

軟ガンマ線観測用位置検出型 シンチレーション検出器の開発

青井敏浩(広大理)、木原邦夫、平澤歩、
森井義道、富永慎弥、深沢泰司

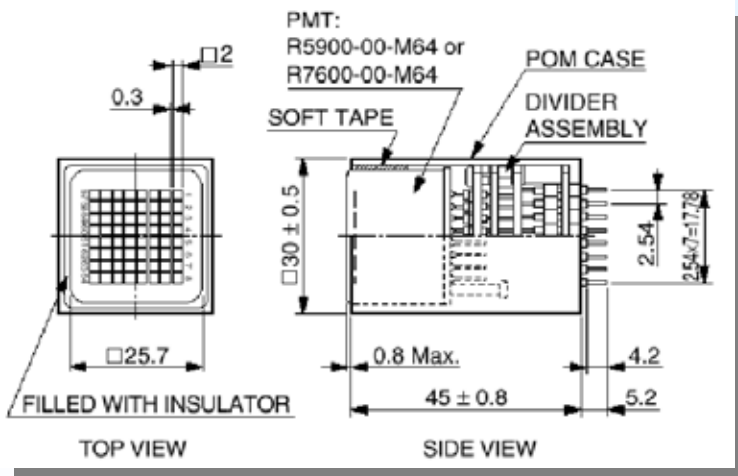
本研究の目的

構成した位置検出型シンチレーション検出器のコンプトンカメラの吸収体部分としての可能性を探るため、実際に散乱体と組み合わせ撮像能力の検証する。

フォトダイオード(PD)で検出できるのは、100keV付近が限界であり、それ以上のエネルギーではシンチレータを使用する必要がある。この研究では、MeV領域で5°の角分解能を目指す。

高阻止シンチレータ(GSO,BGO...)と64chPMTを組み合わせた位置検出型シンチレーション検出器の性能評価

検出器のノイズレベルの評価、及び位置決定精度の検証。



アノード(信号出力端子)が
8×8(計64本)のピクセル状
に配置

高速応答が可能

64chPMT+シンチレータ検出器の性能評価

読み出し系のセットアップ



64chプリアンプ

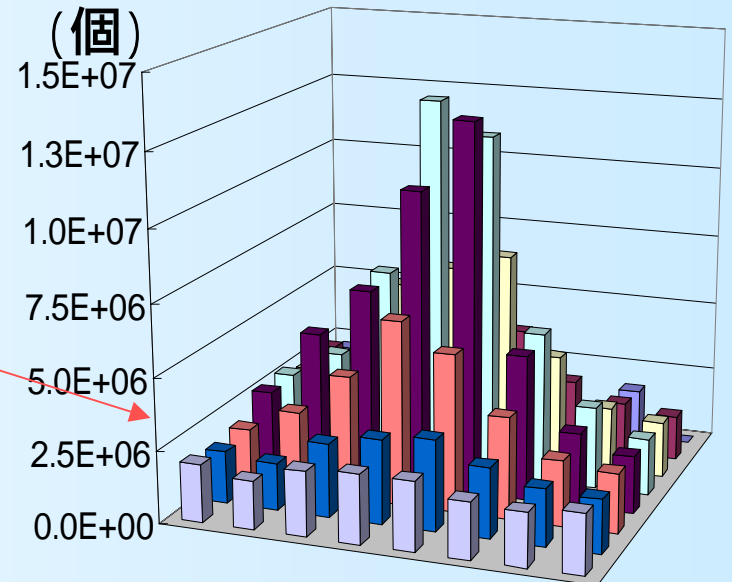
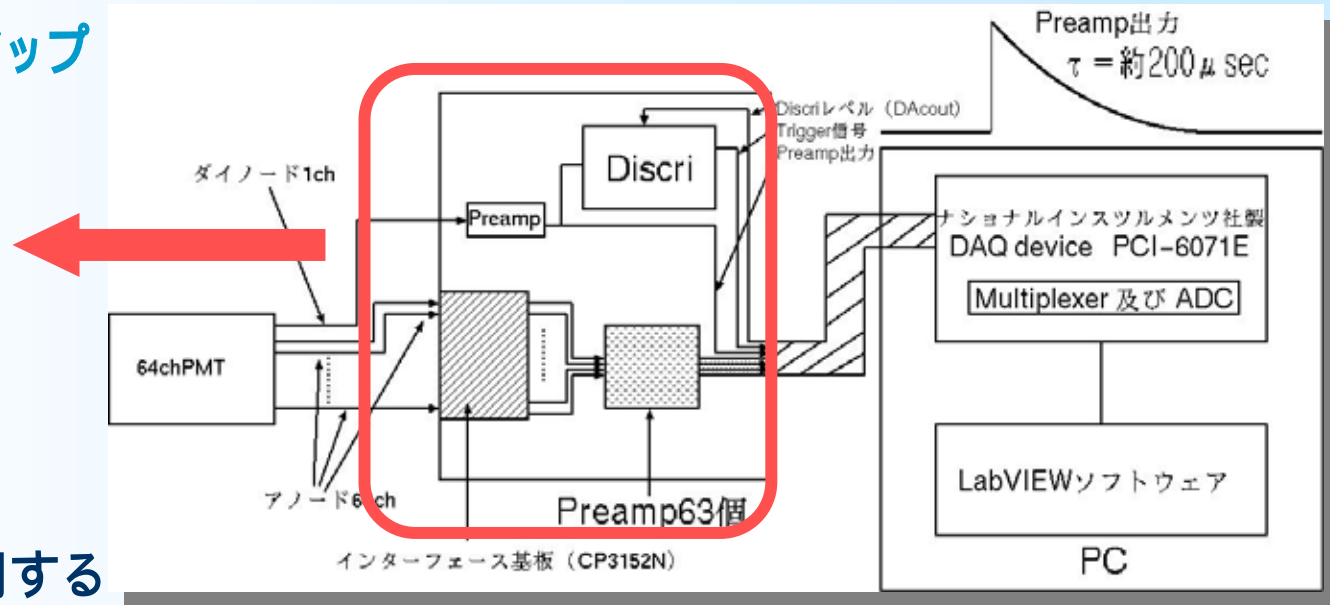
読み出しにLSIを使用する準備を進めている

64chPMTのノイズレベルの評価

アノード1本に出力されるノイズに関する電子数の測定 $\sim 3.1 \times 10^6$ 個



ガンマ線入射位置の信号は、ノイズ埋もれることなく検出できる。



100keVの信号の電子数の測定 (GSO)

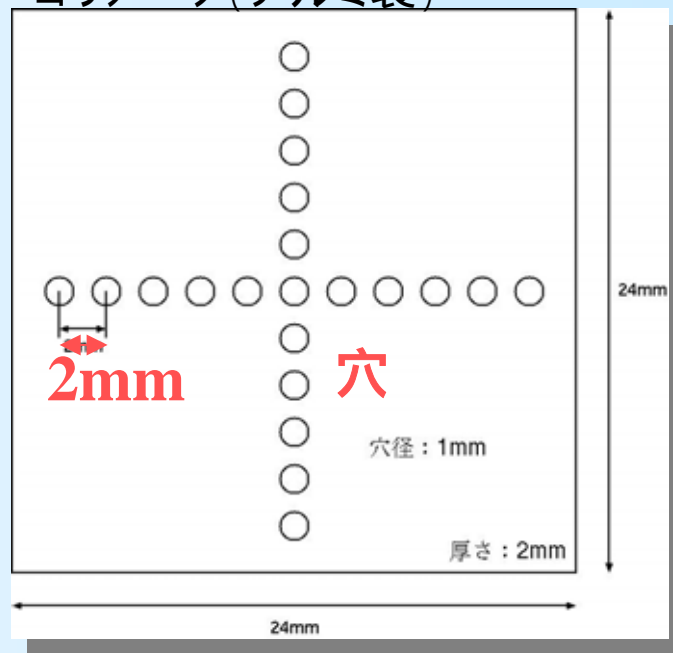
線を用いた位置分解能の測定 (24mm × 24mm × 5mm GSO使用)

入射位置の決定方法

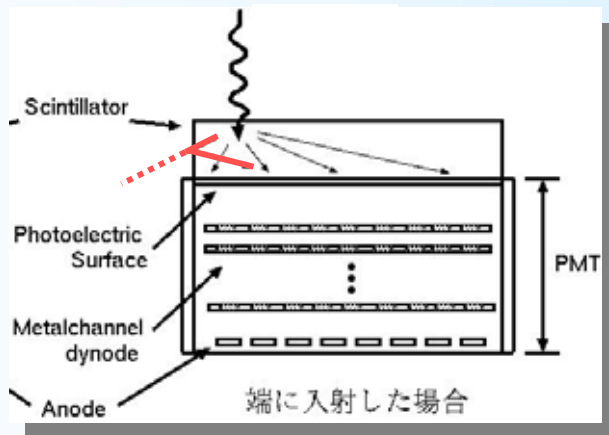
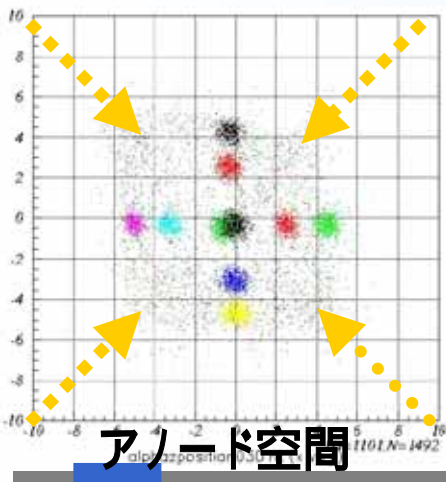
$$\vec{X} = \frac{\sum_i (P_i / G_i)^2 \cdot \vec{x}_i}{\sum_i (P_i / G_i)^2}$$

P_i : 各アノードのパルス高さ
 G_i : 相対ゲイン比
 x_i : 各アノードの実位置

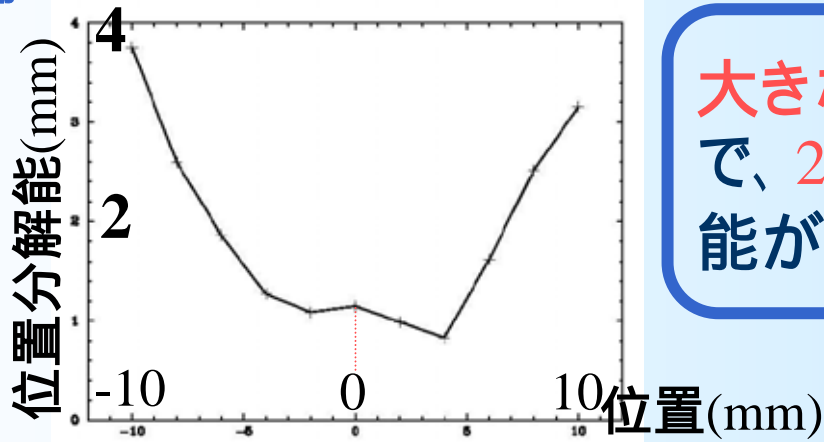
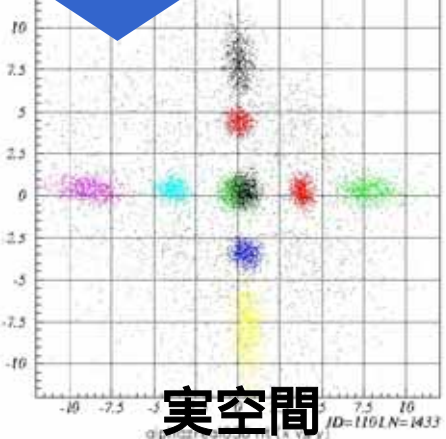
コリメータ(アルミ製)



結果



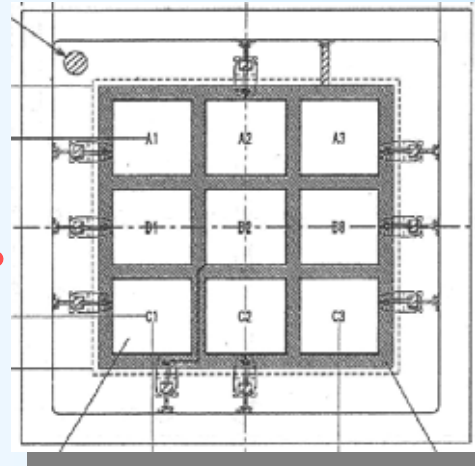
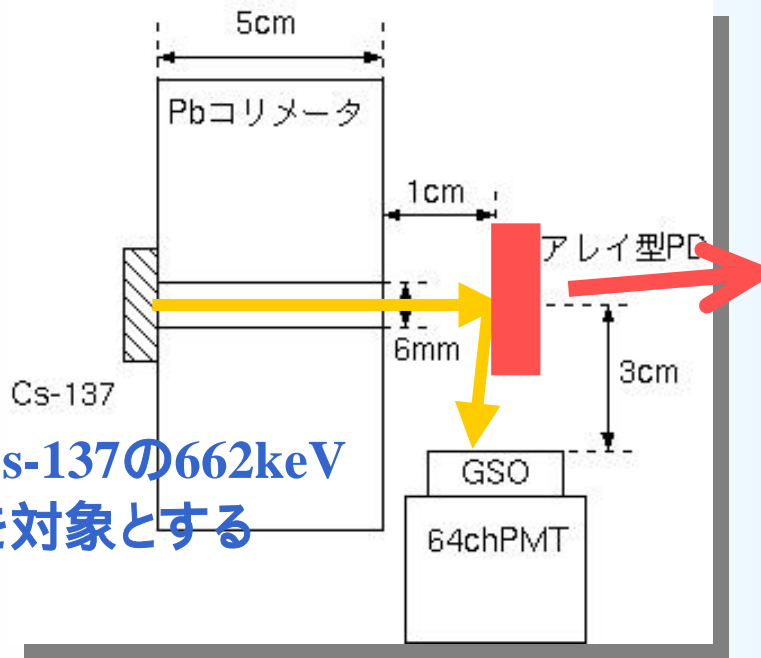
リニアリティ補



大きな結晶シンチレータで、2mm程度の位置分解能があることがわかった。

64chPMT+PDarrayによるガンマ線コンプトンイメージング

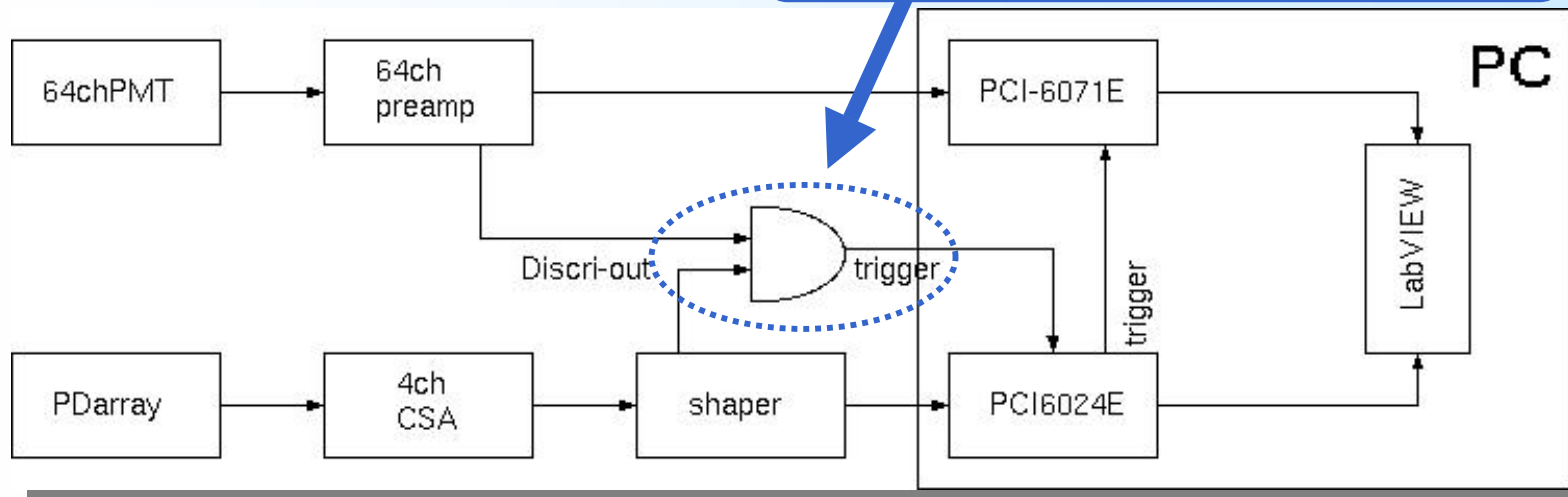
セットアップ



3 × 3 PIN-PD(SPL-PD type B)

散乱体としては、位置、エネルギー分解能が優れたものが良いが、今回は、9chフォトダイオード(PD)で代用

データ収録の流れ



ガンマ線イメージの性能の簡単な予想

実際の検出位置から求めた散乱角: θ_{geo}

コンプトン散乱の運動学から求めた散乱角: θ_{theo}

$$\theta = \theta_{geo} - \theta_{theo} \quad \leftarrow \text{理想的にはゼロ}$$

とすると、

$$\Delta\theta \approx \sqrt{(\delta\theta_{geo})^2 + (\delta\theta_{theo})^2}$$

は角分解能を表し、ガンマ線イメージの性能を表す指標となる。

θ_{geo} : θ_{geo} のゆらぎ

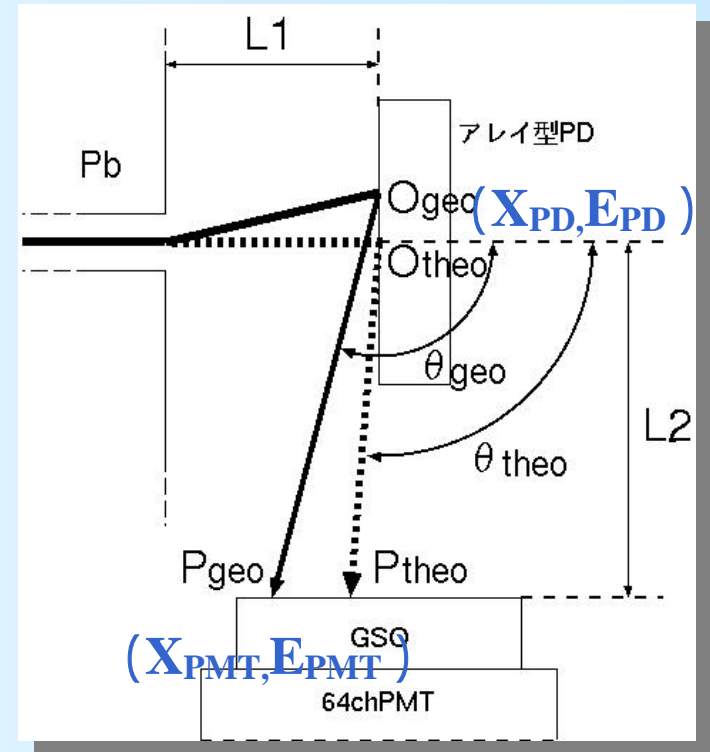
$$\delta\theta_{geo} \approx \sqrt{\left(\frac{\Delta X_{PD}}{L_2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta X_{PMT}}{L_2}\right)^2}$$

\leftarrow 位置分解能に依存

θ_{theo} : θ_{theo} のゆらぎ

$$\delta\theta_{theo} \approx \sqrt{\left(\frac{\Delta E_{PD}}{E_{PD}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta E_{PMT}}{E_{PMT}}\right)^2}$$

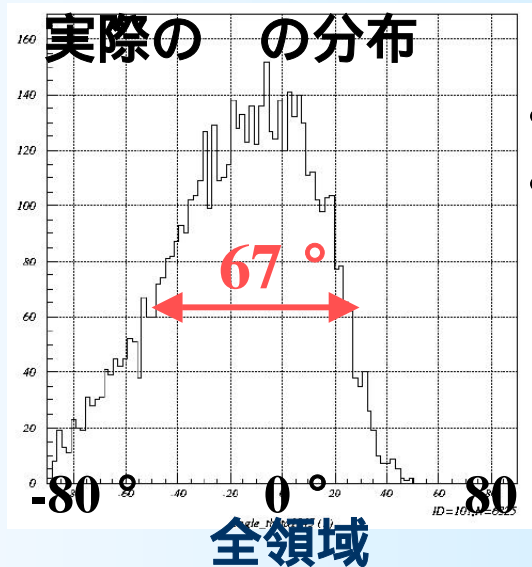
\leftarrow エネルギー分解能に依存



イメージの性能は、散乱体 (PD) と吸収体 (64chPMT) の位置分解能及びエネルギー分解能に依存する。

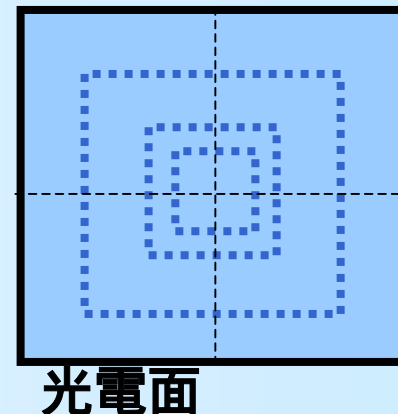
予想結果

	$\frac{\Delta E_1}{E_1}$	$\frac{\Delta E_2}{E_2}$	$\delta\theta_{theo}$
θ_{theo}	0.03	0.31	18°
	$\frac{\Delta X_{PD}}{L_2}$	$\frac{\Delta X_{PMT}}{L_2}$	$\delta\theta_{geo}$
θ_{geo}	0.17	0.33	21°
$\Delta\theta$	-	-	27°



予想結果との違いの原因

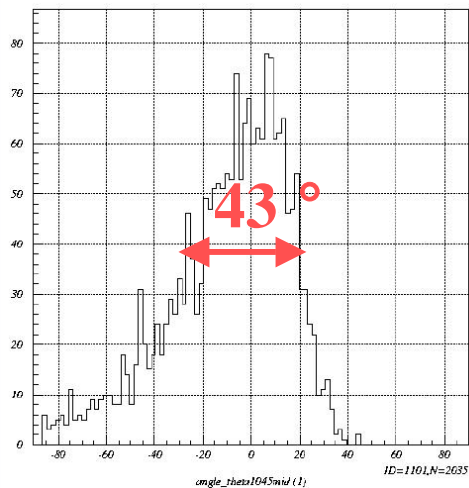
- 90° 散乱のみを仮定
- 光電面の端の方で位置分解能が悪い



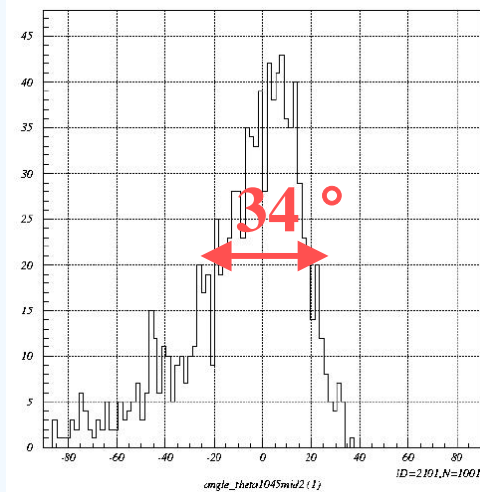
角分解能の改善

光電面のより狭い領域で検出されたイベントのみを抜き出す。中心ほど位置分解能がよいため、

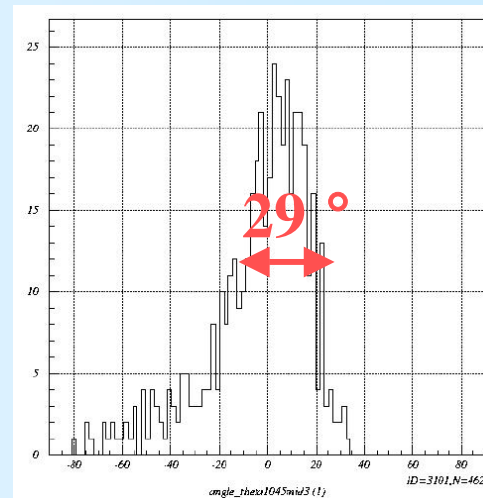
θ_{geo} が小さくなる。



10mm × 10mm 領域



6mm × 6mm 領域

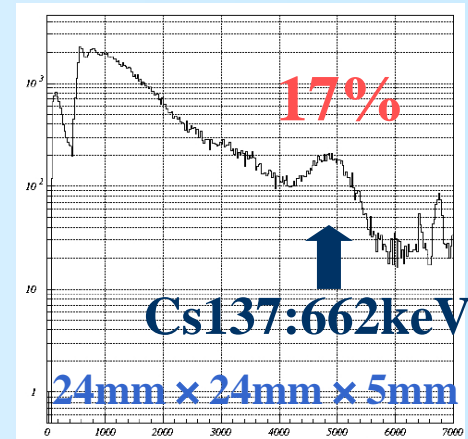


5mm × 5mm 領域

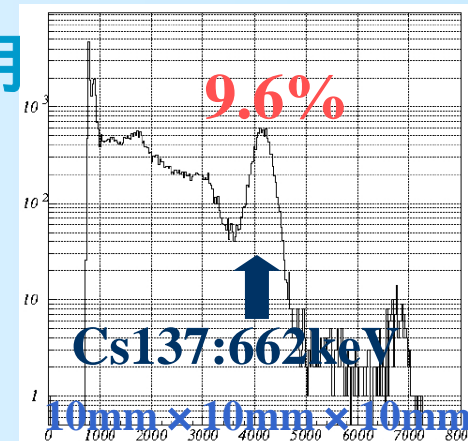
64chPMTのエネルギー分解能の改善

エネルギー分解能を改善することで σ_{theo} が小さくなり、
角分解能 が向上する。

24mm × 24mm × 5mmのGSOシンチレータの使用
光電面 (18.1mm × 18.1mm) に対してGSOが大きすぎる
ため分解能が低下すると考えられた。



10mm × 10mm × 10mmのGSOシンチレータの使用
分解能9.6%と本来期待される7% (M.Kapusta et al.)
に及んでいない。



⇒ シンチレータ以外に分解能を低下させる
要因があると考えられる。

低温 (-20 °) での測定

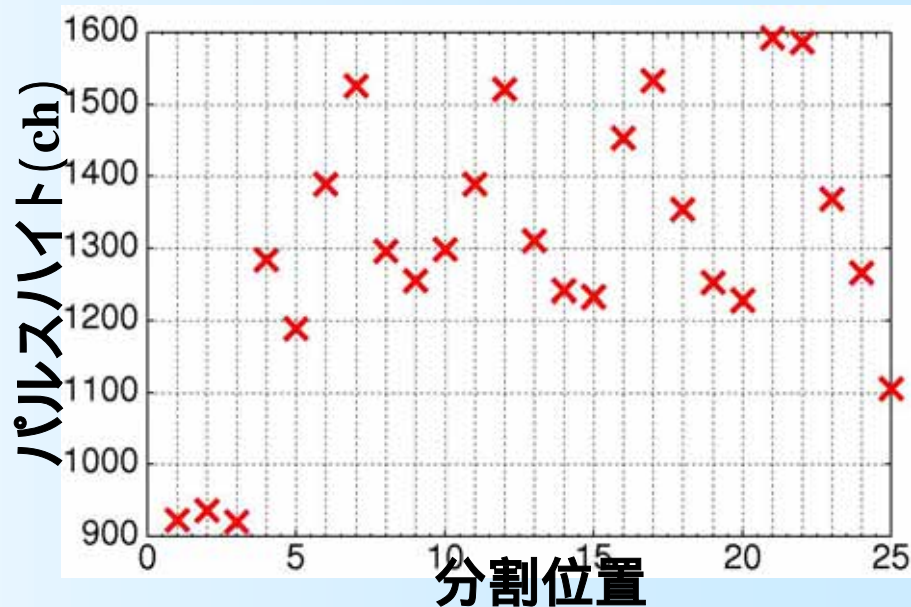
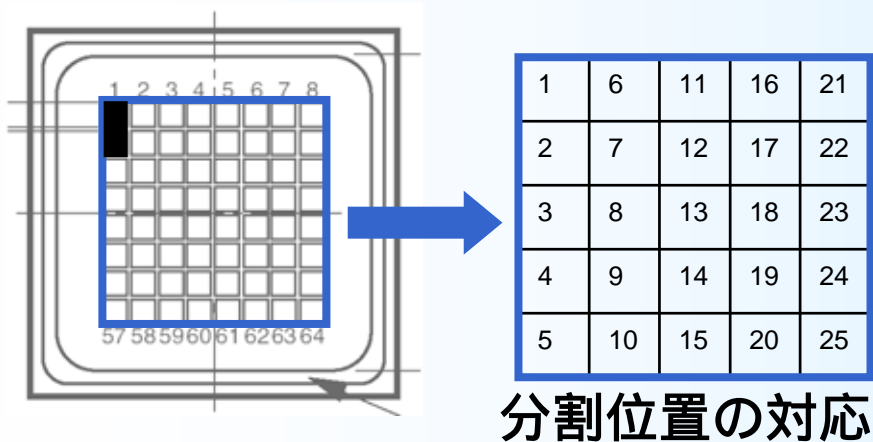
低エネルギー側の熱ノイズが減少した。しかし662keVの分解能には影
響しない。

ピークホールド回路の使用
あまり変化は見られない。

⇒ PMTそのものに分解能低下の原
因があると考えられる。

位置によるエネルギー分解能の違い

光電面を25分割し、それぞれの領域にLED光(2mm × 2mm)を入射し、位置によるパルスハイト及び分解能の違いを調べる。

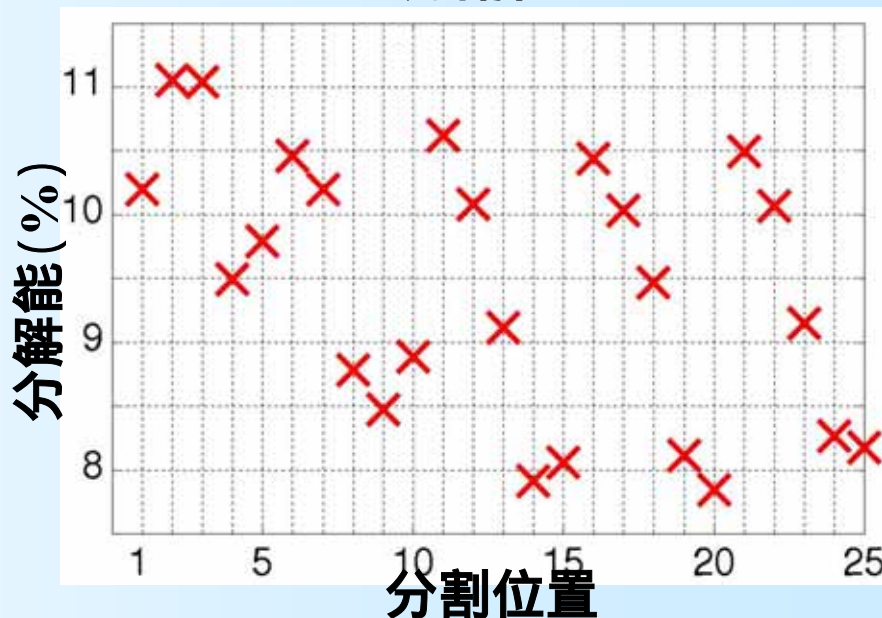


位置によってパルスハイト及び分解能にばらつきがみられる。



位置によって増幅率及び電子収集率が異なるためであると考えられる。

これについては、浜松ホトニクスと検討していく。



まとめ

観測した角分解能はコンプトンカメラとしての性能には不十分である。角分解能を悪化させる原因として、64chPMTのエネルギー分解能の影響が極めて大きい。そこで、分解能を改善するためのさまざまな検証を行った。結果、位置による増幅率及び電子収集率のばらつきがかなりあることがわかった。

今後について

- 64chPMTの増幅率、電子収集率のさらなる検証
- PMTの信号読み出し回路のコンパクト化(LSIの使用)
- シリコンストリップ検出器を散乱体を使用

などを行い、角分解能 $\sim 5^\circ$ を目指す。