

令和2年度科学技術試験研究委託費
先端研究基盤共用促進事業
(共用プラットフォーム形成支援プログラム)

アトミックスケール電磁場解析
プラットフォーム
委託業務成果報告書

令和3年5月
株式会社日立製作所

本報告書は、文部科学省の科学技術試験研究委託事業による委託業務として、株式会社日立製作所が実施した令和2年度アトミックスケール電磁場解析プラットフォームの成果をとりまとめたものです。

目次

I. 委託業務の目的

- 1. 1 委託業務の題目・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・1
- 1. 2 委託業務の目的・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・1

II. 令和2年度の実施内容

- 2. 1 実施計画・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・1
- 2. 2 実施内容（代表機関）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・9
 - ①プラットフォーム運営体制の構築・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・9
 - ②利用支援体制の構築・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・11
 - ③ワンストップサービスの設置・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・13
 - ④共用機器・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・13
 - ⑤人材育成・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・14
 - ⑥ノウハウ・データの蓄積・共有、利用システムの標準化、技術の
高度化に向けた利用支援（利用と機器開発の連携拡大）等・・・・・・・・・・・・・14
 - ⑦コミュニティ形成、国際的ネットワーク構築・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・15
 - ⑧その他・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・16
 - 1）装置利用結果の件数と新型コロナウイルス感染拡大の影響・・・・・・・16
 - 2）BKT転移の実験検証に関するニュースリリース・・・・・・・・・・・・・19
- 2. 3 実施内容（実施機関）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・19
 - ①利用支援体制の構築・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・19
 - ②共用機器・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・22
 - ③人材育成・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・22
 - ④ノウハウ・データの蓄積・共有、利用システムの標準化、技術の
高度化に向けた利用支援（利用と機器開発の連携拡大）等・・・・・・・・・・・・・24
 - ⑤その他・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・26
- 2. 4 協力機関の取組状況・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・27

III. フォローアップ調査項目

- 3. 1 分野融合・新興領域の拡大について・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・27
- 3. 2 スタートアップ支援について・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・28
- 3. 3 共同研究・受託研究について・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・28
- 3. 4 試作機の導入・利用による技術の高度化について・・・・・・・・・・・・・29
- 3. 5 ノウハウ・データ共有について・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・29
- 3. 6 技術専門職のスキル向上・キャリア形成について・・・・・・・・・・・・・29

3. 7	利用アンケートについて	29
IV. 本事業 5 年間を通しての取組及び成果		
4. 1	共用体制	30
①	構築した共用体制	30
②	本事業の実績・成果	32
4. 2	技術の高度化	37
4. 3	人材育成	38
4. 4	研究開発基盤の維持・発展	39
4. 5	その他	40
V. 事業終了後の展望		
5. 1	本事業にて形成した共用プラットフォームの運用方針	41
5. 2	本事業にて雇用した技術職員等のキャリアパス	42
5. 3	今後の課題、問題点	43

I. 委託業務の目的

1. 1 委託業務の題目

「アトミックスケール電磁場解析プラットフォーム」

1. 2 委託業務の目的

本事業は、産学官が共用可能な研究施設・設備等について、その整備運用を含めた施設間のネットワーク構築により、高度な計測分析機器を中心としたイノベーション創出のためのプラットフォームを形成するとともに、日本の研究開発基盤の持続的な維持・発展に貢献することを目的とする。

本プラットフォームでは、原子分解能・超高压ホログラフィー電子顕微鏡をはじめとする原子レベルの分解能を有する電磁場計測装置及びその技術を、国内外の第一線の材料研究および量子物理分野等の課題解決に広く活用できるよう共用プラットフォーム化し、イノベーションの創出を図る。

このため、株式会社日立製作所、一般財団法人ファインセラミックスセンター、国立大学法人九州大学及び国立大学法人東北大学は共同で業務を行う。

株式会社日立製作所は、代表機関として、プラットフォーム全体の運営に係る業務を行う。

II. 令和2年度の実施内容

2. 1 実施計画

原子分解能・超高压ホログラフィー電子顕微鏡を有する株式会社日立製作所の研究開発グループ（以下「日立製作所」という）を代表機関として、ホログラフィー電子顕微鏡装置とその技術を保有する国内の3研究機関で構築した運営体制を維持継続して、さらなる普及と装置共用を推進する。なお、令和元年度との違いを明記した事項や令和2年度に限ったイベントの記載事項を除いて、令和2年度は令和元年度までの業務内容と体制を継続して委託業務を実施する。

(i) 委託機関（代表機関）としての業務

【機関名：株式会社日立製作所】

① プラットフォーム運営体制の構築

1) プラットフォーム実施機関、協力機関、事業支援機関と連携するための取組

電子線ホログラフィーでそれぞれ特徴のある国内3機関を実施機関とし、プラットフォームのリエゾン業務とコーディネーター業務は代表機関においてコーディネーターとそれを補助する実施担当、および業務主任者が実

施する。また、それぞれの機関のサポート部門は、運営、広報、財務等の業務をサポートする。運営委員会は、コーディネーター、各機関の業務主任者、担当責任者および実施担当で構成され、プラットフォームの運営指針を決定する。また、外部有識者をアドバイザーとし、採択課題の選定や結果の妥当性、実験方法への助言などを得る。さらに、二つの研究機関を協力機関とし、電子線ホログラフィーや超高圧電子顕微鏡に関する技術面や装置利用課題の選定方法のような運営面に関するアドバイスを必要に応じて受ける体制とする。

2) 他のプラットフォームと連携するための取組み

代表機関は、申し込みがあった利用課題に他のプラットフォームで取り組むことがふさわしい内容があった場合は、他のプラットフォームに紹介する。また、プラットフォーム間の連携と情報交換を目的とした連絡会議に参加する。

② 利用支援体制の構築

代表機関である本機関は、業務主任者と、担当責任者、実施担当からなる支援体制を整備している。本事業では業務担当職員（コーディネーター）1名を雇用する。

また、装置利用支援のために電子顕微鏡技術者を各実施機関に数名ずつ配置する。具体的には、次項の“実施機関としての業務”にそれぞれの実施機関ごとに記載する。また、必要に応じて研究所内の磁性、電子顕微鏡以外の計測、シミュレーションのエキスパートのアドバイスを得ることができる環境とする。

担当責任者及び実施担当は電子顕微鏡技術サポート、財務、渉外、事務などの業務を担当する。また、実施担当は装置利用者の承諾が得られれば電子顕微鏡以外の計測技術やシミュレーションのエキスパートのアドバイスを得ることも可能な環境とする。

具体的な支援環境は以下の通りとする。

1. 装置利用ユーザーである外来者の通信環境を確保できる個室スペース等の確保。
2. 取得した大容量画像データをインターネット環境からリモートアクセスできるシステムを、日立製作所の原子分解能・ホログラフィー電子顕微鏡と国立大学法人九州大学（以下「九州大学」という）の加速電圧300kVホログラフィー電子顕微鏡に装備。

代表機関はプラットフォームのインターネット窓口を開設し、ユーザーからの申し込みを常時受け付ける。申し込みへの対応の可否判断、更に対

応する場合には、どの実施機関の装置を使用するかについて、代表機関が主催する運営委員会にて審議する。運営委員会は、課題の申し込みがあった時点で可能な限り迅速に開催し、取組方法の案を策定する。その案をアドバイザーに確認し、承認を受けたうえで決定し、ユーザーに連絡する。また、委員会ではそれぞれの実施機関における課題の進捗状況共有も行う。

ユーザーの要求する計測仕様にもとづいて共用装置の性能や特徴、利用者の利便性を総合的に判断して使用する共用装置を決定する。使用する共用装置が決まった段階で原則としてその装置を保有する実施機関がユーザーの対応をすべて行う。

代表機関は、課題の募集や利用希望者からの問い合わせの窓口となり、必要に応じて協力機関に技術的または運営上のアドバイスを求める。

これまでの本事業での実績と、代表機関(日立製作所)と実施機関(九州大学)で研究参画中のCREST・さきがけ複合領域「計測技術と高度情報処理の融合によるインテリジェント計測・解析手法の開発と応用」の研究成果を適用することなどにより効率化を図りつつ、令和2年度は4機関あわせて25件程度を目標とする。

また、最終的な計測結果を得るための装置利用時間だけでなく、データ解析や事前準備に技術スタッフが従事する時間も考慮して装置使用料を算出する。

③ ワンストップサービスの設置

プラットフォーム専用ホームページの維持管理と装置利用の申し込み・問い合わせ窓口、研究実施に関する覚書締結などは代表機関で一本化することで、利用者からのワンストップサービスとしての利便性を図る。

④ 共用機器

原子分解能・ホログラフィー電子顕微鏡(1.2MV)と超高压ホログラフィー電子顕微鏡(1MV)の2台の超高压ホログラフィー電子顕微鏡、及びホログラフィー電子顕微鏡(350kV)を共用機器とする。

⑤ 人材育成

各実施機関において若手研究者向けのセミナーの開催や、ユーザーが一定期間滞在して装置を使用できる環境を準備して、世界最先端の研究を担う若手研究者の育成に貢献する。代表機関としてはその企画のとりまとめ

を行い実施内容はホームページに掲載する。具体的な取組に関しては、各実施機関の特性に合わせた取組となるので次項の“実施機関としての業務”に記載する。なお、代表機関では、令和2年度も引き続き、平成31年4月採用者に本プラットフォーム事業の解析作業に参画させて、OJTにより電子線ホログラフィー技術を習得させる。

⑥ ノウハウ・データの蓄積・共有、利用システムの標準化、技術の高度化に向けた利用支援（利用と機器開発の連携拡大）等

令和2年度の年度末には装置共用で得られた公開可能な成果をホームページに掲載し、それらをまとめた冊子を発行する。

装置利用テーマにおいて新たな機器開発の具体的課題を見出せた場合は、装置メーカーや試料ホルダ専門メーカーなどと連携して開発提案をできるようにメーカーとは密接な関係を維持する。大規模な機器の更新による装置機能向上は、装置開発に関する競争的資金や代表機関が実施機関の独自開発予算を確保することで実施する。

また、②に前述したように、代表機関と実施機関の九州大学が、CREST・さきがけ複合領域「計測技術と高度情報処理の融合によるインテリジェント計測・解析手法の開発と応用」で開発中の技術のひとつである、画質・計測感度の向上技術を装置利用課題に適用することで更なる技術の高度化を図る。

⑦ コミュニティ形成、国際的ネットワーク構築

毎年の電子顕微鏡学会または応用先の材料に関する主要な学会において成果発表を行っていく。令和2年度もユーザー層の拡大のため日本顕微鏡学会、日本磁気学会など関連する学会での広報活動を実施する。

(ii) 再委託機関（実施機関）としての業務

【機関名：一般財団法人ファインセラミックスセンター】

① 利用支援体制の構築

本機関では、業務主任者及び担当責任者の兼任者と、実施担当からなる支援体制を整備している。なお、実施担当は令和元年度と同じく、電子線ホログラフィーの試料作製、実験並びに実験指導の2名及び電子線ホログラフィー実験の支援、試料作製の補助を担う1名の合計3名を雇用する。また、協力者3名は必要に応じて実験試料作製の指導や実験結果の解釈を行うことで実施担当の業務を支援する。利用者側との技術打ち合わせは、実施機関のメンバーが利用者側に出向いて行うこともある。

上記に加えて、共用装置の経年劣化した交換部品製作のため、日立製作所に業務担当職員が出張する計画を立てている。

従来一般財団法人ファインセラミックスセンター（以下「ファインセラミックスセンター」という）が技術相談や共同研究を受けてきた企業・大学との連携関係を生かして本事業としての電磁場解析を発展させるとともに、新規利用者の開拓を図る。また、単なる装置利用時間だけでなく、データ解析や事前準備に技術スタッフが従事する時間も考慮して装置使用料を算出する。

② 共用機器

加速電圧 300 kV ホログラフィー電子顕微鏡

③ 人材育成

電子線ホログラフィー技術を活用できる企業人を育成することを目的の一つとして、以前から①出向社員の受け入れ、②オープンラボ制度（企業の分析・解析業務のためにファインセラミックスセンターの電子顕微鏡を活用していただく制度）による企業の電子線ホログラフィー活用の支援を行っている。令和2年度は、これらの制度で過去にファインセラミックスセンターに滞在し企業に帰任した人材との共同研究を発展させ、企業内での技術向上と人材育成に貢献する。現在、この目的のために企業から出向社員を受け入れ、オープンラボ制度利用者を支援して、実験現場での技術指導を行っている。令和2年度もこの状況を継続する。講演会や講習会などの座学だけではできない実践的技術指導を行い、企業で電子線ホログラフィーを活用できる人材の確実な育成と企業内での電子線ホログラフィー活用に貢献する。

本事業を担当する博士研究員は、これまで本プラットフォームの仕事に従事して電子線ホログラフィーの基本的理解、高度な技術を習得しており、今後は、既存の技術を使えるだけでなく、さらに精度や信頼性の高いデータを取得するための情報科学手法など新しい計測手法の開発にも取り組む。

④ ノウハウ・データの蓄積・共有、利用システムの標準化、技術の高度化に向けた利用支援（利用と機器開発の連携拡大）等

担当した電磁場解析における経験を蓄積し最適な解析条件の標準化を図り、解析業務の効率化と迅速化に役立てる。また、技術の普及と利用者の拡大に活用する。ファインセラミックスセンターと企業の共同研究として進めてきたスパースコーディングを用いた高度情報解析手法が電子線ホロ

グラフィックによる p-n 接合解析の飛躍的高感度化に非常に有効であることがシミュレーション・実験両面で明らかとなり、令和元年度の装置利用課題に活用を開始した。令和2年度も、他のサンプルのホログラフィー解析にも有効であることを慎重に確認し、応用範囲の拡大を図る。

⑤その他

得られた成果は、日本顕微鏡学会、応用物理学会等の学会に積極的に発表し、本事業のPRと利用者拡大を図る。

【機関名：国立大学法人九州大学】

①利用支援体制の構築

本機関では、業務主任者兼担当責任者と、2名の実施担当（それぞれ技術系、事務系の業務を担当）からなる支援体制を整備している。なお、技術系の実施担当は本事業で雇用する学術研究員（平成29年度から雇用を継続）であり、令和2年度も引き続き高度な技術支援業務を担当する。

本機関で実施される課題については、業務主任者、技術系の実施担当、課題申請者の三者による協議を経て、綿密な実験計画を立案する。業務主任者は課題進捗状況の掌握、データ解析や取り纏めの主導、装置の維持管理に関わる業務（修理が必要な事案への対処など）を行う。実施担当は、要請に応じて試料調製や予備的な電子顕微鏡観察を行うとともに、電子線ホログラフィーに関わるデータ収集とその解析、並びにホログラフィー電子顕微鏡のメンテナンス業務を担当する。物品購入契約等に関しては、事務系の実施担当が業務支援にあたる。

②共用機器

加速電圧300kVホログラフィー電子顕微鏡

③人材育成

令和2年度は、“最先端の研究課題”と“豊富な人材交流”というプラットフォーム事業の特徴を活かした実践的指導を重視し、電子線ホログラフィーの研究・事業を将来にわたって担い得る人材の育成を図る。特に（1）効率的な実験計画の策定、（2）実験データの適切な処理と解釈、（3）課題申請者への情報提供と討論、これら三点を実施担当が主導する機会を積極的に設けて、自立した研究者としての成長とキャリア形成を促す。人材育成にあたっては、週1回の頻度で行う業務主任者-実施担当間の個別打合せと、年数回の頻度で行う課題申請者との討論機会を積極的に活

用する。

課題申請者とその研究グループに対しては、必要に応じて、業務主任者が電子線ホログラフィーの基礎や技術の紹介をセミナー形式、または研究討論の形で行い、特に本事業に参加する若手研究者、若手技術者、学生等のスキルアップを支援する。

この他にも、本機関で年10回程度開催される学内利用者向けの技術研修会（利用者の多くが大学院生や若手の研究員等）や、電子線ホログラフィーに関係した講義等を通して、アトミックスケール電磁場解析に関わる研究の啓蒙活動を行う。

④ ノウハウ・データの蓄積・共有、利用システムの標準化、技術の高度化に向けた利用支援（利用と機器開発の連携拡大）等

令和2年度は、高感度の電子直接検出カメラを当該事業でも積極的に活用する。九州大学のホログラフィー電子顕微鏡は、観察対象に応じた加速電圧の選定、特に日立製作所の超高圧電子顕微鏡と相補的な低加速電圧条件（100 kV～300 kV）の設定が可能である。電子直接検出カメラと加速電圧の調整機能を組み合わせることで、電子線照射に弱い試料の観察を拡充できることから、当該事業における新たな研究基盤としての活用を図る。

また、大学の情報基盤研究開発センターと連携して、動画を含む大規模電子顕微鏡画像を、同大学のスーパーコンピュータで処理する枠組（データ転送や保存に関わる機能を含む）を構築しており電子直接検出カメラで取得されたデータを含め、当該事業で取り扱う大規模画像データの処理に対して有効に活用する。

⑤ その他

本機関・超顕微解析研究センターが実施機関となるナノテクノロジープラットフォーム事業との有機的な連携を図る。電子線ホログラフィー（物質材料の電磁場解析）を基軸とする本事業と、分析電子顕微鏡や試料作製装置の利用機会を提供するナノテクノロジープラットフォーム事業を関わらせることで、試料作製、結晶の微細構造解析、電磁場解析を九州大学で一括して行う環境が整備されている。電子線ホログラフィーの新規課題を設定する上でも、先端的・汎用的な分析電子顕微鏡技術との連動は有効な場合があり、必要に応じて本機関の関連装置を本事業で活用する。

なお、九州大学、日立製作所、大阪大学の共同研究として、電子線ホログラムのノイズ除去に関わる技術開発を進めている（JST-CREST

に関わる研究課題)。上述した電子直接検出カメラを使うと、短い露光時間での画像収集(電子線ホログラムの取得)が可能となり、電子照射誘起の構造変化や試料汚染の抑制に有効である。その一方、露光時間が短い画像では必然的にノイズが大きくなり、データ取得後の画像処理を通して像質を改善する必要がある。上記のノイズ除去技術は、電子直接検出カメラを駆使した実験に対して有効であり、令和2年度の事業での積極的な利用を図る。

【機関名：国立大学法人東北大学】

① 利用支援体制の構築

本機関では、多元物質科学研究所の所長を業務主任者・担当責任者とし、電子線ホログラフィーを専門とする研究者(講師)及び技術職員の実施担当からなる支援体制を整備の上、日本電子株式会社製の加速電圧300kV分析電子顕微鏡JEM-3000Fをホログラフィー観察に活用する。またこれまでに当研究所で開発された各種試料ホルダ：磁場印加ホルダを中心に、2探針ピエゾ駆動ホルダ、光照射ホルダ、熱電子照射ホルダ、冷却・加熱ホルダを活用し、共同研究に供する。なお、本事業では業務担当職員(学術研究員)1名を雇用する。

② 共用機器

加速電圧300kV分析電子顕微鏡

③ 人材育成

様々な研究内容に対応できるように、担当技術職員に対して実施担当が電子線ホログラフィーの基礎から応用までを指導し、専門的な情報を共有する。

学生に対して試料加工とホログラフィー観察の基礎のセミナーを行い、電磁場解析の重要性についての説明を行う。

④ ノウハウ・データの蓄積・共有、利用システムの標準化、技術の高度化に向けた利用支援(利用と機器開発の連携拡大)等

装置利用課題の経験を蓄積し試料準備やデータ解析法のノウハウを蓄積して、計測業務と解析業務の効率化と迅速化に役立てる。また、技術の普及と利用者の拡大に活用する。

電子回折が位相再生像に及ぼす効果の研究や、電場変動を検出する手段としての振幅再生像の新しい活用方法等の技術の高度化を進める。

⑤その他

利用料収入は、装置の維持管理に充てる。東北大学では大学の装置利用を外部に公開する場合、その利用料金は予測される維持管理・修理費を基に大学側で算定されており、プラットフォームの利用料金もこれに準じたものとする。

(iii) 協力機関の取組

協力機関として、国立研究開発法人理化学研究所創発物性科学研究センターは、日立製作所と共同で電子線ホログラフィーの研究開発を長年推進してきた。装置共用の実施機関としては参画しないが、電子線ホログラフィー技術の発展のために協力が相互にできる体制にある。

もう一つの協力機関である大阪大学超高压電子顕微鏡センターは、超高压電子顕微鏡の共同利用に関して長年の実績があり運用上の多くのノウハウを蓄積していることから、主に運用面での各種アドバイスを得る。

2. 2 実施内容（代表機関）

【機関名：株式会社日立製作所】

①プラットフォーム運営体制の構築

1) プラットフォーム実施機関、協力機関、事業支援機関と連携するための取組

代表機関のコーディネーターとそれを補助する実施担当、及び業務主任者（担当責任者を兼ねる）でプラットフォームのリエゾン業務とコーディネーター業務を行なった。それぞれの機関のサポート部門は、運営、広報、財務等の業務をサポートした。運営委員会は、コーディネーター、各機関の業務主任者、担当責任者及び実施担当で構成され、プラットフォームの運営指針を決定した。具体的には表1に挙げるように、代表機関と3つの実施機関との間で主に電話会議と電子メールを用いた。運営委員会の主要な役割として課題審査があり、そこでは申請された装置利用課題の採択可否を技術的観点で検討した採否案を、実施機関以外の有識者であるアドバイザー2名に承認いただくことで決定した。なお、この表には個別の情報交換のためのやりとりは含まない。表1では日立製作所を日立、ファインセラミックスセンターをJFCC、九州大学を九大、東北大学を東北大と略す。

表1 令和2年度に実施した運営委員会

実施日	参加機関	実施形態	議題
R2/4/2	日立、JFCC、九大、東北大、アドバイザー	メール	課題採否案の審議 課題採否案の承認：採択6件
R2/4/8	日立、JFCC、九大、東北大、アドバイザー	メール	課題採否案の審議 課題採否案の承認：採択2件
R2/5/7	日立、JFCC、九大、東北大、アドバイザー	メール	課題採否案の審議 課題採否案の承認：採択2件
R2/5/27	日立、JFCC、九大、東北大、アドバイザー	メール	課題採否案の審議 課題採否案の承認：採択2件
R2/7/21	日立、JFCC、九大、東北大、アドバイザー	メール	課題採否案の審議 課題採否案の承認：採択1件
R2/10/14	日立、JFCC、九大、東北大、アドバイザー	メール	課題採否案の審議 課題採否案の承認：採択1件
R2/11/20	日立、JFCC、九大、東北大、アドバイザー	メール	課題採否案の審議 課題採否案の承認：採択1件
R3/1/4	日立、JFCC、九大、東北大、アドバイザー	メール	課題採否案の審議 課題採否案の承認：採択3件
R3/1/27	日立、JFCC、九大、東北大、アドバイザー	メール	課題採否案の審議 課題採否案の承認：採択2件

2) 他のプラットフォームと連携するための取組

令和2年度は他のプラットフォームとの連携が必要となる利用課題はなかったため、技術的な連携は行なわなかったが、令和2年11月8日～10日に幕張メッセで開催されたJASISの展示会場において他のプラットフォームの担当者とプラットフォーム運用面の課題を共有した。また、各プラットフォームが連携して今後の取組の方向性を検討するプラットフォーム連絡協議会をリモートで2回（令和2年4月8日、8月7日）実施した。コーディネーター、業務主任者及び実施担当が共用プラットフォーム事業をより浸透、活性化させて今後継続発展するための課題や次の共用事業あるべき姿などの今後の施策を議論した。特に令

和2年8月には文部科学省にも参加いただき装置共用や研究のデジタル化や遠隔からの装置利用立合い（リモート化）における課題や試作について議論した。その内容は文部科学省主催でリモート開催された第8回研究開発基盤部会にて各プラットフォームから報告した。

②利用支援体制の構築

リエゾン業務とコーディネーター業務を代表機関に置き、業務主任者、コーディネーター、実施担当1名の合計3名で実施した。

業務主任者はプラットフォームの運営と支援体制構築に関わる全体とりまとめを担当した。コーディネーター及び実施担当1名は、ホームページの管理、利用者への対応、試料形状や加工法についての相談及び計測試料の受け渡しなどの他の実施機関との連携、会議の開催等、より具体的には、装置利用の申込みに対する窓口業務、申し込まれた課題の内容を検討する運営委員会（オンライン会議・電話会議や電子メールを含む）の設定と進行、仮決定された採択課題をアドバイザーに承認いただく作業、JASISをはじめとする展示会や関連学会での広報活動（具体的には、ホームページやパンフレットなどの広報ツール用コンテンツの準備とそれらの制作者への発注、学会での展示ブース申込みや各種研究会でのプラットフォームの紹介等）などを担当した。

また、具体的な支援環境は下記のとおりである。

1. 共用装置利用者である外来者の情報セキュリティを確保できるスペースの確保及び個室を準備し、インターネット環境、ドアロック、室内備品(机・椅子等)等を完備した。ただし、令和2年度は新型コロナウイルス感染拡大の影響により装置利用の立合いは実施できなかったため本スペース及び個室を使用することはなかった。
2. 取得した大容量画像データを実施機関と利用者がインターネット環境からIDとパスワードを取得してリモートアクセスできるシステムを、日立製作所の原子分解能・ホログラフィー電子顕微鏡と九州大学の加速電圧300kVホログラフィー電子顕微鏡に装備した。利用者の利便性と効率を考慮して上記システムを利用するか否かは個別に判断した。その結果、令和2年度は日立製作所と九州大学との間で技術情報を共有することだけに利用した。

課題募集方法は、利用者の利便性を考慮して締め切りは設けずにいつでも申込みを受け付け、その都度、運営委員会を電子メール会議により実施して採択可否と実施機関の決定を行う方法をとった。

実施機関や利用装置の決定に際しては、利用者の要求する計測の仕様に

基づいて共用機器の性能や特徴と利用者の利便性も総合的に判断して決定した。そして、その案をアドバイザーにその都度、電子メールにて確認してもらい、承認を受けたうえで最終決定し利用者に連絡するという方法をとった。また、運営委員会ではそれぞれの実施機関における課題の進捗状況共有も電子メールを用いて随時行った。さらに、いずれの利用形態でも事前に申し出があれば非公開の案件も受け付けた。

利用する装置が決まった段階でその装置を保有する実施機関が利用者の対応をすべて行った。共用機器の使用料金は、共用を実施する各実施機関の口座にそれぞれ直接利用者が振り込む形をとった。そうすることで、利用者は利用する装置を所有する機関とのみ直接やり取りをするだけで済むこと、及び、代表機関から実施機関口座への振込み手続きが不要になるという二つの効率化が図れた。なお、各実施機関が利用者が発行する請求書や振込み証拠書類等の写しは代表機関がまとめて管理した。

また、協力機関からのアドバイスを受ける際には、特に代表機関が間に入らず、課題に取り組む機関がそれぞれ国立研究開発法人理化学研究所の研究者と技術的なディスカッションを行った。また、令和2年度は、相談を受けた利用課題において他のプラットフォームで取り組むのにふさわしいものはなかったため、他のプラットフォームに紹介することはなかった。

日立製作所は、原子分解能・ホログラフィー電子顕微鏡（1.2 MV）と超高圧ホログラフィー電子顕微鏡（1 MV）の2台の超高圧ホログラフィー電子顕微鏡とホログラフィー電子顕微鏡（350 kV）の3台の装置を共用することを主な業務とした。業務主任者及び実施担当の大半は電子顕微鏡技術者であり、共用とそのサポートを行った。電子顕微鏡技術者以外の実施担当は財務、渉外、事務などの業務を担当した。

令和2年度は装置利用のリモート化を試験的に導入した。令和元年度までは共用機器の操作は原則としてプラットフォーム機関のメンバーが行い、装置利用課題提案者が立ち会う形で実施していた。令和2年度は新型コロナウイルス感染拡大の影響により課題提案者の立合いなしで実験せざるを得ない状況となった。事前のリモート会議での打ち合わせのみでなく、計測しながら課題提案者の判断を仰ぐ必要があるような課題に対しては顕微鏡画像を汎用のリモート会議システムで共有することを試行した。その結果、注視すべき試料の部位や起きている現象に対する、実験者と利用者の間の食い違いが激減した。実験結果の確認がその場で共有できる点以外にも、冷却実験の場合には高価な液体ヘリウムなどの冷却材の無駄を減らす効果が得られ、概ね利用者には好評であった。今回の試行により画質や通

信品質の向上などの課題が見い出せた。

③ワンストップサービスの設置

プラットフォーム専用ホームページの維持管理と装置利用の申込み・問い合わせ窓口、研究実施に関する覚書締結などは代表機関で一本化することで、利用者からのワンストップサービスとしての利便性を図った。なお、前述の通り、装置利用に関するすべての対応は利用した装置を所有する実施機関で行ったため、装置利用料の支払い口座は実施機関ごとに設けた。また、プラットフォーム専用ホームページは令和元年度に引き続き日本語版と英語版を公開した。このホームページに問い合わせのメールアドレスや装置利用申込方法を掲載した。このホームページへの令和2年4月1日から令和3年3月31日までのアクセス数は約11万回（令和元年度比48%増）であった。1日あたりのページビュー平均回数も300回程度（令和元年度比25%増）に増加し、本事業が先端計測分野に浸透してきたことがこれらの数値にも表れたと考えている。コーディネーターは、プラットフォーム専用ホームページの維持管理と装置利用の申込み・問い合わせ窓口、研究実施に関する覚書締結などを代表機関で一括に運営し、利用者から見てワンストップサービスとなるように運営した。すなわち、利用申込みは代表機関のコーディネーターが対応し、申込み・問い合わせ、装置利用課題の内容のヒアリング、研究実施に関する覚書締結など利用装置が決まるまでの対応をすべて行った。利用装置が決定した後は各実施機関で対応者を充て、利用者へのサービスをワンストップで行った。

令和2年度前半は緊急事態宣言の影響で装置利用申込数が伸び悩んだ。また、日本顕微鏡学会学術講演会の会合中止と紙上開催への変更などで広報活動の場が大きく制限された。そこで、過去の利用者に①ホログラフィーに限らず実験停滞で困っていることはないか、②論文化に向けて追加の実験は必要ないか、③費用は状況を鑑みて相談に乗る、といった案内を行った。その効果もあり、令和元年度よりは減少したものの平成30年度と同数の20件の利用を確保できた。

④ 共用機器

代表機関の日立製作所が管理する代表的な共用機器は写真1に示す二台の超高圧ホログラフィー電子顕微鏡である。1. 2MV原子分解能・ホログラフィー電子顕微鏡は高加速化による高い透過能だけではなく、世界で唯一超高圧電子顕微鏡用の収差補正器を内蔵することにより空間分解能の

面でも優れた性能を保持している。また、1 MVホログラフィー電子顕微鏡は室温から極低温(～5 K)に至る温度を安定に実現する試料冷却機構のほか、試料に対して任意の方位から磁場印加可能な機構を備えている。上記二台の他、ホログラフィー電子顕微鏡(350 kV)も共用機器として保持している。



超高压ホログラフィーTEMの概観

(a) 1.2MV原子分解能・ホログラフィーTEM	(b) 1MVホログラフィーTEM
完成年 : 2014年	完成年 : 2000年
加速電圧 : 1.2MV	加速電圧 : 1MV
空間分解能 : 43pm	空間分解能 : 120pm

写真 1 代表機関の主な共用機器

⑤ 人材育成

各実施機関で行われた若手研究者向けのセミナーの開催や若手研究者の育成の取組に関して、代表機関としてその企画をとりまとめてその実施内容をホームページに掲載した。なお、代表機関では今後の電子線ホログラフィー技術を担う人材として平成31年4月にポスドク1名を採用し、OJTとしてホログラフィー計測法に関する支援を行った。

⑥ ノウハウ・データの蓄積・共有、利用システムの標準化、技術の高度化に向けた利用支援(利用と機器開発の連携拡大)等

超高分解能の電磁場計測に関するノウハウの蓄積が着実に進んだ。このノウハウには、CREST・さがけ複合領域「計測技術と高度情報処理の融合によるインテリジェント計測・解析手法の開発と応用」の研究

究により蓄積した手法に関するノウハウも含まれる。また、データの共有という観点では、令和2年度に実施した利用課題の報告をまとめた冊子を作成し、実施機関、アドバイザー、利用者に配布した。冊子のPDFデータは保存し、今後の利用者の要望に対して必要に応じて閲覧できるようにした。

利用システムの高度化に関しては、原子分解能・ホログラフィー電子顕微鏡の大容量画像データをアップして、ライセンスされた利用者が閲覧できる専用クラウドシステムを運用した。前述のように、利用者の利便性と効率を個別の課題ごとに考慮して上記システムを利用するか否かを判断した結果、利用者とのデータ共有には使用せず、日立製作所と九州大学とのデータ共有のみに利用した。

また、装置利用テーマにおいて新たな機器開発の具体的課題を見出した場合は、装置メーカーや試料ホルダ専門メーカーなどと連携して開発提案ができるようにメーカーとは密接な関係を維持した。特に、観察試料がガス中・液中などの真空ではない環境下に置かれた状態での観察、いわゆる「その場観察」や「オペランド計測」の需要の高まりを受け、令和2年度は代表機関の開発予算でガスや液体中で計測可能なホルダを試験的に導入し、超高圧ホログラフィー電子顕微鏡に装着して予備的な実験を実施した。

⑦ コミュニティ形成、国際的ネットワーク構築

利用者の拡大のため、令和2年11月8日～10日に幕張メッセで開催されたJASIS 2020にて紹介ブースの開設及びポスター展示を行った。また、代表的な共用装置である原子分解能ホログラフィー電子顕微鏡の実験室と会場を結び、後述するリモート立合い実験のデモを行った。合計6名の研究者・技術者からは、装置に関する技術的な質問や装置利用に関する具体的な問い合わせに対し適時対応した。このほかに、令和2年11月16日～18日に東京で開催されたナノテスト学会第40回シンポジウムでポスター展示により広報活動を実施し、2件の技術相談があり、うち一件は装置利用課題として取り上げた。令和2年度は新型コロナウイルス感染拡大により多くの学会や展示会がリモート開催となったなか、この二件はオンサイトで開催されたイベントであった。

令和2年5月25日～27日に大阪国際交流センターで開催される予定であった日本顕微鏡学会学術講演会は急遽一ヶ月前に紙上開催に変更され、学術講演以外（企業展示、装置デモ）はすべて中止となった。そのため、広報活動の充実を図る目的で別途日本磁気学会誌への広告を挿入した。広告を見たかつての利用者の先生より、論文化に向けて手許にある300k

V電子顕微鏡での実験データに加えて1MVホログラフィー電子顕微鏡でのデータが欲しいとの要望を受け、最終的には正式な装置利用として実施に至った。

国際的ネットワーク構築という観点では、令和2年度も海外からの利用が一件あった。また、小惑星探査機「はやぶさ2」が持ち帰った小惑星「リュウグウ」の試料の分析を行うための予備実験に成功し、国際的な分析プロジェクトのメンバーとして参加することになったことは新たなコミュニティへの参画と国際的ネットワークの構築として挙げられる。

⑧ その他

1) 装置利用結果の件数と新型コロナウイルス感染拡大の影響

代表機関は、令和2年度の装置利用課題の受付と結果のとりまとめを行ったので4実施機関で実施した課題の概要をこの項においてまとめて報告する。装置利用を前提とした相談は22件、利用を前提としない技術相談が1件あった。実際に実施した利用課題は20件である。また、実施内容の非公開を希望する案件が17件、利用者名・所属機関名のみ非公開を希望する案件が1件あった。表2には実施内容の非公開案件を含む20件を示す。令和2年度は開始直後から新型コロナウイルス感染拡大による緊急事態宣言が出され、装置利用にも大きな影響が出た。特に研究開発費の凍結が行われたと思われる民間企業の装置利用が令和元年度の7件から3件に減ったことが総数の減少に大きく影響した。しかしながら、大学等の公的研究機関からの利用件数は堅調だったため利用件数は令和30年度と同等の20件を確保することができた。

表2 令和2年度に実施した装置利用課題

番号	提 案 内 容	提案者 所属機関	実施 機関	申請書 受領年月日
1	Study of Radiation Damage from High-Energy Electrons on Organic Molecules : 干渉性の高い超高圧電顕を用いて、有機分子試料の回折パターンのドーズ量依存性を解析し、試料が高エネルギー電子線から受ける損傷の影響評価を試みる。	Paul Scherrer Institut (スイス)	日立	R1/10/9 (前年度より継続)
2	FeAl 合金の塑性誘起強磁性と力学機能の相関 : FeAl 合金を FIB 加工により薄片化し、膜内部に生成した転位の分解により形成されるリボン状の APB (※) の磁性を観察する。(※APB : 結晶中で原子配列の位相が半周期ずれた面状格子欠陥 (Anti-Phase Boundary))	京都大学	日立	R2/2/14
3	電子線ホログラフィーを用いた遷移金属酸化物のドメイン構造解析 : マグネタイトの Fe サイトの一部を磁性遷移金属で置換した (Co,Fe,Mn) ₃ O ₄ 系酸化物のドメイン構造を電子線ホログラフィーで調べる。R2 年度は、ホログラフィー計測に適した試料の検討と試料調整、及び予備観察を実施した。	九州工業大学	九州大学	R2/4/7
4	高周波トランス用 MnZn フェライトの磁区構造観察 内容非公開	非公開	東北大学	R2/4/17
5	非公開	非公開	日立	R2/2/14
6	電子線ホログラフィーを用いた GaAs p-n 接合試料の光起電力効果の可視化 : GaAs p-n 接合試料における光起電力効果を、TEM 内の試料に光照射し電子線ホログラフィーにより電位分布変化を計測することでその場観察する。	古河電気工業 (株)	JFCC	R2/4/27
7	宇宙塵分析用試料の透過膜厚限界 : 「はやぶさ 2」が持ち帰る宇宙塵のナノ領域磁性分析を電子線ホログラフィーにて行うことを見据え透過膜厚限界を調べる。分解能等の実験条件は予備観察結果により決定する。	北海道大学	日立	R2/5/14
8	p 型 GaN 半導体における電位分布観察 : 一般的に n 型よりも低い活性化率を示すといわれる p 型不純物を導入した半導体 (p-GaN) にて断面観察用の試料を作製し、膜の深さ方向に形成される電位分布を観察する。	産業技術総合研究所	JFCC	R1/10/28 (前年度より継続)

9	電子線ホログラフィーによる VS_2 層状物質の形態解析 新たな手法で合成された硫化バナジウム (VS_2) の構造や積層枚数等を、電子照射損傷を抑えた条件で評価するために、電子線ホログラフィーと電子直接検出器を駆使したデータ収集・解析を行う。	大阪大学	九州大学	R2/5/27
10	Fe-X 系軟磁性粉末の磁気特性に与える結晶構造の影響：結晶学的な微細構造と磁区構造の相関解明に注視した解析を、Fe-X 系軟磁性粉末（薄片化した試料）を用いて明らかにする。外微磁場印加状態での観察は本事件後に東北大・多元研の装置による実施を予定している。	産業技術総合研究所	九州大学	R1/11/14 (前年度より継続)
11	電子線ホログラフィーを用いたアモルファス磁性合金の結晶化過程と磁気特性の評価：Fe-B-Si 系を代表とするアモルファス磁性合金での結晶化過程に伴う結晶構造/微細構造変化と磁気特性/磁氣的微細構造の変化を調査する。R2 年度はホログラフィー計測に適した試料の検討とその調整を行った。	大阪府立大学	九州大学	R2/4/7
12	深紫外 LED 素子内部トンネルジャンクションの電子線ホログラフィー観察：低電圧駆動化に成功した深紫外 LED の AlGaIn/AlGaIn 素子内部のトンネルジャンクション n-p 接合界面付近の電位分布を観察する。	名古屋大学	JFCC	R2/10/13
13	電子線ホログラフィーによる BaTiO_3 ナノ結晶の電気分極解析：新規な手法で合成した BaTiO_3 ナノ結晶を並べた単層膜（強誘電体）の電気分極の様子を、電子線ホログラフィーで直接観察する。	産業技術総合研究所	九州大学	R2/7/21
14	Fe_3O_4 サブミクロン中空粒子の磁化状態観察：中空マグネタイト粒子においてシミュレーションにより予想された spin vortex 構造の形成や不均一状態の発現をホログラフィーによる磁化状態観察により検証する。	岩手大学	日立	R2/11/17
15	極低温用途向けの巨大磁気熱量効果を有する新規化合物の実現：極低温磁気冷凍の有望材料として注目される ErCo_2 化合物が極低温下でどのように相転移するか。また、Mn を添加した $\text{Er}(\text{Co}_{1-x}\text{Mn}_x)_2$ 化合物では、磁気転移のエネルギー障壁がどのように変わるかを明らかにする。	物質・材料研究機構	日立	R3/3/18
16	半導体デバイス内部の電位分布観察：パワー半導体内部の電位分布を、ナノオーダーの高い分解能で定量評価できるか検証する。また、評価可能な不純物濃度域を検証する。令和 2 年度はバイアスなしでの観察に留める。	富士電機（株）	JFCC	R3/2/28

17	ZnO ナノワイヤー内部の光照射電子線ホログラフィー計測： ZnO ナノワイヤーの試料について、電子顕微鏡内で光（たとえば緑色の LED 光）を照射し、ナノワイヤー内部の電位分布に変化が生じるかどうかを実験的に確認する。	九州大学	JFCC	R3/3/15
18	ローレンツ電子顕微鏡法による Mn_3Sn のベリー位相の直接観察：ベリー位相による異常ホール効果が現れる反強磁性体： Mn_3Sn を対象にベリー位相の実空間観察を行う。特に、フェルミレベル近傍における非弾性散乱を稼ぐことを目的に厚い膜厚領域を観察対象とする。	名古屋大学	日立	R3/3/15
19	非公開	非公開	東北大学	R3/1/26
20	磁性体（ピロータイト）の加熱電子線ホログラフィー分析：ピロータイトと呼ばれる磁性体（FeS）が含まれているとされる「はやぶさ 2」が持ち帰ったサンプル観察の予備実験として、地球上で形成されたピロータイト内部の磁区構造を電子線ホログラフィーで観察し、加熱前と加熱後の磁区構造の変化や磁束密度を定量的に観察・評価する。	北海道大学	JFCC	R3/1/26

2) B K T 転移の実験検証に関するニュースリリース

平成 29 年度の大阪府立大学の装置利用の計測結果とその後の追加計測結果の解析を進めたところ、2016 年ノーベル物理学賞を受賞した物質の相転移に関する研究成果の一つであるベレジンスキー＝コステリッツ＝サウレス転移（B K T 転移）を固体物質で初めて検証した可能性があることが判明した。この成果は、“「消えては結ぶ磁気の渦」ノーベル賞予言に迫る渦と反渦の観察－磁気模様の直接観察に世界で初めて成功－”というタイトルで国立大学法人岡山大学（以下、「岡山大学」という）・公立大学法人大阪府立大学（以下、「大阪府立大学」という）・大学法人放送大学（以下、「放送大学」という）の連名で令和 2 年 12 月 16 日にニュースリリースされ、記事には共同研究機関として日立製作所が、そして本事業による装置利用で実験を行ったことが記載された。

2. 3 実施内容（実施機関）

①利用支援体制の構築

【機関名：一般財団法人ファインセラミックスセンター】

本機関では、業務主任者兼担当責任者と実施担当からなる支援体制を整備した。なお、実施担当は平成 30 年度から本機関で 3 名雇用（それぞれの本事業での人件費の支出率は、業務担当職員 1 名は 30 パーセント、も

う1名は65パーセント、補助者1名は100パーセント）を継続し、令和2年度も本機関が担当すると決定された課題について、業務主任者と電子線ホログラフィーを専門とする実施担当で解析手法を検討し、手分けして実験と解析を担当した。古河電気工業株式会社からの課題（表2課題6）については、古河電気工業株式会社から半導体物性理論に関する助言を得ながらデータの解釈を行った。また、古河電気工業株式会社社内でのTEM試料作製に対しては、ファインセラミックスセンター所内協力者から試料作製ノウハウに関する助言をした。富士電機株式会社（表2課題16）との技術打ち合わせは、代表機関と実施機関のメンバー、及び申請者がリモート会議で行った。従来、ファインセラミックスセンターが技術相談や共同研究を受けてきた企業・大学との連携関係を生かして本事業としての電磁場解析を発展させるとともに、新規利用者を開拓した（表2課題12、16）。

また、単なる装置利用時間だけでなく、データ解析や事前準備に技術スタッフが従事する時間も考慮して装置使用料を算出した。

【機関名：国立大学法人九州大学超顕微解析研究センター】

本機関では当初計画として、業務主任者兼担当責任者と、2名の実施担当（それぞれ技術系、事務系の業務を担当）からなる支援体制を整備した。なお、技術系の実施担当は本事業で雇用する学術研究員（平成29年度から雇用を継続）の予定だったが、令和2年度は2回交代した。また、テクニカルスタッフを雇用し、実験データの解析のために短期的に職域限定職員を雇用することで令和2年度も引き続き高度な技術支援業務を維持した。

本機関で実施される課題については、業務主任者、技術系の実施担当、課題申請者の三者による協議を経て、綿密な実験計画を立案した。業務主任者は課題進捗状況の掌握、データ解析や取りまとめの主導、装置の維持管理に関わる業務（修理が必要な事案への対処など）を行った。実施担当は、要請に応じて試料調製や予備的な電子顕微鏡観察を行うとともに、電子線ホログラフィーに関わるデータ収集とその解析、並びにホログラフィー電子顕微鏡のメンテナンス業務を担当した。物品購入契約等に関しては、事務系の実施担当が業務支援にあたった。

なお、令和2年度の業務では、新設された超高感度カメラ（電子直接検出カメラ）の活用などホログラフィー電子顕微鏡の機能強化を図るために、九州大学超顕微解析研究センターの助教が実施担当に加わり、同年9月より本事業に関わるデータ収集や機器管理に務めた。また、令和3年1月～3月の期間は、短期雇用した職域限定職員（実施担当）が、令和2年度後

期に取得された大量のデータの解析支援にあたった。以上の取組によって、令和2年度の事業を遅延なく完遂させることができた。

令和2年4月～5月の期間は、新型コロナウイルスの感染拡大に伴い九州大学の研究教育施設の利用が制限された。機器の共用を本格的に再開した令和2年6月以降も、令和2年度中は対面式での研究支援は困難と判断した。このため、令和2年度の事業ではオンライン会議システムを利用した課題申請者との討論、データ確認・共有等の支援機能を整備し、直ちに活用した。その結果、国立大学法人九州工業大学（以下、「九州工業大学」という）の「電子線ホログラフィーを用いた遷移金属酸化物のドメイン構造解析」（表2課題3）、国立大学法人大阪大学（以下、「大阪大学」という）の「電子線ホログラフィーによる VS_2 層状物質の形態解析」（表2課題9）、国立研究開発法人産業技術総合研究所（以下、「産業技術総合研究所」という）の「Fe-X系軟磁性粉末の磁気特性に与える結晶構造の影響」（表2課題10）、産業技術総合研究所の「電子線ホログラフィーによる $BaTiO_3$ ナノ結晶の電気分極解析」（表2課題13）の各研究課題を滞りなく実施することができた。なお大阪府立大学の「電子線ホログラフィーを用いたアモルファス磁性合金の結晶化過程と磁気特性の評価」（表2課題11）については、試料の調製等が難航したため令和2年度は実施せず、試料提供の準備が整い次第、令和3年度以降にデータ取得を行うこととなった。

【機関名：国立大学法人東北大学多元物質科学研究所】

本機関では、多元物質科学研究所の所長を業務主任者・担当責任者とし、電子線ホログラフィーを専門とする研究者（講師）及び技術職員の実施担当からなる支援体制を整備の上、日本電子株式会社製の加速電圧300kV分析電子顕微鏡JEM-3000Fをホログラフィー観察に活用した。また、これまでに当研究所で開発された各種試料ホルダ：磁場印加ホルダを中心に、2探針ピエゾ駆動ホルダ、光照射ホルダ、熱電子照射ホルダ、冷却・加熱ホルダを活用し、共同研究に供した（令和2年度に本プラットフォームで使用した特殊ホルダは、2探針ピエゾ駆動ホルダ（表2課題19）、磁場印加ホルダ（表2課題4）、加熱ホルダ（表2課題4）の3種であった）。なお、本事業では業務担当職員（学術研究員）1名を雇用した。

コロナ禍においては顕微鏡室での人数を減らす必要が生じ、また依頼者の出張立ち合いも実施できなくなった。そうした中でも実験を進められるように、遠隔の部屋からオンライン会議システムを通して顕微鏡PC画面を視聴できる簡易的な環境を整備した。具体的には、顕微鏡のPC（オフ

ラインで運用)の画面をHDMIキャプチャを用いてオンラインのPCに取り込み、その画面をオンライン会議で共有した。この環境により、プラットフォームの課題においても、申請者の遠隔立ち合いが可能となり、実際に課題4、19において利用した。

②共用機器

【機関名：一般財団法人ファインセラミックスセンター】

加速電圧300kVホログラフィー電子顕微鏡

試料ステージが上下に二段あるダブル試料ステージでバイプリズムを4本装備しており、目的に合わせたフレキシブルな光学系が設定できる。また、低温冷却高温加熱、電圧印加、雰囲気遮断等特殊試料ホルダを装備している。

【機関名：国立大学法人九州大学超顕微解析研究センター】

加速電圧300kVホログラフィー電子顕微鏡

観察対象や研究目的に応じて加速電圧を100kV、200kV、300kVの各条件に設定可能。二箇所の試料挿入位置を使い分けて、無磁場状態、磁場印加状態のいずれかの条件で試料を観察できる。試料に対する加熱、冷却(液体窒素を用いた冷却)、電圧印加を実施可能。永久磁石材料など、金属磁性材料の観察に有効なホログラム収集条件(レンズデータ)を整備している。

【機関名：国立大学法人東北大学多元物質科学研究所】

加速電圧300kV分析電子顕微鏡

各種試料ホルダを使い分けることで、試料に対し外部磁場、電流プローブ、光照射、熱電子照射、温度コントロール等を行うことができ、その場観察に適した仕様になっている。他機関の電子顕微鏡にない特徴として、動的磁場下における磁壁の運動をローレンツ顕微鏡法でリアルタイムに観察できるシステムを組んでいる。

③人材育成

【機関名：一般財団法人ファインセラミックスセンター】

令和2年度は半導体のホログラフィー観察技術習得を希望する修士課程の学生を研修生として受け入れ、令和3年度から博士課程に進学することになった。今後本事業に関連する研究分野で活躍できる人材に育てる計画である。

令和元年度まで博士研究員（ポスドク）として本事業に貢献した実施担当は令和2年度からパーマネント職として雇用した。これまで本プラットフォームの仕事に従事して電子線ホログラフィーの基本的理解、高度な技術を習得しており、既存の技術を使えるだけでなく、更に精度や信頼性の高いデータを取得するためのスパースコーディング等の新しい画像解析手法の開発と改良にも取り組んだ。今後はこの分野を更に発展させる人材として大いに活躍する見込みである。令和2年度は、過去に出向者としてファインセラミックスセンターに滞在し帰任した人材との共同研究も発展させ、企業内での技術向上と人材育成に貢献した。新型コロナウイルス感染拡大の影響で実験現場での実践的技術指導は実施できなかったが、結果の解釈など、Eメールやオンライン会議を通して共同研究を継続した（表2課題6）。

【機関名：国立大学法人九州大学超顕微解析研究センター】

令和2年度は、“最先端の研究課題”と“豊富な人材交流”というプラットフォーム事業の特徴を活かした実践的指導を重視し、電子線ホログラフィーの研究・事業を将来にわたって担い得る人材の育成を図った。特に（1）効率的な実験計画の策定、（2）実験データの適切な処理と解釈、（3）課題申請者への情報提供と討論、これら三点を実施担当が主導する機会を設けて、自立した研究者としての成長とキャリア形成を促した。人材育成にあたっては、週1回の頻度で行う業務主任者-実施担当間の個別打合せと、年数回の頻度で行う課題申請者との討論機会を積極的に活用した。

具体的な人材育成事例としては、令和2年度から参画した実施担当の助教（特定有期教員：30代）に対して電子線ホログラフィーの学理と技術を毎週1回の頻度で（個別打合せの機会等を利用して）指導した。さらに、課題申請者との討論を主導する機会を提供し、電子線ホログラフィーに関わる研究計画を立案、実践、総括する技量の強化を図った。これらの取組を通して、電子線ホログラフィーが同助教の専門の一つとなり、当該分野の将来を支える人材を育成することができた。令和2年9月から雇用した実施担当（テクニカルスタッフ）についても、電子顕微鏡に関わる高度な操作技術を修得させ、自らが装置を使いこなすだけでなく、初心者に対する指導を実施できる段階に至り、同人の技量向上を促すことができた。

課題申請者とその研究グループに対しては、業務主任者が電子線ホログラフィーの基礎や技術の紹介をセミナー形式、または研究討論の形で行い、特に本事業に参加する学術研究員、テクニカルスタッフのスキルアップを支援した。大阪大学の表2課題9については、大学院博士課程の学生2名

に対して、令和2年9月7日に電子線ホログラフィーの基礎等をオンライン会議で教示した。また、産業技術総合研究所の表2課題10と表2課題13については、各1名の若手・中堅研究者に対して、それぞれ令和2年11月16日と令和3年1月15日にオンライン会議で技術・解析の詳細を指導した。

この他にも、本機関で年10回開催された学内利用者向けの技術研修会（利用者の多くが大学院生や若手の研究員等）や、電子線ホログラフィーに関係した講義等を通して、アトミックスケール電磁場解析に関わる研究の啓蒙活動を行った。技術研修会に関しては、例年、300人を越える受講者を集めている。令和2年度は、新型コロナウイルス感染拡大にともない令和2年4月～6月の研修会は中止した。しかし、これまで対面形態でのみ実施していた講義をオンライン会議でも実施可能としたほか、電子顕微鏡の操作に関わる実習についても重要部分を厳選した課題を整備し、少人数グループに対して短時間での講習を施すなど運営上の改善を図った。その結果、上記3ヶ月間の空白期間が存在したにも関わらず、年度末までに合計19回の研修会を実施し、240人の学生・若手研究者に講義と実習を施すことができた。令和2年度に整備した講習の新形態は、ポストコロナの局面でも有効に利活用できるものと考ええる。

【機関名：国立大学法人東北大学多元物質科学研究所】

様々な研究内容に対応できるように、担当技術職員に対して講師が電子線ホログラフィーの基礎から応用までを指導し、専門的な情報を共有した。

試料加工とホログラフィー観察の基礎セミナーを令和2年11月5日と12日に学生7名に対し実施した。このセミナーにおいて座学での指導及び実際の装置を用いた実技指導を対面で行った。

④ノウハウ・データの蓄積・共有、利用システムの標準化、技術の高度化に向けた利用支援（利用と機器開発の連携拡大）等

【機関名：一般財団法人ファインセラミックスセンター】

担当した電磁場解析における経験を蓄積し最適な解析条件の標準化を図り、解析業務の効率化と迅速化に役立てた。また、技術の普及と利用者の拡大に活用した。令和元年度に科研費により作製した光照射試料ホルダを用いて、化合物半導体の光起電力効果を定量的に計測することに成功した（表2課題6）。

【機関名：国立大学法人九州大学超顕微解析研究センター】

令和2年度は、高感度の電子直接検出カメラを当該事業でも積極的に活用した。九州大学のホログラフィー電子顕微鏡は、観察対象に応じた加速電圧の選定、特に日立製作所の超高圧電子顕微鏡と相補的な低加速電圧条件（100kV～300kV）の設定が可能である。電子直接検出カメラと加速電圧の調整機能を組み合わせることで、電子線照射に弱い試料の観察を拡充できることから、当該事業における新たな研究基盤として活用を図った。

同カメラについては、令和元年度の機器導入以来、業務主任者、実施担当、並びにメーカー技術者の協働による詳細な特性評価を継続してきた。令和2年10月28日に実施したオンライン会議において、これまでの特性評価を総括し、データ収集・研究支援における最適な利用条件を選定した。最適化された電子直接検出カメラは、九州工業大学の課題3、大阪大学の課題9、産業技術総合研究所の課題10、産業技術総合研究所の課題13において活用され、良質な電子線ホログラムの取得に貢献した。特に電子照射に弱い大阪大学の試料では、カメラの高感度特性を最大限に活かして、これまでに比べて1/10の電子線照射量でも十分な像質のホログラムを取得することができ、事業の推進に大きく貢献した。

また令和2年度は、九州大学の情報基盤研究開発センターと連携して、動画を含む大規模電子顕微鏡画像を同大学のスーパーコンピュータで処理する枠組（データ転送や保存に関わる機能を含む）を構築しており、電子直接検出カメラで取得されたデータを含め、当該事業で取り扱う大規模画像データの処理に対して有効に活用した。ここで整備されたデータ転送や保存に関わる機能は、令和3年度から新規に実施される文部科学省の先端研究基盤共用促進事業（令和3年5月時点で課題選考中）や、同じく文部科学省「マテリアル先端リサーチインフラ」（九州大学はハブ機関として参画）など、マテリアルDXに関わる次期大型プロジェクトでも活用が期待される。

【機関名：国立大学法人東北大学多元物質科学研究所】

装置利用課題の経験を蓄積し試料準備やデータ解析法のノウハウを蓄積して、計測業務と解析業務の効率化と迅速化に役立てた。具体的にはローレンツ顕微鏡像から磁壁幅を求める作業のPythonスクリプトを利用した半自動化や、ホログラフィーで得られたノイズの強い位相再生像を解釈する際に、ローレンツ顕微鏡像から強度輸送方程式を用いて求めた位相再生像のカラーマップを重ねて表示することで図の解釈を容易にする工夫など

を实践した。また、こうして得られたノウハウを他の利用者にも紹介することで、技術の普及と利用者の拡大につながる活動をした。

電子回折が位相再生像に及ぼす効果の研究や、電場変動を検出する手段としての振幅再生像の新しい活用方法等の技術の高度化を進めた。成果の一部をレビュー論文（Daisuke Shindo, Zentaro Akase, “Direct observation of electric and magnetic fields of functional materials”, Materials Science and Engineering: R: Reports 142 100564 - 100564 2020 年 10 月）の中で紹介した。

⑤その他

【機関名：一般財団法人ファインセラミックスセンター】

令和元年 6 月 16 日～19 日に名古屋市で開催された国際シンポジウム（日独セミナー）は好評であったため、日独双方から令和 3 年度にドイツで開催することを検討する準備会合を令和 2 年度に実施する予定であったが、新型コロナウイルス感染拡大のために会合は見送られた。

【機関名：国立大学法人九州大学超顕微解析研究センター】

九州大学・超顕微解析研究センターが実施機関となるナノテクノロジープラットフォーム事業との有機的な連携を図った。電子線ホログラフィー（物質材料の電磁場解析）を基軸とする本事業と、分析電子顕微鏡や試料作製装置の利用機会を提供するナノテクノロジープラットフォーム事業を関与させることで、試料作製、結晶の微細構造解析、電磁場解析を九州大学で一括して行う環境が整備されている。電子線ホログラフィーの新規課題を設定する上でも、先端的・汎用的な分析電子顕微鏡技術との連動は有効な場合があり、必要に応じて本機関の関連装置を本事業で活用した。一例として、九州工業大学の表 2 課題 3 については、本事業で取得した電子線ホログラフィーの実験データを、ナノテクノロジープラットフォーム事業で共用される収差補正透過電子顕微鏡による結晶構造解析の結果と対比させることで、複雑な内部構造を示す遷移金属酸化物の磁化分布を詳細に検討することができた。

なお、九州大学、日立製作所、大阪大学の共同研究として、電子線ホログラムのノイズ除去に関わる技術開発を進めている（JST-CREST に関わる研究課題）。上述した電子直接検出カメラを使うと、短い露光時間での画像収集（電子線ホログラムの取得）が可能となり、電子照射誘起の構造変化や試料汚染の抑制に有効である。その一方、露光時間が短い画像では必然的にノイズが大きくなり、データ取得後の画像処理を通して像

質を改善する必要がある。上記のノイズ除去技術は、電子直接検出カメラを駆使した実験に対して有効であり、令和2年度の事業での積極的な利用を図った。関連する研究成果は、本事業に参画する実施担当が米国応用物理学会の学術誌 AIP Advances に筆頭著者として論文発表しており、同実施担当のキャリア形成にも貢献している。

【機関名：国立大学法人東北大学多元物質科学研究所】

令和2年度に日立製作所によって実施された課題番号14の国立大学法人岩手大学の課題は、令和元年度に東北大学で実施した課題が引き継がれたもので、実験計画や実験結果の議論、及び、その後の論文文化（準備中）に東北大のメンバーも引き続き参加しており、本プラットフォームの実施機関の間で連携が図られた。

2. 4 協力機関の取組状況

協力機関として、国立研究開発法人理化学研究所創発物性科学研究センター（以下「理化学研究所」という）は、日立製作所と共同で電子線ホログラフィーの研究開発を長年推進してきた。装置共用の実施機関としては参画しないが、電子線ホログラフィー技術の発展のための必要に応じて技術的な協力が相互にできる体制にある。令和2年度は計測用の試料加工において理化学研究所の協力を得た。計測用試料の作製は、原則として利用者側が自ら、または外注業者に依頼して実施するが、計測を行っている途中で試料に微妙な追加工を施すことでより質の高いデータが取得できるような場合があり、そのような際に日立製作所基礎研究センタに拠点を置いて共同研究している理化学研究所メンバーの協力の下、理化学研究所所有の収束イオンビーム装置を用いて追加工を行った。

もう一つの協力機関である大阪大学超高压電子顕微鏡センターは超高压電子顕微鏡の共用に関して長年の実績があり運用上の多くのノウハウを蓄積していることから、主に運用面での各種アドバイスをもらうことを想定していたが、令和2年度は特にアドバイスを求める必要が生じなかった。

III. フォローアップ調査項目

3. 1 分野融合・新興領域の拡大について

計測分野への高度情報処理技術の導入が進んでいる。プラットフォームの代表機関及び実施機関は電子顕微鏡分野では先駆けてこの技術開発に取り組んできた。たとえば日立製作所と九州大学は国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）CREST・さきがけ複合領域「計測技術と高度情

報処理の融合による「インテリジェント計測・解析手法の開発と応用」に平成28年度から参画した。そこで開発した技術を装置利用課題に適用することで高度情報処理分野との融合を図った。具体的には九州大学で開発した画像位置合わせ用のソフトウェアを日立製作所が取り組んだ課題のデータ解析に試験的に適用し、実践適用における課題を抽出することができた。なお、令和2年度は上記の要素技術開発に関わる成果を複数の論文で発表するとともに（5報掲載、1報採択済み、2報投稿中・準備中）、日本化学会、日本磁気学会、日本金属学会など複数の研究コミュニティで技術の紹介がなされた。微弱な電磁場情報の抽出や、電子顕微鏡によるデータ取得・データ選別の高効率化を基軸とした、分野融合型の大型研究プロジェクトの提案（本プラットフォームの課題申請者が代表、九州大学と日立製作所が参画）にも至っている。また、ファインセラミックスセンターにおいても、本事業の装置利用課題に適用することでも発展させた「スパースコーディング等の高度情報科学手法を用いた画像解析による高感度化・高精度化」が期待以上の効果を持つことが判明し、これまでに学術論文2報掲載、1報投稿準備中である。この画像解析技術は、電子顕微鏡画像のみならずあらゆる次元のデータに適用できる可能性が高く、近い将来、新しい分野の拡大に貢献すると思われる。

また、表2課題7のように電子線ホログラフィーのコミュニティだけでは連携することが難しかったと思われる宇宙を専門とする研究者との接点を得られ、その結果、「はやぶさ2」が持ち帰った「リュウグウ」の試料を計測する機会を得ることになったことは分野融合・新領域の拡大の好例であった。

3. 2 スタートアップ支援について

日立製作所では、平成31年4月に採用したポスドク1名がOJTとして本事業の装置利用課題の計測結果解析に参加しスキルアップした。

ファインセラミックスセンターでは令和元年度まで博士研究員（ポスドク）として本事業に参加した実施担当は令和2年度からパーマネント職として雇用した。また、九州大学では、助教及びテクニカルスタッフが装置共用事業の従事を通してスキルアップした。ファインセラミックスセンターと九州大学に関しての詳細はⅡ. 2. 3. ③に記載した。

3. 3 共同研究・受託研究について

本プラットフォーム事業は令和3年3月で完了する。そのため令和3年4月以降も装置利用を希望する複数の利用者と共同研究、具体的にはNDA契

約を締結して装置利用を継続する予定となっている。

3. 4 試作機の導入・利用による技術の高度化について

令和2年度に新たに導入した試作機はないが、本事業以外の原資で令和元年度に導入した光照射ホルダや電子顕微鏡用の電子直接検出カメラは令和2年度の装置利用課題にも活用され大きく貢献した。Ⅱ. 2. 3④項に詳細を記載した。また本事業実施の4年間を通しての技術開発内容についてはⅣ. 4. 2に記した。

3. 5 ノウハウ・データ共有について

Ⅱ. 2. 2⑥、及び、Ⅱ. 2. 3④に実施機関ごとに記載した。

3. 6 技術専門職のスキル向上・キャリア形成について

Ⅱ. 2. 2⑤人材育成、及びⅡ. 2. 3③人材育成の項に実施機関ごとに記載した。

3. 7 利用アンケートについて

令和2年度は利用アンケートという形式での意見収集は行わなかったが、利用者からのコメントの要約を以下に記載する。

- ・学生の実験技術演習の一環として複雑な形状の試料の磁化マップ構成シミュレーションを実施している。興味深い結果が得られても実験による検証は困難であったが、ホログラフィー電子顕微鏡による計測で計算結果と一致する実測結果が得られて驚いている。まさに百聞は一見に如かず、を実感した。
- ・電子顕微鏡を使った材料観察は頻繁に行っていて、電顕像の解釈にも抵抗はない。しかし、ローレンツ法やホログラフィー法（微小領域の電磁場を可視化する手法）は教科書で知ってはいるが実践するとなると容易ではない。一般的な高分解能観察とともにローレンツ法やホログラフィー法での観察が即座にその場でできたことに本事業の技術レベルの高さと強みを感じた。
- ・表2 課題6：「面白い実験だったと思います。半導体のホログラフィー観察でいろいろと成果が出て良かったです。」
- ・表2 課題12：「綺麗な測定結果で、うまく測れて良かったです。少額でホログラフィー実験ができる良いプロジェクトですね。」
- ・表2 課題16：「複雑な SiC デバイスでも SIMS に似たプロファイルで電位分布が得られており感心した。次年度もお願いしたい。」
- ・表2 課題17：「光照射前、中、後で、ZnO ナノワイヤーの電位の変化が見られ、大変興味深い。今度は波長を変えた実験をお願いしたい。」

・表2 課題20：「FeS の加熱実験において、予想してなかった構造変態があり驚いた。「はやぶさ2」が持ち帰った試料の観察に役立つと思われる。」

IV. 本事業5年間を通しての取組及び成果

4. 1 共用体制

本事業において構築した共用体制とその成果について報告する。

① 構築した共用体制

アトミックススケール電磁場解析プラットフォームは、平成28年度はFS採択（フィジビリティ スタディー採択）となり、国際シンポジウムの開催による装置・技術の周知とコミュニティの拡大を図り、また、装置共用受け入れ態勢の構築を行った。本採択により装置共用を平成29年度から開始した。それまで電子顕微鏡の装置共用はナノテクプラットフォーム事業で行われてきたが、電子線ホログラフィー技術の共用事業は一切行われていなかった。装置保有機関以外の機関がホログラフィー電子顕微鏡を利用する機会は、特定の企業や研究機関との中長期的な共同研究によるものであり、短期的・単発的な利用はほとんどなかった。

平成29年度の事業開始時にワンストップサービス体制を構築した。すなわち図1に示すようなホームページを開設し、装置利用申込みに関する問い合わせ、申込みの受付、技術相談窓口である課題窓口として代表機関の日立製作所所属のコーディネーターに一元化した。



図1 開設したホームページ

装置利用課題受付から利用料支払いまでの流れを図2に示す。「①課題提案」利用希望者からの課題の提案は、ワンストップでコーディネーターが

「②課題窓口で受付」を行う。コーディネーターが受け付けた装置利用課題はコーディネーターと各実施機関の業務主任者またはその代理、及びアドバイザーで構成される「③課題審査会議」によって審議され、採否及び実施機関を決定する。その後、装置を用いた計測・実験・解析、結果の報告、装置利用請求書の送付など利用希望者への対応一切を振り分けられた実施機関の担当者が行う。利用料の支払いに関しては、事業開始時には一括して課題窓口を支払う仕組みとしたが、手続きの効率化のため、実際の運用においては、利用料は各実施機関に直接支払われるようにした。また、図2に示してはいないが、コーディネーターは、これらの進捗状況を各実施機関からメール等で適宜連絡を受け、また、各実施機関から各課題の結果報告書の提出を受ける。

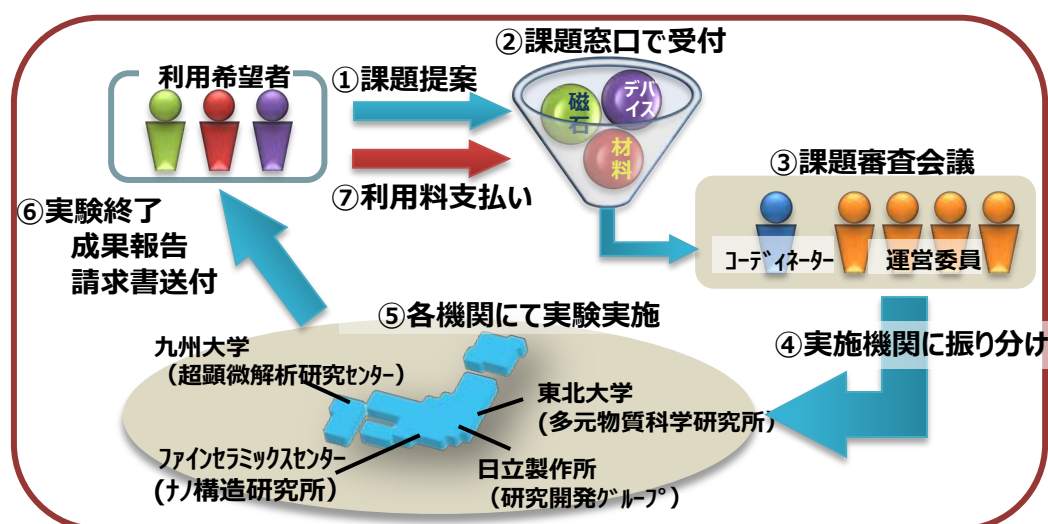


図2 装置利用のフローの概要図

代表機関及び実施機関のそれぞれの共用装置の主な仕様と利用料は、他の公的機関の電子顕微鏡の装置利用料を参考にして以下の表の通り定めて運用した。

表3 共用装置の利用料

実施機関	共用装置	主な仕様	利用料（千円/時間）
日立	原子分解能・ホログラフィー電子顕微鏡	電子加速電圧：1.2MV 最高分解能：43pm	20
	超高圧ホログラフィー電子顕微鏡	電子加速電圧：1MV 最高分解能：120pm	10

	ホログラフィー電子顕微鏡	電子加速電圧:350kV 最高分解能:200pm	3
JFCC	ホログラフィー電子顕微鏡	電子加速電圧:300kV 照射系に1、結像系に3段のパイプリズム	5
九州大学	ホログラフィー電子顕微鏡	電子加速電圧:300kV 最高分解能:200pm	2.6
東北大学	ホログラフィー電子顕微鏡	電子加速電圧:300kV 磁気シールド対物レンズ	3.9

② 本事業の実績・成果

本事業で目指していた目標の一つである電子線ホログラフィーの普及拡大に関して一定の成果を得ることができた。利用者の増加に関しては図3に示したように毎年一定数の新たな利用者が現れ、令和2年度に新規利用者の累積数は30件となっている。また令和2年度の利用件数の累積は70件であることからリピーターが半数以上となっている。本事業開始前の平成28年の状況にくらべて大きな進展があったのがわかる。

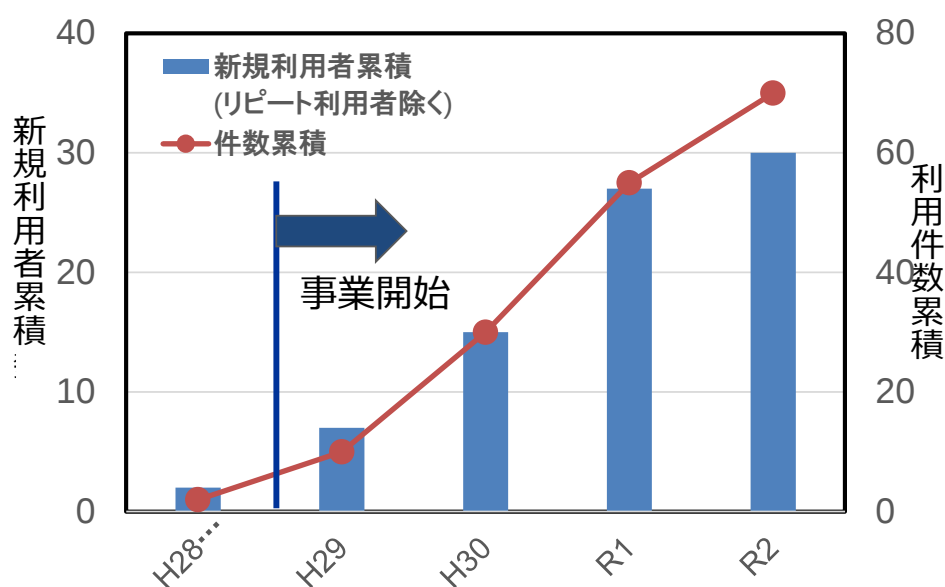


図3 新規利用者数と件数の推移

次にその内容に関する分析であるが、利用課題の研究フェーズと利用機関の分類は図4のとおりである。公的機関における研究の中で基礎研究の利用

が3／4を占めており、民間企業でも製品の基盤技術に関する開発への利用がほとんどであった。

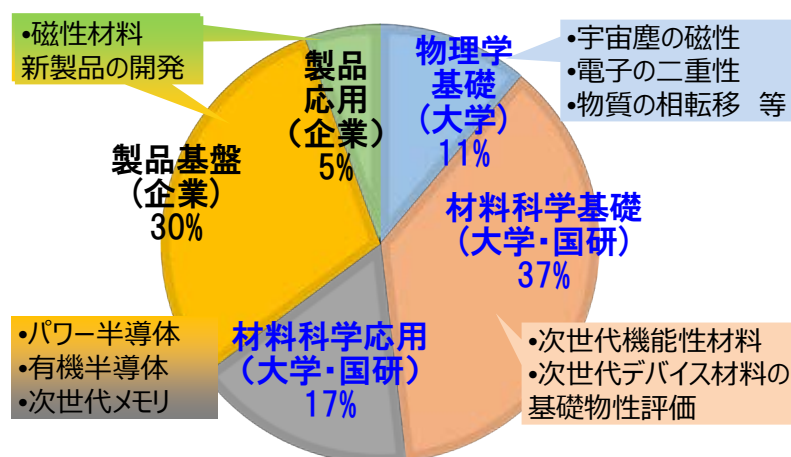


図4 利用課題研究フェーズの分類

本事業でなければ機会がなかった利用例すなわち従来のコミュニティでは開拓が難しかった異分野の研究者との連携の具体例を以下に挙げる。

- ✓ 1) 宇宙塵の磁性計測及び令和3年度における「はやぶさ2」小惑星物質の分析実施の決定
- ✓ 2) 2016年ノーベル物理学賞を受賞した相転移に関する理論BKT転移の実験検証

この成果は日本物理学会誌の注目論文 (Papers of Editors' Choice) に選出された。また、論文掲載時に装置利用機関 (岡山大学・大阪府立大学・放送大学) が共同でニュースリリースを行った。

また、最新の開発技術をすぐに産業分野の外部利用者に適用できたことも本事業の成果の一つである。たとえば、サブナノメートル分解能の世界最高分解能磁場計測技術 (“日立製作所と理化学研究所が、原子分解能・ホログラフィー電子顕微鏡を用いて世界最高分解能 0.67nm での磁場観察に成功” <https://www.hitachi.co.jp/rd/news/press/2017/1206.html>、Scientific Reports DOI:10.1038/s41598-017-16519-7) を次世代磁性材料の計測に適用することで初めて良好な結果が得られた。また、半導体接合電位の精密計測技術によって GaN, GaAs 等化合物半導体の精密な定量計測が可能になった。

一方、実施機関の技術進歩の観点では、複数の幅広い分野の利用課題へ対応することで実施担当の実験技術と効率的な装置運用スキルが上がるとともに、新たな計測ニーズや課題の発見につながった。具体的には、観察中の電

磁場印加や光照射等の試料ホルダの開発に貢献した。

各実施機関が単独ではなくプラットフォームとなって運用したことの効果として、各機関の得意分野と所有装置の特徴を生かし、利用者の課題に応じて最適な実施機関を選択することができたこと、そして各機関共同で技術を高度化し最新技術やノウハウを共有することができたことが挙げられる。これについては技術の高度化の項目でも述べる。

利用件数と装置利用料収入は図5に示すとおりで、これから次のことがわかる。

- ・利用件数は令和元年度まで年々増加した。令和2年度は新型コロナウイルス感染拡大の影響で令和2年6月以降、特に民間企業からの申込みが激減し回復しなかったが、公的機関である大学と公的研究機関の利用は回復し平成30年度と同数の利用件数を確保できた。
- ・利用料収入は令和元年度に伸び悩んだ。大きな要因は大口継続利用者の想定外の研究テーマ終了による。
- ・令和2年度上期は収入増施策（※下記注参照）の効果が表れ、件数減でも令和元年度並みとなった。

※注：条件探索などの準備段階においても装置を占有した場合は装置利用時間とみなして利用料を算出した。

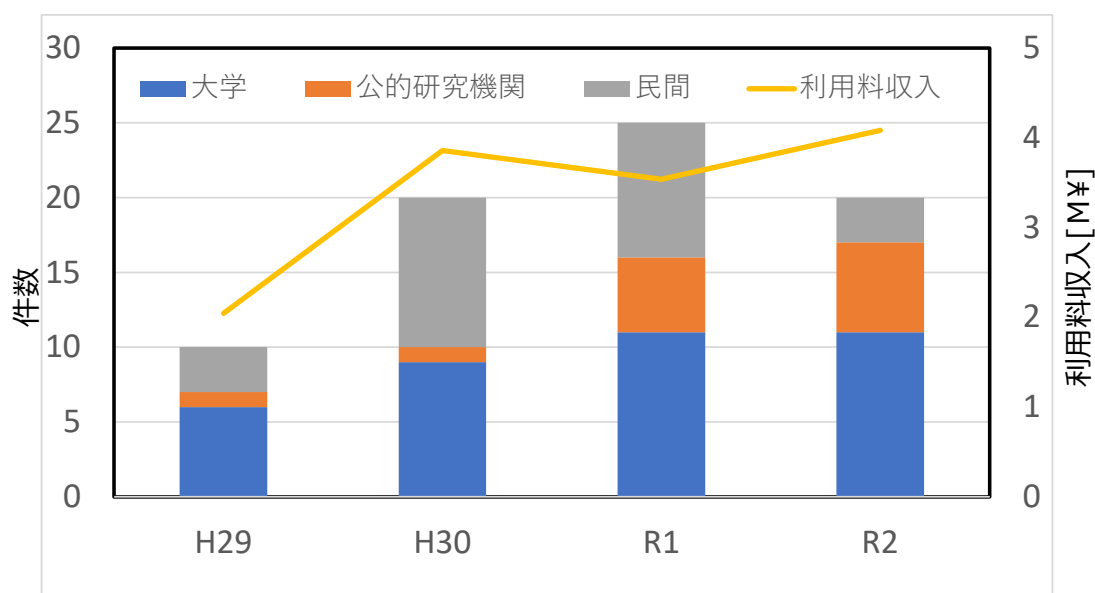


図5 利用件数と装置利用料収入

上記のように利用件数の増加は平成30年度に課題を分析し対策を強化し

た効果が大きかったと考えている。その内容を以下に記す。

第一に、技術自体の周知が不十分であると考え、学会での広報宣伝強化、装置利用成果及び技術の高度化に関する発表を推進した。活動の種類とそれぞれの内容を表 4 に示す。図 6 には年度ごとの広報活動件数の推移を示した。令和 2 年度は新型コロナウイルス感染拡大の影響が顕著に出ている。

表 4 広報活動の分類とその内容

広報活動分類	活動内容
研究成果発表(解説講演含む)	日本顕微鏡学会学術講演会、AMTC ^{*1} 、日独セミナー ^{*2} 、3MConf. ^{*3} 、M&M ^{*4}
論文投稿(解説及び査読中含む)	Scientific Reports, J. Appl. Phys., Nature, Microscopy, JPSJ ^{*5} 等
展示会、学会等での商業展示及び広告	JASIS2017-2020、日本磁気学会、金属学会、日本顕微鏡学会、ナノステイング学会
国際ワークショップ開催	Electron Holography Workshop 2017(日立主催)、International Workshop of Ultra High-Resolution on Microscopy 2019(日本顕微鏡学会主催、日立共催)、AMTC ^{*1} (JFCC 主催)、日独セミナー ^{*2} (日本顕微鏡学会主催、JFCC 共催)
ニュースリリース	磁場計測世界最高分解能、電子の二重性探求等発表済。査読中論文掲載のタイミングで 2 件を準備中。

*1 : The 6th International Symposium on Advanced Microscopy and Theoretical Calculations

*2 : 最先端電子顕微鏡技術とその応用に関する日独二国間交流セミナー

*3 : The 65th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials

*4 : Microscopy & Microanalysis 2020 Meeting

*5 : Journal of the Physical Society of Japan

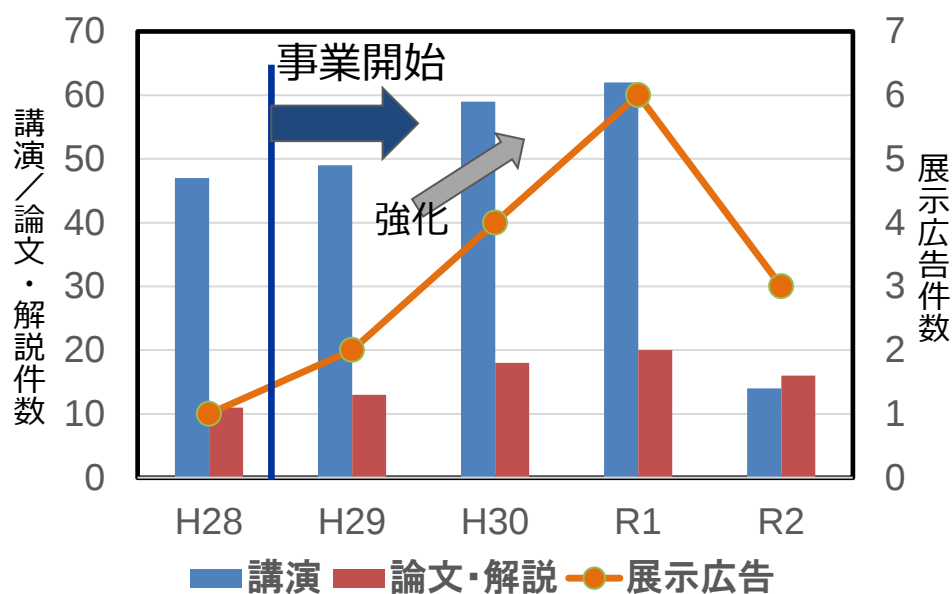


図6 講演／論文・解説件数推移

第二の課題として装置利用の敷居が高いのではないかと考えた。利用料が高価なのではないか、審査が厳しいのではないかなという先入観や誤解からくるものと、透過電子顕微鏡用試料作製及び電子線ホログラフィーのデータ解析や解釈に熟練を要し難しいという事実上の問題がある。前者は地道な広報宣伝活動とワンストップサービスの充実で対応し前項でその取組を説明した。後者に関しては、利用者の技術上の障壁を可能な限り低くし魅力的で効率の良い利用ができるよう以下の表5に示すような複数の施策を実施した。

表5 装置利用の障壁となる課題と解決施策

項目	課題	施策
計測用試料作成	試料調整が高難度 試料加工費用	試料作製の段階からサポート 利用者の実費負担を原則としつつも柔軟に対応
データ解析	解析法高難度 計算機能力	最新ソフトウェアと解析技術で全面サポート 高速ワークステーションのレンタル
実験立ち合いリモート化	大容量高画質画像のリアルタイム共有	Webカメラ、クラウド試験導入 現状は画質・リアルタイム性に改善の余地あり

学術研究基盤支援	利用者の開拓 基盤テーマ研究者の予算不足	広報活動 基盤テーマに対して予備実験装置利用時間無料化（≒トライアルユース）などの柔軟な対応
鮮明で美しい決定的な画像	高度情報処理技術の導入	C R E S T 「情報計測」テーマの成果を迅速に適用 外部研究機関と連携
全く新しい分野への応用	新規利用分野の開拓	積極的な講演活動など広報宣伝活動推進

次に、経費を抑えて効率の良い運用を行うという観点での実績を報告する。技術スタッフは2割増員したが、人件費以外の経費を節減できた。具体的には、経験の蓄積による効率化と技術の高度化、特に自動データ取得やデータ解析の効率化により経費の総額は削減できたうえに、利用件数は初年度の平成29年度に比べてほぼ2倍の件数をこなすことができた。経費圧縮策としては、技術スタッフの大多数を兼務者で賄うこと、また、電子顕微鏡メーカーからの出向技術者が本事業に携わることで、メーカー側はOJTにより社員のスキルアップを図ることができ、本事業の実施機関側は電子顕微鏡の基本的な知識をもった貴重なリソースを必要最小限の経費で確保できるという形で事業の人件費を抑制できた。また、測定試料加工費用は平成30年度からは装置利用者側負担を原則とし、令和元年度からそれを徹底した。

4. 2 技術の高度化

本事業実施期間において多くの技術の高度化を進めた。主な例を表6に示す。その情報を4機関で共有し、最適な利用装置選択のための判断材料とした。プラットフォーム内機関の研究者が共同作業で技術開発した例としては、JST-CREST・さきがけ複合領域「計測技術と高度情報処理の融合によるインテリジェント計測・解析手法の開発と応用」や新たな解析手法（縞走査法）のプラットフォーム内展開などがある。

表6 事業期間中に実施した主な技術開発項目

実施機関	原資	技術名称 内容または効果の概要
日立	自己資金	試料の観察領域選択の自由度が大幅に拡大する分離照射ホログラフィー
日立	自己資金	磁性材料の磁場計測で分解能、精度を向上するパルス磁場反転印加ホルダ
日立	自己資金	極低温実験における結晶試料方位合わせの精度を向上する液

		体He冷却二軸駆動試料ホルダ
日立	自己資金	最新型カメラに更新し画質の向上、画像処理技術適用を拡大
九大	自己資金	
九大	自己資金	
九大	自己資金	結晶性試料の回折由来の位相情報制御できる暗視野ホログラフイー法
JFCC	自己資金	電子顕微鏡内電圧印加による operando 計測の実現と実験の安定化
東北大	自己資金	交流磁場下で、磁壁移動の動的観察が可能な交流磁場印加ホルダ
九大・日立	CREST	多数枚の連続撮像により像S/N比向上する自動連続撮像システムで原子分解能を維持しつつ連続 10000 枚取得実現
九大・日立	CREST	画像認識AIにより自動で多数箇所の適切な視野を抽出しホログラムを撮影するシステム。および撮影後の像から同種の粒子を抽出するAI
JFCC	自己資金	AI的高度画像情報処理による位相像高感度高精度化
九大・日立	CREST	原子層一層の磁束分布計測を実現
九大・日立	CREST	電子線ホログラムの新ノイズ除去技術を導入し位相像高感度高精度化
九大・日立	CREST	電子銃内部の真空排気系の改良強化による電子ビームの安定化
JFCC、九大・日立	自己資金	縞走査法の導入展開
JFCC	自己資金	スパースコーディングを用いた超高精度位相計測手法
JFCC	科研費	光照射試料ホルダ
九大	CREST	光照射試料ホルダ
九大	CREST	電磁場シミュレータの導入
九大	科研費	磁場と結晶歪の同時解析
九大	科研費	試料コンタミ抑制装置
東北大	自己資金	試料加熱技術
東北大	自己資金	電場変動検出手法
東北大	自己資金	動的磁場下での磁壁移動のその場観察技法
九大・日立	CREST	ホログラムの自動撮像 原子分解能を維持しつつ連続 10000 枚取得実現
九大・日立	CREST	画像認識AIにより自動で多数箇所の適切な視野を抽出しホログラムを撮影
九大・日立	CREST	多数枚の微粒子ホログラム画像から同種の粒子を抽出するAI
九大・日立	CREST	原子層一層の磁束分布計測を実現（実施機関以外に理化学研究所・大阪大学とも連携）

4. 3 人材育成

代表機関及び各実施機関における専門スタッフの状況と若手研究者・技術

者の育成状況は表7の通りである。また、プラットフォームとしての相互作用を生み出す人材育成の具体例は以下のとおりである。

- 九州大学の修士学生と日立製作所の若手研究員(実施担当)がAIを活用したホログラム自動取得の高速化技術を共同で開発した。
- ファインセラミックスセンターの実施担当者からファインセラミックスセンターの得意とする位相再生新手法(縞走査法)を他の機関の本事業参加者が指導を受けた。

表7 専門技術スタッフの状況と若手育成の取組内容

実施機関	専門技術スタッフの状況	若手研究者等人材育成状況
日立	電顕ベテラン、磁性物理専門家等、計9名	本事業にてポスドクを雇用しOJTで最新の電子線ホログラフィー技術を習得。 インターンシップ学生(東北大3か月、オレゴン大1年)を受け入れて電子線ホログラフィーを学習。 そのうちの一人はその後、理化学研究所に採用され電子線ホログラフィー関連共同研究で引き続き連携中。
JFCC	エキスパート、若手、補助者等、計5名	民間企業若手技術者を年単位で出向受け入れし継続して育成。 修士課程学生の研修生を年単位で受け入れOJTで電子線ホログラフィー技術の高度化を担当。
九大	学生従事メンバー、補助者含めて従事者計5名	課題申請者とその研究グループに対し電子線ホログラフィーを教育し、本事業に参加する若手や、学生等のスキルアップを支援。 日立と連携した若手育成講習会を実施。 文部科学省スーパーサイエンススクール事業で高校生に技術紹介。
東北大	ベテラン技術職員等計4名	本事業にて学生を雇用しOJTで育成。 大学間ダイナミック・アライアンスの共同研究者への技術解説等。

4. 4 研究開発基盤の維持・発展

技術的に難度が高く、通常の電子顕微鏡利用者では実施が困難と思われていた電子線ホログラフィーであったが、本事業の実施によって、4. 1節で示したように利用者が増加し、新たな分野の利用者が増えていった。リピート利用者も半数に至っており継続的な需要があることを実証できた。また、

既出の「図5 利用課題研究フェーズの分類」が示すように基盤的研究への寄与割合が多いことも我が国の研究開発基盤を支える取組と捉えることができる。これを維持・発展するための取組に関して以下の三つの観点から述べる。

1) 大口利用者の利用継続維持と拡大

パワー半導体、化合物半導体メーカーの継続利用の実績があり、その継続とその拡大を図る。また、大学の大規模半導体研究拠点の利用課題で良好な結果が出ているのでそのリピート利用を促進する。

2) 民間受託分析会社との連携

研究用の設備・機器の共用を促進する事業を行っている民間企業のウェブサイトにて代表機関の超高圧ホログラフィー電子顕微鏡の情報を登録しており今後も継続する。ただし、本事業の完了時点の令和2年度末においては、利用料により人件費を含むすべての経費を賄えるまでの見通しはまだ立っていない。大口利用者の確保とデジタルトランスフォーメーション(DX)による効率化を図り、引き続きその可能性を探っていく。

3) 装置共用実施の継続可能性と今後の提案

一般財団法人であるファインセラミックスセンターは営利団体ではないが、受託分析や共同研究等によって組織自体は自立しており、サービス対象の絞り込みにより本事業と類似の事業が継続できる可能性がある。他の3機関も、大口利用者との共同研究契約により外部利用機関の装置利用や技術提供は可能ではある。しかし、プラットフォームとして運用した場合の規模と比較すれば非常に限定的であり質・量ともに大幅に後退してしまうと思われる。

次期に提案する先端研究基盤共用促進事業としては、電子線ホログラフィーを核としつつも、走査透過電子顕微鏡の活用が得意な新たな実施機関を仲間に加え、更には応用先の分野が異なる、微小領域の物理化学的な情報を画像化する他の先端的な計測技術を持った研究機関とも連携してより広い領域をカバーできる顕微イメージング研究基盤を提供する新たなプラットフォームの構築を提案して行く。

4. 5 その他

電子線ホログラフィー技術の知名度及び価値を高め、新しい産業創出の可能性を示すことを目指して、国際的なネットワーク構築、コミュニティ形成

や、利用事例・成果の幅広い周知を行ってきた。そのうちの講演・論文・広告展示などについては表4や図6に示したとおりである。ここでは表4に示した、国際的なネットワーク構築を目的として実施したイベント（国際ワークショップ）についてそれぞれ補足説明する。

1) Electron Holography Workshop 2017：電子線ホログラフィーをテーマとした国際ワークショップで日立製作所が主催。平成29年2月15～17日に日立基礎研究センタに海外からの18名の招待講演者を含め総勢約50名が参加した。

2) International Workshop of Ultra High-Resolution on Microscopy 2019：電子線ホログラフィーをテーマとした国際ワークショップで日本顕微鏡学会との共催。平成31年2月22～23日に日立基礎研究センタ及びその近郊の埼玉県東松山のホテル紫雲閣で実施。

3) 6th International Symposium on Advanced Microscopy and Theoretical Calculation：ファインセラミックスセンター主催で令和元年6月14日～15日にウインクあいちで開催した。電子線ホログラフィーをはじめ収差補正電子顕微鏡や環境顕微鏡などの最先端顕微鏡技術と理論計算を扱う世界トップクラスの国内外研究者を招き、最新の研究成果の披露と活発な議論の場を提供。日本顕微鏡学会学術講演会と日程を連結させることにより相乗効果による両会議の活性化を図った。本事業で得られた成果も発表した。

4) 国際シンポジウム（日独セミナー）：令和元年6月16日～19日に名古屋市で開催された日本顕微鏡学会第75回学術講演会において学会の設立70周年記念特別企画の一つとして開催された。日本顕微鏡学会主催、ファインセラミックスセンター共催で本プラットフォームの実施機関ファインセラミックスセンターの業務主任者もオーガナイザーとしてその企画立案・実施運営に貢献しており、電子線ホログラフィーに関するセッションも開設され、本事業の研究成果も発表した。

V. 事業終了後の展望

5. 1 本事業にて形成した共用プラットフォームの運用方針

ホログラフィー電子顕微鏡の装置共用を維持継続し更に発展させていくために、電子線ホログラフィーの共用実施機関として以下のような運用方針を

形成した。

- 1) 装置維持と自発研究は自己資金（利用料収入含む）と競争的研究資金を獲得し運営する。
- 2) 10年以内にイノベーションが期待できる分野の装置利用は有償の共同研究化を目指す。
- 3) 基礎基盤研究分野の装置利用を積極的に行い、その原資としては共用事業の公的支援で運営する。

また、次期共用事業への提案としては電子線ホログラフィーを核としつつも、走査透過電子顕微鏡の活用や、更には微小領域の物理化学的な情報を画像化する他の先端的な計測技術を持った研究機関と連携してより広い分野を包含した新たなプラットフォームを提案して行く。

5. 2 本事業にて雇用した技術職員等のキャリアパス

各機関の具体的なキャリアパスを以下に記す。

日立製作所とファインセラミックスセンターは本事業開始に際して雇用した技術職員はおらず、既存の研究者を割り当てることで事業を遂行したため該当者はいない。なお、ファインセラミックスセンターでは、当初、本事業で雇用したポスドクが技術スキルをアップし、令和元年度にパーマネント職員となった。ただし、当初から研究者としての待遇であり技術職員には該当しない。

九州大学では、平成29年度から令和2年度の事業実施期間中、短期雇用も含め7名の実施担当を雇用した（その他1名の派遣社員を短期雇用）。内訳は学術研究員2名、リサーチアシスタント3名、テクニカルスタッフ2名であるが、このうち学術研究員2名は一身上の都合で事業期間中にやむなく退職する結果となった。リサーチアシスタントについては、1名は北陸先端科学技術大学院大学の助教に就任した。また、他の2名は、いずれも日本学術振興会の特別研究員・DC2に採択され、九州大学大学院で学位論文提出に向けた研究を総括することとなった。これらの若手3名は、いずれも同世代の研究者として秀でたキャリアを獲得したと言える。テクニカルスタッフ2名については、九州大学超顕微解析研究センターにおいて、電子顕微鏡の共同利用に関わる業務を主導することとなった。テクニカルスタッフのうち1名は、研究支援に関わる高い能力が評価され、九州大学での終身雇用が可能な職位を獲得するに至った。もう1名は令和5年度の定年退職まで同センターにおける支援業務を継続する予定である。

東北大学にて本事業で雇用した業務担当職員（学術研究員）1名は、令和3年5月より、競争的研究資金（科研費基盤研究(A)）によって、本事業参

加研究室における課題研究の実験補助・データ解析の要員（学術研究員）として雇用することとなった。本事業の経験を活かし、電磁場解析の業務を行っている。

5. 3 今後の課題、問題点

平成29年度の事業開始時に掲げた大目標であるノーベル賞級研究成果の創出とインパクトの大きいイノベーション成果の創出は、令和2年度までの事業実施期間内では未達成である。この実現に向けて以下の具体的な三つの指針を掲げて本事業を維持・継続していきたい。

- ・TOP10%論文の創出
- ・企業利用を含む利用件数の拡大
- ・PF間相互利用課題の実施による利用テーマの大型化

具体的な施策としては、1) DXの推進、2) プラットフォームの連携枠組の拡大、3) 海外トップ研究者の利用拡大、4) in-situ 計測（ガス環境下や電場・磁場印加状態での計測）や Operando 計測（計測対象の試料が何らかの反応や動作をしている状況での計測）への対応拡大を計画している。それらの施策で期待される効果とその内容を表8にまとめた。

なお、プラットフォーム連携枠組みの拡大に関しては、令和3年度の次期先端研究基盤共用促進事業の公募に対して、共用装置・技術と参画機関を拡大した形で提案済みである。

表8 今後の課題と施策

施策	期待される効果	内容説明
1) DXの推進－計測インフォマティクス対応	効率化、高感度・高精度化、遠隔化、自動化 ⇒所要時間・経費軽減による企業利用数増	CREST 等で開発した高度情報処理技術の適用とクラウド活用による遠隔立ち合い・自動計測監視
	計測データの汎用性向上	クラウド活用と位相像（電磁場分布に相当）フォーマットの汎用化
2) 共用プラットフォーム連携枠組みの拡大	利用課題のレベル向上と利用テーマの大型化による企業利用数増	・次期事業への原子分子のイメージングPF との一体運営提案 ・ワンストップ窓口間連携強化
3) 海外トップ研究者利用拡大	利用課題と計測技術のレベル向上	計測装置のクラウド活用と国際学会での宣伝活動
4) in-situ、Operando 計測への対応拡大	ガス中・液中観察で利用分野拡大	ガス中・液中観察技術の別原資の開発PJ 計画