

新たな光機能や光物性の発現・利活用を基軸とする
次世代フォトニクスの中盤技術
2015年度採択研究代表者

2019年度 実績報告書

古澤 明

東京大学大学院工学系研究科
教授

極限コヒーレント光通信のための量子力学的操作と
超伝導光子数識別器および光集積システム化法の研究

§ 1. 研究成果の概要

本プロジェクトは極限コヒーレント光通信実現を目指し、そのための量子力学的操作と超伝導光子数識別器およびそれらの光集積システム化法を研究するものである。極限コヒーレント光通信のための量子力学的操作のうち最も重要なもののひとつに3次位相ゲートがある。古澤グループは、2015年度にその簡便な実現方法を発明し、それを実現すべく、2016年度にはその入力段における光波束の実時間振幅測定法を考案し、それを用いて単一光子状態波束の実時間振幅測定に世界で初めて成功した。さらに、2016年度には3次位相ゲートにおける非線形フィードフォワードのための低レイテンシーAD-FPGA-DAボード(アナログ-デジタル変換・フィールドプログラマブルゲートアレイ・デジタル-アナログ変換ボード)の仕様をまとめ発注し、2017年度には納品された低レイテンシーAD-FPGA-DAボードの検収を行った。そして、このAD-FPGA-DAボードを用いて3次位相ゲートの主要部であるダイナミックスキュージングゲートの動作実験を行いそれに成功した。2018年度はこれらの成功を受け、3次位相ゲートを構築するための最後のパーツである、安定した光学遅延系を構築すべく、エリオットセルを開発した。また、2017年度末から2018年度にかけて、3次位相ゲート実現法の単純な拡張により4次位相ゲートが実現できることを見だし、4次位相ゲートの簡便な実現方法を発明した。これにより、3次位相ゲート開発は4次位相ゲート開発と等価になり、開発を加速することに成功した。2019年度はこれらを受けて、3次位相ゲート全体の動作検証実験を行った。特に、核となる非線形フィードフォワードの部分で、これまでに開発した低レイテンシーAD-FPGA-DAボードおよびエリオットセルを組み合わせることで実現に成功した。これにより、3次位相ゲートの主要部分の開発が完了した。

4次位相ゲート実現には補助状態が必要になるが、その補助状態を生成すべく、青木グループは共振器 QED 系を立ち上げ、その成果として2018年度にナノファイバー共振器を用いた結合共振器 QED 系の構築に成功し、2019年度には補助状態には必須のスキューズの観測に大きく近づいた。極限コヒーレント光通信に必須の超伝導光子数識別器もグループ間で仕様を検討し、高橋グループがその要素技術の開発を行い、2019年度に実機が完成した。光集積システム化法については、古澤グループが2015年度に量子テレポーテーションの主要部を光導波路回路化し実験を行い、2016年度にはその結果に基づいて光導波路回路の再設計を行った。2017年度には新光導波路回路の評価実験を行った。その結果、基本レーザーの波長をこれまで量子光学で通常用いられてきた860nmから通信波長帯の1.5ミクロン帯に移す必要があると判明した。そのため2018年度は通信波長帯での量子光学実験系を立ち上げ、6.2dBのスキューズド光の生成に成功した。2019年度は引き続きこれの高性能化を図り、2THzの広帯域化に成功した(2THzの広帯域でスキューズド光の測定に成功した)。そしてこれを報道発表した。

【代表的な原著論文】

1. T. Kashiwazaki, N. Takanashi, T. Yamashita, T. Kazama, K. Enbutsu, R. Kasahara, T. Umeki, and A. Furusawa, "Continuous-wave 6-dB-squeezed light with 2.5-THz-bandwidth from single-mode PPLN waveguide," *APL Photonics* 5, 036104 (2020)

2. Y. Hashimoto, T. Toyama, J. Yoshikawa, K. Makino, F. Okamoto, R. Sakakibara, S. Takeda, P. van Loock, and A. Furusawa, "All-optical storage of phase-sensitive quantum states of light," *Phys. Rev. Lett.* 123, 113603 (2019)

§ 2. 研究実施体制

(1)「古澤」グループ

① 研究代表者:古澤 明 (東京大学大学院工学系研究科 教授)

② 研究項目

- ・自由空間光学系を用いた量子ゲートテレポーテーションにより3次位相ゲートおよび4次位相ゲート(非線形サインシフトゲート)の実現を目指す。ここで、3次位相ゲートの補助入力の本グループで既に開発に成功している方法および高橋グループで作製する超伝導光子数識別器を用いて生成し、4次位相ゲートの補助入力は青木グループで生成法を開発する共振器 QED 系を用いて生成する。
 - ・NTT やブリストル大学と共同して、量子ゲートテレポーテーション装置の光集積システム化のための技術開発を行う。
 - ・極限コヒーレント通信の心臓部であるコヒーレント状態からシュレーディンガーの猫状態への変換(「量子ノイズイート光アンプ」)の原理検証実験を行う。
- 以上のすべてに関して、海外連携研究者と共同で理論的研究を行う。

(2)「青木」グループ

① 主たる共同研究者:青木 隆朗 (早稲田大学理工学術院 教授)

② 研究項目

- ・微小光共振器を用いた共振器 QED 系を構築し、カー状態を生成するとともに、4次位相ゲート(非線形サインシフトゲート)を実現する。

(3)「高橋」グループ

① 主たる共同研究者:高橋 浩之 (東京大学大学院工学系研究科 教授)

② 研究項目

- ・古澤グループと協働してスペックを詰めながら、超伝導体を用いて、高い量子効率と応答速度を併せ持つ超伝導光子数識別器を開発する。具体的には、Ir 超伝導体を用いた新たなアイデアに基づく高効率・高分解能光子数検出器として、超伝導領域と常伝導領域の中間状態を用い、高速の応答特性をもつとともに複数の光子が同時に入射した際にも正しく光子数を計測することのできる Parallel Array Transition Edge Sensor (PA-TES)の開発を推進する。