

2019 (令和元) 年度 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、吉岡 聡也、杉本 良介、伊藤 光希、開発 輝一、黒宮 勇樹、森有紀乃、鈴木 敏一、牛場 崇文、山田 智宏、木村 誠宏、

研究成果概要

重力波は一般相対論から予言される光速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。日本ではKAGRA干涉計の建設が進められており国際ネットワークへの参加が急務となっている。

KAGRAが従来のkmスケールの干涉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。歴史的な経緯から現在の稼働もしくは建設中の干涉計は第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KAGRAの低温懸架系の技術を進展させることである。

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。これにより干涉計の鏡が大きく振動し、干涉計の安定な運転そして観測が困難となる。LIGOではすでにこの不安定を観測しており (Physical Review Letters 114 (2015) 161102)、抑制のためにダンパーを入れて対処している。これによってLIGOは重力波の初検出を成し遂げることができた。KAGRAの場合のパラメト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: Conferenc

e 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。

2019(令和元)年度の主なトピックは、KAGRAのパラメトリック不安定性をシミュレーションで検討したことである。KAGRAに既に設置されたサファイア鏡と現在の干渉計の仕様をもとに、鏡のどの弾性振動モードが不安定であるか、有限要素法により同定することを試みた。計算機上での手順を確立させるために、計算の前提を簡単なものとした(サファイアは結晶であるため弾性係数は向きによって異なるがそれを無視した)。得られた計算結果によると不安定なモードの数は1から4個程度である。常温のLIGOやVirgoと比較して1桁程度不安定モードの数が少ない。また一番不安定なモード弾性モードは図に示した38.911kHzのものである。

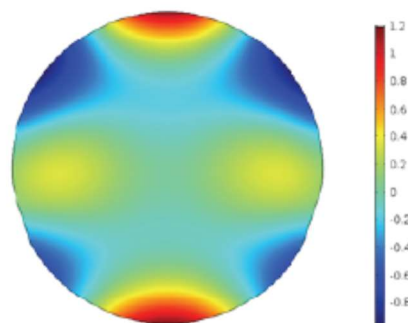


図 1：一番不安定な鏡の弾性モード(38.911kHz)

以上の結果をもとに弾性係数の非等方性を考慮した計算を開始した。円柱形状のサファイアバルクの共鳴周波数の測定結果(沼田、修士論文(2000年)修士論文)と有限要素法シミュレーションによる計算結果が一致することを確認した。

来年度(2020)はまずサファイアの非等方性を考慮したKAGRAの鏡のシミュレーションを行う。そしてKAGRAのサファイア鏡の弾性モードを測定し、シミュレーションを検証する。2021年度は具体的な不安定性抑制方法を検討し、選択した方法の検証実験を行う。2022年度はKAGRAに実際に導入するための設計と検証を行う。2023年度にKAGRAにインストールする予定である。

学会発表など

1. 開発輝一, 森脇喜紀, 山元一広, 道村唯太, ”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”, 2019年度日本物理学会北陸支部定例学術講演会、2019年12月7日、富山県立大学