

スーパーカミオカンデにおける中空糸膜モジュールを用いた Gd水中ラドン濃度測定

島村蓮^A, 中野佑樹^B, 竹田敦^C, 関谷洋之^C, 竹内康雄^D, 南野彰宏^A 横浜国立大学^A, 富山大学^B, 東大宇宙線研^C, 神戸大^D

Email : shimamura-ren-vg@ynu.jp , ynakano@sci.u-toyama.ac.jp

1. イントロダクション

(1) スーパーカミオカンデ(SK)

- 岐阜県の池ノ山の地下に作られた水チェレンコフ検出器
- 純水との相互作用でニュートリノの検出を行っている
- 2020年から純水にガドリニウムGdを溶かしている[2]

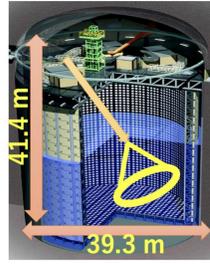


図1. スーパーカミオカンデ[1]

(2) ラドン ²²²Rn

- ウラン系列のラドン ²²²Rnは崩壊過程で ²¹⁴Bi を放出する
- ²¹⁴Bi のβ崩壊で放出する電子(Q値3.27 MeV)が特に太陽ニュートリノ信号のバックグラウンドとなる

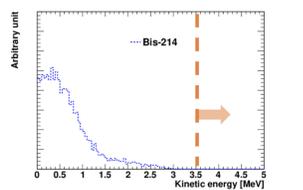


図2. ²¹⁴Biのβ線エネルギースペクトル ※PMTのnoiseと合わせて、BGとなる

(3) これまでの測定手法[3]

- ラドン ²²²Rnを活性炭に吸着させ、1日毎の崩壊数を測定することでGd水中のラドン濃度を調べていた
- 0.1 mBq/m³レベルのラドンを測定可能
- 崩壊曲線からラドン濃度を求めるので時間がかかってしまう(3週間ほど)

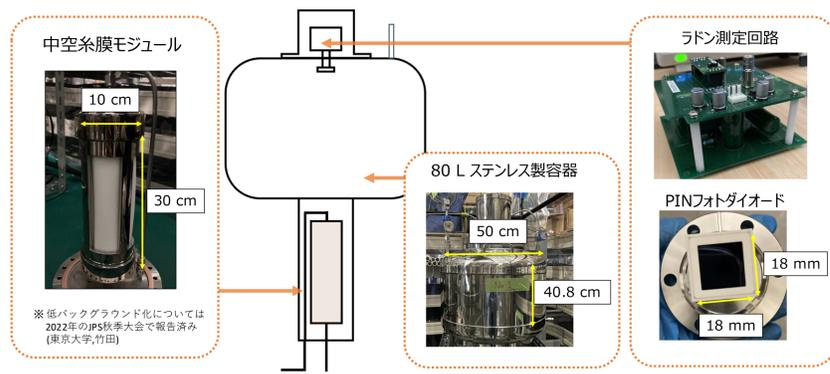
【目的】感度を維持したまま、1日程度の間隔でラドン濃度を測定する

中空糸膜モジュールを使用した新たなシステムを利用
本講演ではGd水中のラドン濃度測定結果を報告する

SKではGd水中のラドン濃度測定を継続的に行う必要がある

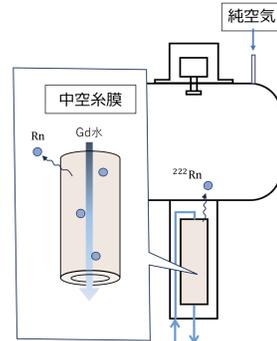
2. 中空糸膜ラドン検出器

(1) 中空糸膜システムの構造[4][5][6]

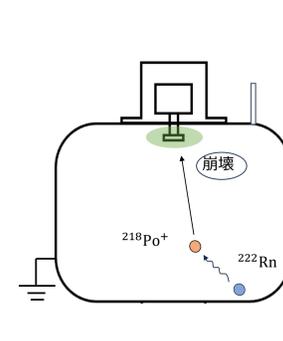


(2) 中空糸膜システムのラドン検出

① Gd水からのラドン抽出



② 静電捕集法



③ ²¹⁴Poの信号数計測

表1. ²²²Rnの子孫核種

核種	²¹⁸ Po	²¹⁴ Po	²¹⁰ Po
半減期	3.1分	164.3μ秒	138日
α線 [MeV]	5.49	7.69	5.30

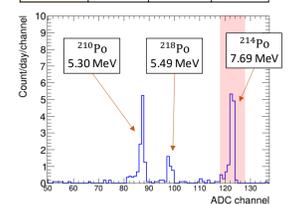


図3. ウラン系列 ²²²Rnの子孫核種のスペクトル (2024年5月頃SKタンク内採水時)

3. Gd水中のラドン測定

○中空糸膜システムの抽出効率

キャリブレーション済みのラドン検出器と同時に測定し、中空糸膜システムの²¹⁴Poの信号数 r と、ラドン濃度 C_{sample} の対応を求めた。

$$C_{sample} = (0.21 \pm 0.05) \times r + (0.37 \pm 0.73)$$

約 7 count/day で 1 mBq/m³ のラドン濃度

※流量0.5L/min

一日あたりの²¹⁴Poの信号数から
Gd水のラドン濃度を測定することができる

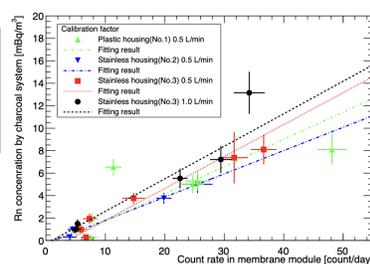


図4. 中空糸膜システムの²¹⁴Po信号数と活性炭システムのラドン濃度の相関

(2) 膜脱気装置のラドン除去率

膜脱気装置前後のラドン濃度を比較して、装置のラドン除去率を求めた

- 膜脱気装置に入るGd水のラドン濃度が高くなると、ラドン除去率も高くなっている
- 安定時は既存のシステムと同等の結果

表1. 膜脱気装置のラドン除去率

期間 (システム)	Gd溶解期間 (中空糸膜)	安定時 (中空糸膜)	安定時 (活性炭)
ラドン除去率 [%]	(94.7 ± 0.7)	(80.0 ± 3.1)	(86.7 ± 6.5)

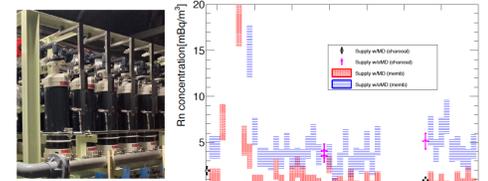


図6. 送水のラドン濃度の推移

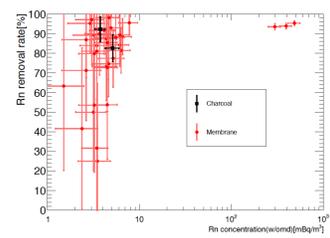


図7. 送水のラドン濃度の推移

(1) Gd水中のラドン濃度モニタリング

9/9-9/12に純水にGdを溶解する作業が行われた。この期間を含んだラドン濃度のモニタリングを行った。

- Gd溶解期間はラドン濃度が上昇
- Gd溶解期間が終わると元の水準に戻る
- 既存のシステムと同等の結果

1日間隔でモニタリングを実施することができた

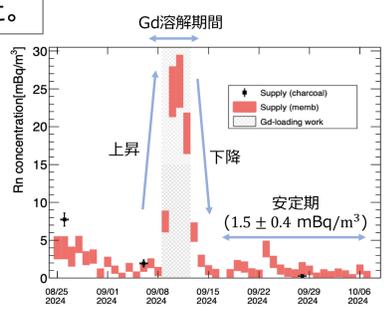
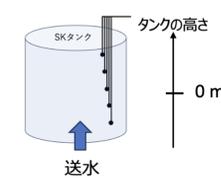


図5. 送水のラドン濃度の推移

(3) SKタンクのラドン濃度

SKタンク内のラドン濃度測定を行い、高さごとラドン濃度を求めた。



- すべての高さで送水のラドン濃度と同程度か高いラドン濃度となっている
- SKタンクの中にラドン発生源があると考えられる
→ PMTや衝撃波防止ケース

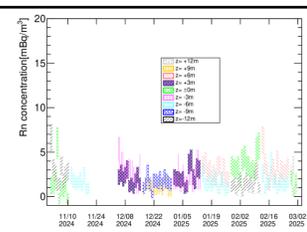


図8. SKタンクの高さとラドン濃度の推移

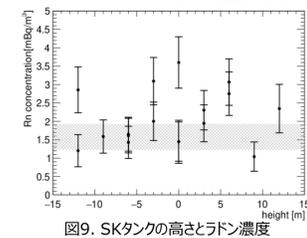


図9. SKタンクの高さとラドン濃度

4. まとめと展望

- SKの太陽ニュートリノ観測ではラドンがBGとなるため、ラドン濃度をモニターする必要がある。
- 中空糸膜モジュールを利用したシステムを使用して、1日間隔でのモニタリングができた。
- 安定時の送水の濃度は 1.5 ± 0.4 mBq/m³。
- タンク内にはラドン源があると考えられる。

5. 参考文献

[1] S.Fukuda et al, The Super-Kamiokande detector, Nucl.Instrum.Meth.A 501 (2003) 418-462
 [2] K.Abe et al, First gadolinium loading to Super-Kamiokande, Nucl.Instrum.Meth.A 1027 (2022) 166248
 [3] Y.Nakano et al, Measurement of the radon concentration in purified water in the Super-Kamiokande IV detector, Nucl.Instrum.Meth.A 977 (2020) 167297
 [4] Y.Nakano et al, Measurement of radon concentration in super-Kamiokande's buffer gas, Nucl.Instrum.Meth.A 867 (2017) 108-114
 [5] G.Pronost et al, Development of new radon monitoring systems in the Kamioka mine, Progress of Theoretical and Experimental Physics, Volume 2018, Issue 9, September 2018, 093H01
 [6] C.Mitsuda et al, Development of super-high sensitivity radon detector for the Super-Kamiokande detector, Nucl.Instrum.Meth.A 497, 414-428 (2003)