

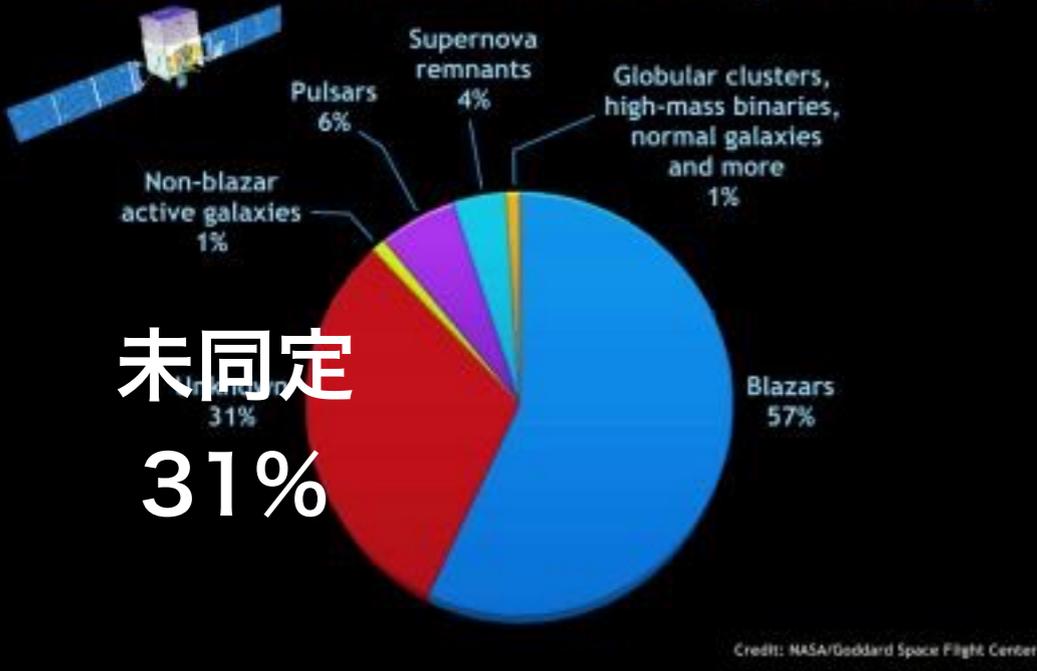
宇宙ガンマ線精密観測GRAINE2018年フライトにおける 与圧容器ゴンドラの開発とフライト結果

名古屋大学 神戸大学 愛知教育大学
ISAS/JAXA 岡山理科大学
名古屋大学 小宮山将広

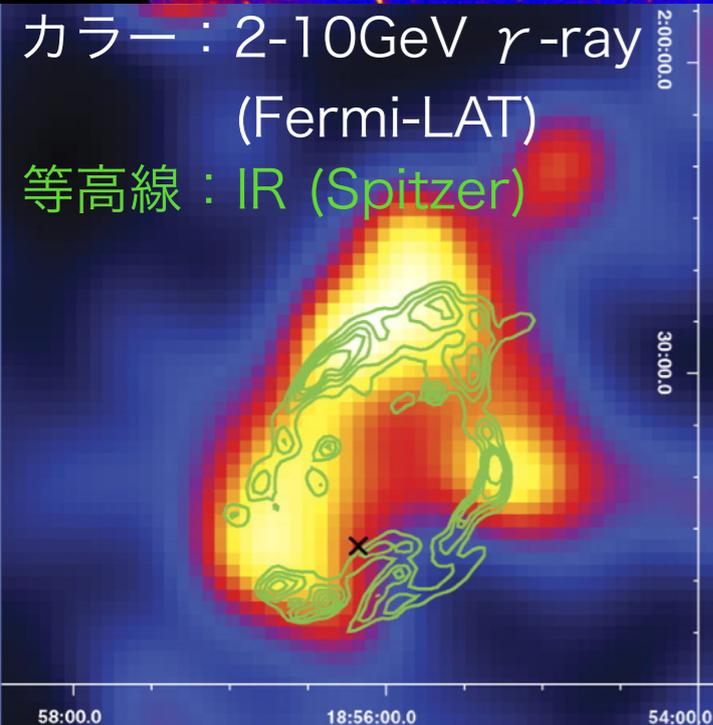


宇宙ガンマ線観測における課題 (GeV/sub-GeV領域)

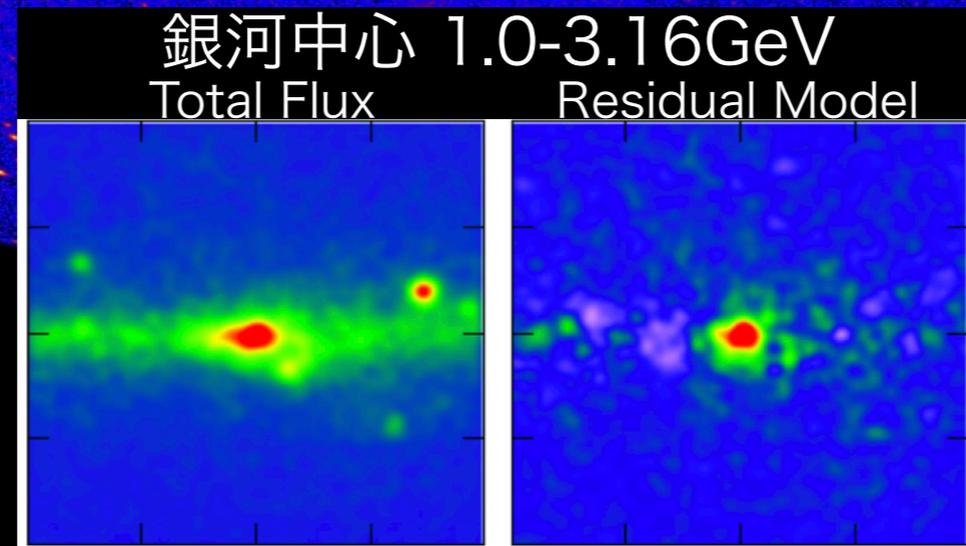
What has Fermi found: The LAT two-year catalog



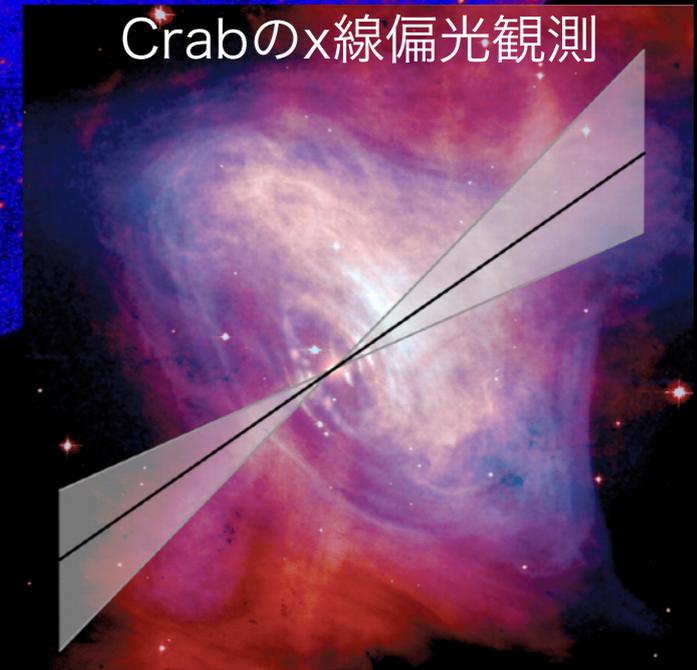
検出器の空間分解能の不足により
議論が進められない



宇宙線加速源



未知ガンマ線超過(ダークマター?)



偏光観測

エマルション(原子核乾板)によるガンマ線精密観測

ガンマ線



電子陽電子対生成

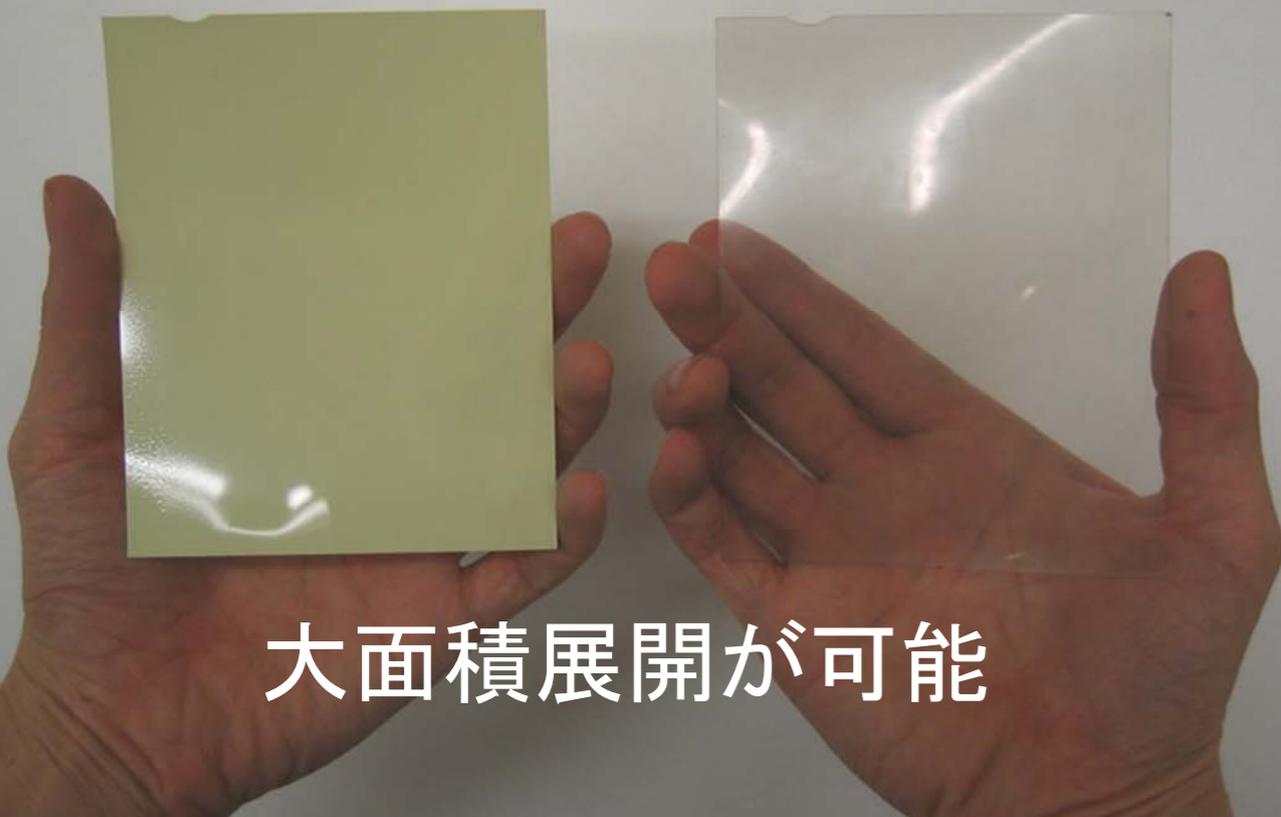


高角度分解能 偏光に有感



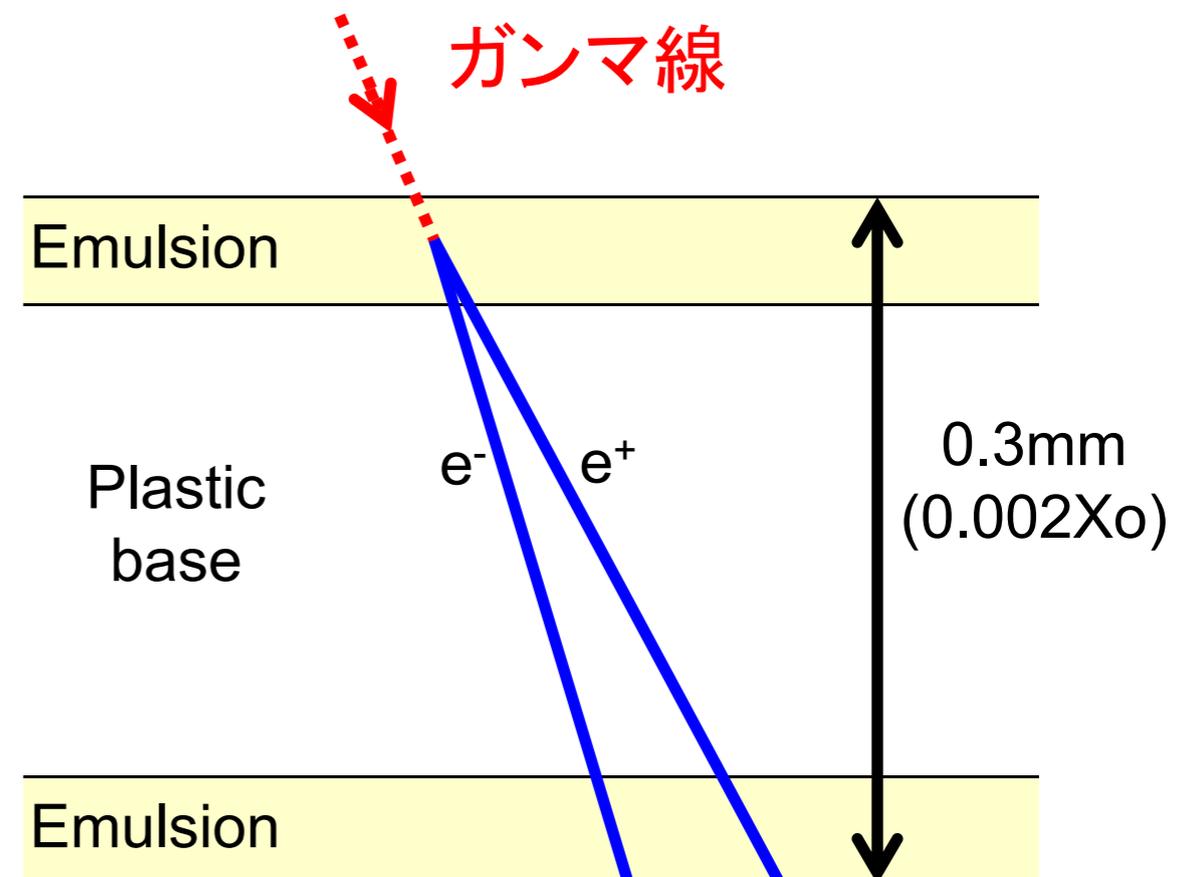
顕微鏡画像

現像前、現像後のエマルションフィルム



大面積展開が可能

エマルションフィルムの断面図



自己紹介

小宮山 将広

名古屋大学 理学研究科 素粒子宇宙物理学専攻
基本粒子研究室 M2

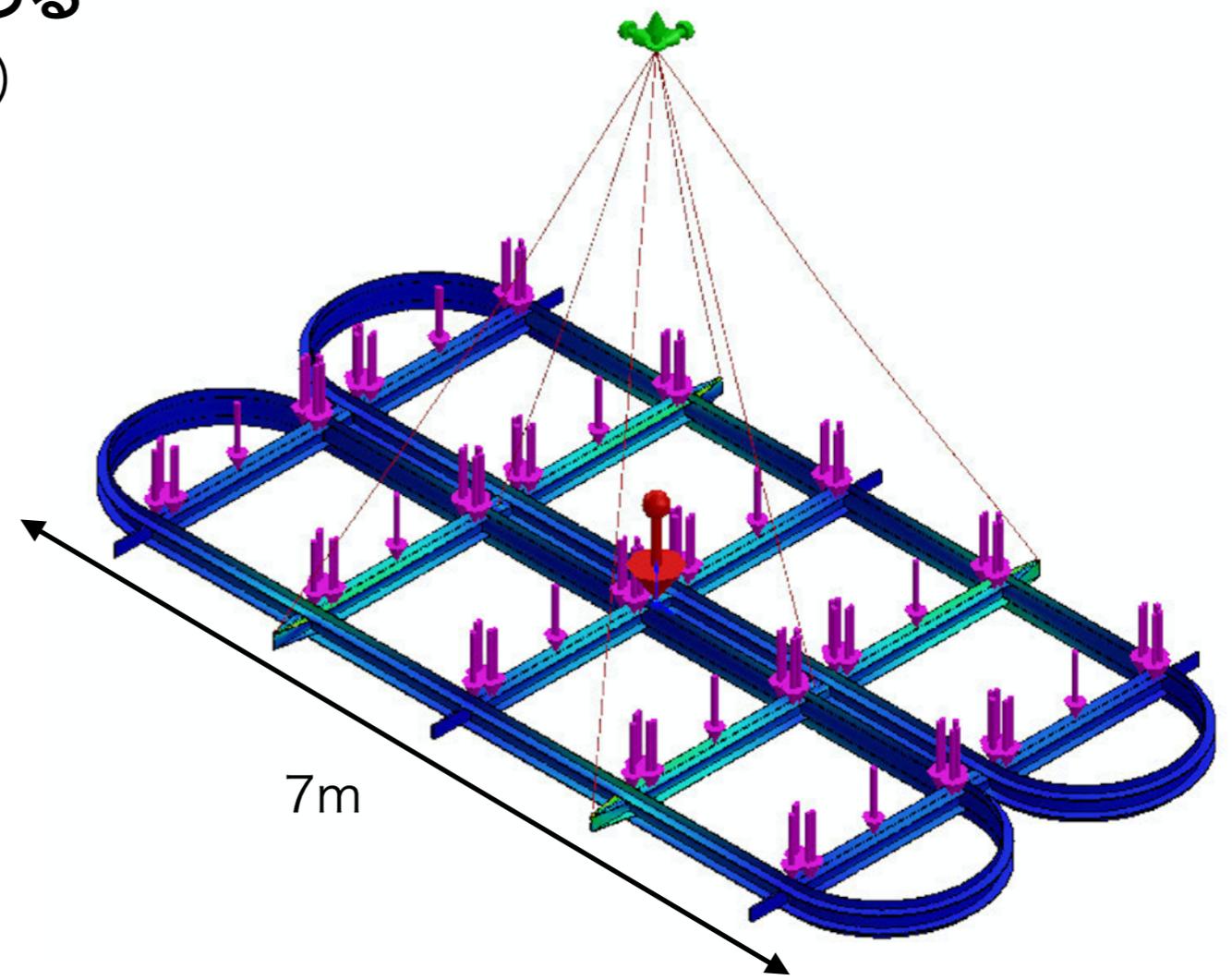
去年度から宇宙ガンマ線精密観測実験
GRAINEグループに参画し2018年実験を進める
(Gamma-Ray Astro-Imager with Nuclear Emulsion)

与圧容器ゴンドラの開発/準備を担当し、
去年のクリスマスはこれに捧げた

現在、行なっている研究は

- ・ 2018年のフライトデータの解析
- ・ 次期計画の大型与圧容器ゴンドラの設計

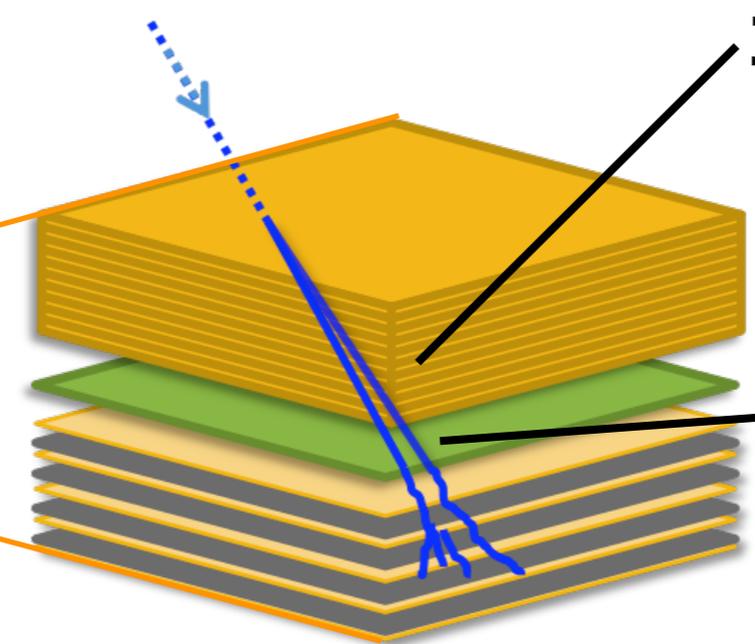
趣味は、星空観察とtrpg



気球搭載型エマルシオンガンマ線望遠鏡



与圧容器ゴンドラ



コンバータ
 エマルシオンフィルム100層
 →電子対生成反応を捉え、
 ガンマ線の到来方向を決める

タイムスタンプ
 多段シフト 機構
 →検出した反応に
 時間情報を与える

姿勢モニタ
 近赤外～可視光領域のCCDカメラ
 →望遠鏡の天球に対する姿勢をモニタする

天球座標上にガンマ線をポインティングする

	フェルミ望遠鏡		GRAINE計画
角度分解能 @100 MeV	6.0 度	$\xrightarrow{\times 1/6}$	1.0 度
@1 GeV	0.9 度	$\xrightarrow{\times 1/9}$	0.1 度
偏光感度	なし		あり
有効面積 @100 MeV	0.25 m ²	$\xrightarrow{\times 8}$	2.1 m ² ※
有効面積 @1 GeV	0.88 m ²	$\xrightarrow{\times 3}$	2.8 m ² ※
Dead time	26.5 μsec		なし

※10m²観測の場合 5

GRAINEロードマップ

2004年- 地上での技術開発

2011年6月 JAXA国内気球実験

- ・気球高度において観測コンセプトを実証

2015年5月 JAXA国際気球実験

中口径望遠鏡(0.38m²)のフライト性能実証

- ・イメージング性能の実証
 - ・時間分解能の更新 -10ミリ秒
- 天体検出には至らず(一部の不具合)

2018年4月 JAXA国際気球実験

ガンマ線天体の検出による望遠鏡の総合実証

- ・目標天体 Vela pulsar を
100 MeV 帯域 (角度分解能1.0度)で
有意に検出することを目指す

2021年-

大口径(10m²)望遠鏡による科学観測開始



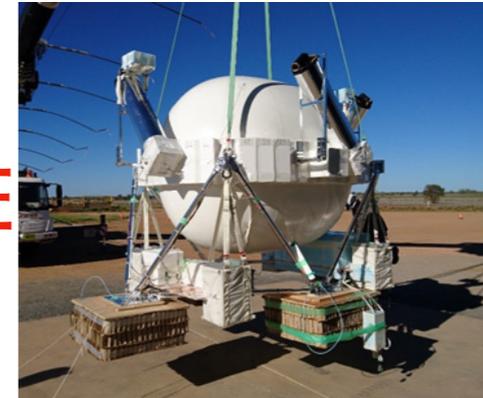
GRAINE 2011

- ・2011年6月8日
- ・北海道 TARF
- ・口径面積0.013m²
- ・1.6時間@35km



GRAINE 2015

- ・2015年5月12日
- ・オーストラリア ABLS
- ・口径面積0.38m²
- ・11.5時間@36-37km



GRAINE 2018

- ・2018年4月26日
- ・オーストラリア ABLS
- ・口径面積0.38m²
- ・14.7時間@35-38km

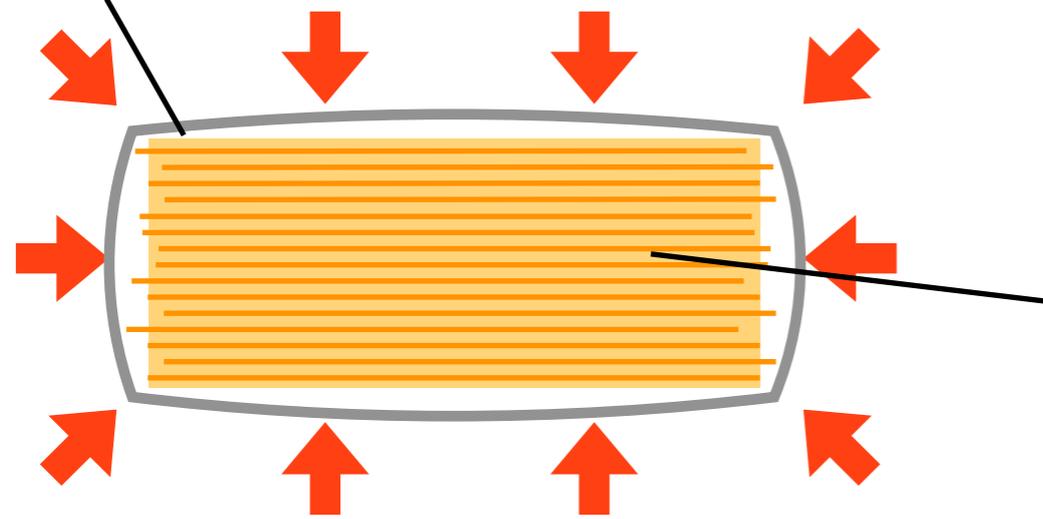


与圧容器ゴンドラの役割と要求

エマルションフィルムは実験時、フィルム同士のアライメントが崩れないように形状を保持する必要がある

→真空パックして、大気圧で押さえる

遮光袋(真空パック)



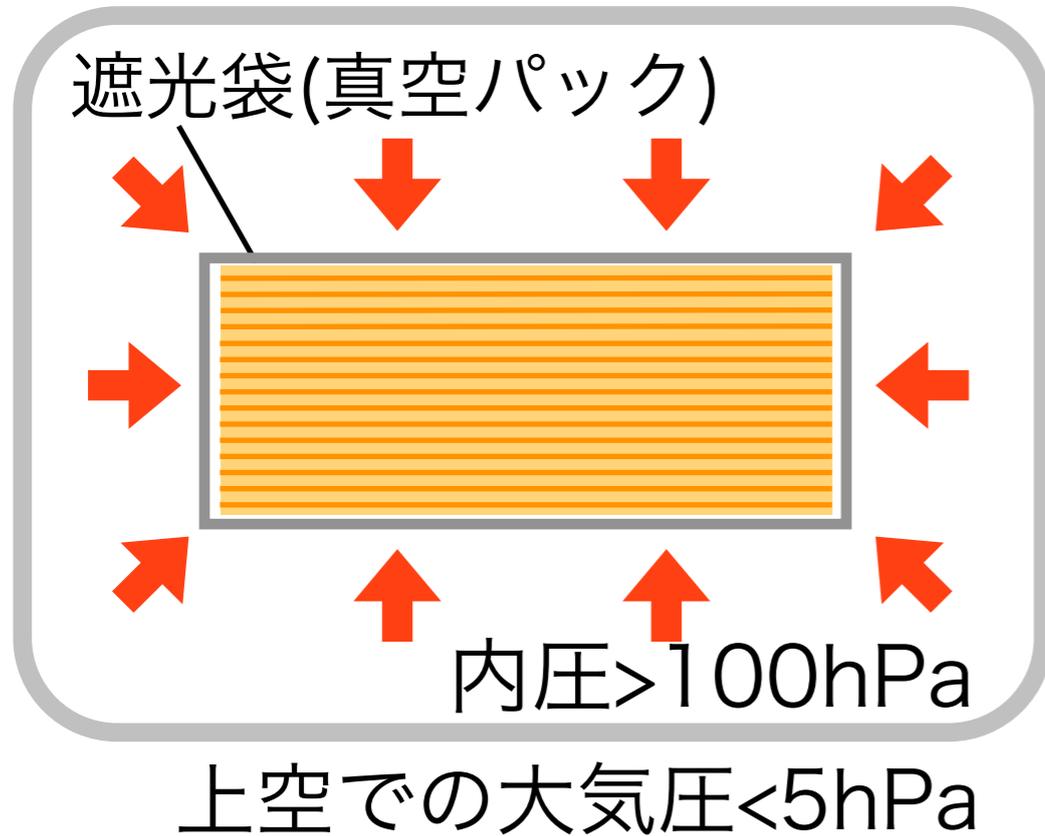
そのままでは真空パックできない

エマルションフィルム
100枚

上空での大気圧<5hPa

与圧容器ゴンドラの役割と要求

エマルションフィルムは実験時、フィルム同士のアライメントが崩れないように形状を保持する必要がある
→真空パックして、大気圧で押さえる



そのままでは真空パックできない

**与圧容器を
導入する**

**役割：容器内を一定以上の気圧にして観測高度でも
フィルムを押さえる圧力を確保すること**

要求：100hPa以上 24時間 (2018年実験の場合)

風船式与圧容器の構造

圧力を保持する**シェル**

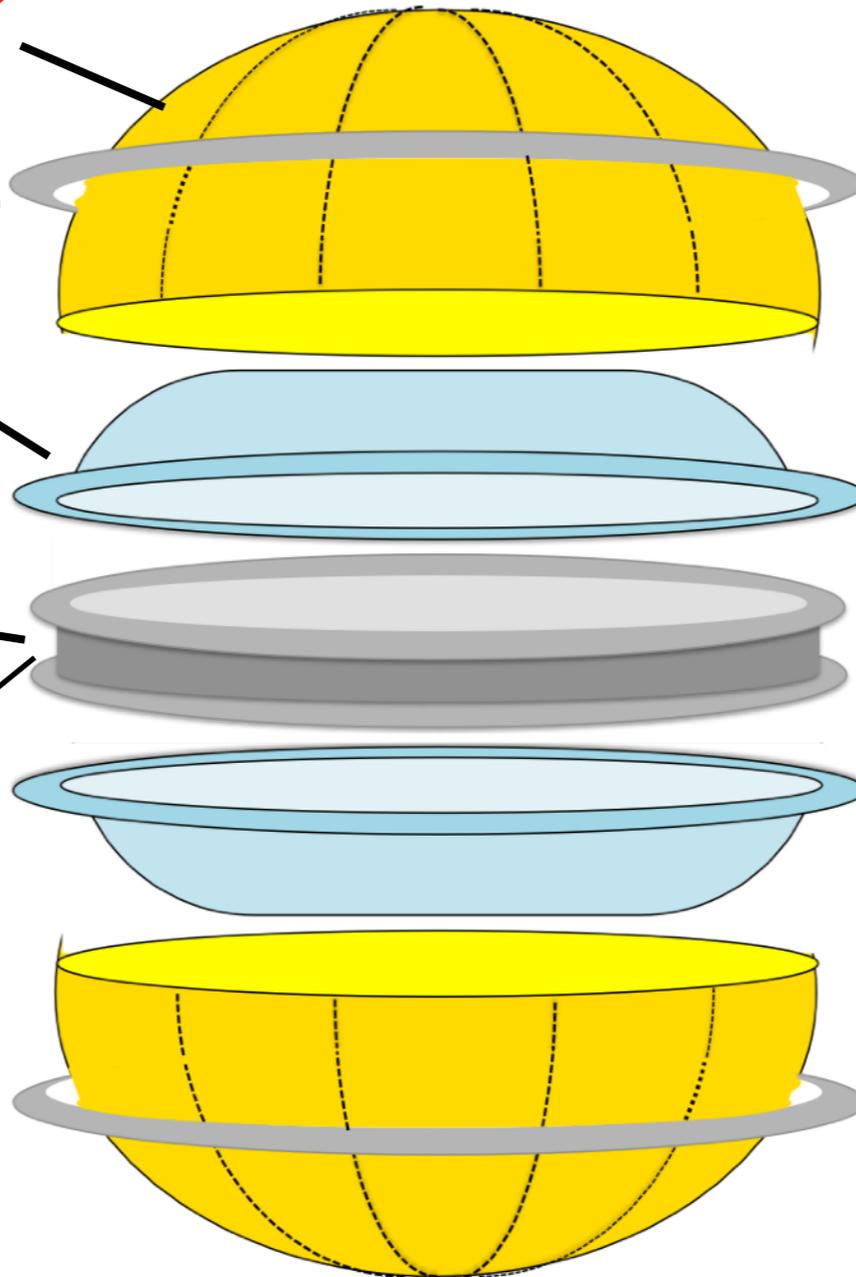
サブリング

空気を閉じ込める
気密膜

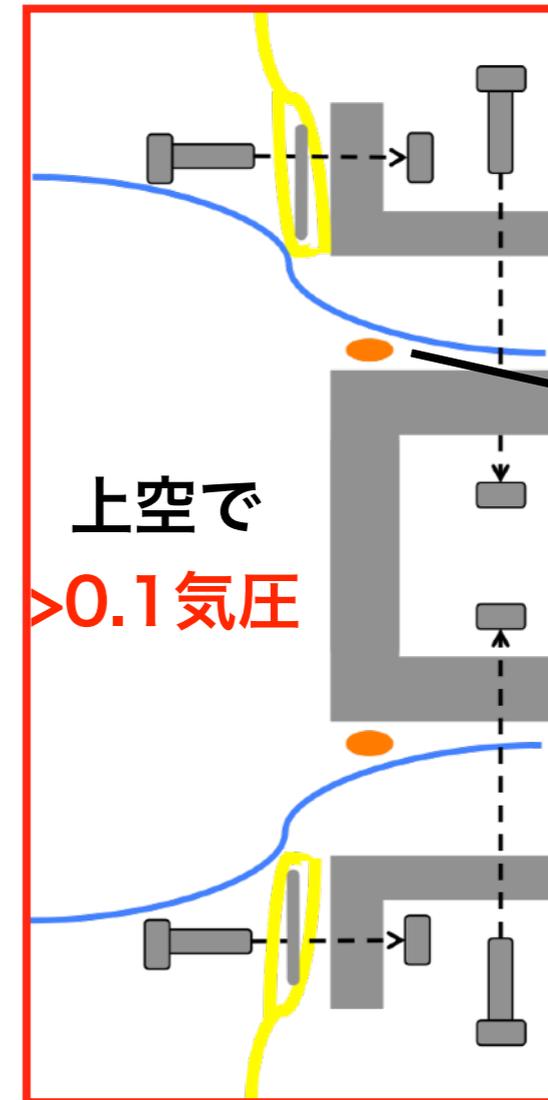
メインリング

差圧弁

差圧が設定値以上になると
弁が開いて空気が抜けていく



断面図



空気漏れを防ぐ
パッキン

上空で
>0.1気圧

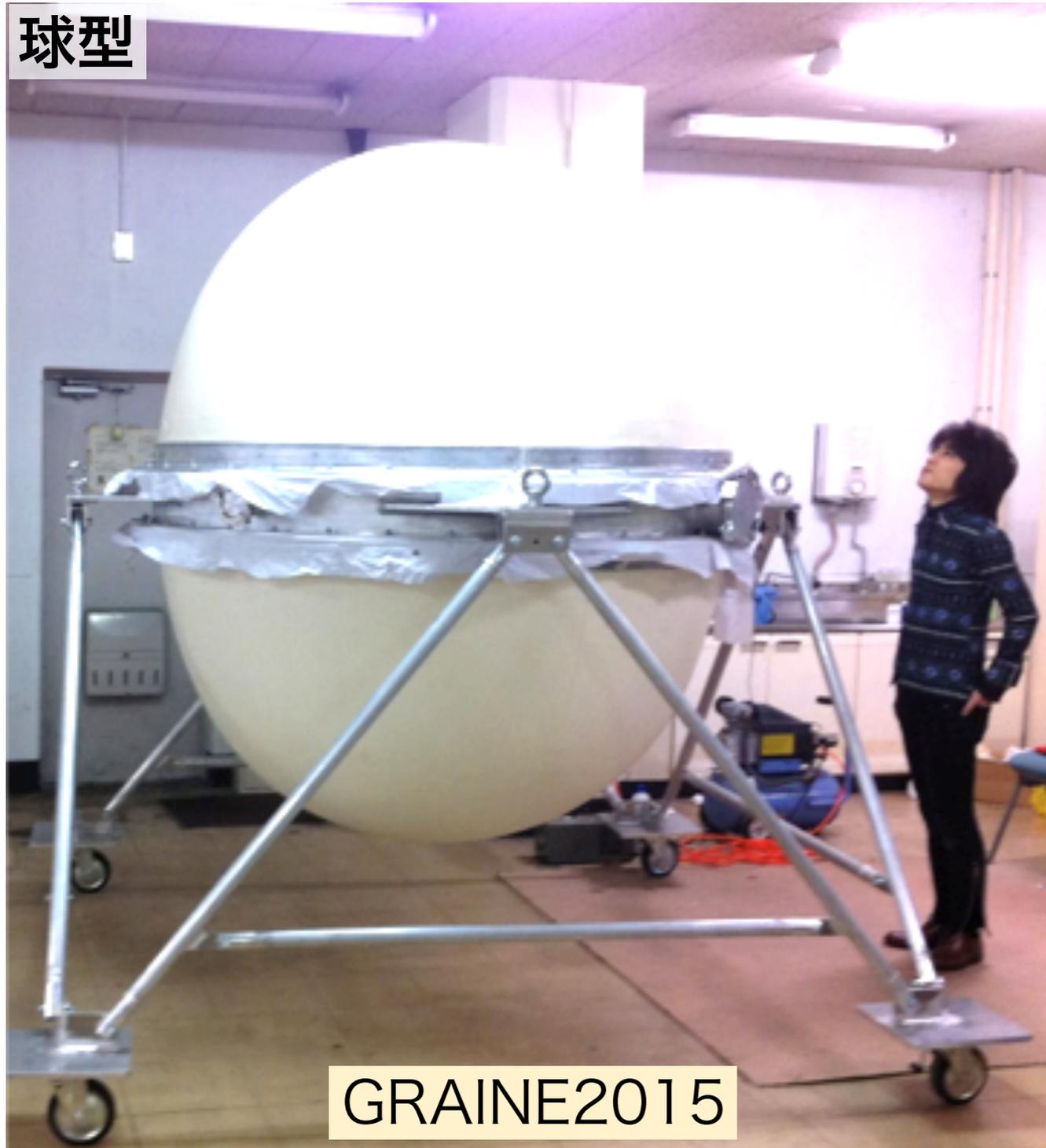
メリット

- 金属容器ではなく膜材料(0.1g/cm²)を使っているため、検出器視野内の物質量が少ない
- 金属容器に比べ軽量かつ可搬性に優れるため、大型化に適している

GRAINE2015での与圧容器ゴンドラの導入と実績

GRAINE2015で初めて与圧容器ゴンドラを導入

球型



口径面積 0.38m²

2015年5月12日

6時33分~20時55分のフライトに成功

フライト中100hPa以上の保持に成功

シェル高温耐性 +20°Cまで

パッキン材低温耐性 -40°Cまで

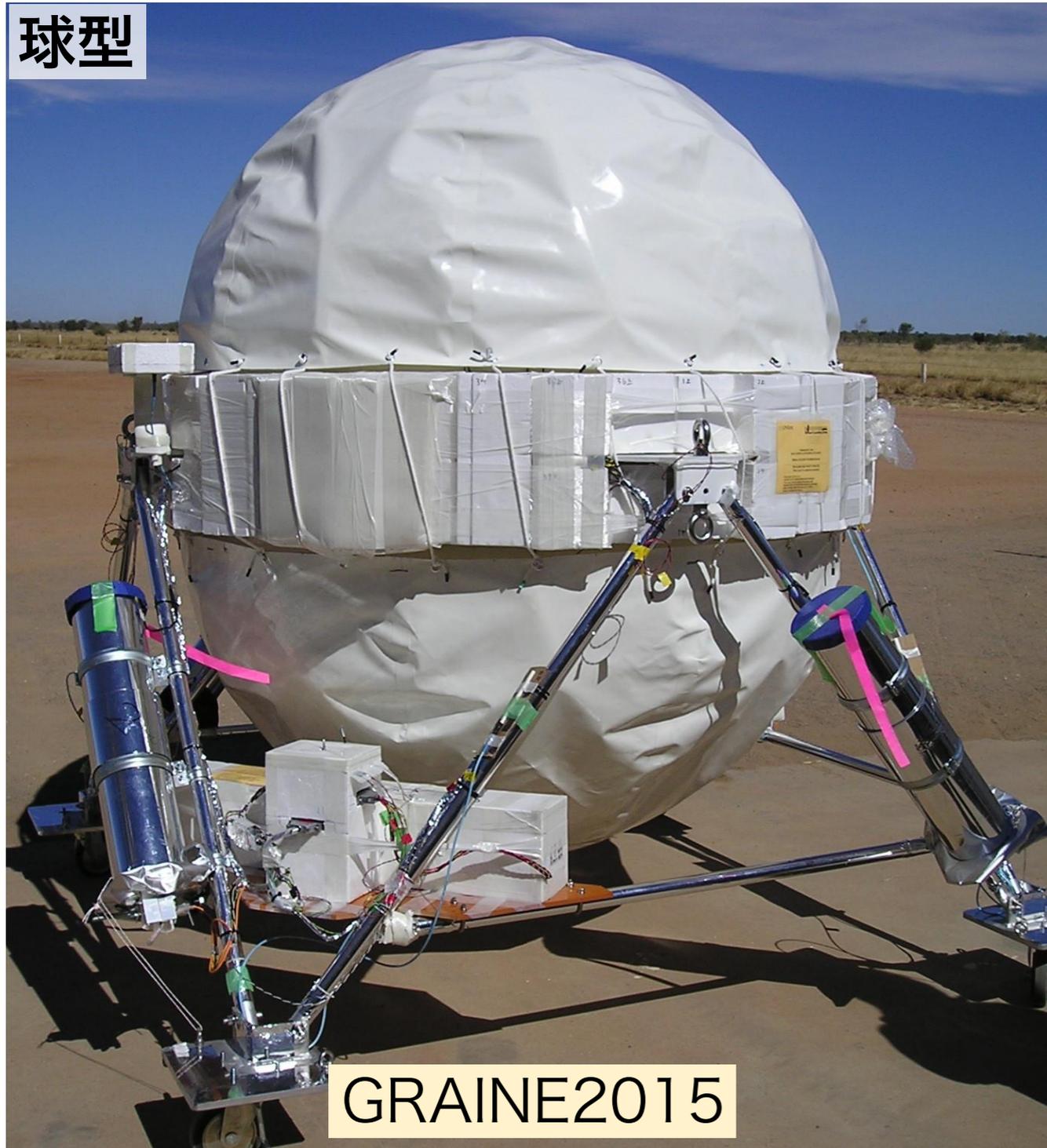
→断熱強化により回避(クリア)

GRAINE2015

GRAINE2015での与圧容器ゴンドラの導入と実績

GRAINE2015で初めて与圧容器ゴンドラを導入

球型



口径面積 0.38m²

2015年5月12日

6時33分~20時55分のフライトに成功

フライト中100hPa以上の保持に成功

シェル高温耐性 +20°Cまで

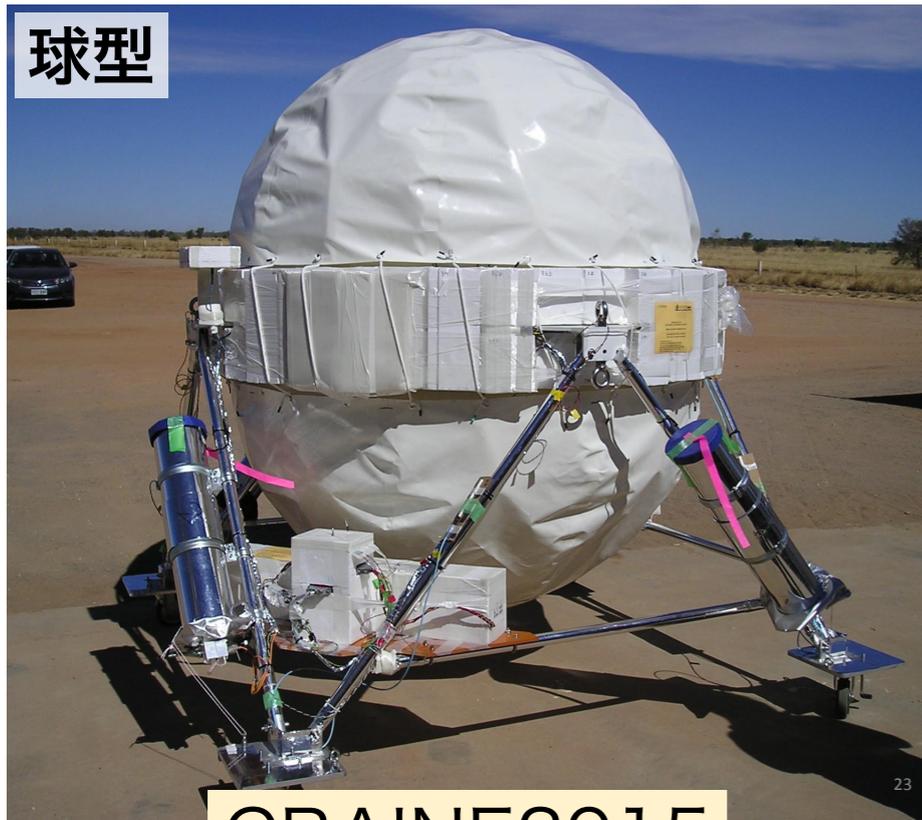
パッキン材低温耐性 -40°Cまで

→断熱強化により回避(クリア)

GRAINE2015

与圧容器ゴンドラ大面積化の展望

球型



GRAINE2015

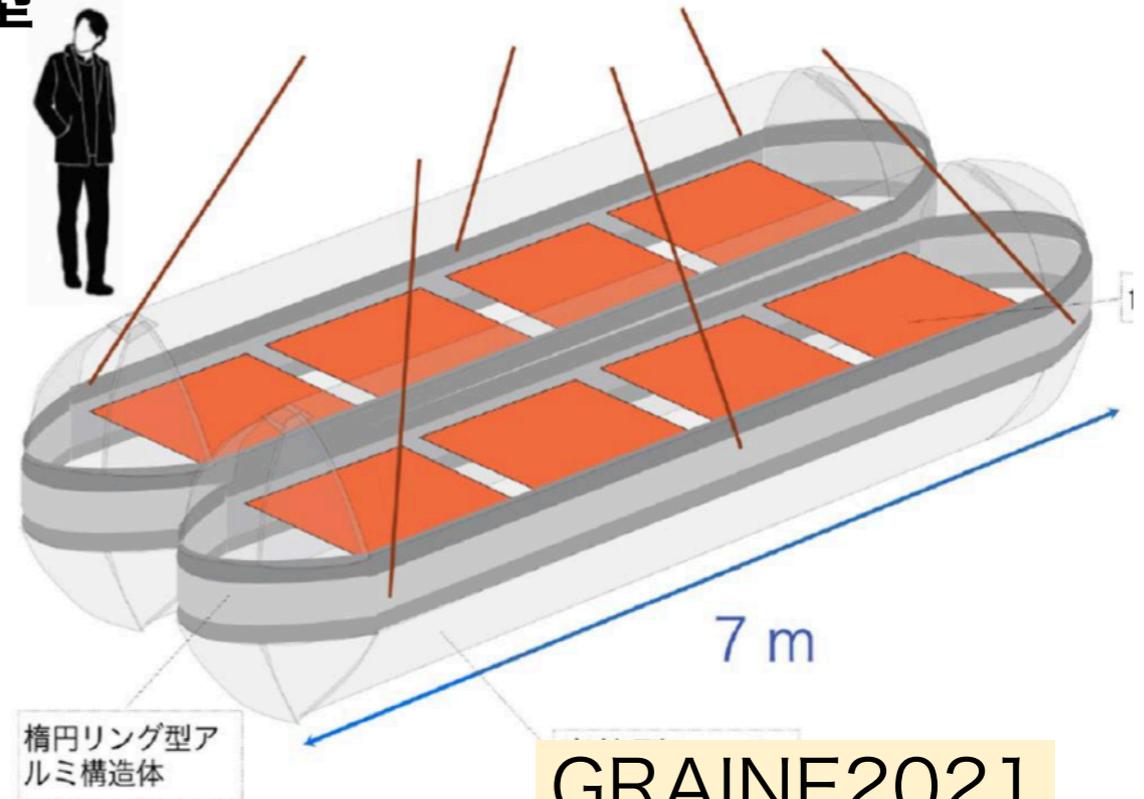
口径面積 0.38m^2

2015年5月12日

6時33分~20時55分のフライトに成功
フライト中100hPa以上の保持に成功

シェル高温耐性 $+20^\circ\text{C}$ まで
パッキン材低温耐性 -40°C まで
→断熱強化により回避

長繭型



GRAINE2021

口径面積 10m^2

複数日間の長時間フライト

与圧容器ゴンドラ大面積化の展望

球型



GRAINE2015

口径面積 0.38m^2

2015年5月12日

6時33分~20時55分のフライトに成功
フライト中100hPa以上の保持に成功

シェル高温耐性 $+20^\circ\text{C}$ まで
パッキン材低温耐性 -40°C まで
→断熱強化により回避

繭型



GRAINE2018

口径面積 0.38m^2

約24時間100hPa以上

球型→繭型

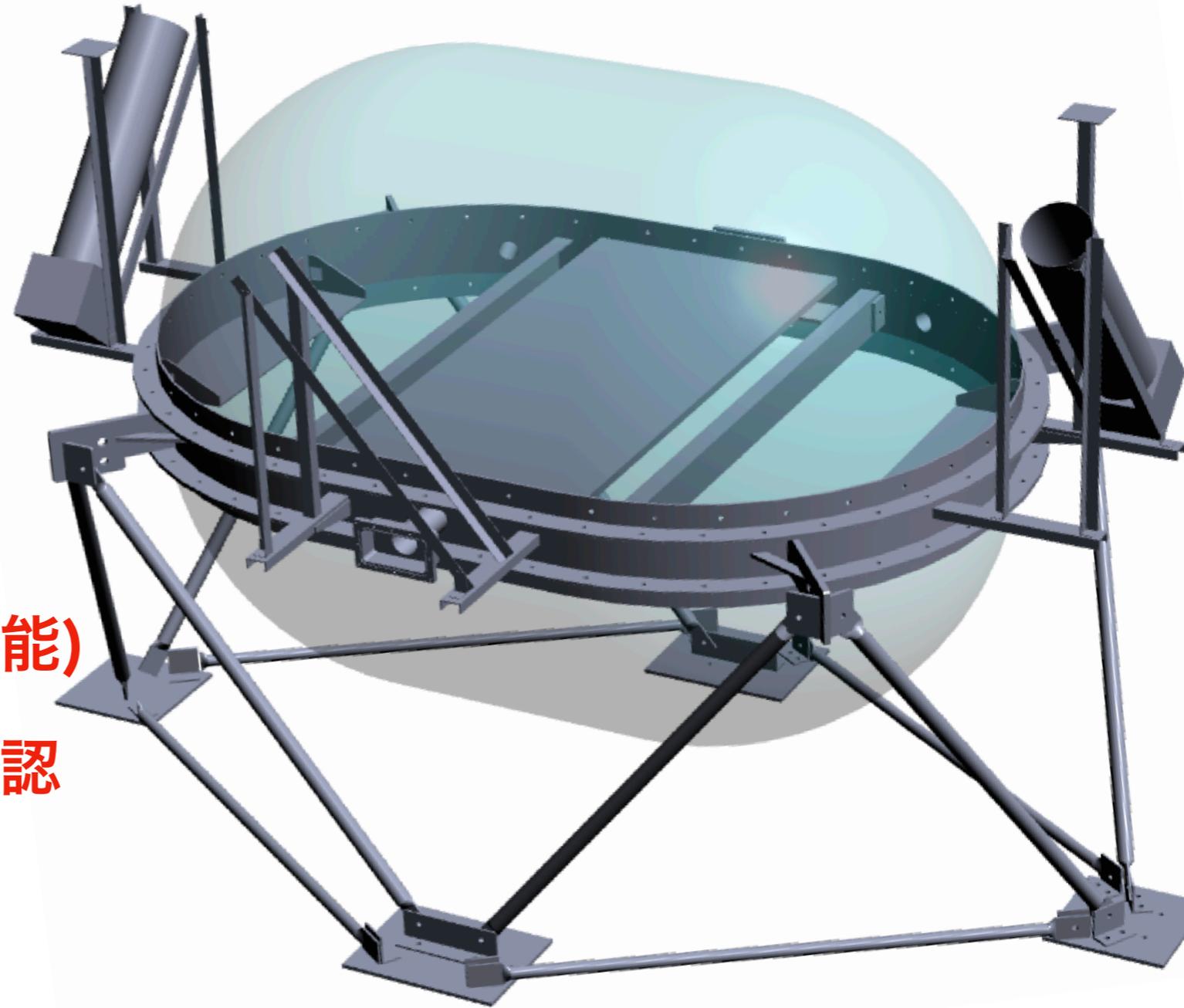
シェル高温耐性 $+60^\circ\text{C}$ 改善

パッキン材低温耐性 -60°C 改善

GRAINE2018与圧容器ゴンドラの開発

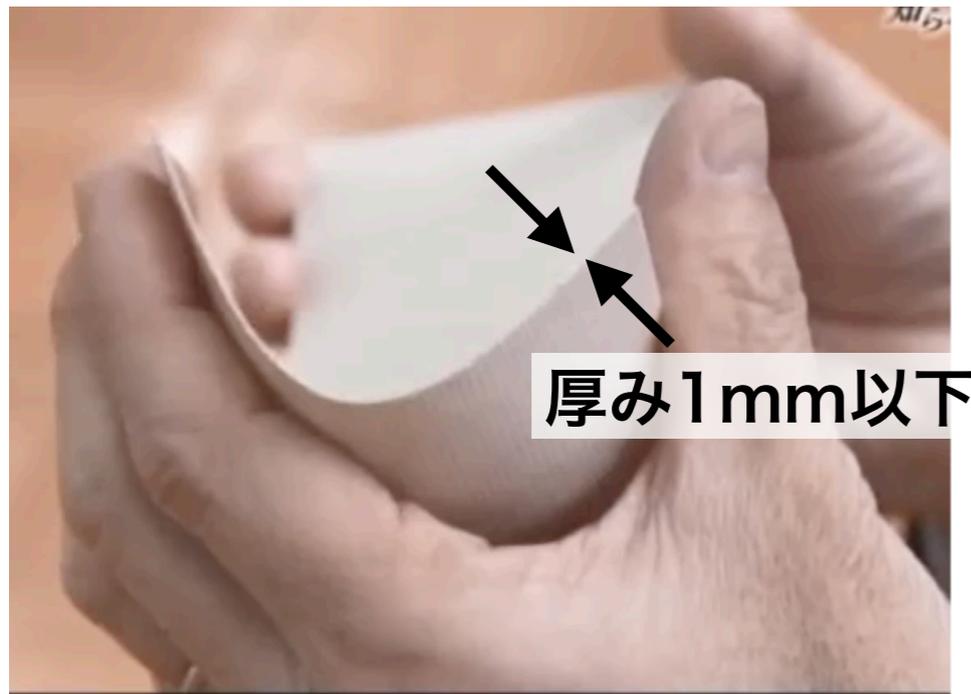
開発の流れ

- ① アルミリングの設計製作
- ② シェル素材の検討
- ③ 繭型シェルの製作
- ④ 加圧試験(密閉性能, 耐圧性能)
- ⑤ メインリング圧力変形の確認
- ⑥ 低温に強いパッキンの選定
- ⑦ オーストラリアへ輸送



① シェル素材の検討

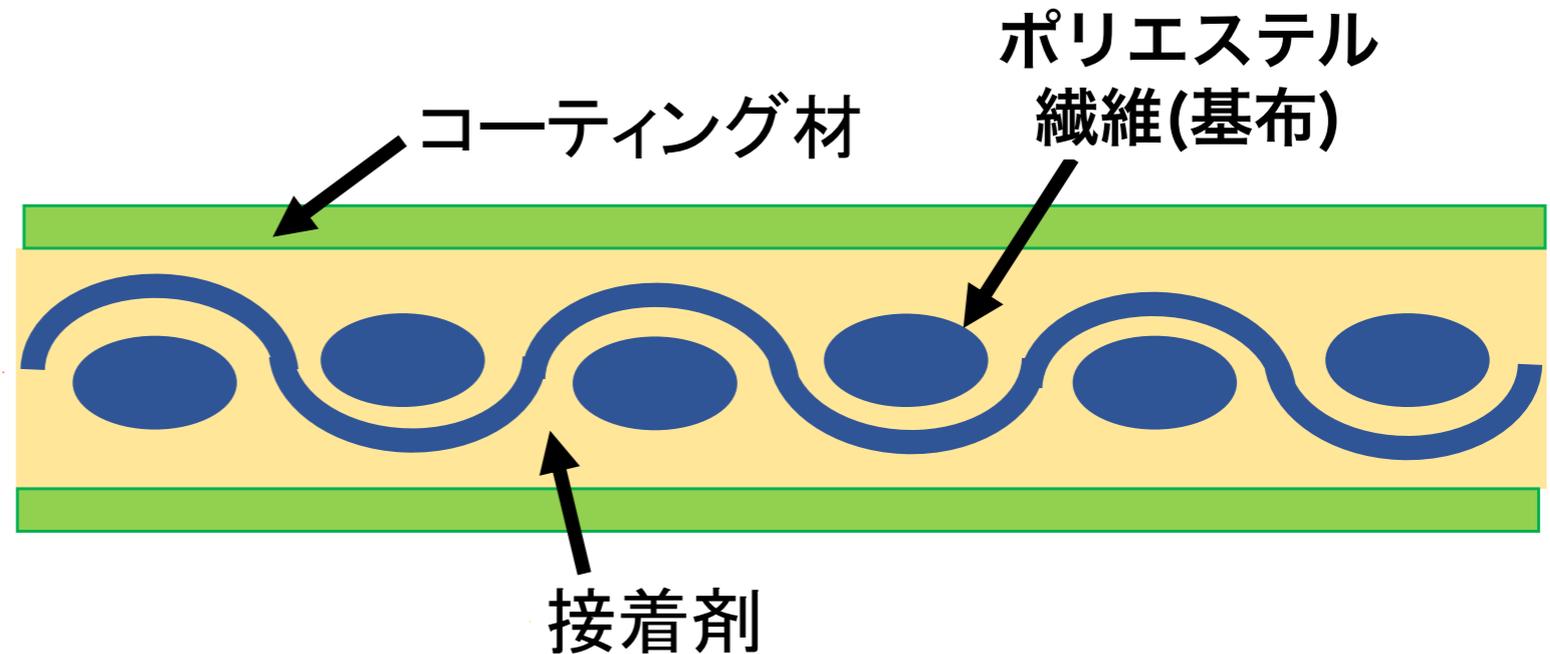
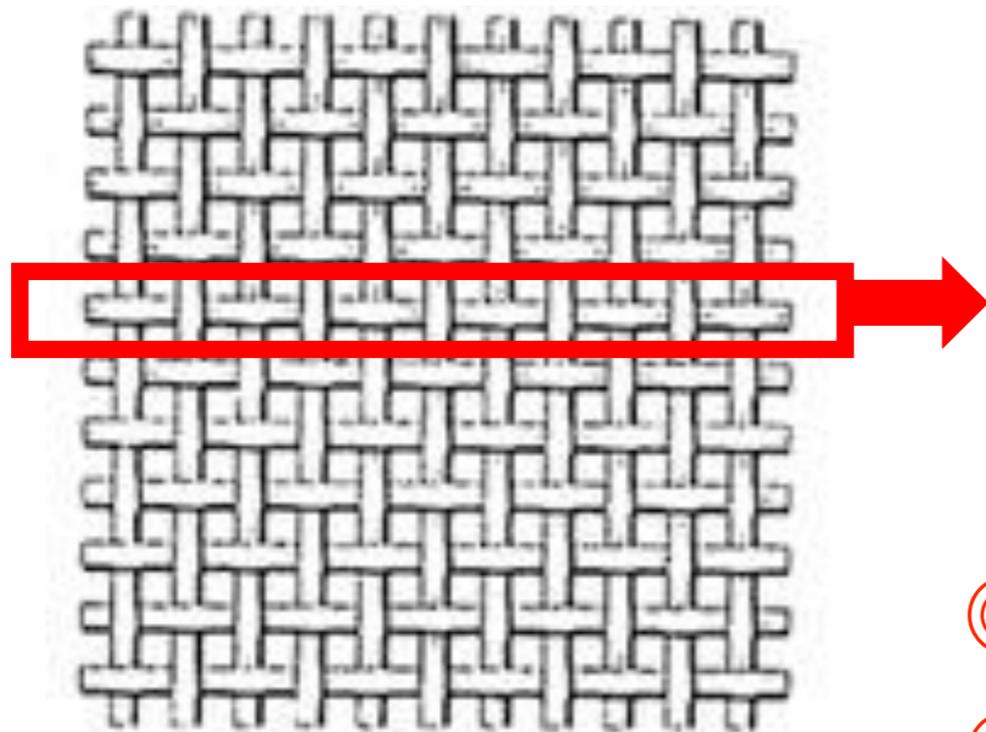
膜材料…東京ドームの屋根などの建築用テントの素材として使われている



テレビ東京『知られざるガリバー』より



ポリエステル繊維の
縦糸と横糸で織られた布



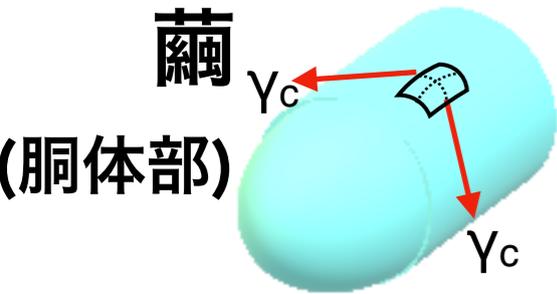
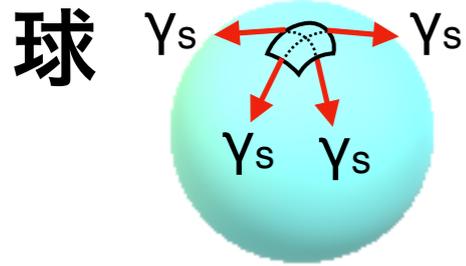
- ◎十分な強度
- ◎溶着による立体成型
- ◎低物質質量 (0.1 g/cm²)
- ◎可搬性

① シェル素材の検討

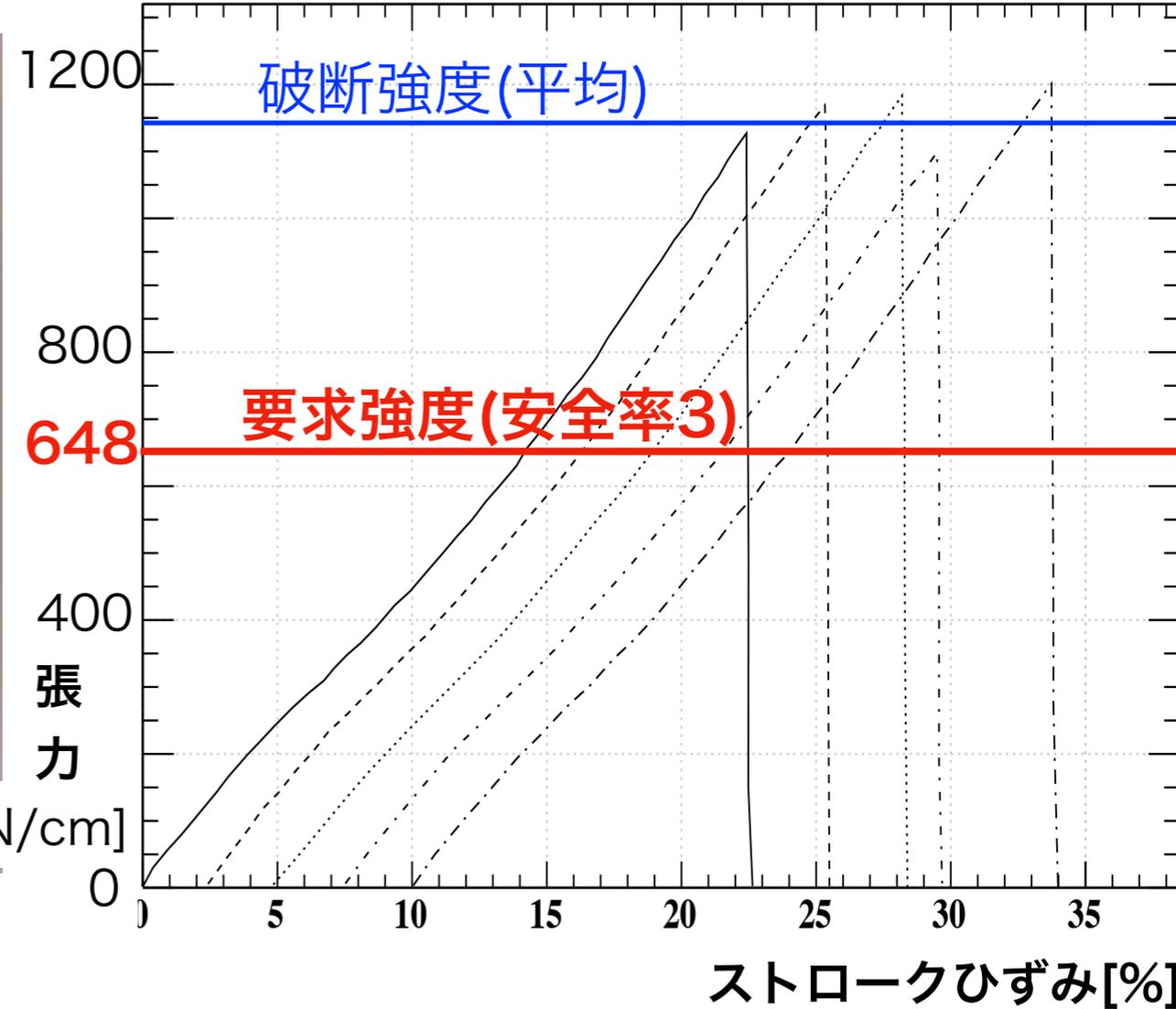
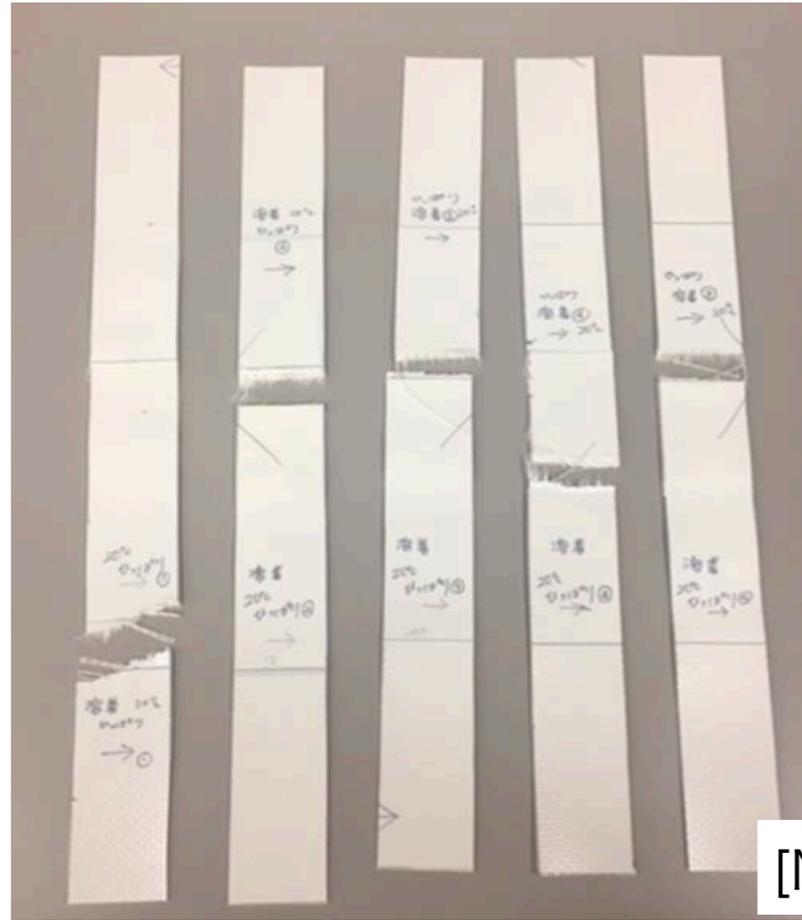
太陽工業(株)と共同研究

溶着サンプル5本の引張り試験結果(常温)

圧力をかけた時にシェルにかかる張力はラプラスの式より



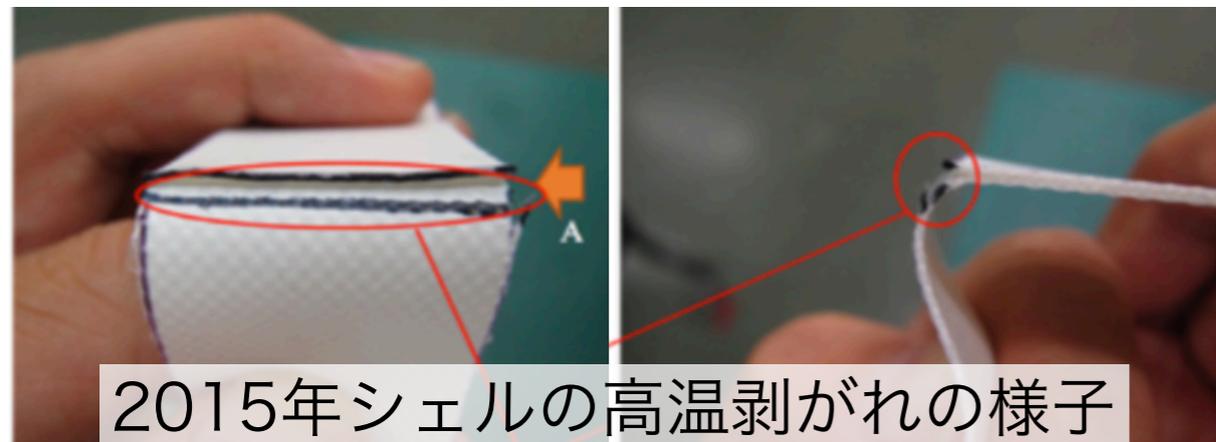
球の時に比べて
2倍の張力がかかる



GRAINE2018の要求強度 648 N/cm(安全率3)

高温耐性の向上

2015年シェルは高温で溶着部が剥がれた



→高温でも剥がれない溶着条件を見出した

クリープ試験…要求強度×1時間を耐える

低温(-70°C)クリープ試験 → クリア

高温(60°C)クリープ試験 → クリア

②繭型シェルの製作

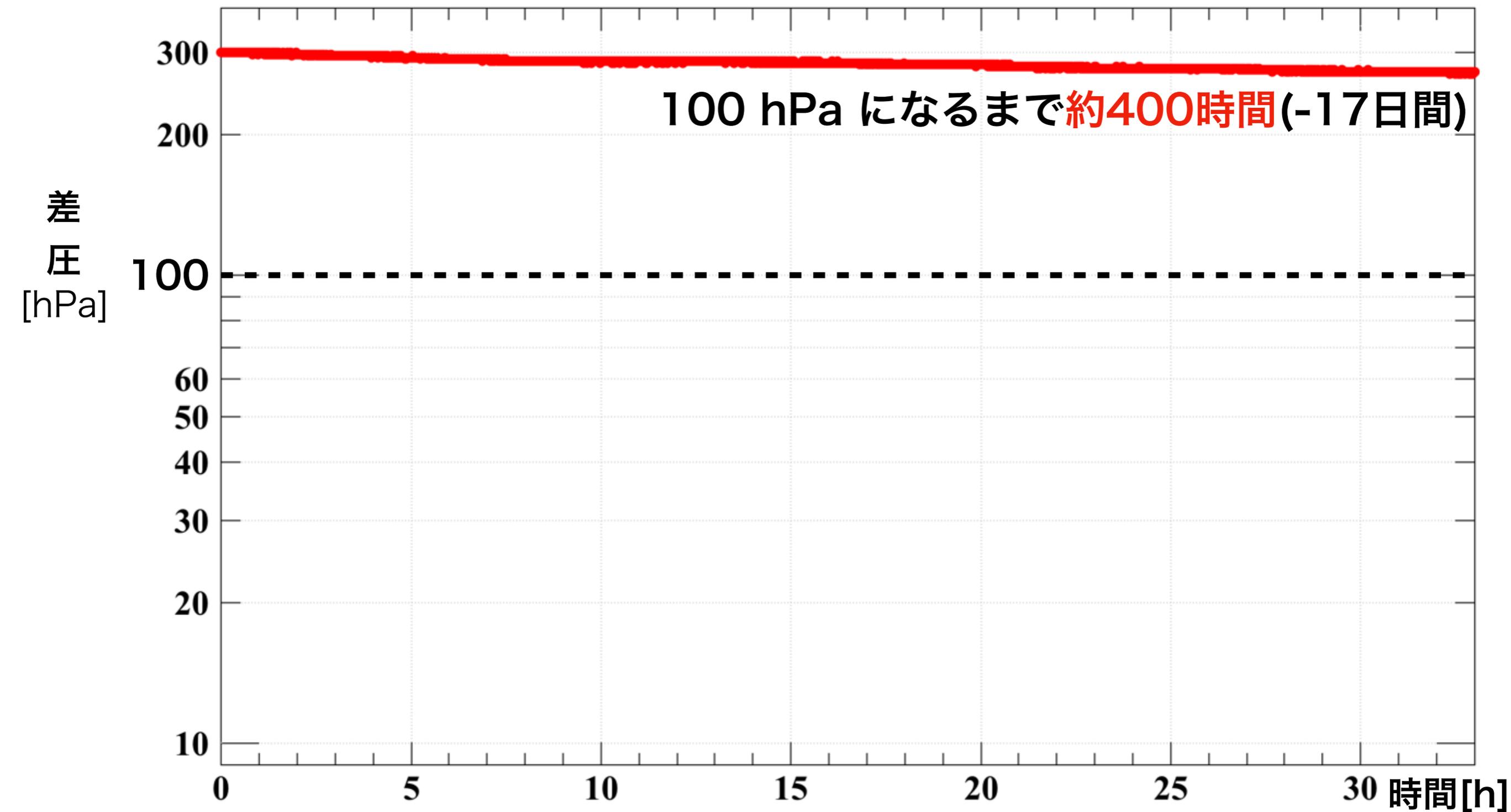
熱溶着で成形(太陽工業)



初めて繭型シェルが完成



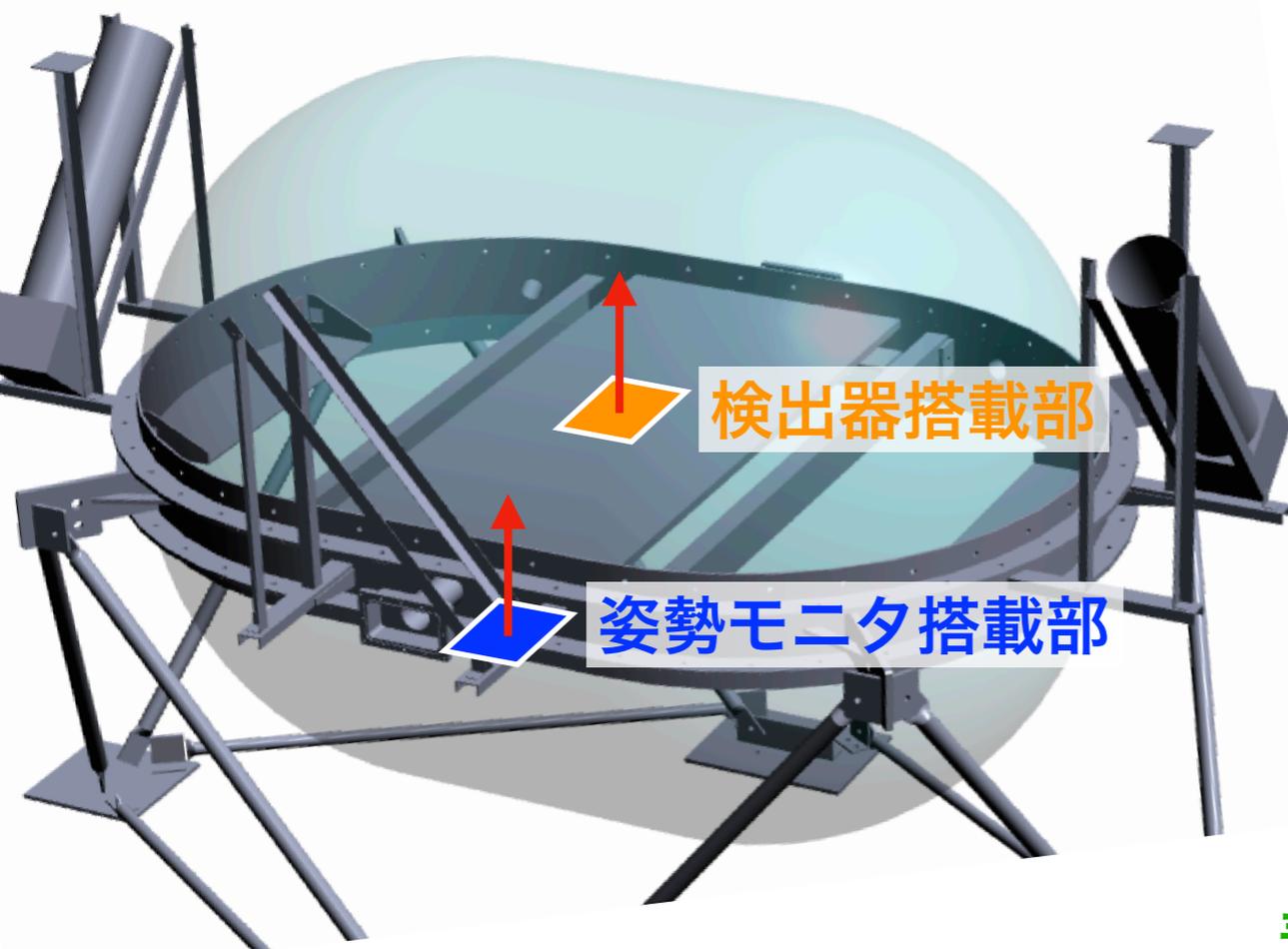
③加圧試験(密閉性能, 耐圧性能)



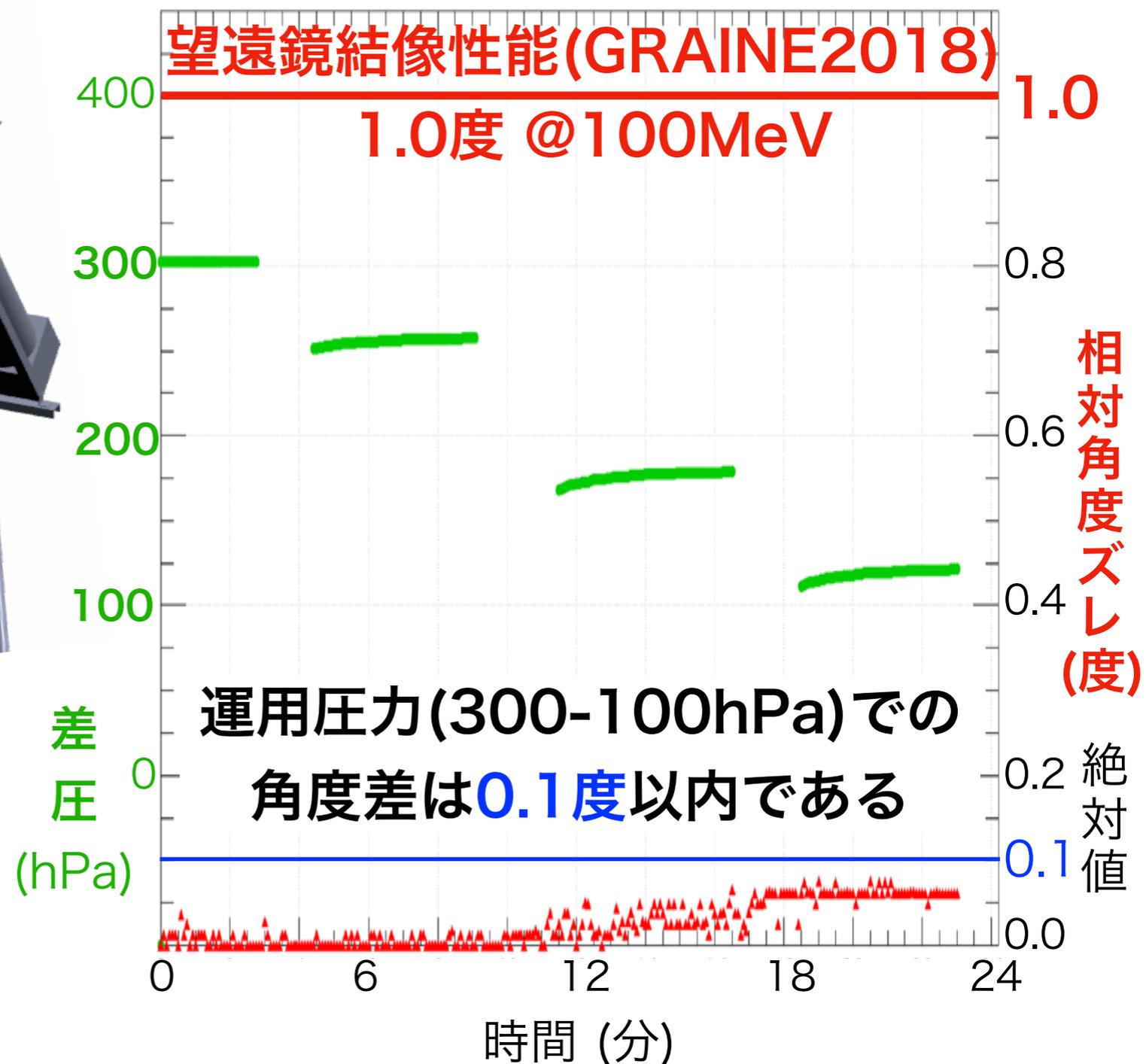
24時間100hPa以上をクリア→密閉性能OK

シェルはトータルで1000時間以上の加圧試験に耐えた→耐圧性能OK

④メインリング圧力変形の確認



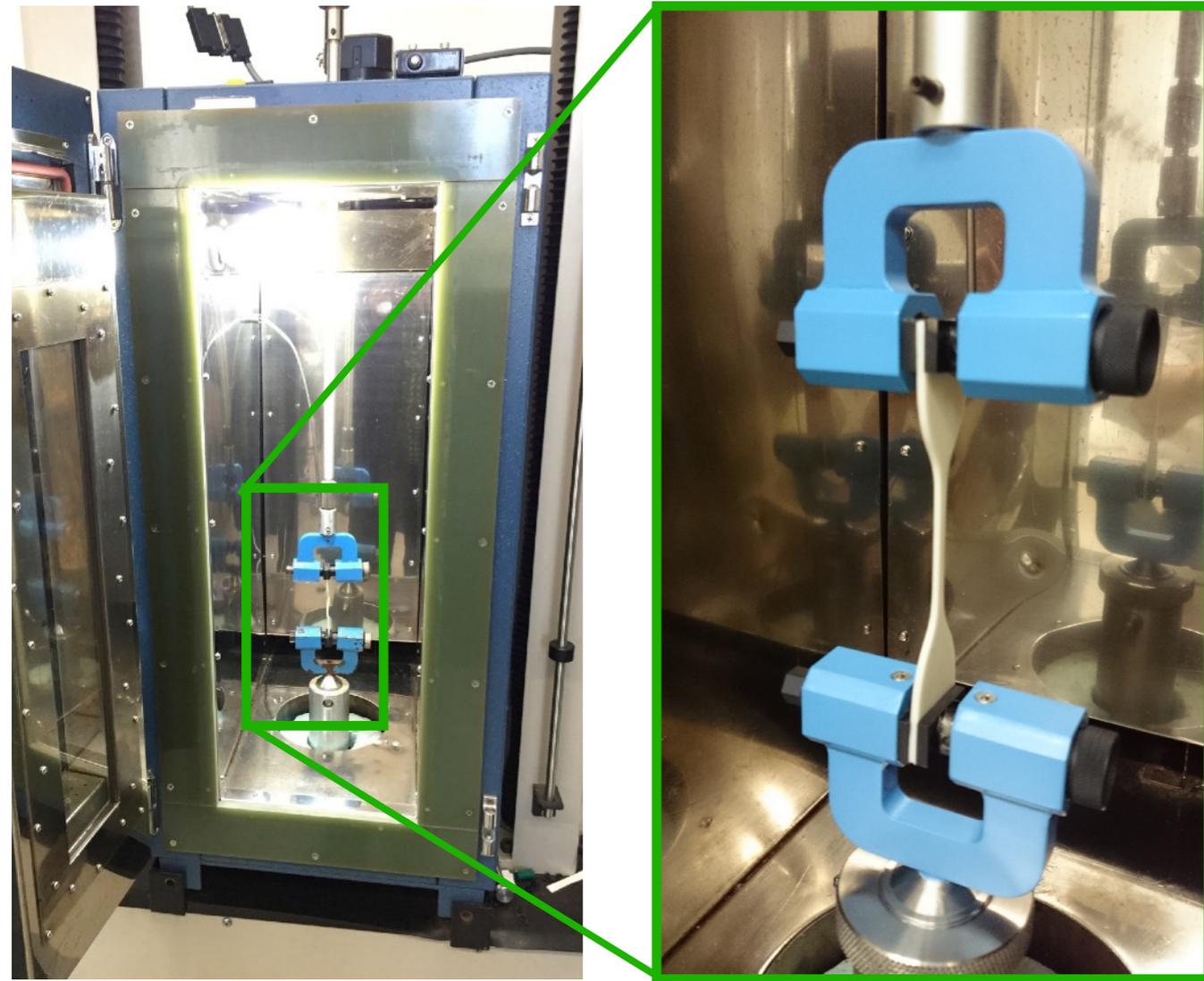
それぞれに傾斜センサを設置し、
圧力を変化させた時の2点間の
相対角度ズレを測定



望遠鏡結像性能に対して変形の影響は十分に小さい

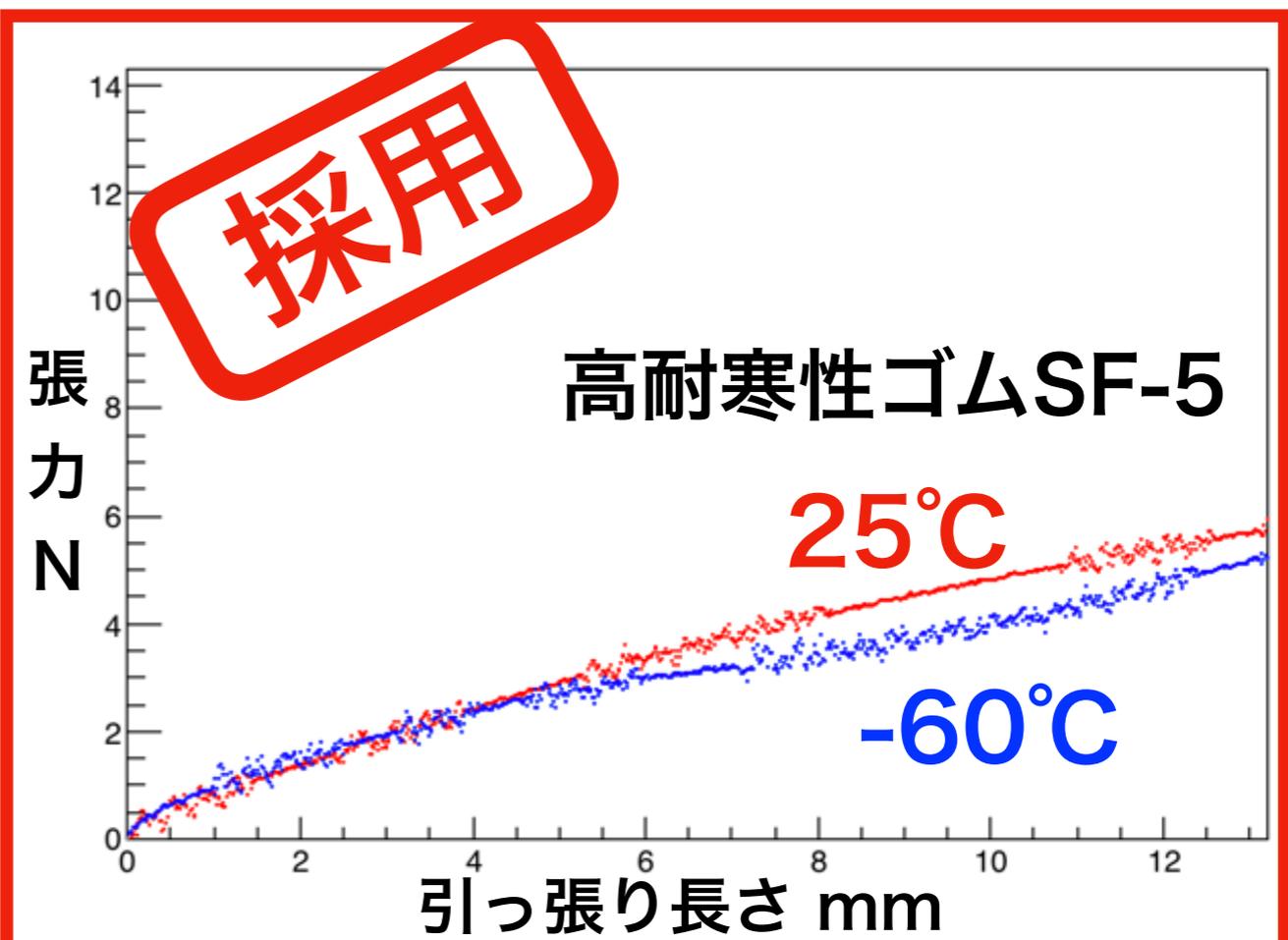
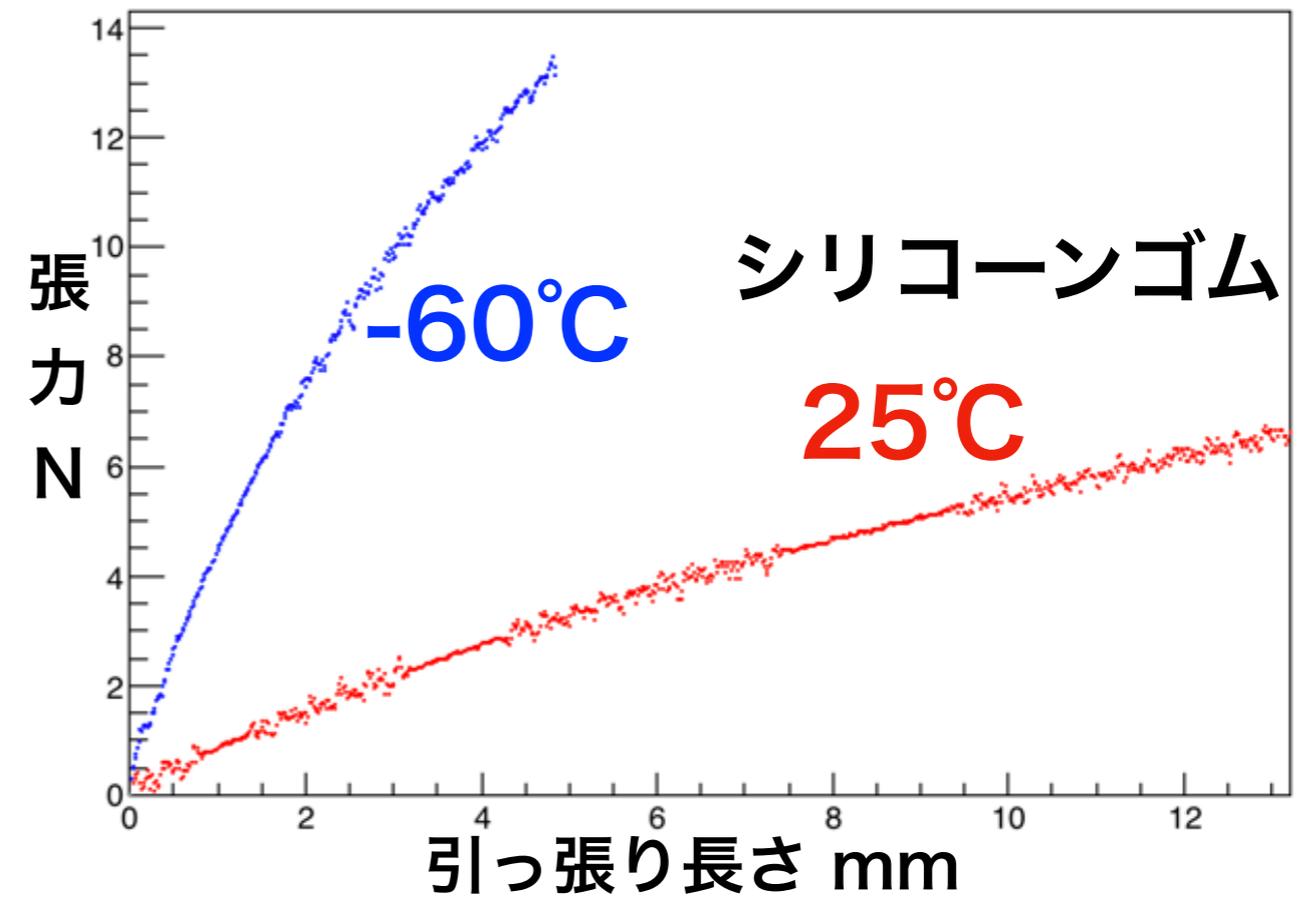
⑤ 低温に強いパッキンの選定

2017年の低温引っ張り試験の結果



恒温引っ張り試験槽(JAXA 宇宙研)

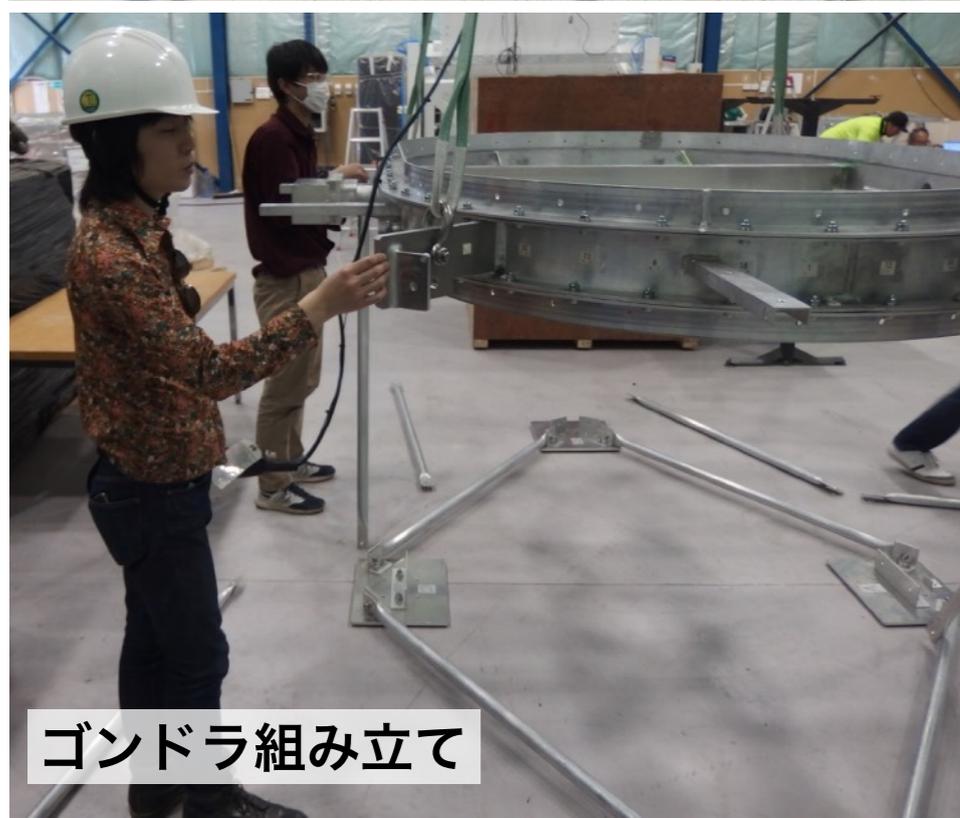
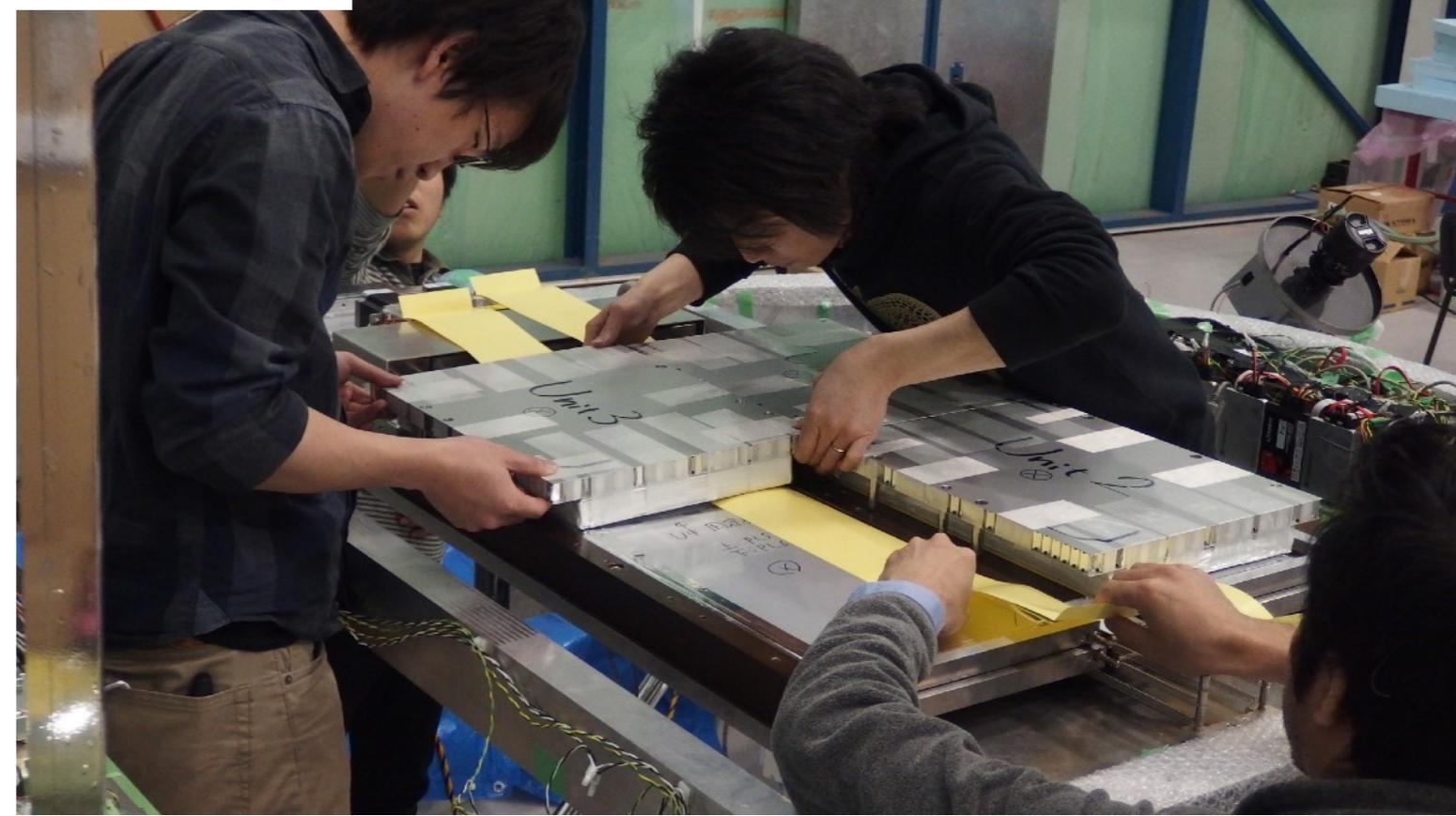
パッキン材をシリコンゴムから
高耐寒性ゴム(SF-5)に変更
温度特性 $-40^{\circ}\text{C} \rightarrow -60^{\circ}\text{C}$



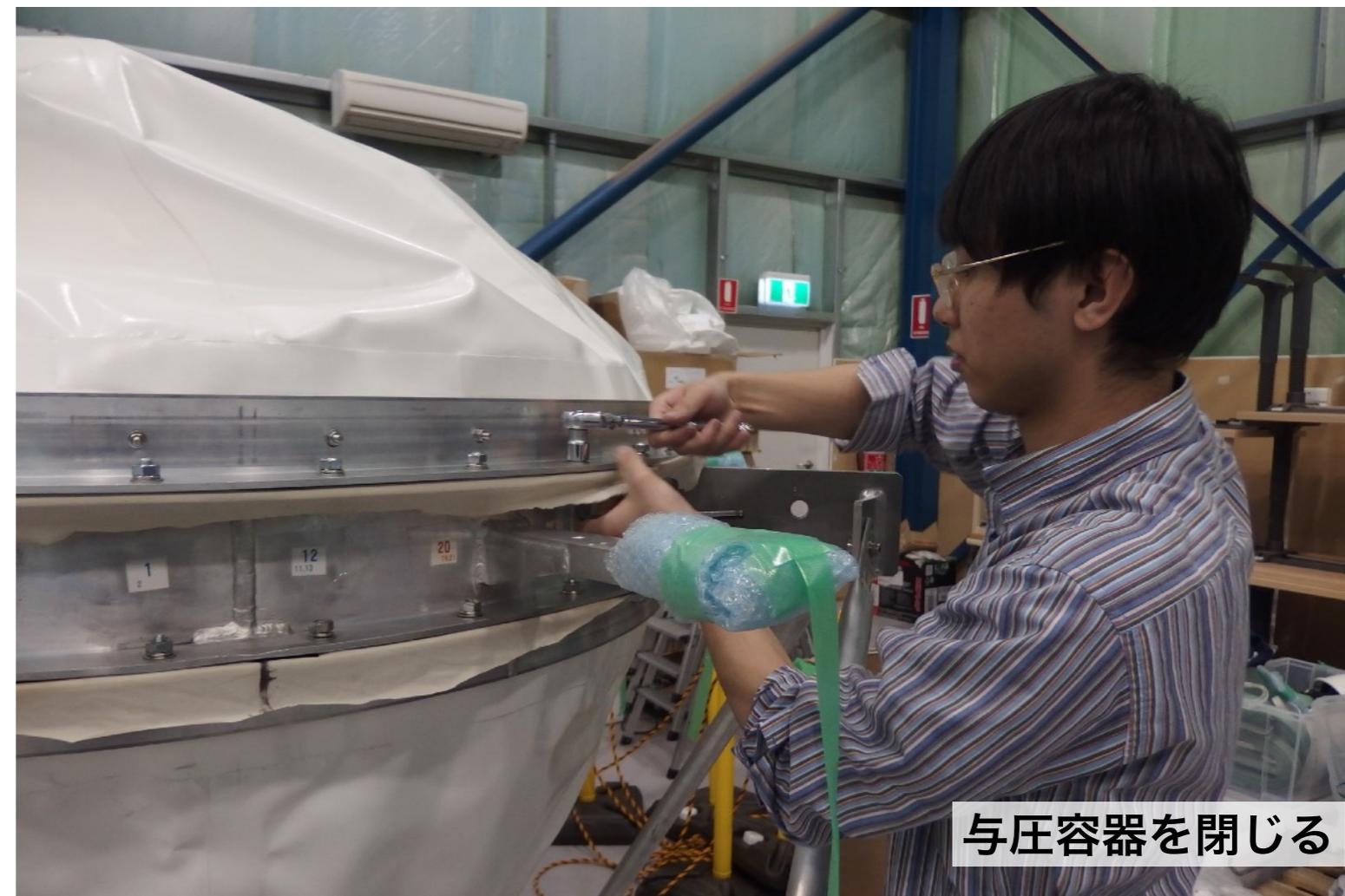
豪州での輸送後の組み立て

検出器搭載

放球基地到着



ゴンドラ組み立て



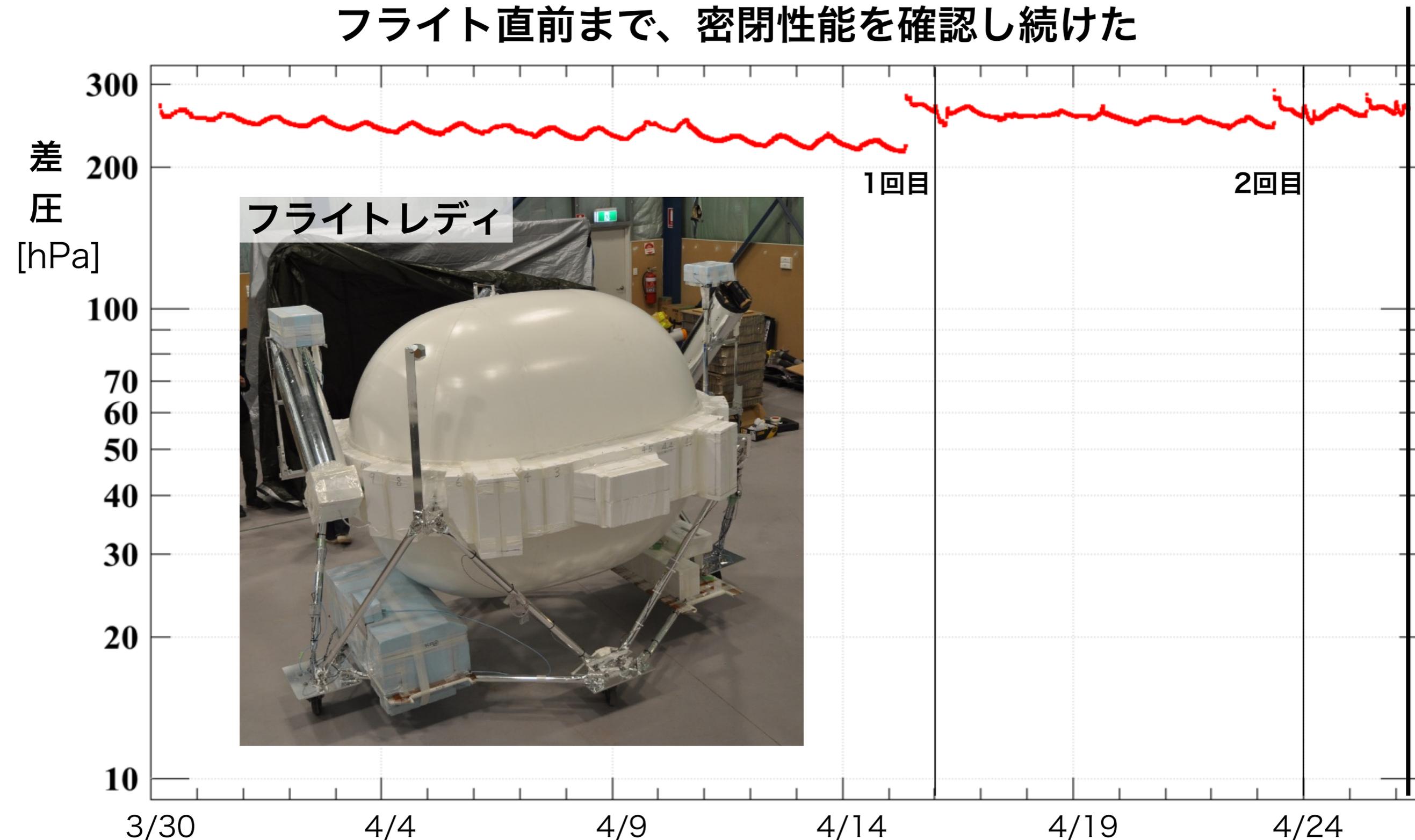
与圧容器を閉じる

豪州での輸送後の健全性確認

3/30- フライトレディ

4/26 放球

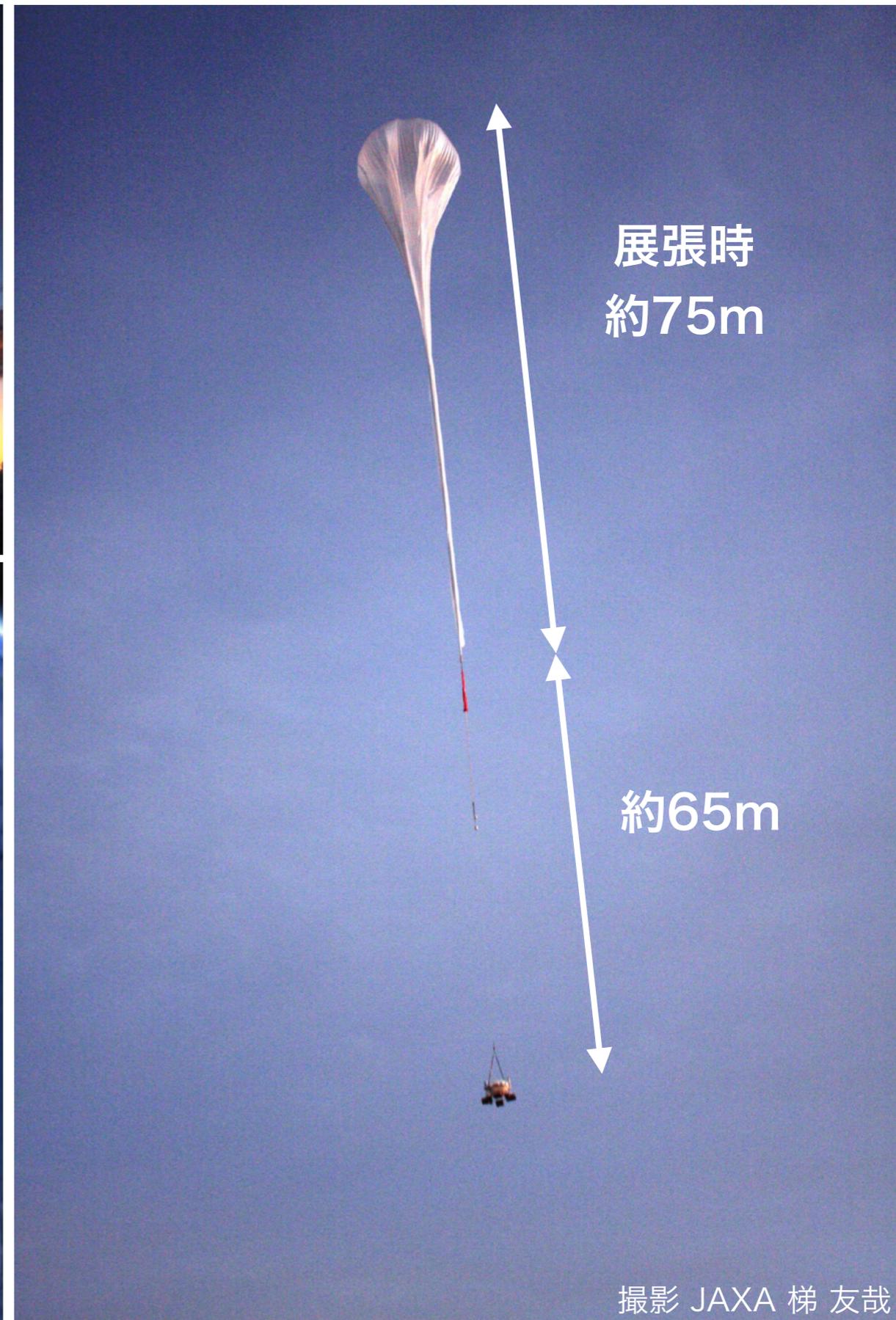
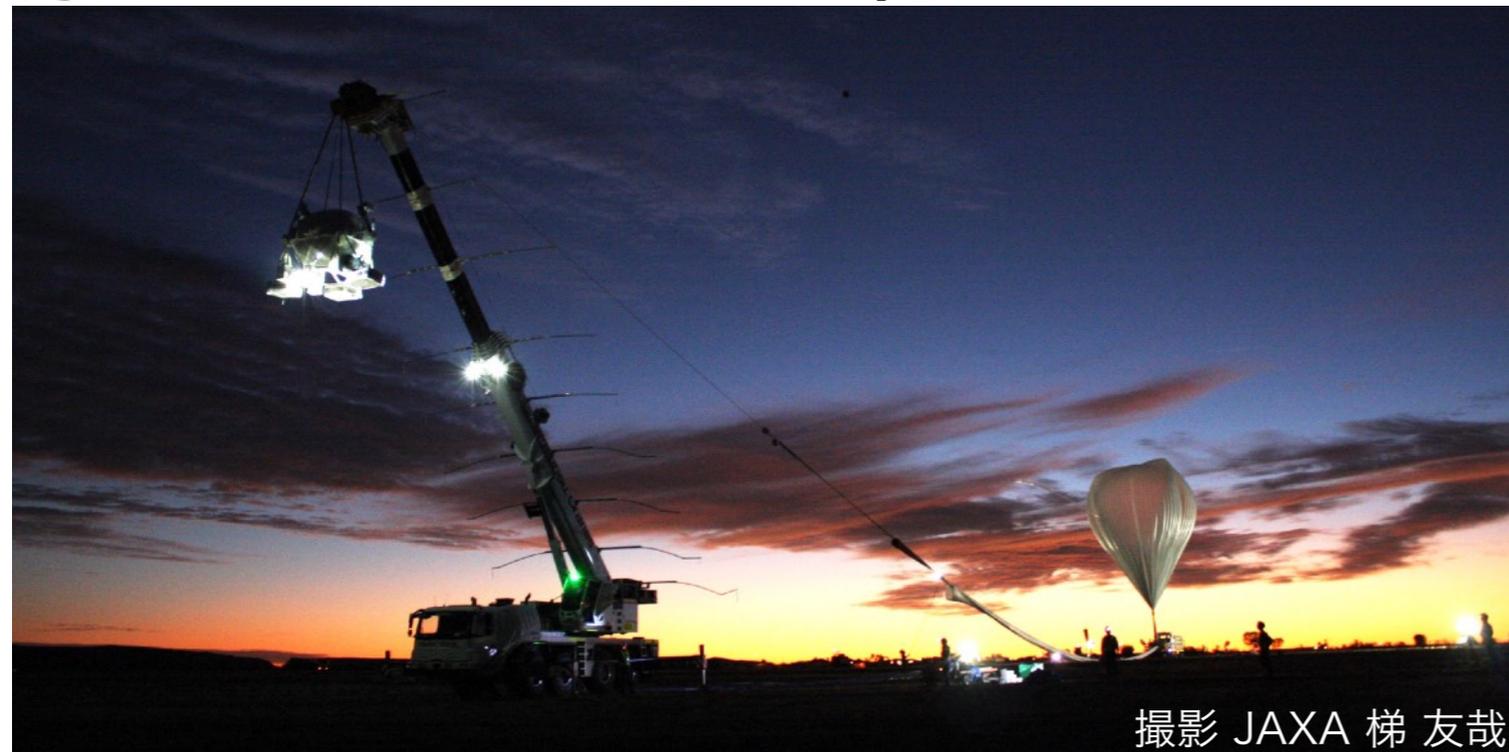
フライト直前まで、密閉性能を確認し続けた



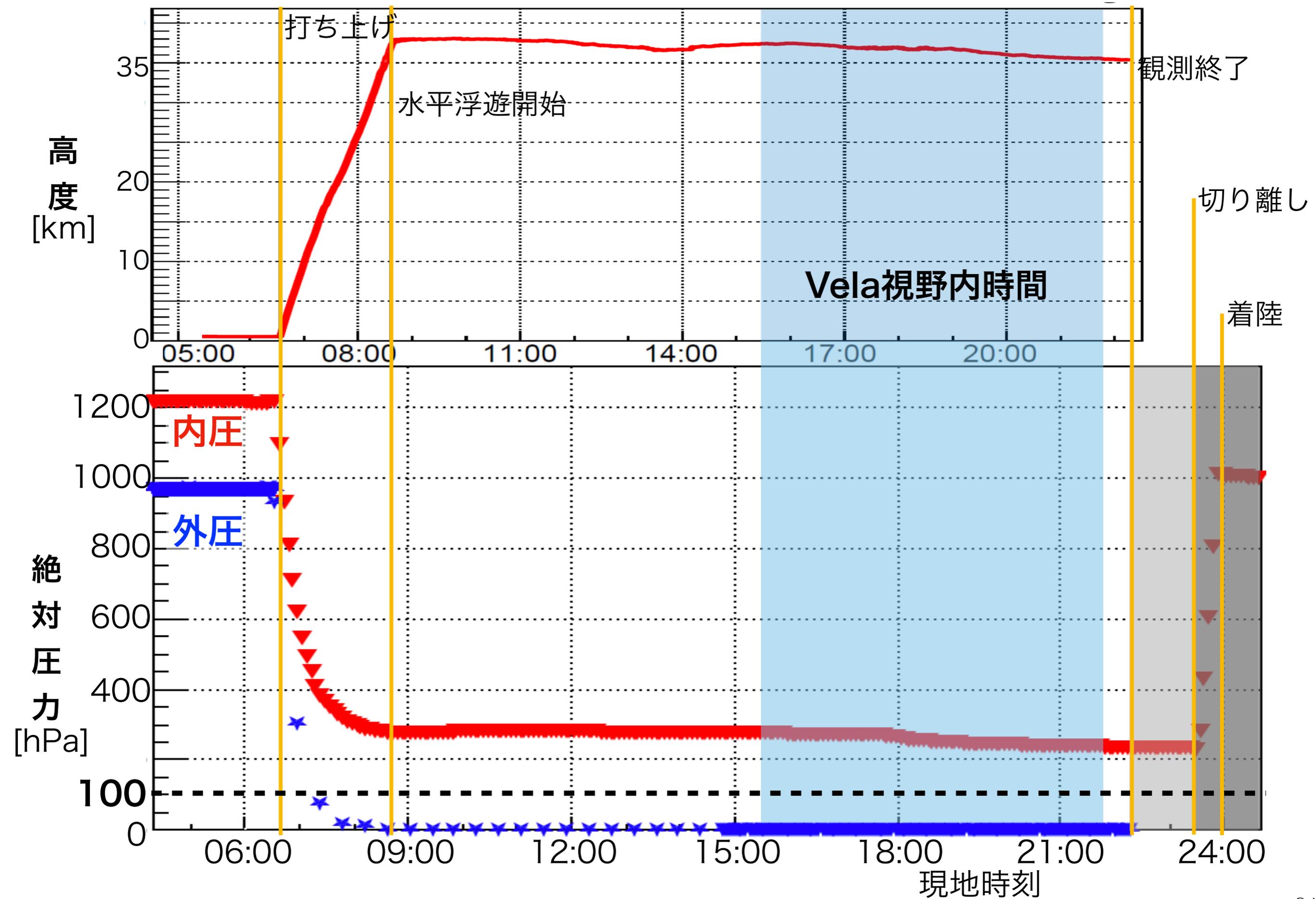
4/16, 4/24 放球チャレンジ

→直前で地上風の条件が合わず見送り

豪州での放球の様子

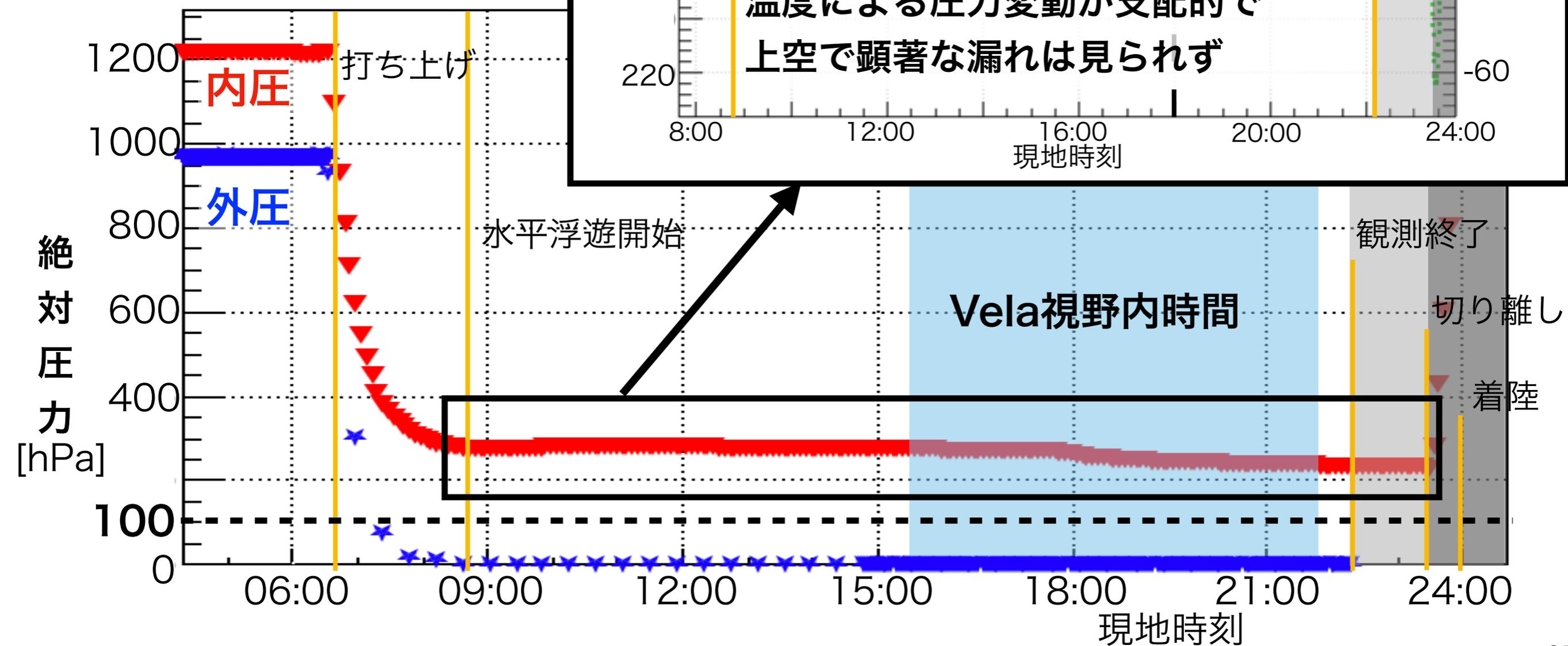


フライトにおける高度と与圧容器の圧力データ

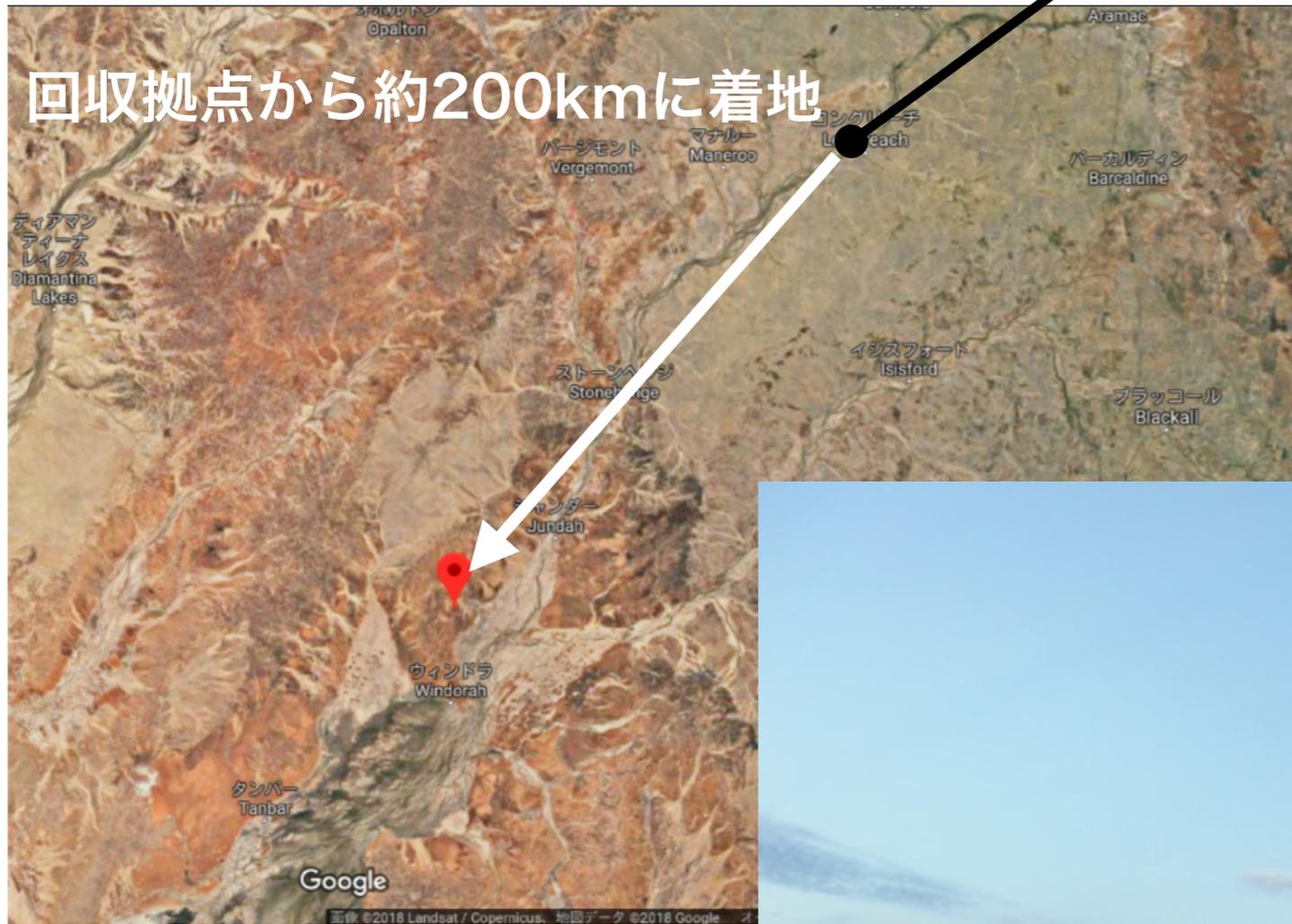


フライトにおける与圧容器の圧力データ

フライト観測中、
100hPa以上を保持し、
狙い通りの運用を達成



フライト後 回収 回収拠点 @ロングリーチ



ヘリコプターで回収に向かう



回收



回收



回収



回收



回收



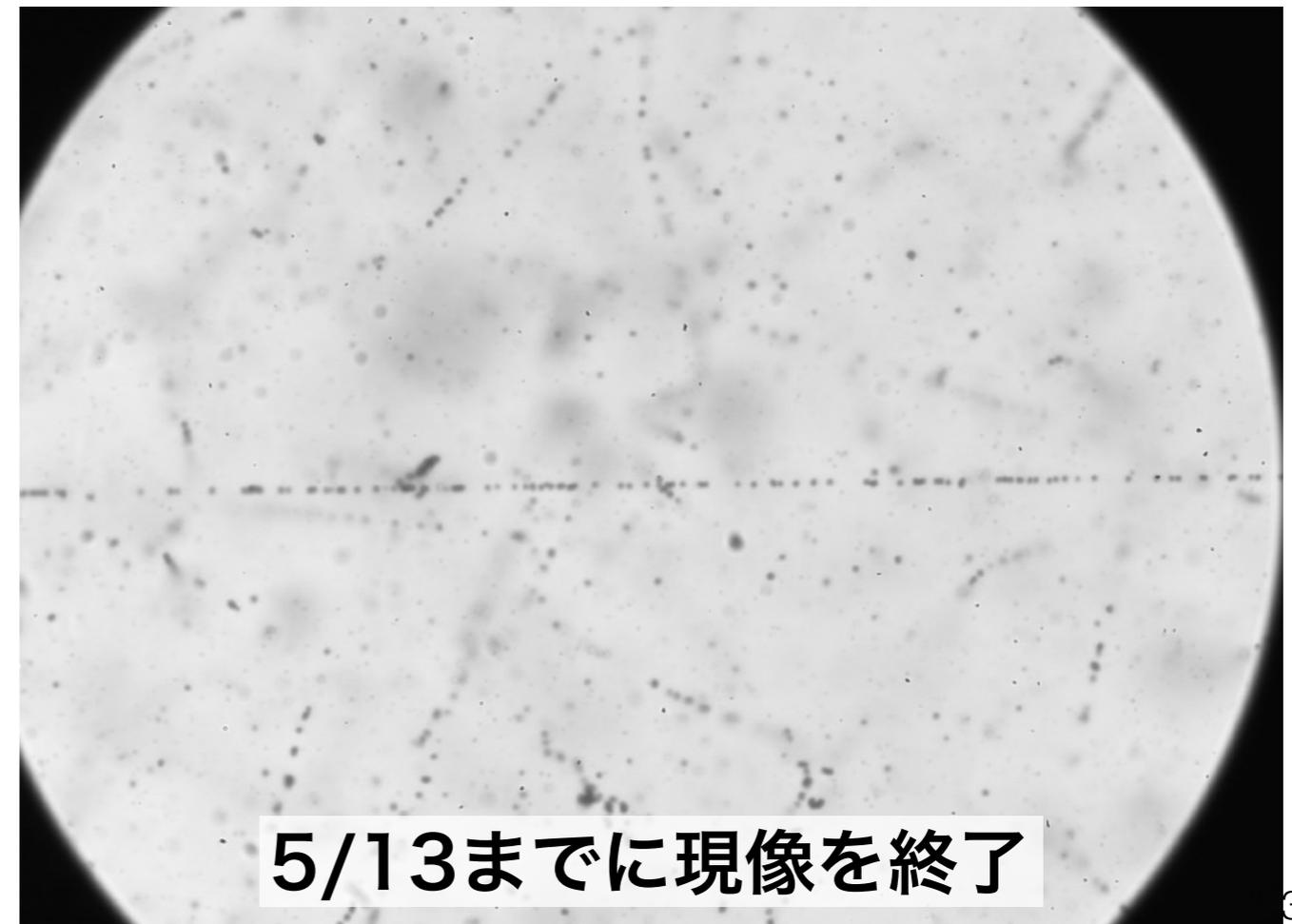
回収(GRAINE2015)



フライト後 回収/現像



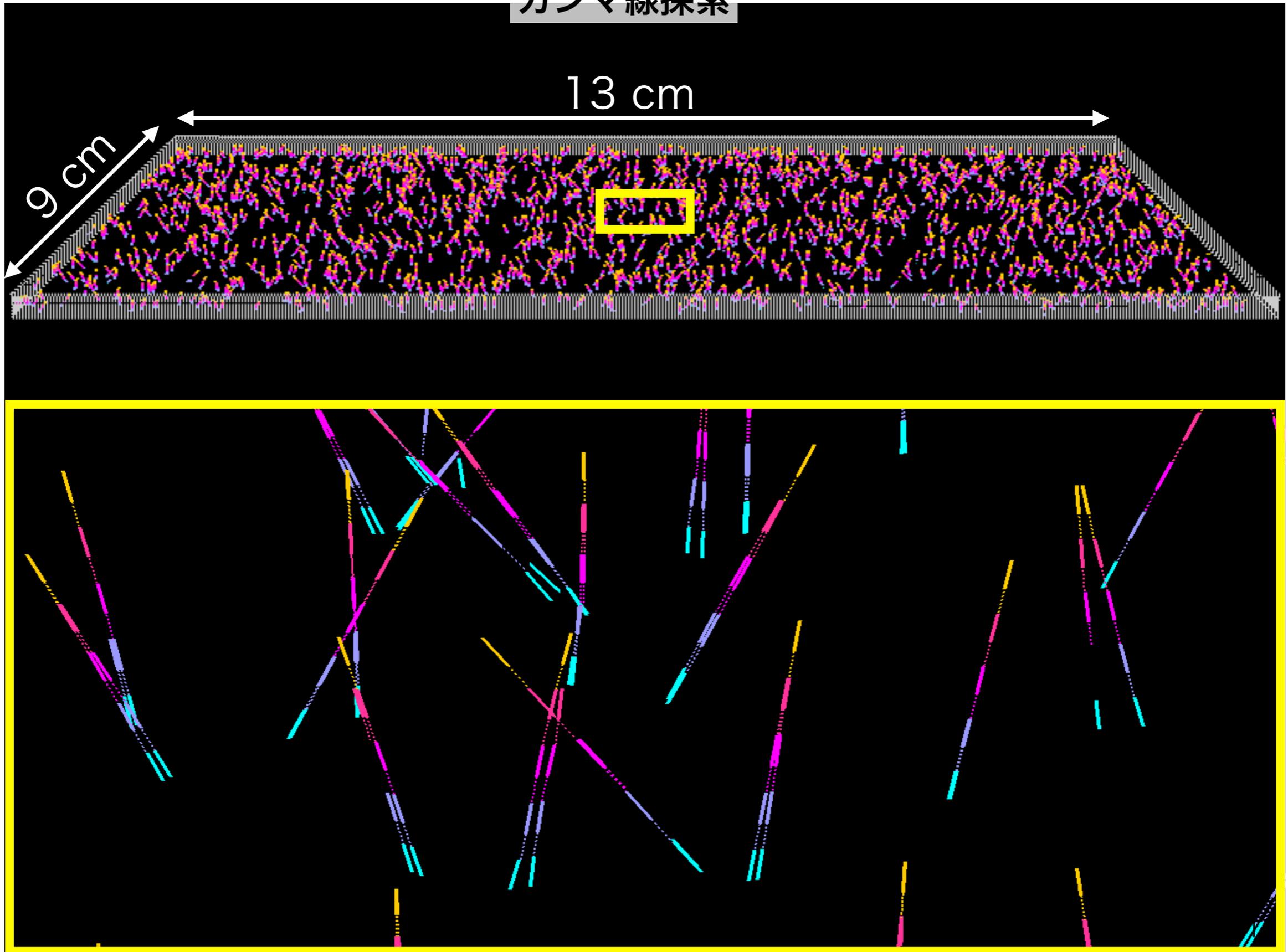
現像 @シドニー大学



5/13までに現像を終了

フライトデータ解析が進行中

ガンマ線探索



まとめ

- ・ GRAINEは気球搭載型エマルジョン望遠鏡によるGeV/sub-GeVガンマ線の観測を目指している
- ・ GRAINE2018ではVela Pulsarの検出による望遠鏡の総合性能実証が目的
- ・ **2018年与圧容器ゴンドラを開発**
 - ①シェル素材の検討 温度特性の向上(運用温度 +20°C → +60°C)
 - ②繭型シェルの製作
 - ③加圧試験
 - ・ 約400時間100hPa以上を保持できる密閉性能
 - ・ 繭型シェルは計1000時間以上加圧しても破断しない耐圧性能
 - ④メインリング圧力変形の確認 望遠鏡結像性能1.0度@100MeVに影響ない
 - ⑤低温に強いパッキンの選定 低温耐性 -40°C → -60°C (夜間フライト対応可能)
- ・ 2018年3月に豪州放球基地にて観測器の組み上げ動作確認を行い、4月26日に気球フライトを実施した
- ・ **気球フライト中の与圧容器は目標の100hPa以上を保持し続けることができた**
- ・ Vela視野内時間をカバーする14時間44分の宇宙ガンマ線観測に成功し、回収したエマルジョンフィルムおよびガンマ線探索が進行中

謝辞：能村膜構造技術振興財団による助成を受けました