

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。また、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の開発を進めた。

また、ナノ光ファイバー共振器量子電気力学に基づく量子計算ハードウェアの二重チャンネル構造への改造と運用、光ピンセットによる単一原子のトラップ技術の開発を進めた。

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)

グプタ ラトネッシュ クマール (理工総研・次席研究員)

中村 圭佑 (理工総研・次席研究員)

マドゥガニ ラームゴパル (理工総研・次席研究員)

マハム ハンバリー (理工総研・次席研究員)

原田 健一 (GCS 機構・主任研究員)

高畑 光善 (GCS 機構・主任研究員)

広瀬 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)
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)
小沢 秀樹 (株式会社 Nanofiber Quantum Technologies ・ 客員次席研究員)
駒形 憲一 ニコラ (株式会社 Nanofiber Quantum Technologies ・ 客員次席研究員)
加藤 真也 (理化学研究所 ・ 客員主任研究員)

4. 研究業績

4.1 学術論文

- (1) Seigo Kikura, Hayato Goto, Takao Aoki, Engineering propagating cat states with driven four-level systems inside a cavity, *Physical Review Applied* 24, 24001 (2025)
- (2) Seitaro Horikawa, Shinya Kato, Ryotaro Inoue, Takao Aoki, Akihisa Goban, Hideki Konishi, Low-loss telecom-band nanofiber cavity for interfacing Yb atomic qubits, *Optics Letters*, Vol.50, Issue17, 5294-5297 (2025)
- (3) Tim Keller, Seigo Kikura, Rui Asaoka, Yasunari Suzuki, Yuuki Tokunaga, Takao Aoki, Addressing requirements for crosstalk-free quantum-gate operation in many-body nanofiber cavity QED systems, *J. Opt. Soc. Am. B*, Vol. 43, No. 2, 351-365(2026)
- (4) Tomofumi Tanaka, Takahiro Suzuki, Owen Mao, Samuel K. Ruddell, Karen E. Webb, Mitsuyoshi Takahata, and Takao Aoki, Fabrication and nonlinear measurements of high-Q defect-free optical nanofiber photonic crystal resonators, *Optics Express*
- (5) Seigo Kikura, Hayato Goto, Fumiya Hanamura, Takao Aoki, Single-shot conditional displacement gate between a trapped atom and traveling light, *Phys. Rev. Lett.*
- (6) Mitsuyoshi Takahata, Jameesh Keloth, Takashi Yamamoto, Ken-ichi Harada, Shigehito Miki, and Takao Aoki, Fiber-optic quantum interface with an array of more than 100 individually addressable atoms on an optical nanofiber, arXiv, (2026)

4.2 総説・著書

4.3 招待講演

- (1) 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 QED 技術」, Q-STAR 量子マテリアル・デバイス・センシング部会 講演会, オンライン, 2025/4/22
- (2) Takao Aoki, “Optical nanofibers for cavity quantum electrodynamics”, 16th Pacific Rim Conference on Ceramic and Glass Technology/GOMD 2025, Vancouver, Canada, 2025/5/7
- (3) Takao Aoki, “Nanofiber Cavity Quantum Electrodynamics Systems for Distributed Quantum Computing”, Czech-Japan Workshop on Quantum Technologies, Prague, Czech, 2025/5/28
- (4) 青木隆朗, 「ナノファイバー共振器 QED 技術を応用した分散型量子計算に向けた挑戦 for Distributed Quantum Computing」, JATES 量子技術研究会, ベルサール飯田橋駅前, 2025/6/5
- (5) Takao Aoki, “Nanofiber Cavity Quantum Electrodynamics Systems for Distributed

Quantum Computing for Distributed Quantum Computing”, Joint International Workshop on Quantum Computing, National Cheng Kung University, Taiwan, 2025/6/24

- (6) Takao Aoki, “Nanofiber Cavity Quantum Electrodynamics Systems for Distributed Quantum Computing and Quantum Network”, Italian Innovation at Expo 2025 Osaka, 大阪万博, 2025/9/8
- (7) Takao Aoki, “Nanofiber Cavity Quantum Electrodynamics Systems for Distributed Quantum Computing”, PIERS 2025, 幕張メッセ, 2025/11/5
- (8) Takao Aoki, “Nanofiber Cavity Quantum Electrodynamics Systems for Distributed Quantum Computing”, IMS JP-DE ASPIRE symposium, 2025/11/27, 分子科学研究所
- (9) 青木隆朗, 「ナノファイバー共振器 QED による量子ネットワーク」, フォトニクスワークショップ, 沖縄青年会館, 2025/11/28
- (10) 青木隆朗, 「量子ネットワークのためのナノファイバー共振器 QED 系」, 学術変革領域研究 (A) 「光の極限性能を生かすフォトニックコンピューティングの創成」第 7 回領域会議, 学術総合センタービル, 2025/12/16
- (11) 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 QED 技術」, PST-net 招待講演会, 機会振興会館, 2026/2/13
- (12) 青木隆朗, 「分散型量子コンピュータのためのナノファイバー共振器 QED」, 多元技術融合光プロセス研究会, 東海大学品川キャンパス, 2026/3/5

4.4 受賞・表彰

第 29 回（令和 7 年度）松尾財団宅間宏記念学術賞

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。