

第10回「極低放射能技術」研究会

日時：2025年3月7日～3月8日

富山大学 金森産業ホール で開催

学術変革領域A「極稀事象で探る宇宙物質の起源と進化 新たな宇宙物質観測創生のフロンティア」

計画研究D01「極低放射能技術の展開」主催



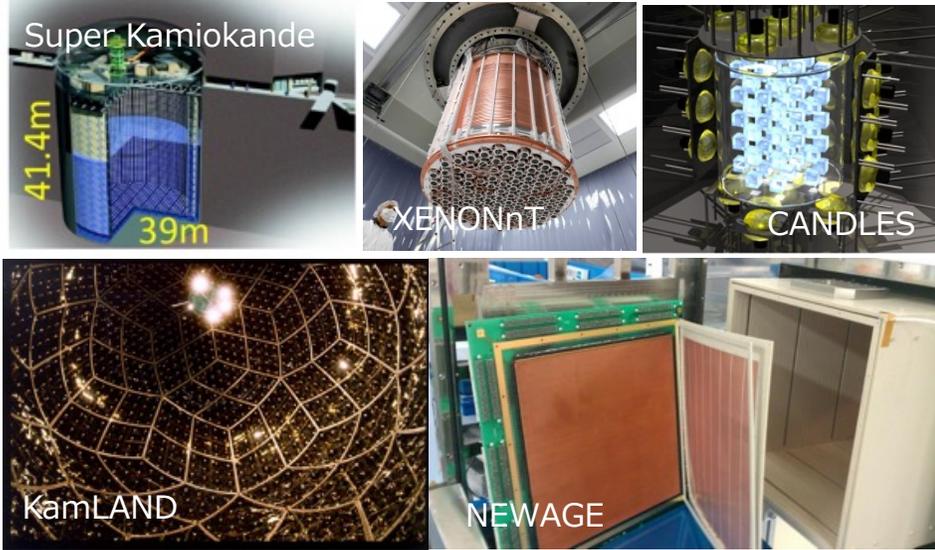
D01: 表面アルファ線イメージ分析

伊藤博士（東京理科大学）

2025/3/8

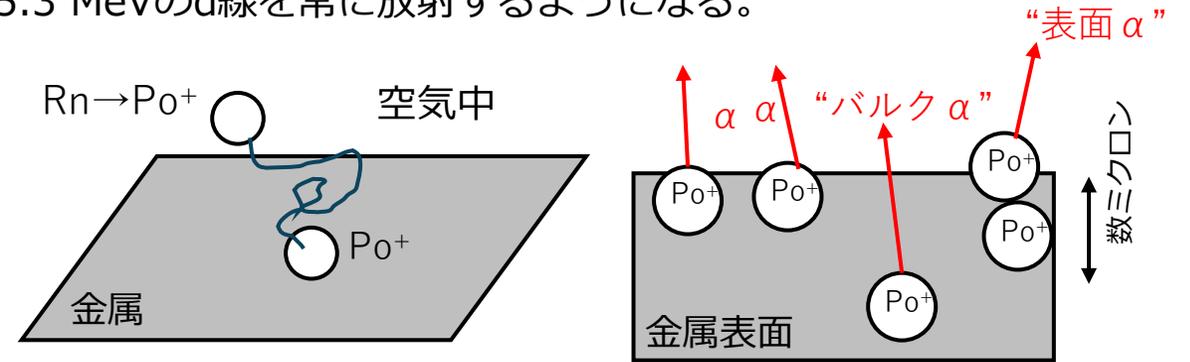
1. 研究背景

現在稼働している代表的な地下実験グループ

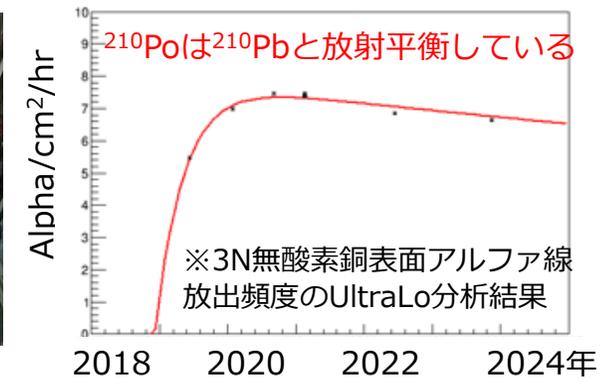


- 宇宙素粒子実験のための検出器は、「**極限まで少ない不純物の材料**」+「**大型化**」が**共通して**要求される。これまで綺麗な素材確保・生成、分析技術が確立されてきた。
- その分析技術のひとつである、**表面アルファ線分析**について今回は焦点を当てる。
- 多くの実験では、**HPGe分析**、**ICP-MS分析**で材料不純物濃度の要求するため、表面 α については**要求値は定めていない、もしくは装置の分析限界を要求**する。

- いくら材料自身が綺麗でも、空気中に置いておくだけでラドン由来の放射性不純物が表面に付着し汚染される。
- **Rn娘核のPo-218が表面数ミクロンほど埋め込まれる。**ウラン系列である鉛-210が半減期22年なので、その娘核のPo-210が5.3 MeVの α 線を常に放射するようになる。



神岡坑内のRn豊富な空気に暴露したのち放置

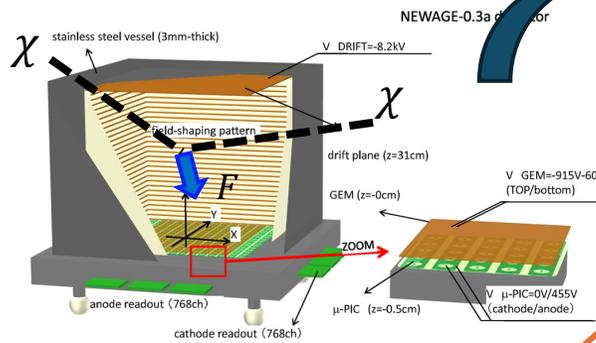


- 坑内のラドン娘核が金属表面に付着し、 ^{210}Pb (半減期:22年)として定着。
- 孫娘核の ^{210}Po が**逐次生成**され、**表面アルファ線量が増える**。その後、 ^{210}Pb の半減期に沿って**減衰**する様子が確認できる。

2. low-BG アルファ線イメージ分析

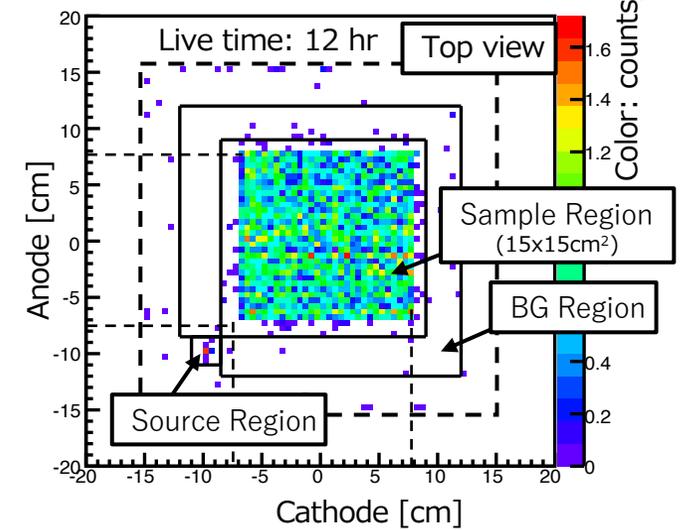
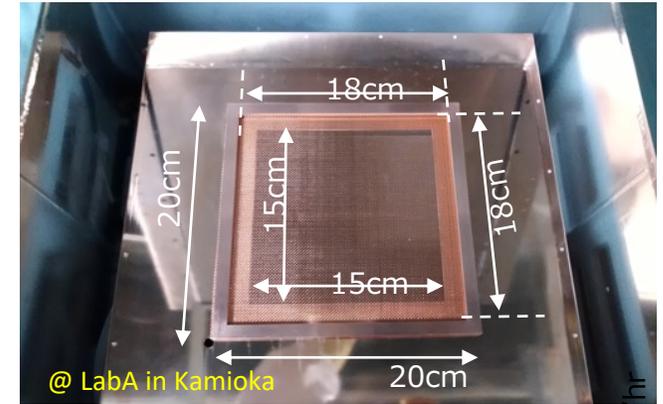
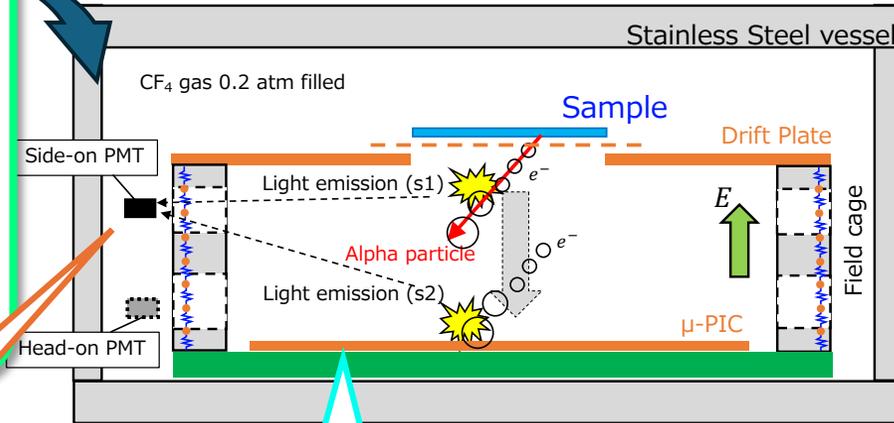
NEWAGE-0.3a: 地下における3次元方向感度を持つDM初探索 (Sep. ~ Dec. 2008 in 神岡)

Phys Lett B 686 (2010) 11.

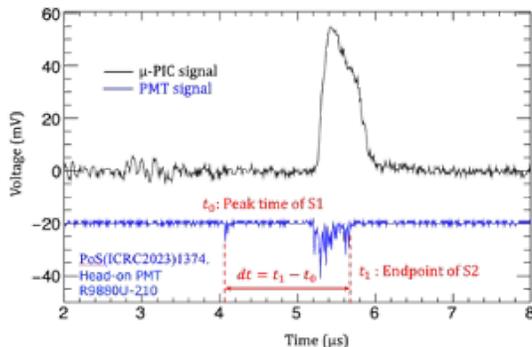


AICHAM: Alpha-particle Imaging CHAMber

表面アルファ線イメージ分析のための、
μ-PICを用いたガスTPC(time-projection chamber)
Nucl Inst Meth A 953 (2020) 163050.

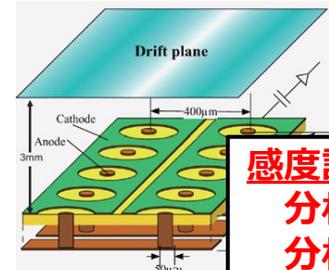
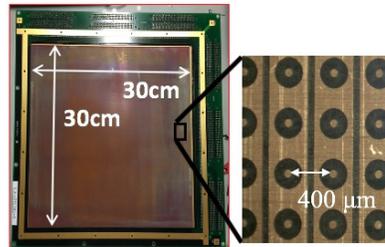


Side-on Photo-multiplier Tube (PMT) : この小型 PMTは、TPCと真空容器の隙間に実装。



Low-α μ-PIC (micro-pixel imaging chamber)

- Anode and cathode 2-D strip sensor.
 - 400 μm pitch, 768ch+768ch, 300 x 300 mm² covered.
 - Low alpha emission from the surface
- Nucl Inst Meth A 977 (2020) 164285.



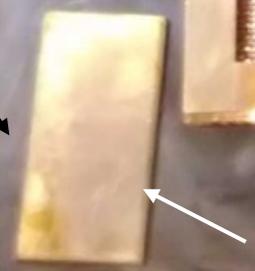
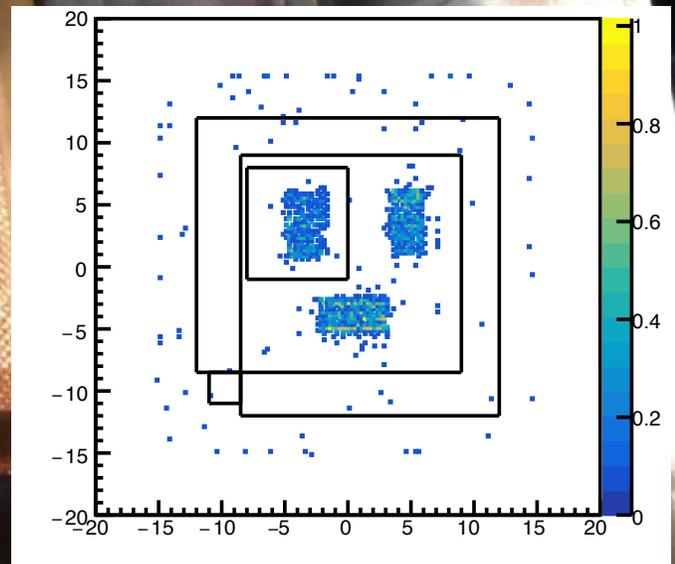
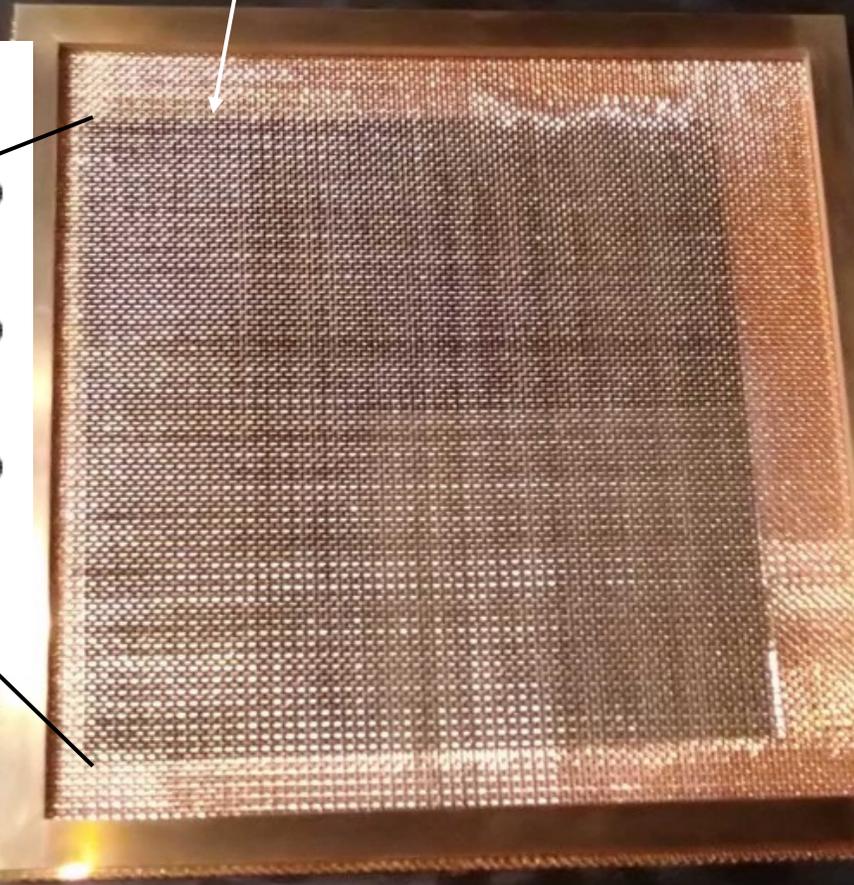
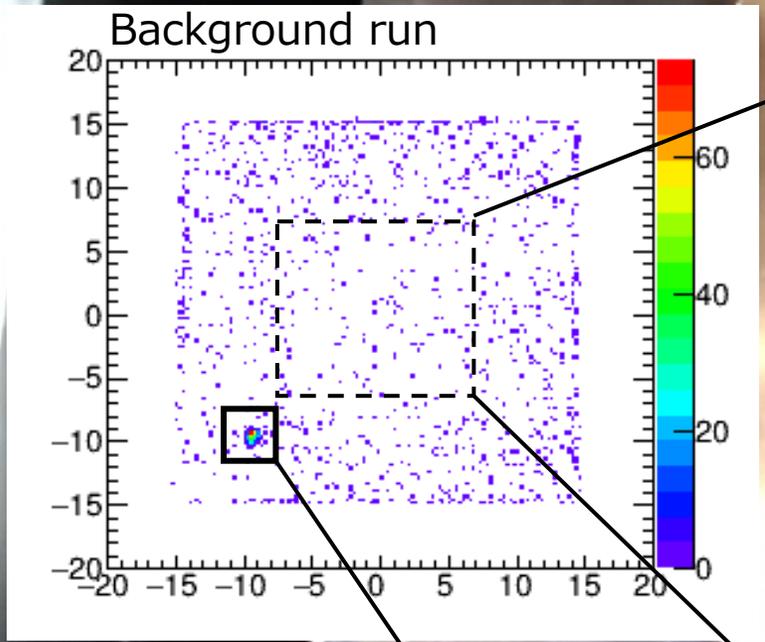
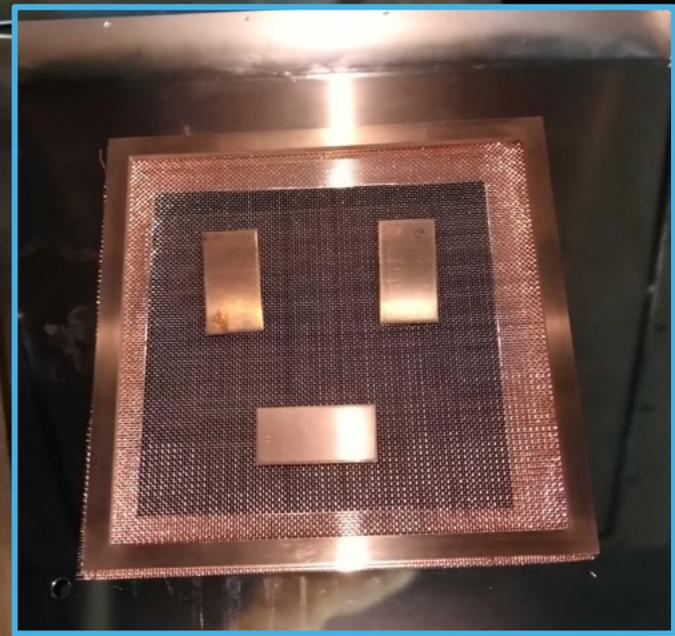
実験グループの枠を超えて、
これまで材料分析を実施しています。

感度評価

分析限界(w.o. PMT) : $\sim 3 \times 10^{-3}$ a/hr/cm² (90%CL)
分析限界(w. PMT) : $O(10^{-4})$ a/hr/cm² (90%CL)

3. AICHAMのアクティビティ

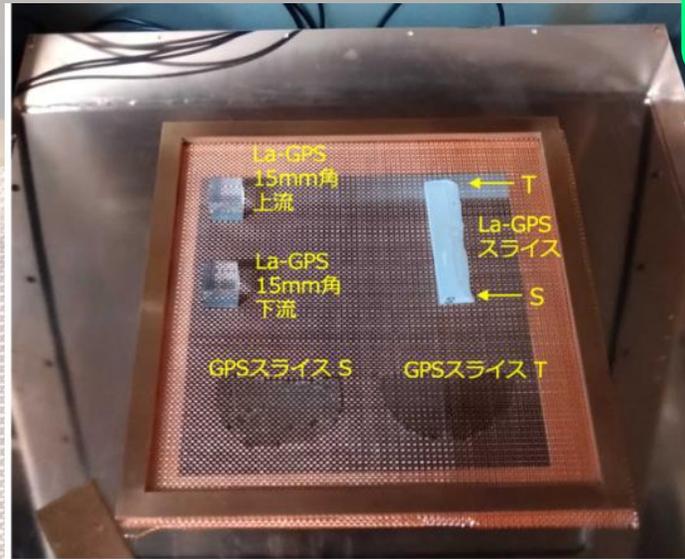
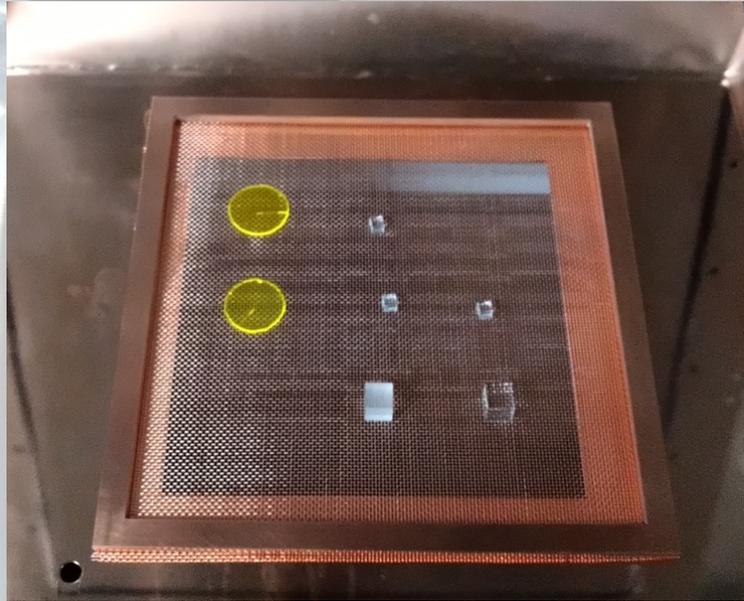
有効面積：15x15 cm²
メッシュの上にサンプルを乗せる。



同時に測定する小型 α 線源
ドリフト板に穴が空いている。

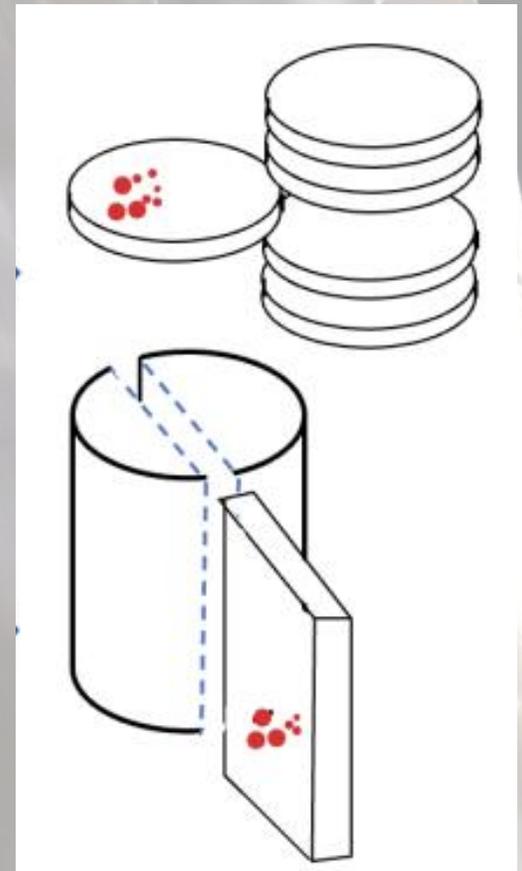
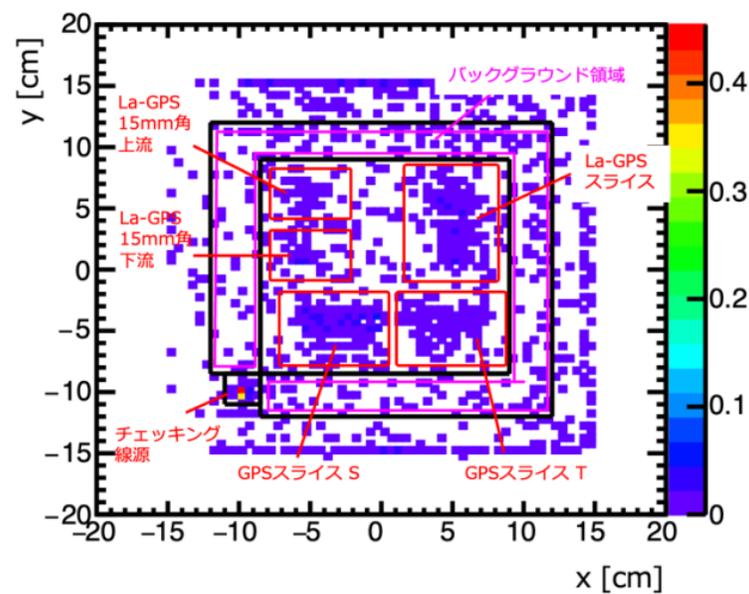
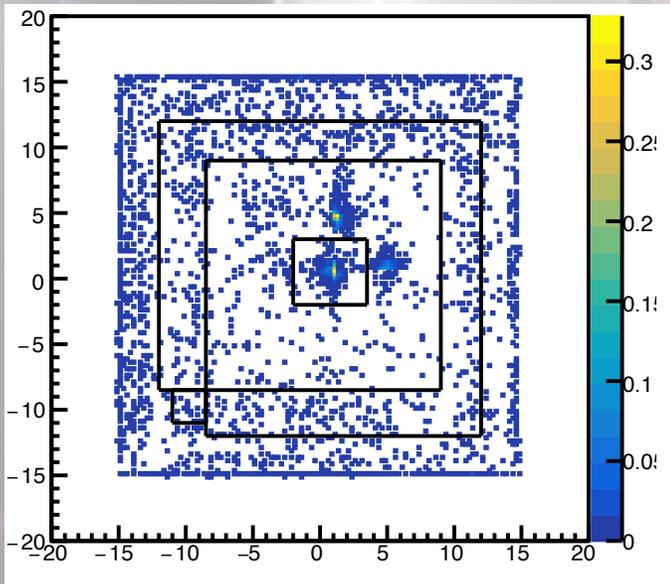
α 線源を置いた箇所には分布が存在してイメージ取得できている。⁴

3. AICHAMのアクティビティ



シンチレータ結晶内部のU/Tl濃度3次元分布をアルファ線イメージ分析で測定できないか？
東北大学金属材料研究所共同研究

結晶をT-Sにかけて縦にスライス後、その表面のアルファ線放出量を測定した。



3次元α線汚染分布の再構成の例

4. アルファ線分析装置の高感度化

(計画)

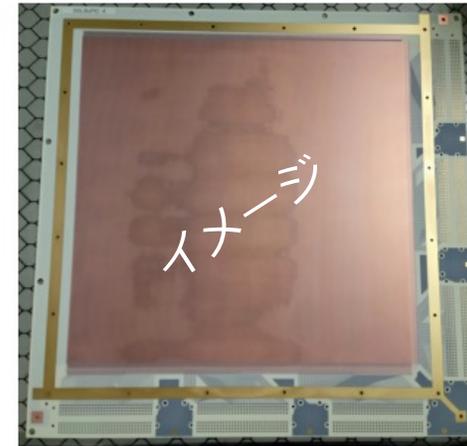
(1) 銀ゼオライトによるラドン吸着除去テスト

- AICHAMの現在主要BGは CF_4 ガス中の残留ラドン。
- 銀ゼオライトは、冷却なしで使えるため期待大。



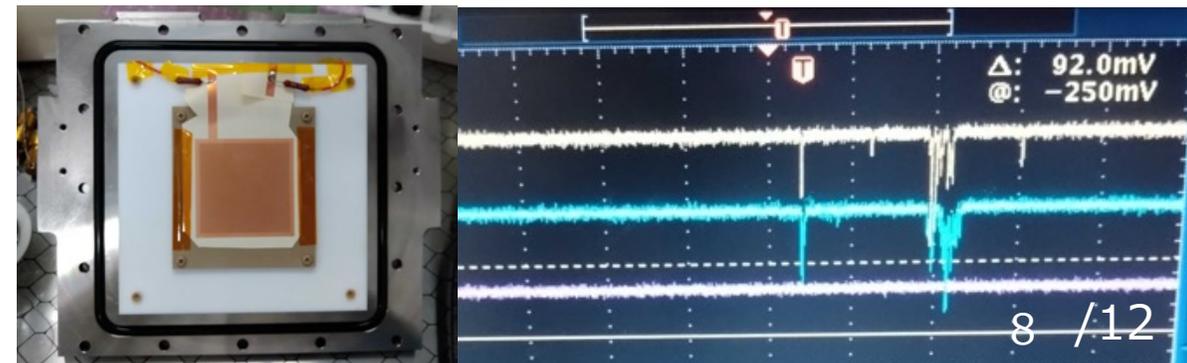
(2) low-BG μ -PICの製作と実装

- 現在製作中
- バックグラウンドのラドン抑制で、分析感度改善が期待される。



(3) GEMを用いた仕様でnew-AICHAM!?! (s1-s2観測)

- 小型機(GEM 5 x 5cm²)で試験。
- S1, S2発光は観測済み。
- 新エリア：カーネルに導入計画。

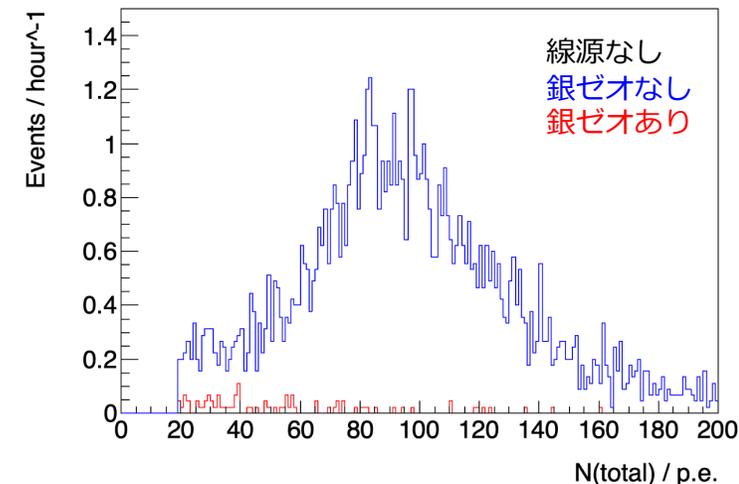
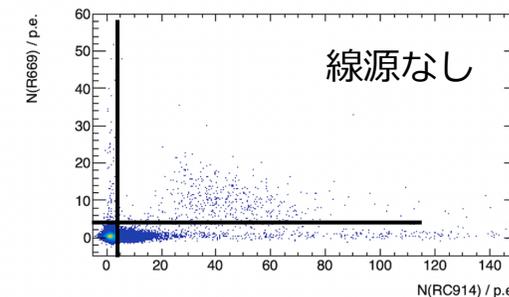
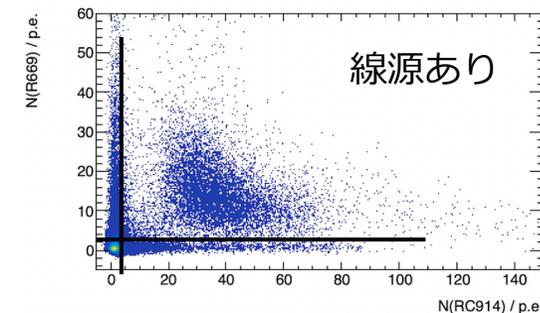
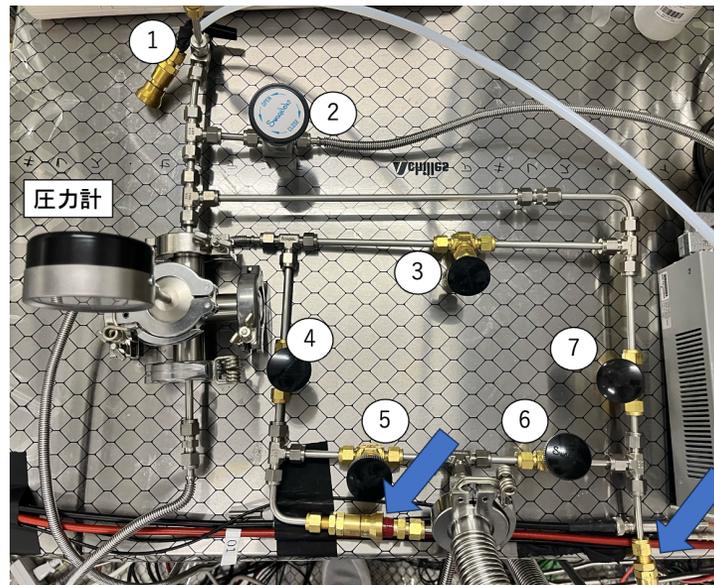
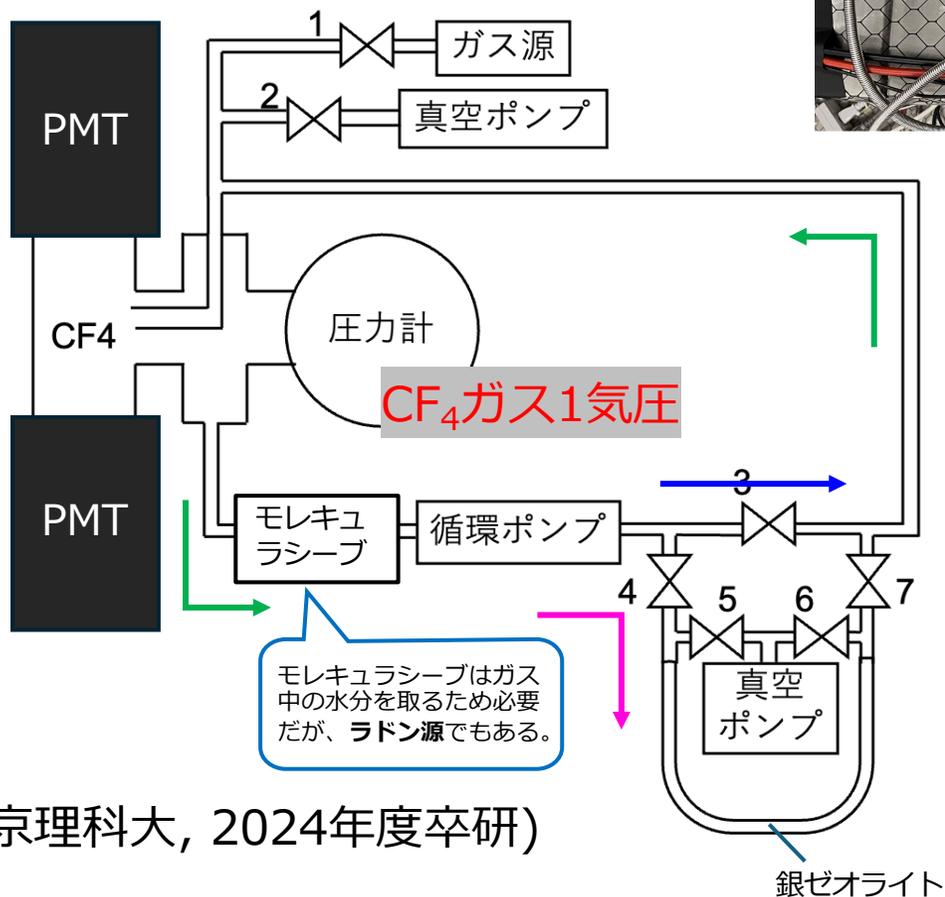


5. アルファ線分析装置の高感度化

(2024年度の研究進捗)

(1) 銀ゼオライトによるラドン吸着除去テスト

CF₄ガスシンチレーション発光に基づいた
銀ゼオライトのCF₄ガス中ラドン除去効率測定



結果：～97% ラドンlike事象を抑制した。
(※仮定ありき)

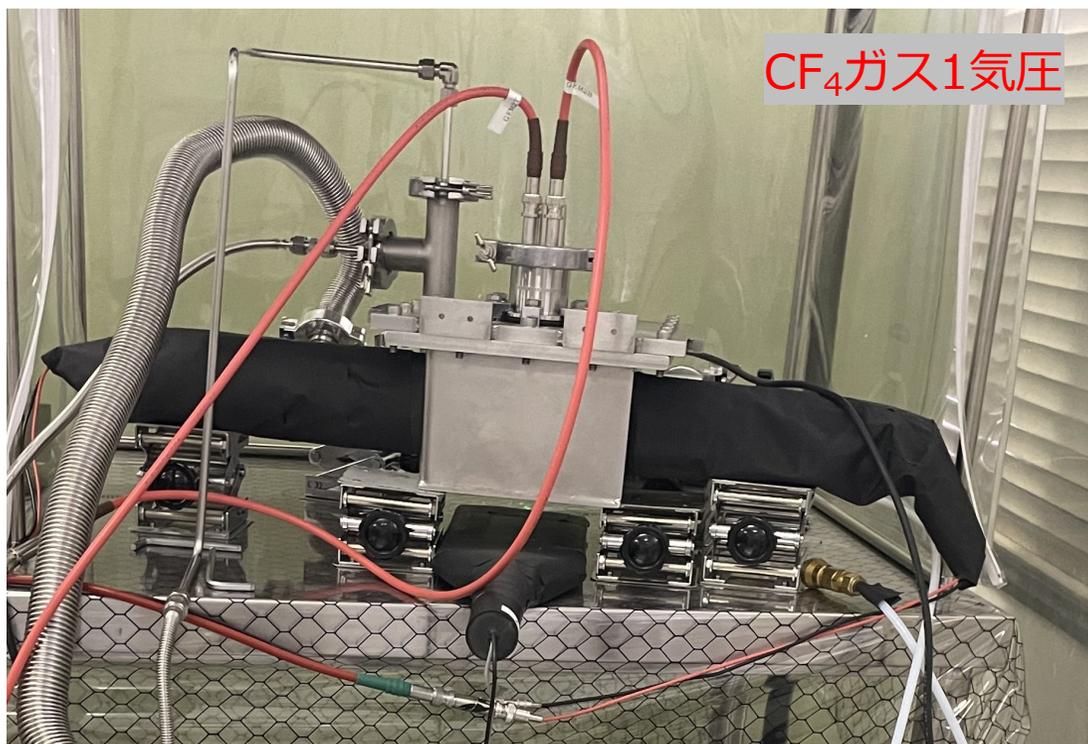
山中凜 (東京理科大, 2024年度卒研)

5. アルファ線分析装置の高感度化

(2024年度の研究進捗)

(3) GEMを用いた仕様でnew-AICHAM!?

CF₄ガスシンチレーション発光(s1, s2)に基づいた
小型アルファ線検出器の性能評価



加藤大聖 (東京理科大, 2024年度卒研)

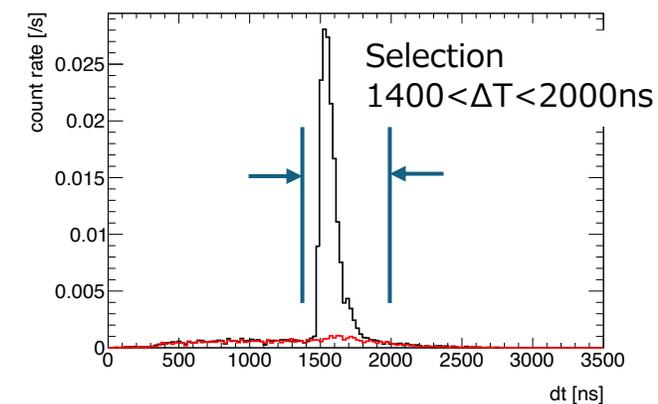
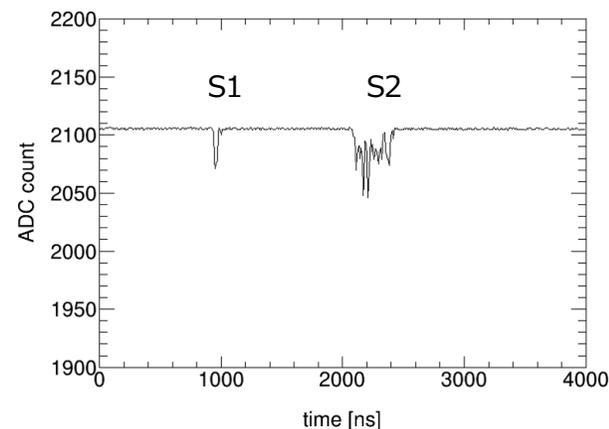
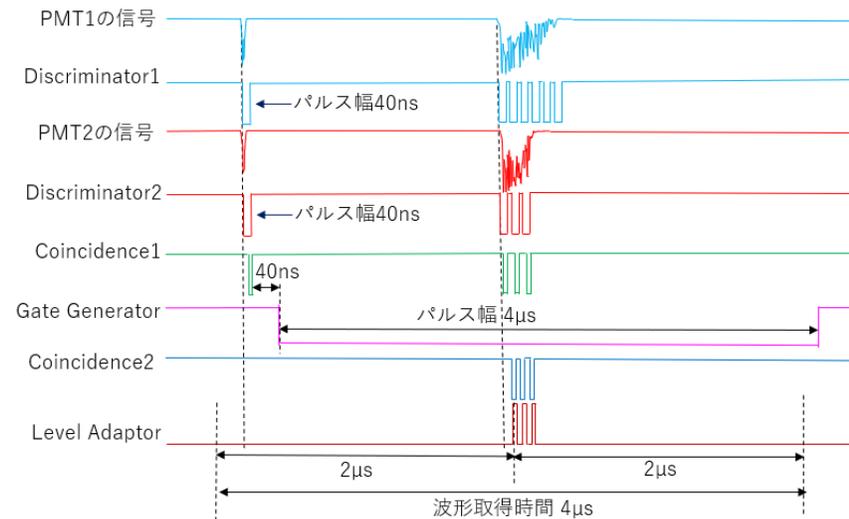


表 3.4: α線検出器としての評価

項目	ΔT の条件なし	ΔT の条件あり
エネルギー分解能 (5.3 MeV の場合)	$29.3 \pm 2.1\%$	$29.0 \pm 2.1\%$
検出効率	$88.7^{+3.0}_{-3.8}\%$	$87.0^{+3.0}_{-2.6}\%$
バックグラウンドレート	$79.3^{+3.1}_{-3.3}$ alpha/hr	$35.4^{+1.7}_{-1.8}$ alpha/hr

5. アルファ線分析装置の高感度化

(2024年度の研究進捗)

(3) GEMを用いた仕様でnew-AICHAM!?

GEM搭載小型アルファ線検出器を用いた
銀ゼオライトのCF₄ガス中ラドン除去効率測定

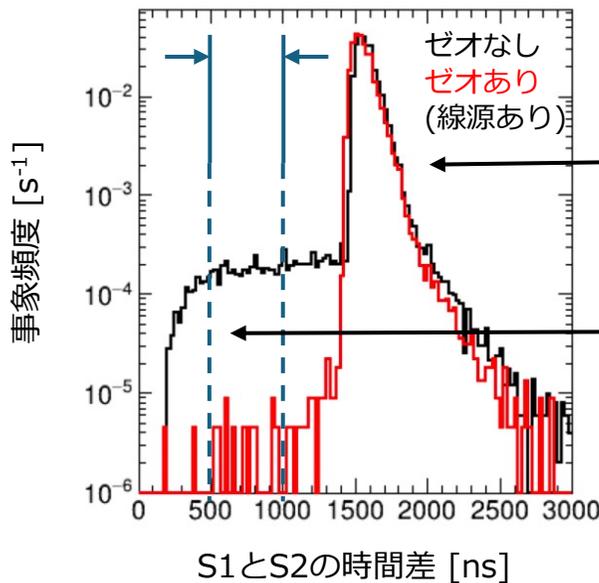
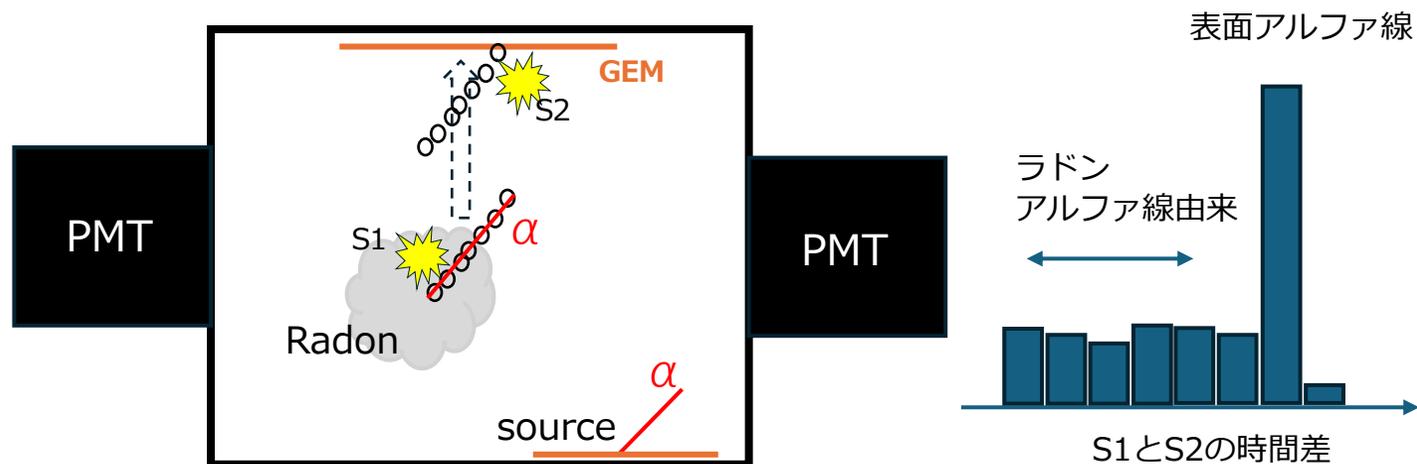


加藤大聖 study

+



山中凜 study



線源の位置から発生した
アルファ線事象

空中で発生した
アルファ線事象

**ラドン由来アルファ線事象
除去効率 = 0.986 ± 0.004%**

ガス発光を用いた銀ゼオライトのRn除去効率測定なら

今後、任意ガス種類*(Xe, Ar, CF₄, SF₆)についても試験できそう! ?

まとめ

- 地下実験(DM, ν)において、表面アルファ線イメージ分析装置(AICHAM)は、実験グループの枠をこえて、サンプル分析を実施してきた。
- AICHAMは、**分析感度 10^{-4} a/cm²/hrのレベル**に達したが、さらに感度向上のために課題がある。
- 感度改善のために、(1) 銀ゼオライトによるラドン吸着、(2) low-BG μ -PICの実装、(3) GEMを用いたnew-AICHAM!?!の開発 を計画している。
- 2024年度は、
GEM-base検出器を立ち上げ、s1-s2を観測して表面アルファ線を同定した。
CF₄ガス中における銀ゼオライトによるラドン吸着効率を測定した。
を実施した。