

革新的な量子情報処理技術基盤の創出  
2020年度採択研究代表者

2022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

## 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。2022年度は、昨年度に実施した(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のとりまとめを完了し、(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に関する実験データ解析・論文化を進めた。それらと並行してシリコン物理量子ビットのハードウェアとしての性能底上げも推進し、両者を組み合わせることでトータルシステムとしての性能最適化を目指した。

アクティブリセットのプロトコルでは、量子ビット測定の実効性を活用することにより、繰り返し測定とベイズ推定によるアルゴリズムを用いて有限の測定エラーがある状況でも高精度に量子ビット状態を特定することができる。リアルタイムでの状態推定とフィードバックによる初期化操作を実装し、高精度な量子ビット初期化操作が可能であることを実証した[3]。一方、我々は少数のシリコン量子ビット系で量子ビット測定を用いない位相誤り訂正操作の実証にも成功した[1]。これらの技術を組み合わせることにより、測定ベースの汎用的な量子誤り訂正を実現できるものと期待できる。

また、各種量子ビット操作のうち2ビットゲート制御は交換相互作用ノイズの影響を受けてエラーを起こしやすい。そこで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をかける制御をFPGAに実装することで、2ビットゲート制御エラーの低減を試みた。実験データ解析の結果エラーの抑制を確認することができ、エラーを抑制するためのハードウェア上の工夫[2]と組み合わせることでさらなる量子ビット性能の向上が期待される。

### 【代表的な原著論文情報】

- 1) “Quantum error correction with silicon spin qubits”, Nature, vol. 608, No. 7924, pp.682-686, 2022
- 2) “A shuttling-based two-qubit logic gate for linking distant silicon quantum processors”, Nature Communications, vol. 13, pp.5740, 2022
- 3) “Feedback-based active reset of a spin qubit in silicon”, arXiv:2209.02259