



# ミグダル効果観測に向けた ArガスTPCの改良と性能評価

神戸大 鈴木 啓司

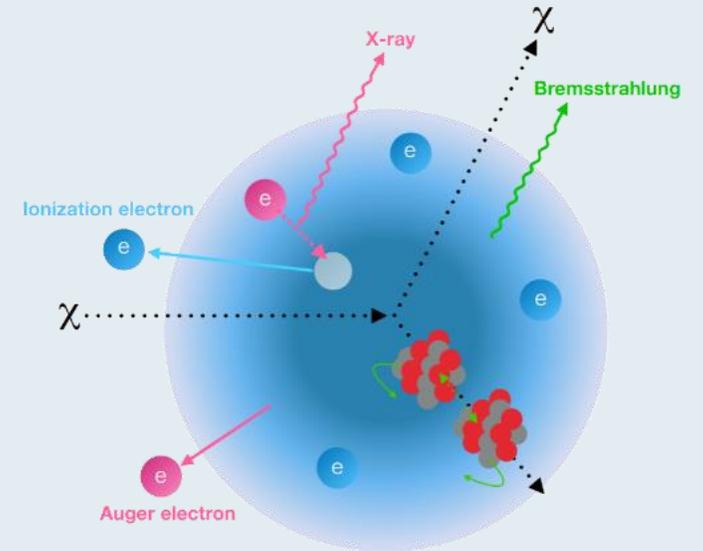
神戸大理, 東北大理<sup>A</sup>, 東大宇宙線研<sup>B</sup>

身内 賢太郎, 東野 聡, 生井 凌太, 中村 輝石<sup>A</sup>, 矢野 清志朗<sup>A</sup>, 細川 佳志<sup>B</sup>

# ミグダル効果とは？

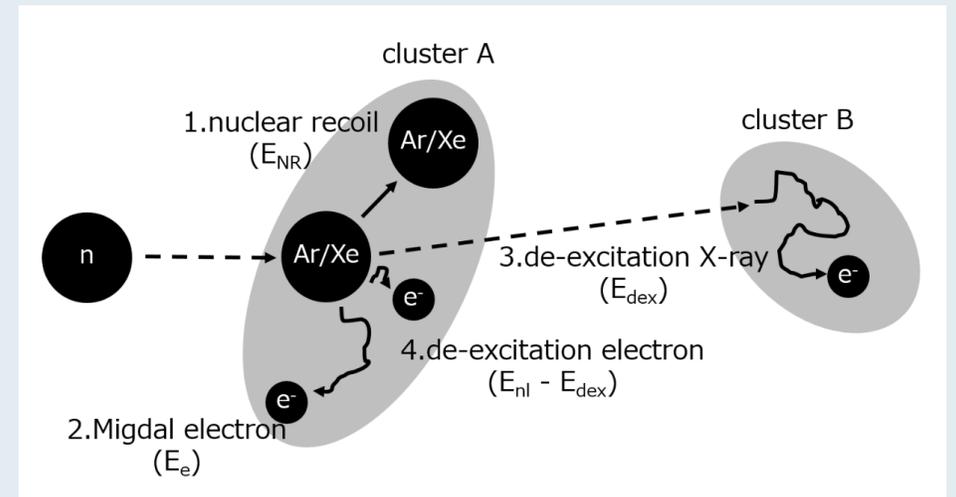
## ミグダル効果

- 原子核反跳に伴い、追加の電離・励起が低確率で生じる
- 低質量DMの探索に用いられている
  - 実験的には未観測



## MIRACLUE実験

- 東北大と共同でミグダル効果の初観測を目指す
  - 神戸大: ArガスTPC (KMArT)
  - 東北大: XeガスTPC
- 2-cluster事象を探索
  - 原子核反跳(NR)+Arの特性X線

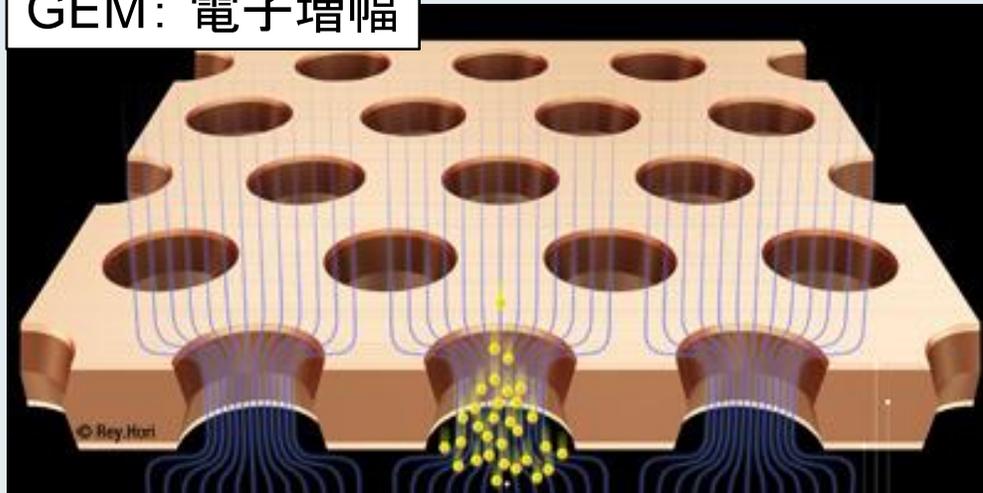


# KMArTの検出原理

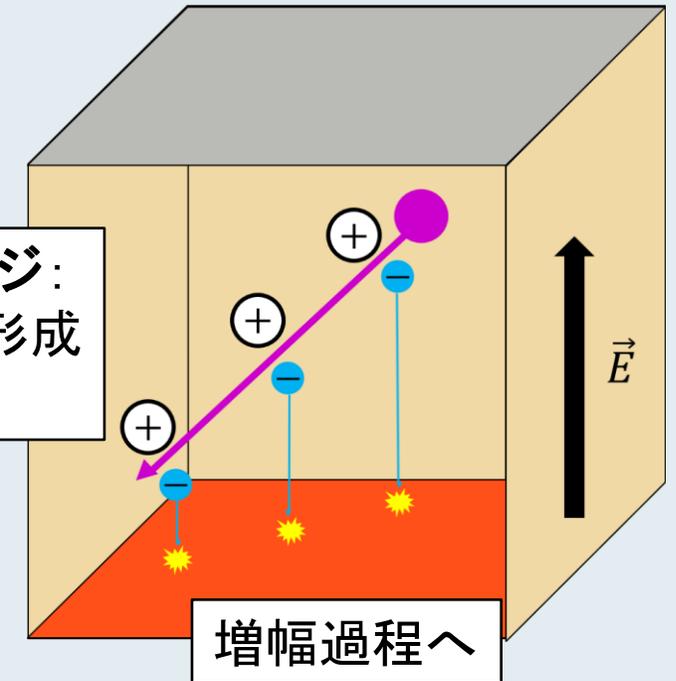
荷電粒子の検出は次の3ステップ

- ① 荷電粒子がArガスを電離
- ② ドリフト電場に沿って電子が移動
- ③ 強い電場で増幅して検出
  - GEM &  $\mu$ -PIC

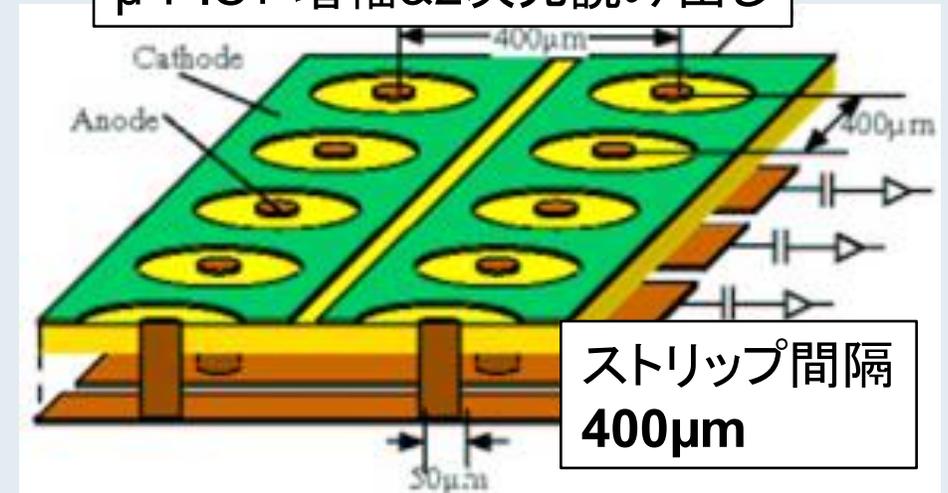
GEM: 電子増幅



フィールドケージ:  
ドリフト電場を形成  
今回のメイン

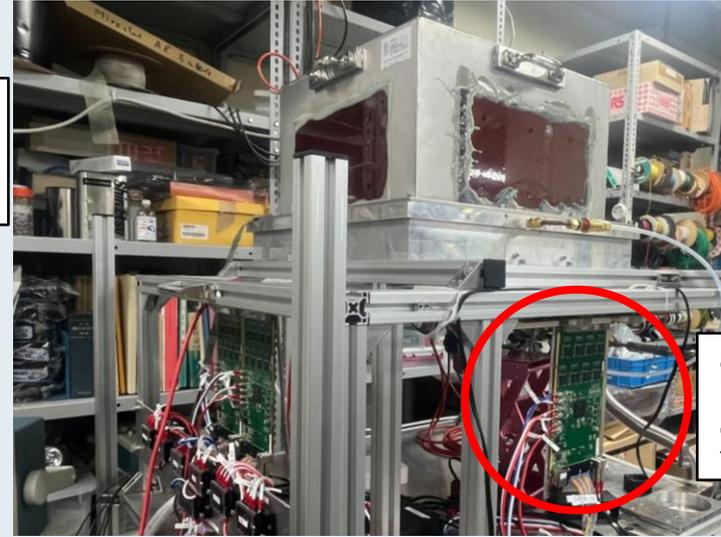


$\mu$ -PIC: 増幅&2次元読み出し



# 読み出し回路

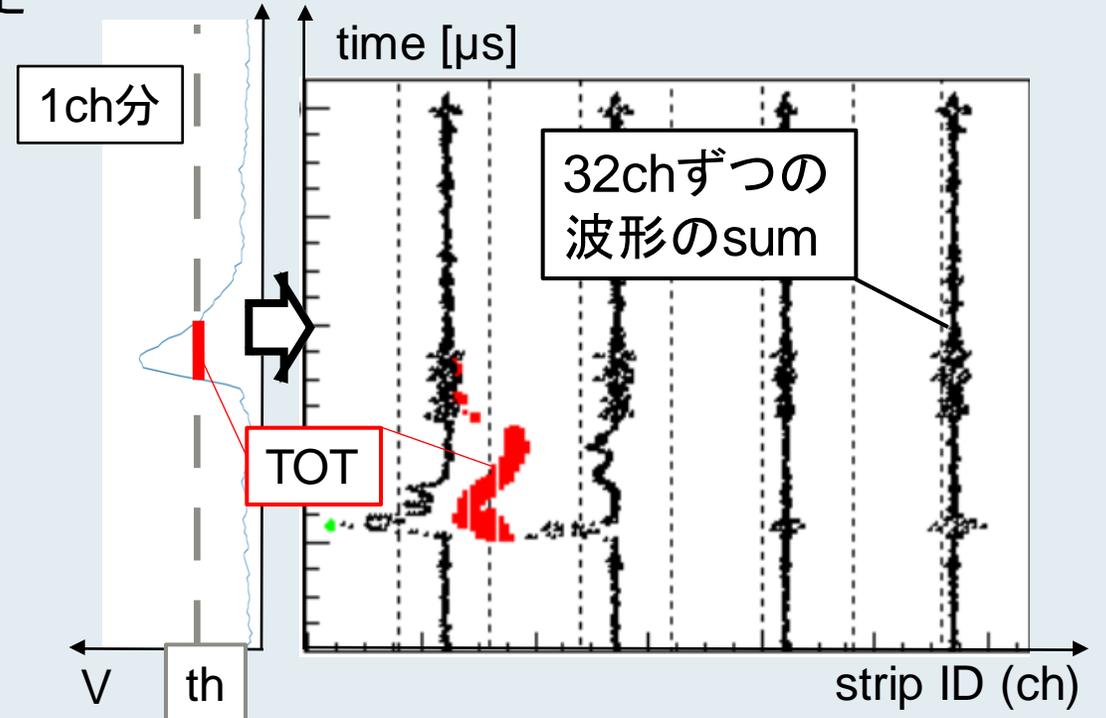
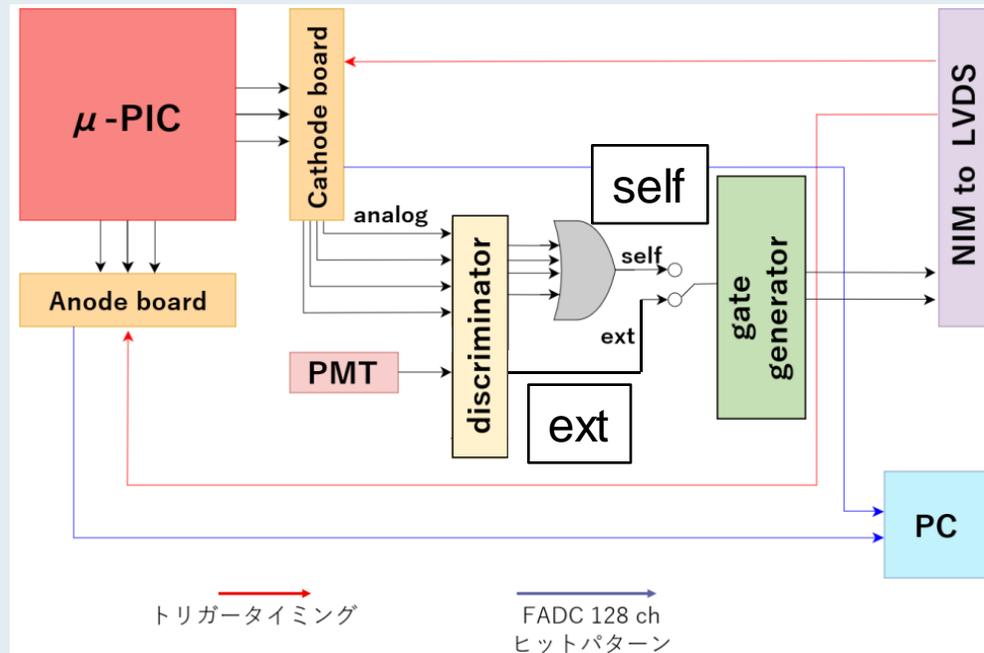
KMArT  
の外観



読み出し  
ボード

## $\mu$ -PICの2次元読み出し

- anode・cathodeともに256strip
  - 現在は2×128chで使用
  - Time over Threshold(TOT)を測定



# KMArTのこれまで

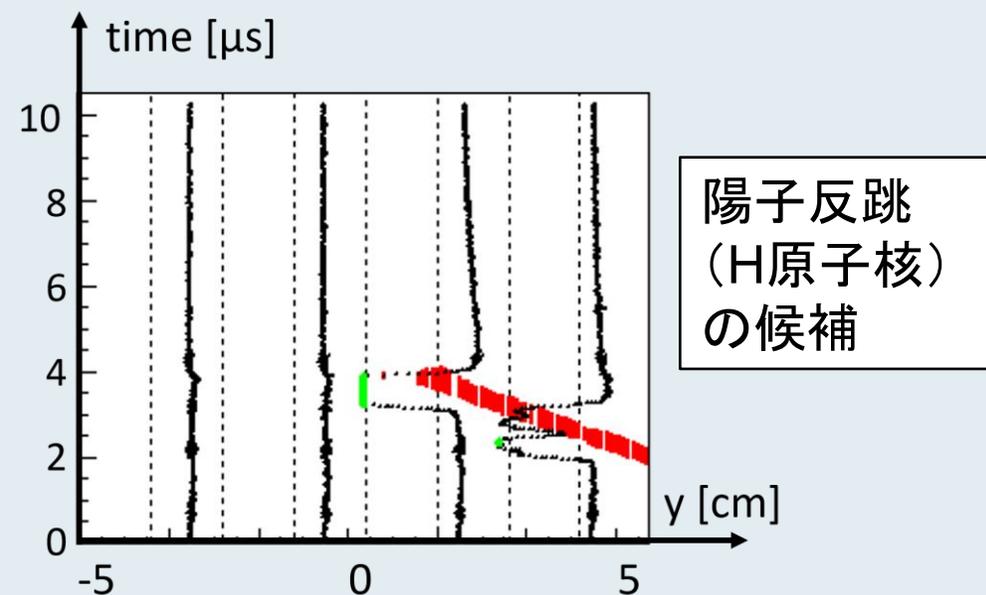
ビーム試験(2024年1月 @AIST)

- ビーム→14.8MeVの中性子
- 封入ガス→Ar:C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> = 84:16(体積比)
- 有感領域→20cm × 10cm × 30cm



ビーム試験時点での問題点

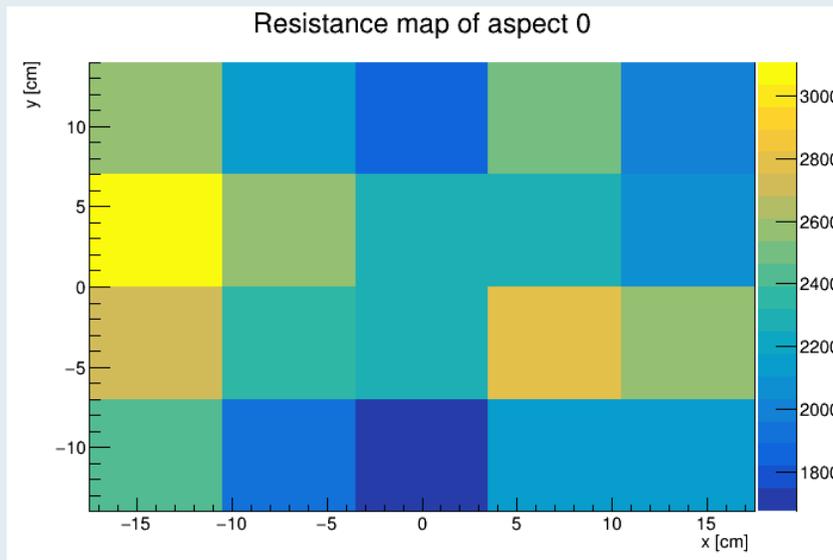
- **ドリフト電場の形成不良?**
  - ドリフト速度が測定できていない
- フィールドケージの損傷(運搬時)
- ✓ この機会にフィールドケージを改良しよう!



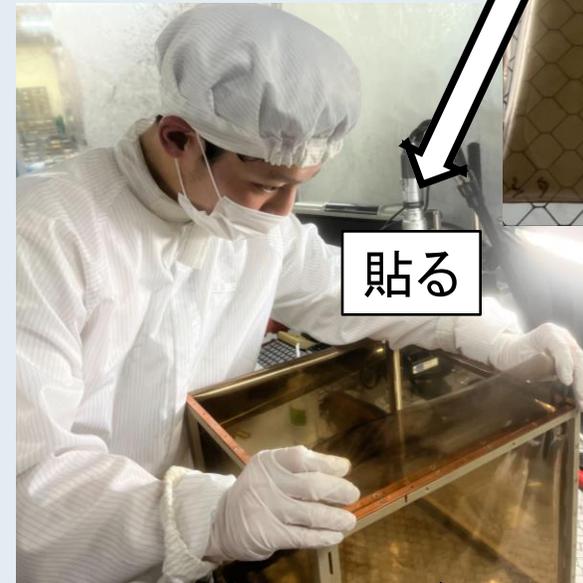
# KMArTのフィールドケージ

## フィールドケージの構造

- 側面：EVOHシート
  - 片面にカーボンスパッタ  
→ 一様な面抵抗をもつ
- 骨格：PEEK



側面のサイズに合わせてカット



貼る

← 面抵抗を20か所で測定  
( $2.32 \pm 0.34$ ) GΩ



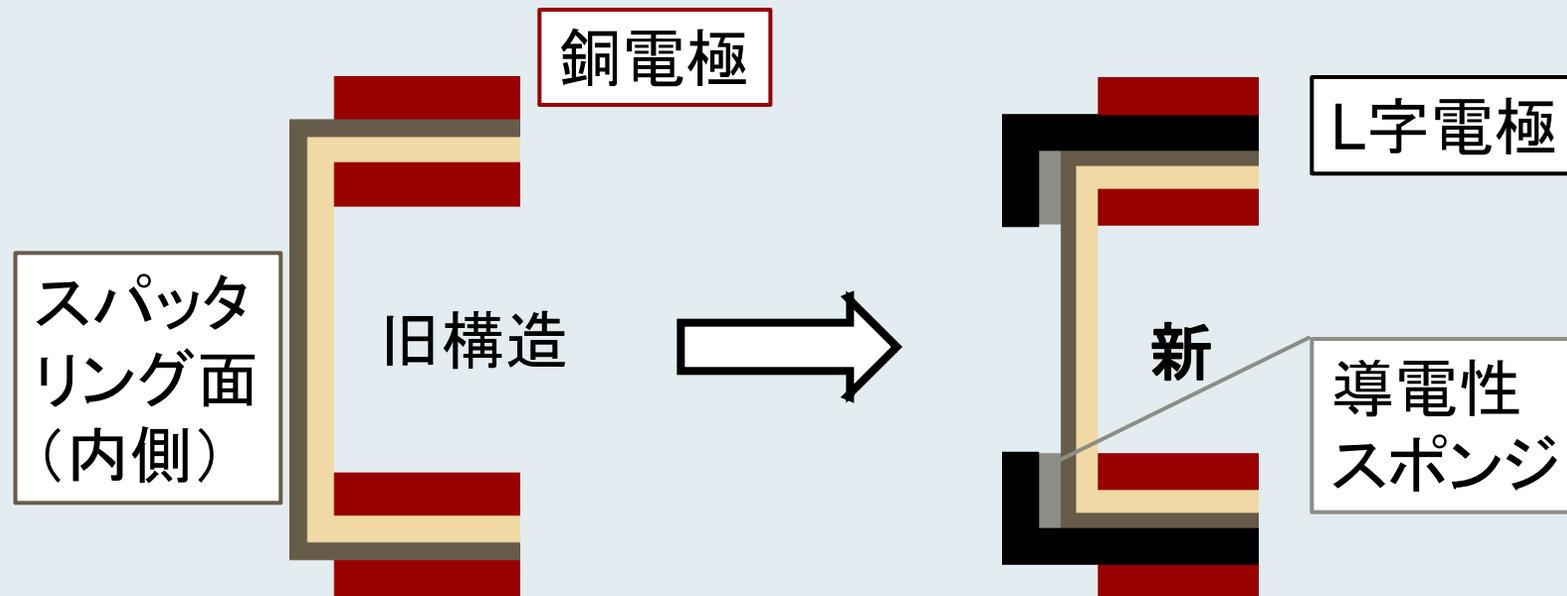
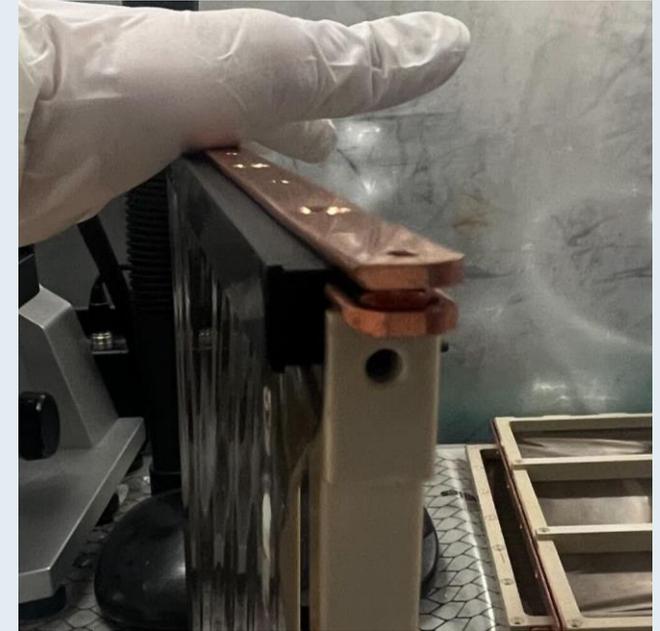
完成図

# フィールドケースの改良

旧構造→電極まわりの抵抗が大きい

- EVOHシートを直角に曲げた部分
- 銅電極とシートの接触部分

◎ L字電極＋導電性スポンジの合わせ技で解決

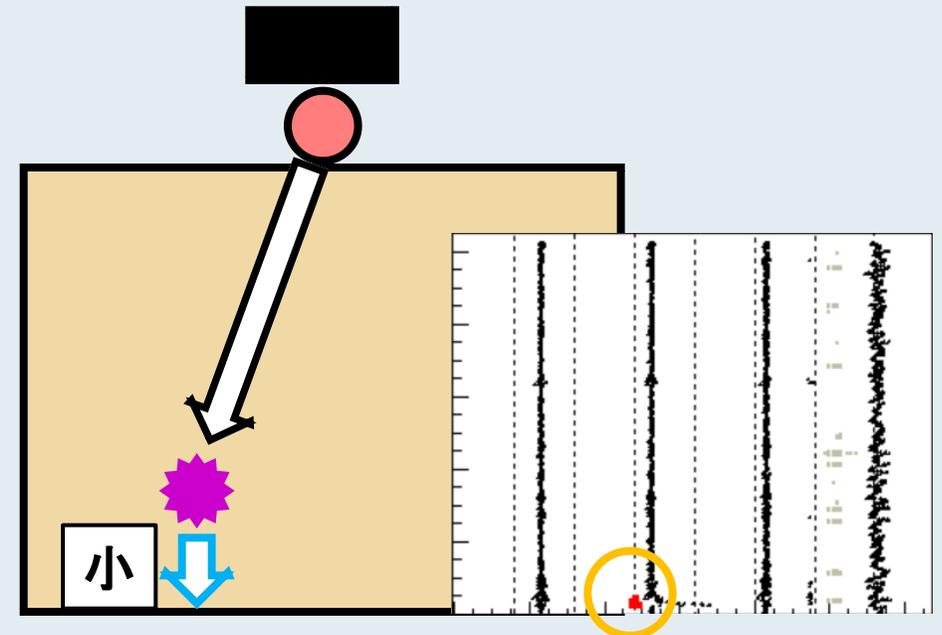
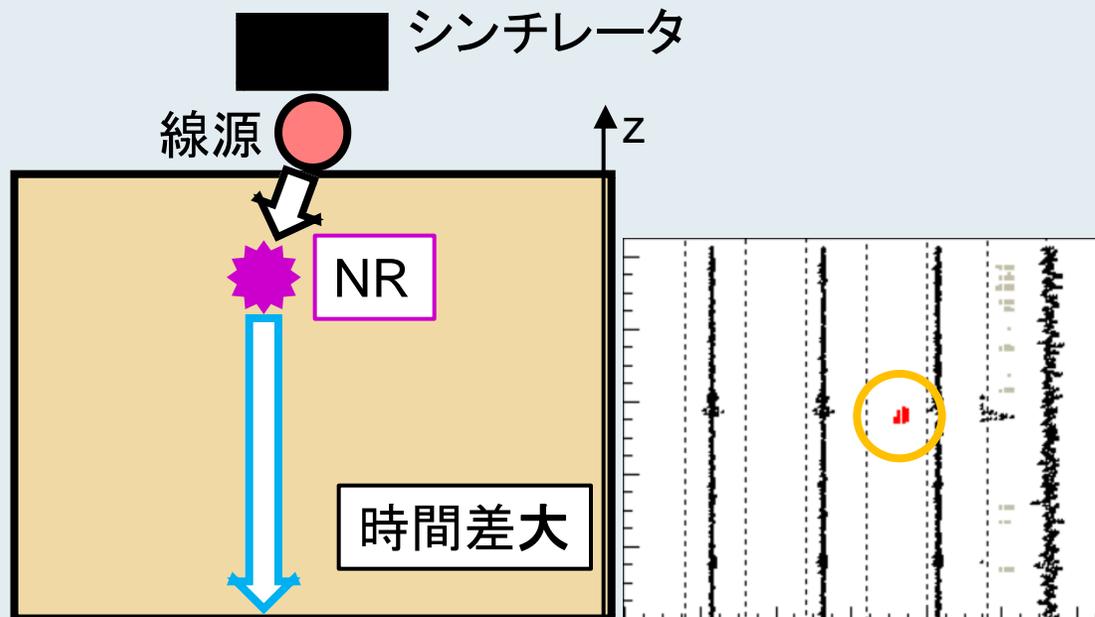
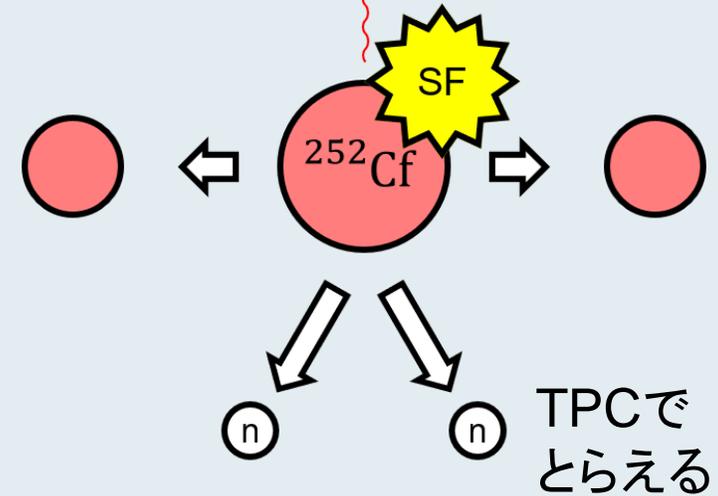


# フィールドドレーズの性能評価

## イベントのz座標依存

- $^{252}\text{Cf}$ の自発核分裂(SF)を利用
  - 複数のガンマ線・中性子を放出
- トリガーとの時間差でz座標を再構成

$\gamma$  トリガーに使用

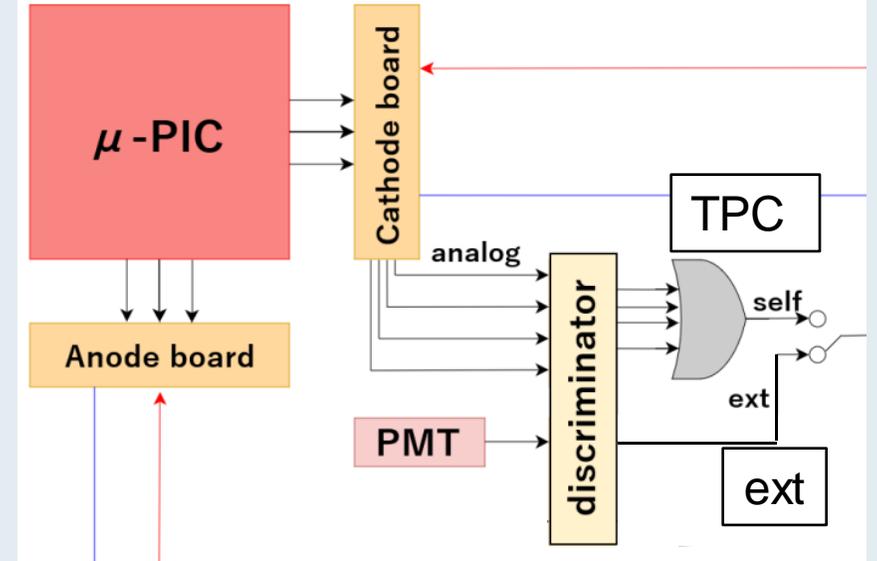


# トリガーの改良

$^{252}\text{Cf}$  runにおけるトリガーの問題点

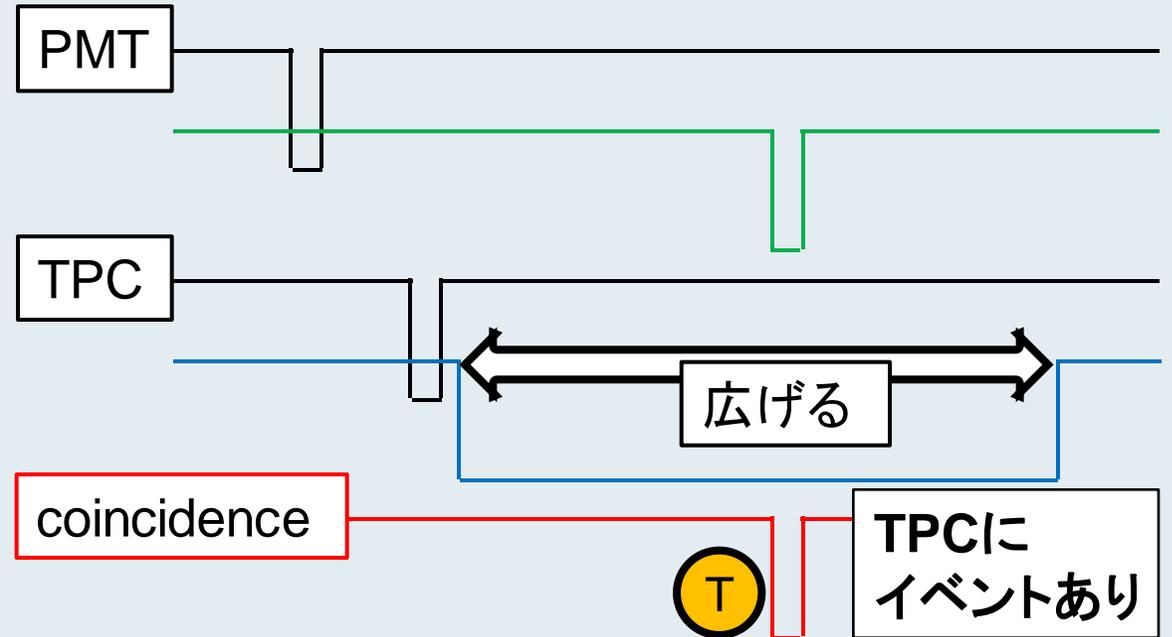
- 高確率でTPCにイベントがない
- ◎ TPCとのコインシデンスをとって解決

p.4 回路図の一部



従来のextトリガー

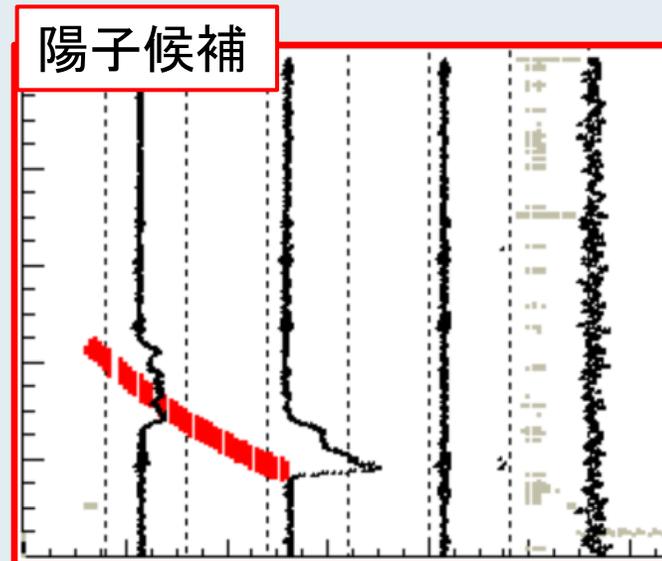
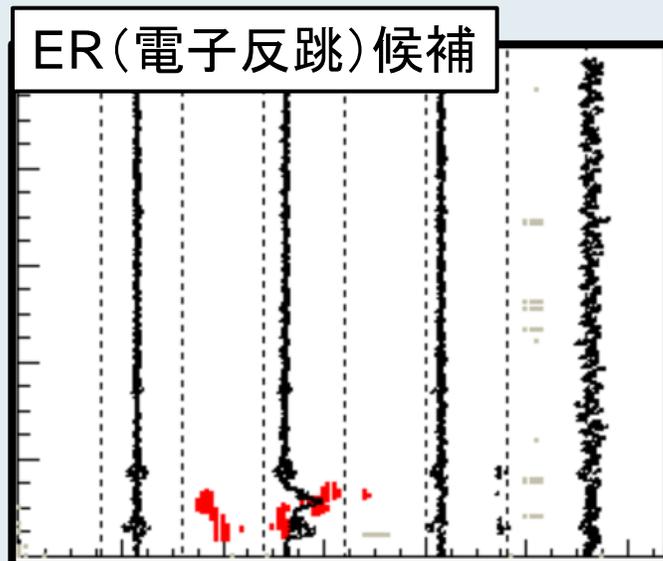
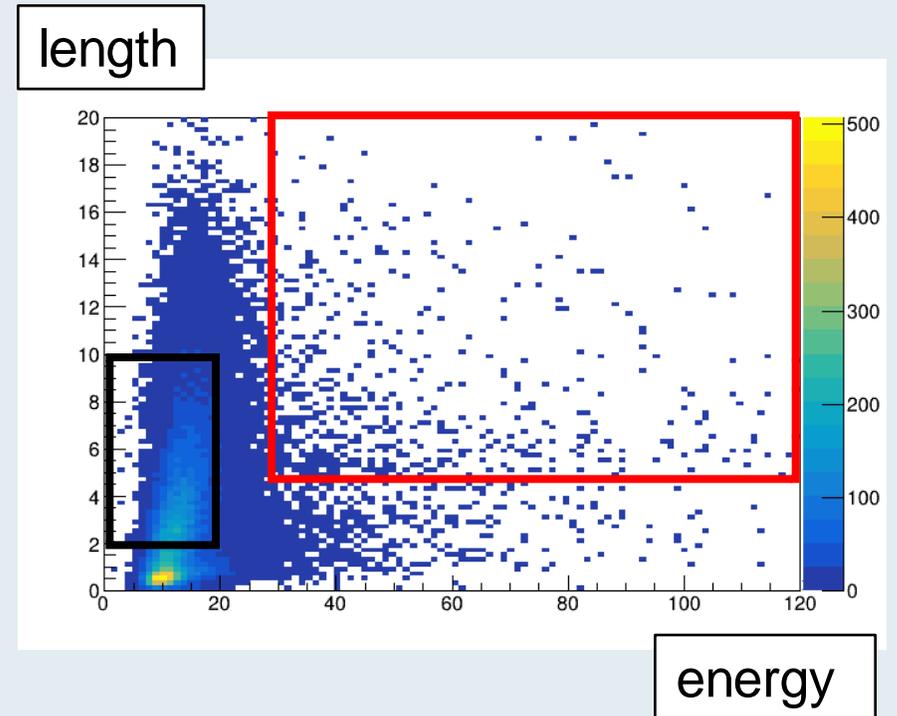
- TPCの信号の有無を問わない
- 効率が悪い



# イベントの識別

解析に使用したデータ(10時間)

- $^{252}\text{Cf}$ 線源の位置→TPCの-z側
- 封入ガス→Ar:C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> = 84:16、1atm
- ドリフト電場→90V/cm
  - ドリフト速度は2.9cm/μs(MAGBOLTZ)



- エネルギーと飛跡長の情報からイベントの識別可能
- 陽子反跳のみでz座標依存性を見る

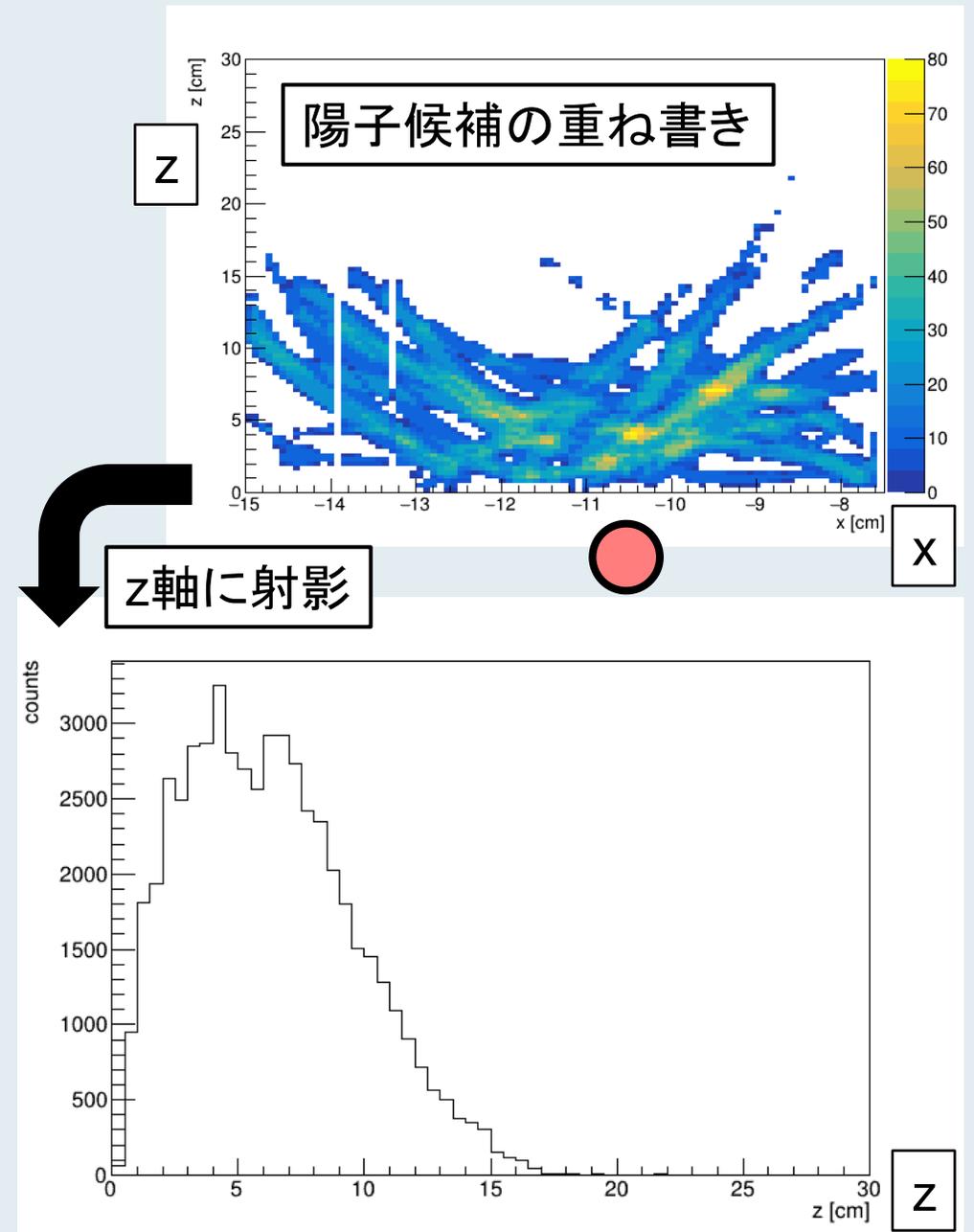
# z座標依存の考察

陽子候補のみを狙ってカットをかける

- TOT sumの大きいイベントを残す
- ◎ 等方的な飛跡が見えている

## 課題

- ドリフト距離の長いイベントが見えない
  - diffusionの影響? 要調査
- 検出領域の中央付近が不調
  - 現状端寄りの領域を使用
- ✓ 一刻も早く原因究明を



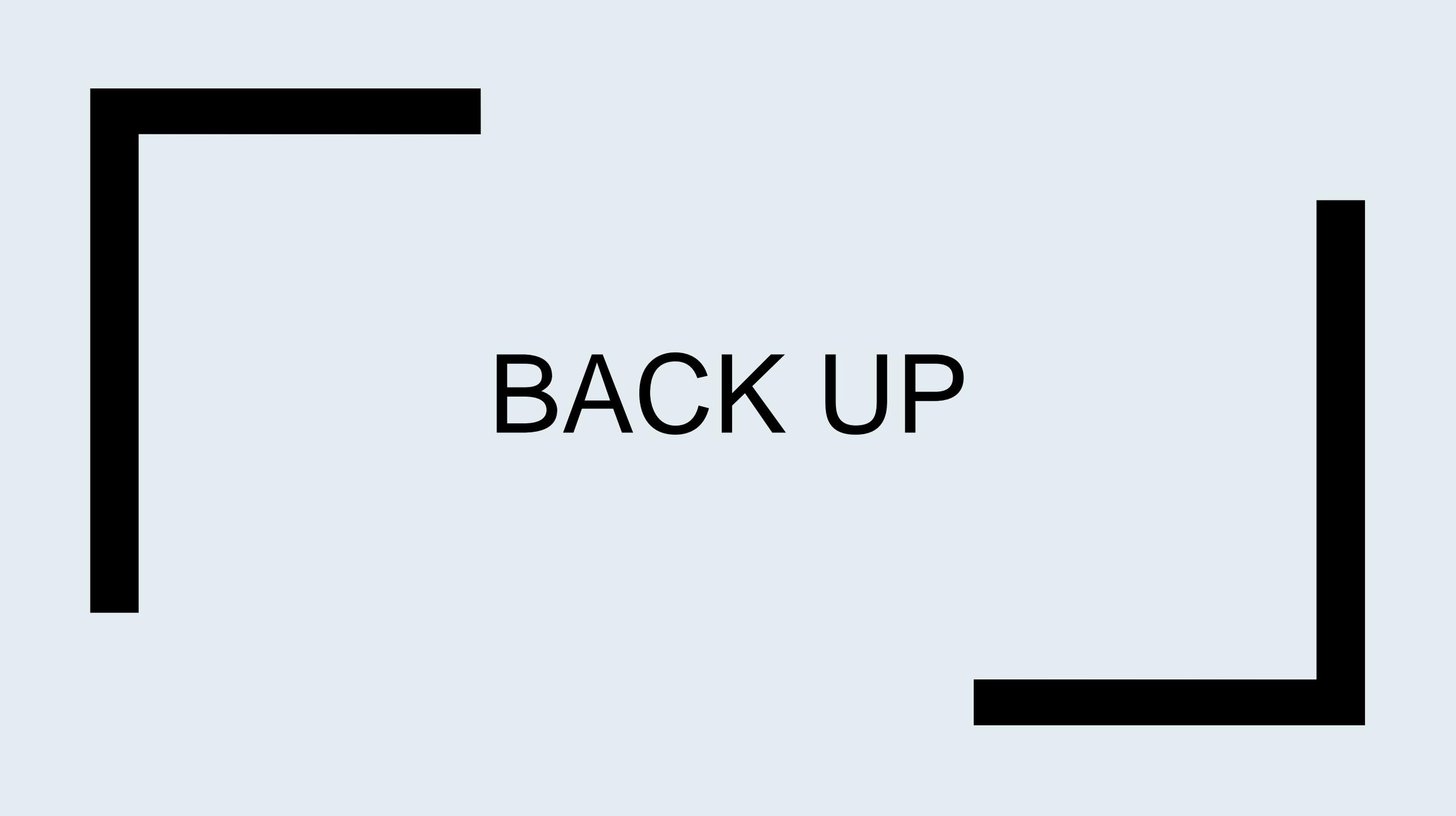
# まとめと今後の展望

一様なドリフト電場形成を狙ったフィールドケージの改良

- ドリフト距離の長いイベントに課題が残る

10月末(予定)のビーム試験に向けて

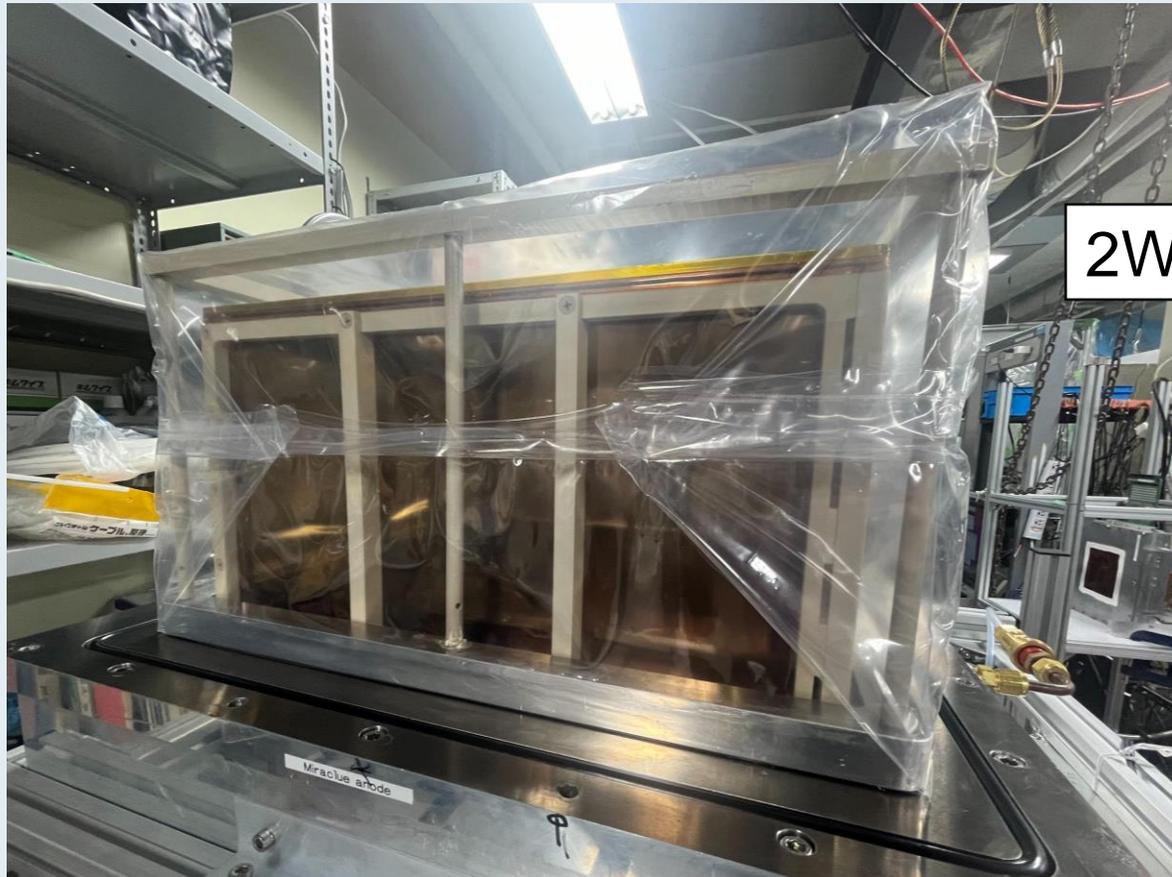
- イベントのz方向の一様性向上
    - 別タイプのフィールドケージ運用も検討中
  - Arの特性X線(3keV)をとらえるための高ゲイン化
    - 現状8keVのX線は観測できている
- ◎ これらの課題をクリアし、ミグダル効果初観測へ！

The image features the text "BACK UP" in a bold, black, sans-serif font, centered horizontally. It is flanked by two large, black L-shaped brackets. The left bracket is positioned in the upper-left area, with its vertical bar extending downwards and its horizontal bar extending to the right. The right bracket is positioned in the lower-right area, with its vertical bar extending upwards and its horizontal bar extending to the left. The background is a light, solid color.

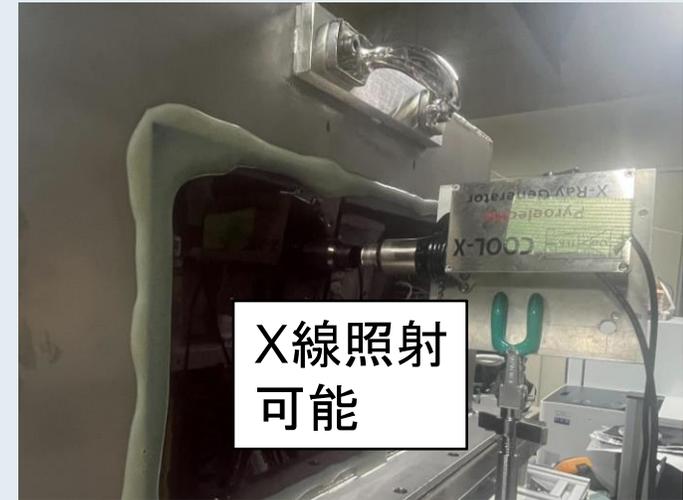
**BACK UP**

# KMArT

- KMArT (Kobe MIRACLUE Argon TPC)

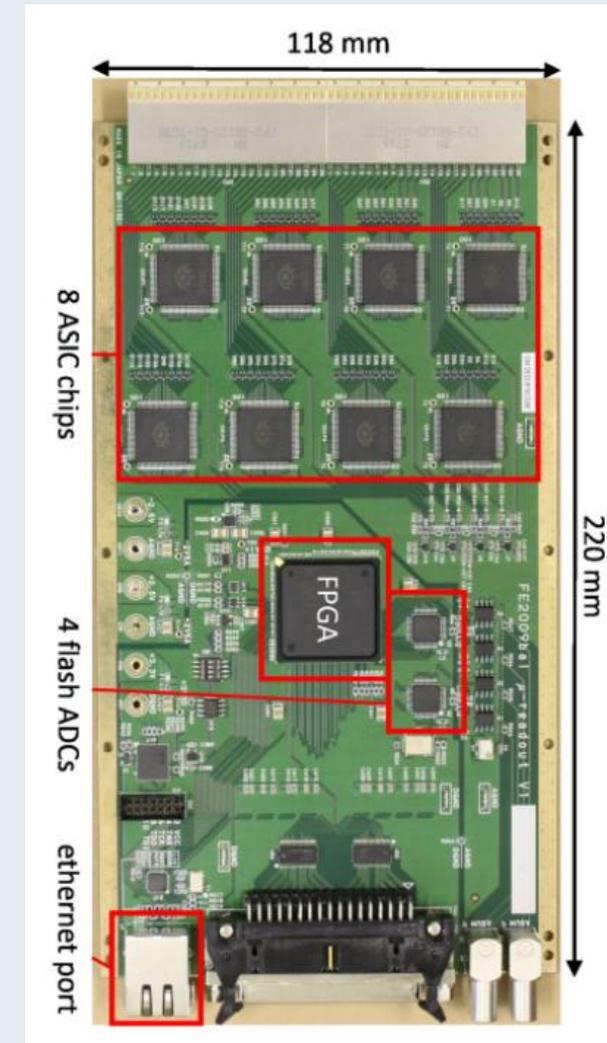
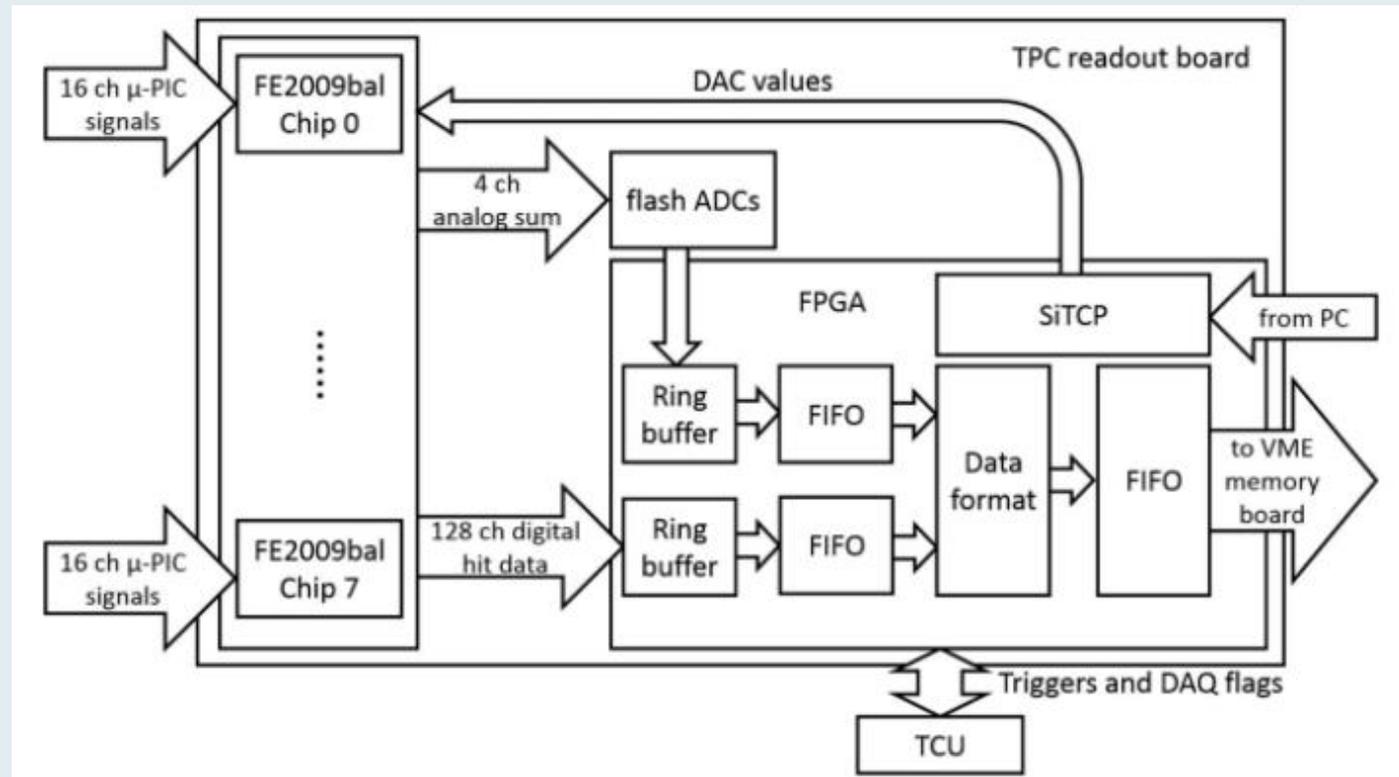


2WAY



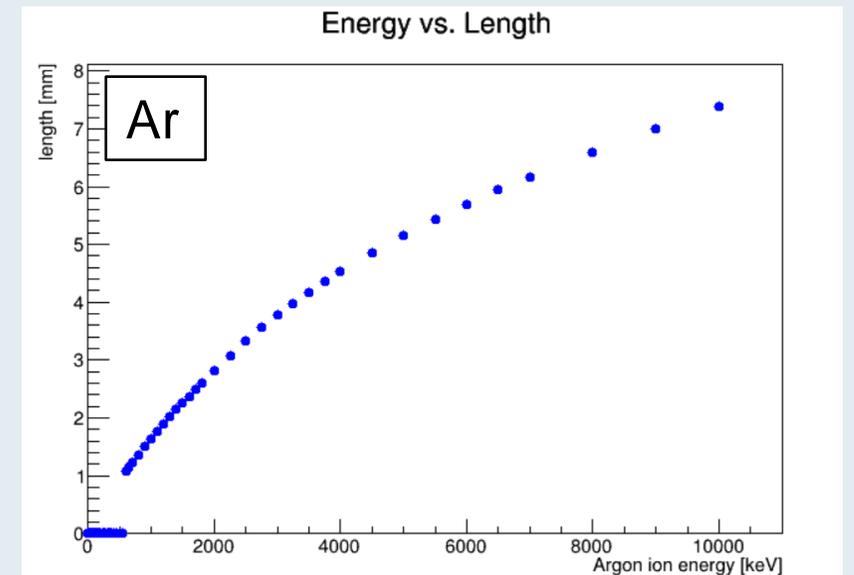
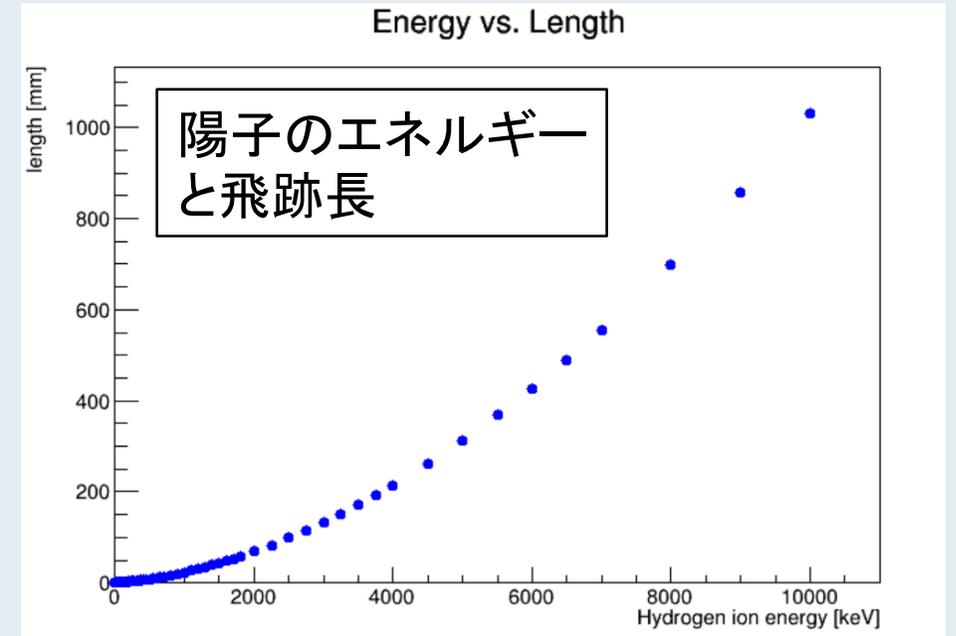
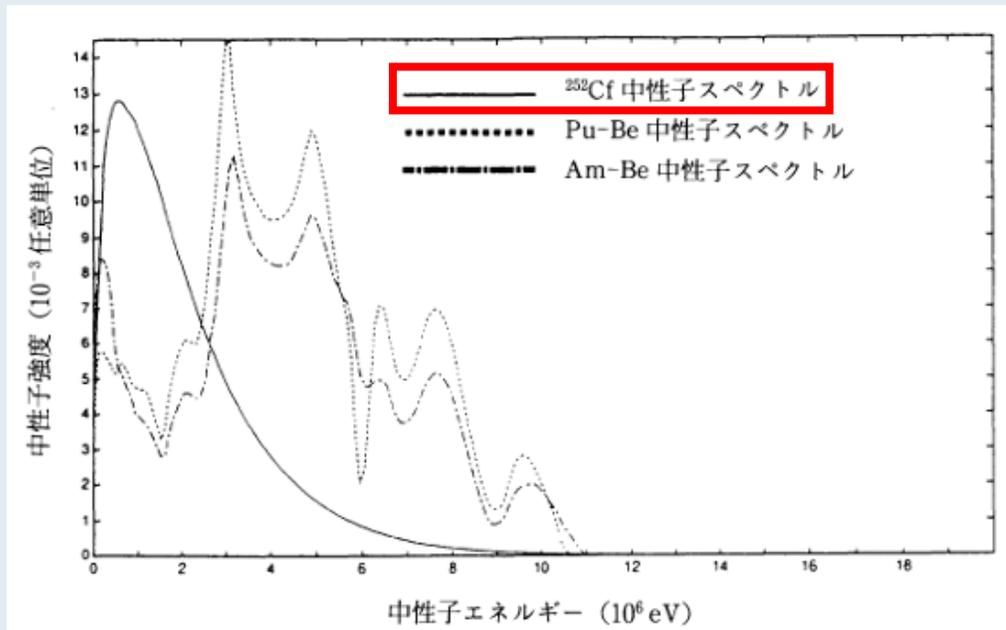
# 読み出しボード

## ■ 岩城ボード



# $^{252}\text{Cf}$ run関連の情報

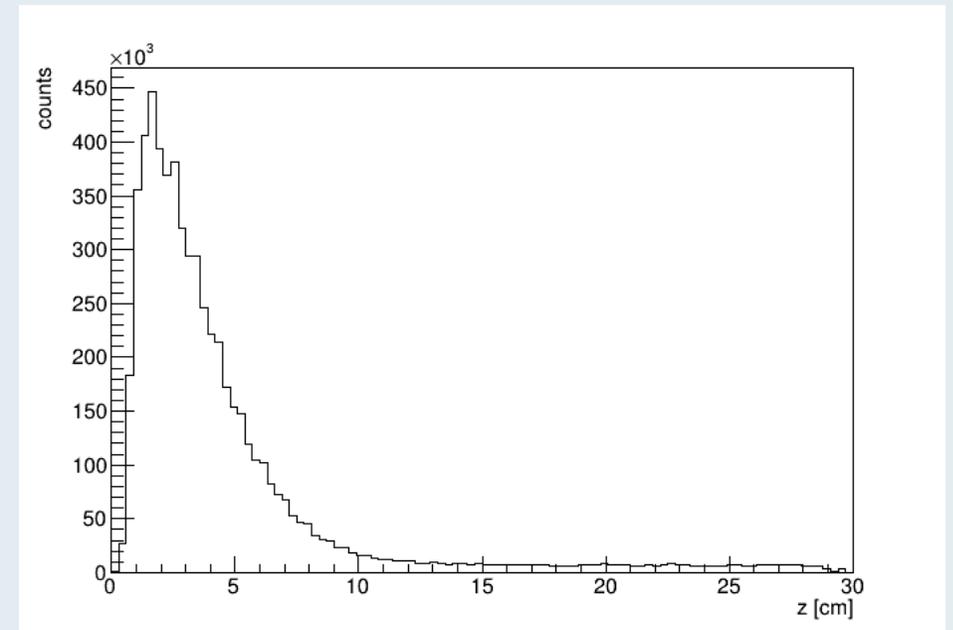
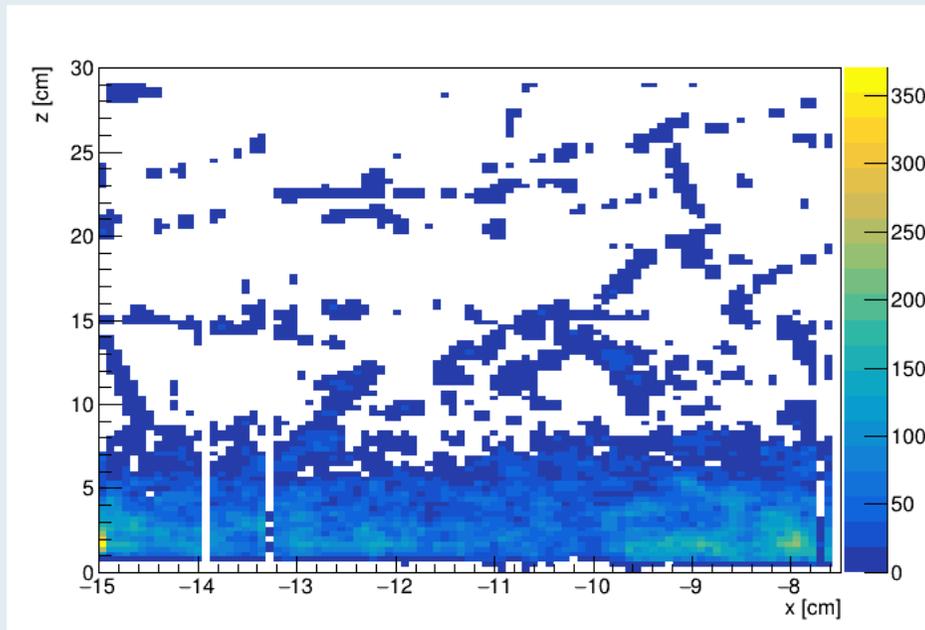
- 半減期: 2.645年
- $\alpha$ 壊変: 96.9%、自発核分裂(SF): 3.1%
- 1個のSFにより約3.8個の中性子を放出
  - 1MeV付近で極大、平均は2~3MeV



# z座標依存(低エネルギー)

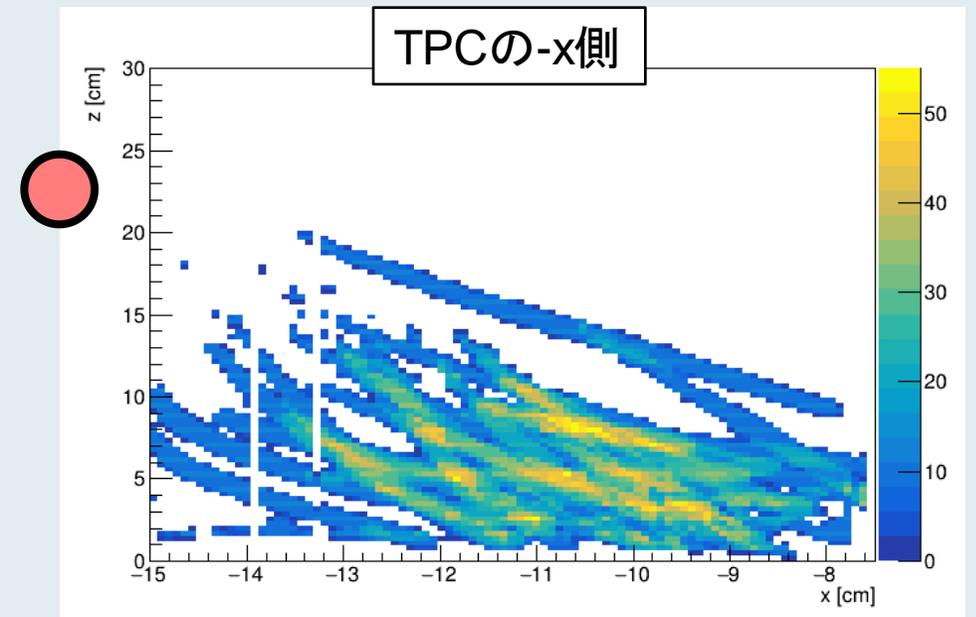
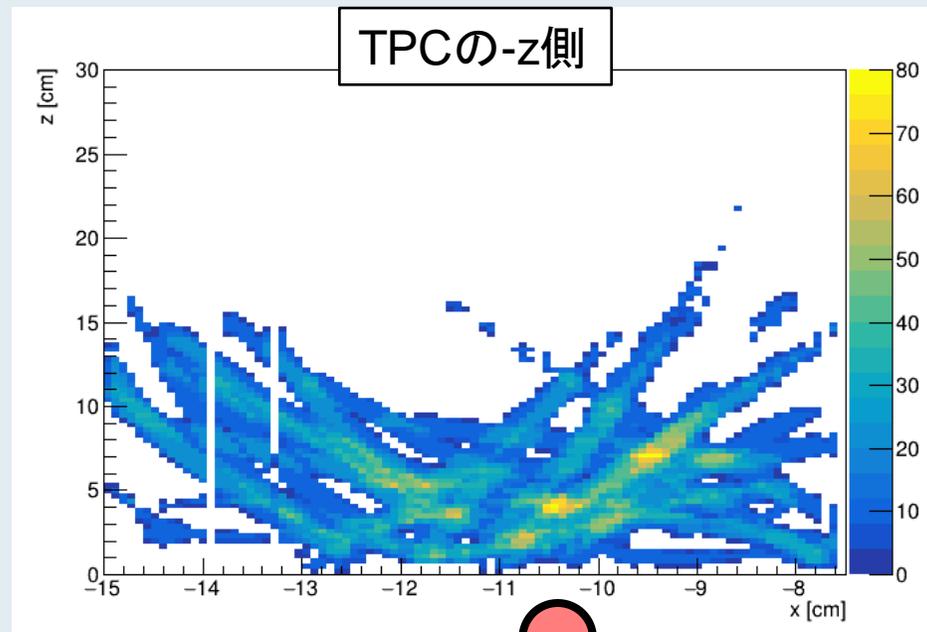
ER候補 (energy < 15, 2 < length < 10)

- 陽子候補のz分布に比べて落ち切るのが早い (~10cm)
- 10cm以上の平らな成分はおそらくaccidental coincidence
  - 環境ガンマ線によるBG



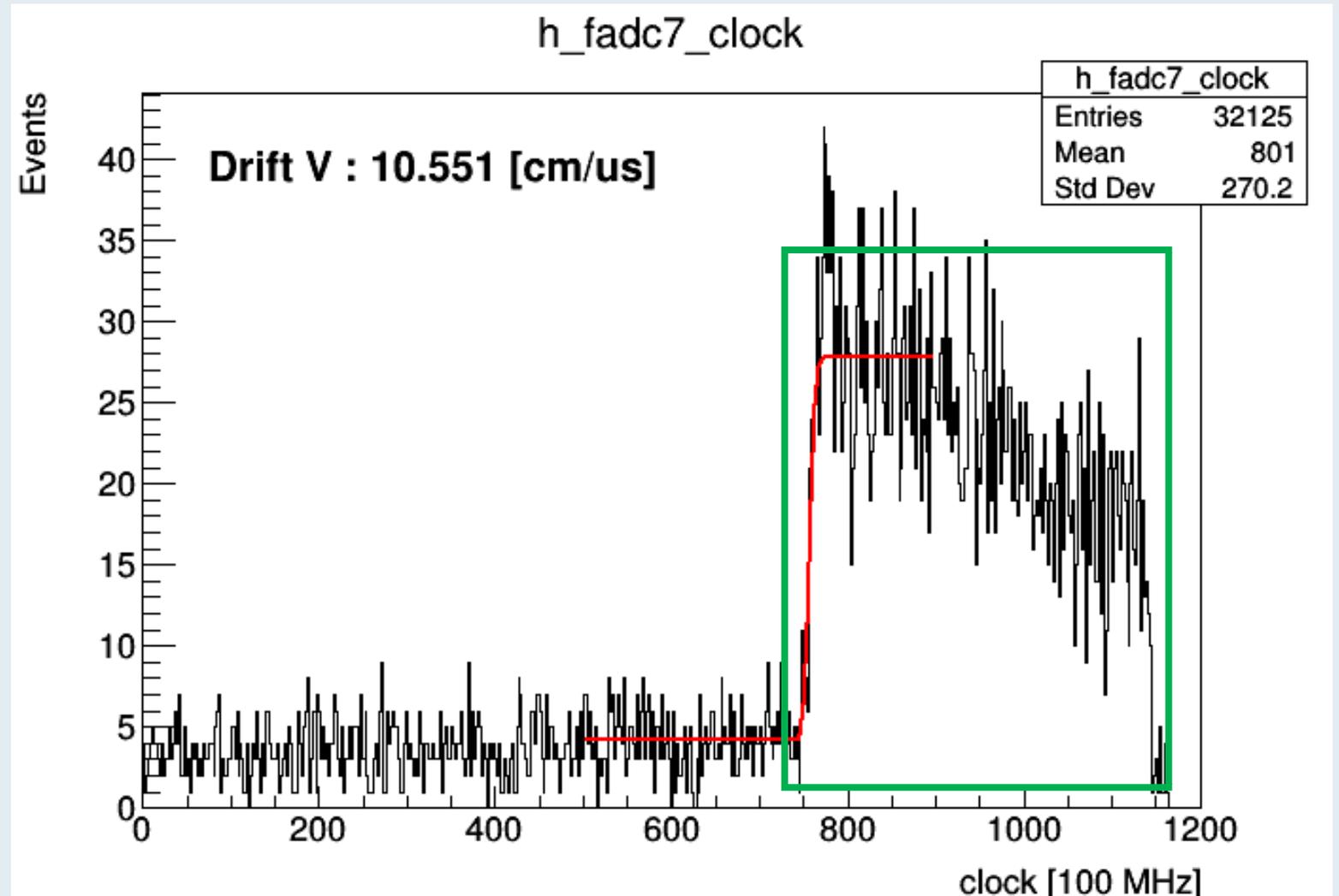
# 線源の位置依存

- 線源の位置によって飛跡の違いが見えている
  - DB側のイベントについては問題なし



# 参考：NEWAGE 0.3b

- フィールドケーシングの構造がはっきりと見える
- 0.1atmのCF<sub>4</sub>ガス



# 別タイプのフィールドドケージ

- フレキシブル基盤を使用
- 導線どうしをチップ抵抗でつないで鎖状にする

