

地震予知に向けた ラドン検出器の開発

横浜国立大学 4年 島村蓮
(南野研究室)

1.背景と目的

背景

先行研究で地震が起こる前にラドン濃度の変動が確認された



安価で高性能なラドン検出器を大量に用意できれば

さまざまな場所で先行研究の検証と地震予知が同時にできる

- 今使われている検出装置(rad7)は高価
- 筑波大学の三明康郎先生によって、
安価なラドン検出器が開発されている

目的

実際に地震予知に使える、
安価なラドン検出装置を作る！

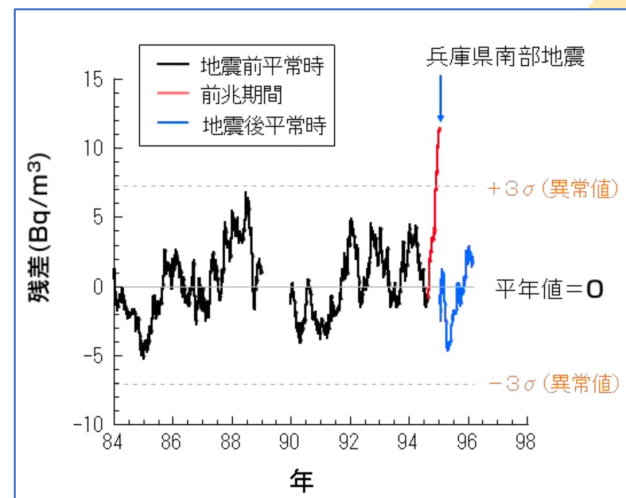


図1-1 兵庫県南部地震前後のラドン濃度の変化[1]
(国立研究開発法人 量子化学技術開発機構より)

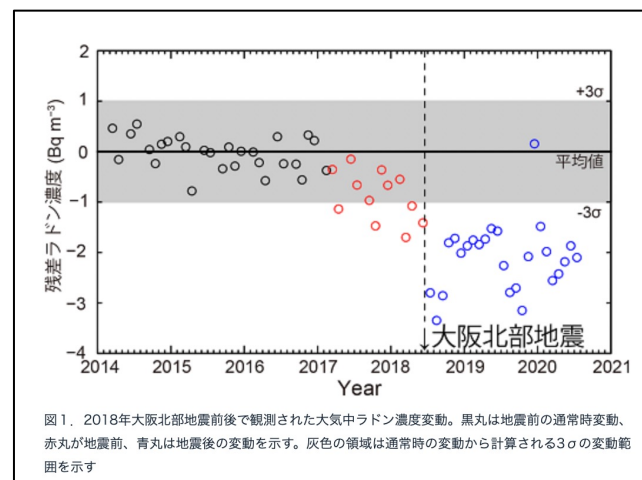


図1-2 大阪北部地震前後のラドン濃度の変化[2]
(東北大学)

2.ラドン(Rn)とは

- 室温では気体、放射性物質の中で空気中に最も多く存在する
- ウラン系列やトリウム系列の崩壊によってつくられている
- 今回の測定ではトリウム系列を多く含む**モナズ石**を線源として使用



図2-1 モナズ石

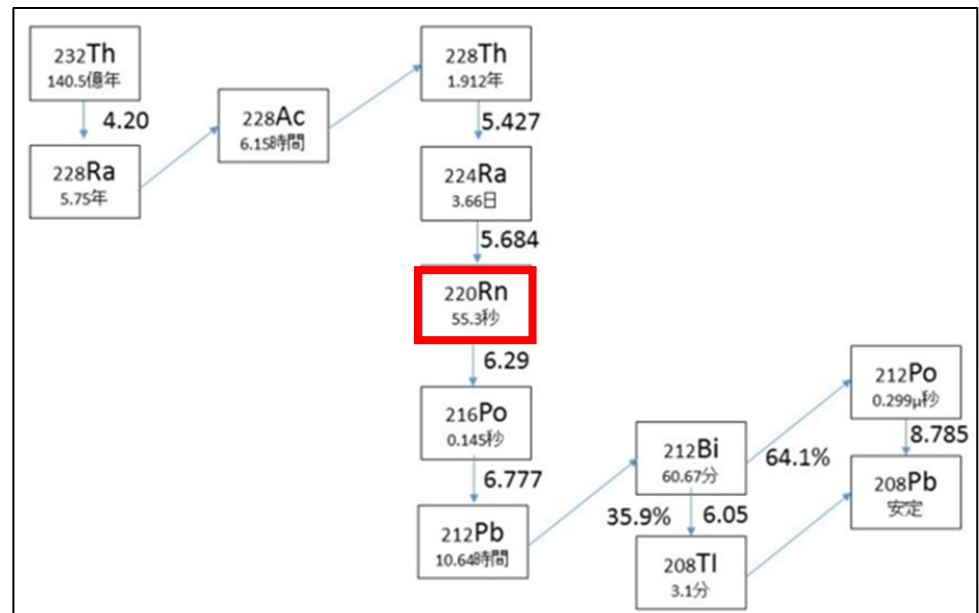


図2-2 トリウム系列の崩壊図[3]

3. 検出器の作成 検出方法

検出対象

Rnの娘核の中で、
α崩壊を起こす核種が放出するα線
 を検出する

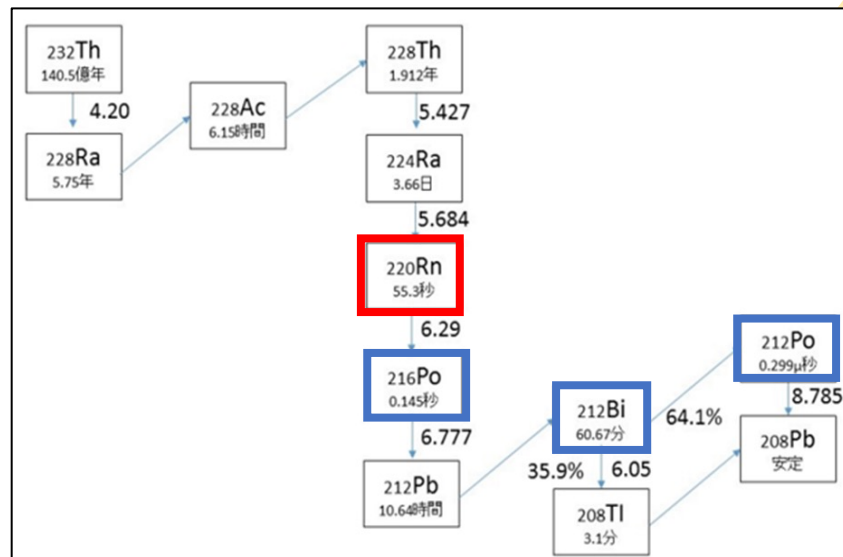


図2-2 トリウム系列の崩壊図[3]

PINフォトダイオード(PD)側・・・負の高電圧
 缶・・・0V(接地)



陽イオン(Rnの娘核)が負電極側(PD側)へ
効率的にα線を検出できる！

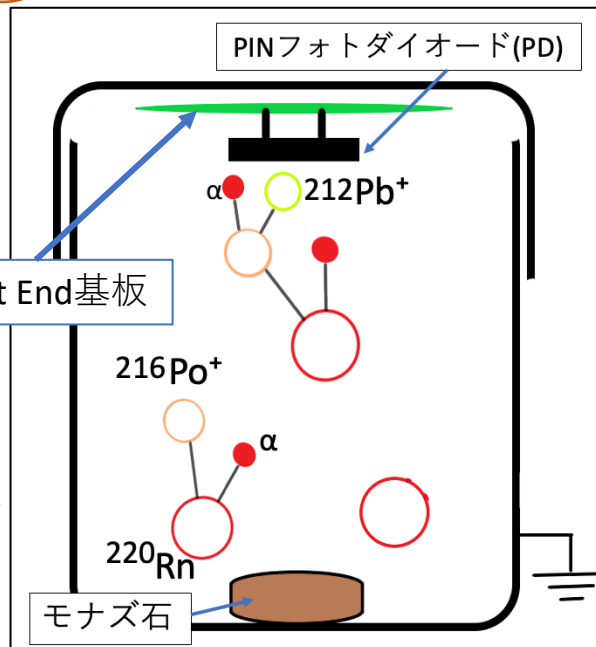


図3-1 静電捕集法



図3-2 検出器の缶

3. 検出器の作成 ラドンとラドンの娘核の個数

缶の中のラドン(^{220}Rn), ポロニウム (^{216}Po)の数の関係(検出効率のため)

^{220}Rn

モナズ石から生まれるラドン ラドンの崩壊定数 t秒後のラドンの数

$$\frac{dN_R(t)}{dt} = N_0 - \lambda_R N_R(t)$$

$$N_R(t) = \frac{N_0}{\lambda_R} (1 - e^{-\lambda_R t})$$

^{216}Po

ポロニウムの崩壊定数 t秒後のPoの数

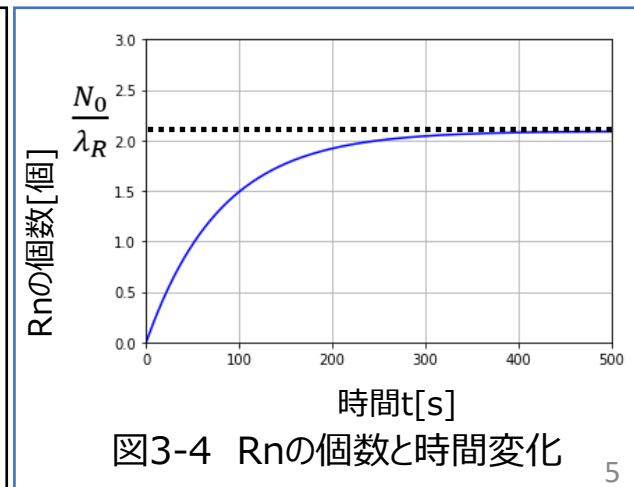
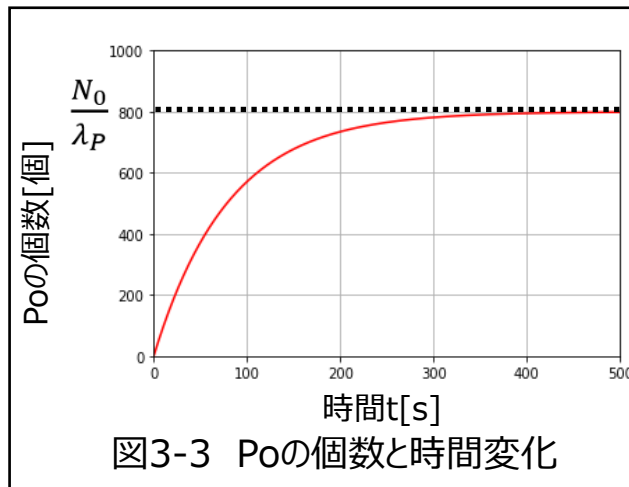
$$\frac{dN_P(t)}{dt} = \lambda_R N_R(t) - \lambda_P N_P(t)$$

$$N_P(t) = \frac{N_0}{\lambda_P} (1 - C_1 e^{-\lambda_P t} - C_2 e^{-\lambda_R t})$$

$$C_1 = \frac{\lambda_R}{(\lambda_R - \lambda_P)}, C_2 = -\frac{\lambda_P}{(\lambda_R - \lambda_P)}$$

右図は $N_0=10$ とした

RnやPoは、缶内にモナズ石を入れてから5分ほど経つと、ほぼ一定になる



3.検出器の作成 Front End基板

Front End基板の役割

- ・高電圧分割
- ・電圧信号への変換

高電圧分割

- ・PDに-100Vまでの電圧をかける
- ・缶内部では設定した高電圧をかける

電圧信号への変換

- ・PDから弱い電流信号が送られる
- ・電流信号→電圧信号に変換
(この電圧信号はα線のエネルギーに比例)

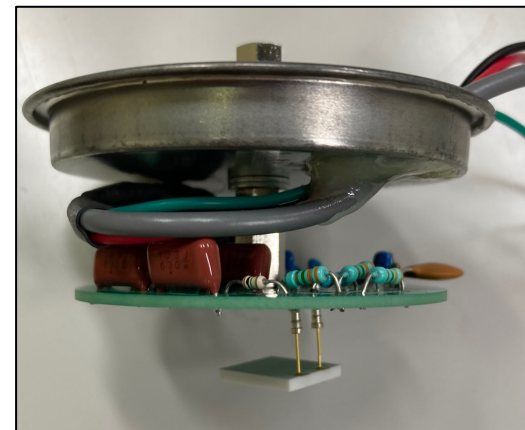


図3-5 Front End基板

Front End基板



整形アンプ基板



raspberry pi



パソコン



図3-2 検出器の缶

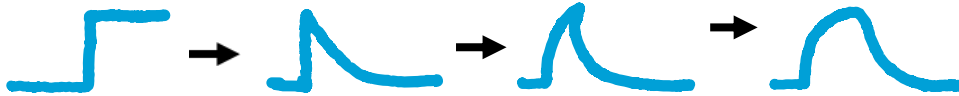
3.検出器の作成 整形アンプ基板

整形アンプ基板の役割

- ・波形の増幅・整形
- ・デジタル信号への変換

波形の増幅・整形

- ・矩形波→CR回路+RC回路+RC回路



(微分回路) (積分回路) (積分回路)

→近似ガウス型の波形になる

デジタル信号への変換

- ・波形がある値を超えると波高値に対応した矩形波が出る
- ・矩形波を読み取りADCチャンネル(デジタル信号)に変換

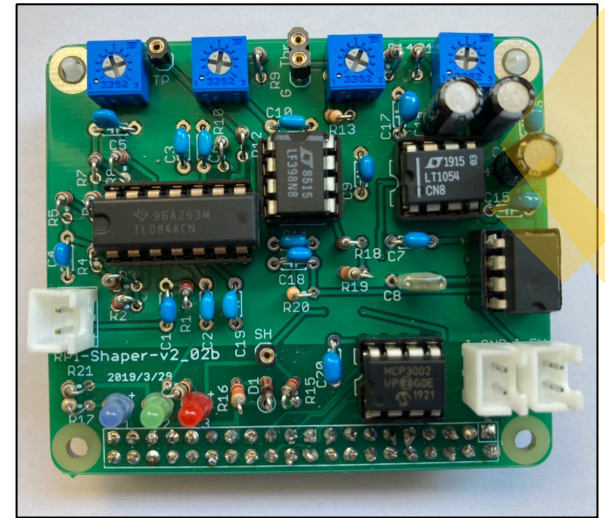
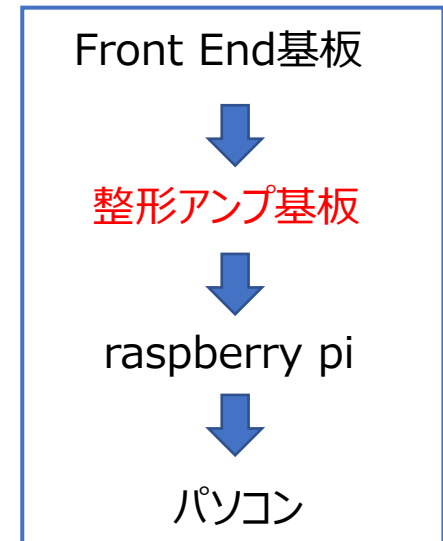


図3-6 整形アンプ基板



3.検出器の作成 電源基板・raspberry pi

Raspberry piの役割

- 整形アンプ基板から送られてくるデジタル信号を記録

電源基板の役割

- それぞれの基板に電源を供給

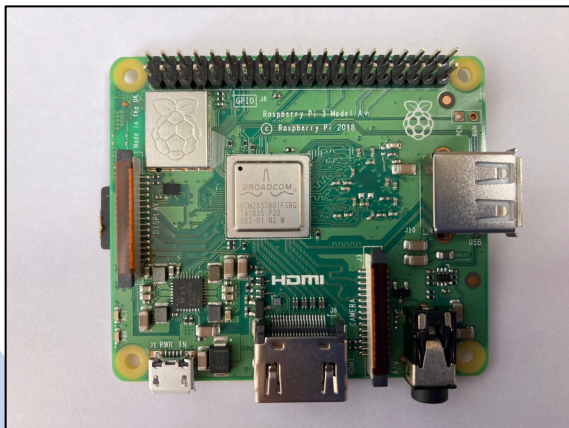


図3-7 raspberry pi



図3-8 電源基板

Front End基板



整形アンプ基板



raspberry pi



パソコン

3.検出器の作成

簡単な検出の流れ

- 1 .Front End基板でPDに入ったa線の信号を電圧にして整形アンプ基板へ
- 2 .整形アンプ基板でデジタル信号にしてraspberry piへ
- 3 .raspberry piで信号を読み取って記録！パソコンで結果表示

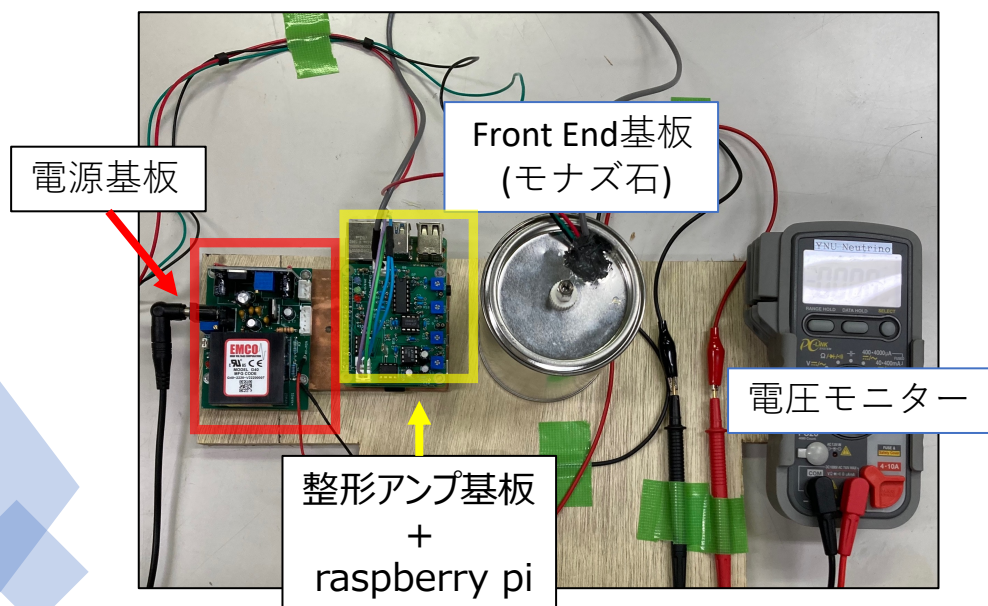
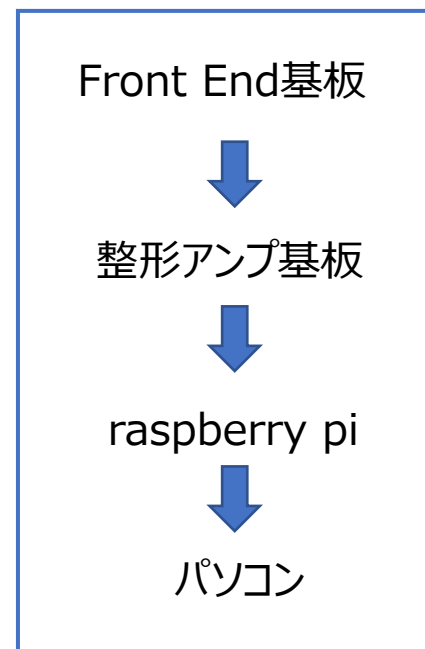
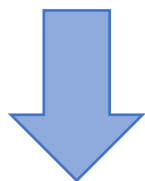


図3-9 検出器概要図



4. 検出器の性能評価

ラドンを検出できるのか確認



1. 線形性範囲の確認
 2. α 線のエネルギーとADCを比較
 3. 半減期測定
- +
4. 検出効率(電圧を変化させる)

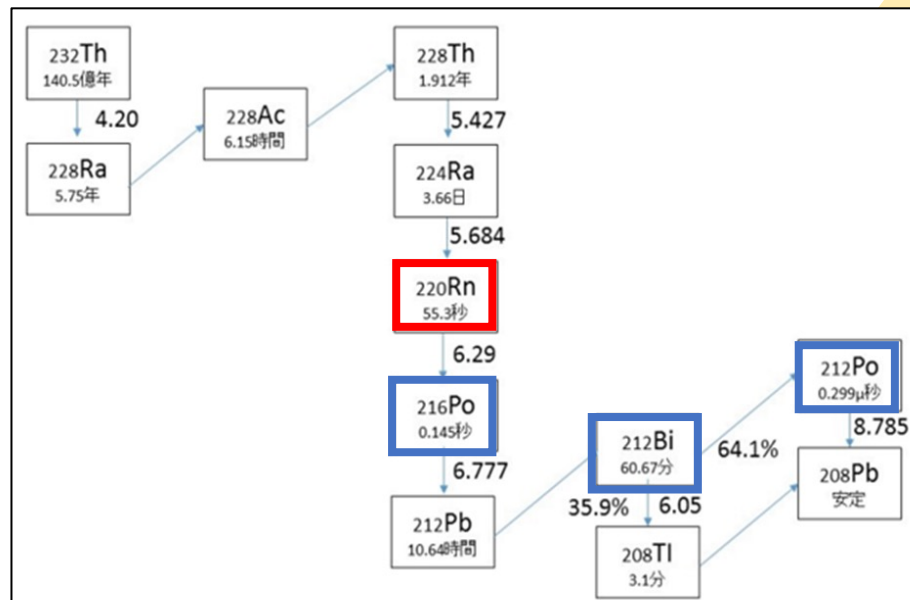
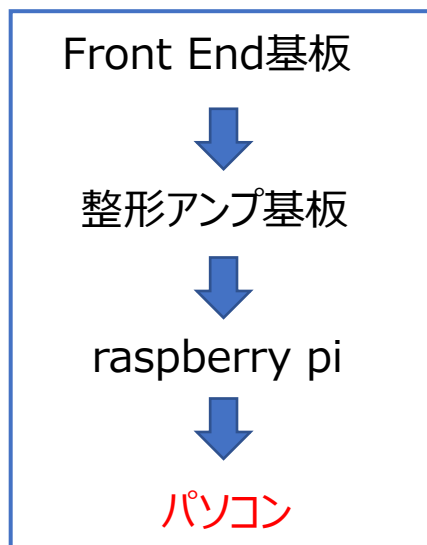


図2-2 トリウム系列の崩壊図[3]



4.検出器の性能評価

1.線形性範囲の確認

- 整形アンプ基板は
100ch~350chの範囲で
よい線形性を持つ

→α線のエネルギーの値との
対応を考えられるのはこの範囲！

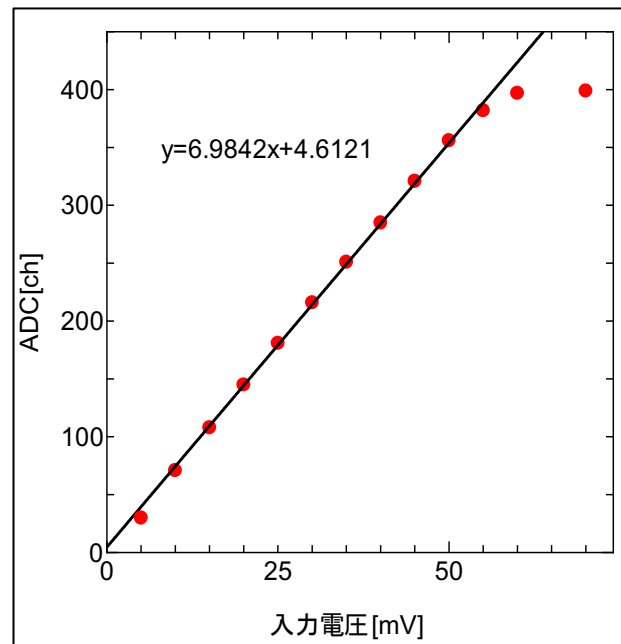


図4-1 入力電圧と出力チャンネルの関係

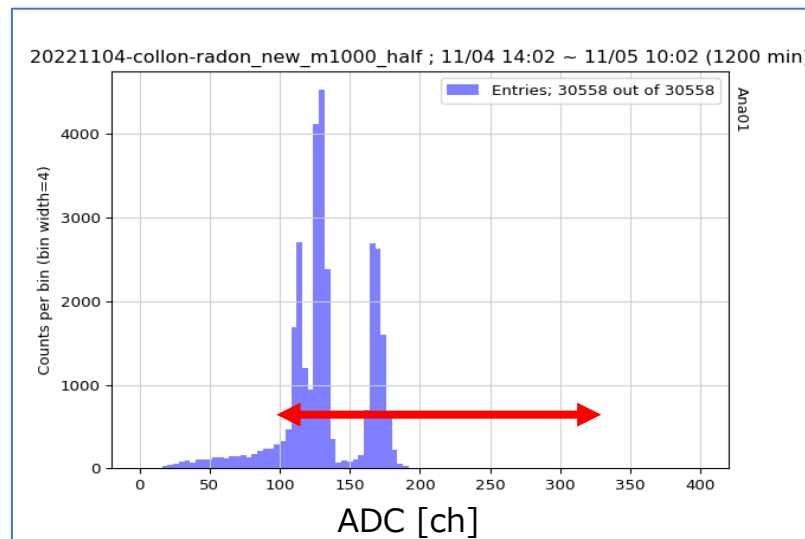


図4-2 モナズ石のADC分布例

4. 検出器の性能評価

2. α 線のエネルギーとADCを比較

方法

- モナズ石をラドン検出器の缶内に入れて、20時間測定
- ADCピークの数値と α 線のエネルギーを比較

結果

- 100ch~350chのピークをガウス関数でフィット

- 113.5 ± 0.1 ch
- 129.0 ± 0.0 ch
- 169.6 ± 0.1 ch

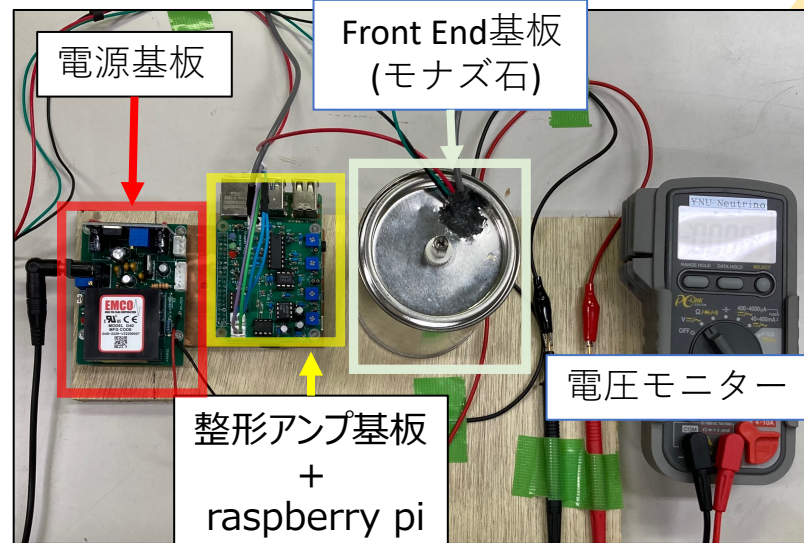


図3-9 検出器概要図

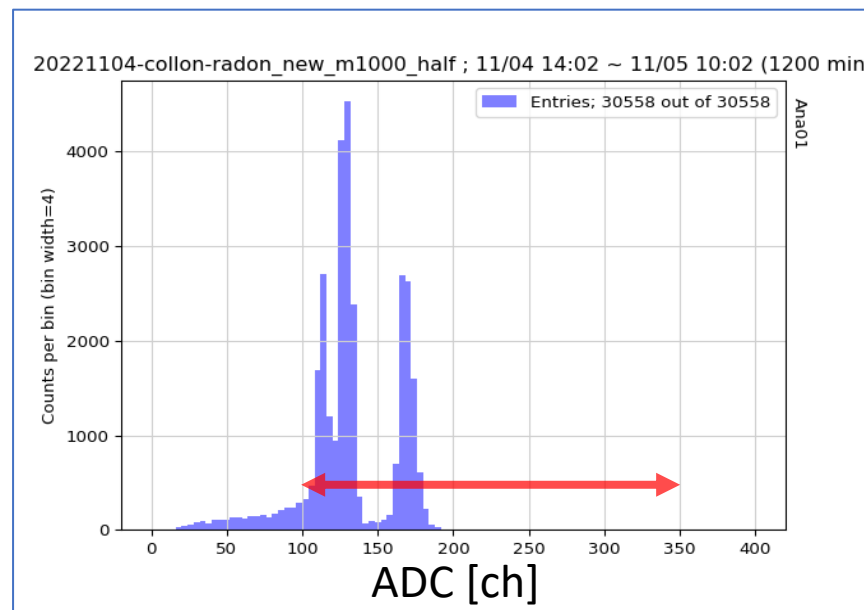


図4-2 モナズ石のADC分布

4. 検出器の性能評価

2. α 線のエネルギーとADCを比較

- 文献の α 線のエネルギー
 - 測定したピーク
- 比例関係にあることが分かった

113.5 ± 0.1 ch --- ^{212}Bi
 129.0 ± 0.0 ch --- ^{216}Po
 169.6 ± 0.1 ch --- ^{212}Po

表1 α 線のエネルギー

Rnの娘核	α 線のエネルギー(MeV)
ポロニウム (^{216}Po)	6.777
ビスマス (^{212}Bi)	6.05
ポロニウム (^{212}Po)	8.785

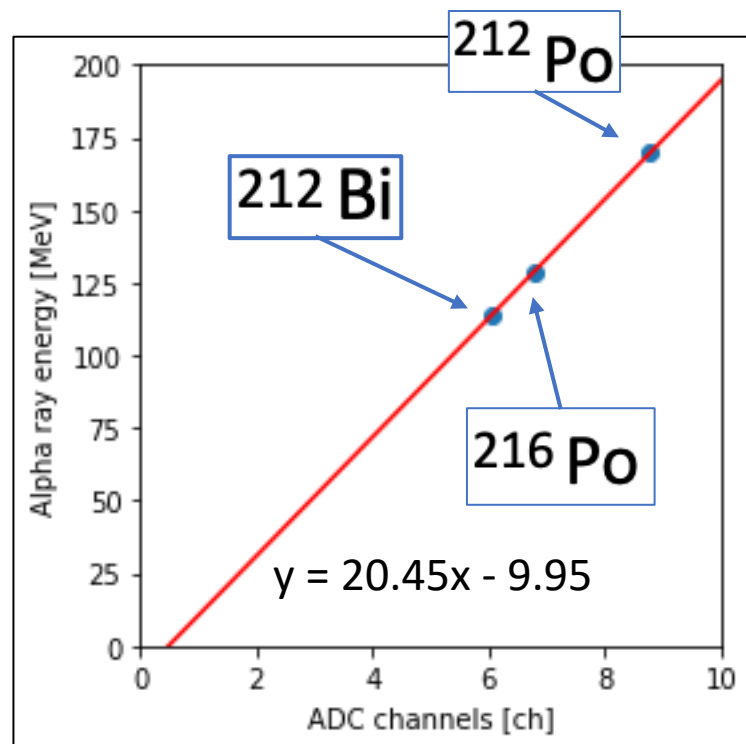


図4-3 α 線のエネルギーとADCのピークの関係図

4. 検出器の性能評価

3. 半減期測定

方法

- モナズ石を検出器缶内に20時間に入れた後に取り除き、その時間から24時間測定

結果

- ^{212}Bi , ^{212}Po のピークを確認
- ^{216}Po は半減期が0.145秒と短いため、ほとんど見られない

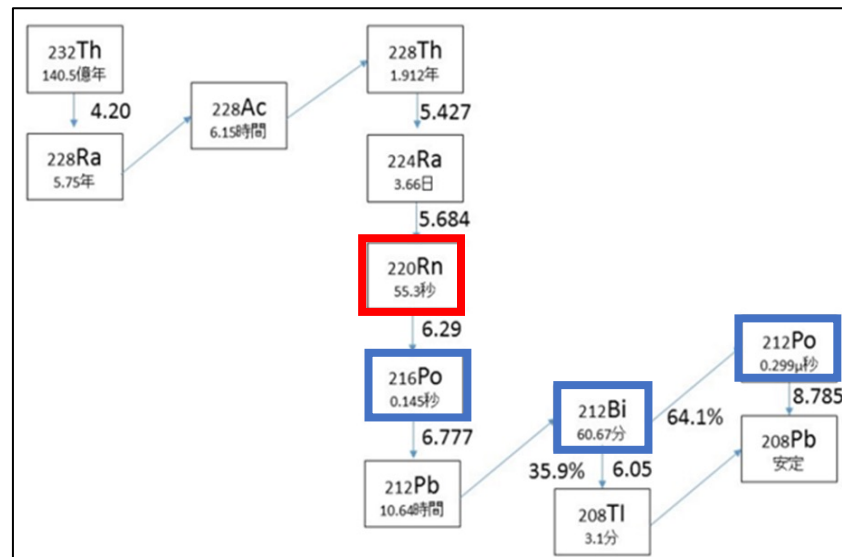


図2-2 トリウム系列の崩壊図[3]

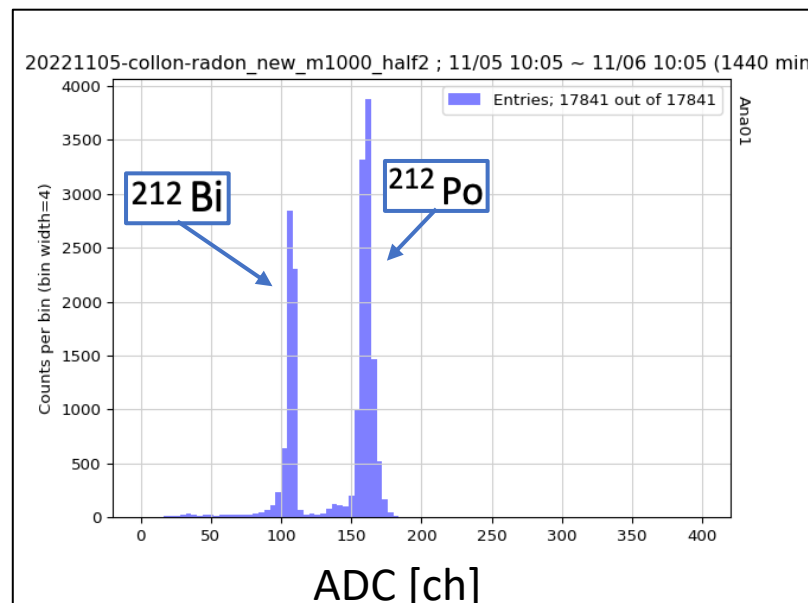


図4-4 半減期測定のADC分布

4. 検出器の性能評価

3. 半減期測定

- 全体の検知数の時間変化(^{212}Bi , ^{212}Po) は ^{212}Pb の半減期に依存するはず

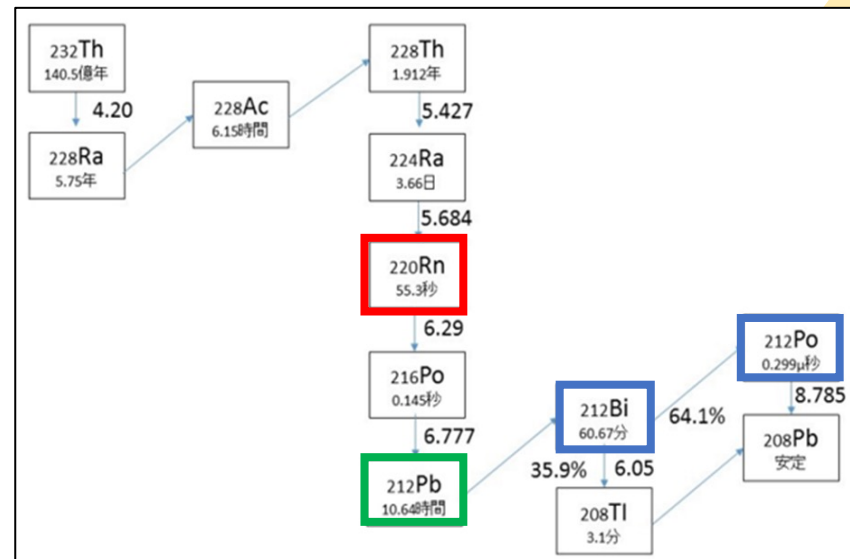


図2-2 トリウム系列の崩壊図[3]

- 測定値の半減期

10.325時間 ± 0.177時間

- ^{212}Pb の半減期(理論値)

10.6時間

2 σ 以内に収まっている
 ^{212}Pb の半減期と一致した

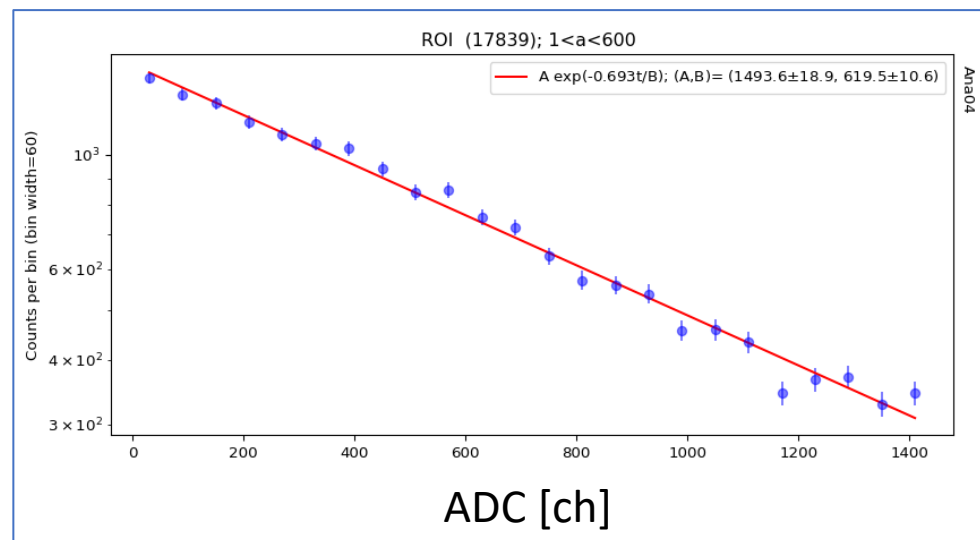


図4-5 検知数の時間変化

4. 検出器の性能評価

3. 半減期測定 分岐比

- ^{212}Bi の検知数 5616.4 ± 75.1
- ^{212}Po の検知数 10201.9 ± 101.0

• ^{212}Bi の β 崩壊数 = ^{212}Po の α 崩壊数

表2 崩壊確率の解析値と理論値

	解析値	理論値
^{212}Bi から α 崩壊する確率	$35.5\% \pm 0.5\%$	35.9%
^{212}Bi から β 崩壊する確率	$64.5\% \pm 0.8\%$	64.1%

σ 以内に収まっている
 ^{212}Bi の分岐比と一致した

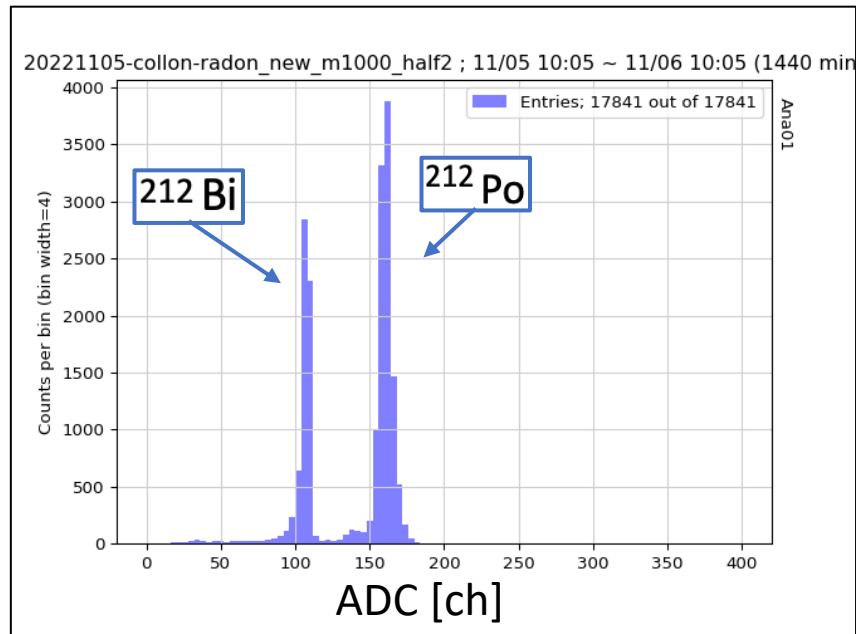


図4-4 半減期測定 of ADC 分布

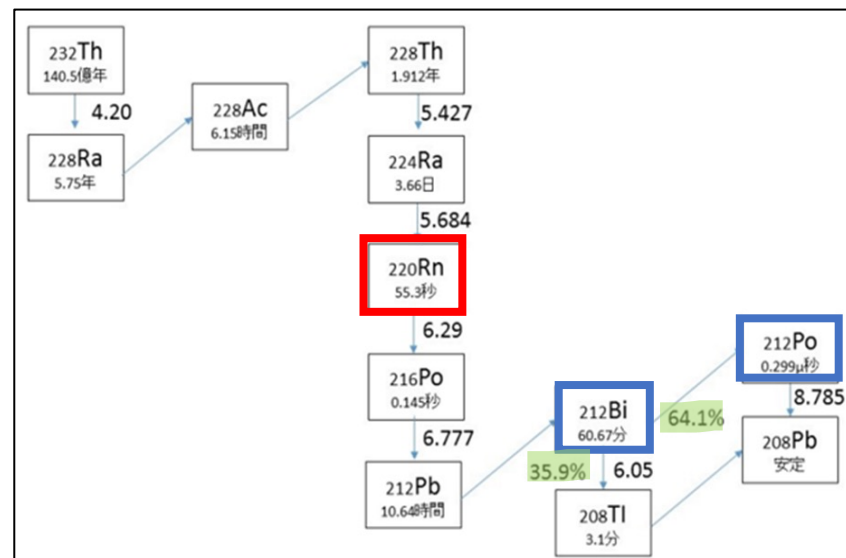


図2-2 トリウム系列[3]

4. 検出器の性能評価

4. 検出効率

方法

- 検出器の缶内にモナズ石を入れて3時間半の測定を行う
- $-500V$, $-750V$, $-1000V$ で90分ずつ測定
- 216Poの検知数を比べる

結果

電圧が高い方が検出効率も良い

表3 電圧と検知数

電圧[V]	検知数[/90分]
500	663.1 ± 25.8
750	1022.6 ± 32.0
1000	1109.8 ± 33.3

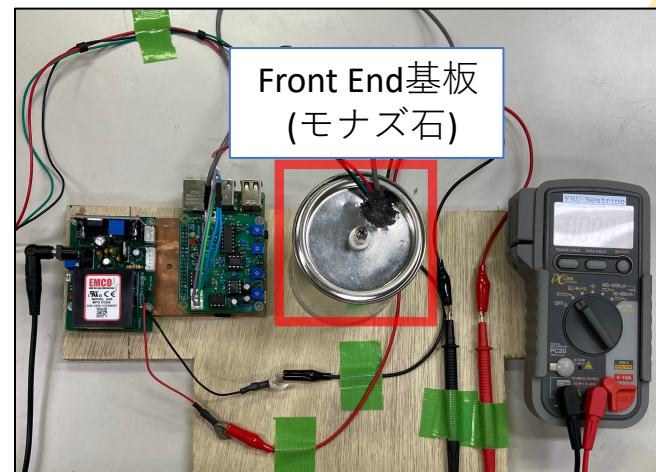


図3-9 検出器概要図

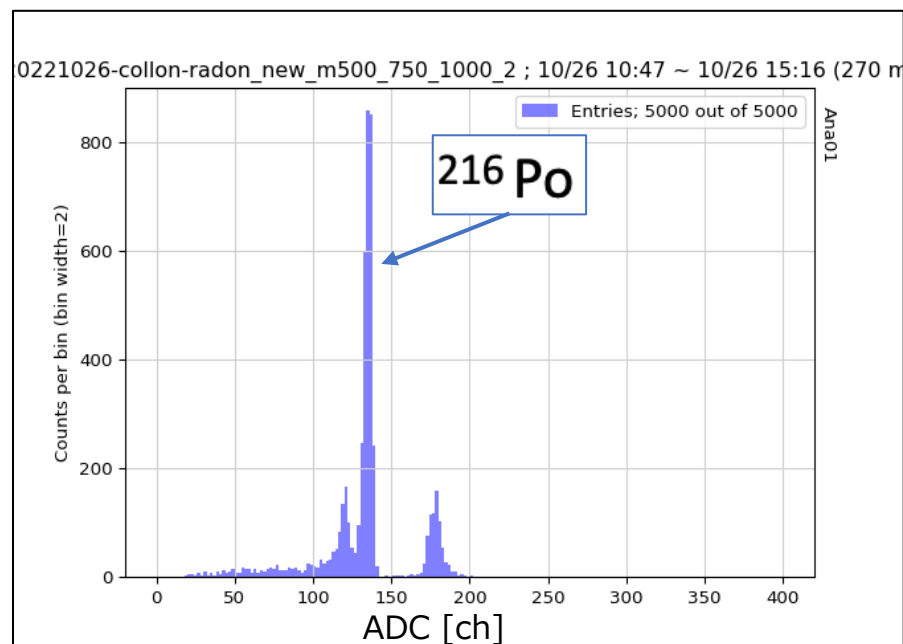


図4-6 電圧を変化させた時のADC分布

5.ラドン検出装置の開発 実験装置の作成

- ラドン検出装置の構造(rad7を参考に)

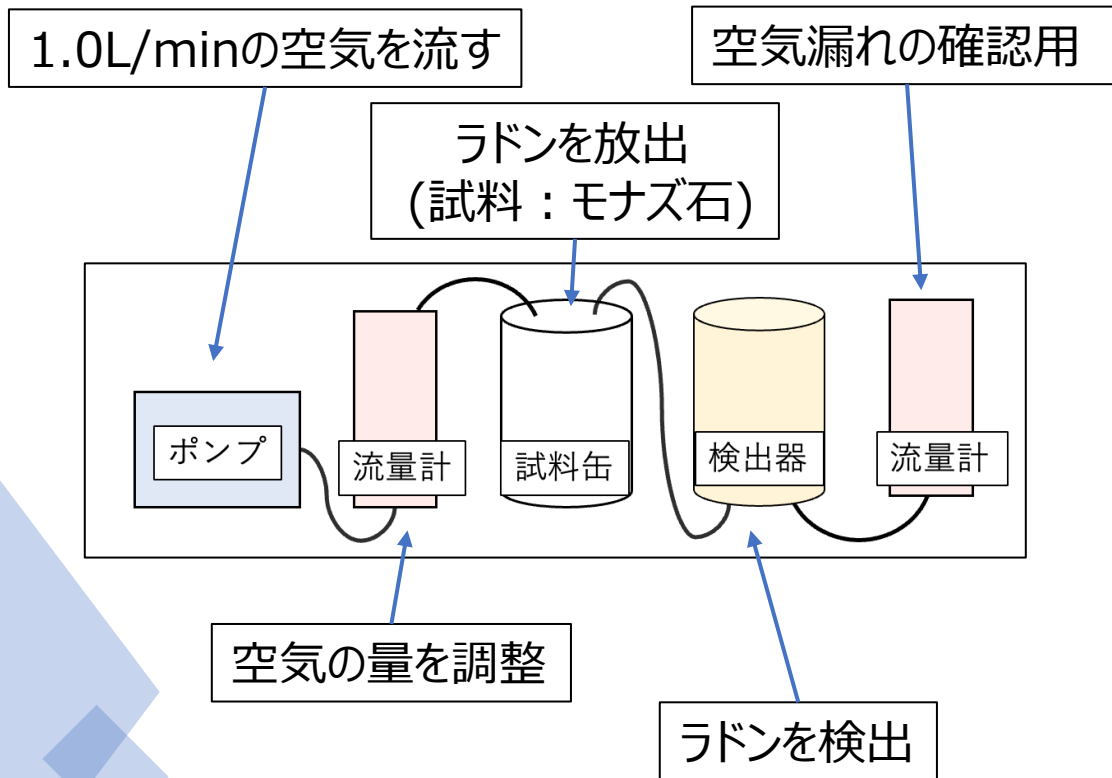


図5-1 ラドン検出装置の説明

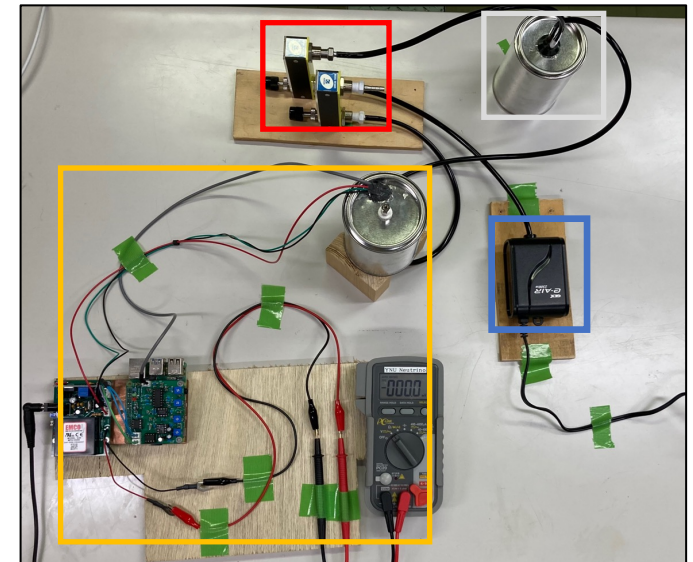


図5-2 ラドン検出装置

5.ラドン検出装置の開発 安定した測定

1.空気漏れの問題

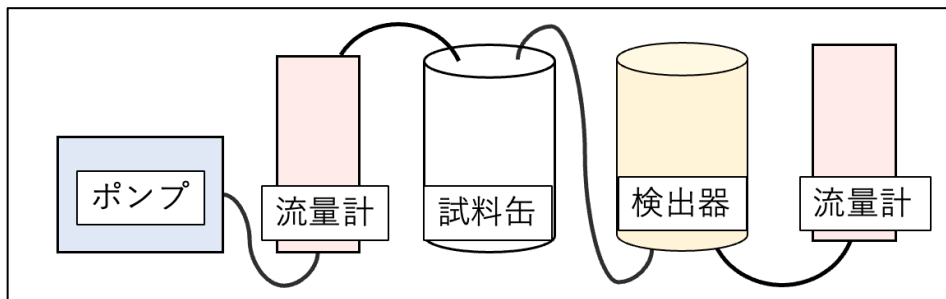


図5-1 ラドンガス検出器の装置



図5-3 シールテープ(モノタロウ)

- ・シールテープを検出器、試料缶の蓋、ネジに使い、空気漏れを0.02L/min(流量1.0L/min)ほどに減らすことができた。

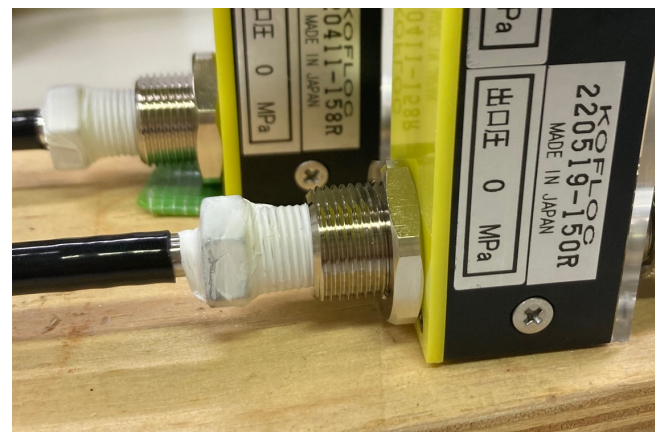


図5-4 シールテープを巻いた流量計のネジ

5.ラドン検出装置の開発 安定した測定

2.流量と容器体積の検知数シミュレーション

安定してラドンを検知したい

- ・検知量を増やす → **V1**は大きく、**V2**は小さく
- ・流量が多少変わっても安定して検知できる条件を選ぶ

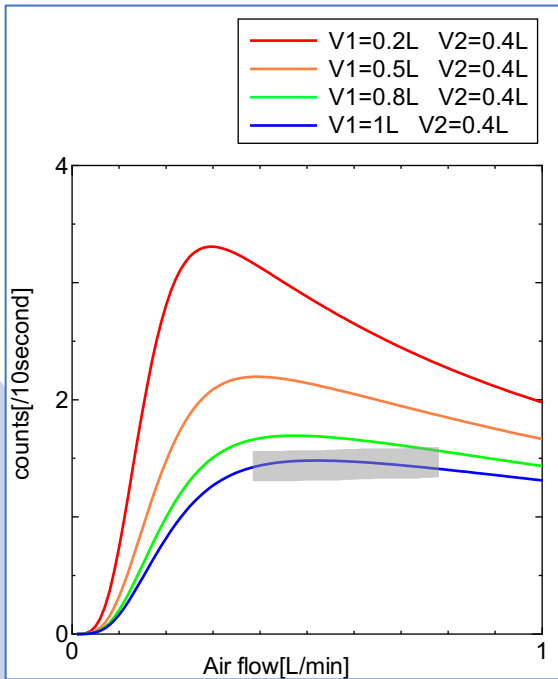


図5-5 空気の流量とラドン検出数

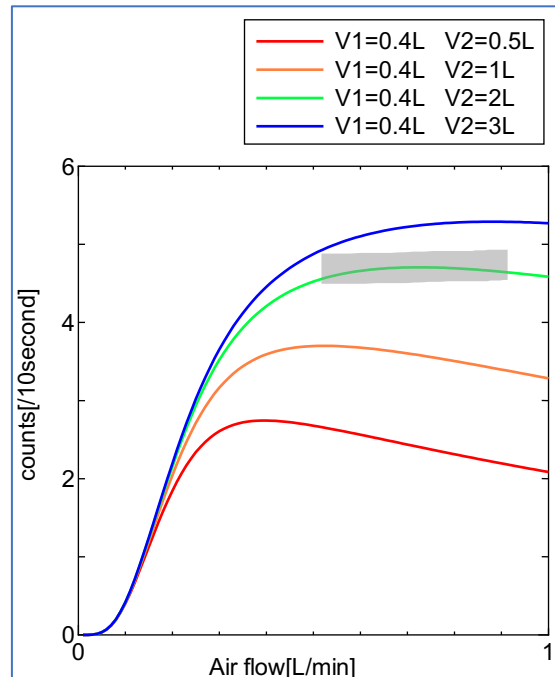


図5-6 空気の流量とラドン検出数

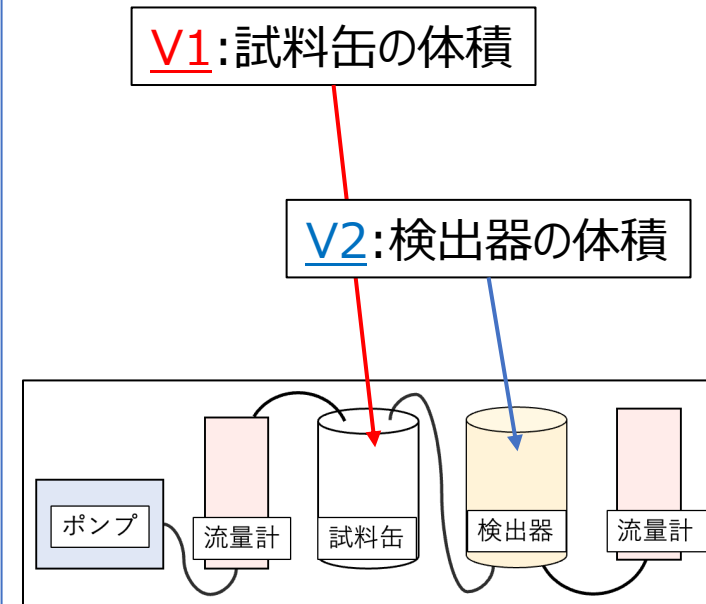


図5-1 ラドンガス検出器の装置

6.まとめと展望

まとめ

- ・ 検出器を作成し、性能評価を行った
 - ・ ラドンを検出できた
 - ・ 電圧を上げると検出効率上がる
- ・ ラドンガス検出器の装置を作成した
 - ・ 流量シミュレーション
 - ・ 空気漏れ

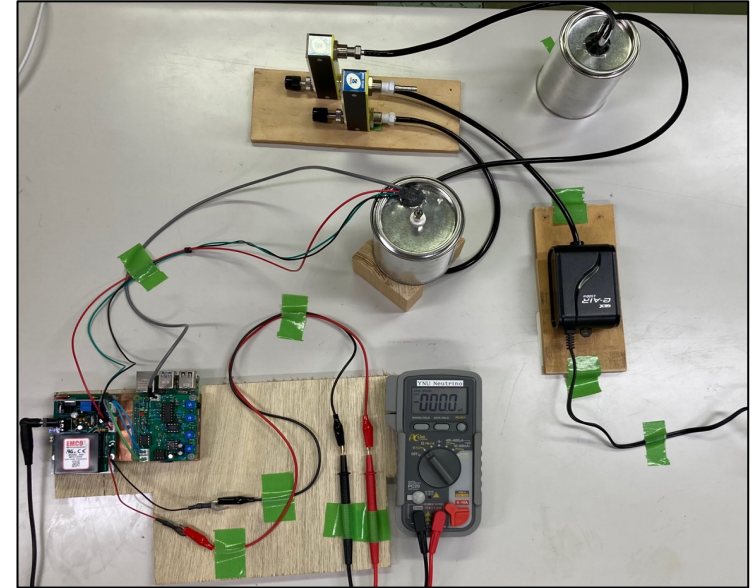


図5-1 ラドンガス検出器の装置

今後の展望

- ・ 電圧、流量、容器の体積を変化させる実験を行って、安定した測定のできる測定条件を決める
- ・ 地上や地下などいくつかの場所でラドン濃度の測定を行い、既存のラドン検出器の測定結果と比較する。

7.参考文献

[1]国立研究開発法人 量子化学技術開発機構(QST)“兵庫県南部地震前に大気中ラドンの濃度変動を観測。臨界現象数理モデルへ適用し地震予知に活用も”,量子生命・医療部門,2018/12/26, <https://www.qst.go.jp/site/qms/1575.html>,2022/11/13

[2] Jun Muto, Yumi Yasuoka, Nao Miura, Daichi Iwata, Hiroyuki Nagahama, Mitsuhiro Hirano, Yoshiro Ohmomo, Takahiro Mukai, “ Preseismic atmospheric radon anomaly associated with 2018 Northern Osaka earthquake”, *Scientific Reports*(2021)
<https://www.nature.com/articles/s41598-021-86777-z>

[3] 青山 美嶺, 西川 愛, “小型ラドン検出器の性能評価及び改良”, 奈良女子大学 理学部 数物科学科 卒業論文 (2019)

[4] 鈴木芹那, “低コスト・小型ラドン検出器の製作及び性能評価”, 横浜国立大学 理工学部 数物・電子情報系学科 卒業論文 (2021)

