

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

2021 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  
上級研究員

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。2021 年度は特に、(i)量子非破壊測定による量子ビット読み出しとアクティブリセット、および(ii)交換相互作用ノイズの検出とフィードバックによる2量子ビット制御の高忠実度化、の2点をターゲットとして、ベイズ推定に基づくフィードバック制御回路を FPGA 上に構築し、半導体量子ビットデバイスに適用した実験により性能を検証した。

アクティブリセットに関しては、対象となる量子ビットを量子非破壊測定(制御 NOT ゲートによってもつれた補助量子ビットのみを測定する)によって測定し、量子ビットが励起状態にある場合のみビット反転操作を実行することによって量子ビットを所望の基底状態にリセットする一連の操作を実装した。さらに縦緩和時間が長いという半導体量子ビットの特徴を活用し、複数回の繰り返し量子非破壊測定から高精度に量子ビット状態を特定するアルゴリズムによって、リセット操作の高忠実度化を実現した。現在はデータの解析および結果の取りまとめを進めている。

次に、交換相互作用ノイズの検出とフィードバック制御を実行するためのアルゴリズムを実装し、シリコン二量子ビットデバイスに適用し実験を実施した。シリコン二量子ビットデバイスではこれまでに 99.5%を超える高い忠実度の制御 NOT ゲートが実現したが<sup>1)</sup>、その性能はしばしば非マルコフノイズによって制約される。ベイズ推定を用いて少数の量子ビット測定結果から交換相互作用ノイズを検出し、交換相互作用の制御電極電圧にフィードバックすることで、非マルコフノイズの影響を抑制する効果が期待できる。現在、これらの実験データの解析および取りまとめを進めている。

### 【代表的な原著論文情報】

- 1) “Fast universal quantum gate above the fault-tolerance threshold in silicon”, Nature, vol. 601, No. 7893, pp.338-342, 2022