

## 平成 29 年度 TIA 連携プログラム探索推進事業「かけはし」 調査研究報告書(公開版)

**【研究題目】**

分数磁束量子操作技術開発のための調査研究

**【整理番号】**

TK17-003

**【代表機関】**

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

**【調査研究代表者(氏名、連絡先 TEL & Mail)】**

田中康資、029-861-5720, y.tanaka@aist.go.jp

**【TIA 内連携機関：連携機関代表者】**

国立研究開発法人 物質・材料研究機構：有沢俊一

**【TIA 外連携機関】 (ある場合には記載)**

**【報告書作成者】** 田中康資 **【報告書作成年月日】** 2018 年 3 月 2 日

**【連携推進(具体的な連携推進活動内容とその活動の効果等)】**

産業技術総合研究所(AIST)にあるTIAの超伝導クリーンルームGRAVITYが持つ世界随一の超伝導デバイス技術と、国立研究開発法人 物質・材料研究機構が磨いてきた量子計測技術を連携させ、新次元の量子科学の扉を開く新しい研究体制の核を作り出した。

2017年9月5日には、研究の進捗状況の把握のため、事業参加メンバーと事業外の関係者が産総研に集まり、夜遅くまで半日以上議論した。現状実験データの確認、その学術的意味、今後の展開、外部予算獲得など、連携強化へ向けた話し合いを行った。

9月5日の話し合いを受け、事業外のメンバーも含めた拡大連携体制で、外部予算獲得を目指すことを決めた。また、これまでの研究成果をまとめ、拡大連携体制で、論文発表する方向性も決めた。

その後、拡大連携強化のための外部予算申請準備を進めた。

2017年10月2日 午前には、9月5日に集まったメンバーを中心に東理大に再度集まり、外部予算申請準備の進捗状況の確認と論文発表に向けた研究内容の整理に関する確認作業を行った。同日午後には、一部メンバーはTIAのワークショップに合流し、新たな連携先の発掘に積極的に取り組んだ。産民官にいくつかの候補を見つけることができた。

これらの活動を通じ2017年10月には、外部予算獲得へ向けて、合計3本の申請書を完成させることができた。

2017年10月-12月には、連携拡大の鍵となる2報の学術報告書をまとめ、2017年の年内に投稿することができた。

このうちの一報は、2018年2月3日に公開になった。連携拡大も視野に入れて、研究成果を国内外に向けて発信した。その結果、新規連携に向けた打診も数多く受けている。

研究成果に関しては、“TIA かけはし事業「分数磁束量子操作技術開発のための調査研究」成果検討会”として、2018年3月15日に神楽坂で検討会を開く準備を進めており、さらに多くの新規連携先候補を見つけようと考えている。

【調査研究内容（実験等中心に背景・課題と実行された課題解決の内容と結果）】

ハイテク産業の大きな学術的基盤の一つに量子科学がある。特に、光や電子を駆使するエレクトロニクス産業においては、量子科学がその中核をなしている。20世紀初頭、原子や電子、光の研究の進展に伴い、古典力学が破綻し、量子論は誕生した。しかし、誕生した量子論は、現在では「前期量子論」と呼ばれ、古典力学の軛に繋がれ、因果律に呪縛されたままであった。深い霧は「半整数量子」が電子の角運動量に持ち込まれることで初めて晴れる。電子スピンの登場である。“せっかく「整数量子」という新しい概念を導入し、「前期量子論」を創成したのに．．．”、ボーアとパウリの「整数量子への拘り」は強く「半整数量子を認めることへの逡巡」は深かった。今の我々には想像できないほどの葛藤を乗り越えて、量子力学は新生する。

それ以来、「分数量子」は、常に量子力学を革新し続けている。クォークや、分数量子ホール系のエニオン、さらにはポリアセチレンで議論された分数電荷、スピン三重項 p 波超流動・超伝導での半整数渦、これらはすべて量子科学を根底から革新し、科学技術イノベーションに結びついている。

いま私たちは、多バンド超伝導で新たな分数量子である「分数磁束量子」の誕生に立ち合おうとしている。この新しい「分数量子」は私たちが提唱したものである。実験例が多くなく、生成、消滅および操作する標準的な技術は存在していない。分数磁束量子を自在に操作することが可能となれば、エレクトロニクス技術の大きな進歩となる。本研究課題は、分数磁束量子操作のための調査研究および技術開発を行い、応用の可能性を明らかにすることを目的としていた。

今回、ニオブ製超薄2層膜（アルミ・酸化アルミの絶縁層を挟む）を使って多バンド超伝導を模擬し、「量子分割素子」を作製した。図1は、素子の一部分の磁束像である。左は、量子分割のための電流端子を付けた素子、右は付けない素子である。

右の素子では、磁束量子 ( $\Phi_0$ )、左の素子では分数磁束量子 ( $\Phi_{\text{fractional}}$ ) が観測されている。分数磁束量子を持つ渦が、従来超伝導で観測されたのは初めてである。この報告は世界の研究者に大きな驚きをもたらし、称賛をもって受け入れられている。

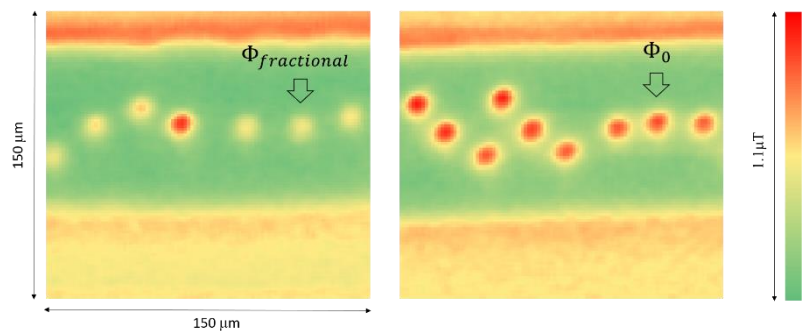


図1 分数磁束量子像（左）と磁束量子像（右）。  
Physica C 548 (2018) 44-49 に詳しい報告。

【今後の活動予定】

本事業で形作られた連携を「核」にして、事業外から研究に協力していただいた東理大の研究チームにも連携を拡大し、本格的な研究活動を開始していこうと考えている。また、研究成果を、国内外にさらに広く発信して、新しい研究連携先をなるべく多く見つけ出そうと考えている。海外にすでにある多成分量子凝縮相の研究プロジェクトとの協力関係も構築していきたいと考えている。研究は学際的であるため、超伝導や凝縮物性、デバイスの枠を超え、素粒子論・原子核論・宇宙論の研究者との連携が今後必須になっていくと考えている。

連携拡大のために、引き続き本事業の継続をお願いすると同時に、新たな資金獲得の方針として、大型の研究プロジェクトの立案と外部資金獲得活動を活発化させていきたい。また、本年度の大きな成果である「分数磁束量子」の発生は、デコヒーレンスのない量子ビット作製の基盤技術となる。産総研は、この基盤技術を使った量子コンピューターの基本特許を持っており、（米国特許 7400282 Quantum turing machine、米国特許 7522078、米国特許 8902018）これと組み合わせることで産業界にも研究パートナーを見つけて出していきたい。

本年度作製した素子に関して、その性能の評価を今後精力的に進め、素子の可能性を引き続きデモンストレーションしていこうと考えている。その結果を踏まえて、さらに高性能な量子分割素子や、量子コンピューターに直接つながるチップの設計につなげていこうと考えている。

謝辞：本研究に使用されたデバイスは、(国研)産業技術総合研究所 (AIST) の超伝導クリーンルーム GRAVITY において作製された。