



2024/03/20 JPS2024春  
講演番号:20aV1-3

# NEWAGE実験79: 大型ガスチェンバーのための モジュール型検出器開発

神戸大学 M2 大藤瑞乃, 身内賢太郎, 東野聡, 生井凌太

# 目次

---

- イントロダクション
- NEWAGE実験の大型化
- Module-1
  - 設計・開発
  - 性能評価
  - 議論
- 結論

# 方向に感度を持つ暗黒物質直接探索

➤ WIMPs : Weakly Interacting Massive Particles

➤ 暗黒物質の有力候補

➤ 方向に感度を持つ暗黒物質の直接探索

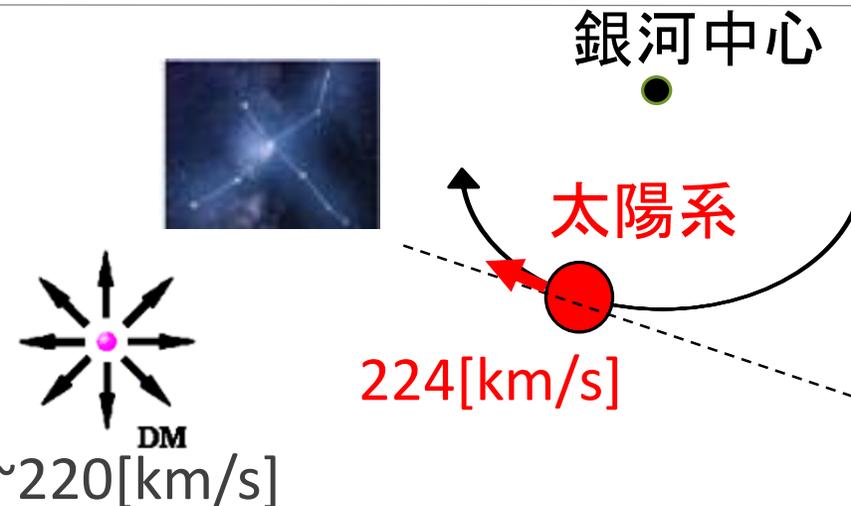
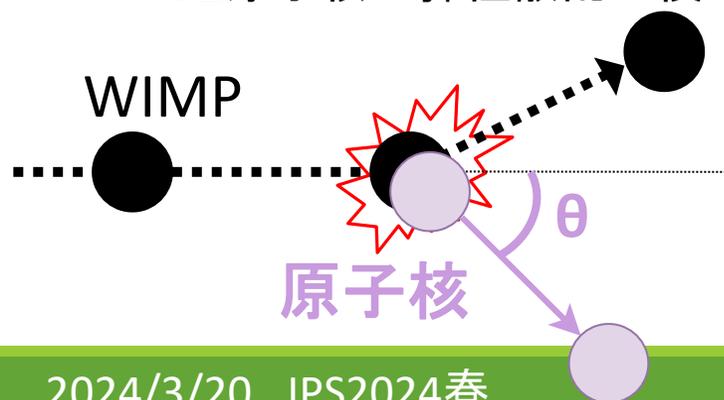
➤ 太陽系: 運動方向にはくちょう座が見える

➤ WIMPsの運動が銀河に対して等方的であると仮定

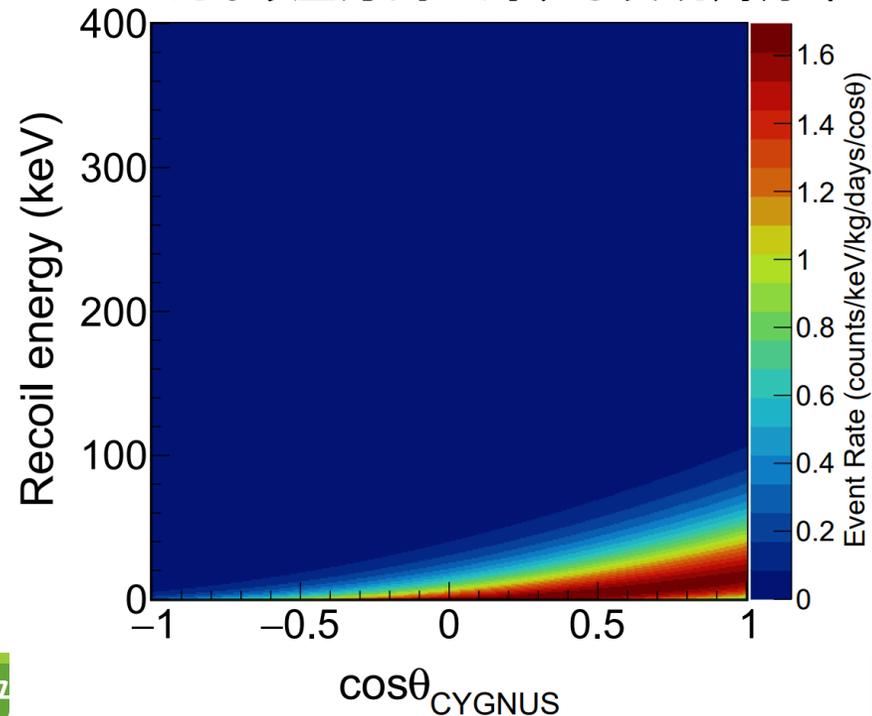
➤ 到来方向は, はくちょう座の方向に偏りが生じる

➤ WIMPsの確実な証拠となる

▼ WIMPsと原子核の弾性散乱の模式図



▼ はくちょう座方向に対する反跳角分布



# NEWAGE実験

➤ ガスTPCを用いた, 方向に感度を持つ直接探索実験

➤  $30 \times 30 \times 40 \text{ cm}^3$ の検出器稼働中@神岡

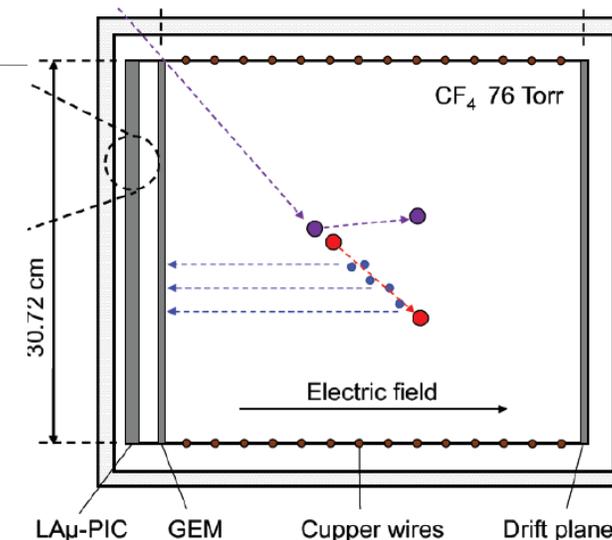
➤ 方向に感度を持つ直接探索実験で最高感度達成

➤ さらに感度向上に向けて

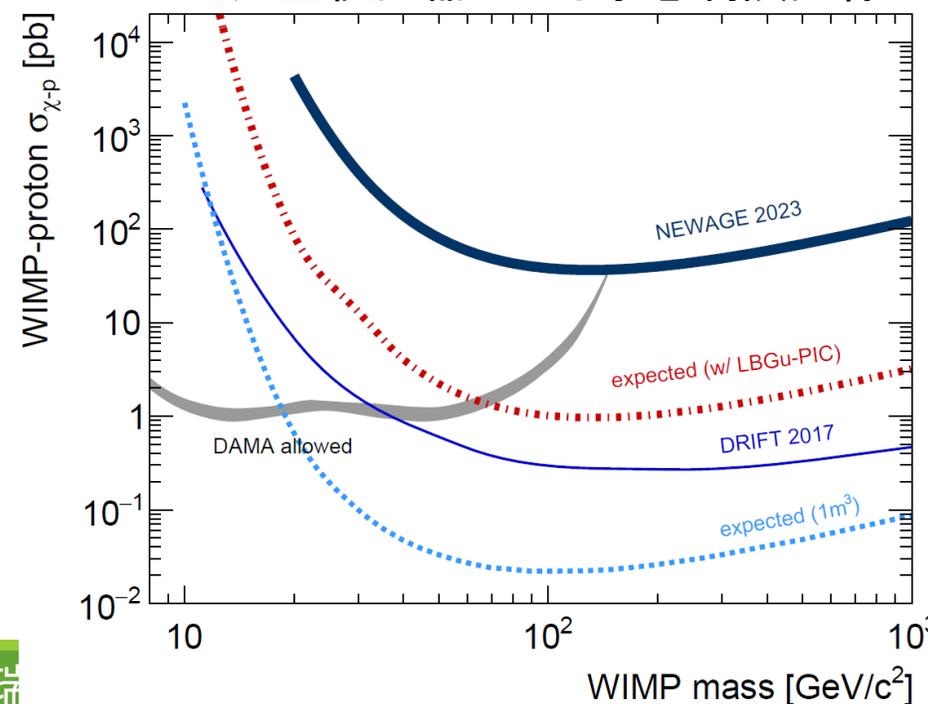
➤ 低BG化

➤ 検出領域の大型化(本研究)

▼ガスTPCの概念図



▼大型検出器による予想制限曲線



# NEWAGE実験の大型化

## ➤ 大型TPC: C/N-1.0

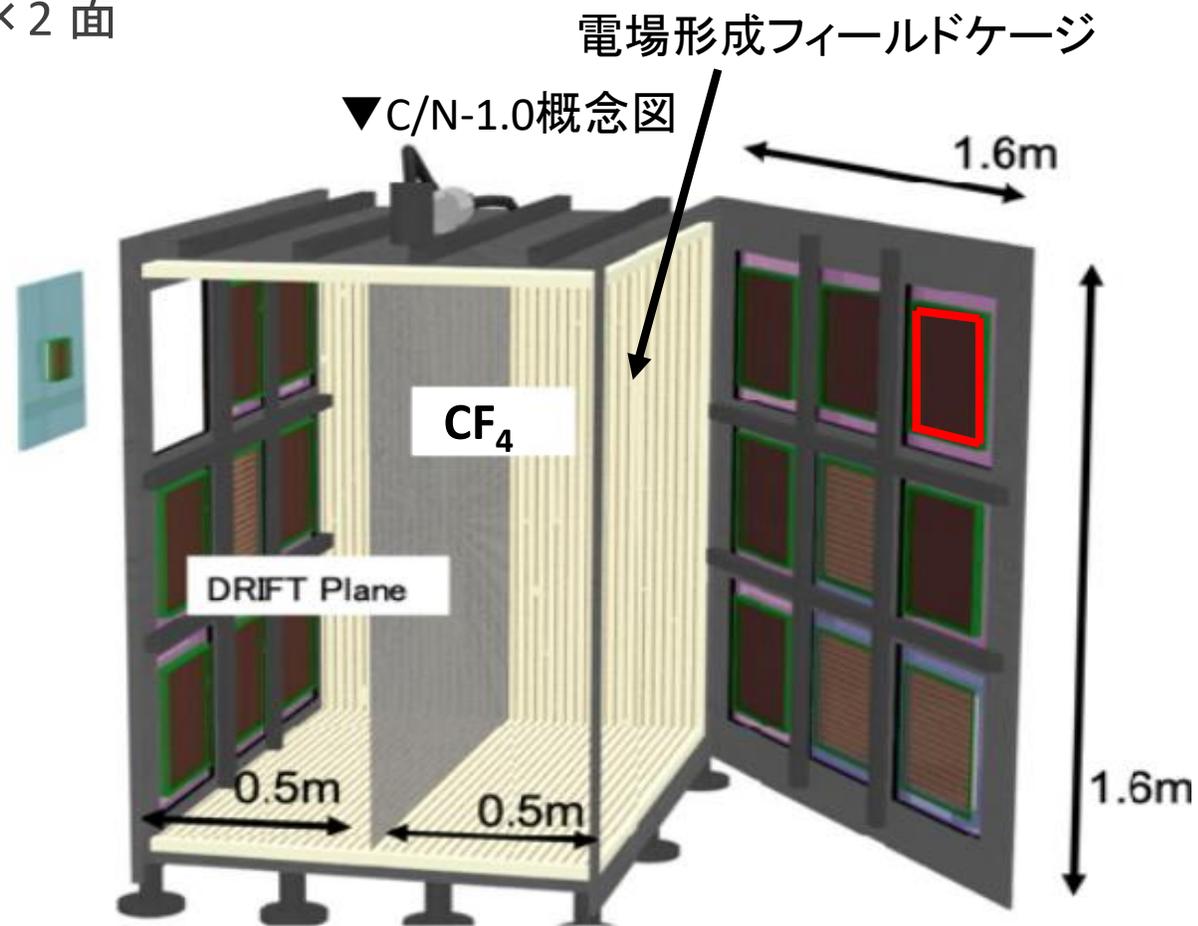
➤ 低圧CF<sub>4</sub>ガス

➤ 検出領域 ~1 m<sup>3</sup>: 読み出し面積 **30 × 30 cm<sup>2</sup>** × 9 枚 × 2 面

➤ 18 枚のモジュール型検出器

▼ C/N-1.0 外観

➤ 開発を行う



# 本研究の目的

---

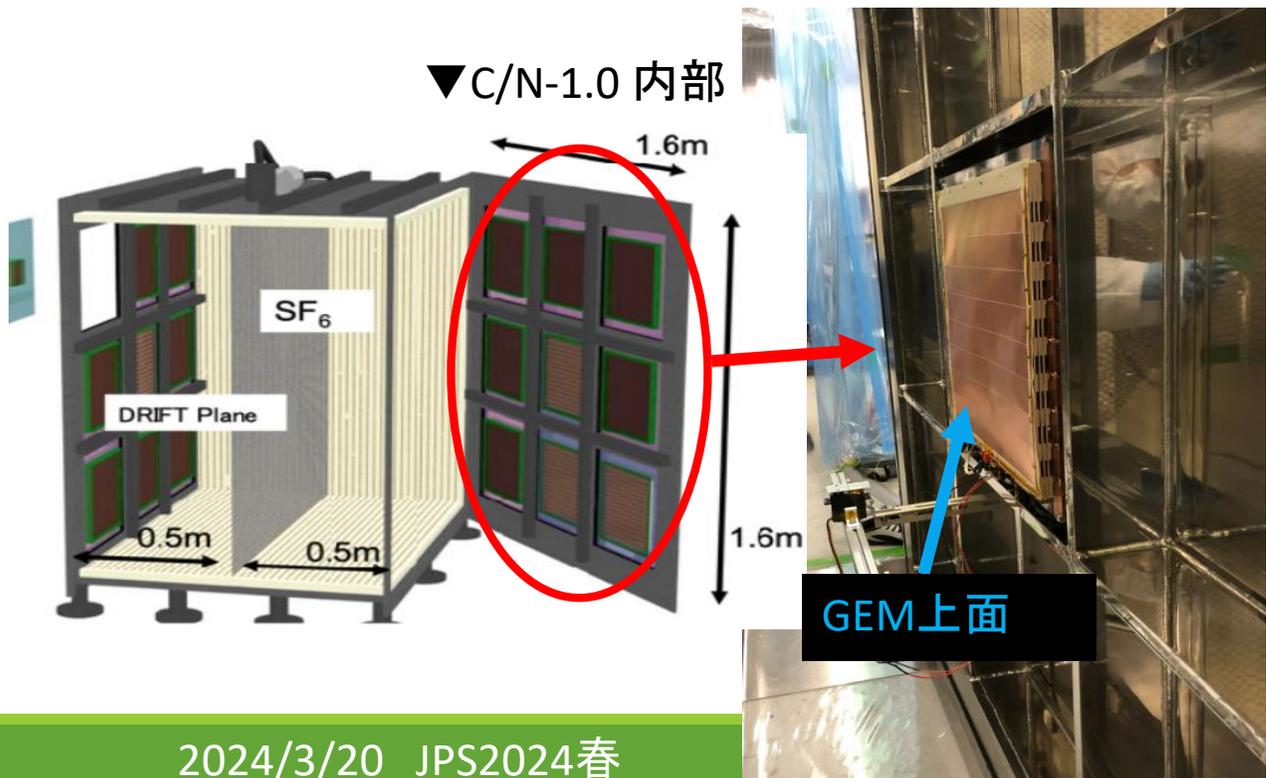
- 現行NEWAGE検出器を模したモジュール型検出器開発
  - Module-1 (10 cm角GEM +  $\mu$ -PIC)
- Module-1の動作確認・性能評価
  - ガスゲイン目標  $\sim 2,000$
  - 飛跡検出

# Module-1設計・開発

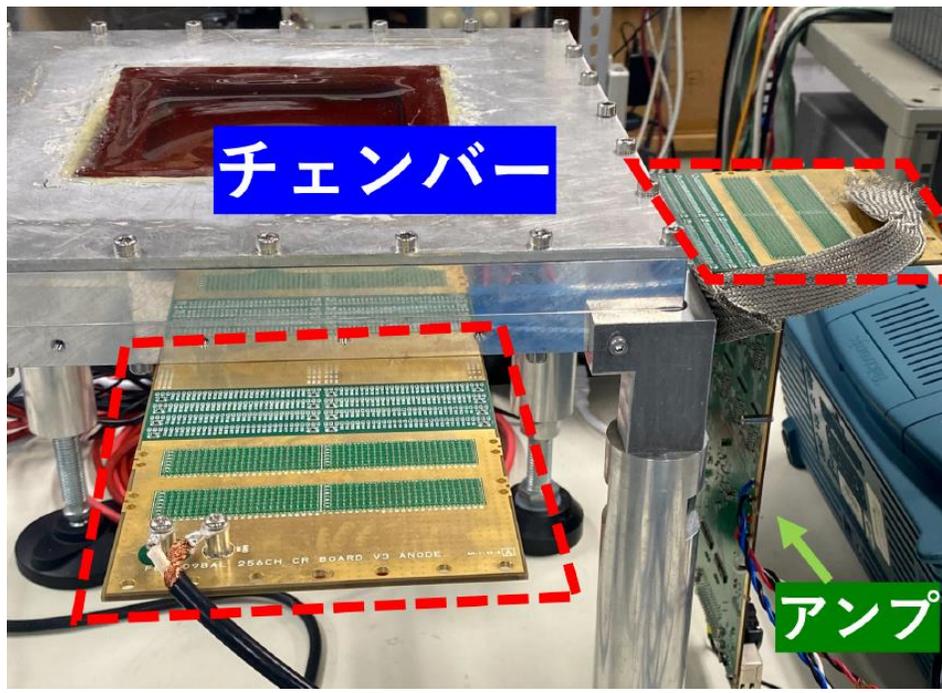
---

# モジュール型検出器設計

- ①9モジュールでひとつの電場形成フィールドケースを共有
  - ドリフト電場に影響を与えない工夫が必要
- ②他モジュールと干渉しない読み出し
  - 横ではなく真後ろへ読み出す必要がある



▼従来の検出器の読み出し



# NEWAGE実験の検出器

## ➤ GEM+ $\mu$ -PIC

➤ 10 cm/30 cm角

## ➤ GEM

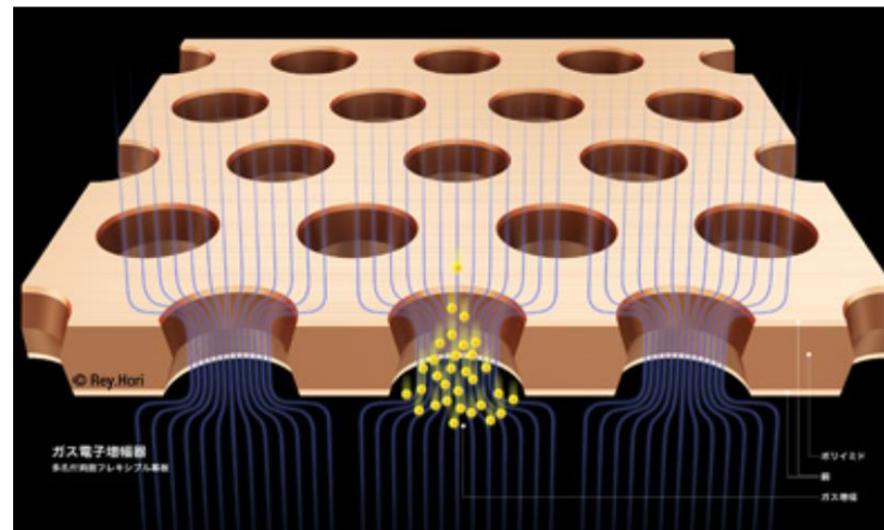
➤ 厚さ100  $\mu\text{m}$ , 140  $\mu\text{m}$ 間隔で直径70  $\mu\text{m}$ の穴

## ➤ $\mu$ -PIC

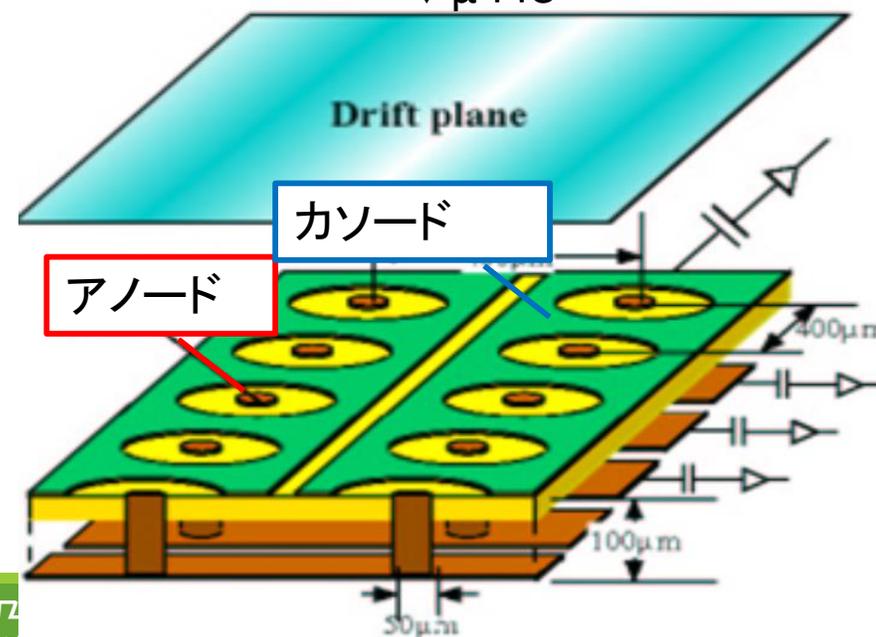
➤ 400  $\mu\text{m}$ ピッチ: ストリップ読み出し

➤ アノード径50  $\mu\text{m}$

▼ GEM

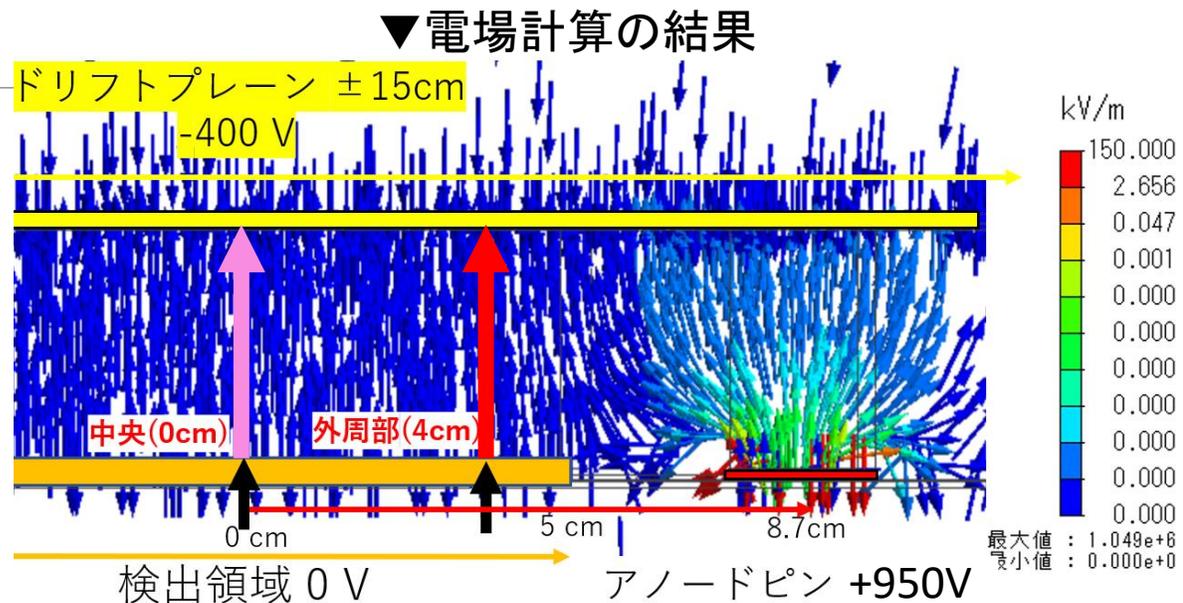
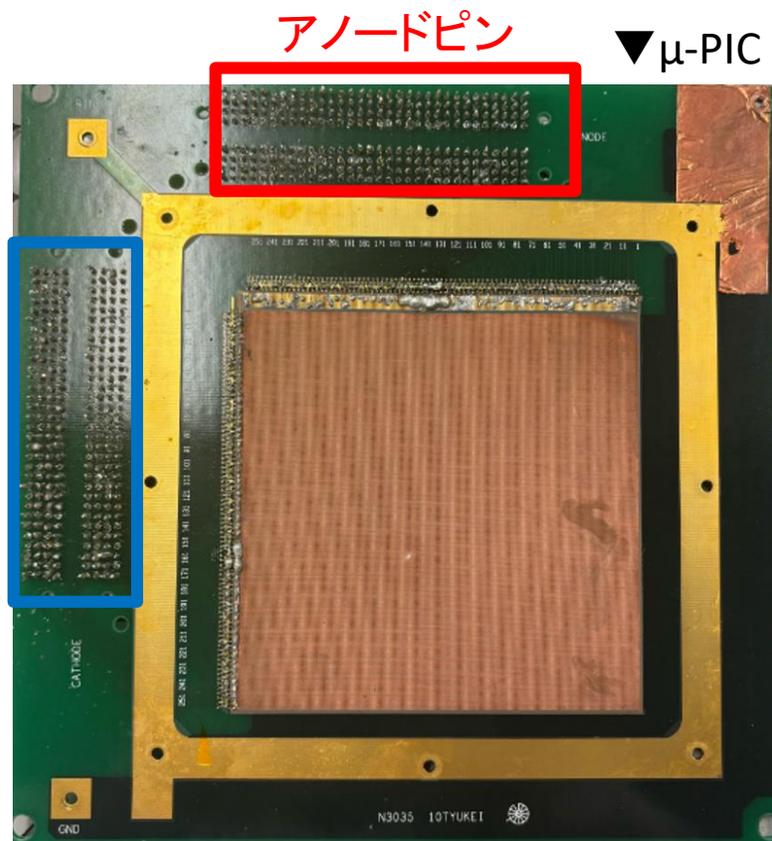


▼  $\mu$ -PIC

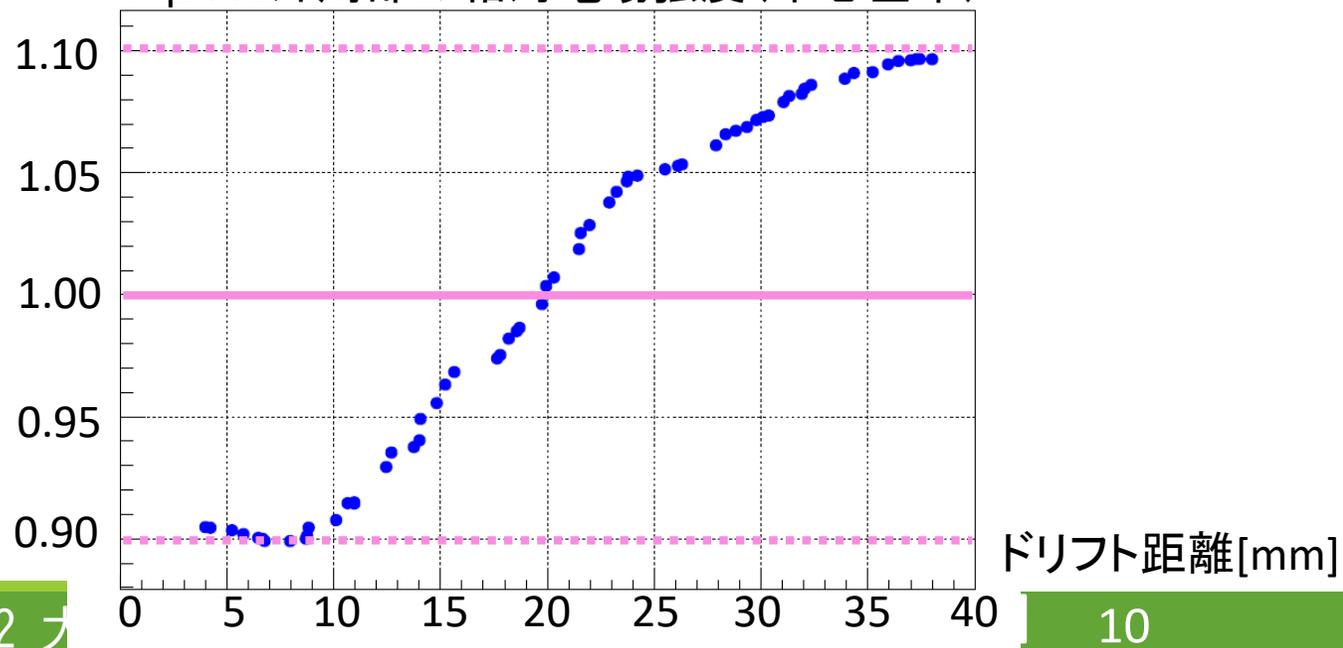


# ドリフト電場設計

- $\mu$ -PIC: アノード/カソードピンが表面に露出
- Femtetによる電場計算: ドリフト電場が乱れる

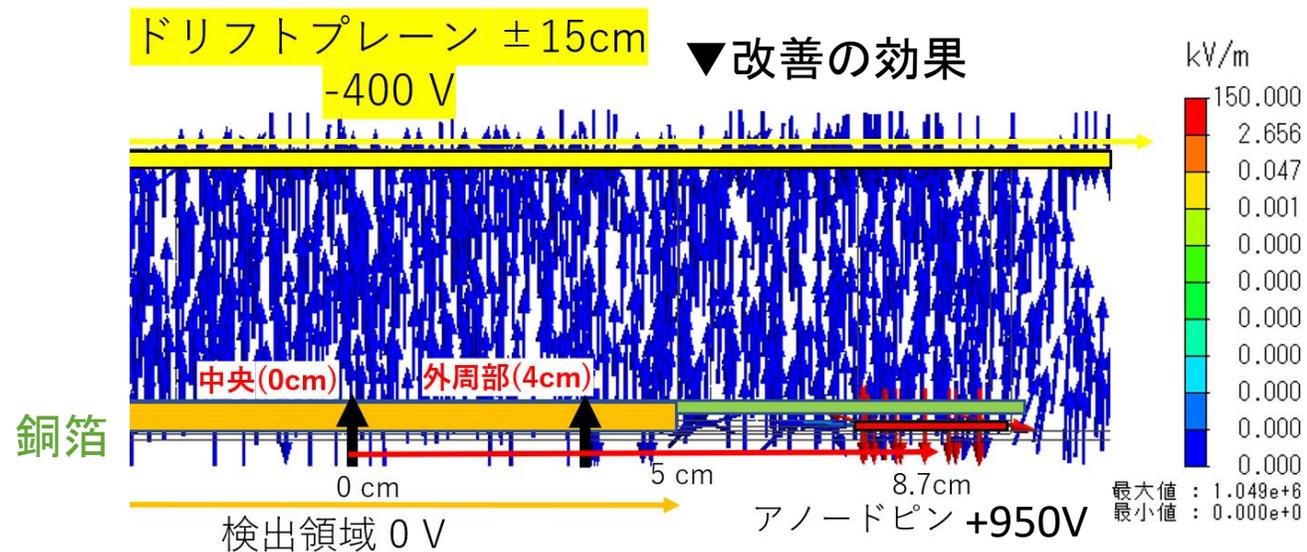
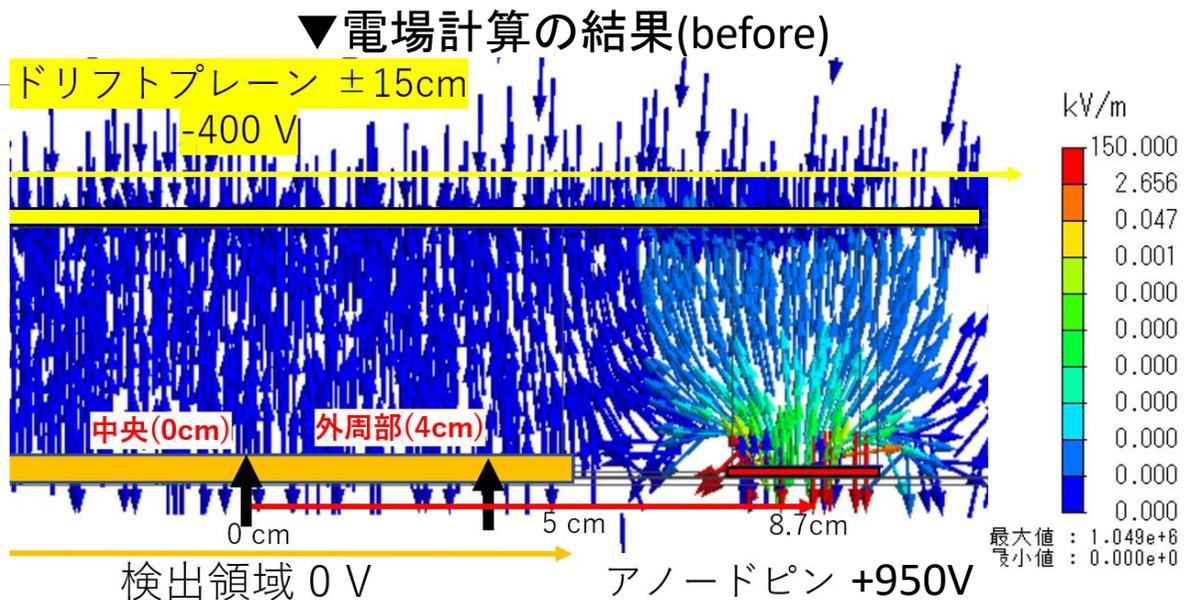
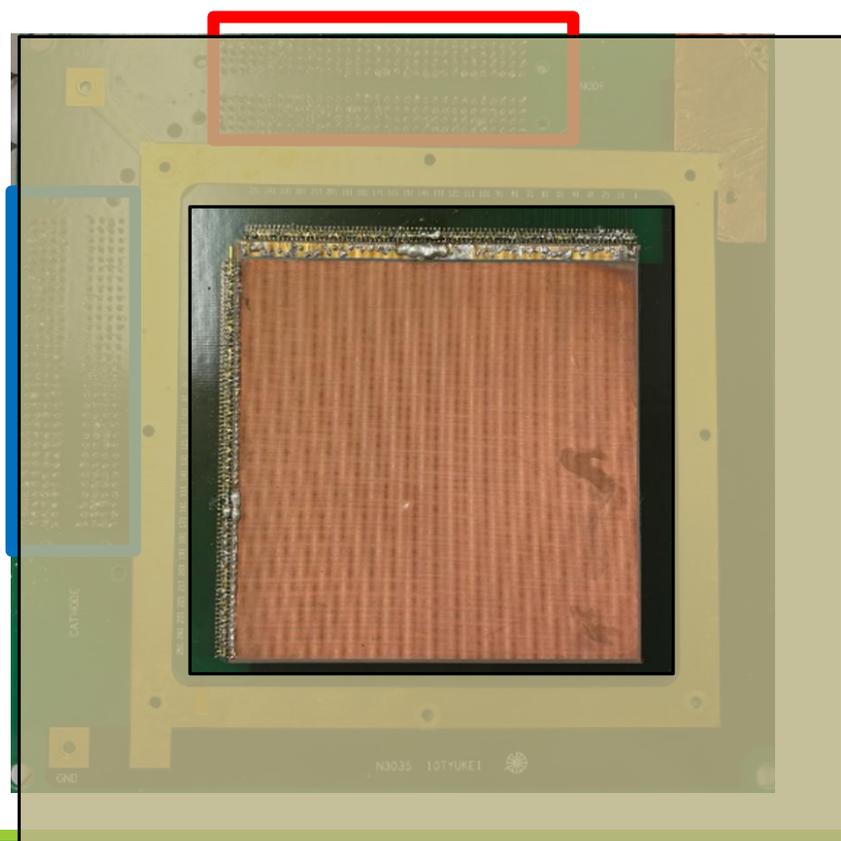


▼  $\mu$ -PIC外周部の相対電場強度(中心基準)



# ドリフト電場設計

- $\mu$ -PIC: アノード/カソードピンが表面に露出
- Femtetによる電場計算: ドリフト電場が乱れる
- アノード/カソードピンを銅箔で遮蔽



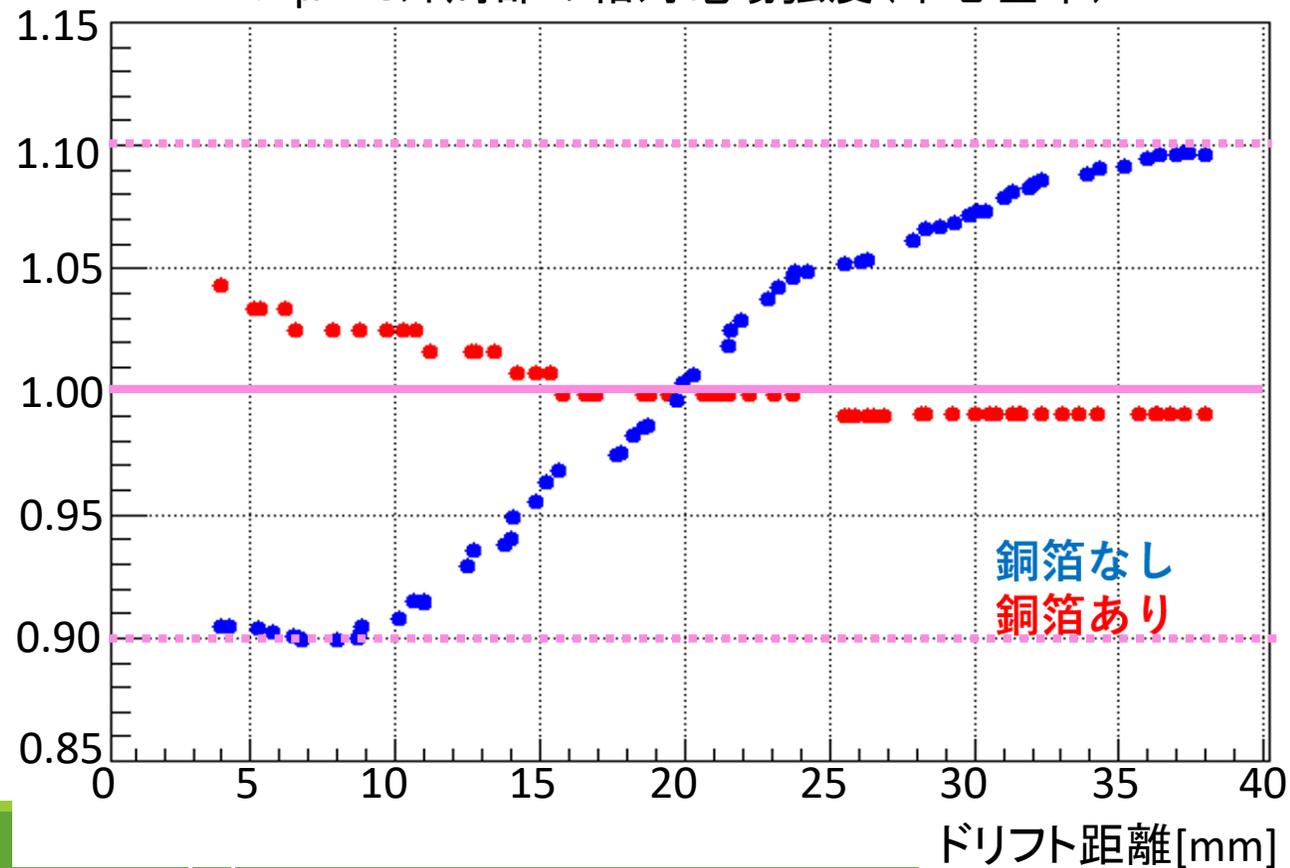
# ドリフト電場設計

➤ 乱れが $\pm 10\%$ → $\pm 5\%$ に低減することが期待される

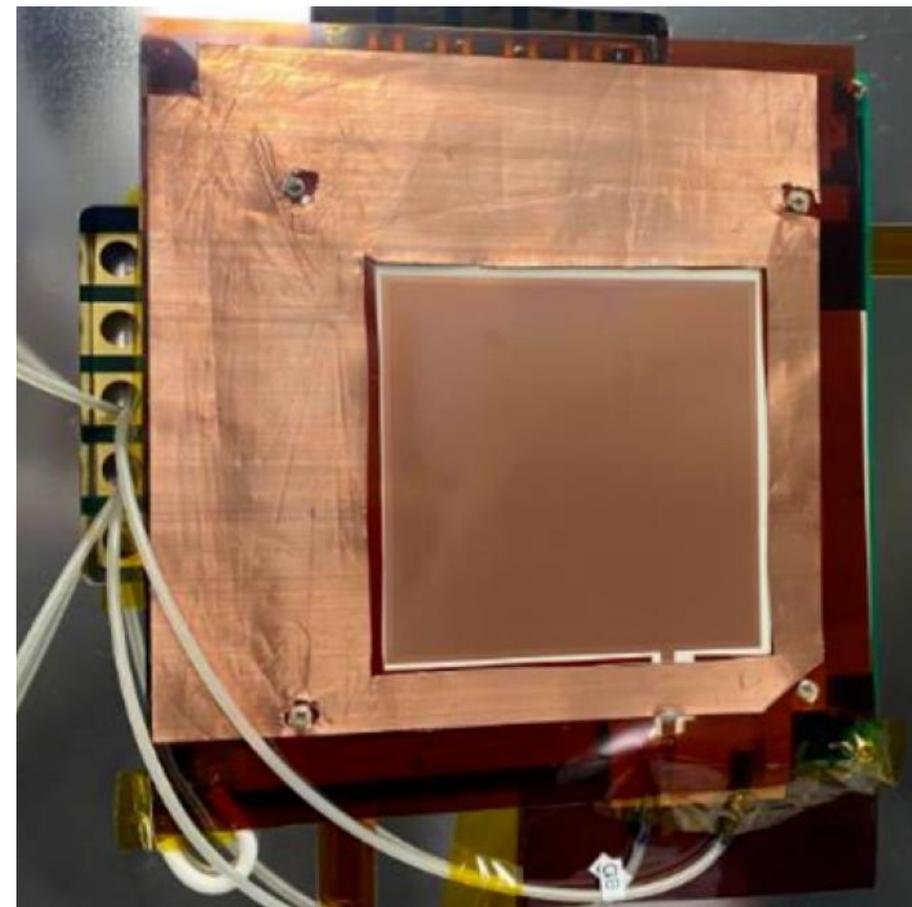
➤  $\sigma$ :7.19%→1.48%

➤ →銅箔を実装

▼  $\mu$ -PIC外周部の相対電場強度(中心基準)



▼銅箔を実装した様子



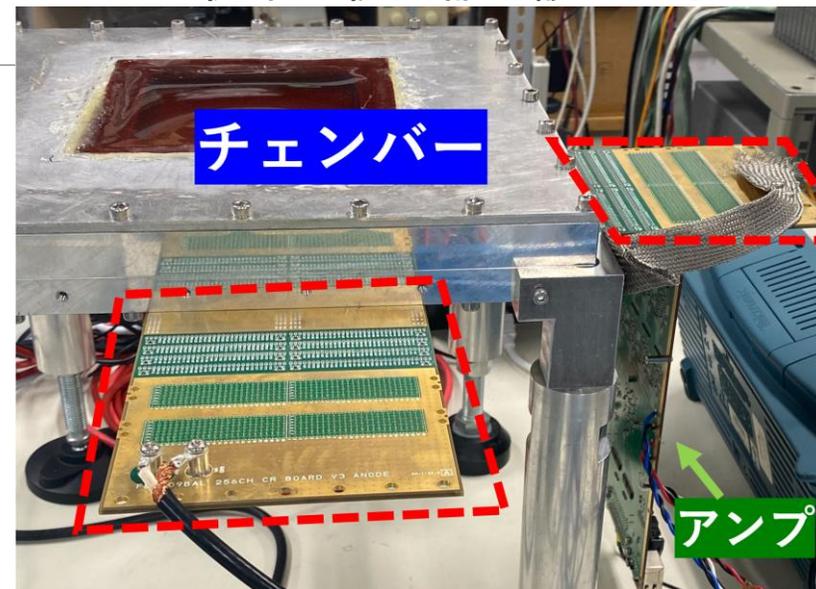
# 検出器裏側での読み出し

- 従来のフィードスルーボードは検出器の外側にはみ出す
  - 隣のモジュールの読み出しとの干渉を防ぎたい
- コンパクトな後ろ側読み出しに変更
  - 従来と異なるフィードスルー(CR)ボードを使用  
(京大 高田氏設計)
  - 試験的に10 cm角、800  $\mu\text{m}$ ピッチ読み出し

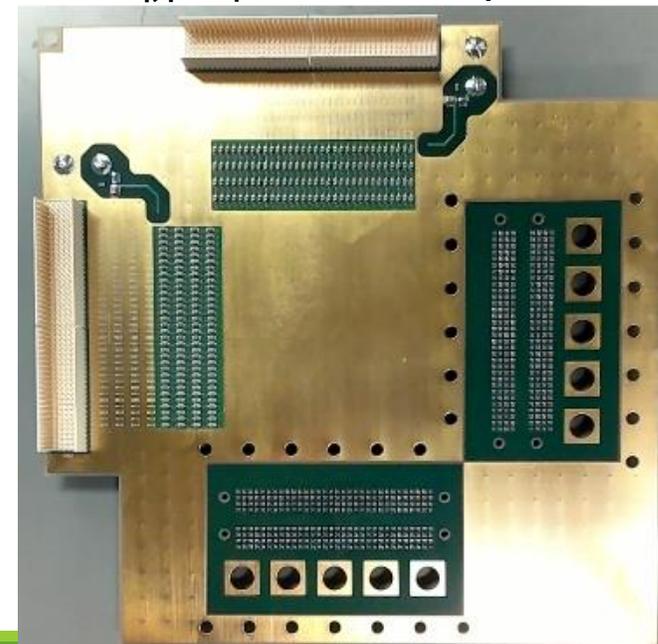
## ▼読み出しの変更の様子



## ▼従来の検出器の読み出し



## ▼新フィードスルーボード

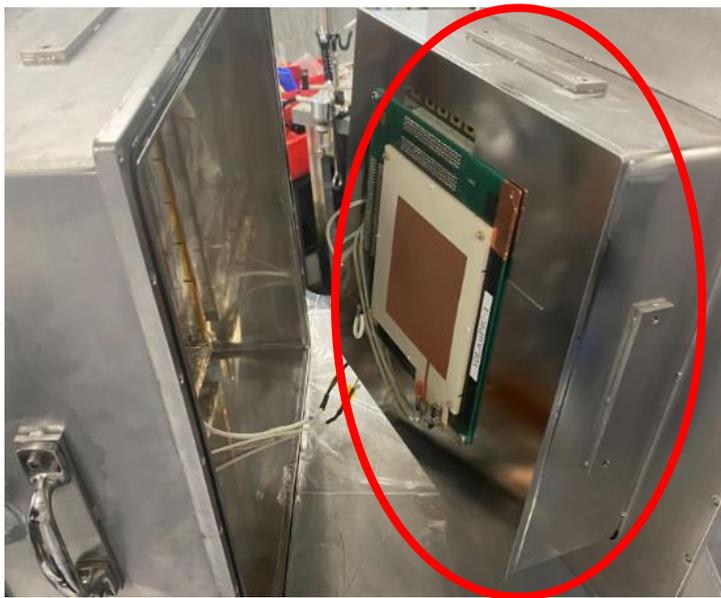


# Module-1

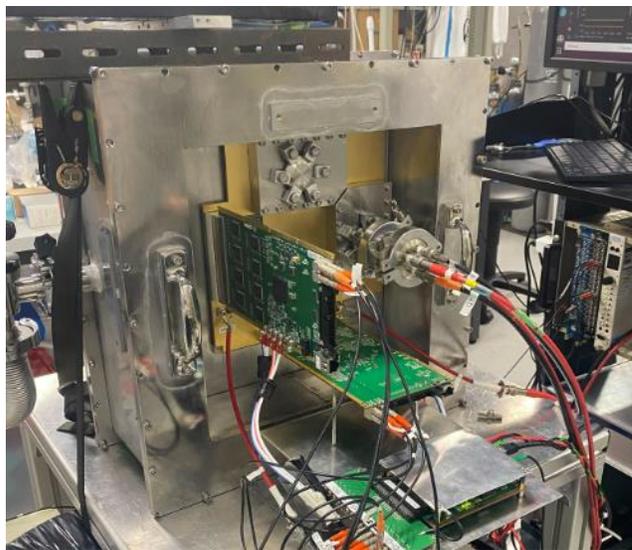
## ➤ Module-1

- 10 cm角GEM +  $\mu$ -PIC
- $\mu$ -PIC: アノード128 ch + カソード128 ch で読み出し
- 検出器内に飛び出した形状

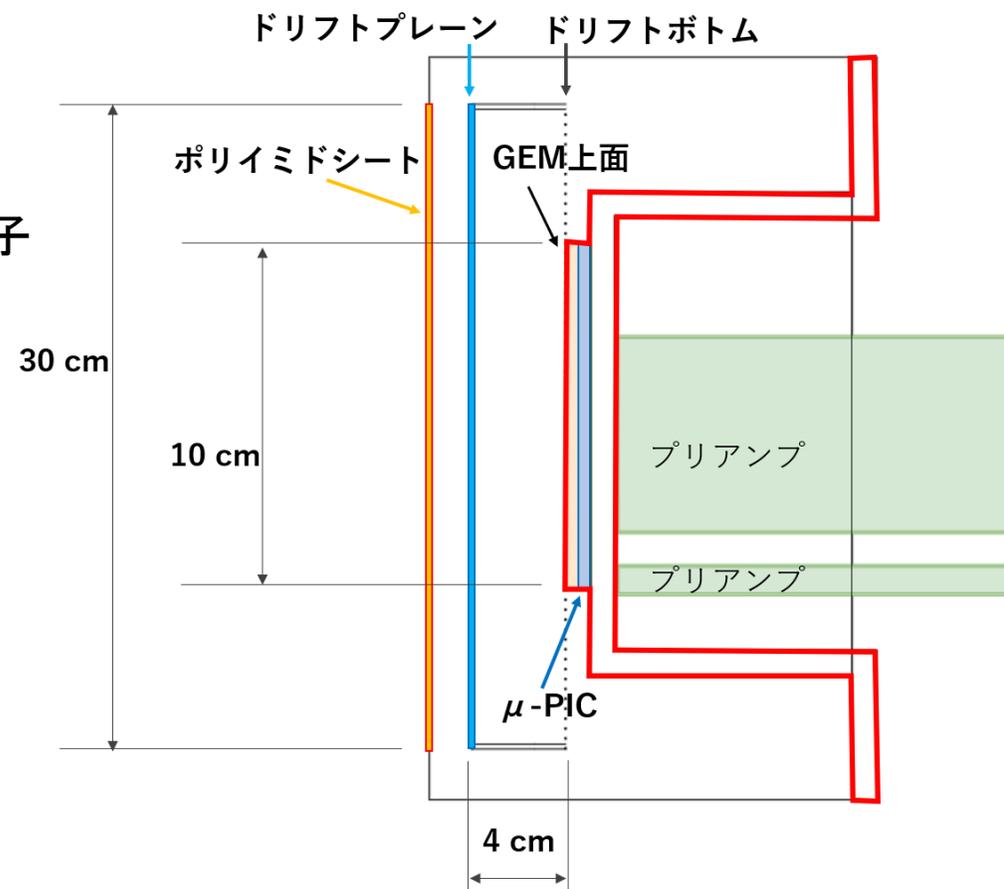
▼ Module-1



▼ Module-1の後ろ読み出しの様子



▼ Module-1の断面図



# Module-1性能評価

---

# Module-1の性能評価

## ➤ 試験用チェンバー

➤ 30 × 30 × 4 cm<sup>3</sup> (Drift距離)

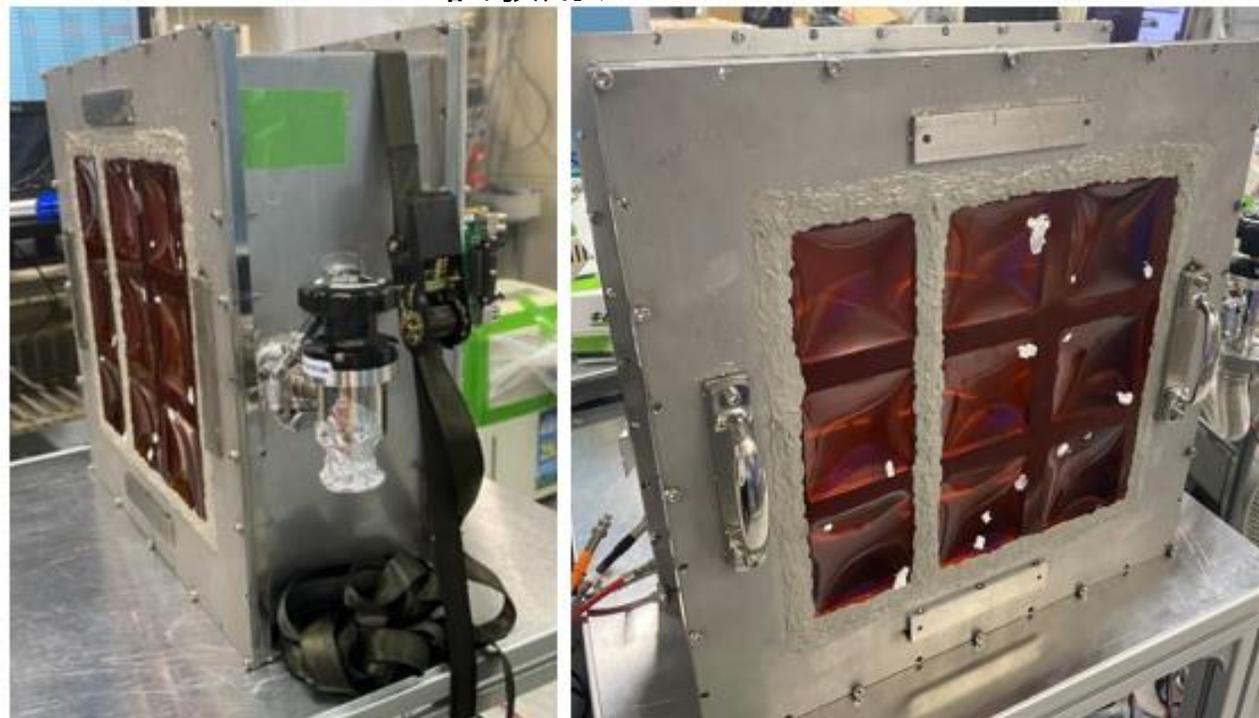
➤ CF<sub>4</sub> 0.1気圧

➤ ① Module-1の基本特性確認

➤ ② <sup>252</sup>Cf線源による

原子核反跳・電子反跳の取得

## ▼ 試験用チェンバー



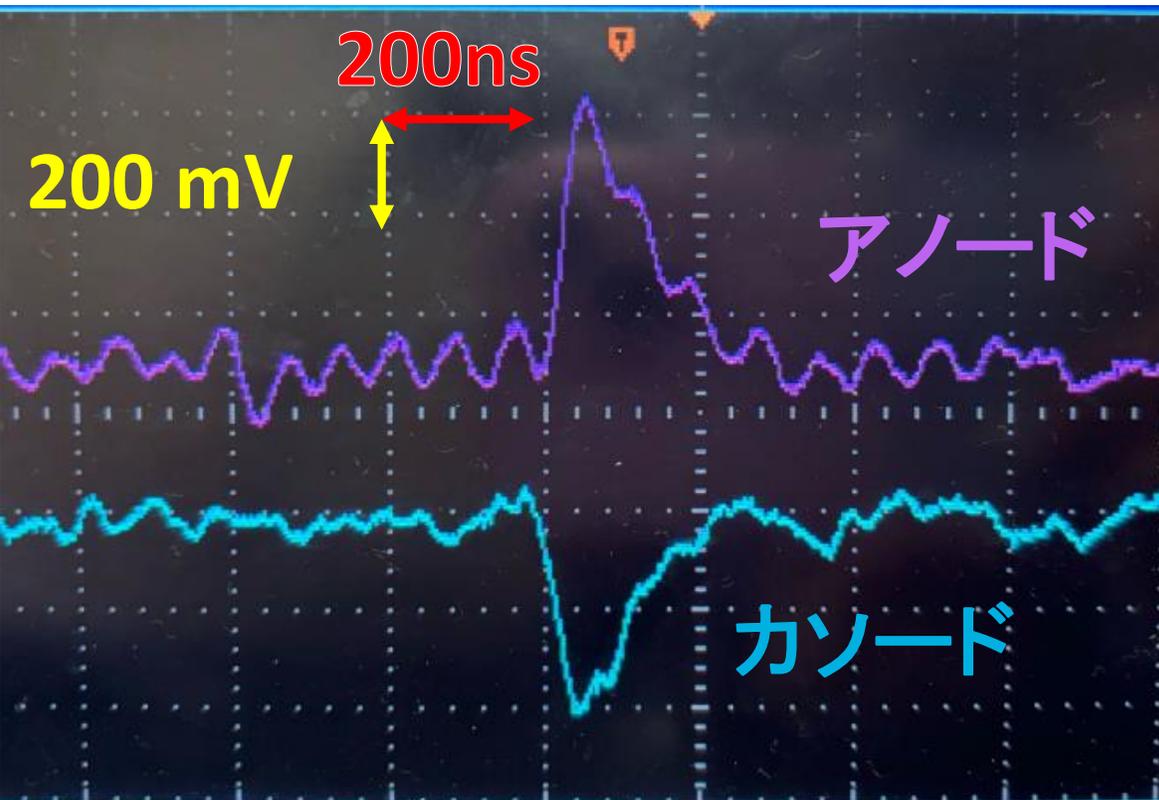
# ① X線源による基本特性評価

➤  $^{55}\text{Fe}$  5.9 keV 特性X線 信号の様子

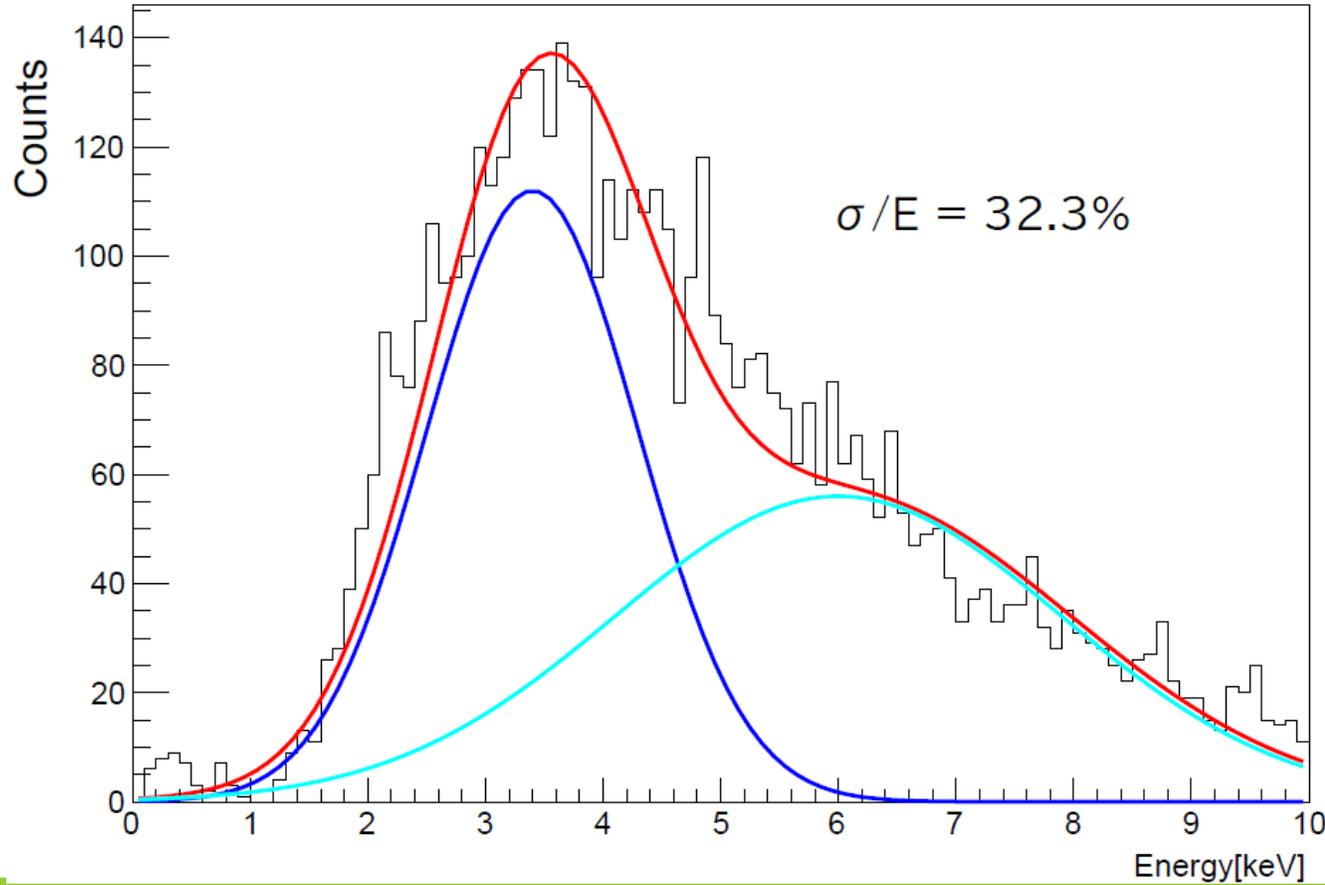
➤ 電荷の大きい分布を5.9 keVとみる: ガスゲイン  $\sim 75,000$

➤ ガスゲインの要請値を達成

▼ オシロスコープでの5.9 keV 特性X線観測

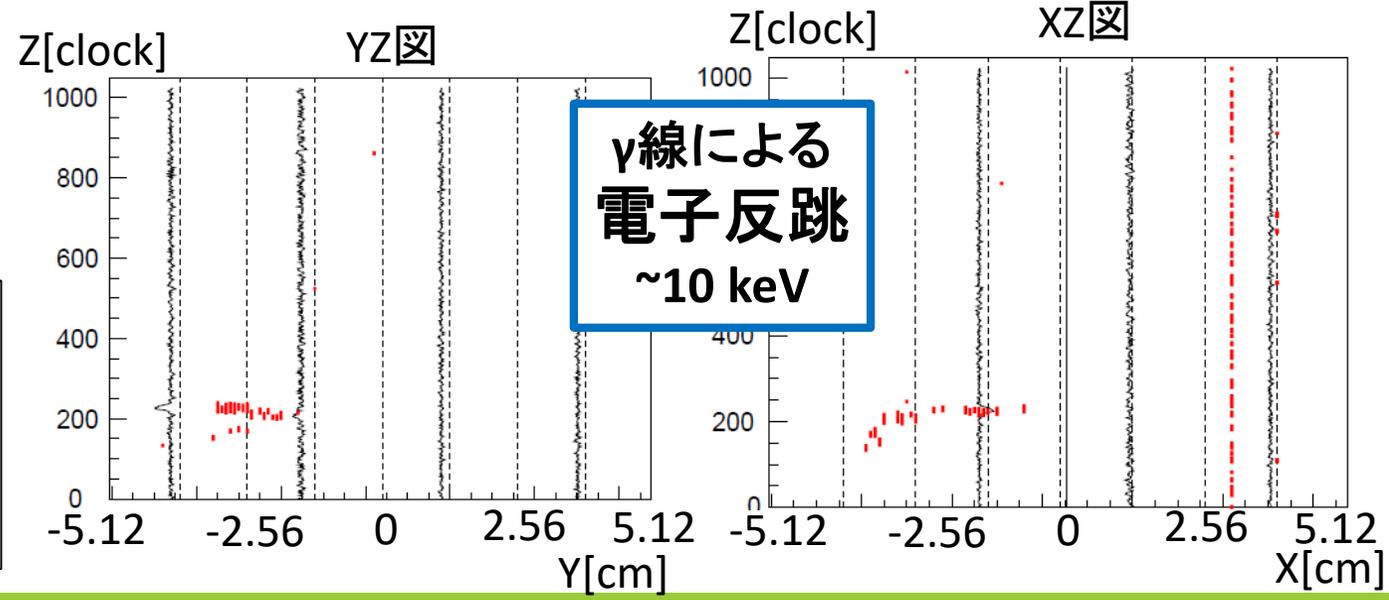
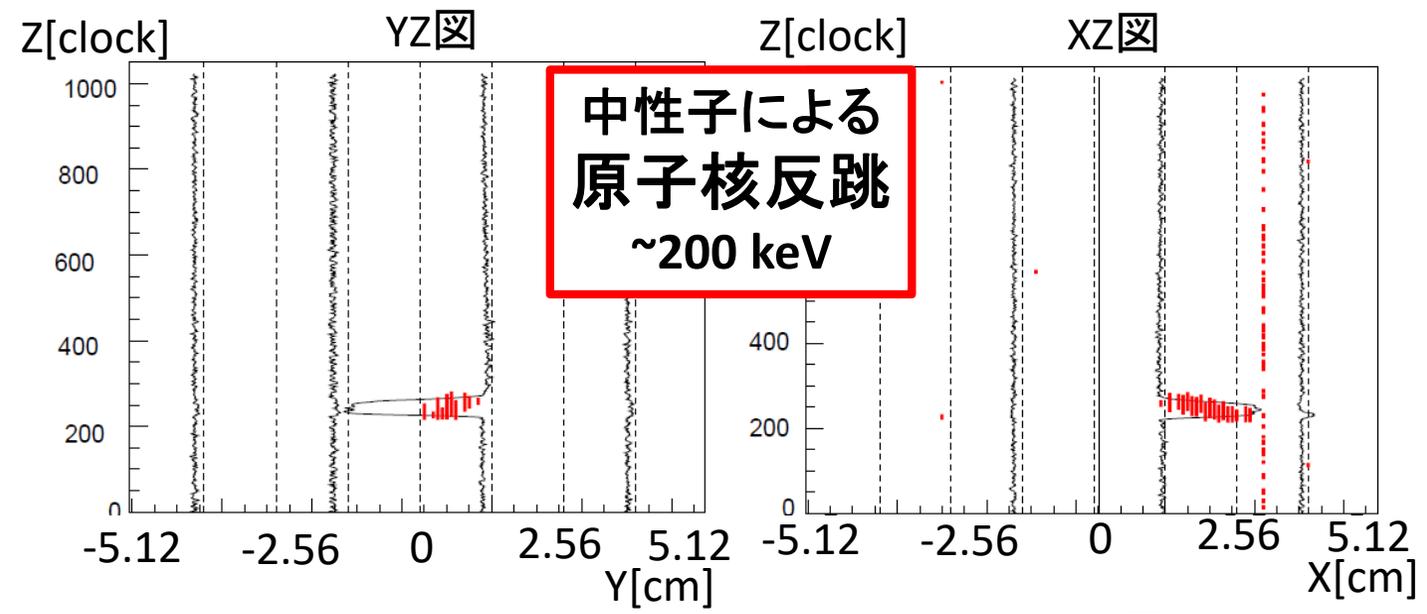


▼  $^{55}\text{Fe}$  5.9 keV X線照射によるエネルギースペクトル



# ② $^{252}\text{Cf}$ 線源を用いた原子核反跳・電子反跳観測

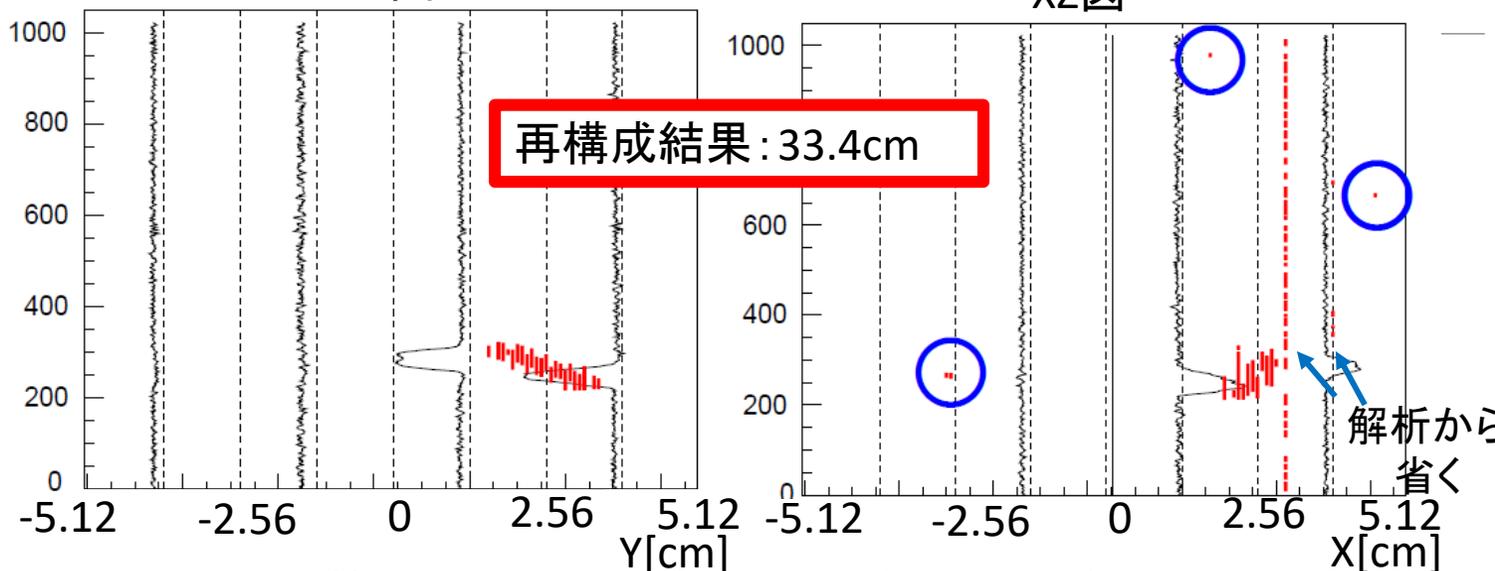
- 暗黒物質探索 : 50-400 keV
  - 暗黒物質による原子核反跳を観測したい
  - 環境 $\gamma$ 線の電子反跳信号の排除が必要
- $^{252}\text{Cf}$ 線源 : 中性子、 $\gamma$ 線
- どちらも検出できた



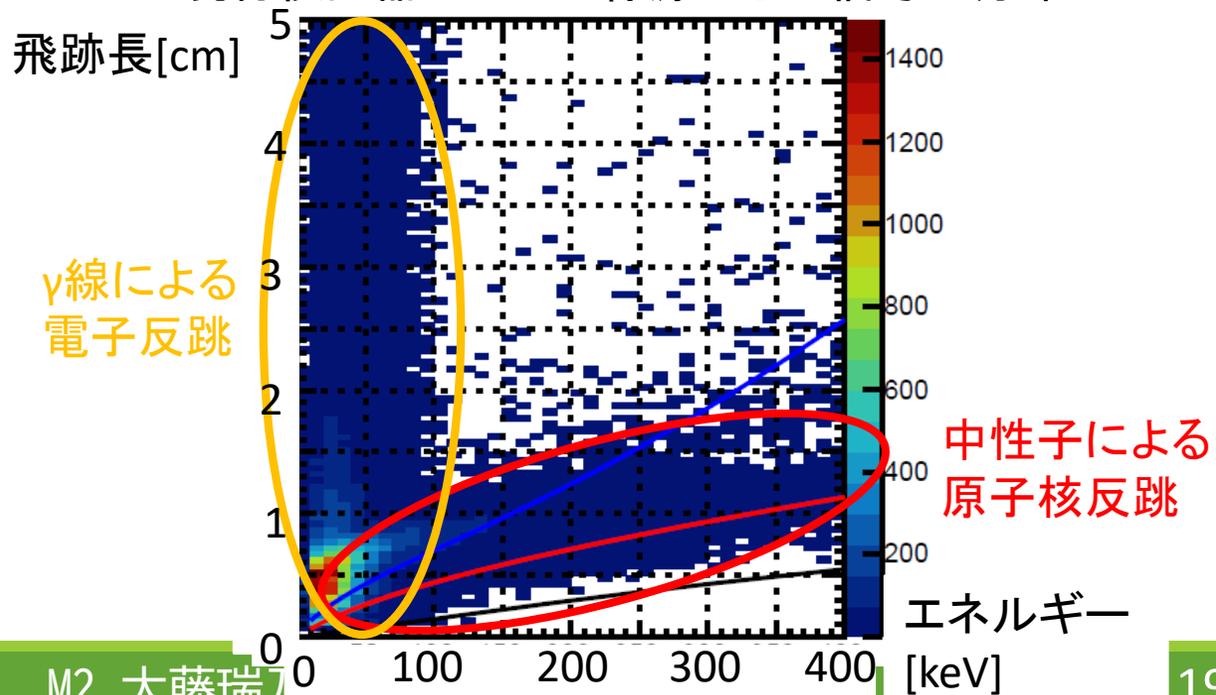
赤 : 飛跡, 128ch  
黒 : 波形, 32chずつ  
まとめて4ch

- 飛跡長の再構成に課題
  - 神岡の検出器と違う回路を使用
    - 継続的にノイズを検出するチャンネル
      - 解析から除外
    - 断続的にノイズを検出するチャンネル
      - 未解決
  - 飛跡長再構成手法の改良が課題
    - $^{252}\text{Cf}$ 線源からの信号の分布を再現
    - 定量評価ののち、C/N-1.0に実装

▼ 飛跡長の再構成に失敗している例



▼ 現行検出器での $^{252}\text{Cf}$ 線源からの信号の分布



# 結論

- C/N-1.0のためのモジュール型検出器Module-1を設計・開発
- Module-1の動作確認、性能評価
  - ガスゲイン75,000達成 : 要請値達成
  - 原子核反跳/電子反跳を取得
- 今後
  - 飛跡長計算の改良 → 定量評価
  - C/N-1.0へ実装 → 地下実験へ！