

極低放射能モレキュラーシーブスの改良と、暗黒物質探索 実験への実装

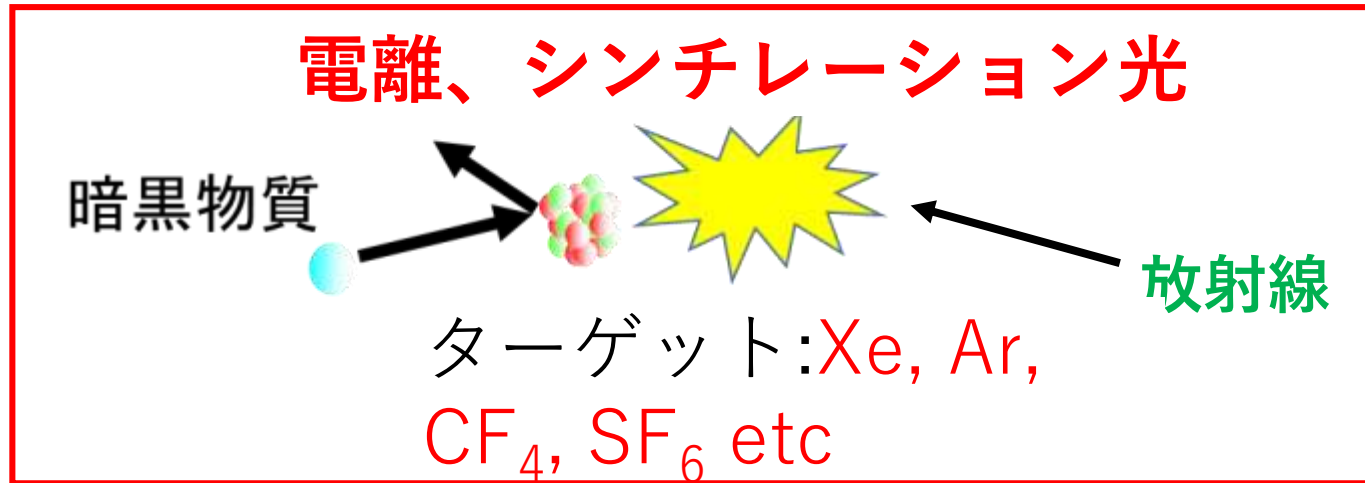
東京大学宇宙線研究所共同利用研究発表会

22nd Feb. 2023

日本大学理工学部 小川洋

査定金額：70,000円
(神岡への旅費、サンプル送付費用)

Introduction :

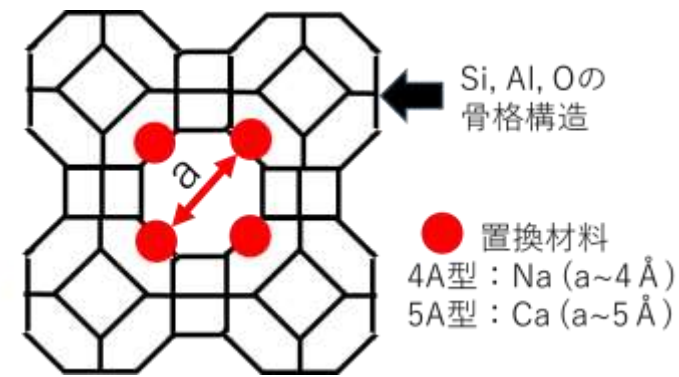
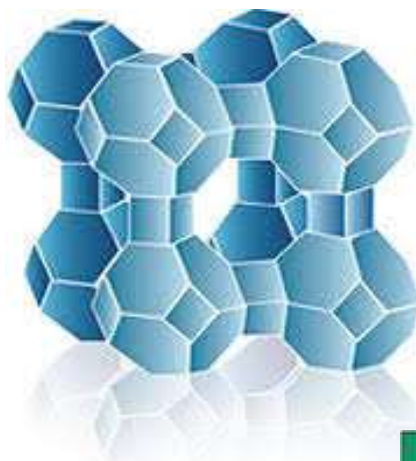


- 暗黒物質探索実験では、暗黒物質からの信号をガスの電離や、シンチレーション光でとらえる。
 - ⇒電離やシンチレーション光を減衰させる、ガス中の水分などの**不純物**を除く必要。
- 暗黒物質からの信号～放射線からの信号
 - ⇒ターゲットのガス中の**放射性不純物**を減らす必要。
 - 例：ラドン (^{222}Rn , ^{220}Rn)
- **吸着剤ゼオライト（モレキュラーシーブ）がガスの純化に使える可能性。**

ゼオライト

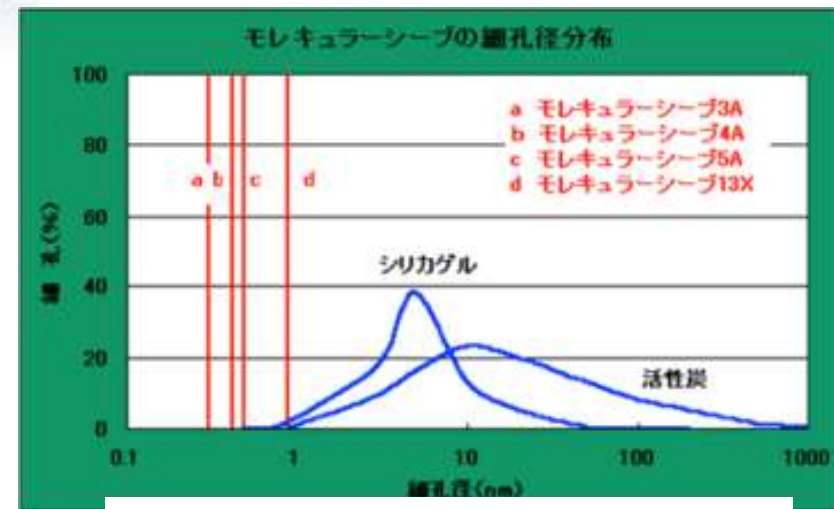
- 特定のpore sizeを持っているので、ガス中から不純物を選択的に除去可能
- 水分除去：4A型 pore size ~4 Å
- 水分、ラドン除去：5A型 ~5 Å

R.R. Marcelo Gregorio ... H.Ogawa et al., "Test of low radioactive molecular sieves for radon filtration in SF6 gas-based rare-event physics experiments" JINST 16 (2021) P06024



名称		細孔径[Å]	主な陽イオン	化学式
A型	Na-A	4 [4A型]	Na+	$\text{Na}_{12}[(\text{AlO}_2)_{12}(\text{SiO}_2)_{12}] \cdot 27\text{H}_2\text{O}$
	Ca-A	5 [5A型]	Ca+	Na+をCa+でイオン交換

- 材料元素：Na, Al, Si, Ca

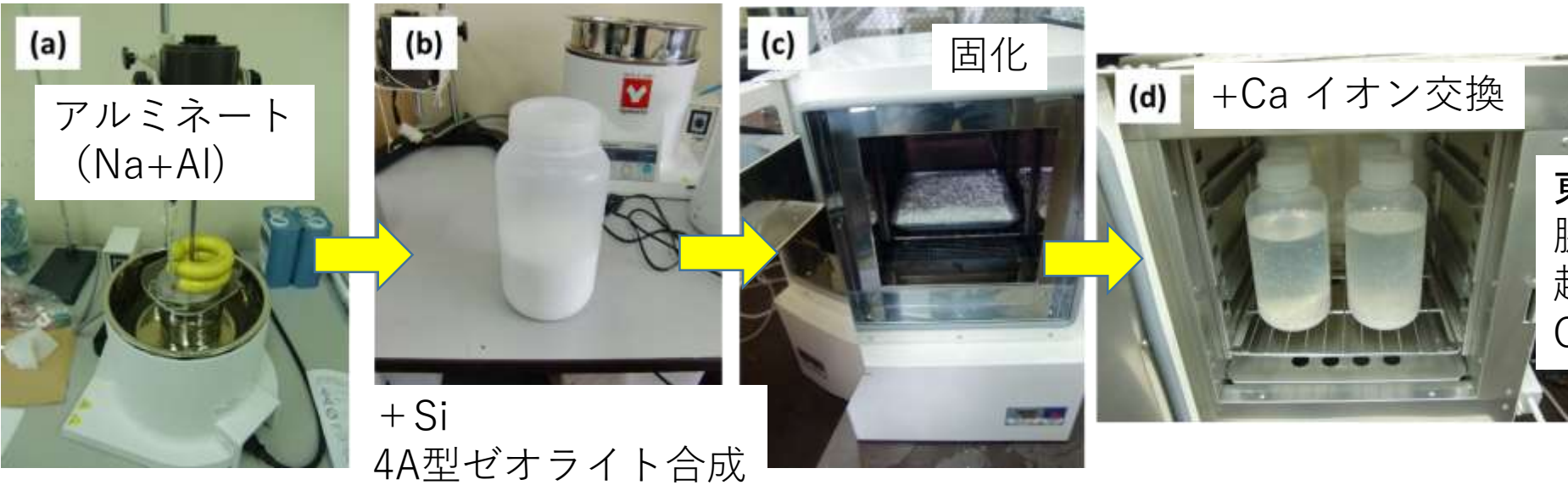


(株) ユニオン昭和 HPより

暗黒物質探索実験に使うためには、ゼオライト自身の放射性不純物を極限まで減らす必要がある。※市販のゼオライト： ^{226}Ra ~5Bq/kg

⇒ 極低放射能のゼオライトを独自に開発し、不純物の吸着能力を評価する。

5A型ゼオライトの製作



東大院工学系研究科大久保・
脇原研との共同研究で開発
超純水：オルガノ
CaCO₃：阪大・梅原さん

Sample name	²²⁶ Ra (mBq/kg)	²³² Th (mBq/kg)
5A zeolite	14.2+/-7.0	58.8+/-8.6

- 材料は、神岡HPGeで測定し、²²⁶Ra, ²³²Th共に上限値（感度以下）RIを確認
- 製作した5A型ゼオライトは、U換算で1ppb(~12mBq/kg for ²²⁶Ra)近くまで到達
- (new) アルゴンガスにおけるRadon emanation & removal testを実施した。

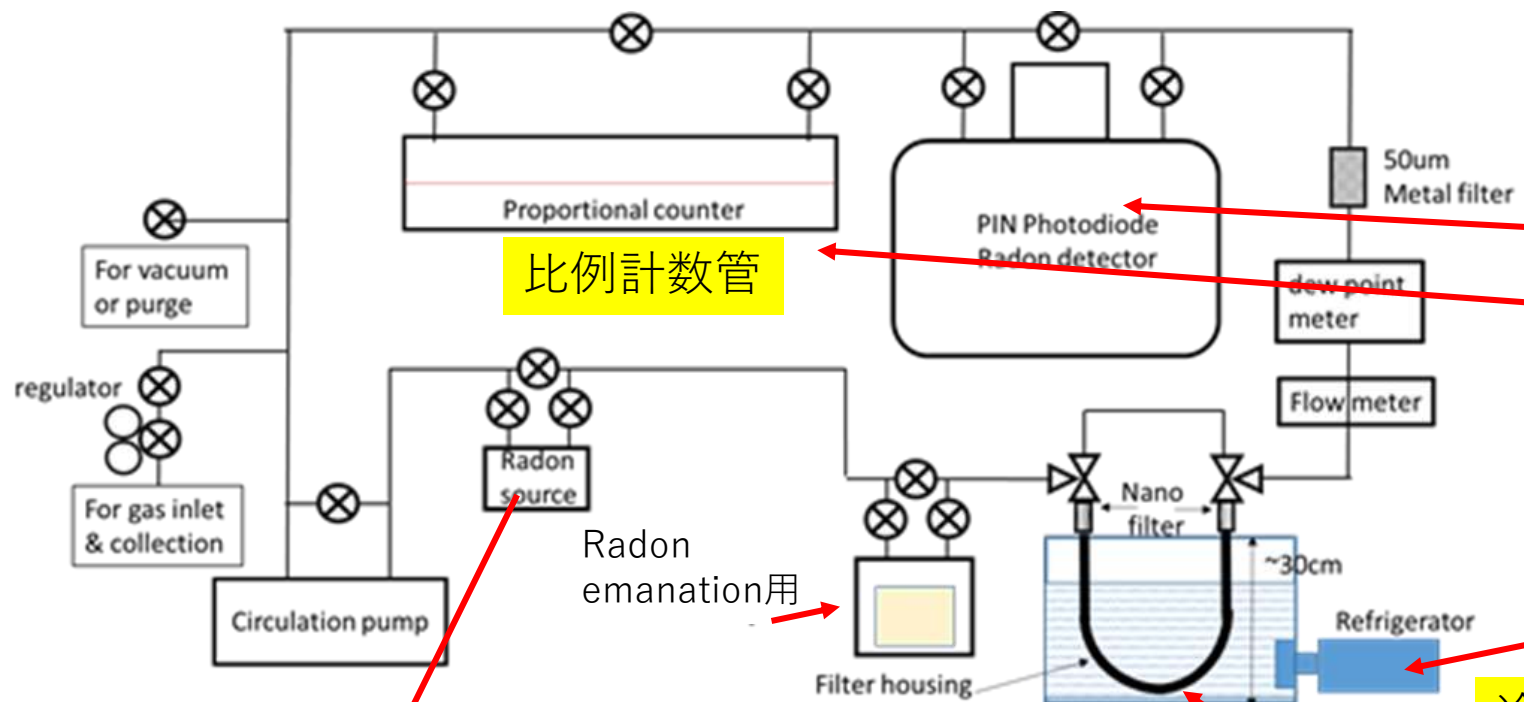


HPGe measurement @ ICRR Kamioka
宇宙線研・安部さん

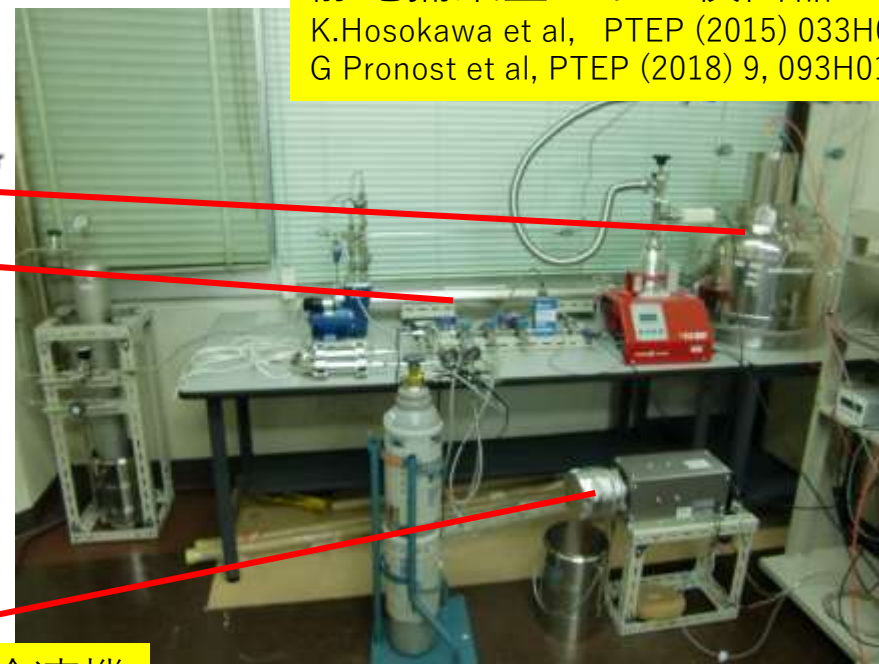
実験セットアップ： 放射能計測システム

arXiv:2212.01517

- 日大理工学部に設置
- アルゴンガスをポンプで循環し、放射能を計測
 - ラドン吸着、ラドンemanation
- => 静電捕集型ラドン検出器 & 比例計数管



静電捕集型ラドン検出器
K.Hosokawa et al, PTEP (2015) 033H01
G Pronost et al, PTEP (2018) 9, 093H01



冷凍機

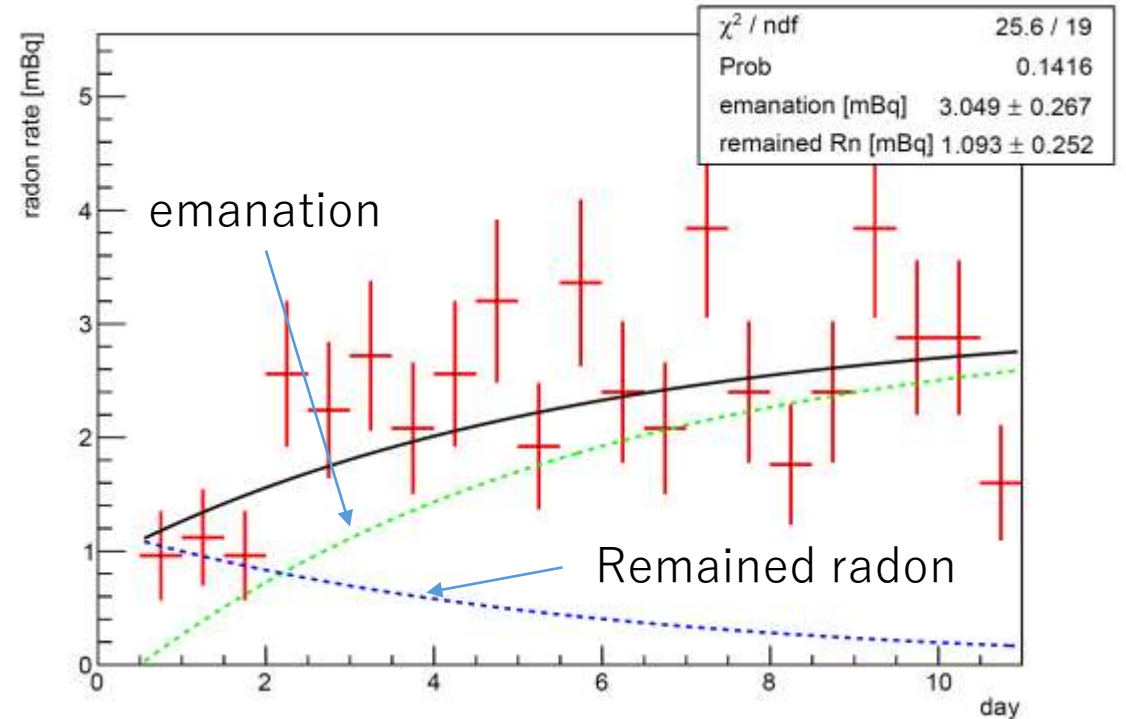
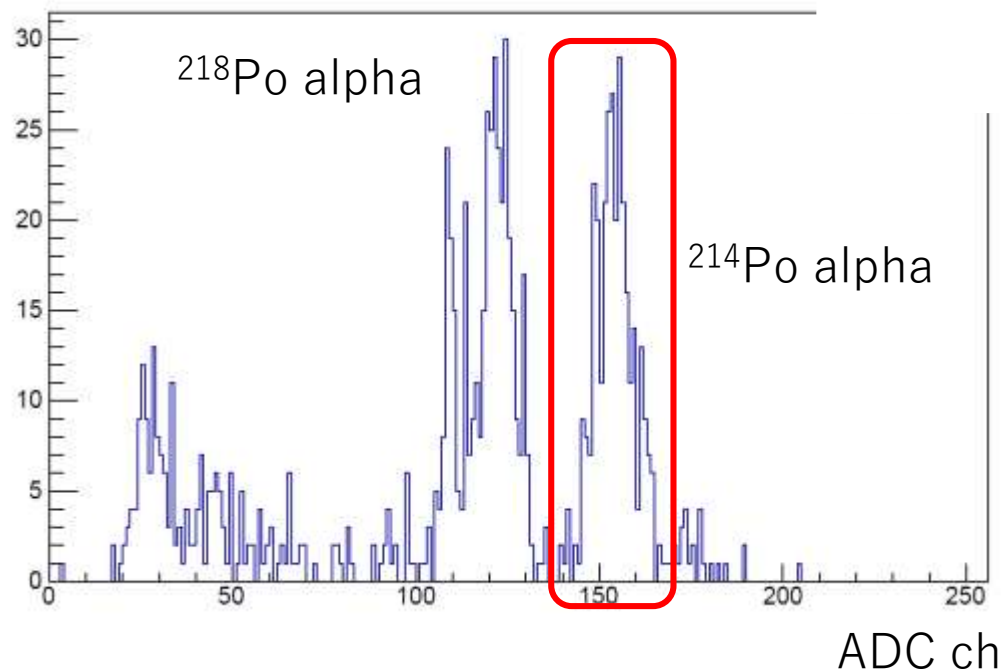
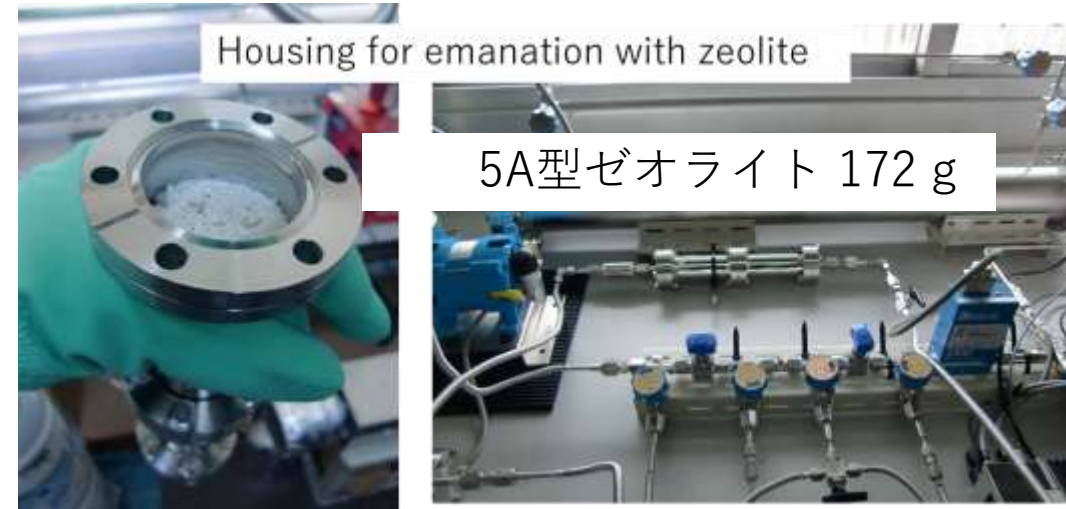
吸着試験用フィルター



ラドン吸着試験用ラドンソース=> ラジウムセラミックボールを使用

結果：

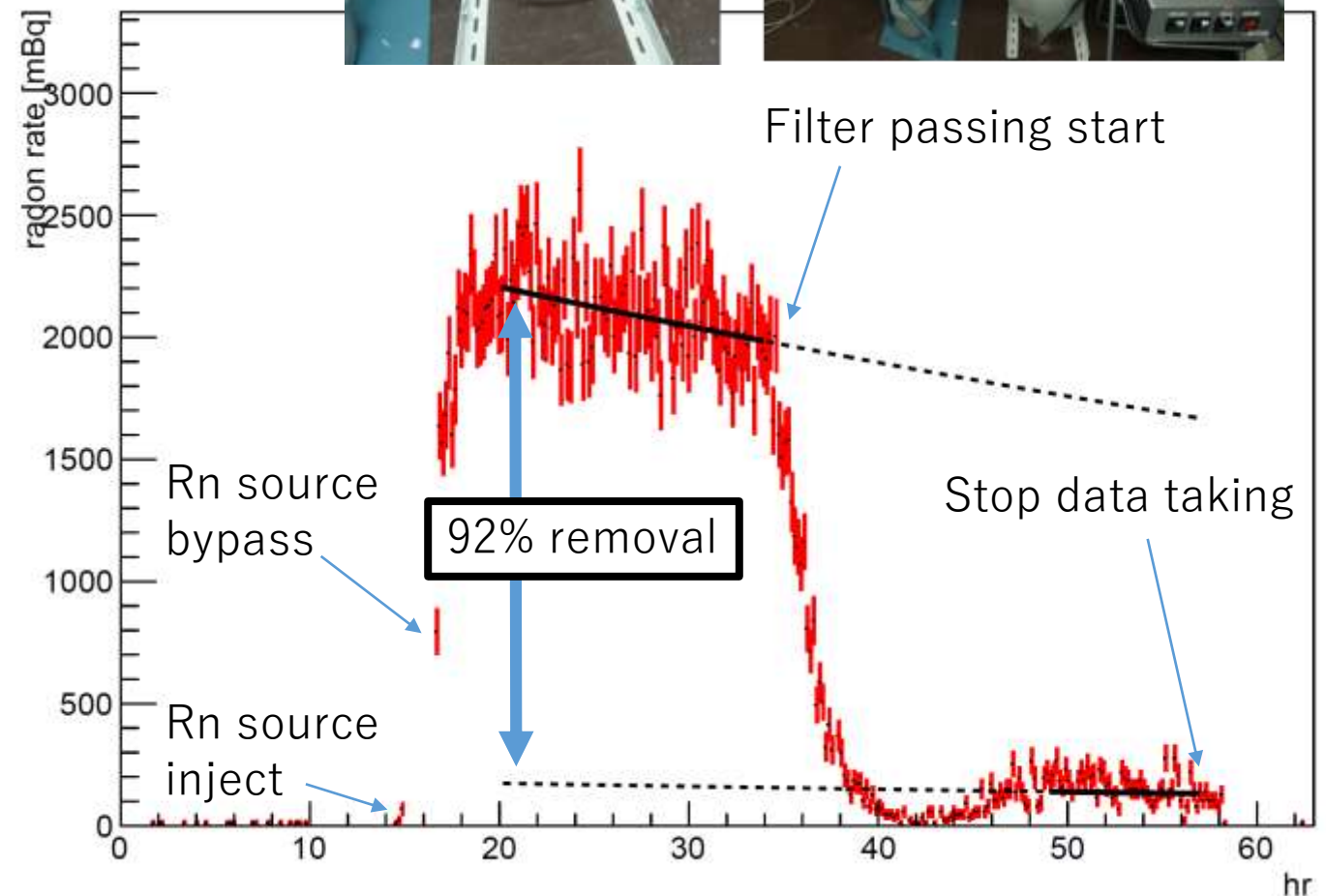
- Radon emanation :
 - 4/21- 5/2 2022
 - アルゴンガスを1L/minで循環.
 - ハウジングは室温
 - 静電捕集型ラドン検出器でemanationを見積もった.: 3.0 ± 0.3 mBq/filter.
 - ~ 18 mBq/kg



- ラドン除去 (1)
- 静電捕集型ラドン検出器=> ^{214}Po を観測

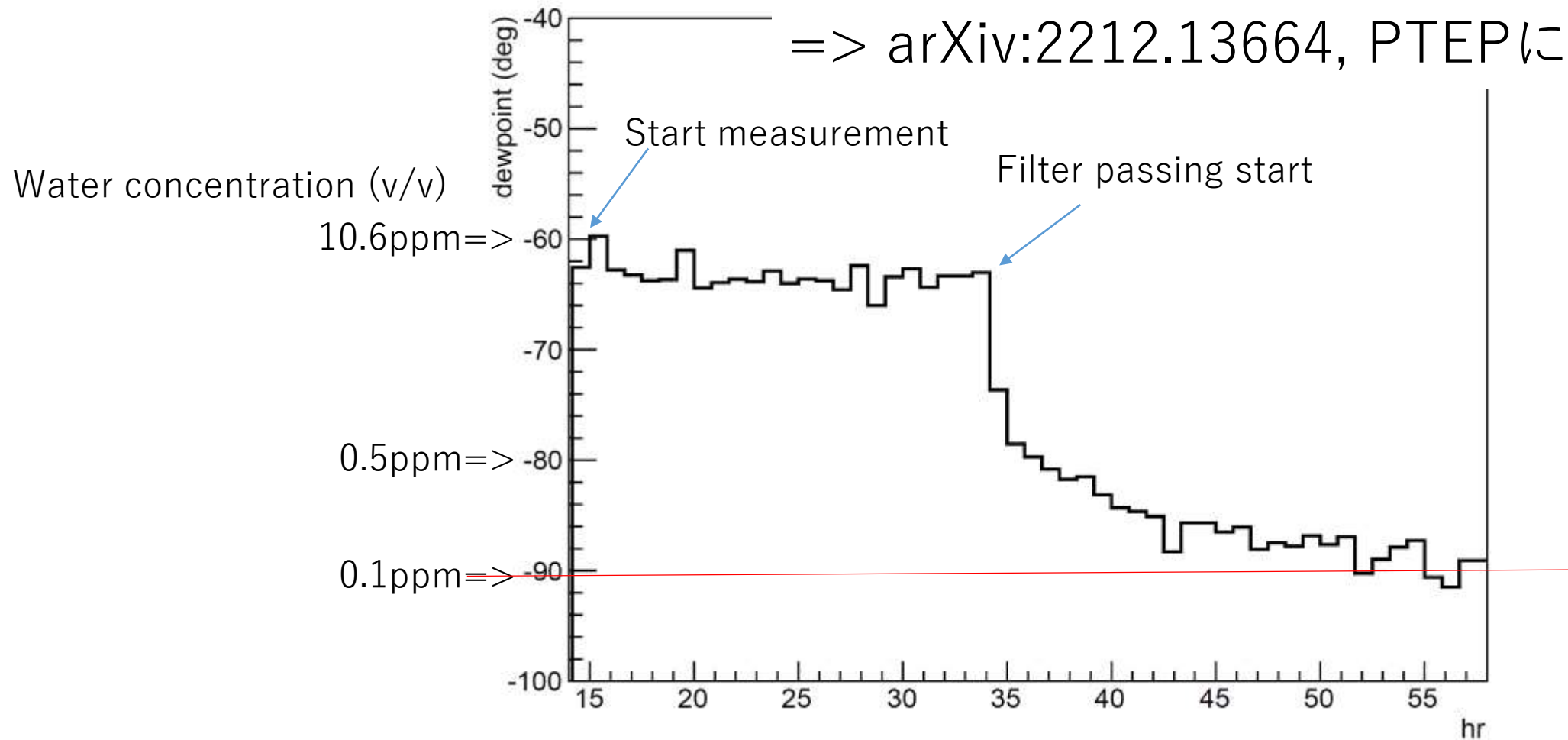


- 5/2- 5/4 2022
- ラジウムセラミックボールでラドン導入
- アルゴンガスは1L/minで循環.
- フィルターは-60°Cに冷却
- Filterを通す前/後のRadon量 : 0.079 ± 0.003
 - => 92% の除去効率



- 水分吸着 : 露点計でモニター
- アルゴンガスを1.0L/minで循環、フィルターを-60°Cに冷却.
- 水分吸着を確認 :
- Water concentration $\sim 10\text{ppm} \Rightarrow 0.1\text{ ppm}$

\Rightarrow arXiv:2212.13664, PTEPに投稿中



さらなる極低放射能化

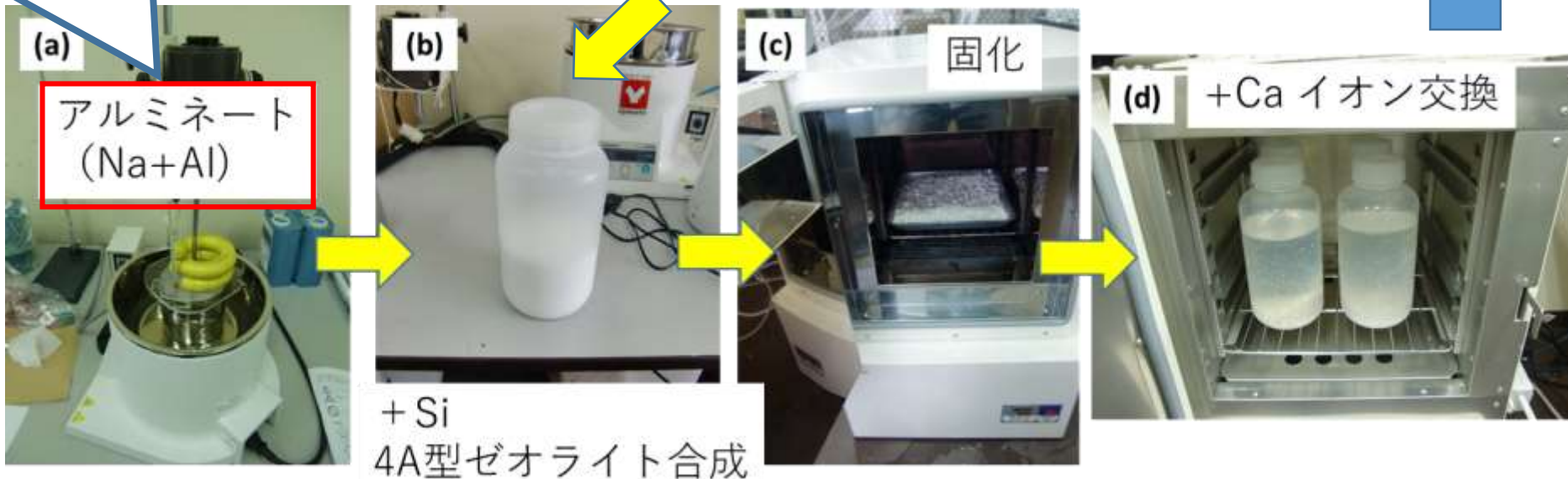
- 工程ごとのサンプルを神岡HPGe検出器で測定.
- 工程の改良を実施中：器具の洗浄、接液部をPTFEにする.

$^{226}\text{Ra}: 23.6 \pm 4.4 \text{ mBq/kg}$
 $^{232}\text{Th}: 40.2 \pm 4.3 \text{ mBq/kg}$

$^{226}\text{Ra} < 17.4 \text{ mBq/kg}$
 $^{232}\text{Th} < 24.4 \text{ mBq/kg}$

(シリカ液+NaOH)

5A zeolite
 $^{226}\text{Ra}: 14.2 \pm 7.0 \text{ mBq/kg}$
 $^{232}\text{Th}: 58.8 \pm 8.6 \text{ mBq/kg}$



まとめ

- 日大理工学部で製作した極低放射能5A型ゼオライトによるラドン emanation, 吸着試験を実施.
 - 材料、工程サンプル、完成品を宇宙線研HPGe検出器でRI測定.
 - Emanation : 3.0 ± 0.3 mBq/filter : ~ 18 mBq/kg
 - アルゴンにおけるRemoval efficiency : $> 90\%$ @ フィルター長 ~ 60 cm
 - 水分の吸着を確認した.
- => arXiv:2212.13664, PTEPに投稿中
- 今後の予定 ; さらなる極低放射能化、吸着性能の詳細、暗黒物質探索実験実装のための設計
- 暗黒物質探索実験への実装 : 神戸大
- ゼオライトの提供 => 興味のある方はお気軽に小川までご相談ください!