

先端研究拠点事業－国際戦略型－

平成 20 年度 実施計画書

採用年度	平成 18 年度	採用番号	15002	領域 (系)	数物系 科学	分科	物理学	細目名 (コード)	物性 II (磁 性・金属・低 温) (実験) (4306)
------	----------	------	-------	-----------	-----------	----	-----	-----------	---

1. 研究交流課題名 (和文) 超伝導ナノサイエンスと応用

(英文) Nano-Science and Engineering in Superconductivity

研究交流課題に係るホームページ: <http://kadowaki.ims.tsukuba.ac.jp/nes/>

2. 採用期間 平成 18 年 4 月 1 日 ~ 平成 21 年 3 月 31 日 (36 ヶ月)

3. 先端研究拠点事業としての全期間を通じた交流目標

(拠点形成型から含め、経費支援終了後 5 年間を見据えて)

超伝導状態では電気抵抗がゼロである。磁場は量子化され、超伝導電流の渦を形成する。このように、超伝導は自然現象の中で大変際だった特異な現象である。この分野でナノテクノロジーを活用した新しい科学・工学の発展がめざましい。急速に進展しているナノテクノロジーによる材料加工技術により、量子コヒーレンスを用いた量子計算やジョセフソン接合を利用した様々な量子デバイスへの応用がその典型的な例である。従来、踏み込むことの出来なかったサブミクロン領域の超伝導体を自在に作製し、その性質を明らかにすることで、量子力学を基礎とした 21 世紀の新しい科学と応用の基礎を確立することを目標とする。このような流れを、世界の最先端研究拠点と連携を取りながら我が国が主導的に実施し、急速に発展するこの分野における世界の中心的研究拠点として、我が国の地位を確立することを目指す。

4. 拠点形成型における交流活動による目標達成状況

昨年度、アメリカ側と日本側の共同研究の結果として、固有ジョセフソン接合による強力な連続 THz 波の発振現象が高温超伝導体の良質単結晶 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ で発見された。この THz 波は現状で約 $5 \mu\text{W}$ と強力で、連続発振するため、すでに高感度の検出器を使わなくとも安価な誘電体検出器で十分検出できるレベルにあり、ある種の応用には利用可能なレベルにある。この発振の物理的機構を明らかにし、さらに強力な発振が得られる為の条件を確立するとともに、応用の可能性を探ることが本年度の最も重要な課題である。全体としては、これまでの活動を通して、EU 側は昨年度より 5 年計画で NES-ESF が開始し、アメリカ側は昨年 10 月、NSF に日本・EU との国際共同ネットワークの設立の申請を行った。これによって当初計画した日本・EU・アメリカ合衆国の先進諸国の 3 拠点枢軸構想が実現できることになり、これから「超伝導ナノサイエンスと応用」を通して真のグローバルな国際共同ネットワーク事業の展開が可能となる。

5. 本年度の交流計画の概要

(共同研究)

昨年度、日米共同グループで高温超伝導体単結晶を用いた THz 領域の電磁波の連続発振に成功した。固有ジョセフソン接合を用いたこの THz 電磁波の発振は、過去 10 年以上にわたり、我々が求めてきたものであり、我が国のオリジナルな研究成果として大変重要なものである。これは本年度も研究を継続して行う最も重要な共同研究のひとつである。本年度は、特に、未だ未解決の問題である THz 波の発振機構と発振条件の確立に焦点を置き、形状効果、厚さ効果、温度効果、ドーピング効果など詳細な実験を行い、理論との整合性を見る。実験は、筑波大学グループとアルゴンヌ国立研究所グループ、物材機構（羽多野グループ）が中心となり、理論グループは立木、胡、小山、松本、町田グループが独立に、それぞれの特徴を十分に発揮し行う。この研究は極めて注目度の高い研究であり、EU 側ではチュービンゲン大学の Kleiner 教授グループ、エルランゲン大学の P. Müller 教授が大型予算を獲得して実験を開始している。また、スウェーデンのチャルマース工科大学の A. Yurgens 博士グループも同様の研究を始めており、それぞれ相互にライバルとして協力関係を保ちながら研究を進める。理論では、アルゴンヌ国立研究所の A. Koshchev 博士らが大変積極的に解析的計算を日本側の理論グループと密接に情報交換しながら行っている。

ナノ加工した超伝導体中の磁束状態の研究は EU 側とアメリカ合衆国側の両者間で直接観測する実験が進行中である。アメリカ合衆国側はイリノイ大学の V. Metlushko 博士グループが電子線リソグラフィ技術を駆使して精密加工した超伝導体の微細構造を作製し、それを我々のマイクロホールセンサーまたは走査型 SQUID 顕微鏡で観察する。この共同研究は既に数年前から行っているが、試料の作成や観測装置の開発が遅れており実現できていなかった。この問題を国内外の研究者との共同研究体制のなかで早急に解決したい。具体的には国内では、筑波大学内で門脇グループ、神田グループ、東京大学の為ヶ井グループ、九州大学の小久保グループ、東工大の大熊グループ、東北大学の西寄グループ、海外では微細ナノ加工技術では世界最高の装置を持つベルギーのルーベン大学の V. Moshchalkov 教授グループ、アメリカ合衆国、イリノイ大学の V. Metrushko 博士グループなどである。理論はアントワープ大学の F. Peeters 教授グループがほぼ独占的に行っている。

現在、ロンドン大学との間で巨視的量子トンネル現象の観測で共同研究を実施している。この問題は高温超伝導体の超伝導位相のコヒーレンスを使った量子計算など、量子情報分野のきわめて重要な研究課題であり、各国で研究競争が次第に激化している。特に、高温超伝導体は量子トンネル現象が見られる領域がヘリウム温度領域にあり、通常の超伝導体で必要であった mK 温度が必要ないため、大変有望視されている。このような実験には良質な単結晶がどうしても必要不可欠であり、世界トップレベルの単結晶育成が可能である筑波大学グループが大きな優位性を持っている。微細加工技術とインシチュー測定が可能なロンドン大学との間で共同研究を昨年度開始した（ロンドン側は別途、この共同研究のための予算を Royal Society から 2 年間の予定で確保している）。今年度もこれを継続する。スウェーデンのチャルマース工科大学の Yurgens 博士らも同様の研究を開始している。

(セミナー)

本年度は 3 件の国際会議を合同で開催する予定である。

① 「第 6 回高温超伝導体における固有ジョセフソン効果とプラズマ振動に関するシンポジウム (PLASMA 2008)」を韓国、浦項（ポハン）市、ポハン科学技術大学にて、平成 20 年 7 月 17 日～19 日の 3 日間開催する予定である（主催者：ポハン大学 Hu Jong Lee 教授）。この会議は会議名からして、固有ジョセフソン接合とジョセフソンプラズマに特化した国際会議であり、固有ジョセフソン接合関連の研究により我が国で発祥した国際会議であり、過去の開催は CTC プログラムが毎回共同で主催してきた。また、参加者の多くは本 CTC プログラムの関係者であることから、今回は主催

者側がメンバー国ではないが共同開催とする。

②ESF-NES 微細構造超伝導体に関するワークショップ 2008 をドイツ、フロイデンシュタット・ラウターバッハ(Freudenstadt-Lauterbach)で平成 20 年 9 月 13 日～17 日、開催する予定である。これは EU 側が ESF-NES で共同開催する国際会議であり、今回はドイツ、ユーリッヒ国立研究所の Roger Wördenweber 博士が主体となって主催するものである。

③これは正式決定されていないが、アメリカ側が NSF に申請した NSF-ESF-JSPS NES グローバル共同研究プログラムが受理されるなら、アメリカ側が 3 極共同体制の設立を記念して開催を予定している国際会議である。期日も未定であるが、本年 12 月～来年 1 月頃を目処にしている。今年度、本 CTC プログラム最終年度であるため、合同でぜひ開催し、次期の国際プログラムに繋げたい。

そのほか、国内での研究会を 1～2 回、随時、インフォーマルミーティングを開催予定である。

(研究者交流)

本年度は第一級の国際会議、第 25 回国際会議（国際低温会議(LT25)）がオランダのアムステルダムで開催されるなど多くの国際会議やワークショップが予定されており、国内外での研究成果の公表や人材交流には大変重要である。特に、このような国際会議の場を活用して、若手研究者が世界トップレベルの研究者と交流を行う事によって国際的なセンスを養い、次世代を担う指導的な人材をこのような国際共同体制の中から育成したい。このような趣旨から、第 25 回国際低温会議(the 25th International Conference on Low Temperature Physics: LT25)に 3 名、その後アメリカ合衆国、シカゴで開催される応用超伝導国際会議（2008 Applied Superconductivity Conference: ASC2008）に 3 名、スペイン、アリカンテで開催される ESF-NES 主催のワークショップ(NES Workshop: Probing Superconductivity at the Nanoscale)に 2 名派遣予定である。これらの国際会議等に於いて、最近、特に重要となっている THz 波の発振機構解明、出力の向上、検出感度の向上、イメージングなどの技術的な諸問題の解決にむけ、国際的なレベルで若手人材の活躍の場を提供したい。

6. 実施組織

○日本側実施組織

拠点機関	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 所属部局・職・氏名	数理物質科学研究科・教授・門脇和男
協力機関数	15
協力機関名	東北大学、京都大学、東京大学、東京工業大学、山形大学、宇都宮大学、独立行政法人物質・材料研究機構、日立製作所基礎研究所、独立行政法人理化学研究所、日本原子力研究開発機構、慶応義塾大学、日本電気株式会社基礎環境研究所、九州大学、名古屋大学、東京理科大学
拠点機関事務組織： 事務総括責任者	数理物質科学等支援室長・山本重悦
事務総括担当者	数理物質科学等支援室研究支援専門職員・東郷雄一
経理管理責任者	数理物質科学等支援室長・山本重悦
経理管理担当者	数理物質科学等支援室会計係長・杉本 裕

○相手国側実施組織 1

国名	USA
拠点機関	Argonne National Laboratory
コーディネーター 所属部局・職・氏名	Materials Science Division・Group leader Wai -K. Kwok
協力機関数	8
協力機関名	Northern Illinois University, University of Notre Dame, Texas A&M University, University of Chicago, University of Illinois at Chicago, University of South Carolina, University of California at Davis, University of Illinois at Urbana-Champaign

○ 相手国側実施組織 2

国名	EU
拠点機関	Katholieke Universiteit Leuven
コーディネーター 所属部局・職・氏名	Laboratorium voor Vaste-Stoffphysica en Magnetisme ・ Professor Victor Moshchalkov
協力機関数	18
協力機関名	CNRS-CRTBT, Research Center Julich, Universitat Tübingen, Universitat Erlangen-Nürnberg, Walther-Meißner Institut für Tieftemperaturforschung der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Università de Napoli, Universiteit Antwerpen, Universiteit Leiden, Universiteit Twente, Universidad Autónoma de Madrid, Chalmers University of Technology, Université de Genève, ETH, University of Bath, Loughborough University, University College of London, University of Cambridge, University of Bordeaux