

# 共振器量子電気力学による量子計算

研究代表者 青木 隆朗  
(先進理工学部 応用物理学科 教授)

## 1. 研究課題

光共振器に閉じ込められた光子と原子が量子力学的に相互作用する系、すなわち共振器量子電気力学系は、量子光学の重要な研究対象であるとともに、量子計算の実装に有用である。本研究では、ナノフォトニクスに基づく共振器量子電気力学系を開発し、量子計算への応用を図る。具体的には、超低損失ナノ光ファイバー共振器に基づく共振器量子電気力学系を開発する。また、ナノ光ファイバー共振器の高いスケーラビリティに基づく量子計算要素技術の実証実験を目指す。

## 2. 主な研究成果

前年度に引き続き、共振器量子電気力学による量子計算の実装に適したナノ光ファイバー共振器を開発した。単一モード光ファイバーに対して深紫外レーザー光源と位相マスクを用いてファイバーブラッグ格子を形成し、高フィネスファブリーペローファイバー共振器を作製した。さらに加熱延伸加工によりナノ光ファイバーを作成することで、超低損失ナノ光ファイバー共振器を作製した。さらに、作製した超低損失ナノ光ファイバー共振器の性能を劣化させずに長期間保存する技術を開発した。

また、共振器量子電気力学に基づく量子計算において重要な、共振器内原子間の断熱的な量子状態転写の速度限界を定式化した。これは、共振器量子電気力学による量子計算の高速化に繋がる。

さらに、共振器量子電気力学に基づく量子計算の高速化に繋がる新規構造共振器の作製手法を発明した。

## 3. 共同研究者

ラッデル サムエル ケルビン (理工総研・次席研究員)

ウェブ カレン エリザベス (理工総研・次席研究員)

ジャミーシュ ケロト (理工総研・次席研究員)

ティム ケラー (理工総研・次席研究員)

原田 健一 (理工総研・次席研究員)

高畑 光善 (理工学術院・講師)

廣瀬 雅 (株式会社 Nanofiber Quantum Technologies・招聘研究員)

基盤 晃久 (株式会社 Nanofiber Quantum Technologies ・ 客員主任研究員)  
加藤 真也 (株式会社 Nanofiber Quantum Technologies ・ 客員主任研究員)  
井上 遼太郎 (株式会社 Nanofiber Quantum Technologies ・ 客員主任研究員)  
小西 秀樹 (株式会社 Nanofiber Quantum Technologies ・ 客員次席研究員)

## 4. 研究業績

### 4.1 学術論文

(1) Akinori Suenaga, Takeru Utsugi, Rui Asaoka, Yuuki Tokunaga, Rina Kanamoto, and Takao Aoki, “Speed limit of Efficient Cavity-Mediated Adiabatic Transfer”, Journal of the Physical Society of Japan 93, 044003 (2024)

### 特許

(1)青木隆朗, 特願 2023-055195, 「光共振器、量子計算ユニット、および分散型量子計算システム」  
(2) 青木隆朗, PCT/JP2023/042609, 「ファイバブラッグ格子素子及びその製造方法」

### 4.2 総説・著書

### 4.3 招待講演

(1)青木隆朗, 「共振器 QED による原子と光子の量子操作」, 第 70 回応用物理学会春季学術講演会, 上智大学, 2023/3/16  
(2)青木隆朗, 「分散型量子計算のためのナノファイバー共振器 QED デバイス技術」, 第 70 回応用物理学会春季学術講演会, 上智大学, 2023/3/17  
(3)青木隆朗, 「ナノ光ファイバー共振器量子電気力学」, 日本物理学会 2023 年春季大会, オンライン, 2023/3/23  
(4)井上遼太郎, “Developing a Nanofiber Cavity QED Approach for Yb/Photon Qubits Interface”, Workshop on Frontier of two-electron atoms and cavity QED, グリーン・コンピューティング・システム研究開発センター (早稲田大学 40 号館), 2024/3/25  
(5)加藤真也, “Nanofiber Cavity for Cavity QED Experiments”, Workshop on Frontier of two-electron atoms and cavity QED, グリーン・コンピューティング・システム研究開発センター (早稲田大学 40 号館), 2024/3/26  
(6)青木隆朗, “Cavity Quantum Electrodynamics with Optical Nanofibers and Trapped Atoms”, Dodd Walls Conference, Rotorua, New Zealand, 2023/6/15  
(7)青木隆朗, 「ナノファイバー共振器 QED に基づく大規模量子コンピュータ実現に向けて」, GCS 交流会, グリーン・コンピューティング・システム研究開発センター (早稲田大学 40 号館), 2023/8/29  
(8)青木隆朗, “Nanofiber Cavity Quantum Electrodynamics Systems for Distributed Quantum Computing”, RQC コロキウム, 理化学研究所, 2023/9/13  
(9)青木隆朗, “Nanofiber Cavity Quantum Electrodynamics Systems for Distributed Quantum Computing”, LKB Seminar, Sorbonne University, 2023/10/20  
(10) 青木隆朗, “Nanofiber Cavity Quantum Electrodynamics Systems for Distributed

Quantum Computing” , Quantum Innovation 2023,東京コンベンションホール,  
2023/11/16

(11) 青木隆朗, 「ナノ光ファイバー共振器の開発と量子技術への展開」, 光物性研究会,  
東京大学, 2023/12/23

(12) 青木隆朗, 「ナノファイバー共振器 QED による大規模量子ハードウェア」,  
ムーンショット Waseda Day, SHIBUYA QWS スクランプルホール, 2024/2/13

(13) 青木隆朗, 「分散型量子計算に向けたナノファイバー共振器量子電気力学」,  
レーザー学会学術講演会第 44 回年次大会, 未来科学館,2024/1/19

#### 4.4 受賞・表彰

#### 4.5 学会および社会的活動

応用物理学会 微小光学研究会 運営委員

### 5. 研究活動の課題と展望

引き続き、ナノ光ファイバー共振器の高いスケーラビリティに基づく量子計算要素技術の実証実験を進める。将来的には、量子ビット数の大規模化を進めるとともに、複数の共振器量子電気力学系を用いた分散型量子計算要素技術の実証実験を進める。