

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 量子演算の高精度化基盤技術開発

2. 個人研究者名

杉山 太香典（富士通（株）富士通研究所 研究員）

3. 事後評価結果

産業的に価値のある問題を解くためには量子コンピュータの基本演算を現在より2桁高精度で実行することが必要であるとされている。本研究は、2桁の高精度化の前提となる、量子演算の誤りの詳細な情報を得るために、演算の精度評価手法、制御系の較正手法、ノイズ源の特定手法の3つの基盤技術を開発することを目的とした。適用とする系のサイズとして①1-2個の量子ビット系、②1-2個の3準位系（漏れエラーを評価）③2-5個の量子ビット系（混線エラーを評価）の3つの領域を想定し、それぞれの領域での手法を開発することとした。高精度化を目的とするため、エラー増幅機構を伴う新しい量子トモグラフィ手法の開発、及び開発した評価手法を利用した制御系の較正手法とノイズ源の特定手法開発に取り組んだ。

その中で取り組んだ、従来の量子トモグラフィによる評価手法のデータ処理の安定性向上、計算コストの削減、ソフトウェア開発を達成した。ソフトウェアはQuara という名称でGitHub 上に公開されている。量子トモグラフィにおけるエラー増幅については従来よりも1～4桁程度近似精度を改善する近似公式を導いて増幅機構の解明を行い、それを利用したデータ処理手法を提案し、数値的安定性の理論実証、数値実装を行った。この方法は理研で開発されている超伝導量子回路でのエラー情報解析に活用されている。較正手法については、開発した評価手法と組み合わせることの可能性を確認した。ノイズ源の特定手法については純粋なデコヒーレンスの影響を詳細に見積もるデータ処理手法を開発し、一部の機能はQuaraに実装されている。まとめると、本研究期間ではサイズ①、②の領域で評価手法とノイズ源特定手法は実装まで達成、較正手法は検討までは完了している。サイズ③の領域で2量子ビット系までが達成されている。結果として目標の完全な達成には至らなかったが、評価手法の開発中に発生した問題の修正と対応に時間を要したためである。評価手法の開発が本プロジェクトの基本であるため、新規開発課題ではある程度致し方ないことも考える。また、新たな評価手法なども検討し、数理的な解析をしっかりと行って新たな知見を得たことは評価できる。

一方で、単線的な研究プロジェクトの進め方にはリスクもあるため、部分的に完成したソフトウェアを使って他の手法の開発も同時に進めるなど、工夫の余地はあったように思われる。また、研究成果の公表も全プロジェクトの完了を待たずに各部分について行うことも可能であったが、本研究期間中に大学から企業に移動したこともあり、成果発表に慎重にならざるをえなかったことは理解できる。

量子演算の実装精度の2桁改善は量子コンピュータの実装には不可欠である。本研究の目標と取り組みは今後の量子コンピュータの社会実装に向けて適切かつ意義深いものである。本研究期間終了後に各手法の実装と実機への適用を進め、有用性を実証することが望まれる。2桁改善は挑戦的な目標であるが、当初計画した研究が完成すれば強力な手法が様々なサイズスケールに対して汎用的に適用可能となることが大いに期待される。開発された手法が世界的に標準的なものとなるよう、ソフトウェアの公開と広報を知的財産権を確保しながら進めていってもらいたい。また、本研究で行われた数理的な解析と新たに見いだされた課題は学術的にも興味深いものと思われるので、基礎研究を行う研究者との協働も望まれる。