

2025 年度年次報告書

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】

【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

研究代表者：

野口 篤史（理化学研究所 チームディレクター）

主たる共同研究者：

黒田 直史（東京大学総合文化研究科 助教）

相手側研究代表者：

Hartmut Häffner (Professor for Physics, UC Berkeley, and Director, NSF Challenge Institute for Quantum Computation)

Eberhard Widmann (Director, Österreichische Akademie der Wissenschaften, Marietta Blau Institute for Particle Physics)

1. 研究進捗状況と成果

ペニング電子トラップを用いた量子ビット実現のため、極低温でのペニング電子トラップ実験装置の開発を進めた。とくに、希釈冷凍機内の 10mK 環境下で単一電子を捕獲し、その信号を計測するため、従来から広く用いられてきたペニングトラップを小型化し、mm スケールの小型円筒ペニングトラップを作製した。また、ペニングトラップ中に捕獲された電子を量子ビットとして使った場合の性能評価と現実可能性評価を UC Berkeley のチームと共同で進めた。本年度は、ハーバード大学で開催されたワークショップに日本側のプロジェクトメンバーが 3 名、US 側のメンバーが 3 名参加し、電子トラップ技術に関する議論をおこなった。また、ハーバード大学で立ち上げられているペニングトラップを用いた精密測定実験を率いている研究室とも、共同研究やペニング電子トラップ量子制御技術の応用について議論をおこなった。

反物質の高精度分光による基礎物理研究を進展させるため、冷えたビーム状の反水素原子を大量に生成し、分光する手法の確立を目指している。現状での反水素原子合成レートの改善を進め、2025 年度には陽電子数を増やした際に陽電子プラズマの冷却を制限していた原因を突き止めた。また、反陽子プラズマの冷却と輸送を改善した。これらによって反水素原子ビームの収量が前年より改善し、計画している Rabi の手法が働くことの確認を進めた。日本側から大学院生を含む計 6 名が CERN に滞在して共同研究者らと実験を遂行した。

2. 代表的な成果事例

1. Xing Fan, Atsushi Noguchi, and Kento Taniguchi, Quantum-logic spectroscopy of an electron or positron for precise tests of the standard model, Phys. Rev. A 111, 042806 (2025).

概要：遠隔電子トラップにおける配線を介した電気的な結合を用いることで、既存の電子の g 因子測定の精度をあげることができるという提案論文。遠隔トラップ間の量子ゲートをおこなうことで、精度が高い分光が可能なトラップで得られた分光情報を、読み出しトラップに量子ゲートによって移し、高精度な測定をおこなう。

2. Kento Taniguchi, and Atsushi Noguchi, Image current detection of electrons in a room-temperature Paul trap, Phys. Rev. A 112, 022420 (2025).

概要：パウルトラップ中に捕獲された電子集団を、それらを損失することなくトラップしたままで検出することに成功した。また、共振器冷却という手法によって、捕獲された電子集団の冷却に成功した。