

補助事業番号 2023M-395

補助事業名 2023年度 一次元光格子中の冷却原子を用いた高頻度エンタングルド光子ペア源の開発と量子通信事業への展開に関する 補助事業

補助事業者名 北野健太

## 1 研究の概要

超蛍光とは量子多体系による発光現象であり、真空場の量子ノイズが増幅される事によって高強度な光パルスが放出される現象と考えられている。本研究の第一の目的は、冷却原子を用いて超蛍光の量子性を解明、制御する事である。さらに、超蛍光特有の増幅作用を利用する事によって、高頻度なエンタングルド光子ペア源を発生させるための新奇手法を開発する事である。以上の目的を達成するために、本研究では、冷却原子を用いた実験に先立ち、加熱原子を用いた実験を実施する事によって、超蛍光の新奇現象を開拓する。これらの知見を基にして、冷却原子へと展開するものである。

## 2 研究の目的と背景

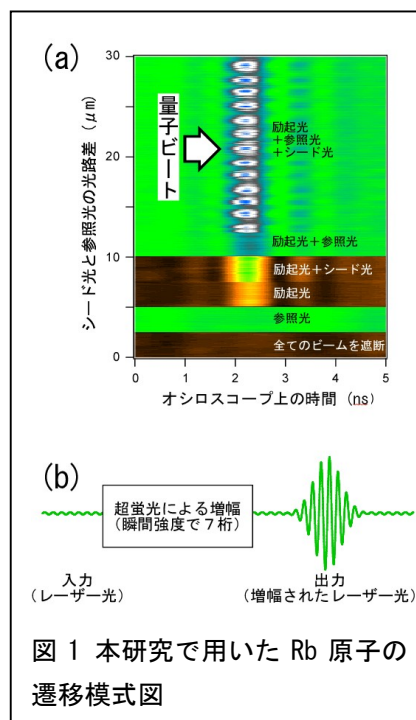
現代社会では様々な量子技術が開発、利用されており、その中で様々な課題が浮き彫りになってきている。中でもエンタングルド光子ペアは、量子通信の量子ビットとして最有力候補として挙げられる重要な量子シグナルである。優れた伝送特性を有し、地上では150 kmに渡る伝送が実現されている。その発生手法は自発パラメトリック下方変換という手法が確立され、利用されている。通信速度に直結する発生頻度に関しては、様々な技術革新を経て、100 Mbit/s程度まで改善されてきた。しかし、現代社会で用いられている古典通信のような高速通信を実現するためには、さらなる高頻度化が必要不可欠である。そのため、エンタングルド光子ペア源に関して新奇手法を開発する事が待望視されている。

このような現代社会が直面する課題を踏まえ、本研究では、超蛍光と呼ばれる量子多体系の発光現象を用いて、高頻度なエンタングルド光子ペア源を開発する事を目的とする。

## 3 研究内容

### (1) 超蛍光の光アンプ特性に関する研究成果

本研究は超蛍光を量子シグナルに作用する光アンプとして開発する事を意図している。そこで超蛍光の光アンプ特性を解明する事は非常に重要である。具体的には、微弱なシード光



を照射した条件下で超蛍光を実現する事によって、シード光を増幅するための光アンプとして機能すると期待される。この考察を実験的に実証するために、微弱なレーザー光をシード光として採用し、シードされた超蛍光とシード光との干渉測定を実施した。その結果を図1に示す。実験結果からシード光がコヒーレントに増幅された事を立証する量子ビートが観測された(図1(a)参照)。さらに、解析の結果、シード光の瞬間強度が7桁もコヒーレントに増強している事が分かった(図1(b)参照)。この研究成果は、超蛍光が極めて優れた光アンプとして機能する事を立証するものである。

## (2) 冷却ルビジウム原子装置の開発

超蛍光は楕円球状に分布した原子集団から長軸に沿って両側に放射される。そのため、楕円球状の冷却ルビジウム原子を実現する事が必須である。そこで本研究では、楕円のアンチヘルムホルツコイルを用いる事によって、これを実現した。実際に開発した二次元磁気光学トラップによって冷却されたルビジウム原子を図2に示す。図の中央にトラップされたルビジウム原子からの発光が確認された。さらに、アンチヘルムホルツコイルに代わって、永久磁石を用いた実験配置も制作し、同様にトラップされる事を確認する事に成功した。特に、永久磁石の場合は、アンチヘルムホルツコイルの場合と比較して、より均一なトラップ形状が実現された。

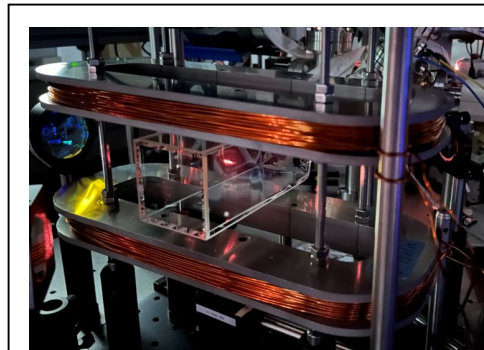


図 2 二次元磁気光学トラップ装置  
(中央にトラップされた Rb 原子からの発光が見える)

## 4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本研究によって、超蛍光の優れたアンプ特性が立証された。さらに、光共振器中で超蛍光を制御する事によって、左右に伝搬する超蛍光の偏光状態が相関している事も立証する事に成功した。これらの知見は、本研究目的である高頻度なエンタングルド光子ペア源に関する新奇手法開発に向けて重要な基盤技術である。これらの技術を基にして、今後、来るべき量子通信社会で必須となる量子デバイスを開発する事が期待できる。

## 5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

本研究は、青山学院大学において、2023年より着手した研究テーマである。今回の研究期間(2023.4~2025.3)において、数多くの基礎的かつ重要な知見を得ることができた。さらに、研究の新しい展開を見出すことができた。

## 6 本研究にかかわる知財・発表論文等

K. Kitano and H. Maeda, "Coherent amplification of continuous laser field via

superfluorescence”, Phys. Rev. Lett. , **132**, 073201 (2024).

2024年 2月 プレスリリース“量子の同期現象を利用して光強度を7桁増強することに成功  
～量子光アンプの開発に期待～”

[https://www.aoyama.ac.jp/post06/2023/news\\_20240215\\_01](https://www.aoyama.ac.jp/post06/2023/news_20240215_01)

## 7 補助事業に係る成果物

(1)補助事業により作成したもの

該当項目はございません。

(2)(1)以外で当事業において作成したもの

該当項目はございません。

## 8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 青山学院大学理工学部(アオヤマガクインダイガクリコウガクブ)

住 所: 〒252-5258

神奈川県相模原市中央区淵野辺5-10-1

担 当 者: 助教 北野健太(ジョキョウ キタノケンタ)

担 当 部 署: 物理科学科(ブツリカガクカ)

E - m a i l: kkitano@phys.aoyama.ac.jp

U R L: <http://www.phys.aoyama.ac.jp/~maeda/>