

ETCCによる MeV γ 線の到来方向の決定

2020年2月13日

津田雅弥

吉田有良

松村駿

目次

1. 実験の意義と目的
2. 検出原理
3. 前実験(エネルギー較正)
4. 本実験(測定データ、解析)
5. まとめ

1. 実験の意義と目的

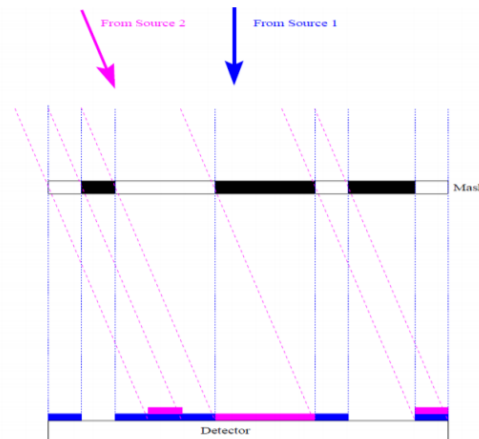
なぜETCCを開発するのか？

MeVガンマ線を放射する宇宙現象

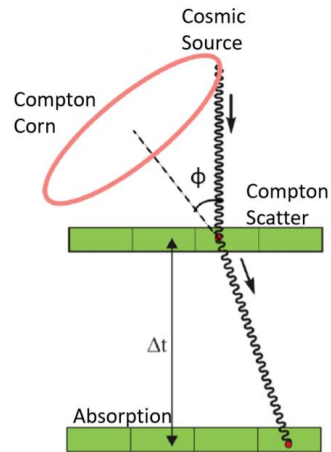
- ガンマ線バースト
- ブラックホールの質量降着円盤
- シンクロトロン放射
- 太陽フレア

従来のMeVガンマ線観測方法

- コーデッドマスク法 → バックグラウンドの排除困難
- コンプトン法 → 到来方向の一意的な特定困難



コーデッドマスク法の概念図



コンプトン法の概念図

以上の問題点を解決できる測定器

= ETCC(Electron Tracking Compton Camera)

2. 検出原理

ETCCの全体像

ガス容器に入射した γ 線がコンプトン散乱を起こしてできた反跳電子をと散乱 γ 線を検出する。

➤ TPC(Time Projection Chamber)

K_e, \vec{e} : 反跳電子のエネルギー、方向

➤ シンチレータ検出器

E_γ, \vec{g} : 散乱ガンマ線のエネルギー、方向

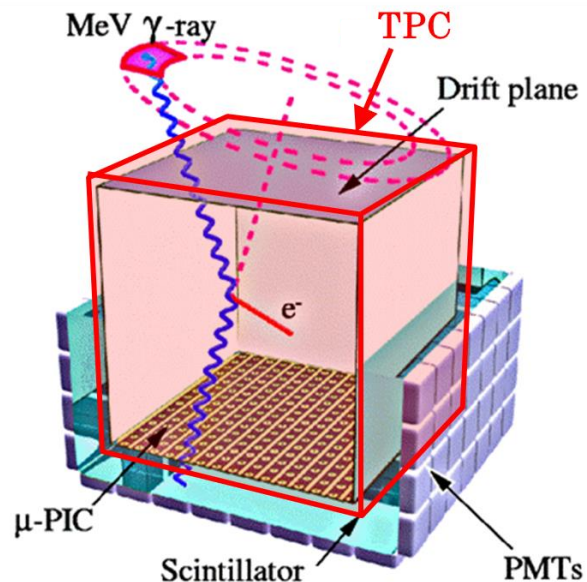
得られる物理量

E_0, \vec{s} : 入射ガンマ線のエネルギー、到来方向

関係式(運動量保存則、エネルギー保存則)

$$E_0 = E_\gamma + E_e$$

$$\vec{s} = \frac{E_\gamma}{E_\gamma + K_e} \vec{g} + \frac{\sqrt{K_e(K_e + 2m_e c^2)}}{E_\gamma + K_e} \vec{e}$$



ETCCの全体イメージ図

出典: <http://openit.kek.jp/project/upic/public>

TPCの構成

- GEM

二枚の銅膜の間に電位差を作り出すことで電子を増幅(~ 10)

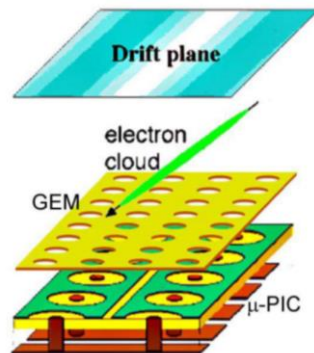
- μ -PIC

比例計数管の輪切り構造

アノードとカソードの間に電位差を作り出し電子を増幅($\sim 10^3$)

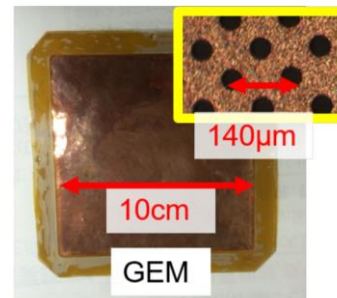
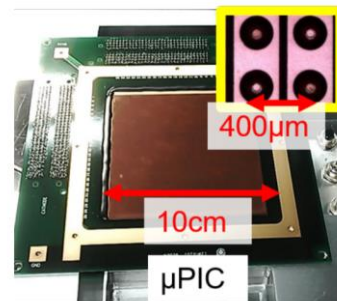
- 充填ガス

1気圧 Ar(95%) CF₄(3%) isoC₄H₁₀(2%)



右図: TPC概念図

下図: μ -PICとGEMの写真



✓ 反跳電子が作り出す電子雲を μ -PICにドリフトすることで二次元飛跡とエネルギーを得る

✓ ドリフト速度と時間からz座標を得る

→ $\vec{e}=(x, y, z)$, K_e を検出(反跳電子の検出)

シンチレータ検出器の構成

- GSO無機シンチレータ

早い減衰時間(30~60ns)、エネルギー分解能 9%@662KeV

8×8の64ピクセルアレイ、1ピクセルあたり6.1mm角

- PMT(光電子増倍管)

8×8マルチアノード、増幅率 1.5×10^6

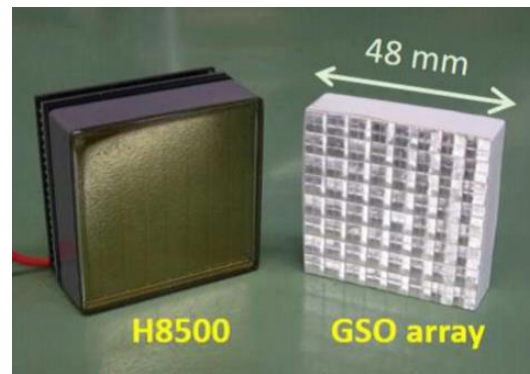


図. 右がGSOシンチ、左がPMT(浜松ホトニクス製H8500)。

64ピクセルの信号を抵抗でチェーン状につなぎ、4本のアウトプットから電荷を読み出す。 $(Q_1 \sim Q_4)$

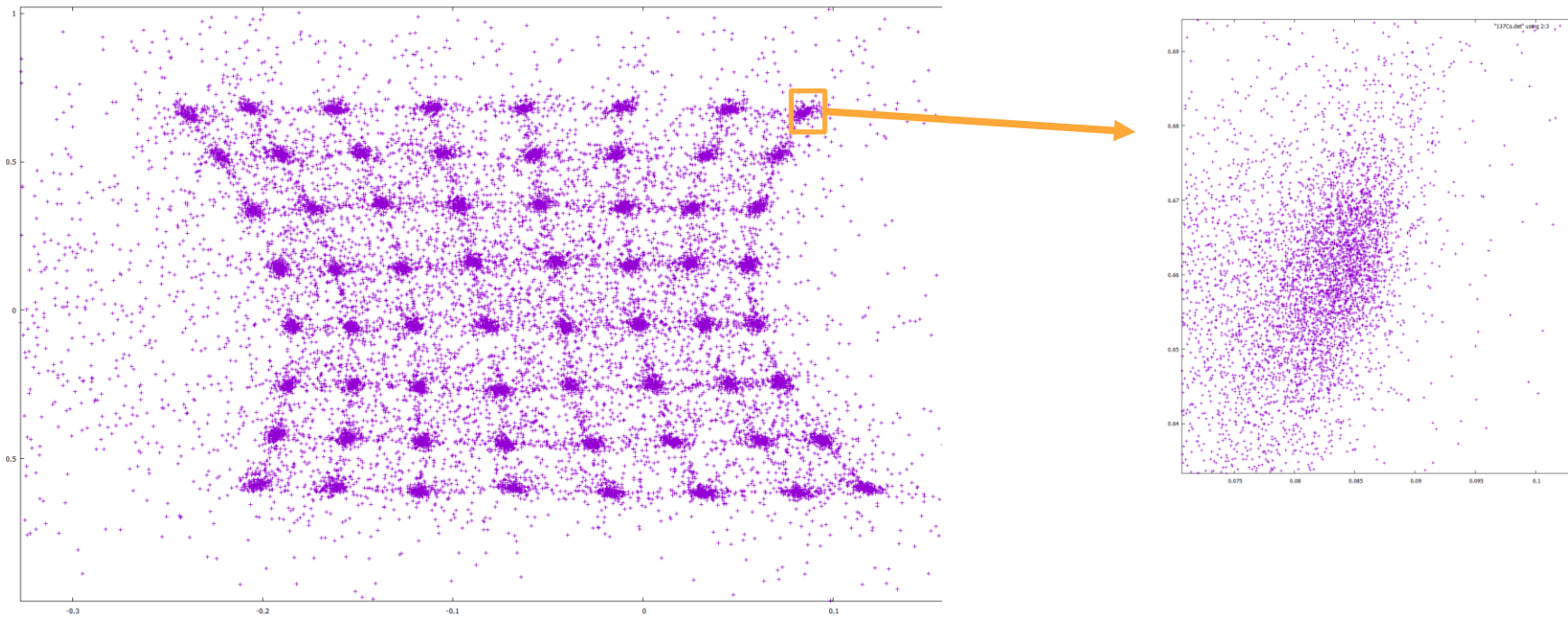
$$E_\gamma \propto Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$$
$$X = \frac{Q_1 + Q_2 - Q_3 - Q_4}{Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4}, Y = \frac{Q_1 - Q_2 + Q_3 - Q_4}{Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4}$$

(X,Yは重心演算)

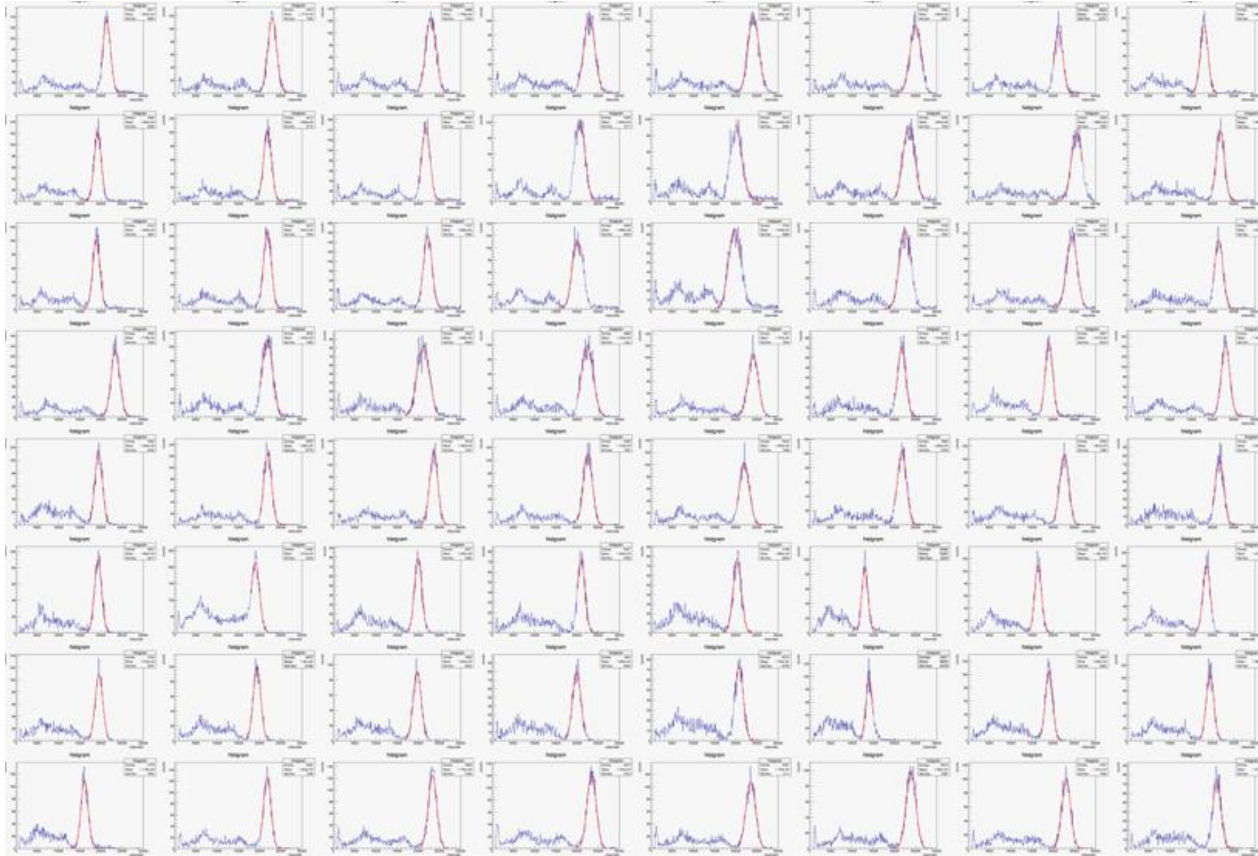
3. 前実験

シンチレータのエネルギー較正

線源からシンチレータで直接ガンマ線のエネルギーを測定する実験を行った。(測定数100万回、線源Cs, Na, Ba) 4端から読み出されたデータから重心演算でHIT散布図を作成し、各ピクセルの範囲を長方形で決定した。(目視)

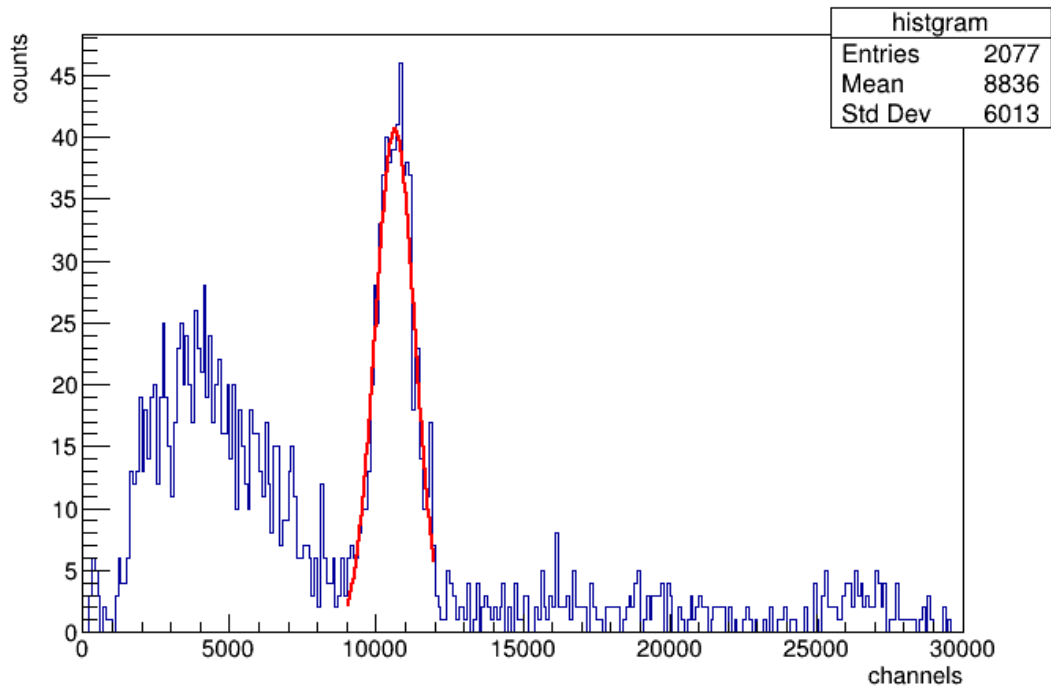


137Csの時の64ピクセルのエネルギースペクトル

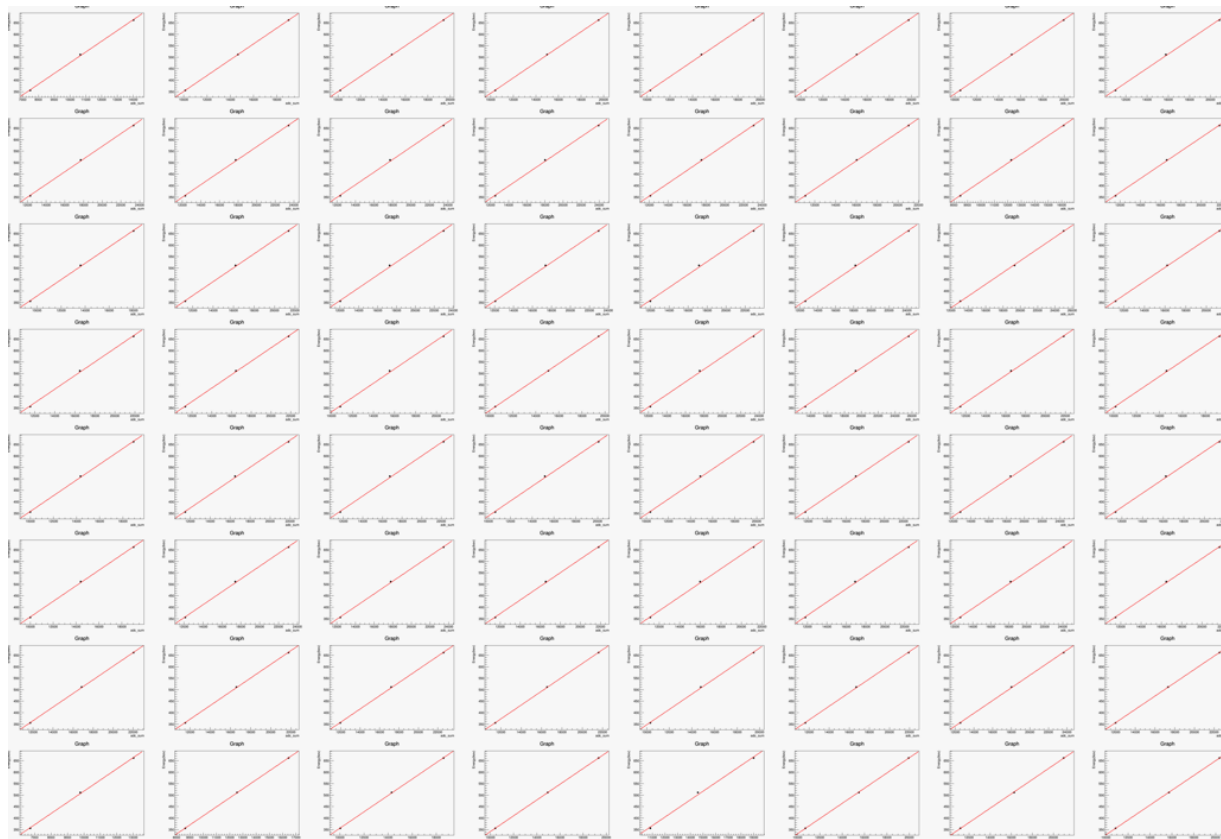


137Csのエネルギースペクトルの例

137Cs Spectrum Pixel No.1

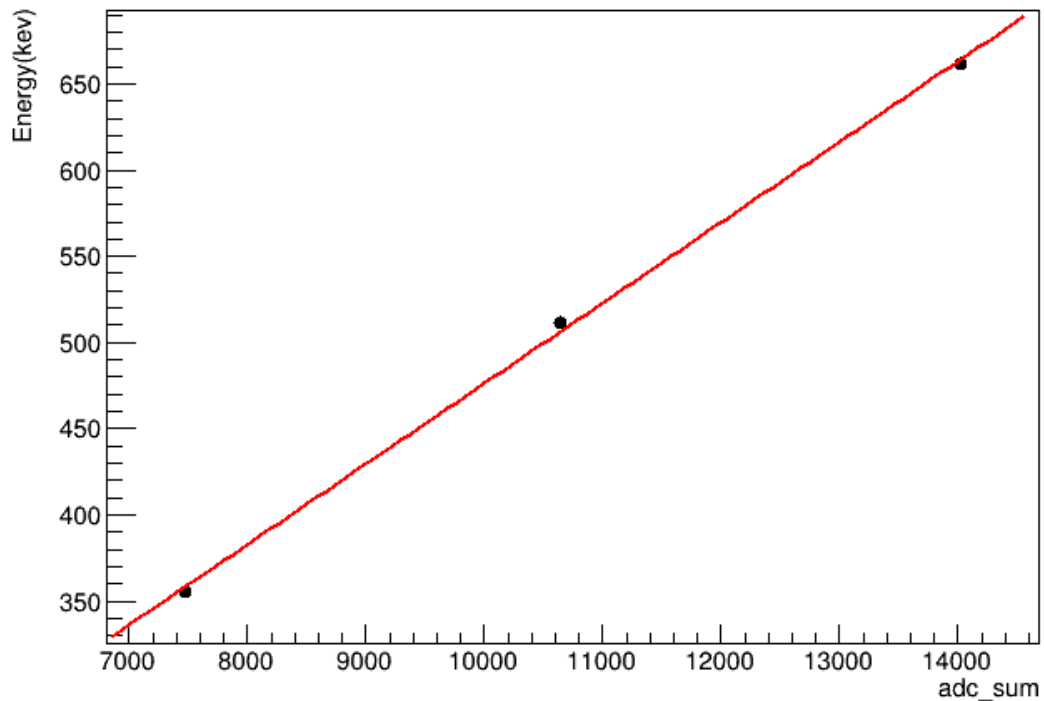


シンチレータ64ピクセルのエネルギー較正



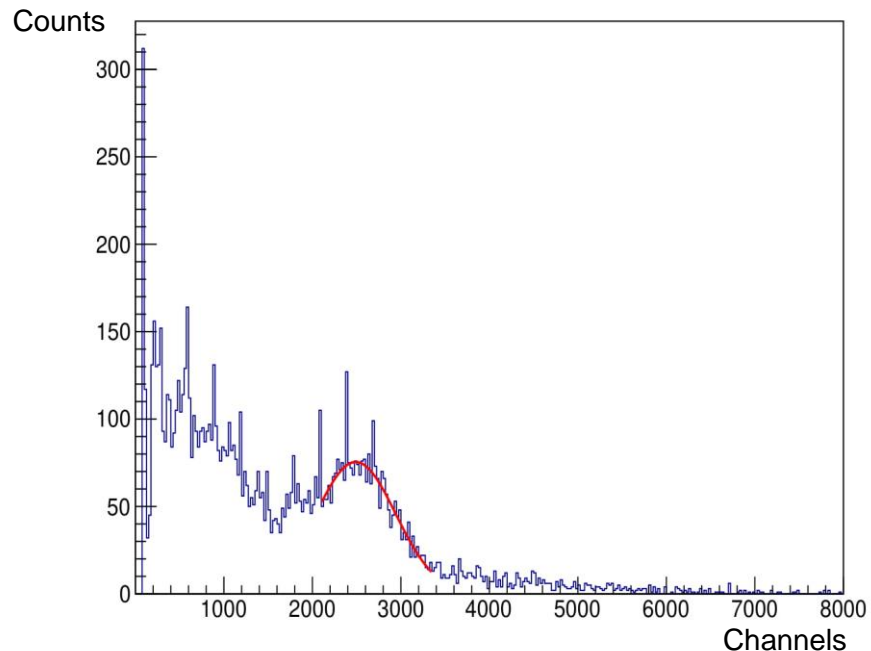
エネルギー較正直線の例

Energy Calibration Pixel No.1

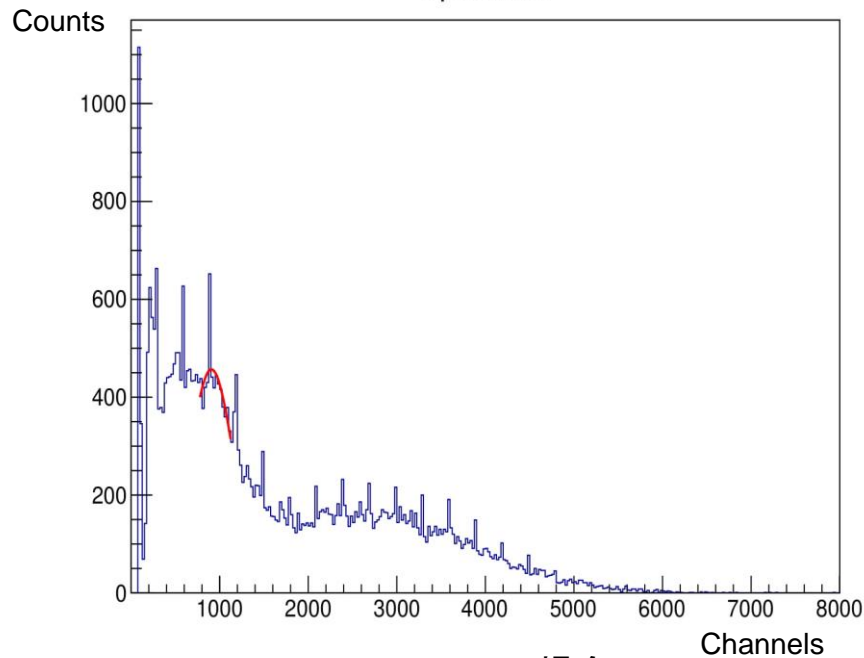


TPC内電子雲のエネルギースペクトル(Cathode)

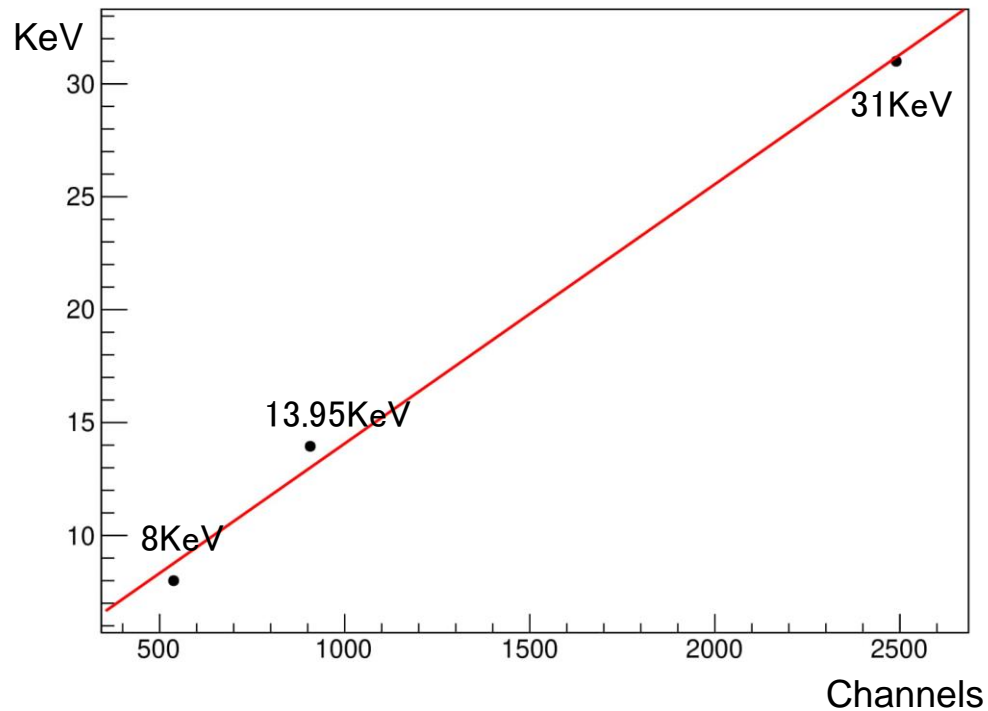
spectrum



spectrum

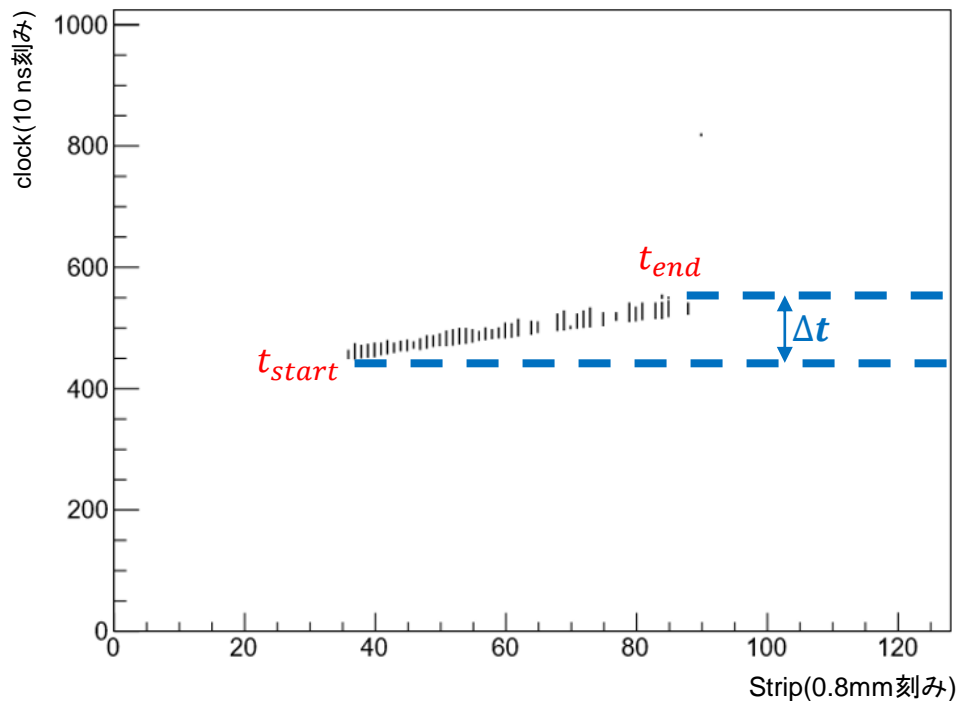


μ -pic Cathode エネルギー較正

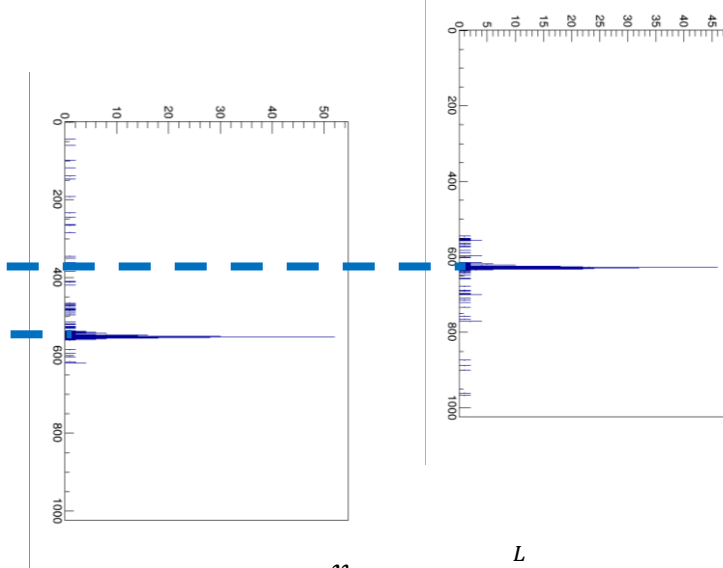


荷電粒子の飛跡とドリフト速度の決定

TPCを直線的に突き抜けているミュオンの飛跡



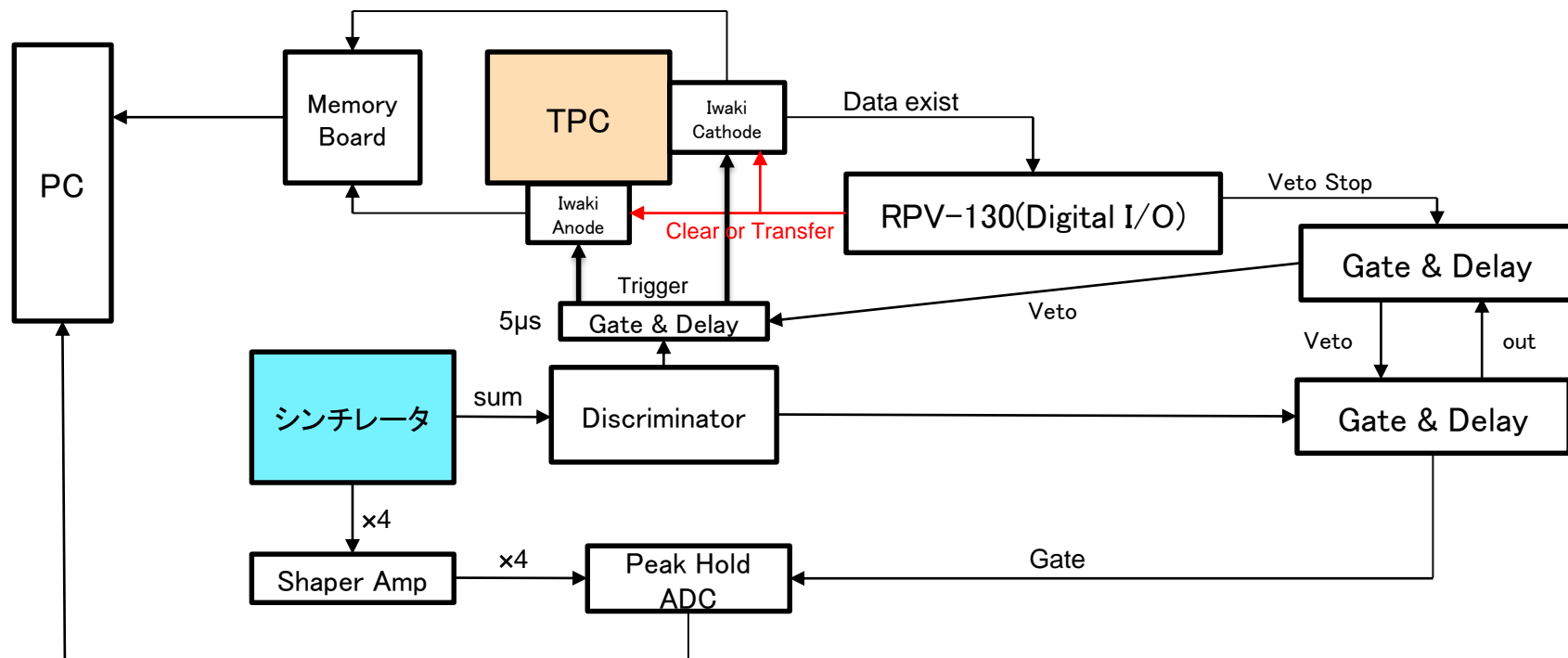
下図: 飛跡の始点と終点のカウンタ数
(画像は横向きにしてあり、横軸がclock, 縦軸がcount)



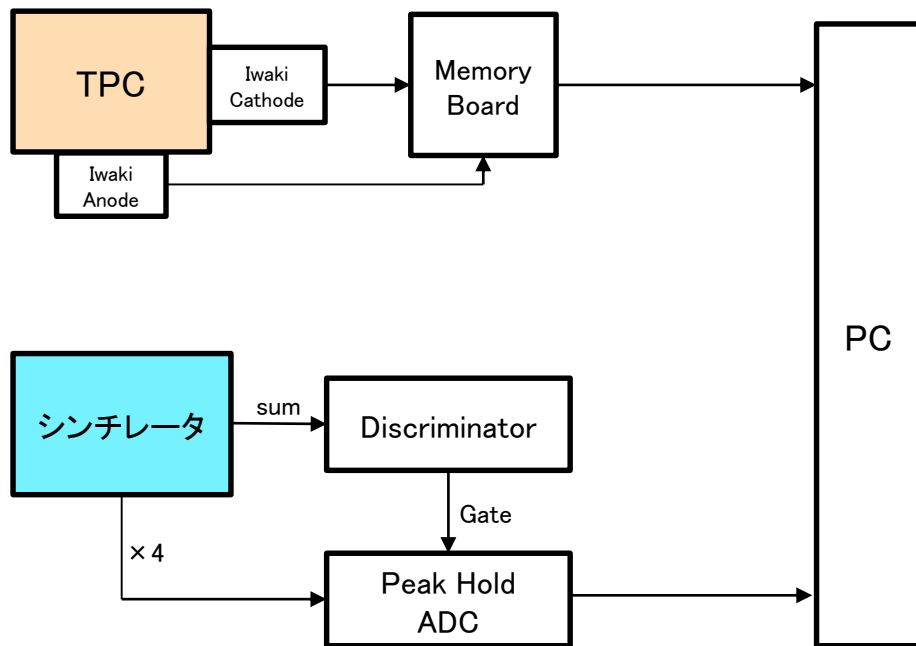
$$\begin{aligned}v_{drift} &= \frac{L}{t_{end} - t_{start}} \\ &= \frac{5.35\text{cm}}{(629.2 - 552.0) * 10\text{ns}} \\ &= 6.9307 \text{ cm}/\mu\text{s}\end{aligned}$$

4. 本実験(データの測定と解析)

3. データ転送システム



データ転送システム(簡略図)



※ Iwaki Board: μ -picの情報を電荷情報と位置情報に直す読み出しボード

データ収集プロセス

シンチ

シンチレータ Hit

Veto: シンチのHit禁止

TPC

Trigger : TPCのトリガーをかける

Process: データのフォーマット書き換え中

TPCにデータあり

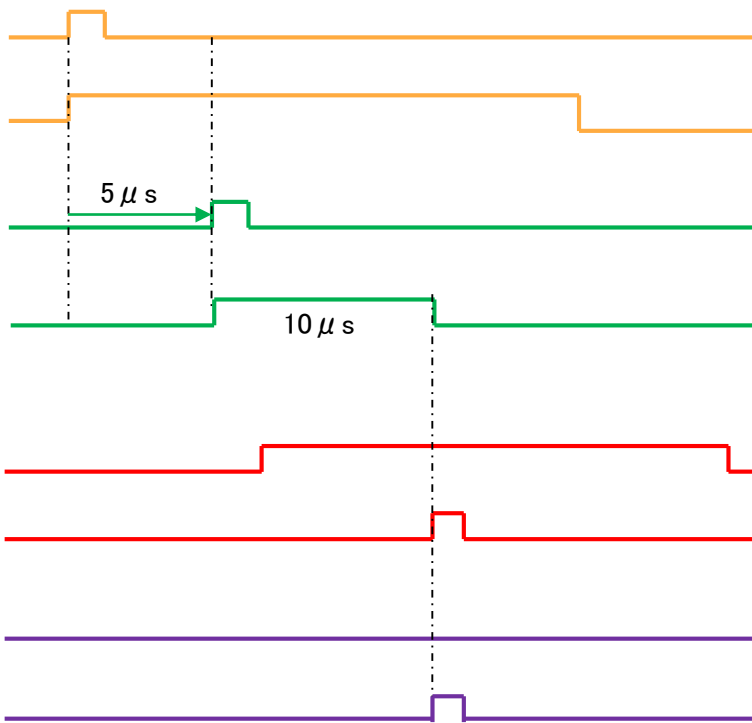
Data Exist(あり) : TPCにデータがある

Transferメモリーボードにデータ送信

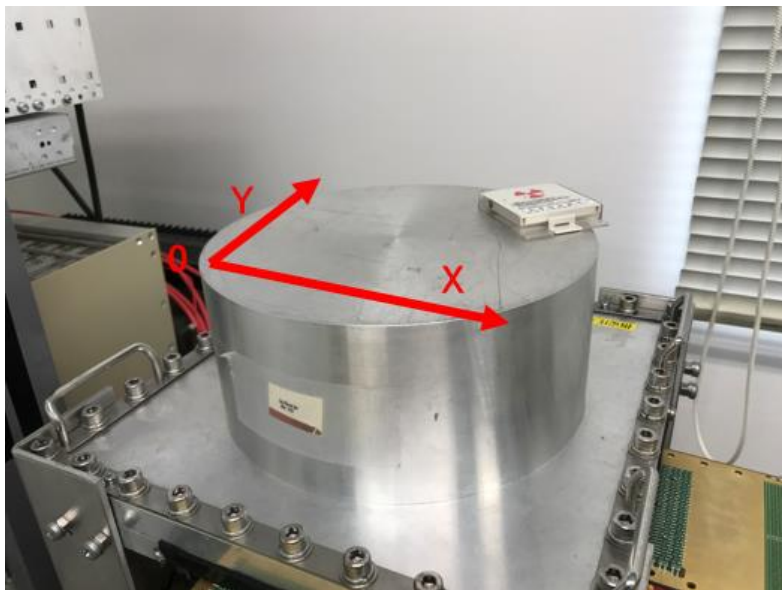
TPCにデータなし

Data Exist(なし)

Clear: TPCのデータ削除



セットアップ(実際の写真)



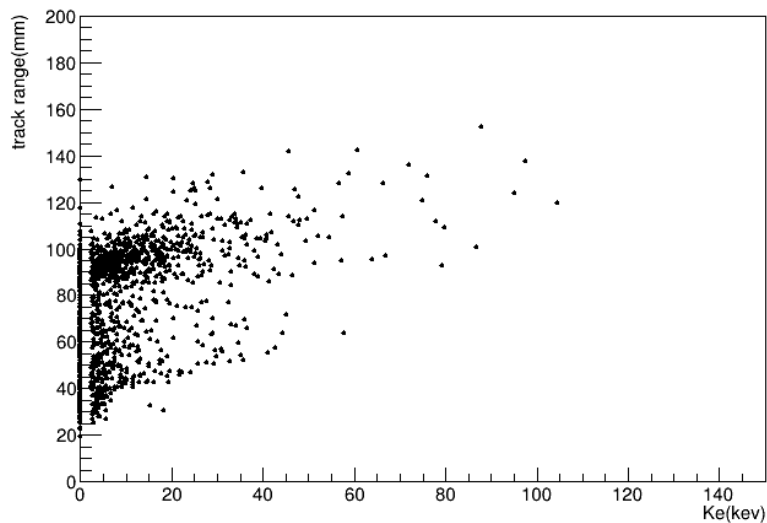
左図のように線源Csを原点からずらして行った。
シンチレータ～TPCの下面の距離は約2cm



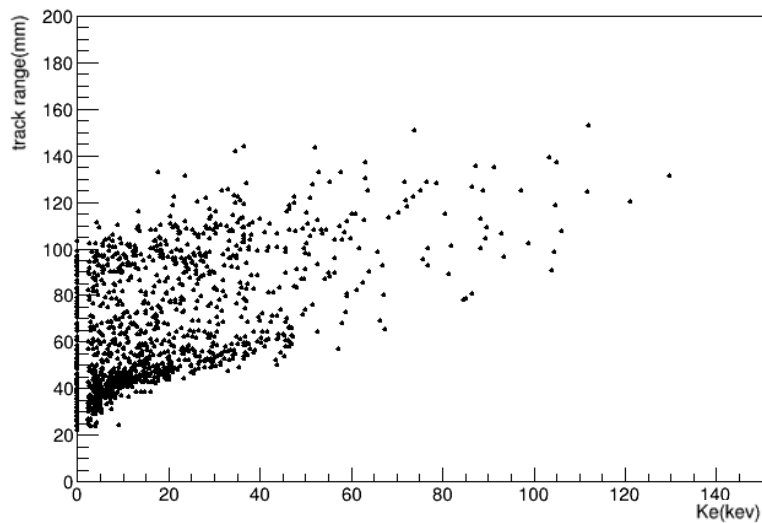
電子の判別(エネルギー損失率)

荷電粒子のエネルギー（横軸）と飛程（縦軸）の関係性

バックグラウンド



Csを置いたとき

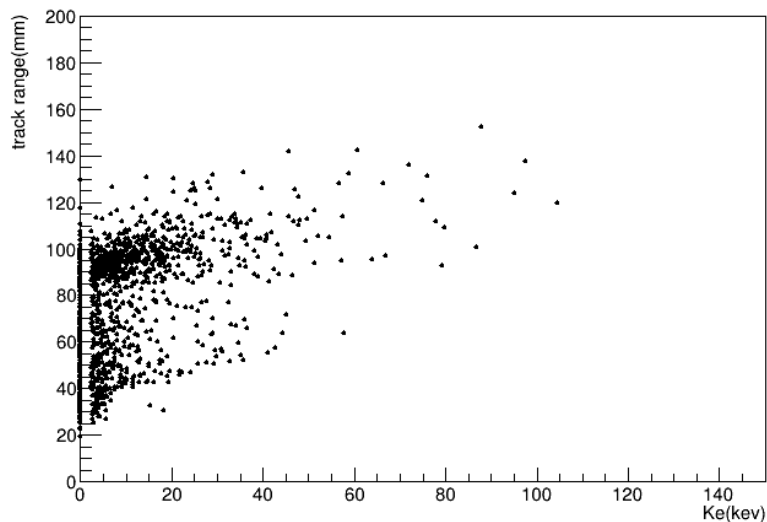


測定数は両方2500000回

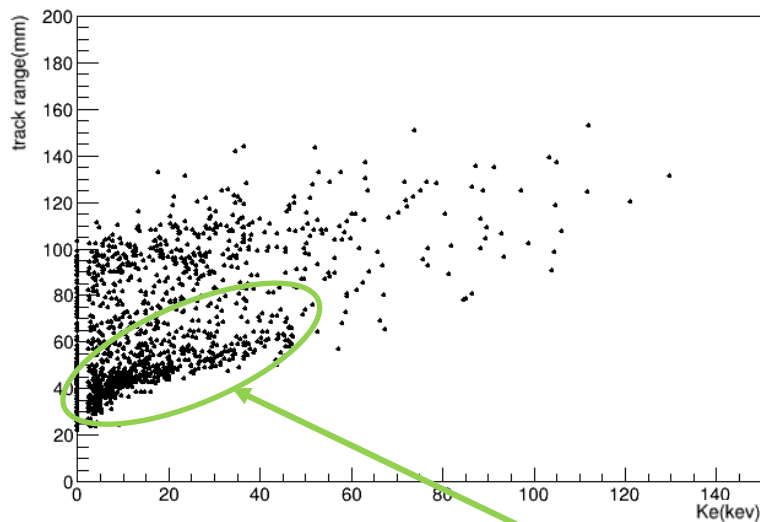
電子の判別(エネルギー損失率)

荷電粒子のエネルギー（横軸）と飛程（縦軸）の関係性

バックグラウンド



Csを置いたとき



電子の可能性が高い？

測定数は両方2500000回

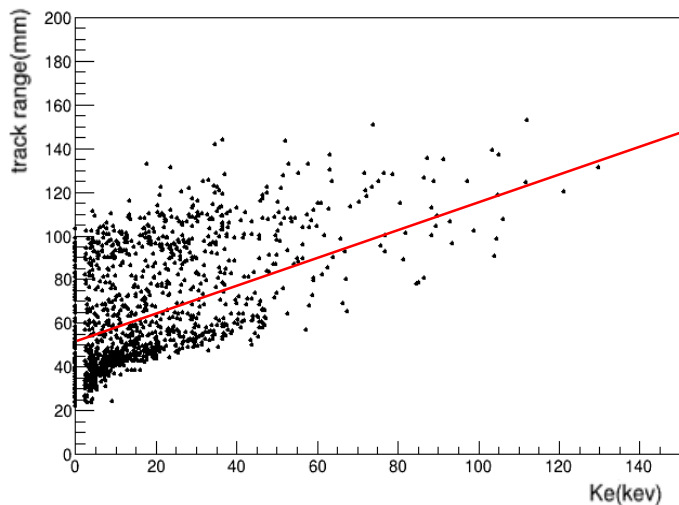
事象の識別方法

Fiducial cut: TPCの有感領域を出ていく電子や有感領域外から入ってくる電子を除外

- 4つの側面からそれぞれ内側に4mmを削る(x,y座標)
- 飛跡のclockが $t_{start} \sim (t_{end} + 30)$ に収まらないものをカット(z座標)

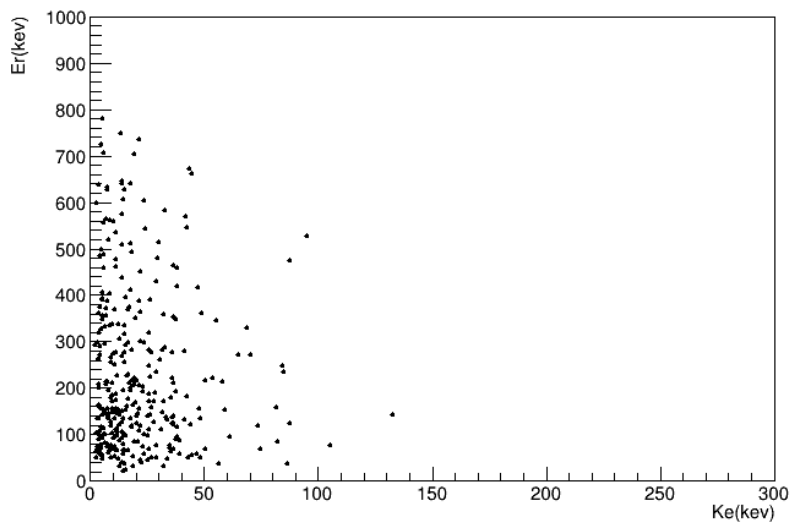
dE/dX cut: 荷電粒子のエネルギー損失率を利用し、電子と思われる粒子だけを抽出

- 下図においては、 $track\ range = \frac{1}{2}K_e + 50$ の直線を引き、その下部の事象だけを抽出した。

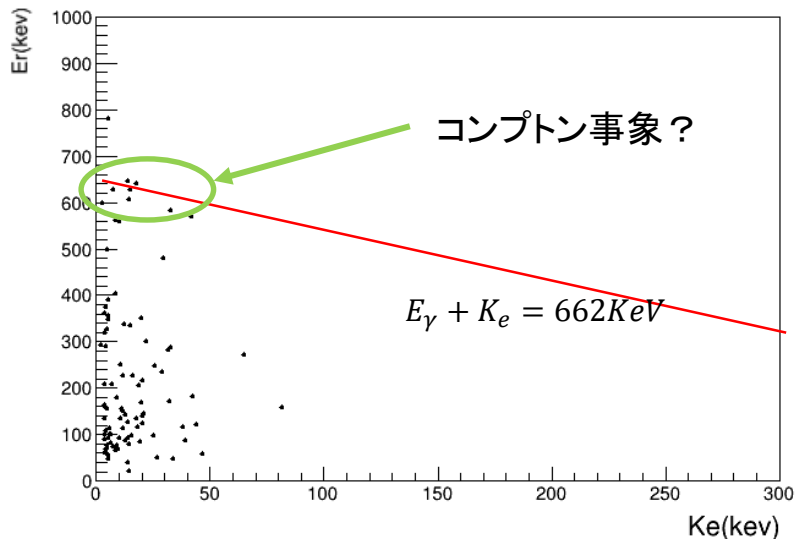


E_γ, K_e

E_γ と K_e の関係性



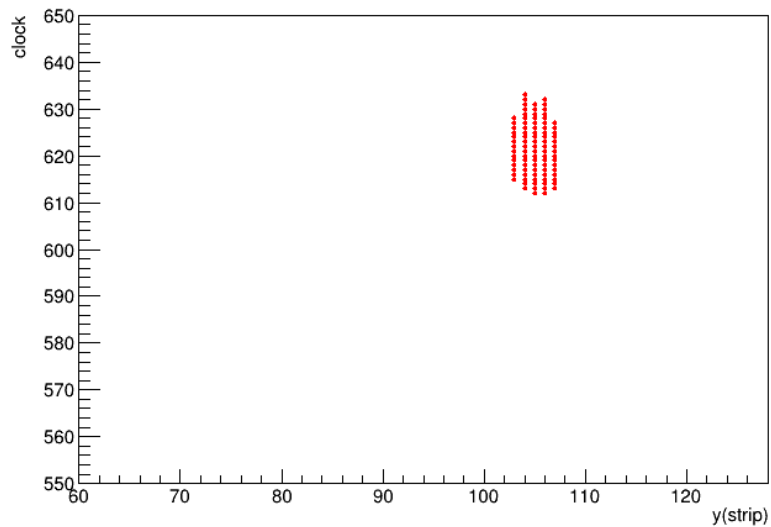
Fiducial cut のみ



Fiducial cut + dE/dX cut

測定数は7000000回に増やした。

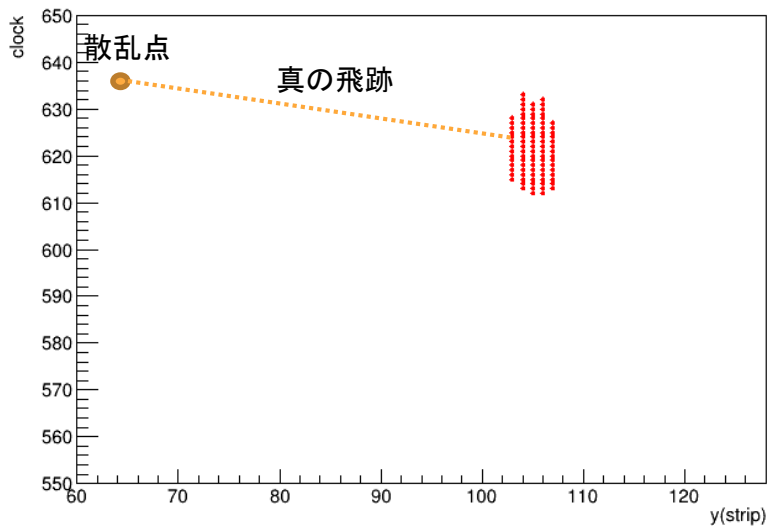
電子の飛跡



コンプトン散乱として想定している飛跡が見えず
一見、鉛直方向に飛んでいるような飛跡が多く見えた。

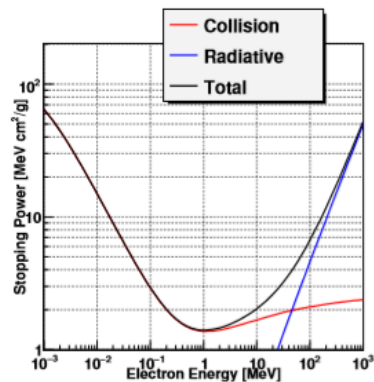
観測された典型的なカット後の電子飛跡

電子の飛跡



観測された典型的なカット後の電子飛跡

これが本当にコンプトン散乱だと仮定すると、左図の飛跡は電子が最後に落とすエネルギーによって見える飛跡だと考えられる。



Arガス中のエネルギー損失

出典: 高橋 慶在「電子飛跡検出型MeV γ 線コンプトンカメラに用いるガス組成最適化と高圧化」

5. まとめ

考察と課題

できたこと

- TPCとシンチレータ検出器を単独で動かし、エネルギーと位置を測定することができた。
- TPCとシンチレータ検出器を組み合わせて、ETCCとしてデータを取得できた。
- ETCCにおける検出において、エネルギー損失と飛程の関係から、電子の可能性が高い粒子を判別できた。

考察と課題

できなかったことと、その原因

- データの数が少なすぎて、物理的に有意な値が得られているのかわからなかった。
 - シンチレータのエネルギー較正で座標を絞りすぎた。
 - シンチレータ検出器の面積が小さすぎた。

- 電子の散乱点と反跳方向が適切に決定できなかった。
 - TPCのスレッシュホールドが高すぎて、適切な飛跡が得られなかった。

ご清聴ありがとうございました

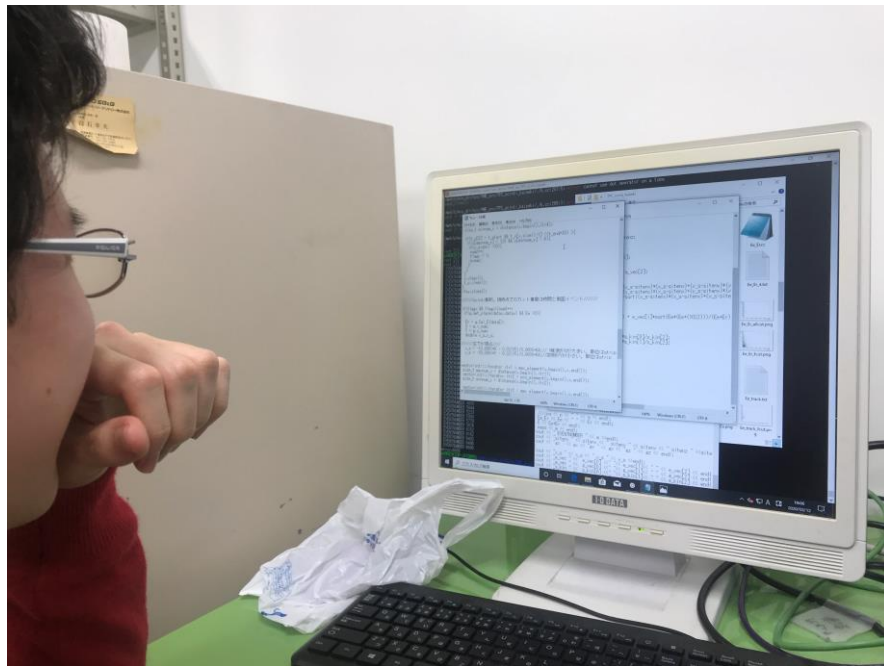
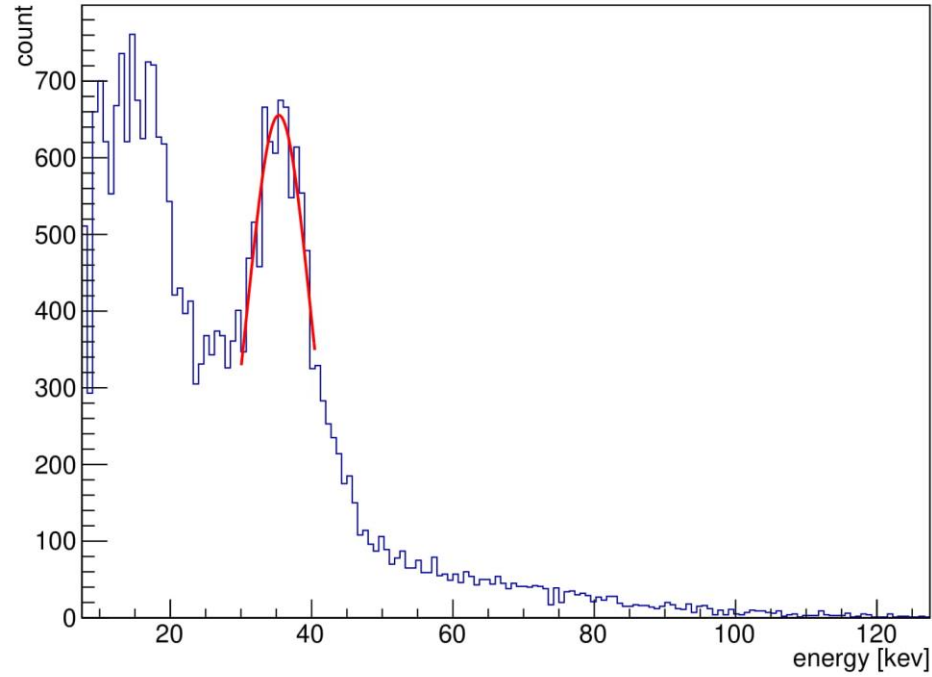


図:最初から最後までメモ帳でプログラミングした吉田君の画像

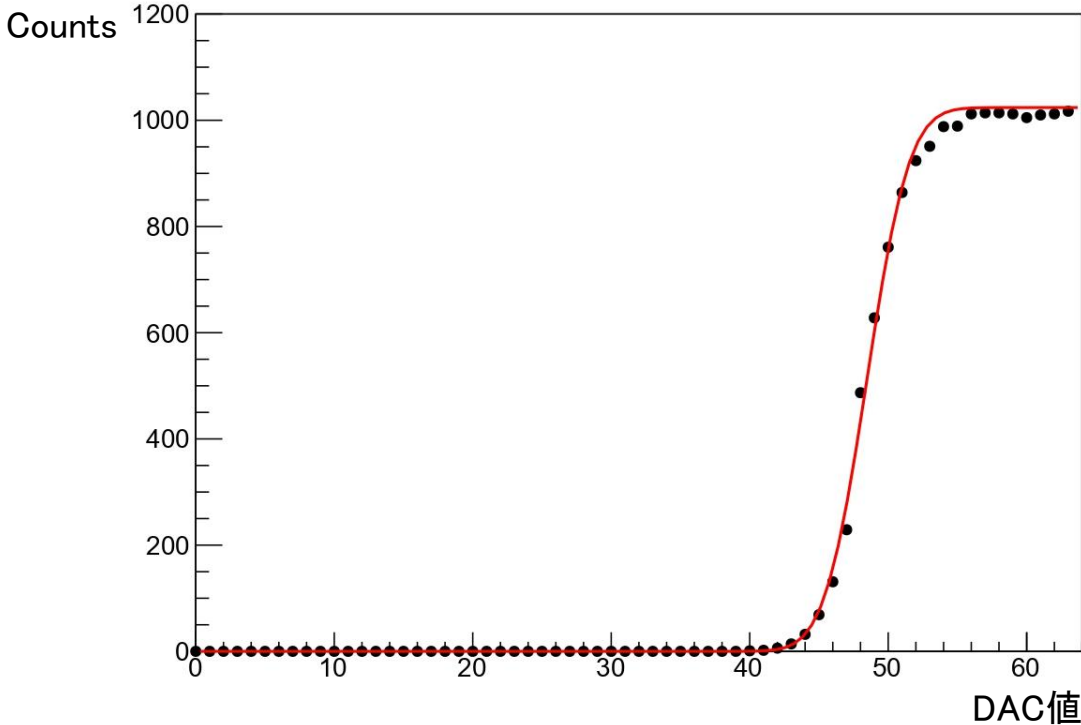
參考資料

KeV-Count

spectrum

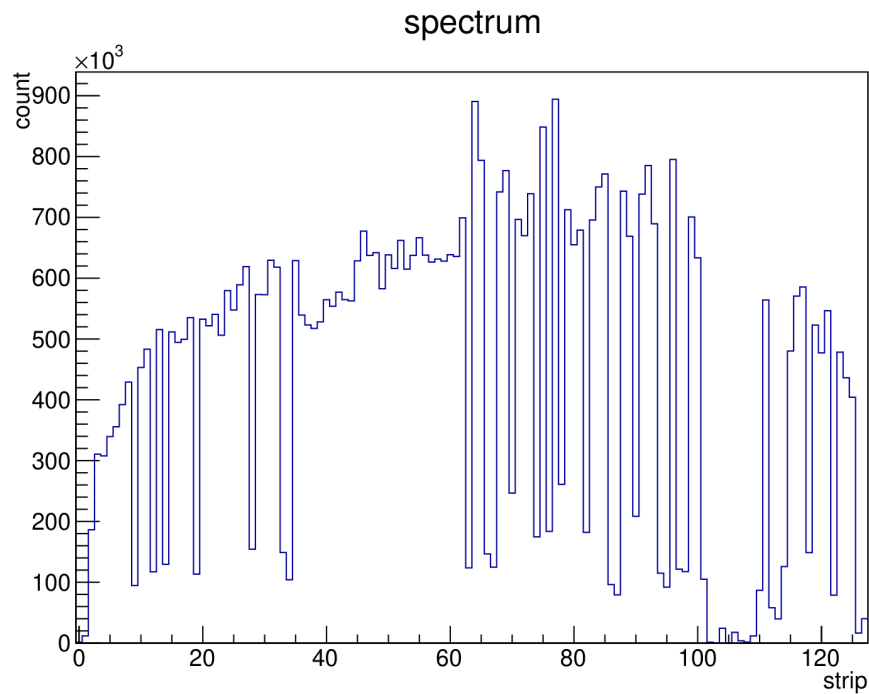


岩城ボードDAC値の決定法



Meanの値をDAC値として採用

アノード



アノードの各Stripに対するHIT数のカウント。100～110のstripのHITが極端に少ないことがわかる。

TPCのセットアップ

Drift Top -2600V



Drift領域 -300V/atm/cm

53.5mm

GEM Top -1000V

GEM Bottom -700V



インダクション領域 1.4kV/atm/cm

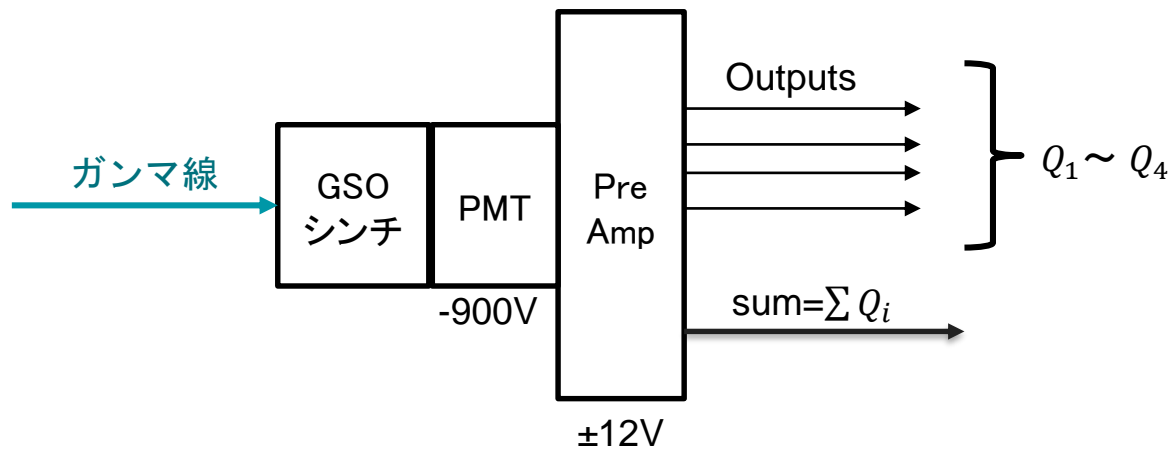
5mm

μ -PIC Cathode 0V

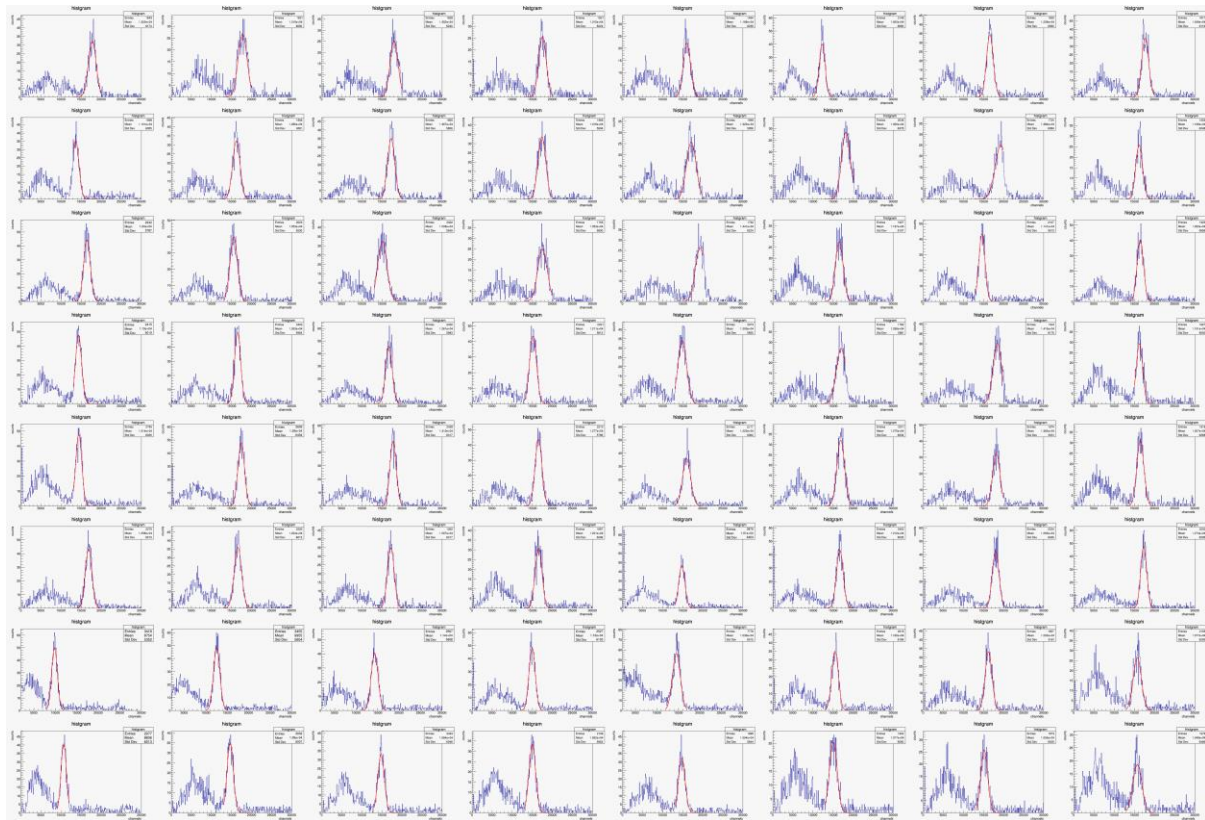
μ -PIC Anode 330V



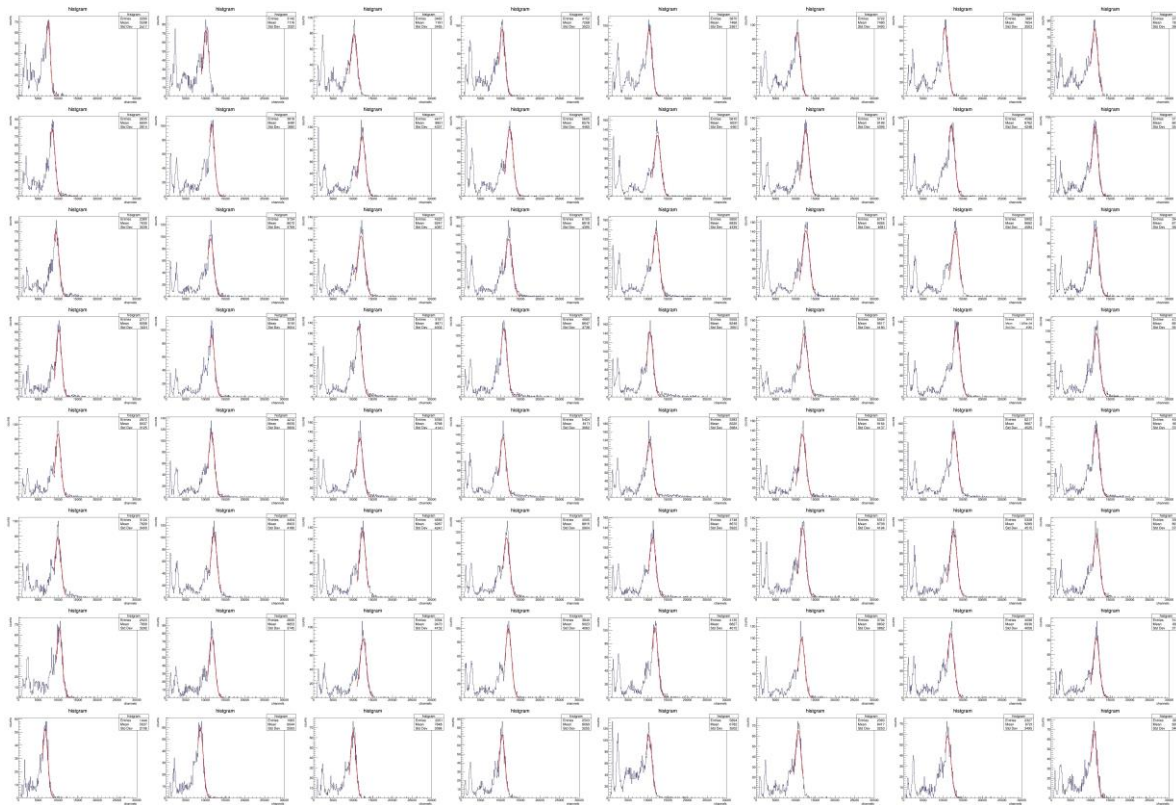
シンチレータのセットアップ



^{22}Na の各ピクセルのエネルギースペクトル

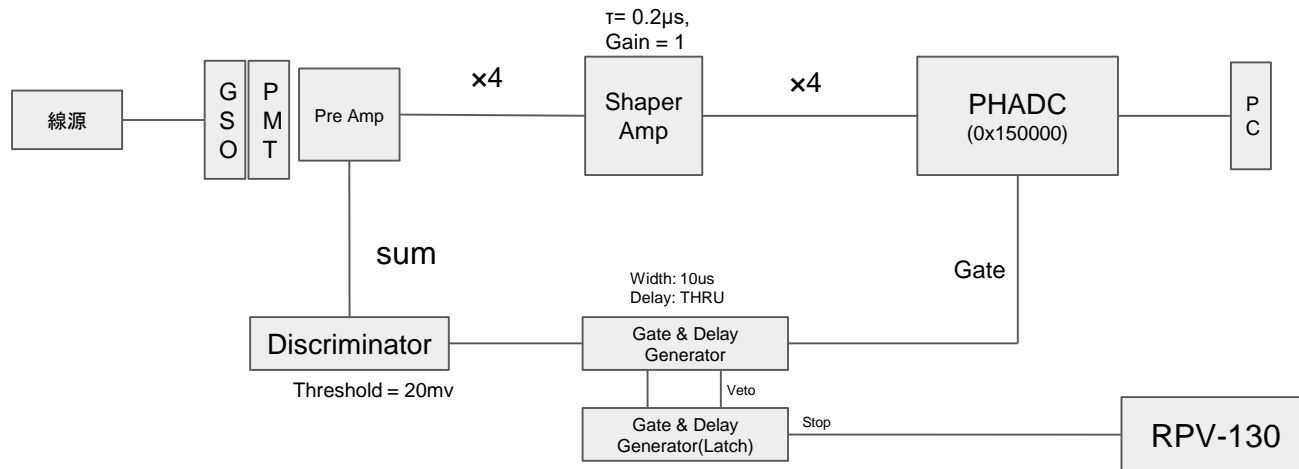


133Baの各ピクセルのエネルギースペクトル



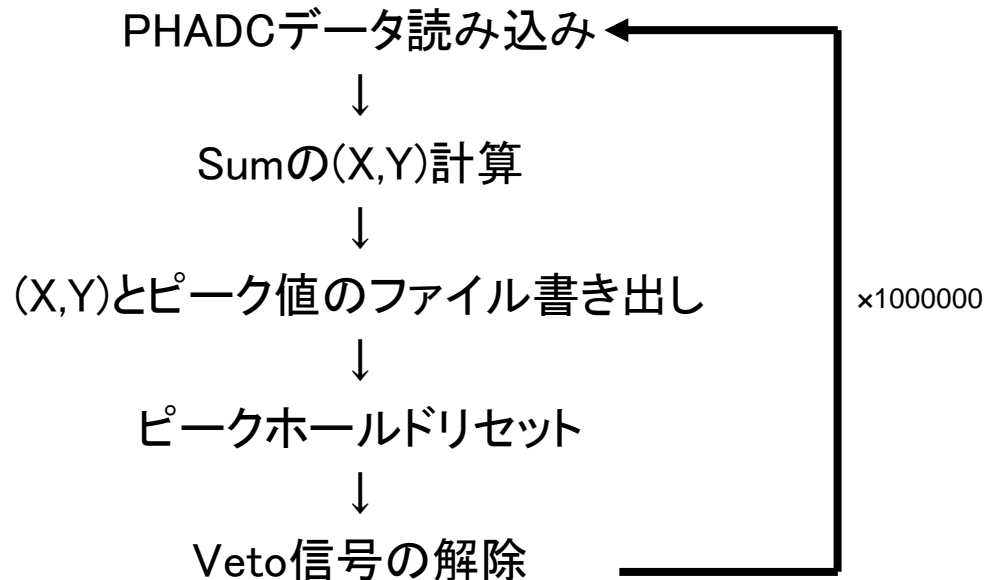
エネルギー較正

実験セットアップ



エネルギー較正

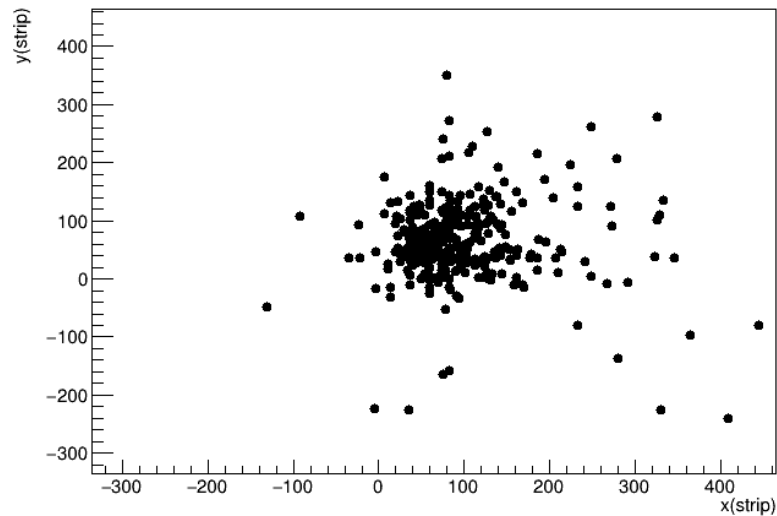
プログラム実行内容



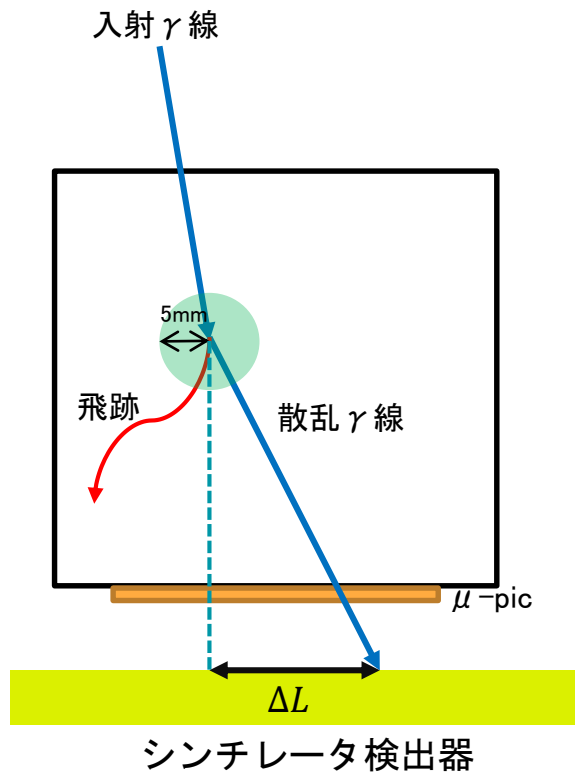
※PHADCのペDESTALについては1000回平均をとってマイナスしている

到来方向の決定（仮）

到来 γ 線のTPC上面射影



コンプトン散乱点と電子の反跳方向の決定



コンプトン散乱点:
吸収点からXY平面距離(左図の ΔL)が最も短い飛跡点

反跳方向:
散乱点から5mm以内の3次元距離が最も長い飛跡点の方向