

「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」  
平成29年度採択研究代表者

H29 年度  
実績報告書

青木 隆朗

早稲田大学理工学術院  
教授

スケーラブルな光学的量子計算に向けた超低損失ナノファイバー共振器 QED 系  
の開発

## § 1. 研究実施体制

### (1) 早稲田大学グループ

- ① 研究代表者: 青木 隆朗 (早稲田大学 理工学術院、教授)
- ② 研究項目
  - [1] 超低損失ナノファイバー共振器の開発
  - [2] 光学的量子計算の要素技術実証

### (2) 明治大学グループ

- ① 主たる共同研究者: 金本 理奈 (明治大学 理工学部、准教授)
- ② 研究項目
  - [3] 最適化に関する理論

## § 2. 研究実施の概要

光子を量子ビットとして用いる光学的量子計算は、量子計算の実装の有力な候補であり、量子情報分野の最初期からの主要な研究対象の1つである。単一光子源・2量子ビットゲート・クラスター状態源といった、光学的量子計算において重要な要素技術は、共振器量子電気力学 (QED) 系によって決定論的に動作するものが実現可能である。実際の実装においては、光損失やエラーに対して誤り訂正を施し、かつ、スケーラブルな量子計算（誤り耐性量子計算）が求められるが、共振器 QED に基づく光学的量子計算の実装に関するスケーラビリティの検討はこれまであまりなされておらず、また、スケーラブルな量子計算を可能にする共振器 QED 系も開発されていない。本研究では、スケーラブルな光学的量子計算の実装を可能にする超低損失ナノファイバー共振器を開発し、光学的量子計算の要素技術をナノファイバー共振器 QED 系で実現する。また、このアプローチにおける各要素技術、および、それらを組み合わせて構築される誤り耐性量子計算のアーキテクチャ全体の最適化に関して理論的研究を推進する。

平成 29 年度は、主に研究の立ち上げを行なった。

[1]超低損失ナノファイバー共振器の開発は、超低損失 FBG の作製と超低損失テーパー部の作製により進める。前者については、まず、ファイバーブラッグ格子 (FBG) 露光用位相マスクの作製に着手した。また、これと並行して、深紫外 (DUV) レーザーによる FBG 露光システムの立ち上げを行なった。後者については、新設計テーパー加工装置の立ち上げを行なった。

[2]光学的量子計算の要素技術実証では、ナノファイバー共振器 QED 系を用いて、光学的量子計算の要素技術の実証実験を実施する。平成 29 年度は、共振器 QED 実験系の立ち上げを行った。特に、ナノファイバー共振器 QED 系の複数接続可能性を実証するため、2つのナノファイバー共振器 QED 系を全ファイバーで接続した連結共振器 QED 系を構築した。共振器間接続チャンネルの損失はわずか 2%以下であり、複数のナノファイバー共振器 QED 系低損失に接続できることが実証できた。

[3]最適化に関する理論では、要素技術として、まず単一光子源の最適化を検討した。共振器 QED に基づいた単一光子の発生方法には、Purcell 効果を用いるもの、共振器増強ラマン散乱過程を用いるもの、vSTIRAP を用いるもの等がある。これらはいずれも外部結合効率を調整可能なパラメーターとして持つ。そこで、これらの単一光子発生方法を統一的に取り扱う理論を定式化し、単一光子生成確率が最大となる最適な外部結合効率を解析的に決定するとともに、数値計算によりその妥当性を確認した。