

# 6mm角LaBr<sub>3</sub>(Ce)ピクセルアレイと 64chマルチアノードPMT読出しシステム を用いたシンチレーションカメラの開発

京大理 岩城 智

谷森達, 窪秀利, 身内賢太郎, 株木重人, Parker.Joseph,  
上野一樹, 黒澤俊介, 岩城智, 高橋慶在  
澤野達哉, 谷上幸次郎, 中村輝石, 東直樹  
ISAS/JAXA: 高田淳史

日本物理学会2009年秋季大会  
2009年9月10日(木) @甲南大学

# Contents

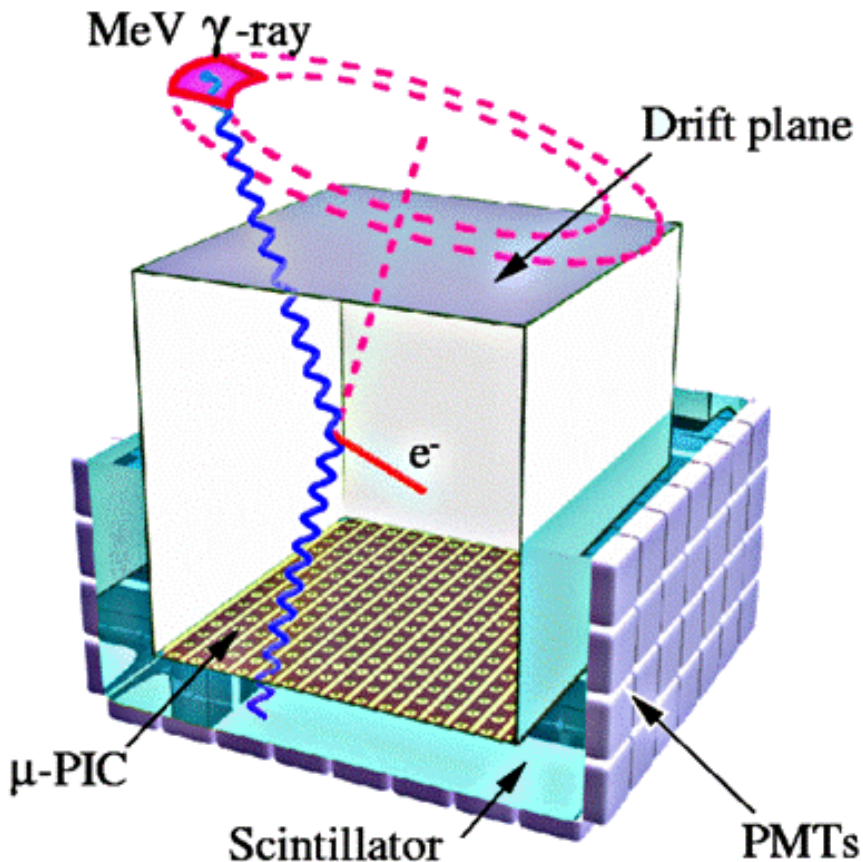
- Introduction
  - Electron Tracking Compton Camera (ETCC)
  - シンチレーションカメラ
  - 64chマルチアノードPMT読み出しシステム
- シンチレーションカメラの性能
  - GSO(Ce) アレイ
  - LaBr<sub>3</sub> (Ce)単結晶
  - LaBr<sub>3</sub> (Ce) アレイ
- Summary

# Electron Tracking Compton Camera (ETCC)

Sub MeV~ MeV  $\gamma$ 線による  
イメージング



- $\gamma$ 線天文学(気球実験, SMILE)
- 核医療



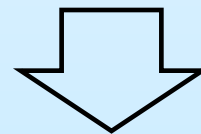
## ■ micro-TPC

- $\mu$ -PICを用いた  
Time Projection Chamber
- 反跳電子の飛跡とエネルギーを測定



## ■ シンチレーションカメラ

- Pixel Scintillator Array  
+ Multi Anode PMT
- 散乱 $\gamma$ 線の吸収位置と  
エネルギーを測定

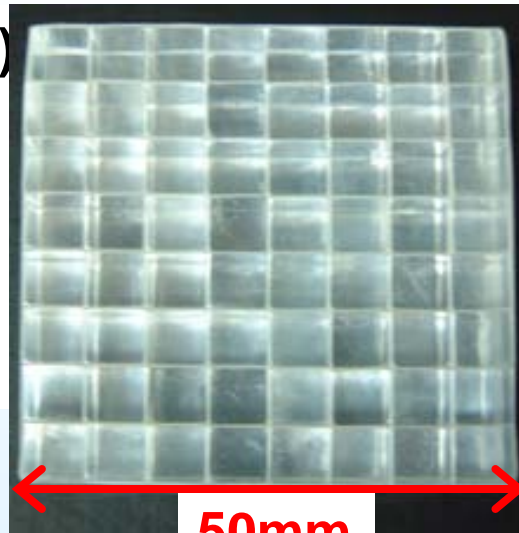


1event毎にコンプトン散乱を再構成  
エネルギーと到来方向を一意に決定

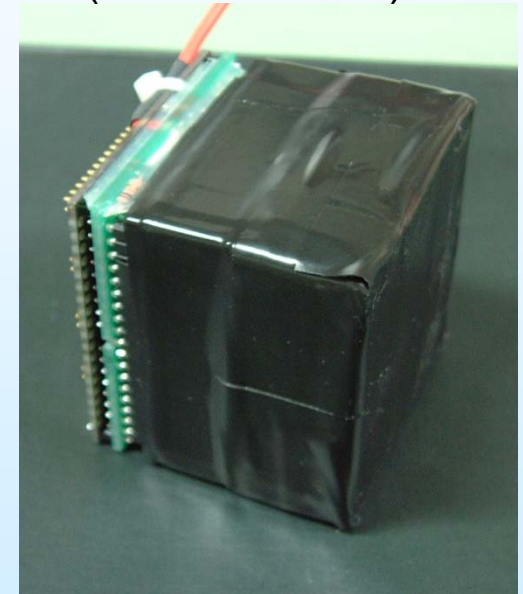
# 現在のScintillation Camera

## Pixel Scintillator Array (PSA)

- GSO(Ce) crystal
- array :  $8 \times 8$
- Pixel size :  $6 \times 6 \times 13\text{mm}^3$
- 各ピクセルはESR(3M)で  
光学的に分離

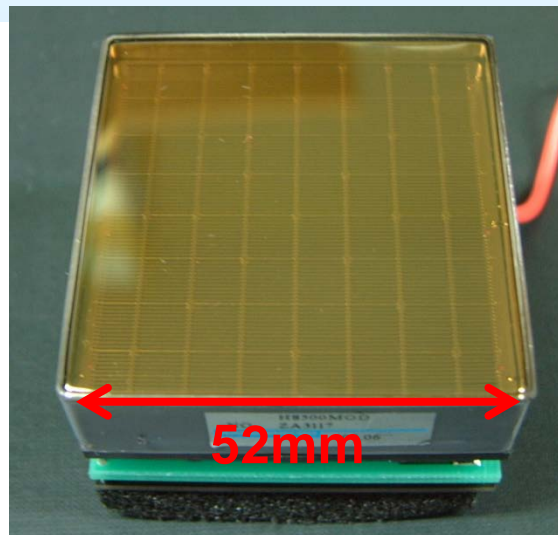


PSAとPMTは  
オプティカルグリス  
(OKEN-6262A)で接着



## Multi Anode PMT H8500 (浜松ホトニクス)

- anode :  $8 \times 8$
- Size :  $52 \times 52 \times 20\text{mm}^3$
- Effective area:  
 $49 \times 49\text{mm}^2(89\%)$
- Gain :  $\sim 10^6 @ -1000\text{V}$
- Gain uniformity :  $\sim 1:3$



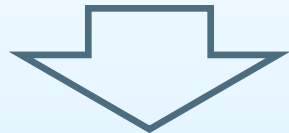
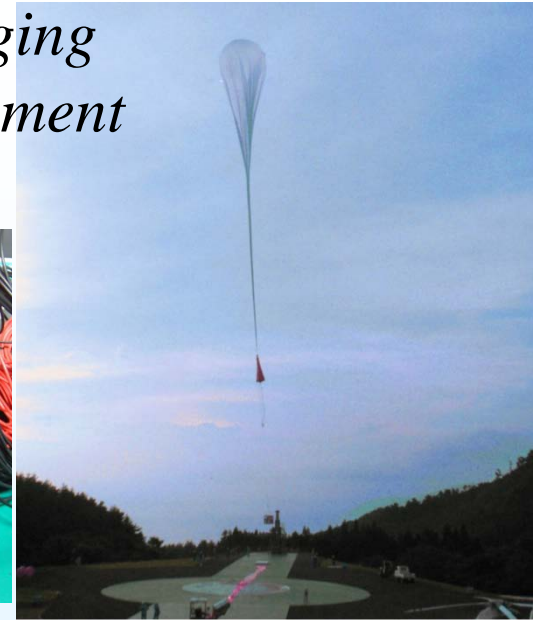
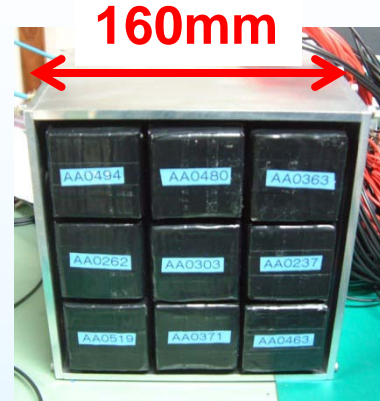
Signal size  
 $\sim 500\text{pC} @ 1\text{MeV}$

# SMILE実験

*Sub-MeV gamma-ray Imaging  
Loaded-on-balloon Experiment*

## SMILE I 実験 (2006年9月1日)

- $10 \times 10 \times 15 \text{cm}^3$  TPC  
+33MAPMTs
- コンプトンカメラの動作試験 @ 35km
- 大気散乱 $\gamma$ 線と宇宙拡散 $\gamma$ 線の観測



## SMILE II 実験 (2011年)

- $(40 \text{ cm})^3$  TPC  
+160 or 192MAPMTs (予定)
- Crab、Cyg X-1の観測  
⇒有効面積の拡大が必須

SMILE IIに向けたTPCの開発に関しては  
検出器の大型化 澤野講演 (11aSB-2)  
ガスの高圧化 黒澤講演 (この後)  
ガスの選定(CF<sub>4</sub>ガス) 高橋講演 (11aSB-3)

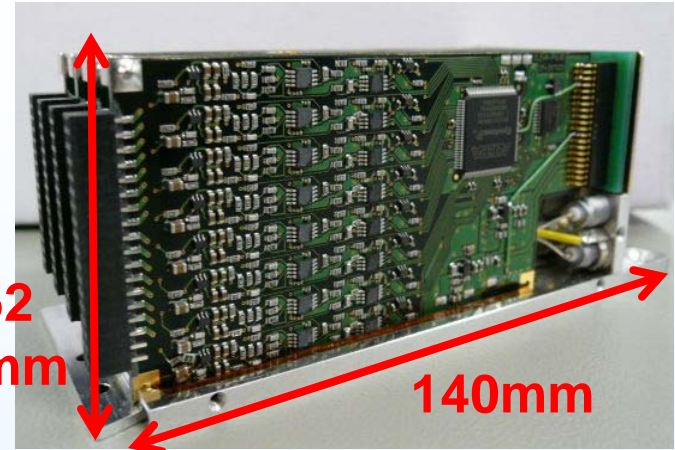
	搭載 PMT数	エネルギー分解能 (FWHM) @662keV	ダイナミック レンジ[keV]	消費電力 [/PMT]
SMILE I	33	~ 11.0%	80-800	2.7W
SMILE II	160	< 11.0%	80-1000	400mW以下



# ヘッドアンプユニット

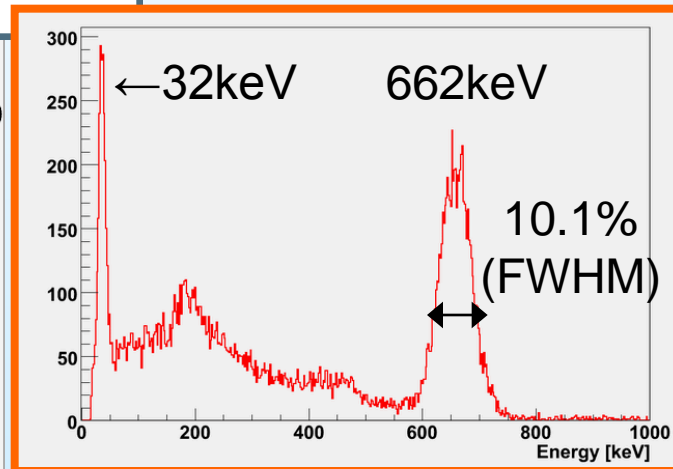
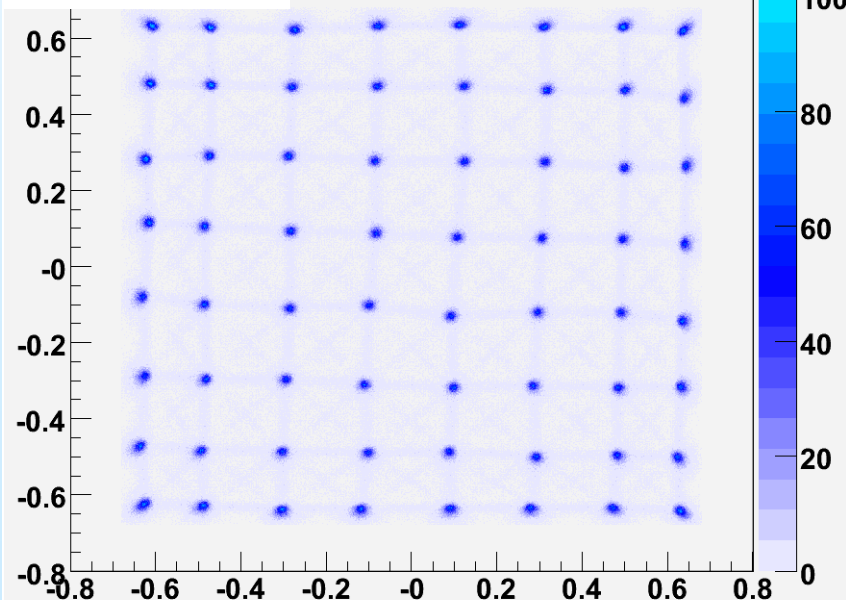
## CP80190型ヘッドアンプユニット

- ・64ch 個別読出し
- ・ASICを使わず、汎用部品のみ使用
- ・PreAmpのコンデンサを容量を選ぶことで入力電荷のレンジを調節(今回は800pC)
- ・消費電力: 1.2W
- ・処理時間: 20 $\mu$ s/event
- ・Dynode trigger有



クリアパルスと共同開発

$^{137}\text{Cs}$

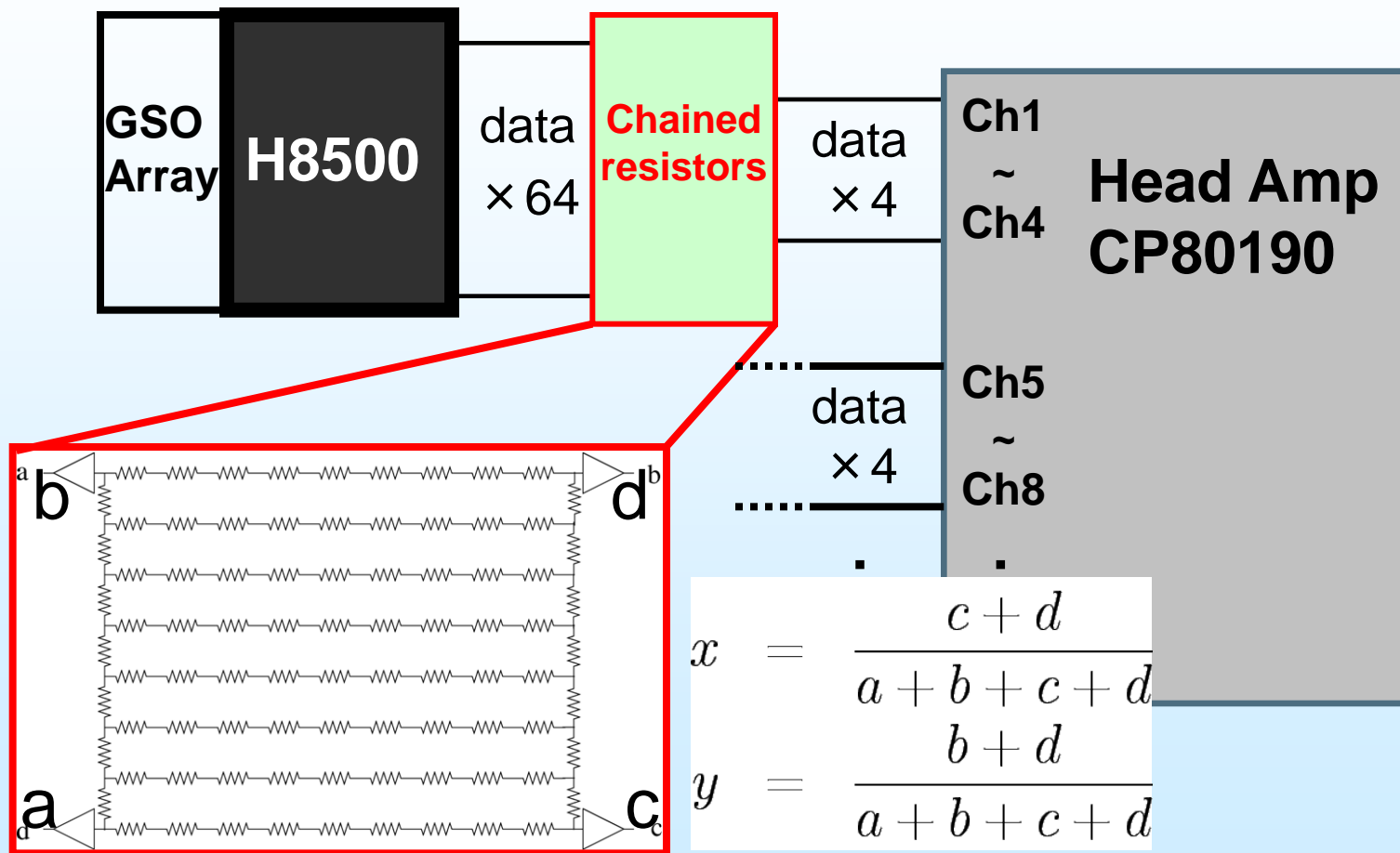


2008年  
3月物理学会  
岩城講演

- Energy Resolution (average):  
10.6% @ 662keV (FWHM)
- Dynamic range : **30keV~1.3MeV**
- Power Consumption : 1.55W/PMT

# 抵抗チェーン + CP80190

さらに消費電力を下げるために抵抗チェーンと組み合わせる

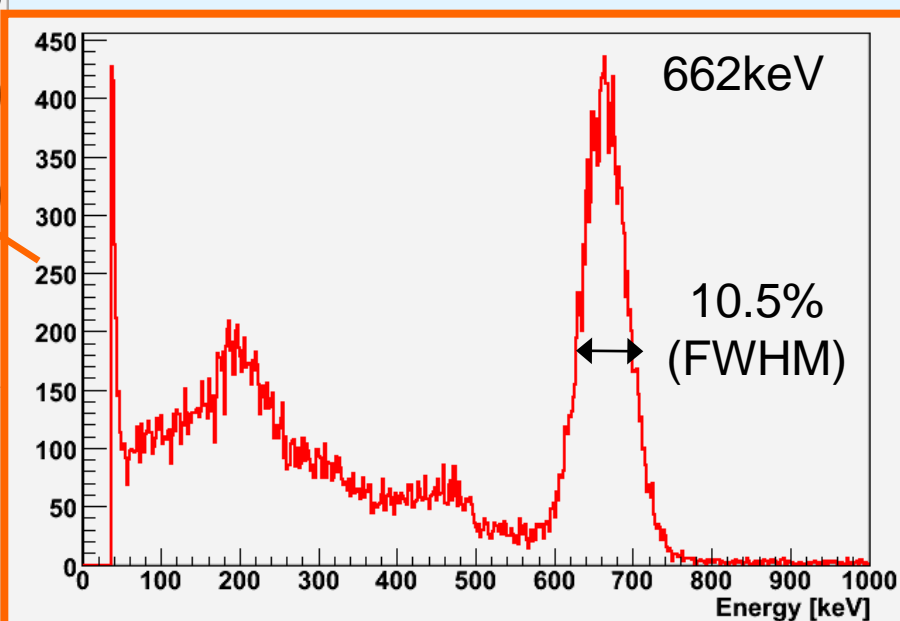
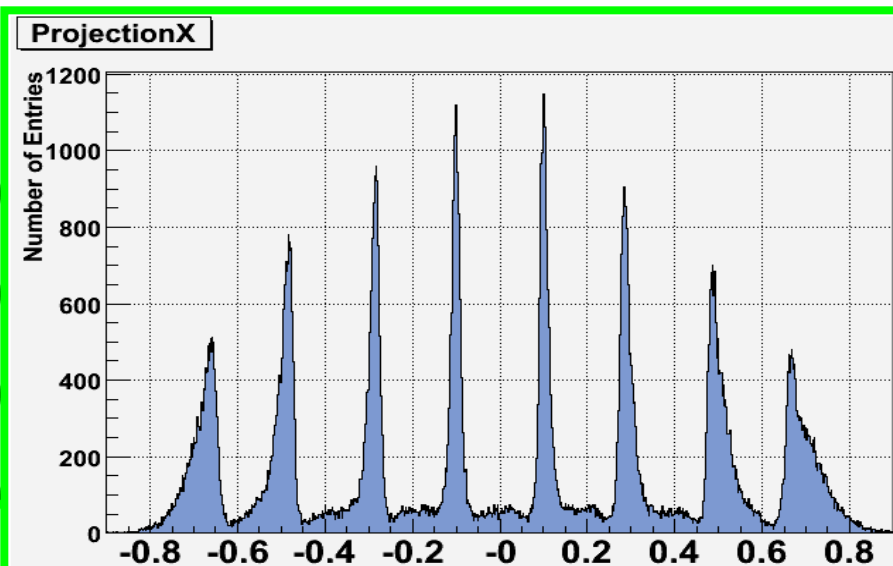
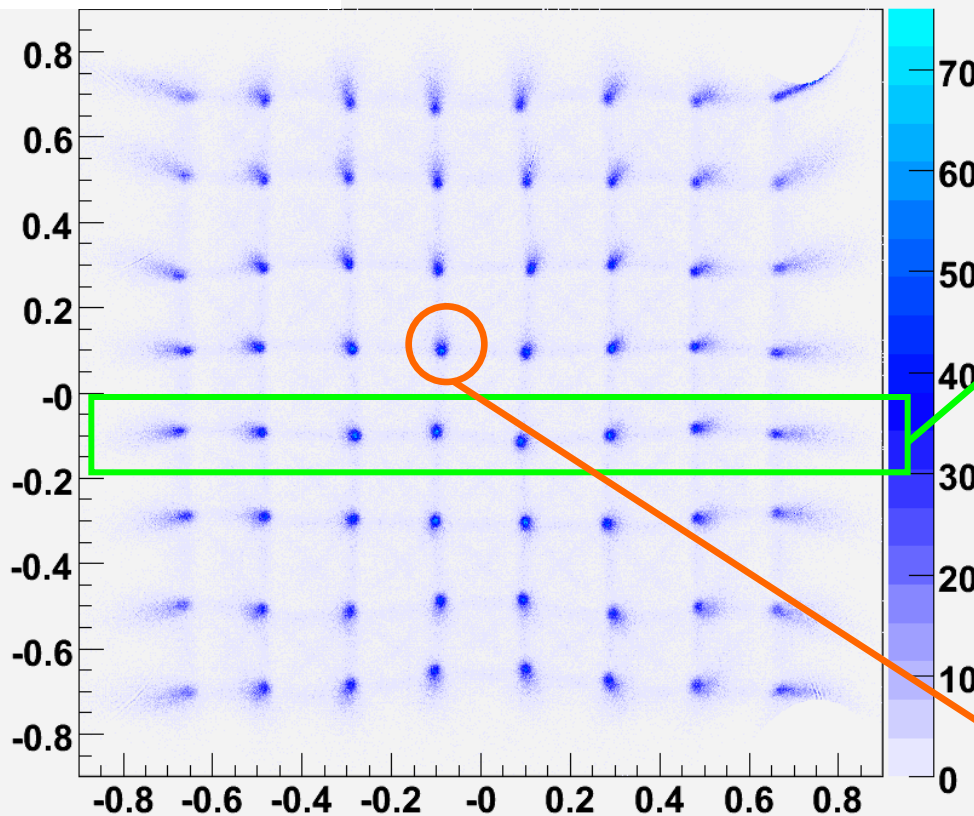


読み出しチャンネル数が1/16に  
1台のCP80190で16台のPMTを読み出し可能.

# 抵抗チェーン + CP80190

## Reconstructed image and spectra

$^{137}\text{Cs}$

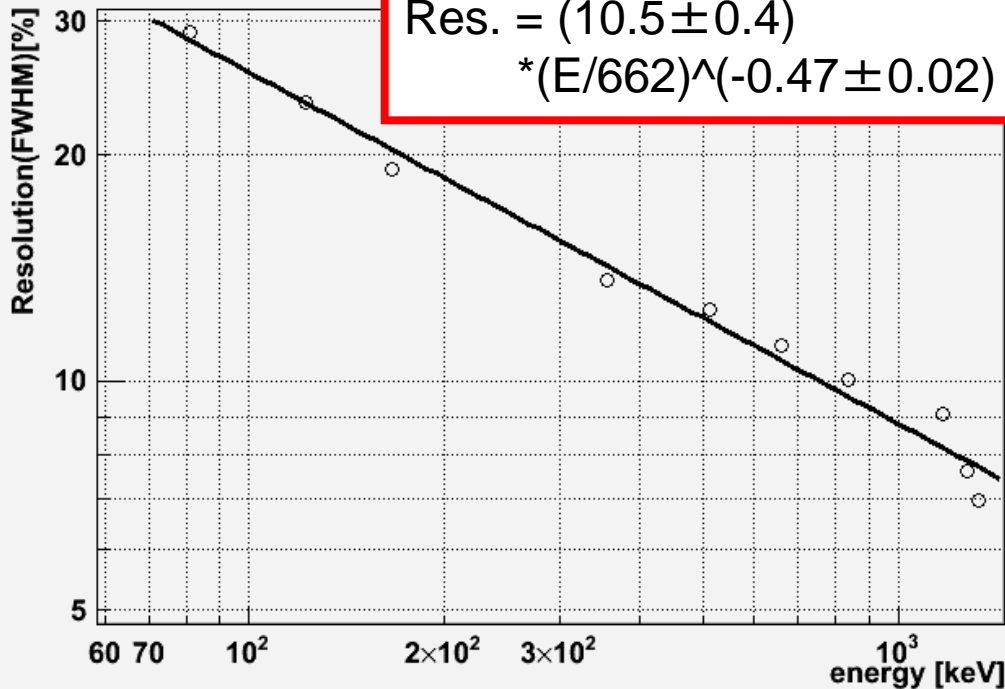


•抵抗分割により  
各64pixelを分離

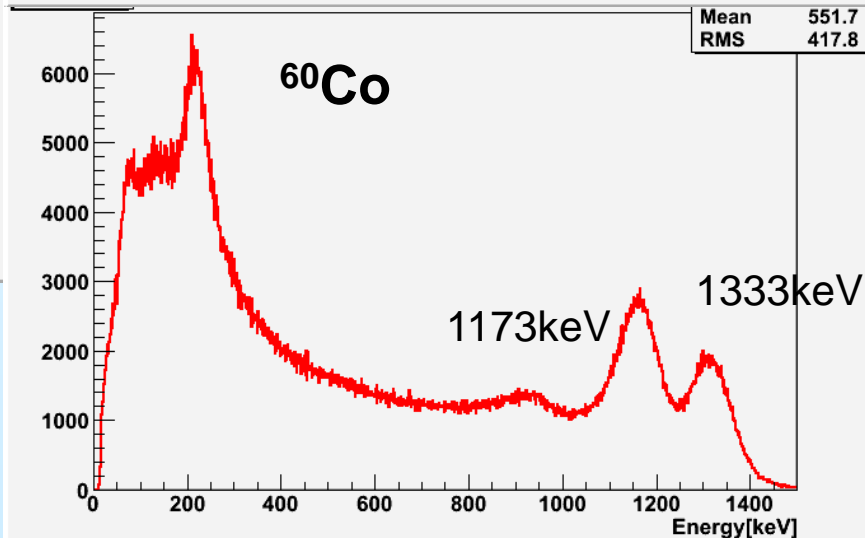
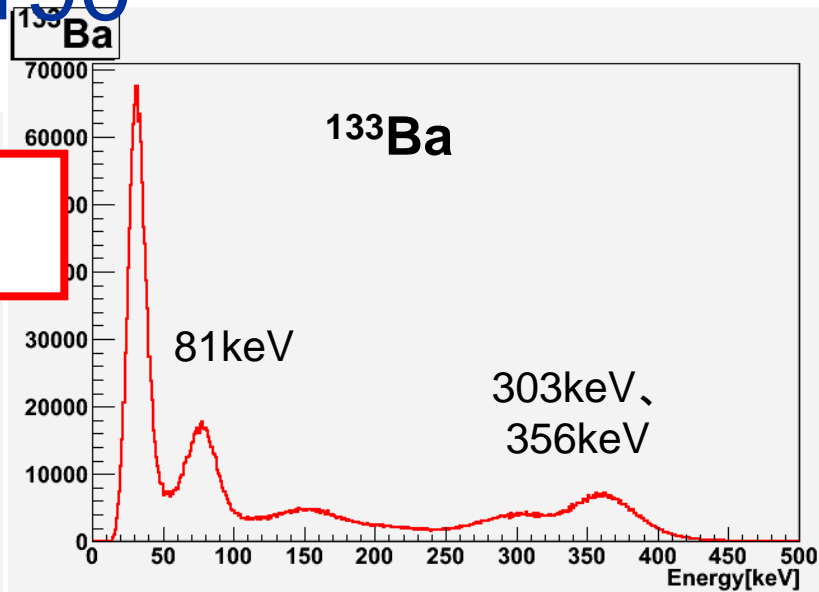


# 抵抗チェーン+ CP80190

Energy VS Resolution



- Energy Resolution (64ch平均):  
10.5 ± 0.4% @ 662keV (FWHM)
- Dynamic Range: 80keV ~ 1300keV
- Power Consumption: 100mW/PMT



=> SMILE-2における要請を  
全て満足

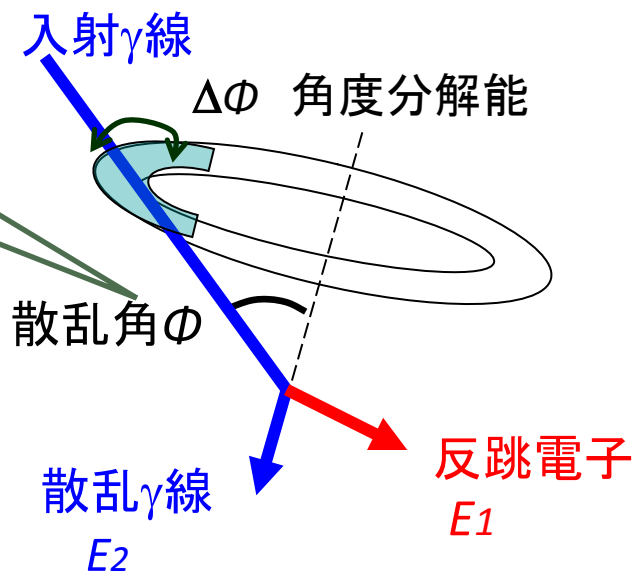
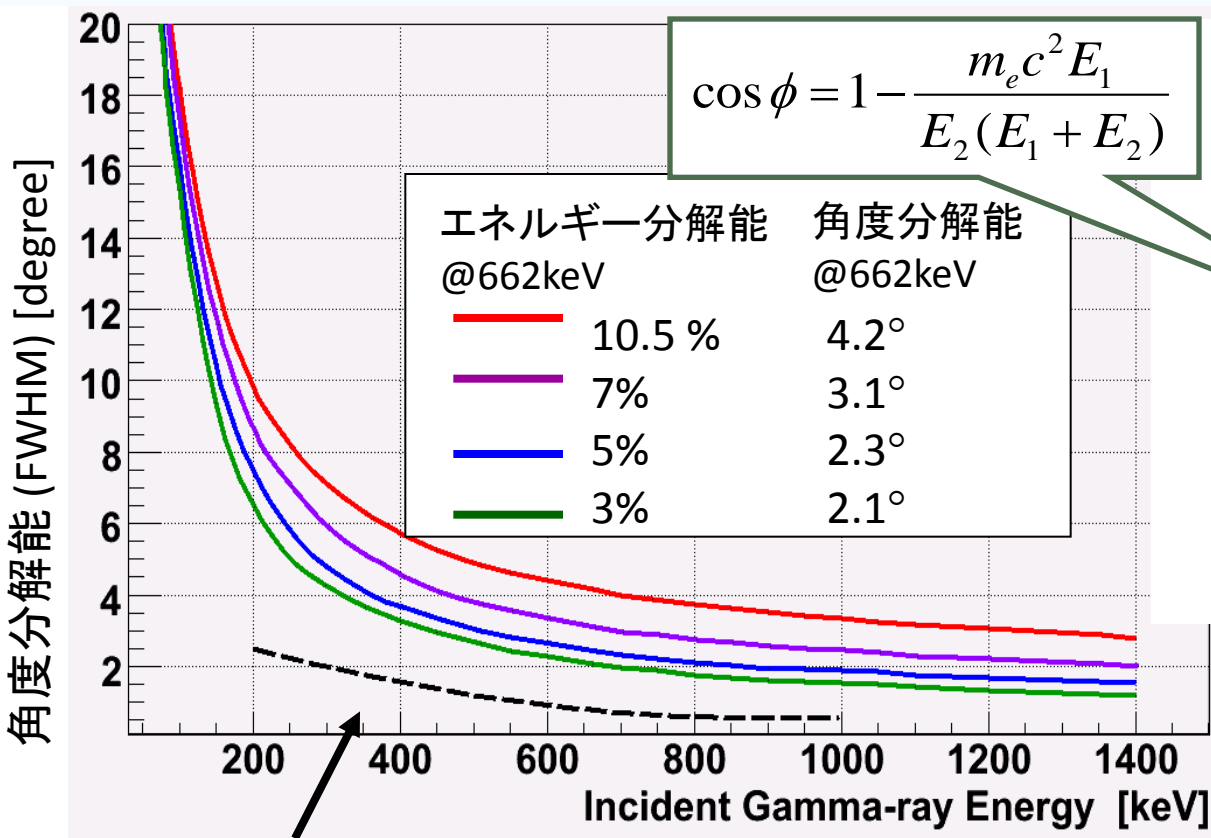
# SMILE II 以降及びMedical Imagingに向けて

～角度分解能の向上のために～

現在のETCCの**角度分解能: 6.4°** (FWHM)@662keV (GSOアレイ使用時)

角度分解能(ARM) はシンチレータのエネルギー分解能に依存.

**GSOアレイ: 10.5%** (FWHM)@662keV



計算の仮定

1, コンプトン散乱点にエラーをつけない

2, TPCのエネルギー分解能 : 30% @ 22 keV

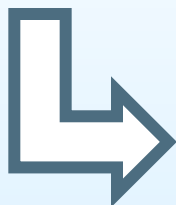
Doppler broadening (Ar)  
Zoglauer et al. (2003)

# LaBr<sub>3</sub>(Ce) Scintillator



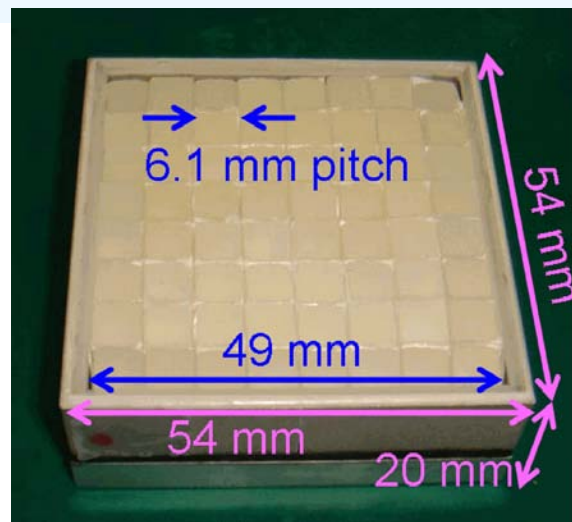
Saint-Gobain  
BrillanCe380  
Size:φ38 × 38mm

- エネルギー分解能が良い  
~3% @662 keV, FWHM
- 発光量が多い NaI(Tl) の約1.6倍,  
GSOの約8倍
- decay time が短い ~20nsec  
× 非常に強い潮解性 (NaI(Tl)より強い)



## 独自の製法でアレイ化

- Pixel size : 5.9 × 5.9 × 20mm<sup>3</sup>
- 8 × 8 array
- Glass window :  
石英 (t 2.3 mm)
- Hermetic package :  
アルミパッケージ (t 0.5 mm)



抵抗チェーンとNIM及びVMEを用いたエネルギー分解能: **5.2 ± 0.6%**

# CP80190 + LaBr<sub>3</sub> (single crystal)

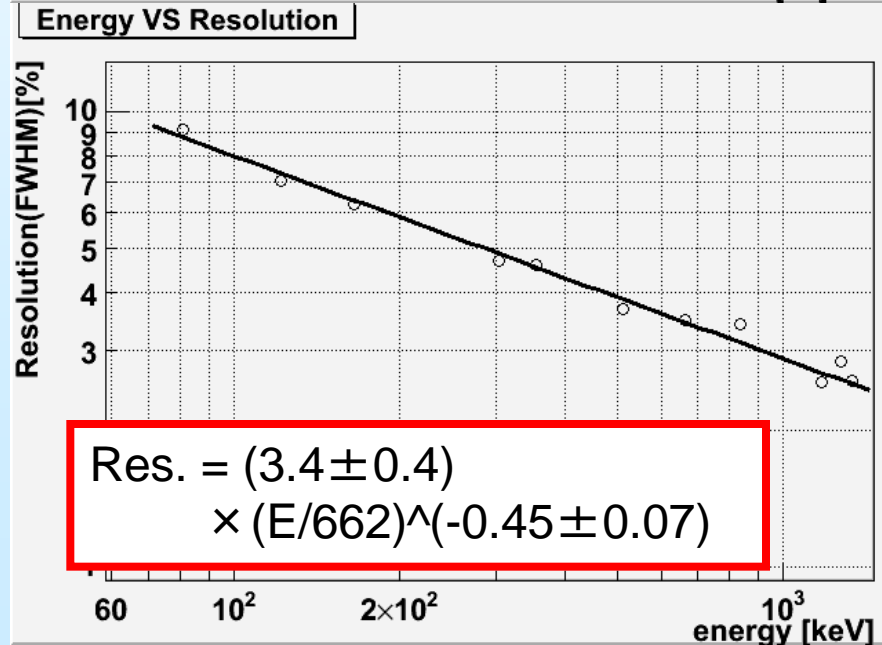
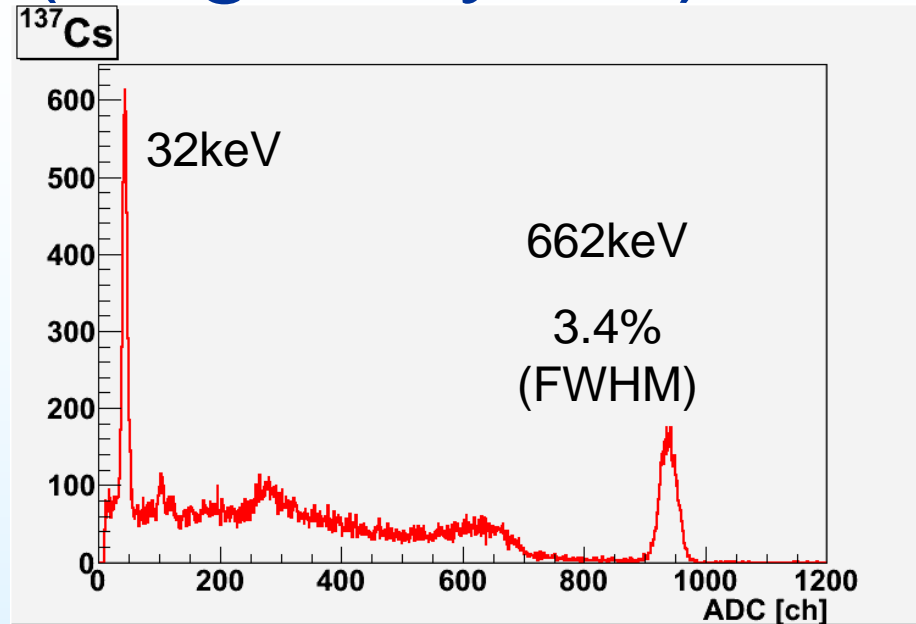
LaBr<sub>3</sub>(Ce)の早い信号に対する  
CP80190の応答を見るため、  
まず単結晶を使って測定



Single Crystal  
(φ13 × 13mm)

Single Anode PMT  
(浜松ホトニクス R6231)

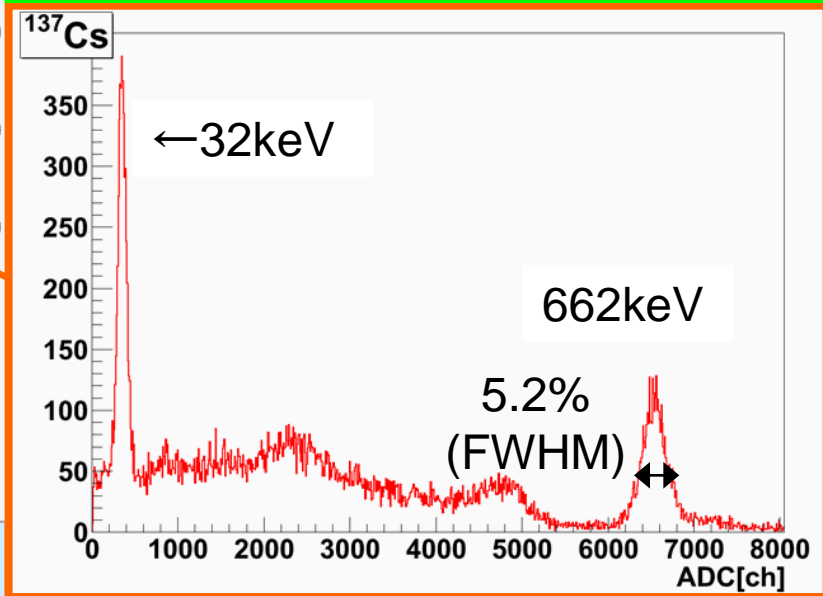
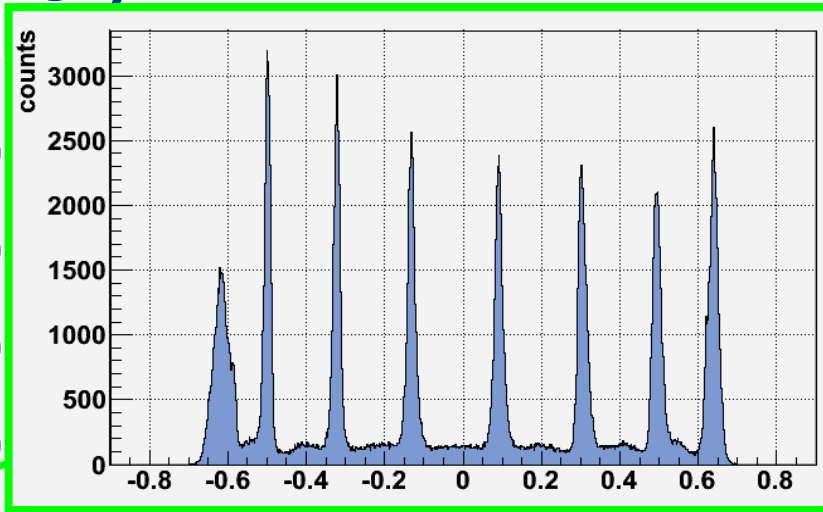
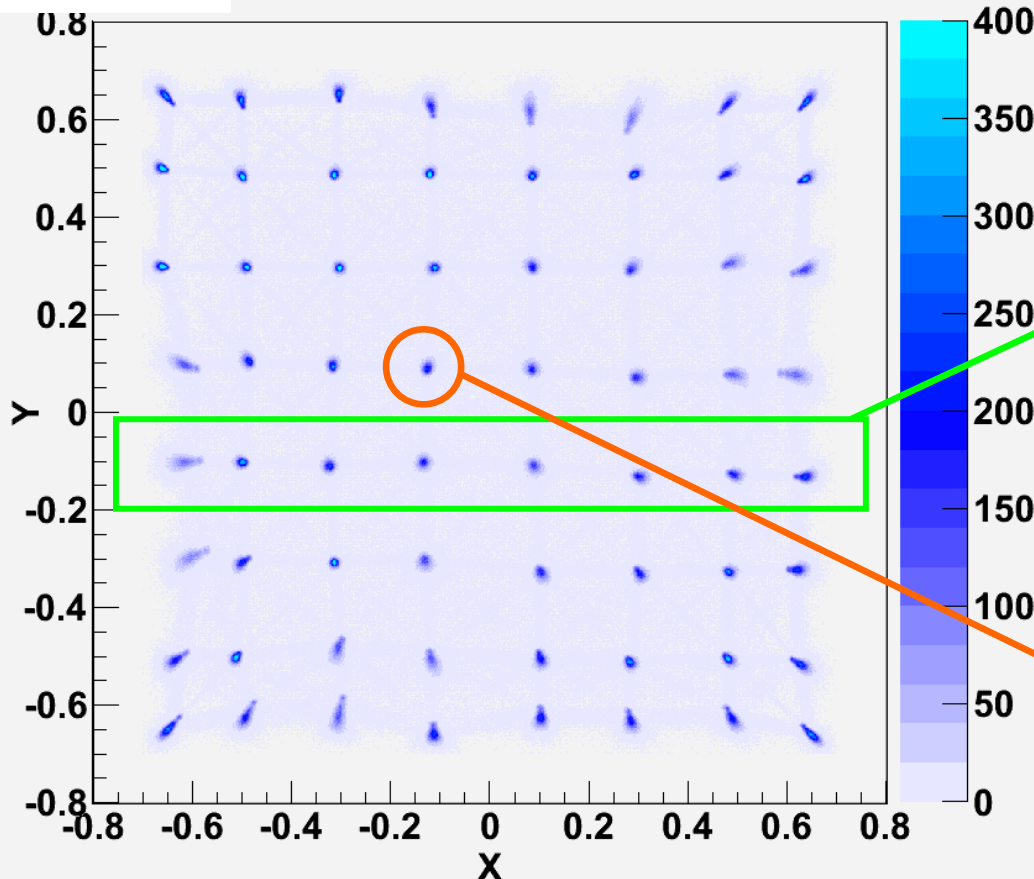
- Energy Resolution :  
3.4% @ 662keV (FWHM)
- Dynamic range : 80keV ~ 1.3MeV  
(NIM/VMEモジュールを使った時と同等.)



# CP80190 + LaBr<sub>3</sub> Array

再構成図及びスペクトル

<sup>137</sup>Cs



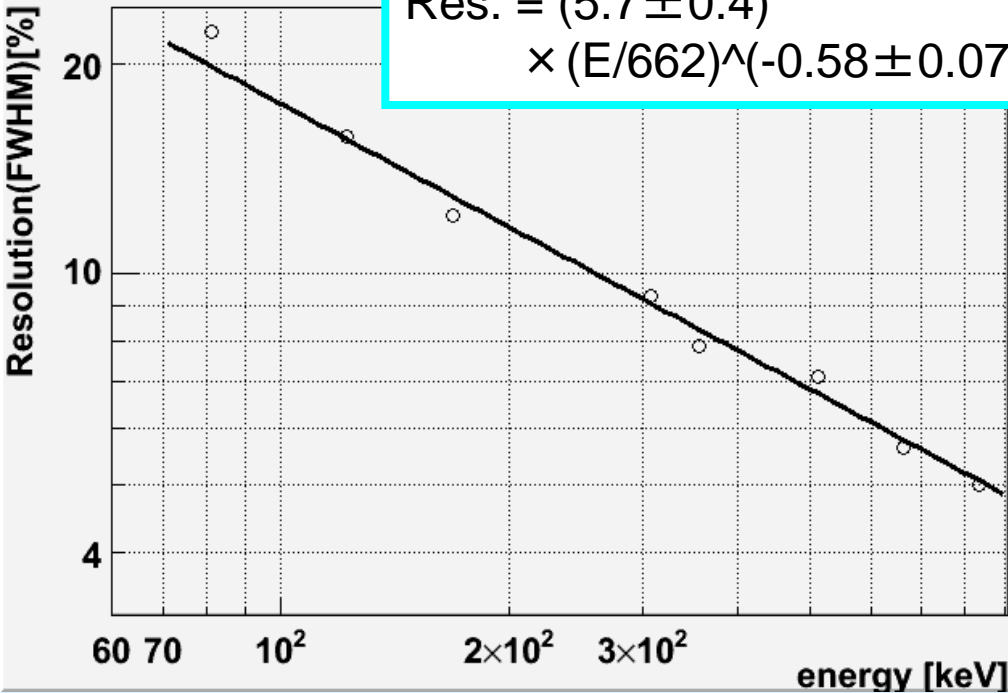
- 重心法によって位置を決定
- 各64pixel を分離



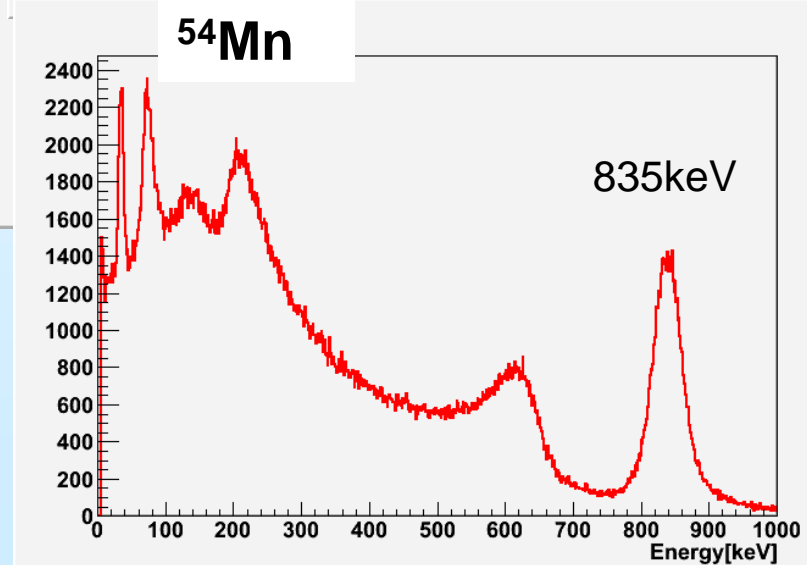
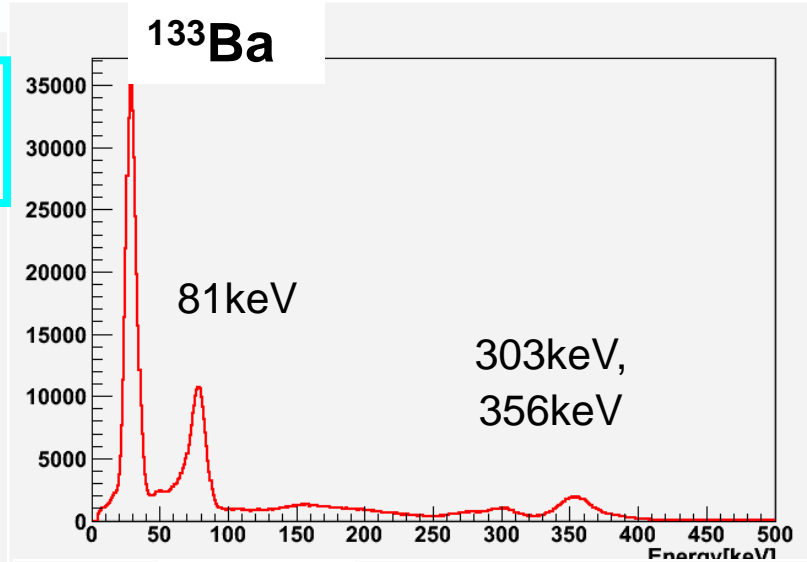
# CP80190 + LaBr<sub>3</sub> Array

エネルギー分解能及びダイナミックレンジ

Energy VS Resolution



- Energy Resolution (64ch平均):  
5.4% @ 662keV (FWHM)  
(GSO: 10.5% @ 662keV)
- Dynamic Range: 80keV-800keV



ETCCの角度分解能(ARM)4.2° @662keV(FWHM)を期待

# Summary

- 次期気球実験SMILE IIに向けて
    - GSO(Ce) と抵抗チェーン、CP80190を用いた4ch読み出しで **SMILE IIにおける全ての要請を満足**
      - エネルギー分解能：10.5% (FWHM) @662keV  
⇒ ETCCの角度分解能(ARM)6.4° @662keV(FWHM)
      - ダイナミックレンジ：80keV~1.3MeV
      - 消費電力：100mW/1PMT
- ⇒SMILE II 用組み込みシステムへ
- SMILE II 以降及び核医療分野の用途  
ETCCの角度分解能向上に向け  
エネルギー分解能の良いシンチレーションカメラの開発中
    - LaBr<sub>3</sub>(Ce)とCP80190の64ch読み出しで
      - エネルギー分解能：**5.4% (FWHM) @662keV**  
(NIM/VME読み出しと同等)  
⇒ **ETCCの角度分解能(ARM)4.2° @662keV(FWHM)を期待**
      - ダイナミックレンジ：80keV~800keV
- ⇒更に分解能を向上するために解析方法を検討  
(マルチヒットイベントの除去、PMTのGainバラツキの補正方法)