

「第六回極低放射能技術」研究会

日時：2020年6月2日～6月4日 (新学術「地下宇宙」領域研究会と合同開催)

オンラインで開催 ([Zoom](#)を利用)

新学術領域「地下から解き明かす宇宙の歴史と物質の進化」

計画研究D01 「極低放射能技術の最先端宇宙素粒子研究への応用」主催

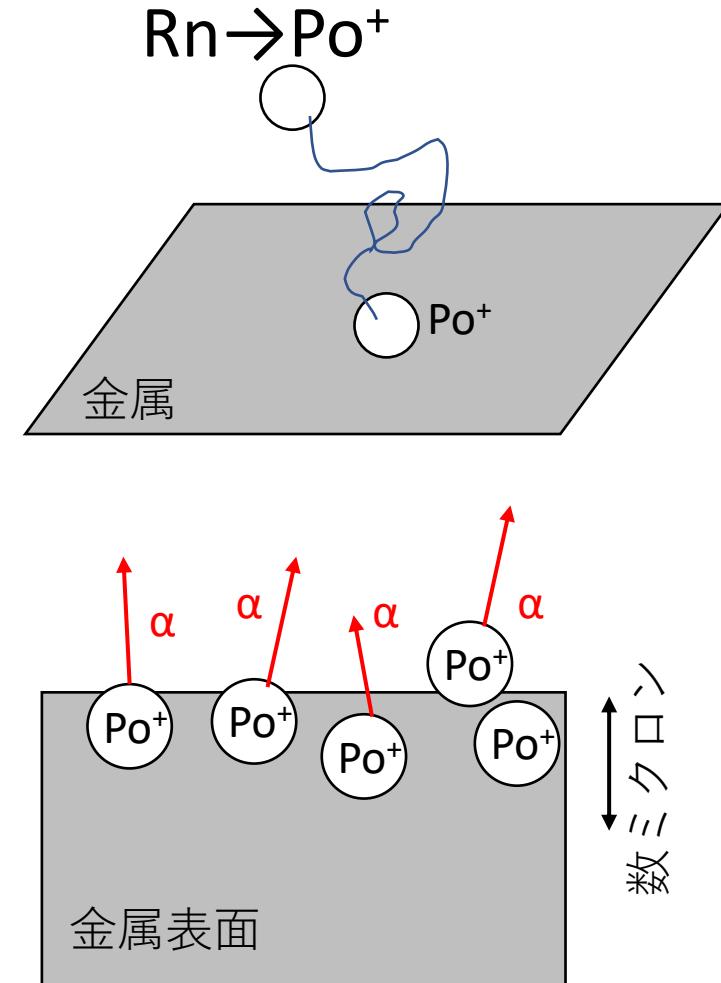


極低放射能測定における μ -TPCを用いた アルファ線イメージ分析装置の開発

伊藤博士 (東大ICRR)
2020/06/03

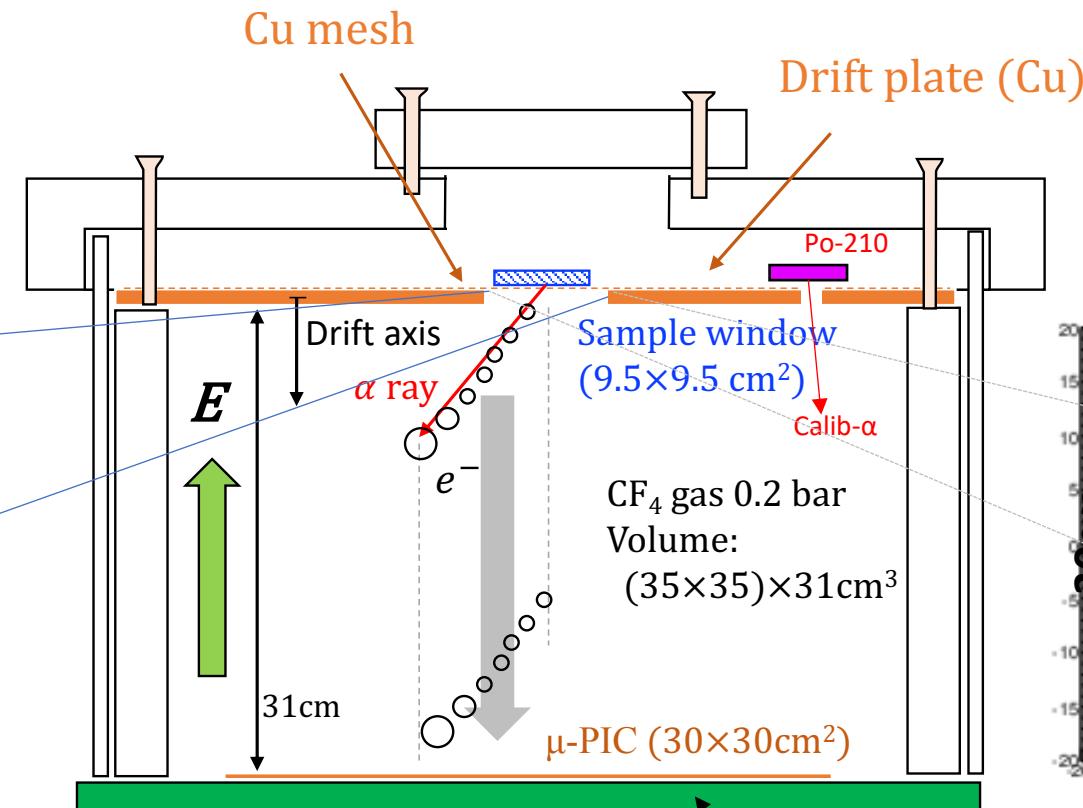
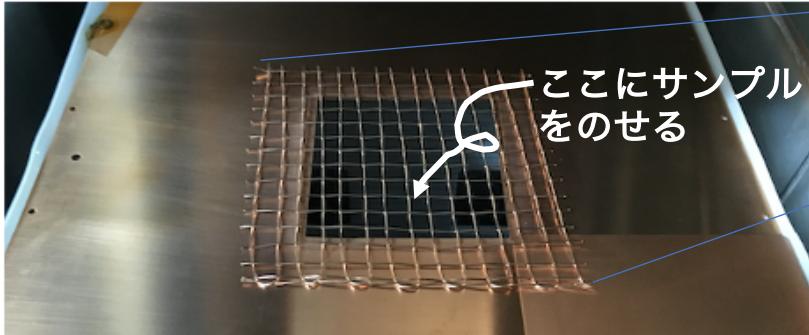
1. はじめに

- いくら材料自身が綺麗なのにも関わらず、空気中に置いておくだけでラドン由来のPoが材料表面に付着し汚染される。
- Poは表面数ミクロンほど埋め込まれる。ウラン系列であるPb-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。
- Geなどの全量試験で、試料表面が汚染されていた場合、過小評価する可能性がある。そのため、**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。
- 表面汚染イメージが得られると構造体のどの部品に問題があるか明らかになる。

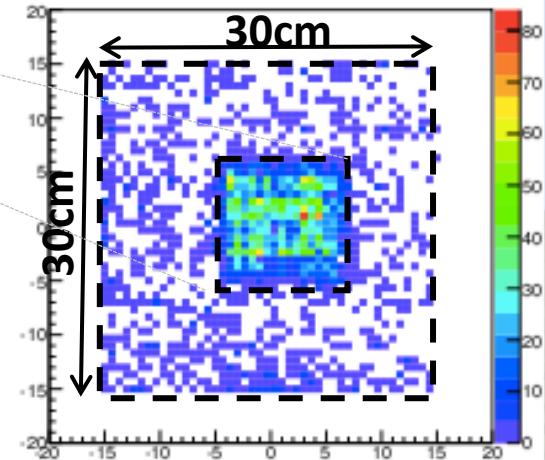


2. α 線イメージ分析装置

Alpha-ray Imaging Chamber (AICHAM)
NIM A 953 (2020) 163050.



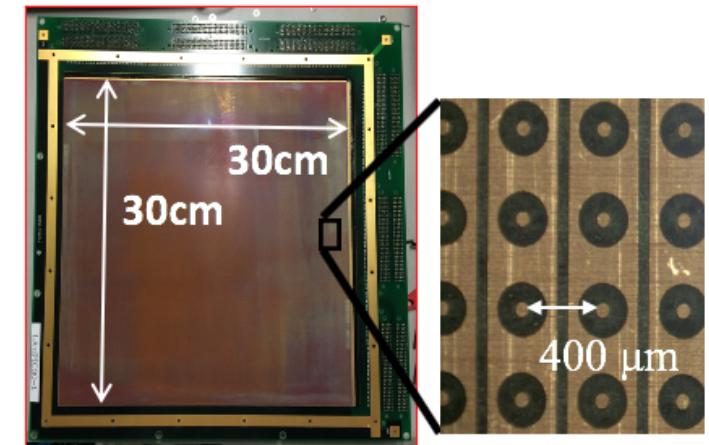
Po-210線源銅板
 α 線汚染分布



他の α 線装置との仕様比較

| | Alpha Imaging Chamber | Ultra-Lo 1800 | ZnS(Ag)+SiPM |
|----------------------|--|--|---|
| Method | μ -TPC | Ion-chamber | Scintillation photon |
| Effective Area | $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ | $707 \text{ cm}^2, 1800 \text{ cm}^2$ | $8 \text{ mm} \times 8 \text{ mm}$ |
| Position resolution | $7 \text{ mm} (\sigma)$ | — | $0.2 \text{ mm} (\text{FWHM})$ |
| Energy resolution | $7\% (\sigma) @ 5.3 \text{ MeV}$ | $4.7\% (\sigma) @ 5.3 \text{ MeV}$ | $74\% (\text{FWHM}) @ 5 \text{ MeV}$ |
| Detection efficiency | 21% | >90% | 0.3% |
| Sensitivity | $\text{a few } 10^{-3} \text{ a/cm}^2/\text{hr}$ | $10^{-4} \text{ a/cm}^2/\text{hr} (*\text{BG rate})$ | $0.06 \text{ cpm} (\sim 10^3 \text{ a/cm}^2/\text{hr})$ |

Low- α μ -PIC

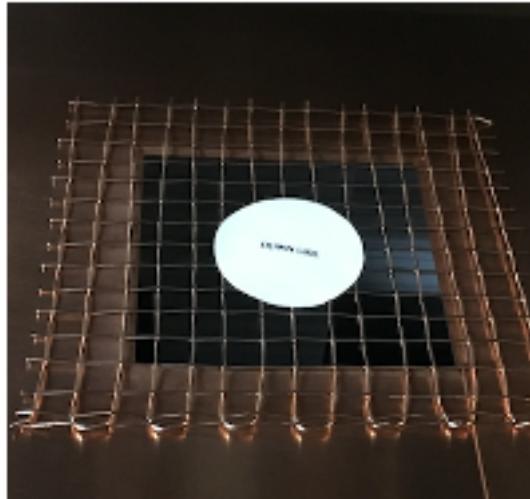


3. 今までの仕事について

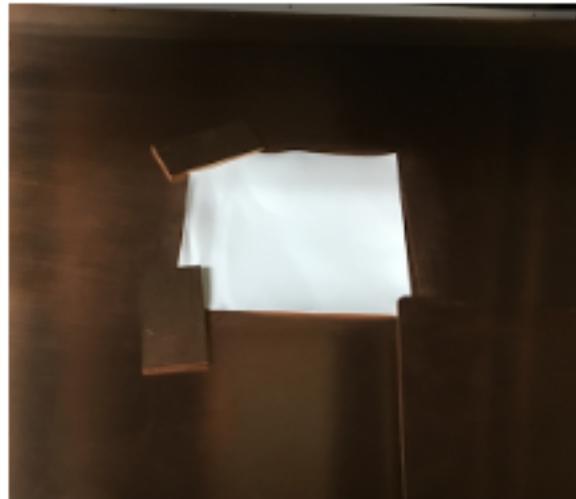
April 2019 ~ Sep. 2019の間の出来事

- 2週間程度の安定運転を可能にした
- 銅メッシュを電解研磨で汚れを落とした
- 依頼されたサンプル測定を実施

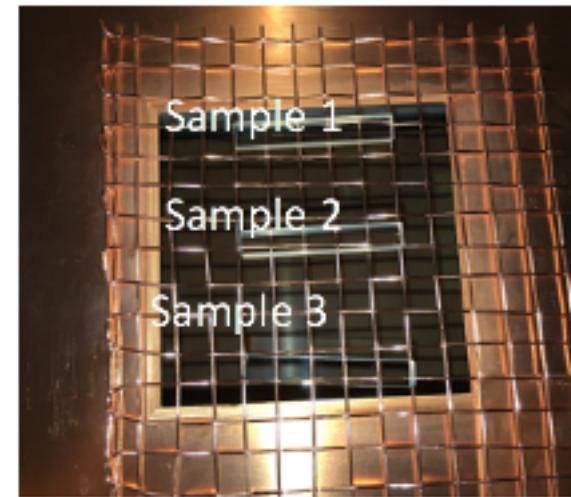
SK-Gdのための硫酸Gd測定
のためのRa吸着ディスク



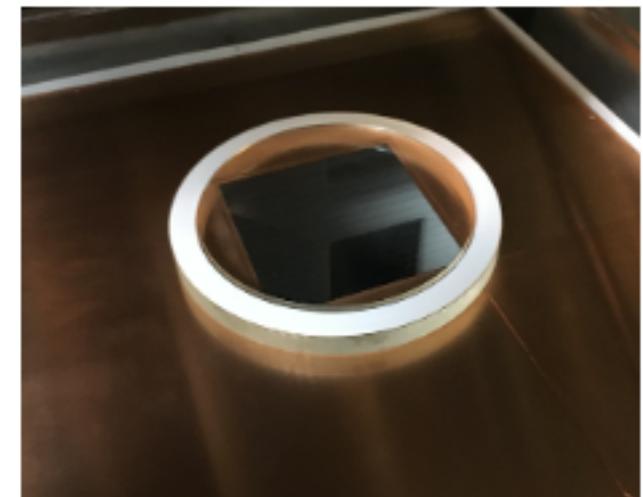
PICOLON実験における
テフロンシート



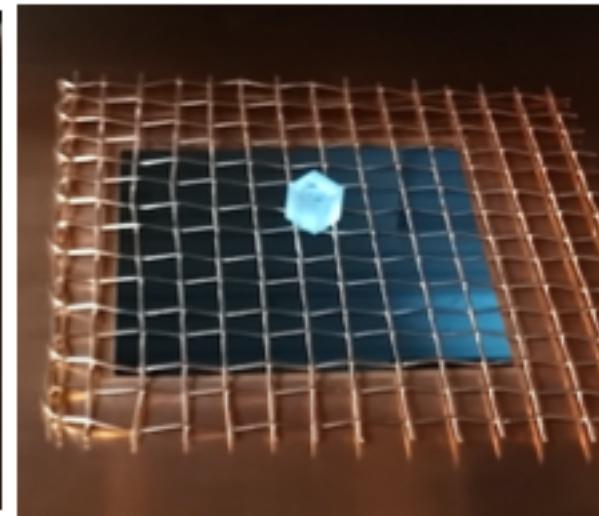
Hyper-KにおけるPMTガラス
サンプル3種類同時測定



中性子コンソーシアムにおける
フランジ窓ガラス測定



La-GPS シンチレータ 1cm³

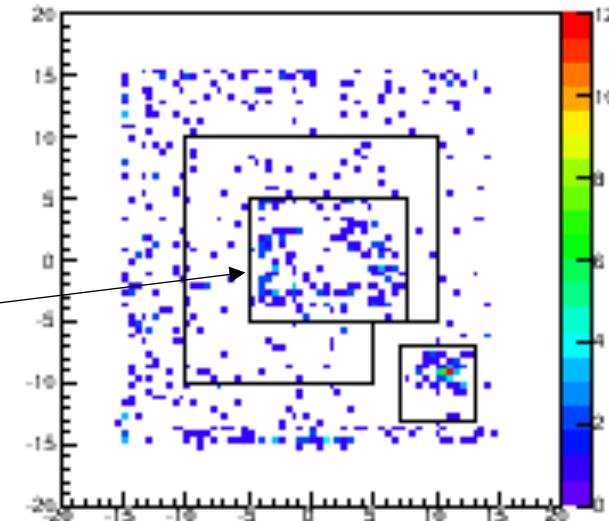
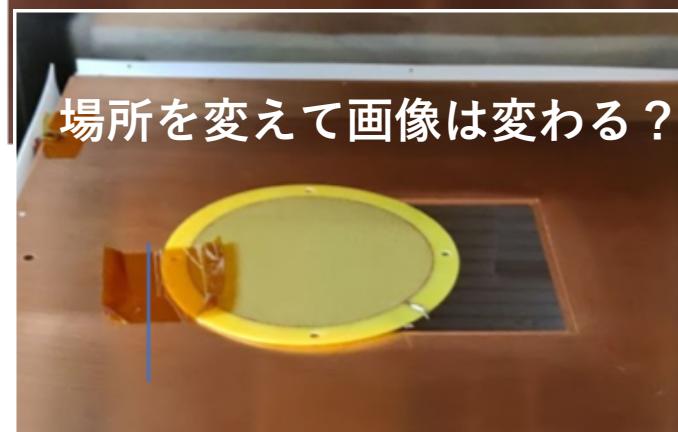
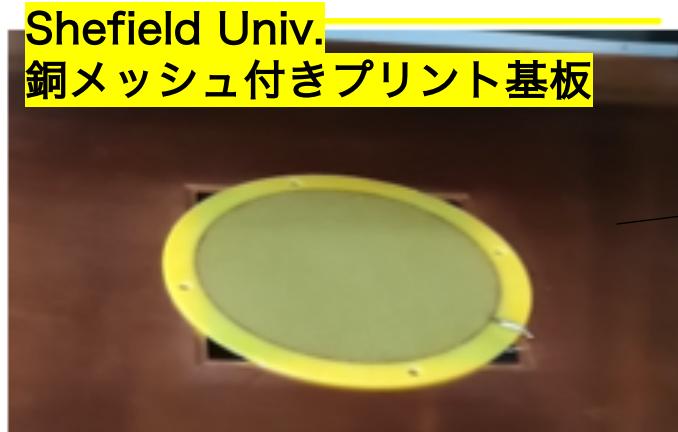


Shefield Univ.
銅メッシュ付きプリント基板

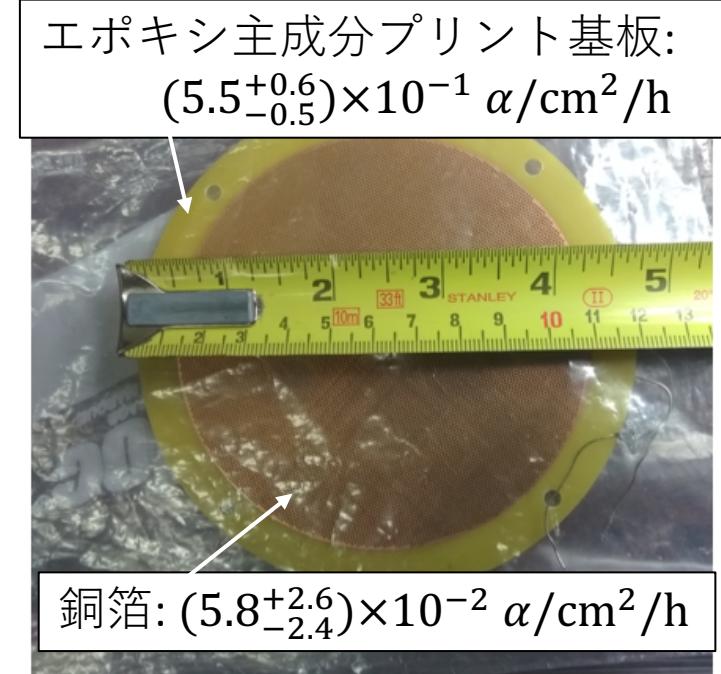
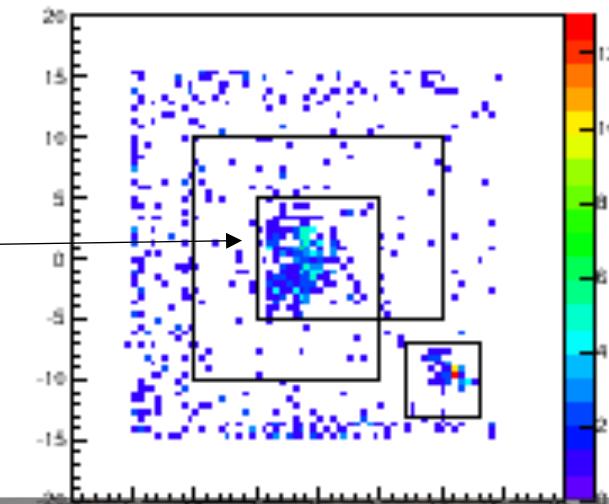


3. 今までの仕事に関して

特に複数部品で構成されたサンプル測定で
 α 線イメージ分析の本領が発揮される

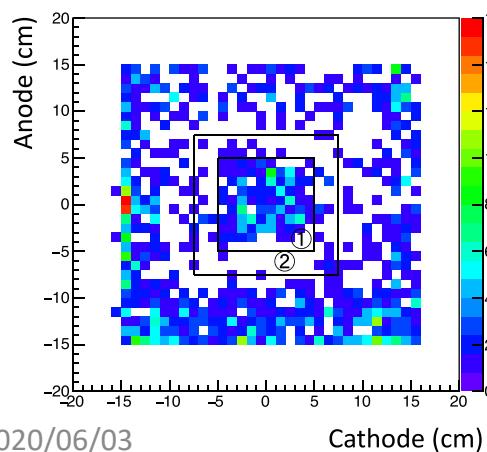
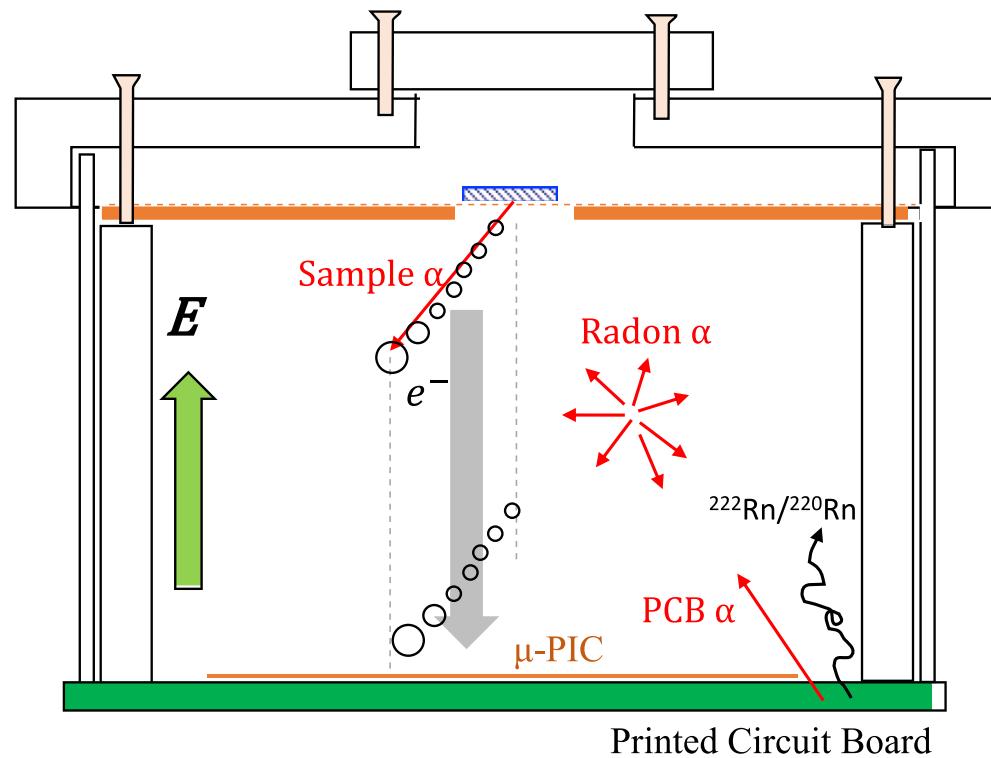


※石浦さん(神戸)が
解析してくれました



位置分解能7mmなので、境界面の
染み出し不定性を考慮すると銅箔の
 α -rateはゼロ consistentである。

4. 課題と改善計画



2020/06/03

性能を制限する課題

- ガス中のRn-アルファ線(6MeV)
- μ-PICを置くプリント基板からアルファ線が壁際雑音となる。
- GODDな飛跡再構成の効率が低い

改善案

- 冷却活性炭の実装
- プリント基板由来のα線を防ぐ
- フィールドケージ再設計
- 有効面積の拡張
- 新型μ-PICの実装
- 目標感度 $< 10^{-4}$ alpha/cm²/hr

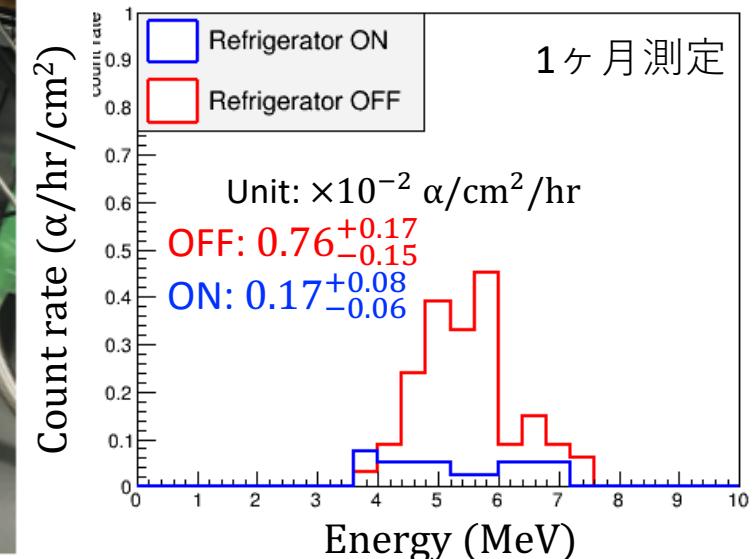
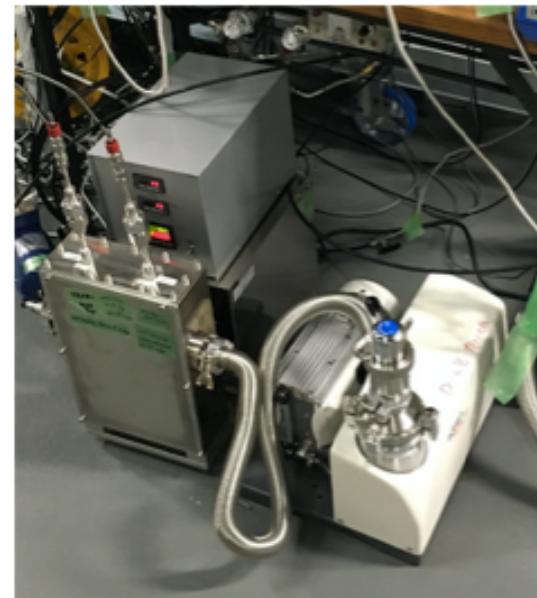
さらなる挑戦

- 粉末サンプル測定手法の確立

4. 課題と改善計画

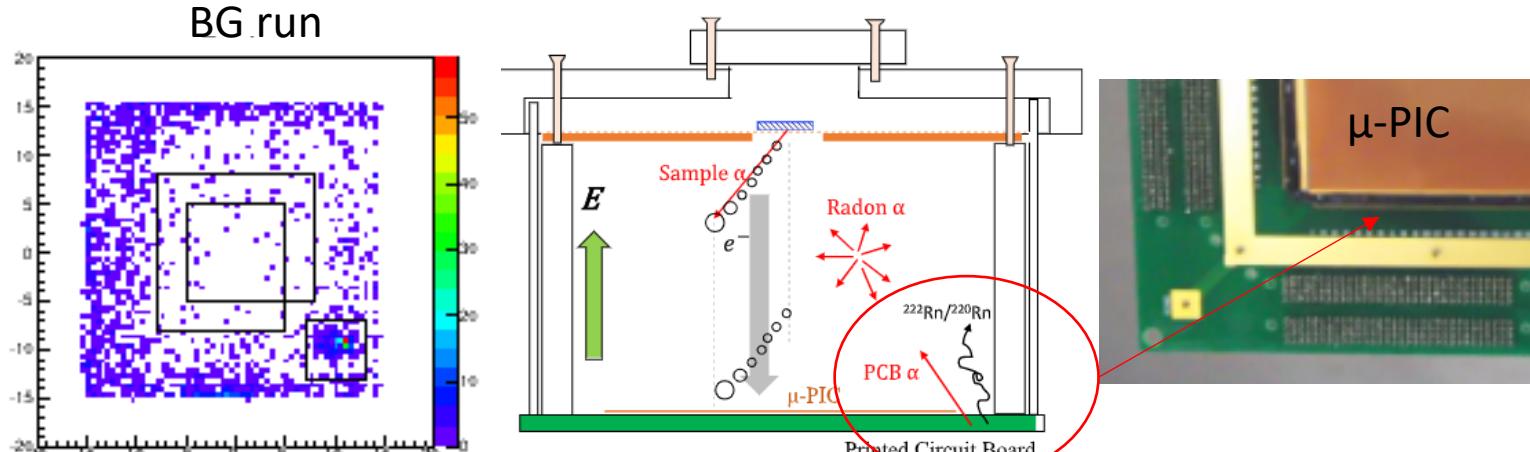
改善案1:冷却活性炭の実装

- 神岡施設の活性炭と冷凍器をレンタルできた。
- 4月に配管実装は完了。-100度に冷却してガス循環を確認している。
- 冷却活性炭を実装することで、Rn- α 線は1/3程度の減少した。今回の活性炭は「ダイヤソープ」
- 活性炭を変えてみてRn- α 線減少が一番良い素材を決定する



改善案2:プリント基板由来のアルファ線を防ぐと感度上がるかチェック

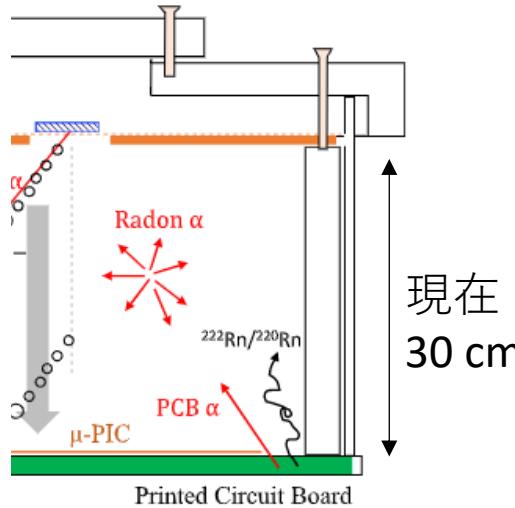
BG run



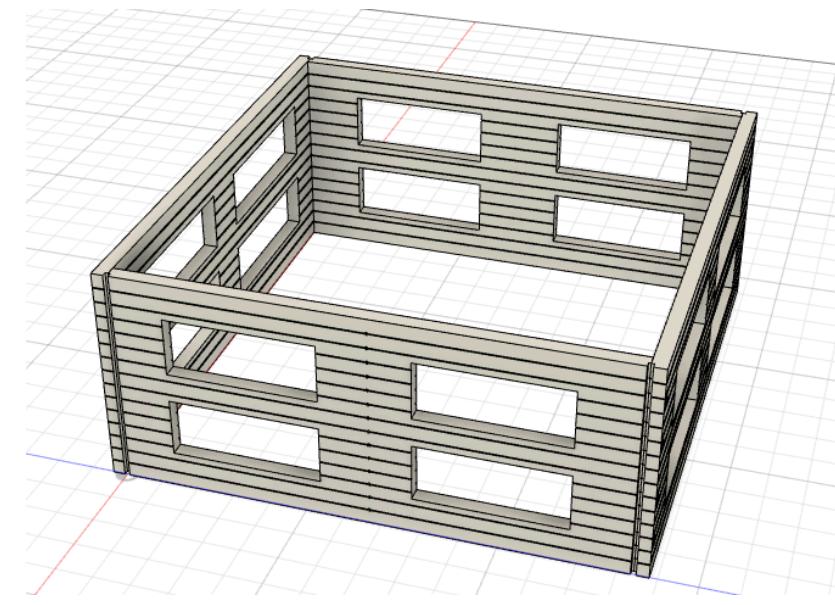
- プリント基板を交換(新型μ-PIC実装の時に実施)
- その前に、この緑の領域を隠して壁際のBG- α 線を抑え感度改善を試みる。

4. 課題と改善計画

改善案3: フィールドケージ再設計

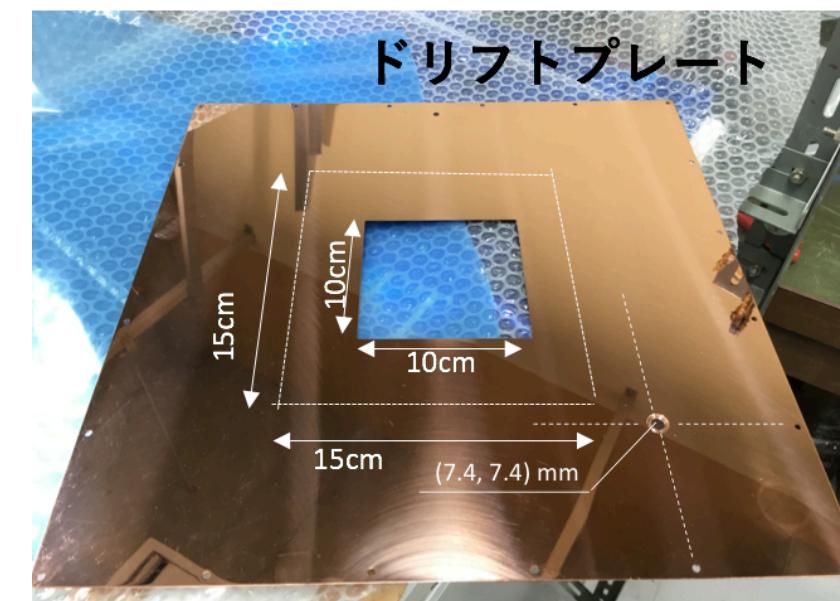


- サンプル由来の α 線(飛跡長~8cm)のためには、ドリフト長30cmは高すぎる。
- RnによるBGはガス体積に依存する。
- BGを半分減らすためにドリフト長15cmで電場ケージを再設計する。
- Lab-Aのクリーン作業スペースが欲しい



改善案4: 有効面積の拡張

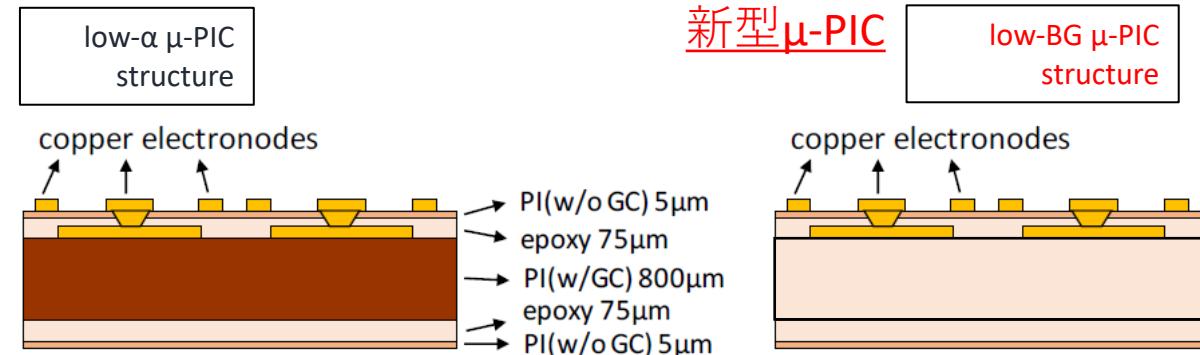
- 今までPCB- α 線 BGによって有効面積は制限されていた
- PCB- α 線を除去し有効面積を拡張できれば感度改善できる。
- ドリフトプレートの α 線入射窓(穴)を広げる



4. 課題と改善計画

改善案6: 新型μ-PICの実装

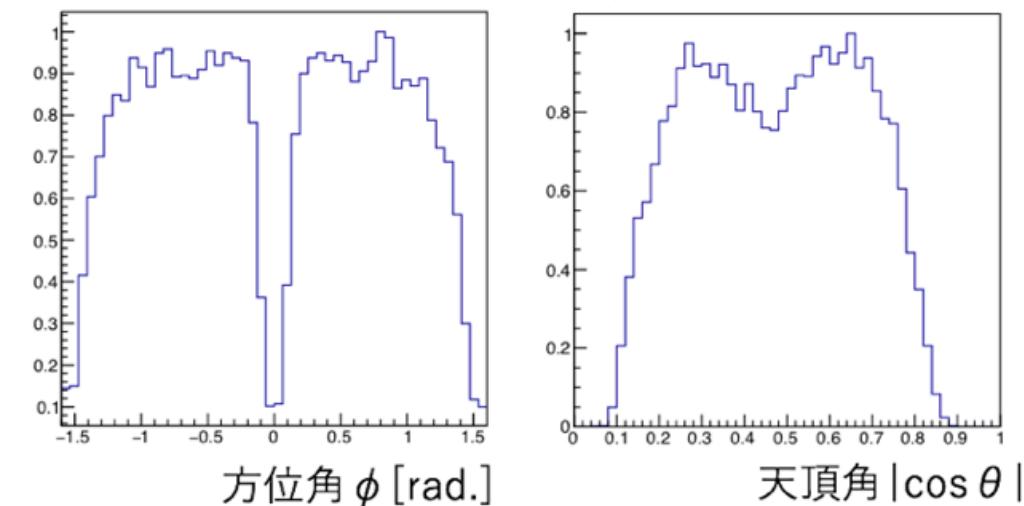
- B02班で開発しているLow-BG μ-PICを実装することで、感度改善を図る
- 従来のLow- α μ-PICは表面だけ綺麗だった。内部までU/Thの少ない素材に置き換える。
- 本装置も使って新型μ-PICの素材選定を実施。



改善案7:DAQ update

- 現在：飛跡再構成 Good の検出効率 20%
- 軸に沿った飛跡再構成がボトルネック。DAQ を改善し、射影した strip 情報、波形情報を組み合わせてこの飛跡を復活させる。
- 目標 2~3 倍の検出効率を改善する

現在の再構成できる角度分布



4. 課題と改善計画

さらなる挑戦：粉末サンプル測定手法の確立

基本的にガス検出器は粉をそのまま入れられない。

- 真空引き・ガス循環で粉が舞う
- 粉をパックしたら袋の壁で α 線が止まる。

今回、放射性不純物が少なく $6\text{ }\mu\text{m}$ の薄さで強度のあるシートが手に入った。

=> これで粉を包めばエネルギーは損失するが α 線が検出できるはず。

(1) まずどれほど綺麗かチェック OK

(2) エネルギー損失をチェック：定量的にはまだだが、1枚あたり1 MeVほど損失する。

以上から、粉末の表面 α 線分析できる目処がたつた。 $\text{Gd}_2(\text{SO}_4)_3$ の α 線分析によって、C01班のcross checkとして貢献できる。

(1) 測定の前に、このシートは綺麗かチェック



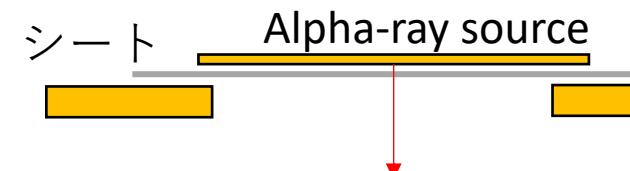
サンプル領域
BG領域

Energy (MeV)

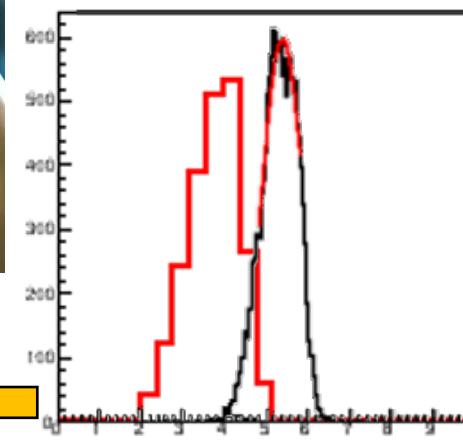
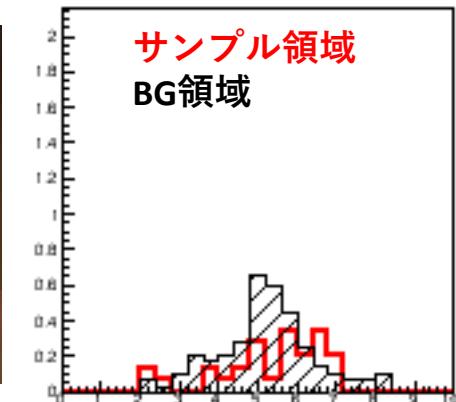
(2) このシートを通過した時の α 線のエネルギー損失は？



—フィルムなし
—フィルムあり

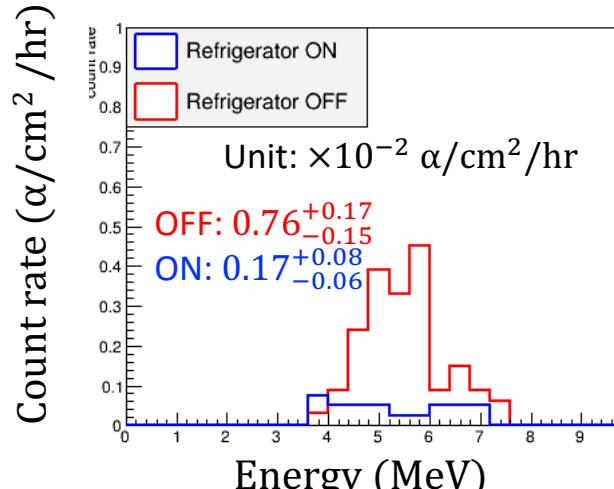


Energy (MeV)

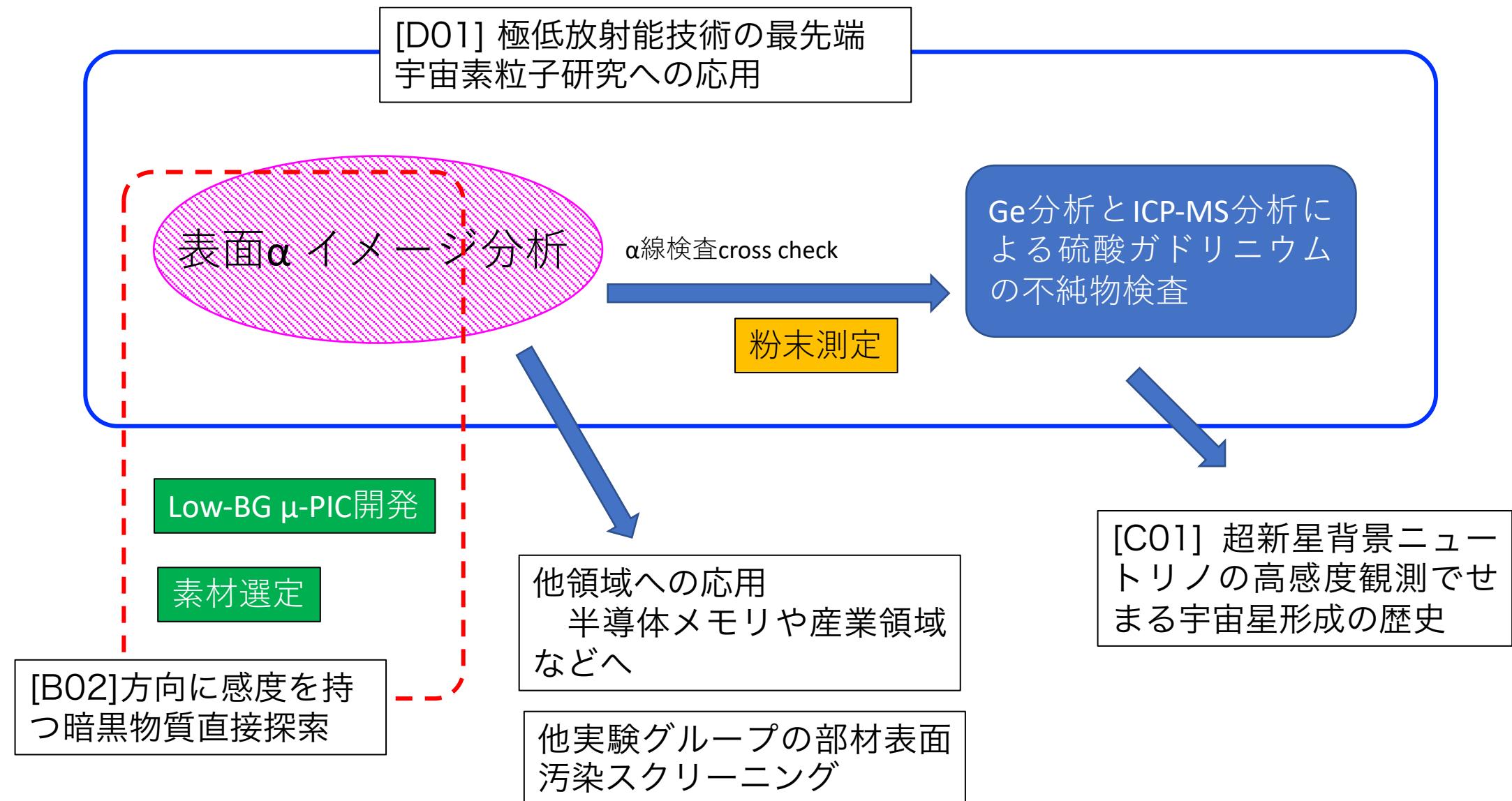


スケジュール

目標感度: $<10^{-4} \alpha/\text{cm}^2/\text{hr}$ (90%CL)

| 2019 | | 2020 | | 2021 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------------------|------------------------|------------------------|------|------|------|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|--|--|--|--|
| 現状 | | 前期 | 後期 | 前期 | 後期 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <ul style="list-style-type: none"> ○ 感度: $\text{A few } \times 10^{-3} \alpha/\text{cm}^2/\text{hr} (\sigma)$ @3日データから1ヶ月測定の推定 NIM A 953 (2020) 163050. ○ <u>冷却活性炭の実装</u> 実測値による感度評価 OFF: $1.7 \times 10^{-3} \alpha/\text{cm}^2/\text{hr}$ (90%CL) ON: $6.1 \times 10^{-4} \alpha/\text{cm}^2/\text{hr}$ (90%CL)  <table border="1"> <caption>Data from Figure: Count rate (α/cm²/hr) vs Energy (MeV)</caption> <thead> <tr> <th>Energy (MeV)</th> <th>Refrigerator ON (Blue)</th> <th>Refrigerator OFF (Red)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>3.5</td><td>0.05</td><td>0.05</td></tr> <tr><td>4.0</td><td>0.10</td><td>0.10</td></tr> <tr><td>4.5</td><td>0.15</td><td>0.35</td></tr> <tr><td>5.0</td><td>0.05</td><td>0.45</td></tr> <tr><td>5.5</td><td>0.05</td><td>0.50</td></tr> <tr><td>6.0</td><td>0.05</td><td>0.10</td></tr> <tr><td>6.5</td><td>0.05</td><td>0.05</td></tr> <tr><td>7.0</td><td>0.05</td><td>0.05</td></tr> </tbody> </table> | Energy (MeV) | Refrigerator ON (Blue) | Refrigerator OFF (Red) | 3.5 | 0.05 | 0.05 | 4.0 | 0.10 | 0.10 | 4.5 | 0.15 | 0.35 | 5.0 | 0.05 | 0.45 | 5.5 | 0.05 | 0.50 | 6.0 | 0.05 | 0.10 | 6.5 | 0.05 | 0.05 | 7.0 | 0.05 | 0.05 | | <ul style="list-style-type: none"> ○ <u>プリント基板のマスク</u> 端からのBGを抑制 ○ <u>α線入射窓の拡張</u> ドリフトプレートの穴サイズ $10 \times 10 \text{ cm}^2 \rightarrow 15 \times 15 \text{ cm}^2$ (2.25倍) 感度はBG rateのルートで効くと仮定 $\rightarrow 4.1 \times 10^{-4} \alpha/\text{cm}^2/\text{hr}$ (90%CL) ○ <u>活性炭の選別</u> ラドンを1/3から1/10まで抑制を仮定 $\rightarrow 2.2 \times 10^{-4} \alpha/\text{cm}^2/\text{hr}$ (90%CL) ○ <u>フィールドケージ再設計</u> Radon alphaを半減 $\rightarrow 1.6 \times 10^{-4} \alpha/\text{cm}^2/\text{hr}$ (90%CL) ○ <u>新素材のスクリーニング</u> B02と共同 | | <ul style="list-style-type: none"> ○ <u>新型μ-PIC開発/製造</u> B02と共同 ○ <u>性能試験</u> $^{222}\text{Rn}, ^{220}\text{Rn}$エマネーション抑制が期待される ○ <u>DAQ update</u> 飛跡再構成の改善 検出効率 20% -> 50% $\rightarrow 0.95 \times 10^{-4} \alpha/\text{cm}^2/\text{hr}$ (90%CL) ○ <u>新型μ-PIC実装</u> $\rightarrow 0.5 \times 10^{-4} \alpha/\text{cm}^2/\text{hr}$ (90%CL) 新型μ-PICの出来次第で価格も変わり予算的に確保できるか? |
| Energy (MeV) | Refrigerator ON (Blue) | Refrigerator OFF (Red) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.5 | 0.05 | 0.05 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4.0 | 0.10 | 0.10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4.5 | 0.15 | 0.35 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5.0 | 0.05 | 0.45 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5.5 | 0.05 | 0.50 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6.0 | 0.05 | 0.10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6.5 | 0.05 | 0.05 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7.0 | 0.05 | 0.05 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

表面アルファ線イメージ分析の立ち位置



まとめ

- 表面α線イメージ分析は、全量試験では気づかない表面汚染に対して有効であり、独立的に重要な極低BG測定手法である。得られた画像から構造体のどの部品に問題があるか明らかにできる。
- μ-TPCを用いた表面α線イメージ分析装置(AICHAM)は、low-a μ- PICを実装したことで、感度 $\sim 10^{-3} \alpha/\text{cm}^2/\text{hr}$ を達成した。
- 2週間の安定運転を可能にし、試料測定を継続していた。様々な実験グループから測定の注文があり、その度に試行錯誤で手法を確立していました。
- 冷却活性炭の実装でBGのラドンは~1/3に減少し、感度は1ヶ月測定で $6 \times 10^{-4} \alpha/\text{cm}^2/\text{hr}$ を達成した。
- 装置を全体的に改良するによって感度 $< 10^{-4} \alpha/\text{cm}^2/\text{hr}$ を目指す。

Backup