

2024 年度年次報告書

量子・古典の異分野融合による共創型フロンティアの開拓

2023 年度採択研究代表者

福井 浩介

東京大学 大学院工学系研究科

特任研究員

誤り耐性光接続によるハイブリッド量子ネットワークの構築

研究成果の概要

本研究では、光の量子誤り訂正技術を活用する誤り耐性型量子ネットワーク(量子もつれ)の構成手法とともに、光物質間相互作用を活用した高い誤り耐性を持つ光の効率的な実装手法を研究開発している。2024年度の主な成果として、GKP符号と単一光子の2種類のボソニック符号のハイブリッド化による量子もつれ構築手法を考案し、GKP符号のスクイーミング(dB)に対する要求レベルを緩和する新たな誤り耐性量子計算方式を開発した[1]。この方式では現実的に達成可能な弱い非線形性を用いることで単一光子とGKP符号間の量子もつれを生成する。そしてこのもつれ生成を媒介として、量子計算のリソースである大規模な量子もつれ状態を構築する。これによりGKP符号間でノイズが伝搬することを防ぎ、高精度なリソース状態が構築可能となる。数値シミュレーションでは、光による量子計算における主なノイズ源である光子損失0、1、5%に対して、それぞれ閾値7.2、7.4、8.4 dBを達成することを示した。さらに誤り耐性量子計算に必要な量子ビット数を従来手法と比較して約1/10000だけ削減可能であることも明らかにした。これらの結果は、GKP符号だけを用いる手法で達成する誤り耐性、閾値、リソース効率を大きく上回る結果である。加えて成果[2]では、単一光子とCat codeのハイブリッドコードにおいて、実装が比較的容易なスクイーズ操作をCat codeに施すだけハイブリッドコードのロス耐性が向上できる手法を考案した。以上の成果[1][2]は光の量子誤り訂正技術を活用する新たな誤り耐性型量子ネットワークの有効性を示すものと言える。

【代表的な原著論文情報】

- 1) K. Fukui, P. van Loock, Resource-efficient high-threshold fault-tolerant quantum computation with weak nonlinear optics, arXiv preprint arXiv:2412.16536
- 2) S. Kiryu, K. Fukui, A. Okamoto, A. Tomita, Linear optical quantum computing with a hybrid squeezed cat code, arXiv preprint arXiv:2502.19778