

論文審査の結果の要旨

氏名 新井 宏二

本論文は、現在稼働中の重力波検出器、TAMA300の干渉計としての運転に非常に重要な役割を果たしたレーザー光学系の制御方法「高調波復調を用いた信号取得法（3倍波復調法）」について述べられている。この方法は、論文提出者が独自のアイデアに基づいて提案したもので、その提案を本研究科に設置した干渉計型重力波検出器プロトタイプを用いて実証し、その結果、我が国の重力波検出器の最先端で採用されたものである。本論文は、全6章からなり、第1章で重力波研究の意義と歴史、第2章でレーザー干渉計による重力波検出の原理、第3章でレーザー干渉計を共鳴状態に保つための制御（フィードバック）方法の原理、第4章でフィードバックに必要な信号を干渉計からどのように取り出すかの原理と論文提出者の唱える「高調波復調を用いた信号取得法（3倍波復調法）」の詳細、第5章でこの方法のプロトタイプ（3メートルのパワーリサイクリング型ファブリ・ペロー・マイケルソン干渉計）による実証を詳述している。そして、最後に第6章で、この方法の長所について考察、さらにTAMA300の干渉計運転が、この方法によって成功したことを報告している。

ファブリ・ペロー・マイケルソン干渉計は、マイケルソン干渉計の両腕に光路の長いファブリ・ペロー共振器を配している。パワーリサイクリングとは、干渉計とレーザー光源の間に半透過鏡を置いて干渉計からの戻り光を反射し、干渉計内の光量を増加させる技術で、光の粒子としての数の統計揺らぎであるショット雑音を低減させることができる。この非常に複雑なレーザー干渉計を外乱から分離して、干渉状態を保つには、干渉計各部の光路長をレーザー波長の数万分の1から数百万分の1の精度でフィードバック制御する必要がある。パワーリサイクリング型ファブリ・ペロー・マイケルソン干渉計には、制御すべき光路長パラメータとして4種類あり、これらのパラメータを干渉計の信号から効率よく取り出すことがレーザー干渉計重力波検出器においては、非常に重要である。

干渉計から、信号を取得するためには、位相変調により変調サイドバンド

光を付加したレーザー光を干渉計に入射し、検出ポート、反射ポート、ピックアップポートなどと呼ばれる干渉光を検出する光検出器で受光する。そして、光検出器に発生する光電流を復調する必要がある。従来、復調は変調と同じ周波数あるいは1次のサイドバンド高調波で行われていた。この方法は、4つのパラメータに対する感度が一様でないこと、信号の強度や符号が干渉計の光学パラメータの変化に敏感に反応してしまうなどの困難があった。論文提出者は、2次のサイドバンド光が干渉計に対し、ほぼ常に反共振のため、リサイクリングミラーにおいて高い反射率で反射されるのに対し、その他の光は共振して低反射率になることに着目し、反射ポートでの2次のサイドバンド光とキャリア光を使う復調法を考案した。この方法では、光検出器には変調の3倍波の成分を含む光電流が発生するため、3倍波復調法と呼ばれている。

論文提出者は、本学部に設置されたプロトタイプ干渉計重力波検出器にこの3倍波復調法を実装した。その結果、この方法では、4つのパラメータどれもがよく分離できること、信号感度の光学パラメータに対する依存性の軽減ができることなどがわかった。このため干渉計型重力波検出器の設計が簡素化されることがわかり、この方法の従来への復調法に対する優位性を実証した。さらに、2001年12月24日には、TAMA300において3倍波復調法を使い、干渉計を動作状態に保つこと（ロック）に成功した。一方、従来の方法では未だロックに成功していない。以上により、論文提出者の考案、実証した3倍波復調法のTAMA300の運転における重要性は明白である。

なお、本論文第4章（方法提案部分）は、安藤正樹氏、森脇成典氏、河辺径太氏、および坪野公夫氏との共同研究であるが、論文提出者のオリジナリティーおよび、この方法の実証実験が、論文提出者が単独実験である事実から、論文提出者の寄与は明白である。

よって、ここに、博士（理学）を授与できると認める。