

## 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：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、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</p>

リック不安定性は申請者がすでに 10 年程前に検討している (Journal of Physics: Conference Series 122 (2008) 012015)。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構築した。装置の性能の検証のために単純な形をした軸対称モード (24kHz) の測定を行い、有限要素法によるモード形状と一致することと測定の再現性を確認した (図 1)。

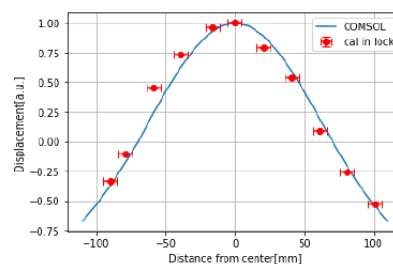


図 1: 形状が単純な 24kHz モードの形状の測定結果。横軸が鏡面の中心からの距離。縦軸が鏡面の変位。青線がシミュレーションの結果。赤がマイケルソン干渉計による測定値。再現性も確認された。

今年度は上記装置を利用して (形状が複雑な) 不安定モード (85kHz) の検証を行った。85kHz 付近に共鳴らしきピークを発見することはできたが、信号が小さくモード形状に至っていない。より励起共鳴振動を大きくするための改良を進めている。また不安定性の評価のためには KAGRA の現実の鏡の共鳴周波数を測定する必要がある。東大宇宙線研の田中健太氏の協力のもとに KAGRA にインストールされた鏡の共鳴周波数の測定方法を確立した。2023 年の夏から KAGRA の全ての鏡が冷却される。冷却後に共鳴周波数を測定する予定である。

#### 学会発表など

1. 山本将之, 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、富山大学五福キャンパス、2022 年 11 月 26 日
2. K. Yamamoto, "Coating mechanical loss measurement at Toyama", Virgo coating workshop, online, 8 April 2022
3. K. Yamamoto, "Payload design at KAGRA and its impact to vacuum and cryogenics" The Gravitational Wave Detector Vacuum workshop, online, 29 Sep 2022
4. Rishabh Bajpai, Takayuki Tomaru, Toshikazu Suzuki, Kazuhiro Yamamoto, Takafumi Ushiba, and Tohru Honda, "Estimation of Newtonian noise from the KAGRA cooling system", PHYSICAL REVIEW D 107 042001 (2023)