

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 竹野 唯志

量子力学に特有な現象を積極的に利用して情報処理や情報通信を行う手法が盛んに研究されている。情報処理においては、特定の用途について従来の古典力学に基づいた計算機では実現できない高速な量子アルゴリズムが提案されており、量子アルゴリズムを実装可能な量子計算機の実現が期待されている。また情報通信においては、原理的に盗聴が不可能とされている通信プロトコルが多数提案されている。本研究のテーマである量子テレポーテーションは、量子エンタングルメントの生成、状態の測定とそれに基づいた状態操作を行うことによって、任意の、そして未知の量子状態を転送する。また量子計算機の構成要素としての応用が期待されている。本研究は量子光学の手法を用いて、電磁場の直交位相振幅を量子情報として取り扱い、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。

将来的に量子計算機を構成するために、本研究では量子テレポーテーションの系で非ガウス型状態を扱えるようにすることを目指している。そのためにまず、直交位相スクイーズド状態の高レベル化を行った。次に量子テレポーテーションの広帯域化を実現し、時間領域で定義された量子状態（波束モード）を転送できるようにした。そして非ガウス型状態を生成し、それを入力として量子テレポーテーションを行った。

本論文は七章で構成される。以下に各章の内容を要約する。

第一章では量子情報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提示している。さらに本論文の構成について述べている。

第二章では本研究を行う上で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、本研究で取り扱う量子状態について述べている。そして量子状態を測定し可視化する方法について述べている。また光の量子状態について述べている。さらに本研究で重要なリソースとなるスクイーズド状態の生成とそのモードについて述べている。

第三章ではスクイーズド状態生成実験について述べている。まず過去に行われたスクイーズド状態生成実験についてまとめ、本研究の位置付けを述べている。次に実験系の概要と各要素の詳細を述べている。そして生成したスクイーズド状態の測定結果を示し、理論との比較を行っている。本研究では従来を上回る -9.0 dB のスクイージングレベルを観測している。

第四章では量子テレポーテーションに関する理論を述べている。まず量子エンタングルメントについて述べ、次に量子テレポーテーションについて述べている。そして量子テレポーテーションを評価する方法について述べている。

第五章では時間領域量子テレポーテーションの実験について述べている。まず過去に行われた量子テレポーテーション実験における問題点を列挙し、時間領域で定義された量子状態を量子テレポーテーションするための課題を明確にしている。次に実験系の概要と各要素の詳細を述べ、前述した問題点を解決したことを述べている。そして時間領域での測定手法について述べ、実際に時間領域で真空状態の量子テレポーテーションを行った結果について述べている。最後に理論との比較を行い、今後の課題について述べている。本研究では初めて波束モードの量子テレポーテーションを行うことに成功しており、また 0.70 という高いフィデリティも達成している。

第六章では非ガウス型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。まず入力とする非ガウス型状態の生成方法と測定結果について述べており、過去の実験を上回る強い非古典性を保持した量子状態の生成を実現している。次にそれを量子テレポーテーションするための実験系について述べ、出力状態の測定結果を示している。そして出力状態の非ガウス型特性について議論し、定量的に評価を行っている。出力状態が非ガウス型の特性を保持していることから、本研究は非ガウス型状態に対する量子状態操作に初めて成功している。

第七章では本研究の結果をまとめ、最後に課題と今後の展望について述べている。

以上のように、本研究は量子光学の手法を用いることによって連続変数の量子テレポーテーション実験を行った。スクイーズド状態の生成実験においては従来を大きく上回る結果を得た。時間領域量子テレポーテーション実験においては、時間領域で定義された量子状態（波束モード）に対して量子テレポーテーションを実現している。また 0.70 という高いフィデリティを達成している。そして非ガウス型状態の量子テレポーテーションを行い、出力側でも非ガウス型の特性を観測することに成功している。

本研究では、従来は周波数領域で定義された量子状態しか扱うことができなかった量子テレポーテーションを発展させることによって時間領域でも取り扱うことを可能とし、その上で非ガウス型状態に対する状態操作を行っており、これは時間領域での量子状態操作という新たな知見を与えた点で重要な意義があり、物理工学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。