

## 1. 研究課題・実施機関・研究開発期間・研究開発予算

- ◆課題名 : 量子もつれ中継技術の研究開発
- ◆個別課題名 : 課題ア 量子もつれ中継システムの設計・評価理論
- ◆副題 : 量子中継ネットワークシステム設計とデバイスの技術仕様
- ◆実施機関 : 大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構 国立情報学研究所
- ◆研究開発期間 : 平成23年度から平成27年度(5年間)
- ◆研究開発予算 : 総額45百万円(平成27年度8百万円)

## 2. 研究開発の目標

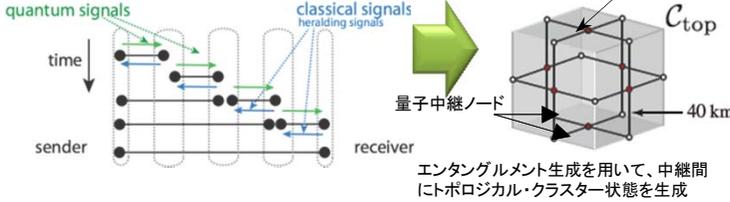
日本全土をカバーする回線長50kmから3000kmまでの量子通信ネットワークの実現を目指した、段階的な実装を可能にする量子中継システムのアーキテクチャの構築と実装プロトタイプのプロ案。量子中継システムに要請されるデバイスの技術仕様と、設計指針の明確化。量子中継システムの評価理論の構築とシミュレータの開発

## 3. 研究開発の成果

### ①量子通信システム技術

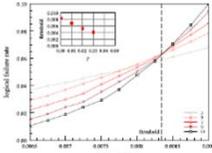
#### 量子メモリー・ベース量子中継システム

段階的な開発が可能な量子中継システムの基本形



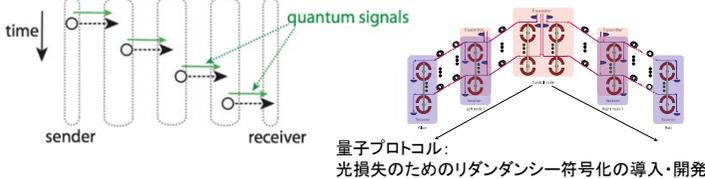
#### 誤り耐性のある量子通信が可能に

エンタングルメント配信により、トポジカル誤り訂正符号が実装可能になり、誤り耐性を持った量子通信が可能となる。古典通信を操作することで、情報処理と通信をシームレスに融合。



#### 量子メモリー・レス量子中継システム

量子通信システム: バタフライ型量子通信

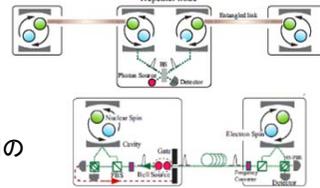


長時間メモリーを必要としない量子中継が可能に (量子メモリーからくる限界を突破することに成功)

### ②量子中継ノード技術

#### 量子中継のエンタングルメント配信とゲート操作のための機能

基本形:  
エンタングルメント配信: 光量子インターフェースと量子メモリー  
ゲート: エンタングルメント配信による測定ベース・ゲート



#### Bellペア源の導入による拡張

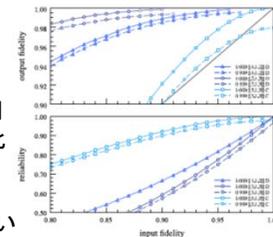
- 配信効率の向上
- 異なる技術に基づくシステム間の融合性の向上

量子通信アプリケーション:  
エンタングルメントに基づく2体ユニタリー操作の実装と量子暗号 (量子位置検証) への応用

#### 量子中継のための量子プロトコル

##### 純粋化プロトコル

- 量子誤り訂正符号を誤り判定モードを量子中継の純粋化へ応用
- トポジカル符号を量子通信へ応用
- 光損失のためのリダンダンシー符号化の導入・開発



技術レベルに応じた段階的な効率の良い純粋化に役立つ

限定されたリソースで可能となるシステムの構築が可能に

様々な量子誤り訂正符号で誤り判定モードと誤り訂正モードを用いて純粋化を行った場合の比較

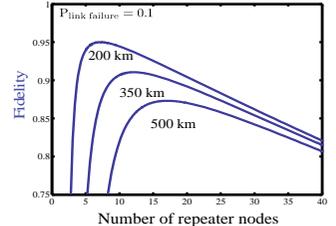
### ③量子中継システム評価

#### 線形量子中継システムの評価

初期の量子中継モデルとなる最小リソースの線形量子中継システムについての評価

通信距離をそれぞれ200km、350km、500kmとした場合のシステム性能についての評価:

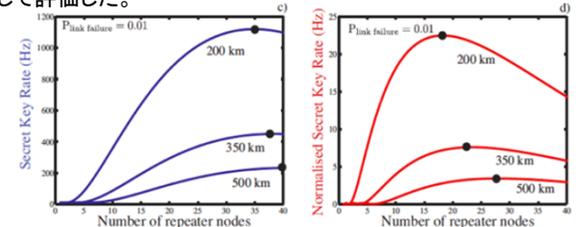
- それぞれの通信距離に対してエンタングルメント忠誠度のノード数依存性を示す。
- ノード数が極端に少ない領域では、量子中継によるゲインが明確に示された。



#### 量子中継システムの統合的評価

##### 量子中継システムの性能評価

従来は生成レートと比較してきたが、量子通信には、生成レートの他にエンタングル対の忠実度も重要な要素である。これを統合して評価した。



生成レートと忠実度を安全鍵レート(エントロピー尺度)で統合的に評価する。右図はリソース(全量子デバイス数)で標準化したもの。

#### 4. これまで得られた成果(特許出願や論文発表等)

	国内出願	外国出願	研究論文	その他研究発表	プレスリリース 報道	展示会	標準化提案
量子もつれ中継技術の 研究開発	0 (0)	0 (0)	12 (2)	45 (7)	6 (0)	0 (0)	0 (0)

※成果数は累計件数、( )内は当該年度の件数です。

##### (1) 研究成果発表会等の開催について

- NII湘南会議を開催(共催:NTT) Quantum Information Devices
- 2011年11月5～9日、湘南国際村センター

##### (2) 国際会議ICQIT(2013)とQCrypt(2015)を開催

- The International Conference on Quantum Information and Technology (ICQIT) 2013を開催(協賛:NICT)
- 2013年1月16日～18日、国立情報学研究所12階会議室
- 会合概要:情報通信研究機構で平成24年10月16日(火)～10月19日(金)の4日間にわたって開催された「量子ICTフォーラム」と連動して行った国際シンポジウム。量子ICTフォーラムでは量子暗号ネットワーク(Tokyo QKD Network)から量子通信までを中心に、国内の最新研究成果に主軸を置く一方、国際シンポジウムでは海外からの招へい者を交えて、量子情報処理に関連する重要なテーマをより広く議論する場とした。
- 国際会議QCrypt(2015)を2015年9月28日から10月2日にかけて、学術センターでNICTと共催した。国内外から量子暗号をはじめ、広く量子通信技術の最新の成果が集まり、該当分野のトップコンファランスとして注目を集めた。

#### 5. 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

本研究計画により量子ネットワークを構築するための量子中継システムの実現化への道筋が明確化され、次の5年間にはこれらのノード技術を実現するための研究努力が必要である。量子中継は、量子通信の中核技術であることから、今後実現が期待されている量子情報技術にとって重要な役割をもつ。今後も引き続き、理論・実験が一体となった研究努力を継続的に続けていく予定である。

量子中継システムは、古典通信ではあり得なかったレベルでの通信と情報処理の融合を可能にする。この量子情報技術における通信と情報処理の融合性は、本課題研究の成果の中で具体的に示された。量子情報処理はネットワーク、計算にとどまらず、センサーや画像処理など広い応用範囲をもつ革新的な技術であり、通信と情報処理の融合性は量子中継システム開発の重要性を保障するものである。量子中継システムの研究は、まだ基礎段階にあるが、上述のように革新的な技術開発であるため、10年、20年を見通して着実に進める必要がある。また、これを支える人材育成は重要であり、人材育成の努力は今後も引き続き努力していく必要がある。一方で、量子中継システムの実現化は、量子物理だけでなく、材料、制御、設計、微細加工など様々な技術の発展と統合を促す。量子コヒーレンスのレベルでのこれらの技術の融合に向けた努力により、様々な周辺分野への重要な寄与が期待される。

今後量子中継研究は、革新的な量子情報技術を実現するための中核技術のひとつとして、推進するなかで、段階的な実証と、人材の育成を図ることが重要である。一方で、関連産業や広く一般には、量子情報技術の可能性と重要性が十分には理解されているとはいえない。通信のみならず、医療機器、GPSなどのサービス産業、金融、資源探索など、応用技術が関連する産業における技術に対する認識を高めることは、今後期待される応用技術の社会実装において遅れをとらないために必須である。日本の状況はこの点で世界に対して大きく遅れているため、量子情報技術の進展を正確に伝えていくために、定常的な広報活動を行っていくことを計画している。