

「量子情報処理システムの実現を目指した新技術の創出」
平成 17 年度採択研究代表者

井上 恭

(大阪大学大学院工学研究科 教授)

「通信波長帯量子もつれ光子とその応用システム」

1. 研究実施の概要

本研究は、「通信波長帯量子もつれ光子」をキーワードにファイバ伝送量子通信技術を開拓していくことを目的として、本年度後半より開始された。具体的には、新システムの提案・評価、1.5 μm 帯量子もつれ光子発生技術の確立、光子検出など周辺技術の開発、などを行っていく。

もつれ光子を量子鍵配送(QKD)に適用すると、秘密鍵配送の長距離化が可能となる。本年度はこれに関し、新しい量子もつれQKD方式を提案した。従来方式より構成が簡便、鍵生成効率が
高い、などの特徴を有している。また、複数の受信者が秘密鍵を分割して共有するという量子秘密
共有システムの新提案及び原理実験を行った。今後、詳細なシステム検討を行っていく。

もつれ光子発生に関しては、冷却ファイバ内の自然四光波混合を利用した発生実験を行った。
ファイバを冷却して自然ラマン散乱を抑えることにより、高品質な時間位置もつれ光子対発生に成
功した。60km ファイバ伝送も行い、良好な二光子干渉波形を得た。また、導波路型分極反転
LiNbO₃ 内の自然パラメトリック下方変換によるもつれ光子対の発生にも成功した。今後は、
これらの成果を基にQKDシステム実験への展開を図る。

光子検出技術に関しては、InGaAs-APD 光子検出器のゲート動作について検討した。ゲー
トのタイミングを最適化することにより、繰り返し周波数 10MHz 時のアフターパルス雑音
除去に成功した。今後、これを各種もつれ実験に適用していく。また、周波数変換型の光
子検出技術についても検討する。

2. 研究実施内容

(1) 量子もつれ鍵配送システム(阪大・NTT)

新しい量子もつれQKDシステムを提案した(図1)。ここで特徴的なことは、もつれパルス列を送
っていることと観測基底の選択過程がないことである。従来は、個別に送られたもつれ光子対を無
作為に選択した観測基底で受信し、基底の一致した観測結果から鍵ビットを生成していた。基底
の非直交性により盗聴を検知する。これに対し本方式では、パルス列の同時検出確率から盗聴を
検知する。このため基底選択が不要で、構成の簡便化・鍵生成率の向上が可能となる。

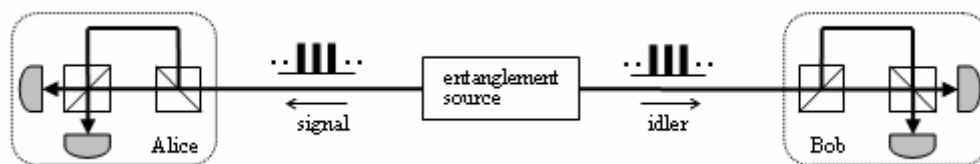


図1. 新提案の量子もつれQKDの構成

(2) 量子秘密共有システム提案・実験(阪大・NTT)

量子通信の一形態として、量子秘密共有の新しい方式を提案した(図2)。図のように構成すると、チャーリーへの受信結果はアリスとボブの位相変調のXORとなる。これを利用して、アリス/ボブはチャーリーの秘密鍵を分割共有する。従来より構成が簡便で、実現性が高いことが特徴である。実験も行い、基本動作を確認した。

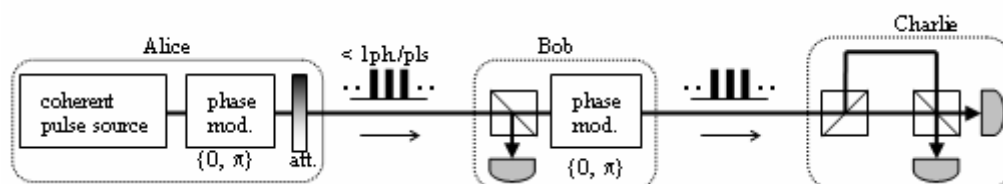


図2. 新提案の量子秘密共有システムの構成

(3) 冷却光ファイバによる時間位置もつれ光子の発生(NTT)

液体窒素温度まで冷却された分散シフト(DS)ファイバを用いて、時間位置もつれ光子対を発生させた(図3)。ファイバもつれ発生法ではポンプ光から発生する自然ラマン散乱光子が問題であったが、ファイバを冷却して格子振動を抑圧することによりラマン散乱を抑え、低雑音なもつれ発生を実現した。各 30km ファイバ伝送後の二光子干渉結果を図4に示す。良好な干渉動作(明瞭度 76%)が得られている。なお、トータル 60km のファイバ伝送はこれまでの最長である。

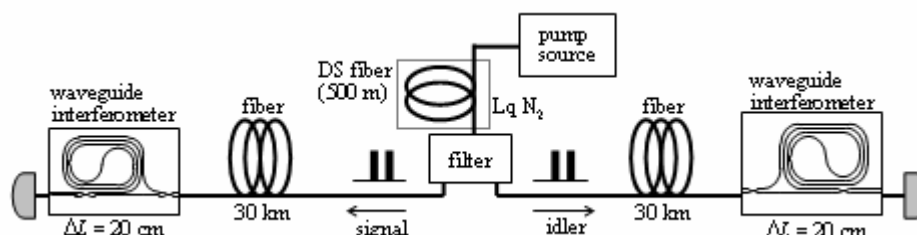


図3. 光ファイバによるもつれ光子発生実験の構成

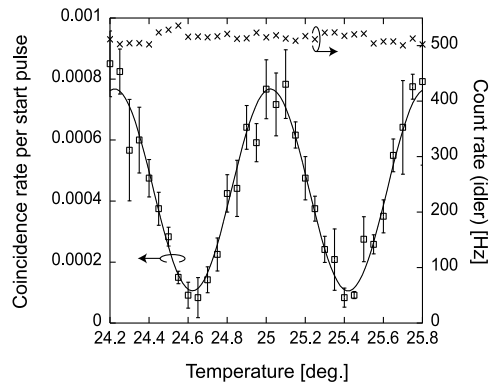


図4. 二光子干渉実験結果

(4) InGaAs-APD 光子検出器のゲート動作最適化(産総研)

放電パルス計数動作APDにおける、ゲートパルスに対する光子入射時刻と発生するなだれ増幅パルス波高との関係を調べ、最適条件下では高い量子効率を保ちつつなだれの規模が小さくなることを明らかにした(図5)。なだれの規模が小さいと、不純物準位にトラップされる電子数が少なくなり、これによる誤動作(アフターパルス雑音)が抑えられて、高繰り返し動作が可能となる。上記最適設定により、ゲート繰り返し周波数 10MHz での低アフターパルス特性を確認した。

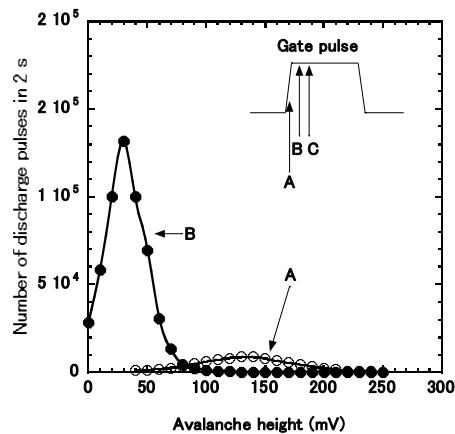


図 5. なだれ増幅パルスの波高分布。A, B, Cは光子入射時刻を示す。Bが最適条件。

3. 研究実施体制

阪大グループ

- ①研究分担グループ長：井上 恭（大阪大学、教授）
- ②研究項目：量子通信システムの提案・性能評価

NTTグループ

- ①研究分担グループ長：武居 弘樹（NTT、主任研究員）

②研究項目：時間位置もつれ光子対を用いた量子通信実験

産総研グループ

①研究分担グループ長：吉澤 明男（産総研、主任）

②研究項目：偏波に基づく多光子間量子もつれ合い技術の開発

4. 主な研究成果の発表（論文発表および特許出願）

（1） 論文（原著論文）発表

- T. Honjo and K. Inoue, “Differential-phase-shift QKD with an extended degree of freedom,” Optics Letters, vol. 31, no. 4, pp. 522-524, 2006.

（2） 特許出願

H17 年度出願件数：2 件（CREST 研究期間累積件数：2 件）