

6mm角 $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ ピクセルアレイと フラットパネルPMTを用いた シンチレーションカメラの開発 III

京大理 高橋慶在

京大理: 谷森達, 窪秀利, 身内賢太郎, 株木重人, 西村広展,
服部香里, 上野一樹, 黒澤俊介, 井田知宏, 岩城智

ISAS/JAXA: 高田淳史

ワールドエンジニアリングシステム: 柳田祥男

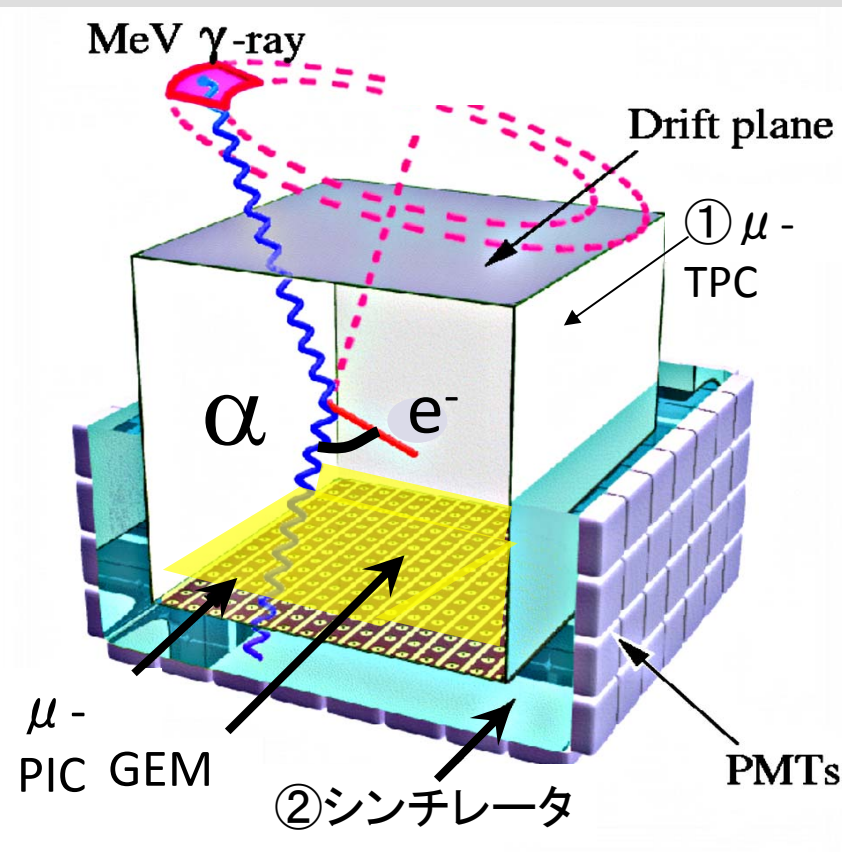
日本物理学会 2008年秋季大会
2008年9月22日(月) 於 山形大学

§ MeV γ 線コンプトンカメラ

§ 20mm厚 $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ アレイの性能評価

§ まとめ

我々のsub-MeV・MeV γ 線コンプトンカメラ



※用途： γ 線天体観測、医療

① μ -TPC (Time Projection Chamber) (ガスTPC)

入射 γ 線をコンプトン散乱させる

GEM (Gas Electron Multiplier) (F.Sauli(1997))

+ μ -PIC (Pixel Chamber)

反跳電子のエネルギーと三次元飛跡を検出

② **シンチレーションカメラ**

シンチレータピクセルアレイ (GSO or LaBr₃)

+ マルチアノードPMT

散乱 γ 線のエネルギーと吸収点を検出



★3srの大立体角

★ α 角による強力なバックグラウンド除去

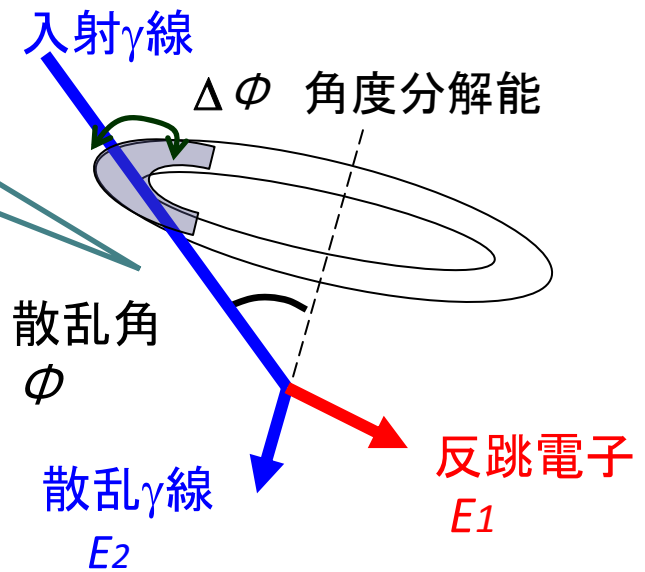
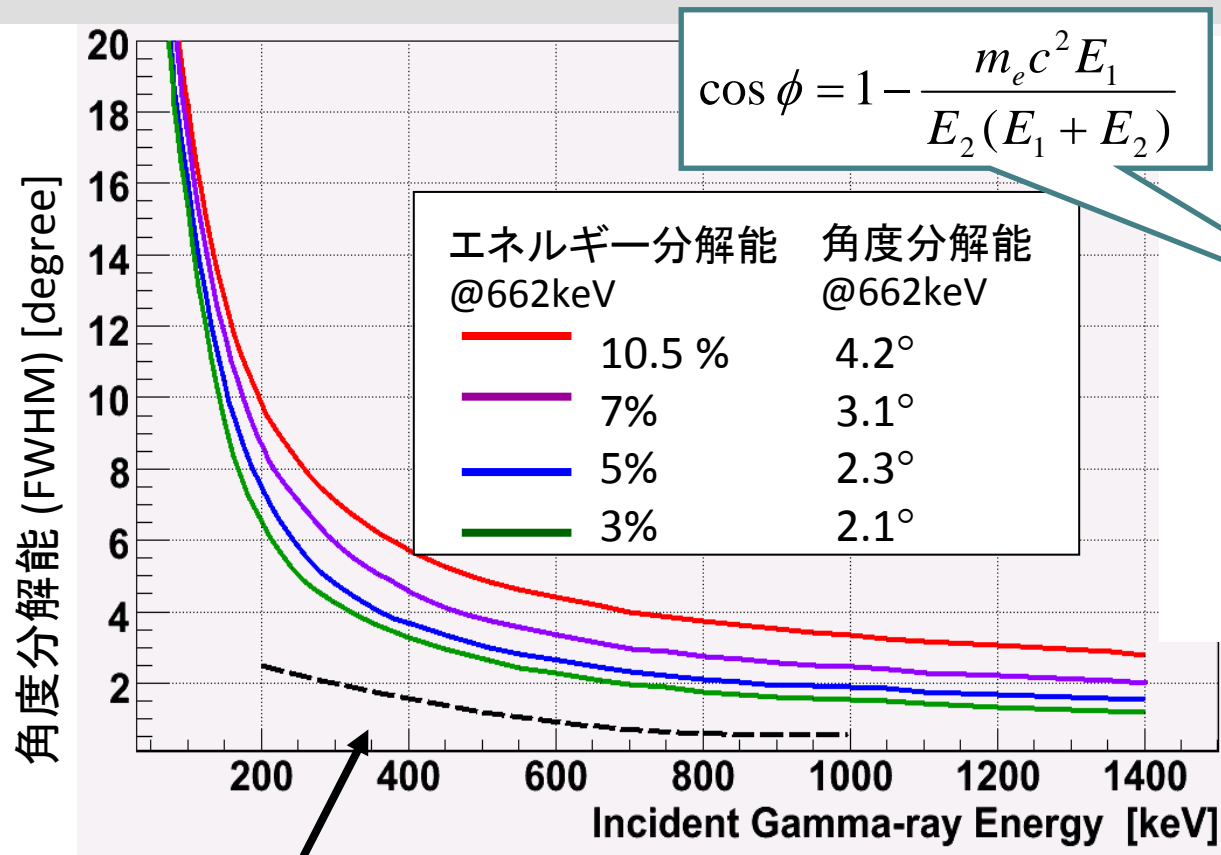
1イベントごとに γ 線の到来方向とエネルギーを特定出来る!!!

角度分解能の向上にむけて

現在の角度分解能: 6.4° (FWHM) @ 662 keV (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) @ 662 keV



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

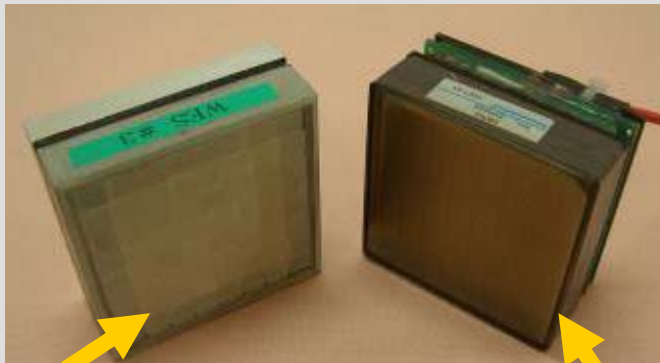
Doppler broadening (Ar)
Zoglauer *et al.* (2003)

シンチレータ: GSO (Ce) から LaBr₃ (Ce) へ

LaBr₃ (Ce) の特徴

- エネルギー分解能が大変良い
~3% @662 keV, FWHM
(シングルアノード PMT HPK R6231 測定)
- 発光量が多い NaI(Tl) の約1.6倍,
GSOの約8倍
- decay time が短い ~20nsec
×潮解性がある (NaI(Tl)より強い)

サンゴバン社から購入したLaBr₃(Ce)塊を
われわれ独自の製法でアレイ化
ピクセルサイズ: 5.8 × 5.8 × 15 mm³
ピクセル数: 8 × 8 個



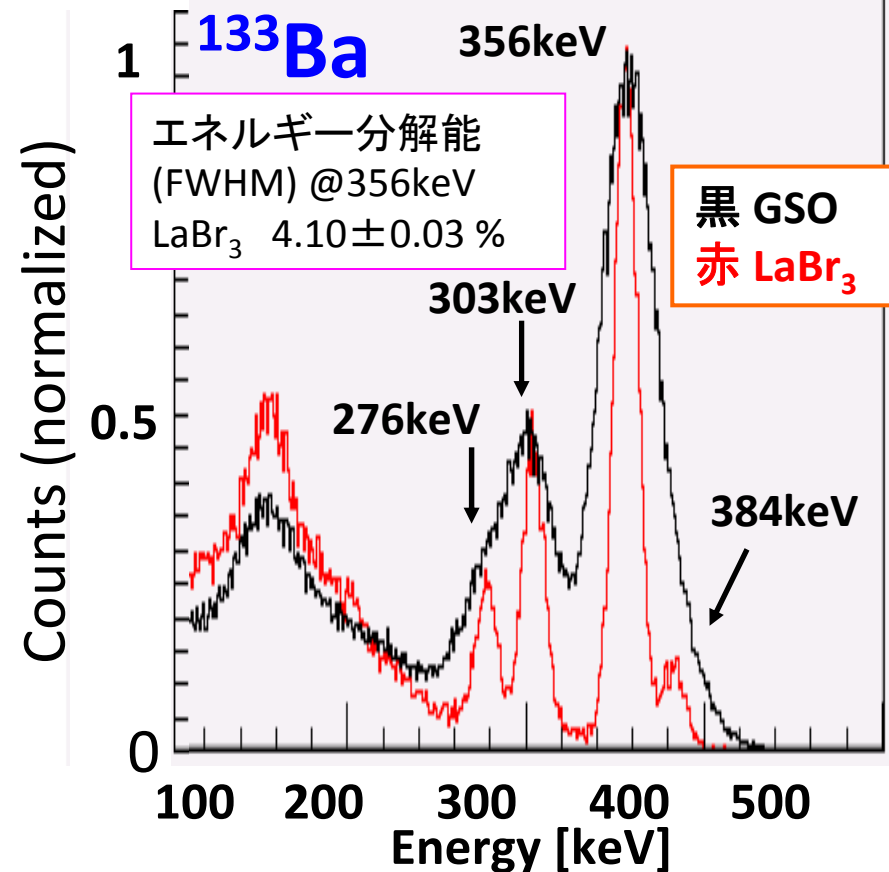
LaBr₃(Ce)
アレイ

8 × 8 マルチアノードPMT
浜松ホトニクス社 H8500

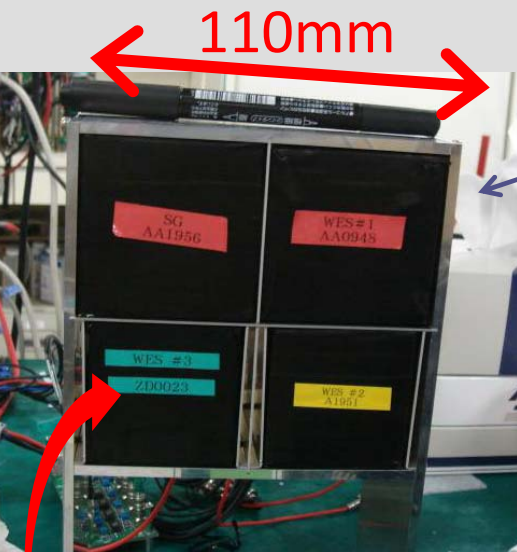


サイズ
φ38×38mm³

2008年3月
物理学会
黒澤講演



シンチレーションカメラの大型化へ



(15mm厚 LaBr_3 8×8ピクセル)
2×2アレイ

GSO(Ce)→ LaBr_3 (Ce)で
MeV γ 線コンプトンカメラの角度分解能up
しかし検出効率down

attenuation length at 511keV: LaBr_3 (Ce)は
21.3mm

(J.Seguinot *et al.*(2006)

GSO(Ce)は14.2mm

検出効率upが課題!!

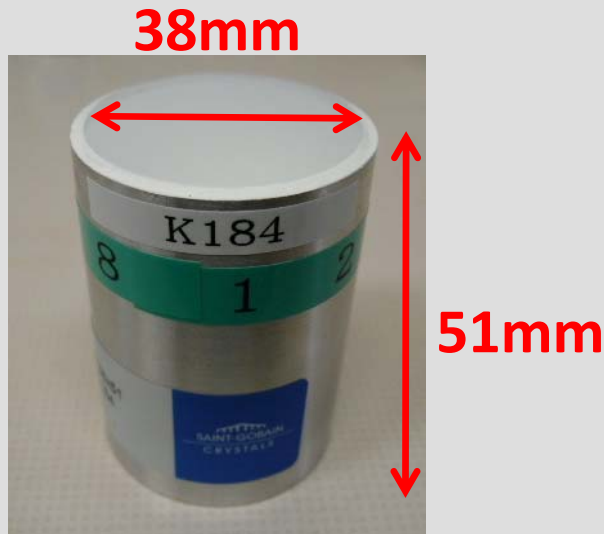


アレイの数を増やし、各結晶を厚くする

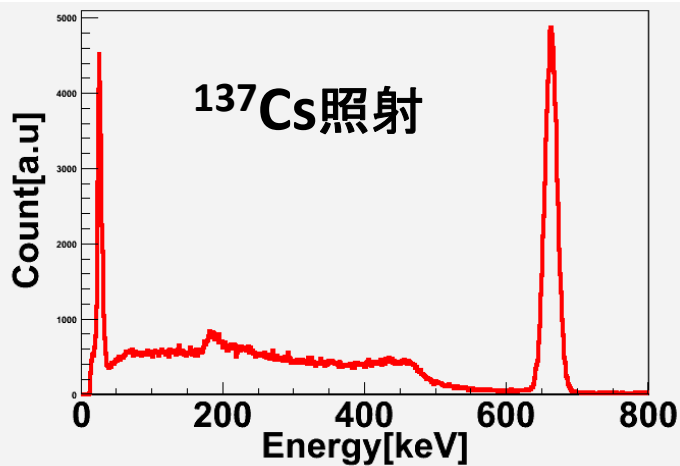
20mm厚の LaBr_3 (Ce)アレイの開発へ



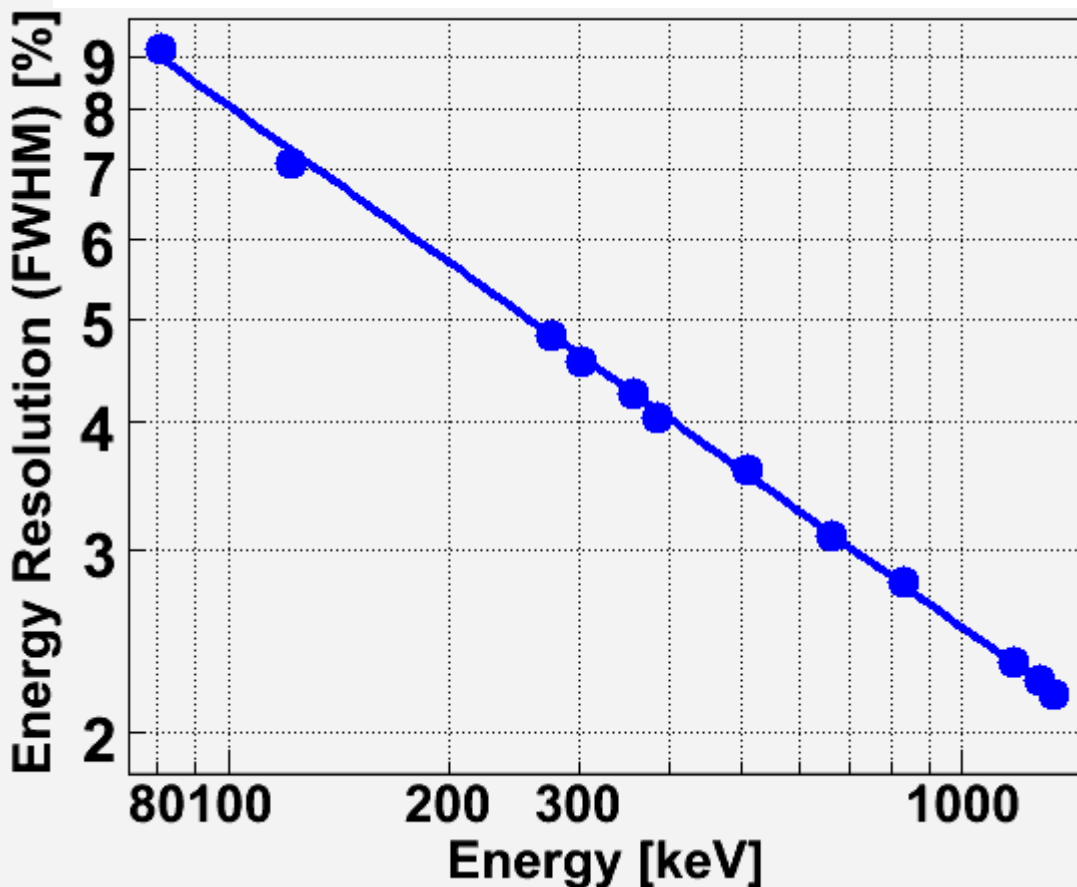
アレイの材料となるLaBr₃(Ce)のエネルギー分解能



Saint-Gobain社製



$$res. = (3.12 \pm 0.06) \cdot \left(\frac{E}{662 \text{ keV}} \right)^{-0.504 \pm 0.003}$$

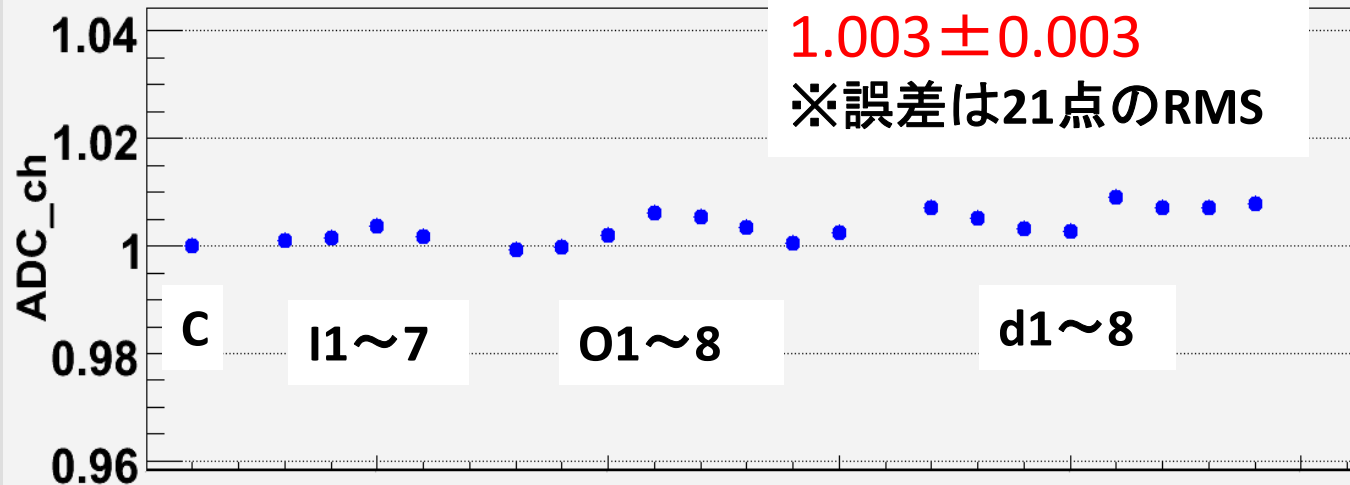


光量・エネルギー分解能の一様性確認

光量@356keV

1.003 ± 0.003

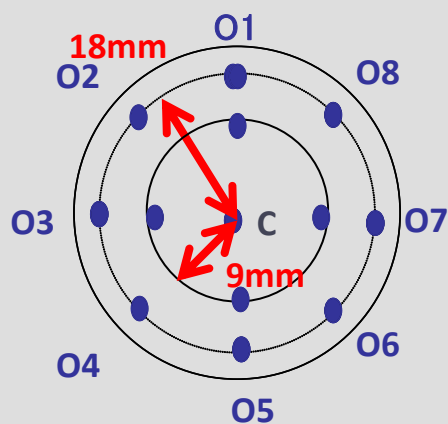
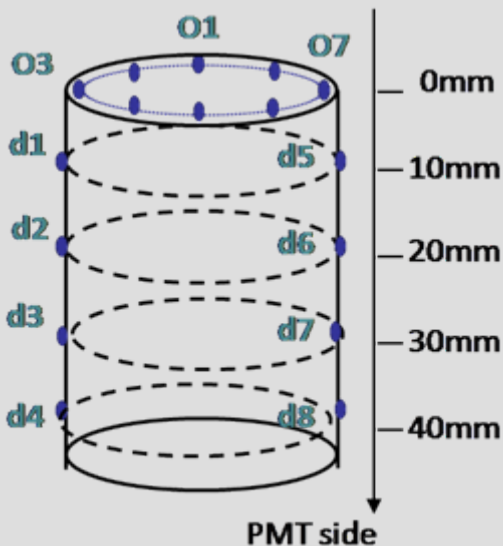
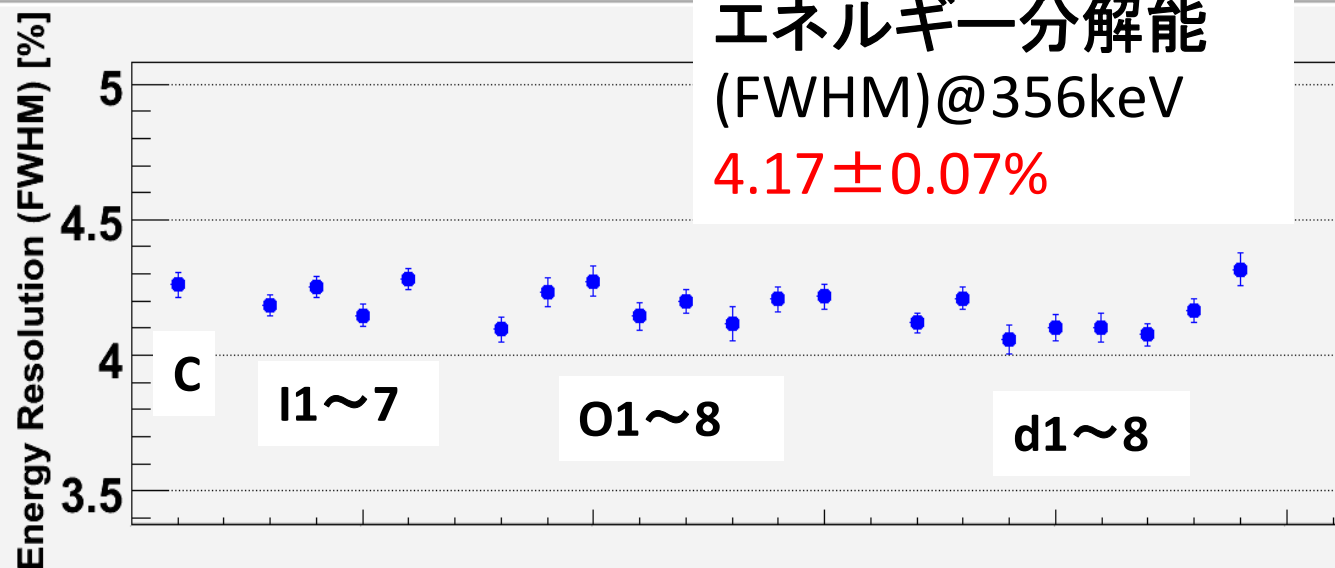
※誤差は21点のRMS



エネルギー分解能

(FWHM)@356keV

$4.17 \pm 0.07\%$

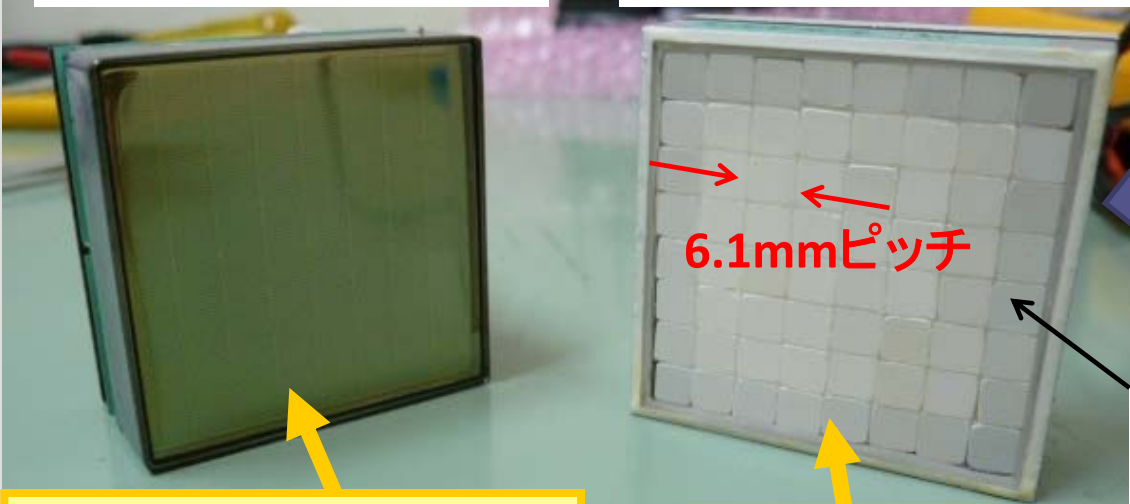


アレイを4端読み出しで測定

受光面積 $49 \times 49 \text{mm}^2$

結晶部分 $49 \times 49 \text{mm}^2$

51mm



8×8 マルチアノード PMT
浜松ホトニクス社 H8500

LaBr₃(Ce)
アレイ

窓: 石英(2.3mm厚)
ピクセル間の反射材: テフロン
アルミパッケージ: 0.5mm厚

PMTのアノードゲインの
ばらつき最大 1:2.4

ピクセルサイズ
 $5.8 \times 5.8 \times 20 \text{mm}^3$

$$x = (a + b - c - d) / (a + b + c + d)$$

$$y = (a + c - b - d) / (a + b + c + d)$$

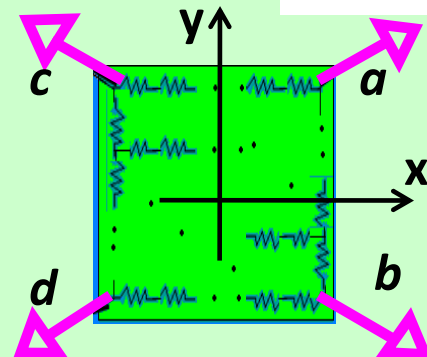
$$E = a + b + c + d$$

抵抗チェーンでの4ch読み出し

preAMP.

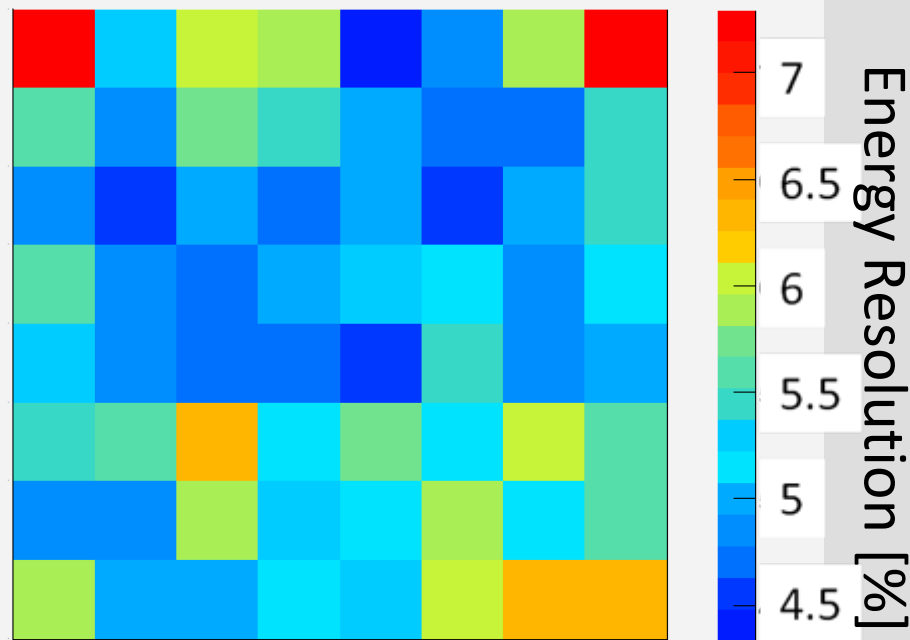
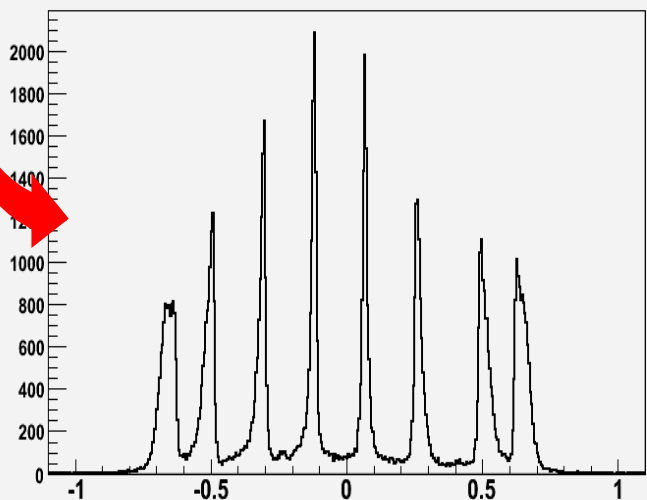
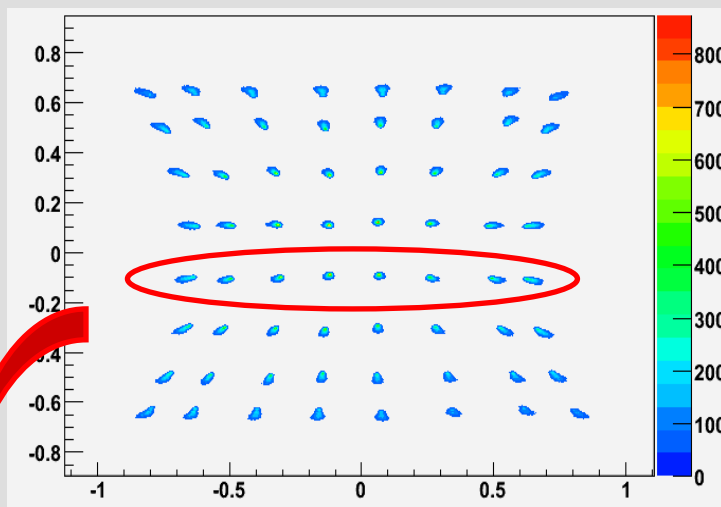
PMTの
64アノード

4ch 読み出し



ピクセル分離度とエネルギー分解能

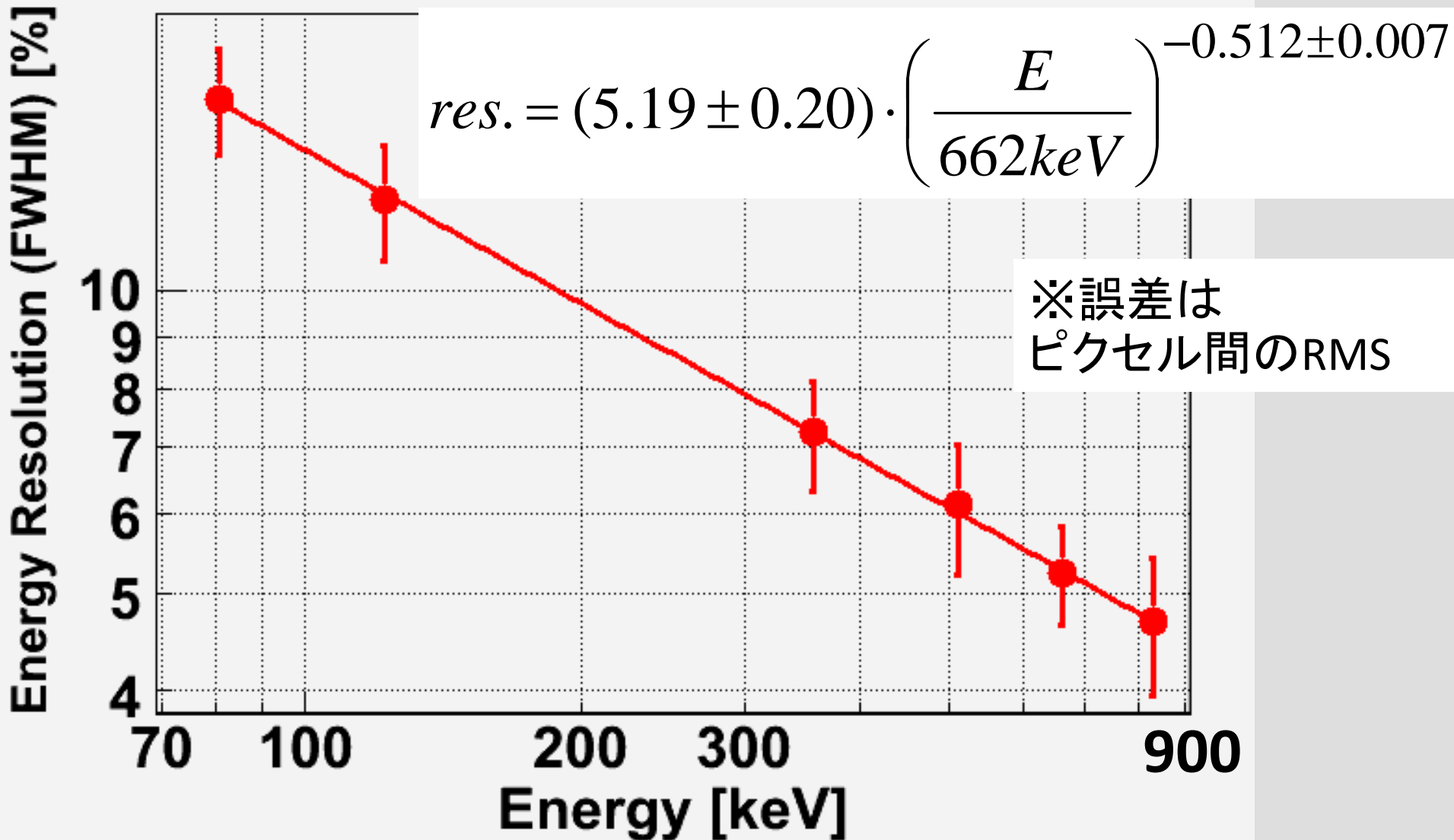
^{137}Cs (662keV)全面照射



各ピクセルのエネルギー分解能
(赤色ほど分解能悪い)

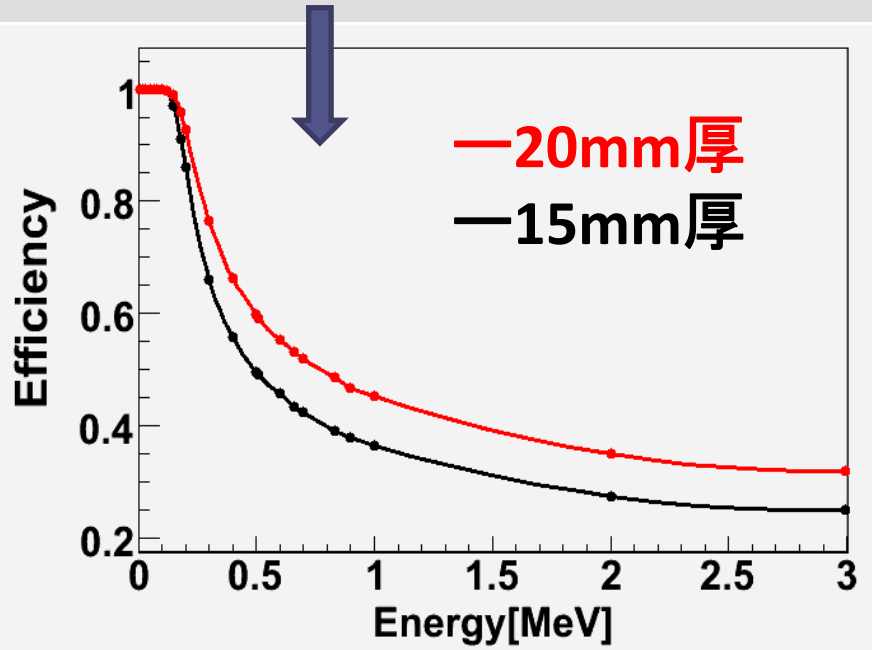
エネルギー分解能 $5.2 \pm 0.6\%$
(FWHM(全ピクセル平均))
誤差はピクセル間のばらつき

アレイのエネルギー分解能の エネルギー依存性



検出効率(15mm厚と20mm厚を比較)

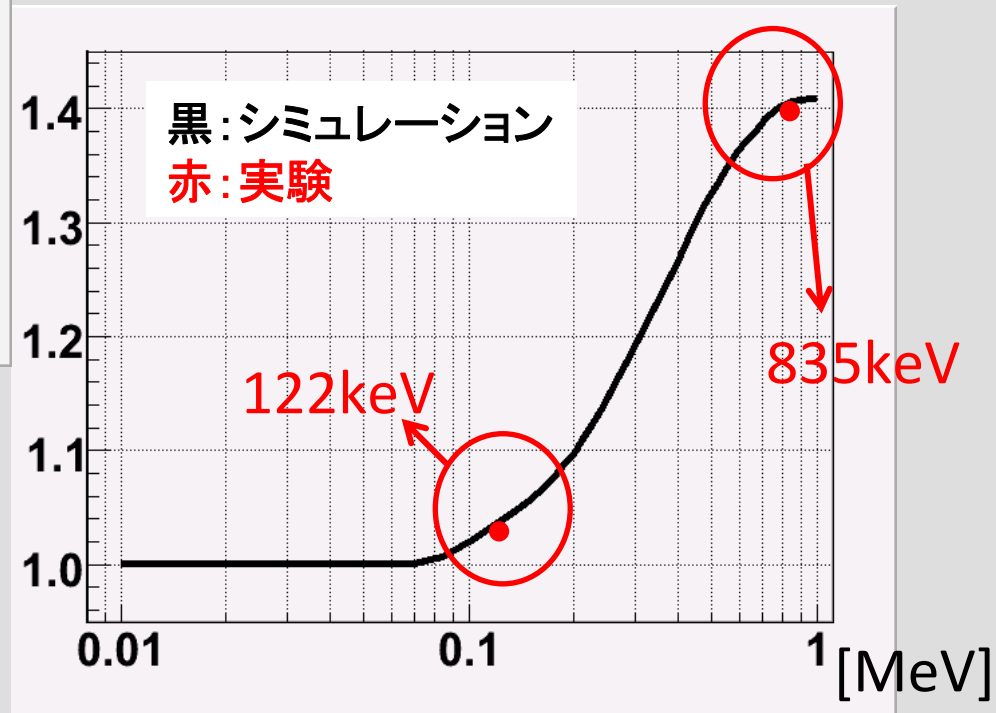
シミュレーション



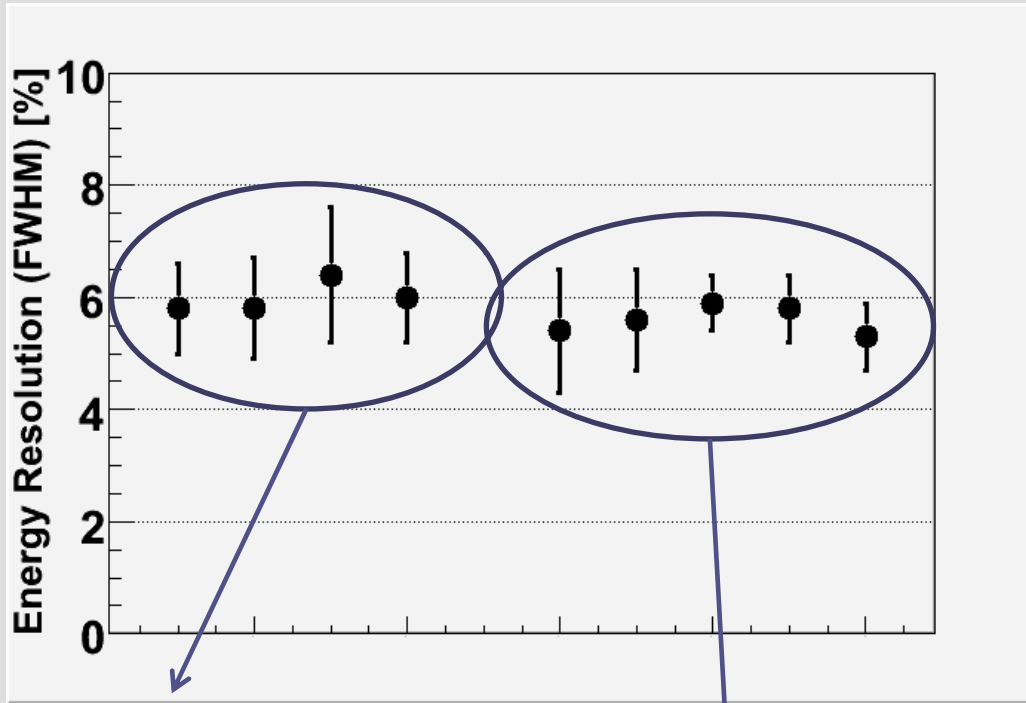
シミュレーションの仮定:

- ・アレイ全面にランダム照射
- ・アルミパッケージ無し
- ・周りに物体無し

15mm厚アレイに対する
20mm厚アレイの
検出効率の比



シンチレーションカメラの大型化



15mm厚アレイ4つ
エネルギー分解能
全ピクセル平均
 $6.0 \pm 1.0\%$ (FWHM@662keV)
(誤差はピクセル間のRMS)

20mm厚アレイ5つ
 $5.6 \pm 0.8\%$



全9アレイ
(576ピクセル)
 $5.8 \pm 0.9\%$

まとめ



- 20mm厚のLaBr₃アレイを製作
 - エネルギー分解能 $5.2 \pm 0.6\%$ (最高値)
(FWHM@662keV, 8 × 8ピクセル平均)
 - 20mm厚の5アレイ平均 $5.6 \pm 0.8\%$
 - 15mm厚の4アレイ平均 $6.0 \pm 1.0\%$
- 検出効率 **約1.4倍** (15mm厚と比較@835keV)
- シンチレーションカメラの有効面積
2倍以上に拡大 (2 × 2アレイから3 × 3アレイへ)

今後の課題

- MeV γ 線コンプトンカメラとしての評価