

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 米澤 英宏

量子情報科学は、古典力学に基づき構築されてきた情報科学を量子力学の枠組みで捉え直すものである。量子力学の持つ異なる性質は、情報処理に新しい道を開き、量子計算・量子暗号・量子通信等様々な応用が期待されている。これら量子情報科学において重要な課題が量子エンタングルメントの生成と制御である。この中で、量子テレポーテーションは量子エンタングルメントを用いて達成される、基本的かつ非常に重要な基本操作である。量子テレポーテーションは、2者間で量子エンタングルメントを共有することで可能となり、情報のキャリアを直接伝送することなく、任意かつ未知の量子状態を伝送することが出来る。量子テレポーテーションは、量子ネットワークや量子計算機を構成する基本要素に用いることができ、応用上の観点からも重要といえる。本研究は量子光学の手法を用い、連続変数を扱う系において、その量子テレポーテーションの研究に取り組んだものである。

量子テレポーテーションのより高性能化を目指し、本研究ではまず直交位相スクイーズド状態の高レベル化を行った。さらに量子トモグラフィの手法を導入し量子テレポーテーションの入出力状態の表現、評価を試みた。また、コヒーレント状態の転送実験の高性能化を行い、さらに2段階の量子テレポーテーション実験、さらにはスクイーズド状態の転送の実験を行った。

本論文は以下の8章からなる。以下に各章の内容を要約する。

第1章では、量子情報処理及び量子テレポーテーションに関する研究など、本研究の背景について述べ、その上で本研究の目的を示し、さらに本論文の構成について述べている。

第2章では、量子テレポーテーション実験を行うために用いた量子光学の理論について述べている。まず電磁場を量子化し、光の量子状態について述べている。次にそのような量子状態の測定方法を解説している。次に本研究で用いるスクイーズド状態の生成理論について解説している。

第3章では、スクイーズド状態生成実験について述べている。まず、実験系について述べ、次に第二高調波生成用外部共振器、光整形用外部共振器、光パラメトリック発振器についてそれぞれ述べている。次に、複数の光の相対位相をロックする方法について述べ、その上でスクイーズド状態を生成した結果について述べている。さらに実験結果と理論との比較をしている。本研究では、従来を上回る-7.4dBのスクイーズド状態の生成を実現している。

第4章では量子トモグラフィについて述べている。まず、量子状態を再現する手法である逆Radon変換と最尤推定法に関して説明している。次に実験方法を述べ、さらに実験結果について述べている。

第5章では本研究で行った量子テレポーテーションについてその基本事項を述べている。ま

ず、量子エンタングルメントについて説明し、その生成法及び判別方法を説明している。次に量子テレポーテーションの理論について説明し、さらに量子テレポーテーションの評価に用いられるフィデリティについて説明し、古典限界や非古典状態のテレポーテーションに関して述べている。さらに、実験上考慮しなければならない点について説明している。第6章ではコヒーレント状態の量子テレポーテーション実験について述べている。まず、実験系の構築と実験方法について説明している。次に実際にコヒーレント状態をテレポーテーションした結果について述べている。特に従来と同様の測定方法に加え本研究では量子トモグラフィの手法でテレポーテーションの入出力を表現、評価している。本研究では、スクイーズド状態の高レベル化及び系の安定化により従来を大きく上回る**0.76**というフィデリティを得ている。さらに、テレポーテーション装置を**2つ**構築し**2段階**の量子テレポーテーション実験についても述べている。この実験では**2回**テレポーテーションした後でも**0.57**というフィデリティを得ており、古典限界を上回っていることが示されている。第7章ではスクイーズド状態のテレポーテーション実験について述べている。まず実験方法について述べ、次に実験結果を示している。本研究ではスクイーズド状態をテレポーテーションし、出力側でも**-0.8dB**のスクイーズド状態を測定することに成功している。さらに、入力を持つ非古典性が出力側でも保持されているということを、量子エンタングルメントという点から解釈し評価している。第7章では、本研究の結果をまとめ、最後に課題と今後の展望を述べている。

以上のように、本研究では量子光学を用いて連続変数の量子テレポーテーション実験を行った。まず、量子テレポーテーションのリソースとなるスクイーズド状態の生成実験では従来を大きく上回る結果を得た。これを用いたコヒーレント状態のテレポーテーション実験では系の改善等により、フィデリティ**0.76**とこれまでの最高値を得た。また、量子トモグラフィの手法により、従来とは異なる角度から実験を検証した。次に、**2段階**の量子テレポーテーション実験を行い、量子状態を二度続けて転送できることが実証した。さらに、スクイーズド状態のテレポーテーション実験を行い、出力側でもスクイーズを観測することに成功し、非古典状態のテレポーテーションについて検証した。これらの研究は、量子テレポーテーションの性能を高め、非古典的な量子状態の転送を可能とすると共に、その実験において従来とは異なる評価方法を与え、量子情報科学の新たな知見を与えた点で重要な意義があり、理工学への発展への寄与は大きい。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。