

先端国際共同研究推進事業
2024 年度採択

次世代のための ASPIRE
量子分野

2024 年度 年次報告書（公開版）

研究課題名	近未来型量子中継技術の実現
日本側研究代表者	武岡 正裕 慶應義塾大学 教授
相手側研究代表者	Ulrik L. Andersen, Professor, Department of Physics, Technical University of Denmark (DTU)
研究期間	2024 年 12 月 1 日～2028 年 3 月 31 日

1. 研究成果の概要

① 研究構想にかかる成果

＜実施したことおよび成果＞

＜研究テーマ 1＞

目標 1 直接伝送量子通信を超える量子中継機能の実証

提案する方式のフィジビリティについて、実験の不完全性を含めた理論解析を行い、実証実験系構築のための仕様検討を行った。さらに本方式を 3 者以上の多者間量子もつれの伝送へと拡張する方式を提案し、その理論解析を行った。その成果は Phys. Rev. A 誌に掲載された。また、日本側では偏光—光子数ハイブリッド量子もつれ光源を用いた方式についての光学系の構築を完了した。また、多者間の光子数量子もつれ光を局所的な測定のみで従来よりも簡便な量子トモグラフィーによる状態評価の手法を開発し、その原理を実証した。その成果は Phys. Rev. A 誌に掲載された。デンマーク側では連続量光状態を用いた方式の光学系構築を進めた。

目標 2 量子中継を用いた連続量 QKD の実証

提案する連続量 QKD 方式の理論解析を行い、現実的な物理パラメータにおける漸近的な鍵生成レートの解析を行い、実証実験が十分可能であることを明らかにした。これらについて論文執筆を進めている。

目標 4 近未来型量子中継ネットワークのプロトタイプとアプリケーションの検討

提案する 1 光子干渉型の量子中継機能を用いた多者間 DI-QKD 方式を構成し、複数の非局所性不等式を用いた漸近的な鍵生成レートの理論解析を行った。特に Parity-CHSH 不等式を用いた鍵蒸留を行うことにより、従来の多者間 DI-QKD に比べ 10 倍以上の長距離化が可能であることが理論的に明らかとなった。一方、解析では任意の光子数重ね合わせ状態への射影測定が可能であると仮定してプロトコルを構成したが、実際の量子光学実験で用いられる測定方法では鍵レートが著しく低下することがわかり、方式にまだ改良の余地があることも明らかとなった。これらについて論文執筆を進めている。

② 国際頭脳循環の促進にかかる実施内容

＜実施したこと＞

3 月にデンマーク工科大学（DTU）において、3 日間のプロジェクトキックオフミーティングを実施した。日本側は教員 3 名、学生 7 名の計 10 名、デンマーク側は教員 6 名、ポスドク・学生 13 名の計 19 名、JST から陪席 3 名で計 32 名の参加者となった。ミーティングでは、日本側は全ての参加者、デンマーク側も半数以上の参加者が発表を行い、本プロジェクトのメイン課題である量子中継・量子鍵配送の他、光量子情報処理分野全般の情報交換や、ラボツアーを実施した。その他、量子通信、量子情報処理実験、ダイヤモンド量子センシングの 3 班に参加者を分けた自由討論の時間を設け、それぞれの班内で若手中心に詳細技術の議論、連携に向けた議論などを行った。また、メイン課題など特定のテーマについては関係者のみの個別ミーティングを実施した。

＜得られた成果＞

参加者同士の全般的なネットワーキングの他、量子センシングなど新しい共同研究や若手派遣の可能性が見出され、今後も検討を進めることとなった。また、学位取得後に相手国での研究活動を希望する学生が現れるなど、頭脳循環に係る一定成果が得られた。

2. 研究実施体制

研究テーマ	中心となる研究者氏名	所属機関・部署・役職名
研究テーマ1	武岡 正裕	慶應義塾大学・理工学部電気情報工学科・教授
研究テーマ1	Ulrik L. Andersen	デンマーク工科大学・物理学科・教授

3. 代表的な業績（原著論文、プレスリリース、表彰など）

なし