



NEWAGE実験86：

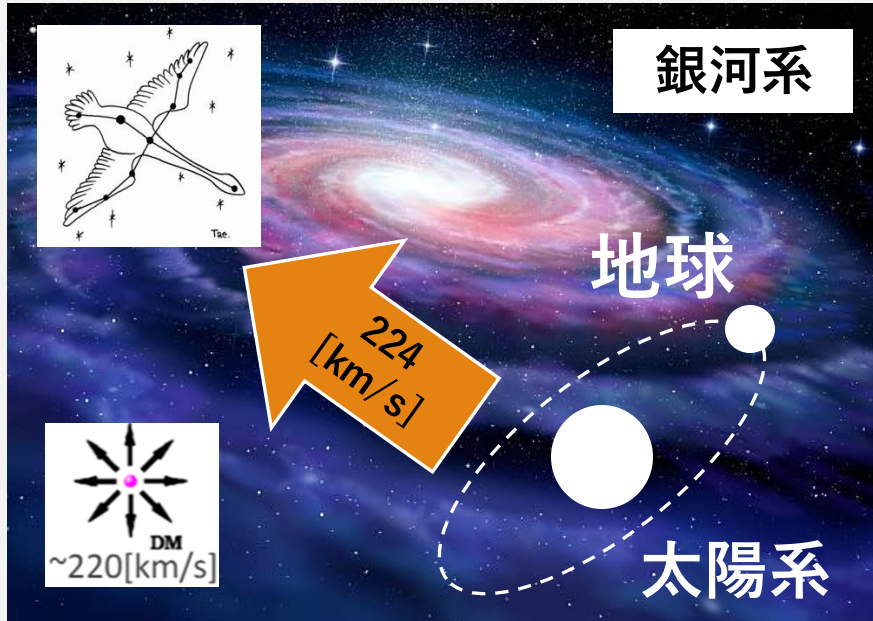
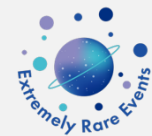
地上実験に向けた 大型ガスTPCの運用状況

神戸大学 生井 凌太

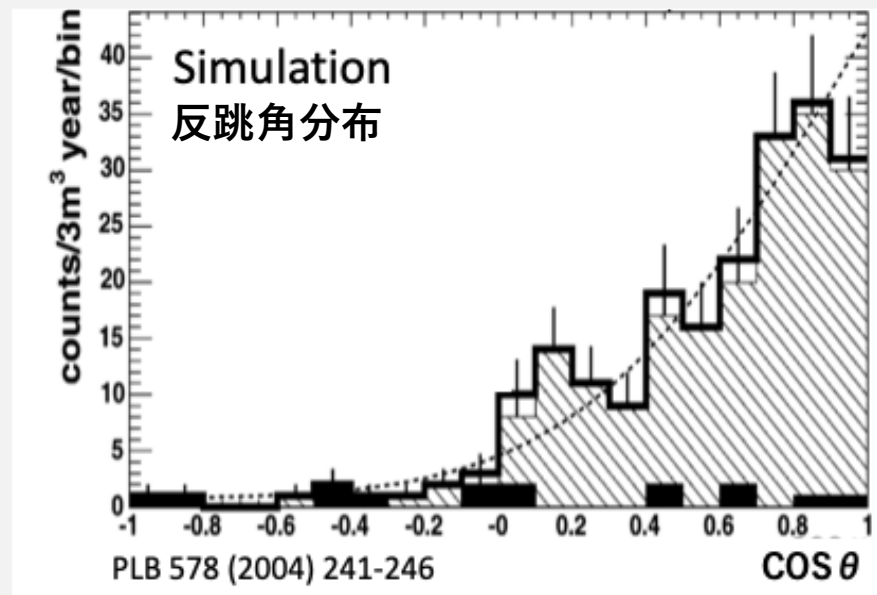
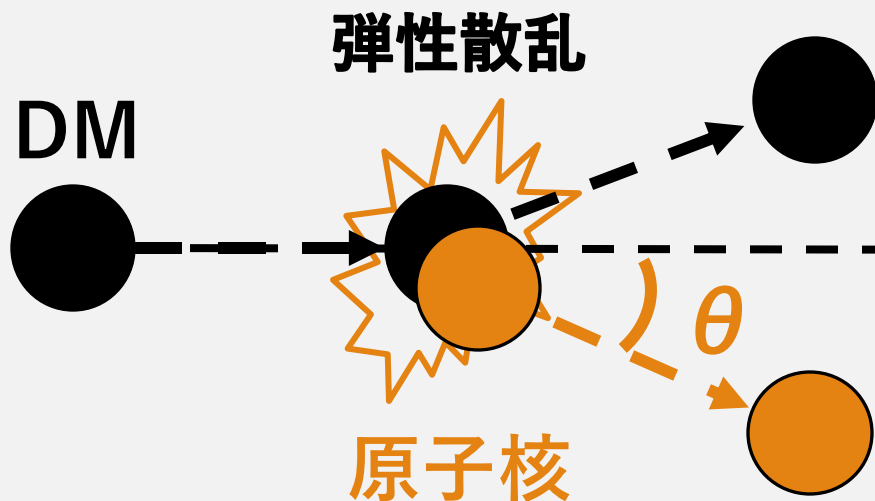
身内賢太郎, 東野聡, 鈴木啓司, 西田汐里, 遠山和佳子, 柳凜

2025/9/17

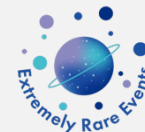
方向感度をもつ暗黒物質探索



- 不明な質量の存在の観測事実
→ 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)



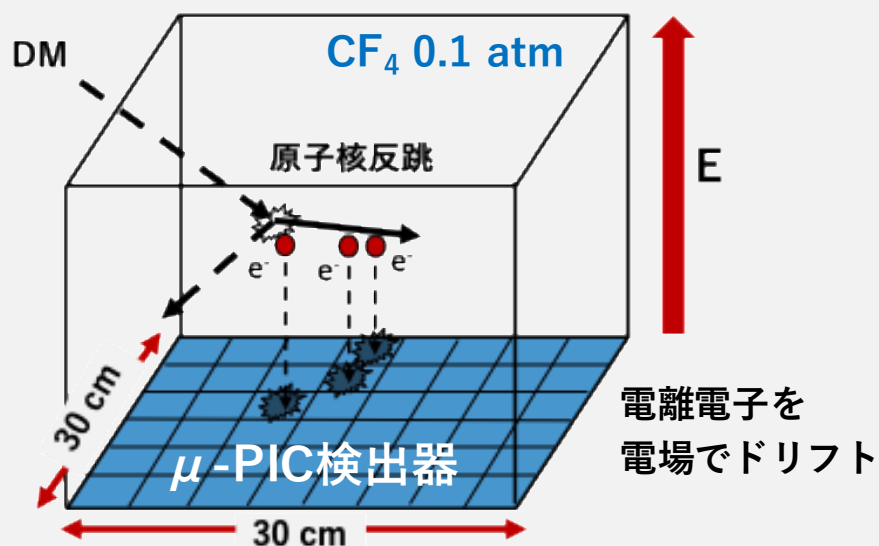
NEWAGE実験



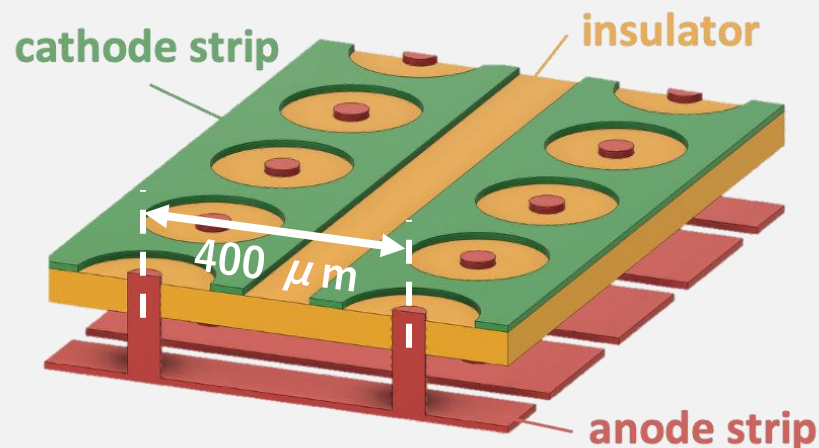
➤ 飛跡を三次元再構成することで反跳方向の情報を得る。

→ ガスTPCを使用

ガスTPC (Time Projection Chamber)



μ-PIC検出器

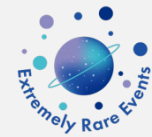


- 二次元座標 + 時間による飛跡の3D再構成
- 電極付近の高電場によるガス利得

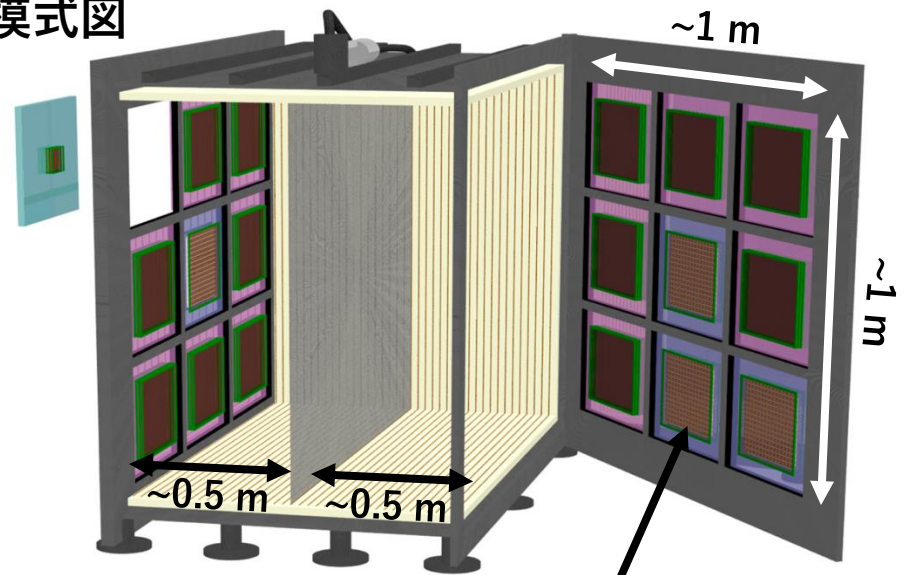
➤ DM検出感度向上のための取り組み

- 低背景事象化 ← 東野talk (17aEK203-2)、柳talk (17aEK203-3)
- 検出器の大型化 ← **本講演のトピック**

C/N-1.0



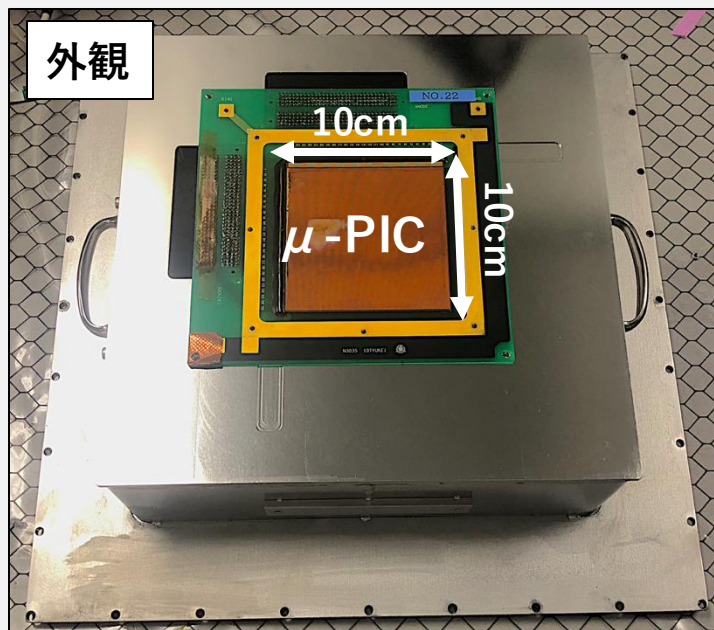
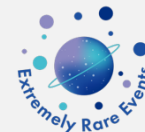
模式図



モジュール検出器

- 容積: $\sim 1 \text{ m}^3$
 - NEWAGEの約30倍
- モジュール型の検出器を最大18台搭載
 - 2台のモジュール検出器を開発中
 - Module-0 ← 身内talk (17aEK203-5)
 - Module-1 ← 本講演

Module-1



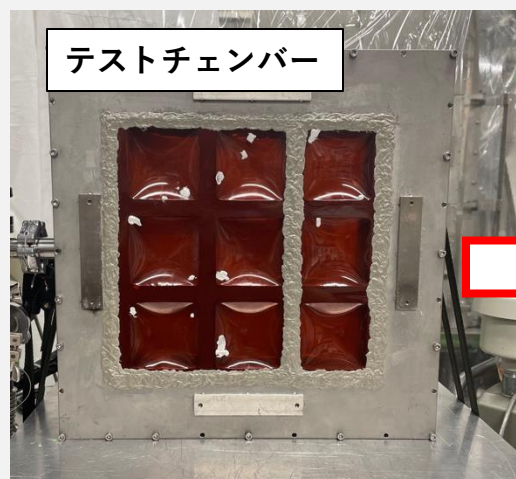
外観

特徴

- 検出面積: $10 \times 10 \text{ cm}^2$
- μ -PICによる三次元飛跡再構成
→ 現行NEWAGEを模した構造

現行NEWAGEと異なる電場構造

- GND面の場所
 - C/N-1.0の内部電場を乱さないため
→ 形成電場に影響がないことを確認済
(JPS2024春 20aV1-3)



テストチェンバー



C/N-1.0実機

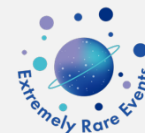
動作試験

- まずはテストチェンバーを用いて性能を評価

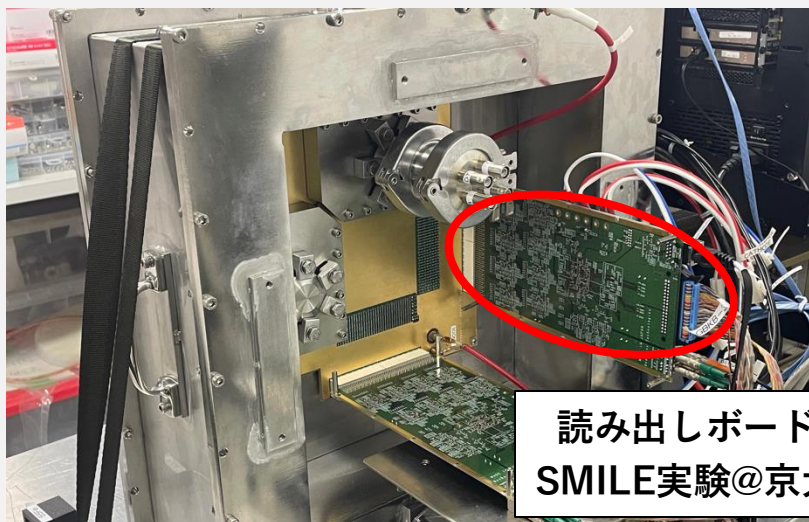
方向感度を持つ＝飛跡の角度を再構成できることを確認する

テストチェンバーを用いた動作試験へ

飛跡の再構成



信号読み出し回路の外観



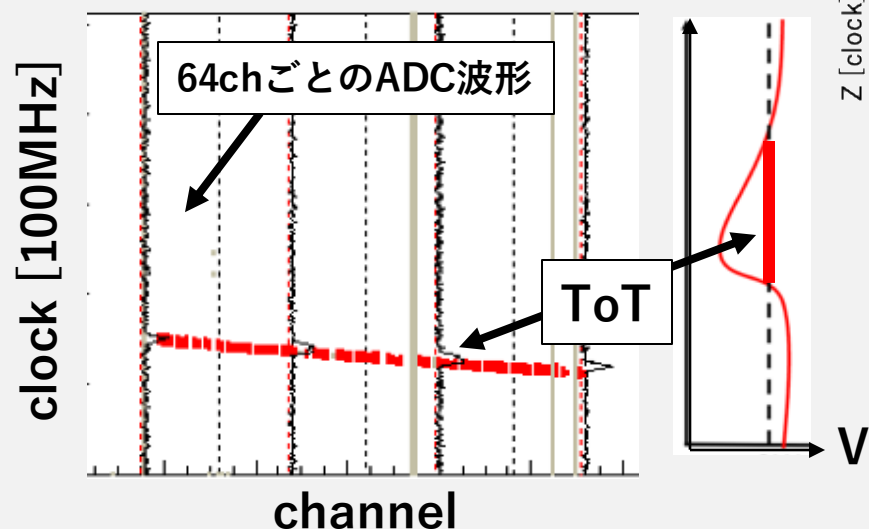
読み出しボード
SMILE実験@京大

- アノード、カソード各128チャンネル
- 読み出される信号は2種類
 - 32チャンネルごとに合計したADC波形
→ トリガー発行、エネルギー算出に使用
 - 各チャンネルのTime over Threshold (ToT)
→ 飛跡長、反跳角度算出に使用

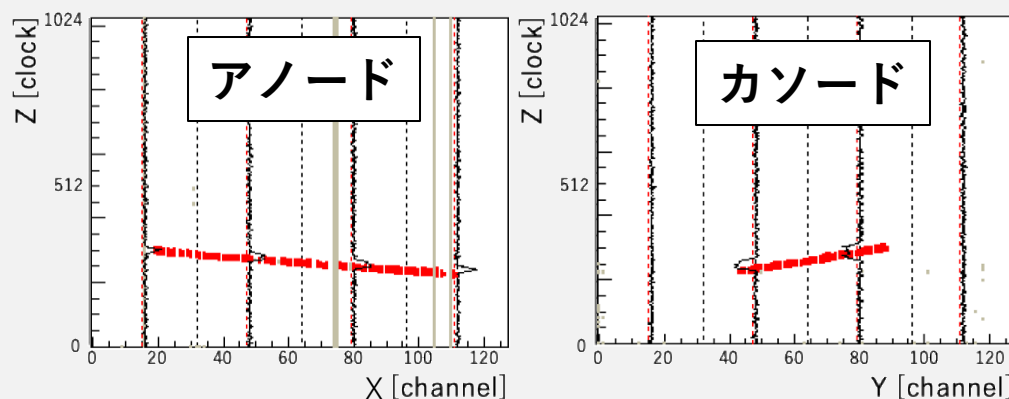
原子核反跳事象 (NR) の選別に使用

- 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



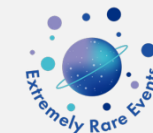
再構成された飛跡の例



エネルギー : 340.0 keV
飛跡長 : Length: 9.1 cm

テストチェンバー

事象選別



➤ F原子核反跳事象を選別

- 飛跡の情報から飛跡長、エネルギー情報を再構成
- ^{252}Cf 線源による中性子照射

選別条件

① 有効体積カット

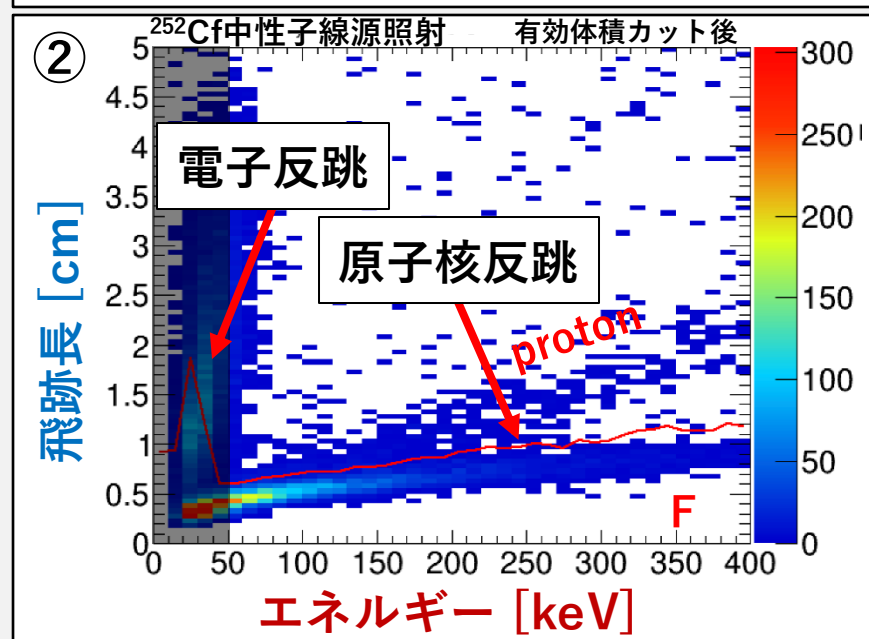
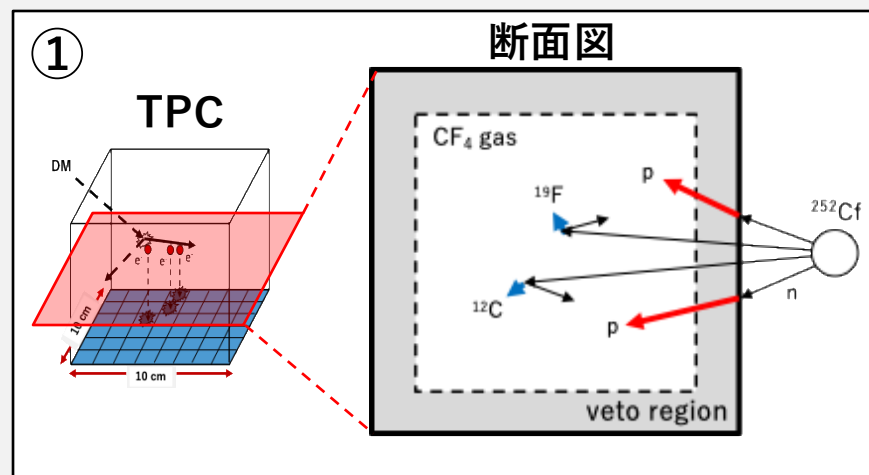
- 検出面積の端1cmでの事象をカット
→ 検出領域外からのproton等を除去

② エネルギー-飛跡長カット

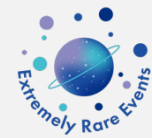
- 原子核反跳に対してカットラインを決定
→ F反跳事象を選別

- 本解析ではprotonとの分離が良い
> 200 keVを使用

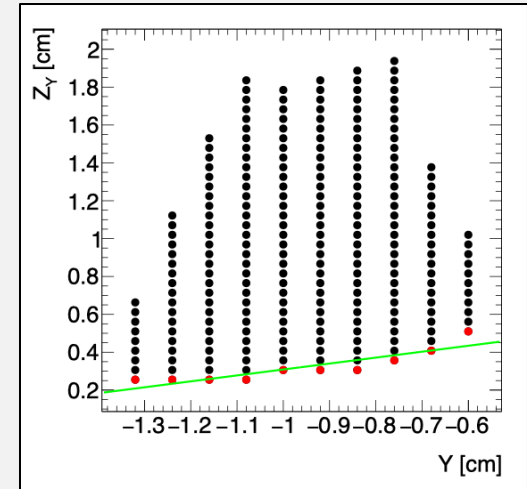
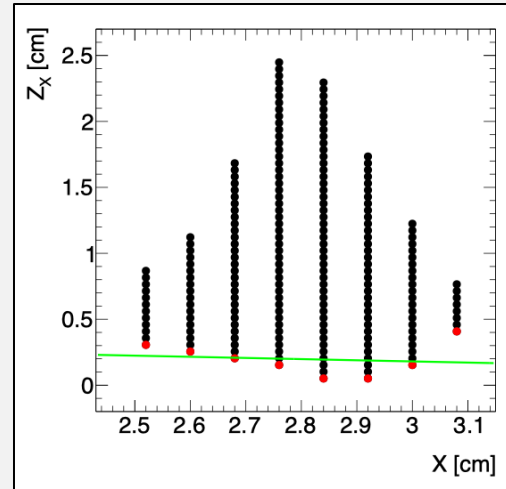
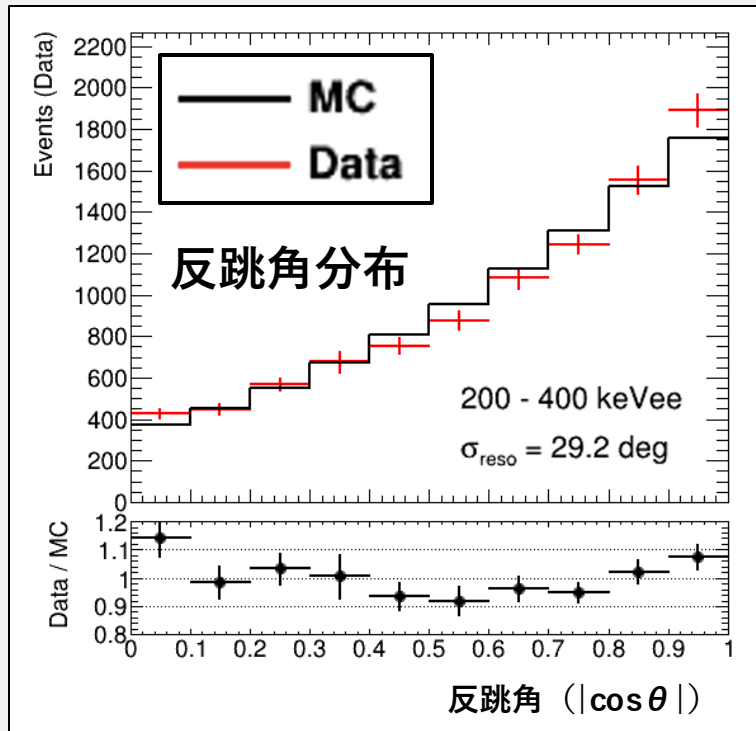
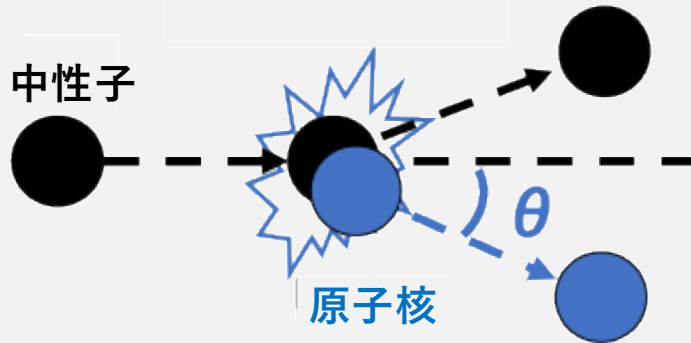
飛跡の角度分解能評価へ



角度分解能評価



➤ ^{252}Cf 線源の中性子を使用



➤ 中性子による反跳原子核の反跳角を計算

- 飛跡に対して線形fitting
- MCでの反跳角度分布と比較



$$\sigma_{\text{reso}} = 29.2^{+1.8}_{-0.6} \text{ } ^\circ \text{ (stat.)}$$

(200 keV < E < 400 keV)

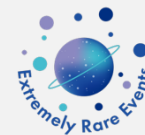
$$\text{NEWAGE: } \sigma_{\text{reso}} = 41.1^{+1.6}_{-1.6} \text{ } ^\circ \text{ (stat.)}$$

➤ drift距離の違いによる電子拡散による改善と思われる。

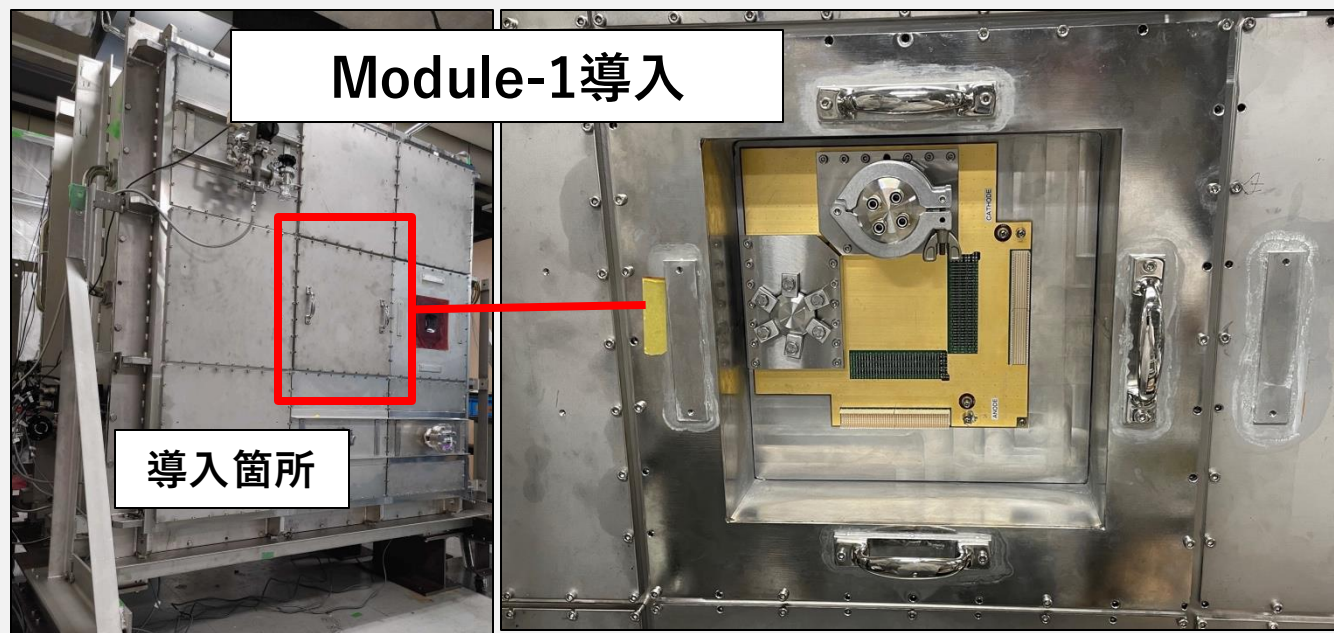
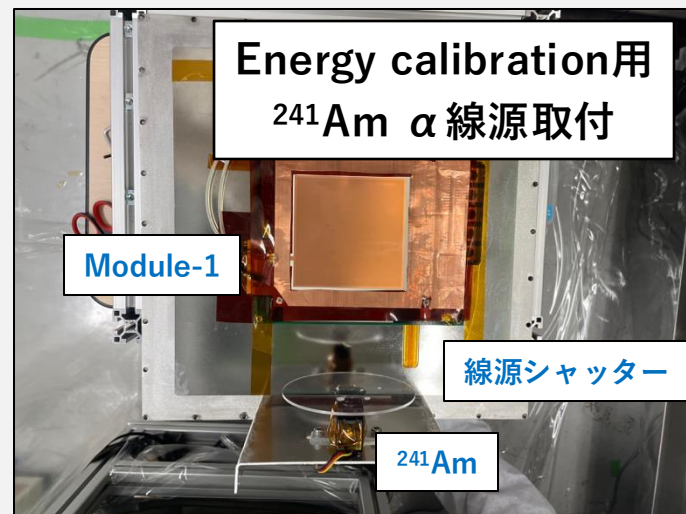
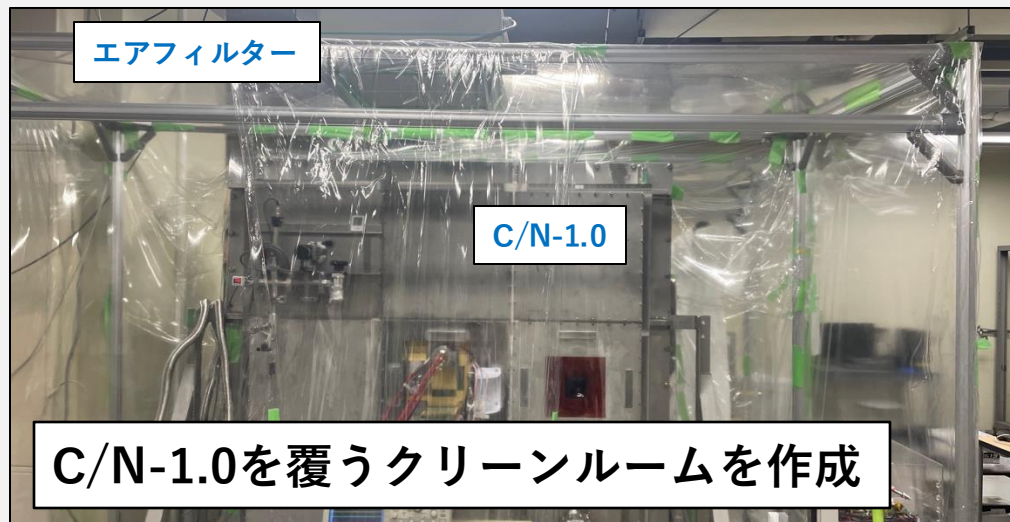
飛跡の角度情報を再構成できることを確認

C/N-1.0

C/N-1.0への導入



➤ 動作試験の完了したModule-1をC/N-1.0へ導入

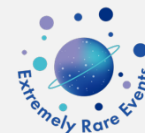


C/N-1.0への導入が
完了

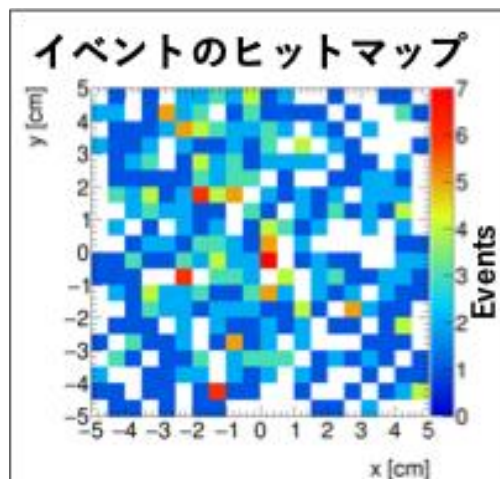
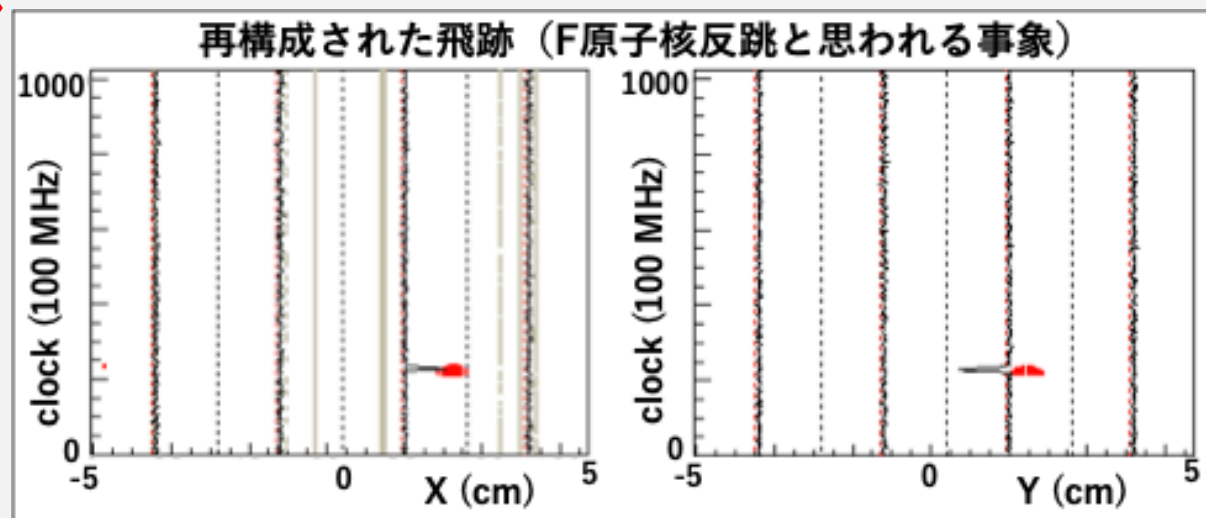
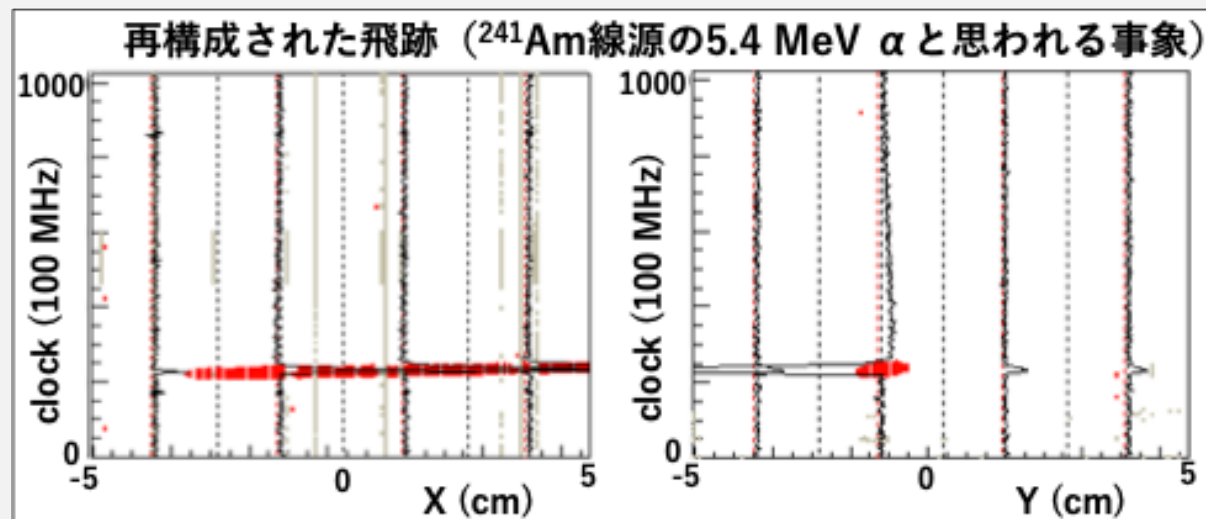
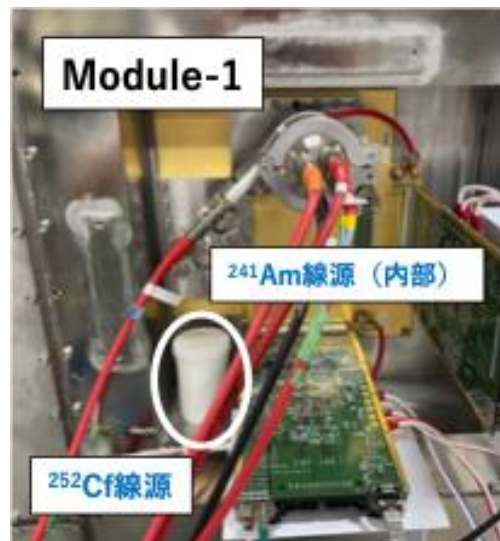


C/N-1.0による
飛跡の取得試験へ

C/N-1.0による飛跡取得試験

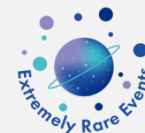


➤ ^{241}Am α 線源 + ^{252}Cf 中性子線源 照射



→ NEWAGEモジュールで初となるC/N-1.0での飛跡再構成に成功

C/N-1.0 ロードマップ



2025



➤ C/N-1.0での性能評価

- ・ 検出効率の評価
- ・ 角度分解能の評価

検出感度の推定

➤ 地上での暗黒物質探索試験

2026

神岡坑内への搬入 (2025年度)

@神戸

➤ Module-1地下測定 (commissioning)

@神岡

2027

C/N-1.0による暗黒物質探索へ

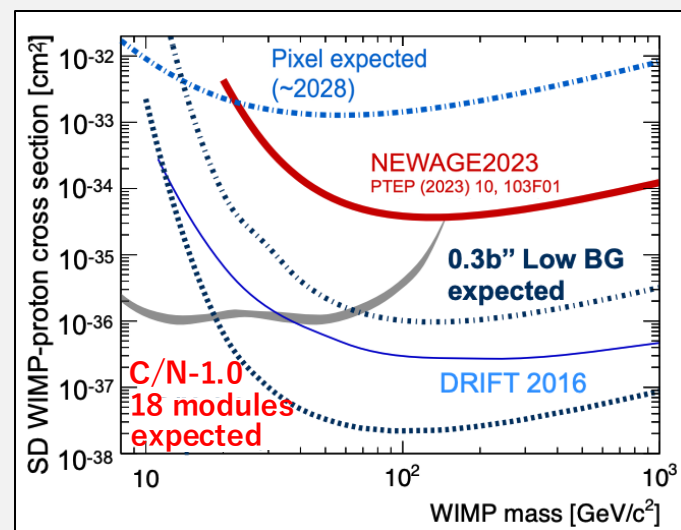
- μ -PICを $\square$ 10 cm $\rightarrow$ $\square$ 30 cm に upgrade

- モジュールの増設

→ 18台体制での運用を目指す

2030

DAMA/LIBRA領域のさらなる探索



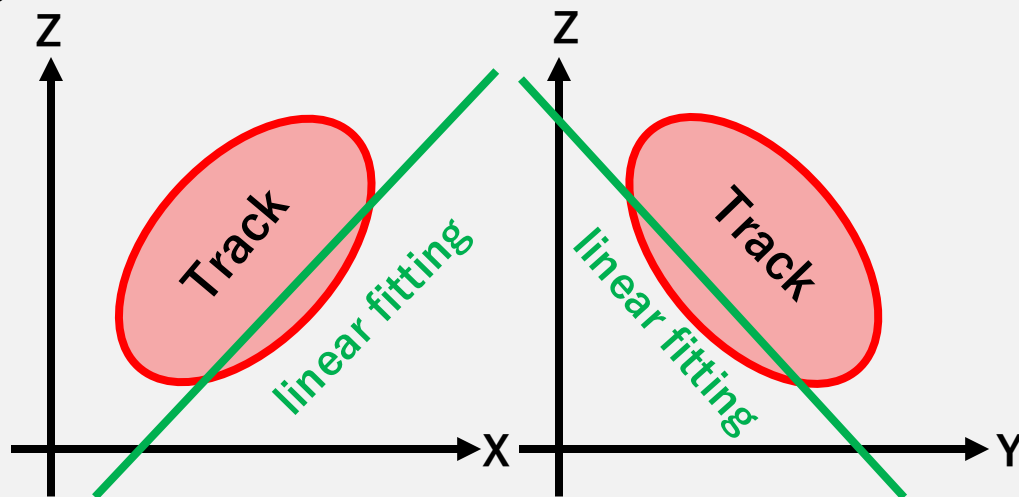
まとめ

- NEWAGE: 方向に感度をもつ暗黒物質直接探索実験
- 感度向上に向けた大型検出器「C/N-1.0」の開発が進行中
 - 試験容器を用いたモジュール型検出器「Module-1」の動作試験が完了
 - Module-1をC/N-1.0へ導入
 - C/N-1.0での信号取得に成功
- C/N-1.0による暗黒物質探索に向けて
 - 地上試験に向けコミッショニング中
 - 今年度中の神岡坑内搬送を目標

Back up

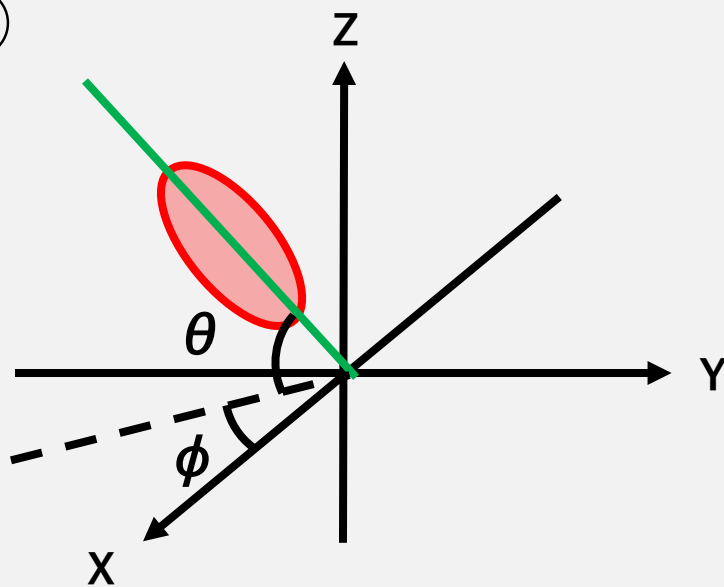
角度計算方法

①



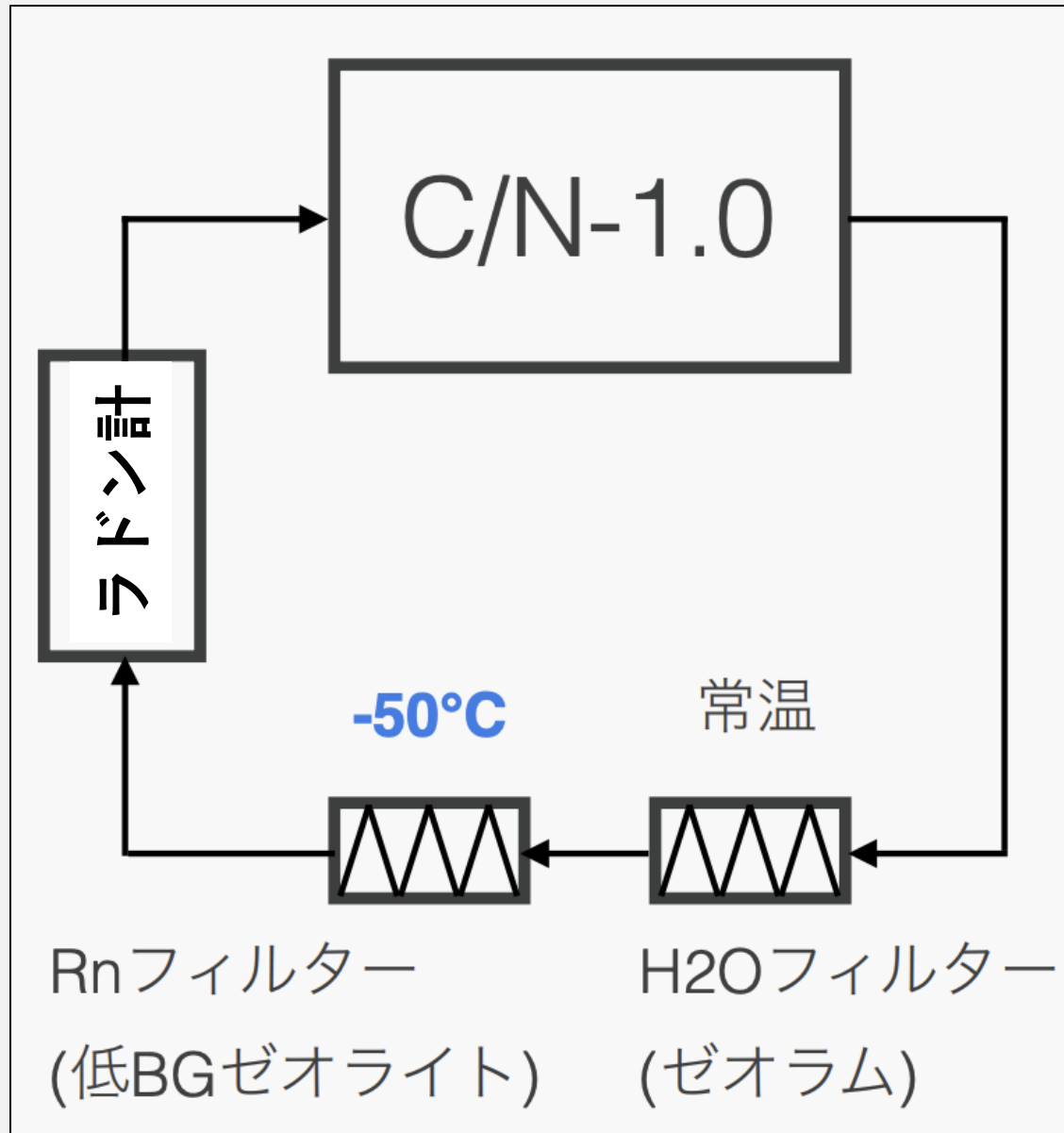
- F原子核反跳を事象選別
- X-Z、Y-ZのToTを線形fitting

②

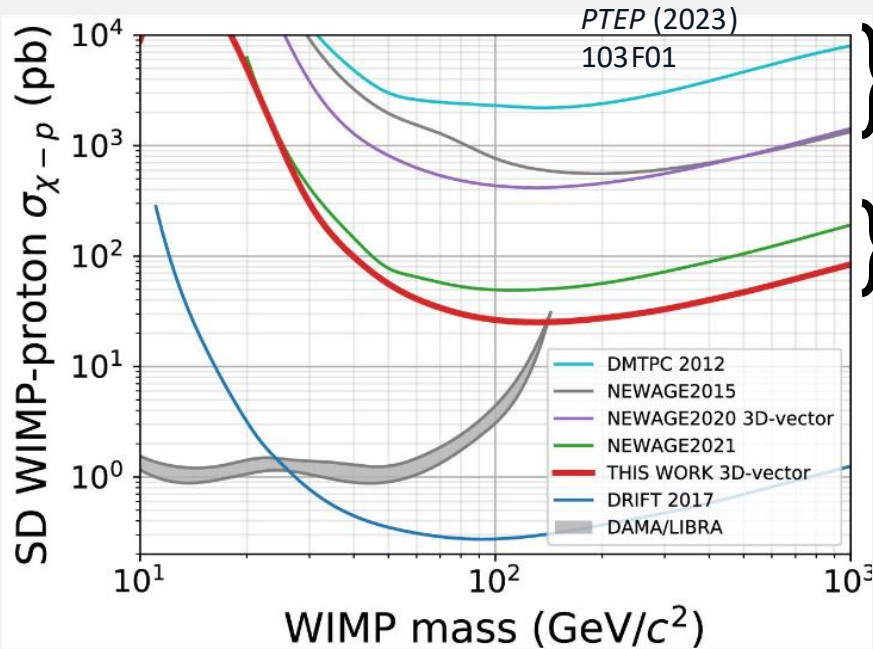


- X-Z、Y-Zの傾きから球面座標系における仰角、方位角を計算
- X-Z、Y-Zの傾きから球面座標系における仰角 θ 、方位角 ϕ を計算
- 線源照射方向に対する反跳方向 γ を計算

C/N-1.0 循環系



μ -PIC開発の歴史と低バックグラウンド化の経緯



μ -PIC
NEWAGE2015 & 2020



Low α (LA) μ -PIC
NEWAGE2020 & 2023

低バックグラウンド化による感度の向上を行ってきた。

➤ Low α (LA) μ -PIC: 検出器表面からの α を抑制

→検出感度向上 (PTEP (2023) 103F01)

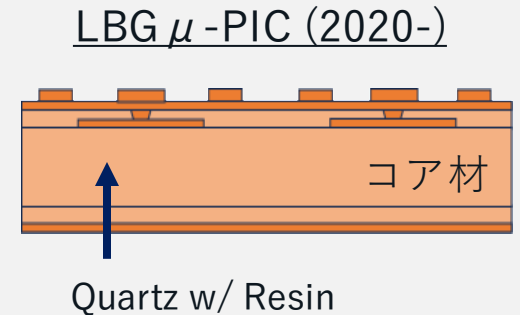
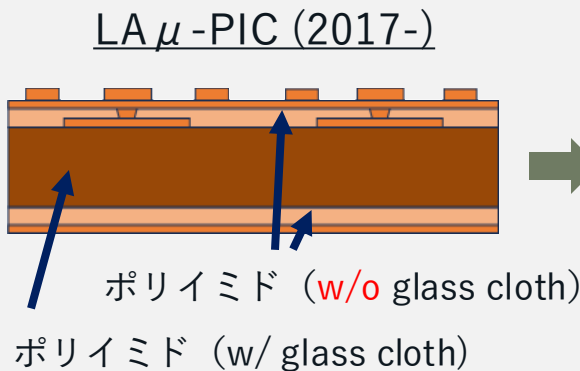
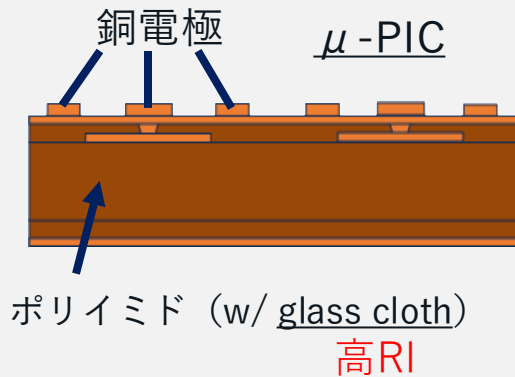
➤ 一方でラドンBGが顕在化

→コア材をより低RIなものにしたLow BG (LBG) μ -PICを製作

➤ ラドンレート要求値: LA μ -PICの $<1/10$

研究目的: LBG μ -PICの性能評価

μ -PICの改良



Radon Decay Chain

^{238}U chain (下流)

^{232}Th chain (下流)

^{88}Ra

^{87}Fr

^{86}Rn

^{85}At

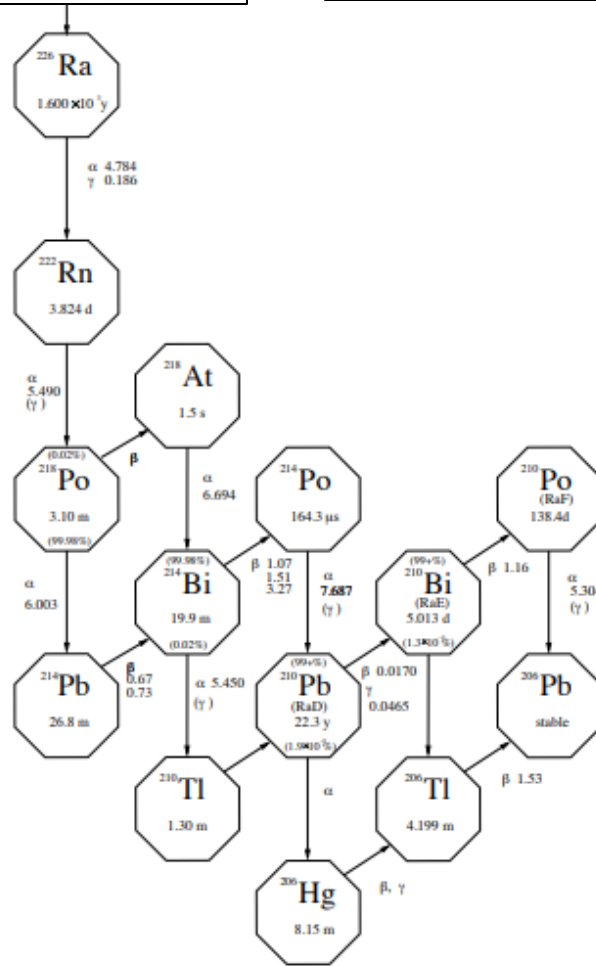
^{84}Po

^{83}Bi

^{82}Pb

^{81}Tl

^{80}Hg



^{88}Ra

^{87}Fr

^{86}Rn

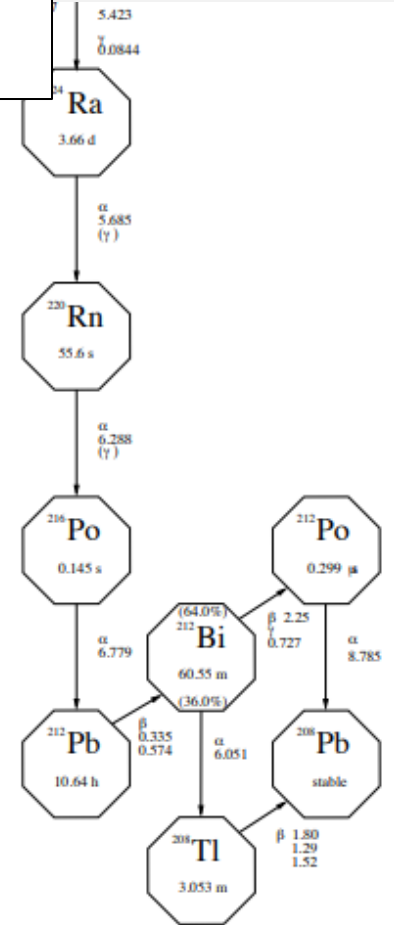
^{85}At

^{84}Po

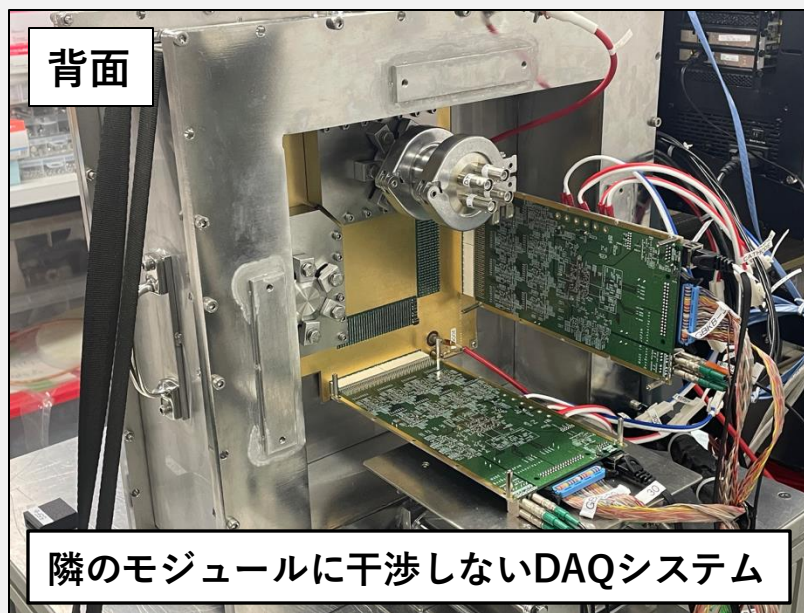
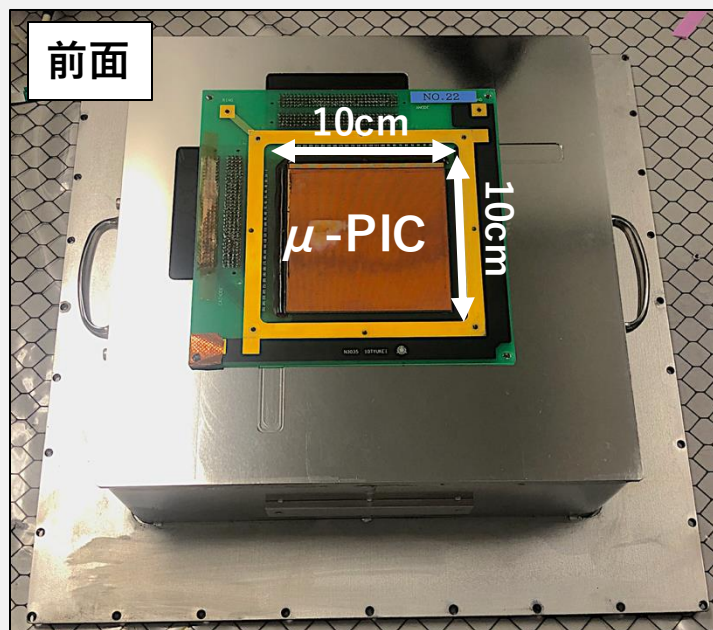
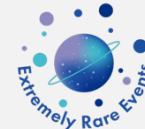
^{83}Bi

^{82}Pb

^{81}Tl



Module-1



特徴

- 検出面積: $10 \times 10 \text{ cm}^2$
- μ -PICによる三次元飛跡再構成
→ 現行NEWAGEを模した構造

現行NEWAGEと異なる点

① GND面の場合

- C/N-1.0の内部電場を乱さないため
→ 問題ないことを確認済 (JPS2024春 20aV1-3)

② エレキ

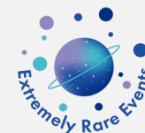
- エンコーダを変更 (京大、SMILE実験)
- 隣のモジュールと干渉しない構造

新DAQによるデータ取得の実証が必要



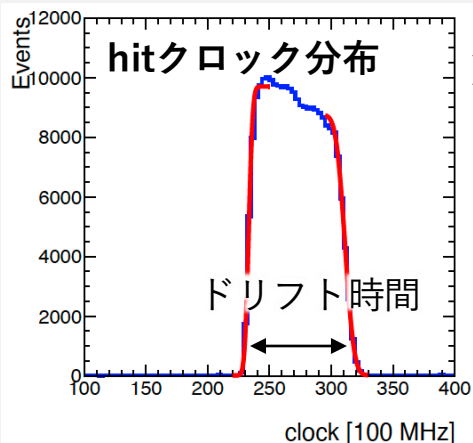
テストチェンバーを用いた動作試験

事象選別



ドリフト速度（飛跡長）較正

Hit信号分布から電子のドリフト速度を評価

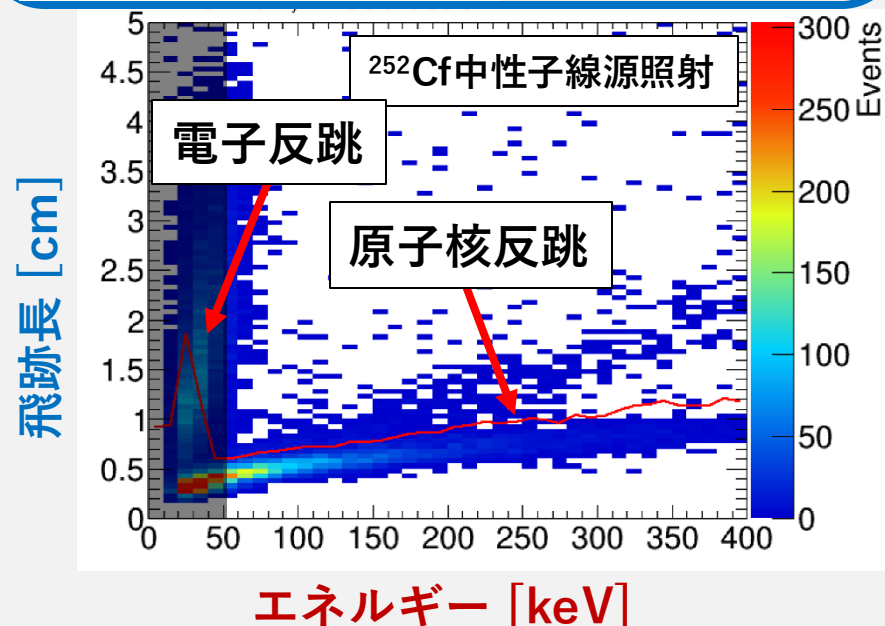
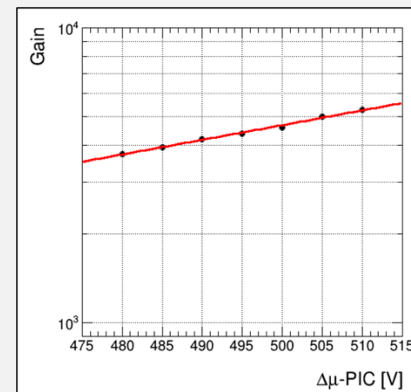
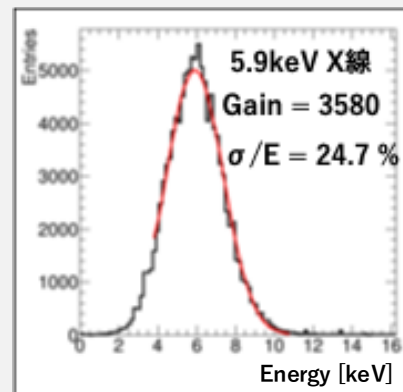


- シンチレータによる外部トリガ
 - 宇宙線 μ を使用
- 5.1 cm/ μ s

エネルギー較正

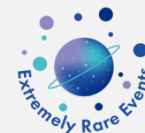
μ -PICの印加電圧とガス利得の関係を評価

➤ 55Fe 5.9keV X線

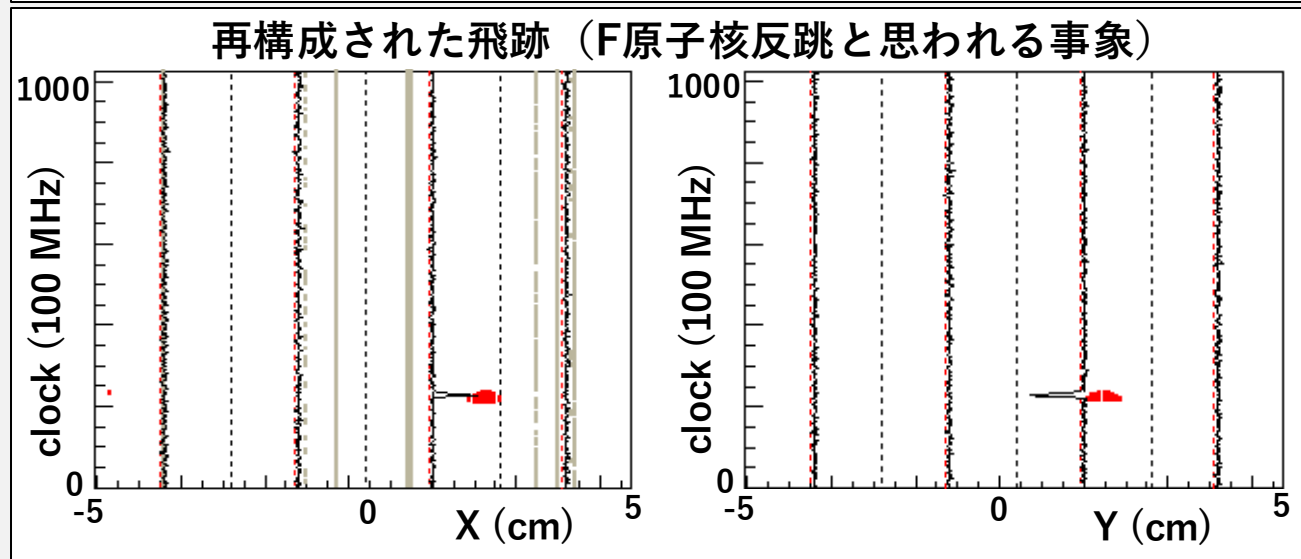
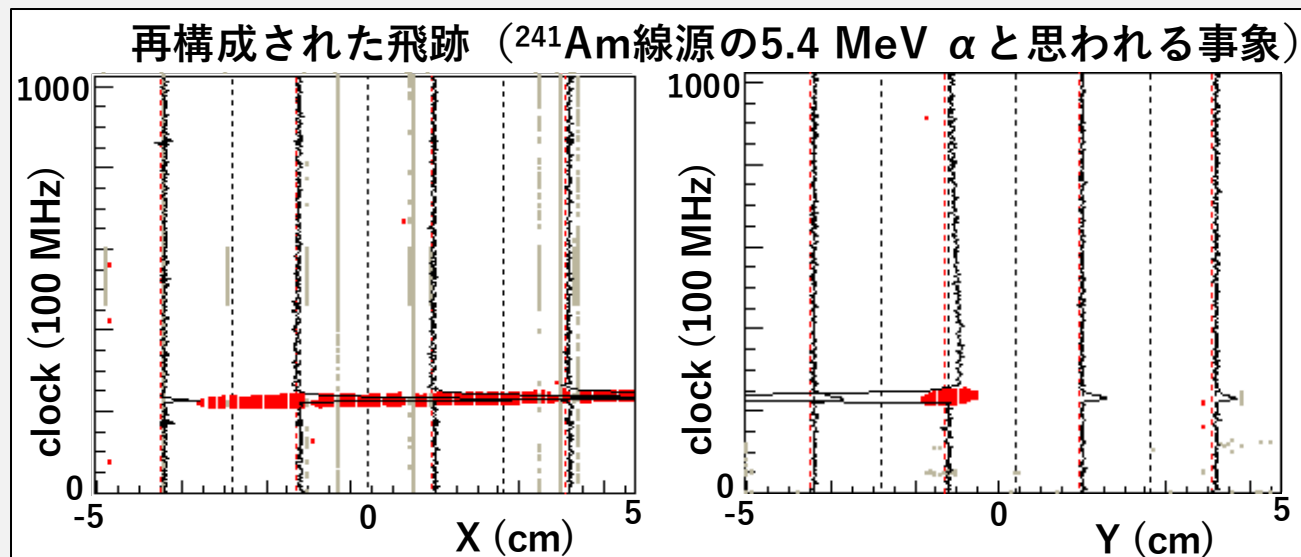
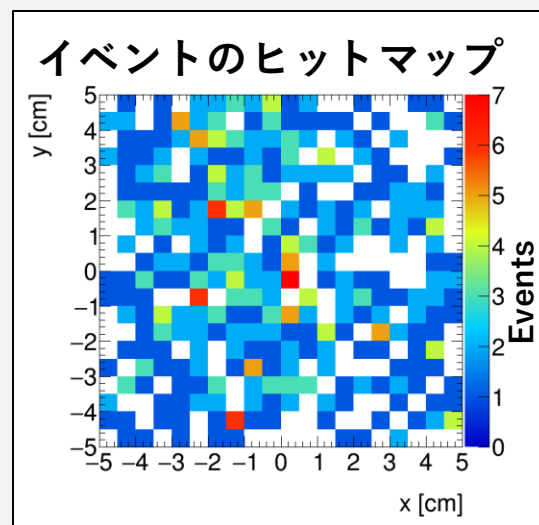
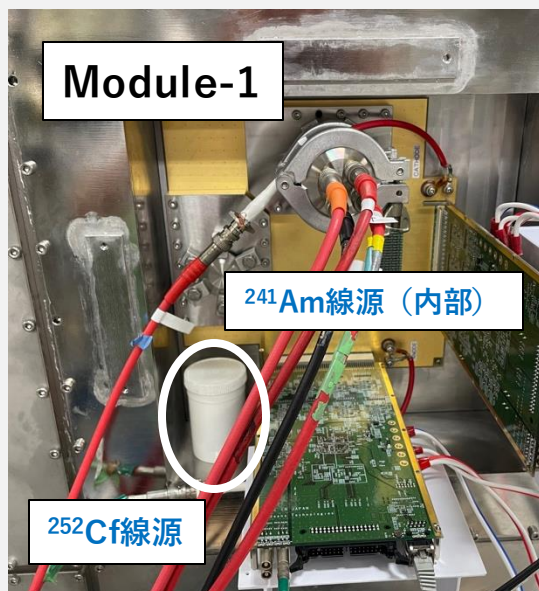


- 有効体積カット
 - 検出面積の端1cmでの事象をカット
 - 検出領域外からのproton等を除去
- エネルギー-飛跡長カット
 - ^{252}Cf 線源による中性子照射
 - 原子核反跳に対してカットラインを決定
 - F反跳事象を選別

C/N-1.0による飛跡取得試験



➤ ^{241}Am α 線源 + ^{252}Cf 中性子線源 照射



→ NEWAGEモジュールで初となるC/N-1.0での飛跡再構成に成功