

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： ヘテロジニアスな設計と制御に基づく誤り耐性量子計算

2. 個人研究者名

鈴木 泰成（日本電信電話（株） コンピュータ&データサイエンス研究所 研究員）

3. 事後評価結果

本研究は誤り耐性量子コンピュータの設計を具体化し、最適化することを目的としている。設計の具体化によって誤り耐性量子コンピュータに必要な技術的な要請を明らかにし、それを解決するための研究開発を可能にすることも狙っている。本研究は当初、素子等の特性のばらつきを積極的に活用して性能向上を図ることを目指していたが、より基本的な設計を行うように方針が変更された。量子コンピュータの各レイヤにおいて必須となる要素の設計や制御の自由度を明らかにし、量子コンピュータの性能を解析するソフトウェアを開発した。具体的には超伝導量子ビットの量子操作におけるノイズマップの解析、ノイズマップのシミュレータ、表面符号を用いた際の誤り率計算、基本論理命令セットの定義、アセンブラ、アプリケーションを対象としたエミュレータがある。これにより、下位レイヤのシミュレーション、複雑なプロセスの符号性能の評価、アプリケーションの計算時間の評価が行える。誤り耐性量子コンピュータの設計においては誤り訂正よりも上位のレイヤの最適化を行っている。重要な成果として誤り訂正と誤り抑制の組み合わせによる所要の量子ビット数の削減、時間的な誤り率の変動の効率的な管理、誤り率のばらつきを考慮したエラー推定、ループ並列化による高速化があげられる。また、コンピュータアーキテクチャや周辺回路についてエラー推定機構の効率的な実装を提案した。以上のように本研究により誤り耐性量子コンピュータの構築法について充実した成果をあげている。

本研究においては、誤り耐性量子計算機の基本設計が完成した後に学生を研究補助員として雇用することで、研究が並列化され多くの成果につながっただけでなく、後続の教育にも益することができた。また、研究が多くのレイヤにまたがっているため、本さきがけ領域の複数の研究者との共同研究が有効に働いて成果が出ている。特に、コンピュータアーキテクチャの研究者とともに研究を進めていることは評価できる。

今回得られた誤り耐性量子計算機の設計および考え方の枠組みは、誤り耐性量子計算機の設計と拡大を目指す「Q-LEAP 超伝導量子コンピュータ」や「内閣府ムーンショット 目標6」における参考設計として活用されており、本研究者の飛躍につながっている。

今回開発されたソフトウェア群は量子コンピュータの各レイヤでの機能評価に活用することができ、具体的な実装方法の開発が加速されるものと考えられる。今後は各レイヤを有機的に結合できる設計ツールの実現が望まれ、それによって量子コンピュータの個別技術の設計と全体設計の定量的な評価基盤が確立する。これは量子コンピュータの性能を改善する様々な提案を全体性能への影響も含めて評価できることになり、量子コンピュータの実現を早めることが期待され、その科学的経済的なインパクトは大きい。

最後に、得られた成果や知見を体系的にまとめ、誰もが利用できるようになることが期待される。