

論文審査の結果の要旨

氏名 宗宮健太郎

本論文は、次世代の干渉計型重力波検出器に必要とされる検出器の技術的な問題を理論と実験の両面から研究した成果をまとめたものであり、7章と補遺からなる。第1章の導入では重力波の紹介と検出の意義を述べ、特に、その感度と量子限界の関係の重要性を指摘した。

第2章では、干渉計型検出器の一般論が展開されている。現在、すでに運転が始まっているファブリ・ペロー・マイケルソン干渉計から、リサイクリング技術、さらに、帯域制御可能な干渉計技術であるシグナルリサイクリング (SR)・レゾナントサイドバンドエクストラクション (RSE) についての説明がされている。最後の RSE は、本論文でもっとも重要な要素技術であり、その実験的なデモンストレーションは、近年になってようやく可能になった高度な技術である。

第3章では、この干渉計を動作させるための制御理論が展開されている。光学系の状態を精密に把握して正しい動作状態に保つ技術は、干渉計にとっては不可欠であり、特に、ここでは光変調技術を利用した状態判断信号を取得する方式に関して詳細な検討がなされている。

第4章では、第1章で指摘した干渉計の量子論的な側面に関する議論を行った。従来、目で見えるような巨視的な物体の運動は古典力学的な対象と考えられてきたが、超高感度は干渉計では、キログラムを超える質量を持つ鏡の運動の量子限界が見えると考えられている。この量子限界は、標準量子限界 (SQL) と呼ばれているものであるが、その限界の存在とそれを超える技術として知られる量子非破壊計測法 (QND 計測法) に関して、理論的な検討が進められている。

第5章において、前章の QND 計測法に関連して、この論文提出者独自の考えによる量子力学的な信号取得法論を展開した。この理論は、干渉計で利用される光変調による信号取得法の性質を詳細に検討した結果、キャリア光の上下に現れるサイドバンドの大きさを制御することにより、光の量子性と干渉計の鏡の運動が結合して生じたスクイーズド状態を利用して、SQL を越えた精度の測定が可能になるというものである。外国の同様な研究グループで提案されているものは、スクイーズ状態を利用するために別の光学系を利用するという方式であった。本方式は、そのよ

うな従来型とはまったく異なるもので、新たな方式として検討が進んでいる。

第 6 章では、実際のプロトタイプ干渉計装置を試作し、世界に先駆けて運転に成功したことが報告されている。干渉計は機械系と光学系が複雑に絡んだ系であり、それを動作させること自身が非常に困難なことである。そのため、制御・運転技術の開発は、この分野の研究において極めて重要な課題である。特に、本論文で扱っている RSE を導入した干渉計の制御技術は、未完成の部分が多く、さらなる研究が必要とされている。さらに、帯域を可変にするデチューニングと呼ばれる技術に関しては、光学台に固定した干渉計で実験が進められている程度で、本格的なプロトタイプ（実機に近づけるため、干渉計を構成するほとんどの光学素子が吊り下げられている）による実験は皆無であった。本論文では、そのプロトタイプによる世界初の運転成功が報告されている。また、デチューニングを施した干渉計では、光の輻射圧と機械系が結合して起きる光スプリング現象が観測されると予想されていたが、その兆候が観測されていることも特筆すべき点である。この現象は、従来の光学台に固定した干渉計では決して見ることはできないものである。

第 7 章では、ここで得られた研究成果を総括し、次世代干渉計の実現に向けて必要とされる、量子限界の克服と帯域制御技術の確立に関して大きな貢献があったことが述べられている。

なお、本論文第 6 章は、川村静児、宮川治、Peter Beyersdorf との共同研究であるが、論文提出者が主体となって実験装置の設計・試作、および測定を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（科学）の学位を授与できるものと認める。