令和 7 年度　TC 論文

地方大学における無機化学を軸とした

多様な研究・教育支援

東京科学大学 TC カレッジ
物質分析系 TC コース（材料評価）
松井　陸哉
鳥取大学　技術部　化学バイオ生命部門 機器分析分野

目次

第1章　序論

1.1　鳥取大学における研究支援・教育支援体制　1

1.2　技術職員としてのこれまでの活動実績　5

1.3　目指す物質分析系 TC（材料評価）像と申請に至った経緯　9

1.4　無機材料分析に関連する技術，技能，手法について

1.4.1　X 線回折装置（XRD）の概要　11

1.4.2　電界放出型走査電子顕微鏡（FE-SEM）の概要　13

1.4.3　スパッタリング装置の概要　16

1.4.4　誘導結合プラズマ発光分光分析装置（ICP-OES）の概要　18

1.5　本論文の構成　20

第2章　分析機器を用いた研究支援

2.1　XRD に関する研究支援

2.1.1　酸化鉄粉末を用いた電池材料の XRD 測定における蛍光 X 線軽減モードの活用　21

2.1.2　ポリプロピレンフィルムを用いた In-situ XRD 測定支援　25

2.2　SEM に関する研究支援

2.2.1　キノコ菌糸シートの断面加工及び SEM 観察　31

2.2.2　SEM 観察及び EDS 分析による黒色顔料同定支援　34

2.3　ICP-OES に関する支援

2.3.1　固体溶解サービスの開始　37

2.3.2　電池材料の固体溶解に関する支援　40

2.3.3　ICP-OES におけるイオン化干渉対策を行った分析支援　42

第3章　分析機器を適切に活用してもらうための環境整備

3.1　分析装置の管理，運営

3.1.1　日々のメンテナンス　43

3.1.2　トラブル対応　44
3.1.3　操作講習・マニュアル作成　45
3.1.4　仕様策定，料金設定　46
3.2　XRD 測定の条件設定のための資料作成　47
3.3　テクニカルレターの作成　50
3.4　XRF 利用環境改善の取り組み（分子科学研究所 研究設備共用加速事業）　53

第 4 章　専門技術を用いた科学教育活動
4.1　出前おもしろ実験室　55
4.2　鳥取砂丘の砂を用いた大型固気流動層の製作（科研費採択課題）
4.2.1　「粒子概念」形成の重要性と新しい教育手法の提案　57
4.2.2　固気流動層装置の原理と製作過程　58
4.2.3　教育的効果の検証と今後の展望　59
4.3　鳥取砂丘を題材とした電子顕微鏡体験イベントの企画と実施
4.3.1　技術部による地域貢献活動の課題と新プロジェクトの発案　62
4.3.2　イベント計画・準備及びイベント当日の実施内容　63
4.3.3　質問紙調査の結果と考察・まとめ　65

第 5 章　総括
5.1　各章のまとめ　67
5.2　地方大学における技術系職員の今後の展望　68

参考文献　69
研究支援業績　72
謝辞　80

第 1 章　序論

1.1　　鳥取大学における研究支援・教育支援体制

鳥取大学（以下，本学）では，かつて研究室に技官として配置されていた技術的支援を行う職員が，平成 7 年（1995 年）に工学部技術部，農学部技術部，医学部技術部としてまとめられた．さらに平成 24 年（2012 年）4 月には技術部が発足し，各部局に所属していた技術職員が一つの組織にまとめられ，現在が大学組織内でも独立した部局として扱われている（図 1）．

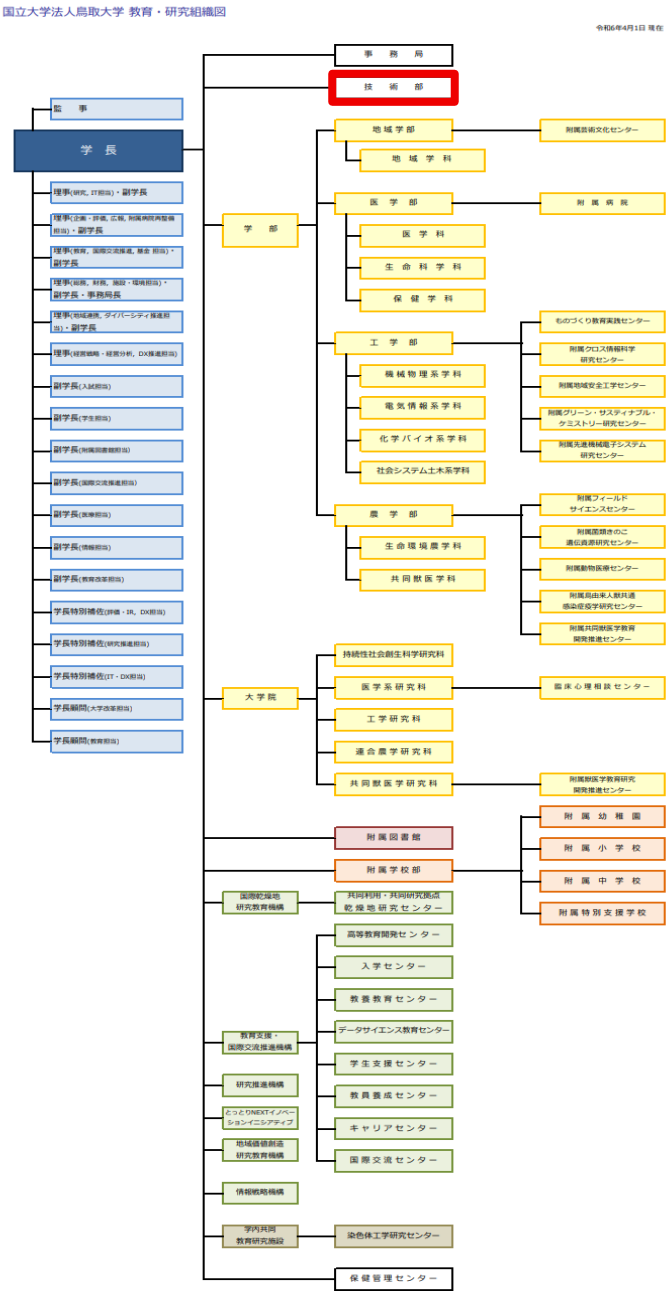


図 1　鳥取大学の教育研究組織（組織図）[1]

筆者は，技術部組織一元化後の平成 26 年（2014 年）4 月に本学へ入職し，工学・情報系部門分析系グループ（当時）へ配属された．その後，平成 31 年（2019 年）4 月の技術部改組により，化学バイオ・生命部門機器分析分野の所属となった．本学技術部の沿革[2]を図 2 に示す．

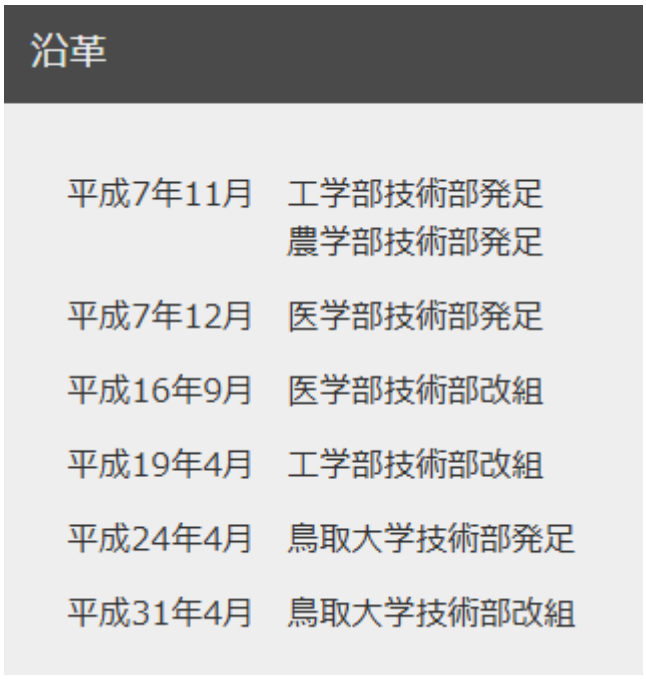


図 2　鳥取大学技術部の沿革

本学技術部は 4 部門 11 分野に分かれており，技術部から各部局へ技術職員を派遣する形で全学の研究支援・教育支援を行っている．技術部の組織図[2]を図 3 に示す．湖山キャンパスには工学部，農学部，地域学部のほか，研究基盤戦略センターやものづくり教育実践センター，フィールドサイエンスセンターなどがあり，浜坂キャンパスには乾燥地研究センター，そして米子キャンパスには医学部，大学附属病院などと様々な部局がある．これら大学内すべての部局に対して，技術職員が各々の専門的な技術を用いて日々，研究支援・教育支援を行っている．

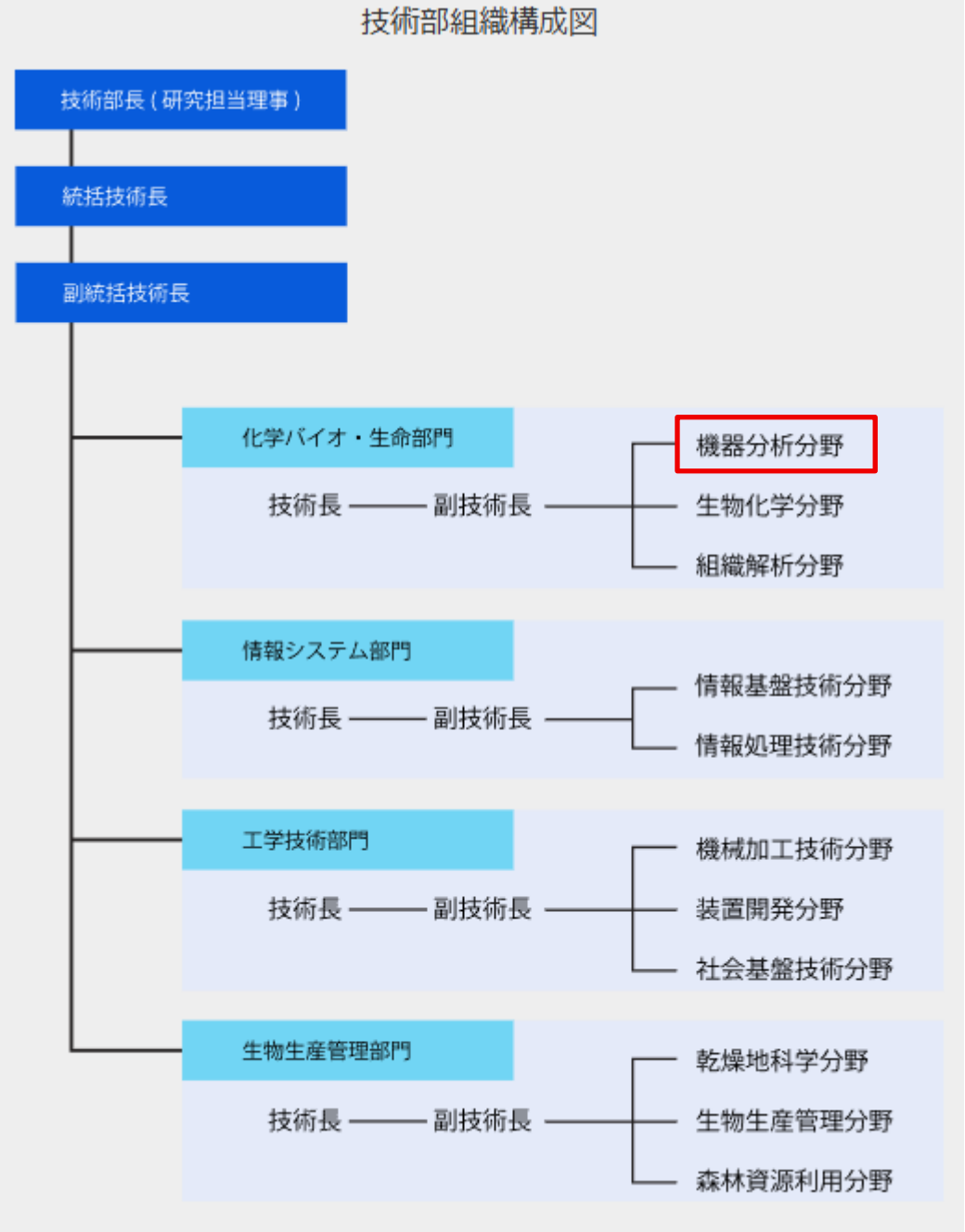


図 3　本学技術部の組織図

筆者が所属する化学バイオ・生命部門機器分析分野は，主に本学の研究推進機構研究基盤戦略センター（以下，センター），工学部，農学部を中心に研究支援・教育支援を行っている．センターの支援では，主にセンターが所有する大小さまざまな分析機器や前処理装置の管理運営，保守，メンテナンス業務を行っている．センターは大小さまざまな装置を 206 台所有しており，湖山キャンパスではその半数以上の 116 台（2024 年 11 月時点）の機器が

運用されている[3]. 走査電子顕微鏡（SEM）や透過電子顕微鏡（TEM），核磁気共鳴装置（NMR），質量分析装置（MS）などの大型機器をはじめ，X 線回折装置（XRD）や蛍光 X 線分析装置（XRF）などの据え置き型の装置，イオンクロマトグラフィーやアミノ酸分析装置，熱分析装置などの卓上サイズの装置などがあり，様々な研究分野の測定に対応している．無機化学分野，材料化学でよく用いられる機器は筆者が担当している．筆者が担当している機器を表 1 に示す．これらの機器について定期チェックやメンテナンス，ユーザーへの操作講習や分析相談，トラブル対応などを行っている[4].

表 1　筆者が担当している装置一覧

機器名	メーカー・型式	担当期間
蛍光X線分析装置	リガク　ZSX Primus	2014～
誘導結合プラズマ発光分光分析装置	SPECTRO　SECTRO CIROS CCD Agilent　5800 ICP-OES	2014～2025 2025～
熱分析装置	リガク　Thremo EVOシリーズ	2015～
粉末X線回折装置	リガク　Ultima IV	2017～
電界放出型走査電子顕微鏡	JEOL　JSM-6701F JEOL　JSM-IT800SHL	2019～ 2022～
透過電子顕微鏡	JEOL　JEM-2100Plus	2024～
デジタルマイクロスコープ	キーエンス　VHX-5000 キーエンス　VHX-D500	2020～
スパッタリング装置	JEOL　ION SPUTTER JFC-1100	2019～
クロスセクションポリッシャ	JEOL　IB-19520 CCP	2022

機器分析分野には 6 名の技術職員が所属しているが，無機化学分野に対応する職員は筆者のみである．現在は属人化の解消を目的に，若手職員に様々な装置を勉強してもらっており，筆者が不在時に簡単な対応はしてもらっているものの，重度のトラブルへの対応や依頼分析業務は行ってもらっていない．なお，過去には，工学部物質工学科（当時）をメインで支援していた技術職員がいたが，X 線装置や電子顕微鏡などは担当していなかったと聞いており，工学部の無機化学系，材料系分野の研究室には十分な支援が行き届いていなかったことが推察される．

1.2　技術職員としてのこれまでの活動実績

筆者は 2014 年に入職後，先述したように工学・情報系部門機器分析分野に配属された．当時はまだ工学部物質工学科（当時）の支援体制も色濃く残っており，入職当初は，まず物質工学科の学生実験などを中心に支援業務を行うことになった．表 2 に筆者が担当している学生実験のテーマを示す．

表 2　筆者が担当する学生実験のテーマ

担当実験テーマ名	内容・目的
化学実験演習（1年前期）	定性分析，中和滴定，酸化還元滴定，キレート滴定などを通して，化学実験における実験器具の操作方法やデータの取り扱いなどの基礎知識を習得する．
応用化学実験Ⅰ（2年前期）「ガラス細工」	ガラスの性質，危険性，有事の際の対処法などの知識を習得し，簡単なガラス器具を自身で製作する．
応用化学実験Ⅱ（2年後期）「Grignard反応」	Grignard反応を用いた有機金属合成を行い，シリンジワークを伴う有機金属反応・多段階合成の一部を行う．
応用化学実験Ⅱ（2年後期）「フェライトの生成反応」	模擬廃液に含まれる重金属をフェライトとして回収する．得られたフェライトに対しXRDを用いて構造決定し，処理後の廃液・抽出液に対しICP-AESを用いて特定の金属元素の定量分析を行う．
応用化学実験Ⅲ（3年前期）「微粒子合成とXRD及びSEMによるキャラクタリゼーション」	液相法によりY_2O_3微粒子を合成し，XRD及びSEMを用いて微粒子の構造の同定，形状観察を行う．
応用化学実験Ⅱ（2年後期）「放射化学実験」（現在は廃止）	放射性物質を微量に含む物質を用いた放射化学分析の実験を行い，放射化学に関する基礎知識の習得を目指す．

大学 1 年生を対象とする化学実験演習では，化学を学び始めたばかりの学生に対して，ガラス器具をはじめとする実験器具の使い方や注意点，実験ノートの記録方法など，基礎的な事項を指導している．一方，工学部化学バイオ系学科化学系プログラム（材料化学，合成化学，グリーンケミストリー）の 2・3 年生を対象とする応用化学実験では，合成した化合物や調製した溶液を分析機器で測定する実習を行っており，筆者は担当する装置について，その基本原理や操作方法の説明を行っている．

前節の表 1 に示したように，これまでにセンターに設置されていた波長分散型蛍光 X 線分析装置（WD-XRF）をはじめ，誘導結合プラズマ発光分光分析装置（ICP-OES），粉末 X 線回折装置（XRD）など，多様な分析機器を担当してきた．年を重ねるにつれて，無機材料科学を中心とする分析機器の取り扱いや知識の収集に深く関わるようになった．WD-XRF については，前任のセンター所属技術補佐員から引き継いだものである．また，2014 年後

半には，担当技術職員の退職に伴い，ICP-AES を新たに担当することになった．しかし，装置の立ち上げや基本的な測定方法について簡単な説明を受けたのみで，依頼分析もほとんどなかったため，当初は十分な測定経験を積む機会が得られなかった．その後も，装置の勉強は独学で行うしかなく，機器の参考書を読んだり，全国規模の技術研究会で知り合った他大学の装置担当者に聞いたりするなどして，情報収集を行った．後に SEM や XRD なども担当することとなったが，日々の分析相談やトラブル対応などと並行して，大学技術職員を対象とした技術研修を受けるなど，知識・技術の習得に努めた[5,6]．

本学では，研究室を対象とした労働安全衛生の観点からの職場巡視が行われている．筆者も第一種衛生管理者の資格を取得し，巡視担当の一員として定期的に見回りを行っている．この際，筆者が所持している甲種危険物取扱者，エックス線作業主任者，第二種電気工事士などの資格が，場面に応じて役立つこともある．工学部では学科や建物ごとに毎週巡視を行っており，筆者も年間 15 回程度の巡視を担当している．

特に化学バイオ系学科では，毒劇物や高圧ガスボンベなど危険性の高い物質を扱うため，独自の安全委員会を設置している．委員会は各研究室からの教員 1 名と技術職員 1 名で構成され，教授が委員長・副委員長を務めている．年 2 回の相互巡視を通して危険箇所の点検・指摘を行い，改善を促している．筆者も入職以来 10 年以上にわたりこの活動に携わり，巡視中の学生への安全指導や指摘事項の取りまとめなどを行ってきた．

これらの巡視で繰り返し問題となるのが，高圧ガスボンベ等の固定である．日本は地震多発地域であり，鳥取県においても 2016 年の鳥取中部地震など大規模地震を経験している．固定が不十分なボンベは転倒による破損やガスの噴出を引き起こし，避難経路を塞ぐ危険もあるため，確実な固定が求められる．高圧ガスボンベがボンベ架台に立てられていても，ボンベ架台が堅牢な床や壁に固定されていないケースが多く，筆者は巡視においてその点を指摘するとともに，依頼があれば実際の固定作業にも従事してきた．また，試薬棚や書庫など什器の固定についても技術部で受託作業を行っており，安全対策の一環として筆者も担当している．この高圧ガスボンベ架台及び試薬棚等の什器固定作業については，鳥取中部地震発生翌年の 2017 年ごろから受託を開始し，数年かけて高圧ガスボンベ架台等多くの什器固定を行った．記録があり数えられるだけでも，これまでに学内 50 箇所以上の什器固定を行ってきた．記録が残っている 2020 年度以降の什器固定箇所数の推移を図 4 に示す．近年は既設什器の固定依頼は少なくなっており，研究室内のレイアウト変更や新規にガスボンベを設置する際の依頼に留まっている印象である．

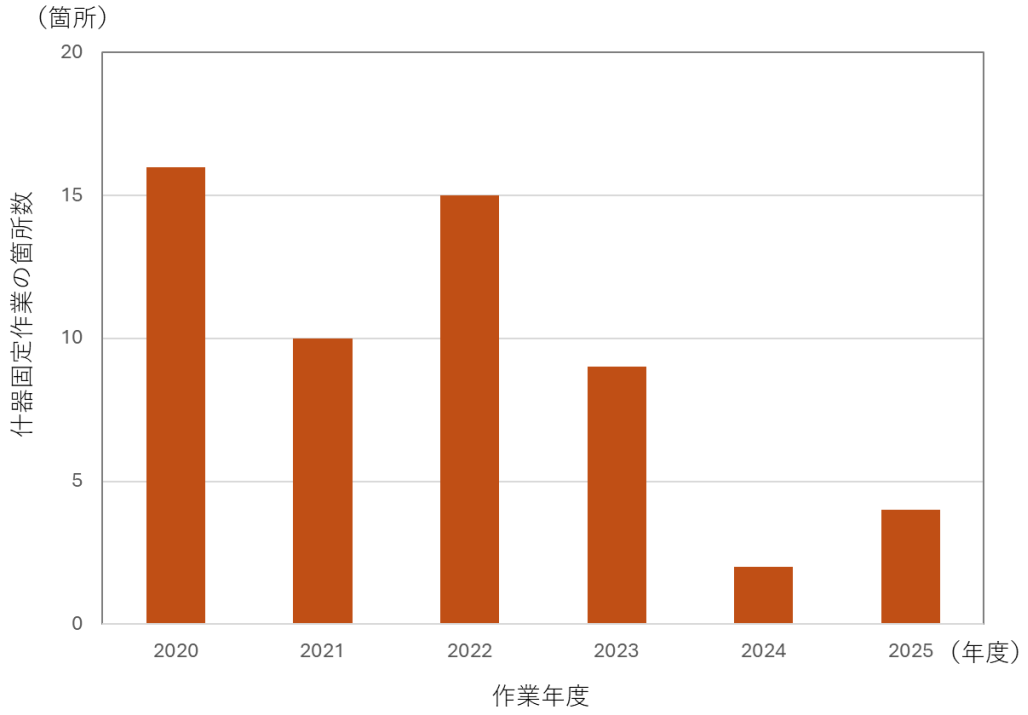


図 4　什器固定作業箇所数の推移

また，入職当初から現在に至るまで，一貫して地域貢献活動に携わってきた．本学技術部では「出前おもしろ実験室」を実施し，県内外の子どもたちに科学実験を体験する機会を提供してきた．本取り組みは，プロジェクトを発足した丹松美由紀氏（元本学技術部）の功績が大きく，我々はその活動を継承し，発展させてきた．現在は，本学の学生と協働しながら進められており，子どもたちの科学への興味を喚起するとともに，学生の科学リテラシーやコミュニケーション能力，人間的成長にも寄与している．こうした取り組みが評価され，2023 年には文部科学大臣表彰（理解増進部門）を受賞することができた[7].

本活動に関連し，筆者自身が考案した「鳥取砂丘の砂を用いた大型固気流動層の製作」に関するテーマで科学研究費助成金を申請し，これが採択された，これは大型固気流動層を用いて子どもたちと実験を行うことにより，子どもたちの粒子概念の理解を深める新たな教材を提供するというものである．

一方で，このような地域貢献活動は，通常業務も抱える職員にとって一定の負担となる側面もあり，私自身もその例外ではなかった．そこで，（実施回数を減らし，かつ，出前ではなく大学に来てもらう形式のイベントとして）技術職員としての専門性をより活かす形で子どもたちへ科学啓発活動を行うことが必要と考え，大学が保有する高度な研究設備を子どもたちに体験してもらうイベントを企画した．「鳥取砂丘を電子顕微鏡で観察しよう」と

いう走査電子顕微鏡を用いた中高生向けイベントは，株式会社鳥取銀行の助成を受け，開催することができた．これらの活動については第 4 章でも詳細を述べる．

このように，地方大学では技術職員の数自体が少なく，各分野に配置される人員も限られているため，一人の職員が多岐にわたる業務や複数の分析機器を担当せざるを得ない状況にある．そのため，業務の引き継ぎが十分に行われにくく，結果として「技術の継承」が全国的にも大きな課題となっていることを強く実感している．

1.3　目指す物質分析系 TC（材料評価）像と申請に至った背景

地方大学であっても，研究者が必要とする分析を円滑に実施できる体制を整えることは極めて重要である．本学の共用分析機器の利用者は多岐にわたり，工学部教員のように装置使用経験が豊富な研究者に加え，地域学部（文系学部）や学外企業など，分析機器に不慣れな利用者からの相談も少なくない．そのため，利用者に対して単に操作を支援するだけでなく，装置の選定や分析方針の提案など，多角的な視点に基づく助言を行い，研究目的の達成を支援できる技術職員の存在が求められている．また，学生にとっても技術職員は身近な相談相手であり，教員が業務に追われ十分なサポートが難しい場面においても，学生が安心して支援を受けられる環境を整えることが重要である．

「研究や教育の現場で必要とされる技術と広い知識を備え，対話力や独自の発想力を持ち，状況に応じて柔軟に対応できるユーティリティープレイヤー」――これが筆者の考える，地方大学における無機化学研究支援の理想像である．しかし，地方大学ではすべての共用設備に専門職員が配置されているとは限らず，共用化の過程で導入・移設された装置の中には担当者が不在のまま運用されている例もある．筆者自身も新しく装置を担当することになった際，所属部署に有機化学やバイオ分野が専門の職員はいたが，装置の仕様や分析方法について学内に相談できる相手がなく，業務遂行に苦慮した経験がある．

そうした中で，全国の技術職員が集まる装置講習会や技術研究会に参加する機会を得て，多くの知見を吸収するとともに，同じ装置を扱う他大学の技術職員と交流し，横のネットワークを築くことができた．現在も X 線技術研究会，電子顕微鏡技術情報交流会，ICP 技術者交流会（仮称）などに継続的に参加し，知識のアップデートや課題解決に役立てている．これらの繋がりは，装置の知識を深めるだけでなく，運用トラブルへの対応や新たな分析手法の検討にも極めて有益である．人員削減が進み，新規採用が難しい現状にあっても，無機化学研究支援を必要とする研究者は存在する．限られた人員で研究を支えるためには，筆者自身が太い柱となり，無機化学分野の研究支援を担う必要があると考えている．

TC カレッジへの申請当時，本学センターでは NMR や MS といった装置が相次いで導入・更新されており，有機化学分野の支援体制強化が求められていた．当初，構造解析系 TC コースへの参加を打診されたが，筆者は学生時代以来ほとんど有機化学に関わっておらず，これまで無機化学を中心に業務を行ってきたため，不慣れな分野での受講には不安を抱いた．多田[8]や河原[9]の TC 論文にもあるように，TC カレッジには多様なコースが用意されており，現在は物質分析系 TC コースも複数に細分化されている．筆者は，本学における無機化

学分野の支援体制を強化する必要性を感じ，材料評価系 TC コースの受講を希望し，了承を得た．

今後も，無機化学分野における研究・教育支援を担う技術職員として，装置運用に関する知識習得に努めるとともに，全国の技術職員とのネットワークを活用しながら，多角的かつ実践的な支援を通して，利用者に寄り添った研究支援を実践していきたい．

1.4　無機材料分析に関連する技術，技能，手法について

1.4.1　X 線回折装置（XRD）の概要

試料に X 線を照射すると，試料粒子中の原子によって X 線が散乱される．これらの散乱 X 線は互いに干渉し合い，格子面間隔を d，入射角を θ，波長を λ としたときに，ブラッグの条件 $2d \sin\theta = n\lambda$ を満たす方向では位相が強め合い，特定の角度で回折強度が増大する．このような現象を X 線回折（X-ray Diffraction）といい，その原理を利用した分析装置を X 線回折装置（X-ray Diffractometer，以下 XRD）などと呼ぶ．試料粒子中の格子面によって入射 X 線が散乱する模式図を図 5 に示す．

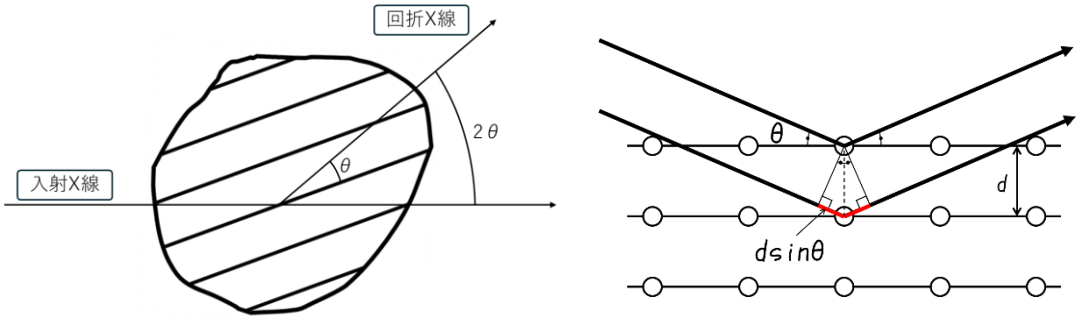


図 5　X 線が試料に侵入した際の散乱・回折の模式図

試料粉末中には多数の微小な結晶がランダムな方向を向いて存在しており，それぞれの結晶において格子面の向きが異なる．そのため，X 線照射時にはブラッグ条件を満たす格子面が常に存在し，回折 X 線は同心円状に分布する．これがデバイリング（Debye ring）と呼ばれるリング状の回折パターンとして観察される．リングの一部分を，回折 X 線強度を角度ごとに積分し，縦軸に強度，横軸に回折角（2 θ）を取ることで，特定角度でピークが現れる XRD パターンが得られる（図 6）．

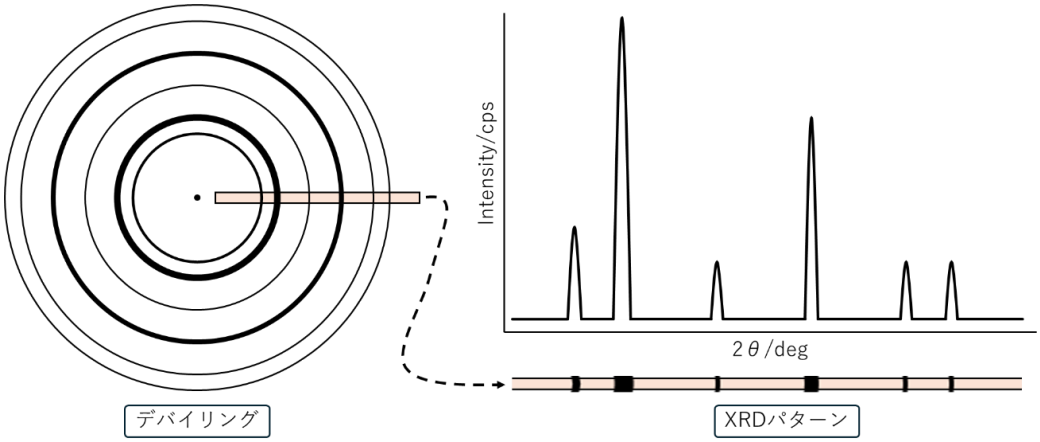


図 6　デバイリングから得た XRD パターンのイメージ図

得られたXRDパターンをデータベースと照合することで，結晶構造を同定することができる．データベースは国際回折データセンター（ICDD；International Center for Diffraction Data）が出しているPDF（Powder Diffraction File）や，ドイツのカールスルーエ専門情報センター（FIZ；Fachinformationszentrum Karlsruhe）が出している無機結晶構造データベース（ICSD；Inorganic Crystal Structure Database）などが存在する．本学で使用しているXRDにはICDDのPDF-2 Release 2024のライセンス契約がなされており，これには約35万件の結晶構造データが登録されている．

1.4.2　電界放出型走査電子顕微鏡（FE-SEM）の概要

走査電子顕微鏡（SEM；Scanning Electron Microscope）は，電子ビームを試料表面に照射し，放出される二次電子を検出することで，試料表面の微細な凹凸構造を可視化できる装置である．中でも電界放出型走査電子顕微鏡（FE-SEM；Field Emission Scanning Electron Microscope）は，熱電子銃を用いた SEM と比べて電子ビームをより細く絞ることができ，さらに高輝度であるため，分解能に優れ，高倍率観察に適している．多くの大学や研究施設で導入されており，研究目的や観察対象に応じて，様々な付属機能や検出器が追加されているため，装置構成も多様である．

本学の共用設備として筆者が管理している走査電子顕微鏡類を，表 3 に示す．この他にも，学内には日立製の FE-SEM なども共用設備として設置されている．

表 3．管理している走査電子顕微鏡類

機種名	JSM-6701F	JSM-IT800SHLs	VHX-D500
メーカー名	日本電子（JEOL）	日本電子（JEOL）	キーエンス
電子銃方式	冷陰極型FE	ショットキー型FE	熱電子放出型
電子源の種類	W単結晶チップ	W単結晶チップ （ZrO被覆）	Wフィラメント
導入年月日	2010年3月	2022年2月	2016年2月

本学に導入されている日本電子製 JSM-IT800SHL は，電子銃のエミッターに ZrO で被覆された単結晶チップを用いており，電極部を加熱することで障壁ポテンシャルを下げ，電子の放出を促進するショットキー効果を利用している．また，対物レンズには電磁場重畳レンズが搭載されており，短い作動距離（Working Distance，以下 WD）によって高い分解能が得られる．キーエンス製の VHX-D500 はデジタルマイクロスコープと組み合わせて使用される卓上型 SEM である．低加速電圧での観察に特化した専用設計により，非導電性試料であってもチャージアップの影響を抑えて観察可能である．分解能は FE-SEM に劣るため，本学では，高分解能を必要としない低倍率（数百～数千倍程度）での観察を目的とするユーザーに活用されている．

ここでは本学で使用しているショットキー型 FE-SEM をモデルに，FE-SEM の原理について説明する．電子銃部のエミッターに引き出し電圧を印加すると電子が放出され，さらに加速電圧によって試料に向けて加速される（図 7）．

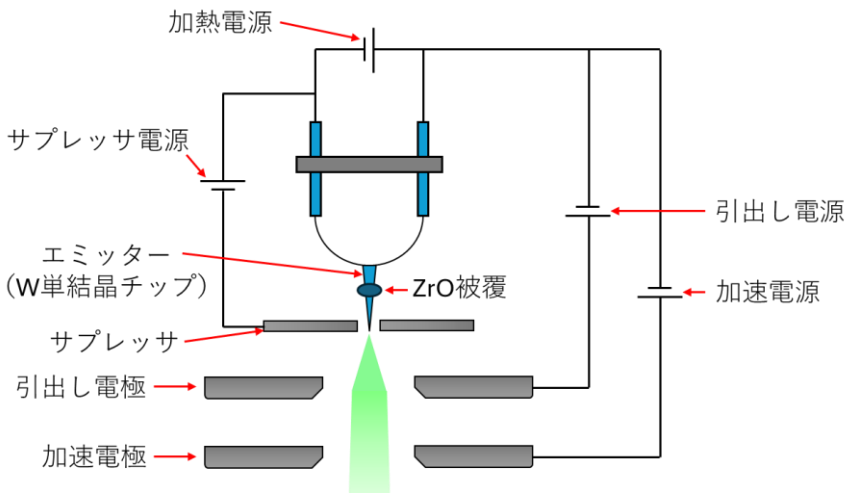


図 7　SEM 電子銃部（ショットキー型）のイメージ図

電子の進行経路には非点収差補正コイルや走査コイルなどが配置されており，電子ビームはこれらによって形状が円形に整えられ，試料表面を走査できるように制御される（図 8）.

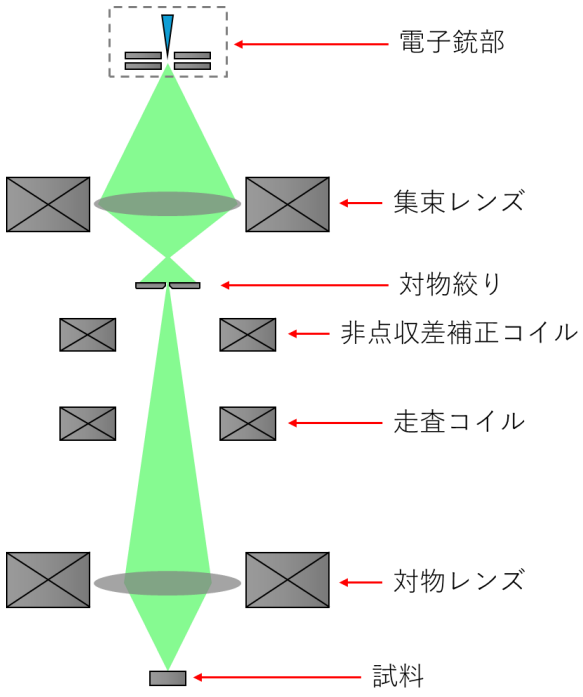


図 8　SEM 内部の電子ビーム進行経路

電子ビームが試料に照射された際に，試料から出てくる情報のイメージを図 9 に示す．試料に電子が照射されると，原子中の電子が弾き出され，これを二次電子と呼ぶ．放出された二次電子を二次電子検出器で検出することで，各位置における信号強度を取得でき，その強弱が白黒のコントラストとして画像化される．また，組成元素の原子番号に依存して強度が変化する反射電子を検出すれば，チャネリングコントラストなどを反映した反射電子像を得ることができる．さらに，電子照射によって励起された原子が基底状態に戻る際に放出する特有のエネルギーを測定することで，元素の特定や定量が可能となるエネルギー分散型 X 線分光分析（EDS；Energy Dispersive X-ray Spectroscopy）も併用できる．

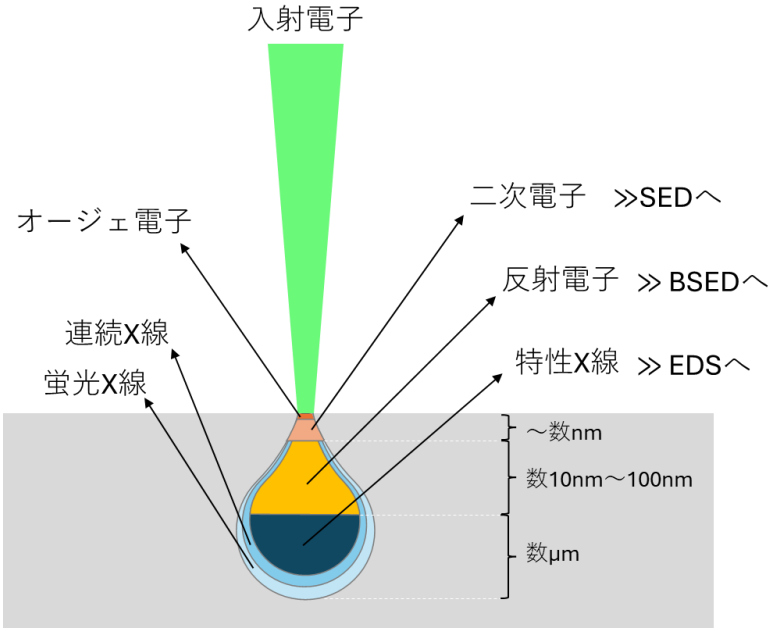


図 9　電子ビームが試料に照射された際に得られる情報

1.4.3　スパッタリング装置の概要

スパッタリングとは，ターゲットを陰極，周囲の金属部を陽極として高電圧を印加し，グロー放電を発生させることで行われる．このとき，わずかに導入した N_2 ガスが電離して生成した N^+ イオンは陰極へ引き寄せられ，ターゲット（例：Au）に衝突する．その運動エネルギーによりターゲット原子が叩き出され，飛散した Au 微粒子が試料表面に付着する．（図 10）

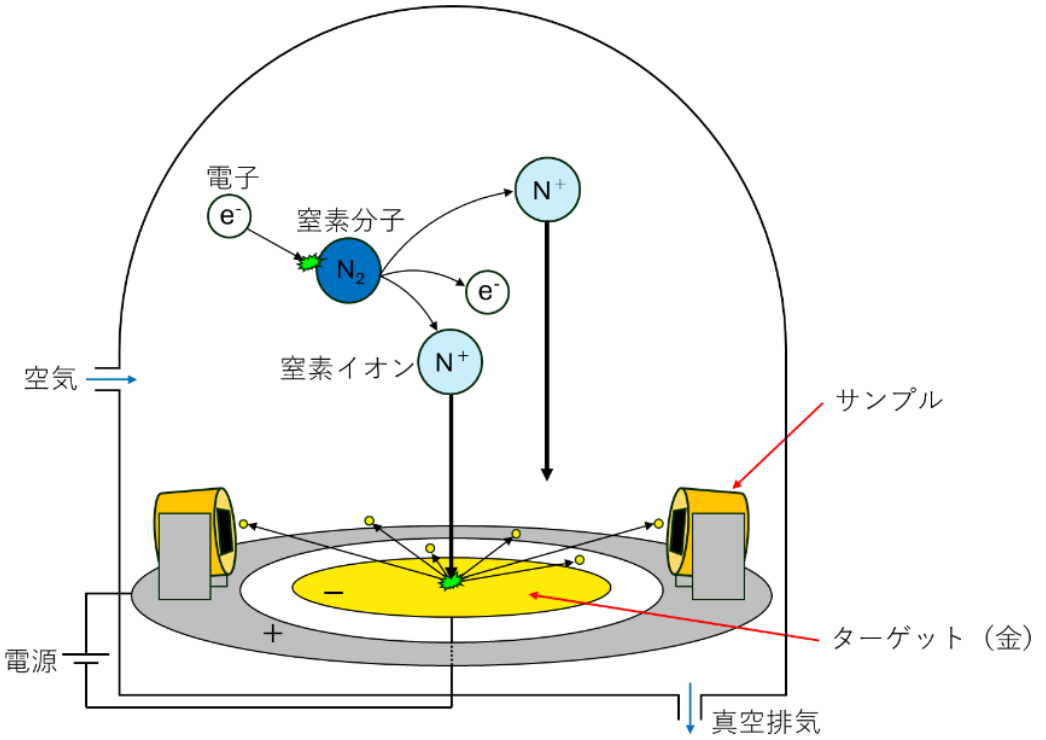


図 10　スパッタリング装置の原理

スパッタリング装置において短絡が発生した事例があった．中心のターゲットには Au を使用しているが，大気開放時に空気が勢いよく流入することで Au ターゲットのプレートがずれるという問題がしばしば生じていた．この対策として，ターゲットを導電性カーボンテープで固定する方法を採用した．その結果，大気開放時にも Au プレートがずれることはなく，短絡も防止され，以降トラブルは発生していない．ごく少額の工夫で大きな問題を解決できた事例である（図 11）．

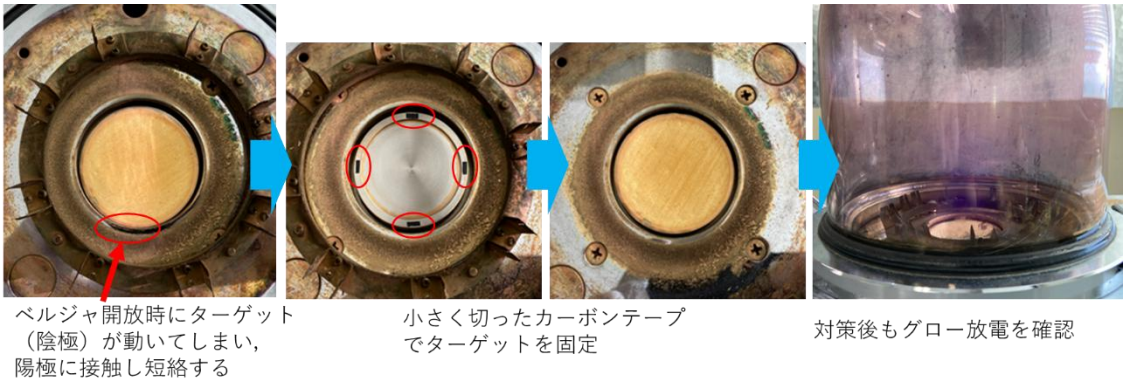


図 11　スパッタリング装置の改善

なお，コーティングには表 4 の 4 つの材料が主に使われる．それぞれ，メリットとデメリットがあり，目的によって使い分けることが重要である．

表 4　コーティングの種類と特徴

コーティングの種類	メリット	デメリット
金（Au）コーティング	最も一般的で，装置も安価に手に入る．	Auの粒子径が大きく，高倍率観察ではAu粒子が観察像に現れてしまう．
白金（Pt）/パラジウム（Pd）コーティング	Au粒子に比べて，粒子が細かく高倍率観察に適する．	装置が高価
カーボン（C）コーティング	Au粒子やPt/Pd粒子に比べて，微細な粒子で薄膜を形成できる．元素分析などX線分析の妨げになりにくい．	高真空下での蒸着が必要となるため，装置が高価
オスミウム（Os）コーティング	極薄膜が形成でき，有機物などの表面の質感も保持できる．	四酸化オスミウム（OsO4）ガスに毒性がある．装置が非常に高価．

1.4.4　誘導結合プラズマ発光分光分析装置（ICP-OES）の概要

誘導結合プラズマ発光分光分析装置（ICP-OES；Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectroscopy，以下 ICP）は，溶液中に含まれる元素の定性・定量分析を行う装置である．試料溶液は微細な霧（エアロゾル）として Ar ガスの気流に乗せられ，トーチ内の高温プラズマに導入される（図 12）．

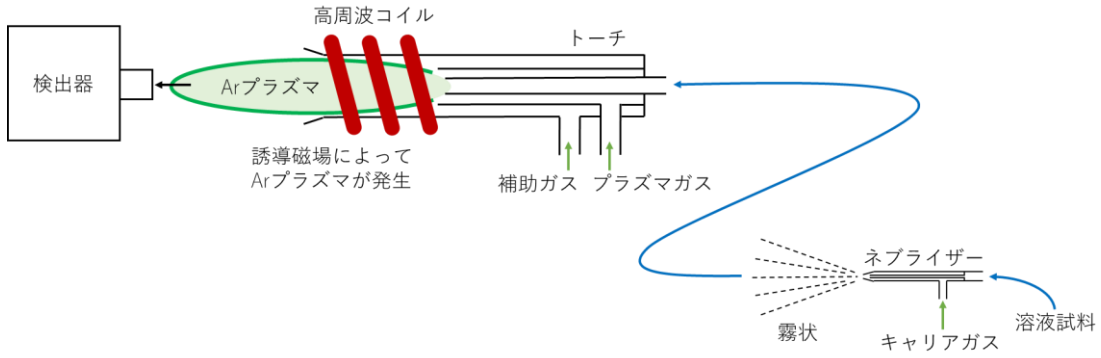


図 12　ICP-OES の内部構造

プラズマ中では，試料中の原子が高いエネルギーを受けて電子が励起され，上位の電子軌道へ遷移する（励起状態）．その後，電子は元のエネルギー準位（基底状態）に戻り，その際に余分なエネルギーを光として放出する（原子発光）（図 13）．

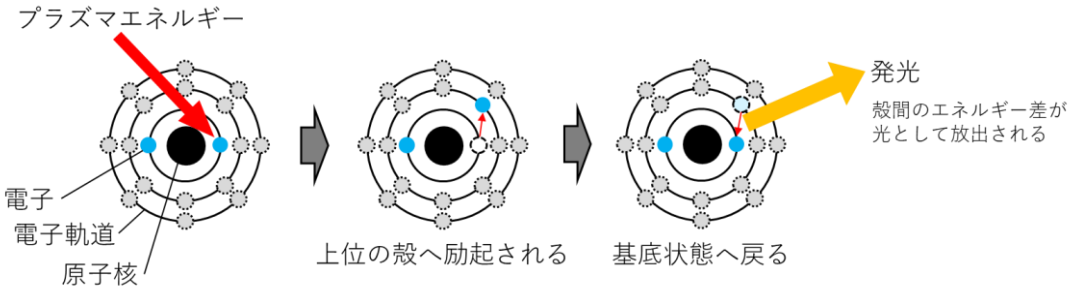


図 13　ICP-OES 発光の原理

この発光の波長は，元素ごとに固有の電子殻構造に依存するため，観測される波長（λ）から元素を特定することができる．エネルギーと波長の関係は以下の式により表される．

$$\Delta E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

- ΔE ：電子殻間のエネルギー差
- h ：プランク定数
- ν ：光の振動数
- c ：光速
- λ ：発光波長

また，発光強度はその元素の濃度に比例するため，あらかじめ濃度の異なる標準試料を擁しておきその発光強度を調べておくことで，試料の定量分析が可能となる．検出感度は元素によって異なるが，一般にppbから％オーダーまで幅広い濃度範囲での測定が可能である．なお，ICPでは試料は必ず溶液状態である必要があり，固体試料であっても適切に溶解すれば測定が可能である．ただし，粘度や塩濃度など試料溶液の物理的性質は，噴霧効率やプラズマへの導入効率に影響するため，十分な注意が必要である．特に試料中にNaやKなどのアルカリ金属元素が高濃度で含有される試料では，これらの元素のイオン化エネルギーが小さいために，プラズマ中のイオン平衡が乱れ，他の元素のイオン化が抑制されてしまう．このような現象をイオン化干渉と呼び，十分な対策を行わなければ本来得られるべき発光強度が低下し，定量結果に誤差が生じる可能性がある．

この干渉への対策として，アルカリ金属の濃度が影響しない範囲まで試料を希釈する希釈法が挙げられる．ただし，測定対象元素の濃度が元々微量である場合，希釈によって発光強度が検出限界を下回ってしまう恐れがある．そのような場合には，他の対処法として，検量線用標準溶液と試料中のマトリクス組成（特に干渉成分の濃度）を合わせておくマトリクスマッチング法や，干渉の影響を相殺するために一定量の元素（内標準元素）を添加して補正を行う内標準法などが用いられる．また，試料調製が煩雑ではあるが，標準添加法を用いればイオン化干渉の影響を無くすことができる．

1.5　本論文の構成

本論文は全 5 章で構成されている．

第 1 章では，序論として鳥取大学における研究支援・教育支援体制を概説し，筆者のこれまでの活動実績を整理した．さらに，物質分析系 TC コース（材料評価）が目指す技術職員像と，筆者が申請に至った経緯，ならびに技術支援に用いる装置の概要について述べた．

第 2 章では，筆者がこれまで担当してきた分析機器の中から，XRD による二次電池材料測定の支援，SEM による異分野試料の観察・分析，ICP-OES の固体溶解サービスの新設と実践に焦点を当て，その技術的な貢献を示す．

第 3 章では，分析機器の安定的・持続的な運用に対する取り組みを述べ，さらに，XRD の条件設定資料の作成やテクニカルレターの新設・発刊など，教育効果の向上や研究の円滑な推進に資する取り組み事例についても述べる．

第 4 章では，筆者が「出前おもしろ実験室」に携わる中で考案した，鳥取砂丘の砂と固気流動層を用いた体感型実験の教育的効果を示す．また，地域資源と高度分析機器を活用した科学啓発活動を通じた科学技術人材育成への貢献を紹介する．

第 5 章では，本論文の総括を行うとともに，地方大学における技術職員の今後の展望を述べる．

第 2 章　分析機器を用いた研究支援

2.1　XRD に関する研究支援

材料研究において，XRD は結晶構造や相変化，結晶子サイズの解析に有効な強力なツールである．本学では無機化合物の材料研究において頻繁に活用されており，基本的にはユーザーによる自主利用となっている．筆者は装置の定期点検や Cu 管球の交換などメンテナンスを担当しているが，これまでに受けた測定相談の一例を以下に紹介する．

2.1.1　酸化鉄粉末を用いた電池材料の XRD 測定における蛍光 X 線軽減モードの活用

地球上に豊富に存在するナトリウム（Na）や酸化鉄（Fe_2O_3）を原料とするナトリウムフェライト（$NaFeO_2$）を，二次電池の正極及び負極の両方に適用する研究が進められている[10]．この研究を行う学生から「XRD 測定を行っているが，バックグラウンド強度が大きく上昇してしまい，明瞭な XRD パターンが得られない」という相談が寄せられた．測定結果を図 14 に示す．結果を確認するとともに，学生から話を聞いたところ，対象試料は超微細ヘマタイト試料（α-Fe_2O_3，戸田工業提供）ということであった．したがって，銅（Cu）管球を用いた XRD 測定における，鉄（Fe）の蛍光 X 線発生がバックグラウンド上昇の原因となっていると予想した．さらに測定条件を細かく確認していくと，サンプリング幅がかなり小さく設定されていた．このサンプリング幅設定をより大きくするだけでもノイズを軽減でき，ノイズに埋もれたピークも確認できるようになる余地があることを助言した．

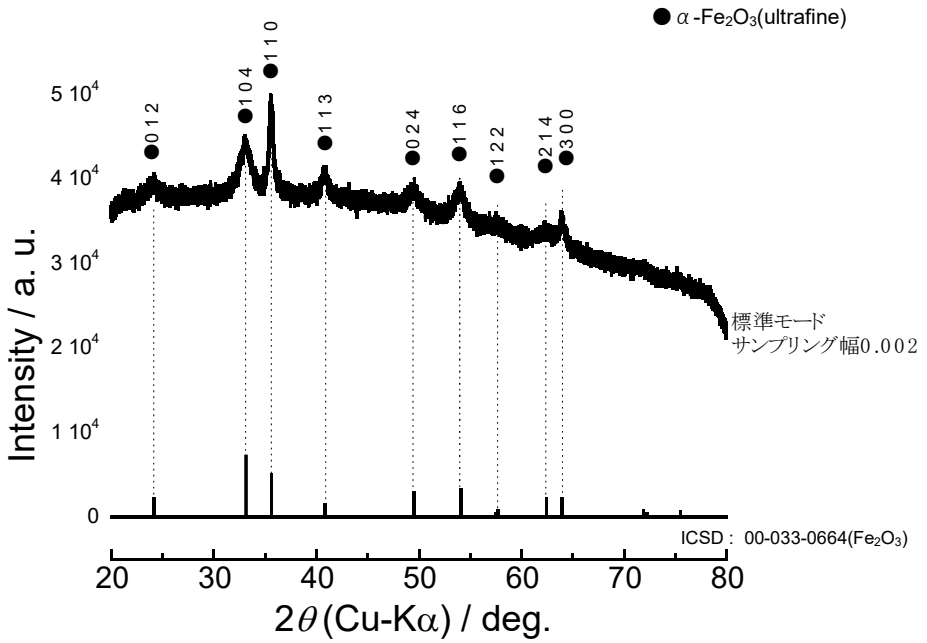


図 14　相談があった XRD パターン

Fe を含む試料を，Cu 管球を用いて XRD 測定すると，パターン全体のバックグラウンドが上昇してしまう．これは，Cu 管球から出てくる特性 X 線（Cu-Kα線：8.04 keV）が Fe の最低励起エネルギー（K 吸収端：7.10 keV）に非常に近く，かつ，それを上回るため，Fe 原子内の内殻電子が励起され，Fe の蛍光 X 線が多量に発生し検出されてしまうことに起因する．このような蛍光によるバックグラウンド上昇を抑える手法として，Fe の K 吸収端よりも低いエネルギーの特性 X 線を持つ Fe 管球（Fe-Kα線 6.40 keV）や Co 管球（Co-Kα線 6.93 keV）を用いる方法，あるいは逆に Fe の K 吸収端から大きく離れた高いエネルギーをもつ Mo 管球（Mo-Kα線：17.48 keV）を使用する方法がある．

しかし，本学では共用設備として公開されている粉末測定用の XRD は 1 台であり，幅広い分野のユーザーが使用し様々な試料が持ち込まれる．そのため，X 線管球には，汎用的な Cu 管球が使われている．ユーザー全体の中で Fe 系試料の測定頻度が比較的少ない場合，異なる種類の管球を新たに購入したり，測定ごとに管球を交換したりすることは現実的ではない．

そこで，この度の相談の対応策として，学生にはあまり知られていない「蛍光X線軽減モード」を活用した XRD 測定を行うことを提案した．本学の共用設備である XRD（リガク Ultima Ⅳ）には，高速一次元半導体検出器（D/teX Ultra）が搭載されている．この検出器は，ディスクリミネータ（識別器）の設定を変更することで，検出するエネルギー範囲を意図的に選択することができる．標準モードでは，Cu-Kα線のエネルギー範囲をカバーして検出する設定とされているが，これだと Fe の蛍光 X 線が発生した際にその一部も検出してしまうこととなる．蛍光 X 線軽減モードでは，検出範囲の下限値を引き上げることで Fe の蛍光 X 線を極力拾わないことにより，バックグラウンド上昇の抑制が可能となる（図 15）．

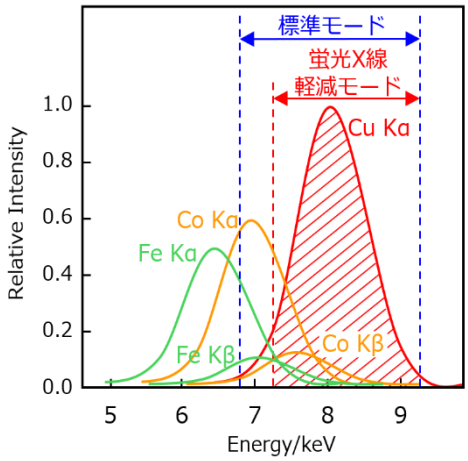


図 15　ディスクリミネータの変更による検出範囲の違いのイメージ

この機能は，名称は違えども，多くのメーカーの製品に付属している．学生ユーザーはルーチン測定を行っていることが多くあり，装置の細かな機能や条件設定の影響を詳細には知らない場合がある．

また，サンプリング幅の設定変更も提案した．サンプリング幅とは，XRD 測定における「回折角の何度ごとに 1 点プロットするか」を示すパラメータである．例えば，サンプリング幅 0.1°の場合は回折角 1°あたり 10 点，0.01°の場合は 100 点がプロットされる．つまり，数値が小さいほど測定点数は多くなる．測定点数が多いと細やかなデータが得られる一方で，多すぎるとノイズが増大し，ベースラインがギザギザになって非常に見づらい XRD パターンとなる．逆にサンプリング幅が大きすぎると測定点数が不足し，微小なピークを取りこぼす可能性がある（図 16）．一般に，サンプリング幅は XRD パターンの最小半値幅の 1/5～1/10 が目安とされ，予備測定結果や測定目的に応じて適切に設定する必要がある．

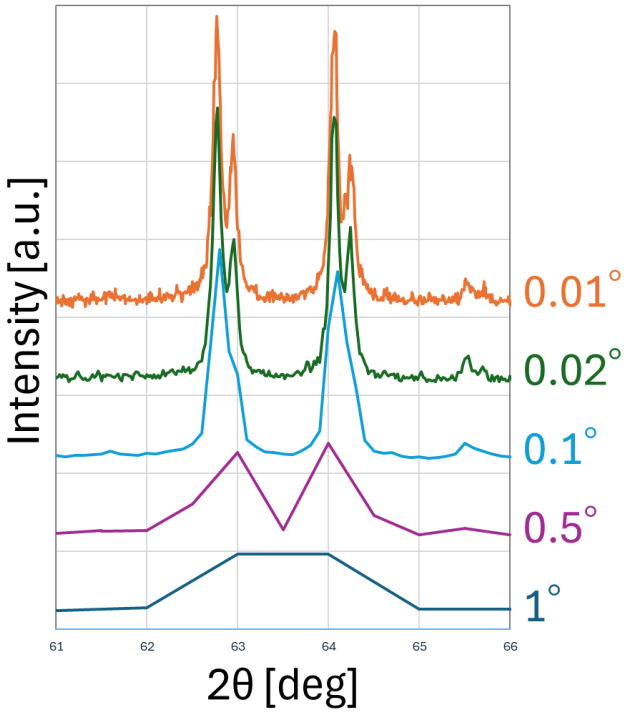


図 16　サンプリング幅を変更した XRD パターンの比較

相談があった学生へ，蛍光 X 線軽減モードの使用とサンプリング幅の設定の変更を提案し測定を行ってもらった．試料には超微細ヘマタイト試料（α-Fe_2O_3，戸田工業提供）を用いた．測定の結果，蛍光 X 線軽減モードを活用することで Fe 由来のバックグラウンド上昇を大幅に抑制することができた（図 17）．また，サンプリング幅の変更により，ノイズも軽減した結果を得られた．学生にもこの設定で引き続き測定を行ってみるようアドバイスを行

った．なお，検出するエネルギー範囲を狭めている関係上，全体的にピーク強度も若干減少するため注意が必要である．

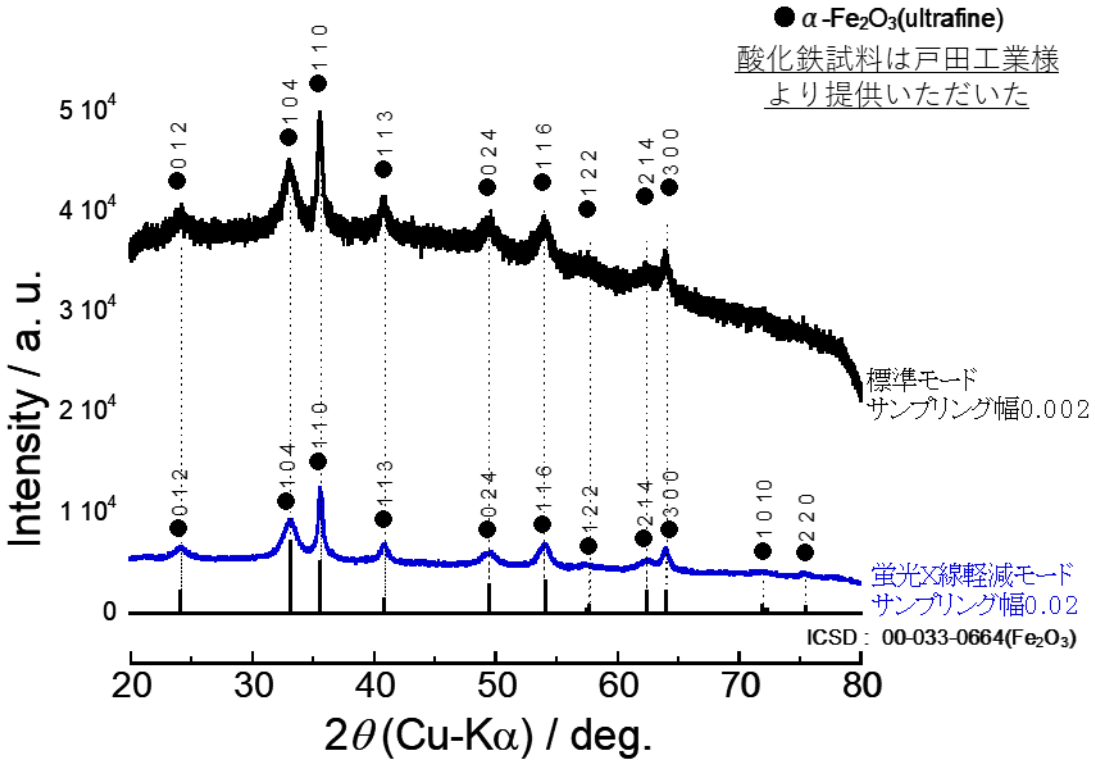


図 17　アドバイス前後の酸化鉄試料の XRD パターン

2.1.2　ポリプロピレンフィルムを用いた in-situ XRD 測定支援

リン化スズ（Sn_4P_3）は，高容量と安定したサイクル特性を両立する次世代二次電池負極材料として研究が進められている[11]．当該研究においては，充放電サイクル試験中の活物質の相変化を確認するため，窓付きのコインセルを構築し，それを用いて in-situ XRD 測定が行われる．なお，コインセルとは，薄型のボタン電池のことであり，電極の活物質に任意の試料を使用し，自分で構築できる小型の電池のことである（図 18）．

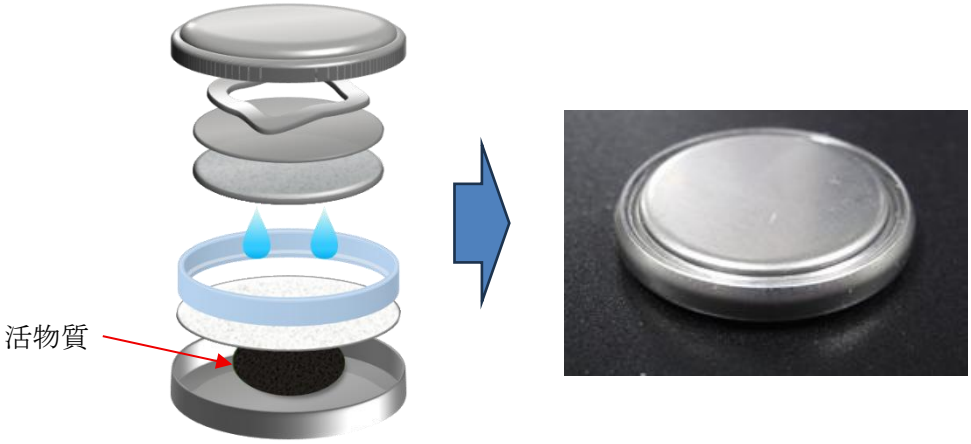


図 18　試験用のコインセル

その中で学生から，「着目物質の回折強度が小さく相変化がわかりにくい．結晶構造の同定の信頼性を上げるために，回折強度を向上させたい」という相談を受けた．

まず始めに提案したのは，装置の出力設定の変更である．X 線管球の出力は，管電流，管電圧にそれぞれ比例する．これらの設定を上げれば，回折強度の向上が期待できると見込まれた．Cu 管球から放出される X 線の強度 I は，管電流 i，管電圧 V，ターゲットの原子番号 Z を用いて次式で表される．

$$I = i V^2 Z$$

使用する XRD（リガク UltimaⅣ）の耐用出力は 3.0 kW であり，用いられている Cu 管球の通常測定時の出力設定は，管電圧 40 kV，管電流 40 mA の合計 1.6 kW である．Cu 管球自体の出力は 2.0 kW まで耐えうる（図 19）ようなので，試しに管電圧 50 kV，管電流 40 mA の合計 2 kW に設定したところ，その瞬間に X 線がシャットダウンし，装置が停止してしまった．



図 19　Cu 管球上部の写真（「INPUT： 60 kV, 2.0 kW」と記載がある）

メーカーに問い合わせたところ，絶縁破壊が起きたか，高圧がかかる箇所の部品の劣化が考えられるとのことであった．しかし，その 3 か月ほど前に，メーカーによる高圧ケーブル等周辺部品の交換作業をしてもらっているため，その可能性は低いと考えられた．

・装置の設定変更により X 線がシャットダウンしてしまったこと．

・管電圧の設定を上げたとしても，10%ほどの強度上昇しか見込めないこと．

・繰り替えし行うと高圧ケーブルなどの部品に負荷がかかり，管球の劣化も早まること．

を加味し，装置の設定変更による強度向上は現実的ではないと判断し，別の方法を検討することにした．

次に着目したのは，コインセルを構築している窓材の材質であった．これまで，コインセルの窓材には高い耐食性を持つチタン（Ti）箔が用いられていた．実際の窓材に Ti 箔を用いた結果では，図 20 に示すように，Ti 由来のピークは大きく確認できるが，着目したい Sn_4P_3 のピークは非常に小さい．Ti のピークは大きく出ていることから，Cu 管球から出た照射 X 線が，Ti 箔に吸収され，目的物質（Sn_4P_3）の回折ピークが減衰してしまっていることに起因すると予想された．

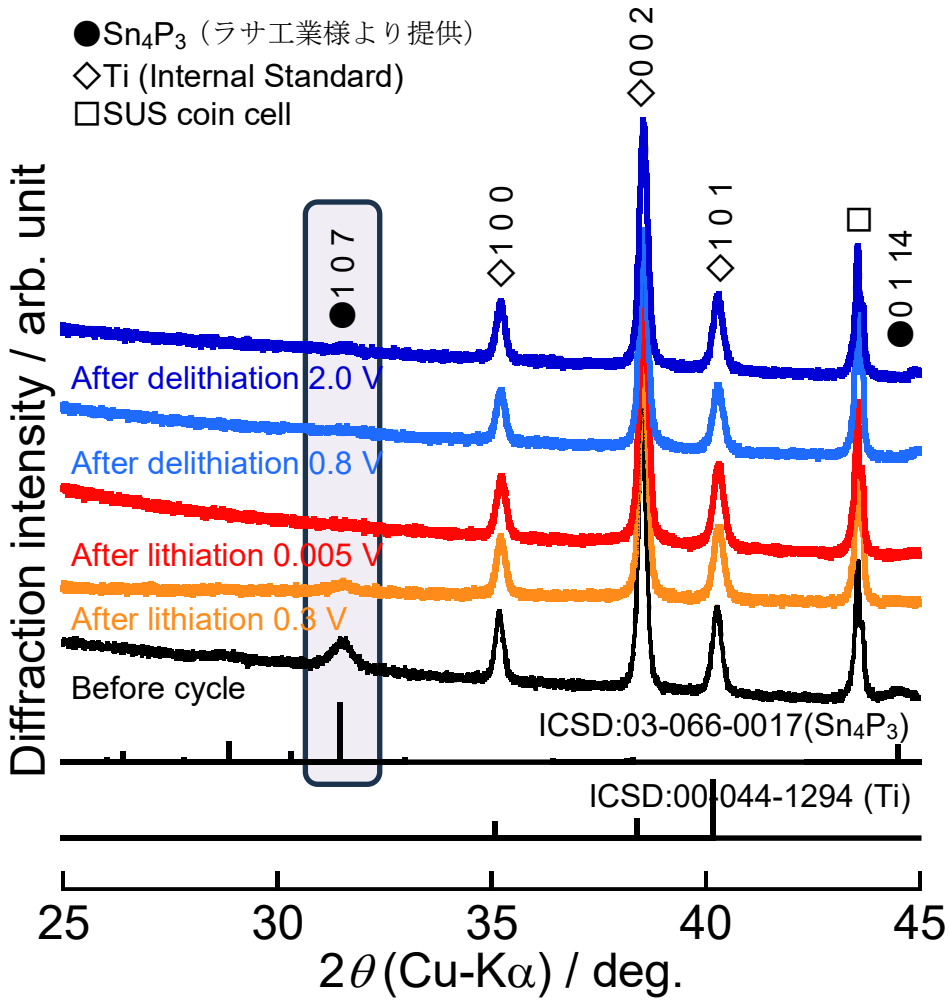


図 20　コインセルの窓材に Ti 箔を用いた際の XRD パターン

X 線は何か材料を透過する際，材料への吸収や散乱などが起き，エネルギーが失われることによって，透過後の X 線は減衰している．コインセルの窓材に金属薄膜を使用することで，X 線は透過するものの，試料に照射 X 線が到達するころには大幅に減衰している．そして試料で散乱されたあと，試料外へ飛び出し検出器へ向かう回折 X 線もまた減衰の影響を受ける．X 線強度の減衰は，材質やその膜厚に影響し，透過率 T は次式で表される．

$$T = I/I_0 = \exp(-\mu_m \rho x)$$

μ_m：質量減弱係数[cm²/g]
ρ　：材質の密度[g/cm³]
x　：試料の厚み[cm]

質量減弱係数μ_mは材質によって異なり，NISTのXCOM（X線吸収スペクトルデータベース）[12]によると，Tiの質量減弱係数μ_mは1.998×10^2 [cm^2/g] である．また使用していたTi箔の厚みは0.04 ㎜ということであった．これらの数値を上の式に当てはめると，Ti箔X線の透過率は2.7%であり，減衰は97.3%という計算になる．X線管から発生したX線は，試料に到達するまでと，試料から検出器に到達するまでに二度Ti箔を透過するため，得られる回折強度はさらに小さくなってしまう．

では，上記の式によると，原子番号のより小さな金属の薄膜であれば，減弱係数は小さくなり，X線の減衰も抑えられるはずであると考えた．研究室内でもコインセルに内包する活物質の種類によっては，窓材に比較的安価に入手できるアルミニウム（Al）箔も用いられている．しかし，Al箔は蓄電池における電荷担体であるリチウム（Li）と反応してしまうという問題があり，本研究では避けられてきた．また，原子番号の小さいベリリウム（Be）箔やマグネシウム（Mg）箔も候補に入るが，猛毒性であったり，非常に高価だったりと，学生が大量にコインセルを構築し，繰り返し活物質の検討実験を行う研究手法においての使用は得策とは言えない．

X線を透過しやすく，安価に入手できる材料を検討したところ，筆者が他に担当している蛍光X線分析装置（X-Ray Fluorescence：XRF）で試料作製に使用するポリプロピレンフィルム（以下，PPフィルム）が目に留まった．PPフィルムはX線透過性，耐久性に優れており，Ti箔と比較し安価に入手することができる．X線の透過率は，上と同様に計算したところ99.8%であり，PPフィルムのX線の減衰はわずか0.2%であることがわかった．

したがって，X線強度の減衰を低減させることを目的として，Ti箔に代わって新たにPPフィルム（厚み6μm）の使用を提案した．なお，PPフィルムには電気伝導性はないため，指導教員の薄井准教授とも相談し，集電体として銅（Cu）のメッシュも活物質と併せて張り付けることとした（図21）．また，コインセル表面と活物質表面をできるだけ合わせるため，Cuメッシュをあらかじめコインセルの窓内径と同じ外径を持つプラスチック棒の先端で押し込み少し変形させ，コインセル窓の表面にフィットするように工夫を行った．

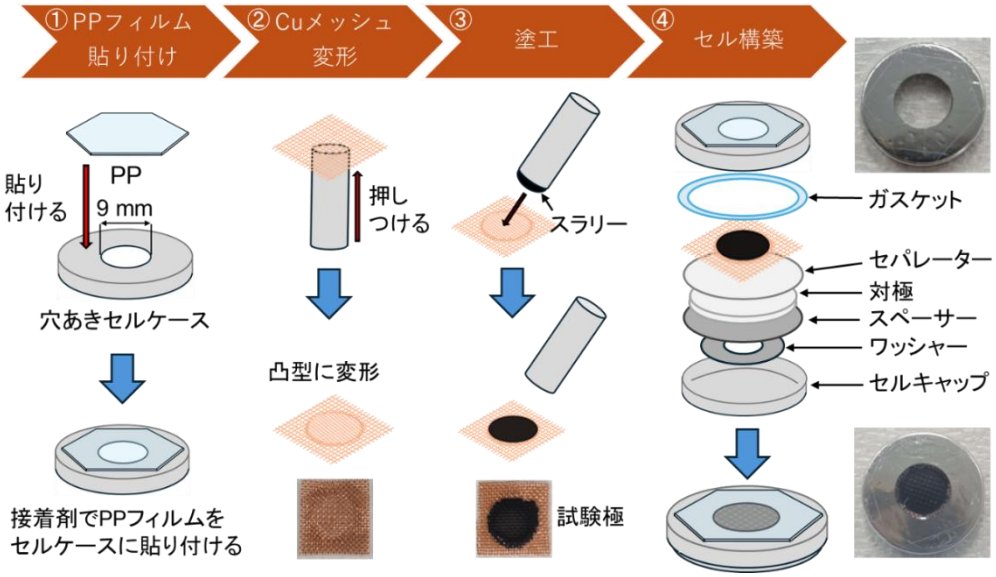


図 21　コインセルの構築フロー

PP フィルムを用いたコインセルを構築後，同様の条件で測定を行った結果，X 線強度の減衰が低減されたことにより，Sn_4P_3 ピークの増幅が確認された（図 22，赤色の XRD パターンにおける枠線部分）．PP フィルムの使用により，これまで金属薄膜では減衰してしまっていた小さなピークが確認でき，同定の信頼性を上げることができた．

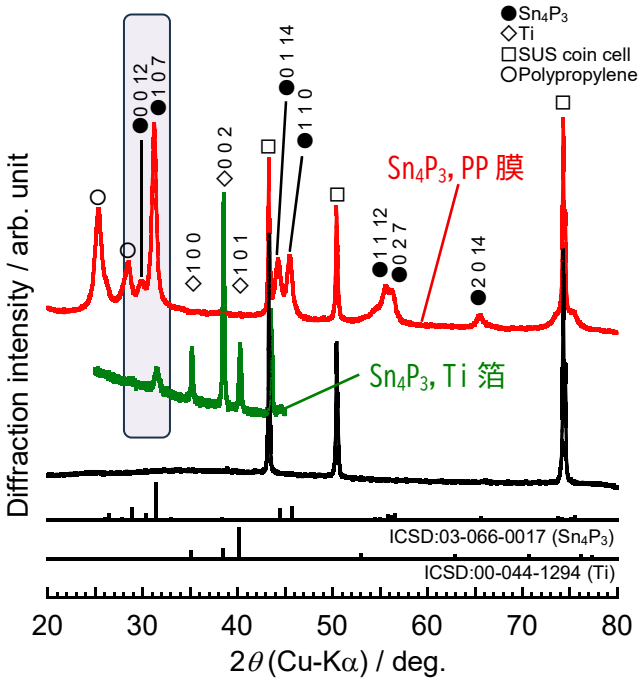


図 22　窓材の違いによる Sn_4P_3 の XRD パターン

その後，本手法を用いた in-situ XRD 測定で，電極反応が進むにつれてスズ（Sn）の微小ピークの出現が確認された．これは充放電サイクルが繰り返されるにつれて，Sn_4P_3 が Sn へ相変化することが示されたということである．Sn への変化は電気容量の低下につながる為，それを改善するべく，Sn_4P_3 と Sb のコンポジット材料を用いて性能評価を行い，優れたサイクル特性を示すことが見いだされた[13].

2.2　SEM に関する研究支援

2.2.1　キノコ菌糸シートの断面加工及び SEM 観察

FE-SEM の利用においては，主に無機材料系の測定相談が多い．しかしある時，工学部バイオ系の教員から，「キノコの菌糸をプレスしてシート状にしたもの（以下，キノコ菌糸シート）の表面を観察したい」という依頼があった．筆者自身はキノコ菌糸シートを聞くのは初めてであったが，FE-SEM では加速電圧などの条件を適切に設定すれば，有機物表面の観察も可能である．

まずは 10 ㎜角に小さく切ったキノコ菌糸シート表面の SEM 観察を行った．キノコ菌糸シートは有機物であり導電性を持たない．そのまま電子ビームを照射すると，試料表面に電荷が溜まり（帯電効果又はチャージアップという），適切な像が得られなくなってしまう．例として，スパッタリング処理なしで観察を行った結果を図 23 に示す．導電性が無いため，チャージアップが起きてしまい，明瞭な像が得られないことが確認できる．そこで，金（Au）スパッタリング処理を施したものを観察した．スパッタリング装置は，日本電子製 JFC-1100 を使用した（図 24）．観察の結果，キノコの菌糸が複雑に絡み合った像が確認された（図 23）．なお，SEM の条件は WD10 ㎜，加速電圧 3 kV としている．

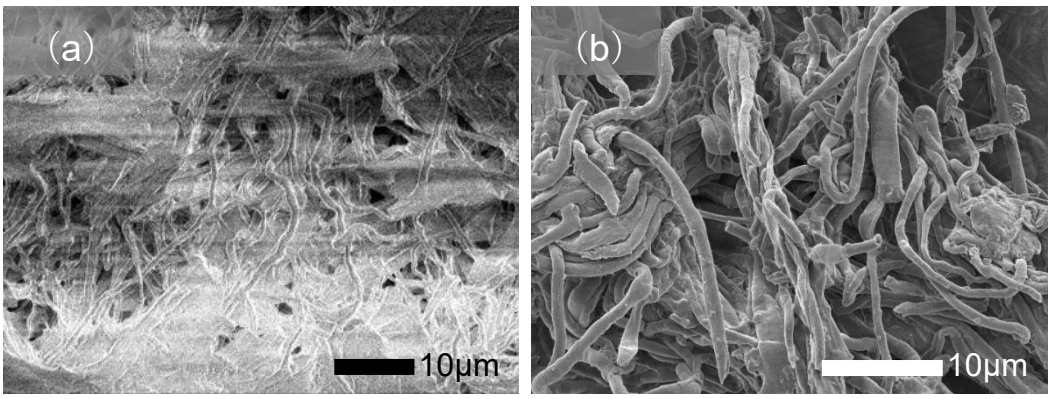


図 23　キノコ菌糸シート表面（a：未処理，b：Au スパッタリング処理）



図 24　スパッタリング装置（日本電子製 JFC-1100）

表面観察は可能であることがわかったが，本学には共用設備としてクロスセクションポリッシャー（以下，CP）があるため，CP を用いて断面加工を行い，シートの断面観察することを新たに提案した．教員からも「シート断面の菌糸の疎密も確認したいため是非」という強い希望があり，CP 加工を行うことにした．

CP 加工には日本電子製 IB-19520CCP を使用した．CP 加工を行う際には専用の試料ホルダがあり，幅 11 ㎜×奥行き 8 ㎜×厚さ 3 ㎜までのサンプルを取り付けることができる．キノコ菌糸シートは厚みが 3 ㎜以下であるので，あとは上記サイズに収まるよう，任意の大きさにハサミとカッターナイフを用いてカットした．キノコ菌糸シートは種類によって，厚みが 0.1～1 ㎜程度と様々であった．試料ホルダにはサンプルをクリップで挟み固定する部分があるが，非常に薄いシートは遮蔽板すぐ近くの固定が不安定となる．遮蔽板とサンプルの間に隙間ができると，サンプルの端部やサンプルと遮蔽板の間に試料の再付着（リデポ）が発生したりして，加工がうまくいかないことがある．そこで，CP のメンテナンス時の軸合わせで用いるシリコン板を併せて挟み，遮蔽板とシートが密着するように工夫して加工を行った（図 25）．

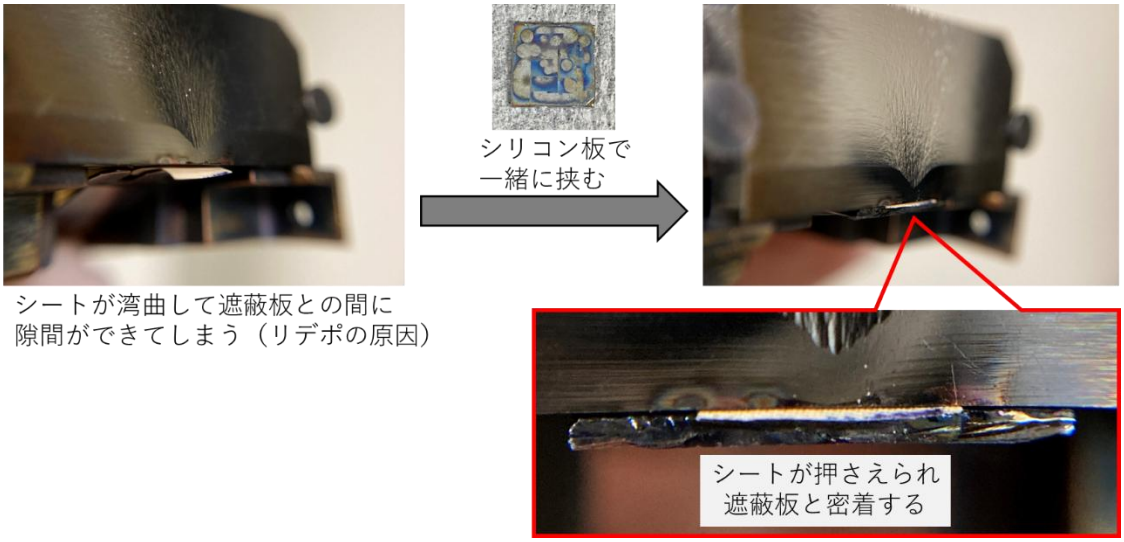


図 25　キノコ菌糸シートを遮蔽板に密着させる工夫

先に行ったキノコ菌糸シート表面の観察時に，菌糸が複雑に絡み合っている構造が確認されたため，一方向からの Au スパッタリングではなく，反転させて 2 回に分けてスパッタリングを行った．それにより，Au が付着しない部分を減らし，より試料表面が均一にコーティングされるようにした（図 26）．

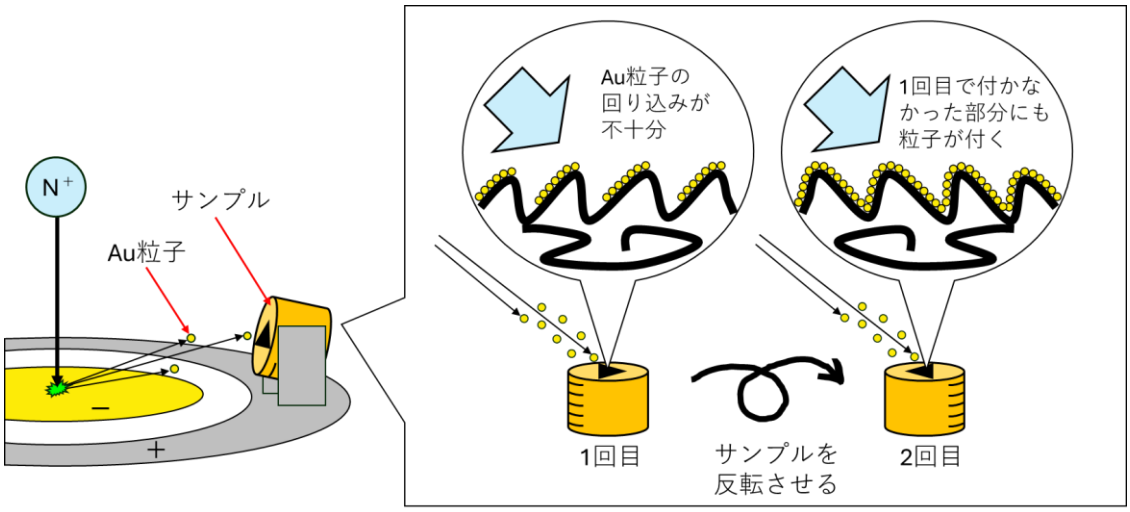


図 26　方向を変えたスパッタリングのイメージ図

CP 加工面の観察の結果，試料表面付近の菌糸が密である様子や，空隙がある様子などが確認され，表面観察だけでは得られなかった情報を得ることができた（図 27）．

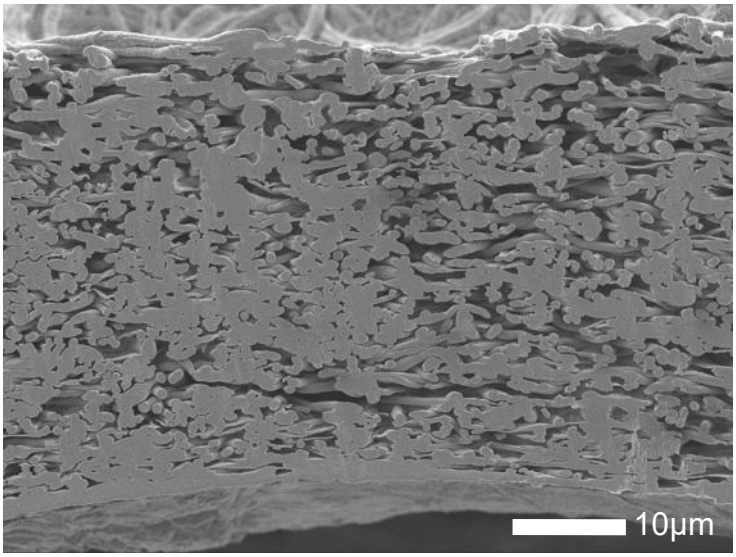


図 27 キノコ菌糸シートの断面

2.2.2　SEM 観察及び EDS 分析による黒色顔料同定支援

本学に在籍している美術（日本画）を専門とする教員より，日本画家・堂本印象が使用していたとされる黒色顔料（以下, サンプル A）の同定について相談を受けた. サンプル A と，市販されている数種類の黒色顔料（サンプル B～I）を目視で確認したが，粒子が非常に微細であり, 視覚的にその種別を識別することは困難であった. そこで, 材料分析の観点から，SEM による形状観察及び EDS による元素分析を行い，形状や組成を比較することとした.

各試料は，真鍮製試料台に貼り付けたカーボンテープ上にマウントした．ここで，試料粒子を過剰に付着させてしまうと，この後行うコーティングの入り込みが悪くなり，チャージアップ対策の十分な効果を得られない. 試料粒子の過剰付着を防ぐため, 試料を爪楊枝の先端に少量付着させ，カーボンテープの上から軽く弾いて極微量を散布する方法を用いた.

SEM 観察において，試料には導電性が必要であるが，顔料は導電性がないため，サンプル A～I に対し，金（Au）スパッタリング処理を施した. その後, FE-SEM（日本電子製 JSM-IT800SHL）を用いて SEM 観察と EDS 分析を行った．SEM 観察における加速電圧は 3～15 kV とした．サンプル A とサンプル B の SEM 像を図 28 に示す.

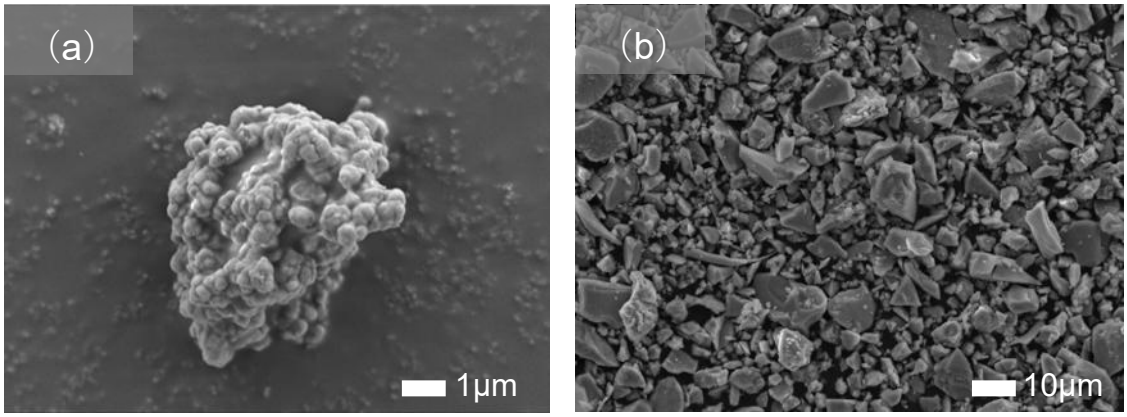


図 28　黒色顔料の SEM 像（a：サンプル A，b：サンプル B）

SEM 像からは，サンプル A は球形に近い一次粒子が凝集して二次粒子を形成しているのに対し，サンプル B は岩石を砕いたような礫状をしていた．その他のサンプル C～I についても形状は様々であり，EDS 分析結果（図 29）と併せても，サンプル A～I は各々異なる材質であることが示唆された．一方で，EDS 分析において，サンプル A からは Cu と Cr が特徴的に検出されたことから，構造内に Cu や Cr を持つとされるサンプル J が新たに候補に挙がった（図 30）．サンプル J についても，同様に SEM 観察及び EDS 分析を行った.

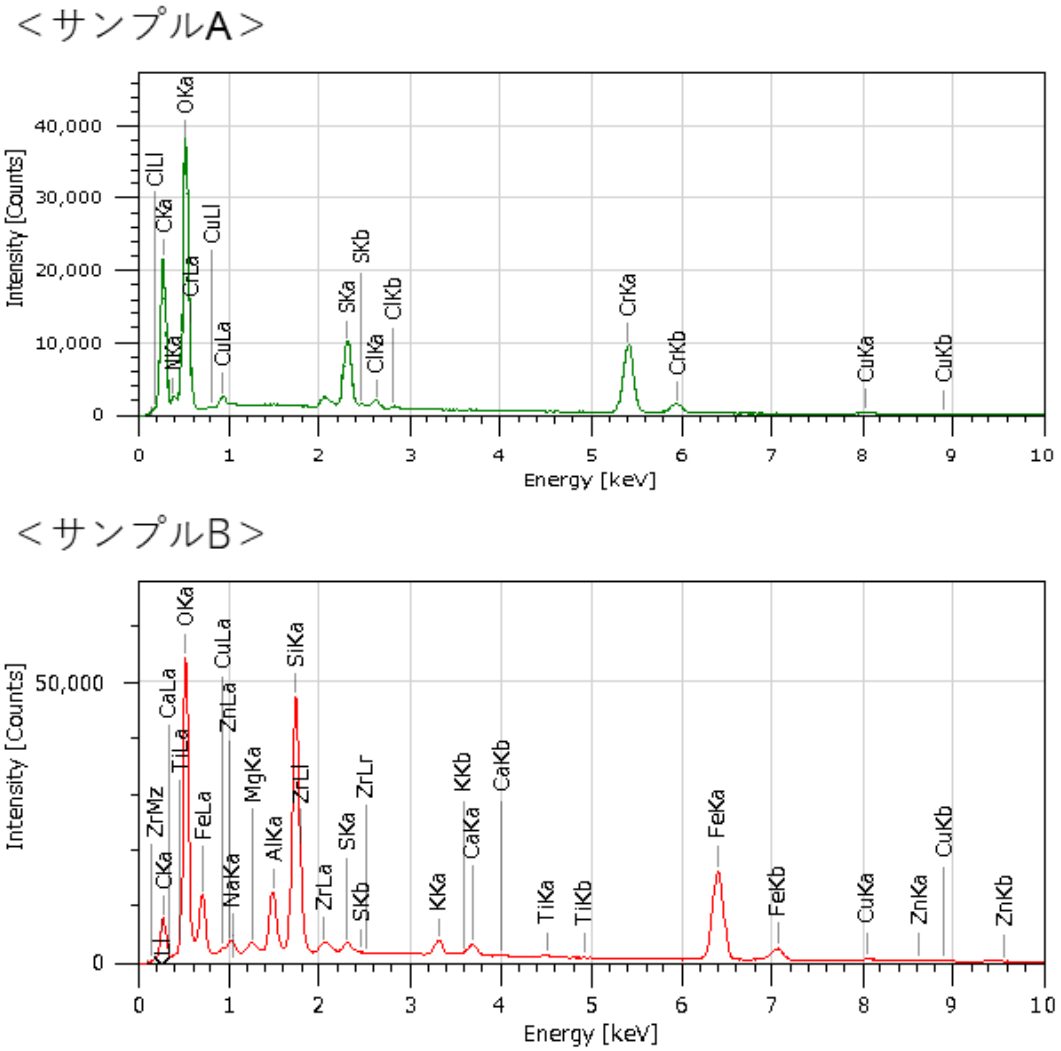


図 29　サンプル A 及び B の EDS 分析スペクトルデータ（[14] 表 3 から抜粋）

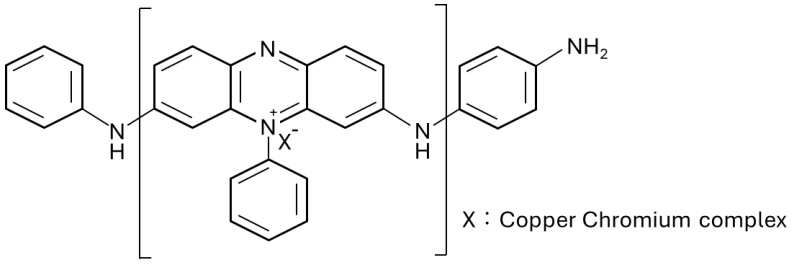


図 30　サンプル J の構造式

Au コーティングを施したサンプル A では，Au 粒子が一次粒子間の微細な隙間を埋めてしまい細部まで鮮明な像が得られず，高倍率観察では Au がサンプル粒子表面に付着している斑模様も視認された．この結果を踏まえて，サンプル J の観察時は，より微細な粒子でのコーティング膜が得られる Pt/Pd コーティングを提案した．本学農学部に設置されている

コーターをお借りし，膜厚が 5 nm となるよう電流値と処理時間を設定しコーティングを行った．その後，加速電圧 5 kV で SEM 観察を行った．サンプル J の SEM 像を図 31 に示す．

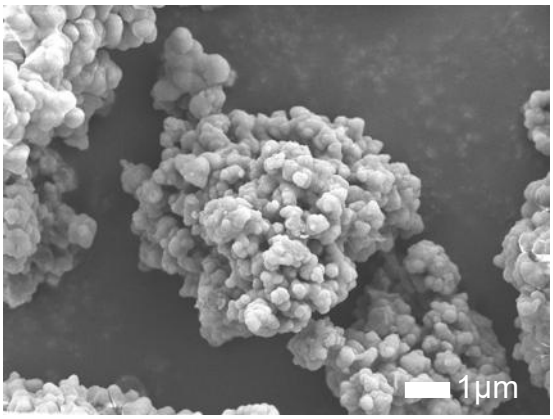


図 31　サンプル J の SEM 像

Pt/Pd コーティングを施した結果，サンプル J の一次粒子形状や凝集状態を明瞭に捉えることができ，その特徴がサンプル A とよく一致することを確認した．さらに，サンプル J の EDS 分析でも Cu と Cr が検出され，検出元素および定量値の傾向もサンプル A と整合していた（図 32）．さらに，筆者が提案した熱分析（TG-DTA）による熱的挙動の比較や，加えて行った GPC 測定，IR 測定においても，共通する特性が確認された．以上を総合し，堂本印象が使用していたとされる黒色顔料（サンプル A）は，サンプル J を主成分とする顔料である可能性が高いことが示唆された[14]．

今回の研究支援では，美術分野からの依頼に対して，材料分析の知見を提供する形で学際的な貢献を果たしたといえる．

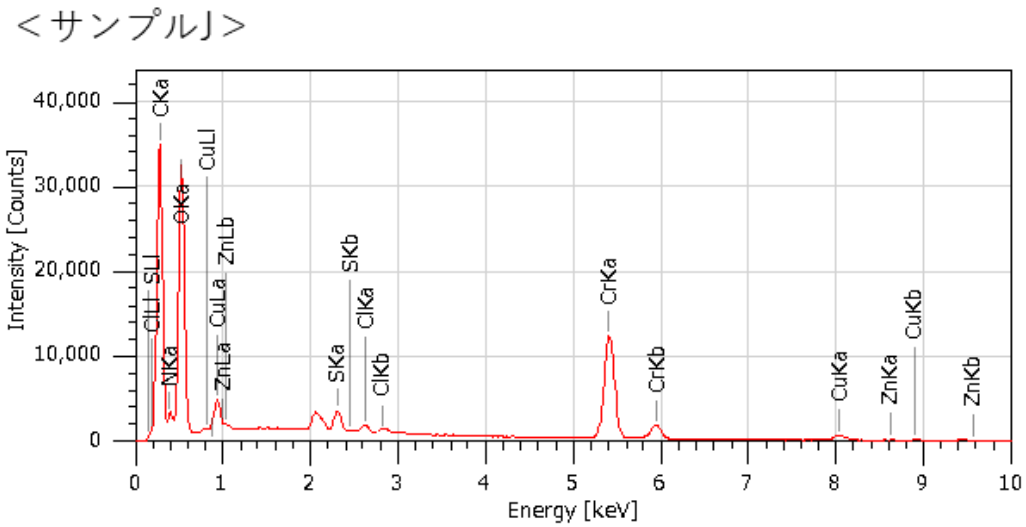


図 32　サンプル J の EDS 分析スペクトルデータ（[14] 表 7 から抜粋）

2.3　ICP-OES に関する支援

2.3.1　固体溶解サービスの開始

誘導結合プラズマ発光分光分析装置（ICP-OES）は，元素の高感度分析が可能である一方，原理上は溶液試料を対象とするため，固体試料についてはそのまま分析することができない．従来は依頼者に対し溶液状態での提出をお願いしていたが，これでは研究支援の範囲が限定され，固体試料の潜在的な分析ニーズを十分に汲み取ることができなかった．

固体溶解に関するニーズの存在を認識するきっかけとなったのは，学内教員からの依頼であった．固体溶解サービスを正式に設定する以前，依頼された難溶解性試料の分解を試みたが，Si の定量を目的とした際に HF を用いた影響で Si 元素が揮散し，十分な情報を得ることができなかった．この経験を通じて，適切な溶解法を整備し，安定した分析支援を提供する仕組みを構築する必要性を強く意識するに至った．

そこで，新たに「試料前処理サービス」（表 5）を設定し，ビーカーを用いた開放系酸溶解（図 33）を中心に運用を開始した．

表 5　試料前処理サービスメニュー

試料前処理 サービスメニュー	内容
試料調製	水に易溶なサンプルの溶解や，高濃度サンプルの希釈を行う．
無機物の溶解・分解	無機化合物等について，硝酸や塩酸などを用いてビーカーによる開放系酸溶解を行い，溶液化する．
有機物の溶解・分解	有機物について，熱濃硫酸や硝酸などを用いてビーカーによる開放系酸分解を行い，溶液化する．
フッ酸を用いた溶解 ※今は実施していない	岩石試料などのSiを含む試料などについて，フッ酸やその他の酸を用いて溶解・分解を行い，溶液化する．

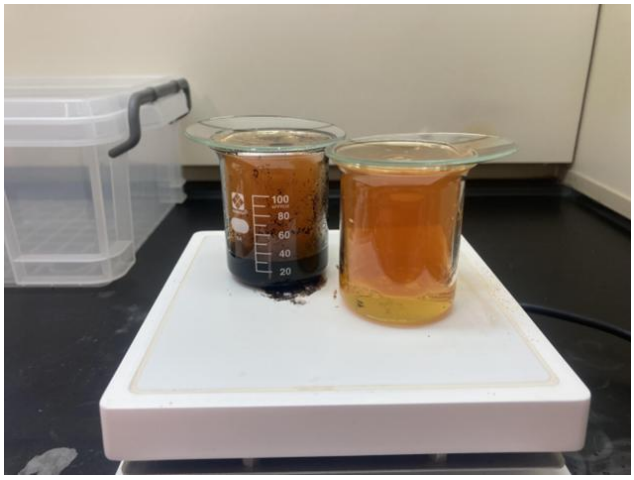


図 33　酸溶解を行っている様子

これにより，従来は断らざるを得なかった固体試料にも対応可能となり，隠れていたニーズを顕在化させることができた．特に学外企業からの依頼では，タルク中の鉄（Fe）定量を目的とし，タルクを丸ごと分解してほしいという要望が寄せられた．固体溶解サービスを適用した結果，良好な分析データを提供することができ，依頼者の研究開発に貢献できた[15]．実績としては，サービス導入初年度に 25 件，2 年目には 58 件と着実に依頼件数が増加している．

さらに近年は，マイクロ波試料前処理装置（図 34）を導入し，固体溶解サービスの適用範囲を大幅に拡大した．本装置は耐圧分解容器を用い，加熱・加圧条件下で試料を処理できるため，従来は困難であった難溶解性物質の分解が可能となった．また，処理中の外部汚染を低減できること，複数試料を同時に処理できることから，分析の信頼性と効率性の両立が実現している．これにより，学内外の研究者に対してより幅広い支援を行える体制へと発展した．



図 34　新規導入されたマイクロ波試料前処理装置

あわせて，従来は検量線範囲を超過した試料に対し，担当者が無償で希釈操作を行うことがあったが，新たに「溶液調製料」を設定し，簡便な溶液調製を有償化した．これにより，持続可能な受託体制を確立するとともに，水に易溶な試料については依頼者が前処理を行わずに依頼できるようになり，依頼測定の利便性と柔軟性が向上した．

以上のように，固体溶解サービスの導入とマイクロ波試料前処理装置の活用は，ICP 分析

の適用範囲を飛躍的に広げ，研究支援の充実化に大きく貢献している．特に学外からの依頼に対応した事例は，固体溶解サービスが研究者支援だけでなく産業界への貢献にも資する有効な仕組みであることを示している．今後も，固体溶解技術を基盤として分析支援体制を強化し，幅広い研究分野の発展に寄与していきたい．

2.3.2　電池材料の固体溶解に関する支援

前節で述べた固体溶解サービスの開始後，本学の学生から電池材料の研究に関して，固体溶解の相談依頼があった．その学生は，負極材を酸化鉄粉末，正極材を金属リチウム（Li）で構築したコインセル型電池を用いて二次電池の充放電サイクル試験を行っていた．コインセル内部では電解液とセパレータを介して電極間でイオンが移動する．研究過程において学生から「酸化鉄粉末中の Fe イオンがどの程度電解液に溶出し，さらにセパレータに吸着されているのか，正極材の Li に付着しているのかを明らかにしたい」という要望が寄せられた．Fe の定量を行うためには，コインセルを解体し，負極の酸化鉄粉末以外の部分の分解・溶解が必要である．セパレータの材質はポリエチレン（PE）であったため，これを完全に分解し，残存する Fe を定量可能な溶液状態へ変換する必要があった．

依頼に対しては，まず固体溶解の観点から支援を行った．トライアルとして，コインセルの充放電には未使用のセパレータを用いての分解方法のレクチャーを行った．セパレータをガラスビーカーに入れ硫酸を少量添加し，セパレータの有機高分子を分解するため，ビーカーをホットプレート上で加熱し，温度を 250 ℃まで上昇させて脱水・分解を進めた．その後，硝酸を数滴ずつ添加しながら，硝酸の強力な酸化作用を利用して残存する炭素成分を二酸化炭素へ転換することで有機物を完全に分解した（図 35）．これにより，セパレータに吸着した Fe イオンがあるとすれば，溶液中に溶出し，ICP-OES による分析が可能な液体状態とすることができた．

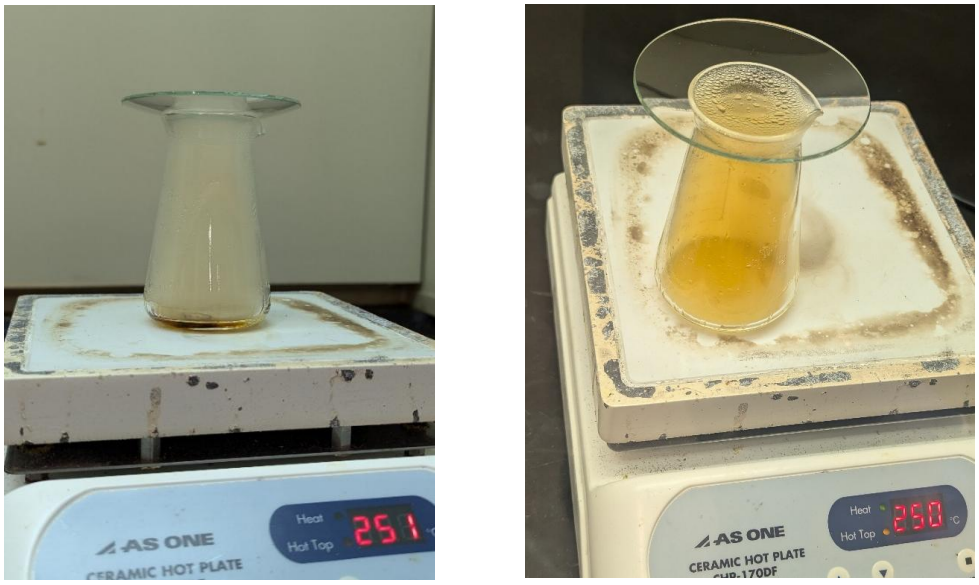


図 35　セパレータの分解の様子

なお，筆者は金属 Li の取り扱い経験がなく，むしろ学生の方が研究活動で日常的に Li を扱っていたため，水溶媒への Li の溶解は学生主体で作業が行われた．筆者はセル解体後の部材洗浄や試料調製の手順を指導し，安全確保と分析準備に重点を置いた．この作業については，学生が主体的に技能を発揮し，筆者自身も新たな知見を得るという双方向的な教育効果をもたらした．

本支援においては，単に分解操作を代行するだけではなく，学生の教育にも取り組んだ．はじめは，コインセルには使用していないセパレータを用いて，筆者が分解操作を実演し，酸の取扱いや高温条件下での反応制御における安全上の注意点を示した．この試料についてはブランク試料として扱った．そのうえで，その他の試料については学生自身に操作を実施させ，必要な手順を習得できるよう指導した．硫酸を高温で取り扱う操作や硝酸の酸化作用を利用した分解は，リスクを伴う一方で，実験化学における基礎的かつ重要な技術である．したがって，この支援は研究活動に資するだけではなく，安全教育と実験技術習得の場を提供し，学生が高度な前処理技術を習得する教育的機会ともなった．結果として，学生は自身の研究に必要なデータを取得するとともに，固体溶解の実践的知識・技術を学ぶことができた．

本事例は，固体溶解技術を媒介として，研究支援と人材育成の双方に貢献した一例である．今後もこのような支援を通じて，次世代研究者の育成にも尽力していきたい．

2.3.3　ICP-OES におけるイオン化干渉対策を行った分析支援

前節に続き，Fe 定量のために用いた ICP 発光分光分析では，Li によるイオン化干渉という技術的課題に直面した．ICP は，試料溶液中の元素がプラズマのエネルギーを与えられることで励起され，発光することによって，その発光強度を観測している．Li はイオン化エネルギーが低く，プラズマ内で容易にイオン化するため，他元素のイオン化が妨げられ，発光強度が減感してしまう．この干渉を補正するため，マトリクスマッチングを行い，試料および検量線溶液の双方にコインセルに用いている金属 Li と同重量の 1 g の Li を添加して条件を統一することを提案した．結果的には，試料中の Fe 濃度は定量限界以下であり，定量値を報告するには至らなかった（図 36）．しかしながら，多量に共存する Li によるイオン化干渉を理解し，その干渉を抑制するためのマトリクスマッチング法の適用を試みる分析条件の検討を行うことができた．

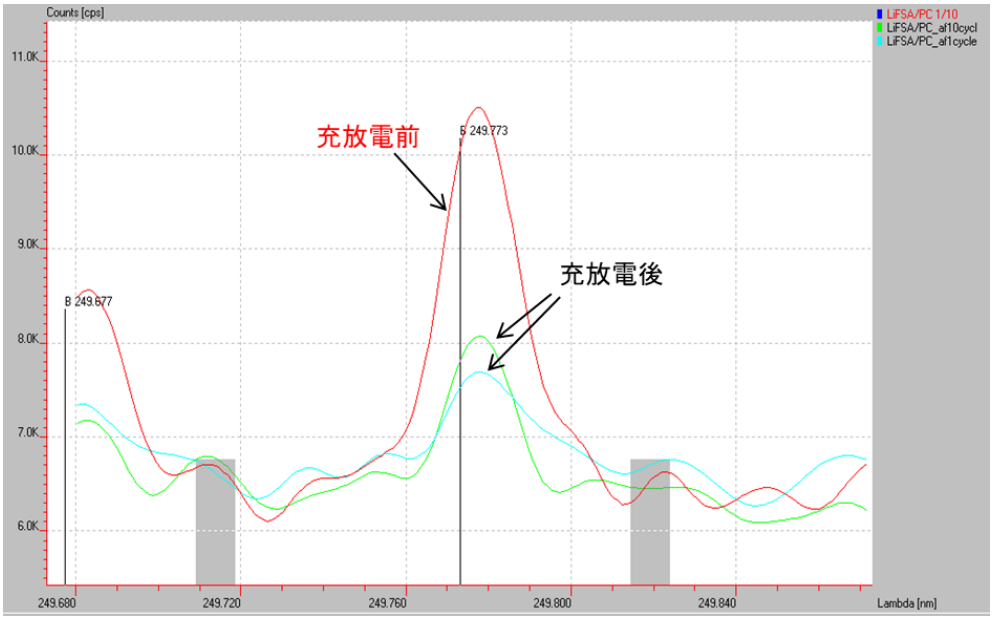


図 36　Fe の定量分析におけるスペクトル

この事例は，分析化学的知見を活用し，難しいマトリクス条件下において適切な分析手法を設計する力が研究支援に求められることを示している．単に試料を測定するのではなく，固体溶解から干渉補正に至るまでの技術的工夫を体系的に導入することで，学生の研究を大きく前進させたといえる．同時に，学生が主体的に実験を担い，筆者が分析上の課題解決を支援するという協働的なプロセスを通じて，研究支援と教育の双方に資する成果を挙げることができた．

第 3 章　分析機器を適切に活用してもらうための環境整備

3.1　分析装置の管理，運営

3.1.1　日々のメンテナンス

筆者が支援しているセンターには，共同利用設備が多数設置されている．これらの装置はユーザー利用が基本となっているため，ユーザーがいつでも問題なく使えるよう，日々のメンテナンスが欠かせない．具体的には，ユーザー使用前後の点検，消耗品のチェック及び交換，機器の清掃，性能確認などを定期的に実施している．これらは装置の性能を維持し，測定データの信頼性を保証するために不可欠な作業である．表 6 に担当機器のメンテナンス作業の一例を挙げる．

表 6　担当機器のメンテナンス作業の一例

担当機器	メンテナンス作業の一例
XRF	・標準試料を用いたライブラリドリフト補正 ・試料室内部クリーニング ・ロータリーポンプのオイル交換
ICP-OES	・ガラス部品の目視チェック ・ガラス部品の希酸やアルカリ洗浄剤によるクリーニング ・送水チューブなどの消耗品チェック及び交換 ・チラーの循環水交換
TG-DTA/DSC	・標準試料を用いた温度較正 ・標準試料を用いたエネルギー較正 ・試料ホルダ及びオートサンプラー位置調整
XRD	・X線管球交換 ・テストサンプルを用いたX線回折強度確認
FE-SEM	・電子ビームの軸調整 ・テストサンプルを用いた観察像の確認
デジタルマイクロスコープ	・消耗品交換 ・テストサンプルを用いた観察像の確認
イオンスパッタリング装置	・ベルジャ内清掃 ・動作確認
クロスセクションポリッシャ	・イオンソース電極クリーニング ・Arビーム軸調整

これらのメンテナンスを通じて装置の異常を早期に発見し，故障を未然に防ぐことが可能となる．さらに，メンテナンス記録を残すことは，トラブル発生時の原因究明や，装置の長期的な状態を把握するための重要なデータとなる．このような地道な作業によって，ユーザーが安心して利用できる環境を整備し，円滑な研究活動を支援している．

3.1.2　トラブル対応

装置が常に正常に動作するよう，定期的な点検やメンテナンスを実施しているが，予期せぬトラブルや不具合が発生することもある．特に，多数のユーザーに利用されているため，トラブル対応は日常的な業務の一部となっている．トラブルの原因は，ユーザーの操作ミスである場合もあれば，装置そのものの不調である場合もあるため，状況に応じて迅速かつ的確な判断が求められる．表 7 に担当装置のトラブル対応の一例を挙げる．

表 7　担当機器のトラブル対応の一例

担当機器	トラブル対応の一例
XRF	・サンプルが試料室内に落下した ・冷却水の水温が非常に高く，X線がシャットダウンした
ICP-OES	・ペリスタルティックポンプから異音がして回転しない ・プラズマが点かない（点火してもすぐ消える） ・冷却水チューブのカプラー部分から水漏れがある ・チラーが完全に動かなくなった（水道水で対応） ・標準溶液を測定しても強度が出ていない
TG-DTA/DSC	・オートサンプラーでパンがキャッチできていない ・試料ホルダの感熱板でAlパンを溶かしてしまった
XRD	・X線回折強度が急に大きく下がった ・装置のドアのロックが閉まらない ・X線管球が切れた ・ナイフエッジの取付けネジをX線発生部付近に落とした
FE-SEM	・試料ホルダを観察室内部で落とした ・装置電源が点かない，ブレーカーが落ちる ・予備排気が完了せずロータリーポンプが停止した ・観察終了後，試料ホルダが付いてこず取り出せない
クロスセクションポリッシャ	・異常放電エラーが出る ・試料が加工されてない

なお，ICP においては，旧装置は 2025 年 2 月中旬に運用を終了し，2025 年 3 月に新しい装置に更新された．旧装置では，起動不良をはじめとする深刻なトラブルが頻繁に発生し，ユーザーの皆様には多大なご迷惑をおかけすることになった．現在は新しい装置の導入により，トラブルなく円滑に測定が進められており，安定したサービスが提供できている．

装置のトラブル対応において，その場で原因を特定し解決できる場合がある一方で，原因究明に時間を要する場合もある．これは筆者の経験不足に起因する側面も否定できない．トラブルの根本原因を特定し，適切な解決策を見出すためには，各装置の動作原理や内部構造に関する深い理解が不可欠である．

メーカーの技術者は，意図的にトラブルを再現しそれを復旧する訓練を積むが，筆者らが

管理する実機で同様のトレーニングを行うのは現実的ではない．そのため，日々のトラブル対応を通じて経験を蓄積していくことが，技術力向上には欠かせない．したがって，些細な不具合であっても積極的に相談してもらうことが，迅速な問題解決につながり，また，貴重な経験となっていく．

3.1.3　操作講習・マニュアル作成

トラブルを未然に防ぐため，操作講習の実施も重要な取り組みと位置づけている．ユーザーからの依頼に応じて随時実施しており，筆者が担当する全ての装置に対応している．特にXRF（蛍光X線分析装置）については，安全管理を徹底している．利用者は，学内の放射線業務従事者登録とオンライン教育研修を完了した上で，実機を用いた安全教育を受講することが必須である．この安全教育は，初めて利用する方すべてに対して実施しており，操作講習も兼ねている．

ユーザーの誤った操作がトラブルを引き起こす事例は少なくない．他大学では，依頼分析に限定したり，ライセンス制度を導入したりするなど，様々な対策が取られている．本学も，これらの事例も参考にしながら，本学の運用に適したトラブル防止策を講じていく必要がある．

しかし，操作講習を行っても，ユーザーが操作手順や注意点を忘れてしまうことはよくある．数百ページに及ぶメーカーのマニュアルは，学生にとって負担が大きく，読まれることが少ないのが現状である．そこで，基本的な操作や特に注意すべき点をまとめた独自の簡略マニュアルを作成し，利用者がスムーズに装置を使えるよう環境を整備している．このマニュアルには，文章だけでなく写真やイラストを多用し，誤読や操作ミスを未然に防ぐ工夫を凝らしている．さらに，ユーザーフレンドリーなマニュアル作成を目指し，学生アシスタントに作成したマニュアルの読みやすさやわかりやすさを確認してもらったり，まだマニュアルが整備されていなかった装置については，その装置のユーザーでもある学生アシスタントにマニュアルを作成してもらったりするなど，利用者の視点を積極的に取り入れることも重視している．

3.1.4　仕様策定，料金設定

センターで運用されている共用機器について，新たに装置を導入する場合，担当の技術職員が仕様策定及び料金設定に携わる．筆者も，2024 年度に概算要求予算で導入が決定した ICP-OES 及びマイクロ波試料前処理装置について携わったので，表 8 に記す．

表 8　仕様策定，料金設定に携わった装置など

仕様策定に 携わった装置	・ICP-OES ・マイクロ波試料前処理装置
料金策定に 携わった装置	・FE-SEM及び周辺機器の利用料金（新装置導入による改訂） ・ICP-OES及び周辺機器の利用料金（新装置導入による改訂） ・熱分析装置の依頼測定料金（新設） ・固体溶解の依頼作業料金（新設）

仕様策定には学内の既存ユーザーの教員を委員として選出し，意見を伺いながら仕様の検討を進めた．これまで ICP の管理者として，そしてユーザーとして，旧装置の問題点や新装置で改善すべき点，推奨機能などを提案し，打ち合わせを行いながら仕様策定を進めた．

また料金設定について，ICP については消耗品，定期交換部品，メンテナンス費にかかる料金を，年間の予想使用時間で割り，時間当たりの料金を算出した．ICP はアルゴン（Ar）プラズマを立てているため，Ar ガスを大量に使う装置である．旧料金体系では Ar ガスの値上がり分が反映されておらず，使用するほどに赤字だったところを，きちんと改めることとした．依頼分析料の設定においても，Ar ガスの使用料金分をきちんと賄えるよう改訂を行った．これにより，持続可能な運用体制を整えることができた．

マイクロ波試料前処理装置については，分解容器 1 本あたりのレンタル料を設定し，少ないサンプル数でも試料前処理に取り組みやすい料金とした．

3.2　XRD 測定の条件設定のための資料作成

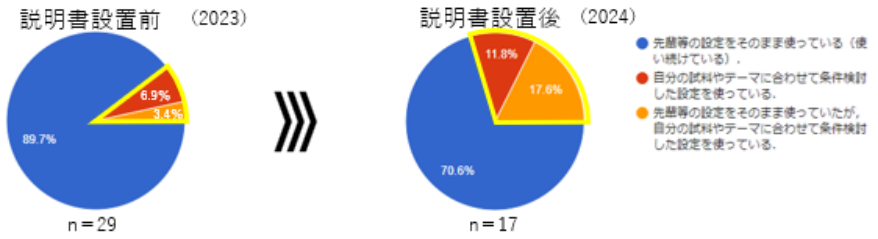
本学の XRD は原則としてユーザー利用であり，誰でも気軽に測定を行うことができる．操作自体も比較的容易であるため，研究室内では先輩から後輩へと測定方法の指導が引き継がれている．しかし，操作原理や各パラメータの影響を十分に理解しないまま測定を行うと，装置の甚大な損傷につながったり，必要な結果を得るまでに余分な時間を費やしたり，期待した成果が得られなくなったりする可能性がある．

このような背景から，ユーザーが変更する可能性のある以下のパラメータを取り上げ，測定条件設定に関する解説資料を作成し，装置のそばに設置した．

① 開始角度
② 終了角度
③ サンプリング幅
④ スキャンスピード
⑤ 管電圧
⑥ 管電流
⑦ 発散スリット
⑧ 発散縦制限スリット
⑨ 受光側ソーラースリット
⑩ 散乱スリット
⑪ 受光スリット
⑫ ナイフエッジ

資料の効果を確かめるために，ユーザーを対象として，資料設置前と設置後の各パラメータの意味や変更時の影響について，どの程度理解しているかを問う質問紙調査を実施した．結果を図 37 に示す．

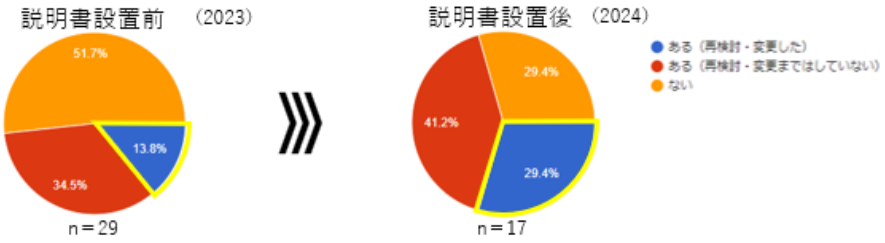
Q2. XRDの設定はどのように決定していますか？



全体の9割が無検討

自分の試料やテーマに合わせて
条件検討をする学生が
1割から3割に増加

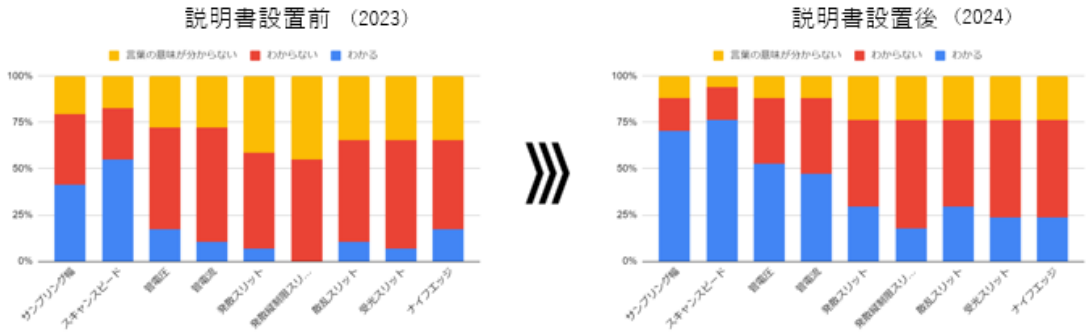
Q3. XRDの設定を気にしたことがありますか？



気にしたことがあるという
学生は1割強に留まる

XRDの設定を再検討・変更した
という学生が3割に増加

Q5. 以下の各設定の変更で測定結果（XRDプロファイル）がどのように変化するかわかりますか？



全ての設定項目において「わかる」の割合が増加した.
「言葉の意味がわからない」の割合は減少した.

図 37　質問紙調査の結果

この質問紙調査から，資料設置前は 9 割近いユーザーが測定のパラメータの変更について気にしたことがない，または気にしたことはあるが再検討や変更はおこなっていないことが明らかとなった．また各パラメータの意味や測定結果への影響を理解している割合も低かった. 一方, 資料設置後には, ユーザーが設定を再検討・変更した割合が増えたとともに, パラメータについての理解度も向上しており，資料作成・設置の教育的効果が示されたといえる．

本取り組みは，学生や教員からも好評を得ており，教育的にも有益であったと考えられる．本学の XRD には高速測定が可能な D/teX Ultra が搭載されており，定性分析であれば比較的短時間のスキャンでも十分な結果が得られる場合が多い．ユーザーが頻繁に利用する装置においては，効率的な利用が求められる．今後，ユーザーがパラメータの意味を十分に理解し，使いこなし，適切な設定で測定を行うことを期待する．

3.3　テクニカルレターの作成

技術職員には長年培ってきた知識や技術を持つ方も多い．しかし一方で，その存在や活動内容が十分に周囲に認知されていないという課題も感じてきた．多くのユーザーや教員にとって，技術職員がどのような役割を担い，どのような支援を行っているのかは「見えにくい」ものである．この「技術職員の見える化」は，大学における研究支援の質を高めるうえで重要なテーマであると考える．

その解決の一助とすべく，筆者は学内教員向けに「テクニカルレター」を発刊する取り組みを新たに始めた．これは，装置の利用や分析に関する知識を短い読み物の形でまとめ，教員にメール配信するとともに，装置のそばにも設置して，利用者が気軽に手に取れるようにしたものである．目的は三つある．第一に，ユーザーが抱える測定上の課題を解決するヒントを提供すること．第二に，技術職員が持つ知識や工夫を可視化し，教員にとっての研究支援の選択肢を広げること．第三に，自らの文章力や情報発信力を高めるトレーニングとすることである．

分析機器の運用においては，適切な前処理や機能の使い分けといった細かいことが，測定結果やその信頼性を左右することが多い．しかし，こうした知見は必ずしもマニュアルに記載されているとは限らず，ユーザー自身も気づきにくい場合がある．テクニカルレターを通じて，測定値の妥当性を確保するための工夫や，普段見落とされがちな装置の便利機能などを紹介することで，ユーザーの理解を深め，分析結果ひいては研究の質を高めることができると考えている．

この取り組みを始めた背景には，「技術部としてのアウトプット不足」という問題意識もあった．全国には研究論文を執筆するような研究者レベルの技術職員もいるが，多くの場合，地方大学で働く職員は，機器の維持管理や運用，学生実験対応，学内行事の対応など業務は多岐にわたる．そのため，文章執筆や情報発信の機会は限られており，せっかくの技術や知識が外部に発信されずに埋もれてしまうことが多い．しかし，技術職員が持つ高度な技術やノウハウは，研究者にとって新しい分析依頼や研究テーマの着想につながる可能性がある．だからこそ，積極的なアウトプットが必要であると考え，テクニカルレターとして形に残すこととした．

内容は，あくまで「手紙のように気軽に読める短いもの」とし，テーマも比較的小規模なものに限定した．例えば「XRF 測定における粒子サイズの影響」や「XRD 測定における蛍光 X 線軽減モードの活用」といった，ユーザーが測定時に直面しやすい話題を扱った．文

量も A4 で 1～2 ページに収め，読みやすさを重視した．長大な資料では読まれない可能性が高いため，短くても要点が伝わる形式を心がけている．また，今後困ったときに参照できる技術的なデータベースとして活用してもらうことも意図している．極端にいえば，「もう一人の筆者」をつくるようなイメージであり，利用者はレターを読むことで問題解決や新しい活用法を見いだせるようになる．

公開方法としては，学内の湖山地区の全教員にメールで配信するとともに，研究基盤センターのホームページでも公開していただいた．これは副センター長の森本准教授の協力を得たものであり，技術職員の存在や活動を広く示す機会となった．

筆者は現在までに 5 報のテクニカルレターを執筆しており，そのうち 2 報については完成済みのためメール配信している．残りの 3 報については現在仕上げを行っている段階であるが，参考資料として先んじて装置の傍に設置しユーザーに読んでもらっている状況である．メールで配信する以上，一定の体裁を整える必要があるため，森本准教授に添削をお願いしながら慎重に発刊を進めている段階である．今後はさらに整備を進め，継続的に発刊していく予定である．

この活動は筆者の発案によるものであるが，将来的には他分野の技術職員にも参加を呼びかけたいと考えている．無機化学系の分析装置に偏りがちな現状を超えて，農学や工学，ものづくり関連の装置担当者など多様な分野の知見を集めることで，大学全体の研究支援に寄与できるはずである．技術部では年 1 回の「技術部報告」で活動紹介や研修報告を行っているが，テクニカルレターはより気軽で更新頻度を高められる点に特徴がある．まずは筆者自身が一定数を執筆して実績を示し，効果や反応を明らかにすることで，取り組みへの賛同を広げていきたい．

現状，大学教員は多忙を極めており，教育・研究に加えて多くの業務を抱えている．その中で，技術職員が技術的な支援を積極的に担うことで，教員の負担を軽減し，限られた時間を研究に集中させることができれば，大学としての研究力向上につながると考える．テクニカルレターはその一助として，技術職員の知識を「見える化」し，研究推進を支える仕組みである．

これまでに執筆したテーマは以下の通りである．

・XRF 測定における粒子サイズが測定値に与える影響（メール公開済み）
・XRD 測定における蛍光 X 線軽減モードの活用（メール公開済み）
・ICP-OES におけるイオン化干渉の低減方法（装置設置）

・FE-SEM（JSM-9701F）の紹介（装置設置）

・非導電性試料における FE-SEM の積算モード活用（装置設置）

これらは教員から一定の評価を得ており，今後も継続的に発刊を進めていく予定である．テクニカルレターは，技術職員の知識と存在を可視化し，研究支援の新たなかたちを示す取り組みとして，今後さらに発展させていきたい．

3.4　XRF 利用環境改善の取り組み（分子科学研究所 研究設備共用加速事業）

蛍光 X 線分析装置（以下，XRF）は，主に固体試料を対象として，試料中の含有元素を定性・定量することができる装置である．本学の全学共用研究設備である XRF は，2010 年に導入されて以降，学内外の研究活動に広く利用されてきた．当該 XRF は金属材料や微粉末試料を測定対象とし，試料ホルダも金属製となっている．それにも関わらず，強力な超電導マグネットをもつ核磁気共鳴分光分析装置（以下，NMR）と同室に設置されていた．金属部品等を取り扱うことは安全性や装置トラブル防止の観点から望ましくない．また，装置管理を担当する技術職員（筆者）が，複数の分析機器を建物やフロアを跨いで管理しており，利用者からの測定相談やトラブルに迅速な対応ができないことがあった．また，導入から 13 年が経過しており，2022 年に X 線管球の交換は行ったものの検出部は導入当初のままであり感度低下が懸念された．このように，設置環境や利用者支援体制に課題があり，研究支援の質を維持する上で改善が求められていた．

これらの課題を解決するため，筆者らは共用設備加速事業に申請し，225 万円の予算を獲得した．計画の柱は，①XRF の安全な機器室への移設，②メーカー技術者によるフルメンテナンス，③利用者支援体制の強化である．移設先は，筆者が管理する誘導結合プラズマ発光分光分析装置（ICP-OES）と同じ部屋であり，筆者が常駐する技術部室からも近い．これにより，利用者の相談に対して即座に対応することが可能となり，XRF と ICP-OES を関連づけた装置利用の広がりも期待できた．

移設作業に際して，新たな設置レイアウトの検討や代理店との調整に加え，チラーの給排水を行う床下の水道設備を点検し，適切な配管部品を検討・製作した．これらは技術職員が研究環境整備に果たす役割の大きさを示す事例である．

移設後にはメーカーによるフルメンテナンスが実施され，全ての性能項目が基準を満たすことが確認された．安定稼働と信頼性の高いデータ提供が可能となったことは，依頼分析を含む研究支援活動にとって重要な成果である．さらに，学内外への広報や利用説明会も併せて実施した．学内では 4 研究室 6 名が参加し，これまで利用実績の少なかった土木系や機械系分野にも装置を紹介できた．また，地域ネットワーク「とっとりイノベーションファシリティネットワーク（TIFNet）」を通じた情報発信により，学外からの分析依頼拡大にもつながった．

2024 年度の XRF 利用実績は，登録者数 29 名，延べ 102 回・計 299 時間であり，前年度を上回った．この中には新規利用者からの依頼 11 件が含まれ，装置環境の改善が新規利用

促進に結びついたことが確認できた．また，ICP-OES 利用者が XRF に関心を示すなど，関連機器を基盤とした利用者交流の広がりも生まれた．

本事例は，技術職員が装置管理だけでなく，安全性確保，性能維持，研究者支援，学内外への広報を含めた包括的な支援を実践した成果である．研究者が安心して高品質なデータを得られる環境を整えることは，研究の円滑な遂行と進展を下支えする基盤であり，技術職員の専門性と柔軟な対応力が不可欠であることを改めて示している．今後は測定オプションや多様な利用事例の紹介をすることで，学内外への共用拡大や地域連携を通じて，研究支援活動をさらに発展させていきたい．

第 4 章　専門技術を用いた科学教育活動

4.1　出前おもしろ実験室

本学技術部では，平成 18 年（2006 年）より「出前おもしろ実験室」（以下，出前実験）と称する地域貢献活動を継続して実施している[16-18]．本活動は，県内外の小学校や公民館などに実験機材を持ち込み，子どもたちに科学実験を体験させ，科学の楽しさやおもしろさを伝えることを目的としている．これまでの実施回数は延べ 197 回，参加者人数は延べ 10,000 人を超えた（2025 年 10 月 15 日現在，学内外で実施した科学実験イベントを含む）（図 38）．

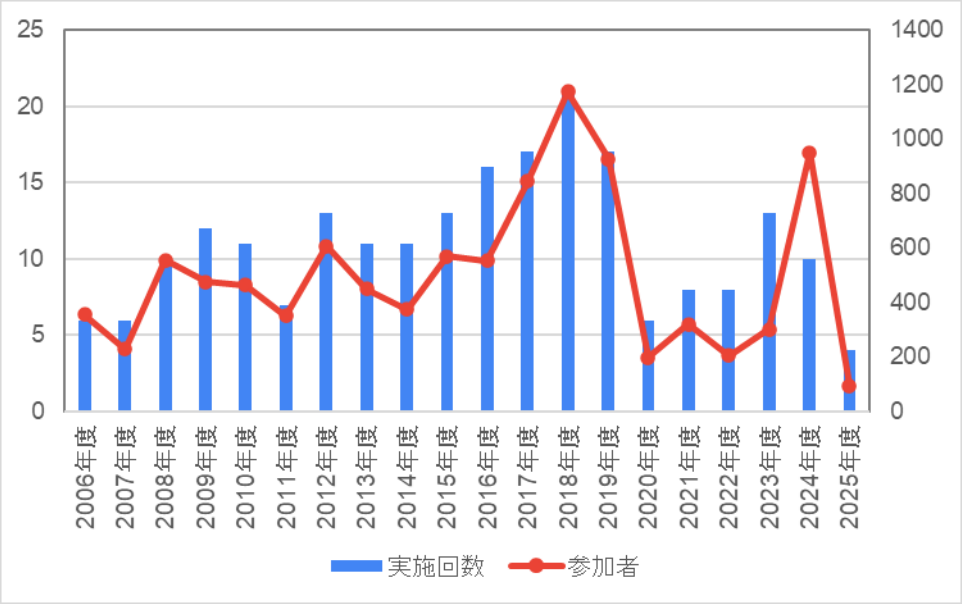


図 38　出前実験の実施回数と参加者数の推移

筆者は入職当初からこの活動に携わっており，液体窒素冷却による物質の状態変化や，鳥取砂丘の砂を流動化させる固気流動層など，物理や化学に関する多様なテーマの実験を担当してきた．なかでも固気流動層の実験は，粉粒体が下部からの送風によって液体のように振る舞うという現象を応用したものであり，鳥取砂丘の砂を活用し，筆者が考案したものである[19]．この粉粒体の流動化という現象は何十年も前から知られ，工業分野では広く利用されている[20]が，科学教育教材として地域資源である鳥取砂丘の砂を活用している点に独自性をもち，出前実験でも非常に人気の高い実験テーマとなっている．

また，平成 29 年度（2017 年度）までは，出前実験は開催するのみで，参加者の理科や科学に対する意識や出前実験の満足度などを把握する仕組みがなかった．そこで筆者は，活動

の効果を客観的に評価するため，平成 30 年度（2018 年度）より質問紙調査の導入を提案し，実施した[21]．初回調査では，幼児から中学 3 年生までの参加者 300 名（男 145 名，女 155 名）から回答を得た．その結果，理科・科学が「好き」と回答した割合は男 85%，女 87%と高く，さらに，「科学をもっと知りたい」と回答した割合は男女とも 8 割を超え，出前実験が科学への興味関心を高めるきっかけになっていることが示された．その後も継続的に実施した調査からは，年代が上がるにつれて理科・科学への関心が低下する一方，小学生では理科嫌いの子どもは少数派であることが確認された（図 39）．

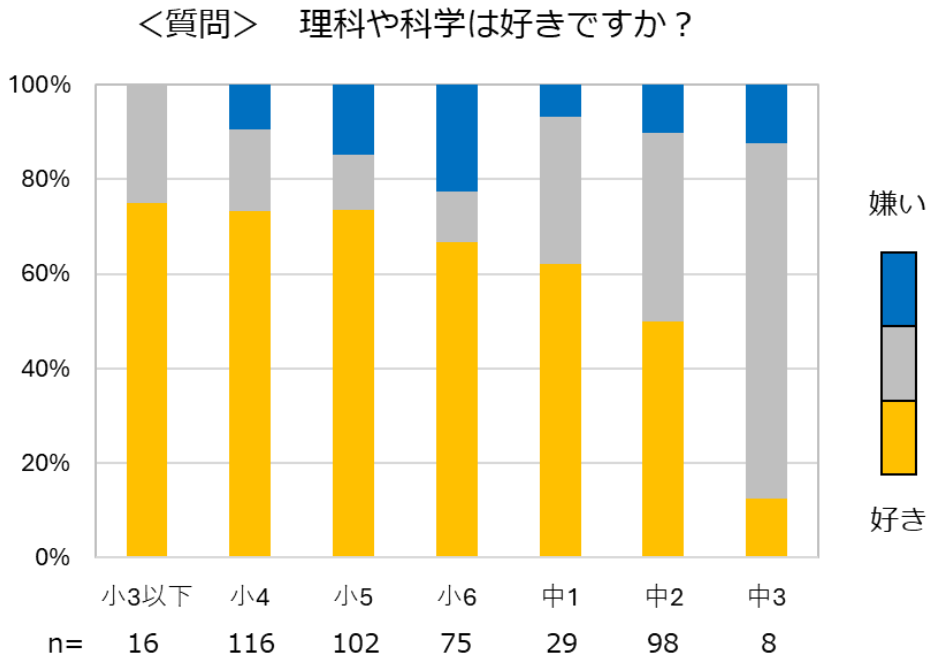


図 39　質問「理科や科学は好きですか？」の回答結果

小学生段階では，観察や実験を通して現象を体感的に学ぶことが多いが，中学・高校段階になると座学の比重が増し，抽象的な概念理解が必要となり学習の難易度が上がる．特に元素記号や化学式の学習は，目に見えない事象を記号で扱うことから理解が困難になると考えられる．したがって，小学生期に育まれた理科・科学への好奇心を維持するには，体験的・実験的な学びを継続的に提供し，具体的なイメージ形成を促すことが重要である．しかし，教育現場や家庭内においても十分に実験や科学体験ができていないという回答も得られている．出前実験を通じて，理系離れの抑制やおよび理系進路志向の促進に資する実践的知見を得たと考えている．

4.2　鳥取砂丘の砂を用いた大型固気流動層の製作（科研費採択課題）

4.2.1　「粒子概念」形成の重要性と新しい教育手法の提案

物質は原子などの微小な粒子で構成されるという「粒子概念」の理解は，理科や科学において物質の性質や状態変化を学ぶ上で極めて重要である[22,23]．しかし，小学校で理科を初めて学ぶ児童にとって，「目に見えない粒子の動き」を具体的にイメージすることは難しく，教育現場では模型やアニメーションによる粒子挙動の可視化が試みられている[24-27]．筆者は，視覚情報に加えて触覚を用いた教材を取り入れることで，粒子の挙動をより実感的に理解させられると考え，2015 年より鳥取砂丘の砂を用いた固気流動層の体験を，出前実験の中で展開してきた（図 40）．鳥取砂丘の砂は平均粒径が約 0.2～0.3 mm と小さく粒度が均一であり[28]，適度な風量で粒子層が持ち上がること，ブロワの風で粒子が舞いにくく人体への影響が少ないこと，粒子サイズの違いからくる「偏析」が発生しにくいことなどから，流動化に適している．さらに，地域資源を活用した教材とすることで，科学への関心に加えて郷土に興味を持つ大きなきっかけにもなる．固気流動層では，粉粒体が下部からの送風によって流動化し，固体粒子が液体のような挙動を示す．その様子を「目で見る」と同時に「手で触れる」ことで，固体状態と液体状態の違いを感覚的に理解できるため，粒子概念の形成を促す教材として有効である．

筆者は，これまで使用してきた小型の固気流動層を大型化し，より多くの子どもたちが同時に体験できる装置の製作を目的として，「鳥取砂丘の砂を用いた大型固気流動層による革新的な科学教育装置の開発と効果検証」という研究課題で科学研究補助金事業「奨励研究」に応募し，採択された．大型化によって子どもたちに大きなインパクトを与え，子どもたちの科学への興味・関心をより一層高めることが期待できる．化学分野での粒子概念形成を目的として，鳥取砂丘の砂と固気流動層を組み合わせた教材開発は，管見の限り本研究が初の試みである．



図 40　出前実験での小型固気流動層を用いた実験の様子

4.2.2　固気流動層装置の原理と製作過程

固気流動層では，容器内に充填した粉粒体の間隙を空気が通過する．送風速度が増すと粒子は浮き上がり（最小流動化），やがて粒子に働く重力と抗力が釣り合った状態で層全体が均一に動く（均一流動化）（図 41）．粒子同士の接触が減少し，粒子は自由に運動できるようになることから，原子・分子が自由に動く液体の状態と類似する．

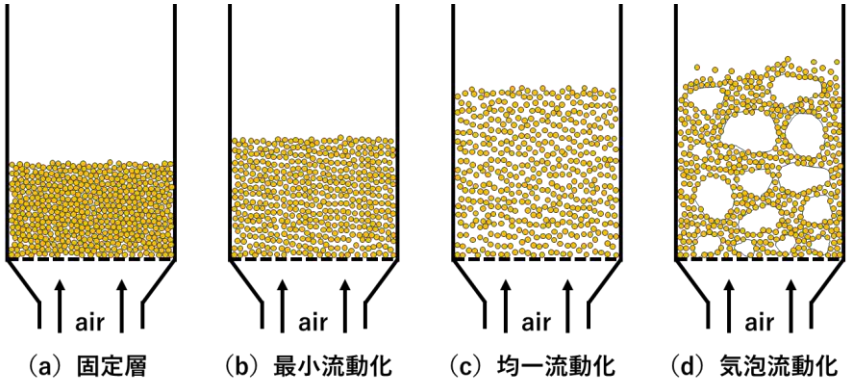


図 41　固体の流動化の種類

流動層の容器には，内径 600 mm，高さ 700 mm，容量 200 L の樹脂製容器（T 型丸槽（ポリエチレン製），ダイライト株式会社）を用いた．容器底部に設置した分散板は，孔径 8 mm の多孔板を二重に重ね，その間にフェルト生地を挟むことで，砂を保持しながら空気を通す構造とした（図 42）．



図 42　容器底部に設置した分散板

送風には高静圧タイプの送風機（ガストブロア U2V-150，昭和電機株式会社）を用いた．インバーター制御とすることで，送る空気の細かな流量調整を可能とした．充填する砂には，本学の国際乾燥地研究教育機構の許可を得て，鳥取砂丘で採取した約 150 kg の砂を使用し

た．採取したばかりの砂には植物の根や葉，送風で舞い上がってしまうような微粒子も含まれていたため，米を研ぐ要領で砂を水洗いし，天日干しして乾燥させたのちに充填した．装置の全体図を図 43 に示す．



図 43　大型固気流動層の全体図

4.2.3　教育的効果の検証と今後の展望

大型装置完成後，2024 年度には県内外で 5 回の出前実験と 2 件の科学イベントで展示・体験を実施した（表 9）．体験者は，幼児をはじめ小中学生や高校生，その保護者や一般市民までと幅広く，延べ体験者数は約 1,800 名に達した．特に「おもしろワクワク化学の世界’24」（日本化学会中国四国支部主催）および「サイエンスアゴラ 2024」（科学技術振興機構主催）では多くの来場者を集めた．

表 9　2024 年の大型固気流動層の実演実績一覧

No.	開催日	実施イベント	開催場所（所在地）	対象（学年，人数）
1	6/23	出前実験①	津ノ井小学校（鳥取市）	小学5年生，18名
2	7/30	出前実験②	伯耆しあわせの郷（倉吉市）	小学3〜6年生，20名
3	8/3	出前実験③	鳥取信用金庫（鳥取市）	親子20組
4	8/23〜25	おもしろワクワク化学の世界‘24	丸由百貨店（鳥取市）	一般参加者約900名
5	9/20	出前実験④	鳥取北中学校（鳥取市）	中学1〜3年生，20名
6	10/6	出前実験⑤	青谷中学校（鳥取市）	中学2年生，24名
7	10/26〜27	サイエンスアゴラ 2024	テレコムセンタービル（東京都）	一般参加者782名

体験者のうち小学生および中学生を対象に，質問紙調査の実施と理解度確認問題（4 問）を実施した．質問紙調査では，理科・科学への興味関心，固体と液体の違いに対する理解，粒子概念の理解度などについて，5 段階評価で回答してもらった．理解度確認問題は，物質の状態変化や砂が流動化する理由などに関する内容で，3 択形式とした．

その結果，理科・科学に対する興味（好き嫌い）については，全学年で実験後に「好き」と回答した割合が増加した（図 44）．また，「固体と液体の違いを理解できましたか？」「固体も液体も粒子（小さなつぶ）の集まりであることが理解できましたか？」という質問に対しては，小学 4 年生以上の児童・生徒の 80～90%以上が「理解できた」と回答した（図 45，図 46）．一方で，理科をまだ学習していない低学年では，現象の理解や質問内容の理解が難しかった可能性が示唆された．理解度確認問題では，どの設問も全学年で高い正答率（概ね 95%前後）が得られた．体験者からは「砂を利用して固体液体の違いを体験できる良い機会でした.」「言葉だけでなく体験することでより分かりやすく学べました.」などの感想が寄せられ，視覚だけでなく触覚により理解を促す教材として高い関心を得た．

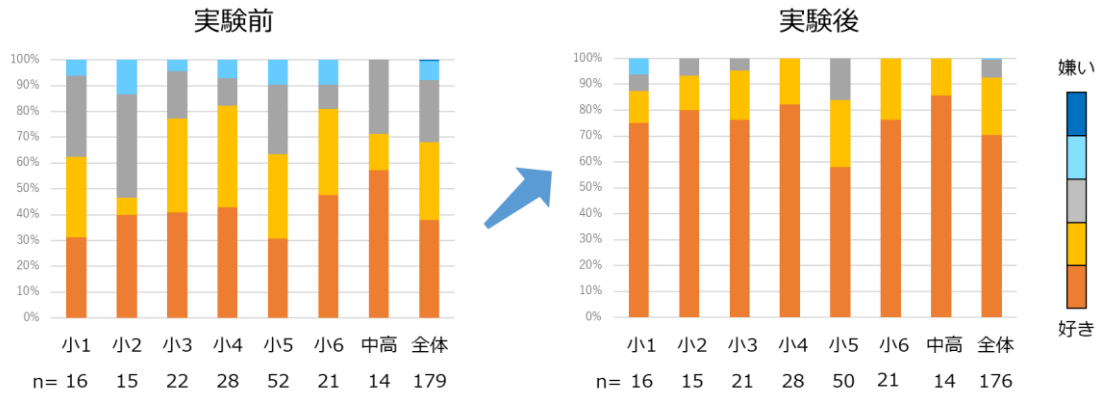


図 44　理科・科学への興味（好き嫌い）の度合いの変化

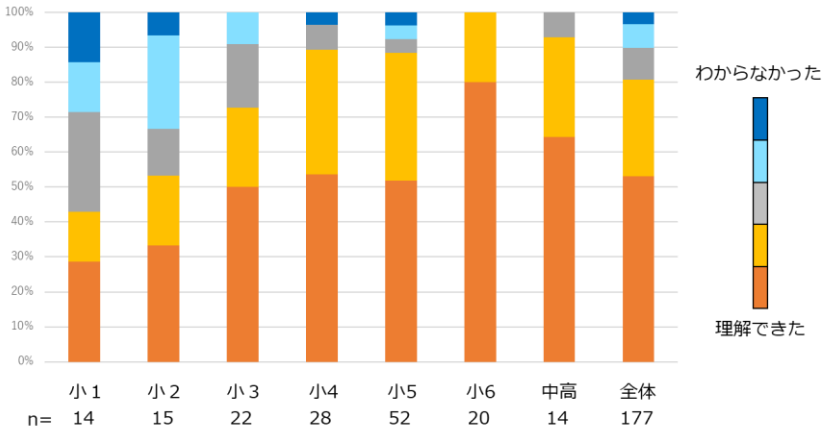


図 45　質問「固体と液体の違いについて理解できましたか？」の回答結果

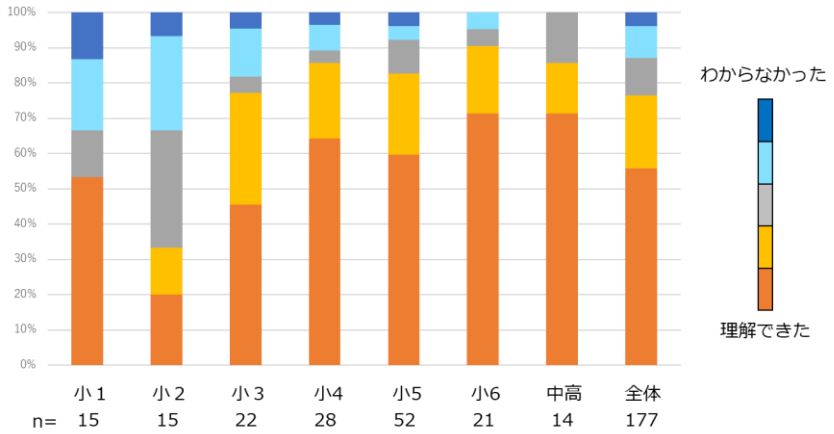


図 46　質問「固体も液体も粒子（小さなつぶ）の集まりということが理解できましたか？」の回答結果

本実験を通じて，体験者からは「おもしろい！」，「なんで？」といった声が多くあり，好奇心が刺激されることで学習意欲が高まったと考えられる．理解度確認問題では全学年で高い正答率が得られ，参加者が単に実験を楽しむだけでなく，現象を自ら考え，知識として定着させていることが示された．一方で，低学年では「理解できた」と回答した割合がやや低かった．これは，低学年児童では自らを客観的に見る力（メタ認知能力）が発達途上であるとされており[29-31]，科学現象を感覚的に捉えて正答できても，自信をもって「理解できた」とは回答しにくかった可能性がある．また，質問文の「固体」「液体」「粒子（小さなつぶ）」「理解できましたか？」などといった抽象的な表現も，質問の意図を汲み取りにくかった一因であると考えられる．

以上の結果から，本装置を用いた体感型実験は，従来の視覚中心の教材では得がたい「粒子の運動を感じる体験」を提供し，粒子概念の形成や科学的思考の育成に効果的であることが示された．また，鳥取砂丘という地域資源を活かして製作した大型固気流動層は，子どもたちが郷土や科学に関心を向けるきっかけとなる教材として，大きな教育的意義を有することも示唆された．今後は，小・中学校の理科単元と連携したカリキュラム開発や，VR（仮想現実）や AR（拡張現実）の技術を組み合わせた教材への展開も視野に入れている．体験を通じて「目に見えない粒子の世界」を直感的に感じ取ることができる本装置は，科学教育における新たなアプローチとして期待できる[32,33]．

4.3　鳥取砂丘を題材とした電子顕微鏡体験イベントの企画と実施

4.3.1　技術部による地域貢献活動の課題と新プロジェクトの発案

本学技術部では，4.1 節でも述べたように，これまで「出前おもしろ実験室」と称して県内外の小学校や親子会，公民館等に出向き，科学実験教室を実施してきた．これらの活動は，地域への科学啓発および教育支援として大きな意義を有していたものの，近年その実施体制にいくつかの課題が生じていた．

第一に，担当職員の減少である．かつて中心的に活動していた複数の職員が退職し，出前実験に対応できる人数が減った．第二に，職員の多忙化である．若手は中堅へ，中堅は管理職へと立場が変わるにつれ，各人が抱える業務が大幅に増加し，出前実験に充てる時間が確保しにくくなっている．さらに，結婚や出産など家庭環境の変化により，休日出勤が難しい職員も増加した．その結果，出前実験は少人数で対応しなければならなくなり，活動が職員に大きな負担をかけていることが明らかとなった．この課題に対し，本学学生を協力メンバーとして迎え入れ，職員の負担軽減とともに，本学が掲げる「人間力」の育成にもつなげる取り組みも行っている．しかし，学生への実験指導や雇用手続きなど新たな業務も発生しており，職員の負担軽減効果は十分には得られていないと感じる．

こうした状況の中でも，地域への科学啓発活動を継続するためには，実施回数よりも内容の質を重視し，「大学職員だからこそできる専門的で付加価値の高い企画」に転換する必要があると考えた．鳥取砂丘の砂を使って固気流動層を製作した経験を元に，「地域資源 × 高度科学技術」というコンセプトのもと，「鳥取砂丘の砂を電子顕微鏡で観察する」という新たな科学教育プロジェクトを発案した．鳥取砂丘という地域資源を題材とすることで，郷土への関心を高めるとともに，電子顕微鏡という高度な科学技術に直接触れる体験を通じて科学的探究心や理系分野への関心を育むことを目的とし，将来，地域で活躍する科学技術人材の育成に寄与することを狙いとした．

4.3.2　イベント計画・準備および当日の実施内容

イベント実施を目的とした外部資金調達のため，株式会社 鳥取銀行が社会貢献の一環として設立した「とりぎん青い鳥基金」[34]への申請を行った．この基金は「地域の将来を担う青少年の健全育成と地域文化の振興」を目的としており，SDGs の「目標 4：質の高い教育をみんなに」というテーマも含んでいる．当該基金と本プロジェクトの趣旨が合致していたことから，申請が採択され，開催に向けた準備が本格化した．

プロジェクトは筆者が中心となり，複数分野の技術職員と連携して実施体制を整えた．電子顕微鏡の担当である筆者のほか，無人航空機（ドローン）の活用を担当する社会基盤技術分野の職員，鳥取砂丘の概要説明等を行う乾燥地科学分野の職員，化学反応を用いたものづくり体験を担当する機器分析分野の職員など，技術部内の複数分野にまたがり協力をお願いした．

広報活動では，チラシ・ポスター（図 47）を作成し，鳥取市教育委員会のポータルサイトへの掲載，県内中学校・高校・図書館などへの郵送配布，さらに学内メールによる周知を行った．



図 47　広報用チラシ

イベントの開催概要を表 10 に示す．また，イベントの様子を図 48 に示す．

表 10　イベントの概要

開催日時	令和6年8月2日（金）10:00～15:00
開催場所	〈午前〉乾燥地研究センター 〈午後〉鳥取大学ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー棟
参加者	9名（中学生5名，高校生4名）
当日のタイムスケジュール及び活動概要	
10：00 ～	・鳥取大学広報センター前に集合 ・乾燥地研究センターへバスで移動
10：30 ～	・測量技術の変遷に関する講義 ・無人航空機（ドローン）の操縦体験 100g未満のDJI製ミニドローン「tello」を用いた．
11：00 ～	・鳥取砂丘に関する説明 乾燥地学術標本展示室（ミニ砂漠博物館）を見学した． ・鳥取砂丘の砂の採取 参加者自ら鳥取砂丘の砂の採取体験を行った． ※国際乾燥地研究教育機構へ許可取得済み
11：30 ～	鳥取大学へ移動
12：00 ～	休憩（参加者同士，スタッフとの交流会）
13：00 ～	・電子顕微鏡についての座学 光学顕微鏡との違いや原理についての説明を聞いた．
13：15 ～	・電子顕微鏡観察体験 キーエンス製VHX-5000及びD500を用いて鳥取砂丘の砂の観察を行った． 撮影した電子顕微鏡像はその場で印刷しお土産として配布した． ・記念品作成 真鍮製試料台と鳥取砂丘の砂をUVレジンで固めたキーホルダーを製作した．
15：00	イベント終了





図 48　科学体験イベントの様子

4.3.3　質問紙調査の結果と考察・まとめ

イベント終了後，参加者に質問紙調査を実施した（図 49〜51）．最も勉強になった内容としては電子顕微鏡体験が最多であり，次いで乾燥地研究センターでの見学が挙げられた．興味を持った内容では，電子顕微鏡体験と記念品製作が同程度の人気を集めた．イベントに参加した理由としては，「家族や学校の先生など身近な大人からの紹介」が最も多く，SNS や Web サイトでの告知を直接見た参加者は少数であった．このことから，今後の広報では，学校や地域団体を通じた案内がより効果的であることが示唆された．

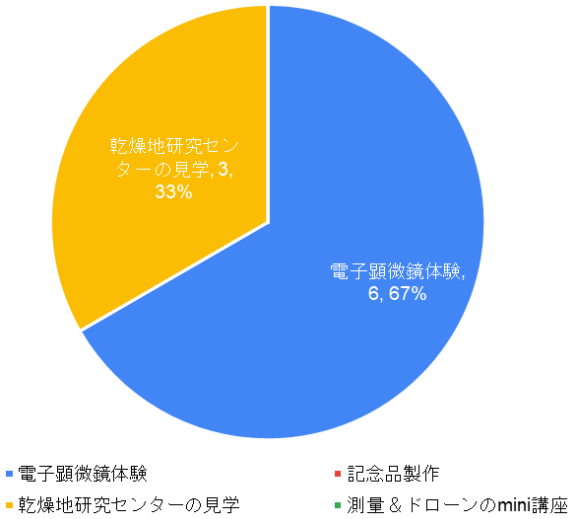


図 49　質問「最も勉強になった内容はなんですか？」の回答結果

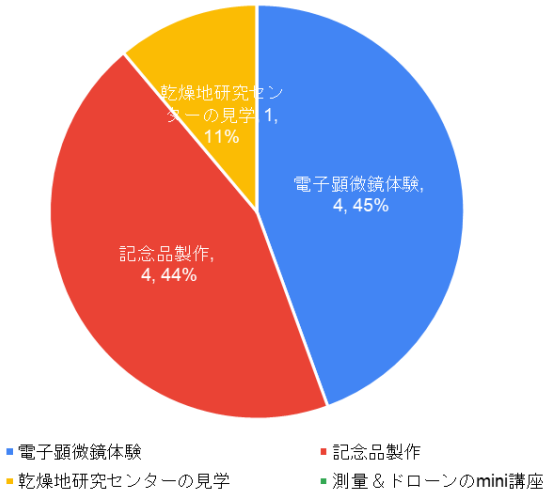


図 50　質問「最も興味を持った内容はなんですか？」の回答結果

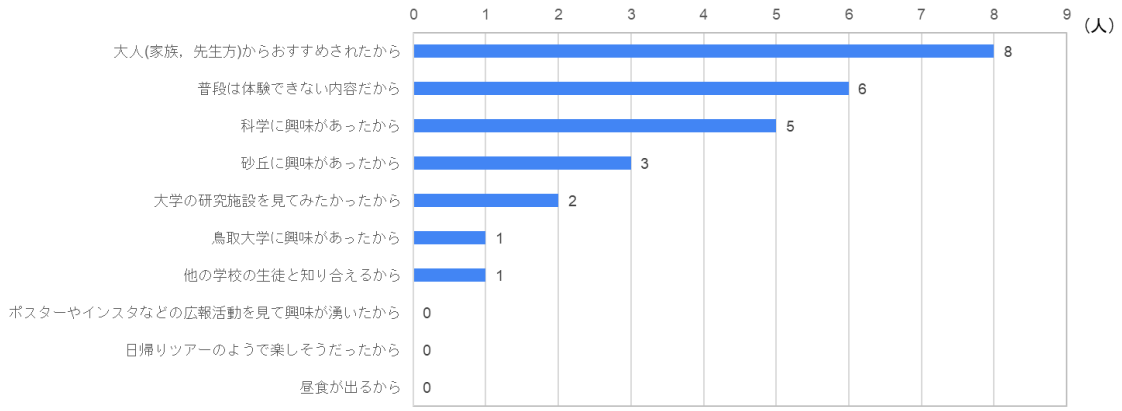


図 51　質問「このイベントに参加した理由を教えてください」の回答結果

本プロジェクトでは，地域資源である鳥取砂丘と，大学が持つ分析機器である電子顕微鏡を組み合わせた教育イベントを初めて実施した．参加者への質問紙調査の結果から，鳥取砂丘への理解が深まるとともに，科学技術への関心が高まったことが明らかとなった．また，学内外の複数分野が連携して運営したことで，新たな教育的ネットワークや運営ノウハウの蓄積にもつながった．今後は，効果的な広報手法の確立を図るとともに，地域の中高生が科学を身近に感じ，将来理系分野や地域社会で活躍するきっかけとなるような活動を継続していきたい．

第 5 章　総括

5.1　各章のまとめ

第 1 章では，鳥取大学における無機化学・材料化学分野における研究支援体制について概説し，筆者の活動実績をまとめた．筆者は，共同利用設備の運用や分析相談，講習会実施などを通して研究者・学生の支援を行ってきた．その他にも，職場安全巡視や地域貢献活動としての科学啓発活動にも積極的に携わり，科学リテラシー向上に寄与してきた．これらの経験を通じて，幅広い知識と柔軟な対応力を習得した．地方大学における限られた人員での技術継承の課題を踏まえ，今後の研究支援の在り方と技術職員像についてまとめた．

第 2 章では，無機化学・材料化学分野における実践的な研究支援事例を示した．XRD 測定では，蛍光 X 線軽減モードの活用や in-situ 測定に適した窓材の提案を行い，測定精度を向上させた．また，SEM 観察ではバイオ系材料や美術材料など異分野試料への対応を通じて分析技術の応用範囲を拡げることができた．さらに，ICP-OES 分析では固体溶解サービスを新設し，難溶試料や電池材料への対応体制を構築した．筆者はこれらの支援において装置原理に基づいた技術的な提案力と課題解決力を発揮し，研究現場に寄り添った支援を実践してきた．

第 3 章では，分析機器の適切な運用環境整備を通じた研究支援の実践について述べた．日常のメンテナンスやトラブル対応，操作講習を通じて装置の安定稼働と安全な利用を支え，XRD の測定条件設定資料を作成して教育的効果を検証した．さらに，装置知識の共有，技術職員の専門性の可視化を目的として「テクニカルレター」発刊という，新たな活動を始めた．また，共用設備加速事業により XRF の移設と再整備を実施し，安全性・信頼性の向上と新規利用促進を実現した．これらの取り組みは，TC としての技術的提案力，情報発信力，研究基盤強化への貢献を示すものであり，地方大学における持続的な研究支援体制のモデルとなる．

第 4 章では，技術部による地域貢献活動「出前おもしろ実験室」に関する筆者の寄与と，鳥取砂丘の砂を活用した固気流動層による体感型実験の教育的効果を示した．固気流動層を用いた体験実験では，子どもたちに視覚と触覚を通じて粒子概念の理解を促し，理科への興味関心を高めた．さらに，大学が持つ高度な分析機器を活用し，「地域資源 × 科学技術」をコンセプトとした新しい科学教育活動を形成した．これらの活動により，筆者は科学技術人材育成に資する実践的知見を蓄積した．

5.2　地方大学における技術系職員の今後の展望

本論文で示したように，筆者は分析系業務に限らず，多岐にわたる業務を担当している．これは，技術職員として教育・研究を支援する立場であると同時に，鳥取大学技術部という大学組織の一員として，大学運営にも関わる立場であるためである．技術的業務のみを担うことを使命とする意見もあるかもしれないが，地方大学では職員数が限られており，欠員が生じても補充されないのが現実である．大規模な大学とは職員数や業務内容が異なるため単純比較はできないが，地方大学では一人が幅広い業務を担当する必要がある．

高度技術職員の育成には，専門技術だけでなく，教育・研究支援やマネジメント能力も求められる．不要な業務を切り捨てるだけでは，技術力はあっても自己中心的な人材となる恐れがある．そして，地方大学であっても，研究環境や教育環境に差があってはならず，技術職員は多様な業務を通じて教育・研究支援を行い，大学全体の研究力向上に寄与する必要がある．これにより，大学の魅力向上や学生確保にもつながる．鳥取県では学生が都市部に流出しやすいが，魅力ある大学であれば地元に留まる学生も増えるはずである．

本論文執筆を通じて，自身の業務を振り返り，研究・教育支援における関わり方を改めて考える契機となった．技術職員としてスペシャリストであるかジェネラリストであるかという議論は，今後も職員個々に悩みが生じると考えられる．筆者も地方大学に所属する技術職員として，多岐にわたる分析機器の運用経験を活かし，多角的に研究支援を行っていきたい．その結果，研究者や学生が抱える課題に対し，これまでにない視点や具体的な解決策を提供し，研究の停滞を防ぎ，円滑な推進に貢献することで，微力ながら研究の発展に寄与したいと考える．

参考文献

1) 国立大学法人 鳥取大学
https://www.tottori-u.ac.jp/about/summary/organization/
2) 国立大学法人 鳥取大学 技術部
https://www.tech.tottori-u.ac.jp/about-us/index.html
3) 松井 陸哉, 第 2 回中国地方ファシリティネットワーク交流会, （2024）, ”鳥取大学の近況報告 ～無機化学分野における共用機器運用と技術職員の支援業務～”
4) 松井 陸哉, 鳥取大学技術部報告, 8 (2022) 5.
5) 松井 陸哉, 鳥取大学技術部報告, 10 (2024) 83.
6) 松井 陸哉, 第 7 回（平成 30 年度）鳥取大学技術部技術発表会, （2019）, ”大学連携研究設備ネットワーク人材育成プログラムを活用した ICP-AES 技術講習会及び XRF 技術講習会 参加報告”
7) 令和 5 年度 科学技術分野の文部科学大臣表彰 科学技術賞 受賞者一覧
https://www.mext.go.jp/content/20230413-mxt_sinkou02-000028862_1.pdf
8) 多田 大, 令和 4 年度 TC 論文,（2022）, ”走査電子光学系を用いる分析機器での微小領域材料評価技術を通じた研究・教育支援”
9) 河原 夏江, 令和 6 年度 TC 論文,（2024）, “遠隔化分析機器の活用と高度技術人財養成”
10) H. Watanabe, H. Usui, Y. Domi, T. Nishida, K. Uetake, T. Tanaka, H. Kurokawa, and H. Sakaguchi, *ACS Electrochemistry*, **1** (2024) 73-81.
11) H. Usui, Y. Domi, K. Fujiwara, M. Shimizu, T. Yamamoto, T. Nohira, R. Hagiwara, and H. Sakaguchi, *ACS Energy Lett.*, **2** (2017) 1139.
12) NIST XCOM（X 線吸収スペクトルデータベース）
https://physics.nist.gov/PhysRefData/Xcom/html/xcom1.html
13) H. Usui, Y. Domi, A. Teramae, T. Kohashi, Y. Sohma, N. Oishi, and H. Sakaguchi, *Electrochemistry*, **93(3)** (2025) 037004.
14) 中尾 泰斗, 基礎造形：日本基礎造形学会論文集・作品集, 34 (2026) 45-52.
15) 松井 陸哉, 第 9 回（令和 3 年度）鳥取大学技術部技術発表会, （2022）, ”ICP 分析のための固体溶解について”

16) 松井 陸哉, 丹松 美由紀, 安藤 敬子, 笠田 洋文, 小田 道明, 岡 正子, 橋本 正満, 坂本 憲一, 宮﨑 裕介, 水田 敏史, 岩田 千加良, 山田 有里子, 南葉 恵美子, 河尻 直幸, 村松 隆司, 横野 瑞希, 総合技術研究会 2017 東京大学, P09-56 (2017).
17) 河尻 直幸, 丹松 美由紀, 笠田 洋文, 小田 道明, 岡 正子, 安藤 敬子, 橋本 正満, 畑岡 寛, 坂本 憲一, 宮﨑 裕介, 水田 敏史, 岩田 千加良, 山田 有里子, 南葉 恵美子, 松井 陸哉, 村松 隆司, 横野 瑞希, 平成 27 年度実験・実習技術研究会 in 西京, P120 (2015).
18) 松井 陸哉, 安藤 敬子, 笠田 洋文, 岡 正子, 橋本 正満, 坂本 憲一, 宮﨑 裕介, 水田 敏史, 岩田 千加良, 山田 有里子, 馬場 恵美子, 河尻 直幸, 横野 瑞希, 村松 隆司, 松浦 祥悟, 丹松 美由紀, 実験・実習技術研究会 2020 鹿児島大学, P5-20 (2020).
19) 松井陸哉, 平成 27 年度実験・実習技術研究会 in 西京, D4-3 (2015).
20) D. Geldart, *Powder Technology*, **7** (1973) 285-292.
21) 松井 陸哉, 丹松 美由紀, 安藤 敬子, 笠田 洋文, 小田 道明, 岡 正子, 橋本 正満, 坂本 憲一, 宮﨑 裕介, 水田 敏史, 岩田 千加良, 山田 有里子, 南葉 恵美子, 河尻 直幸, 村松 隆司, 横野 瑞希, 総合技術研究会 2019 九州大学, P12-09-W2 (2019).
22) 菊池 洋一, 武井 隆明, 三田 正巳, 高橋 治, 村上 祐, 日本理科教育学会理科教育学研究, 49 巻 1 号 (2008) 35-50.
23) 菊池 洋一, 武井 隆明, 村上 祐, 尾崎 尚子, 高室 敬, 黄川田 泰幸, 橋戸 孝行, 坂本有希, 佐々木 俊, 小室 孝典, 灘山 正和, 岩手大学教育学部 教育実践研究論文集, **1** (2014) 46-51.
24) 飯田 智博, 教育実践研究, **31** (2021) 73-78.
25) 柿沼 宏充, 日本理科教育学会第 74 回全国大会発表論文集, **22** (2024) 247.
26) 市橋 由彬, 日本理科教育学会第 74 回全国大会発表論文集, **22** (2024) 451.
27) 今村 哲史, 石山 七夏, 神保 諒一, 日本理科教育学会第 74 回全国大会発表論文集, **22** (2024) 473.
28) 藤村 尚, 土質工学会誌「土と基礎」, **38 (3)** (1990) 83-87.
29) 木村 明憲, 黒上 晴夫, 日本教育工学会論文誌, **46(3)** (2022) 525-542.
30) 岡 和志, 黒岩 督, 日本教育心理学会 総会発表論文集, **44** (2020) 518
31) 西垣 順子, 京都大学大学院教育学研究科紀要, **46** (2000) 131-143.
32) 松井 陸哉, 日本理科教育学会第 74 回全国大会発表論文集, **22** (2024) 180.

33) 松井 陸哉, 鳥取大学技術部報告, 11 (2025) 24.

34) とりぎん青い鳥基金

https://www.tottoribank.co.jp/torigin/csr/kikin/

研究支援業績

・研究支援による謝辞掲載論文

1) H. Watanabe, H. Usui, Y. Domi, T. Nishida, K. Uetake, T. Tanaka, H. Kurokawa, and H. Sakaguchi, *ACS Electrochemistry*, **1** (2024) 73-81.
2) H. Usui, Y. Domi, A. Teramae, T. Kohashi, Y. Sohma, N. Oishi, and H. Sakaguchi, *Electrochemistry*, **93(3)** (2025) 037004.
3) N. Ikemoto, H. Usui, Y. Domi, M. Takemoto, T. Tanaka, and H. Sakaguchi, *ACS Nanosci. Au*, **5** (2025) 369-374.

・外部資金獲得

1) 「鳥取砂丘の砂を用いた大型流動層による革新的な科学教育装置の開発と効果検証」
日本学術振興会　科学研究費助成事業　奨励研究　2024 年 4 月-2025 年 3 月
2) 「鳥取砂丘及び電子顕微鏡を通じた科学体験教室」
株式会社鳥取銀行　とりぎん青い鳥基金　2024 年 4 月-2025 年 3 月
3) 「蛍光 X 線分析装置の移設・点検・調整による学内外への共用促進」
分子科学研究所　令和 6 年度大学連携研究設備ネットワークにおける研究設備共用加速事業　2024 年 4 月-2025 年 3 月

・技術発表（筆頭）〔技術研究会，学会，技術部報告，技術発表会含む〕

1) 「出前おもしろ実験室 新テーマの考案 ～鳥取砂丘の砂を流動化～」
松井陸哉, 平成 27 年度実験・実習技術研究会 in 西京, D4-3 (2015).
2) 「大阪大学 産業科学研究所 ガラス工作講習会参加報告」
松井 陸哉, 平成 27 年度鳥取大学技術部技術部報告, (2016).
3) 「平成 28 年度鳥取大学技術部発『出前おもしろ実験室』活動報告」
松井 陸哉, 丹松 美由紀, 安藤 敬子, 笠田 洋文, 小田 道明, 岡 正子, 橋本 正満, 坂本 憲一, 宮﨑 裕介, 水田 敏史, 岩田 千加良, 山田 有里子, 南葉 恵美子, 河尻 直幸, 村松 隆司, 横野 瑞希, 総合技術研究会 2017 東京大学, P09-56 (2017).
4) 「XRD（X 線回折法）における試料粒径の違いによる測定結果の差の検討」
松井 陸哉, 宮﨑 裕介, 平成 29 年度鳥取大学技術部技術部報告, (2018).

5) 「いまさらながら『XRD 分析技術研究会』 ～定量分析への挑戦～」

松井 陸哉, 玉木 俊昭, 徳永 誠, 篠塚 郷貴, 中本 有紀, 嵩原 綱吉, 志田 賢二, 古謝 源太, 仲村 大, 平成 30 年度 機器・分析技術研究会 秋田大会, P-03-08 (2018).

6) 「鳥取大学技術部『出前おもしろ実験室』プロジェクト 活動範囲の拡大と実施効果の評価について」

松井 陸哉, 丹松 美由紀, 安藤 敬子, 笠田 洋文, 小田 道明, 岡 正子, 橋本 正満, 坂本 憲一, 宮﨑 裕介, 水田 敏史, 岩田 千加良, 山田 有里子, 南葉 恵美子, 河尻 直幸, 村松 隆司, 横野 瑞希, 総合技術研究会 2019 九州大学, P12-09-W2 (2019).

7) 「ICP-AES 分析のための石炭灰（フライアッシュ）の溶液化」

松井 陸哉, 2019 年度 分子科学研究所 機器・分析技術研究会, Ⅱ-PA-04 (2019).

8) 「大学連携研究設備ネットワーク人材育成プログラムを活用した ICP-AES 技術講習会及び XRF 技術講習会 参加報告」

松井 陸哉, 平成 30 年度鳥取大学技術部技術発表会, (2019).

9) 「鳥取大学技術部『出前おもしろ実験室』 子ども・保護者・小学校教員へのアンケート結果から見えた新たな課題」

松井 陸哉, 安藤 敬子, 笠田 洋文, 岡 正子, 橋本 正満, 坂本 憲一, 宮﨑 裕介, 水田 敏史, 岩田 千加良, 山田 有里子, 馬場 恵美子, 河尻 直幸, 横野 瑞希, 村松 隆司, 松浦 祥悟, 丹松 美由紀, 実験・実習技術研究会 2020 鹿児島大学, P5-20 (2020).

10) 「ICP 分析のための固体溶解について」

松井 陸哉, 令和 3 年度 鳥取大学技術部技術発表会, (2022).

11) 「業務紹介」

松井 陸哉, 平成 31 年度・令和 2 年度鳥取大学技術部技術部報告, (2022).

12) 「2019 年度 出前おもしろ実験室 活動報告」

松井 陸哉, 安藤 敬子, 丹松 美由紀, 笠田 洋文, 岡 正子, 橋本 正満, 坂本 憲一, 水田 敏史, 宮﨑 裕介, 岩田 千加良, 山田 有里子, 馬場 恵美子, 河尻 直幸, 横野 瑞希, 村松 隆司, 松浦 祥悟, 大村 敏康, 平成 31 年度・令和 2 年度鳥取大学技術部技術部報告, (2022).

13) 「鉄粉が混在するタルク粉末試料の溶解と Fe の定量」

松井 陸哉, 2022 年度 機器・分析技術研究会 大阪大学, (2022).

14) 「どうする SXES ～新規導入 FE-SEM 及び軟エックス線分光器の紹介～」

松井 陸哉, 宮﨑 裕介, 大村 敏康, 2023 年度 機器・分析技術研究会, P-08 (2023).

15) 「鳥取砂丘の砂を用いた大型流動層の製作 ～粒子概念形成への新たなアプローチ～」
松井 陸哉, 日本理科教育学会 第 74 回全国大会, 1E04 (2024).

16) 「鳥取大学の近況報告 ～無機化学分野における共用機器運用と技術職員の支援業務～」
松井 陸哉, 第 2 回中国地方ファシリティネットワーク交流会, (2024)

17) 「走査電子顕微鏡の分解に関する研修 参加報告 ―TC カレッジ『中古機器バラシキャラバン隊』― ―静岡大学『FE-SEM 分解研修』―」
松井 陸哉, 令和 5 年度鳥取大学技術部技術部報告, (2024).

18) 「鳥取砂丘の砂を用いた大型固気流動層の製作及び科学教育への効果検証」
松井 陸哉, 令和 6 年度鳥取大学技術部技術部報告, (2025).

19) 「XRD 測定における二次電池材料の測定支援事例」
松井 陸哉, 2025 年度埼玉大学機器・分析技術研究会, O-001 (2025).

・技術発表（共同発表者）〔技術研究会, 学会, 技術部報告, 技術発表会含む〕

1) 「平成 27 年度鳥取大学技術部発『出前おもしろ実験室』活動報告」
河尻 直幸, 丹松 美由紀, 安藤 敬子, 笠田 洋文, 小田 道明, 岡 正子, 橋本 正満, 畑岡 寛, 坂本 憲一, 宮﨑 裕介, 水田 敏史, 岩田 千加良, 山田 有里子, 南葉 恵美子, 松井 陸哉, 村松 隆司, 横野 瑞希, 平成 27 年度実験・実習技術研究会 in 西京, P-120 (2015).

2) 「鳥取大学技術部発『出前おもしろ実験室』平成 26 年度活動報告」
安藤 敬子, 橋本 正満, 丹松 美由紀, 中村 麻利子, 岡 正子, 水田 敏史, 岩田 千加良, 松井 陸哉, 笠田 洋文, 竹田 諭司, 坂本 憲一, 宮﨑 裕介, 山田 有里子, 南葉 恵美子, 河尻 直幸, 小田 明道, 畑岡 寛, 平成 26 年度鳥取大学技術部技術部報告, (2015).

3) 「平成 26 年度鳥取大学技術部工学・情報系部門 研修会報告」
吉川 達也, 小田 明道, 竹田 諭司, 河村 直樹, 松井 陸哉, 平成 26 年度鳥取大学技術部技術部報告, (2015).

4) 「平成 26 年度 電子工作教室 実施報告」

宮﨑 裕介, 笠田 洋文, 竹田 諭司, 山田 有里子, 南葉 恵美子, 河尻 直幸, 小田 明道, 畑岡 寛, 宮田 直輝, 水田 敏史, 岩田 千加良, **松井 陸哉**, 中村 麻利子, 平成 26 年度鳥取大学技術部技術部報告, (2015).

5) 「平成 27 年度鳥取大学技術部発『出前おもしろ実験室』活動報告」
河尻 直幸, 笠田 洋文, 坂本 憲一, 宮﨑 裕介, 山田 有里子, 南葉 恵美子, 村松 隆司, 丹松 美由紀, 岡 正子, 水田 敏史, 岩田 千加良, **松井 陸哉**, 横野 瑞希, 安藤 敬子, 橋本 正満, 小田 明道, 畑岡 寛, 平成 27 年度鳥取大学技術部技術部報告, (2016).

6) 「SEM 技術講習会」
河尻 直幸, 宮﨑 裕介, **松井 陸哉**, 平成 27 年度鳥取大学技術部技術部報告, (2016).

7) 「電子工作教室の実施報告」
河尻 直幸, 笠田 洋文, 宮﨑 裕介, 山田 有里子, 南葉 恵美子, 丹松 美由紀, 水田 敏史, **松井 陸哉**, 横野 瑞希, 小田 明道, 橋本 正満, 川成 真一, 平成 28 年度鳥取大学技術部技術部報告, (2017).

8) 「平成 28 年度『出前おもしろ実験室』プロジェクト活動報告」
丹松 美由紀, 岡 正子, 水田 敏史, 岩田 千加良, **松井 陸哉**, 横野 瑞希, 笠田 洋文, 宮﨑 裕介, 山田 有里子, 南葉 恵美子, 河尻 直幸, 坂本 憲一, 村松 隆司, 安藤 敬子, 橋本 正満, 小田 明道, 平成 28 年度鳥取大学技術部技術部報告, (2017).

9) 「平成 28 年度鳥取大学技術部『電子工作教室』の実施報告」
河尻 直幸, 丹松 美由紀, 笠田 洋文, 小田 道明, 橋本 正満, 川成 真一, 宮﨑 裕介, 山田 有里子, 南葉 恵美子, **松井 陸哉**, 横野 瑞希, 総合技術研究会 2017 東京大学, P09-54 (2017).

10) 「もっと理科好きな子供を育てよう in 智頭町 ―鳥取大学技術部『出前おもしろ実験室』プロジェクトの地域連携―」
横野 瑞希, 丹松 美由紀, 安藤 敬子, 笠田 洋文, 小田 道明, 岡 正子, 橋本 正満, 坂本 憲一, 宮﨑 裕介, 水田 敏史, 岩田 千加良, 山田 有里子, 南葉 恵美子, 河尻 直幸, **松井 陸哉**, 村松 隆司, 総合技術研究会 2017 東京大学, P09-55 (2017).

11) 「細胞破砕機を用いた X 線回折用試料の作製 ～いまさらながら『粉末 X 線測定の基礎と落とし穴』～」
齋藤 希, 志田 賢二, **松井 陸哉**, 徳永 誠, 川村 和司, 田中 高紀, 2017 年度 機器・分析技術研究会 in 長岡, P-14 (2017).

12) 「大学間連携による X 線回折基礎技術の向上の試み ～いまさらながら『粉末 X 線測定の基礎と落とし穴』～」

志田 賢二, 齋藤 希, **松井 陸哉**, 徳永 誠, 川村 和司, 田中 高紀, 2017 年度 機器・分析技術研究会 in 長岡, O-A03 (2017).

13) 「平成 29 年度電子工作教室 実施報告」

南葉 恵美子, 笠田 洋文, 宮﨑 裕介, 山田 有里子, 河尻 直幸, 丹松 美由紀, 水田 敏史, 岩田 千加良, **松井 陸哉**, 横野 瑞希, 小田 明道, 橋本 正満, 平成 29 年度鳥取大学技術部技術部報告, (2018).

14) 「平成 29 年度『出前おもしろ実験室』プロジェクト活動報告」

河尻 直幸, 笠田 洋文, 坂本 憲一, 宮﨑 裕介, 山田 有里子, 南葉 恵美子, 村松 隆司, 丹松 美由紀, 岡 正子, 水田 敏史, 岩田 千加良, **松井 陸哉**, 横野 瑞希, 安藤 敬子, 橋本 正満, 小田 明道, 平成 29 年度鳥取大学技術部技術部報告, (2018).

15) 「平成 29 年度鳥取大学技術部発『出前おもしろ実験室』活動報告」

河尻 直幸, 丹松 美由紀, 安藤 敬子, 笠田 洋文, 小田 道明, 岡 正子, 橋本 正満, 坂本 憲一, 宮﨑 裕介, 水田 敏史, 岩田 千加良, 山田 有里子, 南葉 恵美子, **松井 陸哉**, 村松 隆司, 横野 瑞希, 2017 年度信州大学実験・実習技術研究会, P-087 (2018).

16) 「平成 29 年度電子工作教室実施報告」

南葉 恵美子, 丹松 美由紀, 笠田 洋文, 小田 道明, 橋本 正満, 川成 真一, 水田 敏史, 宮﨑 裕介 岩田 千加良, 山田 有里子, 河尻 直幸, **松井 陸哉**, 横野 瑞希, 2017 年度信州大学実験・実習技術研究会, P-094 (2018).

17) 「平成 30 年度鳥取大学技術部発『出前おもしろ実験室』プロジェクト活動報告」

南葉 恵美子, 笠田 洋文, 坂本 憲一, 宮﨑 裕介, 山田 有里子, 河尻 直幸, 村松 隆司, 丹松 美由紀, 岡 正子, 水田 敏史, 岩田 千加良, **松井 陸哉**, 横野 瑞希, 安藤 敬子, 橋本 正満, 小田 明道, 平成 30 年度鳥取大学技術部技術部報告, (2019).

18) 「平成 30 年度鳥取大学技術部発『出前おもしろ実験室』プロジェクト活動報告」

南葉 恵美子, 丹松 美由紀, 安藤 敬子, 笠田 洋文, 小田 道明, 岡 正子, 橋本 正満, 坂本 憲一, 宮﨑 裕介, 水田 敏史, 岩田 千加良, 山田 有里子, 河尻 直幸, **松井 陸哉**, 村松 隆司, 横野 瑞希, 総合技術研究会 2019 九州大学, P12-21-W2 (2019)

19) 「桜島火山灰に対する FP 法及び検量線法での蛍光 X 線分析に関する検証」

七村 和彰, 泉水 仁, 西村 泰央, 和田 雄一朗, **松井 陸哉**, 玉木 俊昭, 松井 春美, 市川 慎太郎, 2019 年度 分子科学研究所 機器・分析技術研究会, Ⅱ-PA-03 (2019)

20) 「2019 年度鳥取大学技術部発『出前おもしろ実験室』プロジェクト活動報告」
河尻 直幸, 丹松 美由紀, 安藤 敬子, 笠田 洋文, 岡 正子, 橋本 正満, 坂本 憲一, 宮﨑 裕介, 水田 敏史, 岩田 千加良, 山田 有里子, 馬場 恵美子, **松井 陸哉**, 村松 隆司, 横野 瑞希, 松浦 祥悟, 実験・実習技術研究会 2020 鹿児島大学, P5-29 (2020).

21) 「鳥取大学技術部発『出前おもしろ実験室』プロジェクト 2020 年度活動報告 ～コロナ禍に応じた取り組み～」
安藤 敬子, **松井 陸哉**, 水田 敏史, 丹松 美由紀, 笠田 洋文, 岡 正子, 橋本 正満, 宮﨑 裕介, 岩田 千加良, 山田 有里子, 馬場 恵美子, 河尻 直幸, 横野 瑞希, 村松 隆司, 松浦 祥悟, 総合技術研究会 2021 東北大学, D8-12 (2021).

22) 「鳥取大学技術部発『出前おもしろ実験室』プロジェクト 2021 年度活動報告」
東田 朝美, 安藤 敬子, **松井 陸哉**, 水田 敏史, 橋本 正満, 岡 正子, 丹松 美由紀, 笠田 洋文, 宮﨑 裕介, 岩田 千加良, 河尻 直幸, 山田 有里子, 横野 瑞希, 村松 隆司, 松浦 祥悟, 大村 敏康, 山中 博斗, 川成 真一, 実験・実習技術研究会 2022 東京工業大学, R4-2 (2022).

23) 「鳥取大学技術部発『出前おもしろ実験室』プロジェクト 2020 年度活動報告」
安藤 敬子, **松井 陸哉**, 水田 敏史, 丹松 美由紀, 笠田 洋文, 岡 正子, 橋本 正満, 宮﨑 裕介, 岩田 千加良, 山田 有里子, 馬場 恵美子, 河尻 直幸, 横野 瑞希, 村松 隆司, 松浦 祥悟, 大村 敏康, 平成 31 年度・令和 2 年度鳥取大学技術部技術部報告, (2022).

24) 「令和元年･2 年度 電子工作教室実施報告 ―新型コロナウイルス感染症流行前後における比較―」
山田 有里子, 宮﨑 裕介, 岩田 千加良, 大村 敏康, 笠田 洋文, 河尻 直幸, 橋本 ,正満, 馬場 恵美子, **松井 陸哉**, 松浦 祥悟, 水田 敏史, 横野 瑞希, 平成 31 年度・令和 2 年度鳥取大学技術部技術部報告, (2022).

25) 「2022 年度鳥取大学技術部発『出前おもしろ実験室』プロジェクト活動報告」
橋本 正満, 安藤 敬子, 笠田 洋文, 横野 瑞希, 松浦 祥悟, 水田 敏史, 丹松 美由紀, 河尻 直幸, 大村 敏康, 岡 正子, **松井 陸哉**, 宮﨑 裕介, 岩田 千加良, 馬場 恵美子, 山田 有里子, 村松 隆司, 山中 博斗, 広島大学実験・実習技術研究会, P-4-3 (2023).

26) 「鳥取大学発『出前おもしろ実験室』プロジェクトによる科学の普及啓発」

河尻 直幸, 安藤 敬子, **松井 陸哉**, 令和 5 年度中国地域エネルギー環境教育研究会, (2023)

27) 「鳥取大学技術部発『出前おもしろ実験室』プロジェクト 18 年の歩み」
河尻 直幸, 安藤 敬子, 岩田 千加良, 大村 敏康, 岡 正子, 笠田 洋文, 丹松 美由紀, 橋本 正満, 馬場 恵美子, **松井 陸哉**, 松浦 香織, 松浦 祥悟, 水田 敏史, 宮﨑 裕介, 村松 隆司, 山田 有里子, 山中 博斗, 横野 瑞希, 九州地区総合技術研究会 2024 in 大分大学, U0041 (2024).

28) 「令和 5 年度『電子工作教室』実施報告」
馬場 恵美子, 大村 敏康, 笠田 洋文, 河尻 直幸, 宮﨑 裕介, 山田 有里子, **松井 陸哉**, 松浦 祥悟, 水田 敏史, 令和 5 年度鳥取大学技術部技術部報告, (2024).

29) 「鳥取大学技術部発『出前おもしろ実験室』プロジェクト 2023 年度活動報告」
安藤 敬子, 河尻 直幸, **松井 陸哉**, 水田 敏史, 馬場 恵美子, 松浦 祥悟, 橋本 正満, 岡 正子, 笠田 洋文, 丹松 美由紀, 横野 瑞希, 大村 敏康, 岩田 千加良, 宮﨑 裕介, 山田 有里子, 山中 博斗, 村松 隆司, 松浦 香織, 令和 5 年度鳥取大学技術部技術部報告, (2024).

30) 「高度技術専門人財養成及び認定制度『TC カレッジ』の紹介と受講報告」
松浦 祥悟, **松井 陸哉**, 令和 5 年度鳥取大学技術部技術部報告, (2024).

31) 「2024 年度『出前おもしろ実験室』プロジェクト活動報告」
松浦 香織, 安藤 敬子, **松井 陸哉**, 河尻 直幸, 松浦 祥悟, 水田 敏史, 橋本 正満, 岡 正子, 笠田 洋文, 大村 敏康, 岩田 千加良, 馬場 恵美子, 横野 瑞希, 宮﨑 裕介, 山田 有里子, 総合技術研究会 2025 筑波大学, P_09_10(2025).

32) 「2024 年度『出前おもしろ実験室』プロジェクト活動報告」
松浦 香織, 安藤 敬子, **松井 陸哉**, 河尻 直幸, 松浦 祥悟, 水田 敏史, 橋本 正満, 岡 正子, 笠田 洋文, 大村 敏康, 岩田 千加良, 馬場 恵美子, 横野 瑞希, 宮﨑 裕介, 山田 有里子, 令和 6 年度鳥取大学技術部技術部報告, (2025).

33) 「鳥取砂丘および電子顕微鏡を通じた科学体験教室の開催報告」
岩田 千加良, **松井 陸哉**, 松浦 祥悟, 松浦 香織, 令和 6 年度鳥取大学技術部技術部報告, (2025).

・受賞歴

1) 優秀ポスター賞

「いまさらながら『XRD 分析技術研究会』 ～定量分析への挑戦～」

松井 陸哉, 玉木 俊昭, 徳永 誠, 篠塚 郷貴, 中本 有紀, 嵩原 綱吉, 志田 賢二, 古謝源太, 仲村 大, 平成 30 年度 機器・分析技術研究会 秋田大会, P-03-08 (2018).

2) 令和 5 年度文部科学大臣表彰 科学技術賞 理解増進部門

「大学生と取り組む地域密着型出張実験室による科学の普及啓発」

安藤 敬子, 河尻 直幸, **松井 陸哉**, 水田 敏史, 馬場 恵美子, (2023).

謝辞

これまでの支援活動を振り返るとともに，TCカレッジで得られた学びを基に，本論文をまとめるにあたり，鳥取大学理事・副学長（当時 工学部長・教授）坂口裕樹先生をはじめ，坂口研究室（現・薄井研究室）の薄井洋行准教授，道見康弘准教授におかれましては，多大なるご支援とご助言を賜りました．TC課程の受講に際しては，研究内容のご説明や研究室見学の機会をいただき，また学生の研究活動にも携わらせていただきましたこと，深く感謝申し上げます．この経験により，技術職員としての責任を改めて自覚するとともに，貴研究室に少しでも貢献したいという思いを抱くようになりました．

特に薄井准教授には，大変ご多忙の中，指導教員ならびに論文主査をお引き受けくださり，常に温かく丁寧なご指導を頂きました．私の研究支援や日常業務にも関心を寄せていただき，論文執筆に際しては格別のご配慮とご指導を賜りましたこと，心より御礼申し上げます．今後は，先生のように細やかで温かみのあるご指導をお手本とし，後進の育成にも励みたいと考えております．

東京科学大学TCカレッジ 物質分析系TC（材料評価）コース担当の多田大様，並びに元バイオ系コース担当の髙田綾子様には，副査として論文執筆に際し，丁寧なご指導を賜りました．ここに厚く御礼申し上げます．

同じくTCカレッジ事務統括部門長の柗見吉朗様をはじめ，コース担当の皆様，事務局の皆様には，カリキュラム受講や手続き等に際し，大変お世話になりました．心より感謝申し上げます．

技術部化学バイオ・生命部門　甲斐技術長には，TCカレッジ受講にあたり柔軟なご配慮を賜るとともに，的確なご助言により研究支援の重要性を再認識させていただきました，心より感謝申し上げます．今後も鳥取大学の研究基盤を支える技術部の一員として，より一層精進して参ります．

同じく機器分析分野の皆様には，日々の業務において多くの助言と温かなサポート，そしてたくさんの刺激をいただきました．特に私の育児休業中には，担当装置の運用を支えてくださり深く感謝申し上げます．また，技術部の他部門の皆様にも，情報通信やネットワーク関係等，私の不得手な分野について丁寧にご教示いただきました．これらの知識を今後の業務に活かして参ります．

坂口研究室，薄井研究室の学生の皆様には，日々分析装置や実験手法について相談を受ける中で，「上手くいきました！」「ありがとうございました！」という声を聞くたびに，大き

な喜びとやりがいを感じました．特に，実験の作業に関して詳細な相談を頂いた植竹玖瑠実さん，相馬悠利さん，花田隆佑さんや，装置管理に関して協力と支援を頂いた湯浅言子さん，田中智之さんには感謝の念に堪えません．貴重な経験をさせていただきましたこと，改めて御礼申し上げます．皆様が社会に羽ばたかれてからのさらなるご活躍を，鳥取の地より心よりお祈りしております．

工学部の岡本賢治教授には，新たなバイオ系材料を扱うという興味深い機会をいただき，貴重な経験をさせていただきました．深く感謝申し上げます．

地域学部の中尾泰斗准教授には，美術分野からのご依頼を通して，科学分析を用いた研究支援体制の可能性を実感する貴重な経験を得ることができました．深く感謝申し上げます．

研究基盤戦略センター副センター長　森本稔准教授には，日常の機器管理・運営に関して適宜ご助言を賜るとともに，テクニカルレター執筆に際しては，的確なご指導をいただきました．技術職員としての視点や表現の精度を磨く貴重な経験を積むことができ，深く感謝申し上げます．

また，同センター技術補佐員の藤本美枝様，事務補佐員の二宮由美様をはじめ，これまでお世話になった歴代の補佐員の皆様には，日々の実験室整備や各種手続き，部品発注など，業務の円滑な遂行を支えていただきました．皆様の確実で丁寧なご対応のおかげで，多くの業務を安心して進めることができました．心より感謝申し上げます．

技術部　三谷秀明元統括技術長，岩下博通統括技術長，岡正子様には，外部資金管理において私の経験不足によりご迷惑をおかけした際にも，丁寧にご対応くださり，心より感謝申し上げます．

元技術部の丹松美由紀様には，入職当初より温かくご指導いただき，適時担当業務を任せていただきましたこと，心より感謝いたします．他大学との広い交流や技術部への深い愛情に触れ，多くことを学ばせていただきました．

同じく笠田洋文様には，装置製作や技術的助言を通して数えきれないほど多くのことを教えていただきました．そのお姿はまさに「技術職員の鑑」であり，送別会で述べられた「皆さん鳥取大学のために働いてください」というお言葉が今も心に残っております．

最後に，日々お互いに忙しい中でも理解をもって私を支えてくれた妻，そして無邪気な笑顔で活力を与えてくれた子どもたちに，心から感謝します．家族の存在が何よりの原動力でした．