

# ハイパーカミオカンデに向けた銀ゼオライト を用いたラドン除去装置の開発と自動化

神戸大学大学院 理学研究科物理学専攻 粒子物理学研究室

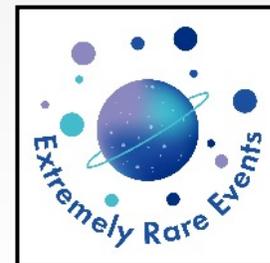
修士1年 番原大登

地下から解き明かす宇宙の歴史と物質の進化  
Unraveling the History of the Universe and Matter Evolution with Underground Physics

文部科学省 科学研究費助成事業 学術変革領域研究(A)

極稀事象で探る宇宙物質の起源と進化

新たな宇宙物質観創生のフロンティア



# Introduction

SK：地下に設置された世界最大の水チェレンコフ宇宙素粒子観測装置  
 →ニュートリノ振動の発見(2015年ノーベル物理学賞)  
 HK：2028年観測開始予定 総体積はSKの約5倍  
 →新たな発見の期待



←SK内部

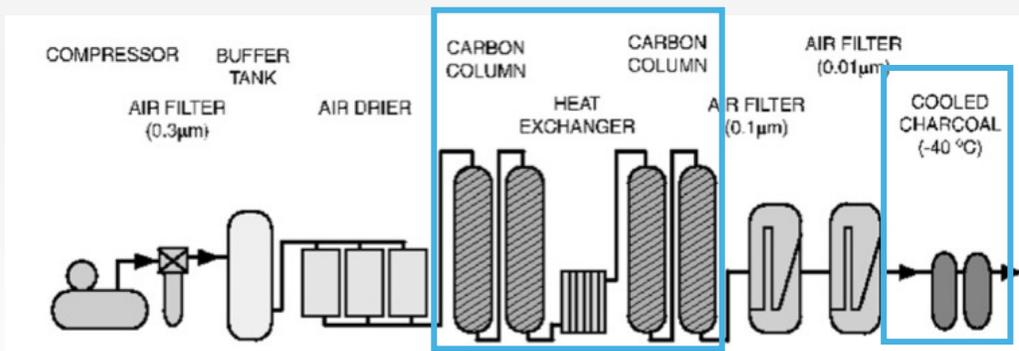


HK →

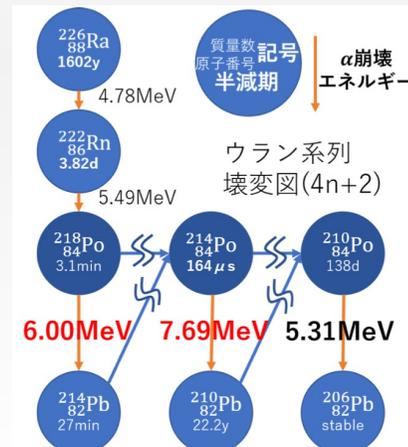
地下実験の空気層にはラドン-222( $^{222}\text{Rn}$ )が存在

- 水中に溶け出しバックグラウンド(BG)となる
- SKでは8m<sup>3</sup>の活性炭を用いたRn除去システムを使用
- HKでは50Bq/m<sup>3</sup> → 1mBq/m<sup>3</sup>以下のRn除去空気の供給が必要  
 つまり、 $^{222}\text{Rn}$ 濃度を1/50000にする必要あり

SKの活性炭システムをそのままスケールすると大きすぎる → HK用のシステム必須



SKでは常温活性炭と冷却活性炭でRnを吸着



$^{222}\text{Rn}$ の崩壊

# 先行研究

**銀ゼオライト**が空気中で高いRn吸着があると報告

Rn吸着の指標としてRn吸着係数(K)を使う

(粒状活性炭  $K=4.96$  [m<sup>3</sup>/kg])

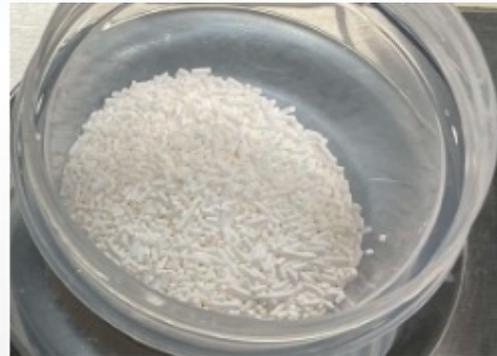
冷却活性炭  $K=379$  [m<sup>3</sup>/kg])

$$K = \frac{FR \times RT}{m} \text{ [m}^3\text{/kg]}$$

*FR*: 空気流量

*RT*: 保持時間

*m*: 質量



銀ゼオライトペレット  
(1mm×2mm)

試料	<i>RT</i> [day]	<i>K</i> [m <sup>3</sup> /kg]
3AgFER (-70°C)	2.65 ± 0.02	573 ± 4
3AgFER (-90°C)	11.97 ± 0.06	2563 ± 14
8AgFER-B (-90°C)	30.12 ± 0.37	<u>6506 ± 81</u>
8AgFER-D (-90°C)	21.38 ± 0.16	4618 ± 35

銀ゼオライトは活性炭より大きなRn吸着がある▶特に**8Ag-FER-B**



**HKに向け、銀ゼオライト(8Ag-FER-B)を使ったよりコンパクトで精度の高いRn除去システムを構築する!**

# ラドン除去試験について



HKに向けて、最終的に実績のあるSKのラドン除去装置の処理能力を3倍に増強する計画

(本番)

流量：300L/min(SKと同様のコンプレッサー使用)

銀ゼオライト：4000g

➢ この条件で $^{222}\text{Rn}$ 濃度が1/50000 となる計算

➢ このシステムをHKでは3つ導入予定

本実験はその予備試験に当たる→今回は**15L/min**

銀ゼオライト(8Ag-FER-B:4000g) カラム  
 除湿用ゼオライト(A-4 HA:3756g) カラム



3方弁



2方弁



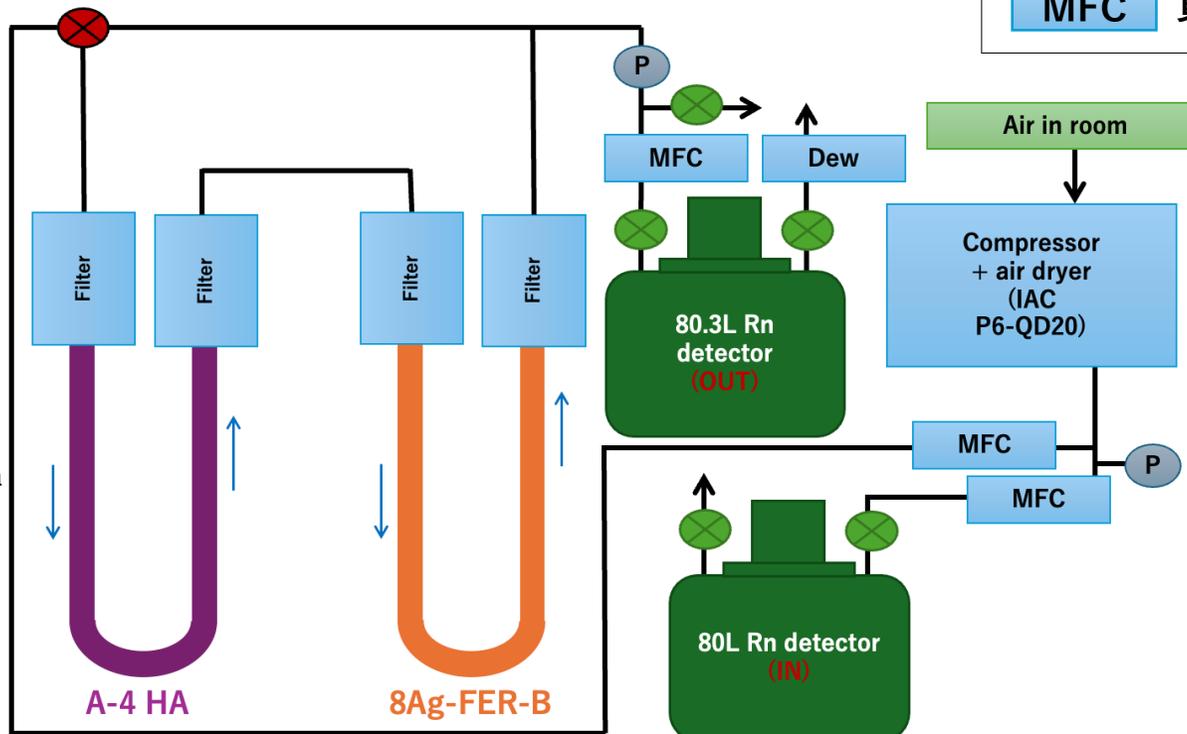
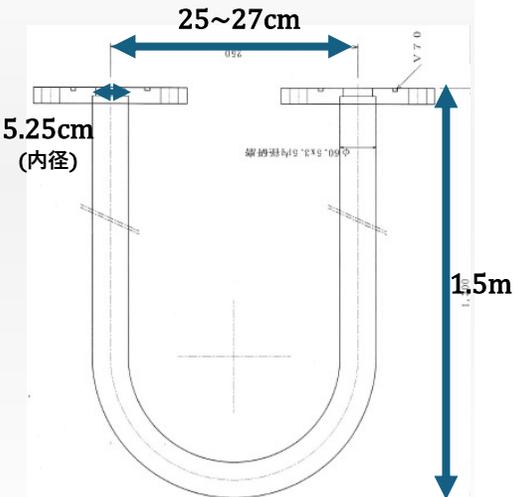
圧力計



露点計



質量流量制御装置



## 手順

1. A-4 HA ベーキング
2. 8Ag-FER-B ベーキング
3. 実験室の空気を取り込む
4.  $^{214}\text{Po}$ のcount/dayをラドン検出器(IN/OUT)で比較

# 結果

・ 銀セオライト通過前

$^{214}\text{Po}$  : 30,000 to 40,000 count/day



大きく減少

・ 銀ゼオライト通過後

$^{214}\text{Po}$  :  $0.32 \pm 0.08$  count/day

・ ラドン検出器のBG(純空気を充填し測定)

$^{214}\text{Po}$  :  $3.58 \pm 0.29$  count/day

ラドン検出器のBG以下のカウント数を  
50日間継続

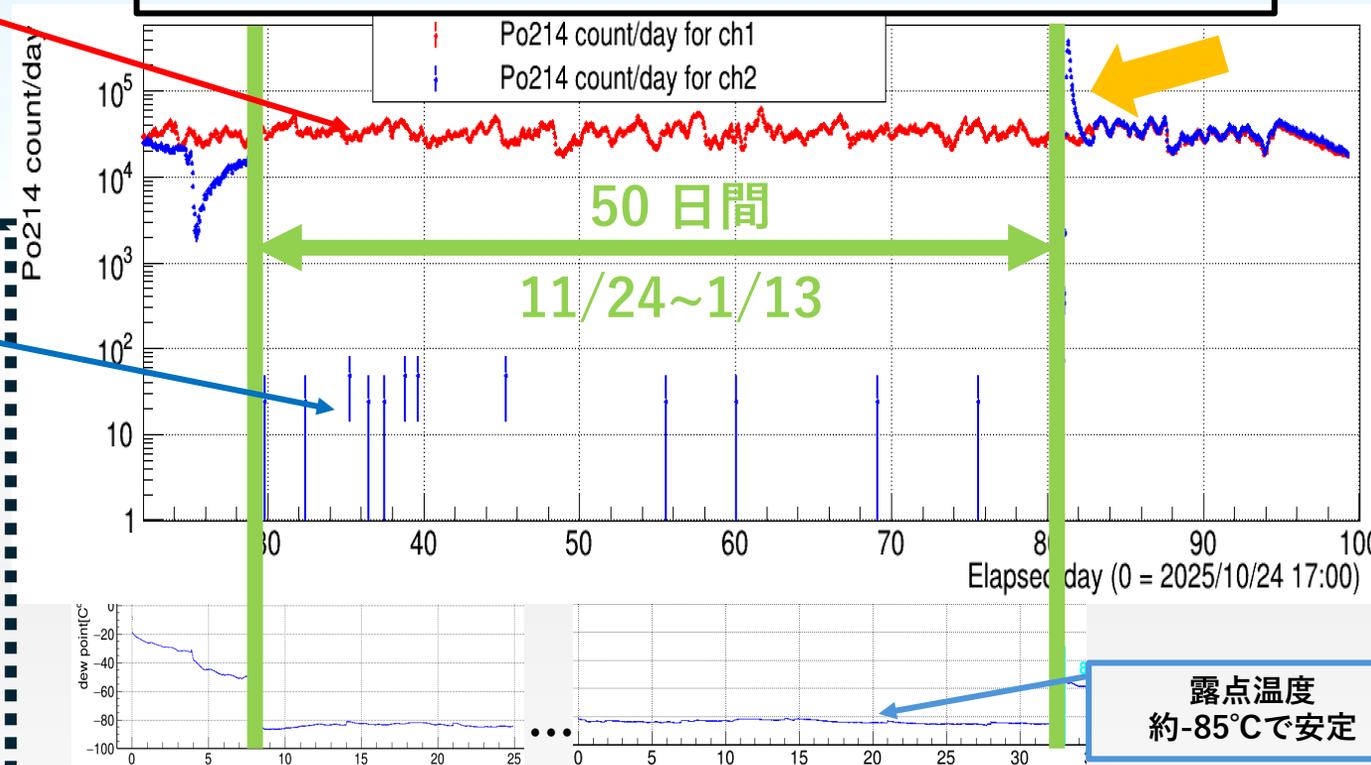
## ラドン除去試験の結果

(上図 縦： $^{214}\text{Po}$  count/day 横：経過時間)

Red : 銀セオライト通過前

Blue : 銀ゼオライト通過後

(下図 縦：露点温度 横：経過時間)



50日間測定後、試験を中断した。ベーキング直後に吸着されていたラドンの放出が確認でき、期待通り銀ゼオライトでラドンを保持し続けていたことが確認できた。

# 解析と展望

・ 銀ゼオライト通過後  
 $^{214}\text{Po}$  :  $0.32 \pm 0.08$  count/day



$0.16 \pm 0.04$  mBq/m<sup>3</sup> < 1mBq/m<sup>3</sup>

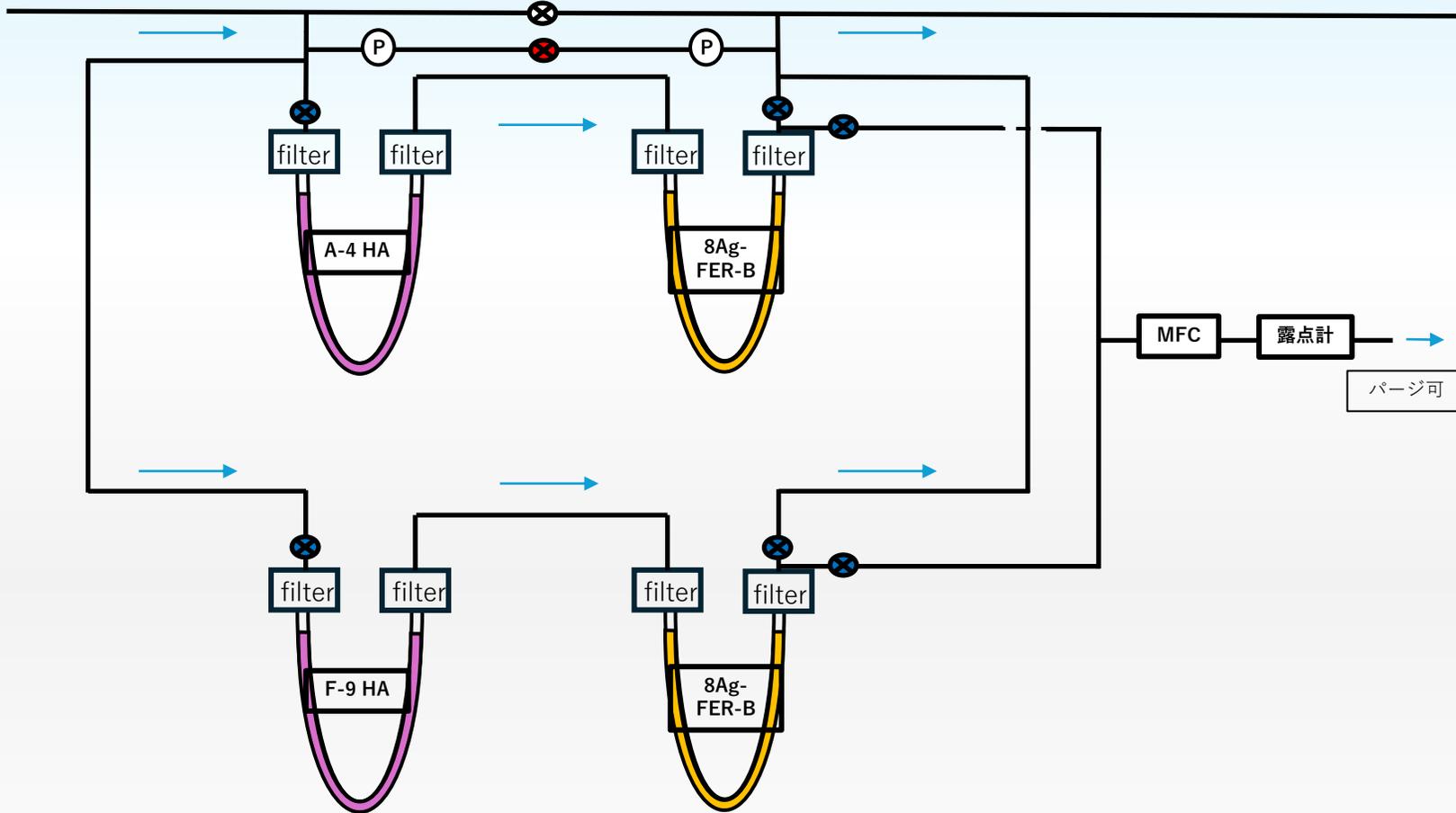
count/day をラドン濃度に変換するために較正係数  
{2.0 (count/day)/(mBq/m<sup>3</sup>)}を使用した。

K. Okamoto, Y. Nakano, G. Pronost, H. Sekiya, Y. Takeuchi, and M. Nakahata. Improvement of radon detector performance by using a large-sized PIN-photodiode.  
<https://arxiv.org/pdf/2112.06614>

HK での目標 <1 mBq/m<sup>3</sup> を達成している

次は、神岡で300 L/minの流量で試験を実施し、今回  
と同等のラドン除去が可能かどうか測定したい。

# 本番の装置図

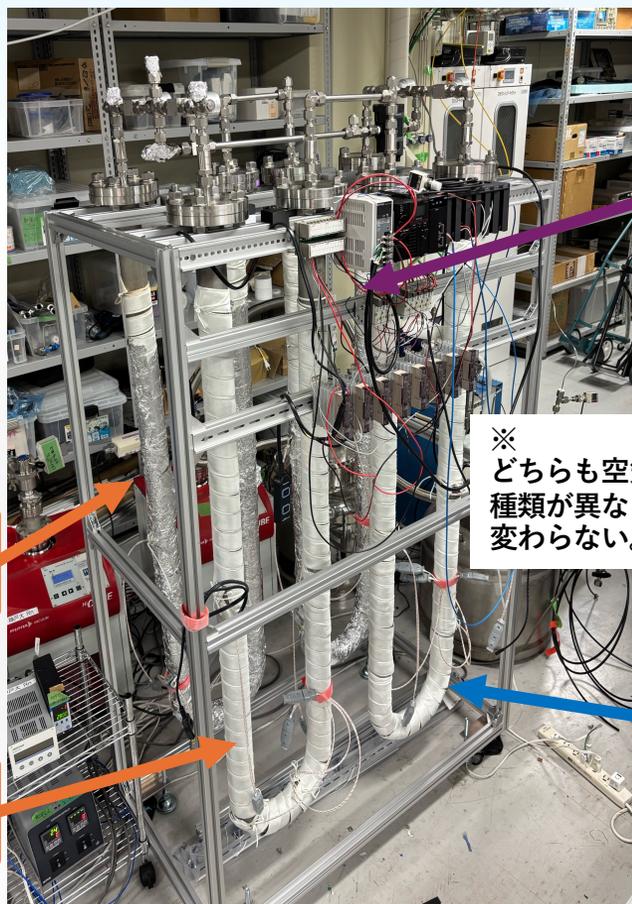


- 一方をベーキング中でも、もう一方はラドン除去を行えるよう、計4つのカラムを用いてシステムを構築。
- HKではこのラドン除去装置を3つ導入する予定。

× 3

# 装置製作

本番に向け、現在組み立て中



銀ゼオライト  
8Ag-FER-B 4000g

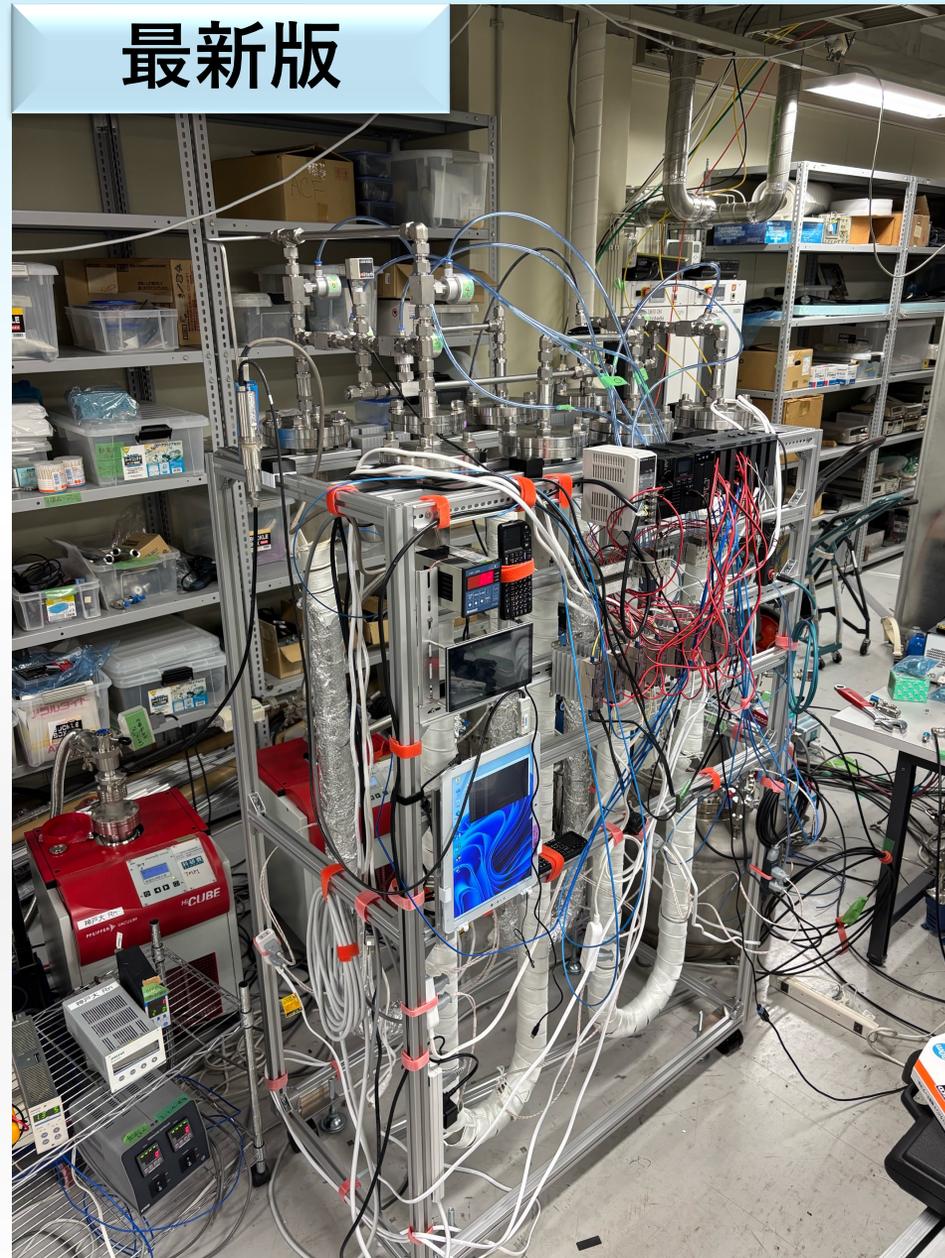
銀ゼオライト  
8Ag-FER-B 4000g

ゼオライト  
A-4 HA 3756g

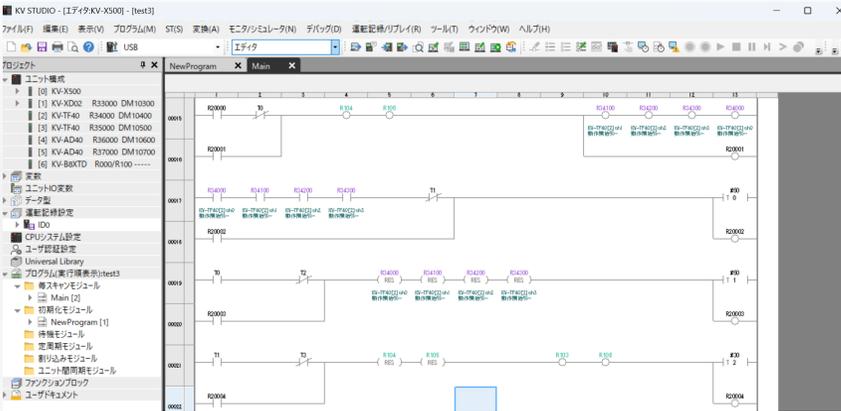
※  
どちらも空気の除湿に用いる。  
種類が異なるが除湿性能はほとんど  
変わらない。

ゼオライト  
F-9 HA 3756g

最新版



# 自動化について



同時に自動化に向けラダープログラムの構築も行なっている。

set

空圧バルブ

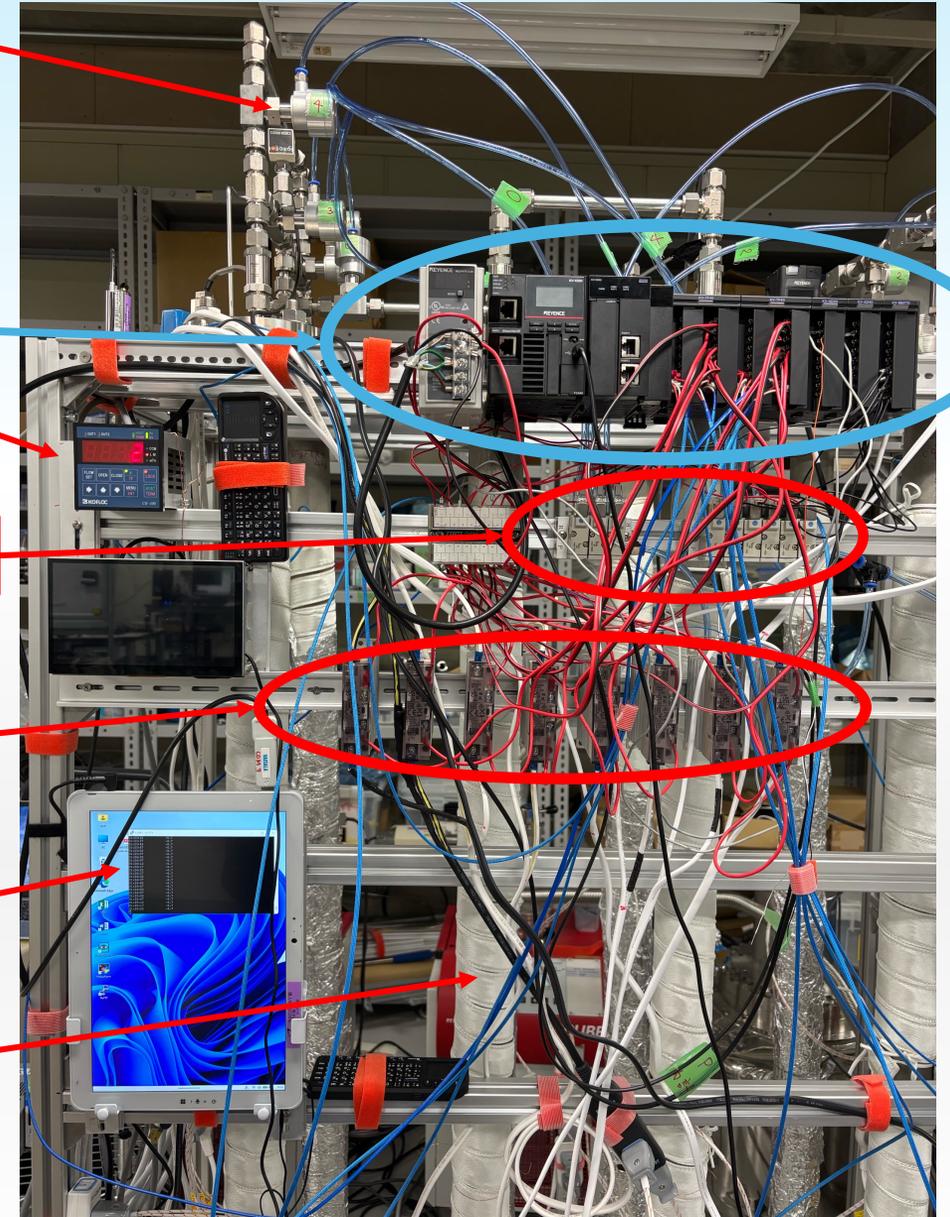
流量

電磁弁

SSR

露点温度

リボンヒーター



# まとめ・展望

- 銀ゼオライト (8Ag-FER-B) を4000g使用することで、流量15L/minの条件で、50日間 $^{222}\text{Rn}$ 濃度を $0.16 \pm 0.04 \text{ mBq/m}^3$  で維持できた。
  - 本番に向け、アルミフレームの構築や大型カラムへのゼオライト・銀ゼオライトの充填を行なった。
  - 自動化に向け、ラダープログラムの構築、必要な部品の購入、そして配線作業を行なった。
- 
- 神岡にて、流量300L/minの条件下でRn除去試験を行い、性能を評価したい。