

極稀事象で探る宇宙物質の起源と進化

新たな宇宙物質観創生のフロンティア

学術変革「地下稀事象」領域研究会

2024年7月5日、6日

大阪大学 豊中キャンパス

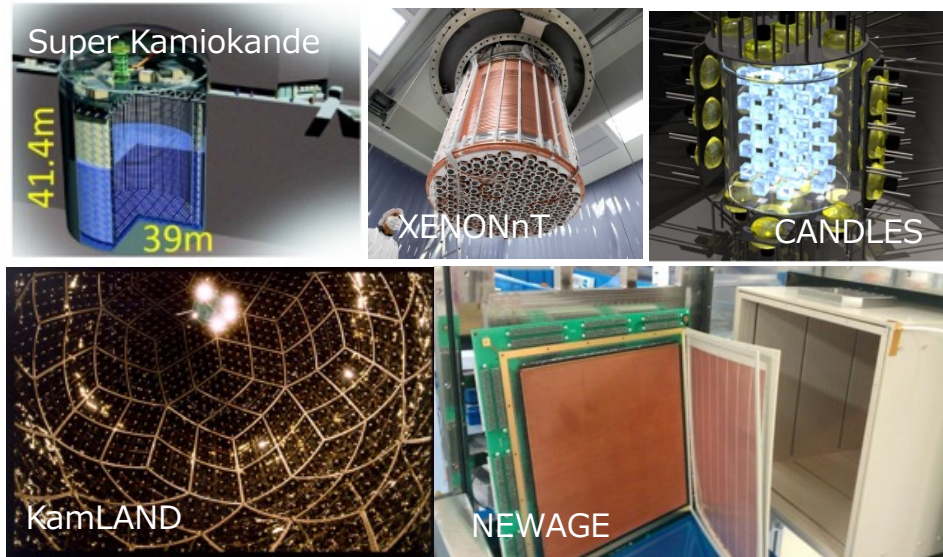
表面アルファ線イメージ分析

D01班：極低放射能 表面 α イメージ分析技術の開発と応用

伊藤博士（東京理科大学）

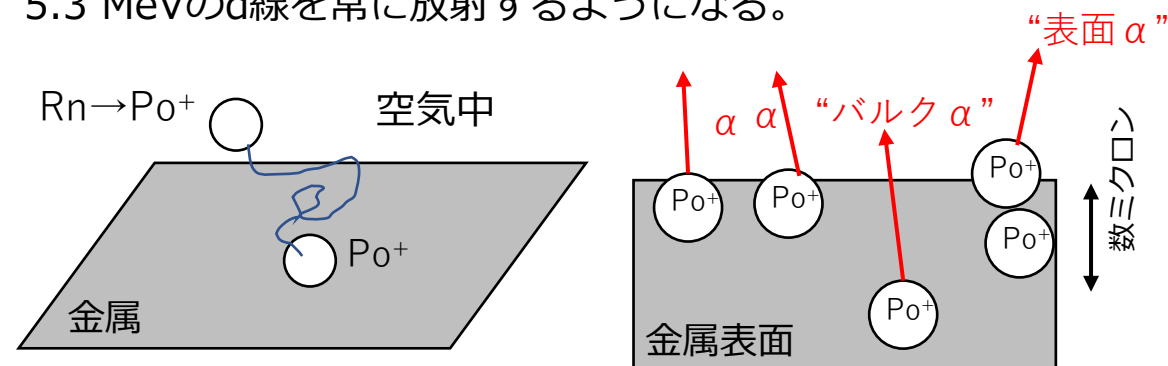
1. 研究背景

現在稼働している代表的な地下実験グループ

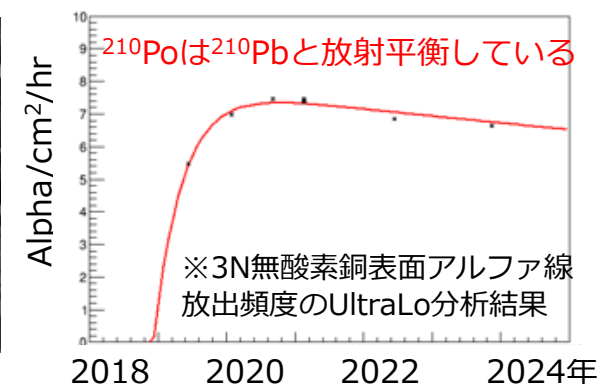
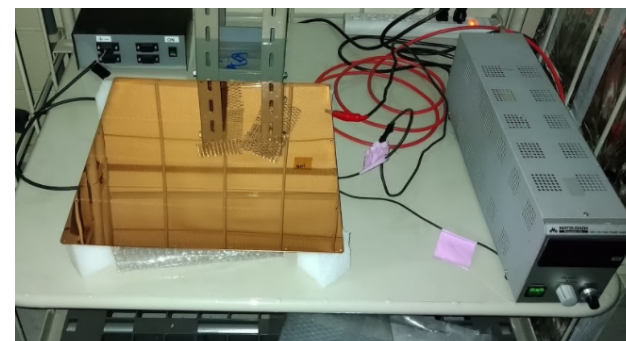


- 宇宙素粒子実験のための検出器は、「**極限まで少ない不純物**」+「**大型化**」が**共通して**要求される。これまで綺麗な素材確保・生成、分析技術が確立されてきた。
- その分析技術のひとつである、**表面アルファ線分析**について今回は焦点を当てる。
- 例えば、PTFEは比較的安価でDM検出器のフィールドケージ壁にも良く使用されるため、表面汚染検査は非常に重要。

- 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。



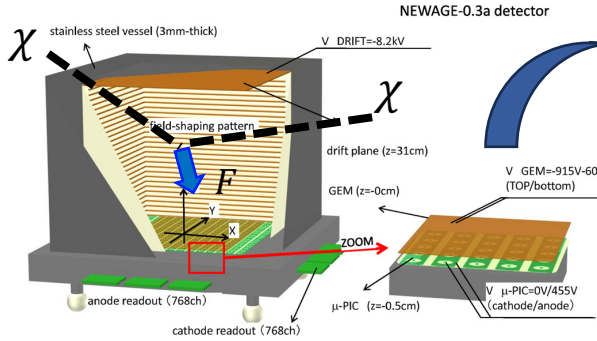
神岡坑内のRn豊富な空気に暴露したのち放置



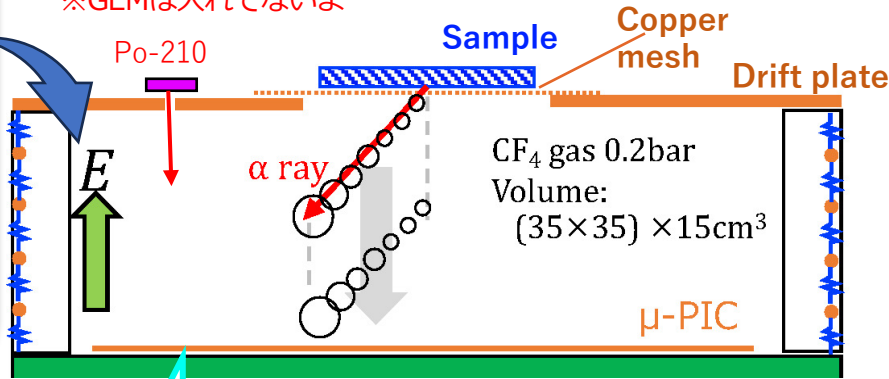
- 表面αは時間変化する。試料生成時と数年後の表面汚染は異なる可能性がある。
- 表面アルファ線分析は独立的に重要な極低BG測定手法**である。

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.

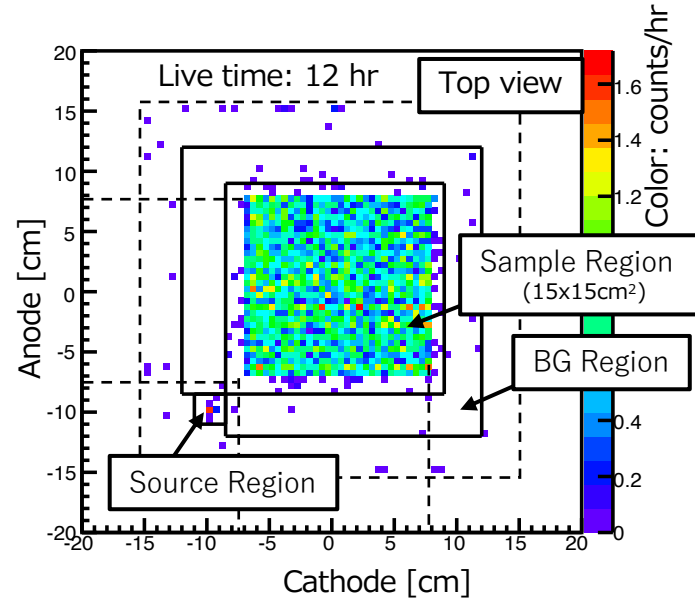
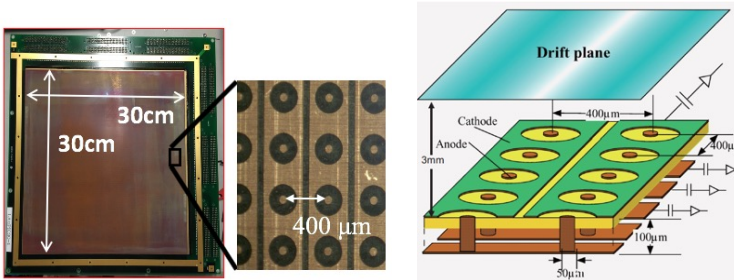


AICHAM: Alpha-particle Imaging CHAMber
表面アルファ線イメージ分析のための、
μ-PICを用いたガスTPC(time-projection chamber)
Nucl Inst Meth A 953 (2020) 163050.
※GEMは入れてないよ

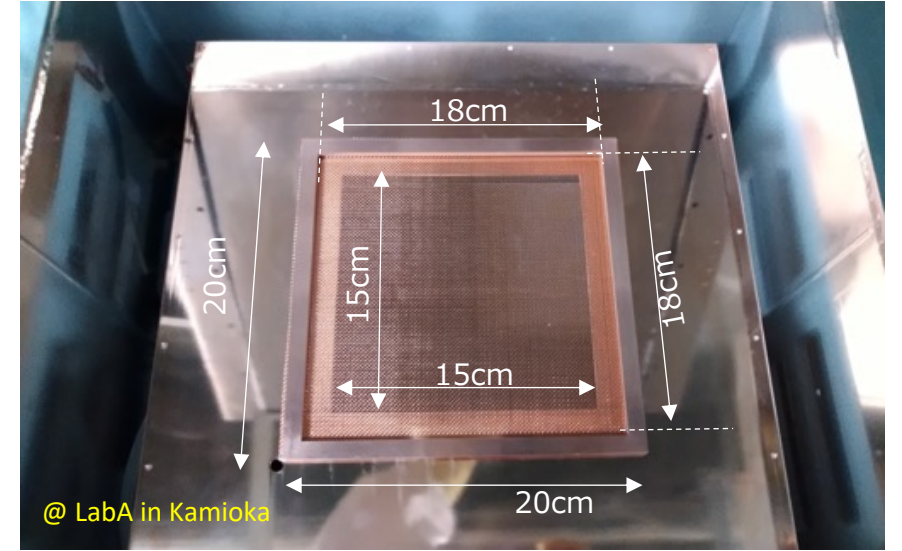


Low-α μ-PIC (micro-pixel imaging chamber)

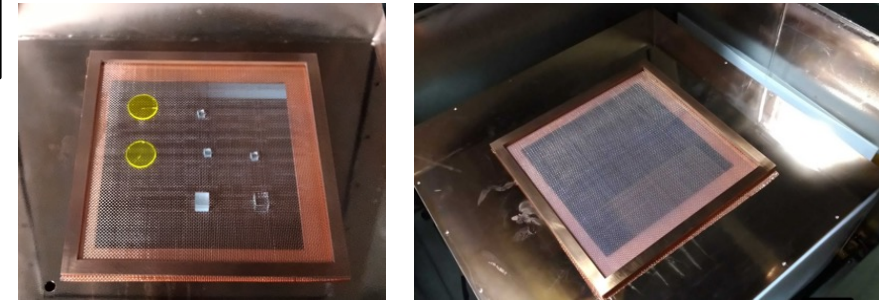
- Anode and cathode 2-D strip sensor.
 - 400 μm pitch, 768ch+768ch, 300 x 300 mm² covered.
 - Low alpha emission from the surface
- Nucl Inst Meth A 977 (2020) 164285.



AICHAM (伊藤博士, 東京理科大)



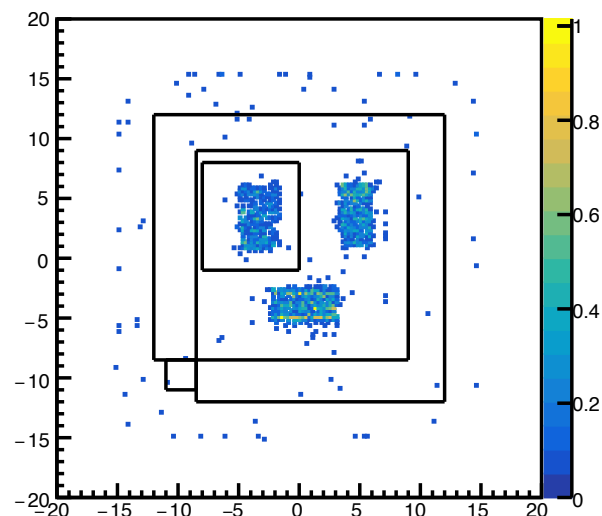
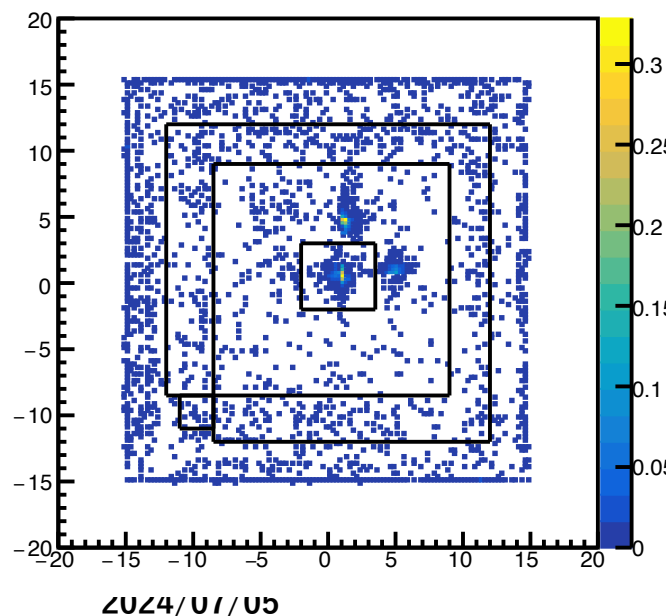
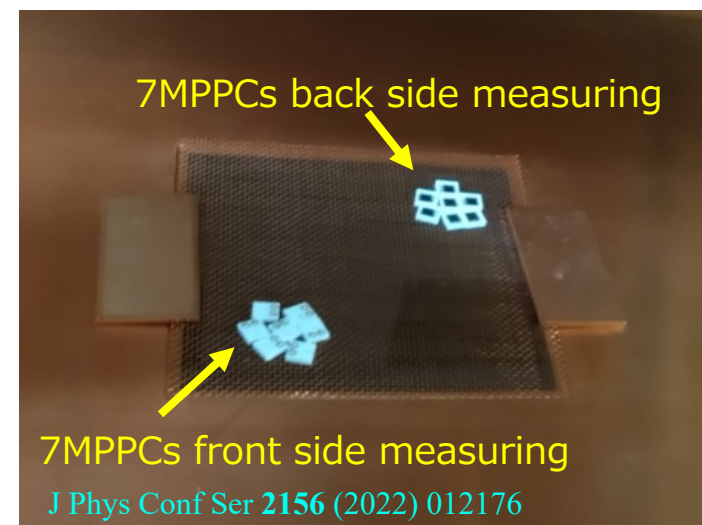
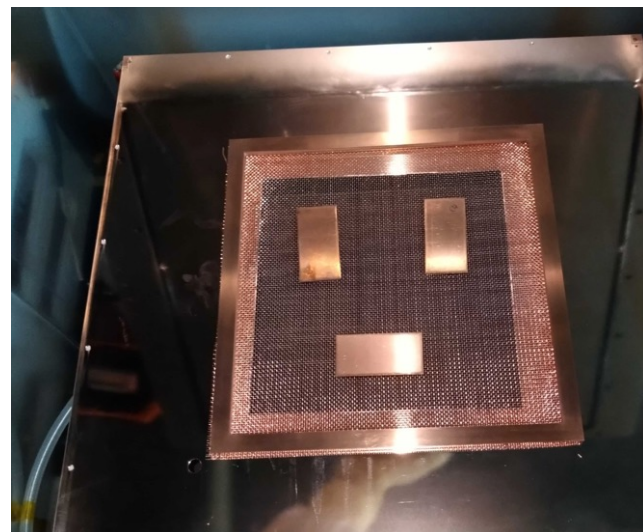
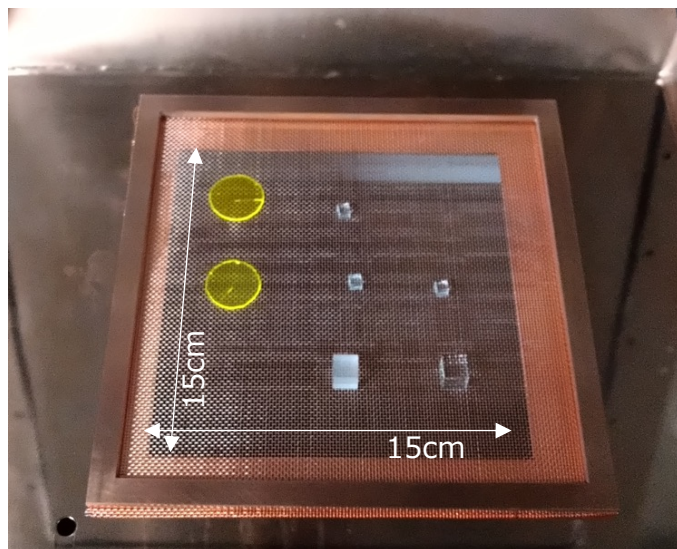
AICHAMを使った分析は、
感度 $\sim 10^{-3}$ a/hr/cm² (90%CL)
@E>2.5MeV, 15x15cm²で、
さまざまな研究グループから依頼され分析を実施してきた。



学会・研究会公開を条件に、
現在無償で測定してます。

2. low-BG アルファ線イメージ分析

AICHAMを用いた分析事例紹介



AICHAM (伊藤博士, 東京理科大)

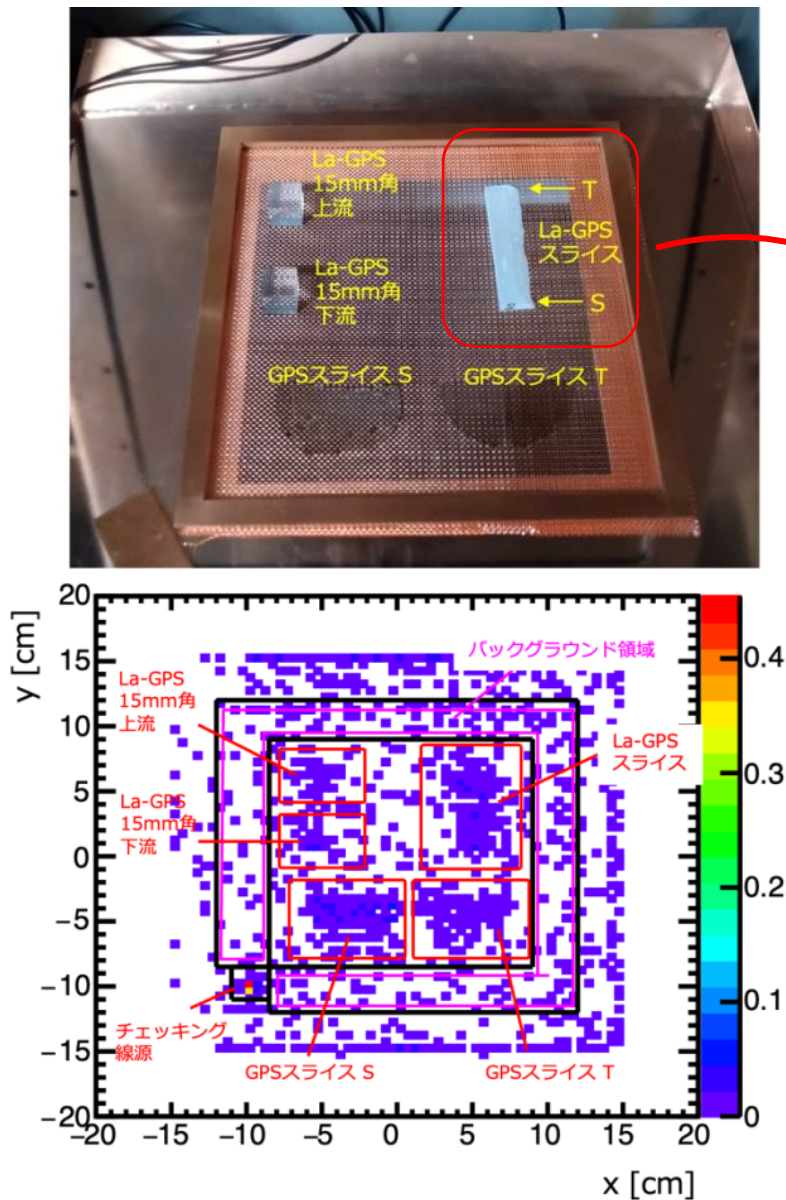
イメージングの利点は、
一度に複数サンプルを測定できること。

サンプル分析期間の不確かさはなくなる。

サンプル比較として効果的である。

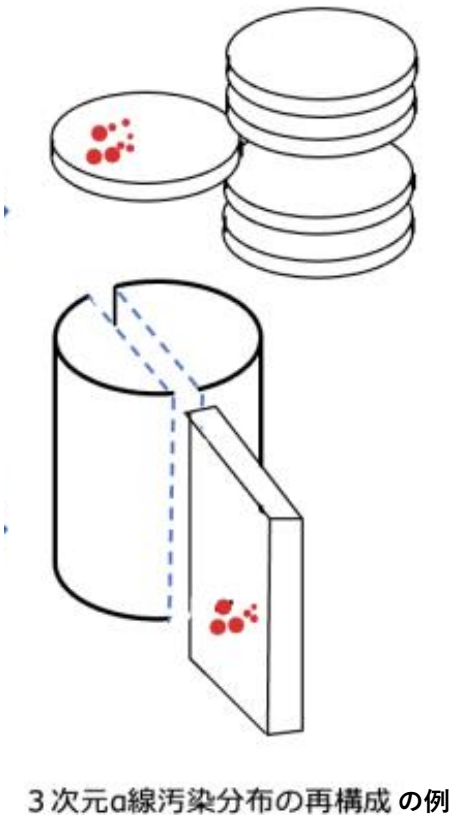
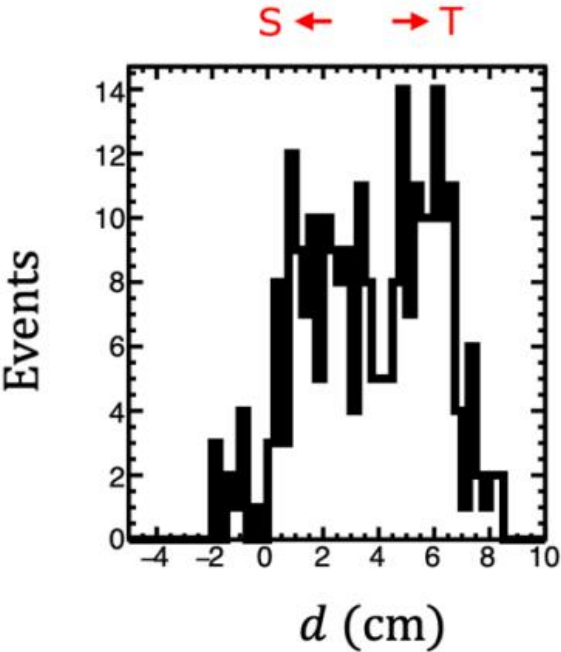
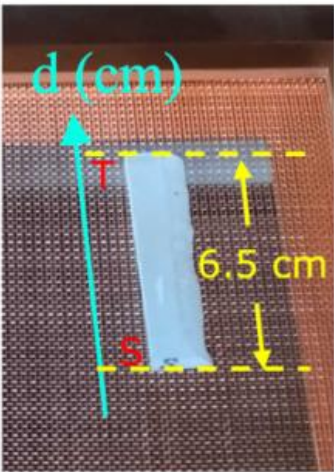
2. low-BG アルファ線イメージ分析

AICHAMを用いた分析事例紹介



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

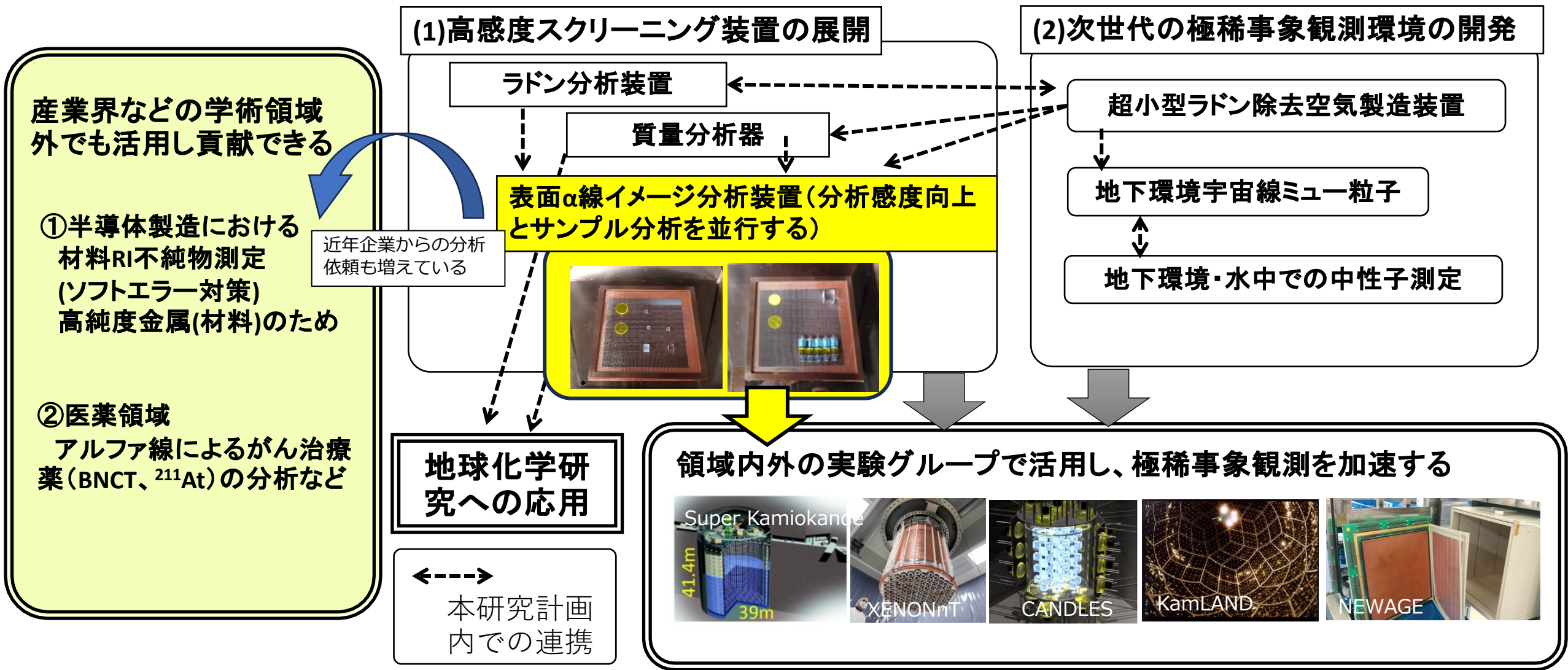
結晶をT-Sにかけて縦にスライス後、
その表面のアルファ線放出量を測定した。



今回の結晶では、S側とT側に明らかな非一様性は観測できなかった。

3. 領域内外での表面アルファ線分析の位置付け

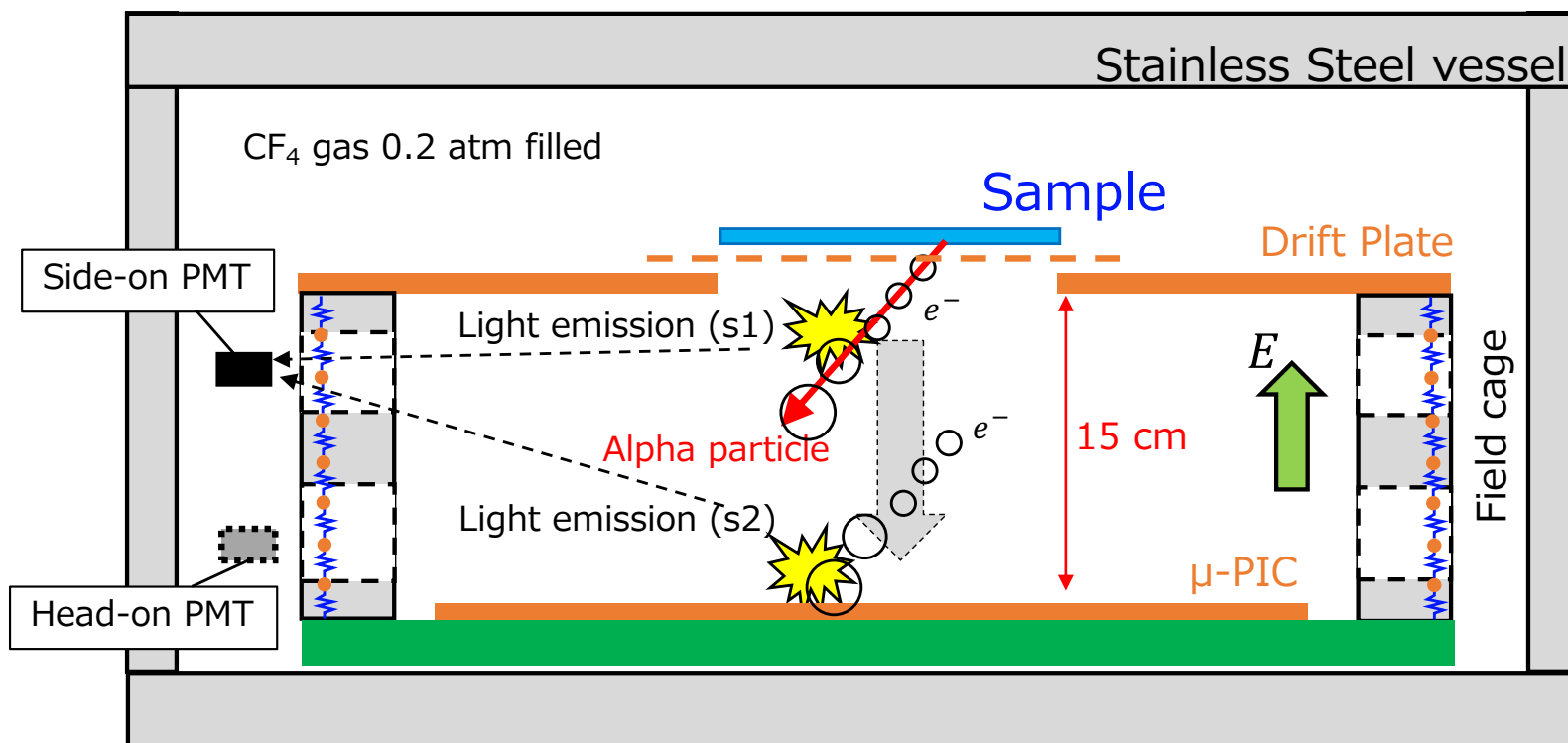
D01班：極低放射能技術開発



4. CF₄ガス発光検出を用いた分析感度改善

AICHAMにPMT実装し、

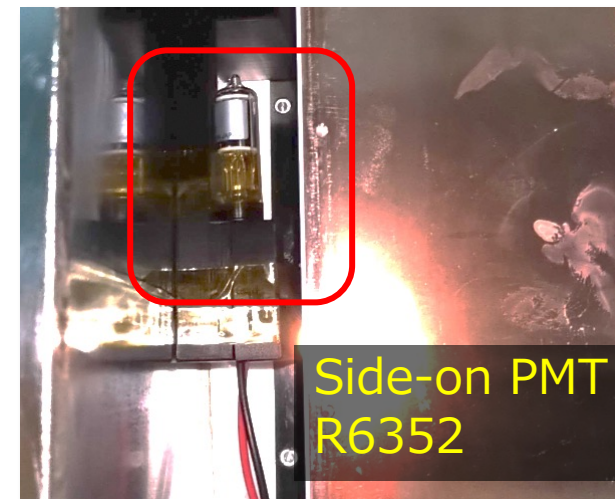
s1 – s2の時間差から、アルファ線発生位置(高さ方向)を決定する。
つまり、サンプルの位置から発生したアルファ線事象を選択でき、
バックグラウンドであるラドン由来のアルファ線事象を抑制できる。



PoS(ICRC2023)1374.

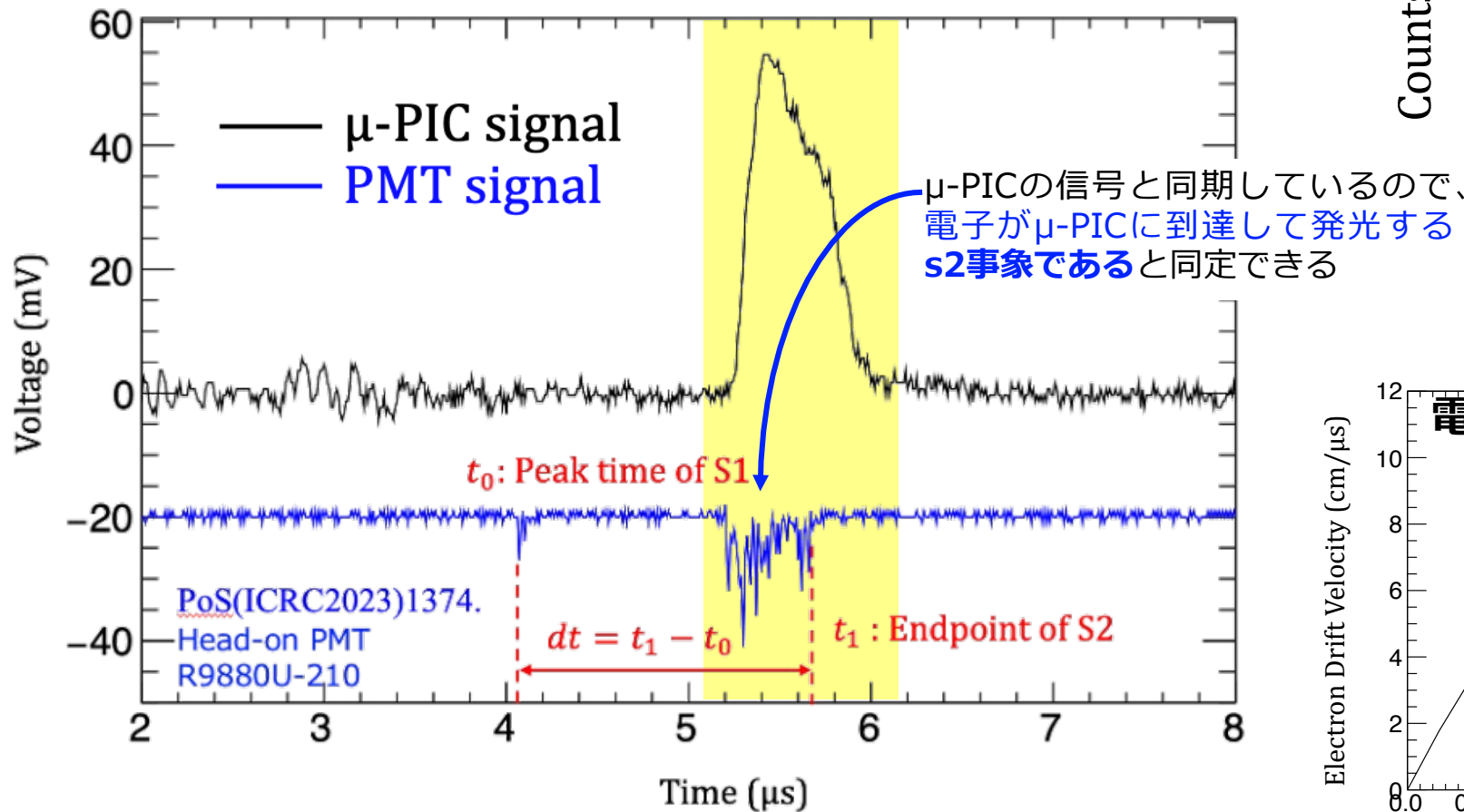
2022-2023 :

2種類のPMTを試験導入

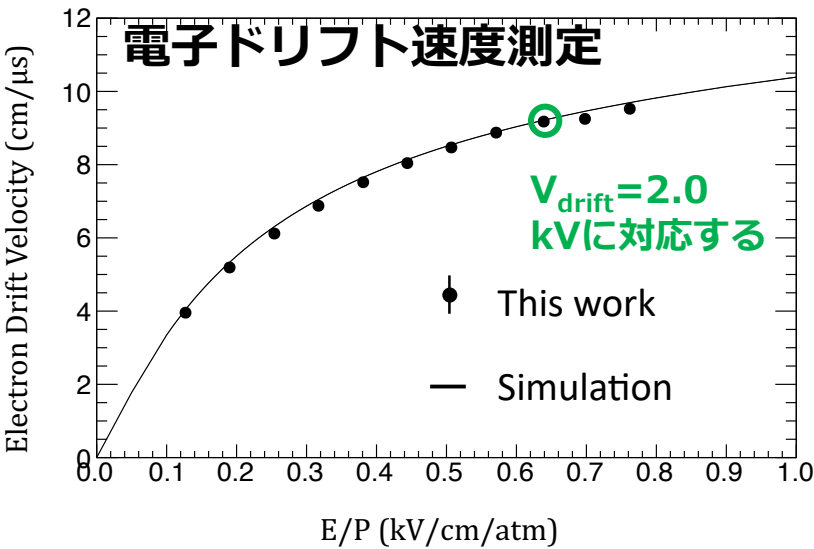
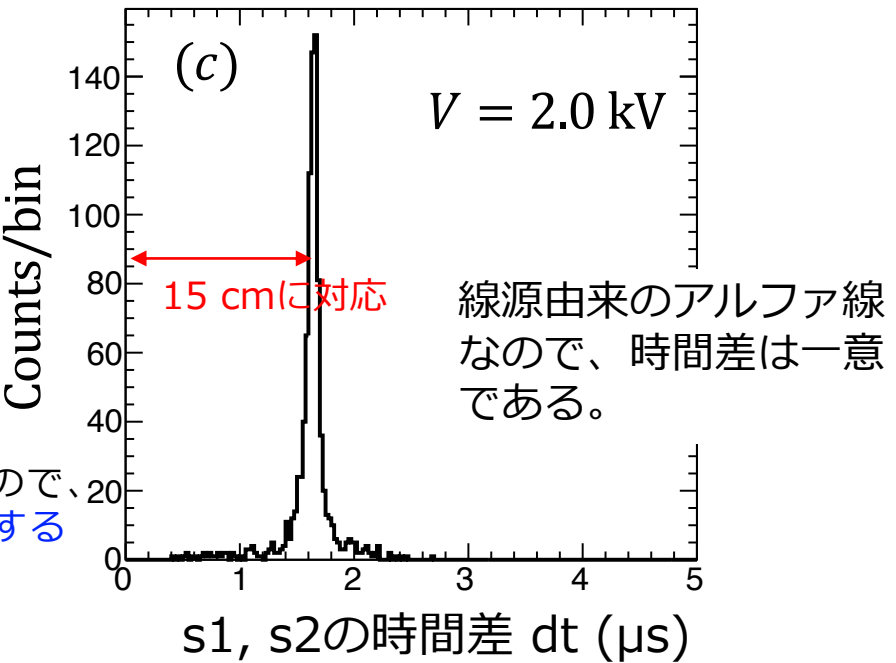


4. CF₄ガス発光検出を用いた分析感度改善

アルファ線によるガス発光(s1)と、
μ-PICでガス増幅した時に発する光(s2)を観測した



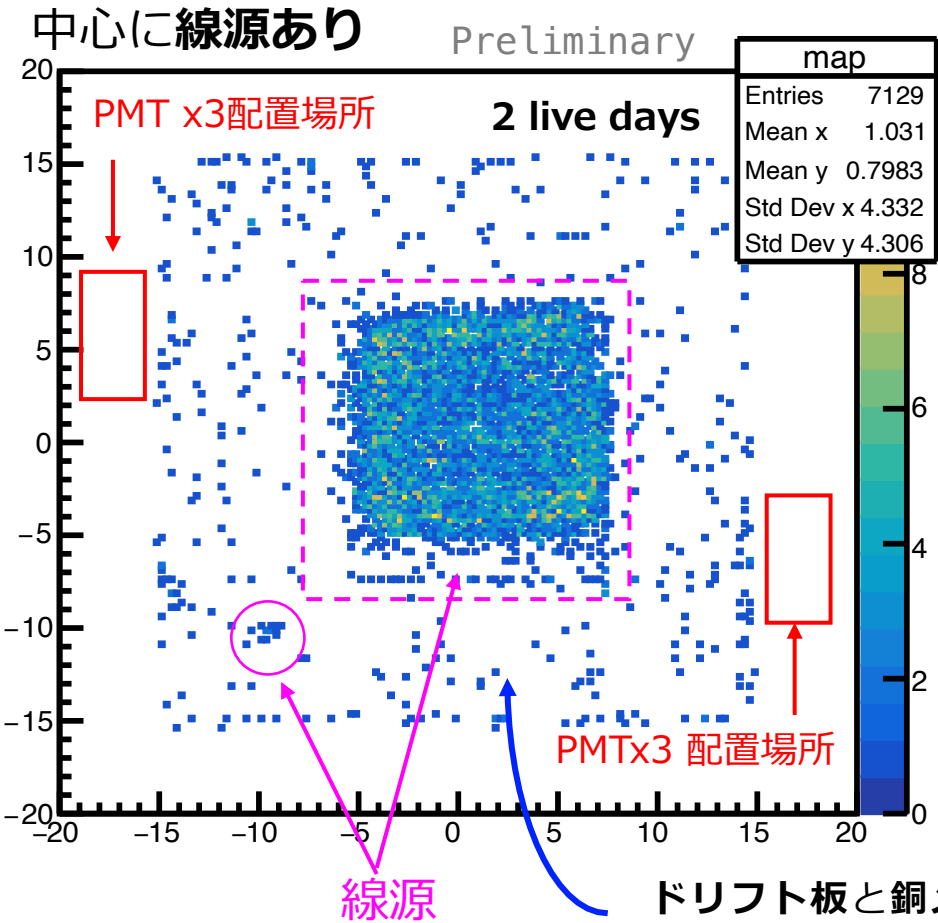
s1, s2の時間差はドリフト距離に対応する。



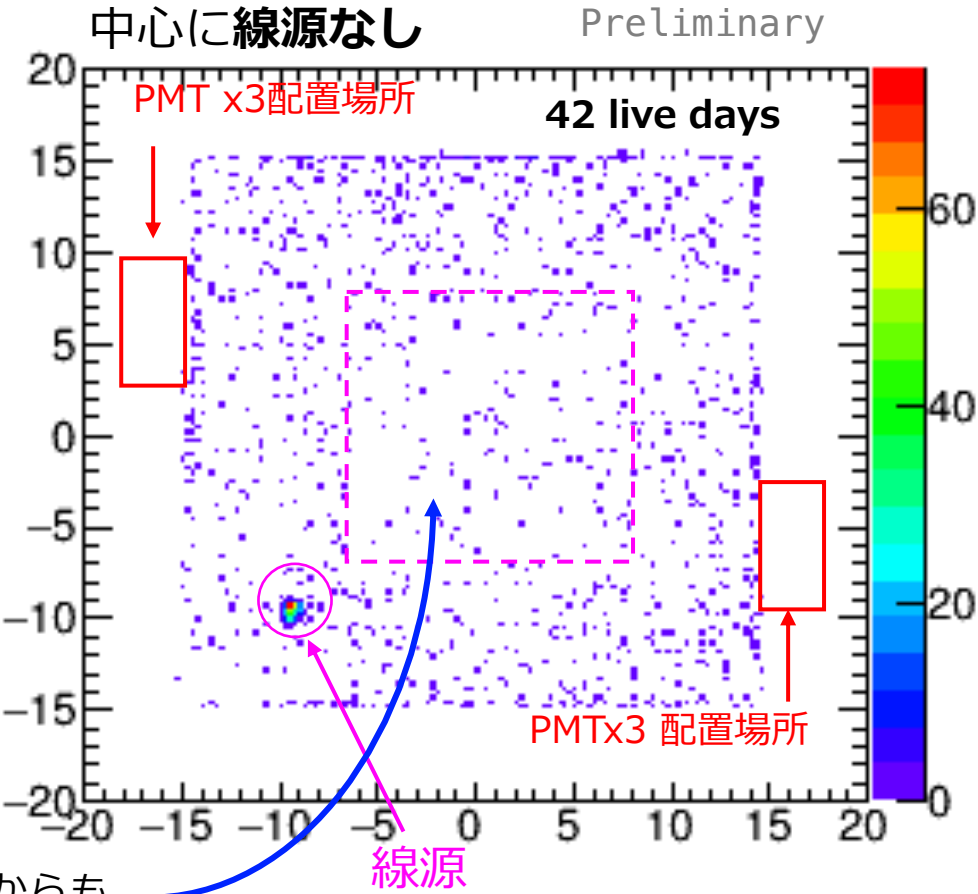
4. CF₄ガス発光検出を用いた分析感度改善

集光効率によるイメージマップの一様性は？

s1-s2の時間差が、1.6 ~ 1.9 us (ドリフト板と同じ位置に相当)の事象を選択した



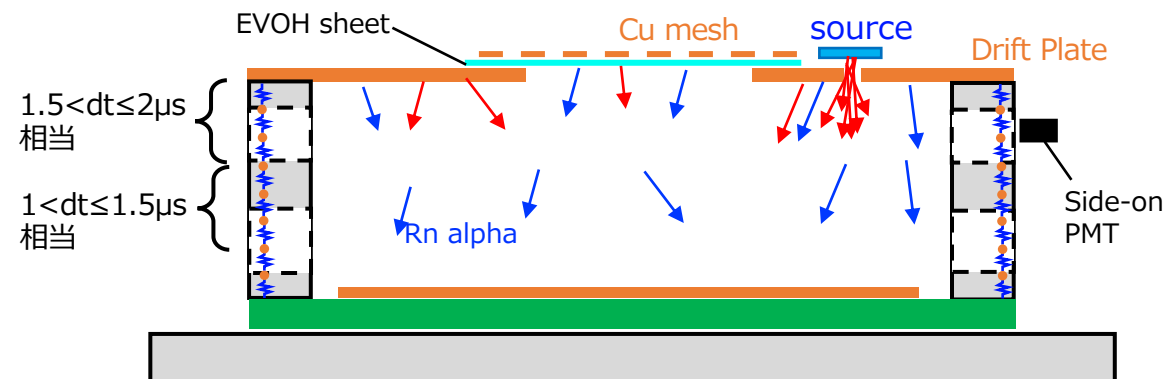
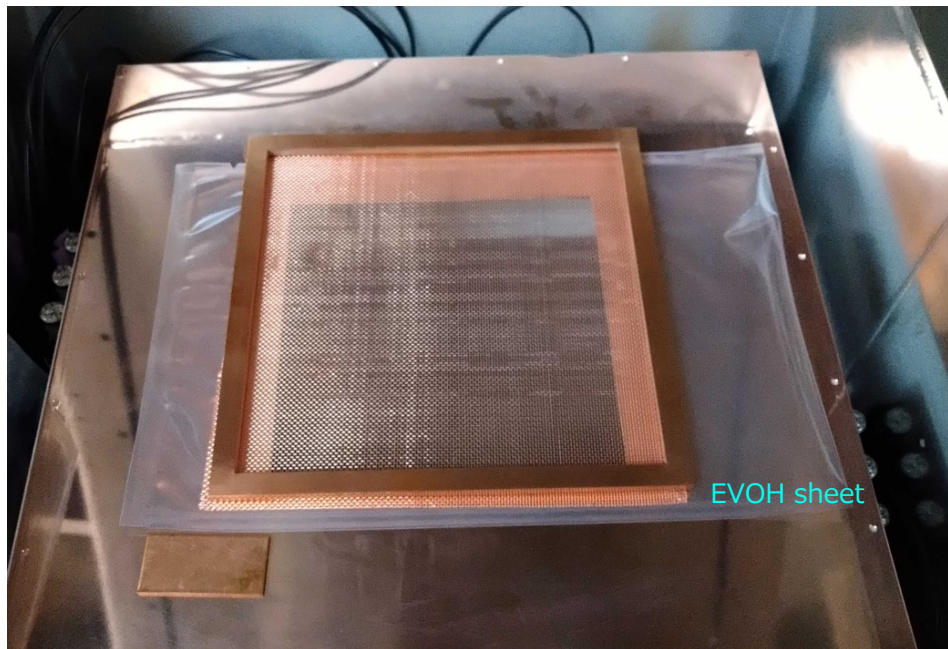
ドリフト板と銅メッシュからも
表面アルファが見えていること
を意味する



コメント：大きな非一様性はみられない

4. CF₄ガス発光検出を用いた分析感度改善

分析感度(分析限界)の評価測定



バックグラウンド測定で、**meshから表面アルファ**が有意に観測された。

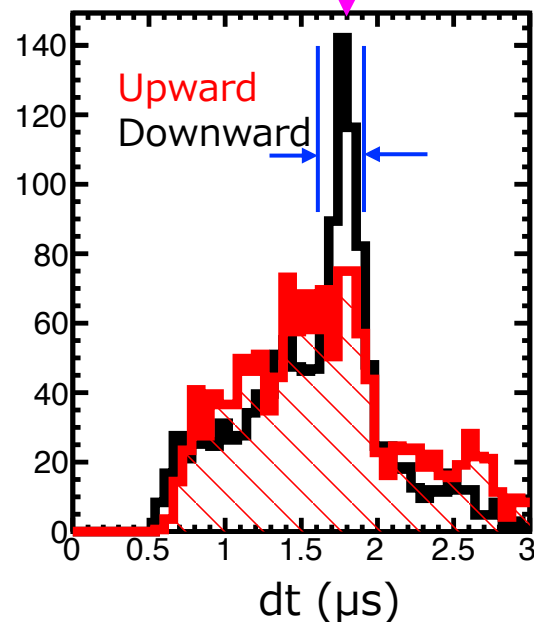
AICHAMの分析限界

- meshなしだと電
- mesh alphaを遮

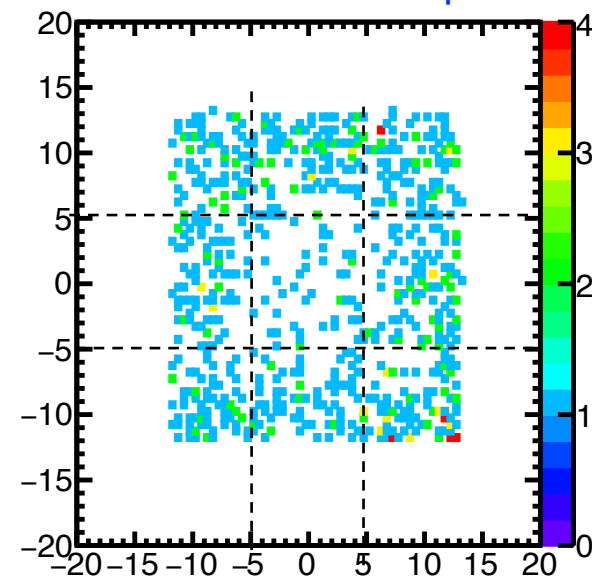
ドリフト板からの表面アルファ線事象が、上方向のdt分布と比べて、下方向のdt分布に超過として現れる。

Cu meshの下にEVOHシートを入れたデータ

Event selection in
vertex $[-12,13] \times [-12,13]$

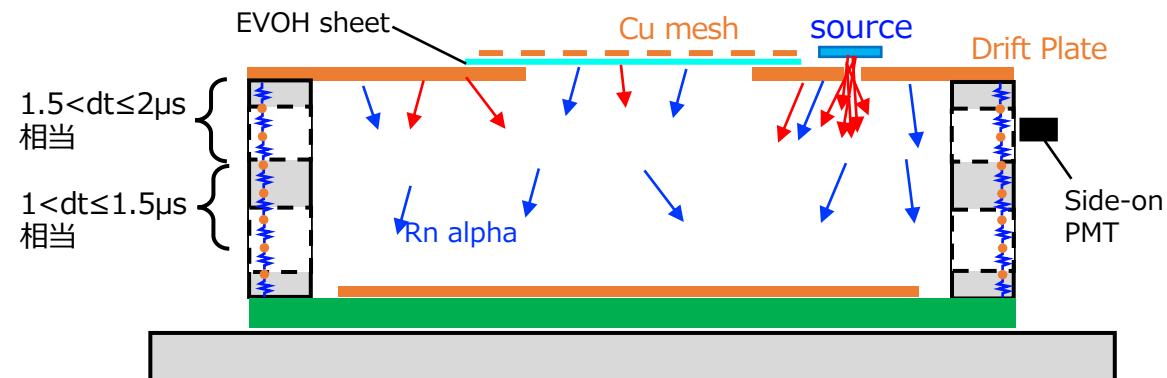
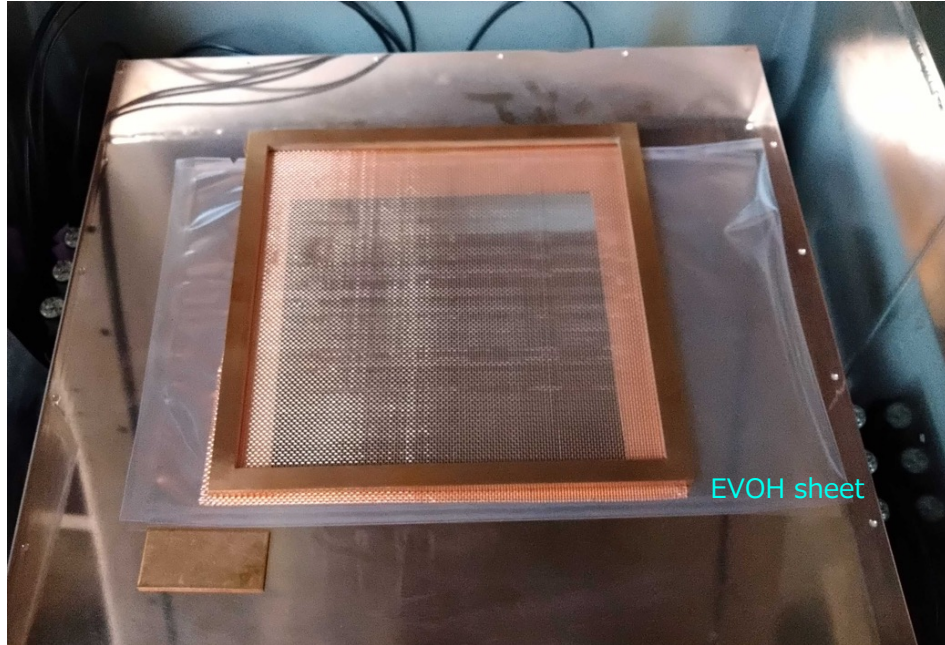


Event selection by
 $1.6 < dt < 1.9 \mu s$



4. CF₄ガス発光検出を用いた分析感度改善

分析感度(分析限界)の評価測定

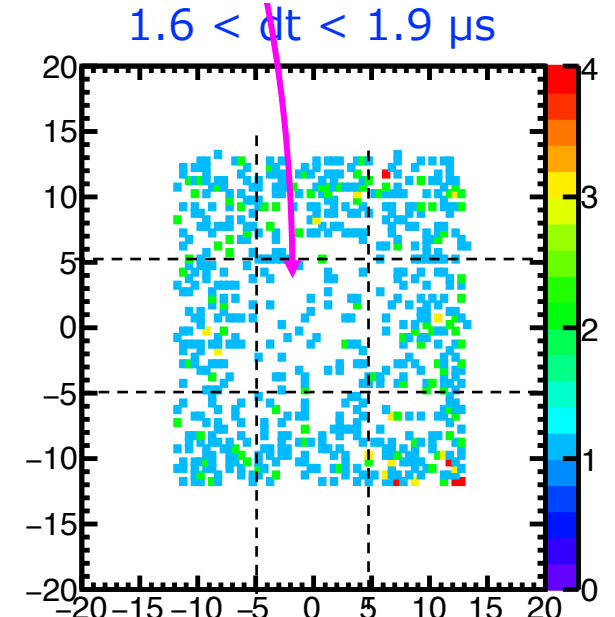
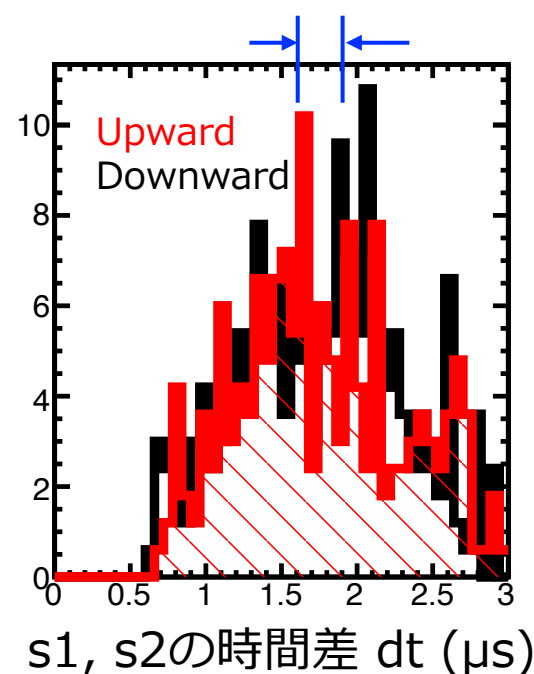


イメージマップを見ると、EVOHを配置した領域が、その周りより有意にアルファ線事象が少ない。

ドリフト板から放出したα線事象が中心方向に染み出しているため、範囲を狭めて(100 cm²)、時間差分布を確認する。

表面アルファのタイミング(1.6, 1.9 μs)を選択し、上と下方向の事象を差し引き、結果として、EVOHから有意な表面アルファ線は観測されなかった。(eff = 47.6 ± 0.5%)

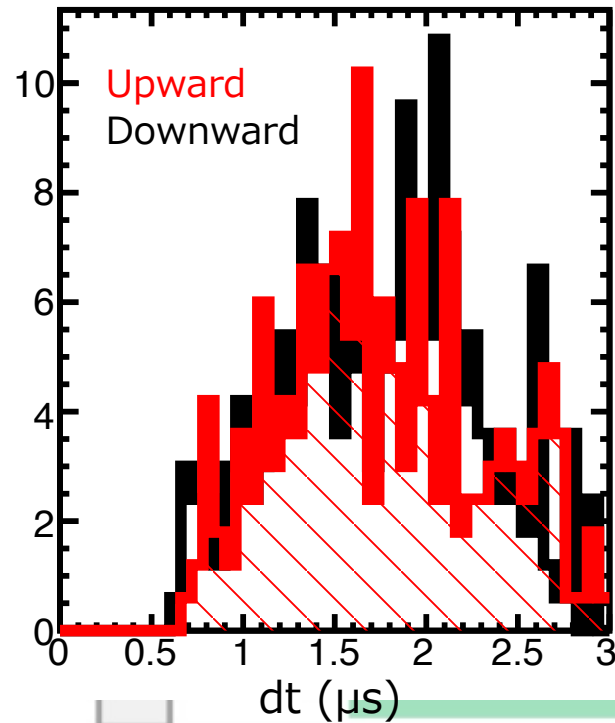
上限は **5.8 × 10⁻⁴ a/hr/cm² (90%CL)**と決定した。



5. 今後の計画

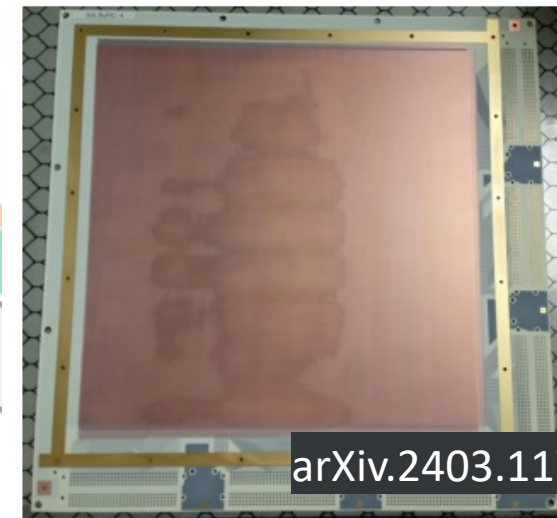
分析限界を制限する主要な要素は、ラドン由来のdt分布の連続成分である。

Stainless Steel vessel



ラドン事象抑制の計画

1. **冷却活性炭 or ゼオライト**で、ラドンをガス循環して吸着除去
2. ラドンを放出しない**low-BG部品を実装**する
ドリフト板、Cu mesh、low-BG μ -PICなど



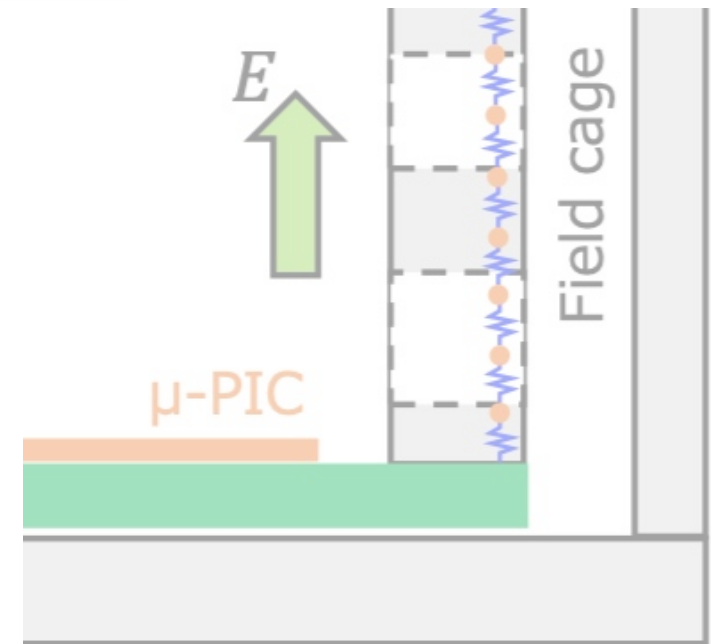
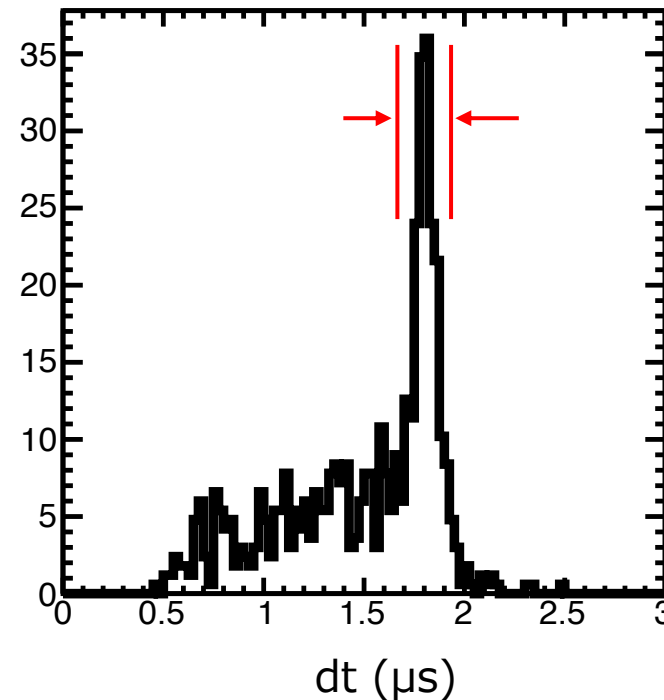
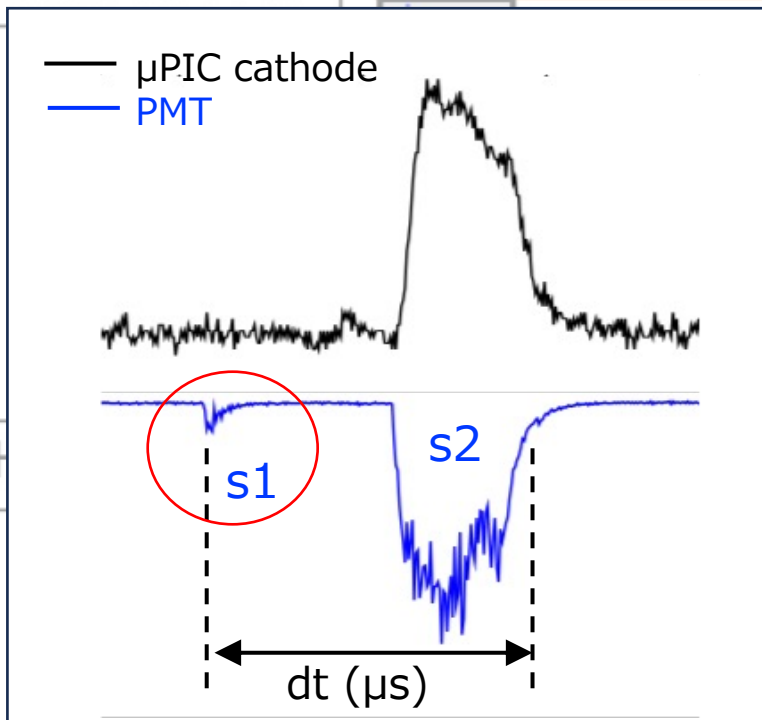
Field cage

5. 今後の計画

PMTを追加して CF_4 ガス発光の検出効率を増加する計画

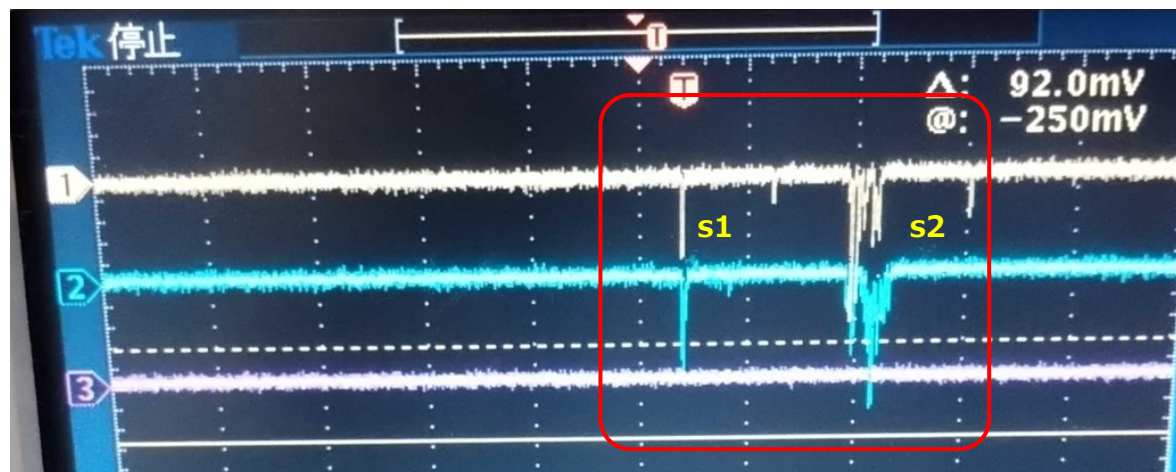
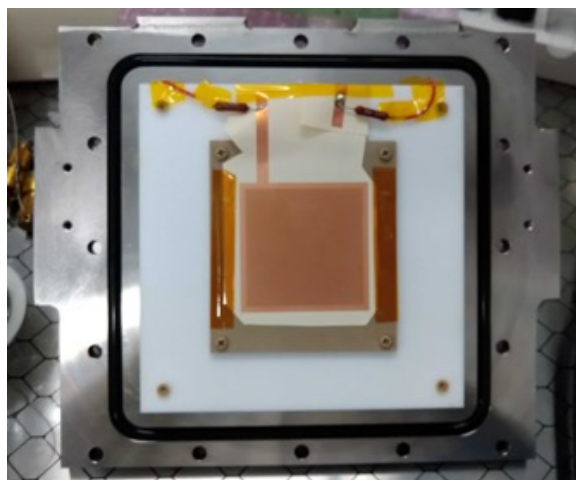
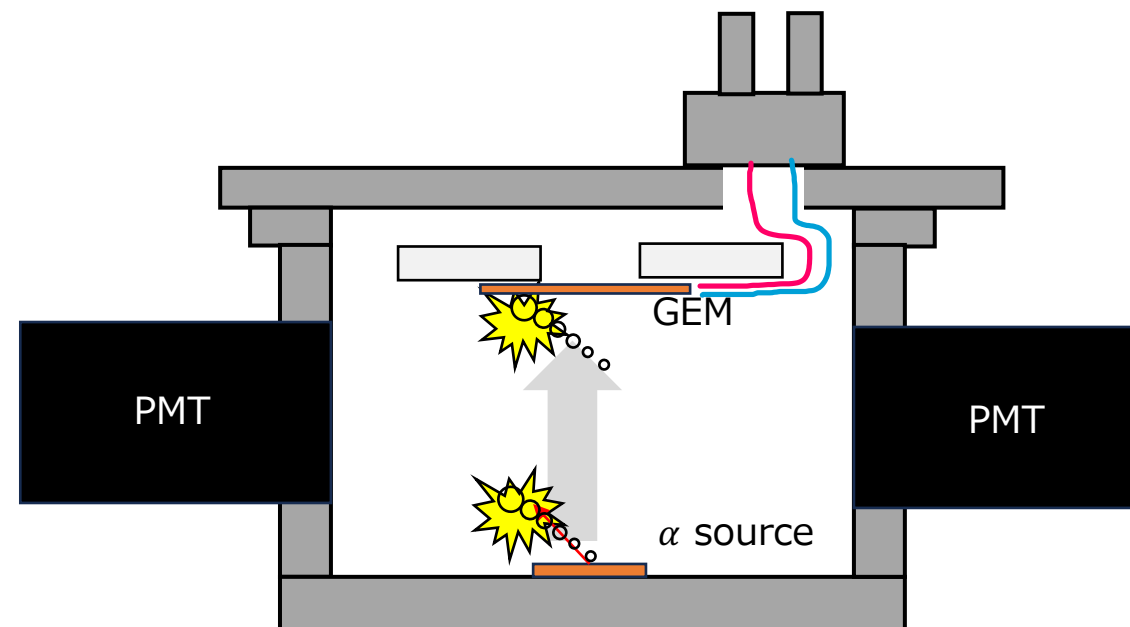
- ❑ s1の検出効率、表面アルファ線の検出効率に強く依存している。
- ❑ s1-s2の時間差 dt の決定精度を改善することで、連続成分の除去率が向上し、分析限界を改善できる。

※ただし、PMTもラドン放出源になりうるので、増やしすぎも注意



5. 今後の計画

他にも、理科大のクリーンブースで、ガス発光をメインにした表面 α 線分析装置開発も並行している。
試しに、チェンバー立ち上げて、GEMでもs1, s2を観測した。



今年度、小型装置を開発する。

大型化したときに、分析感度

$$<10^{-5} \text{ a/cm}^2/\text{hr}$$

に達するか試験する目的である。

まとめ

- ❑ 極低放射能アルファ線イメージ分析は、独立して重要な分析技術のひとつ。AICHAMを開発し、現在神岡で運用している。近年企業からの分析依頼も受けている。
- ❑ AICHAMにPMTを実装してCF₄ガスのシンチレーション光を観測した。s1-s2の時間差から、表面アルファだけを抜き出し感度改善した。
分析限界を**5.8 x10⁻⁴ a/hr/cm² (90%CL)**と評価した。
- ❑ 感度向上の余地があり、分析と並行して開発を継続する。
- ❑ 理科大クリーンブースでも、小型アルファ分析器を立ち上げている。s1-s2の信号波形は観測できた。
- ❑ 極低放射能アルファ線イメージ分析をご依頼したい場合、伊藤までお声掛けください。