

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

2022 年度
年次報告書

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の中核である一般化部分空間展開法の実験的実証に取り組んだ。さらに、中長期的な視座を提供するため、量子計算のインパクトを試算する研究により、物性物理における量子-古典クロスオーバーの存在を明らかにした。

(1) 一般化部分空間展開法に関する実験的検証 (業績リスト [5])

2021年度に研究代表者等によって提案された「一般化部分空間展開法 (GSE)」に関する理論研究は、米国物理学会誌 *Physical Review Letters* にて出版され、その有効性が大きな注目を集めている。提案手法に関する数値実証は、量子回路レベルでの計算に基づいているものの、実機特有のノイズや制約のもとでの性能とは乖離があるものと考えられる。本研究では、IBM Quantum にて提供されている 27 量子ビットデバイス `ibm_kawasaki` を用いて、GSE 法の実験的な実証を行うとともに、クロストークなどの実機特有のエラーを逆に活用して計算精度を高める手法を提案した。

(2) 量子誤り抑制機構の限界 (業績リスト [2])

NISQ デバイスにおいては一般的に、量子回路の実行回数と引き換えにノイズの影響を抑制する。多くの量子抑制アルゴリズムが提案されてきた中で、最適なトレードオフ関係を含めた統一的理解はいまだに得られていない。本研究では、最適なトレードオフ関係を議論するとともに、NISQ デバイスにおける測定回数の増大に関する下限を求めることに成功した。

(3) 未来における誤り耐性量子計算のインパクト (業績リスト [3])

計算複雑性の理論を用いれば、位相推定や素因数分解などの問題においては、漸近的な極限 (問題のサイズが無限大の極限) にて、古典計算機を凌駕するような量子アルゴリズムが存在すると信じられている。一方で、計算複雑性の議論では、現実的な計算時間の範囲内で凌駕することが可能かどうかは何もわからない。そこで、本研究では、実用的な問題に関して、量子計算機が高速に答えを求める「量子-古典クロスオーバー」に必要な計算時間・リソースの見積もりを行った。物性物理において金字塔とされる、強相関量子多体ハミルトニアン基底状態を計算する時間を試算した結果、数時間のオーダーでクロスオーバーが期待され、第一原理計算や素因数分解などといった実用的なタスクの中で、最も早い実現が期待されることを明らかにした。

【代表的な原著論文情報】

[1] S. Z. Baba*, [N. Yoshioka*](#), Y. Ashida, T. Sagawa, [Phys. Rev. Applied 19, 014068 \(2023\)](#). (*Corresponding author)

"Deep reinforcement learning for preparation of thermal and prethermal quantum states"

[2] K. Tsubouchi*, T. Sagawa, [N. Yoshioka*](#), [arXiv:2208.09385](#) (2022). (*Corresponding author)

"Universal cost bound on quantum error mitigation based on quantum estimation theory"

[3] *N. Yoshioka*, T. Okubo, Y. Suzuki, Y. Koizumi, W. Mizukami, [arXiv:2210.14109](https://arxiv.org/abs/2210.14109).

"Hunting for quantum-classical crossover in condensed matter problems"

[4] K. Tsubouchi, Y. Suzuki, Y. Tokunaga, *N. Yoshioka*, S. Endo, [arXiv:2302.02626](https://arxiv.org/abs/2302.02626).

"Virtual Quantum Error Detection"

[5] Y. Ohkura*, S. Endo, T. Satoh, R. Van Meter, *N. Yoshioka**, [arXiv:2303.07660](https://arxiv.org/abs/2303.07660). (*Equal contribution)

"Leveraging hardware-control imperfections for error mitigation via generalized quantum subspace"