

MeVガンマ線カメラ用 シンチレーションカメラの開発

京都大学 理学研究科 宇宙線研究室

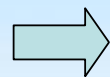
上野一樹

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、
西村広展、服部香里、黒澤俊介

もくじ

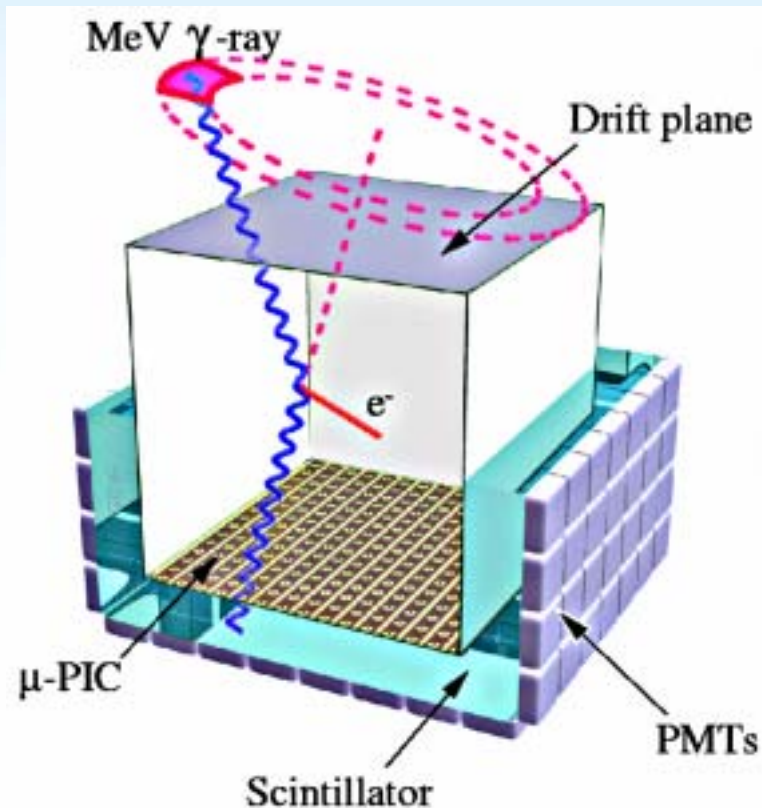
- MeVガンマ線カメラとシンチレーションカメラ
- GSOを用いたPSA(**P**ixel**S**cintillator**A**rray)
- PSAの大型化および省電力化
- 現在と今後の開発
- まとめと今後

MeV 線カメラ



天文(気球実験SMILE)26pSF10高田講演

応用 医療27pSE11株木講演



μ -TPC (ガス検出器)

(μ -PICを用いたTime Projection Chamber)

→ 反跳電子のtrack, energy

→ 26aSK6西村講演

Scintillation camera

(PSA + MAPMT)

→ 散乱ガンマ線の位置, energy

- 位置分解能 **目標値** ~ 3mm
- Energy分解能 ~ 5% @ 662keV (FWHM)
- 大面積(省電力にしつつ)

現在、TPCは10cm × 10cm × 15cm

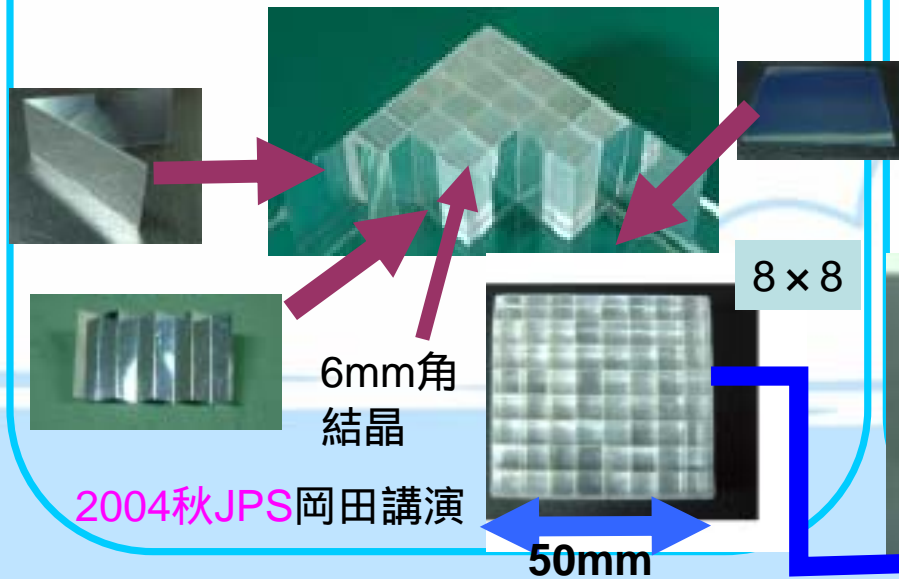
100keV ~ 1MeVのダイナミックレンジ Scinti.の80 ~ 800keVに対応

TPC 30cm × 30cm × 15cmは開発中 → 26pSF9服部講演

PSA (Pixel Scintillator Array) カメラ + マルチアノードPMT

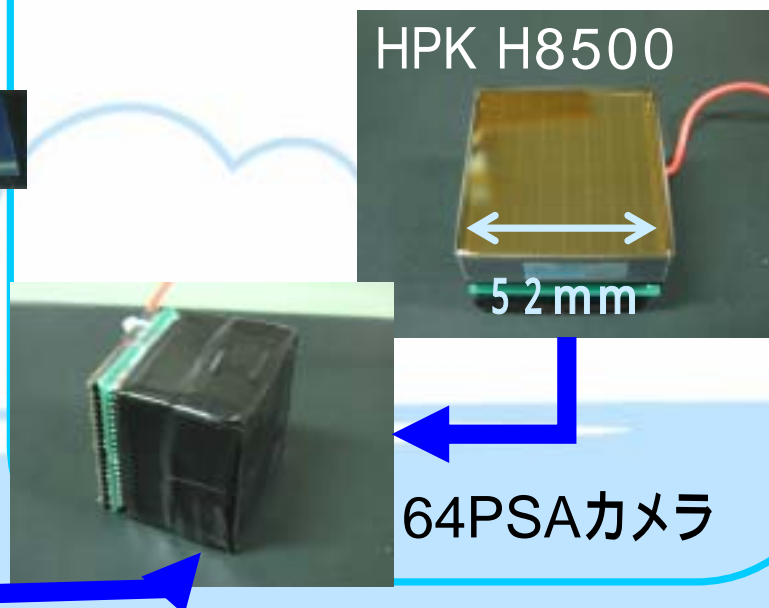
PSA (Pixel Scintillator Array)

- ・6mm角ピクセルシンチレーター
- ・8×8 ~ 50mm
- ・ESR反射材(3M社)
- ・放医研方式組み立て
(Naoko Inadama et al. IEEE NSS & MIC, M6-27, 2002)



FlatPanel PMT H8500 (HPK)

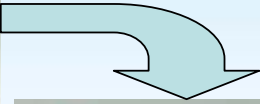
- ・8×8マルチアノード
- ・12段メタルチャンネルダイノード
- ・増幅率 10^6
- ・52mm角 (有感面積 $49 \times 49\text{mm}^2$)



抵抗チェーンによる読み出し

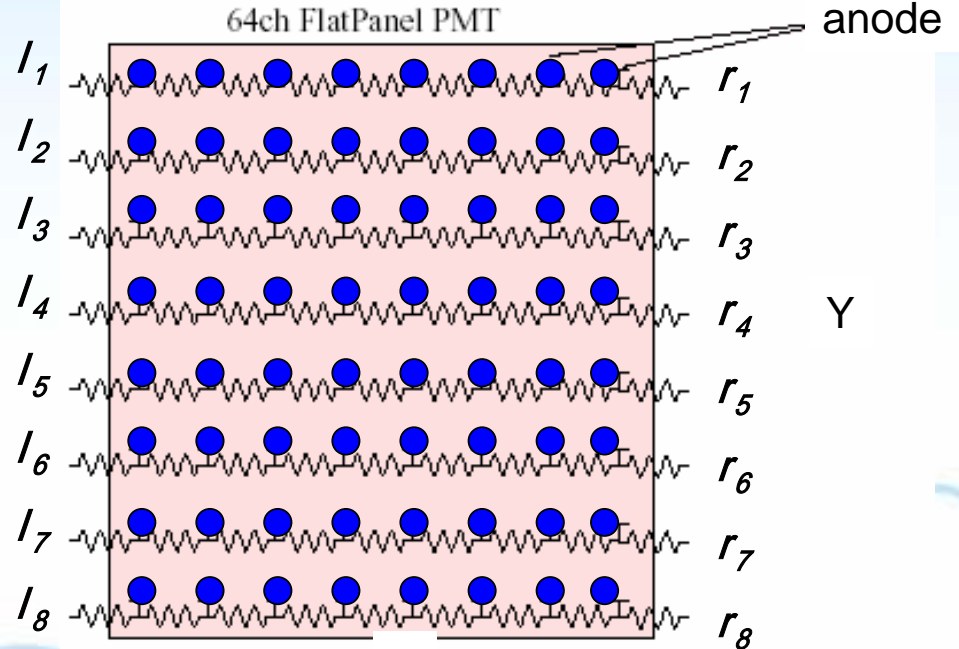


PMT裏側



64ch
Anode

PMT + 抵抗チェーン



X

位置演算

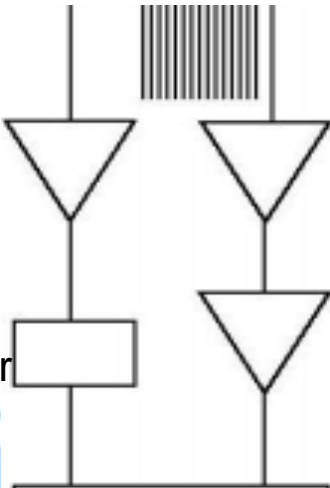
y: 重心演算
x: 電荷分割法

$$P_i = I_i + r_i$$

$$y = \frac{\sum_i P_i \cdot i}{\sum_i P_i}$$

$$x = \frac{I_i}{P_i}$$

Dynode
(最終段)



16ch

PreAmp
x 16ch

ShaperAmp
x 16ch

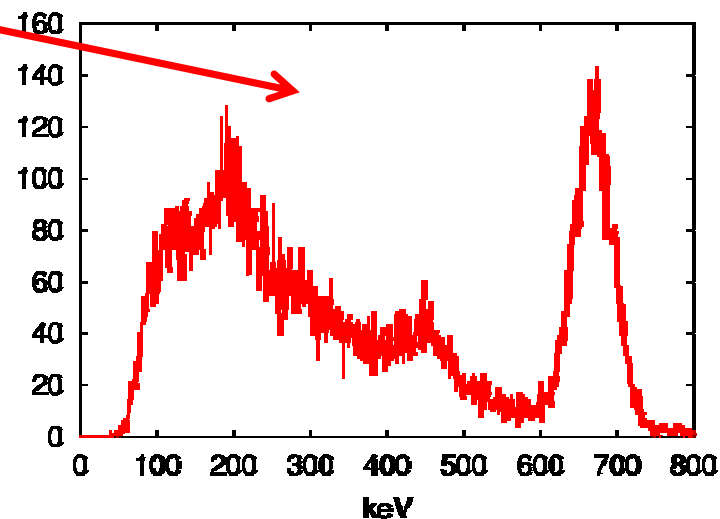
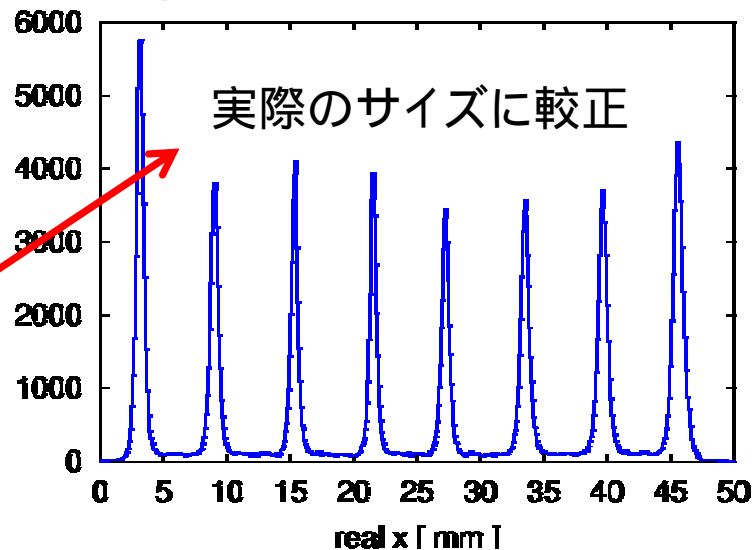
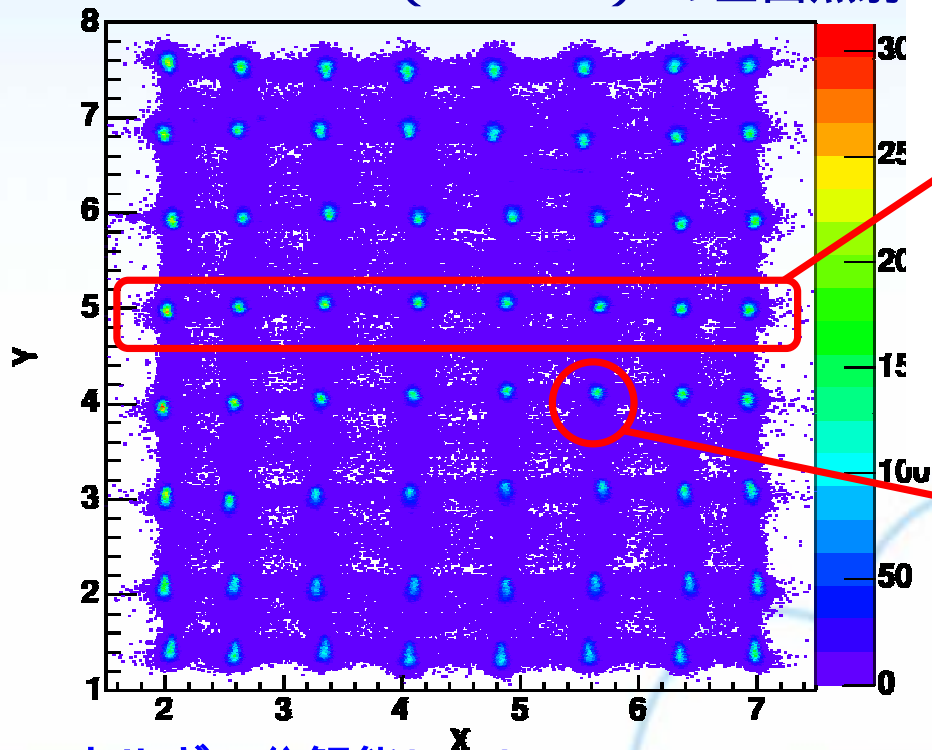
16chADC

Discriminator
& Gate

PSA (PixelScintillatorArray) カメラ (CsI(Tl) 結晶)

H8500のゲイン $\sim 10^6$

16ch read out ^{137}Cs (662keV) の全面照射



エネルギー分解能(avr.)
9.0% @ 662keV (FWHM)
位置分解能
6mmピッチ

2004秋JPS 関谷講演

GSOシンチレータの利用

CsI(Tl)結晶 吸収係数が小
放射化の問題（飛翔体では重要）

GSO (Gd_2SiO_5) の利用

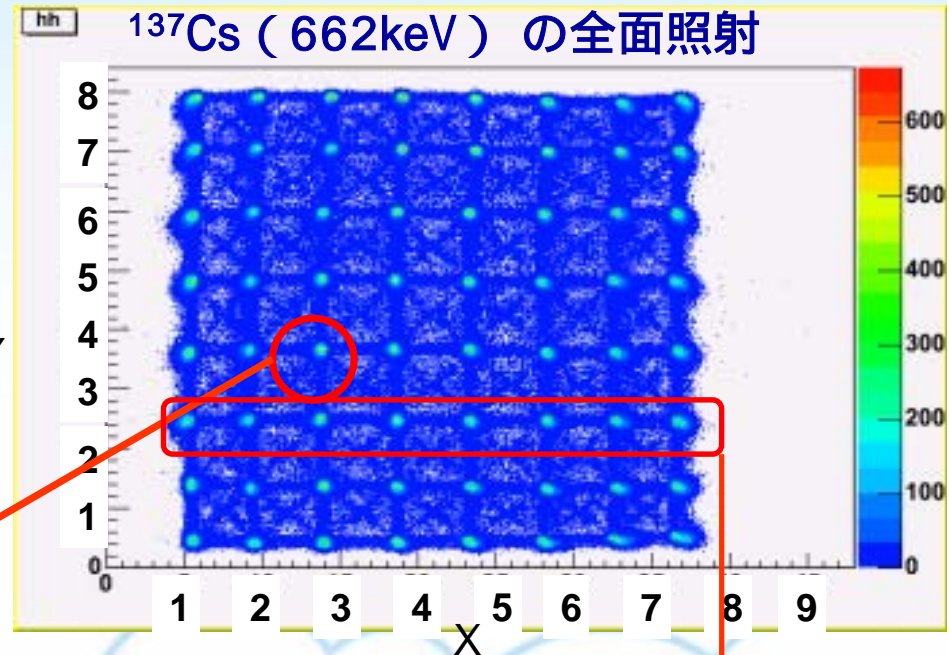
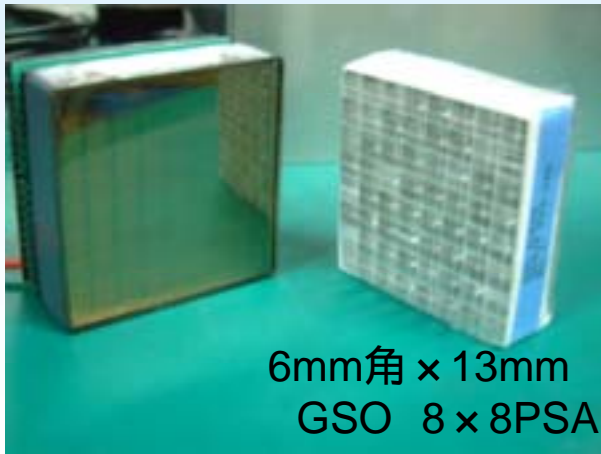
| | 密度 (g/cm ³) | 吸収係数 (cm ⁻¹) (@511keV) | 減衰時定数 (ns) | 光量 Na(Tl)相対値 |
|-----------------|-------------------------|---------------------------------------|------------------------|-----------------|
| NaI(Tl) 潮解性大 | 3.67 | 0.34 | 230 | 1 |
| CsI(Tl)潮 解性少 | 4.53 | 0.44 | 1050 | 0.85 |
| GSO(Ce) 潮解性無 | 6.71 大 | 0.70 大 | <u>~60</u> 速 | 0.18 |

~結晶種の比較~

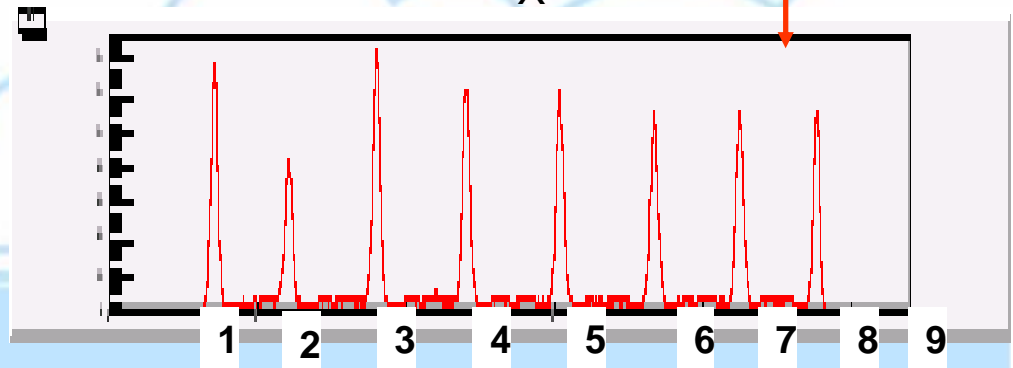
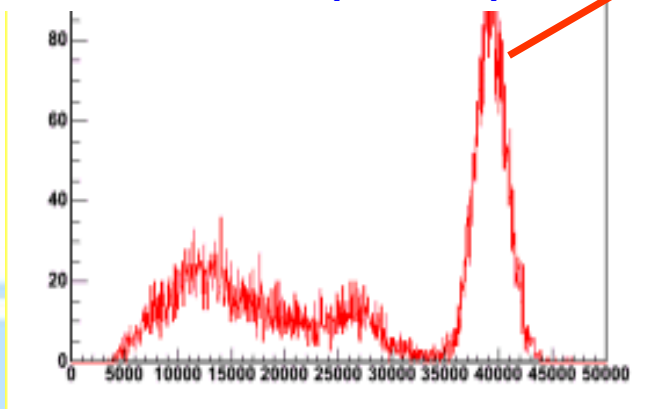
GSOを用いたPSAカメラ

FlatPanelPMT

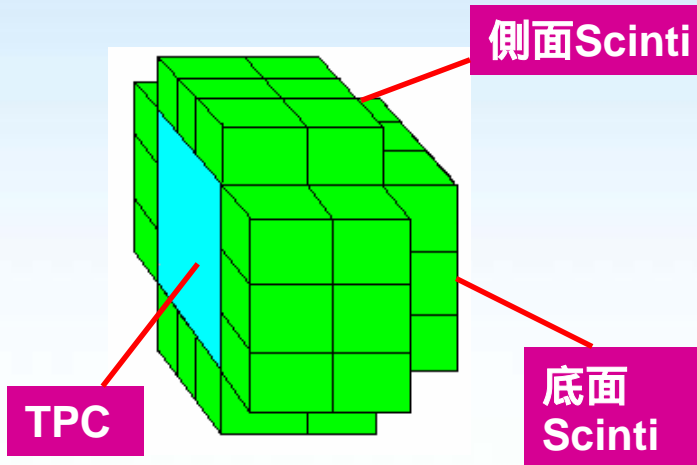
H8500のゲイン $\sim 10^6$



エネルギー分解能(avr.)
10% @ 662keV (FWHM)



PSAの大型化



$$\begin{aligned} & \text{底面} && (64\text{ピクセル} \times 9) \\ & + \\ & \text{側面} && (64\text{ピクセル} \times 12 \times 2\text{段}) \\ & \hline &&& (64\text{ピクセル} \times 33) \end{aligned}$$

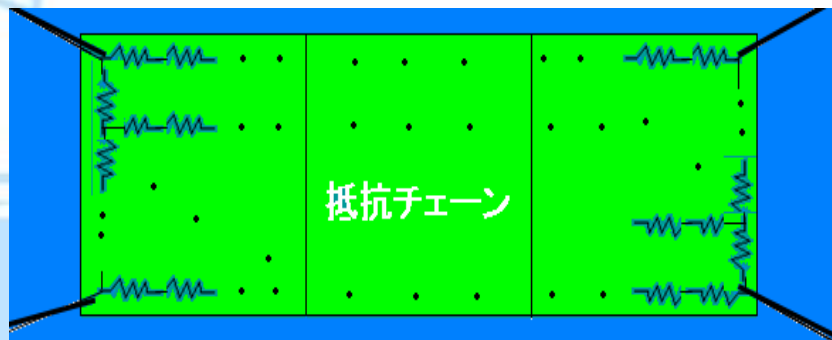
64ピクセル 16ch読み出し → 16ch × 33 = **528ch**

(ちなみにShaping Amp+ADCで $\sim 1.5\text{W} / \text{ch}$ 食う)

飛翔体に載せること(全系で300W程度)を考えると大変。

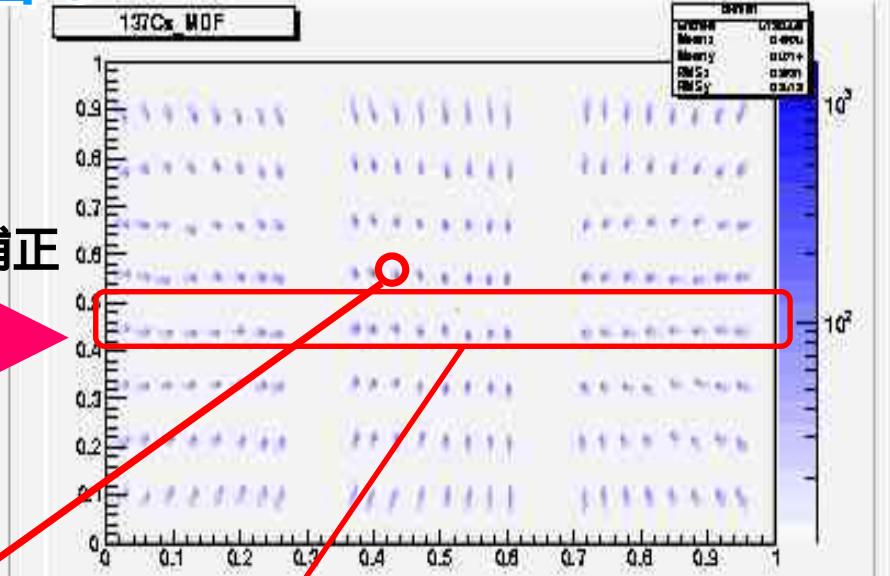
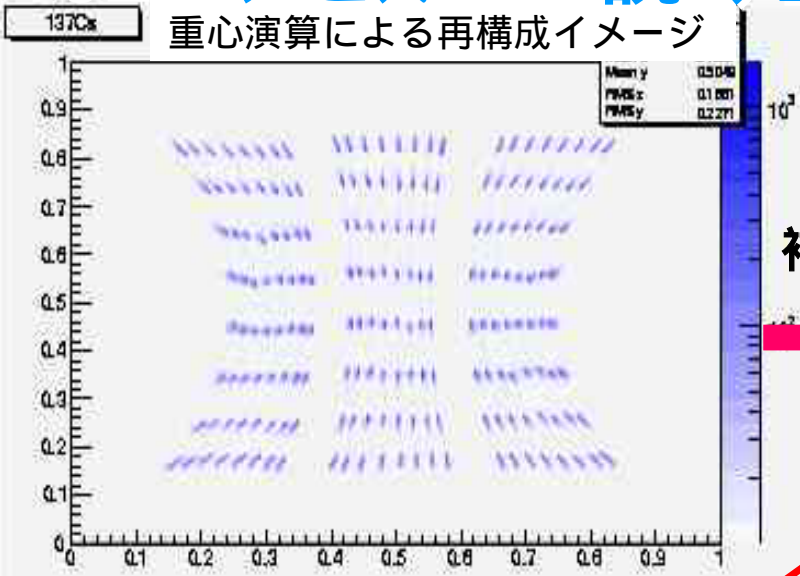
省電力化

読み出しを
192ピクセル 16ch 4chに



192ピクセル4ch読み出し

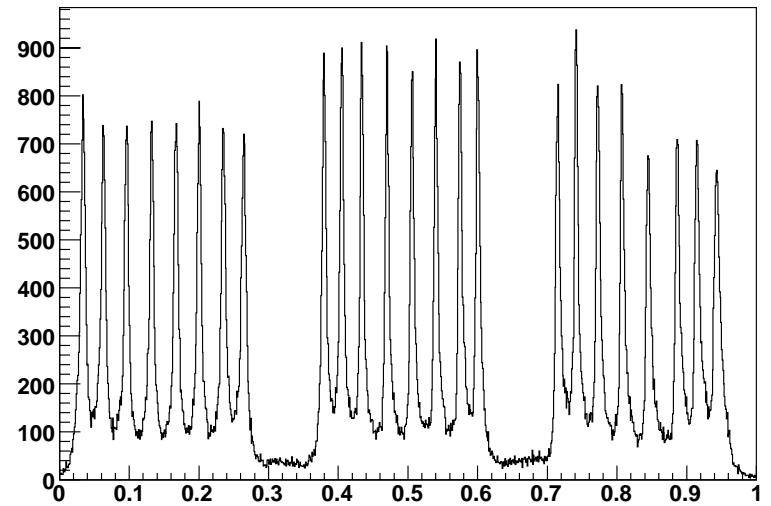
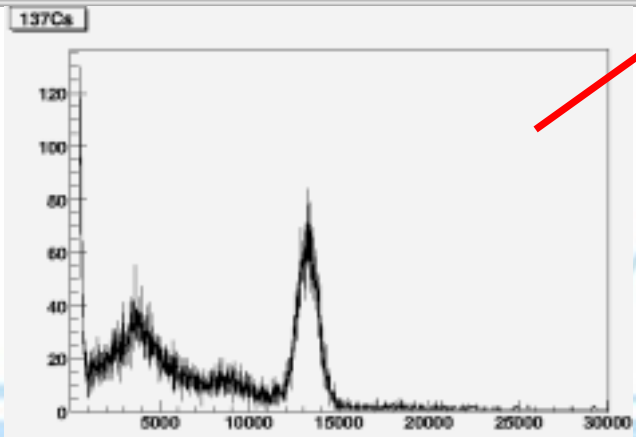
^{137}Cs (662keV)全面照射



補正

192ピクセル 分別可能

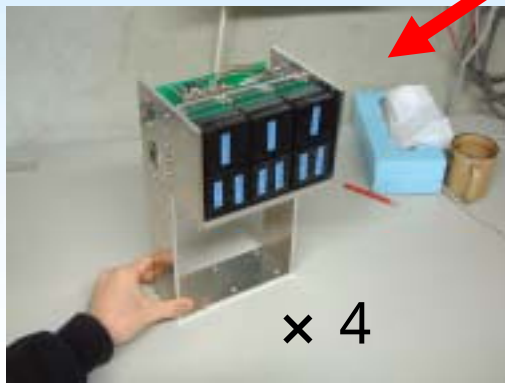
projection



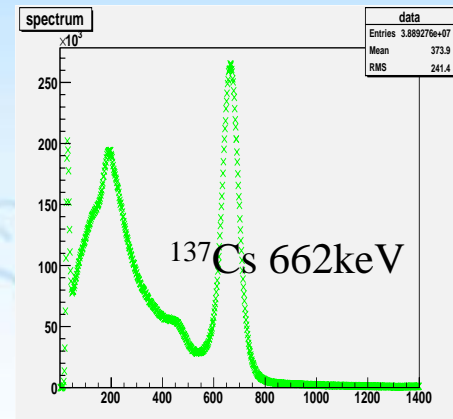
エネルギー分解能(avr.)
~11%(FWHM) @662keV

(192 × 3=)576ピクセル底面

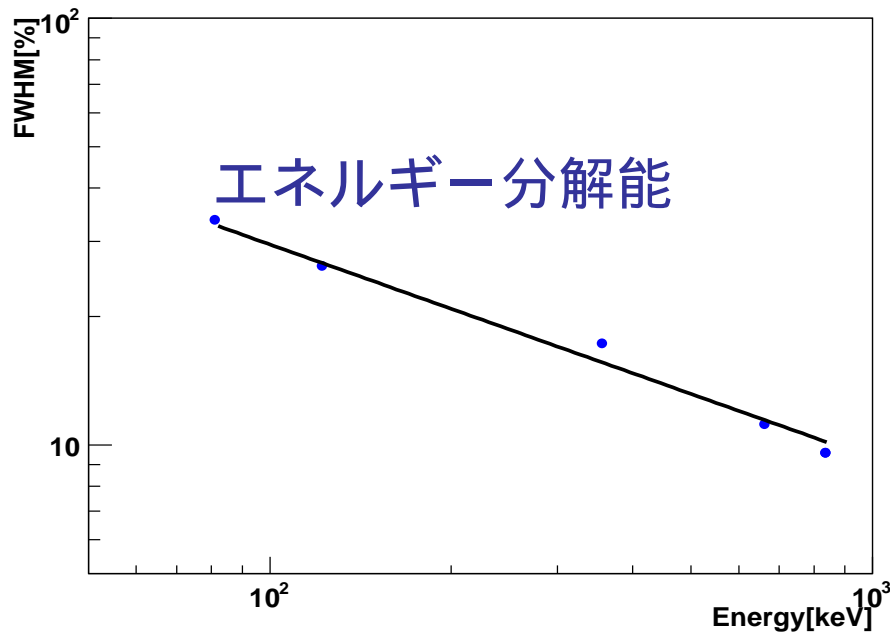
(192 × 8=)1536ピクセル側面2段



Energy res.



¹³⁷Csを照射させたときのスペクトル
(全面の足し上げ平均)



エネルギー分解能

11.0%

@662keV(FWHM)

ダイナミックレンジ

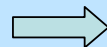
80 - 800keV

消費電力

12分の1

有感面積も拡大！

これを用いたガンマ線カメラの性能評価

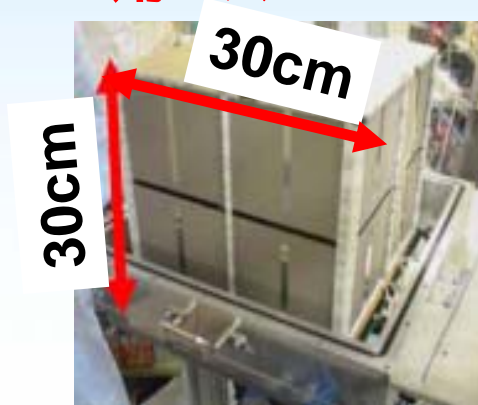


26pSF10高田講演

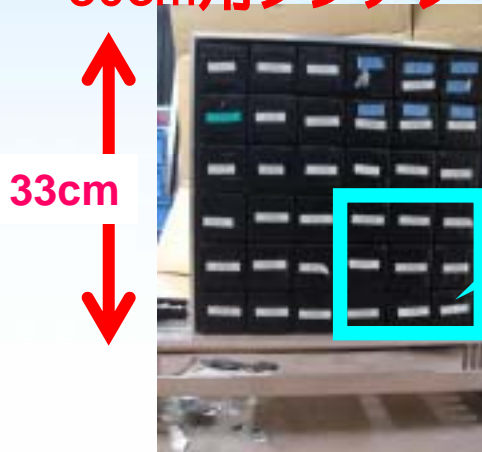
現在および今後の開発

■ カメラの大型化 PSAカメラ 増産、拡大

30cm角ガスTPC



30cm角シンチレーションカメラ

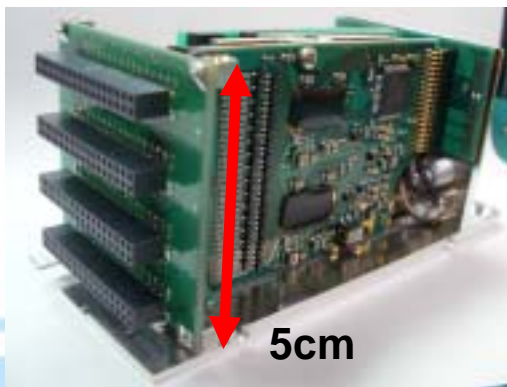


今までの
アレイカメラ
の大きさ

■ 省電力化

H8500の読み出し

CMOS ASICs (IDEAS社製)



ヘッドアンプ CP80068
(クリアパルス社製)

VA32_HDR11

PreAmp (ダイナミックレンジ ~ 35pC)

shaper (ゲイン 118mV/pC, peaking time 2us)

sample & hold

TA32CG2

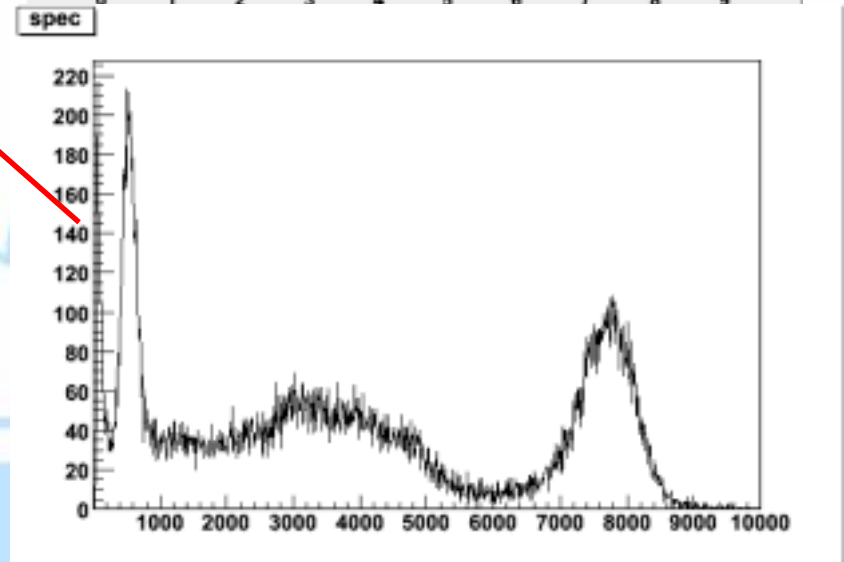
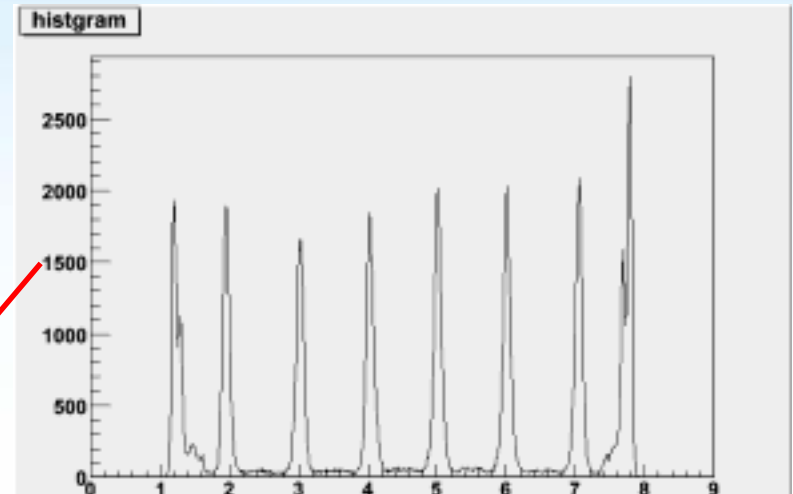
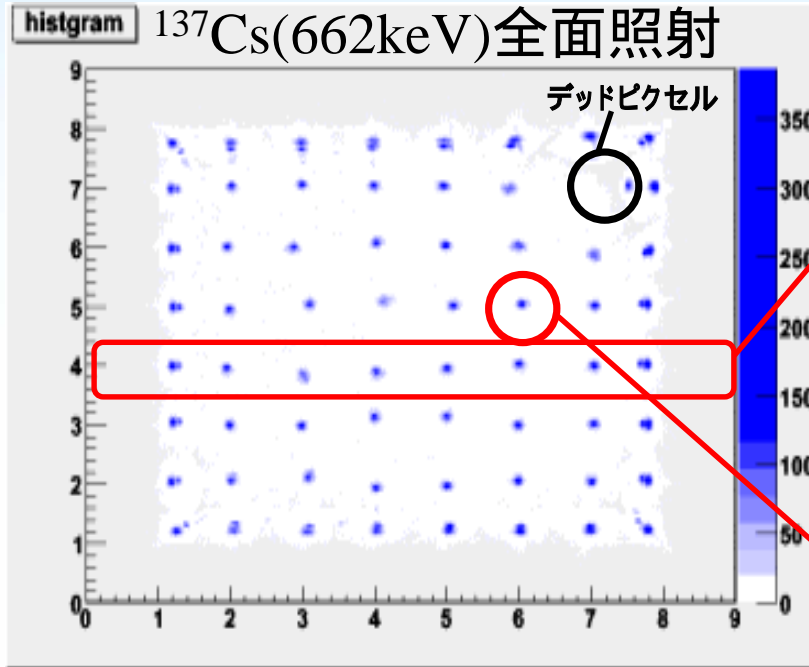
Fast shaper (peaking time 75 ns)

discriminator

消費電力 ~ 1.3W/64ch

ヘッドアップによる全ch読み出し ダイナミックレンジが小 H8500のゲイン $\sim 10^5$

位置は電荷重心演算



64ピクセル分離しているが、
2つに割れているところあり

エネルギー分解能(avr.)
 $\sim 13\%$ (FWHM) @662keV

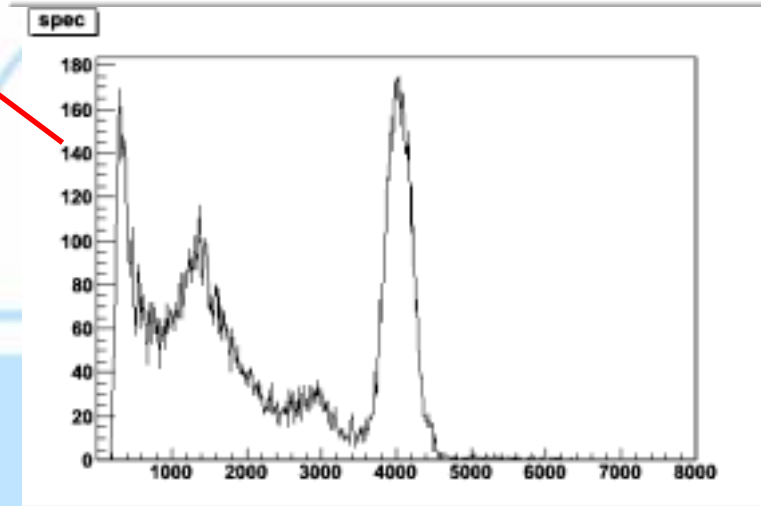
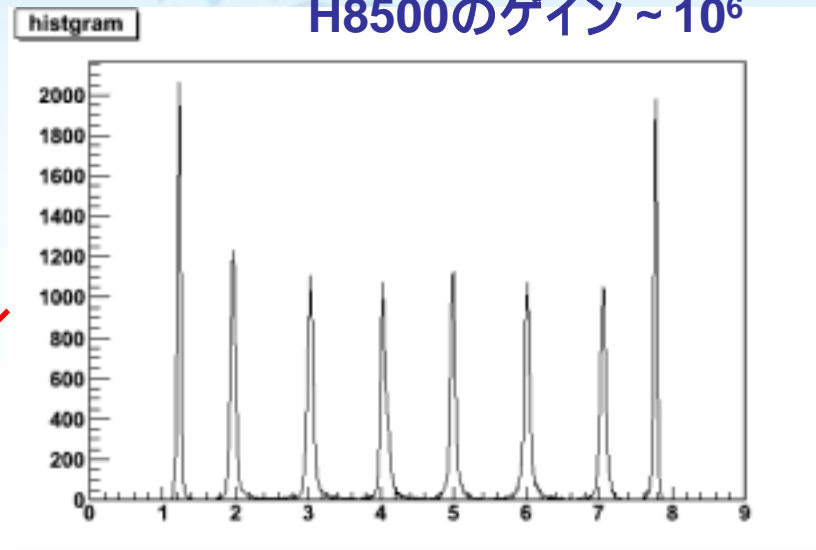
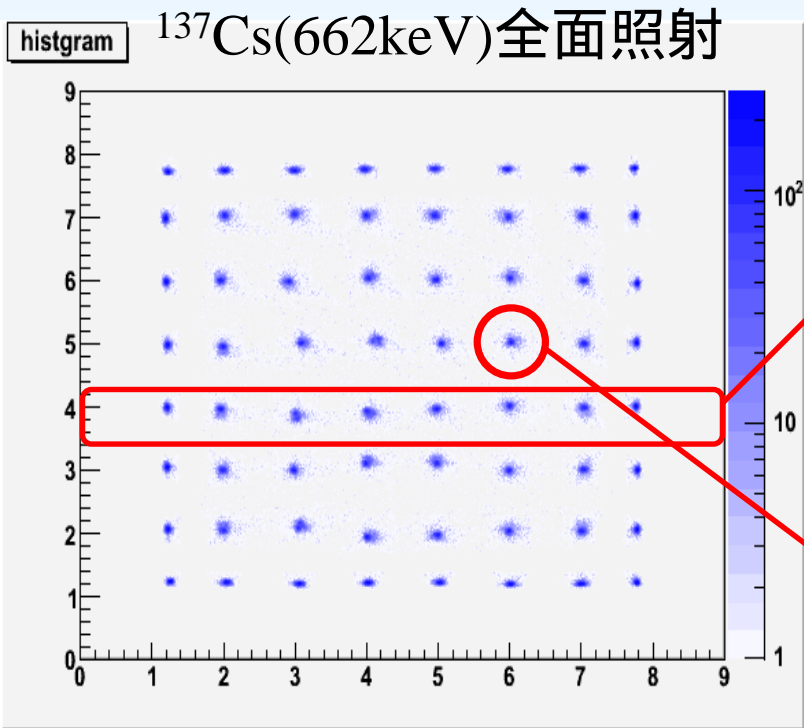
低ゲインでのオペレーションが原因

ヘッドアンプによる全ch読み出し H8500の出力を~0.1倍にアッテネート

位置は電荷重心演算



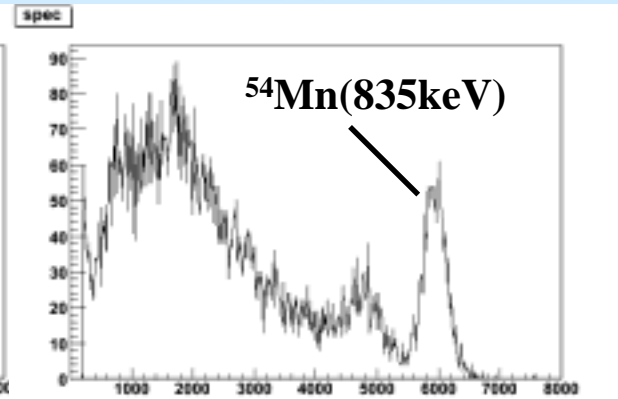
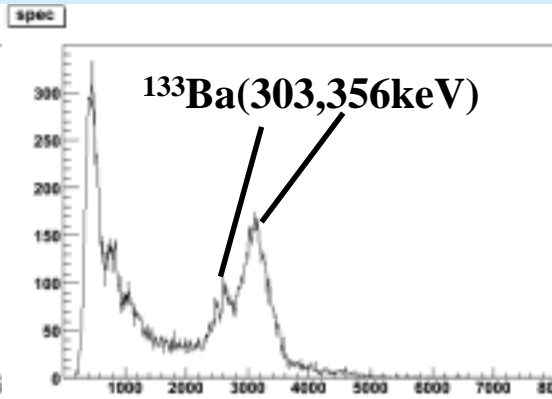
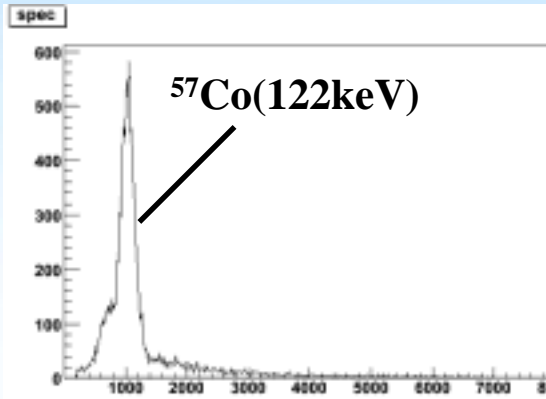
H8500のゲイン~ 10^6



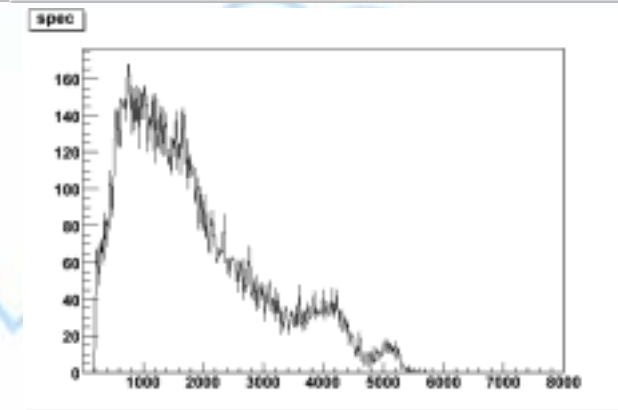
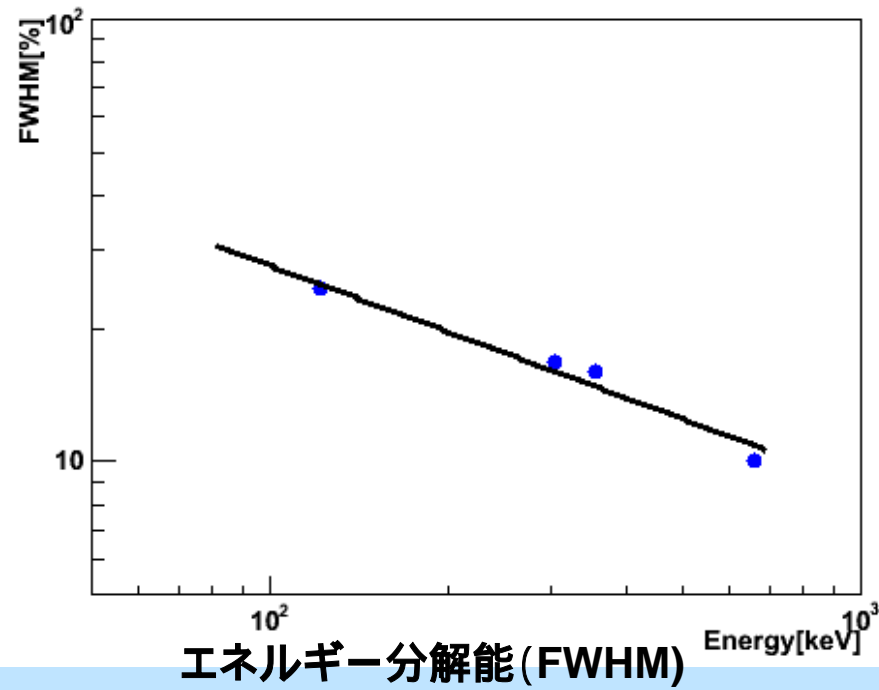
64ピクセル全てきれいに分離！

エネルギー分解能(avr.)
~10%(FWHM) @662keV

スペクトル



Energy res.

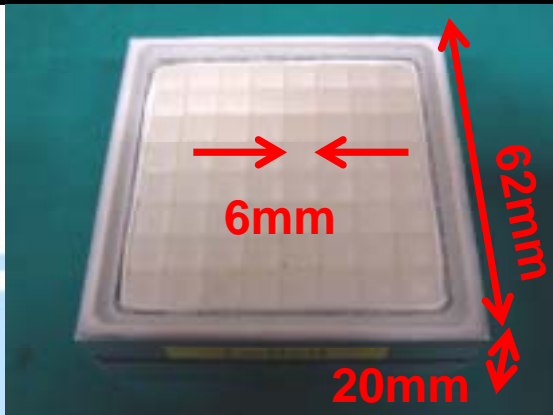


ダイナミックレンジ：
100 ~ 700keV

→ H8500のアノードゲイン
のばらつきが原因

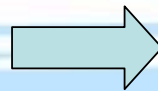
LaBr₃シンチレータの利用 ~ エネルギー分解能の向上 ~

| | Density (g/cm ³) | Absorption coefficient (cm ⁻¹) @511keV | Decay time constant (ns) | Light output (Relative) | Hydroscopic | Radiation Hardness |
|-------------------------|---------------------------------|---|--------------------------------|-------------------------------|--------------------|------------------------|
| NaI(Tl) | 3.67 | 0.34 | 230 | 1 | Strong | very weak |
| CsI(Tl) | 4.53 | 0.44 | 1050 | 0.85 | Weak | very weak |
| LaBr₃ | 5.3 | 0.5 | 25 | 1.6 | Very strong | weak |
| GSO | 6.71 | 0.70 | ~60 | 0.18 | No | very strong |



LaBr₃ アレイ

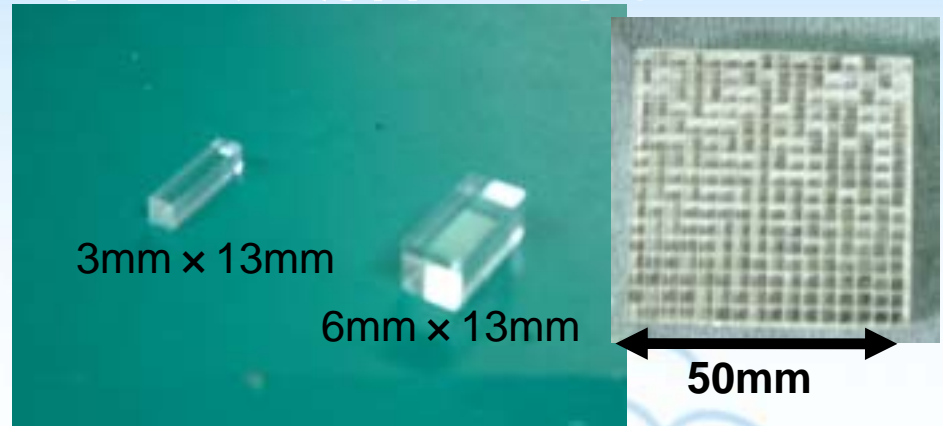
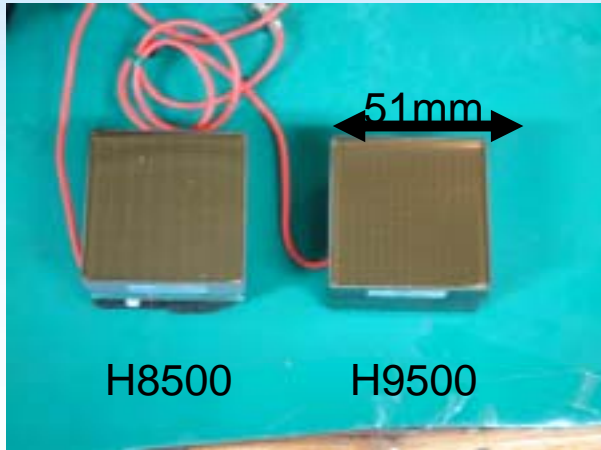
エネルギー分解能 ~ 5% @ 662keV が望める



詳細は **26pSF11** 黒澤講演

3mmピッチPSA

～位置分解能の向上～



FlatPanelPMT H9500 (HPK)

・16 x 16マルチアノード

H9500 アノードゲインのばらつき (HPK)

3mmピッチPSA

・3mmGSO (16 x 16ピクセル)

・ESR反射材

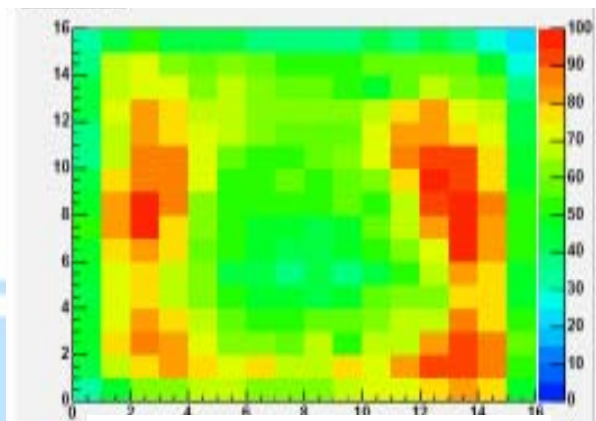
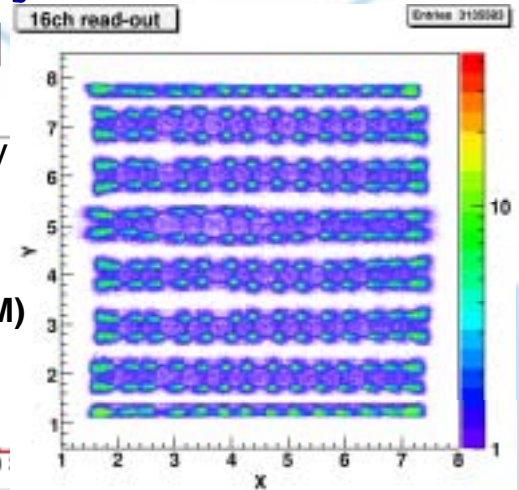
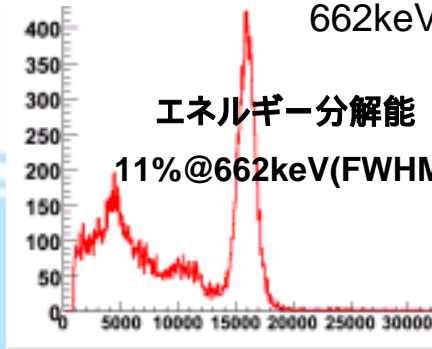
線再構成図

スペクトル

^{137}Cs
662keV

エネルギー分解能

11% @ 662keV (FWHM)



Min:Max=1:4.5

まとめ

- GSO6mm角64ピクセル + MAPMTによるPSAカメラ
- 64ピクセル16ch読み出し
 - エネルギー分解能 ~ 10% @662keV(FWHM)
 - 位置分解能 ~ 6mmピッチ
- PSAの大型化および省電力化
- 192ピクセル4ch読み出し
 - エネルギー分解能 ~ 11% @662keV(FWHM)
 - ダイナミックレンジ 80 ~ 800keV
 - 消費電力 12分の1

さらなる性能向上へ向けて

- 30cm角ガンマ線カメラに合わせた大型化および省電力化
- ヘッドアップによる64ピクセル全ch読み出し
 - エネルギー分解能 ~ 10% @662keV(FWHM)
 - ダイナミックレンジ 100 ~ 700keV

さらなる性能向上へ向けて(今後)

- ヘッドアンプ全ch読み出しの改善
ヘッドアンプに入力する信号を一様に
- LaBr3シンチレータの利用
エネルギー分解能 $\sim 5\% @ 662\text{keV}$
- 3mmピッチPSA
位置分解能 3mmピッチ



おわり