

LaBr₃ (Ce)アレイを用いた コンプトンカメラの開発

京大理 黒澤俊介

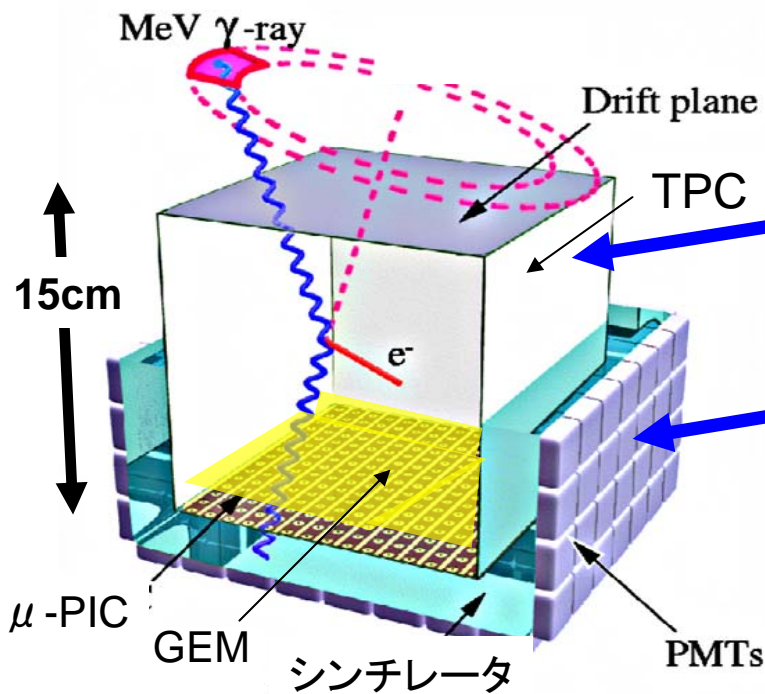
谷森達, 窪秀利, 身内賢太郎, 土屋兼一
株木重人, 高田淳史, 岡田葉子, 西村広展,
服部香里, 上野一樹, 井田知宏, 岩城智

物理学会年会 於:北海道大学
平成19年(2007年)9月21日(金)

目次

- 1、コンプトンカメラの紹介
- 2、シンチレーションアレイカメラ: GSOからLaBr₃へ
- 3、LaBr₃搭載コンプトンカメラの性能評価

我々のサブMeV・MeV ガンマ線コンプトンカメラ



ガスTPC ($10 \times 10 \times 15 \text{cm}^3$) :

コンプトン反跳電子の
三次元飛跡とエネルギーを測定
(μ -PIC, GEM使用、ガス:Ar+C₂H₆ 1atm)

シンチレーションカメラ:

散乱 γ 線の方向とエネルギーを測定
(GSO アレイ使用)

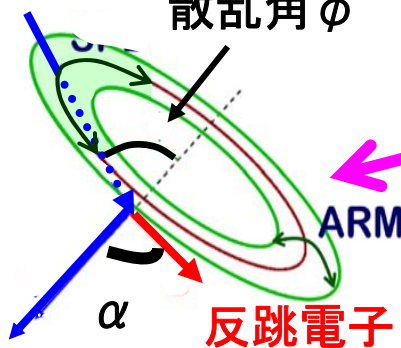
γ 線の到来方向とエネルギーを
1光子ごとに決定

コリメータがなく大立体角 ($\sim 3 \text{str}$)観測

α 角による強力なバックグラウンド除去
(運動学から求まる値と測定値を比較)

入射ガンマ線

散乱角 ϕ



散乱ガンマ線

現在の角度分解能: 6.4° @662keV
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.

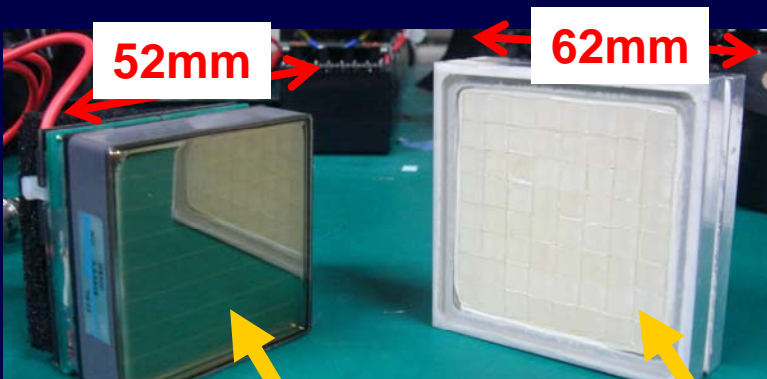
GSOアレイ: $\sim 10.5\%$ @662keV

シンチレータ: GSO (Ce) から LaBr₃ (Ce) へ

LaBr₃ (Ce) の特徴

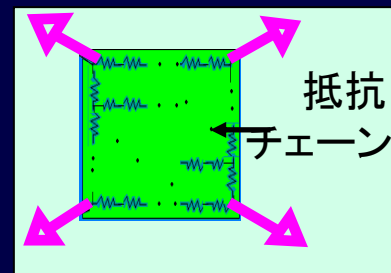
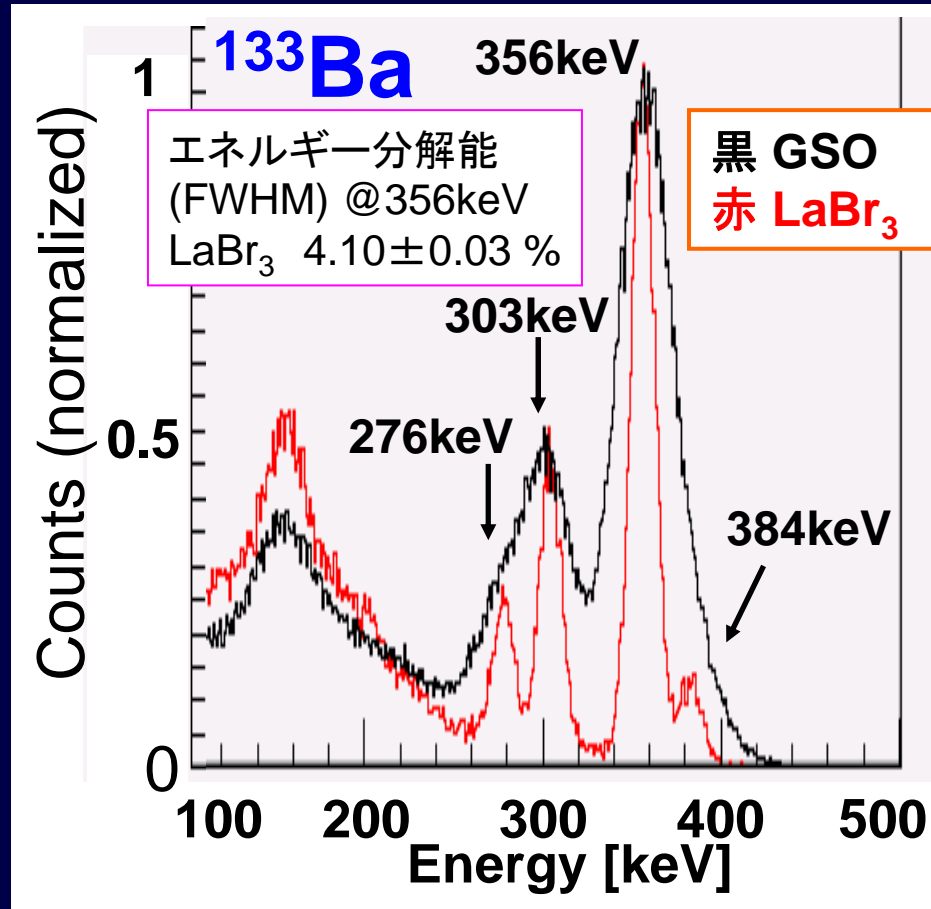
- ・エネルギー分解能が大変良い
~3% @662 keV, FWHM
(シングルアノード PMT測定)
- ・発光量が多い NaI(Tl) の約1.6倍,
GSOの約8倍
- ・decay time が早い ~25nsec
- ・潮解性がある

サンゴバン社から購入したLaBr₃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



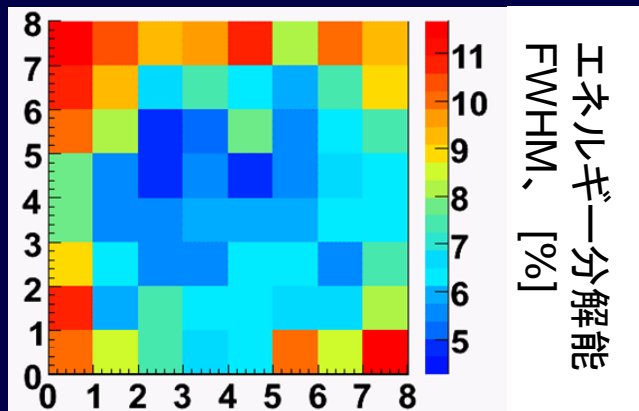
8 × 8 マルチアノード PMT
浜松ホトニクス社 H8500

LaBr₃
アレイ



抵抗分割4端読み出し、
重心演算
(GSOアレイと同じ)

アレイのエネルギー分解能 (FWHM)



GSO: $10.4 \pm 0.2\%$
 LaBr₃全ピクセル: $6.4 \pm 0.2\%$ @662keV
 除く外周一列: $5.4 \pm 0.3\%$

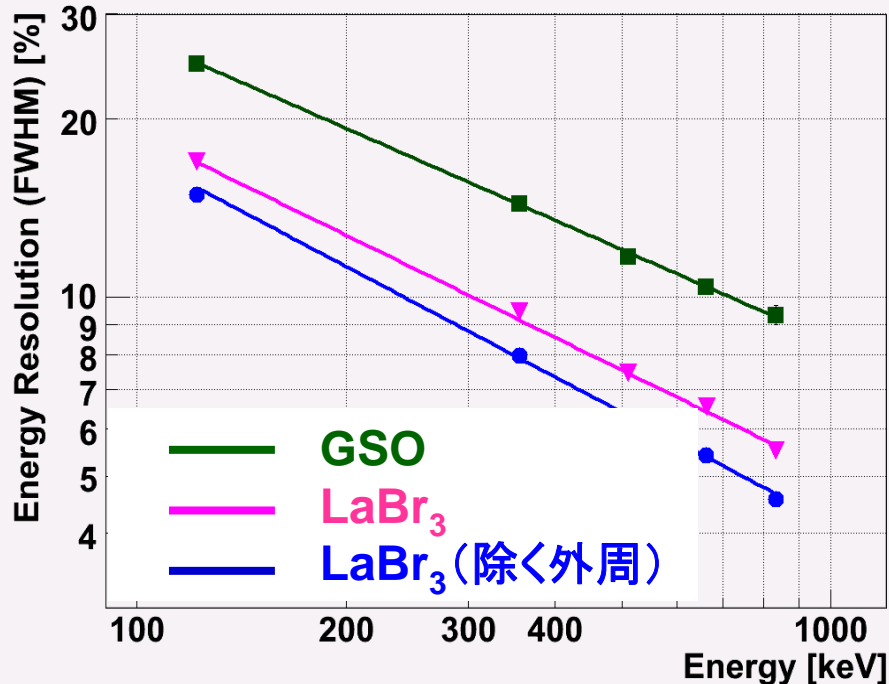
LaBr₃ アレイの外周一列はパッケージの構造上、光漏れが起こり、分解能が低下

LaBr₃ アレイ、¹³⁷Cs全面照射
 各ピクセルのエネルギー分解能

$$\text{res.} = (10.4 \pm 0.8) \times (E/662\text{keV})^{-0.51 \pm 0.01}$$

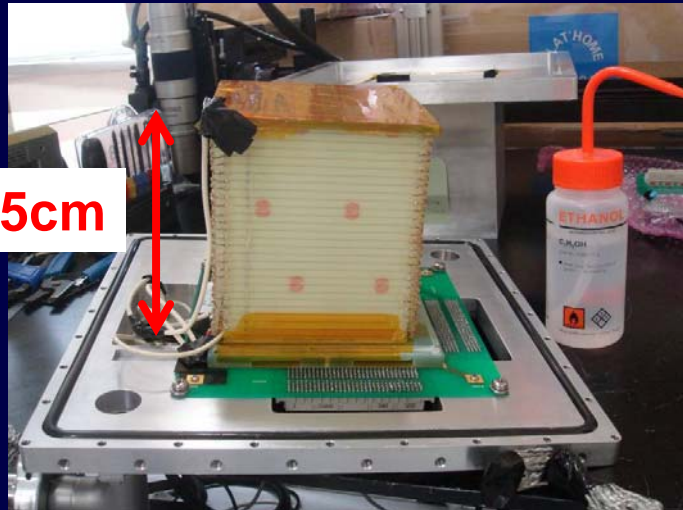
$$\text{res.} = (6.42 \pm 0.05) \times (E/662\text{keV})^{-0.57 \pm 0.01}$$

$$\text{res.} = (5.39 \pm 0.02) \times (E/662\text{keV})^{-0.62 \pm 0.01}$$



各ピクセルごとの分解能 (FWHM) の平均とエネルギーとの関係

ガスTPCの性能

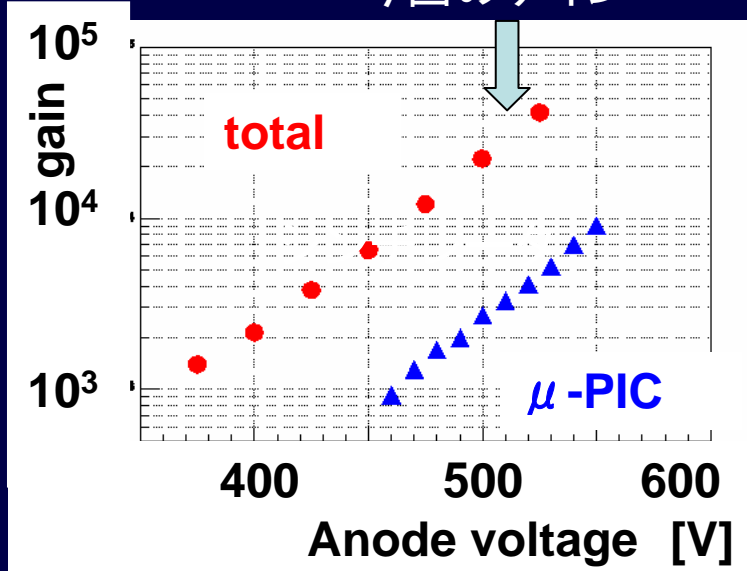


15cm

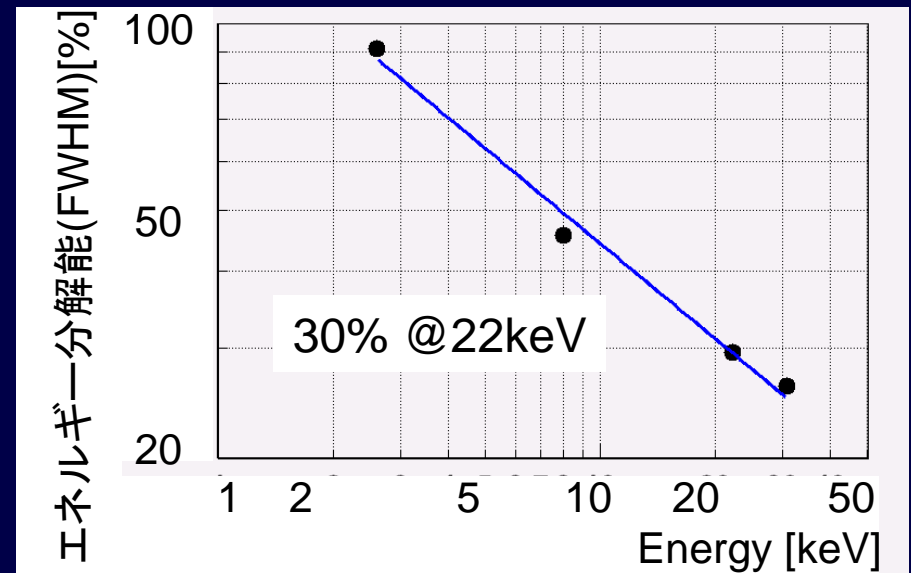
TPC全景

- size: $10 \times 10 \times 15 \text{ cm}^3$
- gas: Ar(90%) + C₂H₄(10%) 1atm
(封じきり)
- gain: ~30000
(μ -PIC 3000倍, GEM 10倍)
- drift: FPGA 100MHz clock
- 電場: 0.4 kV/cm (drift)
2.5 kV/cm (GEM - μ -PIC 間)
- 位置分解能:
drift 方向 ~ 0.6 mm
 μ -PIC 面方向 ~ 0.4 mm

今回のゲイン

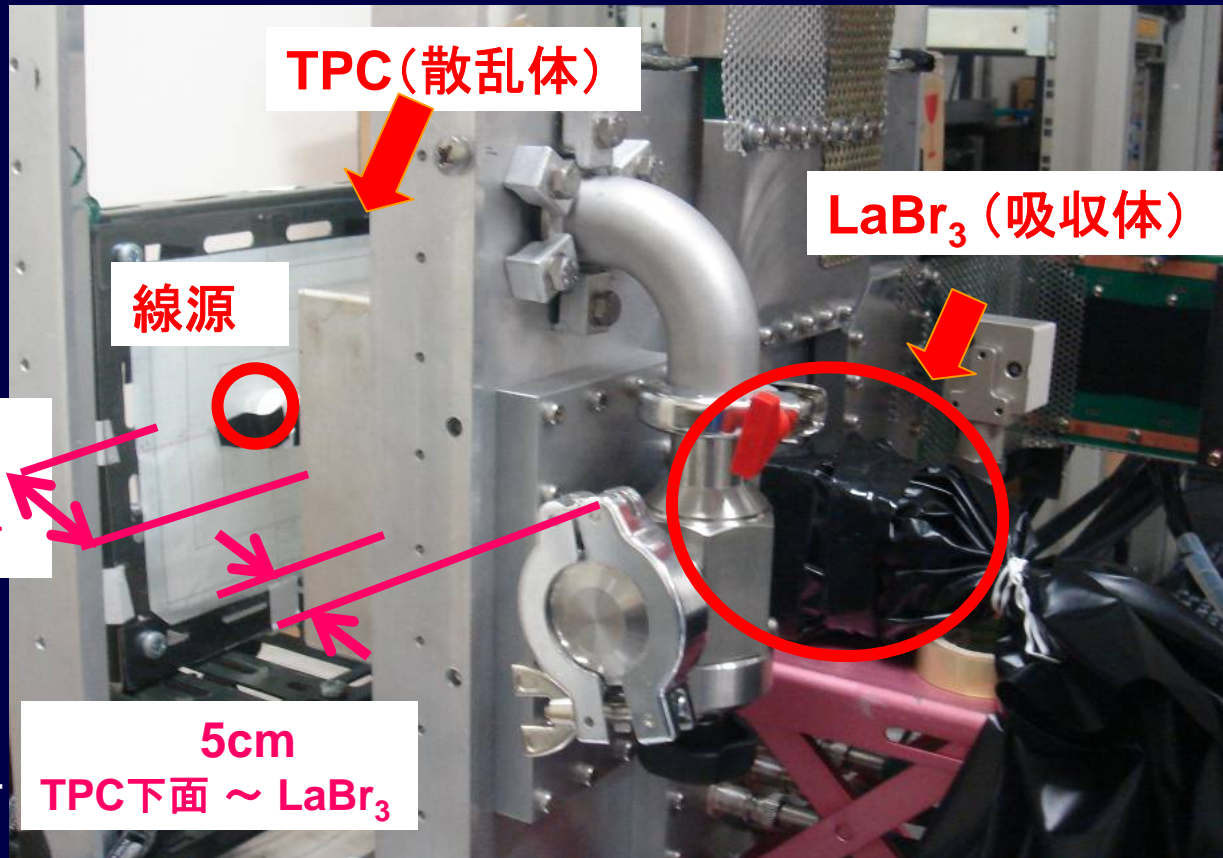


アノード印加電圧とゲインの関係

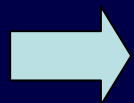


TPCのエネルギー分解能のエネルギー依存性

コンプトンカメラのセットアップ



シンチレータの
トリガーヒット

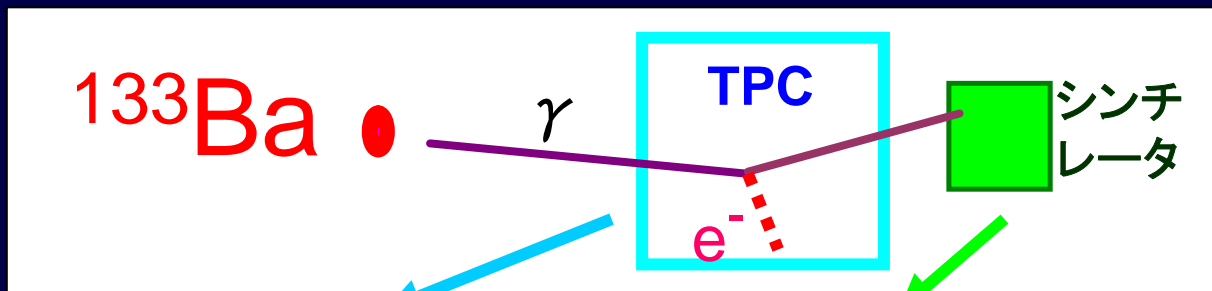


TPC の FADC データ
を収集開始

※8 μ sec までにTPC ヒットが
なければリセット

ダイナミックレンジ: 100—1000keV
Efficiency: $\sim 10^{-6}$ @ 662 keV

エネルギースペクトル



(反跳電子エネルギー)

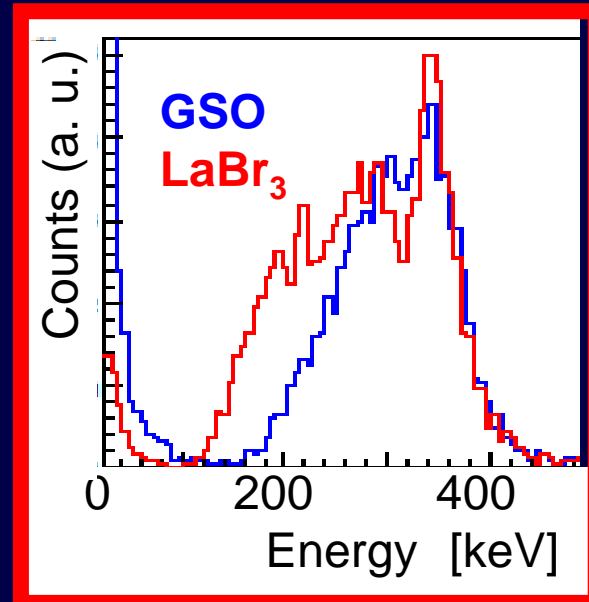
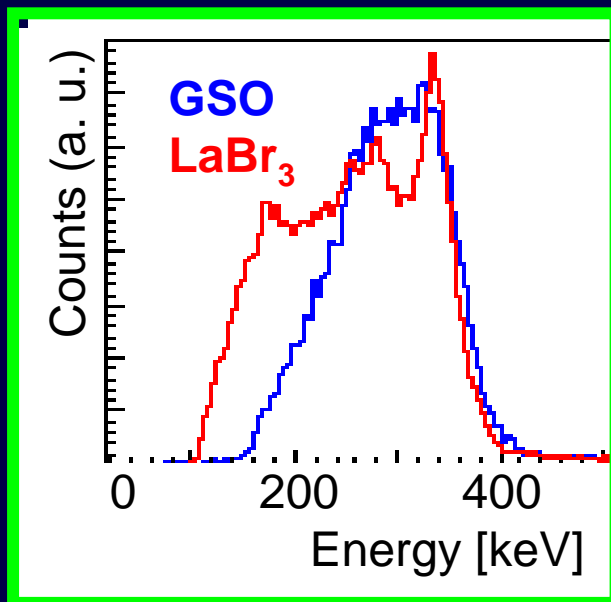
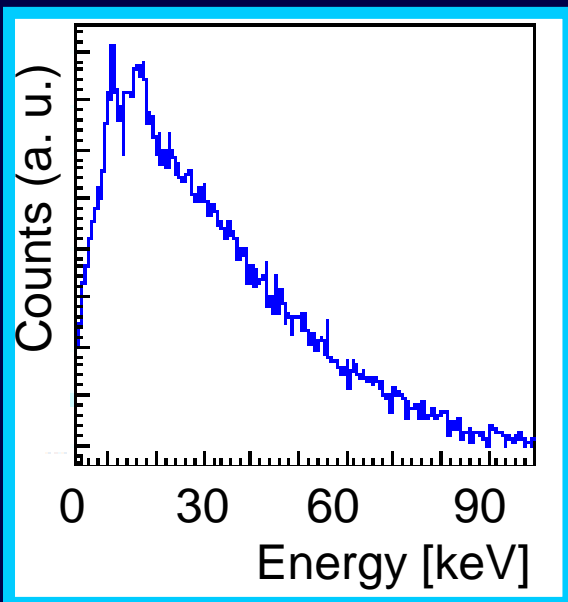
+ (散乱ガンマ線エネルギー)

= (入射エネルギー)

TPC

シンチレータ

シンチレータ+TPC



GSO→LaBr₃: 高いエネルギー分解能で散乱ガンマ線を捕らえることが可能になり、
入射ガンマ線の分解能も向上

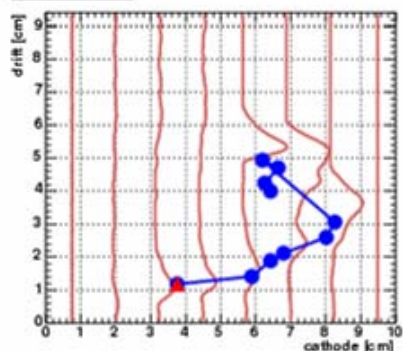
再構成イメージ

E_γ : 485.9 keV
 K_e : 138.1 keV
 E_0 : 624.0 keV

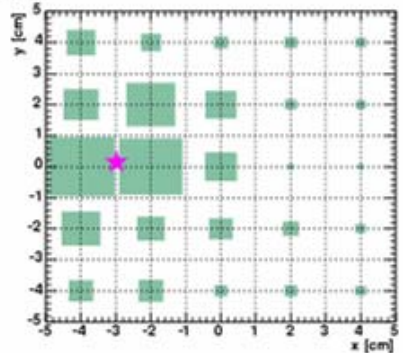
$\alpha = 90.78^\circ$
 $\phi + \psi = 91.02^\circ$
 $\phi = 39.89^\circ$
 $\psi = 51.13^\circ$

●: source position
★: reconstructed
▲: Compton point
■: NaI hit

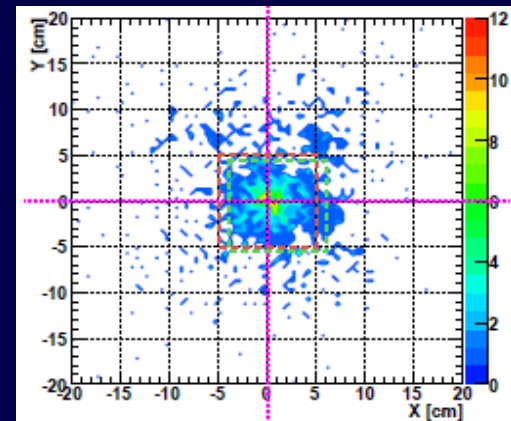
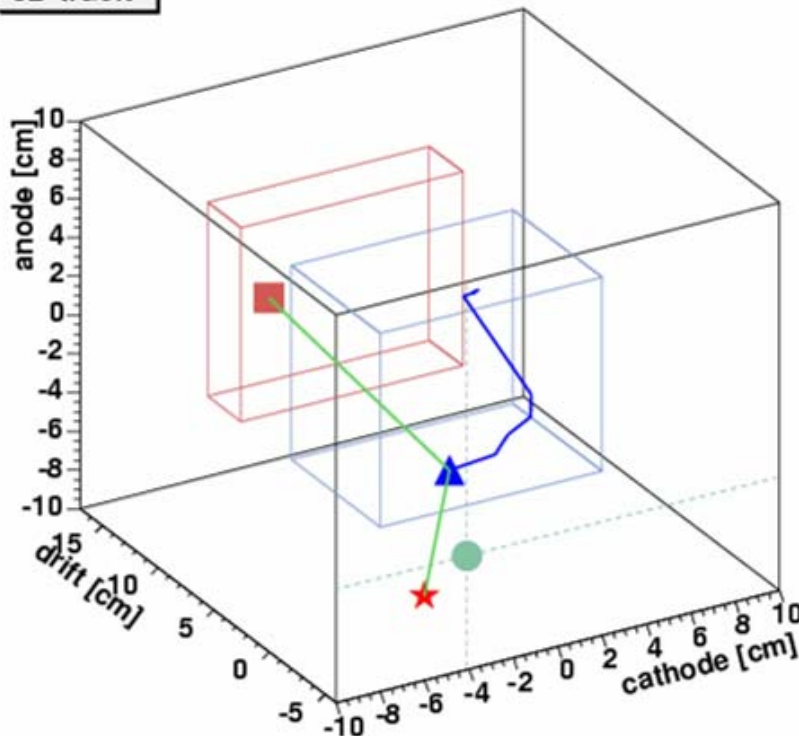
cathode-drift



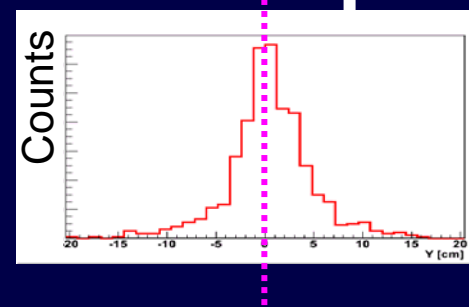
NaI



3D track



^{133}Ba をTPC全面照射
 したときのイメージ



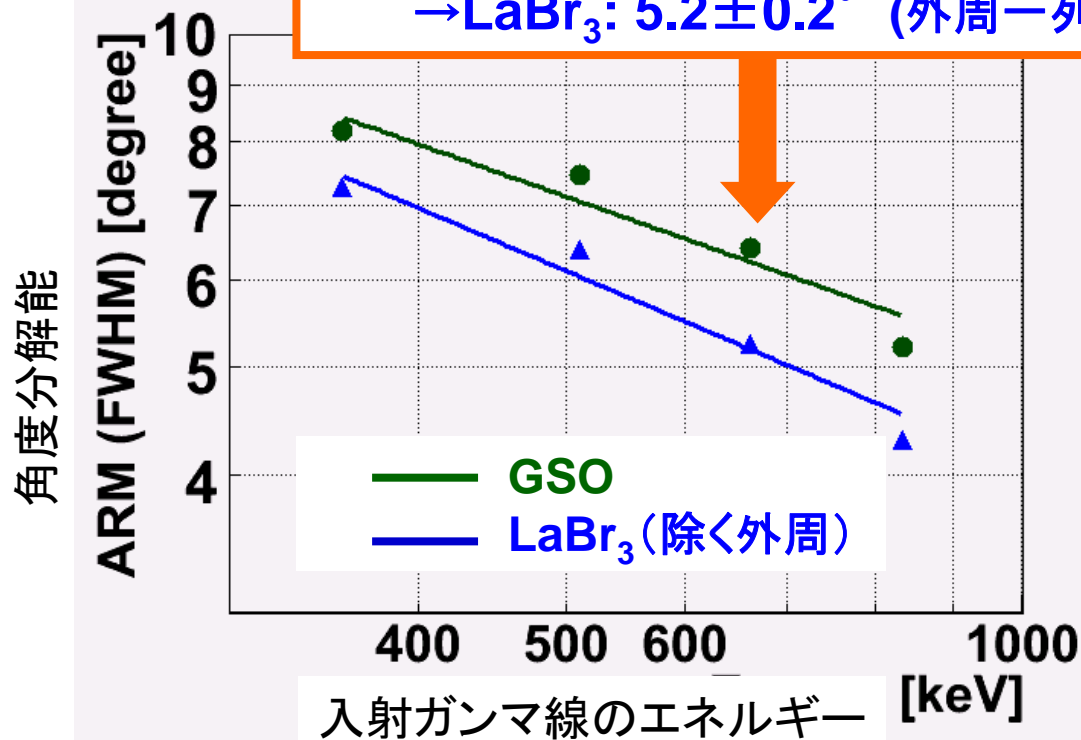
横方向のプロジェクション

電子のトラッキング

入射ガンマ線の角度分解能の評価

GSO: $6.4 \pm 0.2^\circ$ @662keV

→LaBr₃: $5.2 \pm 0.2^\circ$ (外周一列を除く)



計算上はLaBr₃使用で
2.8° (FWHM)を達成。

σ_s : シンチレータからのARM
上限 (今回のLaBr₃ のとき2.8°)

σ_T : TPCなどの他のものによるARMへの寄与

σ_r : 今回の結果

$$\sigma_r^2 = \sigma_T^2 + \sigma_s^2$$

→ $\sigma_T \sim 4.4^\circ$

→ TPCなどでARMを約4°
制限

角度分解能の向上に成功

まとめ

- コンプトン反跳電子の3次元飛跡を測定する μ -PIC・GEM ガス TPC($10 \times 10 \times 15 \text{ cm}^3$) とシンチレータアレイを用いたガンマ線 コンプトンカメラの開発をした。
- 散乱ガンマ線の吸収体を既存のGSOアレイから高いエネルギー分解能を持つLaBr₃アレイに交換して性能を評価した。
- LaBr₃アレイはわれわれ独自の製法で組み立て、エネルギー分解能 $5.8 \pm 1.0\% @ 662 \text{ keV}$ (FWHM) (除く外周1列)を達成。
- コンプトンカメラの角度分解能(FWHM):
GSOを用いた場合: $6.4 \pm 0.2^\circ$ → LaBr₃: $5.2 \pm 0.2^\circ$ まで向上

今後の課題

- 光漏れ対策・分解能向上のため、アレイのパッケージなどを改良した方法で LaBr₃ のアレイ化。
- コンプトンカメラの検出効率向上のため、LaBr₃ アレイを複数台へ
- TPC側の改良
 - $30 \times 30 \times 15 \text{ cm}^3$ (株木講演 24aZjJ-4)、 $30 \times 30 \times 15 \text{ cm}^3$ 立ち上げ中
 - 密封ガスの種類の検討など

おしまい

ご清聴ありがとうございます