解を深めることができた。



図4 ディスカッションの様子



図5 研修会後の集合写真

# 顕微鏡の基礎講習会の実施について

安永 桂一郎  
発生医学 WT

要旨 顕微鏡の基本的な使用方法についての講習会を通年で開催しました。生物用の光学顕微鏡を使用する際の標本観察に必要な基礎的スキルの習得を目指しています。

キーワード：光学顕微鏡、講習会、共通機器

## 1. 開催概要

場所：熊本大学発生医学研究所

受講者：リエゾンラボ研究推進施設の共通機器顕微鏡を利用する予定のある学生および研究者

時間：約45分

回数：16回（R6年度）、各回1～4名

## 2. 講習の目的

正立型の光学顕微鏡を使用してプレパラート標本を観察するための基本的な使い方を学習する。同時に、この学習を通して共通機器を使用するにあたっての基本的な考え方を知る。さらに、注意事項を利用者と管理者との間で情報共有する。

## 3. 講習の主な項目

### 3.1 照明

一般的な生物用顕微鏡では明視野の透過照明を使う。また解剖用の実体顕微鏡では落射照明を使うことも多い。照明の強さの調節方法、目に負担のない明るさに調節する。

### 3.2 フォーカス

ステージの上下方向の動作範囲を確認する。標本と対物レンズが衝突しないようにフォーカスを合わせる。低倍率で合わせることが基本であり、粗動と微動のハンドルを使い分ける。

### 3.3 レンズ

接眼レンズと対物レンズを組み合わせて観察する。対物レンズの性能は倍率、開口数、作動距離などによって表される。これらの情報はレンズ表面に記載されている。

### 3.4 倍率

対物レンズを変えることにより倍率を変化させる。レボルバーはゆっくりと回し、確実に目的の位置まで回す。レボルバーを回転させて倍率を変更した後にフォーカスを微調整する。

### 3.5 液浸レンズ

イメージンオイル、水、シリコンといった液体を対物レンズと標本の間滴下したうえで観察をする液浸レンズについて説明する。油浸はカバーガラスや封入剤の屈折率に近く、高分解能が求められる標本の観察などに適する。水浸は細胞の深部の観察などに適する。標本に滴下するオイルは適量であることが重要であり、付けすぎるとレンズにオイルが残る原因となってしまう、レンズの劣化につながる。使用後には乾いたクリーニングペーパーもしくは専用の洗浄液を付けてオイルを吸い取り、その後きれいに拭き取る。

### 3.6 蛍光観察

蛍光色素や蛍光タンパク質を観察する方法である。水銀ランプを光源として使用する。水銀ランプか

ら出る光は紫外から赤外までの幅広い波長を含んでおり、市販の蛍光色素や汎用性の高い蛍光タンパク質の励起波長に対応できる。点灯直後の光源は非常に不安定であるため、安定するまで時間をおく。観察したい蛍光波長に合わせて適切な蛍光フィルターを選択する。使用時には頻繁なスイッチの入り切りは控える。

### 3.7 接眼レンズのクリーニング

接眼レンズの表面に乗っている埃や指紋を清掃する。レンズクリーニングペーパーと洗浄液を使って落とす。レンズの清掃では力を入れずにソフトにすることを心掛ける。

### 3.8 記録簿作成

記録簿には使用した日付、時間、氏名、所属、使用したレーザーの種類、エラーログなどのコメントを記入する。使用方法、エラー履歴、使用者の所感は共通機器の状態を知るうえでとても重要な情報となる。

## 4. まとめ

本講習会では基本的な知識と技術の習得そしてマナーや考え方のアドバイスを目的としている。参加者の中には、ほとんど顕微鏡を触った経験がない者もあり、ここでの実習により一定程度の技能を有することが共通機器をみんなで上手に利用していくための大事な時間になっていると考えている。



図1 講習会で実際に使用する光学顕微鏡

# パラフィン包埋組織標本作製についての技術研修

工藤 信次<sup>1</sup>、熊谷 次郎<sup>1</sup>、板東 未季<sup>1</sup>、大津 由紀<sup>1</sup>

木庭 義和<sup>1</sup>、園田 佳世子<sup>1</sup>、光永 佳奈枝<sup>2</sup>、百武 慶一郎<sup>3</sup>、田中 栄緒<sup>4</sup>

<sup>1</sup>基礎医学 WT、<sup>2</sup>発生医学 WT、<sup>3</sup>理学系教育技術 WT、<sup>4</sup>生命科学系技術室

**要旨** 組織を光学顕微鏡で観察するために必要な組織標本作製技術は、研究・教育支援および病理診断における診療支援にて汎用されている技術である。今回企画した研修にて、基本的なパラフィン包埋組織標本作製法を理解し、パラフィン包埋技術およびパラフィンブロック薄切技術を習得することで、技術支援の拡大と技術力の向上を図る。

**キーワード**：ホルマリン固定パラフィン包埋、薄切、滑走式・回転式マイクロトーム

## 1. ホルマリン固定パラフィン包埋組織標本作製の工程

パラフィン包埋組織標本作製するためには、図1に示す②固定～⑧封入の工程がある<sup>[1][2]</sup>。現在、医学部総合研究施設では、③脱水・脱脂・浸透工程での密閉式自動固定包埋装置(図2)、④包埋工程でのパラフィン包埋ブロック作製装置(包埋センター、図3)、⑤薄切工程でのパラフィンブロック薄切装置(マイクロトーム、図4,5)、⑥伸展・乾燥工程でのパラフィン伸展器を用いて、技術部職員が全学的な組織標本作製支援を実施している。

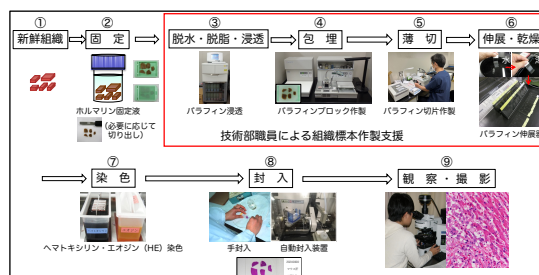


図1 パラフィン包埋組織標本作製の流れ

## 2. 技術研修の概要

日時：令和6年12月17日(火)、令和7年1月21日(火)、2月4日(火)の各9:30~15:30

場所：医学部総合研究施設

講師：工藤 信次

参加者：百武 慶一郎、板東 未季、田中 栄緒、大津 由紀、園田 佳世子、光永 佳奈枝、熊谷 次郎、木庭 義和

内容：パラフィン包埋組織標本作製法について(座学)

包埋センターを使用したパラフィン包埋(技術研修)

装置：TISSUE-TEC プラス ディスペンシング・コンソール(図3, サクラ精機)

マイクロトームを使用したパラフィンブロック薄切(技術研修)

装置：滑走式(図4, LEICA, SM2010)、回転式(図5, LEICA, RM2125R)



図2 密閉式  
自動固定包埋装置

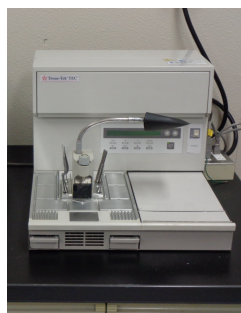


図3 包埋センター

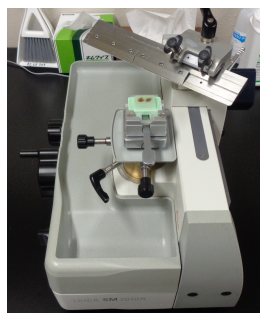


図4 滑走式マイクロトーム

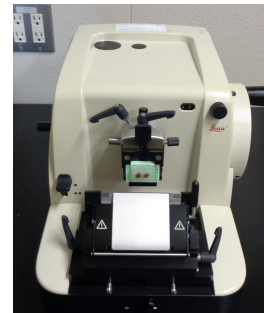


図5 回転式マイクロトーム

### 3. 技術研修の方法

材料：ホルマリン固定後のマウスの心臓、肝臓、脾臓、腎臓を使用した。

方法：本研修で使用したプロトコルの要点を以下に示す。

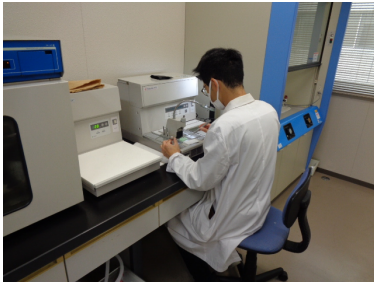


図6 パラフィン包埋研修

#### パラフィン包埋の操作手順 (図6)

1. パラフィン浸透が完了したカセットを検体加温槽に入れる。
2. 64°C設定のホットプレートに包埋皿をセットする。
3. ディスペンサーからパラフィンを注出する。
4. ホットプレート上で組織の包埋面と位置を決める。
5. 4°Cのコールドスポットに移動して包埋する。
6. カセットを上から載せパラフィンを注出する。
7. クライオコンソールで冷却する。
8. パラフィンブロックを包埋皿から外し周囲を整形する。



図7 滑走式マイクロトーム  
による薄切研修

#### 滑走式マイクロトームの操作手順 (図7)

1. パラフィンブロックをカセットクランプに固定する。
2. 粗送りホイールを使用して荒削りの刃で組織の全面をだす。
3. 荒削りの刃を使用して整地する。
4. 本削りの刃に交換して面出しをする。
5. 切片厚設定ノブで4 $\mu$ mに設定して薄切する。
6. 薄切切片を水槽に浮かべてしわや気泡を除去する。
7. 50°C前後の温浴槽で切片を伸展する
8. 42°Cのパラフィン伸展器で乾燥する。



図8 回転式マイクロトーム  
による薄切研修

#### 回転式マイクロトームの操作手順 (図8)

1. パラフィンブロックをカセットクランプに固定する。
2. ナイフホルダーベースを移動させて刃を試料に近づける。
3. 粗送りホイールを使い荒削りの刃で組織の全面をだす。
4. 機械式トリミング作動レバーを使用(・10 $\mu$ m, ・・50 $\mu$ m)。
5. ナイフホルダーを横に移動させ本削りの刃で面出しする。
6. 加湿器を作動させる。
7. 切片厚設定ノブで4 $\mu$ mに設定して薄切する。
8. 薄切切片を水槽に浮かべてしわや気泡を除去する。
9. 50°C前後の温浴槽で切片を伸展する。
10. 42°Cのパラフィン伸展器で乾燥する。

### 4. まとめ・謝辞

本研修を実施したことで、参加者全員がホルマリン固定パラフィン包埋組織標本作製法を理解し、パラフィン包埋技術およびパラフィンブロック薄切技術を習得できたと考える。現在、医学部総合研究施設では、組織標本作製支援、技術指導、技術相談ができる環境が整っている。本研修にて経験者同士の技術交流も活発に行うことができ、今後の支援拡大および技術力の向上に繋がることを期待する。

本研修で使用した消耗品は、技術部の支援を受けて購入した。

#### 参考文献

- [1] 病理組織標本作製技術 上巻 日本病理学会編
- [2] 病理組織標本の作り方第6版 医学書院

# 単結晶ダイヤモンドの断面 TEM サンプル作製および観察

豊田 洋輝  
装置開発 WT

要旨 ダイヤモンドはその優れた物性から半導体材料への応用が検討されており、その表面には極めて平坦かつ平滑な面が求められる。表面評価手法のひとつとして断面 TEM が用いられるが、本稿ではダイヤモンドの断面 TEM サンプル作製において検討した内容を報告する。

キーワード：単結晶ダイヤモンド、透過型電子顕微鏡(TEM)、集束イオンビーム加工(FIB)

## 1. はじめに

ダイヤモンドは、高い硬度や熱伝導率、非常に小さい熱膨張率などの優れた物性から半導体デバイス用材料として期待されている。実際にデバイス材料として利用するには、原子レベルで平坦かつ平滑に加工する必要があることから、様々な研磨の手法が検討されている。研磨された表面評価方法の一つに透過型電子顕微鏡(TEM)がある。本報告では単結晶ダイヤモンドの断面 TEM サンプル作製のための集束イオンビーム加工(FIB)を行った際の検討事項を報告し、TEM 観察結果の一例を紹介する。

## 2. FIB 加工

本稿では研磨面が(100)面および研磨面が(111)の研磨された2種類の角ダイヤモンドを用いた。研磨の条件等については省略する。FIB 加工は株式会社日立ハイテック社製 NB5000 を用い、それぞれ観察面が(110)になるように切り出した。FIB 加工では走査型電子顕微鏡(SEM)および走査イオン顕微鏡(SIM)を用いて加工位置を決定するが、サンプルが絶縁体の場合表面近傍にチャージアップ(帯電)し、観察像がドリフトするため狙った場所を加工することができない。一般的なチャージアップ対策の一つとして、導電性の膜を蒸着・スパッタする方法がある。これは導電性を持つターゲット粒子をサンプル表面に付着させるコーティング手法であり、対象物に導電性を持たせることができる。今回はターゲット材として C および Au を用いた。使用したサンプルとコーティング条件を表 1 に示す。蒸着装置として日立ハイテック社製の E-1010 を使用した。C コートのみのサンプル(i)については、導電性が足りておらず FIB 中に像がドリフトし加工できなかった(図 1)。Au コートのみ、および C コート上にさらに Au コートしたサンプル(ii)~(iv)については、導電性が十分にあり観察像はドリフトせず加工することができた。

表 1 サンプル一覧

サンプル	研磨面	コーティング
i	(100)	C
ii	(100)	Au
iii	(100)	C+Au
iv	(111)	C+Au

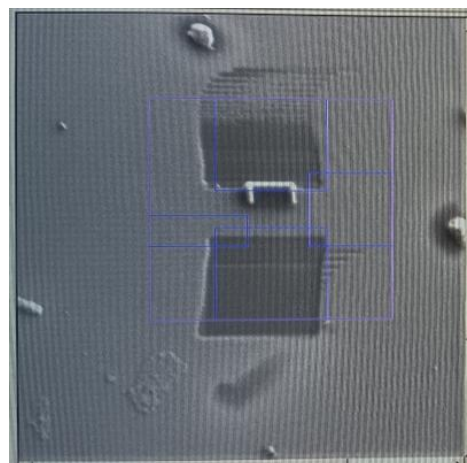


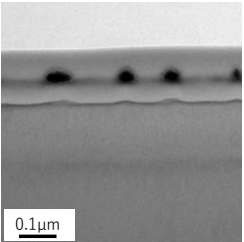
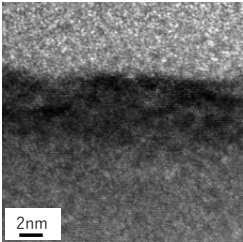
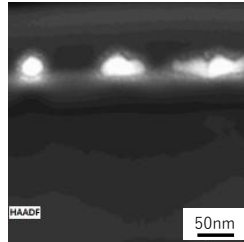
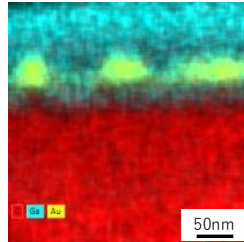
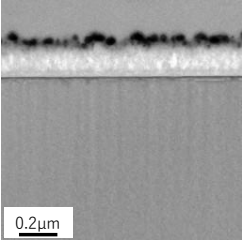
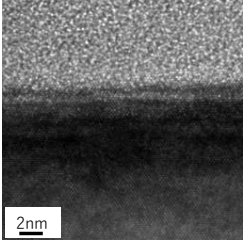
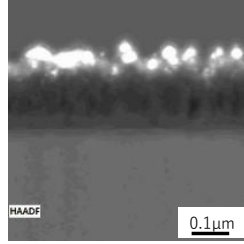
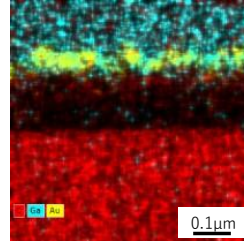
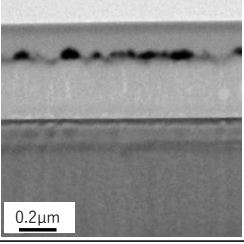
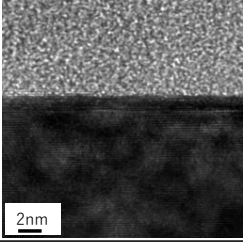
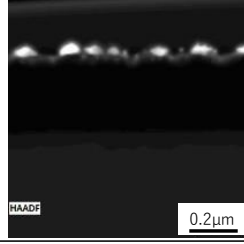
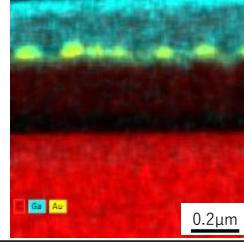
図 1 像がドリフトした SIM 画像

### 3. TEM 観察

TEM 観察の結果を以下に示す(表 2)。TEM は Thermo Fisher Scientific 社製 TECNAI F20 を使用し、加速電圧 200kV で観察した。また、FIB の Ga イオンビームによるダイヤモンド最表面へのダメージの有無を確認するために EDS で元素分析も行った。EDS のカラーマップにおいては赤色が C、黄色が Au、水色が Ga を表す。

Au コートのみサンプル(ii)については、TEM 像では Au 直下の領域に結晶がみられず EDS の結果では Au 粒子の下側(C の上側)まで Ga イオンが存在していることから、Au 粒子の間から FIB の Ga イオンビームが侵入し最表面のダイヤモンドがアモルファス化したと考えられる。つまり観察したいサンプル最表面が無くなってしまっているため正しく評価ができなかった。次に、C+Au コートを施したサンプル(iii)および(iv)については、前述のような Ga イオンビームによるダメージはなく最表面が正しく観察できた。これらのサンプルの高倍率 TEM 像をみると、面方位の違いによる結晶状態の違いは見られずどちらも研磨によるダメージのほとんどない表面に仕上がっていた。

表 2 TEM 観察結果

	TEM像①	TEM像②	HAADF像	EDS結果
ii				
iii				
iv				

### 4. おわりに

今回は、2 種類の結晶方位のダイヤモンドサンプルに対して FIB 加工および TEM 観察を行った。FIB 加工では観察面が(110)面になるように切断し、絶縁体であるダイヤモンドに対するチャージアップ対策として、C+Au のコーティングを施すことでサンプル最表面がイオンビームによるダメージを受けることなく TEM 観察を行うことができた。

# 衝突誤差 0 を目指したガス式対向衝突試験装置の開発

渡邊 直人  
装置開発 WT

要旨 剛体壁に高速で円柱形状の飛翔体を衝突させ、その変形量から高ひずみ速度における材料モデルを推定する手法としてテイラーインパクト試験がある。これまでの試験方法では衝突面における飛翔体変形時の摩擦の影響が結果に含まれるため、衝突面において摩擦を発生させずに高速変形させる方法を検討するべく、同一飛翔体を同一速度で対向衝突できるガス式対向衝突試験装置を開発した。本装置の開発過程について報告する。

キーワード：材料試験、高ひずみ速度、装置開発

## 1. はじめに

高ひずみ速度における材料モデルを推定する手法の「テイラーインパクト試験」は剛体壁に高速で円柱形状の飛翔体を衝突させて形状変化を測定する手法であるが、飛翔体は剛体壁との間に摩擦を発生させながら変形するため、実験結果は摩擦の影響を考慮しなければならない。

摩擦の影響を無くすためには、『摩擦を発生させない試験方法』が必要となり、その方法として同一飛翔体を同一速度で対向衝突させる対向衝突試験装置を開発した。対向衝突試験装置自体は既に存在している試験装置ではあるが、本開発の特色はその低コスト性と同期手法にある。簡易的な構成でどのように衝突誤差を 0 に近付けたか、その改良の過程を報告する。

## 2. 開発開始当初の装置構成と問題点

図 1 は開発を開始した令和 5 年当時の装置構成である。動力源となるアルミ空気タンク（第一プレス工業）は 37L のものを使用し、SMC 社のパルスバルブ（JSXFAE-14R）を組み合わせる。流路は 50A の鋼管を基本構成とし、加速管（SUS304 外径 $\phi 60$  内径 $\phi 50$  のホーニング管）は片方固定、片方可動としていた。加速管の可動によるずれの吸収には南国フレキ工業のフレキシブルホース NK-3300 を使用した。

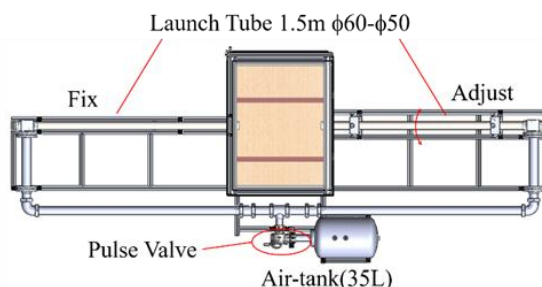


図 1 開発初期の装置構成

実験を進めていく中で、飛翔体速度の不足、加速管の個体差による軸ずれ、衝突姿勢が 3 次元的に解析できないという 3 つの問題点が生じた。

飛翔体速度の不足については、従来の単衝突の試験装置に比べて装置が大型化、流路が伸びたことによる圧力低下が起因している。管路長の短い 37L タンク単衝突の構成では飛翔体加速後も 93% 程度の圧力が残っているのに対して、37L タンク対向衝突では 73% まで低下する。

加速管の内径軸、外径軸については概略図を図 2 に示す。ホーニング管は精度の高い鋼管ではあるが、管長が長くなることによって内径外径の平行度には限界がある。そのため、複数本を使用した場合、それぞれの個体差が飛翔体の飛翔姿勢に現れた。

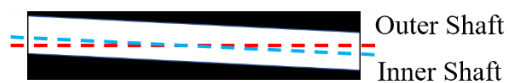


図 2 内径軸、外径軸の概略図

衝突姿勢の解析ができない要因は、高速度カメラによる撮影が横方向からのみ行われることにある。撮影画像の例を図3に示す。Y軸方向・ピッチ方向のずれは撮影画像によって解析できるが、X軸方向・ヨー方向のずれについては回収した飛翔体の衝突痕からの推測に頼っていた。

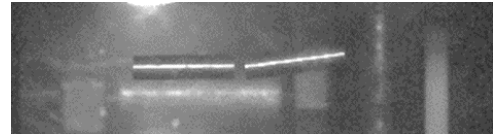


図3 高速度撮影画像の例  
(金属飛翔体対向衝突)

### 3. 装置の改良

装置の改良範囲は広く、様々な視点から能力・精度を向上させる取り組みを行った。

#### 3.1 加速管固定方法の変更と加速管調整機構の改善

当初の構成では一方の加速管を固定としていたが、加速管の個体差を吸収することが困難であったため、左右2管とも調整式に変更した。当初は図4に示すように、調整機構は上下左右からアジャスタを締め付ける方式としていたが、これは加速管を下方のアジャスタ1つのみで支え前後2点支持となる構造であり、加速管の歪みの原因となっていた。そのため、調整機構を45度傾けて下方2つのアジャスタで保持するように変更することでVブロックの要領で保持し、加速管の歪みが発生しにくい構造とした。

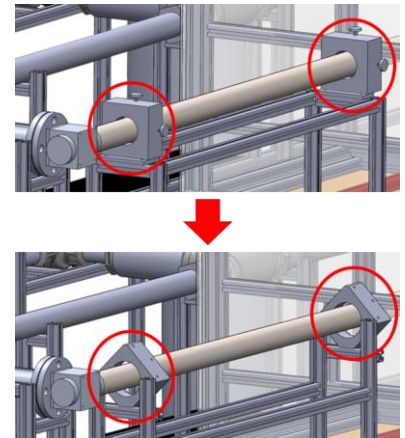


図4 調整機構の設置方法

#### 3.2 飛翔体速度の改善

飛翔体速度の向上にはタンク容量の増強が必要不可欠であったためアルミ製 70L タンク×2 の構成とし、それぞれにパルスバルブを設置、パイロットバルブからの動作エアを等長分岐することで同期制御を可能とした。変更した装置構成を図5に示す。

変更当初は 0.6MPa 以上で動作不良を起こしていたが、パルスバルブの排気量不足が原因であったため、大口径のプロセスバルブへの変更で 0.8MPa まで問題なく動作することを確認した。

#### 3.3 高速度カメラとレーザーの追加

高速度撮影に使用している Photron 社の PFV4 には複数台接続機能が備わっているため、装置上部に組んだ檯にもう一台の高速度カメラを設置、縦方向と横方向を同時に撮影することで3次元的に飛翔体姿勢を解析することを可能にした。同時に調整時の基準として固定式ラインレーザーも設置し、精密な調整を可能にした。

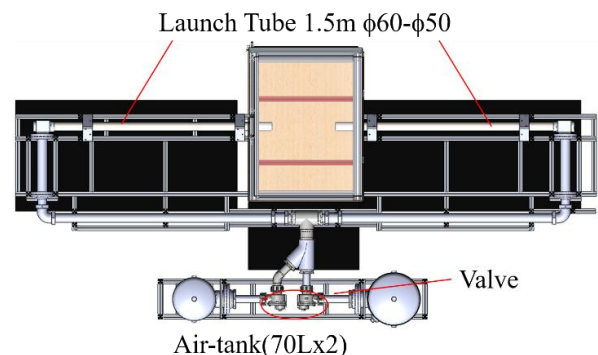


図5 改良後の装置構成

### 4. 最後に

本報告書で紹介した手法によって対向衝突試験装置の能力と精度は飛躍的に向上し、φ50 の樹脂製サボではほとんど誤差のない衝突を可能とした。しかしながらφ9 の SUS 製飛翔体ではサボ分離の影響もあり、誤差 0 の衝突は未だ実現していない。そのため、今後も改良を続けて衝突誤差 0 の対向衝突試験装置の完成を目指したい。

# 九州地区専門技術研修「地形測量のシームレス化に関する技術研修」

外村 隆臣<sup>1</sup>、吉永 徹<sup>2</sup>、上田 誠<sup>1</sup>、橋本 淳弘<sup>1</sup>、松木 翔二郎<sup>1</sup>

<sup>1</sup>環境構造 WT、<sup>2</sup>自然科学系第一技術室

要旨 ドローンを用いた近赤外レーザ測量と音響測深機を用いた深淺測量を合わせることで、陸域から水域までシームレスに地形測量できる技術研修を企画した。その取り組みを紹介する。

キーワード：シームレス測量、ドローン、レーザ測量、深淺測量

## 1. はじめに

近年、測量技術が急速に発達している。特にグリーンレーザを用いた航空レーザ測深（ALB: Airborne Laser Bathymetry）は、陸域から水域までシームレスに測量可能な最新技術である。しかし、初期投資等のコスト等を考慮すると一般での利用には適していない。そこで、ドローンを用いた従来の近赤外レーザ測量とコンパクトな音響測深機を用いた深淺測量を合わせることで、陸域から水域までシームレスに地形測量できる技術研修を企画した。

## 2. 研修の概要

本研修は、2024年10月17日～18日の日程で、熊本大学くまもと水循環・減災研究教育センターの合津マリンステーション周辺海域(図1)において実施した。宮崎大学から1名、熊本大学技術部から講師も含めて5名が参加した。有明海・八代海特有の干満の差を利用し、1日目の干潮時にドローン（DJI Matrice 300 RTK Zenmuse L1）を用いて干上がった潮間帯も含めた陸域のレーザ測量（図2）、2日目の満潮時に音響測深機（SonTek HydroSurveyor M9）を用いて水没した同じ潮間帯も含めた深淺測量（図3）を実施した。潮間帯の互いの測量結果を比較して整合性を確認した後、陸域から水域の地形をシームレス化した。

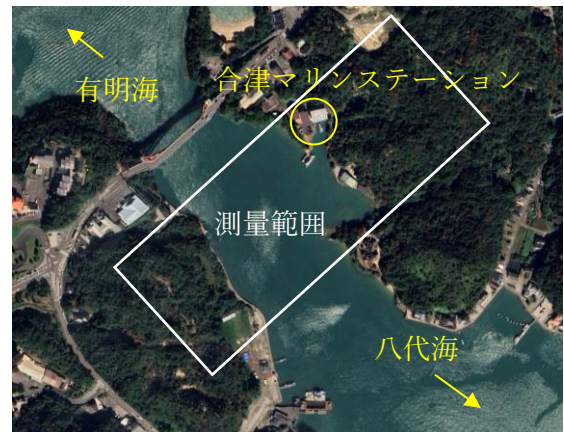


図1 測量対象地



図2 ドローンを用いたレーザ測量



図3 音響測深機を用いた深淺測量

### 3. 測量結果と地形のシームレス化

データ解析は測量終了後、図4に示すように合津マリンステーション館内において実施した。参加者は実際にPCを操作することで一連の流れを体験し、理解を深めることが出来る。今回の研修では、レーザ測量と深淺測量の点群データを合わせ、陸域から水域の地形をシームレス化するまでを解説した。最終的な成果物として図5のように建物や植生等を除去した地形図が完成する。



図4 測量終了後のシームレス処理の様子

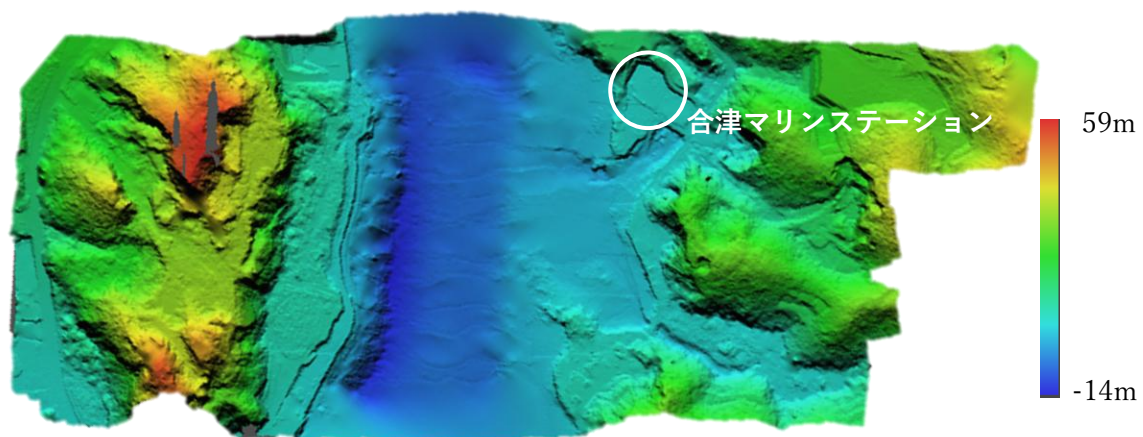


図5 建物と植生が除去された段彩図

### 4. おわりに

本研修では、ドローンを用いたレーザ測量、音響測深機を用いた深淺測量を実施し、地形測量のシームレス化に挑戦した。今回の研修にて最新の測量技術を体験して知見を広めていただくことが出来たのではないかと期待している。

### 謝辞

合津マリンステーションでの施設利用や測量においては、技術部自然科学系第三技術室の島崎英行技術専門職員にご協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

## 出前授業「測量技術を使って巨大な地上絵を描こう」

外村 隆臣<sup>1</sup>、吉永 徹<sup>2</sup>、友田 祐一<sup>1</sup>、上田 誠<sup>1</sup>、橋本 淳弘<sup>1</sup>、松木 翔二郎<sup>1</sup>

<sup>1</sup>環境構造 WT、<sup>2</sup>自然科学系第一技術室

要旨 出前授業で小学6年生の生徒と一緒に運動場に縦横50mほどの地上絵を測量を使って描いた。生徒の皆さんは初めて測量を体験し、完成した瞬間の達成感や生徒同士の仲間意識を感じたようで大好評であった。

キーワード：地域貢献、出前授業、測量、地上絵

### 1. はじめに

令和6年11月18日、八代市立鏡小学校において、「測量技術を使って巨大な地上絵を描こう」をテーマに出前授業を実施した。自然科学系第一技術室 環境構造 WT（土木）のメンバーと室長の6名で参加した。生徒と一緒に運動場に縦横50mほどの測量を使った地上絵を描いたので、この取り組みについて紹介する。

### 2. 平板測量を使った地上絵にチャレンジ

鏡小学校6年2組の生徒36名を1～6班に分けて、土木系技術職員6人でそれぞれの班を担当した。出前授業の時間は14～16時の2時間である。測量の原理が直感的にわかりやすい平板測量という方法を用いて地上絵を描いた。平板測量とは、現地で方向と距離を測りながら、直接平面図を作成していく測量である。今回は通常の平板測量と逆の手順で、紙面上の絵を運動場に描いた。説明では、難しそうなどのイメージを与えないように気を付けた。また、地上絵の原図は班ごとに別々の図を準備し、最後に1～6班まで絵を繋げるまでは何を描いているのかわからないようにして、最後まで興味を持ち続けられるようにした。図1に生徒たちの測量の様子、図2に完成した地上絵を示す。



図1 生徒たちによる測量の様子



図2 ドローンを使って完成した地上絵と記念撮影

### 3. 生徒の皆さんからのお礼

生徒の皆さんから、出前授業の感想をまとめた冊子を頂いた。内容を一部抜粋して紹介する。

- ・1～6班がそれぞれの絵を描いて最終的に絵が完成するということが、わくわくしたし、楽しかったです。
- ・私の予想は「鳥」です。楽しみにまっています。そしてやさしくおしえてくださったのでみんな笑顔ですることができました。
- ・班の人と、「きれいにできたね」、「たのしかったー」、「ドローンで上からとった写真はやく見たーい」と話しました。おかあさんにも「上手にできたね」、「写真みせてねー」と言われました。
- ・3階でともだちといっしょに見たときは、はくりょくがありすぎてびっくりしました！！特別な体験楽しかったし、はじめはきょう味がなくて「ふうーん」って感じだったけど、いがいと楽しくて、おしえがやさしいから、ちょっときょう味がでました。
- ・私は平板測量などの「測量」をはじめて知り、紙や地上絵から別のものに書き写せる、ということがとてもすごい事だと実感しました。特に楽しかったのが、紙を台に置き、線を引きたい方向に道具を向け、とおくのポールが道具の糸が見える部分に重なったら紙の場所と同じ場所になるという事です。

### 4. おわりに

お礼の冊子に目を通すと、完成した瞬間の達成感を感じた生徒が多く、当日も白線が繋がった時に歓声が上がりととても喜んでいる様子が印象的であった。土木分野の基本となる測量に関するテーマでもあり、我々土木系技術職員にとっても、やりがいのある充実した出前授業となった。

# nnU-Net を用いた CT 画像セグメンテーション

上田 誠、松木 翔二郎

環境構造 WT

**要旨** nnU-Net は深層学習に基づく画像セグメンテーション手法の一つである。本学の X 線 CT スキャナで得られた CT 画像に対して、nnUNet の 2D U-Net 構成を使って学習と推論を行い、セグメンテーションを実施した。各スライス画像では良好な結果に見えたが、3 次元で表示したところ、Z 方向に歪みが見られた。3D U-Net を使えば改善できる可能性はあるが、その分、データセット準備のコストや計算コストが増えると考えられる。

**キーワード**：CT 画像、セグメンテーション、深層学習、nnUNet

## 1. はじめに

画像のセグメンテーションとは、画像を意味のある複数の領域に分割する処理であり（図 1）、CT 画像においても同様である。CT 画像における従来のセグメンテーション手法は、閾値処理、エッジ検出、オープニング/クロージング処理、分水嶺アルゴリズムや領域成長アルゴリズムなどの組み合わせである。

一方で、近年は従来手法とは異なる深層学習をベースとしたセグメンテーション手法が盛んであり、nnUNet<sup>[1]</sup>もその 1 つである。本報告では、本学の X 線 CT スキャナで撮影した CT 画像に対して、nnUNet によるセグメンテーションに取り組んだ事例を報告する。



図 1 セグメンテーション

(<http://dags.stanford.edu/projects/scenedata.html> より抜粋)

## 2. nnUNet

深層学習による画像セグメンテーションにおいて、データセット（入力画像と、それに対応したアノテーションやラベル画像と呼ばれる教師データの集合）は多様である。画像の次元数（2D、3D）、モダリティ/チャンネル数（RGB/3、グレースケール/1、マルチスペクトル/数十～数百）、画像サイズなどはデータセット間で大きく異なり、通常、データセットに応じたネットワーク（深層学習の場合、層が深い多層のニューラルネットワーク=ディープニューラルネットワーク）を手動で設計・最適化する必要がある。この設計・最適化のプロセスは専門家にとっても簡単ではない。

nnUNet は 2021 年に開発された画像セグメンテーションフレームワークであり、オープンソースで公開<sup>[2]</sup>されている。上述の問題を解決するため、与えられたデータセットを分析し、データセットに応じた最適な U-Net<sup>[3]</sup>（2015 年に開発された医療画像セグメンテーション用のディープニューラルネットワーク）構成を自動で生成する。そのためネットワークの設計・最適化のプロセスを省略し、生成されたネットワークを訓練し、モデル（訓練により、ネットワークが重みを学習したもの）で推論（=セグメンテーション）を行うことができる。

### 3. セグメンテーションの実行

#### 3.1 実行環境

公式の導入手順<sup>[4]</sup>に沿って nnUNet のインストールを行った。導入したバージョンは 2.5.1 である。実行環境の主要な構成を表 1 に示す。

表 1 実行環境

OS	Ubuntu 24.04.2 LTS
CPU	AMD Ryzen 9 5900X
GPU	NVIDIA GeForce RTX 3070
RAM	128GB

#### 3.2 対象データ

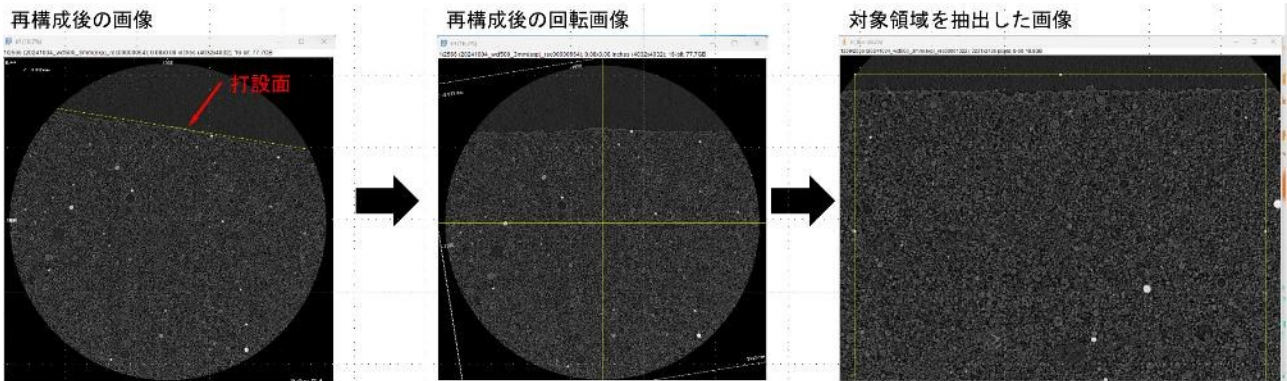


図 2 対象データ

セグメンテーションの対象はコンクリート供試体の CT 画像であり、再構成後の画像を回転し、対象領域を抽出した 3012 x 2298 ピクセルの 8 ビットグレースケール tiff 画像 2565 枚である (図 2)。セグメンテーションにより、画像中の約 10 $\mu$  以上の空隙の抽出を目標とした。

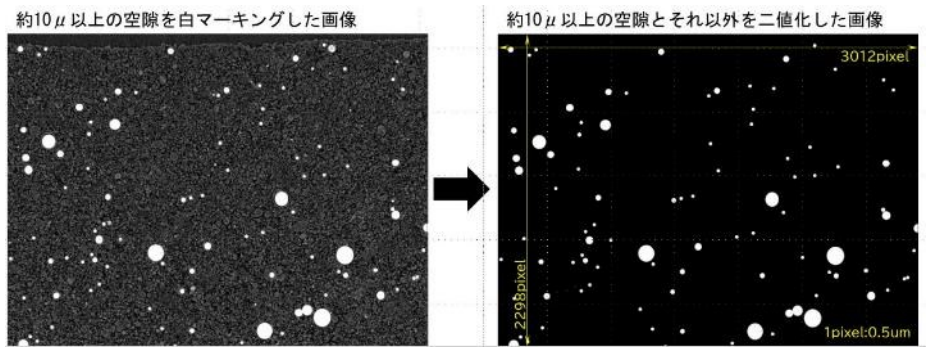


図 3 教師データ

#### 3.3 データセット

対象データのうち 1 枚を選び、視覚的に丸の形状に近いものかつ 10 $\mu$  以上のものを手作業で白色にマーキングした後に二値化したものをアノテーション (教師データ) として作成した (図 3)。さらに教師データの上下反転、左右反転、上下及び左右反転、90 度及び -90 度回転したものを作成し、教師データ数の水増し (Data Augmentation) を行った (図 4)。この教師データと対応する元画像をデータセットとして nnUNet で定められたディレクトリ構造、ファイル名で

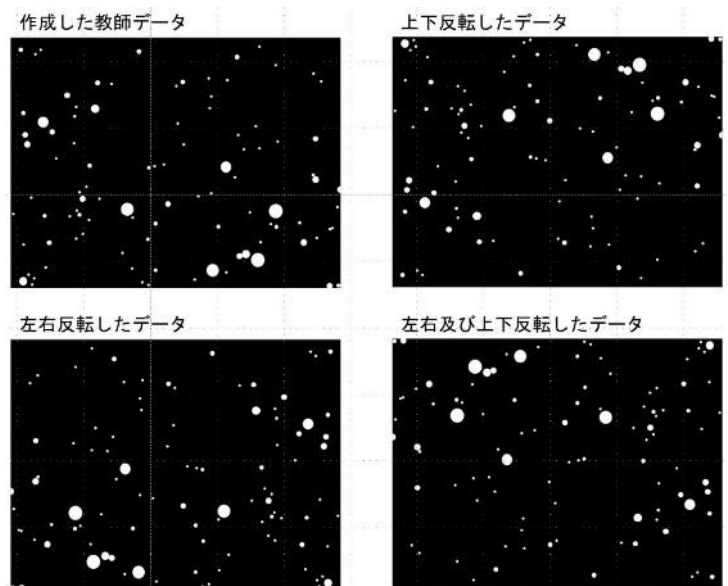


図 4 Data Augmentation

配置した。この他にも、教師データを複数枚に分割(patch)する等、複数のデータセットを作成し検証したが、省略する。

### 3.3 前処理

nnUNet は前処理として、与えられたデータセットを分析し、データセットの特徴量 (dataset fingerprint) を抽出する。この特徴量や GPU メモリ量などの情報、コマンドラインで与えられた指示などに基づいて、データセットに応じた U-Net 構成を自動生成する。以下に実行した前処理コマンドを示す。

```
% nnUNetv2_plan_and_preprocess -d 200 -c 2d --verify_dataset_integrity
```

引数のうち、「-d 200」がデータセットの指定 (番号は自分で任意に設定したもの)、「-c 2d」は 2D U-Net 構成を用いるという指定である (他には 3d\_fullres、3d\_lowres、3d-cascade\_fullres など)。2d を指定した理由は後述する。

### 3.4 訓練

生成されたネットワークを用いて訓練を行った。コマンドは下記のとおりである。

```
% nnUNetv2_train -tr nnUNetTrainer_50epochs -device cuda 200 2d 0
```

「-tr nnUNetTrainer\_50epochs」で訓練のエポック数を指定しており、この場合は 50 エポックとなる。100 エポック訓練するなら「nnUNetTrainer\_100epochs」となる。「-device cuda」は計算に GPU を用いる指示である。それに続く引数「200」はデータセット指定、「2d」は 2D U-Net 構成の指定、最後の「0」は fold 0 のみ学習という指定である。nnUNet はデフォルトで 5-fold cross validation を行う。

fold 0 から fold 4 までの 5 分割で交差検証を行い精度の向上を試みることができるのだが、ここでは時間短縮のため fold 0 と指定した。全 fold 学習する場合は「all」を指定する。

訓練での学習過程を図 5 に示す。50 エポックの学習終了時には、訓練及び検証の損失関数の値 (loss\_tr、loss\_val) が収束しており、50 エポックでも学習が進んだ様子が見てとれる。なお、time コマ

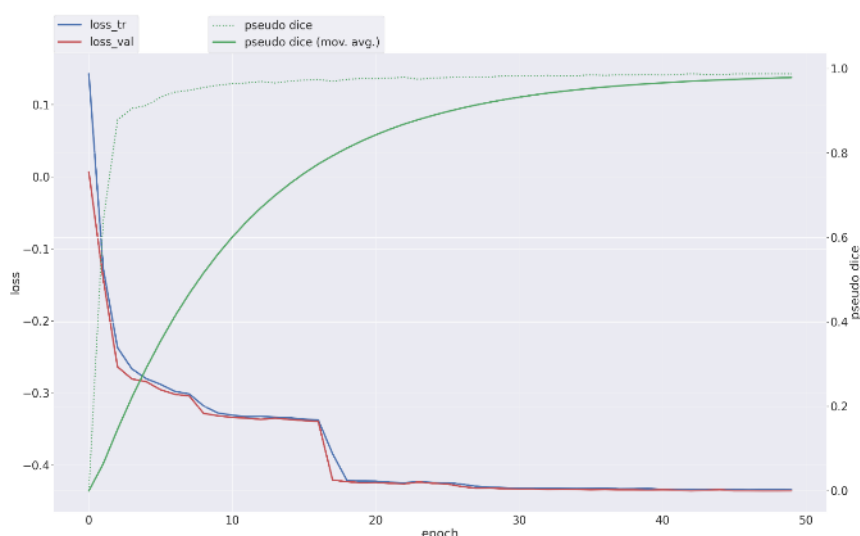


図 5 学習過程

ンドで訓練の実行時間を計測した。結果は「9878.53s user 4888.99s system 364% cpu 1:07:34.69 total」となった。

### 3.5 推論

出来上がったモデルを用いて、推論 (=セグメンテーション) を行った。コマンドは下記のとおりである。

```
nnUNetv2_predict -i all_patches -o pred_invisible -d 200 -c 2d -tr nnUNetTrainer_50epochs -device cuda -f 0
```

「-i all\_patches」が対象データの指定である（今回は、対象となる CT 画像を all\_patches というディレクトリに配置していたため）。「-o pred\_invisible」が推論結果の出力ディレクトリの指定となる。その後の引数は前述の通り。最後の「-f 0」は fold 0 を指定している。

解析の結果を図 6、図 7 に示す。まず図 6 は、教師データと同じ画像の推論結果との比較である。ほぼ一致している。これはある意味当然の結果のようにも思えるが、データセットの作り方によっては、完全に一致するところまで学習が進まない場合もあった。

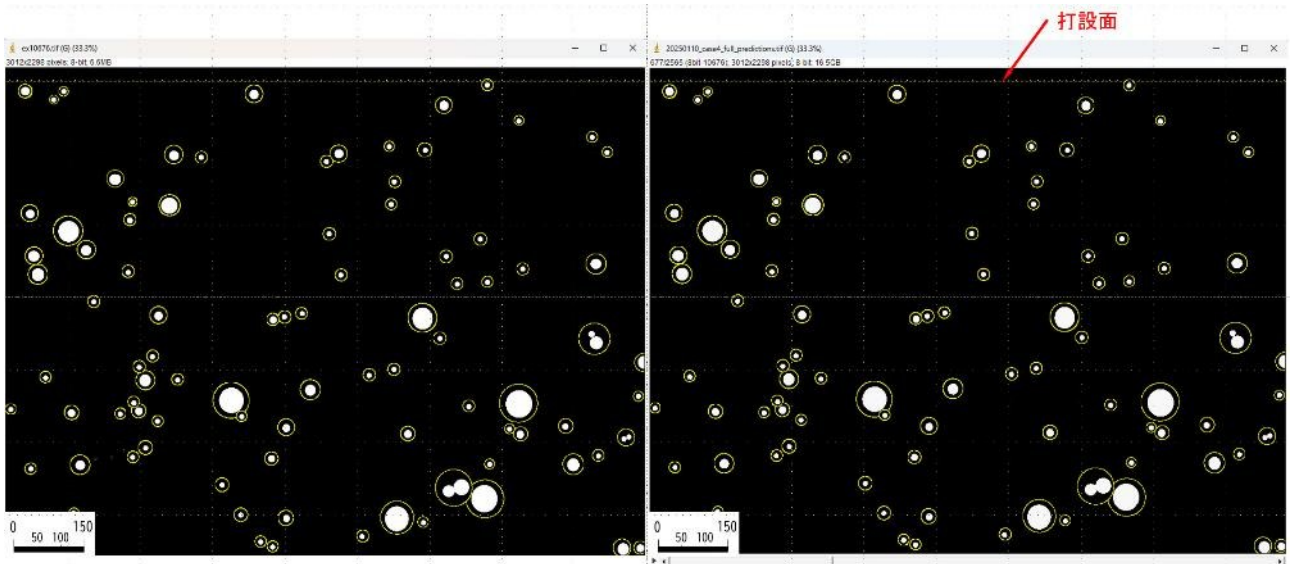


図 教師データ

図 教師データと同じ画像の解析結果

図 6 教師データと同一画像の推論結果

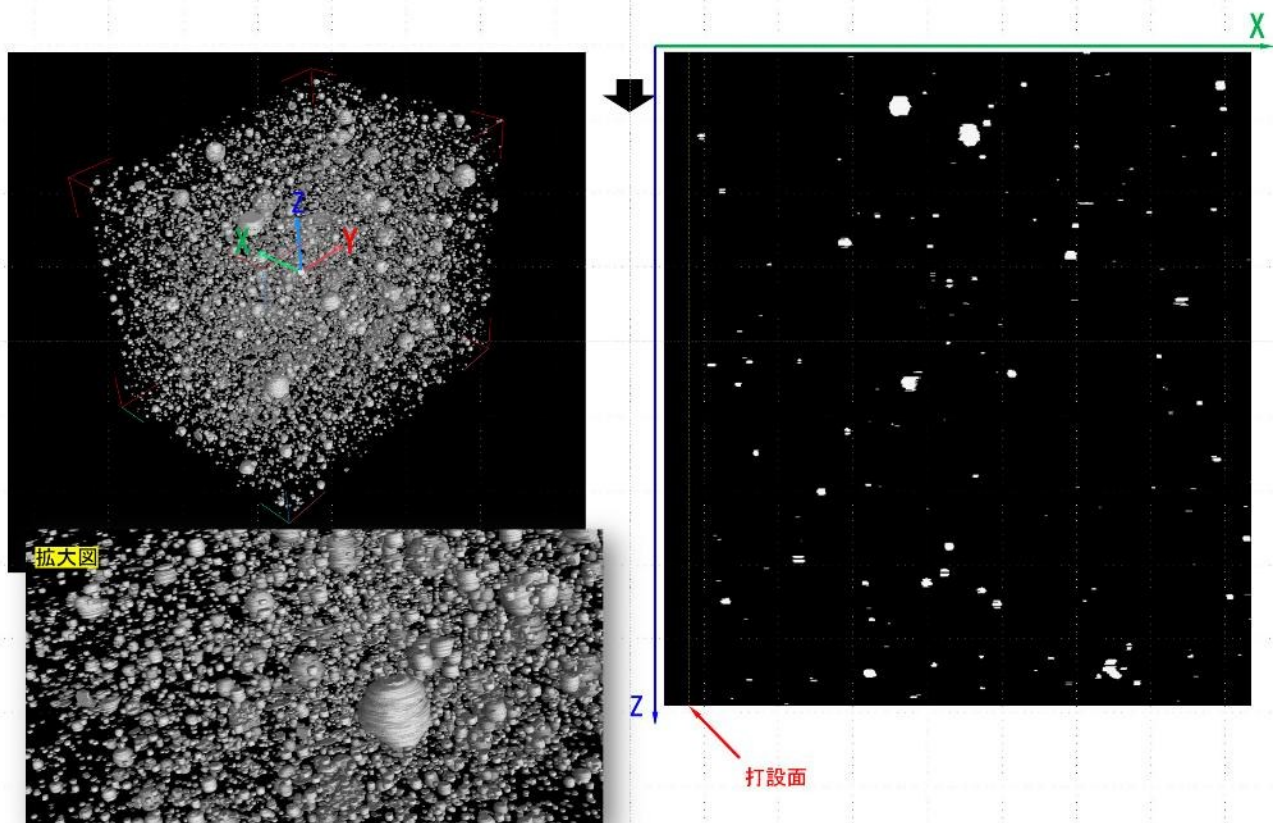


図 7 セグメンテーション結果の 3次元表示と XZ 断面

図7は推論されたデータを3次元表示したもの及びとある部分のXZ断面を示したものである。球状の空隙が抽出できてはいるが、拡大およびXZ断面を見ると、滑らかな球状ではなく、筋状のラインが入ったようになっている。これは、nnUNetのネットワーク構成で「-c2d」を指定したためと思われる。今回の3次元CT画像はスライス(XY断面)画像をZ方向にスタックしたものだが、2dだと各スライス画像での学習となり、Z方向のつながりを考慮していない。前述した「-c2d」を「-c3d\_fullres」などとして3D U-Net構成を指定すればZ方向のつながりも学習するため、結果が改善される可能性はある。これは事前に想定していたが、それでも2dを指定したのは以下の理由による。

- ・3D U-Net構成のためにはデータセットも3次元で作成する必要があり、教師データ作成のコストが跳ね上がる。
- ・そもそも公式<sup>[2]</sup>によれば、nnU-Netは、前処理と後処理で画像全体を一度に処理することを想定しているため、巨大な画像を扱うことはできない(3Dでは1500x1500x1500ピクセルまで画像をテストした)とあった。今回の対象データのサイズが3012x2298x2565であることを考慮した。

参考までに、timeコマンドで推論の実行時間を計測した。結果は「23611.23s user 6425.51s system 459% cpu 1:49:02.44 total」であった。

#### 4. おわりに

深層学習に基づくCT画像セグメンテーション手法の一つであるnnU-Netを用いて、実際のCT画像に対するセグメンテーションを実施し、その事例について報告した。得られた結果は完全なものとは言えないものの、今後のセグメンテーション手法の有力な選択肢となり得ると感じた。また、深層学習を基盤とする技術は多くの分野で急速な発展を遂げており、最新の動向を継続的に把握する必要性を強く感じた。

#### 参考文献

- [1] Isensee, F., Jaeger, P. F., Kohl, S. A., Petersen, J., & Maier-Hein, K. H. (2021). nnU-Net: a self-configuring method for deep learning-based biomedical image segmentation. *Nature methods*, 18(2), 203-211.
- [2] “MIC-DKFZ/nnUNet”. GitHub. <https://github.com/MIC-DKFZ/nnUNet/>
- [3] Ronneberger, O., P. Fischer, and T. Brox, (2015). U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. Cham, Springer International Publishing, 234-241.
- [4] “Installation instructions”. GitHub. [https://github.com/MIC-DKFZ/nnUNet/blob/master/documentation/installation\\_instructions.md](https://github.com/MIC-DKFZ/nnUNet/blob/master/documentation/installation_instructions.md)

# VGSTUDIO MAX トレーニング受講報告

橋本 淳弘、上田 誠、松木 翔二郎

環境構造 WT

**要旨** X線 CT スキャンデータは、近年、三次元可視化や各種解析への活用が進んでいる。こうした背景のもと、CT スキャンデータ処理ソフトウェア「VGSTUDIO MAX」の操作技術向上を目的としたトレーニングを受講し、基本操作から応用解析までを実習を通して学んだ。セグメンテーションや相関解析などの具体的手法を習得し、今後の業務への応用が期待される。

**キーワード**：VGSTUDIO MAX、X線 CT、三次元解析、非破壊検査

## 1. はじめに

X線 CT スキャナーで撮影したスキャンデータは、単に断層画像を観察にとどまらず、三次元的なビジュアル化や各種解析への応用が可能となっている。こうした活用技術の向上を目的として、VOLUME GRAPHICS 社より講師を招き、CT スキャンデータ処理ソフトウェア「VGSTUDIO MAX」のトレーニングを受講した。ここでは、トレーニングで得られた知見と活用手法について報告する。

## 2. VGSTUDIO MAX とは

VGSTUDIO MAX は、ドイツの VOLUME GRAPHICS 社が開発・提供する X線 CT スキャンデータの可視化および解析ソフトウェアである。非破壊検査の分野において広く用いられており、内部構造の三次元可視化や寸法計測、クラックなどの欠陥検出、材料中の空隙率解析、セグメンテーション（特定領域の抽出・分類）、メカニカルシミュレーション、FEM 解析用メッシュ生成など多岐にわたる機能を備え、航空、自動車、医療、材料開発など幅広い分野で活用されている。

## 3. トレーニング内容について

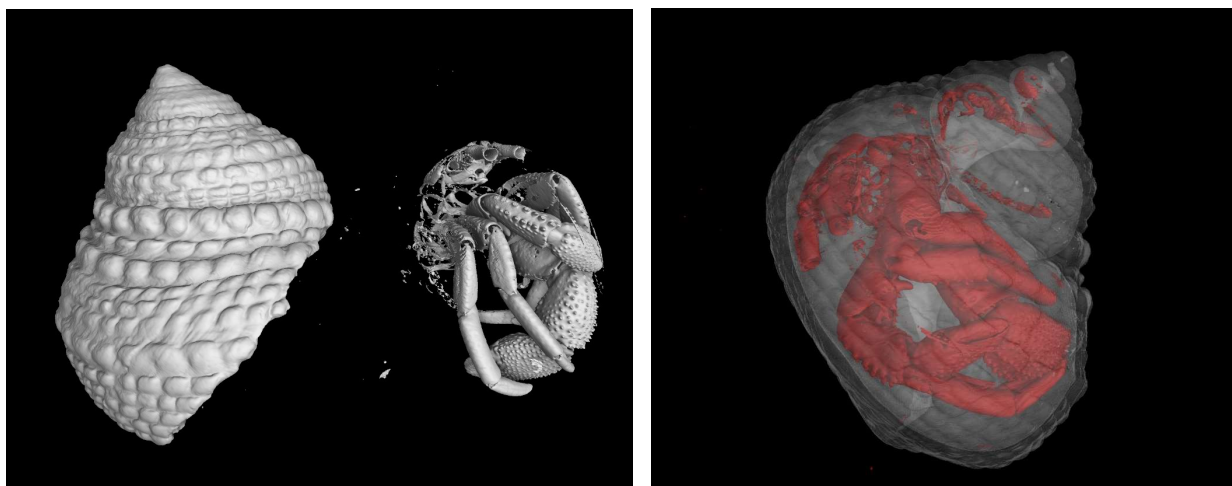
VGSTUDIO MAX のトレーニングは令和 7 年 2 月 26 日から令和 7 年 2 月 28 日の 3 日間にわたり、本学自然科学研究科実験棟 X 線 CT スキャン室にて実施された。プログラムの概要は以下のとおりである。

- (1) VGSTUDIO MAX の基本機能について
  - ・ CT の基本、位置合わせ、面の定義、セグメンテーションなど
- (2) シミュレーション機能について
  - ・ 移動現象シミュレーション、メカニカルシミュレーション、ボリュームメッシュ
- (3) 形状解析について
  - ・ 座標計測、肉厚解析
- (4) マテリアル解析について
  - ・ 欠陥/介在物解析、ボリューム相関解析
- (5) 実習と質疑応答

実習では、事前に準備していたスキャンデータを用いて、学んだ手法を実際に適用した。図1はX線CT撮影されたヤドカリのスキャンデータをグレースケールの閾値を用いて関心領域を設定し、貝殻と体部にセグメンテーション処理した様子を示す。図2はボリューム相関解析を用いて、土試料の三軸圧縮試験を行う前後のスキャンデータを比較し、土粒子の変位分布を可視化した結果を示す。

#### 4. まとめ

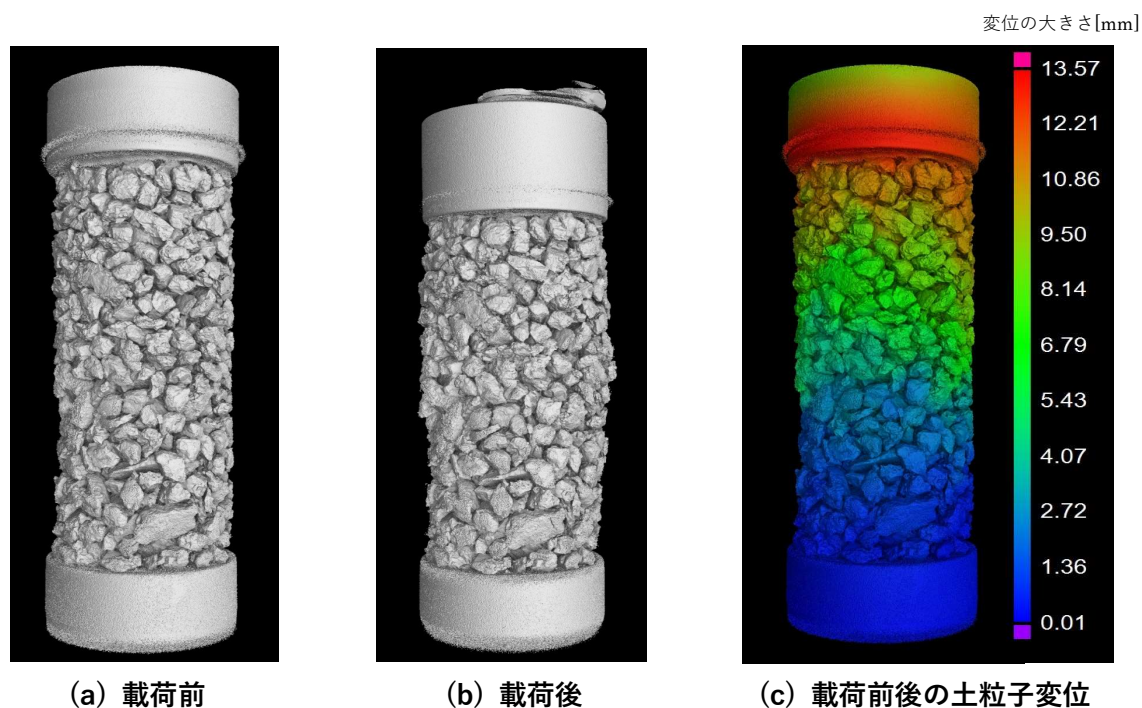
VGSTUDIO MAX は多機能である反面、操作や機能の理解には一定の習熟が必要であると感じた。今回のトレーニングを通して、基本操作から応用的な解析技術まで体系的に学ぶことができ、理解が大きく深まった。今後は、得られた知見と技術を業務に積極的に活用していく所存である。



(a) ヤドカリの貝殻と体部の分離

(b) 貝殻の中にヤドカリが収まっている様子

図1 ヤドカリのセグメンテーション



(a) 载荷前

(b) 载荷後

(c) 载荷前後の土粒子変位

図2 土試料の三軸圧縮試験を行う前後のCTスキャンデータとボリューム相関解析結果

# 子供向け科学イベント出展内容のご紹介

中野 恵実  
環境構造 WT

要旨 2024年12月に行われた熊本県球磨郡多良木町が主催する子供向けの科学イベントに出展しました。今回は楽しみながらAIについて学ぶことを目的として、「AIじゃんけん」と「AIレジ」の2つの体験型の展示を製作しました。本レポートではその詳細についてご紹介します。

キーワード：AI、機械学習、Teachable Machine

## 1. AIじゃんけん

AIじゃんけんは参加者がAI（パソコン画面上のキャラクター）とじゃんけんをするアプリケーションです（図1）。「じゃん！けん！」という掛け声の音声に合わせてウェブカメラの下に手を出すと画面左側に参加者の手が、画面右側にAIが選んだじゃんけんの手が表示されます（図2）。実はこのアプリケーションは基本的にAIが勝つ手を出すように作られているため、参加者は何度挑戦しても勝つことができない不思議な体験をすることになります。



図1 AIじゃんけん開始画面



図2 じゃんけん勝敗画面

AIは参加者の手を見極めて後出しすることでじゃんけんに勝つ仕組みになっています。そのためには人のじゃんけんの手を画像を学習させておく必要があり、参加者がカメラに対してどの角度から手を出しても識別できるように様々な方向から撮った写真を学習させました。また、見極める精度を上げるために手の識別の処理を高速で連続して行い、同じ結果が連続して閾値を超えた時にAIの手を決めています。この閾値については小さくし過ぎると見極めを誤ってしまい、逆に大きくし過ぎるとAIが手を出す速度が顕著に遅くなり“後出し感”が強くなってしまうため調整に苦労しました。

## 2. AIレジ

AIレジはウェブカメラに映した映像からお菓子を識別して商品の詳細や金額を表示し、合計金額の計算をするアプリケーションです（図3）。用意した23種類のお菓子の中から好きなものを100円分選んでもらい、選んだお菓子をレジで読み取ったら袋に入れて持ち帰ることができるというスーパーマーケットのセルフレジのような体験ができます。この展示ではAIがお菓子を識別する様子を見てもらうために、識別結果を棒グラフで表現して画面に表示しています。読み取って金額を表示した後も処理を止めずに繰り返し行うことで、お菓子を動かすと棒グラフが大きく伸び縮みし、AIがとても短い間隔で識別を繰り返しているのを視覚的に感じられるようにしました。

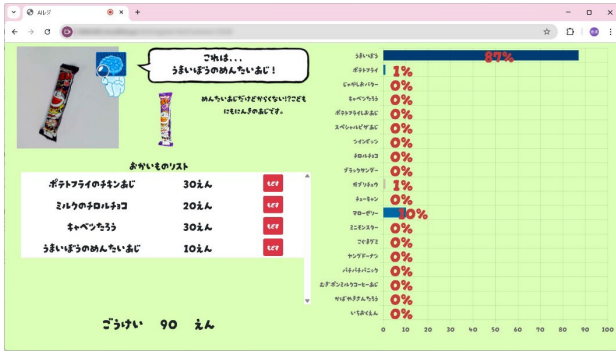


図3 お菓子を読み取る様子

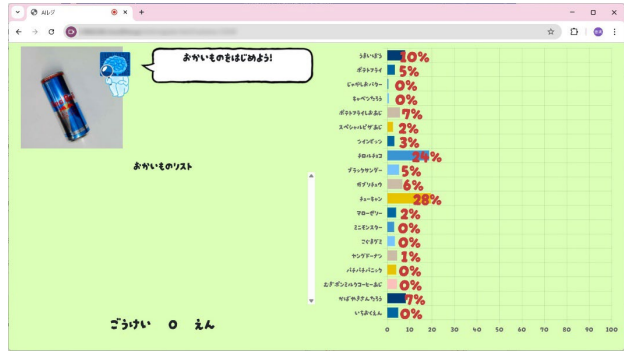


図4 学習していないものを映した時の様子

準備するお菓子の選別は大変でした。AIの賢さを体感できるようにできるだけ多くの種類の中から選んで欲しいという思いがあり、市販の50種類以上のお菓子の学習と読み取り評価を行って結果が良好なものに絞りました。技術面に興味をもって頂いた方に「ここに無いお菓子も読み取れますか？」と質問を頂くこともありましたが、学習させていないものを読み取ろうとすると識別結果が低い数値でバラついて識別を完了できる閾値に届かず先に進まない状態(図4)になるか、誤って別のお菓子と判断してしまいます。参加者の中には飲み物などの私物をレジにかざしてAIレジが先に進めず困っている姿を見て楽しんでいる方もいました。

### 3. システム構成と説明パネルなどについて

システムの構成は、イベント会場内のウェブカメラが繋がったパソコンと、熊本大学内に設置したウェブサーバーです(図5)。肝心のAIの部分の実装はTeachable Machineというサービスを利用しました。これはウェブブラウザ上の操作だけで機械学習モデルを作ることができるサービスで、2025年6月現在では、画像、音声、ポーズの学習に対応しています。今回は事前にじゃんけんの手やお菓子の写真をTeachable Machineに取り込み、画像を分類する機械学習モデルを作成しました。これをJavaScript形式でクラウド上に配置することで、イベント会場のパソコンから機械学習モデルの読み込みと推論(じゃんけんの手やお菓子の識別)ができるという仕組みです。

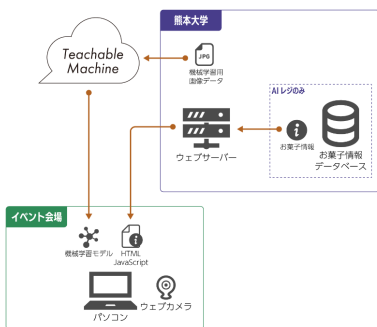


図5 システム構成図



図6 説明パネル

画面や説明パネル(図6)は親しみやすいデザインになるように心がけました。素材として、画像データはいらすとや(<https://www.irasutoya.com/>)のイラスト素材の他、フォントはGoogle Fontsの「だるまどろっぶ」を使っています。AIレジの動く棒グラフの描画には「Chart.js」というライブラリを利用しました。説明パネルはA2サイズのを2枚作成し、子供が読みやすいように漢字にルビをつける工夫をしましたが、少し内容が難しかったのか子供より大人の方に読んで頂いているようでした。

# メタルアーチファクトの低減効果に関する研究

松木 翔二郎

環境構造 WT

**要旨** 産業用 X 線 CT は、多方向から取得した透過像を基に再構成画像を生成することで、撮影対象物の内部構造を非破壊で検査できる技術である。しかしながら、比重差の大きい複合材料が撮影対象の場合、再構成画像にメタルアーチファクト（以下、MA）と呼ばれるノイズが発生し、画像品質の低下を引き起こす。そのため、一般的に金属製のフィルターを用いたノイズ低減が図られるが、詳細なルールや検証を行った事例はない。そこで、本研究ではフィルター材の種類、厚み、撮影対象物を構成する物質の比重差に着目した検証を行い、MA 低減効果の検証を実施した。

**キーワード**：X 線 CT、メタルアーチファクト（MA）、比重、フィルター

## 1. はじめに

産業用 X 線 CT は、図 1 に示すようにターゲットから X 線が照射され、撮影対象物を透過した X 線が検出器で画像に変換されてレントゲン写真（以下、透過像）が取得される仕組みである。この透過像を多方向から取得して、3 次元的な X 線像（以下、再構成画像）を生成すると、撮影対象物の内部構造を非破壊で検査できる。ただし、撮影対象物の形状や構成材料の比重差等によっては、画像にアーチファクトと呼ばれるノイズが発生する。中でも、メタルアーチファクト（以下、MA）と呼ばれるノイズは撮影対象物に起因して発生するため、各撮影者による対応が必要である。主な MA のノイズ低減手法には、金属製のフィルターをターゲットと撮影対象物の間に介在させ、撮影対象物に透過される X 線を限定する方法があるが、詳細なルールや検証を行った事例はない。そこで、本研究では、効果的に MA を低減させるため、フィルターの材質、厚み、撮影対象物を構成する物質の比重に着目した基礎的な検証を実施した。



図 1 X 線 CT 撮影状況

## 2. 検証条件

### 2.1 撮影対象

図 2 に撮影対象試料を示す。硬質ゴムにステンレス棒を挿入した試料を準備した。また、比重差による MA の低減効果も把握するため、ステンレス棒より比重が小さいアルミ棒も準備した。硬質ゴムには、赤枠内に 2 箇所の数  $10\mu\text{m}$ ～数  $100\mu\text{m}$  の人工クラックが入っており、本クラックの検出有無を検証した。

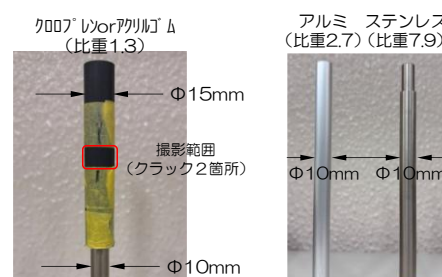


図 2 撮影対象試料

表 1 X 線 CT 機器仕様

	東芝製マイクロフォーカス X 線 CT
	Toshiba Toscaner-32300FPD
最大出力	230kV/608 $\mu$ A 140W
X 線源	230kV 反射型
最小スポットサイズ	4 $\mu$ m
検出器	Flat Panel Detector
画角サイズ	2048 $\times$ 2048 pixel(single) 1024 $\times$ 1024 pixel(corn)
最大ピクセル分解能	4 $\mu$ m
マニピュレータ	6軸 (X,Y,Z,R,微調 X,Y)
最大サンプル重量	25kg(微調テーブル 5kg)

### 2.2 使用機器

表 1、図 3 に X 線 CT 撮影装置の仕様、外観を示す。

### 2.3 検証条件

表 2 に検証条件を示す。Case-4 では炭素、アルミ、チタン、亜鉛、銅、モリブデン、タングステンの各フィルターに対して実施した（フィルター厚：0.1mm で統一）。Case-5 では銅フィルター

の厚みを 0.6mm、1.0mm に変化させて実施した。

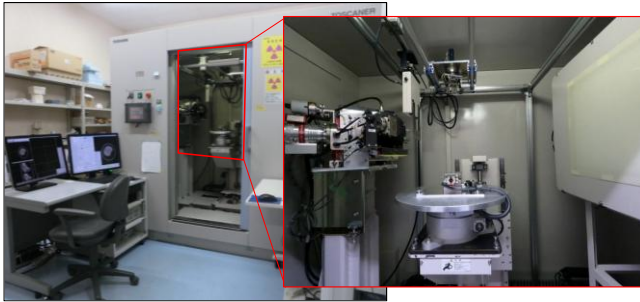


図3 X線CT機器 外観写真

表2 検証条件

Case	管電圧 (kV)	管電流 (μA)	フィルター	備考
Case-1	150	100	なし	ステンレス棒なし
Case-2	150 (230)	100 (69)	なし	ステンレス棒あり
Case-3	150	100	なし	アルミ 棒あり
Case-4	230	69	7種類 (C~W)	ステンレス棒あり
Case-5	230	69	2種類 (Cu0.6,1.0)	ステンレス棒あり

### 3. 検証結果

検証の結果、ステンレス棒をアルミ棒に変えて硬質ゴムとの比重差を小さくした場合、および原子番号が大きい材質のフィルターやその厚みを厚くした場合、MA が低減しクラックの検出精度が向上した。

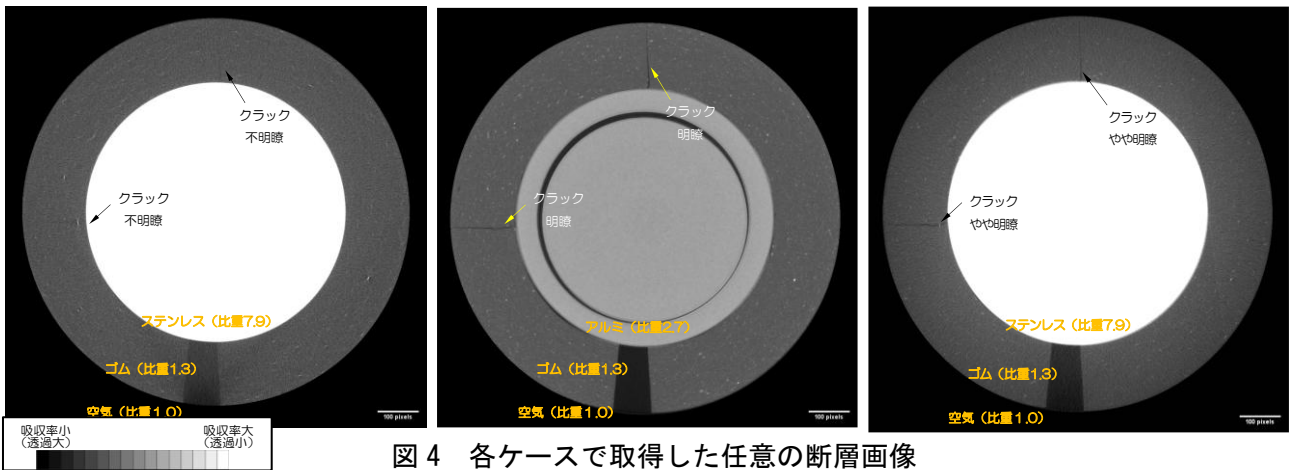


図4 各ケースで取得した任意の断層画像  
(左図：Case-2、中図：Case-3、右図：Case-4, 5 (銅 (Cu)、厚み 1.0mm のフィルター))

### 4. 今後の方針

今回の基礎的な検証の結果、フィルターの材質や厚みの変化、撮影対象物を構成する比重差の低減によって、MA が低減されることが確認された。これらを踏まえ、以下の3点の検証を継続して実施したいと考える。

- ① 撮影対象物を構成する比重差の変化による低減傾向の検証 (変化パターンの拡充)
- ② 幾何学的な要因による低減傾向の検証
- ③ 画像処理による低減手法の検討 (小関ら<sup>[1][2]</sup>)

**謝辞：**本研究を実施するにあたって、産業用 X 線 CT の装置概要や結果の解釈について、懇切丁寧にご指導・ご鞭撻授かりました吉永技術専門員、橋本技術主任、また、当研究を行うために熊本大学技術部奨励研究として採択頂いた技術部の関係者皆様には深く感謝の意を表すとともに厚く御礼申し上げます。

### 参考文献

- [1] 小関道彦ら：X 線 CT 画像におけるメタルアーチファクトの低減アルゴリズム,日本機械学会論文 文集(A 編),72 巻 724 号 pp78-84,2006
- [2] 木村仁ら：X 線 CT の精度向上のためのアーチファクト低減手法,精密工学会誌,Vol.82 No.6,2016

# マシニングセンターの基本操作の習得

倉田 大  
機械加工 WT

要旨 工作機器センターにおける業務継承と専門技術のスキルアップ向上を目的として実施した技術研修「マシニングセンターの基本操作を習得」について報告する。

キーワード：マシニングセンター、NCプログラム、NC加工

## 1. はじめに

工学部工作機器センターでは全学からの部品加工や試料作製などの研究支援と専門科目の授業である学生実習の教育支援に対応している。当センターに設置する工作機器にはマシニングセンターがあり、研究教育支援に活用している。本研修は、技術職員を対象としてマシニングセンターの操作を習得することで本学の研究教育の向上に貢献する。

## 2. 概要

NC工作機器を操作するには基本的な操作はもちろんNCプログラムを理解することが必須となる。本研修ではマシニングセンターの基本操作と運転に必要なNCプログラムの知識を習得し、加工演習までの過程を通して参加者のスキルアップの向上に取り組む。

## 3. 機器の紹介

本研修で使用するマシニングセンターは、FANUCの小型マシニングセンター【図1】である。1983年に導入されてから約46年が経過しており、制御基板やモニターなどメンテナンスを経てこれまで運用してきた。本機は、大きな工作物には不向きであるが、加工負荷の少ない材料の加工や実習教育への活用については利便性が高い工作機器である。機械仕様の主軸最高回転速度が4,000rev/minで各軸の制御の最大移動量はX軸500mm、Y軸380mm、Z軸380mmとなる。工具交換(ATC)の機能は、タレット式で工具本数は10本である。



図1 FANUC マシニングセンター

## 4. 日程と内容

### 【研修日時】

講義・令和6年9月10日(火) 9:30~12:00

演習・令和6年10月2日~令和7年3月14日

※演習はマシニングセンターによる課題「サイコロ」の製作とする。

※演習日程については午前の部、午後の部で個別に日程調整する。

### 【実施内容】

1. MCの概要、NCプログラム
2. NCプログラム作成とデータ転送
3. 加工課題とNC加工
4. まとめ

### 【参加者】

装置開発 WT：豊田洋輝、渡邊直人  
機械加工 WT：白川武敏、清水久雄、  
平田正昭、廣田将輝 計6名

### 【指導者】

機械加工 WT：倉田 大

## 5. 演習課題

演習課題は、標準サイコロ（ダイス）を製作課題とした。材料はアルミ合金または透明アクリルとし、正立方体の一辺の長さを20mmとしフェイスミルで六面すべてを仕上げる。角部をR2の形状エンドミルにて円弧および直線でR形状に仕上げ加工する。穴の形状は、目の大きさを考慮しボールエンドミル(R5・R4・R3・R2。5)を使い、出る目の確率が均一になるようにできる限り削る体積が均等になるように切込み深さを微調整した。課題図面と3Dモデルおよび完成したサイコロを【図2】に示す。

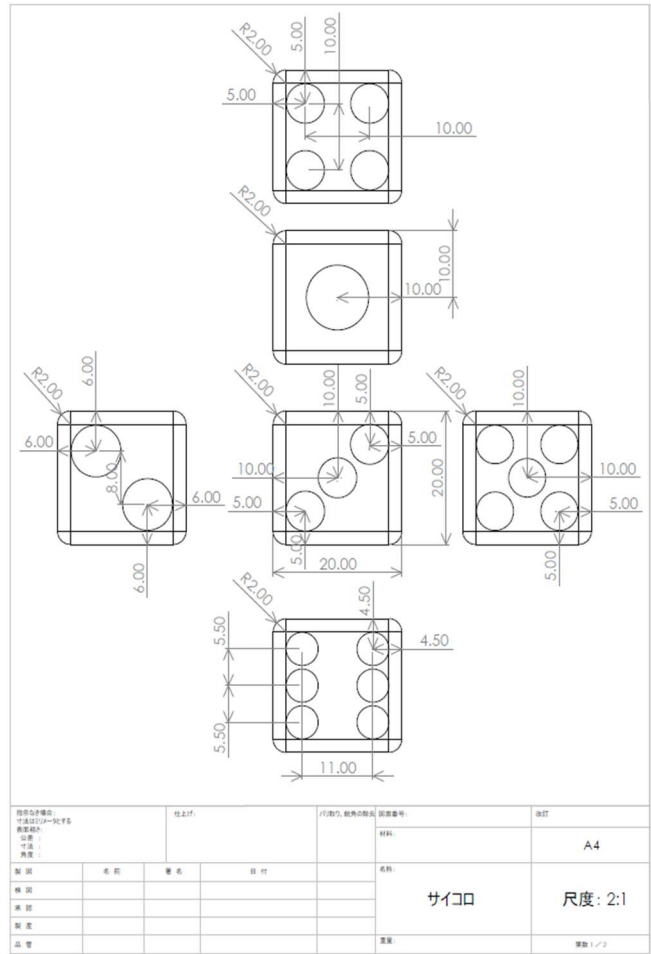


図2 課題図面、3Dモデル、完成品

## 6. おわりに

マシニングセンターは、NCプログラムによる自動運転が可能なNC工作機器である。機器の種類によっても指令内容は異なるが、基本的なNCコードは同じものが使われる。その中でもマシニングセンターは代表的なNC工作機器である。これから新規導入される工作機器の殆どがコンピュータ化されたCNC制御で新しい機能やソフトメニューにより、更に高能率で高精度な加工が実現できることから、大学の研究教育には欠かせない設備になることは明らかである。これからの本学の研究教育により一層活用できるよう取り組んでいきたい。

### 謝辞

今回の研修が技術部予算で執行されたことを報告し、関係者の皆様に謝意を表すとともにこの研修が本学の研究教育の向上の取り組みの一助となれば幸いである。

# 溶接実習時のヒューム対策

平田 正昭  
機械加工 WT

要旨 工学部工作機器センターでは機械数理工学科、材料応用化学科2年生を対象に機器製作実習を行っている。旋盤、マシニングセンタ、フライス盤、鋳造、手作業、溶接、切断といった実習テーマは長く採用されており、この実習指導業務は私たち機械加工 WT の主な業務の一つである。私は溶接を担当しており実習時と作業主任者として定期的に行っている溶接ヒュームに対する安全対策を報告する。

キーワード：実習教育、溶接、安全環境

## 1. はじめに

機器製作実習は学生が工作機械や機器に直に触れ加工を行い、座学だけでは得られないものづくりの体験の場である。溶接は従来から火災、やけど、感電、呼吸器障害の災害発生や危険があると指導をしていた。近年法改正で溶接ヒュームが性特定化学物質と指定されたため作業主任者を置き、作業者も対策をとるように求められた。

## 2. 実習中の対策

私、学生ともにアーク溶接に対応した防塵（DS2）マスクを着け、遮光面・作業着・皮手袋・足カバーといった火傷や溶接光から身を守る保護具を着用。実習場は窓を開け換気扇を作動させ、集塵機も作動させる。

定期的に安全管理技術 WT の協力のもと個人暴露測定（マンガン濃度測定）を行っている。以前の測定結果から集塵機のダクトは側方に向けて吸入させた方が効率良く、ダクトの対面に適度な距離を取って送風機を運転させることでも濃度低減が確認できた。これら効果があった対策は作業者が変わっても伝わるように被覆アーク溶接作業マニュアルを作成、実習場に掲示している。（図1）

また溶接場からの退出場所にマットを敷くことでヒュームが他のエリアに拡散しないよう対策を採っているほか、使用済みの溶接棒やぼろ等は密閉容器を用意しこれに収納保管、実験廃棄物の回収時に処分している。（図2）

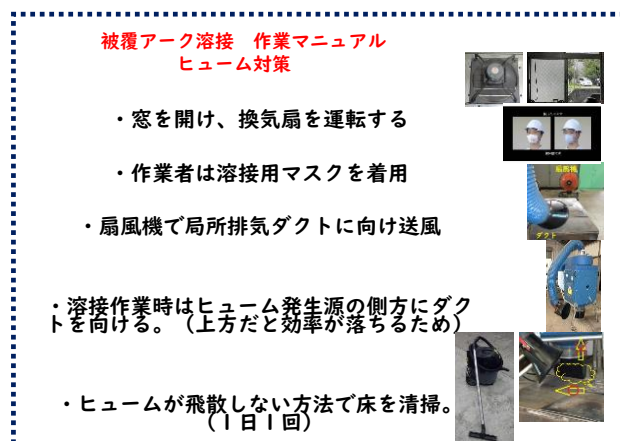


図1 被覆アーク溶接作業マニュアル



図2 マットと密閉容器

1日の溶接作業後は HEPA フィルタ装着の掃除機を使用し床掃除をして終えている。(図 3)

### 3. 作業主任者の職務 (おもなもの)

① 作業に従事する労働者が特定化学物質により汚染され、又はこれらを吸入しないように、作業の方法を決定し、労働者を指揮すること。

② 局所排気装置、プッシュプル型換気装置、除じん装置、排ガス処理装置、排液処理装置その他労働者が健康障害を受けることを予防するための装置を一月を超えない期間ごとに点検すること。

1月に一度全体換気装置の作動点検を行い記録を残している。

③ 保護具の使用状況を監視すること。

### 4. 健康診断 (じん肺健診・特殊健康診断)、マスクフィットテスト

大学労務課から定期的にじん肺健診や特殊健康診断の通知があるため問診を回答、産業医の判断が必要であれば指定の医療機関で受診する。

マスクフィットテストは安全管理 WT から年に一度案内があり実際に使用しているマスクを持ち込んで着用しテストを受ける。漏れが基準内であるか確認してもらう。(図 4)

### 5. さいごに

アーク溶接作業、実習でのヒューム対策を紹介した。

溶接実習場のすぐ隣では旋盤、マシニングセンタといった他のテーマ実習が並行して行われている。ヒューム対策として欠かせない換気扇や集塵機の運転だが、作動音はこれら実習の説明を邪魔する騒音となる。溶接実習も終始マスクを着用しての説明では学生が聞き取りづらいものとなる。そこで実習前半は別室で概要を説明。後に溶接場に移動してマスクを着用・換気扇等運転させ、あらためて実物を見せながら説明するようにしている。



図 3 HEPA フィルタ付掃除機



図 4 マスクフィットテスト

## 第二種電気工事士実技試験対策講習

寺村 浩徳<sup>1</sup>、榎園 佑希<sup>1</sup>、大嶋 康敬<sup>2</sup>、倉田 大<sup>3</sup>、山口 倫<sup>4</sup>、須恵 耕二<sup>5</sup>

<sup>1</sup>電気応用 WT、<sup>2</sup>装置開発 WT、<sup>3</sup>機械加工 WT、<sup>4</sup>先端情報 WT、<sup>5</sup>安全管理技術 WT

**要旨** 技術職員が電気を用いた実験指導や学生・教職員への安全指導をする上で、感電事故防止のために専門的な知識と確かな技術が不可欠である。電気安全 WT では、国家資格である第二種電気工事士試験の受験に必要な知識と実技試験合格のための学生向け講習を毎年行っており、本講習では技術職員向けとして、資格取得と電気安全教育に寄与することを目的として執り行う。今年度は数年ぶりに2名の技術職員が受講されたのでその報告をする。

**キーワード**：第二種電気工事士、電気安全、技能試験

### 1. はじめに

本研修は、技術部門有資格者による講習を通し、技術職員の資格所得と電気安全に関する指導や教育に寄与することを目的としている。また、電気工事士の知識を習得することにより、業務への活用も期待している。

### 2. 研修内容

実施した研修について以下に示す。

・実施日時

2025年2月26日（水）9:00 - 17:00

2025年2月27日（木）9:00 - 17:00

2025年2月28日（金）9:00 - 15:00

・研修指導者・講師

寺村、榎園、大嶋、倉田、山口、須恵

・参加者

大村 悦彰 自然科学系第二技術室 先端情報 WT

谷口 勝紀 自然科学系第二技術室 先端情報 WT



図1 講習の様子

第二種電気工事士の試験は、学科試験と技能試験に分かれている。技能試験は、年頭に13問の問題が公表され、その中から1問が出題される。研修は3日間通して執り行った。1日目の午前中に筆記試験に向けた勉強法などの説明を行った後に、技能試験で使用する工具の使い方を実践しながら説明し、公表問題を製作するための回路図の書き方を解説した。1日目の午後からは、公表問題の製作に取り掛かってもらい、初日は3問の課題が完了した。2日目は5問、3日目も5問の課題を完了させ、公表されている13問全ての問題を製作する事ができた。



図2 課題製作の様子

### 3. まとめ

本研修では、来年前期の第二種電気工事士試験を受験予定の技術職員に対し講習を行った。公表問題13問の製作を通じて、電気工事の基礎や施工技術を身につけてもらい、本研修を行った意義は十分あると考える。本年度の研修は今回の日程でひとまず終わりだが、技能試験までサポートは続ける予定であり、本番の7月19日の直前には模擬試験も行う予定である。

参加者にアンケートを取ったので、図3に示す。また、「3日連続はきついで日を分けて欲しい」というご意見をいただいた。

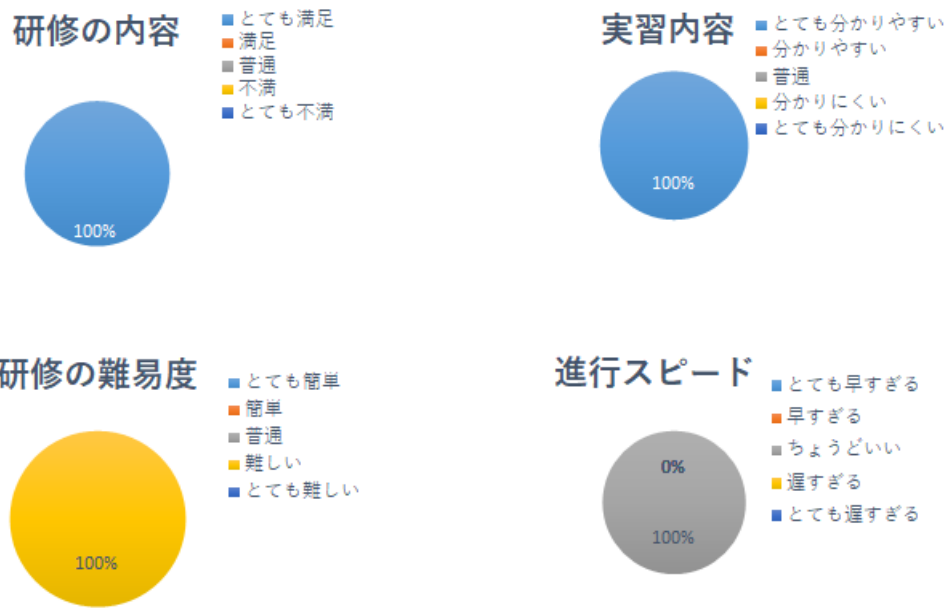


図3 アンケート結果

### 4. 所感

3日間にわたって研修を実施したが、受講者の作業量が多いため、アンケートにもあった通り日を分けて行った方が良いと感じた。講習は全過程を滞りなく終え、専門的な技術や細かいテクニックまで習得してもらったので、来年度の資格取得に期待している。

### 5. 謝辞

本研修の開催において講師を務めていただいた電気安全 WT の各位に心より感謝申し上げます。また、ご支援いただいた技術部に深く感謝いたします。

# はんだ付け技術研修

松田 樹也<sup>1</sup>、榎菌 佑希<sup>1</sup>、寺村 浩徳<sup>1</sup>、大嶋 康敬<sup>2</sup>、橋本 淳弘<sup>3</sup>、松木 翔二郎<sup>3</sup>、須恵 耕二<sup>4</sup>、  
吉永 徹<sup>5</sup>

<sup>1</sup>電気応用 WT、<sup>2</sup>装置開発WT、<sup>3</sup>環境構造 WT、<sup>4</sup>安全管理技術 WT、<sup>5</sup>自然科学系第一技術室

要旨 半導体の集積化や装置の小型化に伴い、電気電子部品の微細化が進んでおり、電気回路製作時におけるはんだ付け作業が困難を極めている。そこで本研修により、表面実装電子部品から多極コネクタなどの様々なはんだ付け技術を習得し、電気回路の作製技能ならびに品質の向上化を目指し実施したので報告する。

キーワード：はんだ付け、スルーホール部品、表面実装部品

## 1. はじめに

本研修の目的は、はんだ付けの基礎から応用技術までを体系的に学び、作業の効率化と品質向上を図ることである。また、実践的なスキルを習得し、日常業務での応用力を高めることを目指す。

## 2. 研修プログラム

実施した本研修のプログラムについて表1の通りである。

表1. 研修プログラム

1. 特別講義	「材料技術者の視点からのはんだ付け」 (特別講師：山室 賢輝 氏)
2. はんだ付け技術初級	解説：はんだ付け基本技術 <sup>[1]</sup> 視聴：はんだ付け講習動画 (初級説明)
3. スルーホール部品のはんだ付け	視聴：はんだ付け講習動画 (スルーホール部品はんだ付けの基本) 実習：実際の基板を用いたスルーホール部品はんだ付け練習
4. 表面実装部品のはんだ付け	視聴：はんだ付け講習動画 (表面実装部品はんだ付けの基本) 実習：SMD (Surface-Mounted Device) 抵抗・IC のはんだ付け練習
5. コネクタ端子のはんだ付け	視聴：はんだ付け講習動画 (D-sub コネクタ端子のはんだ付け) 実習：実際の D-sub コネクタのはんだ付け練習
6. 顕微鏡観察	はんだ付け箇所の品質チェックおよびはんだ付け作業の再確認

## 3. 研修実施内容

7名の受講者を迎え、2025年1月16日および2月5日に本研修を実施した。練習基板は、基板設計ツールのKiCadにて設計し、図1の写真に示すプリント基板を初級レベルと上級レベルの2種類を作製した。

実習では、各自が真剣に取り組んでいる様子が見られた(図2の写真参照)。また、講義中や作業の実戦中には、疑問に感じた時や作業困難な時など、多くの質問が挙がり、活発な研修が実施できていた。

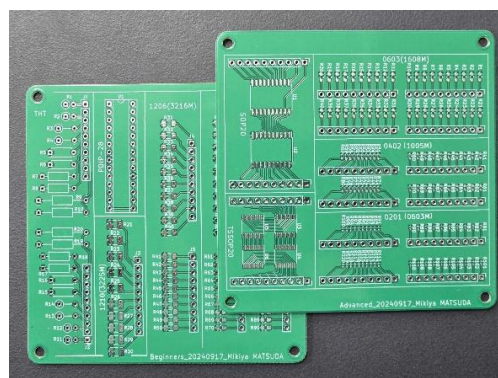


図1. 作製した練習用プリント基板

参加者各自のはんだ付け技術のレベルの差により、研修内容をどのように進めていくか苦悩した。そこで、2日目は、各自のペースでできるところまでを目標にして実施することで対応した。



図 2. 実習の様子

#### 4. まとめ

本研修では、はんだ付けの基礎から応用までを体系的に学習した。特に、スルーホールはんだ付けと表面実装技術の両方について、理論と実践を通じて理解を深めることができた。はんだ付けの実戦経験の少ない方とある程度の経験者との困難度が、大きく差異があったので、各自のレベルにあった課題で実施する必要があった。また、顕微鏡を活用した品質評価を行い、精度向上への意識を高める機会となった。

参加者からは「実践を交えた内容が非常に有意義であった」との意見が多く寄せられた。本研修におけるアンケートの結果を図 3 に示す。今後も継続的な学習と技術向上に努める所存である。

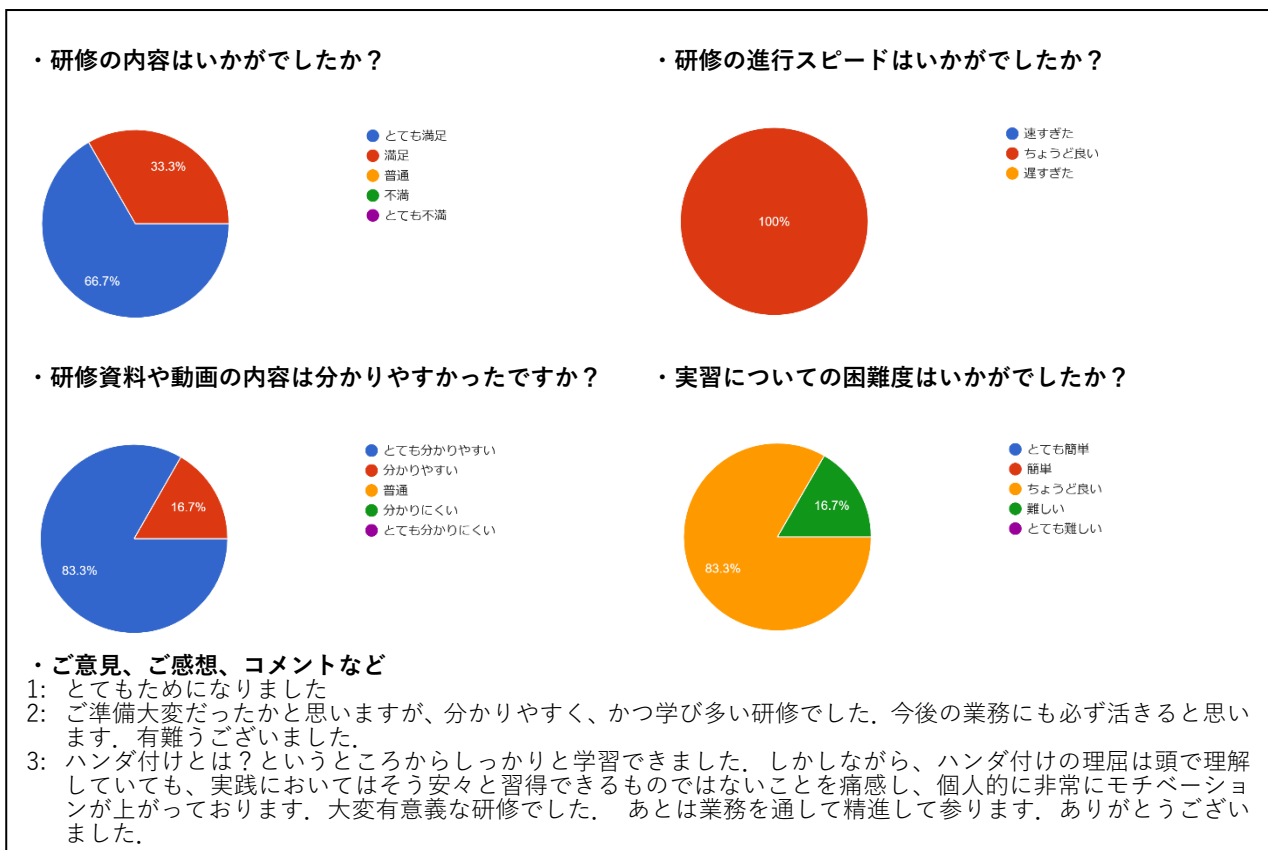


図 3. アンケート結果

#### 5. 謝辞

最後に、本研修の参加者、特別講師としてお引き受けいただきました山室賢輝氏、本研修のご支援をいただきました研修 WT 各位ならびに技術部に心より感謝申し上げます。

#### 参考文献

- [1] トランジスタ技術 SPECIAL 編集部、「トランジスタ技術 SPECIALTRSP No. 129 見ればわかる! 正統派のはんだ付け[動画 DVD 付き]」、CQ出版、2015.01

# 球面収差補正 STEM による原子カラムの観察および EDS マッピング

津志田 雅之、庄崎 雅裕、楓 杏子

材料評価 WT

要旨 球面収差補正走査透過電子顕微鏡により、ペロブスカイト構造を有するチタン酸ストロンチウム結晶の原子カラムを[100]および[110]から観察し、エネルギー分散型 X 線分光法による X 線マッピングを実施した。

キーワード：球面収差補正 STEM、HAADF、ABF、EDS、X 線マッピング

## 1. はじめに

本学産業ナノマテリアル研究所に球面収差補正走査透過電子顕微鏡が導入され、材料評価 WT では、その保守管理および依頼による観察や分析を担当している。走査透過電子顕微鏡法(Scanning Transmission Electron Microscopy; STEM)は、細く集束した電子線により試料上を走査し、透過電子や散乱された電子の強度分布を画像化する手法である。球面収差が補正された STEM では、電子線を 0.1nm より細く集束することが可能であり、試料に照射される電流量も多くなるため、結晶における原子カラムの観察やエネルギー分散型 X 線分光法(Energy Dispersive X-ray Spectroscopy; EDS)と組み合わせた元素分析にも有効である<sup>[1]</sup>。導入された STEM 装置における技術研鑽を目的として、ペロブスカイト構造を有するチタン酸ストロンチウム( $\text{SrTiO}_3$ )結晶の原子カラムを STEM における高角度環状暗視野(High Angle Annular Dark Field; HAADF)<sup>[2]</sup>および環状明視野(Annular Bright Field; ABF)<sup>[3,4]</sup>により観察し、STEM-EDS による X 線マッピングを実施した。

## 2. 実験方法

市販の  $\text{SrTiO}_3$  結晶を集束イオンビーム加工観察装置(日立ハイテク製 NB5000)により、観察面が(100)および(110)になるように切り出し、STEM 用試料を作製した。STEM 観察および STEM-EDS による X 線マッピングは、検出素子面積が  $100\text{mm}^2$  の EDS 装置が 2 台搭載された球面収差補正 STEM 装置(日本電子製 JEM-ARM200F)を用い、加速電圧 200kV、集束角 21mrad の照射条件で実施した。

## 3. STEM 観察

図 1 に  $\text{SrTiO}_3$  を [100] および [110] から観察した HAADF および ABF STEM 像を示す。HAADF STEM 像において、[100]では Sr カラムと Ti-O カラムが、[110]では Sr-O カラムと Ti カラムが、暗いバックグラウンドに対し明るく観察されたが、O のみで存在する原子カラムは観察されなかった。これは、HAADF STEM 像では、原子番号 Z に強く依存したコントラストが得られる<sup>[2]</sup>ことから、Sr や Ti と Z に差がある O カラムのコントラストは、相対的に弱くなったためと考えられる。一方で、ABF STEM 像では、明るいバックグラウンドに対し、原

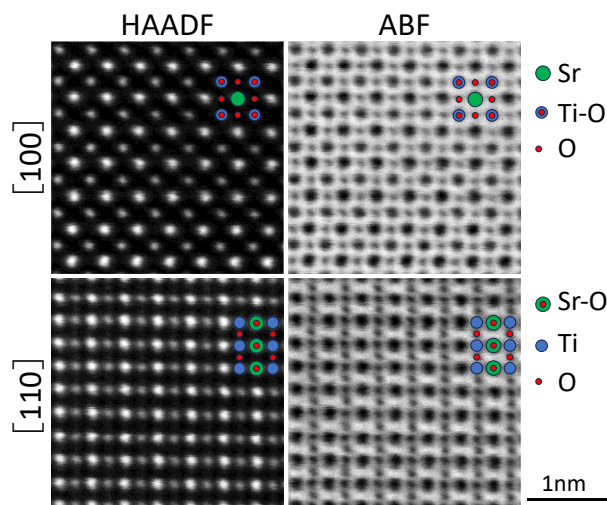


図 1  $\text{SrTiO}_3$  を [100]、[110] から観察した HAADF および ABF STEM 像

子カラムは暗く観察され、Oのみで存在する原子カラムを含め、すべての原子カラムが観察された。

#### 4. STEM-EDSによる原子カラムのX線マッピング

図2にSrTiO<sub>3</sub>を[100]と[110]から観察したHAADF STEM像と同視野において取得したSTEM-EDSによるX線マッピング像(カウントマップ)を示す。X線マッピングは、Ti-K線、Sr-L線、O-K線の特性X線のエネルギー範囲を設定し、画素数を256ピクセル×256ピクセル、1点当たりの測定時間を0.01msecとして繰り返し測定を行い、強度を積算した。得られたX線マッピング像は、X線の発生が少ない軽元素のOを含め、各元素の原子カラムを分解している。またTi-K線、Sr-L線のX線マッピング像は、HAADF STEM像の輝点と対応しており、O-K線のX線マッピング像は、HAADF STEM像では観察されていないOカラムを明確にとらえた。

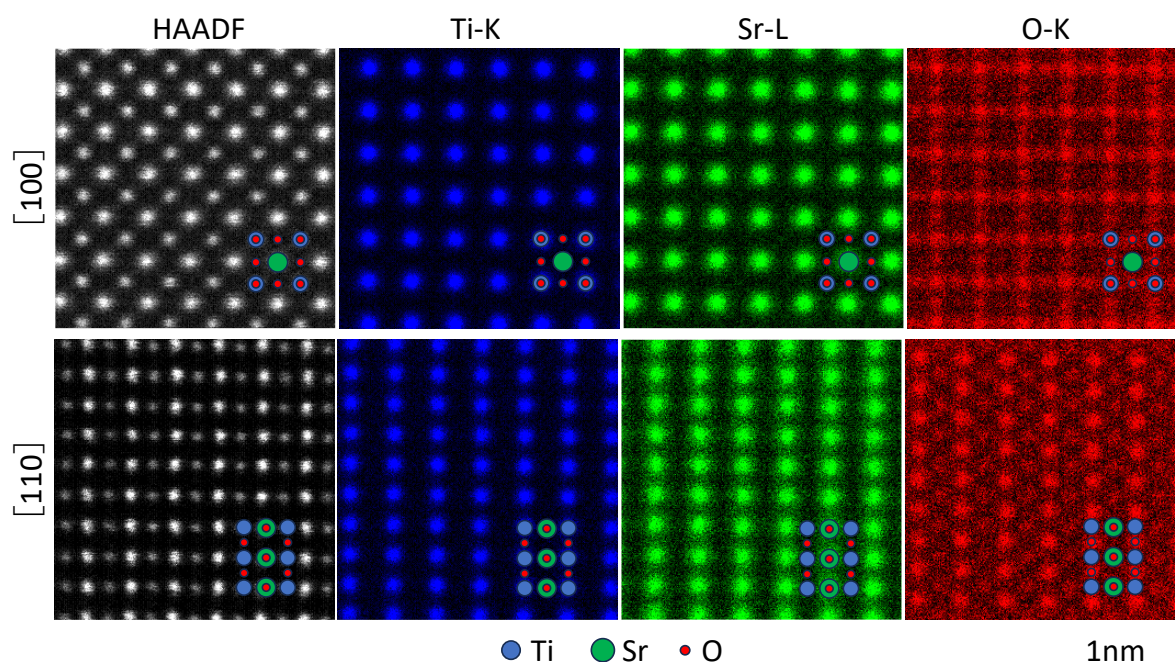


図2 SrTiO<sub>3</sub>を[100]、[110]から観察したHAADF STEM像とSTEM-EDSによるX線マッピング像

#### 5. まとめ

球面収差補正STEMの観察および分析条件を検討し、SrTiO<sub>3</sub>の原子カラムを分解したSTEM像およびSTEM-EDSによるX線マッピング像を取得することができた。

#### 参考文献

- [1] 奥西栄治, 大西市朗: 顕微鏡 **47**, 172(2012).
- [2] S.J. Pennycook and D.E. Jesson: Ultramicroscopy **37**, 14(1991).
- [3] E. Okunishi, I. Ishikawa, H. Sawada, F. Hosokawa, M. Hori and Y. Kondo: Microsc. Microanal., **15**, 164(2009).
- [4] S.D. Findlay, N. Shibata, H. Sawada, E. Okunishi, Y. kondo and Y. Ikuhara: Ultramicroscopy, **110**, 903(2010).

# EBSD 法による対称性の低い結晶構造材料の方位解析

庄崎 雅裕

材料評価 WT

**要旨** 結晶構造をもつ材料の方位を解析する方法の一つに EBSD 法がある。対称性の低い、複雑な結晶構造を持つ材料について EBSD 法による方位解析を行う場合、従来の条件では達成できず解析条件を工夫する必要がある。本研究では、そのような材料についての方位解析条件を明らかにすることを目的とした。

**キーワード**：結晶方位解析、EBSD 法

## 1. はじめに

結晶構造を持つ材料は、結晶の方位や粒の大きさにより機械的特性や電気的特性が変化することが広く知られている。結晶粒について調べる方法として EBSD (Electron BackScattered Diffraction : 電子線後方散乱回折) 法があり、結晶構造をもつ物質に対し電子線を照射した際に発生する EBSD パターンを、蛍光スクリーン検出器にて検出、解析し結晶の方位や大きさ等の情報を得る方法である。電子顕微鏡の仕様に依存するが、ミリスケールからナノスケールの範囲まで幅広く測定でき、試料の準備も簡便であることから、材料研究において多用されている。多くの金属材料が属する立方晶、六方晶材料については結晶構造の対称性が高く、解析条件を深く考慮することなく簡単に方位解析が可能となっている。しかし、正方晶や直方晶などの対称性の低い結晶構造を持つ材料については EBSD パターンのバンド本数が増え、また方位によっては類似し判別しにくい為、EBSD ソフトウェアの自動方位解析が間違われることが多く、方位解析条件を見直す必要がある。本研究では、このような材料について方位解析条件を明らかにすることを目的とした。

## 2. 実験方法

正方晶材料としてスズ (Sn)、正方晶/単斜晶材料としてジルコニア ( $ZrO_2$ )、直方晶材料として三酸化モリブデン ( $MoO_3$ ) の板を用意し、ラボカッターにて切断、樹脂に埋め込み後、耐水研磨紙にて #1500 まで研磨を行ったのち  $1 \mu m$  のダイヤモンド粒子でバフ研磨を行った。その後、50 nm のコロイダルシリカ粒子を用いた化学研磨や、Ar イオンミリング、集束イオンビーム (FIB : Focused Ion Beam) 加工などを用いて各試料平滑な表面を得た。EBSD 装置を付帯する、走査型電子顕微鏡 (JSM-6390LV および NB5000) を用いて種々の条件を選定しつつ、TSL OIM Analysis にて方位解析を行った。

## 3. 実験結果

EBSD 法を供するにあたり、EBSD パターンの発生原理から、試料表面は数十 nm 以下の凹凸状態および、結晶のひずみが無い状態が要求される。そのため、各試料において表面調整方法を確立することが重要となる。表 1 に本実験にて得られた各試料、最も鮮明な EBSD パターンが得られた表面調整方法を示す。

**表 1 各試料の表面調整方法**

試料	表面調整方法 (機械研磨後、バフ研磨 $1 \mu m$ まで同工程)
Sn	コロイダルシリカ (OP-S) 研磨、30分
$ZrO_2$	Arイオンミリング、2kV、10分
$MoO_3$	FIB加工、最終仕上げ5kV

図1(a)(b)に Sn について、方位解析条件変更前後の IPF マップ (Inverse Pole Figure Map : 結晶方位をカラースケールで表した図) を示す。EBSD パターン中のバンド可算本数 Max peak count の増加調整および、バンド間認識距離 Min peak distance の減少調整を行うことにより、1つの結晶粒内の方位認識が1方位に選定され、もっともらしい IPF マップを示すことができた。次に図1(c)(d)に示す ZrO<sub>2</sub> の IPF マップについては、前述の調整では粒内の結晶方位が正しく示すことができなかった。これは、図2に示す様に EBSD 法では選定が難しい、一定の角度関係を持った方位が複数存在するためであると考えられる。これらを一義的に同じ方位として認識させる Pseudosymmetry 機能によって<110>周りに 90 deg.の角度関係を持つ測定点を同一方位とみなす<sup>[1]</sup>ことで、図3のように方位が整った IPF マップを示すことができた。最後に、図4に MoO<sub>3</sub>の FIB 加工後の SEM 像および IPF マップを示す。MoO<sub>3</sub>では試料全面から EBSD パターンを得ることが難しく、IPF マップにおいても試料を特徴づける十分な結果は得られなかった。FIB の加工条件の見直しやその他様々な表面調整方法を試す必要がある。

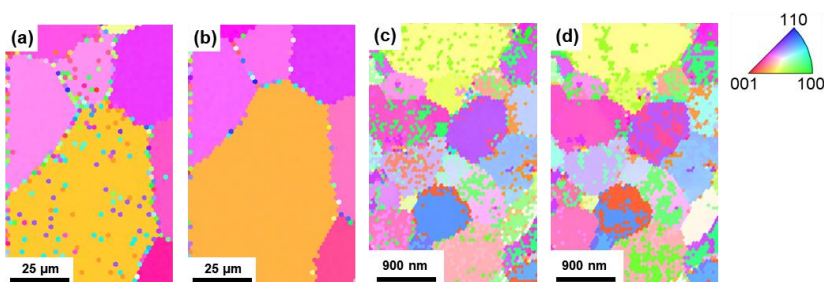


図1 各試料の IPF マップ  
(a) Sn 条件変更前 (b) Sn 変更後  
(c) ZrO<sub>2</sub> 条件変更前 (d) ZrO<sub>2</sub> 変更後

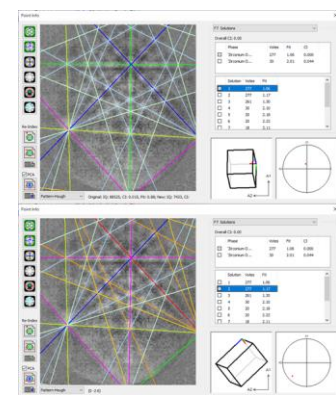


図2 異なる結晶方位が同一の EBSD パターンを示す例



図3 ZrO<sub>2</sub> Pseudosymmetry 処理後の IPF マップ

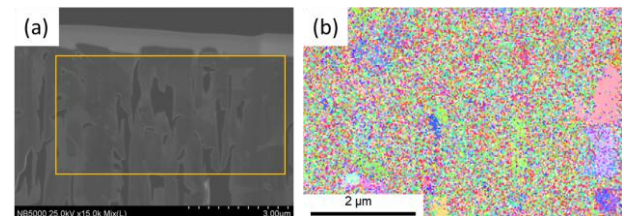


図4 (a)MoO<sub>3</sub> の FIB 加工後の SEM 像  
(b)IPF マップ

#### 4. おわりに

EBSD 法はいかなる材料でも結晶方位が解析できる万能の方法と思われがちであるが、実際には結晶構造が非対称・複雑になるほど適用が難しく、また新たに扱う材料に関しては EBSD パターン自体を得る試料表面の調整方法を模索する必要がある。今回の実験、経験が今後の研究支援活動の一助となればと考える。

#### 謝辞

本研究は、令和5年度技術部奨励研究の支援の下、実施いたしました。ここに謝意を表します。

#### 参考文献

[1] 鈴木清一著 (2021) EBSD 読本 TSL ソリューションズ

# Bcc 型 Ti-V-Nb 三元系ミディアムエントロピー合金の組織観察・特性評価

楓 杏子

材料評価 WT

**要旨** 体心立方構造を有する Ti-V-Nb 三元系ミディアムエントロピー合金を作製し、単軸引張試験により機械的特性を調査した。引張試験前後の試料について、熊本大学工学部附属工学研究機器センターに設置してある共用機器を用いて観察・分析を実施し、脆性破壊の原因が原料の不純物に由来する粒界析出物によるものだと推定した。

**キーワード**：金属材料、電子顕微鏡、チタン合金、引張試験、破壊

## 1. 背景

令和5年度に採用され、自然科学系第二技術室・材料評価 WT に配属された。業務で使用する分析機器の習得を目的に、金属材料の試料作製から組織・特性評価までの一連の実験を計画し、実施した。室温において転位運動・双晶変形・キンク変形といった複数の変形機構を示す体心立方構造(bcc)型 Ti-V-Nb 三元系ミディアムエントロピー合金<sup>[1]</sup>を題材として、工学部附属工学研究機器センターに設置してある共用機器を用いて観察・分析した結果を報告する。

## 2. 実験方法

市販の金属 Ti(純度 99.9%)、V(純度 99.7%)および Nb(純度 99.9%)を原料とし、それぞれ 34、33、33 at%の組成となるように秤量後、非消耗アーク溶解炉を用いて約 25 g のボタン状インゴットを作製した。引張試験に供する試料は、真空度  $5 \times 10^{-3}$  Pa 以下で 1250 °C、24 h の熱処理を行った後、放電加工によりゲージ部  $0.5 \times 0.5 \times 1.25$  mm の引張試験片形状に切り出した。

熱処理後の試料は、XRD を用いて単相 bcc 構造であることを確認した。また、EPMA で元素マッピングおよび定量分析を行い、試料全体にわたってほぼ等原子比組成であることを確認した。定量分析 20 点の平均組成は 34.9Ti-32.2V-32.9Nb (at%)であった。

引張試験は、室温、ひずみ速度  $10^{-3} \text{ s}^{-1}$  の条件で破断まで実施し、公称応力-ひずみ曲線を得た。その後、電子顕微鏡を用いて破断面および破断部近傍の微細組織観察を実施した。本実験で使用した機器の一覧を表 1 に示す。

表 1 使用した工学研究機器センター設置機器の一覧

分析機器	型式	目的
粉末X線回折 (XRD)	リガク製Ultima IV	結晶構造同定
走査電子顕微鏡 (SEM)	日本電子製JSM-6390LV (EBSD検出器付き)	引張試験片観察・測長 結晶方位解析
	日本電子製JSM-7600F	破面観察
電子線マイクロアナライザー (EPMA)	島津製作所製EPMA-1720HT	定量分析・元素マッピング
集束イオンビーム加工観察装置 (FIB)	日立ハイテック製NB5000	マイクロサンプリング
透過電子顕微鏡 (TEM)	日本電子製JEM-2100Plus	変形組織観察 析出物同定
走査透過電子顕微鏡 (STEM)	Thermo Fisher Scientific製TECNAI F20 (EDS検出器付き)	

### 3. 実験結果

図 1 に引張試験により得られた公称応力-ひずみ曲線および破面 SEM 像を示す。弾性変形の過程で脆性的に破断した。クラック発生直前の応力値は 138 MPa であり、文献値(降伏応力約 700 MPa、ひずみ 20 %超)<sup>[1]</sup>とは全く異なる結果であった。破面には粒内へき開割れの特徴であるリバーパターンと、粒界割れと思われる破面が観察された。

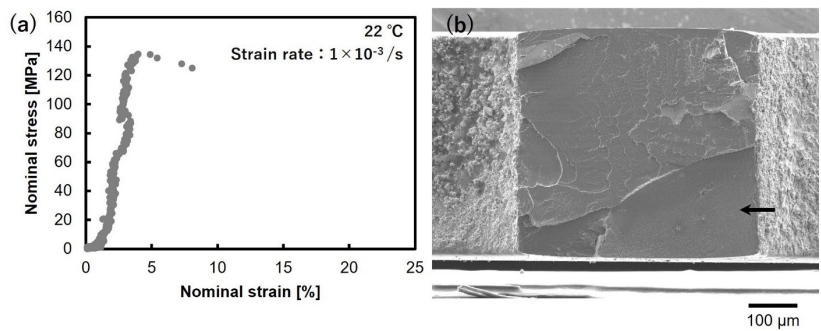


図 1 引張試験結果：(a)公称応力-ひずみ曲線、(b)破面 SEM 像  
図中の矢印は粒界割れと思われる領域を示す。

脆性破壊の原因を調査するために FIB を用いてゲージ部破面近傍から粒界を含むようにマイクロサンプリングを行い、加速電圧 200 kV で STEM 観察および TEM 観察を行った。結果を図 2 に示す。STEM-EDS 元素マッピングにより試験片ゲージ部の粒界には、母相に比べて V や Nb の濃度が低く、Ti が濃化した析出物が存在することがわかった。この粒界析出物は幅約 100 nm であり、格子定数  $a=2.99 \text{ \AA}$ 、 $c=4.88 \text{ \AA}$ 、 $c/a$  軸比 1.63 の最密六方構造(hcp)であった。Hcp 構造は、bcc 構造等の立方晶系と比べて変形異方性が強いことが知られている。

上記の結果から、組成や結晶構造の違いに起因する変形能の差によって、母相  $bcc$ /析出物  $hcp$  界面にポイドやクラックが生じ、破壊に至ったと推定した。粒界に hcp 構造の Ti 濃化相が析出した理由として、N や O といった不純物元素の影響が考えられる。純 Ti は 882 °C 以下で  $\alpha$  相(hcp)、それ以上で  $\beta$  相(bcc)になるが、今回構成元素として用いた V や Nb は Ti に対して  $\beta$  安定化元素として働くため、等原子比 Ti-V-Nb 合金は室温でも bcc 構造をとる。これに対して N や O は  $\alpha$  安定化元素であり、 $\alpha$  安定領域を高温域まで拡張する<sup>[2]</sup>。原料由来または合金作製過程で入り込んだ N や O が熱処理中に粒界偏析したことで局所的に  $\alpha$ -Ti 相が析出したと推定した。実際に、試験片の Ti 濃化相は純粋な  $\alpha$ -Ti( $a=2.95 \text{ \AA}$ 、 $c=4.68 \text{ \AA}$ 、 $c/a=1.59$ )に比べて特に  $c$  軸方向に伸張しており、侵入型元素の固溶が示唆される<sup>[3]</sup>。不純物元素の特定を試みたが、EDS で検出される N と O の特性 X 線(N-K 線、O-K 線)のピークは、それぞれ V-L 線および Ti-L 線と重複するため工学研究機器センター設置機器による評価は困難であった。

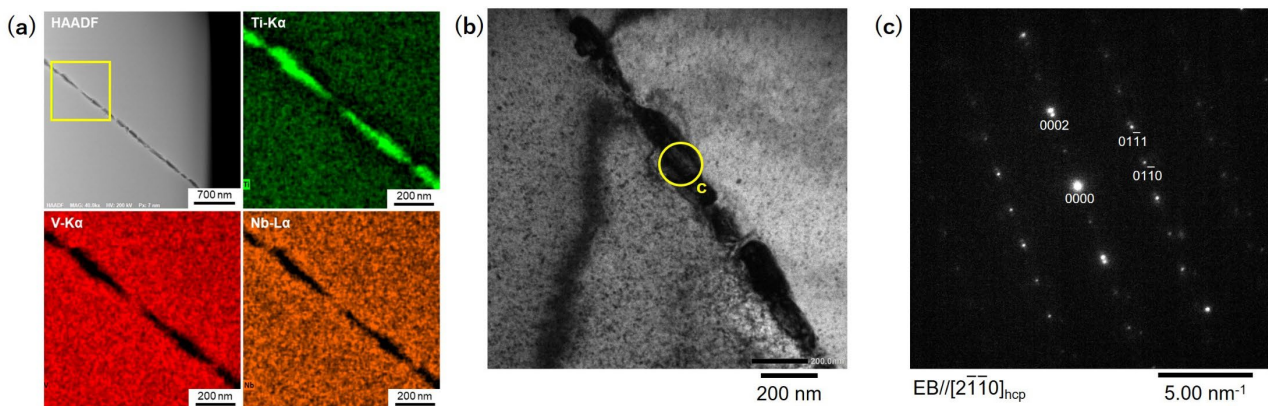


図 2 粒界析出物の STEM および TEM 観察結果：(a)粒界部 STEM-EDS 元素マッピング(TECNAI F20)、  
(b)明視野像および(c)制限視野電子回折パターン(JEM-2100Plus)

図(a)、(b)中の黄色枠はそれぞれ EDS 元素マッピング位置および電子回折パターンの取得位置を示す。

これまでの結果を踏まえ、純度 99.9% の金属 V を手配し、原料の中で特に不純物の懸念のあった純度 99.7% の金属 V と置き換えて同様の実験を行った結果を図 3 に示す。高純度 V を用いた 34.0Ti-32.3V-33.7Nb (at%) 合金は文献値<sup>[1]</sup>に近い特性と延性破面を示した。また、破面近傍の粒界に Ti 濃化相はほとんど見られず、変形部では無数の転位と双晶変形が認められた。

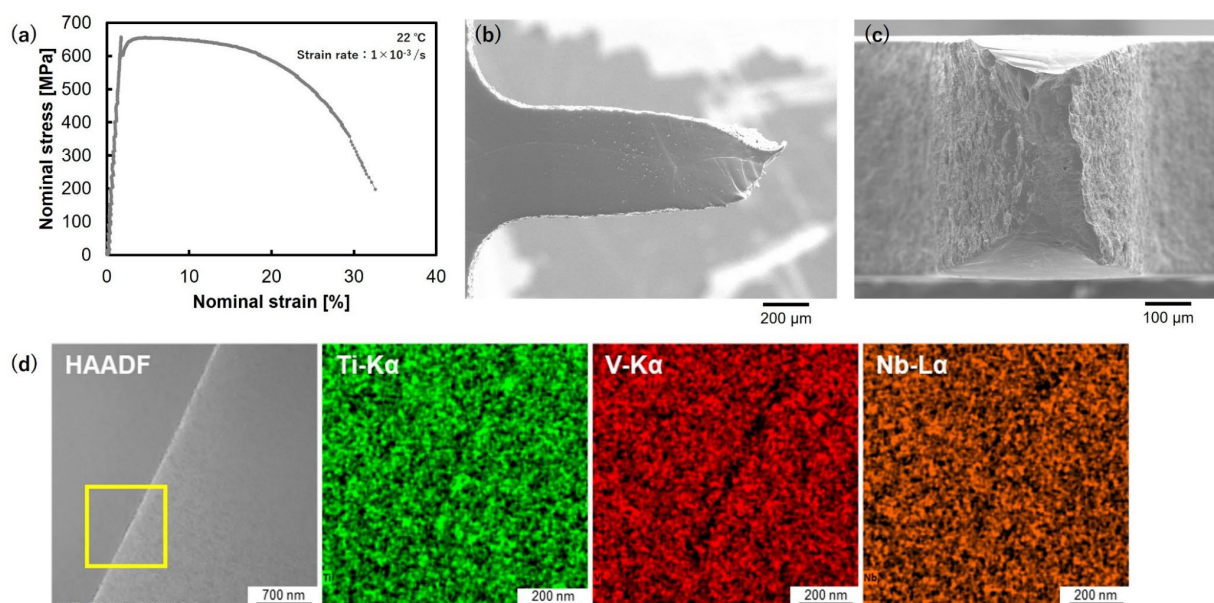


図 3 高純度 V を用いた Ti-V-Nb 合金の引張試験結果：  
 (a) 公称応力－ひずみ曲線、(b)破断後の試験片外観、(c)破面 SEM 像、  
 (d)破面近傍の粒界部における STEM-EDS 元素マッピング  
 图中黄色枠は EDS 元素マッピング位置を示す。

#### 4. まとめ

ほぼ等原子比組成の bcc 型 Ti-V-Nb 三元系ミディアムエントロピー合金を作製し、引張試験を行ったところ、予想に反して脆性破壊を示した。工学研究機器センターの機器を使用して得られた結果より、Ti が濃化した粒界析出物(hcp)と母相(bcc)の界面が破壊の起点であると推定した。粒界析出物の生成に関与した不純物元素の同定および定量は困難であったため、原料の金属 V を高純度のものに置き換えて同様の実験を行ったところ、延性が大きく改善され、延性破壊した試料には粒界析出物がほとんど見られなかった。本実験を通して、表 1 に示した装置群の操作方法とデータの解析方法を習得することができた。今後、延性破壊した試料にて変形機構の観察を行い、さらなるスキルアップを目指す。

本実験に際し、大学院先端科学研究部連川貞弘教授ご所有の非消耗アーク溶解炉および峯洋二教授ご所有の引張試験機を使用させていただきました。深く感謝申し上げます。

本研究は令和 5 年度熊本大学技術部奨励研究の助成を受けたものです。

#### 参考文献

- [1] M. Wu, S. Wang, F. Xiao, G. Zhu, C. Yang, D. Shu, B. Sun, J. Mater. Sci. Tech., **110** (2022) 210.
- [2] 小松伸也, 軽金属, **41** (1991) 344.
- [3] 平林真, 山口貞衛, 日本金属学会会報, **10** (1971) 591.

# 低エネルギー逆光電子分光分析について

佐藤 徹哉

化学分析 WT

要旨 X線光電子分光分析(XPS; X-ray Photoelectron Spectroscopy)装置である PHI GENESIS (アルバック・ファイ製) を用いて、近年開発された低エネルギー逆光電子分光分析法(LEIPS; Low Energy Invers Photoelectron Spectroscopy)による金属の仕事関数の評価を行ったので、報告する。

キーワード：低エネルギー逆光電子分光分析法、LEIPS、XPS

## 1. はじめに

近年、XPS 装置のオプションとして LEIPS が搭載されるようになり、同一箇所での XPS、UPS、LEIPS の分析が可能となった。表 1 に示すように、XPS および紫外光電子分光分析(UPS; Ultraviolet Photoelectron Spectroscopy)の光電子分光法(PES; PhotoEmission Spectroscopy)では、試料に電磁波である X 線や紫外線を照射し、試料表面から放出される光電子を検出する。光電子は占有準位や価電子帯の情報を含んでいることから、UPS を用いることで仕事関数やイオン化ポテンシャルの評価が可能である。対して、LEIPS では 5 eV 以下の低エネルギー電子を照射し、この電子が空準位や伝導帯に緩和する際に発する近紫外光(電磁波)を検出する。空準位の状態密度を測定する実験手法であり、銅フタロシアニンなどの有機半導体薄膜の電子親和力の精密測定が可能である。このように、LEIPS は原理的に PES とは「逆」過程の分析であることがわかる。

表 1 各種の分析手法について

手法	PES		LEIPS
	XPS	UPS	
照射するもの	X 線 Al K $\alpha$ (1486.6 eV)	紫外線 He I (21.22 eV) He II (40.80 eV)	低エネルギー電子 0-5 eV
検出するもの	光電子		近紫外線
得られる情報	定性・定量分析 状態分析	仕事関数 イオン化ポテンシャル	電子親和力 空準位の状態密度

## 2. LEIPS 測定について

図1にLEIPS装置図を示す。従来からある逆光電子分光法では5~15 eVの電子を照射するため、有機化合物系の試料にダメージを与えることが難点であった。LEIPSでは、5 eV以下の低エネルギー電子を用いるため、ダメージを大幅に低減することができる。また、発生した近紫外光は光学レンズを経由し、さらに特定の波長のみを透過させるバンドパスフィルターを経て、光電子増倍管にて検出する。バンドパスフィルターは大気中にあることから、バンドパスフィルターを容易に交換でき、検出する光のエネルギーを変えて分析可能であることも大きな特徴である。

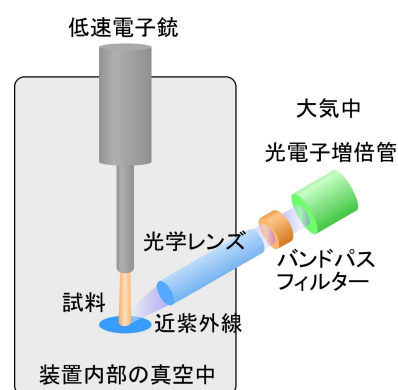


図1 LEIPS 装置図

## 3. 測定方法と結果

金属の場合では、フェルミ準位から真空準位のギャップとなる仕事関数の評価が可能である。そこで、今回の測定では清浄なPt板を用いて仕事関数の評価を行った。測定条件として、サンプルバイアスを-9~0 eVの範囲で掃引し、ステップ幅は0.04 eV、1ステップあたり2000 msec計測した。バンドパスフィルターのエネルギーは5.79 eVであり、合計10回のサイクルで測定を行った。9サイクルのスペクトルを平均化した測定結果を図2に示す。LEIPS スペクトルは近紫外線の光子強度を示し、同時に吸収電流スペクトル(LEET; Low Energy Electron Transmission)も取得する。LEET スペクトルの1回微分による変曲点を求め、仕事関数の測定値5.49 eVは下式から求めた。仕事関数は結晶面方位によって異なるが、多結晶の文献値(5.64 eV)と比較しても、ほぼ近い値であることがわかる。

$$\text{仕事関数 (電子親和力)} = \text{バンドパスフィルター値} - (\text{LEIPS 接線} - \text{LEET 変曲点})$$

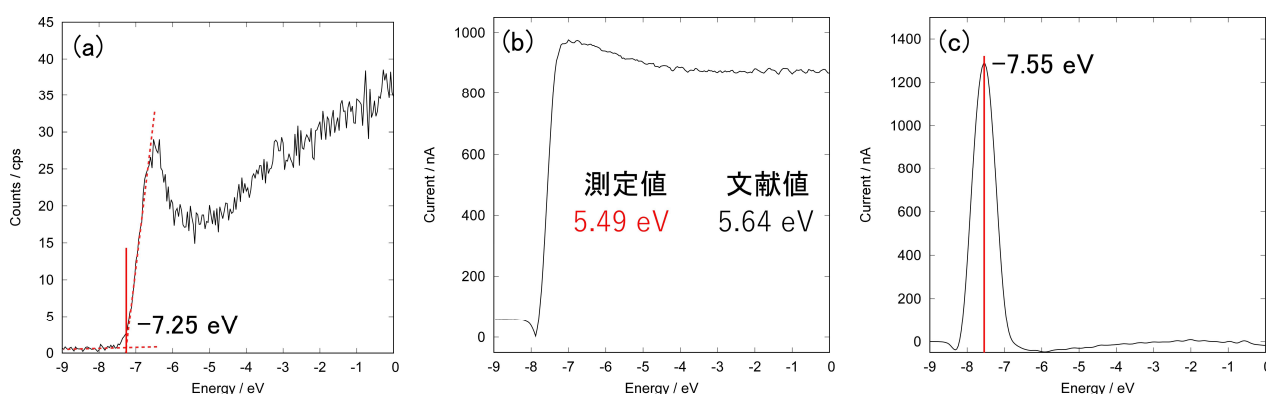


図2 LEIPS 測定結果

(a)LEIPS スペクトル、(b)LEET スペクトル、(c) 1回微分 LEET スペクトル

## 4. 今後の展開

XPSに搭載されたLEIPSを用いて、Ptの仕事関数を測定した。金属など導電性の良い試料であればさほど難しい分析ではないが、半導体材料では20 nm以下の薄膜にするなど試料調製が重要になってくる。今後も様々な試料の測定ならびに解析評価を行い、研究発展に貢献できればと考える。

# 電子顕微鏡観察用生物試料作製：非放射性重金属染色剤の検討

大石 智博

化学分析 WT

**要旨** 透過電子顕微鏡を用いた観察ならびに各種分析を正確に行うためには試料の前処理が最も重要である。生物試料においては、固定・脱水・電子染色を適切に行った後に約 60nm の超薄切片に加工しなければ電子顕微鏡で適切に観察することができない。

本検証では、染色剤としてウランに代えて非放射性重金属染色剤を使用して試料を作製し、TEM 観察を行った。

**キーワード**：透過電子顕微鏡、生物試料、非放射性重金属染色剤

## 1. はじめに

生物試料は主に H, C, N, O といった軽元素で構成されており、電子線の散乱が生じにくく、そのままではコントラストの低い像しか得られない。そこで生物試料に重金属を結合させることによって散乱コントラストを高める方法、具体的には酢酸ウラニルと鉛塩の二種類の重金属を用いた二重染色法が一般的に用いられる<sup>[1]</sup>。

ウランは主にタンパク質や核質、リボソームを染め、鉛は細胞膜、グリコーゲン、クロマチン、リボソームなどのコントラストを高めるため、生物試料の TEM 観察において非常に有用であるが、ウランは国際規制物質に該当し、使用にあたっては原子力規制委員会の使用許可と計量管理規定の認可を受けることが必要となっている。また、実験に際して出たウランを含んだゴミや廃液は廃棄業者などにも引き渡すことができず、現状では使用者自身が研究室などで半永久的に保管することとなっている。こういった理由から、使用後の廃棄がウランと比較して容易な非放射性重金属染色剤が販売されており、今回は日新 EM 社の TI ブルー用いて試料作製、TEM 観察を行い、像の比較を行った。

## 2. 試料作製

### 2. 1 樹脂ブロック作製

下記の試薬を使用してバクテリアを固定・脱水・樹脂包埋し、試料包埋樹脂ブロックを作製した。

固定剤：2.5%グルタルアルデヒド／0.1M カコジル酸緩衝液、

1%四酸化オスミウム／0.1M カコジル酸緩衝液

脱水剤：50%, 70%, 90%, 100%エタノール

樹脂：Epon812

### 2. 2 超薄切片作製

Leica 社のウルトラミクロトーム EM UC7 を使用して 2. 1 で作製した樹脂ブロックから 60nm の超薄切片をダイヤモンドナイフで切り出し、コロジオン膜貼メッシュ上に回収した。

### 2. 3 電子染色

2. 2 で作製した超薄切片が載った 4 枚の TEM グリッド上の試料を、それぞれ 1.5%硝酸ウラニル水溶液 (10 分間)、10 倍希釈 TI ブルー水溶液 (10 分間)、1.5%硝酸ウラニル水溶液 (10 分間) +0.4%クエン酸鉛水溶液 (1 分間)、10 倍希釈 TI ブルー水溶液 (10 分間) +0.4%クエン酸鉛水溶液 (1 分間) で染色した。

### 3. TEM 観察

染色後、JEOL 製透過電子顕微鏡 JEM-1400Plus にて加速電圧 80kV で試料の観察を行った。試料は染色後に 15 時間程度減圧乾燥を行ってから観察に使用した。

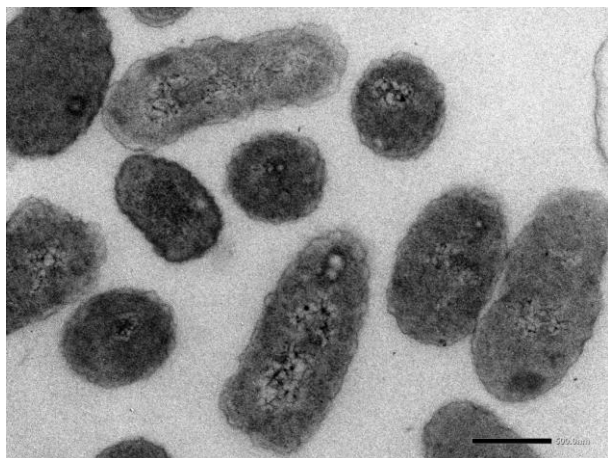


図 1. ウラニルのみ

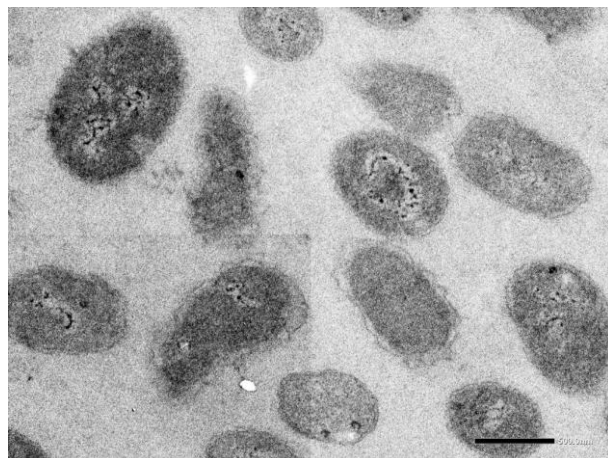


図 2. TI ブルーのみ

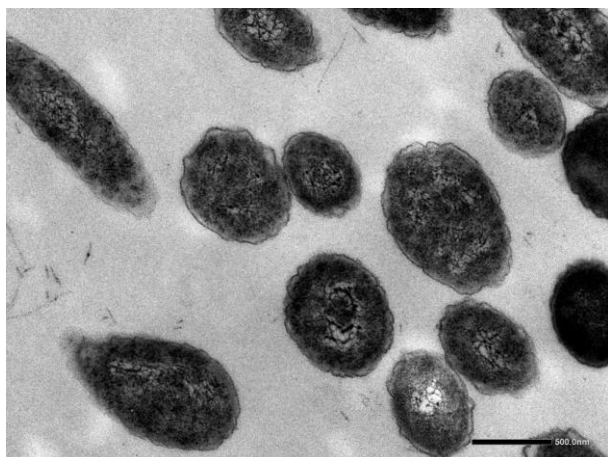


図 3. ウラニル + 鉛

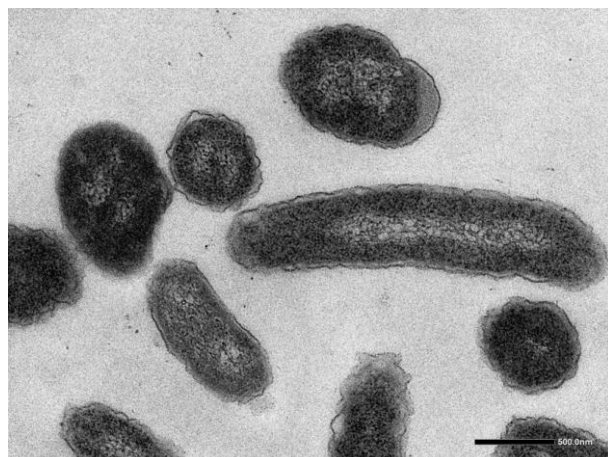


図 4. TI ブルー + 鉛

TI ブルーで染色した試料についても試料の細胞内部を観察することができた。ウラニルで染色したものと比較してややコントラストが低い、TI ブルー水溶液の濃度を上げたり染色時間を延ばすことでよりコントラストを高められると考えられる。

### 4. まとめ

非放射性重金属染色剤の TI ブルーを使用することでコントラストのついた細胞内部の TEM 観察像を得ることができた。ただし、硝酸ウラニル水溶液と同程度のコントラストの像を得るためには TI ブルー水溶液の濃度や染色時間を上げる必要があると考えられるため、今後検討していく予定である。

### 参考文献

- [1] 日本顕微鏡学会 電子顕微鏡技術認定委員会 編, (2022), 『新・電顕入門ガイドブック (電顕入門ガイドブック 改訂第 3 版)』, 株式会社国際文献社

# 工学部教員の業績評価システムの構築・運用

青木 敏裕, 大村 悦彰, 山口 倫

先端情報 WT

要旨 工学部教員の業績評価システムを構築した。システムでは Python で業績スコア一覧とエビデンスファイルを作成する。一部の評価には researchmap からデータを利用している。

キーワード：業績評価, researchmap, システム構築・運用

## 1. はじめに

熊本大学工学部では、年俸制・月給制に関する新制度に対応するため、工学部教員の業績評価システムを構築する必要があった。大村・山口・青木の 3 名で作成依頼に対応し構築・運用を行ってきた。

本稿では評価領域、システムの概要とスクリプト化を担当した箇所、及び運用について述べる。

## 2. 業績評価データの作成

評価領域は 4 つに大別され、さらに細分領域に分かれている。それぞれのソースとなるデータを担当事務から取得し、Python で作成したスクリプトで業績スコア一覧 (tsv) と教員ごとのエビデンスファイル (HTML) を作成する。表 1 に業績評価領域とその細分、及び取得ソースを示す。

表 1 業績評価領域と細分領域、及び取得ソース

評価領域	細分領域	取得ソース (担当事務)	業績
教育	博士後期学生数	研究指導委員会・審査委員会 (大学院教務)	教員の職階や学科毎の基準に応じて各項目を 0~3 点に採点し、領域ごとの平均値を基に業績データを作成する
	著作物・出前講義	researchmap, 学科長照会	
	担当コマ数	時間割データ (教務), 学科長照会	
	受賞	教授会データ (教務)	
研究	学術論文	researchmap, 学科長照会	
	外部資金	財務データ, 契約データ (経理)	
	受賞	教授会データ (総務)	
社会貢献	学外委員	兼業データ (総務)	
	受賞	教授会データ (総務)	
	ODA 派遣数・受け入れ数 大学間・部局間協定締結	教員派遣数データ (総務) 留学生データ (学部教務, 大学院国際担当) 協定締結・更新データ (大学院国際担当)	
管理運営	部局委員会委員・委員長	委員会データ (総務)	
	全学委員会委員		

### 3. researchmap の利用

本システムでは researchmap[1]から取得した研究者データの内、以下の項目を利用している。

教育：MISC, 書籍等出版物, 口頭発表等

研究：論文, 産業財産権, MISC, 作品等, 書籍等出版物

### 4. 教員向け業績確認ページの生成

生成したスコアファイルを基に、教員が自身の業績を確認できるページを用意した。各項目の年度欄にエビデンスファイルがリンクされており、評価対象のタイトル等の内訳を記述している。(図1)



図1 業績確認ページ

### 5. 運用に関して

年度毎の問い合わせ件数を図2に示す。初年度はシステム側のバグ・元データの収集漏れ等の不具合や、周知不足による教員側の評価基準への誤解等で60件近くになっており、対応に追われることとなった。2年目以降は主に教員側の評価システムへの理解度が向上した結果、件数が減少したと思われる。

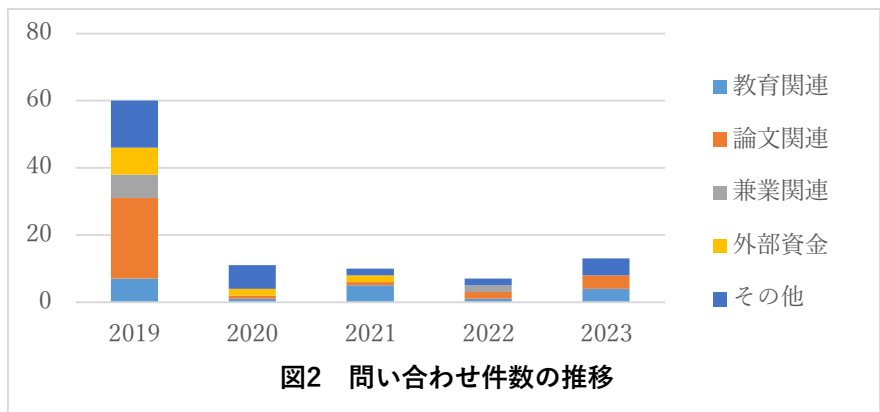


図2 問い合わせ件数の推移

### 6. まとめと今後の展望

教員の業績評価システムを構築し、今年度で運用6年目となる。教員からの理解も順調に得られていると思われ、安定した運用が出来ている。一方で、教員 - 作業チーム - 事務間のやり取りで少なくない負荷が発生している。各組織と連携し、より効率の良い仕組みに改善していく必要が考えられる。

### 参考文献

[1] researchmap <https://researchmap.jp/>

# Raspberry Pi を用いた室温監視システムの開発

山口 倫

先端情報 WT

**要旨** Raspberry Pi は、手のひらサイズの小型コンピュータで、各種センサーと組み合わせることで多彩な IoT 機器を作ることができ、近年幅広く活用されています。この度、Raspberry Pi を使ってサーバールームの室温を監視し、エアコンの電源をリモートで ON/OFF できるようなシステムを開発して欲しいとの依頼があり、システム開発を行ったので報告する。

**キーワード**：Raspberry Pi、IoT (Internet of Things)、システム開発

## 1. Raspberry Pi とは

Raspberry Pi とは、プリント基板の上に CPU やメモリがあり、HDMI や USB コネクタなどもついた手のひらサイズの小型コンピュータである。シングルボードコンピュータ(SBC)とも呼ばれ、Raspberry Pi OS をインストールし、パソコンのようにソフトウェアやアプリケーションを実行できる。

2012 年から発売され、さまざまなシリーズのモデルが出ており、スペックや価格などが異なる。HDD が搭載されていないので、SD カードや microSD カードをストレージとして利用する。

## 2. Raspberry Pi Zero 2 W

今回、依頼者がすでに Raspberry Pi Zero 2 W を持っていたので、こちらを使ってシステム開発を行った。本機はスタンダードモデルの「Raspberry Pi B シリーズ」より性能や機能を抑え、さらに小型で、低省電力、低価格な入門機となっている「Raspberry Pi Zero シリーズ」の 2 世代目である。主なスペックとしては、CPU が 1GHz クアッド コア、メモリが 512MB、無線 LAN、ビデオ出力に mini HDMI、USB2.0 が 2 つ搭載されており、サイズが 65 × 30mm と非常に小さいのが特徴である。

## 3. システムの機能要件

室温監視システムに搭載させる主な機能は、

- ・ センサーにより室温・湿度などを測定し、Raspberry Pi 上で WEB サーバを構築し、ブラウザ上で測定結果を可視化する
  - ・ サーバ室には赤外線リモコン対応の家庭用エアコンが設置されているため、Raspberry Pi から赤外線信号を送信するようにし、ブラウザ上にリモコンボタンのような GUI を作成しエアコンを遠隔制御する
  - ・ カメラをつけサーバ室の様子を監視する(エアコンが赤外線信号をうまく受信しているか確認するためにルーバーの動きを目視する)
- などを実装する。

## 4. 各機能の実装

### 4.1 OS について

Raspberry Pi には、公式にサポートされている専用の OS である Raspberry Pi OS (旧 Raspbian) が用意されている。Windows PC に「Raspberry Pi Imager」という Raspberry Pi OS のイメージを書き込むアプリをインストールし、microSD カードに OS の起動イメージを書き込む。その後、Raspberry Pi に microSD を差し込み、電源を入れると OS が起動する。

## 4.2 センサーについて

センサーには、温度、湿度、気圧、明るさセンサー、赤外線送受信機能が搭載されている Raspberry Pi 用ホーム IoT 拡張ボードの「RPZ-IR-Sensor」<sup>[1]</sup>を使用した。本センサーには開発元よりセンサー制御ソフトウェア「cgsensor」と赤外線制御ソフトウェア「cgir」が提供されており、容易に温度、湿度、気圧、明るさのデータを取得することができる。また、エアコンのリモコンをセンサーに向け赤外線信号を送信すると、センサー側で赤外線信号を受信し記録することができるため、記録した赤外線信号を送信できるリモコンを作成することができる。

## 4.3 カメラについて

Zero 2 W のカメラ接続ポートは、CSI-2(Camera Serial Interface 2)規格が搭載されているが、Zero 2 W のコネクタ部分が小型なため 15 ピンの細いタイプのケーブルが必要となる。接続する際は、ポートにケーブルの金属部分が下向きになるように奥まで挿入しロックすること。

接続したカメラモジュールが正常に接続されているかの確認するためのコマンド

```
$ vcgencmd get_camera
supported=1 detected=0, libcamera interfaces=1
```

上記の出力結果を分解して説明すると、

- supported=1 → Raspberry Pi がカメラをサポートしている
- detected=0 → カメラモジュールが物理的に認識していない
- libcamera interfaces=1 → libcamera がカメラインターフェースを見つけている

という意味になるが、今回 detected=0 であったが、カメラ映像を見ることができた。

```
$ libcamera-hello --qt-preview
```

とすると 5 秒間ほどリアルタイムの映像がディスプレイ上に出力されカメラテストできた。多くのサイトを参考にさせてもらったが、detected=1 でないとカメラを認識していないと書かれていることがほとんどだったが、OS のバージョンや使用するカメラとの組み合わせなど、設定条件がかなり複雑になるため、条件によっては detected=0 でもカメラを認識することがわかった。

## 4.4 WEB サーバとブラウザでのデータ可視化について

WEB サーバとして apache2 をインストールし、canvasJS という JavaScript でグラフやチャートを Web サイトや Web アプリケーションに表示するためのライブラリを使用し、センサーから習得したデータを csv 形式で保存しておき、グラフとして表示する。<sup>[2]</sup>

## 4.5 エアコンのリモコン機能について

ブラウザ内に php で作成したボタンを配置し、ボタンが押された際に cgir コマンドを実行するようにし、記録したリモコンの赤外線信号を出力するようにしている。今回はエアコンのクーラーボタンの ON/OFF の機能だけを記録させており、簡易的なリモコンを実現している。

## 4.6 カメラ映像のストリーミング配信について

赤外線リモコンでエアコンを制御する場合、信号は正しく送信していてもエアコン本体がうまく受信していないとエアコンは起動しない。正しくエアコンがついたかどうか確認するために、ルーバーの開閉をリアルタイムで確認するためにカメラのストリーミング配信機能を付けた。

MJPEG-Streamer という Linux 互換カメラの映像を Web 配信するためのアプリケーションを使用し、カメラ映像を html でブラウザ内に埋め込み、リアルタイムに見ることができるようにした。<sup>[3]</sup>

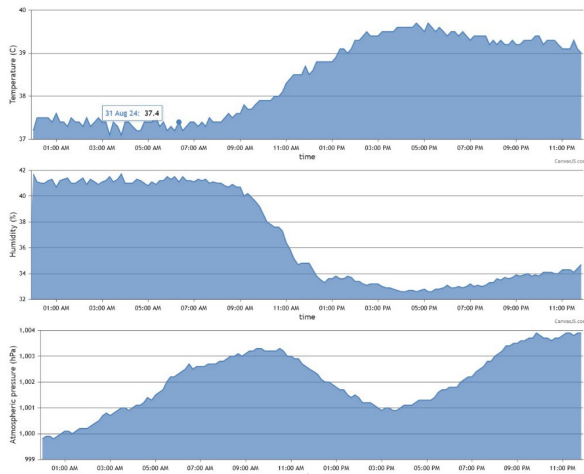


図 1. 気温、湿度、気圧の可視化



図 2. カメラからの映像とリモコン

## 5. まとめ

今回、Raspberry Pi Zero 2 W を用いてサーバ室の室温監視システムを構築した。構築後、カメラが故障してしまい別のカメラで再構築することになったが、カメラが違くとカメラを認識させる設定の手順が異なったり、映像出力の形式が異なるせいか MJPG-Streamer ではストリーミングできなくなったりと大変苦労した。Raspberry Pi のモデルや OS、カメラ、モジュール、ライブラリなど組み合わせが多岐にわたるため、同様のシステムを構築するのはかなりの知識や経験が必要だということがわかった。現在 Raspberry Pi 5 にて同様のシステムを構築する予定であるため、続報にて報告したい。

## 参考文献

- [1] <https://www.indoorcorgielec.com/products/rpz-ir-sensor/>
- [2] <https://iot-plus.net/make/raspi/env-monitoring-rpi3b-plus-bme280-tsl2561/>
- [3] <https://ponkichi.blog/mjpg-streamer/>

# 身近な生活排水の pH 計測

松山 勇二  
理学系教育技術 WT

要旨 小型 pH メータを用いて身の周りのさまざまな生活排水の pH を測定してみたので報告する。pH7.0 を完全中性とし、法令による排水の pH 基準値は 5.0~9.0 であるが、学内注意基準値は 5.5~8.5 である。多くの清涼飲料水は pH3.0 前後であることが判り、家庭用漂白剤は約 2000 倍に希釈して学内注意基準値をクリアした。なお本稿は、学内「令和 6 年度技術部技術報告会」で発表したポスター原稿を要約したものとなる。

キーワード：排水、pH、法令基準値、学内注意基準値、家庭用漂白剤、清涼炭酸飲料水

## 1. はじめに

しばしば学内の排水 pH 異常が騒がれている。筆者が「黒髪事業場安全衛生委員」（技術部代表）を務めていた 2022.4~2024.3 の間にも、酸性トイレ洗浄剤を大量にこぼした事例が発生した。一方で清涼炭酸飲料水等も流してはいけないとする説があり、筆者自身、半信半疑であった。以上の経緯から、全学的安全衛生管理の視点を活かして、本測定を思いついた。関連する掲示物を図 1、図 2 に、測定に用いた pHメータを図 3 に示す。



図 1 2023 年春期  
「理学部安全週間」のポスター  
(現在も注意喚起のため掲示中)



図 2 筆者手製の掲示物（廃棄マナー啓発のため旧来より掲示中）  
ただし「安易に飲み残しを流してもいいのか…？」



図 3 「堀場アドバンステクノ」製  
コンパクト型水質計  
LAQUAtwin-pH-11B  
(校正用標準液による 2 点較正)

## 2. 測定結果

各種液体の測定結果を表 1 に示す。赤は酸性(pH6.5 未満)、青はアルカリ性(pH7.5 以上)、白抜きは排出時要希釈値。本稿では学内注意基準値 5.5~8.5 に収まらないものを「排出時要希釈」とした。

<注意点> 身近な排水にはセンサーを傷めるものが多い（強酸、強アルカリ、界面活性剤、油、アルコール）→これらは数倍~10 倍に希釈して測定を執行し、測定後はすみやかに洗浄した。

<参考> 厚生労働省の定義<sup>[1]</sup>によれば、pH の範囲は

- 「強酸性」…3 未満、
- 「弱酸性」…3 以上 5 未満、
- 「微酸性」…5 以上 6.5 未満、
- 「微アルカリ性」…7.5 以上 9 未満、
- 「弱アルカリ性」…9 以上 11 未満、
- 「強アルカリ性」…11 以上 である。

表1 身近にある様々な液体の pH 測定結果

測定対象物	pH	測定対象物	pH	測定対象物	pH
標準液 4.0	4.0	トイレ洗浄剤(10倍希釈)	2.0	発泡酒	4.3
標準液 6.86	6.9	手指消毒剤	7.5	日本酒(19度)	4.5
熊本市水道水	7.4	柑橘系ジュース	3.3	栄養ドリンク	3.0
風呂の残り湯(入浴剤、風呂水洗浄剤入り)	7.5	果汁ミックスジュース	3.7	しょうゆ	4.3
精製水(複数日にわたり測定)	6.9~7.6	梨ジュース	4.1	ソース	3.7
雨だれ(複数日にわたり測定)	6.0~7.5	メロンソーダ	3.8	コンビニおでんのつゆ	6.6
学内井水(複数日にわたり測定)	7.5~8.1	清涼炭酸飲料水	2.8	味付ポン酢(賞味期限切れ)	4.0
化粧水	6.0	乳酸菌飲料	3.7	レモン汁(賞味期限切れ)	2.7
洗口液	7.4	紅茶	5.0	カップしょう油ラーメンの残り汁	6.1
ハンドソープ	10.3	緑茶	6.7	カップきつねうどんの残り汁	6.3
除菌スプレー	8.1	麦茶	7.4	台所用漂白剤 10倍希釈	12.1
台所用合成洗剤(数倍希釈)	8.5	烏龍茶	6.7	台所用漂白剤 100倍希釈	10.4
(酸性)浴室・台所用洗浄剤(10倍希釈)	5.7	ブラック缶コーヒー	6.1	台所用漂白剤 1000倍希釈	8.9
カビ取り用洗浄剤(10倍希釈)	11.4	微糖ボトルコーヒー	5.5	台所用漂白剤 2000倍希釈	8.3

表1の右下は、強アルカリ性で知られる「(泡状)台所用漂白剤」を、pH学内注意基準値に収まるまで実際に希釈してみた過程である。原液のpHは約13であることが知られているが、測定器のセンサー保護のため10倍希釈のpH約12から開始した。

理論上は1万倍に希釈しないと法令基準値をクリアできないが(pH13→9)、実際には1000倍で法令基準値を下回り(pH8.9)、2000倍で学内注意基準値もクリアした(pH8.3)。移し替えや洗浄の際の原液ロスに細心の注意を払いながら再測定してみたが、結果は同様であった。希釈せず大量に流すことの影響への負担を示すには十分な数値と言える。

### 3. まとめ

清涼飲料水や調味料に、弱酸性(pH3~4)のものが多いことが判った。例えばpH3.5のものであれば、学内注意基準値を満たすには100倍の希釈が必要である(pH3.5→5.5)。とりわけ清涼炭酸飲料水はpH2.8と強酸性であり、原液のまま大量に流してはいけないことが立証された。お茶やコーヒーは希釈せず流しても安全であり、カップ麺の残り汁・おでんのつゆも比較的中性に近い値が得られた。

台所用漂白剤の希釈は理論値より早めに法令基準値をクリアしたが、それでも2000倍の希釈を要することが判った。

### 4. 今後の展望

結果は学内共用部分に掲示して、学内外関係者の排水管理意識を高める。取り急ぎ図2のポスターには「大量の炭酸飲料やジュースは希釈しながら捨てること」と、和文・英文での注釈を添付している。今後も公私の日常生活において、気になった排水の追加測定を随時おこなう。

### 参考文献

[1] “A 通則”. 第10版食品添加物公定書 | 厚生労働省.

<https://www.mhlw.go.jp/content/11130500/000641288.pdf>, p4, (参照 2025-07-28)

# 第一原理分子動力学法によるミクロな視点からの研究支援

高良 明英

理学系教育技術 WT

要旨 第一原理分子動力学法 (First-principles molecular dynamics; FPMD) を用いた計算機シミュレーションを行い、物質の局所構造や電子状態を調べる技術を用いて研究支援を行っています。本記事では、近年行ってきた成果の事例を紹介します。

キーワード：第一原理分子動力学法、機械学習、シミュレーション、シリカガラス、ゼオライト

## 1. はじめに

第一原理分子動力学 (First-principles molecular dynamics; FPMD) 法は、量子力学に基づいて第一原理的に電子状態を計算し、原子間に働く力を得ることで、原子の軌跡を追って物理的な性質を調べる方法です。我々は、理学系の理論グループと共に、様々な物質を対象に FPMD シミュレーションを行い、研究支援、研究教育支援を行っています。研究対象は、主に液体やガラスのような構造不規則系物質のバルクの構造や電子状態ですが、最近では実験グループとの共同研究として、グラフェンやチタニアナノシートなどのような表面・界面の系、分子性の有機化合物やゼオライトなどにも取り組んでおり、本記事では近年の成果の例を紹介します。

## 2. FPMD と機械学習ポテンシャルによる MD を用いた高密度 $\text{SiO}_2$ ガラスの構造の研究

地球上に数多く存在している  $\text{SiO}_2$  は、地中の熔融状態から地表に露出して冷却や減圧される過程で、結晶だけでなくガラス (シリカガラス) としても現れます。この状態で回収されるシリカガラスは、通常のガラスに比べて最大で約 20% 密度が高い高密度化したガラス<sup>[1]</sup> となり、長期間が経過してもこの高密度状態が保たれることから永久高密度化と呼ばれます。この高密度化機構を調べるために、多くの実験や理論計算による研究が行われてきました<sup>[2-5]</sup>。この結果、高密度化ガラスでも、通常のガラスと同様に Si 原子が重心に存在する  $\text{SiO}_4$  四面体から構成されており、四面体同士が作るリング状のネットワークの大きさが小さくなることで高密度化するということが FPMD シミュレーションによって明らかにしました<sup>[4]</sup>。さらに、この FPMD 計算の結果を基に、機械学習による原子間ポテンシャル (MLIP)<sup>[5,6]</sup> を構築し、これを用いた MD 計算を行うことで、高精度でありながら大規模で長時間の計算を行い、長距離構造や、減圧過程における構造変化の時間発展を明らかにすることを試みています。結果の一例として、図 1 に 144 原子からなる高密度化したシリカガラスの FPMD と、それを基に  $6 \times 6 \times 6$  倍にして得た約 3 万原子からなる圧力下のシリカガラスの MLIP-MD のスナップショットを示します。構造変化の時間発展や、中長距離構造の詳細は学生たちが筆頭著者として学会発表<sup>[7,8]</sup> をしており、前者<sup>[7]</sup> については論文化を進めています。

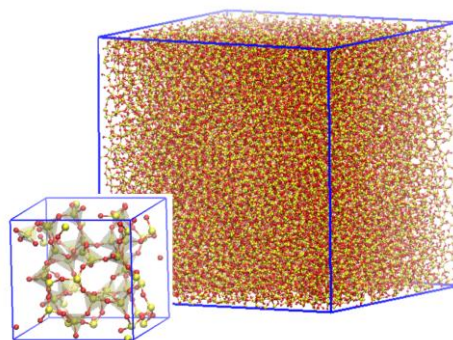


図 1 144 原子による FPMD と約 3 万原子による MLIP-MD のスナップショット。黄色と赤の球は、それぞれ、Si と O 原子を表している。

### 3. ゼオライトの構造と電子状態に関する研究

ゼオライトは多孔質の物質で、主に Si、O と Al が作る骨格構造を形成しています。天然にも存在しますが、合成により様々な添加物を含ませることで、多様な性質と構造が現れます。例えば、排気ガスなどに含まれる硫黄化合物や窒素酸化物、あるいは放射性セシウムなどを吸着させ、大気、水質や土壌の改善に資することが期待されます。これらの性質や吸着機構を明らかにすることでさらなる性能向上を目指すため、構造や電子状態について、様々な実験手法によって調べられてきています。本学教員を中心とした実験グループでは、銀を含む A 型ゼオライトと、モルデナイトの 2 種のゼオライトに対して軟 X 線発光分光法などの実験を行い、構造と電子状態が調べられました。我々の理論グループでは、これらの得られた結果を踏まえて FPMD 計算を行い、電子状態の詳細を調べました<sup>[9,10]</sup>。一例として、図 2 にモルデナイトの構造のスナップショットを示しています。成果の詳細については、参考文献<sup>[9,10]</sup>をご覧ください。

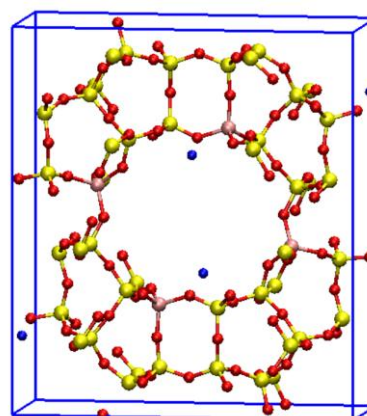


図 2 モルデナイトの構造のスナップショット。黄色、ピンク、赤、青の球は、それぞれ、Si、Al、O、Na を表している。

### 5. 謝辞

本研究は日本学術振興会科研費 (21H01766, 22K03454, 23K21069) および科学技術振興機構 CREST (JPMJCR18I2) の支援を受けて実施しました。計算には東京大学物性研究所および九州大学情報基盤研究開発センターのスーパーコンピューターを用いました。

### 参考文献

- [1] P.W. Bridgman and I. Šimon: J. Appl. Phys. **24**, 405 (1953).
- [2] T. Sato and N. Funamori: Phys. Rev. Lett. **101**, 255502 (2008).
- [3] D. Wakabayashi, N. Funamori, T. Sato, and T. Taniguchi: Phys. Rev. B **84**, 144103 (2011).
- [4] E. Ryuo, D. Wakabayashi, A. Koura, and F. Shimojo, Phys. Rev. B **96**, 054206 (2017).
- [5] D. Wakabayashi, K. Shimamura, A. Koura, and F. Shimojo, J. Phys. Soc. Jpn. **92**, 074002 (2023).
- [6] N. Artrith and A. Urban: Comput. Mater. Sci. **114**, 135-150 (2016).
- [7] 佐野汰知, 若林大佑, 高良明英, 島村孝平, 下條冬樹, 日本物理学会第 79 回年次大会, 16aE304-1, (2024).
- [8] 吉田大夢, 佐野汰知, 若林大佑, 高良明英, 島村孝平, 下條冬樹, 日本物理学会 2025 年春季大会, 21aF1-6, (2025).
- [9] S. Hosokawa, K. Kobayashi, A. Koura, F. Shimojo, Y. Tezuka, J. Adachi, Y. Onodera, S. Kohara, H. Tajiri, A. Chokkalingam, and T. Wakihara: Microporous Mesoporous Mater. **359**, 112662 (2023).
- [10] S. Hosokawa, H. Sato, Y. Tezuka, J. Adachi, K. Kimura, K. Hayashi, S. Kohara, H. Tajiri, K. Kobayashi, A. Koura, and F. Shimojo: e-J. Surf. Sci. Nanotechnol. **22**, 25 (2024).

# 環境省国立水俣病総合研究センターにおける水俣湾調査

島崎英行

基盤管理技術 WT

要旨 合津マリンステーションの外部利用者による調査内容（ギア）紹介と操船について

キーワード：生物採集、海洋調査、船舶安全管理

## 1. はじめに

2020年度から環境省国立水俣病総合研究センター依頼による水俣湾調査(水質・底質・生物)を5年間(毎月)おこなっている。この調査は水銀に関する調査で今年度も継続中である。同時に熊本県立大学・熊本大学でも卒論などのテーマにしている年もある。

## 2. 調査の概要

### 2-1 水質測定 (13 地点)

植物プランクトン現存量やそれに影響するパラメータを評価するため、多項目水質計を使用した水面から海底までの水温 [°C]・塩分・クロロフィル蛍光値 [ $\mu\text{g/l}$ ]・濁度 [FTU]・溶存酸素濃度 [mg/l]・光子 [  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$  ]の鉛直プロファイルを測定している。

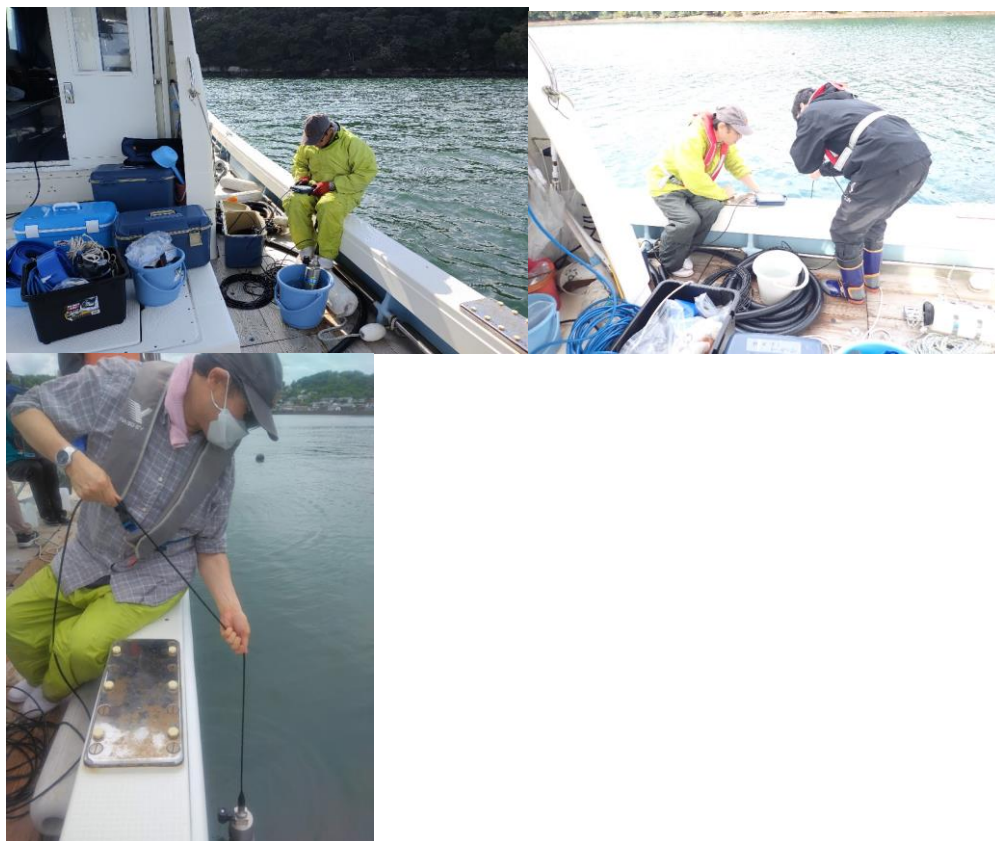


写真 2-1 多項目水質計を使用し水面から海底までの鉛直プロファイルを測定している様子

## 2-2 透明度測定 (13 地点)

直径 30 cmの白い円形の板（セッキ板）に錘を付けて沈め、何メートルまで見えるかで測定する。透明度の深度の3倍が有光層（光が届く深度）の目安となる。観測する人によって見える限界が違うので、担当は固定した方がより正確になる。



写真 2-2 透明度版を沈めて測定している様子

## 2-3 ポンプ採水 (5 地点)

海水中の懸濁物を大量かつ効率的に採取するため、毎分 0.08 立米汲み上げる水中ポンプで研究者が必要とする水深から採水し、安定同位体分析や水銀分析用に目的に応じた目合いのプランクトンネット（植物プランクトン試料用 10  $\mu$ m、動物プランクトン試料用 100  $\mu$ m）でろ過する。



写真 2-3 水中ポンプで海水を汲み上げプランクトンネットで濾している様子

## 2-4 バンドーン採水器による採水 (5 地点)

バンドーン採水器では 6 l 採水できる物を使用し、研究者が必要とする水深から必要量採水し、ポンプ採水同様、懸濁物の安定同位体や水銀分析試料としての他、動植物プランクトンの種組成分析試料等としても利用されている。



写真 2-4 バンドーン採水器による採水の様子

#### 2-5 ニスキン採水器による採水（1 地点）

ニスキン採水器で希望する水深から採水をおこなっている。この採水調査では懸濁物を除いた微量な濃度の海水自体の水銀濃度の測定を目的とするため、コンタミを防ぐためにニスキン採水器も事前に硝酸で洗浄している。また、人間の皮膚などがコンタミしないように手袋着用の作業になる。



写真 2-5 ニスキン採水器による採水作業の様子

#### 2-6 トラップによる沈降物採集（1 地点）

海底に生息する生物の餌となる表層から落ちてくる有機物量を評価するため、海底から 1m 直上になるように調整したトラップをほぼ 24 時間海中に設置して沈降物を採集する。設置時間と平米あたりの沈降物量、沈降物中の有機物含量から 1 日当たりの沈降有機物量を算出する。



写真 2-6 トラップとトラップ回収作業の様子

## 2-7 コア採泥器による採泥（5地点）

KK コア採泥器による海底底質の柱状サンプルの採泥をおこなっている。この調査では表層 1 c mを採泥し、泥表面に生息する底生微細藻類（主に羽状目珪藻）の種組成や現存量の分析に使用されている。真っ直ぐに落ちるように、写真のようにリモコンで微調整をしながらウインチ作業をおこなっている。

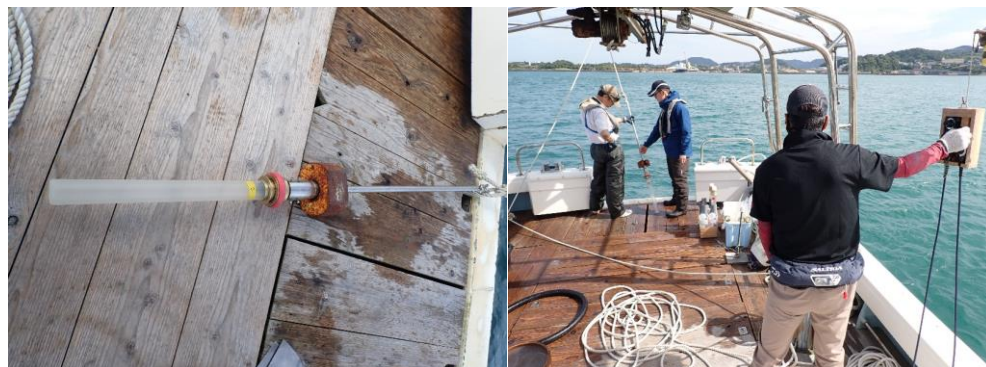


写真 2-7 KK コアと採泥作業の様子

## 2-8 エクマンバージ採泥器による採泥（5地点）

エクマンバージ採泥器で海底の堆積物を採泥している。試料は研究者の目的に応じて堆積物の粒度組成や有機物含量などの分析のほか、泥中の生物の採集に利用されるが、本調査では実験室にて表層泥から底生微細藻類を単離し、安定同位体や水銀分析のための試料として利用されている。



写真 2-8 エクマンバージ採泥器による表層泥の採泥作業の様子

## 2-9 スミスマッキンタイヤ型採泥器による採泥

前述のエクマン採泥器では砂質や砂泥質のように底質が硬い場合、機器の仕組みの点でうまく採集できない場合があるが、スミスマッキンタイヤ型採泥器ではそうした底質でも安定して採取できる。着底するとロックがはずれサンプラー部分でかき集めて採泥する仕組みになっている。投入時は水面に強くあたってロックがはずれないようたたきつけないよう慎重なウインチ操作が要求される。



写真 2-9 スミスマッキンタイヤ型採泥器による採泥作業の様子

#### 2-10 そりネットによる採泥（3 地点）

泥中の生物で、個体数が少ない、あるいはサイズが小さく安定同位体や水銀分析に必要な量を確保するのが難しい生物はそりネットを 15m 曳航し海底の堆積物を採集している。GPSプロッターで確認しつつ採集地点が中心になる様に 7~8m 手前に落とし、そこから 15m 曳航し引き揚げている。ロープの長さは水深の 3 倍の長さが必要になる。



写真 2-10 そりネットによる採泥作業の様子

### 3. 船舶の保持

潮流や風により船が流されるため、船の向きや潮流を考えて測器を落とす必要がある。スラスターが前後についているので、向きや場所の微調整をし、採集地点（緯度経度）から極力ずれないように操船している。穏やかな海況なら操船と油圧ウインチのオペレーターを出来るが、風や波がある時には操船しか出来ない時もある。

### 4. おわりに

どの調査も同じですが、ウインチ作業でのロープなどの巻込み、測器の巻込み、操船（周囲の安全確認）による衝突事故などが起きないように安全に調査が出来る様に心がけている。他船の不注意で事故が起こりうる事もある。

技術職員 2 名体制だと、作業の効率化とより安全に業務が遂行出来ると思う。

# 本学における作業環境測定について

坂本 敬行、片山 謙吾

安全管理技術 WT

要旨：作業環境測定とは、労働安全衛生法等に基づき、有害物質へのばく露による労働者の健康障害を未然に防ぐため実施されるものである。大学における教育・研究活動では多種多様な化学物質を使用しており、作業環境測定の対象となる人体に有害な化学物質が多く含まれている。本稿は、本学で実施している作業環境測定について、令和6年度の測定実績及び今後の展望等について報告する。

キーワード：労働安全衛生、作業環境測定

## 1. はじめに

作業環境測定は労働安全衛生法 65 条により規定された測定であり、労働者（大学においては教職員及び学生）の安全と健康を守るために事業者に課せられた義務である。本学では、環境安全センターが各種サンプリング・分析機材を保有し、自前で作業環境測定を行っており、安全管理技術 WT の有資格者が現場での試料のサンプリングや分析等の実施支援を行っている。

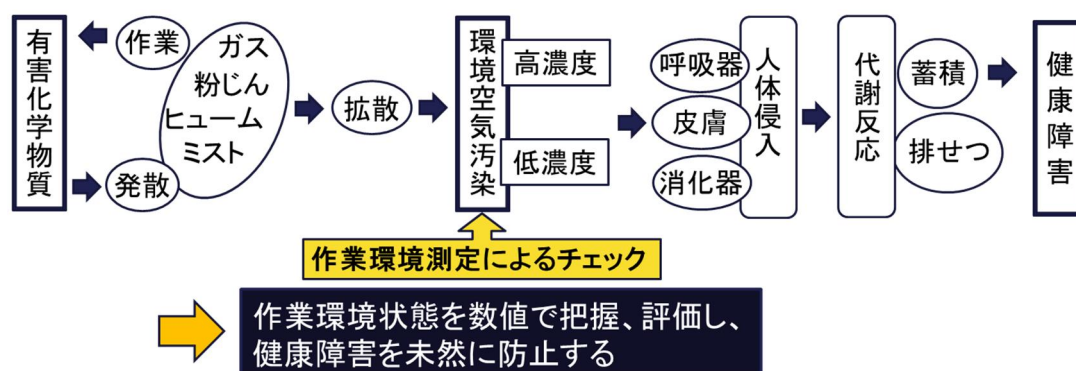


図1 有害化学物質による健康障害の発生経路と作業環境測定の位置づけ

## 2. 作業環境測定の流れ

自前開発した化学物質管理支援システム YAKUMO (図2) に登録された薬品情報を基に、年度初めに各化学物質取扱グループの測定対象物質の使用予定を申告してもらい、対象となる作業内容、場所及び対象物質を調査している。調査の結果、測定対象となった化学物質取扱グループには日程調整を行い、前期・後期で対象物質を取り扱うタイミングに合わせて測定を行っている。



図2 化学物質管理支援システム YAKUMO

### 3. 令和6年度の測定実績

令和6年度は、有機溶剤 187 件、特定化学物質・鉛 171 件、粉じん 2 件の測定を行った。有機溶剤と特定化学物質の測定件数の多かった対象物質（上位 5 物質）を表 1 に示している。測定件数の多いクロロホルムやホルムアルデヒドは基準値（管理濃度）が非常に低く、作業環境中の濃度管理が難しい物質であるため、作業環境測定の結果により適切な使用・管理状況を維持できているか確認することが重要である。

測定の結果、第 2 または第 3 管理区分となった場合は、当該化学物質取扱グループの責任者及び事業場の衛生管理者、化学物質管理者や産業医とともに改善対策を協議して、改善対策の実施後に再測定を行い、作業環境の改善を確認している。また、再発防止のために改善事例の掲示物を作成し、当該実験室内に掲示していただくことで、学生が入れ替わっても実施した対策が継続されるように注意喚起をしている。この改善事例は、改善事例集として学内の化学物質管理責任者向けの教育にも活用している。

表 1 令和6年度作業環境測定における測定件数上位 5 物質

有機溶剤(187件)		特定化学物質・鉛(171件)	
対象物質	測定数	対象物質	測定数
メタノール	52	クロロホルム	61
アセトン	34	ホルムアルデヒド	52
ノルマルヘキサン	29	ジクロロメタン	19
イソプロピルアルコール	17	アクリルアミド	19
酢酸エチル	13	インジウム化合物	4

### 4. 今後の展望

近年、化学物質管理手法が「法令遵守型」から「自律的な管理」に移行するに伴い、労働安全衛生法等が改正されたことにより、本学においても様々な対応が必要となっている。作業環境測定は引き続き実施することになっているが、リスクアセスメント結果によっては個人ばく露測定が必要となる物質と基準値が示された。また、このリスクアセスメント及び個人ばく露測定の対象となる化学物質は毎年追加されていく。これらの状況に対応していくべく、対象物質ごとにサンプリング及び分析の検証、情報収集を行い、さらなる技術向上に努める必要がある。



ガスクロマトグラフィー



原子吸光分光光度計

図 3 作業環境測定分析機器の一例（島津製作所ホームページから引用）

# 送信ドメイン認証対応メールサーバの構築

清水 康孝

実習・教育支援技術 WT

要旨 A 学部において、2020 年 10 月より稼働していたメールサーバの更新を行った。本報告ではメールサーバ構築にあたり行った設定の中から「送信ドメイン認証」と「spam メール対策」について紹介する。

キーワード：メールサーバ、送信ドメイン認証、spam メール対策

## 1. はじめに

A 学部は 250 名余の教職員が在籍している。2020 年 10 月より稼働していた A 学部 前メールサーバはハードウェアの老朽化、情報技術の進展に伴い、spam メール、ウィルスメール、フィッシングメール、添付ファイル(PDF ファイルや WORD ファイルなど)が増え、メールサーバに負荷増大とディスク容量不足が生じ、教育・研究活動に支障をきたしてきた。また、Google から発表された「メール送信者のガイドライン」<sup>[1][2]</sup>の更新に伴い、なりすましメールに対する規制が強化され、それに沿った対応が求められた。これらに対応するため、メールサーバの更新が不可欠であった。

以上の観点から、オープンソースソフトウェアを用いて、メールサーバの更新を行った。

## 2. 送信ドメイン認証

電子メールに記載する送信者メールアドレスは、簡単に詐称することができる。このため、実在する第三者のメールアドレスを騙ってのフィッシングメールや迷惑メールを送信するといった行為が横行している。送信ドメイン認証とは電子メールの送信者ドメインが詐称されていないか、正当な送信元から送信されたかを検証する技術である。今回、送信ドメイン認証技術である SPF、DKIM、DMARC<sup>[3]</sup>とこれらの認証を補完する技術 ARC<sup>[4]</sup>を用いて、メールサーバを構築した。

### 2.1 SPF(Sender Policy Framework)

SPF は、DNS サーバに登録された、正規の IP アドレスから電子メールが送信されたかどうかを認証する技術である。あらかじめ、送信元 DNS サーバに図 1 のような「SPF レコード」と呼ばれる情報を登録し、受信側のメールサーバがその情報を参照して、送信元の IP アドレスが登録されているかを確認し、偽装を防ぐものである。

### 2.2 DKIM(DomainKeys Identified Mail)

DKIM は、電子メール送信時に秘密鍵を利用し、DKIM (電子) 署名を付与する。受信時に送信元 DNS サーバに設定された DKIM の公開鍵を利用して、その DKIM 署名を検証することで、「メールヘッダが改ざんされていない」ことを確認する技術である。あらかじめ、送信元 DNS サーバに図 2 のような「DKIM レコード」と呼ばれる情報を登録し、受信側のメールサーバは送信されてきた電子メールに付与されている電子証明と送信元 DNS サーバに設定された公開鍵がそれとペアになっているか確認して、正規のメールサーバから送信され、かつ改ざんされていないことを DKIM 署名によって認証することで、偽装を防ぐものである。

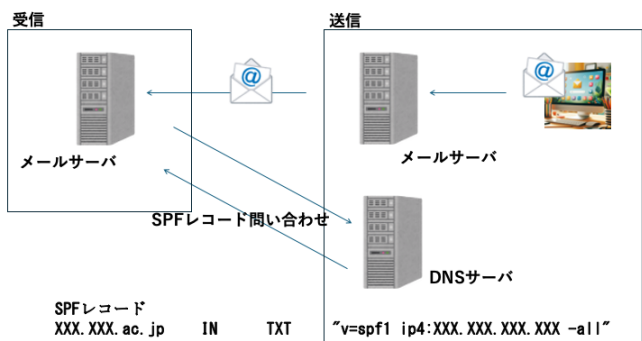


図 1 SPF の仕組み

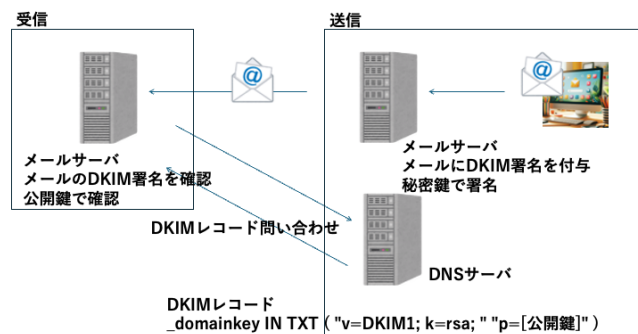


図 2 DKIM の仕組み

## 2.3 DMARC(Domain-based Message Authentication, Reporting and Conformance)

DMARC は、SPF や DKIM で検証した結果を元に、認証失敗時に電子メールをどのように処理すれば良いかを送信者が指示できる技術である。あらかじめ、送信元 DNS サーバに図3のような「DMARC レコード」と呼ばれる情報を登録し、認証に失敗したときのポリシーを設定する。ポリシーには none(失敗時に何もしない)、quarantine(失敗時にメールを隔離(迷惑メール扱い))、reject(失敗時にメールを拒否)の3つがあり、今回は quarantine で設定を行なった。

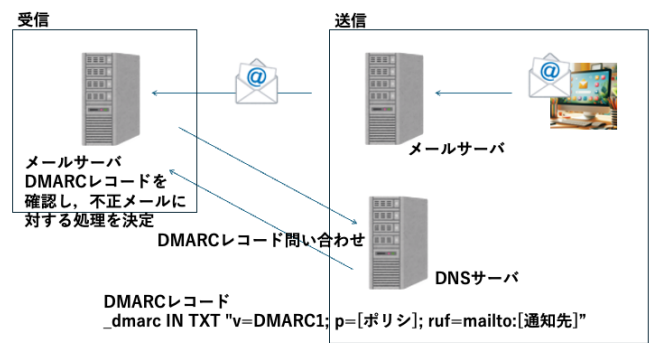


図3 DMARCの仕組み

## 2.4 ARC(Authenticated Received Chain)

ARC は、電子メールが複数の転送経路を経由する際に、SPF や DKIM によってメールヘッダに加えられた情報が失われるのを防ぎ、保持・更新する技術である。電子メールの最終的な受信者のメールサーバは、この ARC 署名を検証することで、メールが正当な経路を通ってきたか、途中で改ざんされていないかを確認できる。これにより、メール転送によって認証が無効になっていた電子メールでも、受信者はより正確に送信元の信頼性を判断できるようになる。

## 3. spam メール対策

更新前のメールサーバでは、Greylisting と SpamAssassin による spam メール対策を行ってきた。この場合、大量の spam メールによる SMTP 接続を受け付け、大量の SMTP プロセスが発生し、メールサーバに負荷が掛かる。今回、postfix の機能のひとつである Postscreen<sup>[5]</sup>機能を用いて、spam メール対策を行なった。Postscreen 機能は、設定が容易で、SMTP セッションの初期段階で、フィルタリングし、既知の spam bot のパターンなどを検知し、事前に処理することで、メールサーバへの負荷を軽減させることができる。

## 4. おわりに

本報告では、A 学部におけるメールサーバ更新にあたり行なった設定の中から「送信ドメイン認証」と「spam メール対策」について紹介した。Google から発表された「メール送信者のガイドライン」に対応するため、オープンソースソフトウェアを用いて SPF、DKIM、DMARC の各送信ドメイン認証技術とこれらの認証を補完する技術 ARC を導入し、正規の送信元から送信された電子メールであることを証明することで、フィッシング詐欺などのなりすましメール被害を抑制し、受信者に信頼感を与えることができた。また、Postfix の機能のひとつである Postscreen 機能を用いた spam メール対策により、メールサーバへの負荷を軽減し、安定稼働と効率的な電子メールの処理が可能となった。

## 参考文献

- [1] Google Workspace 管理者ヘルプ - メール送信者のガイドライン  
<https://support.google.com/a/answer/81126?hl=ja> (閲覧日 2025年6月18日)
- [2] NRI セキュアブログ <https://www.nri-secure.co.jp/blog/gmail-guideline-2023> (閲覧日 2025年6月18日)
- [3] 送信ドメイン認証(SPF/DKIM/DMARC)の仕組みと、なりすましメール対策への活用法を徹底解説 <https://ent.ij.ad.jp/articles/172/> (閲覧日 2025年6月18日)
- [4] メールの ARC とは? SPF/DKIM/DMARC の認証失敗を防ぐ最新技術を解説 [https://blastengine.jp/blog\\_content/arc/](https://blastengine.jp/blog_content/arc/) (閲覧日 2025年6月18日)
- [5] Postfix で Postscreen を有効化および設定してスパムボットをブロックする <https://ja.linux-terminal.com/?p=3331> (閲覧日 2025年6月18日)

# 3D プリンタを用いた構造に関する実践 ～Tinkercad を用いたデジタルものづくりへの誘い～

西本 彰文、山下 悠太  
実習・教育支援技術 WT

**要旨** 本稿では、3DCAD や、3D プリンタを使ったデジタルものづくりを通じた製図への理解を深める実践について報告した。3D プリンタを用いた構造に関する教材開発を通して、3D によるものづくりの敷居を下げることができ、3DCAD への抵抗感を下げることにつながったと考えられる。

**キーワード**：デジタルものづくり、3D プリンタ、3DCAD

## 1. はじめに

筆者らは、主に中学校教員養成課程(技術・家庭科 技術分野)において、技術支援を行ってきた。西本・田口は、ラピッドプロトタイピングを用いたものづくり<sup>[1]</sup>に取り組んだが、当時の 3D プリンタ(例えば 3D Systems 社製 Cube 3)はプリント速度(15mm/s)が遅く、コスト的にも実用に耐えうるものではなかった。

また、現行の本学カリキュラムにおいて(平成 31 年度入学より適用)、製図実習が選択科目となり、製図スキルが低い傾向にあり、木材加工実習や、機械実験実習など、実習科目での取り組みで課題が見られた。本学でも担当している実習科目で、図面感覚のない学生が増えているように感じられる。

そこで筆者らは、3DCAD や、3D プリンタを使ったデジタルものづくり(Digital Fabrication)による体験を通して製図への理解を深めることを目的とした実践を行ったので報告する。

## 2. 中学校技術・家庭科 技術分野の特徴

中学校技術・家庭科技術分野(以降、技術科)の特徴は、松尾芭蕉の言葉を借りるならば、「不易流行」であり、他教科に比して変化がはげしい「流行」の部分が大きい教科である。

技術科は、「材料と加工に関する技術」、「エネルギー変換に関する技術」、「生物育成に関する技術」、「情報に関する技術」の内容から構成され、それぞれ課題解決(制作・製作・育成)を通じた学習内容が設定されている。また、現行の学習指導要領(平成 29 年告示)において、統合的な課題解決場面が設定されたり、中学校における備品として 3D プリンタが令和元年中学校教材整備指針に追加<sup>[2]</sup>されたりして、その変化の幅も大きい。

さらに、現行学習指導要領解説<sup>[3]</sup>では製図に関して「構想の表示方法については(中略)CAD による表示といった発展性にも配慮し、等角図及び第三角法を取り上げることとする。この指導に当たっては、算数科、数学科、図画工作科、美術科等の教科における様々な立体物の表示・表現方法との関連に配慮する。(中略)課題の解決策を構想する際には、自分の考えを整理し、実際の材料取りや部品加工等を行う前に設計の問題点を明らかにするとともに、よりよい発想を生み出せるよう、製作図等を適切に用いること(中略)。また、課題の解決策を具体化する際には、3DCAD や 3D プリンタを活用して試作させることも考えられる(下線筆者)」との記述が追加<sup>[4]</sup>され、デジタルものづくりの重要性が増している。

## 3. 教員養成におけるデジタルものづくり

文部科学省は、技術科教員の免許取得を簡素化するため、「木材加工(製図及び実習を含む。)」及び「金属加工(製図及び実習を含む。)」を「材料加工(実習を含む。)」とした<sup>[5]</sup>。一方で、千葉市での全中学校への 3D プリンタの導入(1 台、2023 年)や、埼玉県久喜市内の 1/3 の小中学校への「STEAMLab」配置など、中学校現場でのデジタルものづくりの普及により、3DCAD に関するスキルがますます重要となっている。また、2024 年 12 月に、新学習指導要領の諮問が行なわれ、中学校技術科の新教科化や、情報を中心とした技術科の議論が始まり、この傾向はさらに加速している。

## 4. 取り組みの内容

### 4.1 3D プリンタを用いた構造に関する実践

木材加工実習では、構造に関する理解（四角構造や、三角構造、はり、ぬき等）が必須である。このような構造の強度を定量的に見える化した教材として、ピン接合の構造を対象とした教材があるが、剛接合による教材は見られない。そこで、簡易に構造を学習する強度試験コンテストを構想することを目的とした授業を構想・実施した。強度試験では、可能な限り短時間で3Dモデルを出力する必要があるため、作成するモデルは、80mm × 80mm を上限とし、厚みは1.5mm と設定した。

### 4.2 実施概要

実施日：2024年12月19日 2・3限

対象：教育学部3年次 4名（科目名：技術科教育Ⅲ）

使用機材：Bambu Lab 社製 A1mini 1台（ツールヘッド最高移動速度 500 mm/s）、Autodesk 社 Tinkercad（web版、Google Chrome）

課題：材料と加工における技術でのコンテストを考える「丈夫な製品を作るために」

### 4.3 授業の流れ

本授業は次の流れで実施した。①目標の確認、流れの説明②Tinkercadの使い方の説明・練習③自分なりの仮説をもとに構造モデルの構想④Tinkercadを使用した3Dモデルの作成、⑤3Dモデルの出力、⑥まとめ・振り返り（株式会社ティーファブワークス「ふきだしくん」<https://477.jp>）

### 4.4 結果

授業の最後に振り返りの形で各自に簡単な感想を書かせた。記述には、「3Dプリンタの使いやすさ」、「3Dプリンタを身近に感じた」など、3Dプリンタの有用性への気づきと、「Tinkercadによる設計のしやすさ」、「イメージのしやすさ」などの記述が見られ、本取り組みの目的とした、製図の必要性や製図への理解につながりうる一定の結果が得られたと考える。

## 5. おわりに

本稿では、3DCAD や、3Dプリンタを使ったデジタルものづくりを通して製図への理解を深めることを目的とした実践について報告した。3Dプリンタを用いた構造に関する教材開発を通して、製図の必要性や製図への理解が深まることを期待した。結果として3Dによるものづくりの敷居を下げることができ、3DCAD への抵抗感を下げることにつながったと考えており、今後の実習や実習外での3DCAD・3Dプリンタの活用につながることを期待している。

## 参考文献

- [1] 西本彰文・田口浩継（2014）教員養成におけるイノベーション教材化の一試案、日本産業技術教育学会 第57回全国大会（熊本）講演要旨集、p. 189
- [2] 文部科学省（2019）中学校教材整備指針、[https://www.mext.go.jp/component/a\\_menu/education/detail/\\_icsFiles/afieldfile/2019/08/06/1316723\\_4\\_2.pdf](https://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/detail/_icsFiles/afieldfile/2019/08/06/1316723_4_2.pdf)（2025/01/29 確認）
- [3] 文部科学省（2018）中学校学習指導要領（平成29年告示）解説【技術・家庭編】、pp. 29-31
- [4] 白井昭子・昇本洋子（2022）学習指導要領解説における3Dプリンタの取扱いと記載内容の整理、日本教育工学会報告集、pp. 143-146
- [5] 教育職員免許法施行規則の一部を改正する省令（令和5年文部科学省令第31号）、一般社団法人日本産業技術教育学会（2024）初等中等教育におけるSTEAM教育の導入とテクノロジー教育の拡充・刷新について、[https://www.jste.jp/main/teigen/240528\\_statement.pdf](https://www.jste.jp/main/teigen/240528_statement.pdf)（閲覧日 2025年3月2日）

本稿は、総合技術研究会2025筑波大学にて発表した内容に加筆して、体裁を整えた。

# 受賞

令和6年度 国立大学法人熊本大学 社会貢献活動表彰（準グランプリ）

受賞者：西本 彰文（自然科学系第三技術室 技術専門職員）

清水 康孝（自然科学系第三技術室 技術専門職員）

山下 悠太（自然科学系第三技術室 技術職員）

授与機関：熊本大学

授与日：令和6年11月25日

概要：熊本博物館、地域書店、フリースクールなど多様な外部組織と連携した小学生向けのプログラミング教育の実践を行った。これらの活動は、教育課程外でのプログラミング教育の機会を広げ、本学の地域社会への貢献として大きな役割を果たした点を評価し表彰するもの。



受賞者： 山下 悠太 西本 彰文 清水 康孝

## 令和6年度国立大学法人熊本大学業務改善表彰（準グランプリ）

受賞者：土山 修治（生命科学系技術室 技術専門職員）

井村 みさえ（生命科学系技術室 技術職員）

授与機関：熊本大学

授与日：令和6年11月27日

概要：これまでPDFや紙書類により処理を行っていた動物施設の利用料金支払い業務について、オープンソフトウェアを利用することで初期費用をかけず、オンラインの情報共有システムを開発した。このことにより、業務の効率化・迅速化に寄与した点を評価し表彰するもの。

業績名：データベースを用いた動物施設利用料と支払いに関する情報共有の迅速化



受賞者： 土山 修治 井村 みさえ



表彰の様子

編集(広報 WT) 津志田雅之  
園田佳世子  
臼杵 慎吾  
寺村 浩徳  
豊田 洋輝  
佐藤 徹哉  
西本 彰文  
高良 明英  
広報担当技術室長 島本 勝

2024 年度熊本大学技術部技術報告集

編 集：熊本大学研究開発戦略本部技術部門広報 WT

(技術部は研究開発戦略本部技術部門に改組されました)

発行日：2025 年 12 月 1 日

URI <https://www.tech.kumamoto-u.ac.jp/>