

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

吉岡 信行

東京大学 大学院工学系研究科

助教

量子並列回路を用いた計算基盤の構築

研究成果の概要

本年度は、並列量子計算アルゴリズムにおける測定回数割り振りの課題の解決に取り組んだ（業績リスト[3]）。さらに、NISQ を超えて早期誤り耐性量子計算機の実現を見据えて、実用的な量子超越の実現に向けたアルゴリズムの開発・解析・提案に取り組んでいる。

(1) 対称性のもとでのクリフォード群と擬似ランダムネス（業績リスト [1]）

対称性を考慮しない場合の擬似的な量子ランダム性の発生方法については以前から知られていたが、本研究ではその手法が対称性を考慮した場合にも適用可能であるかという未解決問題を解決した。具体的には、対称性の条件を加えても擬似ランダム性のレベルが保たれるような対称性のクラスを完全に特定した。また、その時に対称性を満たす擬似ランダム性を無駄なく生成する手法も発見した。本研究は、対称性に起因する新たな物理現象を解明するための理論的基盤となるとともに、物質固有の対称性を活用したより効率的な量子情報処理手法の開発に寄与すると期待される。

(2) 局所純粋化操作の限界と精度（業績リスト[4]）

並列量子計算アルゴリズム、特に一般化部分空間展開法においては、複数の混合状態を「蒸留」してノイズの少ない計算結果を取り出す操作が本質的な役割を果たす。ここで、従来の蒸留操作は、計算対象となる系全体の状態を複数準備する必要があり、空間的なボトルネックとなっていた。

そこで本研究では、蒸留（もしくは純粋化）操作の範囲を空間的に局所化できる条件と、それによる計算コストの利得を明らかにした。具体的には、ある閾値以上の有限温度のように、条件つき相互情報量が距離に応じて指数減衰する（クラスタリング）場合には、局所純粋化の精度が理論的に保証でき、それによってシステムサイズに関して指数的に測定コストを削減できることを示した。

【代表的な原著論文情報】

- 1) Y. Mitsuhashi*, N. Yoshioka*, PRX Quantum 4, 040331 (2023) (*Corresponding author)
"Clifford Group and Unitary Designs under Symmetry"
- 2) N. Yoshioka*, T. Okubo*, Y. Suzuki*, Y. Koizumi, W. Mizukami*, npj Quantum Information 10, 45 (2024). **"Hunting for quantum-classical crossover in condensed matter problems"**
- 3) Y. Nakamura*, Y. Yano, N. Yoshioka*, New J. Phys. 26, 033028 (2024) (*Corresponding author) **"Adaptive measurement strategy for quantum subspace methods"**
- 4) H. Hakoshima, S. Endo, K. Yamamoto, Y. Matsuzaki, N. Yoshioka*, arXiv:2308.13500 (2023) (*Corresponding author) **"Localized Virtual Purification"**
- 5) B. Yang, N. Yoshioka, H. Harada, S. Hakkaku, Y. Tokunaga, H. Hakoshima, K. Yamamoto, S. Endo, arXiv:2309.14171 (2023) **"Dual-GSE: Resource-efficient Generalized Quantum Subspace Expansion"**