

令和 4 年度 (2022) 共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：熱雑音を用いた新たな重力波望遠鏡の較正手段の開発 英文：Development of a new calibration method with thermal noise for a gravitational wave detector
研究代表者	陳 たん
参加研究者	澤田 崇広 山本 尚弘
研究成果概要	<p>重力波望遠鏡の較正手段として現在主に用いられているものは、レーザー輻射圧を利用した Photon calibrator (Pcal)(文献[1])である。Pcal では、望遠鏡のエンド鏡に補助レーザーを照射して、その反射光のパワーを測定することで、Pcal で入力した参照信号を精度良く測定でき、望遠鏡の高精度な較正が可能である。一方で、多手段による較正を行うことで精度と信頼性を高めることも大事である。そこで本研究では Pcal とは全く別な手法として、熱雑音を用いた較正手法(Tcal)を開発している。特に主鏡を懸架しているサファイヤファイバーの violin mode 熱雑音ピークがすでに KAGRA で見えており、このピーク信号を参照信号として利用した較正手法を研究開発している。</p> <p>2022 年度では、下記の 2 点で進展した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Tcal の理論的な裏打ちに必要な violin mode 熱雑音を含む suspension 熱雑音の計算を実データを使用して計算できるようになった。 ● Tcal の比較対象となる Pcal の観測運転 O4a 前の最終調整 <p>[Suspension 熱雑音の計算]</p> <p>本研究では violin mode 熱雑音を対象としていたために、suspension 熱雑音の計算を実際の測定パラメータ(機械的 Q 値など)を使用して行う必要がある。特に観測運転 O3 と O4 での KAGRA の主鏡は、目標温度 20K よりも高温である/高温の可能性があるので、Tcal の検証においては任意温度での suspension 熱雑音を計算する必要がある。そこで、2021 年度から行っている温度依存した suspension 熱雑音の計算を完成させた。</p> <p>まず、文献[2]や公開データで取得したデータを元に、懸架系で使われている素材のパラメータの温度依存性を含めたパラメータセットを作成した(図 1)。次に、20K での熱雑音を、本研究で用いる手法と先行研究を含めて複数手段で計算し、互いに整合していることを確認した(図 2)。最後に、温度依存したパラメータを取り込み、温度依存した suspension 熱雑音を計算した。(図 3)</p>

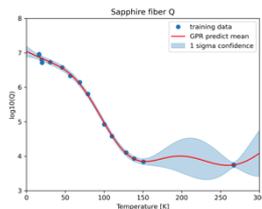


図 1: 温度依存した測定データを使用して補間されたサファイヤファイバーQ 値温度依存性。

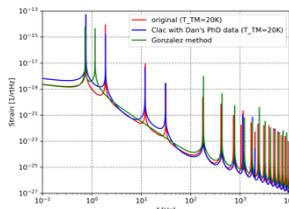


図 2: KAGRA の suspension 熱雑音 @20K を 3 つの手法で計算比較した結果。赤線は PPP 手法(文献[3])を用いた先行研究の計算、緑線は Gonzalez 手法(文献[4])を用いて単純化したモデルによる計算、青線は PPP 手法と実測したパラメータ値を用いた本研究の計算値。

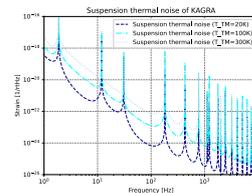


図 3: 温度依存した KAGRA の suspension 熱雑音。本研究で鍵となる violin mode 熱雑音も 180Hz, 430Hz に確認できる。

[Pcal の最終調整]

Tcal の比較対象となる Pcal の最終調整は、KAGRA の観測運転 O4 データで Tcal の検証を行うことに必須である。2022 年は特に次の点において進展した。

- 赤外線カメラを用いて Pcal レーザーの生成や安定化などを行なっている Tx module システムを調査し、問題を発掘、改善した。例えばダンプするべきレーザー光を発見し、対策することでノイズや安定性を改善、他には Tx module 内の高温部分がないかを確認した。
- Pcal では、レーザーパワーの絶対値測定が、望遠鏡較正の精度に直接関わってくる。この測定を行うための積分球型パワーセンサーの定期的な較正を実施し、精度を維持・監視している。現状、O3 較正データと比較し、安定性・不定性が改善されている。これは特に、積分球へ入射するレーザー光の角度依存性への対応や、作業手順の厳密化が改善の主要因であった。
- 電子回路の更新や制御の自動化も行い、安定性、信頼性が高くなった。現在、2 台の Pcal は共に、Pcal レーザーパワー変動ノイズを要求値以下に抑えつつ、長期(少なくとも 3 週間)にわたり安定に稼働するようになった。

今度は O4 のデータを使用して、Pcal と Tcal の比較を行い、Tcal の性能を確かめる。特に絶対的な較正值としての使用可能性を探る。

参考文献

- [1] S.Karki et.al., Review of Scientific Instruments 87, 114503, 2016
- [2] 陳たん, 東京大学博士論文, 2015
- [3] Francesco Piergiovanni, Michele Punturo, Paola Puppo, Virgo document, VIR-0015E-09, (2009)
- [4] Gabriela I. Gonzalez and Peter R. Saulson, J.Acoust. Soc. Am. 96 (1), July, 1994