

## 二つの共振器量子電気力学系を光ファイバーで低損失・高効率に結合成功 ～量子コンピューターや量子ネットワークへの応用に期待～

早稲田大学の研究グループは、2つの共振器量子電気力学系を光ファイバーで高効率に結合した、結合共振器量子電気力学系を実現した。光ファイバー量子ネットワークや分散型量子コンピューターの実現に寄与することが期待される。

本研究グループは、ナノ光ファイバーとファイバーブラッグ格を組み合わせたナノ光ファイバー共振器を開発した。ナノ光ファイバー共振器は光ファイバーそのものに作り込まれた全ファイバー共振器であり、光ファイバーを用いて複数の共振器を低損失に接続できる。これにより、2つのナノ光ファイバー共振器量子電気力学系を光ファイバーで低損失・高効率に結合することが可能になった。また、この系において、数メートル離れた原子と、2つの共振器に同時に存在する光子の間の相互作用を初めて観測した。

なお、本研究成果は、2019年3月11日に「Nature Communications」に掲載された。

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を共振器量子電気力学系という。共振器量子電気力学系では、光子と原子の間でエネルギーを交換する過程が、エネルギーを損失する過程に対して支配的となり、通常系ではさまざまな損失過程に阻まれて困難な、純度の高い量子状態の生成や特異な現象の観測が可能になる。これらの特長から、共振器量子電気力学系は光子や原子の量子性を探求する上で理想的な実験対象となる。

2012年には、共振器量子電気力学の実験技術の開拓に貢献したセルジュ・アロシュ氏がノーベル物理学賞を受賞した。近年では、光共振器の代わりに超伝導電気回路を、自然の原子の代わりに人工原子を用いた「回路量子電気力学系」が考案され、GoogleやIntelを始めとする世界中の多くのグループが回路量子電気力学系に基づいた量子コンピューターの実現を目指して研究を進めている。

アロシュ氏の共振器量子電気力学系や、それに続く回路量子電気力学系は、いずれも周波数が数GHz～数十GHz程度のマイクロ波光子を用いるものである。マイクロ波光子のエネルギーは室温の熱エネルギーより小さく、マイクロ波光子は室温では量子性を保つことができない。そのため、これらの実験では、系全体を数mK程度の極低温に冷却する必要がある。一方、光領域の光子を用いた共振器量子電気力学系の研究も進められている。光領域の光子は周波数が数百THzであり、室温の熱エネルギーよりずっと大きなエネルギーを持つため、室温においても全く量子性を失わない。さらに、光ファイバーによって量子

性を保ったまま長距離伝送できる。

本研究グループは、後述するナノ光ファイバー共振器と、その表面近傍にトラップされた原子を用いた共振器量子電気力学系（図1）を光ファイバーで高効率に結合することで、結合共振器量子電気力学系を実現した（図2）。また、この系において、数メートル離れた原子と、2つの共振器に同時に存在する光子の間の相互作用を初めて観測した（図3）。

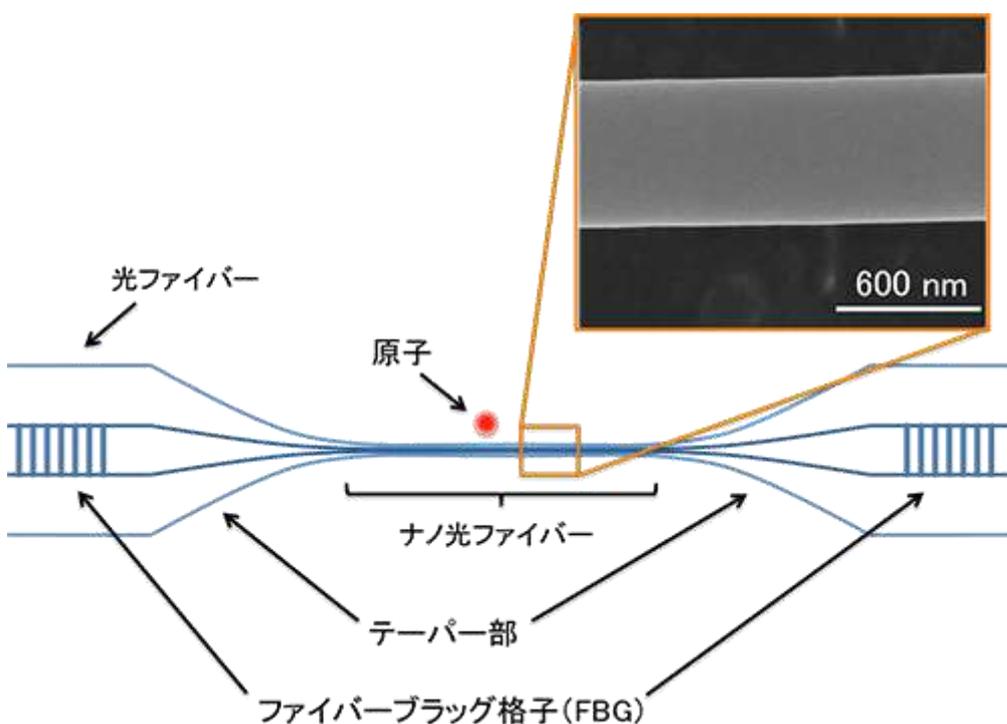


図1 ナノ光ファイバー共振器と原子を用いた共振器量子電気力学系の模式図

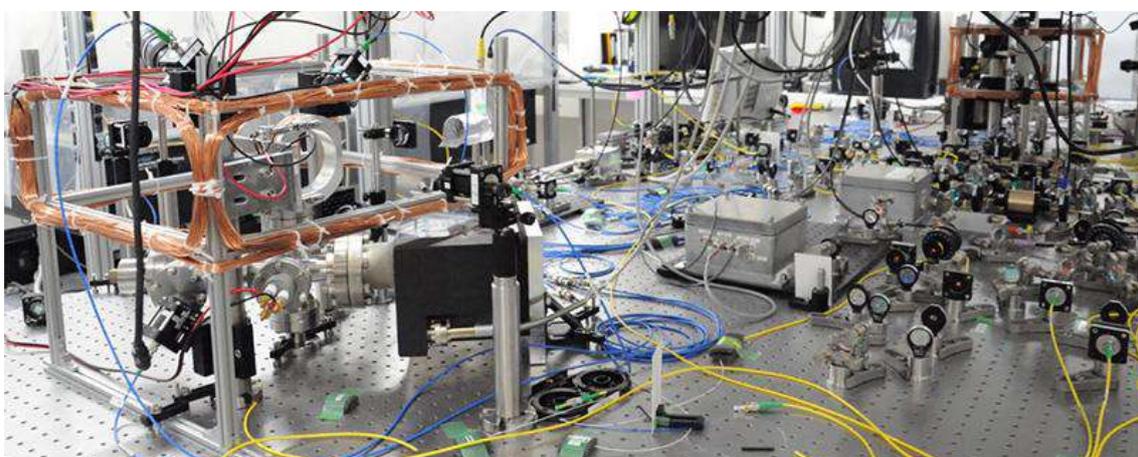


図2 結合共振器量子電気力学系の実験装置

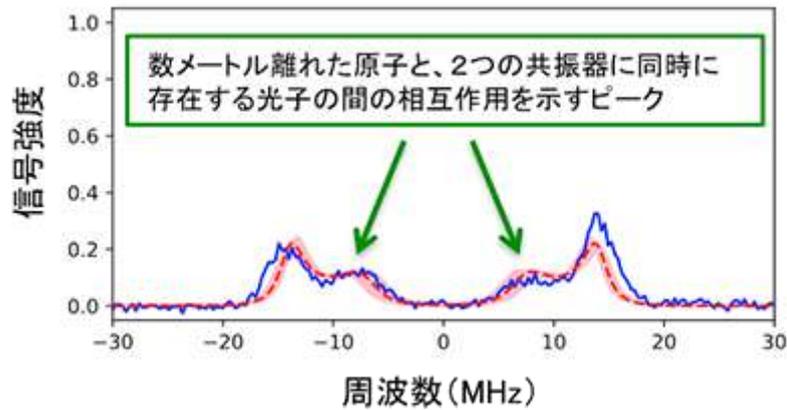


図3 数メートル離れた原子と、2つの共振器に同時に存在する光子の間の相互作用を示す実験結果

本研究グループは、ナノ光ファイバーとファイバーブラッグ格子を組み合わせたナノ光ファイバー共振器を開発した。ナノ光ファイバー共振器は光ファイバーそのものに作り込まれた全ファイバー共振器であり、光ファイバーを用いて複数の共振器を低損失に接続できる。これにより、二つのナノ光ファイバー共振器量子電気力学系を光ファイバーで低損失・高効率に結合することが可能になった。

本研究の成果は、光子を用いた量子コンピューター（光量子コンピューター）の実現に向けて極めて重要である。光子は他の量子系と比較して格段に高いコヒーレンスを持ち、室温においても全く量子性を失わず、光ファイバーによって長距離伝送し、任意の1量子ビット操作を容易に実現でき、時間多重化が可能であるという優れた特長を持つ。

文 JST 客观日本编辑部

日文发布全文 <https://www.jst.go.jp/pr/announce/20190311/index.html>