

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 ベニキ ユーゴ

量子アルゴリズムの例として、量子テレポーテーションは量子情報処理研究の初期に発見・提案された。そして、離散変数（量子ビット）の場合も連続変数の場合もその原理検証実験が行われた。ただし、当時は入出力が等しい「恒等変換」の量子アルゴリズムであり、それが量子情報処理においてどのように使われるかは余り明らかではなかった。ところがその後、量子テレポーテーションを基礎とした一方向(one-way)量子情報処理や補助入力誘起(ancilla-driven)量子情報処理が提案され、量子テレポーテーションは一躍ユニバーサル量子情報処理の中心的存在となった。これらのユニバーサル量子情報処理のためには、非古典的非ガウス型状態の生成および操作がキーとなるが、中でも非古典非ガウス型状態の量子テレポーテーションは極めて重要である。

論文提出者である Benichi 氏は、非古典非ガウス状態として「シュレーディンガーの猫状態」を生成し、その量子テレポーテーションを行った。また、実験の理論的解析のためのモデルや新たな実験解析法（量子トモグラフィアルゴリズム）を考案し、実験結果をうまく解析・説明することに成功した。特に、新たな量子トモグラフィアルゴリズムを考案し、純粋度の落ちる量子テレポーテーション出力において精度の高い解析を可能にした。さらに、新たな実験として、量子テレポーテーションの送信者側で条件を付けることを行い、量子テレポーテーションフィデリティ（正確に言うと、位相空間原点におけるウイグナー関数の負の値の程度）を上げることに成功した。

以下に本論文の各章の内容を要約する。

第 1 章では、本論文の基礎となる量子光学の基礎について述べている。特に、本論文では時間的に局在した状態を扱うため、基本的に周波数的にはマルチモードになる。そのため、周波数マルチモードのモデルについて記述している。

第 2 章では、非古典非ガウス型状態の生成について述べている。特に、スクイーズド光からの光子引き去り(Photon subtraction)によるシュレーディンガーの猫状態生成について述べている。スクイーズド光は偶数個の光子の重ね合わせ状態であるが、1つだけ光子を引き去るとシュレーディンガーの猫状態に極めて近い状態となる。Benichi 氏はこの様子を氏の考案したモデルにより解析している。また、実際にシュレーディンガーの猫状態生成実験を行い、このモデルで解析を行っている。

第 3 章では、量子状態推定のための量子トモグラフィについて述べている。前述したように、量子トモグラフィはシュレーディンガーの猫状態量子テレポーテーション実験の成否を判定する重要な手法である。Benichi 氏の考案した量子トモグラフィアルゴリズムでは、特に状態の純粋度の低い場合の解析精度が上がるが、一般的に量子テレポーテーション出力では状態の純粋度が下がるので、氏のアルゴリズムは量子テレポーテーション

実験の成否を解析するには理想的なアルゴリズムになっている。

第4章では、シュレーディンガーの猫状態量子テレポーテーションについて述べている。まず Benichi 氏が考案したモデルを用い量子テレポーテーション過程の理論的解析を行っている。次に実際に行った実験について述べている。実験には2種類あり、1つは従来通り無条件で量子テレポーテーションを行うもの、もう1つは送信者側で条件を付け、条件をクリアした場合のみ量子テレポーテーションを行うものである。この実験の動機は、入力状態が単一光子状態の場合、送信者側で条件付けを行えば（具体的には測定結果がゼロに近ければ）、量子テレポーテーションフィデリティが格段に上がることが示唆されているからである。Benichi 氏はこの理論をシュレーディンガーの猫状態の場合に拡張し、実際に実験を行った。条件付けによるイベントレート低下のため、条件付けと実験時間はトレードオフの関係になり、条件をきつくすることは困難であったが、ほぼ理論的予想通りの結果を得、位相空間原点におけるウイグナー関数の負の値の程度を上げることに成功している。

以上のように、Benichi 氏は、非古典非ガウス状態として「シュレーディンガーの猫状態」を生成し、その量子テレポーテーションを行い、実験の理論的解析のためのモデルや新たな実験解析法（量子トモグラフィアルゴリズム）を考案し、実験結果をうまく解析・説明することに成功した。さらに、送信者側で条件を付ける条件付き量子テレポーテーション実験を行い、位相空間原点におけるウイグナー関数の負の値の程度を上げることに成功した。本研究の成果はユニバーサルな量子情報処理を実現する上で重要な意義があるものと認められる。

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。