

〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-1

完全な情報セキュリティを保証する量子通信 グローバル化に必要な技術開発に成功！

横浜国立大学大学院工学研究院の堀切智之准教授は、米国スタンフォード大学の山本喜久名誉教授（現内閣府ImPACTプログラスマネージャー）グループLeo Yu博士、Chandra Natarajan博士らとともに、国立情報学研究所、ドイツWürzburg大学などと共同研究を行い、完全な情報セキュリティを保証する量子通信^[注1、2]長距離化に必須な中継器^[注3]要素技術の開発に成功しました。

物理学では、光子と光子、あるいは光子と原子などが特殊な量子相関関係をもつエンタングルメント^[注4]と呼ばれる現象があります。これを通信に用いると、送信者と受信者間の信号が完全な相関を持ち（つまり情報を送れる）、万一盗聴された場合もきちんと検知できるため、量子通信は完全なセキュリティを示します。

今回の成果は、量子メモリー^[注5]物質と量子相関した光を発生させ、光ファイバー通信に適する通信波長へ変換することにノイズ極小で成功しました。さらに波長変換用レーザーの波長調整により、長距離光ファイバー伝送後も他の独立光源との高い干渉性を持たせることにも世界で初めて成功しました。これは将来長距離量子通信の構成要素となる中継技術開発に相当する成果です。

本研究成果は、2015年11月24日（日本時間）発行のネイチャー・パブリッシング・グループの学術誌「Nature Communications」に掲載されます。

<掲載論文>

【題名】 Two-photon interference at telecom wavelengths for time-bin-encoded single photons from quantum-dot spin qubits

（量子ドットスピンキュービットからの時間ビン符号化された単一光子の通信波長帯における2光子干渉）

【著者】 Leo Yu, Chandra M. Natarajan, Tomoyuki Horikiri, Carsten Langrock, Jason S. Pelc, Michael G. Tanner, Eisuke Abe, Sebastian Maier, Christian Schneider, Sven Höfiling, Martin Kamp, Robert H. Hadfield, Martin M. Fejer and Yoshihisa Yamamoto

（レオ・ユ、チャンドラ・M・ナタラヤン、堀切智之、カーステン・ラングロック、ジェーソン・S・ペルク、マイケル・G・タナー、阿部英介、セバスチャン・マイアー、クリスチャン・シュナイダー、スヴェン・ホフリング、マーティン・キャンプ、ロバート・ハドフィールド、マーティン・M・フェイヤー、山本喜久）

【掲載誌】 Nature Communications

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@ynu.ac.jp

<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究極の通信方式です。そして長距離量子通信を実証することは我々の悲願です。しかい世界規模の長距離化実現にはまだまだ課題が山積しています。近年1000 kmを超える理論限界距離が報告され始めましたが、まだ実験的には証明されていません。

現在実証されている最長距離は300km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、中継器内の量子メモリー物質と光、遠方の量子メモリー同士の間エンタングルメントを共有する必要があります。これまでに光同士のエンタングルメントは数多くの研究が存在しましたが、量子メモリー物質とのエンタングルメントに関しては、その困難さにより総じて未成熟でした。

また、量子メモリーに吸収される光波長は、多くの場合可視光か近赤外領域に有り、光ファイバーを用いた長距離伝送に有利な通信波長帯には存在しません。そのため、ノイズ極小の波長変換技術が必要となります。加えて中継器には、量子メモリー間のエンタングルメントを生成し、更により遠方の量子メモリー同士にエンタングルメントを生成できるように、異なるメモリーから生じた独立な光子同士が完全に同一な性質を持つ必要があります。

これらの技術を単一システム内で実装することは、量子中継器への大きなステップとして待望されてきました。

<今回の成果>

今回、研究グループは図1のように量子メモリー物質となる量子ドット〔注6〕中電子スピンと量子相関した光を発生させ、その光を光ファイバー通信に適した通信波長へとノイズを極限まで低下させたまま変換する事に成功しました。その結果、2kmというこれまでで最長の量子メモリーと光との相関を達成しました。

また、波長変換用レーザーの波長調整により、長距離光ファイバー伝送後も他の独立光源との高い干渉性を持たせることにも世界で初めて成功しました。

波長変換時のノイズをこれまでより3桁以上抑え、干渉する2光源間の波長隔たりは10nm以上という記録的な達成です。

これらの要素からなる本研究は、固体量子メモリー物質と光ファイバーベースのシステムを用いているため、(図2のような)大スケール長距離量子通信の構成要素となる中継技術として非常に有望です。

量子通信の実験的な限界距離(現在300km程度)を克服するため、今後光と物質を用いた本技術によって、より長距離の量子通信実用化に向けて研究に取り組んでいく予定です。また、ImPACT研究開発プログラムに参画しているドイツWürzburg大学、米国スタンフォード大学及び国立情報学研究所と連携し、短距離から長距離までを網羅した量子ネットワークの開発を目指していきます。

<謝辞>

本研究は、最先端研究開発支援プログラム (FIRST)、情報通信研究機構 (NICT) 委託研究の支援によって行われました。本研究成果の一部は革新的研究開発推進プログラム (ImPACT) にも活用されます。

〈添付資料〉

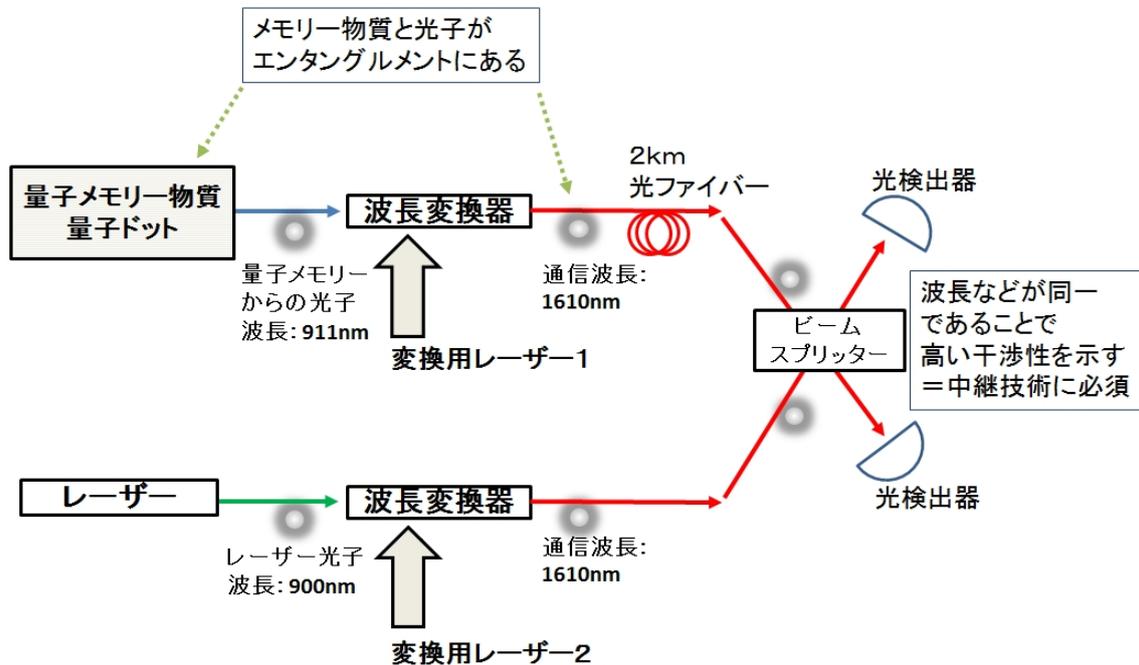


図1：本研究で実施された長距離量子通信構成要素の概念図。量子メモリーとなる量子ドットから放出された光は波長911nmにあり、量子ドット内の電子スピン状態と関連している。この光は波長変換器によって、通信波長帯1610nmに（ノイズ極小のまま）変換された後、2kmの光ファイバーを通過してビームスプリッターに入る。

別途独立に用意されたレーザーからは900nmの光ができるが、このままではメモリーからの光と干渉できない。しかし波長変換器により通信波長帯に変換する際、変換用レーザーの波長をチューニングすることで、変換された通信波長では1610nmと量子ドットからの光と全く同一にすることが出来た。

この結果ビームスプリッターとその後の検出器によって得られる干渉データは高い干渉性を示し、量子中継に必要な独立光源からの光同士の高い干渉を達成できた。

<用語解説>

[注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。

[注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。

[注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 遠方に届けるのは絶望的になる。そこで、光ファイバー伝送は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もちいて距離延長を行う中継技術が研究されている。

[注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。つまりもしユーザー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。

つまり、水平偏光で見ても円偏光でも完全に相関がユーザー1と2の測定結果には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。

[注5] 量子メモリー

伝送された光子の状態を物質中の状態に置き換え、長時間保存するためのもの。量子メモリーには色々あるが、本研究ではインジウムヒ素によって作成された量子ドットを用いている。

[注6] 量子ドット

本研究では半導体インジウムヒ素を用いて作成されたナノスケールの塊である。サイズを変えることで、内部に閉じ込められた電子のエネルギーを変えることができる。閉じ込められた電子と正孔からなる励起子が崩壊する際に放出する光の波長は、インジウムヒ素量子ドットの場合900nm近辺に存在する。単一光子源やエンタングルメント発生用に量子通信研究でも用いられている。