

# D01計画 報告

「第七回極低放射能技術」研究会

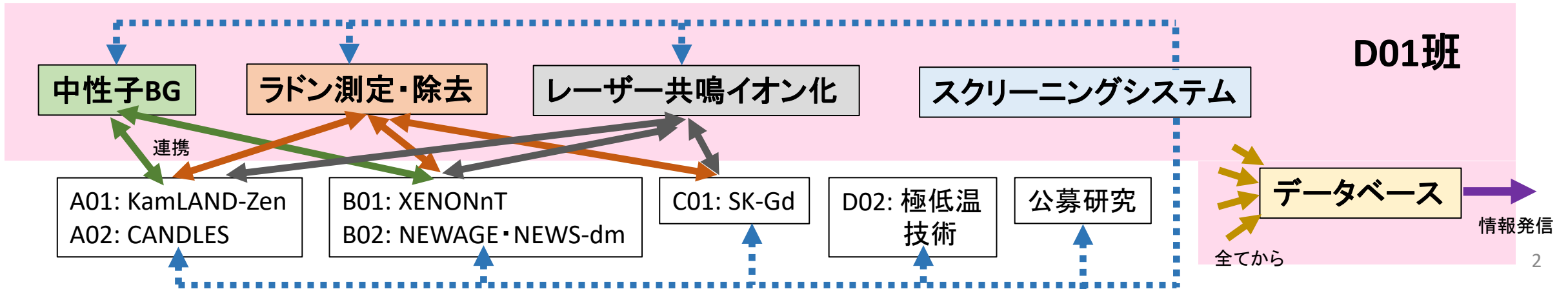
2021年3月25日

竹田敦 (発表者)、D01計画班

# 本日の発表内容

D01: 極低放射能技術の最先端宇宙素粒子研究への応用		
	氏名	担当
研究代表者	南野 彰宏	全体統括、中性子測定、スクリーニングシステムの開発
研究分担者	田中 雅士	中性子測定
	池田 一得	ラドン測定
	竹田 敦	ラドン測定
	岩田 圭弘	クリプトン測定、Gd発光測定
	伊藤 主税	クリプトン測定、Gd発光測定
	市村 晃一	スクリーニングシステムの開発、データベースの開発

- $^3\text{He}$ カウンターによる地下坑内での中性子測定
- 液体シンチレータを用いた環境中性子測定
- 高感度水Rn検出器の開発(濃縮型・連続型)
- レーザーイオン化によるAr・XeからのKr除去
- 水中 $^3\text{Gd}$ 発光事象の解明
- Ge検出器による高感度スクリーニング放射性不純物量データベース

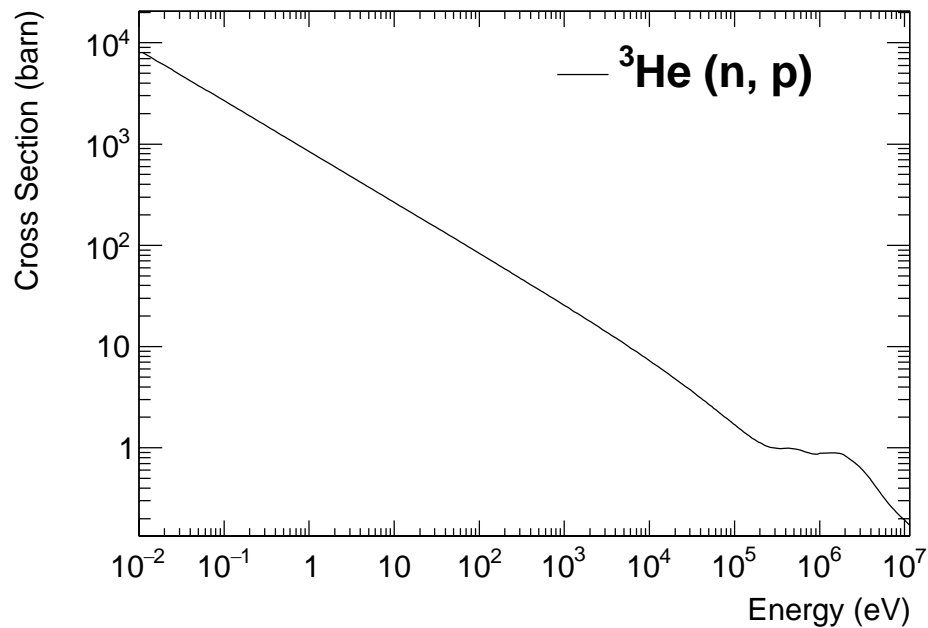


# 環境中性子束測定

スライド提供 (南野)

# 神岡地下Lab-Bでの 中性子測定

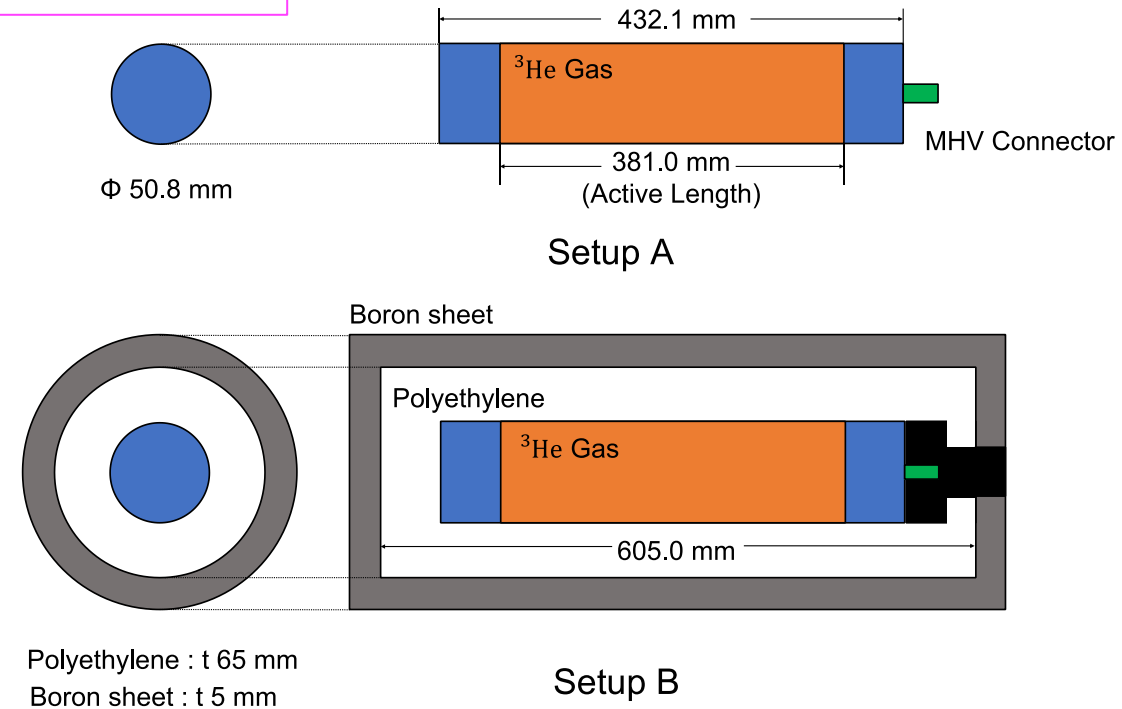
- ・  $^3\text{He}$  比例計数管は熱中性子に高い感度を持つ
- ・ 高速中性子の測定  
→ 高速中性子を減速させ  $^3\text{He}$  比例計数管の感度領域まで運動エネルギーを落とす



中性子のエネルギーに対する  
 $^3\text{He}$  ガスの反応断面積[2]

熱中性子:  $< 0.5 \text{ eV}$   
高速中性子:  $> 1 \text{ MeV}$

佐々木(横国大)  
PTEP(2018)123C01の追試

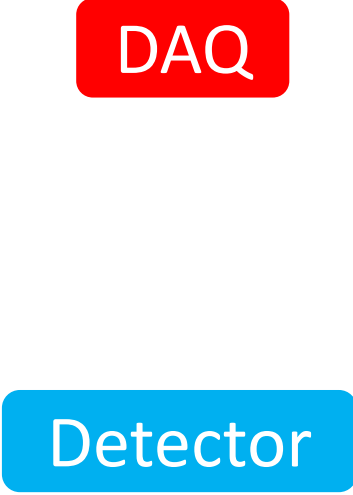
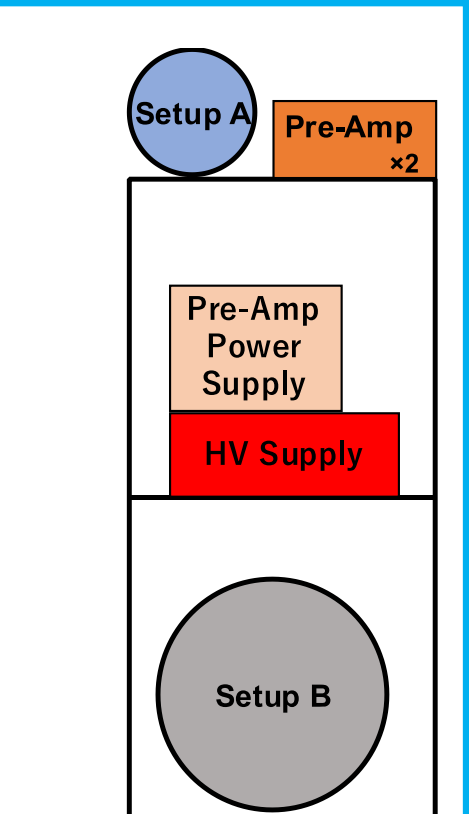
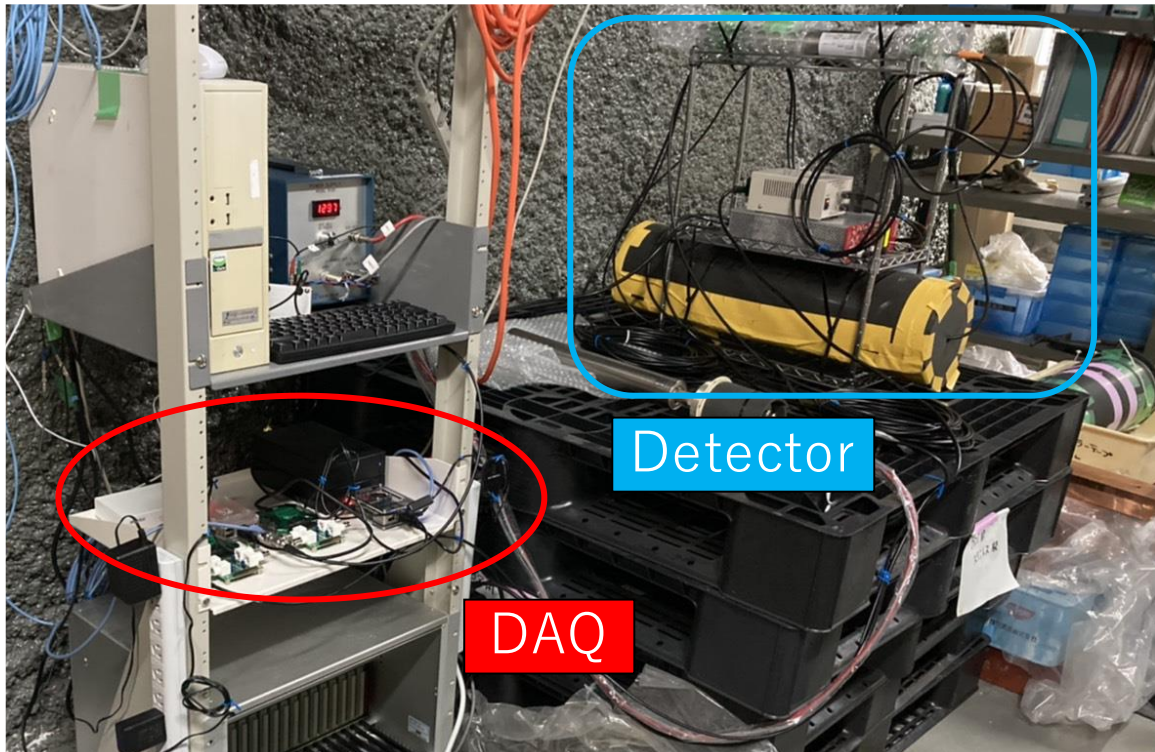
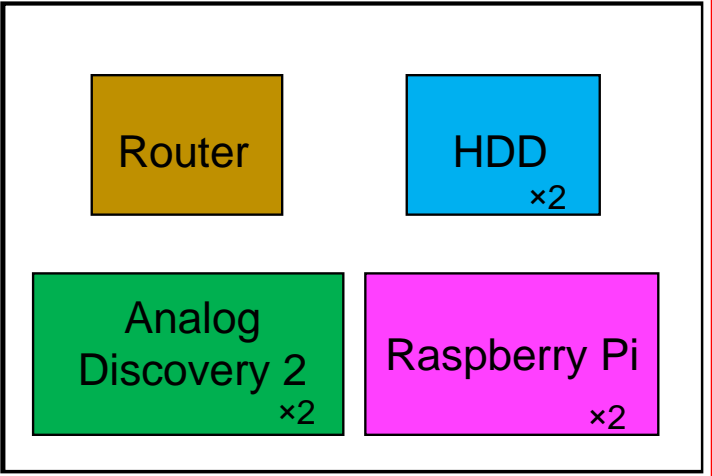
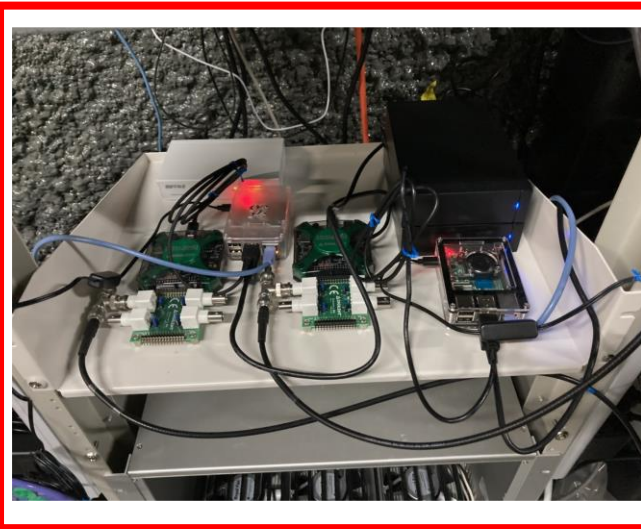


Setup A: 通常の  $^3\text{He}$  比例計数管  
→ 熱中性子に高い感度を持つ

Setup B: 厚さ6.5cmのポリエチレン容器(中性子減速材)に  
5mmのボロンシート(熱中性子吸収材)を巻く  
→ 高速中性子に高い感度をもつ

# Lab-Bでの測定のセットアップ

データ収集系(DAQ)を小型化  
↓  
様々なサイトでの測定が容易に



# Lab-Bでの 測定結果

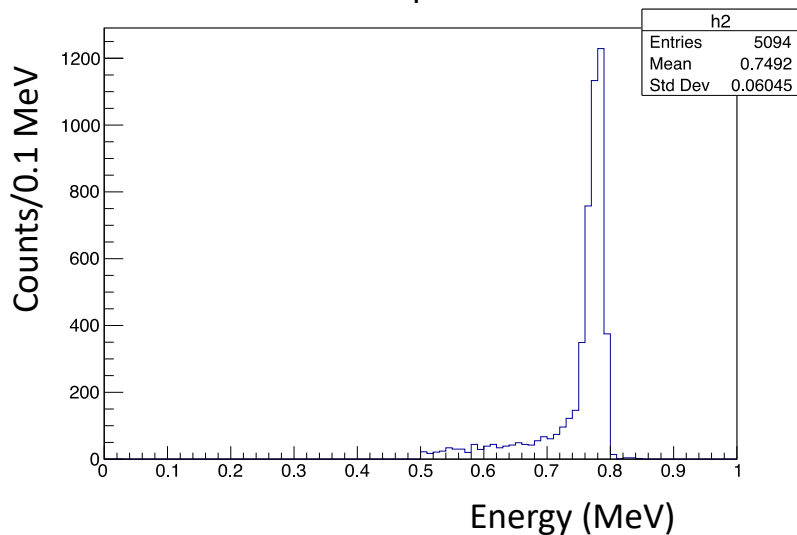
測定場所

→神岡地下実験室Lab-B

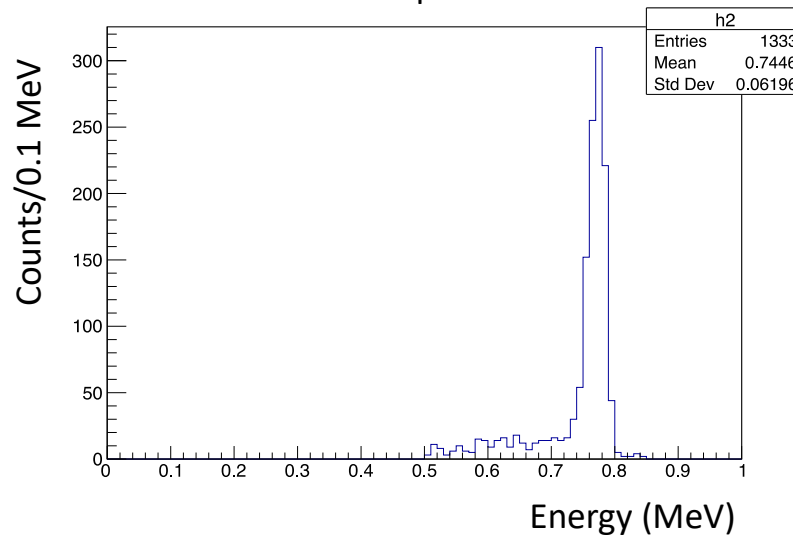
測定期間

→2020年10月10日～2021年1月13日

Setup A



Setup B



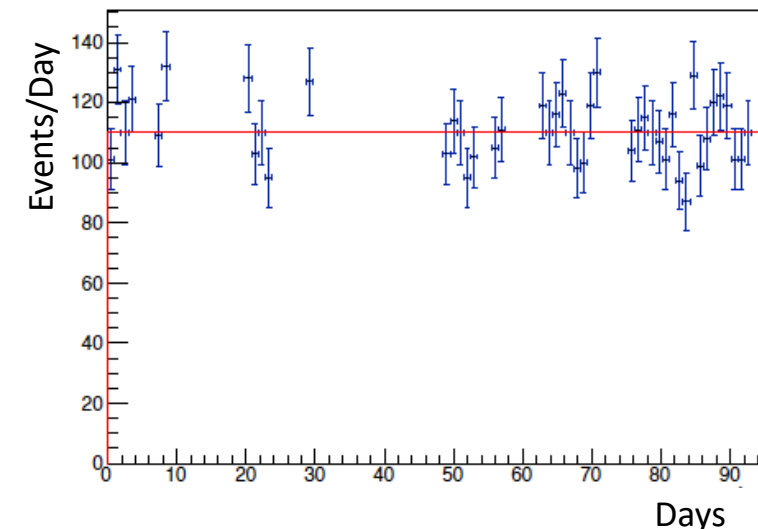
波高スペクトル

表 4.2: 各セットアップの測定情報

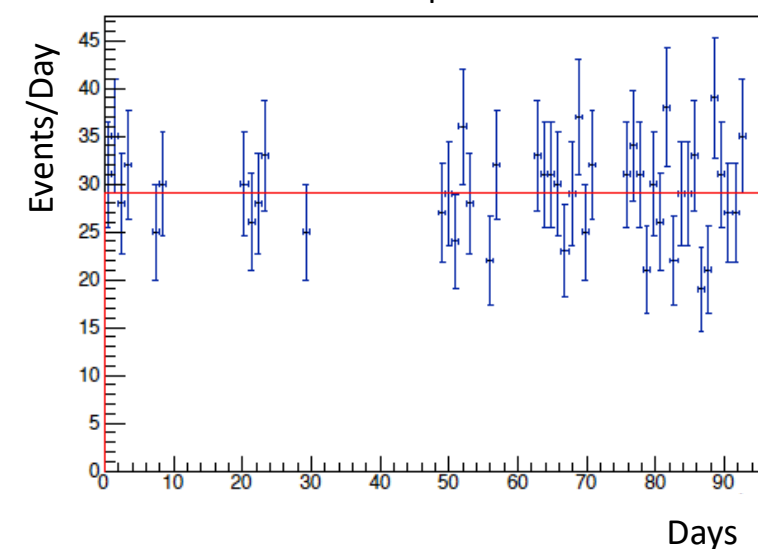
Setup	Live Time (day)	$N$ (counts)	$R$ ( $10^{-3}$ cps)
A	45	5094	1.546
B	45	1333	0.405

有効測定時間: 45日間  
→Lab-Bで中性子線源が  
使用された日を  
測定から除いた

Setup A



Setup B



1日あたりのイベント数

# Lab-Bの環境中性子フラックス

表 6.1: 岩盤中の水素含有量による環境中性子フラックスの変化

	0 %	1 %	2 %	3 %
$\Phi_{<0.5\text{eV}}$	4.87	8.86	10.06	10.05
$\Phi_{0.5\text{eV}\sim 1\text{keV}}$	18.92	4.77	2.79	2.67
$\Phi_{1\text{keV}\sim 1\text{MeV}}$	25.23	7.55	5.15	4.32
$\Phi_{\geq 1\text{MeV}}$	2.53	2.20	1.53	1.07
$\Phi_{\text{Total}}$	51.56	23.39	19.54	18.10

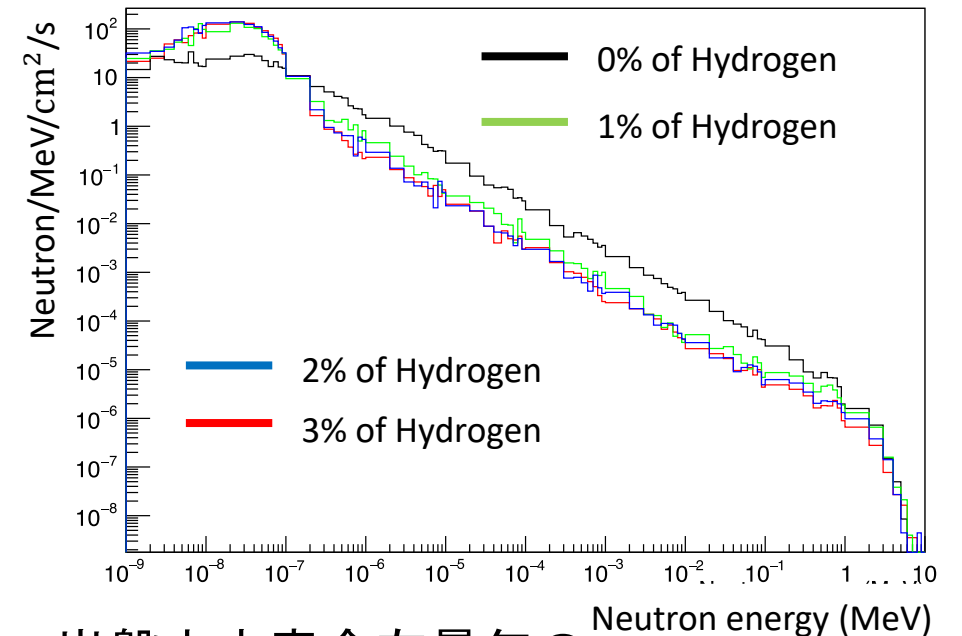
本研究の結果

表 6.2: 先行研究 [1] で求められた Lab-B における環境中性子フラックス

Energy range	Flux $\Phi(\times 10^{-6}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1})$
< 0.5 eV	7.88
0.5 eV ~ 1 keV	3.11
1 keV ~ 1 MeV	8.65
$\geq 1\text{ MeV}$	3.88
Total	23.52

(3% of Hydrogen)

- ・岩盤中の水素含有量の増加に伴い  
トータルフラックスは減少  
熱中性子の占める割合は増加
- ・推定されたLab-Bの岩盤中の水素含有量  
先行研究[1]は3%、本研究は2%  
→岩盤中の水素含有量は測定時期によって変化
- ・先行研究との比較 (表6.1の2%と表6.2)
- ・今後  
岩盤中の水分量との相関を調べる(鷲見さんと)。  
様々なサイトで測定し、岩盤の組成との相関を調査。

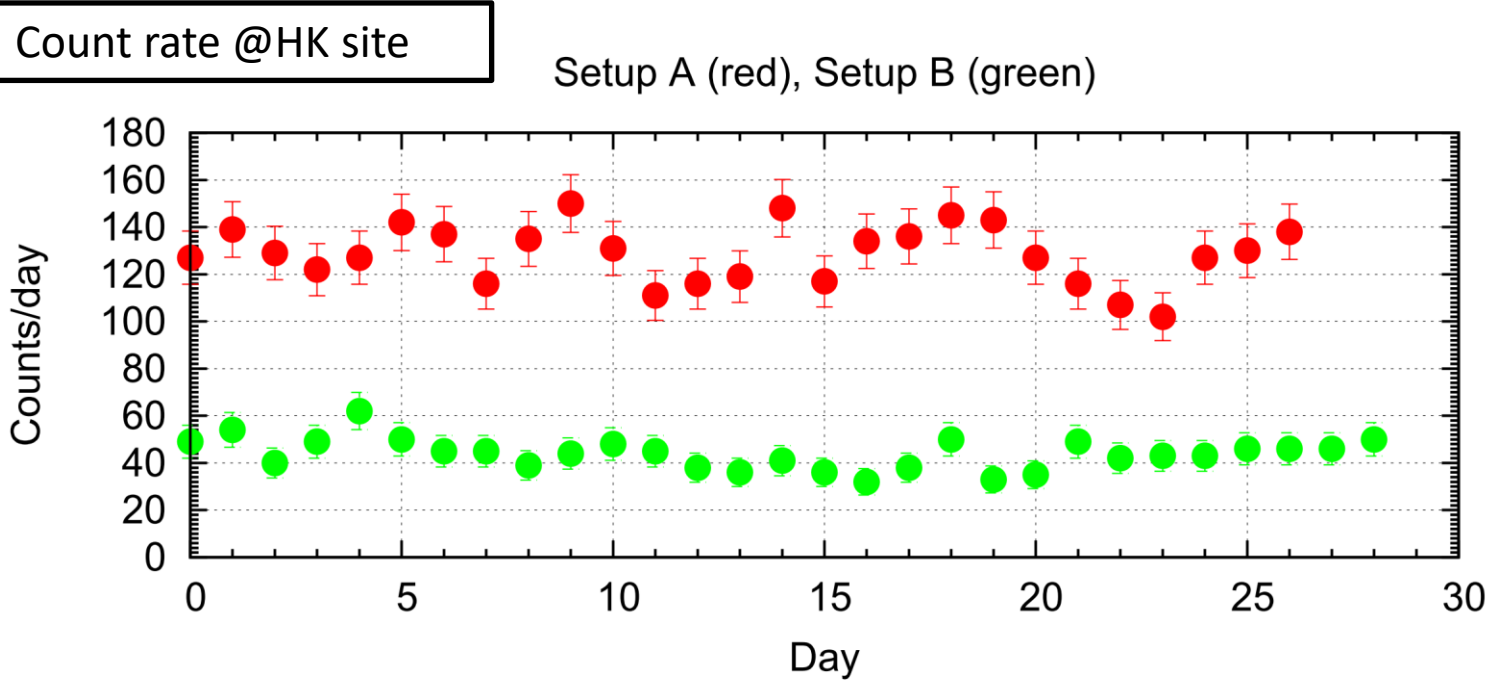


岩盤中水素含有量毎の  
環境中性子のエネルギースペクトル

[1] K.Mizukoshi et al.,PTEP(2018) 123C01

# Results @HK site (Tochibora (-300mL))

竹田(ICRR)



- 15% higher than that in SK site (Lab-B).
- Ratio between setup A and B is not different significantly.
- Energy spectrum may not be so much different from that in SK site.
- More detailed investigation (distribution of U/Th in the rock of HK site) needs to be continued.

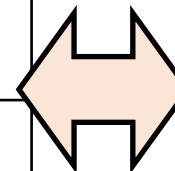
Ref: Rate @SK site (Lab-B)

*K. Mizukoshi et. Al., PTEP 2018 123C01*

	Rate [cps]
<b>Setup A</b>	$(1.295 \pm 0.034^{+0.039}_{-0.033}) \times 10^{-3}$
<b>Setup B</b>	$(0.446 \pm 0.018^{+0.013}_{-0.011}) \times 10^{-3}$

$$R_A/R_B = 2.90 \pm 0.14^{+0.04}_{-0.03}$$

$$R_A/R_B = 2.93 \pm 0.09$$



	time	counts	Rate [cps]
<b>Setup A</b> (2020/03/05-4/01)	2331703 sec (26.99 days)	3471	$(1.489 \pm 0.025) \times 10^{-3}$
<b>Setup B</b> (2020/02/05-03/05)	2504332 sec (28.99 days)	1274	$(0.509 \pm 0.014) \times 10^{-3}$



# 液体シンチレータを用いた 環境中性子測定

スライド提供 (田中)

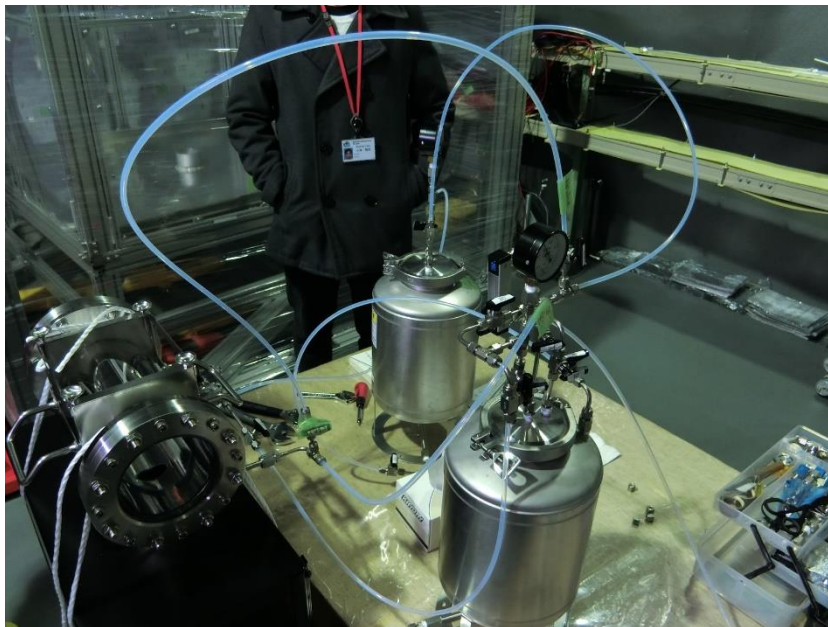
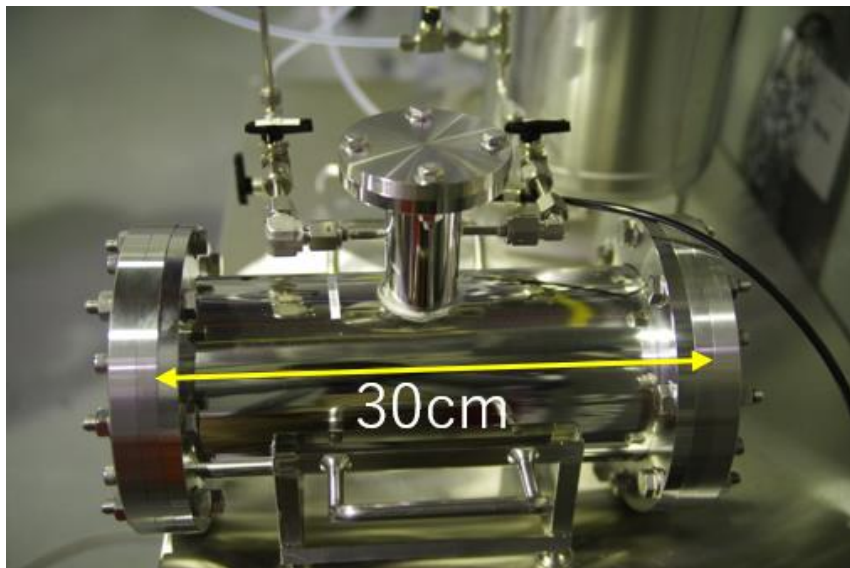
→ P11 岩澤広大(早稲田大学) “神岡における地下環境中性子のフラックス測定に向けた  
液体シンチ レータ検出器の改善結果の報告”

# 液体シンチレータを用いた 環境中性子測定

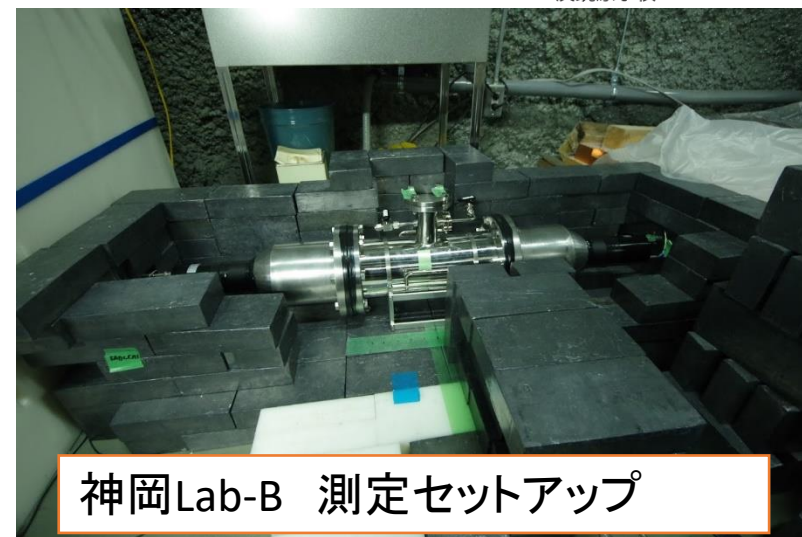
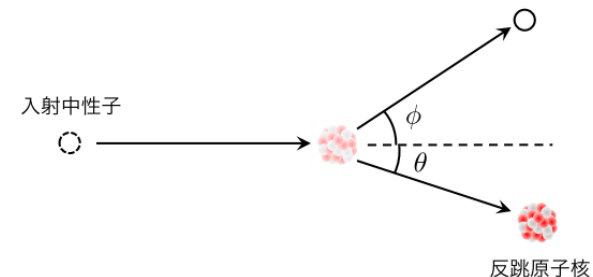
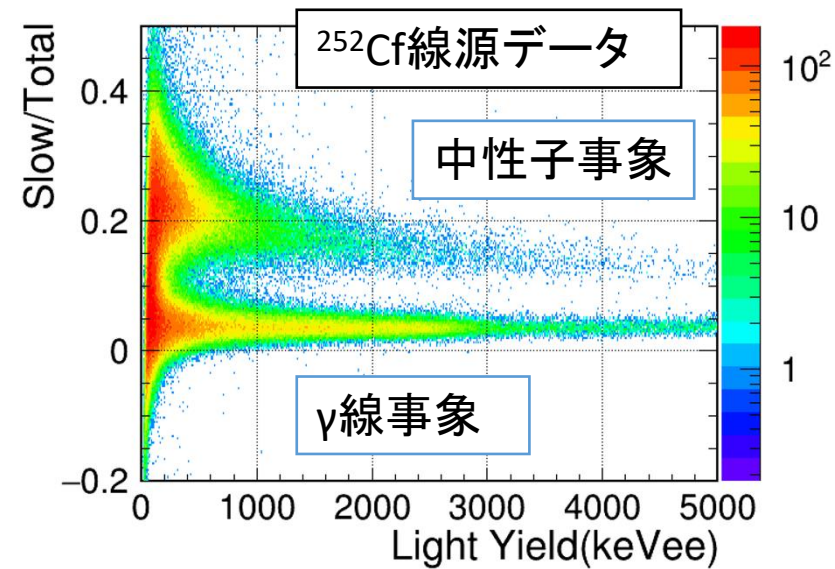
- ▶ 液体シンチレータ(BC501A)による中性子測定(高速中性子: > 100 keV)
  - ▶ BC501A: 波形弁別による優れたn/γ分離能力
  - ▶ 反跳原子核(H,C)のエネルギーから中性子のエネルギーを推定できる
- ▶ 地下環境中性子測定のため、低放射性不純物な検出器を開発している。
  - ▶ 主要バックグラウンド: U/Th系列のα事象

## □液体シンチレータ検出器

- 直径 14.0 [cm] × 長さ30.0 [cm]
- 体積4.60 [L]、質量4.20 [kg]
- PMT(H6527)両読みの検出器



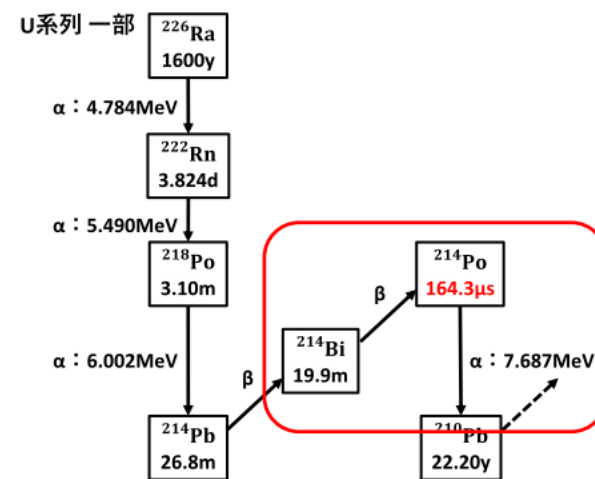
神岡Lab-D 純化セットアップ



神岡Lab-B 測定セットアップ

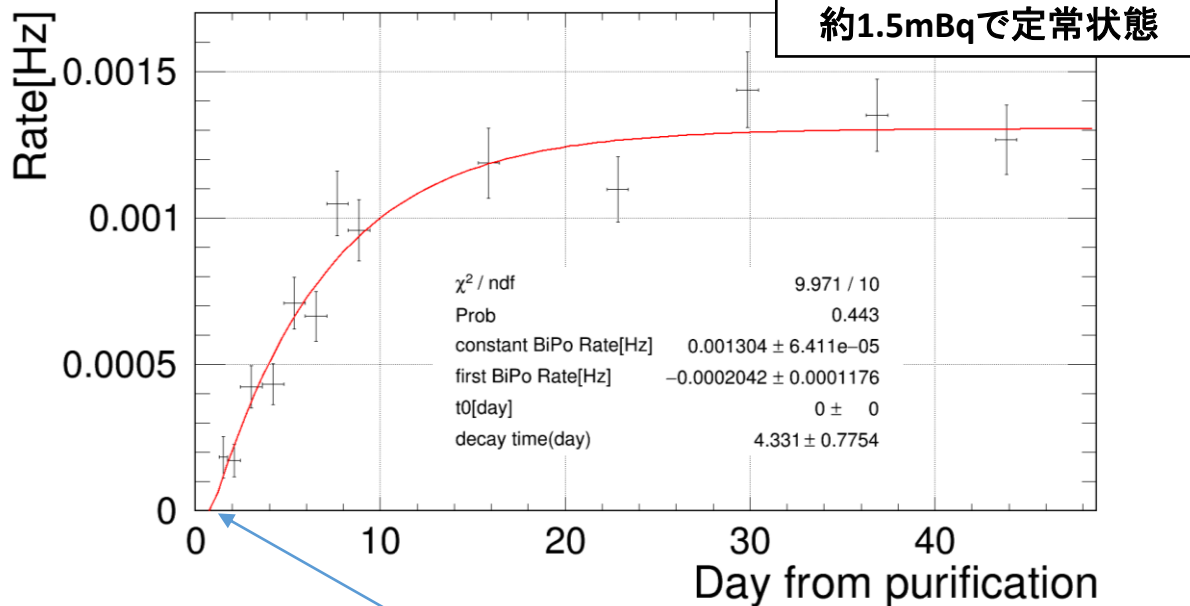
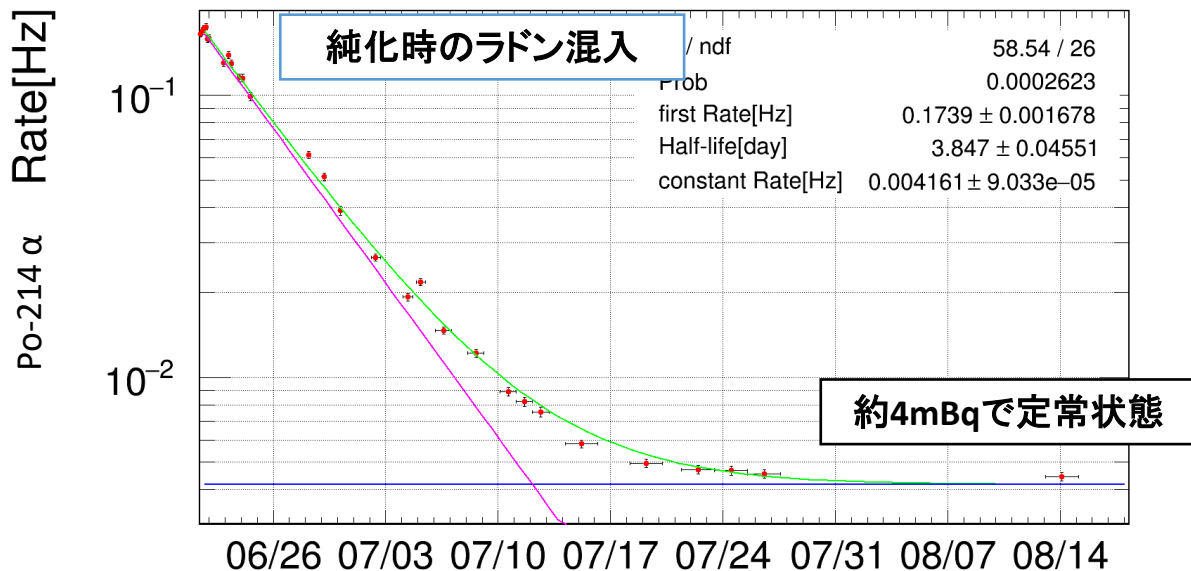
# 昨年度までの結果と問題点

- U系列の $\alpha$ 量を $^{214}\text{Bi}$ - $^{214}\text{Po}$  tagged eventにより見積もり
  - 初期 $\alpha$ 量: 液体シンチレータ純化により改善
  - 時間経過後の定常状態での $\alpha$ 量: 検出器部材の選定により改善
- 残ったBG源(約1.5 mBq)はステンレス容器自身からのRnのしみ出しによるものと推測



2019年10月

2020年3月



AICHAM測定,液シン解析よりBG源(ガラス窓)を特定  
 →ガラス窓を石英に交換

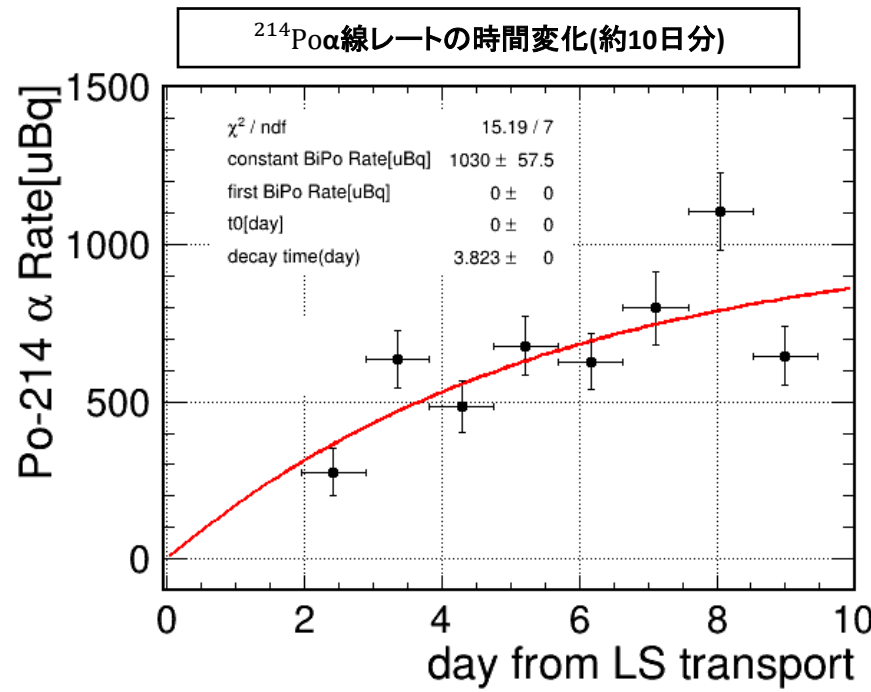
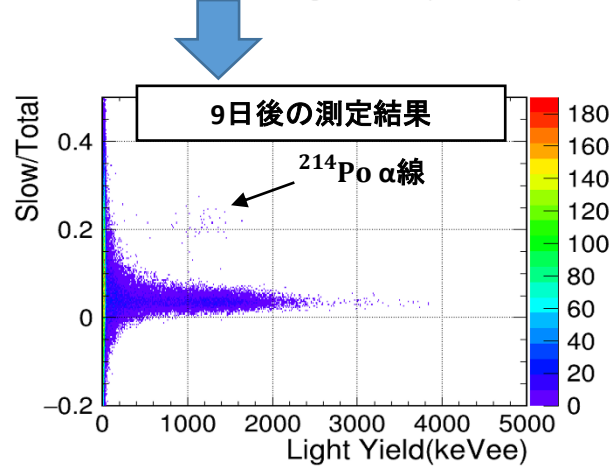
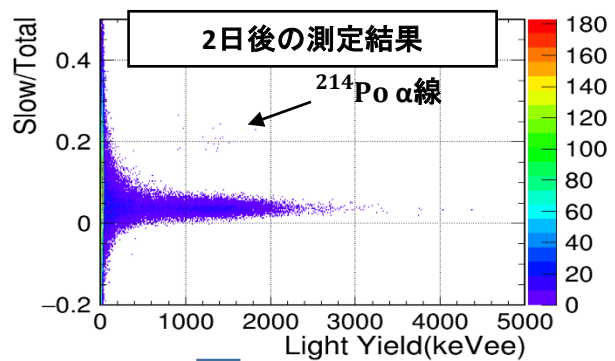
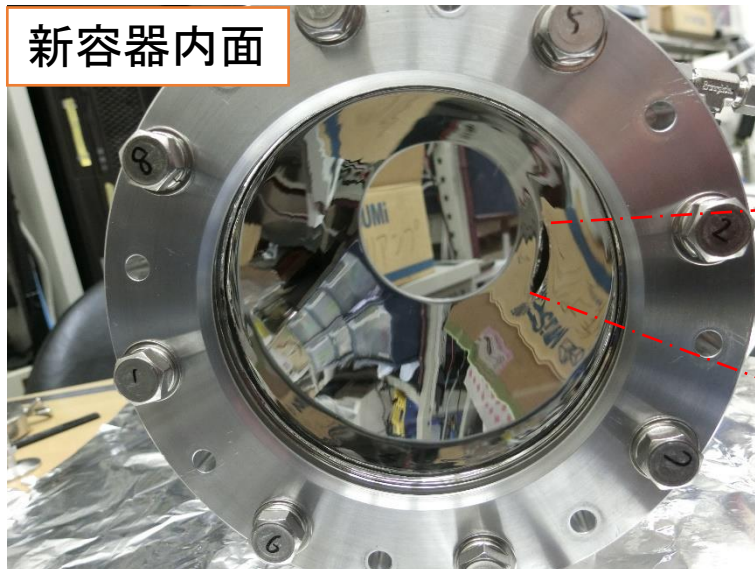
純化系改良→  
 初期純度改善

# 今年度の進捗

80L Rn検出器: J. of Phys. Conf. Series 469 (2013) 012007, PTEP 2015, 033H01, etc.

- 内面にRn染み出しを抑制する電解複合研磨+溶接方法を施した検出器容器を作製。  
✓ 神岡ラドン検出器で使用されている技術
- 検出器形状を前年度のものと同じにしたため、体積・質量は変わらない。

□ 初期測定結果(2021年3月9日より測定開始)



→ 現段階では上昇中だが約1.0mBqで収まると予想。

一定の改善(1.5mBq→1.0mBq)は見られたがもっと減らしたい。  
○ 溶接面は電解研磨が難しいのでそこからのしみ出しが原因?  
○ 製作後に内面が汚染?

- 今後
- データの統計をためて原因箇所を特定し次に反映する。
  - 一定の低減はできていそうなので中性子量を算出したい。

# 純水/Gd水溶液中の 超高感度ラドン( $^{222}\text{Rn}$ )測定

スライド提供 (池田)

# 純水/Gd水溶液中のラドン( $^{222}\text{Rn}$ )濃度測定

水チェレンコフ型検出器において、純水/Gd水溶液中の  $^{222}\text{Rn}$  が重大なバックグラウンド(BG)になる。

- **SK-Gd:** 物理目標の1つである太陽ニュートリノエネルギースペクトルの物質効果によるゆがみ測定には、エネルギーしきい値を下げる努力が重要。 $^{222}\text{Rn}$  の子孫核である  $^{214}\text{Bi}$  (ベータ崩壊Q値 3.3 MeV) がしきい値の低減を妨げている。SK-Gd になったので、Gd水溶液中でのRn測定が必要。
- **XENONnT:** 中性子の veto にGd 水溶液チェレンコフ検出器 (nVeto) が使われている。主に、dead time を下げるために Rn BG の低減は重要。

## 純水/Gd水溶液中の Rn 測定に必要な感度

- SK-Gdからの返水, nVeto:  $\sim 10 \text{ mBq/m}^3$
- SK-Gdへの送水、SK-Gdタンク内の水:  $< 1 \text{ mBq/m}^3$

→ **活性炭トラップを用いた濃縮型水Rn検出器の自動化 (池田)**

$\sim 0.1 \text{ mBq/m}^3$  の感度で測定可能。測定にかかる省力化が課題。

→ **連続型水ラドン検出器 (竹田)**

$< 1 \text{ mBq/m}^3$  の達成が課題。

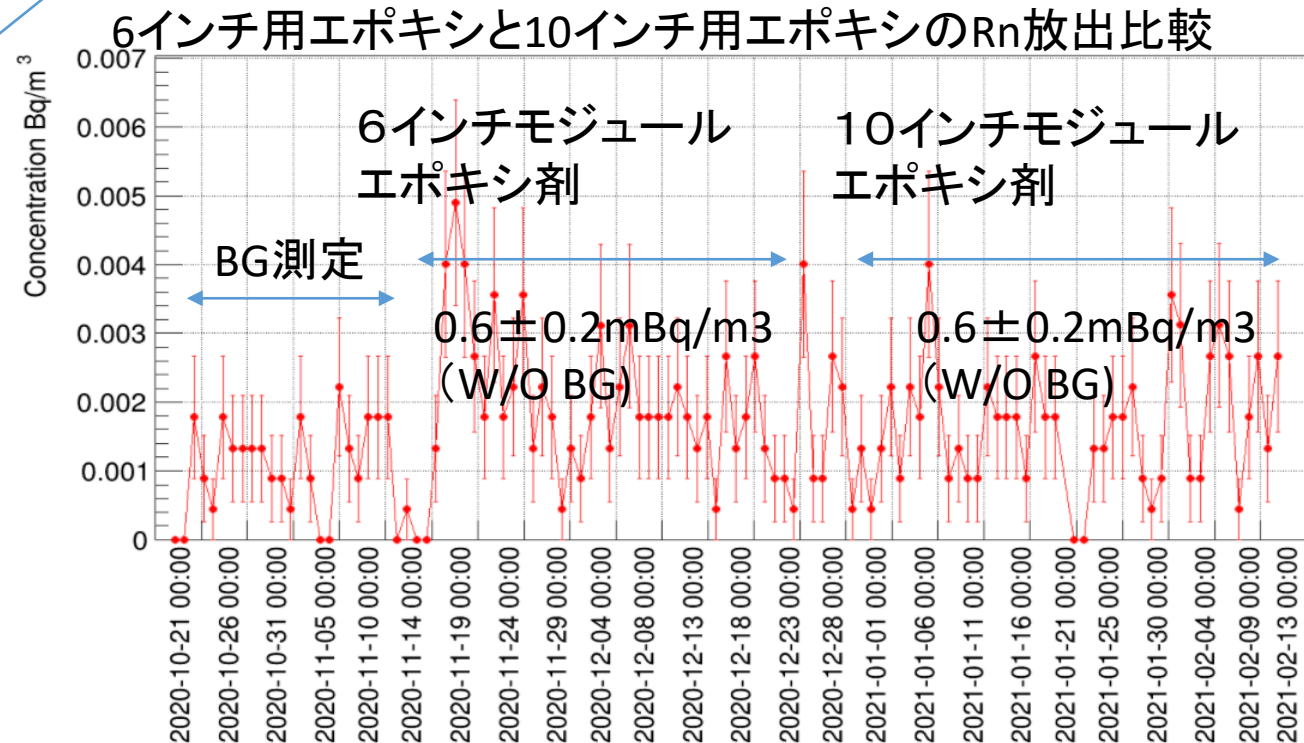
# 膜脱気(Rn除去)モジュールの改良

- 硫酸Gd水耐性を強化したモジュール
  - 1本を試験的にSK装置に投入した。  
今のところ問題なく稼働中
- 大型10インチモジュールの検討
  - 6インチモジュールの倍以上の流量に対応
    - トータルコスト削減の可能性
  - 10インチ用部材の評価(Rn、溶出)
  - 今後さらに大型のモジュール開発について低BG部材の選定協力
- 壊れやすい箇所の改良
  - 樹脂製継手が割れやすい。
  - クランプする部分のみSUSにした継手を作成。  
→今後試験予定



6インチモジュール  
SKで60本使用中

10インチモジュール  
既存する最大のもの



# 濃縮ラドン測定セットアップの自動化

- 濃縮ラドン測定

- 液中ラドンの高感度測定  
1mBq/m<sup>3</sup>以下の感度
- 濃縮工程
  - 液中のラドンを分離し冷却活性炭に吸着
- 脱離工程
  - 冷却活性炭を加熱しラドンを高感度ラドン計に導入。

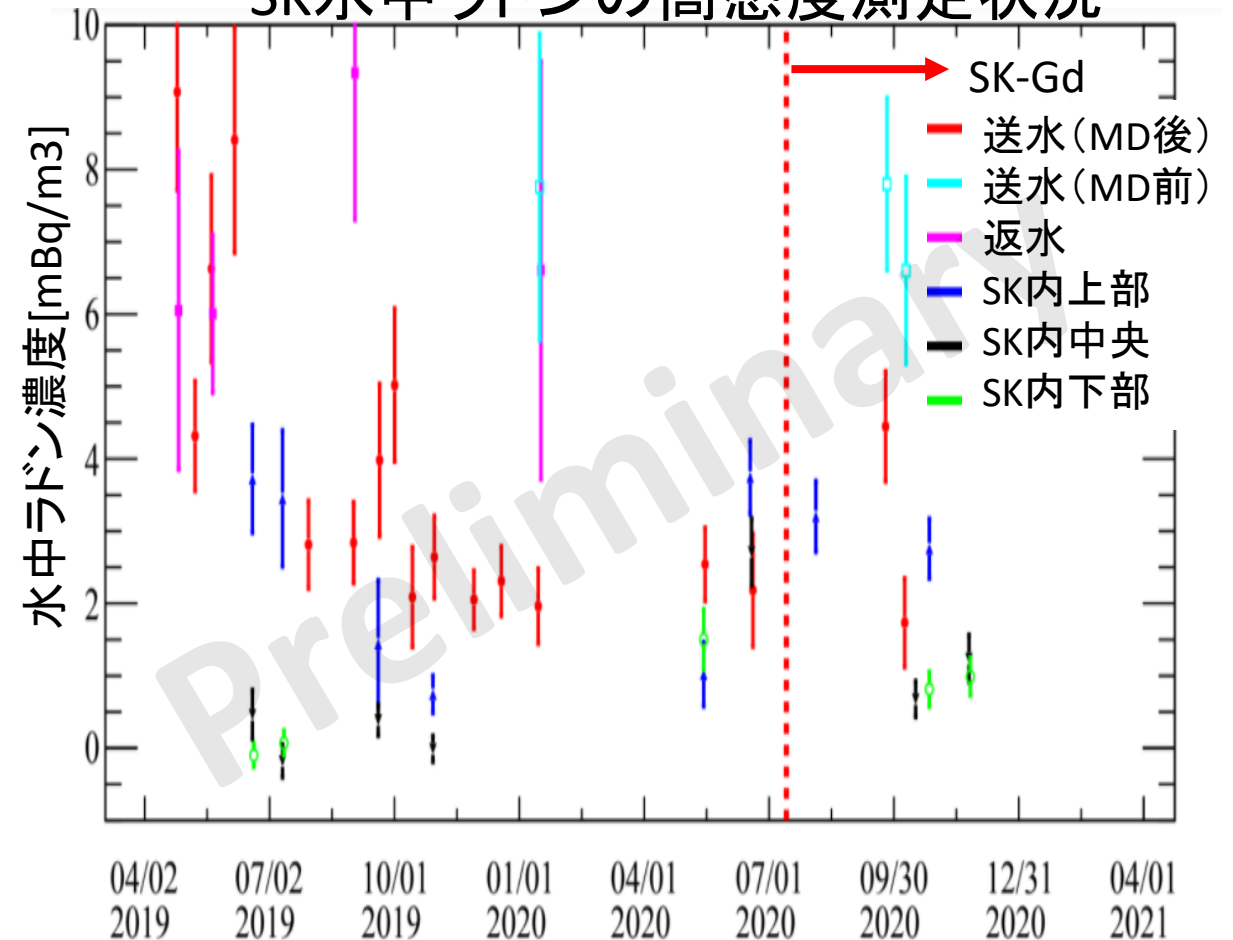
- 現状は手動で工程の切り替え

- 人手が必要
- 月に一回程度の測定(右図)

- 自動化して作業を簡素化。

- 週一回コンスタントに測定を行えるようにする。
- 手順ミスをできるだけ減らす。

SK水中ラドンの高感度測定状況

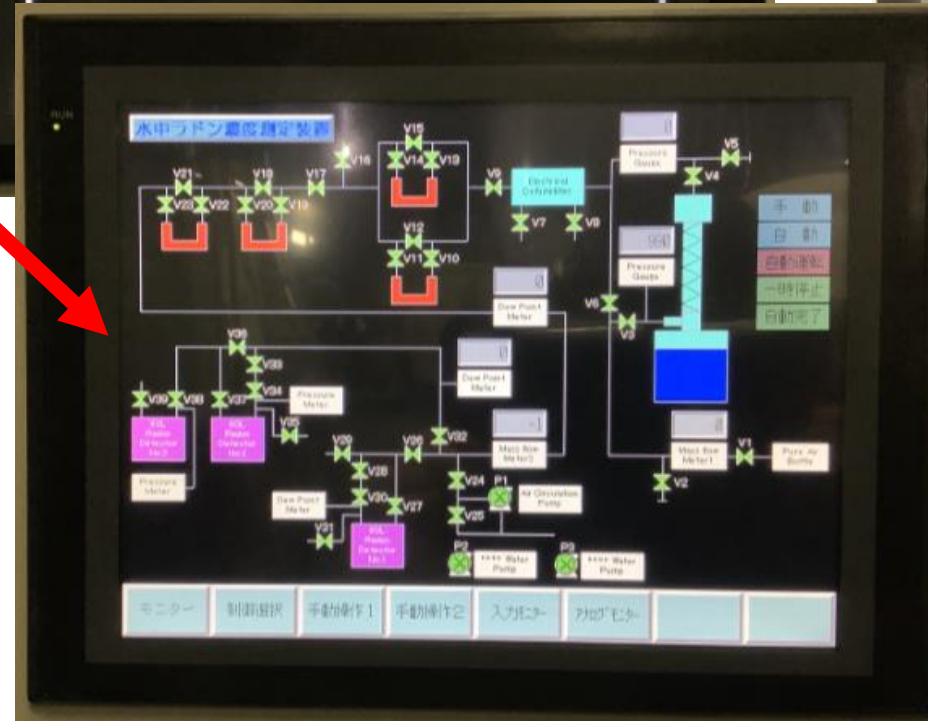
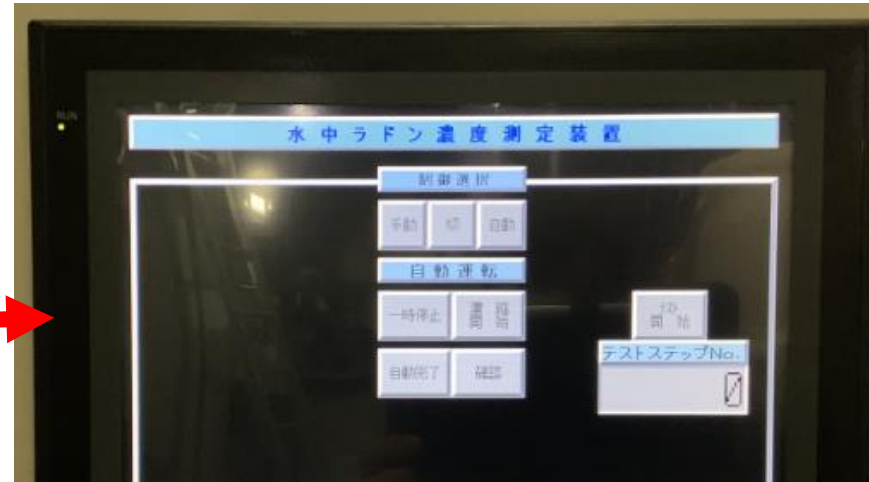


Plot by 兼村さん、岡本さん



# 濃縮ラドン測定セットアップの自動化

岡本、Guillaume、池田

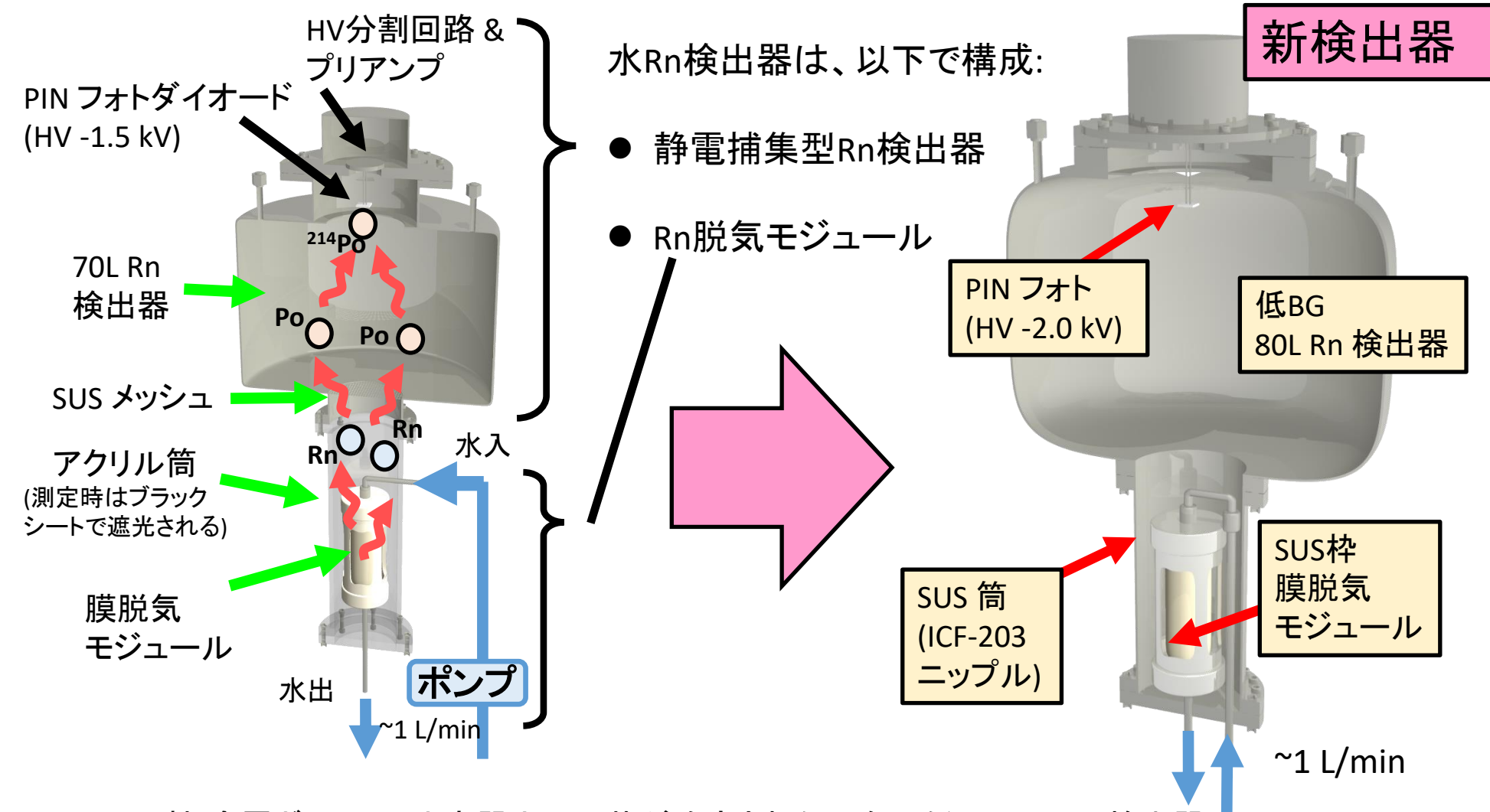


制御プログラム開発の様子

今年度:一連のプログラム作成  
(右写真)

来年度:活性炭冷却・加熱の自動化  
バルブ・配管接続  
パラメータを調整  
実際の測定開始(秋?)

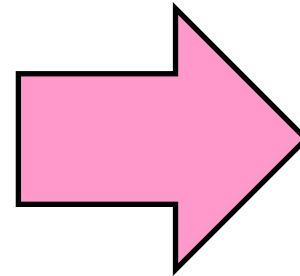
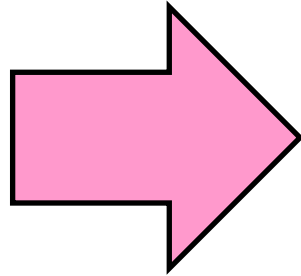
# 既存の水Rn検出器の改良



- シール性(金属ガスケット)と容器内面形状が改良された既存の低 BG 80L Rn 検出器 (K. Hosokawa et al., PTEP (2015) 933H01) を利用。
- アクリル製だった膜脱気モジュール領域の筒を、SUS製の筒と金属ガスケット (ICF規格) に交換。
- 膜脱気モジュール自体のハウジングをSUS製に改良。

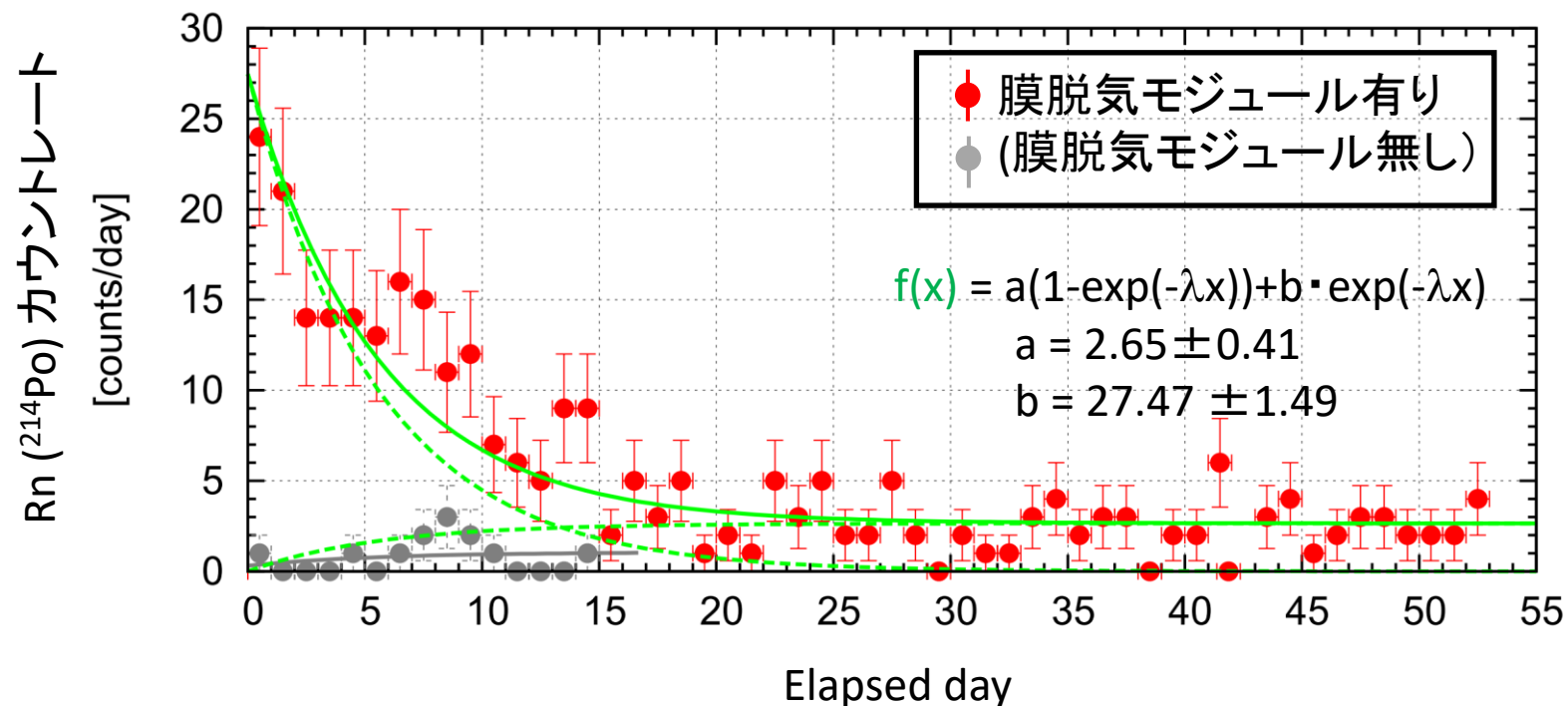
# 膜脱気モジュールの改良

- ハウジング部分を段階を経て、完全にSUS化。
- 内部に残っているO-ring は、Gd耐性がありかつラドン放出量の少ないパーフロ製に変更。



# 改良後のBGLレベル

- 装置全体(膜脱気モジュール有)のBGLレベル:  $2.65 \pm 0.41$  [counts/day] (乾燥空气中)  
→ 検出効率に既存の値を仮定し、実際の測定は高湿度化で行われることを考慮すると、 $0.4 \sim 0.9$  mBq/m<sup>3</sup> に相当し、当初目標であった  $< 1$  mBq/m<sup>3</sup> を達成。
- 膜脱気モジュールを取り外した時のBGLレベルに比べるとまだ高い。  
→ 膜脱気モジュールの各部品をスクリーニングすることで、さらなる低BG化を目指す。



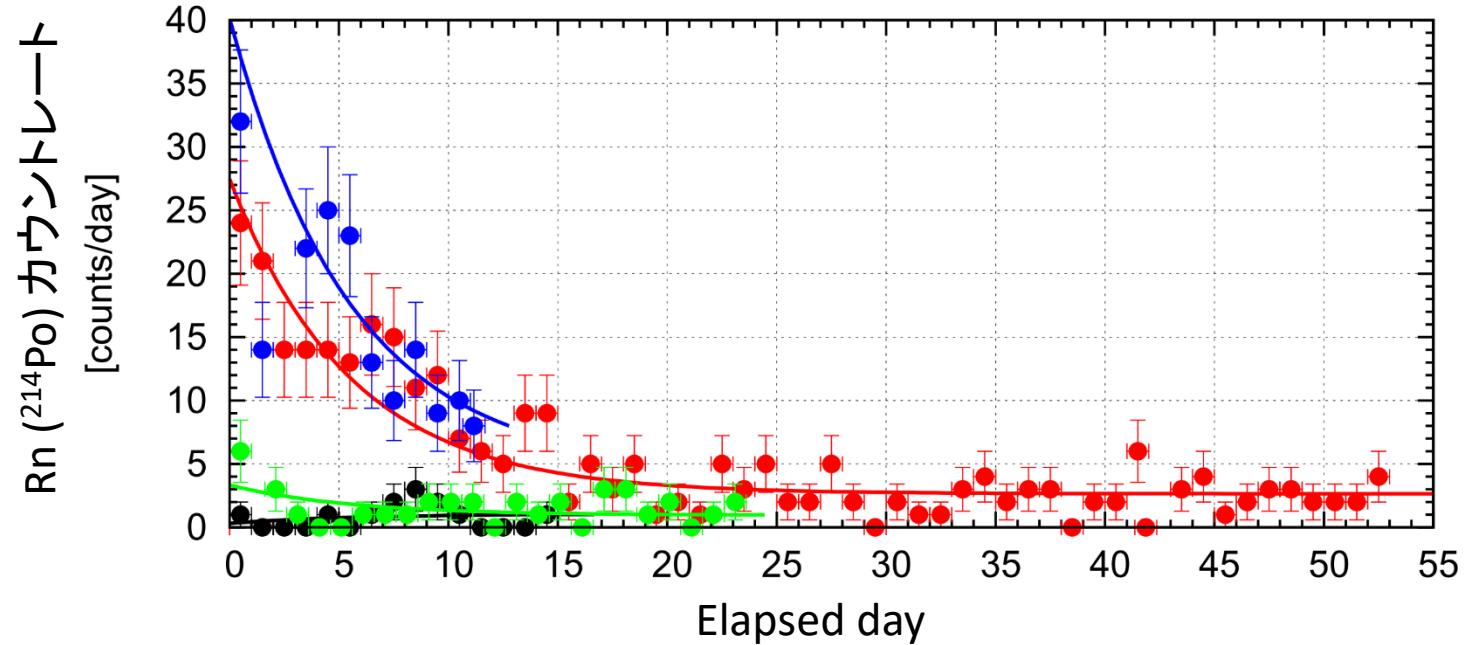
# 膜脱気モジュール各部件のスクリーニング

- 製造元のDIC株式会社の協力で、各部品ごとのRn放出率測定を遂行中



# 部品測定結果

- 去年の3月に測定した**検出器BG**と、去年の9月～11月にかけて測定した**膜脱気モジュール全体**の結果と比較した。
- **部品AとB**は合わせて測定した。結果は、エラーの範囲内でBGと有意な違いは見られなかった。(今後高統計測定はしてみたい)
- **部品C**は、明らかにRnカウントレートが高い。まだ崩壊途中なので、測定を継続中。主要な寄与は、部品Cである可能性。



項目	比	測定日	カウント/day
BG (膜脱気モジュール無し)	—	2020/3/2-16	0.95 ± 0.36
BG (膜脱気モジュール有り)	—	2020/9/25-11/16	2.65 ± 0.41
部品A + B	1	2021/2/9-3/3	1.08 ± 0.36
部品C	1.1	2021/3/11-	4.47 ± 2.18

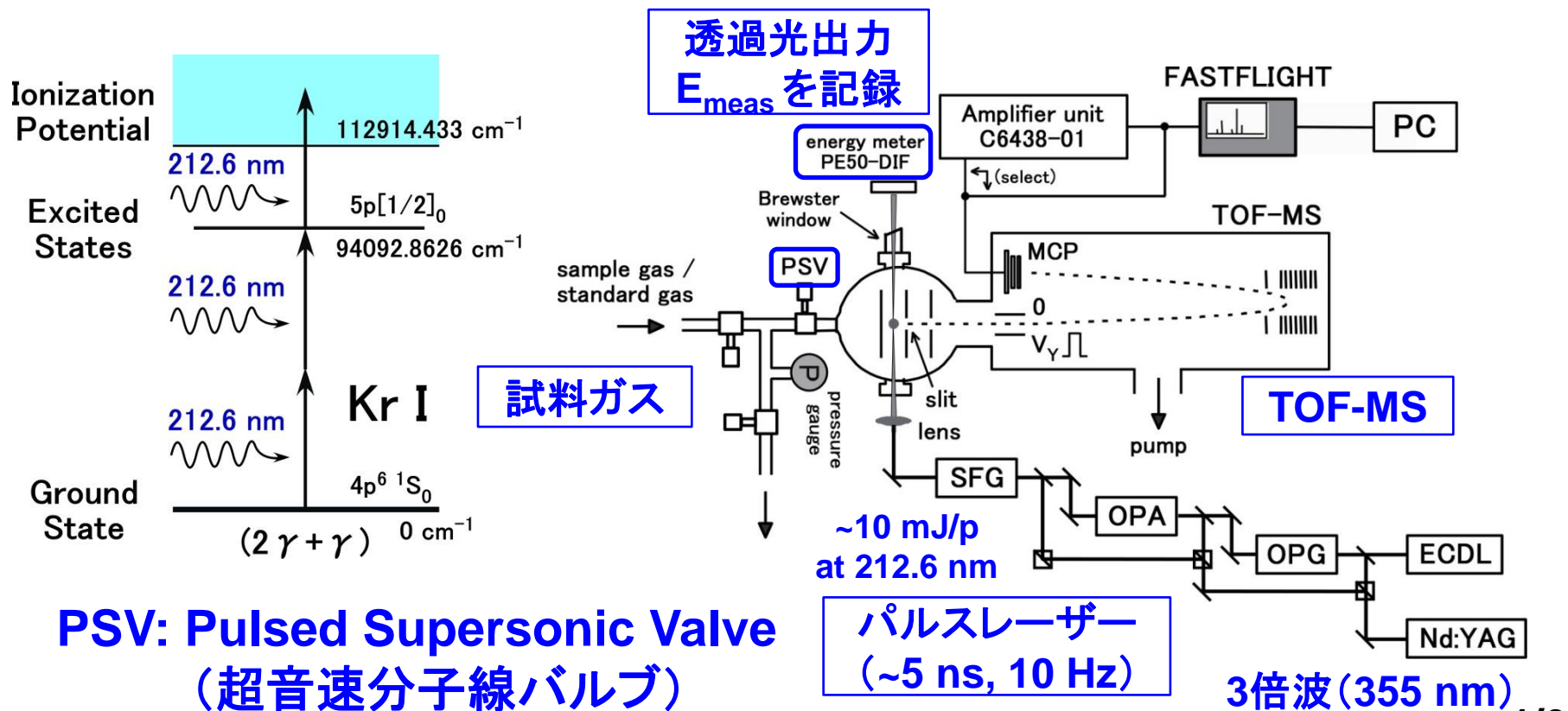
→ BGのさらなる低減と並行して、現時点での水ラドン検出器の検出効率を測定して、来年度初頭頃にはSK-Gd に実戦投入。

# レーザーイオン化による $Ar \cdot Xe$ 中からの $Kr$ 除去

スライド提供 (岩田・伊藤)

# (レーザー①) Ar or Xe中のKr共鳴イオン化

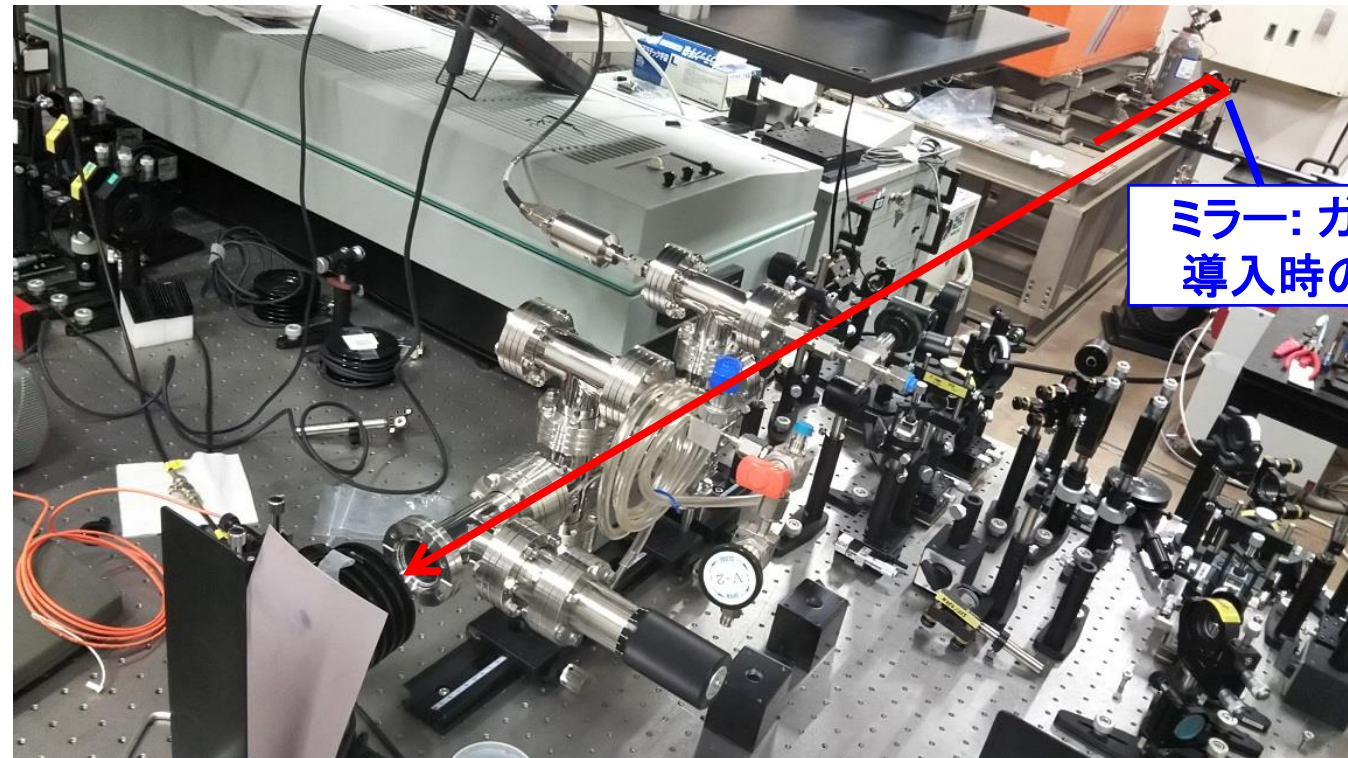
- 半導体レーザー(ECDL)の波長を微調整し、212.6 nm生成
- 波長 212.6 nm パルスレーザー (~10 mJ/p, ~5 ns, 10 Hz) で Kr を  $(2\gamma+\gamma)$  共鳴イオン化  $\Rightarrow$  検出限界 ~sub-ppt 実績





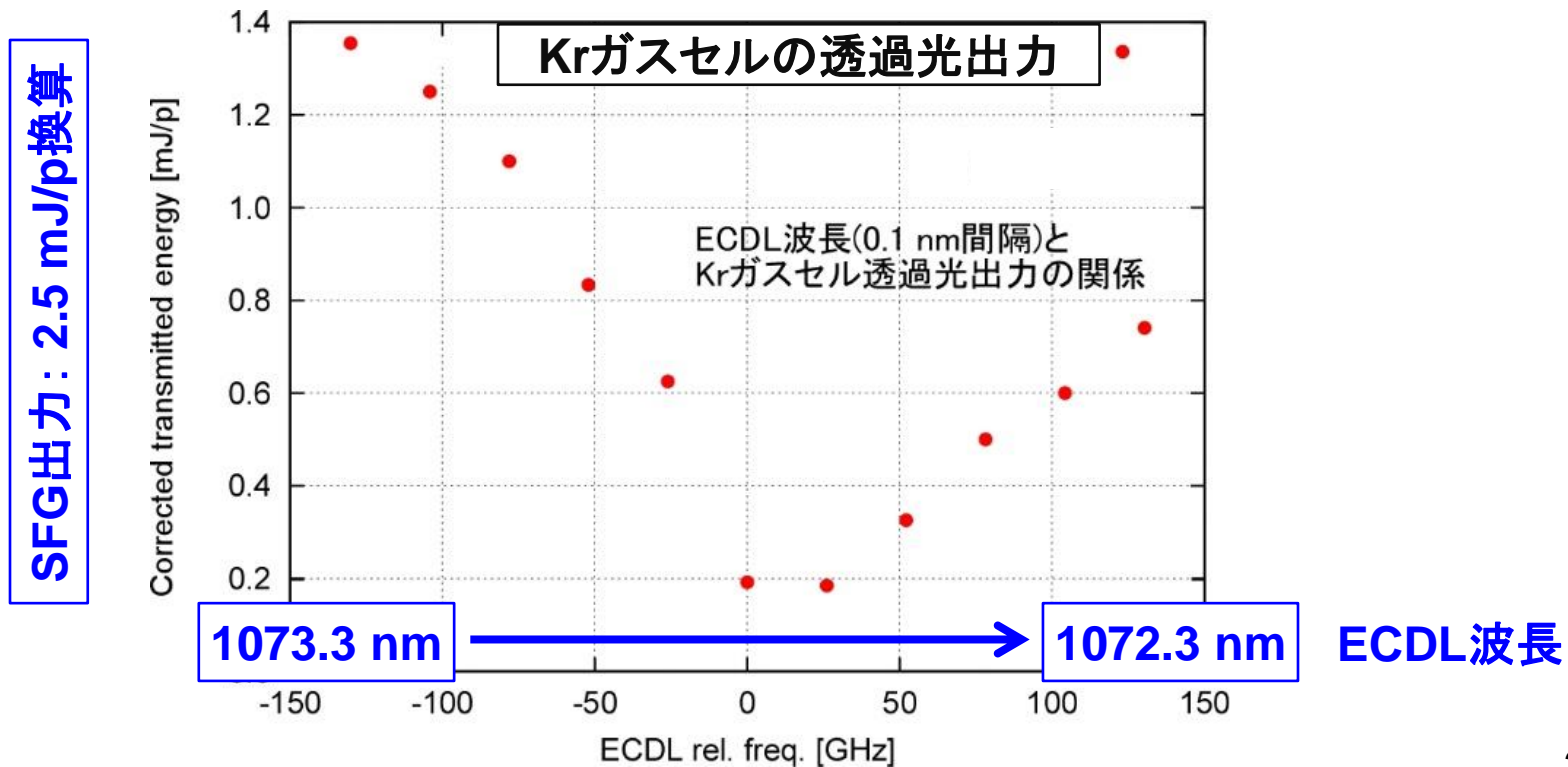
# (レーザー①) Krガスセルによる吸収(1)

- 2020年1月に装置一式をJAEA大洗から東大東海キャンパスに移設後、光学系を再構築 ⇒ 現状、2-3 mJ/p at 212.6 nm
- Kr 2 $\gamma$ 共鳴波長に対応するECDL波長を確認するため、まずKrガスセル(~110 kPa)による紫外光吸収を観測



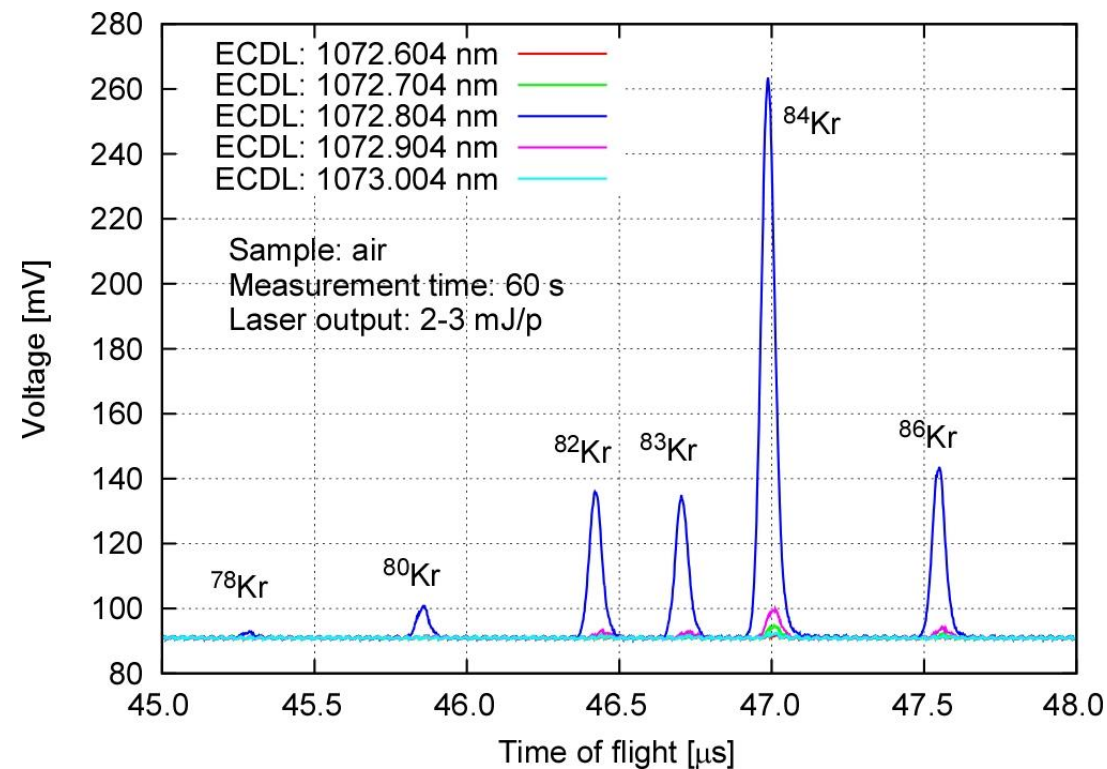
# (レーザー①) Krガスセルによる吸収(2)

- Kr 2 $\gamma$ 共鳴波長に相当するECDL波長の計算値: ~1072.8 nm
- ECDL波長を1073.3 nm~1072.3 nmで0.1 nm刻みで変えて212 nm出力をf = 300 mmレンズで集光・透過光出力を測定
- 計算値付近で、確かに吸収量最大を確認



# (レーザー①) 空气中KrのTOF信号観測

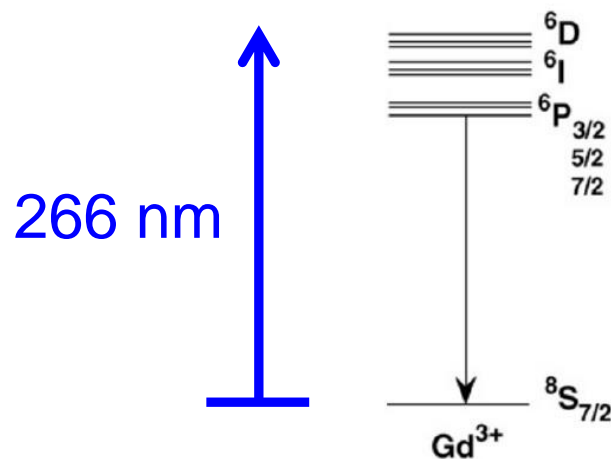
- ECDL波長: 1072.604 nm ~ 1073.004 nmの5通りで比較  
⇒ 計算通り、1072.804 nmでKr<sup>+</sup>信号が最大
- 移設前より1桁程度低い ⇒ Nd:YAGレーザーの調整を業者に依頼後、TOF電極形状の変更・Arガスラインの構築を予定



レーザーイオン化による  
水中 $^{3+}\text{Gd}$ の発光事象の解明

# (レーザー②) 水中Gd<sup>3+</sup>発光事象の解明

- Gd<sup>3+</sup>:  $^6P_{7/2} \rightarrow ^8S_{7/2}$  (312 nm)
- Nd:YAG 第4高調波 (266 nm, ~ns) 励起による発光を分光器 ⇒ PMT 検出



Nd:YAGパルスレーザー  
(4倍波, 波長266 nm)

寿命の文献値はあるが、発光スペクトルで未解明な現象あり

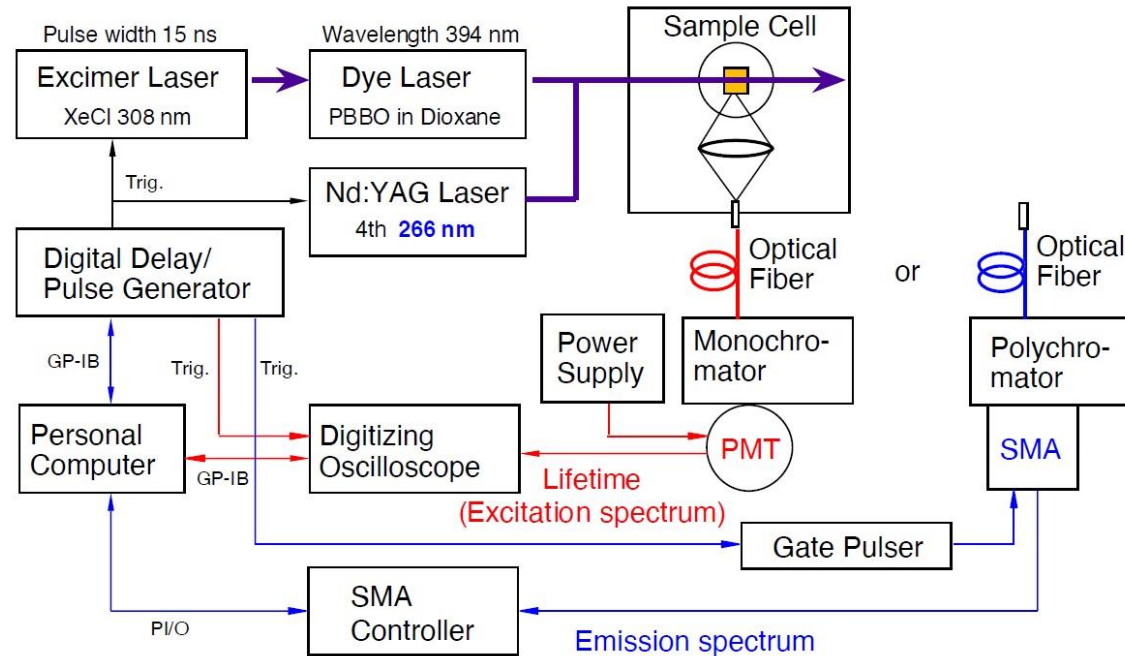
Table 2  
Luminescence lifetimes ( $\mu$ s) of the Eu<sup>3+</sup>, Gd<sup>3+</sup> and Tb<sup>3+</sup> ions in aqueous solution as a function of the azide ion concentration

[N <sub>3</sub> <sup>-</sup> ] (mol l <sup>-1</sup> )	Eu <sup>3+</sup> (H <sub>2</sub> O)	Eu <sup>3+</sup> (D <sub>2</sub> O)	Gd <sup>3+</sup> (H <sub>2</sub> O)	Tb <sup>3+</sup> (H <sub>2</sub> O)
0	112.4±0.7	4020.0±6.0	1480.0±20.0	442.0±2.0
0.00001			1380.0±14.2	
0.00005			1025.0±11.6	
0.0001		3880.0±5.0	850.0±11.2	
0.0002			548.0±9.3	
0.0004			215.0±3.2	
0.0006			170.0±2.6	
0.0008			152.0±2.1	
0.0010		911.0±3.6	136.0±1.4	
0.05		191.3±0.9		
0.01	111.4±0.6	95.4±0.7		441.0±1.8
0.02	94.1±0.4	50.3±0.6		435.4±1.8
0.04	44.8±0.4	31.5±0.3		416.7±1.4
0.06	31.6±0.2	22.0±0.2		367.7±1.5
0.08	24.1±0.2			313.8±1.1
0.10	20.5±0.1	16.0±0.1		244.2±1.2
0.15				139.7±1.4
0.20	11.6±0.1			92.0±0.0
0.30				65.2±0.6
0.40				50.0±0.6
0.50	6.34±0.06			34.7±0.5

Stefan Lis et al., Journal of Alloys and Compounds **323-324** (2001) 125-127.

# (レーザー②) Gd<sup>3+</sup>発光分光セットアップの構築

- 前回の研究会(2020年6月4日)で、JAEA木村さんの講演で説明のあったセットアップ(下図)を参考に構築中



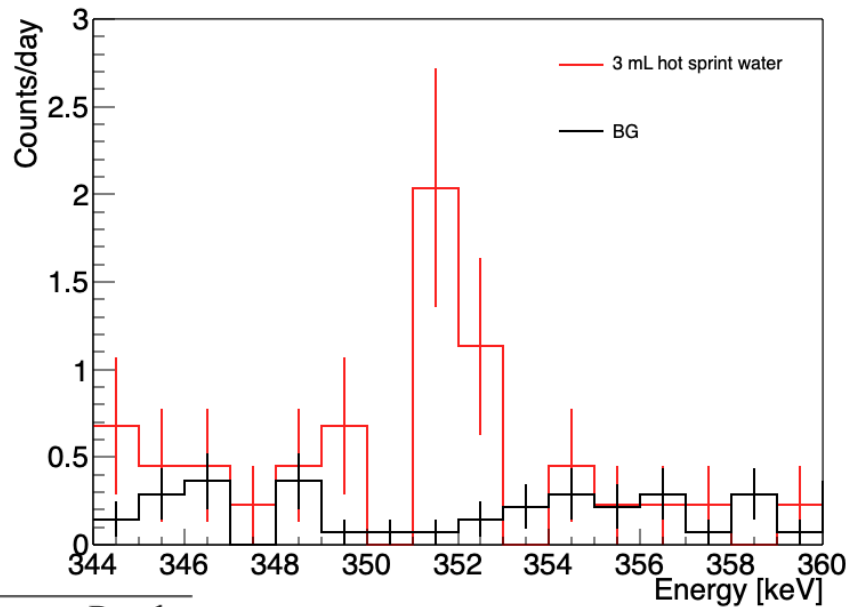
「第六回極低放射能技術」研究会:木村貴海「ランタノイドの発光寿命について」の発表スライドから引用

# Ge検出器を用いた高感度スクリーニング・ データベース

スライド提供 (市村)

# ラジウム吸着ディスク論文

高純度硫酸ガドリニウム水溶液(濃度5%)にラジウム濃度が既知の水を3mL (0.33 mBq)加えて通液したディスクの352keV(<sup>214</sup>Pb, B.R. 37.6%)近傍のスペクトルとRI評価結果



Hot spring water (mL)	Expected amount of <sup>226</sup> Ra (mBq)	Results (mBq)
3	0.33 <sup>+0.10</sup> <sub>-0.04</sub>	0.4±0.2
100	11.2 <sup>+3.4</sup> <sub>-1.2</sub>	11.3 <sup>+3.4</sup> <sub>-1.1</sub>



測定結果はラジウム濃度が既知の水から予測される値と一致

## Improved method for measuring low-concentration radium and its application to the Super-Kamiokande Gadolinium project

S. Ito<sup>1,\*</sup>, K. Ichimura<sup>2,3,4,\*</sup>, Y. Takaku<sup>5</sup>, K. Abe<sup>2,3</sup>, M. Harada<sup>1</sup>, M. Ikeda<sup>2,3</sup>, H. Ito<sup>2</sup>, Y. Kishimoto<sup>2,3,4</sup>, Y. Nakajima<sup>2,3</sup>, T. Okada<sup>2</sup>, and H. Sekiya<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Okayama University, Faculty of Science, Okayama 700-8530, Japan

<sup>2</sup>Kamioka Observatory, Institute for Cosmic Ray Research, University of Tokyo, Kamioka, Gifu 506-1205, Japan

<sup>3</sup>Kavli Institute for the Physics and Mathematics of the Universe (WPI), the University of Tokyo, Kashiwa, Chiba, 277-8582, Japan

<sup>4</sup>Present address: Research Center for Neutrino Science, Tohoku University, Sendai 980-8578, Japan

<sup>5</sup>Institute for Environmental Sciences, Department of Radioecology, Aomori, 039-3212, Japan

\*E-mail: s-ito@okayama-u.ac.jp, ichimura@awa.tohoku.ac.jp

硫酸ガドリニウム500gを含む5Lの水溶液(=濃度5%)を通液したディスクの測定結果

Lot No.	Concentration of <sup>226</sup> Ra (mBq kg <sup>-1</sup> )	Measurement time (d)
1	< 0.4	6.0
2	< 0.3	11.0
3	< 0.3	8.8
4	< 0.2	9.6
5	< 0.5	8.7
6	< 0.2	13.0

- 前回研究会で報告した結果をまとめた論文がpublish <https://doi.org/10.1093/ptep/ptaa105>
- ラジウム吸着ディスク(~100%の回収率) + LabCのGe → < 0.5 mBq/kgの感度で硫酸ガドリニウム八水和物中の<sup>226</sup>Raを定量可能に



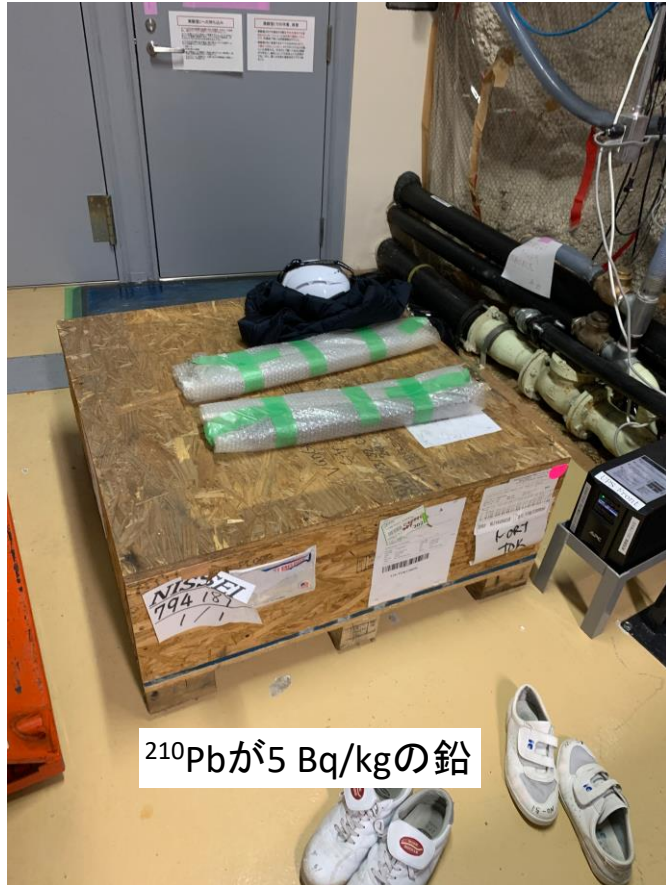
# 新HPGe検出器導入

相対効率測定中の写真



- 部材のスクリーニング（伊藤博士さん）
- 2021年2月末に神岡LabCにて納品
- 性能評価：分解能(FWHM : 0.81 keV @ 122 keV, 1.74 keV@1332 keV)・相対効率(82.5%) : 仕様値よりも良い値
- 夏頃までに遮蔽体込みで稼働できるように準備中

# 遮蔽体などの準備状況



- 210Pbが5 Bq/kgの鉛：検出器の内側2.5cmを覆う
- 210Pbが35 Bq/kgの鉛（約90ブロック確保）：5Bq/kgの鉛の外側で検出器に近い箇所に設置予定
- さらに外側の鉛ブロックも準備中
- 鉛の内側で用いる銅ブロックや、データ収集系で用いるFADCなども購入済み

# データベース

[http://133.11.143.254:5984/db\\_test/\\_design/persephone/index.html](http://133.11.143.254:5984/db_test/_design/persephone/index.html) : 宇宙線研サーバー : 神岡VPNへの接続が必要

[https://lowbgdb.lowbg.org/couchdb/couchdb/\\_design/persephone/index.html](https://lowbgdb.lowbg.org/couchdb/couchdb/_design/persephone/index.html) : ミラーサイト@東北大

(アカデミックサーバーからで、現在はパスワードも必要 : お問い合わせ下さい)

Persephone  
Material Assay Database

Search Submit Edit Settings Info Environment Login

Please read through "Info"-tag above before you use this database.  
Please refer this database (and original publications) when you use some numbers in this database.  
J. Phys. Conf. Ser. 888, 012211 (2017)/AIP Conf. Proc. 1921, 040002 (2018)

ALL Download all

Group: XMASS, KAMLAND, NEWAGE, CANDLES

Material: PMT, BOLT, SUS, Cu  
検索したワード = ALL  
Total results: 226

Grouping	Name	Isotope	Amount	Isotope	Amount
▶ CANDLES	Al Myler Sample A	Th-232	0.057 Bq/kg		
▶ KamlAND	1401 30um (Toray Recycled Ny)			U	7e-11 g/g
▶ KamlAND	1401S 30um (Toray Unrecycled Ny)			U	6e-11 g/g
▶ KamlAND	Acrylic	Th	5e-11 g/g	U	8e-12 g/g
▶ KamlAND	Acrylic (Black)	Th	4.7e-11 g/g	U	4.1e-11 g/g
▶ KamlAND	AD76P1			U	1e-11 g/g
▶ KamlAND	Aron Alpha 201 adhesives	Th	5e-12 g/g	U	5e-12 g/g
▶ KamlAND	Aron Alpha 202 adhesives	Th	5e-12 g/g	U	5e-12 g/g
▶ KamlAND	Balloon glue	Th	2.3e-9 g/g	U	1.4e-9 g/g
▶ KamlAND	BHT	Th	5e-11 g/g	U	6e-12 g/g
▶ KamlAND	bis-MSB	Th	6e-11 g/g	U	4.8e-11 g/g
▶ KamlAND	BisMSB(Dojin)	Th	1e-10 g/g	U	2e-10 g/g
▶ KamlAND	Black Cable guide	Th	9e-9 g/g	U	4e-9 g/g
▶ KamlAND	Cables (teflon)	Th	5e-9 - 3e-8 g/g	U	1e-9 g/g
▶ KamlAND	Carbon fiber	Th	7e-12 g/g	U	2.4e-9 g/g
▶ KamlAND	Carbon fiber	Th	5e-9 g/g	U	8e-9 g/g
▶ KamlAND	Carbon fiber	Th	4e-9 g/g	U	1.9e-8 g/g

ミラーサイト@東北大

Persephone - Mozilla Firefox

localhost:5984/test/\_design/persephone/index.html

Persephone  
Material Assay Database

Search Submit Edit Settings Login

Persephone v2 - Display disclaimers - Learn more...  
Supported by AARM, KIT, LBNL, SMU & SJTU

Google Cloud Platform上

- これまで : 東大や東北大でのサーバー上で稼働
- Google Cloud Platformなどのクラウドコンピューティングサービス上でも動くことを確認
- (ドメイン取得などが必要だが) アカデミックサーバーでなくても見れるように出来そう

# まとめ

- $^3\text{He}$ カウンターを用いた地下坑内での中性子測定
  - 地下坑内での中性子束モニターシステムが構築された。
  - 季節変動、水等の影響の詳細 studyが進行中。
- 液体シンチレータを用いた環境中性子測定
  - Rn BG (現在:  $\sim 1\text{mBq}$ ) のさらなる低減。
  - 現時点での中性子量算出を行う。
- 高感度水Rn検出器の開発
  - 濃縮型: 自動化パネルの一連のプログラムが完成。来年度秋頃の稼働を目指す。
  - 連続型: 当初のBGレベル( $< 1\text{mBq}/\text{m}^3$ )は達成。さらなるBG低減と来年度初頭頃の実戦投入を目指す。
- レーザーイオン化によるAr・XeからのKr除去
  - Krガスセルによる吸収の確認、TOF信号の観測完了。TOF電極形状最適化・ガスライン構築を行う。
- 水中 $^{3+}\text{Gd}$ 発光事象の解明
  - 発光分光セットアップの構築中。
- Ge検出器による高感度スクリーニング・データベースの開発
  - 新HPGe の動作チェック完了。遮蔽体の準備中。
  - データベースの commodity 化。

*Backup*

# Lab-Bの 環境中性子フラックス

岩盤中の水素含有量が上がる  
 →実験室に輸送される熱中性子の量が増え  
 高速中性子の量が減る  
 →Setup Aのレート増、Setup Bのレート減

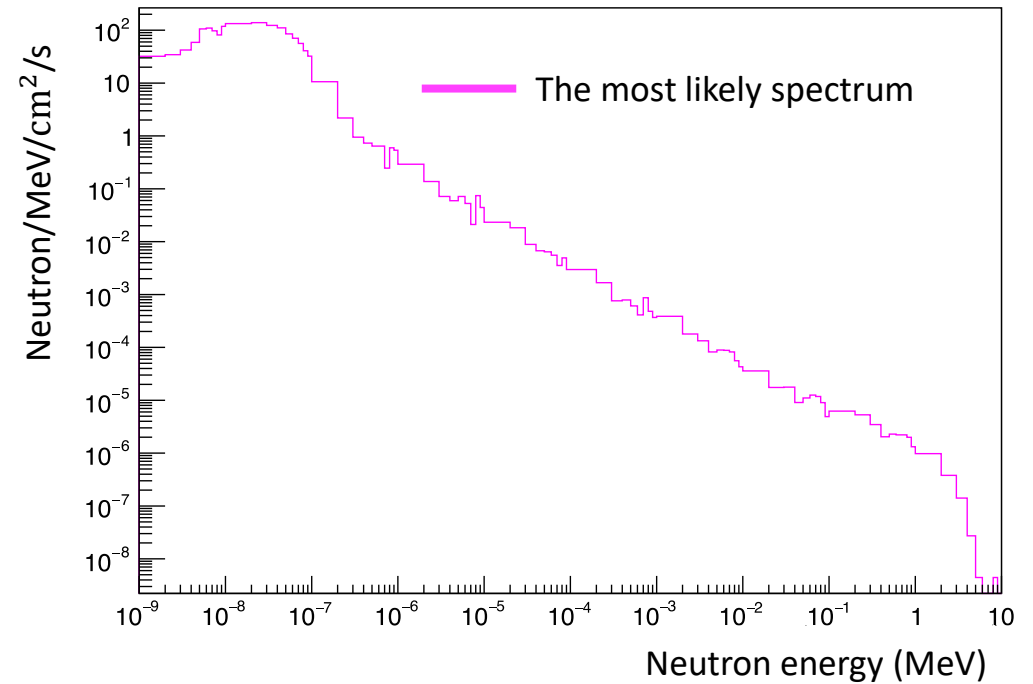
表 5.3: 岩盤中の水素含有量と測定レートの関係

% of Hydrogen	$R_{A,G4}/R_{B,G4}$
0	0.946
1	2.521
2	3.452
3	4.650

測定におけるレートの比 $R_A/R_B=3.817$   
 →岩盤中の水素含有量は2%であると推定

表 5.5: Lab-B における環境中性子フラックス

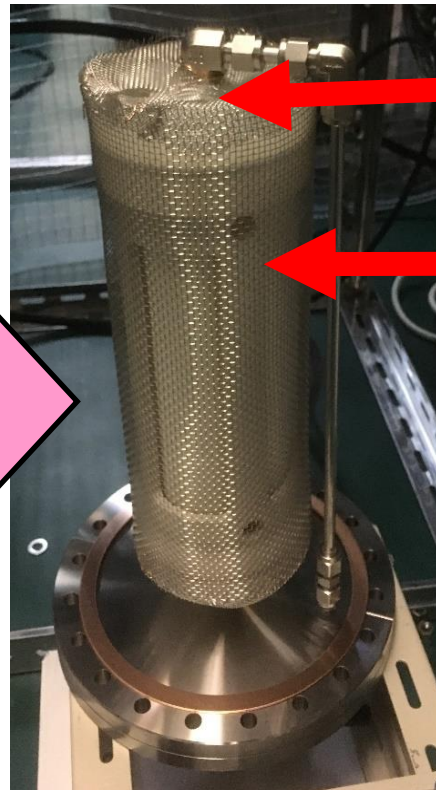
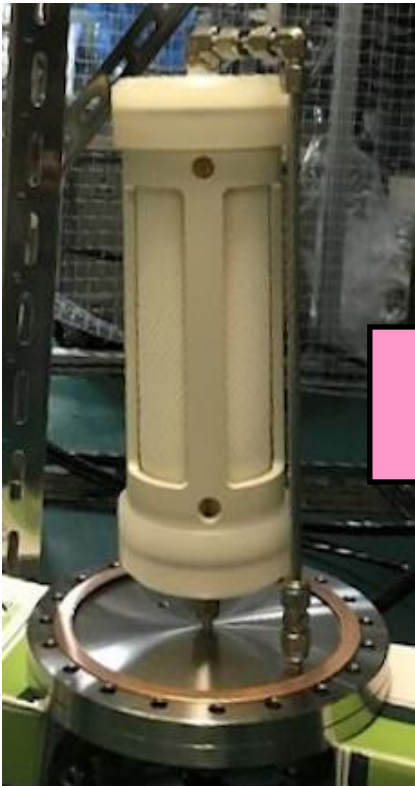
Energy range	Flux $\Phi(\times 10^{-6}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1})$
< 0.5 eV	10.06
0.5 eV ~ 1 keV	2.79
1 keV ~ 1 MeV	5.15
$\geq 1$ MeV	1.53
Total	19.54



トータルフラックスで規格化した  
 環境中性子のエネルギースペクトル

# 電場シールド

膜脱気モジュールの周りに電場シールドを付けることで、チャージアップに起因すると思われるノイズを除去。



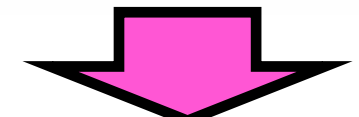
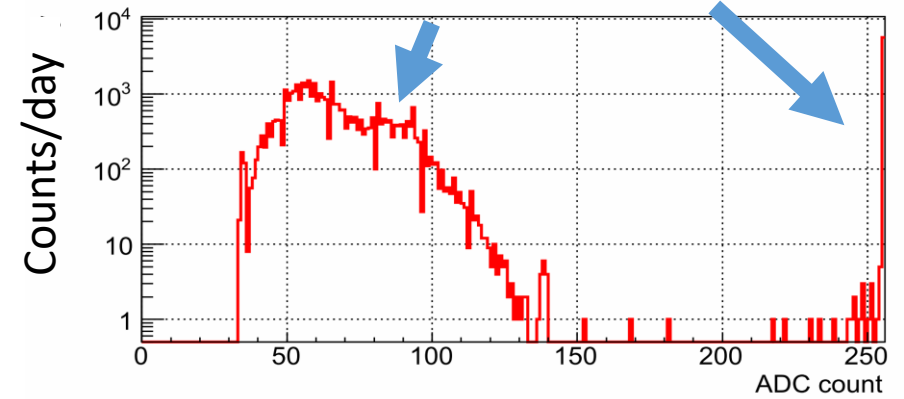
上面と下面:  
20 mesh  
(1.3 mm pitch)

側面: 10 mesh  
(2.5 mm pitch)

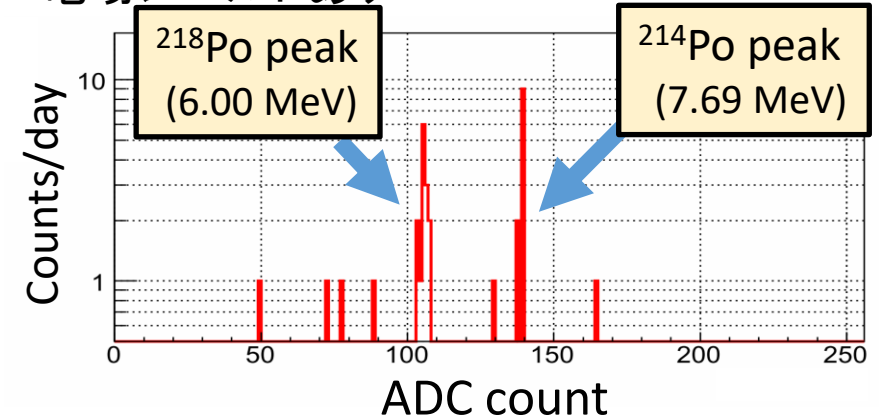


ステンレスメッシュシート

- 電場シールド無し  
HVをかけてから徐々にノイズが増え始めた。



- 電場シールドあり

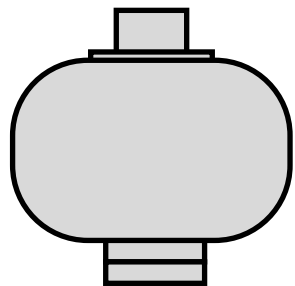


→  $^{214}\text{Po}$  peak のカウント数からRn濃度を求める

# 検出器を構成する部品ごとのBG測定

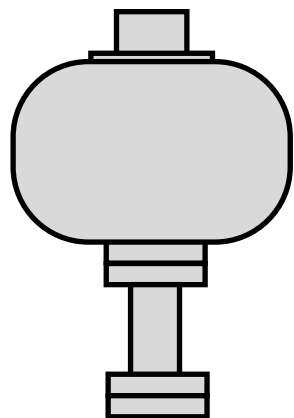
- 検出器BGレベルの測定に関して、どの部品からのBGが多いのかを異なるセットアップで測定して調べた。
- 測定は、検出器内を乾燥純空気(G1)でパージして封じきることで行われた。

#1



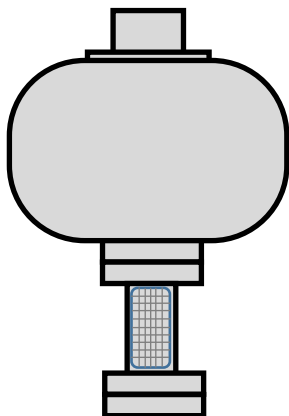
80 L 検出器のみ

#2



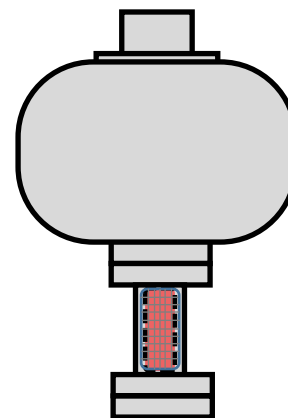
#1 にステンレス製  
ICF 203 ニップル  
(w/o EP) を付けた

#3



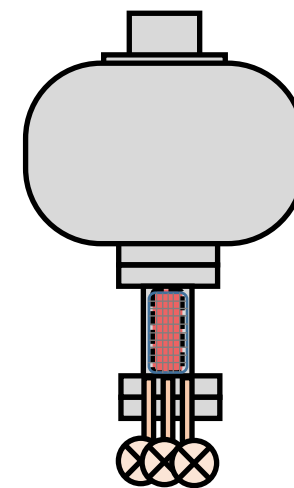
#2 に電場シールド  
を入れた。

#4



#2 に静电シールド付き  
膜脱気モジュールを入  
れた。  
blankフランジで封止。

#5 (水Rn計とし  
ての最終形)



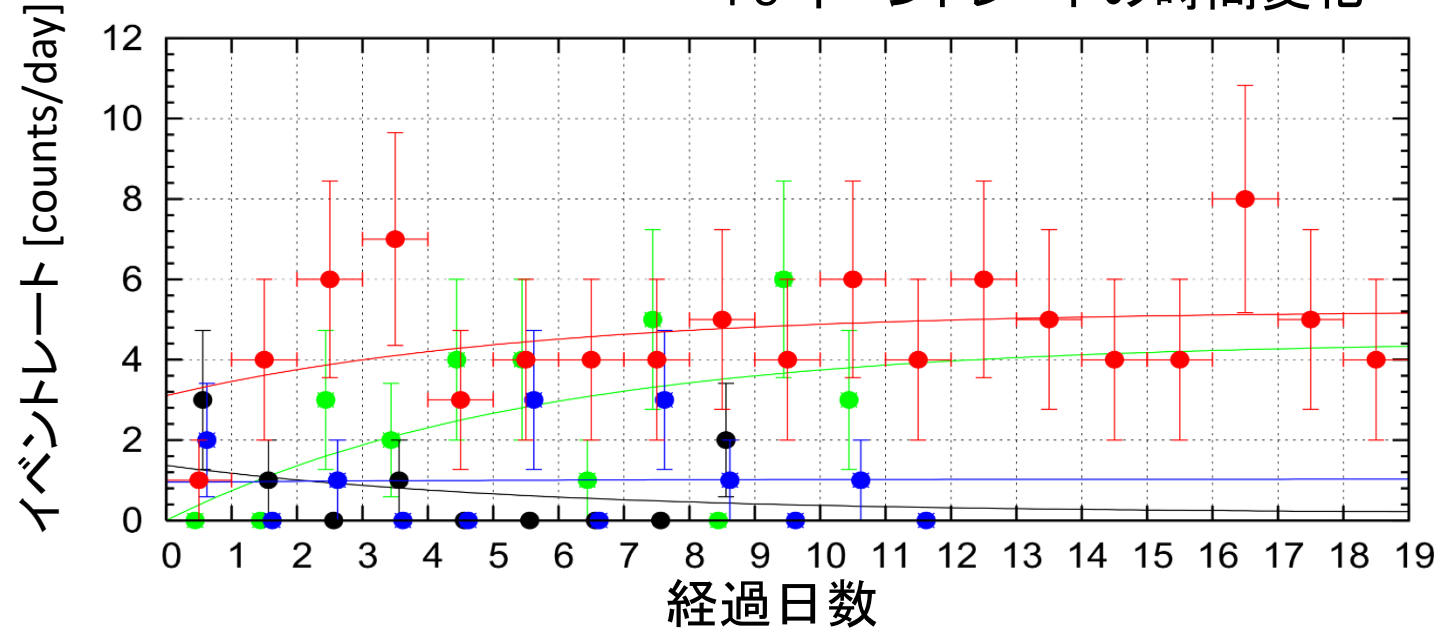
#4 のblankフランジ  
をパイプ付きフランジ  
に交換。



# 測定結果

最終セットアップ(#5)でのBGLレベルは、**5.22 counts/day** (乾燥純空气中) だった。これは、低湿度中での測定であることと、既存の水ラドン計の efficiency を考慮すると、水Rn 計として使用される場合の BGLレベル、 $0.9 \sim 1.7 \text{ mBq/m}^3$  に相当する。

$^{214}\text{Po}$  イベントレートの時間変化



#	Setup					Date in 2020	Rate of $^{214}\text{Po}$ [counts/day]
	ICF ニップル (w/o EP)	電場シールド	膜脱気モジュール	ICF flange (blank)	ICF flange (with pipe)		
1				○		3/02–3/16	$0.80 \pm 0.23$
2	○			○		4/10–4/17	$0.18 \pm 1.06$
3	○	○		○		4/17–4/29	$1.04 \pm 0.78$
4	○	○	○	○		3/27–4/06	$4.48 \pm 0.88$
5	○	○	○		○	5/08–5/27	$5.22 \pm 0.50$

→ PTEP (2015) 933H01 と無矛盾

ICFニップル、電場シールドからの有意な増加は無し

**膜脱気モジュールが主なBG源**