

論文審査の結果の要旨

氏名 和泉 究

史上初の重力波検出を目指した、Advanced LIGO や KAGRA などの大型レーザー干渉計検出器プロジェクトが世界的な規模で展開されている。これらの重力波検出器は1年に数回以上の重力波イベントの検出が可能な高い感度を備えたものとなることが期待されているが、高い重力波検出感度を追及した結果、干渉計腕の長大化や各種リサイクリングなどの機能の追加によりシステムは複雑化し、全体システムをフルロックといわれる制御された観測可能状態に追い込むことが困難となることが危惧されている。本論文提出者は、マルチカラー干渉技術という新しい技術を導入し、これらの干渉計のフルロックに関する問題を解決した。

本論文は7章からなる本文と補遺から構成される。第一章では本論文の研究に必要な基礎知識、つまり、重力波とその性質、重力波源天体、また重力波検出器であるレーザー干渉計の動作原理などが丁寧にまとめられている。第二章では、マイケルソン型干渉計やファブリペロー共振器、共振器の長さ測定の手法など、レーザー干渉計を用いた重力波検出器に必要な技術について述べられている。次世代の干渉計型検出器では、観測を行うためには、5つの光路長自由度が同時に決まった干渉条件を満たす必要があり、現有の技術でこれを実現することに困難があることが示されており、これが本研究の動機となっている。第三章ではマルチカラー干渉技術を用いたロック手法について述べられている。波長1064 nmのメインレーザーに対し、2倍の周波数となる波長532 nmの補助レーザーを用いて、腕の動きを独立に制御して腕の長さを安定化させるもので、干渉計全体のフルロックを実現するための要となる技術である。第四章では実験に用いられたプロトタイプ干渉計である、40 mの基線長を持つ干渉計システムの詳細が述べられている。干渉計はカリフォルニア工科大学のキャンパス内に設置され、ロックアキュイジション制御の実験や手法の確立のために用いられている。第五章でマルチカラー干渉技術を用いた腕の長さ制御実験の詳細が示される。干渉計のうち40 mの片腕のみを利用した試験セットアップが示され、デジタル制御による自動制御により、セミオートマティックで腕を共振点まで運ぶシーケンスと共振器長さを任意に操作可能であることが示されている。第六章では第五章で述べられた実験結果を用いて残留振動のスペクトル解析を行い、線形制御モデルを構築した。これにより、共振器長さが4 kmとなる、次世代大型システムでの腕の安定度評価を行い、マルチカラー技術をこれらへ適応したときの、雑音の評価が行われた。その結果、補助レーザーの雑音対策、周波数読み取りシステムの雑音対策を行うことで、Advanced LIGOにおいても、マルチカラー干渉技術を用いたロック手法が有効であるとの見通しが得られた。第七章は結論にあてられている。

以上のように、提出者は本論文でプロトタイプの重力波検出器干渉計にマルチカラー干渉技術を用いたロックアクイジション法を導入し、その有用性を実証して実現手順を確立した。次世代の検出器となる Advanced LIGO においても本手法が適用可能であることを、実証実験に基づいた雑音解析により示し、実用化提案を行なっている。この技術は、アイデア自体は以前からあったものであるが、本論文提出者等によって初めて実験実証されたもので、今後の重力波天文学に大きく貢献する成果であるといえる。

なお本論文は複数の研究者との共同研究であるが、論文提出者が主体となって開発、研究を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。したがって、審査委員の全員一致により合格と判定し、博士（理学）の学位を授与できると認める。