

プログラム名：量子人工脳を量子ネットワークでつなぐ高度知識社会基盤の実現

PM名：山本喜久

プロジェクト名：量子セキュアネットワーク

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平成28年度

研究開発課題名：

光多値変調による量子鍵配送技術の研究開発

研究開発機関名：

学習院大学

研究開発責任者

平野琢也

## I 当該年度における計画と成果

### 1. 当該年度の担当研究開発課題の目標と計画

本研究の目的は、コヒーレント光通信と共通の技術を用いることにより、単一光子検出器に依存せず、安価な光通信機器を使って、高秘匿伝送システムを開発することである。研究内容は、量子セキュアネットワークを構成する3層構造のうち、物理層の技術として、多値変調技術を用いる量子鍵配送技術の開発を行うことである。平成27年度までに、高速動作する量子雑音限界ホモダイン検波技術の開発を行い、さらに、高速乱数発生技術の開発を行った。平成28年度は、前年度までに開発した技術を用い、高速 CV-QKD 装置の製作を実施する。具体的には、平成27年度の検討結果に基づき、高速 PC ボードを用いて、PC により光学部品、電気部品を制御する CV-QKD 装置を製作する。また、東北大学中沢研究室と共同研究を行い、多値変調秘匿伝送統合技術の実証試験を行う。さらに、安全性評価技術の開発を行い、その知見をもとに、CV-QKD のソフトウェアの開発を行う。

### 2. 当該年度の担当研究開発課題の進捗状況と成果

#### 2-1 進捗状況

平成28年度は、量子鍵配送の光学系を組み立て、この光学系を用いて4状態の連続量量子鍵配送プロトコルを実行することができた。ホモダイン検出器の出力信号を高速 PC ボードにより PC に取り込み、連続量量子鍵配送のストリーム動作を実現することができた。多値変調秘匿伝送統合技術の実証試験については、100km の伝送実験を実施した。また、連続量量子鍵配送と強度の強い光信号の多重化実験を実施し、強度の強い光信号が連続量量子鍵配送に与える影響の定量的な評価を行った。

#### 2-2 成果

高速 CV-QKD 装置の製作については、制御系も含めてすべて市販部品で構成し、更に、既存の装置に比べて高速化することを目標に開発を行った。データの入出力には市販の PCI-e ボードを使用して、継続的な運転 (streaming operation) を実現した。また、既存の装置では、送信側から受信側に波長多重によりクロックを送っていたが、平成28年度の成果として、受信側で LO パルス光を分岐し、受信側で LO パルスからクロック信号を生成することを実現した。具体的には、DAC および ADC 用の2枚の PCI-e ボードのクロックの仕様に適合した電圧パルスを発生する回路を製作し、更に光パルスとクロックパルスのタイミング調整を行った。これらの2つの成果により、既存の CV-QKD に比べて数倍の高速化を達成するための最も重要な技術を実証することができた。また、LO パルスによるクロック信号生成は、波長多重の場合に懸念されるジッタの問題がなく、さらに、1.3 ミクロン帯をイーサネット用に用いれば CV-QKD の運用を容易にすることが可能になる。

多値変調秘匿伝送統合技術の実証試験については、東北大学中沢研究室との共同研究を実施し、100km の統合伝送を実現した。この伝送実験では、CV-QKD から QAM/QNSC に暗号鍵をリアルタイムに供給することにより、高速大容量の秘匿通信を実現した。研究成果

は、IEEE J.QE に投稿を行った。CV-QKD 装置については、送信パワーのリアルタイムモニター機能の追加、鍵作成中の再調整処理、FPGA ボードの再起動処理の実装等の改良を実現した。更に、強度の強い光信号と、CV-QKD との共存実験を実施した。その結果、ホモダイク検出のフィルターの働きにより、強度の強い光信号の漏れ光が、CV-QKD の信号光よりも強い状況であっても、過剰雑音に与える影響は無視できるほど小さいことを定量的に確認した。

### 2-3 新たな課題など

高速 CV-QKD 装置については、送受信者間のデータの同期、高速動作に対応できるプロセッシングなどを実現する制御プログラムを開発する必要がある。また、量子乱数によるオンラインの CV-QKD 動作を実現するためには、高速処理を実現する必要がある。更に、安定した長距離動作を実現するために、ハードウェアの安定化とソフトウェアの改善を行う。連続量量子鍵配送の安全性についての理論的な研究も進め、装置の不完全性を考慮した時のコレクティブ攻撃の鍵生成率の評価などを実現する。

### 3. アウトリーチ活動報告

出張授業、都立戸山高校、2016年11月5日、高校1、2年生（14名）