

令和 5 年度 (2023) 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、山本 将之、千葉 天祐人、佐藤 慎、佐藤 有、 木村 誠宏、牛場 崇文、都丸 隆行、鈴木 敏一
研究成果概要	<p>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></p> <p><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。</p> <p>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>LIGOではすでにこの不安定を観測しており</u> (Physical Review Letters 114 (2015) 161102)、<u>抑制のためにダンパーを入れて対処している。</u>これによって <u>LIGO は重力波の初検出を成し遂げることができた。</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)。KAGRA は<u>低温技術を導入したことにより、不安定</u></p>

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。

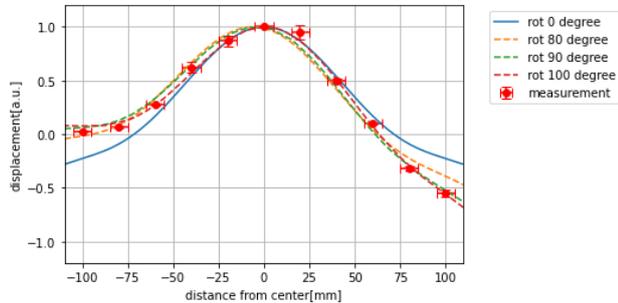


図1: 非軸対称モード形状測定の一例[1]。横軸が鏡面の中心からの距離。縦軸が鏡面の変位。赤マーカーが実測。実線が有限要素法の結果である。点線は有限要素法のモデルの結晶軸を回転させたものであり、90度回転させると一致することがわかる。

有限要素法においてサファイアの結晶軸の向きを約90度変えたところ、測定結果と一致した(図1)。これは形状が結晶軸の方向に依存することを示しており、軸の向きを考慮したパラメトリック不安定性の再評価が必要である。

また不安定性の評価のためにKAGRAの現実の鏡の共鳴周波数測定を昨年度から引き続き行った。今年度は冷却した(80K程度)のサファイア鏡の共鳴周波数を測定した。Q値も測定した。これらの解析(測定されたQからの熱雑音の見積もりも含む)を進めている。

学会発表など

1. 山本将之、”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の評価の検証”, 富山大学修士論文(2024).
2. M. Yamamoto, Y. Sato, K. Yamamoto, Y. Michimura, K. Komori, ”Identification of Parametric Instability modes in KAGRA test masses”, The 32nd KAGRA Face-to-Face meeting, Hongo campus, The University of Tokyo, 14-15 Dec 2023
3. 佐藤 有, KAGRA Collaboration, ”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、福井大学工学部、2023年12月2日
4. M. Yamamoto, Y. Sato, K. Yamamoto, Y. Michimura, K. Komori, ”Identification of Parametric Instability modes in KAGRA test masses”, LIGO-Virgo-KAGRA collaboration meeting, Toyama international conference center, 11-14 Sep 2023