

NEWAGE実験における 低バックグラウンド化

島田 拓弥

神戸大学粒子物理研究室 M2

新学術領域「地下宇宙」合同研究会 パラレルセッション

INDEX

- ◎ INTRODUCTION (p.3)

- ▶ NEWAGE実験

- ◎ **ガンマ線事象除去能力 (p.4-9)**

- ▶ 中性子線とガンマ線の識別

- ◎ **SF₆ガスを用いた陰イオン μ -TPCの開発 (p10-14)**

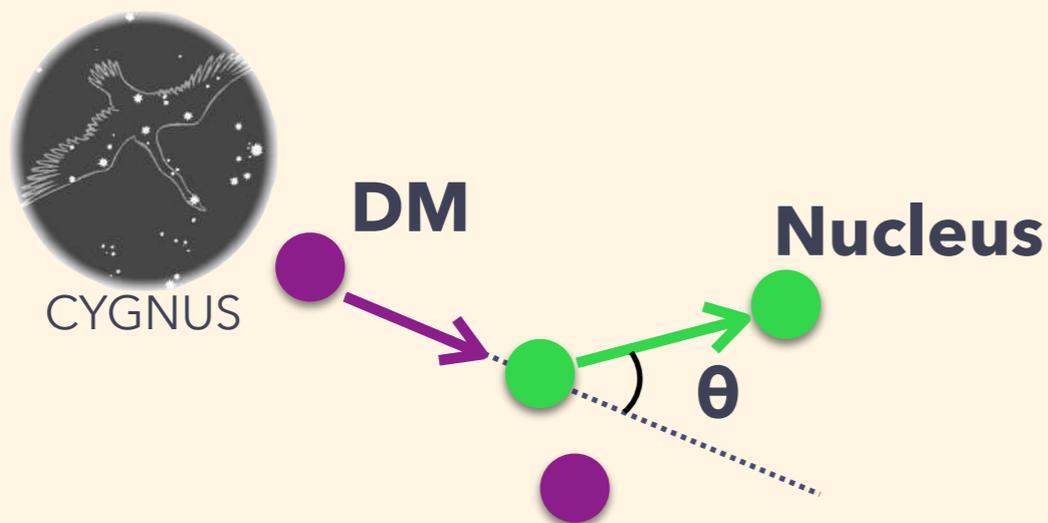
- ▶ 有効体積カットによる表面 α 線バックグラウンドの除去
- ▶ 論文 : Development of a Negative Ion Micro TPC Detector with SF₆ Gas for the Directional Dark Matter Search (arXiv:2004.09706)

INTRODUCTION -NEWAGE実験-

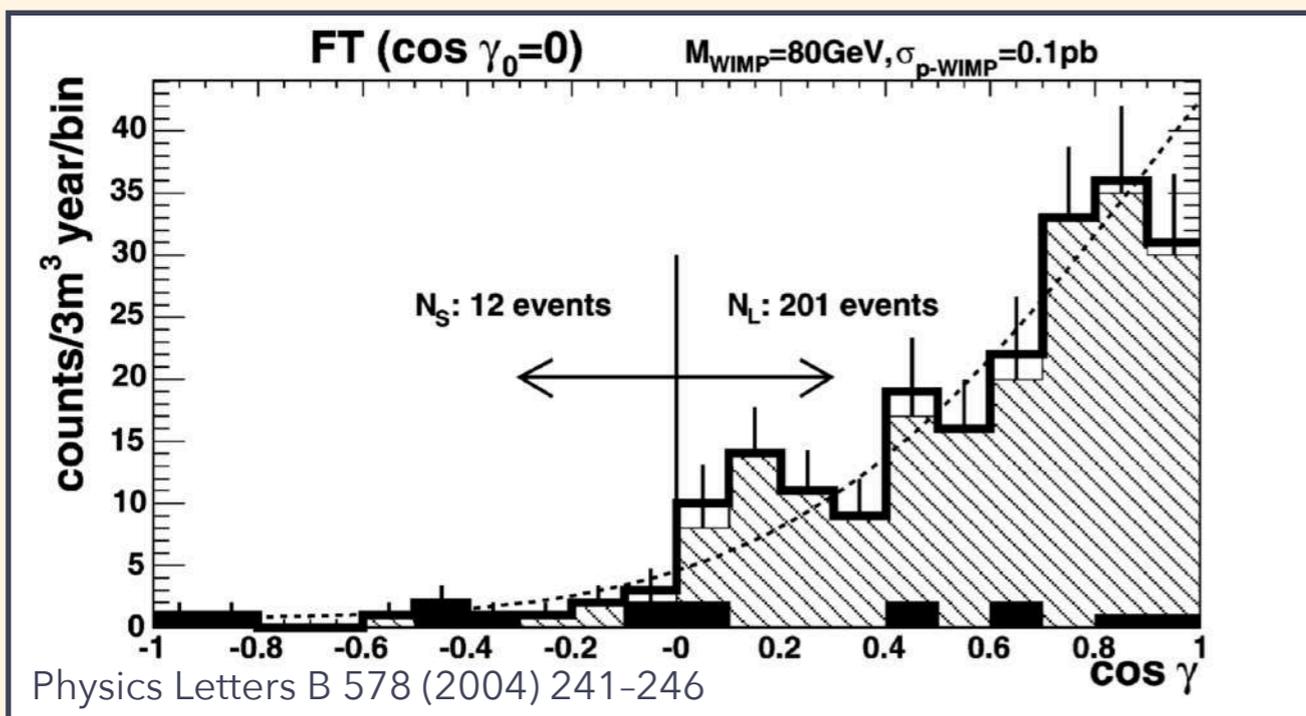
◎ NEWAGE : 方向に感度を持つ暗黒探索実験

▶ μ -PICと μ -TPCを用いて

暗黒物質の到来方向異方性の観測を目指す



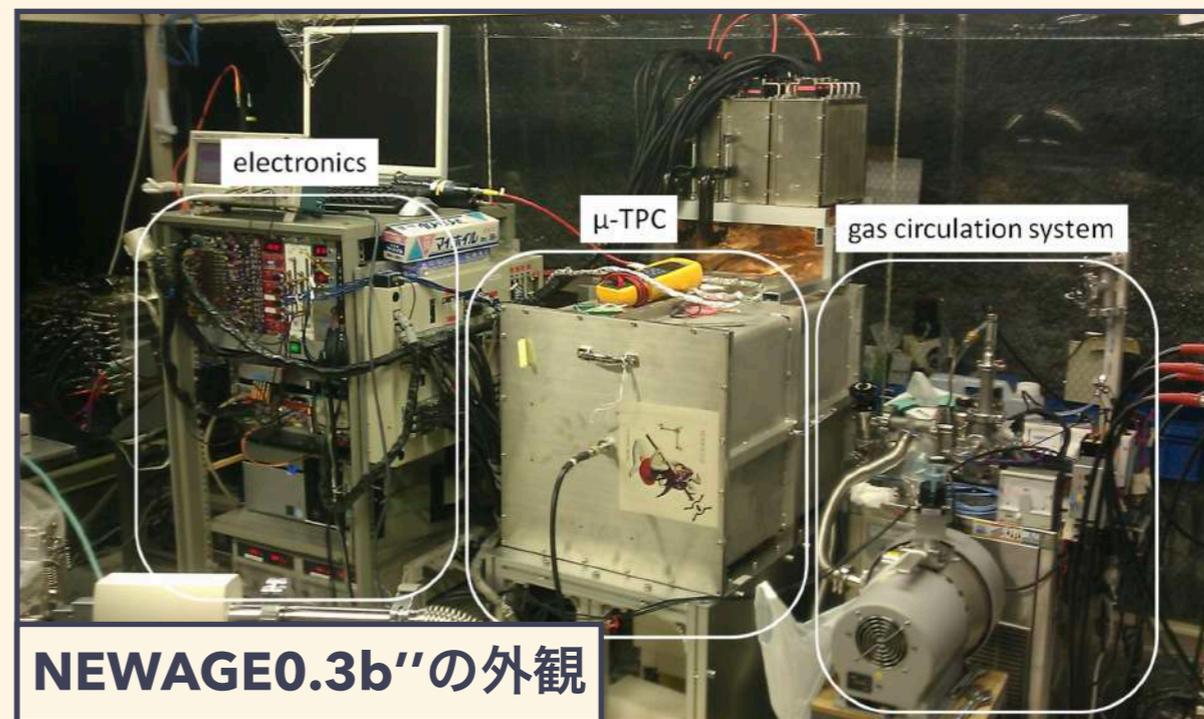
到来方向異方性は暗黒物質の強い証拠



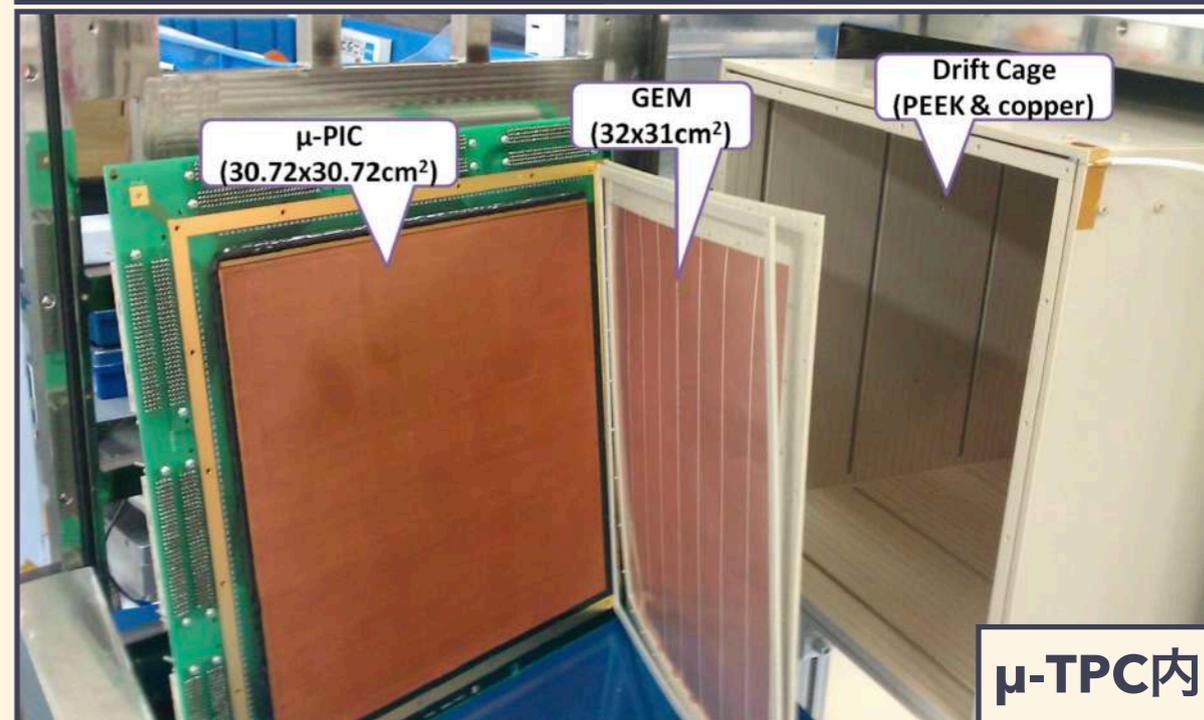
場所 : 神岡地下研究施設

検出容量 : $31 \times 31 \times 41 \text{ cm}^3$

ガス : CF_4 76Torr



NEWAGE0.3b''の外観



μ -TPC内

ガンマ線事象除去能力

多変量解析

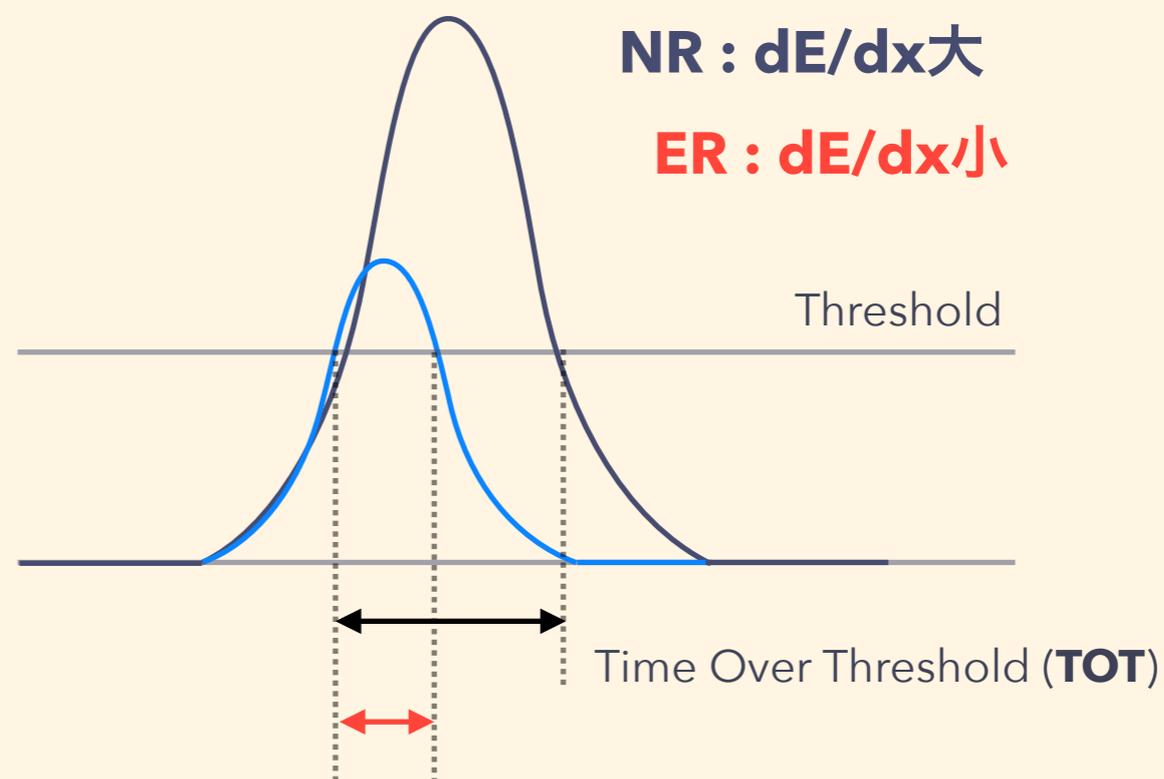
ガンマ線事象除去

- ◎ 暗黒物質(WIMP)探索 -> 原子核反跳(NR)を捉えたい
 - ▶ ガンマ線による電子反跳(ER)は見たくない
- ◎ 現在のNEWAGE実験におけるガンマ線バックグラウンドカット条件
 - ▶ **Energy-Length cut** : 飛跡の長さの違い
 - ▶ **Energy-TOT cut** : dE/dx の違い



Energy-Length cut

1ストリップの波形



Energy-TOT cut

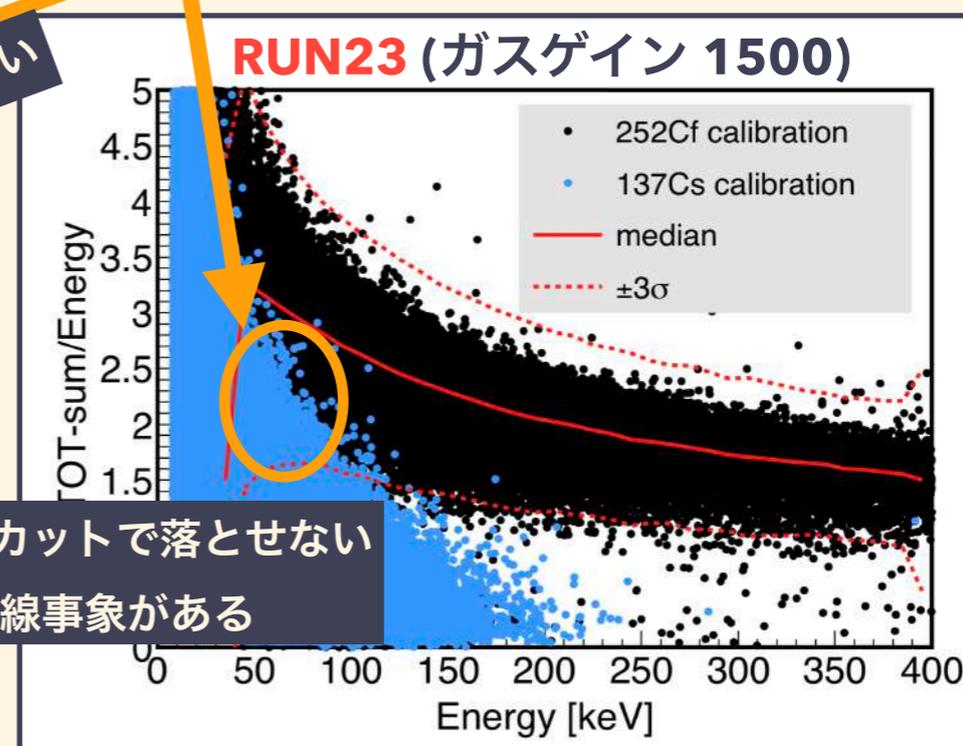
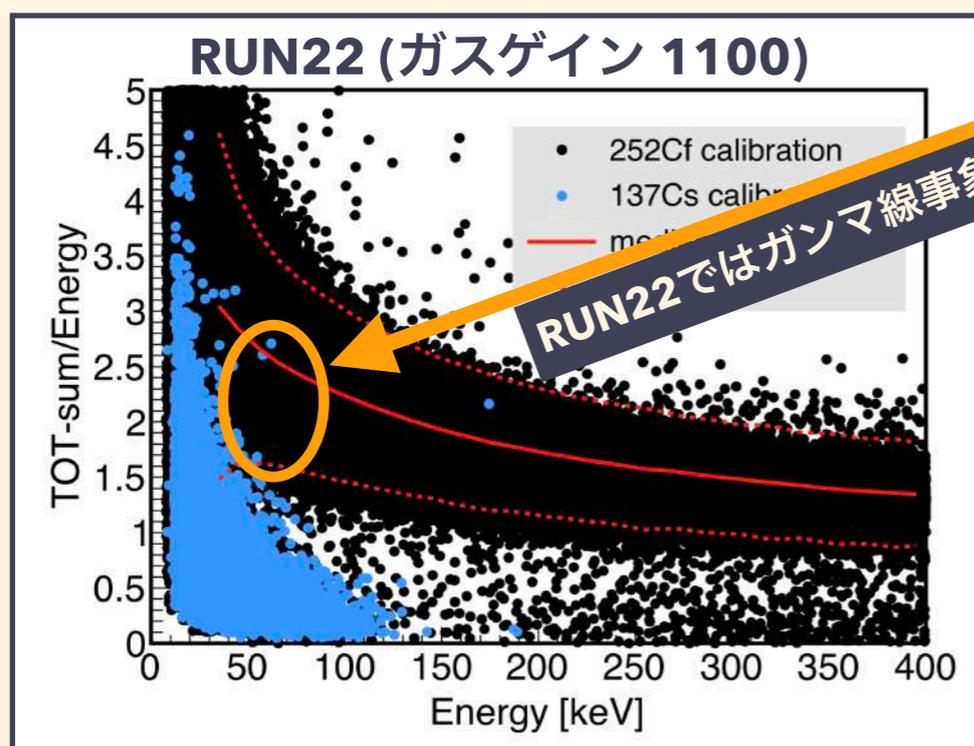
NEWAGE実験の現状(ガンマ除去)

◎ 検出効率とガンマ線事象除去能力はトレードオフ

ガスゲイン	原子核反跳 検出効率	電子反跳 検出効率	ガンマ線事象 除去能力
1100 (RUN22)	低い(0.35)	低い($\sim 10^{-6}$)	高い
1500 (RUN23)	高い(~ 0.5)	高い($\sim 10^{-4}$)	低い ← 高くしたい

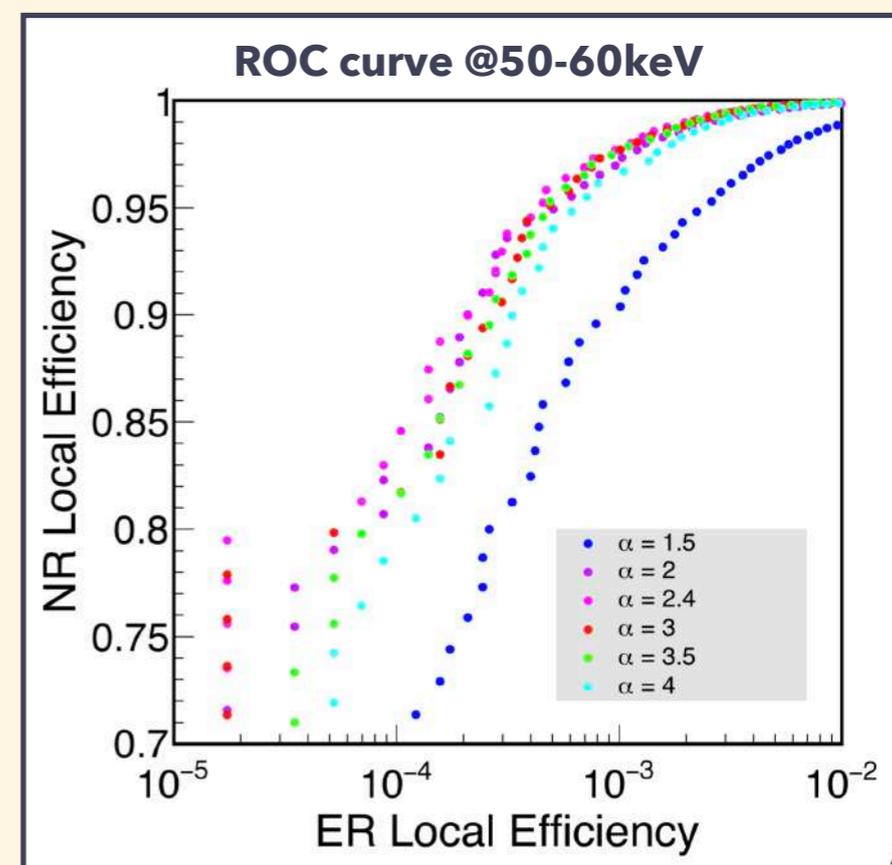
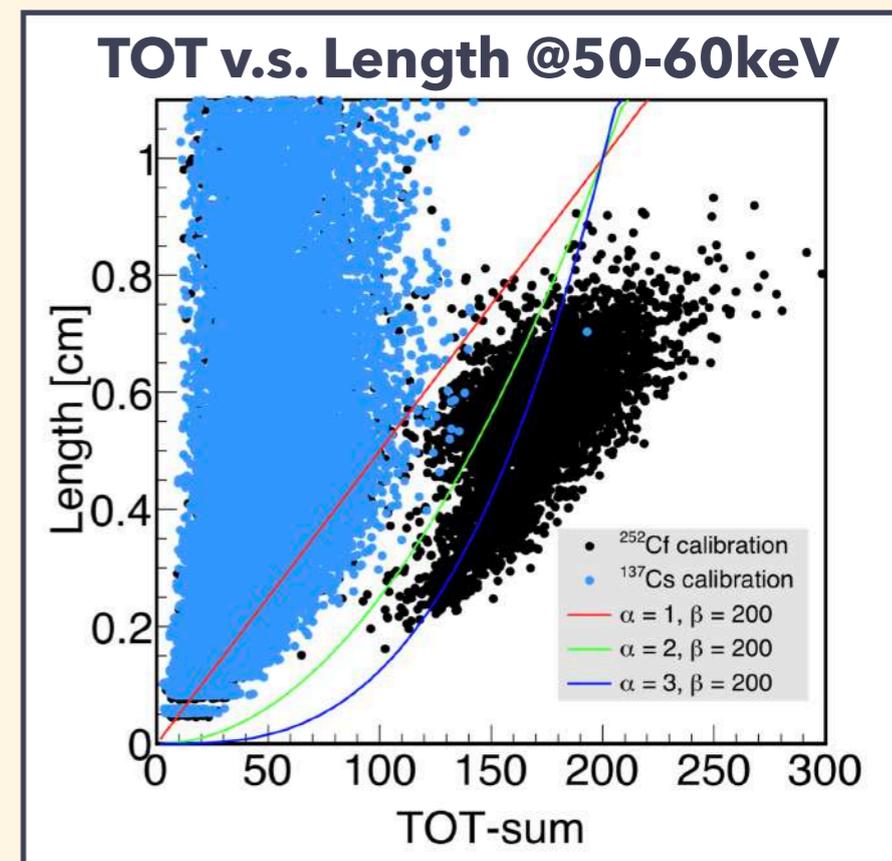
◎ TOT/Energy v.s. Energy分布で比較 (・ガンマ線・中性子線)

- ▶ 下図の赤の点線内でカットをかける
- ▶ **RUN23**では従来のカットでは50-60keV領域でガンマと中性子を見分けられない



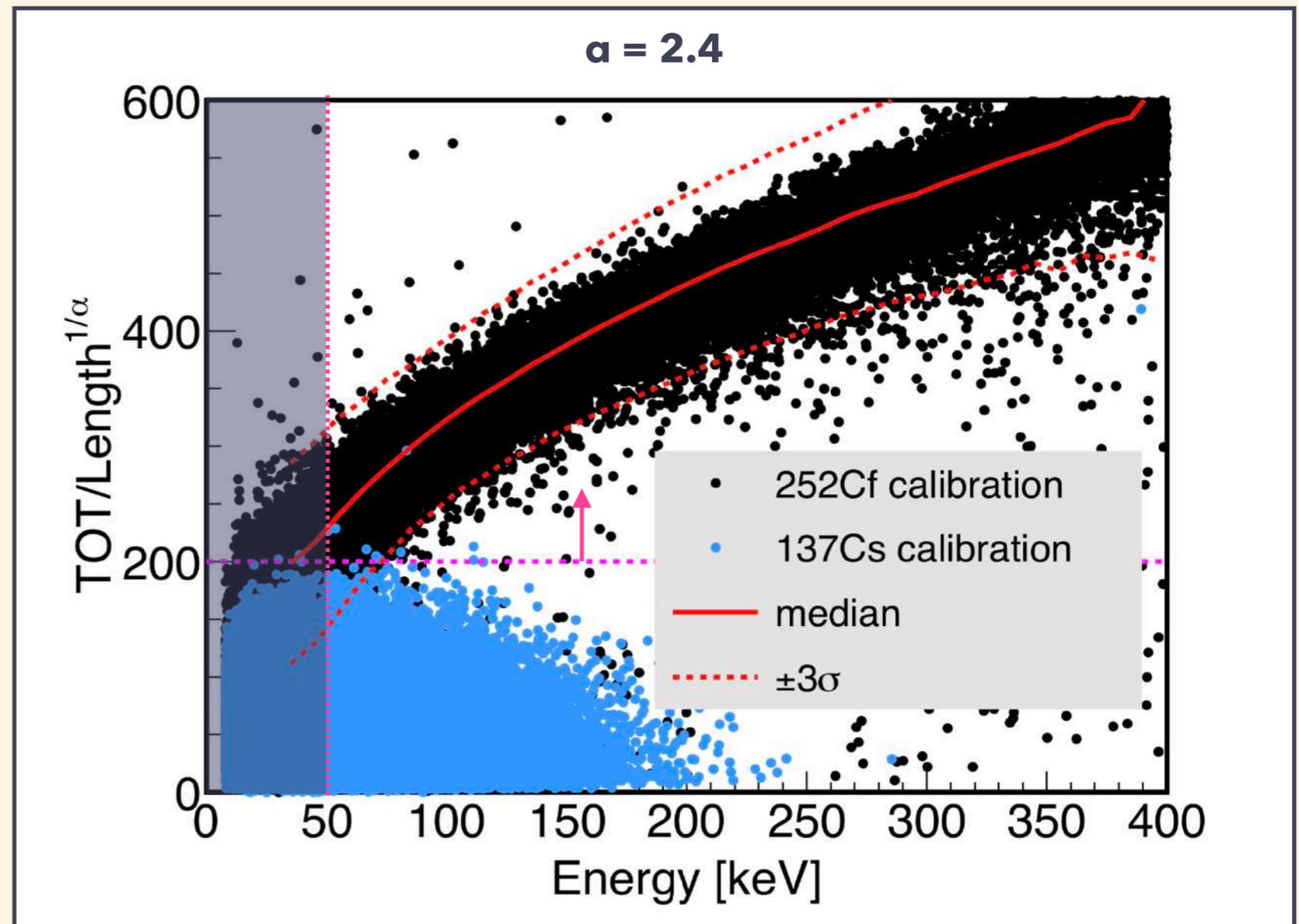
TOTとLengthの2変数を用いた解析

- 新しいカットパラメータの導入
 - ▶ ^{137}Cs 測定と ^{252}Cf 測定を用いてカットを決定する
 - ▶ TOTとLengthの2つのパラメータを用いる
- 50-60keVのTOT v.s. Lengthの分布(右図)
 - ▶ $\text{Length} = (\text{TOT}/\beta)^\alpha$ 曲線でカット
- Figure Of Merit (FOM) の決定
 - ▶ ROC curveを用いる (ROC : Receiver Operating Characteristic)
 - NR Local Efficiency : (カットで残った中性子事象)/(全中性子事象)
 - ER Local Efficiency : (カットで残ったガンマ事象)/(全ガンマ事象)
 - ▶ 下図 : ある α での β を変化させたときのROC curve
 - ▶ FOM : ROC curveグラフでの(0,1)との近さ
 - 本測定では $\alpha = 2.4$ に決定した (右下図より)
 - β に関しては次のスライドで決める



TOT/Length^{1/α}分布によるカット

- ◎ Energy v.s. TOT/Length^{1/α} (=β)分布
 - ▶ p.7で決定した $\alpha = 2.4$ を使用する
 - ▶ β をEnergyごとに決定 (図の点線内を選択)
 - ▶ 以下 TOT/Length^{1/α}カットを追加する

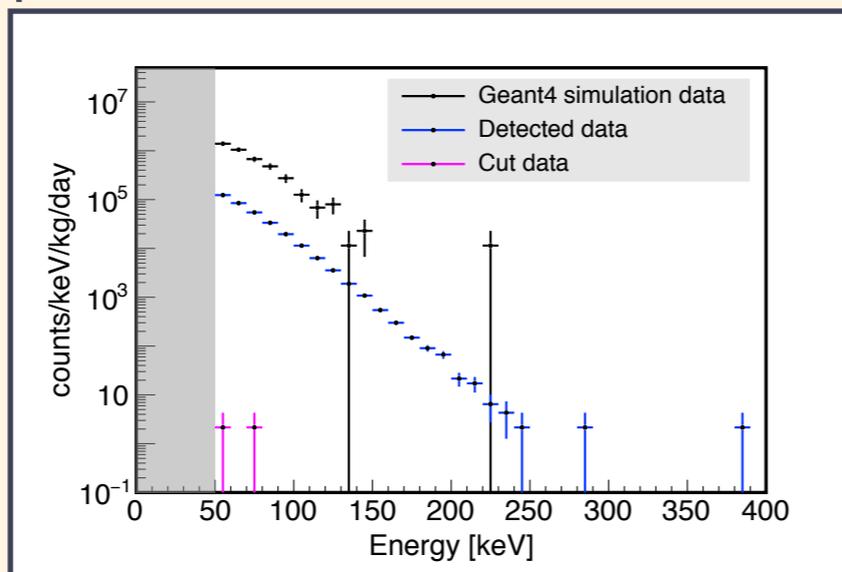


ガンマ線事象除去能力の見積もり

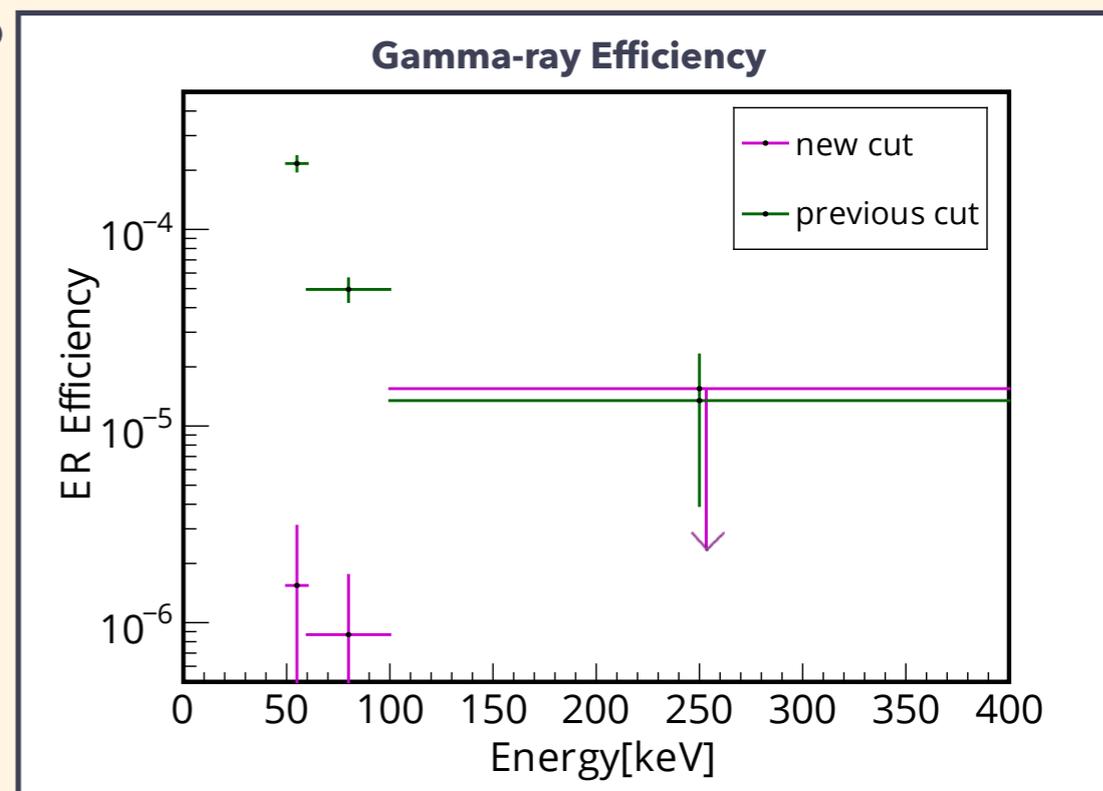
◎ ^{137}Cs 測定よりガンマ線の検出効率を見積もる

▶ ガンマ線検出効率: 1.5×10^{-6} @50-60keV

^{137}Cs 測定



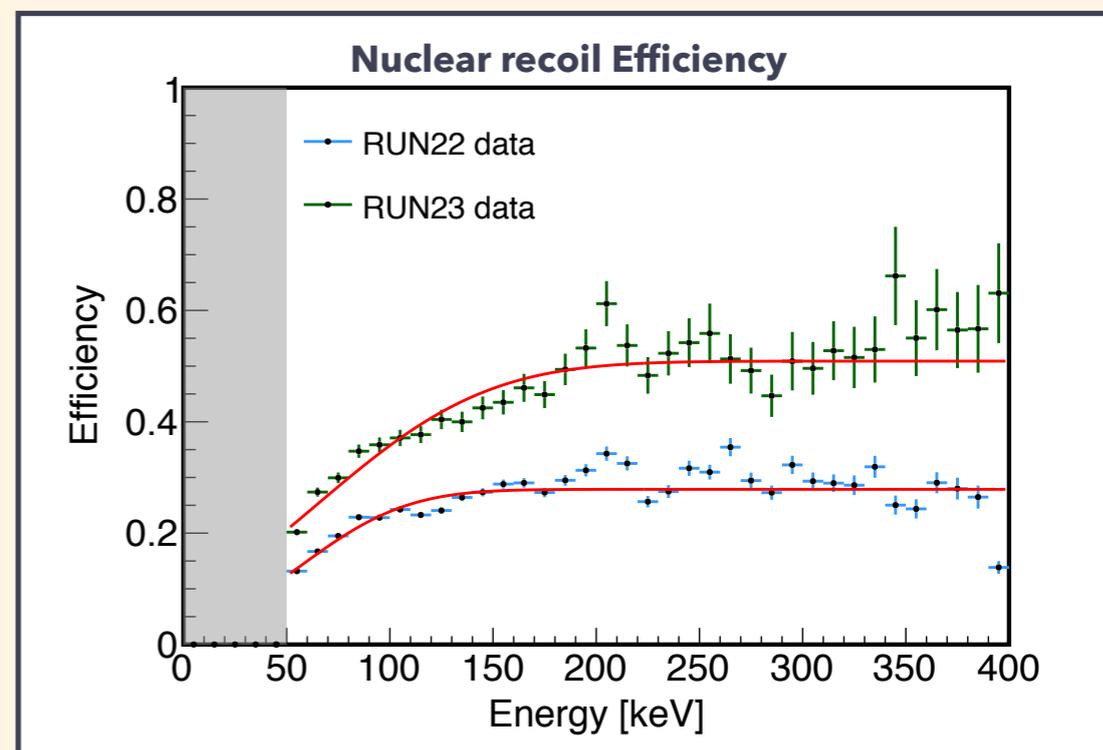
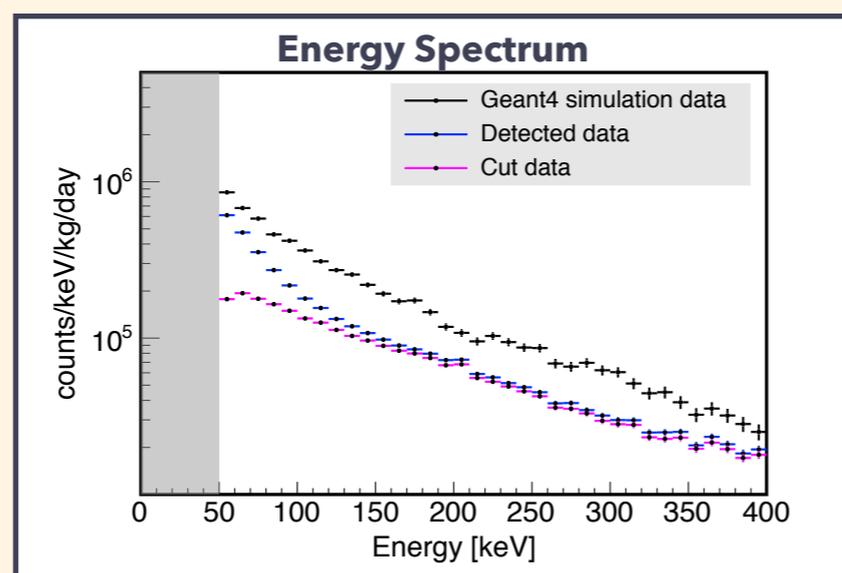
$$\text{Efficiency} = (\text{DataCounts}) / (\text{SimulationScaledCounts})$$



◎ RUN23の原子核反跳の検出効率(上記のcut)

▶ RUN22の約1.5倍の検出効率を得られた

^{252}Cf 測定



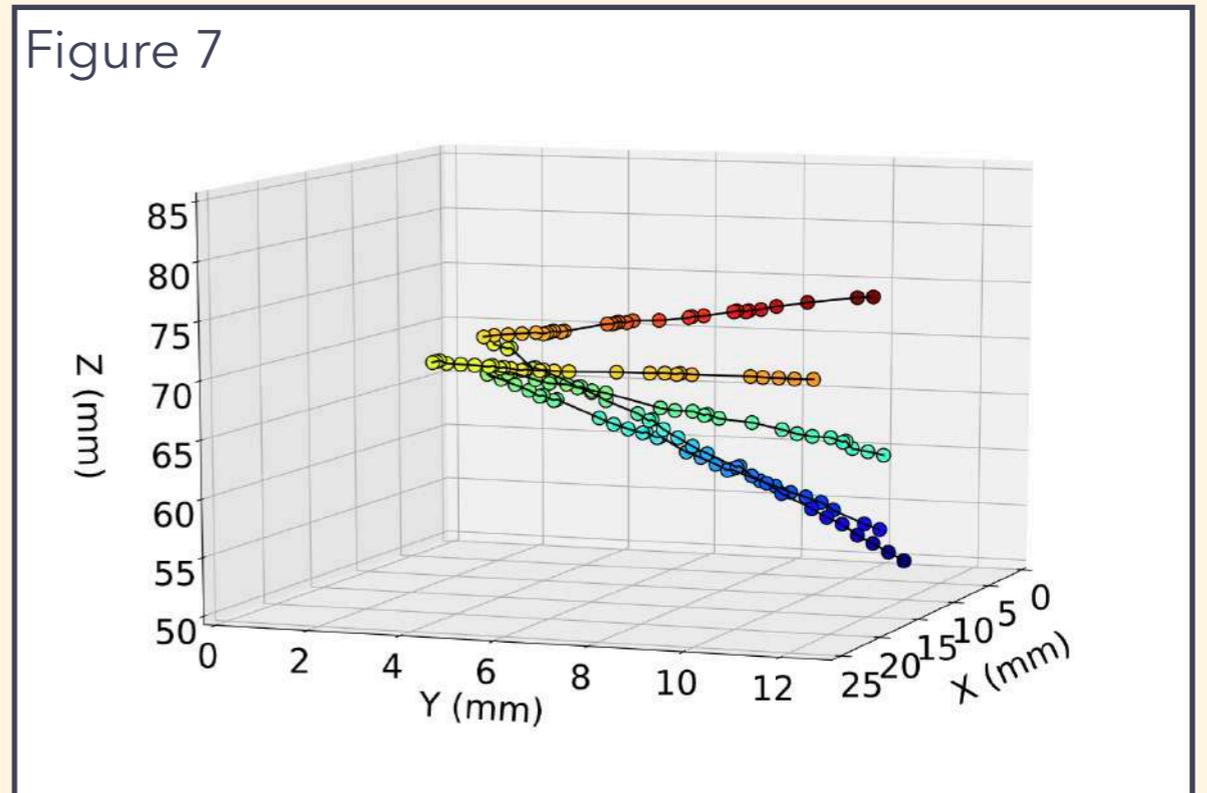
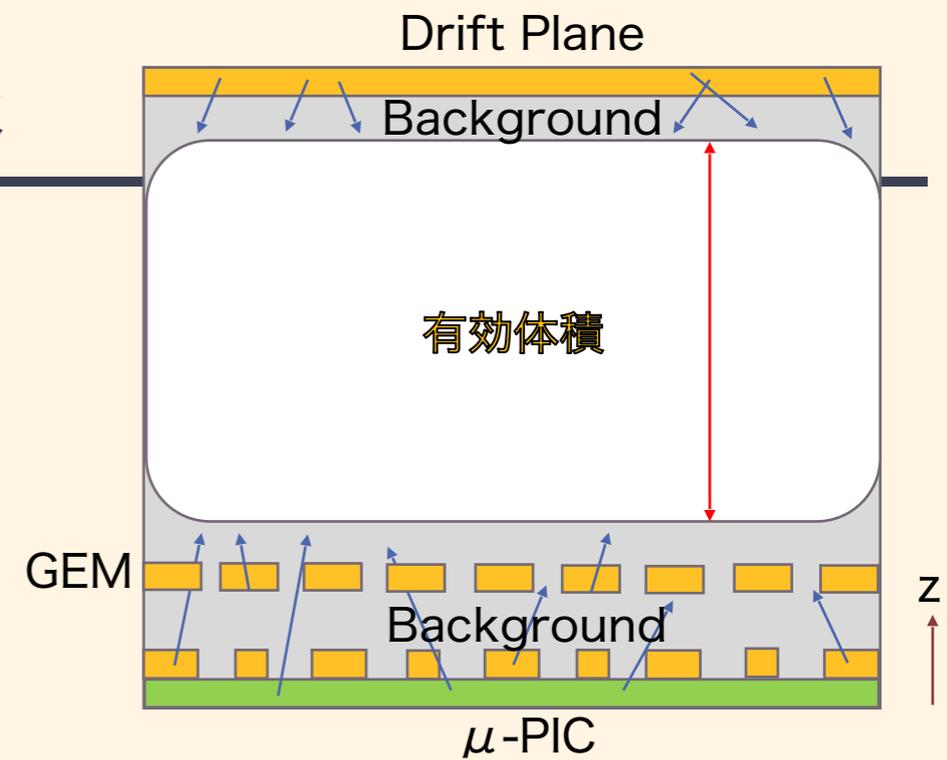
❖ 目標のガンマ除去能力(1.5×10^{-6} @50-60keV)とNR検出効率(0.51)を達成

陰イオンガス μ -TPCの開発

表面背景事象除去

NEWAGE検出器感度への制限

- ◎ NEWAGE実験の主なバックグラウンド
 - ▶ μ -PICなどの検出器表面からのアルファ線
- ◎ 陰イオン μ -TPCの導入
 - ▶ 電子ではなく陰イオンが電場中をドリフトする
 - 低拡散 -> 高角度分解能
 - ▶ ドリフト速度の違うキャリアによるドリフト方向(z方向)の絶対位置の決定
 - **z方向の有効体積カット**による表面事象の除去
 - ▶ 本研究では SF_6 ガスを用いる
 - ▶ 先行研究にて3次元飛跡検出に成功 ->
 - ▶ z方向の絶対位置再構成の定量評価を行う



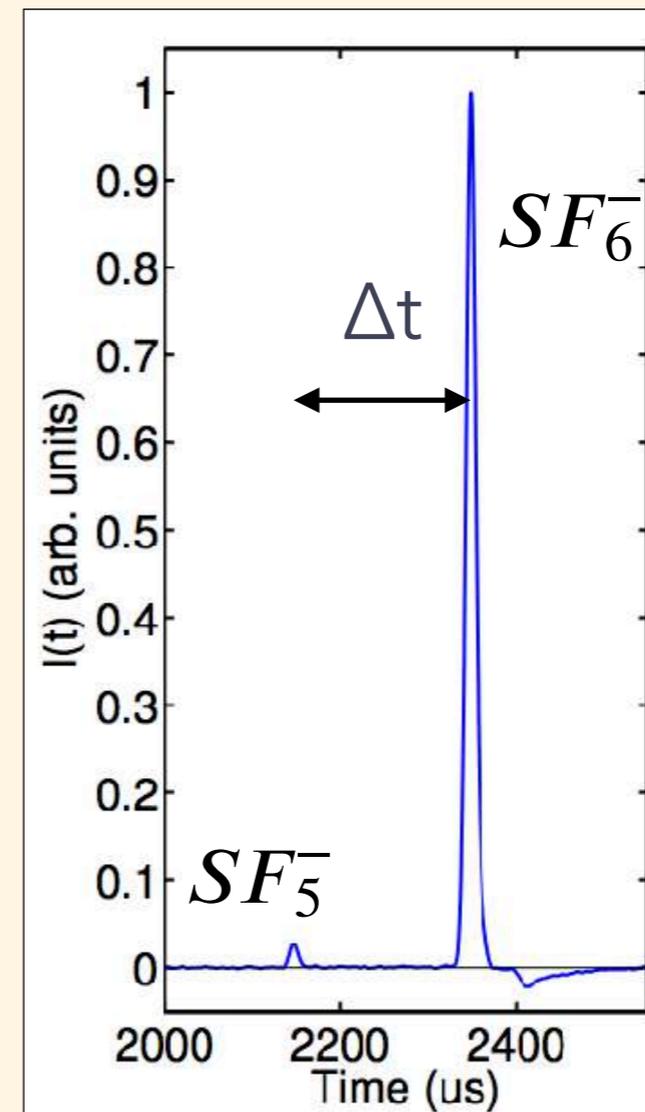
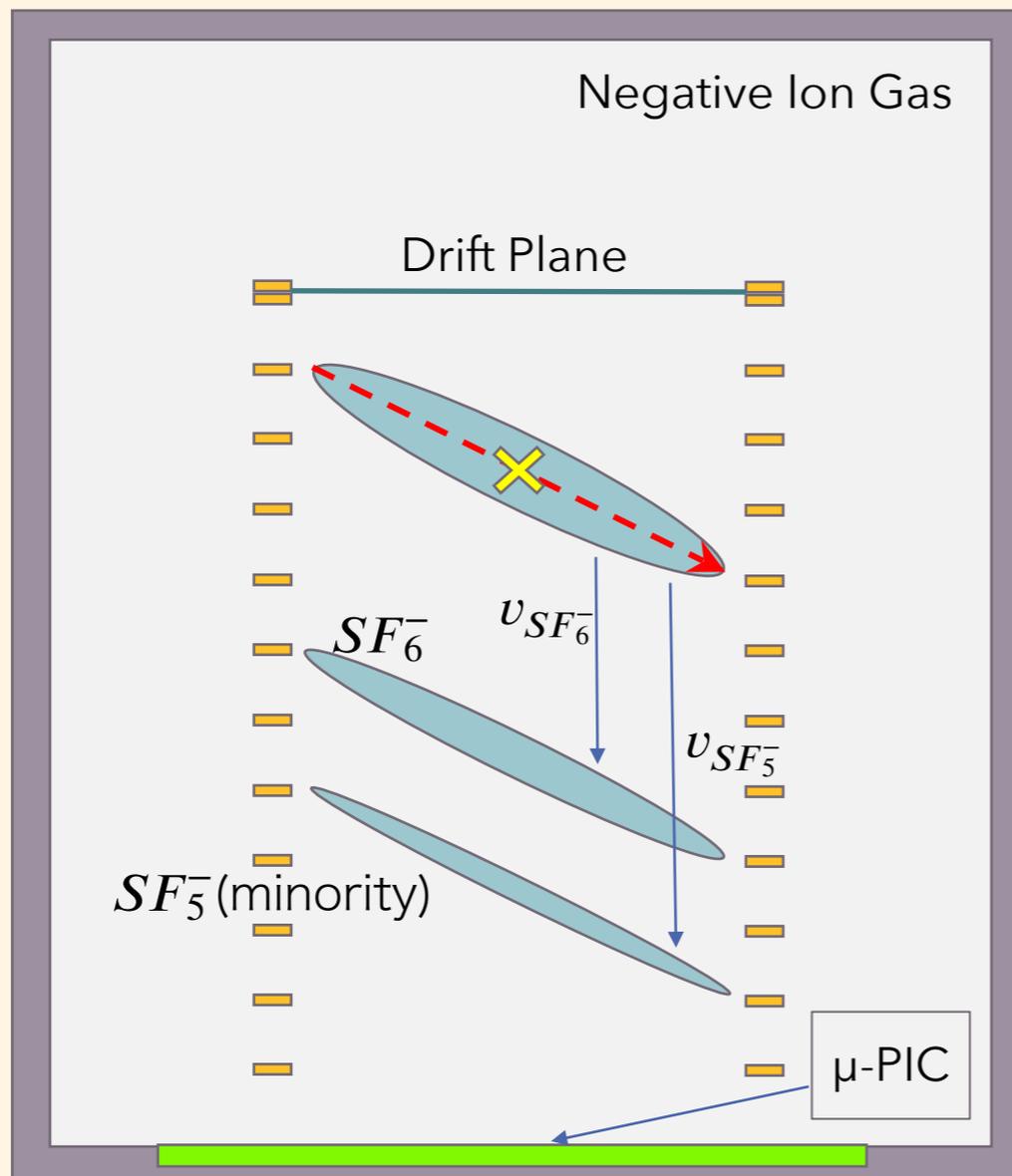
✓ **z方向の絶対位置再構成の線形性を確認する**

ドリフト方向の絶対位置再構成の方法

◎ z方向絶対位置を再構成するまで

- ▶ 電離により飛跡上に電子が生成される
- ▶ SF₆が電子捕獲 -> 主にSF₆⁻(遅い)、まれにSF₅⁻(早い)が生成
- ▶ 到達時間の差からz方向の絶対位置を再構成する(右上式)

$$Z = (t_{SF_6^-} - t_{SF_5^-}) \frac{v_{SF_6^-} \cdot v_{SF_5^-}}{(v_{SF_5^-} - v_{SF_6^-})}$$



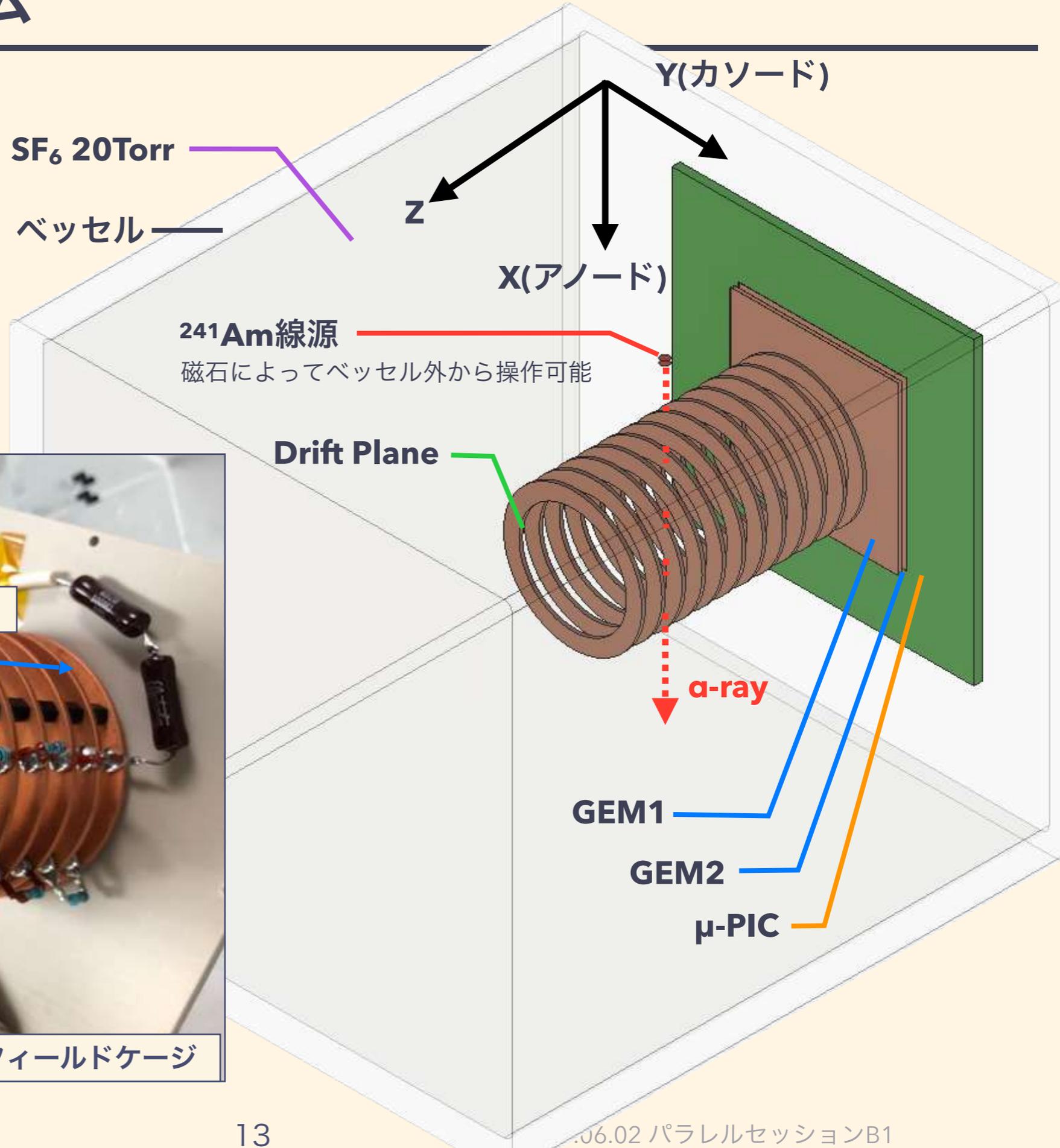
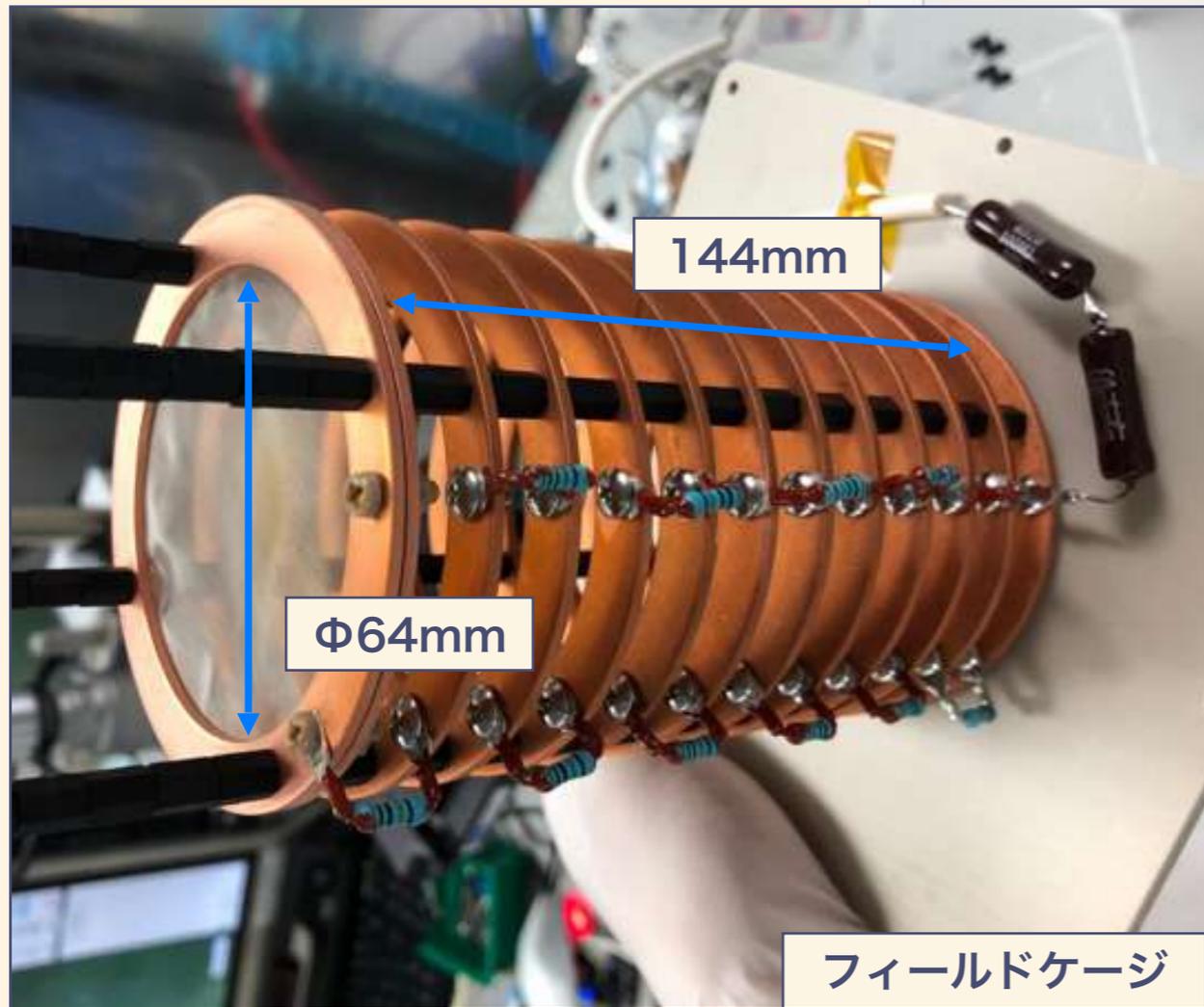
N. Phan Journal of Instrumentation 12 (02) (2017) P02012.

検出器・測定方法

- ◎ 有感体積

 - ▶ 12.8×12.8×144mm

- ◎ ^{241}Am 線源を動かして
zの依存性を測定する

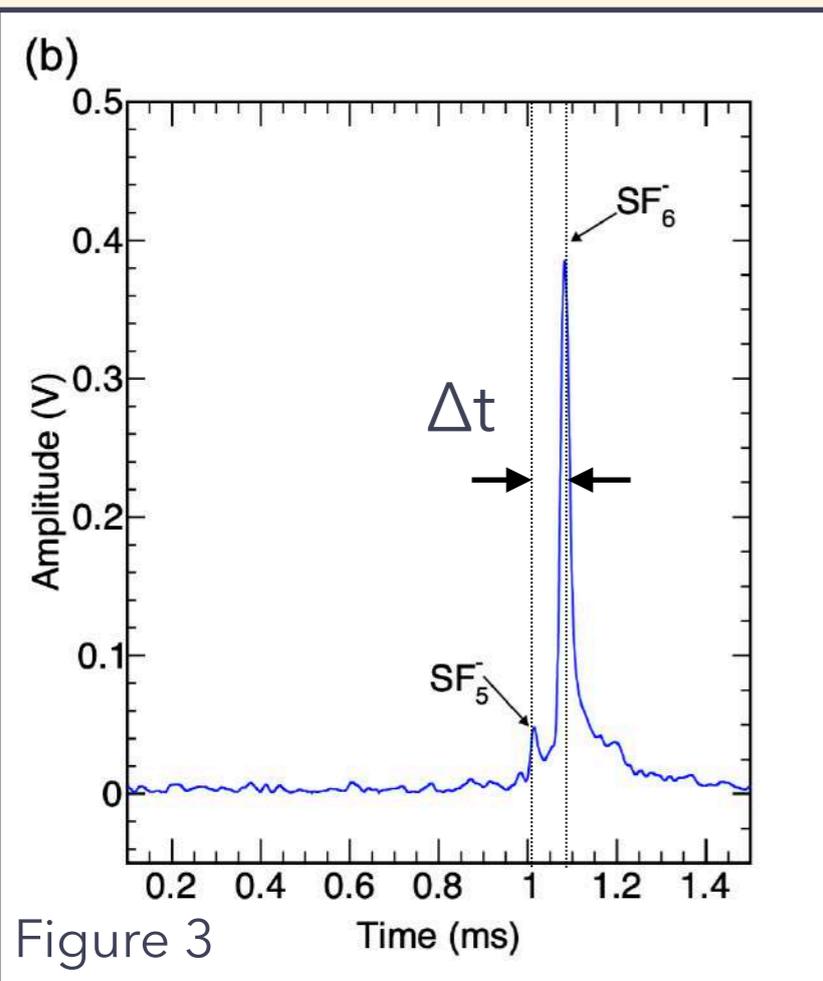


zの絶対位置再構成の線形性

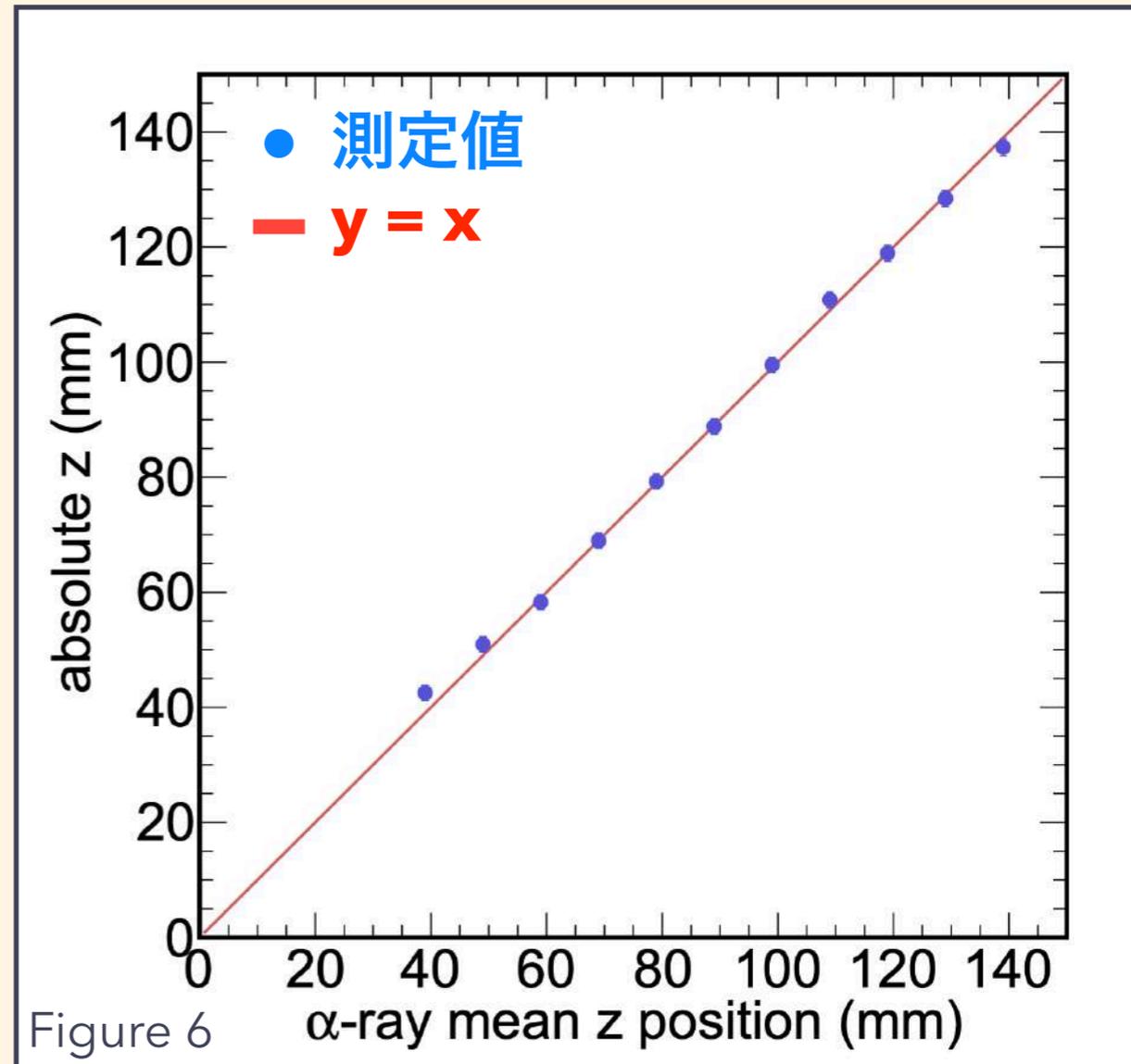
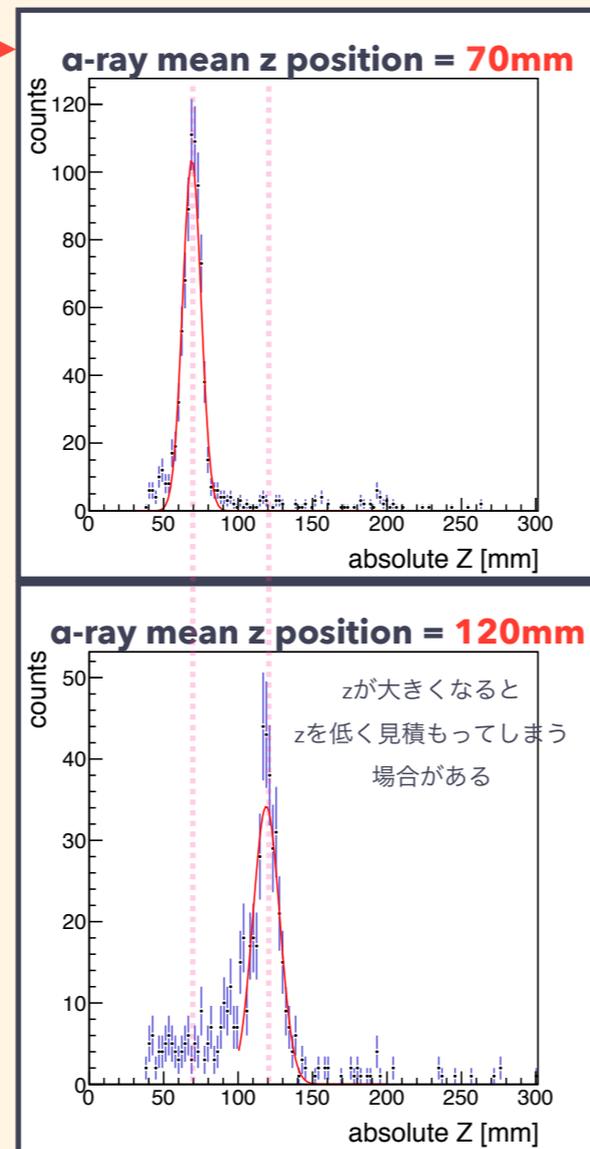
● ^{241}Am 線源の位置を変化させてzを再構成する

- ▶ 線源の位置によって再構成されるzの絶対位置に違いが出る
- ▶ 再構成される位置の線形性を確認

Δt からzを見積もる →



典型的な波形



❖ **$z = 40 \sim 140\text{mm}$** に対してzの絶対位置再構成が可能

課題/展望

◎ 課題点

▶ ガンマ線事象除去能力

- 低エネルギー側(20-50keV)のガンマ除去能力の向上

> もっと良いパラメータを目指す(他パラメータ・ニューラルネットワークなど)

▶ SF₆陰イオンμ-TPC

- zが大きいたときのzの絶対位置の決定精度が悪い

> ガスの純化

> High Gain ampとLow Gain ampを用いた読み出し集積回路 <- 神戸大窪田発表

◎ 展望

▶ 検出効率の高いRUN23の暗黒物質探索の解析

▶ SF₆を導入した大型検出器による暗黒物質探索

まとめ

- ◎ NEWAGEのバックグラウンドの現状
 - ▶ 検出効率の高い測定での低エネルギーガンマ線
 - ▶ μ -PICなどの表面からのアルファ線
- ◎ 解決策
 - ▶ ガンマ : TOTとLengthのパラメータを用いた新しいカット条件
 - ▶ 表面アルファ : 陰イオンガス μ -TPCの導入
- ◎ 結果
 - ▶ ガンマ : **ER検出効率 ~ 10^{-7} & NR検出効率 ~ 0.52**
 - ▶ 表面アルファ : **z方向の絶対位置再構成の線形性を確認**
- ◎ 展望
 - ▶ RUN23の暗黒物質探索測定の解析
 - ▶ SF₆を用いた大型検出器による暗黒物質探索

BACK UP

252Cf測定と137Cs測定

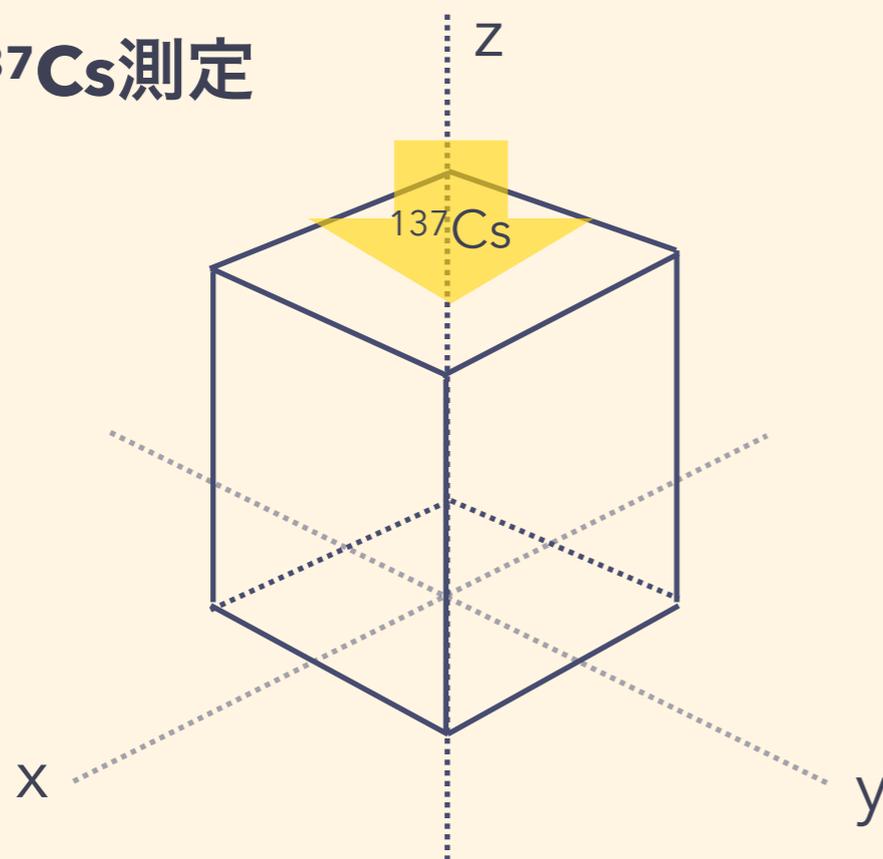
◎ 137Cs測定

- ▶ ガンマ線の見積もりのための測定(電子反跳)
- ▶ 検出器上部に137Csを置いて測定

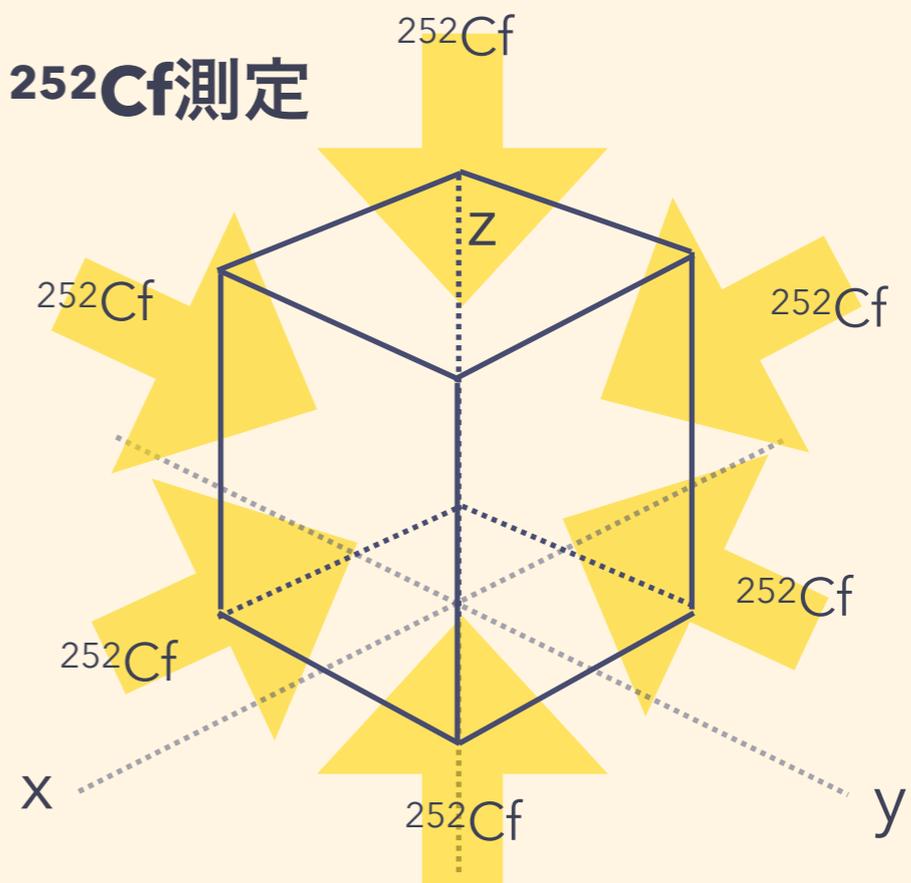
◎ 252Cf測定

- ▶ 中性子線の見積もりのための測定(原子核反跳)
- ▶ ガンマ線も放出する
- ▶ 検出器の6方向について線源を置く位置を変えて測定

137Cs測定



252Cf測定



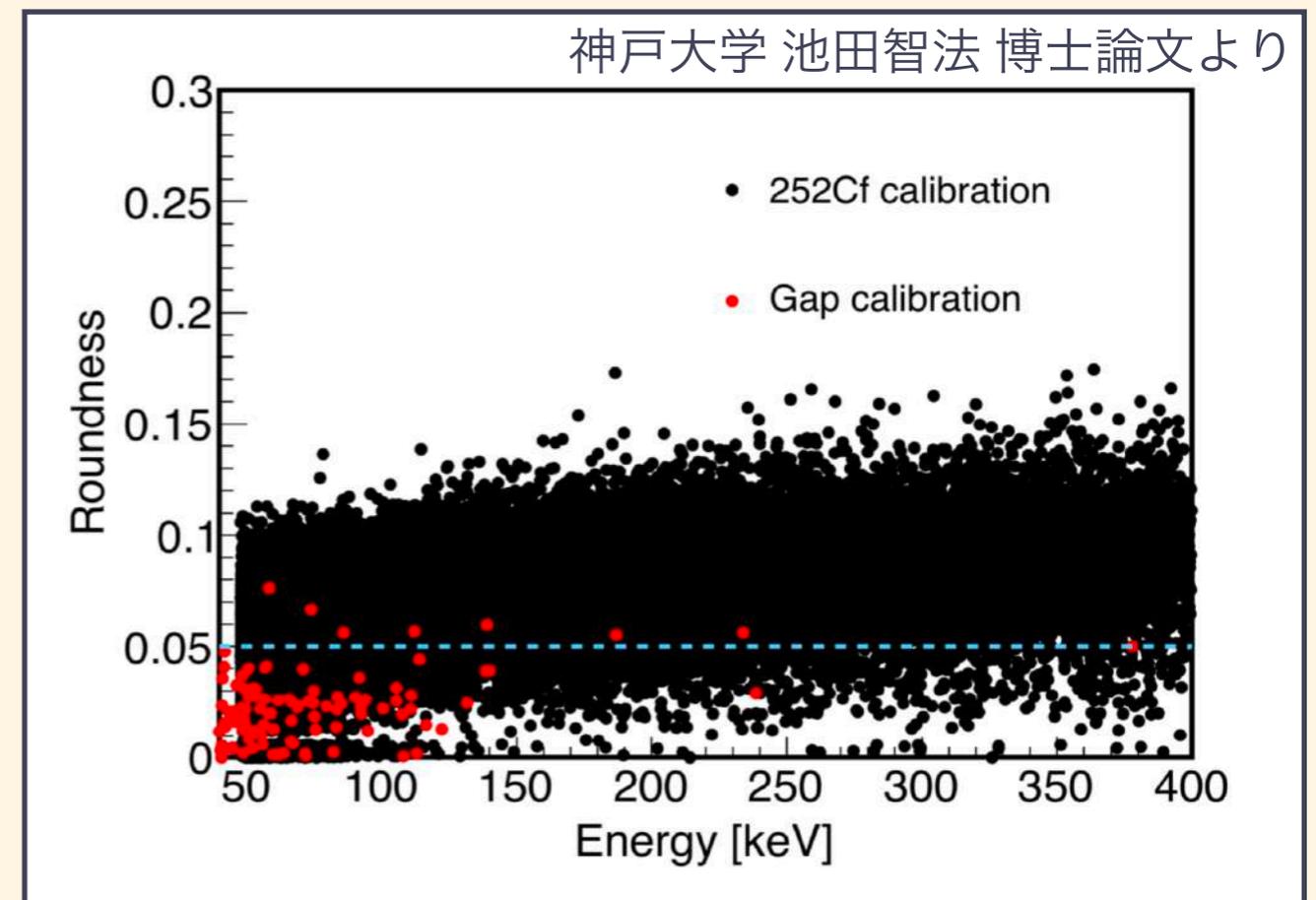
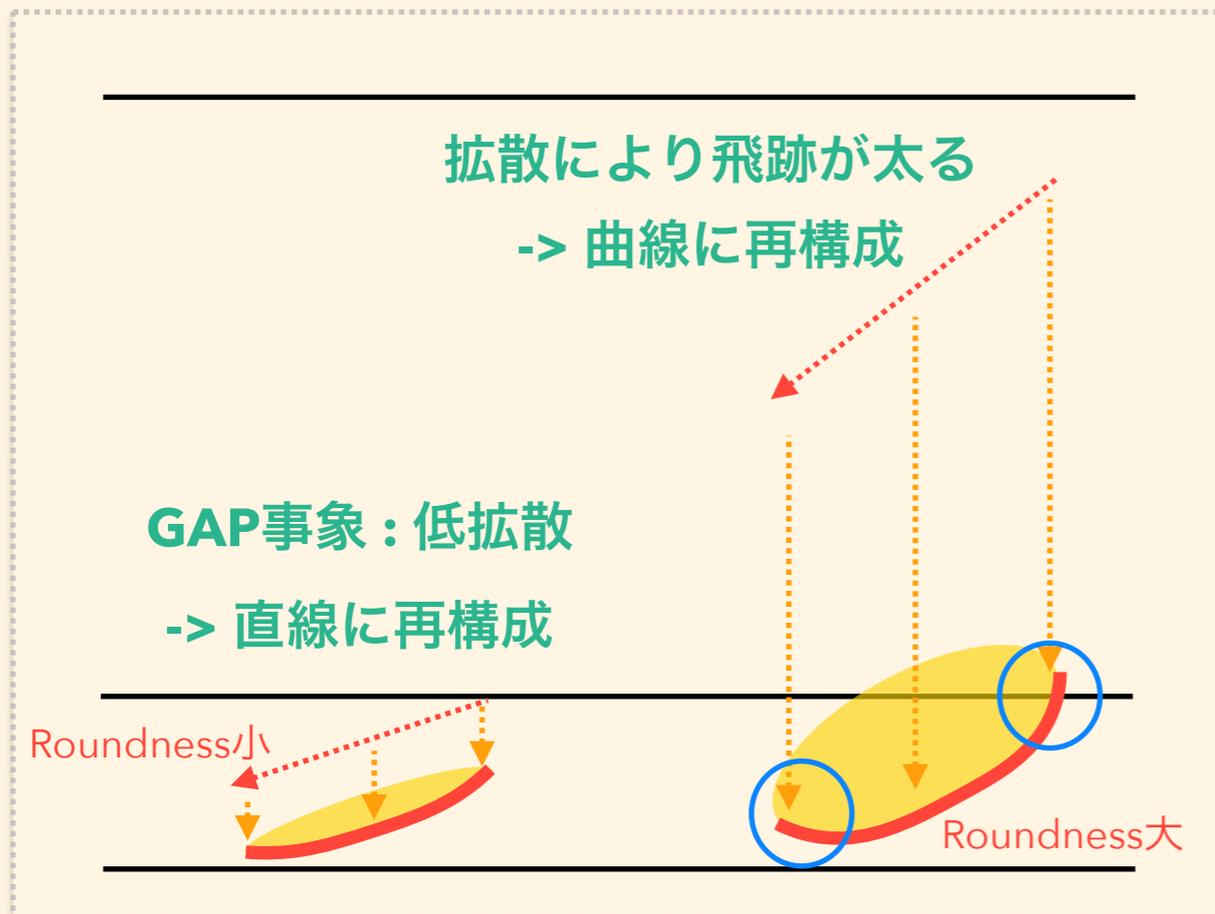
GAP事象選別 -Roundness cut-

- ◎ GAP事象： μ -PICとGEM間の事象

- ▶ μ -PICからの α 線バックグラウンドなどが含まれる

- ◎ Roundness (飛跡の非線形性)

- ▶ Zが小さい(**GAP事象**など)とドリフト距離が短く、低拡散となる
 - 飛跡がきれいに見える
 - 線形性が保たれるため、Roundnessが小さくなる



SF₆⁻, SF₅⁻のドリフト速度の測定

◎ 2種類のキャリアのドリフト速度の測定方法

- ▶ 線源と反対側のz = 89mmにあるPIN-PDをトリガーとして使用する
- ▶ PIN-PDでのトリガーとμ-PICでの検出の時間差を利用してドリフト速度を決める

◎ 2種類のキャリアのドリフト速度

- ▶ SF₆⁻ : 8.1 ± 0.2 cm/ms
- ▶ SF₅⁻ : 8.9 ± 0.2 cm/ms

