

2023 年度
技術部活動報告集

Vol.29



福井大学工学部技術部

2023 年度 技術部活動報告集（Vol. 29）の刊行に際して

技術部長 明石 行生

本報告集は、工学部技術部の2023年度の活動をまとめたものです。そこには、技術職員が工学部の教育研究支援と技術力向上のために高い意識を持ってチャレンジした専門研修5件、日常研修2件の報告が含まれています。その一部は、2024年3月9日に工学部技術部の技術発表会で発表され、活発に議論されました。

技術部では、高い技術力をもった技術職員が工学部の幅広い分野の教育と研究に貢献するために、これまで組織を改革し、支援体制を改善してきました。2012年4月、技術部は技術職員の研究室派遣を廃止し、教育・研究プロジェクトに派遣する制度へ移行しました。現在の技術部は、技術職員の専門分野によって3室6班で構成され、また、室と班を横断する4つの業務グループを編成し、工学部の教育・研究を組織的に支援しています。大学の地域貢献活動である公開講座、出前講座、「きてみてフェア（現 福大未来キャンパス）」にも積極的に参画してきました。業務グループの1つの「技術相談プロジェクトグループ」は、教育・研究プロジェクトよりも小さな単位で教育研究を支援する「技術相談」を取りまとめています。

しかし、周りの教員に尋ねると、「技術部は、どのように支援してくれるのかよくわからない」といった声を聴くこともあります。また、技術部長を兼務する工学部長の任期の2年間は、工学部の教員が技術部の支援に満足しているか、工学部の教育研究に対して技術部の支援が行き届いているかを調査し、明らかにした課題に対して改善策を施すには短すぎます。そこで、2023年度には技術部の支援に対する工学部教員の満足度とニーズを把握するために、アンケートを実施する計画を立てました。現在、若手の技術職員を中心にワーキンググループを立ち上げてアンケートの内容を議論していただいています。そのアンケートを継続して行うことにより、工学部長は、調査結果から工学部の教育研究に対する技術部の貢献度と課題を把握し、迅速にその課題の改善策を施すことができるようになること、それ以上に、技術職員が工学部長の判断を待たなくても自らPlan（計画）／Do（実行）／Check（評価）／Action（改善）のサイクルを回せるようになることを期待しています。

目 次

専門研修報告

樹脂 3D プリンターを活用した鋳造技術開発の試み -----	2
第三技術室 青山 直樹	
第一技術室 内山 裕二	
第二技術室 安藤 誠	
技術部 川崎 孝俊	
コンテナ仮想化を用いたサーバ環境構築技術の修得 -----	8
第三技術室 廣木 智栄	
第三技術室 小澤 伸也	
第三技術室 道幸 雄真	
第三技術室 清水 尚希	
走査型電子顕微鏡の観察における断面試料作製技術の修得 -----	12
第一技術室 竹内 利幸	
第一技術室 東郷 広一	
第一技術室 高澤 拓也	
第二技術室 川井 康督	
ゼロから CNC レーザー加工機を組み立て、動作原理を学ぶ -----	16
第一技術室 内山 裕二	
第一技術室 山森 英智	
第一技術室 橘 和希	
第三技術室 青山 直樹	
技術部 川崎 孝俊	
化学防護手袋の簡易的な透過性評価手法を用いた実測と適正使用に関する調査 -----	19
第二技術室 宮川 しのぶ	
第二技術室 井波 真弓	
第二技術室 山口 綾香	
第二技術室 山田 美空	
第二技術室 戸澤 理詞	
第三技術室 道幸 雄真	
第二技術室 田畑 功	

日常研修報告

KiCAD を利用した電子回路基板の設計開発技術の向上 -----	26
第三技術室 小林 英一	
セルソーターを用いた生細胞分離および実験技術の修得 -----	30
第二技術室 井波 真弓	

合同研修参加報告

令和 5 年度 東海・北陸地区国立大学法人等 技術職員合同研修(複合領域コース) -----	35
第二技術室 山口 綾香	
第二技術室 山田 美空	
令和 5 年度 東海・北陸地区国立大学法人等 技術職員合同研修(機械コース) -----	37
第一技術室 橘 和希	

技術研究会等参加報告

第 82 回全国産業安全衛生大会 2023in 名古屋 参加報告 -----	40
第二技術室 山口 綾香	
Fusion 360 CAM 入門セミナー 参加報告 -----	42
第一技術室 内山 裕二	
もう一度学ぶ機械材料学（金属材料の基礎） 参加報告 -----	44
第一技術室 高澤 拓也	
令和 5 年度 KEK 技術研究会 参加報告 -----	45
第三技術室 小林 英一	
九州地区総合技術研究会 2024 in 大分 参加報告 -----	50
第三技術室 廣木 智栄	
九州地区総合技術研究会 2024 in 大分 参加報告 -----	52
第一技術室 橘 和希	
九州地区総合技術研究会 2024 in 大分 参加報告 -----	54
第三技術室 清水 尚希	

活動報告

令和 5 年度 技術部特別講演会 -----	57
特別講演 「ナノバイオテクノロジーを活用したセンシング技術」	
研修委員会	
2023 年度公開講座「工作機械でスターリングエンジンを作ってみよう」 -----	58
第一技術室	
2023 年度公開講座「ガラスを溶かしてオリジナル作品を作ろう」 -----	60
第二技術室	

工学部技術部グループ業務報告

・令和 5 年度 実験・実習グループ業務報告 -----	61
実験・実習グループ	
・令和 5 年度 安全衛生管理推進グループ業務報告 -----	62
安全衛生管理推進グループ	
・令和 5 年度 共同利用施設グループ業務報告 -----	63
共同利用施設グループ	

・令和 5 年度 技術相談・プロジェクトグループ業務報告 -----	64
技術相談・プロジェクトグループ	
令和 5 年度 工学部技術部 業務（活動）日誌 -----	65
令和 5 年度 技術発表会・特別講演会 プログラム -----	68
編集後記 -----	69

專門研修報告

樹脂 3D プリンターを活用した鑄造技術開発の試み

青山 直樹* 内山 裕二** 安藤 誠*** 川崎 孝俊****

1. 研修背景

機械分野における製造方法は、除去加工、付加加工、成形加工の 3 つに大別される。先端科学技術育成センター精密工作部門は、学内の教職員・学生にものづくり技術支援を行っている。この中で、主に除去加工に分類される切削加工・レーザー加工による部品製作や付加加工に分類される溶接やロウ付けによる接合品の製作を実施している。しかし、3 大製造方法のひとつである成形加工の技術支援が不十分な点が挙げられる。成形加工は、射出成形や鑄造等が分類され、プラスチック製品生産や自動車部品生産のように社会の中で多く用いられている製造法である。当センターの利用者が、成形加工の技術支援を受けられることは有益であると考えている。そこで、本研修では 3D プリンターで作成した樹脂造形物を鑄造の焼失模型(以下、原型)に適用し、低温度で溶融する特性を利用したロストワックス鑄造法の技術開発を行う。また、設計から製作までデジタルデータを活用するデジタルマニュファクチャリング(製造 DX)に関する知見を深める。

2. ロストワックス鑄造法

ロストワックス鑄造はワックス(wax)を失う(lost)という性質をもつ鑄造法である。図 1 にロストワックス鑄造の概要図を示す。ロウやワックスで原型を製作し、原型の周囲を鑄物砂や石膏、セラミックス等で覆うように固め鑄型を製作する。その後、加熱により鑄型内部に埋没させた原型を除去し、空洞化した鑄型内部に溶かした金属を流し込み、原型と同じ形状の鑄物を成形する。成形した鑄物は型を破壊し取り出すため、抜き勾配やアンダーカットを考慮する必要がなく、複雑な形状の製品が製作可能である。また、一体鑄型のため他の鑄造法と比較し、寸法精度が良いという特徴がある。一方、鑄造する度に型を製作する必要があり、運用コストが増大するため大量生産に不向きである。

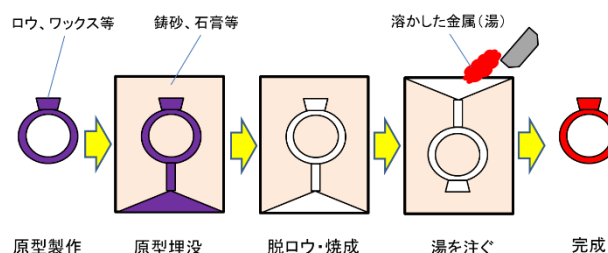


図 1 ロストワックス鑄造

3. 3D プリンターの操作方法の習得と造形評価

研修当初に、活用する 3D プリンター N2S (Raise3D 社) の操作方法や造形プログラムを作成するソフトである CAM の操作方法を学習した。図 2 に N2S を示す。当該装置の積層造形方式は、FDM (Fused Deposition Modeling: 熱溶解積層) 方式と呼ばれ、樹脂材料であるフィラメントをノズル付近で加熱し、溶融したフィラメントを外部に押出し、温められたベースプレートの上に積層して造形する。FDM 方式において代表的なフィラメントは ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) や PLA (Poly-Lactic Acid) である。お互いを比較すると、ABS は耐衝撃・耐熱性に優れているが、強度は低く反りやすい性質をもつ、PLA は低融点で反りにくい性質を有し高品質の造形に適しているが、熱や衝撃に弱い性質をもっている。その他にも使用可能なフィラメントは数多く存在し、造形目的に応じたフィラメントの選定が重要である。

操作方法の習得過程において、N2S で日常的に使用している PLA を用いていくつか造形を行い、この体験を通して知見を深めることとした。図 3(a)(b)(c)に造形した造形物を示す。図 3(a)は寸法精度の確認を目的とした評価試験片である。形状は 30mm×30mm×5mm の正方形とした。測定結果は、縦横 30.01mm~30.08mm、厚み 5.14mm~5.23mm であった。図 3(b)は小型のインペラーである。インペラーは、アンダーカット部を有することから、3 軸の制御軸をもつ一般的な切削型工作機械では除去加工が困難である。インペラーを製造するには、鑄造や複数の制御軸を有する切削型工作機械が用いられる。このような製作難易度が高く複雑形状の部品を、N2S では品質よく造形することができた。

* 第 3 技術室 システム設計班

** 第 1 技術室 機器開発・試作班

*** 第 2 技術室

**** 工学部技術部

図 3(c)はラティス構造体である。ラティス構造体は、枝状に分かれた格子を周期的に並べた立体物のことを指す。これは、金属 AM (Additive Manufacturing : 付加製造) による造形物で頻繁に目にする構造体である。強度を保ちつつ軽量化する目的で用いられる。また、部品内部を空洞化させることができる製造法は数が少なく、ラティス構造体は積層造形技術が色濃く現れている造形物といえる。今回、PLA を用いて造形を試みたラティス構造体の枝の厚み及び角度は、それぞれ 2mm と 45 度に設定した。枝の繋がりて形成される構造体であり内部が空洞となるが、サポート材がなくても造形可能なことを確認した。

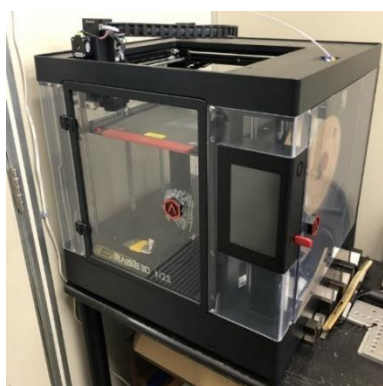
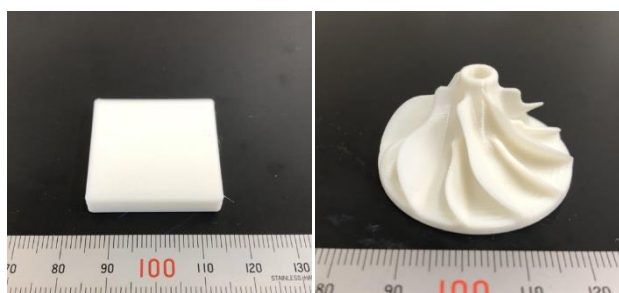
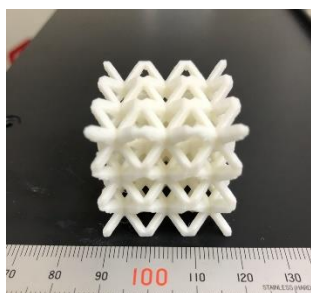


図 2 3D プリンターN2S



(a) 評価試験片

(b) インペラー



(c) ラティス構造体

図 3 PLA を用いた造形物

4. PLA 及び低融点合金の引張試験

PLA 及び低融点合金の引張試験を実施し、強度を調査した。JIS Z2201-1956 に基づき、試験片中心部の寸法が幅 25mm、厚み 3mm、平行部の長さ 60mm の 5 号試験片を設計した。図 4 に引張試験片の寸法図を示す。

PLA 及び低融点合金の引張試験片は、それぞれ異なる製法で製作した。PLA の引張試験片は N2S で造形し、低融点合金の引張試験片は溶融した低融点合金を型枠に流し込み、固化した後にワイヤ放電加工で製作した。

図 5 に低融点合金及び PLA の応力-ひずみ線図を示す。図 5 より低融点合金はアルミニウム合金の応力-ひずみ線図に似ていることがわかる。アルミニウム合金と同様に、弾性限界である耐力 (0.2%塑性ひずみ) があると推測できるが、現時点ではわかっていない。実用品の材料として使用可能か検討するにあたり、今後、低融点合金の弾性限界を調査する必要がある。PLA は最大応力から早期に破断に至っており、脆性破壊を起こしたことが窺える。図 6(a)(b)に引張試験前後の低融点合金及び PLA の引張試験片の様子を示す。図 6(a)より低融点合金は材料が大きく伸びてから破断している。一方、図 6(b)より PLA は試験片中心部に斜めに亀裂が入り破断していることがわかる。なお、具体的な主要数値は、次のとおりである。PLA の最大応力 $\sigma = 26.9(\text{N}/\text{mm}^2)$ 、破断ひずみ $\varepsilon = 0.11$ であった。低融点合金の最大応力 $\sigma = 55.0(\text{N}/\text{mm}^2)$ 、破断ひずみ $\varepsilon = 0.25$ であった。お互いの数値を比較すると、低融点合金の最大応力は PLA の最大応力の約 2 倍であった。また、破断ひずみも低融点合金は PLA の約 2.3 倍であった。以上の結果より、低融点合金は PLA より最大応力は大きく、粘り強い材料であることがわかった。ただし、低融点合金は SS400 やアルミニウム合金と比較し、最大応力は低いため使用する際には細心の注意が必要である。

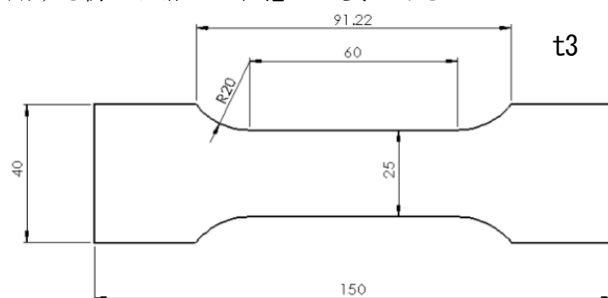


図 4 引張試験片の寸法図

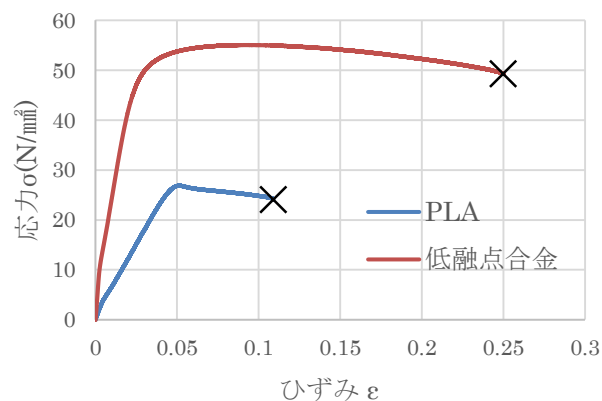
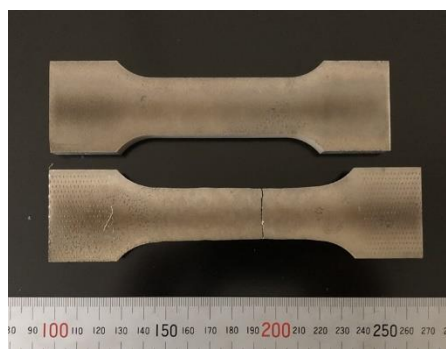
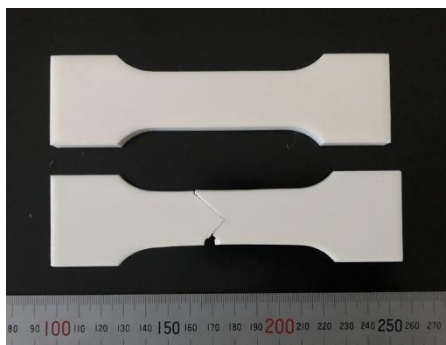


図 5 応力-ひずみ線図



(a) 低融点合金

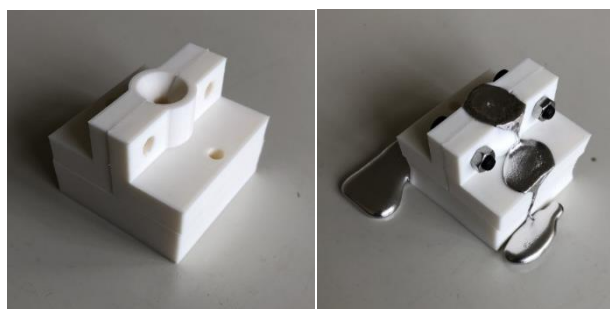


(b) PLA

図6 引張試験片の比較

5. PLA 樹脂型を用いた鋳造実験

PLA を用いて造形した樹脂型（以下、樹脂型）に、溶融した低融点合金を流し込む鋳造実験を行った。なお、樹脂型で製作する成形物は 30mm×30mm×5mm の正方形とした。溶融した低融点合金を流し込む前の樹脂型を図 7(a)に、低融点合金を抽入した樹脂型の様子を図 7(b)に示す。樹脂型を用いた鋳造実験において、流し込んだ低融点合金が樹脂型の上型と下型の間からあふれ出す現象が起きた。これは、樹脂型が溶融した低融点合金の温度に耐えられず変形し、生じた隙間からあふれ出したと考えられる。図 8 に鋳造後の樹脂型の上型と下型を示す。PLA の耐熱温度は約 60℃程度に対し、低融点合金の溶融温度は 138℃である。当初想定はしていたが、鋳造実験より PLA は低融点合金の溶融温度に耐えられないことが明らかになった。樹脂型が変形しながらも評価試験片の成形ができたため、樹脂型から評価試験片を取り出し測定を行った。樹脂型で成形した評価試験片を図 9 に示す。評価試験片を測定した結果、縦横 30.27mm~30.85mm、厚み 5.21mm~5.75mm であった。樹脂型の寸法は、縦横 29.95mm~30.05mm、深さ 5.04mm~5.08mm であることから、鋳造で成形した評価試験片は大きくなっていることがわかる。これは、熱による樹脂型の膨張に起因していると考えられる。以上の結果より、樹脂型で低融点合金を用いた鋳造で成形物を得ることは可能だが、指定寸法どおりに成形することは困難であるといえる。



(a) 流し込む前 (b) 流し込んだ後

図7 低融点合金を用いた鋳造実験

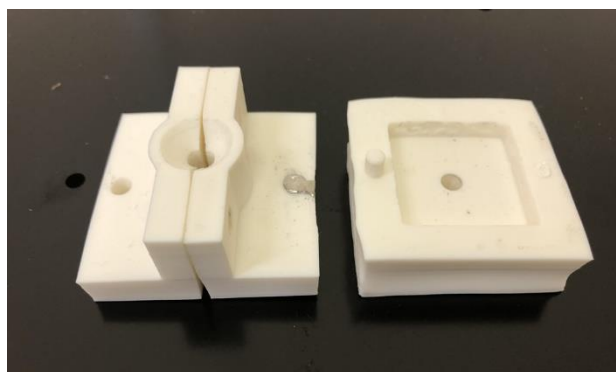


図8 鋳造後の樹脂型（左：上型，右：下型）

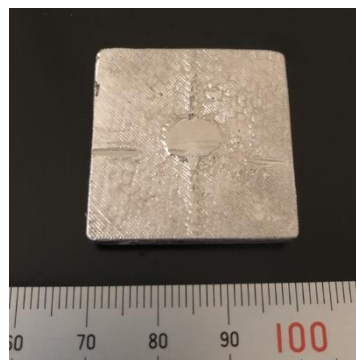


図9 樹脂型で成形した評価試験片

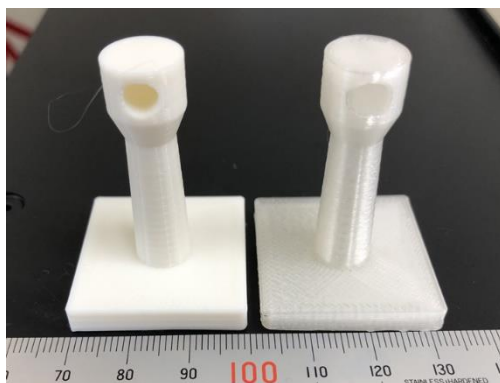
6. 石膏鋳型を用いた鋳造実験

6. 1 原型の製作

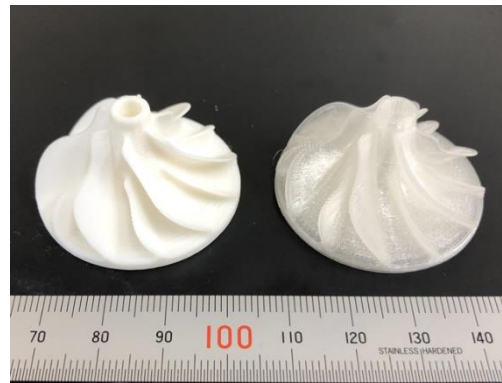
ロストワックス鋳造では、原型にロウやワックスを用いるのが一般的であるが、ロウやワックスを複雑な形状に創成するには熟練技術者の技術・技能が必要となり、これが本鋳造法を導入する際に大きな障壁となる。この課題を解決するため、原型製作に FDM 方式 3D プリンターを活用することを試みた。FDM 方式では、一般的に ABS や PLA が造形に用いられるが、本鋳造法における原型製作では電気炉で加熱した際に溶融除去しやすい金属鋳造用フィラメント PolyCast (Polymaker 社) を適用した。

はじめに、過去に使用実績のない PolyCast の造形実験を行った。造形当初は、造形中にノズルの詰まりが頻発し、造形不良になることが多かった。メーカーが

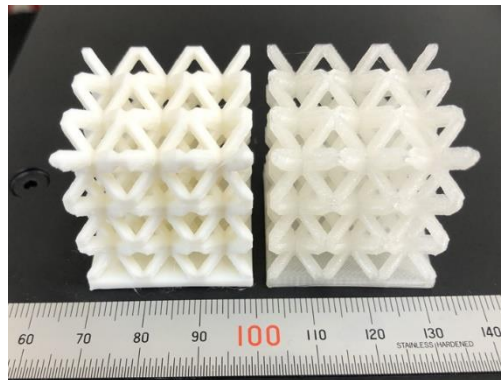
推奨している造形条件で行っているにも関わらず、造形不良になることから、環境要因が影響しているのではないかと推測し、次のような対策を行なった。まず、造形時の環境温度の適正化を図った。使用装置のN2Sは、造形中にノズル側方からファンでノズル付近を冷却している。PolyCast はノズルの冷却が適切に行われないと、ノズル内で詰まってしまい、ノズル先端まで供給されなくなることがわかった。そこで、装置を設置している環境温度の条件をいくつか設定し、造形実験を行った。結果は、室温が28℃以上の場合、PolyCast が軟化しすぎることによって、押出機構がうまく動作せず、ノズル先端まで押し出すことが困難になることがわかった。さらに、室温が20℃以下になると、ノズル近傍のヒーターで溶融された PolyCast は、冷えた外気温で急冷され凝固することを確認した。これらの理由から、造形不良が起こりにくい環境温度は21℃～27℃の範囲であるということがわかった。次に発生した問題は、PolyCast を3Dプリンターに設置したまま長期間継続使用すると、ノズルの詰まりが頻発したことである。PolyCast は湿度に弱い特性を有しており、雰囲気中に長期間放置しておくと樹脂が水分を含んでしまい、不具合が発生しやすくなるということがわかった。対策としては、こまめに除湿し乾燥することが必要となる。以上のように、PolyCast はFDM方式3Dプリンターで一般的に使用されるABSやPLAに比べて、環境要因に影響を受けやすい。したがって、造形時の環境温度並びにフィラメントの湿度管理を適正に処する必要がある。図10(a)(b)(c)に、PolyCast とPLAで造形した正方形の評価試験片、インペラー、ラティス構造体を示す。PolyCast とPLAによる造形物を比較した結果、正方形の評価試験片、インペラーは両フィラメントで良好に造形できた。一方、ラティス構造体はPolyCast において、一部造形不良が発生したが、造形モデルを工夫することで造形品質を改善することができた。



(a) 評価試験片 (左 : PLA, 右 : PolyCast)



(b) インペラー (左 : PLA, 右 : PolyCast)



(c) ラティス構造体 (左 : PLA, 右 : PolyCast)

図10 PLA と PolyCast の造形物

6. 2 石膏鑄型の製作過程

石膏鑄型の製作過程を図11(a)-(e)に示す。第一工程で、水を入れた容器に石膏粉末を投入し、石膏粉末を水に均等に浸漬させる。第一工程での所要時間は1分程度とした。なお、石膏粉末と水の配分は石膏の乾燥時や石膏を加熱時に割れを発生させる要因となるため極めて重要である。鑄造石膏の場合、石膏粉末を100に対して水の割合は48～50が適当とされている。今回は、石膏粉末100に対して水50の割合で実施した。第二工程は、石膏粉末を水に浸漬した石膏を攪拌する。泡立ないように、4分程度かき混ぜる。第三工程は、容器を振動させて、攪拌中に石膏内部に残留した気泡を抜く作業を行った。加熱した際に、石膏内部に気泡が残留した状態であると、その気泡が膨張し、石膏に亀裂を生じさせる可能性がある。なお、この工程における所要時間は1分程度である。第四工程は、脱泡した石膏を泡立ないように静かに型枠へ流し込む。第五工程は、原型を石膏内に埋没させる。以上の全ての工程を8分程度で行う。作業中の温度・湿度環境にもよるが、10分程度掛かってしまうと石膏が固まってしまい、原型を埋没させることができなくなってしまうため、注意が必要である。最後に、風通しの良いところで石膏鑄型を18時間程度乾燥させる。



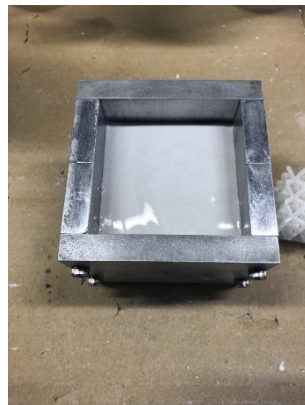
(a) 粉末の浸漬



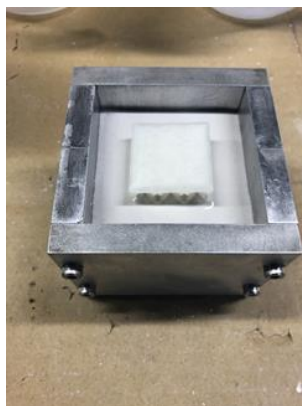
(b) 攪拌



(c) 脱泡



(d) 型枠へ抽入



(e) 原型の埋没

図 11 石膏鑄型の製作過程

6. 3 脱ロウと焼成

ロストワックス鑄造法における脱ロウと焼成の工程では、原型を埋没させた石膏鑄型（以下、鑄型）を電気炉又はコークス炉に設置し、段階的に温度を上昇させて、鑄型内部のワックスの排出と排出しきれなかったワックスを焼き切る作業を行う。脱ロウ工程は、低温で加熱し、鑄型に埋没させた原型を鑄型に残留する水分を利用し、大半のワックスを外部に排出させる。なお、鑄型を乾燥させすぎると不具合が生じるため、脱ロウ工程で使用する鑄型は適度な水分を残留した状態にする。大半のワックスが外部に排出されたところ

で、内部に取り残された少量のワックスを焼き切る焼成を行う。電気炉の温度を上昇させて長時間保温すると、ワックスが気体となって空気中に放出され、鑄型内部は完全に空洞化される。この原理に基づき、30mm×30mm×5mm の正方形の評価試験片を原型に適用し、この原型を埋没させた鑄型を用いて脱ロウ・焼成を試みた。電気炉に ProSix2000（城田電気炉材株）を用いた。図 12 に電気炉内に鑄型を設置した様子を示す。電気炉で原型の材料に用いた PolyCast を焼き切る焼失温度は、造形時のノズル温度を参考に決定した。PolyCast の造形時ノズル温度は 210℃で行った。210℃を大幅に超える温度で鑄型を加熱すれば、内部にある原型を焼き切ることが可能ではないかと推測し、焼失温度を 350℃と設定した。この条件で、常温から 350℃まで 10 分程度かけて昇温させて、350℃で 2 時間程度保温して脱ロウと焼成を行った。焼成した鑄型を図 13 に示す。図 13 より、原型の焼失は成功したが、鑄型が真っ二つに割れてしまった。この原因は、石膏は靱性が低く、急激な伸び・縮みや衝撃に弱い性質を有することから、急激な温度変化で鑄型各部において膨張の程度にバラツキが生じ、割れに繋がってしまったと考えられる。この結果を踏まえ、次に示す条件で再度実験を行った。加熱の条件を 150℃で 1 時間程度、250℃で 1 時間程度、350℃で 2 時間程度と設定し、段階的に昇温させた。この条件で脱ロウと焼成を行った鑄型を図 14 に示す。鑄型の外観から、割れの状態は確認されなかった。鑄型内部の原型の焼失は、外観から確認できなかったため、溶かした低融点合金を流し込み、鑄物の成形結果から鑄型の合否判定を行った。



図 12 炉内に鑄型を設置



図 13 急速昇温の鑄型



図 14 段階的昇温の鑄型

6. 4 湯の流し込み

前項で製作した鋳型に、溶かした低融点合金（以下、湯）を流し込み鋳造した鋳物を図 15 に示す。図 15 より、鋳造した鋳物は鋳型の隅々まで湯が行き渡らず、不完全な状態で凝固してしまっていることがわかる。これは、常温の鋳型に湯を流し込んだため、湯が鋳型内で急速に冷やされて、隅々まで湯が行き届く前に凝固してしまっただと考えられる。この失敗を踏まえて、低融点合金の融点である 138℃より高い 150℃程度で鋳型を十分に温めてから、湯を注ぎ込んだ。図 16 に、改めて鋳造した鋳物を示す。正方形の評価試験片である鋳物を測定した結果、縦横 29.90～30.02mm、厚み 5.11～5.23mm であった。原型の寸法は、幅 30.15mm、厚み 5.2mm であることから、鋳物はわずかに小さくなった。これは、温かく膨張していた湯が冷却により収縮したと考えられる。また、鋳物の表面には積層の跡が転写されており、3D プリンターで造形された原型を詳細に再現していることも確認できた。この他にも、インペラーやラティス構造体の鋳造も試みた。図 17、図 18 にインペラー及びラティス構造体の鋳物をそれぞれ示す。双方ともアンダーカットを含んだ複雑形状であるが、完成品に異なる結果となった。インペラーは、多くの箇所で羽の再現が出来ず、鋳造不良となった。インペラーの羽は薄くねじれた構造であることから、脱ロウ時に樹脂が適切に排出されなかったと考えられる。今後、樹脂が排出できる厚みと深さの関係を明らかにすることが必要である。一方、ラティス構造体は内部の空洞部分まで詳細に再現することができた。この結果より、骨組み部分の寸法や傾斜角度を適切に設定することができれば内部空洞の構造体でも鋳物を成形することが可能ということがわかった。引張試験で低融点合金の強度を明らかにし、強度に懸念があることは前述したとおりであるが、安全性を担保しつつ構造体の内部を局所的に空洞化することができれば、総重量の減少に繋がるメリットがある。



図 15 失敗した鋳物



図 16 成功した鋳物



図 17 インペラー



図 18 ラティス構造体

7. まとめ

本研修を通して、3D プリンターの使用方法において、一般的なフィラメントを用いた造形方法の習得のみならず、金属鋳造用フィラメントの造形ノウハウを蓄積することができた。また、ロストワックス鋳造における石膏鋳型の製作方法や、脱ロウ・焼成時の重要パラメータである焼成温度カーブを得ることができた。低融点合金を用いて鋳造した鋳物は、強度に懸念はあるものの、金属性の複雑な形状を成形できる技術は極めて有用であり、環境温度や強度の条件を明確にし、適用範囲を厳格化すれば使用可能と考えられる。

8. 参考文献

- [1]. 氷見清和等, 樹脂 3D プリンターによる焼失模型鋳型の作製と金属鋳造に関する研究, 富山県産業技術研究開発センター研究報告 No.33(2019)
- [2]. 株式会社ニラコ, 低融点合金特性表
- [3]. 吉田キャスト工業株式会社, 【ビギナー編】ロストワックス鋳造/鋳型の温度の上げ方について, <https://yoshidacast.com/>
- [4]. MONOweb, ロストワックス鋳造法とは, <https://d-engineer.com/kikaikakou/seimitutyuuzou.html>
- [5]. i-maker, 3D プリンターのロストワックス鋳造用フィラメント完全ガイド, <https://i-maker.jp/blog/lostwax-filament-29500.html>

コンテナ仮想化を用いたサーバ環境構築技術の修得

廣木 智栄* 小澤 伸也** 道幸 雄真* 清水 尚希**

1. はじめに

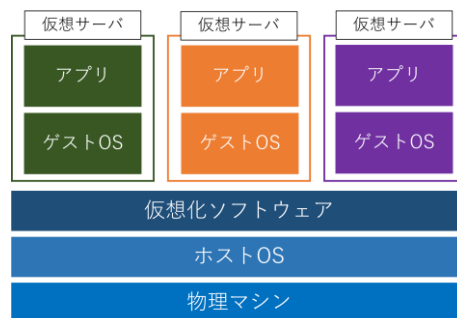
サーバにおいて、CPU、メモリ、ストレージなどを抽象化し、ソフトウェア的に統合・分割する仮想化は有限な IT リソースを有効活用する上で強力な技術である。この仮想化技術の 1 つであるコンテナ仮想化は、コンテナ管理ソフトウェアを使用することにより、物理環境とは独立した仮想的な実行環境をコンテナと呼ばれる単位で容易に作成および配布もすることができる。このため、物理環境は一定年数ごとに新しくする必要があるのに対して、サーバの動作環境を仮想上に容易に構築できることは業務上非常に有用である。

そこで本研修では、コンテナ仮想化を実現するオープンプラットフォームである Docker を使用し、コンテナ仮想化を用いたサーバ環境構築技術の修得を目指した。

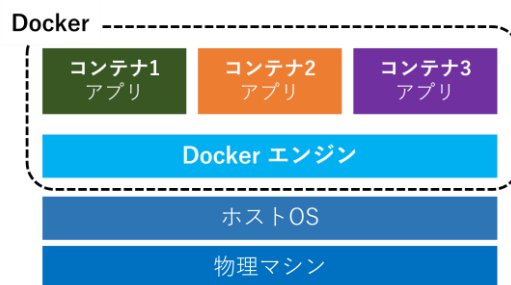
2. Docker とは

Docker とはコンテナと呼ばれる仮想化技術を用いて、仮想環境を構築できるツールのひとつである。従来からの仮想化技術であるサーバ仮想化技術（図 1 (a)）では、1 つの物理マシン上に仮想化ソフトウェアが実行され、その上で異なる OS を持った複数の仮想のマシンを作成し、それぞれの OS でアプリケーション（以下アプリ）を構築するといった仕組みが使用されている。Docker によるコンテナを用いた仮想化技術（図 1 (b)）では、物理マシン上の OS に Docker をインストールし、Docker 上にコンテナを作成し、作成されたコンテナ上でアプリが構築される仕組みとなっている[1]。

従来の仮想化技術との大きな違いは、コンテナ内にゲスト OS を持っていないといった点がある。コンテナを用いた仮想化技術ではカーネルはホスト OS のものを利用するため、処理を効率化することができる。具体的にはシステム



(a) サーバ仮想化（ホスト型）



(b) Docker コンテナによる仮想化

図 1 Docker コンテナを用いた仮想化と従来の仮想化（サーバ仮想化）のイメージ

リソースとなる CPU、メモリ、ストレージなどを、サーバ仮想化とは違い、仮想化のために事前に割り当てる必要がなく、自動で割り振りが行われる。

また、Docker におけるコンテナは、基本的なアプリやソフトウェア、コンテナを動かすためのファイルシステムなどが含まれたコンテナイメージによって作られるため、このイメージを配布することで同じコンテナを複数作るといったことも可能である。イメージから作成したコンテナを実行するとコンテナ上のアプリを動作させることができるが、物理マシンに直接アプリの実行に必要なソフトウェアやファイルシステムなどを構築しているわけではないため、それらを 1 つずつインストールする手間もなく、コンテナの削除を行うだけでアプリの実行環境の削除も容易に行うことができる。

以上のことから、隔離されたプロセスとなっ

* 第 3 技術室 システム制御班

** 第 3 技術室 システム設計班

ているコンテナを使用することでホスト OS 上にある既存の環境を変更することなく別の環境を構築または削除することができ、Web サーバやデータベースといったものを作成し、それらの動作検証を簡単に実行できることが Docker を使用するメリットと言える。

3. Windows 上での Docker Desktop 環境の構築

ここでは、Windows 上で Docker を動かすことを目標に教本[1]を参考に環境の構築を行った。Windows 上で Docker を使うには、WSL2 (Windows Subsystem for Linux 2)が必要であるため、WSL2 の有効化を行った。有効化後、個人利用等の小規模な利用では無償で提供されている Docker Desktop のインストールを行った。Docker は通常 CUI のみで操作をするものであるが、Docker Desktop は CUI 以外にも GUI からの操作もサポートされ、Windows 上で Docker を扱うにも必要なソフトとなる。

Docker Desktop のインストール完了後、複数の仮想サーバ構築を行った。Docker の操作は基本的に docker コマンドにより行う。本研修では、PowerShell を用いてコマンド実行を行った。

まず、Apache コンテナの作成を行った。docker container run コマンドを実行し、コンテナの作成、実行を行った。Apache は Web サーバであるため、実行結果は、Web ブラウザから確認できる。実行結果は図 2 のようになり、コンテナが作成されていることが確認できた。



図 2 Apache コンテナの実行結果

次に、WordPress コンテナの作成を行った。WordPress は、CMS(コンテンツ管理システム)であり、実行には MySQL または MariaDB が必要であるため、MariaDB のコンテナも併せて作成した。この場合、2 つのコンテナを作成することになるが、Apache コンテナの作成時に用いた docker container run コマンドは、1 つのコンテナを作成するためのコマンドなので用いず、複数のコンテナの作成に適した docker compose コマンドを用いる。このコマンドは、compose.yaml というファイルを読み込みことで

コンテナを作成し、実行する。実行結果は Apache コンテナと同様に、Web ブラウザから確認でき、図 3 のようになったため、コンテナが正しく作成されていることが確認できた。



図 3 WordPress+MariaDB コンテナの実行結果

最後に、PHP と Apache と MariaDB を組み合わせることでコンテナの作成を行った。PHP、Apache、MariaDB の組み合わせは Web 開発で使われることが多々ある組み合わせである。WordPress コンテナ作成時と同様に、複数のコンテナを作成するため、docker compose コマンドを用いて、コンテナの作成、実行を行った。実行結果を Web ブラウザから確認すると図 4 のようになり、コンテナが正しく作成されていることが確認できた。



図 4 PHP+Apache+MariaDB コンテナの実行結果

4. Linux 上での Docker 環境の構築

Windows 上での Docker 構築を行った後、本研修では技術部でサーバ用 OS として利用している Linux 上での Docker 環境の構築を試みた。Linux 上での Docker 環境の構築は Windows 上での Docker 環境の構築に用いた Docker Desktop の Linux 版である Docker Desktop for Linux を採用することもできるが、技術部のサーバは通常 Docker Desktop の強みである GUI で操作することはなく、CUI で操作することが主であることから、今回は Docker Desktop を利用するのではなく、通常の Docker をインストールすることとした。本研修では LinuxOS として、一般に良く利用されている OS である Ubuntu を採用した。

研修は使われていないデスクトップ PC を用いた研修環境（図 5）に各自が Ubuntu22.04 LTS をインストールし、必要な初期設定をするところから行った。



図 5 Linux における研修環境

Linux における Docker 環境の構築方法については、Docker 公式サイトに手順が詳細に記述されており、研修で利用した Ubuntu に Docker 環境を構築する場合は、Docker 公式ダウンロードサイトから公開鍵である GPG キーを取得し、それを用いてパッケージ管理システムである Apt に Docker 公式リポジトリを登録することにより、Apt を用いて Docker をインストールすることができる。研修では、各自が Docker 公式サイトを閲覧しながら Docker 環境の構築を行い、Docker 公式コンテナである hello-world を実行することで、正しく Docker 環境が構築できていることを確認した。

次に、Windows での研修で構築した仮想サーバと同じものが構築できるかについて、同じ教本を参考にしながら行い、図 2、図 3、図 4 と同じ実行結果が得られることを確認した。また、Windows 上での Docker 環境構築時に利用した docker compose コマンドが compose.yaml ファイルによって仮想サーバの構築が可能であることから、Windows 上での研修時に作成した compose.yaml ファイルを Linux 上にコピーし、それを読み込んで仮想サーバの構築を行った。結果は Windows 上で構築したものと同一仮想サーバを構築することができ、Docker を利用することで開発環境に依存せずにシステム開発等が行えることがわかった。

5. Docker による仮想サーバ（web システム）向けテスト環境の構築

工学部技術部では安全衛生管理推進グループの業務の 1 つとして、高圧ガスボンベ管理システムや化学物質リスクアセスメントマルチツール等、いくつかの Web システムを提供している。

これら Web システムは、PHP を用いて構築されているが、PHP はサーバ更新等によりバージョンが上がった際に正しく動作しない事があり、その場合 Web システムの修正作業が必要となる。安全衛生管理推進グループでは、これら Web システムのためにテストサーバを 1 台用意しているが、システム修正作業は長期間におよぶことも多いため、現行システムのテストサーバを更新用テストサーバにすることはできない。そのため、これまでは別途更新後サーバと同じ環境のテストサーバを作成することで対応してきたが、これは物理的にも作業的にもコストが非常に高い。また、システム修正作業において、テストサーバ上を直接書き換えずに、自身のローカル環境でシステム修正をしたものをアップロードする場合、ローカル環境とテストサーバの環境に違いが生じることがあり、ローカルでは動作するのにテストサーバ上では動作しないといった問題も多くみられる。これら問題に対して、本研修で修得した Docker を用いることができれば、1 つのテストサーバ上に複数の異なるテスト環境を構築することでコストの低下が期待されるとともに、システム管理者間で Docker コンテナを共有することで完全に同じ環境をローカルとテストサーバ上に構築することができるため、環境の微妙な違いによる不具合を避けることも期待される。

このことについて本研修では、安全衛生管理推進グループのテストサーバ上に Docker 環境を構築し、その有効性について検証を行った。検証は、以下の要件を満たせるものが作成可能かについて行った。

1. 現在のテストサーバのディレクトリをそのままコピーして動作する
2. システム修正を容易にすることができる
3. 現在の DB をそのまま利用できる

テストサーバへの Docker 環境の構築は OS が Linux であったこともあり、研修で実施したものと同一手順で構築することができた。

1. については Docker のバインドマウントを利用することで実現した。バインドマウントは、コンテナ内のディレクトリにホスト側のディレクトリをマウントする技術であり、マウント内容を compose.yaml ファイルに記述することで設定することができる。今回は現在のテストサーバのディレクトリ構造と同じになるように、

/var/www/html と /var/www/php_libs というディレクトリについてバインドマウントでホスト側のディレクトリをマウントできるようにし、マウントされたディレクトリにファイルを置くことでできていることを確認した。

2. について、1. のバインドマウントですすでに十分要件を満たせてはいるが、さらに、各ユーザのローカル環境でも同じ環境が容易に構築できるように検討を行った。compose.yaml によるコンテナ構築は yaml ファイルを共有することでまったく同じ環境を構築することができるため、非常に強力ではあるが、yaml ファイルはコンテナを作成するためのものなので、利用するイメージについては用意されているものしか利用できず、細かな設定についてはコンテナ内で実施する必要がある。これに対して Docker では作成するイメージについて設定できる Dockerfile (図 6) があり、Dockerfile と compose.yaml (図 7) を組み合わせることにより任意のイメージでコンテナを構築することができる。研修では、現在予定されている移行先仮想サーバと同じ内容で Dockerfile と compose.yaml を作り、それが正しく動作すること、コピーすることでまったく同じ環境を別な PC で容易に構築できることを確認した。

```
FROM rockylinux/rockylinux:9.2

RUN dnf -y update && dnf clean all

# apache, php のインストール
RUN dnf -y install httpd
RUN dnf -y install php php-devel php-pdo php-cli php-fpm php-curl php-mysqlnd php-gd php-opcache php-zip php-intl php-common php-bcmath php-json php-readline php-mbstring php-apcu php-xml php-pear php-pecl-apcu

# 日本語設定
RUN dnf -y install langpacks-ja glibc-langpack-ja glibc-all-langpacks

#RUN localectl set-locale LANG=ja_JP.UTF-8

# enable service.
RUN systemctl enable httpd

## プロキシ設定
ARG ENVIRONMENT
COPY $ENVIRONMENT /etc/

CMD ["/sbin/init"]
```

図 6 Dockerfile

```
services:
  web:
    build:
      context: ../
      args:
        - ENVIRONMENT=environment
    container_name: "ozawa-test"
    ports:
      - 56038:80
      - 56039:443
    volumes:
      - ../public:/var/www/html
      - ../php_libs:/var/www/php_libs
    environment:
      TZ: Asia/Tokyo
    privileged: true
    stdin_open: true
    tty: true
```

図 7 compose.yaml

3. については、システムの DB サーバの記述を localhost から自分のサーバアドレスを指定することで実現できた。これはシステムにおける話であるため、Dockerfile や compose.yaml であらかじめ設定することができず、Docker を利用する上でのデメリットと言えるが、システムのプログラムファイルはディレクトリ毎コピーすることで動作することが可能であるため、あらかじめ修正したファイルを共有すれば大きな問題では無いと言える。また、Docker コンテナからのアクセスは外部アドレスになるため、ユーザに外部アクセスの許可設定が必要となるが、プライベートアドレスによるアクセスであるため、セキュリティ上は特に問題ないと言える。

研修では、安全衛生グループ仮想サーバと同じ環境で Docker コンテナを構築し、実際にシステムを設置することで問題なく動作することを確認した (図 8)。また、今後利用する上で必要と思われる要件を満たすことについても確認できた。



図 8 Docker コンテナ上での Web システム

6. 参考文献

[1] Docker&仮想サーバー完全入門 Web クリエイター & エンジニアの作業がはかどる開発環境構築ガイド, リブワークス, インプレス, 2022

走査型電子顕微鏡の観察における断面試料作製技術の修得

竹内 利幸* 東郷 広一** 高澤 拓也* 川井 康督***

1. はじめに

走査型電子顕微鏡（以下，SEM）における断面観察では，内部の構造や組成を正確に捉えるため，適切な断面加工を行った試料を作製する必要がある．試料の断面加工方法には，刃物による切断から，機械切断と機械研磨の組合せ，さらには Cross section Polisher（以下，CP）によるアルゴンイオンビームでの加工等，様々な手法があり，試料の性質に応じて最適な方法を選択する必要がある．本研修では，金属や樹脂，コンクリートといった材料に対し種々の方法で断面加工を行い，各手法の違いや各材料に対する有用性を確認する．

2. 主な断面加工方法

断面加工方法として，機械研磨法や CP がある．機械研磨は水と研磨材を用いて試料全面を研磨する方法である．広い領域の観察をすることができ，また光学顕微鏡や分析の為の変質層除去等，他の観察・分析装置への応用範囲が広い．しかし，機械研磨は機械的ダメージが入りやすいため，機械的ダメージを与えずに加工するのであれば CP の加工が良い．CP は，アルゴンイオンビームを用いて断面加工をする方法で，表面汚染がほとんどなく SEM での反射電子像による組成の違いを見ることができる．機械研磨と CP の加工イメージを図 1 に示す．

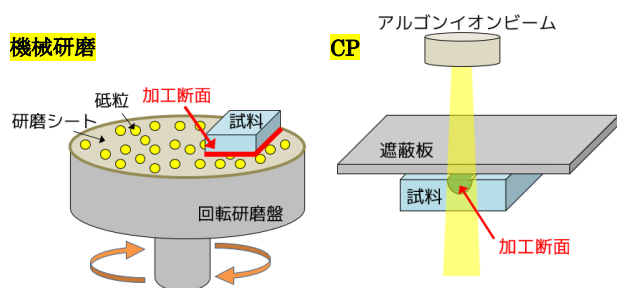


図 1 断面加工方法のイメージ図

3. 検証

断面加工方法について各手法の違いや有用性を確認する為に，以下 3 通りの検証を行った．

3.1 薄膜材料における断面加工の比較

薄膜材料に対して様々な手法の断面加工の比較を行い，どれが適切な断面加工方法なのか検証を行った．薄膜材料の断面加工は非常に難しく，観察箇所を变形させてしまう可能性がある．今回はスマートフォン用の液晶保護フィルムを用いて，はさみ，薄膜用断面作製カッター，CP の 3 種類で断面加工を行い SEM で断面観察して比較を行った．液晶フィルムは基材と粘着層，剥離フィルムの 3 層構造のものをを用いた．薄膜用断面作製カッターを図 2 に示す．これは主に薄いフィルムやシートをカッターの刃で切断して断面が潰れないよう加工するものである．各手法で切断・観察を行った結果を図 3 に示す．

図 3 (a) のはさみで断面加工をしたものは基材，粘着層，剥離フィルムの各層は潰れてしまい，加工方法としては適さなかった．図 3 (b)，(c) の薄膜用断面作製カッターと CP を用いて断面加工したものは，はさみで断面加工をしたものと比較して層の潰れ等が無く加工することができた．上から順に剥離フィルム，粘着層，基材それぞれの膜厚や断面の状態を確認することができ，断面加工の方法としては適していることがわかった．

また，この液晶フィルムには指紋防止機能があり基材の最表面にフッ素コートがされている．このフッ素の付着を確認する為，EDS による元素分析を行った．断面加工が良好であった薄膜用断面作製カッターと CP で断面加工したものを EDS による元素分析を行い比較した．図 4 に分析エリア，表 1 に分析結果を示す．CP で断面加工したものは基材最表面からフッ素が検出されたが，薄膜用断面作製カッターでは検出されなかった．これは薄膜用断面作製カッターではフッ素の存在する極表面層が潰れてしまったためと推察される．そのため，元素分析をするには CP の方が適していることがわかった．

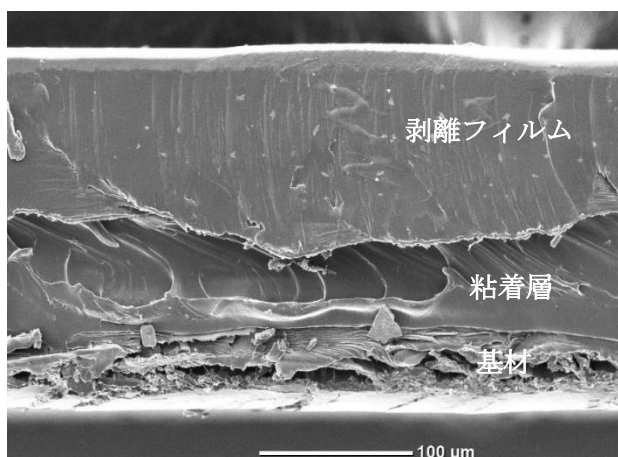
* 第 1 技術室

** 第 1 技術室 機械システム班

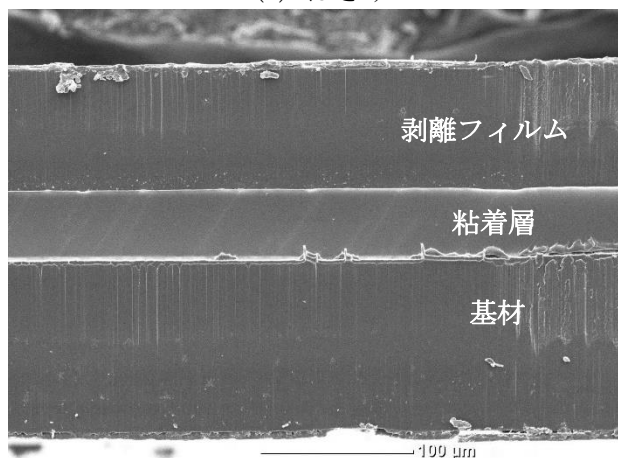
*** 第 2 技術室



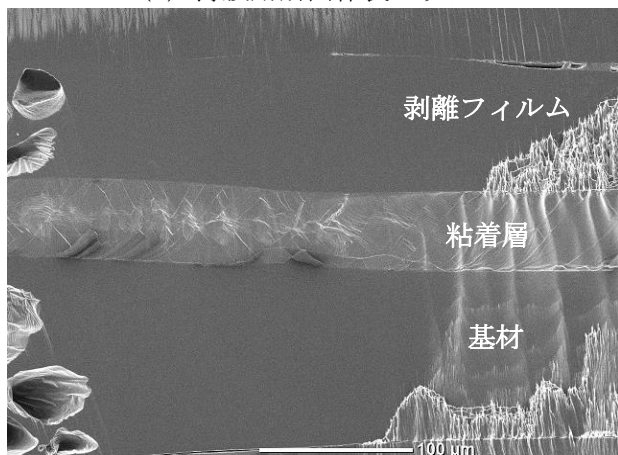
図2 薄膜用断面作製カッターの外観



(a) はさみ

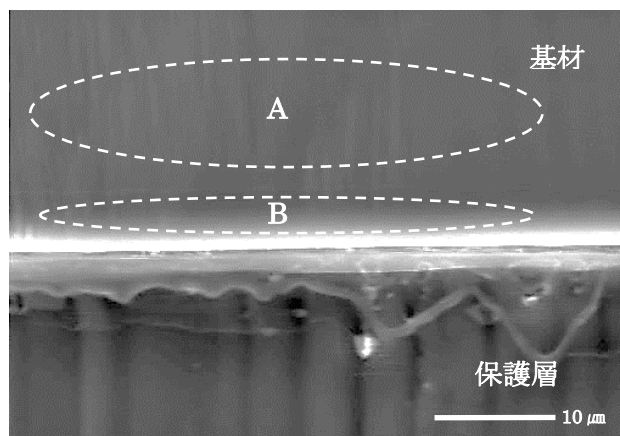


(b) 薄膜用断面作製カッター

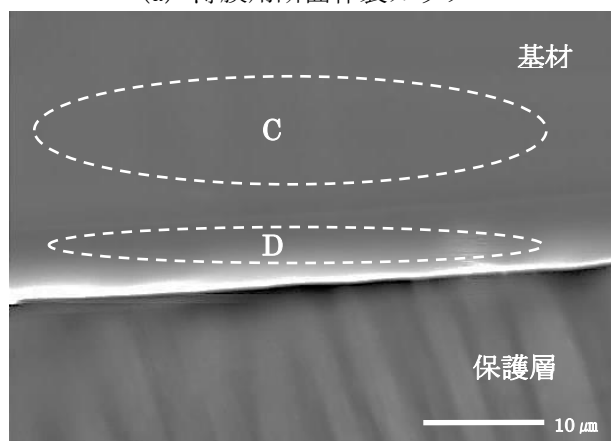


(c) CP

図3 液晶保護フィルムの断面観察結果



(a) 薄膜用断面作製カッター



(b) CP

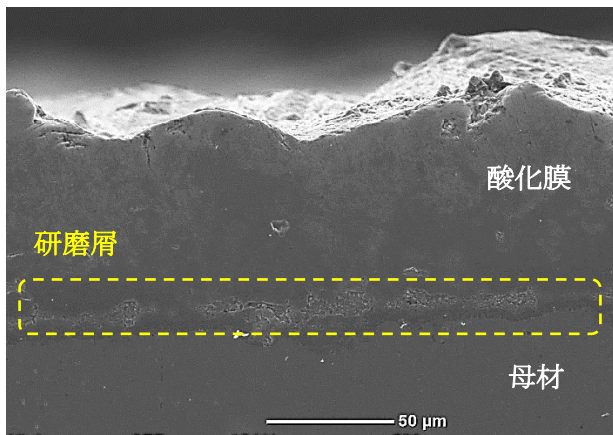
図4 分析エリア

表1 分析結果

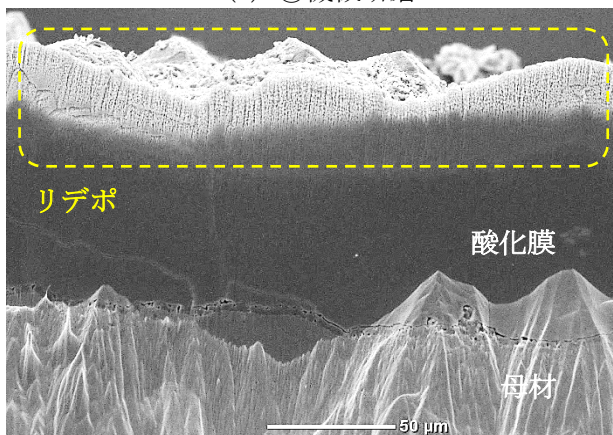
測定箇所	元素	C	O	F	Si	S
A	質量%	63.34	35.45	ND	0.10	0.11
	原子%	70.67	29.23	ND	0.05	0.05
B	質量%	66.61	32.37	ND	0.90	0.12
	原子%	72.93	26.60	ND	0.42	0.05
C	質量%	69.31	30.58	ND	0.10	0.07
	原子%	75.08	24.87	ND	0.05	0.03
D	質量%	74.14	24.70	0.03	0.98	0.16
	原子%	79.57	19.90	0.02	0.45	0.06

3.2 CP 加工時における保護膜の違い

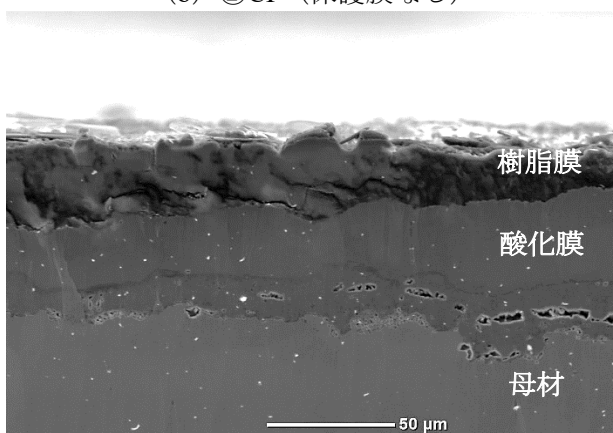
金属の酸化膜に対して CP 加工時における保護膜の有用性を確認した。また保護膜の有無，種類を変えて比較を行い，どれが適切な手法なのか検証を行った。本研修では①機械研磨，②CP（保護膜なし），③CP（樹脂の保護膜），④CP（油性マジックの保護膜）の4種類断面加工試料を作製し SEM で観察を行った。それぞれの SEM 観察断面を図5に示す。



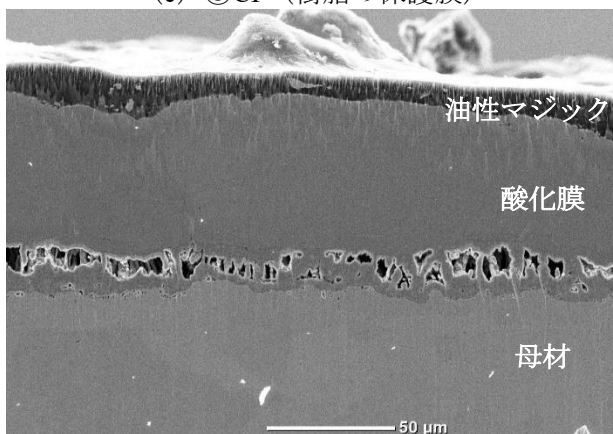
(a) ①機械研磨



(b) ②CP (保護膜なし)



(c) ③CP (樹脂の保護膜)



(d) ④CP (油性マジックの保護膜)

図5 酸化膜の断面加工

① 機械研磨

機械研磨で断面加工を行ったものは酸化膜と母材の断面を捉えることができたが、酸化膜と母材の間に存在する空隙に研磨層が入り込み、空隙の形状が不明瞭であった。

② CP (保護膜なし)

保護膜なしで CP を用いて断面加工を行ったものは、酸化膜と母材の間にある空隙の形状は明瞭に観察できたが、酸化膜の表面側でリデポ（イオンビームで削られた試料の再付着）が発生しており酸化膜最表面側の断面が不明瞭であった。

③ CP (樹脂の保護膜)

酸化膜表面に 2 液混合のエポキシ樹脂の保護膜をつけて CP を用いて断面加工を行ったものは、酸化膜と母材の断面、空隙の形状が全て明瞭に観察できた。

④ CP (油性マジックの保護膜)

酸化膜表面に油性マジックの保護膜をつけて CP を用いて断面加工を行ったものは、酸化膜と母材の断面、空隙の形状が全て明瞭に観察できた。

図5より、エポキシ樹脂と油性マジックで保護膜を付けた断面は良好で両者は同等の質と言える。しかし、エポキシ樹脂は 2 液混合させ完全に硬化させるのに半日程度は時間がかかるのに対し、油性マジックは塗布後に硬化させる時間は必要なく、直ちに CP 加工が可能である。手間や時間、コストを考慮すると油性マジックを用いた保護膜による方法が優位だと言える。

3.3 他分野への応用

機械系分野で普段取扱うことのない材料に対し、最適な断面加工方法の検討を行った。本研修では建築・土木分野からの分析依頼に対応できるようにコンクリートの断面加工と SEM による観察を試みた。コンクリートは、水、セメント、骨材を混ぜ合わせて作られる世界で広く使われている一般的な建設材料である。水とセメントが接触すると水和反応が進行し、セメントの結合力でコンクリートの強度が高くなって硬化をしていく。このとき、水和反応によってセメント水和物が生成される。セメント水和物のうち多くの部分を占めるものはケイ酸カルシウム水和物 C-S-H であり、残りの部分は、水酸化カルシウム Ca(OH)_2 、エトリンガイト、モノサルフェートといった結晶状の物質で構成されている。またその他の微細構

造として、水が水和反応によって消失してできた毛細管空隙（0.01～100 μm）などがある．このセメント水和物の形態観察や組成観察をすることで、コンクリートの強度・耐久性の評価をすることができる．

最初にセメント水和物の生成状況や有害物質の有無の確認をするため、形態観察を行った．（図6 参照）断面加工は機械研磨を行い、結晶を破壊しない最適な研磨条件を選定した．また、SEM観察は表面形状の把握に適した二電子像で行った．ケイ酸カルシウムや水酸化カルシウム、毛細管空隙等を観察することができ、断面加工の方法として適していることが確認できた．

次にセメント内部の水和物分布状況を確認するため、組成観察を行った．（図7 参照）複雑な内部組織を観察するため、機械研磨で内部組織が潰れないよう樹脂包埋後に機械研磨を行った．また、凹凸や空隙の発生しない平滑な研磨条件を選定した．観察は組成が見やすい反射電子像で行った．反射電子像は元素番号が大きいほど明るく見える為、組成の違いが見やすい像を取得することができる．骨材やセメント水和物の分布状況を観察することができ、断面加工の方法として適していることが確認できた．

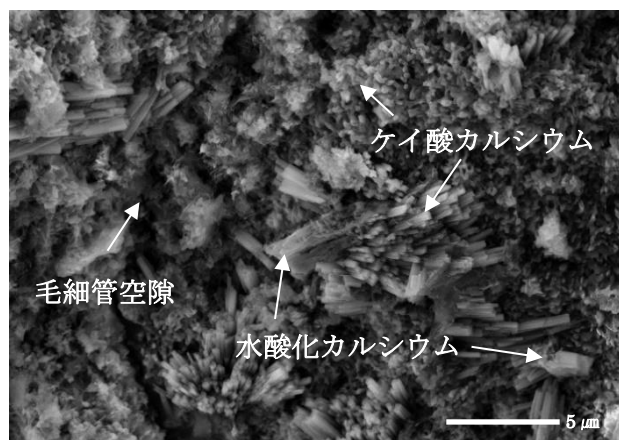


図6 コンクリートの形態観察の結果

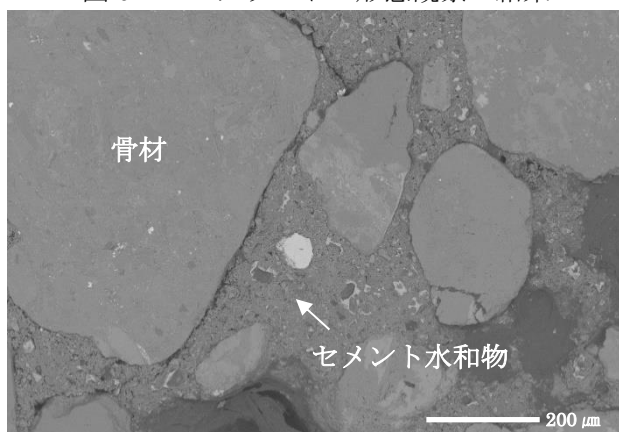


図7 コンクリートの組成観察の結果

4. まとめ

本研修を通して、樹脂フィルムのような薄い試料、金属表面の酸化膜、コンクリートといった材料の断面加工技術を修得することができた．またSEMの機器操作技術ならびに試料前処理に関する知識とテクニックを向上させることができた．今後は、本研修で得た知識を応用して様々な依頼分析に対応していきたいと思う．

参考文献

- [1] 石田哲也，マンガでわかるコンクリート，オーム，2011
- [2] 五十嵐心一，米山義広，Wei Chen，H.J.H.Brouwers：セメントペーストの反射電子像とシミュレーション組織の比較，コンクリート工学年次論文，Vol.29，No.1，2007

謝辞

本研修の実施にあたり、ご助言頂きました産学官連携本部の西村文宏助教、装置の使用許可を頂きました産学官連携本部の米沢晋教授に深く感謝申し上げます。

ゼロから CNC レーザー加工機を組み立て、動作原理を学ぶ

内山 裕二* 山森 英智* 橘 和希* 青山 直樹** 川崎 孝俊***

1. はじめに

本学の先端科学技術育成センターに派遣されている技術職員は CNC 加工機を利用した精密加工を行っているが、改めて CNC 加工機の CNC(Computer Numerical Control : コンピュータ数値制御)が何を行っているか理解するためにゼロから CNC 加工機の組み立てを行い、その動作原理を学ぶ。今回用いる CNC は Arduino マイコンに CNC シールドを取り付け、CNC プログラムを書き込むことで CNC マイコンとした。そこからステッピングモータの制御や PWM 制御による主軸機器の制御が可能となる。今回はダイオードレーザーを取り付け、CNC レーザー加工機の製作を目指す上で、CNC の理解を深め、学べる点をまとめる。また、製作するうえで、安価で誰でも製作できるようにすることを意識し、今後講習や授業に活用することも検討する。

2. CNC とは

CNC とは、Computer Numerical Control の略語であり、コンピュータ数値制御を意味する。CNC 工作機械はいずれもコンピュータが組み込まれており、コンピュータから工具や工作物の移動量、回転速度等を数値によって制御することで精度の良い精密加工を行う。また、CNC 工作機械を動作させるには G コードと呼ばれるプログラムが必要であり、G コードは自分でプログラムする、もしくは CAM ソフトで作成する。ここで作成した G コードを入力することで CNC 工作機械はそのプログラム通り動作するが、CNC は読み取った G コードに対し、どのように制御するのか、改めて理解することで今後の装置開発に活用したいと考える。今回はオープンソースの CNC プログラムがあり、それをマイコンに書き込むことで CNC コントローラとすることが出来るため、それを用いて CNC の動きを学ぶ。

3. CNC レーザー加工機概要

CNC の動きを学ぶために、CNC レーザー加工機を製作する。全体の概要図を図 1 に示す。

CNC プログラムには github に提供されている Grbl と呼ばれるファームウェアを使用し、Arduino マイコンに書き込む。さらに Arduino マイコンに CNC シールドを取り付けることで、ステッピングモータを最大 4 つ{X 軸、Y 軸、Z 軸、クローン(どれかの軸と同じ制御)}と PWM 出力によるスピンドルやレーザー制御等が可能であり、リミットスイッチを追加で取り付けることによる原点移動等の制御も可能である。

レーザー加工機にはステッピングモータ及ダイオードレーザーを使用する。ダイオードレーザーには LASER TREE の 10W レーザーを使用する。レーザーの仕様としては、レーザー出力は 10W であり、波長は 450nm(±10nm)、焦点距離は 45mm のものである。レーザーの安全基準であるレーザークラスは 4 であり、やけどや火災の危険性もあるため、取り扱いには十分に注意し、レーザーの光の波長を通さない保護メガネも用意した。このレーザー加工機を前述の CNC マイコンで制御することで CNC レーザー加工機となる。次にレーザー加工機的设计・製作を行う。

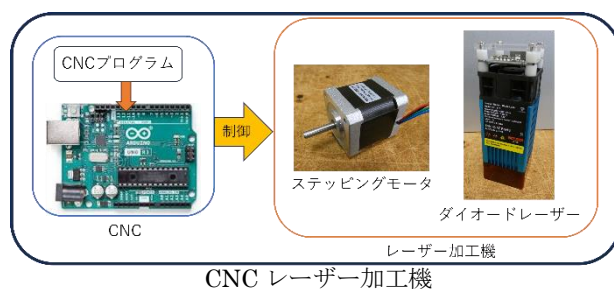


図 1 CNC レーザー加工機概要図

4. CNC レーザー加工機的设计・製作

安価かつ誰でも製作できるようにするためミスマのアルミフレームを使用した設計・製作を行った。設計したものを図 2 に示す。

* 第 1 技術室 機器開発・試作班

** 第 3 技術室 システム設計班

*** 工学部技術部

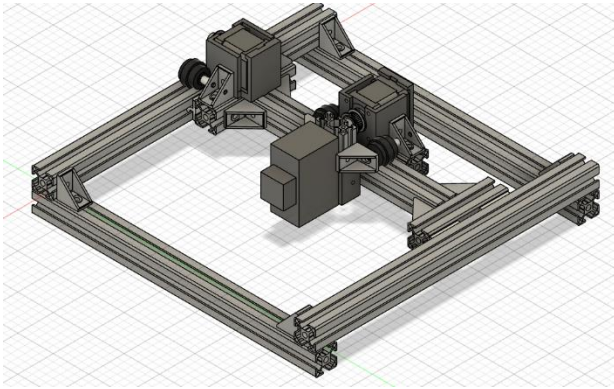


図2 CNC レーザー加工機設計図

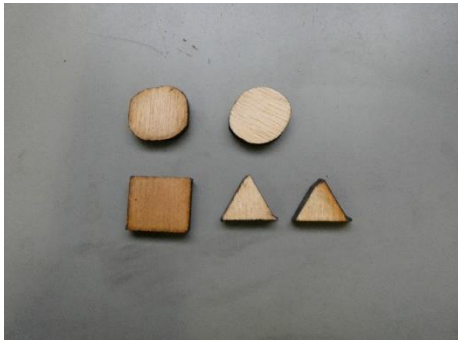


図3 加工結果

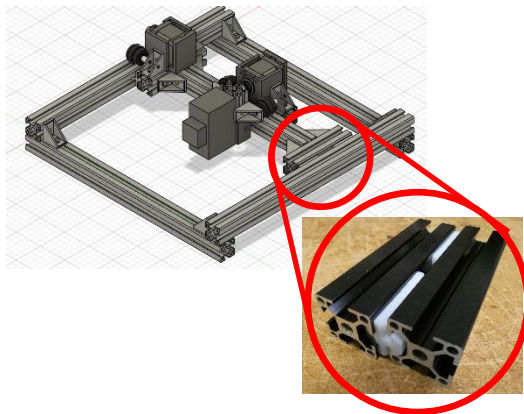


図4 失敗した要因

これをもとに製作したものでレーザー加工を行った結果が図3となる。正円、正四角形、正三角形を切断するようCAMツールで行ったが、綺麗な形に加工することはできなかった。失敗してしまった要因として、図4で示すようにY軸方向に動くアルミフレームの片側をスライドガイド任せにしてしまったため、そのガタが大きく、軸の移動に影響してしまったためであると考えた。そのため、そこを考慮した改修機を設計・製作した。設計図を図5に、製作したものを図6に示す。改修機はY軸方向に動くアルミフレームの両側にシャフトを通し、ステッピングモータ2つによ

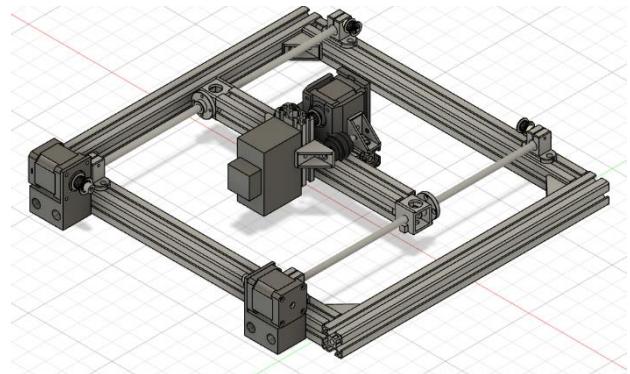


図5 CNC レーザー加工機改修設計図

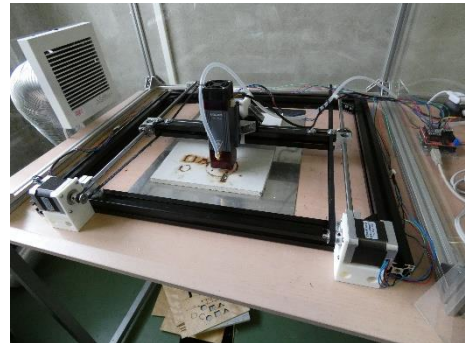


図6 CNC レーザー加工機

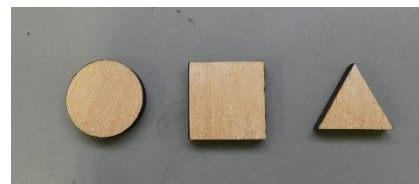


図7 加工結果

り左右の振れをなくすことで、きれいに加工することが出来るようになった。(図7) また、製作したCNCレーザー加工機でどのような材料が加工できるか試した結果を表1に示す。アクリルは黒もしくは色付きのみ加工可能であり、透明のものはレーザーが透過するため加工することはできなかった。アルミはアルマイト加工されたものは刻印加工が可能であるが、無垢の状態に加工することはできなかった。

表1 各種材料の加工結果

	合板	アクリル	ステンレス	アルミ
刻印	○	○	○	○
切断	7mm	5mm	×	×

5. CNC の制御について

CNC レーザー加工機を製作することができたが、今回はさらに CNC について深掘する。製作したレーザー加工機は CNC プログラムがなくとも自分でモータ制御のプログラムを書けば動かすことが出来る。そこで単純にモータを制御するプログラムを作成し、レーザーの代わりにペンを取り付け、任意の図を描いてみる。

その図と CNC で同様の図を描いた結果を図 8 に示す。モータ制御のみで描いたとき、描きたい図とは違った図になることが分かる。これは X 軸と Y 軸のモータの回転速度が同じであったためにおこる現象であり、任意の線分を描きたい場合は、目標の座標に合わせて X 軸と Y 軸のモータの回転速度をそれぞれ調整する必要がある。CNC はこれを解決するために、目標の座標に対して、線形補間を行っていた。図 9 で考えると、現座標から目標の座標に対して Vmm/min で移動させる場合、各軸のモータの送り速度は以下の通りとなる。

$$V_x = \frac{\Delta Px^2}{\sqrt{\Delta Px^2 + \Delta Py^2}} * V$$

$$V_y = \frac{\Delta Py^2}{\sqrt{\Delta Px^2 + \Delta Py^2}} * V$$

ここから更にステッピングモータ 1 回転で何 mm 進むかを与えれば、ステッピングモータの回転速度が求まる。これに合わせてモータの制御を行っていた。これが CNC の行うことの一つであり、他にもモータの加速度を考えるなど多くのことを踏まえた制御を行っていることが分かった。

6. まとめ

ゼロから CNC レーザー加工機を製作してみた結果、CNC は単純な制御だけではなく、G コードで与えられる目標座標に対して、どのような速度でモータを回転させればよいか、ちゃんと計算を行っていることが分かった。また、副題としてなるべく安価で容易に製作できるようにしたいと考えていた。しかし、今回の研修を終えて、価格面に関して、およそ 80,000 円近くかかってしまったこと、製作のしやすさに関して、製作しやすいとは言えない設計であるため、今後として CNC 工作機械の講習としても使用できるようにさらに安価かつ容易に製作できるよう検討したい。

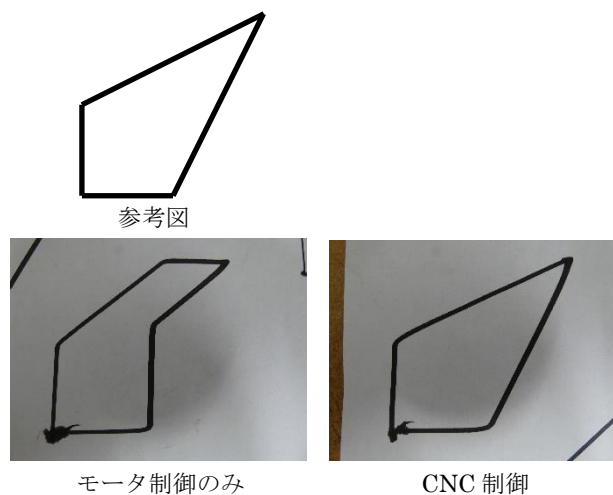


図 8 加工機で描いた結果

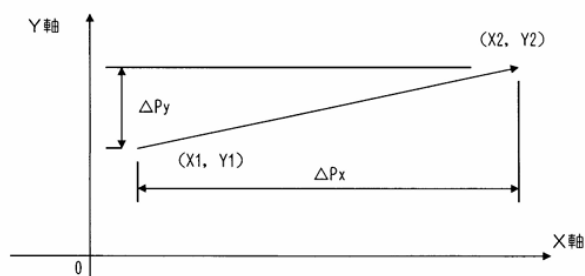


図 9 線形補間参考図

化学防護手袋の簡易的な透過性評価手法を用いた 実測と適正使用に関する調査

井波真弓* 田畑功** 道幸雄真*** 戸澤理詞**** 宮川しのぶ* 山口綾香* 山田美空*

1. はじめに

化学物質を取り扱う際、使用する化学物質に対して適切な化学防護手袋（以下、手袋）を着用することは必要不可欠であり、その化学物質に対する手袋性能を認識せずに使用すると経皮吸収によるばく露リスクが高まってしまう。ばく露リスクを低減するには、作業者が自身で適切な手袋を選定できるようになることが望ましく、そのための安全教育等が必然になってくる。

ところで、本学の工学部技術部が運用している化学物質リスクアセスメント（CRA）マルチツール¹⁾には、溶解度パラメータやケミカルインデックスを活用した耐劣化性や透過速度に基づく破過時間（耐透過性）を確認できる機能が搭載されている。使用する化学物質に対して簡便に手袋を選定できる点で有利ではあるが、研究室等で使用されている多くは薄手手袋であり、それらの破過時間データが不十分である等の課題もある。

本研修では、適切な手袋使用のための事前準備として保護具の選定に関する学習や工学部における手袋使用に関する実態調査を行い、耐透過性を評価するための簡易的な測定手法について検討した。

2. 手袋の性能と材質

2.1. 手袋の性能

大学の自律的化学物質管理ガイドライン²⁾において、手袋は使用する化学物質に対して不浸透性のものを使用し、また、材質等の耐透過性等を検討する必要があることが述べられている。保護手袋が必要とする性能については JIS T8116（化学防護手袋）によって定義されている^{3,4)}。具体的には「浸透」「劣化」「透過」という用語で表され、使用する化学物質に対してそれらの性能を満足する手袋を選択する必要がある。

各用語に対応する現象を以下に示す。

浸透

手袋のピンホールや縫い目などの部分から化学物質が手袋内に入りこむ現象

劣化

化学物質が手袋に接触したときに、手袋材質の物理的特性が溶解、膨潤、硬化、分解などによって悪化する現象

透過

手袋表面に付着した化学物質は、直後では手袋内に入りこまないが、時間の経過とともに分子レベルで手袋内部に拡散、移動し、手袋の内側（手のある面）に到達する現象

2.2. 手袋の材質

手袋は、主に材質によって防護性能、作業性、機械的強度等が異なる性質をもっており、様々な素材の手袋が市販されている⁴⁾。代表的なものとしては、ゴム製（ニトリル（NBR）、クロロプレン（CR）、天然ゴム（NR））やプラスチック製（ポリエチレン（PE）、ポリ塩化ビニル、ポリビニルアルコール）などがある。その中の一部の手袋材質とその特徴を表 1 に示す。材質によって、各手袋の特徴が異なることは明白である。加えて同じ材質の手袋を使用しても防護性能等は、使用する化学物質や製品によって異なることにも注意が必要である。そのため、同材質でも手袋製品ごとにその性能を把握した上で使用した方がよい。

表 1 手袋材質の代表例⁴⁾

手袋材質	特 徴
ニトリル（NBR）	耐油性、耐摩耗性、耐熱性に優れる
クロロプレン（CR）	耐摩耗性、耐オゾン性、耐熱性があり、全体的なバランスに優れる
天然ゴム（NR）	柔軟性、耐摩耗性に優れるが、油等により機械的強度が弱くなることがある
ポリエチレン（PE）	耐薬品性、耐水性、電気絶縁性が良好。しかし、破れやすく熱に弱い

* 第 2 技術室 化学計測班

** 第 2 技術室

*** 第 3 技術室 システム制御班

**** 第 2 技術室 物理計測班

3. 工学部における手袋の使用状況調査

工学部の各研究室等が手袋を適正に使用しているかどうか現状を把握するため、Google フォームを用いて手袋使用についてのアンケート調査を実施した。工学部の中で化学物質を取り扱う研究室等を対象にアンケート協力を依頼し、計 24 件の回答を得ることができた。結果を以下に示す。

質問① 使用している手袋の材質（複数回答可）

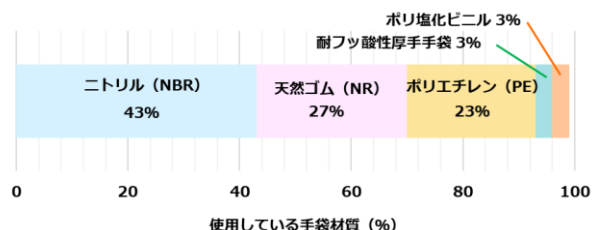


図 1 質問①の回答結果

質問② ①の手袋を使用する理由（複数回答可）

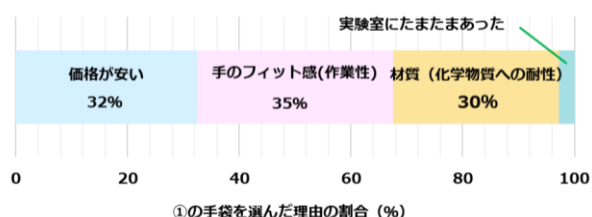


図 2 質問②の回答結果

質問③ 手袋を着用して取り扱う主な化学物質

表 2 質問③の回答結果（一部抜粋）

手袋素材	化学物質
NBR	アセトン, アルコール類, トルエン
NR	アセトン, アルコール類, トルエン
PE	アセトン, アルコール類, 酸・塩基

質問④ ③の作業における薬品の接触頻度

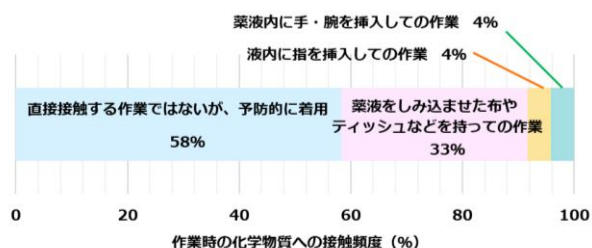


図 3 質問④の回答結果

質問⑤ 手袋使用のための教育・訓練の実施状況

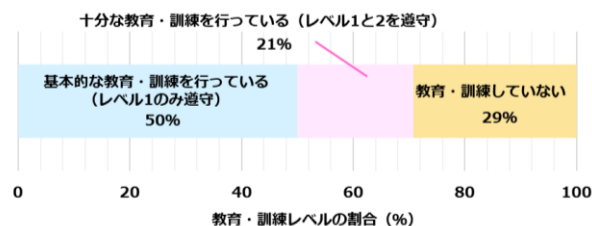


図 4 質問⑤の回答結果

全体的な傾向として、使用されている手袋材質は、NBR、NR、PE がほとんどで、いずれも使い捨ての薄手手袋を使用しているとの回答であった（質問①）。また、それらの手袋を使用している理由については、「価格」「材質（化学物質への耐性）」「作業性」の回答が多かった（質問②）。各手袋素材に対して使用する主な化学物質（質問③）としては、アセトンやアルコール類などの有機溶剤を扱う回答が多く見られた。一方で、NBR や NR は、アセトンへの耐透過性が低いことが知られているが、質問②において「材質（化学物質への耐性）」を選択している研究室等が少数ではあるが確認された。つまり、手袋の有機溶剤に対する性能を誤解あるいは過信して使用している可能性が示唆された。また、教育・訓練の実施状況（質問⑤）では、「十分な教育・訓練を行っている」の回答率は約 21%に過ぎず、工学部の教育・訓練レベルを高める必要性を認識した。

4. 手袋の透過性評価

手袋の透過性は、前述 2.1.のとおり化学物質が分子レベルで手袋内部へ拡散して手袋の内側に到達する現象であるが、この性能は手袋を透過した化学物質が手の皮膚の部分と接触して、皮膚からの経皮吸収が始まることを示すため、経皮吸収リスクを考慮する上で重要な因子である。一般的な透過試験の方法は JIS T8030⁵⁾によって定められており、図 5(a)のような透過テストセルを用いて化学物質の透過速度が $0.1 \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{min}$ に達するまでの時間（破過時間）を測定する（図 5(b)）。

本学の CRA マルチツールには、手袋メーカーのホームページ等において公表されている破過時間を確認できるような機能を搭載しているが、現在、工学部で使用している手袋製品のほとんどが対応していなかった。耐透過性を判断する方法としては、手袋メーカーに確認する、手袋ユーザー自身で透過試験を行うことが挙げられるが、実際に JIS 規格に定められているような評価手法に

従って試験を行うことは、コストや作業手順等を考慮すると難しい。そのため、汎用的な器具等で簡便に透過性を実測・評価する方法の検討を行った。

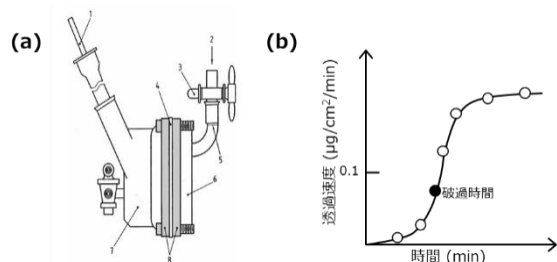


図5 (a) 透過テストセル（液体用）および (b) 透過速度挙動⁵⁾

4.1. 簡易的な透過性評価手法の資料調査

まず簡易的な透過性評価手法についての文献調査を行った。報告されている評価手法としては、手袋内へ透過した化学物質の重量を測定する手法（重量法）、検知管や VOC モニターにより手袋内に透過してくる化学物質を検知する手法などが報告されている⁶⁾。各評価手法の特徴をまとめた結果を表3に示す。本研修では、簡単に誰でも測定できることを優先するため、重量法を選択した。この手法では重量を測定するために電子天秤が必要であるが、化学物質を取り扱うほとんどの研究室等に電子天秤は設置されているので新しく購入する必要もなく、低コストで評価することが可能である。

表3 簡易的な透過性評価手法⁶⁾

評価方法	対象物質	特徴
重量	揮発性の高い物質	・天秤があれば低コストで測定可能 ・揮発性の高い物質に限られる
検知管	測定可能な物質	・連続測定不可 ・化学物質毎に専用の検知管が必要
VOC モニター	検出可能な物質	・VOC モニター1 台で多種の化学物質に対応 ・VOC モニターの価格が高い

4.2. 重量法による実測評価

4.2.1. 実験方法

実測評価には、アンケート調査結果を参考に表4に示す4種類の手袋材質（NBR, CR, NR, PE）と3種類の化学物質（アセトン, トルエン, メタノール）を使用した。重量法では、その原理上、揮発性の高い物質が対象となるため、汎用される有機溶剤の中から揮発性の高いものを選択した。

また、本研修では2通りの重量法を検討した(表

5)。実験手順は次の通りである。重量法 A では、裏返した手袋にキムワイプを入れて、そこに化学物質（約3g）を染み込ませた後、袋止めクリップで密封し、物質が手袋を透過・蒸散することによる重量変化を電子天秤にて測定した。重量法 B では、サンプル瓶にキムワイプを入れて、そこに化学物質（約1.5g）を染み込ませた後、サンプル瓶の口を手袋、穴付キャップの順で封じ、容器の重量変化を電子天秤にて測定した。

表4 手袋試料

手袋材質	外観	製品名/厚み
NBR		コクゴ tenifit NITRILE/ 約 0.10 mm
NR		アズワン ナビロール手袋/ 約 0.12 mm
CR		Ansell Micro-touch 約 0.10 mm
PE		アズワン サニメント/ 約 0.03 mm

表5 重量法の概要

重量法	概要
A	・簡単に透過性を評価することが可能 ・手袋と化学物質（液体/気体）の接触面積が曖昧
B	・手袋と化学物質（気体）の接触面積が正確 ・対象が気体成分のみ

4.2.2. データロガーの製作

本研修で使用した電子天秤 AT201 は、シリアル出力ポートが付属しているため、専用の通信ケーブルを用いることで PC 等での計測が可能となる

が、製造販売の終了により入手できなかった。そのため、外部出力は行わず、天秤の値を動画撮影し、測定終了後に撮影した動画を観ながら時間経過に伴う重量の変化を記録してみたが、非常に手間がかかり非効率であった。そこで、ケーブルおよびデータロガーソフトを自作し、PCでの計測ができるようにした。まず、ケーブルについてはAT201のデータ入出力用インターフェイス内の通信に必要なピンに接続できるように、手元にあったUSB-シリアル変換ケーブルを加工して製作した。データロガーソフトについては、プログラミング言語Python (ver.3.11.5) を使用して作成し、シリアル通信に必要なserialやデータ解析に必要なpandas、グラフ描画に必要なmatplotlib等のライブラリを利用した。製作したソフトでは、1秒ごとに天秤の値をcsvファイルへと書き込み、都度、測定値の時間変化に関するグラフを確認できるため、より正確な測定データを効率よく得ることが可能になった。また、測定値だけでなく、移動平均の値もcsvファイルに書き込み、その時間変化のグラフも確認できるようソフトを製作したため、データ整理に費やす時間を大幅に削減することもできた。

4.2.3. 透過量の比較

重量法Aで評価した各手袋（1重装着）の透過量の時間依存性を図6~8に示す。化学物質の透過量は、手袋の材質によって異なることがわかり、各時間における透過量の絶対値から手袋間の透過性を比較できる可能性が示唆された。また、たとえばPEでは、他の手袋材質よりアセトンの透過量は小さい一方で、トルエンに対しては他の手袋よりも透過量が多い傾向であった。つまり、手袋の耐透過性は、使用する化学物質との組み合わせによって大きく異なることが実験的に示された。

一方で、重量法Aは化学物質と手袋の接触面積がわからないため、透過量を基準に透過性を比較して良いのか不確かであった。そこで化学物質との接触面積を一定にした重量法Bを併用することで透過量での比較の妥当性を検討した。重量法Bで評価したNBRおよびPEの測定結果を図9, 10に示す。重量法Aでは手袋に接触した液体、気体の両成分の透過性を評価しているが、重量法Bは気体成分のみを対象としているため、気体成分の透過量が小さい場合は、その評価が難しいことに注意が必要である。ここでは、アセトンおよびトルエンの透過量を比較した。得られた結果より、

気体成分においてもその透過挙動は使用する手袋材質によって異なることがわかった。まず、アセトンについては、約5 min付近までの透過量挙動は、NBR, PEともに大凡同じであったものの、それ以降の透過量はNBRが大きいことから、その耐透過性は $NBR < PE$ であると考えられる。トルエンについては、測定開始直後からPEの透過量はそのNBRよりも大きいことから、耐透過性は $NBR > PE$ であることがわかった。以上の耐透過性の大小関係は、対応する重量法Aの透過量結果と一致しており、このことから、重量法Aでの透過量による手袋間の透過性評価は、それなりに信頼できることがわかった。

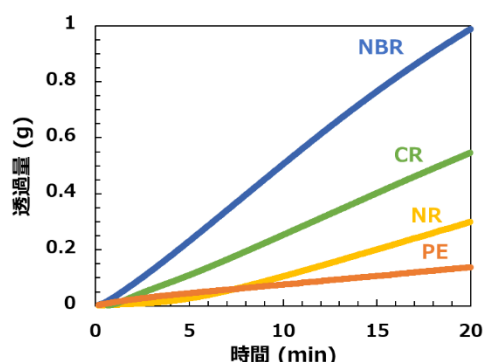


図6 アセトンの透過量挙動（重量法A）

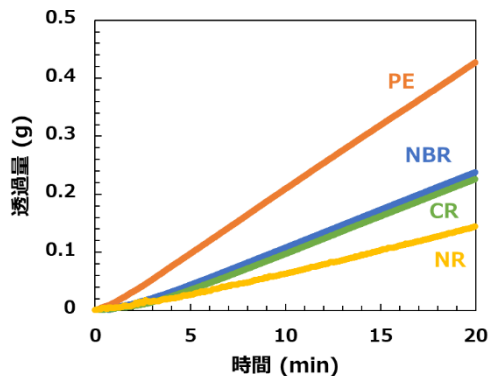


図7 トルエンの透過量挙動（重量法A）

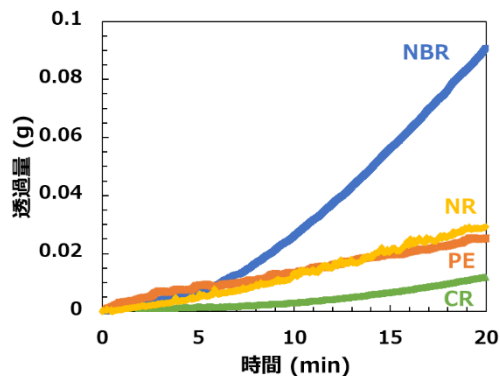


図8 メタノールの透過量挙動（重量法A）

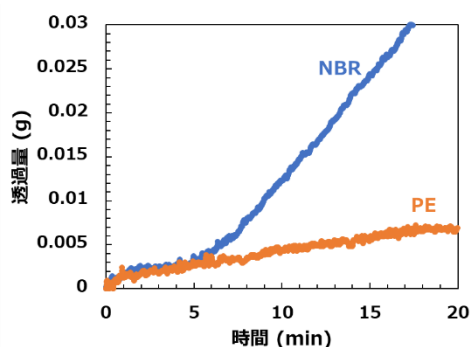


図9 アセトンの透過量挙動（重量法 B）

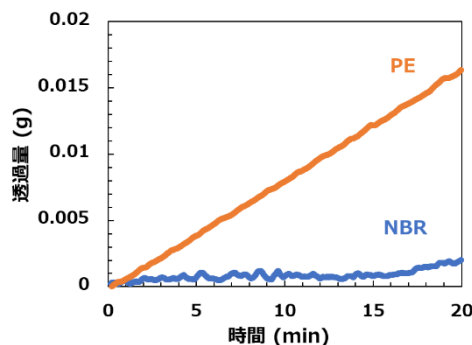


図10 トルエンの透過量挙動（重量法 B）

4.2.4. 破過時間の検討

重量法 A の測定結果から各手袋の破過時間を決定することができないか検討した。先述のとおり、JIS 規格による破過時間は、手袋の単位面積あたりの透過速度によって決定される。しかし、重量法 A では、手袋と化学物質の接触面積が分からないため、ここでは面積で除さない透過速度（ $\mu\text{g}/\text{min}$ ）挙動から解析することとした。破過時間の決定にあたり、破過時間が既知（手袋メーカーが公開しているデータ）である 2 種類の手袋製品（NBR'、NBR/CR'）の透過速度も重量法で求めた。また、今回使用した NBR、NR、PE の推定破過時間を既知の同材質である手袋製品から手袋厚みで補正して推定し比較に用いた（表 6）。

図 11 に各手袋に対するアセトンの透過速度（ $\mu\text{g}/\text{min}$ ）を示す。グラフ上に示されている矢印は、各手袋の破過時間の位置を示している。まず、NBR と CR は、ともに測定開始から 1 min 以内での透過速度が顕著に増大した。NBR と CR の破過時間は、NBR' の透過速度挙動と破過時間（1 min）から 1 min 以内であることが推測された。また、推定破過時間（NBR : 0.8 min, CR : 0.6 min）と比べても大きな差異はみられなかった。次に、NR の透過速度は NBR や CR よりも小さく、測定開始から 3 min までの速度挙動は NBR/CR' に類似していた。NR の推定破過時間は <8.5 min であるが、実際は NBR/CR' の破過時間（3 min）あたりではな

いかと推測される。PE は測定時間全体を通しての透過速度は他の手袋よりも小さかったが、測定開始から 3 min 以内は、NR や NBR/CR よりも大きい透過速度を示した。推定破過時間は >120 min であるため、測定開始から 3 min の間に破過時間を迎えているとは推測し難いが、実際のところはわかっていない。また、PE については他の手袋と異なって測定開始直後の透過速度は大きい、その後減衰する挙動を示した。その原因が材質に由来するのか等を含めて検討していく必要があると考えている。

今回の測定結果から大まかな破過時間を推定できる可能性は示されたが、その決定条件を明示するには至らなかった。破過時間が既知である手袋も今回 2 種類しか評価していないため、測定対象を増やすことで破過時間と透過速度挙動の関係性が見えてくるのではないかと考えている。

一方で、紙面には示していないが、アセトンやトルエンよりも透過量が小さかったメタノールの透過速度はノイズが大きく、手袋によっては移動平均の項数を増やしても透過速度の変化を捉えることが難しいことがわかった。加えて、重量法は揮発性が低い物質の測定ができないという欠点がある。そのため、重量法では測定が困難な物質については、VOC モニターなどの別の評価法を併用して検討する必要があることもわかった。

表 6 手袋のアセトンに対する破過時間

手袋材質	破過時間 ^{※1} または 推定破過時間 ^{※2} (min)
NBR'	1 ^{※1}
NBR/CR'	3 ^{※1}
NBR	0.8 ^{※2}
CR	0.6 ^{※2}
NR	< 8.5 ^{※2}
PE	> 120 ^{※2}

※1 手袋メーカーが公開している破過時間データ

※2 同材質の別の手袋製品の破過時間から厚み補正して算出

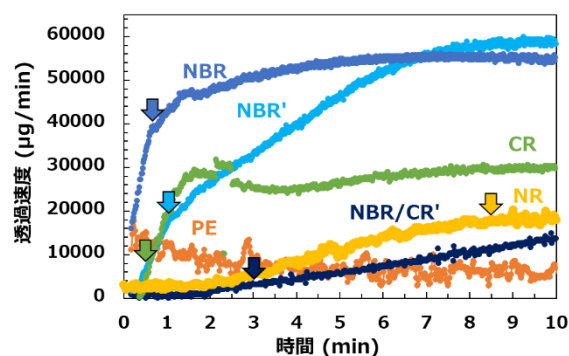


図11 アセトンの透過速度（重量 A）

4.2.5. 手袋二重装着による耐透過性の向上効果

化学物質の透過性は、手袋の厚みに依存するため、手袋を二重装着することで耐透過性を向上させることができる。また、PE のように伸縮性がないために指先での細かな操作性に難がある手袋では、別の伸縮性手袋材質と組み合わせて装着することにより耐透過性を維持しつつ、かつ操作性を高めることが期待できる。

本研修では手袋二重装着による耐透過性を検証するため、表 7 の NBR/NBR、PE/PE、PE/NBR について透過性を評価した。各手袋に対するアセトンの透過量挙動を図 12 に示す。同じ材質の手袋を二重装着することで、NBR/NBR、PE/PE ともに NBR、PE とそれぞれ比較して透過量が半分近くに減少しており、二重装着による耐透過性の向上が確認できた。異材質を組み合わせた PE/NBR では、PE のみに対する透過量の減少はわずかであったが、NBR のみと比較して透過量を大幅に減らすことができた。また、この組み合わせは、表 7 に示すように、PE の外側に NBR を装着するので、

表 7 透過性評価に用いた手袋二重装着

手袋二重 内側/外側	装着写真	操作性
NBR/NBR		○
PE/PE		△
PE/NBR		○

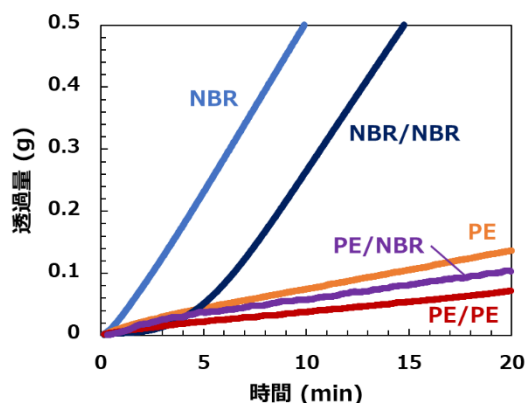


図 12 アセトンの透過量挙動：手袋二重装着

指先での細かな操作性も維持できた。

以上より、手袋二重装着による耐透過性の向上効果を実験的に示すことができた。

5. まとめ

本研修を通して手袋の耐透過性についての学習、工学部の手袋使用のアンケート調査、重量法による透過性評価の検討を行った。透過量から手袋間の透過性を比較できること、二重装着することによる耐透過性の向上を示すことができた。以上の成果を今後の安全教育活動に活用していきたいと思う。一方で、研修目的のひとつである破過時間を重量法で決定することが今回できなかった。簡便な方法で破過時間を決定できれば、CRA マルチツールの保護手袋選定機能データを充実させることができるため、他の評価手法も併用した検討が今後の課題である。

謝辞

本研修の実施にあたり、実験室の使用許可をいただいた繊維・マテリアル研究センター 田上 秀一教授、ならびにアンケート調査にご協力いただきました工学部の教職員の皆様に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 化学物質リスクアセスメントマルチツール，福井大学工学部技術部安全衛生管理推進グループ，http://roukan2.ad.u-fukui.ac.jp/risk_assessment_new/RA_system.php?type=site0.
- 2) 大学の自律的化学物質管理ガイドラインーリスクアセスメントと教育を基軸とした自律的管理の構築ー（第2版），一般社団法人国立大学協会，令和6年1月。
- 3) 皮膚障害等防止保護具の選定マニュアル，厚生労働省，令和5年11月（暫定版）
- 4) 田中 茂，皮膚からの吸収・ばく露を防ぐ！ー化学防護手袋の適正使用を学ぶー，中央労働災害防止協会，平成30年。
- 5) 日本工業規格 JIS T 8030 (2015)。
- 6) 岩澤 聡子，実際の使用条件下における化学防護手袋の透過性の調査 (190601-01)，<https://www.mhlw.go.jp/content/000810197.pdf>。

日常研修報告

KiCad を利用した電子回路基板の設計開発技術の向上

小林 英一*

1. 目的

現在利用しているプリント回路基板（Printed Circuit Board, 以下 PCB）用 CAD の EAGLE は無償版であり、基板サイズは $100 \times 80 \text{ mm}$ 以内、層数は 2 層両面までといった制約があり、設計開発業務に支障をきたすことがある。具体的には $100 \times 80 \text{ mm}$ を超えるサイズの回路基板を扱う場合が多く、回路基板を制限サイズに入るよう分割し、それぞれをピンヘッダで接続するという苦肉の策で対処している。EAGLE を修得した 2012 年頃はまだ EAGLE が個人ユーザーにとって主流であり、Web 情報も豊富で、基板メーカーや基板加工機も EAGLE が標準であったが、近年は制約のない KiCad の利用ユーザーが拡大していると感じる。まず KiCad について調査したのち、実際に $100 \times 80 \text{ mm}$ を超えるサイズの基板や 4 層基板を設計開発することにより、KiCad の操作方法を体得し、回路基板の設計開発技術を向上させる。

2. 進め方

CAD 操作に慣れるには、時間をかけて複数の開発事例（数）をこなす必要がある。いきなり KiCad だけで完結させようとするとう挫折する可能性が高いため、まず慣れている EAGLE で部品登録および回路図作成し、KiCad にインポートし、基板パターン図を KiCad で設計する。本文中では特に指定ない場合、EAGLE は v7.7 無償版、KiCad は v7.0.1 を指すものとして扱う。

これら電子回路系 CAD ソフトを ECAD と呼ぶ流れもあるが、制御設計・受配電盤設計用 CAD の名称でもあり、EAGLE や KiCad は CAM 等も含む複合ツール群であることから、以降は総称として EDA（Electronic Design Automation）を用いる。

遠赤センターにある 28 GHz ジャイロトロン装置（Gyrotron Heating System, 以下 GHS）はこれまで何度も故障と修理を繰り返してきたが、令和 4（2022）年 11 月中旬にあった落雷の影響で再び故障し、これ以降は起動および発振動作ができて

いない。この GHS の制御を司る回路基板（以下 GHS コントロール基板）は $250 \times 140 \text{ mm}$ あり、EAGLE 制約下では最低でも 4 枚に分割しないと設計できないが、信号数が多く、基板分割は現実的でないため、KiCad の設計事例に選定した。



図 1. GHS の外観

3. 研修内容

3.1 EDA 比較

表 1. EAGLE と KiCad の特徴比較^[1,2,3]

項目	EAGLE (v7.x 無償版)	DesignSpark PCB (DSPCB)	KiCad
最大面積	$100 \times 80 \text{ mm}$	$1 \times 1 \text{ m}$	無制限
最大層数	2 層	無制限	32 層
用途	非商用 限定	無制限	無制限
3D 表示	△（ULP で実現可） ^{*1}	○	○
対応 OS	Windows, Mac, Linux ^{*2}	Windows のみ	Windows, Mac, Linux

*1 …v8.3 以降は○（3D Package 対応）

*2 …EAGLE 後継の Autodesk Fusion は Linux 非対応

EAGLE は 30 年超の実績あり、ユーザーが多く、設計データの汎用性も高い。しかし、EAGLE を開発・販売していた CadSoft 社は平成 28（2016）年、Autodesk 社に買収された。その後、Autodesk EAGLE へ名称変更された v8.0 から操作性および設計データの互換性に変化あったため、買収前最終版の v7.7 を愛用してきた。Autodesk 社は令和 2

* 第 3 技術室 システム制御班

(2020) 年 1 月から Fusion 360 (現在の Autodesk Fusion) に EAGLE を取り込んでおり, v9.6 以降は EAGLE 単体の入手はできなくなっている^[4]. また, 2026 年 6 月 7 日をもって EAGLE の販売とサポートを終了すると宣言, 無償版にも影響は及ぶとして Autodesk Fusion Electronics へ移行するよう呼びかけている^[5].

Autodesk Fusion は無償利用が可能な教育機関限定ライセンス (1 年毎の更新は必要) もあるが, 2025 年 3 月 31 日以降は EAGLE Standard 付き Autodesk Fusion の 1 年契約の更新もできなくなるため^[5], EDA の乗り換え検討は不可避となっている. 制約がなく評判も良い KiCad を検討する.

3.2 部品登録と回路図作成 (EAGLE)

現物の GHS との差異はとてたくさんあるが, ロシア語で書かれた旧基板の部品表と回路図は残っている. そのため, まずはそれを足掛かりにした. IC など主要部品のデータシートを比較・検証し, 機能だけでなく, パッケージ・外形も同じ, または近い品を日本国内で調達可能なものから選定し, EAGLE で部品登録 (ライブラリ作成) を実施した. 次に旧回路図と旧基板を元に, 目視やテストで接続を確認しながら, EAGLE で新基板 (基板品番: EKB130A) の回路図を作成した.

3.3 KiCad の操作

3.3.1 インストールと初期設定

KiCad は v7.0.1 のインストーラだけで 1 GB あり, ストレージ容量は 6.3 GB 必要だった. インストール直後の KiCad はボード設計画面 (PCB Editor) で何か操作しようとする, すぐフリーズしてしまう現象が発生した.

調べたところ, Windows 10/11 の日本語 IME 設定で「以前のバージョンの Microsoft IME を使う」をオンにすると, ひとまず回避できる^[6]. この問題は v6.0.0 以降, 国内で数多く報告されているが, v7.0.1 でも解消されていなかった.

3.3.2 既存設計データの取り込み

KiCad は DSPCB (当時 v5 で確認) のときのような中間ファイルを介する^[7]ことなく EAGLE で設計した回路図, 基板パターン, 部品ライブラリを直接取り込む (インポートする) ことが可能である. インストール後に EAGLE で作成した部品ライブラリと回路図をインポートしたところ, 表示がおかしくなった部品は一部あったが, DSPCB のときのようなエラー^[8]は発生しなかった.

EAGLE と同様に, 基板設計はラッツネストをパターンに置き換える作業になる. パターン幅は最初に設定しないとイケない, ビス用穴などホールは部品ライブラリから呼び出さないとイケないなど, EAGLE との違いに戸惑う点はいくつもあったが, これらは慣れが必要と考える.

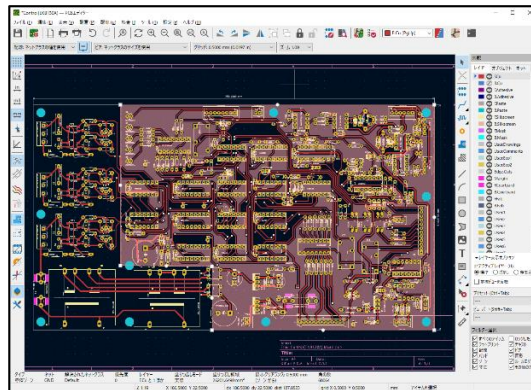


図 2. KiCad を使った基板設計の操作画面

基板製造用のガーバーデータについて, 拡張子を除いたファイル名は揃えるよう基板メーカーによっては指定されている. その場合, EAGLE では出力されたファイルの中から必要なものを選ぶだけでよかったが, KiCad では出力時の設定項目が多く, 出力ファイル名や一部拡張子のリネームも必要で, やや手間に感じた.

KiCad (PCB Editor) で設計中に, EAGLE と比較して KiCad の方が使いやすいと感じた点を次に 2 つ紹介する.

3.3.3 特長 1 (ボード設計中の部品修正が可能)

EAGLE で作成した部品ライブラリにおいて, 登録時のミスでトランスのピン番号シルクが逆になっている不具合があった.

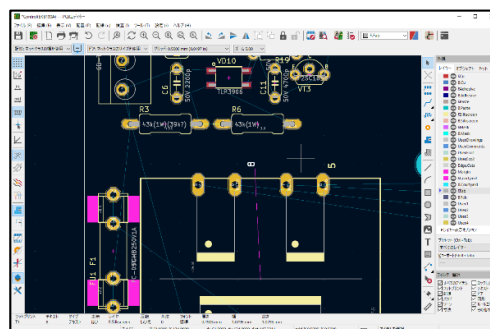


図 3. KiCad は基板設計中の部品シルク移動が可能

EAGLE の場合, Smash コマンドで Names と Values のシルクだけ動かせるようになるが, それ以外のレイヤは不可のため, 部品登録まで遡って修正し, ボード設計画面で Replace する必要がある

が、KiCad はボード設計画面上でシルクの移動が簡単にできて便利だった。

3.3.4 特長 2 (リアルタイム DRC)

KiCad のリアルタイム DRC^[7]は配線中に他パターンを自動で避けてくれる、とても便利な機能だった。試しに、出発点から到達点までカーソルを引っ張ると、スルーホールなしで通せる道筋を示してくれる。EAGLE に限らず Overlap の DRC エラーは致命的な重欠点だが、それが発生しない点は特に初学者にとって大きなメリットだと感じる。なお、リアルタイム DRC は DSPCB にも Online DRC として存在する機能だが、当時確認した DSPCB v5 ではエラー表示は出るものの、パターンを重ねることはできていたので、それよりも踏み込んだ対応方法だと思う。

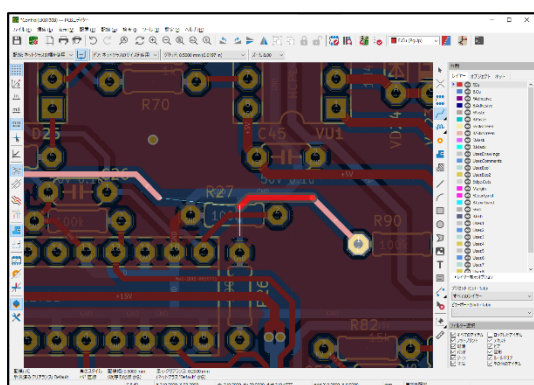


図 4. リアルタイム DRC 機能により自動で他パターンを避けている画面

3.4 完成後の外観比較



図 5. GHS コントロール基板 (新)



図 6. GHS コントロール基板 (旧)

総部品点数は 275 点あり、実装して動作検証する過程でいくつか問題点はあったが、比較対象ができ、回路検証の効率が大幅に上がったことで、旧基板上に複数あった故障 IC を特定でき、GHS は起動するようになった。あと少しで発振動作するところまで、修理は進展している。

3.5 4 層基板の設計

USB (2.0 以降)、Serial ATA、PCI-Express (以下 PCI-E)、DVI、HDMI などの高速データ通信規格には、低電圧差動信号 (Low Voltage Differential Signaling, 以下 LVDS) が採用されている。高速デジタル信号では、伝送路の減衰特性、各部位のインピーダンスの暴れなどでアナログ的な挙動となるため、伝送路設計では減衰や各部位のインピーダンス特性管理が重要となり、4 層以上の PCB が必要となる^[8]。両面 (2 層) 基板でも、通常内層に設ける GND を LVDS 信号の両脇に配置することで実力動作はできるが、転送レートや EMC に影響を及ぼし、4 層基板よりも性能面で不利に働く。EAGLE 無償版では制約により 4 層基板を設計することができないが、今後 LVDS は避けては通れないため、KiCad で 4 層基板の設計実績を積んでおきたいと考えた。



図 7. 参考にした USB3.0 拡張 PCI-E カード

まず、図 7 の USB3.0 ポート拡張用 PCI-E カードを参考に、IC 等主要部品の仕様を調査し、回路構成を大まかに確認したあと、PCI-E 規格の外形寸法やピンアサインなど書籍等^{[9],[10]}で調査しながら、EAGLE で部品登録 (図 8) を実施した。

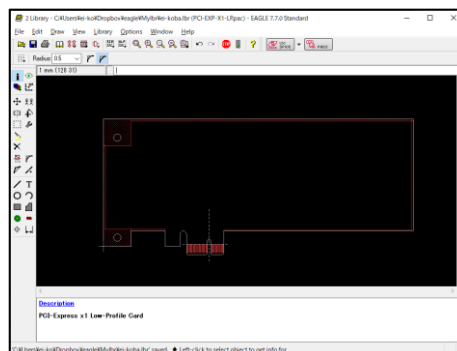


図 8. PCI-E x1 カードの部品ライブラリ作成

次に、メイン IC (Renesas μ PD720202) のデータシート等資料や、図 7 の PCI-E カードを目視およびテストで接続確認しながら、EAGLE で回路図 (図 9、基板品番 : EKB135A) を作成した。

3 月末現在、図 9 の回路図を KiCad にインポートし、4 層基板のパターン設計を進めている。

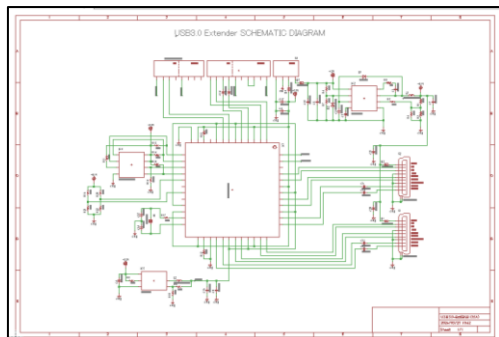


図 9. USB3.0 拡張用 PCI-E x1 カードの回路図

4. まとめと今後の予定

実際に必要としている案件に KiCad を利用し、基板パターン設計の操作経験を得ることができた。本研修により、サイズの大きな基板を設計開発できるようになり、現在は 4 層基板の設計にも取り組んでいる。

技術部製 IC カード式入退室管理システム (学内呼称 ICEEMS) において、分割している基板の統合だけでなく、Raspberry Pi 5 は PCI-E カードを追加できるため、将来的な機能拡張も期待できる。

KiCad には日本語 IME との相性問題があったように、安定性にやや不安がある。例えば、v6.0.0 はリリース直後からファイルクラッシュや編集バグなどが続出、v5 の設計資産をそのまま利用できない^[6]など悪い評判もあり、注意が必要である。

KiCad について、まだ一部の機能 (PCB Editor のみ) しか使っていないため、体得したとは言えない。4 層基板の設計が完了したあとは回路図も KiCad (Schematic Editor) へ移行し、次に部品登録も KiCad (Symbol Editor, Footprint Editor) へ移行する予定を考えている。焦らずじっくり進めたい。

技術部所有の基板加工機 KitMill CIP100 について、専用 CAM ソフト ORIMIN PCB の動作確認 CAD に KiCad も入っており^[11]、ぜひ試したい。

5. 謝辞

旧回路基板で使用されていた部品のデータシート検索、旧回路図にあったロシア語の解説、実機での電圧確認補助、ならびにチェックシートへの測定値入力など手伝っていただいた遠赤センサー 仲川晃平 研究員に感謝致します。

表 2. 研修日誌

実施日	研修内容
‘23/8/17～8/23	GHS コントロール基板の代替品調査と部品登録 (EAGLE)
8/24～9/1	GHS コントロール基板の回路設計 (EAGLE)
9/5～9/20	GHS コントロール基板の基板設計 (KiCad)
9/20～9/27	基板手配・入手待ち (Elecrow)
12/14～12/21	部品実装 (手はんだ付け)
12/22～1/18	基板単体での動作検証
‘24/1/19～(継続中)	GHS 実機での動作確認・データ取り
3/24～3/27	4 層基板 (PCI-E x1 カード) の部品登録と回路設計 (EAGLE)
3/28～	4 層基板 (PCI-E x1 カード) の基板設計 (KiCad)

6. 参考文献等

- [1] 技術部活動報告集 Vol.19, pp29-32 (2013)
- [2] KiCad DOCS リファレンス・マニュアル (<https://docs.kicad.org/5.1/ja/kicad/kicad.html>)
- [3] Autodesk EAGLE / Release Notes (<http://eagle.autodesk.com/eagle/release-notes>)
- [4] EAGLE Legacy Software Versions (<http://eagle.autodesk.com/eagle/software-versions/>)
- [5] Autodesk EAGLE に関するお知らせ - 次の手順とよくある質問 (FAQ) (<https://www.autodesk.co.jp/support/technical/article/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/JPN/Autodesk-EAGLE-Announcement-Next-steps-and-FAQ.html>)
- [6] KiCad の達人-KiCAD の強み／弱み〈弱み編〉 (https://kicad.biz/kicad_weakness/)
- [7] トランジスタ技術 SPECIAL No.127 一人で始めるプリント基板作り [完全フリー KiCad 付き], CQ 出版社 (2014)
- [8] EDN/LVDS PHY 製品と伝送路の設計 (その 1) (https://edn.itmedia.co.jp/edn/articles/1711/28/new_s011_4.html)
- [9] 畑山 仁 編著, PCI Express 設計の基礎と応用, CQ 出版社 (5 版, 2019)
- [10] 株式会社アバールデータ / PCI-Express 概要 基板寸法 (https://www.avaldata.co.jp/products/y2_technology/pci-express/pci-e_z11.html)
- [11] 「KitMill」による基板加工 (<https://www.originalmind.co.jp/special/technical/kitmill-substrate/>)

セルソーターを用いた生細胞分離および実験技術の習得

井波 真弓*

1. はじめに

セルソーターは、細胞の大きさや表面構造、内部構造、特定のタンパク質の発現などを一細胞ごとに解析し、特定の細胞を生きたまま高速に分離・回収する装置である。細胞集団の中から目的の生細胞を選別することにより、さらなる特性評価のための追加の実験が可能になり、分子生物学、生化学、細胞生物学、免疫学、再生医学など多種多様な分野で応用されている。本学の工学研究科には、BD Biosciences 社製セルソーター BD FACSMelody™が設置されている（図 1）。本研修では、この装置を用いた生細胞の分離とその後の実験技術の修得を目的とする。



図 1 装置外観

2. セルソーターの原理

セルソーターで測定する試料は、特定のタンパク質発現の有無や量を測定するために、あらかじめ蛍光色素や蛍光標識抗体を用いた免疫染色などで標識された細胞を対象とすることが多い。セルソーターの仕組みは、フロー（水流）系と測定系に分けて考えるとわかりやすい。フロー系は流体力学の原理を使って、蛍光標識された細胞を一つ一つ分離することを可能にし、液滴荷電方式という仕組みによって、細胞を個別に分取することを可能にする（図 2）。測定系は一つ一つ流れてくる細胞の蛍光強度、すなわちターゲット分子の細胞あたりのタンパク質発現量を測定する（図 3）。

2.1. フロー系

セルソーティングでは細胞を懸濁したサンプル液を用いる。水流中で細胞を一系列に並べるには、フローセルという部品の中での流体力学的絞り込みという原理を用いる（図 2）。シース流とよばれる一定の流れの中央部分にシース流の圧力より少し弱い圧力でサンプル液を流すと、サンプル液の流れは非常に細い流れに絞り込まれ、結果としてサンプル液中の細胞が細い流路に一系列に並んで連続的に流れていく。フローセルを通過していく細胞は、流路に直行するレーザー光に一つ一つ順に照射されるため、シングルセルレベルでの解析が可能になる。

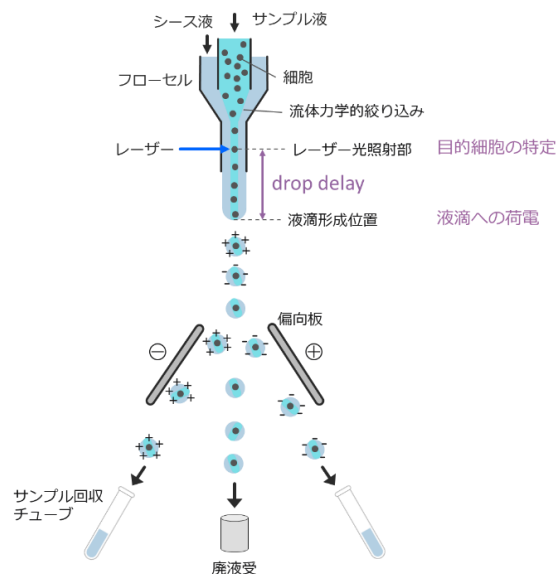


図 2 フロー系の仕組み

フローセルを超音波振動させることにより、フローセルから落下するサンプル/シース液は液滴になって落下していく。細胞の散乱光、蛍光のプロファイルからソーティングしたい細胞分画を決定すると、目的の細胞を含む液滴は+または-の電荷を与えられる（液滴荷電方式）。ノズルから廃液受けの間には高電圧の偏向板が配置され、電荷を持った液滴は電場の影響を受けて進路が変わり、サンプル回収用チューブなどに分取される。電荷を持たない液滴（＝分取しない細胞が含まれた液滴）は廃液受に捨てられる。

*第 2 技術室 化学計測班

2.2. 測定系

蛍光標識された細胞は一つ一つ順番に、レーザー光を通過する（図3）。このときレーザー光がささげられることによって、前方散乱光（forward scatter : FSC）と側方散乱光（side scatter : SSC）が観測される。前方散乱光は細胞のサイズを、側方散乱光は細胞の内部構造の複雑さを反映している。そして各蛍光色素は励起され蛍光が発せられる。各蛍光色素からの蛍光は、特定の波長以上もしくは以下のみを反射するダイクロイックミラーと、特定の波長域のみを通過させる光学フィルターを組み合わせることによって、それぞれの蛍光色素を代表する波長域ごとに分けられ、光電子倍增管（photomultiplier : PMT）に導かれる。

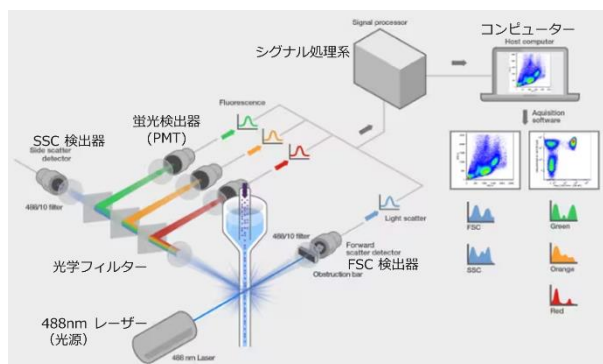


図3 測定系の機構

（「Molecular Probes 蛍光教室」より改変）

PMTは微弱な蛍光（光子）を電子に変換して極めて効率よく増幅するデバイスである。これによってPMTに届いた光子の量を電圧として測定可能になる。各蛍光色素の蛍光波長分布は幅広く、隣接する蛍光色素の代表的蛍光波長域と重複することが多い（図4A）。すなわち各PMTの段階では目的とする蛍光色素からのシグナルと、他の蛍光色素からのシグナルを区別できていない。これを補正して各PMTからの出力を目的とする蛍光色素の蛍光強度に変換するプロセスを蛍光漏れ込み補正（compensation）とよぶ。蛍光漏れ込み補正を経ることによって、各蛍光色素由来の相対的蛍光強度、すなわち各ターゲット分子の細胞あたりの相対的発現量を得ることができる。機器設定後はサンプルを流しコンピュータ上でその分布を確認し、目的の細胞集団の頻度を測定したり、分取すべき細胞集団を指定（ゲーティング）し細胞を回収したりする。

3. 実験

3.1. 蛍光タンパク質発現酵母株の測定

機器の取扱いを習得するため、蛍光タンパク質発現酵母株の測定を行った。用いた酵母株は1) 野生株（Control）、2) 緑色蛍光タンパク質発現株（EGFP）、3) 橙色蛍光タンパク質発現株（mCherry）の3種類である。1は蛍光タンパク質を発現しないネガティブコントロールとして用いた。

GFP（Green Fluorescent Protein）は、オワンクラゲから発見された青色の光を吸収して緑色の蛍光を発するタンパク質である。本実験で用いた組換えEGFPの最大励起波長は488 nm、最大蛍光波長は507 nmである。mCherryはサンゴの一種から見つかったDsRedを改変したものであり、最大励起波長は587 nm、最大蛍光波長は610 nmである（図4ア）。

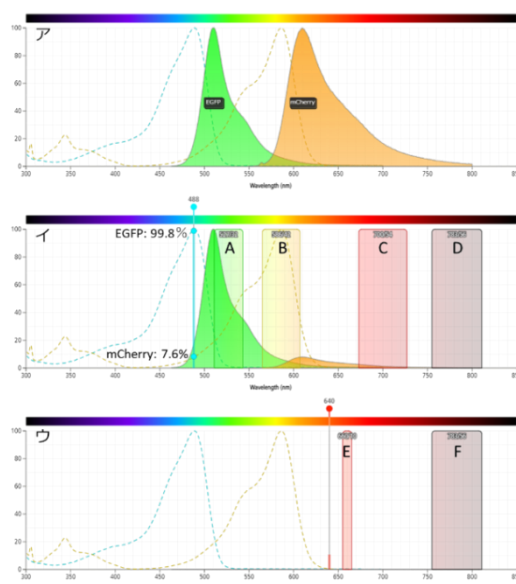


図4 蛍光タンパク質の励起・蛍光スペクトルと機器の光学フィルター設定（「BD Spectrum Viewer」より改変）

本研修で使用したFACSMelodyには2本のレーザー光源と6つの検出器が備えられており、488 nm レーザーに4つの検出器（A-D）、640 nm レーザーに2つの検出器（E, F）が割り当てられている（図4イ、ウ）。488 nm レーザーによる蛍光タンパク質の励起効率、EGFP 99.8 %、mCherry 7.6%である（図4イ）。一方、640 nm レーザーでの励起効率はGFP 0.3 %、mCherry 0.4 % であり、どちらも検出できないため（図4ウ）、本研修では488 nm レーザーを用いて測定を行った。また、mCherryの蛍光スペクトルのピークは610 nm であり検出器B（光学フィルター 586/42）が適しているが、EGFPの蛍光も検出されるためmCherry

と EGFP の蛍光を区別できない．そのため検出器 C (700/54) で mCherry を検出することにした．

YPD 培地に 3 種類の酵母株をそれぞれ植菌し，30 °C で一晩振盪培養したのち，遠心分離により細胞を回収し PBS に懸濁したものを用いて，測定およびソーティングを行った．488 nm レーザーに対する検出器 A (光学フィルター 527/32)，C (700/54) の測定結果を図 5 に示す．488 nm は EGFP の最大励起波長であり，検出器 A は EGFP の蛍光を効率よく検出できる設定であるため (図 4 イ)，Control (図 5a) や mCherry (図 5g) に比べて顕著にピークが右に移った (図 5d)．検出器 C の結果を見ると，Control および EGFP 発現株では mCherry が発現していないため，ピークは左側に見られた (図 5b, e)．先述の通り 488 nm レーザーによる mCherry の励起効率は非常に低いいため，mCherry 発現株のピークシフトはごくわずかであった (図 5h)．ドットプロットは，一つ一つの点が細胞を表しており，密度が高いほど赤色に表示される．横軸に赤の蛍光強度，縦軸に緑の蛍光強度を示している．Control は左下に集団が検出される (図 5c) のに対し，GFP 発現株では左上に集団が見られた (図 5f)．mCherry 発現株では Control に比べるとやや右寄りに集団が見られた (図 5i)．

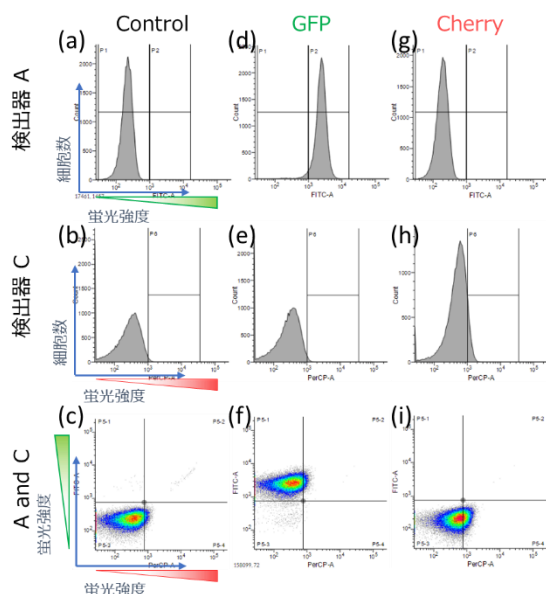


図 5 蛍光タンパク質発現酵母株の測定

また，EGFP 発現株と mCherry 発現株を混合したものを試料としてソーティングを行った (図 6)．その結果，検出器 A でピークが 2 つ見られた (図 6a)．これは左側のピークが EGFP を発現していない mCherry 発現株，右側のピークが EGFP 発現株であると考えられる．検出器 C では幅の広い一つのピークが見られた (図 6b)．検出器 A および C

の結果についてドットプロットを作成すると，EGFP 発現株と mCherry 発現株をそれぞれ単独で測定した結果を重ね合わせたような結果になった．EGFP が検出された左上の領域 (part 1) および mCherry が検出された右下の領域 (part 2) にゲートを設定しソーティングを行い (図 6c)，分取したサンプルを再度測定した．part 1 は GFP 発現株単独と part 2 は mCherry 発現株単独と同様の測定結果となり (図 6d-f, g-i)，EGFP 発現株 mCherry 発現株を分取することができた．

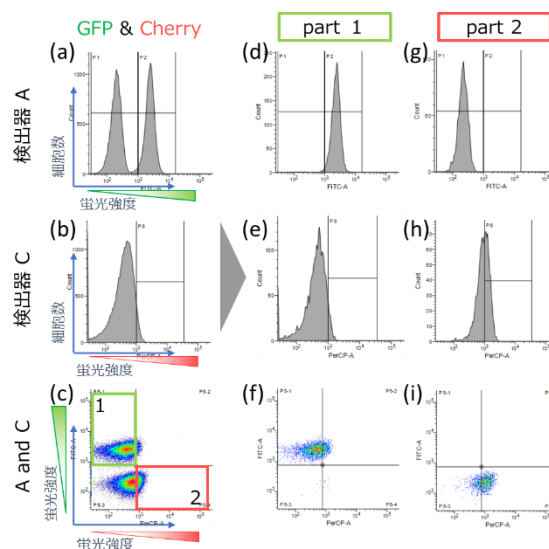


図 6 ソーティング結果

3.2. エピジェネティックな発現制御を受ける遺伝子の発現解析

DNA 配列に依存せずに遺伝子の発現状態が変化する現象をエピジェネティクスという．本研修では細胞内の GTP 濃度依存的にエピジェネティックな発現制御を受ける遺伝子 (*GeneA* とする) の遺伝子発現制御機構の解明を目指し，*GeneA* の DNA 配列を GFP の DNA 配列に組み替えることで *GeneA* の遺伝子発現を可視化した酵母株を用いてソーティングおよび培養実験を行った (図 7)．

本研修では，野生株と，*GeneA* とは別の遺伝子に変異を入れてエピジェネティック制御が変化した変異株について測定を行った．野生株においては，薬剤を添加した時にピークが右に移ったことにより，発現が誘導されていることが確認できた．一方，変異株においては，薬剤添加 2 時間後においても発現 OFF を維持する集団が残ることが確認された．この発現 OFF を維持する集団を，ソーティングにより分取後，再度薬剤を添加し発現状態を測定した．その結果，薬剤添加 8 時間後に発現状態に差が見られ，最初に発現状態が OFF であった集団は常に OFF の状態を維持するわけではなく，その中でもさらに発現状態が OFF と

ON に分かれることが明らかとなった。測定結果は学術論文に掲載予定のため、報告集には未掲載とする。

本研修で使用した変異株は、DNA 変異誘発剤である EMS (Ethyl methanesulfonate) によりランダムに変異を誘発したものである。今後は、変異株の全 DNA 配列を解析し、野生株の DNA 配列と比較することで変異点を同定し、*GeneA* のエピジェネティックな発現制御機構に関する遺伝子を同定したい。

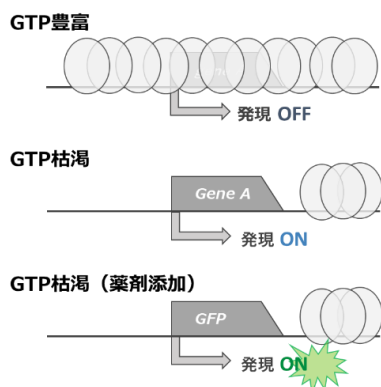


図7 *GeneA* のエピジェネティックな遺伝子発現制御

4. 装置について

FACSMelody は、シース圧や Drop Delay の調整 (図2)、レーザー光の出力調整など機械的な設定のほとんどが自動化されており、セルソーターの取扱いに習熟していないユーザーでも、毎回同様の結果が得られるようになっている。システムスタートアップにかかる時間は 20 分程度 (使用間隔があいた場合は 30 分程度) で、日常のメンテナンスは、ソートブロック内のふき取りやシース液およびエタノールの補充をするだけである。また、トラブルが起きた際は、カスタマーセンターに電話してコンピュータの遠隔操作により機器の状態を調べたり、設定を調整したりしてもらう。

トラブル事例の一つに、冬期間のソーティングの際の Drop Delay 調整不調が挙げられる。システムスタートアップ後、サンプルを測定しソーティング、ソーティングと進む際に、Drop Delay が安定しないためにソーティングが開始されなかったり、開始されたとしても何度も分取が停止しそのたびに 5 分~15 分も待ったりした。ソーティングが行われるまで 2 時間かかったこともあった。これに対しカスタマーセンターからのアドバイスは、「室温を上げること」、「シース液の温度を上げること」であった。そこで前日夜からエアコンをつけて室温を 25 °C に維持し、シースタンクを設置している実験台下の扉を開け放すという対

応をとったが改善されなかった。いつでも安定してソーティングができるよう、今後も検討を続ける。

5. 総括

セルソーターを用いて細胞集団を 1 細胞ごとに高速かつ大量に測定することで、集団の中に異なる挙動を示す亜集団が存在することを見いだせた。セルソーティングは、亜集団を分離した後、さらに RT-qPCR、ゲノムシーケンス、ChIP、プロテオーム解析など様々な解析を行うことにより亜集団ごとに多くの情報を得られる画期的な研究手法である。FACSMelody の導入によりソーティングが手軽にできるようになったことで、本学学生の研究が発展することが期待される。今後は、本研修で実施できなかった一細胞分離や多色標識サンプルの分離を習得し、研究支援に生かしたい。

6. 謝辞

本研修でご指導いただいた生物応用化学講座 沖昌也 教授と辻岳志 講師、および試料を提供くださった生物化学研究室の大谷大夢さん、竹下明花さん、横澤拓馬さんにお礼申し上げます。

7. 参考文献

- 1) 清田純編集. フローサイトメトリーもっと幅広く使いこなせる!: マルチカラー解析も、ソーティングも、もう悩まない!. 羊土社, 2016.
- 2) 戸村道夫編集. ラボ必携: フローサイトメトリーQ&A: 正しいデータを出すための 100 箇条. 羊土社, 2017.
- 3) 日本ベクトン・ディッキンソン株式会社. “BD Spectrum Viewer”. BD Biosciences. <https://www.bdbiosciences.com/content/bdb/apac/jp/ja-jp/resources/bd-spectrum-viewer-classic.html>, (参照 2024-03-19).
- 4) サーモフィッシャーサイエンティフィックライフテクノロジーズジャパン株式会社. “Molecular Probes 蛍光教室”. Thermo Fisher Scientific. <https://www.thermofisher.com/jp/ja/home/life-science/cell-analysis/cell-analysis-learning-center/molecular-probes-school-of-fluorescence.html>, (参照 2024-03-19).
- 5) ベックマン・コールター株式会社. “サイトメトリードットコム”. ベックマン・コールターライフサイエンス. <https://www.beckman.jp/resources/techniques-and-methods/cytometrydotcom>. (参照 2024-03-19)

合同研修参加報告

令和 5 年度 東海・北陸地区国立大学法人等 技術職員合同研修（複合領域コース）参加報告

山口 綾香*, 山田 美空*

1. 目的

本研修は、東海・北陸地区の国立大学法人等に所属する技術職員に対し、その職務遂行に必要な専門的知識及び技術等を修得させ、技術職員としての資質向上を図るとともに職員相互の交流に寄与することを目的としている。今回は法令改正に伴う化学物質管理と大学でのリスクアセスメント (RA) 実施方法の習得をテーマとした研修が催され、RA の知識等の習得のため受講した。

2. 研修概要

東海・北陸地区の大学や高専より 18 名の受講者が参加し、以下の日程で行われた。

日時：令和 5 年 8 月 28 日（月）～30 日（水）
会場：東海国立大学機構 名古屋大学

表 1 研修日程

日程	研修内容			
8/28 (月)	開講式	一般講義(1)「これからの技術職員への期待」 講師：名古屋大学 全学技術センター 技術部長 梅原徳次 教授	専門講義(1)「リスクアセスメント (RA) について」 講師：名古屋大学 全学技術センター 松浪有高 主席技師	受講者職務紹介「研修受講者プレゼンテーション」
8/29 (火)	専門講義(2)「化学物質による事故から考える安全対策」 講師：名古屋大学 環境安全衛生管理室 富田賢吾 教授	専門講義(3)「化学物質管理に関する法令改正と国立大学協会ガイドラインについて」 講師：名古屋大学 環境安全衛生管理室 原田敬章 准教授	専門講義(4)「化学物質のリスクアセスメントの進め方」 講師：総見環境安全衛生コンサルタント事務所 総見瑞 先生	実習(1)「化学物質リスクアセスメントの進め方 CREATE-SIMPLE を中心に」 講師：総見環境安全衛生コンサルタント事務所 総見瑞 先生
8/30 (水)	専門講義(5)「東海トラフ地震に備える」 講師：名古屋大学災害対策室 蓮雅史 教授	見学(1)「防災館内見学ツアー」	閉講式	

3. 研修内容

3.1. 一般講義

「これからの技術職員への期待」

全学技術センター技術部長 梅原徳次 教授より、超低摩擦性や耐食性を発揮するカーボン系硬質膜の開発についての研究成果および名古屋大学全学技術センターの設立・改組内容について説明頂いた。講義全体を通して、常にアップデートする技術職員になってほしいと話があった。現状の業務に満足せず、スキルを持続的に向上することを意識していきたいと思った。

3.2. 専門講義 (1)

「リスクアセスメント (RA) について」

全学技術センター 松浪有高 主席技師より、労働災害の防止の歴史や RA の概要について説明頂いた。労働災害の発生には、設備等に由来する不安全状態と人のミスに由来する不安全行動に原因があり、危険を危険と気づく感受性を高めることが災害防止活動を行う上で大切であるとのことであった。たとえば、「静電気からの発火」など、リスクの疑似体験などを通じて、その怖さをより具体的に想像できるようになることが感受性を高めるために有効であるとのことだった。

3.3. 専門講義 (2)

「化学物質による事故から考える安全対策」

環境安全衛生管理室 富田賢吾 教授より、化学物質を使用する研究者等に向けての安全対策について説明頂いた。大学における化学物質による重篤な事故は、「爆発・火災」によるものが極めて多い。試薬の廃棄時や処理時に、混触させると危険な物質同士を接触させることによって発生した事故事例について事故現場の写真とともに紹介があった。また、化学物質の有害性について、眼に対する薬傷のリスクを中心に分かりやすく説明頂いた。化学物質のリスクを再認識し、そのリスクを学生・教職員にわかってもらうことの重要性を実感した。

3.4. 専門講義 (3)

「化学物質管理に関する法令改正と 国立大学協会ガイドラインについて」

労働安全衛生法関連の改正に伴い、化学物質管方法がこれまでと大きく変更されることになった。本講義では、理環境安全衛生管理室 原田敬章 准教授より、法令改正の概要および国大協ガイドラインについて説明頂いた。化学物質 RA (CRA) は原則、化学物質を取り扱う本人が

* 第 2 技術室 化学計測班

実施するものであるが、学生実験などの場合は担当教員が代表して実施し受講者（学生）に周知することで代替させるなど、大学にあった RA 体制を整える必要がある。本講義を通して、法令改正に伴う大学側の対応について理解を深めることができた。

3.5. 専門講義（4）

「化学物質のリスクアセスメントの進め方」

錦見環境安全衛生コンサルタント事務所 錦見端 先生より、労働災害の原因となりうる化学物質をより安全に取り扱うために、SDS の読み方をはじめとした CRA の基本について丁寧に説明頂いた。また、日本における化学物質管理は、義務化される CRA 対象化学物質が今後、順次追加されていくことが決まっている。各団体の自律的な管理が求められている中、大学においても教職員・学生の安全を守るため、CRA 対象物質に限らず取り扱う化学物質については危険有害性を確認し、随時 CRA を実施すべきとのことだった。

3.6. 実習

「化学物質リスクアセスメントの進め方 CREATE-SIMPLE を中心に」

ここでは、厚労省が提供している化学物質のリスクアセスメント支援ツール「CREATE-SIMPLE」を用いた CRA 実習を行った。実施手順について細かく説明があり、リスクを見積もるだけでなく、その結果を踏まえて低リスクになるまで作業環境や保護具等の改善を検討すること、そして安全対策を改善した結果を使用者へ共有して化学物質を取り扱うことが大切であると学んだ。また、ツール等で一定以上のリスク判定から下がない場合の対応方法について、実際にガス検知管を用いて確認測定する方法を教わった。先端に検出剤を取付け、一定の空気を吸い込むとその化学物質の量に応じて検出剤の色が変わる仕組みであり、安価で簡単に測定



図1 ガス検知管の測定例

できるので、今後、機会があれば使用していきたい。

3.7. 専門講義（5）

「南海トラフ地震に備える」

名古屋大学災害対策室 護雅史 教授より、南海トラフ地震に備えるため、想定被害とそれを極力低減するための国・愛知県・名古屋市の対策を説明頂いた。また、臨時情報が発表された際の地震や津波に備えた名古屋市付近の各地域・学校・企業の対応について紹介があり、臨時情報が発表されてからではなく、普段からの備えが大切であると感じた。

3.8. 施設見学

「減災館内見学ツアー」

本研修の最後に名古屋大学減災館を見学した。減災館は防災・減災の最先端の研究、防災普及や人材育成の場、大規模災害時の対応拠点という3つの役割を担っている施設である。一般開放の施設を見学し、実際の津波の高さを記したコーナーや、液状化が模型を使って体験できるコーナーなど、実際に見て感じる展示品が多く、分かりやすく防災の知識が得られる場であった。また、建物の免震装置はガラス張りで見学し、実際の津波の高さを記したコーナーや、液状化が模型を使って体験できるコーナーなど、実際に見て感じる展示品が多く、分かりやすく防災の知識が得られる場であった。また、建物の免震装置はガラス張りで見学し、実際の津波の高さを記したコーナーや、液状化が模型を使って体験できるコーナーなど、実際に見て感じる展示品が多く、分かりやすく防災の知識が得られる場であった。



図2 減災館模型

4. おわりに

本研修では、法令改正に伴う化学物質管理と大学でのリスクアセスメント実施方法の習得というテーマのもと、各専門の先生方から講演・実習を賜った。講演の際の説明が詳細で分かりやすく、化学物質を取扱う際の危険性、その教育の重要性、安全に取扱うための RA 方法まで理解を深めることが出来た。ここで得た情報をもとに今後の業務に活かしていきたい。

令和 5 年度 東海・北陸地区国立大学法人等 技術職員合同研修（機械コース）参加報告

橘 和希*

1. 目的

東海・北陸地区の国立大学法人等に所属する技術職員に対し、その職務遂行に必要な専門的な知識及び技術等を習得させ、技術職員としての資質向上を図るとともに、職員相互の交流を目的とした研修に参加した。

2. 研修概要

本研修では東海・北陸地区の大学・研究所・高専より 19 名の技術職員が参加した、研修は講義が主となっていた。研修日程表を表 1 に示す。

日時：令和 5 年 8 月 30 日（水）～9 月 1 日（金）

会場：国立大学法人金沢大学（角間キャンパス）

表 1 日程表

令和 5 年度 東海・北陸地区国立大学法人等技術職員合同研修（機械コース）日程表

日程 令和 5 年 8 月 30 日（水）～ 令和 5 年 9 月 1 日（金）

会場 金沢大学自然科学本館 108 講義室、技術支援センター

	8 月 30 日（水）	8 月 31 日（木）	9 月 1 日（金）
	自然科学本館 108 講義室	自然科学本館 108 講義室	自然科学本館 108 講義室
9		9:15 講義 「金属 3D プリンタがもたらす『ものづくり』の変革に向けて」 設計製造技術研究所 古本 達明 教授	9:15 講義 「軽くて強くてタイラーメイドな炭素繊維複合材料のつくり方」 設計製造技術研究所 喜元 年泰 教授
10		10:15 休憩 10:30 講義 「JAXA 出向の経緯とその成果」 総合技術部機器分析部門 松井 大樹 技術専門職員 高瀬 直樹 技術職員	10:15 休憩 10:30 学内見学 技術支援センターほか
11		11:15 講義 「走査型電子顕微鏡（SEM）の基礎 ～SEMで何が出来るか～」 総合技術部機器分析部門 杉山 博則 技術専門職員	11:30 閉講式
12	12:30 受付	12:00 昼食	12:00
13	13:00 開講式・オリエンテーション 13:30 講義 「金沢大学総合技術部の紹介」 総合技術部長 長谷川 浩 教授	13:00 実習 A コース 「CAD・積層造形技術」 機器開発部門 B コース 「地域貢献・機械加工」 機器開発部門 C コース 「走査型電子顕微鏡（SEM）・機器分析」 機器分析部門	
14	14:00 休憩 14:15 講義 「実務者のための工作機械振動の見極め方」 理工研究域機械工学系 高杉 敬吾 准教授		
15	15:15 休憩 15:30 講義		
16	「工作機械の最新動向について」 中村留精密工業株式会社 中西 賢一 部長	16:30	

3. 研修内容

3.1 講義 1

「金沢大学総合技術部の紹介」

金沢大学統括技術部長の長谷川浩氏より、金沢大学総合技術部の紹介という題目で講義があった。総合技術部の設置までの経緯、設置後の実質化と組織運営、人材育成の仕組み開発の実施事例についてご説明頂いた。特に、人事制度において、既存の人事評価に加え、新しい技術評価認定制度を導入しており、人材育成に力を入れていると感じた。

3.2 講義 2

「実務者のための工作機械振動の見極め方」

金沢大学理工研究域機械工学系の高杉敬吾氏より、実務者のための工作機械振動の見極め方という題目で講義があった。はじめに、振動とは何か、振動の分類や振動トラブルの分類についてご説明頂いた。その後、工作機械での振動の分類、切削テストによる振動の分類の判断方法、振動の発生源の特定の方法をそれぞれご説明頂いた。振動の分類や発生源の特定は、計測器で振動を測定し分析する必要があると思っていたが、切削テストにて切削条件を変更し、材料の縞目との関係から判断可能であることを知り、勉強になった。

3.3 講義 3

「工作機械の最新動向について」

中村留精密工業株式会社の中西賢一氏より、工作機械の最新動向についてという題目で講義があった。中村留精密工業株式会社について、取扱製品や複合機の強みも踏まえてご説明頂いた。

3.4 講義 4

「金属 3D プリンタがもたらす『ものづくり』の変革に向けて」

金沢大学設計製造技術研究所の古本達明氏より、金属 3D プリンタがもたらす『ものづくり』の変革に向けてという題目で講義があった。3D

* 第 1 技術室 機器開発・試作班

プリンタにおいて、設計面では 3D プリンタありきの設計思想が、製造面では 3D プリンタ手法の正しい選択が重要で、これらをうまく組み合わせることで、スマート設計生産が可能になるのではないかとのことであった。

3.5 講義 5

「JAXA 出向の経緯とその成果」

金沢大学総合技術部機器開発部門の松井大樹氏と高瀬直樹氏より JAXA 出向の経緯とその成果という題目で講義があった。経緯として 2018 年に金沢大学理工研究域と宇宙科学研究所との研究協定が締結され、人事交流として出向することになったとご説明頂いた。出向先では、出向元とは異なる設備、環境での業務経験や、はやぶさ 2 カプセル回収への参加など、貴重な経験ができたとの事であった。

3.6 講義 6

「走査型電子顕微鏡 (SEM) の基礎 ～SEM で何ができるか～」

金沢大学総合技術部機器分析部門の杉山博則氏より、走査電子顕微鏡 (SEM) の基礎 ～SEM で何ができるか～という題目で講義があった。はじめに、SEM の特徴や原理、構造、観察の手順について、その後試料の種類ごとのサンプリング方法や観察時のトラブルシューティングについてご説明頂いた。さいごに、SEM にて観察した事例についてご説明頂いた。

3.7 実習

「CAD・積層造形技術」

研修 2 日目に行われた実習では、全 3 コースの中から、A コースの「CAD・積層造形技術」を受講した。実習内容は、自身で作成した CAD モデルを 3D プリンタにて印刷するという内容だった。最初に、3 次元 CAD の SOLIDWORKS の操作方を学び、指定された図面通りに CAD モデルを作成した。次に、作成した CAD モデルを STL データに変換した。STL データは微小三角形の集合体で近似したもので、3D プリンタに読み込ませるためにこのフォーマットに変換が必要との事だった。その後、スライサーと呼ばれるソフトウェアを用いて、STL データを 3D プリンタ用のデータに変換し、3D プリンタにて印刷を行った。本実習で使用した機械は Markforged 社製の X7 で、プリント素材は Onyx であった。実際に印刷している様子と完成品をそれぞれ図 1、2 に示す。



図 1 印刷風景



図 2 完成品

3.8 学内見学

学内見学では、多目的風洞システムや技術支援センター、バイオマス・グリーンイノベーションセンターを見学させて頂いた。他大学の設備・施設を見学する機会がこれまでなかったため、非常に参考になった。特に、技術支援センターの見学では、作業場が冷暖房完備されており感動した。また、図 3 に示すように、掲示物にて 5S の徹底や安全への注意喚起がされていた。実際の作業場も綺麗で、非常に良い作業環境に感じた。



図 3 掲示物

4. おわりに

本研修では、業務で携わっている分野に加え、異なる分野についても講義と実習を通して学ぶことができ、有意義な研修であった。

また、他大学等の技術職員との交流を通して、情報交換もでき非常に参考になった。

技術研究会等参加報告

第82回全国産業安全衛生大会 2023 in 名古屋 参加報告

山口 綾香*

1. はじめに

令和5年9月27～29日にかけて中央労働災害防止協会主催の第82回全国産業安全衛生大会が愛知県名古屋市（ポートメッセなごや）で開催された。本大会には、全国各事業場の産業安全や労働衛生の関係者が参加しており、安全衛生に関連した研究発表や講演などが行われた。安全衛生管理推進グループでの安全衛生業務や日常業務における安全衛生活動に関する知識を深めることを目的として参加した。

2. 研修概要

本大会1日目は総合集会有り、表彰式や特別講演等が行われた（図1）。2日目および3日目は、9の分科会による研究発表や講演、そして労働劇が行われた。分科会では、職務に関わる化学物質管理分科会・安全衛生教育分科会の研究発表を中心に以下を聴講した。

<総合集会>

- ・労働安全衛生行政の動向／厚生労働省
- ・スポーツで未来を創る～ライフパフォーマンスの向上のためにスポーツが果たす役割／スポーツ庁長官／室伏広治

<化学物質管理分科会>

- ・法改正に伴う化学物質管理活動について／トヨタ自動車九州(株)／中島侑紀
- ・化学物質の自律的管理に向けた取り組み／日本製鉄(株)／高川勇貴
- ・化学物質管理デジタル化の取り組み／トヨタ自動車(株)／古川詩織
- ・プラズマ切断作業の安全化／JFE スチール(株)／山口豪介
- ・化学物質の自律的な管理における保護具使用／パネリスト 篠宮真樹、辻 真弓、岩澤聡子、平川秀樹、川本俊弘
- ・化学物質の自律的な管理、何から始める？／(独)労働者健康安全機構／城内 博

<安全衛生教育分科会>

- ・ヒューマンエラーに特化した新入社員安全教育カリキュラムの構築／サンデン・リテールシステム(株)／大巻良太
- ・新瞬間KYTによる危険感受性の維持・向上と背後要因を用いた職場リスク削減活動／日油(株)／小島幸也
- ・コロナ禍で対応したリモート安全道場の教育実施／三菱自動車工業(株)／澤村 弘

<安全管理活動分科会>

- ・アンケートを活用した実態把握と安全意識の浸透／日本製鉄(株)／朱宮 徹

<マネジメントシステム・リスクアセスメント分科会>

- ・リスクアセスメントと化学物質リスクアセスメントを組み合わせた効率的な運用について／三菱重工サーマルシステムズ(株)／久保卓也



図1 安全衛生大会の様子

聴講した研究発表等の中で、とくに有益と思われた内容について以下に報告する。

・化学物質管理分科会

これまでの日本の化学物質管理は、限られた数の特定の化学物質に対して特別則で個別に規制を行う方式であった。しかし実際には、化学物質による労働災害のうち、特定化学物質障害規則等の対象外の物質による労働災害が約8割であり、これまで使っていた物質が措置義務対象に追加されると、規制対象外の物質に変更し、

* 第2技術室 化学計測班

その物質への対策不足が原因で労働災害が発生するといった状態であった。そこで、化学物質関連規制改正により、危険性・有害性が確認された全ての物質に対して、ばく露を最低限度とすることを求め、そのための手段を指定しない方式に転換された。この法令改正により、危険性・有害性の情報の伝達する、ばく露を最小限とする、ばく露の程度を濃度基準以下とする、といった対応を各事業場が自律的に行う方針となった。本分科会では、「自律的な管理」に対する取り組み事例などの成果発表や自律的な管理を行うために各事業場がどのような対応をすべきかについての講演等が主に行われた。

保護具使用に関するパネルディスカッションでは、技術部の専門研修で取り組んでいる化学防護保護手袋に関する報告もあった。手袋を正しく装着するために、使用する化学物質の SDS を確認して手袋メーカーに適切な手袋か否か確認すること、ばく露を低減させるための方法として二重装着が有効であるといった説明があった。また、混合物に対する対応（含有量に対する裾切値の設定）や保護具の選択等に関するマニュアルが政府から示されるとのことであった。一方で、皮膚等障害化学物質のほとんどは耐透過性データが確認できず、その大半が固体物質であることが課題であるとの報告もあった。特に大学では、多品種の化学物質を取扱うことが多いため、耐透過性データが無い場合の対応等を含めた方針を示していく必要性を感じた。

化学物質管理では、危険性・有害性の情報伝達が必須である。研究発表では、SDS の見方がわからない人でも有害性を 3 段階のレベルで判断できるように SDS の要所を 1 枚のシートに押さえるリスクアセスメントサポートツール「ひとめでわかる SDS (通称: 一目 SDS)」や化学物質の有害性などの情報を法令情報と照らし合わせて社内に必要な管理項目が設定する化学物質リスクアセスメント支援アプリの作成に関する報告などがなされた。化学物質リスクアセスメント支援アプリについては、今後、他の既存システム（資格情報や健康診断情報）との連携・情報の一元管理化を目指しているとのことであり、魅力的な内容であった。

・安全衛生教育分科会

労働災害を防止する上で労働者の安全意識の向上を高めることは大事であり、そのためには、より効果的な安全衛生教育を行う必要がある。

本分科会では、事業場が安全教育を行う上で取り入れた活動や教育方法の改善などに関する研究発表が行われた。

危険感受性の向上に関わる要素として「気付力」がある。この「気付力」を高めるためには、背後要因とリスクを素早く結び付ける必要があり、さらにそのためには、「想像力」の強化が大切になる。瞬間 KYT に改良が加わった新瞬間 KTY を活用した想像力強化の取り組みについて紹介があった。最初は、背後要因とリスクをうまく結びつけることができないケースが多かったが、活動 2 年目で多くの部署が一連の活動にかかる時間が 70~80% に短縮された。つまり、事故・災害に至るシナリオを思いつく思考回路が定着され、想像力の強化ができたとのことであった。

新入社員への安全教育について、身体を動かすレクリエーションやクイズ形式など「楽しみながら」学べるカリキュラムを取り入れた成果について報告があった。このカリキュラムにより、新入社員の安全衛生に関する理解度を高めることができ、さらに災害発生件数にも効果があったとのことであった。この教育手法は、時間を要する等の理由から受講人数が多い条件には適していないというデメリットもあるが、本学での安全教育活動に活かせる部分があったら是非取り入れたい内容であった。

3. まとめ

本大会を通して、事業場における安全衛生活動等について知識を深めることができた。特に、化学物質管理分科会での発表では、安全衛生管理推進グループでの業務にも関係する内容もあったため、他企業等がどのような取り組みをしているのかを知ることができたのは大変良い機会であったと感じている。得られた知見を活かして今後の安全衛生業務に取り組んでいきたい。

参考文献

- 1) 厚生労働省、「化学物質による労働災害防止のための新たな規制について」、
https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000099121_00005.html（最終閲覧日：2024 年 2 月 26 日）。

Fusion 360 CAM 入門セミナー 参加報告

内山 裕二*

1. 概要

近年、学生が使用する CAD に Fusion360 を選択している者が多くいると感じ、こちらも Fusion 360 を使えるようになれば何か助けになることもあるかと思い、Fusion 360 について学んでいた。そこで、CNC 工作機械を操作するために必要な CAM(Computer Aided Manufacturing 工作機械での加工に必要なプログラムを作成するツール)が Fusion 360 には付属していることが分かった。そこで Fusion 360 の CAM について学び方を調べていたところ、株式会社 VOST 主催の「Fusion 360 CNC 講習 2 日間」が丁度よいタイミングで開催されており、これは実際に CNC 工作機械を操作して学ぶという内容であるため実践的で解りやすいと思い、受講することとした。これで CAM について学生にも容易に教えられることが出来れば、実習や学生の工作の幅が広がると考える。

2. 講習内容

「Fusion 360 CNC 講習 2 日間」の場所・日時は以下の通りで開催された。

開催場所：東京都千代田区内神田 3-18-3 アドミラル神田ビル 4 階

日時：8/19(土) - 8/20(日) 13-17 時

1 日目はまず加工の基礎知識、Fusion 360 CAM の基本操作、片面加工のやり方を中心に講義が行われた。加工の基礎知識としては、被削材の材質や切削工具に対する切削条件、加工方法を学んだ。Fusion 360 CAM の基本操作としては、ツールパスの作成の仕方、加工を行った時のシミュレーション、NC プログラムへの変換方法を学んだ。片面加工のやり方としては、CNC 工作機械での切削加工で基本となる片面の加工方法を学んだ。ここでこれまで学んだことを生かして、実際に CNC 工作機械を操作して、加工を行った。その時に製作したものを図 1 に示す。1 日目の講習を通して、CNC 工作機

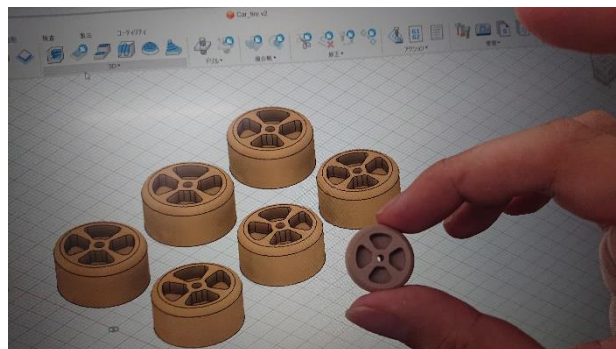


図 1 片面加工により製作したタイヤ

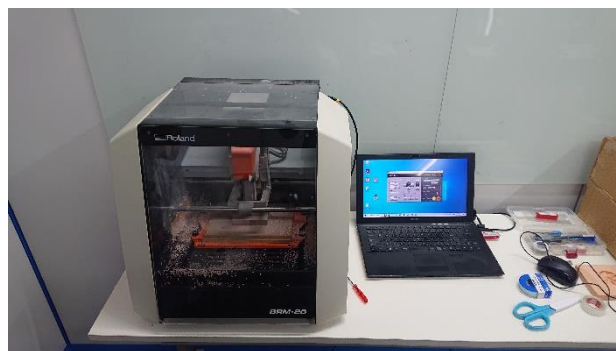


図 2 Rolland MDX-40A と操作 PC

械の使い方や切削加工の実務レベルでの知識が身につく、Fusion 360 の CAM 機能をマスターし、NC プログラムの作成方法を習得することが出来た。

2 日目は Rolland MDX-40A の操作方法、ツールパスの設定、両面加工のやり方を中心に講義が行われた。Rolland MDX-40A(図 2)の操作方法としては、工具の取り付け手法、原点設定の仕方、材料の取り付け方について学んだ。ツールパスの設定としては、荒取り加工、2D 輪郭加工、面出し加工、2D ポケット加工、穴あけ加工について学んだ。これは今回の講習の中核となる事柄なのでより詳細に記載する。まず、3D モデルを実際に加工して製作するには 1 手順で仕上がることはなく、加工の順序を考えながら加工する必要がある。材料を全体的におおかまかに削り出す「荒取り加工」、2 次元的に 3D モデルの輪郭仕上げる「2D 輪郭加工」、材料を目標の高さに仕上げる「面出し加工」、3D モデルの凹み

* 第 1 技術室 機器開発・試作班

部分を仕上げる「2D ポケット加工」、3D モデルの穴の開いた箇所を加工する「穴あけ加工」がある。図1のタイヤはこの5つの加工工程を踏むことでモデル通りの形状に仕上げることが可能である。さらにこの加工工程の1つ1つに、切削する工具は何を使用するか、工具の回転速度はどうするか、切削するときの送り速度はどうするか、切削する幅は何ミリずつ切削していくか等の設定をする必要がある。これをツールパスと呼ぶ。この設定によりきれいに3Dモデル通り削り出すことが出来るかどうかが決まってくるため、ツールパスの設定はしっかりと考える必要がある。また、設定したツールパスでどの様に加工するかをシミュレーションで確認することもでき、しっかりとシミュレーションで最後まで確認することが大事ということを教わった。両面加工については、片面加工をした後に4隅にピン穴をあけ、さらに土台となる板の同位置にピン穴をあけ、片面加工したものをひっくり返してピンを取り付け調整することで裏側の加工も可能となる手法を学んだ。2日目の講習を通して、個人向けCNC工作機械を使った操作方法の習得、工具の取り付け方や原点設置方法、材料の取り付け方などのCNC工作機械で共通する操作方法の習得、応用的なツールパスの作成方法の習得をすることができた。

3. KitMILL による製作

講習の内容を踏まえて、育成センターにはCNC工作機械のKitMILL SR200(図3)があるため、それを用いて実際に切削加工を行った。まず、切削したい形状の3Dモデルを作成し、次にCAMを用いて荒取り加工、輪郭加工のツールパスを作成し、アクリル板とアルミ板の切削加工を行った。切削する形状は今後使用する可能性を考えて、機械システム工学科の創造演習で製作しているフェンスカーのシャーシとギアにした(図4)。

4. まとめ

CAMを用いたCNC工作機械の操作について講習を通して学ぶことが出来た。実際に加工まで終えた実感としては、CAMによるパス製作までは想像より簡単にできたが、実際に加工をすると切削量や送り速度により最初はうまく加工が出来ない、若しくは加工終了までに非常に時間をかけしまうなど試行錯誤を必要とした。ここは材料に応じて変わってくるため、今後



図3 KitMILL SR200

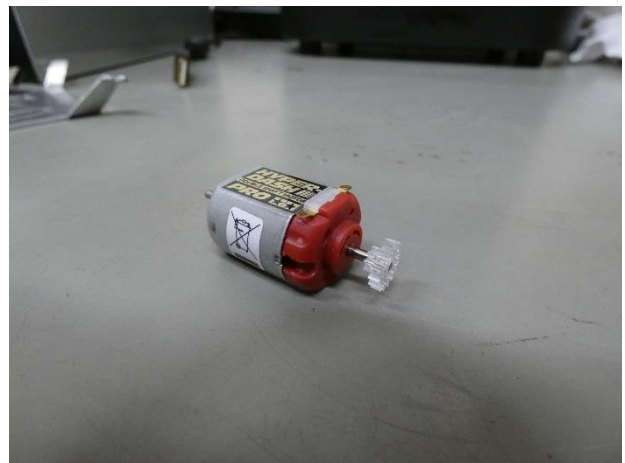
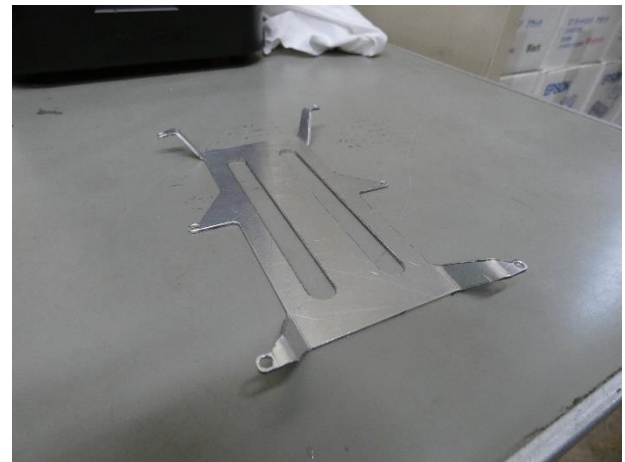


図4 切削したもの
(上：フェンスカーシャーシ、下：ギア)

の経験が必要だと感じた。しかし、学生でも少し学べば使用できると感じたため、マニュアルを作成しつつ、様々な材料を切削して最適な条件を抑えることで誰でも扱えるようにしたいと考える。

もう一度学ぶ機械材料学（金属材料の基礎） 参加報告

高澤 拓也*

1. 目的

プロジェクト業務やグループ業務をはじめとする筆者の日常の業務では、機器分析や材料評価を行う機会が非常に多い。特に、金属やセラミックス、複合材料といった機械系の材料を扱うことが多く、その種類は多岐に渡る。そこで今回、これら材料の性質を体系的に整理するための知識を得ることを目的として、標題の講座（以下、本講座）に特別研修として参加したので報告する。

2. 開催概要

本講座は、ものづくり現場で活躍する技術者を対象として、ものづくりの素材となる機械材料について基礎から理解することを目的としたものであった。主催は日本機械学会、講師は機械材料・材料力学を専門分野とする大学教員であり、2023 年 9 月 21 日（木）の午前・午後あわせて約 6 時間、web 講座の形式で行われた。配布されたテキストに沿って解説が行われ、講座の最後には内容に関する質疑応答・技術相談が行われた。セミナーの参加者は 10 名程度であった。表 1 に本講座の概要を示す。

3. 講座内容

金属材料の基礎として、金属材料の基本的な性質や、その性質を発現する原理の説明から始まり、鉄鋼材料や非鉄金属、セラミックス、複合材料の特性・用途・評価方法について解説がなされた。

「1. 金属材料の基礎」では、化学結合や結晶構造、欠陥と強度の関係など、化学、金属材料学の視点から重要な要素について抜粋して解説があった。また、「2. 平衡状態図の読み方、使い方」では、よく用いられる全率固溶型、共晶型について解説があった。両テーマを通して、金属が種々の性質を発現する原理および、性質を発現するためには材料にどのような操作を行え

ばよいかということを学ぶことが出来た。

その後、「3. 鉄鋼材料の特性とその応用」では種々の鋼材における熱処理の効果や用途について詳細な解説があった。「4. 非鉄鋼材料の特性とその応用」では代表的な金属としてアルミ、チタン、銅について、使用頻度の高い合金とその特性について解説があった。「5. セラミックスおよび複合材料」では金属材料との大きな違いである脆性的特性に焦点を当てた解説があった。「6. 構造材料の評価方法」では硬さ、引張、曲げ試験について簡単な解説があった。鉄鋼材料・非鉄鋼材料、セラミックスおよび複合材料の特性とその発現の原理、代表的な評価方法を広く学ぶことができ、目的を達成できた。

4. 所感

計算式は殆ど使用せず、概念の解説が主であったため要点を押さえやすく、分かりやすかった。材料が特性を発揮する原理の解説が先ずあった上で、種々の材料に関する内容に展開していったため、理解しやすく、特性評価の際に「何故そうなるのか」を考えるための基礎知識を得ることができた。特に業務で取扱いの多いセラミックスや複合材料についても学ぶことができ、非常に有意義であった。

表 1 講座概要

I. 講師挨拶 (講師：柳迫 徹郎 氏 (工学院大学))
II. 講義 導入：「機械材料とは」金属、セラミックス、高分子材料および複合材料 1. 金属材料の基礎 2. 平衡状態図の読み方、使い方 3. 鉄鋼材料の特性とその応用 4. 非鉄鋼材料の特性とその応用 5. セラミックスおよび複合材料 6. 構造材料の評価方法 7. まとめ
III. 質疑応答・技術相談

* 第 1 技術室 機械システム班

令和 5 年度 KEK 技術研究会 参加報告

小林 英一*

1. 目的

本研究会は、技術者の創意的探求心と向上心を促進させるとともに、より高度な実践的経験に接する機会を与え、総じて技術の向上と交流を図ることを目的としている。

今回、IC カード式入退室管理システムの設計開発および設置・運用と題し口頭発表による報告と情報収集、全国の大学および研究機関の技術職員と情報交換すべく、講演や他大学・高専および大学共同利用機関等の技術者の発表を聴講した。口頭発表が 55 件、ポスター発表が 31 件あり、58 の機関から現地 172 名、オンライン 161 名の総数 333 名が参加した^[1]。

2. 開催概要

日 時：令和 6 年 3 月 7 日（木）～8 日（金）
会 場：大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構（KEK, つくばキャンパス）
プログラム：

3 月 7 日（木）13:00～16:50

- ・ 開会式
- ・ 次期研究会 PR
- ・ 「技術情報共有サイト」と「技術研究会報告集データベース」の紹介
- ・ 口頭発表（ハイブリッド、1 日目）
- ・ ポスター発表（オンサイト）

3 月 8 日（金）9:00～16:00 頃

- ・ 口頭発表（ハイブリッド、2 日目）
- ・ 施設・装置見学会



図 1. 高エネルギー加速器研究機構の入口



図 2. 開会式後の集合写真^[1]



図 3. 研究会（第 3 分科会）の様子^[1]

3. 発表内容

3.1 発表タイトル等

「IC カード式入退室管理システムの設計開発および設置・運用」 ○小林 英一，道幸 雄真，小澤 伸也，廣木 智栄（発表番号 O-3-8）

3.2 概要

福井大学文京地区において、磁気式入退室管理システムは老朽化による故障が増えている。しかし、製造元は撤退しており修理不可、さらに IC カード式の後継機はとても高額で課題となっていた。技術部長から要請があり、技術部で IC カード式入退室管理システムを設計開発することになり、その経緯とシステム概要、設置・運用・展開状況について報告する。

3.3 背景と経緯

* 第 3 技術室 システム制御班

現在、福井大学文京地区構内にある磁気式の入退室管理システムは平成 14 (2002) 年から導入が始まり、古いもので 20 年以上経過している。既存メーカーのオムロン社が平成 24 (2012) 年に販売終了、平成 29 (2017) 年に保守サポートも終了。事業をホーチキ社に譲渡・撤退しており、修理対応は不可、設定変更等メンテナンスも難しくなっていた。既存設備が老朽化し故障が相次ぐ中、既存メーカーが事業撤退し、ホーチキ社製の互換品は非常に高価という問題がある。

令和元 (2019) 年の春ごろ、当時の技術部長から学内における課題の解決策として、技術部で設計開発できないかと打診があり、IC カード式の入退室管理システム (以下、ICEEMS と表記) を新規で開発することになった。

技術部で独自に設計開発した ICEEMS は令和 3 (2021) 年度に 1 年かけて試験運用を実施した。令和 4 (2022) 年度からは工学部を中心とし学内に対して本格的な置き換えを始めており、システム概要や導入の進捗状況を報告する。

3.4 システムの概要

開錠インターフェイスは磁気方式から IC カード (Mifare 規格) 方式に変更し、読取はマイコン、判定・開錠制御はシングルボードコンピュータ (以下、SBC と表記) が担当する。通行登録用の管理 PC は学内ネットワークから Web ブラウザで登録ができるよう新規開発した。各部の呼称について、福井大学技術部製の IC カードリーダ部は C、カードゲート制御部は CG、電気錠は K とする。これに対し、既存オムロン製の磁気カードリーダ部は CR、制御盤は CGC として区別する。

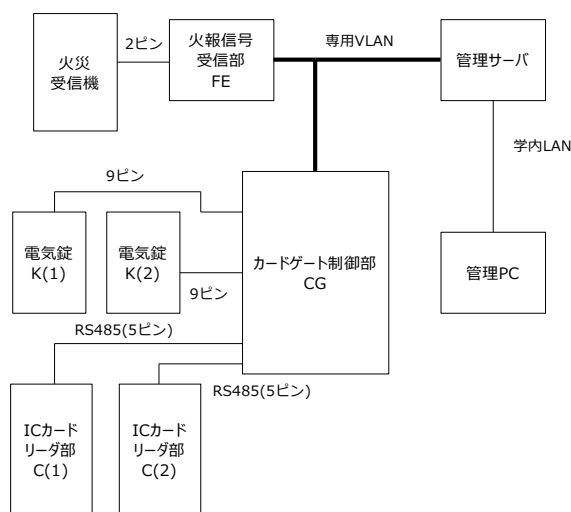


図 4. システムブロック図

以下コンセプトを念頭に、設計段階から複数人のチームで開発を進めた。

- ・ 交換従事者も含めたユーザ目線で設計する (もし判断に迷うことがあれば、使う立場だったらどう感じるかを、判定の指標とする)
- ・ メンテナンスやアップデート作業を実施しやすい構造とする
- ・ メンテナンス・交換・修理・ソフト更新等の頻度を極力少なくするため完成度にこだわる
- ・ 壁内配線など既存設備はなるべく流用 (互換性およびコスト重視)

3.5 IC カード

福井大学の職員証/学生証は 10 年以上前から磁気ストライプ付き IC カードだったが、磁気だけを利用し、IC は未使用だった。松岡地区では以前から利用されており、文京地区では総合図書館が令和 2 (2020) 年 3 月末に IC カードの利用を開始した。

規格の種類は Mifare (マイフェア, NFC-A) である。日本国内における IC カードの標準規格 Felica (フェリカ, NFC-F) だが、世界的には Mifare の方が標準的とされる^[2]。高速通信は不要で金銭を扱わない入退室管理なら Mifare のセキュリティでも十分と判断した。

カード固有のシリアル番号 (UID) を使うシステムは簡便ではあるが、以下の懸念がある。

- ・ Mifare ならどんなカードも登録できてしまう
- ・ 大学で UID は管理されておらず、初回登録時にカード持参してもらい、読み取る必要がある (登録人数が多い場合、現実的ではない)
- ・ 再発行した場合の再登録も同様に手間

そのため、総合図書館仕様で書き込まれた職員番号や学籍番号を読み取り、あらかじめ登録された番号と照合する方式にした。

3.6 ハードウェア

3.6.1 カードゲート制御部 (CG)

CG 心臓部の SBC には Raspberry Pi 4B 2 GB を採用している。図 1 の通り、CG は電気錠 (K) と IC カードリーダ部 (C) を各 2 台制御できる。管理サーバとは専用 VLAN で接続され、通行登録、スケジュール設定やログの確認などは遠隔で操作可能である。なお、AD219 変換アダプタ (美和

ロック)を使用すれば,自動扉も制御可能となる.

3.6.2 IC カードリーダー部 (C)

C はマイコンの ATmega328P (Arduino Uno ではなく IC 単品)を使用している. 従来設備を利用し壁内に収めるには短辺 40mm 以内でなければならず, NTTACR1251CL や Sony RC-S380 はどちらもサイズ超過のため, Web 記事^[3]を参考に, RFID-MFRC522 モジュールを採用した. C-CG 間の配線はピン配置を CR-CGC 間と同じにしているため, 誤ってオムロン製 CGC と組み合わせ電源投入しても故障はしない.

3.6.3 電気錠 (K)

美和ロック社の電気錠 ALA, AU, AFF, AL3M シリーズを各 1 台ずつ用意し, 検討に使用した. ソレノイド錠, モーター錠ともに DC+24 V 駆動かつ消費電流は 0.3~0.4 A 程^[4]である.

3.6.4 火災信号受信部 (FE)

環境整備課から対応必須の要求あり, 開発途中から追加になった. 棟毎にある火災受信機の出力をモニタし, 火報信号を受け取った場合 (火災発生), 同じ建物すべての CG に伝達し, K は強制解錠, 自動扉はフルオープンさせる.

3.6.5 筐体

C の筐体は交換する際, 作業に従事する方にとっての変更点を極力少なくするため, 従来使われていた既存設備, シャーシや壁内の電気配線をなるべく流用する構造とした.

現状では全てレーザー加工した平板 5 枚を組み合わせて製作しているが, 3D プリンタなど樹脂成形技術なら部品点数を削減, かつ曲面も製作でき, 耐水性も向上し, 柔軟な条件下で基板設計できるため, 令和 6 (2024) 年度の検討課題としている.

CG には当初, 既存 CGC の金属筐体をそのまま流用する方向で考えていたが, 流用は難しかったため, 穴あけ加工した既製品の筐体を使うことにした. FE の筐体は CG と共通化している.

3.7 ソフトウェア

3.7.1 機器間の通信

ICEEMS では管理用 PC と CG 間, CG と C 間で通信をおこなっており, 管理用 PC と CG 間の通信には専用 VLAN を, CG と C 間の通信にはシリアル通信 (RS232C) を変換した RS485 通信を利用し長距離通信を可能にしている.

3.7.2 管理 PC

管理 PC は, 各電気錠に対する自動施錠の時間帯の管理, 登録されているユーザ情報の管理等が可能である. 管理 PC は, 運用時に開発者以外が操作することとなるため, 利便性向上の面からも, ブラウザ上で動作する Web アプリケーションとして開発した. 特別な専用機を必要とせず個人 PC で動作する. スケジュールは 7 つ設定でき, それぞれのパターンを任意の日にワンクリックで視覚的にもわかりやすく設定できる.

3.8 導入方針

技術部では ICEEMS のシステム管理のみ担当し, 通行登録実務については基本的に既存オムロン・ホーチキ製で担当していた方に利用方法をレクチャーし, ご対応いただいている. なお, 既存オムロン製をすべて ICEEMS に置き換えた場合, 入試や施設貸出時に問題発生する可能性を考慮し, 土日祝のサポートを環境整備課から求められたが, 令和 4 (2022) 年 6 月に技術部長, 工学系運営管理課, 環境整備課を交えた打合せの場で, 「入試や施設貸出に関係する建物入口など重要通路と講義室は当面, 後回しにする」という方針に決まった. また, 令和 5 (2023) 年度から予防保全として, まず工学系の建物にて, 年間 12 台 (IC カードリーダー部 C の台数) のペースで古いオムロン製磁気システムの交換を進めている.

設置工事はこの 12 台を 4 台ずつに分割し, 年 3 回を基本にしている. 業務負荷が少し重くなるのは設置工事の時期だが, 年 3 回だけであり, 設置後はほぼ放置 (メンテナンスフリー) になるため, 業務負荷はさほど大きくない.

3.9 設置実績

表 1 に示した通り, 今年度で総合計 26 台 (C の台数) となった. このうち 1 台は自動扉を制御している. 令和 4 (2022) 年度から学内導入が加速している.

表 1. 設置実績台数

設置年度	台数
R5 (2023)	12
R4 (2022)	8
R3 (2021)	3
R2 (2020)	3

3.10 解決済み課題の紹介

開発当初は特定場所でのみ, C-CG 間で通信エラー (自己復帰するため動作には影響なし) が発

生していた。最初は一見不規則に見えていたが、探してみると、次の 3 つの規則性が見えてきた。

- ① 決まった時刻（明け方）に発生
- ② 約 3 時間（の倍数）間隔で発生
- ③ ヘリウムガス回収コンプレッサ（動作電流 100 A 級）の停止時と同期して発生

最初はこれら 3 つすべてが重なった状態だったため、なぜこの場所だけエラーが多いのかと不思議に感じた。調べていくと、①は発生頻度が比較的高く、外灯の一斉消灯時刻と一致していたため抽出しやすかった。②③は耐えることも多く特定に時間を要したが、②③の原因だった機器の停止音と同期している傾向を発見できたことなど、原因特定に至った経緯や対策内容など紹介した。

3.11 発表内容のまとめ

福井大学工学部技術部では各職員が個人で各案件に対応する事例が多く、大規模かつ複雑な案件を経験する機会は多くない。今回は比較的規模の大きな案件であり、専門分野を横断した設計開発チームを編成し学内から必要とされるシステムの開発を進めた。外部に丸投げせず、自前で開発することにより技術が身に付き、ノウハウも蓄積され、成長に直結する。セキュリティ案件の場合、外部との秘密保持契約も不要となる。試作から本格導入開始まで約 3 年かかったが、学内事業として軌道に乗り始めている。

結果として、チーム個々人の能力を高めながら、既製品に比べ何ら遜色ないレベルのシステムを構築することができた。また、品質にこだわり安定性・信頼性を向上させるなど、かなり踏み込んだ貴重な経験と設計資産を得ることができた。

3.12 質疑応答および情報交換

口頭発表では時間 15 分のところ、用意していた資料ページ数が多く、やや時間を超過してしまった。質疑応答では残り時間が少ないなか 5 名から質問をいただいた。発表終了後、KEK および核融合科学研究所の方と意見交換する機会に恵まれた。KEK では Arduino+Linux+Web アプリ+RS485 という ICEEMS とほぼ同じ構成で、一部エリアに自作の電気錠システムを導入している。既製品モジュールを接続した構成だが、ICEEMS は筐体も含めハードをしっかりと作っていて、とても刺激になったと嬉しい感想をいただいた。核融合科学研究所では業者製 IC カード式入退室管理シ

ステムがあり、教職員は通行可のまま学生のみ夜間通行禁止の設定は可能かといった質問があった。複数あった業者が最近 1 社に統合されたという話は核融合科学研究所と分子科学研究所の双方からあり、自然科学研究機構として共通設備の扱いなのだろう。活発な情報交換ができたと思う。

4. 施設・装置見学会

研究会終了後、KEK つくばキャンパス施設・装置見学会があり、グループ A（超伝導低温工学センター → 機械工学センター → cERL:エネルギー回収型線形加速器）の見学コースに参加した。帰路時間の都合から 3 番目 cERL の見学はできず、15 時過ぎに途中退席し、KEK を後にした。

超伝導低温工学センターでは、大型実験装置で必要とされる超伝導磁石や極低温機器の開発研究、建設、運転を行っている。見学している最中、ちょうど大口ユーザへの液体ヘリウム移充填の現場（図 5）を見ることができた。ヘリウム回収率は 90 % 程で我々と似た数値だが、ヘリウム液化スピードは液体窒素使用時で約 400 L/H、貯槽容量は 5,000 L と、規模の違いに驚いた。これほど大規模な場合、頻繁に移働するガスバッグの劣化および漏れはないかと気になったが、フジクラ社製で 20 年経過しても漏れはないとのこと。



図 5. 超伝導低温工学センター
（左：1,000L 容器 右：5,000L 貯槽）

機械工学センターは、教員 4 名、技術職員 10 名、研究支援員 3 名の計 17 名体制であった。加工機は旋盤（NC 旋盤、超精密旋盤）11 台、フライス（マシニングセンター、5 軸マシン）9 台、ワイヤーカット 5 台、熱処理炉（真空炉、水素炉）3 台、溶接機（EBW）7 台、3D プリンタ 2 台のほか、多数の工作機械があり、作業場も大きかった。



図 6. 機械工学センター

5. 先駆的な存在の技術研究会

KEK, 分子科学研究所, 核融合科学研究所は毎年持ち回りで技術研究会を開催している。その歴史は古く, 第 1 回は昭和 50 (1975) 年度まで遡り, 分子科学研究所で開催された。その後, 昭和 59 (1984) 年度からは高エネルギー物理学研究所 (現, KEK), 名古屋大学プラズマ研究所 (現, 核融合科学研究所) が加わり, 3 研究所で持ち回り開催となった。分科会として行われていた分野が独立し, 機器・分析技術研究会, 実験・実習技術研究会などが誕生している^[5]。

6. 所感等

研究機構主催であること, ならびに歴史ある研究会のため, 他の技術研究会より専門に深化した, 内容の濃い発表が多い印象を受けた。ポスター発表では実験装置 (第 2 分科会) を扱った内容が 31 件中 15 件を占めており最多であった。口頭発表では, 計測制御 (第 3 分科会) に参加しており, 真空・低温 (第 4 分科会) にも興味があったものの, 会場が少し離れていることもあり聴講はできなかった。しかし, ポスター発表と超伝導低温工学センターの施設見学にて他機関の寒剤担当関係者と少し意見交換することができた。

ICEEMS について, 他機関に向け発表・発信したことは 2 月 29 日～3 月 1 日にかけて実施された「九州地区総合技術研究会 2024」と今回の「令和 5 年度 KEK 技術研究会」が初めてであり, 発表資料をまとめる過程で, これまでの経緯, 現在の進捗状況・実績, 解決済みの内容から得られた知見, 今後の課題等を整理することができた。また発表後の質疑応答等で KEK や分子科学研究所, 核融合科学研究所における IC カード式入退室管理システムについて, 意見・情報交換することができ

たため, 有意義な研修だったと考える。

発表前日に分子科学研究所の方と意見交換することができ, そこで出た話題にも触れたい。技術研究会等において計測制御系の発表でもモジュールを組み合わせ, 機能実現した事例の報告が多いと感じているとのこと。なるほど, 既製品モジュールの完成度が高く入手しやすい面もあるだろう。単発の一点物ならそれで良いが, 基板や配線等はむき出しになることが多いことから量産に適さず, 性能ばらつきや動作不具合に直結しやすい。またモジュールは欠品や突然廃版になる懸念もある。やはり基板や筐体も含めた機器設計が望ましいと改めて認識することができた。

オリジナルハードウェアおよび外観にもこだわった ICEEMS は珍しく, ユニークな事例であり, チーム開発による特長・利点が現れていると確信している。

7. 謝辞

本研究会を企画・運営いただいた令和 5 年度 高エネルギー加速器研究機構技術研究会 実行委員の皆様にご感謝申し上げます。

8. 参考文献等

- [1] 全国の技術職員が KEK に集結 ～技術職員シンポジウム、KEK 技術研究会開催～
(<https://www.kek.jp/ja/topics/202403261400>)
- [2] 高橋応明, RFID タグ用アンテナの設計, コロナ社(2012)
- [3] 非接触 IC タグで遊ぼう! Arduino で RFID リーダー RC522 を使う方法
(<https://dotstud.io/blog/arduino-use-rfid-reader/>)
- [4] 美和ロック株式会社 総合カタログ
- [5] 分子科学研究所 技術推進部／技術研究会の歴史 (<https://www.tech.ims.ac.jp/workshop>)

9. 次期開催案内

- ・ 2024 年度 機器・分析技術研究会
日 時：2024 年 9 月 5 日 (木) ～6 日 (金)
会 場：広島大学
- ・ 総合技術研究会 2025 筑波大学
日 時：2025 年 3 月 5 日 (水) ～7 日 (金)
会 場：筑波大学
- ・ 令和 7 年度 核融合科学研究所 技術研究会
日 時：2026 年 3 月 5 日 (木) ～6 日 (金)
会 場：核融合科学研究所

九州地区総合技術研究会 2024 in 大分大学 参加報告

廣木 智栄*

1. はじめに

本研究会は、主に九州地区の国立大学法人、国立高等専門学校および大学共同利用機関の技術職員による発表と討論を通じて技術の研鑽、向上を図ると共に技術職員相互の技術的、人的交流を深めることを目的として開催されたものであり、2月29日と3月1日にかけて大分大学 且野原キャンパスで開催された。「情報・ネットワーク」分野での口頭発表のため参加した。

2. 研究会概要

全国からも参加が多く、現地での参加者は130名であった。シンポジウムのみオンライン参加も可能となっており、オンライン参加は82名であった。「分析・評価」、「地域貢献・組織運営」、「建築・土木」、「実験・実習」、「環境・安全衛生管理」、「医学・生命科学」、「超低温」、「情報・ネットワーク」、「回路・計測・制御」、「加工・開発」、「装置関係」、「分析・評価」、「生体・農林水産」の分野での発表があり、ポスター発表は3会場に分かれ48件、口頭発表は3会場に分かれ29件の発表があった。

スケジュール

2月29日（木）

9:00～ 受付
10:00～10:10 開会式
10:20～11:50 特別講演Ⅰ
13:00～14:40 ポスター発表
15:00～17:00 シンポジウム
17:10～17:25 時期開催案内・事務連絡
17:40～19:40 技術情報交流会

3月1日（金）

9:30～ 受付
10:00～11:30 特別講演Ⅱ
13:00～16:50 口頭発表
17:00～17:10 閉会式

3. 発表概要

演題名：「福井大学文京地区における IC カード式入退室管理システム用管理サーバーの構築」

3.1 はじめに

福井大学文京地区において、磁気式入退室管理システム（以下、従来システム）は老朽化による故障が増えてきている。製造元も撤退しており修理不可、代替となる後継機は磁気式及び IC カード式とも非常に高額だった。この課題に対し、技術部での IC カード式入退室管理システム（以下、本システム）設計開発要請を技術部長より受けた。

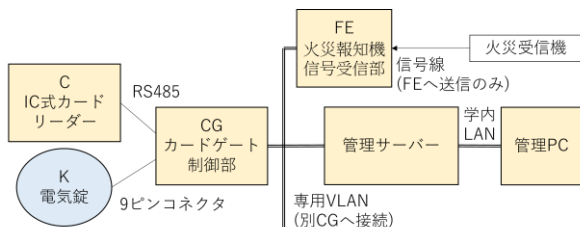
すでに実運用までされている本システムは、技術部で設計した複数の装置により構成されている。本報告では、本システムの各種設定を行えるユーザー向けインターフェースを提供する管理サーバーの構築等に関する報告をする。

3.2 IC カード式入退室管理システム

図1は本システムを表したものとなっている。製造元が撤退していることもあり、従来システムの情報を得ることは困難であったため、本システムでは従来システムの配線やピン配置、埋め込みボックスを利用し、その他を置き換えて動作する全く新しいシステムを作り、長期スパンで置き換えていくこととした。本システムの C 及び CG へ個別に置き換えていくことは構造上可能であったが、管理サーバー周りは従来システムが動作している関係上、置き換えることはできなかった。そこで、従来システムの制御部分とは独立した接続となる学内 LAN を用いて、クライアントサーバーでのシステムを作成することとした。学内 LAN のポートは申請をすることで任意の場所に新設してもらうことが可能なため、自前で配線することに比べ手間やコストが少ない。学内 LAN を管理している福井大学総合情報基盤センターへこの構成で進める相談をしたところ、管理サーバーと CG 間では通常の学内 LAN 用の VLAN とは切り

* 第3技術室 システム制御班

離された VLAN（以下，専用 VLAN）利用の許可を得られた．交付された一定の区間の IP アドレス内でシステム管理者が自由に指定することが可能となり，専用 VLAN であるため，通常の学内 LAN からでは CG 等へ直接アクセス不可能なセキュアなシステムが構築できた．



C…従来システムCRと設置位置と役割は同じでIC式

K…従来システムKをそのまま利用

CG…自動施錠を行うスケジュールやユーザー情報を管理サーバーから受信。火災時FEの命令で動作。他は従来CGと同じ。（制御：RaspberryPi）

FE…火災報知器より火災信号受信時、CGへ火災時の動作命令を送る（制御：RaspberryPi）

管理サーバー…全CGを管理する装置。管理PCから操作される。

管理PC…管理サーバーを操作する端末（学内LAN内でwebブラウザが使える端末）

図1 ICカード式入退室管理システム

3.3 管理サーバー及び周囲のシステムの仕様

本システムの管理サーバー及びCGのOSはどちらもLinuxとした．管理サーバー本体は一般的なサーバー向けマシンを採用，CGはGPIOも使用でき，設置も容易で小型のものが必要であったため，RaspberryPiを採用した．

管理サーバーにはApache，PHPを入れている．CGにはsshサーバーを入れている．

管理サーバー及びCGは専用VLANで接続，管理サーバー及び管理PCは通常の学内LANに接続しており，管理PCから管理サーバーをWebアプリケーションを介し操作を行う．管理サーバーからCGへの動作指示及びCGからのログ回収は，scpによるCSVファイルのやり取りで行っており，Webアプリケーション等により実行される．

また，専用VLAN上に，火災受信機からの信号を受け取り次第CGに対して強制的に火災時の動作（火報連動）をさせるRaspberryPiを使用した装置（FE）を作製した．

3.4 管理サーバー

管理サーバーは，従来システムの機能に加え，利用者からの要望を元に新機能の追加を行った．ログイン機能，ドアが閉鎖状態になり次第自動施錠する時間（以下，自動施錠時間）の設定，ユーザーの情報及び施解錠できる電気錠の設定，ログの集約及び閲覧，ドアの施解錠状態の閲覧（図2），は従来機能と同様のものを作成した．



図2 ドアの施解錠状態の閲覧画面

要望のあった新機能として，従来システムの施解錠設定には，施解錠可能な電気錠が選択されたグループをあらかじめ作成後，そのグループをユーザーに付与する仕様であったが，同様の設定も可能かつ，グループなしで直接電気錠の指定も可能とした．また，従来システムと違い，学内LANが使える場所であれば，居室等からでも操作が可能となったため，複数人より偶然同時にシステム設定をされる可能性を考慮し，編集作業が衝突しないような工夫をした．

要望ではなかったが追加した機能として，もし学内LANが途切れ，CGは管理サーバーと通信不可となった場合でもスタンドアローンで電気錠に関する動作を行える設計とした．CG及びCの開発は別グループが行っており，グループ間における共通認識の齟齬を減らすため，CGとのやり取りが必要なデータ及び必要な操作は極力単純な設計となるよう話し合い，CGへ送るデータとしてはユーザーごとに施解錠できる電気錠の情報が入ったuserlist.csv及び，電気錠ごとの自動施錠時間の設定が入ったschedule.csvという2つのCSVファイルのみとし，操作は管理サーバーよりCGへ配布するのみとした．CGでは配布されたデータを保持し続け，動作時はそれらを見て行う．

構築した管理サーバーは現在運用中で，従来システム利用者も問題なく運用できており，好評である．

4. さいごに

口頭発表したことで，福井大学工学部技術部の成果を広めることができ，発表内容に対する意見も得ることができた．また，他の参加者の発表を聞くことで新しい知見を得ることもできた．今後の業務に役立てたい．

九州地区総合技術研究会 2024 in 大分大学 参加報告

橘 和希*

1. 目的

本研究会は、国立大学法人、国立高等専門学校および大学共同利用機関の技術職員による発表と討論を通じて技術の研鑽，向上を図ると共に技術職員相互の技術的，人的交流を深めることを目的として開催された。本研究会に参加し，特別講演，シンポジウム，他機関の技術職員の発表を聴講，また，加工・開発分野においてポスター発表を行ったので報告する。

2. 研究会概要

日時：令和 6 年 2 月 29 日（木），3 月 1 日（金）

場所：大分大学 旦野原キャンパス

第 1 大講義室 他

形式：オンサイト

（シンポジウムのみハイブリッド開催）

ポスター発表：48 件

口頭発表：29 件

タイムテーブル

■2 月 29 日（木）

9:00～	受付
10:00～10:10	開会式
10:20～11:50	特別講演 1
13:00～14:40	ポスター発表
15:00～17:00	シンポジウム
17:10～17:25	次期開催案内・事務連絡
17:40～19:40	技術情報交流会

■3 月 1 日（金）

9:30～	受付
10:00～11:30	特別講演 2
13:00～16:50	口頭発表
17:00～17:10	閉会式



図 1 研究会会場（第 1 大講義室）

3. 特別講演

3.1 特別講演 1「多様なリスクにどう向き合うか ～より良い未来—減災社会—を創る～」

大分大学理工学部的小林祐司教授より，上記題目のご講演があった。西日本豪雨，市民への緊急メッセージなどから，市民 1 人 1 人が災害の危険性を知り，そのうえでどう行動するかというスタンスで向き合わなければ，リスク全体へ対応できない。リスクへの向き合い方は人に任されている状況のため，人への教育が必要と説明されていた。

3.2 特別講演 2「工学によるモノづくりと縁によるコトづくり ～竹の加工技術開発を起点とする起業と将来～」

大分大学理工学部の衣本太郎教授より，上記題目のご講演があった。竹の加工技術の研究を始めたきっかけや起業するまでのエピソード，竹セルロースナノファイバーの特徴，そして，これからの展望に関して説明されていた。

4. シンポジウム「技術職員ビジョン 2040」

4.1 第 1 部 講演

大学を取り巻く環境に不安要素・不確定要素が多くなり，技術職員も変化や対応を求められている。そのような中で，技術職員がどうい

* 第 1 技術室 機器開発・試作班

ふうにして楽しく幸せに働き続けられるかを考えていくために、本シンポジウムを開催したという説明があった。

琉球大学の勢理客勝則様、佐賀大学の森加奈恵様、大分大学の上野原進吾様より、それぞれご講演があった。各大学の技術部の組織運営、今後の課題、技術職員ビジョン 2040 へ向けての考え等が紹介された。

4.2 第2部 パネルディスカッション

大阪大学、大分大学、琉球大学、神戸大学、佐賀大学から計6名の技術職員が登壇し、テーマ1「技術職員が幸せに働くために、個人と組織はどのような姿を目指すべきか」、テーマ2「技術職員を未来に誇れる、憧れの職業にするため我々はどう行動すべきか」の2テーマについて議論が交わされた。

5. ポスター発表（聴講）

機械加工に関わる内容を中心に聴講した。発表の中で、機械加工における安全教育についての発表があった。高速度カメラを用いて、事故・災害発生につながる事象を可視化することで、危険に対する直感的な理解を促すことを検討しているとのことだった。私も業務で学生に機械加工における安全教育を行う機会があり、どのようにすれば学生が理解できるかを模索している状況であったため、この内容は非常に興味深かった。

その他、様々なポスター発表を聴講し、技術職員の方々と交流することで、他機関の技術職員がどのような業務を行っているのか、何に困っており、どのように解決しようとしているのか、また、所属する機関による技術部の運営の違いなどを聞くことができ、有意義な機会となった。

6. ポスター発表

「5軸マシニングセンタを用いた多軸加工技術の習得」という題目でポスター発表を行った。

技術・技能継承を主たる目的とし、5軸マシニングセンタ（以下、5軸MC）に関わる動作プログラム作成技術、操作技術等の技術習得を行ったため、その実施内容をポスターにて発表した。

質疑応答にて多くの質問を頂いたが、機械やCAMは何を使っているのか、どのようにして5軸MCの操作方法を学んだのかという質問が多

かった。その他、職場で5軸MCを所有しているが使える人がいない、これから5軸MCを導入したいが使用できるか懸念がある等のお話を伺った。私が技術習得する際は、5軸MCを熟知している先輩職員から懇切丁寧に指導してもらうことができ、恵まれた職場環境であったと改めて実感した。また、5軸MCを使用している方々からアドバイスも頂き、貴重な情報交換ができた。

発表時間前からポスターの前に聴講者が集まっており、また、発表時間中も聴講者がいなくなる時間は無く、5軸MCに関する関心の高さを感じた。

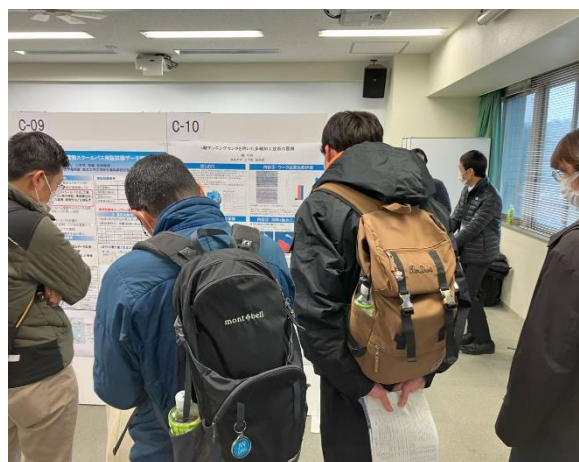


図2 ポスター発表

7. まとめ

今回、研究会に初めて参加し、聴講とポスター発表を行った。他機関の技術職員の職務内容や研究内容を知ることができ、また、意見交換を行うこともでき、非常に有意義な機会となった。新しく得た知見を活かし、今後の技術業務に活用したい。

8. 次期開催案内

第30回機器・分析技術研究会 2024

開催場所：広島大学

日程：2024年9月5日（木）、6日（金）

土木建築環境系技術研究会 2024 岩手大学

開催場所：岩手大学

日程：2024年8月下旬～9月上旬

第3回機械工作技術研究会

開催場所：広島大学

日程：2024年9月12日（木）、13日（金）

九州地区総合技術研究会 2024 in 大分大学 参加報告

清水 尚希*

1. はじめに

令和 6 年 2 月 29 日、3 月 1 日の 2 日間、大分大学 旦野原キャンパスにて九州地区総合技術研究会が開催された。この研究会は、国立大学法人、国立高等専門学校および大学共同利用機関の技術職員による発表と討論を通じて技術の研鑽、向上を図ると共に技術職員相互の技術的、人的交流を深めることを目的としている。研究会では、1 日目にポスター発表、2 日目に口頭発表が行われた。今回は、聴講する形で参加した。

2. 特別講演

「工学によるモノづくりと縁によるコトづくり
～竹の加工技術開発を起点とする起業と将来～」

大分大学理工学部 衣本 太郎 教授

竹から始まったモノづくり、コトづくりについての講演であった。

全国の竹林面積の約 7 割が放置竹林と言われており、地球温暖化とともに面積が大きくなり、竹害が拡大し、SDGs 上大きな問題となってしまうため、竹の長所・唯一性を活かして竹害を竹益にすることを目指して研究し、モノづくりを行ったということだった。その結果、モノづくりは成功したため、環境保全と地域振興の両立のため、展示会へ出展したところ、様々な業種の方々から意見や縁をいただくことができ、その方々の達成したいことを満たす、つまりコトづくりを行うため、ベンチャーの勉強をすることになり、最終的に、起業をすることになったとのことだった。これからは水素社会に竹を活かせるようにしていきたいとのことだった。

この講演では、「適所適材」ではなく「量才録用」が大事であるということを知ることができた。また、この講演を聞いて、モノづくり、コトづくりは、顧客のことを考えながら行わなければならないということを知ることができた。



図 1 特別講演

3. ポスター発表

研究会のポスター発表は、3 会場で分野ごとに行われた。以下は聴講したポスター発表の一部である。

3.1 「Arduino のシリアルポートを ArduinoIDE とシリアル通信アプリで共有するツールの開発」

学生実験で、コントローラに Arduino を使用した回転型倒立振子のフィードバック制御を行っており、ArduinoIDE でのスケッチ修正と Arduino でのスケッチ実行を繰り返すが、この作業を効率化できるツールに関する発表であった。Arduino のシリアルポート 1 つを、SerialBridge という名の C 言語プログラムと com0com という名のシリアルポートをループバック接続できる仮想シリアルポートドライバを介して ArduinoIDE、グラフ描画・データ保存機能を持つシリアル通信アプリと接続することで、ArduinoIDE との接続を確立したままでの、Arduino からの測定データのグラフ表示・整定時間の自動計測により、試行錯誤的であるゲイン調整とその評価を効率的に行え、実験時間内の試行回数を増やすことができたとのことだった。今後は、シリアル通信アプリの機能を拡張し、従来のオシロスコープの使用ではできなかった、測定データの自動計測を様々な指標でも行えるようにしたいとのことだった。

* 第 3 技術室 システム設計班

3.2 「作業環境測定支援のためのツール作成」

以前まで市販の作業環境測定ツールを使った、作業環境測定結果報告書の作成が行われてきたが、データの統合作業に手間取ってしまっていたため設計した、データの統合作業を不要とするシステムに関する発表であった。以前は、それぞれの作業部屋ごとにデータを作成し、ファイルサーバにデータを集め、手動でデータを統合して、全員に送るということを行っていたが、現在では、RESTful サーバとデータベースを作成してネットワークから JSON 形式のデータを使って Windows の自作アプリケーションからアクセスできるようにしたことでデータを集中管理できるようになったとのことだった。今後は、全てのデータをネットワークで扱えるようにしたいとのことだった。

4. 口頭発表

研究会の口頭発表は、3 会場で分野ごとに行われた。以下は聴講した口頭発表の一部である。

4.1 「九州大学工学部技術部におけるクラウドサーバの利用について」

学内業務効率化のためにいくつかのシステムをオンプレミスで運用してきたが、サーバが増えるに伴い、ハードも増えてしまうため、停電対応、故障リスク、設置スペースなどの問題が増えてしまうということで、物理サーバから仮想（クラウド）サーバを利用した運用に切り替えることに関する発表であった。仮想サーバの導入における苦勞、SINET 接続サービスの利用および拠点間 VPN の設置による安全な仮想サーバ移行手順について聞くことができた。今後は、ルータを増やし冗長化して安定性を高めていくとのことだった。

4.2 「工学部教員の業績評価システムの構築・運用」

年俸制・月給制に関しての新制度に対応するため、厳格な業績評価精度が必要になり、業績評価システムを構築し、そこでの評価領域、システムの概要とスクリプト化を担当した箇所、運用時に関する発表であった。業績の取得にあたって、researchmap、財務システムなど様々なところからデータをいただいております、それらのデータからシステムが成り立っているということを聞くことができた。今後は、やり取りなどの省力化、DX 推進への対応を進めていくとのことだった。

5. まとめ

今回の研究会では、多くの大学、専門学校などの職員の方々の発表を聞くことができた。自身の専門とは全く異なる分野の発表が多くあったが、他学校における取り組み、システムなどについて知ることができ、自身が興味のあるような内容の発表も複数あったため、聴講して良かったと思う。また、自身の専門と同じ、または似ている分野の発表も多くあり、業務の参考になり得る情報を聞くことができたため、今後の業務の参考知識として覚えておきたい。



図2 研究会の会場



図3 大分大学学長による開会式の挨拶

活動報告

令和 5 年度 特別講演会

研修委員会

1. 緒言

福井大学工学技術部では、「科学の進展を支える高度な技術職員として、その職務と責任の遂行に必要な知識・技術等の修得および資質向上を図ること」を目的として、技術講演会を定期的に計画・実施している。

2024 年 3 月 14 日（木）に工学系 1 号館 1 階多目的会議室にて、「令和 5 年度技術部特別講演会」を開催した。昨年度までは COVID-19 の影響から WEB 方式であったが、今年度は 4 年ぶりに対面式での開催であった。対象者は福井大学工学部技術部職員を主とし、参加人数は 23 名（常勤職員 21 名、嘱託職員 2 名）であった。

2. 特別講演

本学繊維先端工学講座 准教授 坂元博昭先生から、「ナノバイオテクノロジーを活用したセンシング技術」という題目でご講演を頂いた（図 1）。講演は 2 つのトピックスに分かれていた。

1 つめは、摩擦帯電発電技術に関する研究を紹介していただいた。摩擦帯電発電とは静電気を利用して発電を行うというもので、坂元先生は髪の毛の百分の一ほどの太さのナノファイバーを用いた不織布を作製し、それらが動いて発生した静電気を利用して発電する研究に取り組んでいるということであった。これまでの多くの研究では金属やプラスチックを素材にしていたが、ナノファイバーを用いることで表面積

を増やしつつ、通気性や柔軟性に優れた発電装置が可能になったということであった。また、発電を検証するには繰り返し不織布を接触分離させる必要があるため、工学部技術部職員が動作及び出力評価装置の作製を担ったということであった。将来的には介護・医療分野で無電源のモーションセンサや災害時などで使用するスマートフォン等の電子機器用電源として応用していきたいとのことで興味深かった。

2 つめは、生体分子の画像解析に関する研究を紹介していただいた。人が病気になると特定の物質が体内で増減し、この人体の情報を知らせる物質をバイオマーカーと呼んでおり、このバイオマーカーの量を素早く正確に検知できれば、病気の早期発見、予防に有効であるとのことであった。ただし、バイオマーカーの量のみを直接計測するのは非常に難しいため、酵素や抗体を利用し、さらに質量や電圧といった物理量に情報変換することでバイオマーカーの量を計測しているとのことであった。COVID-19 に罹患しているかどうかを判別するため、近年話題となった PCR 検査方法は高感度で高精度という利点があるが、コスト高、時間がかかる、専門技術が必要と言った問題点がある。そこで坂元先生は画像解析による検査方法の開発を行っているとのことであった。コロナウイルスが付着しやすいプローブにウイルスを付着させると分子は拡散挙動が小さくなるため、それを画像解析によって検出するというものであった。この検査方法の利点は検査時間が 1 時間程度と短く、使用機器も顕微鏡のみと費用はかからないというものであった。また、将来的には、この技術を応用して、スマートフォンでがん検診ができるようにしていきたいとのことであった。こちらの研究も身近な話題で非常に興味深い内容であった。

謝辞

本技術部特別講演会実施にあたり、ご協力を頂いた諸氏に感謝いたします。



図 1 特別講演 坂元博昭 准教授

2023 年度公開講座 「工作機械でスターリングエンジンを作ってみよう」

竹内 利幸* 山森 英智* 内山 裕二* 橘 和希* 東郷 広一* 高澤 拓也*

1. はじめに

令和 5 年 8 月 5 日（土）に小学 5 年生以上を対象とした「工作機械でスターリングエンジンを作ってみよう」というテーマで公開講座を開催した。スターリングエンジンは比較的構造が単純であり、実際に熱エネルギーが運動エネルギーに変換される仕組みを目で見て理解することが出来る。本講座ではスターリングエンジンの理解を深めてもらうと共に、ボール盤と旋盤を使ってスターリングエンジンの部品を製作し、モノづくりの楽しさを体験してもらう。今回、保護者を含め 13 名の小中高生が参加した。



図 1 製作するスターリングエンジン

2. 講座内容

本講座ではスターリングエンジンの仕組みについて講義を行い、その後ボール盤や旋盤といった工作機械を使ってスターリングエンジンの部品製作を行う。参加者は工作機械を初めて使う人

がほとんどなので難しい加工はせず、ネジ穴加工や端面加工、貫通穴加工といった比較的簡単な加工で精度を要求しない箇所の加工のみ行う内容にした。また、工作機械は操作を間違えると大きな怪我に繋がるため、本講座では 1 組の参加者に 1 人の職員が対応するようマンツーマン指導を行った。



図 2 公開講座会場

2-1 ボール盤でネジ穴加工

図面を基に、けがき（ネジ穴を加工する箇所に目印をつける）を行ってもらった。その後、ボール盤でネジ穴用の下穴をあけてタップと呼ばれる工具を使ってネジ穴加工を行ってもらった。



図 3 ボール盤でネジ穴加工している様子

* 第 1 技術室

2-2 旋盤で端面加工と貫通穴加工

ノギスを用いて、部品の長さを測ってもらった。その後、図面を見て寸法通りになるよう旋盤で端面加工を行い、最後にドリルを付けて部品の中心に貫通穴の加工を行ってもらった。



図4 旋盤で貫通穴加工をしている様子

2-3 組立と動作確認

組立手順書を見て、スターリングエンジンの組立を行ってもらった。組立時にパッキンがズレたり、ネジ止めがしっかり止まっていないと空気が漏れてしまい、スターリングエンジン内部の気密性が悪くなって上手く動かない。その為、所々講師がチェックを行い、組立完了後に講師と共に動作確認を行ってもらった。動作確認では、ホットプレート（90℃設定）と電気ポット（100℃設定）のお湯を熱源として用いた。最初の動作確認では参加者のほとんどがスムーズに動いていなかった。どこが悪いのか講師と一緒に考えて、修正を行い参加者全員が無事に動かす事ができた。動作確認後は、事前に用意したネームシールや福井大学のロゴマークシールを貼ってオリジナルのスターリングエンジンに仕上げてもらった。完成品は譲渡し、持ち帰ってもらった。



図5 組立している様子

3. さいごに

スターリングエンジンは温度差が小さければ小さいほど熱効率も小さくなる。その為、わずかな空気漏れが熱効率低下に繋がる。また各動作部の摩擦が大きいと、すぐに止まってしまう。以上のことを踏まえ効率よく回るスターリングエンジンを設計した。ただ、組立が想定よりも難しく参加者8組中7組が組み直しを行っていた。アンケート結果（図6）からも半数が難しかったという評価だった為、より組立しやすいように再設計する必要があると感じた。

また、新規テーマのため参加者に満足頂けたか不安だったが、アンケート結果（図7）では、大変満足といった評価が多かった。組み立てやすさの改善を行い、次年度も継続して公開講座を開催しようと思う。

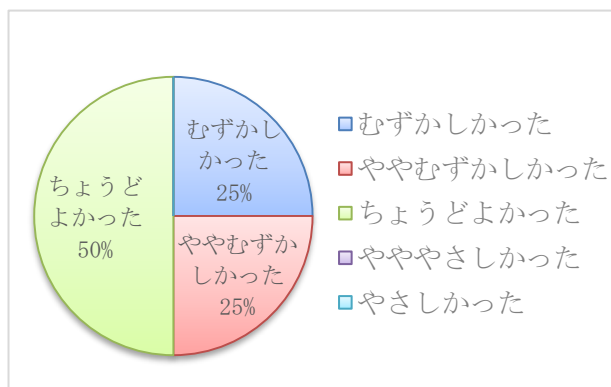


図6 アンケート結果①

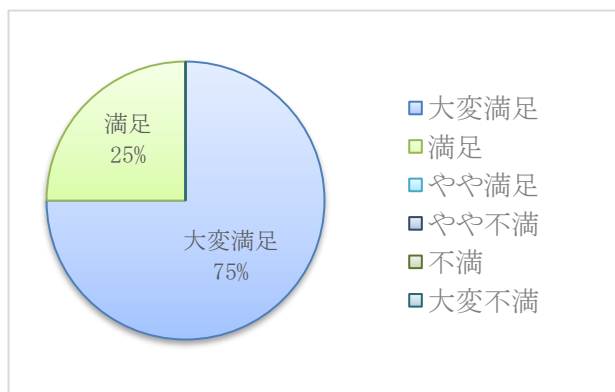


図7 アンケート結果②

2023 年度公開講座

「ガラスを溶かしてオリジナル作品を作ろう」

安藤 誠* 宮川しのぶ* 伊藤 雅基* 川井 康督* 山口 綾香* 山田 美空* 戸澤 理詞*

1. はじめに

令和 5 年 7 月 22 日（土）に工学部技術部第 2 技術室で公開講座を開催し、抽選で当選した小学生以上の子供とその保護者の 5 家族（10 名）が参加した。参加者には「熱で溶かしてみよう」、「薬品で溶かしてみよう」の 2 テーマで、ガラスの「溶ける・溶かす」を体験してもらうとともに、オリジナル作品を制作して頂いた。

以下に、各作品作りの概要を示す。

2. 熱で溶かしてみよう

2-1 色ガラス棒を溶かして作品作り

セラシートを敷いた素焼きの板の上に、好みのガラス棒を組み合わせて置いて、これを電気炉で 950℃以上に加熱し、熔融成形を行った。溶けすぎると丸まってしまう、逆に十分溶けていないと冷却時に割れるなどで、炉から出すタイミングは難しいが、参加者は思い思いのガラス配置に没頭し、作品を制作した。また、作ったガラス玉などはストラップにしたり、フォトフレームに貼り付けたりした。

2-2 粉ガラスを溶かして作品作り

事前に製作した型枠から、参加者が好みの型を選び、作品作りを行った。型枠に粉の色ガラスを入れ、さらに透明のガラスフリットで上部を覆い、電気炉で 820℃に加熱して熔融成形を行い、型から取り出す。出来上がった作品はペンダントやブローチなどに加工したり、フォトフレームへのデコレーションパーツとして使用したり参加者それぞれ工夫を凝らしていた。

2-3 バーナーを使って、溶かすを体験

バーナーで色ガラス棒を溶かして、「とんぼ玉作り」をして頂いた。参加者は事前に剥離剤を塗布した心棒に、色ガラス棒を溶かしながら巻き付ける作業を行った。溶かしたガラス棒が飴

のように溶けることに驚きを感じると共に、初めての作業に苦戦しながらも、出来上がった作品に喜びを感じていた。

3. 薬品で溶かしてみよう

3-1 エッチングでガラスプレートづくり

参加者は好きなデザインの下絵を紙に描き、その後、5cm 角のガラス板に専用のマスキングペンで写し書きした。次に薬剤（エッチング液）を塗布し 15 分放置させて化学反応でガラス表面を溶かすエッチングを行った。出来上がった作品はコントラストが低いので、ガラス板の後ろに黒紙を添えることで、エッチング部が映えるようにした。黒紙とガラス板の固定には、様々な種類のマスキングテープを用意し、参加者が好きなものを選択できるようにすることで、さらにオリジナリティがある作品に仕上がった。

4. 最後に

今年の公開講座でも、全ての参加者が火傷やケガなどを負わないよう、安全管理をしながら制作を行った。講座終了後のアンケートでは、大変満足・満足の回答であった。参加者には講座を通して、身近なガラスの性質・モノづくりの楽しさを少しでも知って頂く機会を提供できたのではないかと思います。今後も活動を継続していきたい。

最後に今回参加者が作った作品の一例を図 1 に示す。



図 1 制作した作品の一例

* 第 2 技術室

令和 5 年度 実験・実習グループ業務報告

1. はじめに

当グループは、5 専門分野（機械・物理系、電気・電子・情報系、建築建設系、化学系、先端科学技術育成センター・学際実験系）の技術職員で構成したチームが主体となり、工学部の各学科・専攻からの実験・実習に対する技術部への業務依頼に対して、組織的な対応を行っている。各チームには責任者を置き、業務依頼書や業務報告書等の取りまとめ、年度ごとの業務の総括等を行うとともに、グループ全般に関する課題についてはチーム責任者会議で協議している。各技術職員は、教育・研究プロジェクトやセンター等への派遣業務と兼務する形で実験・実習業務を遂行しているが、実験・実習のカリキュラムによっては半年または一年を通しての長期に渡る業務になるため、技術部としての教育への貢献度は大きく、また各人の経験や能力を教育現場で直接発揮できる業務でもある。

2. 各学科からの業務依頼と各チームの対応

今年度の業務依頼はすべての学科から 17 件あり、担当した科目数は 34 科目であった。昨年度（30 科目）と比較すると 4 科目増えた。主な依頼業務は、学生指導に係る技術分担、安全管理、教育支援や機器・器具類の設計・製作・改良・保守・管理などである。昨年度に引き続き今年度も COVID-19 感染対策を徹底するとともに、感染防止のためにオンライン講義も併用しながら実施された。なお、部長決裁が必要な通知書等については電子決裁方式とした。

各チームが行った業務の概要は、機械・物理チームは、機械系では機械工学実験における金属の組織観察や熱工学実験、物理系では金属の密度測定やヤング率の実験、整流回路の原理やオシロスコープの使用方法、電気抵抗測定などの指導を行い、今年度も引き続きオンライン授業への対応も行った。電気・電子・情報チームは、電気・電子系では電子回路や回路基板の製作、ロボット製作、情報系ではプログラミングなど各自の専門分野を活かした技術指導を行った。建築建設系チーム

では、測量の誤差計算や測定方法、建設材料等の物理試験、RC梁の配筋や型枠の製作など建築建設分野の基礎となる実験や現場同様の実習に対して技術指導を行うとともに、屋外で行う実習については危険予知も配慮した安全指導を行った。化学系チームでは、担当する実験は有害な薬品を使用するものが多く、化学実験での基本操作の指導に加えて実験中の安全監視なども不可欠で、高度な専門知識・経験を持つ技術職員が対応を行った。育成センター・学際実験チームでは、先端科学技術育成センターの職員が中心となり、汎用機による機械工作や溶接の技術指導、ならびに安全講習を行った。ブリッジコンペディション用の橋梁製作では、学生からの質問への対応や技術的なアドバイスをきめ細かにを行い、成果として2023年度の Japan Steel Bridge Competitionでは優勝することができた。

3. まとめ

本業務では技術分野に適した職員を配置し、学生に対する技術指導や実験器材等の整備を行うとともに、経験が乏しい学生が安全に実験・実習を行うための指導・監視を行った。今年度も引き続き多くの学科から業務依頼があったことから、技術部職員の知識・経験を活かした技術支援への期待が大きく感じられる。

業務終了後に提出する実験・実習業務報告書への担当教員からのコメントには、何れも技術職員によるきめ細かな技術指導や学生への安全配慮に対する感謝が述べられており、技術部の技術支援の重みと期待が感じられる。今後も当グループが中心となり、各技術職員の知識・技術・経験を活かした技術支援を充実させ、学生の技術力アップに貢献するとともに、教育・研究が円滑に遂行されるよう技術職員としての責務を果たしていきたい。

令和 5 年度 安全衛生管理推進グループ業務報告

1. はじめに

工学部では多くの研究室で危険な薬品や高圧ガスを使用しており、経験の少ない学生の安全を確保することがますます重要になっている。当グループは技術部職員 15 名で構成し、工学部での安全衛生管理を推進するために、薬品管理、高圧ガスボンベ管理、安全衛生システム管理の各チームを組んで、工学部全体の安全衛生管理業務を遂行している。今年度の主要な業務を以下にまとめる。

2. チーム別実施業務

2.1 薬品管理チーム

工学部での化学物質管理を適正に行うため、薬品管理システム及び化学物質リスクアセスメント(CRA)ツールの利用方法に関する説明会を 6 月と 10 月にオンデマンド形式で実施した。受講者は薬品管理システムで 45 名、CRA ツールで 64 名であった。

薬品管理システムの日常的なサポート業務では、3 件の問い合わせに対応した。また、今年度は薬品管理システムのバージョンアップに対応するため、人事労務課からの依頼によりカスタマイズの検討、新システムの動作確認、システム利用者への簡易利用説明書の作成などを行った。

CRA ツールについては、各種データ(GHS 分類、ばく露限界値など)の更新、機能追加などを行った。

工学部に設置されている危険物倉庫については、管理責任者の指示のもと、適切に使用されるように、定期的に利用状況をチェックし、監視カメラの動作確認や不具合等の対応を行った。

2.2 高圧ガス管理チーム

工学部のボンベ管理を適正に行うために、ボンベ管理システムの利用説明会をオンデマンド形式で 6 月と 10 月に実施した。受講者は 50 名であった。

また高圧ガスボンベ取扱講習会については、オンデマンド型の講習会を実施した後、希望者 28 名に技術職員による対面実技講習会を行った。今年度は、高圧ガスボンベの取扱いの理解をより深めてもらうために、各研究室から最低 1 名は対面実技講習会に参加するようにお願いしたため、昨年度より参加人数が増加した。

10 月の納品ボンベシステム照合ではシステムへの

登録状況に不備がある研究室に対して、是正依頼を行うとともに、工学部の安全衛生管理推進委員会に報告した。1 月には年間の危険ボンベ集計結果をまとめ、関係者へ注意喚起を行った。

2.3 安全衛生システム管理チーム

今年度は薬品管理システムの更新があり、サーバ機器の選定を行い、初期設定や薬品管理システムの動作に必要なソフトウェアのインストール、バックアップ機器の設置及び接続を行った。

安全衛生関係 Web システム等を運用している学内仮想サーバは、OS のサポート期限が 2024 年 6 月であることから、仮想サーバ移行の準備を行った。移行先と同じ環境のテストサーバを新たに用意し、システムの事前確認を行った。併せて現在運用しているヒヤリ・ハット掲示板と同じ DB を利用しつつ、使い勝手を向上させた新しいシステムへの再構築も行った。

CRA ツールについては、法改正に伴った修正や機能追加等を行った。また、学外利用者からシステムについての問い合わせについても随時回答を行い、寄せられた要望については必要に応じて修正等の対応を行った。なお、今年度は本学のツールの利用に関して、学外の企業・研究機関等より 23 件の問い合わせがあり、チーム員のツール管理者が対応した。

その他、各種 Web システムの維持管理、安全衛生関連 HP の管理及び更新、薬品管理システムの稼働している物理サーバの保守・管理等を必要に応じて随時行った。

3. その他の安全衛生業務

4/17～5/12 に学生対象の「レーザー安全教育」をオンデマンド形式で 60 名の受講者に対して実施した。

4. おわりに

当グループでは、工学部でのリスク要因のうち、特に危険な薬品、高圧ガスボンベ、レーザーについて、正しく安全に使用するための取り組みを行った。今年度は、法令改正にあわせた Web システムの機能強化や薬品管理システムのバージョンアップのため、チームが連携することで対応できたことは大きな成果である。今後も工学部での教育研究活動が安全に行えるよう、これらの活動を継続していきたい。

令和 5 年度共同利用施設グループ業務報告

1. はじめに

共同利用施設グループは、技術部職員が工学部関連の教育研究のための共同利用施設において、組織的に技術業務を遂行することを目的に設置されたグループである。当グループは各種共同利用施設を拠点とした 4 チームで構成され、各担当施設から要望があった業務に対し、関連する専門技術を持つ技術職員が複数名で対応している。チーム構成は、先端科学技術育成センターの業務を遂行する育成センターチーム、超低温物性実験施設の業務を遂行する寒剤供給チーム、大型機器等を利用した測定・分析業務を遂行する分析評価チーム、そして工学部等が利用する情報サーバ等の運用を技術的に支援する情報サーバチームである。以下、本年度の業務について報告する。

2. グループの技術業務

業務の円滑な遂行のため、年度当初にグループ運営部会（グループ長、副グループ長およびチーム責任者で構成）を開催し、チーム毎に 1 年間の業務計画書を作成している。業務は 4 種に分類され、①施設等に関連する技術業務、②施設の管理・運営業務、③施設等で行われる教育についての支援業務、④技術継承に関する業務がある。本年度の業務件数は、育成センターチーム 8 件（昨年 8 件）、寒剤供給チーム 8 件（同 7 件）、分析評価チーム 13 件（同 15 件）、情報サーバチーム 7 件（同 5 件）であり、全体で 36 件と、昨年度と比較して若干増となった。

グループの構成について、本年度はグループ長を含め 13 名で、協力者を含め、育成センターチーム 6 名、寒剤供給チーム 6 名、分析評価チーム 10 名、情報サーバチーム 9 名で対応を行なった。

3. 業務遂行における成果

各共同利用施設運用に重要な技術業務、施設ユーザへの設備利用に関する専門技術・保安教育、職員相互の技術継承に各職員が主体的に取り組み、施設から高い評価を得た。育成センターチームでは高品質な委託加工、故障した工作機械の迅速な復旧、HP や X（旧 Twitter）での PR 活動、オンラインと現場双方での安全教育など、各方面で成果を上げた。寒剤供給チームでは液体ヘリウム供給量が 5 年前の水準に回復、高圧ガス保安教育に加え定期自主検査に立会うなど施設運営で成果を上げた。分析評価チームでは昨年度 2 倍近くの件数の分析・コンサル業務を実施したほか、学内外からの多数の受託試験の実施、講習会の講師担当など技術提供、教育面で成果を上げた。情報サーバチームでは情報機器施設管理運営業務に加え、12 台の ICEEMS 増設および新規採用職員への教育など、施設の管理運営、技術継承面で成果を上げた。

4. まとめ

業務の多くが従来の対面での活動に移行し、その影響が各所で見られた。寒剤供給チームでの液体ヘリウム供給量の増加や、分析評価チームでは分析・コンサル業務件数が昨年度比約 2 倍となった。育成センターチームでも各委託加工の内容がより複雑・高度なものとなり、情報サーバチームでは ICEEMS の新規設置が 12 台と大学の教育・研究活動の活性化が伺え、技術提供、教育、管理運営の多方面で当グループの活躍が多い 1 年であった。本年度は情報サーバチームで職員 1 名の新規採用があったが、今後は大学の活性化に伴う業務内容の高度化や多様化が予想されるため、チーム全体の技術力向上、効率化に加え、計画的採用による人材確保の検討も重要と考えられる。

表 1 業務分類による各チームの業務件数（() は昨年度）

業務項目	育成センター	寒剤供給	分析評価	情報サーバ
共同利用施設の技術業務に関すること	1 (1)	1 (1)	4 (5)	0 (0)
共同利用施設の管理運営に関すること	3 (3)	5 (4)	5 (5)	5 (4)
教育に関すること	3 (3)	1 (1)	3 (3)	1 (1)
技術継承に関すること	1 (1)	1 (1)	1 (2)	1 (0)

令和 5 年度 技術相談・プロジェクトグループ業務報告

1. はじめに

本グループは、技術部に対する工学部・工学研究科、関連施設及び対応可能な学内各部署からの技術相談依頼に対し、依頼者への対応や技術部内での実施担当者選出などの調整・手続きに関する業務を行っている。また、技術相談には、依頼者による相談依頼手続きを必要としない、2 時間から 1 日程度で相談対応可能な短時間技術相談がある。

2. 技術相談と短時間技術相談の報告

本年度の技術相談は 8 件と、昨年度と比べ倍増している（表 1）。7 件は事前協議にて担当者が確定しているため、グループでの調整等は必要なく、採用結果の通知及び報告の確認と記録のみ行った。残りの 1 件は依頼内容が新規ということもあり、依頼者、担当予定者及びグループ長で打ち合わせを実施している。

短時間技術相談は 2 月末時点の集計で 124 件と、昨年度の 49 件より大幅に増加した（表 2）。今年

度末までにはさらに加算される見込みである。相談依頼者は昨年度より 12 名多い 26 名で、8 割超が教員である。依頼には 9 名の技術部職員が対応し、技術室別対応件数では、第一技術室が 102 件と 8 割超であった。なお、依頼件数の 8 割は、計測制御・分析評価技術である。

3. おわりに

技術相談及び短時間技術相談件数はともに昨年度より大幅に増加し、多くの方々に技術支援を実施できた。

技術相談は、技術部ホームページに窓口を設けることで、相談者からの依頼手続きを容易にして技術相談の利用促進に努めている。また、短時間技術相談では、終了報告システムの提供により、報告処理の利便性を高め、未提出報告の低減を図っている。

今後も、両技術相談を通して、派遣先以外の教職員に対する技術支援や技術協力の要請に応えていく必要がある。

表 1 令和 5 年度技術相談一覧

No.	依頼月	対応月	実施者	所属室	相談分野	申込者	申込者 職種	申込者 所属	相談内容
1	4月	4～5月	小林英一	3室	電子工作	飯田和宏	事務職員	環境整備課	中央監視制御装置 追加修理
2	5月	5月	内山裕二	1室	電子工作	中根幸治	教員	繊維先端	装置のスイッチ交換
3	5月	5～6月	小林英一	3室	電子工作	坂元博昭	教員	繊維先端	充放電回路部の 設計製作
4	6月	6～7月	小林英一	3室	電子工作	坂元博昭	教員	繊維先端	評価装置の改良
5	7月	7月～	山口綾香 田畑功	2室	ソフトウェア	山田正一	事務職員	事務職員	薬品管理システムの 仕様決定
6	8月	8～10月	内山裕二	1室	電子工作	浅井華子	教員	繊維先端	加熱装置の製作
7	2月	2～3月	小林英一	3室	電子工作	菊池彦光	教員	遠赤センター	創成教育活動の 企画・実施
8	2月	2月～	道幸雄真	3室	ソフトウェア	古川泰弘	事務職員	研究推進課	受付フォーム修正

表 2 令和 5 年度の月別短時間技術相談件数

	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	合計
相談件数	9	20	18	10	12	9	17	7	6	11	5	—	124

令和5年度 工学部技術部 業務(活動)日誌

令和5年	日	活 動 項 目
4月	3	人事異動辞令交付 第1回技術長・班長合同会議
	4	第二技術室会議 第1回実験・実習グループ運営部会
	5	第三技術室会議 第1回安全衛生管理推進グループチーム長会議
	7	第一技術室会議
	11	第1回部長打ち合わせ
	14	第1回技術相談・プロジェクトグループ会議 第1回執行部会
	17	第1回共同利用施設グループ運営部会 レーザー安全WEB講習会(4/17～5/12まで)(安全衛生管理推進G)
	21	第1回安全衛生管理推進グループ会議 第1回全体会
	25	第1回技術部ホームページ広報委員会(WEB会議)
	26	第2回共同利用施設グループ運営部会(メール会議)
	27	第2回活動報告編集委員会(メール会議 令和4年度委員会)
5月	8	第1回共同利用施設グループ会議(メール会議)
	10	第2回執行部会
	11	第2回部長打ち合わせ
	17	第1回技術部運営委員会 第1回学術研究院工学系部門安全衛生管理推進委員会
	19	職務評価表中間面談
	23	第3回執行部会
	24	第1回環境マネジメントシステム実施専門部会
	27	第2回全体会(メール会議)
6月	29	第二技術室会議(公開講座打ち合わせ) 第3回活動報告編集委員会(メール会議 令和4年度委員会)
	2	第3回部長打ち合わせ
	5	第1回技術職員選考委員会
	6	第1回安全衛生WEBシステム(薬品管理・高圧ガスボンベ管理, CRAツール)利用説明会(6/6～6/30まで)(安全衛生管理推進G)
	12	第4回執行部会
	16	第1回技術部研修委員会
	26	第4回部長打ち合わせ 第5回執行部会
	30	第3回全体会(WEB会議) 第2回技術部研修委員会

令和5年	日	活 動 項 目
7月	1 6 10 11 12 18 22 24 28	第2回技術職員選考委員会 環境ISOユニット代表者研修(対面およびWeb講習) 第6回執行部会 ISOユニット内研修(技術部・先端科学技術育成センター) 第5回部長打ち合わせ 第2回技術部運営委員会 公開講座開催(第二技術室) 第7回執行部会 第4回全体会(メール会議)
8月	5 7 28 30	公開講座開催(第一技術室) 第8回執行部会 東海北陸合同研修 複合領域コース 受講者2名 名古屋大学(～30日) 東海北陸合同研修 機械コース 受講者1名 金沢大学(～9月1日)
9月	4 5 13 25 29	第9回執行部会 第2回環境マネジメントシステム実施専門部会 第6回部長打合せ 第10回執行部会 第5回全体会(WEB会議)
10月	3 10 20 23 24 27	高圧ガスボンベ取扱WEB講習会(10/3～10/13まで)(安全衛生管理推進G) 第11回執行部会 職務評価面談(一部 別日) 高圧ガスボンベ取扱実技講習会(安全衛生管理推進G) 第12回執行部会 第2回安全衛生WEBシステム(高圧ガスボンベ管理, CRAツール)利用説明会 (10/24～11/10)(安全衛生管理推進G) 第7回部長打ち合わせ 第6回全体会(メール会議)
11月	6 17 20 24	第13回執行部会 職務評価フィードバック面談 第14回執行部会 第7回全体会(メール会議)
12月	4 7 13 14 19 22	第15回執行部会 第3回共同利用施設グループ運営部会 第8回部長打ち合わせ 東海・北陸地区合同研修代表者会議(金沢大学) 第16回執行部会 第8回全体会(WEB会議)

令和5年	日	活 動 項 目
1月	5	第9回部長打ち合わせ
	13	大学入学共通テスト(～14日)
	16	第3回研修委員会
	22	第17回執行部会
	26	第9回全体会 (WEB会議)
	30	第9回部長打ち合わせ
2月	2	第1回活動報告編集委員会
	5	第18回執行部会
	8	第2回実験実習グループ運営部会
	13	第2回安全衛生管理推進グループチーム長会議
	16	職務評価面談実施(一部 別日)
	19	第19回執行部会
	20	第2回安全衛生管理推進グループ会議
	22	第10回全体会(メール会議)
	25	個別学力検査業務協力(前期日程)
	29	九州地区総合技術研究会2024 in大分大学 参加者3名 (～3月1日)
3月	4	第4回研修委員会
		第20回執行部会
		第2回学術研究院工学系部門安全衛生管理推進委員会
	8	第2回技術相談・プロジェクトグループ会議
	12	個別学力検査業務協力(後期日程)
	14	令和5年度技術発表会・特別講演会
	11	第2回共同利用施設グループ会議(メール会議)
	18	令和5年度技術部業務運営部会
		第21回執行部会
	22	第11回全体会 (WEB会議)

令和5年度 工学部技術部

技術発表会・特別講演会プログラム

日 時：令和6年3月14日（木） 9時30分より

会 場：工学部多目的会議室

主 催：工学部技術部

開 会

9：30 挨拶 明石 行生 技術部長

【技術発表会】（専門〇は、発表者）

9：40～10：40

座 長 川井 康督 第二技術室

日常-1 KiCadを利用した電子回路基板の設計開発技術の向上

小林 英一 第三技術室

日常-2 セルソーターを用いた生細胞分離および実験技術の習得

井波 真弓 第二技術室

専門-1 樹脂3Dプリンターを活用した鑄造技術開発の試み

〇青山 直樹 第三技術室
内山 裕二 第一技術室
安藤 誠 第二技術室
川崎 孝俊 技術部

専門-2 コンテナ仮想化を用いたサーバ環境構築技術の修得

〇廣木 智栄 第三技術室
小澤 伸也 第三技術室
道幸 雄真 第三技術室
清水 尚希 第三技術室

10：50～11：35

座 長 廣木 智栄 第三技術室

専門-3 走査型電子顕微鏡の観察における断面試料作製技術の修得

〇竹内 利幸 第一技術室
東郷 広一 第一技術室
高澤 拓也 第一技術室
川井 康督 第二技術室

専門-4 ゼロからCNCLレーザー加工機を組み立て、動作原理を学ぶ

〇内山 裕二 第一技術室
山森 英智 第一技術室
橘 和希 第一技術室
青山 直樹 第三技術室
川崎 孝俊 技術部

専門-5 化学防護手袋の簡易的な透過性評価手法を用いた実測と適正使用に関する調査

宮川しのぶ 第二技術室
井波 真弓 第二技術室
山口 綾香 第二技術室
〇山田 美空 第二技術室
戸澤 理詞 第二技術室
道幸 雄真 第三技術室
田畑 功 第二技術室

【特別講演会】

13：30～14：40

司 会 山森 英智 第一技術室

・講師紹介 川崎 孝俊 統括技術長

・特別講演：「ナノバイオテクノロジーを活用したセンシング技術」

福井大学 工学系部門 工学領域 繊維先端工学講座 准教授 坂元 博昭 氏

新人研修報告

14：40～14：50

司 会 山森 英智 第一技術室

・令和5年度新規採用職員研修報告

清水 尚希 第三技術室

閉 会

聴講を希望される方は、工学部多目的会議室へお越し下さい。

編 集 後 記

本報告集は、日常・専門研修の成果を中心に技術研究会や各種セミナーへの参加報告、並びに技術部講演会に関する報告などが掲載されています。また各グループ業務についても、1 年間の技術部活動として報告しております。

令和 5 年度日常・専門研修の実施にあたり、予算配分にご高配賜りました工学研究科長・技術部長、技術部運営委員の方々に対して厚く御礼申し上げます。また、研修企画、運営に多大なるご尽力をいただきました令和 5 年度技術部研修委員、ならびに活動報告集を編集していただいた各委員の皆様に深く感謝いたします。

令和 5 年度 活動報告集編集委員会

委員長 竹内 利幸

橘 和希

山田 美空

道幸 雄真

令和 5 年度 技術部研修委員会

委員長 安藤 誠

川崎 孝俊

山森 英智

宮川しのぶ

小林 英一

内山 裕二

川井 康督

廣木 智栄