

NEWAGE実験84: 暗黒物質探索地下実験の 極低BG化に向けた取り組み

神戸大理 東野 聡

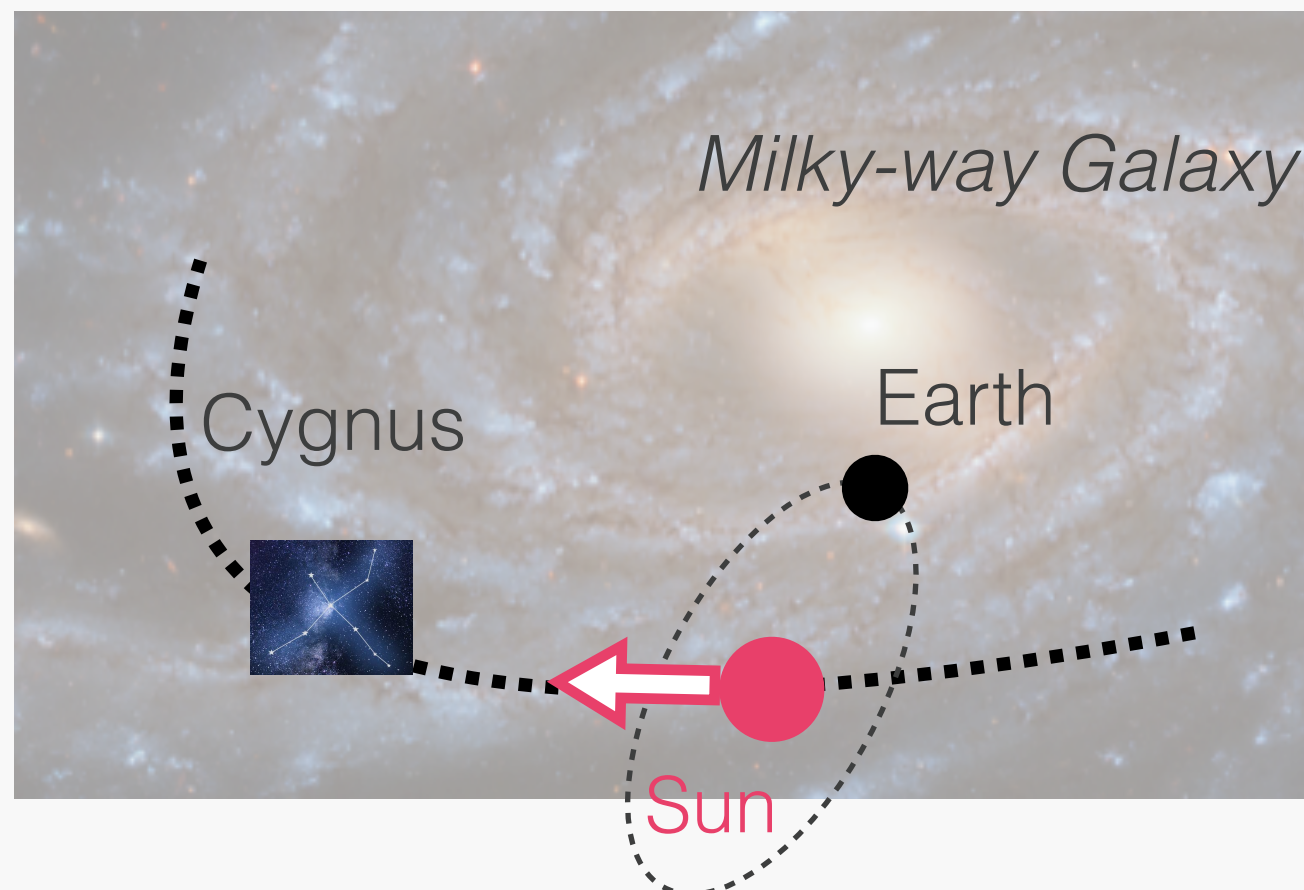
身内 賢太郎 生井 凌太 鈴木 啓司 遠山和佳子 西田汐里 柳凜

2025年 9月 17日

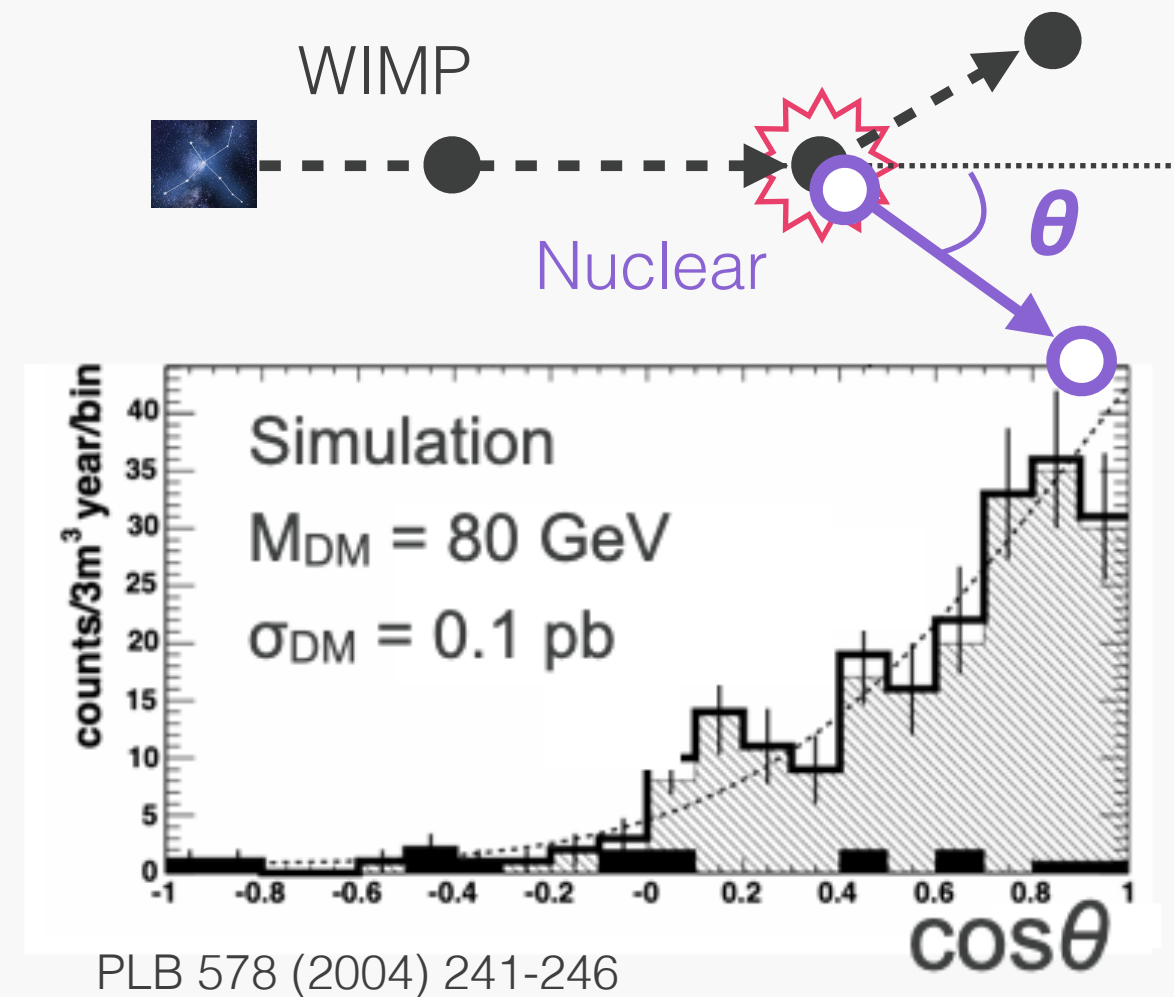
イントロダクション

方向感度をもつ暗黒物質探索

- はくちょう座方向からくる暗黒物質 (WIMP) による原子核反跳の散乱角測定
- 標準ハローモデルを裏付ける強い証拠
 - ➔ 近年、銀河中心にてDMが散乱 & 加速されるモデルも検証中
 - ▶ CRDM (Cosmic Ray-boosted DM)やSelf-interacting DMなど
- 暗黒物質の発見から性質理解へ



3



ニュートリノフォグ

- XENONnT実験により ^8B CEvNS観測

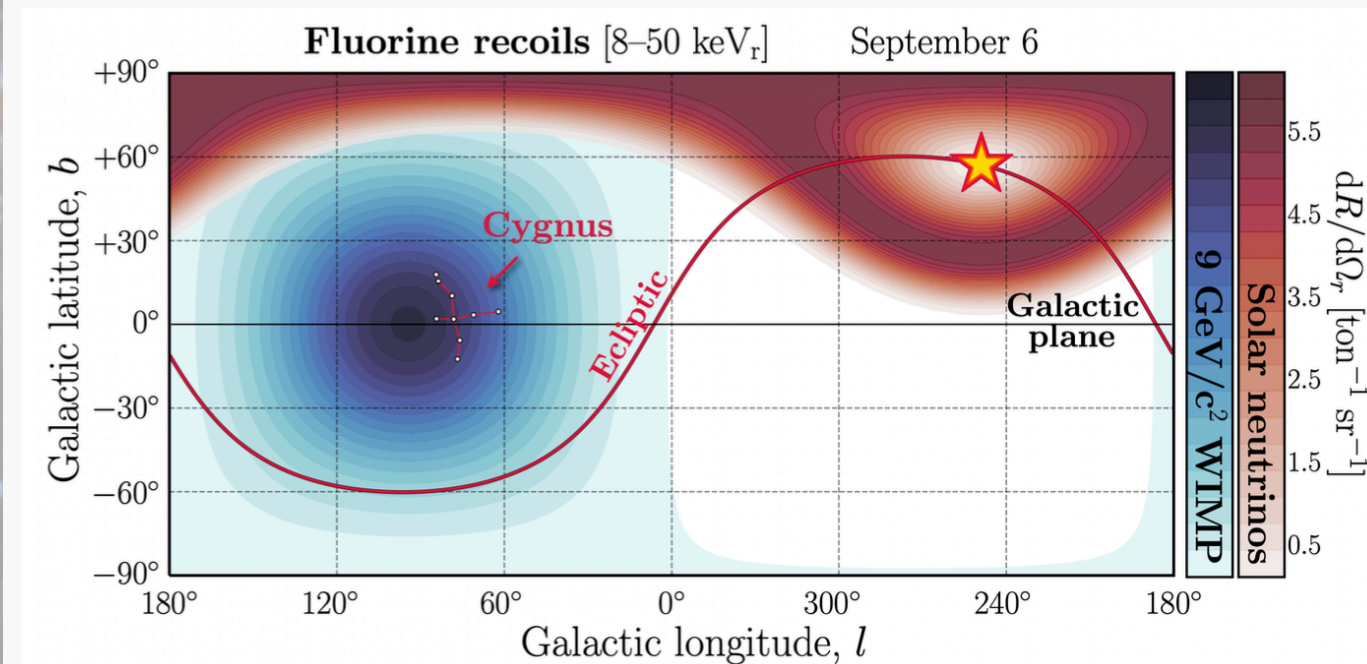
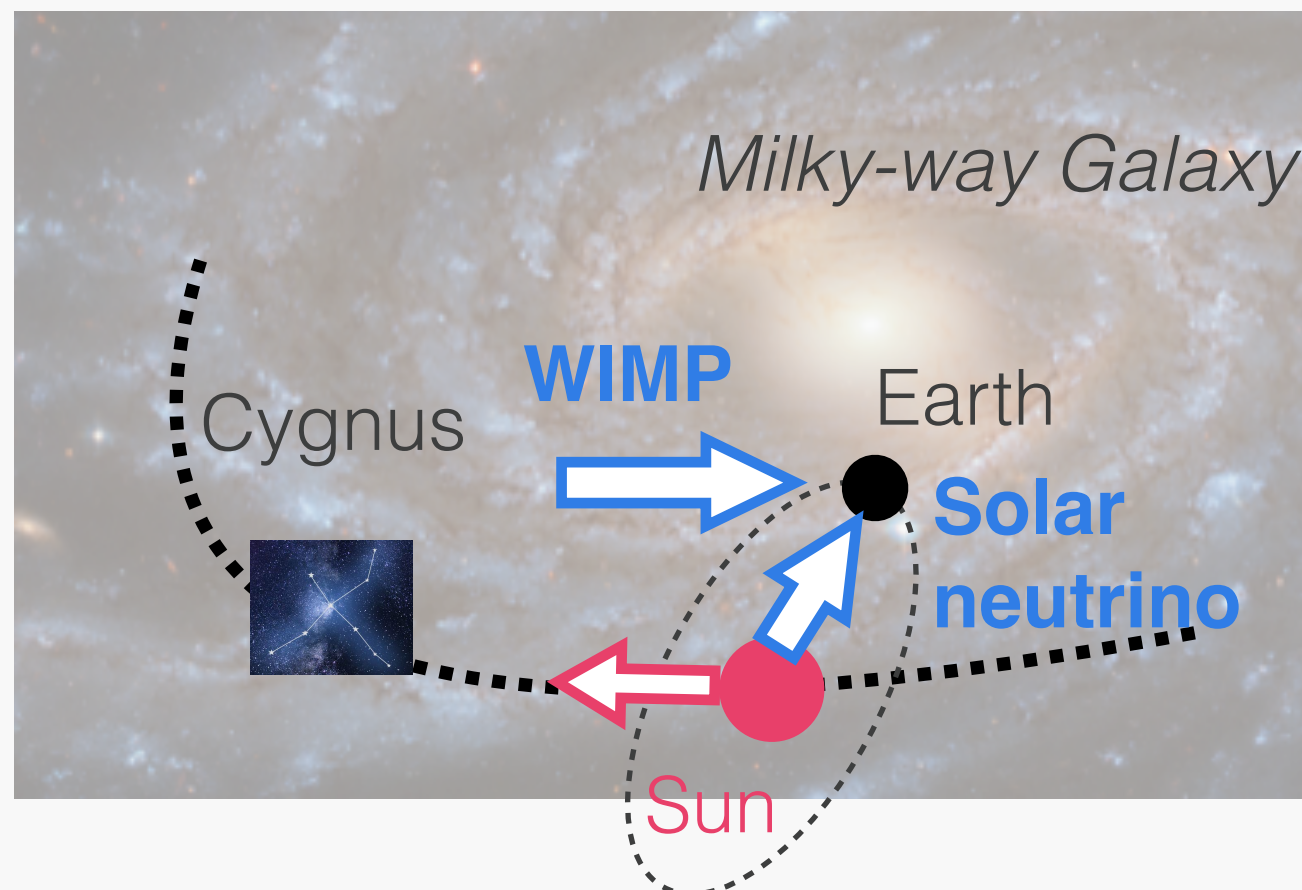
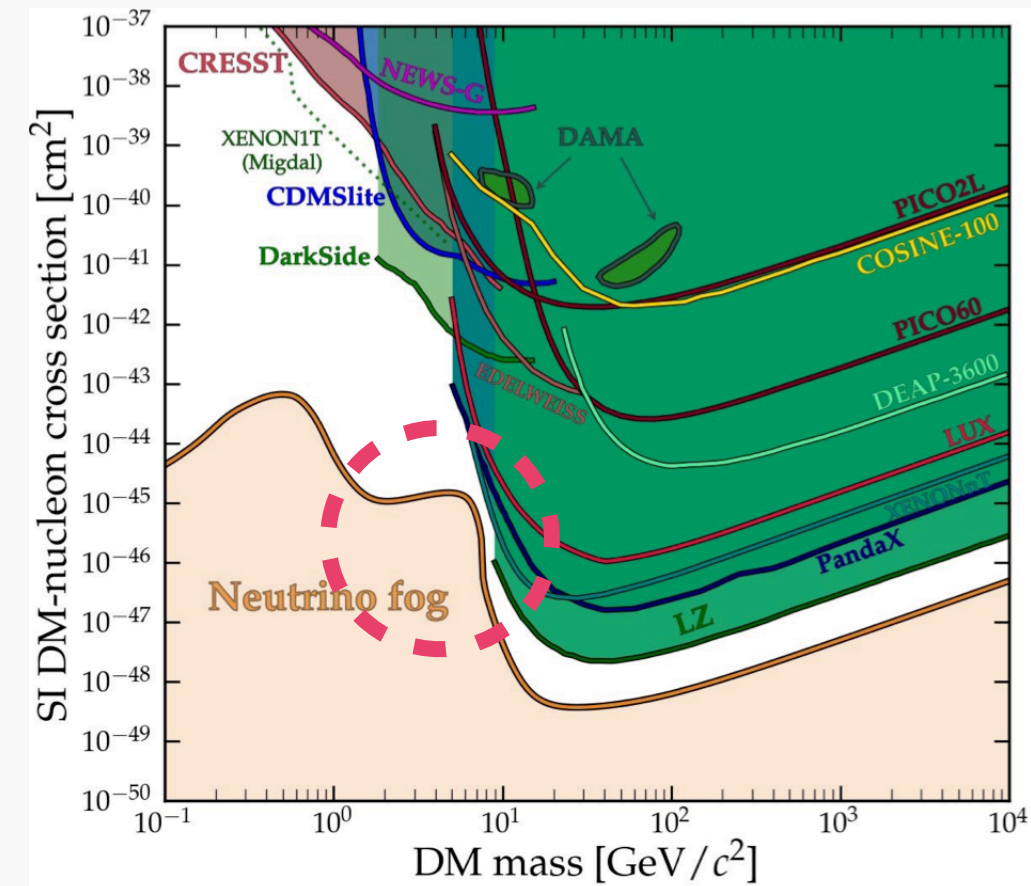
- ➔ 太陽ニュートリノによる原子核反跳検出

DM探索目線では削減できないBG

- ➔ 10 GeV付近でニュートリノフォグ到達

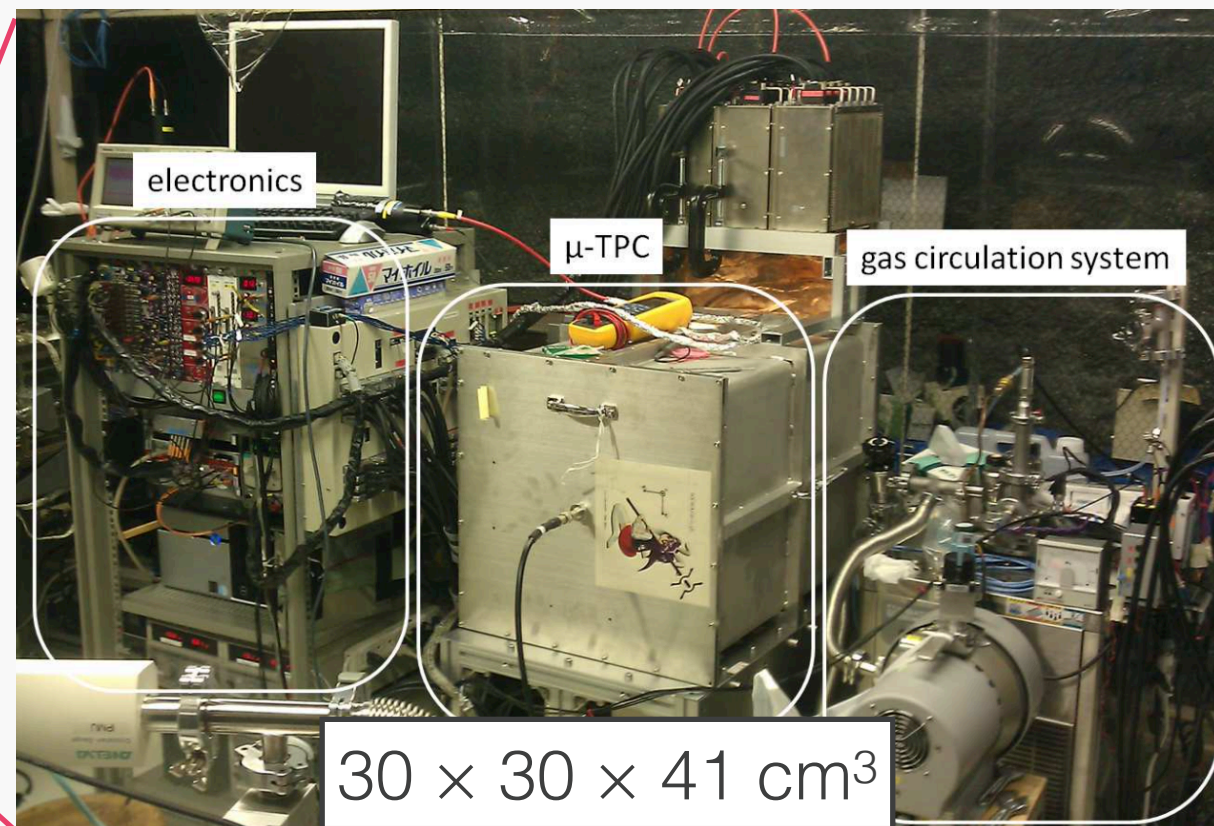
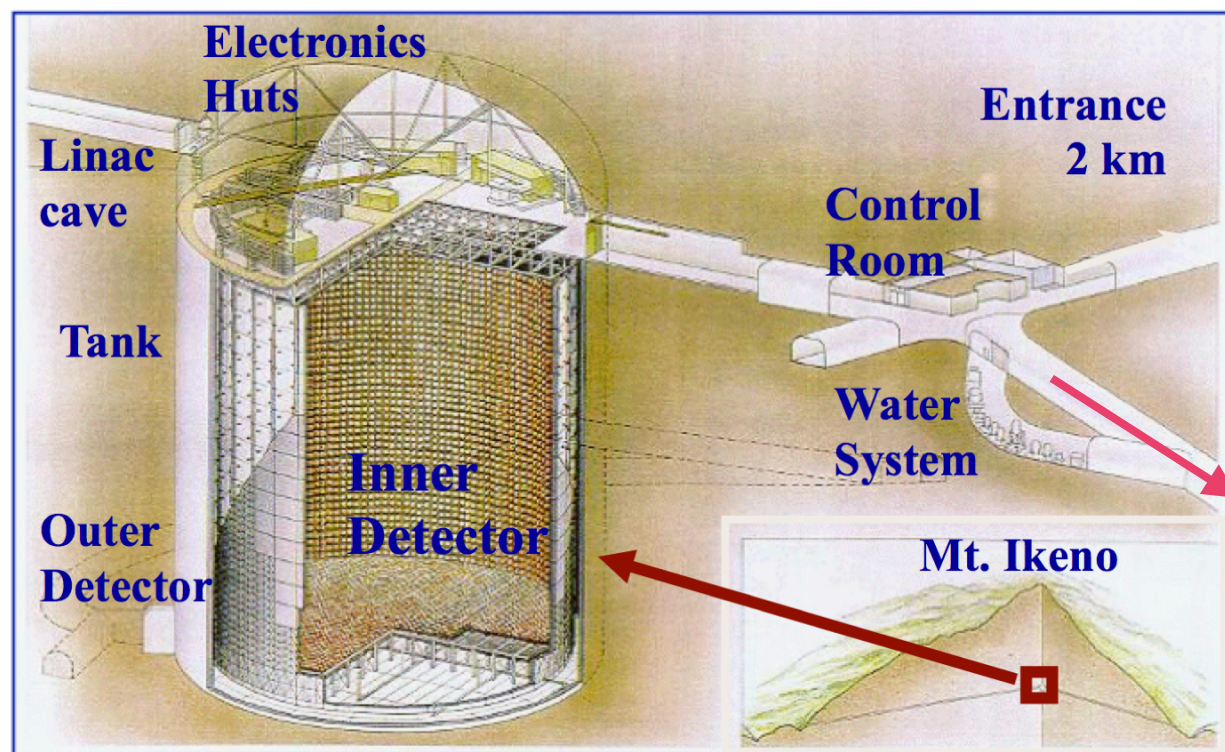
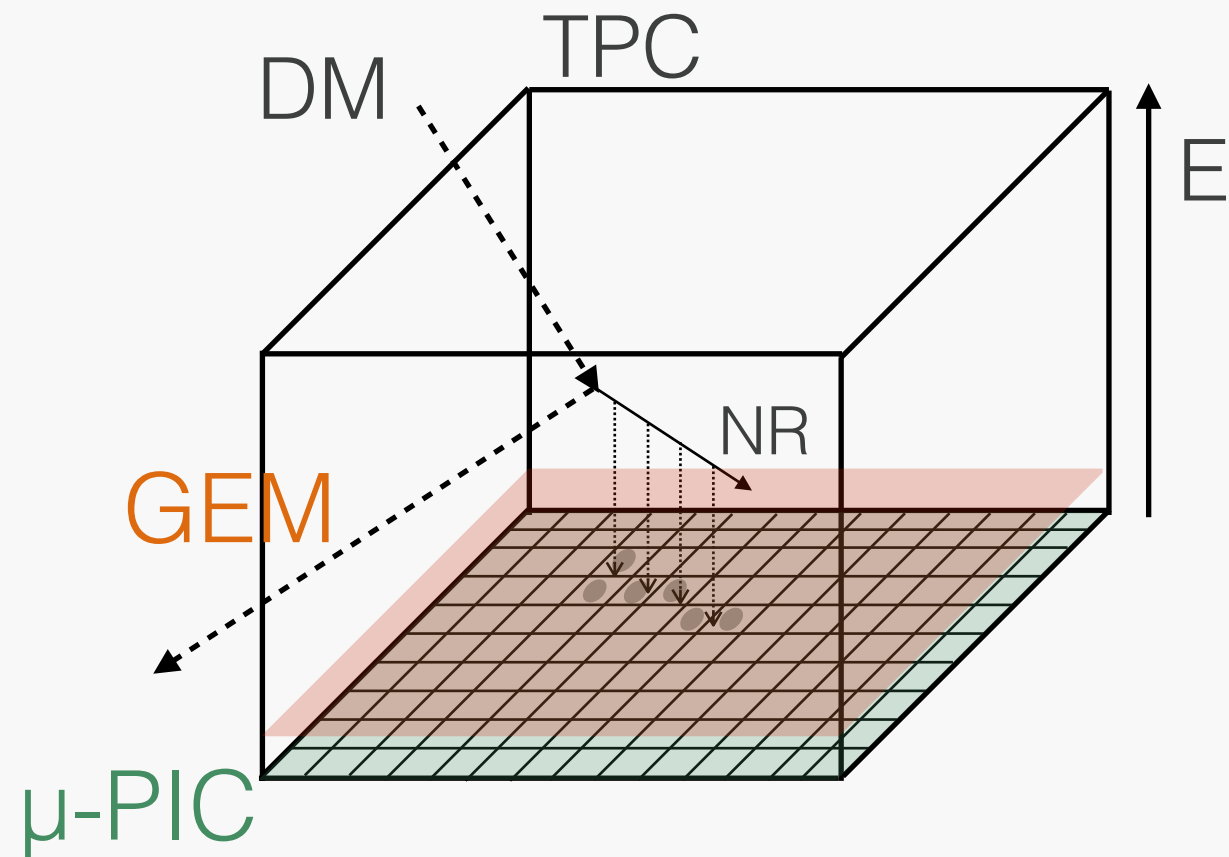
- 方向感度をもつ探索が開拓の解

➡ : 地球からみた相対的な運動方向



NEWAGE

- 神岡坑内 (Lab-B) での地下実験
- 低圧ガスTPCで暗黒物質探索
 - ➔ $30 \times 30 \times 41 \text{ cm}^3$ fiducial volume
 - ➔ 低圧 CF_4 ガス (0.1 atm)



NEWAGEロードマップ

2024

2025

2026

2027

...

2030

**地下測定
(~300実測日)**

CF₄、SF₆ガスでの基礎研究

2023年12月

低BG μ -PIC実装

ピクセル検出器試験
(小型検出器)

低BG μ -PIC
C/N-1.0に実装

2025年中

Module-1実装
地上測定開始

**Module-0, 1地下測定
(commissioning)**

低BG μ -PIC
C/N-1.0に実装
5モジュール使用

18モジュール運転
**1 m³ チェンバーで
地下測定**

2025年度
神岡坑内へ搬送

NEWAGE 0.3b''

30 × 30 × 41 cm³

C/N-1.0

1 m³

NEWAGEロードマップ

2024

2025

2026

2027

...

2030

地下測定
(~300実測日)

CF₄、SF₆ガスでの基礎研究

2023年12月

低BG測定をキーワードに
絶賛評価中

NEWAGE84: 東野 (本講演)

~~NEWAGE85: 柳~~ 取り消し

低BGの理解を深めて
C/N-1.0にフィードバック
その後地下実験へ

NEWAGE86: 生井

NEWAGE87: 身内

低BG μ -PIC

C/N-1.0に実装

C/N-1.0

2025年中

Module-1実装

地上測定開始

Module-0, 1地下測定
(commissioning)

低BG μ -PIC

C/N-1.0に実装

5モジュール使用

18モジュール運転

1 m³ チェンバーで
地下測定

2025年度

神岡坑内へ搬送

1 m³

NEWAGEロードマップ

2024

2025

2026

2027

...

2030

NEWAGE 0.3b''

地下測定
(~300実測日)

NEWAGEのlimit更新
0.3b, "低BG測定"

低質量探索
小型ピクセル"低閾値"

2023年12月

低BG測定をキーワードに
絶賛評価中

NEWAGE84: 東野 (本講演)

~~NEWAGE85: 柳~~ 取り消し

低BG μ -PIC

C/N-1.0に実装

低BGの理解を深めて
C/N-1.0にフィードバック
その後地下実験へ

NEWAGE86: 生井

NEWAGE87: 身内

試験

C/N-1.0

2025年中

Module-1実装

地上測定開始

Module-0, 1地下測定
(commissioning)

低BG μ -PIC

C/N-1.0に実装

5モジュール使用

18モジュール運転

1 m³ チェンバーで
地下測定

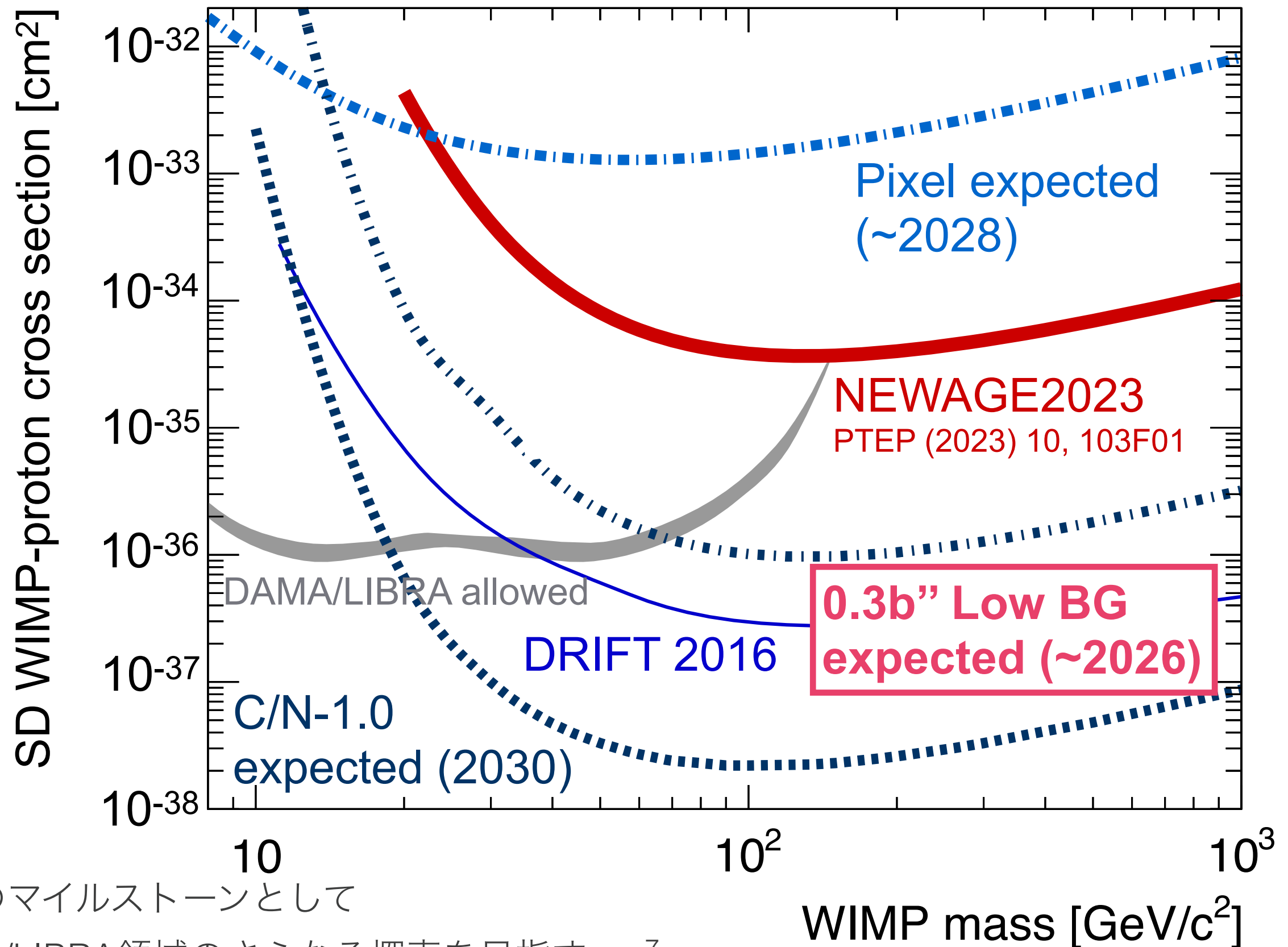
2025年度

神岡坑内へ搬送

DAMA/LIBRA領域到達
C/N-1.0, "大質量測定"

1 m³

Expected limits



直近のマイルストーンとして

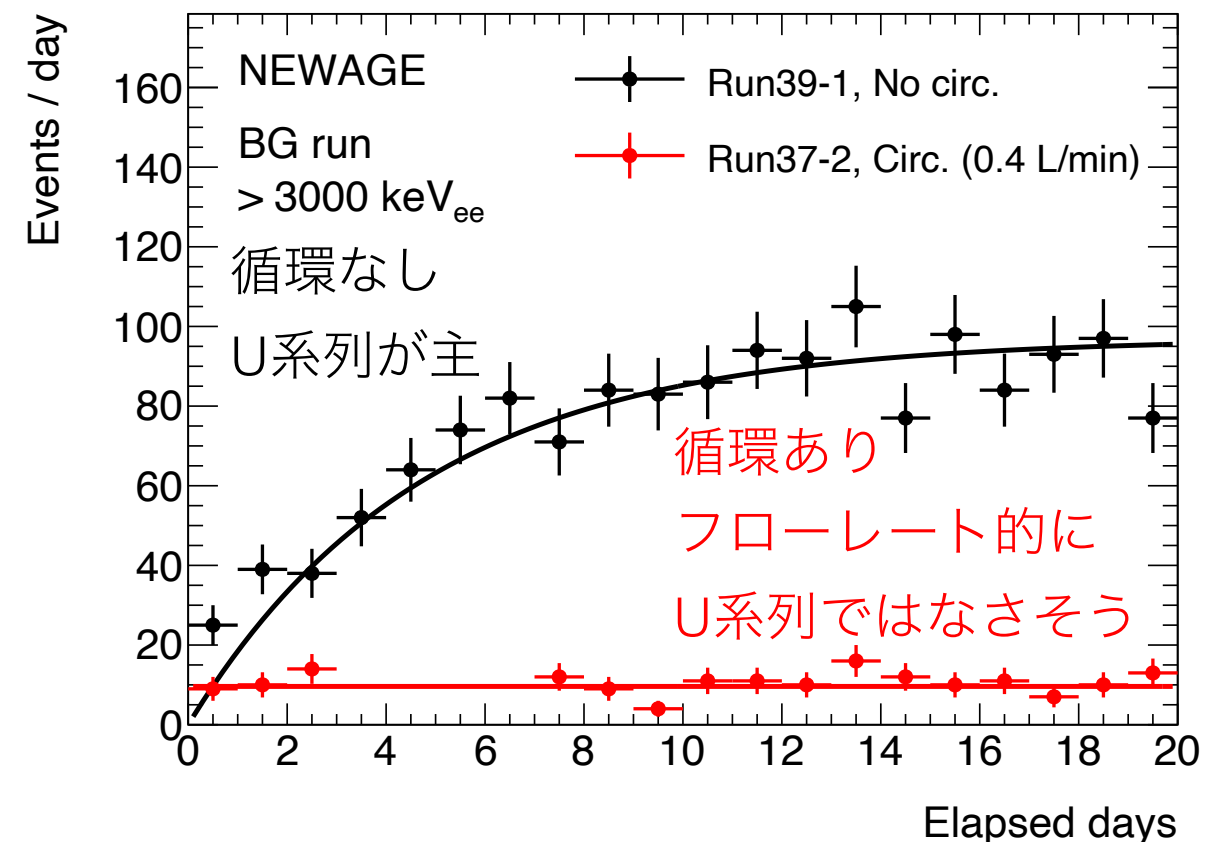
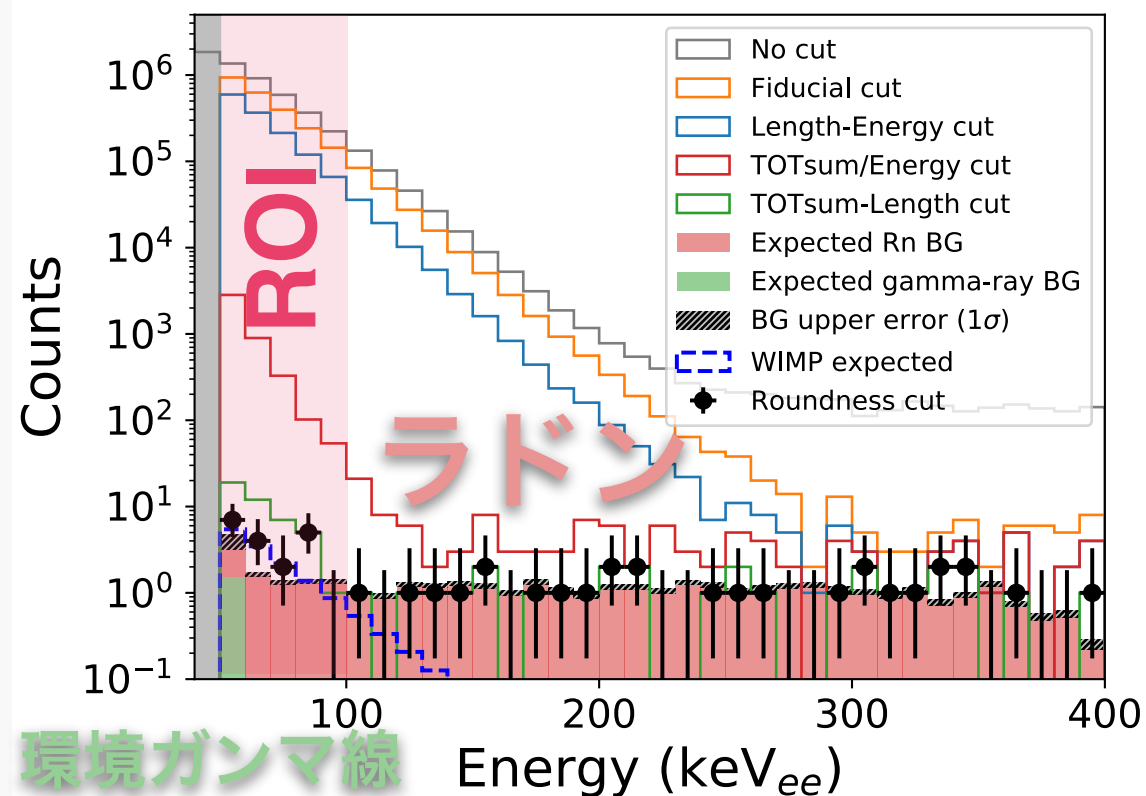
DAMA/LIBRA領域のさらなる探索を目指す

BG削減のstudy

現状のBG理解

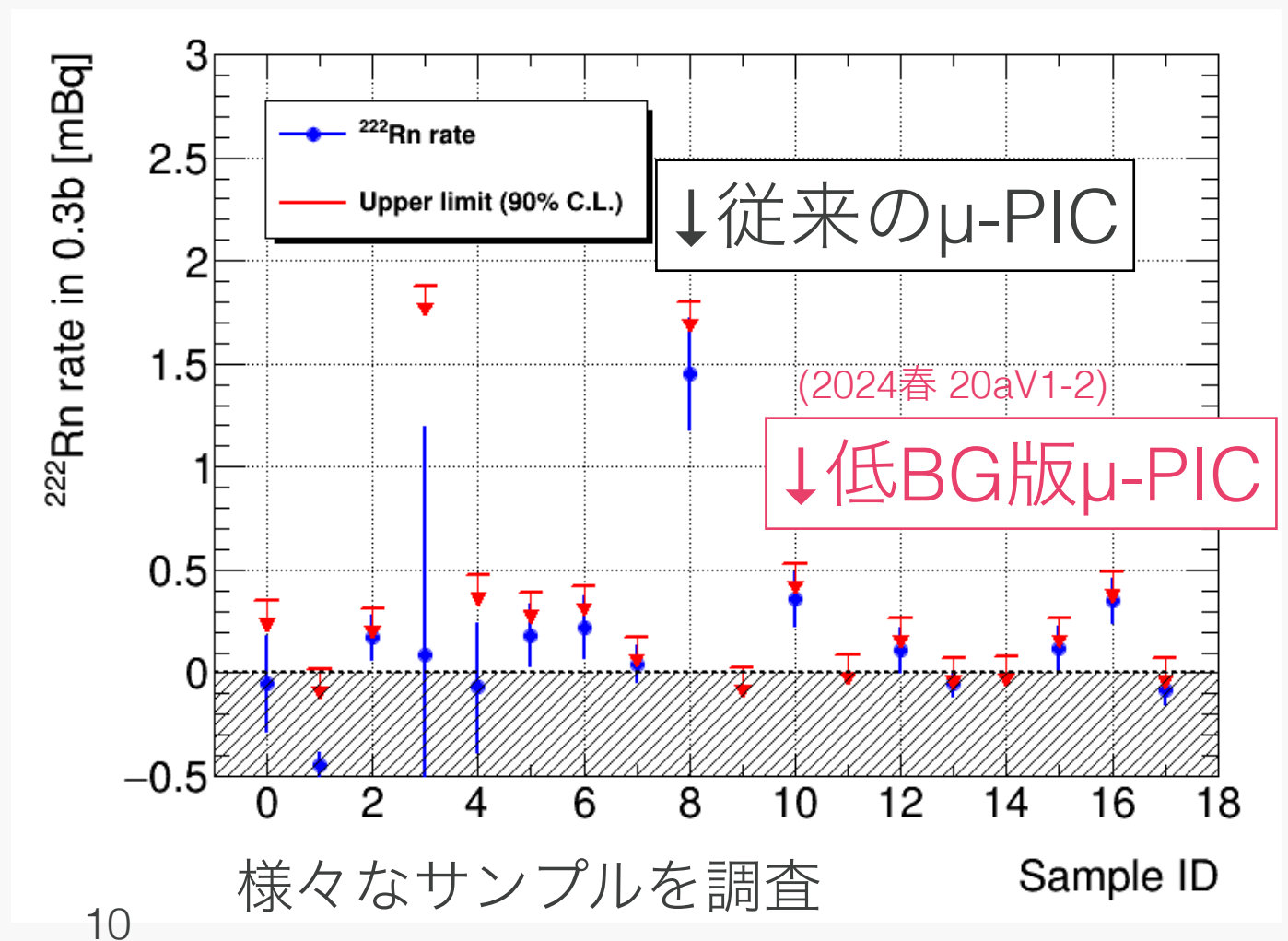
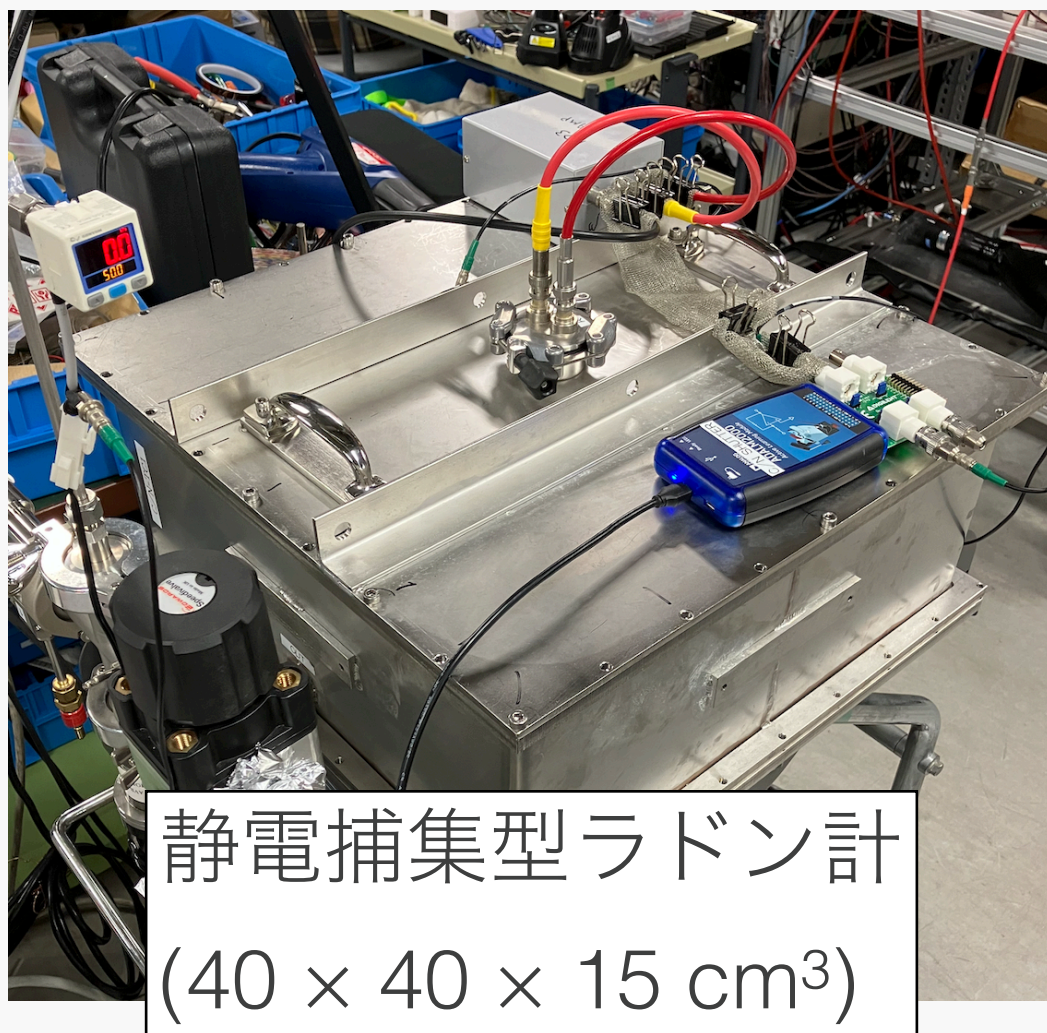
- 現状の問題はラドン由来のアルファ線BG
- ラドンフィルター含む循環系を用いたstudyを進めた
 - ➔ Th系列が主成分と思われる
 - ➔ 発生源の特定のため、チェンバー構成物の材質などを調査していた

PTEP2023 10, 103F01



チェンバー内構造物からの湧き出し調査

- TPCの電場形成ケージ等の構造物についてラドン湧き出し量調査
 - ➔ 自作した静電捕集型のラドン計を利用して ^{222}Rn , ^{220}Rn の量を調査
 - ➔ NEWAGE検出器が観測した ~ 5 mBq のラドン量は**説明できず**



循環系の改善

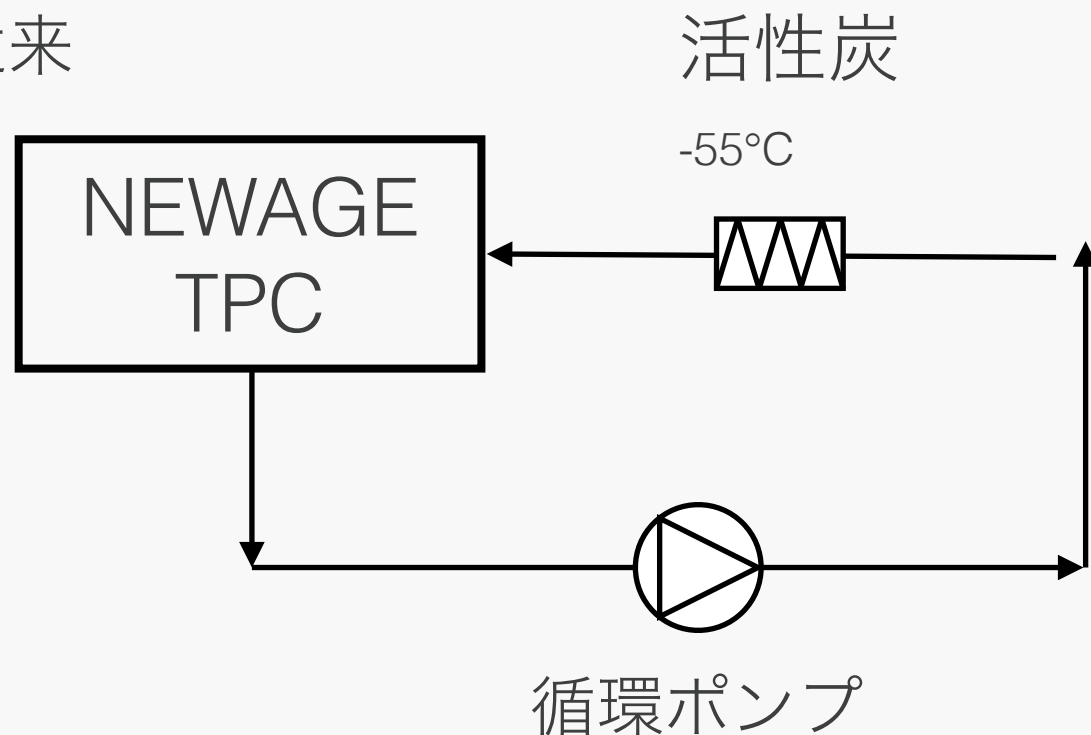
- 冷却活性炭フィルター系を疑って循環系を見直した

➡ **銀ゼオライトフィルター**を後段に導入 (8Ag-FER-B, 20 g 神戸大 竹内さんより拝借)

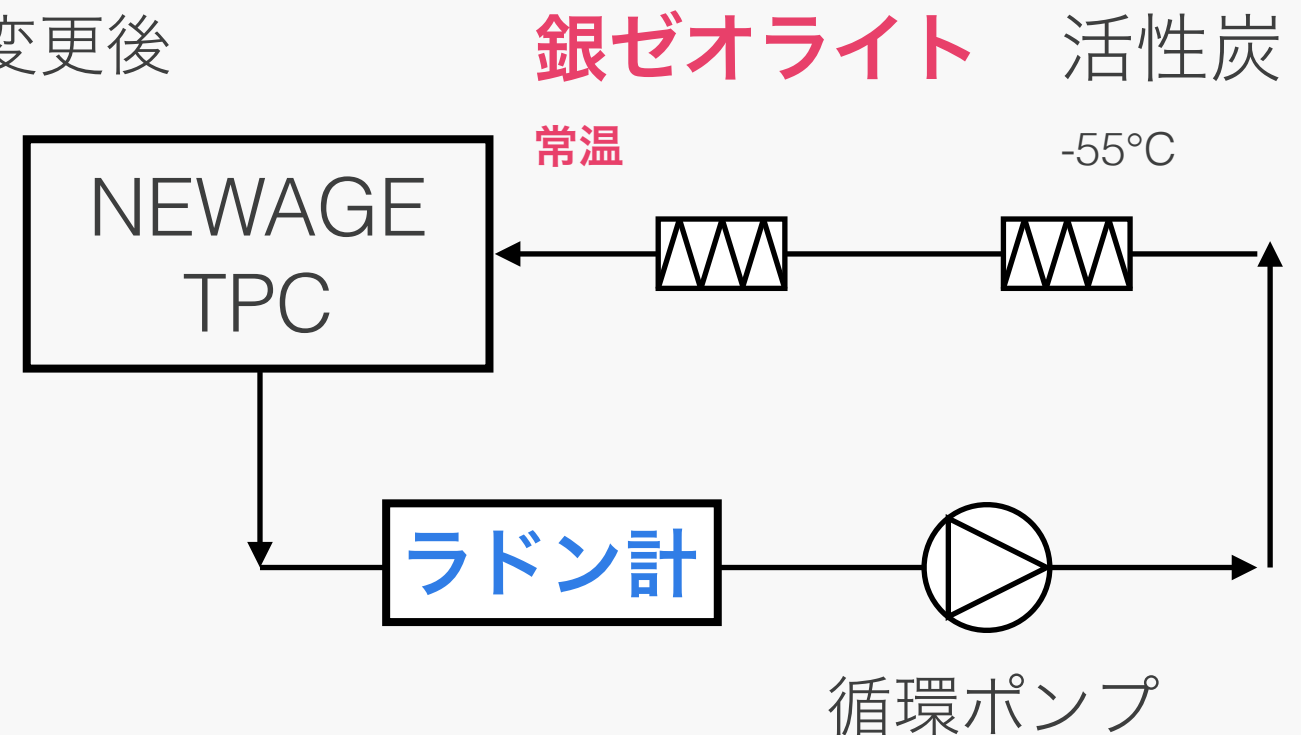
T.Sone, et al., PTEP (2025) 1, 013H01

➡ TPCのうしろに静電捕集型ラドン計も設置、U/Th系列の特定も試みる

従来



変更後



循環系の改善

銀ゼオライトフィルター
1/2" U字管に導入

ラドン計
容量: 3.8 L

循環系を見直した

導入 (8Ag-FER-B, 20 g 神戸大 竹内さんより拝借)

計も設置、U/Th系列の特定も試みる

変更後

銀ゼオライト 活性炭

常温

-55°C

NEWAGE
TPC

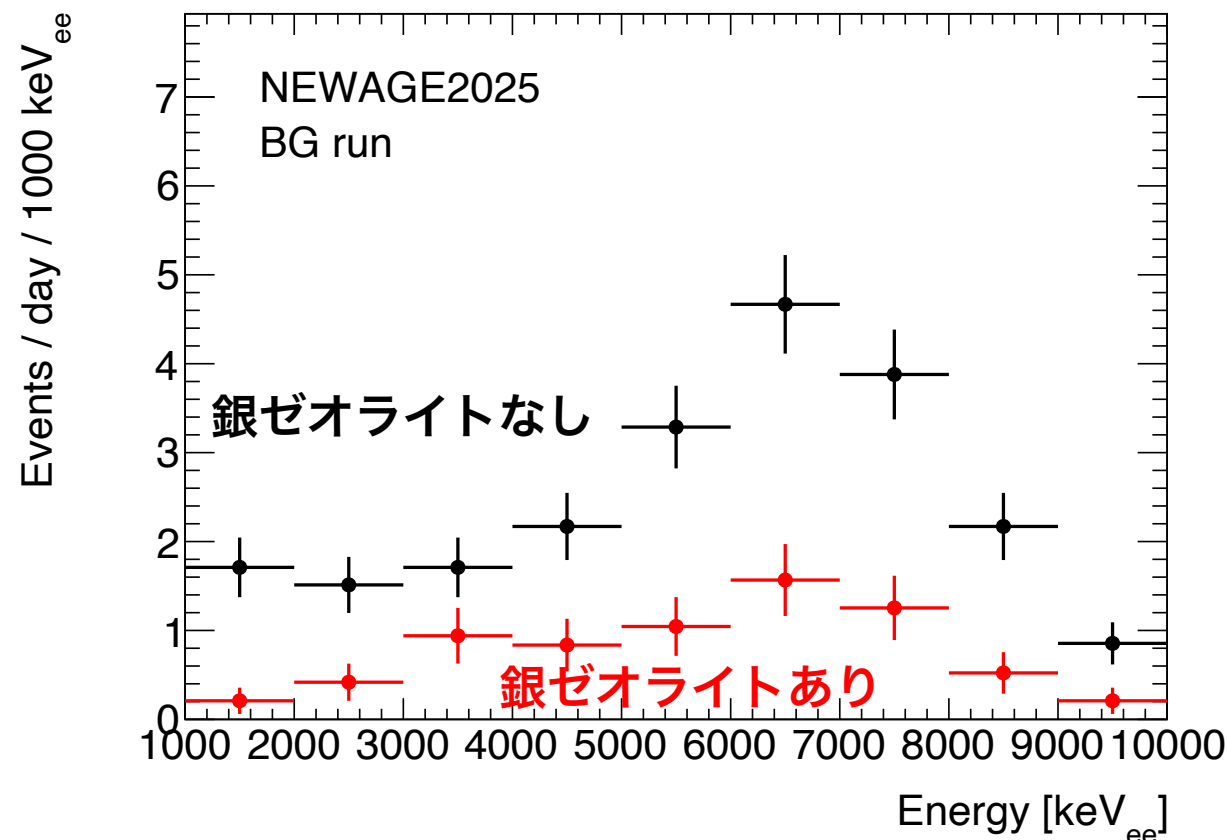
ラドン計

循環ポンプ

銀ゼオライトフィルター導入後

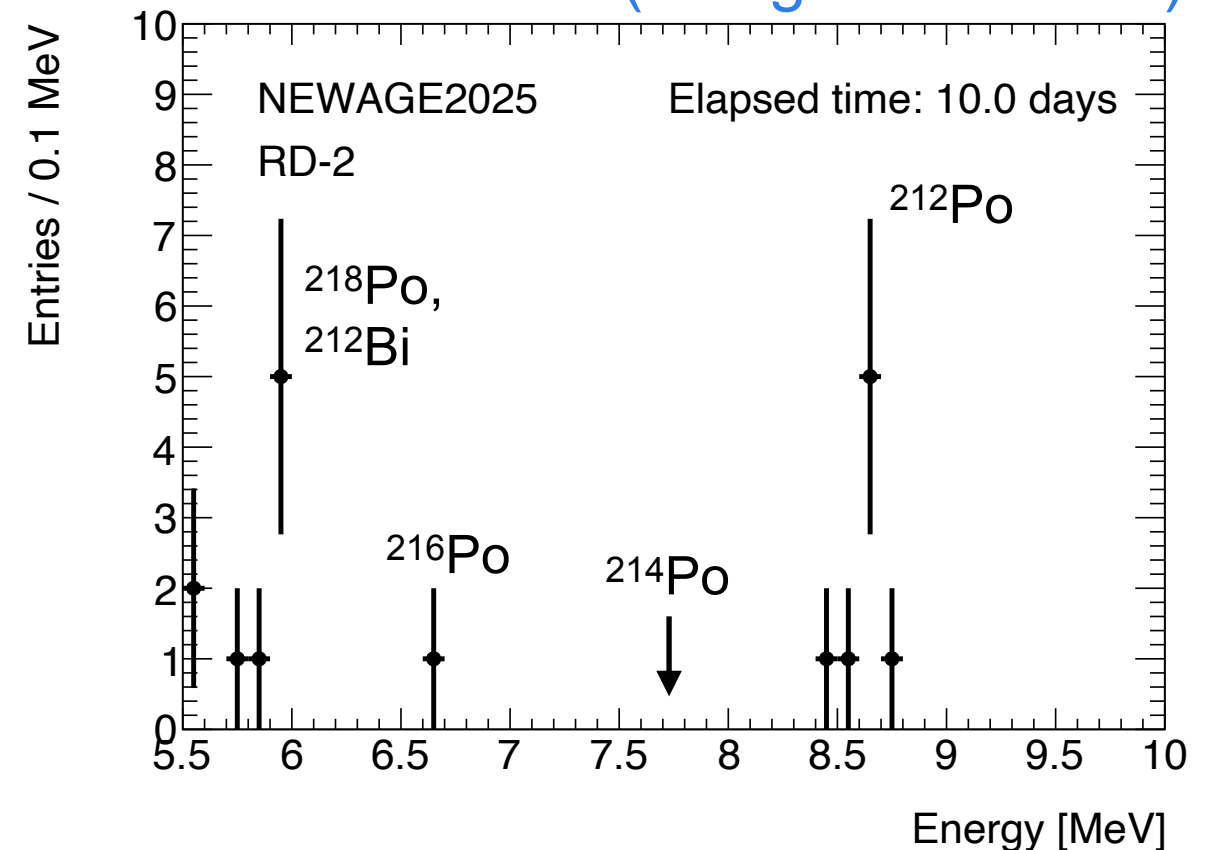
- 銀ゼオライトフィルターあり、なし (バイパス) でBG測定
 - 各10日間ほどのlifetimeでレート比較
- ラドン量を1/3に削減することに成功、残りはやはりTh系列

NEWAGE TPC



1/3に削減成功！

Radon detector (w/ Ag-zeolite circ.)



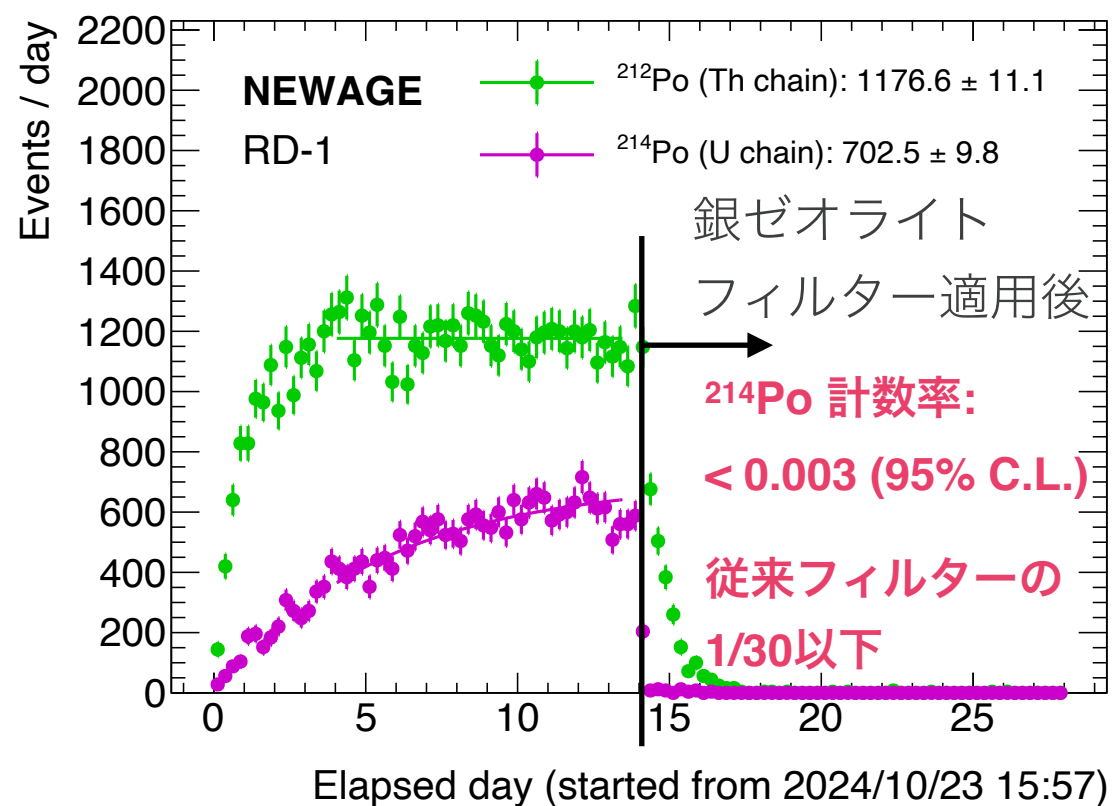
予想通りTh系列が残留

(銀ゼオライトなしでもTh系列のみ残る)

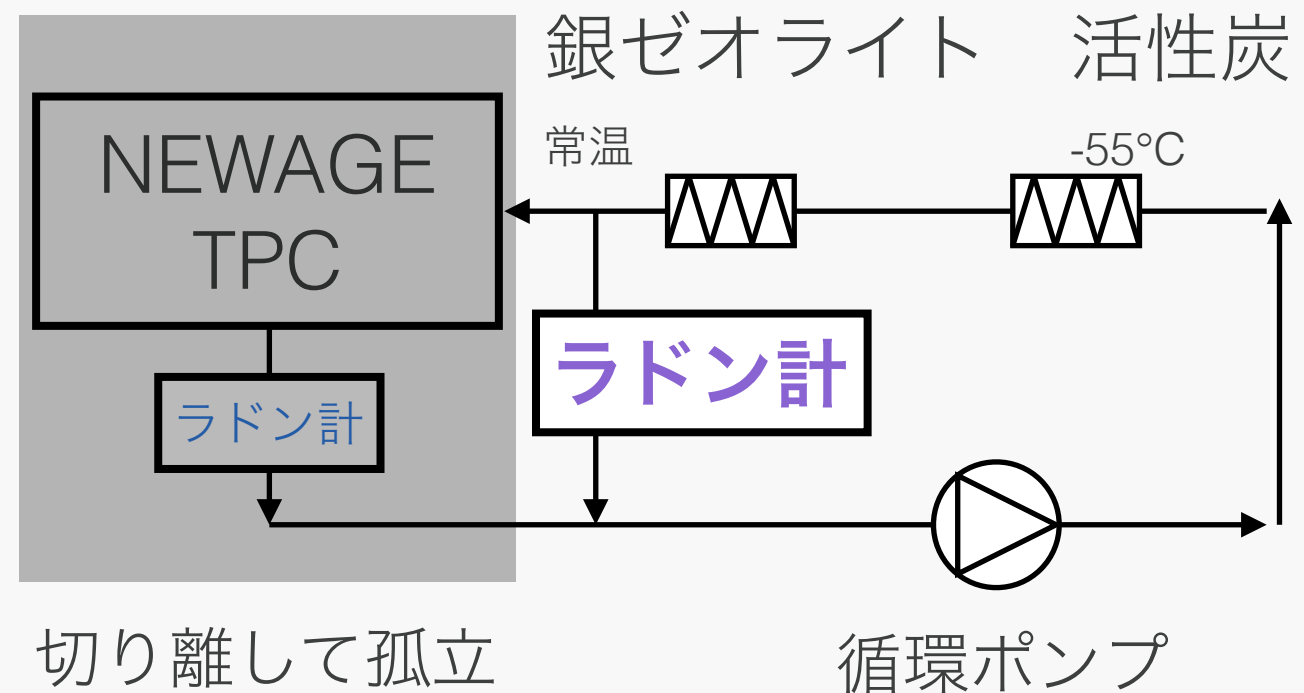
今後の課題

- 極低BG環境の実現に向けさらなる改善へ
 - ➡ 単純に銀ゼオライトフィルター追加で達成可能か要調査
 - ▶ 実験室での試験時と比べると削減量が少ない
 - ➡ 結局どこがRI源となっているか、調査は必須

神戸大実験室での試験



神岡坑内で実施中の試験



先日測定開始!

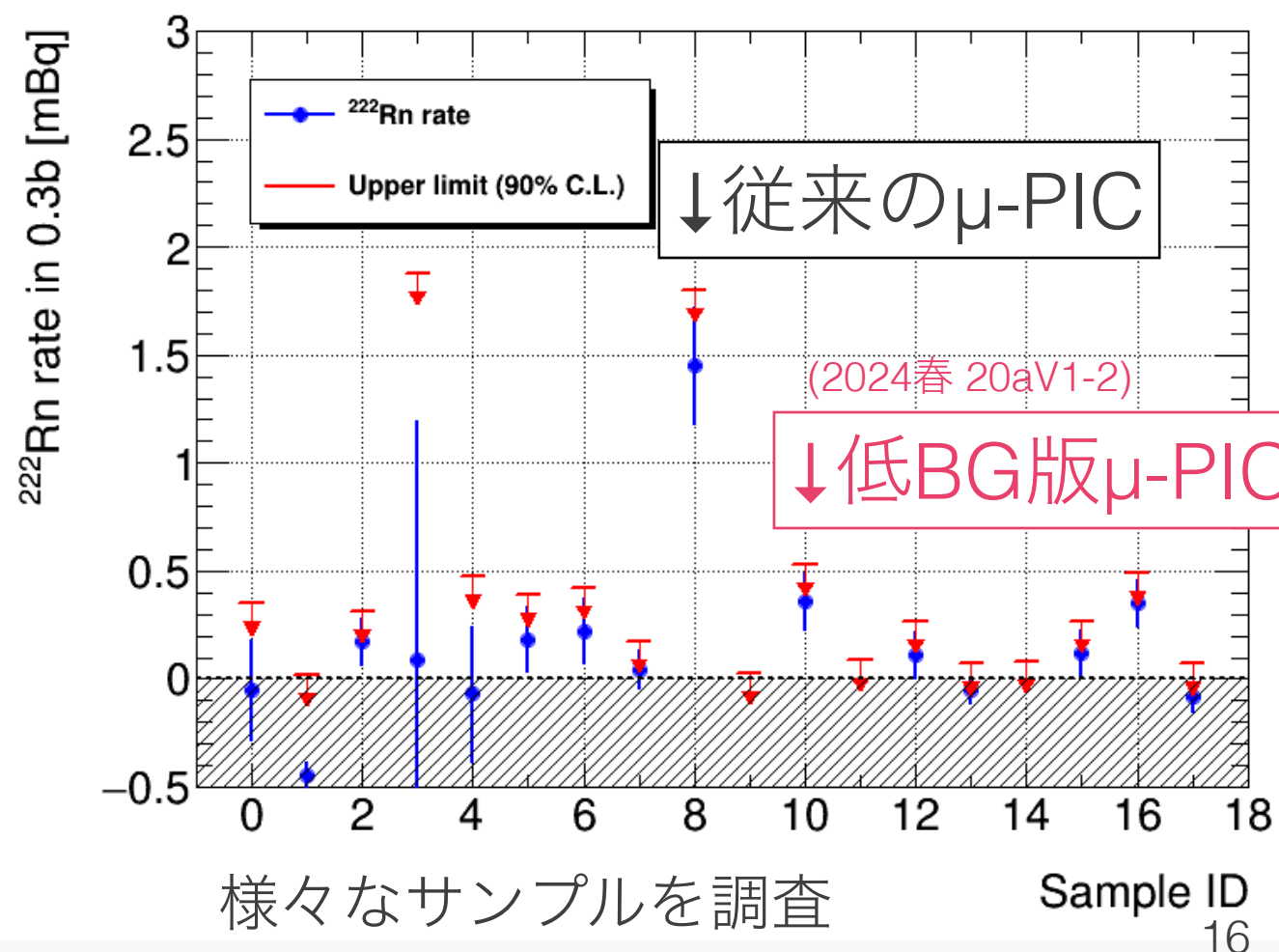
結論

- NEWAGE地下実験の高感度化に向けBG削減が必須
 - ➡ ガス中の不純物 (ラドン) フィルター強化で改善
 - ▶ 「銀ゼオライト」が効果大
 - ▶ Th系列がガス中に残ることを改めて確認、BGの理解進んだ
 - ➡ 一方、RI源の特定やフィルター挙動のstudy継続は必須
- 地下実験で極低BG実験の実績、経験を積んでから大型化へ

Backup

測定したサンプル

- ラドン計で測定したサンプルとIDの対応
 - ➡ NEWAGE TPC内で観測されるラドン量に換算
 - ➡ ^{222}Rn についてのみ表示しているが、 ^{220}Rn についても測定、有意なRI源は見つからず

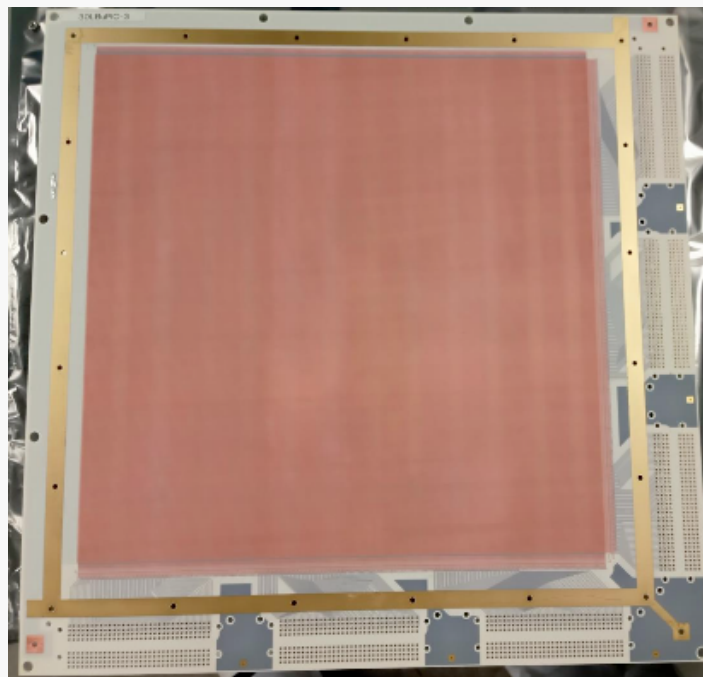


ID	Sample	measured amount	0.3b amount
0	CRボード	2枚	6枚
1	コネクタ (w/ 30LBGuPIC_4)	12個	12個
2	10Bプレート	1枚	1枚
3	Oリング	1.1e+2 cm2	6.4e+2 cm2
4	抵抗	60個	160個
5	グリース (モノタロウ)	13.9g	-
6	NW25 Oリング 液状ガスケット 鉛フリーはんだ	4個 6.2g 18.2g	-
7	NW25 Tコネクタ グリース (信越) フィードスルー 耐電圧ケーブル	1個 10.5g 2個 16.2cm	-
8	30LAuPIC_3 (裏面)	1枚	1枚
9	30LBGuPIC_4 (裏面)	1枚	1枚
10	フィードスルー	1個	1個
11	PEEK	2.41e+3 cm2	1.2e+4 cm2
12	PEEK天井板	1枚	1枚
13	PEEK蓋	1枚	1枚
14	銅線	10 m	150 m
15	チェンバー拭き取り紙 (ケージ内)	4枚	-
16	チェンバー拭き取り紙 (ケージ外)	9枚	-
17	10Bプレート (0.3bで使用済み)	1	1
18	EVOH	(41 cm)^2	-

内部ラドン削減への試み

- ガスチェンバー内の構造物から湧き出す
 - ➔ U/Th系列のRIが崩壊して貴ガスのラドンを放出
 - ➔ 崩壊で出てきたalpha線が壁 (主に天井と床) に当たり短飛跡にfake

低RI含有の検出器開発



“Low BG μ -PIC”の開発

U系列のラドンを一桁低減

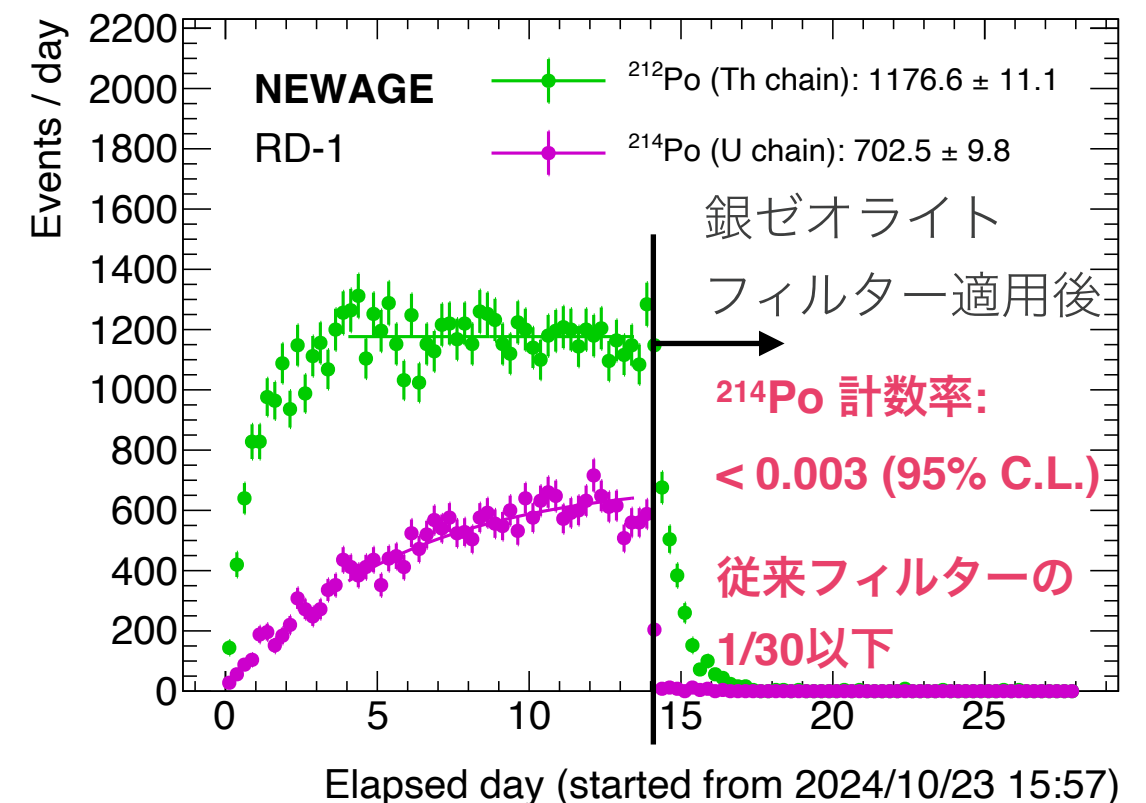
NIMA 1072 (2025) 170145 → 神岡検出器に実装済

ガス循環システムのラドンフィルター改善



銀ゼオライト

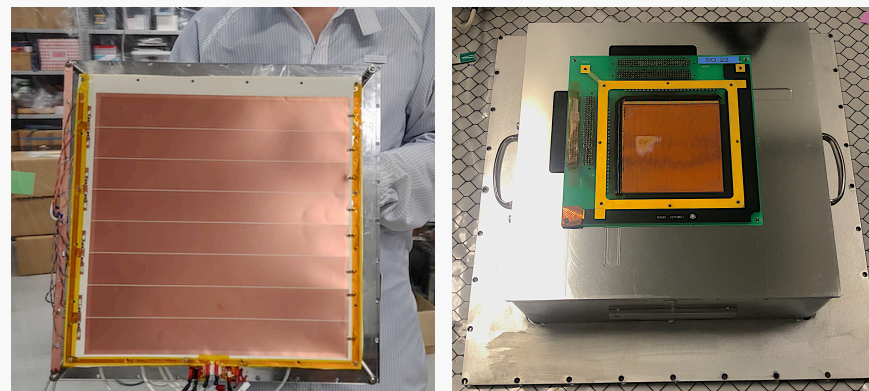
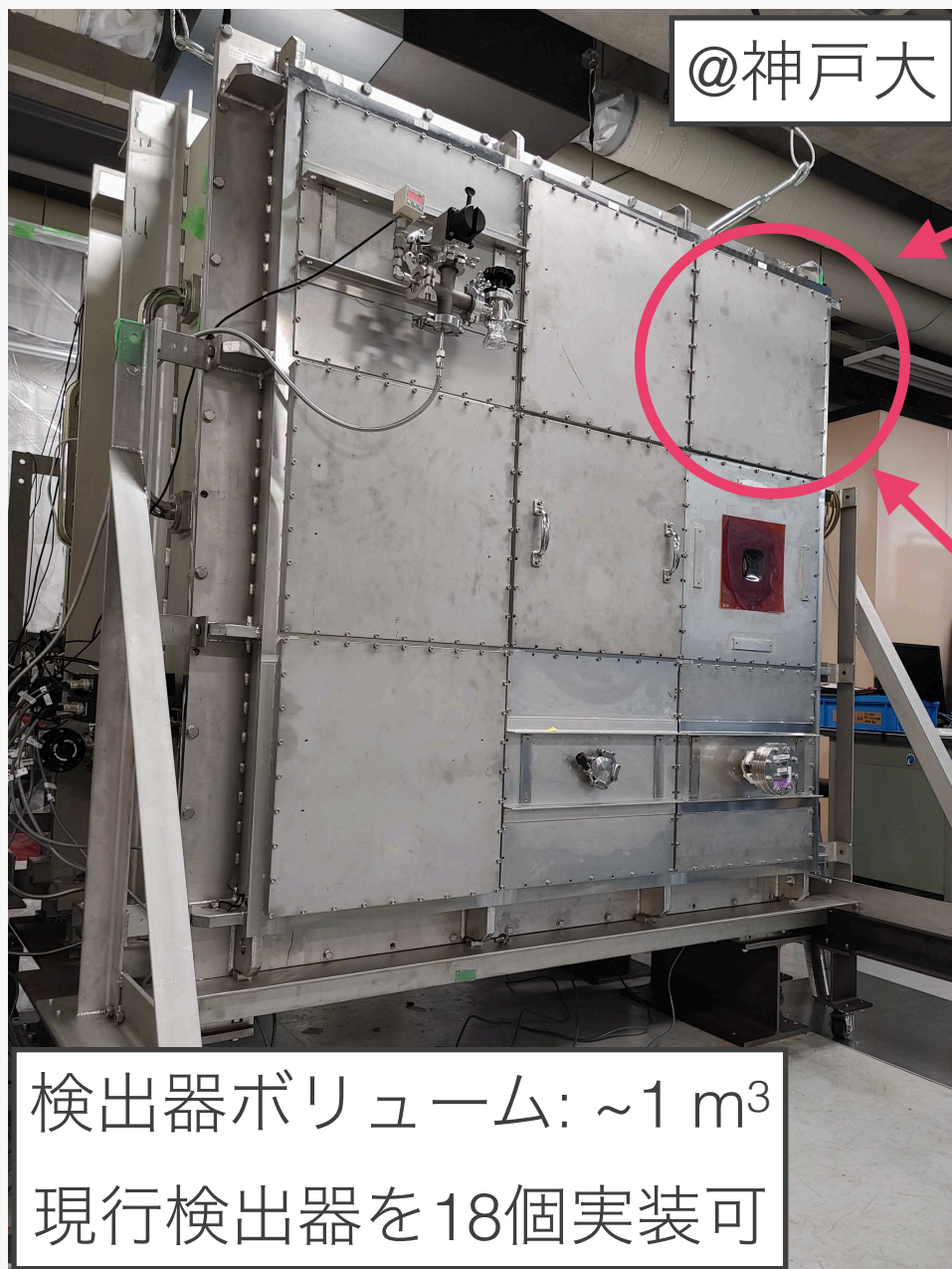
8Ag-FER-B 20g
(神戸大 竹内さんより拝借)



Th系列のラドン低減が直近の課題

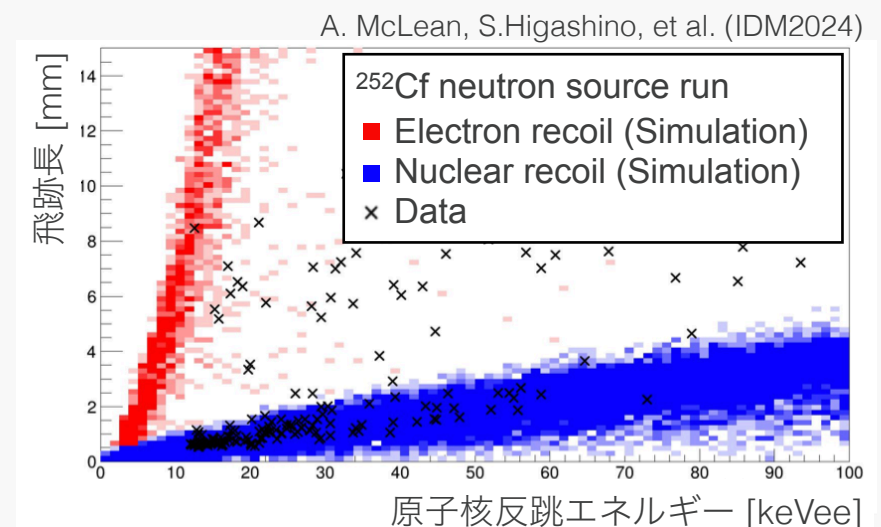
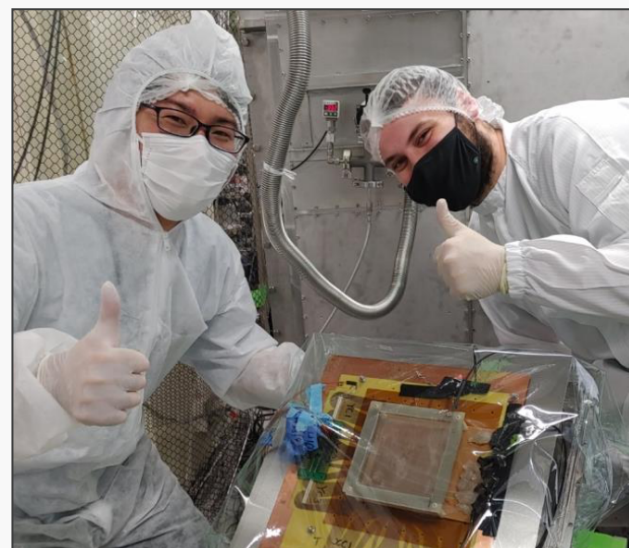
CYGNUS-KM / NEWAGE (C/N-1.0)

- モジュールデザインの大規模検出器、チェンバーやガス循環系など準備完了 @神戸大
 - ➔ モジュール型検出器を開発、調整中 (神戸大、シェフィールド大ほかCYGNUSコンソーシアム)
- 地下実験でのBG理解➔大規模検出器へフィードバックを図り“極低BG検出器”として地下へ



開発、評価中の2種類の
“モジュール型”検出器

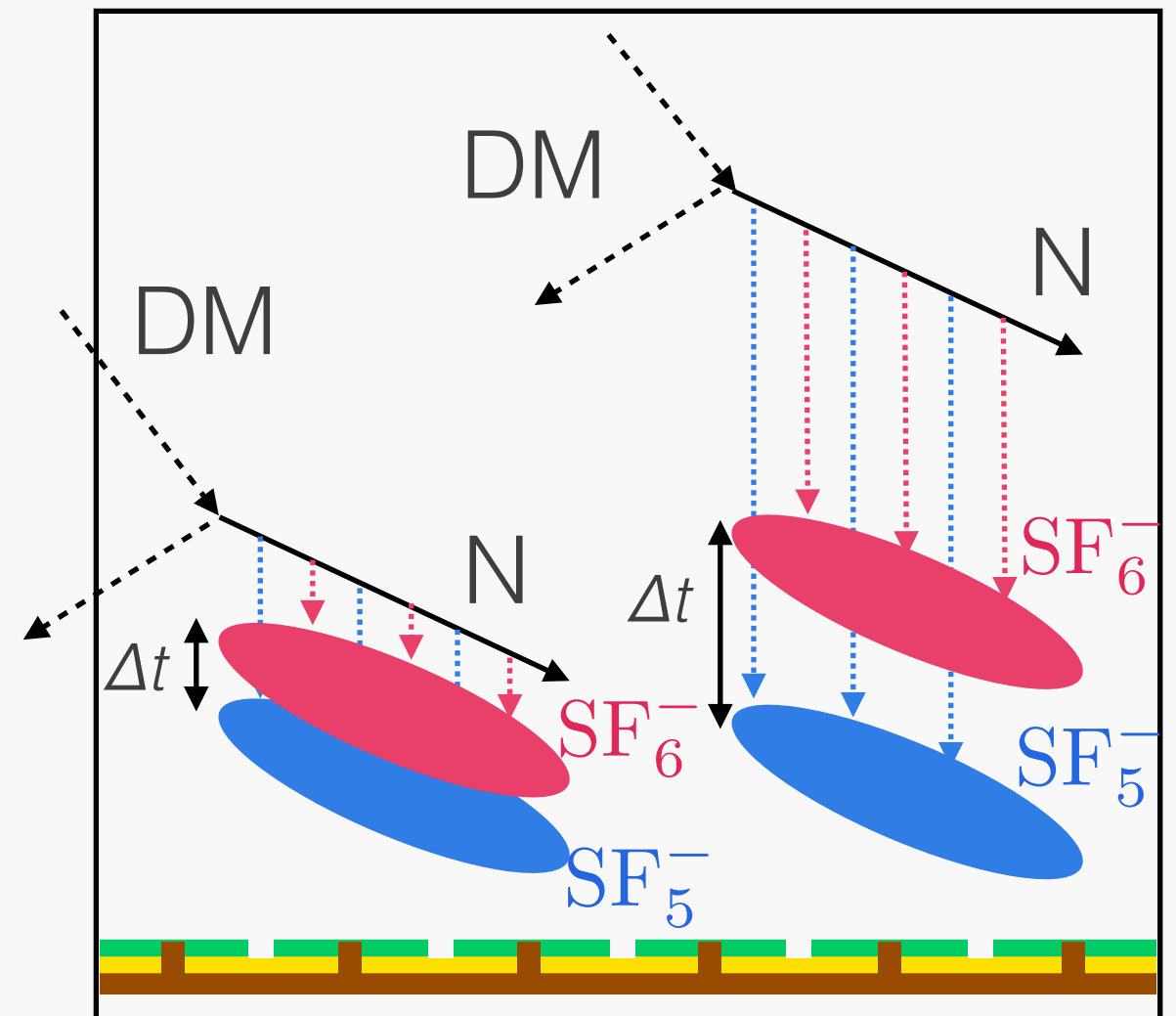
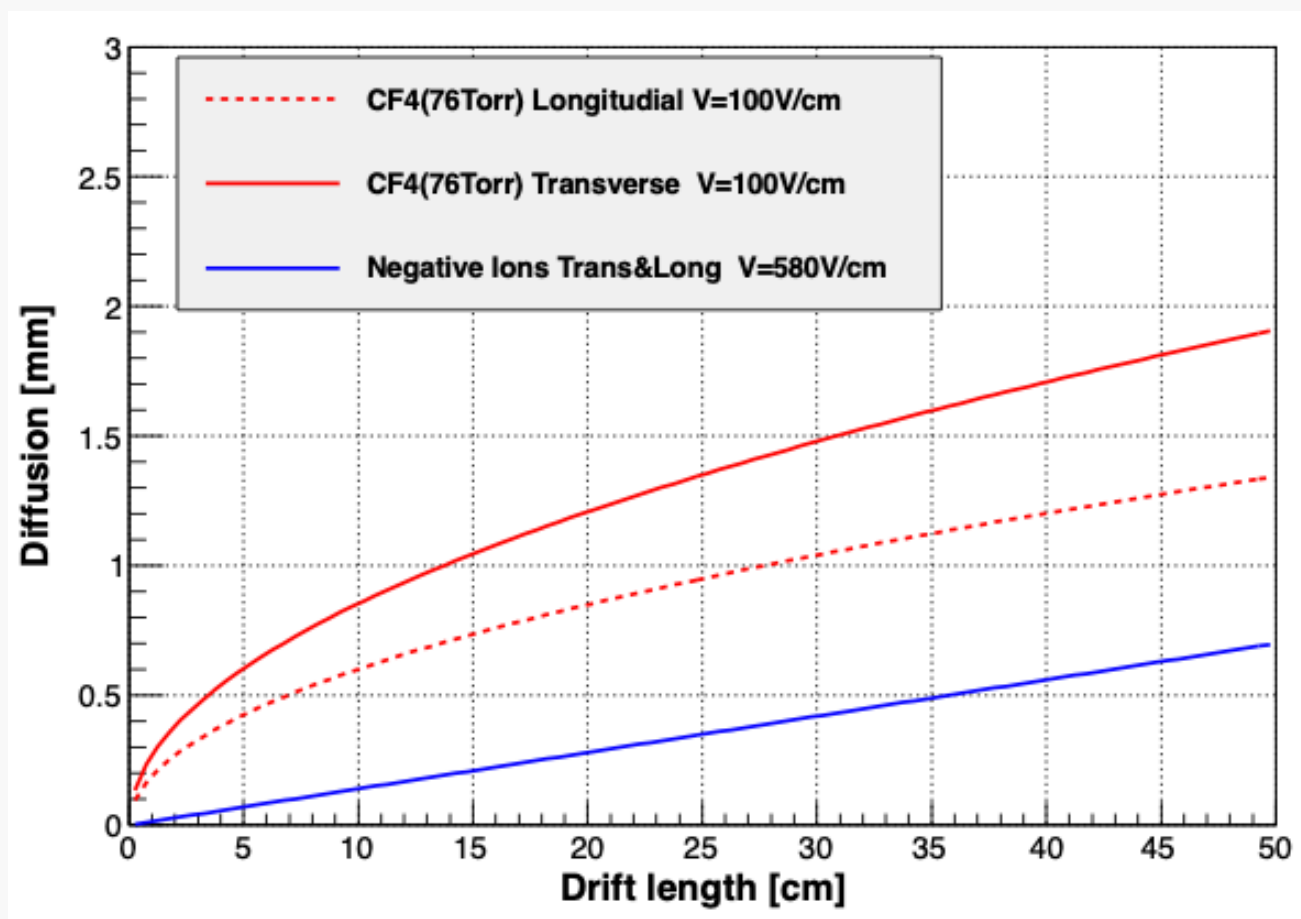
国際共同研究“**CYGNUS**”コンソーシアムを形成
英国シェフィールド大との共同研究を牽引、**国際研究基盤確立**



低エネルギー閾値化

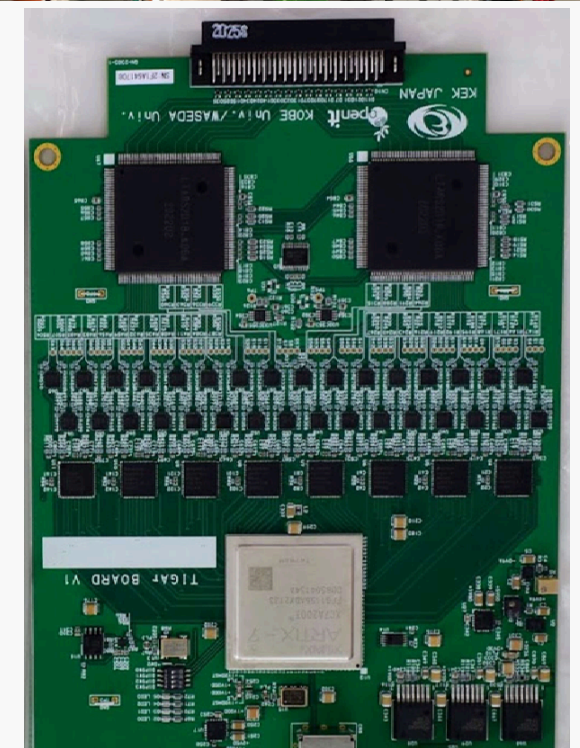
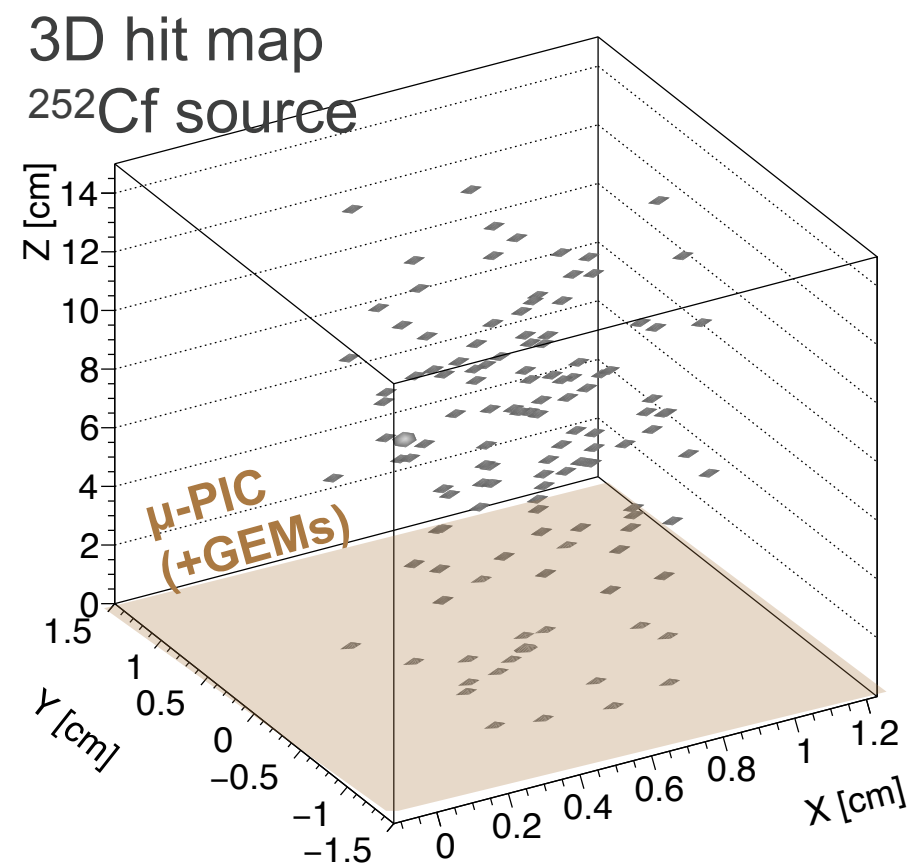
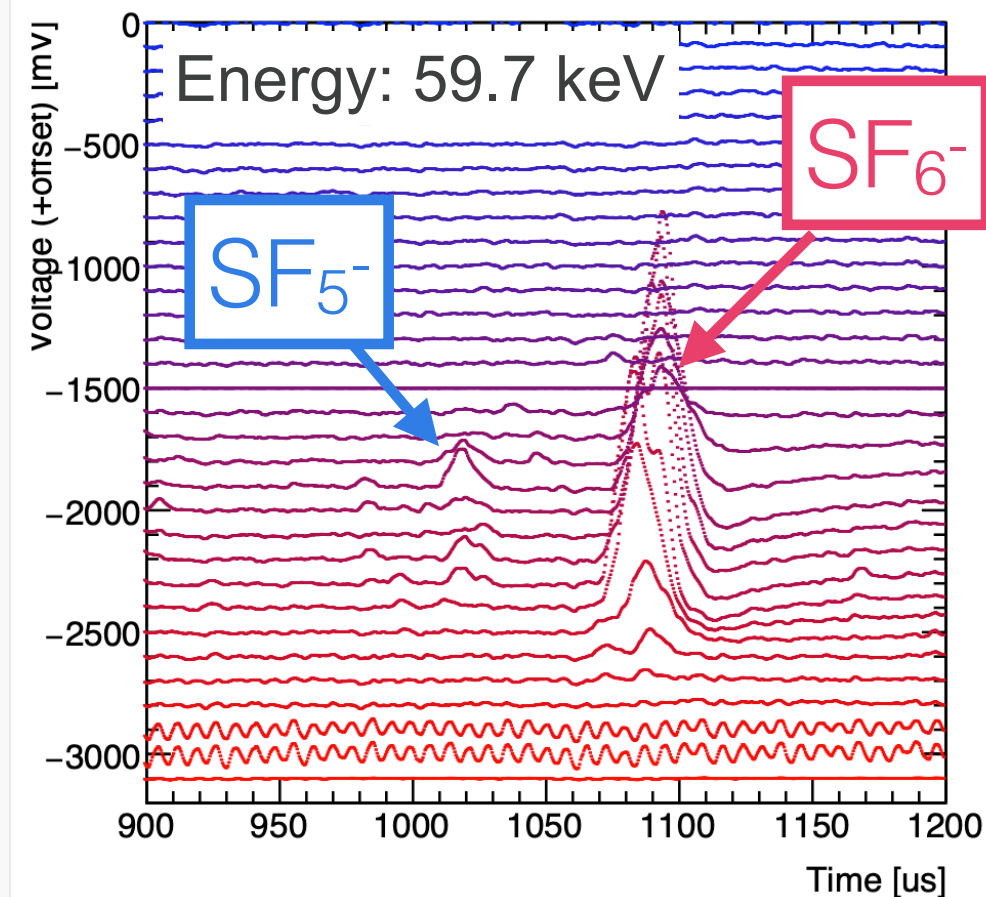
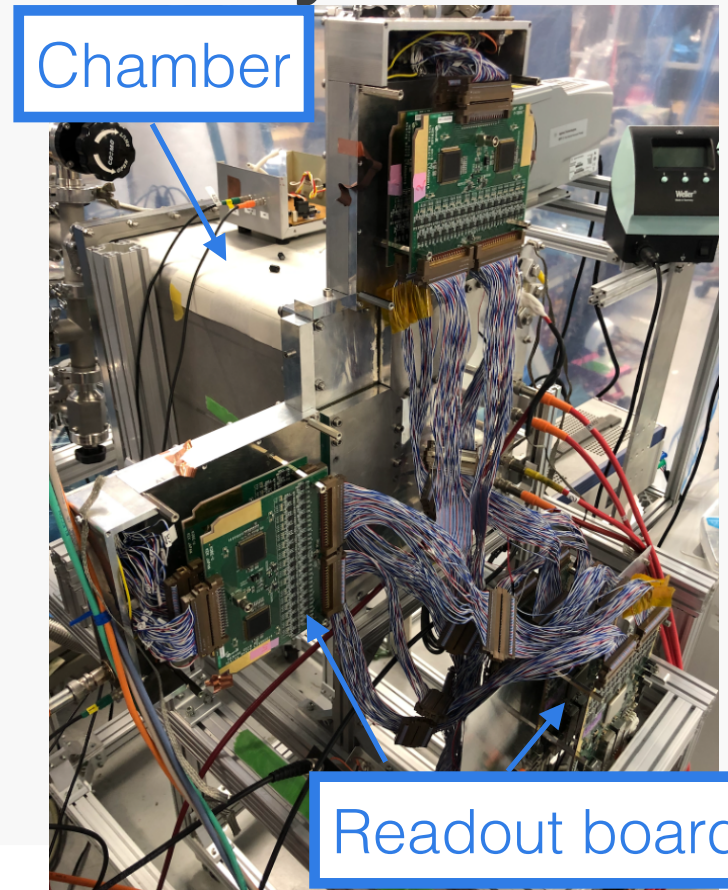
低エネルギー = 短飛跡検出に向けた戦略

- 問題点はドリフト電子の拡散と読み出しピッチ
 - ➡ “陰イオンガス” を微細読み出しで勝負
 - ▶ ガス分子が電離電子をアタッチ、大きく重たい陰イオン形成→ゆっくり低拡散なドリフト
- 陰イオンガスにSF₆ガスを選択→絶対位置の再構成可能 (BG削減に有力)



低拡散な陰イオンガスのstudy

- 暗黒物質探索への適用はまだされていなかった
 - ➔ 専用のエレクトロニクスファームウェア開発
 - ➔ 原子核反跳の絶対位置での3次元飛跡再構成を初実証
 - ▶ arXiv: 2302.10725 / 2023 JINST 18 C06012
- 角度分解能等の評価に向けて研究継続中



微細ピクセル読み出し

- 従来の位置読み出し検出器は**400 μm ピッチのストリップ型**
 - ➔ SF_6 で拡散を抑えられたいま、より微細なピッチで短飛跡検出が可能に
- 次世代検出器として**250 μm ピッチのピクセル検出器**開発に着手
 - ➔ ガス検出器 + 得意分野の高集積エレクトロニクス開発で勝負、**研究を立ち上げた**

