

最先端研究開発支援プログラム(FIRST)「原子分解能・ホログラフィー
電子顕微鏡の開発とその応用」(外村プロジェクト)の今後の取扱いに
係る調査検討結果について

平成 24 年 5 月 31 日

最先端研究開発支援推進会議

最先端研究開発支援プログラム推進チーム

- 外村プロジェクトの今後の取扱いについて、最先端研究開発支援プログラム推進チームにおいて、外部有識者の参画・協力を得て、補助事業者（(独) 科学技術振興機構（以下「JST」という。）、(株) 日立製作所（以下「日立」という。）、(独) 理化学研究所（以下「理研」という。））からの聴取による調査検討を現地調査を含め行い、その結果について以下の通り取りまとめた。

1. プロジェクトの目標・意義と全体計画等について

(1) プロジェクトの目標

本プロジェクトは、中心研究者である故外村彰博士の構想に基づいて、世界最高の空間分解能の実現と併せ、電子線ホログラフィー技術を用い、原子レベルでのゲージ場を可視化する世界初の観察装置（電子顕微鏡）の開発を目指している。

(2) プロジェクトの意義

本プロジェクトの核となる電子線ホログラフィー技術は、世界をリードしてきた独創的な日本の技術である。同技術を基に、電磁場分布や量子現象を原子レベルで観察できる世界に類を見ない電子顕微鏡装置の開発に成功することで、電子顕微鏡の開発分野で世界を先導する立場に立つだけでなく、物理分野で量子現象の新たな発見をもたらすことや新材料の創成（例えば、永久磁石の希少元素レス化）など産業技術の発展にも大きく寄与することが期待される。

(3) プロジェクトの全体計画

本プロジェクトの全体計画としては、平成 25 年度末までに、目標

に掲げた性能を有する電子顕微鏡装置を開発し、本装置による三次元原子配列観察が可能であることを実証する計画となっている。

なお、本装置を活用した量子現象の解明等の研究開発については、本プロジェクト終了後に実施していく計画となっている。

（４）プロジェクトの構成と実施・推進体制

本プロジェクトは、①要素技術を含む電子顕微鏡本体開発（以下「本体装置開発」という。）と②本体装置の性能を発揮するための解析手法の高度化（以下「予備実験」という。）の大きく２つの研究開発項目で構成されている。

その実施・推進体制としては、故外村中心研究者の下で、①については日立が、②については理研が担当する共同事業として実施されている。また、JST がプロジェクト全体の研究支援を担当している。

2. 補助事業者からの聴取結果

（１）これまでの研究開発の進捗状況について

ア 本体装置開発（日立担当部分）

要素技術開発を含む本体装置開発については、当初の計画通りに主な開発項目の設計・製作・評価を終え、ドイツのメーカーに開発（製造）を委託している収差補正器等一部を除き、装置の組立が完了している。

また、平成 23 年 8 月には、日立側で本体装置を納める建屋を竣工している。

イ 予備実験並びに応用実験（理研担当部分）

本体装置の性能を発揮するための解析手法の高度化については、①三次元試料ホルダーの安定性を検証する三次元再構成実験と② 1/1000 波長に相当する位相変化を検出する高精度位相計測が、300 kV ホログラフィー電子顕微鏡により進められている。

三次元再構成実験については、高精度 360 度試料回転ホルダーを作製し、高精度位相計測については、目標の 1/1000 波長に相当する位相変化を検出できる見通しが得られるなど、300kV では、ほぼ計画に沿った成果が得られている。

なお、将来の装置活用に向けた応用実験（以下「応用実験」とい

う)については、予算の減額に伴い所期の計画では本プロジェクトの対象範囲とはされていないが、故外村中心研究者の判断に基づき、平成 23 年度から、300kV ホログラフィー電子顕微鏡を用いて、東京大学十倉好紀教授 (FIRST 中心研究者の一人) や東北大学進藤大輔教授との協力連携の下、ナノスケールで電子のスピン渦 (スキルミオン) の観察や磁性特性を究明する取組みが始められており、一定の成果が得られつつある。

ウ 予算の執行状況

本プロジェクトには、総額で約 62 億円が配分されているが、平成 24 年 4 月現在で、事業者に対する発注済み分を含めれば、約 85% を執行している状況となっている。

(2) 今後の研究開発 (プロジェクトの所期の目標達成) の見通しについて

ア 本体装置開発 (日立担当部分)

プロジェクトの所期の目標を達成するために、本体装置開発において残された主な課題としては、①高圧ケーブルの放電防止、②超低ドリフトの試料ステージの剛性強化、③収差補正器の本体装置への搭載と安定性評価及び調整方法の確立が挙げられている。

これらの課題については、各々に対応して実施する内容と達成時期が明示されており、これにより当初計画に沿った目標達成が可能としている。特に、現時点で本体装置への搭載が行われていない収差補正器については、開発の要である光学設計については日立が開発を委託しているドイツのメーカーと共同して行うとしている。また製作、加工はマイルストーンに基づいて日立が同メーカーの進捗状況をフォローすることにより、本年 12 月には本体装置への搭載が完了する見通しであるとしている。

イ 予備実験並びに応用実験 (理研担当部分)

本体装置の性能を発揮するための予備実験については、300kV 電子線ホログラフィーで得られた成果 (三次元解析技術や位相ノイズを軽減する技術) を 1.2MV の本体装置へ適用していくことが主要課題となっている。その達成に向けて、①ホログラフィー観察の機能・

性能を拡大するための新たな干渉技術の確立や②実試料を用いた高精度位相検出等の取組みを行うとしている。但し、1.2MVの本体装置へ適用するために想定される技術課題やその解決に向けた工程表は、現時点では具体的には明示されていない。

応用実験については、300kV ホログラフィー電子顕微鏡を用いてよりインパクトの高い成果を創出するために、これまで取り組んできている観察技術を確立するとともに、1.2MVに適用するテーマを応用研究会の開催により新たに検討するとしている。

ウ プロジェクトの実施・推進体制（強化に向けた取組み）

補助事業者としては、中心研究者である外村博士の死去により様々な影響はあるものの、これまでの要素開発等を通じて、開発において生じると予想される課題・隘路事項を可能な限り抽出し、対応についても検討を済ませていることから、プロジェクトの実施・推進体制を強化することにより、その影響を克服し、プロジェクトの所期の目標を達成することは可能としている。

具体的には、次のような取組みによりプロジェクトの実施・推進体制を強化し、プロジェクトの所期の目標達成を図るとしている。

- ① 中心研究者の下で本体装置開発を統括してきた長我部信行博士（日立中央研究所所長）を中心研究者代行とし、中心研究者の研究構想、研究計画に沿って本プロジェクトの目標を完遂する。
- ② 本体装置開発を統括すると同時に日立中央研究所所長でもある長我部博士が、中心研究者代行としての職責を的確に果たし得るよう、日立中央研究所企画室において全面的にバックアップする体制を構築する。
- ③ 理研が担当する予備実験並びに応用実験については、中心研究者の下で研究を実施してきた朴賢洵博士を5月からチームリーダーとするとともに、これを強力にサポートするために、中心研究者と応用実験についての共同研究を行っていた東北大学進藤大輔教授（電子線ホログラフィーの世界的な研究者の一人）を招聘し、研究実施体制の強化を図る。
- ④ 研究支援については、理研で副グループディレクターであった小野義正博士を、専任の支援コーディネーターとして研究実

施場所に駐在させることにより体制を強化する。

(3) プロジェクト終了後の展開についての構想

補助事業者としては、本プロジェクト終了後、プロジェクトで開発した電子顕微鏡装置について、日立、理研での活用を図るとともに、他の研究機関や国家プロジェクト等との共同研究を通して、共同利用施設化を目指すとしている。

具体的には、プロジェクト実施期間中に、JST、日立、理研で社会還元に向けた対応策の検討を継続するとともに、国際シンポジウムや、外部専門家との応用研究会を通じて得られた人的ネットワークを活かし、装置活用についてのテーマを検討していくとしている。

また、プロジェクト終了後の構想として、

- ① 日立は、開発中の 1.2MV に加え、1.0MV 等の電子顕微鏡装置を有しており、これらの電子顕微鏡装置群を維持・管理するとともに、外部ユーザーに開放する。併せて、社内の基礎研究、開発研究に活用し、日本の産業活性化に会社として貢献する。
- ② 理研は、強力な研究チーム体制で日立と協力して装置のさらなる高度化に取り組むとともに、最先端研究を推進する。
- ③ 世界に冠たるホログラフィー電子顕微鏡群をフル活用するために、理研-日立体制をコアとして、内外の研究者や産業界の研究者との共同研究体制を構築し、国際的な拠点化を図っていく。としている。

3. プロジェクトの今後の取扱いについて（プロジェクトの継続の可否の判断）

(1) プロジェクトの所期の目標達成の可能性

① プロジェクトの特性と技術的な目標達成の可能性

本プロジェクトは、電磁場状態や量子現象を原子レベルで観察できる電子顕微鏡装置の開発を目標としている。中心研究者の目標としていた装置の構想はすべて設計に落とされ、それを基に日立関係の研究者、技術者が中心になって組み立てに邁進し、装置の総合評価が近い段階に達している状況にある。この過程での技術課題は、中心研究者が解決に対応する種類の課題ではなく、主に工学的、エンジニアリング的課題が多い。従って、計画の総合調整、進捗管理

を適切に行うことができれば、プロジェクトを継続することで目標達成は基本的に可能と考えられる。

② プロジェクトの目標達成に向けた実施・推進体制

プロジェクトの目標達成に向けて、補助事業者側から、プロジェクトの実施・推進体制を強化することが提案されている。本提案は妥当なものと判断されるが、その中で特に、プロジェクト全体のマネジメントを誰が責任を持って遂行するかどうかという点が重要なポイントとなる。提案の中で、中心研究者代行となる長我部信行博士は、本プロジェクトの研究実施機関の一つである日立に所属し、実質的に装置開発を担ってきている。また、過去に故外村博士の直属の部下として、故外村博士とともに、本プロジェクトの実施に至る電子線ホログラフィー技術によるアハラノフ・ボーム効果の実証や電子顕微鏡の開発を実質的に研究推進してきた実績を有する。従って、当該分野における科学研究実績も豊富であり、かつ故外村博士の研究構想を最もよく理解している人物と言える。

①及び②から、当該分野での優れた研究実績があり、かつ本体装置開発の研究実施機関の組織責任者でもある長我部博士が中心研究者の代行を担うことにより、本プロジェクトの計画の今後の進捗管理、総合調整が実質的に行われ、プロジェクトの所期の目標達成は可能になるものと見込まれる。

(2) プロジェクトの達成目標の国際的な優位性

本プロジェクトの達成目標としている①世界最高の点分解能(0.04nm)による数Å (1 Åは 10^{-10} m) の原子の捕捉、②世界最高輝度による微細な三次元電磁場分布の可視化、③超高電圧(1.2MV)によるミクロンオーダーの厚い試料、重元素の観察を可能とする観察装置の開発は世界初の試みであり、現時点においても、世界をリードする目標として国際的な優位性を有している。

以上を総合的に勘案し、本プロジェクトについては、本体装置開発を統括している長我部博士を中心研究者代行とすることにより、継続実施していくことが妥当と判断される。

この場合、本プロジェクトの目標である「原子レベルでのゲージ場を可視化する世界初の電子顕微鏡の開発」にとどまることなく、「開発した電子顕微鏡により、スカルミオン等固体物性に現れる量子現象を観察することで物理の根本を解明する」という外村博士の構想を、可能な限りプロジェクト期間内に前倒しして実施していくことが期待される。

なお、長我部博士を中心研究者代行とすることに伴い、一部 FIRST の運用規定について、必要な見直しを行うこととする。

また、補助事業者が提案している上述の 2. (2) ウのプロジェクトの実施・推進体制の強化や 2. (3) のプロジェクト終了後の展開に向けた検討の取組み状況については、今年の夏以降に予定している FIRST の中間評価において、国際的なベンチマークの状況と併せて確認を行っていくこととする。