

1. 背景と目的

○ 物理背景

- **Xenon (Xe)** は暗黒物質探索, $0\nu\beta\beta$ 崩壊探索などのターゲットとして広く利用。
→ バックグラウンド (BG) になる放射性同位核が無く, **本質的にキレイなターゲット**。
- **Radon (Rn)** は実験装置の部材から常に放出されるため, keV-MeV領域のBG源。
→ XeとRnは化学的な性質や, 原子核の大きさが似ている (**分離が困難**)。

○ 研究の目的

- **XeからRnを除去する手法の技術開発が必須** → 蒸留 or 物理吸着。
- 低コストでXe中のRnを除く**素材選定, 性能の検証, 応用可能性**を評価。



2. Activated carbon fiber (ACF)

吸着機構に関する議論は質問をお願いします。

○ ACFの一般的な性質

- **多孔質素材: Activated carbon fiber (ACF)** → 細孔の大きさとXeとRnの分離可能性。
- 神岡施設のGe検出器にて, 含有放射性不純物を測定。
→ 先行研究の素材よりも**低BGな素材**。

	A-7	A-10	A-15	A-20	A-25	S-25
Specific surface area [m ² /g]	850	1300	1700	2000	2667	1744
Average pore diameter [nm]	1.7	1.7	1.9	2.2	2.5	5.3
Pore volume [cm ³ /g]	0.35	0.55	0.80	1.11	1.65	2.30
Meso pore volume ratio [%]	4	6	10	21	37	67

	Method	Weight [g]	Duration [day]	Uranium series [mBq/kg]	Thorium series [mBq/kg]	⁴⁰ K [mBq/kg]
A-10	HPGe	6.65	12.4	< 352	< 305	< 4.31 × 10 ³
A-15	HPGe	160.0	10.1	< 11.9	< 12.2	< 142
A-20	HPGe	267.4	11.6	< 5.5	< 10.4	< 49
A-25	HPGe	8.4	14.9	< 269	< 261	< 4.31 × 10 ³
Shirasagi G _{2x} 4/6 [1]	HPGe	95.0	7.0	67 ± 15	—	—
Shirasagi G _{2x} 4/6 [2]	PC	—	—	62 ± 4	—	—
Blücher 100050 [2]	PC	—	—	2.6 ± 0.3	—	—

→ 製造段階で細孔の大きさが揃っている。

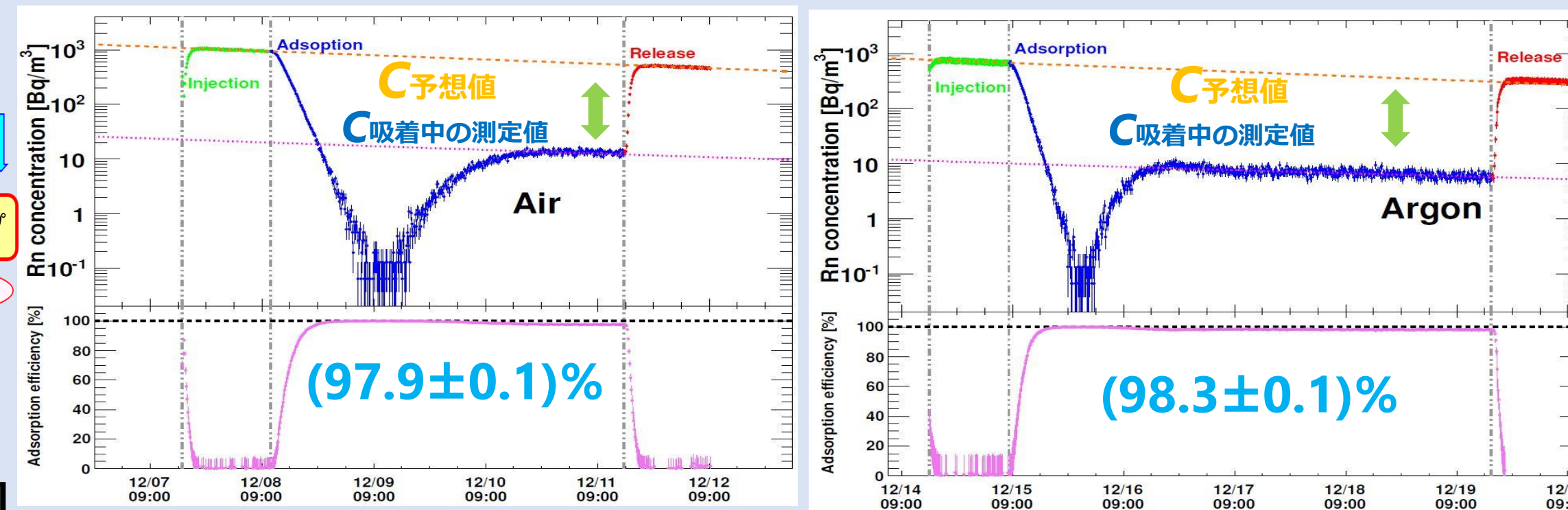
→ ACF-20: ²³⁸U 系列は < 5.5 mBq/kg.

3. 純空気とArgonを用いた性能評価

○ Rn 除去性能の評価

- 評価システムを構築 (A-15を4.75 g利用) → 純空気とArgon (Ar)を用いて性能を評価。
- 吸着効率(R [%]): **予想されるRn濃度** と 吸着中のRn濃度を比較。
→ **最大で 10⁴ 程度**, 数日間 **約98%の除去**が継続。

$$\text{除去効率} = \frac{C_{\text{予想値}} - C_{\text{吸着中の測定値}}}{C_{\text{予想値}}}$$



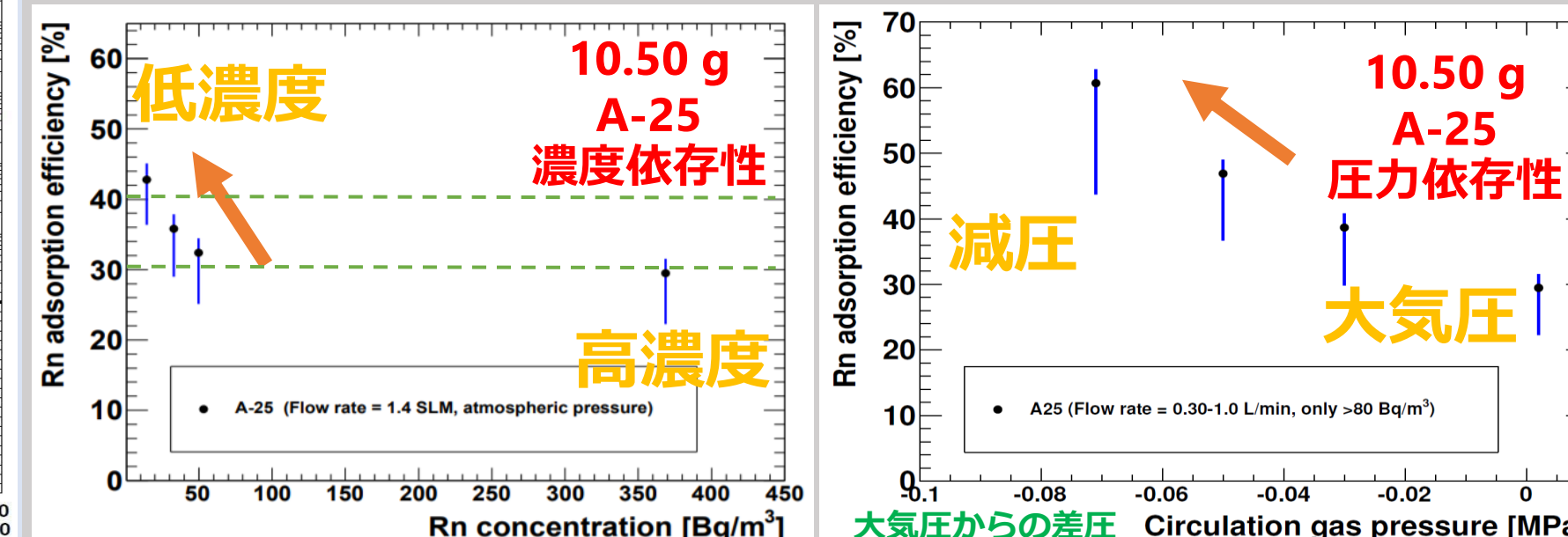
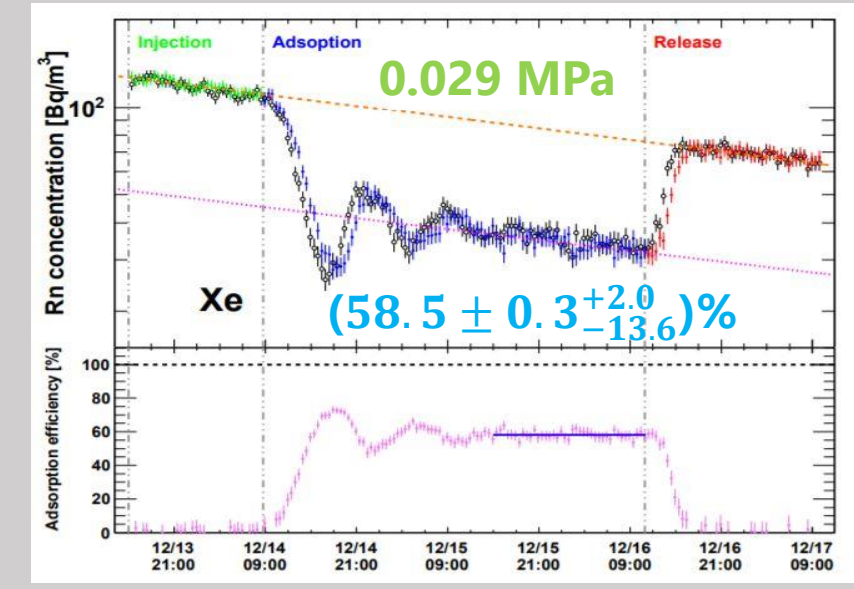
吸着試験の前後で Rn濃度のモニター [3,4]

4. XeからのRn除去性能の評価

結果に関する議論は質問をお願いします。

○ 除去性能の評価

- Xeガス中からRn除去を確認。(大気圧、高濃度で**約30%**)
- 吸着効率の依存性: **低濃度/低圧**で吸着効率の**増加**。
- 吸着性能としてHenry's constantを評価。
→ 条件は異なるが, 過去の吸着素材と比べて**高い吸着性能**。



	Henry's constant [mol/(Pa · kg)]	トラップ温度 [°C]	Pressure [MPa]
本研究 (ACF-25)	(5.0 ± 1.0) × 10 ⁻³	-95	0.029
XMASS [3]	1.86 × 10 ⁻³ (推測)	-85	0.09-0.12
XENON-100 [4]	(1.94 ± 0.24) × 10 ⁻³	-71.1	0.0204
XENON-100 [4]	(0.59 ± 0.08) × 10 ⁻³	-40.5	0.0206

5. ACF間での比較と今後の展開

○ Rn 除去性能の評価

- **6種類のACFを比較** (質量で規格化)
→ **細孔/表面積の大きさと共に吸着効率の増加**。
→ 一方で, 細孔が大きすぎると低下 (A/S-25)。

○ 今後の展開

- 細孔の大きさ, 圧力, 温度, 濃度の最適化。
- ラドン分析 (濃縮) への利用 (SK-Gd [5])。
- 他のガスでの吸着試験 (CF₄ガス [6])。

Type	Amount [g]	Rn [Bq/m ³]	P. drop [MPa]	R [%]	Normalized efficiency [%]
A-7	29.97	58.1 ± 0.9	0.003	27.0 ± 0.4	10.8 ^{+0.8} _{-1.5} (stat.+syst.)
A-10	12.22	82.5 ± 0.5	0.002	20.7 ± 0.5	20.3 ^{+2.1} _{-3.0} (stat.+syst.)
A-15	11.11	22.4 ± 0.5	0.004	30.8 ± 0.6	33.3 ^{+2.3} _{-5.0} (stat.+syst.)
A-20	12.01	442.8 ± 0.8	0.006	33.6 ± 0.2	33.6 ^{+2.1} _{-6.4} (stat.+syst.)
A-25	11.90	368.7 ± 1.2	0.007	29.5 ± 0.3	29.7 ^{+2.1} _{-7.4} (stat.+syst.)
A-25	11.90	14.3 ± 0.2	0.006	42.8 ± 1.1	43.2 ^{+2.4} _{-6.5} (stat.+syst.)
S-25	11.88	184.0 ± 0.6	0.005	28.4 ± 0.3	28.7 ^{+2.1} _{-5.3} (stat.+syst.)

6. まとめ

- 純化ガス中からのRn除去は稀事象探索を目指す実験では重要な課題。
- 多孔質素材であり, **細孔の大きさが調整されている ACF** を選定した。
- 含有放射性物質を測定し, A-20の場合 ²³⁸U系列は < 5.5 mBq/kgであった。
- 純空気とArガス中でのRn除去効率を評価。→ **(97.9 ± 0.1)% (空気), (98.3 ± 0.1)% (Ar)**。
- Xeガス中からのRn除去性能を複数の条件下で評価。→ **細孔を揃える技術が有効**。
- この研究を契機に, ラドン分析でのACFの応用が進んでいる。