

量子状態の高度な制御に基づく革新的量子技術基盤の創出
2016年度採択研究代表者

2020年度 年次報告書

井元 信之

大阪大学 先導的学際研究機構量子情報・量子生命研究センター
特任教授

グローバル量子ネットワーク

§ 1. 研究成果の概要

本研究課題では、近年注目されている「量子インターネット」に向けた研究として、2016年からグローバル量子ネットワークの要素技術開発を実施している。2018年にはScience誌においてレビュー記事が掲載され、このような大規模量子ネットワークの研究計画が欧米中で開始されるなど注目を集めている。このような「量子インターネット」を実現するためには任意のユーザー間に量子もつれを配信することが重要となる。現在の光ファイバー網を利用してこれを実現するためには、光ファイバーでの損失を抑制し、光子を効率よく配信する「量子中継」が必要となる。本研究課題ではこれまで、必要となる量子メモリと通信波長帯光子の量子もつれ(エンタングルメント)生成を、冷却Rb原子と偏光無依存波長変換器および光ファイバー通信波長帯での超伝導光子検出器等の開発・高性能化により実現した。また、「量子中継」の核となる「適応ベル測定」を光で実現する全光量子中継の原理を世界初で実証した。また、世界的な新たな潮流として、重要な量子ネットワークの多重化手法を研究し、周波数多重化を用いた新たな手法を考案し、1400モードにもなる大規模な多重化を実証した。更に進んだ実験的な成果、超伝導光子検出器の研究や量子暗号通信プロトコルに関する多くの理論的な成果を得ている。本年度は、これを更に進める成果が得られた。以下に、その代表的なものを挙げる。量子もつれを光ファイバーで送信する際のノイズ除去法としてDFSと呼ばれる量子符号化を用いた最新の方法の実証に成功した。また、CV量子鍵配送における有限長の鍵生成の理論構築に成功した。さらに、量子インターネットに必須の量子周波数変換器に共振器構造を形成することで、従来よりも1桁程度励起光強度を減じたエコな量子周波数変換器の開発に成功した。

§ 2. 研究実施体制

(1)「阪大」グループ

- ① 研究代表者:井元信之 (大阪大学先導的学際研究機構
量子情報・量子生命研究センター 特任教授)
- ② 研究項目
・量子通信システム

(2)「NTT 実験」グループ

- ① 主たる共同研究者:向井哲哉 (日本電信電話(株)NTT物性科学基礎研究所・
量子光物性研究部 主任研究員)
- ② 研究項目
・冷却原子量子メモリの開発

(3)「NICT」グループ

① 主たる共同研究者:三木茂人 (情報通信研究機構・
フロンティア創造総合研究室 主任研究員)

② 研究項目

・高効率・低雑音を兼ね備えた光子数識別器の開発

(4)「東大」グループ

① 主たる共同研究者:小芦雅斗 (東京大学工学研究科 教授)

② 研究項目

・光による原子集団の制御測定理論と量子通信プロトコルの開拓

(5)「富山大」グループ

① 主たる共同研究者:玉木潔 (富山大学大学院理工学研究部(工学) 教授)

② 研究項目

・量子暗号プロトコル提案・理論的解析

【代表的な原著論文情報】

- 1) K. Miyanishi, Y. Tsujimoto, R. Ikuta, S. Miki, M. Yabuno, T. Yamashita, H. Terai, T. Yamamoto, M. Koashi, N. Imoto, "Robust entanglement distribution via telecom fibre assisted by an asynchronous counter-propagating laser light", npj Quantum Information 6, 44 (2020).
- 2) R. Ikuta, T. Kobayashi, T. Yamazaki, N. Imoto, T. Yamamoto, "Cavity-enhanced broadband photonic Rabi oscillation", Phys. Rev. A 103, 033709 (2021).
- 3) T. Matsuura, K. Maeda, T. Sasaki, M. Koashi "Finite-size security of continuous-variable quantum key distribution with digital signal processing", Nature Communications 12, 252 (2021).