

B03: 地下実験のための 放射能分析装置の開発

2022年1月26日 (水)

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: 21万円 (旅費: 18万円, 物件費: 3万円)

使途: 旅費 7.7万円, 物件費 13.3万円

【神戸大学】竹内 康雄 (代表), 身内 賢太郎, 水越 慧太, 石浦 宏尚, Kotsor Yurii, 尾崎 博紀,

【徳島大学】伏見 賢一, 【東京大学 宇宙線研究所】関谷 洋之, 竹田 敦, 中野 佑樹 (代理発表),

【大阪大学】梅原 さおり, 吉田 斉, 吉田 朋美, 【福井大学】小川 泉, 林 長宏,

【横浜国立大学】南野 彰宏, 和田 航平, 佐野 翔一 鈴木 芹奈, 【東北大学】市村 晃一, 中村 輝石,

【東京理科大学】伊藤 博士

E-mail: ynakano@km.icrr.u-tokyo.ac.jp

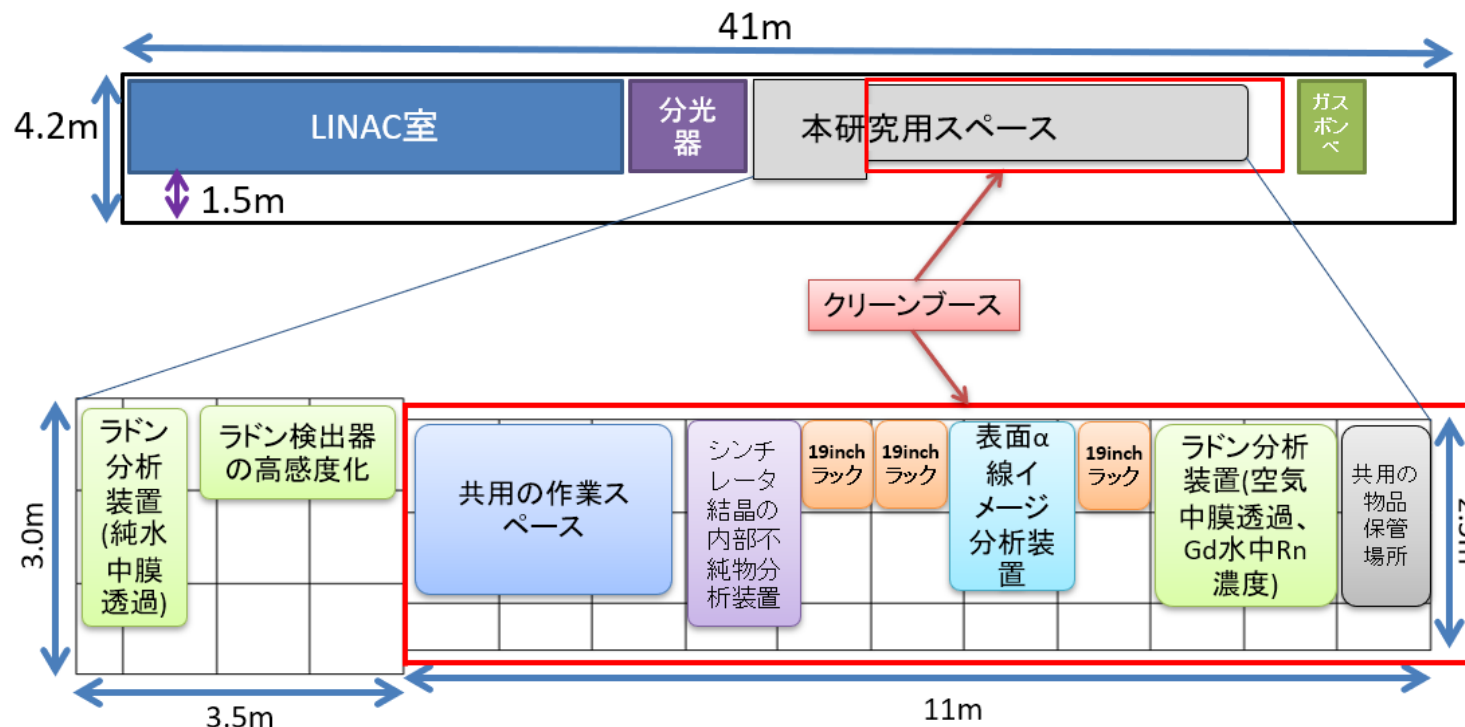
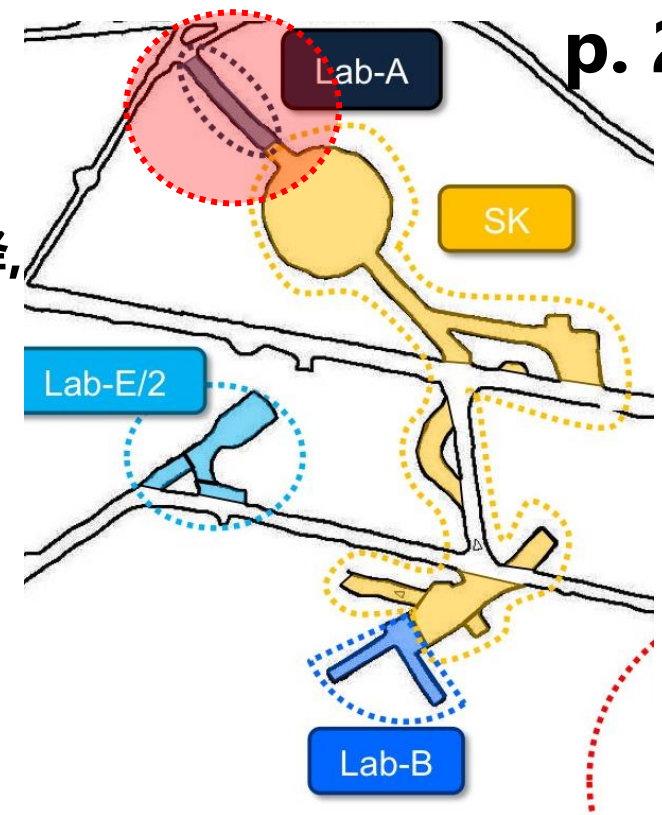
本研究の概要

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。



2021年度の取り組みの概要

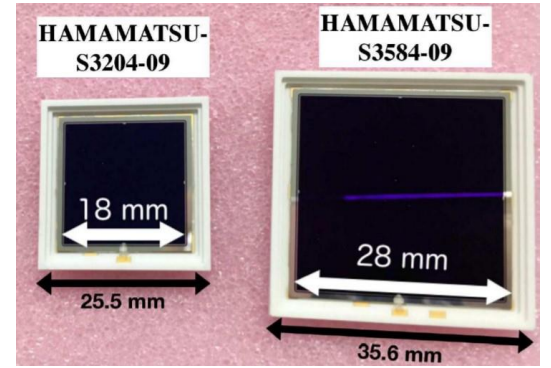
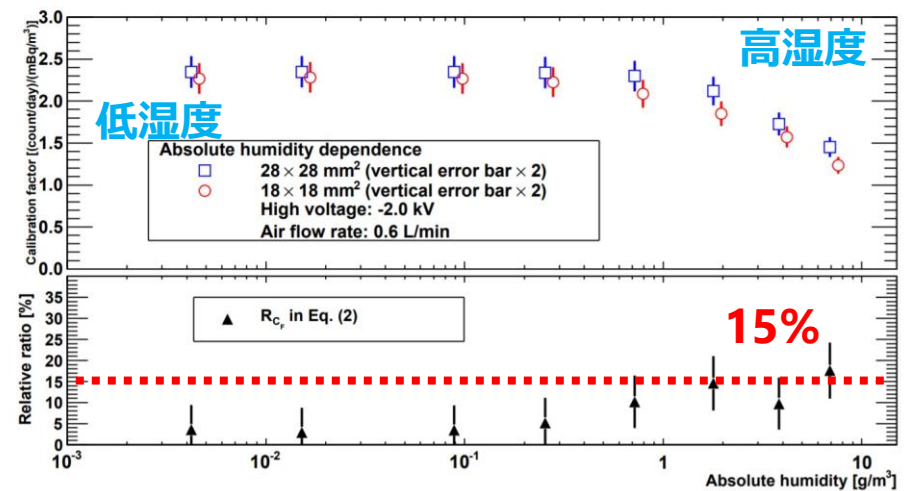
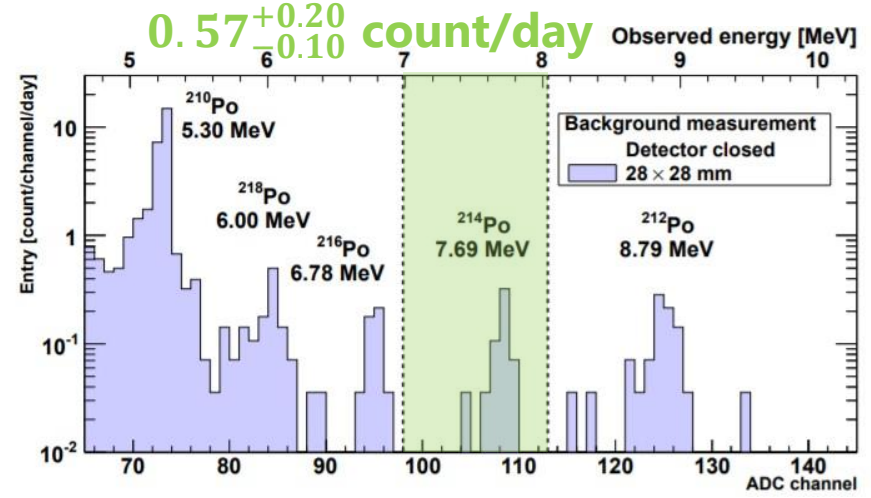
	分析装置	取り組み
1	ラドン分析装置	<p>地下実験共通のラドン由来のバックグラウンド分析.</p> <p>(1) 80 L ラドン検出器の高感度化.</p> <p>(2) Super-Kamiokande Gd溶解水中のラドン濃度測定に向けた中空糸膜を用いた分析装置の開発.</p>
2	表面 α 線イメージ分析装置	<p>低BG表面RI分析を目的としたガスTPC 検出器.</p> <p>(1) 検出器のサイズを最適化, 高感度化.</p> <p>(2) 分野を超えた分析の例.</p>
3	シンチレーター結晶の内部不純物分析装置	<p>0v2β崩壊や暗黒物質探索を目的としたシンチレータ結晶開発.</p> <p>(1) 生成した結晶の感度評価.</p> <p>(2) 製造過程における不純物の混入可能性の分析評価.</p>
4	ミグダル観測用装置	<p>申請時点ではLab-Aでの開発, 運用を予定したが, 担当者の異動により, Lab-Aでの研究を実施しなかった.</p>

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。



表面アルファ線イメージ分析装置

■ 分析装置の改良

低BG表面RI分析を目的としたガスTPC 検出器.

→ μ -PICを用いて, 試料表面からのアルファ線の飛跡を測定.

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

2021年度, フィールドケースを入れ替えによる改良.

→ 31 cm から 15 cm に短縮し, ドリフト長を短くした.

- (1) 電子拡散の低減,
- (2) ラドン由来のアルファ線の抑制.

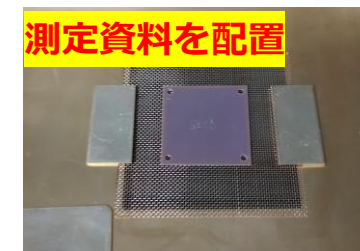
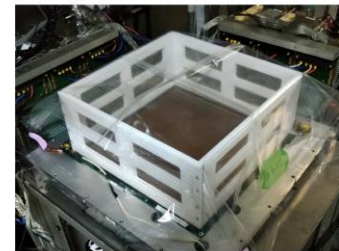
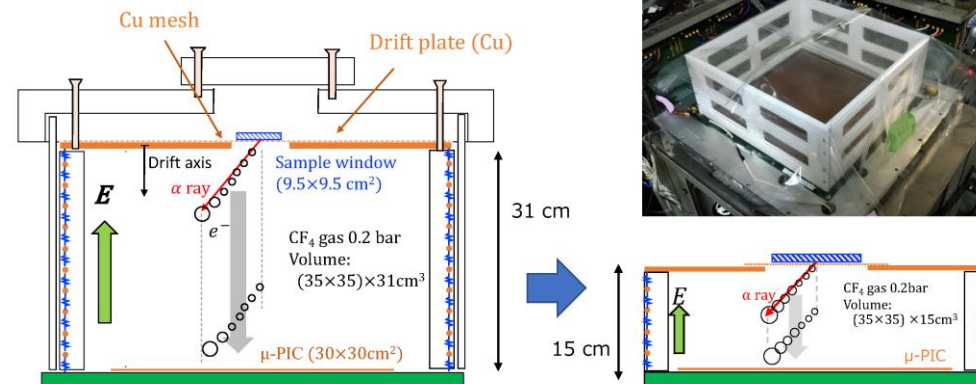
■ 改良前後の感度評価

位置分解能が 7 mm → 5 mm に改善.

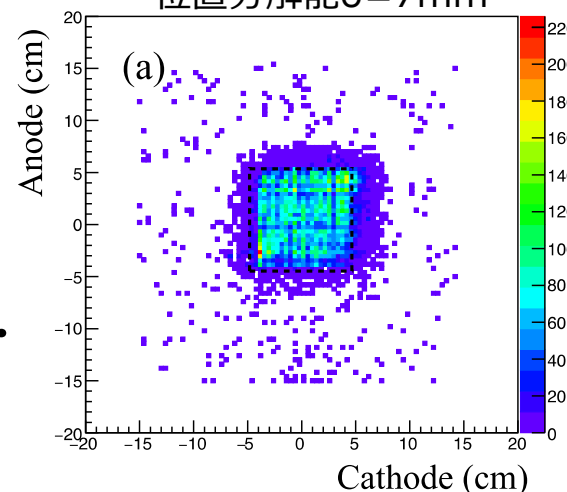
→ 特に, エッジ領域での改善が見られた.

1ヶ月の測定: $< 2.4 \times 10^{-3} \alpha/\text{hour}/\text{cm}^2$ (90% C.L.).

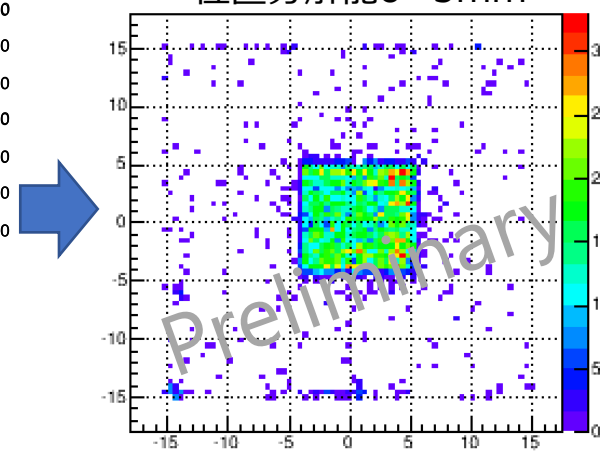
低バックグラウンド化により, $10^{-4} \alpha/\text{hour}/\text{cm}^2$ を目標.



改良前のイメージ
位置分解能 $\sigma=7\text{mm}$



改良後のイメージ
位置分解能 $\sigma\sim 5\text{mm}$



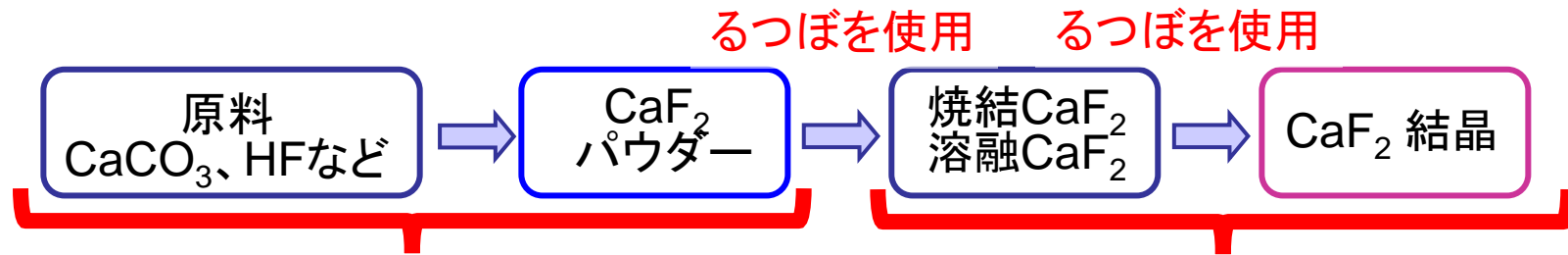
シンチレーション結晶内部の不純物測定装置^{p. 6}

■ 結晶の製造方法の評価

0v2β探索を目的とした、**CaF₂結晶の高純度化**、**高速化**が必須。
→溶融品 30分 (この時点で発光結晶)、結晶生成 2ヶ月。



測定対象の結晶
(溶融品)



神岡地下 Ge検出器で測定

Lab-A 測定装置 (右図)

遅延同時計測の感度 **~5μBq/kg (ppt)**



測定装置

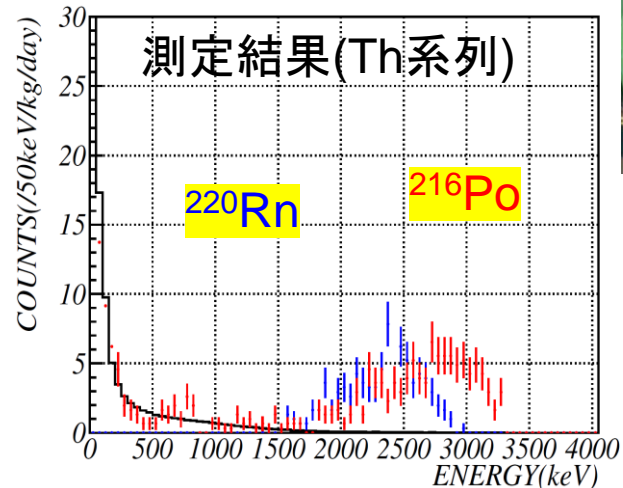
PMTで光量測定

■ 本年度の測定

継続して運転しており、結晶評価が進行中。

(1) 6つの結晶測定 (2個×3回)

(2) “るつぼ” からの不純物調査 (14個の溶融品)
溶融時点での混入はないが、
るつぼ蓋の種類によって、不純物が変わる。



NaI (TI)結晶の純度向上と今後の展開

■ 結晶の純化

暗黒物質探索用の NaI (TI) シンチレータの純化を実施している。
2020年度に純化手法を確立し 結晶 #85 を作成。

→ 放射性不純物の目標を達成した。

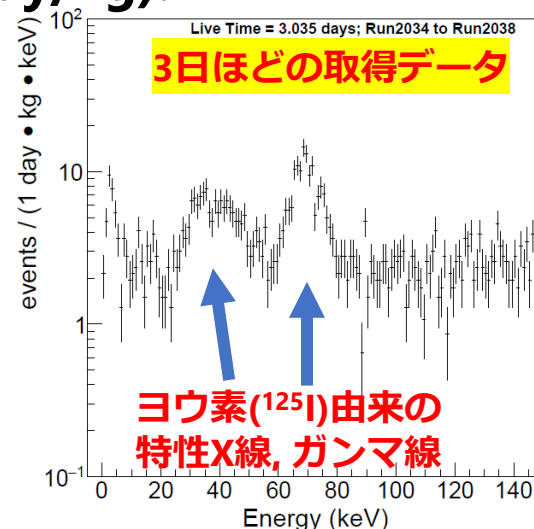
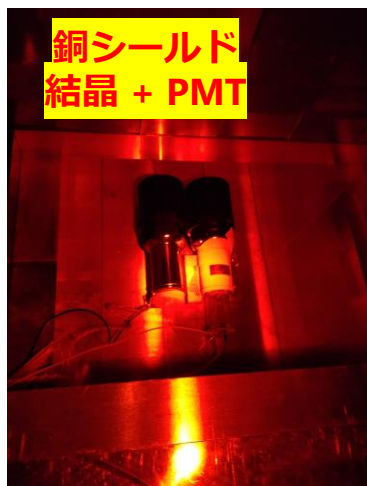
本年度 2021年7月に、同様の手法で追加の結晶 #94 を作成。

→ 純化の再現性を実証した。

■ 高純度結晶を用いた測定

結晶 #85 と #94 の2つを並べて、KamLANDエリアで測定を開始。

→ 反同時計測なしで 2 dru (count/keV/day/kg)。



K. Fushimi et al., PTEP (2021) 043F01.

K. Fushimi et al., arXiv:2112.10116.

	結晶 #85 (2020)	結晶 #94 (2021)	Goal
結晶サイズ	3"φ×3"	3"φ×3"	5"φ×5"
natK (ppb)	<20	<20	<20
^{232}Th (ppt)	0.3 ± 0.5	<6	<4
^{238}U (ppt)	1.0 ± 0.4	2	<10
^{210}Pb ($\mu\text{Bq/kg}$)	<5.7	<6	<30
純化手法	再結晶 (2回) + 樹脂	再結晶 (2回) + 樹脂	-

なお、ヨウ素の崩壊 (半減期59日)も確認されており、さらにバックグラウンドが減っている。

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, SK-Gdへの応用.
- (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**.