

先端国際共同研究推進事業

2024 年度採択

次世代のための ASPIRE

量子分野

2024 年度 年次報告書（公開版）

研究課題名	電子ペニングトラップを用いた高性能集積量子ビット開発
日本側研究代表者	野口 篤史 理化学研究所 量子コンピュータ研究センター チームリーダー
相手側研究代表者	・Eberhard Widmann, Oesterreichische Akademie der Wissenschaften, Stefan-Meyer-Institut fuer subatomare Physik ・ Hartmut Häffner, Professor for Physics, UC Berkeley, and Director, NSF Challenge Institute for Quantum Computation
研究期間	2024 年 12 月 1 日～2028 年 3 月 31 日

1. 研究成果の概要

① 研究構想にかかる成果

<実施したこと>

理化学研究所において、希釈冷凍機温度ペニングトラップ実験系を構築するにあたり、小型円筒型電極の設計・作製と制御のための極低温下の電子回路を開発した。また実験準備として、読み出しに用いる鉛メッキ無酸素銅の超伝導共振器と、タングステンナノワイヤからなるフィールドエミッションポイントを作製した。さらに、希釈冷凍機内の配線や治具設計・組み立てをおこない、実験環境を整えた。

<得られた成果>

鉛メッキ無酸素銅を用いた空洞共振器を 300 mK の極低温下で評価し、Q 値が 1,000,000 を超えることを評価した。これは、これまでペニングトラップで用いられてきた読み出し共振器の性能に比べて、1~2 桁程度高性能である。さらに、小型電極の採用により、従来の最も高精度な実験に比べて 3 桁以上高速な冷却や高感度検出が可能であることをシミュレーションによって確かめることに成功した。また、電子源や希釈冷凍機温度での実験環境など、ペニングトラップ立ち上げの準備をおこなうことに成功した。

② 国際頭脳循環の促進にかかる成果

<実施したこと>

3 月 11 日に ASPIRE のキックオフミーティングを理化学研究所において実施した。SMI (Stefan-Meyer-Institut für subatomare Physik) から Eberhard Widmann 氏 (PI : 研究代表者) と Daniel Murtagh 氏 (研究員) のそれぞれが現地参加し、UCBerkeley から Hartmut Häffner 氏 (PI) 、学生 2 名がオンラインで参加した。日本から東京大学・京都大学・広島大学のメンバー合計 10 名が現地参加した。ミーティングでは、それぞれの実験技術や最近の成果を共有しながら、電子の新しい冷却方法やトラップ電極からの加熱現象について議論が交わされた。また、互いの大学・機関への学生や研究員の交換派遣について議論をおこなった。

2 月 18 日 - 20 日には、理研 PI (野口チームリーダー) が SMI に訪問し、共同研究の議論や、学生・研究者の派遣／招聘に関して話し合った。東大黒田助教 (Co-PI : 主たる共同研究者) と樋口博士 (研究参加者) が CERN に訪問し、SMI や CERN のメンバーと実験の議論や人材派遣に関する議論を進めた。

<得られた成果>

キックオフミーティングと理研 PI の SMI への訪問などにより、人材交流や実験に関する詳細な議論をすることができた。特にそれぞれ異なった技術を持っている点が確認され、交流によって新しい技術や見方が提供されるであろうことを確認した。とくに、CERN で行われている共振器冷却は超伝導共振器と相性がよく、SMI で培われている電極表面処理技術はトラップ性能の向上につながると期待される。人材交流に関しては、SMI から理研に博士学生を招聘する方向で話し合った。UCBerkeley とは、キックオフミーティングにおいて、UCBerkeley からの学生派遣の提案があった。また、PI の相手機関への相互の滞在が重要であるとの確認があった。

2. 研究実施体制

研究テーマ	中心となる研究者氏名	所属機関・部署・役職名
電子トラップ 量子ビット	野口 篤史 Hartmut Häffner	理化学研究所 量子コンピュータ研究センター チームリーダー Professor, University of California, Berkeley
荷電粒子冷却	黒田 直史 Eberhard Widmann Daniel Murtagh	東京大学 総合文化研究科 助教 Director, Stefan-Meyer Institute Junior Group Leader

3. 代表的な業績（原著論文、プレスリリース、表彰など）

- [1] Quantum-logic spectroscopy of an electron or positron for precise tests of the standard model, Xing Fan, Atsushi Noguchi, and Kento Taniguchi, Phys. Rev. A **111**, 042806 (2025).
- [2] Numerical Investigations of Electron Dynamics in a Linear Paul Trap, Andris Huang, Edith Hausten, Qian Yu, Kento Taniguchi, Neha Yadav, Isabel Sacksteder, Atsushi Noguchi, Ralf Schneider, Hartmut Haeffner, arXiv:2503.12379 (2025).
- [3] Image Current Detection of Electrons in a Room-Temperature Paul Trap, Kento Taniguchi, Atsushi Noguchi, arXiv:2502.16578 (2025).