

青木隆朗

早稲田大学理工学術院応用物理学科  
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. 研究成果の概要

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。2018 年度の成果は以下の通りである。

#### [1]超低損失ナノファイバー共振器の開発

FBG 露光用位相マスク作製プロセスの条件出しを進めた。また、前年度に立ち上げた FBG 露光システムを用いて、実際に FBG の露光に着手した。

#### [2]光学的量子計算の要素技術実証

前年度に構築した、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 系を用いて、巨視的距離(数メートル)を隔てた原子と、2つの共振器に同時に存在する「非局在化した」光子の間のコヒーレント相互作用を観測した。この成果を Nature Communications 誌に発表した。

#### [3]最適化に関する理論

単一光子源の最適化として、STIRAP 方式を含む主要な単一光子源方式に対する理論解析解

を導出し、単一光子生成確率が最大となる最適な外部結合効率を理論的に決定した。また、有限パルス長の場合の単一光子生成確率に関する検討を行なった。さらに、今年度より新たに量子ゲートの最適化に関する検討を開始した。

**【代表的な原著論文】**

1. S. Kato, N. Német, K. Senga, S. Mizukami, X. Huang, S. Parkins, and T. Aoki, “Observation of dressed states of distant atoms with delocalized photons in coupled-cavities quantum electrodynamics”, *Nature Communications* 10, 1160 (2019).
2. H. Goto, S. Mizukami, Y. Tokunaga, and T. Aoki, “Figure of merit for single-photon generation based on cavity quantum electrodynamics”, *Phys. Rev. A* 99, 053843 (2019).

## § 2. 研究実施体制

### (1) 早稲田大学グループ(研究機関別)

- 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(研究機関別)

- 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