

革新的な量子情報処理技術基盤の創出
2020 年度採択研究者

2020 年度 年次報告書

中島 峻

理化学研究所 創発物性科学研究センター
研究員

リアルタイム制御ソフトウェアによる量子ビット仮想化

§ 1. 研究成果の概要

本研究では、物理量子ビットをリアルタイム制御するアルゴリズム・ソフトウェアを開発することにより、量子ビットの実効性能を大きく向上させた「仮想量子ビット」を実現し、実機検証することを目的としている。量子ビットの基本的な性能指標のうち、2020年度は特に読み出し忠実度の向上に関わる量子ドット電荷センサーの自動制御を目標に研究を実施した。FPGA と量子ビット制御に要求される精密・低雑音信号を生成するためのカスタム回路を構築し、PID 制御に基づく電荷センサーのフィードバック制御アルゴリズムを実装して、半導体量子ビットデバイスに適用し性能を検証した。

半導体量子ビットの測定に用いられる量子ドット電荷センサーは、単一電子電荷を高速検出可能な高感度を有する一方で、デバイス中の電荷雑音やゲート電極間の電圧クロストークに対しても極めて敏感であり、ダイナミックレンジが狭いという問題があった。本研究で開発したフィードバック制御により、雑音や電圧クロストークに起因する 100kHz 以下の電圧変動を効果的に抑制できることを示した。これにより、電荷センサーの感度を維持したまま量子ドットデバイスの電荷状態を測定し、手動キャリブレーションを必要とせずに高忠実度な量子ビット単発測定が実現できることを実証した。この成果は、大規模な量子コンピュータシステムの開発において必須と考えられる量子ビットデバイスの全自動キャリブレーションを実現に近づける基盤技術であると言える。この結果を取りまとめた論文は Physical Review Applied 誌にオープンアクセスで出版済みであり、成果を活用するための特許を出願中である。

【代表的な原著論文情報】

- 1) “Real-Time Feedback Control of Charge Sensing for Quantum Dot Qubits”, Physical Review Applied, vol. 15, No. 3, pp.L031003 (2021)
- 2) “Probabilistic teleportation of a quantum dot spin qubit”, npj Quantum Inf 7, 68 (2021)