

# KAGRAクライオスタットの現状

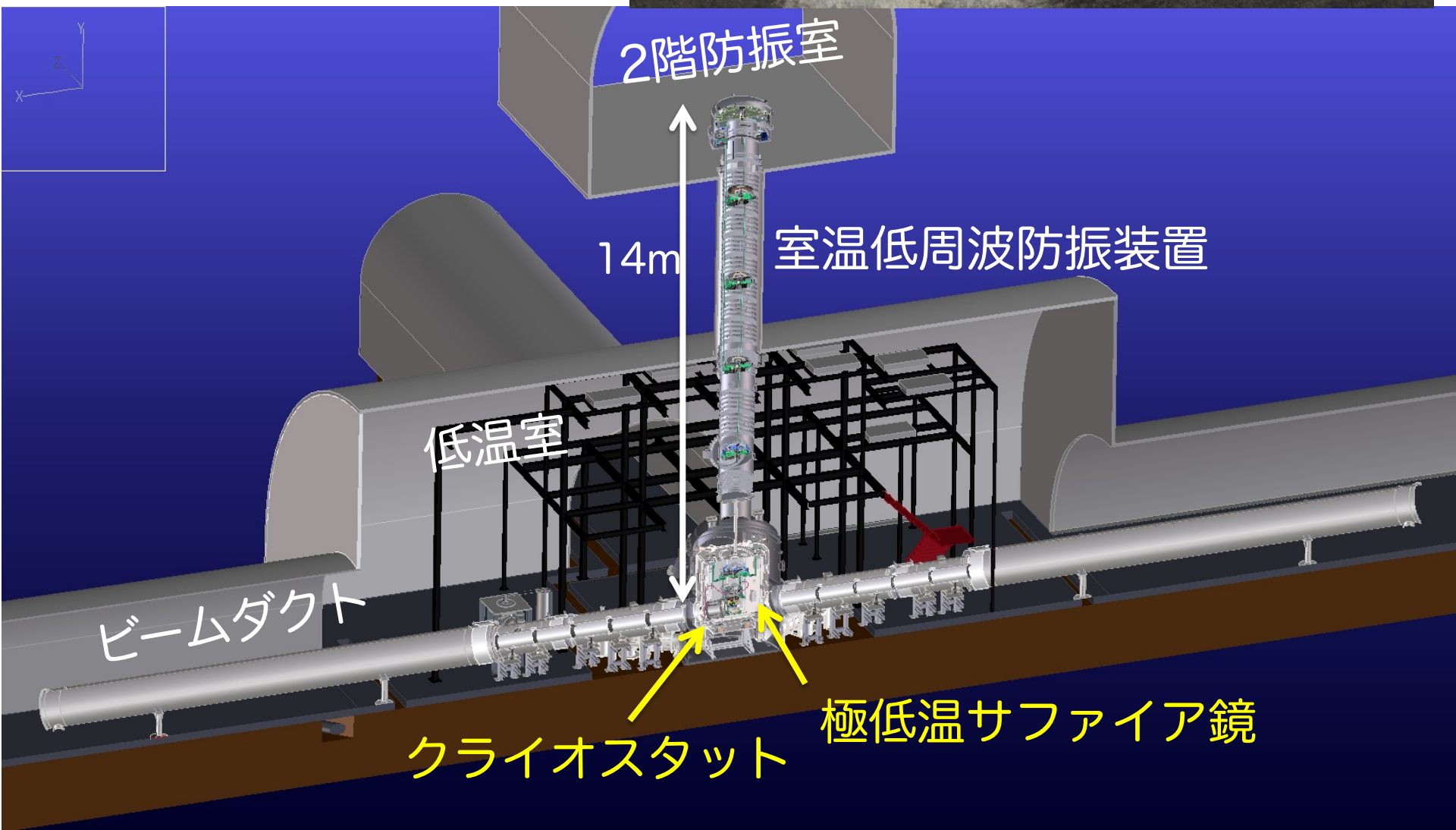
- 設備と装置の準備状況 -

2016年11月17日

拡大チーフ会議 @富山大

木村、鈴木、都丸、山元

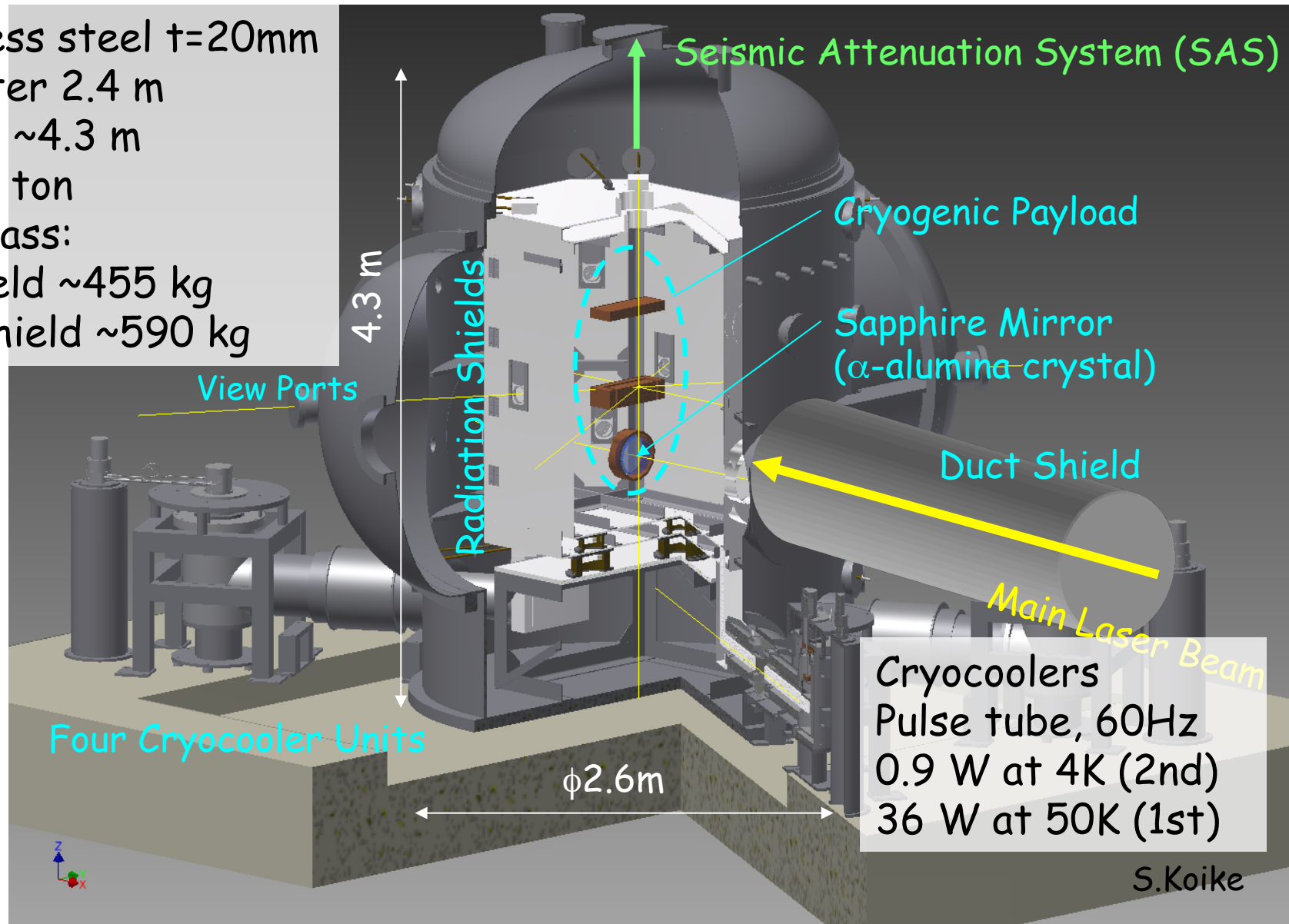
# 低温設備の概要





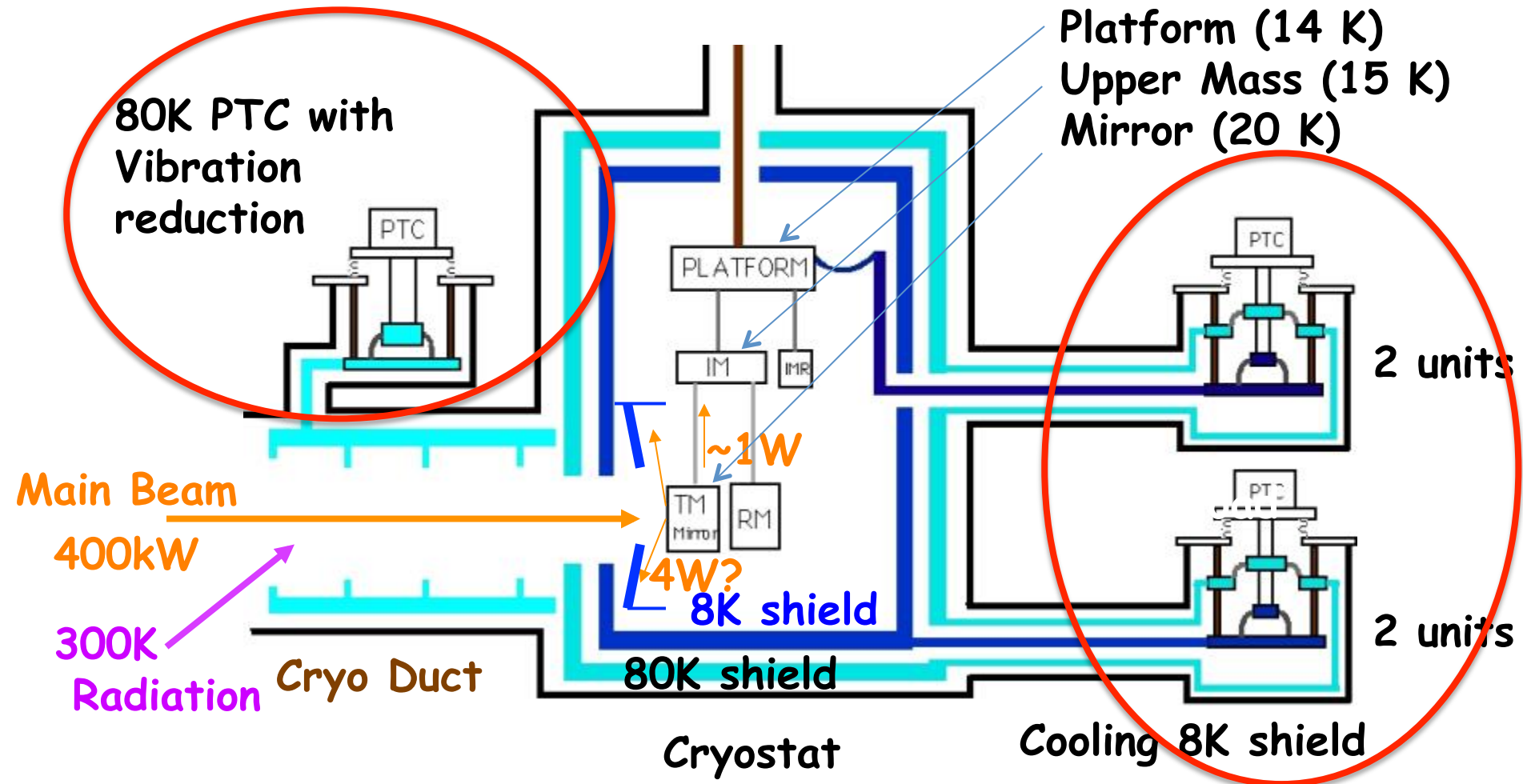
# クライオスタットの構造

Stainless steel  $t=20\text{mm}$   
Diameter 2.4 m  
Height  $\sim 4.3\text{ m}$   
M  $\sim 12\text{ ton}$   
Cold Mass:  
8K shield  $\sim 455\text{ kg}$   
80 K shield  $\sim 590\text{ kg}$



# 冷却装置の構成

*One of the most difficult technology is how we can achieve both mirror cooling and vibration attenuation.*



# 伝導冷却部概要

アウターシールド (約80K)

インナーシールド (約10K)

(約5K)

鏡  
(約20K)

ヒート  
リンク

PT冷凍機

鏡系

インナー  
シールド系

鏡系

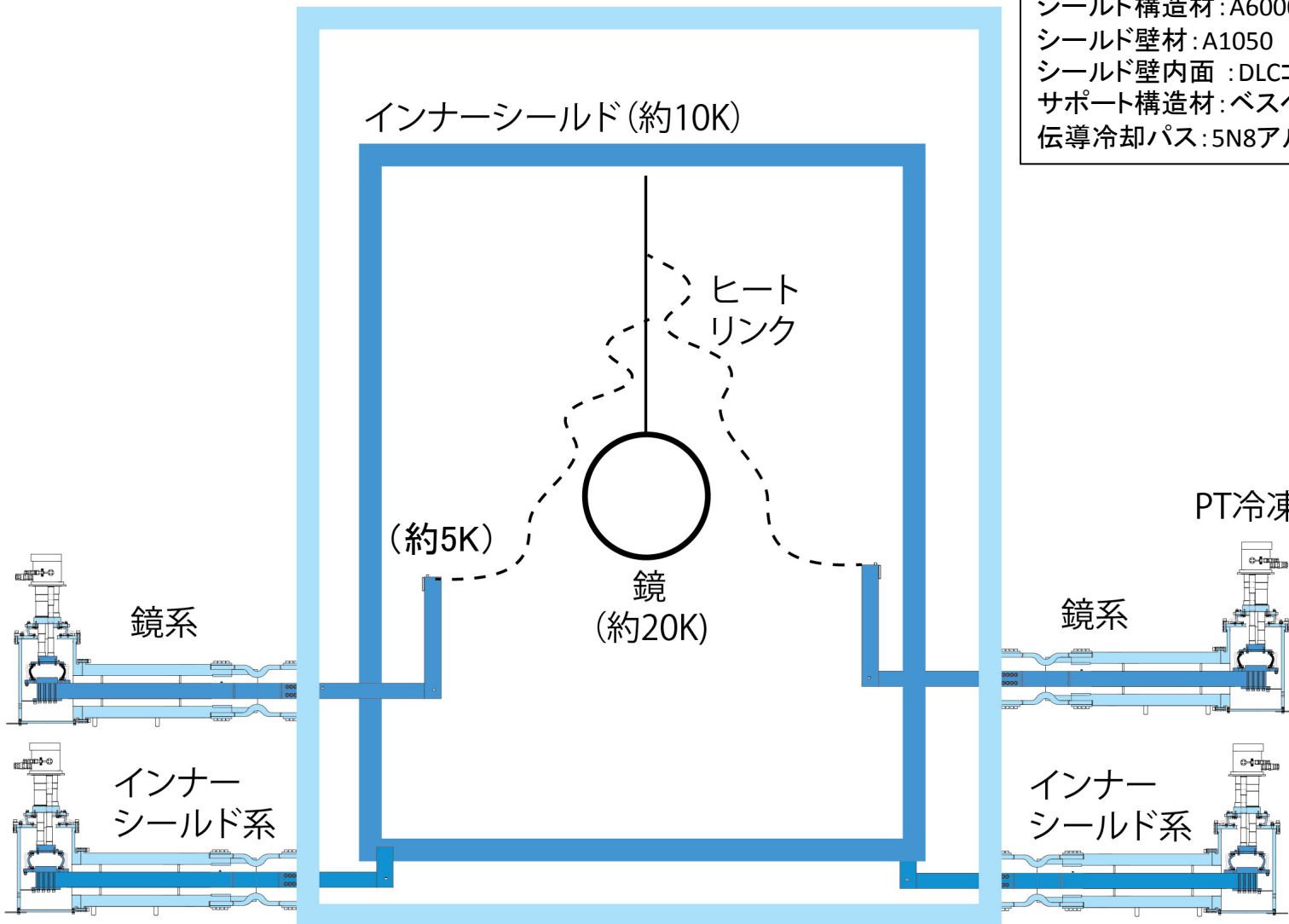
インナー  
シールド系

冷却重量:  
インナーシールド: 460 kg

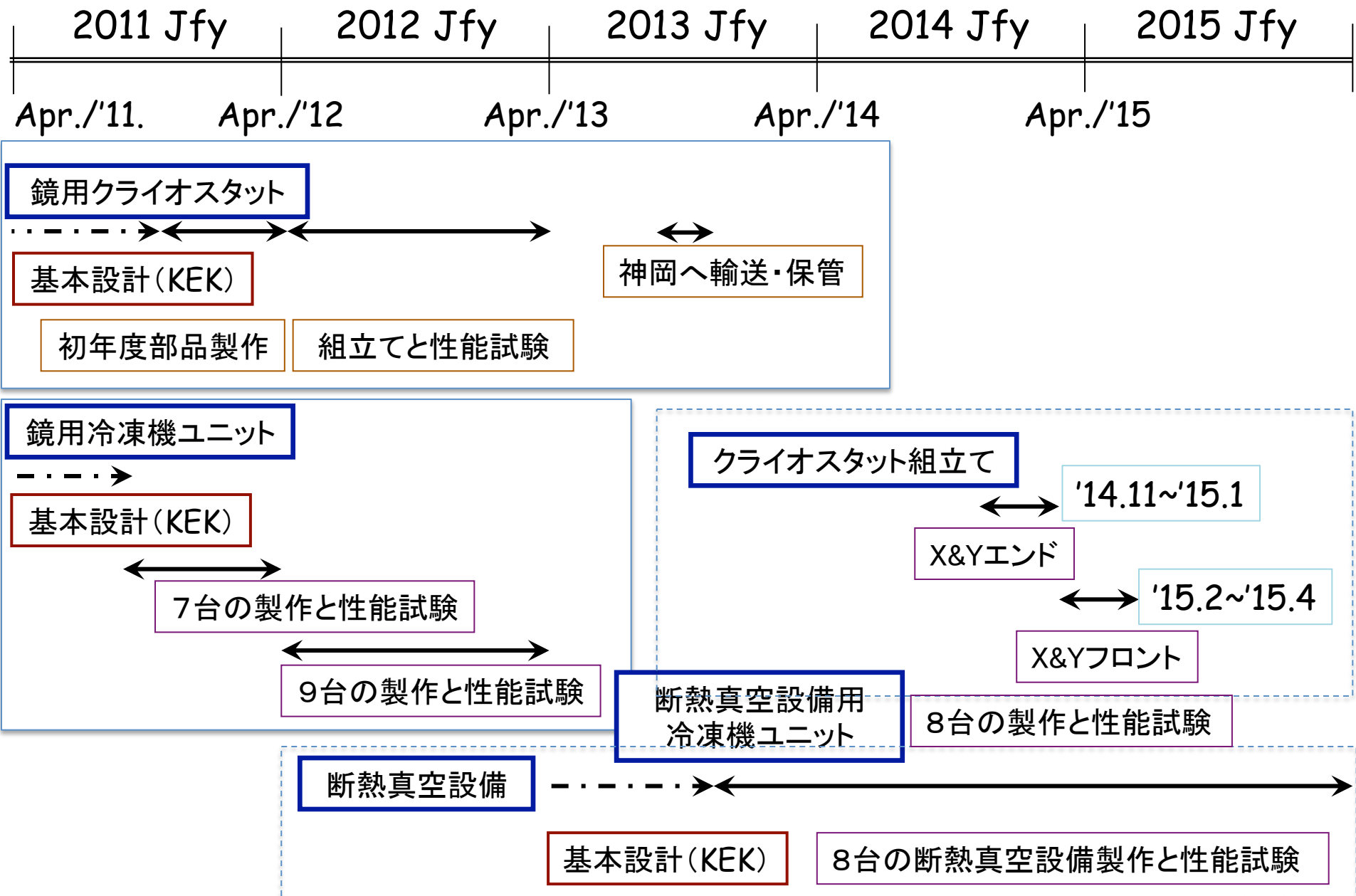
素材:  
シールド構造材: A6000番台  
シールド壁材: A1050  
シールド壁内面: DLCコーティング  
サポート構造材: ベスペル(SP-1)  
伝導冷却パス: 5N8アルミニウム

~ 2240 mm

1800 mm



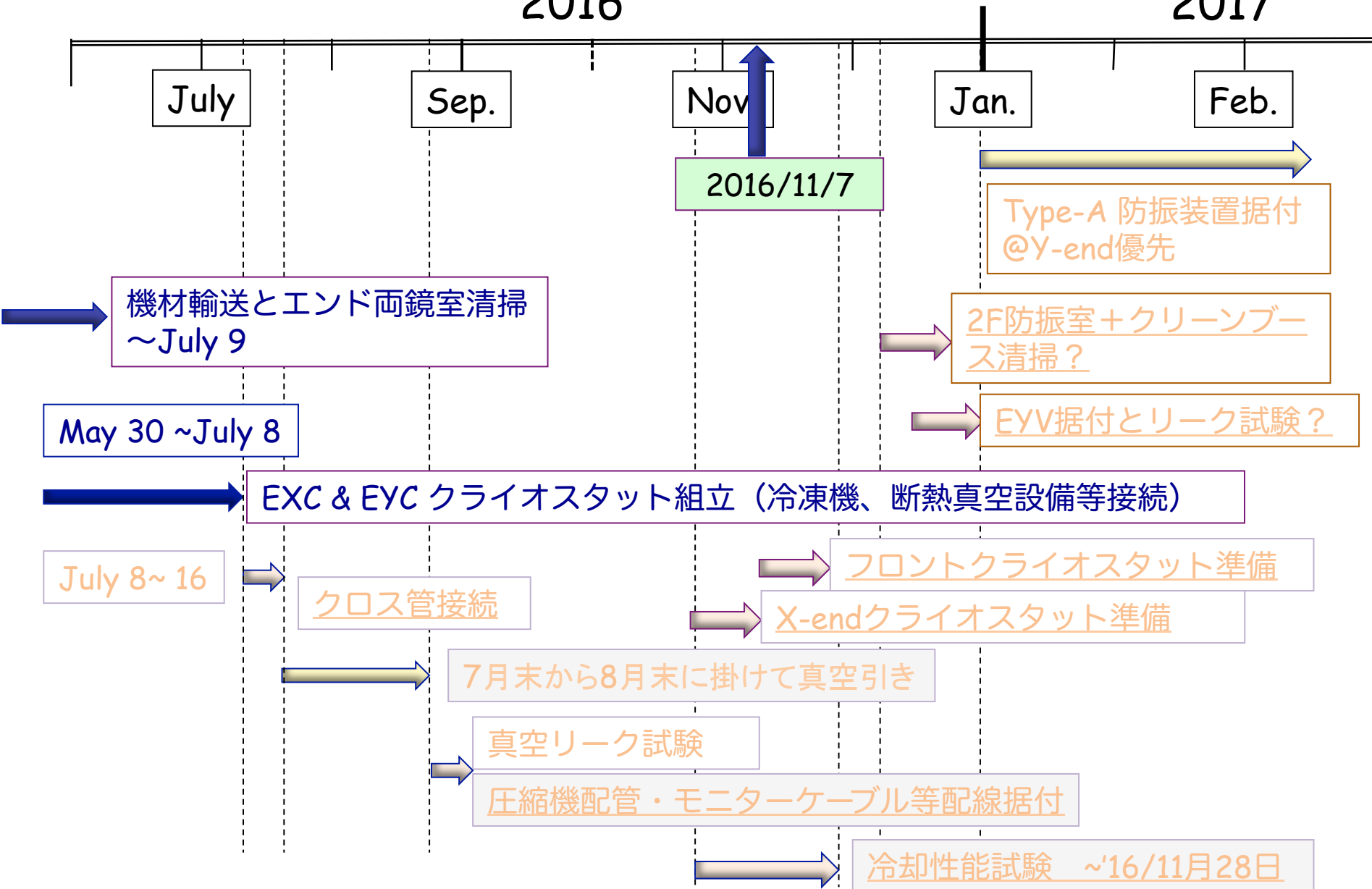
# これまでのKAGRA極低温設備建設の流れ



# KAGRA EXC & EYCの組立・性能試験他

2016

2017



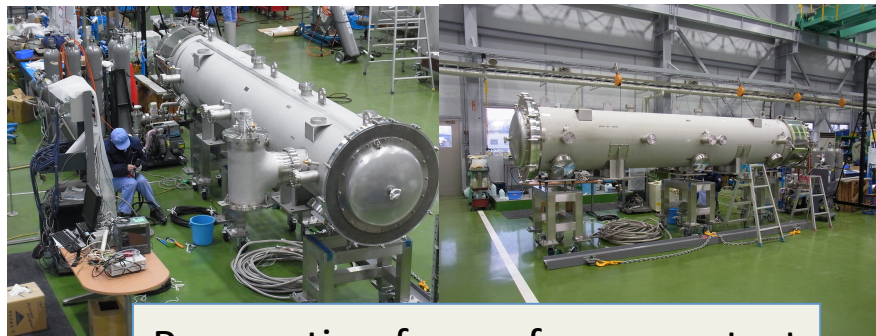
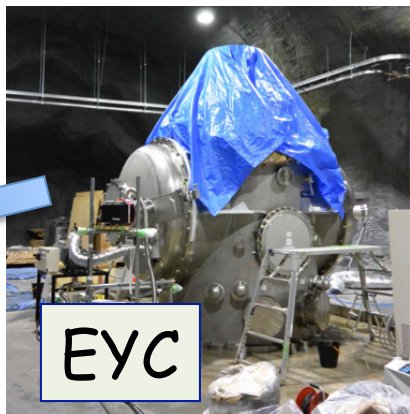
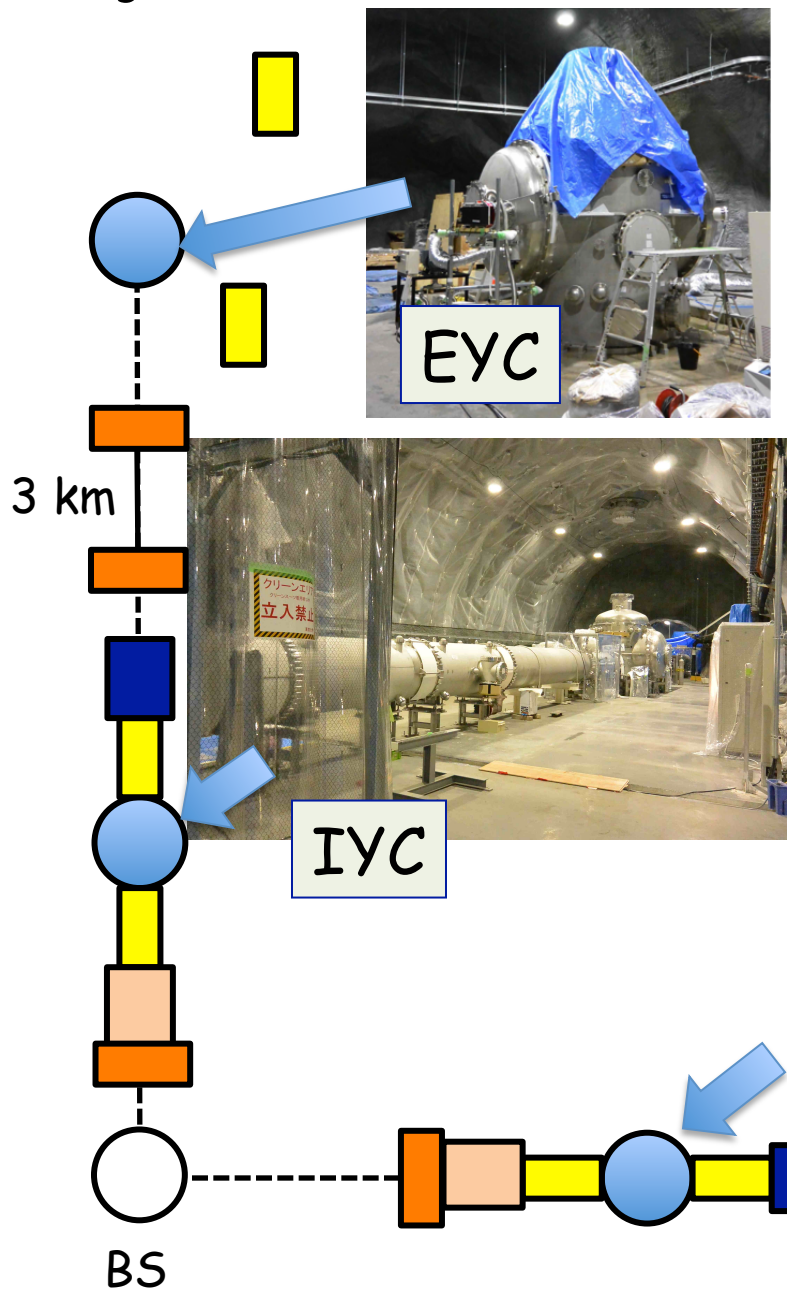


# Cryostatの状況 (2016.3以前)

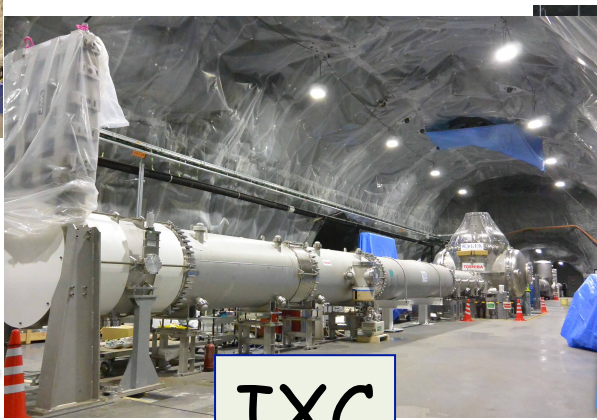
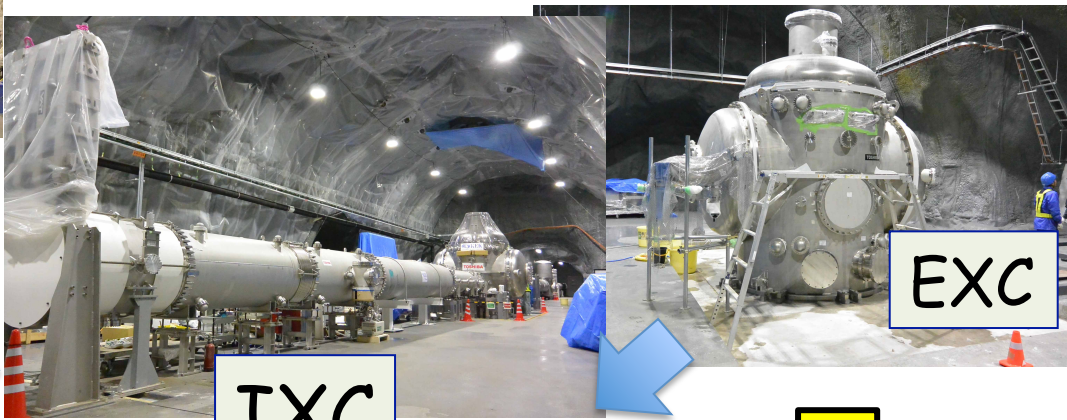
Last two duct shields will be delivered at the end of Mar.

Four duct shields at both ends will be installed soon after iKAGRA.

Then assembly of cryostats will be done at the same time.



Preparation for performance test of duct shield



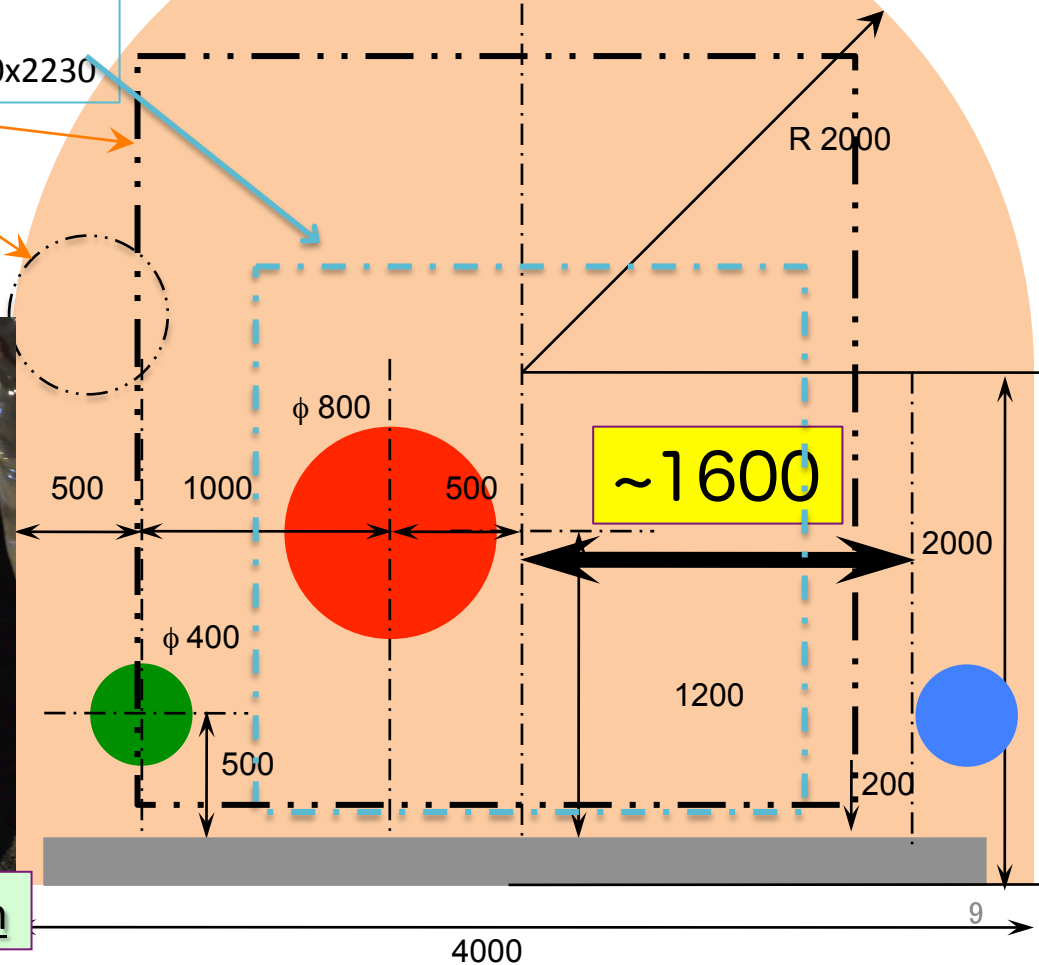
# 機材のトンネル内輸送

- \*\* エンド鏡室への輸送機材総重量15 ton (X-end→8.5 ton、Y-end 7 ton)  
(圧縮機、フレキシブル配管、断熱真空設備、冷却水循環装置等)
- \*\* 断熱真空設備を除く主要な機材は、KAGRAから約30 km離れた巣ノ内倉庫で保管中  
全ての機材は長さ3 kmのトンネルを経由してエンド鏡室に搬入

Cryo-chamber  
weight; 12 t  
height; 3150 mm  
width; 2700 mm

Side ports box  
3.4 t, 2480x2480x2230

ventilating duct  
 $\phi$  600 mm

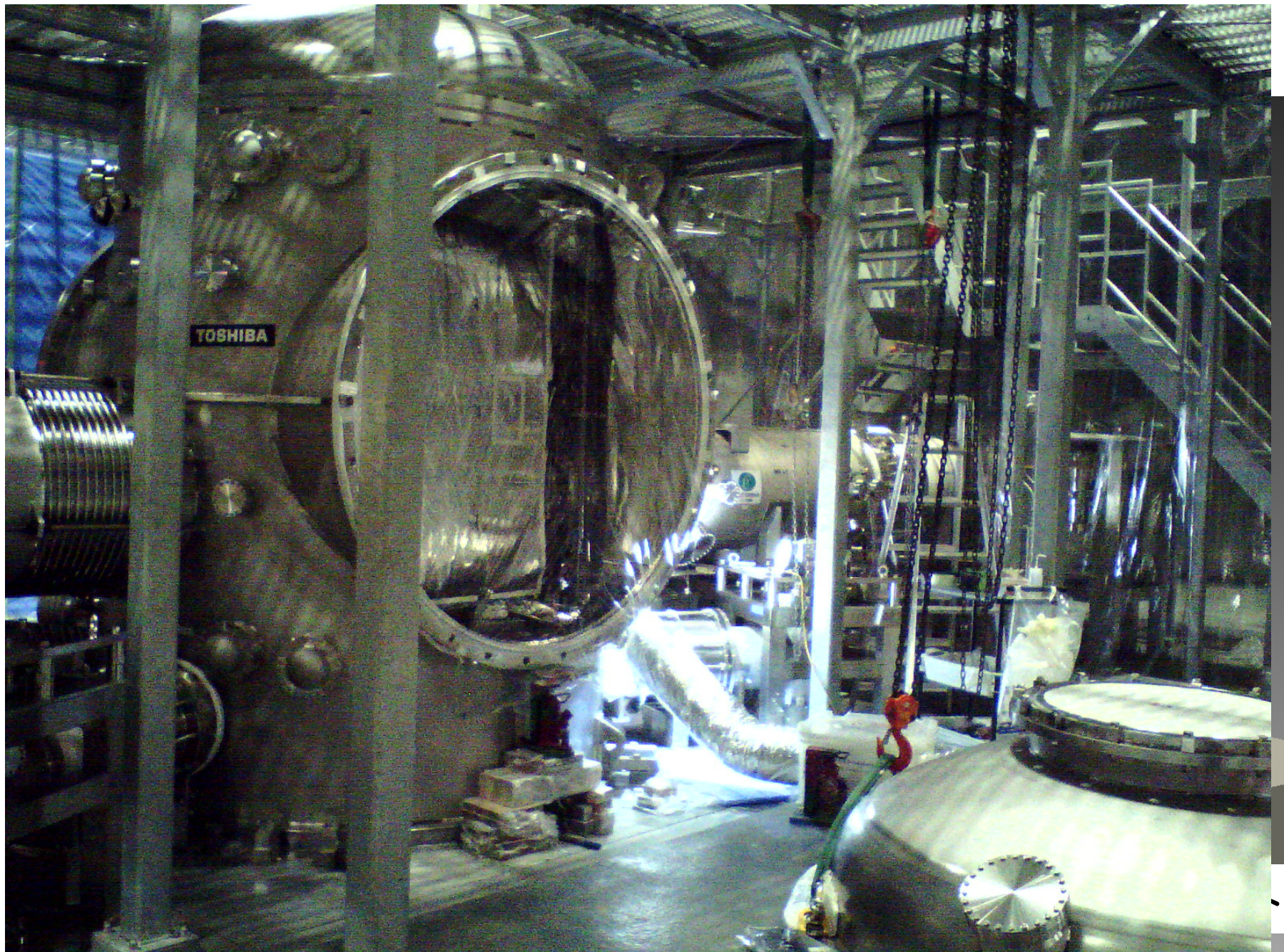


断熱真空設備のトンネル内輸送 3 km/h

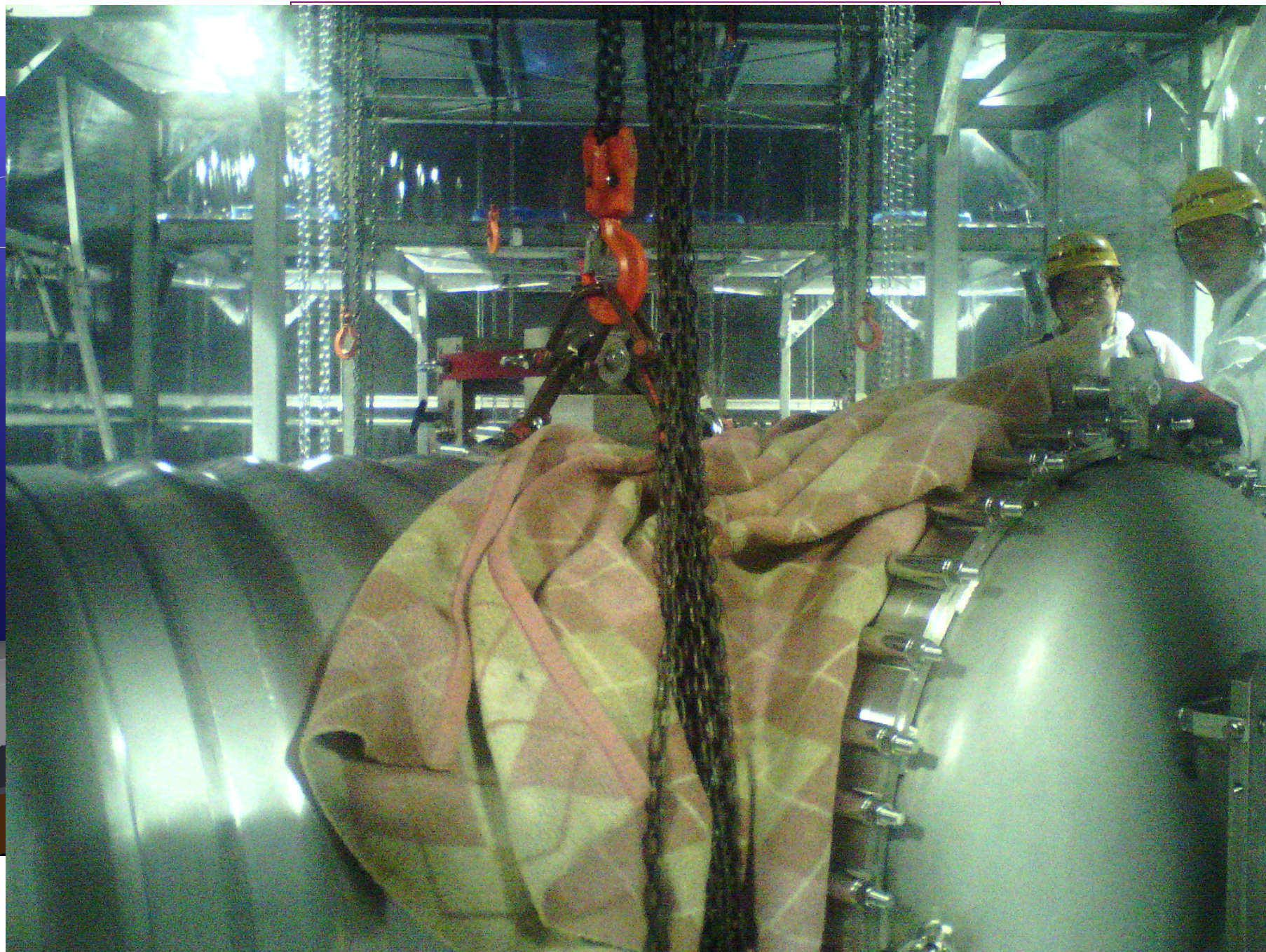
# 組立の拘束条件

- 真空の確立 (bKAGRA向け、期限:2016.10末)  
EYC及びEXC+断熱真空設備+真空ダクト (アーム側GVまで)  
+冷凍機ユニット+防振系縦真空ダクト接続  
上記機器の組立と冷却試験を2016.10末までに完了
- End鏡室は既にClean Boothが据え付けられているため、  
クレーン等の重機が使用できない  
横引きとチェーンブロックに限定！
- 組立後、冷却試験を行うため圧縮機・配管等の部材搬入も同時搬入  
~3 kmのトンネル経由で機材輸送 ← ~3 km/h (実績)
- 断熱真空設備を除く主要な機材は、KAGRAから約30 km離れた  
巣ノ内倉庫で保管
- 組立前の鏡室の清掃 クリーン環境の確保.
- 清掃後はクリーンスーツを着用して組立作業を行う.







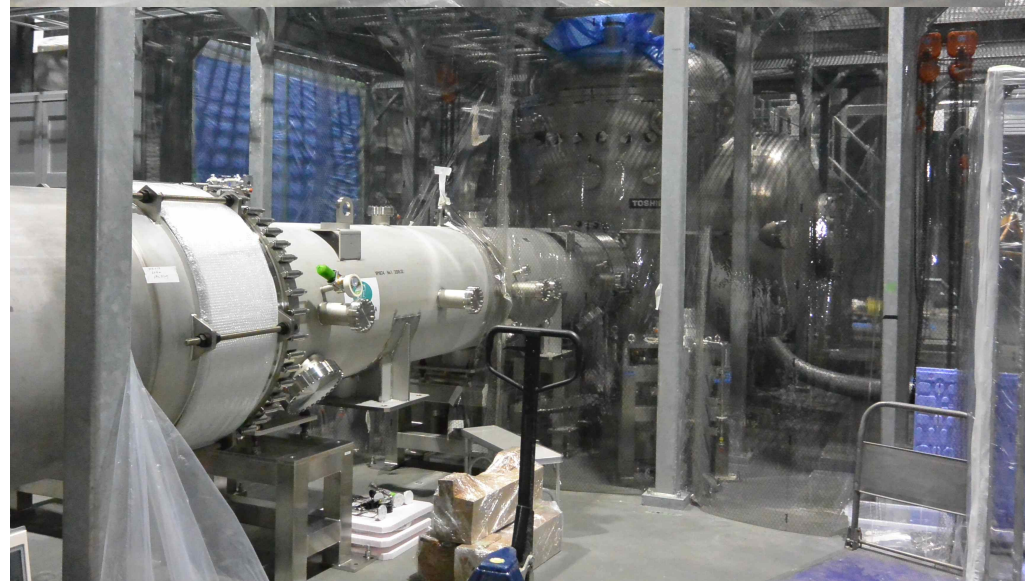
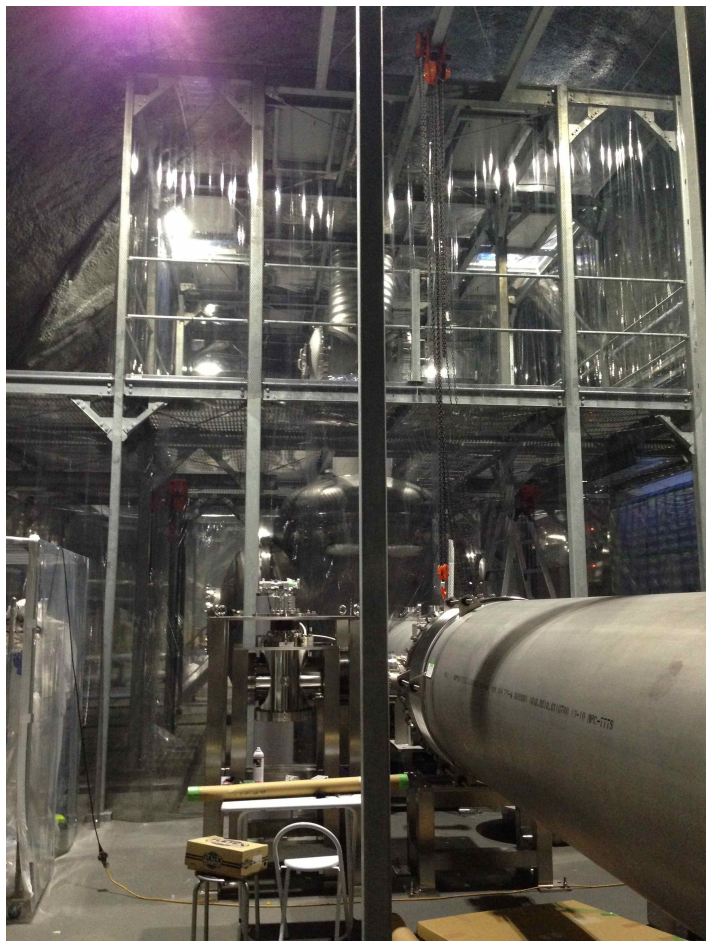






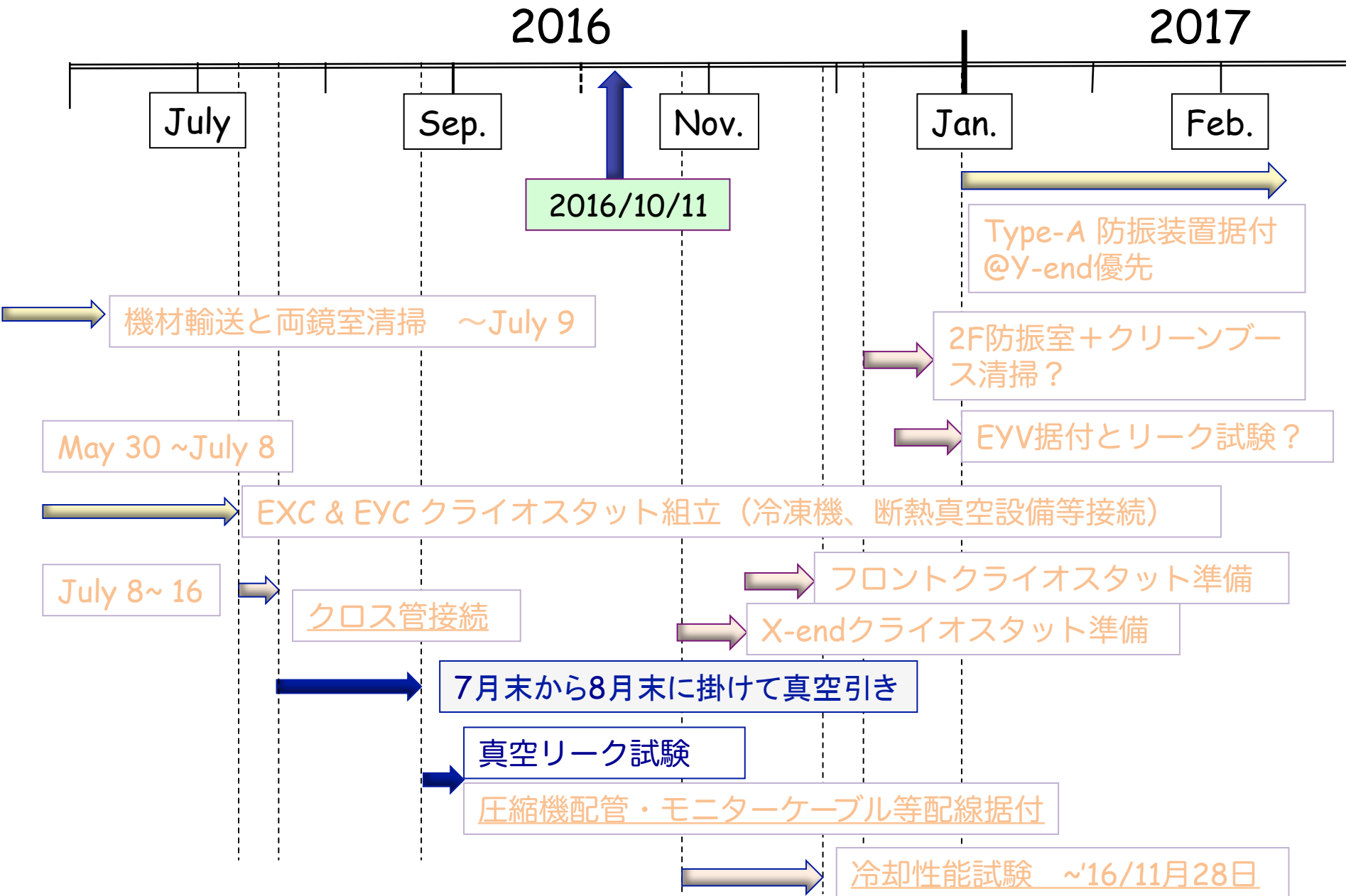


# 組立完了 (2016/7/7)

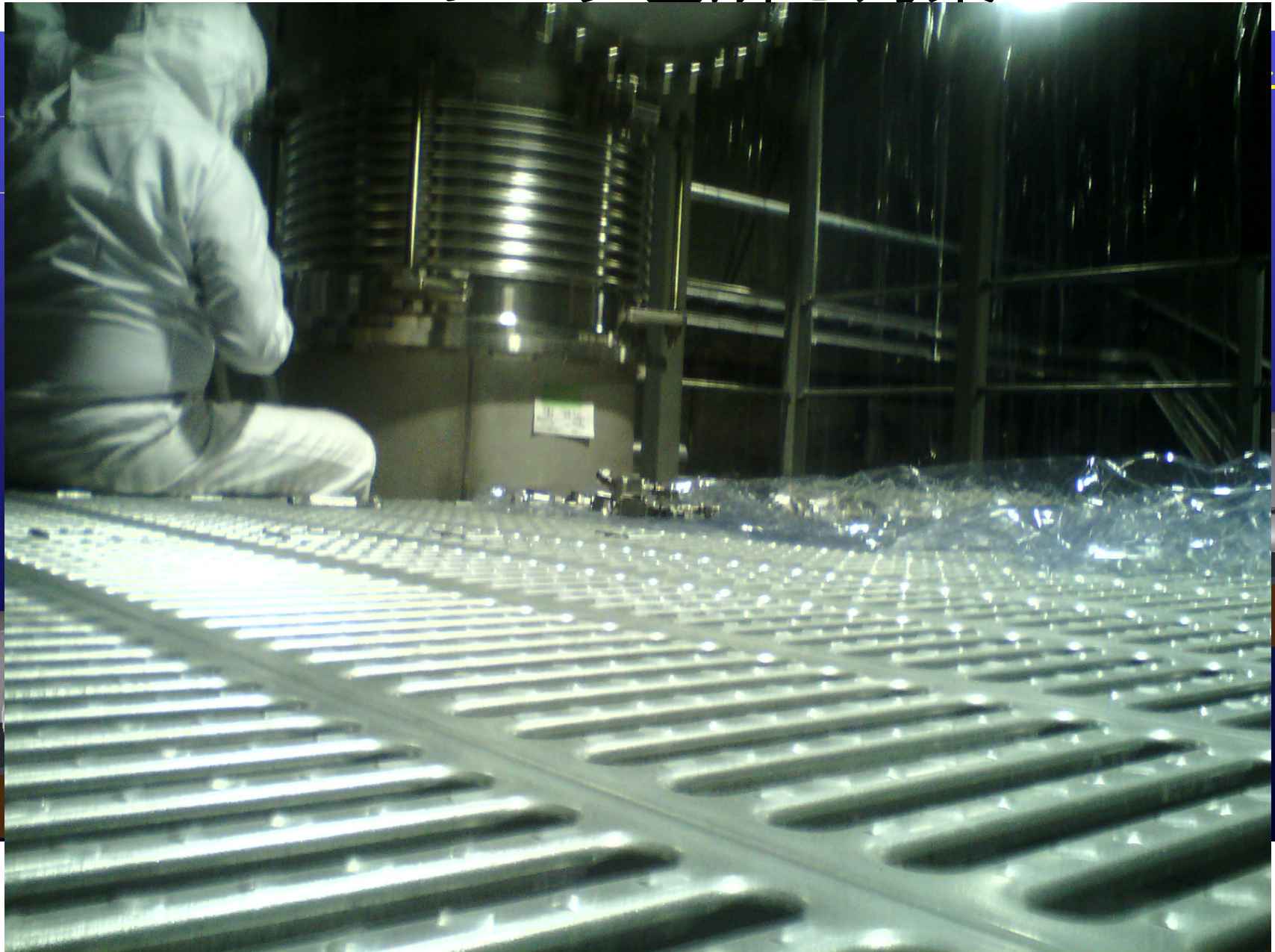




# KAGRA EXC & EYCの組立・性能試験他

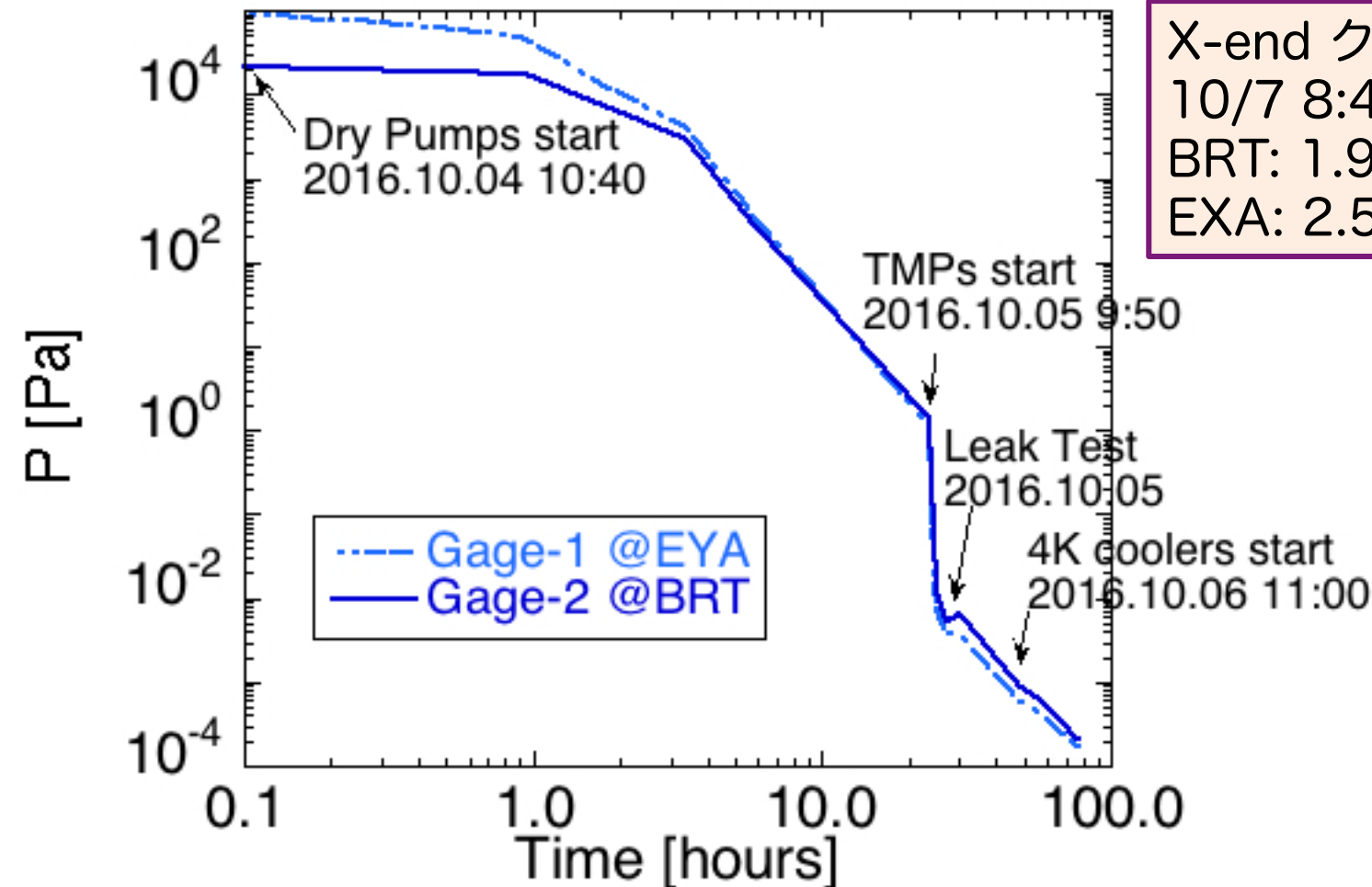


# リーク箇所と対策





# リーク試験後の真空特性

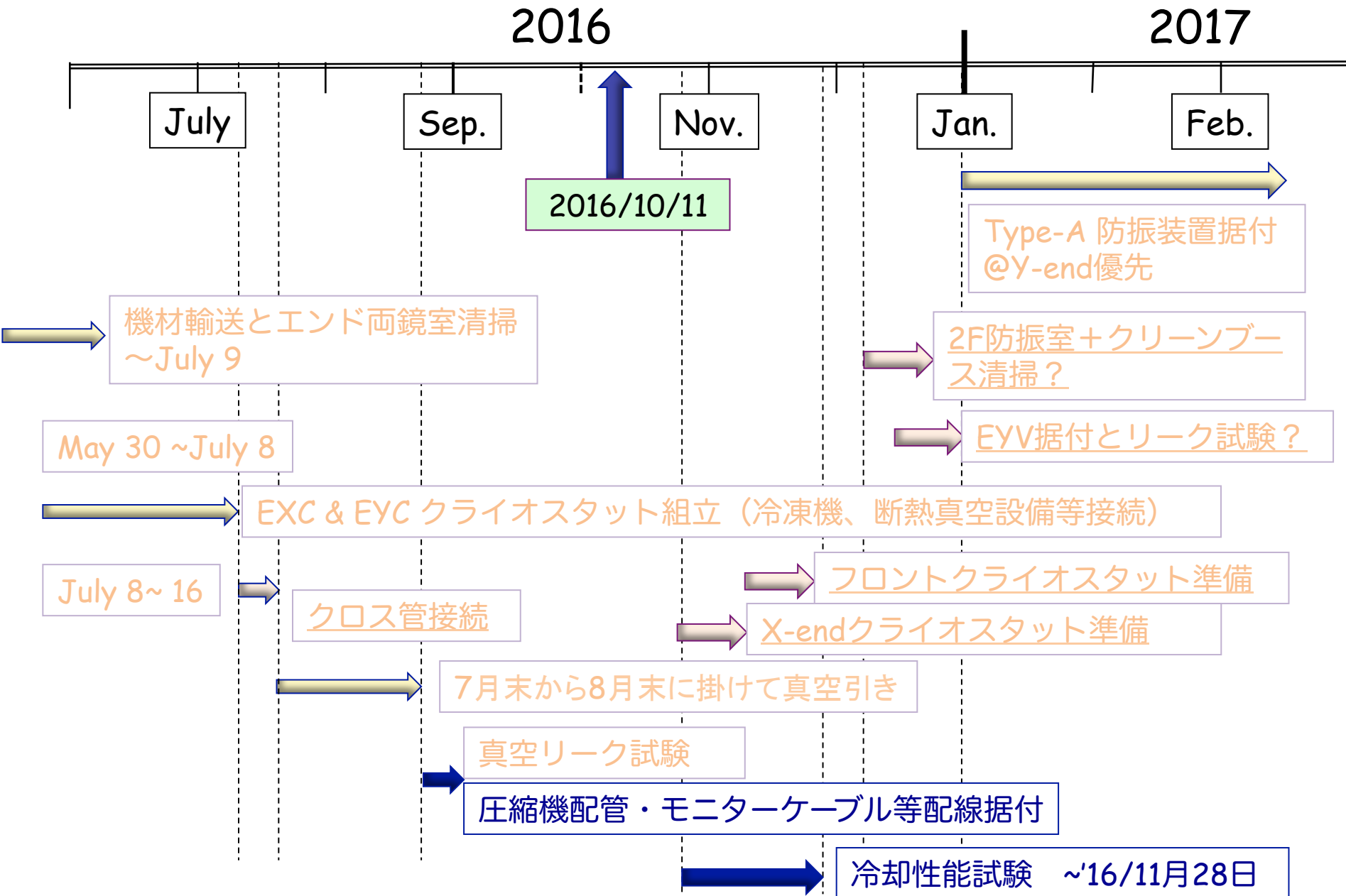


Y-end クライオスタット真空特性

BRT:  $2.1 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ 、EYA:  $2.5 \times 10^{-4} \text{ Pa}$

冷却試験の圧力としては問題無し、冷却試験後にリーク箇所を補修

# KAGRA EXC & EYCの組立・性能試験他



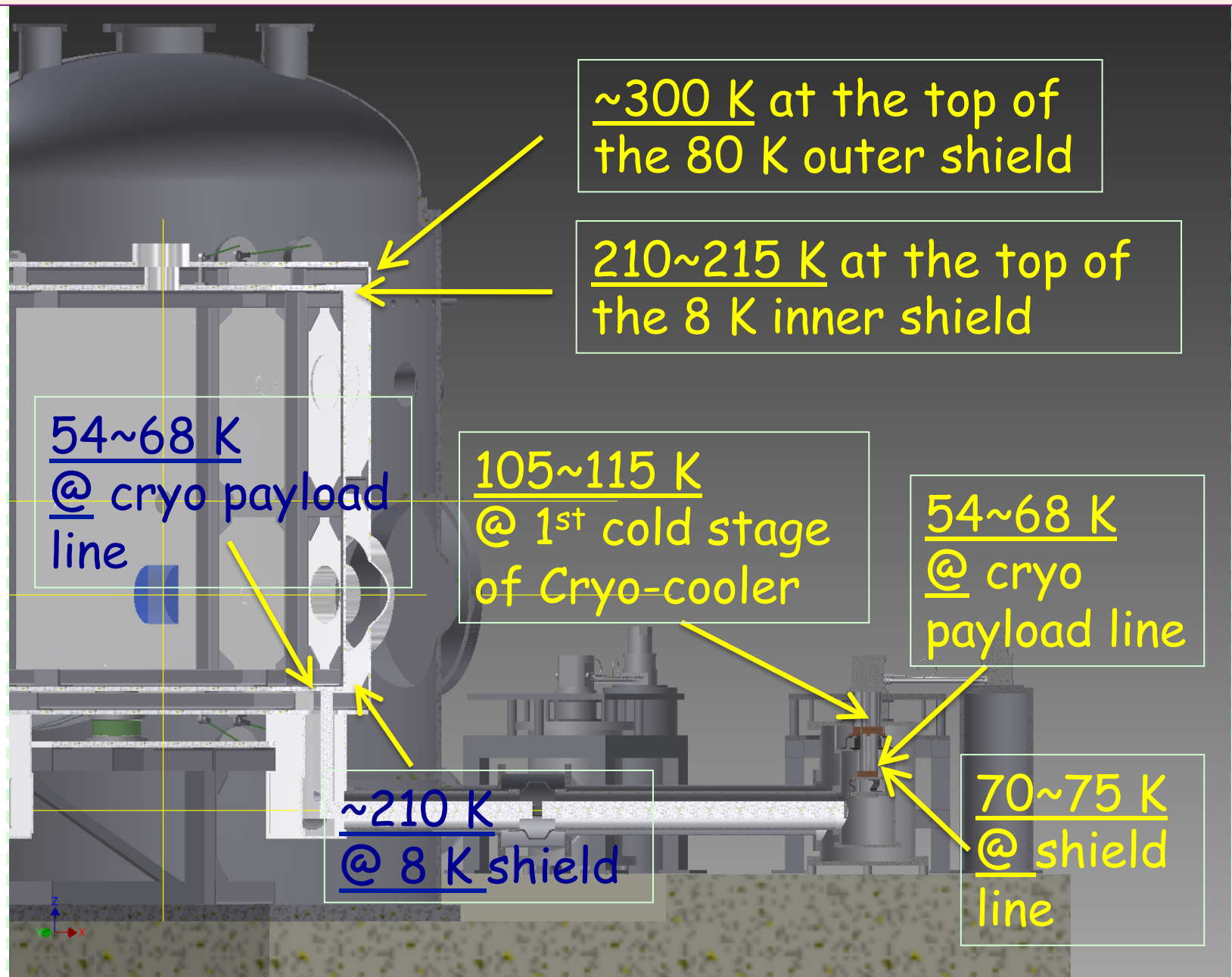


## 冷却性能試験 (@EYCを優先)

- 2016.10/5 リーク試験完了  
大気暴露からリーク試験開始まで2日間必要
- 2016.10/5 ガス配管の据付完了  
配管に2日x4人 (8人工) 必要
- 2016.10/5~6 冷凍機の試運転を完了  
冷凍機の動作を確認  
インターロック系は除く → 連続運転の体制は？
- 2016.10/12~14 温度モニター配線  
Y-end優先
- 冷却試験の目的
- ✓ 断熱真空設備 (Duct Shield) を組み合わせた冷却性能の確認  
東芝工場試験はクライオスタット単体、  
ビームポート2カ所は閉 → 開口部 (断熱真空設備で補償)

# 冷凍機の試運転結果

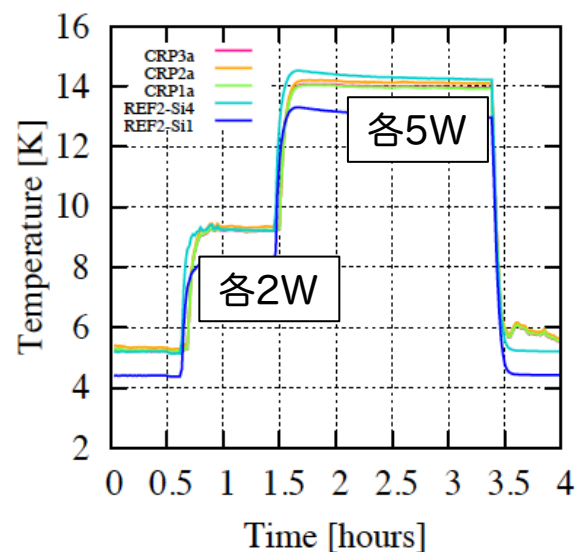
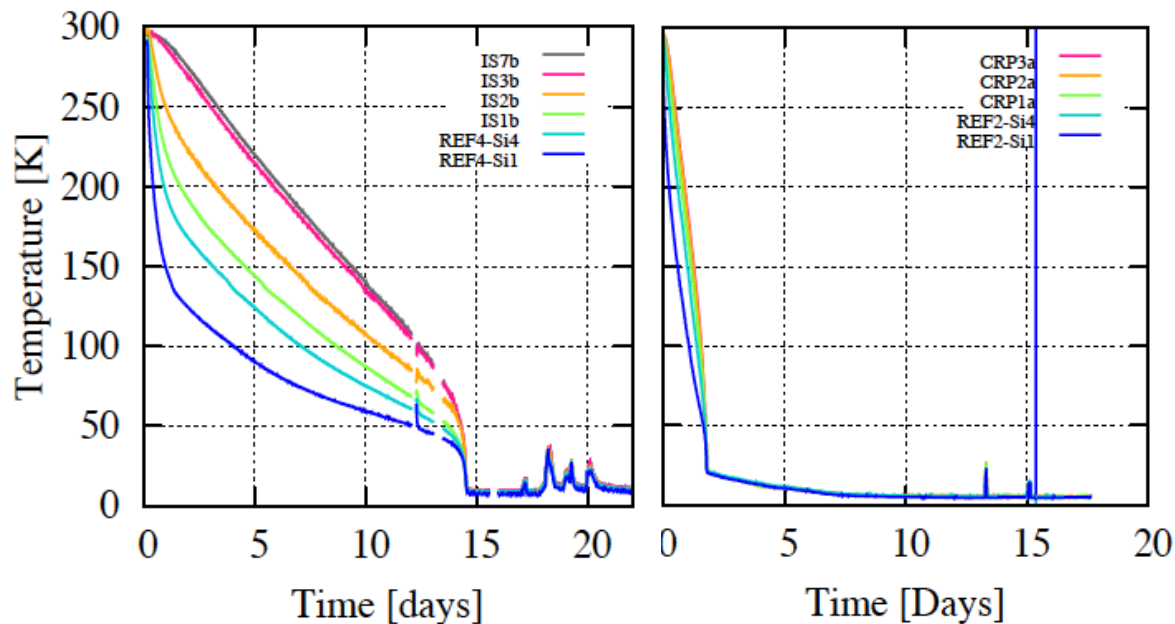
10/6 11:00~10/7 14:37





# クライオスタット冷却試験 (@東芝)

各部の最低到達温度測定と熱負荷による熱応答試験



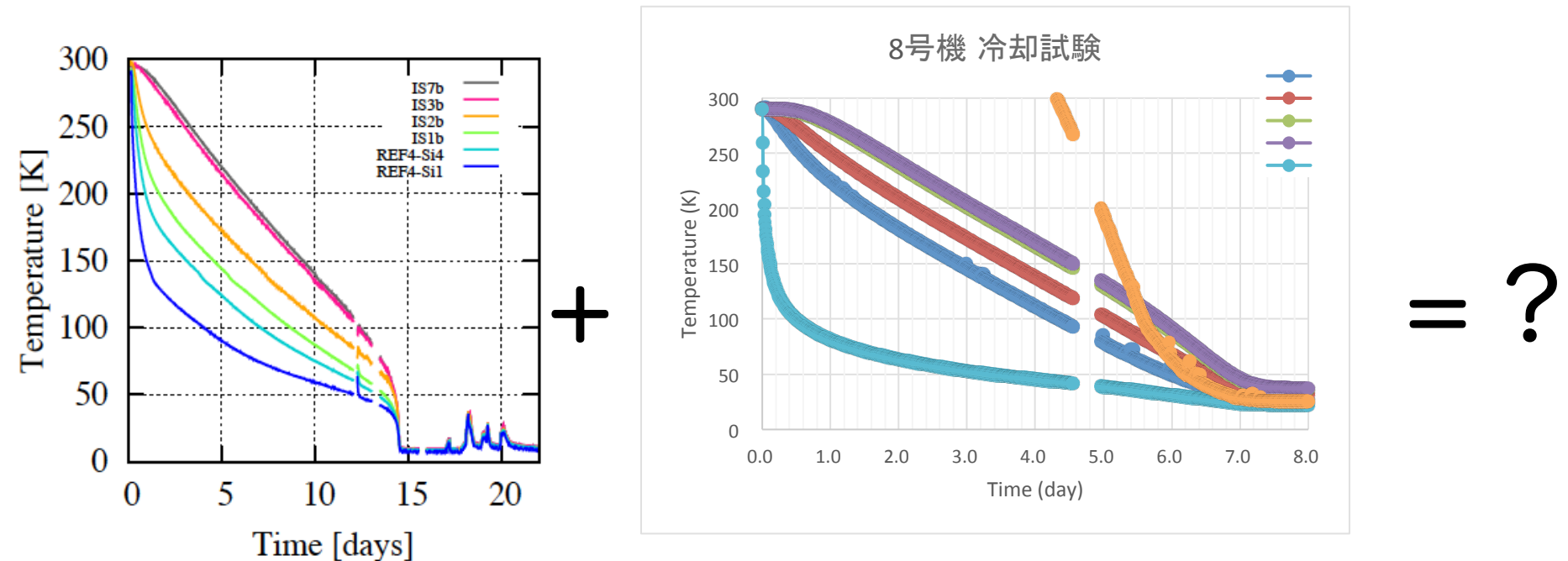
8Kシールド冷却曲線

懸架系伝熱冷却パス冷却曲線

熱応答

# クライオスタット冷却試験 (@KAGRA)

クライオスタットと断熱真空設備を組み合わせた総合性能は？



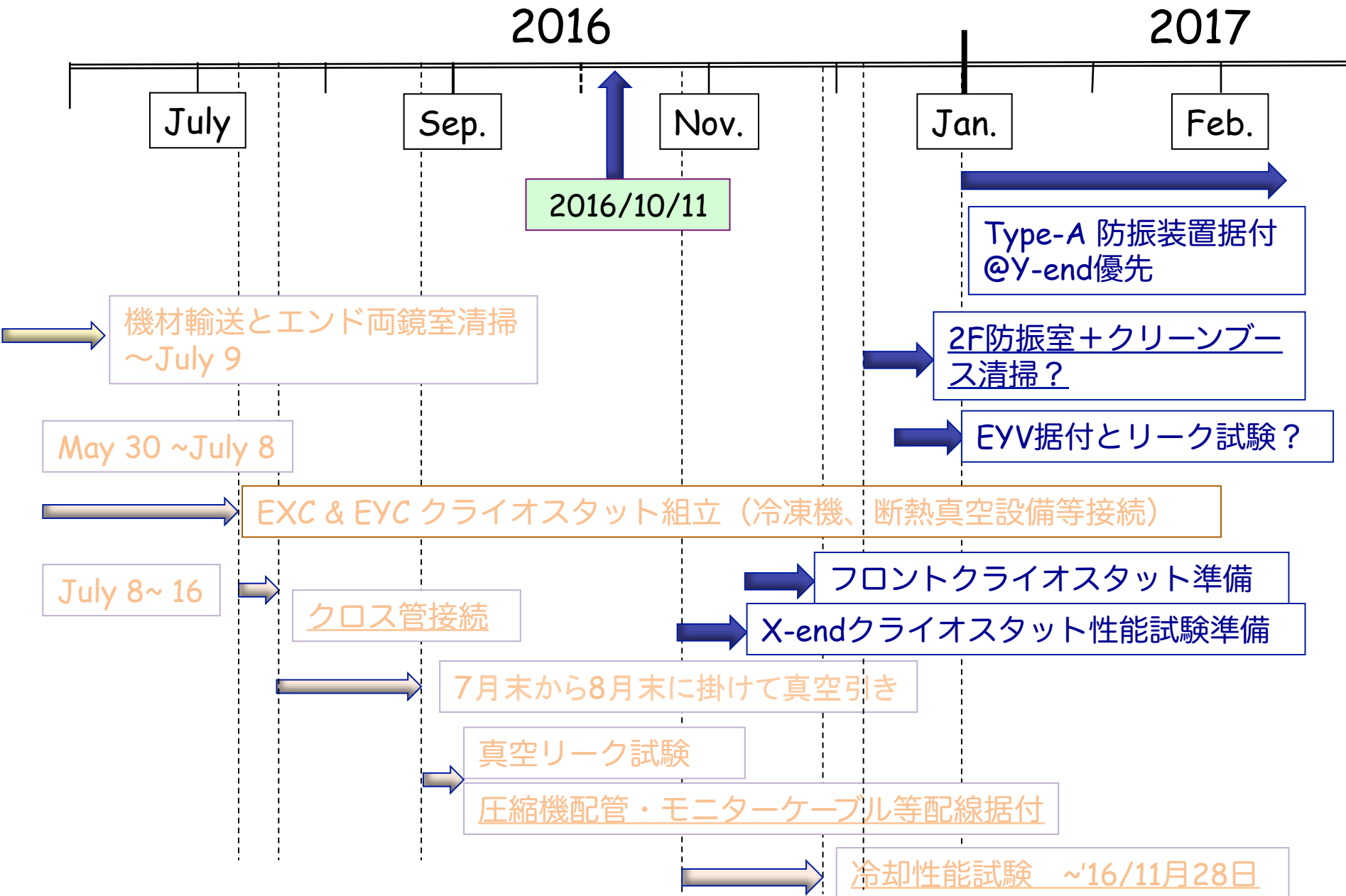
クライオスタット冷却曲線

断熱真空設備冷却曲線

ビームポート2カ所が閉 → 開口部有



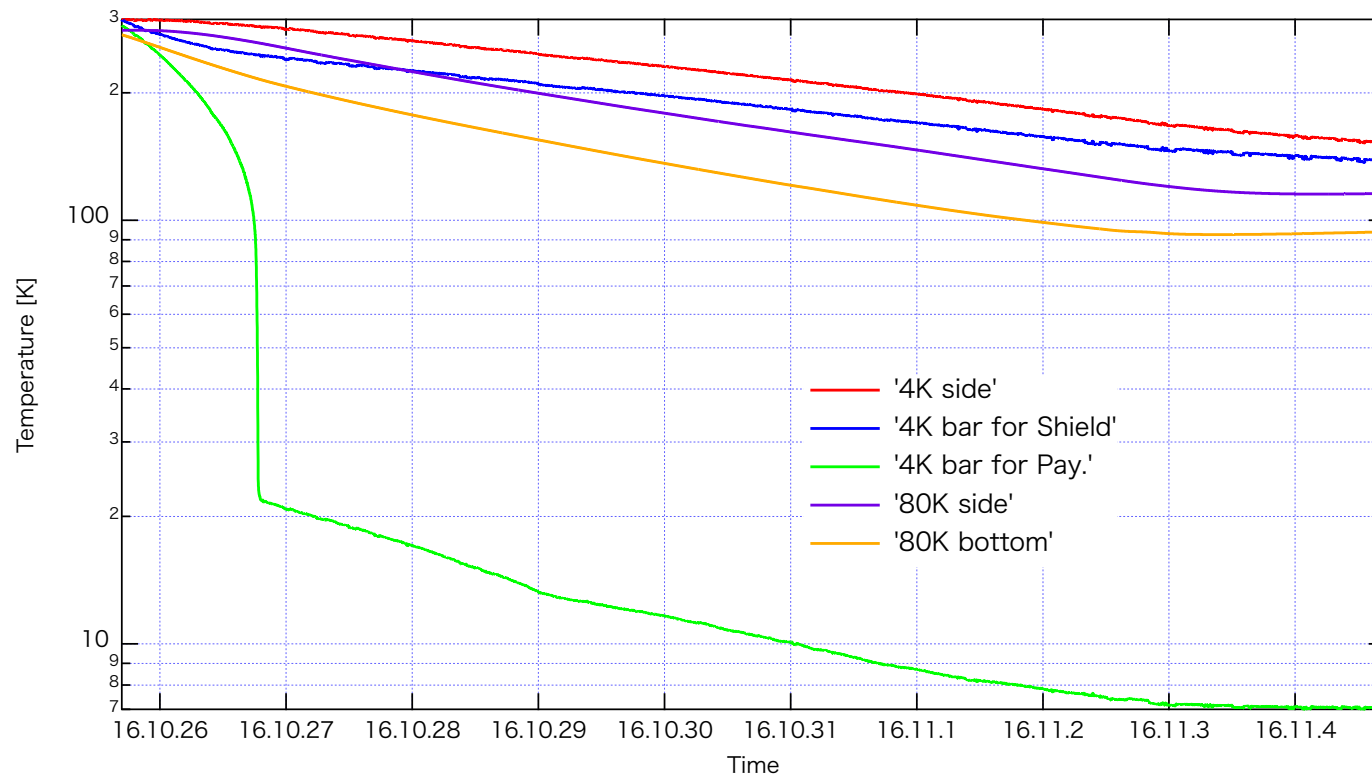
# KAGRA EXC & EYCの組立・性能試験他



# クライオスタットの冷却状況 (2016.11.4)

Cooling Test at Y-end

2016.10.25 - 11.4



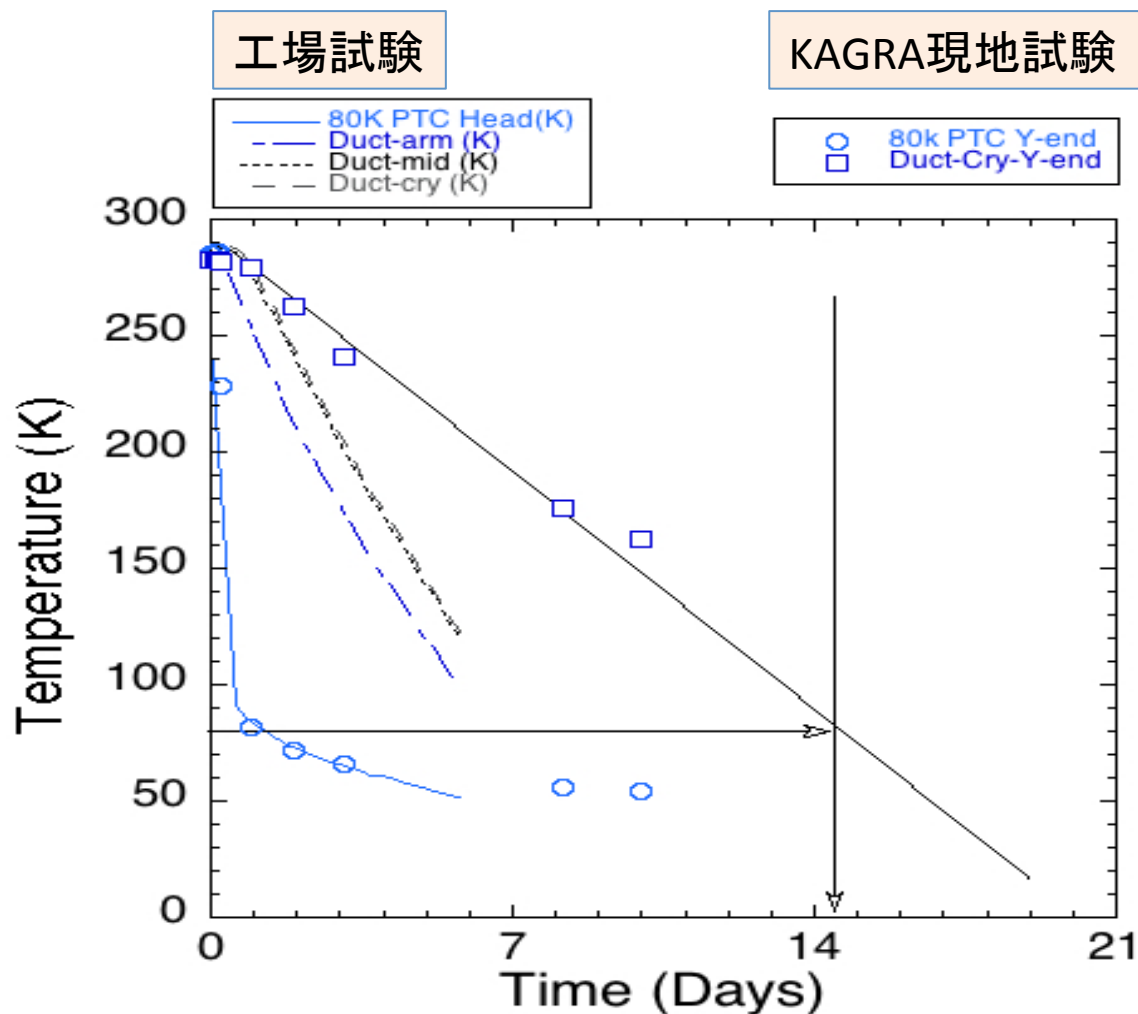
10 K、80 Kシールド温度が高止まり

原因: 輻射シールド冷凍機の1台がモーター異常で停止中

同機のコールドヘッドが熱侵入源に

対策: 11/9 KAGRAに入坑して対策予定

# 断熱真空設備の冷却状況（2016.11.4）



冷却速度が工場試験の1/2

冷凍機温度は工場試験を再現

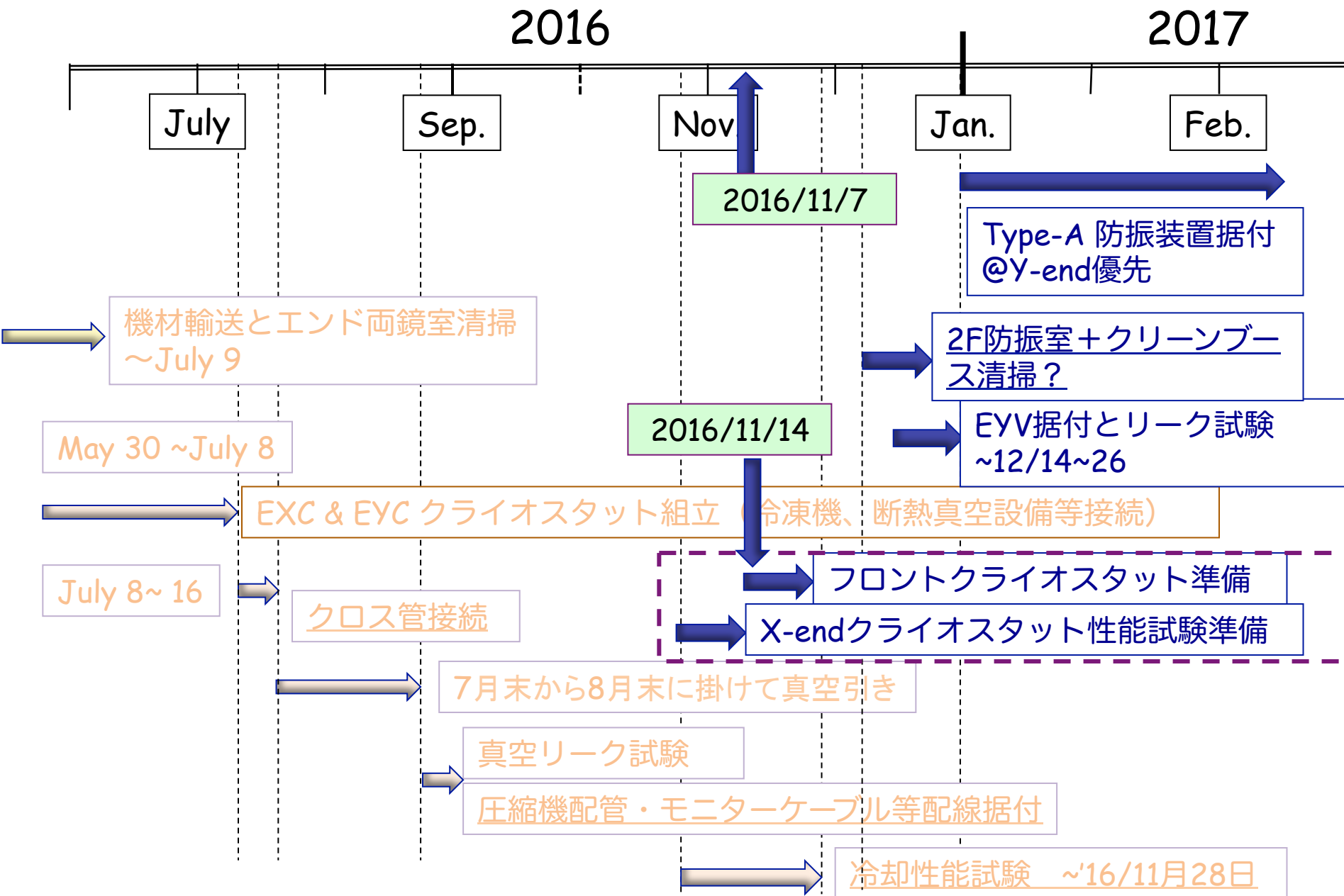
原因: クライオスタットの輻射シールド温度が高い? → 輻射による熱侵入が大?



# まとめ

- 停止した圧縮機の対策を11/9に行う。  
状況によっては圧縮機の交換も検討
- 交換による試験の延長は無し。
- 残りの2週間弱で最低到達温度の確認を行う

# KAGRA IXC & IYCの組立・性能試験と今後の予定



# appendix



# Status of the cryogenic system

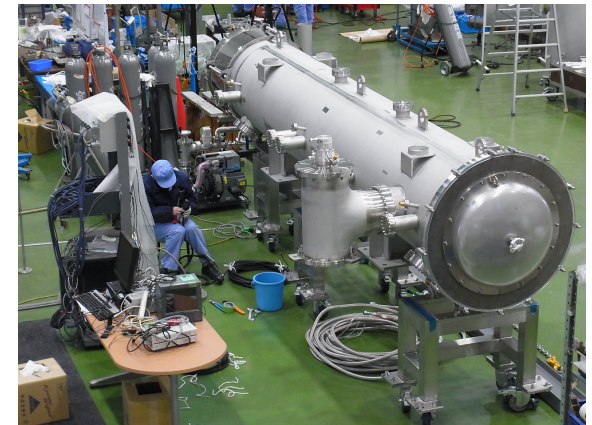
- Construction of X&Y-end cryostat without cryo-coolers completed at **Jan. 23 2015**.
- Clear leak tests based on KAGRA requirement  $< 1 \times 10^{-10} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{sec}$
- No excess leak found above the background ( $1 \times 10^{-12} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{sec}$ )
- Construction of X&Y-front cryostat completed at **Apr. 17 2015**.
- Construction of the front cryostats included **connecting 11 cryo-cooler units and 4 duct shields**.
- Leak test of the front cryostats have been done from **18 to 22th May**.
- Two small leak  $< 1 \times 10^{-9} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{sec}$  were founded by the reason of malfunction of gaskets.
- It should be replace until mid of September 2015.



Completed X&Y front



Completed Duct Shield



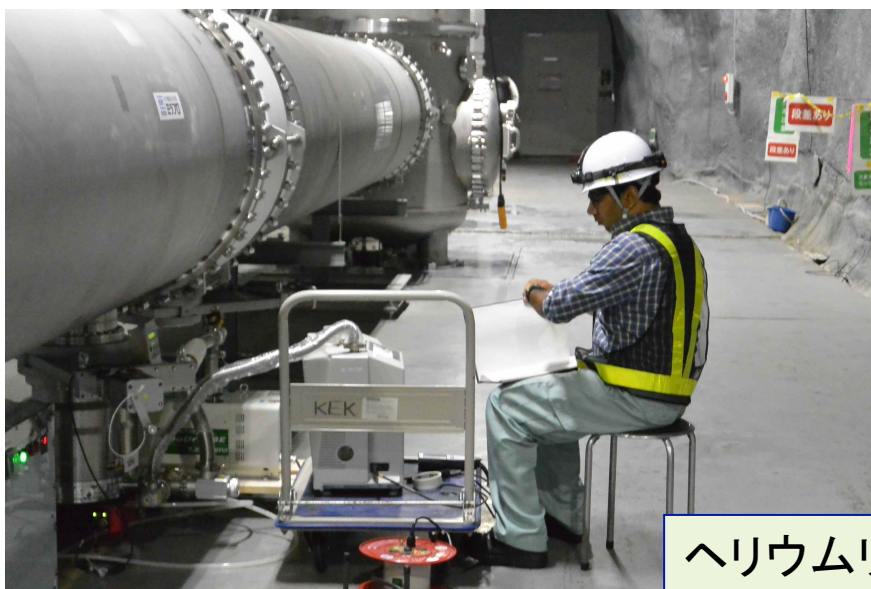
Preparation for performance test

## X&Y-end cryostats

- Leak test were cleared based on KAGRA requirement  $< 1 \times 10^{-10} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{sec}$
- No excess leak found above the background ( $\sim 1 \times 10^{-12} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{sec}$ )

## X&Y-front cryostats

- At leak test, two small leak spots  $< 1 \times 10^{-9} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{sec}$  were founded by the reason of malfunction of gaskets.
- It was already replaced at 11<sup>th</sup> September 2015.

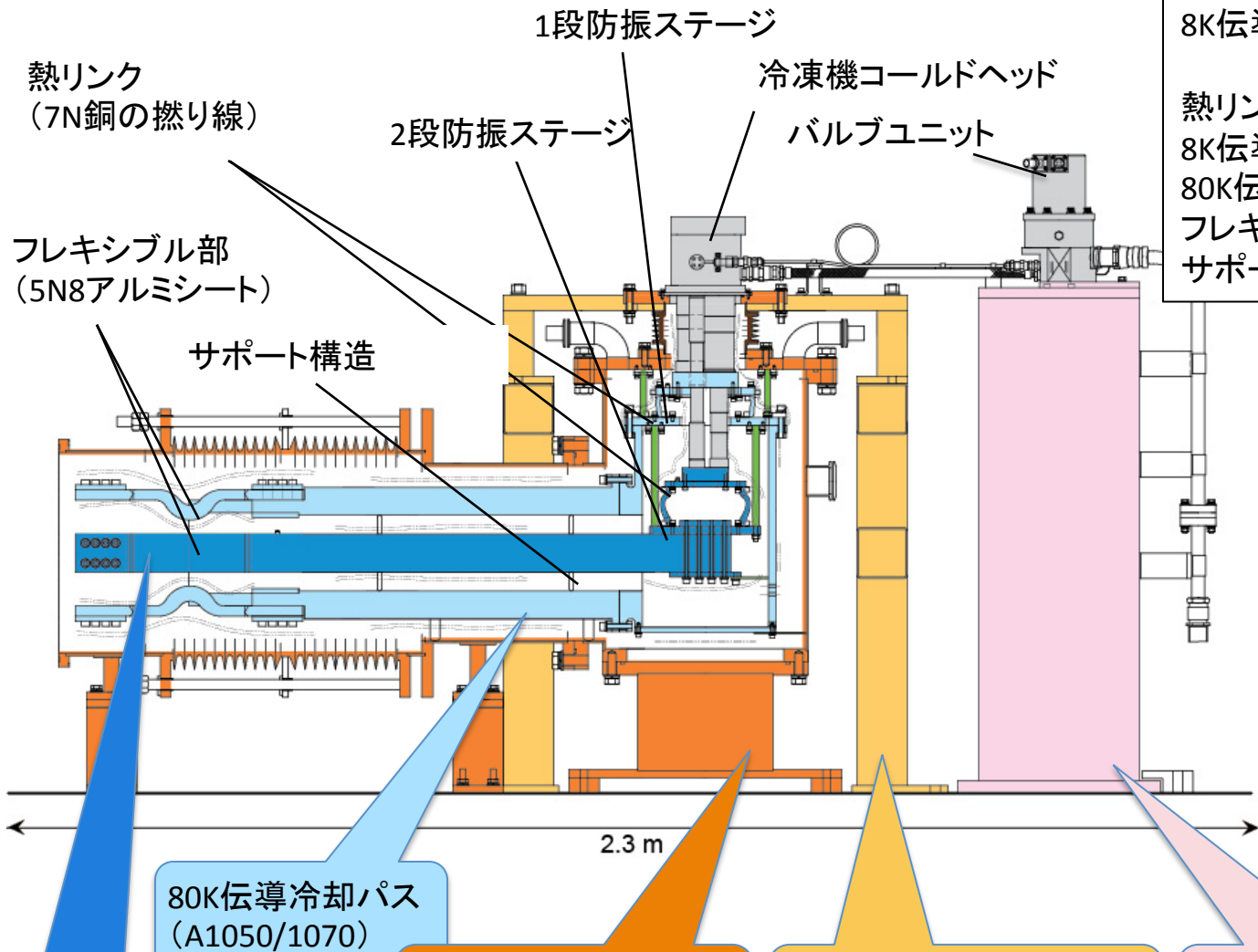


ヘリウムリーク試験



# 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



冷凍機ユニット重量: 1200 kg

80K伝導冷却パス: 150 kg

8K伝導冷却パス: 23 kg

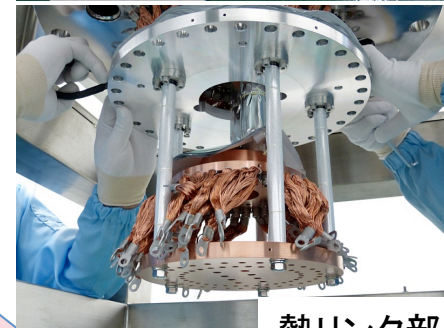
熱リンク: 7N銅

8K伝導冷却パス: 5N8アルミニウム

80K伝導冷却パス: A1000台

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)

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)

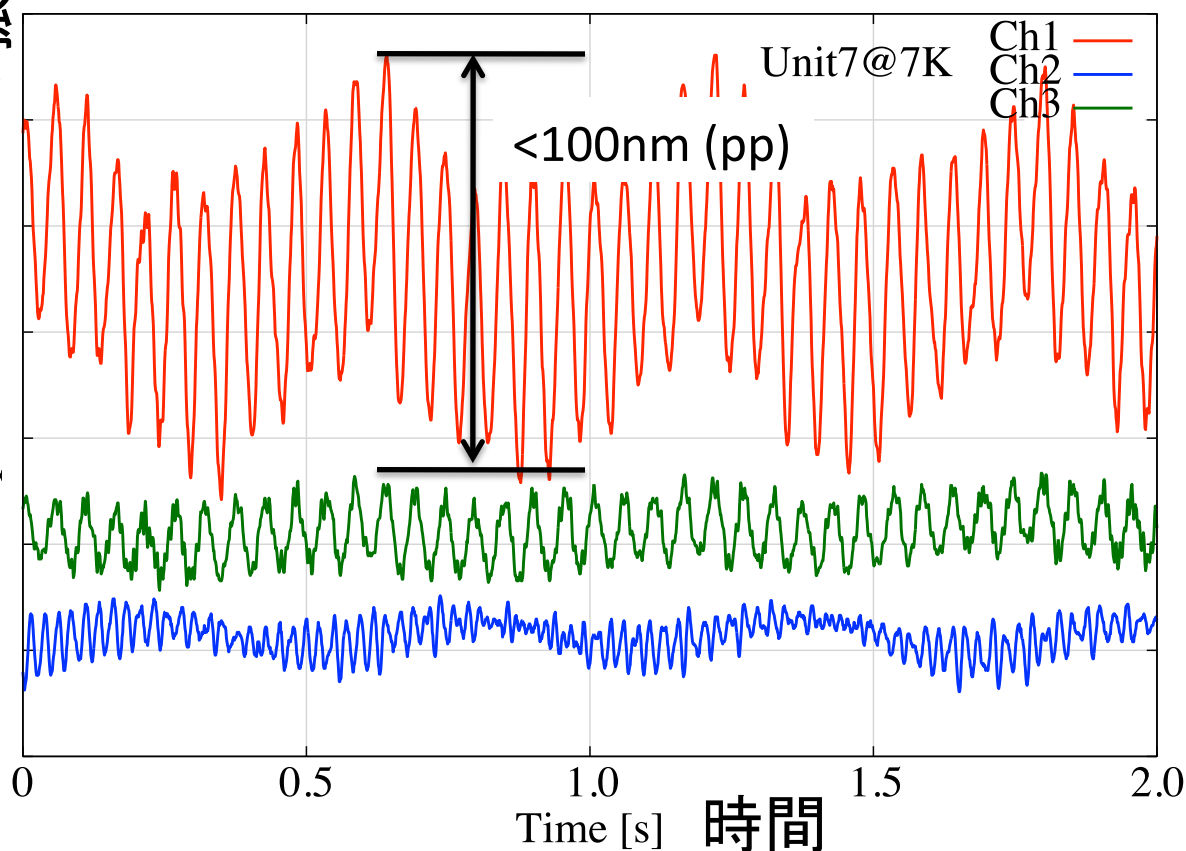
8K伝導冷却パス  
(5N8高純度アルミ)



# 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

振  
幅  
Relative Amplitude (1 dev = 20 nm)



Ch1 : 軸方向  
Ch2 : 水平方向  
Ch3 : 垂直方向

