

2023 年度年次報告書

革新的な量子情報処理技術基盤の創出

2021 年度採択研究代表者

遠藤 傑

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

量子エラー抑制の基礎理論の構築および実用的手法の提案

研究成果の概要

2023 年度の成果について以下に述べる。1~3 の成果は arXiv に発表し、4, 5 の成果は出版済みである。

1. ハイブリッドテンソルネットワーク (HTN) 法におけるノイズ伝搬の解析: 量子テンソルと古典テンソルが合わさった体系であるハイブリッドテンソルネットワークは大規模な量子系のシミュレーションを可能にするが、計算ノイズの影響は考慮されていなかった。この成果では、HTN において、どのように計算ノイズが伝搬するか、そのメカニズムを明らかにし、使用される量子テンソルの数に応じて指数関数的に計算結果が減衰することを示した。
2. 双対量子状態蒸留法を用いた一般化部分空間展開法: 以前提案した量子エラー抑制法の一つである一般化部分空間提案法は、量子状態のコピーを用いるといったデメリットがあった。そこで、双対状態蒸留法と呼ばれる手法を組み合わせ、量子状態のコピーを用いない双対一般化部分空間展開法を提案した。また、量子もつれを仮想的に導入する手法も組み込み、量子状態のコピーを使わないどころかより大きな量子系をシミュレーションする手法も提案した。
3. 並進対称性符号に対する圧搾射影法: 並進対称性符号を用いた連続量量子計算では、量子状態の圧搾度の不足によって計算精度が制限されるが、より圧搾度が高い量子状態の空間に量子状態を射影するための手法を提案した。射影を実現するための2つの手法として、実際に圧搾度が高い量子状態を用意できる方法と、圧搾度が高い量子状態に対応する期待値を計算できる手法を提案した。
4. 仮想量子エラー検出: 量子エラー検出法を適応したエラーが削減された量子状態と同じ期待値を、ハードウェアに対する負担を最小限に抑えたまま計算できる仮想的エラー検出法を提案した。この成果は *Physical Review A* 誌に出版された。
5. 量子エラー抑制のレビュー論文の発表: 量子エラー抑制のレビュー論文を執筆し、*Reviews of Modern Physics* に出版された。

【代表的な原著論文情報】

- 1) Harada, H., Suzuki, Y., Yang, B., Tokunaga, Y., & Endo, S. (2023). Noise propagation in hybrid tensor networks. *arXiv preprint arXiv:2309.15761*.
- 2) Yang, B., Yoshioka, N., Harada, H., Hakkaku, S., Tokunaga, Y., Hakoshima, H., ... & Endo, S. (2023). Dual-GSE: Resource-efficient Generalized Quantum Subspace Expansion. *arXiv preprint arXiv:2309.14171*.
- 3) Endo, S., Anai, K., Matsuzaki, Y., Tokunaga, Y., & Suzuki, Y. (2024). Projective squeezing for translation symmetric bosonic codes. *arXiv preprint arXiv:2403.14218*.
- 4) Tsubouchi, K., Suzuki, Y., Tokunaga, Y., Yoshioka, N., & Endo, S. (2023). Virtual quantum error detection. *Physical Review A*, 108(4), 042426.
- 5) Cai, Z., Babbush, R., Benjamin, S. C., Endo, S., Huggins, W. J., Li, Y., ... & O'Brien, T. E. (2023). Quantum error mitigation. *Reviews of Modern Physics*, 95(4), 045005.