



# NEWAGE実験81： 大型ガスチェンバーのための モジュール型飛跡検出器性能評価

---

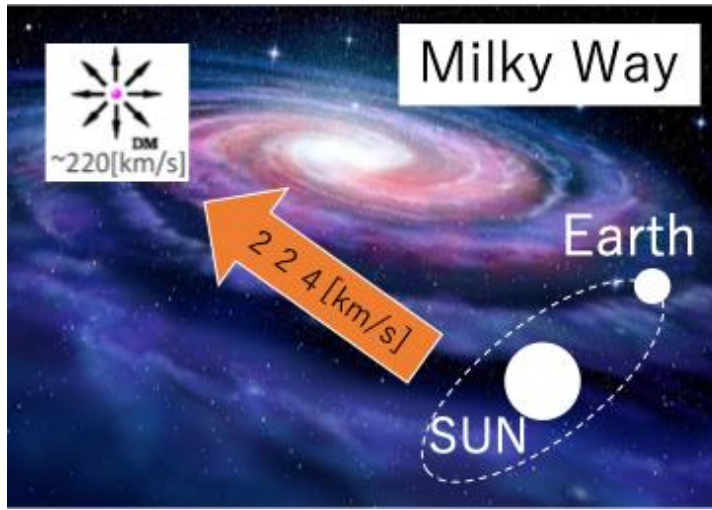
神戸大 生井 凌太

身内賢太郎, 東野聡, 鈴木啓司

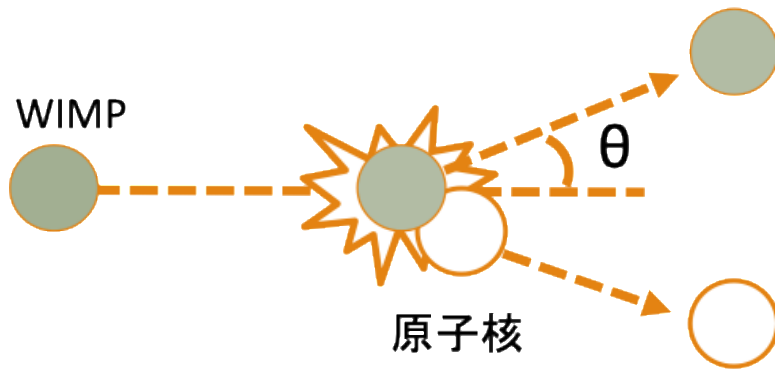
2024年 9月 16日

講演番号: 16AB132-2

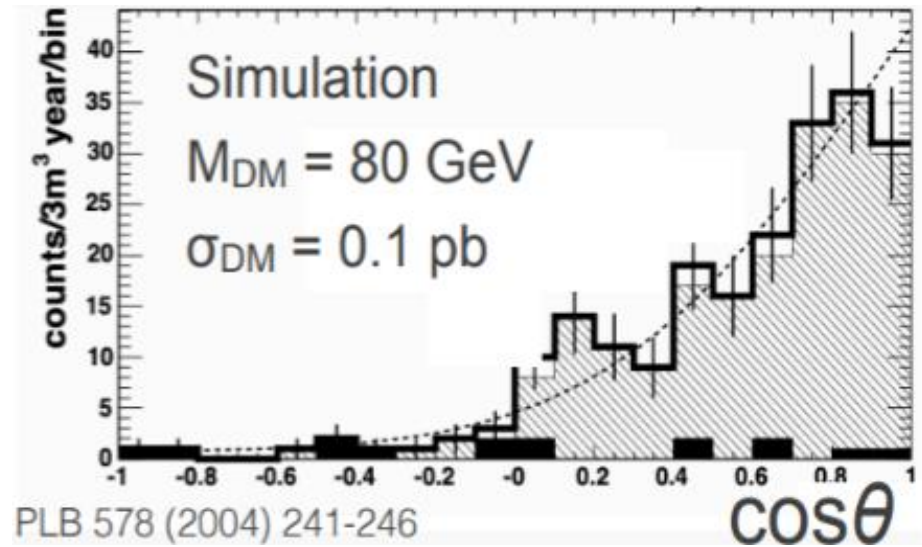
# 方向に感度をもつ暗黒物質探索実験



- WIMP (Weakly Interacting Massive Particles)  
: 暗黒物質の候補粒子
- 太陽系の進行方向からのWIMPの到来量が多くなる  
→この方向依存性をWIMPと原子核の**弾性散乱での反跳角分布**をから観測する
- neutrino fogの影響を受けることなく探索が可能

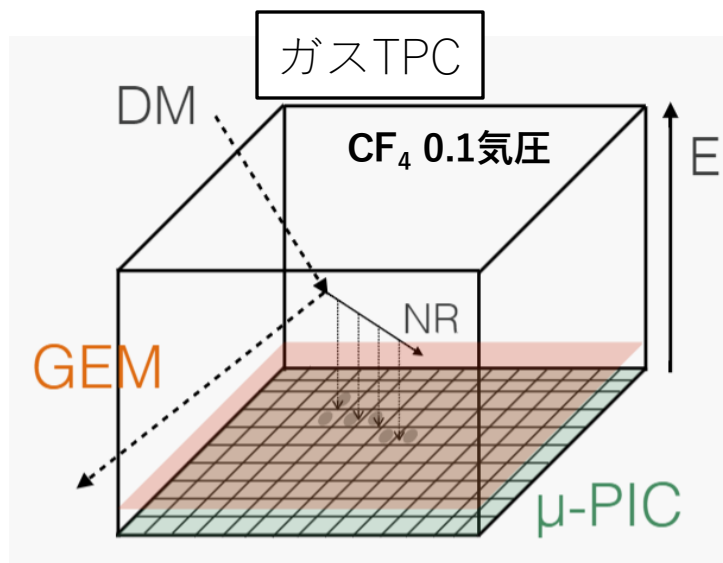


WIMPによる原子核反跳事象

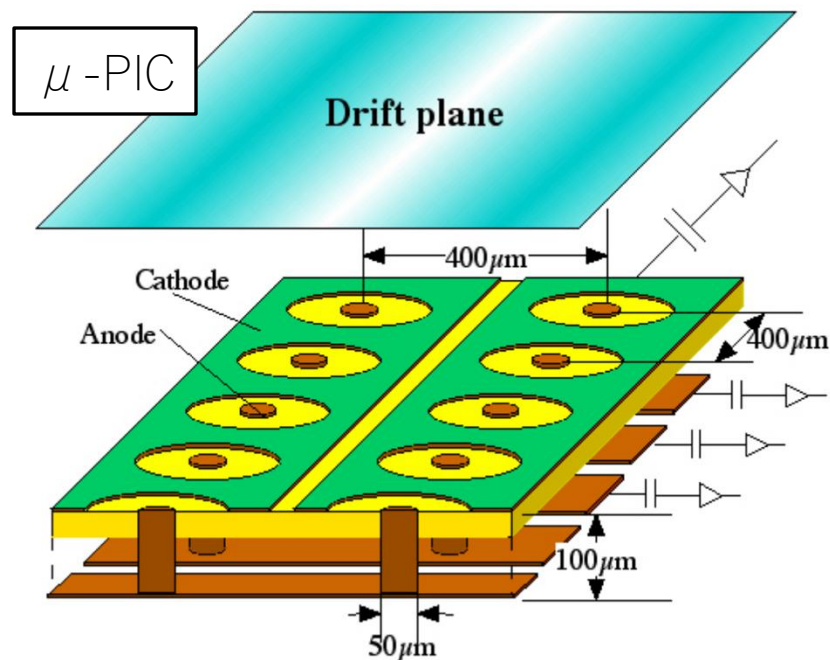
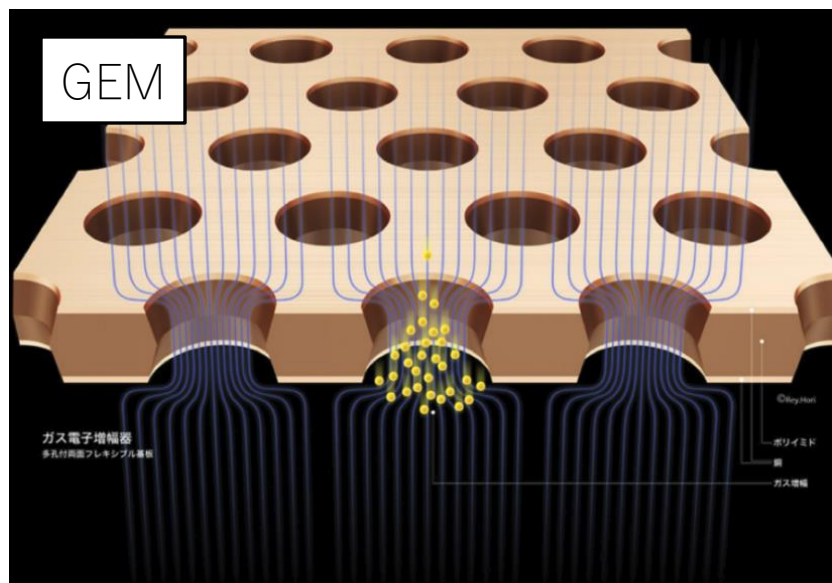


原子核反跳の角度分布 (シミュレーション)

# NEWAGE実験

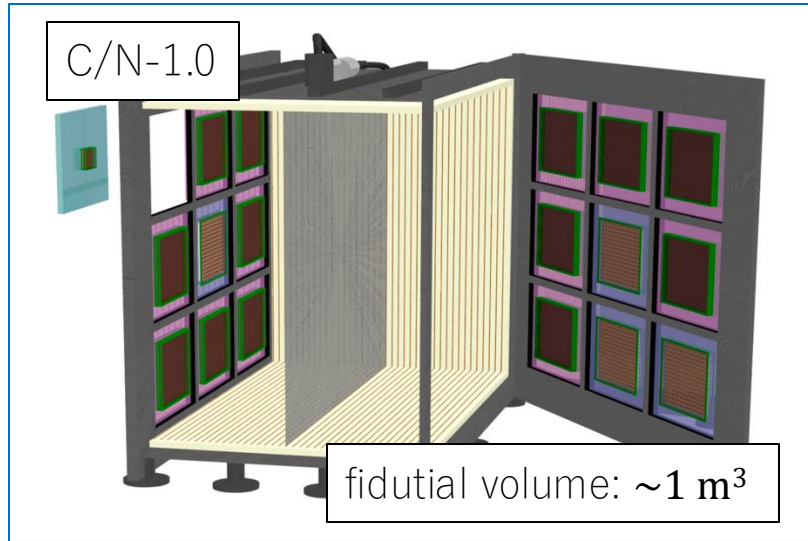


- ガスTPC (Time Projection Chamber)
- $\text{CF}_4$  0.1気圧
- GEMによる前置増幅
- $\mu$ -PIC(Micro Pixel Chamber)による三次元読み出し



- 位置分解能 (二次元) + 時間分解能 (一次元)
- 電極付近に高電場を形成し、電子の雪崩増幅を行う

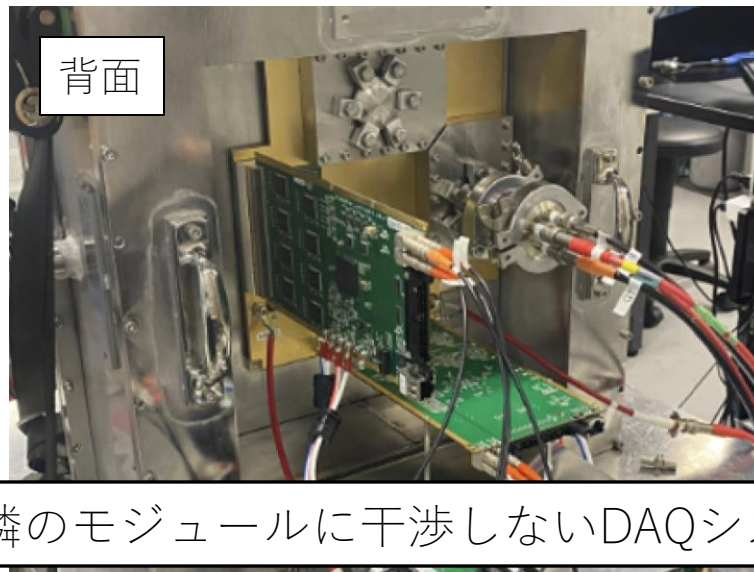
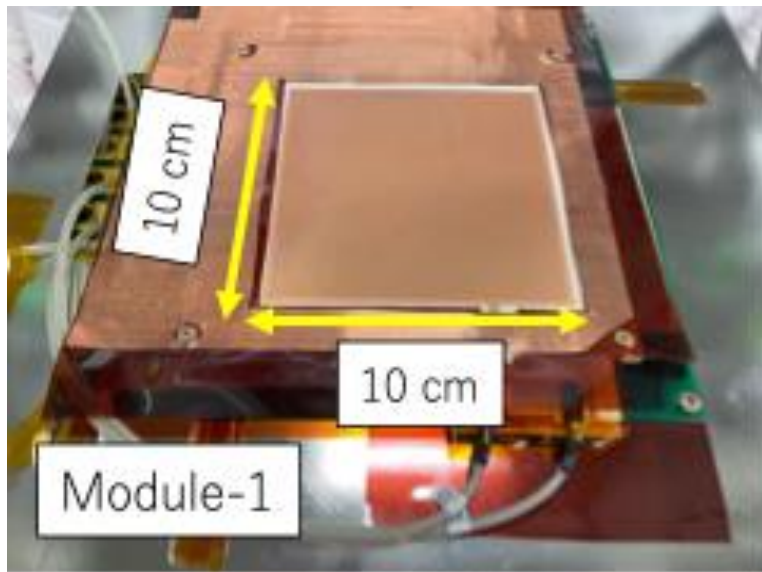
# CYGNUS-KM / NEWAGE (C/N-1.0)



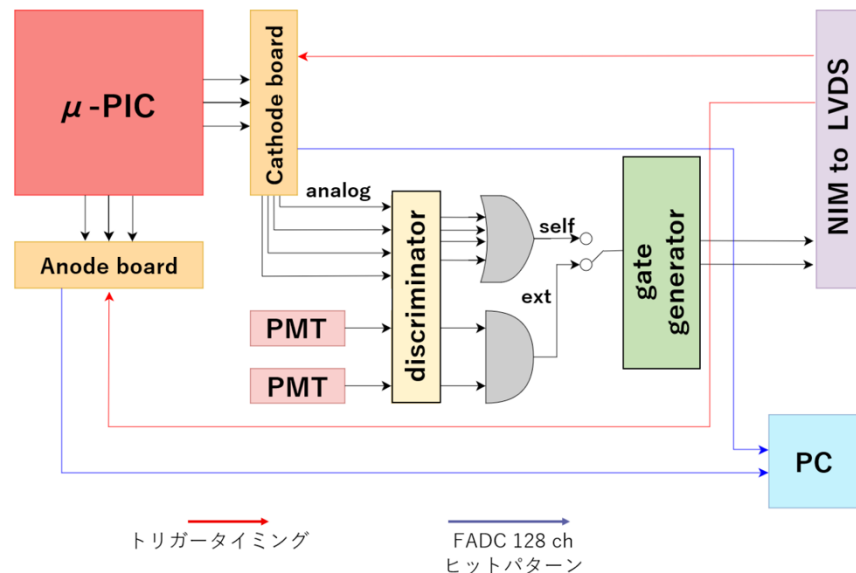
- 更なる感度向上に向けて
  - 検出器の大型化 (従来の30倍)
  - モジュール検出器を9×2個搭載
- モジュール検出器を開発中
- Module-1 (GEM +  $\mu$ -PIC)
  - 10x10 cm<sup>2</sup> fidutial volume
  - 三次元での飛跡再構成が可能
  - 検出器の性能評価 (本研究の目的)



# Module-1

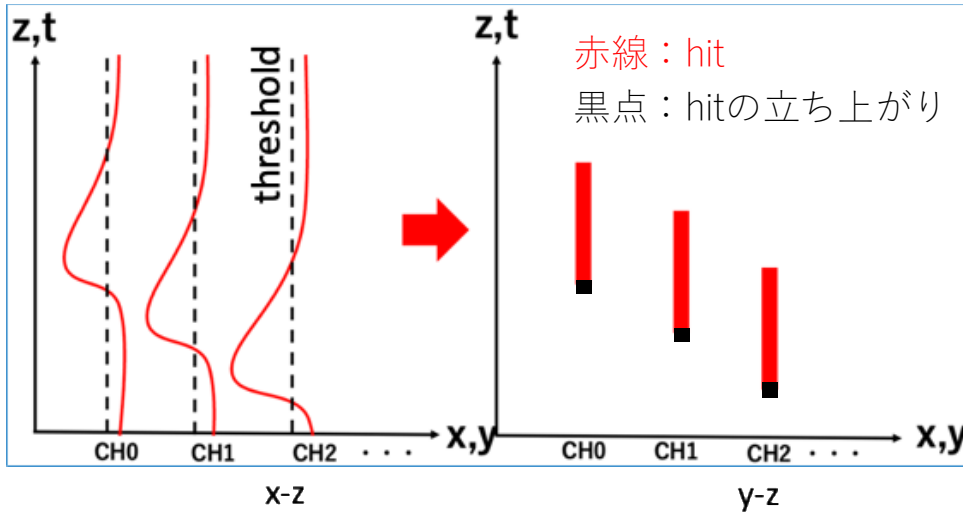


- 現行NEWAGEとは異なるDAQシステム
  - 従来のNEWAGE DAQは検出器の横に大きく飛び出す構造
  - C/N-1.0に合わせた隣と干渉しない設計
- アナログ信号からトリガを発行、Bufferに記録されたヒットパターンのデータを取得



# 飛跡のパラメータ解析

## ▼飛跡再構成の概略図

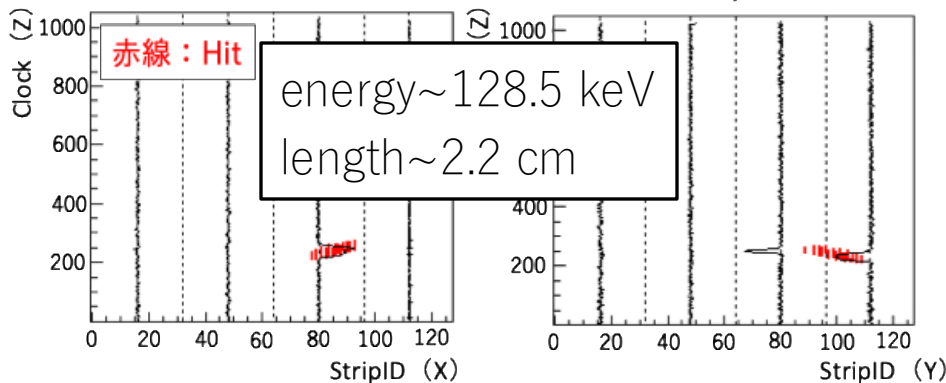


## ➤長さ・角度

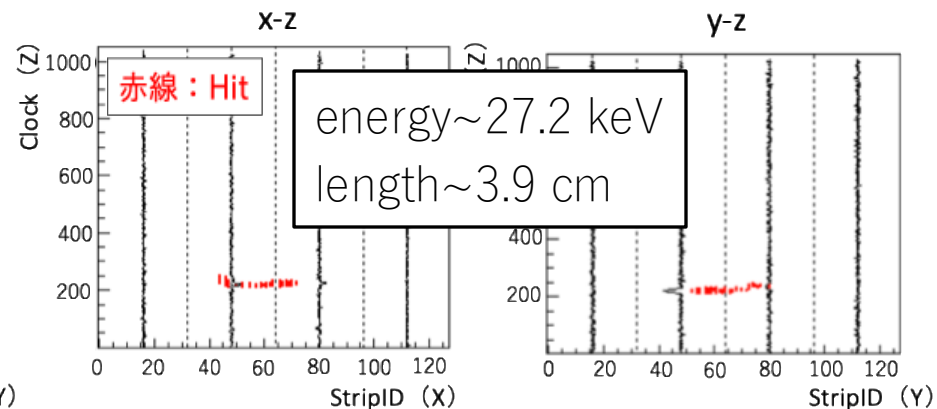
- 128 ch, 800  $\mu\text{m}$  pitch
- hitの立ち上がりの位置情報から飛跡の長さ・角度を計算

## ➤エネルギー

- 32 ch毎にまとめたADC波形から計算



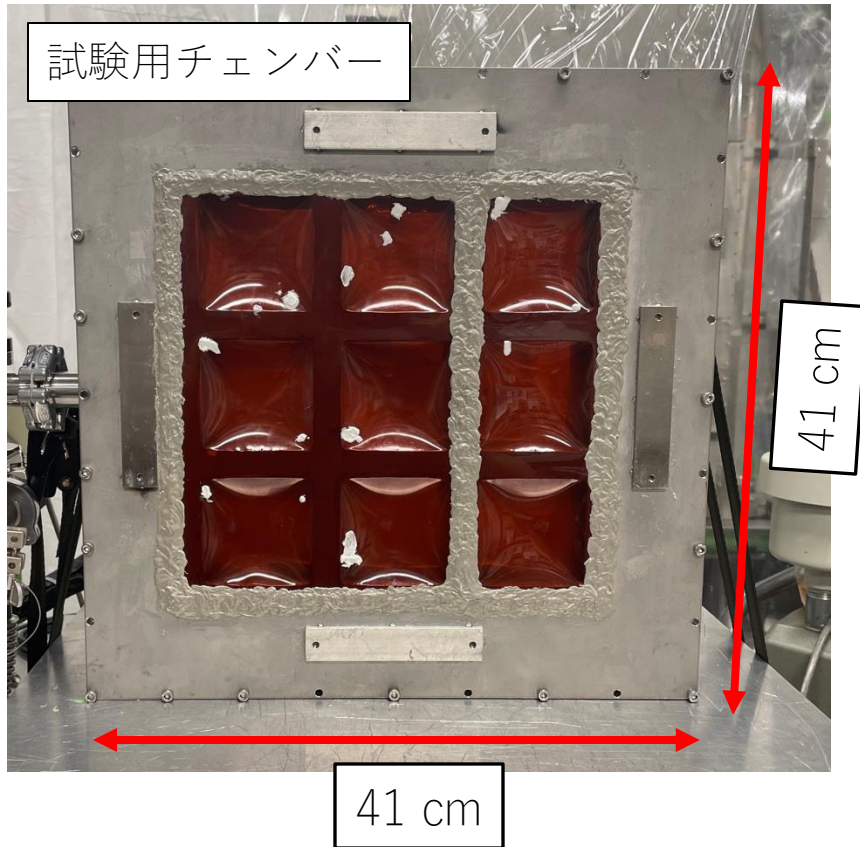
▲中性子による原子核反跳事象 (NR) の飛跡の候補



▲ $\gamma$ 線による電子反跳事象 (ER) の飛跡の候補

✓ 飛跡のパラメータから反跳粒子の識別を行う

# Module-1の性能評価



## ➤ 試験用チェンバーを使用

- Drift plane:  $30 \times 30 \times 4 \text{ cm}^3$
- $\text{CF}_4$ ガス 0.1気圧

## ➤ 以下について現行NEWAGEと比較

### 1. ゲイン特性評価

- $^{55}\text{Fe}$ の5.9 keV特性X線を使用

### 2. ~~原子核反跳 (NR) 事象の検出効率評価~~

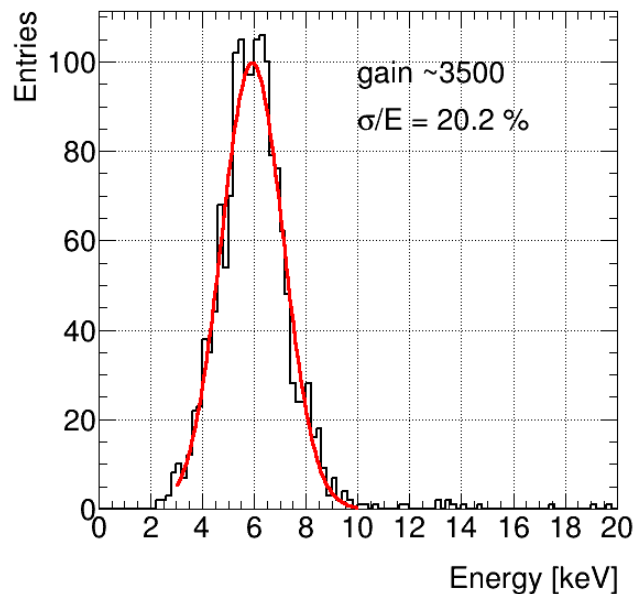
- $^{252}\text{Cf}$ 中性子線源を使用

### 3. ~~$\gamma$ 線の除去効率の評価~~

- $^{137}\text{Cs}$ の662 keV  $\gamma$ 線を使用

→lengthの再構成がうまくいっていないことが判明  
原因調査、対策へ

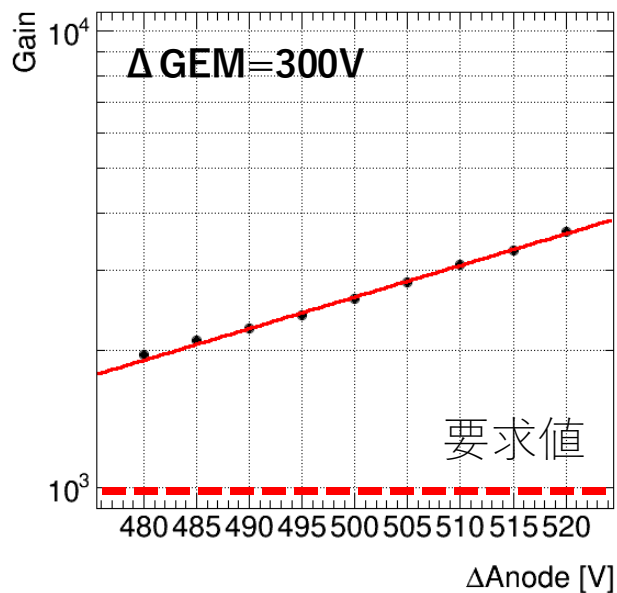
# ゲイン特性評価



- $\text{CF}_4$  0.1気圧
- $^{55}\text{Fe}$  の5.9 keV X線を使用

## 分解能測定

- エネルギー分解能  $\sigma/E = 20.2\%$



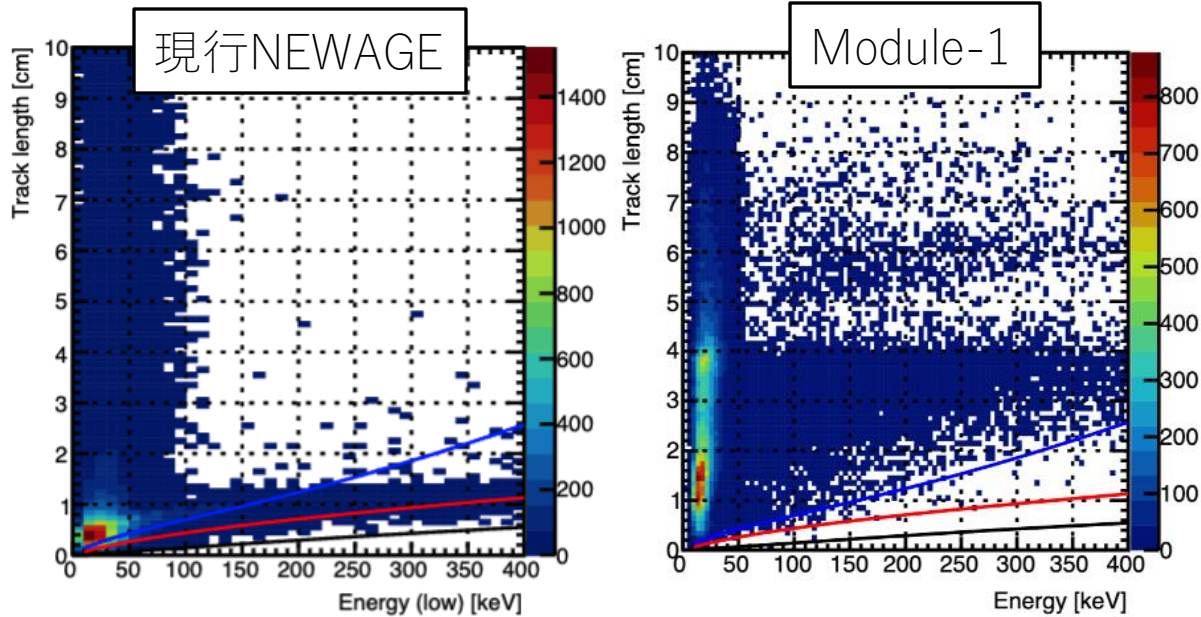
## $\mu$ -PIC電極の電位差とゲインの関係

- ゲイン要求値:  $>1000$
- $\mu$ -PICの電極間の電位差  $>450\text{ V}$ で達成可能



# 飛跡のlength計算

飛跡のenergyとlengthの関係



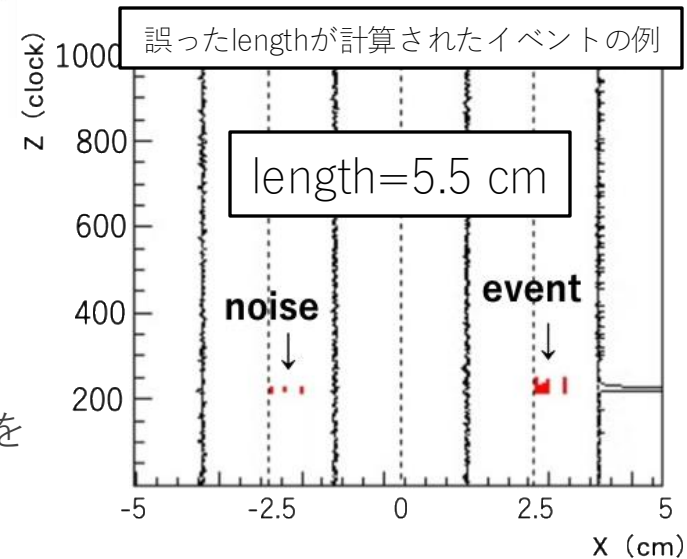
simulation (SRIM) による  
原子核反跳事象の分布

- 青線 : proton
- 赤線 :  $^4\text{He}$
- 黒線 :  $^{19}\text{F}$

Module-1では現行NEWAGEの結果を再現できていない

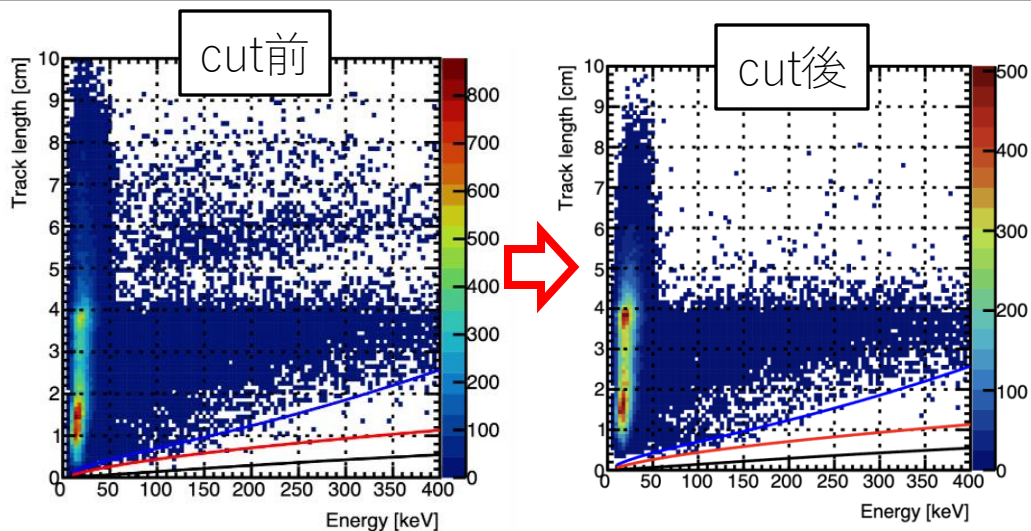
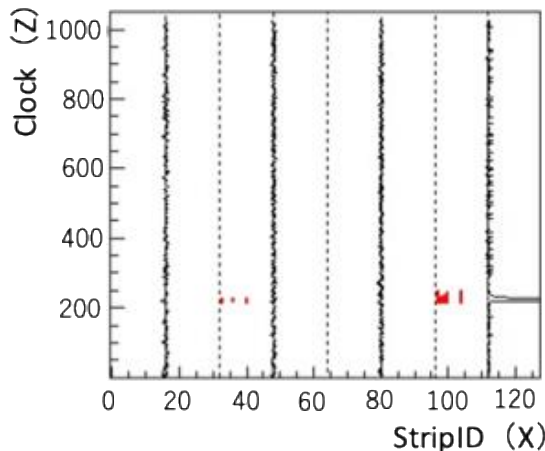
## 問題点

- hitのノイズにより二つのクラスターを繋げてしまう
- ドリフト速度が未測定のため、理論値である $11.7 \text{ cm}/\mu\text{s}$ を使用している



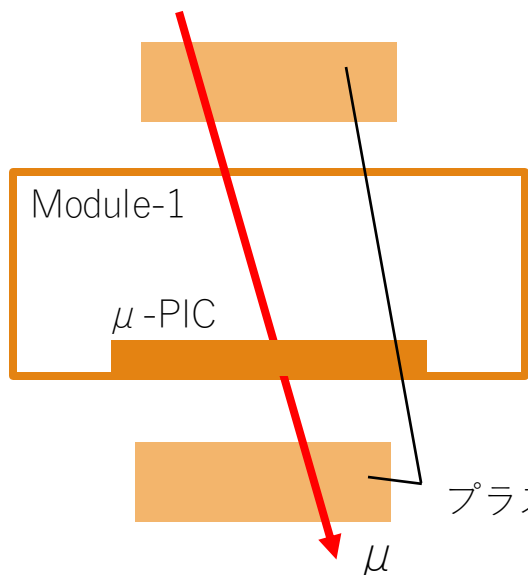
# 対応策

## ① hit間隔の大きいイベントのカット



- hitしたstripの間隔にthresholdを設ける

## ② 宇宙線 $\mu$ を使用したdrift velocity測定



- 電場が正常に形成されていない場合ドリフト速度が遅くなる。
- 宇宙線  $\mu$  を使用したドリフト速度測定
  - 検出領域を挟むようにプラスチックシンチレータを配置、コインシデンスをトリガとする
  - cosmic  $\mu$  はfidutial volumeを突き抜ける  
→z方向の最大値と最小値が変わる

# 結論・今後の展望

---

## ➤ 結論

- C/N-1.0に実装するModule-1の性能評価を行った
- > 450 Vで暗黒物質直接探索に必要なゲインを達成可能

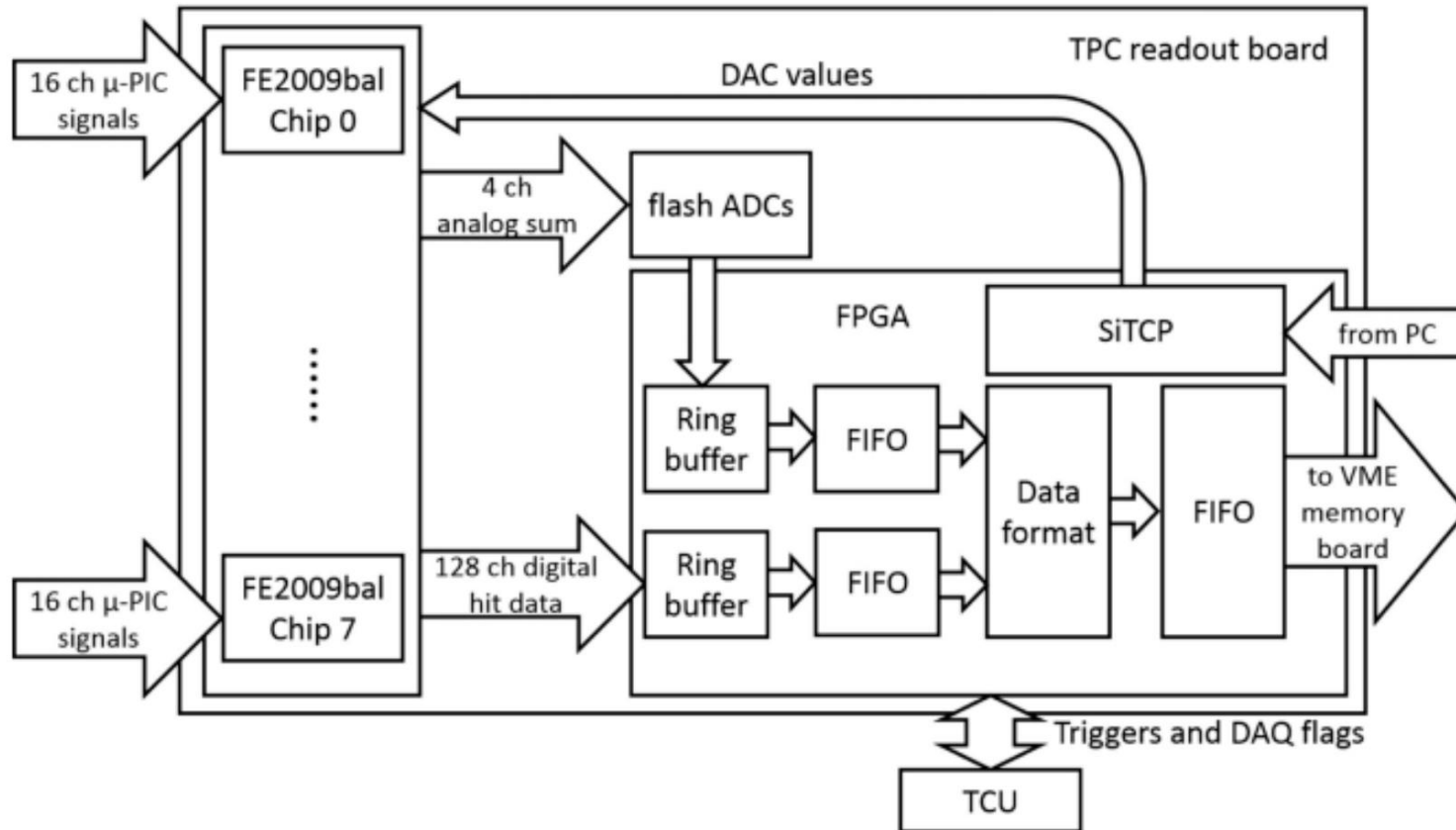
## ➤ 今後の展望

- 正しい飛跡パラメータの再構成
  - hitのノイズ削減
  - Drift velocityの評価
- 検出効率の評価
- 角度分解能の評価

# Back up

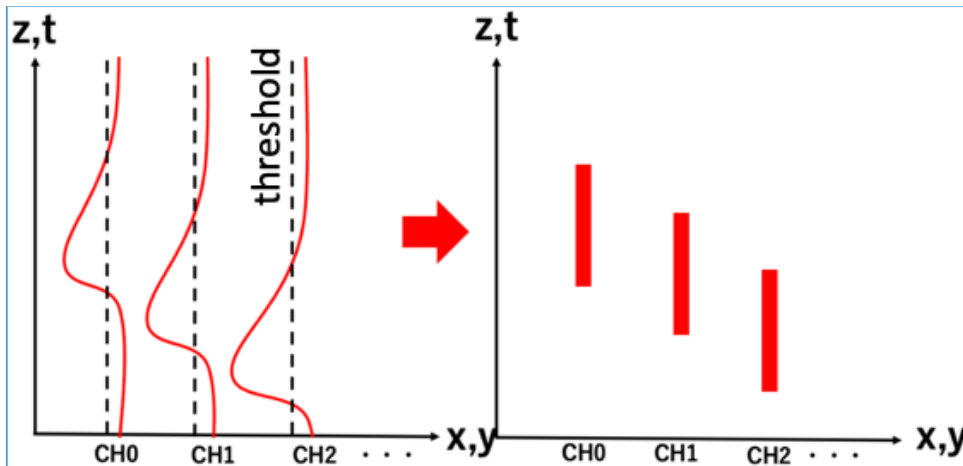
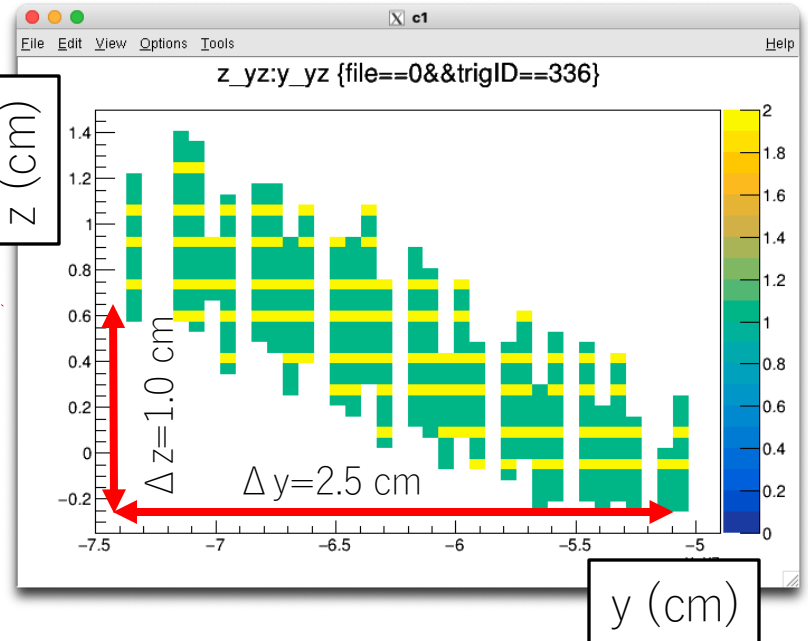
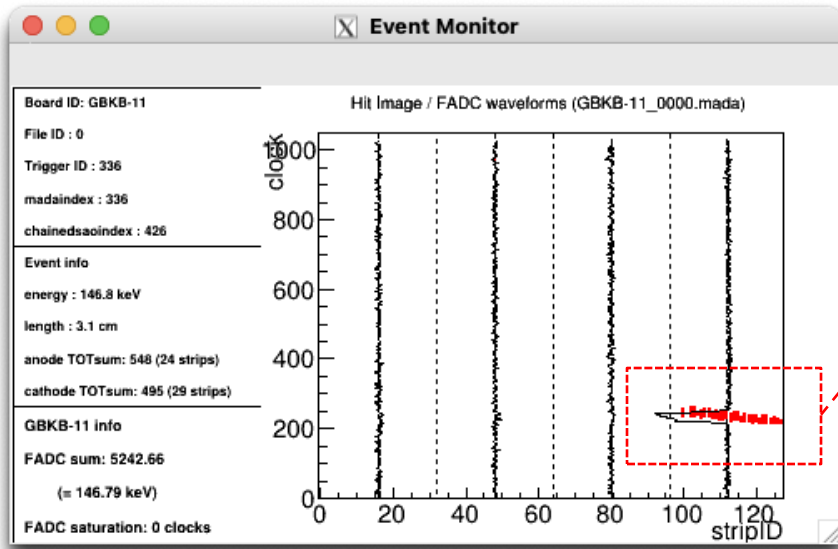
---

# FE2009bal $\mu$ -readout V1



1. 128 ch hiデータと4 ch ADCデータをbufferに保存
2. Triggerがかかった場合、対応するデータをEthernet方式で出力

# 飛跡のlengthの計算



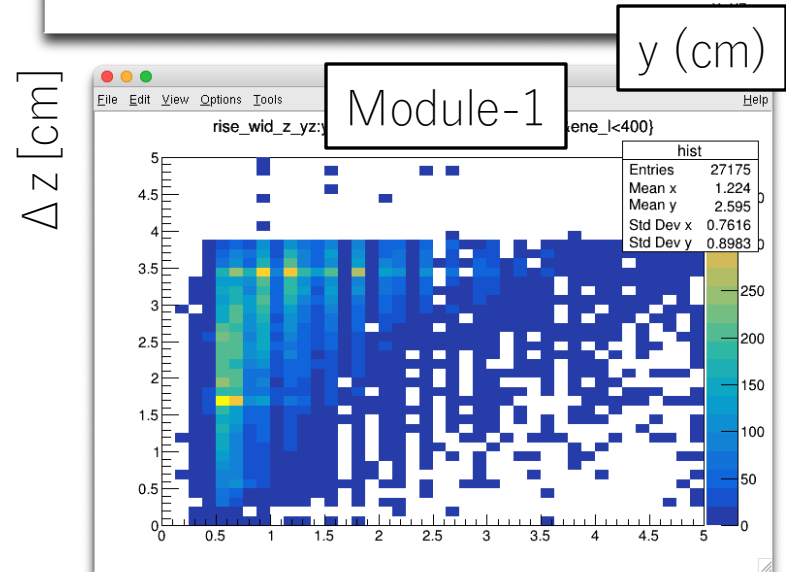
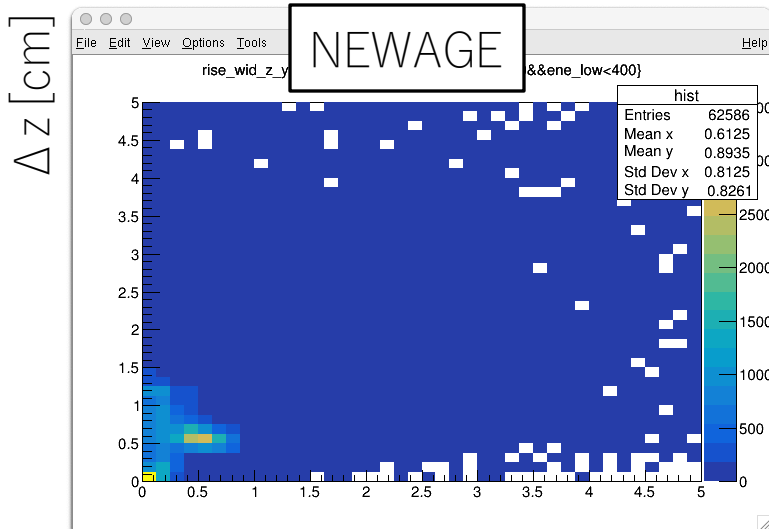
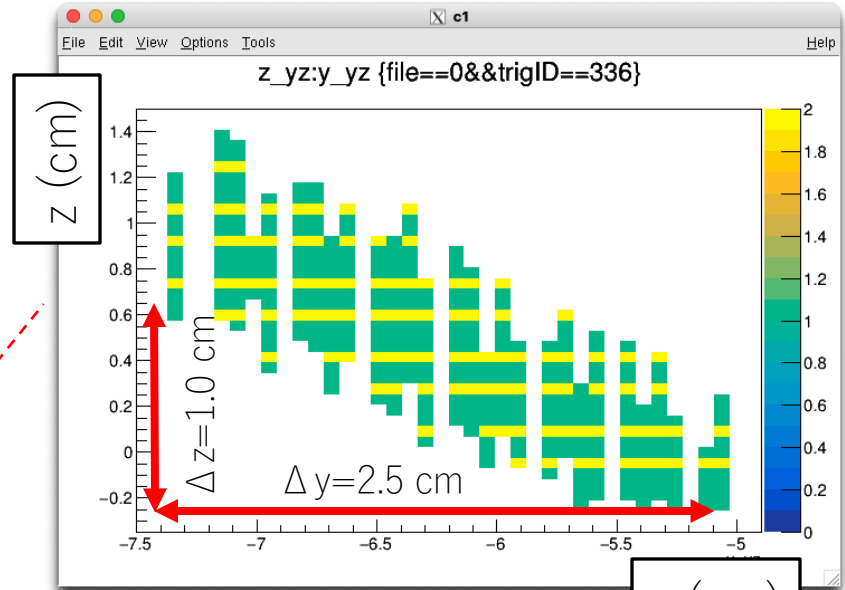
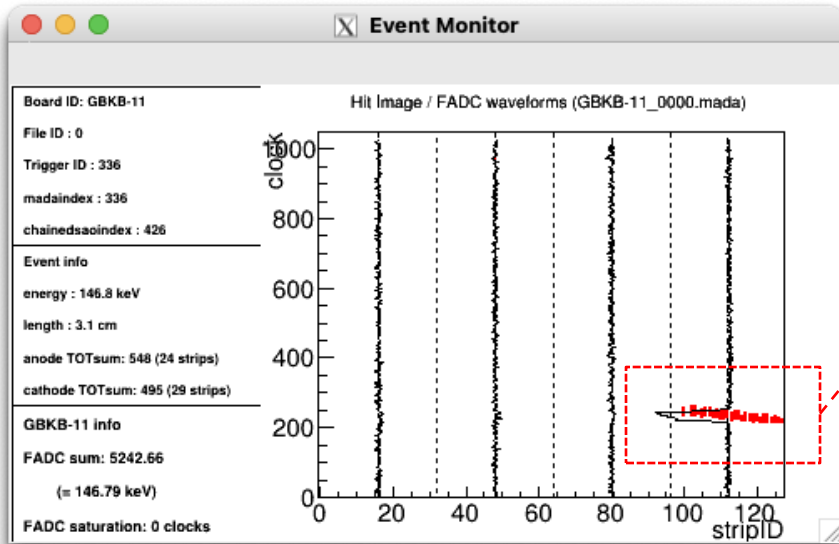
再構成した長さ

$\Delta y = 2.24$  cm

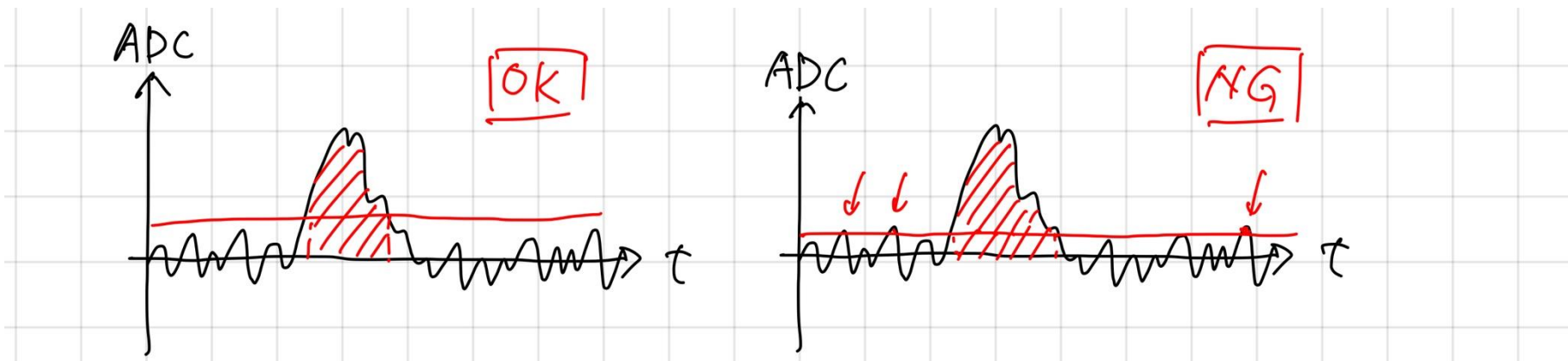
$\Delta z = 5.13$  cm

➤ thresholdが十分に一様でない

# 飛跡のlengthの計算



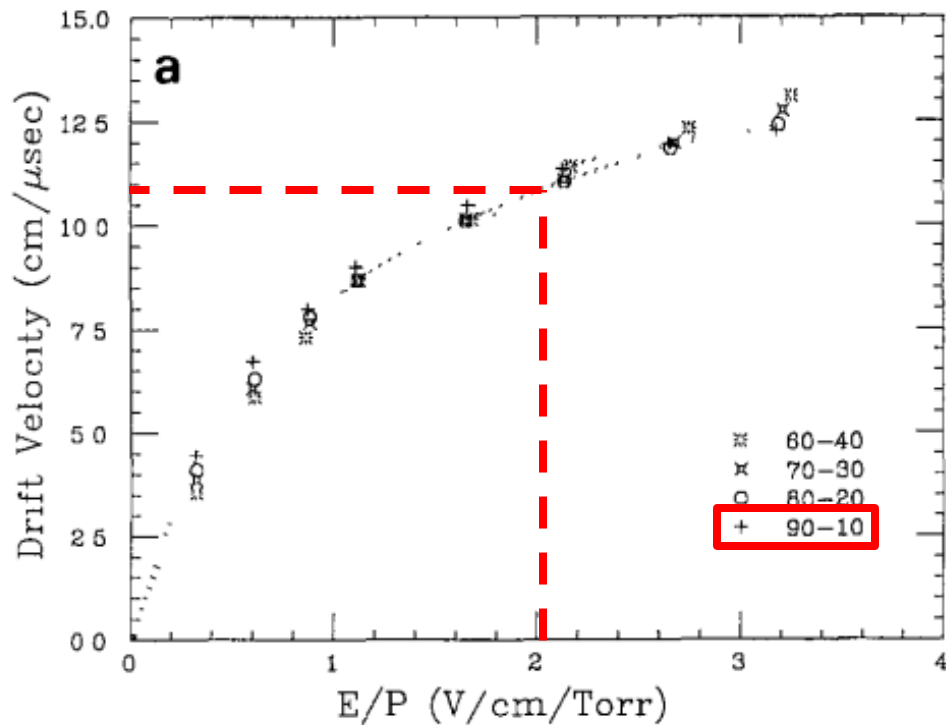
# 飛跡のエネルギーの計算



- 各信号のADC波形に対して閾値を超えたclockのADC値を合計する



# CF<sub>4</sub>中のドリフト速度



[https://doi.org/10.1016/0168-9002\(89\)91445-9](https://doi.org/10.1016/0168-9002(89)91445-9)

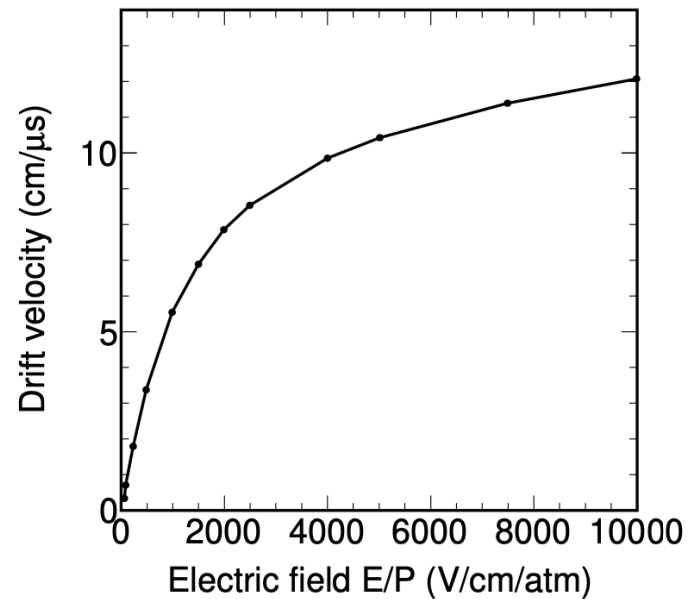
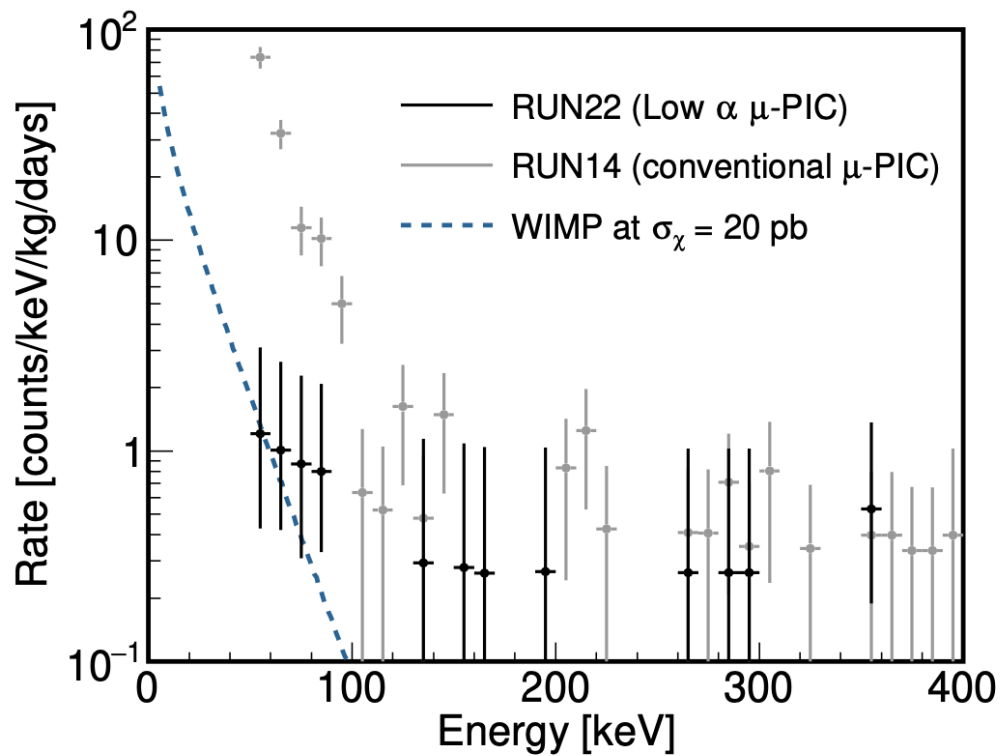


Figure 2.2.3: Drift Velocity of the electron in CF<sub>4</sub> gas calculated by MAG-BOLTZ simulation.



$\sigma_\chi = 20$  pb and the energy resolution of  $\epsilon = 13.2\%$ .