

micro-TPCを用いた ガンマ線イメージング検出器の開発 14

京都大学 理学研究科 宇宙線研究室

上野 一樹

谷森達、窪秀利、身内賢太郎、土屋兼一、株木重人、高田淳史、
岡田葉子、服部香里、西村広展、黒澤俊介、井田知宏、岩城智

もくじ

🌿 MeVガンマ線イメージング検出器

🌿 MeVガンマ線カメラ開発

🌿 (30cm) ³MeVガンマ線カメラ

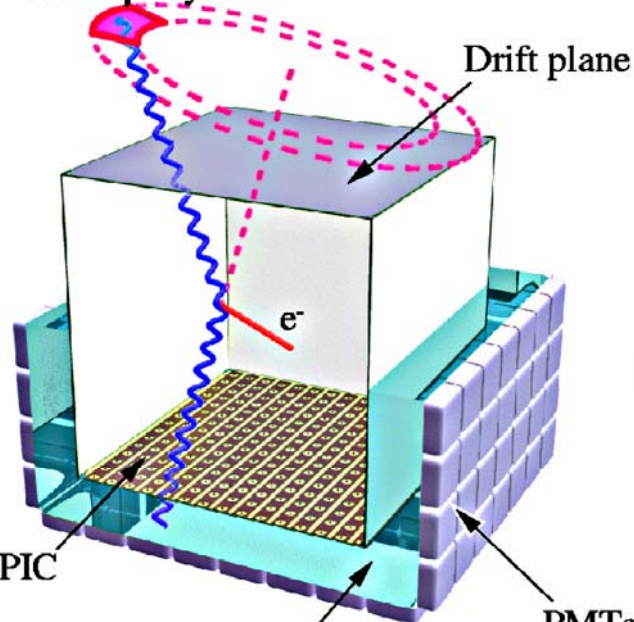
🌿 まとめと今後



MeVガンマ線イメージング検出器

MeVガンマ線カメラの概念図

MeV γ -ray



● micro-TPC (μ -PICを用いたTPC)

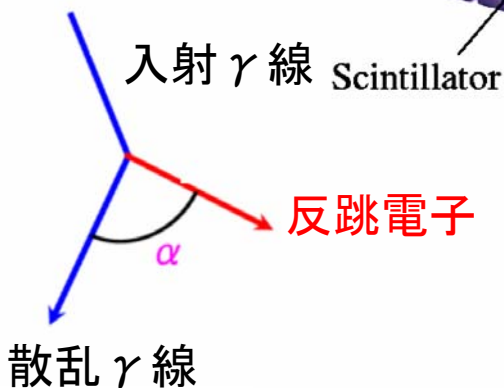
⇒ 反跳電子のtrackとEnergy

● Scintillation camera(PSA)

⇒ 散乱ガンマ線の吸収点(位置)とEnergy



光子毎にCompton散乱を再現



☛ 1光子 ⇒ 到来方向 + energy

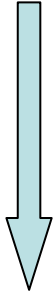
☛ 大きな視野 (~3str)

☛ 強力なbackground除去能力

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

MeVガンマ線カメラ開発

(10cm)³MeV γ 線カメラ

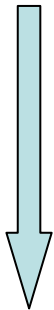


ガスTPC@増幅率3万の動作検証

宇宙背景・大気ガンマ線測定(@三陸2006、SMILE-1) **ガンマ線取得に成功**

医療用ガンマ線カメラ **京大他、医学、薬学部で小動物を撮像成功**

(30cm)³MeV γ 線カメラ開発

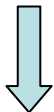


かに星雲、白鳥座 X-1の観測を目標(SMILE-2)

30×30×15cmカメラ稼動実験 ⇒前回大会

30×30×30cmカメラ稼動実験 ⇒本発表

(40cm)³ カメラ



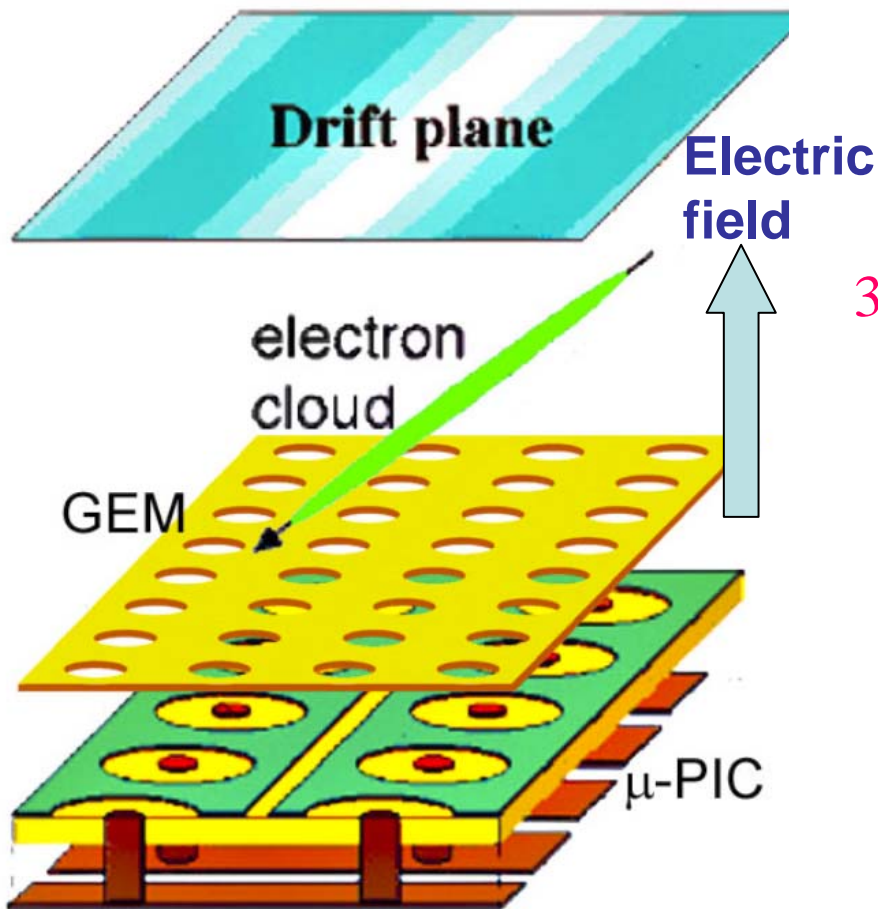
スーパープレッシャー気球～10日間

(50cm)³ カメラ 衛星に搭載し全天サーベイ

COMPTELの感度の10倍を目標

micro-TPC

読み出し部の大型化(前回大会までの結果)

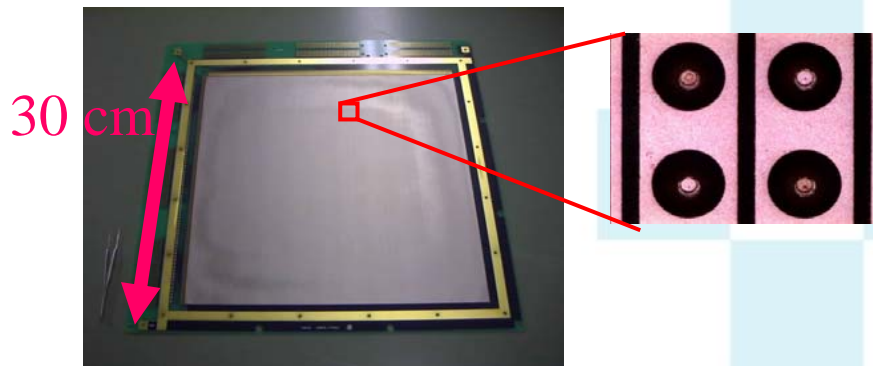


Total operation gain

• $3000 \times 10 \sim 30000$

Micro Pixel Chamber (μ PIC)

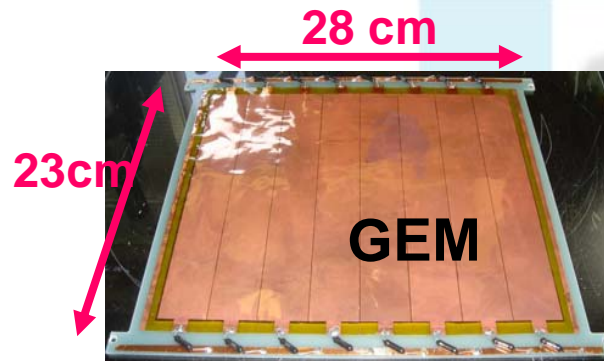
- サイズ : $30 \times 30 \text{ cm}^2$
- 最大増幅率 : 7000
- 安定増幅率 : 3000
- 位置分解能 : $150 \mu\text{m}$



Gas Electron Multiplier

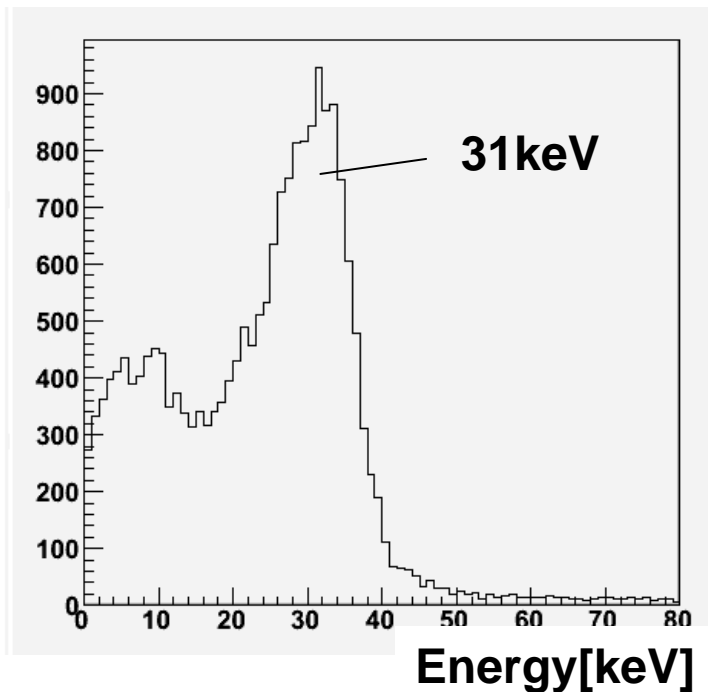
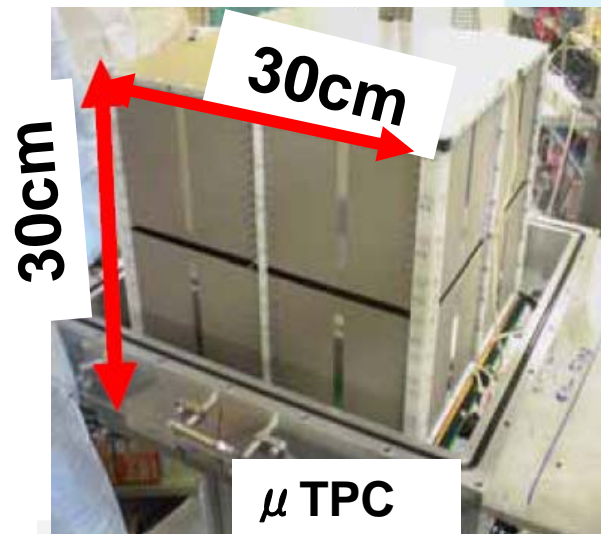
(GEM, F.Sauli (1997))

- 低い増幅率での使用 (~ 10)

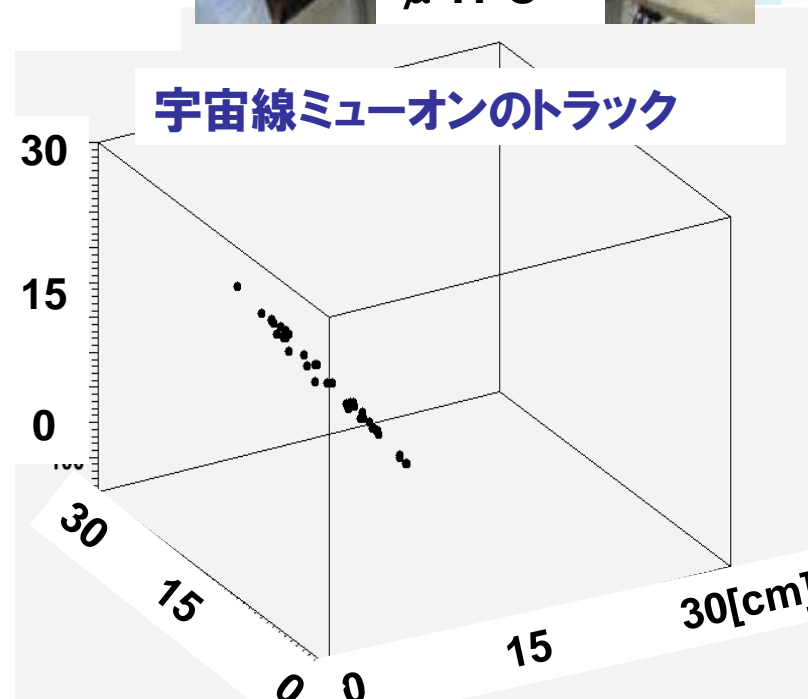


(30cm)³ micro-TPC

- サイズ : 30 × 30 × 30 cm³
- ガス : Ar 90% + C₂H₆ 10%
1atm 封じ切り
- ドリフト電場 : ~250 V/cm
- ドリフト速度 : ~4 cm/μ sec
- gain : ~30000
- エネルギー分解能 : 46% @ 31keV (FWHM)
- 位置分解能(3次元) : ~400 μ m

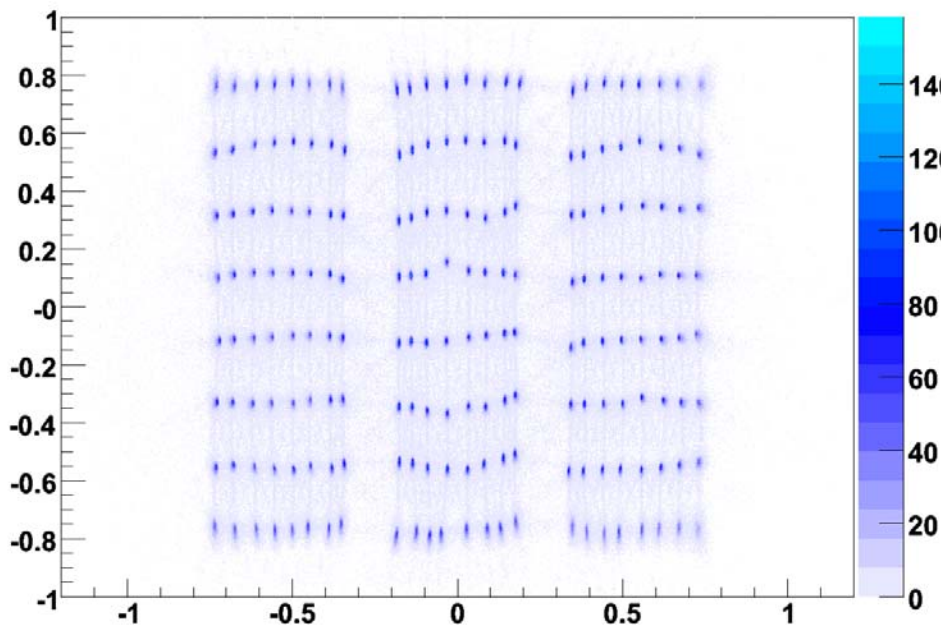
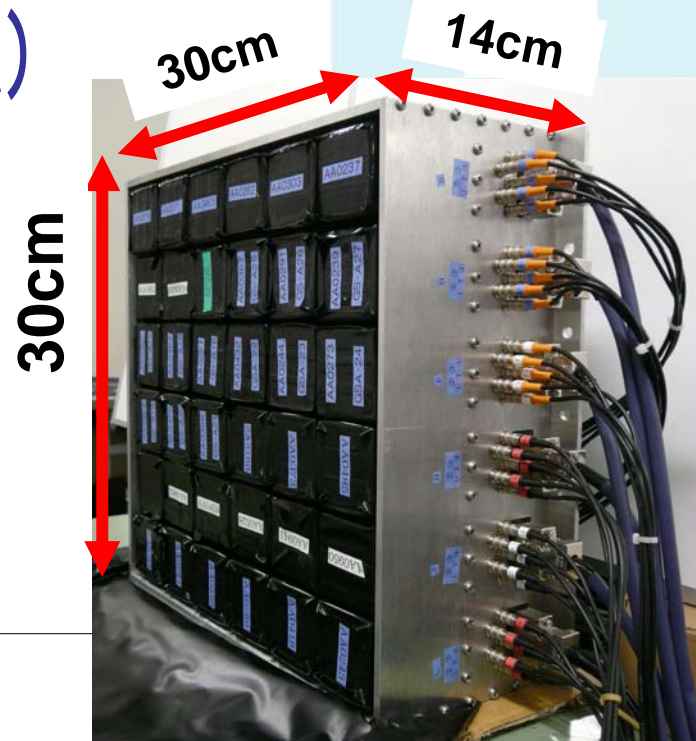


スペクトル (¹³³Ba全面照射)



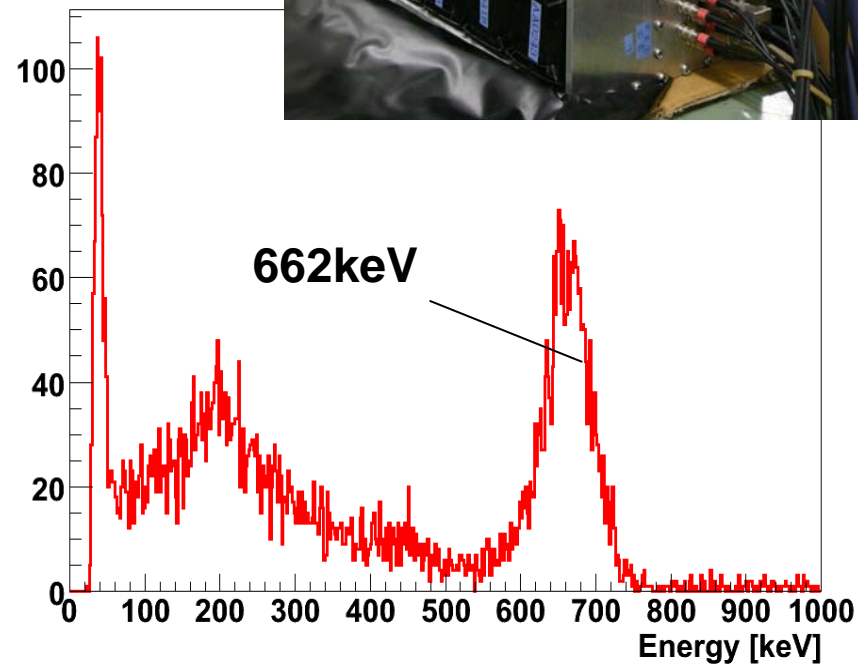
Scintillation camera (PSA)

- 総ピクセル数 : 2304
- 結晶 : GSO(Ce)
- ピクセルサイズ : $6 \times 6 \times 13 \text{mm}^3$
- 光読み出し : 64chMAPMT H8500(HPK)
- 読み出し : 抵抗チェーン(192pixel4端)
- エネルギー分解能 : 10.9% (@662keV, FWHM)
- 位置分解能 : 6mm



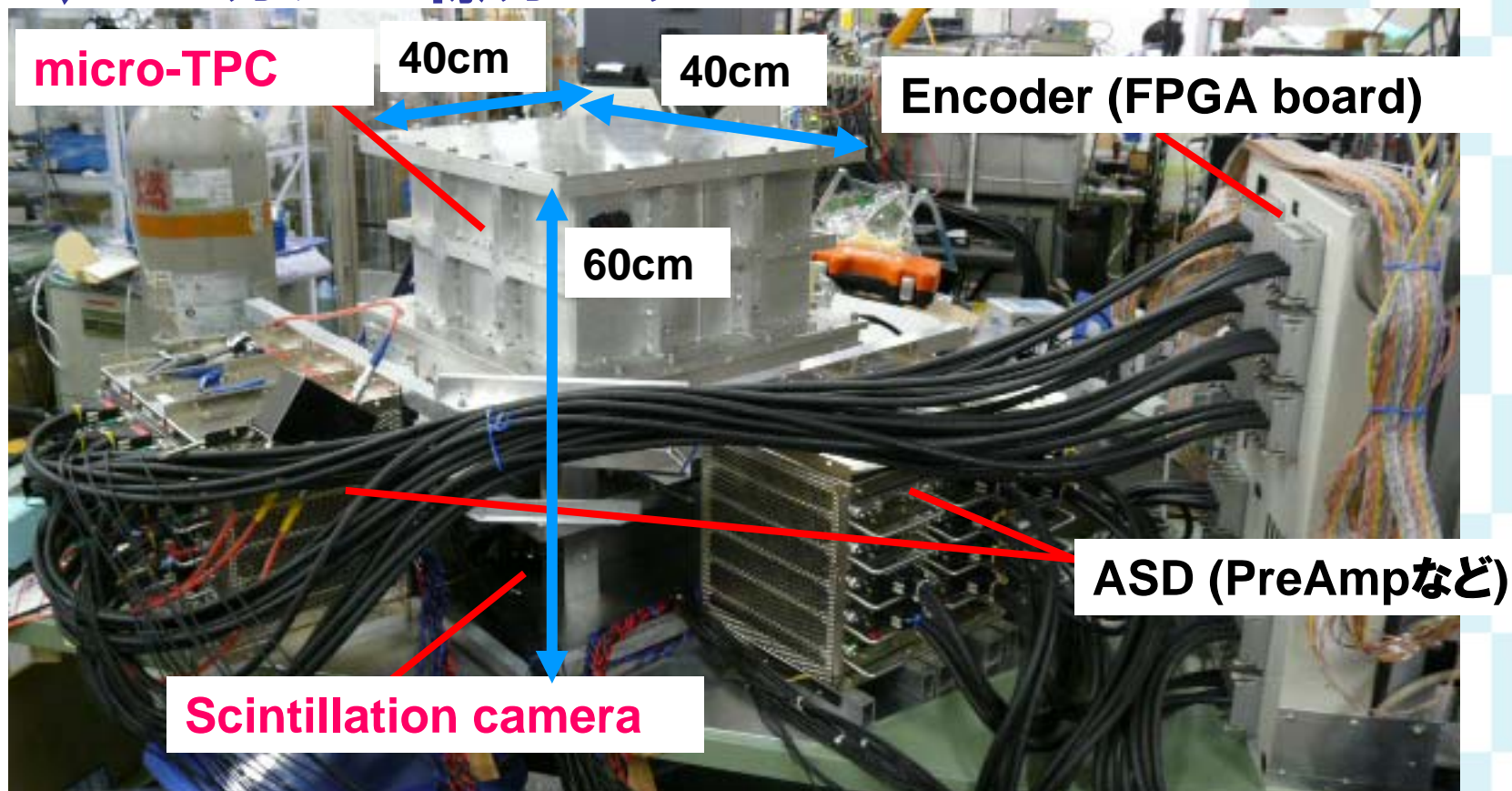
典型的なイメージ
(^{137}Cs 全面照射、192pixel重心演算)

3-3

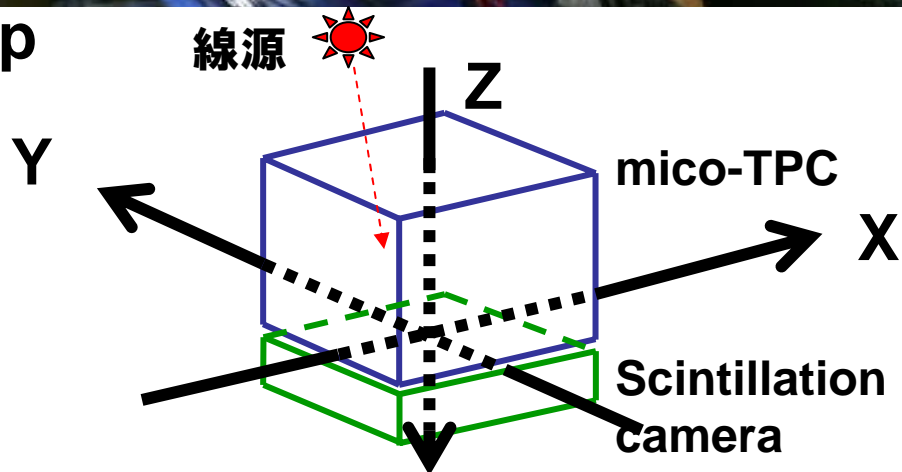


典型的なスペクトル(^{137}Cs 全面照射)

(30cm) ^3MeV ガンマ線カメラ



Setup



μPIC の中心を(0,0,0)

Scinti.の中心は(-2.75,-2.75,7)

典型的なコンプトンイベント

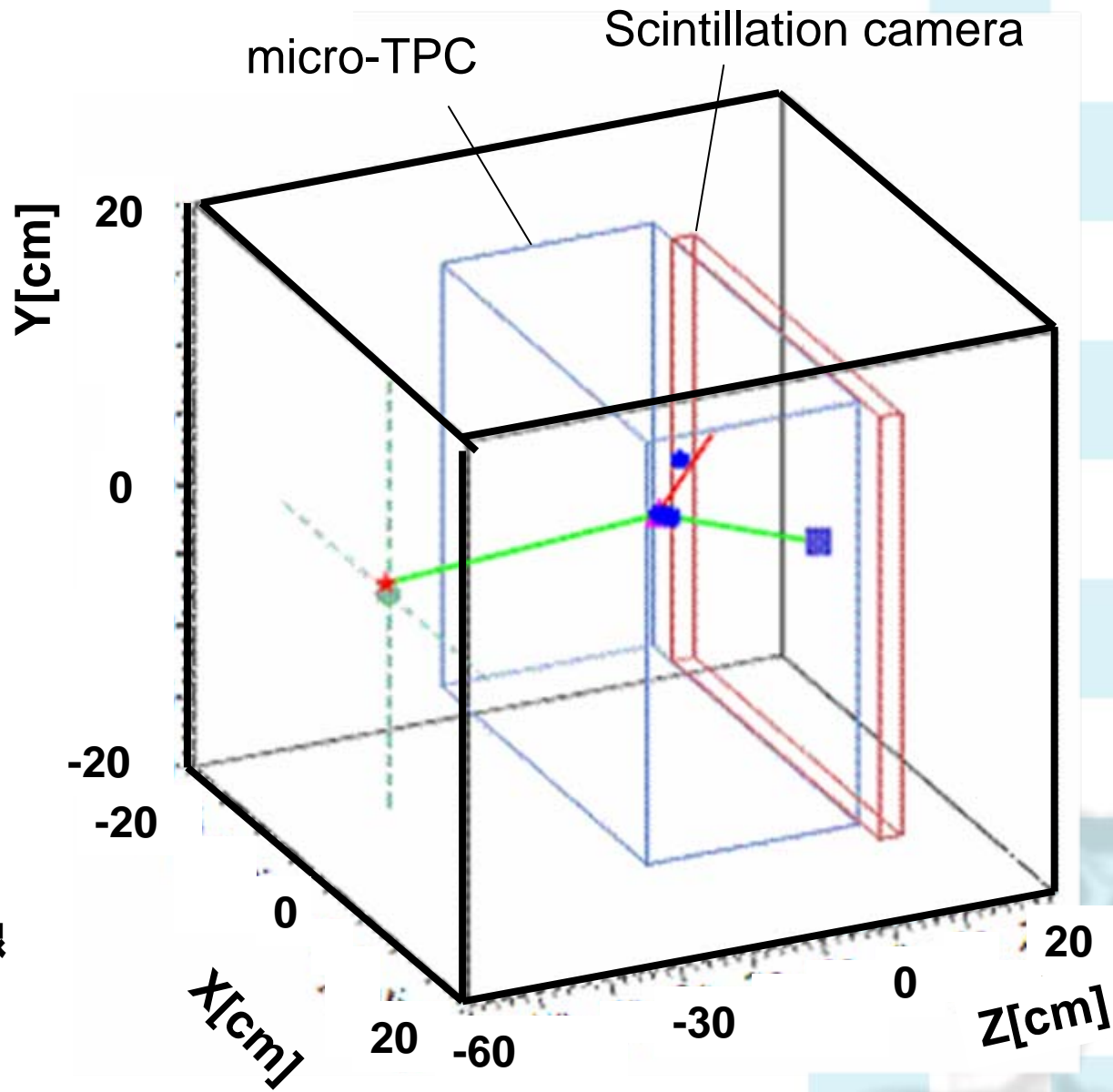
^{137}Cs (662keV)

(X,Y,Z)=(0,0,-52cm)

に置いたとき

- : 線源の位置
- ★ : 再構成による位置
- ▲ : コンプトン点
- : 散乱ガンマ線吸収点
- : 電子のヒット点

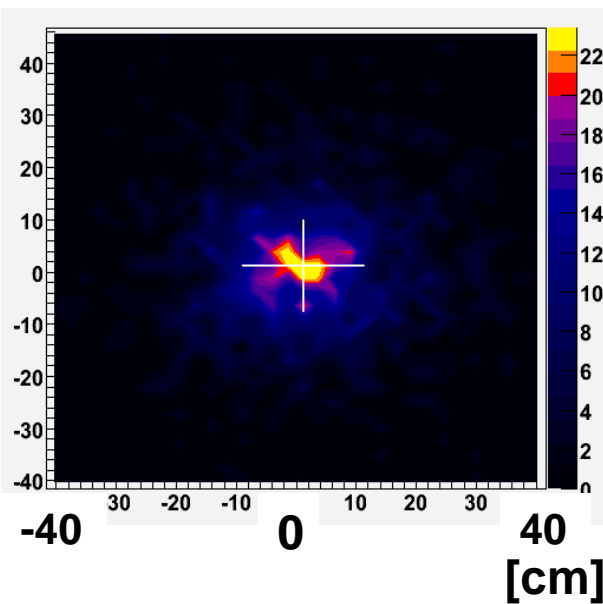
- : 再構成されたガンマ線
- : 散乱ガンマ線
- : 反跳電子



再構成エネルギー: 620-700keV

イメージング (first result)

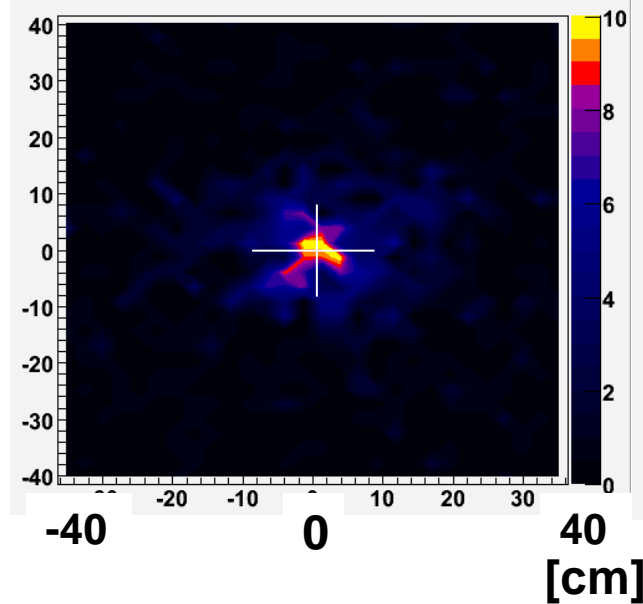
線源の位置: $(X, Y, Z) = (0, 0, -52\text{cm})$ 、1MBq



356keV

^{133}Ba

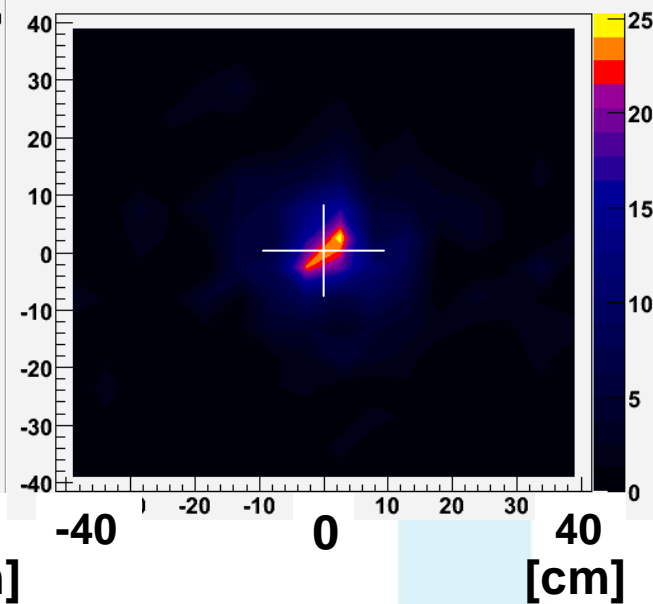
**Events : 2884
(309-403keV)**



662keV

^{137}Cs

**Events : 992
(605-719keV)**



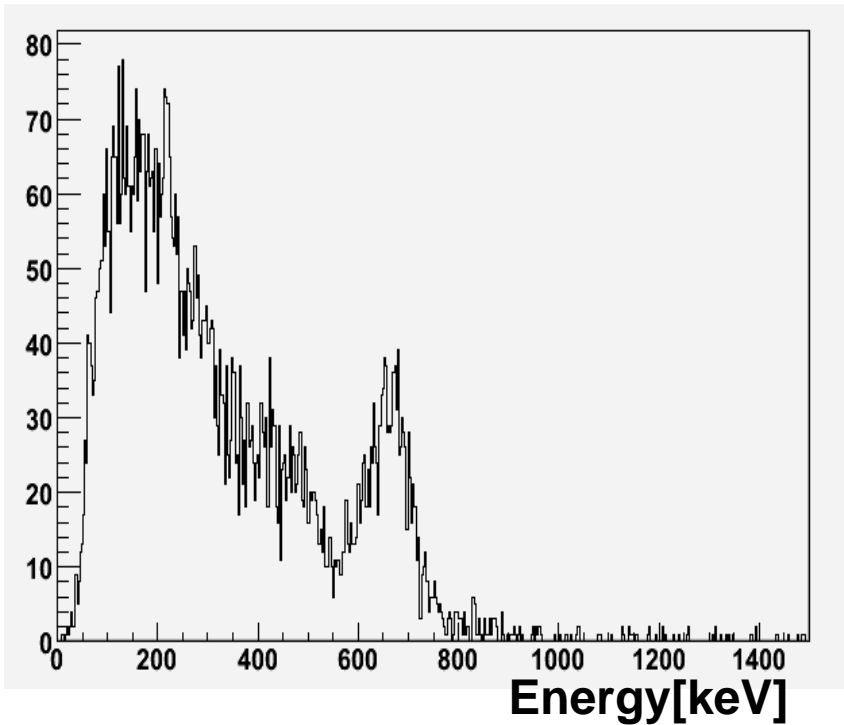
835keV

^{54}Mn

**Events : 515
(770-900keV)**

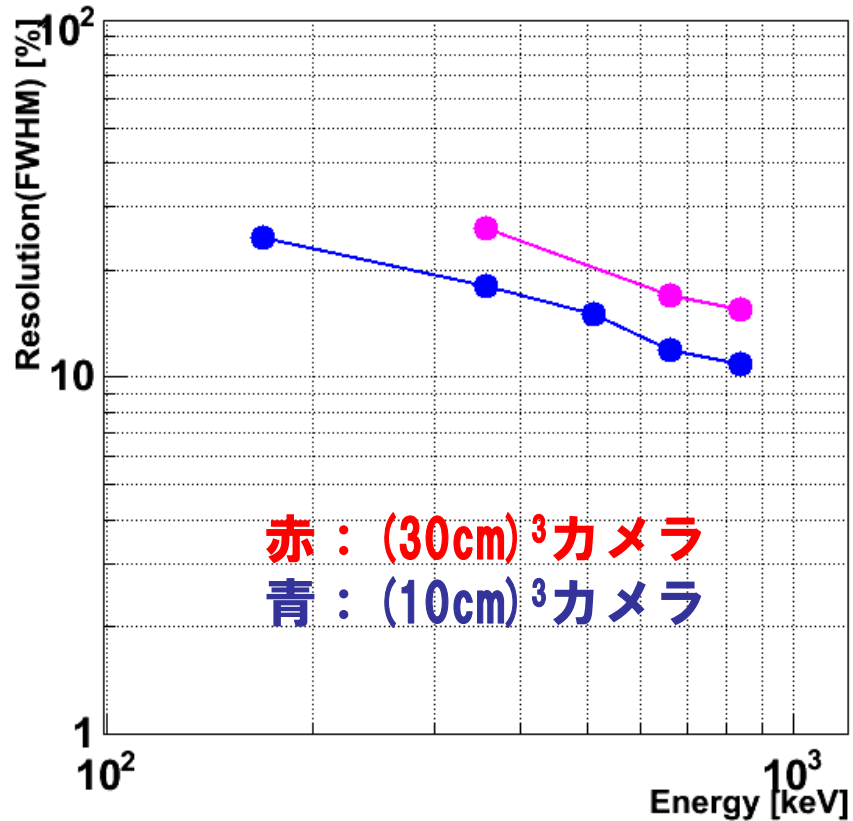
(30cm) ^3MeV ガンマ線カメラの諸性能

エネルギー分解能 (first result)



エネルギースペクトル(662keV)

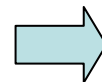
エネルギー分解能 : 16.9%(FWHM)



赤 : (30cm) 3 カメラ

青 : (10cm) 3 カメラ

10cmカメラ(12% @ 662keV)と比べて悪い



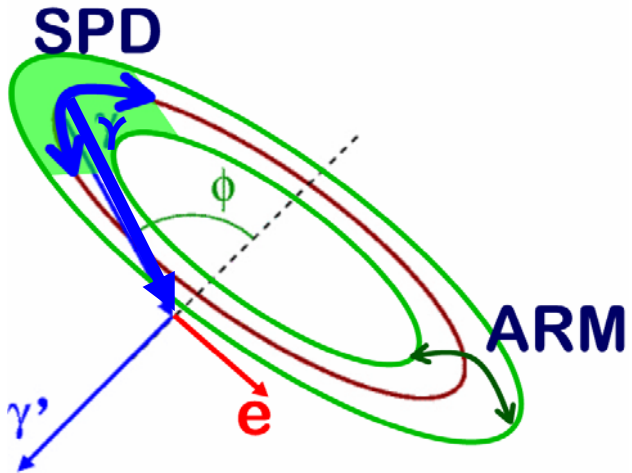
TPC、Scinti.のチューニングが不十分
(gain一様性、ノイズなど)

角度分解能 (first result)

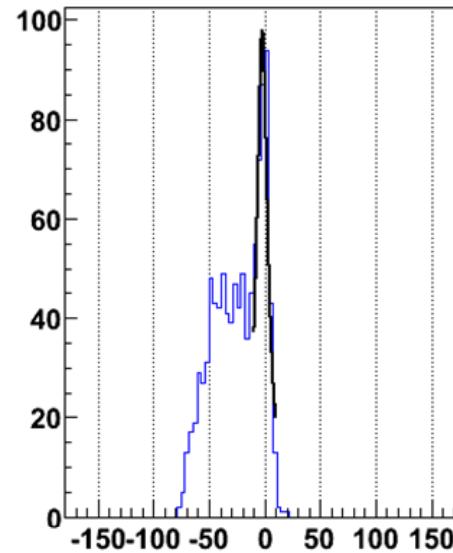
角度分解能の定義

ARM : Angular Resolution Measure
(散乱角決定精度)

SPD : Scatter Plane Deviation
(散乱平面決定精度)

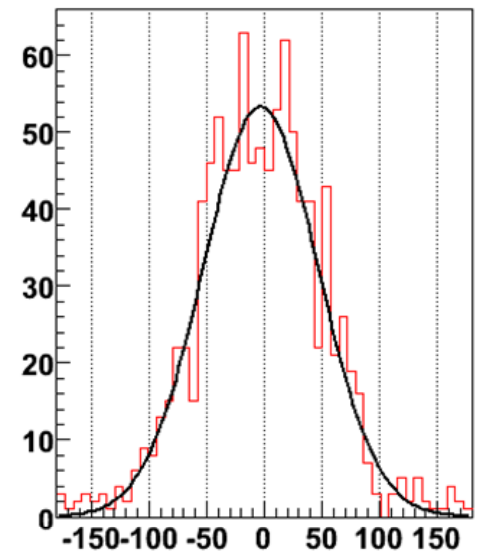


ARM&SPD (662keV)



ARM[degree]

ARM: 12.1°
(FWHM)

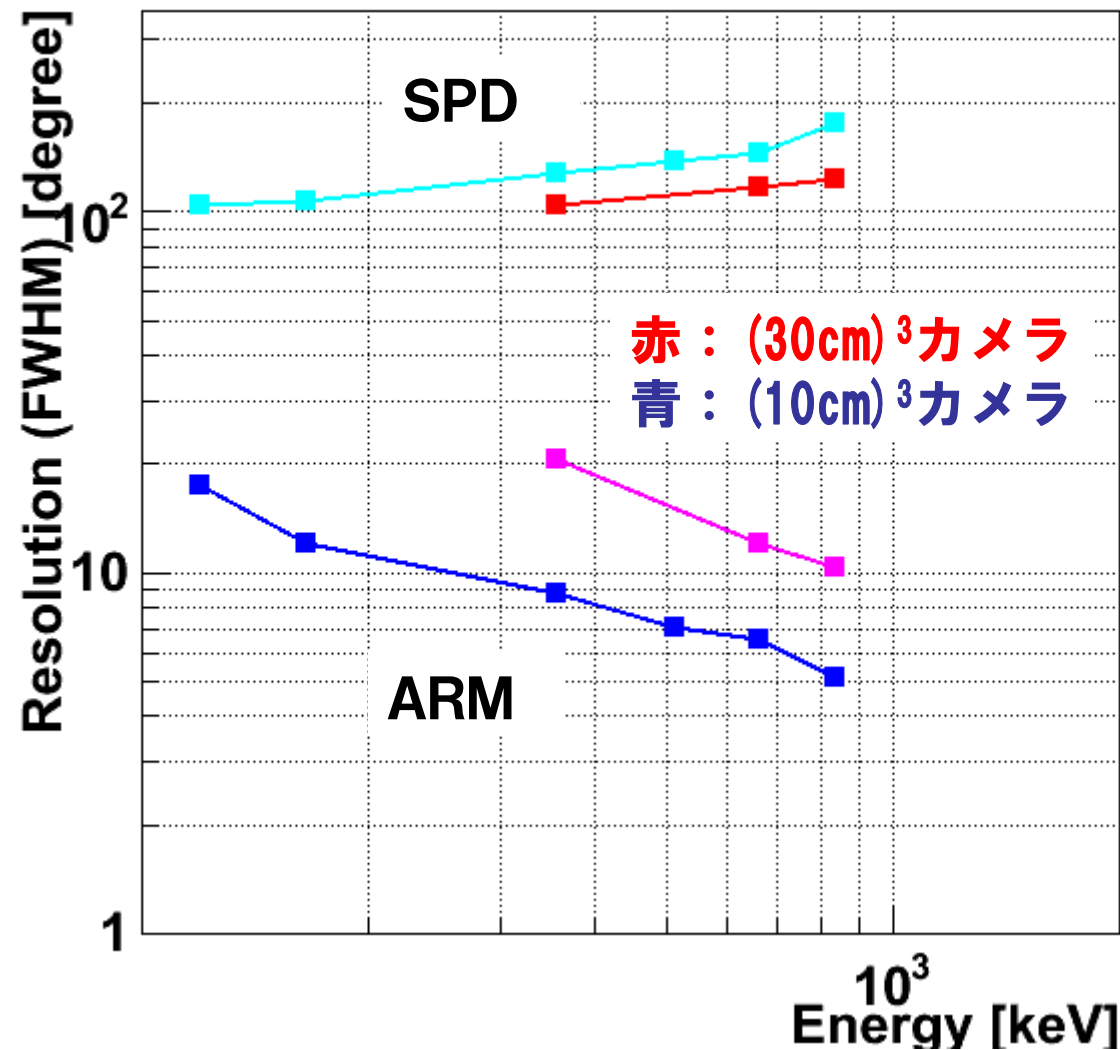


SPD[degree]

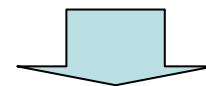
SPD: 117°
(FWHM)

Lorentzianでfit

角度分解能 (first result)



10cmカメラ
(ARM:6.6° @662keV)
と比べて約2倍悪い



TPC、Scinti.のチューニングが不十分
(gain一様性、ノイズなど)

まとめ

- 👉 (30cm)³micro-TPC+Scintillation cameraを用いた MeVガンマ線カメラの開発
- 👉 **356-835keV**のイメージングに成功
- 👉 エネルギー分解能 **16.9%**@662keV (FWHM)
角度分解能 **ARM 12.1° SPD 117°** @662keV (FWHM)

今後

- 👉 細かいチューニング
(10cm)³MeVガンマ線カメラのエネルギー分解能 12.0%、ARM 6.6° に近づける
- 👉 広いエネルギー範囲でのイメージング (100keV~a few MeV)
- 👉 感度向上 - 更なる大型化、gas study (CF₄など)、Scinti. Camera拡大
- 👉 分解能向上 - LaBr₃シンチレータの使用 (黒澤 : 24aZE-12)
- 👉 低電力化 - Scinti. Camera読み出しシステム (岩城 : 23pZX-9)
- TPC読み出しシステム (CMOS) (井田 : 23pZJ-14)

おわり

