

平成23年度 新規委託研究課題
「量子もつれ中継技術の研究開発」
研究計画書



1. 研究開発課題

『量子もつれ中継技術の研究開発』

課題ア 量子もつれ中継システムの設計・評価理論

課題イ 遠隔ノード間での量子もつれ純粋化技術

課題ウ 超伝導技術に基づく多ビット量子もつれ制御と光インターフェース技術

2. 研究開発の目的

将来、広域ネットワークで電子行政や電子商取引を公正かつ極めて安全に行うための基盤技術の確立を目指して、量子もつれ中継システムの設計・評価理論、及び量子もつれ相関を遠隔ノード間での全量子的手法により純粋化し共有するため量子もつれ中継技術の研究開発を行う。合わせて、超伝導技術に基づく多ビット量子もつれ制御と光インターフェース技術に関する探索的研究も進める。

3. 採択件数、研究開発期間及び予算

研究開発期間：契約締結日から平成27年度までの5年間。

予算：平成23年度は総額150百万円を上限とする。

提案の予算額の調整を行った上で採択する場合がある。なお、平成24年度以降は対前年比で6%削減した金額を上限として提案を行うこと。

本研究開発課題は、個別研究開発課題毎に公募する。

個別研究開発課題

課題ア 量子もつれ中継システムの設計・評価理論

採択件数：1件。

予算：平成23年度は、総額10百万円を上限とする。

課題イ 遠隔ノード間での量子もつれ純粋化技術

採択件数：2件。

予算：平成23年度は、総額100百万円を上限とする。（1件当たり上限60百万円。）

課題ウ 超伝導技術に基づく多ビット量子もつれ制御と光インターフェース技術

採択件数：1件。

予算：平成23年度は、総額40百万円を上限とする。

4. 提案に当たっての留意点

課題ア、イ、ウのそれぞれに対して、同一の法人から同時に提案することができる。

なお、提案書は、課題ごとに独立に作成すること。

5. 研究開発の到達目標

課題ア 量子もつれ中継システムの設計・評価理論

誤り耐性と集積性、スケーラビリティに優れた量子もつれ中継システムの設計理論と、実装に適した材料やデバイス構造を見極め構築した装置やシステムの性能を検証するための評価理論を構築する。以下の課題イの受託者と協力して、有効な検証実験の示唆を行うとともに、実験結果の解析を補佐し、さらに定量的な量子もつれ中継システム設計理論構築に繋げる。最終的には、日本全土をカバーできる量子もつれ中継システムのアーキテクチャとデバイスに対する要求仕様を明らかにし、設計指針をまとめること。

課題イ 遠隔ノード間での量子もつれ純粋化技術

遠隔地点の量子メモリを通信波長帯の光子もしくはコヒーレント光で光ファイバを介して接続し、量子メモリ間に高純度の量子もつれ状態を生成する技術の研究開発を行う。特に、量子メモリや量子ゲート、量子もつれ伝送などの個々の要素技術の開発にとどまらず、これらを組み合わせて実証実験を行い、最終的な伝送システム化へ向けた課題を抽出し整理すること。提案書には、配信距離や生成レート、純度（あるいは理想的状態とのフィデリティ）などに関する性能目標とその根拠を盛り込むこと。推進にあたっては課題アの受託者と協力して、理論と実験の両輪で効果的に研究開発を進めること。課題アとの連携した提案も歓迎される。

【提案にあたっての留意事項】

例えば、ノード間 10km の量子もつれ中継を想定した検証実験が望まれる。各要素技術の満たすべきスペックとその理由、実現可能性や、システムとして動作させる際に解決しなければならない課題と対策なども提案書内に明示すること。メモリやゲート構成としては、将来的なシステム化・実用化を十分考慮したものが望まれる。。また、室温動作化の可能性を持つ物理系も精力的に取り組みされており、そういった系に基づく提案も歓迎される。量子メモリは通信波長帯との高結合機能を有するもの、あるいは通信波長帯への高効率波長変換方式を組み込んだものが望まれるが必須ではない。

世界的研究動向から推測される参考値としては、ミリ秒かそれ以上のデコヒーレンス時間の量子メモリ、デコヒーレンス時間内にゲート操作 10 万回程度を高いフィデリティで実行できる量子ゲート、最終的には、量子もつれ状態の生成レートが 1kHz 以上である高速システムか、量子もつれ状態のフィデリティが 90% 以上の高品質システムの構築などが考えられる。

ただし、その他の方法による量子もつれ中継システムの提案も歓迎する。その

場合にも定量的な目標値を明記すること。

課題ウ 超伝導技術に基づく多ビット量子もつれ制御と光インターフェース技術

量子もつれ制御の多ビット化と集積性の点から優位性の高い超伝導量子回路技術を量子通信技術と融合し、量子ネットワークへ展開するための研究開発を行う。具体的には、超伝導共振器と超伝導量子ビットから成る回路系に基づいて多ビット量子もつれ制御技術の研究開発を行うとともに、これらを通信波長帯の光量子状態と結合させるための量子トランスデューサ技術の探索的研究を行う。

量子トランスデューサ技術の研究開発では、超伝導共振器のマイクロ波量子状態と通信波長帯の光量子状態という大きく異なるエネルギースケール間で効果的に情報をやり取りするために、課題イで開発される材料や技術も活用して、光—超伝導結合機構の探索を進めるのが望ましい。

推進体制に関しては、固体素子分野と量子光学分野の研究者が連携したチーム構成が望ましい。また、情報通信研究機構（以下、「機構」という。）が自ら行っている研究（自主研究）のなかの、超伝導光子検出技術や低損失光導波技術に関する成果も積極的に活用し連携して進めることが望ましい。

6. 研究開発の運営管理及び評価について

研究開発に当たっては、機構の自主研究との連携を図ること。また、平成25年度に中間評価、平成27年度に事後評価を行う。

7. 参考

研究課題の背景及びその必要性

量子鍵配送技術は、1対1通信によって初めて安全な秘密鍵が生成される。当該技術は、現在フィールド環境50km圏の1対1専用線で100kbps程度の鍵生成が可能な段階に達したが、安全性を劣化させずに広域ネットワークで利用するためには、量子もつれ中継技術という新しい技術が必要になる。また、遠隔地間に配送あるいは生成された量子もつれ状態を直接用いて量子鍵配送を行うことで、安全性の抜け穴、いわゆるサイドチャネルのより少ないシステムを構築することができる。このような量子もつれを用いた通信技術は、将来、広域ネットワークで電子行政や電子商取引を公正かつ極めて安全に行うために必要な技術となる。

当該テーマは量子鍵配送技術に比べるとまだ基礎フェーズにあるが、欧米加ではすでに光ファイバ通信技術と整合性のある量子メモリ技術の動作実証などが行われている。我が国では以下で述べる戦略的な研究開発の推進によって、世界トップクラスの量子メモリ・プロセッサ基盤技術が確立されつつあり、またシステム設計に関わる研

究開発で諸外国をリードしている状況である。

他の関連する研究課題

H23年度から開始する委託研究開発課題「セキュアフォトリックネットワーク技術の研究開発」においては、安全性が保証された「古典的な」中継ノードを用意し、秘密鍵を別の秘密鍵でカプセル中継することで、専用線での量子鍵配送を都市間秘匿通信路の実用化に発展させる。それに対し、本課題では、量子もつれ相関を全量子的手法により直接共有し、量子もつれ鍵配送ネットワークを構築するための基盤研究を行う。

本課題と密接に関連するこれまでの研究課題としては機構の委託研究として、「量子暗号の実用化のための研究開発、課題ウ：量子中継システムの開発(H18年度～H22年度)」により、量子もつれ中継を構成する安定な量子メモリと光とのインターフェースの基盤技術が開発されている。本案件は、これらの成果に基づき、量子もつれ状態をネットワーク上で展開するための研究開発を行うものである。

量子もつれ制御の基礎的研究に関する取り組みとしては、科学技術振興機構戦略的創造研究促進事業(CREST)「量子情報処理システムの実現を目指した新技術の創出」(H18年度～H23年度、領域総括：山本喜久)、科学研究費補助金新学術領域研究(領域提案型)「量子サイバネティクス-量子制御の融合的研究と量子計算への展開」(H21年度～H25年度、領域代表：蔡兆申)、内閣府最先端研究開発支援プログラム「量子情報処理プロジェクト」(H21年度～H25年度、中心研究者：山本喜久)があり、様々な物理系で新原理探索の研究開発が行われている。本課題は、これらの取り組みよりもさらにネットワークにおける量子もつれ中継の適用用途を明確化しシステム実証を指向したものとなっている。

なお、機構の研究グループでは、従来の光ネットワークで使われる光信号に対してノード内で量子情報処理を行いながら復号することで、より少ない光送信電力でネットワーク容量を拡大するため量子ノード技術の研究開発を進めている。本課題の推進で期待される量子メモリや量子プロセッサの研究成果は、量子ノード技術を集積デバイスとして実装するためにも有効であると期待される。