

# SMILE42 : SMILE-2+ 熱環境試験と 気球実験時の電源・姿勢系センサーの動作について

小野坂 健 (京都大学 宇宙線研究室)

谷森達, 高田淳史, 水村好貴, 古村翔太郎, 岸本哲朗, 竹村泰斗, 吉川慶, 中増勇真,  
中村優太, 谷口幹幸, 齋藤要, 阿部光, 水本哲矢, 園田真也, 窪秀利,  
黒澤俊介 (東北大NICHe, 山形大理), 身内賢太郎(神戸大理),  
澤野達哉(金沢大数物), 莊司泰弘(大阪大工), 小財正義(ISAS/JAXA気球)

## 目次

### 観測環境への要求とそれを満たす上での課題

- フライトモデルと観測を行う上での要求
- 使用するバッテリーと与圧容器内部の温度

### 熱設計と熱環境試験

- 熱収支計算と断熱材
- 熱環境試験について
- フライト中の温度変化

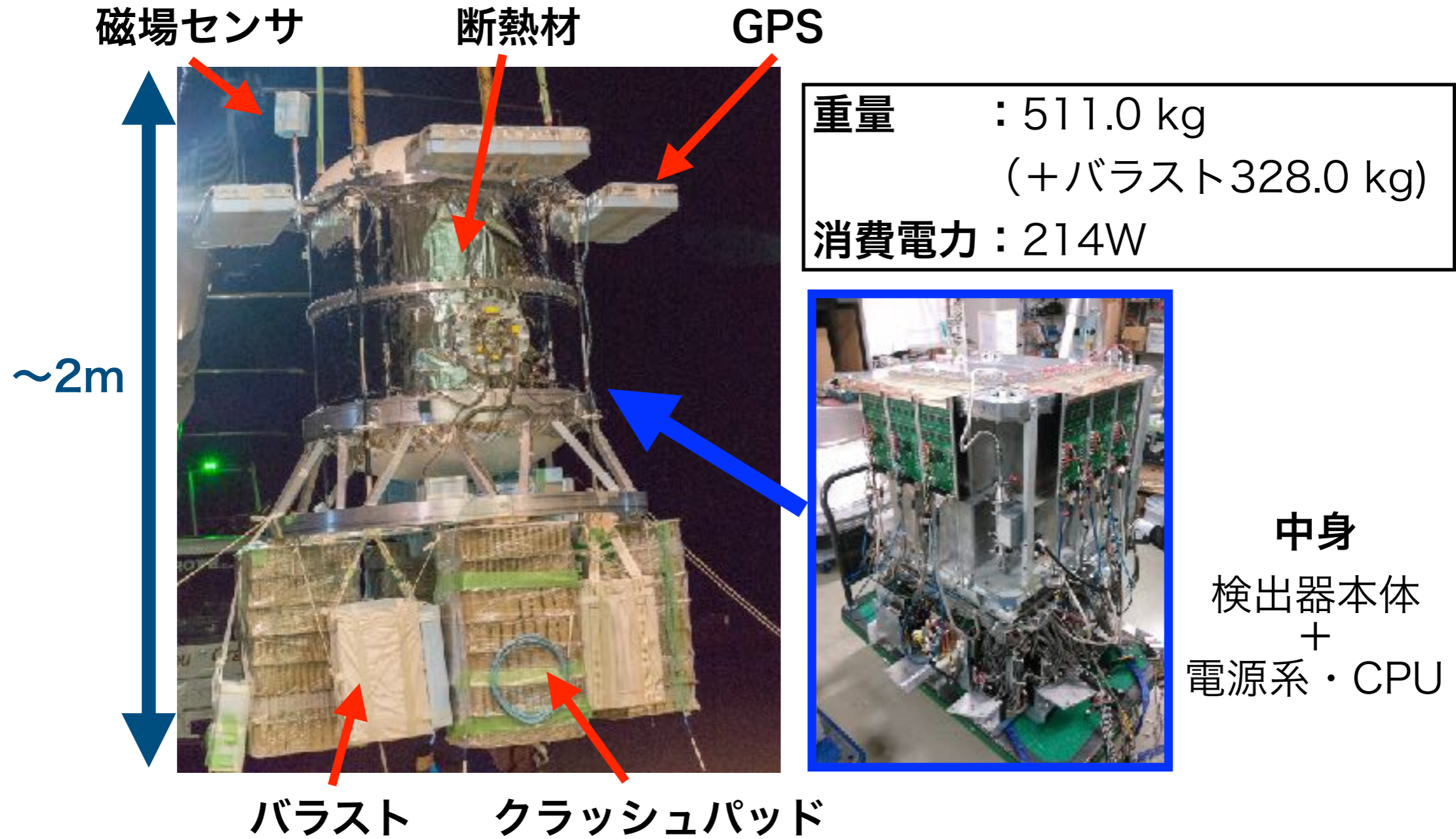
### HouseKeepingセンサーの動作(主に姿勢)

- 搭載HKセンサー
- SMILE HKセンサーの動作



HKセンサ地上試験の様子

# フライトモデルと観測を行う上での要求



## 観測を行う上での要求

気圧柱密度 : 3.8g/cm<sup>2</sup>以下

観測時間 : 24時間以上

## 想定される環境

高度 : ~39km 気圧 : ~3hPa 外気温 : ~-23°C

## 稼働すべき時間

観測時間 + 放球前の準備時間 = 30時間以上

# 使用するバッテリーと与圧容器内部の温度

## 使用するバッテリー

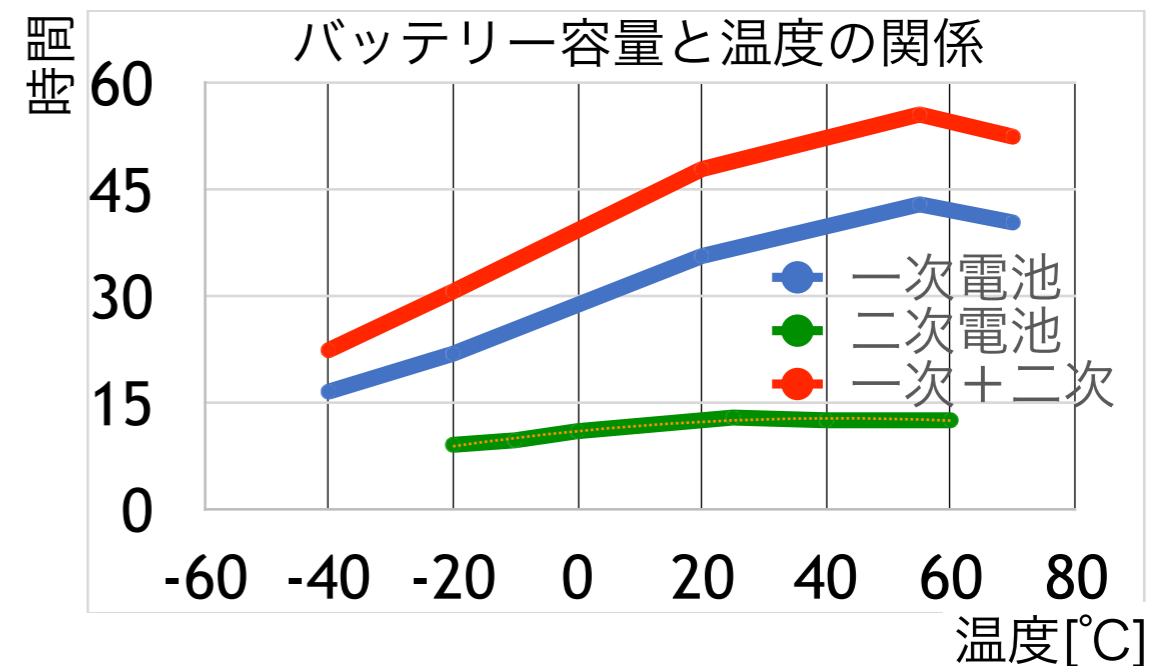
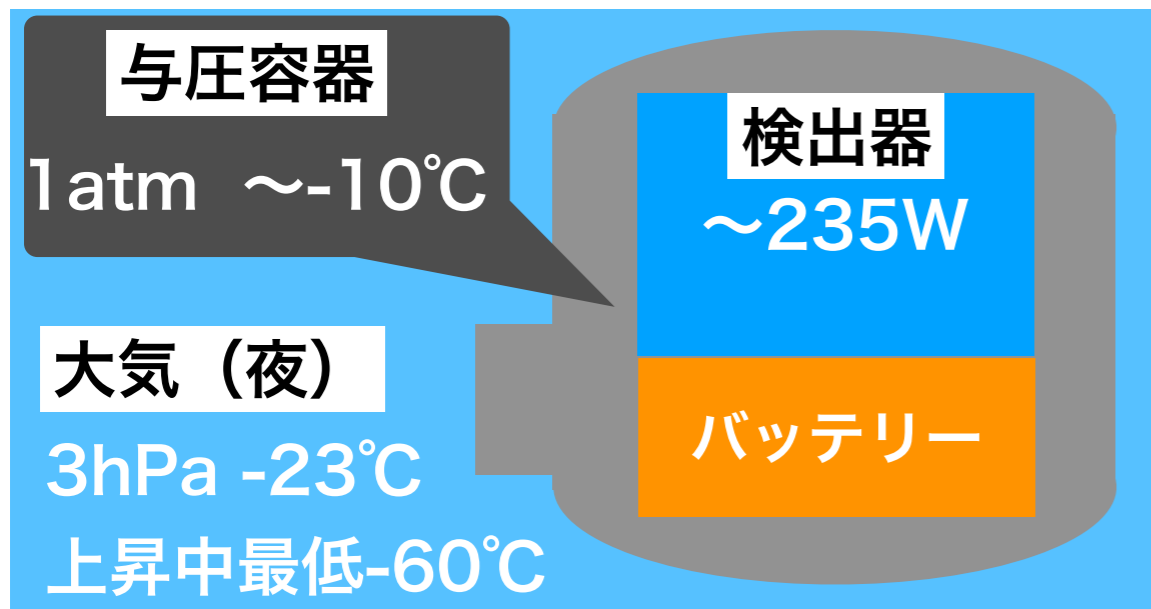


1次電池 Saft社 LSH 20  
3.6 V 13.0 Ah (単体)  
7直列 x 30並列で使用  
25.2V 390Ah (実装)



2次電池 Kokam社 SLPB  
7直列で使用  
DC25.9 V 100 Ah

室温ならば ~58時間稼働可能だが...



- 気球高度で与圧容器内~-10°Cに→要求稼働時間を確保できない。~0°C付近にすればよい
- 過去の熱環境試験でCPU停止(2013年3月 澤野講演)→CPU変更。動作テストが必要
- ヒーター搭載は電源が余分に必要になるため不可→**軽いものを巻いて断熱**

断熱材の種類,巻き方の検討・気球高度環境下で検出器の動作テスト : **熱環境試験の目的**

# 熱収支計算と断熱材

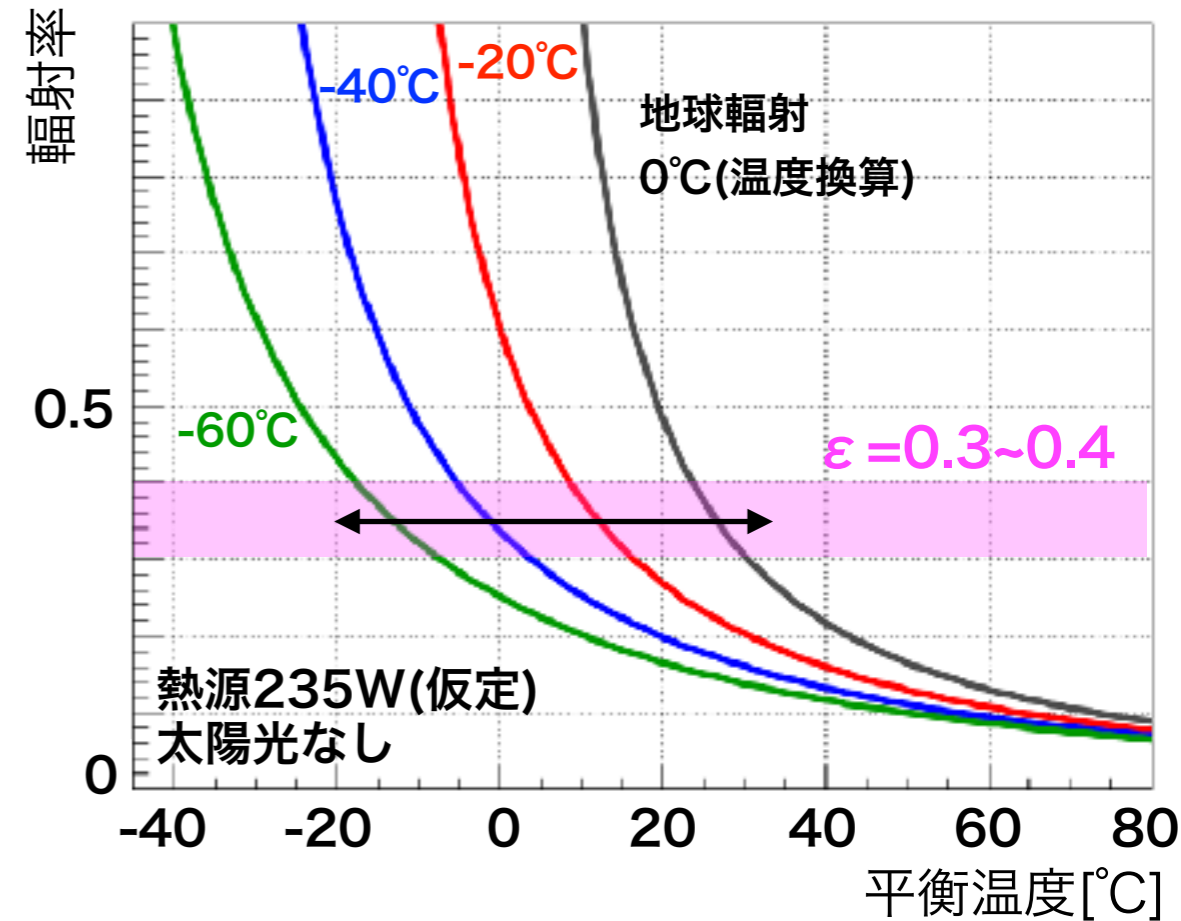
## 熱収支計算

$$235W + \epsilon\sigma T_a^4 S + \alpha L S_{irr} + \alpha I S_{irr} = \epsilon\alpha T^4 S$$

発熱量(仮定) 地球輻射 太陽光吸収 アルベド 系放射熱

$\epsilon$  : 輻射率     $\alpha$  : 吸収率     $S$  : 表面積     $L$  : 太陽強度  
 $I$  : アルベド強度     $T_a$  : 地球輻射(温度換算)  
 $T$  : 平衡温度     $\sigma$  : ステファン・ボルツマン定数

- 夜は太陽光吸収・アルベドの項を無視
- 地球輻射117~316W/m<sup>2</sup>(温度換算 -60~0°C) に対して平衡温度(夜間) -20°C~30°Cに  
→輻射率  $\epsilon \sim 0.3-0.4$  にすればよい



## 断熱材について

### MLI (Multi Layer Insulation)

- アルミ蒸着ポリイミドフィルムなどを多層に重ねたもの
- 本来は衛星用。3hPa環境下での断熱効果は保証されていない

### Kapton 100μm

- 超耐熱、耐寒ポリイミドフィルム
- 太陽光をよく吸収するので検出器が高温になり過ぎてしまう可能性あり

	$\epsilon$ (IR)	$\alpha$ (Optical)	特徴
MLI	0.032(※1)	0.115	放熱 <b>しにくく</b> 、太陽光吸収が <b>小さい</b>
Kapton 100um	0.755(※1)	0.544	放熱 <b>しやすく</b> 、太陽光吸収が <b>大きい</b>
アルミ白色塗装	0.83(※2)	~0.2	放熱 <b>しやすく</b> 、太陽光吸収が <b>小さい</b>

※1 : JAXA 岡崎氏による実測    ※2 : 大西昇 2000年12月 宇宙科学研究所報告第113号

# 熱環境試験1 (熱源：模擬熱源) @ISAS 2017/3/6-9

下の5通りについて平衡温度調査



①Kapton全体+  
MLI全体

②Kapton全体+  
MLI胴部

③Kapton全体+  
ポリエチレン胴部

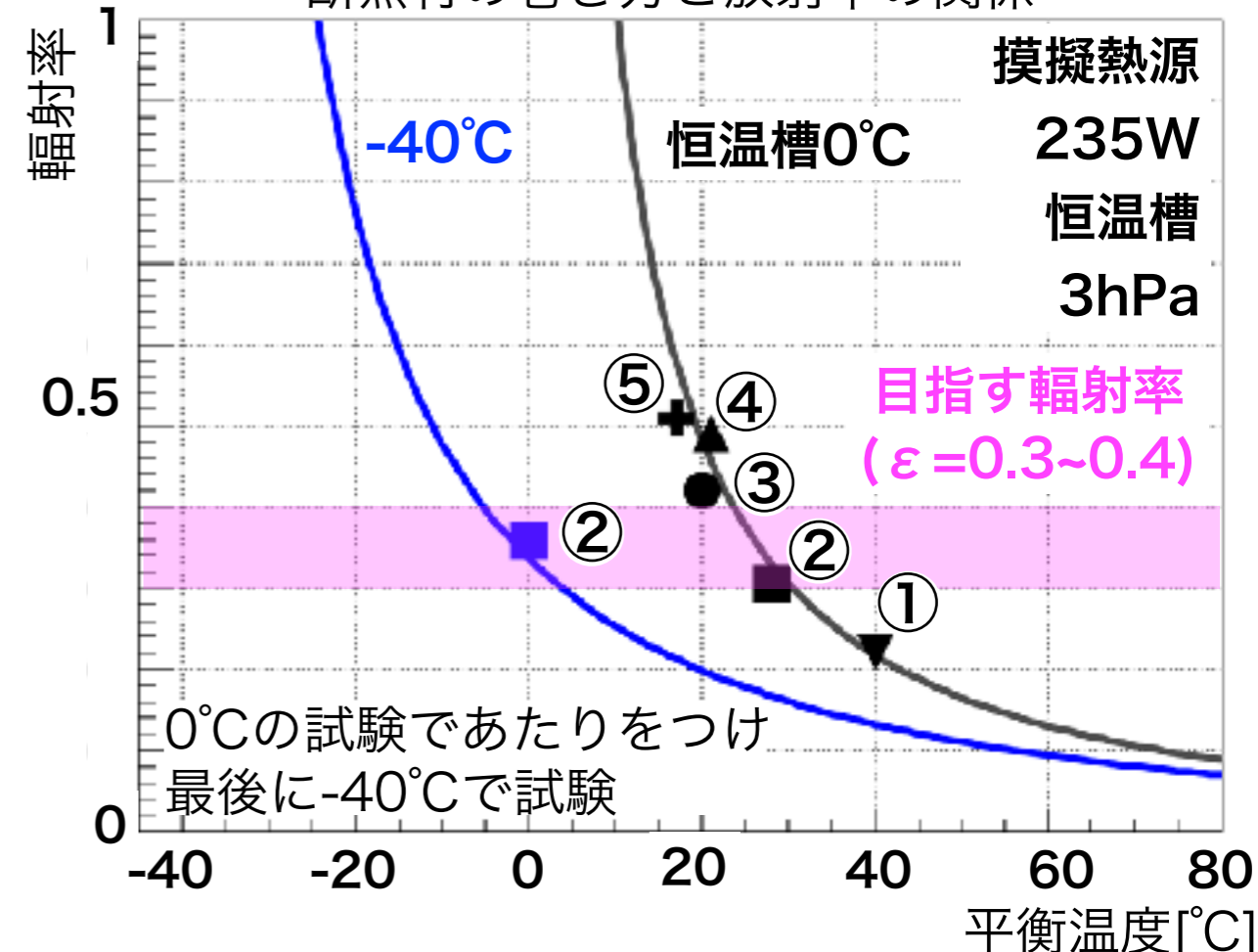
④Kapton全体

⑤Kapton下部

## 結果

- Kaptonは特に効果がない(④,⑤より)
- 与圧容器の面積~52%をMLIで覆うと放射率  $\epsilon \sim 0.35$  (②より)
- 3hPa環境下でのMLIの断熱効果を確認

断熱材の巻き方と放射率の関係

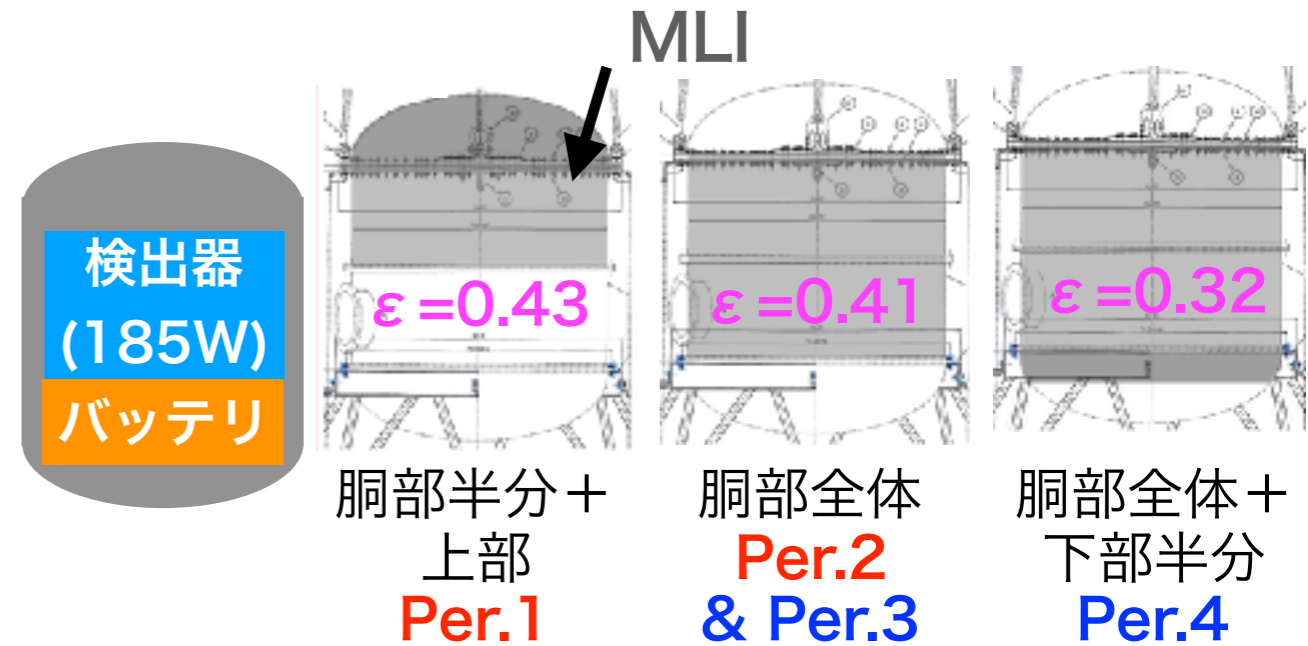


次は検出器を与圧容器内に入れて試験

# 熱環境試験2 (熱源：検出器) @ISAS 2017/10/17-30

## MLI巻き方検討・検出器動作テスト

- ファン非搭載なので内部熱循環は対流のみ  
→断熱材の巻き方が重要
- バッテリーがある圧容器下部の温度に注意
- 試験時の電源は外部から供給



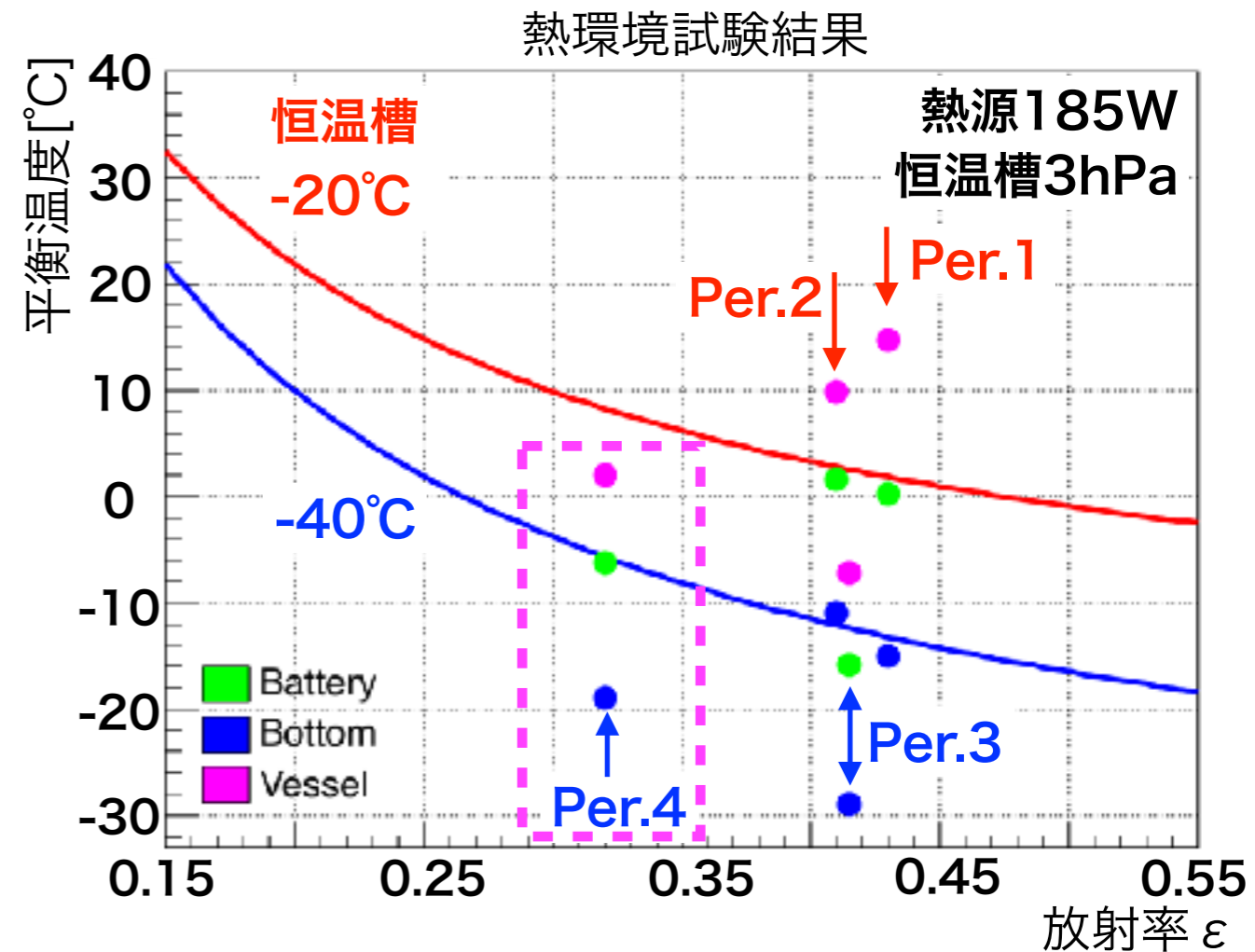
## 結果

- 気球高度環境下で30時間以上正常稼働
- 圧容器内下部が特に冷える  
→下部が冷え難いPer4の巻き方に決定

検出器(フライトモデル)の消費電力は熱環境試験時の185Wから214Wに増

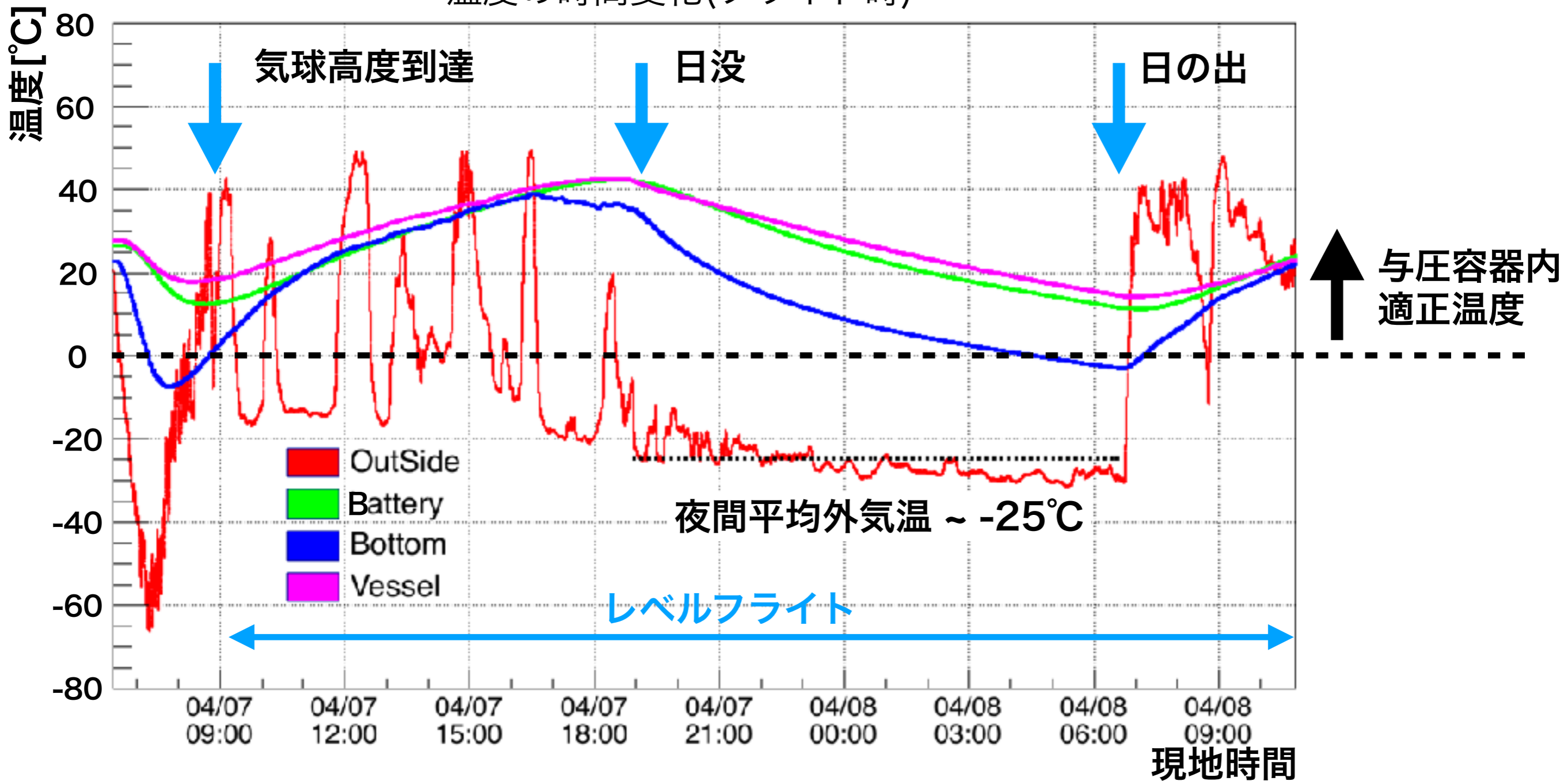


Per4の巻き方でフライト時に圧容器下部は ~0°Cになる計算



# フライト中の温度変化

温度の時間変化(フライト時)



- 夜間の外気温~-23°Cで想定通り
- 日中の外気温(**Outside**)は与圧容器の回転が見えている
- 与圧容器下部(**Bottom**)の夜間の最低温度~0°Cで狙った通りに
- レベルフライト26時間で電圧ドロップなし
- 放球前の準備など合わせて~31時間バッテリーが保った

# 搭載HouseKeepingセンサー

## SMILE HKセンサー

### 姿勢・位置センサ



GPSアンテナ x2(東・西)  
位置  $< 2.5$  m(RMS)



GPSコンパス  
方位角  $< 0.15^\circ$  (95%CL)



磁気センサ x3 (x, y, z軸)  
分解能  $< \pm 1.5^\circ$



傾斜計 x2 (東西・南北)  
高度角  $< 0.002^\circ$  (RMS)

### その他センサ



外気圧計  
レンジ: 0 - 130 hPa  
精度:  $\pm 0.2$  hPa



温度計  
 $\pm 0.3$  °C

## ピギーバック



### GPS姿勢ロガー

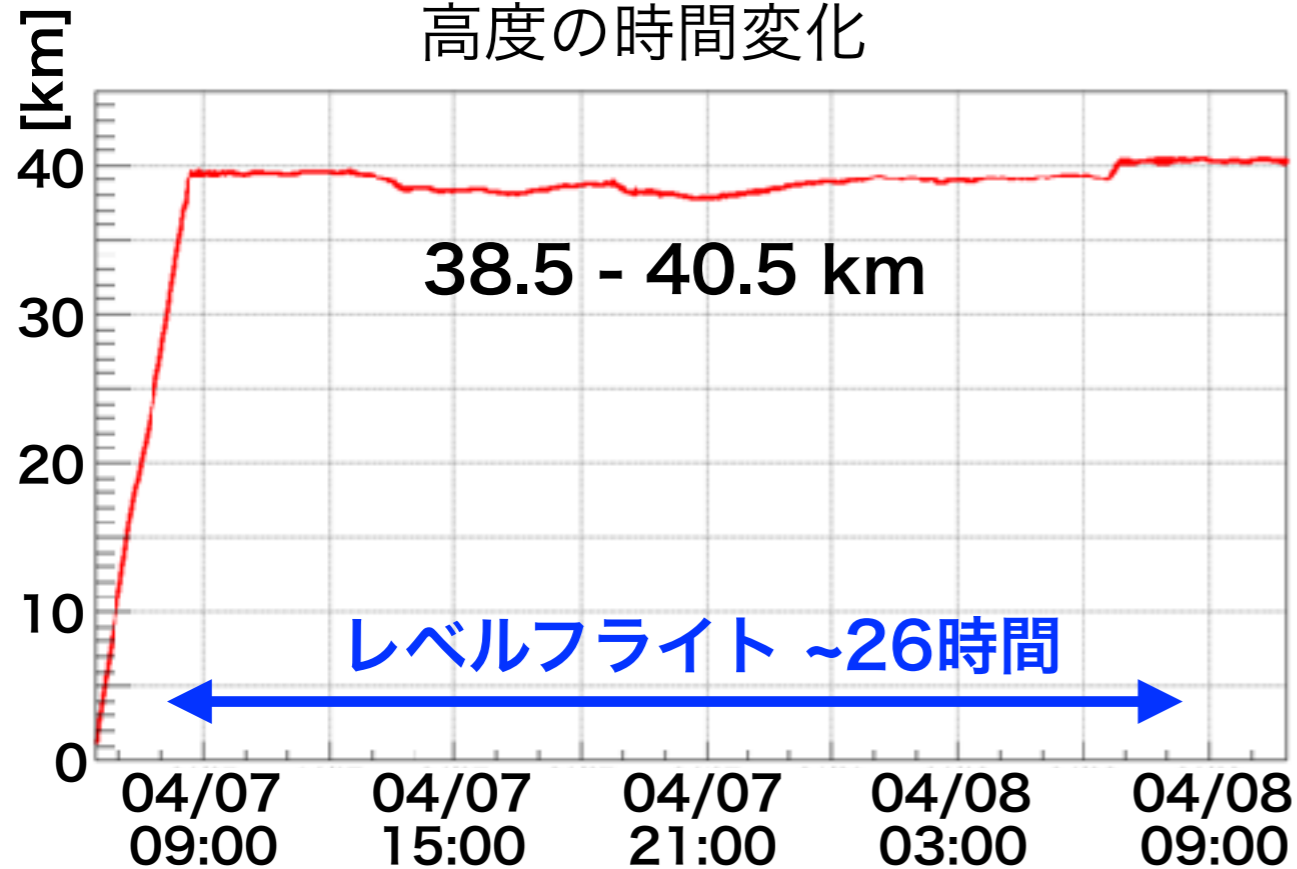
ピギーバックとして搭載して、SMILEのHKセンサーとは独立で姿勢・位置を測定する

( 莊司泰弘, 飯嶋一征 宇宙科学技術連合講演会, 3J15, 2017年10月  
大気球シンポジウム, isas17-sbs-007, 2017年11月 )

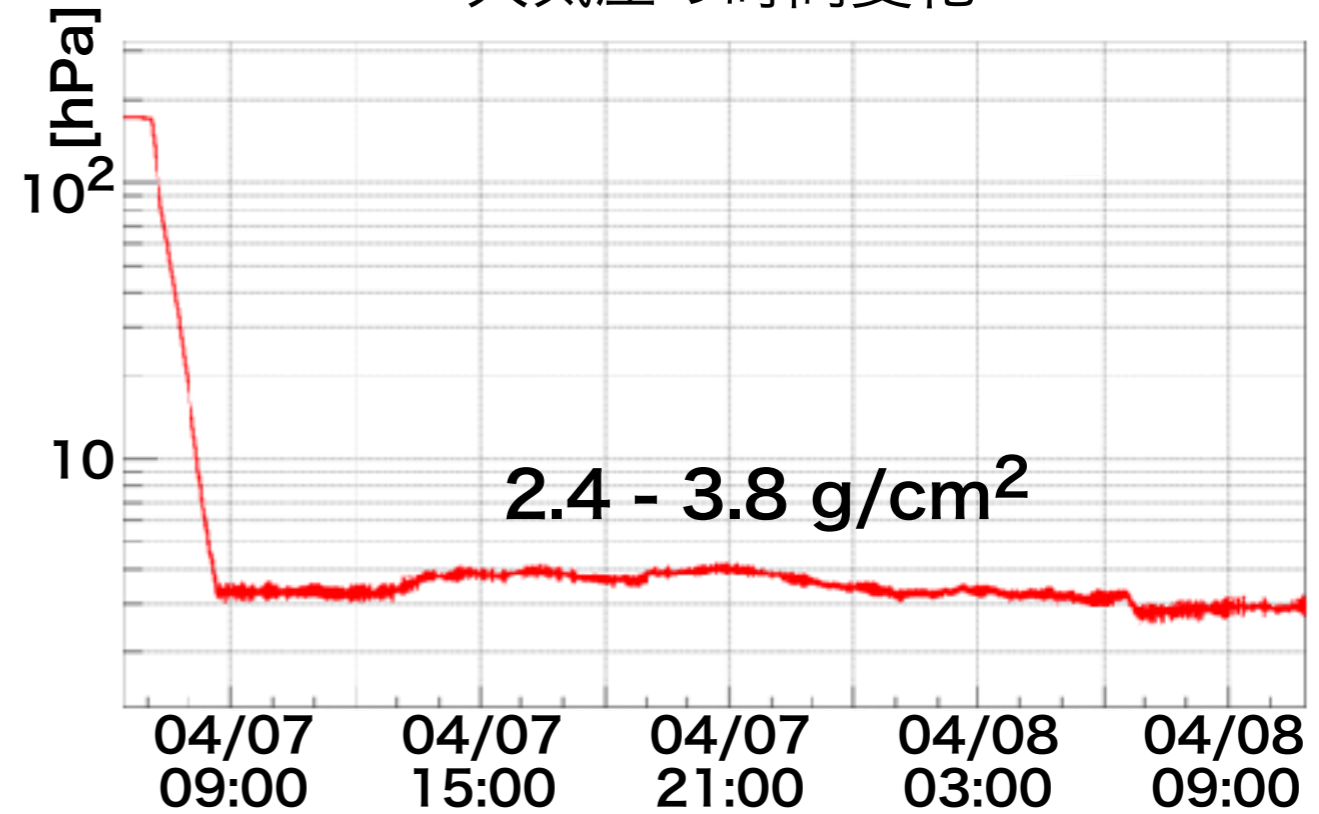


# SMILE HKセンサーの動作 (高度・気圧変化)

高度の時間変化



大気圧の時間変化



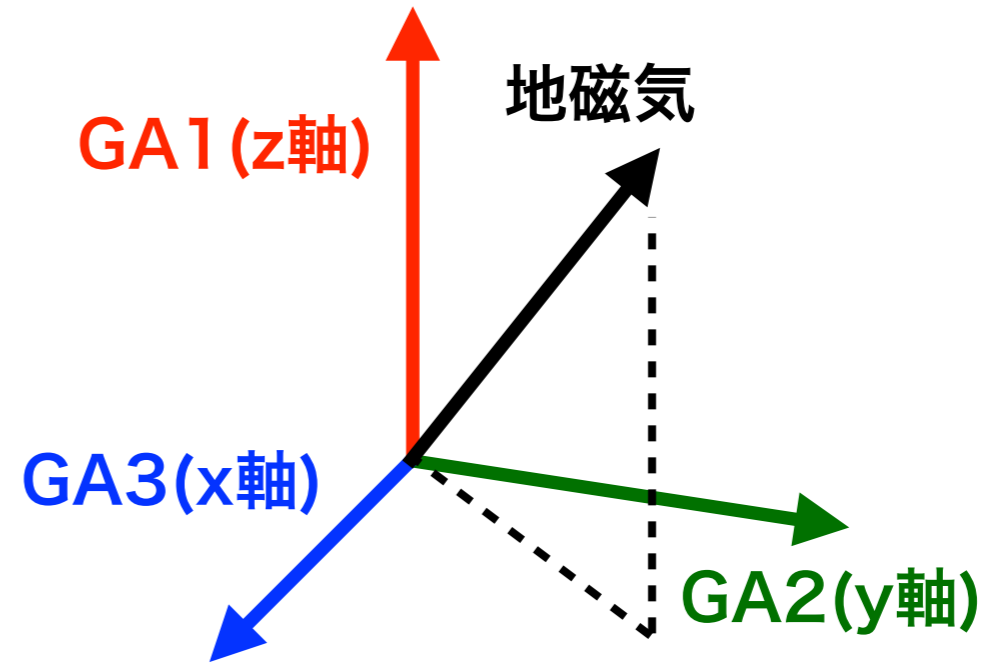
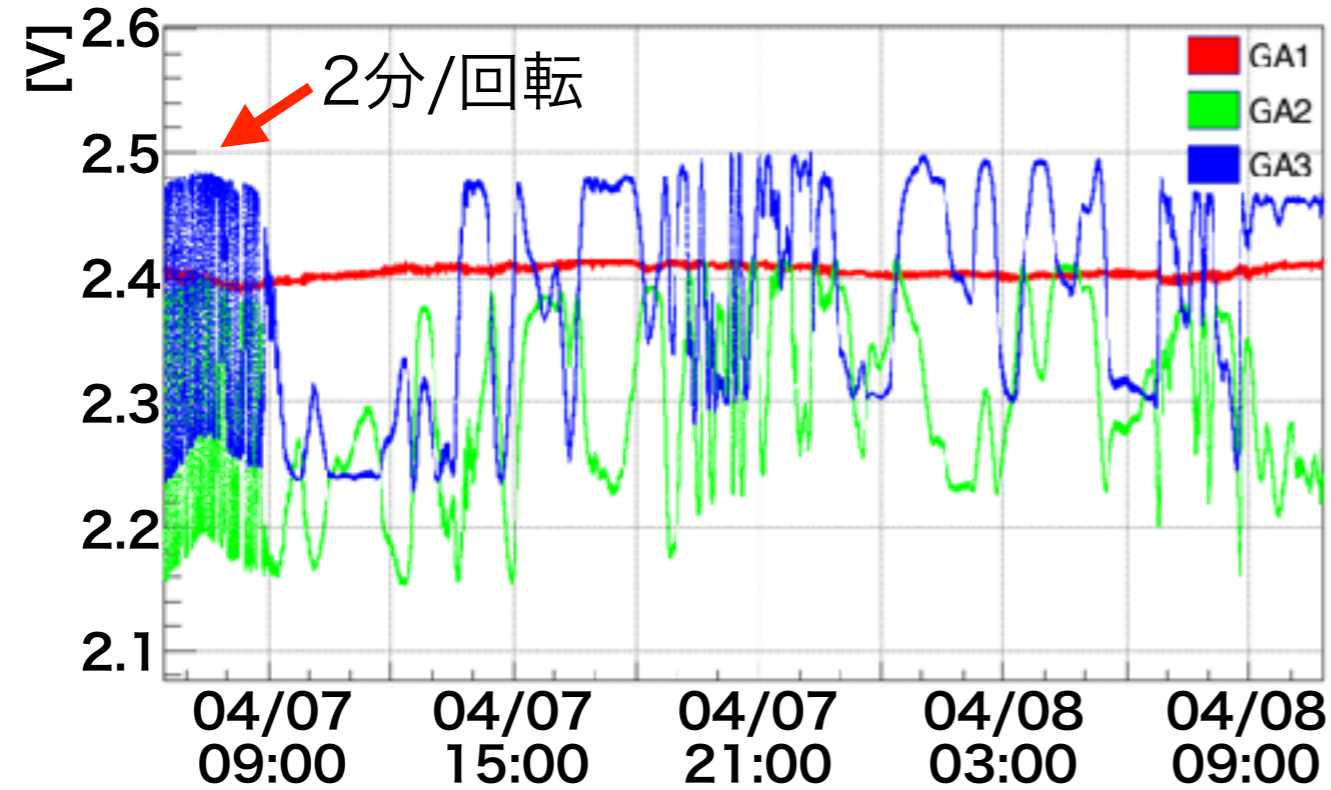
航跡図



- 要求していた気圧高度を満たした
- GPSコンパスは地上試験の時点で動作せず
- 放球地点周辺を周回するような航跡になった

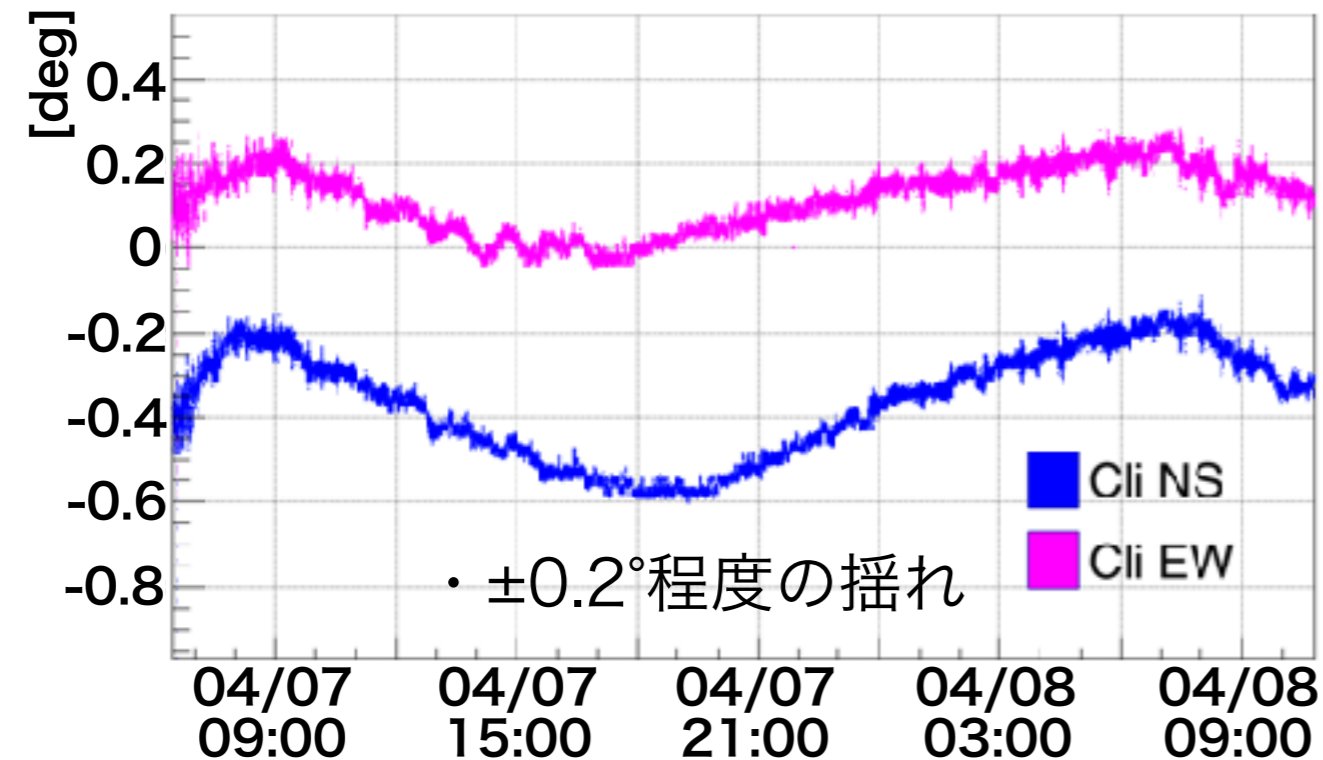
# SMILE HKセンサーの動作(姿勢)とピギーバックとの比較

磁場センサー (電圧値) の時間変化



IGRF12によるモデル磁場計算の結果と比較

傾斜計の時間変化



- フライト中の姿勢情報を無事取得
- 現在解析中(予想精度 $\sim 1^\circ$ )
- 独立系ピギーバックとの比較中

## まとめ

- 要求した観測環境（高度38.4-40.5kmにて24時間以上観測）で検出器を稼働させるため熱収支計算をした。
- 熱環境試験で理想的な断熱材とその巻き方の発見、気球高度環境下において正常に動作することを確認した。
- 熱環境試験の結果を利用してフライト中与圧容器内を狙った温度に保つことが出来た。
- **フライト中バッテリーは電圧ドロップなどなく正常に～30時間稼働**
- **SMILE HKセンサーで姿勢情報を無事取得。現在解析中。**
- 姿勢系についてはSMILE HKとは独立のピギーバックのセンサーとの比較を現在行っている。