

平成25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・佐々木 憲一，研究機関講師・久米 達哉，助教・菅野 未知央，助教・岡村 崇弘，技師・小池 重明，技師・大畠 洋克

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：

D2・榊原 裕介，D2・チン・タン

研究成果概要

1. 研究目的

東京大学・宇宙線研究所の大型低温重力波望遠鏡（KAGRA）は、観測装置の神岡鉱山内の安定した地盤への設置と干渉計の主鏡であるサファイア鏡を20 Kまで冷却する事で検出感度向上を図っている。一方、サファイア鏡の冷却に必須である超低振動冷凍機は、プロトタイプであるCLIOで開発された防振技術の知見が有るものの、その後の時間経過により必要な素材の製造技術が企業の撤退等により失われた。そこで新たにKAGRA向け超低振動冷凍機を設計し、KAGRAで要求される性能を確保する必要が生じた。さらに超低振動冷凍機そのものはILCの最終収束用高磁場超伝導磁石やミュオン実験(g-2)等の超精密磁場発生用超伝導磁石の冷却装置として計画されるなど、その応用が広がっている。

本共同研究は、KAGRA低温設備に組み込む超低振動冷凍機の性能評価を行うと共に超低振動冷凍技術の確立を目的とした。

2. 研究経過

2013年度は、KAGRA向けダクトシールド用単段冷凍機の防振R&D並びに2012年度に製作したダクトシールド実証機を使用して冷凍機の振動に起因する散乱光雑音の評価等を行った。

図1に断熱真空設備を用いたダクトシールド内表面の振動測定の様子を示す。



(a)



(b)

図1 試作断熱真空設備を用いた低温ダクトシールド内表面の振動測定；
(a):測定全景，(b): ダクトシールド内表面上の加速度センサー

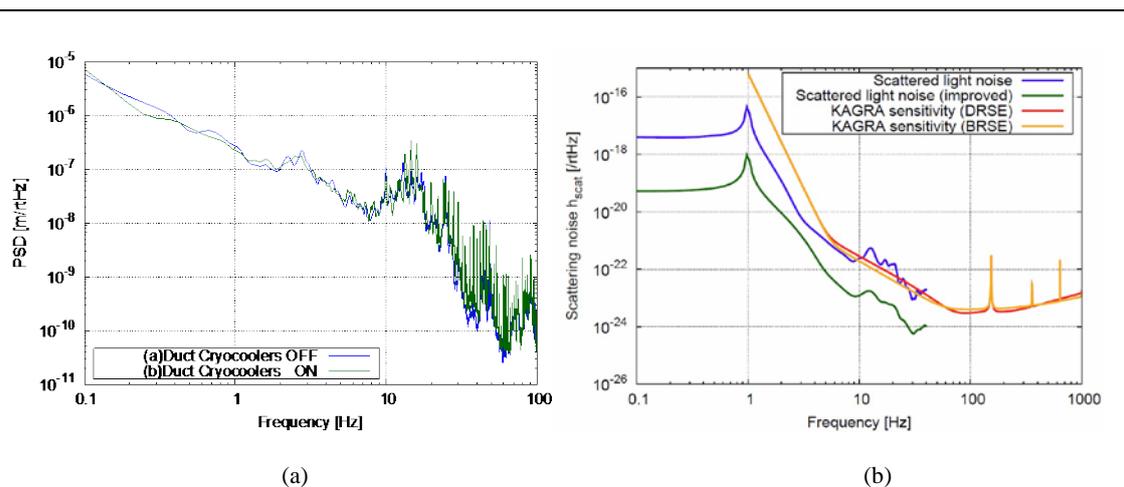


図 2 ダクトシールド内表面上の振動と評価
 (a) 低温ダクトシールド内表面の PSD,
 (b) KAGRA の感度への影響評価

3. 成果

図 2 にダクトシールド冷却用冷凍機を動作させた時の(a) ダクトシールド内表面の振動スペクトル密度 (PSD) と(b) KAGRA 感度の評価結果を示す. 図 2 の(a)の青の実線は冷凍機が OFF の時, 緑の実線は冷凍機が ON の時の振動スペクトルである. 測定では, 冷凍機の ON/OFF に拘わらず冷凍機の動作周波数に起因する振動周波数 1.7 Hz のピークは検出されなかった. 一方, 10 Hz から 100 Hz までの高周波側では冷凍機の動作起因の振動成分が検出された.

次に本ダクトシールド内表面の振動と試験場所の地面振動の比を取って地面振動からダクトシールド振動への伝達関数を求めた. その伝達関数に神岡地面振動を代入して KAGRA 設置場所でのダクトシールド内表面の振動を仮定して散乱光の KAGRA の感度への影響を推定した結果が図 2 (b)である. この図の青の実線がダクトシールド実証機を KAGRA へ組み込んだ際の感度であり, KAGRA の要求感度とほぼ等価であることが判る. このことは, ダクトシールドの振動性能が KAGRA の要求感度に対して余裕が無く, 散乱光雑音の観点から実機では更なる対策が必要であることを示している.

この知見を基に実機ダクトシールド並びに防振機構付き単段式冷凍機ユニットの構造を再度検討し, 次年度に予定されている実機製作の際の基礎データとした.

4. 成果発表等

共同研究で得られた成果について以下の成果発表を行った.

【国際会議】

(1) Yusuke SAKAKIBARA, Nobuhiro KIMURA, Toshikazu SUZUKI, Kazuhiro YAMAMOTO, Shigeaki KOIKE, Ryutarō TAKAHASHI, Chihiro TOKOKU, Yoshio SAITO, Tomotada AKUTSU, Kazuaki KURODA
 「Heat and vibration measurement of KAGRA duct shields」, 『ELiTES Second general meeting』, Tokyo, Japan, (December 2013)

【国内会議】

(1) 榊原裕介, 木村誠宏, 鈴木敏一, 山元一広, 小池重明, 高橋竜太郎, 東谷千比呂, 齊藤芳男, 阿久津智忠, 黒田和明 「パイプ型シールドを用いた輻射シールド開口からの熱輻射低減の研究」, 『2013 年度秋季低温工学・超電導学会』, 講演番号: 3D-a03、ウィンクあいち、2013年12月

(2) 榊原裕介, 木村誠宏, 鈴木敏一, 山元一広, 小池重明, 高橋竜太郎, 東谷千比呂, 齊藤芳男, 阿久津智忠, 黒田和明 「KAGRAダクトシールドの入熱・振動測定」, 『日本物理学会第69回年次大会』, 講演番号: 27aTL-13、東海大学、2014年3月