

平成26年度「遠隔ノード間での量子もつれ純粋化技術」の研究開発目標・成果と今後の研究計画

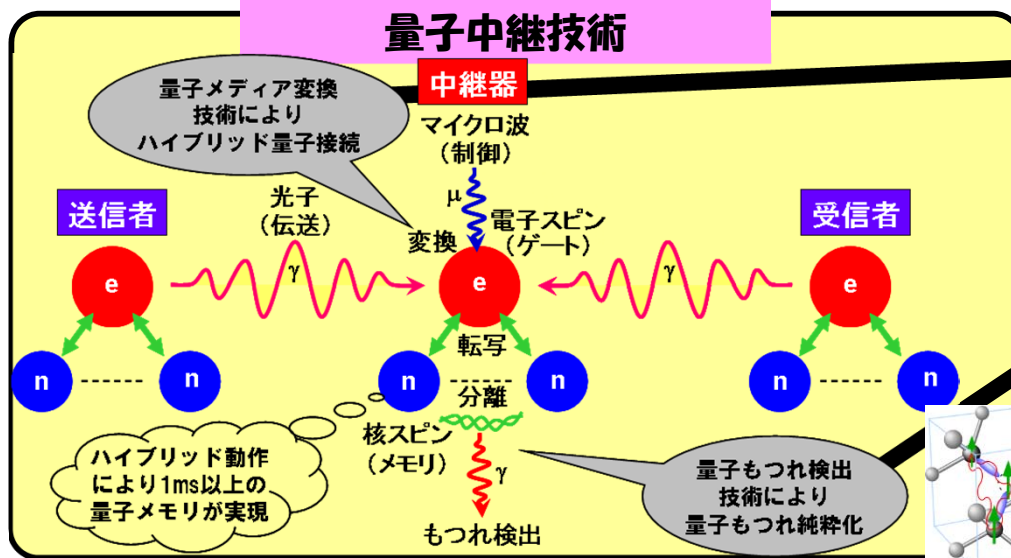
1. 実施機関・研究開発期間・研究開発予算

- ◆実施機関 横浜国立大学(幹事者)、大阪大学、日本電信電話株式会社、情報・システム研究機構
- ◆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200百万円(平成26年度 38百万円)

2. 研究開発の目標

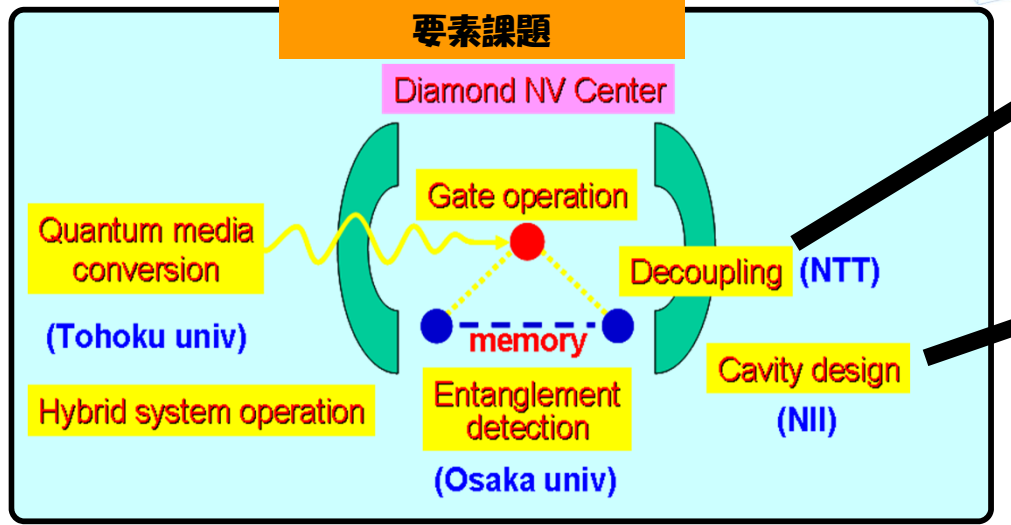
・広域量子通信ネットワークの中核となる量子中継システムの構成に必要な、遠隔ノード間での量子もつれの全量子的な純粋化を行うため、量子メディア変換の技術を核としてハイブリッド構成の量子中継システムを構築するための基盤技術を確立する。

3. 研究開発の成果



研究開発成果:ハイブリッド量子中継基幹技術の開発(横浜国大)
光子から電子スピンを介した核スピンへの量子メディア変換の要素技術となる光子と電子スピンの量子もつれ検出を実証した。その機構には、光子検出を用いたポストセレクションにより、量子メディア変換が成功した事象だけを抽出する仕組みを内蔵している。量子もつれ検出の忠実度は98%であり、ポストセレクションによる成功条件下の量子メディア変換の忠実度に換算して80%以上という数値目標を達成した。

研究開発成果:ハイブリッド量子中継純粋化技術の開発(大阪大学)
量子中継器の動作のためには高速・高忠実度の量子ゲート操作技術と量子もつれ検出、及び長時間量子メモリが不可欠である。今年度は5万回に相当するゲート操作を行うため、 T_2 が500マイクロ秒程度以上のNV中心においてゲート操作を10nsで実証することを目指し、これを実証した。量子もつれ検出に関しては、ベル測定をシングルショットで行うための量子非破壊測定の忠実度を上げるために、電荷状態の安定化に取り組み、ほぼ100%近いNV⁻状態への安定化に成功した。



研究開発成果:ハイブリッドゲート操作設計(NTT)
全光型量子中継方式と測定装置無依存量子鍵配送を融合させた量子暗号鍵配送方式を提案した。物質量子メモリや量子誤り訂正が必要なく、光の送受信装置や線形光学素子及び能動的フィードフォワード制御だけで量子中継が可能なることから量子暗号鍵配送との相性がよく、尚且つ測定装置無依存型を採用可能なため、安全性の問題も明確にできる利点を有する。

研究開発成果:ハイブリッド光モジュール設計(NII)
電子スピンと光の射影測定に基づくエンタングルメント・スワッピング過程を中心に検討した。中央ノードの電子スピンと光の射影測定を、共振器と光ループから構成し、ループに状態フリップ操作を挟む方法を提案した。これにより、複数ある項からの寄与を積算することが可能となる。積算後のゲートの成功確率は共振器と光ループにおける光損失等を考慮しても、原理的にスケラブルなゲートが実行可能であることを示した。

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
遠隔ノード間での量子もつれ純粋化技術研究開発	0 (0)	0 (0)	23 (9)	125 (34)	18 (18)	0 (0)	0 (0)
※成果数は累計件数、()内は当該年度の件数です。							

(1) 産学官連携と学際的研究を加速・推進のため、連携によるシンポジウム、研究会を企画・運営

産学官連携と学際的研究を加速・推進のため、連携によるシンポジウム、研究会を企画・運営

①第62回応用物理学会春季学術講演会 分科企画シンポジウム「フォトンクスと量子情報技術の融合へ向けて」

日時:2015年3月11日

場所:東海大学湘南キャンパス

主催:応用物理学会新領域グループ「量子情報研究」

(2) 国際○○○○会議を開催(共催:△△△、□□□)

5. 今後の研究開発計画

・課題イ-1 ハイブリッド量子中継基幹技術の開発(横浜国立大学)

・課題イ-1-1...量子トモグラフィ技術

下記課題イ-1-2の評価手法として、光子から核スピンへの量子メディア変換の量子過程を量子トモグラフィ評価するための基盤技術を開発する。このトモグラフィ評価自体の忠実度を、昨年度までに得ている95%以上から100%近くまで引き上げる。

・課題イ-1-2...量子メディア変換技術

光子から電子スピンを介した核スピンへの量子メディア変換技術を確立する。この動作原理として量子テレポーテーションを用いるが、これには電子と核子の量子もつれ生成が成功の鍵となる。また、光子検出を用いたポストセレクションにより、量子メディア変換が成功した事象だけを抽出する仕組みを内蔵する。ポストセレクションによる成功条件下の量子メディア変換の忠実度を90%以上とする。

・課題イ-1-3...複合システム動作技術

課題イ-2とも協力して、量子メディア変換、量子ゲート、量子メモリを組み合わせたハイブリッド動作の実証実験を行う。これにより、量子中継の基本機構となる量子テレポーテーション動作を実証し、量子もつれの生成レート1kHz以上の可能性を検証する。

6. 今後の研究開発計画（つづき）

・課題イ-2 ハイブリッド量子中継純粋化技術の開発(大阪大学)

・課題イ-2-1...量子ゲート操作技術

電子スピンによる高速・高忠実度の量子ゲート操作技術を確立。量子メモリの寿命時間内に10万回程度のゲート操作を可能とする。 T_2 の長いNV中心において、今後はまず、5万回以上相当するゲート操作を実証する。

・課題イ-2-2...量子もつれ検出技術

核スピン量子メモリ間の高忠実度の量子もつれ相関検出技術を確立。完全ベル測定をシングルショットで行い、90%以上の忠実度を実現する。実験条件の最適化を継続して行い、今後はまず、忠実度が80%以上になることを目指す。

・課題イ-2-3...量子メモリ分離技術

核スピンによる長寿命の量子メモリ実現。電子スピンのゲート操作によって劣化のないデカップリング技術を確立し、1ms以上の量子メモリ時間(T_2)を実現する。今後は任意波形発生器等を導入し、実証実験に向けて必要設備を整えて実験を開始できるようにし、各手法の評価を行う。

・課題イ-3 ハイブリッド量子中継デバイス設計技術の開発

・課題イ-3-1...ハイブリッドゲート操作設計（NTT）

光子の吸収に伴い、光子の偏光状態がNV中心の電子スピンの状態に転写される物理系を考察する。電子スピンの状態をマイクロ波で操作することにより、核スピンへの高速かつ忠実度の高い量子状態転写を行う。その最適手法を設計し、直接伝送スキームや、DLCZスキームとの性能の評価を行う。全光量子中継方式]の根底にある「時間反転型量子中継方式」を、物質量子メモリを用いて実装する可能性を明らかにする。

・課題イ-3-2...ハイブリッド光モジュール設計（NII）

モジュール設計:スケーラビリティと集積性を保証するよう、制御系等も統合してモジュール化した光デバイスの設計を行う。光と物質の間の相互作用の効率と精度について、キャビティを用いない場合とも比較して、デバイスの性能を分析する。

システム性能評価:課題アと連携し、量子鍵配送を目的とした中継システムに必要な誤りレート等のシステム・パラメータを物理パラメータに変換して目標値を明らかにする。