

# 方向に感度を持った暗黒物質探索に おける外部要因バックグラウンド削減

神戸大学

中山郁香

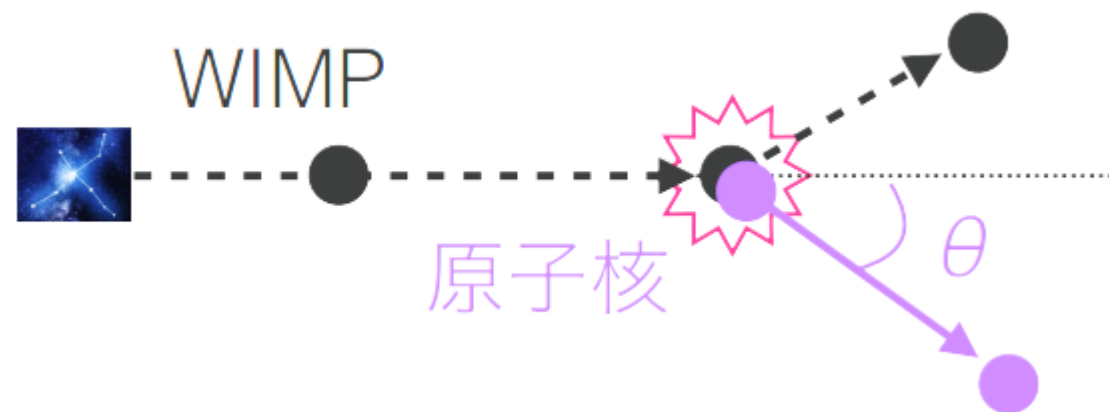
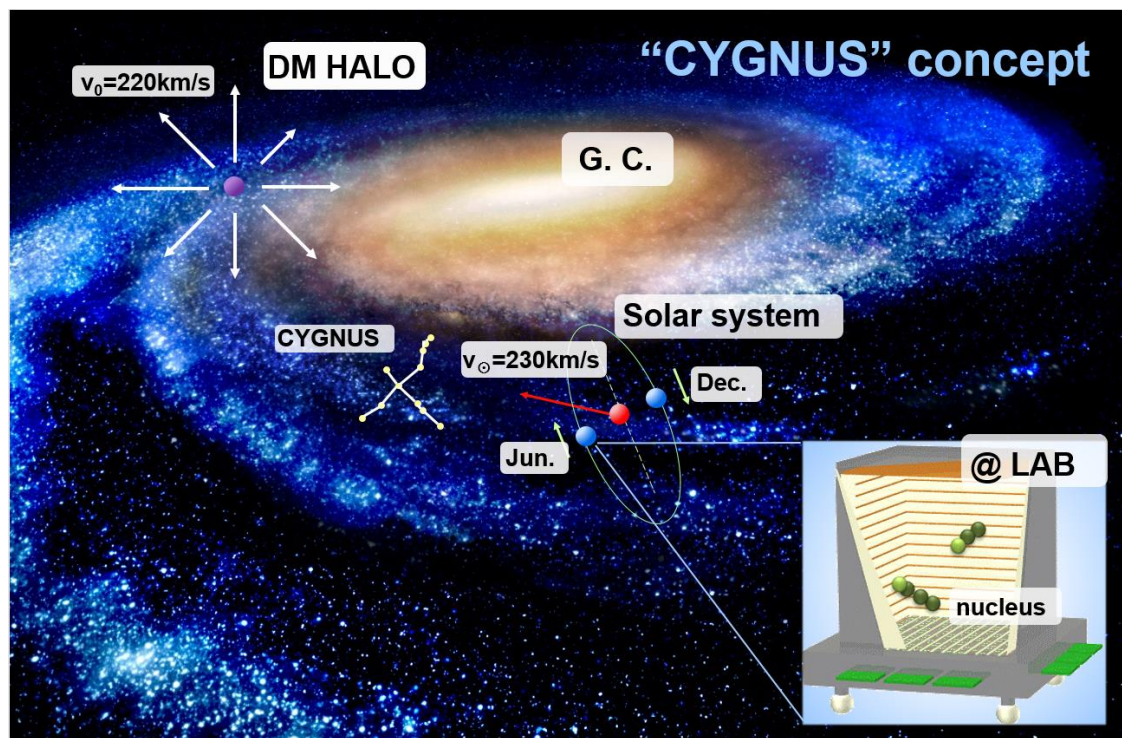
身内賢太郎 東野聡 石浦宏尚 窪田諒

2021/12/17

MPGD & Active媒質TPC2021研究会

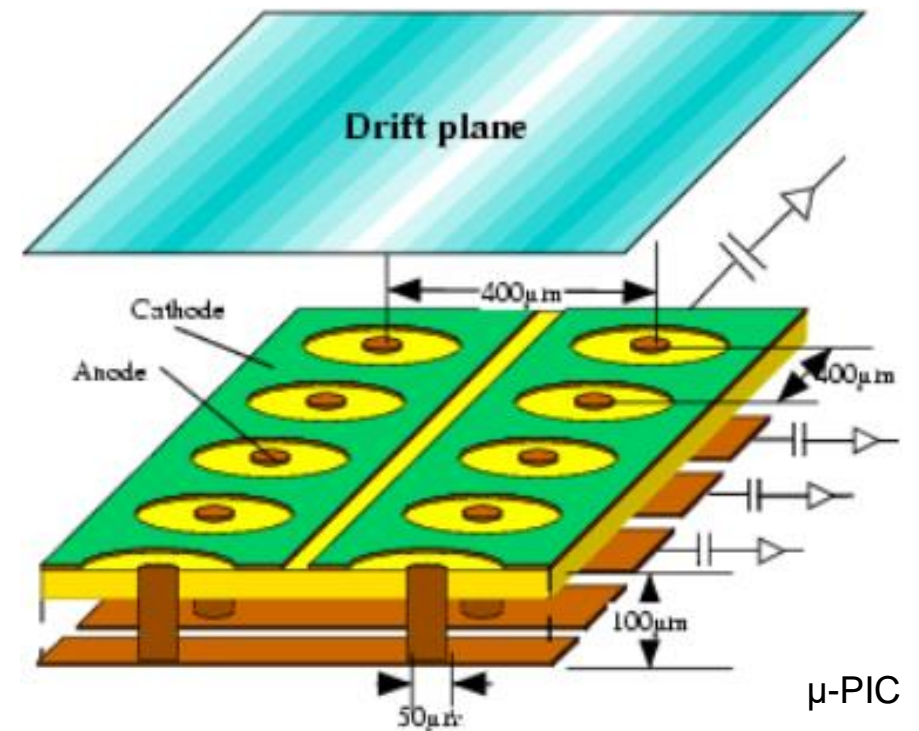
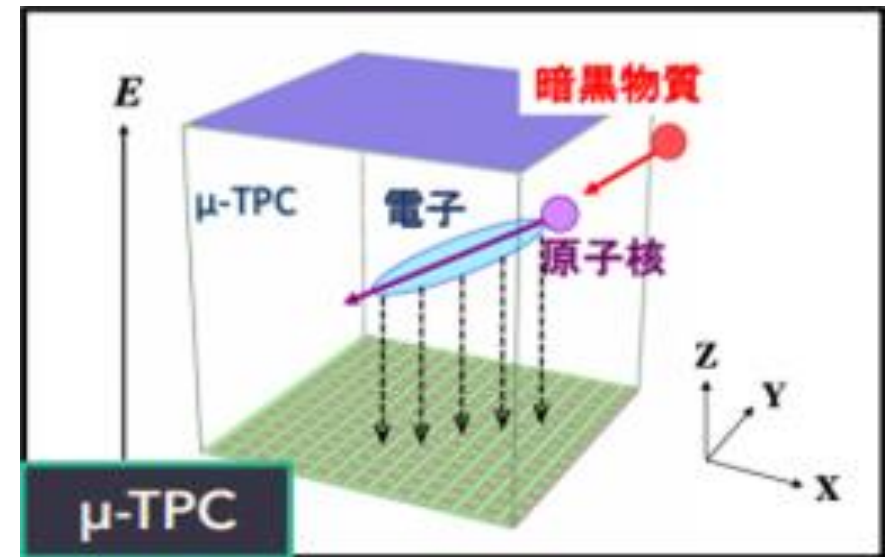
# イントロダクション

- 暗黒物質
  - 存在すると考えられるが、直接観測に至っていない物質
  - 天の川銀河系内にも暗黒物質が存在
    - 銀河系内を移動する太陽系には、移動方向から暗黒物質が到来している
- NEWAGE：方向に感度のある暗黒物質探索実験
  - 暗黒物質と原子核の弾性散乱を測定



# 検出原理

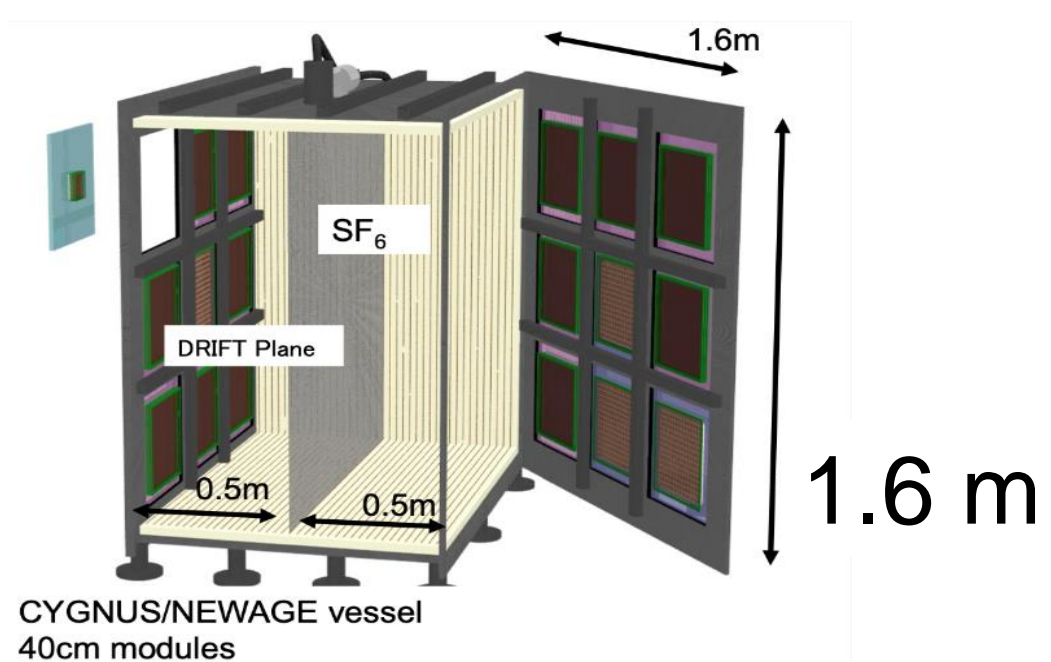
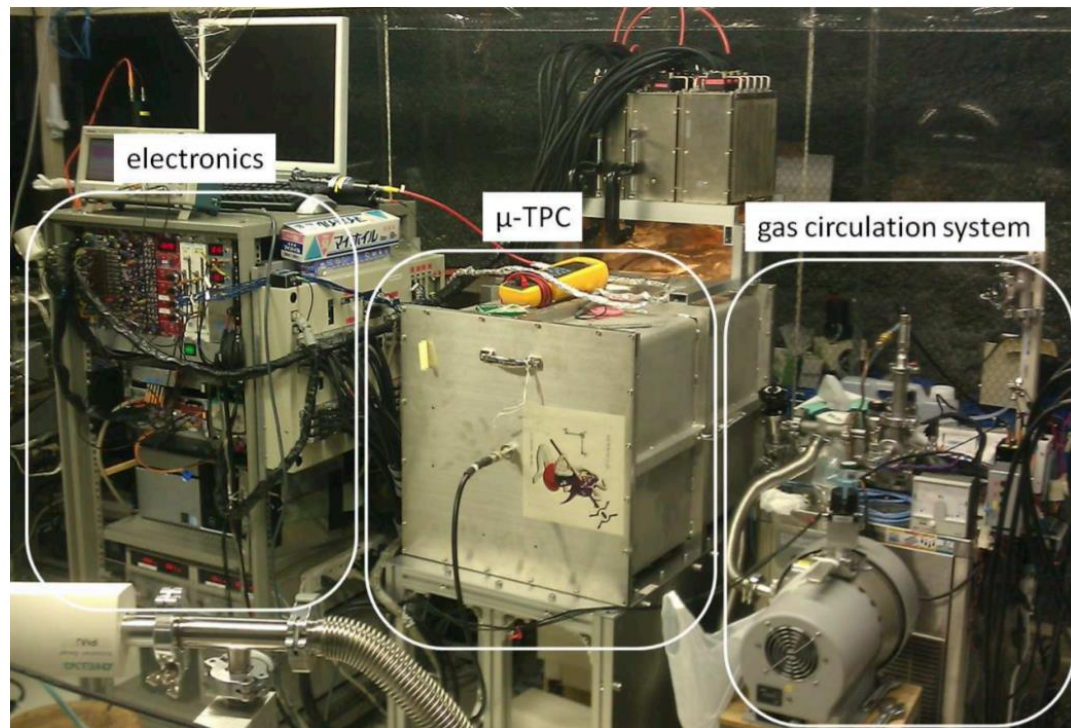
- ガスTPC
  - 荷電粒子の飛跡を二次元位置 + 時間情報で三次元再構成
    - 原子核の反跳角度測定
- 位置検出： $\mu$ -PIC
  - $400\mu\text{m}$ ピッチのストリップ読み出し
  - 増幅機構を持つ
- ガス増幅：GEM +  $\mu$ -PIC



$\mu$ -PIC

# 大型検出器 (C/N-1.0)

- 現在運用中
  - 神岡：検出領域 $30 \times 30 \times 40 \text{ cm}^3$
- 大型検出器開発中
  - 大質量化で感度向上を目指す  
(明日東野発表)



# バックグラウンド

- ・ 内的要因：検出器に含まれるラジオアイソトープ（身内講演）
- ・ 外的要因：環境  $\gamma$  線、環境中性子（本講演）

- ・ 本実験  
検出器の大きさ：18倍  
測定期間：3倍

先行研究  $\times 18 \times 3$

C/N-1.0で測定が予想される  
カウント数

→  $\gamma$  線イベント 1/90, 中性子線イベント 1/20で測定時のカウント数1以下を実現したい！



30 × 30 × 40 cm<sup>3</sup> 検出器での100日間の測定結果

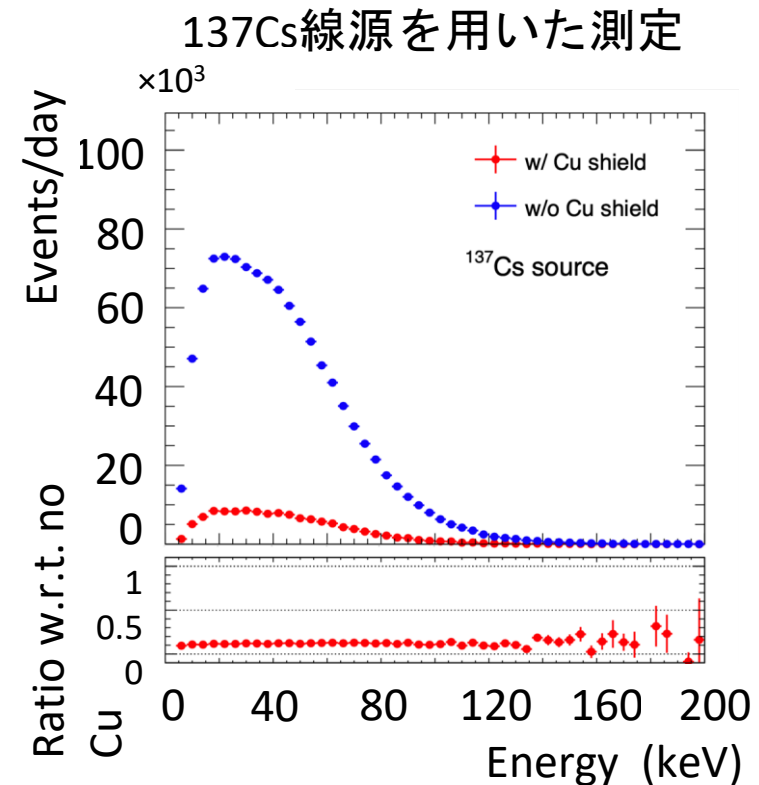
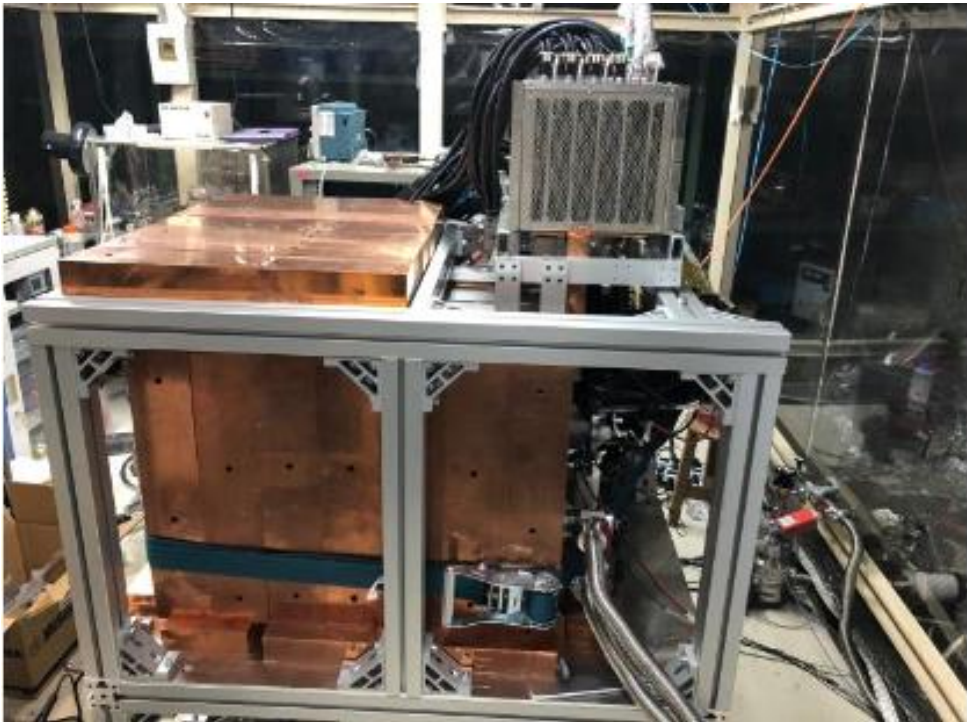
Source	Counts
環境 $\gamma$ 線	1.5 ± 1.5
環境中性子	(3.5 ± 0.9) × 10 <sup>-1</sup>

神戸大 池田智法 2020年 博士論文

環境  $\gamma$  線  
環境中性子線

# シールド

- $\gamma$ 線 : 原子量大 (銅、鉛)
- 中性子 : 原子量小 (ポリエチレン、水)
- 神岡測定にて銅シールド (5 cm) 設置  $\rightarrow$   $\gamma$ 線削減に成功
  - C/N-1.0 ではポリエチレンもつけよう!  
(実験室の制約から、シールド厚さ30 cm)



# 本研究の目的

- **環境中性子削減に向けたポリエチレンシールド作成**
  - 大型のため一度作ったら作り直しと交換が難しい
  - 検出器と実験室の大きさから受ける制約 (30 cm厚)の下でシールド作成
  - だって実験室にあるもの (ペレット)
- 先ずはポリエチレンシールド効果を小型検出器を使ってシミュレーションと比較
- シミュレーションによる環境中性子の削減率を算出

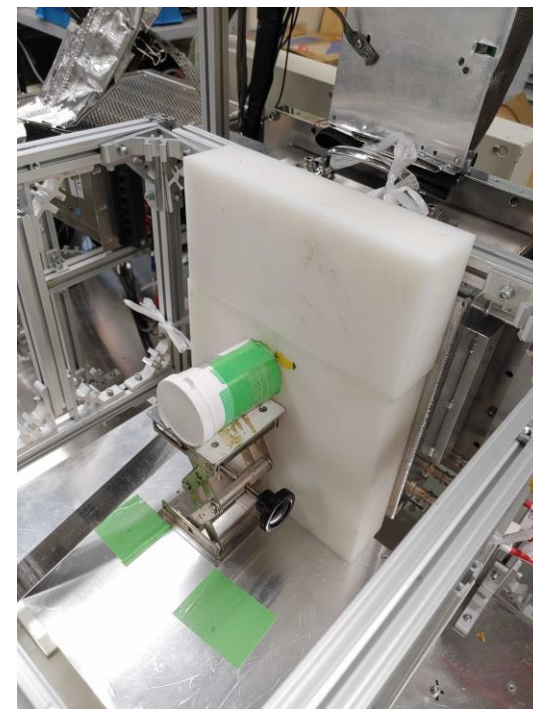
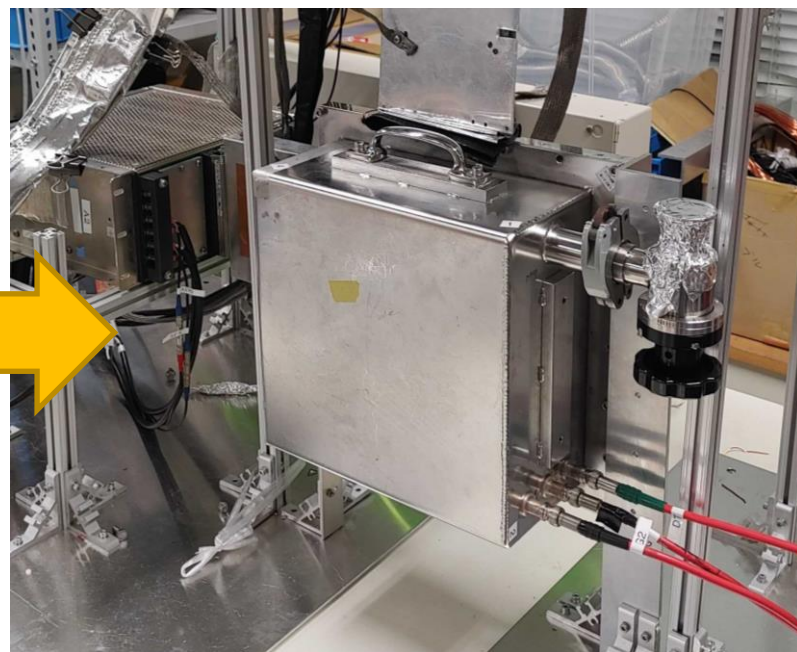
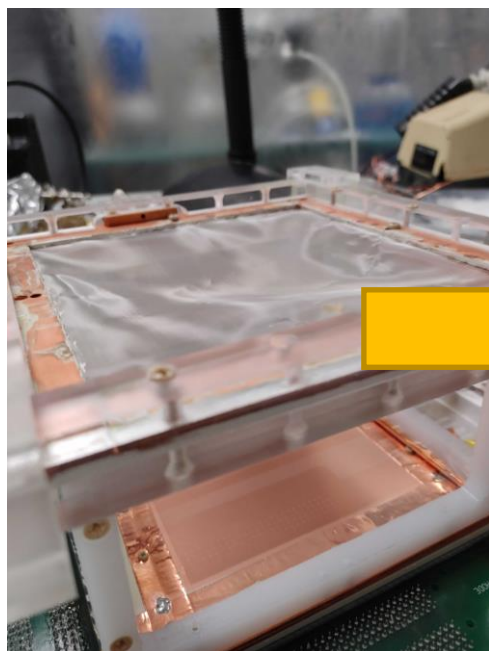


# 小型検出器を使った ポリエチレンシールドの効果検証



# 検出器

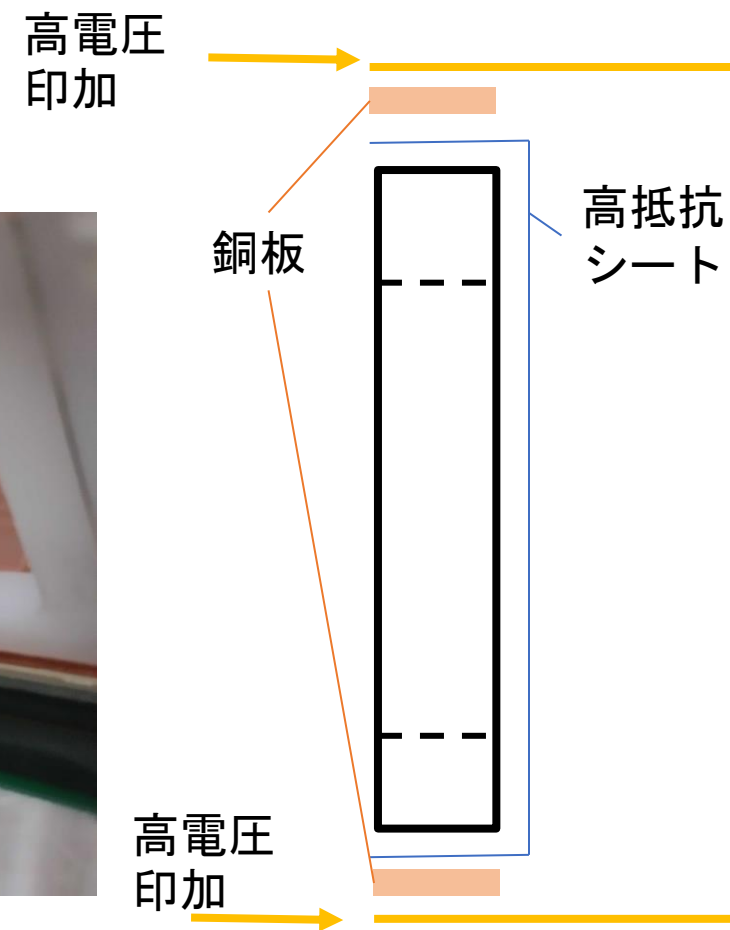
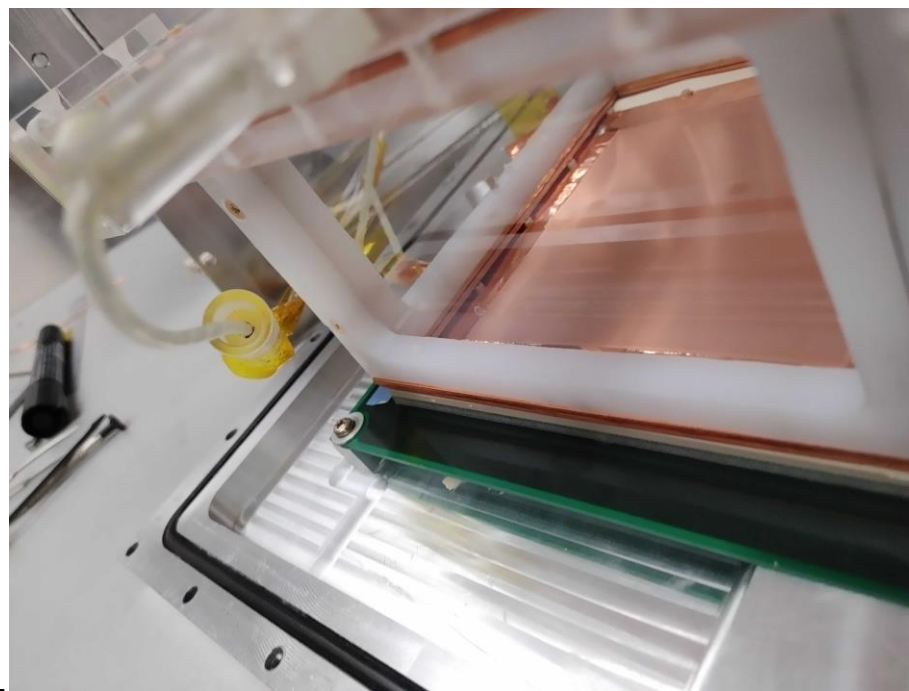
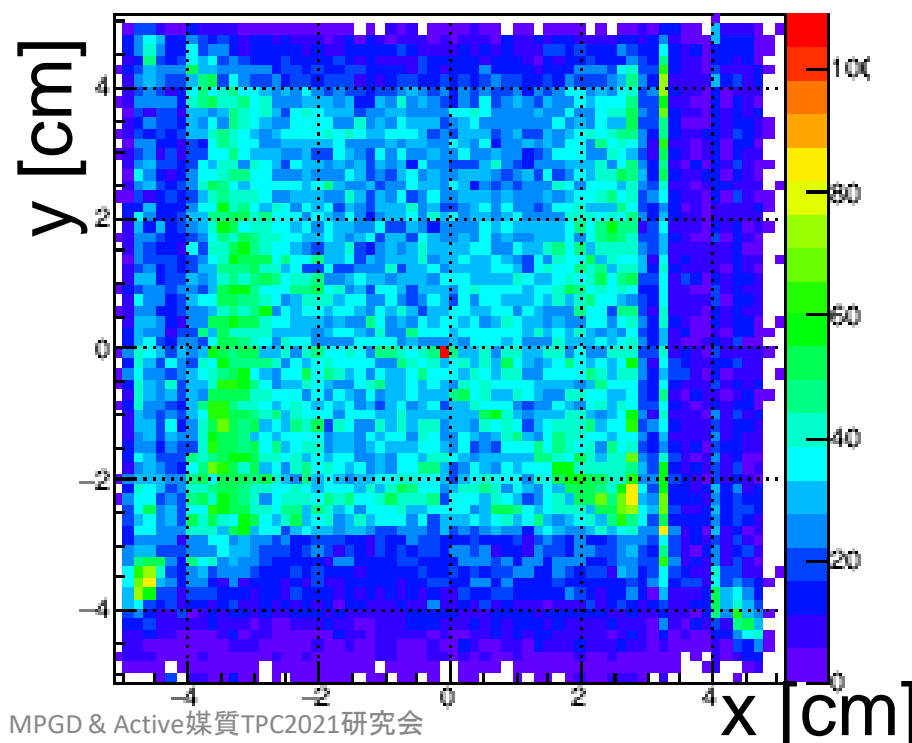
- 実測用の小型検出器
  - $10 \times 10 \text{ cm}^2$ のu-PIC (検出面)
  - 8 cmのドリフト高
    - 一様電場形成のため高抵抗シートを使用 (PTEP 2019 (2019) 6, 063H01)
  - Ar + C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>混合ガス1 atm
  - 検出器から5 cm離して252Cf線源 (中性子線源) を照射 (ポリエチレン5 cmシールド有りor無し)



# 電場構造

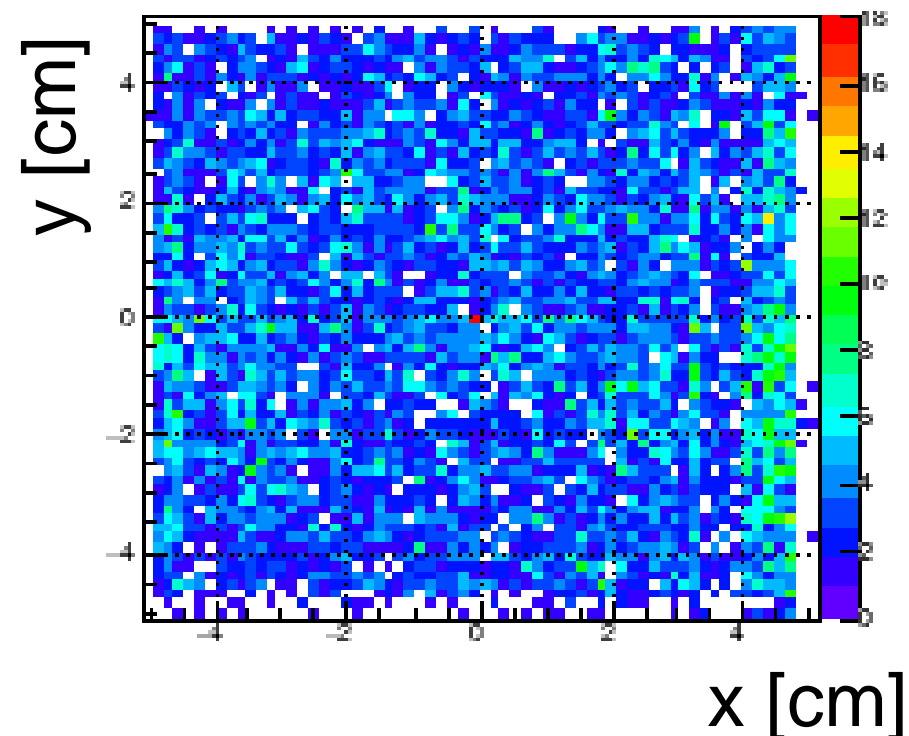
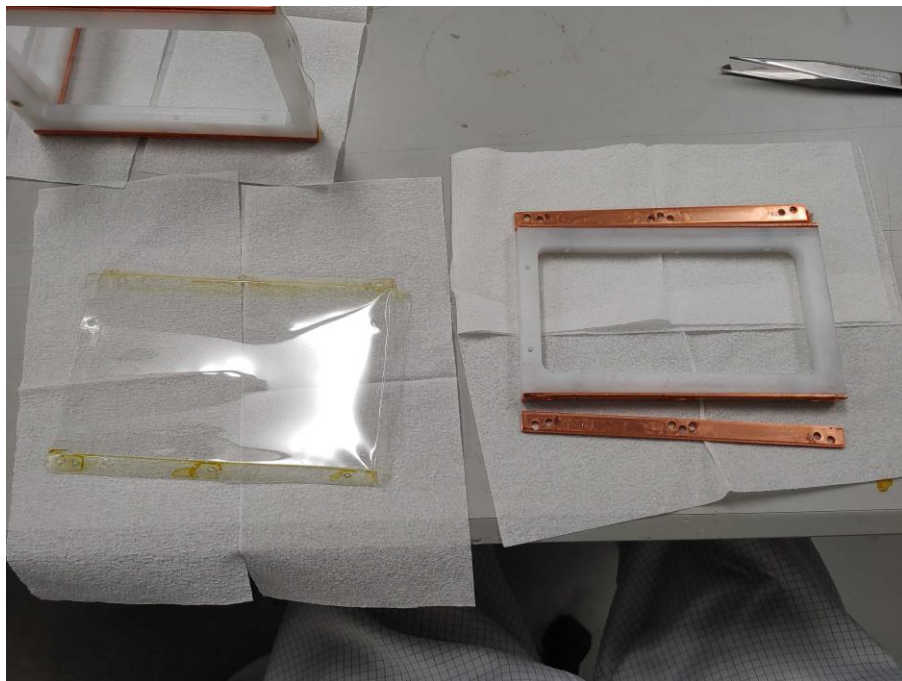
- ある測定時から、ヒットマップの分布が歪なものが映るようになる
  - 電流等に大きな変化は無し
  - 電場構造がゆがんでしまっているかもしれない

- 一様電場の形成に高抵抗シート + 銅板



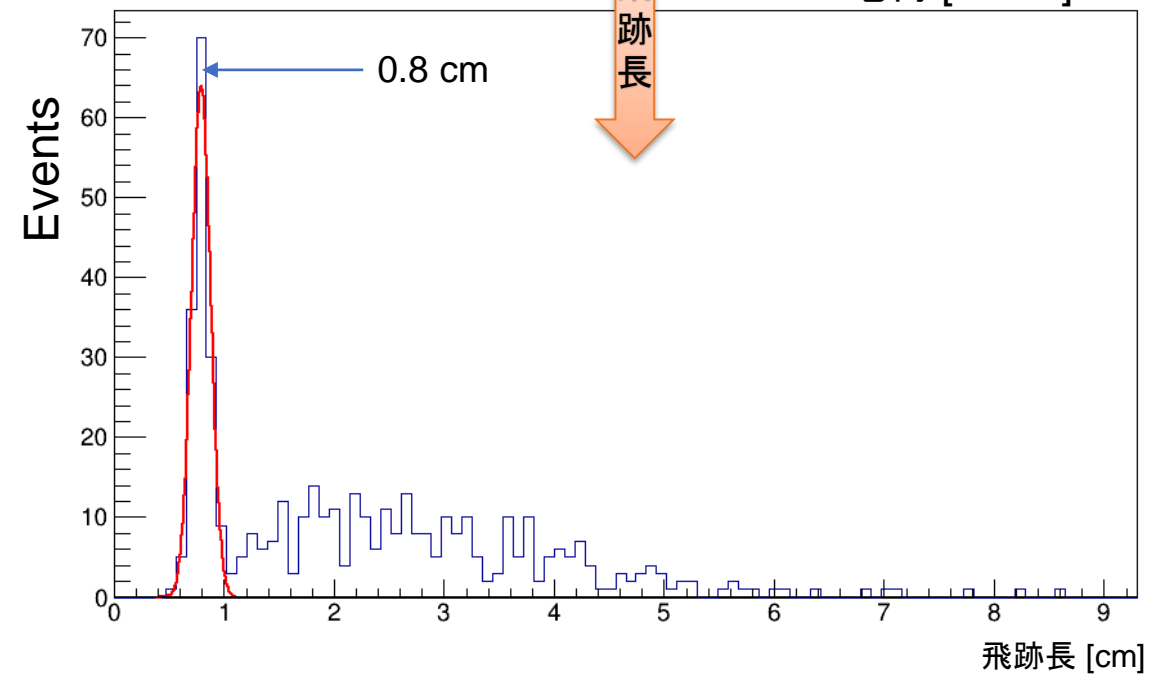
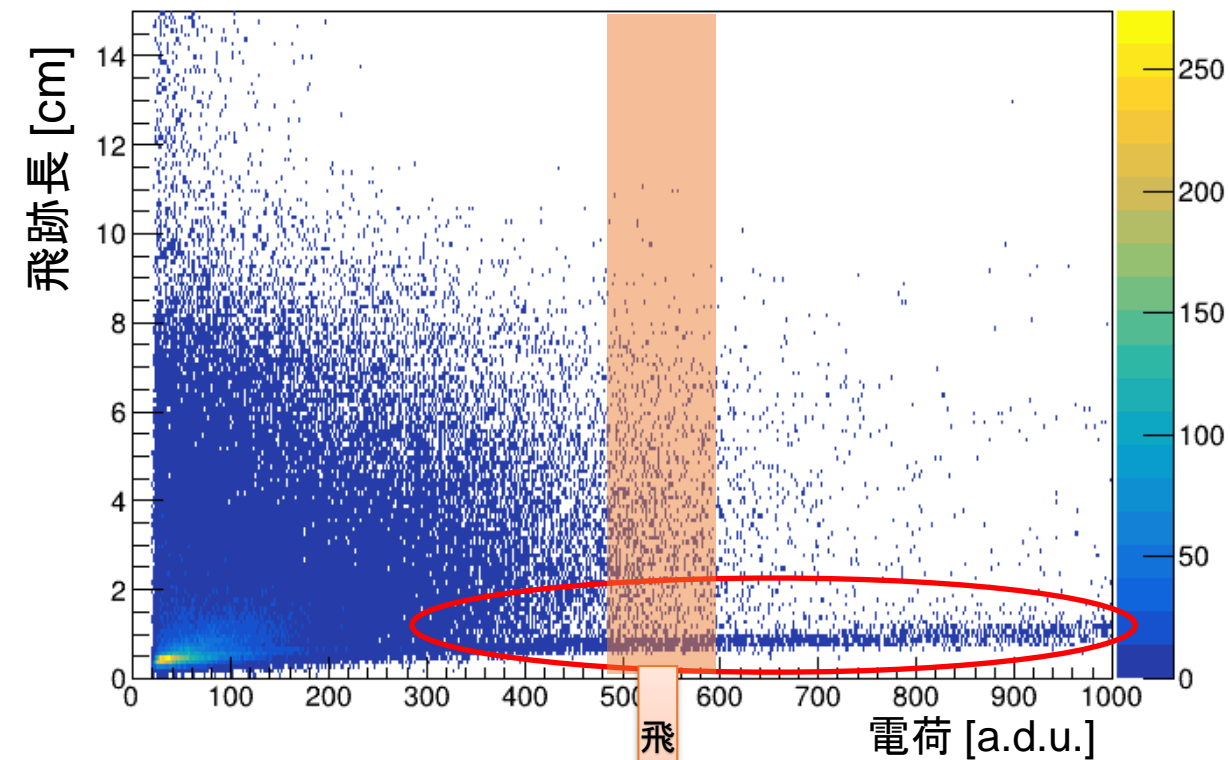
# 高抵抗シート 張替え後

- 高抵抗シートを新調して改善
  - シートは交換前も歪みなく張られていた
  - 高抵抗シートの抵抗値はそこまで変化していなかった
- 電場構造改善
  - 高抵抗シートの安定性に対する知見



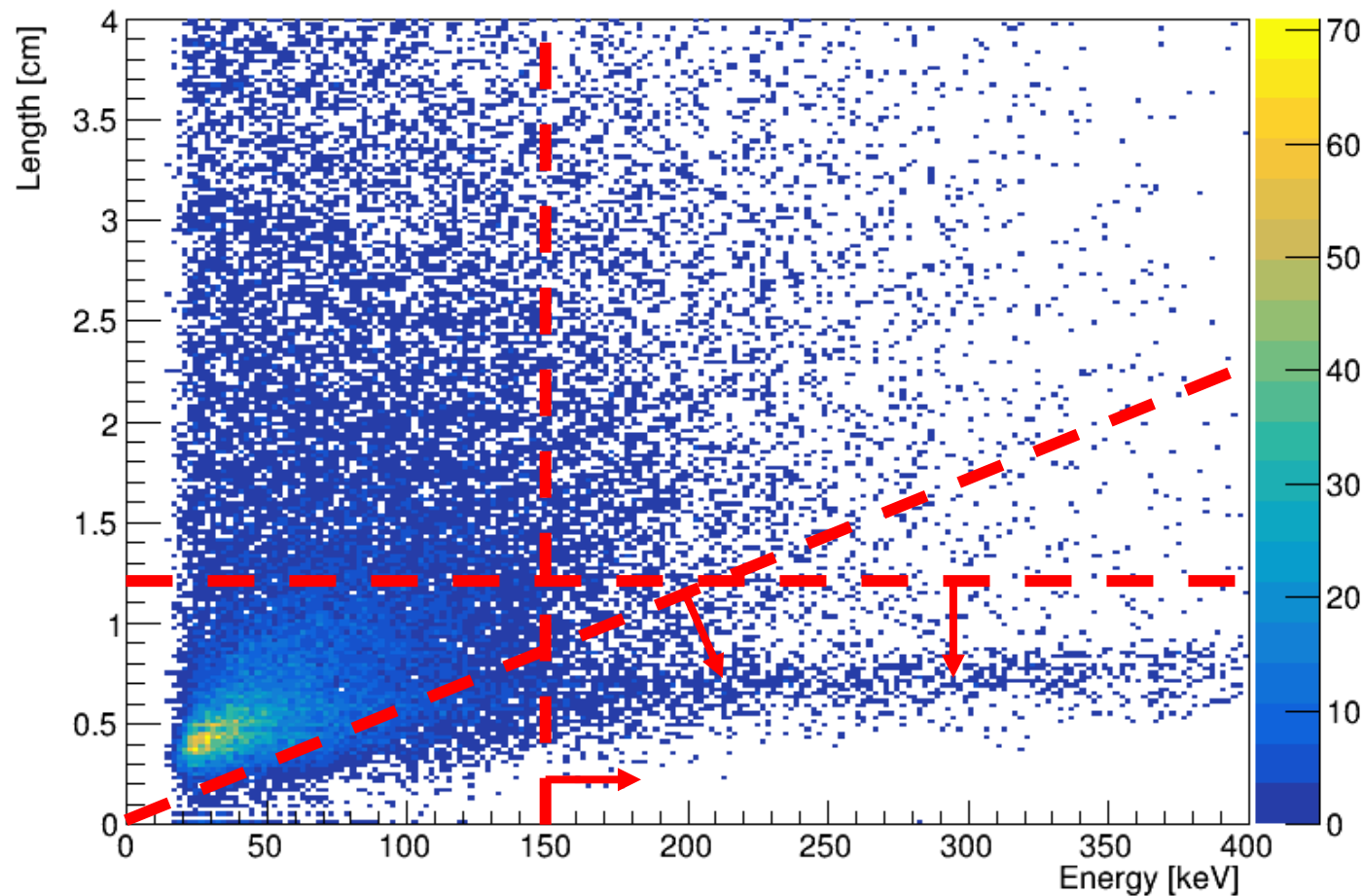
# 検出器エネルギー較正

- エネルギー較正  
→中性子線源による原子核反跳のエネルギーと飛跡長を利用
- ガス中を走る陽子のEnergy Depositと飛跡長の関係からエネルギー較正を行った
  - 0.8 cm → 474 keV



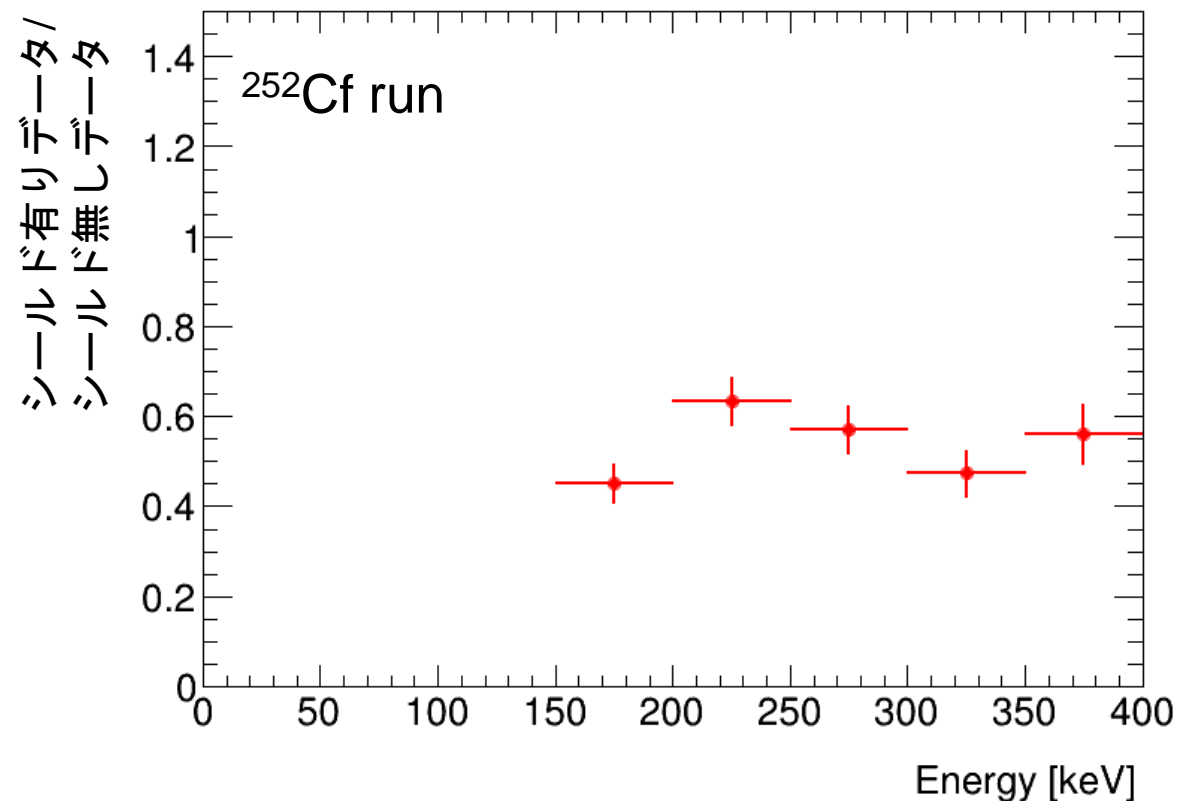
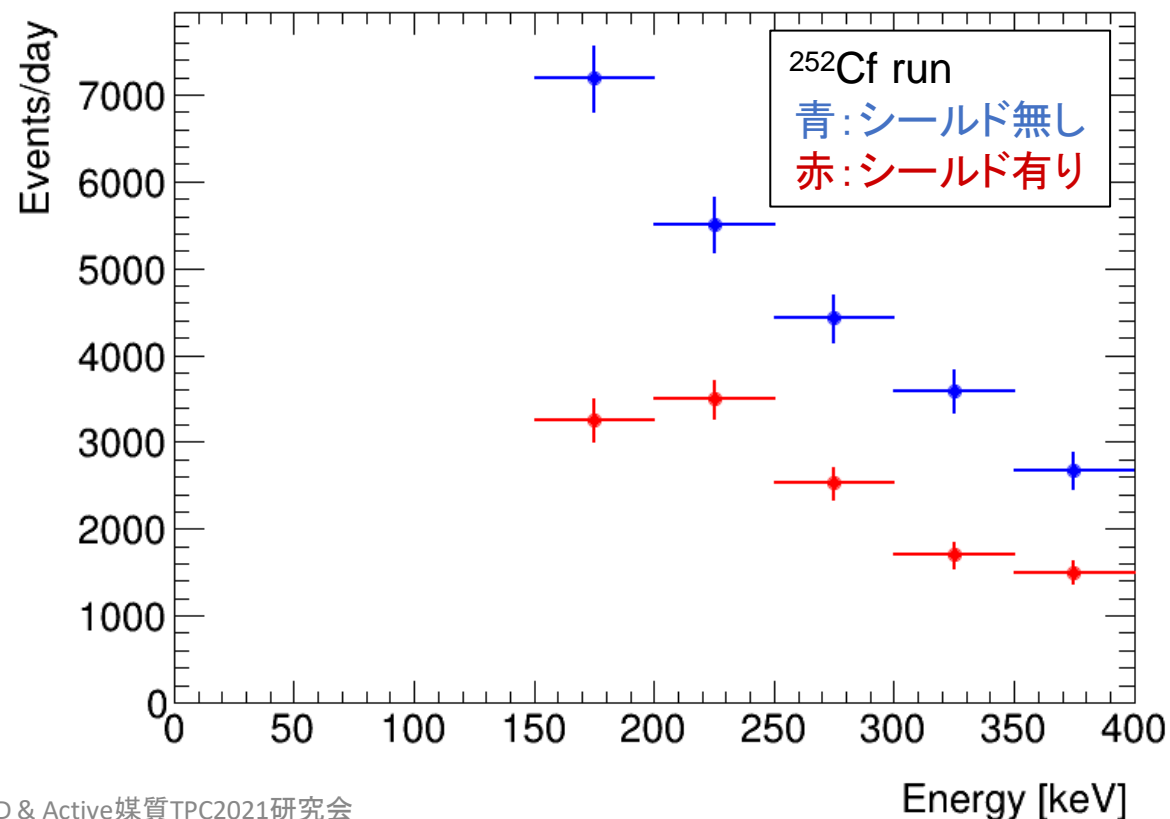
# データ選別

- 中性子由来のイベントを選別
- 低エネルギー側は $\gamma$ 線由来のイベントが非常に多い  
→ エネルギー  $< 150$  keV  
→ 飛跡長  $< 1.2$  cm  
→ 飛跡長/エネルギー  $< 0.0045$



# シールドの効果

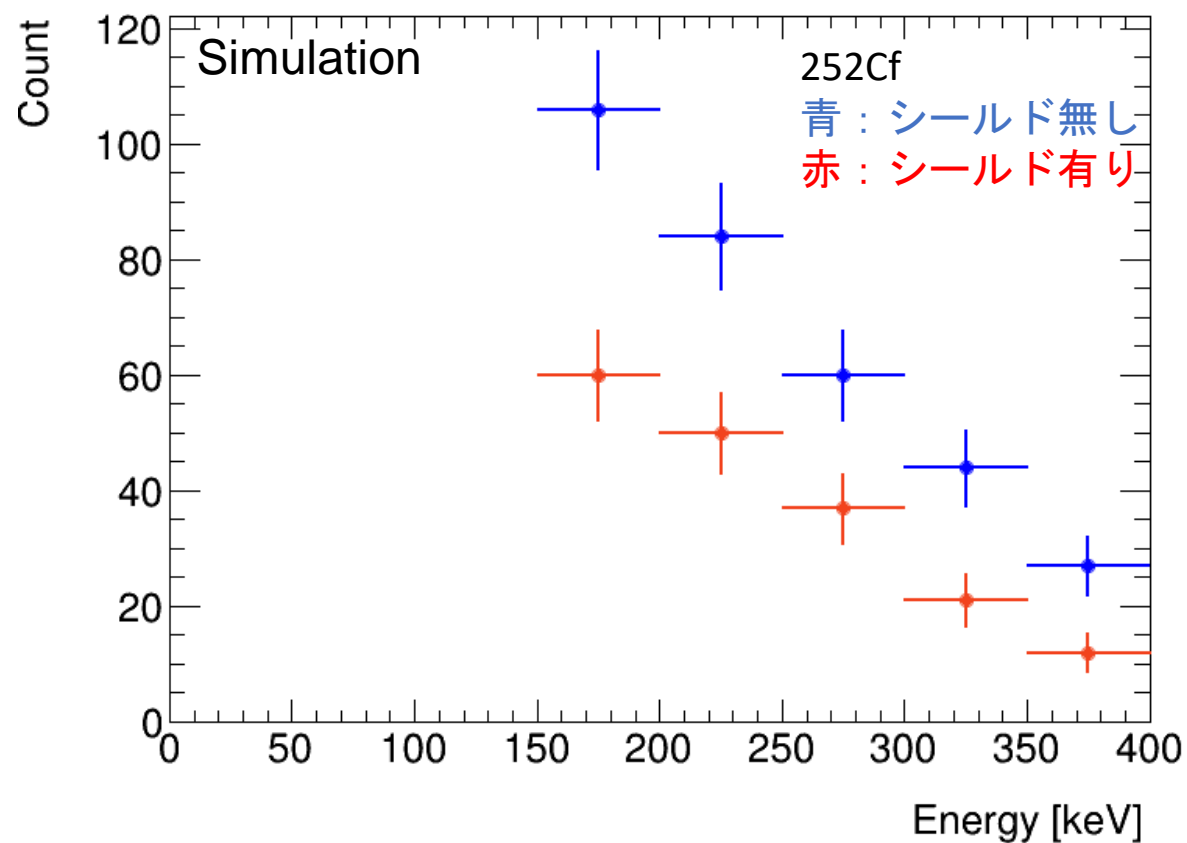
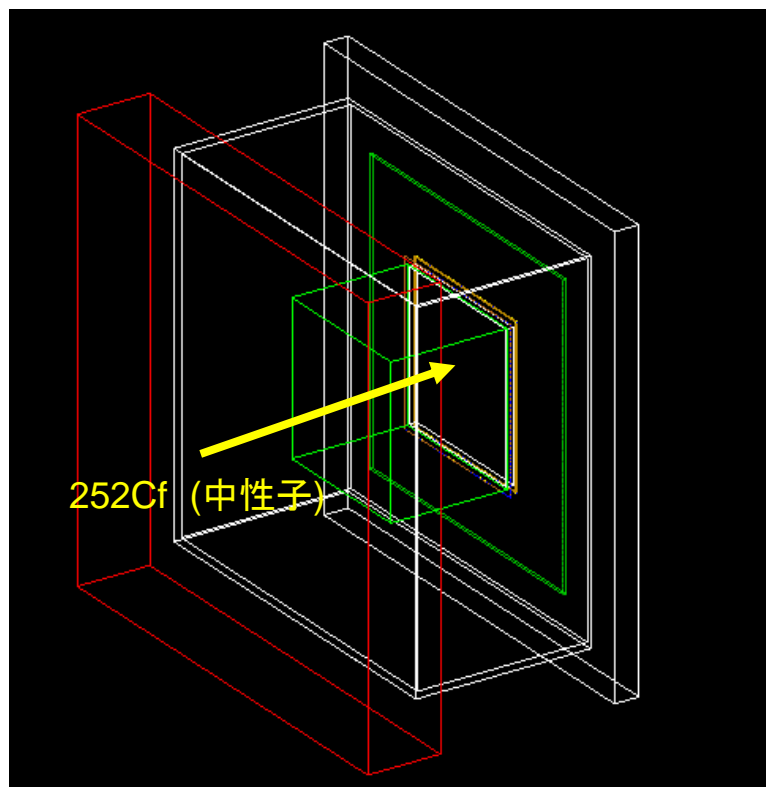
- ・ ポリエチレン5 cmシールドがある場合と無い場合のイベント数比較
- ・ ポリエチレンシールドにより中性子由来のイベント数は53%に減少



# シミュレーション

# シミュレーションの検証

- 測定結果をシミュレーションで再現できるか検証
  - シミュレーションにはGeant4を使用

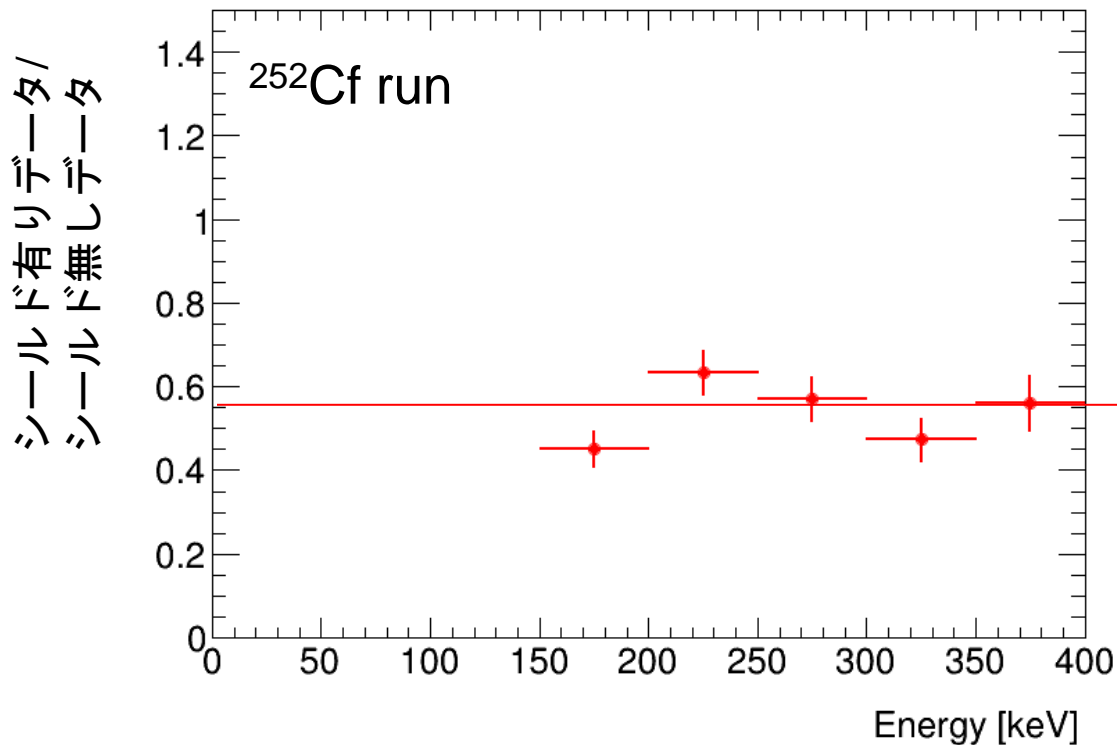




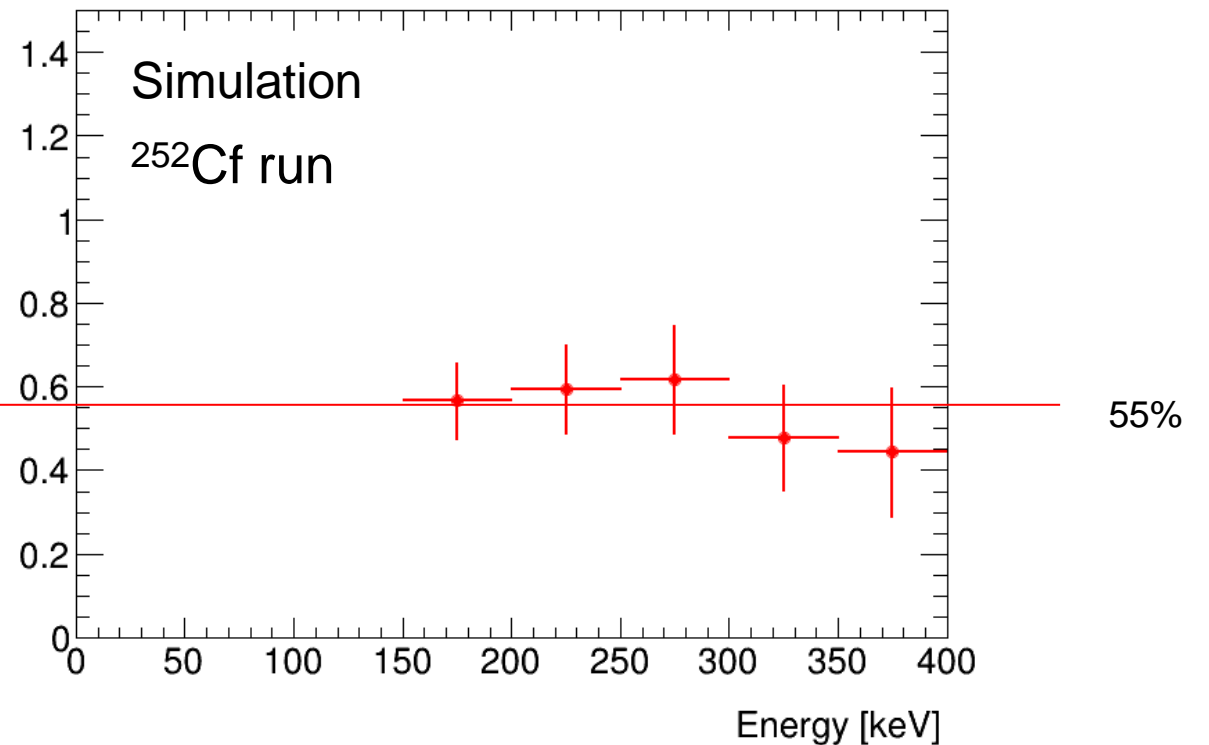
# データ VS シミュレーション

- 小型検出器とシミュレーションで、統計量の関係から低エネルギー領域において比較
  - シールド有りデータ/シールド無しデータ  
 測定結果 :  $0.533 \pm 0.006$   
 シミュレーション :  $0.56 \pm 0.05$
- → 誤差の範囲で測定とシミュレーションの結果が一致した

小型検出器による測定結果

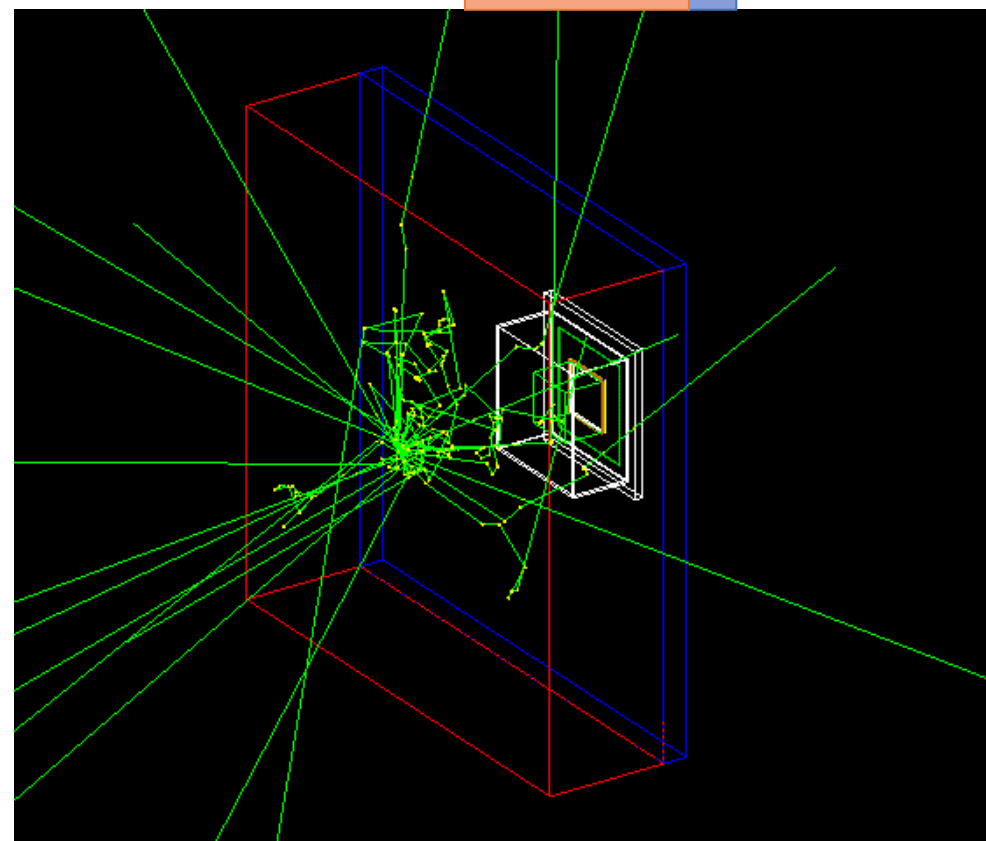
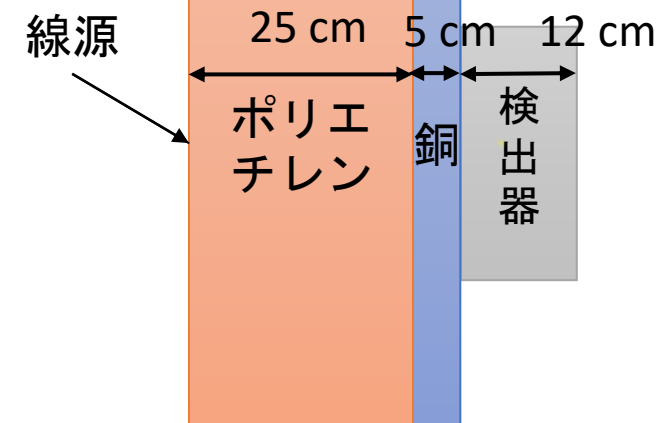


シミュレーション結果



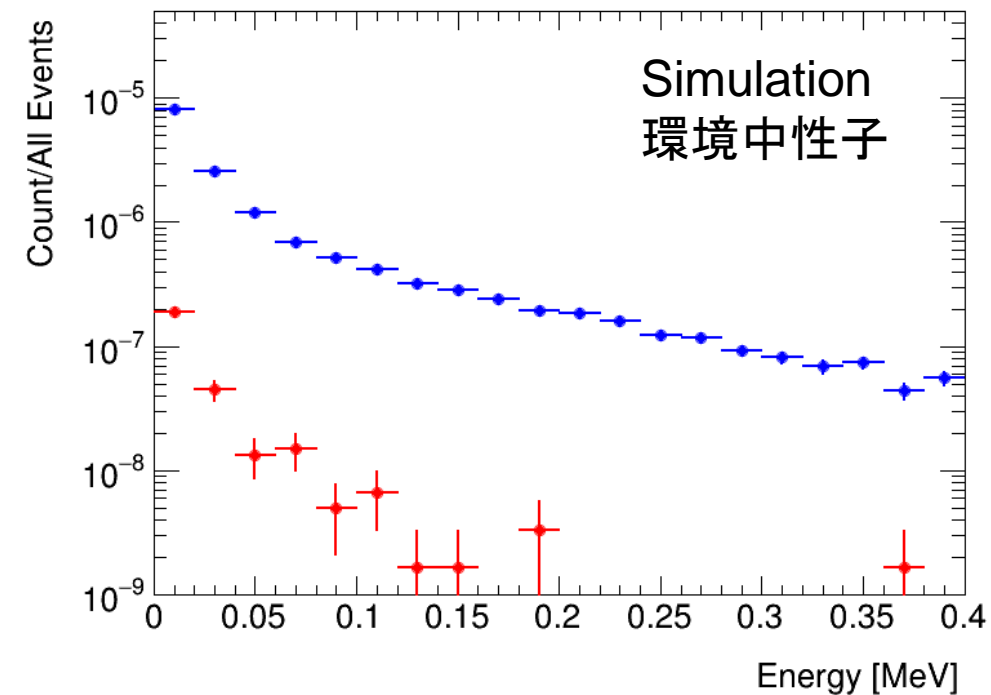
# 作成予定シールドのシミュレーション

- シールドの構成
    - 銅シールド5 cm
    - +  
ポリエチシールド25 cm (NEW)
  - 条件
    - 検出器の上面方向にシールドを構築
- 遮蔽能力の見積もり

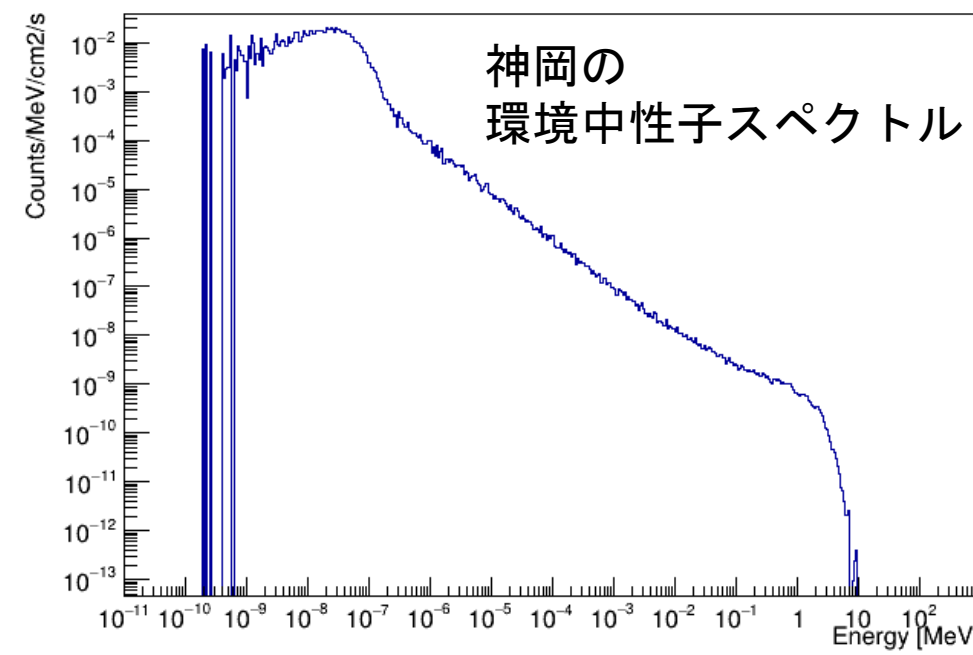


# 環境中性子に対する遮蔽能力

- 銅シールド5cmとポリエチレンシールド25cmの複合シールドを用いると、イベント数が1/20以下（目標値）になることが分かった
- $(n, \gamma)$  反応は考慮していない  
→解析中



Energy Spectrum of Environmental Neutron



# 結論

- NEWAGEの取り組みの一つとして、検出器の大型化とそのバックグラウンド削減がある
  - C/N-1.0のシールド作成に向けて研究中
- 神戸大学の小型検出器とシミュレーションにてシールド効果を検証
  - シールドによる中性子由来の反跳イベント削減率が誤差の範囲で一致
- シールドのシミュレーション
  - ポリエチレン25 cmのシールドを導入することで中性子由来の反跳イベントが1/20以下になることが分かった
    - 環境 $\gamma$ 線は今回考慮せず。今後の課題



## 展望

- ・ シールド模型作成  
→3月の実装に向けて絶賛活動中

