

## 2019 (令和元) 年度 共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：bKAGRA のモードクリーナーにおける高光強度化の影響の検討と  
技術開発Ⅲ

英文：Technical development for effects on high optical power for  
bKAGRA mode cleaner III

研究代表者	新潟大学工学部	大河正志
参加研究者	新潟工業短期大学	佐藤孝
	新潟大学工学部	鈴木孝昌
	防衛大学校電気情報学群通信工学科	上原知幸
	新潟大学大学院自然科学研究科	菅井一生
	新潟大学大学院自然科学研究科	富士川雄太

### 研究成果概要

重力波検出器の感度向上に、レーザー光源の高出力化は有効な手段の1つであるが、高出力化された際には、光共振器であるインプットモードクリーナー (IMC) 内のパワーも極めて高くなる。しかも、入出射ミラー (MCi, MCo) 上でのビーム半径が約 2.4 mm と小さいことから、ミラー上でのパワー密度も極めて高く、ミラーのわずかな吸収でも発熱に伴う熱レンズ効果が生じる可能性がある。そこで、熱レンズ効果の影響について、TEM<sub>00</sub> モードの結合係数を評価指標とし、Finesse を用いてシミュレーションを行った。レーザーと MCi の距離を 11 m とし、MCi と MCo の間隔は 0.5 m で、MCi-MCe 間および MCo-MCe 間の距離をともに 26.4 m とした。MCe のミラーの曲率半径、反射率、透過率はそれぞれ 37.3 m, 0.9999, 0 で、その損失を 100 ppm と仮定した。なお、MCe においては、熱レンズ効果を考慮しなかったが、表面粗さについてはミラーマップを適用することで考慮した。MCi と MCo は平面ミラーで、両ミラーともに反射率 0.9937, 透過率 0.0062 とし、その損失を 100 ppm と仮定した。熱レンズ効果は MCi と MCo の両ミラーで考慮し、解析的に求めた温度分布を基にミラーマップを作成し、適用した。

ミラーの多層反射膜における熱吸収係数を 1 ppm とし、レーザーパワーを 50 W~1 kW の範囲で変えて、シミュレーションを行ったところ、レーザーパワーが上がるにつれて、結合係数 (IMC における TEM<sub>00</sub> の入出力パワー比) が低下した。ただ、200 W までは大幅な減少は見られず、200 W における結合係数は 0.932 であった。しかし、レーザーパワー 400 W においては結合係数が 0.9, 1 kW においては 0.7 と大きな減少が見られた。ところで、吸収係数 1 ppm, レーザーパワー 1 kW の条件は、シミュレー

シオン上は吸収係数 2.5 ppm, レーザーパワー400 W の条件と等価であるため, レーザーパワーが 400 W であっても, 吸収係数が 1 ppm より大きくなると, 急激に結合係数が低下し, 熱レンズ効果を見逃すことができなくなる。そのため, 光源の高出力化の際には, 熱レンズ効果の補償についても十分な検討が必要であると言える。

さらに問題となるのは, 迷光や散乱光である。メインビームとのカップリングにより, 大きな雑音源となることから, それらの低減対策が不可欠である。そこで, ビームダンプをはじめ光吸収材料の光減衰特性を評価するため, マイケルソン干渉計を利用した計測システムを構築して, 計測性能の評価を行った。まず, 本手法は原理的には干渉計の動作点に依存しないが, この動作点の無依存性を確認するため, 動作点をロックすることなく, 100 秒間の計測を行った。ところで, 本システムでは, 試料を正弦振動させて, 位相変調を与えるが, その時の変調度の値を用いて, 戻り光の振幅反射率を算出する。図 1 (a)は動作点変動の一例で, 変調度の設定目標値を 3.1 とした。図 1 (b)の青線は変調度を 3.1 として算出した結果であるが, 図(a)の動作点変動に対し上下反転した変化が見られた。そこで, 振幅反射率を算出するときに, 変調度の値を 3.1 付近で変えてみたところ, 図(b)の緑線 (変調度: 3.0) のように時間変化が見られなくなる値があることが分かった。なお, 図(b)の縦軸の  $V_{f,2f}$  は振幅反射率ではないが, この値に適切な係数を掛けることにより振幅反射率が得られる。以上の結果より, 本手法の動作点無依存性を確認することはできたが, 計測時に変調度を正確に設定し, 算出の段階でも正しい値を使用しないと重大な誤差を生むことが明らかとなった。次に, これまで試料にはミラーを使用し, ND フィルタにより光を減衰させて, 動作の検証を行ってきたが, 減衰材試料への適用を念頭に置き, 平面基板に貼り付けたビニールテープを試料として, 本手法の動作確認を行った。試料の反射率が不明なため, 直接レーザー光を照射して得られた, 垂直入射時のパワー反射率を基準値とし評価を行った。その結果, 本手法による算出値が基準値より 1 桁程度小さい値となった。この原因については, 現在調査中である。

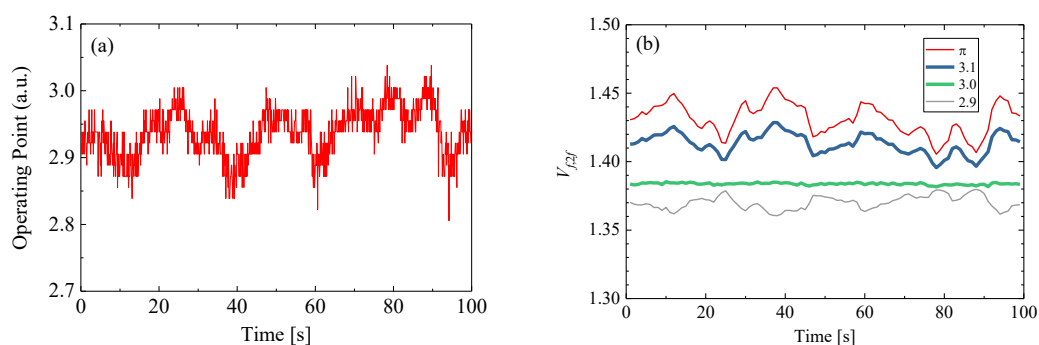


図 1 (a) 動作点の変動, (b) 振幅反射率を算出する際に変調度の値を変えた結果