

銀ゼオライトを用いた空气中Rn吸着能力測定及び、温度依存性測定

神戸大学粒子物理研究室 M1 稲葉有哉



共同研究グループ

竹内康雄(神戸大学)、小川洋(日本大学)
 中野祐樹(富山大学) 脇原徹(東京大学)
 伊与木健太(東京大学)、松倉実(東京大学)
 谷口明男(シナネンゼオミック)、平野茂(東ソー)

スーパーカミオカンデ(SK)とハイパーカミオカンデ(HK)

SK:世界最大の地下に設置された水チェレンコフ宇宙粒子観測装置
 HK: SKを巨大化(2028年観測開始予定)。有効体積がSKの約10倍

観測のバックグラウンド

- 地下実験ではRn(ラドン)-222が主なバックグラウンドになる。
- スーパー(ハイパー)カミオカンデ: 1mBq/m^3のRn除去空気の供給が必要。
- SK: 活性炭を用いてRnを吸着し、除去。

課題: SKのシステムをそのままHKに使用すると、活性炭の増量に伴い、ハイコストになり、スケールも大きくなりすぎる。

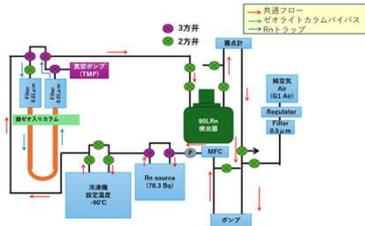
もっとコンパクトなシステムを構築したい!

→ 新たな吸着材: **銀ゼオライト**(HKでは**8Ag-FER-B**を検討)

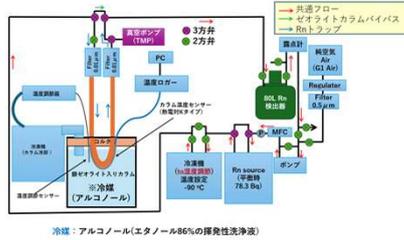
本研究の目的

8Ag-FER-B以外に、HKにより適した銀ゼオライトを調べ、さらに温度による吸着性能の変化を測定する。

試験セットアップ



温度依存性測定セットアップ



- ラドン源としてRa-226(78.3Bq)を使用。
- カラムに銀ゼオライトを詰め、カラム後方にRn検出器を置き、Rn濃度を測る。
- カラムをバイパスにした時のラドンの放射平衡時の濃度とカラム通過後の濃度の比をとり、ラドン吸着係数を評価。

温度依存性測定

銀ゼオライトの冷却が吸着特性に与える影響を調べる。
 カラムを冷媒につけ、冷凍機で温度を下げながら吸着係数を測る。

3つの銀ゼオライトの吸着性能測定

使用した銀ゼオライト

- Ag-ETS-10
- 22Ag-FER-D(先行研究なし)
- 20AgY-D(先行研究なし)

測定条件

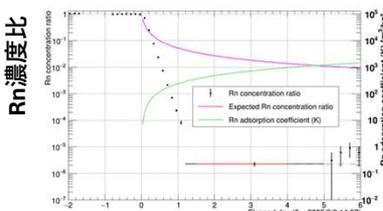
銀ゼオライト量: 6g
 流量: 1.0L/min
 露点温度: -90°C以下
 測定前に真空引き+カラム300°Cベーキング

Ag-ETS-10



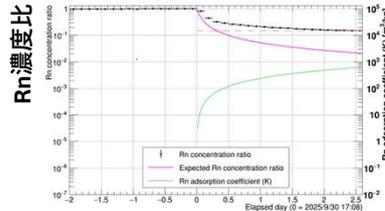
解析結果

Ag-ETS-10



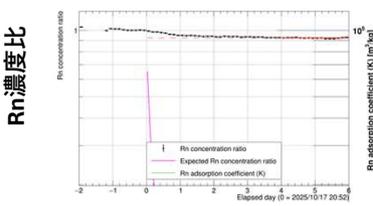
経過日数(day)

22Ag-FER-D



経過日数(day)

20AgY-D



経過日数(day)

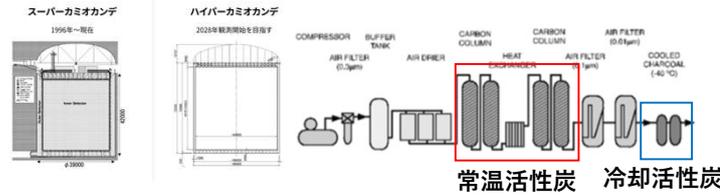
| 試料 | K(m ³ /kg) |
|------------|-------------------------------------|
| Ag-ETS-10 | (6.4 ± 1.6) × 10⁶ |
| 22Ag-FER-D | 77.7 ± 0.4 |
| 20AgY-D | 1.117 ± 0.007 |

Ag-ETS-10が最も吸着性能が良い。(先行研究よりも高い値)

Ag-ETS-10の問題点

- とても高価 → HKでは8Ag-FER-Bを使用予定
- 粉で扱いづらい

SKのRn除去システム



銀ゼオライト

近年の先行研究で銀ゼオライトが非常に高いRn吸着特性を示すことが報告されている。

| 試料 | m(kg) | RT(day) | K(m ³ /kg) |
|---------------|-------------------------|---------|-----------------------|
| Ag-ZSM-5 [1] | 8.85 × 10 ⁻³ | 10.69 | 3500 |
| Ag-ETS-10 [1] | 16.3 × 10 ⁻³ | 19.16 | 3400 |
| 8Ag-FER-B [2] | 20 × 10 ⁻³ | 21.38 | 6506 |

RT:保持時間 K:吸着係数

[1] S. Heintz et al., Sci. Rep. 13, 6811 (2023).

[2] T. Sone et al., Prog. Theor. Exp. Phys. 2025, 013H01(2025).

吸着能力はSKの冷却活性炭の約10倍!

保持時間RTと吸着係数Kの評価

$$K = \frac{F \times RT}{m}$$

K: ラドン吸着係数[m³kg⁻¹]
 m: 質量[kg]
 F: 流量[m³d⁻¹]

$$\text{ラドン濃度比} = \frac{T}{RT+T} = \frac{0.08}{F \times RT + 0.08}$$

T: 検出器内にとどまる時間[day]

一方で、

ラドン濃度比

= (カラムを通った後のラドン濃度) / (カラムを通る前のラドン濃度) と仮定。
 この濃度比を測定してKを求める。

温度依存性測定

使用した銀ゼオライト

8Ag-FER-B

測定条件は左記と同じ。

Kと温度の関係式

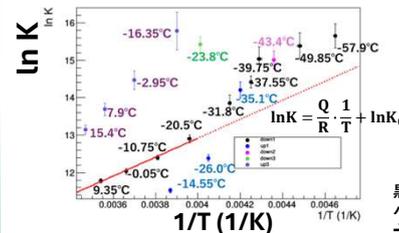
$$K = K_0 \exp\left(\frac{Q}{RT}\right)$$

Q: 吸着熱

R: 気体定数

K₀: 吸着できる部位の量に相当する係数

解析結果



黒: Test1 (降温)
 青: Test1 (昇温)
 ピンク: Test2 (降温)
 緑: Test3 (降温)
 紫: Test3 (昇温)

黒点の-31°Cより低い温度のRn濃度がバックグラウンドに埋もれる。
 → それより高い温度(黒点4つ)でfitting

Test1(黒点)

| カラム温度 | K |
|----------|----------------------------------------------------------------|
| 9.35°C | (1.3 ± 0.07) × 10 ⁵ m ³ kg ⁻¹ |
| -0.05°C | (1.7 ± 0.1) × 10 ⁵ m ³ kg ⁻¹ |
| -10.75°C | (2.4 ± 0.2) × 10 ⁵ m ³ kg ⁻¹ |
| -20.5°C | (4.0 ± 0.4) × 10 ⁵ m ³ kg ⁻¹ |

fitting値

Q/R: (2.5 ± 0.2) × 10³

lnK₀: 2.8 ± 0.9

→ 15°C (HK坑内温度付近): K ≈ 9.9 × 10⁴

常温(23~24°C)ではK ≈ 6500なので約**15倍**

HKで使用予定の8Ag-FER-Bの量

12kg → **800g程度(1/15)**まで減らせるかもしれない。