

論文審査の結果の要旨

氏名 竹野耕平

本論文は、高感度レーザー干渉計を用いた重力波検出器の光源として必要とされるレーザー装置の開発に関するもので、5つの章と2つの補遺から成り立っており、第1章では、重力波検出の意義と検出器の構成、大型計画の概要が述べられ、特に次世代の干渉計検出器の実現に対して非常に重要な技術要素であり、本研究の目的となる100W以上の出力をもつレーザー光源の必要性と位置づけが明確に示されている。

第2章では、高出力で高安定なレーザー装置の構成、設計に関する理論的な考察を行った。従来は、このような高出力のレーザー装置は、通常加工用で、干渉計の光源とはまったく違う思想で設計されている。そこで、干渉計の光源に必要とされる要求を明確にした上で、装置の基本設計を行った。基本となるのは、半導体レーザーを励起源としたNd:YAGレーザーであり、ロッド形状をしたNd:YAGの結晶の側面から励起光を照射する方式を採用している。そして、レーザー共振器の設計パラメータを最適化することで安定な光発振の実現を目指した。特に、レーザーの構成として、進行波型リング共振器を持つ必要があるが、このような設計例はこれまでほとんどなかった。そこで、よく用いられる直線共振器の設計をリングレーザーに展開するという手法を提案し、シミュレーションでその有効性を確かめている。そして、実際にその設計指針に沿ったレーザー装置を試作し、特性の評価結果が報告されている。ここでは、リングレーザー装置により、出力が120Wでほぼ回折限界のレーザー発振を実現した。

そして、第3章では、注入同期と呼ばれる技術を利用してレーザーの発振状態を制御し、干渉計の光源として必要とされる単一周波数発振を実現した結果が報告された。注入同期は、小出力で安定なレーザーの出力光を高出力のレーザーに注入し、高出力レーザーの発振を安定化する方法であるが、2つのレーザーの出力比が大きくなると制御が困難になることが理論的に示されている。本章ではその困難を光学系と制御系の工夫等で克服し、100Wの単一周波数発振を実現している。現在、干渉計の光源として利用されているレーザーは10W程度の出力であり、ここで報告されている出力レベルの実現は世界的に見ても1, 2例の報告例があるだけである。また、その状態でのレーザー出力光の特性の評価を行い、直線偏光で、回折限界の光学モードが実現していることが実証された。さらに、雑音特性もこの出力を持つレーザーとして極めて安定なものであることが示されている。長期的な安定度に関しても、10時間以上連続運転しても出力特性はほとんど変化せず、極めて安定であることも報告されている。

第4章では、このレーザー装置の発振周波数をフィードバック制御により安定化する実験の結果が示されている。ここでは、高性能な鏡を用いたリング型の光共振器を周波数基準として利用し、100W出力のレーザー光の一部を取り出し、パウンド・ドレーバー・ホール法と呼ばれる手法を用いて安定化した。この際、共振器の安定性が問題となるので、真空中に防振装置を介して保持する装置を利用して外乱を避け、レーザー本来

の雑音特性の評価や制御性能の評価を行った。100W を越える出力のレーザーに対して、このような手法で安定化実験や安定度の評価これまでに報告例のないもので、世界最初の試みとしても価値がある。

第 5 章では本論文で報告されて成果をまとめ、結論とした。補遺では、他の方式との比較、大型干渉計の雑音の評価を論じている。本論文で達成されてレーザーの性能は世界的に見ても極めて高性能なレベルであり、多くの新しい知見をもたらしている。なお、レーザー装置の設計・試作・評価など、論文提出者がほとんど独力で行ったものである。したがって、博士（科学）の学位を授与できると認める。