

採用年度	種別	分科細目	採用番号
平成15年度	拠点形成促進型	物性 (磁性・金属・低温)(実験)	15002

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

経費支給期間 平成16年2月1日 ~ 平成18年1月31日(24ヶ月)

**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
コーディネーター所属部局	数理物質科学研究科
コーディネーター職・氏名(フリガナ)	教授・門脇和男(カドワキカズオ)
協力機関数	7

相手国側実施組織 1

国名	EU 代表
拠点機関	Katholieke Universiteit Leuven
コーディネーター所属部局	Faculty of Science, Vaste-stoffysica en Magnetisme
コーディネーター職・氏名	Professor, Victor Moshchalkov
協力機関数	17

相手国側実施組織 2

国名	the United States of America
拠点機関	Argonne National Laboratory
コーディネーター所属部局	Materials Science Division
コーディネーター職・氏名	group leader, Dr. Wai K. Kwok(Division Director Dr. George W. Crabtree)
協力機関数	10

## 本年度の研究交流実績

### (共同研究)

#### 研究成果

第2種超伝導体では磁場は量子化されて磁束となるが、通常、 $\phi_0 = hc/2e = 2.07 \times 10^{-7} \text{ (G} \cdot \text{cm}^2)$ を単位として量子化される。しかしながら、超伝導体をミクロンサイズに加工すると、試料に端が存在するため、量子力学的な閉じこめ効果が顕著になり、巨大磁束(giant vortex)状態が安定化されることが知られている。この巨大磁束状態を、多重微小トンネル接合(multiple-small-tunnel junction(MSTJ))を用いることにより、接合電圧の変化として観測に始めて成功した(Kanda, et al., PRL **93**, 257002 (2004))。また、超伝導体にミクロンサイズの様々な形状の穴を開けると(この場合、アンチドットという)アンチドットに捉えられた(巨大)磁束とそれ以外のところに存在する通常の磁束の共演がこれまでに見られない磁束状態を実現することが知られており、試料のサイズ、形状を様々な工夫することにより巨大磁束をふくめた多様な磁束状態を人工的に作ることができることから、超伝導エレクトロニクスへの応用を見据えた研究が活発化している。

また、高温超伝導体  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ の単結晶を用いた微小固有ジョセフソン接合において、ジョセフソン磁束のフローダイナミックスの測定により、Fiske ステップを始めて観測した。これは接合内にジョセフソンプラズマ(電磁波)が発生していることを直接実証する実験結果である。ジョセフソンプラズマ現象は我が国で発見され、発展した新しい超伝導分野であり、テラヘルツ帯の電磁波の発信源(THz レーザー光源)や高感度受信器用のデバイスとして、また、超大量データ通信や超伝導エレクトロニクス、医療、セキュリティ、防衛、宇宙技術、環境モニターなど、極めて広範な用途があるため、今後の重要な研究課題となっている。

#### 進捗・交流状況

ヨーロッパ(EU 諸国)、北米、日本の3極を枢軸とする共同研究体制の構築について、Prof. Moshchalkov氏が欧州科学財団(ESF)を通してEU側の中枢となり、向こう少なくとも5年間程度、共同研究として継続することを平成16年7月に決定した。これは、今後、国際戦略型への移行を視野に入れたものである。同様の研究協力体制をアメリカ側と交渉している。

### (セミナー)

国際会議として平成16年11月24-28日、FIMS/ITS-NS/CTC/PLASMA2004を筑波国際会議場エポカールで開催した。この会議は本先端研究拠点事業、筑波大学21世紀COEプログラム「未来型機能を送出する学際物質科学の推進」、筑波大学「ナノサイエンス」特別プロジェクト、及びPLASMA2004との合同主催の会議である。EU側から10(18)名、アメリカ側から12(20)名、国内から31(35)名が参加し(括弧内はCTC参加メンバー数)、微小サイズの超伝導体の問題も重要課題であったが、特にジョセフソン磁束状態の解明と微小ジョセフソン素子におけるダイナミックスが議論の中心であった。

また、国内会議を平成17年2月21-22日、ヴィラ猪苗代(福島県耶麻郡猪苗代町)で開催し、「明日の超伝導研究とは？」-物質、物理、そして応用-と題して、現在、重要な課題であるジョセフソン磁束のダイナミックスなどの研究以外にも今後重要となるであろうと予想される研究課題(例えば、常温超伝導の可能性)についても議論した。

### (研究者交流)

Abrikosov氏(2003年度ノーベル物理学賞受賞)の招聘を当初計画したが、氏の都合により実現せず、平成17年度に延期された。国際会議等を利用した多数の研究者交流の他、Pedersen教授(デンマーク工科大学)を招聘し、ジョセフソン磁束のダイナミックスについて議論を行った。

### 年度計画の達成状況（自己評価）

日本、EU、アメリカ合衆国を3極とする共同研究体制が実現し、本格的に始動した。特に、11月に行った国際会議の後、微細加工技術に関して日本（筑波大）、アメリカ合衆国（イリノイ大学）、EU（Leuven 大学、Bath 大学）間でそれぞれの拠点の特長を生かした国際的な連携がスタートした。加工技術が試料作成において本質的な役割を果たすので大きな進歩である。単結晶  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$  におけるジョセフソン磁束のダイナミクスにおいて、Fiske ステップが明瞭に観測されたことは、マイクロ波から THz 領域の電磁波の発信器として機能していることの直接的な検証であり、この分野の発展の大きな礎になる重要な結果が得られたと考えている。

### 次年度以降の展望（計画目標の達成に向けた課題）

平成17年度は、9月3-9日、クレタ島（ギリシャ共和国）で Vortex Matter in Nanostructured Superconductors (VORTEX IV) を開催予定である。日本、EU 諸国、アメリカ合衆国及び、それ以外で活躍するこの分野の関係者が世界的な規模で一堂に会し、オリジナルで新しい研究成果の発表と議論の場とする計画である。特に、若手研究者の積極的な参加を促すための施策を行う。さらに、国内における研究会を12月末に開催し、重要課題である単結晶  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$  におけるジョセフソン磁束系のダイナミクスを利用したテラヘルツ帯の電磁波放射現象の研究とその応用についての議論を行う。