

## 研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 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

2. 個人研究者名

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）

3. 事後評価結果

本研究ではシリコン量子ドットを対象に物理量子ビットのリアルタイム制御アルゴリズム、ソフトウェアの開発を行った。研究内容は、(1)量子ビット読み出しセンサの自動制御（読み出しエラーの改善）、(2)量子ビット共鳴周波数キャリブレータ（量子コヒーレンスの改善）、(3)量子ビットのフィードバック初期化（初期化エラーの改善）、(4)量子コンピュータハードウェアの制御API、の4点である。

量子ビットの読み出しには単一電子センサを用いるが、動作点がドリフトする問題があり、ダイナミックレンジが小さいという問題があった。これに対して、PID制御を導入し、FPGAによる高速な動作点の自動補償を実装しており、当初の計画通りの効果を得ることができている。さらにこのフィードバック制御を量子演算の実行にオーバーヘッドを与えることなく行うことを実証し、物理量子ビットの自動制御の端緒となる結果を得たことは評価できる。

固体量子ビットの位相緩和は量子ビットの周波数ドリフトであるとされている。周波数ドリフトに対しても自動フィードバック制御を行うことにより10Hz以下の遅いドリフトの低減に成功した。また、複数量子ビット間に起きる電気ノイズの特有な周波数における相関を見出した。さらに、バイス中の核スピン集団を偏極させることによって量子ビット周波数を変化させることを見出し、測定無しで量子フィードバック機構によって量子ビット周波数の安定化を実現する可能性を見出した。この原理を詳しく調べることにより大規模なシステムにも適用することが期待できる重要な成果である。

量子ビットの初期化についても、量子ビットの状態を非破壊測定し、励起状態にある場合にのみビット反転パルスを照射するアクティブリセットを実装した。

リアルタイム制御を伴う高度な量子ビット制御実験を実施するための共通ソフトウェア基盤として、制御APIの整備を行っている。このようなAPIはシリコン量子ビット以外にも活用できる可能性があり、現在研究者になじみ深いものとなっている、Qiskitとの結合も予定しているので今後の量子コンピュータの物理量子ビット制御プラットフォームとして期待できる。

本研究は測定とフィードバックを基礎としているので量子演算時の量子ビット制御には適用できないが、測定を行わないで他自由度（この場合は核スピン）とのコヒーレント相互作用を用いた制御を行えばダイナミックな制御が行える可能性もあり、今後に期待したい。

以上のように、本研究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・ソフトウェアの開発により、実効的性能を向上させた仮想量子ビットの実現・検証を行うという目的を達成するとともに、当初想定しなかった知見も得られている。今後ムーンショット型研究開発事業への参加、国内外の半導体関連企業との連携も決まっており、産業応用へ展開する成果が得られている。本研究の成果はNatureやNature Communicationのようなトップジャーナルを含む10件の論文で発表されている。また、令和3年度科学技術分野の文部科学大臣表彰 若手科学者賞なども受賞している。なお、さきがけ期間中に理化学研究所創発物性科学研究センター 研究員から同上級研究員に昇任している。