

令和 7 年度 (2025) 共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：重力波望遠鏡較正装置の高精度化 英文：Uncertainty improvement of gravitational wave telescope calibration system
研究代表者	国立天文台 陳たん
参加研究者	東京大学宇宙線研究所 澤田崇広 東京大学宇宙線研究所 山本尚弘
研究成果概要	1. 研究の実施状況 本研究では、KAGRA における Photon calibration system (Pcal) の較正精度および信頼性向上を目的として、積分球型レーザーパワーメータの較正手法の改善および運用の高度化に取り組んだ。 2025 年度においては、特に以下の点について成果を得た。 (1) O4c 観測期間における Pcal 較正の遂行と運用の高度化 O4c 観測期間中において、KAGRA Pcal の較正作業を継続的に実施し、観測運転に必要な較正精度/信頼性を維持した。 また、申請時に計画していた積分球較正スキームの運用改善に関して、富山大学における較正システムと KAGRA 内部の自動化をさらに発展させ、以下を実現した： • 較正結果に基づくパラメータの KAGRA オンラインシステムへの半自動反映 • 測定データおよび較正結果の記録・管理のシステム化 • ただし最終的な反映には人的確認を残し、信頼性を確保 これにより、較正作業の効率化と再現性の向上を両立し、申請書で掲げた「積分球較正スキームの円滑な運用」に対して進展が得られた。 (2) KAGRA Pcal の不確かさ評価に関する論文出版 O4a 観測期間における KAGRA Pcal の不確かさ評価に関する研究成果をまとめた論文が出版された。O3GK 観測時には数%の Pcal uncertainty であったが、O4 では 0.63% にまで低減できたことを示すことができた。 また本論文では、主要な不確かさ要因を明確に整理した。これにより今後の積分球較正を含む較正手法の改善の方針が示された。これは、本研究の目的である「Pcal の絶対較正の信頼性向上」に対する重要な成果である。 (3) 積分球較正システムにおける不安定性の原因解明と改善 富山大学における WSK(Working Standard of KAGRA)の較正システムにおいて、レー

ザーパワー安定化を司っている OFS 制御ループの不安定性が観測されていた。本研究ではその原因を調査し、この制御ループに用いていたフォトディテクタ (OFS PD) の出力が不安定であることが主因であることを突き止めた。この問題に対し、OFS PD を市販のフォトディテクタ (ThorLabs PDA100A) へ置き換えることで、制御ループの安定性が大幅に改善することを確認した(図 1)。

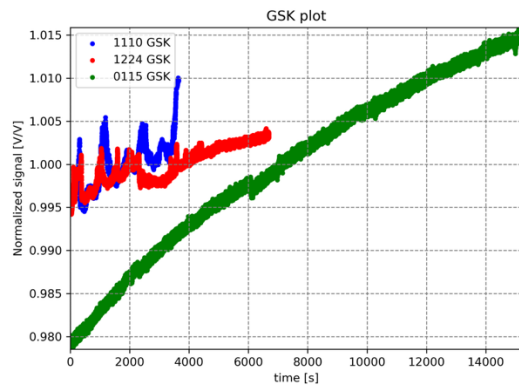


図 1: WSK 較正に用いられているレーザーの安定性確認。OFS 制御が閉じているときの、ループ外 PD(GSK)の出力。赤線、青線は共に改善前で、スパイクのようにノイズが見られる。改善後(緑線)では、ノイズはほとんど見られなくなった。ゆっくりとした動きはあるが、測定の問題にはならない。

Back scattering の問題に対しても取り組み、その影響がこの富山大学の測定系では測定できないほどに少ないことがわかった。

これらの成果は、積分球較正システムの信頼性向上に直接寄与するものであり、申請書で挙げた較正システム改善の一環として重要な進展である。

2. まとめと今後の展望

本年度は、積分球較正スキームの運用高度化、Pcal 不確かさ評価の論文化、および富山大学での WSK 較正システムの安定性改善を達成した。これにより、KAGRA における Pcal 較正の信頼性は着実に向上している。

今後は、これらの成果をもとに、LVK 全体での較正スキームのさらなる高度化および系統誤差のさらなる評価・低減に取り組む予定である。