

## 平成28年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：KAGRA のモードクリーナーにおけるレーザー光のセンタリング技術の開発  
 英文：Development of beam centering techniques for KAGRA Mode Cleaner

研究代表者 佐藤孝

参加研究者 大河正志 鈴木孝昌 上原知幸 陳沿佑 笹崎千鶴

### 研究成果概要

重力波検出器 KAGRA では、ショットノイズ雑音を低減するため bKAGRA に移行する段階で高強度のレーザーを使用する。レーザービームは真空中に吊り下げられた鏡等の各光学部品で反射、もしくは、透過する必要がある。ここで光学部品の内部ではわずかな吸収が起こり、光学部品が過熱される。これにより、熱レンズ効果が発生し、KAGRA の感度に影響を与える。また、光学部品における散乱光は、雑音となるため、KAGRA の感度を悪化させる。本研究では、散乱光に対する対処、熱レンズ効果による影響の検討、および、その制御の技術の検討および開発を行う。さらに、Gouy 位相と呼ばれる光共振器から反射してくる波面の位相を測定することにより、光共振器のアライメントを自動的に制御するための測定系を構築する。具体的には、1. モードクリーナーにおける熱レンズ効果の影響の検討、2. インプットオプティクスにおける散乱光のシミュレーションとダンピング、3. インプットモードクリーナーにおける Gouy 位相のシミュレーションと測定が課題である。

bKAGRA のハイパワー化に伴う諸問題に対して、影響を考慮することにより、重力波検出器の感度を補償する方法の検討および実験を行った。これらの技術は LIGO、GEO などの大型重力波望遠鏡にはすでに用いられており KAGRA においても必要な技術であり、その内本年度実行した研究は 1. モードクリーナーにおける熱レンズ効果の影響を検討するため、光学解析ソフトウェア Finesse を用いた熱レンズの影響の検討、2. インプットオプティクスにおける散乱光のシミュレーションとダンピングを行うため、Lighttools による光学シミュレーション、3. インプットモードクリーナーにおける Gouy 位相のシミュレーションと測定を行うため、Optickle による光学シミュレーションである。

項目 1 に関しては、多層膜ミラーの吸収係数を 1 ppm と仮定して、温度上昇を計算し、その温度上昇による熱膨張や反射光の位相変化の影響をシミュレーション (図 1) に組み入れて、IMC 出射光における各横モードの割合 (モード結合係数) について考察を行った。結果として、TEM<sub>00</sub> モードの結合係数は、熱レンズ効果がない場合 94.44 % で、レーザー光の光強度が 200 W であっても 94.39 % であり、大きな減少は見られなかった (表 1)。今後 MCo 透過時の波面歪みについての考察が必要ではあるが、熱レンズ効果が TEM<sub>00</sub> モードの顕著な減少を引き起こすことはないと言える。

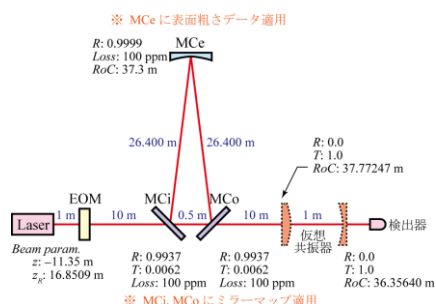


表 1 TEM<sub>00</sub> モードに対するモード結合係数 (ミラー吸収係数 : 1 ppm)

レーザーパワー [W]	0	100	180	200	1000
結合係数 [%]	94.435	94.401	94.390	94.387	93.928

図 1 シミュレーションにおける光学系の構成

項目2に関しては、IMMTにおける光線追跡を行い、鏡の表面および裏面において多重反射された光の影響を調べた。この結果を用いてIMMTのウェッジ角度の最適値を算出した。これにより、鏡の裏面からの光路を追跡することが出来るようになり、光強度安定化等のほかの用途に用いられる光路を決定することが可能となった。このウェッジの決定により、オプティカルレバーおよびバツフルの設計が今後可能になると考えられる。さらに光学ダンパとして使用を検討しているSiCにおける反射率を国立天文台において測定した。

項目3に関しては、OptickleによるシミュレーションによりIMCのシミュレーションを行い、これまでに我々が行ってきたGouy位相の測定のための数値計算との整合を確認した。これまでの数値計算とOptickleによるシミュレーション時の光検出器の位置の差異によりGouy位相の特性に差が発生したが、Gouy位相を測定できる光学系を設計することができた。図2にOptickl上で構築した光学系の構成、図3にWFS信号のシミュレーション結果を示す。この結果より、Gouy0,90[deg]が最も信号を分離し易いことがわかった。このことは、Gouy±45[deg]にQPDを設置すればよいことを示唆しており、ビームプロファイリングの結果、Gouy±45[deg]の位置が $z = 300 \pm 35\text{mm}$ であると算出された(図4)。

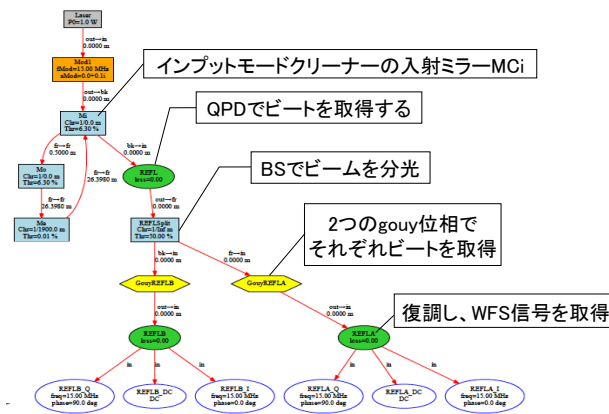


図2 Optickl上で構築した光学系

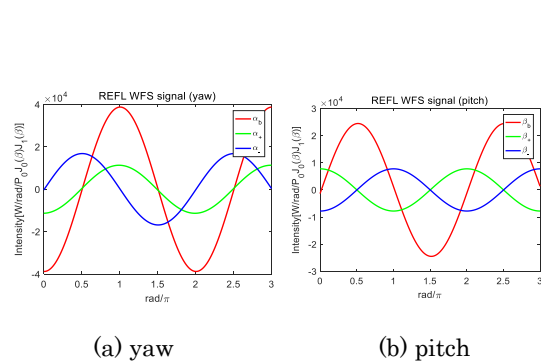


図3 WFS信号のシミュレーション結果

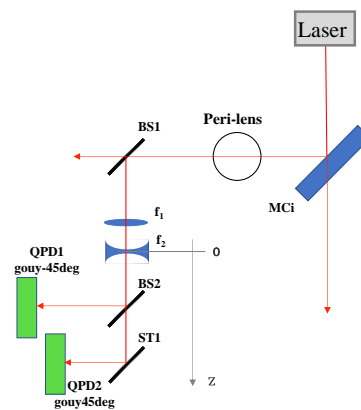


図4 WFSのための光学系