

〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-1

# 量子ネットワークへ不可欠な 高輝度通信波長量子光源開発に成功

## 本研究のポイント

- ・通信波長量子光源の狭線幅・高輝度開発に成功
- ・世界最高スペクトル輝度、および 1.5 ミクロン通信波長で線幅世界最小
- ・今後量子ネットワーク用中継器搭載メモリーとの高効率結合へ進む

## 【研究概要】

横浜国立大学 工学研究院の堀切智之准教授は、新関和哉氏（横浜国立大学工学府修士課程 1 年）らとともに Jinan Institute of Quantum Technology、日本大学、分子科学研究所、神奈川大学と共同研究を行い、量子通信長距離化に必須の高輝度光源開発に成功しました。各種ネットワークの完全なセキュリティへつながる量子暗号通信や、大規模クラウド量子計算の安全な使用を可能にするブラインド量子計算にもつながる量子ネットワーク長距離化には中継器が必要であり、構築には量子光源・量子メモリーなどが必要です。これまで光ファイバー伝送を実現する通信波長の低損失領域（～1.5ミクロン）において、量子メモリーと高効率で結合し得る高輝度・狭線幅の光源は実現されていませんでした。今回の成果は、それを可能にする初めての成果です。

本研究成果は、国際科学誌「Applied Physics Express」（3月16日）にて出版されました。

## 【研究成果】

非線形媒質周期分極反転ニオブ酸リチウムを光共振器内に設置し発生させた 2 光子に、共振器増強効果を利用することで、共振器線幅によって限定されたスペクトルに極めて高いスペクトル密度の 2 光子発生に成功した。通信波長 1.5 $\mu\text{m}$  領域での世界最小線幅、およびこれまで実装された全ての波長域における世界最高スペクトル輝度を達成した。

## 【社会的な背景】

量子ネットワークは、完全なセキュリティ（量子暗号）や大規模量子計算（クラウド量子計算）を始めとする次世代技術基盤となる期待がされている。その長距離化に必要な量子中継器は、構成要素となる通信波長量子光源や量子メモリーの開発およびそれらの統合が必要であり、極めて高効率・高スループットでの統合が待たれている。

## 【今後の展開】

今後開発する量子メモリーとの統合を通じて、量子ネットワークの長距離化実証へと進む計画である。

本件に関するお問い合わせ先

横浜国立大学 工学研究院 准教授 堀切智之

Tel:045-339-3356

E-mail:horikiri-tomoyuki-bh@ynu.ac.jp

## 【研究詳細】

# 長距離量子通信用中継器搭載へつながる光源技術を実証

## <研究背景>

量子通信は完全な情報セキュリティを保証する通信方式です。インターネットを初めとした現状の通信への付加のみならず、急速に開発が進んでいる量子コンピュータへのクラウド化の安全性保証にも適用可能な、次世代基盤通信技術として期待されます。

数100km-1000kmを超える長距離量子通信実証が待望されていますが、まだ課題が山積しています。現在実証されている最長距離は光ファイバー通信で400km程度、人工衛星を用いた通信では1200 km程度です。これ以上の長距離化には、量子中継という中継技術が必要になります。中継には、遠方の中継ノードに搭載される量子メモリー間にエンタングルメントと呼ばれる量子相関を共有する必要があります。

そのために複数の量子技術が必要であり、例えば1：量子光源、2：量子メモリー、3：光源－メモリー間インターフェース技術などです。これらの技術を単一システムで実装することは、量子中継器に向けた大きなステップですが、光源－メモリー間をつなぐには、光源のスペクトル幅が広いなどの制約により、これまで1-3技術を通じた量子中継用技術の統合がほとんど研究されて来なかった現状があります。

## <今回の成果>

今回、研究グループは図1のように光共振器を用いて通信波長量子光源（2光子源）開発を実施し、量子メモリー物質との結合効率を従来より大幅に上昇させる光源開発に成功しました。中継で用いる光源には、量子レベル（一度にくる光子数が1）である必要がある反面、高通信レートを可能にし量子メモリーの狭スペクトルに対して高輝度をもつという性質が両立する必要があります。

本研究の光共振器内2光子発生による共振器増強効果によって、これまでの通信波長でメインとして使われる1.5マイクロメートル近辺で開発された2光子源として世界最小スペクトル幅、かつ過去開発された全ての波長帯域における狭スペクトル2光子源において世界最高スペクトル輝度を示しました。

今後は、今回開発した光源と高効率で結合する量子メモリー開発を行い、すでに開発中のインターフェース技術を通じて光源と接続することで、より長距離の量子通信実証に向けて取り組んでいく予定です。

## <謝辞>

本研究は、科学技術振興機構さきがけプロジェクトNo. JPMJPR1769、科学技術振興機構START ST292008BN、東レ科学振興会、セコム財団、旭硝子財団、KDDI財団、村田学術振興財団、JKA、REFECの支援を得て行われました。

## <掲載論文>

雑誌： Applied Physics Express

著者： Kazuya Niizeki, Kohei Ikeda, Mingyang Zheng, Xiuping Xie, Kotaro Okamura, Nobuyuki Takei, Naoto Namekata, Shuichiro Inoue, Hideo Kosaka, and Tomoyuki Horikiri

題目： Ultrabright narrow-band telecom two-photon source for long-distance quantum communication

DOI : <https://doi.org/10.7567/APEX.11.042801>

## <添付資料>

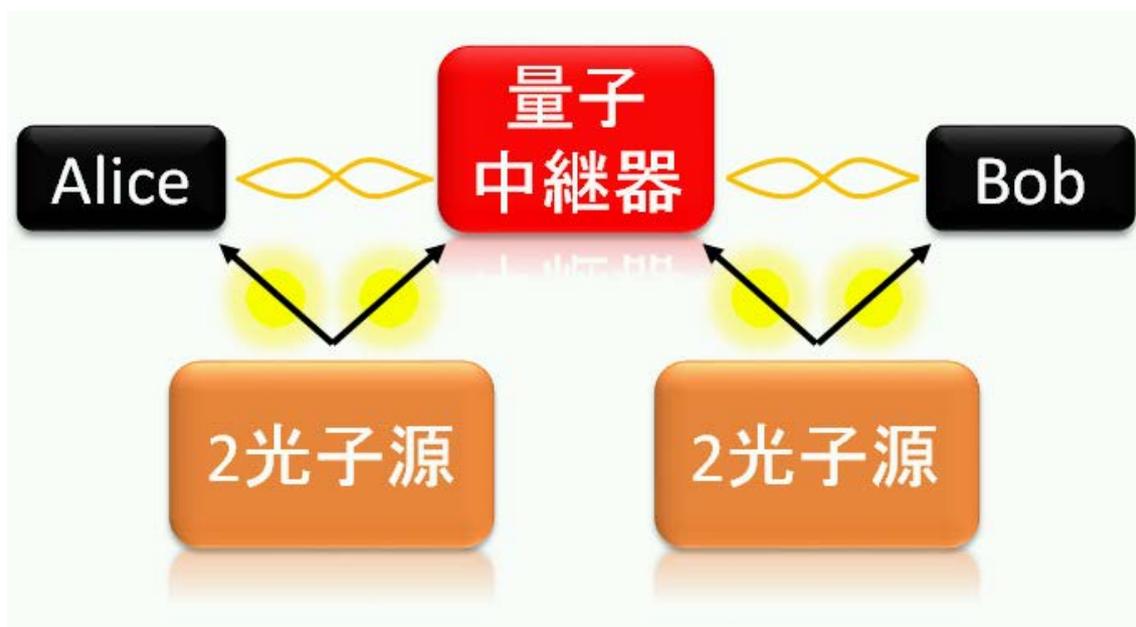


図1：長距離量子通信用量子中継器の概念図。最終的に通信を行いたい2ユーザー（Alice, Bob）の間に中継器ノードがあり、ノード間やユーザーを結ぶために2光子源が必要となる。2光子源が中継器ノード搭載メモリーと効率よく結ばれるには、狭スペクトル・高輝度といった性能が必要となる。

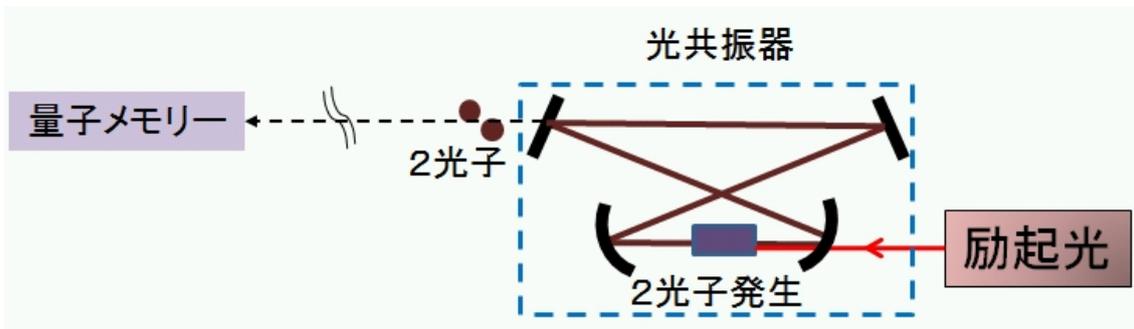


図2：開発光源の概略図。

光共振器を構成する4枚の鏡で囲まれた蝶ネクタイ型の短辺中央に2光子発生源がある。光共振器内で2光子発生を起こすことによって、共振器によって限定された狭い光波長域のみで2光子発生及び共振器による増強効果が起こり、狭スペクトル、高輝度の量子光源となり、遠方の量子メモリーにて効率よく吸収・保存され得る。

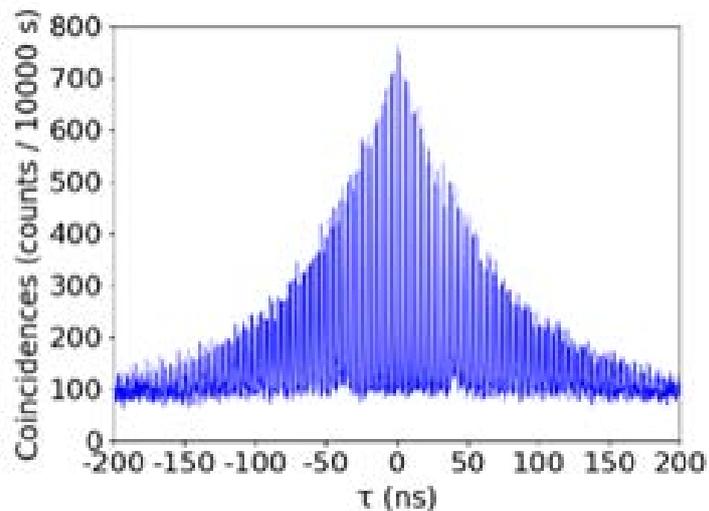


図3：開発2光子源の時間相関測定結果。包絡線の幅が、共振器寿命の長さを表し、その逆数によって2光子のスペクトル幅がおよそ2MHzと波長1.5マイクロメートル帯域において世界最小であることを示している。

## <用語解説>

### 1. 量子

光の最小単位である光子や、物質を構成する原子・電子などは量子である。波と粒子双方の性質を併せ持ち、量子通信においては、主に光が通信路（光ファイバーなど）伝送に用いられ、電子がメモリーとして用いられる。

### 2. 量子通信

単一光子やエンタングルメント光子対などの量子を利用することで、安全な暗号通信が可能となる通信方式。

### 3. 量子中継

量子通信の長距離化には、中継技術が必要となる。量子通信に必要な光は大変微弱であり、光ファイバーで送っても、距離とともに届く確率が指数関数的に減衰するからである。このため、例えば中継なしに 1000km 遠方に届けるのは困難になる。そこで、光ファイバー伝送を短い距離に区切って行い、量子メモリー物質への保存などの技術を用いて距離延長を行う量子中継技術が研究されている。

### 4. エンタングルメント

量子もつれともよばれる、多体間の量子力学的な相関。例えば2つの物体 A, B を、離れた2地点にいるユーザー1と2に片方ずつ配分した場合、ユーザー1がAを受け取れば、ユーザー2はBを受け取ったとわかる。これだけなら古典的な相関である。

しかし、例えばエンタングルメント2光子があり、ユーザー1と2に分配した場合、ユーザー1が偏光板を通して出てきた光子を観察した結果水平偏光であるならば、ユーザー2が同様に偏光板を通した場合も水平偏光である。これは上の古典相関と同じであるが、加えて、彼らが円偏光状態を見た時も完全に相関が現れる。つまり、ユーザー1が、やってきた光子が左回り円偏光か、右回り円偏光かを測り、その結果右とわかった場合、同様に円偏光の測定をしたユーザー2も右と100%の確率で結果を得る。

このように、水平偏光で見ても円偏光でみても完全な相関がユーザー1と2の測定結果に現れるのがエンタングルメントの代表的な性質である。

このエンタングルメントを短距離間で生成し、段々と距離を伸ばしていくのが量子中継の代表的な手法である。

### 5. 量子メモリー

伝送された光子の量子状態を物質中の電子スピンなどの量子状態に置き換え、長時間保存するためのもの。