

# B03: 地下実験のための 放射能分析装置の開発

2023年2月22日

東京大学 宇宙線研究所 共同利用研究成果発表会

本年度査定金額: 28万円 (旅費: 25万円, 物件費: 3万円)

使途: 旅費 22.3万円, 物件費 (クリーンブース消耗品)5.7万円

【神戸大学】竹内 康雄 (代表), 身内 賢太郎, 高木 優祐 【徳島大学】伏見 賢一, 岸田有美子, 坂上陽俊  
【東京大学 宇宙線研究所】関谷 洋之, 竹田 敦, 中野 佑樹, 【大阪大学】梅原 さおり, 吉田 斉,  
【福井大学】小川 泉, 【横浜国立大学】南野 彰宏, 鈴木 芹奈, 天内昭吾  
【東北大学】市村 晃一, 【東京理科大学】伊藤 博士(代理発表)

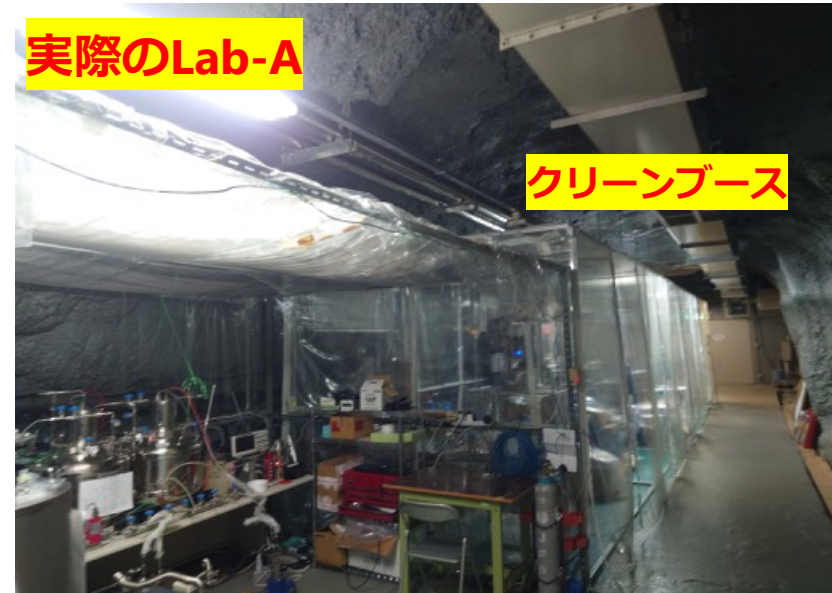
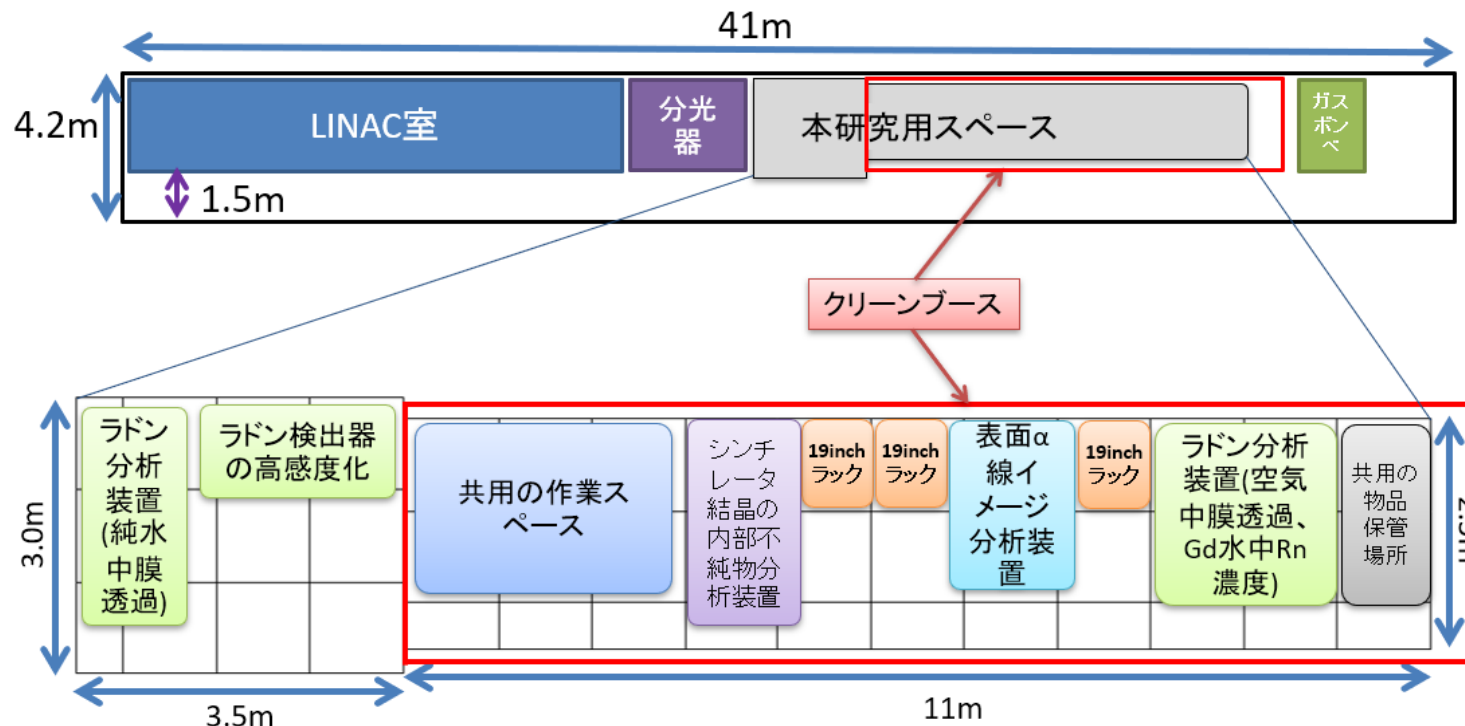
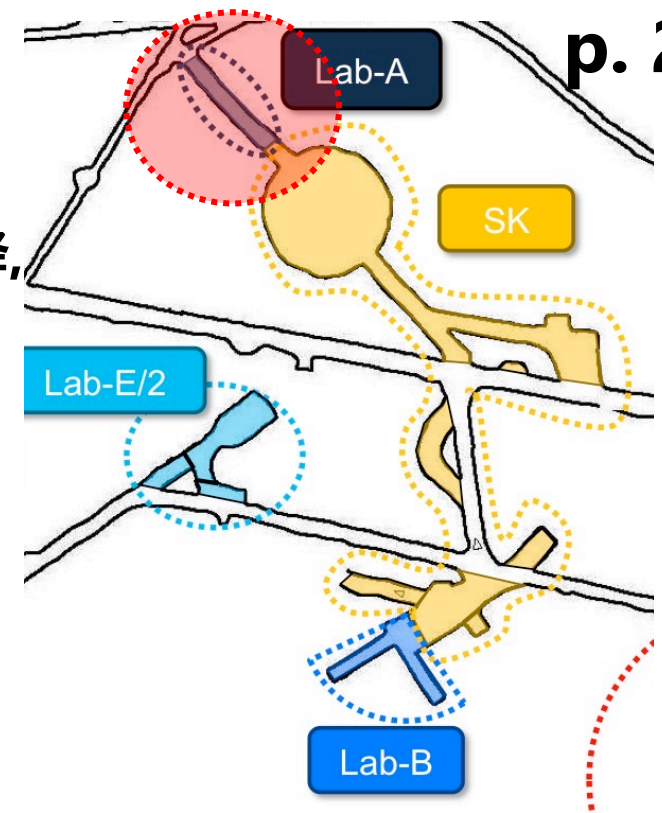
# 本研究の概要

新学術「宇宙の歴史をひもとく地下素粒子原子核研究」(平成26-30年度)以降、  
神岡地下の実験室A (Lab-A)で、放射能分析装置の技術的連携を実施。

→ 約 3 m × 15 m の実験エリアとクリーンブース。

新学術「地下から解き明かす宇宙の歴史と物質の進化」(平成31年度-)では、

- (1) 分析装置の**低バックグラウンド化**, **高感度化**,
- (2) クリーンブースでの**試料作成**, **グループを超えたサンプル分析**を実施。



# 2022年度の取り組みの概要

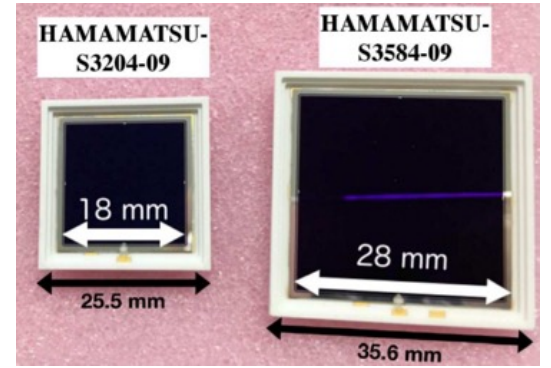
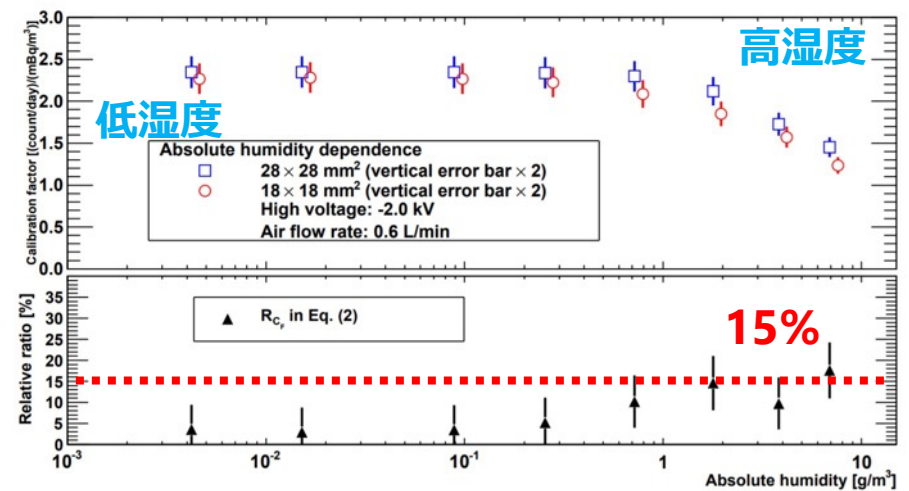
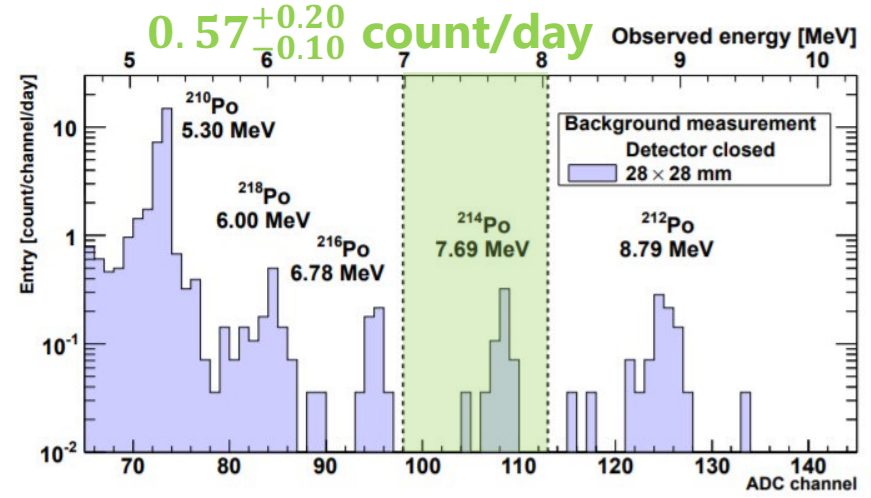
	分析装置	取り組み
1	ラドン分析装置	地下実験共通のラドン由来のバックグラウンド分析 (1) 80 L ラドン検出器の高感度化 (2) 他ガスを利用する検出器への応用研究
2	表面 $\alpha$ 線イメージ分析装置	低BG表面RI分析を目的としたガスTPC 検出器 (1) 検出器改良後の安定動作のため調整 (2) 実験グループの枠を超えて、サンプル分析を実施
3	結晶内部の不純物分析装置	$0\nu 2\beta$ 崩壊や暗黒物質探索を目的としたシンチレータ結晶開発 (1) $\text{CaF}_2$ (pure) 結晶の偏析調査 (2) $\text{CaCl}_2$ サンプルの純化と評価

# 高感度ラドン検出器開発とその応用

## ■ ラドン検出器の改良

ガス中のラドン濃度を  $\sim \text{mBq/m}^3$  の感度で測定できる。  
 大型のPIN-photodiodeを導入, **BGそのままに感度向上** (BG  $\sim 0.2 \text{ mBq/m}^3$ ).

K. Okamoto et al., arXiv:2112.06614.

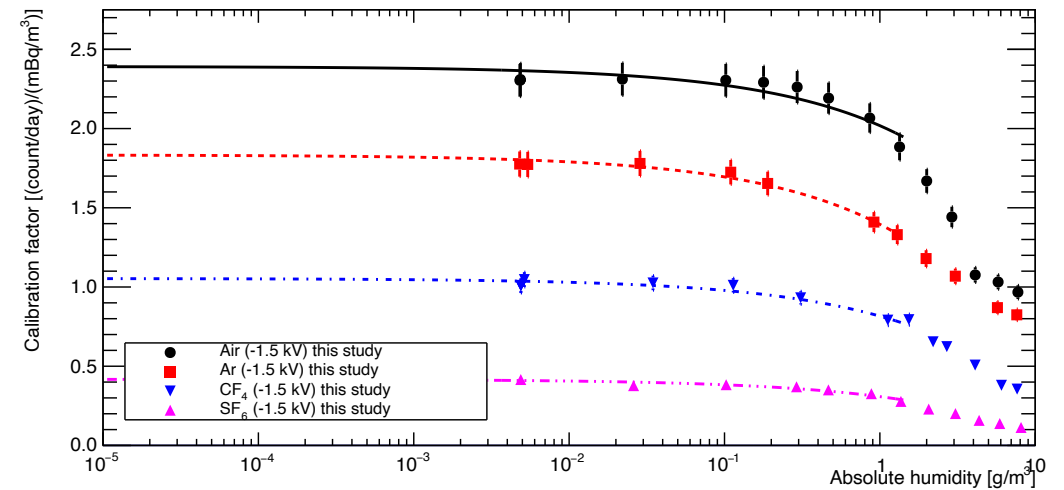


## ■ ラドン検出器の応用

上記のように, Super-Kamiokandeでは純空気だが,  
**他ガスを利用する検出器への応用研究を進めた。**

暗黒物質探索で利用されるCF<sub>4</sub>ガス, SF<sub>6</sub>ガスを封入し,  
 ラドン検出器の性能評価を実施。  
 → 現在, 投稿論文の準備中。

18x18 mmの場合



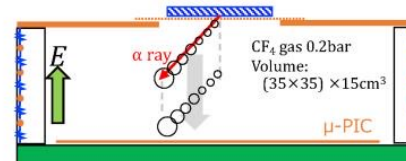
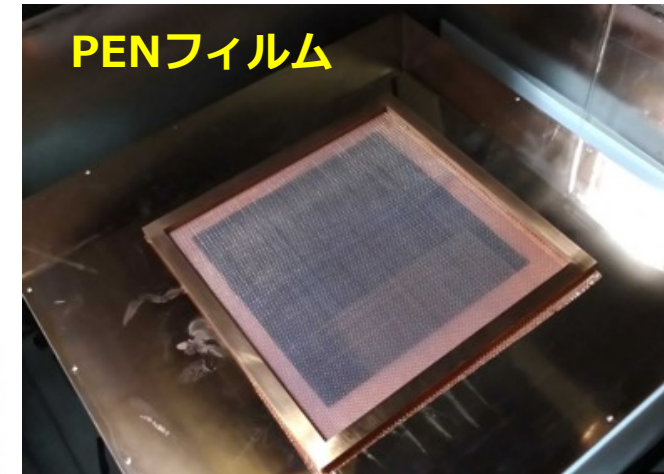
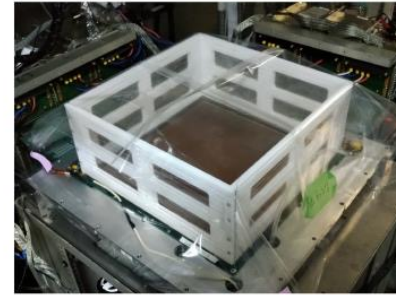
# 表面アルファ線イメージ分析装置

## ■ 低BG表面RI分析を目的としたガスTPC検出器.

- $\mu$ -PICを用いて、試料表面からのアルファ線の飛跡を測定。
- 2022年度は、昨年度の改良後の**TPC安定動作のため調整**を実施し、サンプル分析の運用を再開した。

H. Ito et al., Nucl. Instr. Meth. A 953, (2020) 163050.

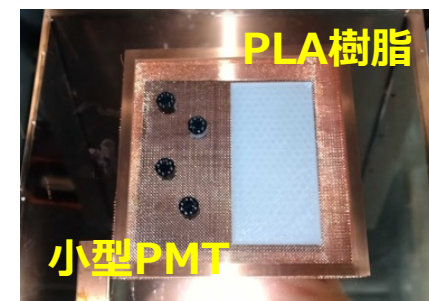
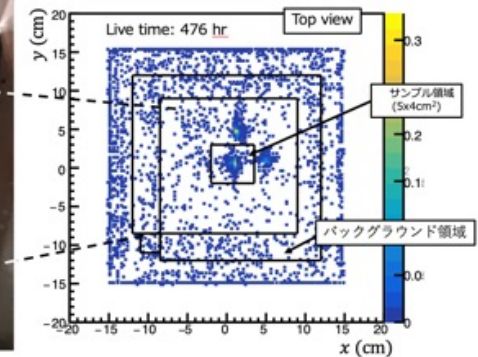
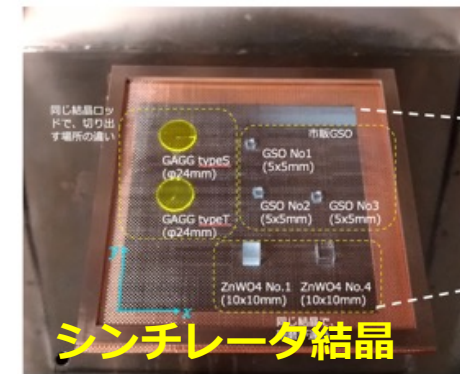
H. Ito et al., J. Phys.: Conf. Ser. 2156 012176 (2021).



## ■ 実験グループの枠を超えて、サンプル分析を実施

KamLANDグループのPENフィルムサンプル  
 NEWAGEグループの銅リボンサンプル  
 シンチレータ結晶(GAGG, ZnWO<sub>4</sub>, GSO) 7個同時  
 小型PMT、PLA樹脂  
 など

- 1ヶ月の測定: 検出限界  
 $2.4 \times 10^{-3}$  a/hour/cm<sup>2</sup> (90% C.L.)。
- 低バックグラウンド化により、 $10^{-4}$  a/hour/cm<sup>2</sup> を目標。

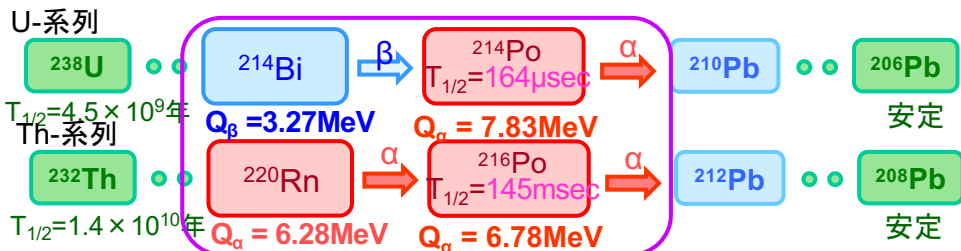


# 結晶内部の不純物測定装置

## ■ 遅延同時係数測による測定

0ν2β崩壊や暗黒物質探索を目的としたシンチレータ結晶開発  
 遅延同時計測の感度 **~5μBq/kg (ppt)** 測定時間10日

- ・ 感度はCaF<sub>2</sub>結晶サイズが制限
- ・ 現在、装置を用いた結晶評価が進行中 → **安定運転モード**



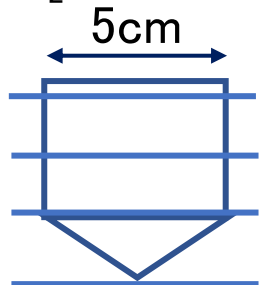
検出効率  
 U-系列 : ~90%  
 Th-系列 : ~85%



測定装置(RCNP)

## ■ CaF<sub>2</sub>(pure) 結晶の偏析調査

CaF<sub>2</sub>インゴットの切断



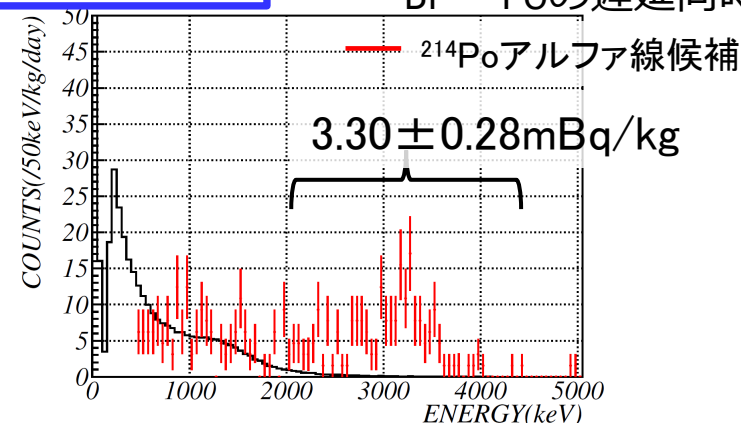
IMR-17  
 IMR-18B  
 IMR-18A

3つのパーツに  
 切り分けて測定

**円筒下方に不純物が集まっていることを確認。**  
 さらに詳細調査を進め、高純度結晶開発に取り入れる予定。

## α線測定の結果

るつぼ下円筒側(IMR18B) :  
<sup>214</sup>Bi-<sup>214</sup>Poの遅延同時計数測定

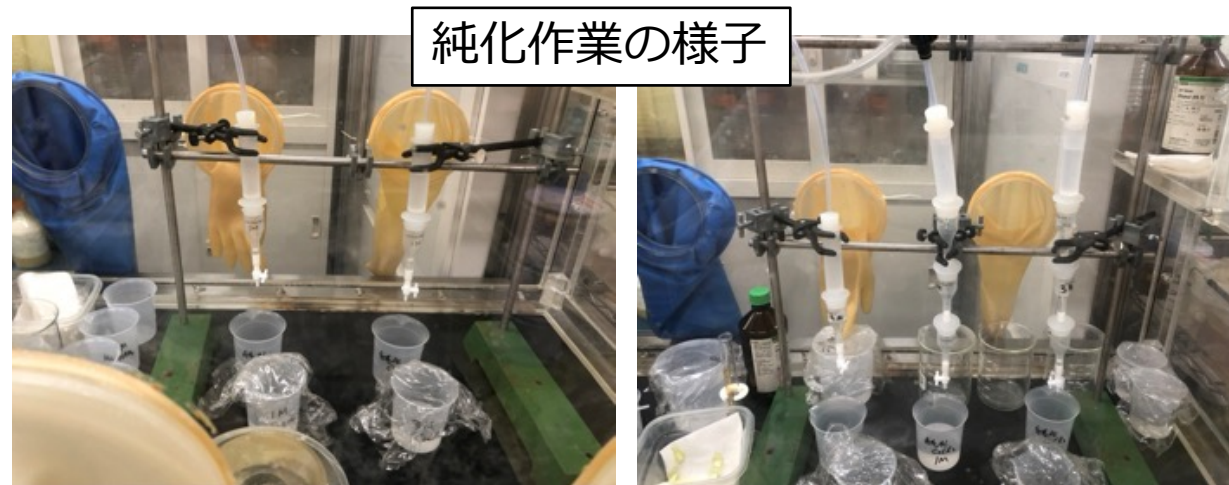


円筒上部(IMR-17) : 0.74 ± 0.12mBq (U換算)  
 円筒下部(IMR-18B) : 3.30 ± 0.28mBq (U換算)  
 円筒下部(IMR-18A) : 1.82 ± 0.34mBq (U換算)

# 結晶内部の不純物測定装置

## ■ CaCl<sub>2</sub>サンプルの純化

CaF<sub>2</sub>の純度を上げるため、**原料であるCaCl<sub>2</sub>を純化**  
 スクリーニングで高純度だったCaCl<sub>2</sub>水溶液をU、Th吸着樹脂にて純化  
 樹脂に通すCaCl<sub>2</sub>の濃度 (3種類 : 0.1M, 1M, 3M)  
 大量生産のためには高濃度における効果を確認する必要  
 樹脂に通す回数 : 1回~3回まで繰り返した



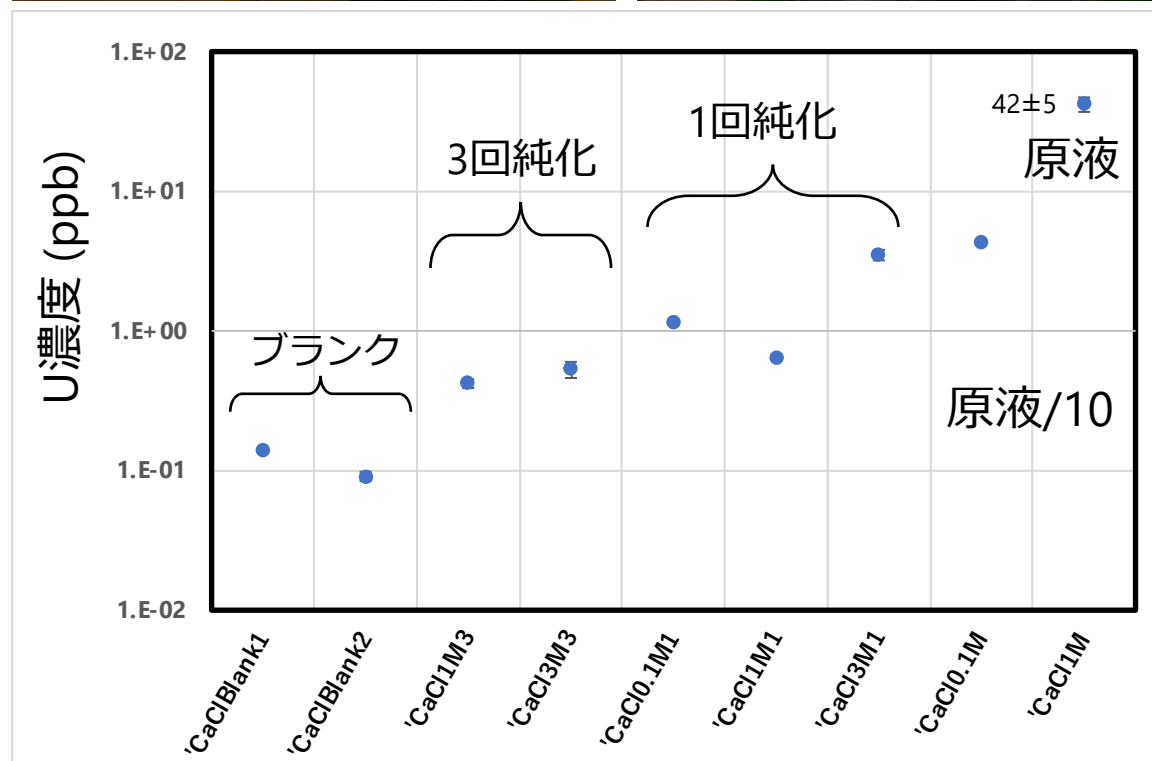
## ■ CaCl<sub>2</sub>中のU濃度

**純化の効果を確認した。**

- 1回純化では、ばらつきはあるがU濃度が減少した。
  - 3回純化で十分な効果。
- 別試験で、高濃度原液に対しても効果が確認できた。

Th濃度については現在確認中。

次年度に純化した原料で結晶作製、純度確認したい。



# まとめ

神岡地下 (Lab-A) にて、**放射能分析に関する共同スペースを運用**。  
→ 地下実験のグループの枠を超えて、**分析技術の連携, 共有**。

これらの技術連携を通して、**分析技術の改良**も進めている。

## 本年度の取り組み

- (1) ラドン分析装置の高感度化, 他ガスの応用研究。
- (2) 部材表面からのアルファ線放出量の測定。
- (3) 結晶中の不純物測定。

次年度もこれらの活動を継続し、神岡地下で実施されている宇宙素粒子実験、ニュートリノ観測実験、暗黒物質探索実験の**感度向上を推進する**。



**Back up**

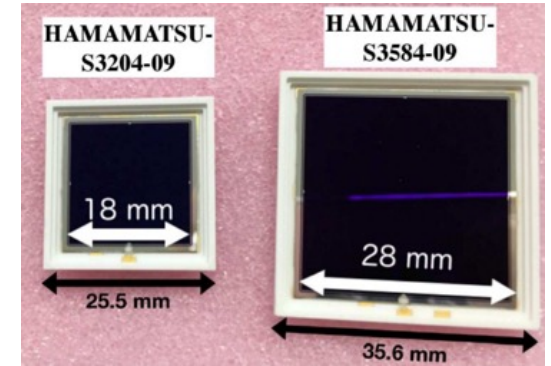
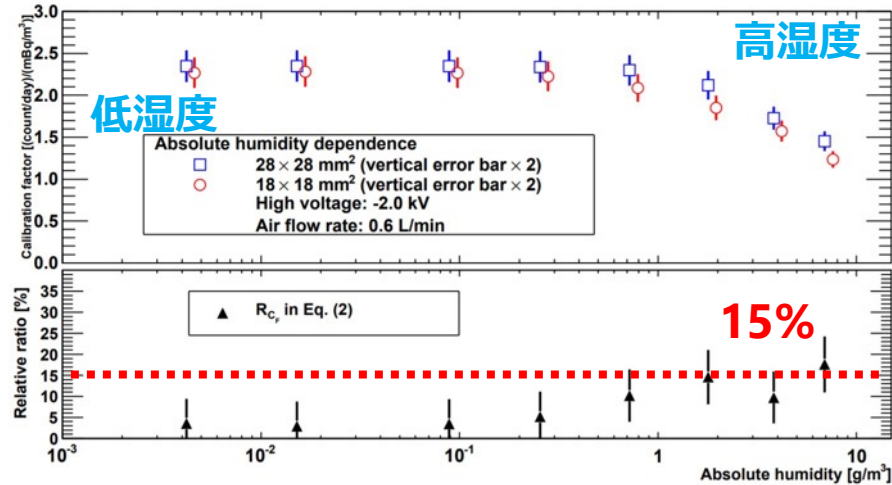
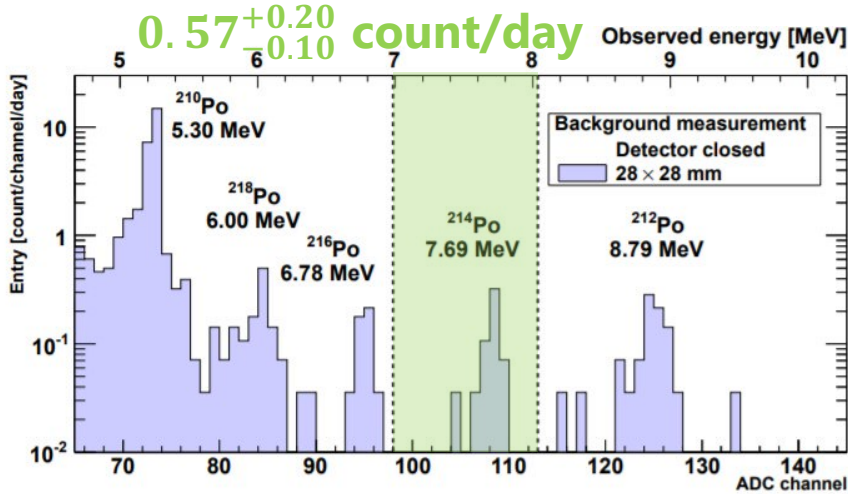
# 高感度ラドン検出器開発とその応用

## ■ ラドン検出器の改良

ガス中のラドン濃度を  $\sim \text{mBq/m}^3$  の感度で測定できる。

大型のPIN-photodiodeを導入, **BGそのままに感度向上** (BG  $\sim 0.2 \text{ mBq/m}^3$ ).

K. Okamoto et al., arXiv:2112.06614.



## ■ ラドン検出器の応用

Super-Kamiokande実験のGd溶解水中のラドン濃度を  $< 1 \text{ mBq/m}^3$  で測定したい。

→ ラドン検出器 と 中空糸膜モジュール を組み合わせて連続測定。

中空糸膜モジュールのハウジングをステンレス製 電解研磨  $< 2 \text{ count/day}$ .

実際の測定の準備ができた。

