

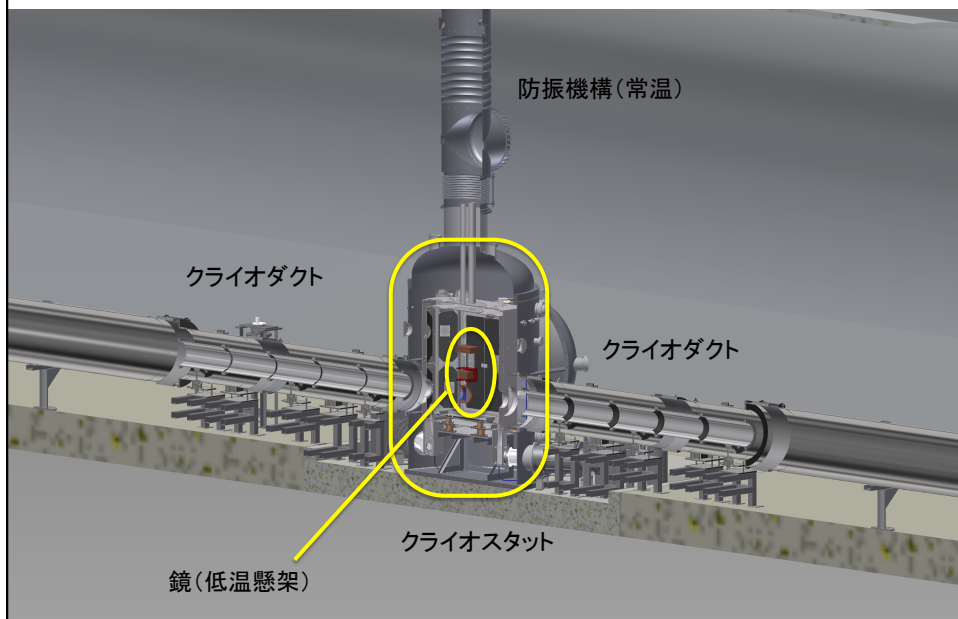


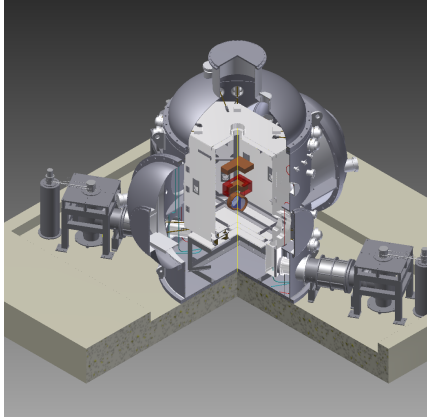
KAGRA低温装置の設計・製作・性能評価

東京大学宇宙線研究所
東谷千比呂

木村誠宏, 鈴木敏一, 久米達哉, 小池重明(KEK),
榊原裕介, 山元一広, 陳たん, 内山隆, 大橋正健(東大宇宙線研)

KAGRA低温装置





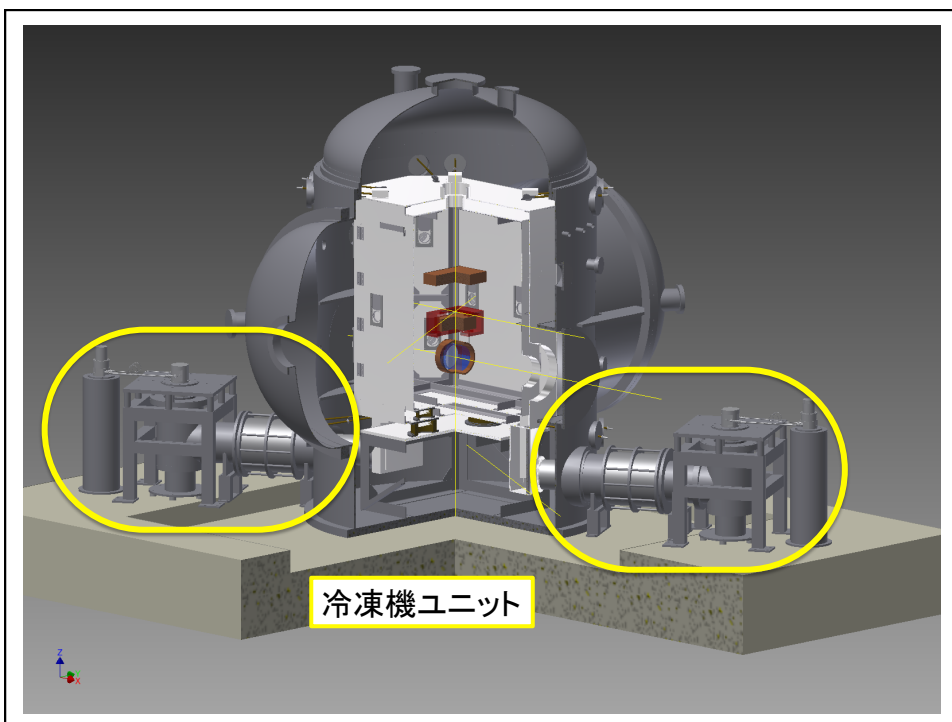
開発背景

- ・干渉計の要は単結晶サファイア鏡
(直径220mm・厚さ150mm・質量23kg)
- ・検出器にとって原理的な雑音を低減するため鏡は20K程度まで冷却。
- ・鏡内部の光吸収による鏡の温度上昇を抑制。
- ・鏡は全部で4個(クライオスタット4台)。
- ・1台のクライオスタットにつき4台の冷凍機を使用。(冷凍機は計16台)。
- ・干渉計の感度を上げるため、冷凍機を含めた低温装置の振動を神岡地下の地面振動以下に低減させる。

大きな熱質量を極めて静かな環境で冷やす

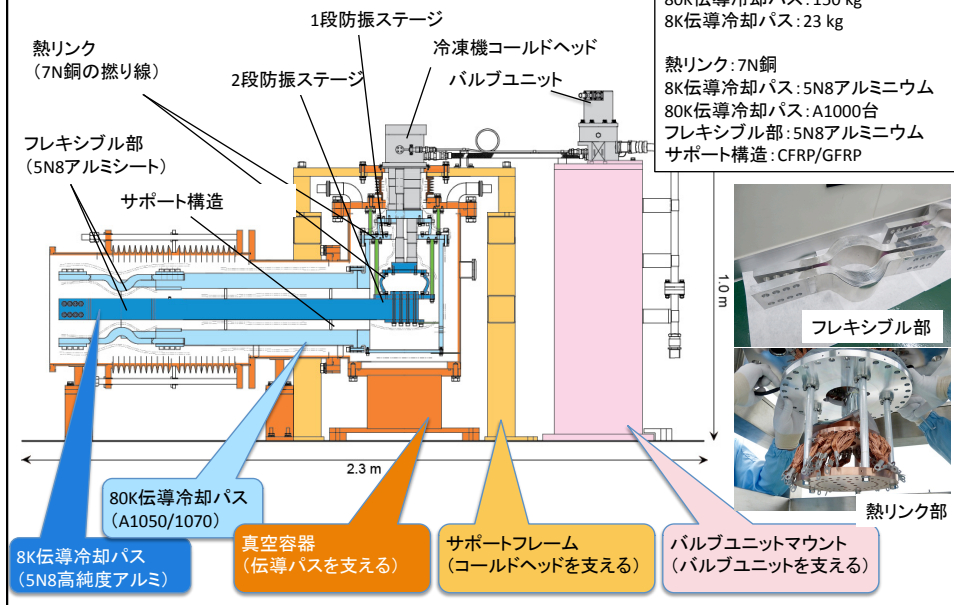
発表内容

- ・クライオスタット4台・冷凍機ユニット16台の冷却性能と振動性能。



冷凍機ユニット：パルスチューブ冷凍機＋防振機構

ジェック東理社で製作



冷凍機について

パルスチューブ (PT) 冷凍機

- ・駆動部がない (= 振動が小さい)
- ・コールドヘッドの振動が一番大きい
- ・取り付け方向依存性がある
- ・MIRI (JWST) などで採用

KAGRAではバルブユニットを分離したタイプを使用。



振動 >0.1mm

振動 ±10um@1段ステージ

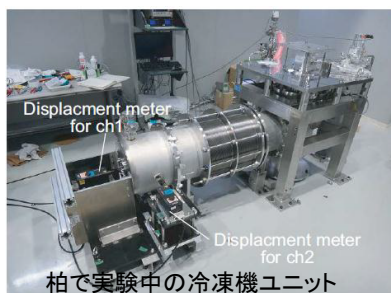
振動 ±15um@2段ステージ

SHI RP-082BS
4K PTC 2段式
0.9W@4K
35W@45K

- ### ギフォードマクマホン (GM) 冷凍機
- ・駆動部とガス圧による機械振動がある
 - ・取り付け方向依存性がない
 - ・すばるのほとんどの冷却装置で採用



冷凍機ユニット仕様



冷凍能力

- ・8K伝導冷却パス端において 2.5W@9K
- ・80K伝導冷却パス端において 35W@70K

振動特性

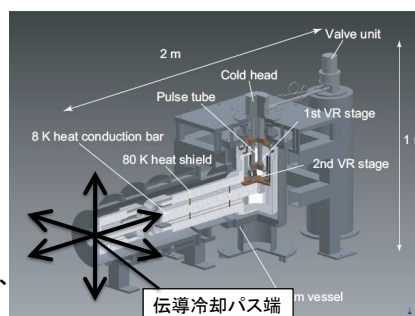
- ・8K伝導冷却パス端において最大±100nm以下
- ・80K伝導冷却パス端において最大±100nm以下

熱性能試験

- ・伝導冷却パス端に組み込んだヒータに熱負荷を与えて応答を見る

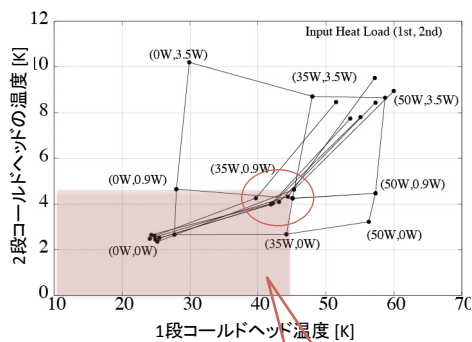
振動試験

- ・レーザ変位計を用いて、伝導冷却パス端部の3軸方向の振動を同時に測定
- ・冷凍機ユニットは床にアンカー固定
- ・レーザ変位計はユニットとは別に床に固定
- ・使用測定器:レーザ変位計(小野測器LV-9300)、加速度計(特許機器MS-102S)



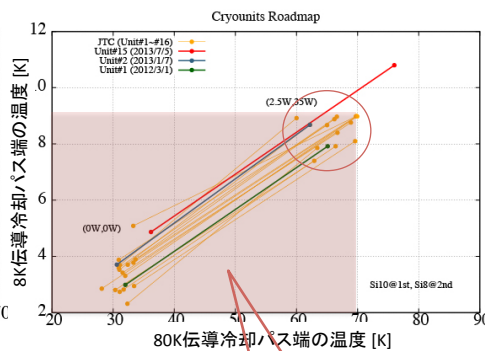
冷凍機単体・冷凍機ユニット 冷却試験結果

冷凍機単体冷凍能力曲線



仕様値
4.2K@0.9W
45K@35W

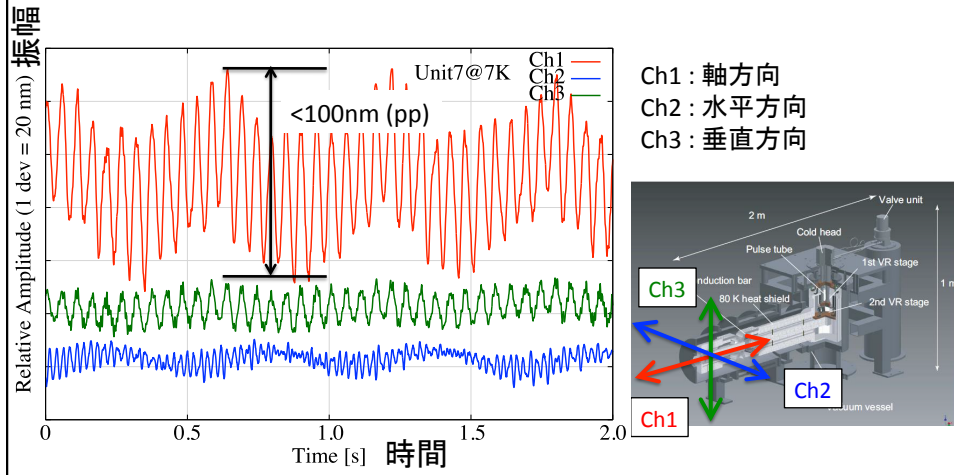
冷凍機ユニット冷凍能力曲線



仕様値
9K@2.5W
70K@35W

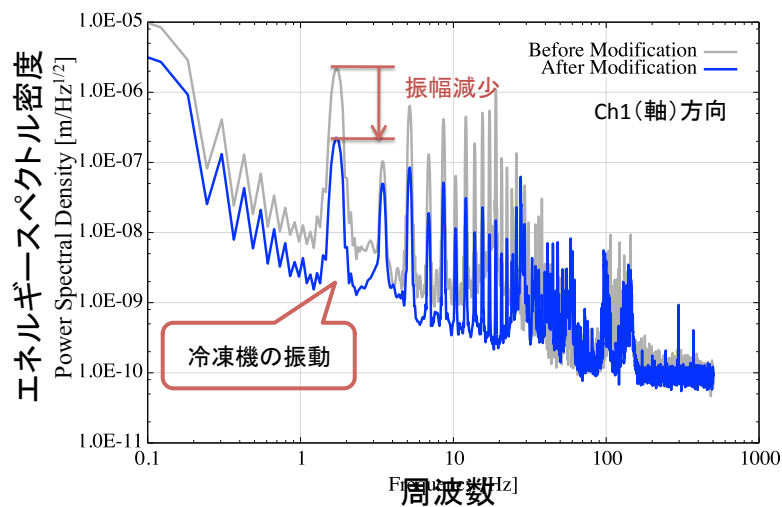
冷凍機ユニット振動試験(時系列データ)

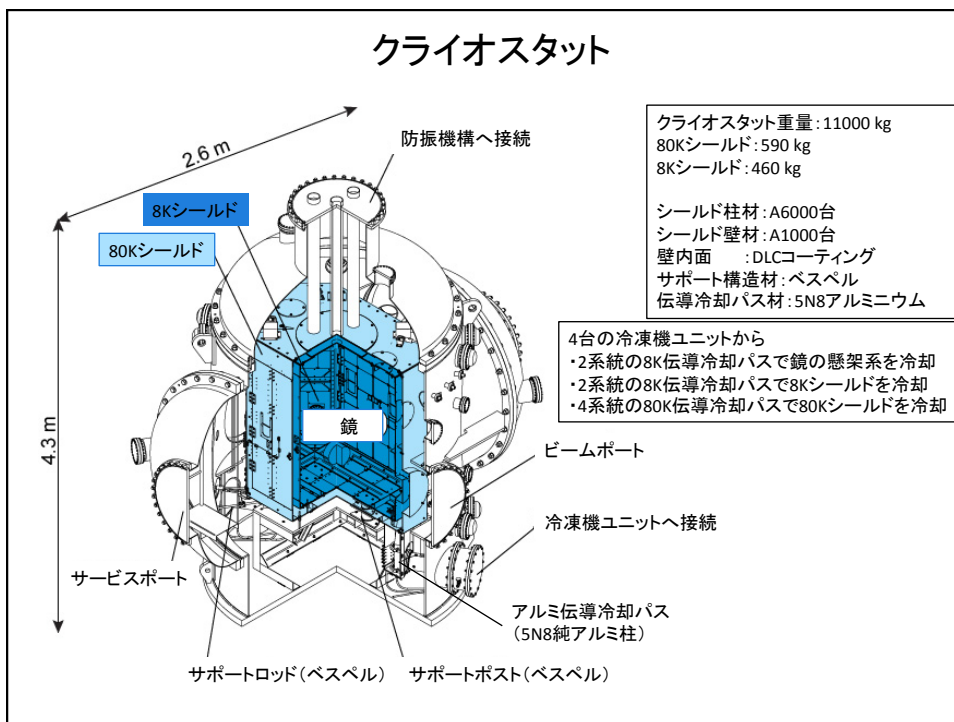
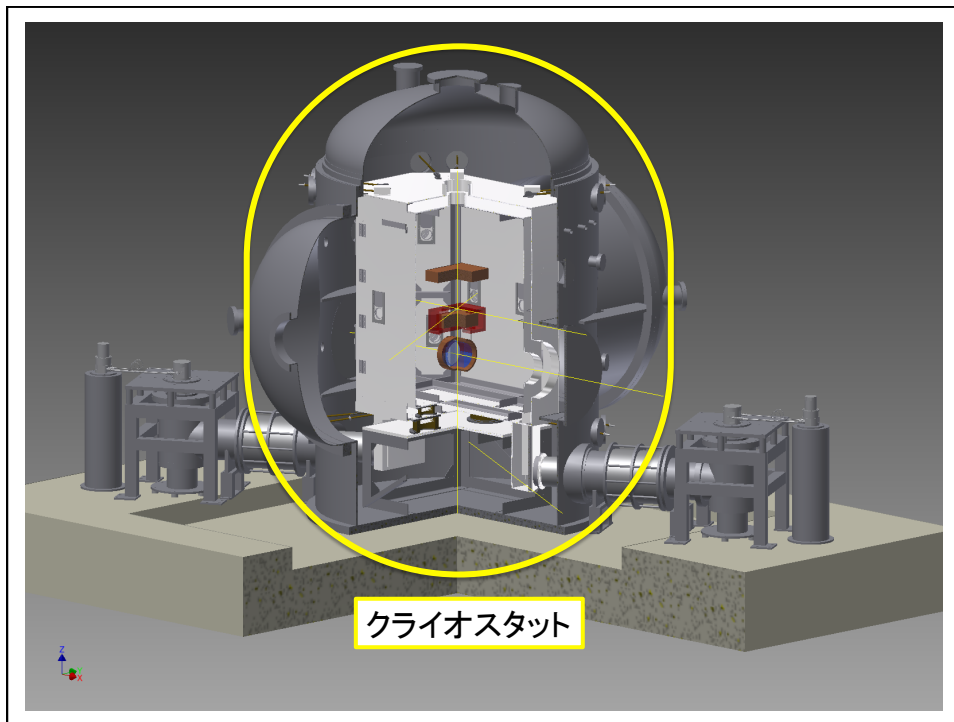
- 運転温度での振動測定(8K伝導冷却パス・80K伝導冷却パスそれぞれ測定)
- 冷凍機ヘッドの振動(約1.7Hz)が最大
- 変位は軸方向(Ch1)で<100nm (peak to peak)
- 振動性能が低温で仕様を満たすことを確認



冷凍機ユニット振動試験 (エネルギースペクトル密度)

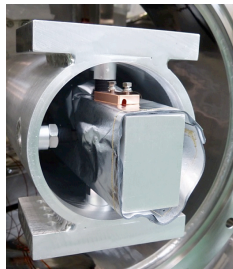
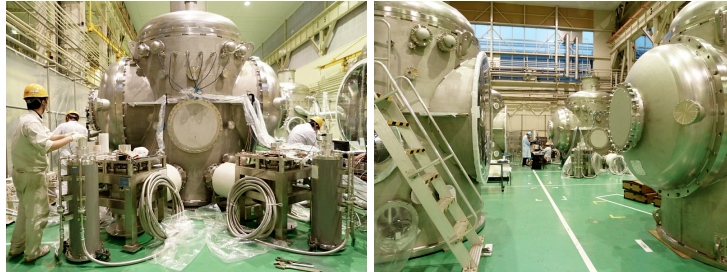
- 時系列データをフーリエ変換
- 振動の周波数を見ることで、振動の原因を特定する



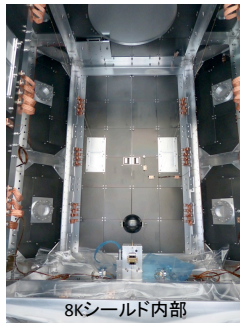


クライオスタット冷却試験

4台とも東芝が製作。東芝京浜事業所(横浜)で冷却試験(2013年2-3月)。



伝導冷却バス(クライオスタット側)



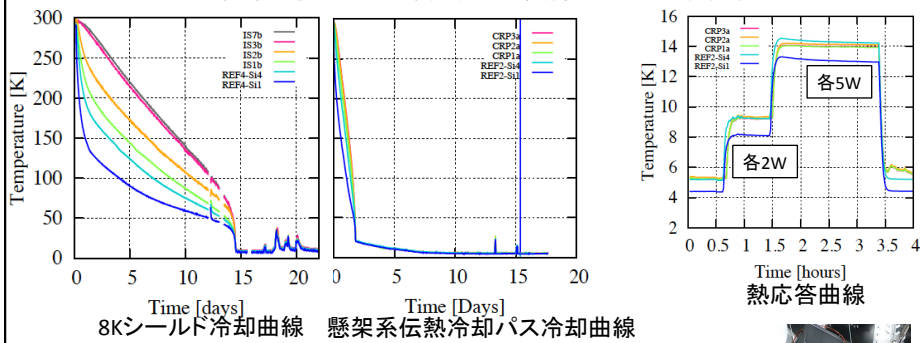
8Kシールド内部



中では最大4人が作業可能

クライオスタット冷却試験

各部の最低到達温度測定と熱負荷による熱応答試験



- ・鏡へつながる懸架系伝熱冷却バス端部の到達温度=4~6K。
- ・そこから鏡へは、振動を伝えないよう細く柔らかい熱リンクを数段階で接続し、鏡の20K到達を目指す。
(熱リンクと懸架系間の接触熱抵抗の軽減、などが今後の開発課題)

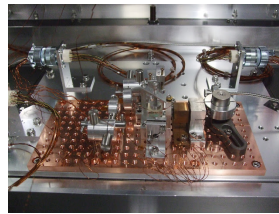
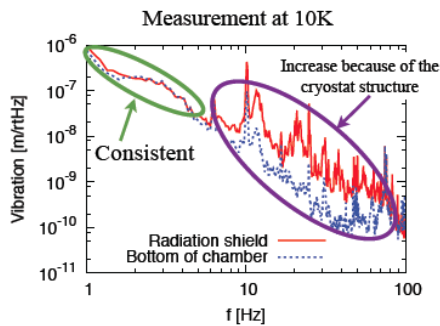
※クライオスタットでの懸架系冷却試験、低温振動試験などの詳細は物理学会、低温工学学会などにて継続的に発表中。



クライオスタット振動試験

シールドの振動を動作温度で測定

- ・シールドの振動が熱リンクや散乱光を介して検出器の雑音となる。このために実際に8Kシールドが冷えた状態で、冷凍機動作時のシールドの振動を測定。
(ただし東芝工場は神岡坑内より地面振動が約100倍大きい)
- ・床面の振動に対するクライオスタット内部の振動の比で評価(解析中)。
- ・この他、クライオスタット(常温時/低温時)の打撃検査なども実施。



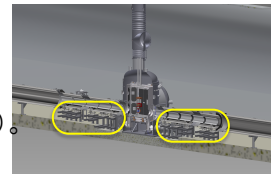
※クライオスタットでの懸架系冷却試験、低温振動試験などの詳細は物理学会、低温工学学会などにて継続的に発表中。

まとめ

KAGRAの低温システムについて、冷凍機単体性能試験、冷凍機ユニット試験、クライオスタット試験を実施し、冷却性能・振動性能を確認した。試験は2013年3月で終了。

今後の低温担当の課題

- ・ 鏡懸架系の冷却機構の開発中。
- ・ クライオダクトの製作中(散乱光や300Kからの輻射軽減)。
9月から順次、冷却・防振・散乱光低減性能等を行う。



宣伝

東京大学柏キャンパスの一般公開(10月25-26日)にて、KAGRA低温実験室を公開します。
冷凍機ユニットや懸架系低温試験用クライオスタットなどがご覧になれます。ぜひご来場ください。
(実験室公開は両日とも午後のみ)



補足： 神岡の地面振動

