

平成 31 年 2 月 25 日

報道機関 各位

国立大学法人 東北大学  
国立大学法人 電気通信大学

## 光の周波数（色）の量子もつれ発生に成功 光の周波数を用いた大容量量子通信技術の実現へ

### 【発表のポイント】

- 特殊な加工が施された結晶にレーザー光を通すだけで光の周波数（色）の量子もつれを有する光子の直接発生技術の実現に成功した。
- 今後、多数の異なる周波数をもつ光子を利用した大容量量子通信・量子計算技術の実現が期待される。

### 【概要】

東北大学学際科学フロンティア研究所の金田文寛助教、電気通信研究所の枝松圭一教授、電気通信大学の清水亮介准教授らのグループは、特殊な加工を施した結晶にレーザー光を通すだけで異なる2つの光子がもつ周波数(色)の間に「量子もつれ」を発生させることに成功しました。従来の方法とは異なり、今回の成果は簡便かつ低損失な色の量子もつれ発生方法であり、さらに多色の量子もつれ光子発生へと拡張可能な技術であるため、今後光子の周波数を用いた大容量量子情報技術の実現に重要な役割を果たすことが期待されます。

本研究の成果は米国光学会論文誌 *Optics Express* 誌に 1 月 16 日に掲載され、「Editor's pick」として論文誌から高い評価を受けています。

### 【詳細な説明】

現在の古典情報処理技術を凌駕する可能性を持つ次世代情報処理技術として、量子コンピュータや量子通信技術が注目されています。光子など複数の量子状態(進行方向、偏光、時間、周波数等)が互いに相関した状態である「量子もつれ」はそれら量子情報処理技術において重要な役割を持つ物理現象といわれています。光子の自由度の中でも偏光や時間などの状態間の量子もつれ発生技術は既に確立されていますが、一方で光の最も身近な自由度である周波数、または色における量子もつれの発生では、従来の方法では干渉計などの複雑な光学系や損失が大きい光フィルターを用いて特定の周波数を選択しなければならない問題がありました。光子はその特性上、一度失ってしまうと復元が困難であり、より簡便かつ低損失な発生技術の開発は重要な課題でした。

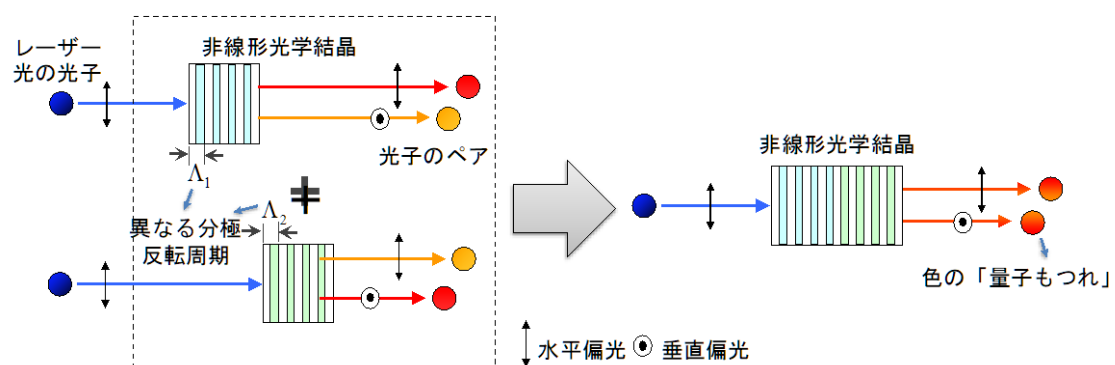


図1:周波数の量子もつれ光子発生方法概念図。レーザー光子は非線形光学結晶内で光子のペアに分裂し得るが、2つの異なる領域で発生しうる光子の周波数と偏光の状態が互い違いになっている相関を持っており、光子のペアは量子もつれ状態となる。従来の方法で必要であった干渉計等の複雑な光学系や損失の大きい光フィルターを必要とせず、簡便に周波数の量子もつれが発生可能となった。

本研究の周波数の量子もつれ光子発生方法では光子のペアの発生方法としてよく知られているパラメトリック下方変換という手法を使用しています(図1)。パラメトリック下方変換とは、非線形光学結晶と呼ばれる特殊な結晶にレーザー光が照射されるとレーザー光内の1光子が2つの光子のペアへと分裂する現象です。しかし多くの場合、発生する光子のペアの状態は結晶材料とレーザー光の特性によって一意に決まっており(位相整合条件と呼ぶ)、複数の光子状態の相関である量子もつれは発生しません。そこで本研究では、ニオブ酸リチウム(LiNbO<sub>3</sub>)結晶内の自発分極を異なる2つの周期で反転させた領域を作成し、2つの異なる位相整合条件を人工的に発生・制御することで、それぞれの領域で発生しうる光子のペアがもつ偏光と周波数が互い違いに相関している量子もつれ状態を直接発生させる方法を開発しました。そのような特殊な結晶から発生した光子のペアの2光子干渉を測定したところ、周波数の量子もつれに現れる特徴的な、発生光子の周波数差のうなりが観測され、量子もつれの存在を

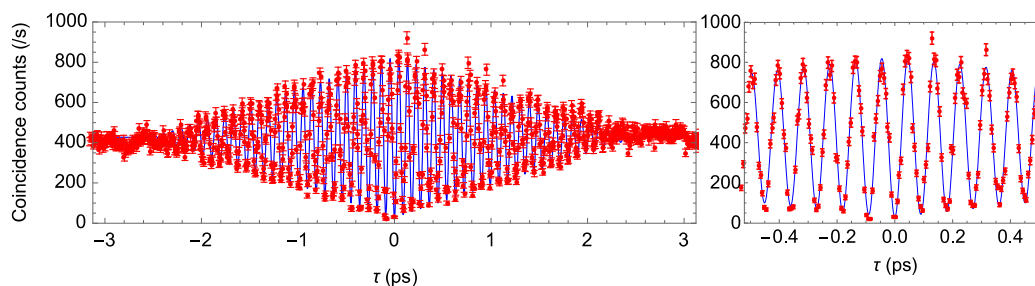


図2. 色の量子もつれ光子間の干渉波形の様子。右図は左図の中央部分を拡大したもの。色の量子もつれ光子の特徴的な干渉である、発生光子の周波数差 (11.5 THz, 周期 0.87 ps) のうなりが観測された。

実証できました(図2)。また、発生した周波数の量子もつれと、従来よく使用されている偏光量子もつれ状態の間の決定論的な相互変換も実証しました。

本研究の周波数の量子もつれ光子発生方法は簡便かつ低損失であり、さらに多数の異なる周波数間の量子もつれ発生へと拡張可能であるため、今後光の周波数を情報媒体とした大容量量子情報処理技術の実現へ向けて重要な役割を果たすことが期待されます。

#### 【研究助成資金等】

日本学術振興会 学術創成研究費(課題番号: 22244035, 研究代表者: 枝松圭一)

#### 【論文情報】

論文タイトル: Direct generation of frequency-bin entangled photons via two-period quasi-phase-matched parametric downconversion

著者: F. Kaneda, H. Suzuki, R. Shimizu, and K. Edamatsu

雑誌名: Optics Express

DOI 番号: 10.1364/OE.27.001416

#### 【問い合わせ先】

(研究に関して)

東北大学学際科学フロンティア研究所 助教 金田文寛

東北大学電気通信研究所 教授 枝松圭一

電話 022-217-6398 E-mail kaneda@riec.tohoku.ac.jp

電気通信大学 大学院情報理工学研究科基盤理工学専攻 准教授 清水 亮介

電話 042-443-5920 E-mail r-simizu@uec.ac.jp

(報道に関して)

東北大学学際科学フロンティア研究所 URA 鈴木一行

電話 022-795-4353 E-mail suzukik@fris.tohoku.ac.jp

電気通信大学総務課広報室広報係 金子、渡辺

電話 042-443-5019 E-mail kouhou-k@office.uec.ac.jp