

# 令和7年度 TC 論文

最表面加工による測定方法の開発と  
分析系技術職員交流会の組織運営および活動

東京科学大学 TC カレッジ

物質分析系 TC コース（材料評価）

北海道大学 技術連携統括本部付 触媒科学研究所

下田 周平

# 目次

## 第1章 緒論

- 1-1 本学の触媒科学研究所における物質分析体制
- 1-2 物質分析系 TC コース（材料評価）への申請に至る経緯
- 1-3 本論文の構成

## 第2章 最表面加工による測定方法の開発と分析

- 2-1 紫外線光電子分光装置による  $\text{CaRuO}_3$  の最表面連続エッチング分析
- 2-2 透過電子顕微鏡による SAFe ナノ粒子の最表面付着ナノ粒子の断面加工測定
- 2-3 走査電子顕微鏡によるイオン液体コーティングのデータベース作成

## 第3章 分析系技術職員交流会の組織運営および活動

- 3-1 北海道大学電顕系技術職員交流会の運営活動
- 3-2 全国電子顕微鏡技術情報交流会の運営活動
- 3-3 XPS（エックス線光電子分光装置）コミュニティの運営活動

## 第4章 北海道大学コアファシリティ事業における活動

- 4-1 コアファシリティ研究支援人材育成プログラム部局・分野横断技術交流会
- 4-2 北海道大学・高等専門学校技術職員相互交流研修
- 4-3 研究教育基盤強化プログラム R&T (Researcher & Technician) プロジェクト
- 4-4 令和5年度北海道大学高度技術専門人材育成長期研修 「TC カレッジ」

## 第5章 結論と展望

- 5-1 結論
- 5-2 展望

研究支援業績

謝辞

# 第 1 章 緒論

## 1-1 本学の触媒科学研究所における物質分析体制

著者は北海道大学技術連携統括本部付触媒科学研究所に所属している。同研究所は学内外を問わず分析装置を開放しており、利用者は北海道大学オープンファシリティ、大学連携研究設備ネットワーク、文部科学省共同利用・共同研究拠点という 3 つのシステムを通じて、分析装置を利用することが可能である。

第一の北海道大学オープンファシリティは、本学が保有する多種多様な先端研究機器を、学内外の研究者、学生、企業などに対して円滑に提供するためのサービスである。触媒科学研究所は 2005 年の事業初期から参画し、装置の更新を経ながら現在も継続的に機器を提供している。第二の大学連携研究設備ネットワークは、全国各地の国立大学法人と自然科学研究機構分子科学研究所が連携する事業である。参画大学等が所有する研究設備の相互利用を目的としている。分子科学研究所を代表機関として全国的に装置利用が促進されており、触媒科学研究所もこれに賛同し、2010 年から担当装置を供用している。第三の文部科学省共同利用・共同研究は、国立大学の全国共同利用型の附置研究所等を中心に推進されてきた制度である。国公私立大学を問わず大学の研究ポテンシャルを活用し、研究者が共同で研究を行う体制の整備が進められてきた。触媒科学研究所はこの拠点として、連携ネットワーク型共同利用・共同研究拠点 触媒科学計測共同研究拠点の認定を文部科学省から受け、拠点活動を牽引するとともに研究者への装置利用を促進している。

著者は現在に至るまで、同研究所にて研究支援に従事してきた。着任当初は、電界放射型走査電子顕微鏡 (FE-SEM)、低真空走査電子顕微鏡 (LV-SEM)、エックス線光電子分光装置 (XPS)、吸着測定装置 (AS) の維持管理および講習を担当した。2010 年度からは透過電子顕微鏡 (TEM) も担当業務に加わり、現在は計 5 台の主要装置を管理している。また、付帯設備としてオートファインコーターやカーボンコーターの管理も行っている。

これら 5 台の装置は、触媒科学研究において重要な役割を担っている。3 台の電子顕微鏡は表面の構造解析やマイクロオーダーでの元素分析を、XPS はナノオーダーでの結合状態分析を、AS は表面積や細孔分布の分析をそれぞれ可能にする。これらの装置は所内での利用率が高く推移している一方で、空き時間は所外の利用者にも提供されている。

各装置の利用フローは全ユーザー共通である。まず、前述の 3 つのシステム経由で問い合わせを受け、測定相談を行う。双方が装置利用に合意した場合、利用希望者に対して初回講習を実施する。しかし、講習直後の単独利用は操作の難易度が高く、マニュアル参照のみでは不確実性が残る場合が多い。そのため、講習後には必ずチェックテストを実施し、単独利用に十分な操作スキルを習得したことを確認している。操作が複雑な装置については、一連の動作を習得するまで複数回の同行指導を行う。チェックテストに合格したユーザーにはライセンスを発行し、単独利用を許可している。なお、チェックテストに合格したユーザ

ーは、自身の研究室内で他のメンバーに対して初回講習を行うことが認められており、これが研究室全体の技術向上にも寄与している。また、利用頻度が極端に低く、短時間での操作習得が困難なユーザーに対しては、依頼測定も引き受けている。特に触媒共同利用拠点の研究者からの依頼測定が多い。

2024年度	FE-SEM	LV-SEM	XPS	AS	TEM	合計
初回講習 (人数)	7	4	4	19	7	41
チェックテスト (人数)	7	2	6	9	10	34
依頼測定 (個数)	29	78	118	52	189	466

表 1-1-1. 著者が 2024 年度に担当した人数及び個数

依頼測定時の対応は装置により異なるが、特に XPS においては、ピークのチャージシフト補正、バックグラウンド除去、定量計算、波形分離などのデータ解析まで行う場合がある。こうした支援を通じて研究者からピーク解析の相談などを受ける機会が増加し、信頼関係の構築につながっている。その結果として、表 1-1-2 に示す通り、共著論文、謝辞論文、共同発表といった実績に結実している。

	FE-SEM	LV-SEM	XPS	AS	TEM	合計
共著論文	0	0	6	6	17	29
謝辞論文	0	1	2	10	8	21
共同発表	2	7	17	27	15	68

表 1-1-2. 著者の装置業績

#### 参考文献

(1)GFC 総合システム利用案内

[https://www.gfc.hokudai.ac.jp/wp-content/uploads/2025/07/All\\_HowtoUse\\_20250701v2.pdf](https://www.gfc.hokudai.ac.jp/wp-content/uploads/2025/07/All_HowtoUse_20250701v2.pdf)

(2)大学連携研究設備ネットワーク

<https://chem-eqnet.ims.ac.jp/>

(3)文部科学省 共同利用・共同研究拠点 (Joint Usage / Research Center)

[https://www.mext.go.jp/a\\_menu/kyoten/](https://www.mext.go.jp/a_menu/kyoten/)

(4)触媒科学計測共同研究拠点

<https://sites.google.com/view/jurcc/>

## 1-2 物質分析系 TC コース（材料評価）への申請に至る経緯

著者は現在、前述の通り5つの装置を担当し、主に利用者支援業務に従事している。しかし、利用者からは担当装置以外の分析手法に関する質問や相談を受ける機会も少なくない。現状では座学で得た知識に基づき対応しているが、実機操作の経験がないため、提案の内容に限界を感じる場面もあった。自身が実際に多様な装置を操作し、その原理や特性を理解することで、より具体的かつ利用者に即した分析支援が可能になると考えられる。

TC カレッジでは、座学による講習会にとどまらず、実機を用いた操作実習に重点を置いた実践的なカリキュラム（図 1-2-1）を提供している。これは、担当業務外の装置に関する知識と技術を習得する上で、極めて有効な機会である。技術職員として資質を向上させるためには、理論だけでなく、実践的なスキルの習得が不可欠である。実機を用いた演習を通じて得られる知見は、座学のみでは得難いものであり、即座に現場での支援業務に還元できるものである。TC カレッジのカリキュラムはこの点において優れており、自身の技術力向上に直結すると確信している。

TCカレッジ TECHNICAL CONDUCTOR		物質分析系 テクニカルコンダクター 養成カリキュラム（初級～上級）				Tokyo Tech
令和6年度版		1Q	2Q	3Q	4Q	
初級	共通カリキュラム（安全講習、自然科学研究機構技術研修、英語研修、論文公聴会、東工大OFC業務見学）					
中級	技・メ）質量分析(1/4)【MS概要】 技・メ）分光法(1/4)【UV】 技・メ）熱分析1【DSC】 技・メ）X線回折【小角】 技）磁気共鳴(1/4)【NMR】 技・メ）X線回折【粉末】 技・メ）分光法(1/5)【UV】 技・メ）透過電子顕微鏡【TEM】	技・メ）質量分析(2/4)【ESI】 技・メ）分光法(2/4)【IR】 技・メ）熱分析2【TG/TDA】 技・メ）走査電子顕微鏡【SEM】 技）磁気共鳴(2/4)【NMR】 技・メ）分光法(2/5)【IR】 技）磁気共鳴(3/4)【NMR】 技・メ）X線回折【薄膜】 技・メ）走査電子顕微鏡【SEM】	学・メ）材料機器分析特論 技・メ）質量分析(3/4)【MALDI】 技・メ）分光法(3/4)【蛍光、ラマン】 技・メ）走査プローブ顕微鏡【SPM】 技・メ）X線回折【単結晶】 技・メ）走査プローブ顕微鏡【SPM】 技・メ）分光法(3,4/5)【蛍光、ラマン】 他）研究室見学 他）機器メーカー見学	学）結晶構造特論 技・メ）質量分析(4/4)【EI】 技・メ）分光法(4/4)【XPS】 技）磁気共鳴(4/4)【ESR】 技・メ）分光法(5/5)【XPS】	技）装置実習（物質分析、設計製作、マイクロプロセス）、メ）技術・研究支援概論1（メーカー） 他）技術・研究支援発表会、他）TCカレッジシンポジウム等、他）中古機器バラシキヤラハン隊	
	上級	技・メ）質量分析【MS】 技・メ）X線回折【小角】 技・メ）X線回折【粉末】	学）超分子科学特論	技・メ）走査プローブ顕微鏡【AFM】 技・メ）核磁気共鳴【固体】 メ）走査プローブ顕微鏡【SPM】 技・メ）X線回折【薄膜】	技・メ）X線回折【単結晶】 技・メ）核磁気共鳴【二次元】	学）技術・研究支援概論2（教員）、他）イベント（シンポジウム等）企画&運営 他）物質分析講義、他）研究室体験、他）メーカー短期留学

学）東工大教員が講師、技）東工大技術職員が講師、メ）機器メーカー担当者が講師、他）その他カリキュラム  
赤字：毎年開講（必修カリキュラム）、黒字：毎年開講（選択カリキュラム）、緑字：令和6年度開講（選択カリキュラム）、青字：令和7年度開講（選択カリキュラム）

図 1-2-1 物質分析系 カリキュラム 配布資料

また、図 1-2-2 に示すように、TC カレッジは「高い技術力・研究企画力、高いコミュニケーション力・次世代後継者育成能力をもつ技術者」という高度な人材像を掲げている。TC カレッジは、常に最新技術に挑戦し、自己研鑽を怠らない技術職員が集う場でもある。そこでは単なる個人のスキルアップにとどまらず、技術職員自身が講師となって技術継承を行

うことで、組織全体の技術力向上を図っている。さらに、本コースでは技術力と同様に、他者とのコミュニケーション能力やマネジメント能力の養成も重視されている。組織内での連携や、個人の枠を超えたチームとしての成果を養うことは重要である。

以上のことから、高度な分析技術と広い視野を持つ技術者を目指し、また技術職員間のネットワークを通じて人材育成にも貢献できる人材となるべく、本コースの受講を申請した。



TCとは「**高い技術力・研究企画力を持つ技術者**」の称号であり、以下の4つの特徴を有し**研究者と対等な立場で課題解決を行う人財**

- 1. 高い技術力と幅広い知識**  
～複数分野で最先端研究を支える人財～
- 2. 高い研究企画力**  
～研究者と共に研究課題を解決するアイデアを持ち合わせた人財～
- 3. 高いコミュニケーション力、交渉力**  
～研究環境や組織を整備し、活性化させることのできる人財～
- 4. 次世代後継者育成力**  
～高度な技術を次の世代に伝承し、継続的な技術発展に貢献できる人財～

図 1-2-2 TC カレッジパンフレット

参考文献

(5)R6 年度カリキュラム表

(6)TC カレッジパンフレット

### 1-3 本論文の構成

本論文は、著者が担当する分析装置を用いた加工研究支援、技術職員間の連携活動、およびコアファシリティ事業への貢献について論じたものであり、全5章で構成される。

#### 第1章 緒論

本学触媒科学研究所における物質分析体制の現状と、著者が TC カレッジ（物質分析系 TC コース）の受講を申請するに至った背景および経緯について述べる。

#### 第2章 最表面加工による測定方法の開発と分析

表面加工技術を駆使した測定手法の開発について、以下の3つのテーマを中心に詳述する。第一に、イオンアルゴンスパッタ装置を用いたオンゲストロームオーダーでの精密な連続表面加工と、それに伴う紫外線分光装置による連続測定手法について述べる。第二に、集束イオンビーム装置を用いた担持触媒の薄膜加工技術と、透過電子顕微鏡による観察・評価について述べる。第三に、イオン液体を用いた最表面コーティング技術の確立と、走査電子顕微鏡による絶縁物試料の観察手法について述べる。

#### 第3章 分析系技術職員交流会の組織運営および活動

技術職員の資質向上を目的としたネットワーク活動の実践について述べる。具体的には、北海道大学技術職員ネットワークにおける電顕系技術職員交流会の運営、全国技術職員ネットワークの電子顕微鏡技術情報交流会での活動、ならびに XPS コミュニティにおける組織創設と活動を述べる。

#### 第4章 北海道大学コアファシリティ事業における活動

北海道大学が推進するコアファシリティ事業において、著者が担当する分析装置を活用し、事業に寄与した具体的な活動内容について述べる。

#### 第5章 結論

第2章から第4章までの総括を行うとともに、本研究活動を通じて得られた知見を整理する。最後に、全国の技術職員や研究者への波及効果を見据えた今後の技術支援の展望を述べ、本論文の結びとする。

## 第2章 最表面加工による測定方法の開発と分析

### 2-1 紫外線光電子分光装置による $\text{CaRuO}_3$ の最表面連続エッチング分析

#### 2-1-1 経緯

エックス線光電子分光装置に付属している、紫外線光電子分光測定が行える施設は北海道大学内で、触媒科学研究所のみである。このたび、北海道大学工学研究院の迫田将仁助教より、オープンファシリティを通じて、ルテニウム酸化物 ( $\text{CaRuO}_3$ ) 薄膜の紫外線光電子分光装置による解析依頼があった。本節では、測定手法の確立と解析結果について述べる。

#### 2-1-2 $\text{CaRuO}_3$ の性質

本測定の対象となる  $\text{CaRuO}_3$  は、分子線エピタキシー (MBE) 法を用いて作製された単結晶薄膜である。 $\text{CaRuO}_3$  は金属的な電気抵抗を示し、異方性のない3次元的な結晶構造を持つことが報告されている。ネオジムガレート ( $\text{NdGaO}_3$ ) 基板上に MBE 法を用いて  $\text{CaRuO}_3$  超薄膜を作製し、原子間力顕微鏡 (AFM) による評価で表面粗さ 199 pm (ピコメートル) という、ナノオーダーを超える極めて平坦な表面制御に成功した。特筆すべきは、作製した  $\text{CaRuO}_3$  薄膜の膜厚に依存して、電気抵抗率が 2.5 nm 周期で激しく変動するサイズ効果が発見された点である (図 2-1-1)。図に示す通り、わずか 1 nm の膜厚変化に対し、電気抵抗率は低温環境下で最大 300,000,000,000 % (3000 億%)、室温環境下でも 500,000 % (50 万%) という桁外れの変化を示す。

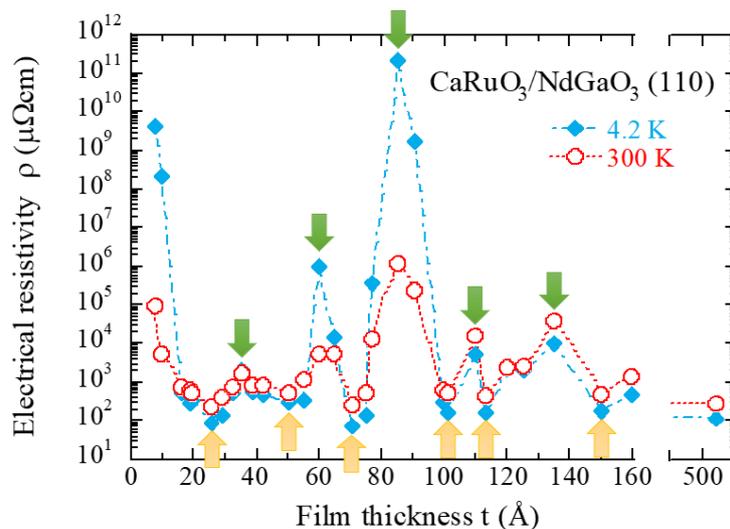


図 2-1-1  $\text{CaRuO}_3$  超薄膜の電気抵抗率の厚さ依存

### 2-1-3 紫外線光電子分光測定

電気抵抗率の膜厚依存では、別個に作製した  $\text{CaRuO}_3$  超薄膜を測定した。それぞれの薄膜の電子線回折はシャープであり結晶性は良好であると言えるものの、MBE の成膜条件（分子線量・成膜温度・酸素圧）の誤差がそれぞれの試料の性質に差異を与える可能性が考えられる。そこで、試料合成の誤差に依らない物性を明らかにするために、1枚の  $\text{CaRuO}_3$  超薄膜をエッチングすることで膜厚を薄くして、エッチング時間に依存する性質を調べた。前節までの電気抵抗率測定とは異なり、1つの成長条件の下で作製した薄膜の厚さを変えることで、スケールに依存する物性の本質を明らかにする。

$\text{CaRuO}_3$  超薄膜の紫外線光電子分光 (UPS) スペクトルを測定し価電子帯の電子状態を調べる。まず、アルゴンイオンミリングを用いて設定値を 500V、エッチング時間を 0.5 秒に設定し  $\text{CaRuO}_3$  の表面をエッチングして膜厚を薄くする。その試料を In-situ で測定チャンバーへトランスポートして UPS スペクトルを測定する。これを繰り返してエッチングごとに UPS スペクトルを測定することで、膜厚に依存する価電子帯の変化を明らかにする。

本研究においては、 $\text{BE} = 1.1 \text{ eV}$  における UPS 強度が発達するスケールにおいて電気伝導が増加し金属になることが分かる。一方で、 $\text{BE} = 1.1 \text{ eV}$  における UPS 強度が上昇しないスケールにおいて絶縁体である。これは  $\text{CaRuO}_3$  薄膜の絶縁化に伴う  $\text{BE} = 1.1 \text{ eV}$  における UPS 強度の減少が、Mott ギャップの成長によることを示唆している。以上のことから、強い電子相関に基づく Mott 絶縁体が、電気抵抗と UPS 強度の周期的なスケール依存性に関わっていると考えられる。

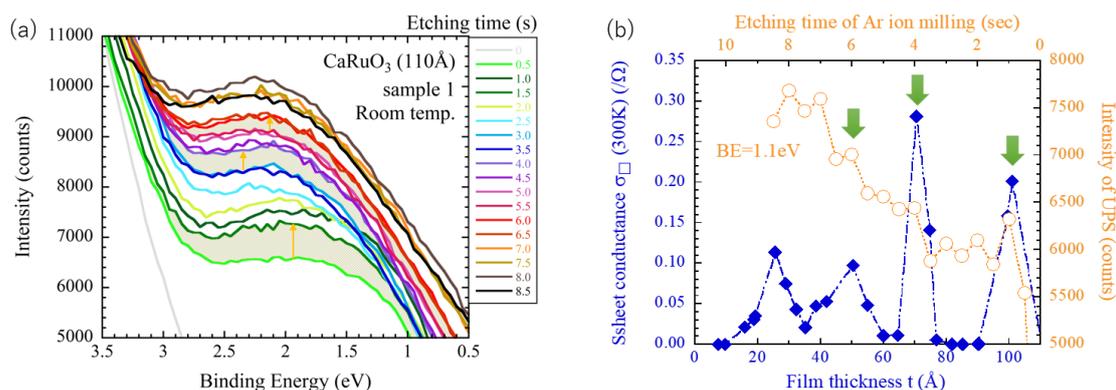


図 2-1-2 各エッチング時間における  $\text{CaRuO}_3$  超薄膜の UPS スペクトル

### 2-1-4 高性能デプス紫外線光電子分光測定

膜厚方向の分解能を向上させ、より精密なデプスプロファイルを得るため、アルゴンイオンミリングの条件検討を行った。当初、加速電圧 500 V、エッチング時間を 1 サイクル

あたり 0.2 秒に短縮して測定を試みたが、積算エッチング時間が 300 秒に達しても膜が研磨されないという問題が生じた。これは装置の電圧印加の立ち上がりに時間を要するため、設定値 0.2 秒では実効的なエッチング時間が少なくなるという装置の応答速度の限界に起因する。したがって、極端に短いパルスでのエッチングは本装置では適用できないことが判明した。次に角度エッチングを検証することにした。角度を  $60^\circ$ 、 $70^\circ$ 、 $80^\circ$  と急斜面にすることによって深さ方向の削る量を減らすことにより細かく削れると考えた。エッチング装置はフラットに削ることを想定しており、傾斜をかけた場合は試料ホルダーの中心がエッチングされるわけではなく、上方部分がエッチングされる。サンプルを中心より上側に固定することになった。サンプルはデプスプロファイルするたびに手動でサンプルを移動するため、試料ホルダーの正確な水平が取りにくくなり、正確な角度でのエッチングができておらず、傾斜をかけたのデプスプロファイルも望ましくないことが判明した。

電流値を 300V に設定すると 500V より精度が下がり、不安定な状態でのエッチングを懸念していた。他にエッチングを弱める方法が無いため、最低値の電流 300V にてエッチングを行うことにした。500V では  $\text{SiO}_2$  の削れる量が  $300 \text{ \AA}/\text{min}$  に対して、300V では  $\text{SiO}_2$  の削れる量が  $60 \text{ \AA}/\text{min}$  になるため、1/5 に弱めることができる。

サンプル 1 個のみ利用しアルゴンイオンミリングの設定値を 300V、エッチング時間を 4 秒、スキャン回数を 32 回にてデプスプロファイル測定をする。膜厚  $110 \text{ \AA}$  あり、予想エッチング 270 秒（約 67 回）で膜は破壊される。1 日目は 76 秒エッチング（19 回）作業を行い、1 日目の最後に装置を停止した。翌日に装置を起動してエッチング 80 秒から測定を行うと、最初のピーク位置がずれており、細かいエネルギー値を調べるときには対応できないことが判明した。

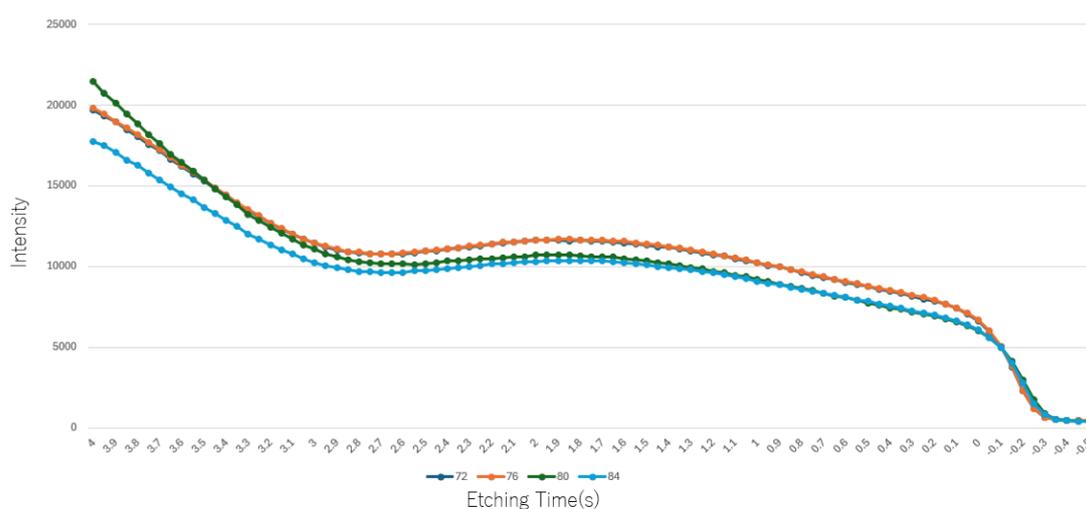


図 2-1-3 日にちをまたいだ測定データ

1日で測定を終わらせるために、100回以下のデプス測定が理想的である。そこで、サンプルを2個用意し、1個はサンプルが何秒で破壊されるかを調べるデモデプスプロファイル用として使用することにした。デモデプスプロファイルでは本測定を行わないため、時間を大幅に短縮でき、大まかな測定時間の予想が立つようになった。その結果、サンプルの厚みが異なっても、デモデプスプロファイルを行うことで、デプス測定を100回以下に収めるために必要な秒数などを判断できるようになった。

現在は、80~300 Å に膜厚を変化させた CaRuO<sub>3</sub> を測定しているため、設定値を300V、1~5秒でデプスプロファイルを利用し、1日での測定が可能になった。

観測された現象が CaRuO<sub>3</sub> 固有の物性であることを実証するため、Ru 単体の薄膜を用いた対照実験を行った。まず、膜厚 120 Å の Ru 薄膜を2枚作製した。予備実験としてデプスプロファイルを行い、エッチングレートを見積もったところ、約150秒で薄膜が消失することが確認された。この結果に基づき、本測定では加速電圧 300 V、1ステップあたりのエッチング時間を3秒（膜厚換算で約 2.4 Å の研磨に相当）と設定し、連続的なデプスプロファイル測定を実施した。エッチング時間9秒から144秒の範囲において、フェルミ準位近傍の UPS 強度は一定の値を示した。これは、Ru 薄膜が膜厚減少に伴う絶縁体化を起こさず、常に金属的な導通状態を維持していることを示している。したがって、前節の CaRuO<sub>3</sub> で見られた強度の周期的変化や消失は、測定系のアーティファクトではなく、CaRuO<sub>3</sub> 特有の電子状態変化であると結論づけられる。

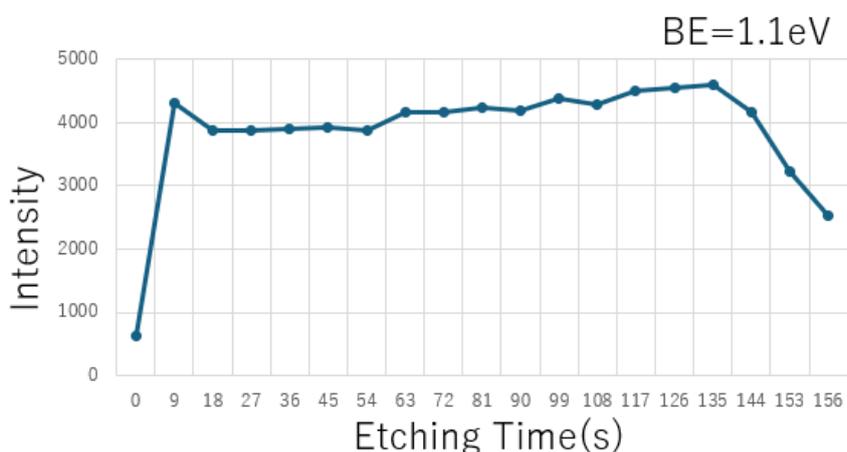


図 2-1-4 Ru 薄膜デプスプロファイル

### 2-1-5 CRO 断面測定

CRO 薄膜は MBE 法を利用しており、断面は均一構造になっている。均一構造を証明するために断面測定を開始した。基盤は NdGaO<sub>3</sub> になっている。断面を作成するためには集束イオンビーム (FIB) 加工し薄膜化させる。次に高分解能 TEM にて画像を撮影すること

により、断面の構造を確認することに成功した。

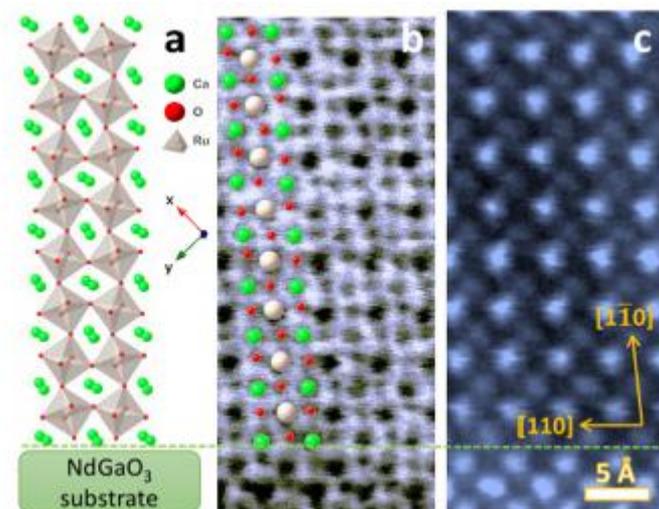


図 2-1-5 CaRuO<sub>3</sub> TEM 画像

## 2-1-6 成果

CRO を一枚の基板のデプスプロファイルすることにより、CaRuO<sub>3</sub> 薄膜の厚さ依存した電気抵抗率が 2.5nm 周期で変動する周期性を確認した。イオンミリング法の設定値による誤差やデモデプスプロファイル測定方法など検討することにより、効率的に測定が可能になり、現在はデモデプスプロファイル依頼測定があった時には瞬時に測定条件を決められるようになった。

## 参考文献

- (7)M. Sakoda, H. Nobukane, S. Shimoda, and S. Tanda "Extraordinary alternating metal-insulator transitions in CaRuO<sub>3</sub> ultrathin films at integer multiples of 25 Å of thickness" Phys. Rev. B 104, 195420."
- (8)迫田将仁、延兼啓純、丹田聡 "「フェルミ波長膜厚」の量子化が創る周期的金属絶縁体転移" 固体物理 (アグネ技術センター)、57 巻第 10 号 pp. 23-32 (2022).
- (9)迫田将仁、延兼啓純、下田周平、丹田聡 "膜厚に依存する周期的な金属絶縁体転移の発見" 日本物理学会 2021 年秋季大会
- (10)M. Sakoda, M. Kouda, K. Shinya, S. Shimoda "Enhancement of extraordinary size effect on CaRuO<sub>3</sub> ultrathin films" Adv. Electron.Mater.2023, 2201312.
- (11)M. Sakoda, H. Nobukane, S. Shimoda, K. Ichimura "Mott insulators appearing at a thickness period corresponding to nesting in CaRuO<sub>3</sub>" Appl. Phys. Lett. 126, 183101 (2025).

## 2-2 透過電子顕微鏡による SAFe ナノ粒子の最表面付着ナノ粒子の断面加工

### 測定

#### 2-2-1 経緯

大阪大学大学院薬学研究科の有澤光弘教授より、北海道大学触媒科学研究所の長谷川淳也教授を通じて、Sulfur-modified Au-supported Fe(0) (硫黄修飾金担持鉄ナノ粒子：以下、SAFe) の TEM による断面観察の依頼があった。有澤教授は以前、類似の試料である Sulfur-modified Au-supported SAPd (硫黄修飾金担持パラジウムナノ粒子：以下、SAPd) の研究において、海外の機関に解析を依頼し測定を行っていた。しかし、諸事情によりその機関での依頼測定が継続困難となり、新たな解析依頼先を模索していたところ、著者への依頼に至ったものである。先行研究である SAPd の解析時において、FIB 装置を用いた断面薄膜加工が行われたが、その加工プロセスは技術的な難易度が極めて高かったとの知見が有澤教授より共有されており、FIB 以外の加工手法について検証を行うこととした。

SAFe 試料の構造は、マイカ基板 (10 mm×20 mm×厚さ 1 mm) 上に金薄膜を形成し、その表面に Fe ナノ粒子 (SAFe) を担持させたものである。試料の状態を確認したところ、マイカ基板から金薄膜のみを剥離することが可能であることが判明した。これにより、硬質な基板ごと加工する必要がなく、柔軟な金薄膜と SAFe のみをターゲットとした試料作製が可能となる。SAFe が付着した金薄膜を樹脂包埋し、ウルトラマイクローム (超薄切片法) を用いて断面薄膜を作製する手法を採用することとした。



図 2-2-1 マイカの上の SAFe (使用済みサンプル)

## 2-2-2 ミクロトーム測定

まず、試料の樹脂包埋を行った。包埋樹脂にはエポキシ系樹脂を用い、Epok812 (4.6 ml)、DDSA (3.0 ml)、MNA (2.4 ml)、DMP-30 (0.15 ml) の混合比で調製した。チューブ内に SAFe 試料を配置し、調製した樹脂を充填した。この際、断面観察を容易にするため、SAFe 薄膜がチューブ内で垂直に保持されるよう位置調整を行った。その後、60°C の恒温槽にて約 12 時間静置し、樹脂を完全に硬化させた。

硬化した試料ブロックは、ウルトラミクロトーム (ライカマイクロシステムズ社製 EM UC7i) を用いて薄切加工を行った。まずは予備加工としてガラスナイフを使用し、切片厚の設定値を 100 nm とし、薄膜切片を作製した。得られた切片を TEM 観察用の 150 メッシュ銅グリッドに回収し、透過電子顕微鏡 (日本電子社製 JEM-2100F) を用いて観察を行った。図 2-2-2 に示す通り、Au および Fe は電子密度が高いため、TEM 像においては黒色のコントラストとして明瞭に観察された。

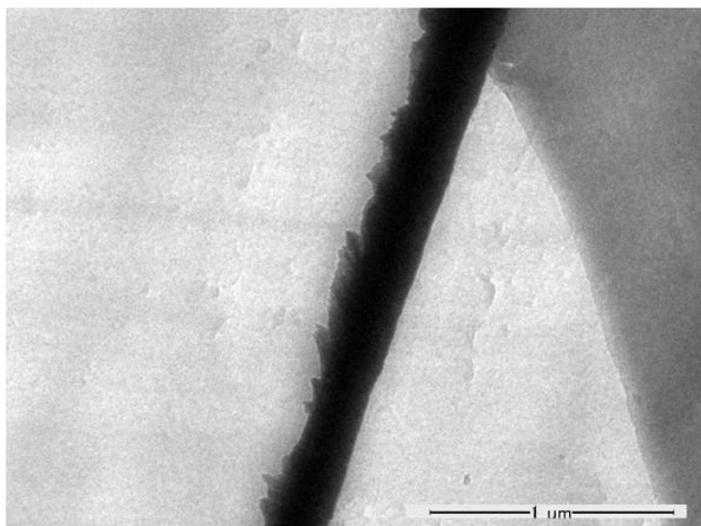


図 2-2-2 ミクロトーム加工後の TEM 像

ガラスナイフによる予備加工において、断面観察が可能である見通しが得られたため、より平滑で精度の高い切片を得るべくダイヤモンドナイフの使用を計画した。しかし、本試料 (SAFe) は化学的に活性な触媒材料であるため、研究者から包埋樹脂に含まれる溶媒や成分が、SAFe と化学反応を起こしていないか確認する必要があるとの指摘を受けた。そこで、樹脂成分と触媒の化学的適合性について検証を行ったところ、樹脂と触媒が反応し、SAFe 粒子のサイズが変質してしまう現象が確認された。試料の変質は、正確な形態観察を行う上で致命的な問題である。以上の結果から、樹脂包埋とウルトラミクロトーム

を用いた断面加工法は本試料には適用できないと判断し、同手法による加工を中断することとした。

### 2-2-3 FIB 測定

次に FIB 加工による試料作製を実施することとした。加工には、北海道大学工学研究院ナノマイクロシステム研究室が保有する FIB 装置「JEOL JIB-4601F」を使用した。

基板上的試料から観察対象を含む領域を数 10  $\mu\text{m}$  角の試料ブロックとして切り出す。次に、切り出したブロックをピックアップし、FIB 専用グリッド上に固定する。その後、イオンビームを用いて観察領域を数 100 nm 以下の厚さになるまで精密に削り込み、TEM 観察が可能な薄膜状に仕上げる。

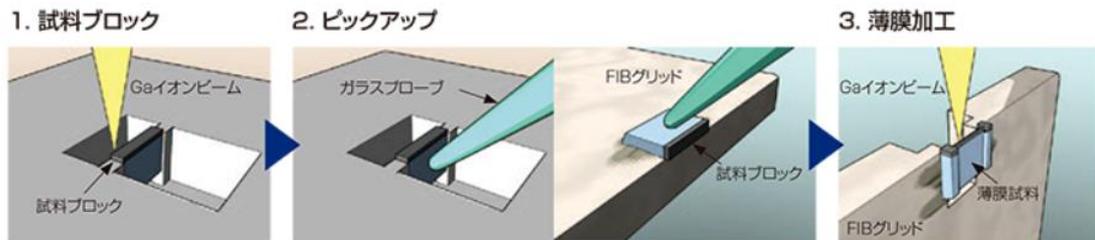


図 2-2-3 FIB 加工手順 日本電子 HP より

FIB 加工では、最表面の断面情報を保持するために保護膜の形成が不可欠である。JIB-4601F はガリウムイオンビームと電子銃を備えたデュアルビームシステムである。本実験では、まず試料ダメージの少ない電子銃を用いたカーボンデポジションを 180 秒間行い、初期保護膜を形成した。続いて、より強固な保護層を得るため、イオンビーム支援デポジションによるカーボン保護膜を 1140 秒間堆積させた。

次に、試料をピックアップしやすい形状 ( $3\ \mu\text{m} \times 30\ \mu\text{m} \times$  数  $10\ \mu\text{m}$ ) に切り出すための粗加工を開始した。しかしここで、絶縁体であるマイカ基板特有の問題が発生した。マイカは導通がないため、ビーム加工を進めるにつれて激しいチャージアップ（帯電）が生じたのである（図 2-2-4）。このチャージアップの影響により、電子銃による像観察が極めて困難となっただけでなく、加工中にサンプル自体が動いてしまい、正確な位置制御ができなくなった。さらに、削った箇所にスパッタされた物質が再付着し、溝が徐々に埋まっていく現象も発生した。このように、マイカ基板上での FIB 加工は、チャージアップによる観察・加工精度の著しい低下を招き、高品質な断面試料の作製は困難であることが判明した。

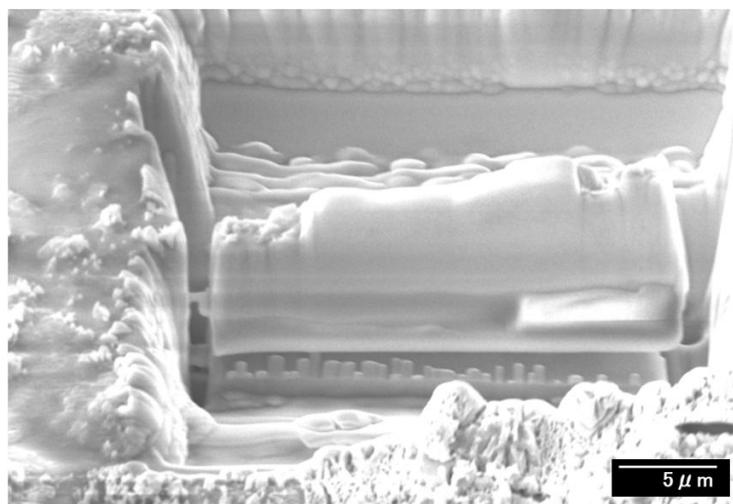


図 2-2-4 マイカ-SAFc の FIB 加工像

#### 2-2-4 試料形態の変更と再アプローチ

マイカ基板を用いた現状の試料形態では、FIB 加工による高品質な断面作製が困難であるとの結論に達した。この課題を解決するため、有澤教授と協議を行い、加工条件の変更（電子銃を用いずガリウムイオンビームのみでの加工など）や、試料作製アプローチ自体の抜本的な見直しについて検討を重ねた。

協議の結果、マイカ基板を使用せず、金メッシュ（グリッド）上に直接 Fe ナノ粒子を担持させる手法でも、目的とする試料の作製が可能であることが明らかとなった。この手法であれば、導電性の高い金メッシュを使用するためチャージアップの問題を根本的に解決できる。そこで著者は、試料形状を変更（図 2-2-5）した上で、再度 FIB 加工による断面観察に挑戦することとした。



図 2-2-5 金メッシュの SAFc サンプル

#### 2-2-5 改良手法の確立と FIB 加工の実施

変更後の試料である金メッシュは直径 50 μm と微小である。通常の FIB 加工手順では、試料ブロックの切り出しからピックアップ工程を経て FIB 用グリッドへ固定する必要があるが、この工程は多大な時間を要するだけでなく、微小な金メッシュ試料を紛失する

リスクが高い。そこでピックアップ工程そのものを省略し、金メッシュ上の SAFe を直接薄膜化する手法を考案した。

具体的には、透過電子顕微鏡用ダブルグリッドを用いて、SAFe 担持金メッシュをサンドイッチ状に挟み込み、固定する方法である。ただし、通常の形状のダブルグリッドをそのまま使用すると、グリッドのフレームがイオンビームを遮蔽し、加工領域へのアクセスが妨げられてしまう。この問題を解決するため、著者はダブルグリッドをあらかじめ半分に切断し、断面が露出するように加工してから SAFe 試料を挟み込む工夫を施した。

この改良手法の導入により、試料ブロック作製とピックアップ作業を完全に省略することが可能となった。また、加工対象である金 (Au) はガリウムイオンビームによる切削性が良く、さらに本手法では試料が筒状のエッジ部分に位置するため、除去すべき体積も最小限で済むという利点がある。その結果、有澤教授との議論を経て採用したこの新規手法は、短時間で広範囲の薄膜化を可能にし、本試料の FIB 加工において極めて有効であることが実証された。

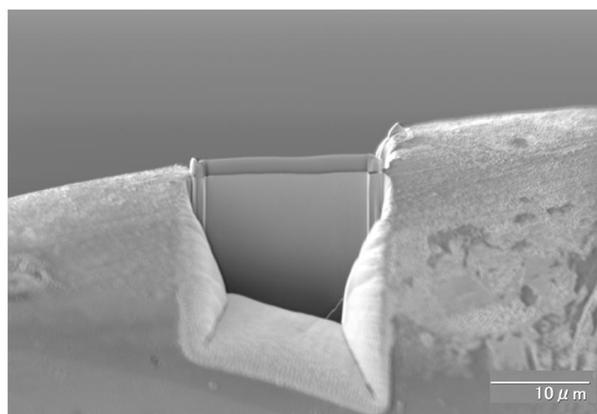
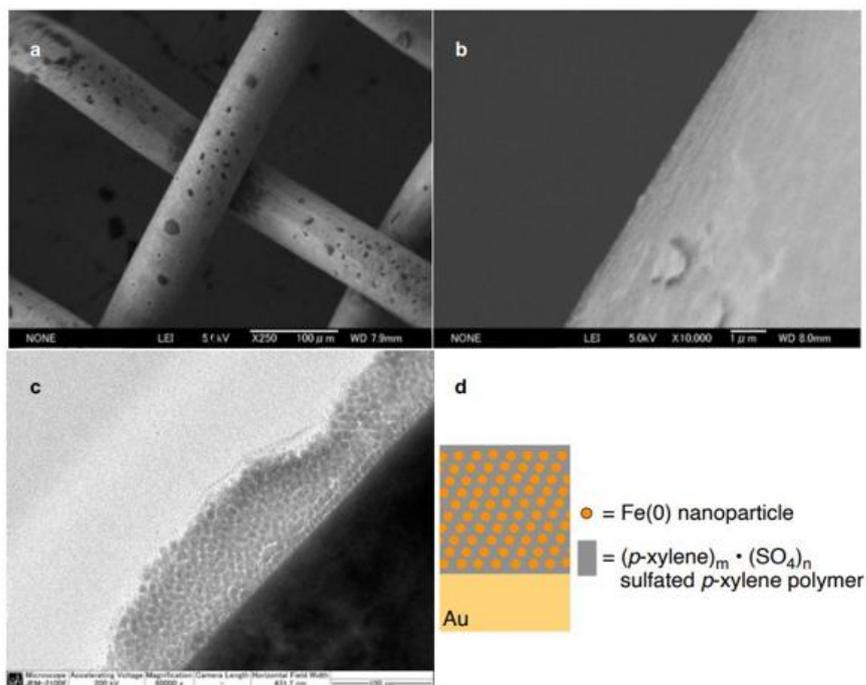


図 2-2-6 金メッシュ SAFe の FIB 像

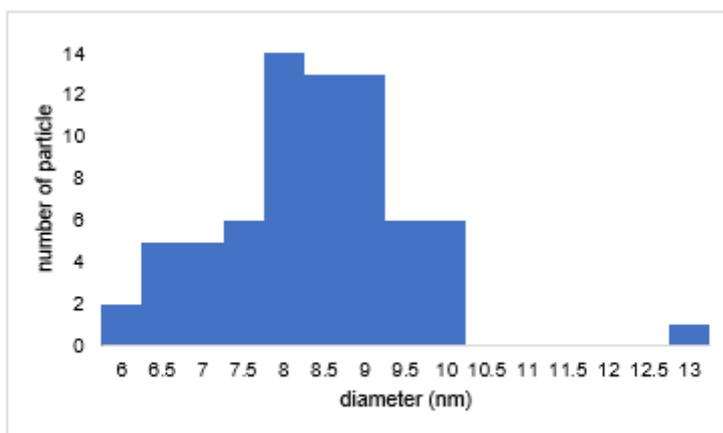
## 2-2-6 TEM 測定

独自に考案したダブルグリッド挟み込み法により作製した薄膜試料について、TEM による観察を行った。また、断面情報との比較対象として、電界放射型走査電子顕微鏡 (FE-SEM：日本電子社製 JSM-7400F) を用いた表面形態の観察も併せて実施した。

FE-SEM による表面観察および TEM による断面観察の結果、SAFe 粒子の分散状態および形状を明瞭に捉えることに成功した。得られた画像データに基づき、触媒粒子の粒径計測を行ったところ、粒径サイズ分布および単位面積当たりの付着個数を定量的に明らかにすることができた。これらの結果は、本手法が、従来のピックアップ法では困難であった微小かつ特殊な形状の試料に対しても有効であり、高品質な FIB 加工断面を提供できることを示している。



**Figure S4.** Representative SEM (a, b) and TEM (c) images of SAFe(0). Scale bars: 100  $\mu\text{m}$  (a), 1  $\mu\text{m}$  (b), 100 nm (c). The image of SAFe(0) structure (d).



**Figure 7.** Size distribution of Fe nanoparticle observed by TEM analysis.

図 2-2-7 -SAFe の FE-SEM と TEM 像 粒径

## 2-2-7 成果

本取り組みの成果として、マイカ基板上的 SAFe を直接 FIB 加工する従来の手法ではなく、試料作製工程そのものを根本から見直したことで、FIB 加工における最大のボトルネックであった断面出しおよびピックアップ作業を完全に省略することに成功した。これに

より、加工時間の大幅な短縮と作業工程の効率化が実現された。さらに、本研究で確立したこの加工プロセスを、新たな試料である Sulfur-modified Au-supported Ni (硫黄修飾金担持ニッケルナノ粒子：SANi) の解析にも適用した。既に加工フローが確立されていたため、SANi についても極めて短時間で試料作製から測定までを完了することができた。この事実は、本手法が特定の試料に限らず、類似の性状を持つ微細試料に対して広く適用可能であり、高い汎用性と迅速性を有していることを実証している。

#### 参考文献

- (12) Mitsuhiro Arisawa, Mohammad Al-Amin, Tetsuo Honma, Yusuke Tamenori, Satoshi Arai, Naoyuki Hoshiya, Takatoshi Sato, Mami Yokoyama, Akira Ishii, Masaki Takeguchi, Tsuyoshi Miyazaki, Masashi Takeuchi, Tomohiro Marukod Satoshi Shutoa "Formation of self-assembled multi-layer stable palladium nanoparticles for ligand-free coupling reactions" RSC Adv., 2015, 5, 676
- (13) 応研商事 電子顕微鏡、光学顕微鏡用包埋剤  
<http://www.okenshoji.co.jp/resin.htm>
- (14) 日本電子 FIB 薄膜試料のイオンスライサ仕上げ法  
<https://www.jeol.co.jp/solutions/applications/details/1103.html>
- (15) Toshiki Akiyama, Yuki Wada, Makito Yamada, Yasunori Shio, Tetsuo Honma, Shuhei Shimoda, Kazuki Tsuruta, Yusuke Tamenori, Hitoshi Haneoka, Takeyuki Suzuki, Kazuo Harada, Hayato Tsurugi, Kazushi Mashima, Jun-ya Hasegawa, Yoshihiro Sato, and Mitsuhiro Arisawa "Self-Assembled Multilayer Iron (0) Nanoparticle Catalyst for Ligand-Free Carbon–Carbon/Carbon–Nitrogen Bond-Forming Reactions" Org. Lett. 2020, 22, 18, 7244–7249.
- (16) Ryousuke Ohta, Yasunori Shio, Toshiki Akiyama, Makito Yamada, Shuhei Shimoda, Kazuo Harada, Makoto Sako, Jun-ya Hasegawa, Mitsuhiro Arisawa "Carbon(sp<sup>2</sup>)-carbon(sp<sup>3</sup>) Bond-forming Cross-coupling Reactions Using Sulfur-Modified Au-Supported Nickel Nanoparticle Catalyst" Asian J. Org. Chem. 2022, e202200229.

## 2-3 走査電子顕微鏡によるイオン液体コーティングのデータベース作成

### 2-3-1 経緯

本研究は、2017年度日本学術振興会科学研究費助成事業（奨励研究）「イオン液体を無機化合物に用いた走査電子顕微鏡測定による適合性のデータベース構築」として採択され、実施したものである。SEM 観察において、絶縁物試料の帯電は画像障害を引き起こす大きな課題である。この問題を解決する新たな手法としてイオン液体を用いたコーティング技術に着目し、多様な無機化合物に対する適合性を検証することで、実用的なデータベースの構築を目指した。

### 2-3-2 チャージアップの原理

SEM は、真空中で細く絞った電子線を試料表面に照射・走査し、電子と物質の相互作用によって試料から放出される信号を検出して画像化する装置である。電子線が試料に入射すると、試料内部の原子と衝突・散乱を繰り返し、その過程で二次電子や反射電子などが放出される。SEM は主にこの二次電子を検出器で捉え、試料表面の微細な凹凸情報を可視化している。

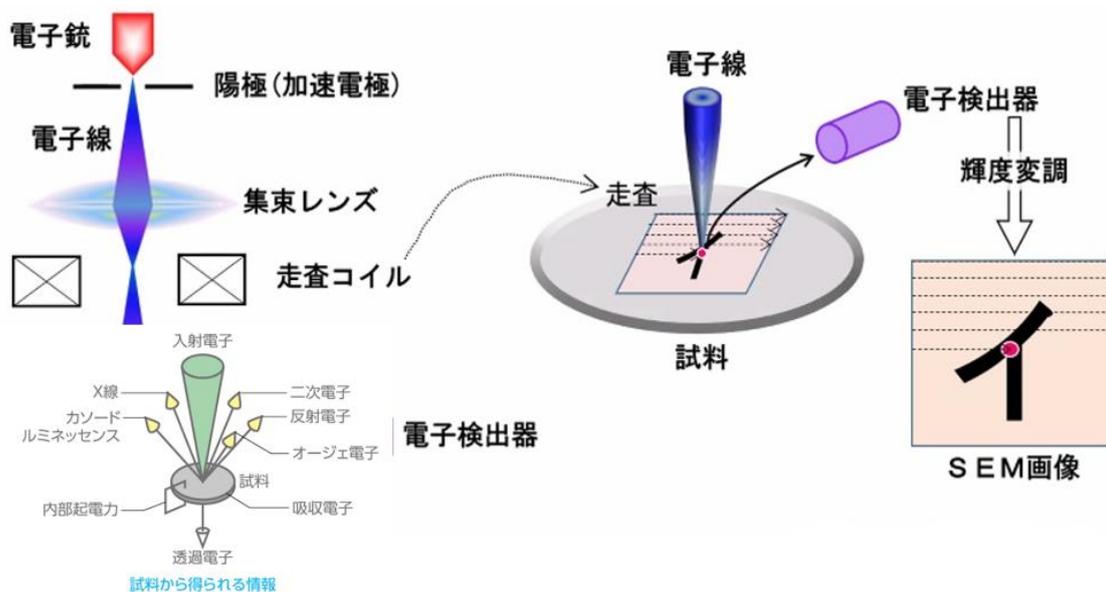


図 2-3-1 走査電子画像イメージ 日本電子 HP より

電子線のエネルギーはサンプル内に溜まるため、サンプルからアースに電子線のエネルギーを放出しなければチャージアップが起きてしまい、画像撮影ができない。サンプル自体に導電性を持ち合わせていれば処理をしなくてもそのまま電子エネルギーはアースに逃

げるため観察することができる。しかし、導電性がないサンプルの場合は電子エネルギーが内部に溜まってしまうため導通処理を行い、エネルギーを逃がす必要がある。現在カーボンコーティングや金属コーティングが主流になっており、ナノメートルの導電性物質をサンプル表面にコーティングすることによって導電処理をしている。

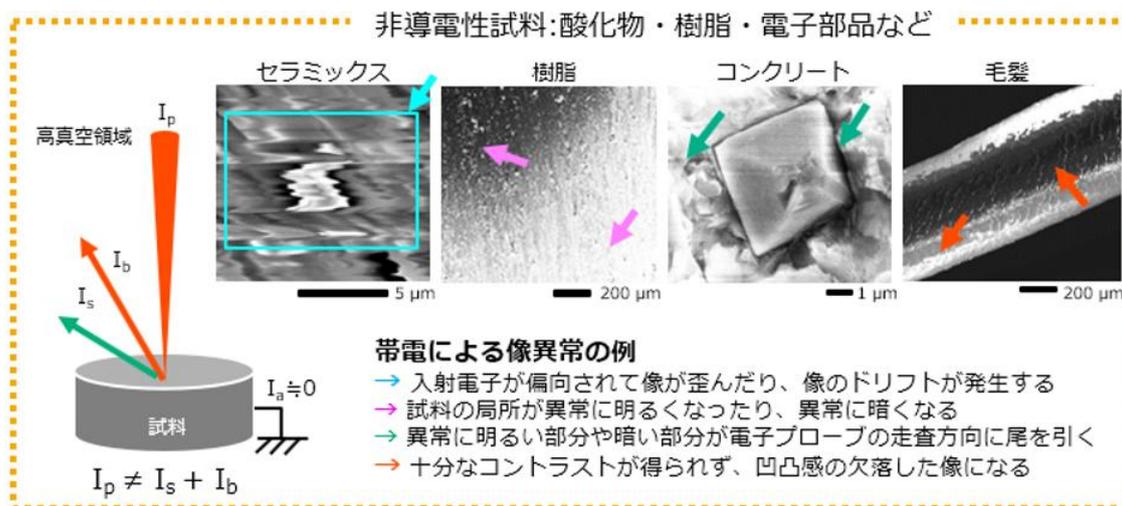


図 2-3-2 チャージアップ現象 日本電子 HP より

チャージアップ対策としては金属等のコーティングが一般的であるが、これらの手法にはいくつかの課題が存在する。真空蒸着やスパッタリングといった物理的な成膜手法では、粒子が直線的に飛来する傾向があるため、試料が球状であったり、複雑な積層構造や凹凸を有していたりする場合、陰になる部分や内部の微細構造までコーティング材が十分に回り込まないことがある。その結果、被覆が不完全となり、局所的な導通不良によるチャージアップが発生するケースが散見される。

また、より被覆性の高い手法として、四酸化オスミウム ( $\text{OsO}_4$ ) ガスを用いたプラズマコーティング法 (オスミウムコーティング) が存在する。この手法は、気体分子を試料表面に化学的に吸着・成膜させるため、複雑な形状であっても細部まで均一な導電膜を形成することが可能であり、チャージアップ防止に極めて有効である。しかし、原料となる四酸化オスミウムは極めて毒性が強く、揮発性も高いため、人体への危険性が懸念される。そのため、厳重な試薬管理、特殊な廃棄処理が必要となるなど、運用・管理面でのハードルが高く、容易に導入できないという実情がある。こうした背景から、複雑な形状にも適用可能で、かつ安全・簡便に利用できる新たなチャージアップ防止技術の確立が求められている。

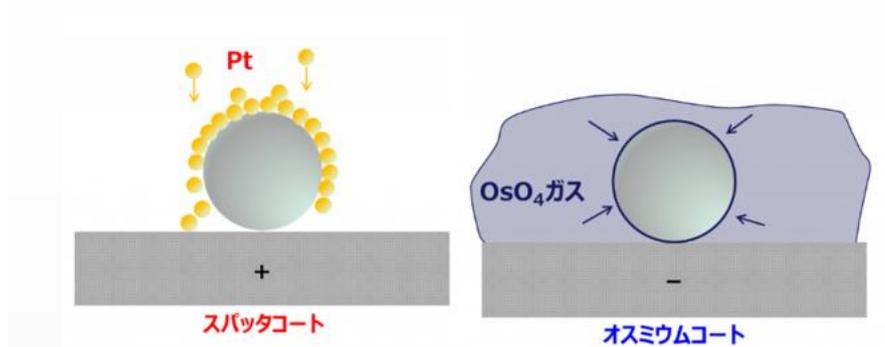


図 2-3-3 コーティングのイメージ イビデンエンジニアリング HP より

### 2-3-3 イオン液体の溶媒及び滴下量検証

従来の物理的蒸着法に代わる新たなコーティング材料としてイオン液体の利用を着想した。イオン液体は、カチオンおよびアニオンのみから構成される常温熔融塩であり、一般に有機化合物である。その物理的特性として、極めて低い揮発性、高い熱的・化学的安定性、そして優れたイオン導電性を有している。特に難揮発性であることは、高真空環境下である SEM 試料室内に導入しても揮発による真空度の悪化を招かないことを意味し、SEM 観察用材料として極めて有利である。さらに、液体状態での塗布が可能であるため、固体蒸着膜では被覆困難な球状試料や複雑な多層構造を持つ試料に対しても、表面張力を利用して細部まで浸透・回り込みさせることが可能であると考えた。

これまでイオン液体は、主に含水率の高い生物試料を SEM 観察する際の前処理剤として利用されてきた。しかし、無機化合物に対するコーティング効果や適合性に関する情報は極めて少ないのが現状である。そこで本研究では、市販されているイオン液体の中から、無機化合物の観察に最適なコーティング素材を選定し、その適合性に関するデータベースを構築することとした。

イオン液体の組み合わせは理論上数百万種類以上存在するため、その全てを検証することは現実的ではない。そこで、実用性を考慮して以下の基準でスクリーニングを行った。第一に、安全性の確保である。イオン液体の中には毒性や劇物指定の性質を持つものも存在するが、手軽かつ安全に使用できる技術を確立するため、毒劇物に該当する物質は選択肢から除外した。第二に、電子顕微鏡用のエチル(2-ヒドロキシエチル)ジメチルアンモニウムメタンサルホナートを参考とし、これと類似した化学的性質を持つ物質を探索した。これらの検討の結果、図 2-3-4 を参考に、特性が近く入手が容易な 1-エチル-3-メチルイミダゾリウム エチルスルフェートを実験対象として選定した。

	1-エチル-3-メチルイミダゾリウムエチルスルフェート	エチル(2-ヒドロキシエチル)ジメチルアンモニウムメタンスルホナート	1-エチル-3-メチルイミダゾリウムビス(トリフルオロメチルスルホニル)イミド	1-エチル-3-メチルイミダゾリウムテトラフルオロボラート
融点(°C)	-65	-70	-16	14
密度(m/cm <sup>3</sup> )	1.22	1.21	1.52	1.27
粘度(CP)	120	70 ~ 100	28	31
導電率(mS/cm)	3.5	2.5	8.8	13.6
親水性	○	○	×	○
毒劇物	×	×	×	劇物

図 2-3-4 イオン液体の比較

選定したイオン液体(1-エチル-3-メチルイミダゾリウム エチルスルフェート)を原液のまま試料に塗布した場合、粘度が高いために被膜が厚くなりすぎ、SEM 観察において微細構造が埋もれてしまう等の問題が生じる。そのため、適切な溶媒で希釈し、薄く均一な被膜を形成する必要がある。希釈溶媒には、汎用性が高く入手が容易なものが望ましい。そこで本実験では、代表的な溶媒として純水およびエタノールを選定し、その適性を比較検証することとした。

実験では、各溶媒を用いて 0.1%濃度に希釈した溶液を調製した。溶媒の違いによる試料表面での濡れ性を確認するため、SEM 試料台に銅箔テープを貼り付け、その上にマイクロピペットを用いて各溶液を 2  $\mu$ L 滴下し、液滴の形状を観察した。図 2-3-5 に滴下直後の様子を示す。エタノール希釈溶液の場合、滴下直後から銅箔上で速やかに濡れ広がる様子が観察された。一方、純水希釈溶液の場合は、滴下後も液滴が広がらず、球状の形態を維持したままであった。コーティング剤としては、試料表面全体に薄く均一に広がることを求められるため、エタノールが望ましい結果になった。

	エタノール	純水
揮発性	高い	低い
表面張力(mN/m)	22.4	72.7
粘度(CP)	1.2	1.0



エタノール 純水

図 2-3-5 イオン液体のエタノールと純水との比較

滴下実験によりエタノールの優位性が示唆されたことを受け、実際の粉末試料を用いてコーティング状態の比較検証を行った。検証用試料には、粒径 5~10  $\mu\text{m}$  の二酸化ケイ素 ( $\text{SiO}_2$ ) 粉末を選定した。試料台上の銅箔テープに  $\text{SiO}_2$  粉末を付着させ、その上から各溶媒 (純水、エタノール) で 0.1% 濃度に希釈したイオン液体 (1-エチル-3-メチルイミダゾリウム エチルスルフェート) を、マイクロピペットを用いて 2  $\mu\text{L}$  滴下した。

滴下後の試料表面を観察した結果 (図 2-3-6)、溶媒の違いによるコーティング状態の差異が顕著に表れた。エタノールで希釈した場合は、粉末試料の表面全体に速やかに濡れ広がり、薄く均一なコーティング膜が形成されていることが確認された。一方、純水で希釈した場合は、液滴が高い表面張力を維持したまま乾燥したため、イオン液体が局所的に凝集し、試料表面が厚くコーティングされてしまう傾向が見られた。これでは微細構造が埋没する恐れがある。以上の結果から、粘性や表面張力の影響を最小限に抑え、SEM 観察に適した薄膜コーティングを行うためには、希釈溶媒としてエタノールが最適であると結論付けた。

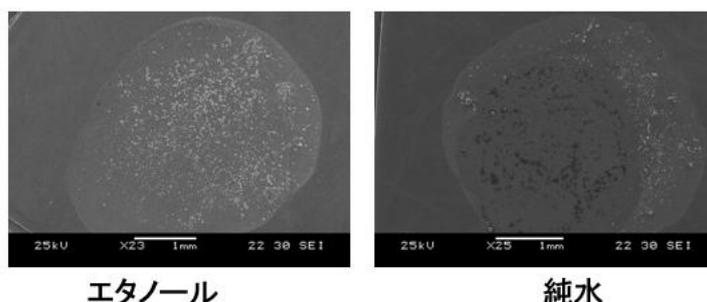


図 2-3-6 イオン液体をエタノールと純水にて希釈させ  $\text{SiO}_2$  に滴下画像

次に、最適な滴下量の検証を行った。1-エチル-3-メチルイミダゾリウム エチルスルフェートをエタノールで 1% 濃度に希釈した溶液を用い、 $\text{SiO}_2$  粉末に対して 2  $\mu\text{L}$ 、5  $\mu\text{L}$ 、10  $\mu\text{L}$  の各容量を滴下して比較した。その結果、5  $\mu\text{L}$  以上の容量では液量が過剰となり、コーティング層が厚くなる傾向が見られたほか、複数回滴下したような不均一な痕跡が確認された。一方、2  $\mu\text{L}$  の場合は一回の滴下で適量が供給され、過剰な厚みを持たない良好な被覆状態が得られた。以上の結果から、本手法における理想的な滴下量は 2  $\mu\text{L}$  であると結論付けた。

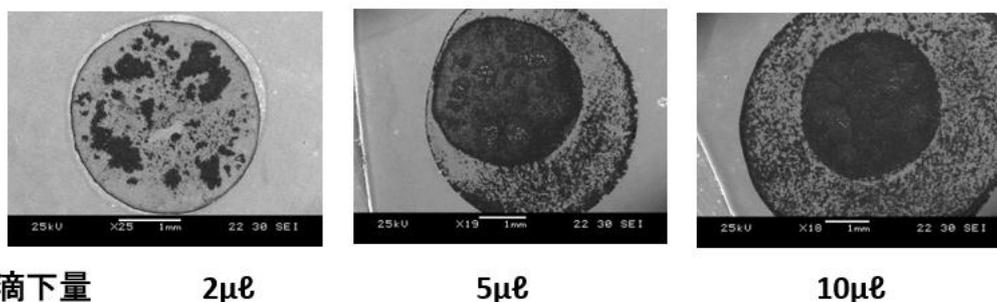
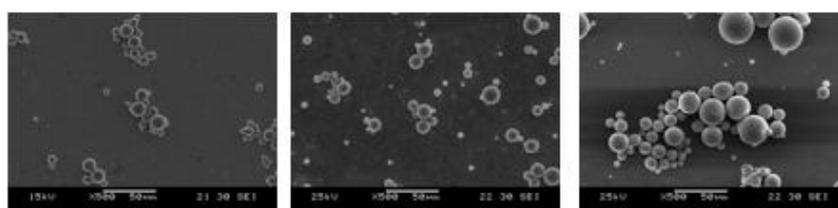


図 2-3-7 イオン液体をエタノール 1% 希釈の異なる容量を  $\text{SiO}_2$  に滴下画像

イオン液体の希釈濃度に関する詳細な検証を行った。1-エチル-3-メチルイミダゾリウムエチルスルフェートを用い、濃度条件として 0.1%、0.01%、0.001%、0.0001% の 4 水準を設定した。これらをエタノールおよび純水の各溶媒で希釈した溶液を作製し、SiO<sub>2</sub>粉末へのコーティング状態を比較評価した。

図 2-3-8 に各条件下での SEM 観察結果を示す。画像を比較検証した結果、エタノールを溶媒とした場合は濃度 0.01% において、純水を溶媒とした場合は濃度 0.001% において、それぞれ最も良好なコーティング状態が得られることが判明した。この結果は、前述の通り溶媒の表面張力の違いに起因するものと考えられる。表面張力の低いエタノールは濡れ性が高く薄く広がりやすい一方、表面張力の高い純水は液滴が凝集しやすいため、同等の薄膜を得るためにはエタノールと比較して 10 倍の希釈が必要であることが明らかとなった。

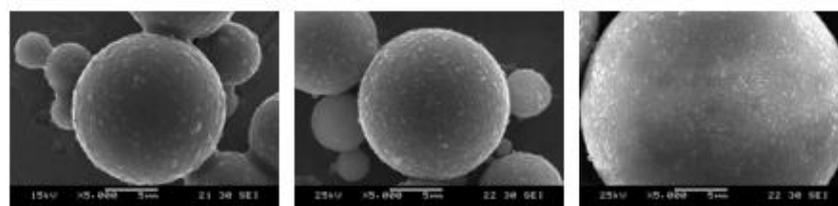
#### イオン液体をエタノール希釈



500倍 0.1%

0.01%

0.001%

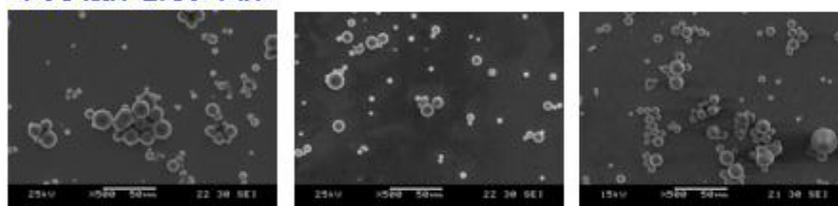


5000倍 0.1%

0.01%

0.001%

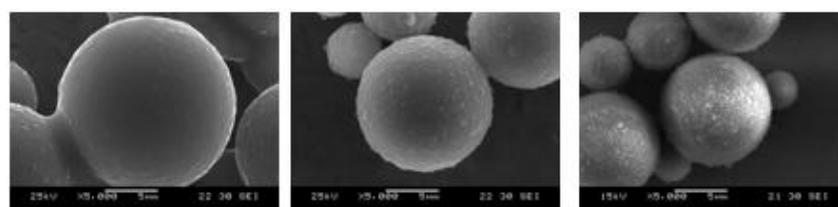
#### イオン液体を純水希釈



500倍 0.01%

0.001%

0.0001%



5000倍 0.01%

0.001%

0.0001%

図 2-3-8 イオン液体をエタノールと純水で異なる濃度にて SiO<sub>2</sub> に滴下画像

### 2-3-4 イミダゾリウムの異なる導電率の比較

イオン液体自身の物性、特に導電率の違いがチャージアップ防止効果にどのような影響を与えるかを検証した。比較対象として、同一のカチオンのイミダゾリウムを有しながら、導電率が10倍ずつ異なるイオン液体を選定した。選定したイオン液体の詳細を図2-3-9に示す。これにより、化学的性質を類似させつつ、導電性能のみを変数とした比較評価が可能となる。

	1-エチル-3-メチルイミダゾリウム ジシアナミド	1-エチル-3-メチルイミダゾリウム エチルスルフェート	1-エチル-3-メチルイミダゾリウム オクチルスルフェート	1-ヘキシル-3-メチルイミダゾリウム クロリド
融点(°C)	-12	-65	-9	-85
密度(m/cm <sup>3</sup> )	1.10	1.22	1.09	1.03
粘度(cP)	21.4	120	470	10222
導電率(mS/cm)	24.3	3.5	0.52	0.03
親水性	○	○	○	○
毒劇物	×	×	×	×

図 2-3-9 導電率及び粘度が異なるイミダゾリウム

選定した各イオン液体について、エタノールを用いて複数の希釈濃度条件を作製し、SEM観察による比較を行った。図2-3-10に実験結果を示す。観察の結果、イオン液体の導電率、粘度、およびコーティング特性の間には密接な関係があることが判明した。導電率の低いイオン液体は、総じて粘度が高い傾向にあり、希釈しても試料表面に過剰な残留物が生じやすく、均一な薄膜コーティングには不向きであった。対照的に、導電率の高いイオン液体は粘度が低く、濡れ性は良好であるものの、保持力が弱いために部分的にコーティングが脱落する現象が見受けられた。双方のバランスを考慮した結果、過剰な残留物がなく、かつ安定した被覆を維持するためには、粘度120 cP前後の物性を持つイオン液体が最も適しているとの結論に達した。

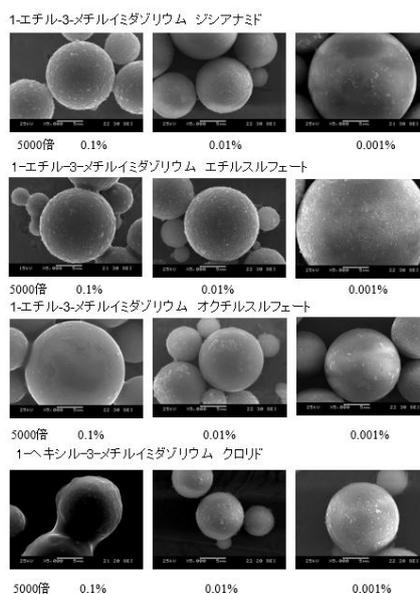


図 2-3-10 導電率及び粘度が異なるイミダゾリウムの希釈画像

### 2-3-5 ビス(トリフルオロメタンスルホニル)イミドと異なるカチオンの比較

アニオン構造の違いがコーティング適性に及ぼす影響を検証した。アニオンをビス(トリフルオロメタンスルホニル)イミドに統一し、カチオン構造の異なる5種類のイオン液体を選定して比較を行った。各試料はエタノールを用いて複数の濃度に希釈し、SiO<sub>2</sub>粉末へのコーティング状態をSEMにて観察した。

図2-3-11に観察結果を示す。検証の結果、カチオンとしてイミダゾリウム骨格を持つイオン液体を用いた場合に限り、比較的良好で均一なコーティング被膜が形成された。しかし、それ以外の4種類のカチオンを用いたイオン液体では、被覆状態に均一性がなく、ムラや凝集が顕著に見られ、コーティング剤として機能していなかった。イミダゾリウム系以外のカチオンとの組み合わせにおいて良好な結果が得られなかったことから、ビス(トリフルオロメタンスルホニル)イミドをアニオンとするイオン液体は、コーティング素材としては総じて不向きであるとの結論に達した。

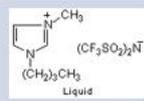
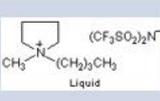
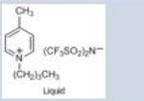
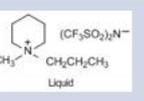
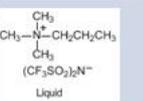
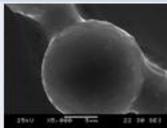
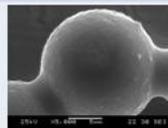
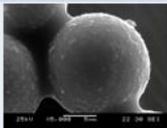
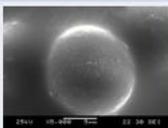
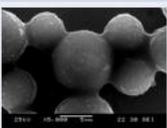
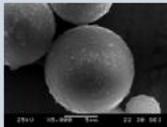
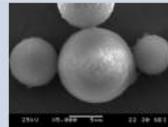
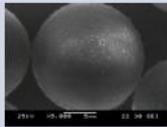
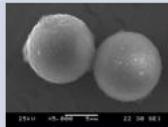
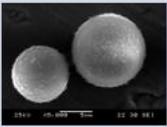
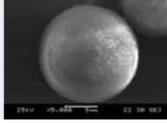
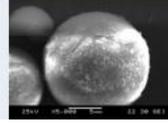
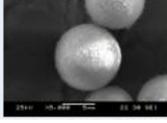
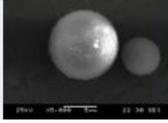
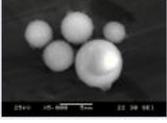
	1-ブチル-3-メチル イミダゾリウム ビス(トリフルオロメタン スルホニル)イミド	1-ブチル-1-メチル ピロリジニウム ビス(トリフルオロメタン スルホニル)イミド	1-ブチル-4-メチル ピリジニウム ビス(トリフルオロメタン スルホニル)イミド	1-メチル-1-プロピル ピペリジニウム ビス(トリフルオロメタン スルホニル)イミド	トリメチルプロピル アンモニウム ビス(トリフルオロメタン スルホニル)イミド
融点(°C)	-4	-18	-65	12	17
密度(m/cm <sup>3</sup> )	1.45	1.40	1.21	1.40	1.44
粘度(cP)	52	72	136	150	61
導電率(mS/cm)	3.9	2.1	2.2	1.5	3.2
親水性	×	×	×	×	×
毒劇物	×	×	×	×	×
構造式	 (CF <sub>3</sub> SO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> N <sup>-</sup> (CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> CH <sub>3</sub> Liquid	 (CF <sub>3</sub> SO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> N <sup>-</sup> CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> CH <sub>3</sub> Liquid	 (CF <sub>3</sub> SO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> N <sup>-</sup> (CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> CH <sub>3</sub> Liquid	 (CF <sub>3</sub> SO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> N <sup>-</sup> CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub> Liquid	 CH <sub>3</sub> CH <sub>3</sub> -N <sup>+</sup> -CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub> CH <sub>3</sub> (CF <sub>3</sub> SO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> N <sup>-</sup> Liquid
濃度1% 倍率5000					
濃度0.1% 倍率5000					
濃度0.01% 倍率5000					

図2-3-11 導電率及び粘度に近いビス(トリフルオロメタンスルホニル)イミドの希釈画像

### 2-3-6 スルフェートと異なるカチオンの比較

スルフェートをアニオンに持つイオン液体に焦点を当て、カチオン種の違いによる影響を検証した。実験では、アニオンをスルフェートに統一した上で、カチオンとしてイミダゾリウム、ピロリジニウム、ピリジニウムの異なる骨格を持つ 3 種類のイオン液体を選定した。これらにエタノールを用いて異なる濃度に希釈し、同様に SiO<sub>2</sub>粉末へのコーティング評価を行った。

図 2-3-12 にその結果を示す。検証の結果、カチオンがイミダゾリウムの場合、1-エチル-3-メチルイミダゾリウム エチルスルフェートは、既往の実験通り、チャージアップのない鮮明な画像が得られ、良好なコーティング性能が確認された。対照的に、カチオンがピロリジニウムやピリジニウムの場合は、激しいチャージアップが発生し、像障害が著しかった。これにより、アニオンがスルフェートであっても、カチオン構造によっては十分な導電性や被覆性が得られず、コーティング材料として適さないことが判明した。

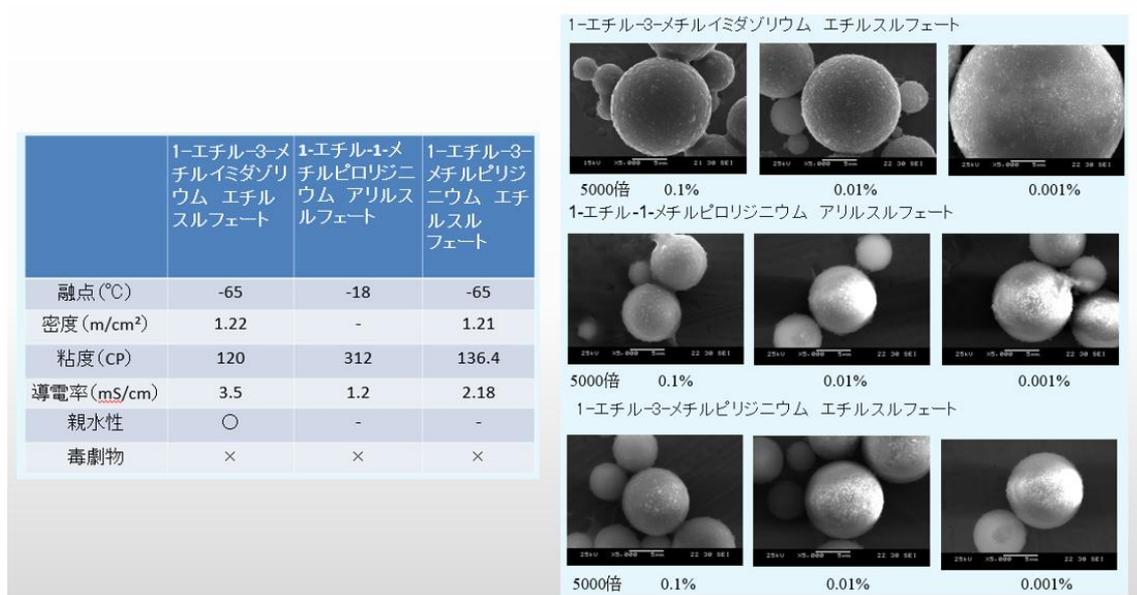


図 2-3-12 導電率及び粘度が近いビス(トリフルオロメタンスルホニル)イミドの希釈画像

### 2-3-7 成果

一連の検証結果から、イオン液体の物性とコーティング特性の間には明確な相関が認められた。一般に、導電率が高いイオン液体は粘度が低く、逆に導電率が低いものは粘度が高い傾向にある。コーティングにおいては、粘度が過度に低いと試料への定着性が低下し、逆に高すぎると残留物が多くなり均一な薄膜形成を阻害する。これらのバランスを考慮した結果、SEM 観察用の帯電防止コーティング剤としては、特に粘度が 100 cP 近傍のものが

最も良好な被覆状態を示し、カチオンはイミダゾリウム、アニオンはスルフェートの組み合わせの相性が良く、1-エチル-3-メチルイミダゾリウム エチルスルフェートが最もコーティング適性に優れていた。

本研究を通じて、これまで主に生物試料の前処理に限られていたイオン液体活用の可能性を、無機化合物の SEM 観察という新たな領域へと拡張することができた。ここで得られた知見はデータベースとして体系化され、研究者や他の技術職員への技術相談・支援に活用されている。このように、自らの研究成果が具体的な技術提供へとつながり、本活動における成果である。

#### 参考文献

- (17)日本電子 走査電子顕微鏡 (SEM)  
<https://www.jeol.co.jp/products/science/sem.html>
- (18)日本電子 SEM の帯電現象 (チャージアップ) を抑制する  
<https://www.jeol.co.jp/solutions/applications/details/mp2023-01.html>
- (19)イビデンエンジニアリング株式会社 オスミウムコート of の原理  
<https://www.ibieng.co.jp/analysis-solution/x0028/>
- (20)イオン液体の科学 新世代液体への挑戦 | イオン液体研究会,西川恵子・大内幸雄・伊藤敏幸・大野弘幸・渡邊正義 編,丸善出版(株)
- (21)日立電子顕微鏡用イオン液体 IL1000 パンフレット
- (22)イオン液体 第5版 関東化学 パンフレット
- (23)次世代液体 イオン液体 和光純薬工業株式会社 パンフレット
- (24)2017 年度 機器・分析技術研究会 in 長岡 「走査電子顕微鏡測定によるイオン液体コーティング検証」
- (25)日本顕微鏡学会第 60 回記念シンポジウム 「SEM 測定による導電率が異なるイオン液体コーティング検証」

## 第3章 分析系技術職員交流会の組織運営および活動

### 3-1 北海道大学電顕系技術職員交流会の運営活動

#### 3-1-1 経緯

著者の着任当初、北海道大学には電子顕微鏡を担当する技術職員が多数在籍していたものの、その多くは各部局に分散して配属されており、部局の枠を超えて交流する機会は極めて乏しかった。そのため、電子顕微鏡に関する技術的な相談は、主に個人的なつながりの範囲内で行わざるを得ない状況であった。

こうした状況に変化が生じたのは、平成26年に開催された北海道大学総合技術研究会が契機である。この研究会を通じて部局間の技術職員によるネットワークが形成され始めた。電子顕微鏡担当者が日常的に技術相談を行える「場」を学内に構築するため、理学研究院の松本技術専門職員が発起人となり、工学研究院の鈴木技術専門職員および著者の2名に対して、幹事就任への協力依頼があった。これを受け、3名が中心となり北海道大学電顕系技術職員交流会（北大電顕交流会）が設立された。

設立当初の活動として、幹事が学内の電子顕微鏡担当者に個別に呼びかけを行い、平成28年1月20日に電顕関係技術職員交流会（仮）と題した初会合を開催した。この会合には9名の技術職員が参加し、活発な意見交換が行われた。その中で、本会を通じて技術職員の相互研鑽とスキルアップを目的とした勉強会を定期的に開催することが決定された。

#### 3-1-2 人材交流および施設訪問

設立後の初期活動として、参加者が所属する各施設の環境や保有設備への理解を深めることを目的とし、施設訪問を実施した。具体的には、開催ごとに会場となる部局を変更し、2年間で計6回、合計10か所の施設を訪問した。これにより、参加者は普段接する機会の少ない他部局の先端装置や特殊な設備を見学することができた。実際の装置を前にして行われた意見交換では、分析ノウハウや試料の前処理手法、維持管理上の工夫など、実務に直結する具体的な情報が共有され、技術職員にとって極めて有意義な交流の場となった。また、こうした相互訪問を通じて、参加者一人ひとりの専門分野や得意とする技術領域が可視化されたことで、技術的な課題が生じた際に適切な相手へ個別に相談できる、円滑な連携体制が構築された。



図 3-1-1 施設見学風景

### 3-1-3 技術共用のためのラウンドロビンテスト

施設訪問に続く実践的な活動として、各参加者が日常的に管理している電子顕微鏡の性能確認、ならびに施設間における装置特性の差異を把握することを目的とし、同一試料を複数の施設で観察・解析するラウンドロビンテストを実施した。これまでに計 3 回のテストを行い、各回で異なる技術的課題を設定することで技術研鑽を図った。

第 1 回は、酸化アルミニウムのナノ粒子（粒子径 50 nm）を測定対象とした。本試料は TEM および SEM の双方で観察が可能である一方、絶縁体であるためチャージアップ現象が生じやすい。そのため、帯電防止対策や撮影条件の最適化など、高分解能かつ鮮明な画像を取得するための技術的なトレーニングとして最適な試料であった。

第 2 回は、岩石系試料として支笏降下軽石を選定した。本試料も導電性を持たないため、観察には適切な前処理や測定条件の工夫が必要となる。テストでは、導電性コーティングを施す手法や、低真空モードを用いる手法など、各参加者が得意とするアプローチで測定を行い、それぞれの前処理技術や測定ノウハウに関する知識共有を行った。

第 3 回は、エネルギー分散型 X 線分析（EDS）を用いた微量元素検出を実施した。標準サンプルを用いた測定を通じて、装置ごとの検出感度や分析条件による結果の差異について議論を深めた。これにより、EDS 分析における検出限界の考え方や、定量精度の向上に関する知見を学ぶ貴重な機会となった。

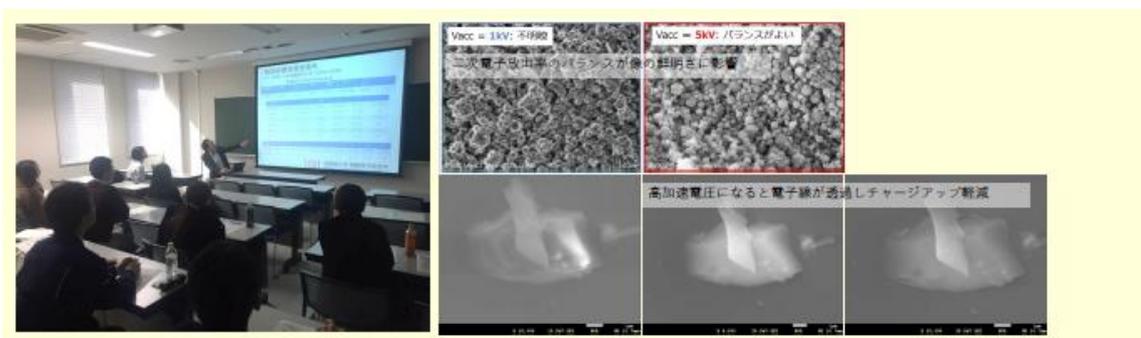


図 3-1-2 ラウンドロビンテスト

### 3-1-4 機器分析・工作技術交流会

北海道大学グローバルファシリティセンター（GFC）では、技術支援人材の育成を目的として、先端・大型研究設備の共用促進に資する技術交流会を開催している。平成 28 年に機器分析・工作技術交流会と銘打ち、その企画担当者の公募が行われた。これに対し、北大電顕交流会は透過電子顕微鏡の基礎講習及び実習をテーマとした企画を立案・応募し、採択された。

本交流会は、学内の技術職員にとどまらず、北海道内の国立大学および国立高等専門学校の技術職員も対象とした広域的な連携企画として実施された。参加者は学内から 10 名、学外から 3 名の計 13 名であったほか、座学パートについては触媒科学研究所の TEM 利用者（学生・教員等）にも聴講を開放した。プログラムの前半では、日本電子株式会社より講師を招き、電子顕微鏡の基礎理論に関する座学講習会を開催した。後半の装置デモンストレーションおよび実習では、カーボンナノチューブを試料として用い、TEM と、SEM に付属する透過電子検出器の双方で観察を行った。同一試料における画像コントラストの比較や、各装置の操作性の違い、得られる情報の特性について解説し、参加者の技術的理解を深める機会を提供した。



図 3-1-3 透過電子顕微鏡の基礎講習及び実習

平成 30 年においても、先端・大型研究設備共用に関する機器分析・工作技術交流会の公募が行われ、北大電顕交流会は SEM の性能をチェックしよう ～空間分解能検証のためのセミナーとラウンドロビントレスト～というテーマで企画応募し、採択された。

SEM を管理・運用する技術職員にとって、自身が担当する装置の性能、とりわけ空間分解能を正確に把握しておくことは、データの信頼性を担保する上で極めて重要である。そこで本企画では、技術職員の専門スキル向上を目的として、日本電子より講師を招き、SEM の空間分解能測定に関するセミナーを開催した。セミナーでは、空間分解能の定義や

測定原理、および実践的な測定手法について講義が行われ、参加者は専門的な知識を習得した。

受講者は学内 10 名、学外 2 名の計 12 名であった。さらに、セミナーで得た知識を実践するため、各参加者が所属する施設において共通試料を用いた空間分解能測定（ラウンドロビンテスト）を実施した装置間の性能差や測定条件の影響について議論・報告する会を開催し、実践的な技術共有を行った。



図 3-1-4 SEM の性能をチェックしよう

### 3-1-5 活動内容情報発信

北大電顕交流会の存在と活動意義を広く周知するため、積極的な对外発表を行った。北海道大学技術研究会 2018 において、電顕系技術職員交流会の紹介のポスター発表を行った。本発表では、部局横断的なネットワーク構築の経緯や、ラウンドロビンテスト等の実践的な技術研鑽活動について報告した。その結果、これらの組織的かつ自発的な取り組みが高く評価され、ポスター賞を受賞し、九州大学総合技術研究会の発表の機会を得た。九州大学総合技術研究会において、学内技術交流活動の紹介：電顕系技術職員交流会というテーマでポスター発表を行った。これにより、北海道大学内にとどまらず、全国の大学・研究機関の技術職員に対して本交流会の活動を発信し、認知を広める貴重な機会となった。

### 3-1-6 成果

これら一連の活動を継続した結果、北海道大学の電子顕微鏡担当技術職員の間には、部局を超えた連携体制が構築された。運用面ではメーリングリストによる情報共有基盤が整備され、各種セミナー情報の周知や、日常業務における技術的な疑問を気軽に相談できる環境が醸成された。とりわけ、ラウンドロビンテストや施設訪問を通じて、各部局が保有する電子顕微鏡の特色や、各技術職員が得意とする測定分野が可視化されたことの意義は大きい。

参加者それぞれの専門性が明らかになったことで、具体的な課題が生じた際に適切な相手へ直接相談を行うことができ、相互による技術解決が活発に行われるようになった。

#### 参考文献

- (26)北海道大学 グローバルファシリティセンター 機器分析・工作技術交流会  
[https://www.gfc.hokudai.ac.jp/ts\\_kikaku/two\\_column/seminar.html#seminar\\_25](https://www.gfc.hokudai.ac.jp/ts_kikaku/two_column/seminar.html#seminar_25)
- (27)北海道大学 技術連携統括本部 部局・分野横断技術交流会  
<https://www.itech.hokudai.ac.jp/news/tag/program05>
- (28)松本亜希子, 鈴木啓太, 下田周平 “電顕系技術職員交流会の紹介” 北海道大学技術研究会 2018
- (29)松本亜希子, 鈴木啓太, 下田周平 “学内技術交流活動の紹介：電顕系技術職員交流会” 九州大学総合技術研究会 2019

## 3-2 全国電子顕微鏡技術情報交流会の運営活動

### 3-2-1 経緯

全国の大学・研究機関に所属する電子顕微鏡技術職員が一堂に会し、交流する機会はほとんど存在しなかった。そのため、日常業務で直面する技術的な課題の解決は、個々の職員による自助努力や、個人的な人脈の中での相談に留まっていた。著者が着任した当時、北海道大学内にも電子顕微鏡技術職員の交流組織は未だ存在しておらず、技術的な相談を行える窓口の確保に苦慮していた。

こうした状況の中、平成 22 年に富山大学の平田技術専門職員が発起人となり、電子顕微鏡に携わる技術職員間の情報交換と技術研鑽を目的とした顕微情報交流会が設立された。平成 24 年 3 月に開催された熊本大学総合技術研究において平田技術専門職員と出会い、同じ電子顕微鏡担当者として技術相談を行う中で同会への勧誘を受け、貴重な技術交流の機会であると捉えて参加した。

### 3-2-2 顕微情報交流会活動

顕微情報交流会では、会員間の円滑な情報共有を図るため、独自の工夫が凝らされていた。まず、加入時に自己紹介シートを記入する。これにより、各会員が所有する装置や利用状況が可視化され、特定の装置や手法に関する疑問が生じた際に、シートを参照して最適な相談相手を選定し、直接質問を行うことが可能となった。また、メーリングリストが整備されており、日常的な技術相談が頻繁に行われる環境が整えられていた。このメーリングリストは技術的な Q&A のみならず、各種セミナー情報の共有源としても機能し、極めて有用な情報基盤であった。

対面での活動としては、機器分析研究会や電子顕微鏡学会学術講演の開催時期に合わせ、昼食時間や開催前夜を利用して勉強会や情報交換会が開催された。著者は機器分析研究会で 2 回、顕微鏡学会学術講演会で 1 回、これらの会合に参加した。全国各地から集まった技術職員と技術交流することで、技術的な知見のみならず、企画の立案手法や参加者への周知方法など、組織運営の基礎を実体験として学ぶことができた。これは、後に著者が交流会を運営する上での大きな糧となった。

本交流会は長年にわたり全国の技術職員をつなぐハブとして機能し、多くの成果を挙げてきたが、発起人である平田技術専門職員の退職に伴い、2021 年 3 月をもってその活動を終了し、解散した。

### 3-2-3 電子顕微鏡技術情報交流会

平田氏による交流会の解散後、その活動を絶やすことなく継承するため、函館工業高等専門学校の松井技術専門職員が中心となり、新たな組織として電子顕微鏡技術情報交流会が設立された。この新体制においても、引き続き全国規模での技術職員間の交流促進が図られている。従来のメーリングリストに加え、Slackを導入したことで、気軽な技術相談が可能な環境が整備された。また、Zoomを活用した短時間のオンライン交流会なども企画・開催されており、技術交流の幅を広げている。

### 3-2-4 オンライン研修会

2024年には、マテリアル先端リサーチインフラ（ARIM）が主催する第1回オンライン研修会の企画・運営に対し、電子顕微鏡技術情報交流会として協力を行った。著者は本研修会の企画に向けた幹事募集に応じ、運営メンバーとして参画した。企画段階では、函館高専の松井技術専門職員が統括役となり、著者を含む7名の幹事が連携して詳細なスケジュールの検討を行った。

本研修会は、午前と午後の二部構成で実施された。午前の部は参加者間の交流促進を主目的とし、事前に自己紹介シートの記入・共有を行うことで、参加者各自の専門スキルや背景を把握しやすい環境を整えた。午前は参加者による自己紹介の後、SEM担当とTEM担当に分かれたブレイクアウトルームを設け、15名の技術職員が参加し、活発な交流が行われた。午後の部は技術研鑽を目的とし、メーカー講師による専門講演を2件実施した。こちらには72名もの参加があり、オンライン開催の利点を活かした広域的な技術普及の場となった。



図 3-2-1 第1回 オンライン研修会ポスター

2025年には第2回オンライン研修会が開催され、幹事として運営に協力した。前回同様、函館高専の松井技術専門職員を中心として、著者を含む5名の幹事が連携し、企画およびスケジュールの調整を行った。今回は、午後の部に重点を置き、企業講師による技術セミナーを開催した。本セミナーには45名の技術職員が参加し、最新技術に関する知見を深める機会となった。

電子顕微鏡技術情報交流会  
第2回オンライン研修会

JEOL

## 透過電子顕微鏡の基礎と 試料前処理方法のご紹介

日 時 2025年2月4日(火) 14:00~15:30  
開催方法 オンライン(ZOOM) 定員 300名  
講 師 青木 遥 氏  
日本電子株式会社  
EM事業ユニット EMアプリケーション部 2G

透過電子顕微鏡(TEM)は、試料の内部構造をナノスケールで観察することができるため、生物・高分子系から金属系まで幅広く用いられています。しかし、観察試料に応じた適切な前処理を行わないと試料本来の姿を観察することはできません。本セミナーでは、TEMの基礎的な原理と装置の構成について解説するとともに、TEM用試料の前処理方法についてご紹介いたします。

図 3-2-2 第2回 オンライン研修会ポスター

### 3-2-5 成果

これまでの活動を振り返ると、かつての顕微情報交流会への参加は、全国の技術職員との交流を深め、日常的な技術相談の場を確保するという点で、技術向上に多大な影響を与えた。また、同会の運営方針や手法を間近で体験し、そのノウハウを吸収できたことは、現在のマネジメント能力の礎となっている。そして現在、電子顕微鏡技術情報交流会において企画・運営の立場として参画することで、かつて自身が受けた恩恵を次世代へ還元し、広域的な人材交流や技術者の育成に貢献している。

#### 参考文献

- (30)平田暁子 他, 「顕微情報交流会」の紹介(第二報)ーこれまでのあゆみと今後の展望ー, 2014年, 平成30年度秋田大学機器分析研究会プログラム
- (31)大学連携設備ネットワーク 講習会・セミナー情報  
<https://study.eqnet-portal.jp/>

### 3-3 XPS（エックス線光電子分光装置）コミュニティの運営活動

#### 3-3-1 経緯

2023年に大学連携研究設備ネットワークからの依頼を受け、XPS（エックス線光電子分光装置）に関する初級から中級レベルのオンライン講習会で講師を務めた。この講習会の実施を通じて、全国の大学・研究機関にはXPSを担当する技術職員が多数在籍している事実が明らかとなった。

現在、全国規模で活動している技術職員による分析系コミュニティとしては、質量分析技術者研究会、NMR CLUB、電子顕微鏡技術情報交流会などが挙げられる。しかし、XPSに特化した技術交流グループはこれまで存在していなかった。そこで、前述の講習会参加者を対象にアンケート調査を実施したところ、XPSに関する技術情報の共有や相談が可能なコミュニティの創設を要望する意見が数多く寄せられた。

この潜在的なニーズに応えるため、発起人となり、XPS担当技術職員の交流の場としてXPSコミュニティを設立した。設立当初の参加規模は、16機関、26名であった。

#### 3-3-2 組織運営

組織の立ち上げにあたっては、発起人が基本的な方向性を提示した上で参加者と協議を行い、そのフィードバックを基に方針を柔軟に修正しながら運営を進めることとした。この方針に基づき、1年間の活動計画として、以下の5つの活動指針を策定した。

1. XPS技術情報交換会：対面での交流を重視し、機器分析研究会の開催に合わせて実施する。技術的な課題や知見を直接共有する場とする。
2. 技術職員・教員による講習会：オンライン形式を活用し、各技術職員の研究内容発表や、XPSの基礎理論に関する座学を行う。
3. メーカー講習会：装置メーカーの協力を得て、特定の装置機能や最新技術、座学に関するオンライン講習を実施する。
4. 実地講習会：初級者向けの操作講習や、日常的なメンテナンス、オプション機能の操作方法など、実機を用いた技術習得の機会を提供する。
5. 運営方針説明会および技術懇談会：半期に一度、オンラインにてXPSコミュニティの活動予定や活動報告を行う運営方針説明会を開催する。また、説明会終了後にはブレイクアウトルームを活用した技術懇談会・座談会を設け、参加者が気軽に相談や技術発表を行える交流の場を提供する。

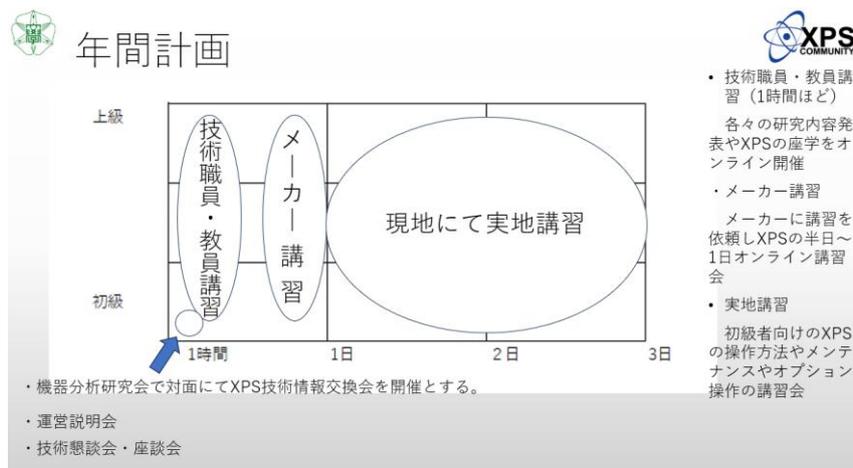


図 3-3-1 年間計画

また、コミュニティの持続的かつ円滑な運営には協力者が不可欠であるため、参加者の中から幹事を公募した。その結果、北陸先端科学技術大学院大学の村上達也技術専門職員、金沢大学の杉山博則技術専門職員、東海国立大学機構の高濱謙太郎技師の 3 名より協力の申し出があり、著者を含めた 4 名体制での XPS コミュニティ活動が本格的に開始された。

### 3-3-3 参加者との交流

コミュニティの活性化には、参加者間の円滑なコミュニケーションと情報共有が不可欠である。そこで、以下のツールや仕組みを導入し、交流の促進を図った。

報共有の基盤としてメーリングリストを作成し、活動報告やセミナー案内などの情報を全参加者へ一斉に配信できる体制を整えた。また、参加者の相互理解を深めるため、自己紹介シートを作成・配布した。これにより、各参加者が利用している装置や得意分野などの情報が可視化され、相談相手を見つけやすい環境を構築した。さらに、より手軽で即時性の高い相談ツールとして、Discord を導入した。Discord 内には質問チャンネル、雑談チャンネル、幹事への要望チャンネルなど目的別のチャンネルを設けることで、参加者が気軽に書き込みを行えるよう配慮した。

定期的な活動としては、半年に一度ごとに運営方針説明会を開催している。ここでは半年間の活動報告と今後の活動予定を説明し、コミュニティの方向性を周知することで、参加者が活動に参加しやすいよう促している。同説明会の終了後には技術懇談会を開催し、参加者同士の直接的な交流を図っている。懇談会では、少人数で話しやすい環境を作るため、Zoom 等のブレイクアウトルーム機能を活用している。各ルームには分析技術、メンテナンス、初級者向け、中級～上級者向けなど、回ごとに異なるテーマを設定し、参加者が常に新しい話題や知見に触れられるよう工夫を凝らしている。



図 3-3-2 運営説明会 自己紹介シート Discord

### 3-3-4 人材育成

XPS コミュニティでは、幹事 3 名と連携し、XPS 担当技術職員の技術力向上および人材交流を目的とした多彩な活動を展開している。主な活動として、実地講習会、オンラインセミナー、技術情報交換会を毎年企画・実施している。

実地講習会では実機を用いた操作技術の習得を目的とし、技術職員や教員を講師に迎えて現地開催している。これまでに 2 回実施した。2024 年 11 月には、大学連携研究設備ネットワーク主催のもと、北陸先端科学技術大学院大学にて UPS 実地講習会を開催した。同大学の村上達也技術専門職員が講師を務め、3 名の参加者が UPS の立ち上げから測定までの実務を体験した。持ち込みサンプルの測定を通じて、実践的な知識を深める機会となった。2025 年 9 月には、東海国立大学機構主催のもと、あいちシンクロトロン光センターにてシンクロトロン光を利用した XPS の測定・解析講習を開催した。早稲田大学の中尾愛子非常勤講師による指導のもと、5 名の参加者が放射光利用の基礎から実践までを学んだ。

オンラインセミナーでは地理的な制約なく多数の職員が参加できるよう、3 時間程度のオンライン形式で実施している。これまでに 4 回開催し、高い関心を集めている。2024 年 5 月開催の XPS-放射光講習会（主催：大学連携研究設備ネットワーク、講師：立命館大学 朝倉清高教授）には 92 名が参加し、放射光という新規分野への需要の高さが浮き彫りとなった。同年 8 月の原理から測定・メンテナンス（主催：東海国立大学機構、講師：早稲田大学 中尾愛子非常勤講師）では 62 名が参加した。メンテナンスに重点を置いた内容は実務に直結するため、活発な質疑応答が行われた。2025 年 7 月には、より高度な内容として分析の実地例（講師：横浜国立大学 志智雄之非常勤講師）および部分帯電（講師：株式会社 X 線サイエンス 塩沢一成博士）をテーマとした講習会（主催：大学連携研究設備ネットワーク）を開催し、実際の研究事例に基づく専門的な知見を提供した。

技術情報交換会では全国の技術職員が一堂に会する機器分析研究会の開催に合わせ、対面での技術情報交換会を実施している。2023 年は熊本大学にて、昼食時間を利用して新組織の設立説明や活動方針に関する意見交換を行った。2024 年は広島大学にて、大学連携研究設備ネットワーク主催のもと、装置の維持管理や分析手法に関する情報交換を行った。

2025 年は埼玉大学にて、機器分析研究会の特別企画として開催された。この回は XPS 担当者以外にも門戸を広げ、施設見学を併催するなど、より開かれた交流の場を提供した。



図 3-3-3 実地講習会 セミナー 技術情報交換会

### 3-3-5 活動内容の周知

本コミュニティの活動意義と実績を広く周知し、更なる活性化を図るため積極的な広報活動を展開した。2024 年には機器分析研究会において、X 線光電子分光担当技術職員の新規全国ネットワーク（XPS コミュニティ）の創設と題したポスター発表を行い、全国の分析系技術職員に向けて新組織の設立と目的を報告した。続く 2025 年には、機器分析センター協議会シンポジウムにおいて、全国技術職員ネットワーク X 線光電子分光装置 XPS コミュニティの活動及び今後の展望というテーマで発表を行った。この場では、技術職員のみならず、機器分析部門を統括する教員や文部科学省の関係者に対しても活動内容を周知し、技術職員の組織的な活動が研究基盤の強化にいかに関与しているかを訴求した。

こうした継続的な周知活動と、コミュニティ内での実質的な技術支援活動が評価され、立ち上げ当初は 26 名の 16 機関であった登録者数は、2 年間の活動を経て 55 名の 31 機関へと倍増した。この数値は、XPS コミュニティが全国の技術職員に認知されつつあることを示している。

2023～2026年	代表幹事	下田	幹事	村上・杉山・高瀬		
	2023年		2024年	2025年	2026年	
機器分析研究会にて XPS技術情報交換会	9月4日 熊本大学(座談会) 座長・世話人 下田		9月6日 広島大学 座長 村上 世話人 下田 杉山	9月4日 埼玉大学 座長 杉山 岡野 世話人 下田	大学 鹿児島大学 座長 下田 世話人 杉山	
技術職員 教員 講習会	7月14日 XPS講習会【初級～中級】 下田 世話人 中本		6月10日 XPS-放射光講習会 立命館大学 朝倉清高 世話人 下田 8月2日 XPS基礎からメンテナンス 早稲田大学 中尾愛子 世話人 高瀬 下田	7月9日 分析の実施例 横浜国立大学 志智 雄之 7月24日 部分帯電 X線サイエンス 塩沢 一成	大学NW企画	
メーカー 講習会	11月1日 協賛 北大主催 1-バー ズミナング 講師 JEOL 村谷 3月21日 金沢大学主催 講師 JEOL 内藤 世話人 杉山		12月11日 金沢大学主催 XPS/真空講習会 世話人 杉山	6月22日 協賛 北大主催 1-バー ズミナング AES講師	日本電子	
実地講習会	/		11月28-19日 UPS実地講習会 講師 北陸先端大学 村上 世話人 下田	9月19日 XPS-放射光基礎実地講習会 早稲田大学 中尾愛子 世話人 高瀬 下田	[上級]XAFS測定講習会 早稲田大学 中尾愛子 世話人 高瀬 下田	
運営方針説明会			9月4日 第1回 熊本大学 10月19日 第2回 オンライン 3月19日 第3回 オンライン	10月30日 第4回 オンライン	6月4日 第5回 オンライン 11月10日 第6回 オンライン	xx月xx日 第7回 オンライン xx月xx日 第8回 オンライン
技術懇談会-座談会	3月19日 第1回 C-O,C=Oの ピークの違い 発表・世話人 下田		/		6月4日 第2回 3項目座談会 座長 杉山 高瀬 村上 11月10日 第3回 3項目座談会 座長 杉山 村上 下田	xx月xx日 第4回 3項目座談会 座長 xx月xx日 第5回 3項目座談会 座長
幹事会	2月15日 大学NW予算会議				4月25日 第1回 オンライン 10月9日 第2回 オンライン	6月14日 第3回 オンライン 10月21日 第4回 オンライン
その他	8月 XPSコミュ立上 9月 メーリングリスト作成・管理 担当 下田		4月 Discord 開始 担当 高瀬 6月 自己紹介スライド管理 担当 杉山 9月 機器分析研究会 ポスター 発表者 村上	9月24日 日本分析化学会第74 年会 北海道大学情報交換会 世 話人 下田 10月10日 機器分析協議会シン ポジウム ポスター発表 下田	10月28-30日 コミュニケーション TiO <sub>2</sub> のラウンドロビン 北大に てラウンドロビン発表会・各自の XPS実績発表会・TiO <sub>2</sub> 研究者の 講演 初級者向けXPS実地講習会	

図 3-3-4 4年間の活動

### 3-3-6 成果

XPS コミュニティの設立により、全国の技術職員間における交流が活性化し、日常的な技術相談や情報交換が定着した。こうしたネットワークの効果は、以下の通り具体的な連携成果として表れている。

第一に、資源の有効活用である。コミュニティを通じて、ある機関から XPS 装置の廃棄に関する情報提供があり、使用可能な保守パーツの再利用の呼びかけが行われた。これにより、メーカー保守が終了した古い装置を運用する機関が貴重な補修部品を確保することができ、コミュニティが実務的な支援基盤として機能した好例となった。

第二に、人的資源の相互活用である。他大学から XPS 講習会の講師派遣依頼があった際、コミュニティのネットワークを活用することで、そのテーマに最も適した専門知識を持つ

メンバーを選出し、派遣することが可能となった。

第三に、研究支援の高度化である。自大学の設備では測定困難なサンプルについて、他大学が保有する XPS-UPS や放射光施設へ測定を依頼するケースができた。このように、各機関の得意分野を活かした相補的な利用体制が構築されつつある。

こうした大学間連携の進展は、個々の技術職員の XPS 分析技術の向上に直結するものである。今後は、XPS コミュニティが全国の大学・研究機関にとって困ったときに相談できる場としての機能を強化し、依頼分析の仲介や専門講師の派遣など、組織としてより高度な技術支援を提供できる体制の構築を目指し活動していく。

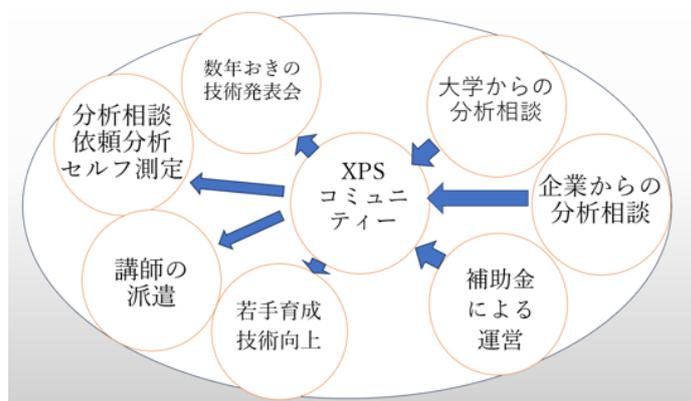


図 3-3-5 XPS コミュニティ 将来イメージ

#### 参考文献

(32)大学連携設備ネットワーク 講習会・セミナー情報

<https://study.eqnet-portal.jp/>

(33)村上達也, 下田周平, 杉山博則, 高濱謙太郎 “X 線光電子分光装置担当技術職員による新規全国ネットワーク (XPS コミュニティ) 創設” 第 30 回 機器・分析技術研究会 2024 広島大学

(34)下田周平, 村上達也, 杉山博則, 高濱謙太郎 “全国技術職員ネットワーク X 線光電子分光装置 XPS コミュニティの活動及び今後の展望” 令和 7 年度 国立大学法人 機器・分析センター協議会 総会・シンポジウム

## 第4章 北海道大学コアファシリティ事業における活動

### 4-1 コアファシリティ研究支援人材育成プログラム 部局・分野横断技術交流会

#### 4-1-1 部局・分野横断技術交流会の趣旨

北海道大学における教育研究力を強化し、先端的な研究成果を創出するためには、研究者と密接に連携し、研究活動を強力に支援する技術職員が存在が不可欠である。技術職員には、特定の専門技術に対する深い知見と習熟に加え、より広い視野を持った技術提供を行うことが求められている。現在、学内には豊富な経験と高度な技術を有する専門技術職員から、特定の技術習得を経てさらなるスキルアップを目指す中堅職員、そして採用間もない若手技術職員まで、多様なキャリアとスキルを持つ人材が在籍している。これらの技術職員が相互に交流し、組織としての人材力を高め、それぞれの役割を確立していくことが重要である。

そこで本プログラムでは、多様な技術的背景を持つ技術職員が自ら企画立案し、部局や分野の枠を超えた「部局・分野横断技術交流会」を実施するコーディネーターを募集した。本企画は、技術職員主導による全学的な人材交流、技術情報の共有、および技術力強化を図ることを目的としている。こうした活動を通じて、北海道大学における研究活動の高度化、活性化、ひいては新産業の創出に寄与する技術職員の組織的活動を強化することを目指している。

#### 4-1-2 企画

著者が所属する北大電顕交流会は、これまで機器分析・工作技術交流会に2度採択され、技術職員間の技術研鑽に取り組んできた実績がある。今回のコアファシリティ研究支援人材育成プログラムにおける部局・分野横断技術交流会においても、この経験を活かし、同趣旨に賛同した5名の技術職員で実行委員会を組織した。企画にあたっては、座学のみならず実践的な技術習得を重視し、SEMで身近な生物を見てみよう～生物試料観察の理論と実践講座～その2（実践編）と題した研修プログラムを立案・応募し、採択された。

#### 4-1-3 実習

本交流会は、令和4年9月14日（9:30～16:15）および15日（9:30～13:00）の2日間にわたり開催された。

第1日目の生物試料の前処理では初日の午前中、農学研究院の安井 TM が講師を務め、

化学固定による前処理（試料の細切・固定・脱水作業）および臨界点乾燥法など、電子顕微鏡観察における生物試料作成の基礎理論と技術について実習を行った。午後は著者が講師となり、イオン液体を用いた前処理技術について指導した。イオン液体はその有用性が認知されている一方で、実務における使用経験がない参加者が多かった。そのため、本実習では座学よりも実技に重点を置いたプログラム構成とした。具体的には、イオン液体の濃度差や置換手法の違いによる影響を解説し、目的とする試料の特性に合わせて最適な置換方法を選択することの重要性を、実演を交えて講習をした。

第2日目の観察と評価では2日目は、前日に化学固定およびイオン液体処理を施した試料を用いて、SEMによる観察実習を行った。まず、作製した試料に対し、イオンスパッタ装置を用いて金蒸着による導電性処理を施した。その後、理学研究院の山本技術専門職員が講師となり、SEMの操作方法および観察条件の設定について説明を行った。実習では、異なる前処理条件（化学固定・凍結乾燥法とイオン液体法）で作成した試料の比較観察を行った。その結果、イオン液体法は迅速かつ簡易的な撮影が可能である一方、化学固定・凍結乾燥法は試料の破損が少なく、微細構造まで鮮明な画像が得られることなど、それぞれの処理法が持つ特性を実証的に確認することができた。



図 4-1-1 座学と SEM 説明

#### 4-1-4 成果

本交流会には、SEM 操作の経験者から初学者まで、多様な専門分野を持つ技術職員が参加した。参加者からは、実際に前処理から観察までの一連の工程を作業することで、所要時間やコツ、留意点など理解できたとの評価が多く寄せられた。

また、運営を担当した幹事職員にとっても、企画立案から当日の運営に至るまでの試行錯誤は、マネジメント能力や課題解決能力を養う貴重な経験となった。以上のことから、本企画は技術職員個人のスキルアップのみならず、組織的な人材育成と交流促進という本事業の目的に大きく寄与したとかがえる。

参考文献

- (35) 第2回／SEMで身近な生物を見てみよう～生物試料観察の理論と実践講座～その2  
(実践編)

<https://cosmos.gfc.hokudai.ac.jp/wp/wp-content/uploads/2023/01/202202ts-kikaku->

SEMr.pdf4-2

## 4-2 北海道大学・高等専門学校技術職員相互交流研修

### 4-2-1 高等専門学校技術職員相互交流研修の趣旨

本研修は、国立大学法人北海道大学と独立行政法人国立高等専門学校機構の間で技術職員を相互に派遣することにより、双方の技術向上およびマルチスキル化の機会を創出することを目的としている。また、各技術職員が保有する専門技術や知識の共有を図ることで、両機関の連携を強化し、技術職員間の交流促進に寄与することを目指している。

### 4-2-2 企画

相互交流研修の一環として、函館工業高等専門学校より技術職員を受け入れ、電子顕微鏡に関する実習を実施することとなった。北海道大学は多様な顕微鏡施設を有している。そのため、単一の部局での研修にとどまらず、他部局が保有する装置や技術にも触れる機会を提供することで、より多角的な知見が得られると考えた。そこで、学内の他部局に所属する3名の技術職員に協力を仰ぎ、合同で研修プログラムを企画した。

研修期間は3日間とし、以下の体制で実施した。著者の専門分野である触媒サンプルを用いた走査電子顕微鏡および透過電子顕微鏡の実習(1.5日間)を担当した。他部局の施設見学および実習については、工学研究院の矢崎技術職員、理学研究院の松本技術専門職員、電子科学研究所の平井専門技術職員および森技術専門職員と連携し、以下の通り分担して実施した

- ・工学研究院：矢崎技術職員による複数研究施設の見学ツアー(0.5日間)
- ・理学研究院：松本技術専門職員による電子プローブマイクロアナライザー(EPMA)の実習(0.5日間)
- ・電子科学研究所：平井専門技術職員および森技術専門職員による高性能走査電子顕微鏡の実習(0.5日間)

北海道大学が有する多種多様な分析装置を横断的に体験できるプログラムを構築することで、研修生の技術的視野の拡大と知見の深化を図った。

### 4-2-3 実習

著者が担当した触媒科学研究所での実習では、単なる電子顕微鏡の操作習得にとどまらず、異なる分析手法の複合分析の重要性を説明した。具体的には、電子顕微鏡に加え、吸着測定装置を用いた評価手法を組み合わせた実習を行った。

まず、吸着測定装置に関する座学を実施し、比表面積や細孔径分布の評価原理について解説した。その後、実際の多孔質材料サンプルを用いて測定データの解析を行い、数値データ

としての細孔径を確認した。次に、同一サンプルを走査電子顕微鏡で観察し、視覚的に細孔径を測定した。吸着測定装置で得られた数値データと SEM 画像から得られた実測値を比較・照合することで、両者の分析結果に整合性があることを実証し、複数の分析手法を組み合わせることの有効性を説明した。

また、函館工業高等専門学校には透過電子顕微鏡が設置されていないことから、TEM を用いた実習は受講者にとって貴重な機会となる。そこで、TEM ならではの操作方法やデータ解析手法、特に SEM では観察不可能な微細構造の評価について重点的に指導を行った。実習サンプルには担持触媒を選択し、高分解能観察を行うことで、触媒粒子の分散状態や微細構造を評価する技術を習得させた。

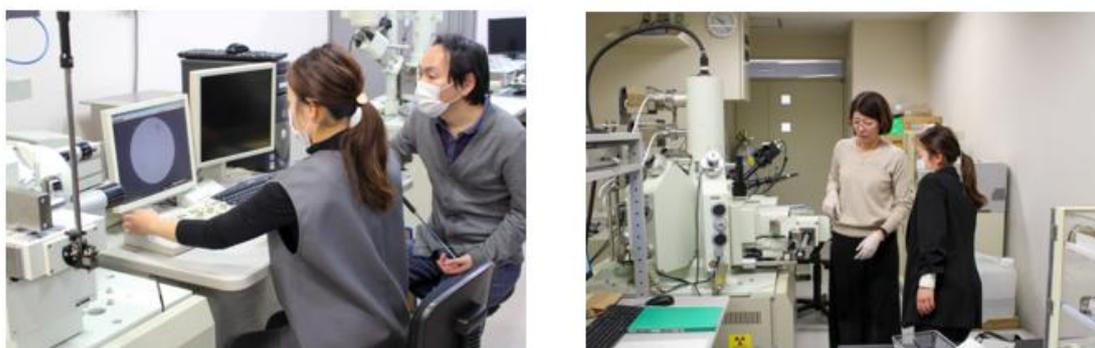


図 4-2-1 FE-SEM と EPMA 操作

#### 4-2-4 成果

本研修を通じて、研修生は北海道大学の多様な研究施設を訪問し、各部署が有する専門的な分析技術や装置特性について理解を深めることができた。特に、実際の研究で使用されるサンプルを用いた実践的な測定実習は、研修後の報告書においても、函館工業高等専門学校での業務に役立つ実践的な測定経験が得られたとの評価を受けている。本企画は、大学と高専という異なる教育研究機関の間で効果的な人材交流を実現し、双方の技術職員のスキルアップおよび連携強化に大きく貢献する成果を挙げた。

#### 参考文献

(36)令和 6 年度北海道大学・北海道地区国立高等専門学校技術職員交流研修（函館高専から北大）を開催

<https://cosmos.gfc.hokudai.ac.jp/news/2455>

### 4-3 研究教育基盤強化プログラム R&T (Researcher & Technician) プロジ

ェクト

#### 4-3-1 R&T (Researcher & Technician) の趣旨

本プロジェクトは、研究者と技術職員が共同して行う研究教育活動への支援を通じて、本学における多様かつ卓越した研究・教育の活性化を図るものである。同時に、技術職員のスキルアップおよび研究者と技術職員によるチーム型プロジェクトの推進を促し、全学的な研究教育推進体制の強化を目指している。

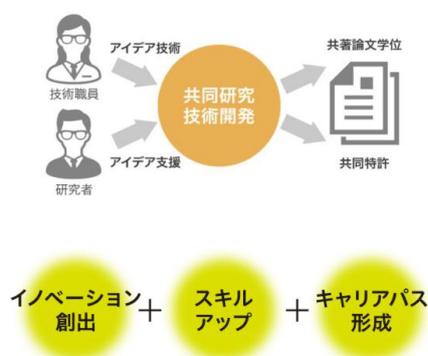


図 4-3-1 研究者・技術職員共同によるイノベーション創出

#### 4-3-2 企画

超伝導、密度波、量子ホール効果などの量子力学的基底状態の理解および量子計算デバイスへの応用展開を実現するためには、ナノ試料による電子物性の解明が必要不可欠である。SEM を用いた電子ビームリソグラフィー技術は、ナノスケールの試料への電極作製を可能にする。しかし、外見上は試料と電極が接触していても、実際には電氣的接触が不十分な事例が多く見受けられる。その主たる原因として、電子ビームリソグラフィー工程で使用される高分子レジスト膜が試料表面に微量に残存していることや、酸化物試料において表面に伝導面が存在しないことが挙げられる。本プロジェクトでは、これらの問題を解決するため、ナノ試料上に作製した電極に対して SEM 内で局所的に電子線を照射し、試料と電極を溶着させることで、良好な電氣的接触を実現する手法の開発に取り組む。なお、本研究は、理学研究院の延兼助教、工学研究院の迫田助教、丹田元教授との連携による共同プロジェクトである。

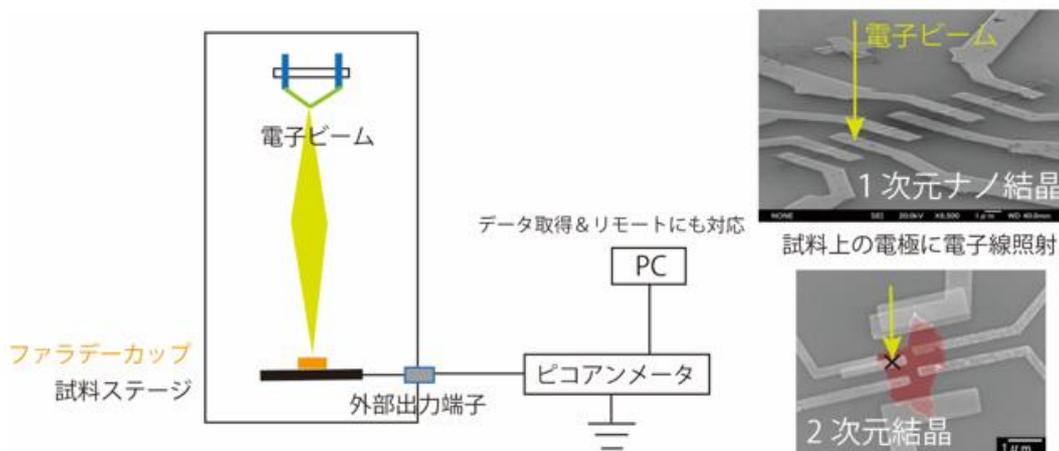


図 4-3-2 電子線照射による局所溶着法の概略図

#### 4-3-3 装置改良と測定系の構築

本実験を行うにあたり、SEM 試料室内の電流値を正確に測定する必要がある。そのため、以下の機器構成を検討した。

- ・ファラデーカップ：照射電流を捕捉するための受光部
- ・外部出力端子：空チャンバー内から外部へ電流信号を取り出すためのフィードスルー
- ・ピコアンメータ：微少な照射電流値の測定器



図 4-3-3 左から ファラデーカップ 外部出力端子 ピコアンメータ

まず、SEM の予備ポートに照射電流測定系を取り付けるため、走査電子顕微鏡のポート仕様の調査を行った。利用可能なポートは 2 か所あり、フランジ規格はそれぞれ 65 mm と 100 mm であった。試料ステージとの位置関係やケーブルの取り回しを考慮し、65 mm ポートを利用することとした。しかし、ピコアンメータ接続用の外部出力ケーブル（フィードスルー）のフランジ径は 42 mm であり、SEM 側の 65 mm ポートとは規格が適合しなかった。そこで、42 mm 規格を 65 mm 規格に変換する専用アダプタを設計・製作し、接続を可能にした。

また、ファラデーカップ内で捕捉した電流を漏れなくピコアンメータへ導くためには、試料台との完全な絶縁が必要となる。そこで、試料台とファラデーカップの間にアクリル製の円柱台を製作・挿入して絶縁を確保した。さらに、ファラデーカップ側の接続孔に赤

色導通ケーブルを、反対側に青色導通ケーブルを接続することで、ピコアンメータへの確実な導通経路を構築した。



図 4-3-4 左から SEM 本体 65mm ポート 変換アダプタ 絶縁体加工ピコアンメータ

構築した測定系の接続確認は以下の手順で行った。製作したアクリル絶縁台および変換アダプタを用いて、ピコアンメータと外部出力端子を接続し、正極をファラデーカップ側に、負極を試料台のアース側に接続した上で、SEM 本体に装着した。この状態で SEM を稼働させ、ファラデーカップの像が正常に観察できるか、およびピコアンメータによる電流測定が可能かを確認した。

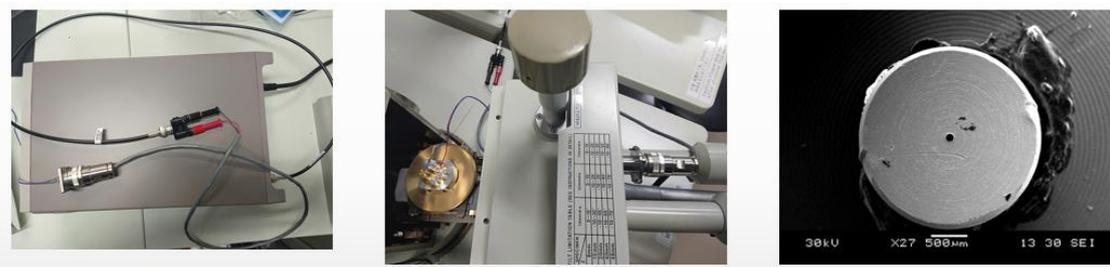


図 4-3-5 左から ピコアンメータ SEM 本体に備品接続 ファラデーカップ画像

電子線溶着には高い電流密度が必要となるため、SEM の各パラメータにおける照射電流特性を評価し、最適条件の検討を行った。検証条件として、加速電圧は 15 kV、25 kV、30 kV の 3 水準、対物絞りは 30  $\mu\text{m}$  と 100  $\mu\text{m}$  の 2 水準、スポットサイズ（日本電子製 SEM の照射電流パラメータ：以下 SS）は 50、65、80、95、99 の 5 水準を選択した。また、各条件においてフィラメントの軸調整（傾斜・水平）を行い、照射電流値が最大となるよう調整した。

検証の結果、図 4-3-6 に示すように、対物絞り 100  $\mu\text{m}$ 、加速電圧 30 kV、スポットサイズ 99 の条件下において、照射電流値が最大となることを確認した。本実験ではこの条件を採用することとした。



図 4-3-6 照射電流値

実際の試料への照射実験には、ナノ構造体上に金電極を直線状に配置したサンプルを用いた。実験手順は以下の通りである。

- 1.位置合わせ：サンプルへのダメージを防ぐため、低電流条件にてサンプルの照射位置を確認し、装置に座標を登録させる。
- 2.電流設定：ステージをファラデーカップ位置へ移動させ、前述の最大照射電流となるよう電子線を設定する。
- 3.照射：設定完了後、電子線の遮断を行った状態でサンプル位置へ戻り、登録した座標に対して所定の時間、電子線を照射して溶着を行う。

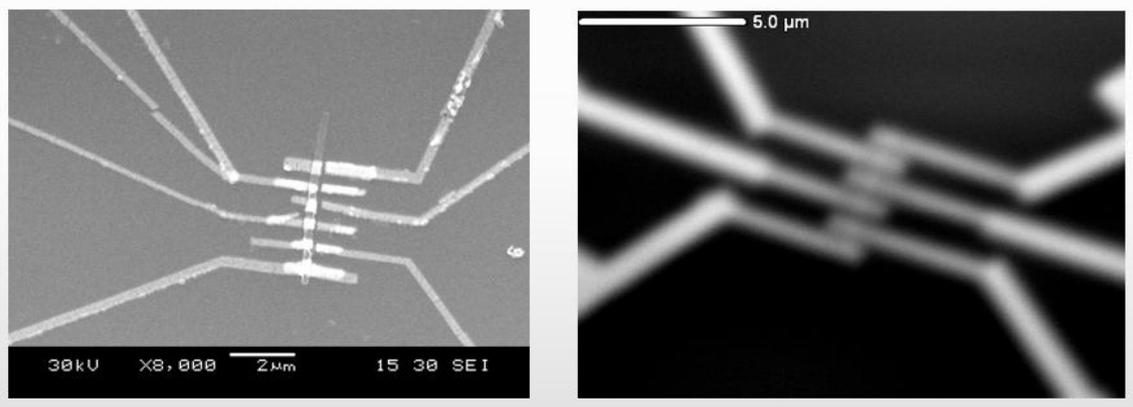


図 4-3-7 左から 通常測定画像 照射電流値最大の溶着時の画像

#### 4-3-4 成果

本実験では、EDS の点分析および面分析モードを活用することで、ナノメートルオーダーの微細領域に対して、位置精度良く電子線を照射することに成功した。前述の通り、加速

電圧とスポットサイズに対する照射電流値の依存性を詳細に評価し、最適な溶着条件を特定した結果、照射電流値を約  $10^{-6}$ A オーダーに設定することで、電子線照射による局所加熱を実現した。これにより、金属電極材料を試料内部へ熱拡散させ、強固な溶着を得ることが可能となった。近年、量子測定や量子制御の観点から、ナノスケール試料における電子物性研究は急速な発展を遂げている。本プロジェクトで確立した電子線溶着技術は、微細デバイスの信頼性向上に寄与するものであり、当該分野の発展において重要な役割を果たすことが期待される。

#### 参考文献

- (37)R&T (Researcher & Technician) コラボプロジェクト公募要項  
<https://cosmos.gfc.hokudai.ac.jp/collaboration/koubo2024>
- (38)Specialist 4号  
[https://cosmos.gfc.hokudai.ac.jp/wp/wp-content/uploads/2024/03/SPECIALIST\\_vol4.pdf#page=10](https://cosmos.gfc.hokudai.ac.jp/wp/wp-content/uploads/2024/03/SPECIALIST_vol4.pdf#page=10)
- (39)下田周平, 女池竜二, 迫田将仁, 丹田聡, 延兼啓純 “走査電子顕微鏡の照射電流計開発” 2023年度 機器・分析技術研究会
- (40)下田周平, 女池竜二, 迫田将仁, 丹田聡, 延兼啓純 “走査電子顕微鏡にファラデーカップを利用した電流測定” 北海道大学技術研究会 2023
- (41)下田周平, 女池竜二, 迫田将仁, 丹田聡, 延兼啓純 “電子線照射によるナノデバイスへの局所溶着法の開発” 顕微鏡学会第66回シンポジウム

## 4-4 令和5年度北海道大学高度技術専門人材育成長期研修 「TC カレッジ」

### 4-4-1 高度技術専門人材育成長期研修の趣旨

本学では、研究支援人材の育成環境充実に取り組んできた。さらにこのたび、本学の技術職員を東京工業大学（現 東京科学大学）が運営する「TC カレッジ」に参加させることによって、①研究者のパートナーとして成果を最大化できる人材、ならびに将来的に本学における組織的技術支援・技術協力体制構築に貢献し活躍できる人材の育成を図ること、②長期研修参加が本学の組織的な高度技術専門人材育成の将来体制の構築にどのように寄与するかを調査することである。

### 4-4-2 応募

1-2節「物質分析系 TC コース（材料評価）への申請に至る経緯」に記載したように、TC カレッジでの研鑽を通じ、高度専門人材としての成長を志して応募した。カリキュラムの内容は魅力的であり、自身のスキル向上に資すると確信したためである。

### 4-4-3 TC カレッジ活動

材料評価コース（現 物質分析コース）には複数の装置を利用した実践的なカリキュラムが用意されており、自身のスキルアップにつながる講義や実習を選択し、専門知識の習得に努めた。

2024年1月23日に開催されたTC カレッジシンポジウムの第一部では、TCを目指す意義、責任というテーマのパネリストとして登壇した。TC カレッジが認定を目指すテクニカルコンダクター（TC）とは、高い技術力と研究企画力を有し、教員の研究構想に対して研究環境を共に実現できる人材と定義されており、博士号取得者とは異なる役割を担う。このTCという人材を可視化し、評価・養成することが同カレッジのミッションである。当日は、機器分析を通じて技術研鑽を行う傍ら、全国の異なる技術分野の技術職員と協力することで支援の幅を広げ、構築した人的ネットワークを活用して研究支援を拡大することこそが、TCを目指す意義であり責任であると論じた。

TC カレッジには高度な技術を持つ技術職員が多数在籍しており、人的ネットワークの構築により、提供可能な技術の幅は大きく広がる。以下に具体的な連携事例を挙げる。

第一の事例は、全自動多目的 X 線回折装置に関する連携である。北海道大学でも同装置を保有しており通常のインプレーン回折測定は可能であるが、加熱インプレーン回折測定はオプション機能がないため実施できなかった。研究者からの要望を受け、TC カレッジの梶谷 TC に相談したところ、東京科学大学では測定が可能であることが判明した。そこで研

究者および梶谷 TC と協議の上、依頼測定を実施するに至った。これは TC カレッジに参加し、技術的な相談が可能であったからこそ実現した事例である。

第二の事例は、2023年11月13日から16日にかけて開催された TC WEEK において、東海国立大学機構の高濱 TM より液中顕微鏡測定に関する相談を受けた。これに対し、SEM や TEM の液中観察ホルダーの利用や、大気圧走査電子顕微鏡を用いることで容易に液中測定が可能であることを提案した。この助言がきっかけとなり、高濱技師の共著論文 (The Journal of Supercritical Fluids, 106195) の謝辞に掲載されるに至った。これは TC カレッジ生同士の技術交流が生んだ成果である。

第三の事例は、XAFS (X 線吸収微細構造) 測定の連携である。研究者より XPS による価数評価の難しさについて相談を受けた際、XAFS を担当していた高濱 TM に助言を求めた。その結果、難易度の高い測定であったにもかかわらず依頼測定を引き受けていただき、的確な価数判断が可能な測定結果が得られた。

第四の事例は、最先端装置の共同利用である。2-1 節で述べた「紫外線光電子分光装置による CaRuO<sub>3</sub> の最表面連続エッチング分析」に関連し、より高精度なデプス UPS 測定が必要となった。長岡技術科学大学に最先端の Thermo Fisher Scientific 社製 Nexsa 全自動光電子分析装置が設置されていることを知り、同大学の近藤 TC に相談したところ、担当者の上野 TM 受講生を紹介された。その後、同大学を訪問し、上野 TM 受講生と共同でデプス測定を行った結果、精度の高いデータを得ることに成功した。この成果が、今後の上野 TM 受講生と高濱 TC との共同研究へ発展することが期待される。

TCカレッジシンポジウム  
2024年1月23日 東京工業大学

研究基盤EXPO2024

TCカレッジシンポジウム  
～TC取得者の活躍と出口戦略の展望～  
2024年  
1月23日 10:00-12:00  
オンラインZoomウェビナー

研究基盤戦略を牽引する高度技術専門人材の称号であるTC (テクニカルコンダクター) を令和4年度に初めて認定したTCカレッジ。  
TC取得者の活躍の場を広げる出口戦略の紹介やTC取得者の研究現場での活動状況の報告に加え、産学官協働によるオールジャパン人材養成システムに対して、TC取得者に求めることなどが議論された。

主催：東京工業大学  
共催：CORE

◇総申込者数：357名

図 4-4-1 TC カレッジシンポジウム

#### 4-4-4 成果

TC カレッジを受講したことで、他大学の技術職員が有する高度な技術に触れることができた。また、技術相談を契機として依頼測定の実績につながり、研究の進展に寄与することができた。互いのスキルや専門性を理解し合うことで、単独では成し得ない相乗効果が生まれているといえる。

#### 参考文献

(42)令和5年度 TC カレッジシンポジウム開催報告

<https://www.ofc.titech.ac.jp/notice/tc-symposium-r5/>

(43)研究基盤 EXPO2024 速報\_ver20240203

[https://www.jcore2023.jp/wp-content/uploads/2024/02/20240122-20240126\\_EXPO2024report-ver0203.pdf](https://www.jcore2023.jp/wp-content/uploads/2024/02/20240122-20240126_EXPO2024report-ver0203.pdf)

(44)Masaki Honda, Yuichi Murakami, Hiroto Sumida, Kentaro Takahama, Kazuya Murakami, Yuji Muramoto, Motonobu Goto"Continuous production of highly bioavailable lycopene nanodispersions via subcritical ethanol extraction and in-line mixing Author links open overlay panel "The Journal of Supercritical Fluids 106195

## 第5章 結論

### 5-1 結論

本論文では、著者がこれまでに行ってきた研究開発および技術交流活動について総括した。

第2章では、「最表面加工」を主たる目的とし、測定技術のみならず加工技術を含めた幅広い技術の習得について述べた。装置特性を深く理解することで高分解能デプス測定を検証し、また FIB 断面加工が困難な素材については、研究者と協働してサンプル作成工程を再検討した。その結果、作成工程の改良により FIB のピックアップ作業が省略可能となり、作業効率が大幅に改善された。多角的な視点から測定を検討する手法を習得できたことは、自身の技術向上のみならず、今後の技術継承にも資するものである。

第3章では、「分析系技術職員交流会の組織運営および活動」について述べた。本活動では、技術職員間の連携を重視し、技術の向上と継承を目指している。学内外の技術職員と積極的に連携し、ネットワークの構築や協力体制の強化を図ることで、技術交流および技術向上に努めた。

第4章では、単なる分析業務にとどまらず、北海道大学の一員として北海道大学コアファシリティ事業へ参画し、学内への技術提供および学外連携を深化させた活動について述べた。本活動は北海道大学全体の技術力向上に寄与するものであり、今後も高等教育機関との連携強化を図りつつ、専門知識を活かして貢献していく。

### 5-2 展望

現在、求められるスキルは刻々と変化している。テクノロジーの進化に伴い、常に最新のトレンドや技術を追求し、習得していく必要がある。

これからも変化し続ける社会の中で、技術職員同士のつながりは必要不可欠であり、ネットワークを活用してより高度な技術提供を目指す。TC としての存在意義を果たしていくためには、自らのスキルを磨き続けることが不可欠である。常に自己成長を意識し、挑戦し続ける姿勢を持つことで、より高度な専門性を発揮し、社会に貢献していく所存である。

## 研究支援業績

### 研究支援による共著論文 (29 報)

1. Aika Harako, Shuhei Shimoda, Keita Suzuki, Atsushi Fukuoka, Tomoya Takada  
“Combined Effect of Sonication and Electron Beam Irradiation on the Photocatalytic Organic Dye Decomposition Efficiency of Graphitic Carbon Nitride” *C — Journal of Carbon Research* in press
2. Weizhou Sun, Shuhei Shimoda, Yuichi Kamiya, Ryoichi Otomo “Reductive support effect of titanium suboxides on oxidation state and catalytic performance of TiO<sub>x</sub>-supported CoO<sub>x</sub> for hydrodeoxygenation of anisole” *Catalysis Today* 463 (2026) 115591
3. Keigo Tashiro, Futa Sugiura, Shuhei Shimoda, Yoshiumi Kohno, Yasumasa Tomita  
“Voltage-dependent ionic polarization in TlBr:alternate square-wave bias application for ionic polarization control” *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 2025, 27, 21410–21413
4. Hirose Mitsuaki, Tashiro Keigo, Tajima Naoya, Sugiura Futa, Shimoda Shuhei, Kohno Yoshiumi, Tomita Yasumasa, Totani, Kiichiro “Stepwise self-organization of hydrogen-bonded fibers in a minimalist glucose-pyrene system via CH- $\pi$ -stabilized iotamers” *Chem. Commun.* 2025,61, 11939.
5. M. Sakoda, H. Nobukane, S. Shimoda, K. Ichimura “Mott insulators appearing at a thickness period corresponding to nesting in CaRuO<sub>3</sub>” *Appl. Phys. Lett.* 126, 183101 (2025).
6. Kana Sato, Sora Momma, Yunong Song, Shuhei Shimoda, Ryota Osuga, Ryoichi Otomo, Yuichi Kamiya “Reductive Decomposition of Nitrous Oxide with Hydrogen at Room Temperature Over Iridium Nanoparticles Highly Dispersed on Silica” *Journal of Environmental Chemical Engineering* 13 (2025) 116922.
7. Yamamoto Hiroki, Hamada Takashi, Muroya Yusa, Okamoto Kazumasa, Shimoda Shuhei, KOZAWA Takahiro “Effect of Organic Ligand and Metal Nanocluster Core Structure on Resist Performance of Inorganic-organic Hybrid Resist Materials for EUV

and EB Lithography” *Jpn. J. Appl. Phys.* 64, 03SP42 (2025).

8. Sun, Weizhou, Nagao, Masanori, Sato, Miyu, Shimoda, Shuhei, Kamiya, Yuichi, Otomo Ryoichi "Redox Metal-Support Interaction of CoO<sub>x</sub>/Ti<sub>2</sub>O<sub>3</sub> to Enhance Catalytic Performance for Hydrodeoxygenation of Anisole" *ACS Sustainable Chem. Eng.* 2025, 13, 5, 2038–2047.
9. Bobo Yan, Koki Kato, Shuhei Shimoda, Ryoichi Otomo, Yuichi Kamiya “Rapid removal and catalytic decomposition of nitrate in anion-exchange resin containing gold nanoparticles toward purification of groundwater” *Chemical Engineering Journal* 498 (2024) 155721.
10. Keitaro Okamoto, Ryusuke Urushidate, Shuhei Shimoda, Keita Suzuki, Atsushi Fukuoka Tomoya Takada “Catalytic decomposition of aqueous rhodamine B using porous carbons and persulfate: the influence of catalysis surface oxidation with ozone” *Carbon Reports* 3 (2024) 142–148.
11. Tsubasa Nakagawa, Sei Fujiwara, Shuhei Shimoda, Keita Suzuki, Atsushi Fukuoka, Tomoya Takada “Photocatalytic formaldehyde decomposition efficiency of g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> prepared from melamine/urea mixtures: Influence of starting material composition” *Chemical Physics Letters* 850 (2024) 141457.
12. Keigo Tashiro, Hikaru Konno, Akihide Yanagita, Shunta MIKAMI, Shuhei Shimoda, Erika Taira, David Samuel Rivera Rocabado, Ken-ichi Shimizu, Takayoshi Ishimoto, Shigeo Satokawa “Direct Catalytic Conversion of Carbon Dioxide to Liquid Hydrocarbons over Cobalt Catalyst Supported on Lanthanum(III) Ion-Doped Cerium(IV) Oxide” *ChemCatChem* 2024, e202400261.
13. Momoko Namesawa, Nagi Hamada, Shuhei Shimoda, Keita Suzuki, Atsushi Fukuoka, Tomoya Takada "Nitrate uptake from water using meso- and macroporous carbons modified with amine-functionalized silane coupling agent" *ChemistrySelect* 2024, 9, e202400880.
14. Yuan Huang, Wontae Kim, Ryoichi Otomo, Shuhei Shimoda, Kevin C.-W. Wu Yuichi Kamiya “Uniformly Distributed Palladium Nanoparticles on NH<sub>2</sub>-MIL-53 Fabricated by an Equilibrium Adsorption Method for Reduction of Nitrite in Water”

"ChemCatChem 2024. e202400315.

15. Qingyu Wang, Ka Son, Adriana Pietropaolo, Mariagrazia Fortino, Masamichi Ogasawara, Takehito Ohji, Shuhei Shimoda, Masayoshi Bando, Tamaki Nakano "Distinctive Chiral Conformations Induced to Poly(naphthalene-1,4-diyl) by Helix-sense-selective Polymerization and Circularly Polarized Light Irradiation" Chem. Eur. J.2024, e202304275.
16. Yamamoto Hiroki, Ito Yuko, Okamoto Kazumasa, Shimoda Shuhei, Kozawa Takahiro "A Study on Resist Performance of Inorganic-Organic Resist Materials for EUV and EB Lithography" Jpn. J. Appl. Phys.63 04SP87(2024).
17. Keigo Tashiro, Taisei Saito, Kojiro Goto, Junki Masuda, Takumi Miyakage, Shuhei Shimoda, Takashi Toyao, Nao Tsunoji, Ken-ichi Shimizu, Hiroshige Matsumoto, Shigeo Satokawa "Proton Conduction over the Zeolite with Surface Water Cluster for the Water Electrolysis at Neutral Condition" ChemCatChem2023, e202301297.
18. Keigo Tashiro, Shogo Kobayashi, Hinako Inoue, Akihide Yanagita, Shuhei Shimoda Shigeo Satokawa "Synthesis of niobium (IV) carbide nanoparticles via an alkali-molten-method at a spatially-limited surface of mesoporous carbon" RSC Adv. 2023, 13, 24918–24924.
19. Ryoto Ono, Shuhei Shimoda, Atsushi Fukuoka, Tomoya Takada "Fluoride removal from water using Zr-modified meso- and macroporous carbons: Effect of pore structure and adsorption conditions" Chemical Engineering Journal Advances, 2023, 15, 100512.
20. Pengfei Wu, Adriana Pietropaolo, Mariagrazia Fortino, Masayoshi Bando, Katsuhiko Maeda, Tatsuya Nishimura, Shuhei Shimoda, Hiroyasu Sato, Naofumi Naga, Tamaki Nakano "Amplified Chirality Transfer to Aromatic Molecules through Non-specific Inclusion by Amorphous, Hyperbranched Poly(fluorenevinylene) Derivatives" Angew. Chem. Int. Ed. 2023, e202305747.
21. M. Sakoda, M. Kouda, K. Shinya, S. Shimoda "Enhancement of extraordinary size effect on CaRuO<sub>3</sub> ultrathin films" Adv. Electron.Mater.2023, 2201312.
22. Aika Harako, Shuhei Shimoda, Keita Suzuki, Atsushi Fukuoka, Tomoya Takada "Effects

- of the electron-beam-induced modification of g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> on its performance in photocatalytic organic dye decomposition" *Chemical Physics Letters* 813 (2023) 140320.
23. Masayoshi Bando, Wentao Zhu, Shuhei Shimoda, Eri Hamanishi, Natsuhiko Sano, Claudio Trombini, Naofumi Naga, Naoki Haraguchi, Shinichi Itsuno, Mayumi Nishida, Tamaki Nakano "Amorphous Porous Polyurethanes as Macromolecular Ligands for Palladium Catalysts" *Chem. Lett.* 2023, 52, 5–9.
  24. Pengfei Wu, Adriana Pietropaolo, Mariagrazia Fortino, Shuhei Shimoda, Katsuhiko Maeda, Tatsuya Nishimura, Masayoshi Bando, Naofumi Naga, Tamaki Nakano "Non-uniform Self-folding of Helical Poly(fluorenevinylene) Derivatives in the Solid State Leading to Amplified Circular Dichroism and Circularly Polarized Light Emission" *Angew. Chem. Int. Ed.* 2022, e202210556.
  25. Ryosuke Ohta, Yasunori Shio, Toshiki Akiyama, Makito Yamada, Shuhei Shimoda, Kazuo Harada, Makoto Sako, Jun-ya Hasegawa, Mitsuhiro Arisawa "Carbon(sp<sup>2</sup>)-carbon(sp<sup>3</sup>) Bond-forming Cross-coupling Reactions Using Sulfur-Modified Au-Supported Nickel Nanoparticle Catalyst" *Asian J. Org. Chem.* 2022, e202200229.
  26. Zhiyi Song, Hiroyasu Sato, Adriana Pietropaolo, Qingyu Wang, Shuhei Shimoda, Heshuang Dai, Yoshitane Imai, Hayato Toda, Takunori Harada, Yukatsu Shichibu, Katsuaki Konishi, Masayoshi Bando, Naofumi Naga, Tamaki Nakano "Aggregation-induced Chirality Amplification of Optically Active Fluorescent Polyurethane and Cyclic Dimer in the Ground and Excited States" *Chem. Commun.*, 2022, 58, 1029–1032.
  27. M. Sakoda, H. Nobukane, S. Shimoda, S. Tanda "Extraordinary alternating metal-insulator transitions in CaRuO<sub>3</sub> ultrathin films at integer multiples of 25 Å of thickness" *Phys. Rev. B* 104, 195420."
  28. Yuting Wang, Koji Yazawa, Qingyu Wang, Takunori Harada, Shuhei Shimoda, Zhiyi Song, Masayoshi Bando, Naofumi Naga Tamaki Nakano "Optically Active Covalent Organic Frameworks and Hyperbranched Polymers with Chirality Induced by Circularly Polarized Light" *Chem. Commun.*, 2021, 57, 7681–7684.

29. Toshiki Akiyama, Yuki Wada, Makito Yamada, Yasunori Shio, Tetsuo Honma, Shuhei Shimoda, Kazuki Tsuruta, Yusuke Tamenori, Hitoshi Haneoka, Takeyuki Suzuki, Kazuo Harada, Hayato Tsurugi, Kazushi Mashima, Jun-ya Hasegawa, Yoshihiro Sato, and Mitsuhiro Arisawa "Self-Assembled Multilayer Iron (0) Nanoparticle Catalyst for Ligand-Free Carbon–Carbon/Carbon–Nitrogen Bond-Forming Reactions" *Org. Lett.* 2020, 22, 18, 7244–7249.

#### 研究支援による謝辞掲載論文 (21 報)

1. Mo Yan, Ryuichi Saito, Nuning A. P. Namari, Paul Bappi, Satoshi Hinokuma, Junji Nakamura, Kotaro Takeyasu "Water-Enabled CO<sub>2</sub> Hydrogenation to Ethanol via a Mixed-Potential-Driven Mechanism" *Chemistry – An Asian Journal*, 2025; 0:e00862
2. Hiroki Mizuochi, Yuki Nakagawa, Tamaki Shibayama, Yuchen Yao, Fangqin Guo, Hiroki Miyaoka, Takayuki Ichikawa "Effects of Oxide Morphology on Lithium-Ion Conductivity of LiBH<sub>4</sub> – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Composites" *ACS Appl. Energy Mater.* 2025, 8, 1, 518–528.
3. Guoping Chen, Miho Isegawa, Taro Koide, Yasuo Yoshida, Koji Harano, Kenji Hayashida, Shusaku Fujita, Kotaro Takeyasu, Katsuhiko Ariga, Junji Nakamura "Pentagon-Rich Caged Carbon Catalyst for the Oxygen Reduction Reaction in Acidic Electrolytes" *Angew. Chem. Int. Ed.* 2024, e202410747.
4. Tomotaka Tatsumichi, Rei Okuno, Hideki Hashimoto, Norikazu Namiki, Zen Maeno "Direct capture of low-concentration CO<sub>2</sub> and selective hydrogenation to CH<sub>4</sub> over Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-supported Ni–La dual functional materials" *Green Chem.*, 2024, 26, 10842.
5. Ryosuke Matsuo, Seiichi Watanabe, Satoshi Okabe "Microbial photoelectrochemical cell using hybrid CuO/ZnO/CuO and *Shewanella oneidensis* MR-1 anode for hydrogen production" *Applied Catalysis B-Environmental* 4868610.
6. Akihide YANAGITA, Shingo FURUYA, Haruki HORIKOSHI, Keigo TASHIRO, Shigeo SATOKAWA "Improvement of Liquid Hydrocarbon Yield in CO<sub>2</sub> Fischer–Tropsch Synthesis over Potassium-added Iron Carbide Catalyst" *J. Jpn. Petrol. Inst.* Vol. 67, No. 4, 2024 136-145.

7. Yura Suzuki, Sekika Yamamoto "Size dependence of luminescence decay process in CsPbBr<sub>3</sub> nanocrystals" *J. Appl. Phys.* 135, 083107 (2024).
8. Masaki Honda, Yuichi Murakami, Hirotoshi Sumida, Kentaro Takahama, Kazuya Murakami, Yuji Muramoto, Motonobu Goto "Continuous production of highly bioavailable lycopene nanodispersions via subcritical ethanol extraction and in-line mixing Author links open overlay panel" *The Journal of Supercritical Fluids* 106195.
9. Zen Maeno, Hiroki Koiso, Toshiki Shitori, Koji Hiraoka, Shiro Seki, Norikazu Namiki "Syngas Production by Chemical Looping Dry Reforming of Methane over Ni-modified MoO<sub>3</sub>/ZrO<sub>2</sub>" *ChemAsianJ.* 2024, e202301.
10. Mengwen Huang, Yosuke Tomimuro, Shinta Miyazaki, Shinya Mine, Takashi Toyao, Yoyo Hinuma, Yasuharu Kanda, Masaaki Kitano, Ken-ichi Shimizu, Zen Maeno "Propane metathesis and hydrogenolysis over titanium hydride catalysts" *Catal. Sci. Technol.* 2023, 13, 6247–6253.
11. M. Sakoda, K. Shinya "Transition from Metal to Mott Insulator Controlled by Growth Conditions on CaRuO<sub>3</sub> Ultrathin Films" *Journal of the Physical Society of Japan* 92, 064601 (2023).
12. Kilingaru I. Shivakumar, Yumehiro Manabe, Tomoki Yoneda, Yuki Ide, Yasuhide Inokuma "Chain-Length-Dependent Hydrogen-Bonded Self-Assembly of Terminally Functionalized Discrete Polyketones" *Precis. Chem.* 2023, 1, 1, 34–39.
13. 迫田将仁、延兼啓純、丹田聡 "「フェルミ波長膜厚」の量子化が創る周期的金属絶縁体転移" *固体物理 (アグネ技術センター)*、57 巻第 10 号 pp. 23-32 (2022).
14. Jun Kameda "Mineralogical and physico-chemical properties of halloysite-bearing slip surface material from a landslide during the 2018 Eastern Iburi earthquake, Hokkaido" *Progress in Earth and Planetary Science* volume 8, Article number: 37 (2021).
15. Yuki Wada, Toshiki Akiyama, Kazuo Harada, Tetsuo Honma, Hiroshi Naka, Susumu Saito Mitsuiro Arisawa "Preparation of a platinum nanoparticle catalyst located near photocatalyst titanium oxide and its catalytic activity to convert benzyl alcohols to the

corresponding ethers" RSC Adv, 2021, 11, 22230–22237.

16. Kasun Godigamuwa, Kazunori Nakashima, Sota Tsujitani Satoru Kawasaki “Fabrication of silica on chitin in ambient conditions using silicatein fused with a chitin-binding domain” Bioprocess Biosyst Eng. 2021 Sep;44(9):1883-1890.
17. Yuki SATO, Sho KITANO, Damian KOWALSKI, Yoshitaka AOKI, Naoko FUJIWARA, Tsutomu IOROI, Hiroki HABAZAK “Spinel-Type Metal Oxide Nanoparticles Supported on Platelet-Type Carbon Nanofibers as a Bifunctional Catalyst for Oxygen Evolution Reaction and Oxygen Reduction” Reaction Electrochemistry, 88(6), 566–573 (2020).
18. Jun Kameda, Yuta Owari “The kinetics of radical formation on mechanically activated kaolinite surfaces” Colloids and Surfaces A 606 (2020) 125421.
19. T Takada “Removal of F<sup>-</sup> from Water Using Templated Mesoporous Carbon Modified with Hydrated Zirconium Oxide” C 2020, 6, 13.
20. T Takada, M Kurihara "Preparation of MgO-Templated N-Doped Mesoporous Carbons from Polyvinylpyrrolidone: Effect of Heating Temperature on Pore Size Distribution" C 2019, 5, 15.
21. Shazia S. Satter, Jun Hirayama, Kiyotaka Nakajima, Atsushi Fukuoka "Low Temperature Oxidation of Trace Ethylene over Pt Nanoparticles Supported on Hydrophobic Mesoporous Silica" Chem. Lett. 2018, 47 1000–1002.

#### 学会および技術発表（68件）

1. 浮田遥加, 池口潤弥, 田代啓悟, 下田周平, 里川重夫 “ナノ粒子ゼオライト表面での水中プロトン伝導” 第41回ゼオライト研究発表会
2. Takashi Hamada, Shuhei Shimoda, Hiroki Yamamoto “Effect of component of cinnamic acid-stabilized ZrO<sub>2</sub> nanoparticle resists on resist performance for EB and EUV lithography” 38th International Microprocesses and Nanotechnology Conference

3. 納 謙吾 , 迫田 将仁, 田中 柊矢, 下田 周平 “MBE 法を用いた層状ペロブスカイト  $\text{La}_2\text{NiO}_4$  薄膜の成膜条件の確立” 第 61 回応用物理学会北海道支部/第 22 回日本光学会北海道支部合同学術講演会
4. 矢尾 翔太, 下田 周平, 鈴木 啓太, 中島 清隆, 高田 知哉 “水中フッ化物除去のための  $\text{Fe}^{3+}$ 担持酸化メソポーラスカーボンの開発と性能評価” 日本化学会秋季事業 第 15 回 CSJ 化学フェスタ 2025
5. 原 侑史, 下田 周平, 鈴木 啓太, 清水 研一, 高田 知哉 “グラファイト状窒化炭素への紫外線照射による構造変化と光触媒活性との関連性” 原 侑史, 下田 周平, 鈴木 啓太, 清水 研一, 高田 知哉
6. 田口 詩乃, 下田 周平, 鈴木 啓太, 中島 清隆, 高田 知哉 “多孔質炭素触媒を用いた過硫酸塩活性化による有機色素分解での加熱処理の影響” 日本化学会秋季事業 第 15 回 CSJ 化学フェスタ 2025
7. 下田周平, 村上達也, 杉山博則, 高濱謙太郎 “全国技術職員ネットワーク X線光電子分光装置 XPS コミュニティの活動及び今後の展望” 令和7年度 国立大学法人 機器・分析センター協議会 総会・シンポジウム
8. 廣瀬光了, 田代啓悟, 田島直也, 杉浦楓太, 下田周平, 河野芳海, 富田靖正, 戸谷 希一郎 “グルコース - ピレンで構成される自己組織化マイクロファイバーの形成” 第 44 回日本糖質学会年会
9. 迫田将仁, 下田周平, 延兼啓純 “ $\text{CaRuO}_3$  超薄膜の作製と低次元電子系で現れるサイズ効果” 日本物理学会 第 80 回年次大会
10. 山本洋揮, 室屋裕佐, 岡本一将, 下田周平, 古澤 孝弘 “EB / EUV リソグラフィ用有機無機ハイブリッドレジストのリソグラフィ特性への有機配位子と金属コア構造の効果” 第 86 回 応用物理学会 秋季学術講演会
11. 濱田優作, 小原那智, 新谷和司, 延兼啓純, 下田周平, 迫田将仁 “ $\text{CaRuO}_3$ 超薄膜のキャリアドープによる抵抗制御” 第 86 回 応用物理学会 秋季学術講演会
12. 迫田将仁, 下田周平, 延兼啓純 “ $\text{CaRuO}_3$  超薄膜が示す桁外れなサイズ効果の発現メカニズム” 第 86 回 応用物理学会 秋季学術講演会

13. 香田匡貴, 納謙吾, 延兼啓純, 下田周平, 江上喜幸, 迫田將仁 “層状ニッケル酸化物 LaNiO<sub>2</sub> におけるドーピング非対称相” 第 86 回 応用物理学会 秋季学術講演会
14. Shota Yao, Shuhei Shimoda, Keita Suzuki, Kiyotaka Nakajima, Tomoya Takada “Development and Performance Evaluation of Fe<sup>3+</sup>-Loaded Oxidized Mesoporous Carbon for Fluoride Removal from Water” CHITOSE INTERNATIONAL FORUM 25
15. Yuji Hara, Shuhei Shimoda, Keita Suzuki, Ken-ichi Shimizu, Tomoya Takada “Photocatalytic decomposition of organic dyes using graphitic carbon nitride modified with UV irradiation” 2025 KJF International Conference
16. Keigo Tashiro, Mitsuaki Hirose, Naoya Tajima, Futa Sugiura, Shuhei Shimoda, Yoshiumi Kohno, Yasumasa Tomita, Kiichiro Totani “Self-organization Pathway to Micro-scaled Fibrous Assemblies Constructed by Synthetic Methyl 4,6-O-Pyrenylidene Glucose” 19th International Symposium on Macrocyclic and Supramolecular Chemistry 2025 (ISMSC2025)
17. 田代啓悟, 齊藤大成, 後藤光次郎, 下田周平, 津野地直, 鳥屋尾隆, 清水研一, 松本広重, 里川重夫 “シラノールネスト含有ベータ型ゼオライト表面でのプロトン伝導を用いた純水の電気分解” 日本化学会第 105 回春季年会
18. 迫田將仁, 延兼啓純, 下田周平, 市村晃一 “SDW がアシストする Mott 絶縁体に関する考察” 日本物理学会 2025 年春季大会
19. 田代啓悟, 齊藤大成, 後藤光次郎, 下田周平, 津野地直, 鳥屋尾隆, 清水研一, 松本広重, 里川重夫 “脱アルミニウム処理を施したベータ型ゼオライト表面でのプロトン伝導を用いた純水の電気分解” 電気化学会第 92 回年会
20. 原侑史, 下田周平, 鈴木啓太, 清水研一, 高田知哉 “紫外線照射したグラファイト状窒化炭素による有機色素の光触媒分解” 化学系学協会北海道支部 2025 年冬季研究発表会
21. 田中類維, 下田周平, 鈴木啓太, 福岡淳, 高田知哉 “アミノシラン修飾多孔質炭素表面での NO<sub>3</sub><sup>-</sup>の吸脱着” 化学系学協会北海道支部 2025 年冬季研究発表会
22. 田口詩乃, 下田周平, 鈴木啓太, 清水研一, 高田知哉 “多孔質炭素触媒層での過硫酸塩

活性化による有機色素分解” 化学系学協会北海道支部 2025 年冬季研究発表会

23. 浅野琴美, 下田周平, 鈴木啓太, 福岡淳, 高田知哉 “表面修飾した多孔質炭素表面へのアニオン性・カチオン性色素の吸着特性” 化学系学協会北海道支部 2025 年冬季研究発表会
24. 下田周平 “北海道大学コアファシリティ事業 R&T コラボプロジェクトの成果報告と TC カレッジの参加報告” 第 1 回北海道大学統合技術連携シンポジウム
25. 中川翼, 藤原清, 下田周平, 鈴木啓太, 福岡淳, 高田知哉 “原料組成の異なるグラファイト状窒化炭素の構造と光触媒反応性との関係” 第 5 1 回炭素材料学会年会
26. 迫田将仁, 延兼啓純, 下田周平, 市村晃一 “桁外れな電気抵抗の変動を示すサイズ効果” 第 60 回応用物理学会北海道支部/第 21 回日本光学会北海道支部合同学術講演会
27. 漆館琉介, 下田周平, 鈴木啓太, 福岡淳, 清水研一, 高田 知哉 “多孔質炭素表面での過硫酸塩活性化による有機色素の分解メカニズムと表面の酸化・還元処理が及ぼす影響” 第 1 4 回 CSJ 化学フェスタ
28. 迫田将仁, 延兼啓純, 小浦姿, 下田周平, 市村晃一 “モットサイズ効果” 日本物理学会 第 79 回年次大会
29. 香田匡貴, 納謙吾, 迫田将仁, 下田周平, 市村晃一 “MBE 法による電子ドーピングニッケル酸化物の作製” 第 85 回応用物理学会秋季学術講演会
30. 中川翼, 藤原清, 下田周平, 鈴木啓太, 福岡淳, 高田知哉 “メラミン/尿素混合物から調製した g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 光触媒によるホルムアルデヒド分解の反応効率:触媒原料組成の影響” 化学工学会第 1 5 回秋季大会
31. 村上達也, 下田周平, 杉山博則, 高濱謙太郎 “X 線光電子分光装置担当技術職員による新規全国ネットワーク (XPS コミュニティ) 創設” 第 30 回 機器・分析技術研究会 2024 広島大学
32. Ryusuke Urushidate, Shuhei Shimoda, Keita Suzuki, Atsushi Fukuoka, Ken-ichi Shimizu, Tomoya Takada "Effect of the chemical bonding state on the porous carbon surface on the persulfate activation and decomposition of organic dyes" Chitose

International Forum on Science and Technology 2024

33. Ryusuke Urushidate, Shuhei Shimoda, Keita Suzuki, Atsushi Fukuoka, Ken-ichi Shimizu, Tomoya Takada “Decomposition of organic dye via persulfate activation on porous carbon surface and the effects of surface oxidation/reduction treatments” KJF International Conference on Organic Materials for Electronics and Photonics 2024
34. Keigo Tashiro, Taisei Saito, Kojiro Goto, Junki Masuda, Takumi Miyakage, Shuhei Shimoda, Takashi Toyao, Nao Tshunoji, Ken-ichi Shimizu, Hiroshige Matsumoto, Shigeo Satokawa "Proton Conduction over the Dealuminated Zeolite for the Water Electrolysis" International Symposium on Zeolites and MicroPorous Crystals 2024(ZMPC2024)
35. 迫田将仁, 小浦姿, 下田周平, 市村晃一 “モットーパリエルスサイズ効果” 2024 年 第 71 回応用物理学会 春季学術講演会
36. 漆館琉介, 下田周平, 鈴木啓太, 福岡淳, 高田知哉 “酸化状態を変化させた炭素触媒表面での過硫酸塩活性化による有機色素分解のメカニズム” 日本化学会 第 104 春季年会
37. 下田周平, 龍田典子 “C 1s 及び O 1s の束縛エネルギーのシフトの比較” XPS コミュニティ 第 1 回技術懇談会
38. M. Sakoda, H. Nobukane, S. Shimoda, S. Tanda “Extraordinary size effect on CaRuO<sub>3</sub> ultrathin films” The APS March Meeting 2024
39. 大森瑞季, 下田周平, 鈴木啓太, 福岡淳, 高田知哉 “多孔質炭素へのカチオン性・アニオン性色素の吸着に対する表面修飾の効果” 化学系学協会北海道支部 2024 年冬季研究発表会
40. 濱田凧, 行澤桃子, 下田周平, 鈴木啓太, 福岡淳, 高田知哉 “アミノシラン修飾多孔質炭素による硝酸イオン回収への各種条件の影響” 化学系学協会北海道支部 2024 年冬季研究発表会
41. 漆館琉介, 下田周平, 福岡淳, 鈴木啓太, 高田知哉 “炭素触媒表面の酸化状態が過硫酸塩活性化による有機色素の分解に及ぼす影響” 化学系学協会北海道支部 2024 年冬季

## 研究発表会

42. 小浦姿, 香田匡貴, 新谷和司, 下田周平, 迫田將仁 “電気二重層トランジスタを用いた LaNiO<sub>2</sub> 超薄膜の超伝導相探索トランジスタ高性能化の検討” 第 59 回 応用物理学会 北海道支部 第 20 回 日本光学会北海道支部 合同学術講演会
43. 岡本恵太郎, 下田周平, 鈴木啓太, 福岡淳, 高田知哉 “多孔質炭素表面における有機分子の触媒の分解反応に対する表面処理の影響” 第 50 回炭素材料学会年会
44. 田代啓悟, 齊藤大成, 後藤光次郎, 宮景琢充, 下田周平, 鳥屋尾隆, 津野地直, 清水研一, 松本広重, 里川重夫 “脱アルミニウム処理を施したゼオライト表面上でのプロトン伝導メカニズム” 第 49 回固体イオニクス討論会
45. 下田周平, 女池竜二, 迫田將仁, 丹田聡, 延兼啓純 “電子線照射によるナノデバイスへの局所溶着法の開発” 顕微鏡学会第 66 回シンポジウム
46. 小林省吾, 井上陽南子, 柳田晃秀, 下田周平, 田代啓悟, 里川重夫 “メソポーラスカーボンの外表面でのアルカリ溶融法による炭化ニオブ(IV)ナノ粒子の合成” 第 53 回石油・石油化学討
47. 原子藍花, 下田周平, 鈴木啓太, 福岡淳, 高田知哉 “グラファイト状窒化炭素の光触媒反応効率に対する電子線照射および超音波層剥離の効果” 日本化学会秋季事業 第 13 回 CSJ 化学フェスタ 2023
48. 下田周平, 女池竜二, 迫田將仁, 丹田聡, 延兼啓純 “走査電子顕微鏡にファラデーカップを利用した電流測定” 北海道大学技術研究会 2023
49. 迫田將仁, 下田周平 “CaRuO<sub>3</sub> 超薄膜で見られる異常サイズ効果のエンハンス条件 (II)” 2023 年応用物理学会秋季学術講演会
50. 下田周平, 女池竜二, 迫田將仁, 丹田聡, 延兼啓純 “走査電子顕微鏡の照射電流計開発” 2023 年度 機器・分析技術研究会
51. 吳鹏飞, Adriana Pietropaolo, Mariagrazia Fortino, 坂東正佳, 前田勝浩, 西村達也, 下田周平, 佐藤寛泰, 中野環 “立体および位置特異性の無い無定形光学活性ハイパーブランチ型ポリフルオレンビニレン誘導体から低分子への非特異的相互作用による効率

的不斉転写” モレキュラーキラリティシンポジウム 2023

52. 原子藍花, 下田周平, 鈴木啓太, 福岡淳, 高田知哉 “グラファイト状窒化炭素への電子線照射による構造変化と光触媒反応性との関係” 日本化学会第 103 春季年会
53. 山本楓丸, 福田雄大, 漆原和, 下田周平, 延兼啓純, 市村晃一, 稲垣克彦, 丹田聡 “1 本弦と 2 本弦の CDW の発見” 日本物理学会 2023 年春季大会
54. 行澤桃子, 下田周平, 鈴木啓太, 福岡淳, 高田知哉 “アミノシラン修飾メソポーラスカーボンによる硝酸イオン吸着回収” 化学系学協会北海道支部 2023 年冬季研究発表会
55. 小野遼人, 下田周平, 福岡淳, 高田知哉 “ジルコニウム担持メソポーラスカーボンの構造と F-吸着特性” 第 49 回炭素材料学会
56. Ryoto Ono, Shuhei Shimoda, Atsushi Fukuoka, Tomoya Takada “Adsorption of aqueous fluoride using mesoporous carbons modified with zirconium cation” 22nd Chitose International Forum on Science & Technology (CIF22)
57. Masahito Sakoda, Hiroyoshi Nobukane, Shuhei Shimoda, Satoshi Tanda “Metal Insulator Transitions at 25 Å Periodic Thickness on CaRuO<sub>3</sub>” The 29th International Conference on Low Temperature Physics (LT29)
58. 迫田将仁, 延兼啓純, 下田周平, 丹田聡 “25 Å 周期の膜厚で引き起こる金属絶縁体転移の発見” 2022 年第 69 回応用物理学会春季学術講演会
59. M. Sakoda, H. Nobukane, S. Shimoda, S. Tanda “Magic thickness of 25 Å alternately makes metal-insulator transitions” The APS March Meeting 2022
60. 原子藍花, 高田知哉, 下田周平, 福岡淳 “グラファイト状窒化炭素の構造および光触媒活性に対する電子線照射の影響” 第 24 回化学工学会学生発表会
61. 原子藍花, 高田知哉, 下田周平, 福岡淳 “g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 可視光触媒の構造および触媒活性に対する電子線照射効果” 化学系学協会北海道支部 2022 年冬季研究発表会
62. 小野遼人, 栗田直也, 高田知哉, 下田周平, 福岡淳 “Zr 担持メソポーラスカーボンへのフッ化物イオン吸着に対する細孔構造および諸条件の影響” 化学系学協会北海道支部

## 2022 年冬季研究発表会

63. 小野遼人, 高田知哉, 下田周平, 福岡淳 “ジルコニウム担持メソポーラスカーボンへのフッ化物イオン吸着特性” 第 48 回炭素材料学会年会
64. 迫田將仁, 延兼啓純, 下田周平, 丹田聡 “膜厚に依存する周期的な金属絶縁体転移の発見” 日本物理学会 2021 年秋季大会
65. 松本亜希子, 鈴木啓太, 下田周平 “学内技術交流活動の紹介：電顕系技術職員交流会” 九州大学総合技術研究会 2019
66. 松本亜希子, 鈴木啓太, 下田周平 “電顕系技術職員交流会の紹介” 北海道大学技術研究会 2018
67. 下田周平 “SEM 測定による導電率が異なるイオン液体コーティング検証” 日本顕微鏡学会第 60 回記念シンポジウム
68. 下田周平 “走査電子顕微鏡測定によるイオン液体コーティング検証” 2017 年度 機器・分析技術研究会 in 長岡

## 競争的資金

1. 「量子臨界スイッチングの創出：Mott 絶縁相に自在に出し入れ可能な電界デバイス」  
日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(C) 2025-2027 年  
迫田將仁, 下田周平
2. 「SEM を用いた電子線照射によるナノデバイスへの局所溶着法の開発」  
文部科学省 先端研究基盤共用促進事業 令和 4 年度北大コアファシリティ事業  
研究教育基盤強化プログラム「R&T コラボプロジェクト」 2022-2023 年  
延兼啓純, 下田周平, 迫田將仁, 丹田聡
3. 「イオン液体を無機化合物に用いた走査電子顕微鏡測定による適合性のデータベース構築」  
日本学術振興会 科学研究費補助金 奨励研究 2017 年

下田周平

### 依頼講演 パネリスト

1. ～TC 取得者の活躍と出口戦略の展望～ 第1部：「TC を目指す意義と責任」  
研究基盤 EXPO2024 TC カレッジシンポジウム 2024 年 1 月 23 日  
座長：高濱謙太郎 パネリスト：高田綾子 河原夏江 下田周平 山田知沙
2. XPS 講習会 測定ノウハウと実例を紹介 得られたデータの解析を中心にした講習  
【初級～中級】  
大学連携研究設備ネットワーク 2023 年 7 月 14 日  
下田周平

### 企画・講師・座長

1. 埼玉大学 機器分析研究会 特別企画 令和7年度 XPS 技術情報交換会 座長 杉山博則, 岡野彩子 世話人 下田周平 2024 年 9 月 4 日
2. マテリアル先端リサーチインフラ 電子顕微鏡技術情報交流会 第2回オンライン研修会 オンライン研修会実行委員会 2025 年 2 月 4 日
3. 北海道大学コアファシリティ構築支援プログラム 和6年度北海道大学・函館工業高等専門学校技術職員相互交流研修 講師 下田周平 世話人 下田周平, 矢崎大介, 松本亜希子 2025 年 1 月 7～9 日
4. マテリアル先端リサーチインフラ 令和6年度 UPS 実地講習会 講師 村上達也 世話人 下田周平 2024 年 11 月 25-26 日
5. マテリアル先端リサーチインフラ 令和6年度 XPS 技術情報交換会 座長 村上達也 世話人 下田周平, 杉山博則 2024 年 9 月 6 日
6. 東海国立機構 XPS セミナー「原理から測定・メンテナンスまで」講師 中尾愛子 世話人 高濱謙太郎, 下田周平 2024 年 8 月 2 日
7. マテリアル先端リサーチインフラ 令和6年度 XPS-放射光講習会 講師 朝倉清高

世話人 下田周平 2024年5月10日

8. マテリアル先端リサーチインフラ 電子顕微鏡技術情報交流会 第1回オンライン研修会 オンライン研修会実行委員会 2024年2月13日
9. 北海道大学コアファシリティ構築支援プログラム 令和5年度北海道大学・旭川工業高等専門学校技術職員相互交流研修 FE-SEM 受入担当 原田真吾, 鈴木啓太, 下田周平, 松本, 亜希子 2023年11月30日
10. 第1回 北海道大学コアファシリティ研究支援人材育成プログラム 部局・分野横断技術交流会 SEM で身近な生物を見てみよう～生物試料観察の理論と実践講座～その2 (実践編) 講師 山本宏子, 牛島夏未, 安井雅範, 下田周平, 松本亜希子 2022年9月14～16日
11. 平成30年度 北海道大学先端・大型研究設備共用に関する「機器分析・工作技術交流会」SEM の性能をチェックしよう ～空間分解能検証のためのセミナーとラウンドロビン テスト～ 世話人 松本亜希, 下田周平, 鈴木啓太, 安井雅範 2018年10月30～15日
12. 平成28年度 北海道大学先端・大型研究設備共用に関する「機器分析・工作技術交流会」 透過電子顕微鏡の基礎講習及び実習 世話人 下田周平 2017年3月24日
13. 平成26年度北海道大学総合技術研究会実行委員 第8文科会担当 2014年9月4～

#### メディア報道

1. 不規則で無定形な高分子、高効率な円偏光発光 北大が解明  
日刊工業新聞 2023年6月19日
2. 不規則で無定形な枝分かれ型高分子が高効率な円偏光をつくる～らせん構造などの立体構造制御に依存しない高機能性キラル高分子の開発へ～  
北海道大学プレスリリース 2023年6月16日
3. たんぱく質に似た複雑な構造、人工高分子で 北大など  
日本経済新聞 2022年9月14日

4. 人工高分子の不均一な折りたたみ構造を発見 ～単調・均一な立体構造からより複雑で高次元な高次構造の制御へ～  
北海道大学プレスリリース 2022年9月6日
5. 薄膜の電気抵抗が厚さに依存して周期に振動  
科学新聞 2022年1月1日
6. 基薄膜の電気抵抗が厚さに依存して周期的に振動する現象を発見 ～室温で従来の数万倍の2.5ナノメートル周期の大きな変化～  
北海道大学プレスリリース 2021年11月22日

#### 学内委員

1. 北キンプス地区 危険物管理者 2023年～2025年度
2. 北海道大学 北キャンパス地区 衛生管理者 2022年～2023年度
3. 北海道大学 北キャンパス地区 衛生管理者 2016年～2017年度

#### 学外委員

1. 基盤協議会 人材活用小委員会 委員 2025～
2. XPS コミュニティ 代表幹事 2023～



## 謝辞

本 TC 論文執筆にあたり、主査をご快諾いただいた北海道大学 大学院理学研究院 物理学部門 凝縮系物理学分野 教授・技術連携統括本部 本部長 網塚 浩 教授（副学長）に深く感謝いたします。また、副査をご快諾いただいた北海道大学 工学研究院 応用物理学部門 迫田 将仁 助教、東京科学大学 リサーチインフラ・マネジメント機構 清 悦久 主任技術専門員に厚く御礼申し上げます。

SAFe 加工では、大阪大学 大学院薬学研究科・薬学部 医薬合成化学分野（化学薬学領域） 有澤 光弘 教授、秋山 敏毅 助教、北海道大学 触媒科学研究所 触媒理論研究部門 長谷川 淳也 教授には、研究テーマについてお声がけいただき心より感謝いたします。FIB 加工では、北海道大学 総合イノベーション創発機構 遠堂 敬史 特任助教に加工へご協力いただき、深く感謝いたします。なお、イオン液体コーティングの研究は、JSPS 科研費 17H00303 の助成を受けて実施いたしました。

分析技術交流会では、北海道大学電顕系技術職員交流会の幹事である北海道大学 理学研究院 松本 亜希子 技術専門職員、工学研究院 鈴木 啓太 技術専門職員や関係者の皆様には、学内交流と技術向上にご協力いただき心より感謝いたします。全国電子顕微鏡技術情報交流会では、元富山大学 平田 暁子 技術専門職員、函館高等専門学校 松井 春美 技術専門職員には、顕微鏡交流をご一緒させていただき心より感謝いたします。XPS コミュニティ幹事の金沢大学 杉山 博則 技術専門職員、東海国立大学機構 高濱 謙太郎 技師、北陸先端科学技術大学院大学 村上 達也 技術専門職員には、運営にご協力いただき心より感謝いたします。

R&T コラボレーションでは、北海道大学 理学研究院 延兼 啓純 助教、工学研究院 丹田 聡 元教授にお誘いいただき心より感謝いたします。

高度技術専門人材育成長期研修のサポートをいただいた北海道大学 グローバルファシリテーター（現 総合研究基盤連携センター 事業推進室）の皆様にご協力いただき感謝いたします。

最後に、TC カレッジ事務局の皆様にも厚く御礼申し上げます。