

平成 30 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、鈴木 敏一、牛場 崇文、山田 智宏、
福永 真士、木村 誠宏、都丸 隆行

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。これの直接検出は物理学、天文学において大きな意味を持つ。第 1 世代大型干渉計型重力波検出器による観測はすでに終了し、感度を 10 倍向上させた第 2 世代干渉計の建設や改良、そして観測が進められている[アメリカ(Advanced LIGO)、イタリア (Advanced Virgo)、ドイツ (GEO-HF)]。日本の第 2 世代干渉計、KAGRA 干渉計の建設はほぼ終了し、2019 年度内に観測を開始する。

2016 年 2 月に Advanced LIGO は連星ブラックホール合体からの重力波の検出を公表した(Physical Review Letters 116(2016)061102)。これは LIGO を代表する 3 人の科学者に 2017 年のノーベル物理学賞をもたらした。ただし Advanced LIGO 単体では重力波到来方向の決定精度は良くない。この為できるだけ多くの他の第 2 世代検出器による観測の開始と国際的な観測網の確立が望まれている。さらに観測数を飛躍的に増加させるために第 2 世代よりさらに感度を 10 倍向上させた第 3 世代検出器計画の議論が始まっている。

KAGRA が他の第 1, 2 世代干渉計と大きく異なる特徴の一つとして干渉計の原理的な熱雑音を低減するために鏡とその懸架系を 20K 程度まで冷却することがあげられる。ヨーロッパの第 3 世代計画 (Einstein Telescope) では、低温技術が採用される。つまり低温鏡は単に第 2 世代だけでなくその後の感度向上 (第 3 世代) でも重要な位置を占める。本研究の目的は KAGRA の低温懸架系の性能評価を行い、低温懸架系の技術を確立させることである。

結果：サファイア鏡と耳の接合

KAGRA では円柱形のサファイア鏡と耳と呼ばれるサファイアからできたスリットのある三角柱を接合し、それを利用して 4 本のサファイアファイバで懸架する。この耳は正確な位置に接合されなければならない。昨年度までに接合のための治具の開発を行い、鏡と同サイズ、同形状のサファイアバルクにサファイアの耳をつけるなどの練習を繰り返し、問題がないことを確認した。これらの作業は富山大学理学部のクリーンルームで行った。

2018 年の最大のハイライトは KAGRA の本番用の 4 個のサファイア鏡(図 1)全てに耳を接合したことである。接合作業は 1 週間程度、そのあと curing という接合反応を進めるための待ち時間が 1 ヶ月、そのあと接合の強度試験が 1,2 週間というサイクルを 4 回繰り返した。いくつかのトラブルがあったがそれらはすべて対応でき、ノウハウも蓄積できた。2018 年 10 月に最後の鏡が富山

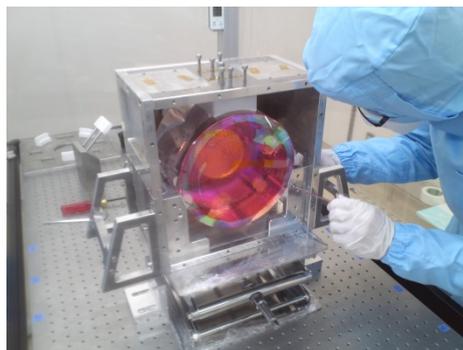


図 1：耳取り付け治具とサファイア鏡

大学のクリーンルームから搬出された。11 月には最後の鏡が KAGRA に設置された。これを執筆している 2019 年 5 月現在、3 個のサファイア鏡の冷却が完了し、残り 1 個の冷却が進められている (6 月初めに冷却完了予定)。観測への非常に重要なマイルストーンを達成しつつあり、それに貢献した。

成果発表(論文、国際発表)

(1) KAGRA Collaboration ; LIGO Sci Collaboration ; LIGO Sci Collaboration ; Virgo Collaboration, “*Prospects for observing and localizing gravitational-wave transients with Advanced LIGO, Advanced Virgo and KAGRA*” LIVING REVIEWS IN RELATIVITY 21 (2018) 3

(2) T. Akutsu, M. Ando, ..., A. Yamamoto, **K. Yamamoto**, K. Yamamoto, S. Yamamoto, T. Yamamoto, K. Yokogawa, J. Yokoyama, T. Yokozawa, T. H. Yoon, T. Yoshioka, H. Yuzurihara, S. Zeidler & Z.-H. Zhu, “*KAGRA: 2.5 generation interferometric gravitational wave detector*” Nature Astronomy 3(2019) 35-40

(3) 山元 一広、”大型低温重力波望遠鏡 (KAGRA) の低温懸架系の研究”, 平成 30 年度東京大学宇宙線研究所共同利用研究成果発表会、@東京大学柏キャンパス、柏市、千葉 (2018/12/22)

(4) Kazuhiro Yamamoto, “*Cooled sapphire mirrors in KAGRA*”, 7th March 2019、Toyama International Symposium、on "Physics at the Cosmic Frontier“, Gofuku campus, University of Toyama, Toyama, Japan

整理番号 F03