

# 量子インターネットへ向けた通信波長 2 光子の 長距離光ファイバ伝送および波長変換に成功

## 本研究のポイント

- ・通信波長量子光源の高性能化（狭スペクトル、量子もつれ性獲得）達成
- ・光ファイバ 10km 伝送後、量子中継技術に必須の波長変換実装による量子メモリへの結合システム実証。

## 【研究概要】

横浜国立大学大学院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博士課程2年）、神奈川県立産業技術総合研究所（KISTEC）の中村一平常勤研究員らとともに、Jinan Institute of Quantum Technology、京都大学、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量子中継器用光源および波長変換を用い光ファイバ長距離伝送に成功しました**。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など次世代の「量子インターネット」につながる量子通信長距離化には中継器が必要であり、構築には量子光源・量子メモリなどを開発・統合する必要があります。これまで光ファイバ伝送用通信波長（～1.5ミクロン）において、量子メモリと高効率結合し得る狭スペクトル光源、および波長変換との結合による長距離伝送は実現されていませんでした。今回の成果は、それを可能にする成果です。

本研究の一部は、科学技術振興機構（JST）戦略的創造研究推進事業（さきがけ）、研究成果展開事業大学発新産業創出プログラム（START）の支援、KISTEC戦略的研究シーズ育成事業における共同研究のもとに行われました。

本研究成果は、国際科学誌「Communications Physics」に2020年8月12日18時（日本時間）に掲載されます。

## 【研究成果】

通信波長での量子もつれ光源を用いた長距離光ファイバ伝送、および伝送後波長変換により量子中継器設置量子メモリとの高効率結合を可能にする成果です。

## 【社会的な背景】

量子インターネットは、様々な量子デバイスをつなぐことで、分散量子計算やクラウド量子計算、そして完全なセキュリティ（量子暗号）などを提供する次世代基盤となることが期待されています。その構築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期待されています。

## 【今後の展開】

開発する量子メモリとの統合を通じて、量子インターネット用中継技術実証へと進む計画

です。

同時に、量子インターネットの研究開発推進団体QITFで量子インターネットの全体像や設計について学際的に議論しつつ、量子インターネットの物理系を実現する研究に取り組んでいます。

本研究に関するお問い合わせ先

【横浜国立大学】

大学院工学研究院 准教授 堀切智之

Tel:045-339-3356

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

【神奈川県立産業技術総合研究所】

研究開発部 戦略的研究シーズ育成事業 常勤研究員 中村一平

Tel:045-339-3356

E-mail:nakamura-ippei-vd@ynu.ac.jp

本報道に関するお問い合わせ先

【横浜国立大学】

総務企画部 学長室 広報・渉外係

Tel:045-339-3027

E-mail:press@ynu.ac.jp

【神奈川県立産業技術総合研究所】

研究開発部 研究開発課 研究支援グループ

Tel:044-819-2034

E-mail:res@newkast.or.jp

## 【研究詳細】

### 長距離量子通信用中継器へつながる光源＋波長変換技術を実証

#### <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のクラウド使用の安全性保証にも必要な技術として期待されます。さらに、量子インターネットと呼ばれる量子通信ネットワークで結ばれた様々な量子デバイス（量子コンピュータから、センシングデバイスなど）は、現在の情報通信技術がインターネットなくしては語れないように、次世代の情報通信技術の基盤となる期待がされています。

数百km-1000kmを超える光ファイバネットワークを用いた長距離量子通信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通信で500km程度です。これ以上の長距離化には、量子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間に量子もつれ（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。

そのため必要な中継器の要素は、1：量子もつれ光源、2：量子メモリ、3：光源－メモリ間インターフェース技術（波長変換、周波数安定化）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、量子中継器に向け必要なステップですが、光源－メモリ間をつなぐには、光源スペクトル幅が広い制約などにより、1-3技術を通じた量子中継用技術の統合が困難であった現状があります。

#### <今回の成果>

今回、研究グループは光共振器を用いて通信波長量子もつれ光源開発を実施し（図1）、量子メモリ物質との結合効率を従来より大幅に上昇させる光源と、波長変換を併せたシステム開発に成功しました。量子中継で用いる光源は、極めて微弱な量子レベルである必要がある反面、量子メモリの狭スペクトルに対して高い光子供給レートをもつ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をもち、多重化量子通信にもちいる量子メモリへの結合効率90%以上が可能になります。

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に対し、開発中のインターフ

エ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（図2）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、神奈川県立産業技術総合研究所、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： Communications Physics

著者： Kazuya Niizeki, Daisuke Yoshida, Ko Ito, Ippei Nakamura, Kotaro Okamura, Nobuyuki Takei, Mingyang Zheng, Xiuping Xie, and Tomoyuki Horikiri

題目： Two-photon comb with wavelength conversion and 20-km distribution for quantum communication

DOI: 10.1038/s42005-020-00406-1

<添付資料>

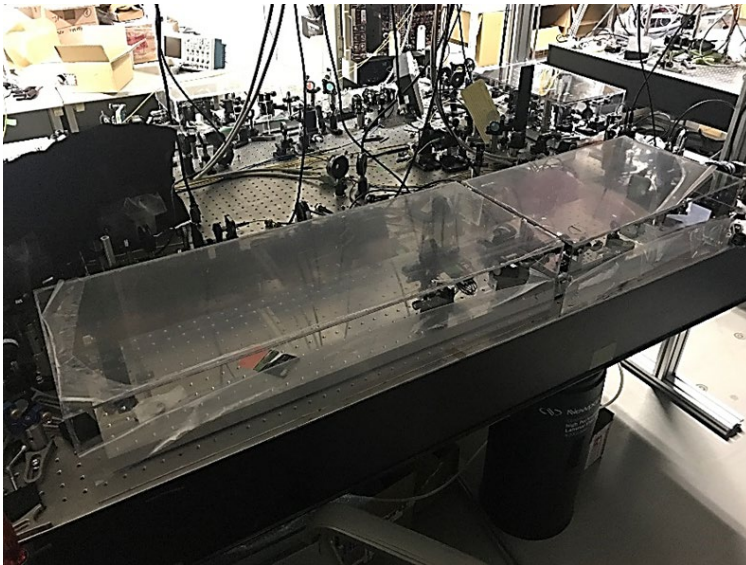


図1：開発量子もつれ光源

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光子発生およ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、遠方の量子メモリにて効率よく吸収・保存され得る。

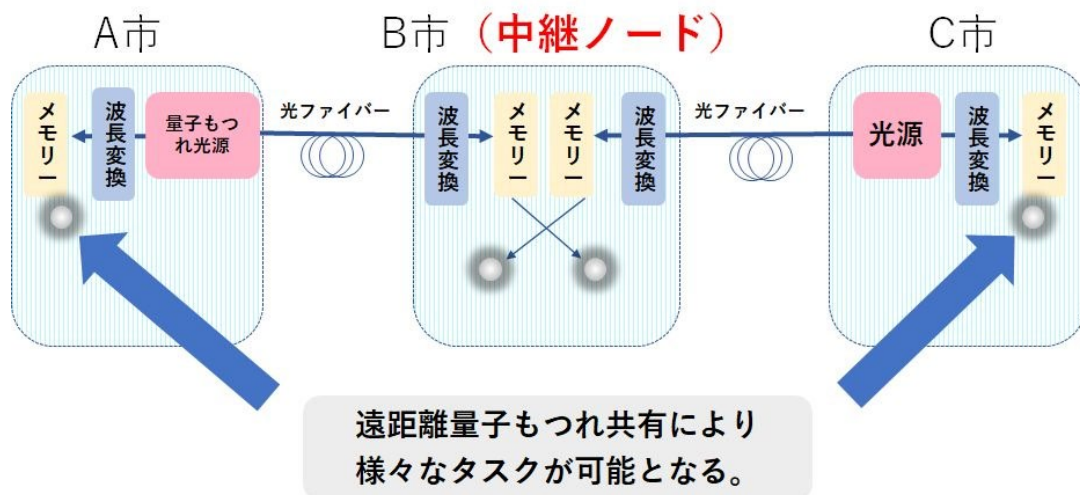


図2：長距離量子通信用量子中継器の概念図。最終的に通信を行いたい2ユーザー間に中継器ノードがあり、ノード間やユーザーを結ぶために2光子源が必要となる。2光子源が中継器ノード搭載メモリと効率よく結ばれるには、狭スペクトル・高輝度の量子もつれ光源および波長変換といった要素が必要となる。

## <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、電子がメモリとして用いられる。

### 2. 量子通信

単一光子や量子もつれ（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、光ファイバ伝送を短い距離に区切って行い、量子メモリ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. 量子もつれ（エンタングルメント）

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、例えば量子もつれにある 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が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となる。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、ユーザー 2 が測定した円偏光の結果も、100%の確率で右となる。

このように、水平偏光でみ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量子もつれの特徴的な性質である。

この量子もつれをまず短距離間で生成し、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

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

存するデバイス。