



# 新学術「地下宇宙」2021年領域研究会

*unraveling the History of the Universe and Matter Evolution with Underground Physics*

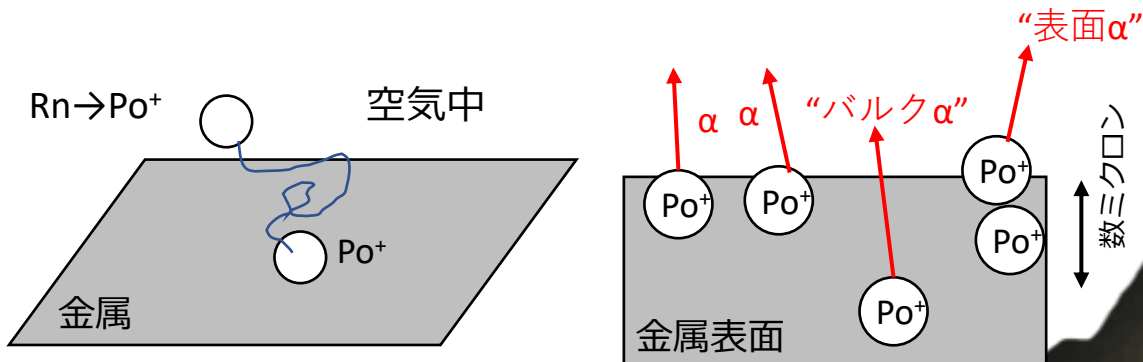
## D班：極低放射能測定における $\mu$ -TPCを用いた 表面アルファ線イメージ分析装置の開発

東京理科大  
伊藤博士



# 地下から解き明かす 宇宙の歴史と物質の進化

- 地下実験のための検出器は「極限まで少ない不純物」 + 「大型化」を要求。綺麗な素材確保・生成は確立されてきた。
- 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。
- 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。



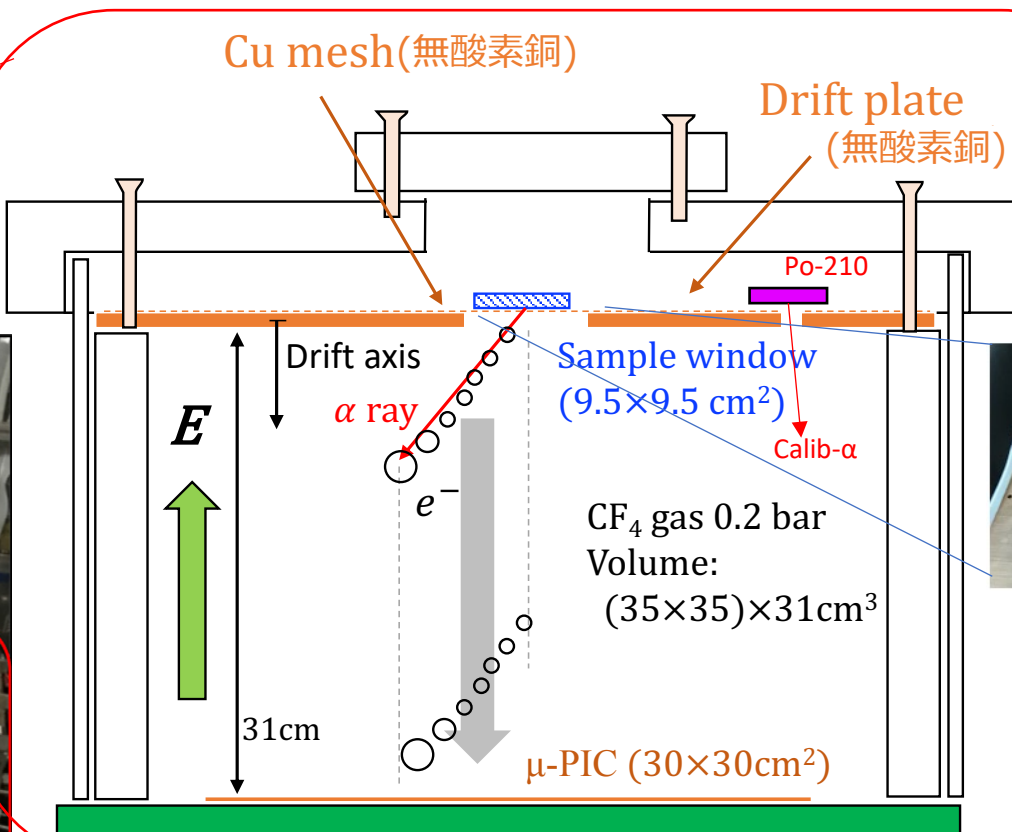
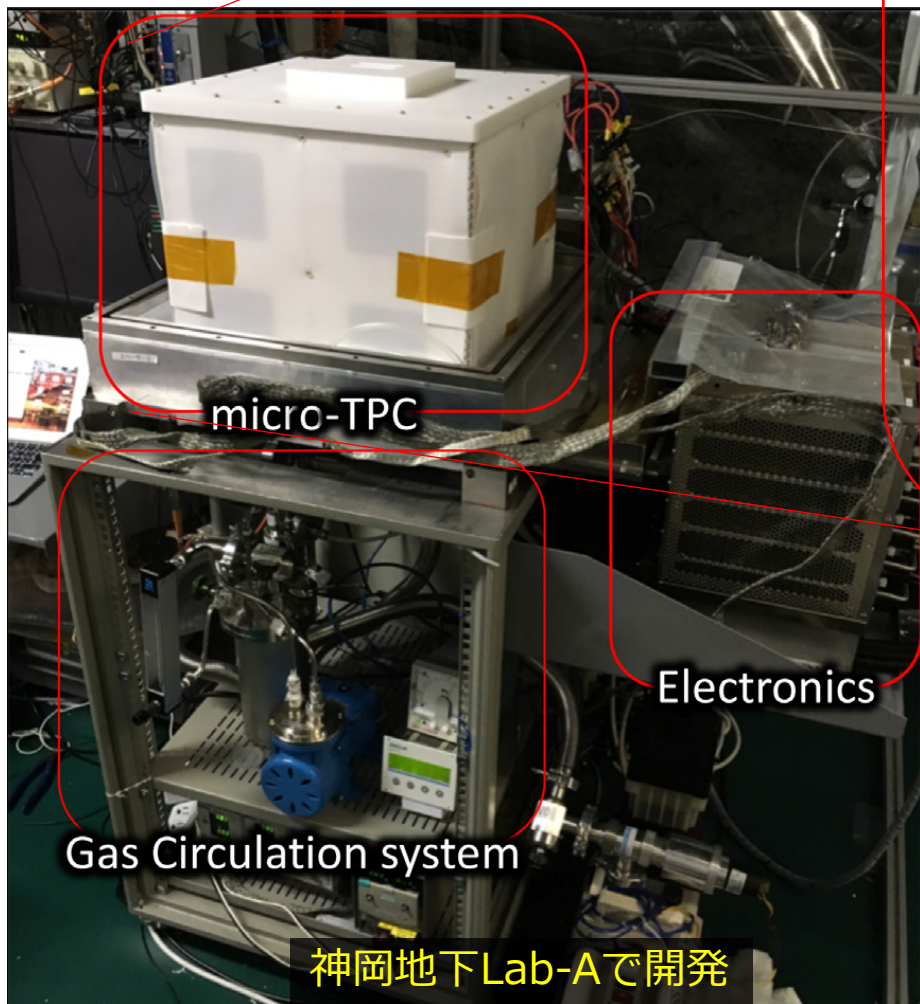
2021/05/19



## 2. α線イメージ分析装置

Alpha-ray Imaging Chamber (AICHAM)

NIM A 953 (2020) 163050.



### タイムプロジェクション・チェンバー(TPC)

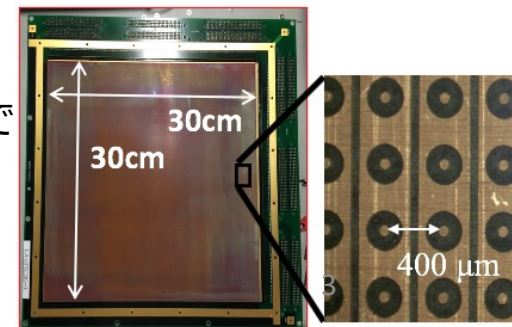
静電場でアルファ線が通過した時に生じる電子をμ-PICへ輸送し、2次元ヒット位置と時刻を記録。時間をz座標に変換して3次元飛跡に再構成。

### μ-PIC: maicro-pixel chamber

アノード(横)・カソード(縦)の信号を同時に読むことで400 μm間隔でヒット位置を決定できるストリップ型読み出し装置。

AICHAMは従来より低不純物のμ-PICを使用している。

NIMA977 (2020) 164285.

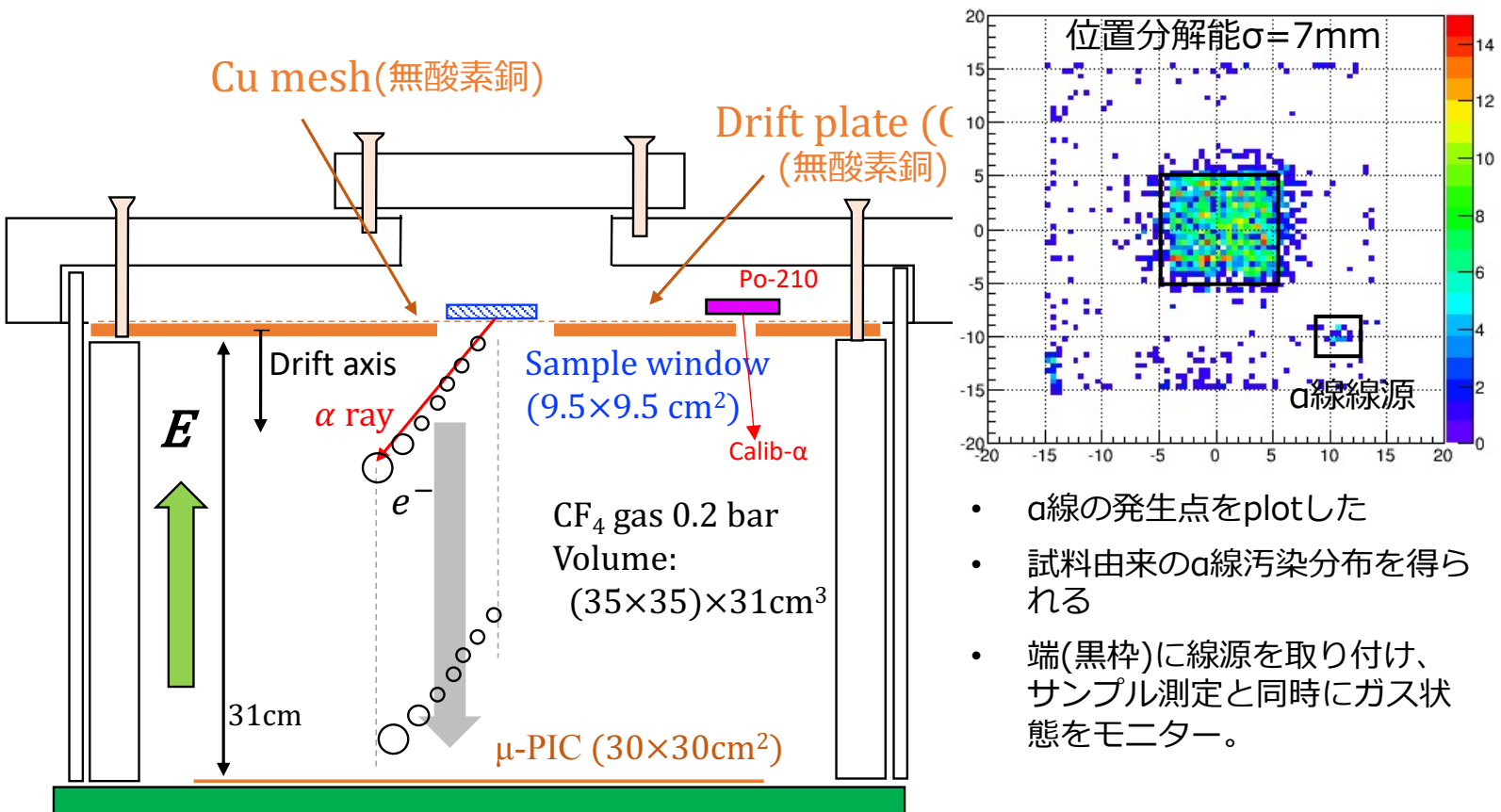
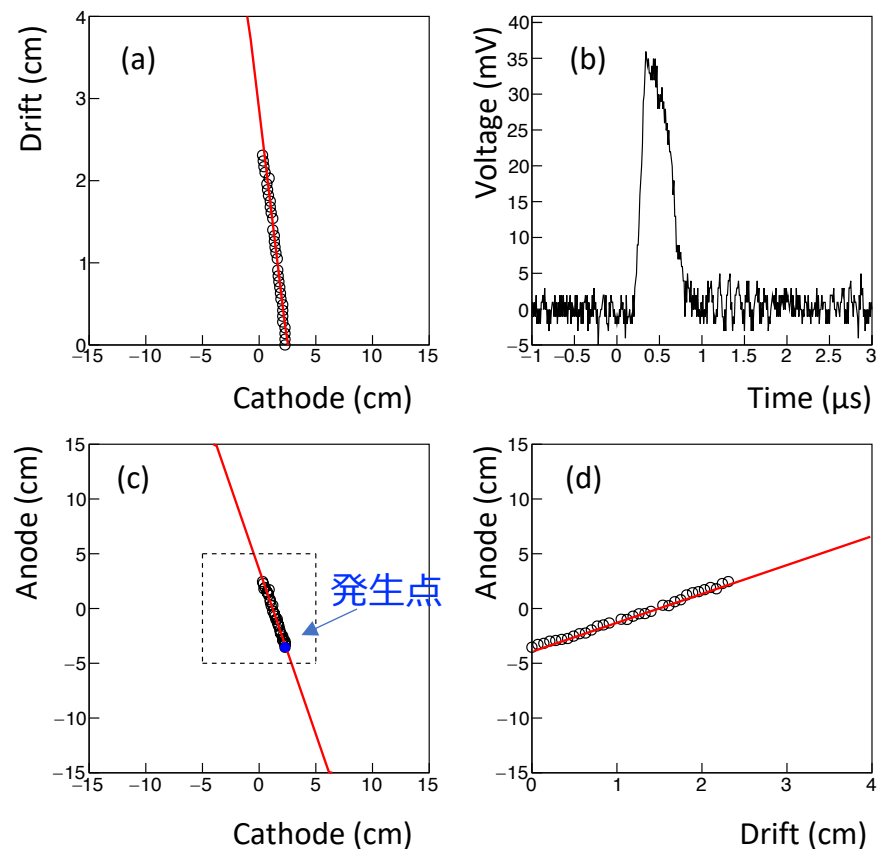




## 2. α線イメージ分析装置

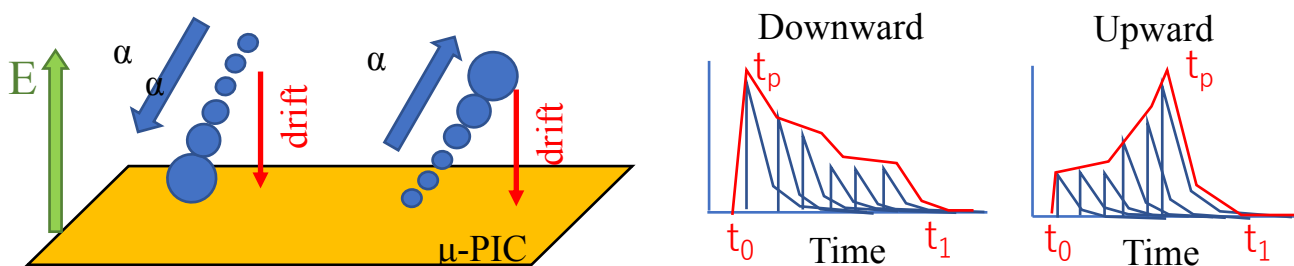
Alpha-ray Imaging Chamber (AICHAM)

NIM A 953 (2020) 163050.



- $\alpha$ 線の発生点をplotした
- 試料由来の $\alpha$ 線汚染分布を得られる
- 端(黒枠)に線源を取り付け、サンプル測定と同時にガス状態をモニター。

- 0.2気圧のCF<sub>4</sub>ガスを使用 5MeVの $\alpha$ 線は約8cm走る。
- 波形解析からも方向を決定でき、 $\alpha$ 線の発生点を決定できる。
- サンプル由来の $\alpha$ 線は下向き。BGを半分は落とせる

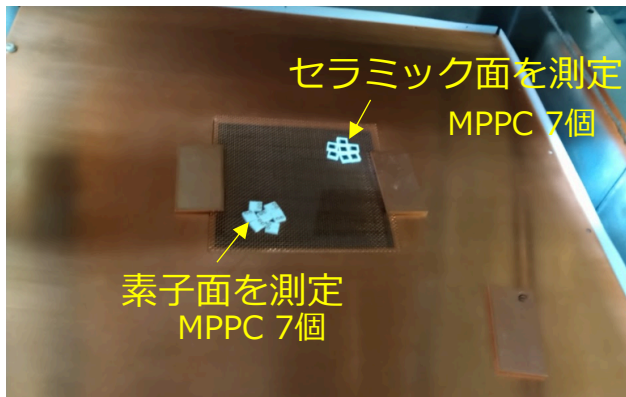




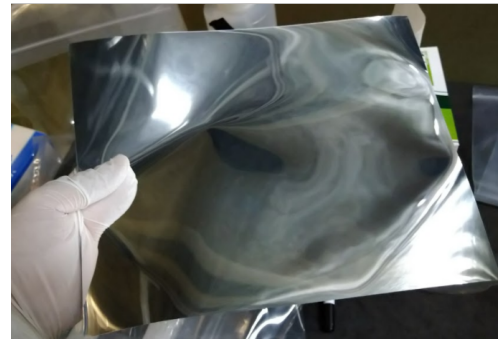
### 3. イメージ分析の状況

- 2018年から安定運用を開始。これまで多くのグループから測定依頼を受けている。
- 銅メッシュの上にサンプルを載せ2週間~1ヶ月待てば、アルファ線のエネルギー分布と、発生位置のイメージが得られる。

#### 1) AXELグループのMPPC(使用済)

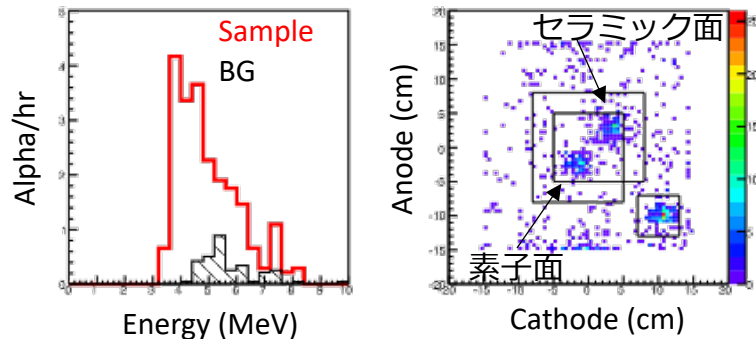


#### 2) PICOLONグループの反射板



PTEP(2021) 043F01

$< 1.77 \times 10^{-3}$  alpha/hr/cm<sup>2</sup> (90% C. L.).



$\alpha$ 線頻度 =  $0.58 \pm 0.04$  a/hr/MPPC (片面相当)

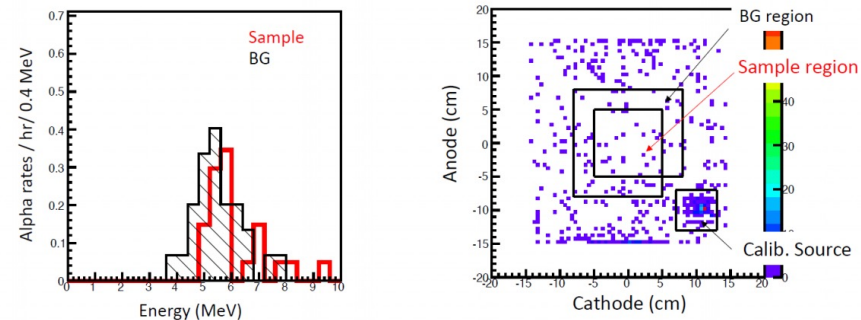


Fig. 5 Left: The energy spectra inside (red) and outside (black shaded) the sample region. Right: The distribution of emitting points of alpha-ray events. The ESR sheet is placed in the sample region.

これまで、他に、

- 中性子コンソーシアムの表面コーティングされたSUS板
- NEWAGEグループの試作基板
- Hyper-KのPMTガラス試料
- 中性子コンソーシアムのフランジ窓ガラス
- SK-GdのRa吸着ディスク
- La-GPSシンチレータ

など、実験グループの枠/垣根を超えて分析を実施してきた実績がある。

## 4. 課題と改善計画

### わかっている課題点

- ガス中の**放射性ラドン**からの下向き $\alpha$ 線は、カット仕切れない。
- **プリント基板**からの $\alpha$ 線が壁際雑音を形成
- 目標感度  $10^{-4}$  a/cm<sup>2</sup>/h

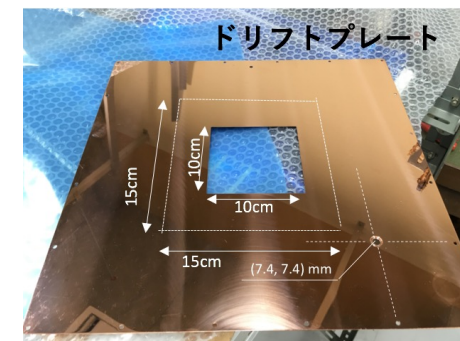
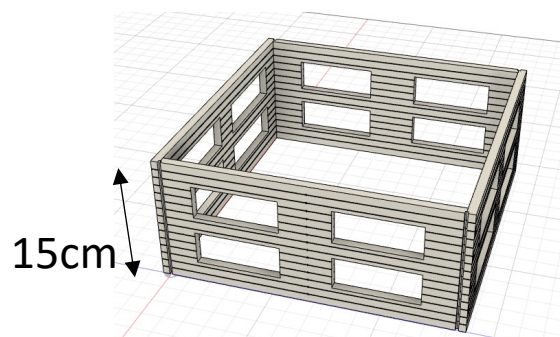
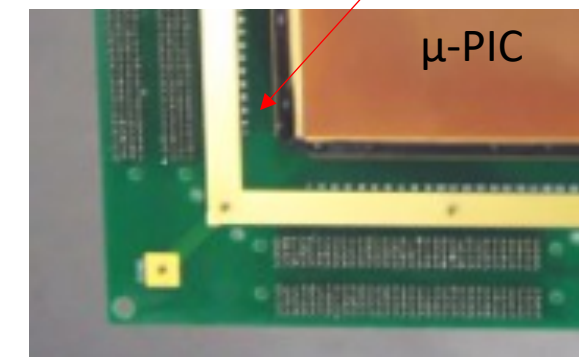
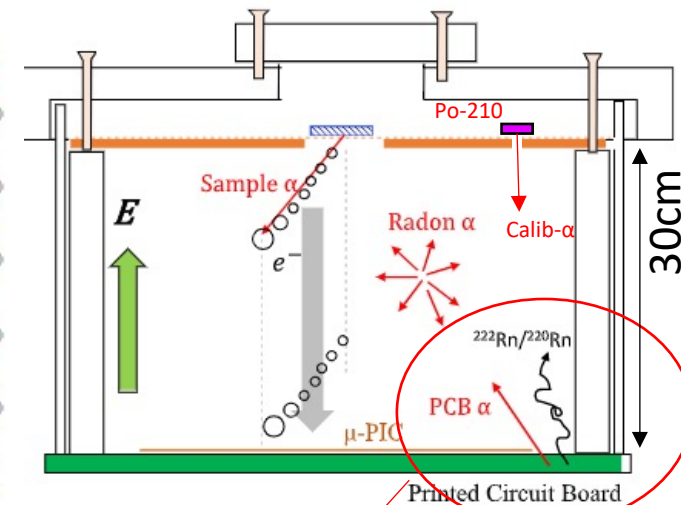
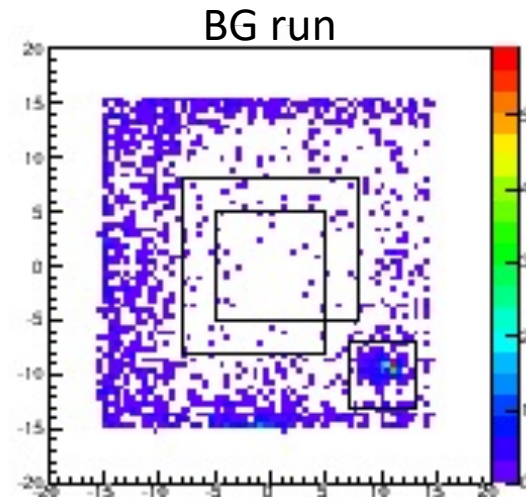
### 感度改善のための計画

1. 冷却活性炭によって、ガス内ラドンを減らす。
2. プリント基板の表面をマスクして壁際 $\alpha$ 線を減らす。
3. 有感領域における体積を減らす。
4. アルファ線入射のための窓を広げる。

※他にもアイデアはあるが、まず優先して上4つを実施

- DAQエレクトロニクスの改良.
- 飛跡解析アルゴリズム改良.
- さらに不純物のない $\mu$ -PIC+プリント基板へ据え換え.

2021/05/19



## 4. 課題と改善計画

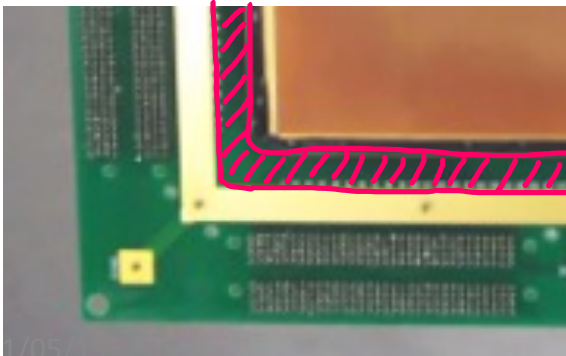
1. 冷却活性炭によって、ガス内ラドンを減らす。
2. プリント基板の表面をマスクして壁際α線を減らす。
3. 有感領域における体積を減らす。
4. アルファ線入射のための窓を広げる。

### 1. 冷却活性炭の実装

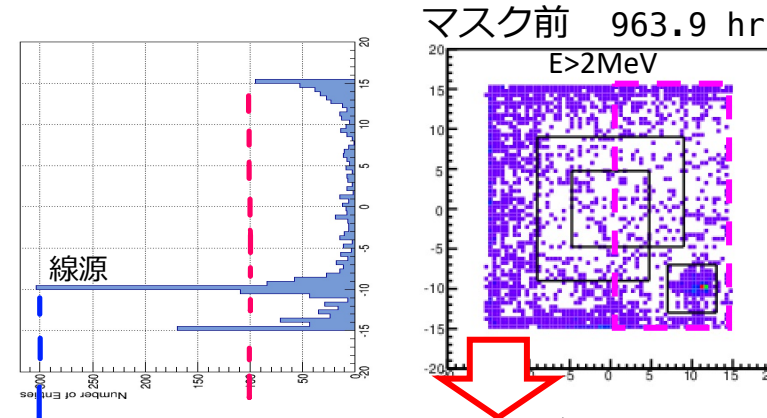
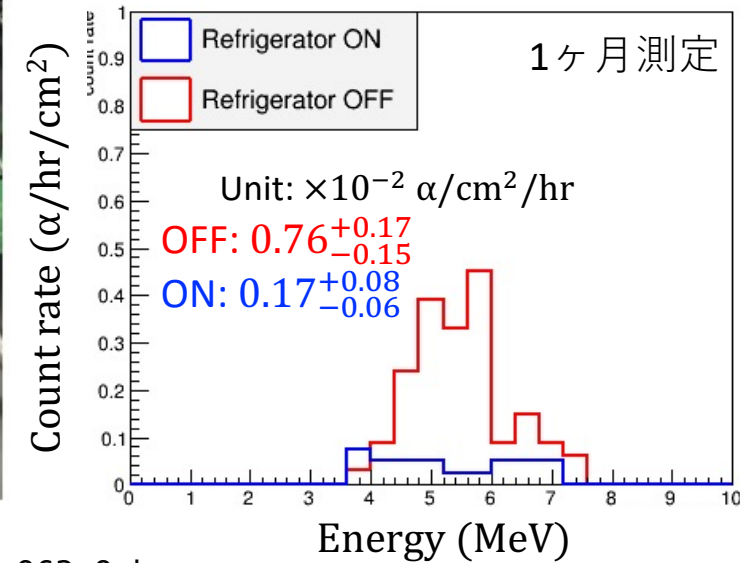
- 神岡施設の活性炭と冷凍器を確保。
- 配管実装は完了。-100度に冷却してガス循環系の導入完了。
- 実装したことで明らかな**BG-α線は減少**した。BGは1/3に減った。今回の活性炭は「ダイヤソーブ」

### 2. プリント基板由来のα線を防ぐためにマスク

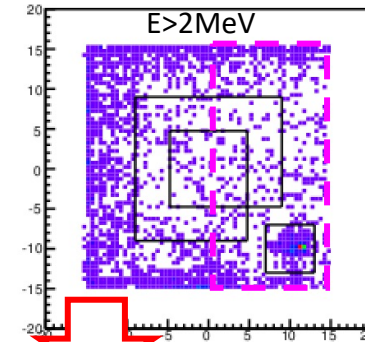
プリント基板が露出している領域(緑)を  
カプトンテープでマスクした



202/05/

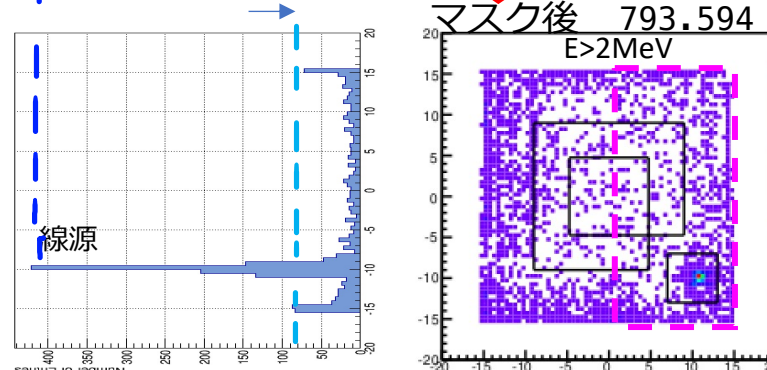


マスク前 963.9 hr

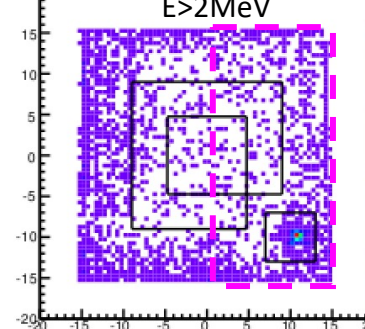


マップの半分を抜き出して、  
縦に分布を射影する。

線源のα線の事象数を基準に  
して、端に分布する事象数を  
比較する。



マスク後 793.594 hr



マスクしたら有意に端のα線  
は減ったが、  
隠せられていない領域も残っ  
ていることも確認できた。



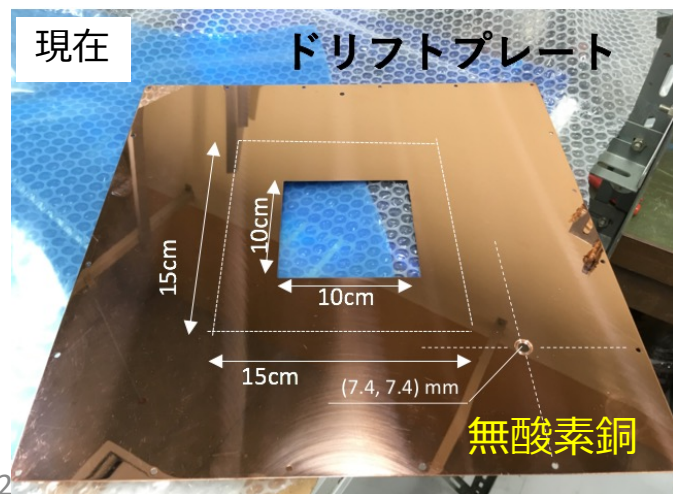
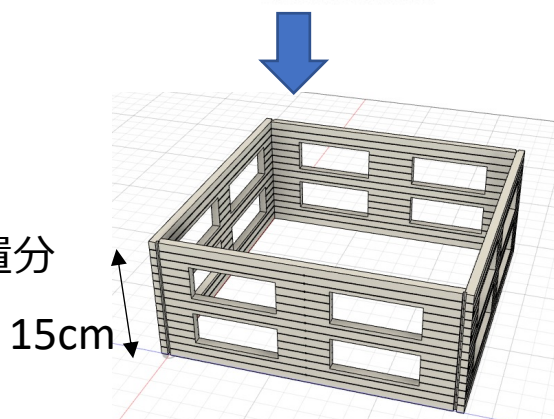
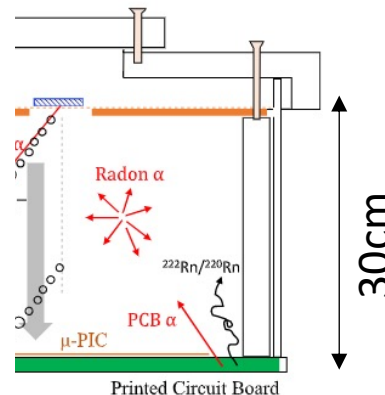
## 4. 課題と改善計画

1. 冷却活性炭によって、ガス内ラドンを減らす。
2. プリント基板の表面をマスクして壁際α線を減らす。
3. 有感領域における体積を減らす。
4. アルファ線入射のための窓を広げる。

### 3. 有感領域における体積を減らす

- フィールドケージの高さを低く  
(半分の15cm)
- 電子ドリフト距離が短くなるので、位置分解能改善も期待

### 4. アルファ線入射のための窓を広げる



- サンプル領域拡張(入射窓を広げる)は感度  $[a/cm^2/hr]$  を改善する。
- これまで端からのα線によってサンプル領域拡張は制限されていた。
- $10 \times 10 \text{ cm}^2 \rightarrow 15 \times 15 \text{ cm}^2$  (面積比 2.25倍)
- ドリフトプレートは製作済み。

## 4. 課題と改善計画

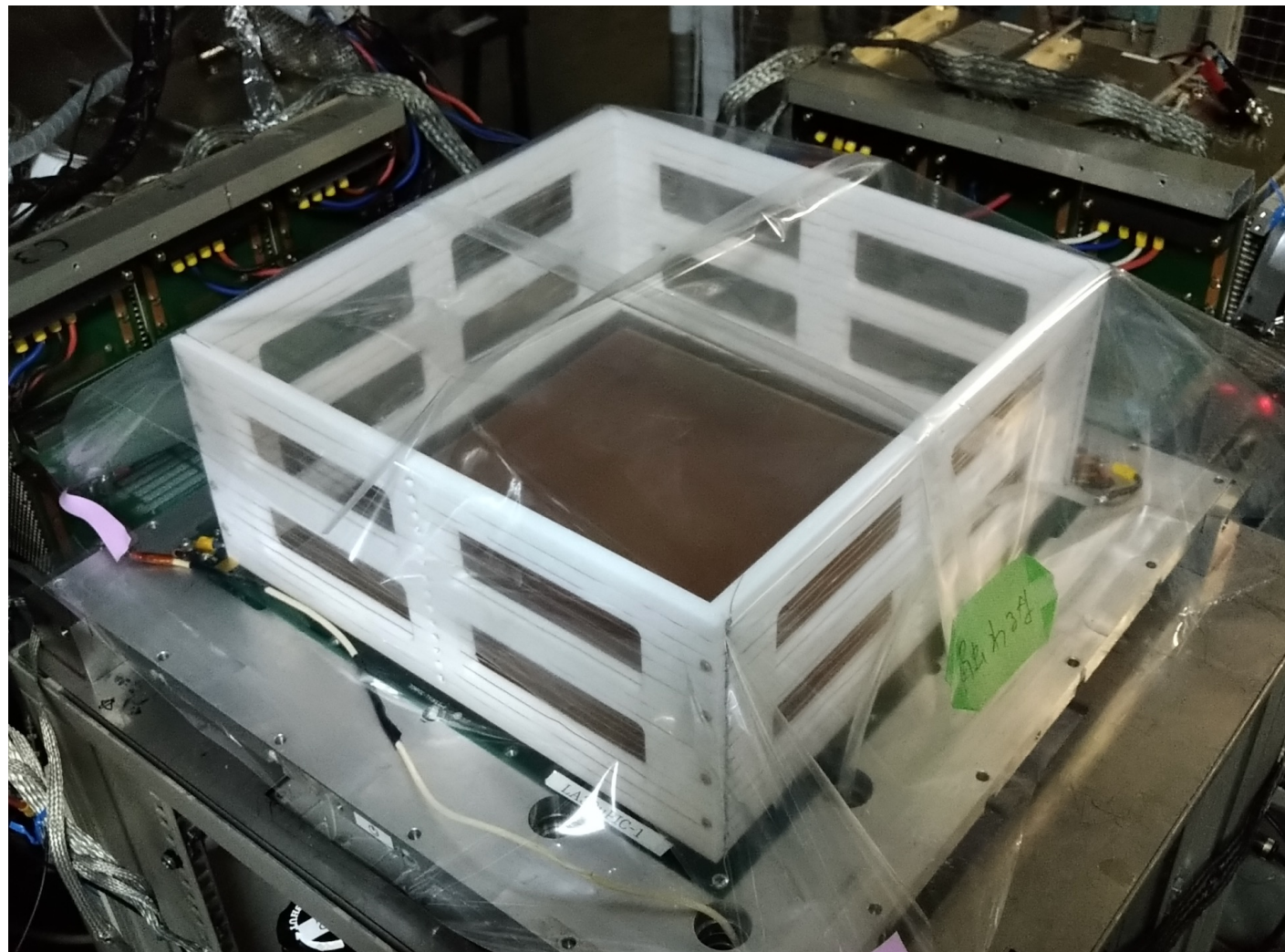
✓フィールドケージを入れ替え作業。

有効面積あたりの体積は半分

→ラドンの量も半分になると期待

今後、

- 真空漏れチェック
- 放電耐性のチェック
- 信号/雑音レベルの確認
- 長期安定運転のチェック
- アルファ線エネルギー較正
- 有効面積拡張の検証
- 感度・性能評価の実施
- 2021年度 夏から新システムでの  
分析運用を目指す





## 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-α 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。
- 様々な実験グループのサンプルを測定し、その度に試行錯誤で手法を確立していきました。
- 並行して装置改善の取り組みを進め、フィールドケースの据え変えが完了。今後、運用に向けてリークチェック、放電チェック、性能評価を予定している。**2021年度 夏から新システムでの分析運用を目指す。**