

令和 6 年度（2024） 共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：大型低温重力波望遠鏡（KAGRA）の低温懸架系の研究） 英文：Research on cryogenic payload for KAGRA
研究代表者	山元 一広
参加研究者	森脇 喜紀、千葉 天祐人、佐藤 慎、佐藤 有、小山 智、 小森 健太郎、木村 誠宏、牛場 崇文、都丸 隆行、鈴木 敏一
研究成果概要	重力波は一般相対論から予言される光速度で伝搬する時空のさざ波である。重力波の直接検出は物理学、天文学において大きな意味を持つ。2016年2月のアメリカのLIGOの初の直接検出の発表で検出器の開発は新たなphaseに入った；次の目標は国際的な重力波観測ネットワークの構築である。このネットワークは重力波自体の研究（重力波の偏極は一般相対論通りなのか、それとも他の重力理論に従うのか）、到来方向の精度の高い決定（天文学にとって必須）に貢献する。日本に建設された<u>KAGRA干渉計は国際ネットワークの一員としての寄与が期待されている。</u> <u>KAGRAが従来のkmスケールの干渉計と大きく異なる特徴の一つとして熱雑音を低減するためにサファイア鏡とその懸架系を20K程度まで冷却することがあげられる。</u>歴史的な経緯から現在の稼働もしくは建設中の干渉計は第2世代と呼ばれているがさらに感度を10倍向上させた第3世代検出器計画の議論がヨーロッパで進められており（Einstein Telescope）、ここでも低温技術が採用される。つまり低温鏡はさらなる感度向上でも重要な位置を占める。本研究の目的は<u>KAGRAの低温懸架系の技術を進展</u>させることである。 今年度はサファイア鏡のパラメトリック不安定性の研究を行った。これはレーザー光の輻射圧が鏡の弾性振動モードを励起し、この弾性振動が光を励起し、そしてこの光が鏡をさらに励起するという現象である。これにより干渉計の鏡が大きく振動し、干渉計の安定な運転そして観測が困難となる。<u>現在 LIGO ではこの不安定性が深刻な問題となり、その対処に多大な労力を割いている。</u> KAGRA の場合のパラメトリック不安定性は申請者がすでに 15 年程前に検討している（Journal of Physics: Conference Series 122(2008)012015）。その結果によると KAGRA

は低温技術を導入したことにより、不安定な鏡の弾性振動モードの数はLIGOの1/10程度である。

しかしながら数が少ないとはいえ不安定モードは存在するのでその対策が必要である。また最近 10 年の間にサファイア鏡や干渉計の設計仕様に変更がなされた。これを受けて富山大学で KAGRA に設置されたサファイア鏡の形状を考慮して有限要素法によるシミュレーションを行い、不安定モード (85KHz) を同定した。さらにこのモードが存在を実験的に検証するために KAGRA の鏡と同形状のサファイアバルクの共鳴振動の形状を測定するマイケルソン干渉計を富山大に構築した。検証結果はサファイアの結晶軸の向きに共鳴モードは強く依存すること、富山大学のサファイアバルクの結晶軸はシミュレーションで想定した向きとほぼ直角にずれていることが判明した。

今年度は上記の検証を踏まえて、結晶の向きを富山大学のバルクと同じにしてシミュレーションを再度行った。その結果およそ 10 の不安定モードが存在することがわかった。これは不安定性自体が結晶軸に強く依存していることを示唆している。来年度は富山大学のバルクを用いたこのシミュレーションの検証および KAGRA に設置したサファイア鏡の結晶軸方向の同定法の開発を行う。

学会発表など

1. 佐藤 有, ”大型低温重力波望遠 KAGRA におけるパラメトリック不安定性の再評価”, 富山大学修士論文 (2025).
2. Y. Sato, K. Yamamoto, Y. Michimura, K. Komori, ”Re-evaluation of Parametric Instability in KAGRA”, The 34th KAGRA Face-to-Face meeting, Institute for Cosmic Ray Research, The University of Tokyo, 16-18 Dec 2024
3. 橋本 隼, ”大型低温重力波望遠鏡 KAGRA におけるパラメトリック不安定性”, 日本物理学会北陸支部定例学術講演会、金沢大学角間キャンパス、2024 年 11 月 30 日

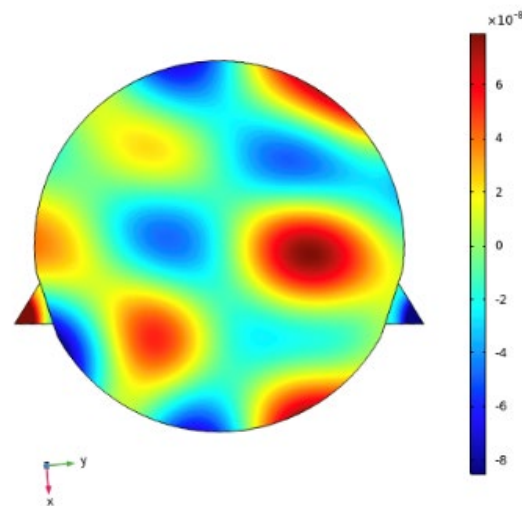


図 1: 富山大学のサファイアバルクと結晶軸の向きをそろえた不安定性シミュレーションの結果。約 10 ある不安定モードのうち一番不安定なモードであり、周波数は 65.119kHz である。