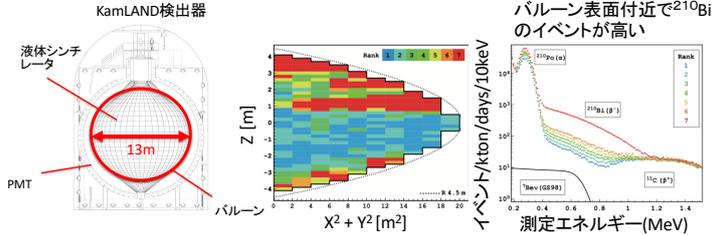


1. 研究背景

- 研究背景
- 地下においてラドン濃度は地上よりも高く(約1000 Bq/m³)、また極稀事象実験においてラドンの娘核の放射線は大きなバックグラウンド
- ラドンの娘核は帯電しやすいため、検出器の組み立ての際に表面に付着しやすい

例: KamLAND検出器での太陽ニュートリノ測定 (A.Gando et al., arXiv 1405.6190(2015)[1])



KERNELエリア

ULPAファンフィルタ
1.9m
9.6m
4.3m
純空気

- KERNELエリアは2025年度に新たに建設された新たな地下実験施設
- スーパークリーンルームでは、空気純化システムを用いて、ラドン濃度を10 mBq/m³にする予定
- この部屋では、極低放射能の結晶の作成や検出器の作成などが可能

空気純化システム

空気純化システムの流れ
坑外空気(〜40 Bq/m³)
コンプレッサー Max:200 m³/h
KamLAND エリア
除湿機(露点温度-70 °C)
本試験1: 冷却機(冷却温度-60 °C) → 活性炭塔(活性炭250 kg) → ラドンフリー空気
本試験2: 除湿ゼオライト → 銀ゼオライト
KamLAND2への利用、スーパークリーンルーム

本試験1: 現行(冷却活性炭)
本試験2: 将来計画(銀ゼオライト)

システムの目標
1. 空気の流量: 50 m³/h以上
2. 空気中に含まれるラドン濃度: 10 mBq/m³以下

東北大で新たに設置した超高感度ラドン計を用いて吸着剤の性能を評価

ラドン吸着剤の特徴

活性炭(フタムラ化学(株) 太陽TC2B1)
すでに大流量での実績あり(例: SK, LSC)
運用のためには冷却が必要

銀ゼオライト(東ソー(株)8AG-FER-B)
常温で冷却活性炭以上の吸着能力が報告(T. sone et al., PTEP2024[2])
大流量での運用は2026年現在なされていない

4. 冷却活性炭試験

性能評価
入り口ラドン濃度をR_{in}、出口ラドン濃度をR_{out}
ラドン濃度比をRとして、実効保持時間τ(day)を右のように定義

$$R = \frac{R_{out}}{R_{in}} = e^{-\lambda\tau}$$

λ = (log2)/T_{1/2}, T_{1/2}は²²²Rnの半減期: 3.82 day}

試験結果
この活性炭を通して、80Lラドン計へ0.04 L/minで流し込んだ

冷却温度(°C)	流量(m ³ /h)	R _{out} (Bq/m ³)	R(ラドン濃度比)	τ(day)	K(m ³ /kg)
-30(目標-60)	160 > 50(目標)	1.80 ± 0.18 > 0.01(目標)	0.17 ± 0.08	9.79 ± 2.55	149 ± 41

結果の考察
活性炭: 250 kg
R_m = 10.5 ± 4.7 Bq/m³
流量は目標に到達できたが、ラドン濃度や冷却温度は目標に大きく届かなかった
一方で、冷却温度を予定の-60度まで冷やすことで、80m³/hでの流速でも目標のラドン濃度に到達することが示唆された

6. 結論と今後の展望

- 両試験とも、設備の改造を行うことで目標の運用条件を満たすことができることが示唆された
- 活性炭は冷却を要し運用上の制約が大きいため、今後は銀ゼオライトを用いた空気純化システムの構築を目指す

2. 超高感度ラドン計

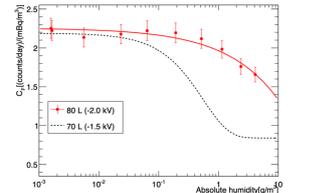
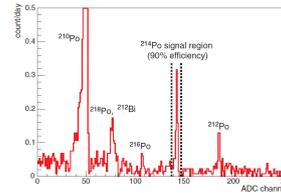
検出原理

検出原理
Air → Feed through → Filter → PD (18mmφ, <48mm) → Air
-2kV PD
²¹⁸Po⁺, ²¹⁸Po⁰, ²¹⁸Po⁻, ²²²Rn

- 左図の静電捕集法を用いて、PINフォトダイオード(PD)にラドンの娘核を捕集
- 付着した娘核の崩壊により放出されるα線を検出
- 感度は一日測定で約数mBq/m³程度

検出器の特徴

- 各娘核の崩壊の信号がはっきりと区別できる
- 静電捕集法の性質上、湿度によって捕集効率が変わる



3. ラドン計のセットアップ

キャリブレーション測定

- ラドン線源を用いて、神戸大からお借りした80Lラドン計と二次較正
- 以下の補正係数Dを算出
本実験の較正係数(CF₁) = D × 較正用ラドン計の較正係数(CF₀)

214Poのレートの時間変化
Rn濃度 vs 214Poカウント
D = 0.975 ± 0.026

バックグラウンド測定

- 真空引きしたのち、G1純空気を導入して系を閉じ9日間測定
- レートは0.89 ± 0.31(stat) count/day、ラドン濃度は0.41 ± 0.15(stat+syst) mBq/m³

坑外空気の結果
バックグラウンド測定の結果

5. 銀ゼオライト試験

試験結果
右図のセットアップで、80Lラドン計へ0.1 L/minで流し込んだ

流量(m ³ /h)	R _{in} (mBq/m ³)	R(ラドン濃度比)	τ(day)	K(m ³ /kg)
0.6 < 50(目標)	0.88 ± 0.31 < 10(目標)	(1.92 ± 0.67) × 10 ⁻⁵	59.9 ± 1.9	319 ± 12

結果の考察
銀ゼオライト: 2.7 kg
R_m = 45.65 ± 1.84 Bq/m³
ラドン計の調整を行う

- 配管の関係上目標の流量は達成できなかったものの、試験開始から二ヶ月以上ラドン濃度は目標の10 mBq/m³を下回る結果が得られている
- 流量を増やしても、十分にラドン除去能力があることが示唆される

7. 参考文献

[1] A. Gando, Y. Gando, H. Hanakago et al., "7Be Solar Neutrino Measurement with KamLAND", Physical Review C 92, 055808 (2015), DOI: 10.1103/PhysRevC.92.055808.
 [2] T. Sone, Y. Takeuchi, M. Matsukura et al., "Study of Radon Removal Performance of Silver-Ion Exchanged Zeolite from Air for Underground Experiments", Prog. Theor. Exp. Phys. 2025, 013H01 (2025), DOI: 10.1093/ptep/ptae181.
 [3] K. Hosokawa, A. Murata, Y. Nakano, Y. Onishi, H. Sekiya, Y. Takeuchi, and S. Tasaka, "Development of a high sensitivity radon detector for purified gases", in Journal of Physics: Conference Series 469, 012007: IOP Publishing (2013), DOI: 10.1088/1742-6596/469/1/012007
 [4] 中野樹樹, "スーパーカミオカンデ検出器におけるラドン濃度測定と超新星爆発ニュートリノバースト探索", 修士論文, 東北大学(2013)