

先端研究拠点事業  
事業実績報告書

採用年度	平成 15 年度
種別	拠点形成促進型
分科細目	4 3 0 6
採用番号	1 5 0 0 2

領域・分野	数物系科学
分科細目（分科細目コード）	物理学，物性（磁性・金属・低温）実験（4306）
採用番号	15002
研究交流課題名（和文）	超伝導ナノサイエンスと応用
研究交流課題名（英文）	Nano-Science and Engineering in Superconductivity
採用期間	平成16年2月1日～平成18年1月31日

《実施組織体制》

日本側

拠点機関名	国立大学法人筑波大学
実施組織代表者（職・氏名）	学長・岩崎 洋一
コーディネーター（職・氏名）	教授・門脇 和男
協力機関数	7
参加者数	39

相手国1

国名	E U
拠点機関名	Katholieke Universiteit Leuven
実施組織代表者（職・氏名）	Dean of Departement Natuurkunde en Sternkunde Prof. Michel Rots
コーディネーター（職・氏名）	Professor, Victor Moshchalkov
協力機関数	18
参加者数	21

相手国2

国名	USA
拠点機関名	Argonne National Laboratory
実施組織代表者（職・氏名）	Materials Science Division Director Dr. George Crabtree
コーディネーター（職・氏名）	Dr. Wai K. Kwok
協力機関数	8
参加者数	21

## 交流目標の達成（見込）状況

全交流期間を通じての達成目標（申請書で示された内容と同一のもの）

電気抵抗がゼロになる超伝導現象は電子の量子力学的な相関効果（コヒーレンス）が巨視的なスケールで発現することによって発現する極めて希な物理現象である。最先端ナノテクノロジーを活用して、この超伝導現象をより深く理解し、新奇な超伝導状態の予言や常温付近で発現する超伝導体を探索し、量子効果を利用した量子コンピューターの研究など、基礎科学的観点から物質材料科学を国際的な共同研究の中で推進することにより、4半世紀先の未来社会を切り開く新しい科学技術の創造をそれぞれの研究拠点の特色を生かしつつ、国際的な協力体制を保ちながら発展させる。また、高温超伝導体をしのぐ常温超伝導体の開発を目指す。

### 交流目標の達成状況

近年、急速にナノテクノロジーが発展している。アメリカ合衆国は全米十数カ所にナノテクノロジーセンターを設立し、ほとんどすべての科学・技術分野を巻き込み、強力に推進している。ヨーロッパも英国、フランス、ドイツ、オランダ、スイスなど、主要各国がそれぞれ独自の組織を作り、推進に力を入れている。このような取り組みの中から、分野を超え、基礎科学から応用を含めた新しい学術の創成が始動している。このように、先進諸国のナノテクノロジーを基軸とした新たな学問領域の構築が強力に推進されている状況に鑑み、我が国も少なからぬ予算処置を講じ、科学技術基本計画の重点項目としても取り上げられてきている。しかしながら、我が国においては、とくにナノテクノロジー分野においては基盤技術が脆弱で有り、特に、人材育成を重大な使命とする大学においてはほとんど自己開発不可能な状況にある。これは、本研究課題のみの問題ではなく国家的な問題であるが、あらゆる分野において共通する根源的な問題である。我々は、この国際的な先端研究拠点事業を通して、ナノテクノロジーを基礎において超伝導材料科学をアメリカ合衆国、ヨーロッパ先進諸国と対等に実施し、新たな研究分野の進展を我が国が誘導することで、我が国の科学技術の根幹に関わる問題を解消する研究者集団を形成することが肝要であり、その最終的な到達目標は、超伝導の基礎概念を構築する新しい研究成果を上げ、発展させながら4半世紀先の次世代の科学技術を先導する有能な人材を育成することである。

このような考えに立脚して、平成16年2月より過去2年間に渡り、国際交流を深めながら先進各国と国際的な研究の枠組みの構築に努力してきた。国際会議の開催、国内外でのセミナーやこの分野で活躍する人材の交流を中心に行ってきたが、その基本理念は、各研究拠点は特徴あるオリジナリティ豊かな世界最先端の研究を行う実力が有り、各研究拠点はそれを尊重しながら共存できる資質を持っていること（世界的研究の中心としての役割認識）、各研究拠点は情報公開が可能なこと（オリジナリティの尊重と侵害の排除）新しい分野創出とそれを実行する若手人材を育成すること（新分野を担う人材育成）である。このような観点はもちろん先端研究拠点事業の基本理念A～Dの項目に合致することは言うまでもない。これらの点について以下に箇条書きにする。

A：（我が国における成果）メソスコピック超伝導体における巨大量子化磁束の発見と幾何学的形状に依存した多彩な磁束状態の観察、高温超伝導を用いたTHz帯電磁波の発振、フェッシュバハ共鳴による原子気体におけるボーズ・アインシュタイン凝縮の発現機構の解明を上げる。

B：上記の研究成果の中心となっている研究者は全員30代の若手研究者である。若手研究者が研究の中心として国際的に活躍し、国際的な場で発表する機会を与えている。大学院生の育成が急務である。

C：CTCメンバー内部だけではあるがインターネットを活用した情報交換ネットワーク（IRIS: Intelligent Research Information Systems）を昨年開始した。CTCの枠内では問題ないが、研究の内部情報については、一般公開は適当でないので、発表直前の論文（プレプリント）などの公開は既に世界数カ所に存在する一般のプレプリントサーバーを利用するのがより合理的である。

D：ナノテクノロジーを主体とした超伝導のほぼ全域をこの先端研究拠点事業は網羅しているが、量子干渉や量子計算などの分野が弱い。今後、この分野を強化しながら研究を進める。更に、物質、材料開発研究にも力を入れ、より高温で実現する超伝導体を探索する。このように、ナノテクノロジーを用いた材料科学は新しい現象を示す物質の発見によって飛躍的に進歩する。上記成果はその一端となる意味を持っており、これを更に推し進め、実現するために必要不可欠な基盤技術を形成しつつ、その学術的な成果を社会還元し、知的財産として後世へ伝えたい。

## 実施状況

### 研究交流計画実施にあたる実施体制

交流目標で述べたように、日本、EU、アメリカ合衆国の各参加機関のオリジナルな研究内容を各研究機関独自に推進することが基本にあり、その中で実験設備や施設、アイデア、人材などを、先端研究拠点事業を通して共有するものである。それを実施するために、毎年、国際会議やセミナーを開催すること、若手を中心とした人材交流を行うこと、試料の作成、実験などのため、研究拠点固有の特徴ある施設を共有し、有効活用すること、などを中心として組織作りを主に行ってきた。これらに関しては国内外共通であるが、国内ではそれに加え、国内の研究者だけで開催する研究会を毎年1～2回実施し、国内におけるより緊密な研究体制の構築を行ってきた。特に、理論と実験の融合、大学院生や若手研究者の交流を行った。

### 日本側拠点機関における研究交流課題への取り組み（事務支援体制等の観点より）

我が国の拠点機関は7協力機関、39名が参加しており、頻繁に情報や意見交換などが行われている。セミナーなどの参加も必要に応じて参加メンバー以外の研究者も含めて実施している。事務支援体制として特に国内で問題となることは少ない。様々な実施計画の立案段階から実施段階まで、専属の事務支援があると理想的である。

一般に、国際的な共同研究に対する事務的な支援は、我が国においては経験が浅く、語学的な要素や国際的な事務ルールの違いなどからきわめて貧弱である。また、我が国では書類等をすべて日本語に翻訳する必要があり、大きな事務負担となってくる。このような専門の事務員の雇用や人事配置を速やかに実施できる体制は必ずしも整っているとはいえないのが我が国の大学の実情である。そのため、多くはコーディネーターに負担が集中し兼ねない。このような状況を改善する人材（ホームページの製作などを含めて）と予算的な施策が先端研究拠点事業として必要不可欠と考えられる。

## 共同研究

国際的な共同研究として最重要課題は、アメリカ合衆国側（アルゴンヌ国立研究所の Kwok が中心）と我が国（筑波大学の門脇、NIMSの羽多野が中心）のTHz波の発振に関する共同研究である。門脇グループは直接的な発振の兆候を、独自にミクロンサイズに加工した単結晶試料を用いて初めて観測に成功した。羽多野グループは、特殊な方法で育成したひげ結晶を用いて、同様の実験を行っている。また、アルゴンヌ国立研究所は、門脇グループの単結晶を用い、バルク体の表面からの回折を利用して取り出す方法を採用している。3者3様のアイデアで実験が行われている。一方、理論は日本側（立木、松本、町田が中心）が大いに先行しており、アメリカ側（Koshelevが中心）も独自に行っている。まだTHz波の強力な発振は確認されていないが、その機構は全くオリジナルであり、大いに期待されている。

一方、メソスコピックサイズの超伝導体で現れる試料の幾何学的形状に依存する磁束状態の研究に関しては、EU側のルーベン大学（Moshchalkovが中心）、アントワープ大学（Peetersが中心）、バス大学（Bendingが中心）、アメリカ合衆国側のイリノイ大学（Metlushkoが中心）、我が国では筑波大学（神田、門脇が中心）、東北大学（小山が中心）でそれぞれ異なった独自のアイデアで資料の作成技術や理論計算などで密接な共同研究が行われている。この中で、神田らによるメソスケールの超伝導体における巨大磁束の観察は重要であり、大きな衝撃を与えた。特筆すべき我が国の成果である。

国内においては、上記の課題とそれ以外にメソスケールの超伝導体の磁束線の直接観察の実験として筑波大学（門脇グループが中心）と東京大学（為ヶ井、徳永が中心）が中心となり、理化学研究所（Nori、Savel evが中心）、東北大学（小山が中心）が理論的な研究を共同で実施している。また、微視的な磁束の観察では東北大学（西寄が中心）、理化学研究所（外村が中心）、理論ではNIMS（胡、野々村が中心）、原研（町田が中心）が積極的に情報交換しながら活躍している。高温超伝導体の磁束系の相図が従来の超伝導体のそれとは大きく異なり、過去20年にわたって混乱が続いたが、この国際的な共同研究体制が重要役割を果たし、ほぼ解明されるに至った。

## セミナー

セミナーは、この先端研究拠点事業「超伝導ナノサイエンスと応用」において中心的役割を果たすものである。即ち、国際的には毎年1回、国際会議を開催し、各研究拠点の研究の進展状況、及びこの分野の発展状況を確認する。また、国内においても少なくとも毎年1度はセミナーを開催し、国内の共同研究者の研究状況の確認と研究の位置づけを把握する。このような位置づけにより、2回の国際会議（Joint Meeting of FIMS/ITS-NS/CTC/PLASMA-2004(2004年11月24-28日、つくば国際会議場)、及び、4<sup>th</sup> International Conference on Vortex Matter in Nanostructured Superconductors(2005年9月3-9日、Crete, Greece))を実施した。特に、後者はEU側と相互出資で共同開催した。この2つの国際会議は、これまでの超伝導研究の流れを超伝導ナノテクノロジーを主体とする方向へ大きく転換するものであり、規模や参加者の人数からわかるように、単にこの先端研究拠点事業実施研究者のみに拘わらず、広く世界各国から注目を集める国際会議へと成長している。今後、更に加速度的に分野が大きく進展すると期待されている。後者に関しては国際会議の論文集として国際学会誌(Physica C)に掲載されている。

国内的には開始以降、5度のセミナー(研究会3回、講演会2回)を実施した。内容は、第1回研究会(平成16年3月31日、大分県立別府コンベンションセンターにて)、第2回(平成17年2月21-22日、ヴィライナワシロ、福島県)、講演会(平成17年5月13日、筑波大学)、アプリコソフ記念講演会(平成17年10月13-14日、筑波大学)、第3回研究会(平成17年12月16-17日、東北大学)である。特に、第3回目は先端研究拠点事業拠点形成促進型最後の研究会であり、国内の関連する分野の研究者との交流も重要であるので、東北大学が主催した第13回渦糸物理国内会議「超伝導体における渦糸状態の物理と応用」と合同で実施した。研究会に関しては講演予稿集を冊子として作成し、事前配布した。これによってこれまで実施してきた超伝導体の古典的な研究からナノテクノロジーを駆使した新しい超伝導物理へと移行することに貢献した。今後、この傾向が更に強まると予想され、新しい超伝導研究分野が大きく開花する可能性を示した。

## 研究者交流

研究者の交流に関しては共同研究、セミナー等のための招聘、及び国内の研究者の相手国側の研究機関の訪問、国際会議の出席などに主に利用した。平成17年度においては、大型の国際会議がギリシャで計画されており、当初、資金の不足が見込まれたため、可能な限り国際会議に予算を配分した。元来、人事交流を深め、情報交換を緊密に行うため、研究者間の交流を積極的に行う必要がある。特に、若手研究者の交流を増やし、国際感覚を身につける重要なチャンスとして大いに活用すべきである。