

## 量子情報通信技術の研究開発

## ■概要

現在の情報通信技術は19世紀に確立された物理法則に基づいており、既に光ファイバの電力密度限界や最新技術による暗号解読の危機が指摘されるなど、今後も次々と物理的限界を迎えることが予測される。このような限界を打破するため、究極の物理法則「量子力学」に基づいて、絶対安全な量子暗号技術や関連する物理レイヤセキュリティ技術、従来理論の容量限界を打破する量子情報通信の研究開発（量子ノード技術）を自ら研究と産学官連携により戦略的に進めている。平成28年度は、量子暗号と現代セキュリティ技術である秘密分散技術を融合した、量子暗号秘密分散ストレージネットワークの実証に世界で初めて成功した。また、量子ノード技術の研究開発では、量子情報通信の基本リソースとなる量子もつれを多数の自由度に拡張する多次元量子もつれ光子対の生成に世界で初めて成功した。

## ■平成28年度の成果

## 1. 量子暗号・物理レイヤセキュリティ技術

第4期中長期計画では、量子暗号の基幹技術である量子鍵配送技術を現在のネットワークのセキュリティ技術や、（量子ではない）最新の現代暗号技術と融合した、総合的なセキュリティ技術の実証を目指している。また、これまで開発を進めてきたファイバーネットワーク上での量子鍵配送に加え、衛星通信等を念頭においた光空間通信網への拡張も進めている。

平成28年度は、現代暗号技術である秘密分散技術と量子鍵配送の融合に取り組んだ。秘密分散は1つのデータを分割・暗号化し複数拠点で分散保存することにより、一部の拠点の分散データが攻撃されたとしてもデータ情報が一切解読不可能である、という情報理論的安全性（攻撃者がいかなる計算能力をもっているも原理的に解読不可能な安全性のこと）を保証できる技術として古くから知られている。しかし、この技術を実際に運用する場合、拠点間で幾分かの情報必ずやり取りする必要があり、その通信の情報理論的安全性を確保する手段が無いことが、大きな問題となっていた。量子鍵配送はこの問題を解決し得る（情報理論的に安全な秘匿通信を実

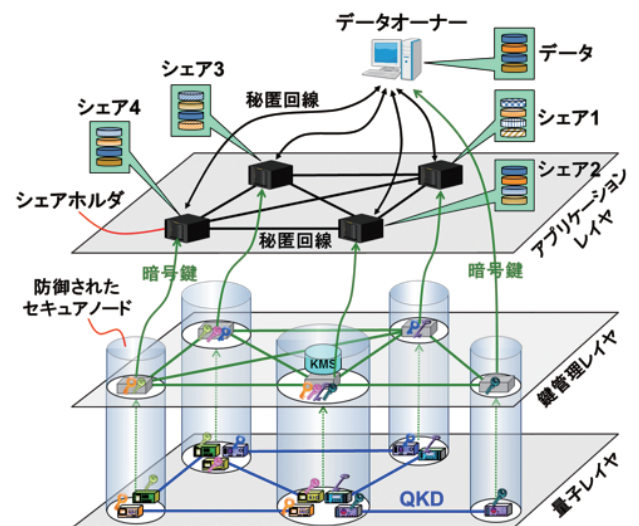


図1 東京QKDネットワークに実装された量子鍵配送秘密分散ストレージ

現する）現状で最も有望な手段であり、今回、拠点間の量子鍵配送で結んだ新しい秘密分散ストレージネットワークをNICTが持つテストベッドである東京QKDネットワーク（QKDは量子鍵配送の略）上に実装し、ストレージ間における情報理論的に安全なデータ伝送・保存・復元の実証に世界で初めて成功した（図1）。これは、量子情報通信技術と現代暗号技術が本格的に融合した新しい技術分野を切り拓く最初の一步となる重要な成果となった。いかなる計算機でも解読不可能な秘密分散ストレージネットワークは、ゲノムデータをはじめとする医療データや、国家機密など、世紀単位の超長期安全性が要求される重要情報の伝送・保存で重要な役割を果たすことが期待される。

さらに、量子暗号の要素技術を切り出した早期応用展開に向けた取組として、前年度開発したドローンの飛行制御通信の安全性強化技術を改良し、ドローン制御通信の完全秘匿化と乗っ取り防止技術を開発・実装した。またこれを用いて、秋田県仙北市国家戦略特区において、完全秘匿ドローンによる図書自動配送の実証実験に成功した（図2）。今後は、制御通信だけでなく、ドローン-地上間やドローン間でのデータ通信の秘匿化など、より高度なセキュリティ技術の実現を目指す。また、量子暗号関連技術（物理レイヤ暗号）の光空間通信での実証

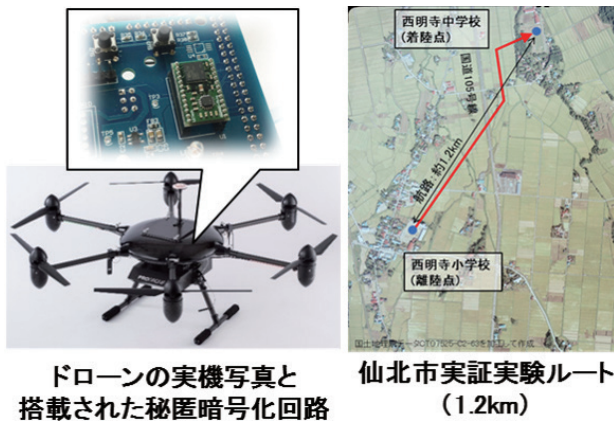


図2 仙北市におけるドローン秘匿制御通信技術の実証

に向けて、NICT本部（小金井）と電気通信大学をつなぐ7.8 kmの光空間通信テストベッドを構築し、アイセーフ波長の光信号の空間伝送特性を計測した。観測結果から、大気環境や時間帯などを適切に選ぶことで、物理レイヤ暗号の実装が十分可能であることが明らかとなった。

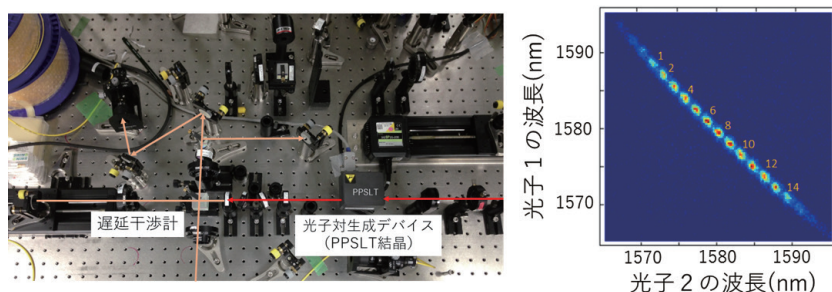
継続的な取組として、量子鍵配送ネットワークの信頼性試験を行い、安全性評価基準の策定に向けたドキュメント化を進めている。また、欧州電気通信標準化機構（ETSI）の量子暗号産業仕様検討グループに参加し、国際的な標準化活動にも寄与を続けている。

## 2. 量子ノード技術

将来のネットワークノードにおける多機能化や、抜本的な低消費電力化、また超微弱信号の受信技術などを実現するためには、光信号の量子力学的な性質を直接自在に制御する技術が必要となる。第4期中長期計画では、その基礎技術開発及び計測技術への展開などを旨とし、光量子制御技術、量子計測標準技術、量子インターフェース技術等の開発に取り組んでいる。

平成28年度は、前中長期目標期間中に開発した超高速高純度量子もつれ光源を改良し、複数の周波数にまたがる多次元量子もつれ状態の光子対の生成に、世界で初めて成功した。第3期中長期計画期間中に開発した光源の量子もつれ光は、光子の偏光状態という2次元の自由度において量子もつれが形成された光子対であったが、これを更に時間遅延干渉させることによって周波数面上で光子相関の干渉縞を生じさせ、干渉が強めあう複数の周波数成分で量子もつれ相関を形成する、多次元の量子もつれ光生成の手法を考案し、実証実験に取り組んだ。その結果、10次元以上にまたがる多次元周波数もつれ状態を実験的に観測した（図3）。

また、量子もつれ光源の集積化に向けた取組として、直径7ミクロン程度のシリコンリング共振器による小型量子もつれ光源を開発し、通信波長帯において波長多重された量子もつれ光の生成に成功した。一方、量子技術の周波数標準への展開にも取り組んでおり（量子計測標準技術）、次世代の小型周波数標準の実現に向けて、小型イオントラップサブシステム用小型レーザー冷却光源の動作実証を確認し、さらに同光源によるレーザー冷却の実証に成功した。従来、周波数標準技術の開発は、日本標準時など正確な時間標準を主な目的としているが、トラック等で運搬できるレベルの可搬型周波数標準技術が確立されれば、それ以外にも超高速光通信における超精密位相同期など、新たな応用展開が期待されるため、電磁波研究所時空標準研究室との密な連携により、開発を進めている。物質と光（電磁波）との間で量子情報の自在なやり取りの実現を目指す量子インターフェース技術については、未来ICT研究所フロンティア創造総合研究室巨視的量子物理プロジェクトで開発された超伝導量子回路技術を活用することを念頭に、中長期目標期間中での実証を目指した連携を進めている。



多次元量子もつれ光子生成実験の光学系

光子対の異なる周波数での量子相関観測の実験結果

図3 多次元量子もつれ光子生成実験の光学系（左）と量子もつれ（量子相関）測定の実験結果（右）