

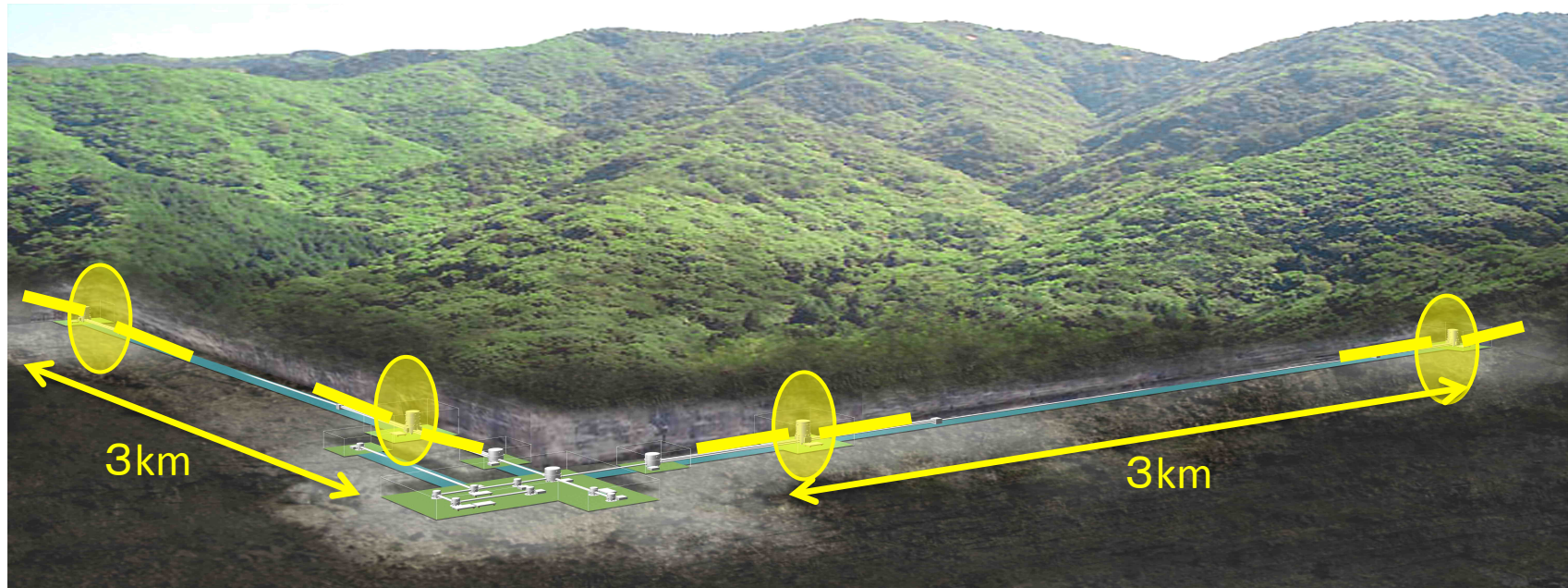


大型低温重力波望遠鏡低温設備の開発(6) KAGRA用クライオスタット冷却性能試験

東京大学宇宙線研究所
東谷千比呂

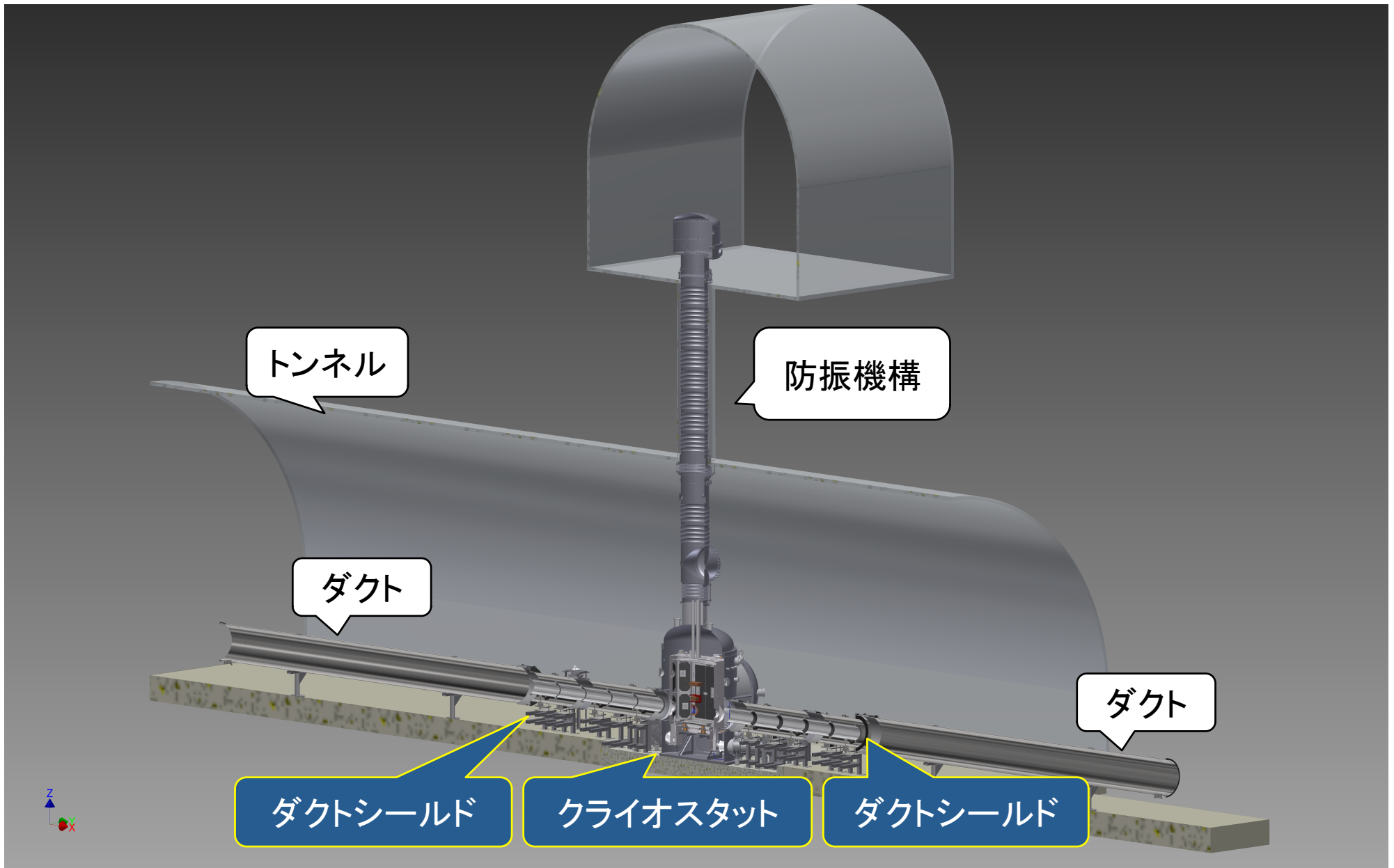
木村誠宏, 鈴木敏一, 久米達哉, 小池重明(KEK),
榊原裕介, 山元一広, 陳たん, 内山隆, 大橋正健(東大宇宙線研)

KAGRA: 大型低温重力波望遠鏡



- ・重力波の直接検出を目指す
- ・基線長3kmのマイケルソン干渉計
- ・干渉計の要となる鏡を冷やす(~ 20 K)
- ・池ノ山(飛騨市神岡)の地下200mに建設中
(トンネル工事は2014年春に完工予定)

KAGRA低温設備



KAGRA低温設備

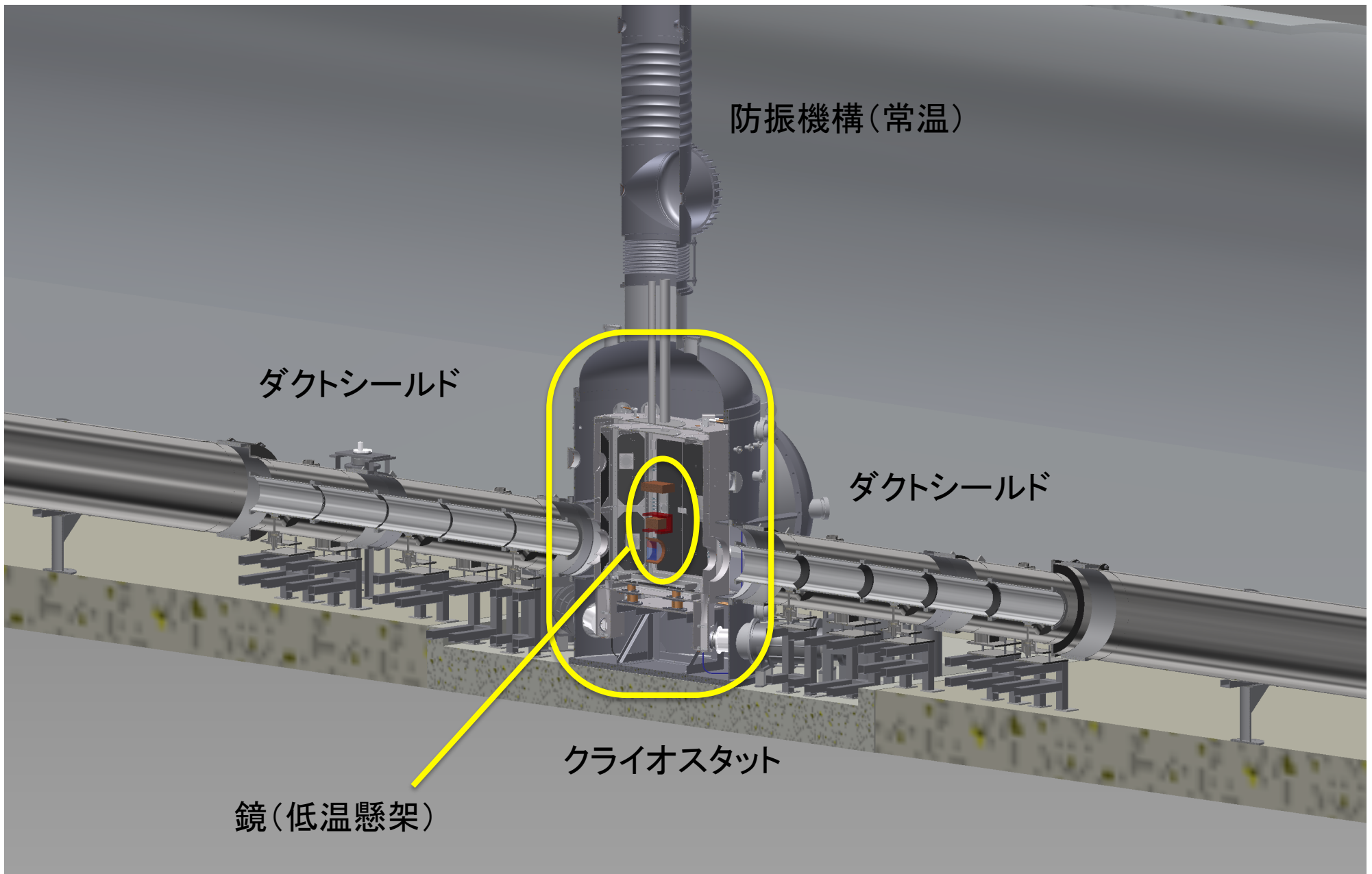
防振機構(常温)

ダクトシールド

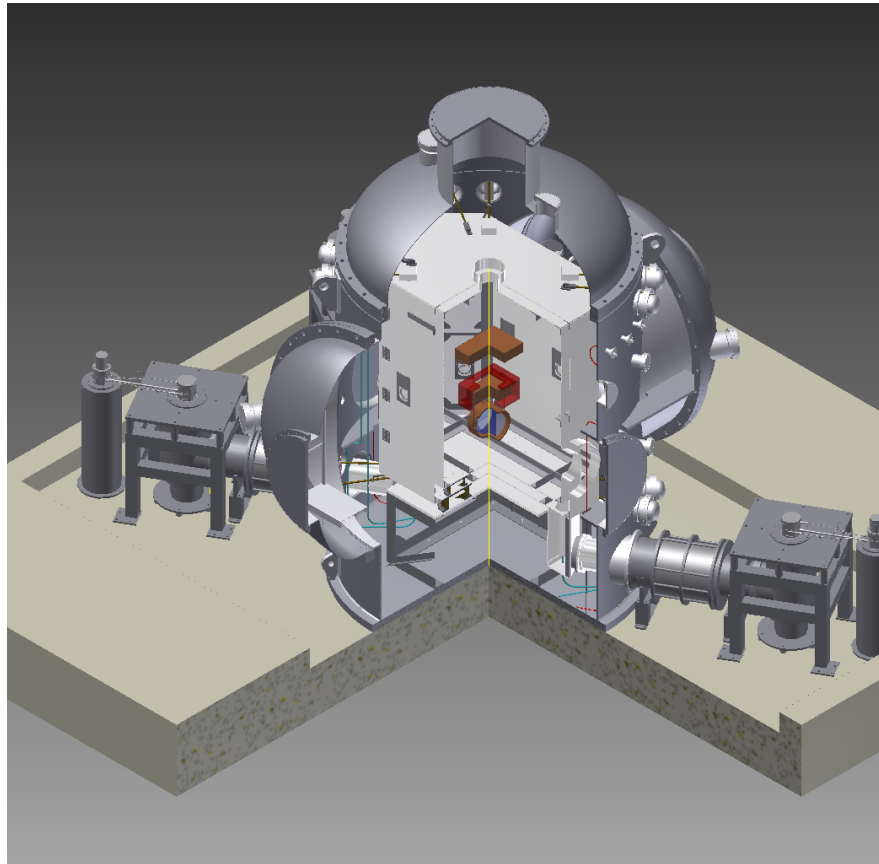
ダクトシールド

クライオスタット

鏡(低温懸架)



KAGRA低温設備



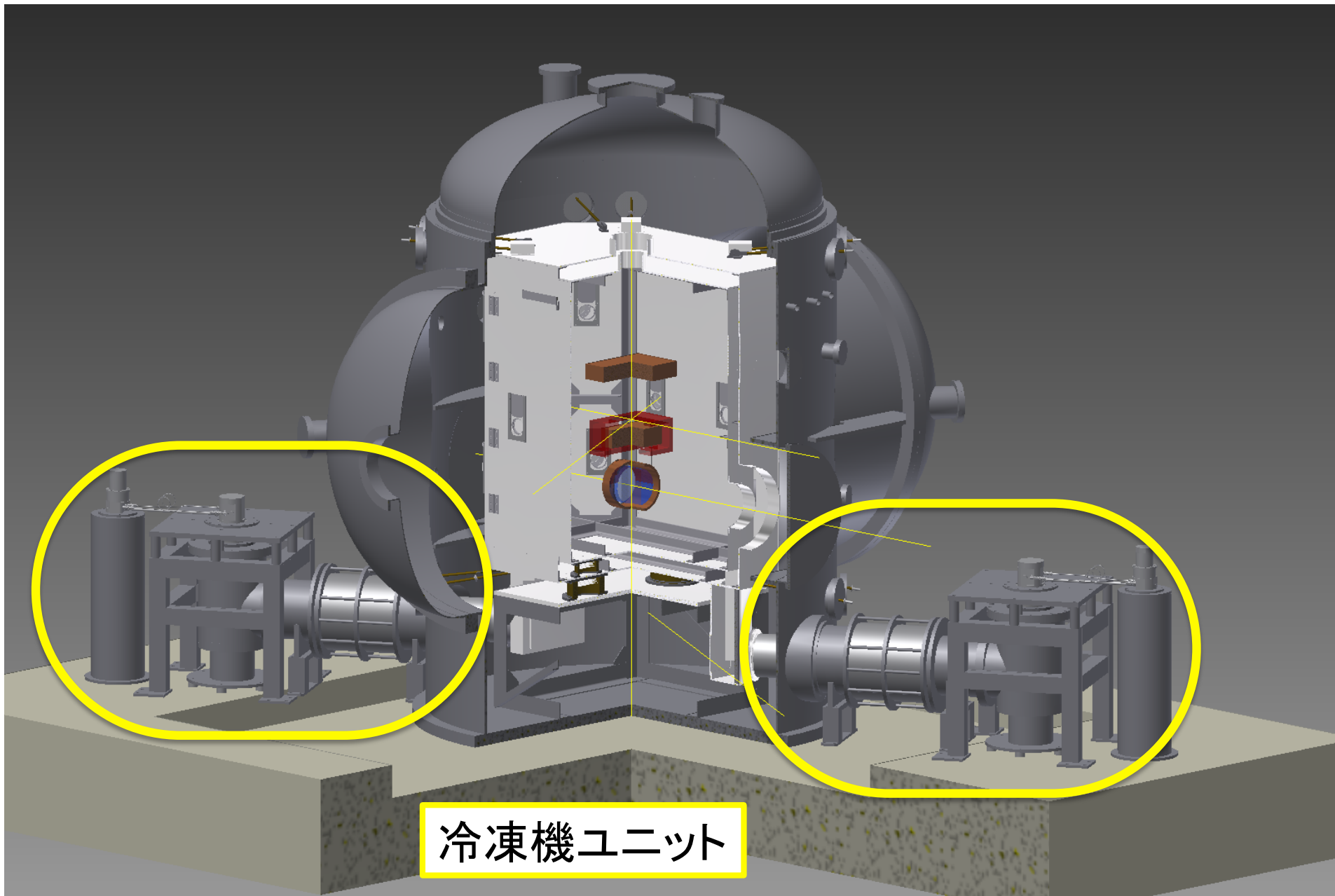
大きな熱質量を
極めて静かな環境で冷やす

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。
- ・輻射シールドの輻射による初期冷却促進及び
干渉計の散乱光で生じる熱を吸収。
- ・鏡は全部で4個→クライオスタット4台を製作
- ・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

本講演の発表内容

- ・クライオスタット4台の冷却性能試験について。



冷凍機ユニット

冷凍機ユニットの性能試験経過については
低温工学・超伝導学会2012秋@盛岡で発表



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

SHI RP-082BS
4K PTC
バルブ分離型
0.9W@4K
35W@45K

冷却重量：

80K伝導冷却パス：150 kg

8K伝導冷却パス：23 kg

(冷凍機ユニット全体重量：1200 kg)

素材：

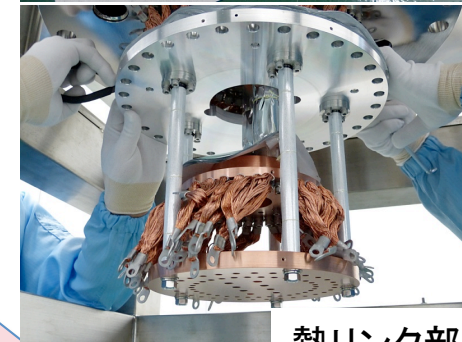
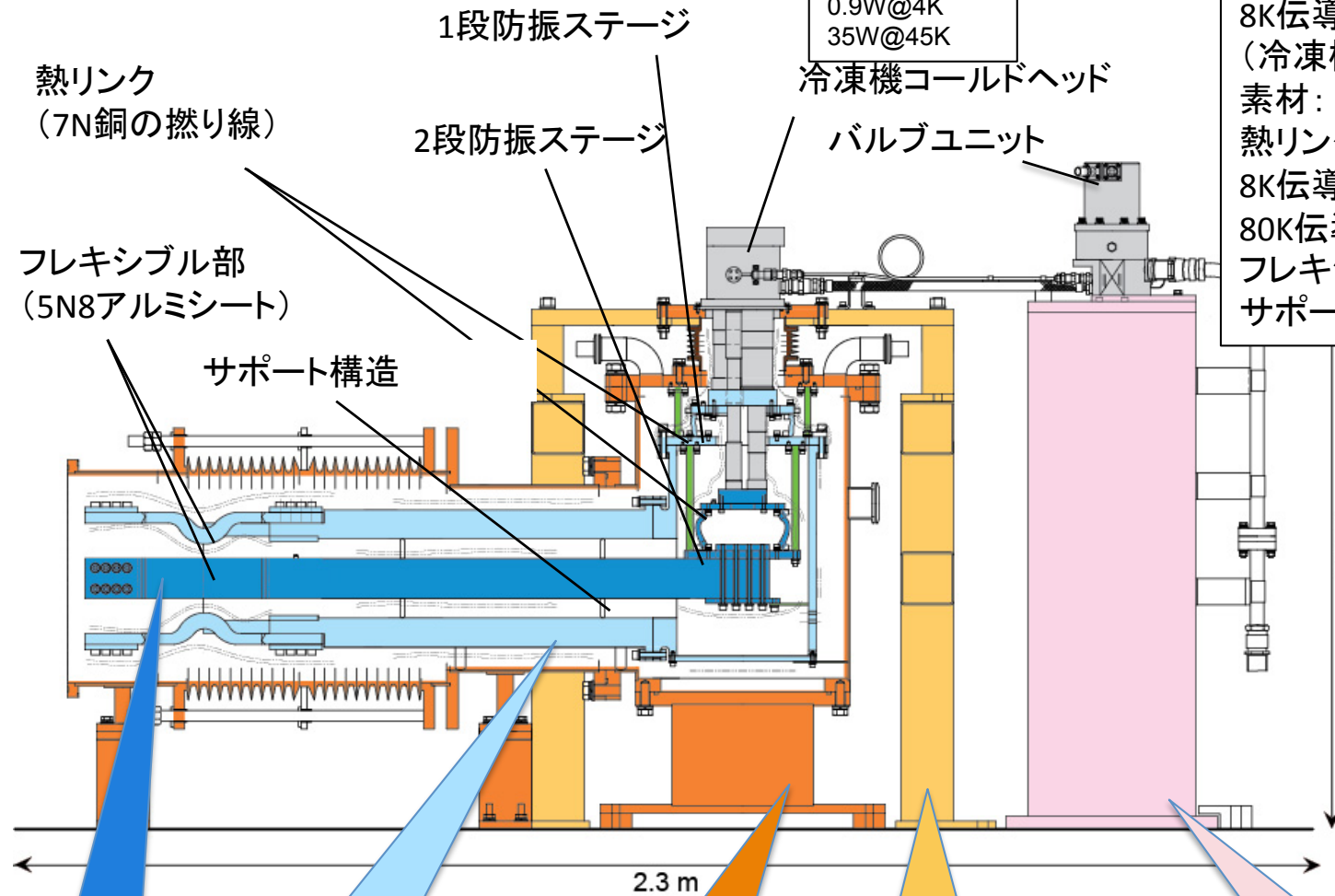
熱リンク：7N銅

8K伝導冷却パス：5N8アルミニウム

80K伝導冷却パス：A-1050

フレキシブル部：5N8アルミニウム

サポート構造：CFRP/GFRP



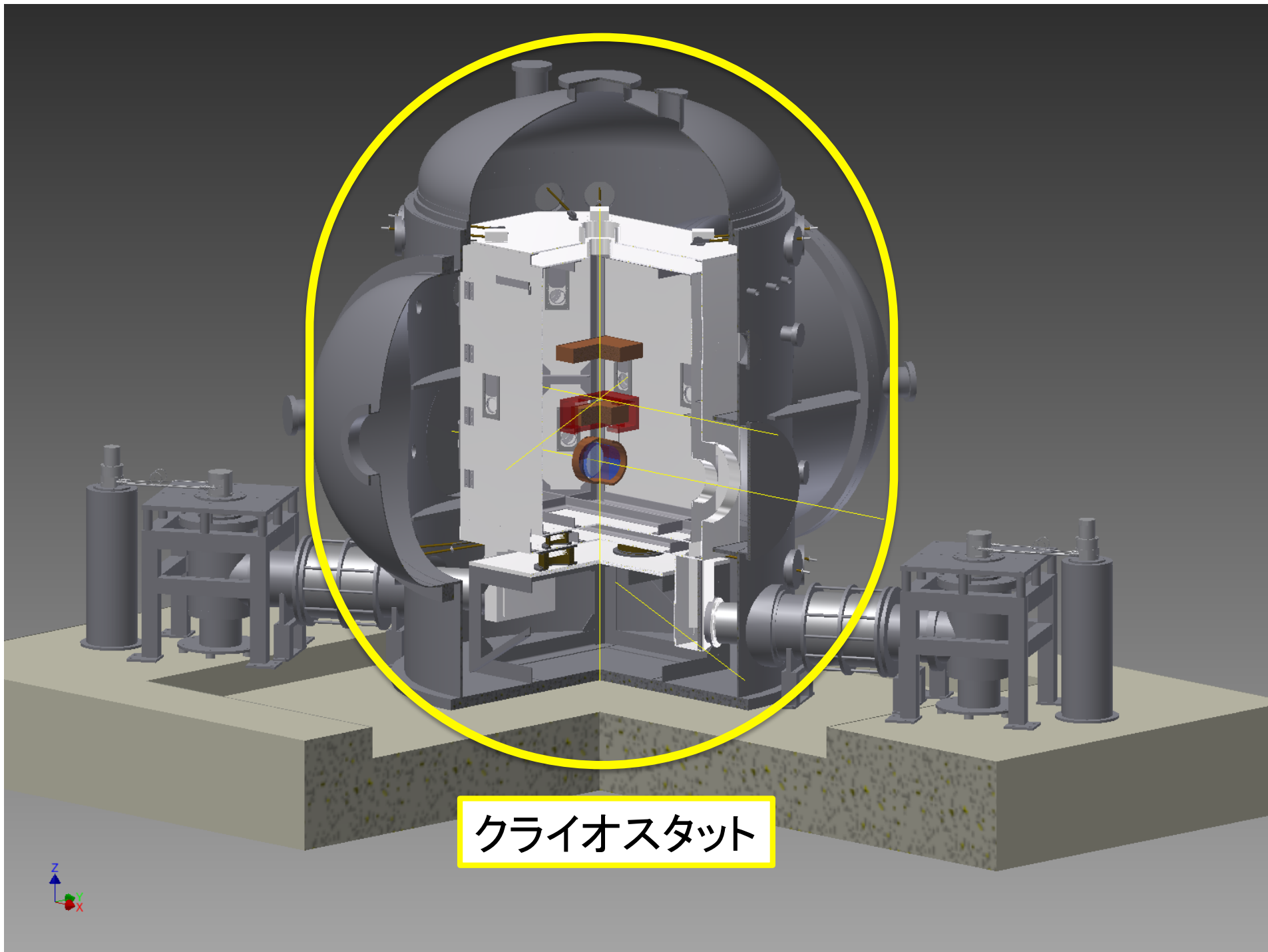
80K伝導冷却パス
(A1050/1070)

8K伝導冷却パス
(5N8高純度アルミ)

真空容器
(伝導パスを支える)

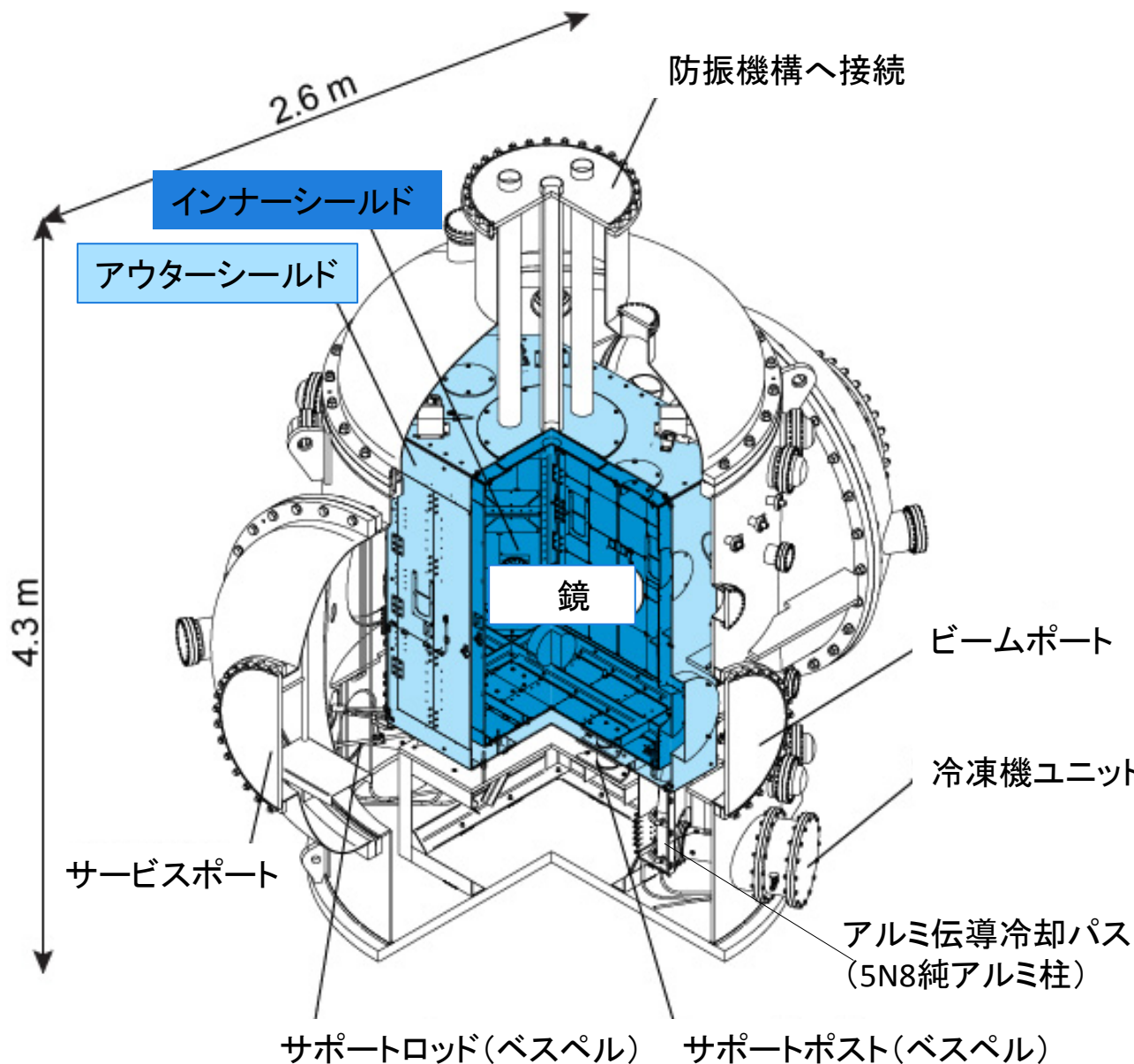
サポートフレーム
(コールドヘッドを支える)

バルブユニットマウント
(バルブユニットを支える)



クライオスタット

クライオスタット



冷却重量:

アウターシールド(80 K): 590 kg

インナーシールド(8 K): 460 kg

(クライオスタット全重量: 11000 kg)

素材:

シールド構造材: A6000番台

シールド壁材: A1050

シールド壁内面: DLCコーティング

サポート構造材: ベスペル(SP-1)

伝導冷却パス: 5N8アルミニウム

4台の冷凍機ユニットから

・2系統の8K伝導冷却パスで

鏡(懸架系)を冷却

・2系統の8K伝導冷却パスで

インナーシールドを冷却

・4系統の80K伝導冷却パスで

アウターシールドを冷却

冷却温度仕様

・インナーシールド10K以下

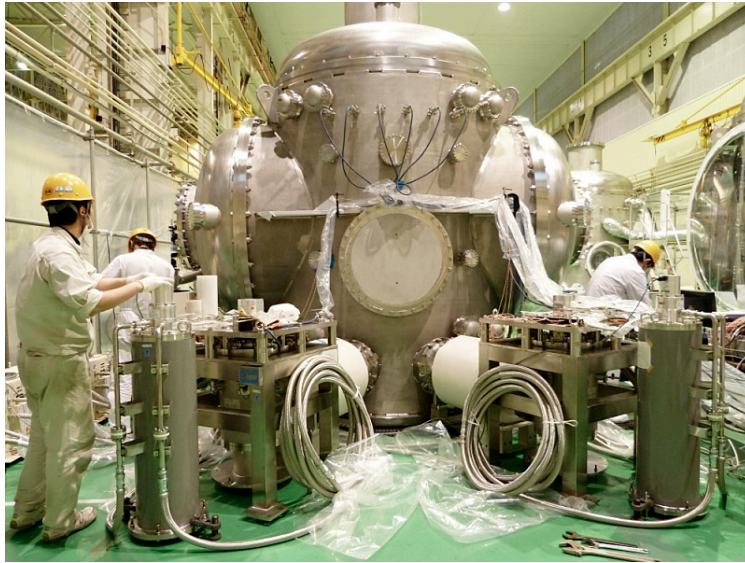
・アウターシールド90K以下

・鏡へのヒートリンク接続部(2カ所)

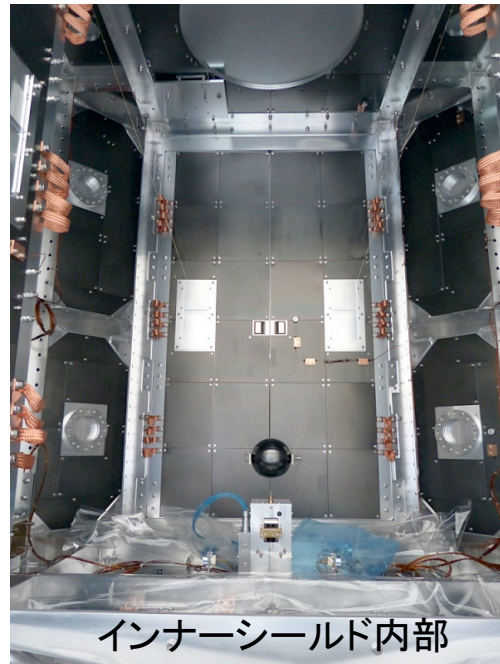
に熱負荷各2Wを付与時に8K以下。

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)。



伝導冷却パス(クライオスタット側)



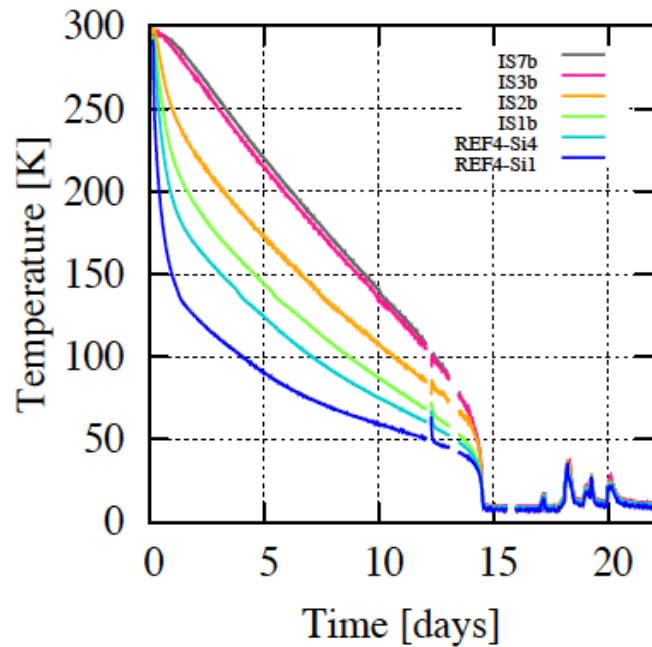
インナーシールド内部



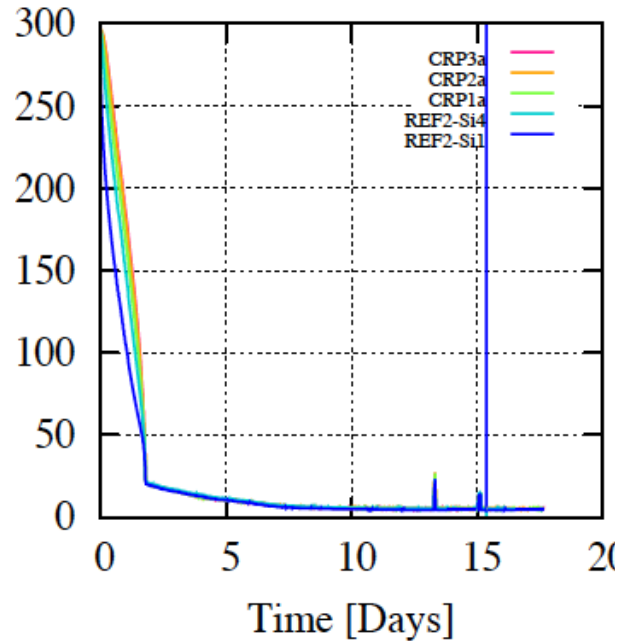
中では最大4人が作業可能

クライオスタート冷却試験

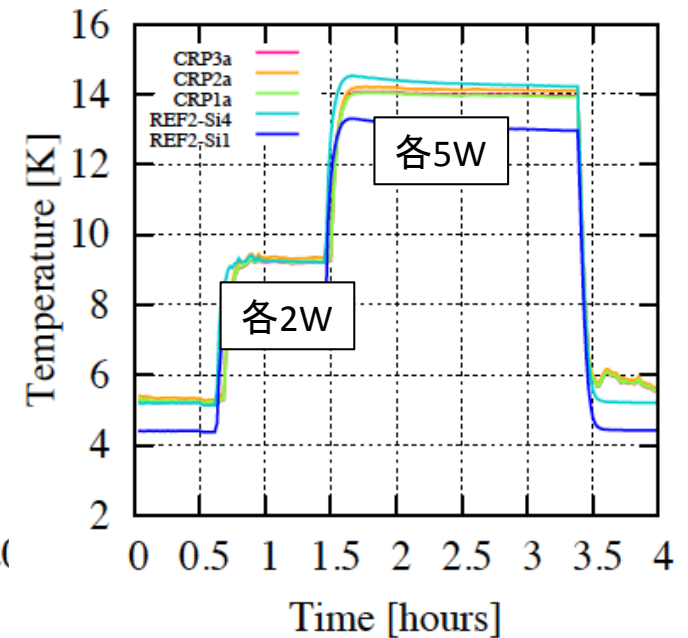
各部の最低到達温度測定と熱負荷による熱応答試験



インナーシールド冷却曲線



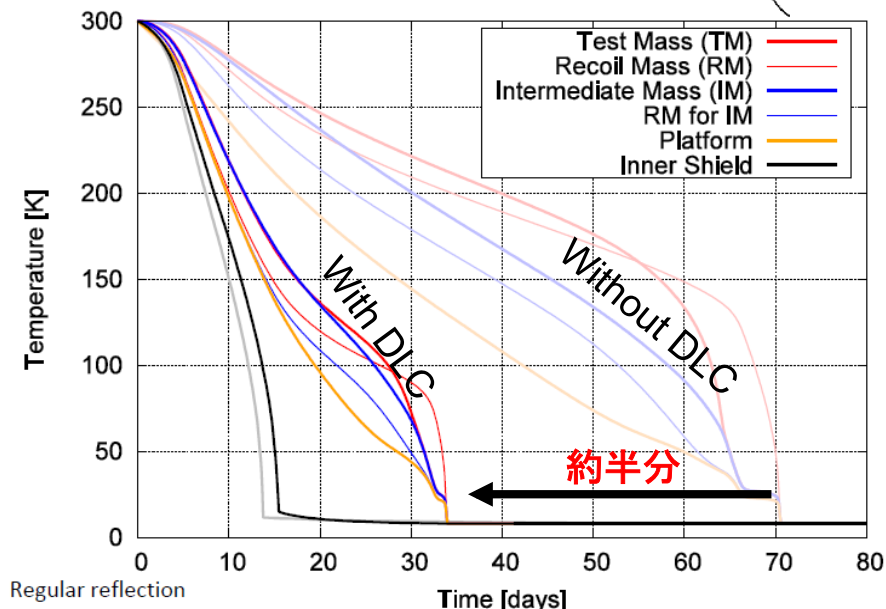
鏡ヒートリンク接続部冷却曲線
(鏡(懸架系)なしで熱負荷小)



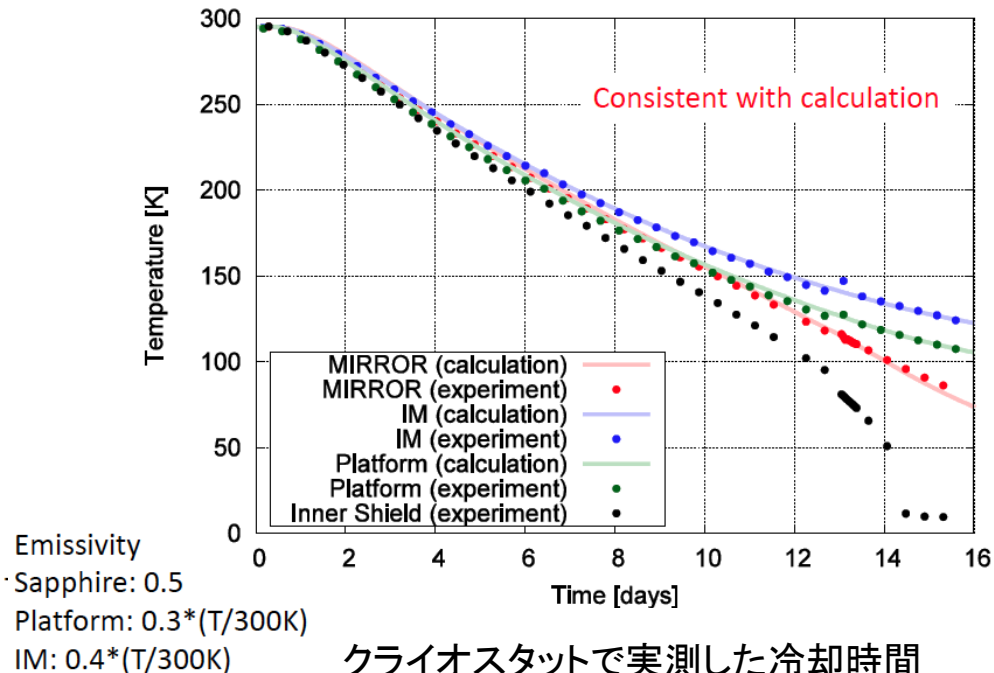
熱応答曲線

- ・鏡へのヒートリンク接続部の到達温度 = 4~6K。
- ・振動を低減する細く柔らかい熱リンクを数段経て接続し、鏡の20K到達を目指す。
(熱リンクと鏡(懸架系)の間の接触熱抵抗の軽減、などが今後の開発課題)

輻射による初期冷却時間低減



予想される鏡の冷却時間
(高放射率コーティングした場合としない場合)



Y. Sakakibara/ICRR

- ・外面にDLCを施したダミーミラー(懸架)を吊るし、輻射冷却の効果を見る。
- ・シミュレーションした冷却曲線とほぼ一致して冷えた
- ・鏡の初期冷却に高放射率コーティングが効果があることを確認。

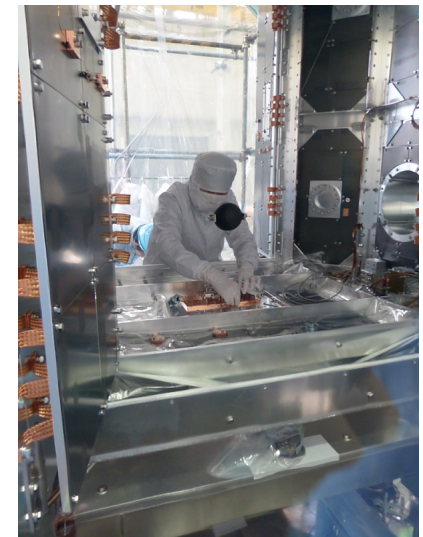
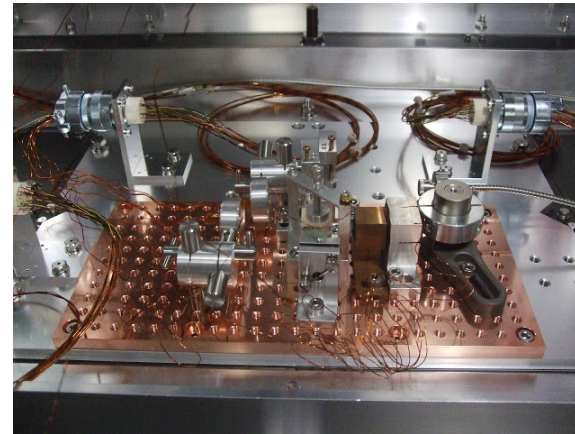
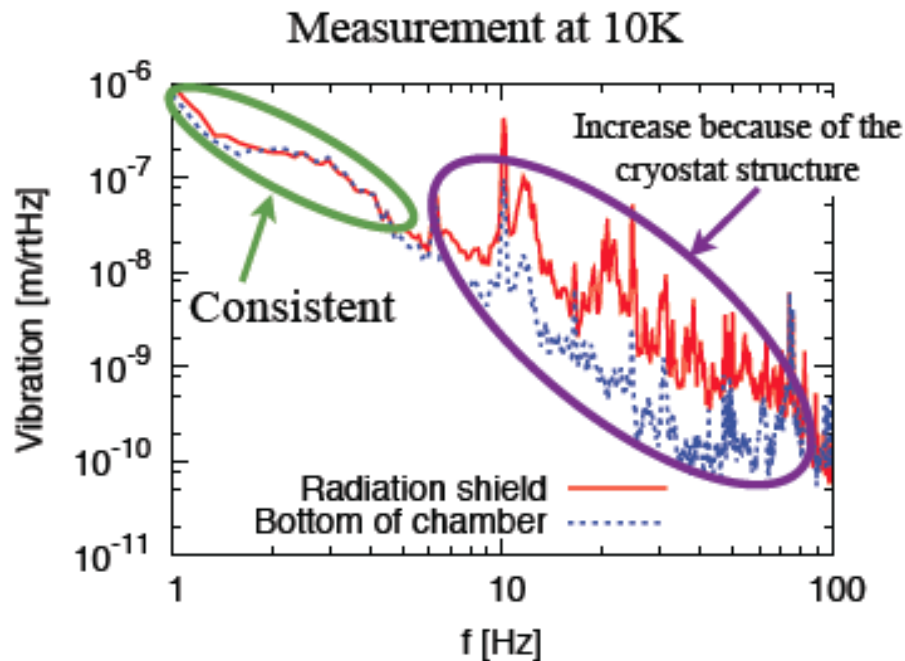
※クライオスタットでの懸架系冷却試験、低温振動試験などの
詳細は物理学会などで継続的に発表中。



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。このために実際にインナー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(データ解析中)。振動測定装置も開発中。
- ・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。



C.Dan/ICRR

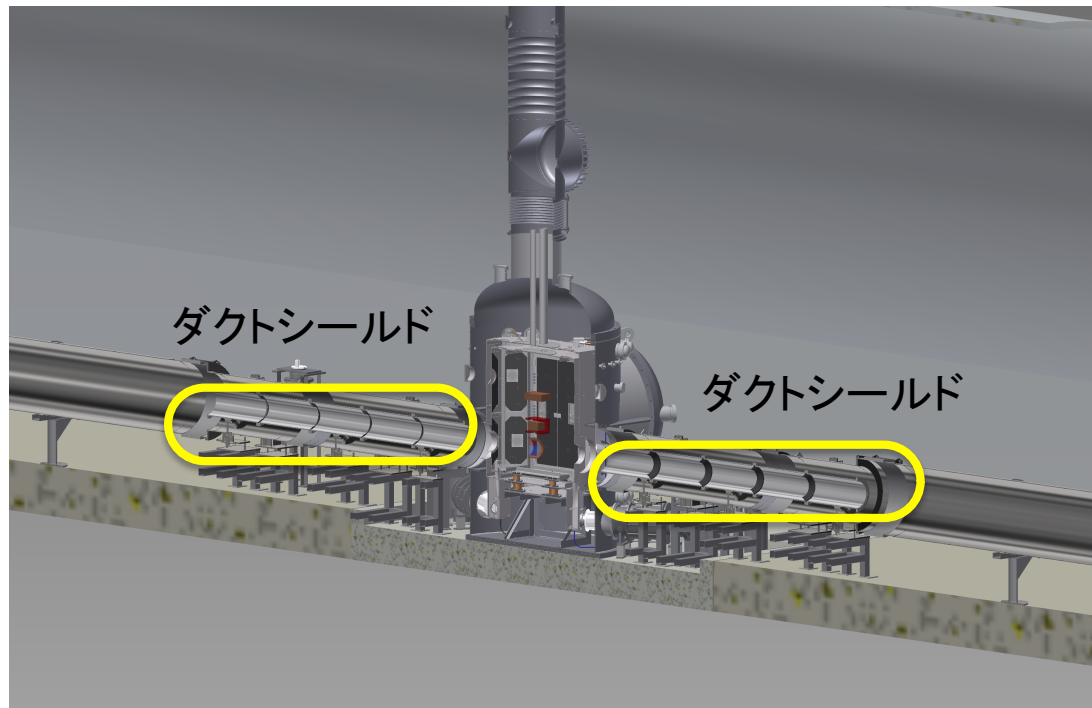
※クライオスタットでの懸架系冷却試験、低温振動試験などの詳細は物理学会などで継続的に発表中。

まとめ

KAGRAの低温システムについて、クライオスタット全4台を製造し、冷却性能試験を行い、仕様を満たすことを確認した。
試験は2013年3月で終了。

今後の課題

- クライオダクトの冷却性能試験を行う(2014年1月～)。
- 鏡(低温懸架)周辺部の冷却機構の開発。



※ ダクトシールドの開発経過については、次の 3D-a03 榊原 で発表