



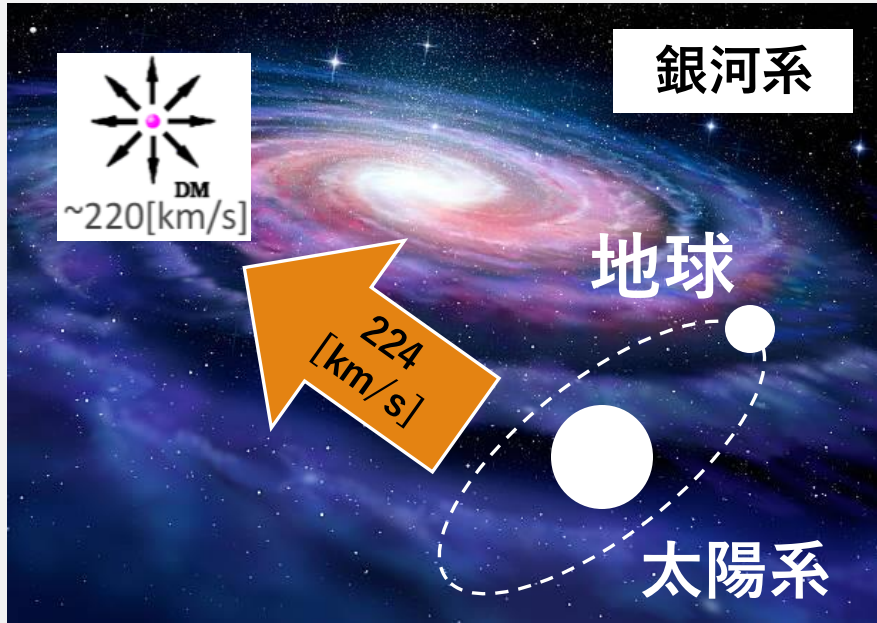
# NEWAGE実験83： 大型ガスTPCのための モジュール型検出器における飛跡再構成

神戸大学 生井 凌太

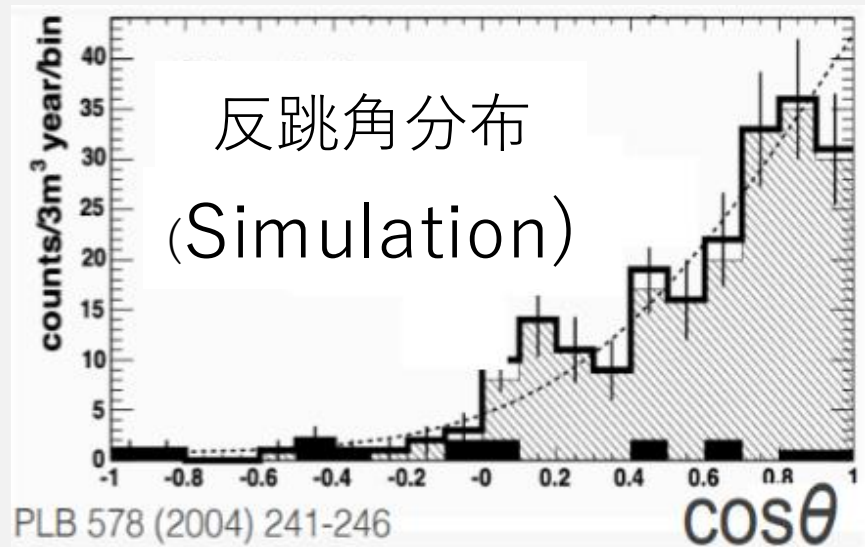
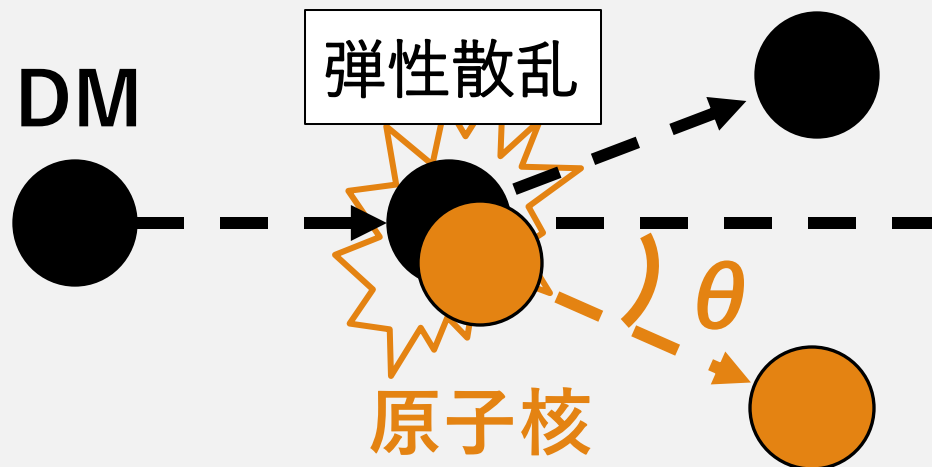
身内 賢太朗 東野 聡 鈴木 啓司

2025/3/19

# 方向に感度を持つ暗黒物質探索

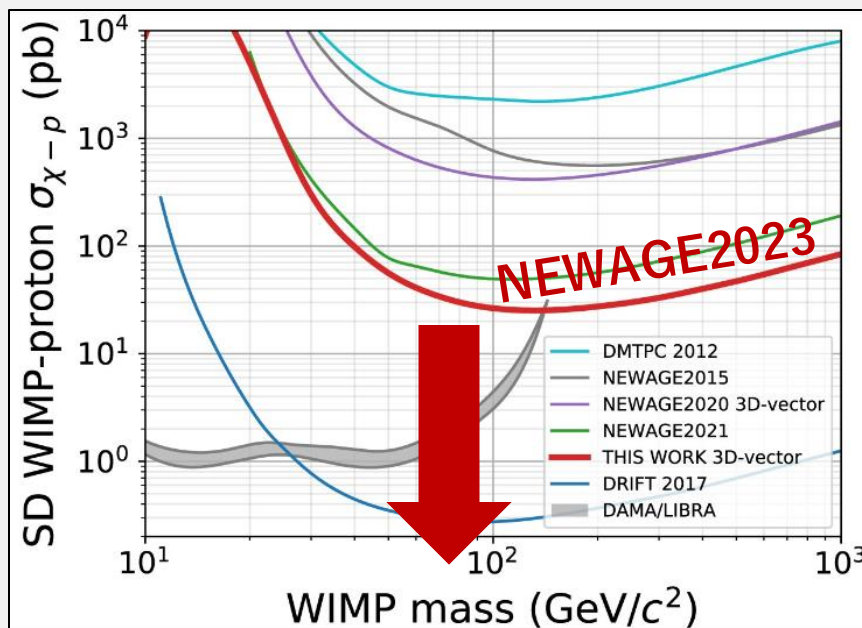
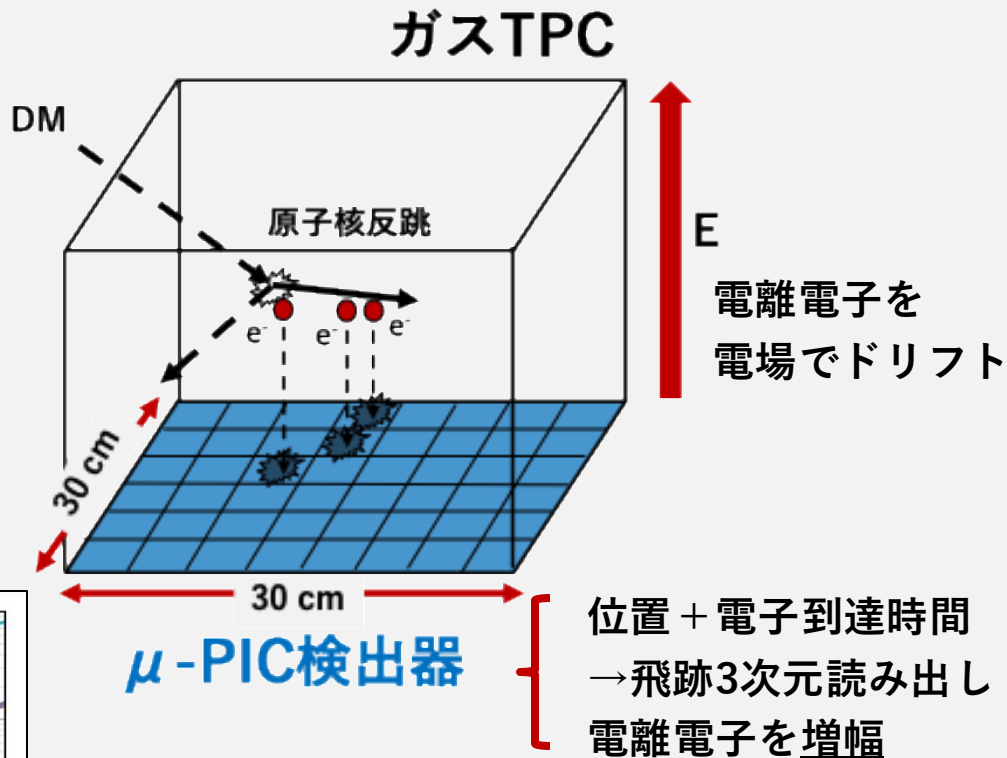
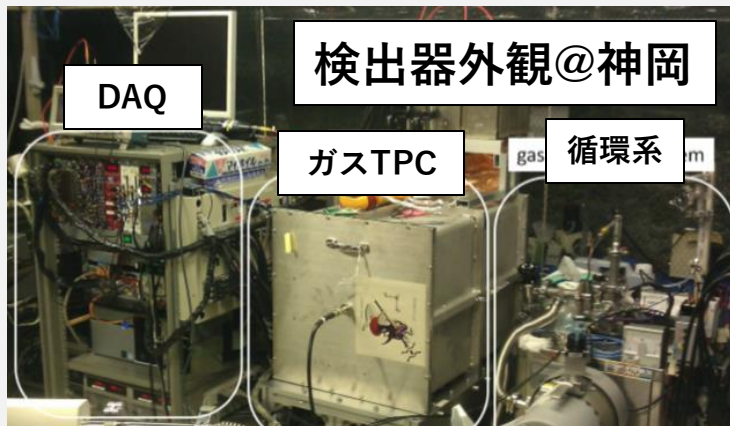


- 宇宙観測による不明な質量の存在  
→ 世界中での暗黒物質 (DM) 探索
- 方向に感度を持つ探索  
→ DMの到来方向依存性を利用
- どうやって?  
→ DM-原子核弾性散乱の反跳角分布を利用 (直接探索)



# NEWAGE実験

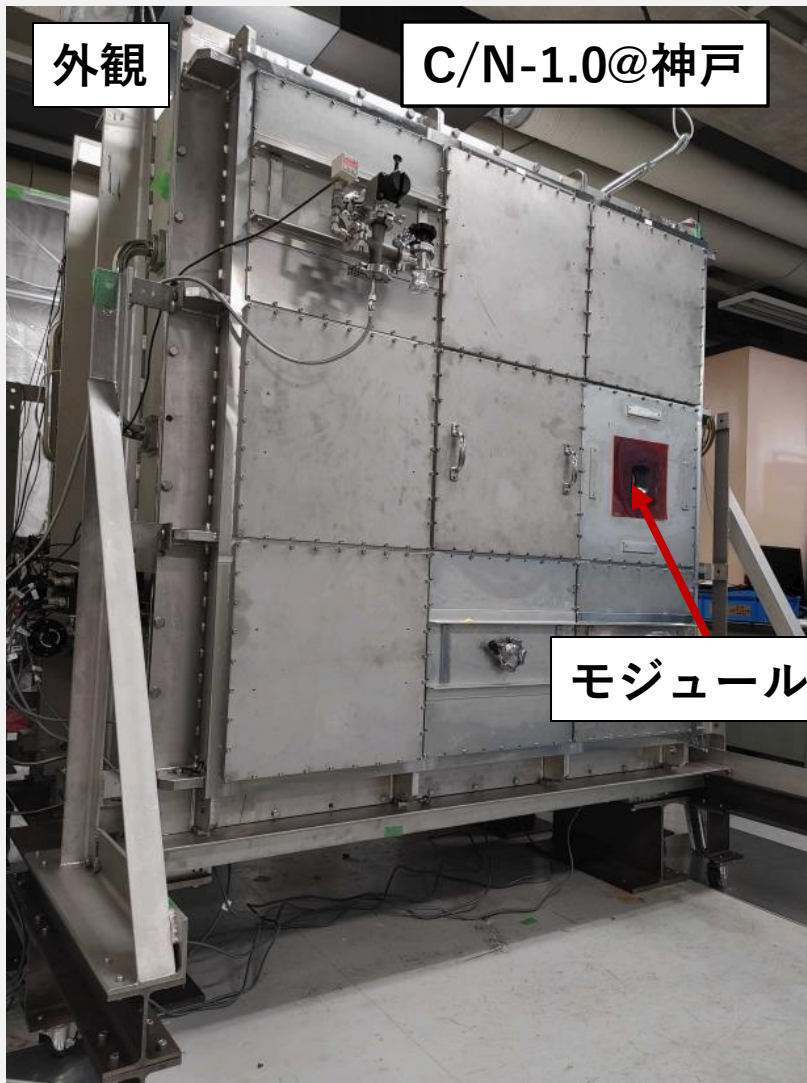
- 場所：神岡鉱山地下実験室
- 検出器：ガスTPC



方向に感度を持つDM探索で  
世界最高感度

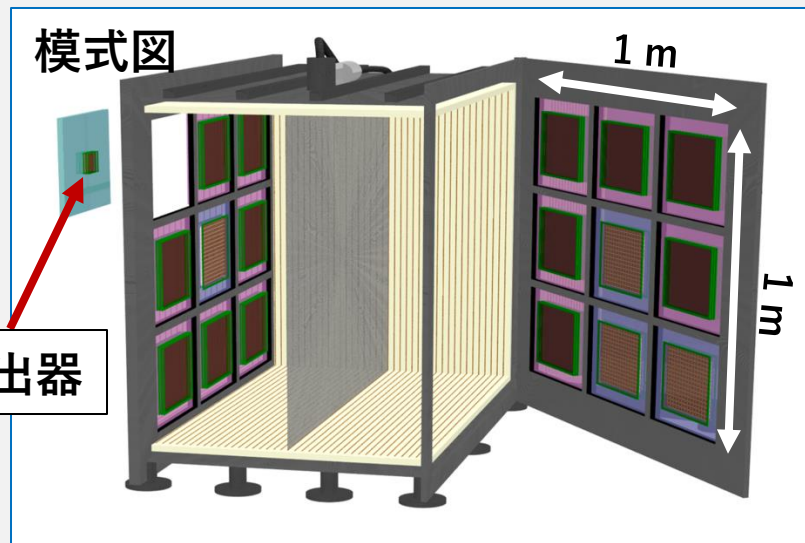
- 更なる感度向上  
→ 検出器の大型化

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



- 更なる感度向上に向けて

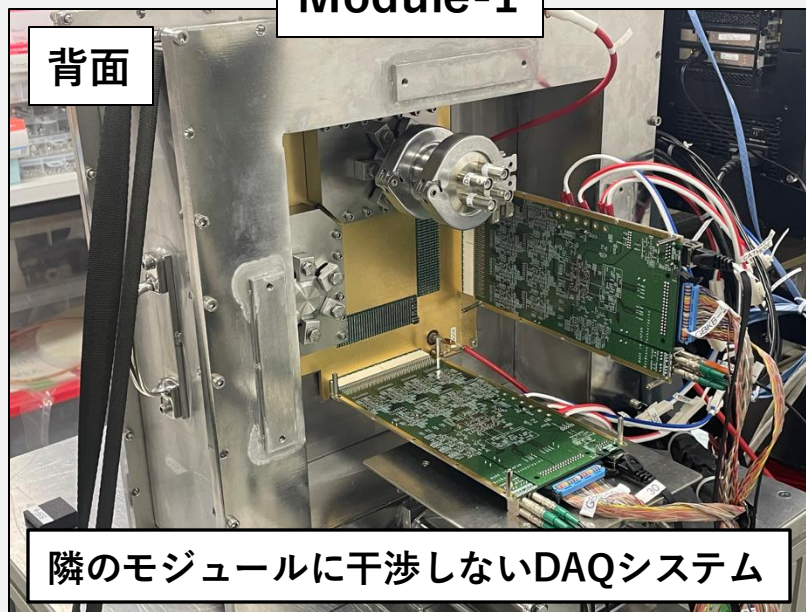
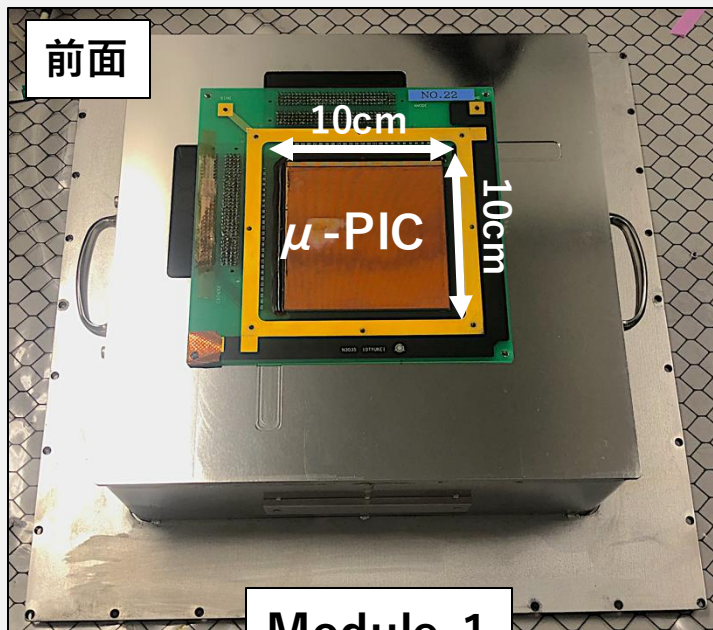
- 検出器の大型化（従来の30倍）
- モジュール化した検出器を $9 \times 2$ 個搭載



- モジュール検出器であるModule-1を開発中



# Module-1



## 特徴

- 検出面積  $10 \times 10 \text{ cm}^2$
- $\mu$ -PICによる三次元読み出し  
→ 現行NEWAGEを模した構造

## 現行NEWAGEと異なる点

- ① 電場構造：GND面の場所
  - ② エレキ
  - ③ 信号読み出しストリップ間隔  $400 \rightarrow 800 \mu\text{m}$
- ①は問題ないことを確認済（JPS2024春 20aV1-3）

## 本研究の目的

- 暗黒物質探索実験に向けた検出器の性能評価



飛跡を取得しF原子核の反跳事象を弁別する

# 飛跡の再構成方法

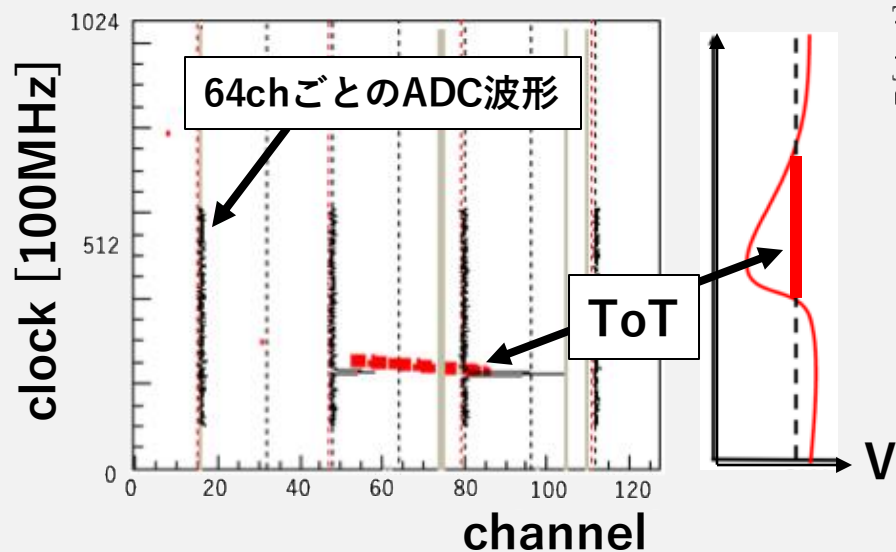
## 信号読み出し回路の外観

テストチェンバー

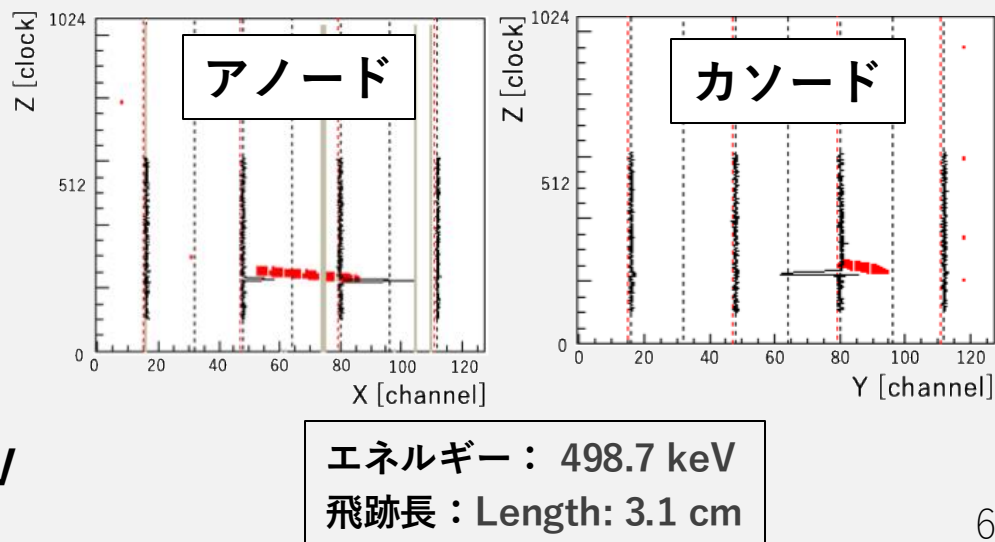
読み出しボード  
SMILE実験@京大

- アノード、カソード各256チャンネル
  - 読み出される信号は2種類
    - 64チャンネルごとに合計したADC波形  
用途：信号取得のトリガー、エネルギー解析
    - 2チャンネルごとのTime over Threshold (ToT)  
用途：飛跡長、角度解析
- 原子核反跳事象 (NR) の選別 に使用
- 正確な値を得ることが重要

## 読み出しボードで取得される情報



## 再構成された飛跡の例



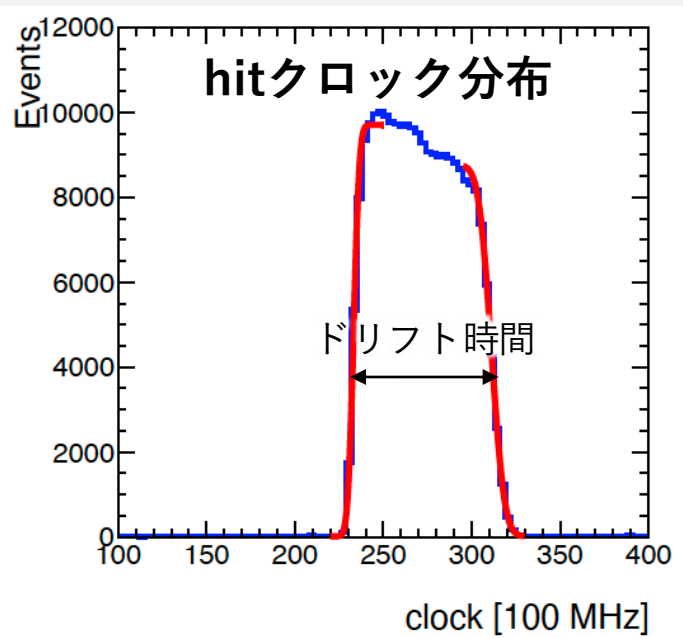
# 飛跡のパラメータ較正

## 検出器セットアップ

- $^{55}\text{Fe}$ の5.9 keV X線
- $\text{CF}_4$ ガス、0.1 atm (現行NEWAGEと同様)

## ドリフト速度 (飛跡長) 較正

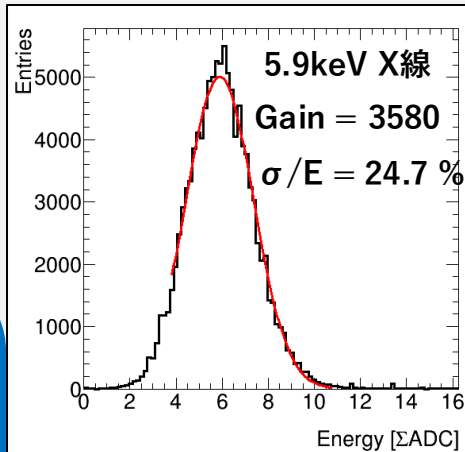
- 電場に平行な方向の深度情報を得るには電子のドリフト速度が必要
- 宇宙線  $\mu$  を使用



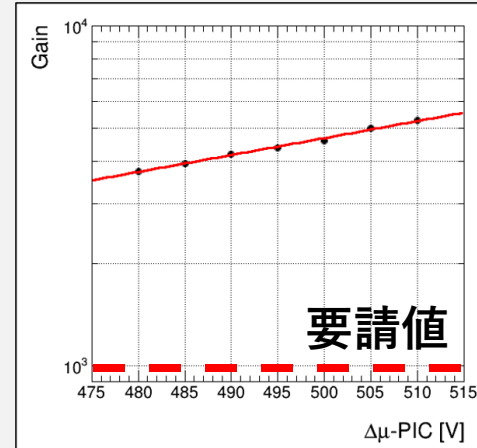
電子ドリフト速度 :  $5.1 \text{ cm}/\mu\text{s}$

## エネルギー較正

### エネルギースペクトル

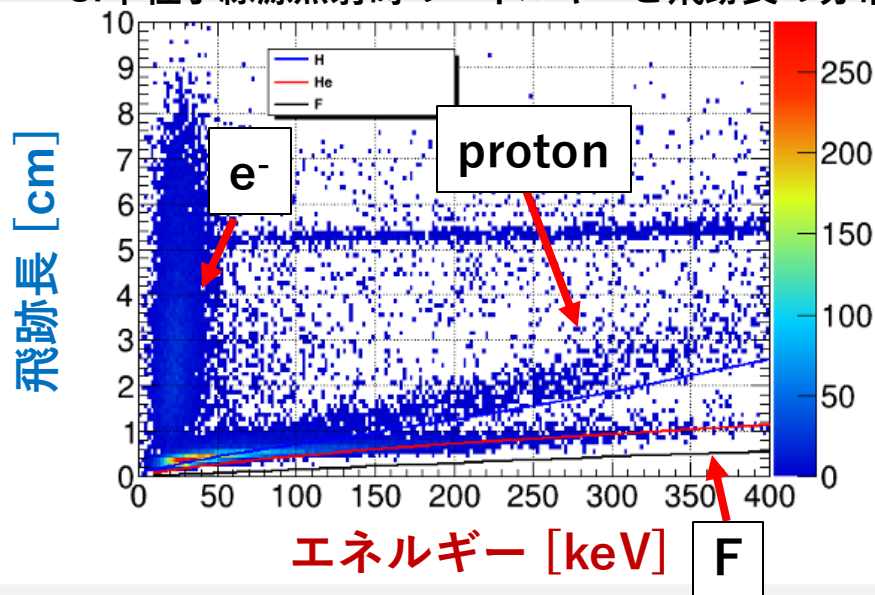


### ゲイン評価



分解能要請値 :  $\sigma = 12.4\% @ 50 \text{ keV}$  } 達成可能  
ゲイン要請値 :  $> 1000$  } と評価

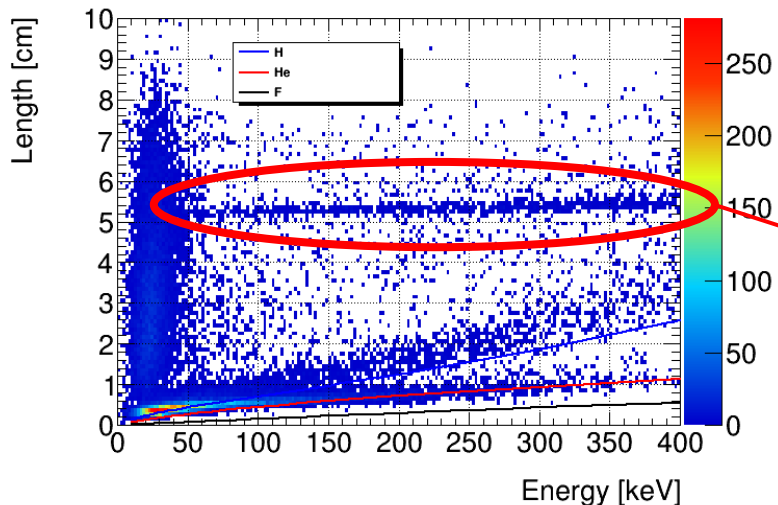
### $^{252}\text{Cf}$ 中性子線源照射時のエネルギーと飛跡長の分布



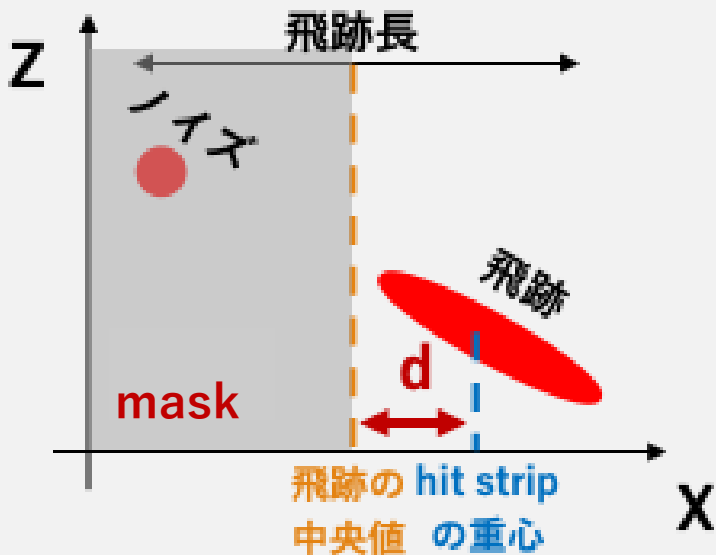
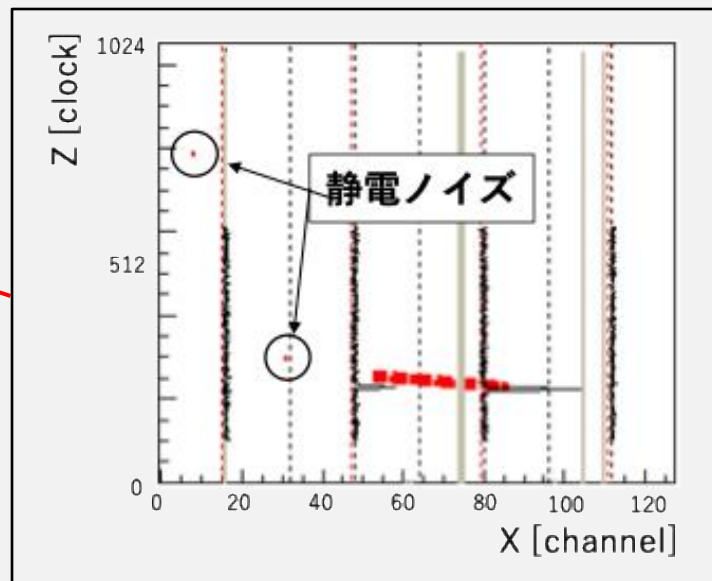


# 飛跡の補正

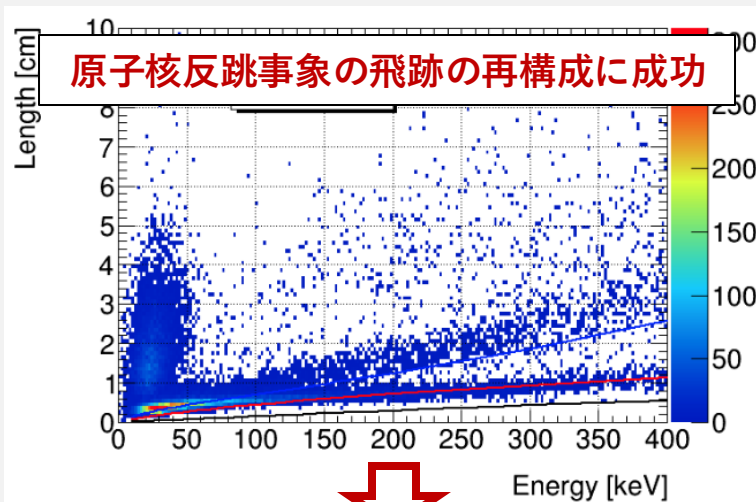
$^{252}\text{Cf}$ 中性子線源によるエネルギーと飛跡長の分布



ノイズにより誤った飛跡長が計算されてしまう



原子核反跳事象の飛跡の再構成に成功



飛跡の midpoint と hit strip の重心の差に閾値を設定

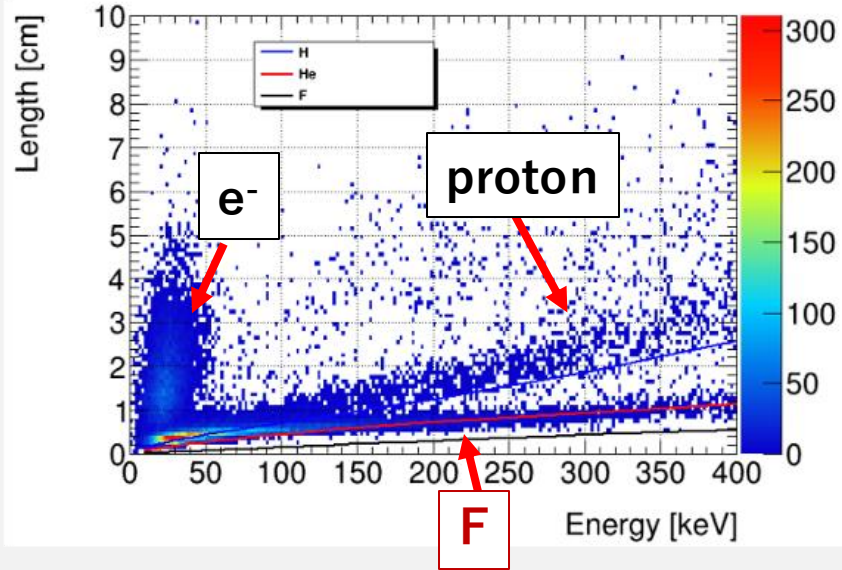
新エレキでの飛跡再構成が可能であることを実証

→ 飛跡の中央で分割して、hitの少ない方をmask



# 展望

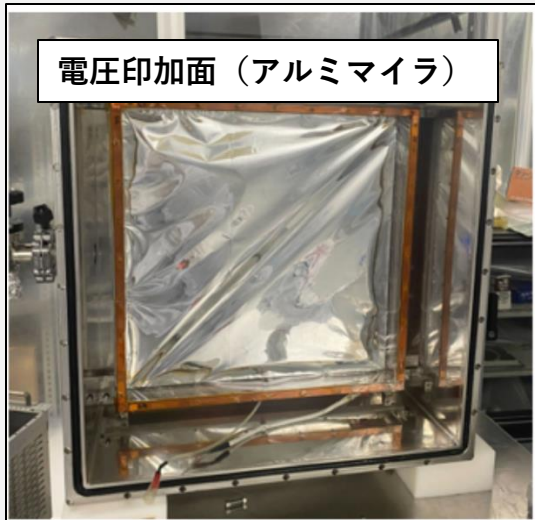
$^{252}\text{Cf}$ 中性子線源によるエネルギーと飛跡長の分布



- C/N-1.0搭載に向けたテストチャンバーでの性能評価（検出効率、角度分解能 etc..）
  - F原子核反跳の弁別が必須
- WIMP signalの主な反跳スペクトルは < 100keV
  - エネルギー閾値を下げる必要

proton反跳事象の除去

- proton反跳事象の除去に向けて



- 部材に含まれるprotonを削減
    - アルミマイラテープ → 金属メッシュ
    - ポリイミドシートの露出面積低減
- 性能評価完了後C/N-1.0への導入へ

# 結論

- 方向に感度を持つ暗黒物質探索実験の感度向上に向け、大型検出器C/N-1.0の開発を行っている。
- C/N-1.0に搭載するモジュール検出器の性能評価に向け、飛跡の再構成を行った。
  - エネルギー、電子のドリフト速度を較正
  - ノイズを解析的に落とすことで飛跡の再構成に成功
- 低エネルギー領域でのprotonと反跳事象の弁別
  - 検出領域にprotonが飛ばないように検出器部材の見直しを実施
- 検出効率、角度分解能の測定
  - 暗黒物質探索に対する検出器の性能を評価

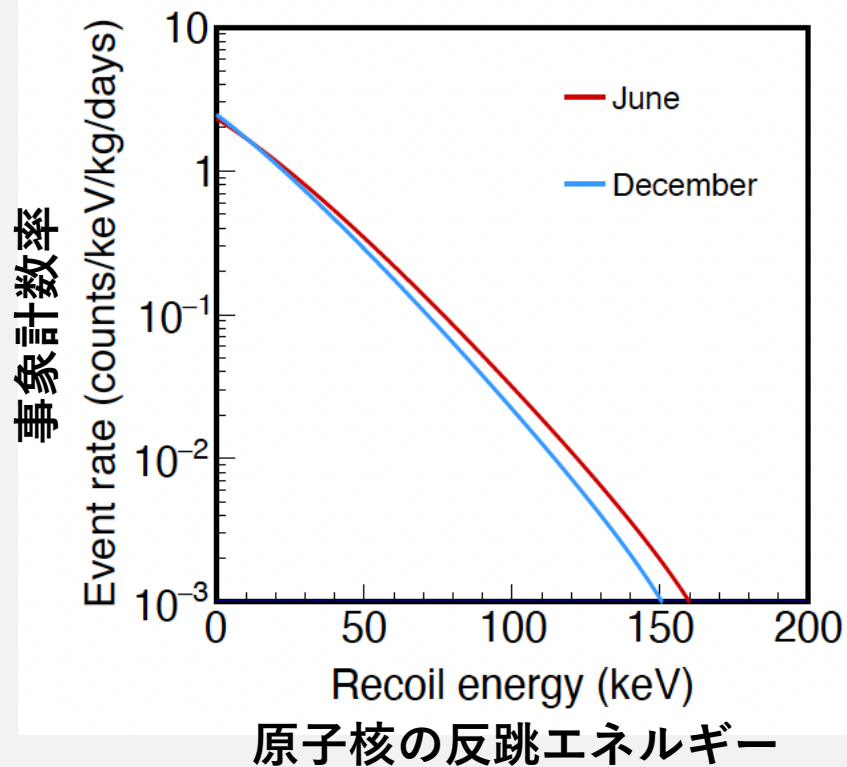


C/N-1.0へ導入後 地上試験、神岡地下での運用へ

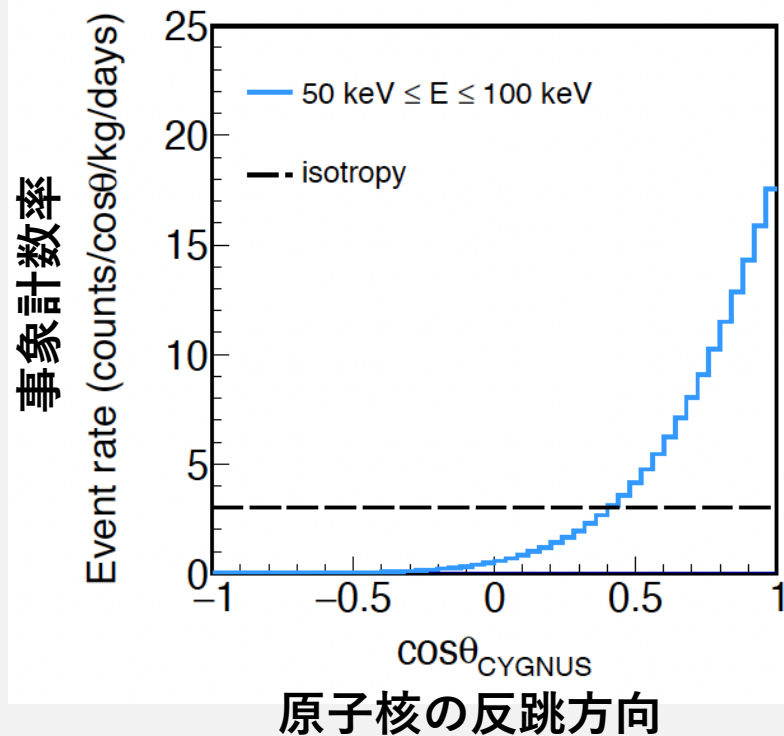
# Back up

---

## 事象計数率の季節依存性



## 事象計数率の原子核反跳方向依存性



➤ より少ない事象数でDM signalを判別可能



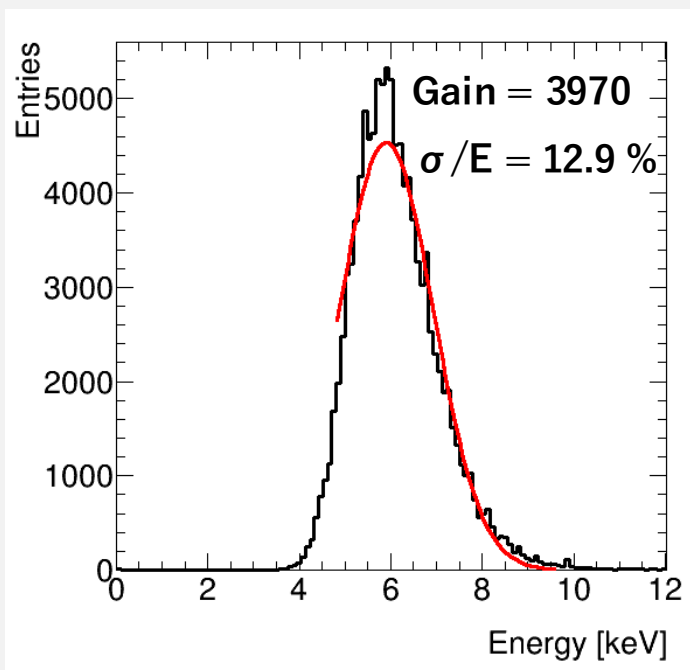
# 検出器のパラメータ較正

エネルギー、飛跡長を再構成するために較正值を求める必要がある

- エネルギー

- $^{55}\text{Fe}$ の5.9 keV X線
- $\text{CF}_4$ ガス、0.1 atm (現行NEWAGEと同様)

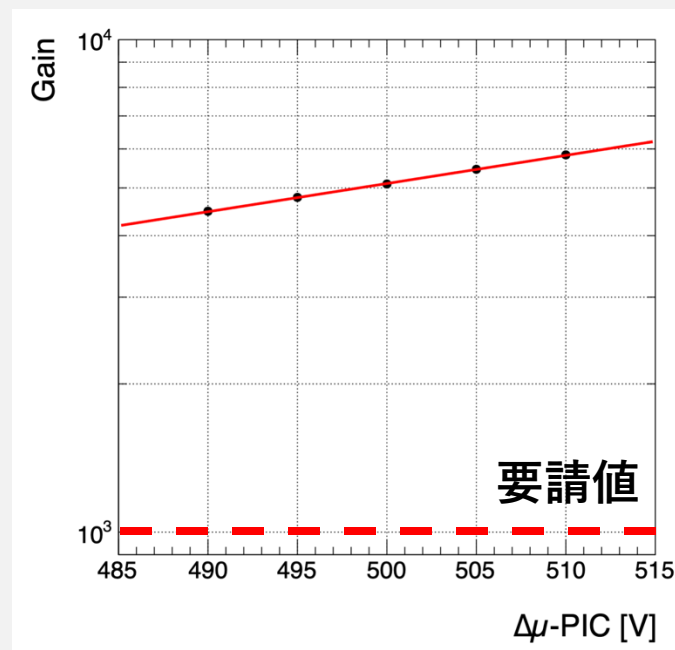
分解能評価 (要請値:  $\sigma = 12.4\% @ 50 \text{ keV}$ )



- 分解能:  $\sigma/E = 12.9\% @ 5.9 \text{ keV}$

- 外挿により要請値達成可能の見積もり

ゲイン評価 (要請値:  $> 1000$ )

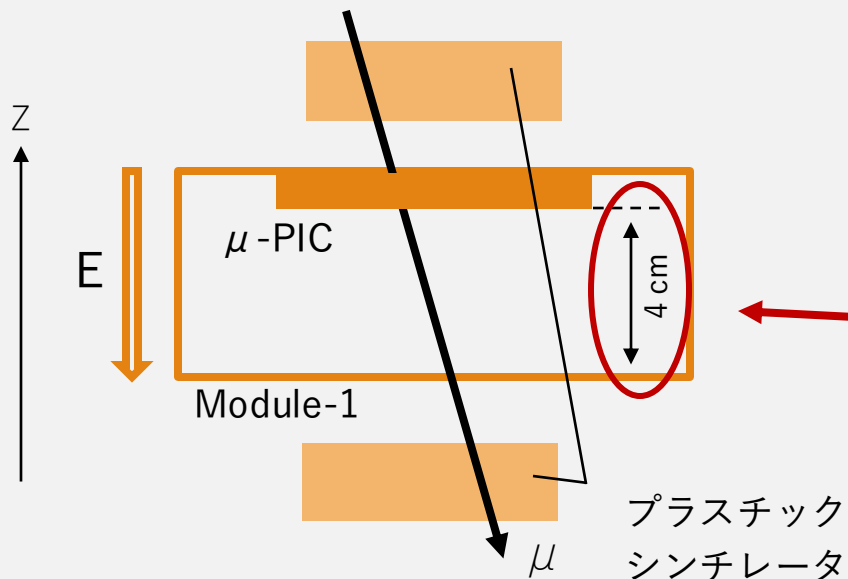


- 放電のない電圧値で達成可能

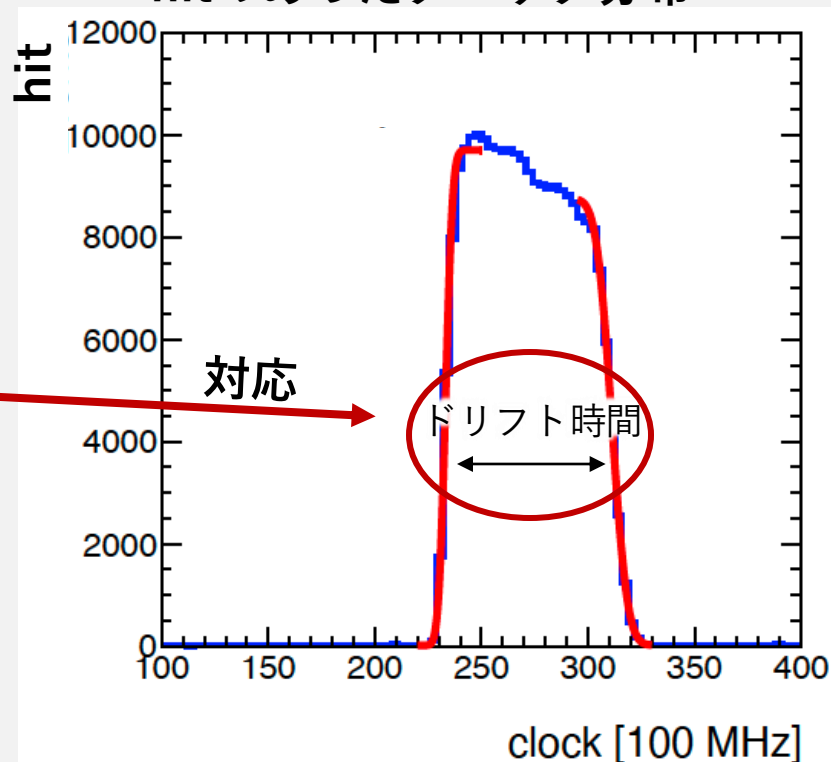
# 検出器のパラメータ較正

- 電場に並行な方向の距離を知るためには電離電子のドリフト速度が必要

## セットアップ概略図



## hitのあったクロック分布

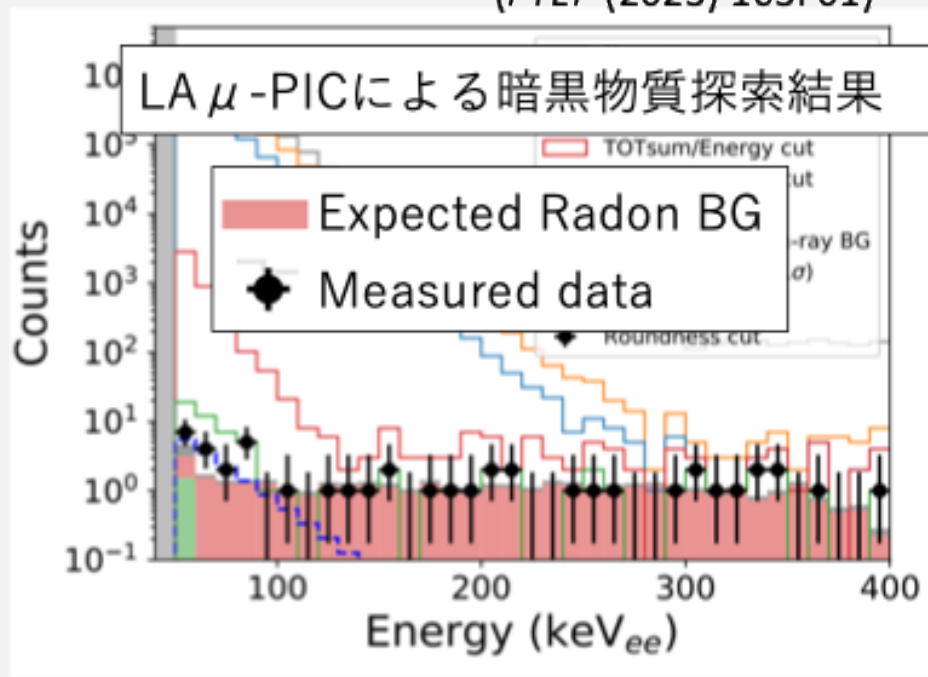


- hitのあったのクロック分布の幅からhitのあった時間分布を取得。
- ドリフト領域の高さ4 cm
- 求められたドリフト速度は $5.1 \text{ cm}/\mu\text{s}$

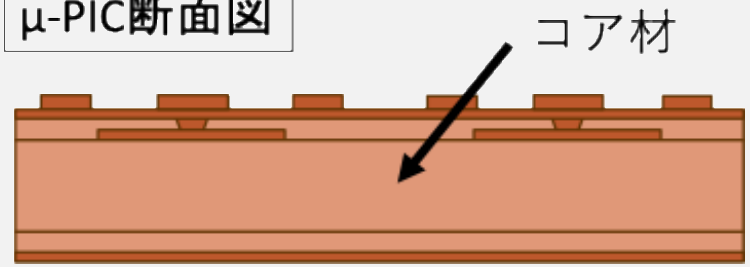
# $\mu$ -PICの低放射能化

(PTEP (2023) 103F01)

- $\mu$ -PIC低RI化の歴史
  - 検出器表面からの $\alpha$ 線を減らした  
**LA  $\mu$ -PIC**を製作  
→検出感度の向上 (PTEP (2023) 103F01)
  - 一方でラドンBGが顕在化
- **Low Background  $\mu$ -PIC(LBG $\mu$ -PIC)**の製作
  - ✓ コア材を低RIなものに変更



$\mu$ -PIC断面図



|   | コア材                   | <sup>238</sup> U upper [ppm]      | <sup>238</sup> U middle [ppm]     |
|---|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 旧 | ポリイミド樹脂<br>(ガラスクロス入り) | $(7.8 \times 0.1) \times 10^{-1}$ | $(7.6 \times 0.1) \times 10^{-1}$ |
| 新 | Quartz<br>(レジン入り)     | $(5.6 \times 1.0) \times 10^{-3}$ | $(5.1 \times 1.0) \times 10^{-3}$ |

↓  $\sim 10^{-2}$