

- **世界で初めて時間波形の制御された単一光子列の生成に成功**
  - **平成16年11月16日**
- 

独立行政法人情報通信研究機構(以下NICT。理事長:長尾 真)は、マックスプランク量子光学研究所(以下MPQ)と共同で、時間波形の制御された単一光子列を発生することに世界で初めて成功しました。この結果は、先月の英国科学誌「ネイチャー」で発表されました。

## <背景>

光の最小構成単位である光子は、複製が不可能であることや同時に二つの状態を取ることができるなどの顕著な量子力学(\*1)的性質を有し、量子情報通信(\*2)での理想的な情報のキャリアーのひとつとされています。レーザーを始めとする通常の光の発生方法では光子が集まって発生するため、時間的に離れたひとつひとつの光子を連続的に発生させる(単一光子列の生成)ためには特別な方法が必要とされます。これまでに半導体量子ドットや固体中に埋め込んだ単一分子などの単一のマイクロな発光媒質を用いて単一光子列を生成できることが確認されています。しかしながら、これら従来の方法では、発光媒質が自発的に光子を発生する自然放出と呼ばれる発光のメカニズムを用いるため、生成される光子の時間波形を制御することは原理的に不可能でした。

## <今回の成果>

MPQの研究施設で行われた今回の実験では、イオントラップと呼ばれる装置で真空中に固定した単一のカルシウムイオン( $^{40}\text{Ca}^+$ )を発光媒質とし、光共振器を用いた誘導放出と呼ばれる発光メカニズムを用いることで、時間波形の制御された単一光子列を発生することに成功しました。発光のトリガー(引き金)となるレーザー光の時間波形を変えることで、設計したとおりの時間波形で単一光子列が数時間に渡って安定して発生できることが実験的に検証されました。単一光子の時間波形制御は、量子情報の基本単位である量子ビット(\*3)を原子と光子の間で交換するための最も重要な技術の一つです。原子と光子の間で量子情報が交換できると、量子コンピューター(\*4)間の量子ネットワーク(\*5)や、ネットワーク決済に欠かせない高度な時刻同期を保障する量子時刻同期などの応用が可能になります。

## <今後>

NICTは今回実現した単一光子の時間波形を制御する方法を発展させ、量子ネットワークや量子時刻同期の実現を目指した研究を実施します。そのために、今回用いた装置に改良を加えた実験装置を関西先端研究センター内に整備し、MPQを始めとする国内外の研究機関との協力を強化して研究を実施します。

---

### <問い合わせ先>

情報通信研究機構 総務部 広報室  
大崎 祐次  
大野 由樹子  
Tel: 042-327-6923  
Fax: 042-327-7587

### <研究内容に関する問い合わせ先>

情報通信研究機構 基礎先端部門  
量子情報技術グループ  
早坂 和弘  
Tel: 078-969-2223  
Fax: 078-969-2219

---

## 用語解説

## \*1 量子力学

原子スケールの超微細な世界を支配している物理法則。量子重ね合わせや量子もつれといった古典力学では説明できない法則を持つ。

## \*2 量子情報通信

量子重ね合わせや量子もつれなどの量子力学の性質を用いることで実現される通信。盗聴を完全に検出できる量子暗号などが良く知られており、その実現を目指した研究が広く行われている。

## \*3 量子ビット

二つの状態を持った量子力学的存在。古典的ビットが0か1のどちらかの値を取るのに対して量子ビットは二つの値を同時に取ることができる。

## \*4 量子コンピューター

量子ビットを用いた計算機。量子重ね合わせや量子もつれなどの性質を使うことで、ある種の計算を並列的に行うことができるとされている。従来の計算機では莫大な時間を要する素因数分解、データベース逆検索等の情報処理を瞬時に解決するアルゴリズムが提案されており、光子、原子、イオン、量子ドットなどの物理系を用いて量子コンピューターを実現する研究が広く行われている。

## \*5 量子ネットワーク

量子状態を複数端末間で転送する技術。量子状態は検出すると変化してしまうので、検出せずに通信を行う方法が必要。光の量子もつれを用いる方法や、原子-光子間の量子状態転送を用いる方法などが理論的に提案され、実験的研究も行われている。

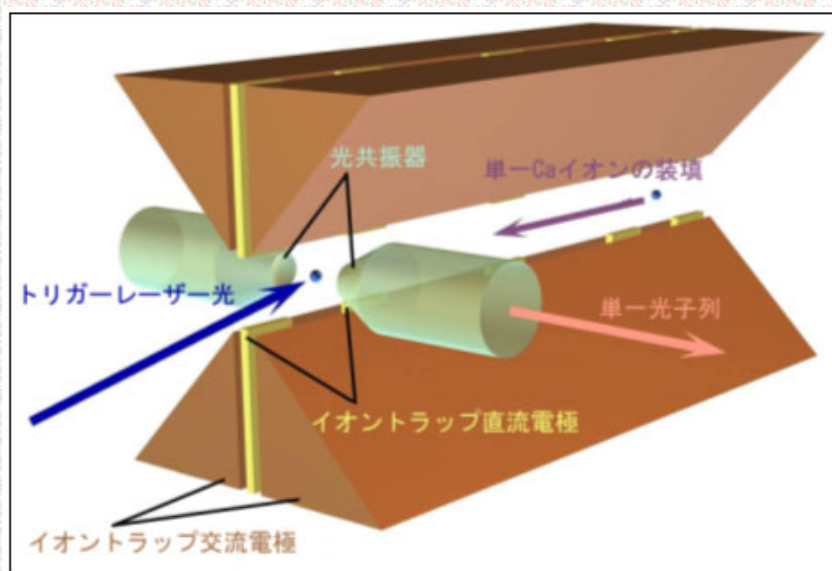


図1. 単一光子列発生に用いた実験装置

単一のカルシウムイオンをイオントラップ直流電極で制御して、光共振器の中心に数10ナノメートルの精度で装填します。イオンはイオントラップ装置の束縛力により、光共振器の中心に一時間以上留まります。トリガーレーザー光をイオンに照射することで、単一光子が光共振器の外に発射されます。トリガーレーザー光を繰り返し照射することで、単一光子列を発生します。

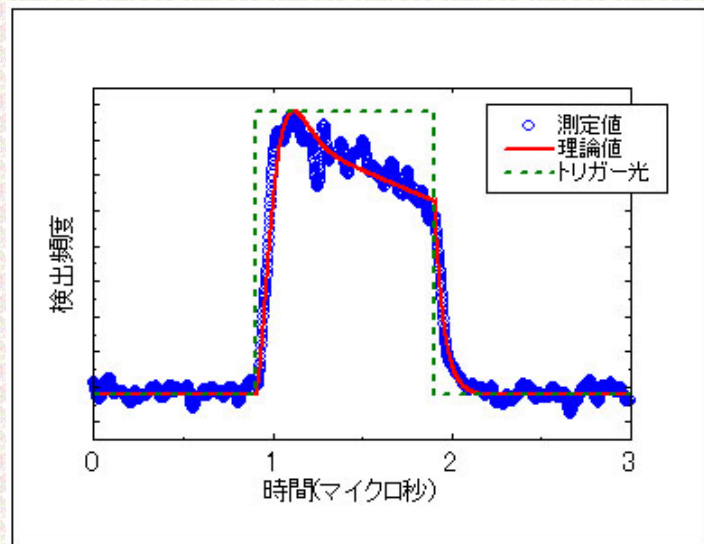


図2. 発生した単一光子列の時間波形(1)

最も基本的な波形として、緑色で示される矩形方のトリガーレーザー光をイオンに照射した際に単一光子列は青色の丸印でプロットした波形として観測されました。これは赤色の曲線で示される理論値によく一致します。

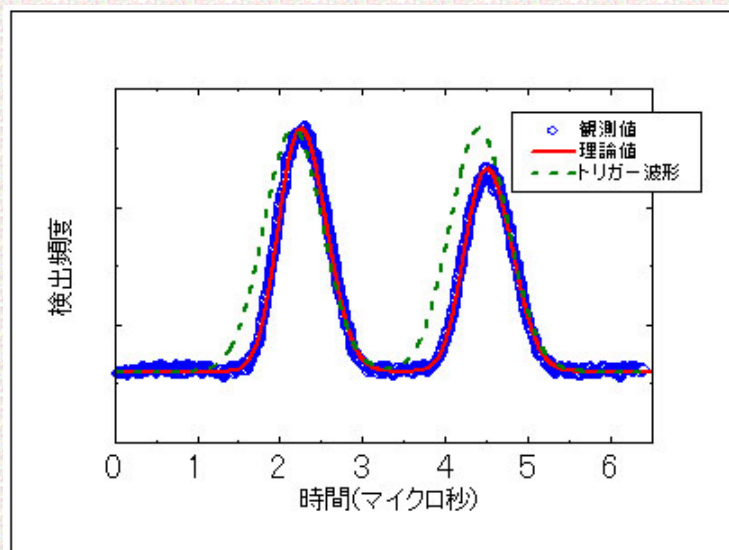


図3. 発生した単一光子列の時間波形(2)

複雑な波形での単一光子列の発生例として、二つのピークを持つトリガーレーザー光をイオンに照射した際、単一光子列は二つのピークを持つ波形として観測されました。この際に発生した単一光子は、先のピークで発生する状態と後のピークで発生する状態が重なり合った状態になっています。