

富山大理、日本大学理工^A、神戸大理^B 桐山 真実、中野佑樹、小川 洋^A、竹内 康雄^B

Email : s2240117@ems.u-toyama.ac.jp, ynakano@sci.u-toyama.ac.jp

1. イントロダクション

[1] ラドン²²²Rn

ウラン系列のラジウムの崩壊から放出される**貴ガス**
→ 崩壊を経て、短い期間で**α線**や**β線**、**γ線**を放出する

[2] 稀事象素粒子原子核実験

宇宙線由来のバックグラウンド(BG)事象を軽減するために、**地下実験室**で実施されている

地下環境ではラドンによるBGが致命的であるため、ラドン濃度を精密に測定したい

目的 測定システムの構築とBGの測定と、それを用いたサンプルのラドン濃度測定

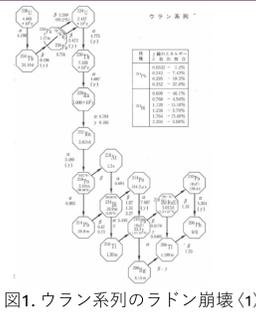
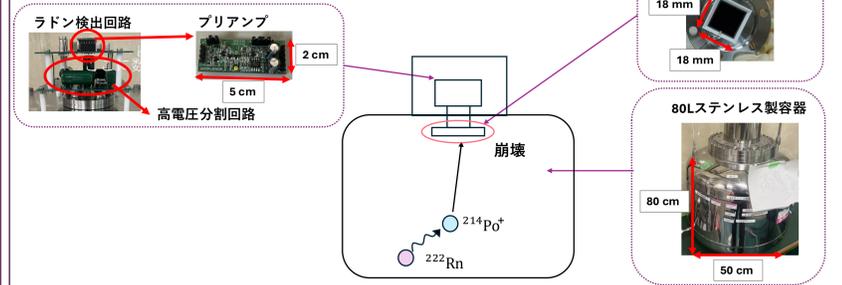


図1. ウラン系列のラドン崩壊 (1)

2. ラドン検出器・検出原理

[1] ラドン検出器・測定原理

静電捕集法によって測定する。
PINフォトダイオードで**子孫核種(²¹⁴Po)**の崩壊に伴う、**α線**を観測することで、ラドンの個数を計測。



3. ²¹⁴Poの使用理由・ラドン濃度の導出

[1] ²¹⁴Poについて (2)

- ²¹⁴Poは²¹⁸Poより下流に存在。
- ²¹⁰Pbの半減期は22年。
→ ²¹⁰Poは測定に不向き
- ²¹⁴Poの信号領域に**他の核種が被りにくい。**

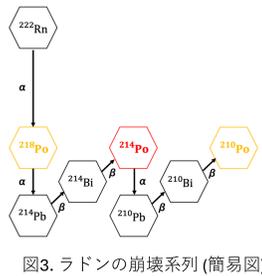


図3. ラドンの崩壊系列 (簡易図)

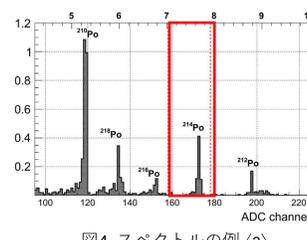


図4. スペクトルの例 (3)

[2] ラドン濃度 ²¹⁴Poのα線のカウント数[CPD]

$$\text{ラドン濃度 [mBq/m}^3] = \frac{\text{1日の}\alpha\text{線のカウント数 [CPD]}}{\text{校正係数 } CF [\text{CPD}/(\text{mBq/m}^3)]}$$

$$CF = (2.48 \pm 0.04) - (0.37 \pm 0.02) \sqrt{AH}$$

(先行研究 修士論文 岡本) (4)

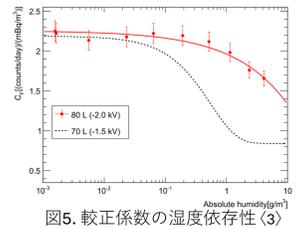


図5. 校正係数の湿度依存性 (3)

- ① 校正係数 CF (Calibration factor)
絶対湿度 AH に依存。
縦軸 CF、横軸 AH のグラフを右に示す。
(本実験では 80 L の赤い線を使用)
- ② 絶対湿度 AH (Absolute humidity)
ラドン検出器内の絶対湿度 [g/m³]
↓
ラドン検出器に設置した露点計で測定。

4. BG測定とサンプルのラドン濃度測定

[1] 電圧別の²¹⁴PoによるBG rate

ラドン検出のシステムを構築。
ラドン検出器単体のBG事象を**印加電圧を変更して計測**。
本実験では、-500 V ~ -2000 V の間で測定を行う。

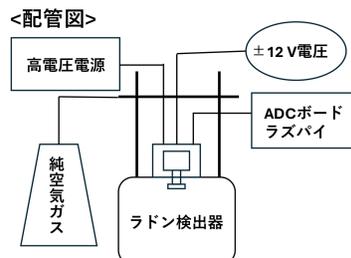


表1. 電圧別の²¹⁴PoによるBG rate

電圧[V]	-500	-1000	-1500	-2000
BG rate[count/day]	3.6±0.5	2.7±0.3	1.7±0.2	2.4±0.2
測定時間[day]	12	28	31	41

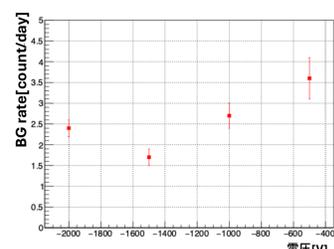


図7. 電圧別の²¹⁴PoによるBG rate

- 異なる印加電圧の設定でBG rateを導出することができた。
→ ラドン検出器単体の性能評価が完了

- BG rateが多い、-500 Vについて

- ・ 真空引き前の空気中のラドン
- ・ 真空引き後の検出器内の残留ガスのラドン
- ・ 純空気ガスのシリンダー表面からのラドン

→ これらが含まれていた可能性

$$BG \text{ rate} = ae^{-\lambda(x-t_0)} + b$$

- a : 測定開始時におけるラドン起源のカウント数[count/day]
- b : 時間に依存しないカウント数[count/day]
- λ : 崩壊定数
- x - t₀ : 最初の時刻からの経過時間[s]

aは1.9σ程度で0より大きい。
bは他電圧時のBG rateと誤差の範囲で一致。

測定開始時にラドンが存在

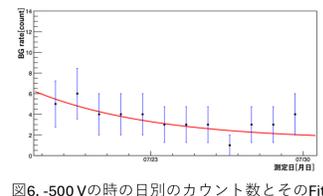


図6. -500 Vの時の日別のカウント数とそのFit結果

表2. Fitの要素

要素	値
a	3.98 ± 2.15
b	1.48 ± 0.95
χ ² /自由度	0.39

[2] 空気を循環させた時のラドン濃度

マスフローメーターやチェンバー、露点計を設置。
また、ポンプを設置して**空気を循環させた**。

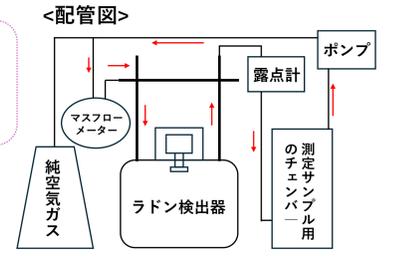


表2. 空気循環時の²¹⁴PoによるBG rate

	空気循環	検出器のみ
電圧[V]	-2000 V	-2000 V
BG rate[count/day]	3.2 ± 0.4	2.4 ± 0.2
測定期間[day]	26	27

- **ラドン濃度 1.3 ± 0.1 mBq/m³**
→ サンプルからのラドン放出量を測定するシステムの準備が完了した。

- 平均値の差について
検出器の構成要素の追加により、BG rateが増加。

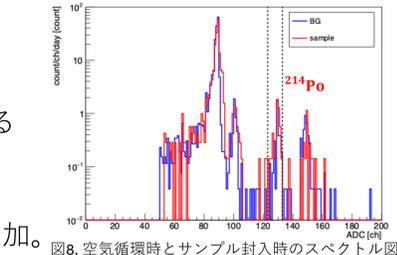


図8. 空気循環時とサンプル封入時のスペクトル図

[3] サンプルを入れた時のラドン濃度

チェンバーに**サンプルを封入して**、空気を循環させた。

表3. サンプルを入れた時の²¹⁴PoによるBG rate

	サンプル入り	空気循環
電圧[V]	-2000 V	-2000 V
Count rate[count/day]	4.8 ± 0.8	3.2 ± 0.4
測定期間[day]	7	26

- **ラドン放出量 0.08 ± 0.02 mBq/ケーブル**

→ システムのBGを差し引いたラドン濃度から、ケーブル1本からのラドン放出量を測定。

- 先行研究との比較
ラドン放出量 0.09 ± 0.03 mBq/ケーブル
→ 誤差の範囲で一致。

表4. サンプルの要素

要素	値
サンプル	複合同軸ケーブル
長さ	500 cm
直径	1 cm
表面積	1570 cm ²

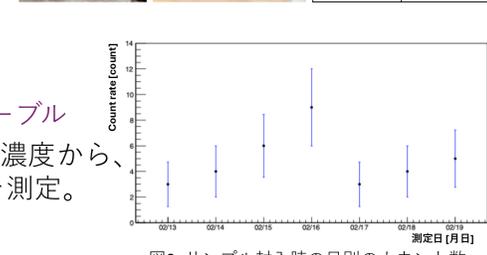


図9. サンプル封入時の日別のカウント数

5. まとめ・今後の展望

- ・ ラドンは地下稀事象を探索する実験において、主要なBG源である。
- ・ 検出器の部材由来のラドン濃度を測定するための、実験のセットアップを富山大学に構築した。
- ・ システムのBG測定を実施し、ラドン濃度は**1.3 ± 0.1 mBq/m³**と測定できた。
- ・ サンプルのラドン放出量は**0.08 ± 0.02 mBq/ケーブル**と測定できた。
- ・ 他のサンプルでも同様の測定を行いたい。

6. 参考文献

- (1) 日本アイソトープ協会. アイソトープ手帳. 日本アイソトープ協会, 第10版, 2001.
- (2) P. Kotrappa, S. K. Dua, P. C. Gupta, and Y. S. Mayya. Electret—a new tool for measuring concentrations of radon and thoron in air. Health Physics., 41:35–46, July 1981.
- (3) Y. Nakano, H. Sekiya, S. Tasaka, Y. Takeuchi, R.A. Wendell, M. Matsubara, and M. Nakahata. Measurement of radon concentration in super-kamiokande's buffer gas. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 867:108–114, 2017.
- (4) K. Okamoto. スーパーカミオカンデにおける太陽フレア由来のニュートリノ探索. 修士論文, 東京大学大学院理学系研究科, 平成31年1月31日