

## 平成 26 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：超低振動冷凍機の開発

英文：Development of Very Low Vibration Cryo-Cooler System

研究代表者 木村 誠宏（高エネルギー加速器研究機構・准教授）

参加研究者

高エネルギー加速器研究機構：

教授・鈴木 敏一，准教授・都丸 隆行，研究機関講師・久米 達哉，技師・小池 重明

東京大学・宇宙線研究所：

教授・黒田 和明，准教授・大橋 正健，助教・内山 隆，特任助教・山元 一広

技術職員・東谷 千比呂

東京大学大学院：

D3・榊原 裕介，D3・チン・タン

研究成果概要

### 1. 研究目的

大型低温重力波望遠鏡（KAGRA）は日本で開発した干渉計鏡の低温化技術と神岡鉱山内の安定した地盤を利用して検出感度向上を図っている。また、KAGRAと他の大型重力波観測装置（aLIGO（米国、2基）、aVIRGO（欧州、1基））は重力波初観測に向けた競争関係にあるのと同時に、KAGRAは重力波天文学にとって地球規模での観測網構築のための重要な観測拠点となっている。

2010年度、KAGRAは部分的ながら予算化され、その計画がスタートした。一方、サファイア単結晶製の低温鏡の冷却に必要な超低振動冷凍機についてはCLIOで開発された防振機構設計の知見があるものの、開発後の時間経過と企業の撤退等により防振機構に必要な冷凍機並びに付属部品等の製造技術が失われたのが現状である。

本研究の目的は、CLIOでの知見を基にKAGRA用超低振動冷凍機を新たに設計・製作し、低温鏡の冷却並びにKAGRAの感度を保証するために必要な振動性能を確保することにある。

### 2. 研究経過

2014年度は、主に防振ステージに使用する熱リンク用素材について第2総合研究棟101室の熱伝導測定装置を利用して選定を行った。これと並行して主鏡用超低振動冷凍機の設計手法を応用して、真空断熱設備用冷凍機ユニットの設計と製作を行った。

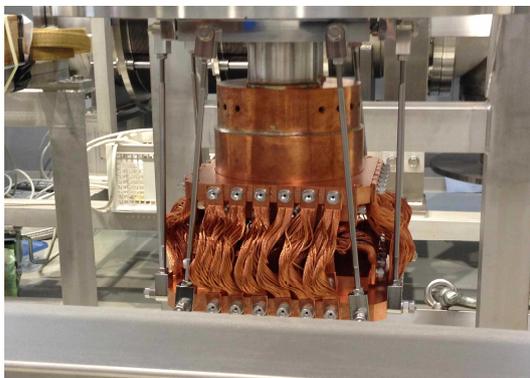


図 1 熱リンク機構

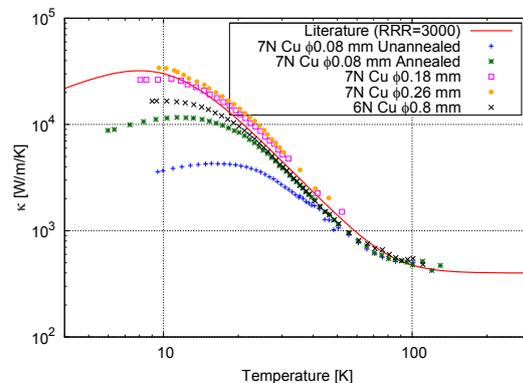


図 2 熱伝導測定結果

### 3. 成果

図1に断熱真空設備用冷凍機ユニット試作機の熱リンク機構を、図2に熱リンクに用いる超高純度銅の熱伝導の測定結果を示す。本研究により以下の知見と成果を得た。

- 7N (99.9999%) 高純度銅線の熱処理条件を検討し、熱処理により熱伝導が向上すること、また、熱処理温度 500°Cと 700°Cでは熱伝導特性に顕著な差が無いことを確認した。
- 7N (99.9999%) 高純度銅の熱伝導のサイズ効果を確認し、冷凍機ユニットに使用する熱リンクのサイズ ( $\phi 0.08$ ) では熱伝導度への影響が無いことを確認した。
- 熱リンクでの高い振動吸収性 (低ばね定数) を実現するため、 $\phi 0.08$  素線を使用したロープ撚りが必要であることを確認した。

これらの知見を基に真空断熱設備用冷凍機ユニット機ユニットの構造を再検討し、必要数の製作を発注し、2015年3月に全数が飛騨市神岡町のKAGRAトンネルに納入された。

### 4. 成果発表等

共同研究で得られた成果に関連する発表を以下に記す。

#### 【査読論文】1件

(1) Yusuke Sakakibara, Tomotada Akutsu, Dan Chen, Aleksandr Khalaidovski, Nobuhiro Kimura, Shigeaki Koike, Tatsuya Kume, Kazuaki Kuroda, Toshikazu Suzuki, Chihiro Tokoku, and Kazuhiro Yamamoto 「Progress on the Cryogenic System for the KAGRA Cryogenic Interferometric Gravitational Wave Telescope」 『Classical and Quantum Gravity』, IOP Publishing, **31** 224003, 2014

#### 【国際会議】4件

(1) Yusuke SAKAKIBARA, Nobuhiro KIMURA, Masaki TANAKA, Tatsuya KUME, Shigeaki KOIKE, Tomotada AKUTSU, Takayuki TOMARU, Toshikazu SUZUKI, Kazuhiro YAMAMOTO, Kazuaki KURODA 「Cryogenic system for KAGRA - Status and results of performance test of a cryogenic duct shield -」 『Gravitational Wave Advanced Detector Workshop』、Takayama, Japan、(May 2014)

(2) Yusuke SAKAKIBARA, Nobuhiro KIMURA, Masaki TANAKA, Tatsuya KUME, Shigeaki KOIKE, Tomotada AKUTSU, Takayuki TOMARU, Toshikazu SUZUKI, Kazuhiro YAMAMOTO, Kazuaki KURODA 「Performance test of KAGRA cryogenic duct shield」 『The 6th Korea-Japan Workshop on KAGRA』、NAOJ, Japan、(June 2014)

(3) Y. Sakakibara, N. Kimura, T. Suzuki, K. Yamamoto, S. Koike, R. Takahashi, C. Tokoku, Y. Saito, T. Akutsu, K. Kuroda 「Calculation and measurement of thermal radiation through a pipe-shaped shield」 『ICEC 25 - ICMC 2014』、Thu-Af-Orals Session 14, Enschede, Netherlands、(July 2014)

(4) Yusuke SAKAKIBARA 「Status and results of performance test of cryogenic duct shields」 『KAGRA face to face meeting』、Toyama University、(August 2014)

#### 【国内会議】

(1) 榑原裕介, 田中雅樹, 木村誠宏, 阿久津智忠, 都丸隆行, 鈴木敏一, 山元一広, 黒田和明 「KAGRA用パイプ型熱輻射シールドの性能評価」 『日本物理学会2014年秋季大会』、講演番号: 20aSB-7、佐賀大学、2014年9月

整理番号 G10