

V-335-a 日本天文学会2022秋季年会

*MeV*ガンマ線観測への 応用に向けたSOIピクセル 検出器の基礎特性試験

広島大学

先進理工学研究科 M1 橋爪大樹

須田祐介 深澤泰司(広島大学) 鶴剛(京都大学) 武田彩希(宮崎大学)

Introduction

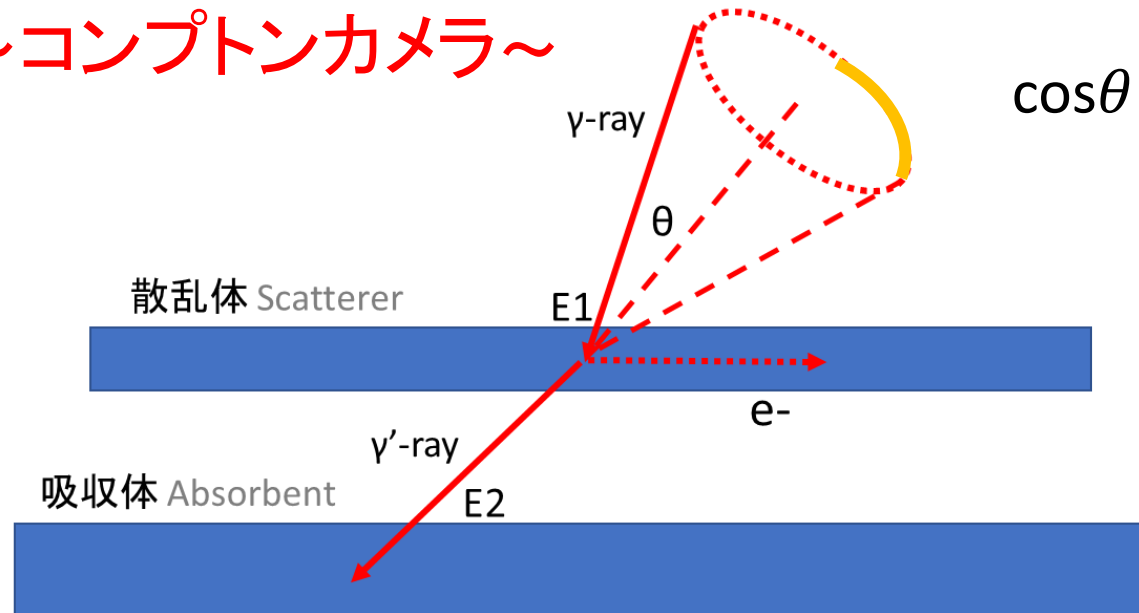
～MeVガンマ線天文学～

- ・ 開拓されていない波長帯
- ・ マルチメッセンジャー天文学への貢献



MeV領域の新しい衛星、検出器が必須

～コンプトンカメラ～

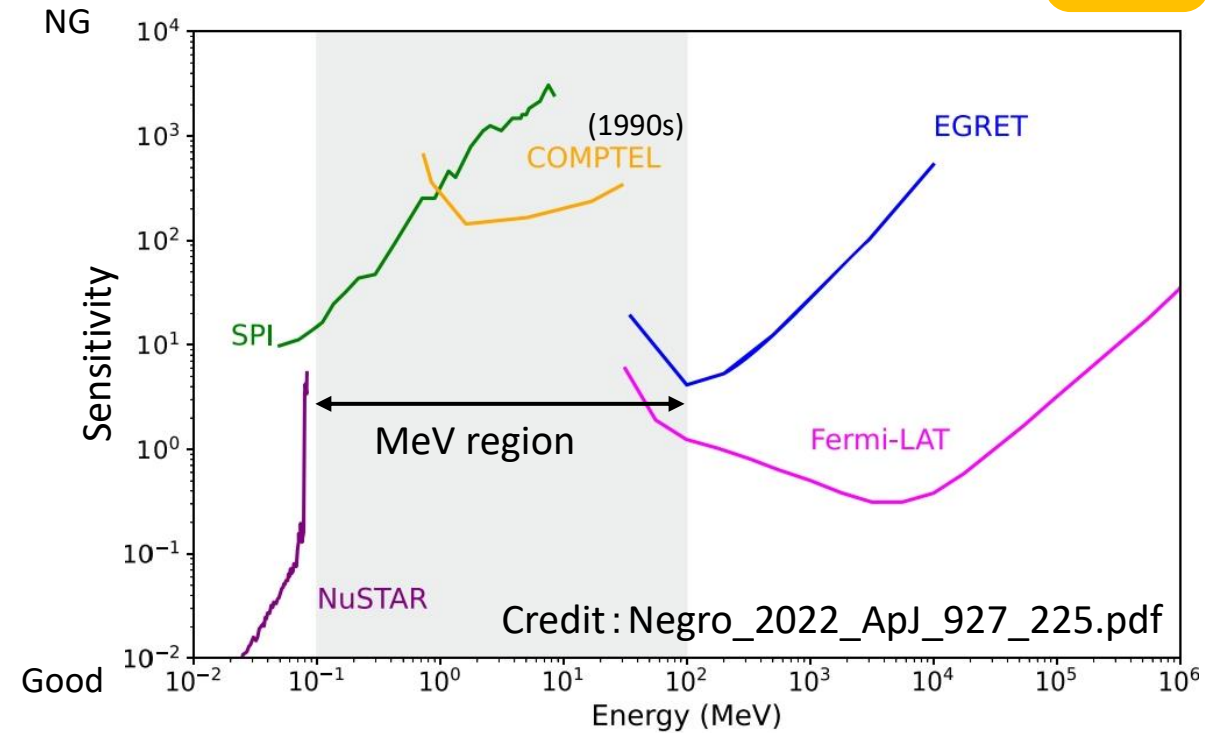


$$\cos\theta = 1 - mc^2 \left(\frac{1}{E_2} - \frac{1}{E_1} \right)$$

- 優れた
- ・ エネルギー分解能
 - ・ 位置分解能
- が必要



ピクセル検出器が有効



Introduction

～使用素子～

イベント駆動型SOIピクセル検出器「XRPIX」

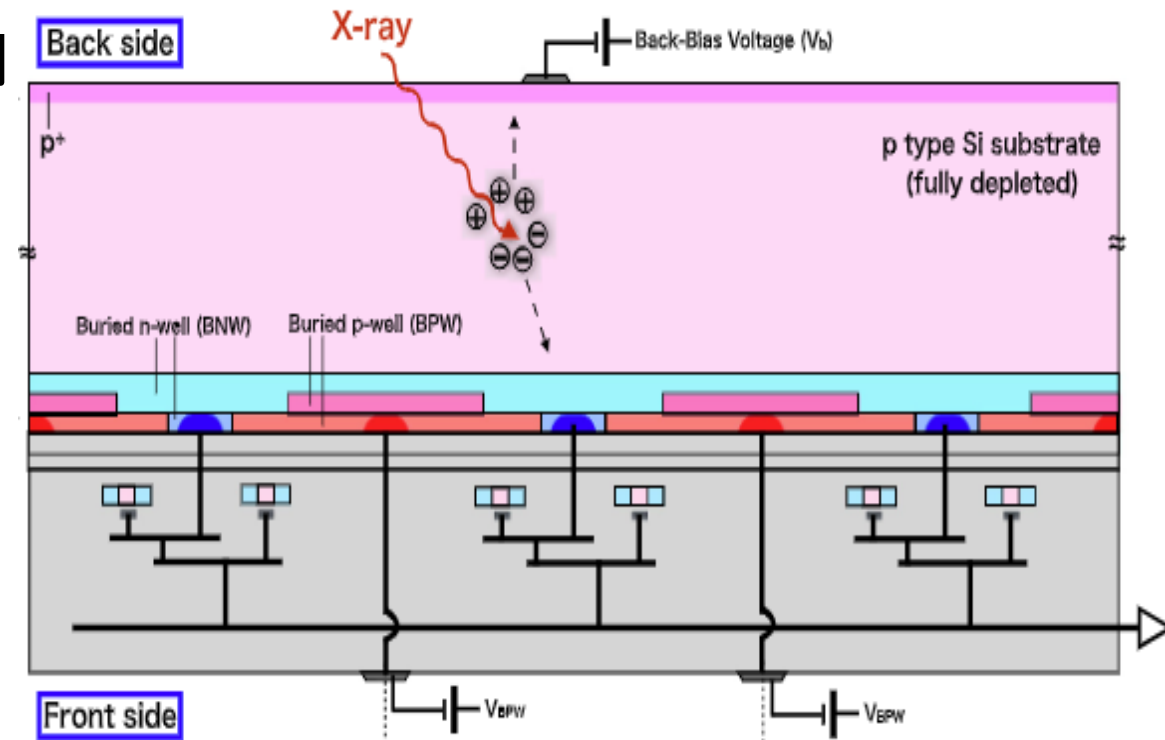
- ・ 必要なイベントの信号のみを選択的に読み出す = イベント駆動読み出し
- ・ センサー層: $\sim 300 \mu\text{m}$ ピクセルサイズ: $36 \mu\text{m} \times 36 \mu\text{m}$

～研究目的～

X線観測用の素子 \rightarrow MeVガンマ線観測に応用
XRPIXの基礎特性を評価し、コンプトンカメラの
散乱体として使用する

～本講演内容～

- ・ 空乏層の厚さの測定
- ・ ガンマ線に対する応答評価



空乏層の厚さの測定

空乏層の厚さ :

- ・ Si 半導体検出器の重要なパラメータ
- ・ 完全空乏化すると不感層での反応はなくなる

X線(Cd-109 , 22.1 keV)を照射 → 検出効率 α を測定

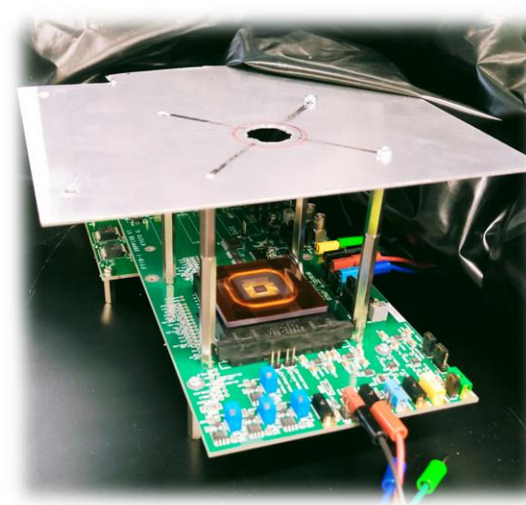
$$\alpha = 1 - e^{-\rho\sigma d}$$

ρ : シリコンの密度 (g/cm³)

σ : 反応断面積 (cm²/g)

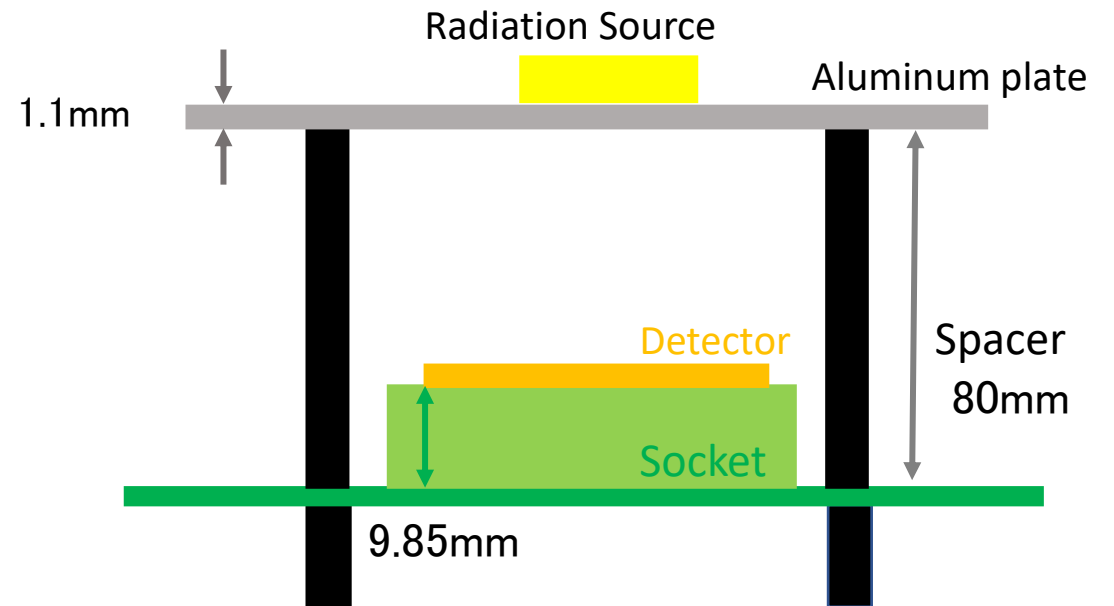
d : 空乏層の厚さ (cm)

↑ 光漏れを防ぐため
ブラックシートを被せる



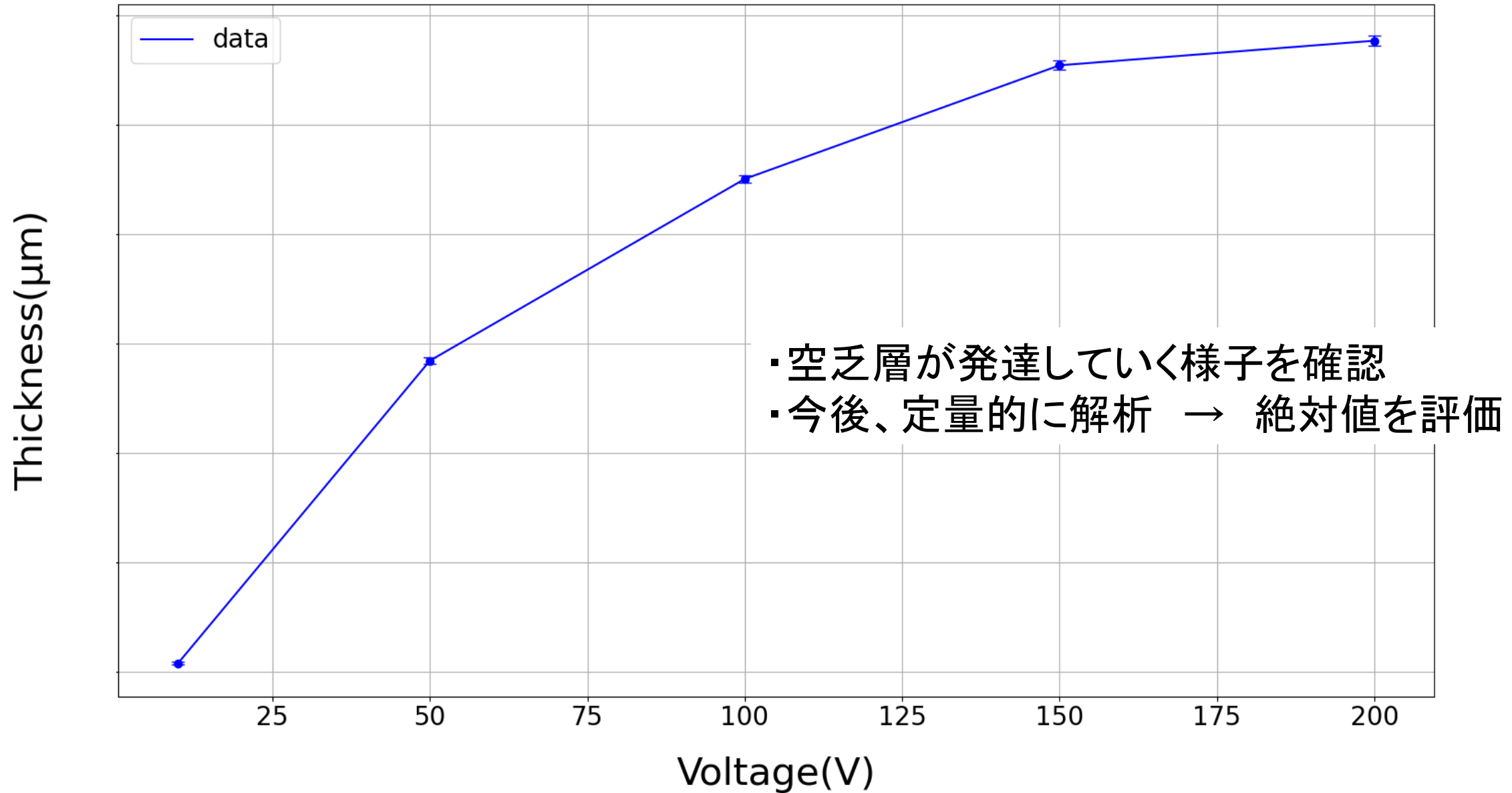
測定条件

- ・ 使用素子: XRPIX8.5(210423G)
- ・ Cd-109を使用
- ・ イベント駆動読み出し
- ・ 100,000イベント取得
- ・ 室温 (~25°C)
- ・ BPW: -2.5 V
- ・ リセット時間: 100μs
- ・ 逆バイアス: 10 ~ 200 V で測定
- ・ セットアップは全て共通



測定結果

Thickness-of-Depletion-layer-XR85



ガンマ線に対する応答評価

XRPIXをコンプトンカメラの散乱体として使いたい



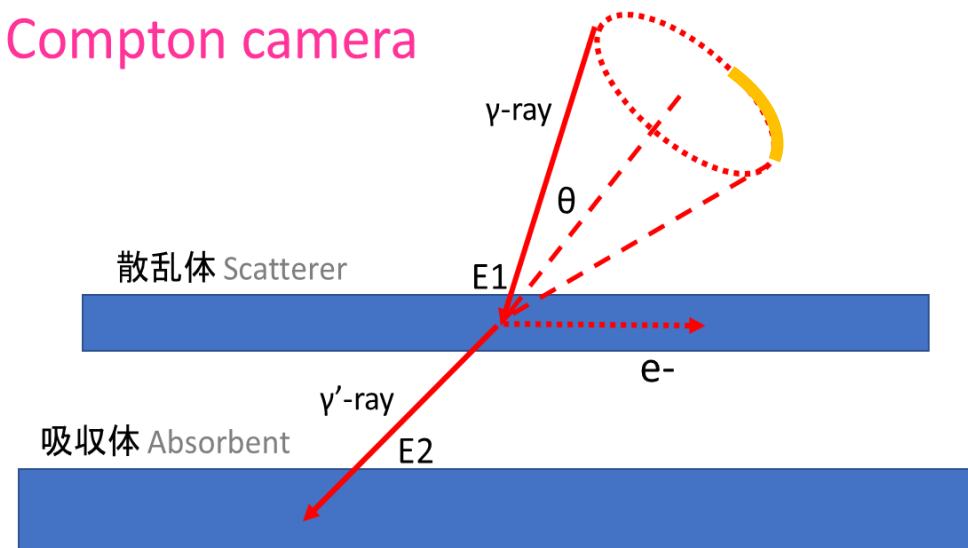
ガンマ線(数100 keV)を照射して

1. デポジットエネルギーのスペクトルを見る
2. エネルギーとADCチャンネルの線形性の評価
3. エネルギー分解能の評価

測定条件

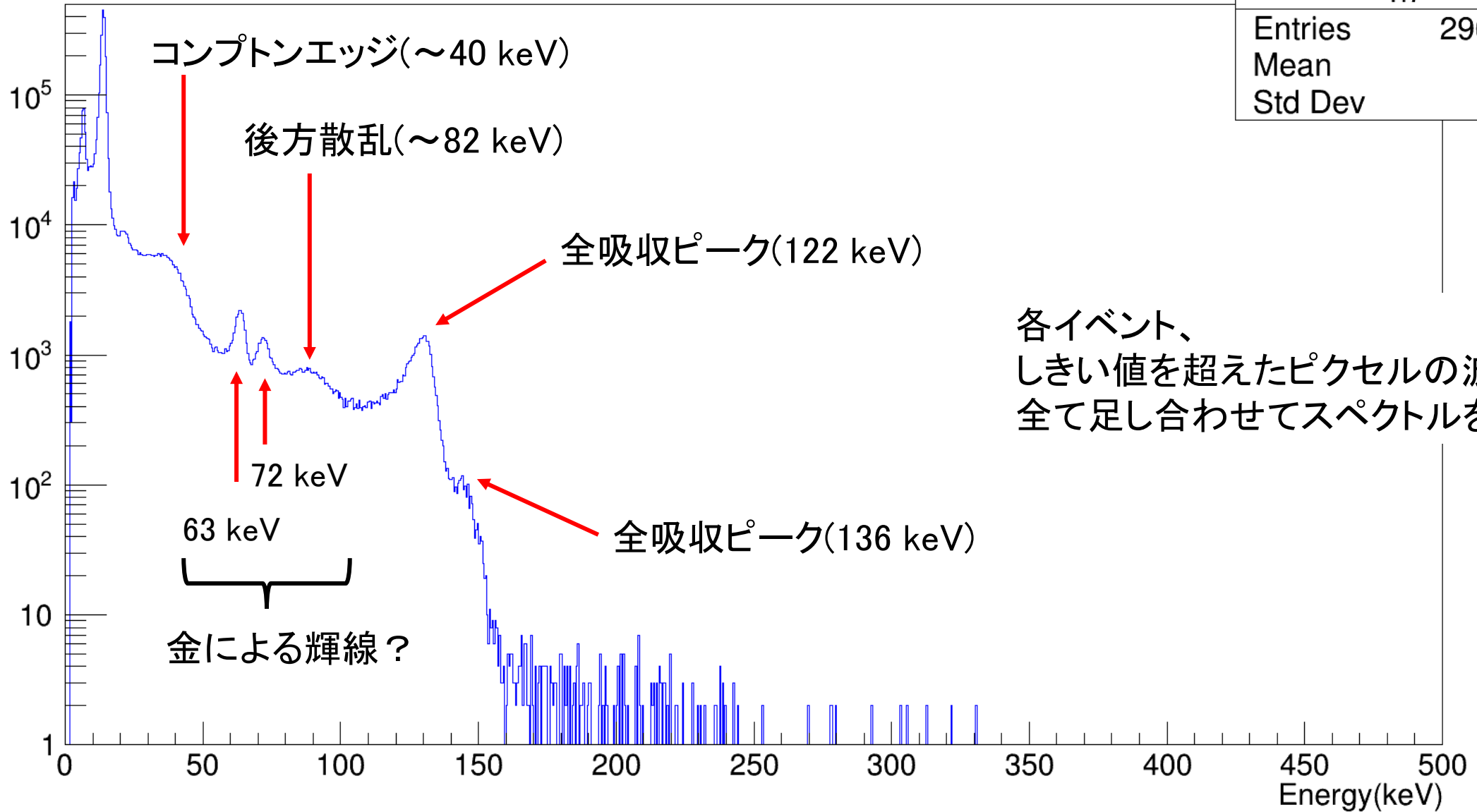
- ・ 使用素子: XRPIX8.5(210423G)
- ・ Co-57, Na-22, Cs-137を使用
- ・ イベント駆動読み出し
- ・ 3,000,000イベント取得
- ・ 室温(～25°C)
- ・ BPW: -2.5 V
- ・ リセット時間: 100μs
- ・ 逆バイアス: 180V
- ・ Threshold = 2.16 keV
- ・ 線源は素子に直置き
- ・ セットアップは全て共通

Compton camera



$$\cos\theta = 1 - mc^2 \left(\frac{1}{E_2} - \frac{1}{E_1} \right)$$

Co-57



h7	
Entries	2964280
Mean	18.12
Std Dev	18.9

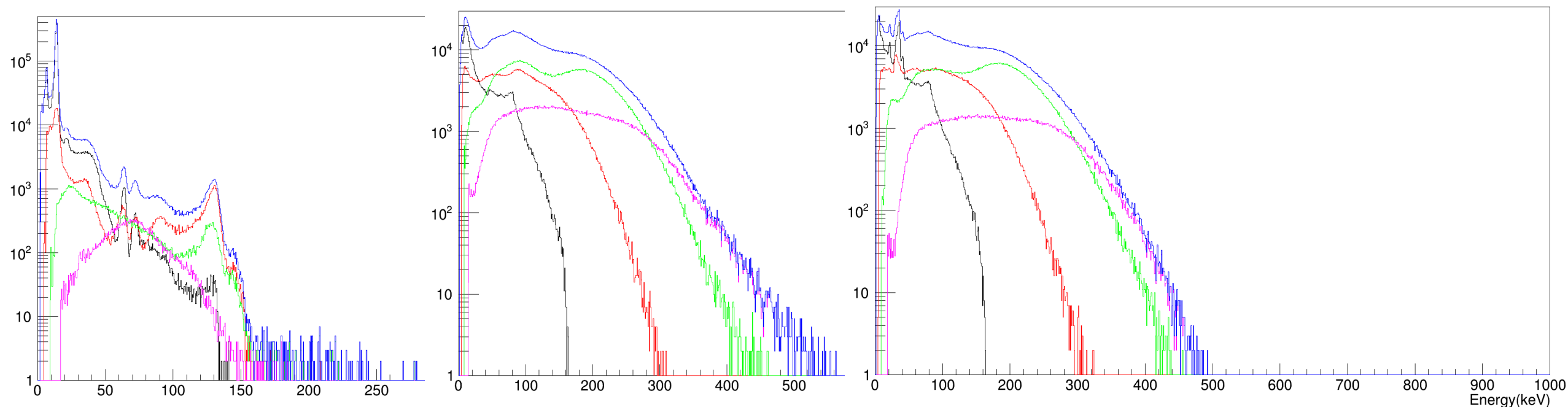
各イベント、
しきい値を超えたピクセルの波高値を
全て足し合わせてスペクトルを作成

電子が走ったピクセル数でヒストグラムを分類

Co-57 (122 keV)

Na-22 (511 keV)

Cs-137 (662 keV)



全体に占めるピクセル数の割合 (— total)

ヒット数	Co-57	Na-22	Cs-137
— 1~2	0.82	0.17	0.21
— 3~5	0.13	0.25	0.27
— 6~10	0.03	0.40	0.38
— 10~	0.01	0.14	0.11

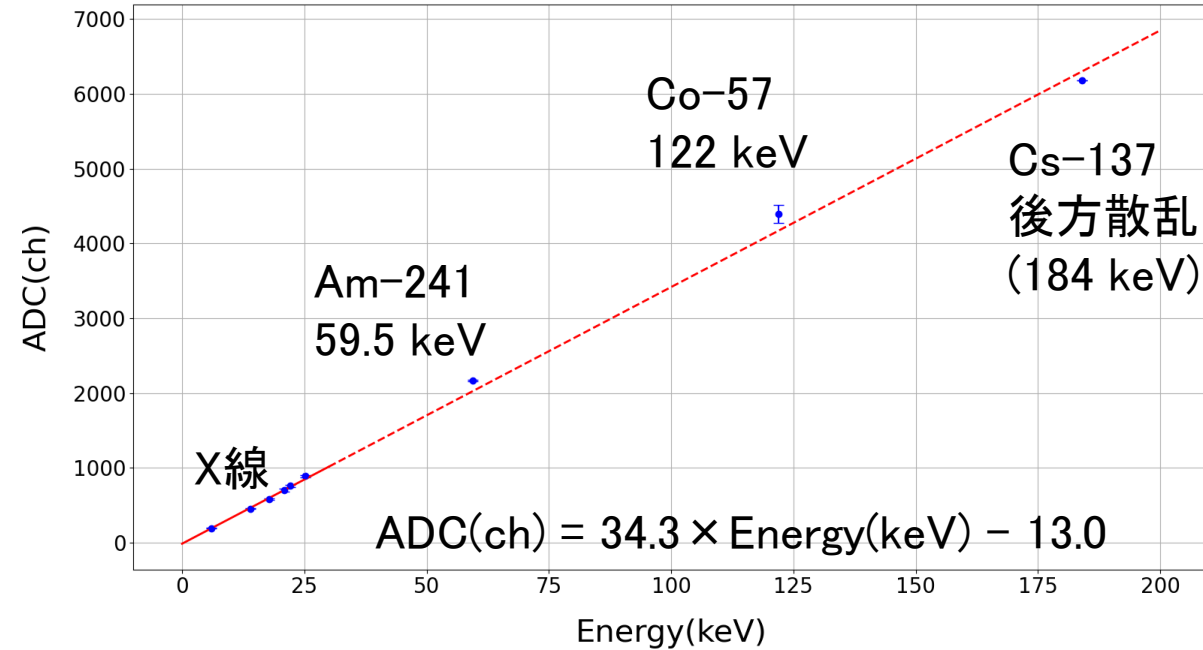
エネルギー大



電子が多く、ピクセルを走る

較正直線・エネルギー分解能

1. 較正直線 Energy-ADC-XR85-BPW25



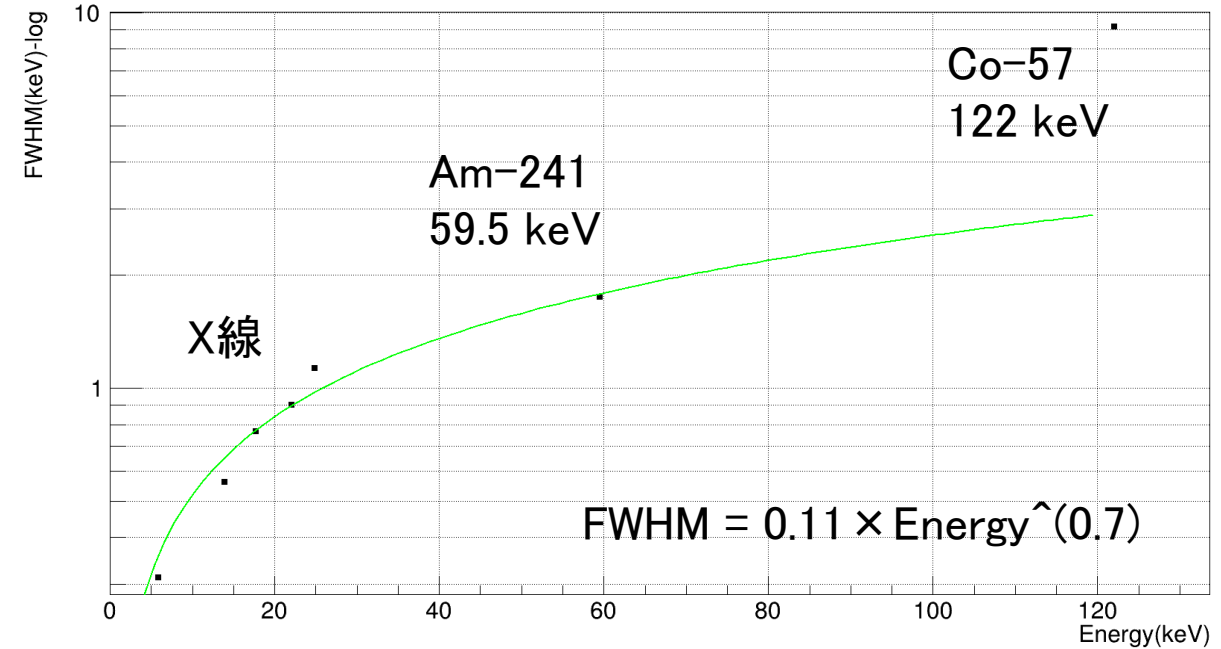
較正直線

- ・X線を照射して較正した直線を、ガンマ線にも適用できるか
→概ね直線上に乗った(5~7%のずれ)
→しっかりチャージを捉えられている = 184 keVまでのダイナミックレンジを確認

エネルギー分解能

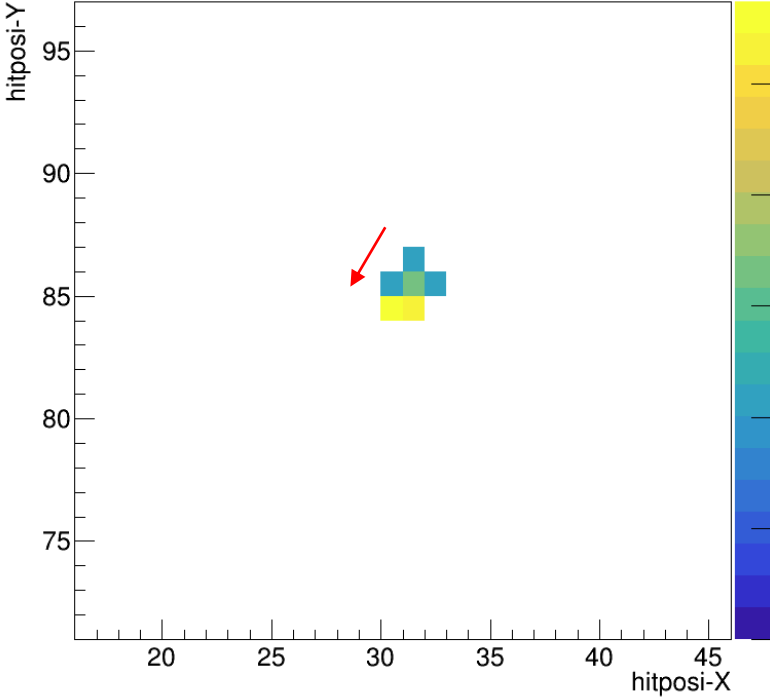
- ・122 keVに対する分解能? (詳細な解析が必要)

2. エネルギー分解能 Energy-Resolution-XR85

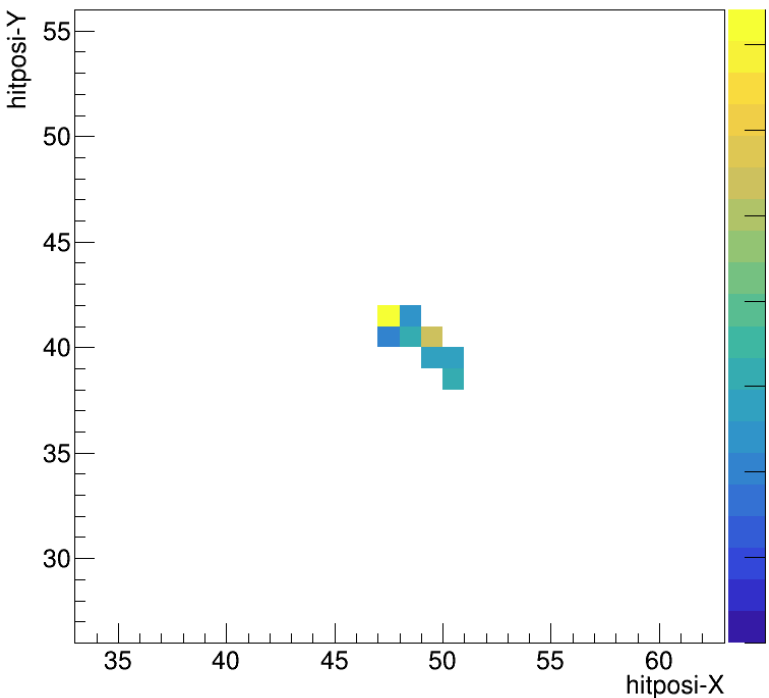


散乱電子の飛跡

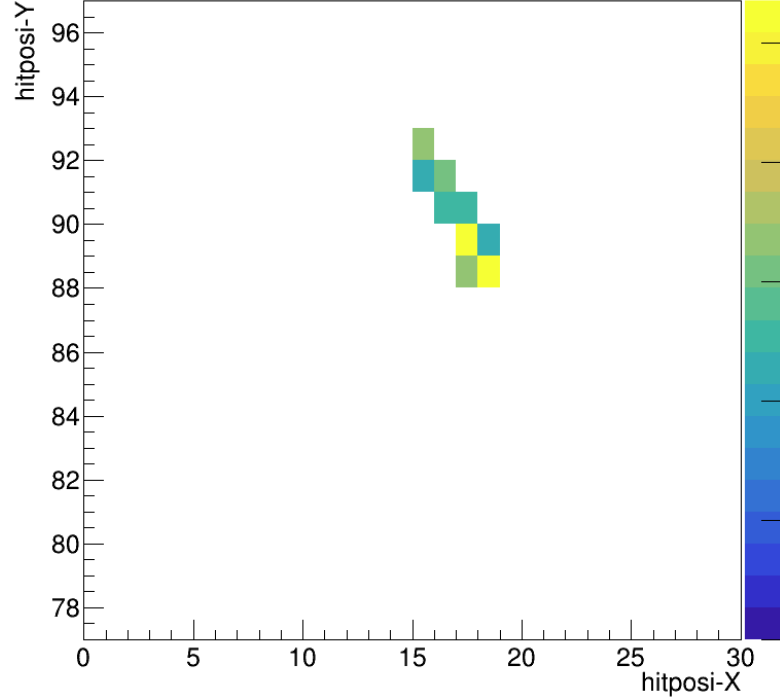
Co-57 (131 keV)



Na-22 (200 keV)



Cs-137 (190 keV)



- 数100 keVの電子飛跡を検出
- 今後詳細な解析をしていく

まとめ・今後

目的

- ・X線観測用素子「XRPIX」をMeVガンマ線観測に応用、コンプトンカメラの散乱体として使用

空乏層の測定

- ・空乏層が発達していく様子を確認
- ・今後、定量的に解析 → 絶対値を評価

ガンマ線に対する応答評価

- ・数100 keVのガンマ線を照射、その応答を調べた
 - ・スペクトルを確認
 - ・エネルギーが大きくなると、電子がより多くのピクセルを走る
 - ・較正直線から、数100 keVまでの線形性を確認
- ・スペクトル、ゲイン校正について詳細に解析 → 分解能を出す
- ・散乱電子の飛跡解析
- ・結果の裏付けのために、「MeVガンマ線天文用ライブラリ MEGAlib」を使ったシミュレーションで再現をする

～デッドタイムについての考察～

方針

1. 待ち時間分布を作る
2. 単位時間当たりのイベント数 λ を求める
3. 総イベント数(1,000,000)/ λ = **有効時間** とする



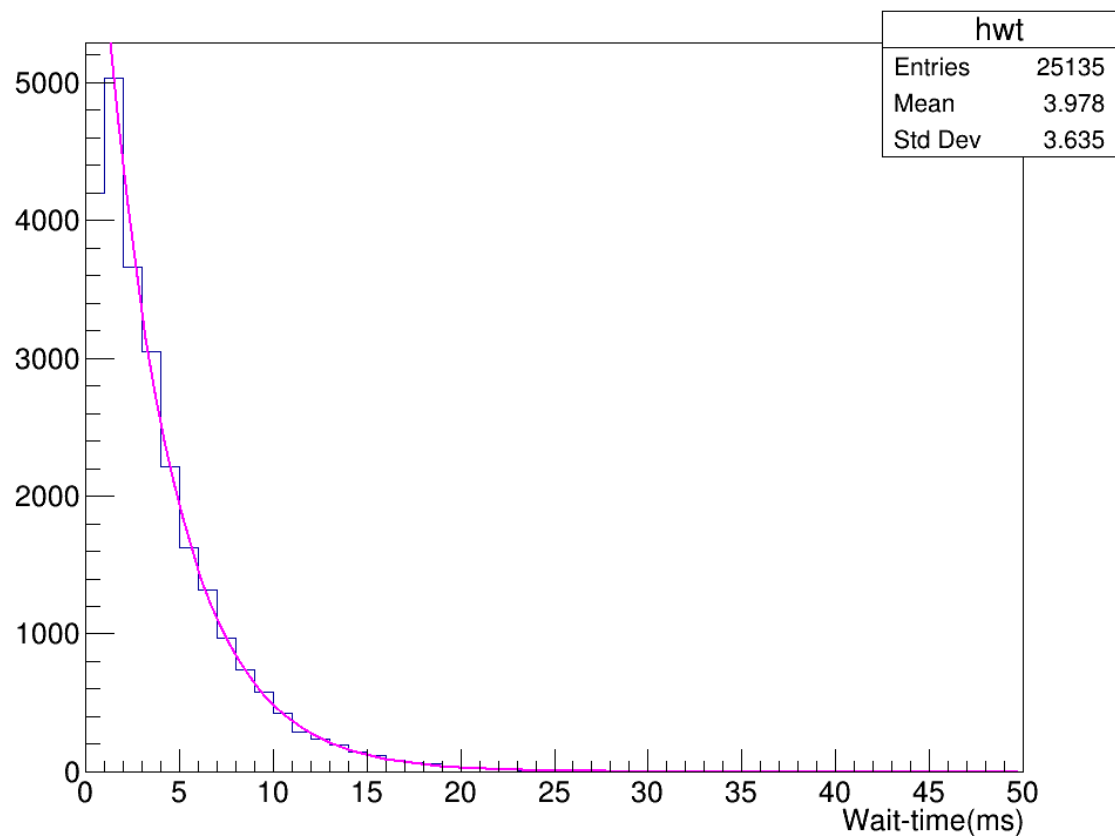
- ・ 有効時間 / 測定時間 を評価

$$\begin{aligned} \text{Radiation intensity} \times \frac{\text{素子の面積}}{4\pi L^2} \times \text{Emission rate} \times \text{空気の透過率} \\ \times \text{検出効率} = \text{検出レート} = \frac{\text{スペクトルの面積}}{\text{有効時間(s)}} \end{aligned}$$

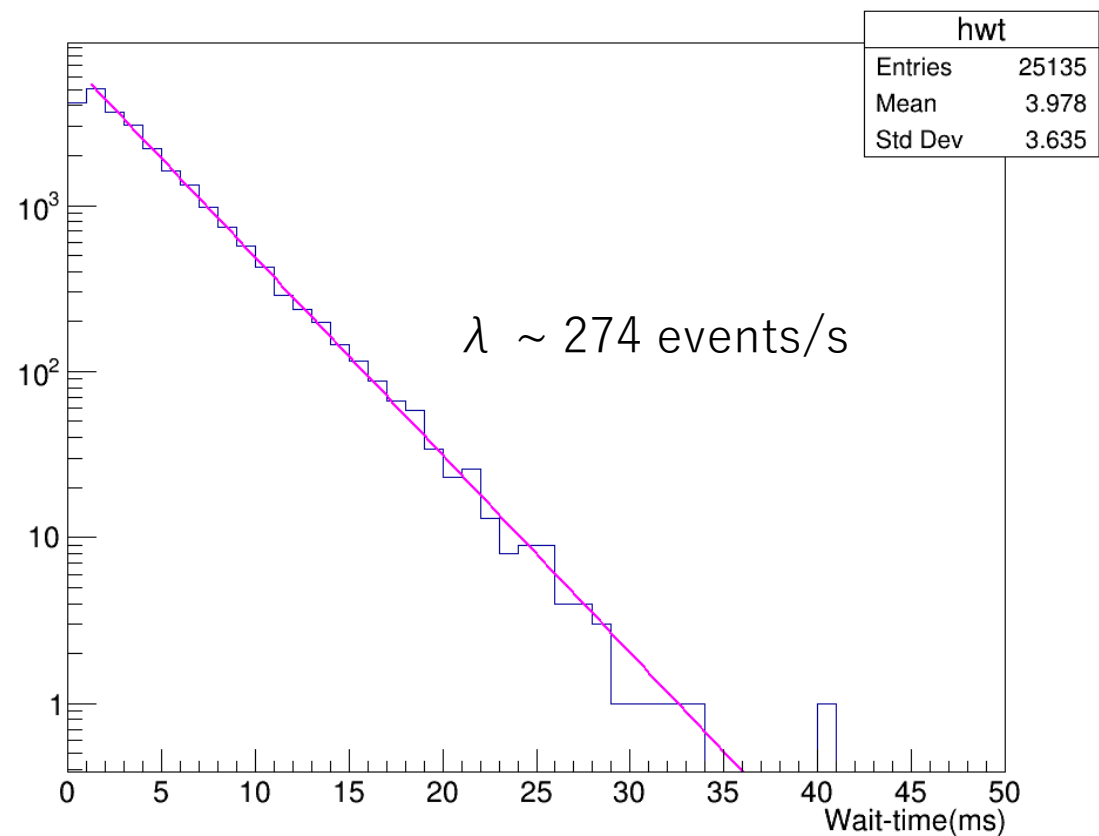
～待ち時間分布～

表面照射
Cd-109, 100 V

Wait-time-Cd0516-100-20



Wait-time-Cd0516-100-20



～デッドタイムについての考察～

表面照射	有効時間 / 測定時間 100 V	有効時間 / 測定時間 50 V	有効時間 / 測定時間 10 V
Fe-55	0.94	0.95	0.95
Co-57	0.98	0.93	0.95
Cd-109	0.92	0.93	0.96
Ba-133	0.98	0.96	0.93

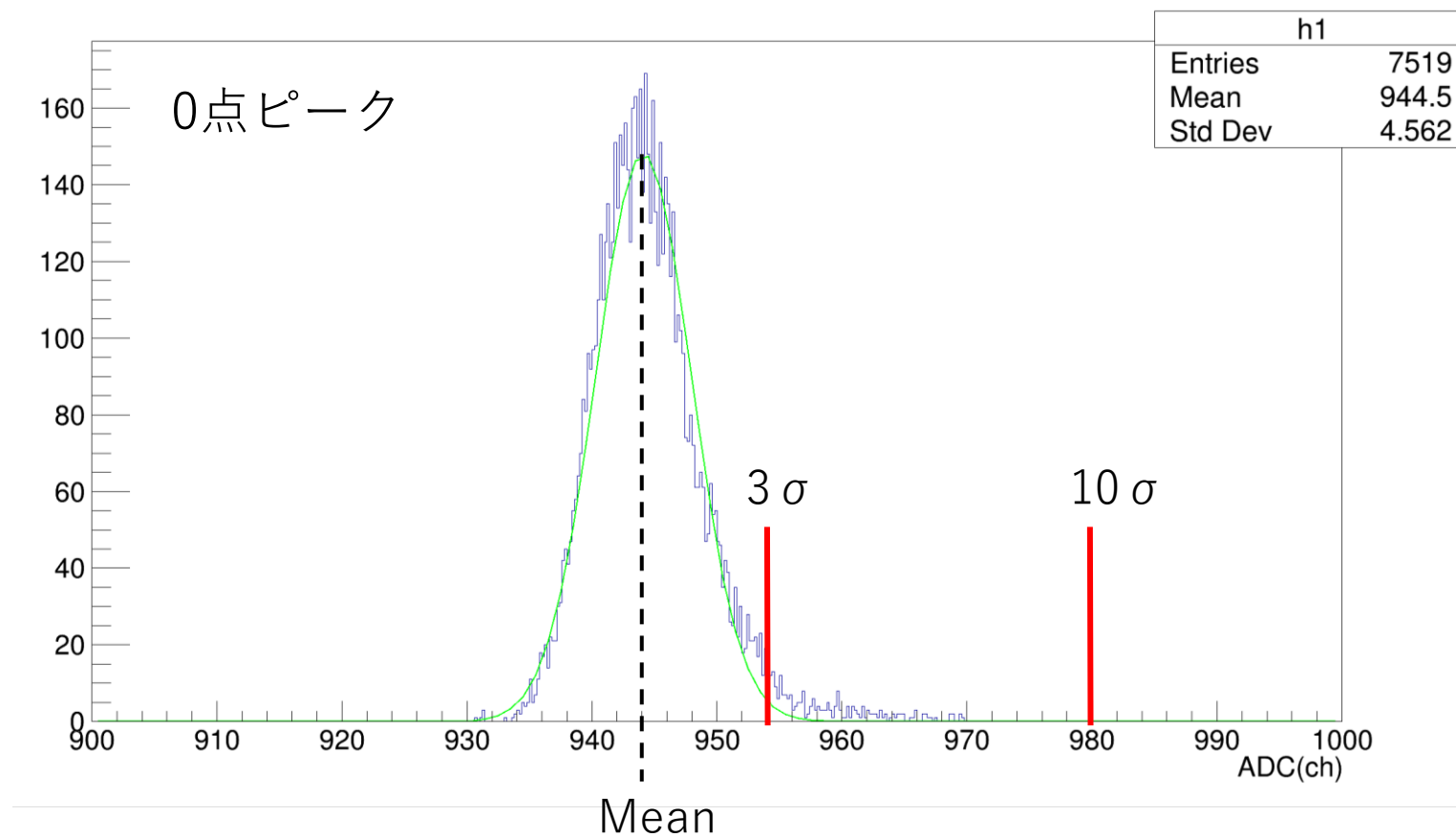
裏面照射	有効時間 / 測定時間 100 V	有効時間 / 測定時間 50 V	有効時間 / 測定時間 10 V
Co-57	0.99	0.98	0.91
Cd-109	0.95	0.95	0.98
Ba-133	0.98	0.97	0.99

積分時間と読み出し時間に由来するデッドタイムは、測定時間全体の**1～9%**程度



空乏層の理論値との差は、**デッドタイムのみでは説明できない**

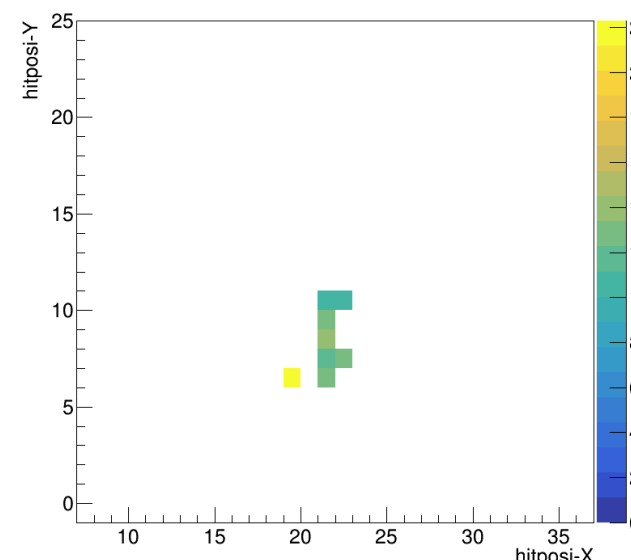
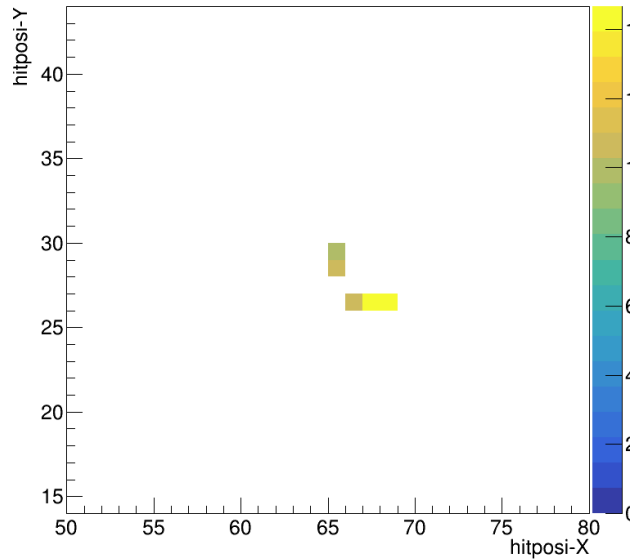
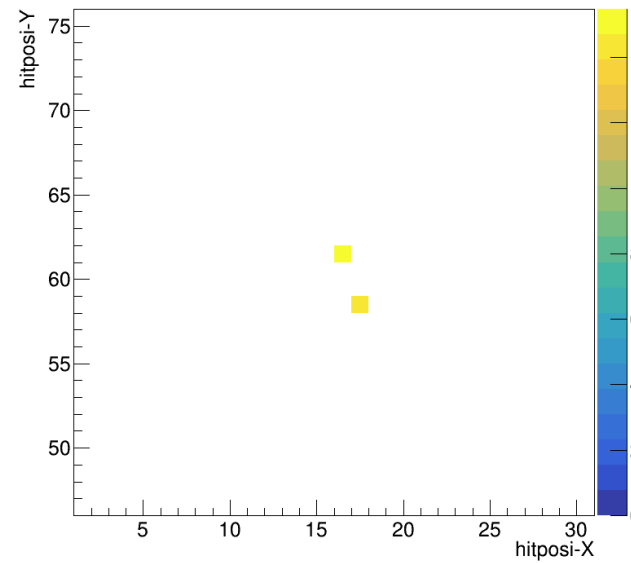
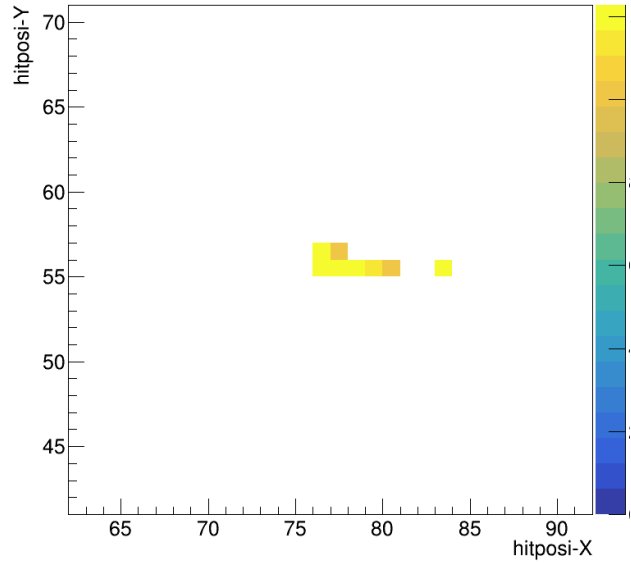
～ガンマ線応答のしきい値～



3 σ だと、ペDESTアルを拾ってしまう → 10 σ = 2 keVに設定

～各イベントの電子飛跡～

離れたピクセルで検出されることも… (100個見た中で5個程度)



- 同時にガンマ線がヒットした
- ノイズを拾った



選別して除去