

SMILE12 :

大型化による電子飛跡検出型 コンプトンカメラの有効面積拡張

澤野 達哉, 谷森達, 窪秀利, 水本哲矢, Parker Joseph,

岩城智, 中村輝石, 松岡佳大, 古村翔太郎, 佐藤快,

身内賢太郎^A, 高田淳史^B, 岸本祐二^C, 上野一樹^D, 株木重人^E, 黒澤俊介^F

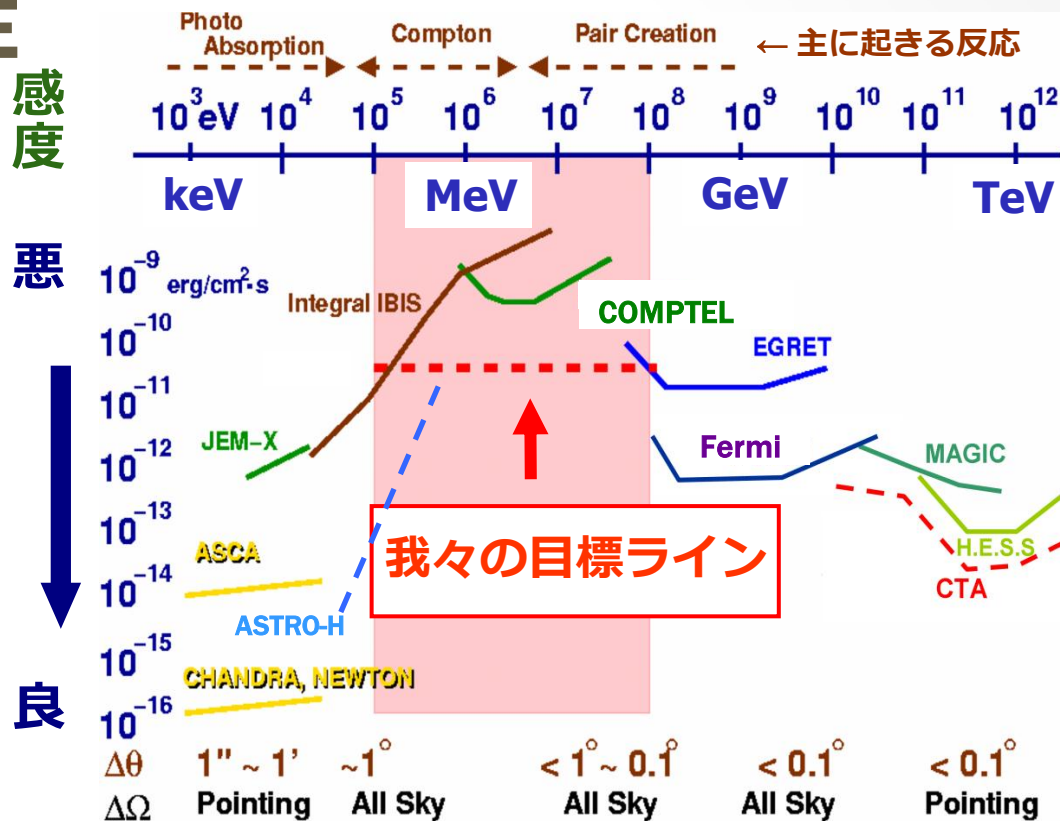
京大理, 神戸大理^A, 京大生存圏研^B, KEK^C, 理研^D, 東海大医^E, 東北大金属研^F

X・γ線観測装置のエネルギーバンドと感度

MeV_γ線天体観測SMILE

- 天文学的意義
- ✓ 宇宙線起源
- ✓ 加速機構問題
- ✓ leptonic or hadronic
シンクロトロン放射
逆コンプトン放射
π⁰崩壊
- ✓ 元素合成
核ガンマ線 ²⁶Al, ⁴⁴Ti

- 地球物理学的意義
- ✓ 放射線帯での~MeV領域の電子加速、極域への振込みのダイナミクス
- ✓ 相対論的電子降下(Relativistic Electron Precipitation, REP)
による成層圏における大気イオン組成への影響
制動放射(REP-burst)

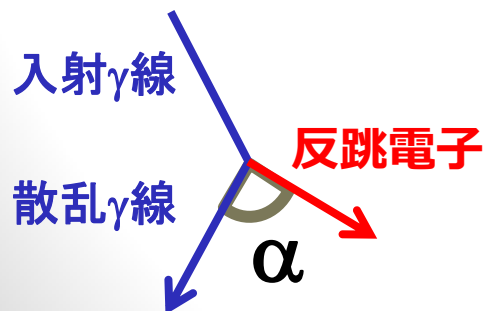
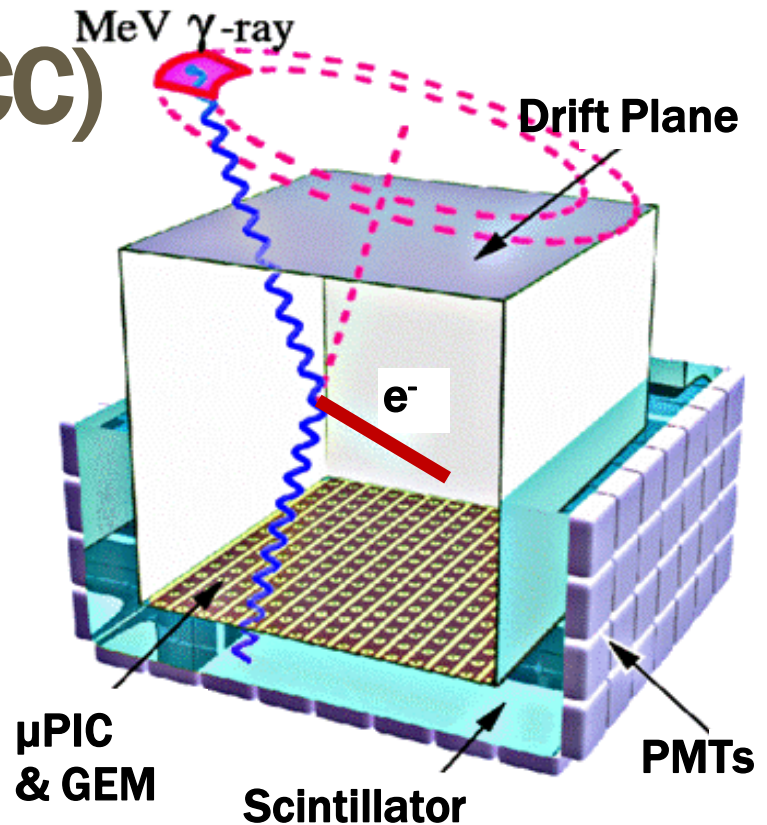


古典的なコンプトン法を凌ぐMeV_γ線観測技術の確立が必須

Electron-Tracking Compton Camera (ETCC)

- Time Projection Chamber (TPC)
 - ✓ 反跳電子検出
 - ✓ エネルギー & 3次元飛跡
- Pixel Scintillation Arrays (PSAs)
 - ✓ 散乱 γ 線検出
 - ✓ エネルギー & 吸収点

- ✓ 光子毎にエネルギーと到来方向を決定
- ✓ 広視野 ~ 3str
- ✓ 運動学を利用したBackground除去



$$\cos \alpha_{\text{geo}} = \vec{g} \cdot \vec{e}$$

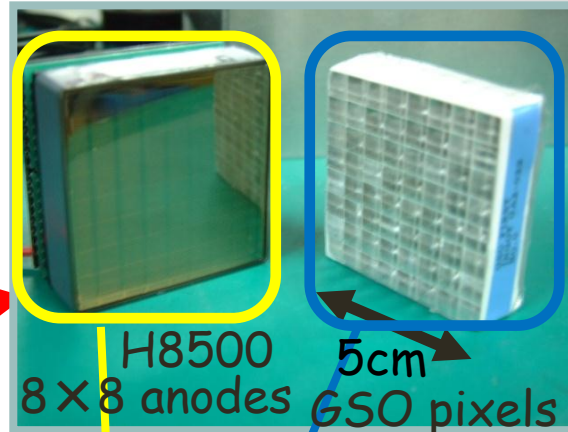
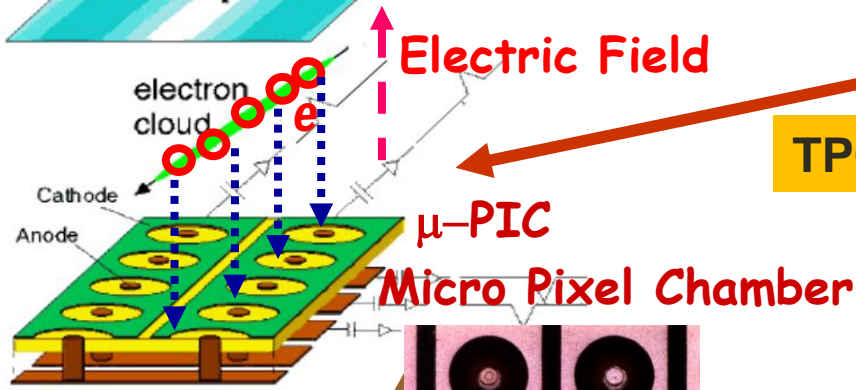
Compton scattering

$$\cos \alpha_{\text{kin}} = \left(1 - \frac{m_e c^2}{E_\gamma} \right) \sqrt{\frac{K_e}{K_e + 2m_e c^2}}$$

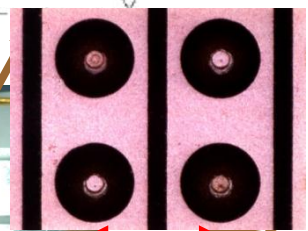
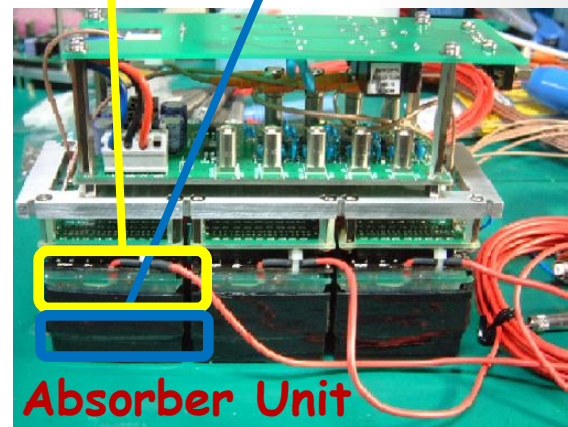
nucleus recoil, proton-induced γ s,
2 γ , random coincidence

10cm cube ETCC

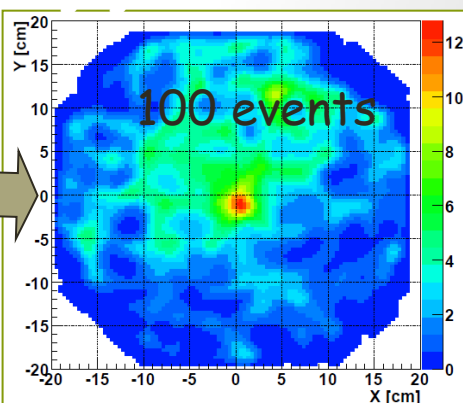
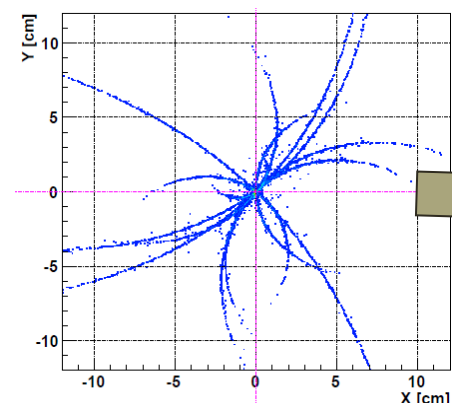
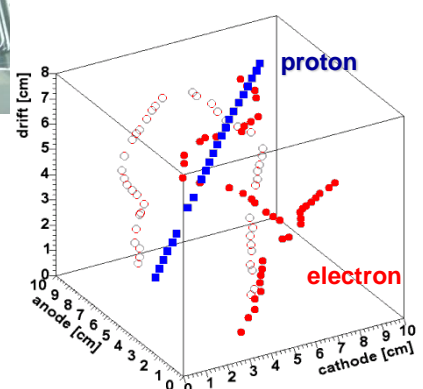
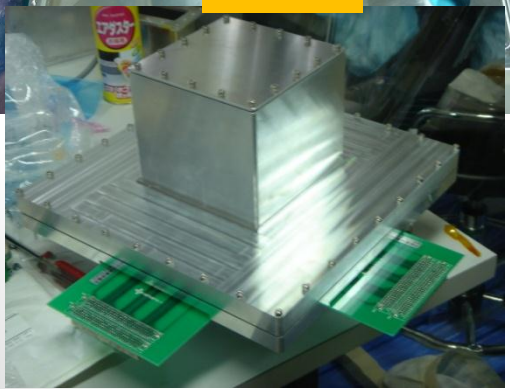
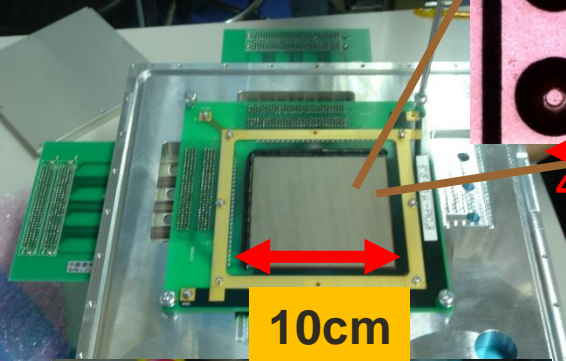
Time Projection Chamber (TPC)



Energy Res.(FWHM)
11% for 662 keV



400μm



SMILE-I

to

SMILE-II

(10cm) ^3MeV γ 線カメラ 0.1~1 MeV

気球@三陸 35km 4時間

動作実証 宇宙拡散 γ ・大気 γ 線測定
(2006年9月に実施)

(30cm) ^3MeV γ 線カメラ 0.1~1 MeV

気球@スウェーデン,キルナ 40km 1日

テスト観測、長期運用システムの動作実証 2013
極周回気球fromスウェーデン,キルナ 40km, ~2週間
明るい天体、REP-burstの観測 2014~

設計最適化による改善

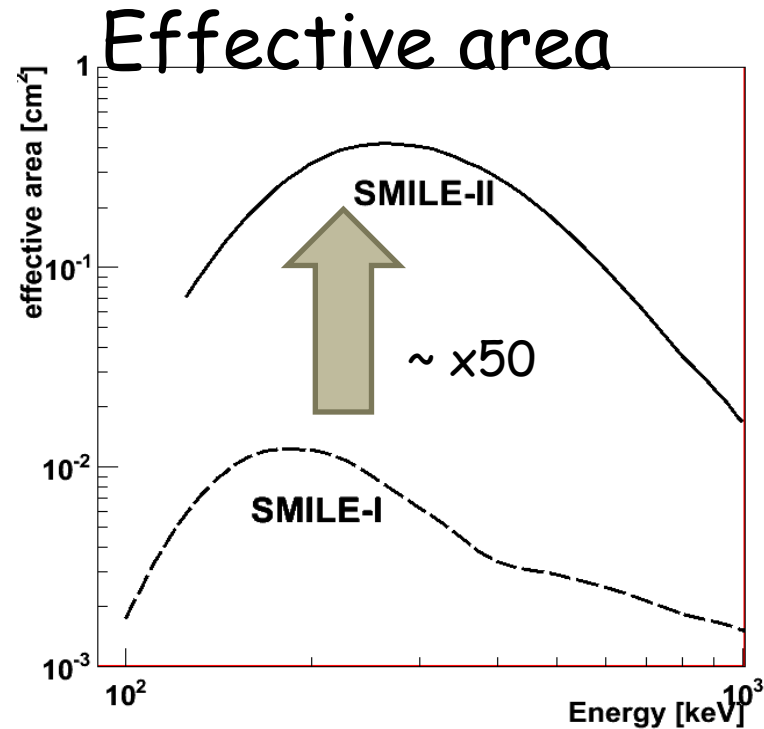
- ✓ シンチレーションカメラの増設
- ✓ GEMの大判化
- ✓ 軽量TPC容器の使用
- ✓ TPC飛跡データ読み出しのS/N改善

技術進歩による改善

- ✓ TPC飛跡検出アルゴリズムの改良
- ✓ シンチレーションカメラの読み出しシステムの改良

気球系で実現するための省電力化

- ✓ $\mu\text{-PIC}$ 倍ピッチ読み出しによる回路数の半減
- ✓ 省電力回路の開発



検出効率: $3.3-6 \times 10^{-4}$

有効面積: $0.26-0.5 \text{ cm}^2$

観測時間: ~2週間

SMILE-I

to

SMILE-II

(10cm) ^3MeV γ 線カメラ 0.1~1 MeV
気球@三陸 35km 4時間
動作実証 宇宙拡散 γ ・大気 γ 線測定
(2006年9月に実施)

(30cm) ^3MeV γ 線カメラ 0.1~1 MeV
気球@スウェーデン,キルナ 40km 1日
テスト観測、長期運用システムの動作実証 2013
極周回気球fromスウェーデン,キルナ 40km, ~2週間
明るい天体、REP-burstの観測 2014~

設計最適化による改善

- ✓ シンチレーションカメラの増設 → (30cm) 3 プロトタイプETCC試験(本講演)
- ✓ GEMの大判化
- ✓ 軽量TPC容器の使用 → FM試験
- ✓ TPC飛跡データ読み出しのS/N改善 → (10cm) 3 ETCC試験(本講演) と 27pFB-4古村講演

技術進歩による改善

- ✓ TPC飛跡検出アルゴリズムの改良 → 27pFB-4古村講演
- ✓ シンチレーションカメラの読み出しシステムの改良 → 27pFB-7水本講演

気球系で実現するための省電力化

- ✓ μ -PIC倍ピッチ読み出しによる回路数の半減 → (10cm) 3 , (30cm) 3 プロトタイプETCC試験(本講演)
- ✓ 省電力回路の開発 → 27pFB-7水本講演

検出効率: $3.3-6 \times 10^{-4}$
有効面積: $0.26-0.5 \text{cm}^2$
観測時間: ~2週間

現行システムの改良と
FMの設計を並行に開発

(30cm)³ETCCプロトタイプ

FM用システムの量産品が納品される
今年3月まで大型ETCC試験機として運用

シンチレーションカメラ

底面2304+側面1536ピクセルから
さらに側面に**1536ピクセル増設**
5120ピクセルの**エネルギー再較正実施**

TPC

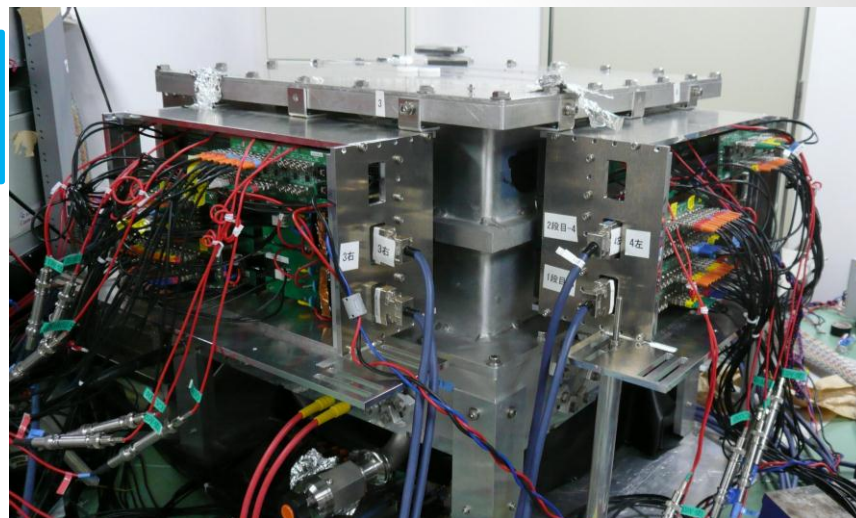
μ-PIC : サイズ31x31cm², **倍ピッチ読出し**

隣り合ったストリップを並列でつなげ
1ストリップとして読みだす

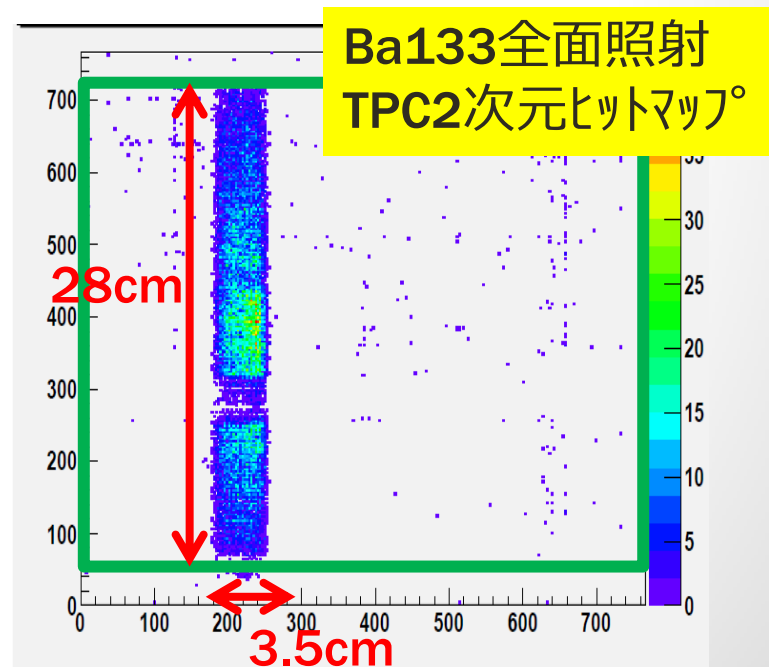
GEM : サイズ23x28cm²⇒**31x28cm²**

GEM検出面の8分の7が導通により使用不可

増設後のDAQの動作確認を行い
倍ピッチ読出しでの信号取得に成功
TPC回路数半減による省電力化可能性を支持
しかし、コンプトンカメラとしての性能評価
までには至らなかった



SMILE-II (30cm)³ETCCプロトタイプ



TPC飛跡データのS/N改善

ガス利得の大きさによって

- ・ GEMの導通のリスクの低減
- ・ 電子飛跡が取得できるS/Nの確保がトレードオフの関係

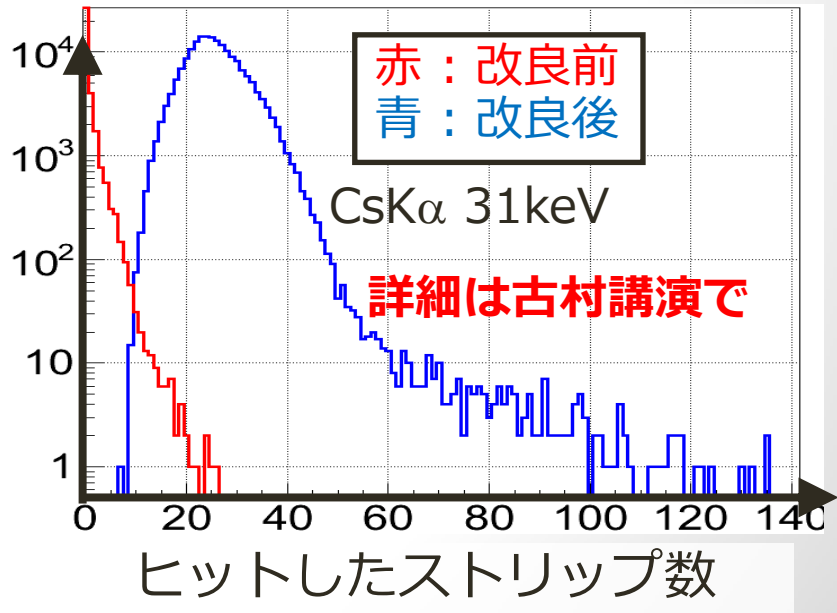
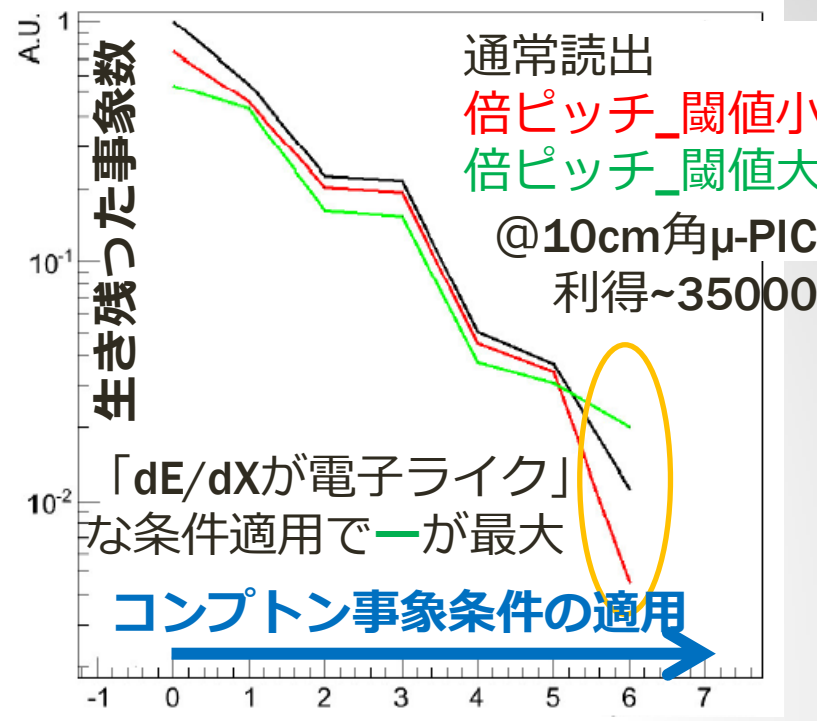
① Nを低減するための対策

μ-PICの信号取得閾値を大きくする
 ⇒ ノイズヒットの低減
 電子ライクな飛跡イベント取得効率向上

② Sを向上するための対策

TPC飛跡取得新アルゴリズムの導入
 ⇒ 飛跡点、取得効率の大幅な増加・改善

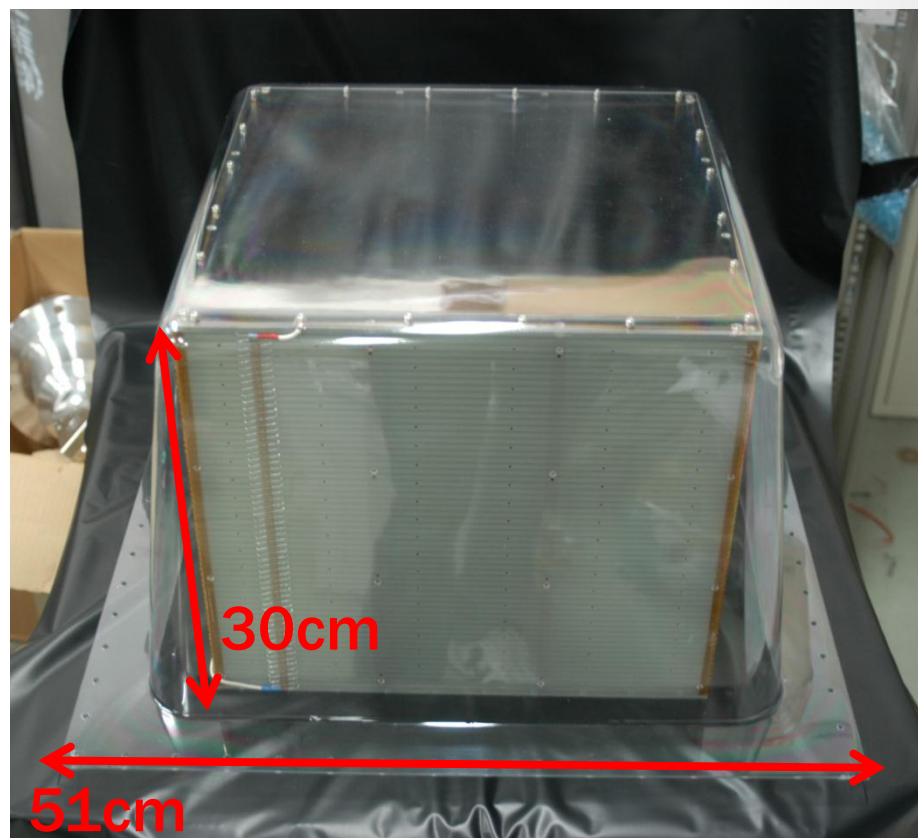
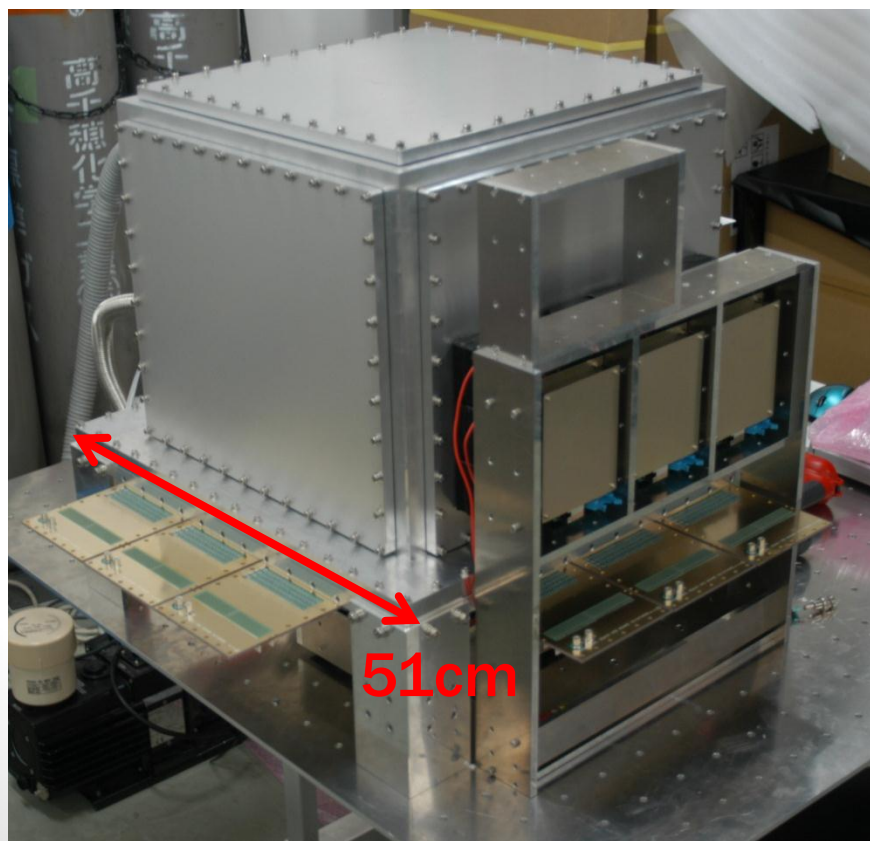
①と②の組み合わせにより
 飛跡点情報の損失なく、従来の半分の
 ガス利得(~17000)での運用を目指す



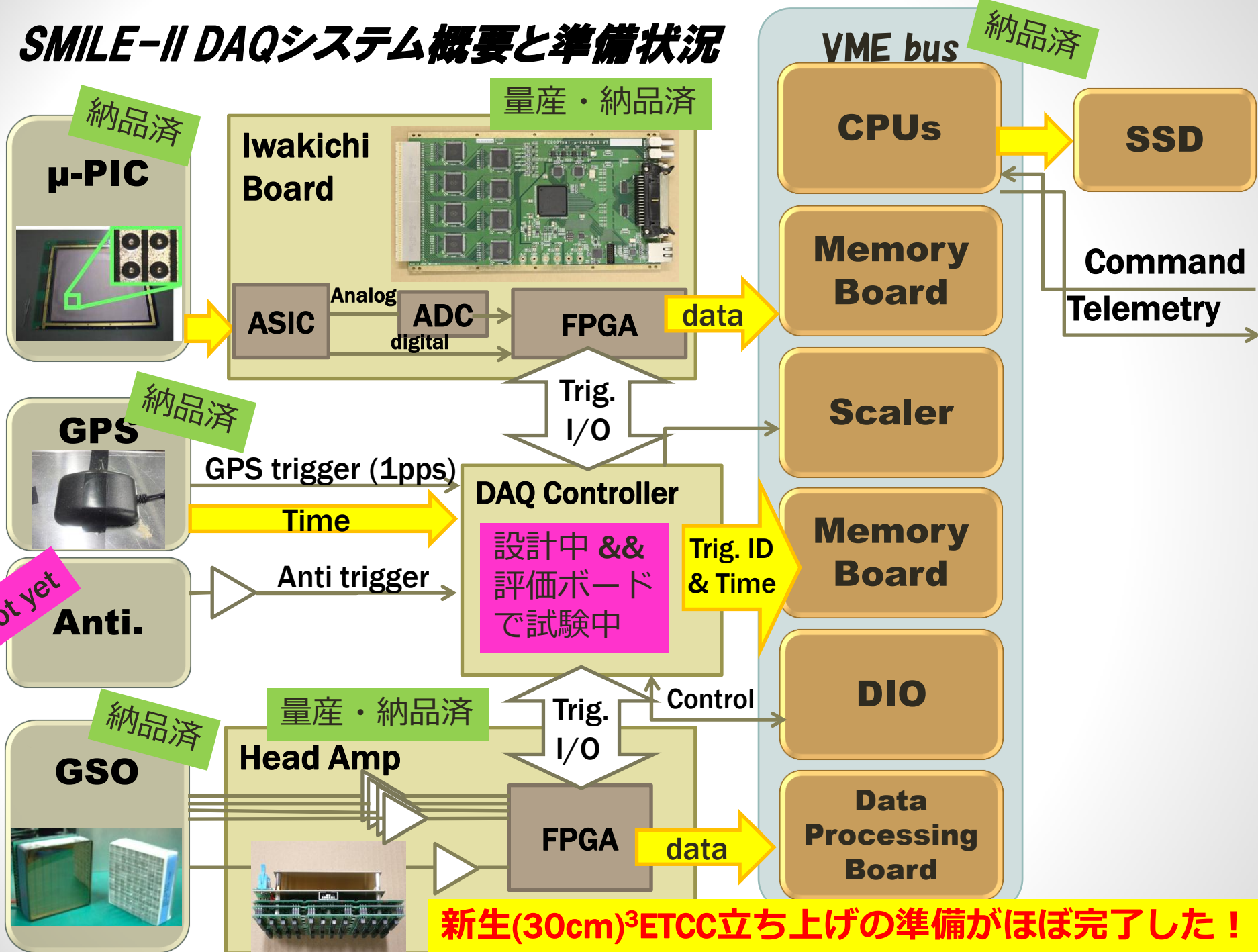
FM TPC容器

散乱ガンマ線の検出器以外の物質中での散乱・吸収による損失は**20-30% @ 300keV**
この効果を抑えるため、アルミハニカム材、PET樹脂製30cm角TPC容器を制作した。

TPC容器材質・厚み	柱密度 (g/cm ²)
アルミ製プロトタイプ (> 8 mm)	> 2.16
アルミハニカム (アルミ~3 mm厚相当)	0.82
PET (3 mm)	0.42



SMILE-II DAQシステム概要と準備状況



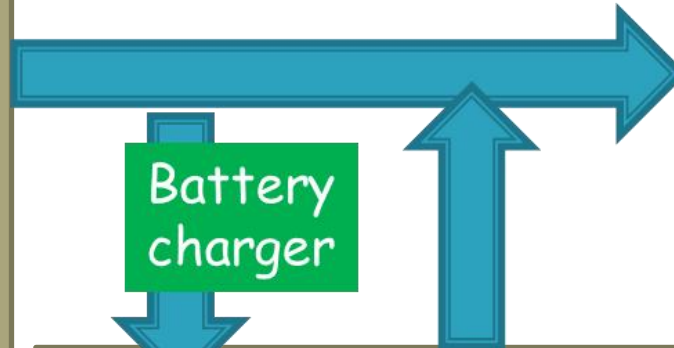
太陽電池 + 2次電池電源システム



Solar cells

Solar cells (SunPower)

- $V_{typ} = 38V$, $I_{typ} = 1.7A$
- 1m x 0.5m
- 24 panels will be used.



Battery
charger

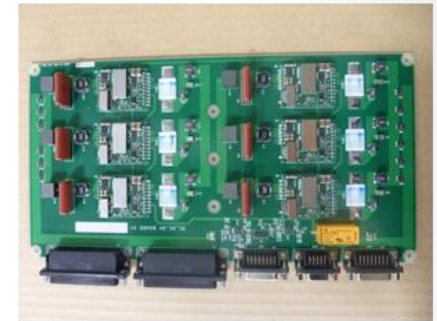


Li-polymer Battery

Li-polymer Battery (Kokam)

- $V_{typ} = 25.9V$, $I_{max} = 25A$
- Capacity : 100Ah
- 7 cell, serial
- 2 units will be used

Inside of
Pressured Vessel



DC/DC board



Detector
Sensors
CPUs
etc...

個々の選定を行い、
今夏、環境試験を目標に
部品ごとの試験を行う

まとめ

MeVガンマ線観測気球実験SMILE-II

大型ETCCの試験機としてのプロトタイプ、FM搭載モジュール開発を並行で行ってきた。

(30cm)³ETCCプロトタイプ運用

倍ピッチ読み出しによるTPCの飛跡ヒットマップのイメージ取得し、回路数を半減して省電力化する要請を満たす可能性を支持。

GEMの導通によりアップグレードしたETCCの性能評価には至らず、今年4月をもってシャットダウンする。⇒安定運用法の検討

FMへ向けた開発

FM搭載の各モジュールの試験を経て量産品もほぼ納入され、FM(30cm)³ETCCのセットアップが可能となった。

今後の(30cm)³ETCC開発

5-7月 FM(30cm)³ETCCの立ち上げ

7-9月 性能評価

9月-12月 環境試験

終