

令和6年度 TC論文

TCカレッジ遠隔分析DX系TCコースの構築と
遠隔分析を活用した教育研究支援

TCカレッジ 遠隔分析DX系TCコース

近藤 みずき

長岡技術科学大学 技術支援センター

目 次

| | |
|--|----|
| 第 1 章 緒論 | 1 |
| 1.1. 長岡技術科学大学「技学イノベーション機器共用ネットワーク」および「技学コアファシリティネットワーク」の概要 | 1 |
| 1.2. 高度技術人財養成制度「TC カレッジ」 | 7 |
| 1.3. 技術職員としてのこれまでの活動実績 | 10 |
| 1.4. 遠隔分析 DX 系 TC コースの概要と受講の経緯 | 15 |
| 1.5. 本論文の構成 | 16 |
| 第 2 章 TC カレッジ遠隔分析 DX 系 TC コースの構築 | 17 |
| 2.1. TC カレッジ遠隔分析 DX 系 TC のコース設計 | 17 |
| 2.2. カリキュラム策定および実施 | 21 |
| 2.3. コンテンツ作成 | 32 |
| 第 3 章 遠隔分析を活用した教育研究支援 | 47 |
| 3.1. 遠隔分析を活用した教育支援 | 47 |
| 3.2. 遠隔分析を活用した研究支援 | 53 |
| 3.3. 遠隔分析を活用したその他の事例 | 57 |
| 第 4 章 遠隔操作インストラクター導入の検討 | 60 |
| 4.1. 遠隔操作共用装置の現状 | 60 |
| 4.2. 遠隔操作インストラクター登録までの手順 | 61 |
| 4.3. 遠隔操作インストラクターの試行 | 65 |
| 4.4. 今後の普及に向けた課題 | 66 |
| 第 5 章 結論 | 67 |
| 5.1. まとめ | 67 |
| 5.2. 今後の展望 | 70 |

| | |
|-------------|----|
| 参考文献..... | 71 |
| 研究支援業績..... | 72 |
| 謝辞 | 74 |

第1章 緒論

1.1. 長岡技術科学大学「技学イノベーション機器共用ネットワーク」および「技学コアファシリティネットワーク」の概要

科学技術に関する広範な研究開発領域や、産学官の多様な研究機関に用いられる共通のおよび基盤的な施設・設備に関して、その有効利用や活用を促進するとともに、これらの施設・設備の相互のネットワーク化を促進し、利便性、相互補完性を向上するための取組として、先端研究基盤共用促進事業（研究機器相互利用ネットワーク導入実証プログラム）[1] の「技学イノベーション機器共用ネットワーク」（図 1.1-1）が 2019（令和元）年度から 2020（令和2）年度まで実施された。



図 1.1-1 技学イノベーション機器共用ネットワークの概要

(https://www.mext.go.jp/b_menu/boshu/detail/_icsFiles/afieldfile/2019/07/04/1418297_01.pdf)

(2024年7月5日現在)より転載)

本事業の目的は、代表機関の長岡技術科学大学（以下、長岡技科大と記す）、豊橋技術科学大学（以下、豊橋技科大と記す）および工業高等専門学校が一体となり、新たな研究機器相互利用ネットワークモデルとして「技学イノベーション機器共用ネットワーク」の基盤を構築することである。具体的には、長岡技科大が位置する新潟地域にある長岡工業高等専門学校（長岡高専）および新潟県工業技術総合研究所（工技総研）間の連携のみならず、中京地域の豊橋技科大、近県の富山高等専門学校（富山高専）、鶴岡工業高等専門学校（鶴岡高専）、群馬工業高等専門学校（群馬高専）、さらには北海道地域の函館工業高等専門学校（函館高専）、四国地域の新居浜工業高等専門学校（新居浜高専）、九州地域の鹿児島工業高等専門学校（鹿児島高専）間における広域な連携を図り、物理的に離れた機関間での研究機器の共用を通じ、それぞれの機関の研究力強化および産学官連携事業促進、並びに高度分析技能を持つアウトリーチ型技術者育成を目指している。加えて、これら実施機関周辺の企業・自治体との機器分析を通じた連携・協力を図ることにより、産学連携の推進、機関周辺企業の研究開発向上を同時に目指したものである。

これらを実現するために、従来の現地利用に加え、研究機器を遠隔で相互に利用できる仕組みを構築し、人の流れを根本から変えた研究体制を構築するための実証実験を機器メーカーと共に行われた。また、これら参画機関が一体となった「技学イノベーション機器活用協議会」、および、事業を円滑に進めるための「機器共用化推進部会」、さらには部会の中に本事業の核心となる「登録機器情報公開・予約システム検討WG」および「リモート機器利用実証実験推進WG」を開催し、オンライン会議システムを活用した遠隔機器利用に加えて現地利用に関する運用ルール策定や問題抽出・解決を組織的に行うことにより、日本全国さらには海外まで含めた「ものづくり」に主眼を置いた技学グローバルネットワークの基盤が構築された。

代表機関の長岡技科大が実施した内容は、以下のとおりである。

- ・ネットワーク機器の現地利用
- ・外部サーバーによる機器情報公開、予約システム、データ転送システムの運用およびブラッシュアップ
- ・複数のIoT（Internet of Things）ツールを用いた遠隔システムによる機器利用実証実験
- ・「技学イノベーション機器活用会議」、「リモート機器利用実証実験推進WG」での遠隔機器利用におけるルール策定と問題解決
- ・講演会、講習会およびセミナーを通じたアウトリーチ型高度技能人材育成

上述した先端研究基盤共用促進事業（研究機器相互利用ネットワーク導入実証プログラム）にて構築された「技学イノベーション機器共用ネットワーク」を元とし、統括部局の機能を強化して、学部・研究科等の各研究組織での管理が進みつつある研究設備・機器を、研究機器全体の研究基盤として戦略的に・導入・更新・共用する仕組みを強化（コアファシリティ化）[2] する技学コアファシリティネットワーク構想が 2021（令和 3）年度から 5 年間実施されることとなった（図 1.1-2）。



図 1.1-2 先端研究基盤共用促進事業 長岡技科大の取り組みの変遷

技学コアファシリティネットワーク構想（図 1.1-3）は、両技科大ー高専間で連携し、研究機器の遠隔・DX（Digital Transformation）化による先導的な研究機器の共用ネットワーク「技学コアファシリティネットワーク構想」を実現し、ネットワーク全体での研究機器のコアファシリティ化を推進することを目指している。

先端研究基盤共用促進事業（コアファシリティ構築支援プログラム）【代表機関】長岡技術科学大学【実施機関】豊橋技術科学大学、11高専（長岡、富山、鶴岡、群馬、長野、函館、鹿児島、鈴鹿、小山、呉、大分）【協力機関】東京工業大学、新潟県高専、新潟県工業技術総合研究所

1 5年後の「達成目標」、達成されたときの「姿」

研究の高度化とDX化

- 技科大・高専で連携し研究機器のコアファシリティ化を進め、機器の相互利用により研究の幅の拡大や研究力を向上
- 若手研究者が研究スタートアップの段階から全国の先端機器を遠隔活用し研究を遂行できる環境を整備

アドレスフリー時代の機器利用による産学国際連携

- 超低遅延なミリ波5Gを利用することで、分析に加え工作機器を含めた大学設備の共用化によるイノベーション創出。
- 装置の設置場所から解放され、多様で特徴的な機器を遠隔で活用可能となり、機器利用をきっかけに日本全国のモノづくり力の強化、地域活性化、国際連携強化に貢献

人材育成と機器共用利用協働マインド醸成

- 急進した機器利用増加に対応できる分析センターの技術職員だけでなく、全教職員への機器共用の協働マインド醸成
- 職員と教員の中間的な新しいキャリアパスを提示、日本全国のDXプロフェッショナル人材を育成

2 これまでの取組と解決すべき課題（ボトルネック）

これまでの取組

構築済の遠隔機器ネットワーク
完全遠隔・半遠隔化研究設備：62台、遠隔利用の実証実験：195件

- 新規導入機器を計画的に共同利用スペースに集約、遠隔化
- SHARE技学イノベーション機器共用ネットワークの構築、機器の遠隔利用の実証
- VPN設置によるセキュリティ強化、USB操作パネル、タッチパネルによる操作性向上
- 機器メーカーとの遠隔講習コンテンツの作成、専用サーバーでの共用化
- 海外協定校との遠隔利用実証実験（イギリス、スペイン、ベルギー、タイ、ベトナム他）

解決すべき課題

- 急伸した遠隔利用・機器共用に対応できる学内・連携体制の整備
- 組織的なDXプロフェッショナル人材の育成、全教職員による協働マインド醸成
- ミリ波5G高速通信やデータサイエンスと連携した分析・工作DXの高度化
- 研究設備のアドレスフリー活用の普遍固定化（国内外への波及）
- 事務業務のデジタル改革、機器予約システムの拡充と事務職員の負担軽減

3 目標達成に向けて、どう「戦略」で取り組むのか

代表：長岡技科大

事業体制

- 国際産学連携センター
センター長：理事（研究企画・産学連携・SDGs担当）
- 技学コアファシリティ部門（本事業統括部門・新設）
分析計測センター長/工作センター長/技術支援センター長、技学URA、事務局（財務・人事・研究推進）
- 技学教職員グループ（人材育成、講習コンテンツ開発）
分析計測センター/工作センター/技術支援センター/総合情報センター/各専攻 教職員
- DXプロフェッショナル人材：分析・工作ソムリエ
無機・表面分野 有機・バイオ分野 工作・ものづくり分野
- 分析計測センター（大型分析機器の集中管理）
工作センター（ものづくり設備の集中管理）
技術職員（技術支援センター）
- モデル教員による先駆的取組・インセンティブ制度構築
無機・表面分野 有機・バイオ分野 工作・ものづくり分野
- 各専攻、各研究室の研究設備

実施・協力機関

東京工業大 (TCOLLAB)

新潟県工業技術総合研究所

連携機関
地域企業
自治体
金融機関
海外協定校

6つの戦略と具体的取組

| | R3 | R4 | R5 | R6 | R7 |
|---------------------------------|----------------|-------------------|--------------|----|----|
| ① 全国各地の装置を一元的に活用 | 体制構築 | 研究機器のリモート化・共用化の推進 | | | |
| ② DXプロ人材「分析・工作ソムリエ」の育成とキャリアパス支援 | 制度設計 | 分析ソムリエ育成 | 分析ソムリエ活動本格化 | | |
| ③ リモート時代の体系的機器利用人材育成 | 内容検討 | コンテンツ作成・試行 | 教育コンテンツの一般公開 | | |
| ④ 大学教員全体の分析・工作マインドの醸成 | 制度設計 | モデル教員牽引 | 全学教員マインド醸成 | | |
| ⑤ 多様な分析ニーズに対応可能なリモート機器ネットワーク構築 | 機器のリモート化、DB化 | リモート機器の宣伝、活用推進 | | | |
| ⑥ 先端機器利用の国内外展開 | 連携制度・体制整備と人材育成 | 相互連携体制の促進 | | | |

図 1.1-3 技学コアファシリティネットワークの概要

(https://www.mext.go.jp/content/20210610-mxt_kibanen01-000015691_4.pdf)

(2024年7月5日現在) より転載)

これまでの取り組みとして、長岡技科大が中心となり、各機関の特徴ある機器を戦略的に遠隔・共用化し、全国的な研究機器の遠隔利用ネットワークを形成した。各機関の担当教員や情報セキュリティ責任者等と連携し、完全遠隔・半遠隔化研究設備：90台（図 1.1-4 の2022年度当時の台数）の遠隔機器ネットワークを整備した。

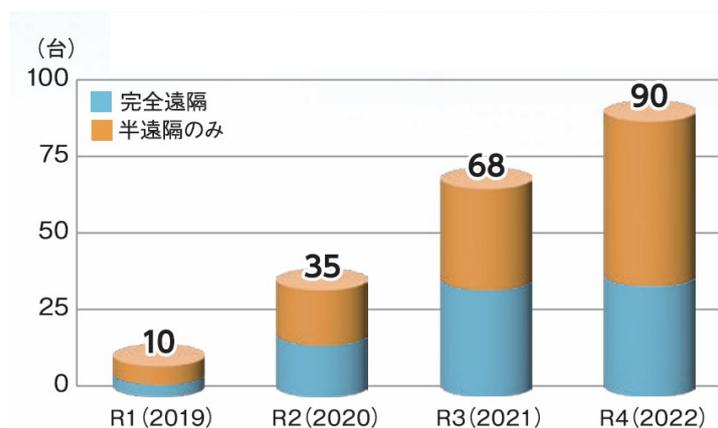


図 1.1-4 遠隔化機器台数の推移
(https://www.nagaokaut.ac.jp/project/share/list equip.files/R6_COREFACILITY_LF_front_back_cover.pdf (2024年7月5日現在) より転載)

それら機器の相互利用を推進するとともに、ネットワーク全体での研究機器の運用ルールや利用料金体系についても検討を行った。また、機器メーカーの協力の下、研究機器の特徴や操作方法を遠隔で学べるシステムを構築し、DXに精通した人材の育成を推進している。その他、VPN (Virtual Private Network) 設置によるセキュリティ強化、USB操作パネルによる操作性向上などが挙げられる。

これから解決すべき課題として、主に以下のような課題が示されている。

- ・急伸した遠隔利用・機器共用に対応できる学内・連携体制の整備
- ・組織的なDXプロフェッショナル人材の育成
- ・全教職員による協働マインド醸成

- ・ミリ波 5G 高速通信やデータサイエンスと連携した分析・工作 DX の高度化
- ・研究設備のアドレスフリー活用の普遍固定化
- ・事務業務のデジタル改革、機器予約システムの拡充と事務職員の負担軽減

上記の課題を解決するための主な 6 つの戦略と具体的な取り組みは以下のとおりである。

(1) 全国各地の装置を一元的に活用

長岡技科大内および連携組織の遠隔機器のコアファシリティ化を総括し、アドレスフリー時代の機器共同活用像を実証し、令和 4 年度の改組の産学連携共同教育でも活用する。

(2) DX プロフェッショナル人材“分析・工作ソムリエ”育成

卓越大学院プログラムと連携し、博士を持つ分析・工作ソムリエを教員と職員の間際のキャリアパスとして確立する。

(3) リモート時代の体系的機器利用人材育成

機器メーカー・東京工業大学（現 東京科学大学）と連携し、コロナ禍で急伸した遠隔機器教育コンテンツの開発、アウトリーチ型人材育成、若手人材に機器使用料半額など多彩な支援を実施する。

(4) 大学教員全体の分析・工作マインドの醸成

機器共用を促進するインセンティブを学長の下で策定し、さらにモデル教員による先駆的事例の提示と牽引を行う。

(5) ミリ波 5G 等の先駆的リモート手法開発

機能強化経費（共通政策課題分）で導入するミリ波 5G を利用した低遅延広帯域通信の遠隔機器利用を行う。

(6) 利用増加に対応できるデジタル改革

学内だけでなく外部の急伸的な利用増加に対応できる予約・決済・人的配置・インセンティブ支給を一体運用できるシステムを導入し、全学のデジタル化を牽引する。

1.2. 高度技術人財養成制度「TC カレッジ」

東京工業大学（以下、東工大と記す、現 東京科学大学）は、2020 年度から「先端研究基盤共用促進事業（コアファシリティ構築支援プログラム）」を実施し、その取り組みとして高度技術人財養成制度が導入された。この制度は、高い技術力と研究企画力を有する技術者をテクニカルコンダクター（以下、TC と記す）として認定する制度（図 1.2-1）であり、東工大 TC カレッジ [3] が創設された。

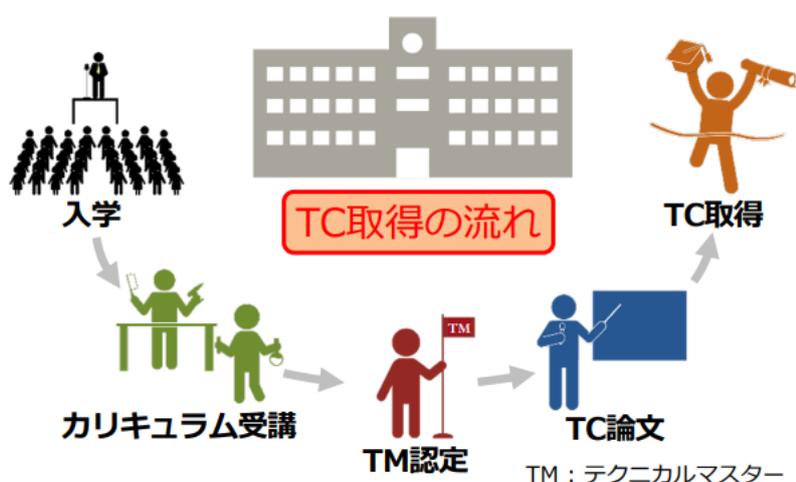


図 1.2-1 TC 取得の流れ（ <https://www.ofc.titech.ac.jp/wp-content/uploads/2021/09/TCカレッジ構想.pdf>（2024年7月5日現在）より抜粋）

TC 人材像には、次の 4 つの特徴がある（図 1.2-2）。

- (1) 高い技術力と幅広い知識：複数分野で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

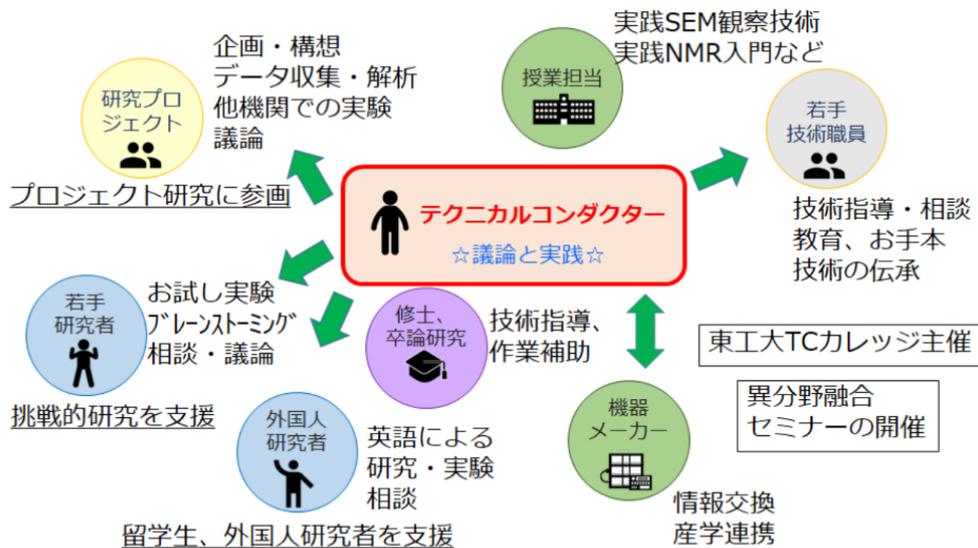


図 1.2-2 テクニカルコンダクターの概要 (<https://www.ofc.titech.ac.jp/tc-system/>
(2024年7月5日現在) より転載)

TC カレッジでは大学の技術職員、企業で研究開発に携わる技術者等の高度技術専門人財を養成するため、2024年度は全7コース（物質分析系 TC コース、設計製作系 TC コース、マイクロプロセス系 TC コース、情報系 TC コース、遠隔分析 DX系 TC コース、医工系 TC コース、マネジメント系 TC コース）が開講されている。

遠隔分析 DX系 TC コース（図 1.2-3）は、上述した技学コアファシリティネットワークの組織的な DX プロフェッショナル人材の育成の取り組みとして、長岡技科大が東工大と相互に連携し技術職員の高度技術専門人財の育成を目指すため TC カレッジのサテライト拠点（TC カレッジ長岡サテライト）を担当することとなり、2022年度に開設された。著者は2021年度のコース開設準備当初から参画し、遠隔分析 DX系 TC コースの構築に携わることとなった。第2章で詳述する。



図 1.2-3 TC カレッジパンフレット (<https://www.ofc.titech.ac.jp/notice/tcc-pamphlet/> (2024年7月5日現在) より抜粋)

1.3. 技術職員としてのこれまでの活動実績

長岡技科大では、学内の技術職員を 2011 年に「技術支援センター」として組織化し、組織的な技術職員の育成を進めてきた。本技術支援センターは、6 グループ（基礎教育支援グループ、先端研究支援グループ、ものづくり支援グループ、分析支援グループ、情報システム支援グループ、業務管理グループ）で構成され、32 名（2024 年 9 月現在）の技術職員が所属している。2011 年の組織化を皮切りに著者は分析計測センターを支援し始めた。その当時の支援体制は、分析計測センターの常駐技術職員 1 名および著者を含む非常駐技術職員 2 名であった。先端研究に欠かせない分析機器の高度化により、専門的な知識を有する技術職員が不可欠となり、支援体制を徐々に充実させ、各人の専門を考慮したチームで支援する体制を築いてきた。その結果、2024 年 9 月現在では、本技術支援センターの分析支援グループおよび著者を含むそれ以外に属するグループのメンバーによって支援し、常駐している技術職員 6 名と、兼務の技術職員 4 名、その他、分析計測センター長・副センター長・URA や技術補佐員など、計 16 名体制で対応し、支援体制の強化が図られた。

また、開学当時から大型研究機器を「分析計測センター」に集約する構想を基に、大小合わせて約 60 台の研究機器が分析計測センターにて管理され、学内の教職員・学生が利用している。長岡技科大の遠隔対応機器を図 1.3-1 に示す。分析機器を活用した教育研究支援、産官学連携、機器の共用化を組織的に増進し、学内外から利用しやすい設備環境やリモート利用の基盤を形成するために、技術職員による高度な技術支援が必要とされてきた。

このような背景の下、長岡技科大の分析計測センターでは分析機器担当技術職員の専門技術を活かした支援体制が構築され、著者らを含む分析機器担当技術職員はリモート機能を組み込んだ分析機器共用ネットワークの基盤形成と実証実験に貢献した。また、長年にわたり、分析計測センターを中心に共用分析機器の管理・運用に関する技術支援を行い、業務の効率化や機器利用増進に寄与した。さらに、オンライン測定や講習会（第 3 章）における分析機器操作を担当し、学内外の研究推進や自立した研究者・技術者育成にも貢献した。

上述した貢献に至った取り組みなどが認められ、2022 年度の科学技術分野の文部科学大臣表彰研究支援賞「共用分析機器の支援体制構築とリモート化への貢献」を、遠隔分析 DX 系 TC コースの同担当者である河原夏江氏らとともに共同受賞した。

| | | | | | |
|---|--|---|---|---|---|
| <p>クライオ走査電子顕微鏡 cryo-SEM</p>  <p>JEOL JSM-IT200/EDS</p> <p>クライオユニット搭載 Liquid N₂で、-140℃まで冷却して観察可能。試料室内での凍結・金高電圧可能</p> <p>完全遠隔申請書VPN接続</p> | <p>卓上走査電子顕微鏡 SEM</p>  <p>Hitachi TM3030Plus/EDS</p> <p>低真空での観察可能 導電性の無い試料を無電着で観察可能。</p> <p>申請書</p> | <p>卓上走査電子顕微鏡 SEM</p>  <p>JEOL JCM-6000Plus/EDS</p> <p>卓上型高真空SEM、EDS検出器搭載。金高、無電着専用。</p> <p>完全遠隔申請書</p> | <p>原子吸光分光光度計 AAS</p>  <p>SHIMADZU AA-7000</p> <p>フレーム流（空蒸・アセチレン）およびファーンズ法により高感度分析可能。オートサンプリングにより分析自動化（最大60試料まで）。</p> <p>完全遠隔申請書</p> | <p>ガスクロマトグラフ飛行時間質量分析計GC-TOF/MS</p>  <p>JEOL JMS-T2000GC/AgcoTOFGC-MS/熱分析ユニット(TV-3030C) / タプルショットハイロライザーによる揮発性成分や熱分解成分の分子量測定。目法/法による定性解析が可能。</p> <p>申請書</p> | <p>マイクロフォーカスX線CTシステム</p>  <p>BRUKER SkyScan1172</p> <p>非破壊で内部構造を観察可能 最高ピクセル分解能：最大0.7µm/pixel。X線透過係数をもちに2D/3Dイメージング可能。</p> <p>申請書</p> |
| <p>帯域放出形電子プローブマイクロアナライザ FE-EPMA</p>  <p>JEOL JXA-HP200F/EDS/SXES-ER</p> <p>インレンズショットキーPlus電子銃を搭載。WDS 3ch + EDS + 軟X線分光器搭載。微量元素の検出が可能。</p> <p>完全遠隔申請書VPN接続</p> | <p>グロー放電光分析装置 GD-OES</p>  <p>HORIBA GD-Profilier2</p> <p>井戸ロメーターによる多元素同時分析。微量元素の分析が可能（対応元素：H~U）</p> <p>完全遠隔申請書</p> | <p>X線光電子分光装置 XPS/UPS</p>  <p>Thermo Fisher Scientific Noxa/UPS/REELA/ISS/Raman</p> <p>10µm~400µmの微小領域分析。高感度・高エネルギー分解能XPS分析。電子帯電率調整、表面電位の分析精度向上。表面電子構造etc.</p> <p>完全遠隔申請書VPN接続</p> | <p>X線光電子分光装置 XPS</p>  <p>JEOL JPS-9010TR</p> <p>H、Heを除く全ての元素の定性・定量分析が可能。</p> <p>完全遠隔申請書</p> | <p>オージェ電子分光装置 AES</p>  <p>JEOL JAMP-9500F</p> <p>固体表面（ナノ領域）の元素分析が可能。オージェによる元素の分布状態観察が可能。デプスプロファイル測定が可能</p> <p>申請書</p> | <p>レーザーラマン分光光度計 LRS</p>  <p>JASCO NRS-2200</p> <p>レーザー(532nm)搭載。回折境界に近い高空間分解能でのラマン測定が可能</p> <p>完全遠隔申請書</p> |
| <p>紫外可視赤外分光光度計 UV-Vis/NIR</p>  <p>JASCO V-770</p> <p>紫外から近赤外まで広い波長範囲(190~3500 nm)を測定可能</p> <p>申請書</p> | <p>分光光度計 FL</p>  <p>JASCO FP-8550</p> <p>申請書</p> | <p>電子スピン共鳴分光装置 ESR</p>  <p>JEOL JES-REZX</p> <p>物質内の不対電子の検出が可能</p> <p>申請書</p> | <p>粉末X線回折装置 Powder XRD</p>  <p>Rigaku Smart Lab 3kW</p> <p>銅色X線(Cu-Kα)を用いた高感度測定(室温~1000℃)が可能。オートサンプリングチェンジャー(ASC-10)による連続測定が可能(室温測定)。</p> <p>完全遠隔申請書VPN接続</p> | <p>In-plane型X線回折装置 In-plane XRD</p>  <p>Rigaku Smart Lab 9kW</p> <p>In-Plane測定、歪曲測定などの様々な実験XRD分析が可能。微小領域測定オプションにより500µm程度の微小領域の測定が可能。</p> <p>申請書</p> | <p>低温X線回折装置 Low temperature XRD</p>  <p>Rigaku Smart Lab 9kW</p> <p>高出力(9kW)単色X線(Cu-Kα)による8K程度までの低温測定が可能。微小領域測定オプションにより500µm程度の微小領域の測定が可能(室温測定)。</p> <p>申請書</p> |
| <p>蛍光X線分析装置 XRF</p>  <p>Rigaku ZSX Primus II</p> <p>Be以上の元素の定性・定量分析が可能。波長分散型(WDXRF)、上面照射式、3kW X線管(Reターゲット)を搭載。</p> <p>完全遠隔申請書VPN接続</p> | <p>蛍光X線分析装置 XRF</p>  <p>Rigaku ZSX Primus III+</p> <p>Be以上の元素の定性・定量分析が可能。波長分散型(WDXRF)、上面照射式、3kW X線管(Reターゲット)を搭載。</p> <p>申請書</p> | <p>透過電子顕微鏡 TEM</p>  <p>Hitachi HT7700/EDS/STEM</p> <p>100kV加速電圧および軸傾斜ホルダーを利用（傾斜角±30°）。STEM/EDSによる元素マッピングが可能（10万倍まで）。</p> <p>申請書</p> | <p>帯域放出形透過電子顕微鏡 FE-TEM</p>  <p>JEOL JEM-2100FEDS/EDX/EELS</p> <p>最高加速電圧200kV、高分解能・高感度観察。STEM/EDSによる元素マッピングが可能。室温での測定、室温解析および高感度検出が可能。</p> <p>申請書</p> | <p>3次元透過電子顕微鏡 3D-TEM</p>  <p>JEOL JEM-2100</p> <p>電子線トモグラフィーによる三次元画像生成が可能。無電着でも高感度観察可能。高分子材料専用。</p> <p>申請書</p> | <p>低温帯域放出形走査電子顕微鏡 Cold FE-SEM</p>  <p>Hitachi SU8230/EDS/EBSD</p> <p>コールドステージ搭載。数十万倍の観察が可能。無電着でも高感度観察可能。サブミクロン領域でのEBSD観察が可能。</p> <p>完全遠隔申請書</p> |
| <p>低温帯域放出形走査電子顕微鏡 Cold FE-SEM</p>  <p>Hitachi SU8000/EDS</p> <p>有機物・生物試料専用 EDS検出器(HORIBA)搭載</p> <p>申請書</p> | <p>ショットキー帯域放出形走査電子顕微鏡 Schottky FE-SEM</p>  <p>JEOL JSM-IT800/DualEDS/SXES-ER</p> <p>ショットキー電子銃、専用ソフトウェアの表面観察とEDS分析。デュアルEDS検出器、軟X線分光器搭載。</p> <p>完全遠隔申請書VPN接続</p> | <p>走査電子顕微鏡 SEM</p>  <p>Hitachi FlexSEM1000L/EDS</p> <p>EDS検出器（Oxford）搭載。数万倍での元素マッピングが可能。低真空（30 Pa）での観察可能。</p> <p>完全遠隔申請書VPN接続</p> | <p>複合ビーム加工観察装置 FIB/FE-SEM</p>  <p>JEOL JIB-4700F</p> <p>ピックアップ法によるTEM試料作製が可能。二次電圧観察、三次元分析(EDS / EBSD)が可能。</p> <p>完全遠隔申請書</p> | <p>集束イオンビーム加工装置 FIB</p>  <p>Hitachi FB2200</p> <p>形貌・構造観察(金高、セラミックス・ガラス、有機物・高分子)、マイクロサンプリング法によるTEM試料作製が可能。</p> <p>完全遠隔(KVM)申請書</p> | <p>ICP発光分光分析装置 ICP-OES</p>  <p>SHIMADZU ICPA-9820</p> <p>マルチタイプICPで全波長観測、再解析可能。物/液方向制御自動切換。幅広い濃度範囲で分析可能。オートサンプリングにより分析自動化。</p> <p>完全遠隔申請書</p> |
| <p>デジタル顕微鏡(走査型白色干渉法) CSI</p>  <p>Hitachi VS1800</p> <p>申請書</p> | <p>粒子径・セータ電位測定装置</p>  <p>Malvern Panalytical Zetasizer Pro</p> <p>申請書</p> | <p>走査型プローブ顕微鏡 SPM</p>  <p>Hitachi NanoNav E-sweep</p> <p>利用についてはスタッフまでお問い合わせください</p> <p>申請書</p> | <p>核磁気共鳴装置 NMR</p>  <p>JEOL JNM-ECA400</p> <p>10mmφ超深液プローブによる高感度測定が可能。オートサンプリングチェンジャーによる30本までの連続測定が可能。凍結測定のみ</p> <p>完全遠隔申請書</p> | <p>核磁気共鳴装置 NMR</p>  <p>JEOL JNM-ECZ500R</p> <p>5 mmφ超深液用、SuperCOOLプローブによる高感度測定が可能。オートサンプリングチェンジャーによる30本までの連続測定が可能。凍結測定のみ</p> <p>完全遠隔申請書</p> | <p>金属3Dプリンター (SLM方式)</p>  <p>DMG MORI LASERTEC 30 DUAL SLM</p> <p>利用についてはスタッフまでお問い合わせください</p> <p>申請書</p> |

図 1.3-1 長岡技科大の遠隔対応機器一覧

(<https://whs.nagaokaut.ac.jp/nuatai/corefacility.html> (2024年7月5日現在) より転載)

2017年には、著者らが実行委員として開催した「機器・分析技術研究会 in 長岡」(2017年8月29-30日実施)では事務局長として実務を統括し、円滑な開催に貢献した。また、機器分析に関する発表「オージェ電子分光装置の紹介と利用促進に向けた環境整備」を行い、高度分析技術、機器集約化、機器共用化などに関する情報を収集した。

2018年には2日間で1万人以上が来場する「燕三条ものづくりメッセ」への出展に寄与した。燕三条ものづくりメッセ2018(2018年10月24-26日実施)では、「匠の技を先端分析機器を用いてミクロの世界から覗きます」とのタイトルで様々な材料表面の形状、化学組成および結晶構造を電子顕微鏡による観察を紹介した。さらに、2019年開催の燕三条ものづくりメッセ2019(2019年10月17-18日実施)の出展会場では、電子顕微鏡のリモート測定を実演した。

2019-2020年には、連携高専とのリモート測定の実証実験を実施した。主な装置としては走査型電子顕微鏡装置の半遠隔測定・完全遠隔測定、また、オージェ電子分光装置の半遠隔測定を行った。著者らは機器操作やリモート接続などを担当し、機器共用ネットワークに貢献し、分析機器の集中管理・共用化・研究環境の整備に貢献した。

2007年度から現在に至るまで、長岡技術科学大学物質生物系生物材料工学研究室において研究・教育支援を行っている。研究室での支援業務を通じて見出した課題を研究テーマとし、下記の科学研究費助成事業(2件)に採択されている。

1. 奨励研究(課題番号23909052)2011年「酵素を利用したバイオセンシングに関する実験教材の開発」

2. 奨励研究(課題番号:24909056)2012年「科学技術コミュニケーション活動の発展に向けた調査および実践」

これらの独自の研究テーマについては、下記の3か所において発表を行った。

・平成22年度熊本大学 総合技術研究会(2011(平成23)年3月17-18日実施)にて、「実践的化学実験技術の修得ー化学合成から分析ー」のタイトルで成果発表を行った。

・平成23年度神戸大学 実験・実習技術研究会(2012(平成24)年3月14-15日実施)にて、「酵素を利用したバイオ燃料電池の魅せ方」のタイトルで成果発表を行った。

・第18回高専シンポジウム in 仙台（2013（平成25）年1月26日実施）にて、「学生のための科学技術コミュニケーションに関する取組み」のタイトルで成果発表を行った。

上記の成果が、日本学術振興会のプログラムであるひらめきときめきサイエンス（HT30129）「電池をつくってみようー乾電池から最先端のバイオ燃料電池までー」（2018年8月7日開催）にも結実し、実施分担者として実施した。加えて、長岡技科大主催の新潟県燕市中学生理数科トップランナー講座（2018年8月8日開催）の講師として、理科講座「導電性高分子について知ろう」を担当した。

一方で、2012年には、科学技術コミュニケーションについてより深く学ぶため、北海道大学主催科学技術コミュニケーター養成プログラムを受講・修了（CoSTEP8期生）し、その後、大学の社会貢献事業や地域活動を実施している。そして、社会貢献活動の一環として科学教育教材の開発も行い、下記の発表を行った。

・平成24年度愛媛大学総合技術研究会（2013（平成25）年3月7-8日実施）にて、「社会貢献活動における科学教育教材の共同利用について」のタイトルで成果発表を行った。

・平成25年度実験・実習技術研究会 in イーハトーブいわて（2014（平成26）年3月5-7日実施）にて、「社会貢献活動における科学教育教材の共同利用について」のタイトルで成果発表を行った。

2016年度の文部科学大臣表彰科学技術賞（理解増進部門）「女性科学者による女性向けの科学普及啓発」では、科学の啓発活動として、理科に理科以外の魅力（多くの人が思わず手にしてしまうお洒落でかわいいファッション雑誌のような魅力）を加え、理科が嫌いな人へも理科を届ける活動を行うべく、**Kawaii** 理科プロジェクトを立ち上げ、女性教員らと共同受賞した。多岐にわたる社会貢献活動の中から、国内の理科啓発活動以外に、グローバルな視点から理科教育の発展に貢献するため、**MJIIT (Malaysia-Japan International Institute Technology)** in マレーシアでの出前実験（2018年3月8日開催）**Kawa** 理科プロジェクトの電子部品アクセサリー作成体験の実施において、企画から運営までを一貫して行った。

上記の取り組みの成果の一部は、以下の論文で発表された。

吉武裕美子, 勝身俊之, 南口誠, 西川雅美, 宮正光, 近藤みずき, 白仁田沙代子, 田辺里枝, 山本麻希, “「かわいい」を取り入れた科学実験・工作のコミュニケーション効果”, 科学技術コミュニケーション, 19 (2016), pp.31-42

現在は、長岡技科大男女共同参画推進室管轄の科学技術啓発活動のプロジェクトである TE×DI (Technology Entertainment × Diversity Inclusion) のメンバーの一員として運営および活動を行っている。

その他、教育支援として、2007 年度以降から現在まで、1 年生物実験、2 年物質生物工学基礎実験、3 年物質生物工学実験の支援を担当している。

2020 年度以降から長岡技科大の安全衛生委員会委員も務め、次の安全衛生に関する資格：第一種衛生管理者 (2009 年取得)、有機溶剤作業主任者 (2011 年取得)、衛生工学衛生管理者 (2012 年取得)、低圧電気取扱者 (2012 年取得)、特定化学物質及び四アルキル鉛作業主任者 (2014 年取得)、酸素欠乏・硫化水素危険作業主任者 (2015 年取得) を取得している。

組織運営では、2017-2018 年度に、技術支援センター業務管理グループを兼任し、技術支援センター全体の運営にも関わり、2019-2020 年度には、技術支援センター業務管理グループ長、2021 年度に技術支援センター業務管理担当部門副技術長、2022 年度以降からは技術支援センター教育研究支援担当部門副技術長を務めている。また、2020 年度以降から長岡技科大の男女共同参画推進委員会委員およびハラスメント対策委員会委員を務めている。

全国国立大、高専、研究所等の技術職員が組織運営の課題解決を検討する第 20 回_令和元年度高エネルギー加速器研究機構技術職員シンポジウム (2020 (令和 2) 年 1 月 23-24 日実施) にて、課題テーマ「長岡技術科学大学技術支援センターの技術支援体制~階層別研修、研究・教育組織横断型技術支援の事例紹介等~」について長岡技科大技術支援センターの技術支援体制とその効果について発表した。

以上のように著者は、生物工学分野を基盤とし、機器分析、安全衛生、社会貢献などで得られた知識と培った技術を教育・研究支援として提供し、教育および研究力向上に貢献している。

1.4. 遠隔分析 DX 系 TC コースの概要と受講の経緯

遠隔分析 DX 系 TC コースでは、TC の目指すべきあり方およびコース概要を下記のとおりを示し、高度技術人財育成カリキュラムが提供されている。

遠隔分析 DX 系 TC コースの目指すべき TC 像：

機器分析/物性評価についての幅広い知識と技術を有し、電子顕微鏡等の研究設備を遠隔化して活用できる。そして、所属機関内のみならず機関外との遠隔共同利用も積極的に利用して、研究教育のデジタルトランスフォーメーション (DX) を支援・牽引できる。加えて、学際的な研究企画・支援にも加わり、物質・材料の解析に関して広域な研究者や技術者とも積極的に連携する。また、次世代技術者の育成とマネジメントにも取り組む。

遠隔分析 DX 系 TC コースのコース概要：

遠隔分析 DX 系 TC コースでは、遠隔分析分野の幅広い知識と技術を習得すると共に、電子顕微鏡等の研究設備を遠隔化して活用できるテクニカルコンダクター (TC) の養成を目的とする。また、これらの知識と技術を基に、研究教育現場におけるデジタルトランスフォーメーション (DX) を支援し、率先して牽引できる人財の育成を目指す。

オンラインおよびオンデマンドの講義や実習、機器メーカーとの協働による実践的な演習といった専門的なスキルに加えて、マネジメント科目も学ぶことにより、自ら専門分野をリードし、分野や機関を超えた複合的な課題にも参画できる高度専門人財を養成する。

長岡技科大は東工大 TC カレッジの長岡サテライト校として、長岡技科大と東工大が相互に連携し、技術職員の高度化を目指すため、2021 年に TC コースの設置準備 WG が発足し、準備が進められた。著者らは設置準備 WG からのメンバーとして携わり、2022 年度に遠隔分析 DX 系 TC コースが新設された。2022 年度は著者を含む 2 名が遠隔分析 DX 系 TC コースの TM カリキュラムを受講しながら、遠隔分析 DX 系 TC コースのコース担当者となり教育コンテンツの共同開発を行い、教育コンテンツの共同利用を行うべく試行運用を行った。1.3 章で述べたように、共用分析機器の支援体制構築とリモート化への貢献に至った実績もあり、遠隔分析 DX 系 TC コースの受講に至った。

1.5. 本論文の構成

本論文は全 5 章から構成されている。

第 1 章「緒論」では、長岡技術科学大学の「技学イノベーション機器共用ネットワーク」および「技学コアファシリティネットワーク」における取り組みの変遷を概観し、自身のこれまでの活動経歴を振り返る。これらの経験が、TC カレッジ遠隔分析 DX 系 TC コースの受講およびコース担当者としてのコースの設計および運用の取り組みに繋がることを述べ、本論文の構成を提示する。

第 2 章「TC カレッジ遠隔分析 DX 系 TC コースの構築」では、コースの立ち上げから携わり、遠隔分析 DX 系 TC コース独自のカリキュラムの策定・実施と、そのコンテンツの作成についても紹介する。

第 3 章「遠隔分析を活用した教育研究支援」では、教育支援の事例、研究支援の事例およびその他の遠隔分析を活用した事例を示す。

第 4 章「遠隔操作インストラクター導入の検討」では、遠隔操作可能な共用装置において、遠隔地から操作する利用者を「遠隔操作インストラクター」として登録する仕組みについて検討内容を述べる。

第 5 章「結論」では、第 2 章から第 4 章までをまとめ、遠隔分析支援で求められる技術職員像や今後の技術職員による教育研究支援の在り方などについて展望を述べる。

第2章 TC カレッジ遠隔分析 DX 系 TC コースの構築

この章では、遠隔分析 DX 系 TC コースのために設計した独自のカリキュラムおよびその内容や取組みについて述べる。

2.1. TC カレッジ遠隔分析 DX 系 TC のコース設計

TC カレッジ事務局、コース監修担当教員および著者を含むコース担当者と連携し、コース設計、シラバス作成およびカリキュラム検討などを行った。また、TC コースの基本的な骨格や単位認定などについては TC カレッジ事務局が作成された内容に基づき設計し、カリキュラムの初級コースにおいては他の TC コースと同様の内容である。

TC カレッジ遠隔分析 DX 系 TC コースの 3 つのポリシー

(1) ディプロマポリシー (テクニカルコンダクター (TC) の称号授与の方針)

遠隔分析 DX 系 TC コースでは、機器分析および遠隔分析に関する幅広い基礎知識と技能を身に付け、テクニカルマスター (TM) に必要な単位 (35 単位以上) を修得し、TC 論文を提出して審査の合格 (5 単位) することで合計 40 単位以上の単位を修得したものに TC の称号が付与される。

(2) カリキュラムポリシー (カリキュラム編成・実施の方針)

遠隔分析 DX 系 TC コースでは、機器分析の原理・基本操作・応用測定に対する知識と技術を習得すると共に、電子顕微鏡等の研究設備を遠隔化して活用できる TC の養成と、これらの知識と技術を基に、研究教育現場におけるデジタルトランスフォーメーション (DX) を支援し、率先して牽引できる人財の育成を目指している (図 2.1-1)。

これまでの受講者の技術・開発系の業務に関わった期間中の業績に応じて KPI 認定 (15 単位以上で最大 22 単位) を受ける。KPI の中で共著論文、外部資金獲得、技術研究会発表 (自らの発表) のうち 2 項目 (2 単位/項目)、計 4 単位) は必須である。残りの指定される項目の中から、KPI 認定を受ける (11 単位以上 18 単位まで)。

カリキュラムでは TC 論文を執筆する能力を養うために、テクニカルマスター (TM) としての能力をカリキュラムの講義、演習科目を通して身につける。(KPI 単位と併せて 35 単位以上)。カリキュラムは初級・中級・上級コースにわかれている (図 2.1-2)。初級コースでは共通科目 (必須 5 単位) (2022 年度当時の内容) として、安全講習、自然科学研究機

構技術研修、英語研修、東工大オープンファシリティセンターの業務体験等を行う。また、研究者と協働するために博士論文や修士論文発表会を聴講する。中級コースでは、必須科目を含む 3 単位以上を修得する。機器の遠隔化とその活用方法を習得するために、機器遠隔化・活用スクールを履修する。また、機器に関する専門的かつ詳細な知識の習得のために、機器メーカー見学を行う。また、プレゼンテーションの能力を養うために、技術・研究支援発表会・シンポジウムに参加して発表を行う。その他にも、対象とする機器の応用測定、機器メーカーとの協働による演習科目を選択して履修することができる。上級コースでは、必修科目を含む 2 単位以上を修得する。より高度な遠隔分析のための講究科目を履修し、さらに、他の技術者との技術交流のために、技術・研究支援発表会・シンポジウムに参加する。この他、研究教育現場を改善するためのマネジメント科目（3 単位以上）を履修する。

TM が認定された後、指導教員を設定して TC 論文を作成する。教員等と共同研究を進めながら、研究支援を行い、TC 論文にまとめる。TC 論文発表を行い、合格することで TC 論文の審査が完了（5 単位）する。

（3）アドミッションポリシー（入学者受け入れ方針）

遠隔分析 DX 系 TC コースでは、機器分析の基本となる原理、および、基本測定に対する知識と技術をもち、電子顕微鏡等の研究設備の共有化およびその遠隔化利用を促進して研究教育現場におけるデジタルトランスフォーメーション（DX）の支援を目指すとともに、自ら課題を見つけ解決について意欲のある者を募集する。入学試験は行わないが、これまでに分析計測の研究支援活動、および、学会や論文での研究発表等の経験があり、今後、遠隔での測定に意欲のある方の受講を想定している。具体的には、受講者の技術・開発系の業務に関わった期間および TM を取得するまでに、KPI の中で共著論文、外部資金獲得、技術研究発表（自らの発表）のうち 2 項目（4 単位）の認定が見込まれ、残りの指定される項目の中から、11 単位以上の KPI 認定が受けられる方を対象とする。

目指すべきTC像

機器分析/物性評価についての幅広い知識と技術を有し、電子顕微鏡等の研究設備を遠隔化して活用できる。そして、所属機関内のみならず機関外との遠隔共同利用も積極的に利用して、研究教育のデジタルトランスフォーメーション（DX）を支援・牽引できる。加えて、学際的な研究企画・支援にも加わり、物質・材料の解析に関して広域な研究者や技術者とも積極的に連携する。また、次世代技術者の育成とマネジメントにも取り組む。

TM認定基準（KPI, 技術・開発系の業務に携わった期間に限る）

☆必要単位数：15-22

2単位/1件（下記の2単位項目のうち2項目は必須）

- ・ 共著論文（筆頭著者含む）
- ・ 外部資金（科研費等）獲得
- ・ 技術研究会等発表（自らの発表）

1単位/1件

- ・ 論文貢献（謝辞）
- ・ 外部資金（科研費等）応募
- ・ 学会等発表
- ・ 受賞・表彰
- ・ 授業支援
- ・ テクニカルレポート
- ・ セミナー等受講（講習・研修）
- ・ 資格（別添掲載）
- ・ 特許
- ・ 学会等の委員
- ・ 仕様策定委員または技術審査員
- ・ マネジメント経験
- ・ アウトリーチ活動（主担当）

遠隔分析DX系TCの独自KPI

- ・ 機器遠隔化支援
- ・ 遠隔分析支援(授業支援も含む)
- ・ 遠隔講習会等の担当(オンライン見学会・研修)

図 2.1-1 遠隔分析 DX 系 TC コースの目指すべき TC 像と KPI

◆遠隔分析DX系TC

| | | |
|-----------------|---|--------|
| テクニカルマスター（TM） | 初級：5単位（必修5単位） 中級：3単位以上（必修3単位） 上級：2単位以上（必修2単位） マネジメント：3単位以上 KPI認定：15-22単位（必須4単位） | 8-15単位 |
| テクニカルコンダクター（TC） | TC論文：5単位（必修5単位） | |

図 2.1-2 遠隔分析 DX 系 TC コースの必要単位数のまとめ

TC 認定における遠隔分析 DX 系のモデルケースを図 2.1-3 に示す。

遠隔分析DX系のモデルケース

| | カリキュラム認定 (8単位以上) | KPI認定 (15単位以上) |
|-----------------|--|---|
| TC認定 50/40単位 | (初級) 共通 (部門認定) (5) 計5/5単位 | |
| | [専門] (中級) 機器メーカー見学 (1) (中級) 研究室見学 (1) (中級) 機器遠隔化概論 (1) (中級) 技術・研究支援発表会, シンポジウム (1) (中級) 機器メーカーセミナー (1) (中級) 機器遠隔化・活用スクール (1) (上級) イベント企画・運営 (1) (上級) 遠隔分析 DX 講究 (1) 計11/8-15単位 | (必須) 共著論文 1件 (4) (必須) 外部資金 (科研費等) (2) (必須) 技術研究会等発表 (4) (加点) 論文貢献 (謝辞) (1) 外部資金 (科研費等) 応募 (5) 学会等発表 (2) 受賞・表彰 (1) 授業支援 (5) テクニカルレポート (1) セミナー等受講 (講習・研修) (1) 資格 (1) マネジメント経験 (1) アウトリーチ活動 (主担当) (1) 計29/15-22単位 |
| | [マネジメント] 外部マネジメントコース (1) 計11/8-15単位 | |
| | TC論文 (5) 計5/5単位 | |

図 2.1-3 遠隔分析 DX 系のモデルケース

TC カレッジ養成カリキュラム評価方法

初級～上級、マネジメント

(1) 各カリキュラム後に、受講者は TC カレッジ事務局またはコース担当者にレポートを提出する。

(2) 担当者により評価する。

(3) 担当者から事務局に結果を送る。

(4) 事務局で単位を集計・管理する。

(5) 年度末の TC カレッジ運営専門委員会にて、TC カレッジ長から報告し、委員の承認を得る。

※レポートのテーマ等は、コース担当者またはカリキュラム担当者が設定する。

2.2. カリキュラム策定および実施

TC カレッジ事務局、コース監修担当教員やメーカーおよび著者を含むコース担当者と連携し、カリキュラム検討を行った。遠隔分析 DX 系 TC コース独自のカリキュラムとして、下記の 4 項目を策定した（図 2.2-1）。

- (1) 中級カリキュラム「機器遠隔化概論」
- (2) 中級カリキュラム「機器遠隔化・活用スクール」
- (3) 上級カリキュラム「遠隔分析 DX 講究」
- (4) 上級カリキュラム「材料機器分析特論」

遠隔分析DX系テクニカルコンダクター “TC”養成カリキュラム例（初級～上級）

| | 4-8月 | 9-12月 | 1-3月 |
|----|--|--|------|
| 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 | 学) 機器遠隔化概論 技) 機器遠隔化・活用スクール | 他) 研究室見学 ^{注1} 他) 機器分析特論 他) 展示会见学・セミナー等への参加 他) 学外研修 | |
| | 他) 技術・研究支援発表会、他) TCカレッジシンポジウム等、メ) 技術・研究支援概論1、他・メ) 中古機器バラシキヤラバン隊（東工大）、 技) 装置実習（東工大）、他) 機器メーカー見学（東工大） | | |
| 上級 | 他) イベント（シンポジウム等）企画・運営、技・メ) 遠隔分析 DX 講究、研究室体験 学) 材料機器分析特論、学) 技術・研究支援概論2（東工大） | | |

赤字：必修カリキュラム、学) 長岡技科大または東工大教員が講師、メ) 機器メーカー担当者が講師、技) 長岡技科大技術職員が講師、他) その他カリキュラム

注1：他機関職員等は長岡技科大と同等の研修・セミナー受講で単位認定とする。

図 2.2-1 遠隔分析 DX 系 TC コースのカリキュラム（初級～上級）

- (1) 中級カリキュラム「機器遠隔化概論」

本機器遠隔化概論の概要（図 2.2-2）は、『ネットワークへの接続を前提とした研究機器を中心として、機器の遠隔化の基礎的な技術を学ぶ。また、機器の遠隔化においては、単純に遠隔化すればよいわけではないことから、情報セキュリティ、得られたデータの管理手法、機器のネットワークとしての一体運用法などの周辺知識を学ぶ。』ことである。

具体的には、分析機器の遠隔化①として、長岡技大教員からの情報セキュリティによる講演を受講し、情報セキュリティに関する基本的な考え方、インターネットにおける情報のセ

セキュリティリスク、セキュリティを確保するための基本的な技術「暗号技術」とその応用について学ぶ。

次に、分析機器の遠隔化②とし、接続方法について動画を撮影し、半遠隔システム、完全遠隔システム、VPN 完全遠隔、完全遠隔の実例、スマートグラスの活用について学ぶ。作成した動画の詳細内容については、2.3 章のコンテンツ作成で後述する。

さらに、分析機器の遠隔化③とし、実施済のオンライン見学会および遠隔測定実習の動画を視聴し学ぶ。ここでのオンライン見学会や遠隔体験については、第 3 章の遠隔分析を活用した教育研究支援で詳述する。

遠隔分析DX系TCコース

中級カリキュラム 機器遠隔化概論

動画コンテンツによる学習

分析機器の遠隔化① 情報セキュリティ

長岡技科大教員による講演 (30分×3本)

分析機器の遠隔化② 接続方法

撮影 ①半遠隔化 ②完全遠隔化 ③VPN完全遠隔 ④完全遠隔の実例
⑤スマートグラスの活用 (15分×5本)

分析機器の遠隔化③ 見学会・遠隔体験

撮影 ①オンライン分析計測センター見学会 (10分×7本)
②遠隔測定実習 (東工大) (15分×5本)

図 2.2-2 機器遠隔化概論の内容

(2) 中級カリキュラム「機器遠隔化・活用スクール」

本機器遠隔化・活用スクールの概要は、『走査電子顕微鏡などの分析機器の遠隔化から実機を用いた遠隔測定までの実習を通して、分析機器の遠隔利用の方法について学ぶ。遠隔分析のための接続、機器の概要、操作方法、および遠隔操作特有の操作のコツについて学ぶ。』ことである。

2023（令和5）年度は8月21日（図 2.2-3）、2024（令和6）年度は8月26 - 27日（図 2.2-4）に実施した。2023年度の実施の状況の写真を図 2.2-5 に示す。

遠隔分析DX系TCコース

中級カリキュラム 機器遠隔化・活用スクール

国立大学法人
長岡技術科学大学
Nagasaki University of Technology

| | | |
|-----------|---|--|
| 目的 | 分析機器の遠隔化から実機を用いた遠隔測定までの実習を通して、分析機器の遠隔利用の方法について学ぶ |  |
| 日時 | 2023年8月21日（月） 9:00 - 17:00 | |
| 場所 | 長岡技術科学大学 分析計測センター | |
| 形式 | 対面のみ | |
| 内容 | 午前：分析機器の遠隔化演習 長岡技術科学大学の分析機器を見学しながら遠隔接続方法について学ぶ | |
| | 午後：遠隔測定の実験 SEM（JEOL JSM-IT200）の遠隔測定体験、スマートグラス体験 ほか | |

図 2.2-3 2023（R5）年度の実施内容

遠隔分析DX系TCコース

中級カリキュラム 機器遠隔化・活用スクール

国立大学法人
長岡技術科学大学
Nagasaki University of Technology

| | | |
|-----------|--|--|
| 目的 | 分析機器の遠隔化から実機を用いた遠隔測定までの実習を通して、分析機器の遠隔利用の方法について学ぶ |  |
| 日時 | 2024年8月26日（月） 13:00 - 17:00 2024年8月27日（火） 9:00 - 12:00 | |
| 場所 | 長岡技術科学大学 分析計測センター | |
| 形式 | 対面のみ | |
| 内容 | 8/26：分析機器の遠隔化演習 長岡技術科学大学の分析機器を見学しながら遠隔接続方法について学ぶ | |
| | 8/27：遠隔測定の実験 使用予定機器：SEM（JEOL JSM-IT200） EPMA（JEOL JXA-iHP200F） スマートグラス体験 ほか | |

図 2.2-4 2024（R6）年度の実施内容

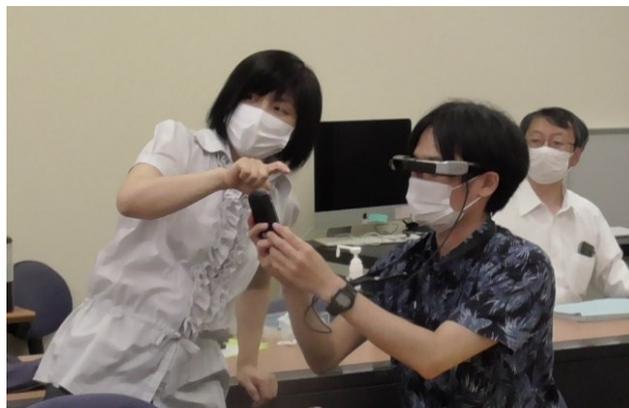


図 2.2-5 2023 (R5) 年度実施状況の写真

本機器遠隔化・活用スクールで得た分析装置の遠隔操作に関する知識と技術を、受講生が自身の所属機関へ持ち帰り、装置の遠隔化をスムーズに進めるための実践的な内容で構成した。著者であるコース担当者自身が講師となり、参加者に対して遠隔接続の実技指導を行い、スマートグラスの活用事例を紹介するなど、実践的な内容で講座を展開した。参加した受講生は、具体的な遠隔接続の操作方法を学び、実際に遠隔地にある機器を操作する体験を通して、遠隔測定の基本を習得した。さらに、スマートグラスを用いた遠隔測定における活用の事例からその可能性を探ることができた。

(3) 「遠隔分析 DX 講究」

本遠隔分析 DX 講究の概要は、『機器メーカーのリモート測定取り組みについての講演を聴講し、リモート測定に関する最新の情報を得る。遠隔機器を利用した経験や DX の取り組みについてディスカッションすることで、他の遠隔機器利用者の知識や先駆的な事例を共有し、リモート測定技術を習得することを目的とする。』ことである。

2023 (R5) 年度の実績として、協力企業である 3 社 (日本電子(株)様、(株)島津製作所様、(株)リガク様) からそれぞれ機器メーカーのリモート測定の取組み紹介について講演いただき、最終回の 4 回目に遠隔分析 DX について、参加者らによる DX 取組みの紹介とディスカッションを実施した。ここでは、遠隔測定のメリットや課題についても議論し、下記の点が挙げられた。

遠隔測定のメリット：

- ・ 現地に赴く必要がないため移動時間や経費を削減可能
 - ・ 自機関にない装置を利用可能
 - ・ 依頼者と測定者がコミュニケーションを図りながら測定条件や測定結果をリアルタイムでモニタリングすることにより、誤認識による再測定を低減可能
 - ・ ネットワーク環境下であれば場所を選ばないため教員の出張先で分析結果を共有し相談可能
 - ・ 長時間の測定でも人が常駐する必要がなく測定可能
- など

遠隔測定の課題：

- ・ リモート操作ソフトウェアおよびオンライン会議システムを使用しており、測定画面共有の文字の表示が小さいことによる視認性の課題
 - ・ 試料やデータの送付方法、機密情報のデータ管理などの検討課題
 - ・ 現地のスタッフの対応に限りがあり装置導入前の準備作業に時間がかかるためスケジュール管理の課題
 - ・ 通信状況により生じるタイムラグの課題
- など

遠隔システムについては長岡技科大の現状のシステムを紹介しているが遠隔システムのメリットのみならず、課題についても検討することは重要である。大学だけでは解決が難しい課題については、メーカーの専門知識や技術力を活用し、共同で解決策を模索していきたい。IoT や AI (Artificial Intelligence) といった技術の進歩により、機器の遠隔化は日進月歩で進化しているため、TC カレッジ遠隔分析 DX 系 TC コースの受講生は自機関の環境に適した遠隔システムを今後検討し導入していく必要があると考えられる。また、様々なセキュリティ対策のメリットとデメリットを考慮し、自機関の状況や目的にあった最適な対策を選ぶ必要がある。独自カリキュラムである「遠隔分析 DX 講究」において、メーカーの DX の取り組みや遠隔機器の事例などの最新の情報を知ることにより、TC カレッジ遠隔分析 DX 系 TC コースの受講生は効率的かつ最新技術の習得に繋がることが見込まれる。

本講演会の実施にあたり、講習会の企画、打ち合わせ、日程調整など関係各所との協議を重ね万全の準備の下、講習会の運営を実施するに至った。また、当日は講演会の責任者として司会進行を務めるなど、円滑な運営に尽力した。

2023（令和 5）年に実施した 3 回の機器メーカーの講演会については、遠隔分析 DX 系 TC コースの運用初年度ということで、広く多くの方々に周知するため、TC カレッジの受講生のみならず全国の技術職員の方にもオンラインにて聴講可能とし各回 50 名を超える参加者であった。本講演会は、参加者である大学・高専の技術職員、近隣の地域企業の技術者など全国の技術者に対して人財育成・高度化に寄与できるものである。

2023 (令和 5) 年 10 月 13 日に第 1 回講演会を、日本電子株式会社の有福和紀様より「分析 DX について」というタイトルで開催した。講演概要を図 2.2-6 に示す。

TCカレッジ 遠隔分析DX系コース 令和5年 遠隔分析DX講究

第 1 回講演会 (日本電子株式会社)

2023年10月13日(金) 13:30 - 16:00

現地・オンライン ハイブリッド開催

講演概要

現在、研究・分析の世界にも「DX」の潮流が押し寄せています。然しながら現場ではどのように進めるべきなのか戸惑いがあるように感じます。DX化の最終目標は研究・イノベーションの加速ですが、様々なアイテム・フェイズがあり目的に併せて組み立てが必要です。

本講演では分析目録でDX化を整理し、重要なアイテムである「遠隔化」について、弊社が取り組んできた具体的な手法および応用例等をご紹介させて頂き、何か一つでも今後TCを目指す皆様へのヒント・モチベーションになれば幸いです。

司会・進行 長岡技術科学大学 遠隔分析DX系コース 近藤 みずき

1 13:30 - 14:45

開会挨拶・遠隔分析DX系コースの紹介

長岡技術科学大学 分析計測センター 副センター長・遠隔分析DX系コース監修教員
田中 諭

講演会

「分析DXについて」

日本電子株式会社 サービス企画推進本部
有福 和紀

閉会挨拶

東京工業大学 オープンファシリティセンター TCカレッジ事業推進室 室長補佐(事務局総括)
梶谷 孝

2 15:00 - 16:00

意見交換会・見学会 現地参加者のみ



参加方法

右記QRコードへアクセスし、必要事項をご記入の上、お申し込みください。
申込締め切り：10月12日(木)

<https://forms.gle/13P9uvg8Lh7KQy9>



お問合せ

長岡技術科学大学 技学コアファシリティ 部門
gizaku-core@icm.nagaokaut.ac.jp

主催：TCカレッジ長岡サテライト校
共催：長岡技術科学大学 技学コアファシリティ部門、長岡技術科学大学 分析計測センター
協力：日本電子株式会社



TCカレッジ
TC COLLEGE NAGAOKA



国立大学法人
長岡技術科学大学
Nagaoka University of Technology



Research and
Innovation
CORE FACILITY
Nagaoka University of Technology



JEOL
JEOL GROUP

図 2.2-6 2023 年遠隔分析 DX 講究 (第 1 回講演会) の概要

27

次に、2023（令和5）年11月10日に第2回講演会を、株式会社島津製作所の西村弘臣様より「分析業務の遠隔化ソリューションのご紹介」というタイトルで開催した。講演概要を図 2.2-7 に示す。

TCカレッジ 遠隔分析DX系コース 令和5年 遠隔分析DX講究

第2回講演会（株式会社島津製作所）

2023年**11月10日**（金） 13:30 - 16:00

現地・オンライン ハイブリッド開催

講演概要

研究開発分野では分析測定需要の高まり、国際競争力の激化により、分析の高速化やサンプル数の増加が進み、扱われるデータ量は飛躍的に増大してきました。「LabSolutions」は、ネットワーク時代の革新的な分析操作環境における情報の保全と共有を目指した完全なデータ管理システムを提供します。

司会・進行 長岡技術科学大学 遠隔分析DX系コース 河原 夏江

1 13:30 - 14:45

開会挨拶・遠隔分析DX系コースの紹介
長岡技術科学大学 分析計測センター 副センター長・遠隔分析DX系コース監修教員 田中 諭

講演会

「分析業務の遠隔化ソリューションのご紹介
- Labsolutions CS等のネットワーク構築による
機器の遠隔操作・モニター -」
株式会社島津製作所 分析計測事業部
ITソリューションビジネスユニット グループ長 西村 弘臣

開会挨拶
株式会社島津製作所 分析計測事業部 ITソリューションビジネスユニット ユニット長 榎木 有里子



2 15:00 - 16:00

意見交換会・見学会 現地参加者のみ

参加方法

右記QRコードへアクセスし、必要事項をご記入の上、お申し込みください。
申込締め切り：11月9日（木）

<https://forms.gle/vMFUSrPOGACTjKTE>



お問合せ

長岡技術科学大学 技学コアファシリティ部門
z@igaku-core@com.nagaokaut.ac.jp

主催：TCカレッジ長岡サテライト校
共催：長岡技術科学大学 技学コアファシリティ部門、長岡技術科学大学 分析計測センター
協力：株式会社島津製作所









図 2.2-7 2023 年遠隔分析 DX 講究（第 2 回講演会）の概要

さらに、2023（令和5）年12月1日に第3回講演会を、株式会社リガクの佐々木明登様より「汎用 X 線回折装置 SmartLab システムの遠隔操作について」というタイトルで開催した。講演概要を図 2.2-8 に示す。

TCカレッジ 遠隔分析DX系コース 令和5年 遠隔分析DX講究

第3回講演会（株式会社リガク）

2023年**12月1日**（金） 14:00 - 17:00

現地・オンライン ハイブリッド開催

講演概要

COVID-19のパンデミック後、世の中にリモートワークが定着しました。研究開発分野における分析業務もその例外ではなく、生産性を落とさないよう自動化（ロボット化）が進み、従来と比べて人が試料を交換する頻度は減ってきています。MI（マテリアルズインフォマティクス）を利用した材料開発分野では計測分析DXの推進が不可欠であり、分析装置の遠隔操作は今や必須機能となりつつあります。我々リガクは、統合X線分析ソフトウェアSmartLab Studio IIIによって汎用X線回折装置SmartLabの遠隔操作を可能にしました。本講演では、遠隔操作機能および将来の課題と展望についてお話しいたします。

司会・進行 長岡技術科学大学 遠隔分析DX系コース 豊田 英之

1

14:00 - 15:15

開会挨拶・遠隔分析DX系コースの紹介
長岡技術科学大学 分析計測センター 副センター長・遠隔分析DX系コース監修教員 田中 諭

講演会

「汎用X線回折装置SmartLabシステムの遠隔操作について」

株式会社リガク プロダクト本部 アプリケーションラボ 部長
佐々木 明登



開会挨拶 株式会社リガク 営業戦略部 部長 藤田 衛

2

15:30 - 17:00

意見交換会・見学会 現地参加者のみ

参加方法
 右記QRコードへアクセスし、必要事項をご記入の上、お申し込みください。
 申込締め切り：11月30日（木）
<https://forms.gle/bbGZXF1KuYXHA3vI>

お問合せ
 長岡技術科学大学
 技学コアファシリティ部門
 gizaku-core@jcom.nagaokaut.ac.jp

主催：TCカレッジ長岡サテライト校
 共催：長岡技術科学大学 技学コアファシリティ部門、長岡技術科学大学 分析計測センター
 協力：株式会社リガク



TCカレッジ
TECHNICAL COLLEGE



国立大学法人
長岡技術科学大学
Magaoka University of Technology



Core Facility
Magaoka University of Technology



Rigaku

図 2.2-8 2023 年遠隔分析 DX 講究（第 3 回講演会）の概要

(4) 上級カリキュラム「材料機器分析特論」

本材料機器分析特論の概要は、『長岡技科大の教員などによる研究紹介や研究秘話などについての講演を受講する。研究における分析機器の活用事例や研究成果、研究の組み立て方、社会の動向などを聴講し、自身の業務や研究での機器分析の活用や研究支援への貢献方法など、今後の展望について考える。』ことである。

具体的には、材料機器分析特論①(図 2.2-9)として、長岡技科大 河原成元教授に講演いただき、また材料機器分析特論②(図 2.2-10)では、TC カレッジセミナー(技術・研究支援概論 2)との共同企画として長岡技科大 田中諭教授に講演いただいた。

TCカレッジ 遠隔分析DX系TCコース

材料機器分析特論

2023年**12**月**11**日(月) 10:30 - 12:00
オンライン開催

高分子のための機器分析技術の開発

講演概要

高分子に特徴的な状態としてゴム状態がある。ゴム状態は、気態、液態、固態といった物質の三態とは異なり、一見すると形は固体のように保持されているが内部に存在する高分子は液体のように活発に運動をしている状態である。また、使用する際には高分子は架橋され、分子運動が活発な高分子と緩慢な架橋点からなる不均一材料となる。それ故、固体や液体を解析するような方法で構造解析することはできない。この問題を解決するため、長岡技術科学大学はゴム状態NMR法を開発した。本講演ではゴム状態NMR法の基礎から応用までを講述する。併せて、ゴムの高次構造解析法として三次元透過型電子顕微鏡法と三次元走査型電子顕微鏡法を紹介する。

司会・進行 長岡技術科学大学 近藤みずき

| | | |
|-----------|-------------------|---|
| 講演 | 長岡技術科学大学 教授 河原 成元 |  |
|-----------|-------------------|---|

参加 遠隔分析DX系TCコース受講生等関係者のみで実施



東工大
TCカレッジ
TECHNICAL CONDUCTOR



Remote control
Equipment
CORE FACILITY
Niigata University of Technology

図 2.2-9 2023 年 材料機器分析特論①

東京工業大学 オープンファシリティセンター
Open Facility Center

長岡技術科学大学
TECHNICAL COLLEGE

TCカレッジ
TECHNICAL COLLEGE

TCカレッジ 令和5年度セミナー（技術・研究支援概論2） 第2回講演会

ファインセラミックスの製造プロセスの 可視化と構造制御

◆◆◆講演概要◆◆◆

本発表ではファインセラミックスの製造プロセスとその製造途中の評価手法について紹介する。ファインセラミックスは合成された粉体を成形、焼結を経て作製される。各工程では、粉体操作、コロイド分散、粉体層の圧密、乾燥、焼結時の固体の拡散等、多くの複雑な工程が含まれ、上流から下流までを通して捉えることが難しい。我々は、構造の可視化を視点にして、製造途中の構造を評価し一連の流れを理解することを目的として研究を進めている。講演では、粒子集合体の不均一性、欠陥形成、発達に関する観察事例を紹介する。また、ファインセラミックスの特性向上に関して、我々の取り組む現場を用いたプロセス設計についても紹介する。

2023年12月19日（火） 10:30 ~ 12:00

オンライン開催 **参加費無料**

司会・進行：長岡技術科学大学 技術支援センター 河原 夏江

開会挨拶・TCカレッジの紹介（5分） 東京工業大学 TCカレッジ長 江端 新吾

講演

長岡技術科学大学 分析計測センター 副センター長
 遠隔分析DX系コース監修教員教授 田中 諭



質疑応答（10分）

開会挨拶（5分）長岡技術科学大学 技術支援センター 近藤 みずき

参加方法
 どなたでもご参加いただけます。
 右のQRコードからご登録の上、
 ご参加ください。



お問合せ先
 東京工業大学オープンファシリティセンター
 TCカレッジ事務局
 tccoll-office@ofc.titech.ac.jp

主催：東京工業大学オープンファシリティセンター TCカレッジ
 共催：TCカレッジ長岡サテライト校 遠隔分析DX系コース

図 2.2-10 2023 年 材料機器分析特論②

上記、TCカレッジ遠隔分析DX系TCコースの取り組みを、2023年度機器・分析技術研究会 in 熊本大学（2023（令和5）年9月7日実施）にて、「TCカレッジサテライト校遠隔分析DX系TCコースの紹介」として発表を行った。

2.3. コンテンツ作成

長岡技科大が学生に提供している学習管理システム (ILIAS) を用いて、作成したコンテンツを公開している。ILIAS はドイツのケルン大学が中心となって 1998 年に開発されたオープンソースの学習管理システム (通称 LMS: Learning Management System) である。日本語を含む多くの言語や利用者規模に合わせたスケーラブルな対応が可能で、学習管理システムの基本機能にはビデオ映像教材配信、ダウンロード形式の資料配布、レポート提出、オンラインテストなどがある。

運用としては、遠隔分析 DX 系 TC コースの受講生には ILIAS へログインするためのユーザ ID、パスワードが配布され、学習者 (Course Member) としての権限が割り当てられた後、遠隔分析 DX 系 TC コースが提供している教育プログラムへ参加できる。なお、著者らコース担当者はコース管理者 (Course Administrator) の権限が付与され、コース内の全てのオブジェクトの作成・削除・変更管理を行うことができる。

2024 年 9 月現在、下記の 7 つのコンテンツ (図 2.3-1 遠隔分析 DX 系 TC コースの教育プログラム (ILIAS) 図 2.3-1) を ILIAS 上に作成した。

- ・コンテンツ 1 : 機器遠隔化概論 (中級・1 単位)
 - コンテンツ 1-1 : ①情報セキュリティ講義
 - コンテンツ 1-2 : ②遠隔化動画
 - コンテンツ 1-3 : ③オンライン見学会・遠隔測定実習動画
 - コンテンツ 1-4 : 機器遠隔化概論レポート提出用サイト
- ・コンテンツ 2 : 機器遠隔化・活用スクール (中級・必須 1 単位)
- ・コンテンツ 3 : 機器分析概論 (中級・1 単位)
- ・コンテンツ 4 : 遠隔分析 DX 講究 (上級・必須 1 単位)
 - コンテンツ 4-1 : 遠隔分析 DX 講究①
 - コンテンツ 4-2 : 遠隔分析 DX 講究②
 - コンテンツ 4-3 : 遠隔分析 DX 講究③
 - コンテンツ 4-4 : 遠隔分析 DX 講究レポートの提出用サイト
- ・コンテンツ 5 : 材料機器分析特論 (上級・1 単位)
 - コンテンツ 5-1 : 材料機器分析特論①
 - コンテンツ 5-2 : 材料機器分析特論②

コンテンツ 5-3 : 材料機器分析特論レポートの提出用サイト

- ・コンテンツ 6 : イベント (シンポジウム等) 企画&運営 (上級・必須 1 単位)
- ・コンテンツ 7 : 研究室見学 (中級・必須 1 単位) レポートの提出用サイト



図 2.3-1 遠隔分析 DX 系 TC コースの教育プログラム (ILIAS)

以下、コンテンツの内容について詳述する。

コンテンツ 1-1 : ①情報セキュリティ講義は、長岡技科大の湯川高志教授による「情報セキュリティに関する基本的な考え方」(約 20 分)、「インターネットにおける情報のセキュリティリスク」(約 40 分)、「セキュリティを確保するための基本的な技術「暗号技術」とその応用」(約 30 分) の講義動画 (図 2.3-2) で構成している。

なお、この講義動画は 2023 年 6 月 9 日に長岡技科大の湯川教高志授による情報セキュリティ講義を実施し、その録画データを掲載している。

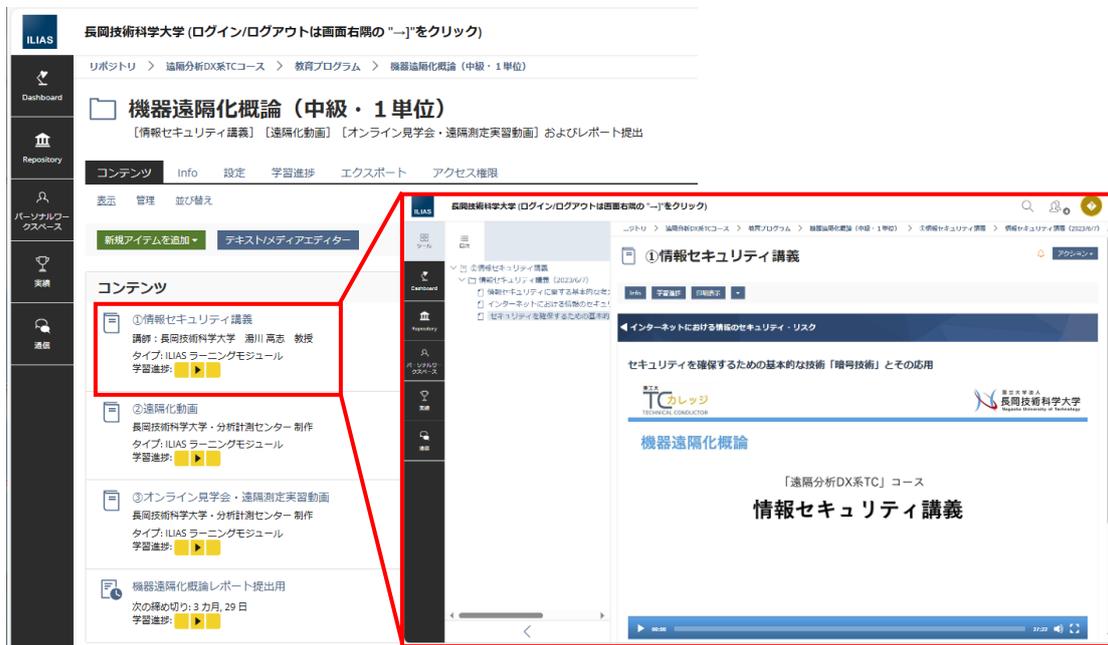


図 2.3-2 機器遠隔化概論/①情報セキュリティ講義の ILIAS の動画画面のスクリーンショット

コンテンツ 1-2：②遠隔化動画は、「半遠隔システム」（約 10 分）、「完全遠隔システム」（約 15 分）、「VPN 完全遠隔」（約 20 分）、「スマートグラスの活用」（約 10 分）で構成している。

遠隔化動画では、実際の遠隔測定に必要な付属の機器類も紹介しており、遠隔分析 DX 系 TC コースの受講者が自機関で遠隔分析を実施する際の参考となるような内容とした。

長岡技科大の代表的な遠隔化システムである「半遠隔システム」、「完全遠隔システム」および「VPN 完全遠隔」について詳述する。

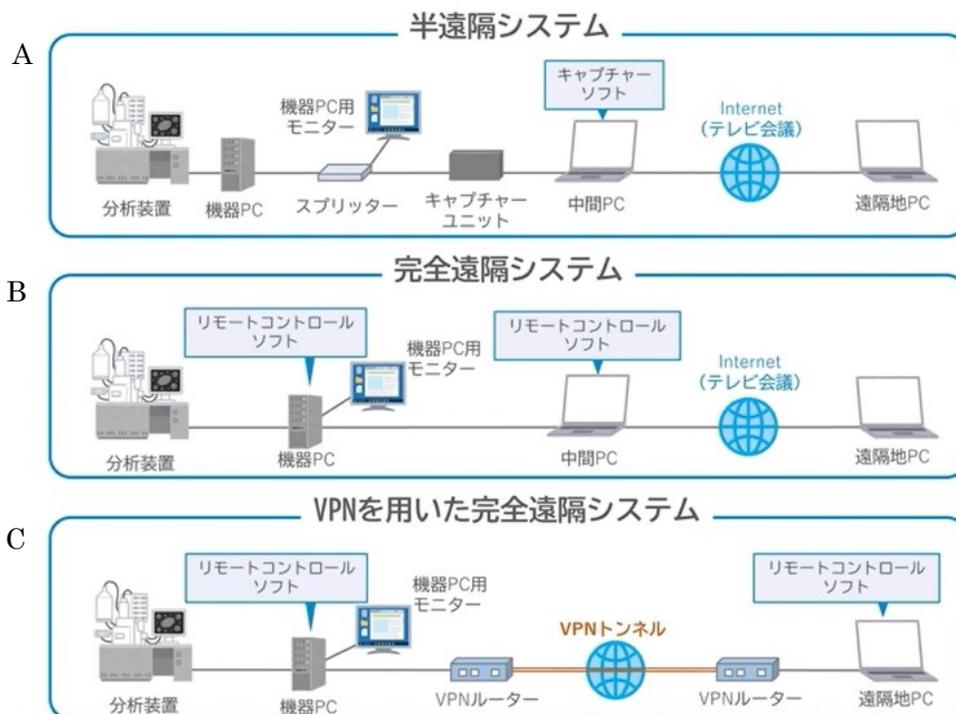


図 2.3-3 A.半遠隔システム、B.完全遠隔システム、C.VPN を用いた完全遠隔システムの各々の概略図

A. 半遠隔システム

半遠隔システムは、分析装置を制御する機器 PC の画面をオンライン会議ツール（例えば、Zoom や Teams など）で共有しながら分析を行う手法である。一般的に、分析装置を制御する機器 PC は、セキュリティリスクを軽減するためインターネットに繋がずに使用することが推奨されている。分析装置をインターネットに接続すると、外部からの不正アクセスやウイルス感染のリスクが高まり、装置の機能が不正に操作されるなどの損害につながる可能性がある。このシステムでは、インターネットに接続する PC を別に用意し、そこに機器 PC の映像信号のみを送る。機器 PC と遠隔地 PC の間に位置するこの PC を、長岡技科大では「中間 PC」と言う。中間 PC からオンライン会議に参加し、機器 PC の画面共有を設定する。遠隔地のオンライン会議参加者は、リアルタイムで機器 PC の画面を見ることができ、装置側のオペレーターと遠隔地の参加者がコミュニケーションをとりながら分析を行う。

半遠隔システムの構築に最低限必要な物品は、中間 PC、キャプチャーユニット、HDMI スプリッター、LAN ケーブル、HDMI ケーブルなどである。中間 PC としては、操作画面表示とオンライン会議ツールを同時に行うため、高性能な PC が推奨される。また、機器 PC 画面を中間 PC に取り込むキャプチャーユニットを設置する。中間 PC にはキャプチャーソフトをインストールし、キャプチャーユニットから送られた映像を画面に表示できるようにする。その後、機器 PC の画面信号を HDMI スプリッターで分割して、機器 PC 用モニターとキャプチャーユニットに送る。

必要に応じて追加する物品として、大型モニター、大型モニタースタンド、WEB カメラ、スピーカーマイク、変換アダプター各種、USB ハブ、通信速度の速い USB3.0 以上に対応した製品などが挙げられる。

B. 完全遠隔システム

前述の半遠隔システムでは、遠隔地に測定中の画面を共有するのみで、実際の機器操作は装置側のオペレーターが行う。一方、完全遠隔では、遠隔地の参加者が実際に分析装置を操作して、測定を行うことができる。試料導入や装置の起動は現地オペレーターが行うが、測定は現地で行う操作と同じ操作を行う。長岡技科大の完全遠隔システムには VPN を用いた完全遠隔システムと、VPN を用いない完全遠隔システムの 2 つの方法を取り入れているおり、本項では後者について説明する。

完全遠隔システムでは、中間 PC を介して、遠隔地 PC から機器 PC を操作可能である。セキュリティリスクなどを回避するため、機器 PC を直接インターネットに接続しない構成となっている完全遠隔システムでは、インターネットに繋ぐ中間 PC を設置する。中間 PC と機器 PC にリモートコントロールソフトをインストールすることにより、中間 PC から機器 PC を操作可能となる。中間 PC からオンライン会議ツール (Zoom や Teams など) の機能を利用して、機器 PC の操作画面を共有する。また、オンライン会議ツールの機能の一つである PC の制御 (操作権) の権限を利用して、特定の参加者に付与することができる。この機能を使用し、遠隔地 PC から中間 PC を操作でき、中間 PC を介して遠隔地 PC から機器 PC を操作可能となる。

完全遠隔の場合は、半遠隔のような画面の信号だけではなく、機器 PC と中間 PC のやり取りが必要である。そのため、半遠隔システムの時とは異なり、機器 PC と中間 PC を LAN で接続する必要がある。

本完全遠隔システムの構築に最低限必要な物品は、PC、リモートコントロールソフト、LAN ケーブルから構成される。より詳細には、中間 PC として、インターネットに接続し使用するための PC は、操作画面表示とオンライン会議ツールを同時に行うため、高性能な PC が推奨される。PC をリモートコントロールするためのソフトウェアは、ホスト（遠隔操作される側）とゲスト（遠隔操作する側）をセットでインストールして使用する。例えば、Impero Connect（開発元：Impero Solutions Ltd.、国内取扱：スリーワンシステムズ株式会社）や LAPLINK（開発・販売：株式会社インターコム）などのリモートコントロールソフトが挙げられる。機器 PC と中間 PC をつなぐ LAN ケーブル（クロスケーブルでも可能）、および中間 PC とインターネットをつなぐ LAN ケーブルが必要となる。なお、分析機器、機器 PC、中間 PC のそれぞれの IP アドレスが重複している場合、通信の異常や誤作動の原因となる可能性があるため、IP アドレスを重複しないように設定する必要がある。

完全遠隔システムは、次項で説明する VPN を用いたシステムと比較してシステム構築が比較的簡単で導入しやすいといったメリットがある。現状では運用上の課題がいくつか存在し、例えばセキュリティ面や、取得したデータを別途送る手間があるなどが挙げられる。

C. VPN を用いた完全遠隔システム

専用のハードウェアである VPN ルーターを使用して VPN を構築している。VPN ルーターは、遠隔する装置がある側だけでなく、遠隔地にも設置が必要となる。また、設置後、IP アドレスの割り当てや、ファイアウォールの設定なども行う必要がある。さらに、VPN ルーターを設置する各機関のネットワークやセキュリティシステムに関する関係者と連携して設定を行う必要がある。

VPN を用いた完全遠隔システムの構築に最低限必要な物品は、機器 PC と遠隔地 PC をつなぐ VPN ルーター、リモートコントロールソフト、機器 PC と VPN ルーターおよびインターネットをつなぐ LAN ケーブルから構成される。前項と同様に、PC をリモートコントロールするためのソフトウェアは、ホスト（遠隔操作される側）とゲスト（遠隔操作する側）をセットでインストールして使用する。例えば、Impero Connect（開発元：Impero Solutions Ltd.、国内取扱：スリーワンシステムズ株式会社）や LAPLINK（開発・販売：株式会社インターコム）などのリモートコントロールソフトが挙げられる。その他、必要に応じてあると便利な物品として、LAN ケーブルの接続を切り替えるために用いる LAN セ

レクター（LAN 切替機）などが挙げられる。VPN ルーターと機器 PC の間に LAN セレクターを用いることにより、VPN を使用するときのみ VPN へ接続をボタン一つで切替することが可能となる。

VPN を用いた完全遠隔システムのメリットは、VPN によるセキュリティの強化、VPN 下でのデータ転送が可能、USB 操作パネルを使用可能などが挙げられる。デメリットとしては、システムが煩雑なことや、定期的なソフト更新の確認など維持管理の負担が大きいことなどが挙げられる。また、遠隔利用を進める中で得られた課題として、例えば、PC をリモートコントロールするためのソフトウェアにおいて装置側と遠隔側のソフトウェアのバージョンの差による接続の不具合や、利用頻度に対してソフトウェアの更新に係るコストの負担、遠隔側のネットワーク更新時に VPN 接続が不能になること、接続不具合の内容によっては遠隔地での調査が必要となるなど、今後ネットワークのセキュリティや利便性、管理コスト・負担などを鑑みて改善が必要となる。

VPN を用いた完全遠隔システムにおけるネットワーク構築の初期段階では、参加機関数が多くないものの企業からの接続が想定されており、さらに迅速な構築の必要性から、VPN ルーターを協力機関の高専の拠点ごとに設置するネットワークが選択された。しかしながら、接続拠点が拡大するにつれて、複数の協力機関である高専などに VPN ルーターを設置するよりも学術情報ネットワーク（SINET : Science Information Network）が提供する非常に高度で柔軟なネットワークサービスの一つである SINET が提供する VPN [4] を利用した方が、大規模ネットワークにおける管理の観点や、企業からの VPN 接続がほとんどないという現状を踏まえ、今後 SINET が提供する VPN を有効に活用することも上記の課題の改善策として検討されている。なお、学術情報ネットワーク（SINET）は、日本全国の大学、研究機関等の学術情報基盤として、国立情報学研究所が構築、運用している情報通信ネットワークである。

スマートグラスの活用

身体に装着するウェアラブル端末の一種であるスマートグラスを活用した遠隔分析支援などの提供に向けた検討を行ってきた。スマートグラスの利用経験から得られた知見の内容を録画し動画で閲覧できるようにまとめた。スマートグラスは、カメラやモニター、センサーなどを搭載した頭部に装着して使用する眼鏡型のウェアラブルデバイスである。スマートグラスでは動画を視聴、遠隔地から画面共有にて情報を送受信、通話など、様々な機能がある。スマートグラスの大きな特徴は手を使用せずに映像を配信できるため、視界を確保したまま両手を自由に動かすことができるなどのメリットがある。

市販のスマートグラスには両目タイプや片目タイプのものである。また、遮光シェードや防護シールドが取り付けられているもの、防水機能が備わっているものなど様々な種類がある。また、種類によって、バッテリーの稼働時間も異なり、作業環境や使用目的に応じたスマートグラスを選ぶことが重要である。

ここでは EPSON 社製 MOVERIO/BT-35ES のスマートグラスを使用した。スマートグラス一式を図 2.3-4 に示す。図 2.3-4 の②に示すインテリジェントコントローラーは、Android OS で動作する端末で、操作方法は Android スマホと同じように操作可能である。また、バッテリーを内蔵しているため単独でも動作可能であるが、1 時間以上連続で使用する場合は図 2.3-4 の⑤に示すモバイルバッテリーなどが必要となる。また、マイクとスピーカーが内蔵されていないスマートグラスのため、スマートグラスと Bluetooth で連動させたヘッドセットを使用した。また、ヘッドセットは骨伝導型のヘッドセットとし、耳を塞がずに周囲の音を聞くことが可能なものを使用した。その他、スマートグラス使用前に、インテリジェントコントローラーの OS のバージョンを更新する。さらに、完全遠隔利用や半遠隔利用時に使用する Zoom のアプリケーションを最新バージョンにアップデートしておくなどの事前の確認および準備が必要である。バージョンを更新することによって、セキュリティの向上、機能の追加、パフォーマンスの向上、安全性の向上などが得られる。



図 2.3-4 EPSON 社製 MOVERIO/BT-35ES スマートグラス一式 (①スマートグラス、②インターフェイスボックス、③BO-IC 400 (インテリジェントコントローラー)、④USB ケーブル、⑤電源：モバイルバッテリー or AC アダプター)、⑥電源用 USB ケーブル、⑦モバイルルーター or Wi-Fi)

スマートグラスの活用事例を示した (図 2.3-5)。これまでにオンライン見学会・講習会、試料作製手法の記録、機器操作の配信などを実施した。スマートグラスを介しての映像は、離れた場所にいる人でも、まるで同じ空間にいるかのように作業をみることができ、装置操作の際、オペレーターの視線で見ることができるなどのメリットがある。



図 2.3-5 スマートグラス活用時の動画映像の一部のスクリーンショット

スマートグラスの利用経験から得られた知見として、スマートグラス使用時の注意ポイントを下記(1)-(3)に示す。

- (1) Wi-Fi の電波状況に注意：有線接続のものは PC 周辺の作業に限定されるため、動きやすい無線 LAN タイプを使用する。無線 LAN タイプでは、施設内で Wi-Fi の電波が弱いところがあると、スマートグラスからの映像に遅延が生じインターネットへの接続自体が切れてしまうことがある。

- (2) カメラの位置に注意（図 2.3-6）：カメラの位置が「真正面」にないスマートグラスの場合、装着者が撮影したいところを中心に映しているつもりでも、撮影された映像では少しずれた場所が映っていることがある。見やすい映像を撮影できるようになるには、多少の熟練が必要である。



図 2.3-6 カメラの位置の注意に関する動画映像の一部のスクリーンショット

- (3) カメラへの映り込み（図 2.3-7）：スマートグラス使用者が自身の目で見ている映像と、カメラからの映像は同じではない。そのため、髪の毛などがカメラの前にかかっても気づかず、映像が見にくくなってしまうことがある。できる限り、スマートグラスで撮影している映像をチェックしながら配信や録画を行うのがよい。



図 2.3-7 カメラへの映り込みの注意に関する動画映像の一部のスクリーンショット

コンテンツ 1-3 : ③オンライン見学会・遠隔測定実習動画は、2022年8月26日に実施された分析計測センターWeb見学会を7つに分割し、「分析計測センター紹介」(約10分)、「核磁気共鳴装置 NMR」(約5分)、「全自動光電子分光装置 XPS/UPS」(約5分)、「電解放出形電子プローブマイクロアナライザ FE-EPMA」(約5分)、「電解放出形走査電子顕微鏡 FE-SEM」(約5分)、「X線回折装置 XRD」(約5分)、「複合ビーム加工観察装置 FIB/FE-SEM」(約5分)で構成している。また、2022年10月21日に実施された遠隔測定実習を6分割し、「分析計測センター・事業紹介」(約5分)、「予約システム・スマートグラス紹介」(約15分)、「VPN完全遠隔体験」(約15分)、「Zoomを用いた完全遠隔体験」(約10分)、「Double3を活用した装置紹介」(約15分)、「JSM-7000 オンラインセミナー紹介」(約10分)で構成している。

コンテンツ 1-4 : 機器遠隔化概論レポート提出用サイト

機器遠隔化概論①、機器遠隔化概論②および機器遠隔化概論③の各々の提出用サイトを作成した(図 2.3-8)。



図 2.3-8 機器遠隔化概論レポート提出用サイトの画面

- ・ コンテンツ 2 : 機器遠隔化・活用スクール (中級・必須 1 単位)
機器遠隔化・活用スクールレポートの提出用サイトを作成した。
- ・ コンテンツ 3 : 機器分析概論 (中級・1 単位)
機器分析概論レポートの提出用サイトを作成した。
- ・ コンテンツ 4 : 遠隔分析 DX 講究 (上級・必須 1 単位)
 - コンテンツ 4-1 : 遠隔分析 DX 講究①
2023 (令和 5) 年 10 月 13 日に実施した第 1 回講演会 (日本電子株式会社) の動画で構成している。
 - コンテンツ 4-2 : 遠隔分析 DX 講究②
2023 (令和 5) 年 11 月 10 日に実施した第 2 回講演会 (株式会社島津製作所) の動画で構成している。
 - コンテンツ 4-3 : 遠隔分析 DX 講究③
2023 (令和 5) 年 12 月 1 日に実施した第 3 回講演会 (株式会社リガク) の動画で構成している。
 - コンテンツ 4-4 : 遠隔分析 DX 講究レポートの提出用サイトを作成した。

- ・コンテンツ 5：材料機器分析特論（上級・1 単位）
 - コンテンツ 5-1：材料機器分析特論①
 - コンテンツ 5-2：材料機器分析特論②
 - コンテンツ 5-3：材料機器分析特論レポートの提出用サイトを作成した。

- ・コンテンツ 6：イベント（シンポジウム等）企画&運営（上級・必須 1 単位）
 - イベント企画&運営レポートの提出用サイトを作成した。

- ・コンテンツ 7：研究室見学（中級・必須 1 単位）
 - 研究室見学レポートの提出用サイトを作成した。

その他：SwipeVideo コンテンツの作成

走査電子顕微鏡（日本電子製 JSM-IT200）および電子マイクロプローブアナライザー（日本電子製 FE-EPMA（JXA-i HP-200F））における試料導入の手順を SwipeVideo（スワイプビデオ）[5] で作成した。SwipeVideo は、視聴者が自由に視点を切り替えながら映像を視聴できるサービスである。視聴者はスワイプすることで自由に視点をスイッチングし、今まで見られなかったアングルから見たい映像を確認することが可能である。

2024 年 9 月現在、下記のコンテンツを作成した。

【JSM-IT200 試料導入手順】

- ・SwipeVideo コンテンツ 1：電子顕微鏡のサンプル取り付け
- ・SwipeVideo コンテンツ 2：電子顕微鏡のサンプルステージからの取り出し
- ・SwipeVideo コンテンツ 3：電子顕微鏡のサンプルステージへの取り付け
- ・SwipeVideo コンテンツ 4：電子顕微鏡のサンプルの WEB カメラ撮影のためのステージ移動
- ・SwipeVideo コンテンツ 5：電子顕微鏡の試料ステージ挿入と真空引き
- ・SwipeVideo コンテンツ 6：電子顕微鏡の試料解放の準備

【FE-EPMA 試料導入手順】

- ・SwipeVideo コンテンツ 1：ソフトウェア起動
- ・SwipeVideo コンテンツ 2：試料交換室を開ける
- ・SwipeVideo コンテンツ 3：試料のセット

- ・SwipeVideo コンテンツ 4：試料ホルダーのセット
- ・SwipeVideo コンテンツ 5：試料ホルダーの挿入と真空引き

6台のカメラを装置正面・装置上面・装置右側面・装置左側面・測定装置画面・測定者背面に設置し、それぞれの角度からの撮影を同時に行った（図 2.3-9）。主に、本コンテンツは初心者講習向けとして、初めて装置を操作する人にとっても理解しやすいように映像の操作説明のテロップを書き込み、映像を見ながら、どのような操作を行っているのか、視覚的に操作法を学べるように作成した（図 2.3-10）。



図 2.3-9 SwipeVideo の撮影時の風景



図 2.3-10 電子顕微鏡のサンプル取り付け動画の一部のスクリーンショット

作成した **SwipeVideo** コンテンツの動画は、長岡技科大分析計測センターHP 内の技学コアファシリティ動画コンテンツを提供している登録サイトで閲覧可能である（2024年9月現在）。

【SwipeVideo】 JSM-IT200 試料導入手順 動画視聴サイト

<https://one-stream.io/user/WsLm4nqaXxU0VfYCzH2TVykKLLy1/video/bc20b499-8d33-48a6-a6cf-0a6b23be60f9>

【SwipeVideo】 FE-EPMA 試料導入手順 動画視聴サイト

<https://one-stream.io/user/WsLm4nqaXxU0VfYCzH2TVykKLLy1/video/65fa3100-cfd8-491b-a687-0b6e4bad9c15>

第3章 遠隔分析を活用した教育研究支援

この章では、遠隔分析を活用した教育支援の事例、研究支援の事例および見学会などにおける遠隔分析を活用したその他の事例について述べる。

3.1. 遠隔分析を活用した教育支援

(教育支援事例1) 高専の学生実験における遠隔分析支援

函館高専の学生実験における VPN を用いた完全遠隔分析支援の取り組みについて述べる。

函館高専物質環境工学科第2学年の前期科目「基礎 PBL (Project Based Learning : 課題解決型学習) 実験」のテーマの一つである「高専をマイクロで見てみよう」にて、走査電子顕微鏡 (SEM : Scanning Electron Microscope) による微生物の形態観察を遠隔測定した (2021年6月24日実施)。

まず、函館高専において、高専生らが高専のグラウンドで採取した土壌試料を希釈し、寒天培地に塗布後培養した。この土壌微生物を塗布した寒天培地を、函館高専から長岡技科大へ送付した。送付された寒天培地を SEM 観察可能な状態に長岡技科大で著者が前処理後、函館高専から SEM の遠隔分析を行った。具体的な前処理の手法としては、「電界放出形走査電子顕微鏡 (FE-SEM) を用いた微生物の簡易的観察手法の検討」[6] を事前に行った結果を下に、菌体に 0.5 wt% の Tween 20 水溶液を滴下し、ろ紙で余分な溶液を除去後、SEM 装置内で菌体に電子線を照射した。

遠隔分析支援として、長岡技科大で試料のセッティングを行い、函館高専から VPN を用いた完全遠隔システムにて完全遠隔操作を行った。実施機関である函館高専には、長岡技科大で使用する SEM (JEOL 製 IT-200) の USB 接続可能なコントロールパネルが設置されている。装置本体は長岡技科大にあるが、操作は函館高専からコントロールパネルを使用して完全遠隔操作が可能である。

遠隔分析を体験した函館高専2年生は SEM 操作が初めてのため、操作前に光学顕微鏡と SEM との違い、SEM コントロールパネル、SEM 操作方法などについて、著者が長岡技科大からオンライン会議ツールにて説明した。その後、函館高専に設置してある SEM コントロールパネルにて高専生らが遠隔観察を行った。

試料がセッティングされた現地 (長岡技科大) の装置および遠隔地 (函館高専) からの完全遠隔操作の様子を図 3.1-1 に示す。また、現地および遠隔地ではオンライン会議ツール

にて、操作方法のアドバイスや質問など画面を介して双方向でコミュニケーションを取りながら行った。

遠隔操作を体験した高専生からは、「初めての体験で最初は緊張してコントロールパネルの操作も少しずつ動かしていたが、徐々に緊張もほぐれ、操作方法も徐々に慣れて楽しかった」、「遠隔地にあるサンプルを操作しているというより、目の前にある装置を操作しているような感覚だった」などの感想があった。この遠隔分析支援は、分析機器リモート化の実現により、遠方にある函館高専との連携も容易に実施することが可能である。また、研究のみならず教育の現場でも遠隔分析支援を行うことにより、他機関の学生への高度なアウトリーチ型人材育成に繋がるものと考えられる。

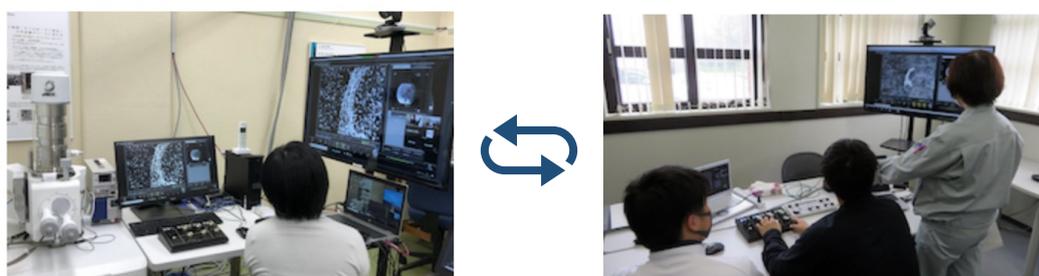


図 3.1-1 遠隔分析時の写真（左：長岡技大、右：函館高専）（2021年6月24日実施）

本事例は、2022年度実験実習技術研究会 in 広島大学（2023（令和5）年3月2日実施）オンラインにて、「学生実験における遠隔分析支援の取組み」のタイトルで成果発表を行った。

函館高専の学生実験における遠隔分析支援の取組みは、継続的に2023年6月22日および2024年6月24日にも実施した（図 3.1-2）。

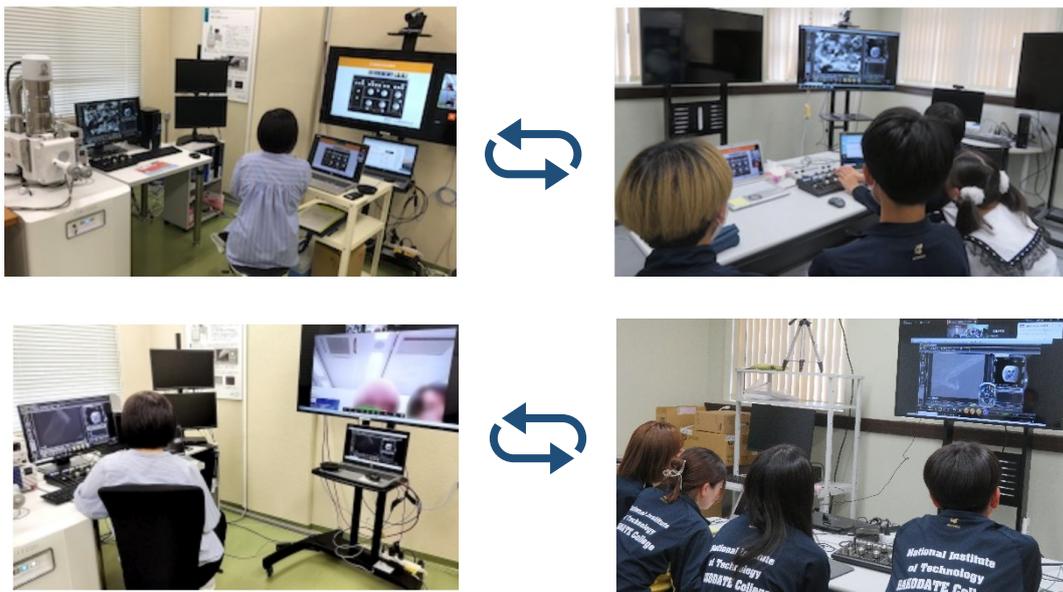


図 3.1-2 遠隔分析時の写真（左：長岡技大、右：函館高専）

（上段：2023年6月22日実施、下段：2024年6月24日実施）

（教育支援事例2）高校生向け講座における遠隔分析支援

高校生向け講座における Zoom を用いた完全遠隔分析支援の取り組みについて述べる。高校生講座担当教員である早乙女友規助教（当時）のテーマ「アミロイド繊維と蛋白質科学」の遠隔分析支援を行った（2021年8月5-6日実施）。1日目に高校生がアミロイド繊維を作製し、2日目に作製した試料を SEM で観察する予定であった。ただ、当時は新型コロナウイルス感染拡大防止のため、全てをオンラインで行うこととなった。長岡技科大では遠隔測定システムを導入していたことから、当初から問題なく遠隔測定を行うこととなった。

早乙女助教と共に、アミロイド繊維を SEM で観察する上での最適の条件を探るため、添加する試薬の濃度などの条件を変更し予備実験を行った。アミロイド繊維を観察可能な条件を見出し、事前に SEM 観察試料を作製した。

今回はオンライン会議ツールである Zoom を用いた完全遠隔システムを採用した。この完全遠隔システムでは中間 PC を介して、遠隔地の長岡市内の高校に設置された PC から機器 PC の完全遠隔操作を行った。中間 PC と機器 PC にリモートコントロールソフトが導入されており、中間 PC から機器 PC を操作可能となる。中間 PC からオンライン会議ツールの Zoom の機能を利用して、機器 PC の操作画面を共有する。また、Zoom の機能の一つである PC の制御（操作権）の権限を利用して、遠隔地の高校に設置された PC に制御権を付

与した。この機能を使用し、遠隔地にある高校の PC から中間 PC を操作でき、中間 PC を介して遠隔地 PC から機器 PC を操作可能とした。高校生講座 2 日目に、参加者の高校生は初めて扱う分析装置ということで、SEM の原理や操作方法を説明した（図 3.1-3）後、各自一人ずつ SEM（JEOL 製 IT-200）の遠隔操作を体験した。

本講座の実施にあたり、参加した高校生を対象にアンケート調査を行ったところ、高い満足度と有効性が確認された。



図 3.1-3 SEM の操作説明時の写真

高校生向け講座における遠隔分析支援の取り組みは、継続的に 2023 年 8 月 8-9 日および 2023 年 8 月 18-19 日にも実施した。

（教育支援事例 3）留学生に対する遠隔分析支援

短期留学生の実習における VPN を用いた完全遠隔分析支援の取り組みについて述べる。

独立行政法人科学技術振興機構（JST）の短期留学生交流支援制度「さくら招へいプログラム」により、ベトナムのホーチミン市工科大学コンピュータサイエンス学部の学生に向けて、長岡技科大で取り組んでいる先端研究基盤共用促進事業（コアファシリティ構築支援プログラム）「技学コアファシリティネットワーク」による遠隔分析機器を用いた実習を行った（2023 年 6 月 15 日実施）。本プログラムでは、学生らが現地で学習しているコンピュータ及び IT 技術に関わる内容がどのように今後の関連分野の発展に対して波及するのかを学ぶ一環として、他の実習とともに遠隔操作を実施した。遠隔分析機器を用いた実習では、まず SEM について概略を説明した。その後、実際に試料を装置に導入し、遠隔地を想定した

別室に移動して VPN を用いた完全遠隔システムにて各自完全遠隔操作を体験した（図 3.1-4）。

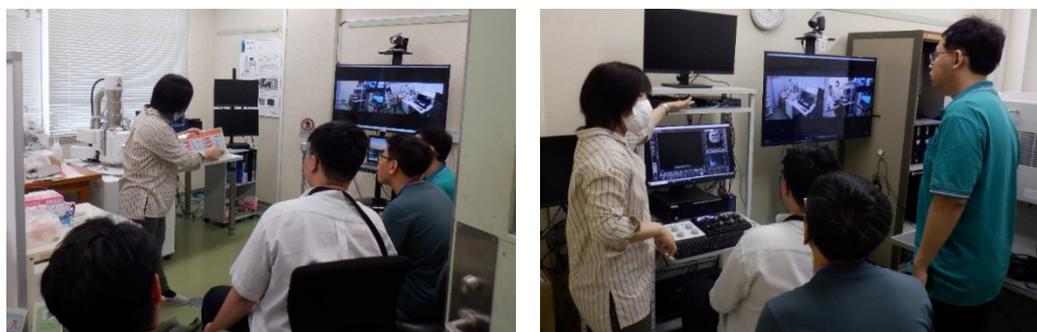


図 3.1-4 説明時の写真（左：現地装置、右：遠隔地）

短期留学生の実習における遠隔分析支援の取り組みは、継続的に 2024 年度においても、ホーチミン市工科大学（ベトナム）、ハノイ工科大学（ベトナム）、鄭州大学（中国）の 3 大学から約 2 週間のツイニングプログラム学生（ベトナム・中国）を対象に、夏期集中プログラムにて、遠隔機器体験会を行った（2024 年 7 月 17 日実施）。学外からも受講可能なオンライン講習会の実施により、人数制限のない高度なアウトリーチ型人材育成・高度分析技能を持つ技術者育成が可能であり、国内のみならず海外へのグローバル展開も期待できる。

（教育支援事例 4）学部学生向けライブ配信による遠隔機器講習会

学部学生におけるスマートグラスを活用したライブ配信による遠隔機器講習会の取り組みについて述べる。

2021 年当時、新型コロナウイルス感染拡大防止の観点から、インターンシップを終えた学生は学内への立ち入りを 2 週間見合わせていた。この自宅待機期間の学生へ向けて、遠隔機器講習会を行った（2021 年 2 月 9 日および 2 月 15 日に実施）。装置担当で分担し、複数の装置に対して、講習を実施した。著者が担当した装置は卓上電子顕微鏡（Hitachi/TM3030Plus）にクールステージを装備した SEM を用いて、試料としてイチゴのがく片を観察した。試料の前処理などはスマートグラスを用いて手元の作業も投影しながら説明を行った（図 3.1-5）。スマートグラスを使用することにより、装着者の目線で体

験することができ、より臨場感を得ることができる。

ここで使用した遠隔システムは、分析装置を制御する機器 PC の画面を Zoom のオンライン会議ツールで共有しながら分析を行う半遠隔システムで実施した。このシステムでは、インターネットに接続する PC を別に用意し、そこに機器 PC の映像信号のみを送る。機器 PC と遠隔地 PC の間に位置するこの PC（中間 PC）からオンライン会議に参加し、機器 PC の画面共有を設定する。遠隔地のオンライン会議参加者は、リアルタイムで機器 PC の画面を見ることができ、スマートグラスで投影した映像も画面共有を行い、さらに、装置側のオペレーターである著者が説明を行い、自宅で参加している参加者とコミュニケーションをとりながら SEM 観察を行った。ここで行った講習は録画を行い、学習管理システムの ILIAS にも動画を掲載し、事前学習ができる環境を整えた。なお、今回受講対象の学生らは、分析装置を使用したことがない学生がほとんどで、今後分析装置に触れる前段階の良い機会となった。

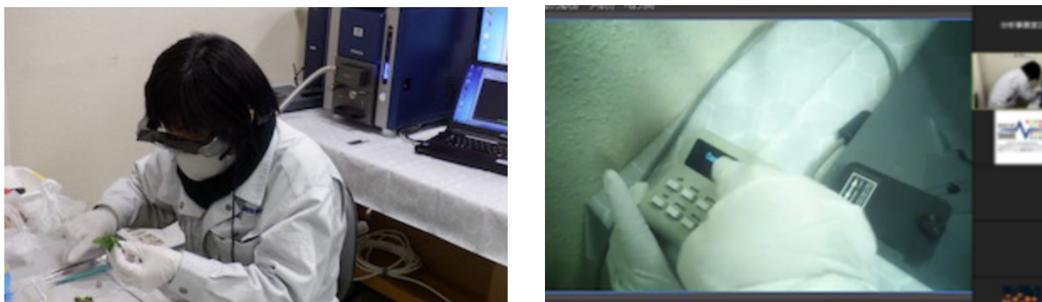


図 3.1-5 説明時の写真（左：前処理中、右：スマートグラスからの映像）

3.2. 遠隔分析を活用した研究支援

(研究支援事例1) 高専教員・学生の研究における遠隔分析支援

コアファシリティの実施協力機関である鹿児島高専教員および学生の研究におけるVPNを用いた完全遠隔分析支援の取り組みについて述べる。

2021-2022年度「高専—長岡技大共同研究」において課題テーマ「低カリウムきのか栽培技術開発」(代表者:鹿児島高専 都市環境デザイン工学科 山内正仁教授)の機器分析指導・助言の分担者として著者も参画した。コアファシリティの実施協力機関である鹿児島高専にはVPNルーターやSEMのUSB接続コントロールパネルが配置されており、鹿児島高専からのVPNを用いた完全遠隔分析の支援を行った(図3.2-1)。また、鹿児島高専の学生らは、遠隔での操作のみならず、長岡技科大にも来学し、遠隔分析では行わない試料のセッティングや装置への試料導入など、実際の装置においても操作した(図3.2-2)。



図 3.2-1 遠隔分析支援時の写真



図 3.2-2 試料セッティングの説明時の写真

(研究支援事例 2) 高専技術職員との共同研究における遠隔分析支援

2020 年からコアファシリティの実施協力機関である函館高専の松井春美技術職員らと共に、遠隔分析を活用し酵母や微生物などの簡易的観察手法についての検討を行った取り組みについて述べる。

SEM により微生物観察を行う際は、高真空下でも形状を保つために前処理が必要となり、一般的には、化学固定→脱水→置換→乾燥→導電処理という工程が適用される。特に脱水と置換の工程には、高額な機器、そして 1-2 日という多大な時間を要する。浜松医科大学の高久らは、粘性を持つ細胞外物質に類似した化学物質で処理したポウフラなどに電子線を照射することで高真空下でも形状が損なわれることなく形態を電子顕微鏡観察できることを明らかにした [7]。これは細胞外物質に類似した化学物質への電子線照射で形成されるごく薄い膜 (ナノスーツ) が重要な役割をはたしており、本方法は「ナノスーツ法」と命名されている。このナノスーツ法による形態観察は高等真核生物を対象としたものが多く、微生物を対象とした詳細な条件検討事例はあまりないのが現状である。そこで、本研究では、簡易的な微生物観察手法を探るべく酵母 *Saccharomyces cerevisiae* 観察にナノスーツ法を適用することとした。寒天培地で培養した酵母をカーボン両面テープ上に塗布し、0.1-1 wt% の Tween 20 水溶液を数滴滴下したのち、キムワイプで余分な溶液を除去した。函館高専では、FE-SEM 装置内で Tween 20 処理後の菌体に電子線を照射し、観察したところ、何れの Tween 20 濃度においても形状を維持したままで形態観察可能であることが明らかになった。一方、長岡技科大でも同様に、寒天培地で培養した酵母をカーボン両面テープ上に塗布し、0.1-1 wt% の Tween 20 水溶液を数滴滴下したのち、キムワイプで余分な溶液を除去後、W-SEM 装置内で Tween 20 処理後の菌体に電子線を照射し、SEM 観察した。SEM 観察では、Zoom を用いた完全遠隔操作にて、函館高専および長岡技科大の双方向から観察を行い、何れの Tween 20 濃度においても形状を維持したままで形態観察可能であることを確認した。また、これらの結果から、性能が異なる装置において良好な観察結果が得られたことから、本手法は微生物観察にも有効であると考えた。本手法により、大腸菌、納豆菌などの微生物においても著者が SEM 観察可能であることを確認した。

以上の取り組みの成果の一部は、第 73 回日本生物工学会大会 2021 にて発表された。

松井春美, 近藤みずき, 高橋美幸, 齊藤信雄, 阿部勝正, 「電界放出形走査電子顕微鏡 (FE-SEM) を用いた微生物の簡易的観察手法の検討」, 第 73 回日本生物工学会大会 2021

(研究支援事例 3) 他大学技術職員の研究における遠隔分析支援

東工大オープンファシリティセンターマイクロプロセス部門(当時)の松谷晃宏上席技術専門員および佐藤美那技術職員の研究試料を完全遠隔にて共同分析測定を行った取り組みについて述べる(2023年11月30日実施)。

本遠隔測定に先立ち、測定条件などについてオンラインにて詳細な打ち合わせを実施後、依頼に基づき試料を提供いただいた。使用した装置は Thermo Fisher Scientific 社製の Nexsa 全自動光電子分析装置(XPS: X-ray Photoelectron Spectroscopy)である。本装置は Zoom を用いた完全遠隔分析システムが導入されており、Zoom の画面共有にて、遠隔地からも装置本体のソフトを遠隔で操作し測定可能である。Si 基板に各種イオンを照射することで、最表面部に形成されるアモルファス層の遠隔測定を共同で行った。オンライン(Zoom)にてコミュニケーションを取りながら、測定箇所や分析結果を遠隔地でも確認し、遠隔地の依頼者が現地にいるかのように状況を共有できた。

この遠隔測定の結果が以下の *Sensors and Materials* に掲載され、謝辞に記載された。Si 構造体の微細加工に関する技術の評価に貢献した。本事例は他大学の技術職員間との技術交流で実現した成果である。

謝辞記載論文 Mina Sato, Mie Tohnishi, and Akihiro Matsutani, "Microfabrication of Si by KOH Etchant Using Etching Masks Amorphized by Ion Beam Extracted From Electron Cyclotron Plasma", *Sensors and Materials*, Vol. 36, No. 4, 1319-1328(2024)

(研究支援事例 4) 学内依頼分析における遠隔分析支援

学内の依頼分析における半遠隔分析支援の取り組みについて述べる。

研究支援事例 2 で述べた簡易的な微生物観察手法に加え、固定→脱水→置換→乾燥による標準的な化学固定法を適用し、微生物試料の前処理を行った。各試料に対し導電処理を施した後、半遠隔操作システムにより FE-SEM(日立ハイテク製 SU8230)観察を実施した(2021年3月8、17日実施)。2021年当時は、新型コロナウイルスの感染拡大防止のため、分析装置室への入室制限を実施しており、SEMの観察画面をオンライン会議システムにて画面共有し、研究者らは居室など別室からリアルタイムでSEM画像を観察し、議論を行うことが可能となり、研究の継続に貢献した。

この成果は下記の論文で報告され、共著者として貢献した。

Masaya Fujita, Shodai Yano, Koki Shibata, Mizuki Kondo, Shojiro Hishiyama, Naofumi Kamimura, Eiji Masai, “Functional roles of multiple Ton complex genes in *Sphingobium* degrader of lignin-derived aromatic compounds”, *Scientific reports*, 11, 22444(2021)

上記以外にも、学内依頼分析において、2020、2021、2022年にもオージェ電子分光装置 (JEOL/JAMP-9500F) を、半遠隔操作システムにより画面共有しながら、研究者らとコミュニケーションを行いながら測定を実施した (図 3.2-3)。機器リモート化により学内外から簡便に分析・解析が可能となり、学内外教職員・学生の研究時間の確保、コスト削減、効率化を実現した。



図 3.2-3 半遠隔システムにて測定している写真

3.3. 遠隔分析を活用したその他の事例

(その他事例1) 共用装置における遠隔・自動化の実践講習会

長岡技科大において、大学共同利用機関法人 分子科学研究所主催の「共用装置における遠隔・自動化の実践講習会」(2021年5月18日実施)を開催した取り組みについて述べる。

著者は、講演会の企画段階から携わり、司会進行と運営の全般を統括することで、スムーズな進行に貢献した。

長岡技科大関係者を含む機器分析装置を扱う大学や研究機関の技術職員 66 名が参加した。「長岡技科大の遠隔自動化の取り組み」について、教員が講演後、著者がスマートグラスを着用し、オンライン見学会形式で 13 台の各装置の遠隔システムについて説明し、各装置の担当技術職員から装置の概要について説明を行った(図 3.3-1)。また、参加者の中から、実際に完全遠隔操作を体験可能な実践的な講習会とした。本講習会の参加者には、共用装置を担当する技術職員も多く参加しており、下記に挙げるような具体的な内容についての現状の説明を行った。

- ・遠隔導入している装置・年式・スペック・内外部利用件数・外部利用者所属・利用用途
- ・遠隔に利用している機器・PC・ネットワーク環境等およびそれらの費用
- ・遠隔に係る規約策定等(故障等の責任所在、セキュリティ対策、データ保管などのルール)
- ・遠隔を行う上での問題点や改善点

学外からも受講可能なオンライン講習会の実施により、人数制限のない高度なアウトリーチ型人材育成・高度分析技能を持つ技術者育成を可能とした。



図 3.3-1 講習会時の写真

(その他事例2) 東日本技術職員研修特別見学会

2021年および2022年に実施した見学会における遠隔分析支援の取り組みについて述べる。

新型コロナウイルス感染症の拡大に伴う移動制限によりオンライン開催にて、2021(令和3)年度東日本地域高等専門学校技術職員研修特別見学会(分析計測センターバーチャル見学・リモート操作体験)(2021年8月20日実施)、および2022(令和4)年度東日本地域高等専門学校技術職員研修特別見学会(分析計測センターバーチャル見学・リモート操作体験)(2022年8月26日実施)を行った。当日まで、著者が見学会のスケジュール計画、日程調整など取り纏め担当をして、先方との打ち合わせを行った。当日は、スマートグラスを装着した著者が、各装置の部屋を順次巡回し、機器の説明、遠隔システムの接続などについて、遠隔操作のデモンストレーションを行いながら説明した。

(その他事例3) 展示会における遠隔分析体験支援

展示会における遠隔分析支援の取り組みについて述べる。

新規利用者発掘と共同利用推進のための県内企業への広報活動として、新潟県三条市で開催される「燕三条ものづくりメッセ」へ2018-2019年と2年連続出展し、燕三条ものづくりメッセ2018(2018年10月24-26日実施)では、「匠の技を先端分析機器を用いてミクロの世界から覗きます」とのタイトルで様々な材料表面の形状、化学組成および結晶構造を電子顕微鏡で観察して紹介を行った。また、燕三条ものづくりメッセ2019(2019年10月17-18日実施)では、出展会場で完全遠隔操作における電子顕微鏡のリモート測定を実演し、地域企業にリモート利用の利便性と技術の高度化に、貢献できることを情報発信した。

さらに、2024年には千葉市幕張メッセで開催されたJASIS(分析機器、科学機器メーカーが一堂に会する最先端科学・分析システム&ソリューション展)においても、展示ブースにて完全遠隔体験会を行った(2024年9月4-6日実施)。

(その他事例4) オンライン講習会など

上記以外の主なオンライン講習における遠隔分析支援の取り組みについて述べる。

- ・(2019年12月10日実施)ハイブリッド開催にて「ミイラにしないで含水サンプルを

電子顕微鏡で観察する！ークライオスタット、クールステージ、イオン液体を用いた SEM 観察」の講習会を実施した。試料の調製から観察までの一連の操作をオンラインで配信して講習を行った。

・(2020年10月14日実施)長岡技科大で開催されたSDGs探検ツアーでは、小学生を対象にSEMの講習を行い(図3.3-2)、小学生に身近な試料(髪の毛、犬の毛、星の砂、カブトムシの角、名刺など)を遠隔で観察し、次世代の人財育成に貢献した。



図 3.3-2 小学生を対象に SEM の講習

・(2021年3月15日実施)オンライン遠隔機器体験会:著者がスマートグラスを装着し、先端研究基盤共用促進事業研究機器相互利用ネットワーク導入実証プロジェクトで遠隔化した機器を紹介後、半遠隔、完全遠隔の他、VPN接続、USBパネルなどの説明も行った。

・(2022年10月21日実施)TCカレッジ主催の遠隔測定実習においては、本実習の企画立案から実習までを一貫して担当し、実習内容としては遠隔接続の紹介、スマートグラスの実演、完全遠隔測定の実験を実施し、参加者が今後の取り組みの参考となる実習を実現した。

第4章 遠隔操作インストラクター導入の検討

この章では、遠隔操作可能な共用装置において、遠隔地から操作する利用者を「遠隔操作インストラクター」として登録する仕組みについて検討した内容を述べる。具体的には、遠隔操作共用装置の現状、遠隔操作インストラクターの登録までの手順、遠隔操作インストラクターの試行、今後の普及に向けた課題についてその概要を述べる。

4.1. 遠隔操作共用装置の現状

長岡技科大の共用機器装置のうち、完全遠隔対応装置 18 台、半遠隔対応装置 25 台（2024 年 9 月現在）ある。機器の遠隔操作による共用は、利用者の利便性向上に大きく貢献し、利用件数の急増をもたらした。しかしながら、この普及に伴い、技術職員の業務負担は増大している。具体的には、学内外の利用者からの多様な要求に対応するため、試料調製、装置操作、データ解析など、従来の業務範囲が拡大し、その負荷は大きい。また、遠隔操作環境下では、技術職員は、機器の遠隔操作、トラブル対応、利用者への技術指導など、高度かつ多岐にわたるスキルを必要とする。また、これらの課題を限られた人員で解決する必要がある。上記の課題を解決すべく対応策の一つとして、遠隔地から装置を利用する利用者に対して、試料のセッティング、装置への試料導入および試料取り出し以外の操作を、IoT ツールのリモートデスクトップ機能を使用し、遠隔地から単独で分析を行う完全遠隔操作を行ってもらうための制度設計を検討した。

一方、長岡技科大の分析計測センターでは、従来から現地利用者に各分析機器の操作法、測定原理の講習を技術職員が行い、利用者自身が個々の装置を使用する研究主体の方式をとることを基本方針とし、センターの機器を直接操作する利用者をインストラクターとして登録している。従来の現地操作者向けインストラクター制度とは異なり、遠隔操作の特性を考慮した新たなインストラクター制度を構築することを目的とした。

4.2. 遠隔操作インストラクター登録までの手順

遠隔で装置を利用する遠隔操作インストラクターは、現地サポートスタッフに最初の試料セッティングおよび試料取り出し操作を任せ、それ以外の分析操作を遠隔地から単独で完全遠隔利用（図 4.2-1）を行うことができる利用者のことをいう。

なお、従来の現地で利用するインストラクターと遠隔操作インストラクターの相違点は、遠隔操作インストラクター自身で試料のセッティング、装置への試料導入および試料取り出しを、利用者自身で実施しないことである。



図 4.2-1 完全遠隔利用の説明図



図 4.2-2 遠隔操作インストラクター登録までの手順

遠隔操作インストラクター登録までの手順を図 4.2-2 に示す。

STEP1 として、本学と日本電子㈱様と共同で定期開催しているオンラインワークショップを受講する。ここでは受講者のレベルに応じた講習内容とし、具体的には日本電子㈱（東京都大井町）からオンライン機器紹介、本学の装置（日本電子㈱製 JCM-7000）を用いた完全遠隔操作体験、SEM の原理説明、分析事例紹介、電子顕微鏡に関する分析相談などを全て合わせて約 90 分行う。初めて SEM を使用する利用者にも対応できる内容となっている。

STEP2 として、STEP1 の理解度を確かめるための Google Form によるチェックテスト（図 4.2-3）を受講する。ここではテストを受講後、解答者はどの質問が不正解だったかを確かめ、全ての質問が正解（100 点満点）になるまで何度でも受講できる。全問正解後、次の STEP3 へ進むことができる。現在、チェックテストは基本編のみを作成したが、今後受講者のレベルによって中級編、上級編を検討している。

| | |
|---|--|
| <p>（原理 1）SEM は（ ）を試料表面に照射する。＊ 10 ポイント</p> <p><input type="radio"/> X線</p> <p><input type="radio"/> 電子線</p> <p><input type="radio"/> 光電子</p> <p><input type="radio"/> オージェ電子</p> | <p>（原理 6）SEM の主な用途は、（ ）と（ ）である。＊ 10 ポイント</p> <p><input type="checkbox"/> 物体の表面形態観察</p> <p><input type="checkbox"/> 物体の元素分析</p> <p><input type="checkbox"/> 物体の内部構造観察</p> <p><input type="checkbox"/> 物体の状態分析</p> |
| <p>（原理 2）SEM は電子線を試料表面に照射し、生じる（ ）や 反射電子を検出し像を得る。＊ 10 ポイント</p> <p><input type="radio"/> オージェ電子</p> <p><input type="radio"/> 特性 X線</p> <p><input type="radio"/> 光電子</p> <p><input type="radio"/> 二次電子</p> | <p>（原理 7）SEM の観察で注意すべき試料は、（ ）、（ ）と（ ）である。＊ 10 ポイント</p> <p><input type="checkbox"/> 粉末試料</p> <p><input type="checkbox"/> 導電性がない試料</p> <p><input type="checkbox"/> 電子線でダメージを受ける試料</p> <p><input type="checkbox"/> 金属コートされている試料</p> |
| <p>（原理 3）SEM は（ ）装置なので、水分を含有する試料を観察することは難しい。＊ 10 ポイント</p> <p><input type="radio"/> 真空</p> <p><input type="radio"/> 大気圧下</p> <p><input type="radio"/> 常温</p> <p><input type="radio"/> 高価な</p> | <p>（原理 8）SEM 試料の状態は、常温で（ ）であること。＊ 10 ポイント</p> <p><input type="radio"/> 固体</p> <p><input type="radio"/> 液体</p> <p><input type="radio"/> 気体</p> |
| <p>（原理 4）SEM は数（ ）くらいの大きさまで見れる。＊ 10 ポイント</p> <p><input type="radio"/> ミリメートル</p> <p><input type="radio"/> マイクロメートル</p> <p><input type="radio"/> ナノメートル</p> <p><input type="radio"/> ピコメートル</p> | <p>（原理 9）SEM は焦点深度が（ ）。＊ 10 ポイント</p> <p><input type="radio"/> 浅い</p> <p><input type="radio"/> 深い</p> |
| <p>（原理 5）SEM 像が白くなりうまく観察できない原因の一つとして（ ）が挙げられる。＊ 10 ポイント</p> <p><input type="radio"/> 輝線</p> <p><input type="radio"/> 反射</p> <p><input type="radio"/> 温度上昇</p> <p><input type="radio"/> 帯電（チャージアップ）</p> | |

図 4.2-3 理解度を確かめるためのチェックテスト

STEP3 として、本学作成の SEM の原理説明や装置操作法を含む動画を事前学習としてオンライン視聴する。オンライン視聴のため、見たいときにいつでも視聴可能であり、事前学習のみならず事後学習にも活用できる。また、遠隔利用者が実際操作しない試料のセッティングや、装置への試料導入に関する動画を SwipeVideo (2.3 章) にて視聴可能であり、SwipeVideo により、視聴者が自由に視点を切り替えながら映像を視聴できるため、操作方法の様子をマルチアングルで確認することができる。

STEP4 として、本学装置担当者から遠隔操作インストラクターの講習をオンライン会議ツール (Zoom) によりコミュニケーションを取りながら受講する。なお、ここで使用する遠隔操作インストラクター用マニュアルは今回新たに作成し、本マニュアルに沿って実施した。この遠隔操作インストラクター用マニュアルは、通常の現地で使用するマニュアルとは異なり、SEM ソフトの操作方法のみならず、VPN の接続方法や、遠隔地でのデータの転送方法、VPN 接続が繋がらない場合のトラブルシューティングなどを掲載している。技学コアファシリティネットワークの実施機関には SEM の機器操作 USB コントローラー (SEM コントロールパネル) が設置されており、遠隔地においても実機と同様のコントロールパネル操作が可能である。

STEP5 として、遠隔操作インストラクター試験を実施後、試験合格者に遠隔操作インストラクターの認定証が付与され登録される。今回、遠隔操作インストラクターの認定証 (図 4.2-4) を新たに作成した。



図 4.2-4 遠隔操作インストラクター認定証

一方、現地で利用するインストラクター登録者とは、センター機器の講習を受けて操作方を習得後、センターが行う実技・筆記試験に合格したものをいう。このインストラクターの登録手順は、1.新規登録申し込み、2.機器講習、3.機器操作の練習・習熟、4.技能認定試験後、インストラクターとして登録といった手順で行っている。また、インストラクター登録者から講習を受けることも可能であり、遠隔操作インストラクター登録者も同様に、例えば、高専内で使用する装置の遠隔操作インストラクター登録者の技術職員から学生へ講習を行うことが可能である。

その他、遠隔操作インストラクター登録者が装置を使用する際の予約フォーマットの記入事項や手順についても検討を行った。

4.3. 遠隔操作インストラクターの試行

遠隔操作インストラクターの試行では、試行の段階で得られた課題を抽出し、遠隔利用者を増加させるうえで、インストラクター登録後、遠隔利用者を拡大普及させるための検討や、遠隔操作インストラクター制度としてブラッシュアップしていくことを目的とする。

今回試行として、遠隔操作インストラクター取得の対象者を高専技術職員および高専生を想定し、技学コアファシリティネットワークの実施機関である函館高専の 2 名の技術職員にご協力いただき協働で検討を行った。また、遠隔操作対象機器は、日本電子(株)製 JSM-IT200 の走査電子顕微鏡とした。試行は、2023 年 2 月 7 日～2023 年 3 月 27 日の期間に実施した。試行対象者は、図 4.2-2 に示す遠隔操作インストラクター登録までの STEP1-5 をすべて行い、遠隔操作インストラクターの認定証が付与された。

上記遠隔操作インストラクターの取り組みについて、2024 年度機器分析技術研究会 in 広島大学 (2024 (令和 6) 年 9 月 5-6 日実施) にて、「遠隔操作インストラクター導入の検討」のタイトルで発表を行った。

4.4. 今後の普及に向けた課題

今後の遠隔操作インストラクターの拡大普及に向けては、試行において以下の問題点が挙げられ、改善する必要がある。

まず、運用体制の整備として、装置利用料金や対象とする遠隔操作装置の検討が必要である。実際、本学では遠隔操作インストラクター登録者が測定を行う料金と学外者の装置利用料金が同一である。今後、遠隔操作インストラクター登録者が利用する場合には料金を減額することなどを検討する必要がある。また、遠隔で測定を行う場合、高専にある既存の装置と同等の装置ではなく、高専に設置されていない高性能装置でないと遠隔利用が伸びない可能性が高い。

また、認知度の向上として、遠隔操作インストラクターの存在や制度を、利用者に広く周知する必要がある。高専の低学年時から遠隔分析に触れてもらう機会を設けるなどが必要と考えられる。そこで、函館高専の学生実験で遠隔操作体験を2021年、2023年および2024年に実施した。この事例を足掛かりとしていきたい。

研究機器の遠隔・DX化を推進し、日本各地の高専との連携効果を最大化するため、遠隔操作インストラクター登録者を増やすことにより、DX分析を担う若手の高度技術職員および学生を育成することができる。遠隔操作インストラクター導入により、技術職員の負担軽減に繋がることが期待される。技術職員の負担軽減とスキルアップに向けた取り組みを積極的に進めることで、共用体制をより持続可能かつ効果的なものにしていくことが重要である。

第5章 結論

この章では、第2章、第3章、第4章を総括し、今後の展望について述べる。

5.1. まとめ

研究機器の遠隔システムの導入等により、近隣の大学、高専、企業、公設試等が連携した研究機器相互利用ネットワーク構築の実証実験を実施するための SHARE 事業が、2019年に始動した。その後、2020年に最初の緊急事態宣言が政府より発出され、新型コロナウイルス感染症の世界的流行に伴う行動制限により、従来型の対面による分析が困難となり、リモートワークの普及が加速した。この状況の下、物理的な距離を克服し、場所や時間に縛られない分析手法である遠隔分析への需要が飛躍的に高まった。SHARE 事業では、長岡技科大、高専、豊橋技科大などが連携し、それぞれの特色を活かした研究設備の遠隔システムの導入や実証実験に貢献した。2021年にはコアファシリティネットワーク事業が始動し、高度技術専門人材養成制度である TC カレッジ遠隔分析 DX 系 TC コースの開設に寄与した。TC カレッジ遠隔分析 DX 系 TC コースに至るまでと、その遠隔分析 DX 系 TC コースの進展を表 1 に示す。

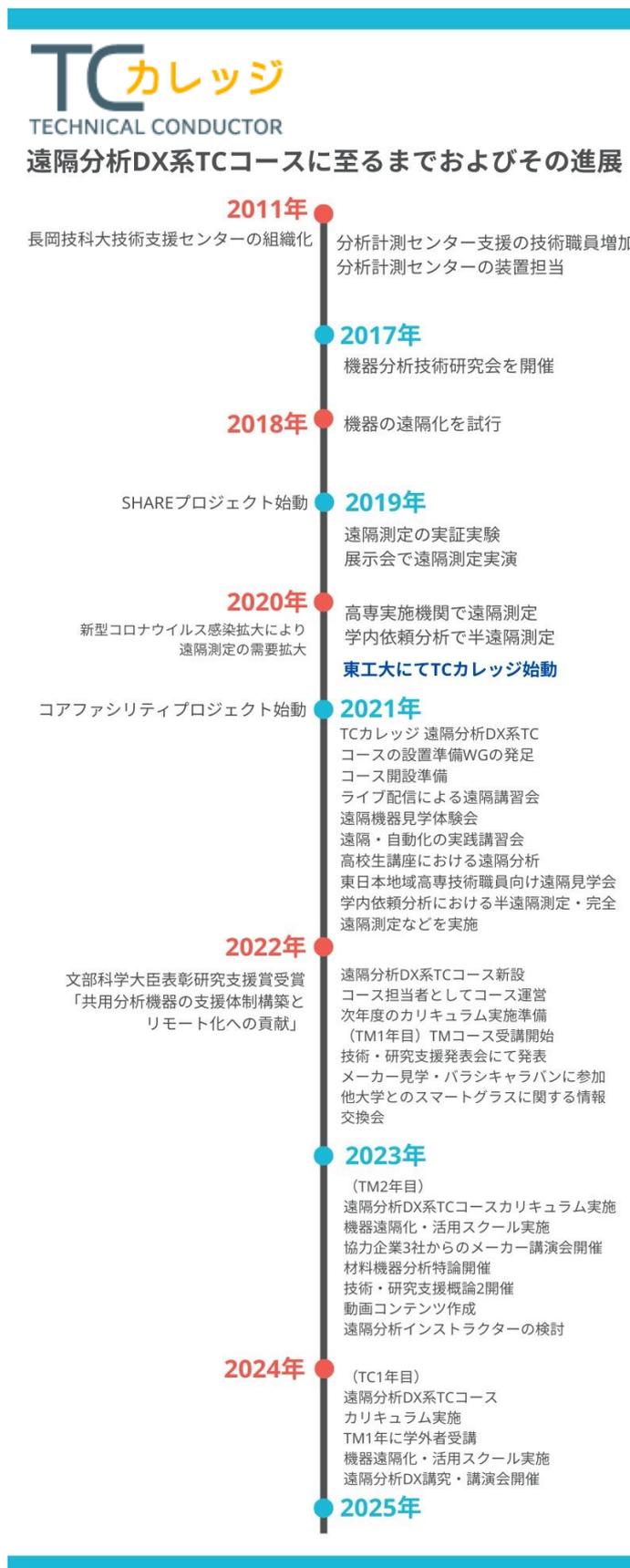
第2章では遠隔分析 DX 系 TC コースのために設計した独自のカリキュラムの策定および実施における中心的な役割を担当し、遠隔分析 DX 系 TC コースのコンテンツの作成およびその内容や取組みについて紹介した。遠隔システムについては長岡技科大の現状のシステムを紹介しているが遠隔システムのメリットのみならず、課題についても検討することは重要である。大学だけでは解決が難しい課題については、メーカーの専門知識や技術力を活用し、共同で解決策を模索していきたい。IoT や AI (Artificial Intelligence) といった技術の進歩により、機器の遠隔化は日進月歩で進化しているため、TC カレッジ遠隔分析 DX 系 TC コースの受講生は自機関の環境に適した遠隔システムを今後検討し導入していく必要があると考えられる。また、様々なセキュリティ対策のメリットとデメリットを考慮し、自機関の状況や目的にあった最適な対策を選ぶ必要がある。独自カリキュラムである「遠隔分析 DX 講究」において、メーカーの DX の取り組みや遠隔機器の事例などの最新の情報を知ることにより、TC カレッジ遠隔分析 DX 系 TC コースの受講生は効率的かつ最新技術の習得に繋がることが見込まれる。

第3章では遠隔分析を活用した教育研究支援の事例およびその他の遠隔分析を活用した事例を述べた。遠隔分析の円滑な運用には、技術職員による支援が不可欠である。遠隔シス

テムは、導入後も常に最適な状態を維持するために、分析機器の原理や取り扱いだけでなくネットワーク、セキュリティなどの幅広い専門知識が求められ専門的な知識と技術を持った人材による管理・運用が求められる。遠隔分析を活用した教育・研究支援により、学生は高度な分析機器を直接操作し、実験や研究を体験可能である。これにより、実践的なスキルを習得し、卒業研究や専攻科研究の質向上に繋がる。また、複数の分析機器を遠隔で利用することで、材料の特性を多角的に解析し、高度な技能人財の育成が期待される。

第4章では、遠隔操作可能な共用装置において、遠隔地から操作する利用者を「遠隔操作インストラクター」として登録し、活用する仕組みについて検討した。遠隔操作インストラクターは、共用装置の利便性向上に貢献する可能性を秘めている。ただし、遠隔操作インストラクター制度の整備は遠隔利用を促進するための第一歩であるがそれだけでは不十分で、制度を効果的に活用し、遠隔機器の利用を通じた研究機器の共用化および教育研究の高度化のためには、具体的な遠隔利用における料金設定、ルール作り、予約方法などの仕組み作りや関係者間の連携が引き続き重要である。

表 1 TC カレッジ遠隔分析 DX系 TC コースに至るまでおよびその進展



5.2. 今後の展望

機器分析に関わる技術職員像として、特定の分野のスペシャリストとして専門知識や経験を深めた軸と、幅広い分析装置の知識を有する軸の 2 軸を有する人財が求められることが遠隔分析 DX 講究の科目におけるメーカー講演会において言及されている。これは、技術職員が自らの専門分野における深い知識と、他の分野の知識を横断的に繋ぐ能力を備える必要があることを意味している。また、分析装置を遠隔化するためには、分析装置の原理や操作だけでなく、ネットワーク環境やセキュリティ対策など多岐にわたる知識と技術を必要とする。求められるスキルセットは多様化し、この変化に対応するためには、時代のニーズに応える新たなスキルを習得し、変化に柔軟に対応していく能力も今後求められる。各自が必要なスキルをバランス良く身に付けていくことで、より高度な分析業務に対応し、教育研究支援に貢献することが期待される。さらに、技術職員には、教育研究の円滑な遂行のため、遠隔機器を含む機器メンテナンス、外部機関からの依頼分析、共同研究を通じた分析における海外を含む研究者との連携、学内外からの分析依頼への対応、利用者への講習会の実施、受託研究の遂行、研究成果の情報発信、講習内容のアーカイブ化など、幅広い業務が求められる。

技術職員による教育研究支援は、大学における研究の質向上に必要不可欠な役割を担っており、今後の技術職員の役割はますます重要性を増すものと考えられる。TC カレッジの受講により、専門スキルや知識の習得だけでなく、異なる専門分野、地域、世代の人々との交流を通じることにより、多様な人脈の構築にも繋がり、個人の無形資産を豊かにすることが期待される。また、新たな挑戦を通じて、視野を広げ、自己成長を加速させることができる。多様な視点を持つことは、社会で活躍するための重要な要素となるものと考えられる。今後も研究機器の有効活用を通じ、地域全体の研究開発力の向上および高度分析技術を持つ大学・高専の技術者育成に繋げることを継続していきたい。また、それらを介して機器遠隔ネットワークの拡大に繋がることを望む。

参考文献

- [1] 文部科学省,先端研究基盤共用促進事業(研究機器相互利用ネットワーク導入実証プログラム (SHARE)) 公募要領 (令和元年) ,
https://www.mext.go.jp/content/1416367_01.pdf
- [2] 文部科学省,先端研究基盤共用促進事業(研究機器相互利用ネットワーク導入実証プログラム (SHARE)) 公募要領 (令和2年),https://www.mext.go.jp/content/20200401-mxt_kibanken01-000006195_1.pdf
- [3] 江端新吾,オールジャパンの高度技術人材養成システム「TC カレッジ」の開発,研究技術計画,39,63-72 (2024)
- [4] 学術情報ネットワーク,https://www.sinet.ad.jp/connect_service/service/vpn
- [5] <https://swipevideo.site/>
- [6] 松井春美, 近藤みずき, 高橋美幸, 齊藤信雄, 阿部勝正, 「電界放出形走査電子顕微鏡 (FE-SEM) を用いた微生物の簡易的観察手法の検討」, 第73回日本生物工学会大会 2021
- [7] Yasuharu Takaku, Hiroshi Suzuki, Isao Ohta, Daisuke Ishii, Yoshinori Muranaka, Masatsugu Shimomura and Takahiro Hariyama, “A thin polymer membrane, nano-suit, enhancing survival across the continuum between air and high vacuum”, *Proc Natl Acad Sci USA*, 110(19), 7631-7635(2013)

研究支援業績

共著論文

1. Masaya Fujita, Shodai Yano, Koki Shibata, Mizuki Kondo, Shojiro Hishiyama, Naofumi Kamimura, Eiji Masai, “Functional roles of multiple Ton complex genes in *Sphingobium* degrader of lignin-derived aromatic compounds”, *Scientific reports*, 11, 22444(2021)
2. M. Sarkari Khorrami, N. Saito, Y. Miyashita, M.Kondo, “Texture variations and mechanical properties of aluminum during severe plastic deformation and friction stir”, *Materials Science & Engineering A*, 744, 349-364(2019)
3. Takashi Kuwahara, Kohei Ogawa, Daiki Sumita, Mizuki Kondo, Masato Shimomura, “Amperometric glucose sensing with polyaniline/poly(acrylic acid) composite film bearing glucose oxidase and catalase based on competitive oxygen consumption reactions”, *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 811, 4, 62-67(2018)
4. Takashi Kuwahara, Mamoru Kameda, Keita Isozaki, Keisuke Toriyama, Mizuki Kondo, Masato Shimomura, “Bioelectrocatalytic fructose oxidation with fructose dehydrogenase-bearing conducting polymer films for biofuel cell application”, *Reactive & Functional Polymers*, 116, 7, 91-97(2017)

謝辞記載論文

1. Mina Sato, Mie Tohnishi, and Akihiro Matsutani, “Microfabrication of Si by KOH Etchant Using Etching Masks Amorphized by Ion Beam Extracted From Electron Cyclotron Plasma”, *Sensors and Materials*, 36, 4, 1319-1328(2024)

2. Atsuhiko Sito, Keiji Komatsu, Atsushi Nakamura, Hidetoshi Saitoh, “ Fabrication of natto-structured oxides using metal-EDTA solution”, *Ceramics International*, 47, 11, 16124-16132(2021)

謝辞

本論文執筆にあたり、ご指導いただきました長岡技術科学大学分析計測センター長・TCカレッジ遠隔分析 DX 系 TC コース監修教員・主査の田中諭教授に深く感謝申し上げます。また、長岡技術科学大学の竹中克彦教授、西川雅美准教授にはお忙しい中、TC 論文の副査の申し出をご快諾いただき、心から感謝申し上げます。

TCカレッジ遠隔分析 DX系TCコースのカリキュラムにおける学習支援システム(ILIAS)利用に関し、長岡技術科学大学情報・経営システム系中平勝子准教授および数理・データサイエンス教育研究センターにご協力いただき深く感謝申し上げます。また、カリキュラム動画コンテンツ制作にあたっては講師をお引き受けいただいた長岡技術科学大学情報・経営システム系湯川高志教授、物質生物系河原成元教授、物質生物系田中諭教授に厚く御礼申し上げます。動画編集においては長岡技術科学大学分析計測センタースタッフの方々にご協力を賜り深く感謝申し上げます。さらに、本論文で取り上げた **SwipeVideo** の撮影および編集でお世話になりました長岡技術科学大学システム安全系三好孝典教授および三好研究室廣井悠紀様にご協力いただき深く感謝申し上げます。

TCカレッジ遠隔分析 DX系TCコースのコース担当者の河原夏江技術専門職員には、コース立ち上げ当初からコース設計やカリキュラム実施など多岐にわたり協働で実施することができましたこと、心から感謝申し上げます。

TCカレッジ長の江端新吾教授を始め、TCカレッジ事務局統括の栢見吉朗博士、TCカレッジ事務局の皆さま、コース担当者の皆さまには、遠隔分析 DX系TCコースの運営にあたりご協力いただき心から感謝申し上げます。また、東京科学大学リサーチインフラ・マネジメント機構コアファシリティセンターマイクロプロセス部門長の松谷晃宏博士およびマイクロプロセス部門の佐藤美那技術職員には、遠隔分析を活用した技術交流にご協力いただき深く感謝申し上げます。さらに、遠隔分析 DX 講究において、講演をご快諾いただいた日本電子株式会社、株式会社島津製作所、株式会社リガクの関係者の皆さまには深く感謝申し上げます。

研究室所属時代にお世話になりました下村雅人長岡技術科学大学・名誉教授、現在の研究室支援でお世話になっております長岡技術科学大学の桑原敬司准教授および生物材料工学研究室的皆さまには深く感謝申し上げます。

函館工業高等専門学校 of 寺門修教授、阿部勝正准教授には、遠隔測定 of 遂行にあたり多大なるご協力をいただき心から感謝申し上げます。また、函館工業高等専門学校分析・環境技

術班長の松井春美技術職員、分析・環境技術班員の高橋桃子技術職員には、遠隔操作インストラクター導入の検討にあたり建設的なご提案なども含め積極的にご協力いただき深く感謝申し上げます。

最後に、長岡技術科学大学分析計測センターの皆さま、技術支援センターの皆さま、長岡技術科学大学教職員の皆さまには、本教育研究支援の遂行および運営にあたり多大なるご協力をいただき心から感謝申し上げます。宮正光様には、TC 論文作成にあたって貴重なご助言をいただき感謝申し上げます。