

量子技術通信技術による新しいネットワーク社会の実現を目指して

■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30年度は、量子鍵配送鍵管理技術を活用した広域高秘匿分散ストレージネットワークの構築と基本動作実証、単一光ファイバ中における量子暗号と超高速光通信の同時伝送、空間光通信物理レイヤ暗号の高速化、量子もつれ光の非局所性検出を最大化する新しいパラメータ領域の発見、単一イオンから発生した単一光子の量子周波数変換と長距離伝送、超伝導量子回路人工原子における巨大光シフトの観測・制御などに成功した。

■平成30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（QKD）技術を現在のネットワークのセキュリティ技術や、（量子以外の）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。NICT本部（小金井）を中心に構築したファイバーネットワークテストベッド「東京QKDネットワーク」を活用した研究開発に加え、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30年度は、東京QKDネットワーク上に構築した情報理論的に安全な秘密分散ストレージシステムの技術と、QKDネットワークの鍵管理システムの技術を活用した広域高秘匿分散ストレージシステムを実装し、疑似医療データ（電子カルテ）を用いたデータの保存・復元の動作実証実験に成功した。医療データは極めて高い秘匿性が要求される個人情報であるとともに、近年では大規模災害などを想定したデータの広域バックアップの重要性が指摘されている。本研究では、QKDネットワーク技

術の要素技術である鍵管理技術、秘密分散プロトコル、ワンタイムパッド暗号化実装技術などを切り出し、一部拠点を乗っ取られたとしても、あらゆる計算能力を使ってデータ盗聴が不可能な情報理論的安全性と、一部拠点が災害等で破損してもデータの回復が可能なバックアップ性を兼ね備えた高秘匿分散ストレージシステムを、超高速研究開発ネットワークテストベッド（JGN）上の小金井・大手町・名古屋・大阪を結ぶ広域ネットワークに実装し（図1）、さらに、高知医療センターより提供された疑似医療データ（電子カルテ）を用いたデータを保存・復元する基本動作実証に成功した。量子鍵配送及びその鍵管理技術を活用した広域秘密分散ネットワークの原理実証は、世界初の成果であり、また、実際の医療データフォーマットにも対応しており、QKD要素技術の早期実用化につながることを期待される。

QKDそのものの技術開発としては、QKDと既存の光通信の波長多重化技術の開発に取り組んだ。QKDは光子レベルの極めて微弱な光の伝送により暗号鍵を生成するため、ファイバ伝送中の雑音に弱く、光通信との波長多重化は難しいと言われていた。一方、波長多重化が自在にできるようになれば、現在は主に専用線で構築されているQKD網を既存インフラに拡張できるようになるため、実用上大きなインパクトがある。本研究では、光通信キャリアから発生される背景光を適切に遮断するフィ

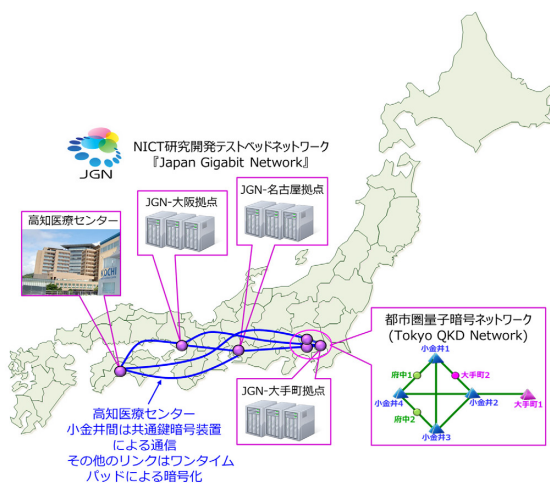


図1 JGN上に構築された広域高秘匿分散ストレージネットワーク

ルター技術を新たに開発することにより、18 Tbpsを超える100波多重超高速光通信と連続量方式QKDを波長多重化した同時伝送に世界で初めて成功した。今後、フィルタ技術の最適化やQKDの雑音耐性の向上に取り組むことにより、QKDの光増幅器を含まない既存ネットワークへの展開が期待される。また、QKD技術の標準化活動にも取り組んでおり、特に国際電気通信連合電気通信標準化部門 (ITU-T) のStudy Group 13 (ネットワークアーキテクチャ)、Study Group 17 (セキュリティ) においてそれぞれ寄書を提案している。

空間光通信においては、前年度、電気通信大学—NICT本部 (小金井) 間 (7.8 km) の光空間通信テストベッドに実装した物理レイヤ秘密鍵共有システムの様々な条件化での系統的な性能評価と、変調速度の高速化 (10 MHz → 1 GHz) に取り組み、その動作確認に成功した。将来の衛星光通信等への応用が期待される。

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目指し、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。

量子計測標準技術では、現在は大規模なシステムである周波数標準機をイオントラップ技術により小型化した、次世代可搬型周波数標準の実現を目指した開発に取り組んでいる。平成30年度は、その要素技術としてカルシウムイオン量子遷移に周波数安定化された時計レーザーサブシステムを実現した。また、イオントラップ技

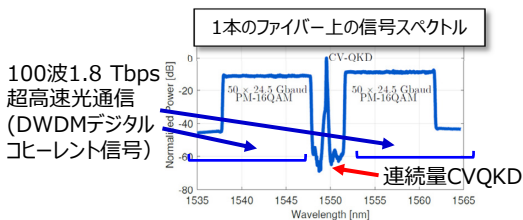


図2 1本のファイバー上に波長多重された超高速光通信とQKDの信号スペクトル

術を量子通信に応用する研究開発を行い、カルシウムイオン中に生成された量子ビットの情報を光子に転写、さらにその量子状態を壊すことなく通信波長帯の光子に周波数変換し、光ファイバで長距離 (10 km) 伝送可能であることを世界で初めて実証した (図3)。

光量子制御技術においては、量子力学特有の性質であり、各種の量子通信プロトコルのリソースとなる量子もつれ光の非局所性相関を高効率に検出する技術の研究に取り組む、これまで知られていなかった、相関を最大化する検出システムの新しいパラメータ領域を発見した。

また、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との連携により、将来的に光と物質間で量子情報の自在なやり取りを可能にする量子インターフェースの研究開発に取り組んでいる。これまでに、光子と超伝導量子回路中の人工原子とが極めて強く結合した「深強結合」の領域を世界で初めて観測することに成功しているが、平成30年度は、二重共鳴分光法による人工原子の遷移エネルギー精密測定技術を確立し、この強い結合により人工原子のエネルギー準位に従来の約100倍となる巨大な光シフトが生じていることの観測とその制御に世界で初めて成功した (図4)。光と人工原子の相互作用強度を自在に制御できれば、様々な量子情報のインターフェースを実現することが可能となり、本成果はその重要な一歩であると位置付けられる。

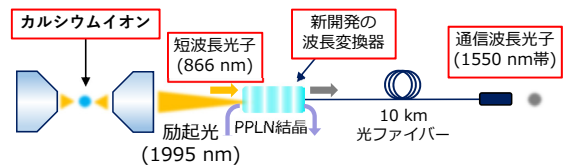


図3 カルシウムイオン上の量子状態の光子への転写・長距離伝送実験

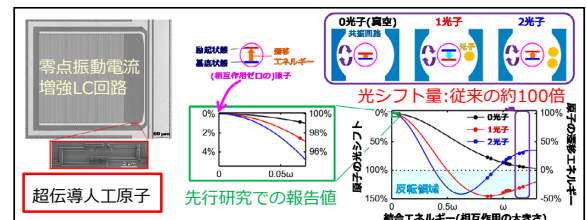


図4 光子と超伝導人工原子の深強結合による巨大光シフト