

NEWAGE実験88: 低BGガスTPCを用いた 暗黒物質探索地下実験

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

2026年 3月 25日

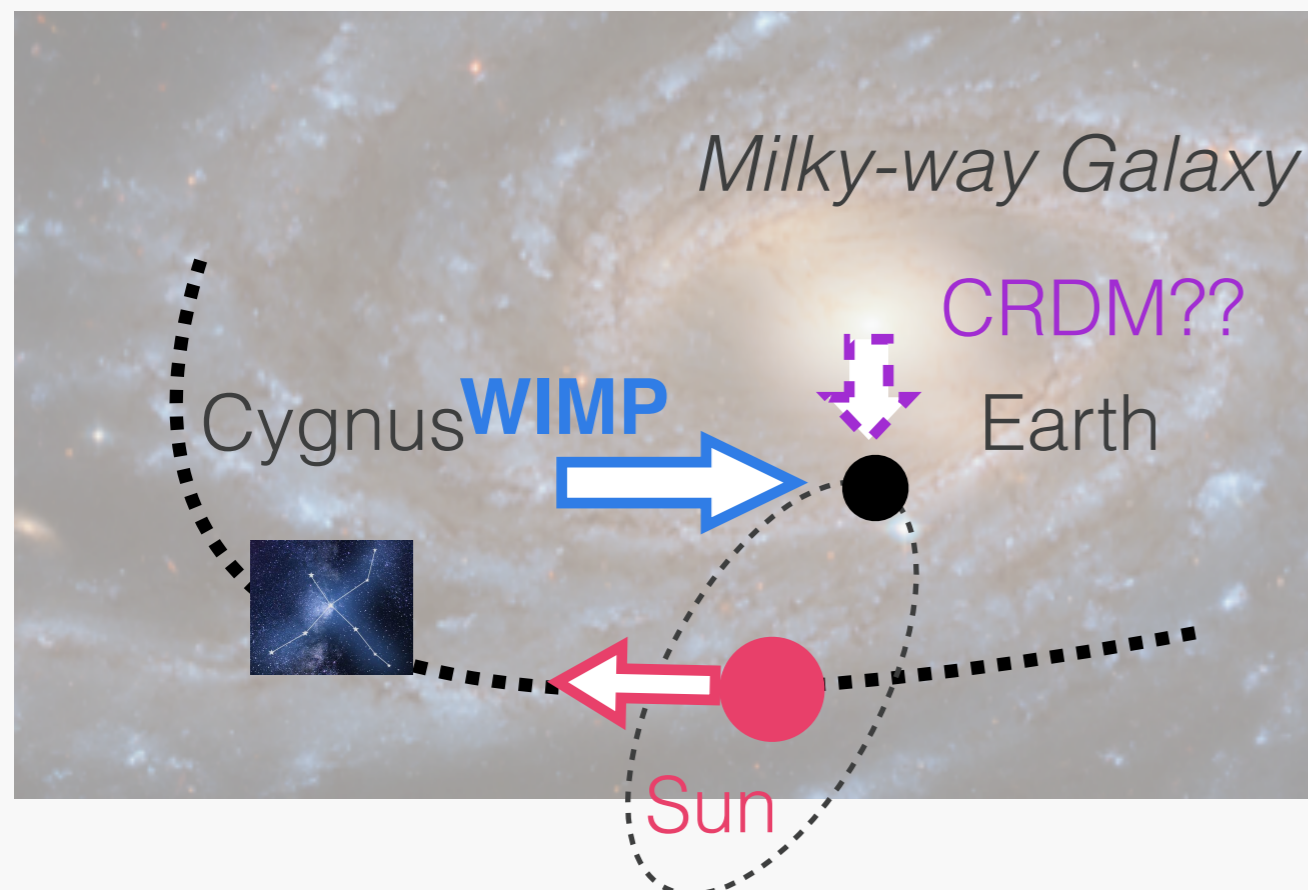
イントロダクション

方向感度をもつ暗黒物質探索

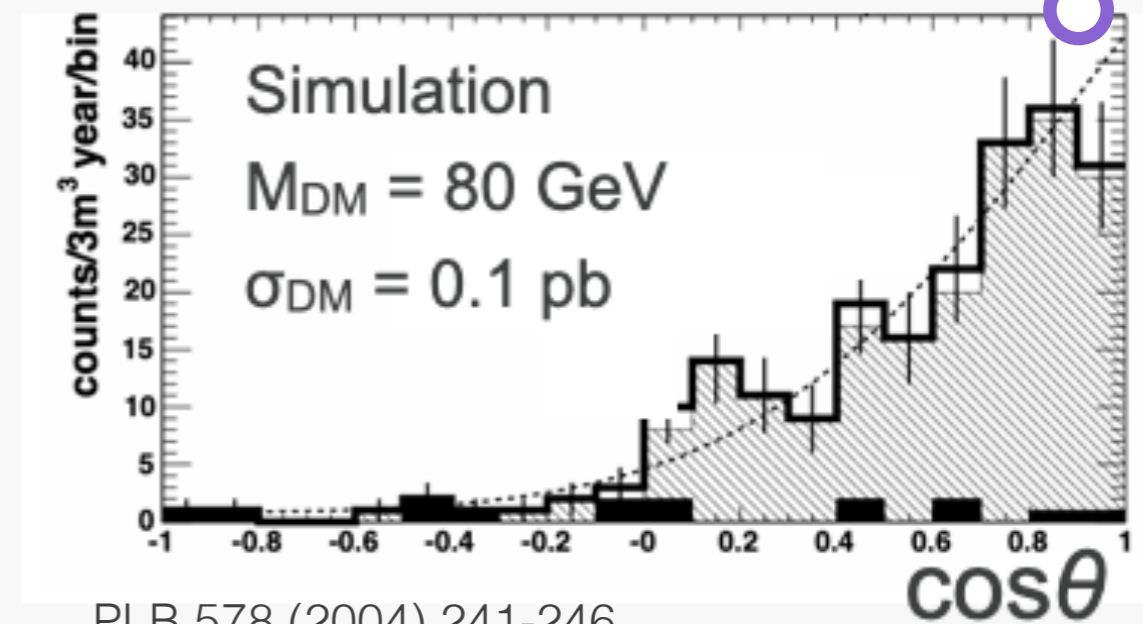
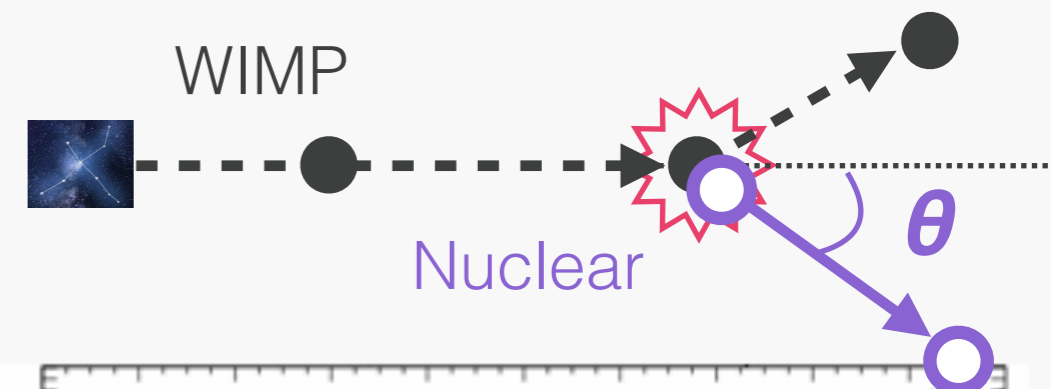
- はくちょう座方向からくる暗黒物質 (WIMP) による原子核反跳の散乱角測定
- 標準ハローモデルを裏付ける強い証拠
 - ➔ 近年、銀河中心にてDMが散乱 & 加速されるモデルも検証中

▶ 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



PLB 578 (2004) 241-246

ニュートリノフォグ

- XENONnT実験などにより ^8B CEvNS観測

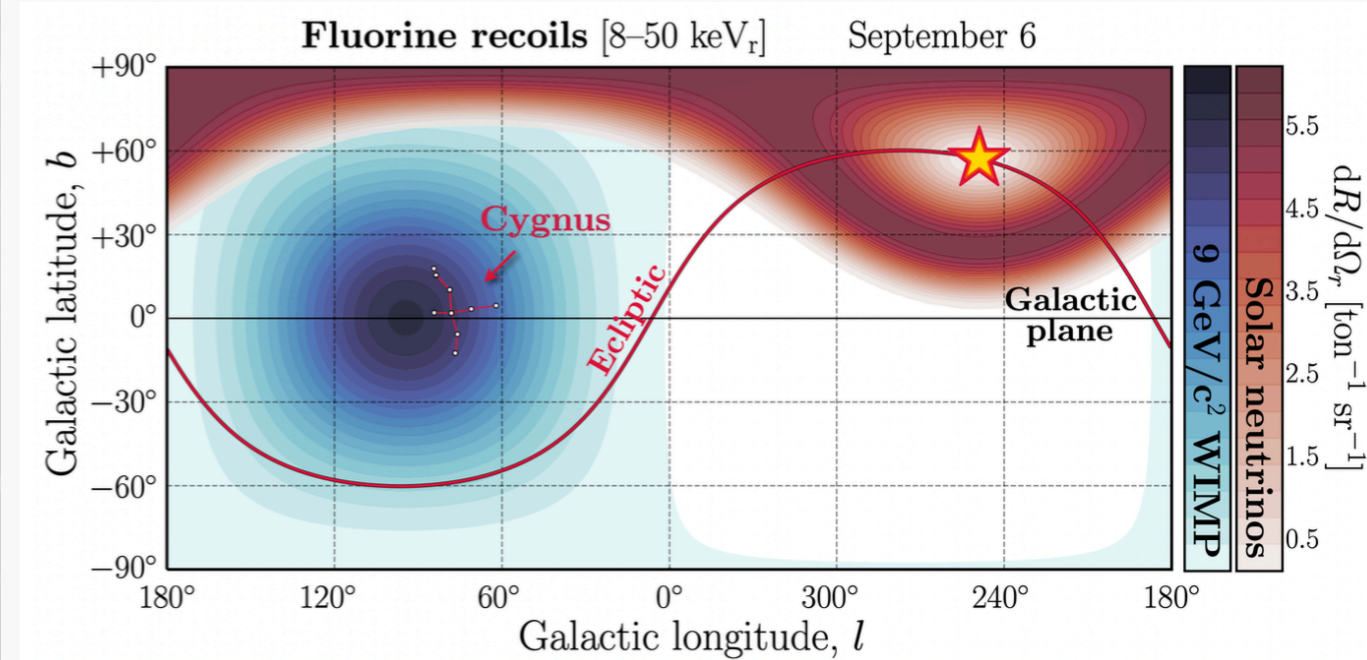
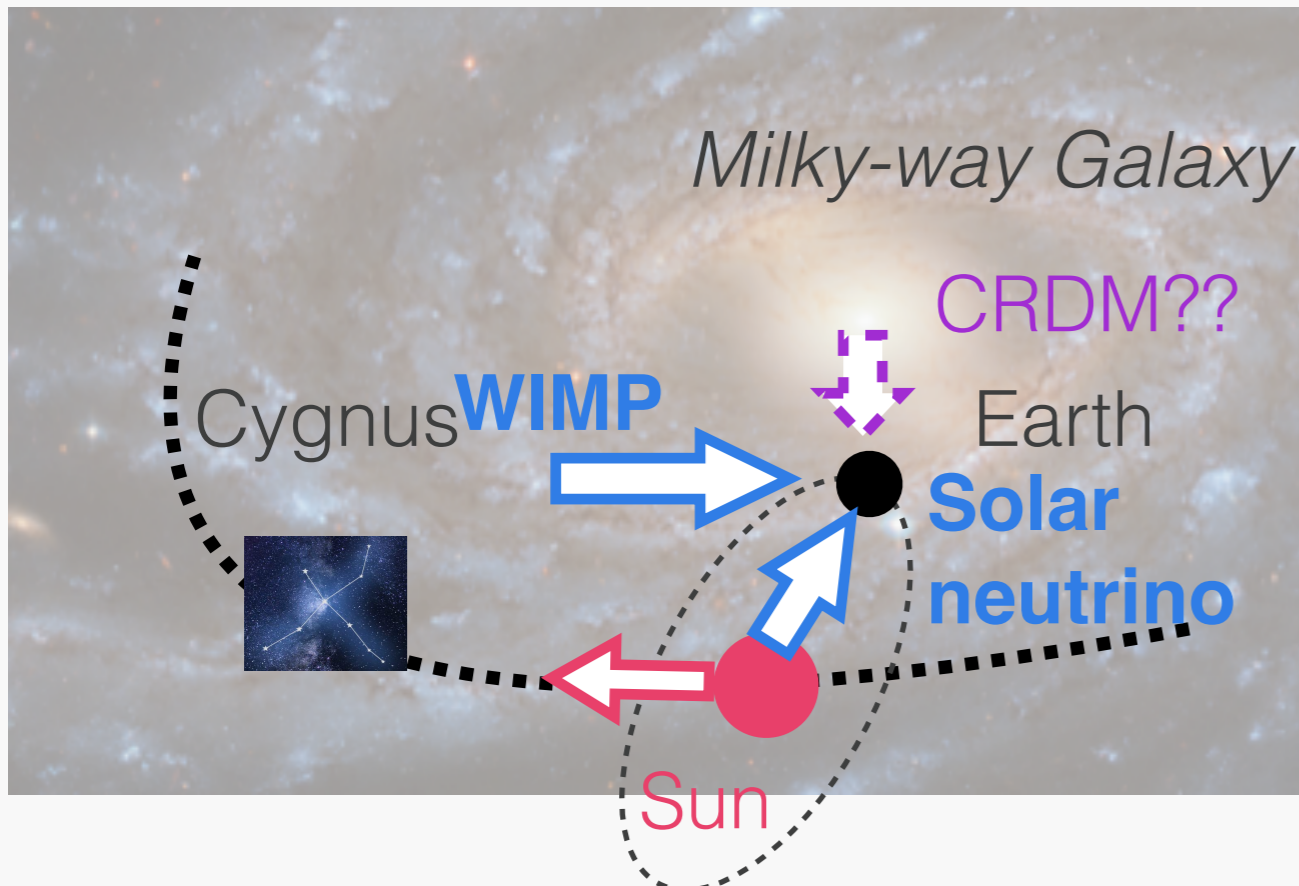
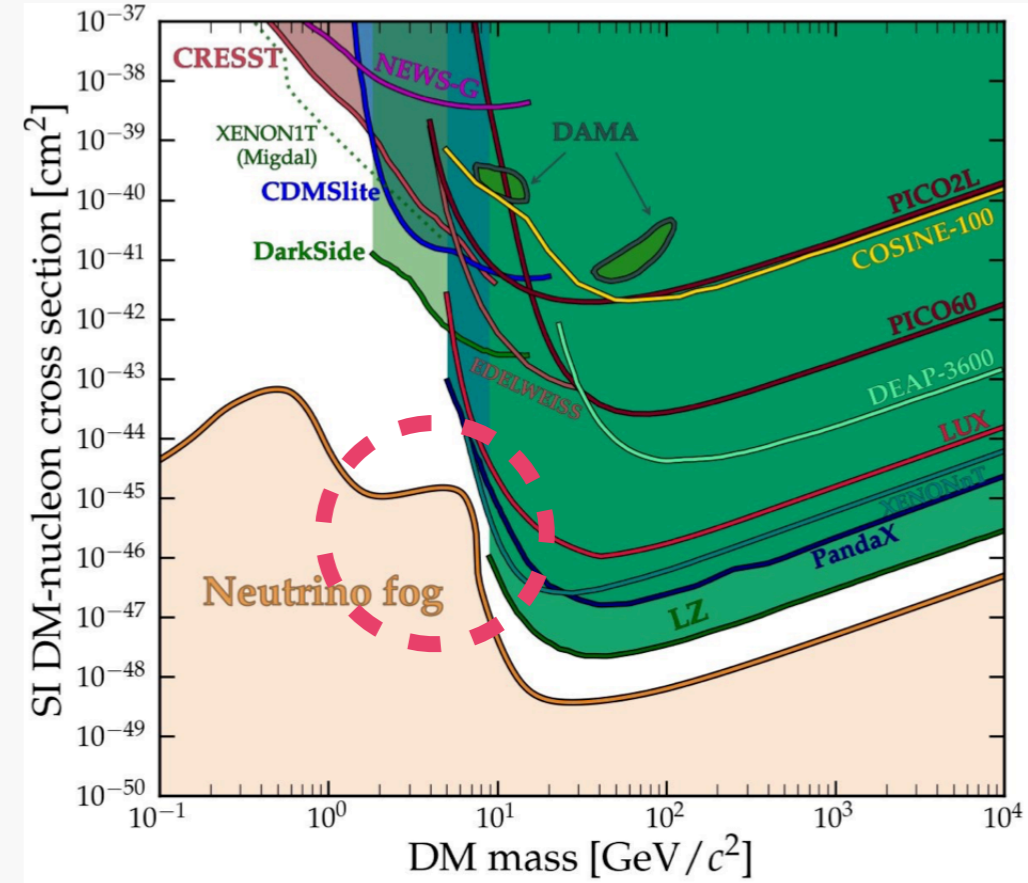
→ 太陽ニュートリノによる原子核反跳検出

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

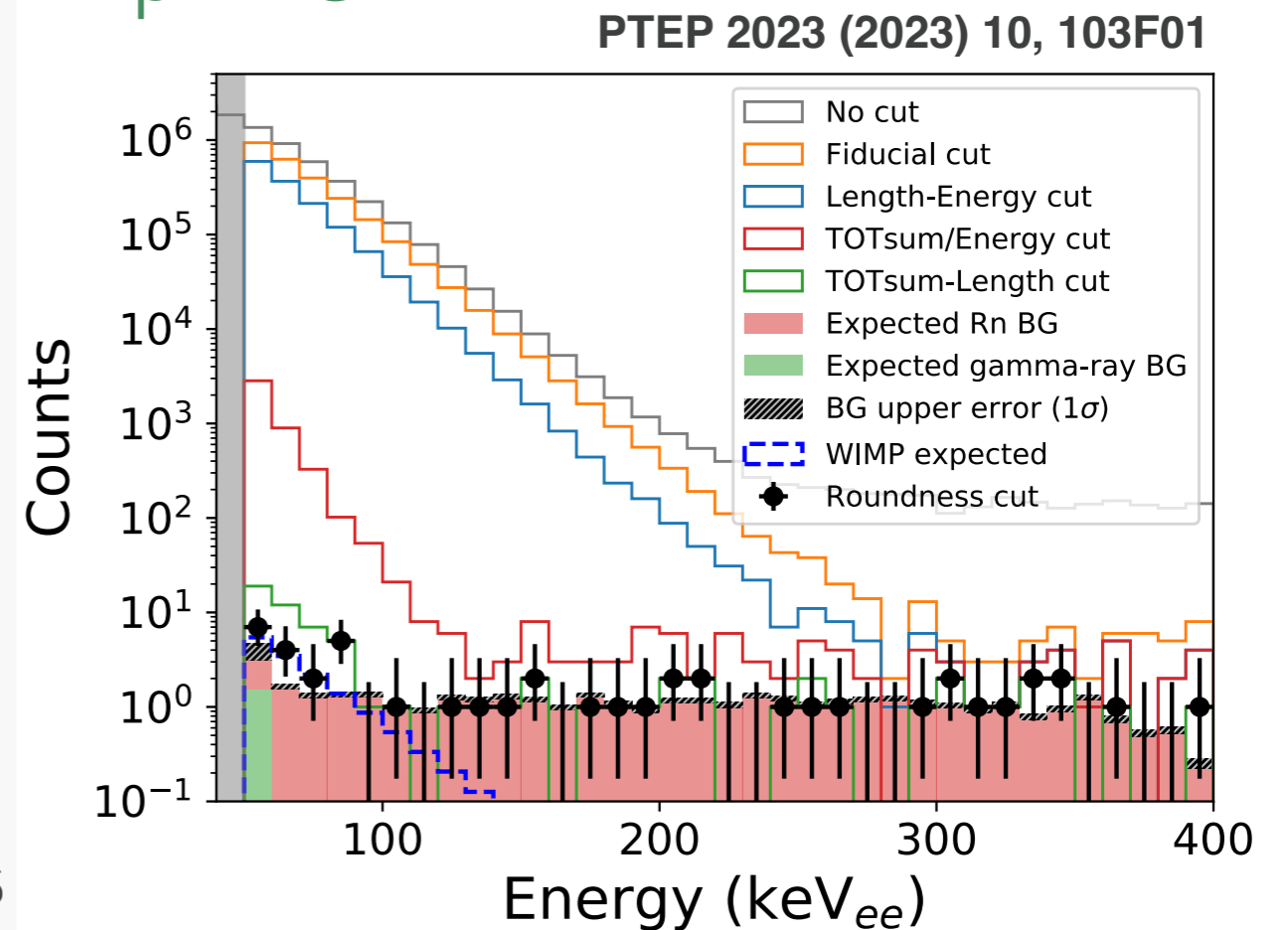
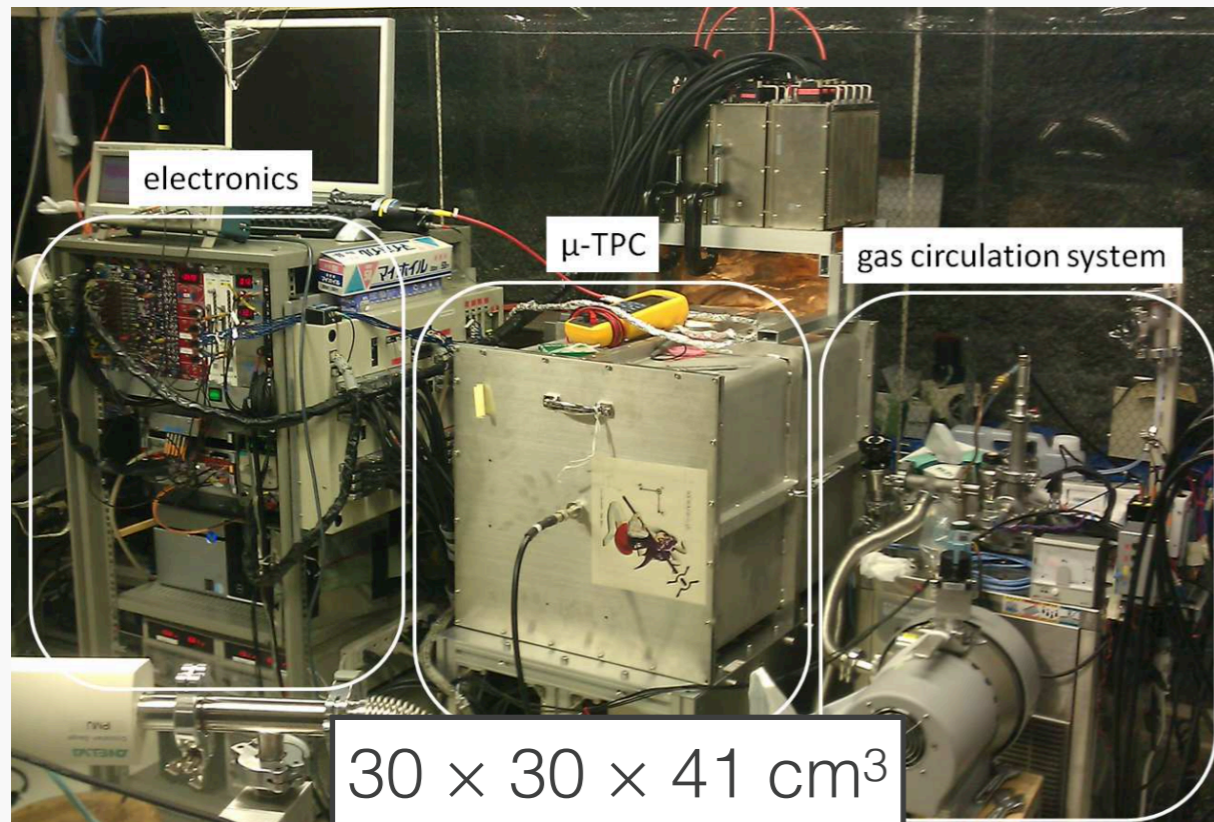
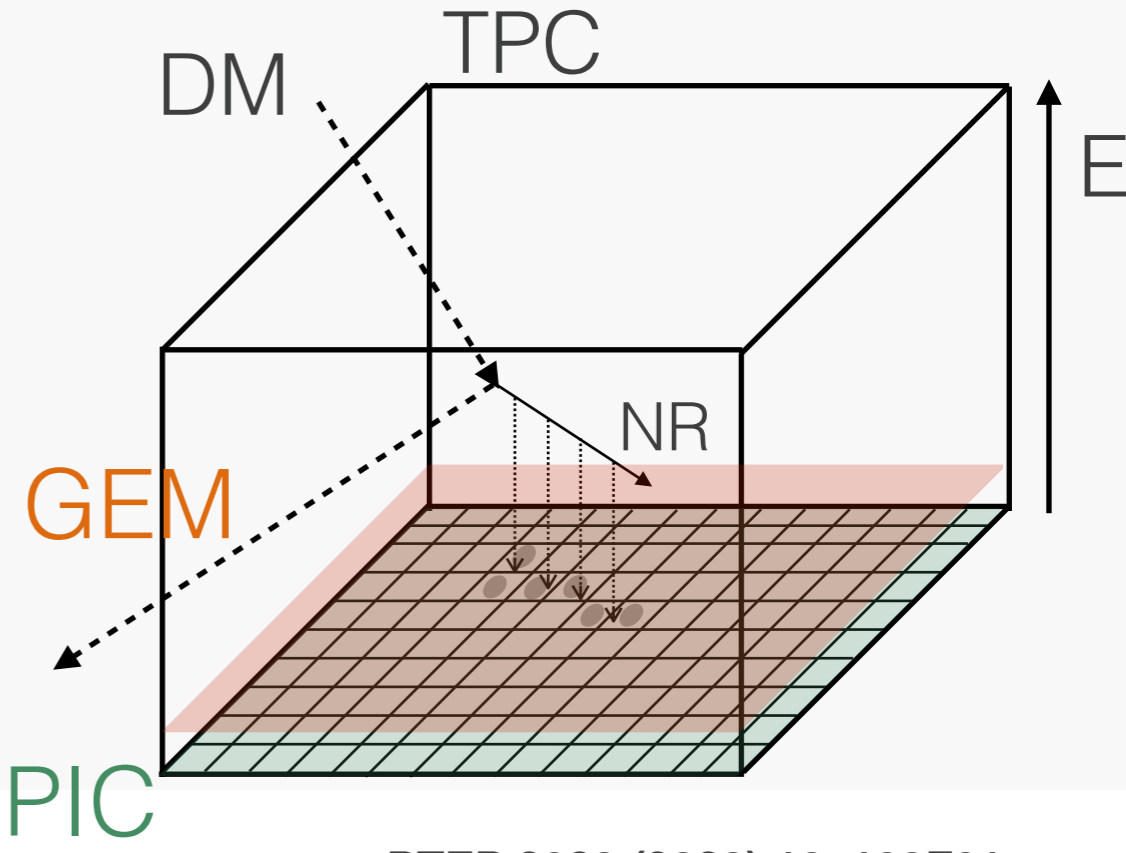
- 方向感度をもつ探索が開拓の解

➡ : 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 (CF_4 0.1 atm) を用いたTPC
 - $30 \times 30 \times 41 \text{ cm}^3$ fiducial volume
- 現在は銅シールド実装済み (環境ガンマBG対策)
 - 内部のラドンによるアルファBGが感度制限

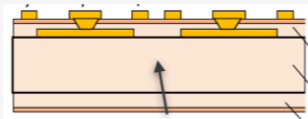


低BG化の経緯

Development of "clean" detector

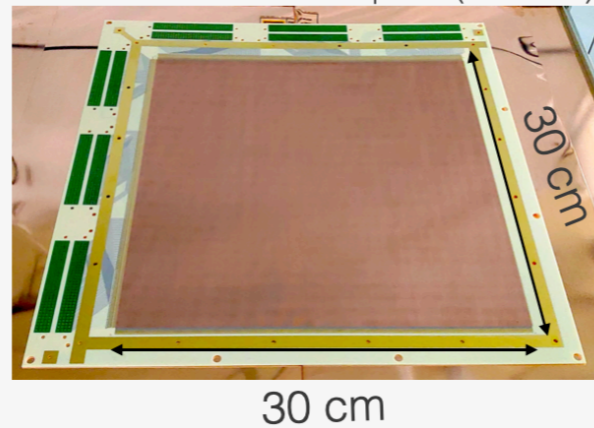
ラドン湧き出しの少ない
素材を用いたμ-PIC開発
→地下検出器に実装(2023年)

Low-BG μ-PIC
(2020-)



Quartz + Resin

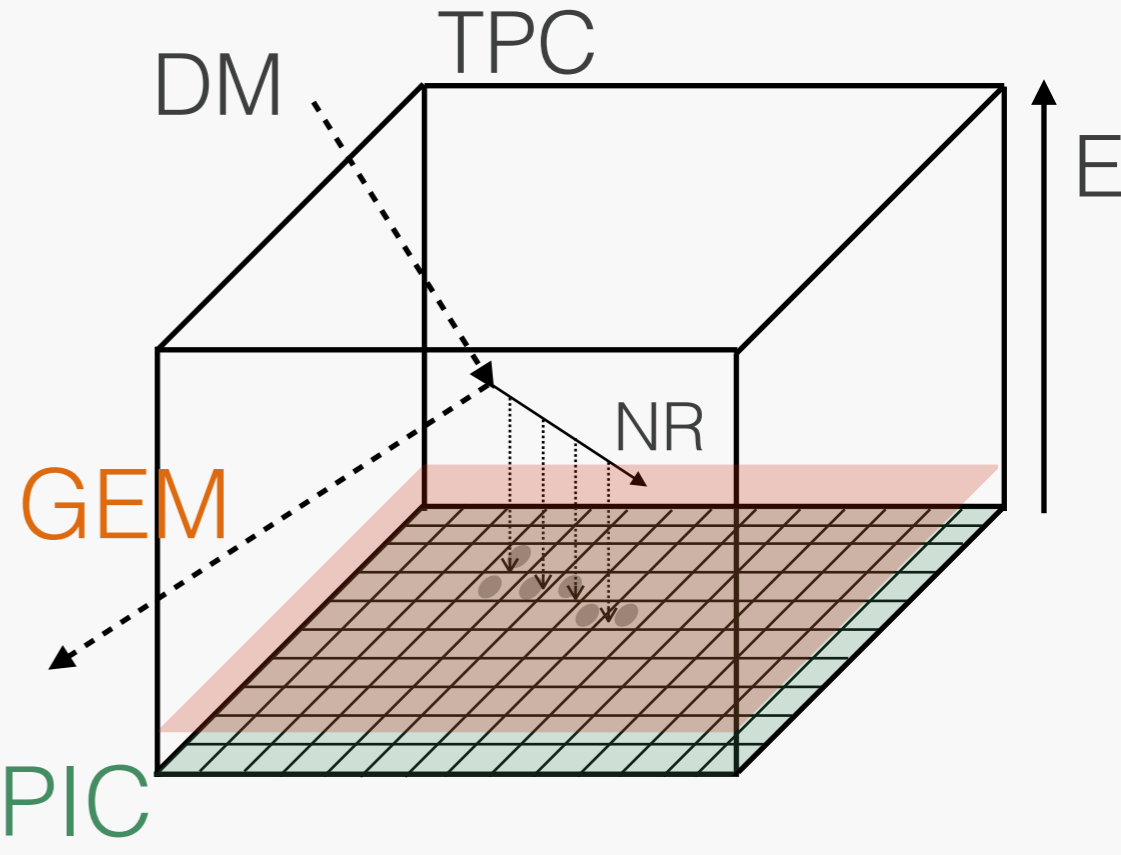
LBGμ-PIC (DNP Inc.)



Radon emanation measurement:
LAμ-PIC: 2.3 ± 0.5 [mBq / μ-PIC]

LBGμ-PIC: <0.17 [mBq / μ-PIC]
(90% C.L.)

NIM A 1072 (2025) 17014

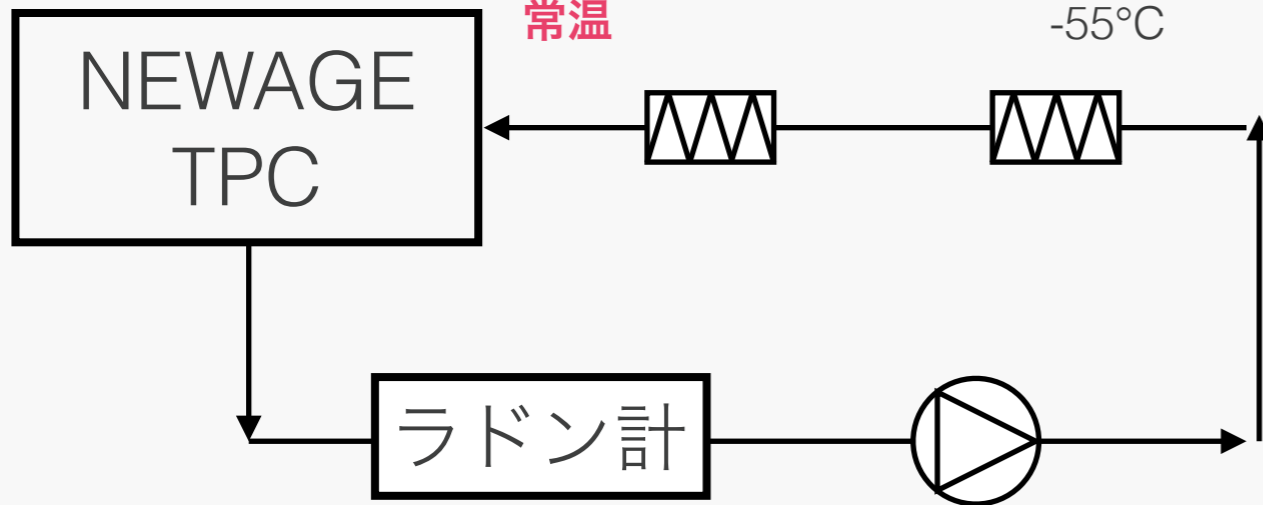


変更後

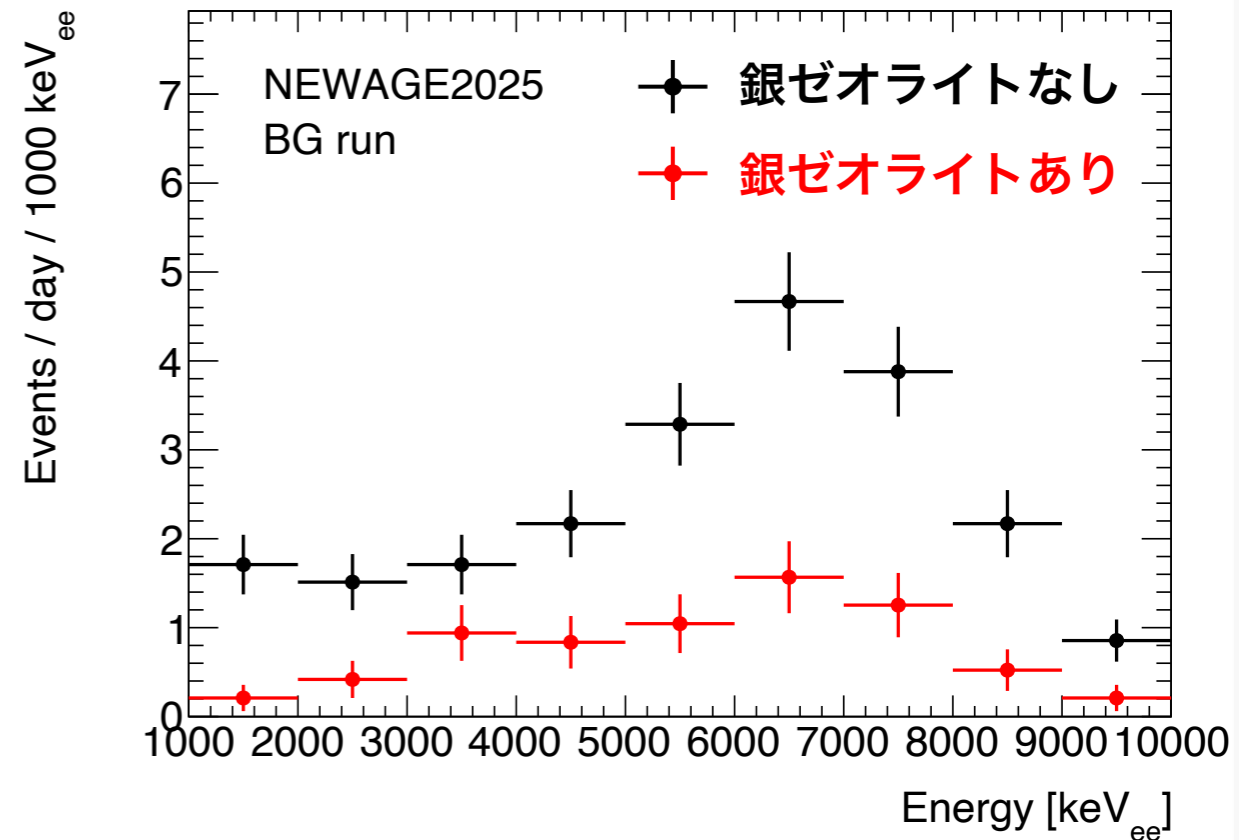
銀ゼオライト 活性炭

常温

-55°C



循環ポンプ

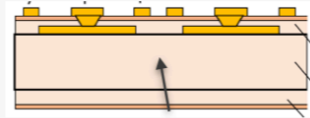


低BG化の経緯

Development of "clean" detector

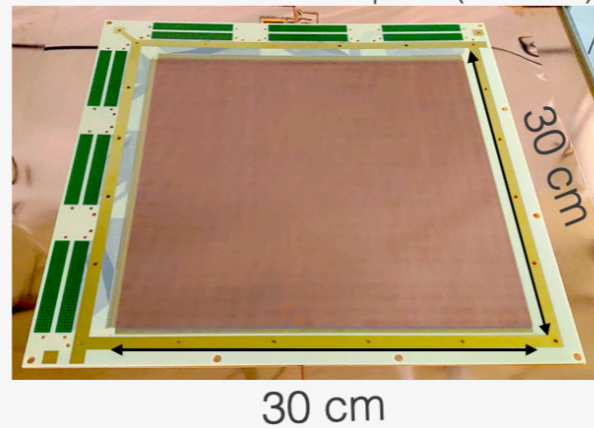
ラドン湧き出しの少ない
素材を用いたμ-PIC開発
→地下検出器に実装(2023年)

Low-BG μ-PIC
(2020-)



Quartz + Resin

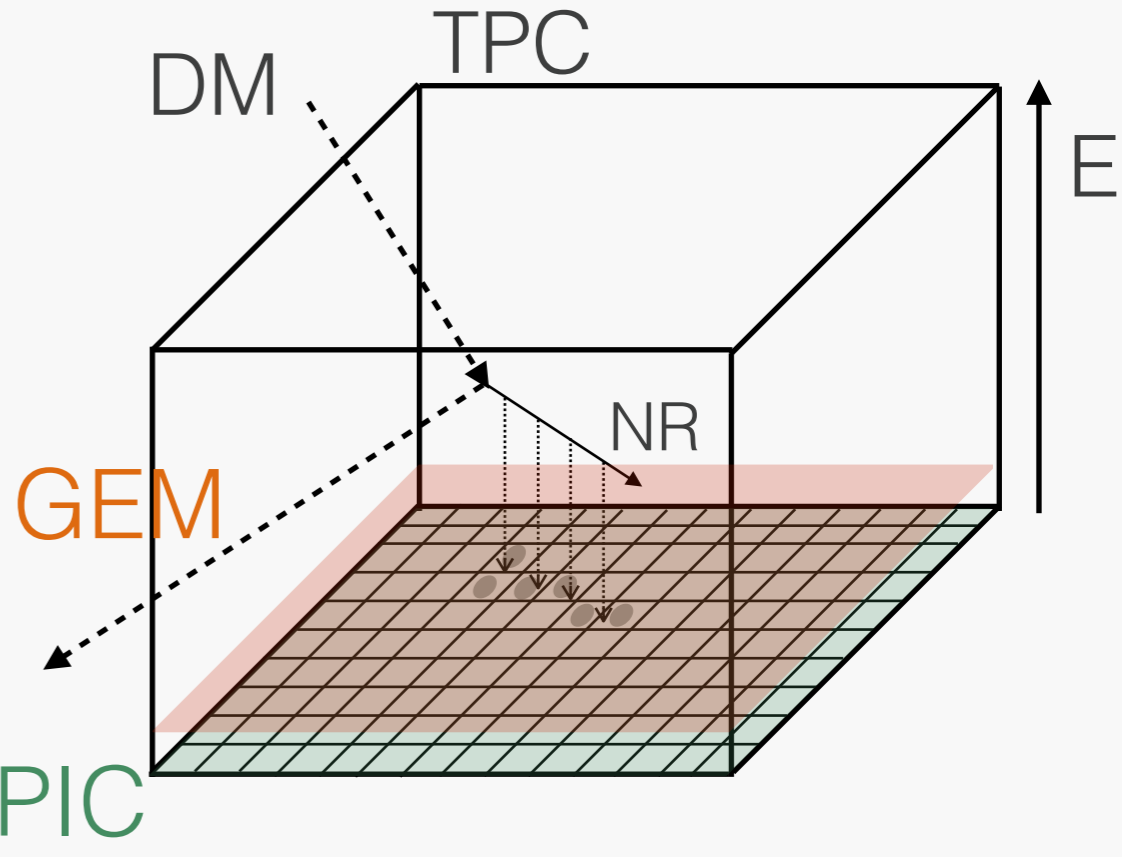
LBGμ-PIC (DNP Inc.)



Radon emanation measurement:
LAμ-PIC: 2.3 ± 0.5 [mBq / μ-PIC]

LBGμ-PIC: <0.17 [mBq / μ-PIC]
(90% C.L.)

NIM A 1072 (2025) 17014

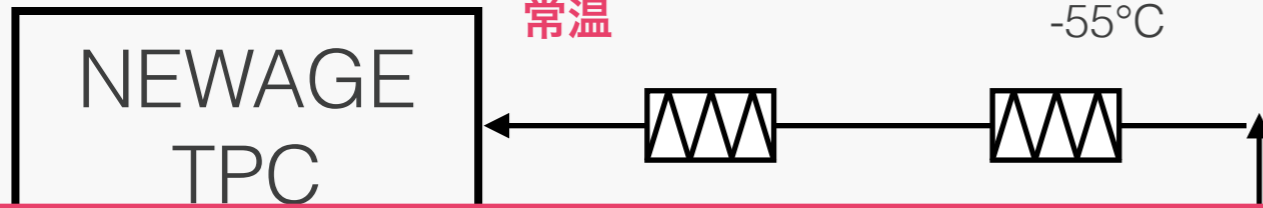


変更後

銀ゼオライト 活性炭

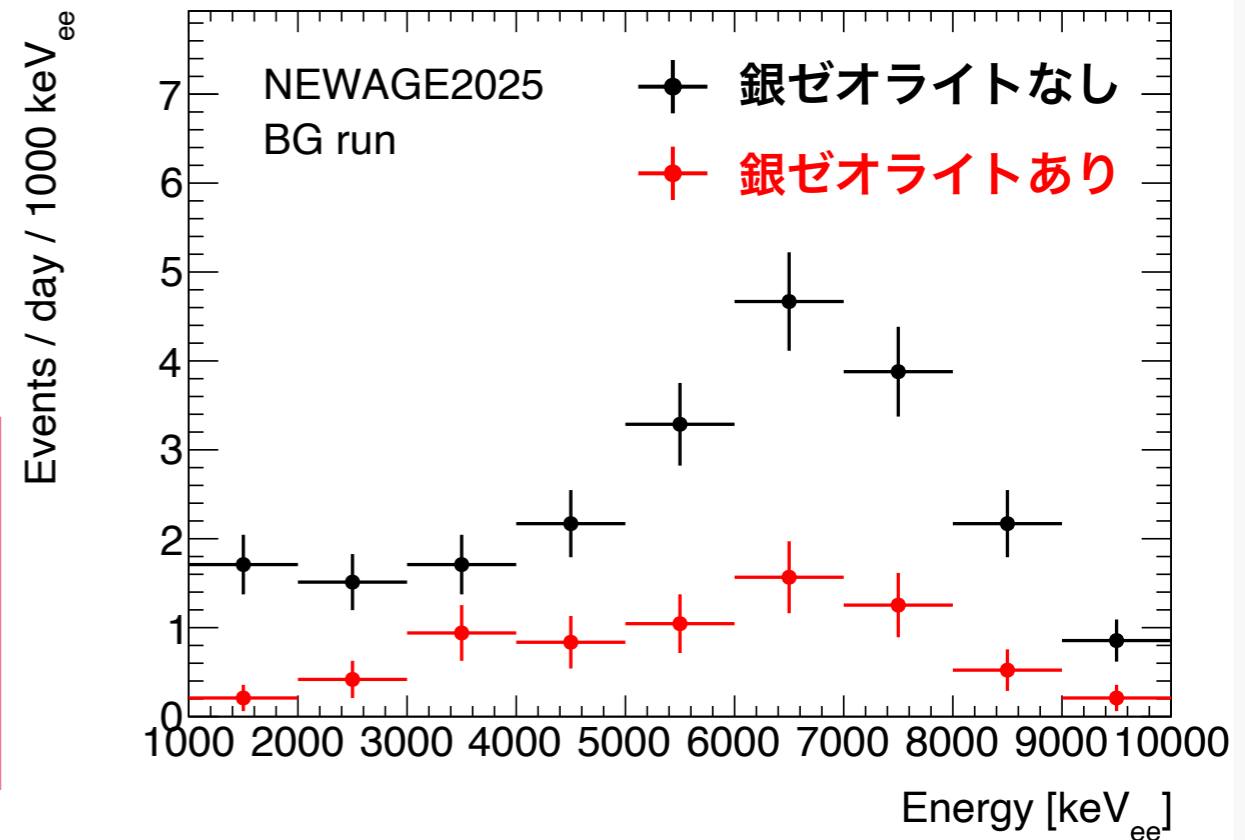
常温

-55°C



銀ゼオライトフィルターが
効いてラドン量1/3に削減成功

(JPS2025秋: 17aEK203-2)



NEWAGEロードマップ

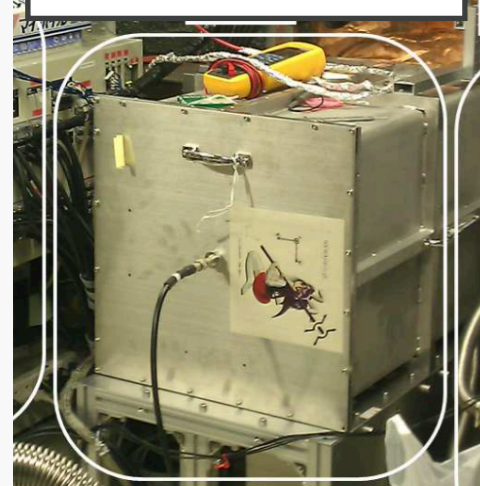
2025

2026

2027

... 2030

NEWAGE 0.3b''



30 × 30 × 41 cm³

地下測定

2023年12月
低BG μ -PIC実装

低BG μ -PIC
C/N-1.0に実装

CF₄、SF₆ガスでの基礎研究

ピクセル検出器試験
(小型検出器)

C/N-1.0



1 m³

2025年12月
Module-1実装
地上測定開始

Module-0, 1, 2 地下測定
(commissioning)

18モジュール運転
**1 m³ チェンバーで
地下測定**

2026年夏
Module-2実装

2026年
神岡坑内へ搬送

低BG μ -PIC
C/N-1.0に実装

NEWAGEロードマップ

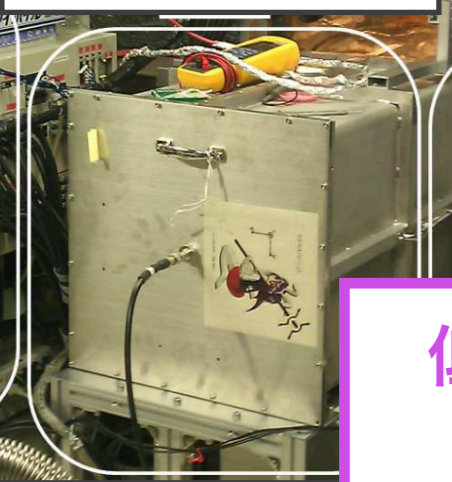
2025

2026

2027

... 2030

NEWAGE 0.3b”



30 × 30 × 41 cm

地下測定

CF₄、SF₆ガスでの基礎研究

2023年12月

低BG μ-PIC実装

低BG地下実験を開始

NEWAGE88: 東野 (本講演)

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

低BG技術をC/N-1.0に
フィードバックしつつ
並行して地上運転開始

NEWAGE89: 生井 (次講演)

C/N-1.0

2025年12月

Module-1実装

地上測定開始

Module-0, 1, 2 地下測定
(commissioning)

18モジュール運転

1 m³ チェンバーで
地下測定

2026年夏

Module-2実装

2026年

神岡坑内へ搬送

低BG μ-PIC

C/N-1.0に実装

1 m³

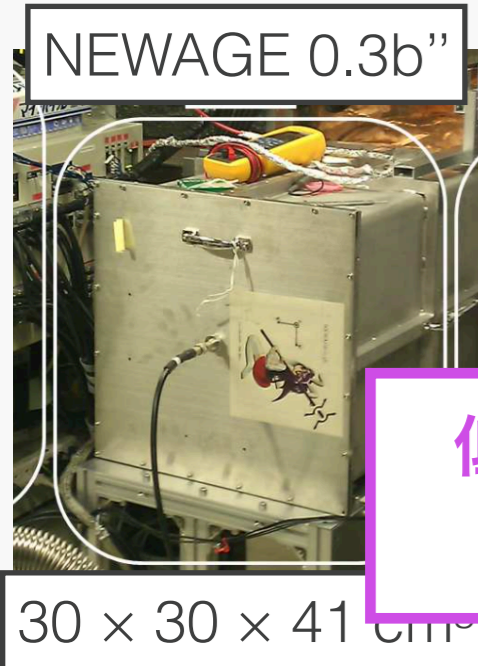
NEWAGEロードマップ

2025

2026

2027

... 2030



低BG地下実験を開始
NEWAGE88: 東野 (本講演)

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 μ -PIC実装

地下

低BG μ -PIC
C/N-1.0に実装

ピクセル検出器試験
(小型検出器)

**低BG技術をC/N-1.0に
フィードバックしつつ
並行して地上運転開始**
NEWAGE89: 生井 (次講演)



2025年12月

Module-1実装
地上測定開始

Module-0, 1, 2 地下測定
(commissioning)

18モジュール運転
**1 m³ チェンバーで
地下測定**

2026年夏

Module-2実装

2026年

神岡坑内へ搬送

低BG

C/N

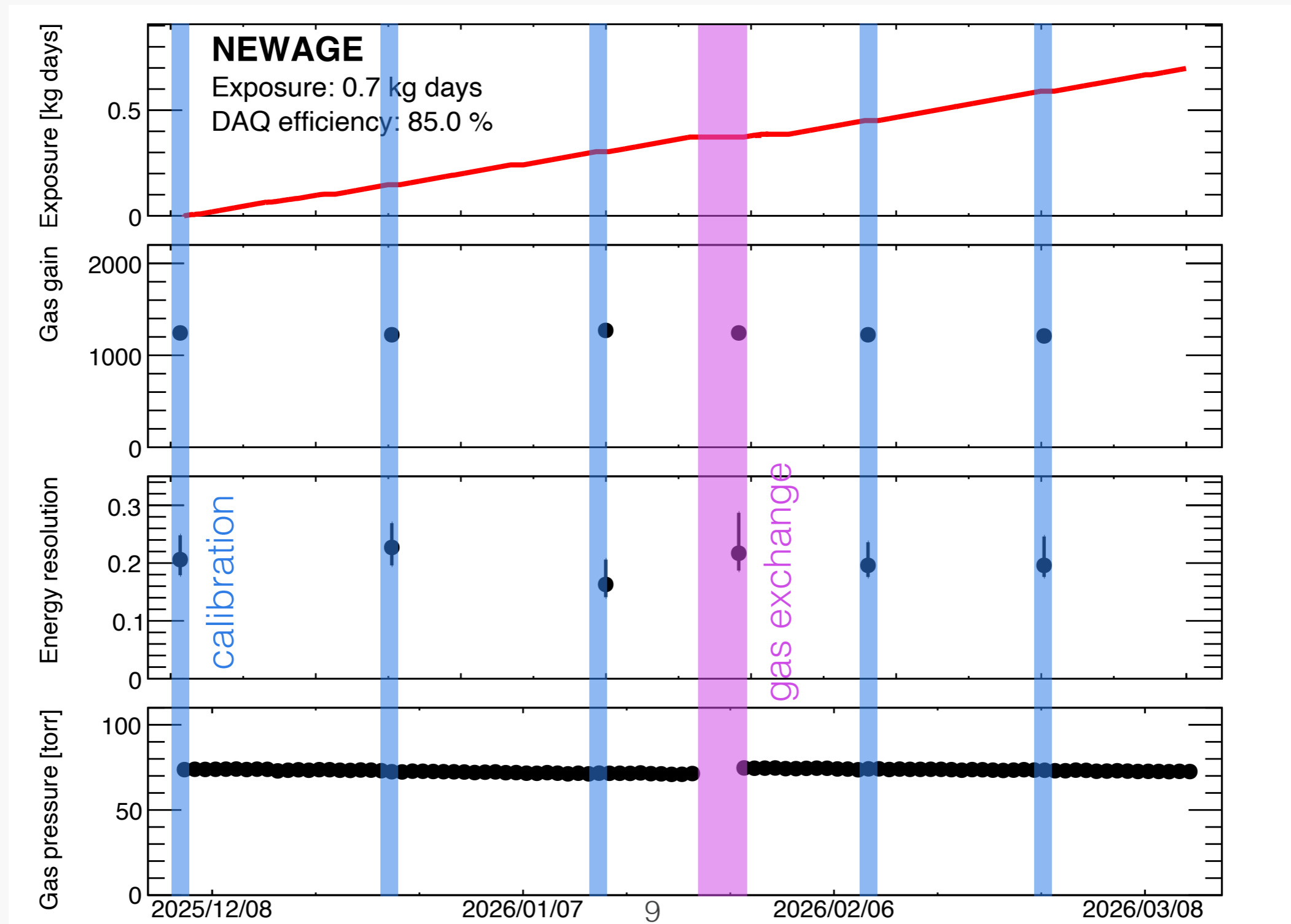
DAMA/LIBRA領域到達
C/N-1.0, "大質量測定"

低BG地下実験

NEWAGE2025

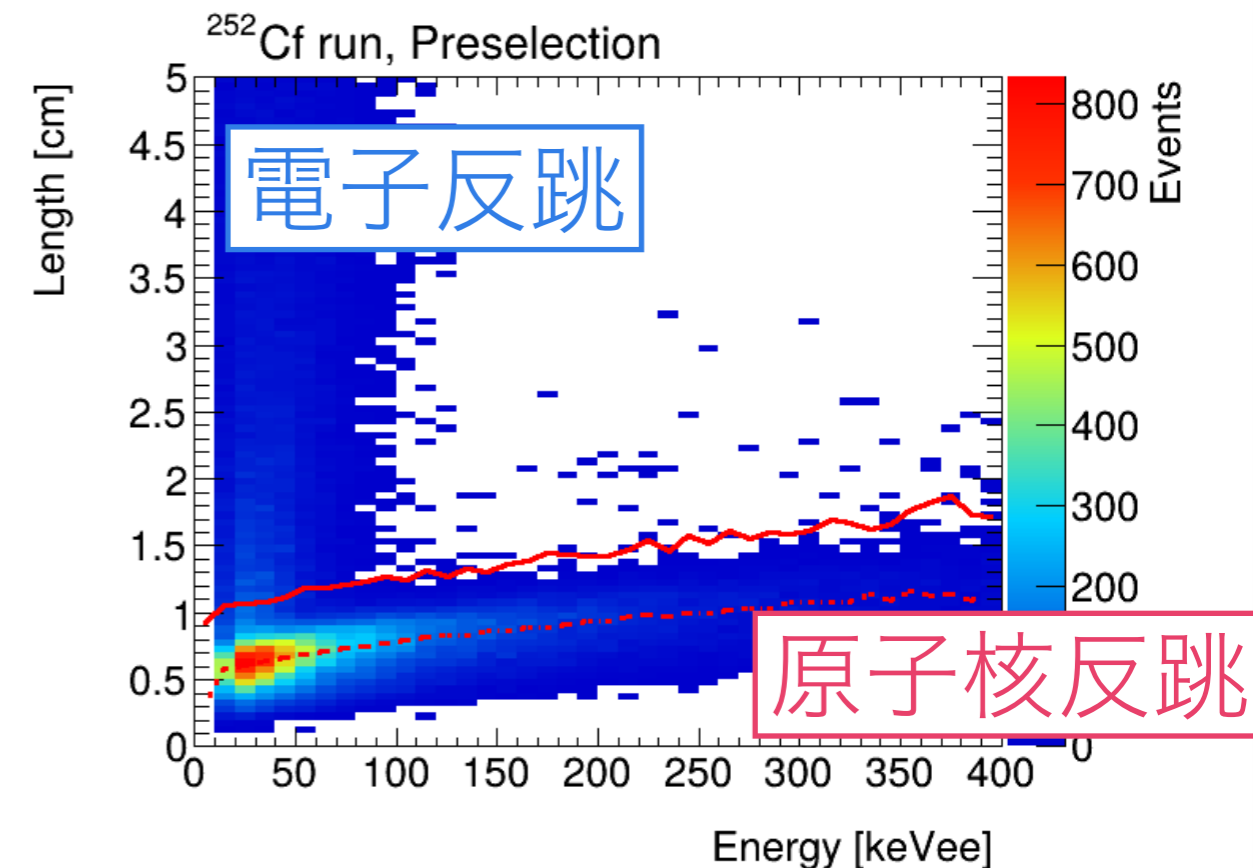
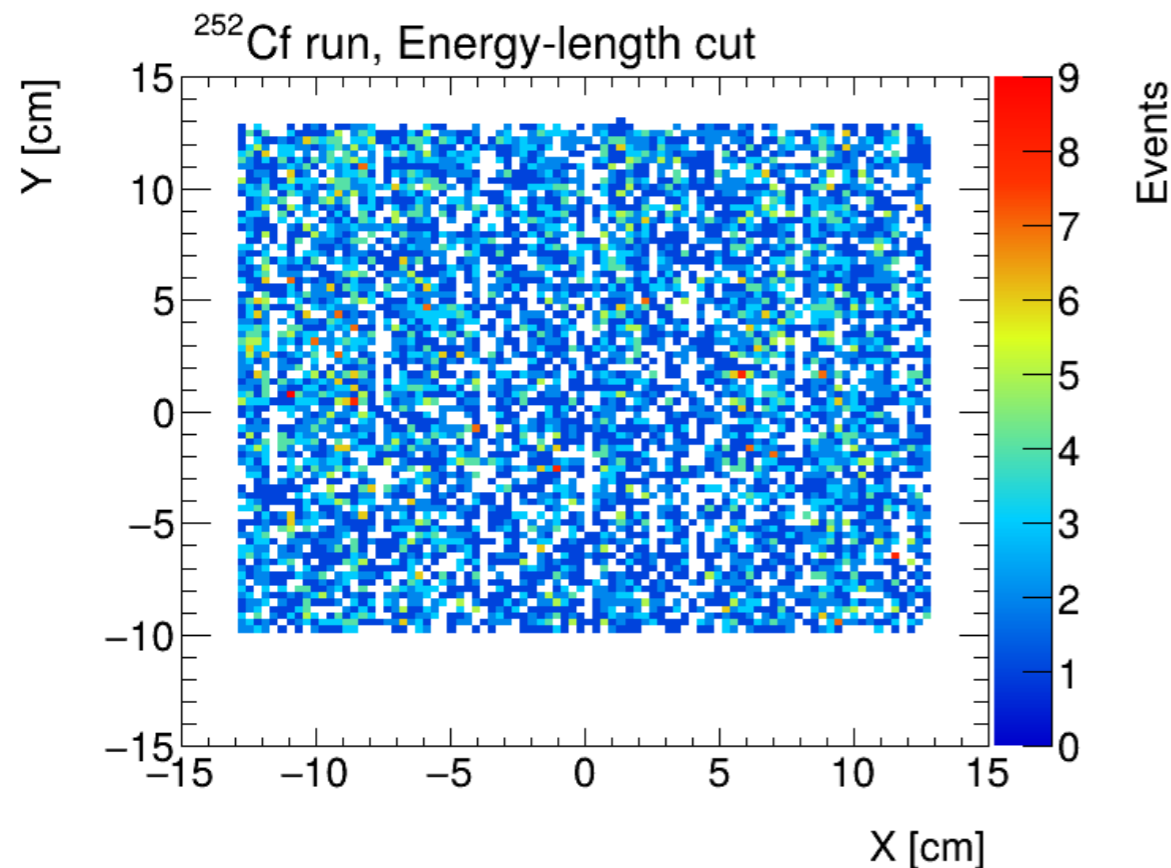
- コミッショニングを済ませ2025年12月4日より暗黒物質探索実験再開

→ NEWAGE2023結果と比較するとまだ1/4の統計量、現在も測定中



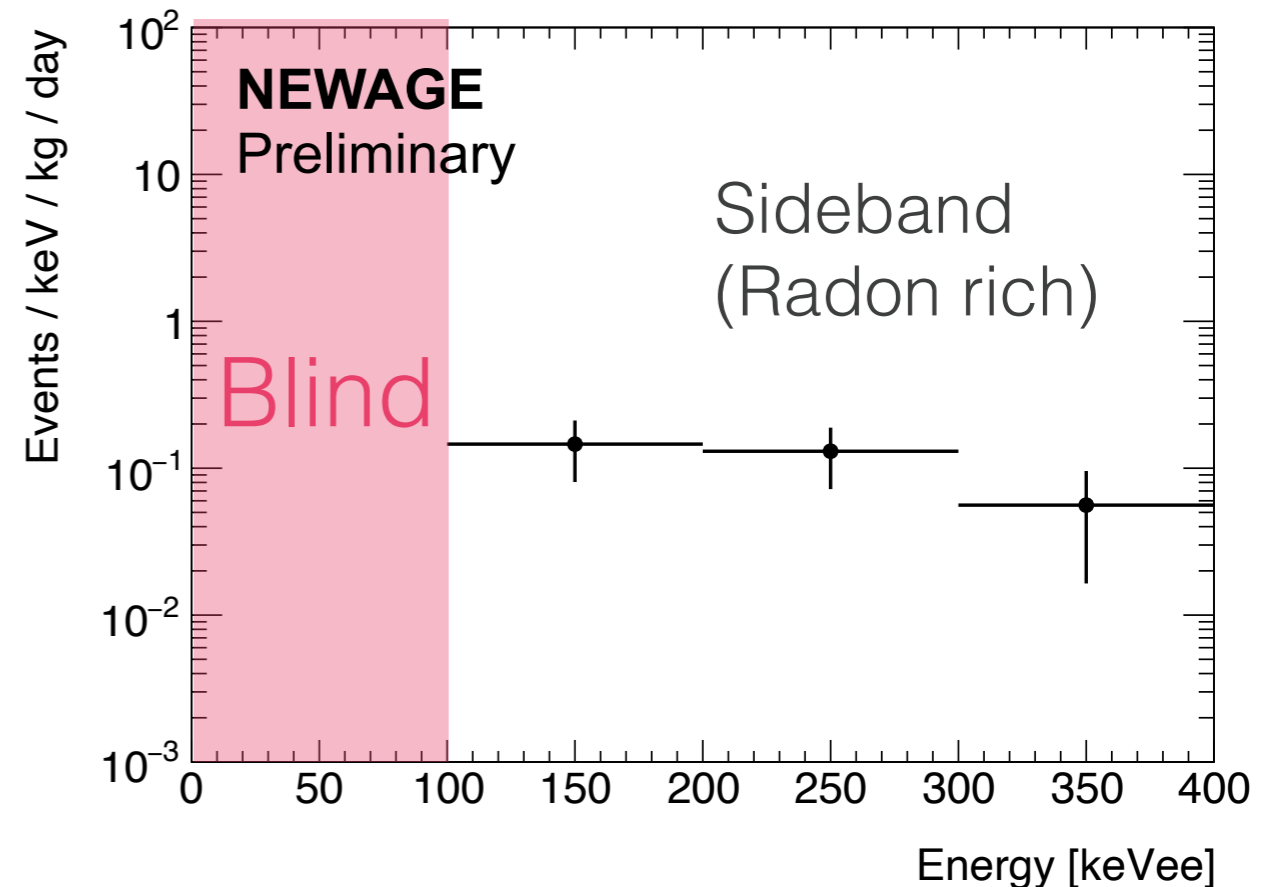
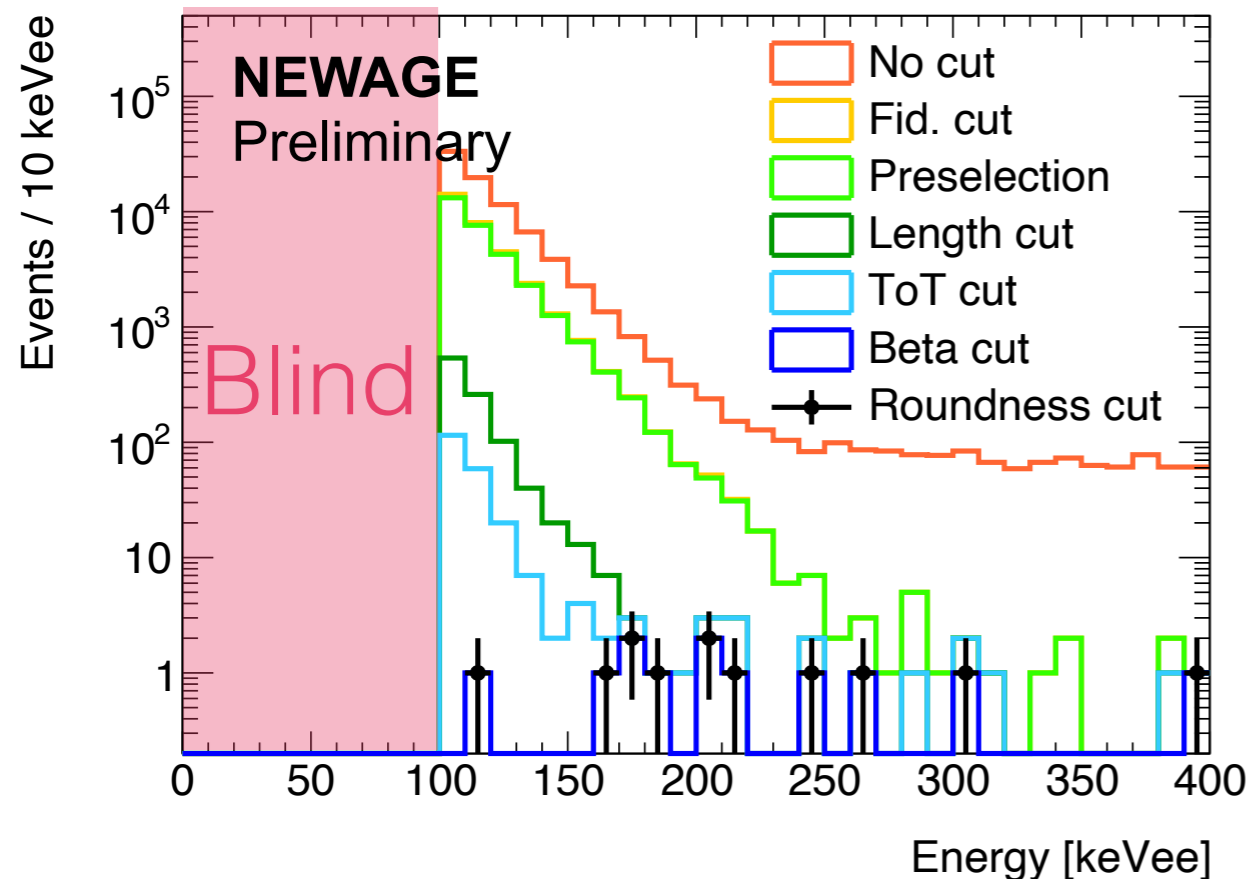
^{252}Cf 線源でのデモンストレーション

- ^{252}Cf 線源からの中性子 (とガンマ線) を用いた測定の一例
- 線源をTPC上部に配置し検出面に対し一様照射
 - ➔ 中性子による原子核反跳とガンマ線による電子反跳を観測
- 検出器状況は良好、現在まで測定は安定

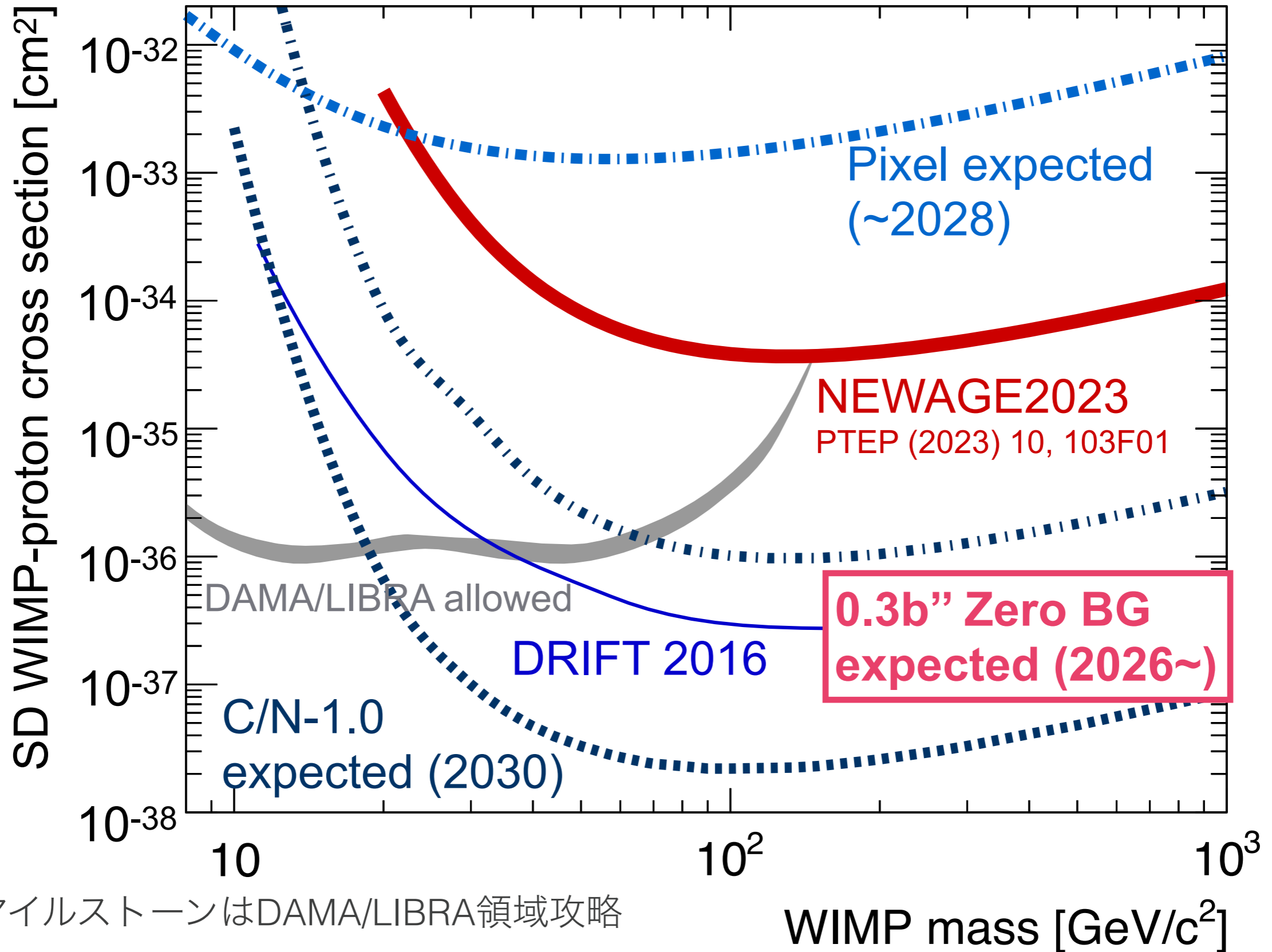


Energy spectrum

- NEWAGE2023のevent selection実施 (詳細は割愛)、電子反跳を除去
 - <100 keVee領域と散乱角度情報はblind、解析進行中
- Efficiency考慮したeffectiveなスペクトルで100 - 400 keVee sideband評価
 - 銀ゼオライトなし環境と比較して1/3にレート現象 (6 MeVピークのラドン量とconsistent)
- しかしまだラドンが残ることは問題、ラドン源特定も進めつつ並行して測定継続予定



Expected limits



直近のマイルストーンはDAMA/LIBRA領域攻略

そのためにより低BG環境を目指しつつ探索

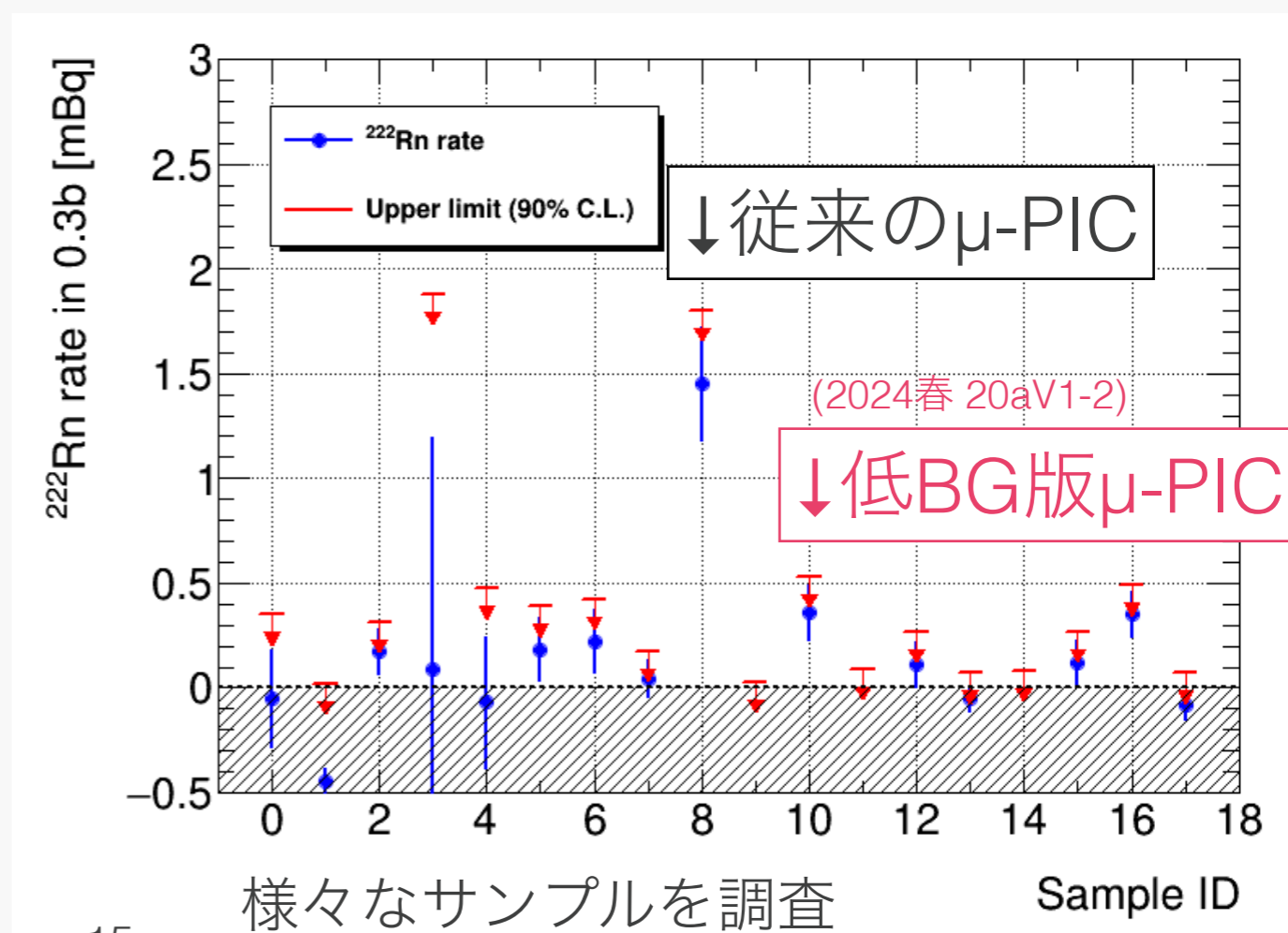
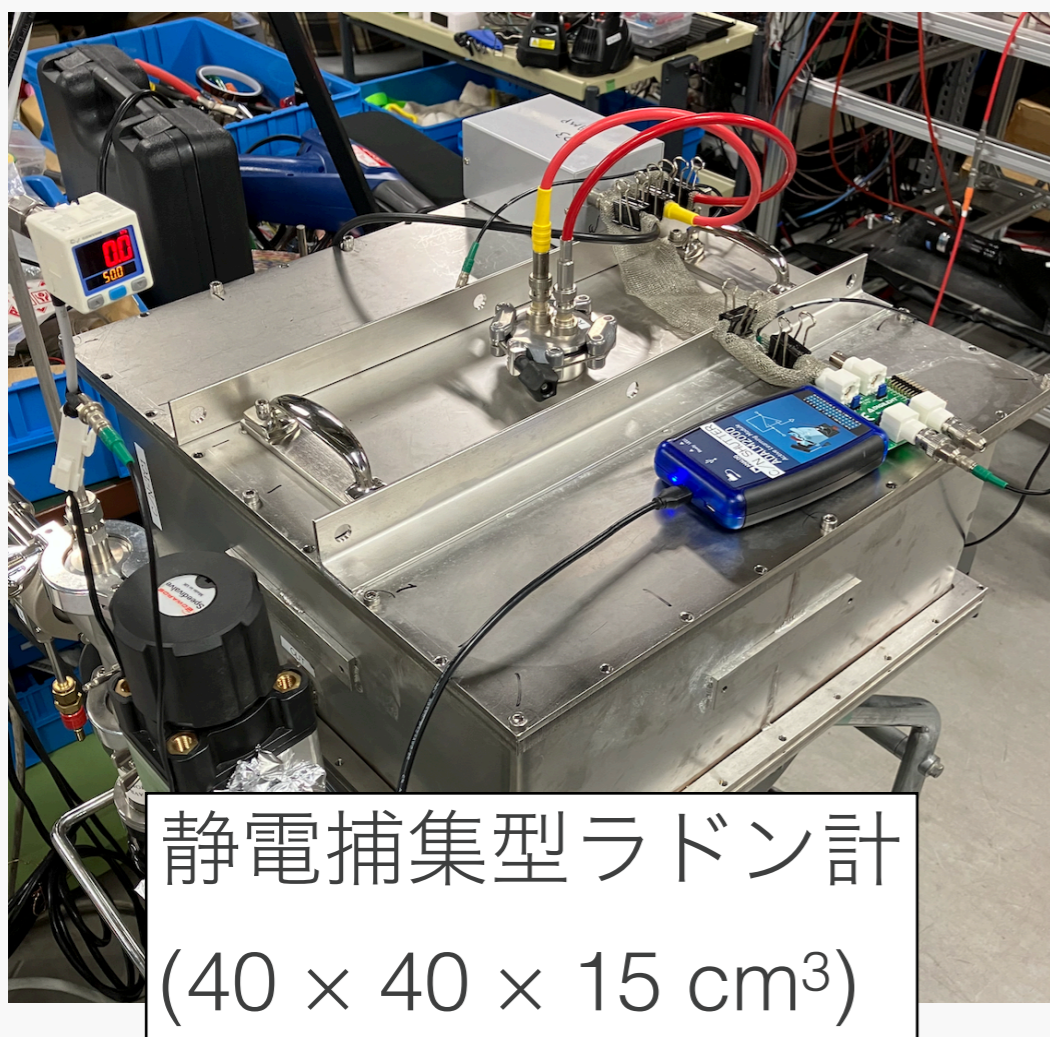
結論

- 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) フィルターを強化
 - ▶ 「銀ゼオライト」を実装、ラドン量削減を確認
- 2025年12月より神岡坑内にて本格的に測定再開
 - ➔ 低エネルギー側でもラドンBGを1/3に削減できた
- さらなるBG対策は必須、ラドン源特定と並行し探索継続中

Backup

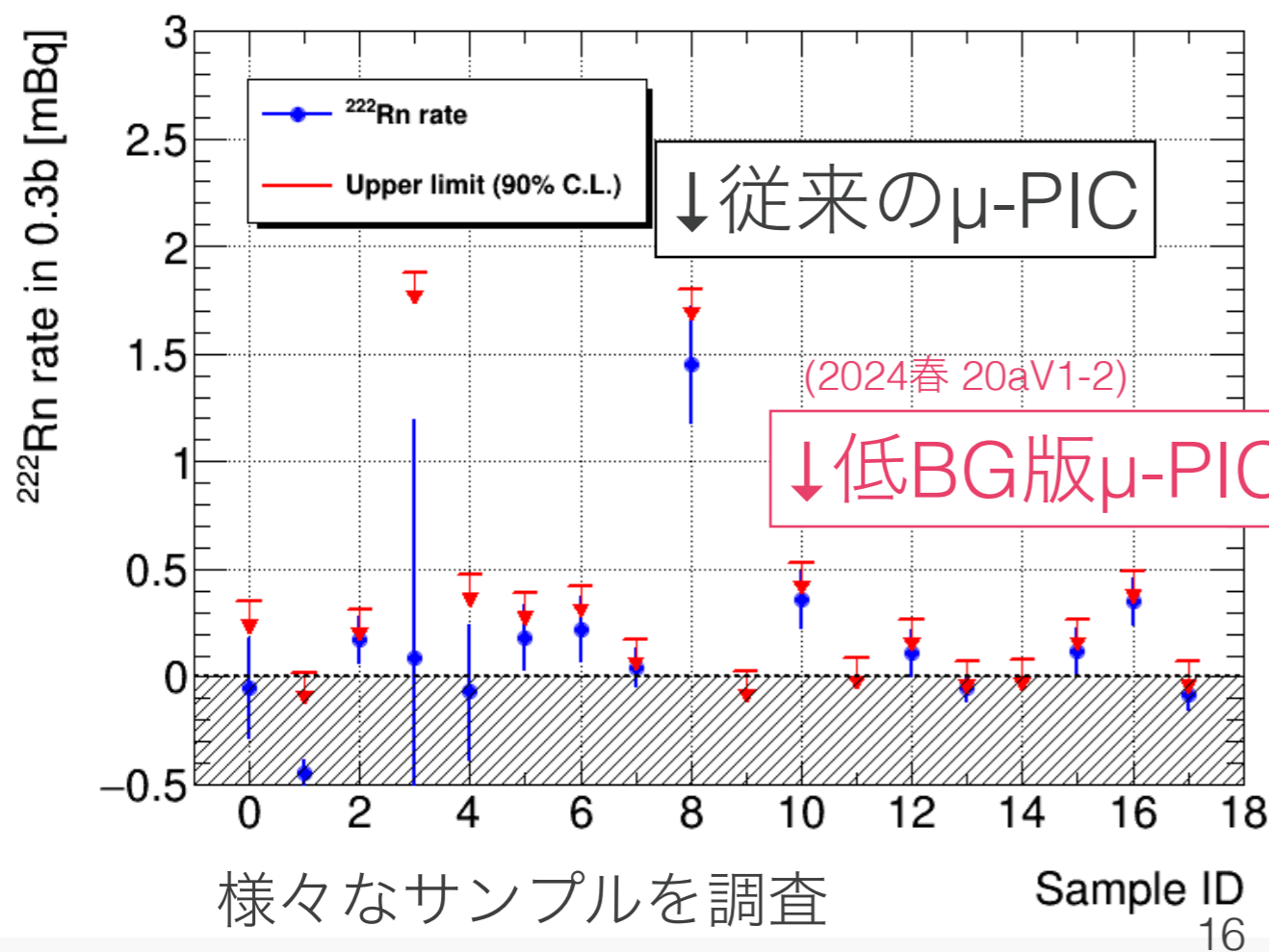
チェンバー内構造物からの湧き出し調査

- 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**



測定したサンプル

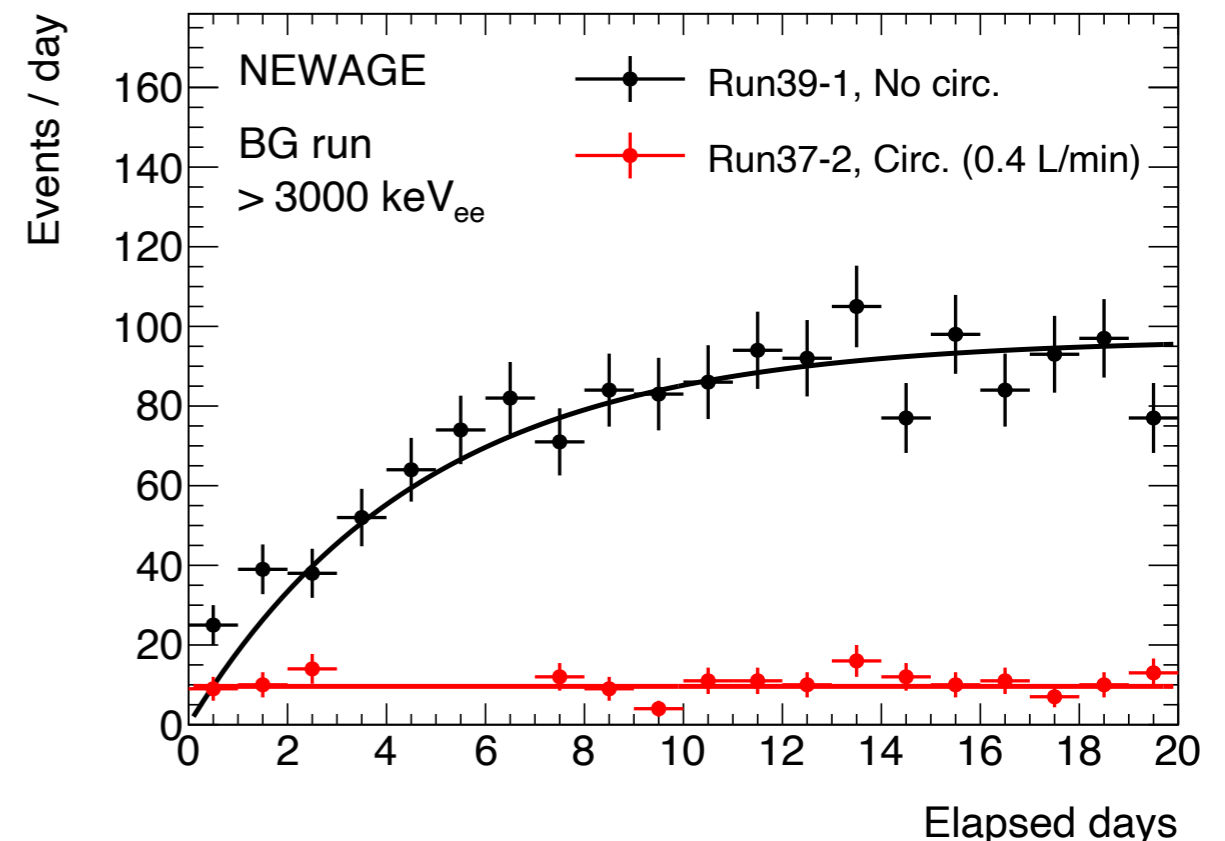
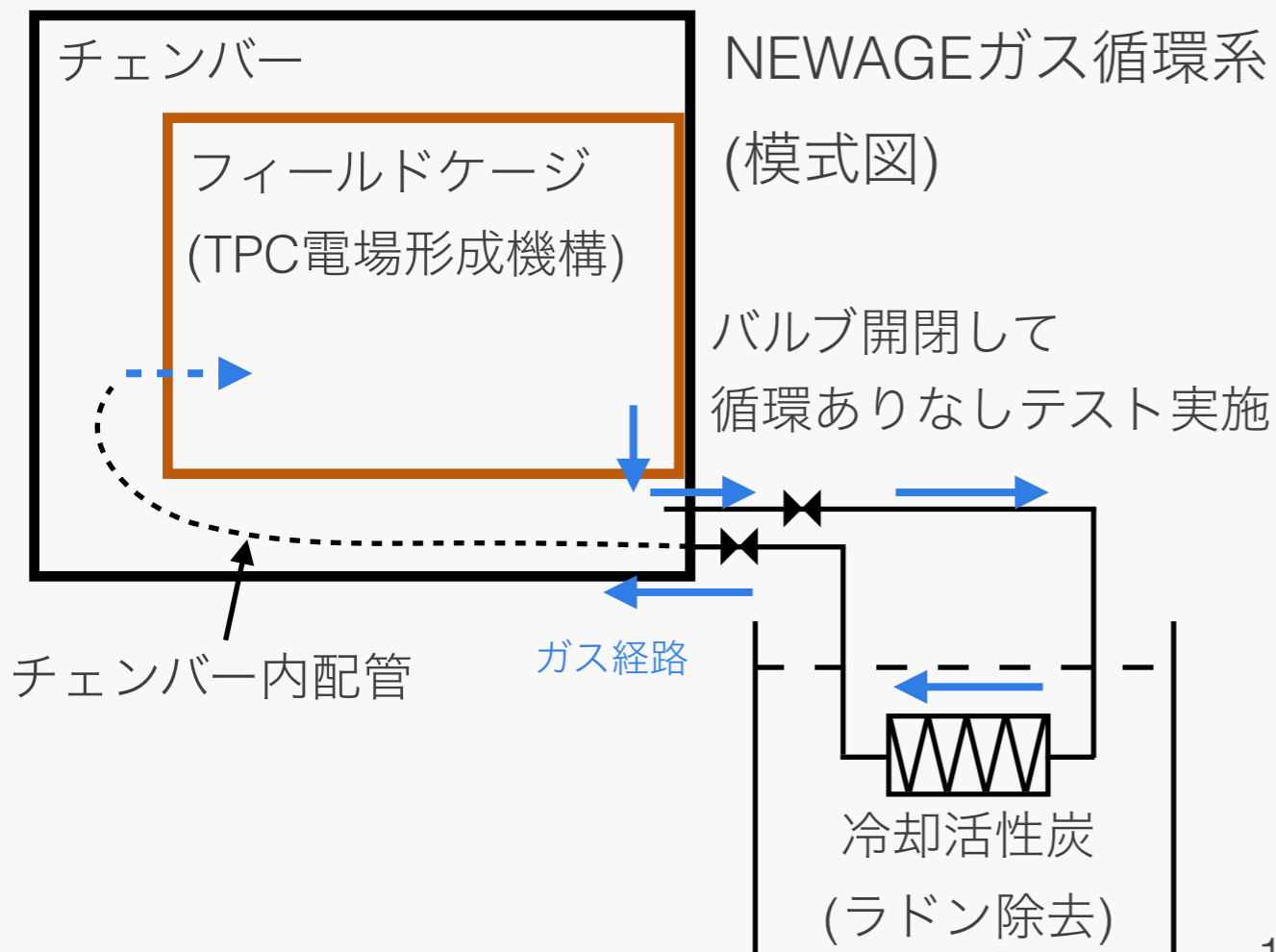
- ラドン計で測定したサンプルとIDの対応
 - ➔ NEWAGE TPC内で観測されるラドン量に換算
 - ➔ ^{222}Rn についてのみ表示しているが、
 ^{220}Rn についても測定、有意なRI源は見つからず



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 cm ²	6.4e+2 cm ²
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 cm ²	1.2e+4 cm ²
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	-

ガスフィルター有無

- 冷却活性炭フィルターのバイパスU系列確認
 - ➔ フィルターでU系列削減後にTh系列が残る
- Th系列がフィールドケーシング内に残留 or 循環系から混入の疑い
 - ➔ チェンバー内構造物の物質について別検出器でラドン量評価中

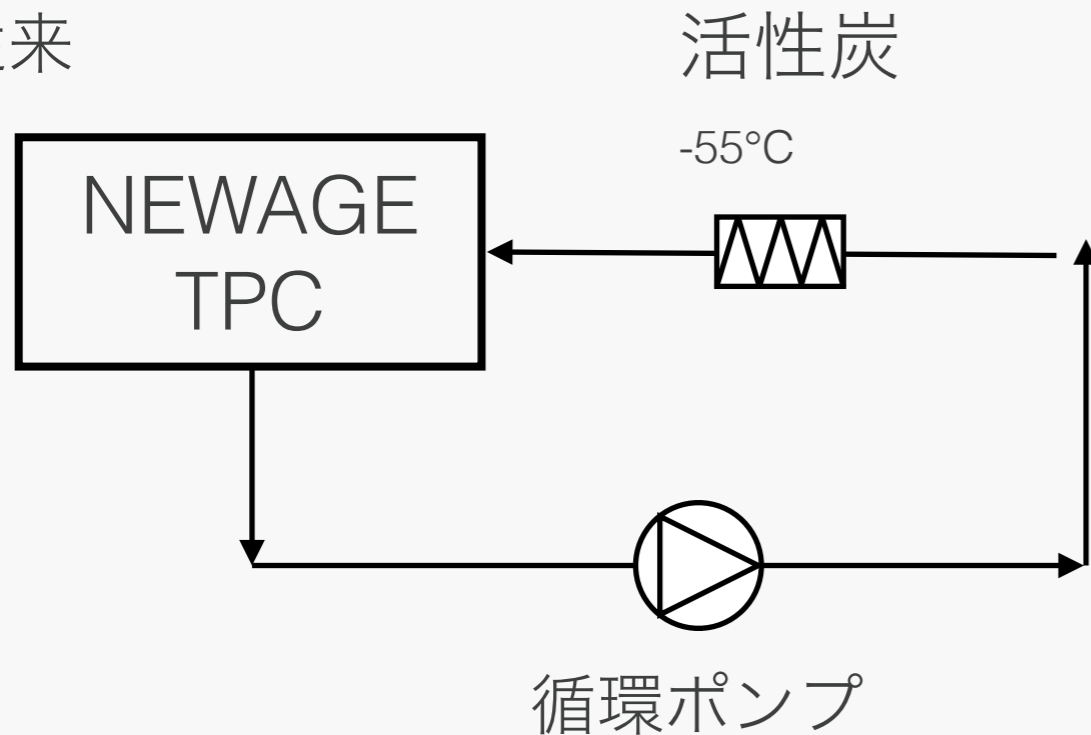


U系列の時定数がフィルタリングで
見えなくなる→Th系列BGの疑い

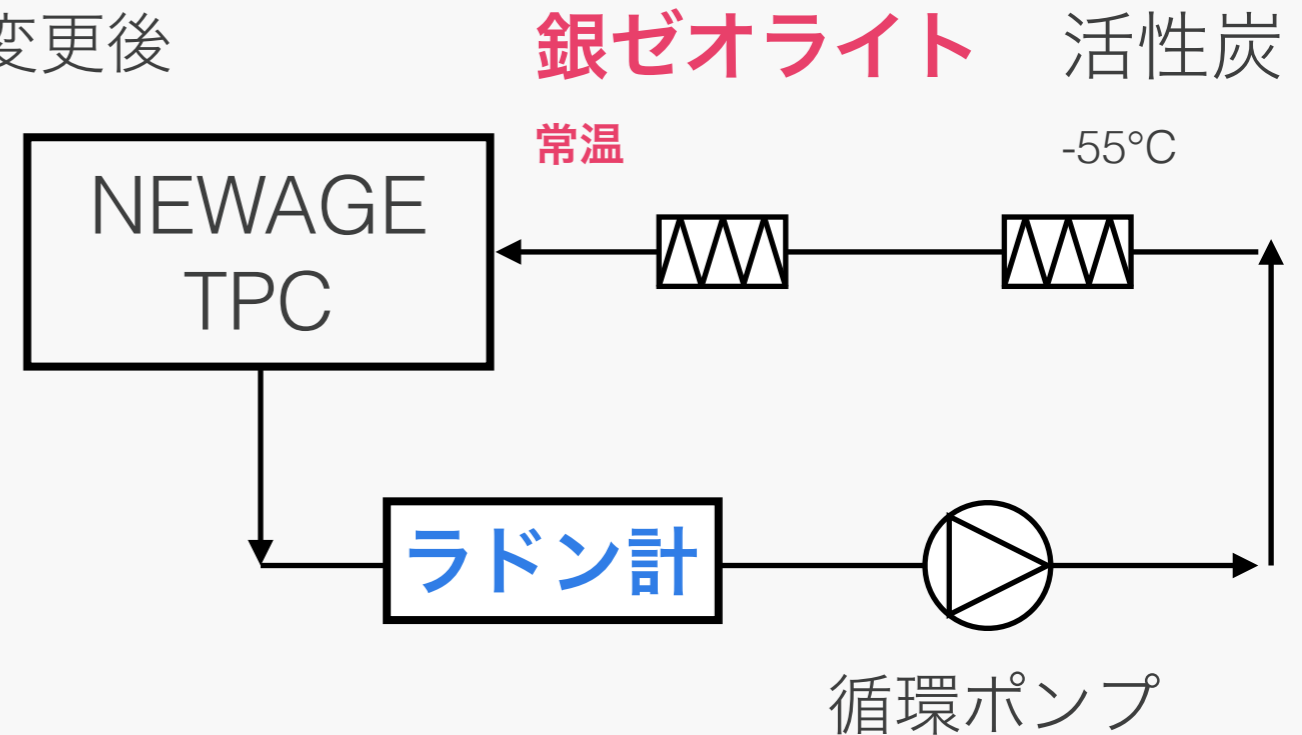
循環系の改善

- 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

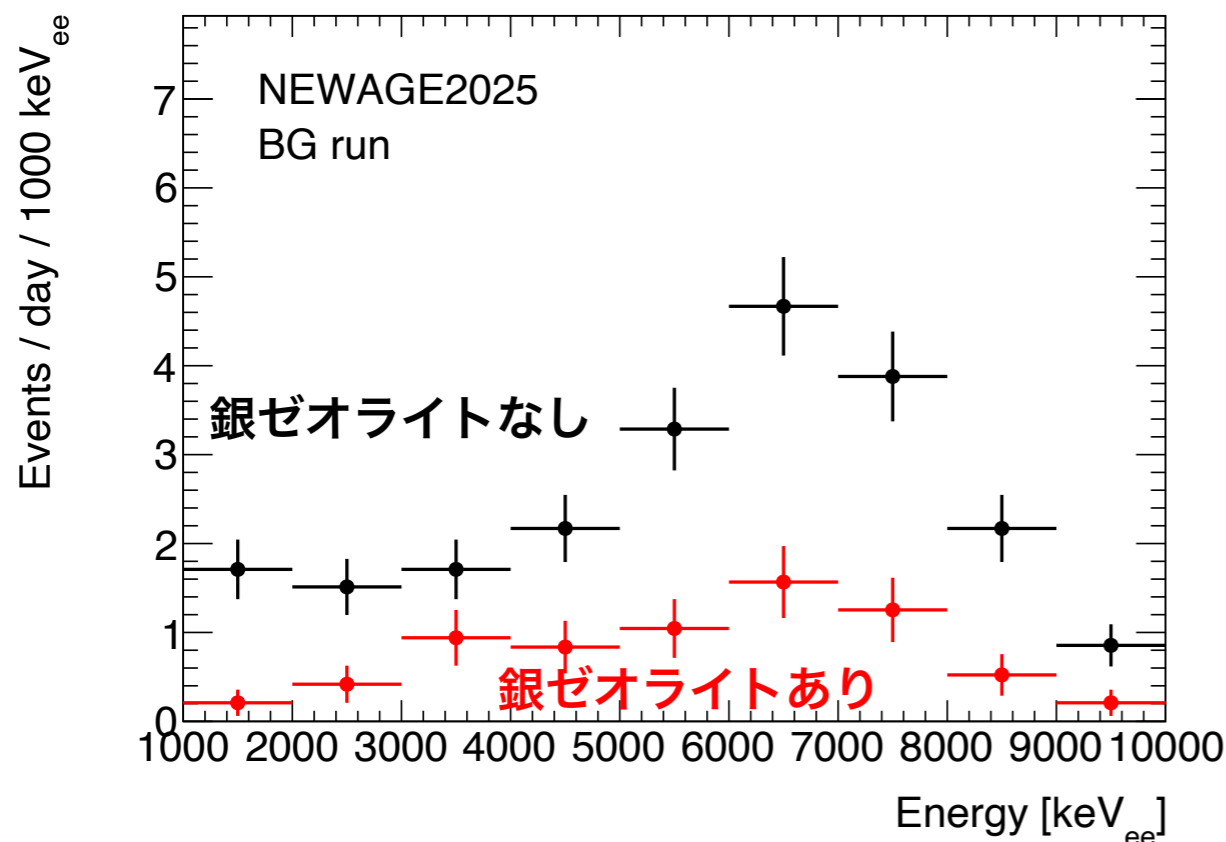
ラドン計

循環ポンプ

銀ゼオライトフィルター導入後

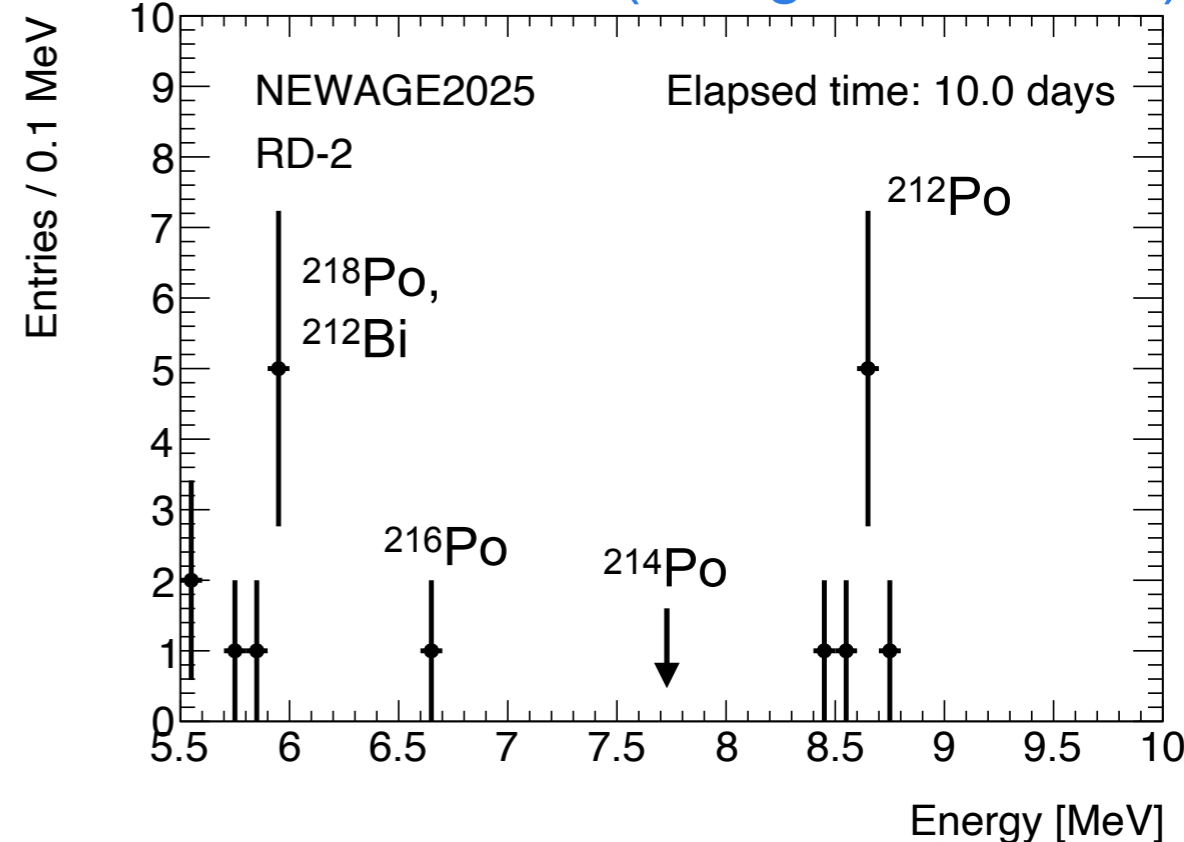
- 銀ゼオライトフィルターあり、なし (バイパス) でBG測定
 - ➔ 各10日間ほどのlifetimeでレート比較
- ラドン量を1/3に削減することに成功、残りはやはりTh系列

NEWAGE TPC



1/3に削減成功！

Radon detector (w/ Ag-zeolite circ.)

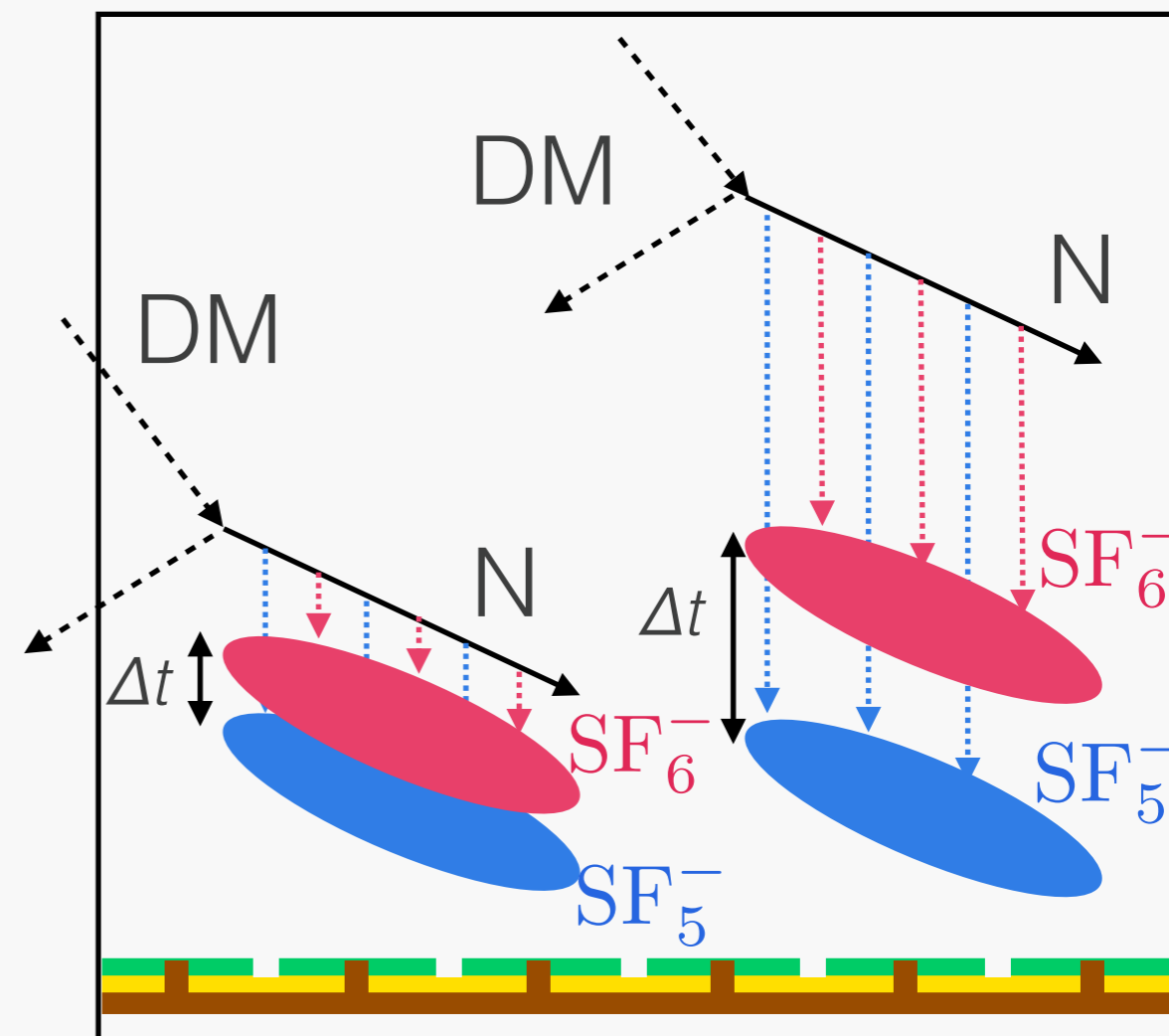
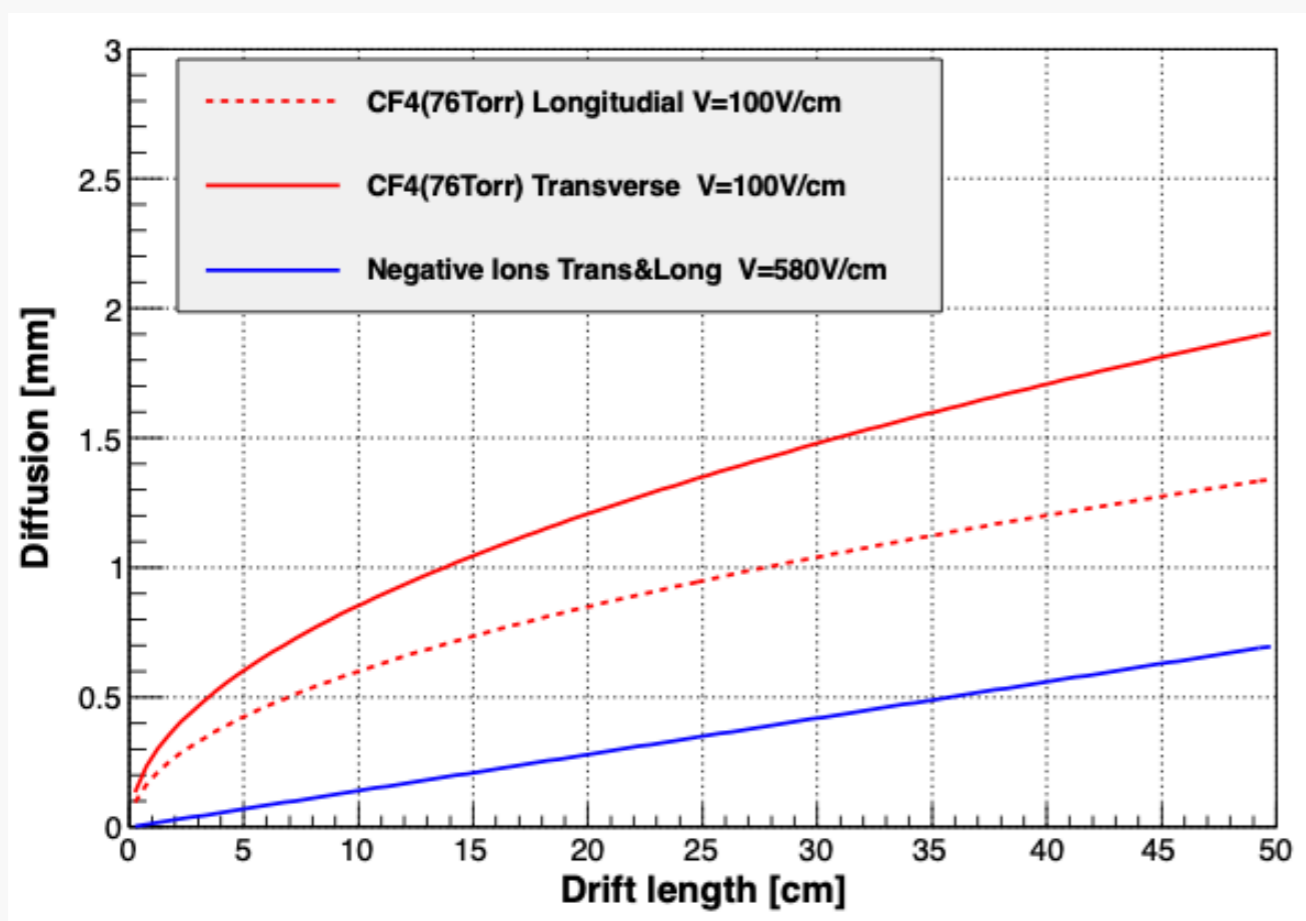


予想通りTh系列が残留

(銀ゼオライトなしでもTh系列のみ残る)

低エネルギー = 短飛跡検出に向けた戦略

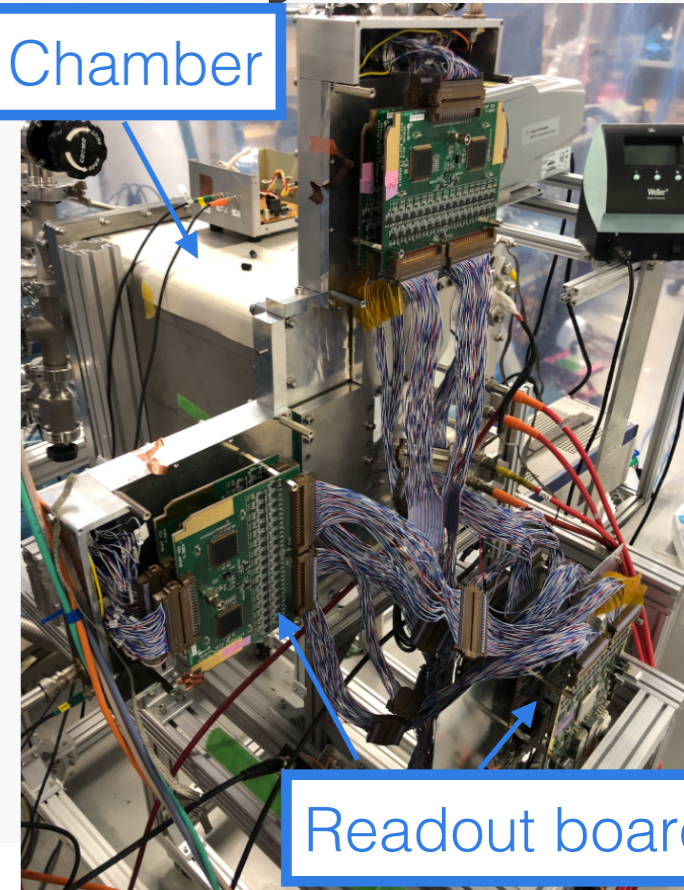
- 問題点はドリフト電子の拡散と読み出しピッチ
 - ➔ “陰イオンガス” を微細読み出しで勝負
 - ▶ ガス分子が電離電子をアタッチ、大きく重たい陰イオン形成→ゆっくり低拡散なドリフト
- 陰イオンガスにSF₆ガスを選択→絶対位置の再構成可能 (BG削減に有力)



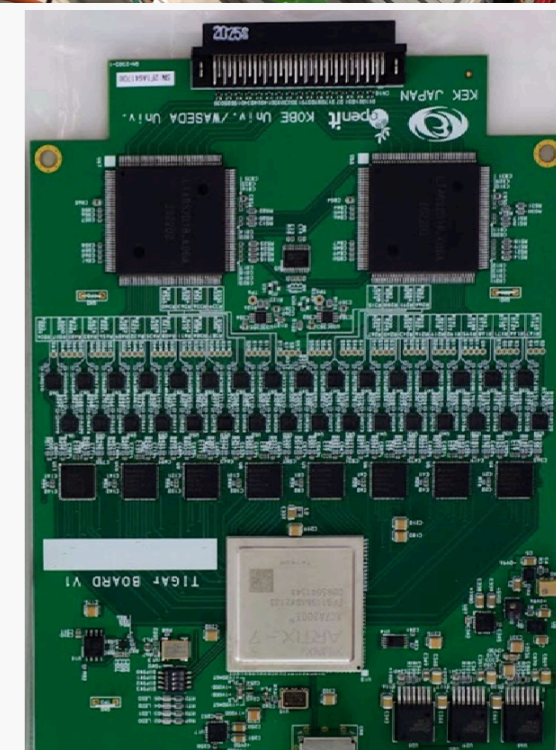
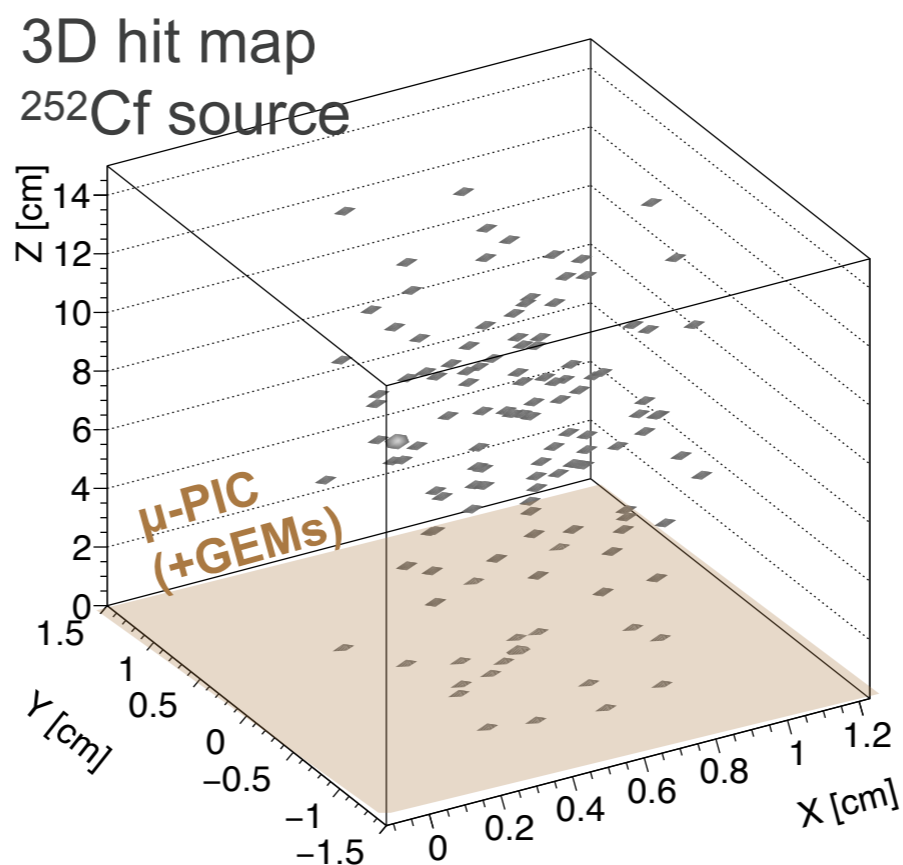
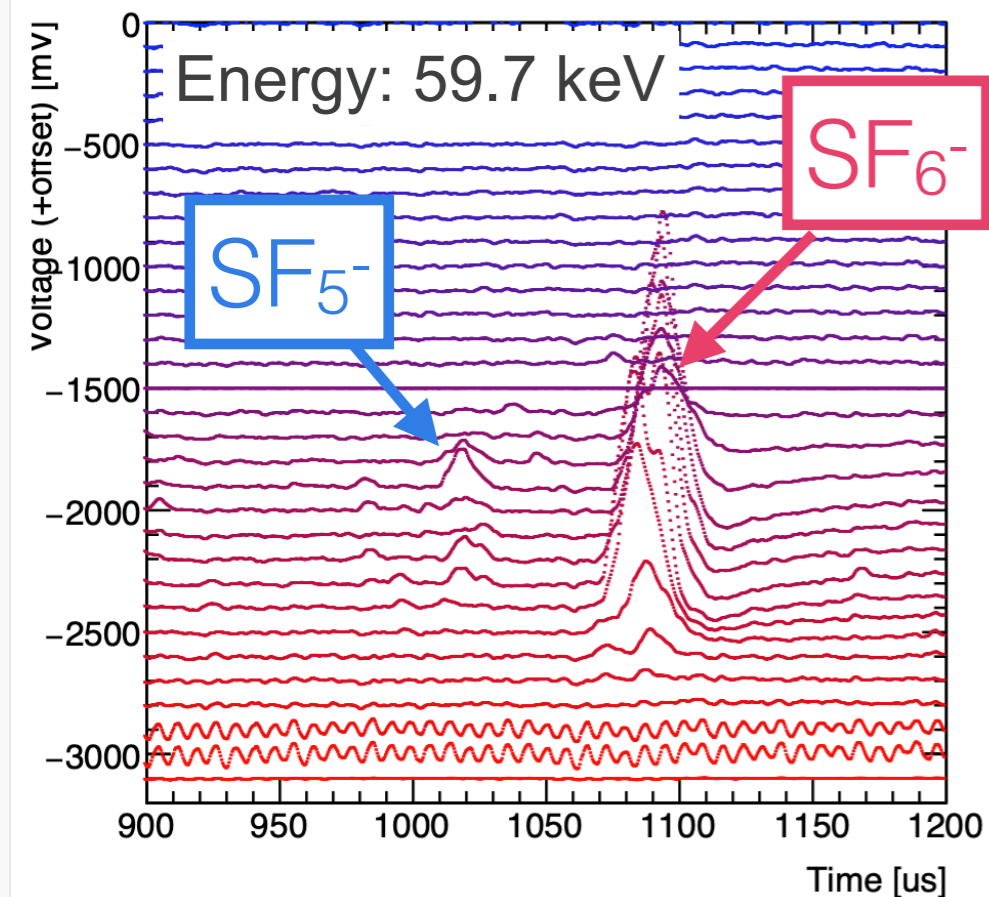
低拡散な陰イオンガスのstudy

- 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ソフトウェア開発
 - ➔ 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

Chamber



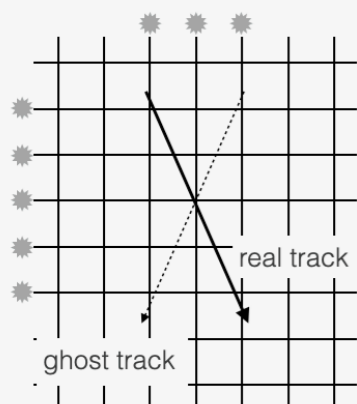
Readout board



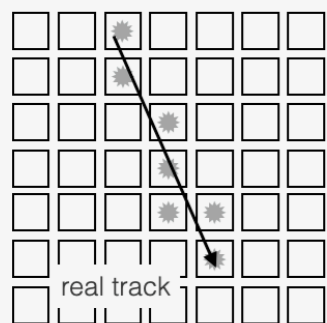
新バージョンのボード
(早稲田大メインに共同開発)

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**
 - ➔ SF₆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**

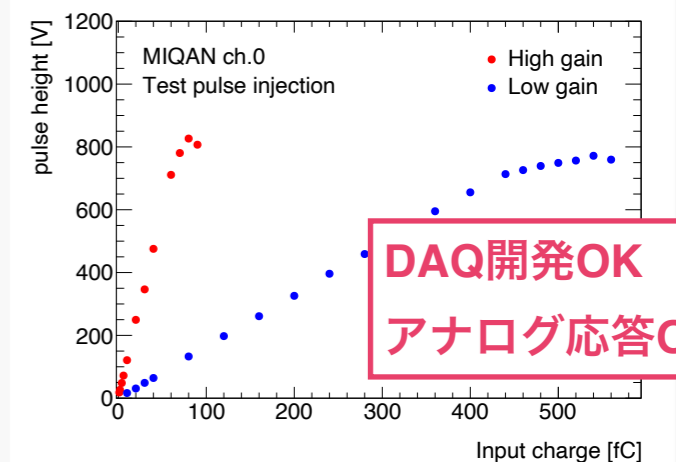
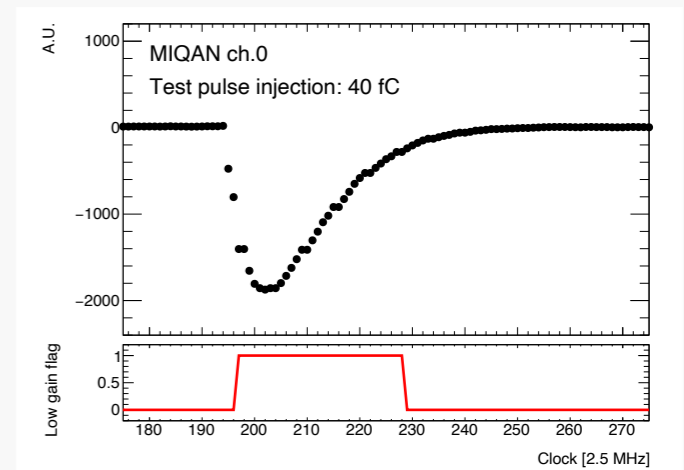
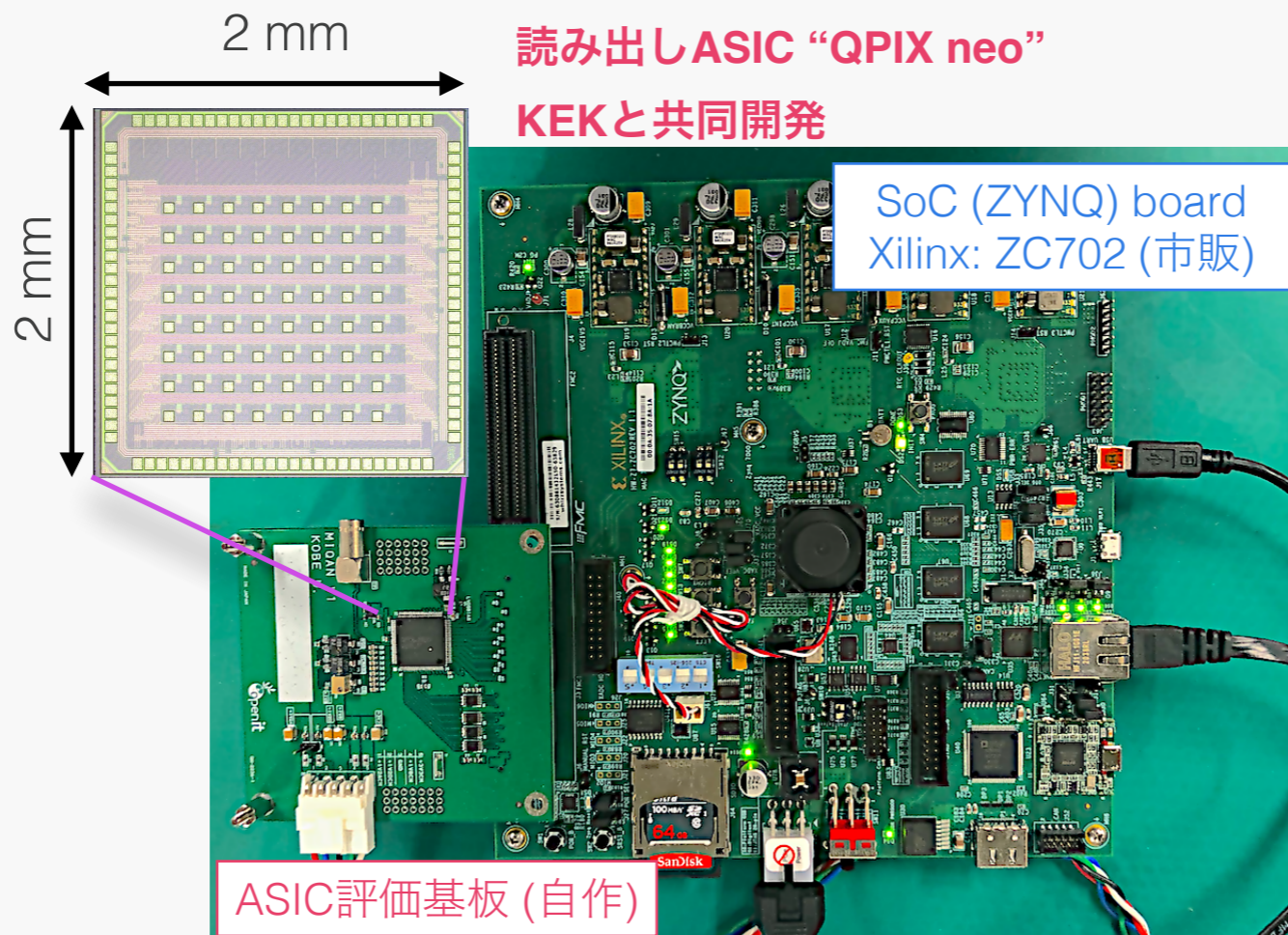


Strip readout
現行NEWAGE



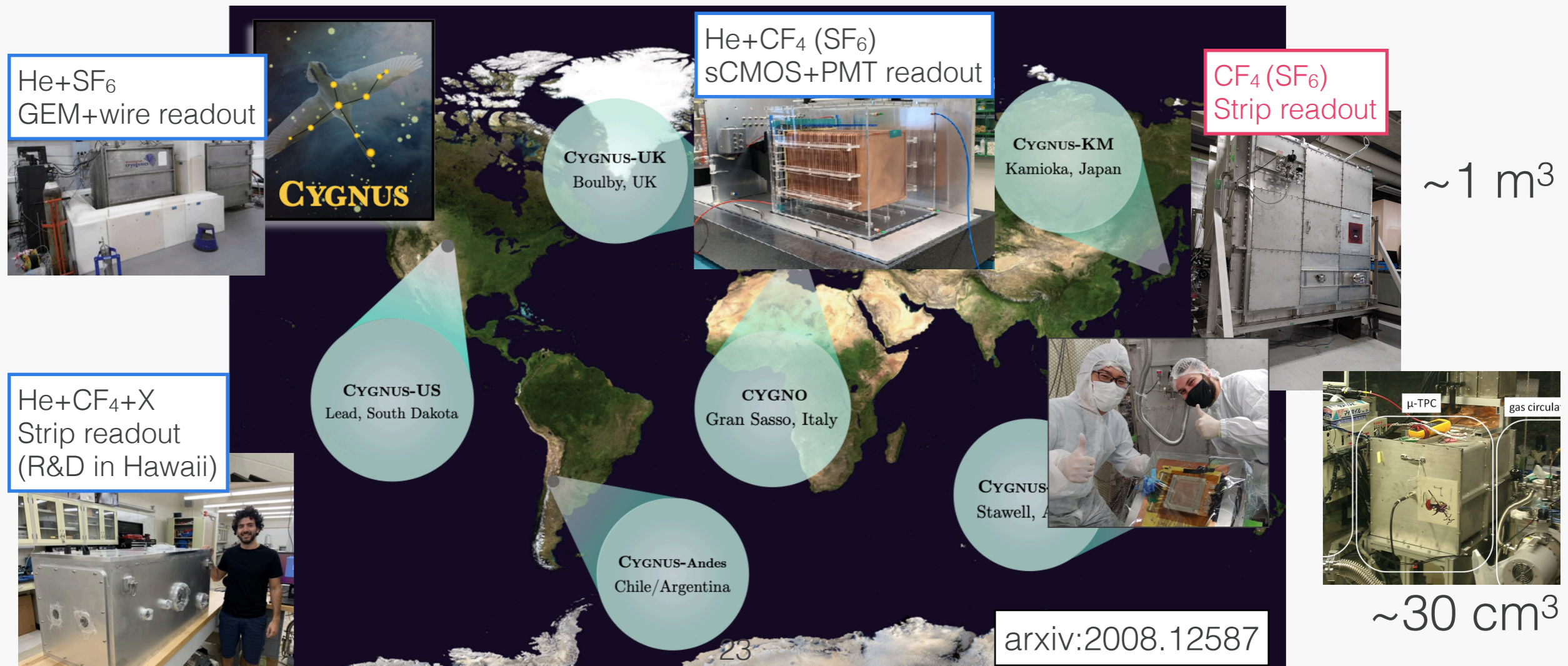
Pixel readout

新型検出器



“CYGNUS” コンソーシアム

- 各地下実験施設で1 m³級のガスTPC開発中
- 将来的に結果をコンバインしてより感度を出す
 - 現在は進捗状況等をシェアしつつ各々が技術を磨いている
- 1 m³級を超えた規模では海外連携が必須、その基盤を確立



“CYGNUS / NEWAGE” ロードマップ

