

# SMILE15:

## 新データ取得システムを搭載した 気球搭載用電子飛跡検出型コンプトンカメラの 現状報告

澤野達哉<sup>A</sup>

谷森達<sup>A</sup> 窪秀利<sup>A,B</sup> Parker Joseph<sup>A</sup> 水本哲矢<sup>A</sup> 水村好貴<sup>A</sup>  
岩城智<sup>A</sup> 中村輝石<sup>A</sup> 松岡佳大<sup>A</sup> 古村翔太郎<sup>A</sup> 佐藤快<sup>A</sup>  
中村祥吾<sup>A</sup> 身内賢太郎<sup>C</sup> 高田淳史<sup>D</sup> 岸本祐二<sup>E</sup> 上野一樹<sup>F</sup>  
株木重人<sup>G</sup> 黒澤俊介<sup>H</sup> 田中真伸<sup>B,F</sup> 池野正弘<sup>B,F</sup> 内田智久<sup>B,F</sup>

京大理<sup>A</sup> Open-It<sup>B</sup> 神戸大理<sup>C</sup> 京大生存圏研<sup>D</sup>  
KEK放射線科学センター<sup>E</sup> KEK素核研<sup>F</sup> 東海大医<sup>G</sup> 東北大金属研<sup>H</sup>

# SMILE Mission

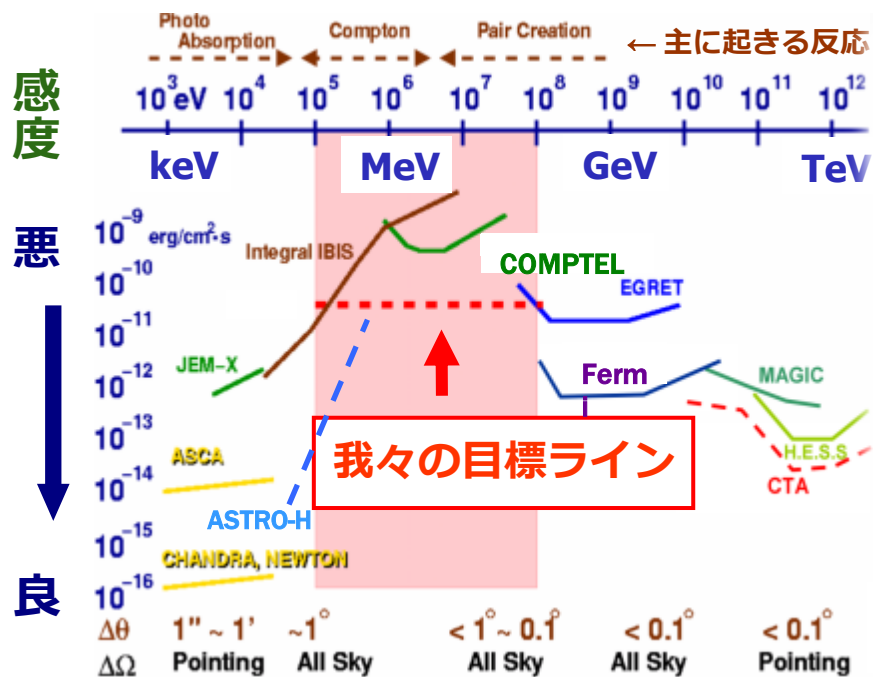
## MeVガンマ線天文学

- ✓ ガンマ線放射機構と宇宙線起源：電子起源放射 or 陽子起源 $\pi^0$ 崩壊放射
- ✓ 元素合成：核ガンマ線（例） $^{60}\text{Fe}$  (1173 keV, 1332 keV  $2.0 \times 10^6$  year)

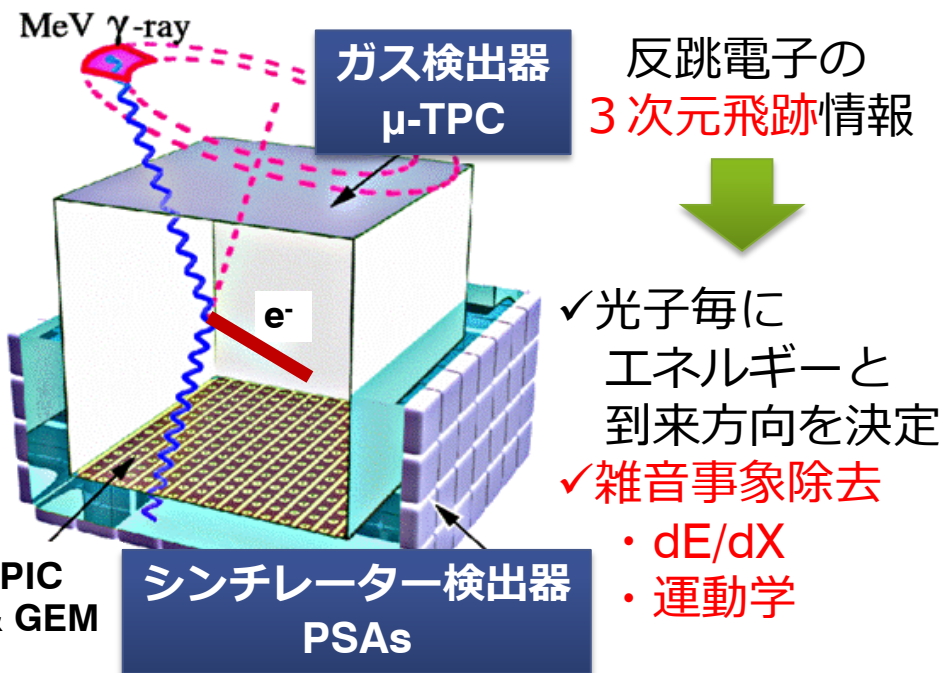
## 地球物理学的意義

- ✓ 放射線帯MeV電子加速と極域への降下：[NO<sub>x</sub>]濃度変化 Turunen et al. (2009)

## X・γ線観測装置のエネルギーバンドと感度



電子飛跡検出型コンプトンカメラ(ETCC)でMeV $\gamma$ 線観測技術の確立を目指す



# 気球観測実験SMILE-IIの概要

	SMILE-I Takada+ ApJ. (2011)	SMILE-II
目的	気球高度での 雑音事象除去能力の検証	気球高度での 撮像性能の検証
放球時期/場所	Sep. 1st 2006, 三陸, 日本	2014-, キルナ, スウェーデン
観測高度/時間	35 km / 3 hours (live time)	40 km / ~2 weeks (real time)
結果(SMILE-I) / 目標(SMILE-II)	大気ガンマ/宇宙拡散ガンマ線 観測により原理実証	有効面積 $1\text{cm}^2@300\text{keV}$ (中緯度, 35km, 3時間観測でCrab $>5\sigma$ )
$\mu$ -TPC	$10 \times 10 \times 14\text{ cm}^3$	$30 \times 30 \times 30\text{ cm}^3$
	Xe/Ar/C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , 1 atm	Ar/CF <sub>4</sub> /i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> , 1 atm
	-	飛跡データ取得システム改良
PSAs	2048 of $6 \times 6 \times 13\text{ mm}^3$ , GSO:Ce	6942 of $6 \times 6 \times 13\text{ mm}^3$ , GSO:Ce
DAQ	event by eventの割込処理	ポーリング読出し
エレクトロニクス	VME, NIM機器の組合せ	NIM不使用, 専用の省電力回路

2012年よりこれまでの開発項目を統合した  
フライトモデルETCCの構築を行ってきた

# フライトモデル(FM)組み付け状況

## μ-TPC

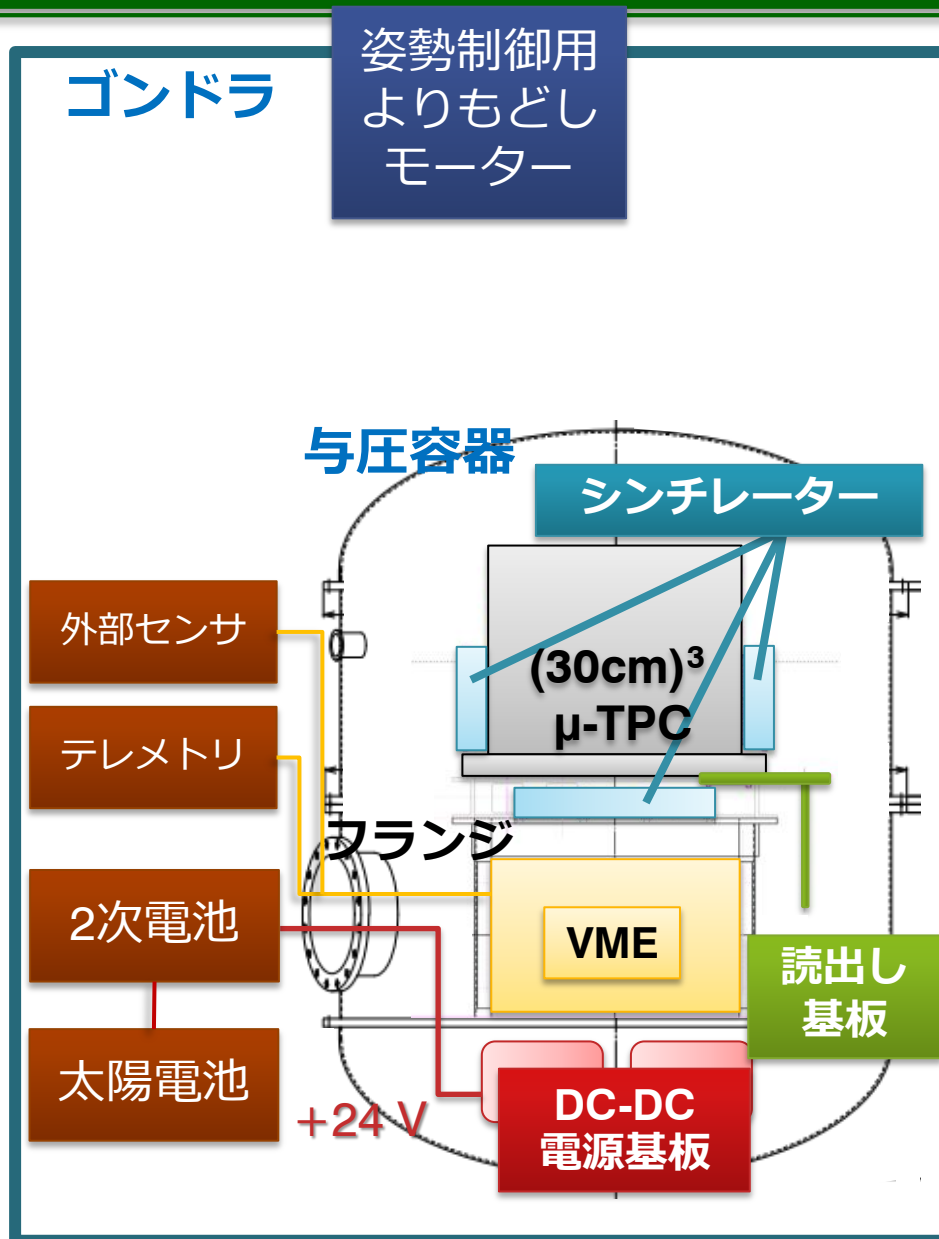
- 容器** アルミ製真空容器
- 窓材** アルミハニカム(3mm厚相当)
- 有感領域**  $(30\text{cm})^3$  (20倍)
- ガス** Ar/CF<sub>4</sub>/i-C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>(95/3/2), 1atm
- 読出しストリップピッチ** 800 μm
- エネルギー分解能** 22% @ 22 keV

## PSAs

- シンチレータ** GSO(Ce)
- ピクセルサイズ** 6 x 6 x 13 mm<sup>3</sup>
- ピクセル数** 6912ピクセル (3倍)
- エネルギー分解能** 10% @ 662 keV
- エネルギーレンジ** 0.1 MeV - 1 MeV

## システム

- 電源電圧** +24 V
- 消費電力** ~250 W (SMILE-Iと同等)
- 与圧容器 + 検出器重量** ~250 kg



# フライトモデル(FM)組み付け状況

## μ-TPC

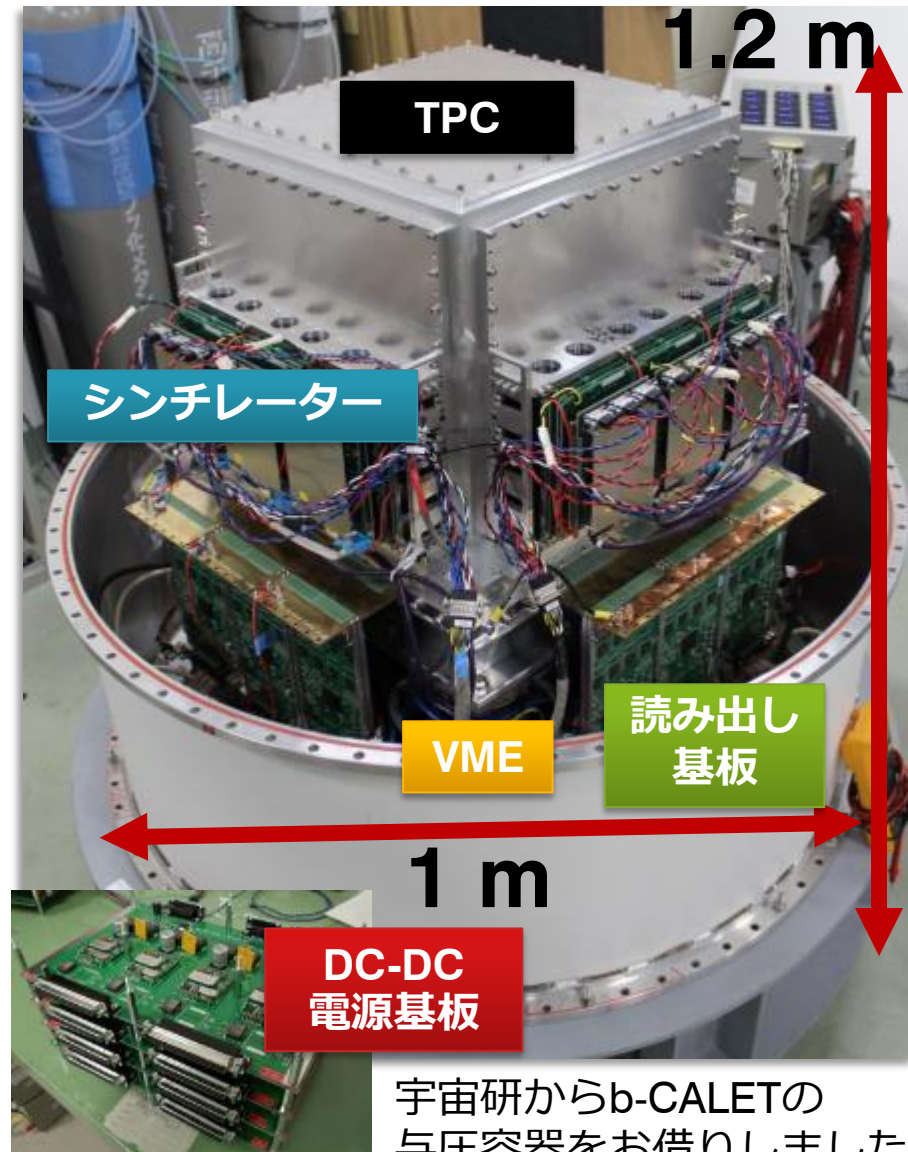
**容器** アルミ製真空容器  
**窓材** アルミハニカム(3mm厚相当)  
**有感領域**  $(30\text{cm})^3$  (20倍)  
**ガス** Ar/CF<sub>4</sub>/i-C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>(95/3/2), 1atm  
**読出しストリップピッチ** 800 μm  
**エネルギー分解能** 22% @ 22 keV

## PSAs

**シンチレータ** GSO(Ce)  
**ピクセルサイズ** 6 x 6 x 13 mm<sup>3</sup>  
**ピクセル数** 6912ピクセル (3倍)  
**エネルギー分解能** 10% @ 662 keV  
**エネルギーレンジ** 0.1 MeV - 1 MeV

## システム

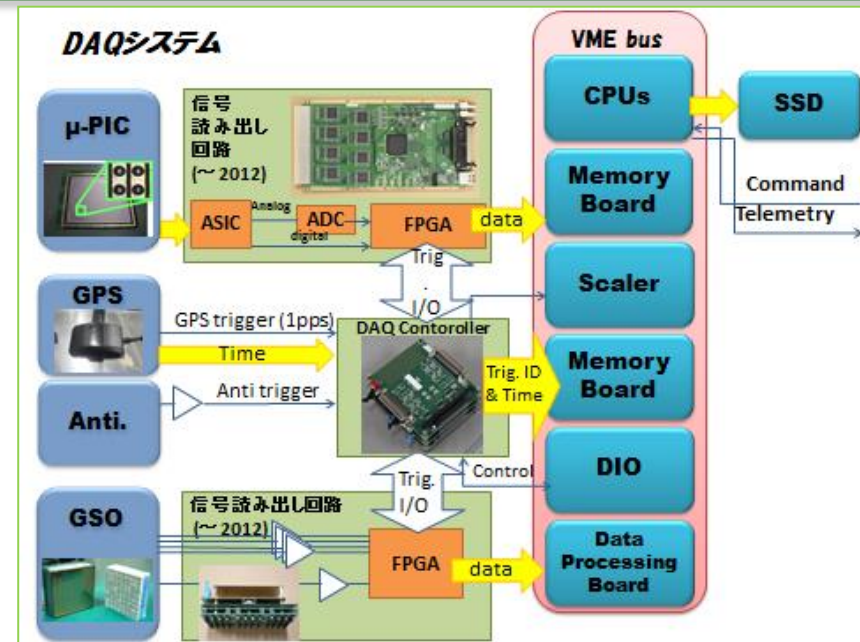
**電源電圧** +24 V  
**消費電力** ~250 W (SMILE-Iと同等)  
**与圧容器 + 検出器重量** ~250 kg



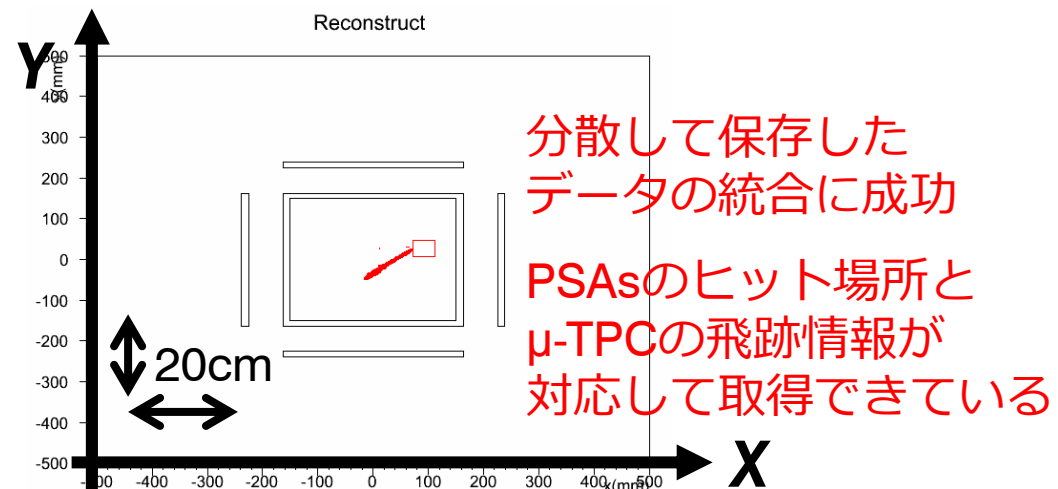
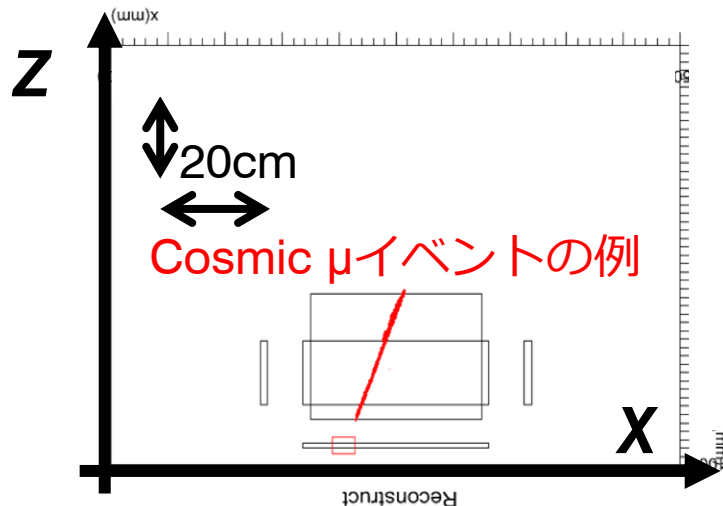
# FM ETCC / 新DAQシステム

## FM ETCCのDAQシステム

- ・ポーリング読み出し
- ・メモリーボードのダブルバッファ化
- ・CPU: 3台 (VMEbusも3系統)
- ・データにトリガー番号を付与し保存  
6枚のTPC読出し基板および  
5枚のPSAs読出し基板毎に保存
- ・通信: TCP/IP, UDP, RS232C
- ・校正モードとETCCモードをコマンドで切替可



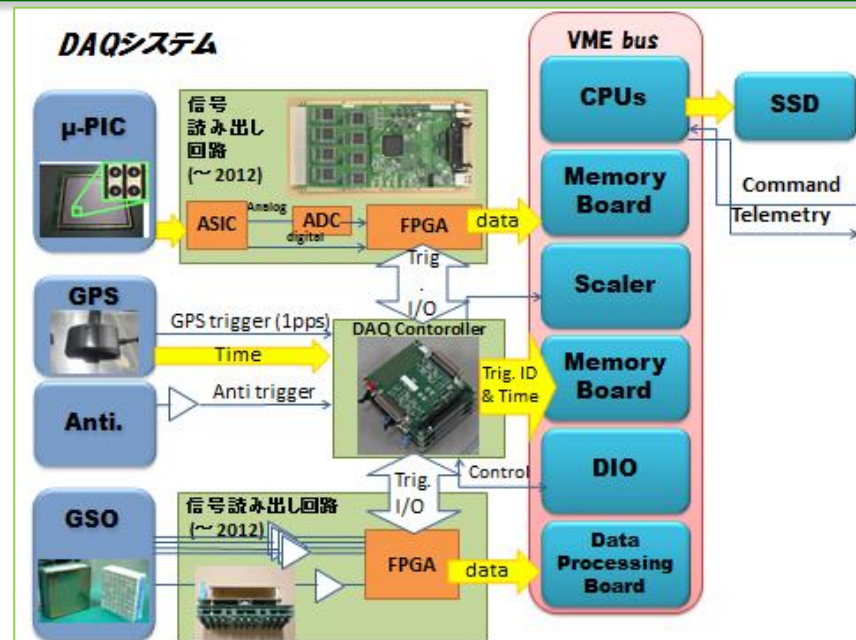
前回水本講演資料 (改変)



# FM ETCC / 新DAQシステム

## FM ETCCのDAQシステム

- ・ **ポーリング読み出し**
- ・ メモリーボードの**ダブルバッファ化**
- ・ CPU: 3台 (VMEbusも3系統)
- ・ データにトリガー番号を付与し保存  
6枚のTPC読み出し基板および  
5枚のPSAs読み出し基板毎に保存
- ・ 通信: TCP/IP, UDP, RS232C
- ・ 校正モードとETCCモードをコマンドで切替可



前回水本講演資料（改変）

## Dead Time(DT)の検証

SMILE-IIで予想されるTrigger rate:  $\sim 200$  Hz

FMのバックグラウンド観測

Trigger rate: 30 Hz, DT: 7 %.

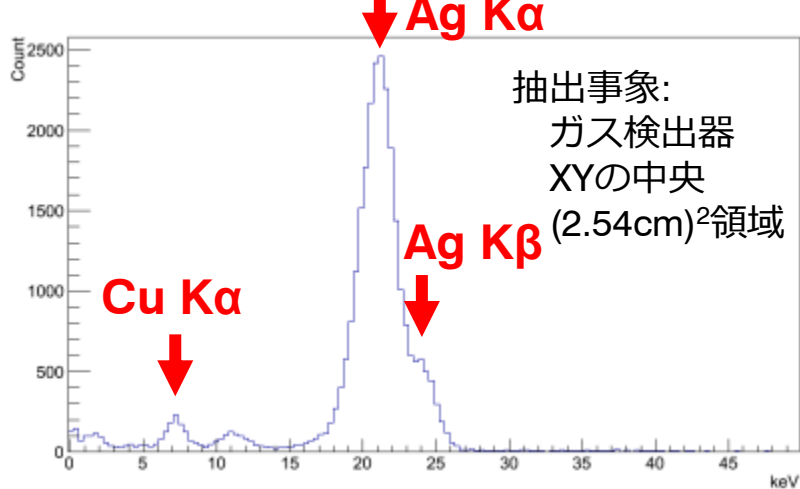
200 Hz -> **DT 50% < 80%** (旧DAQの外挿)

改善案: data reduction

CPUのclockを上げる => **半減まで改善**

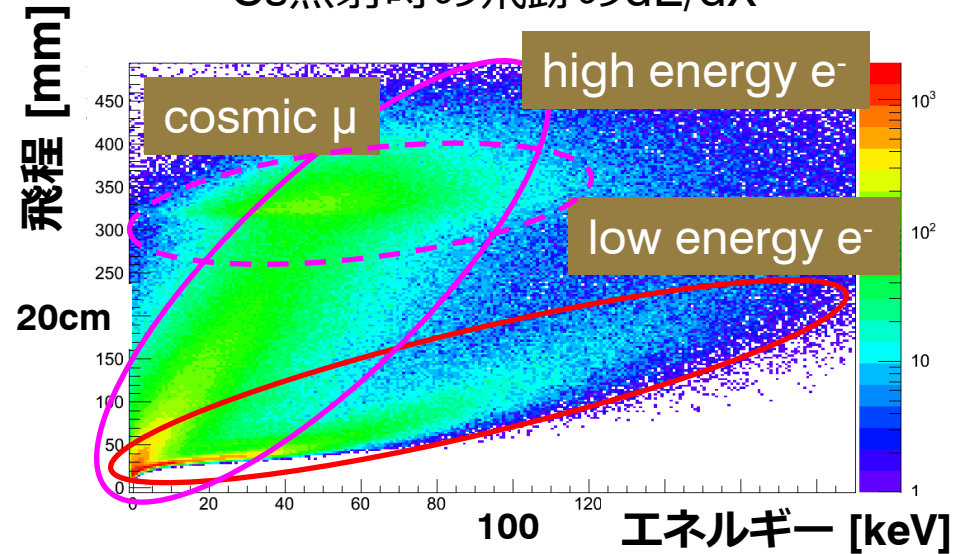
# FM ETCC / $\mu$ -TPC

$^{109}\text{Cd}$ 照射時のエネルギースペクトル

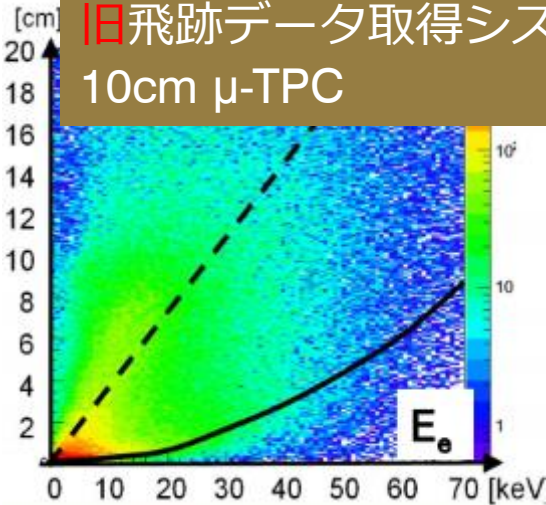


JPS2012秋季 古村講演

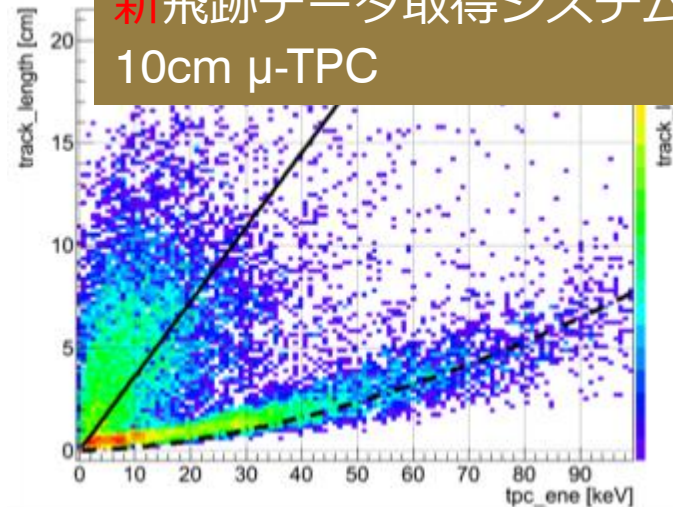
$^{137}\text{Cs}$ 照射時の飛跡のdE/dX



旧エレクトロニクス  
旧飛跡データ取得システム  
10cm  $\mu$ -TPC



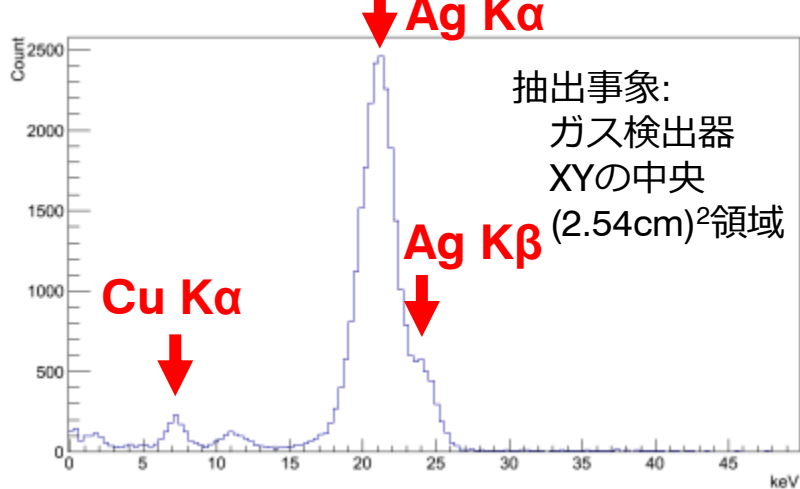
旧エレクトロニクス  
新飛跡データ取得システム  
10cm  $\mu$ -TPC





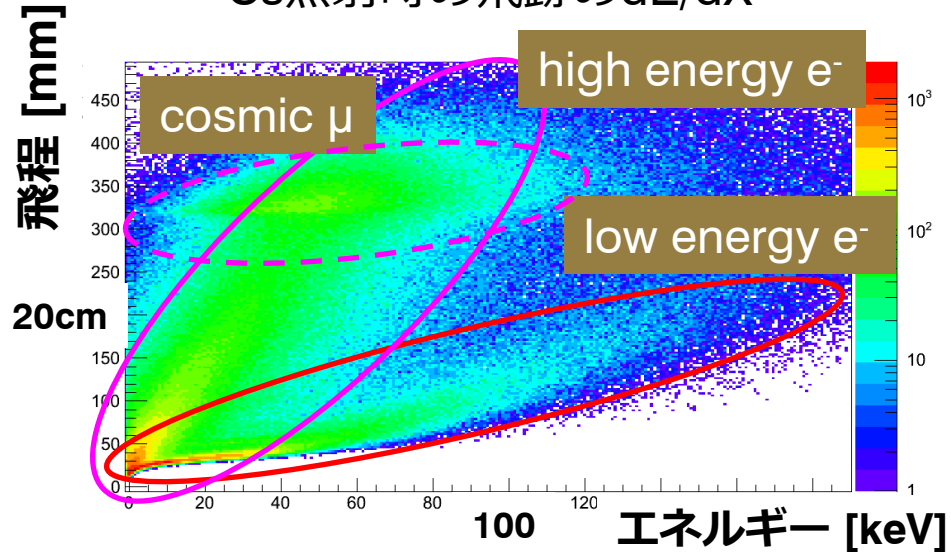
# FM ETCC / $\mu$ -TPC

$^{109}\text{Cd}$ 照射時のエネルギースペクトル

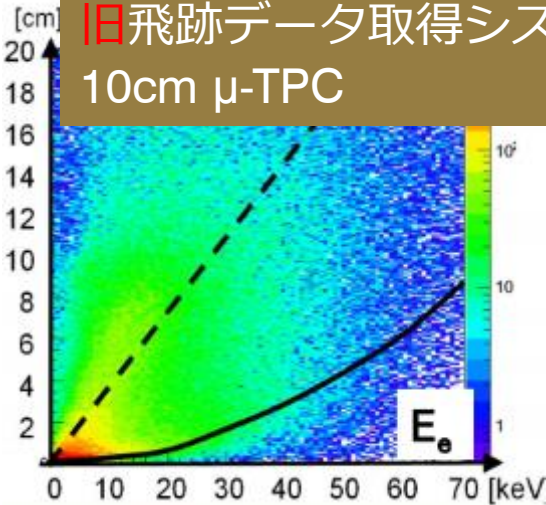


JPS2012秋季 古村講演

$^{137}\text{Cs}$ 照射時の飛跡のdE/dX

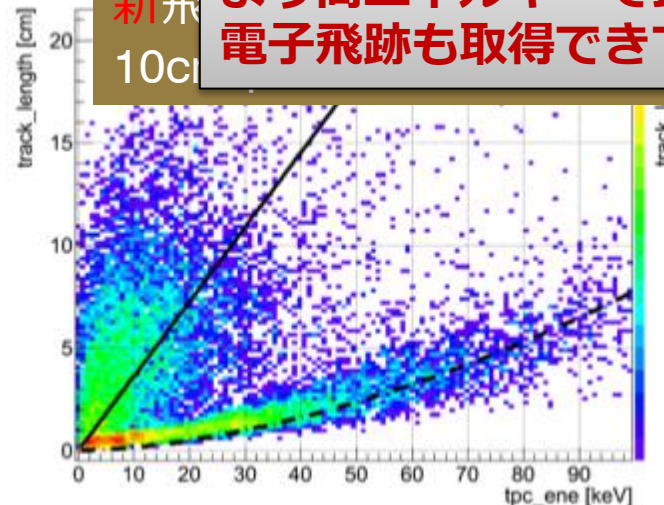


旧エレクトロニクス  
旧飛跡データ取得システム  
10cm  $\mu$ -TPC

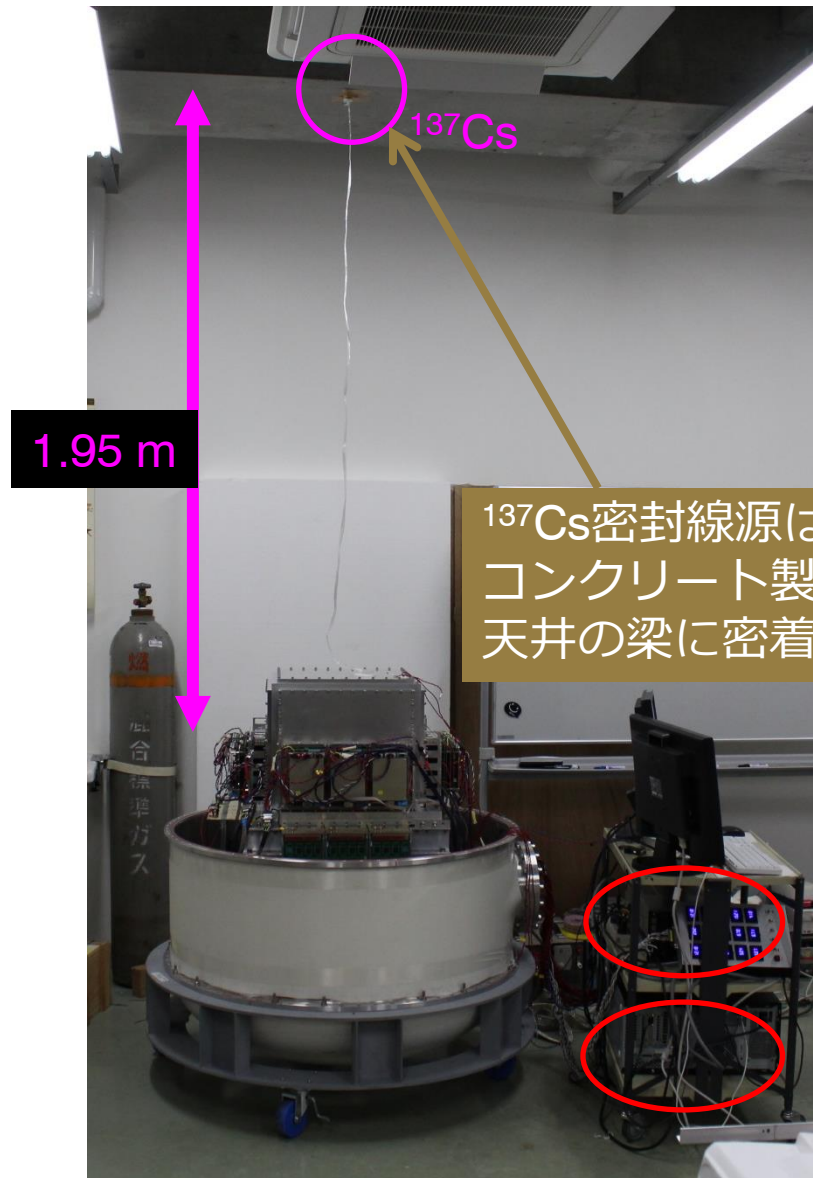


旧工  
新飛  
10cm

FM  $\mu$ -TPCでは  
より高エネルギーで長い飛程の  
電子飛跡も取得できている



# RI線源による撮像性能評価試験セットアップ



1.95 m

$^{137}\text{Cs}$

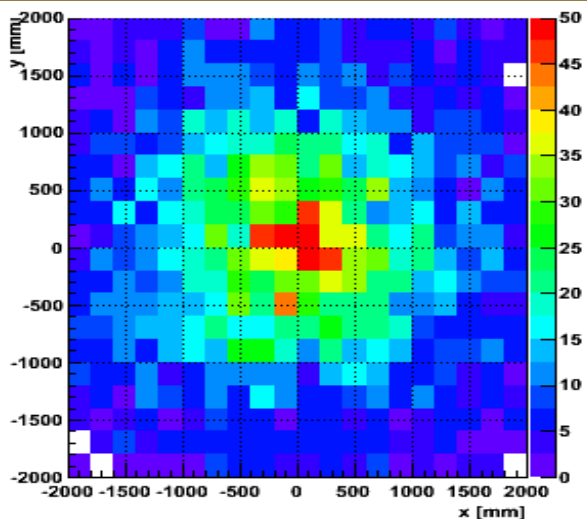
$^{137}\text{Cs}$ 密封線源は  
コンクリート製の  
天井の梁に密着固定した

直流安定化電源(+24V)

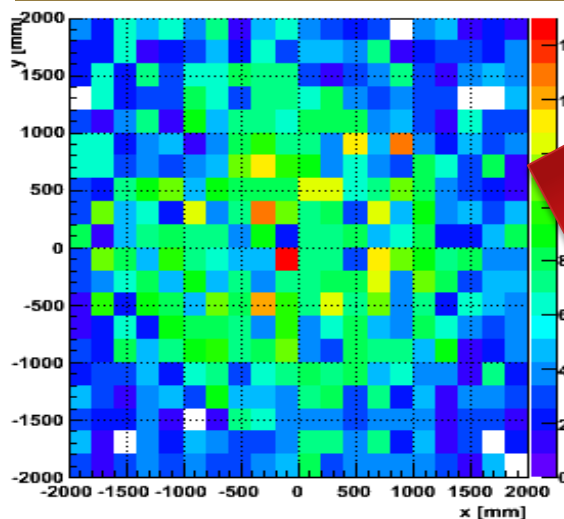
コマンド送信用PC

# コンプトンイベントの分光撮像性能

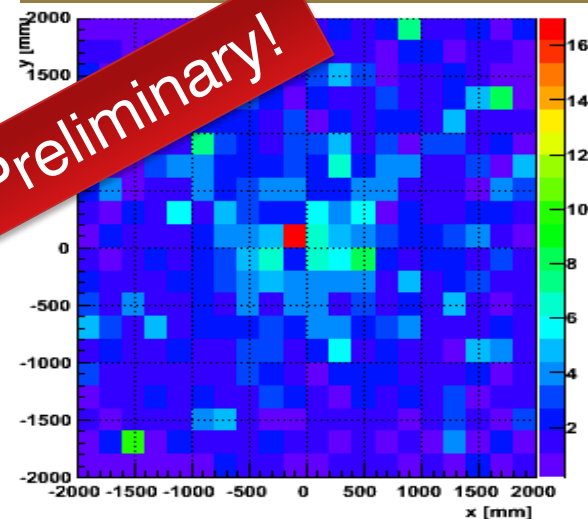
137CsをETCC中心から  
1.95m 離して設置



バックグラウンド  
(アクセプタンス)



<sup>137</sup>Csと  
バックグラウンドとの比

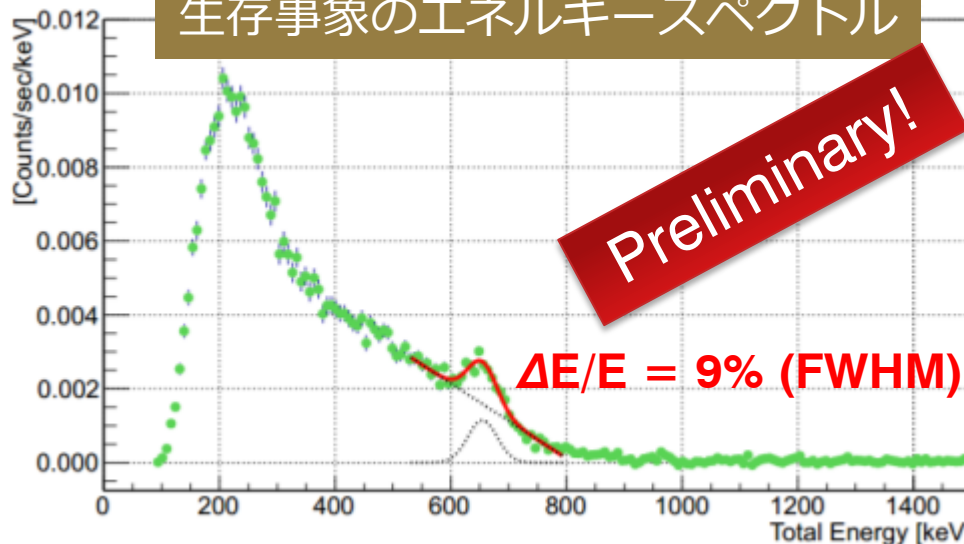


イメージ画像の解析条件:

- $\mu$ -TPCのdE/dXで $\mu$ ライクな事象の棄却
- $\mu$ -TPCでのエネルギー損失 > 1 keV
- トータルエネルギーが662 keV  $\pm$ 10%

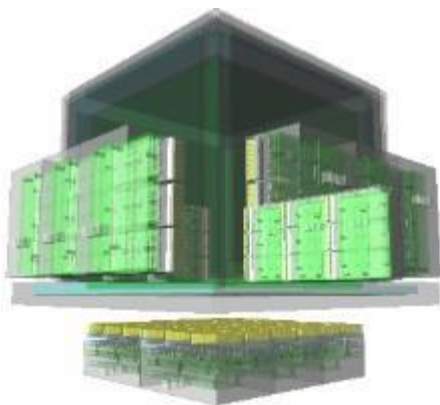
FM ETCCを用いての  
イメージの取得に成功した！  
現在 角度分解能の解析を行っている

生存事象のエネルギースペクトル

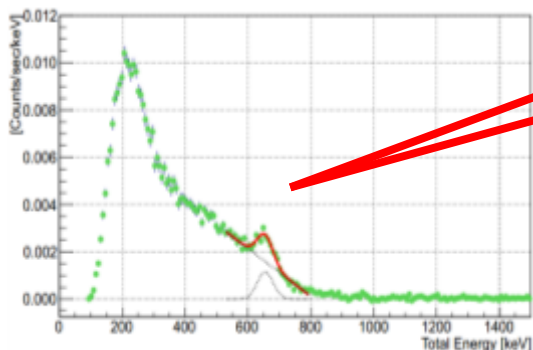
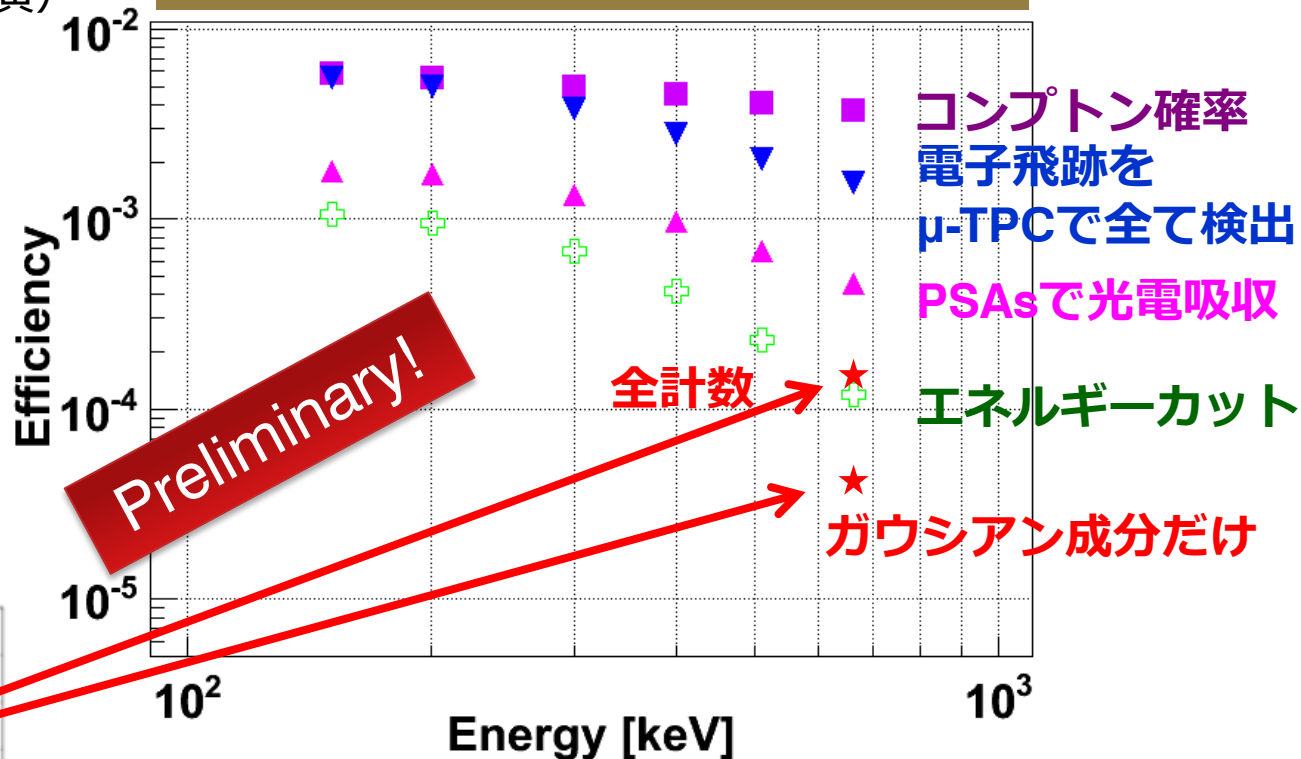


# コンプトンイベントの検出効率

Geant4のFMのジオメトリをつくり物理過程追従により検出効率を評価  
 (10cm ETCCについては  
 JPS2012秋季 水本講演)



FMから1.95m離れた点線源の検出効率



バックグラウンドは  
 差っ引き済み

光電ピーク付近の全計数 :  $1.7 \times 10^{-4}$   
 ガウシアン成分のみ :  $4.3 \times 10^{-5}$   
 シミュレーション :  $1.2 \times 10^{-4}$

**オーダーではシミュレーションと合う**  
**光電ピーク付近のべき成分の原因について調査中**

# 熱真空環境試験 @ 相模原ISAS

## SMILE-IIでの熱環境

-70 °C, 3 hPa @ キルナ高度40km

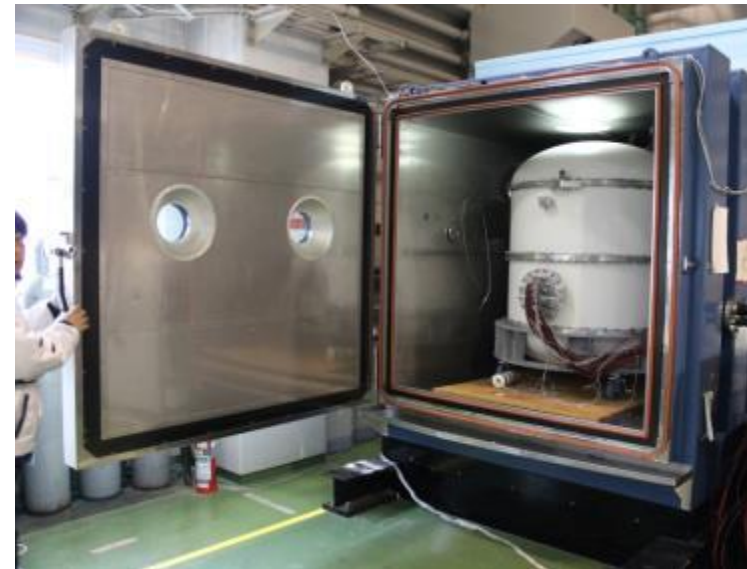
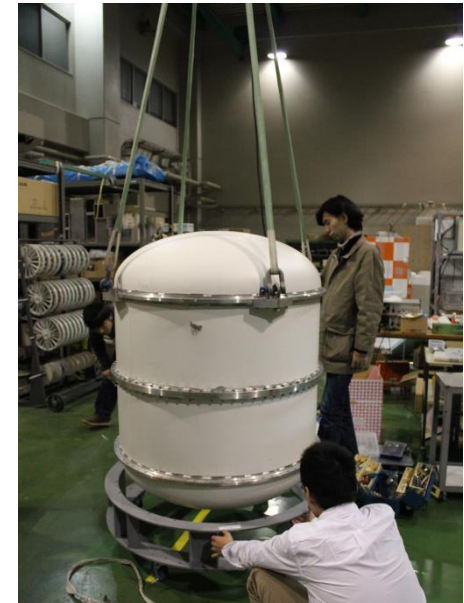
## 圧力容器系の熱環境試験を実施

期間 2013/2/18-22

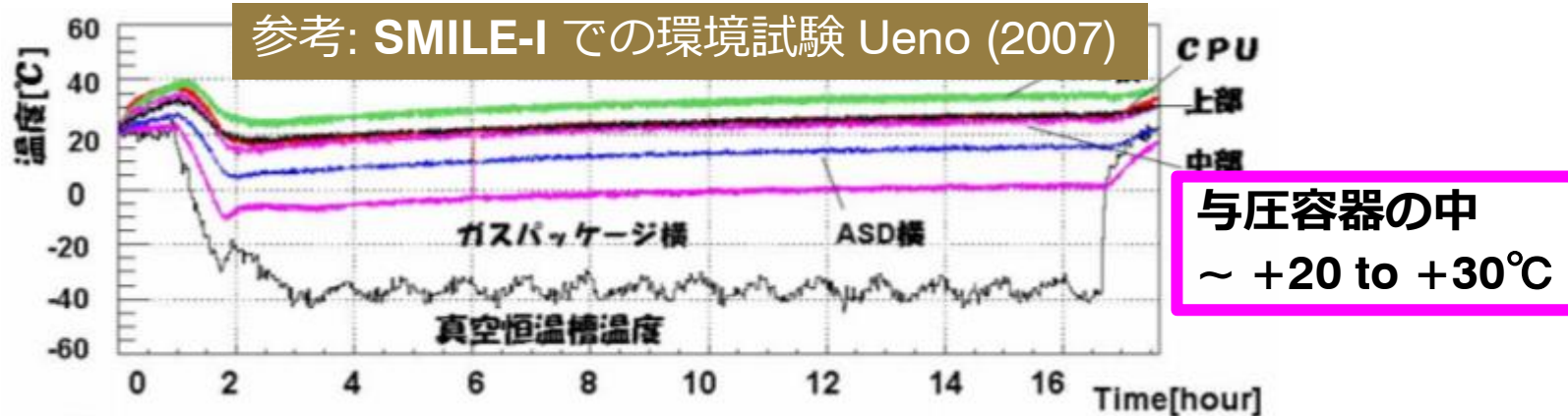
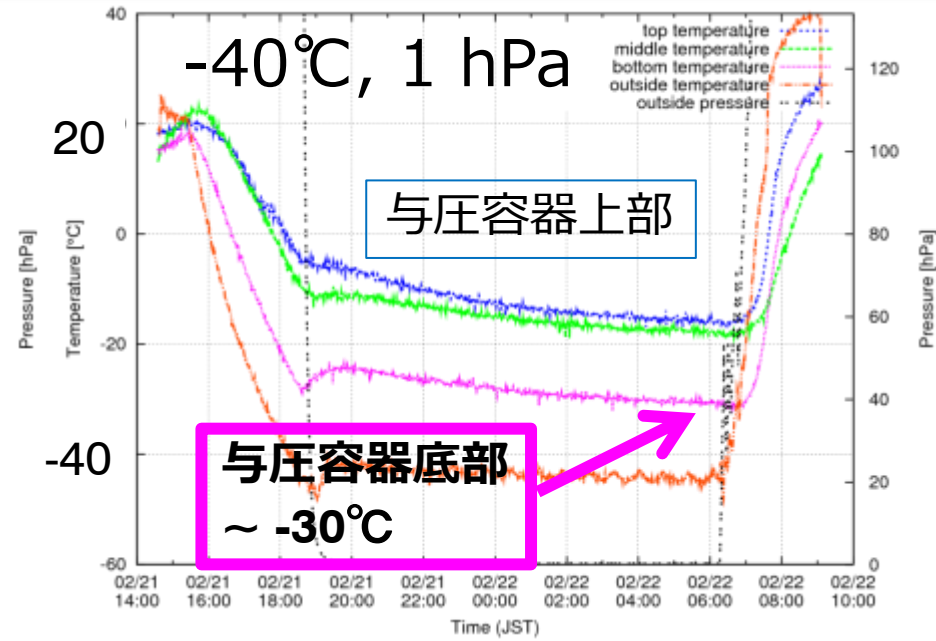
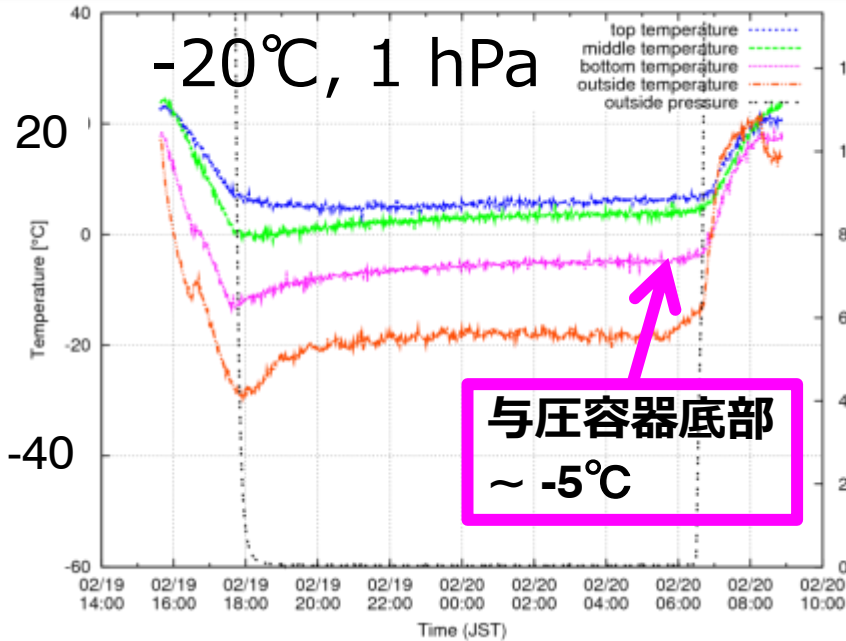
場所 ISAS気球グループ恒温槽  
(圧力コントローラ故障中)

## 確認項目

- 環境センサ類の動作確認  
温度, 気圧, 機器の電圧と電流
- DAQが動作し続けるか確認
- 試験環境
  - 20 °C, 1 hPa
  - 40 °C, 1 hPa

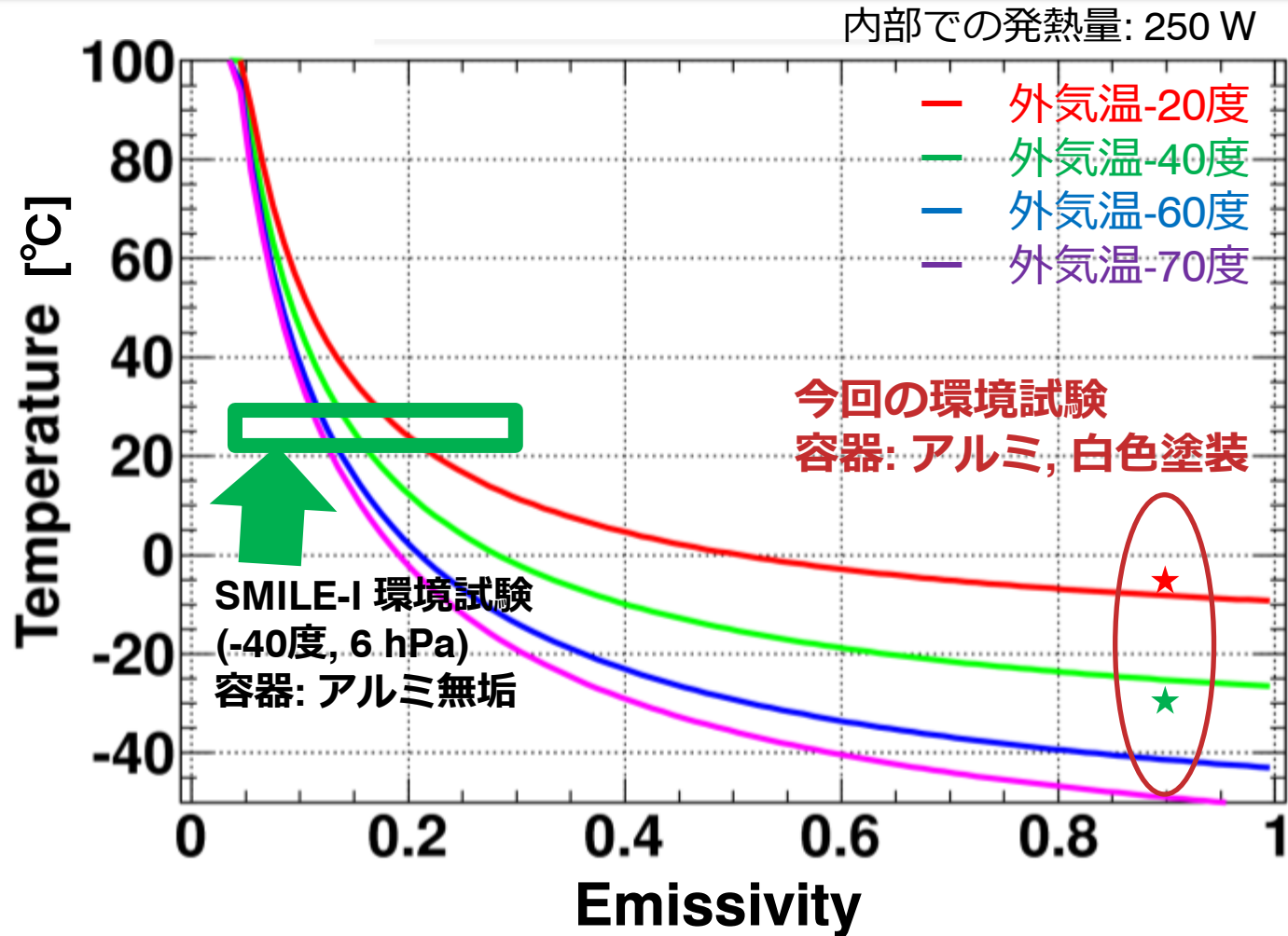


# 熱環境試験結果



**SMILE-Iのときと異なり冷え過ぎることが発覚  
熱設計の見直しが必要**

# 系の放射率に対する平衡温度



与圧容器の放射率の違いをよく説明する結果となった改善案

- ・放射率の制御
- ・サーモスタット&ヒーター

# まとめ

## まとめ

- ・次期気球実験に向けエレクトロニクスを刷新したFM ETCCを構築した
- ・再設計した新DAQのもとFM ETCCの動作を確認した  
上空で予想されるデッドタイムは多くて50%
- ・ $^{137}\text{Cs}$ 線源を用いて、イメージの取得に成功した
- ・Preliminaryながら性能を評価した  
Detection efficiency:  $\sim 1 \times 10^{-4}$  for 662 keV  
目標の $1\text{cm}^2$  @ 300 keVに近い有効面積が得られそうである
- ・シミュレーションによる検出効率は $(30\text{cm})^3$ ETCCでもオーダーで一致
- ・熱真空環境試験を行い、熱設計見直しの必要性を確認

## 今後

- ・FMのバグ修正、ゴンドラ製作
- ・気球オペレーションと解析のための各種ソフトウェア開発
- ・バックグラウンドシミュレーション
- ・ビームを用いたガンマ&中性子バックグラウンド含めた天体観測模擬試験の検討
- ・寒さ対策の実施