

平成 30 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

令和元年 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平成 30 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・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 4
1. 2	委託業務の目的・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 4
II. 平成30年度の実施内容	
2. 1	実施計画・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 4
2. 2	実施内容（代表機関）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 13
①	プラットフォーム運営体制の構築・・・・・・・・・・・・ 13
②	利用支援体制の構築・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 15
③	ワンストップサービスの設置・・・・・・・・・・・・・・ 17
④	共用機器・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 17
⑤	人材育成・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 18
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・・・・・・・・ 18
⑦	コミュニティ形成、国際的ネットワーク構築・・・・・・・・ 19
⑧	その他・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 22
2. 3	実施内容（実施機関）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 43
①	利用支援体制の構築・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 43
②	共用機器・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 44
③	人材育成・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 44
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・・・・・・・・ 46
⑤	その他・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 47
2. 4	協力機関の取組状況・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 49
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・・・・・・・・・・・・ 50
3. 2	スタートアップ支援について・・・・・・・・・・・・・・・・ 51
3. 3	共同研究・受託研究について・・・・・・・・・・・・・・・・ 51
3. 4	試作機の導入・利用による技術の高度化について・・・・・・・・ 51
3. 5	ノウハウ・データ共有について・・・・・・・・・・・・ 52
3. 6	技術専門職のスキル向上・キャリア形成について・・・・・・・・ 52
3. 7	利用アンケートについて・・・・・・・・・・・・・・・・ 52

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・超高圧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目指す。

II. 平成30年度の実施内容

2. 1 実施計画

原子分解能・超高圧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していく。

(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研究開発グループ基礎研究センタ】

①プラットフォーム運営体制の構築

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、すなわちコーディネーターとそれを補助する実施担当、および業務主任者で実施する。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体制である。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。また外部有識者にアドバイザーに就任いただき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頂く。さらに、二つの研究機関に協力機関になっていただき、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なっている。

②利用支援体制の構築

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。どの実施機関においてもそれらの技術者は計測対象試料の作製、装置の操作、結果の解析などのエキスパートである。さらに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にある。

実施機関としての日立製作所は、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を備えていることが最大の特徴であり、さらにホログラフィー電子顕微鏡（350kV）とあわせて、これらの装置を共用することを主な業務とする。担当責任者および実施担当のうち電子顕微鏡技術者が大半をしめている。これには本事業以外を兼任するものも含まれる。また、実施担当は財務、渉外、事務などの業務を担当する。必要がありかつ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である。具体的な支援環境構築に関しては下記のとおりである。

1. 装置共用ユーザー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の準備完了。ネット環境、ドアロック、室内備品（机・椅子等）等。

2. 取得した大容量画像データをユーザー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してある。ただし、ユーザー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する。

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。申し込みの内容が利用相談、技術相談、技術補助、技術代行のいずれの利用形態に相当するものかを代表機関が判断する。その際に必要に応じて実施機関に装置利用に約3ヶ月に一回の間隔で締め切りを設け、そこまでに応募のあった課題を採択するか否か、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。また、結果を急ぐ課題に関しては必要に応じて臨時の会議を開催して審議し採否及び実施機関の案を策定する。その案をアドバイザー

として依頼した外部有識者に確認いただき、承認を受けたうえで決定しユーザーに連絡するという段取りである。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。また、いずれの利用形態でも事前に申し出があれば非公開も可能とする。

使用する装置の、ユーザーの要求する計測の仕様にもとづいて共用装置の性能や特徴と利用者の利便性を総合的に判断して決定する。使用する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。共用装置の使用料金は、装置共用を実施する各実施機関の口座にそれぞれ直接振り込んでもらう形をとることとした。そうすることで、ユーザー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すむこと、および、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る。なお、各実施機関がユーザーに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をする。

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。また、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ことも行う予定である。

なお、年間の利用課題目標件数について以下に説明する。本プラットフォームで取り組む利用課題はそれぞれ独自の技術的な困難さを抱えたものが多く、計測方法の標準化が難しいため、計測準備や解析に多くの時間と手間が必要である。一方で新材料開発において非常に重要な原子レベルの電磁場分布が得られるという希少性と重要性があることを考慮して、他のプラットフォームと比べて少ないのが現状である。利用課題目標件数が他のプラットフォームと比較して少ない理由と対応策は以下のとおりである。その理由は、ホログラフィー電子顕微鏡による計測の前準備に相当の経験と手間が必要であること、さらに測定した生データ（ホログラム）を処理して電場分布または磁場分布を求めるプロセスが煩雑であり、その自動化が十分にはなされておらず長時間、熟練した技術者の作業を要することである。この問題点への対応策として、これまでに共用・プラットフォームの利用課題に取り組んだ経験と、実施機関などで研究参加中の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」での研究成果も適用する。これにより、より効率的かつ迅速に利用課題をこなせるように努力する。

また、平成30年度は、前年度にいただいた引き合い案件が複数あるた

め年度当初から課題に取り組むことが可能でありその観点からも利用課題件数の増加が見込める。このような理由により、平成30年度は4箇所の機関をあわせて20件を目標とする。

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。なお、前述の通り装置利用に関しての具体的な説明や、得られた結果の説明など計測結果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うため、装置利用料の支払い口座は実施機関ごとに設ける。

④共用機器

原子分解能・ホログラフィー電子顕微鏡（1.2MV）

超高圧ホログラフィー電子顕微鏡（1MV）

ホログラフィー電子顕微鏡（350kV）

⑤人材育成

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（宿泊設備やネット環境等）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予定である。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。具体的な取り組みに関しては各実施機関の特性に合わせた取り組みとなるので次項の“実施機関としての業務”に記載する。

なお、代表機関では平成29年11月から1年の予定で博士課程のインターンシップ学生を受け入れている。電子線ホログラフィーの実習と、新しいホログラフィー計測手法の研究に着手している。

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

平成30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予定である。

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、ライセンスされたユーザーが閲覧できる専用クラウドシステムを立ち上げている。しかしながら、前述のように、ユーザー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する。

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していく。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していく。

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。平成30年度は、ユーザー層の拡大のため日本顕微鏡学会、日本金属学会など関連する学会での広報活動を実施予定である。さらに、日本顕微鏡学会の分科会が主催する会議を共催とする。これらの施策によりコミュニティを拡大することで、新しいアイデアに基づいた装置利用を探索していく予定である。なお、平成31年5月または6月に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）が主催する最先端の顕微鏡と理論計算に関する国際シンポジウム（The 6th International Symposium on Advanced Microscopy and Theoretical Calculations: AMTC-6）が計画中であり、当プラットフォームとの共催を予定しており、必要に応じて平成30年度からその準備に着手する。

(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

ファインセラミックスセンター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する。また、必要に応じて所内外の協力者にも助言を受けながら結果の解釈と考察を行う。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、また、新規利用者の開拓を図る。

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

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。現在すでに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。少なくとも平成30年度はこの状況を継続する予定である。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、技術習得を完了し、研究成果を十分挙げるができるようになった。今後さらに高感度位相シフト電子線ホログラフィー技術、*in situ* 観察技術などの高度な技術を習得させ、本プロジェクト業務の利用者の希望に応えられるように一層高いレベルにまで育成する。

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。

⑤その他

ファインセラミックスセンターでは平成20年を第1回として、以降2年に一度、最先端の顕微鏡と理論計算に関する国際シンポジウム（International Symposium on Advanced Microscopy and Theoretical Calculations: AMTC）を主催してきた。このシンポジウムでは、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している。本シンポジウムは過去に5回開催されており、毎回10カ国以上の海外研究者と100件を超える講演、250人以上の参加者があり、この分野では国内有数の国際シンポジウムに発展している。次回の第6回AMTCは、平成31年6月ごろ日本顕微鏡学会学術講演会と日程を連結して開催することを計画中である。平成30年度は次回開催に向けた準備（開催場所・日時の決定、招待講演者の選定など）を進め、本プロジェクトとしての学術的成果の創出

のために鋭意努力する。

【機関名：国立大学法人九州大学超顕微解析研究センター】

①利用支援体制の構築

これまでに整えた利用支援体制を基盤として、30年度の業務に取り組む。具体的には、業務主任者が採択課題申請者と協議のうえ適切な実験計画を立案するほか、課題の進捗状況の掌握、データ取り纏めに対する助言、装置の維持管理状況の評価等にあたる。実施担当（本事業で雇用の学術研究員）は、必要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等を担当する。研究成果の取り纏めに際しては、業務主任者と実施担当が共同で結果の解釈等にあたり、最終的に課題申請者との十分な意見交換を設定する。物品購入契約等の事務については実施機関の担当職員の支援のもとで常時的確な処理を進める。

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

平成29年10月から本事業に参画した実施担当者*1)の技術向上とキャリア形成に引き続き注力する。まずは本事業の基軸である電子線ホログラフィーの学理と技術を一層深めるために、当該分野で実績のある日立製作所、ファインセラミックスセンター、国立大学法人東北大学（以下「東北大学」という）の研究者・技術者との交流機会を設定し、分離照射技術、その場観察用の試料作製技術、位相再生技術、電子回折効果の考慮などについて、実施担当者が知見を深める事を促す。一方、実施担当者が電子顕微鏡の画像解析や像シミュレーションの実績を有する事を踏まえて、これらの技術を電子線ホログラフィーの分野に取り込み、本事業を契機とする新しい解析プロセスの骨子を構築すると共に、実施担当者の学術的な実績の蓄積に努める。このような取り組みを通して、本事業における研究支援業務の裾野を大いに広げるとともに、それを通して実力と競争力に富んだ若手を育成する。

なお、九州大学の超顕微解析研究センターでは電子顕微鏡学の基礎・応用に関わる技術講習会を年間10回程度開設しており、学生のほか、学内外の若手研究者・技術者に対する教育・育成活動に注力している。本プラットフォーム事業の利用者にも講習会プログラムを周知し、希望者には受

講の機会を提供する。

*1)平成29年6月～9月の期間は、当事者が九州大学大学院に在籍していたため、補助者（リサーチアシスタント）の立場で本事業に参画した。

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

最近の九州大学の取り組みとして、電子線ホログラフィーの一種である「暗視野電子線ホログラフィー」という技術の高度化を進めている。この技術は従来、半導体デバイスなど一部の非磁性試料の結晶格子歪の解析に対して、ごく限定的に使われていた。これまでの基盤的研究を踏まえて、暗視野電子線ホログラフィーを永久磁石等の磁性材料にも適用可能となってきたほか、電場・磁場の分布と結晶格子歪の計測を合わせた多面的解析の手段として活用することを目指している。本プラットフォーム事業の課題推進に際して、このような新手法の展開と技術・情報共有を推し量ることを目指す。

⑤その他

九州大学と日立製作所が実施する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」の研究課題として、電子顕微鏡技術と情報処理技術の融合を進めている（今後、本プラットフォームを構成する東北大学、ファインセラミックスセンターの研究者とも適宜連携・情報交換を行う予定）。同研究課題では、電子線ホログラムを含めた画像データを大規模取得・解析するための技術、或いはノイズの抑制に関わる技術の構築に取り組んでいる。これらの要素技術は、段階的・将来的にプラットフォーム事業でも有効に活用できるものと考えられる。プラットフォームという広範なニーズ・シーズを伴う事業との接点を経て、電子線ホログラフィーを基軸とする先端計測と情報科学の分野間融合が一層深まり、本邦の強みとなる新分野の醸成に資するものと期待される。

なお、装置の利用料金単価に関しては、他のプラットフォーム事業（文部科学省ナノテクノロジープラットフォーム）で利用される九州大学の学内装置と概ね同額としている。一方、共同利用施設としての活動を、今後一層安定した形で継続することを視野に、九州大学・超顕微解析研究センターでは電子顕微鏡設備の単価改定が検討されており、早ければ平成30年度後期から適用される。長期的視野での自立化、或いは組織基盤強化を促す取り組みの一環として、加速電圧300kVホログラフィー電子

顕微鏡の利用単価も改定対象となる可能性がある。ただし、改定によって本プラットフォーム事業のアクティビティの抑制を招くことのないよう、十分な配慮のもとに検討を進める。

【機関名：国立大学法人東北大学多元物質科学研究所】

①利用支援体制の構築

日本電子(株)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、熱電子照射ホルダを活用し、共同研究に供する。電子線ホログラフィーを専門とする実施担当（研究者）に加え、高い技術力を有する技術室からの支援を予定しており、実験計画の立案支援、データ収集、データ解析支援等を行う。また、ホログラムやローレンツ顕微鏡像の解析には学生の支援も得る。

②共用機器

加速電圧300kV分析電子顕微鏡

③人材育成

東北大学の加速電圧300kV分析電子顕微鏡の実験補助と装置メンテナンスに必要な人材は、東北大学・多元研の技術室に依頼している。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事業担当者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。

現在修学中の大学院生への研究指導を行っている。彼らには本プラットフォームにて電子線ホログラムやローレンツ顕微鏡像の解析支援を依頼し、その解析を通じて実践的な解析手法を習得させる。また、学部1年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。

その他、5大学附置研究所による「ダイナミック・アライアンス」での大阪大学産業技術研究所との共同研究、東北大学学際科学 フロンティア研究所による「学際研究支援プログラム」などの共同研究の場に於いて、研究討論を通じて電子線ホログラフィーの解説を行う。

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。

⑤その他

利用者との技術交流も含め連携を深めて今後の共同研究へ発展を目指す。本プラットフォーム利用者側の透過電子顕微鏡技術者にも実験前に打ち合わせに参加して頂き、また試料作製・予備観察等は利用者側で行って頂く方針である。また、実験後には、プラットフォームで得られた結果の説明会を利用者の施設で開催することを予定している。

なお、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なっている。なお、プラットフォームに利用している顕微鏡は研究所の共通機器の一つであり、最終的には装置の運営は利用料金で行うようにするという方針が出された。この方針に従い、昨年から(1)利用料金を改定すると共に、(2)数年毎に行われる高額なメンテナンス費に備えて利用料収入を次年度に繰り越すことを可能にする、など、運営方法の改善が進められている状況にある。

(iii) 協力機関の取組状況

協力機関として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。たとえば研究会の共催や計測技術の課題解決などで協力する。

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頂く予定である。

2. 2 実施内容 (代表機関)

【機関名：株式会社日立製作所研究開発グループ基礎研究センタ】

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、および業務主任者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おこな

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つの実施機関の間でおも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。下記の表ではファインセラミックスセンターをJFCC、日立製作所を日立、九州大学を九大、東北大学を東北大と略す。

表1 平成30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
4/12	日立、JFCC	電話会議	利用申請実験に関する技術討論
4/24	日立、JFCC、 九大、東北大	メール	課題採否案決定
5/11	日立、アドバイザー	メール	4/24に決定した課題採否案の承認： 採択10件、否1件
9/27	日立、JFCC、 九大、東北大	メール	課題採否案決定
9/27	日立、アドバイザー	メール	9/27に決定した課題採否案の承認： 採択2件
10/31	日立、JFCC、 九大、東北大	電話会議	中間審査で文科省へ提出する資料の 確認
11/1	日立、JFCC、 九大、東北大	メール	課題採否案決定
11/1	日立、アドバイザー	メール	11/1に決定した課題採否案の承認： 採択3件
11/13	日立、JFCC、 九大、東北大	メール	課題採否案決定
11/13	日立、アドバイザー	メール	11/13に決定した課題採否案の承認： 採択2件
12/6	日立、JFCC、 九大、東北大	電話会議	中間審査の報告と非公開利用に関する 成果公開猶予期間についての検討
12/11	日立、JFCC、 九大、東北大	メール	課題採否案決定
12/13	日立、JFCC	電話会議	実験結果に関する技術的検討
12/14	日立、JFCC、	メール	課題採否案決定

	九大、東北大		
12/14	日立、アドバイザー	メール	12/11 と 12/14 に決定した課題採否案の承認：採択 3 件

理化学研究所創発物性科学研究センターと大阪大学超高压電子顕微鏡センターの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压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した。協力機関の支援に関しては、東北大学、九州大学の実施担当および事業担当が国立研究開発法人理化学研究所（以下「理研」という）に出張し、電子線ホログラフィーの技術上のディスカッションを実施した。

2) 他のプラットフォームと連携するための取組

平成30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、9月5日～7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、12月4日にコーディネーター、業務主任者及び実施担当がNMRプラットフォームの理研 横浜地区で行われた連絡会議に参加し、共用プラットフォーム事業をより利用者に浸透させるための施策を議論した。ポータルサイトの統一の方策を検討していくことになった。

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、代表マネージャー、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（担当責任者、代表マネージャーを兼ねる）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。コーディネーターおよび実施担当1名は、ホームページの管理、装置利用者への対応、試料形状や加工法についての相談および計測試料の受け渡しの他の実施機関との連携、会議の開催等、より具体的には、装置利用の申し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（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し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. 装置共用ユーザー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完備した。ネット環境、ドアロック、室内備品(机・椅子等)等である。

2. 取得した大容量画像データを実施機関とユーザー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。ユーザー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、平成30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、装置利用者の利便性を考慮して締め切りは設けずいつでも申し込みを受け付け、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に変更した。装置利用実施の可否および、可の案件については技術補助か技術代行かいずれの利用形態に相当するものかを運営委員会にて審議のうえで代表機関が判断した結果すべてが技術代行であった。

実施機関や利用装置の決定に際しては、ユーザーの要求する計測の仕様にもとづいて共用装置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として委嘱した外部有識者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ユーザーに連絡するという方法をとった。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電子メールを用いて随時行った。また、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。

使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ユーザーの対応をすべて行った。共用装置の使用料金は、装置共用を実施する各実施機関の口座にそれぞれ直接振り込んでもらう形をとった。そうすることで、ユーザー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すむこと、および、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、各実施機関がユーザーに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、実施機関である国立大学法人東北大学と九州大学が理研から技術的なアドバイスを直接受けた。また、平成30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。

実施機関としての日立製作所は、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。担当責任者および実施担当の大半は電子顕微鏡技術者であり、装置共用とそのサポートを行った。実施担当には財務、渉外、事務などの業務を担当するものも含む。なお、平成29年度に熟練のデータ解析専任者として従事した実施担当が平成30年3月で退職したため、業務効率の低下を防ぐために、より高速なワークステーションをレンタルで導入するとともに平成30年8月より新たな補助者を採用した。

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った。なお、前述の通り装置利用に関しての具体的な説明や、得られた結果の説明など計測結果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

(https://www9.hitachi.co.jp/atomicsscale_pf/) は平成29年度に引き続き設置するとともに英語版を制作した。このホームページに問い合わせのメール atomic-scale@rdgml.intra.hitachi.co.jp や装置利用申し込み方法を掲載した。このホームページのアクセス数は、平成30年4月1日から12月22日までに計11607件で、特に9月以降は増え一日平均60件になった。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し込み・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、利用申し込みは代表機関のコーディネーターが対応し、申し込み・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あて、利用者へのサービスをワンストップで行った。

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図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. 2 MV原子分解能・ホロ

グラフィック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。



図3 超高圧ホログラフィー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

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り組みに関して、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。

また、代表機関では平成29年11月から平成30年11月まで1年間博士課程のインターンシップ学生を受け入れた。電子線ホログラフィーの実習と、新しいホログラフィー計測手法の研究を行い、その成果を日本顕微鏡学会学術講演会と第19回 International Microscopy Congressで口頭発表し、論文はApplied Physics Lettersに採択された。

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でいる。このノウハウには、前述の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、平成30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、装置利用者に配布した。

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、ライセンスされたユーザーが閲覧できる専用クラウドシステムを立ち上げた。前述のように、ユーザー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、ユーザー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できるような環境を整備し、九州大学側の実施担当に利用方法の実習及び指導を実施した。

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ができるようにメーカーとは密接な関係を維持した。平成30年度には共用装置である超高圧ホログラフィー電子顕微鏡（1MV）用に新たに電子顕微鏡用高分解能デジタルカメラを日立製作所自主予算で導入した。また、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していくこととなるが、平成30年度には新たな開発に着手することはなかった。本事業よりも先行して平成29年度に完成していた磁性薄膜の高分解能計測技術は平成30年度の利用課題にもそのまま適用可能であり、ナノメートルレベルの薄膜中の磁束計測では利用者に満足頂ける成果が得られた。

⑦コミュニティ形成、国際的ネットワーク構築

平成30年度は、ユーザー層の拡大のため平成30年5月29日～31日に福岡県久留米市で開催された日本顕微鏡学会学術講演会と平成30年9月19日～21日に仙台市で開催された日本金属学会秋季講演大会でポスター展示により広報活動を実施した。海外研究者の利用問い合わせがあり、約款と申請書の英語版を作成した。ただし平成30年度には海外からの利用申し込みは結果的にはなかった。また、干渉性の良い電子銃に関する技術議論や、金属材料腐食メカニズム解明に電子線ホログラフィーが活用できる可能性があるとのアドバイスをもらい、今後の応用展開に有意義な機会となった。

平成31年2月22日～23日は、日本顕微鏡学会の分科会との共催で国際ワークショップ「International Workshop of Ultra High-Resolution

Microscopy 2019 電子波による電磁場観察はどこまで高分解能化できるのだろうか」を実施した。22日は日立製作所基礎研究センタ鳩山サイトのコンファレンスルーム、23日はガーデンホテル紫雲閣（東松山市）を会場とした。電子線による電磁場観察の高分解能化を主題として活発な議論が交わされ、電子顕微鏡を用いた電磁場計測の手法の最前線の情報を交換できた。参加者は62名。海外からは3名の招待講演者を招いた。また、実施機関であるファインセラミックスセンターの業務主任者による“電子波干渉による電場・磁場の観察～その進歩と将来～”と題した基調講演、同じく九州大学の業務主任者による電子線ホログラフィーを用いた材料科学向け高感度計測に関する招待講演など、7名の招待講演者に発表いただいた。基調講演はチュートリアル的位置づけを持たせ日本語で、それ以外の講演はすべて英語で行った。講演と質疑応答は講演者の了解を得られたものに関しては文字におこして記録にとどめた。図2はワークショップの案内パンフレット、図3は講演会場での様子である。

International Workshop of Ultra High-Resolution on Microscopy 2019

- How Far Can We Improve Electromagnetic Field Observation? -

February 22-23, 2019
Hitachi, Ltd., Center for Exploratory Research, Hatoyama, Saitama, Japan
Conference Room

22nd (Fri.) [Tentative Title on 21st Nov., 2018]

11:45- T. Hirayama (JFCC) [Keynote Lecture]
"Electromagnetic Field Observation using Interference of
Electron Wave: - Advances and Future -" (in Japanese)

12:45- Lunch

13:30- R.E. Dunin-Borkowski (Research Center Jülich)
"Quantitative Atomic Observation by Electron Holography"

14:15- D. Cooper (Univ. Grenoble)
"Comparison of Phase Measurements: DPC vs EH vs 4D-STEM"

15:15- Y. Murakami (Kyusyu Univ.)
"High-sensitive Phase Measurements from Functional Materials"

15:45- N. Shibata (The Univ. of Tokyo)
"Towards Subatomic-Resolution Electron Microscopy:
Can We Observe Inside of Atoms?"

16:15- T. Tanigaki (Hitachi, Ltd.)
"Towards Imaging of Magnetic Field at Atomic Level"

17:00- Poster Session, Lab. Tour, and Banquet

23rd (Sat)

9:00- A. Blackburn (Univ. Victoria)
"Novel Approach of High-Speed Ptychography"

9:30- R. Sagawa (JEOL Ltd.)
"Ptychography by 4D-STEM"

10:00- J. Yamasaki (Osaka Univ.)
"Advances in Diffractive Imaging by Electron Beams"

10:50- H. Sasaki (Furukawa Electric Co., Ltd.)
"Utilization of Several Techniques in Electron Phase Imaging"

11:20- K. Shibata (RIKEN)
"Structure and Behavior of Magnetic Skyrmions:
- Magnetic Imaging by Electron Holography and Lorentz TEM -"

Organizers: Y. Ohshima (JAIST) email: oshima@jaist.ac.jp
T. Tanigaki (Hitachi) email: toshiaki.tanigaki.rv@hitachi.com phase2019@jaist.ac.jp



Sponsored by: The Subcommittee for Ultra High-Resolution on Microscopy, The Japanese Society of Microscopy
In cooperation with: The Electromagnetic Field Shearing Platform (EFSP)^{*}, MEXT^{**}
^{*}EFSP is consist of Hitachi, Ltd., Japan Fine Ceramic Center, Kyusyu University, and Tohoku University.
^{**}MEXT: Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology

図2 国際ワークショップの案内パンフレット



図3 日立基礎研究センタでのワークショップの様子（休憩中）

⑧その他

1) 装置利用結果の件数と概要

代表機関は、平成30年度の利用課題の情報すべてを取りまとめたので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。平成30年度の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はゼロ件であった。実際に実施した利用課題は20件である。また非公開を希望する案件が4件あった。それら20件の概要を表2に示す。

平成29年度は10件であった利用件数を20件に倍増できたことについて説明する。本プラットフォームで取り組む利用課題はそれぞれ独自の技術的な困難さを抱えたものが多く、計測方法の標準化が難しいため、計測準備や解析に多くの時間と手間が必要である。具体的には、ホログラフィー電子顕微鏡による計測の前準備に相当の経験と手間が必要であること、さらに測定した生データ（ホログラム）を処理して電場分布または磁場分布を求めるプロセスが煩雑であり、その自動化が十分にはなされておらず長時間、熟練した技術者の作業を要することである。この問題点への対応策として、平成30年度の利用課題に対して、これまでに共用プラットフォームの利用課題に取り組んだ経験と、実施機関などで研究参画中の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」での研究成果を適用した。これにより一定の効率化が図れ、課題に着手してから結果を出すまでの時間を短縮することができた。加えて、平成29年度後半に引き合い案件が複数

あり、年度当初から課題に取り組むことができたということもあり、平成30年度は4箇所の機関をあわせて目標である20件という平成29年度の2倍の利用課題をこなすことができた。

表2 平成30年度に採択した装置利用課題

番号	提案内容	提案機関	実施機関	受付日 採択日
1	酸化物半導体の拡散層及び接合層の電位分布解析（その2） （概要）低消費電力・高速動作の特長を有し、高精細ディスプレイへの応用が期待される酸化物半導体（IGZO）を用いた薄型トランジスタデバイス（TFT）内部の電位分布を電子線ホログラフィーによって観測する。	東芝メモリ（株）	JFCC	5/1 5/11
2	強磁性／強誘電体ヘテロ界面によって誘起される磁気状態の物理機構の究明（その2） （概要）磁性／強誘電体ヘテロ界面を創製し、その界面を介して発現する磁気状態変化について原子レベルで観察する。	兵庫県立大学	JFCC	12/5 5/11
3	金属多層薄膜に生じたスキルミオンの観察（その2） （概要）Pt/Co/Ta 多層膜に生じたスキルミオンを電子線ホログラフィー法により詳細に観測し、磁化特性（ネール型もしくはブロッホ型）の特定と金属間相互作用を観察する。	名古屋大学	日立	4/3 5/11
4	非公開		日立	4/10 5/11
5	低次元強磁性体の磁化構造の観察（その2） （概要）低次元強磁性体特有の巨大な磁気揺らぎを観察し、転移点近傍での磁気渦の観察を試みる。成功すれば、磁性体における Kosterlitz-Thouless (KT) 転移の初めての実証となる。	大阪府立大学	日立	4/13 5/11
6	GaN 半導体内部のドーパント濃度分布の計測（その2） 極低濃度（ $\sim 10^{15} \text{cm}^{-3}$ ）不純物領域を含む GaN 半導体について、 n^{++} と n^+ 境界の電位分布を電子線ホログラフィーにより計測する。空乏層の厚みを考慮すれば厚い（ $t \sim 1.5 \mu\text{m}$ ）膜での観察が要求され、超高圧ホログラフィーTEMでの観察が必要である。	産総研	日立 JFCC	4/19 5/11

7	強磁性薄膜での磁氣的相互作用の評価 (概要) 異方性ネオジム系ナノコンポジット磁石膜についての磁氣的相互作用(交換結合状態)を、ハード磁性相とソフト磁性相を跨いだ測定結果から磁束分布・磁束密度の評価を行い、両相の磁氣的な相互作用を考察する。	山形大学	九州大学	4/20 5/11
8	デバイス開発を目指した遷移金属酸化物の電位分布観察(概要) 仕事関数の異なる物質を接合させた際に生じる電荷移動と、それに伴って発生する界面近傍での電位分布の変化を、電子線ホログラフィーで実測する。	大阪大学	九州大学	4/20 5/11
9	非公開		日立	4/23 5/11
10	高周波トランス用 MnZn フェライト磁区構造の観察(その2) (概要) 高周波トランス用 MnZn フェライト材の磁区構造(静磁場、印加磁場状態)での違いを電子線ホログラフィー、ローレンツ顕微鏡法により観察する。	(株) トーキョー	東北大学	4/23 5/11
11	楔形 GaAs p-n 接合試料を用いた電圧印加状態での定量電位計測 (概要) 電圧印可時の楔形 GaAs p-n 接合の電位分布を定量的に計測し、電圧印加に伴う p-n 接合の電位変化を評価する。	古河電工(株)	JFCC	5/23 9/27
12	劈開試料を用いた p-n 接合領域の定量電位計測 (概要) GaAs ウェーハ(ドーパント濃度 10^{18}cm^{-3}) から劈開した薄膜試料を用いた p-n 接合の電位分布の定量的計測。電圧印加に伴う p-n 接合の電位変化を評価する。 提案元は JFCC での実施を希望。	古河電工(株)	JFCC	9/27 9/27
13	電子線ホログラフィーを用いた強誘電体の微細構造解析 (概要) 一部の強誘電体で観測される”head-to-head 型”、即ち電気分極を伴う特異なドメイン壁の生成プロセスを理解するために、電子線ホログラフィーを用いた微細構造の解析を行う。特に積層欠陥や逆位相境界など、結晶学的な構造欠陥と強誘電ドメイン壁との関係を明らかにする。	九州工業大学	九州大学	10/7 11/1
14	電子線ホログラフィーを用いた有機無機ハイブリッドナノ粒子の形態評価 (概要) 無機ナノ粒子と有機分子のハイブリッド化により生成されたナノ粒子の材料機能解明をめざし、有機分子系を入射電子に対する弱位相物体と捉えて、電子線ホログラフィーによる位相観測をもとに、有機系分子の形態評価を試みる。	東北大学	九州大学	10/31 11/1

15	キラル磁性体に生ずるらせん状スピン配列の観察 (概要) 物質中の電磁場に起因する微小な電子線偏向の高精度検出に着目し、高空間分解能での電磁場精密解析法の研究開発を進める。電子線開き角、光学系(カメラ長を含む)、検出方式などを多角的に検討し、標準試料としてキラルらせん磁性体 CrNb_3S_6 などを用い角度分解能を評価し、高精度計測法としての潜在能力を引き出す。	大阪府立大学	日立	10/25 11/1
16	非公開		JFCC	11/6 11/13
17	酸化物半導体の拡散層及び接合層の電位分布解析 (その3) (概要) 低消費電力・高速動作の特長を有し、高精細ディスプレイへの応用が期待される酸化物半導体 (IGZO) を用いた薄型トランジスタデバイス (TFT) 内部の電位分布を電子線ホログラフィーによって観測する。被測定試料の最適化による測定精度の向上を図る。	東芝メモリ(株)	JFCC	11/12 11/13
18	半導体多層膜の電位分布観察 (概要) 電子線ホログラフィーを用いて有機半導体多層膜試料内部の電位分布を試みる。	機関名非公開	JFCC	11/15 12/14
19	ZnO ナノワイヤー内部の電位分布観察 (概要) ZnO ナノワイヤーおよびその表面に CuO をコーティングした試料について、電子顕微鏡内で光を照射し、ナノワイヤー内部(特に先端部分)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	11/28 12/14
20	非公開		東北大学	12/11 12/14

2) 装置利用結果

以下、上記20件のうち公開可の案件16件それぞれの結果について次ページ以降に報告する。

3) その他

装置メーカーとの連携を維持し、共用機器の故障等によるダウンタイムの最短化に努めることで、ユーザーの利便性向上を図った。

1. 酸化物半導体の拡散層及び接合層の電位分布解析（その2）

課題提案機関： 東芝メモリ（株）

課題実施機関： ファインセラミックスセンター

結果概要： 実際に流通している酸化物半導体デバイス内部のキャリア濃度分布を、電子線ホログラフィーを用いてナノスケールで測定し、電極下と絶縁膜下でキャリア濃度が異なると考えられる薄膜の内部電位差を見分けることが可能かどうか判断することを目的とした。その結果、図4に示すとおり、電子線ホログラフィーにより電極下と絶縁膜下の平均的なキャリア濃度の差に対応すると思われる位相差（内部電位差）を観察することができた。なお、課題名“酸化物半導体の拡散層及び接合層の電位分布解析（その1）”は平成29年度末の段階では非公開課題であった。その内容は、ホログラフィー電子顕微鏡で観察可能な試料の作成法確立であり、この課題はそれを踏まえて平成30年度に実施した。

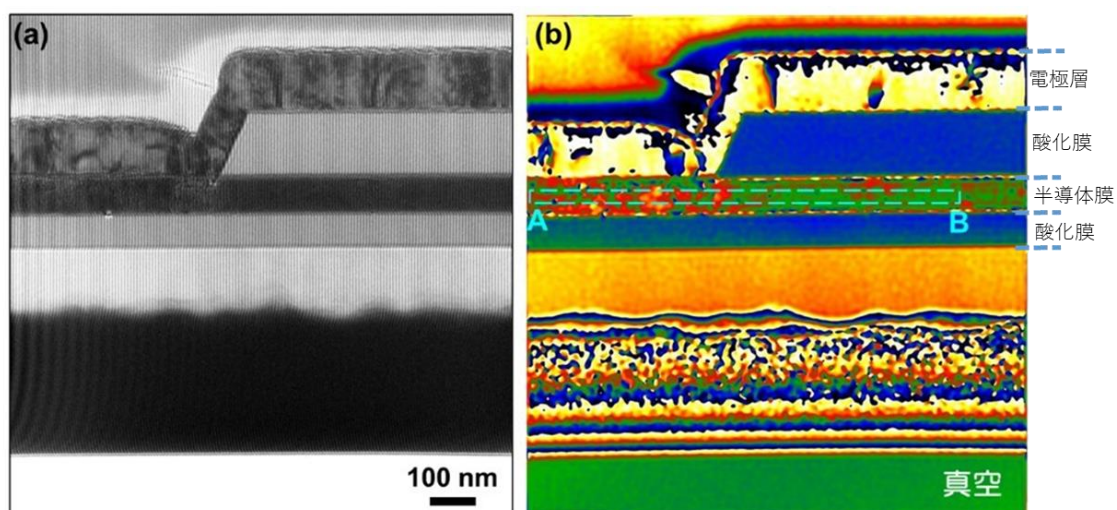


図4. (a) 電子線ホログラム像、(b) 電位分布像（色の違いが電位の違いを表す）

2. 強磁性/強誘電体ヘテロ界面に誘起される磁気状態の物理機構の究明

(その2)

課題提案機関:兵庫県立大学

課題実施機関:ファインセラミックスセンター

結果概要:強誘電性 LiNbO_3 単結晶基板の上に成膜した強磁性 Ni ナノワイヤー薄膜は、基板の結晶方位によってナノワイヤー内の磁性が大きく変化することが知られている。本課題では、Ni ナノワイヤー/ LiNbO_3 基板における磁場分布を定量的に測定することを目指している。平成29年度に実施した同タイトルの課題(その1)では、ホログラフィー電子顕微鏡で観察可能な試料作成法を見出すことができた。平成30年度はこの試料を電子線ホログラフィーにより観察し、定量的な位相分布の検出を目指した。

図5(a)は取得したホログラム像で、赤く囲まれた領域に Ni ナノワイヤーが存在する。利用者へは青破線で示す拡大領域の位相再生像について説明したが本書では割愛する。図6はそれから得られた位相像である。Ni ナノワイヤーが存在する領域の位相が周辺の LiNbO_3 基板のみの領域のそれよりも 0.9 rad 程度高くなっている。この位相差は主に Ni ナノワイヤーの電位により生じたものと考えられ、磁区構造の存在を示すような Ni ナノワイヤー内の顕著な位相変化は観測されなかった。本実験において Ni ナノワイヤーの磁区構造が観測されなかったのは、試料のチャージアップによる電場が Ni ナノワイヤー内の磁場より非常に強かったためと推定し、試料のチャージアップ低減のためアモルファスカarbonを試料の両面に蒸着した。しかしながらそれにより試料歪みが増大し、その影響と思われるがやはり磁場の検出には至らなかった。試料に大きな歪をもたらさずにチャージアップを防止する試料加工方法の開発が今後の課題として見出せた。

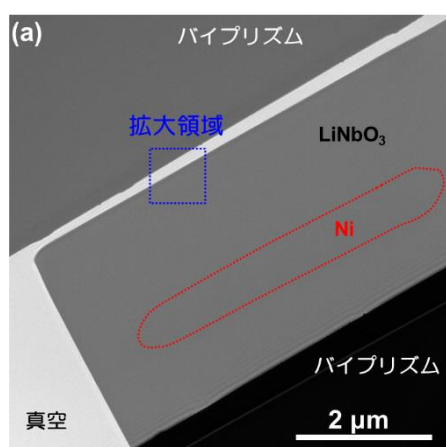


図5 Ni/ LiNbO_3 試料のホログラム

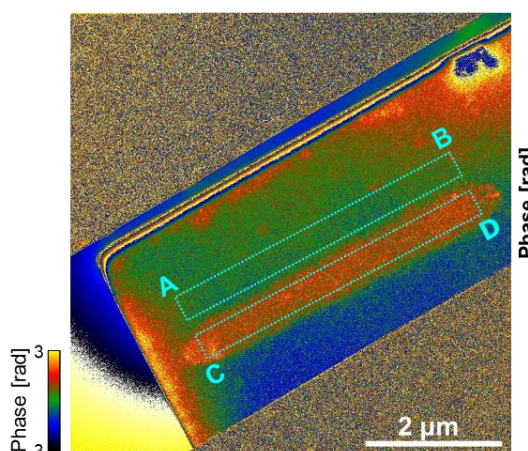


図6 Ni/ LiNbO_3 試料の再生位相像

3. 金属多層膜中に生じるスキルミオンの観測（その2）

課題提案機関：名古屋大学 課題実施機関：日立製作所

結果概要：磁性層/非磁性層の金属多層膜からなるディスク状試料にスキルミオンが生じていることを、超高圧ホログラフィー電子顕微鏡を用いて検証することを目的とした。平成29年度の同タイトル（その1）では、1MV超高圧ホログラフィー電子顕微鏡によるローレンツ顕微鏡法（試料内部の磁化分布を定性的に観察できる手法）でスキルミオンの存在が示唆された。平成30年度は、磁束を高精度に計測できるホログラフィー法によりスキルミオンの確認に取り組んだ。その結果、磁場印加中 ($H_a=200\ 0e$ 、 $1\ 0e = \frac{1000}{4\pi}\ A/m$) において面垂直成分の磁化が列状に連なるスキルミオンと考えられる観察結果が得られた。試料であるディスク状金属多層膜はSiNメンブレン(厚さ：10 nm)上にPt(4 nm)/Co(0.9 nm)/Ta(4 nm)を繰り返し5重に積み上げたものである(直径2.5 μ m)。ローレンツ顕微鏡法で試料内に生じた磁化の有無を確認しながらホログラフィー観察を行った。図7(a)では2か所(A、B)の線状のコントラスト像が観察されている。図7(b)にも対応する領域に色の変化が見られ、磁化状態に何らかの変化を生じていることがわかる。ここで、Aの線状コントラストの上下の領域では、磁化方向が変化しておらずAは磁壁ではないと考えられる。つまり、これらは膜面垂直成分の磁化=スキルミオンが列状に配列した像と考えられる。一方、Bで示す線より下の領域はこれを境に磁化の方向が異なっているため磁壁と考えられる。ローレンツ顕微鏡法では両者の違いを判断することは難しいがホログラフィー像により、磁化分布の解析において有力な知見が得られた。

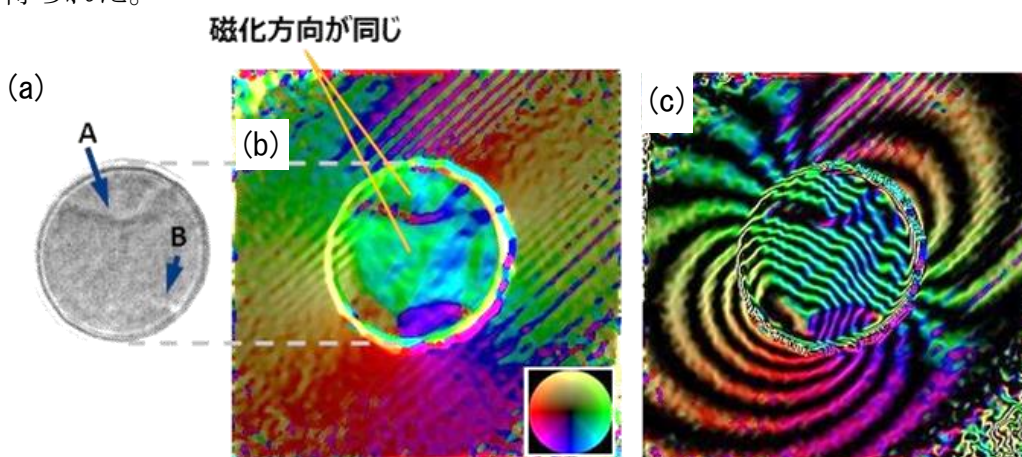


図7 磁場印加中 ($H=200\ 0e$) の実験結果
(a) ローレンツ像、(b) ホログラム再生磁区表示 (c) ホログラム再生磁束表示

4. 非公開課題につき開示しない

5. 低次元強磁性体の磁化構造の観察（その2）

課題提案機関：大阪府立大学

課題実施機関：日立製作所

結果概要： 特異的な磁気異方性をもつ低次元磁性体では転移温度以下で巨大な磁気揺らぎを示すことが知られている。この現象は中性子線散乱実験などで観測されており、Kosterlitz-Thouless によって提案された「2次元系におけるトポロジカルな新しい基底状態」との関連が論じられている。しかし低次元物質が示す磁気構造の振舞いを詳細に観察した例はなかった。そこで、超高圧ホログラフィー電子顕微鏡を用いて極低温下で低次元磁性体 K_2CuF_4 における磁気渦構造の直接観測を試みた。なお、平成29年度に同タイトルの（その1）を実施し、観察試料の作成と極低温化での観察の実現性を確認済である。実験には 1MVホログラフィー電子顕微鏡に3次元磁場印加機構を取り付け、印加磁場を固定して温度を掃引しながらローレンツ像を観察し温度の変化に対する差分像を得た。図8の12枚のパネルは25ガウスの面直磁場下で5 Kから7 Kを温度掃引した差分像である。(a)から(l)に進むに従い温度が上昇する。(e)～(h)において左上に渦状の暗色コントラスト、右下に渦状の明色コントラストが見出される（矢印で図示）。昇温に伴い両者は融合して消失するようである。極低温環境下で磁場を高分解能計測できる装置ならではの観察結果といえる。今後、温度依存性や外部磁場依存性のデータを蓄積して、未解明の K-T 転移に関する詳細な物性の解明につながる重要な研究成果と考えられる。

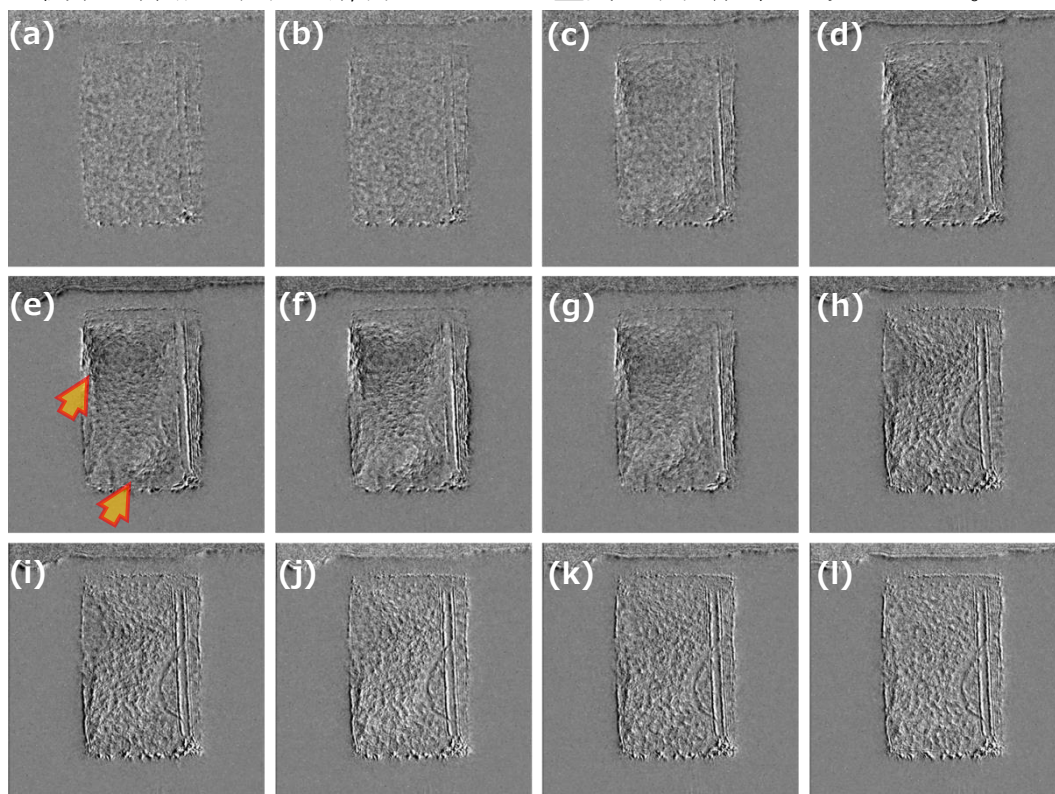


図8 ローレンツ像の差分像の温度依存性（磁気転移温度近傍の昇温過程）

6. GaN 半導体内部のドーパント濃度分布の計測（その2）

課題提案機関：産業技術総合研究所

課題実施機関：ファインセラミックスセンター、日立製作所

結果概要：GaN 系半導体はパワーデバイスや光デバイス材料として注目を浴び実用化も進んでいる。デバイスを設計・作製する上で、ドーパントによるキャリア濃度分布を評価することは極めて重要であり、加速電圧 300 kV の TEM を用いた電子線ホログラフィーでドーパント (Si) 濃度を段階的に変化させたモデル試料において、 $10^{17}/10^{16}$ atoms/cm³ のドーパントの違いまでを観察することに成功していた。さらに濃度の低い $10^{16}/10^{15}$ のステップは理論的に表面空乏層が 300 nm 程度に広がるので、少なくとも 700 nm 以上の厚い試料で観察することが必須となる。300 keV の電子線では、300~400 nm の試料厚さまでしか透過できないため、超高圧ホログラフィー電子顕微鏡（加速電圧：1 MV）を用いて、 $10^{16}/10^{15}$ の位相差を検出することを目的とした。なお、平成 29 年度の課題において“GaN 半導体内部のドーパント濃度分布の計測”として実施し、ドーパント濃度差と思われる位相差は検出できたものの、ステップ状の位相変化として明確には計測できなかったため平成 30 年度にあらためて試料作成からやり直して再挑戦した。図 9 は位相プロファイルと SIMS 測定の結果を比較したグラフである。SIMS 測定の結果を基準にした各層の界面位置を図 9 に破線で示す。各層でドーパント濃度が変化する近傍で位相が変化していることがわかる。例えば、 $5 \times 10^{17}/5 \times 10^{16}$ では、0.85 rad の位相差、 $5 \times 10^{16}/5 \times 10^{15}$ では、0.15 rad の位相差が検出できており、本研究の目的である $10^{16}/10^{15}$ の差を観察することに成功した。

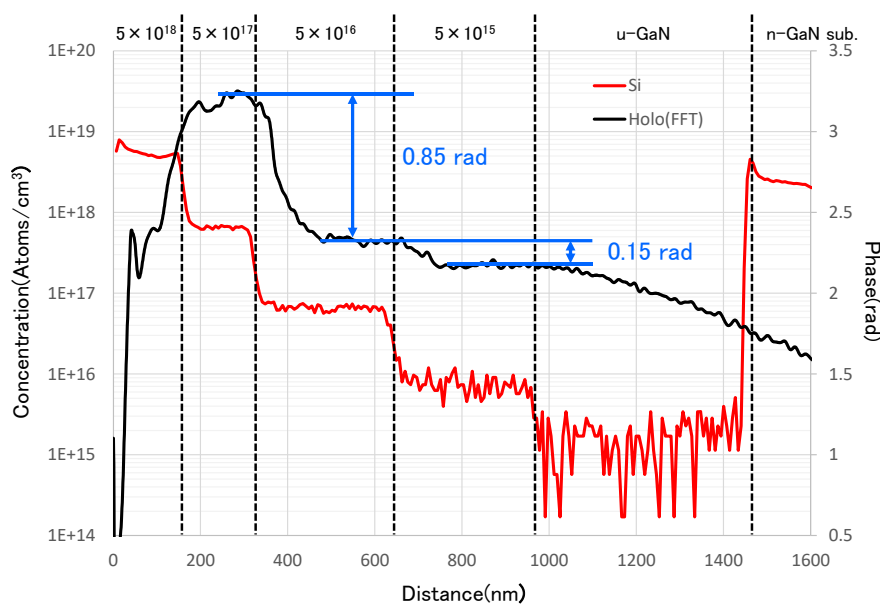


図 9 位相プロファイルと SIMS 測定の結果を比較

7. 強磁性体薄膜での磁氣的相互作用の評価

課題提案機関：山形大学 課題実施機関：九州大学

結果概要：硬磁性体と軟磁性体を組み合わせたナノコンポジット磁石では、両者の交換相互作用を利用した最大エネルギー積(BH_{\max})の向上が期待される。本研究対象は $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ (硬磁性体) と Fe (軟磁性体) の交換結合を利用した多層膜試料であり、両者の相互拡散を防ぐために Mo 層を挿入している点に特徴を有する。電子線ホログラフィーを通して以下の点を明らかにすることを目的とし、 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}/\text{Mo}/\text{Fe}$ 積層磁石膜を集束イオンビーム装置で薄片化した試料を加速電圧 300 kV ホログラフィー電子顕微鏡で観察した。

(1) $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}/\text{Mo}/\text{Fe}$ の 3 層からなる多層膜試料が示す磁区構造の特徴

(2) 多層膜の結晶学的微細構造と局所的な磁束分布の対応関係

図 10 (a) に薄片化した試料から取得したホログラムを示す。ここから得た位相像と試料を反転させて同様に取得したホログラムから得た位相像を差し引くことでほぼ磁場情報のみを抽出した結果を図 10 (b) に示す。等高線は磁束の面内成分 (入射電子の進行方向に積分された磁束成分) を表すことになる。 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}/\text{Mo}/\text{Fe}$ 積層膜には、所々に渦状のパターンが観察される。事前に取得した電子回折図形からは、本試料における $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 結晶粒に強い配向性は見られず、そのため軟磁性的な Fe の結晶粒との磁気結合を通して、不完全ながらも還流磁区の形態を局所的に作っているものと解釈できる。

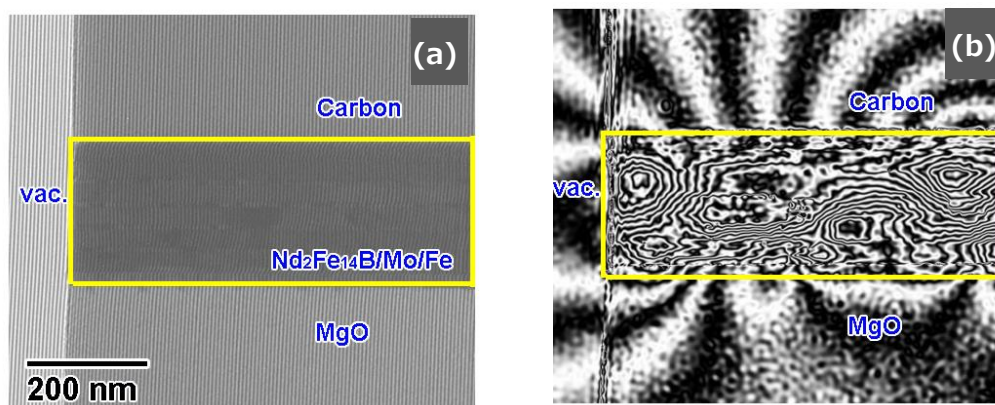


図 10 (a) 取得した電子線ホログラム像 (b) ホログラム像から磁場情報のみを表示

また、多層膜の結晶学的微細構造と局所的な磁束分布の対応関係を調べるため、暗視野像を取得し磁束分布像図 10 (b) と対応させたが現時点では十分な情報とはならなかった。配向性を含めた結晶学的微細構造については、今後、さらにデータ収集を行う必要がある。

8. デバイス開発を目指した遷移金属酸化物の電位分布観察

課題提案機関：大阪大学 課題実施機関：九州大学

結果概要：二酸化バナジウム (VO_2) は、室温近傍で金属-絶縁体相転移を示すためスイッチング素子などのデバイス応用が期待されている。 VO_2 の成膜は多くの場合、格子定数が近い結晶性の基板を用いて行われている。これに対して大阪大学の田中グループでは、成膜時の基板に六方晶窒化ホウ素 (hBN) を用いるというユニークな研究を行っている。この hBN/ VO_2 薄膜の材料学的研究を進めるうえで、接合界面近傍の結晶学的微細構造や、界面領域での電位分布を評価することが重要である。本研究では、同グループが新規に開発した hBN/ VO_2 薄膜試料の構造的特徴を透過電子顕微鏡法 (TEM/STEM) と電子線ホログラフィーを併用することで調べた。ここでは主に九州大学のホログラフィー電子顕微鏡を利用した電位分布計測結果を報告する。図 1 1 は集束イオンビームにより薄片化した薄膜断面 TEM 像である。チャージアップ防止のコーティングを行い、ホログラム像を取得して位相分布を求めたのが図 1 2、A-B間の位相のプロファイルが図 1 3である。 VO_2 領域において hBN との界面に近い部分とカーボン層に近い部分に大きな位相差(電位差)がある。TEM/STEM 像の観察においてもこの近傍で薄膜の質が変化していることが分かっている。即ち hBN との基板から 20 nm 程度を境に VO_2 結晶の存在形態に大きな違いがあることが電子線ホログラフィーと TEM/STEM いずれの計測からも示された。なお、詳細な TEM 観察結果からは hBN (0002) 面に対して 3° の方位ズレで単斜晶 VO_2 の (011) 面が接合し、界面近傍の VO_2 領域では 1 %の引張歪が存在することも判明し、hBN を用いた VO_2 の成膜法の研究に有用な知見が得られた。

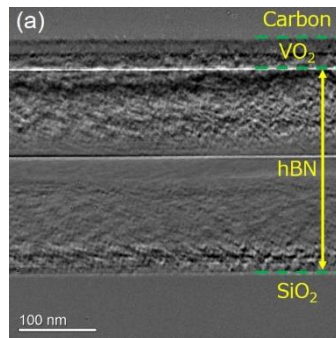


図 1 1 hBN/ VO_2 積層膜試料の断面 TEM 像

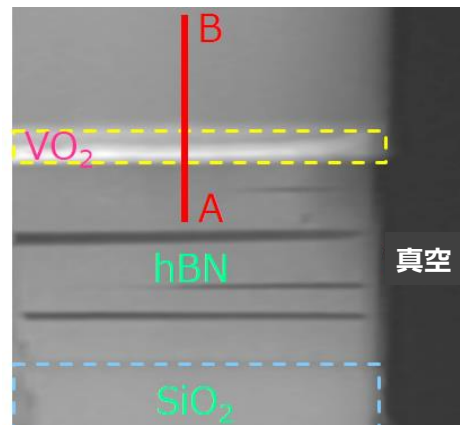


図 1 2 位相再生像 (明るさが電位に相当)

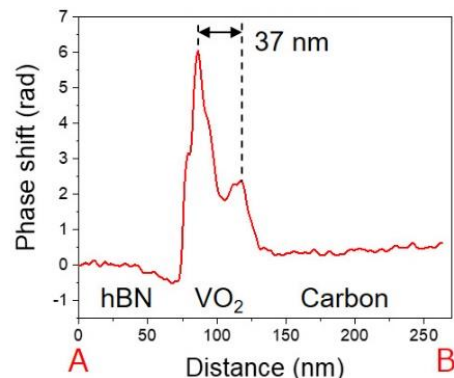


図 1 3 位相の A-B ラインプロファイル

9. 非公開課題につき開示しない

10. 高周波トランス用 MnZn フェライト磁区構造の観察（その2）

課題提案機関：(株)トーキン

課題実施機関：東北大学

結果概要：高周波 MnZn フェライトは電源用トランスやチョーク用材料として用いられる軟磁性材料である。外部磁場に対する磁壁の運動を理解することは材料開発上重要である。平成29年度は従来材である B40 材の静的磁場下での磁区構造をローレンツ顕微鏡法、および電子線ホログラフィーで詳細に調べた。平成30年度は動的磁場下における磁壁の運動の、ローレンツ顕微鏡法によるその場観察を試みた。

集束イオンビーム法で作製された MnZn フェライト薄片を、300 kV 透過電子顕微鏡を用いてローレンツ顕微鏡法による磁区観察を行った。磁場印加ホルダーと電子線振り戻し用偏向磁極コイルに同期をとった交流電流を流す「交流磁場印加システム」を活用することで、動的磁場下での磁壁の運動をローレンツ顕微鏡法で観察することができる。今回は動画の撮影時の交流電流として±8 mT、0.5 Hz の三角波を用いた。動画は透過電子顕微鏡の小蛍光板に映った像をビデオ撮影した。静磁場下での MnZn フェライト B40 材のローレンツ顕微鏡像（顕微鏡用の CCD カメラで撮影）を図14に示す。外部磁場の強さは(a)画面右方向に8 mT、(b)0 mT、(c)画面右方向に8 mTである。図中の矢印は磁壁のコントラストから判断した磁化の向きの一部を書き込んだものである。磁壁は部分的に粒界にトラップされているが、一部は粒界と交差し、一つの磁区が粒界を越えて形成している様子が観察されている。「交流磁場印加システム」により動的磁場下での磁壁の運動を撮影し、磁区構造が連続的に遷移して図14の3つの磁区構造を取る様子が観察され、磁壁と粒界の相互作用等を確認することができた。

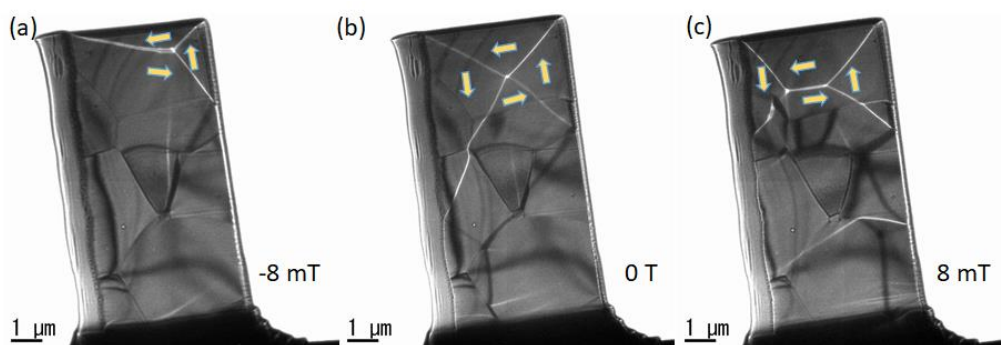


図14 静磁場下での MnZn フェライト B40 材のローレンツ顕微鏡像
外部磁場の強さは(a)画面右方向に8 mT、(b)0 mT、(c)画面右方向に8 mT

1 1. 楔形 GaAs p-n 接合試料を用いた電圧印加状態での定量電位計測

課題提案機関：古河電気工業（株）

課題実施機関：ファインセラミックスセンター

結果概要：位相シフト法を適用した電子線ホログラフィー（以降位相シフト電子線ホログラフィーと記述）により、電圧印加時の GaAs p-n 接合試料の内部の電位を正確且つ高精度にその場計測できた。電子線ホログラフィーによる電位計測では、p-GaAs と n-GaAs における活性層の厚さが異なることを考慮して膜厚変化に伴う位相変化を定量的に解析する必要があることが分かっている。そこで図 1 5 のように試料を楔形に加工して厚さが連続的に変化する領域を計測し解析することで試料内部の電位を正確に計測できるようにした。図 1 6 (a)は取得したホログラム像、(b)はそこから得た位相分布である。この結果を

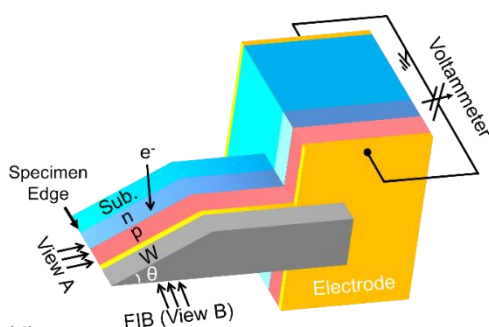


図 1 5 計測した楔形試料の概略図

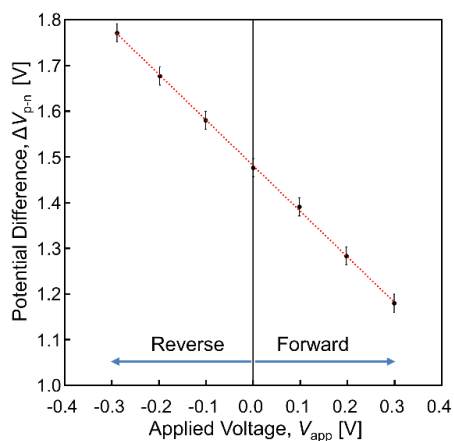


図 1 7 計測された電圧印加による p-n 間電位差の変化

とほとんど一致している。また、図 1 7 は -0.3 V から 0.3 V まで 0.1 V 刻みで電圧印加した際の p-n 間電位差の変化である。両者は明瞭な線形関係を持ち傾きが -1.00 であることから全外部電圧が p-n 接合に印加されている、すなわち、他の層や界面における電圧損失は起こっていないことを示している。

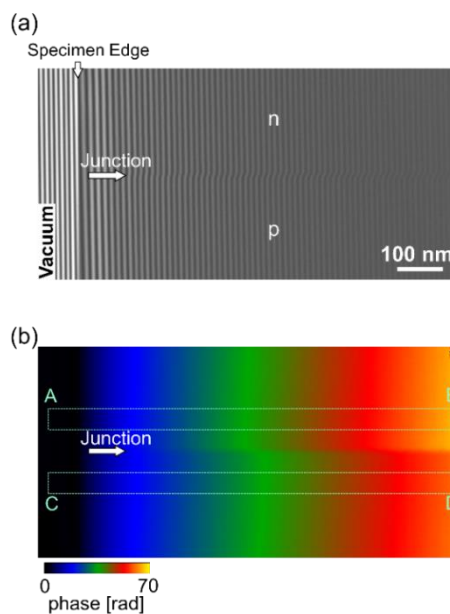


図 1 6 (a) 取得したホログラム像
(b) 得られた位相分布

もとに試料の厚さの情報を考慮して解析した結果、ドーパント濃度が 10^{19} cm^{-3} の p-GaAs、n-GaAs のゼロバイアス時の内部電位がそれぞれ 12.96 V、14.43 V と計測された。また、内蔵電位は 1.48 V と計測された。この値は理論値 1.46 V

1 2. 劈開試料を用いた p-n 接合領域の定量電位計測

課題提案機関：古河電気工業（株）

課題実施機関：ファインセラミックスセンター

結果概要：電圧印加時の GaAs p-n 接合試料（ドーパント濃度 1×10^{18} atoms/cm³）の電位分布を位相シフト電子線ホログラフィーによりその場計測した。電圧印加・ホログラフィー観察用の薄膜試料は、図 1 8 に示すように両面に電極を蒸着したバルク試料の一部を収束イオンビーム (FIB) により加工することで作製したものである。実験の結果、電圧印加に伴う p-n 接合の電位分布変化を明瞭に観測することに成功した。図 1 9 は、電圧印加に伴う p、n 間の位相差の変化をプロットしたものである。ゼロバイアス時の p、n 間位相差は 1.27 rad と計測された。図 1 9 より、p、n 間位相差が印加電圧と線形関係を示すことがわかる。この電位分布変化を定量的に解析することで、本試料における p-n 接合の内蔵電位が 0.76 V と求められた。この値は、理論値 (1.31 V) よりも小さい。この実験値と理論値の差は、p-GaAs と n-GaAs における活性層の厚さが異なることに起因していると考えられる。より正確に電位を計測するためには、同一試料内で膜厚が変化する試料（例えば楔型に加工した試料）を用いて膜厚変化に伴う位相変化を定量的に解析するなどの工夫が必要である。この手法に関しては前述の 11. 楔形 GaAs p-n 接合試料を用いた電圧印加状態での定量電位計測 により期待通りの結果が得られている。

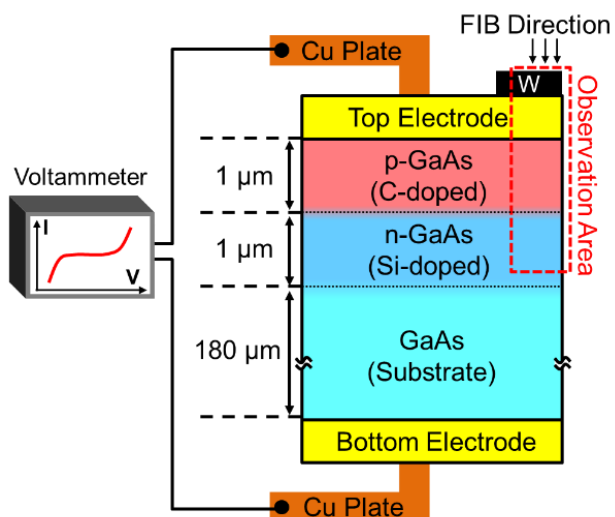


図 1 8 GaAs p-n 接合試料の模式図

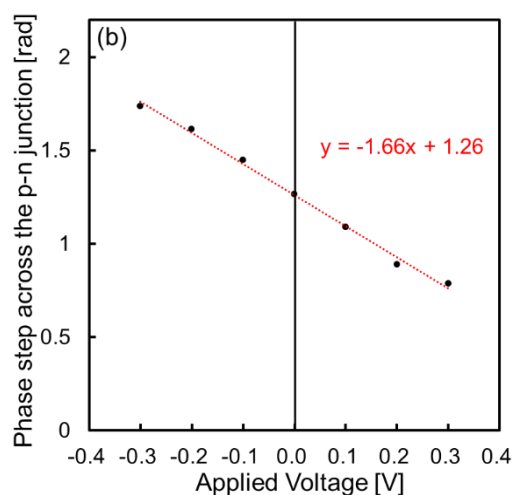


図 1 9 電圧印加に伴う p、n 間の位相差（電位差に比例）の変化

1 3. 電子線ホログラフィーを用いた強誘電体の微細構造解析

課題提案機関：九州工業大学

課題実施機関：九州大学

結果概要： HoMnO_3 をはじめとする六方晶系酸化物の特異な強誘電ドメイン壁、即ち電気分極が“head-to-head”や“tail-to-tail”の形態で向かい合う（同符号の電荷が界面に蓄積される）異常なドメイン壁を研究してきた。このタイプのドメイン壁は希土類元素を含む一部の六方晶系酸化物でのみ観察されていたが、最近六方晶系酸化物とは異なる $(\text{Ca}, \text{Sr})_3\text{Ti}_2\text{O}_7$ でも、“head-to-head” / “tail-to-tail” 型のドメイン壁が生じること、さらにはドメイン壁で局所的に電気伝導率が高まることなどの興味ある物性が報告されている。 $(\text{Ca}, \text{Sr})_3\text{Ti}_2\text{O}_7$ の研究はまだ緒に就いた段階で、結晶学的微細構造と強誘電ドメインの対応関係を含め、詳細な評価が必要である。本課題では、電子線ホログラフィーと透過電子顕微鏡法 (TEM) / 走査透過電子顕微鏡法 (STEM) による微細構造解析を併用し、 $(\text{Ca}, \text{Sr})_3\text{Ti}_2\text{O}_7$ における逆位相境界並びに積層欠陥的な格子不整と、強誘電ドメインとの相関を調べた。その結果、 $\text{Ca}_{2.46}\text{Sr}_{0.54}\text{Ti}_2\text{O}_7$ を $[010]$ 方向から環状暗視野走査透過電子顕微鏡 (HAADF-STEM) で観測すると、図 20 に示すように Ca 原子コラム間に見かけ上原子密度が粗になるストライプ状の部分が観測され、その積層に関わる不整と強誘電ドメインの形態には関係があることがわかった。電子線ホログラフィーでこの格子不整領域を観測すると、図 21 に示すように位相変化のトビが確認された。その成因として、格子不整に伴う原子密度の局所的な変化が考えられるが、これについては引き続き慎重な検討が必要である。

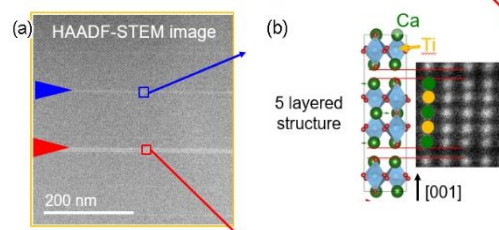


図 20 $\text{Ca}_{2.46}\text{Sr}_{0.54}\text{Ti}_2\text{O}_7$ の
(a) HAADF-STEM 像 (b) 結晶構造の模式

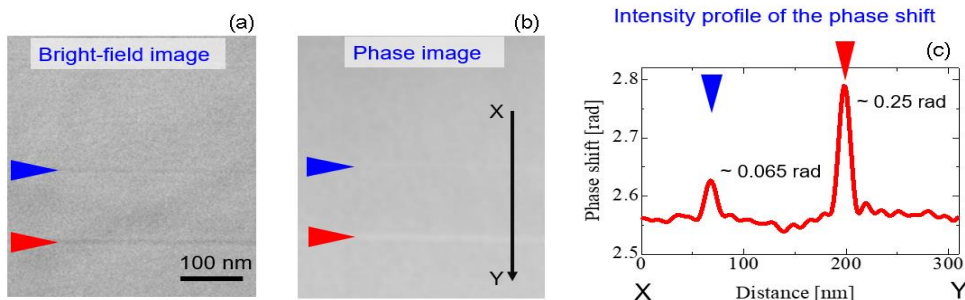


図 21 $\text{Ca}_{2.46}\text{Sr}_{0.54}\text{Ti}_2\text{O}_7$ の (a) 明視野像、(b) 位相再生像、(c) X-Y 線のラインプロファイルで示される位相変化

1 4. 電子線ホログラフィーを用いた有機無機ハイブリッドナノ粒子の形態評価

課題提案機関：東北大学 課題実施機関：九州大学

結果概要：半導体の CdS ナノ粒子を液晶性有機高分子（Dendron）で修飾した図 2 2 の左図のようなコア・シェル型の構造を示す微粒子（CdS-Dend と呼ぶ）を計測対象とした。CdS 微粒子は、紫外線照射による電子励起とそれに続く基底状態への遷移に伴い発光する。その性質は CdS-Dend の状態でも観測される。最近 Matsubara 等は、凝集した CdS-Dend（その配列には秩序がなくアモルファス状態）にアニールを施すと、図 2 2 右図のように粒子配列が規則化することを X 線・中性子を用いた散乱実験で実証した。興味深いことに、自己組織化した状態では Dendron の密度が一様でなく、同図に示すような粗密が生じる。実際に規則化した粒子が作る“結晶”の空間群は $P2_13$ で、立方晶でありながら FCC 構造などと比べて対称性が低い。材料機能としても、自己組織化させた試料では紫外線照射によって励起した電子が周囲のデンドロンに遷移する機構が発現し、発光特性が抑えられる。このように CdS-Dend の材料機能を理解するうえで Dendron の存在形態、特に凝集した状態での Dendron の粗密性を評価することは重要である。しかし有機物である Dendron はもともと透過電子顕微鏡 (TEM) 像でもコントラストが弱く、上記の X 線・中性子プローブの事例を除いては詳細な研究が行われていない。このため、本課題では弱位相物体とみなすことのできる Dendron を電子線ホログラフィーによる位相の解析を通して評価することを試みた。

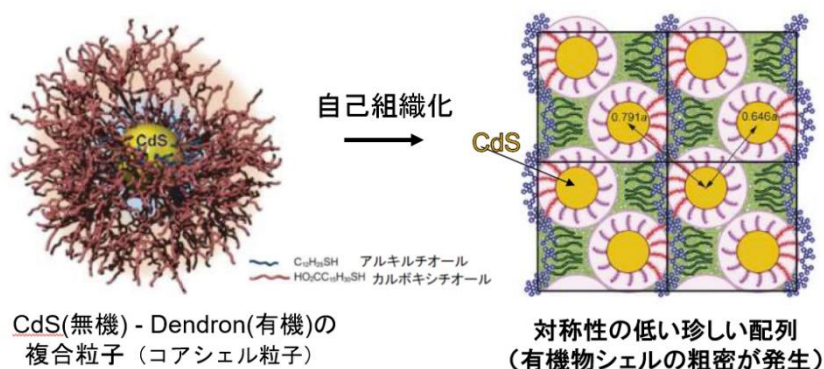


図 2 2 CdS-Dend の構造

自己組織化前の CdS-Dend 凝集体をテトラヒドロフラン (THF) により分散し、それをアモルファスカーボン支持膜上に滴下した試料を用いた。電子線ホログ

ラムの収集は、九州大学の300 kVホログラフィー電子顕微鏡を用いて行った。図23に、支持膜上に分散させたCdS-Dend粒子の高角度環状暗視野走査透過電子顕微鏡(HAADF-STEM)像を示す。コアであるCdS粒子の平均粒径は3.7 nm程で、バルク結晶と同じく六方晶構造を有していることがフーリエ変換パターン(右上挿入図)等の解析でわかった。

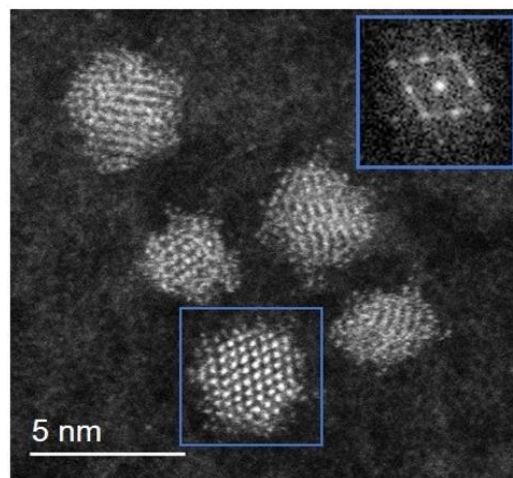


図23 CdS-Dend粒子のHAADF-STEM像

CdS-Dend粒子を電子線ホログラフィーで観察した結果について報告する。図24(a)に電子線ホログラム、図24(b)はその位相再生像を示す。図24(a)における僅かなコントラストから、黄色い破線で示す位置にCdS-Dend粒子が存在することがわかる。しかし位相再生像をみる限り、粒子に対応した位相変化を鮮明に読み取ることができない。ここでは、アモルファスカーボン支持膜自体が位相変化を与える要因となるうえ、ホログラムを取得する際に(物体波だけでなく)参照波も支持膜由来の位相変化を被る。その結果、小さなCdS-Dend粒子に対して無視できない位相ノイズが重畳しており、解析が妨げられた。この問題を解決するため、薄いグラフェンで試料を支持する取り組みと、統計数理的な手法で支持膜由来のノイズを低減する取り組みを並行して進めている。この点については、引き続き支援・研究を行っており、本研究対象の更なる解析、特に有機物であるDendronの形態評価を試みる。

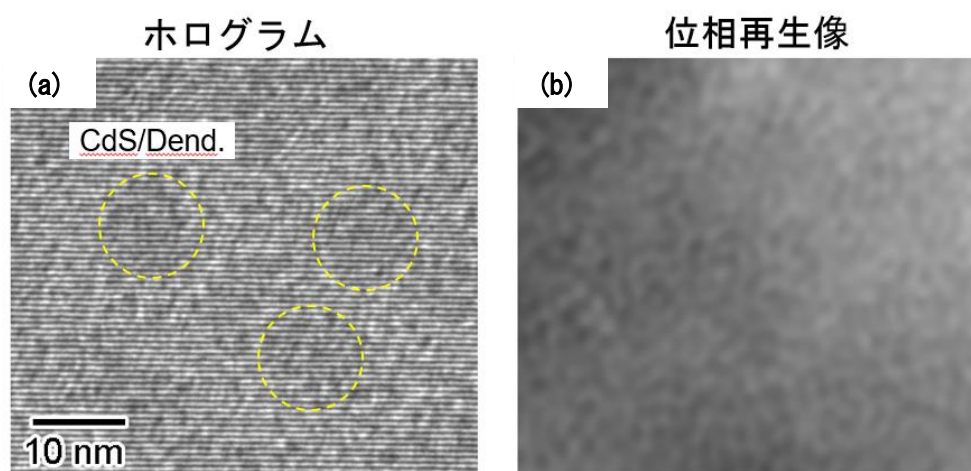


図24 グリッド上に分散させたCds-Dend粒子のホログラムと位相再生像

1 5. キラル磁性体に生ずるらせん状スピン配列の観察

課題提案機関：大阪府立大学

課題実施機関：日立製作所

結果概要：キラル磁性体中に生じた周期的磁気秩序構造を、超高压ホログラフイー電顕を用いて観察した。本実験では微弱な散乱電子の検出が可能である装置の特長を活用し、観察目的の磁気構造を実・逆の両空間画像を観察した。本実験では表 3 に示す 2 種類のキラル磁性体を計測した。

表 3 試料の転移温度、キラル磁気構造周期と散乱角度

(加速電圧: 1. 2 MV)

試料	T _c [K]	キラル磁気構造周期[nm]	電子線散乱角[μ rad]
CrNb ₃ S ₆	~130	~48	~15
MnNb ₃ S ₆	44.5	~300	~2.5

FIB にて薄膜化した 2 種類の試料を液体ヘリウムホルダに載置し、無磁場冷却 (Zero Field Cool:ZFC) 状態で観察した結果を図 2 5 に示す (実験装置: 1. 2 MV ホログラフイー TEM)。両者とも Fresnel 法でのローレンツ像にてストライプ状の磁化構造が観察された (図 2 5 (a) 及び (b))。図 2 5 (b) に示した 90 nm 程度の間隔で観察された線状のストライプ状磁区構造は T_c 以下の温度にて再現性良く観察されており、こうした挙動を実空間で観察した例は従来にない知見である。これらの結果は高い空間分解能と角度分解能を有するホログラフイー TEM ならではの観察結果である。今回はキラル磁性体の磁化構造の検出に留まる結果であるが、詳細な物性を解析するには今回の結果に加えて温度依存性や外部磁場依存性のデータを蓄積する必要がある、今後の研究に期待される。

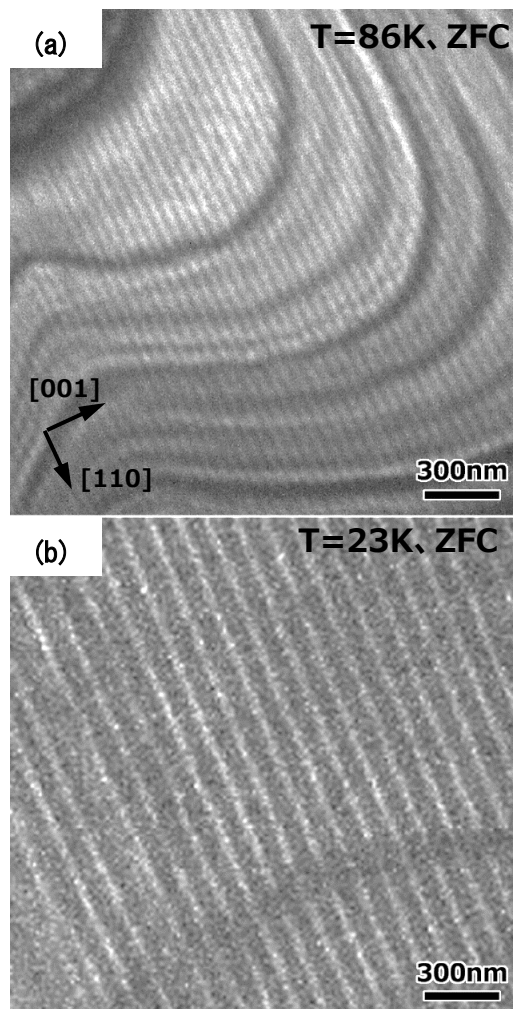


図 2 5 観察されたローレンツ像

(a) CrNb₃S₆、(b) MnNb₃S₆

1 6. 非公開課題につき開示しない

1 7. 酸化物半導体の拡散層及び接合層の電位分布解析（その3）

課題提案機関： 東芝メモリ（株）

課題実施機関： ファインセラミックスセンター

結果概要： 実際の半導体デバイス内部のキャリア濃度分布をナノスケールで測定する分析方法は限られている。電子線ホログラフィーは、シリコンや化合物半導体でキャリア濃度に対応する内部電位が測定されてきた実績があり、デバイス構造のナノスケールでの観察が期待される。本研究では電極下と絶縁膜下でキャリア濃度が異なると考えられる薄膜の酸化物半導体薄膜の内部電位差の検出を目的に電子線ホログラフィー実験を行った。これまでの電子線ホログラフィーではフーリエ変換法を用いた位相再生法により電位分布観察を行ってきたが、今回は位相シフト法を適用した電子線ホログラフィー（以降位相シフト電子線ホログラフィーと記述）によりさらに詳細な観察が可能となった。

厚さ調整や帯電対策などを行った断面試料を、最適化した測定解析条件で電子線ホログラフィーを行った結果、キャリア濃度に対応すると思われる位相差（内部電位差）を詳細に電子線ホログラフィー法で確認することができた（図26）。また絶縁膜下への低抵抗領域（高キャリア領域）の分布までがナノスケールで確認され、位相シフト電子線ホログラフィーが実デバイス構造の新規半導体膜構造においても極めて有効な手法であることが分かった。

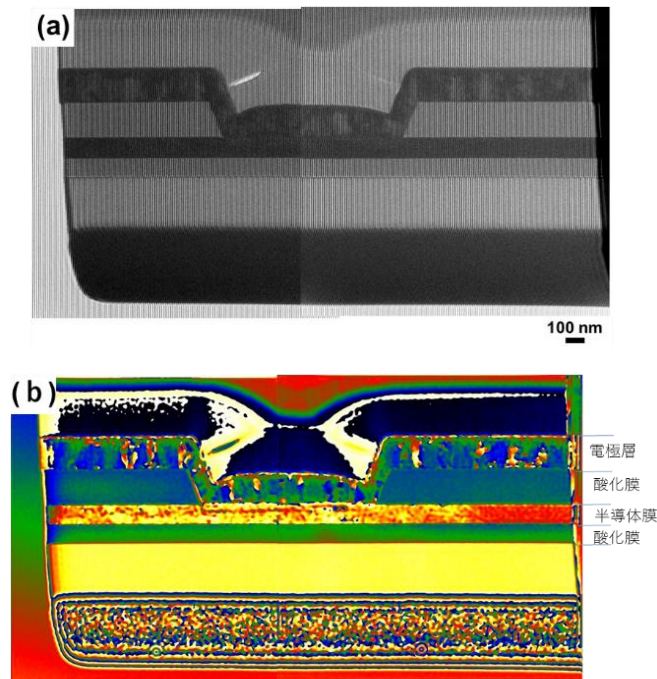


図26 (a) ホログラム像、(b) 電位分布像

1 8. 半導体多層膜の電位分布観察

課題提案機関： 非公開

課題実施機関：ファインセラミックスセンター

結果概要：有機半導体多層膜内部の電位分布を、位相シフト法を適用した電子線ホログラフィーを用いて高精度な計測を行った。Si 基板上に成膜されたITO (Indium Tin Oxide) /有機半導体 2層 /ITO /Al を観察した。通常 TEM 像では、2層のコントラスト差は非常に小さいが、電子線ホログラフィーを用いることで明瞭 2層をマッピングすることに成功した。また、各層で電位の傾斜が観察され、内部電場を計測することにも成功した。

図 2 7 (a)に、ITO /有機半導体 P層、N層 /ITO 部分の TEM 像を示す。有機半導体 2層のコントラスト差は非常に小さく、この TEM 像からは各層の内部の構造や電位分布はわからない。図 2 7 (b)はホログラフィー電子顕微鏡で得た干渉顕微鏡像で、局所的に干渉縞が曲がっていることがわかる。これをグレースケールで位相分布像としたのが図 2 7 (c)である。P層とN層の違いが明瞭に観察できている。また、N層は均質であるが、P層は元素組成または密度のムラに相当するコントラストが観察されている。

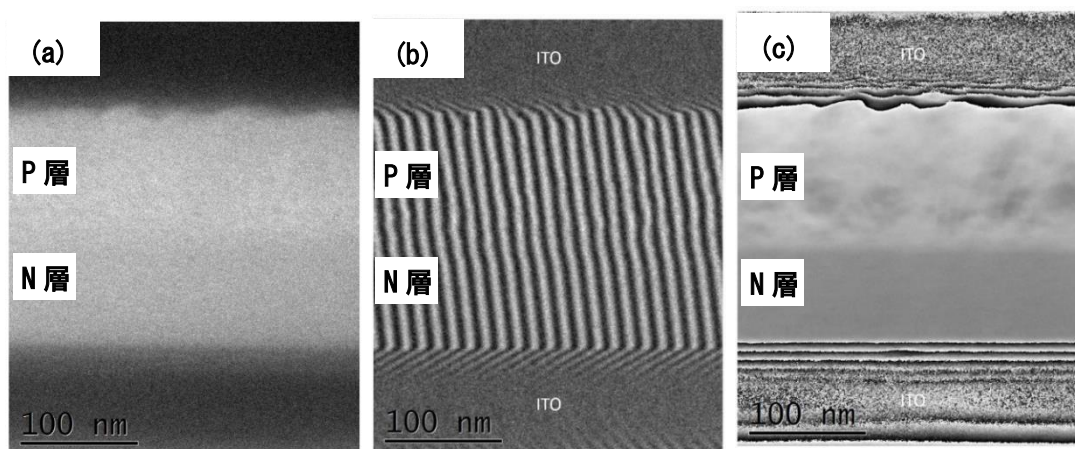


図 2 7 有機半導体多層膜 (2層) の (a) 断面 TEM 像、(b) 干渉顕微鏡像 (c) 再生位相分布像

19. ZnO ナノワイヤー内部の電位分布観察

課題提案機関：九州大学 課題実施機関：ファインセラミックスセンター

結果概要：ZnO 系ナノワイヤーは、燃料電池に必要となる水素を製造するための触媒として有望視されている。その特性を理解するために、ナノワイヤー単体の機能をナノスケールで評価することが重要である。ZnO ナノワイヤーの興味深い特徴として、照射する光の波長に従い、その透過率が大きく変化する特性を持っており、ナノワイヤー内での電氣的ポテンシャルが光照射によって変化している可能性がある。そこで ZnO ナノワイヤーおよび CuO をコートした ZnO ナノワイヤーについて、電子顕微鏡内で光照射を行い、電子線ホログラフイーを用いてナノワイヤー内部の電位変化について、照射前後で比較することを目的とする。平成30年度は、光照射電子線ホログラフイーの技術確立を目指し、以下の上記の実験の準備として以下の二項目を実施した。

1) TEM 内光照射技術の開発

TEM 内で試料に光照射するため、電圧印加用 TEM ホルダーに LED 素子を固定した。図28に、LED 素子を点灯させたときの写真を示す。発光波長は約 560 nm である。LED 素子自体を変えることにより、発光波長を変えることが可能である。図のように、TEM 試料を接地電極に固定することで、TEM 内で LED の光を照射する技術を確認した。

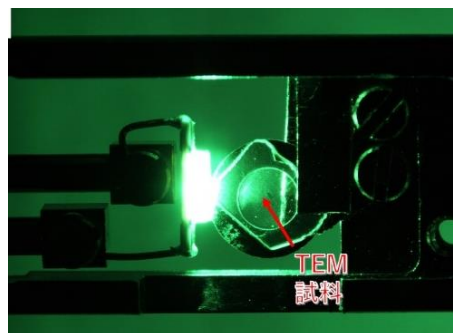


図28 電圧印加用TEMホルダーの先端、LED点灯時

2) TEM 試料の作製

ZnO ナノワイヤーの走査電顕像を図29(a)に示す。たくさんのワイヤーが絡まっていることがわかる。これをエタノール中で超音波洗浄機により拡散した後、その混濁液を TEM 観察用のマイクログリッドに滴下した。図29(b)はその TEM 像である。以上のように、TEM 内でナノワイヤーに光照射する前後で電子線ホログラフイー計測を行える準備が整った。

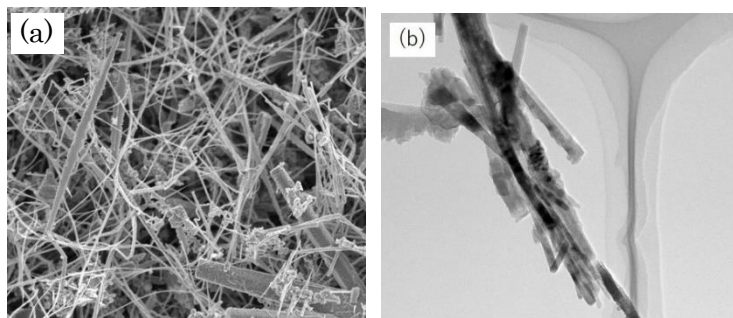


図29 (a) ZnO 名のワイヤーの走査電顕像 (b) TEM 試料グリッド上に配置された ZnO 試料の TEM 像

20. 非公開課題につき開示しない

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】

ファインセラミックスセンター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。また、必要に応じて所内外の協力者にも助言を受けながら結果の解釈と考察を行った。古河電工（株）からの課題（表2の課題番号11、12）については、所外から半導体物性理論に関する助言を、所内からサンプルの保存方法に関する助言を得た。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、新規利用者の開拓を図った。平成30年度においても、実施した課題に対する半導体関連の企業や機関の利用者からの評価は良好であり、令和元年度にも利用申請を受ける見通しである。

【機関名：国立大学法人九州大学超顕微解析研究センター】

これまでに整えた利用支援体制を基盤として平成30年度の業務に取り組んだ。具体的には、業務主任者が採択課題申請者と協議のうえ適切な実験計画を立案したほか、課題の進捗状況の掌握、データ取り纏めに対する助言、装置の維持管理状況の評価等にあたった。実施担当（本事業で雇用した学術研究員）1名は、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等を担当した。研究成果の取り纏めに際しては、業務主任者と実施担当が共同で結果の解釈等にあたると共に、課題申請者との十分な意見交換の機会を設定した。物品購入契約等の事務については実施機関の担当職員の支援のもとで常時的確な処理を進めた。

【機関名：国立大学法人東北大学多元物質科学研究所】

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、熱電子照射ホルダを活用し、共同研究に供した。電子線ホログラフィーを専門とする事業担当と実施担当（各1名）に加え、高い技術力を有する技術室の実施担当（1名）の支援を得て、実験計画の立案支援、データ収集、データ解析支援等を行った。学生（3名）によるホログラムやローレンツ顕微鏡像の解析業務を行った。（学生3名はアドミニストレイティ

ブ・アシスタントとして雇用した)。

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ーを装備している。

【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。二箇所を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ホログラフィー電子顕微鏡

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】

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。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きた。平成30年度もこの状況を継続した。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2名の確実な育成に貢献した。

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、技術習得を完了し、研究成果を十分挙げるようになるようになっていた。平成30年度はさらに高感度位相シフト電子線ホログラフィー技術、*in situ* 観察技術などの高度な技術を習得させ、本事業の利用者の希望に応えられるように一層高いレベルにまで育成できた。

【機関名：国立大学法人九州大学超顕微解析研究センター】

平成29年10月から本事業に参画した実施担当*1)の技術向上とキャリア形成に引き続き注力した。まず本事業の基軸である電子線ホログラフィーの学理と技術を一層深めるために、当該分野で実績のある日立製作所、ファインセラミックスセンター、東北大学の研究者・技術者との交流機会を設定した。日立製作所の研究者との交流は、平成30年10月4日、および12月6日に、九州大学において実施された。ファインセラミックスセンターと東北大学の研究者との交流は、平成31年2月22日の国際ワークショップ（於：日立製作所）の機会を利用して実施された。これらの交流を通して、分離照射技術、その場観察用の試料作製技術、位相再生技術、電子回折効果の考慮などについて、実施担当が知見を深める事を促した。また実施担当が電子顕微鏡の画像解析や像シミュレーションの実績を有する事を踏まえて、これらの技術を電子線ホログラフィーの分野に取り込み、本事業を契機とする新しい解析プロセスの骨子構築を進めたほか、実施担当の学術的な実績の蓄積に努めた。その成果は、国立大学法人大阪大学（以下「大阪大学」という）の提案課題「デバイス開発を目指した遷移金属酸化物の電位分布観察」に関連する、同提案グループと実施担当者の共著論文（Scientific Reports, vol.9, 2857, 2019）にも活かされている。このような取り組みを通して、本事業における研究支援業務の裾野を大いに広げるとともに、それを通して実力と競争力に富んだ若手の育成を推進した。

上記の取り組みのほか、九州大学の超顕微解析研究センターにおいて、本事業に関わる電子顕微鏡学の技術講習会を年間10回開設し、学生のほか学内外の若手研究者・技術者に対する教育・育成活動を行った。なお本事業の利用者にも講習会プログラムを周知したが、平成30年度はプラットフォーム利用者の講習会受講はなかった。

*1)平成29年6月～9月の期間は、当事者が九州大学大学院に在籍して

いたため、補助者（リサーチアシスタント）の立場で本事業に参画した。

【機関名：国立大学法人東北大学多元物質科学研究所】

東北大学の加速電圧300kV分析電子顕微鏡の実験補助と装置メンテナンスに必要な人材は、東北大学・多元研の技術室に依頼した。様々な研究内容に対応できるように、事業担当が実施担当に対して電子線ホログラフイ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。

修学中の大学院生3名への研究指導を行った。彼らには本プラットフォームにて電子線ホログラムやローレンツ顕微鏡像の解析支援を依頼し、その解析を通じて実践的な解析手法を習得させた。また、学部1年生6名に対して試料加工とホログラフイ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った。

その他、5大学附置研究所による「ダイナミック・アライアンス」での大阪大学産業技術研究所との共同研究、東北大学学際科学 フロンティア研究所による「学際研究支援プログラム」などの共同研究の場に於いて、研究討論を通じて電子線ホログラフイーの解説を行った（人・環境と物質をつなぐイノベーション創出 ダイナミック・アライアンス平成30年度エレクトロニクス物質・デバイスG1分科会：平成30年10月29日～30日、於・倉敷せとうち見島ホテル）。

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。具体的には、観察サンプルごとに異なるホログラム撮影の最適条件（ダブルバイプリズムによる電子レンズの電流値、バイプリズムへの印加電圧、位相シフトの手法など）を蓄積し、種々の観察サンプルに対応できるホログラム撮影条件標準データ集とした。また、位相シフト解析ソフトの導入により、ホログラフイー観察の高分解能化を図りユーザーの要求に応えられるようになった。

また、古河電工の課題（p-n接合解析）の解析結果は半導体のホログラフイー解析のモデルと言うべき典型的な解析例であったため、論文、学会、等で広く公表することにより、産業技術総合研究所、東芝メモリなど

新規な研究機関・企業からの利用申請を受けて解析を実施することにつながった。

【機関名：国立大学法人九州大学超顕微解析研究センター】

最近の九州大学の取り組みとして、電子線ホログラフィーの一種である「暗視野電子線ホログラフィー」という技術の高度化を進めており、平成30年度もその高度化を実施した。この技術は従来、半導体デバイスなど一部の非磁性試料の結晶格子歪の解析に対して、ごく限定的に使われていた。これまでの基盤的研究を踏まえて、装置面では劣化していた蛍光板を更新し、暗視野電子線ホログラフィーを永久磁石等の磁性材料にも適用可能な状態としたほか、電場・磁場の分布と結晶格子歪の計測を合わせた多面的解析の手段として活用することに取り組んだ本事業の課題推進に際して、これらの新手法の展開と技術・情報共有を推進した。具体的には、国立大学法人山形大学の提案課題「強磁性薄膜での磁氣的相互作用の評価」において、磁性薄膜における歪情報と磁場情報の分離を行うための手法として、暗視野電子線ホログラフィーの活用を試みた。提供された試料はサブミクロンスケールの結晶粒からなる多結晶試料のため、想定以上に歪情報の解析・解釈が難しい状況であった。本件については令和元年度以降も引き続き検討を行う。

【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。また、装置共用における実験結果解析ソフトウェアのライセンスを更新した。

更にローレンツ顕微鏡法像から磁壁幅を解析する課題においては、計測結果から磁壁幅を算出する手法の改良を行い、短時間で効率的に解析作業が行えるようにした。なお、大容量の実験データをユーザーへ提供するためにポータブルハードディスクを使用した。また、技術の高度化の一環として「回折現象の位相シフトへの影響」を動力的回折理論を用いて検証し、その結果を19th International Microscopy Congress（平成30年9月9日～14日、於：シドニー）、International Workshop of Ultra High-Resolution on Microscopy 2019（平成31年2月22日～23日、於：鳩山町・東松山市）の二つの国際会議で発表することで技術の普及と利用者の拡大に活用した。

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】

ファインセラミックスセンターでは平成20年を第1回として、以降2年に一度、最先端の顕微鏡と理論計算に関する国際シンポジウム（International Symposium on Advanced Microscopy and Theoretical Calculations：AMTC）を主催してきた。このシンポジウムでは、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している。本シンポジウムは過去に5回開催されており、毎回10カ国以上の海外研究者と100件を超える講演、250人以上の参加者があり、この分野では国内有数の国際シンポジウムに発展している。次回の第6回AMTCは、令和元年6月14日～15日に名古屋市で開催することを決定し、本事業を通じて得られた学術的成果も発表する計画で準備を着手した。また、本年6月16日～19日に名古屋市で開催される日本顕微鏡学会第75回学術講演会では、学会の設立70周年記念特別企画の一つとして国際シンポジウム（日独セミナー）が開催される。このセミナーは本事業の業務参加者の一部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のセッションも予定されている。本事業の研究成果も発表される運びになっている。平成30年5月29日～31日に福岡県久留米市で開催された日本顕微鏡学会学術講演会および平成31年2月22日～23日に行われた、International Workshop of Ultra High-Resolution on Microscopy 2019（於：鳩山町・東松山市）では、本事業担当者による口頭発表はじめ材料、電子顕微鏡分野の研究者を交えた議論を行い情報収集の場として活用できた。

【機関名：国立大学法人九州大学超顕微解析研究センター】

九州大学と日立製作所他が実施する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」の研究課題として、電子顕微鏡技術と情報処理技術の融合を進めている。平成30年度は、本プラットフォームを構成する日立製作所、東北大学、ファインセラミックスセンターの研究者とも有用な連携・情報交換を行った。同研究課題では、電子線ホログラムを含めた画像データを大規模取得・解析するための技術、或いはノイズの抑制に関わる技術の構築に取り組んでおり、平成30年度も当該研究が進められた。このうちノイズ抑制に関わる一部の技術を、平成30年度の本事業で活用することを

試み、その有効性を確認することができた。

平成31年2月22日～23日に行われた、International Workshop of Ultra High-Resolution on Microscopy 2019（於：鳩山町・東松山市）では本事業担当者による口頭発表はじめ材料、電子顕微鏡分野の研究者を交えた情報収集の場として活用できた。

【機関名：国立大学法人東北大学多元物質科学研究所】

利用者との技術交流も含め連携を深めて今後の共同研究へ発展させた。具体例として、MnZn フェライトの磁区構造評価の課題では、これまでは外部磁場に対する磁区構造変化に注目してきたが、現在は、試料温度に対する磁気特性変化の測定へと研究を展開させる準備を進めている。

なお、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いる。プラットフォームで利用している顕微鏡は研究所の共通機器の一つであり、装置の運営は大学側で算定した利用料金で行うようにするという方針が出されている。この方針に従い、平成29年度に（1）利用料金を改定すると共に、（2）数年毎に行われる高額なメンテナンス費に備えて利用料収入を次年度に繰り越すことを可能にするなど、運営方法の改善が進められたのでそれに従った。なお、平成30年度は良好なホログラフィー観察像を得る目的で、電子線バイプリズムの更新のほか共用機器付属の空気コンプレッサーの修理を実施した。また、事業実施中に試料冷却ホルダの冷却性能の劣化が見られたが、早期の修理（装置メーカーへ引き取り）を図りユーザーへの影響を回避することができた。

平成31年2月22日～23日に行われた、International Workshop of Ultra High-Resolution on Microscopy 2019（於：鳩山町・東松山市）では本事業担当者による口頭発表はじめ材料、電子顕微鏡分野の研究者を交えた情報収集の場として活用できた。

2. 4 協力機関の取組状況

協力機関として理研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。平成30年度は九州大学と東北大学がホログラフィーに関する技術的な議論を実施するとともに技術的アドバイスを受けた。九州大学は、平成30年7月3日に、磁石材料のデータ収集に有用な分離照射技術についてアドバイスを受けるとともに、データ解析に関わる助言を得た。東北大学は5月17日～18日、6月13日～15日に実施担当者（2名）が理

研（鳩山町）にて低温でのホログラフィー観察実験を行い、ノウハウを学んだ。但し、旅費は他予算から支弁した。

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頂く予定であったが、平成30年度は特に新たな運用面でのアドバイスを求める必要は生じなかった。

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

II. 2. 2 実施内容（代表機関）【機関名：株式会社日立製作所 研究開発グループ基礎研究センタ】⑧その他 の項目の1) 装置利用結果の件数と概要 において以下のように記載されている。『平成30年度の利用課題に対して、これまでに共用プラットフォームの利用課題に取り組んだ経験と、実施機関などで研究参画中の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」での研究成果を適用した。これにより一定の効率化が図れ、課題に着手してから結果を出すまでの時間を短縮することができた。』。また、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」に関しては、II. 2. 3 実施内容（実施機関）⑤その他 の【機関名：国立大学法人九州大学超顕微解析研究センター】の項目にも記載がある。その他に、ファインセラミックスセンターでは「先端技術育成研究」と呼ぶ財団の財源を使った自主研究を実施している。平成30年度には「高度情報処理技術を用いた電子顕微鏡データの解析に関する探索研究」と題するテーマで情報科学的手法を駆使した電子顕微鏡画像の高精度高感度解析に関する研究を進めた。この中で開発した手法を電子線ホログラフィーに応用すると、今までは解析不可能であった高ノイズのホログラムから高い精度で電場や磁場の解析ができることが明らかになり、本事業にも応用する予備的実験を行い良好な結果を得た。今後は適宜本事業に活用していきたいと考えている。また九州大学では、平成31年1月18日に開催された日本学術振興会水素機能解析技術第190委員会（於：九州大学）、ならびに平成31年1月24日に開催された触媒材料系の研究会「先端計測に学ぶ材料開発の指針」（於：千葉大学）において、電子線ホログラフィーの対象分野拡大を視野に、本事業の紹介を行った。研究会の参加者はそれぞれ約50名、約30

名程度であった。

3. 2 スタートアップ支援について

ファインセラミックスセンターでは、日立ハイテクノロジーズからの出向研究員に本事業の電子顕微鏡解析を担当してもらいながら、将来帰社した後は会社で活用できるように高度なホログラフィー技術を習得してもらい、育成した（令和元年度も継続中）。

九州大学では、スタートアップ期にある若手研究者の支援として、本事業で雇用する学術研究員1名（平成29年度10月採用）に対するキャリア形成に取り組み、II. 平成30年度の実施内容／2. 3実施内容／③人材育成の項に記す実績を収めた。また表3の13項目に記載の国立大学法人九州工業大学の実施課題「電子線ホログラフィーを用いた強誘電体の微細構造解析」については、研究グループの強化と優れた成果の発表を行っている提案者に対して、新たに電子線ホログラフィーの利用機会を提供し、更なる展開を支援する形となった。

3. 3 共同研究・受託研究について

本プラットフォームにて取り組む装置利用課題は、当初から広い意味での共同研究的な取り組みが必要であると認識しており、実際、平成30年度に取り上げた課題はいずれもそのような取り組みが必要であった。具体的には電子線ホログラフィーで試料の微小領域電磁場情報といった所望の情報を引き出すためには、単に電子が透過するように薄膜化するだけではなく、膜厚の均一性や帯電防止のためのコーティングなどの工夫が必要であり、利用者との技術的な詳細な議論が必要であった。個別の装置利用課題の具体的な取り組み方法とその内容および実績については、II. 平成30年度の実施内容の ⑧その他の 2) 装置利用結果 の項目に記載した。

また、3. 1 分野融合・新興領域の拡大について に記載した、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」は、九州大学、日立製作所および大阪大学の三社の共同研究である。また、同様に3. 1に記載した、ファインセラミックスセンター自主財源による「高度情報処理技術を用いた電子顕微鏡データの解析に関する探索研究」もファインセラミックスセンターと大手電機メーカーとの共同研究で実施した。

3. 4 試作機の導入・利用による技術の高度化について

平成30年度、計測手法や解析手法に関しては、“試作された機器”

の導入に関して該当案件はないが、Ⅱ． 2． 2 実施内容（代表機関）【機関名：株式会社日立製作所研究開発グループ基礎研究センタ】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 およびⅡ． 2． 3 実施内容（実施機関）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）等の項目に記載したように、代表機関日立製作所独自の開発により、また代表機関日立製作所と実施機関九州大学および大阪大学との共同研究により生まれた計測手法および解析手法を一部の利用課題に導入して有効な結果を得た。

3. 5 ノウハウ・データ共有について

Ⅱ． 2． 2 実施内容（代表機関）【機関名：株式会社日立製作所研究開発グループ基礎研究センタ】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、および、Ⅱ． 2． 3 実施内容（実施機関）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、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． 2 実施内容（代表機関）【機関名：株式会社日立製作所研究開発グループ基礎研究センタ】およびⅡ． 2． 3 実施内容（実施機関）③人材育成 の項に記載した。

3. 7 利用アンケートについて

平成30年度、利用アンケートという形では意見収集は行わなかった。なお、半導体関係企業の装置利用者からは、「このような薄膜内部の磁束分布を高分解能で計測できることをこれまで知らなかった。自分たちの開発にとって非常に有効であった。」との評価をいただいた。また、同様に半導体関係企業からは「デバイス内部の電位分布をこんなにはっきり可視化できることを知らなかった。令和元年度もぜひ活用したい」との希望をいただいている。