

ガスキセノン中トリチウム濃度定量評価 のための微量水素測定法の開発

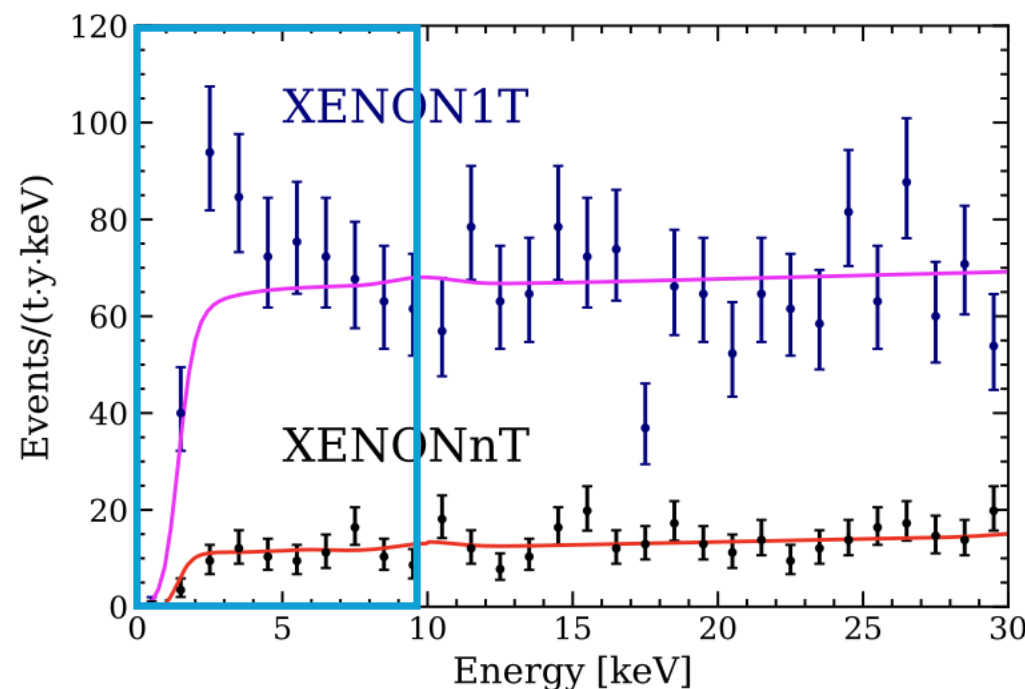
名大ISEE CR研
M1 宇都山光輝

- 研究背景
- 研究目的・測定手順
- 測定結果
- BG削減・安定化に向けた取り組み

研究背景: XENON1Tの過剰な電子反跳事象

3/19

- 2020年のXENON1T結果、1-7 keVで過剰な電子反跳事象が観測され、新粒子の発見が期待された
 - **トリチウムは検出器内に極微量に存在する可能性がある**
→ トリチウム起源説を否定できなかった
- XENONnTではexcessは観測されなかった
- しかし、未だトリチウム濃度の定量評価はできていない
 - BGLレベルを下げていったとき、再びトリチウムの影響が現れる可能性がある
 - **トリチウム濃度に制限をかけられるようにしたい**



[XENONnT実験の最新結果:XENON1T Lower Excessの検証]

研究背景: XENON検出器中のトリチウム

4/19

- トリチウム(T)は水素(H₂)中にHTの形として環境中に極微量に存在
しかし、量が少なすぎて直接測ることはできない

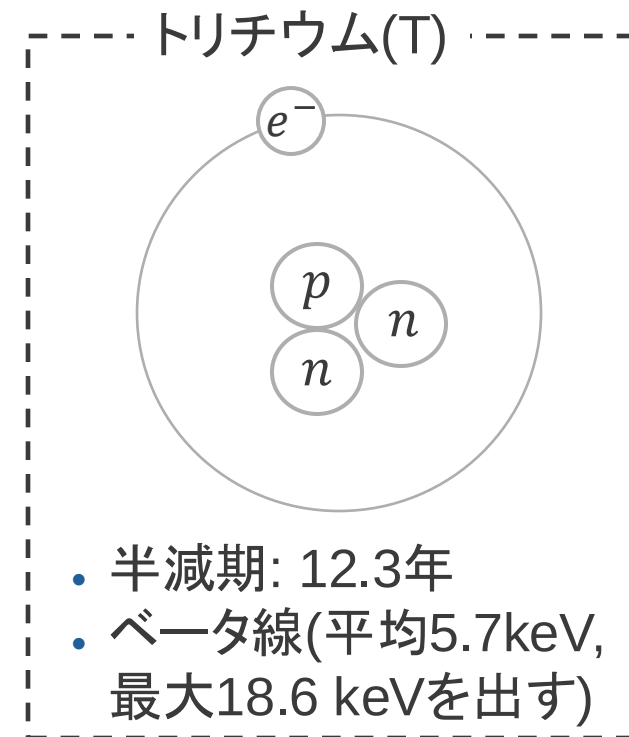
	XENON1T(BGへのfit)	XENONnT(90% C.L.上限値)
HT/Xe	$< 6.2 \times 10^{-25} \text{ mol/mol [1]}$	$< 5.8 \times 10^{-26} \text{ mol/mol [2]}$

- トリチウムと水素の環境中の存在比は過去に何度も測定されている。

$$\text{HT}/\text{H}_2 \cong (3.9 \pm 0.5) \times 10^{-13} \quad [\text{過去の測定値の加重平均}]$$

→水素濃度を測ることでキセノン中トリチウム濃度を逆算できる

$$\left[\begin{array}{l} \text{キセノン中のトリチウム濃度} : \frac{\text{HT}}{\text{Xe}} = \frac{\text{HT}}{\text{H}_2} \times \frac{\text{H}_2}{\text{Xe}} \\ \text{測定結果がある} \quad \text{本実験で測定する} \end{array} \right]$$



XENON1T Excess での水素濃度: $\text{H}_2/\text{Xe} = 0(1 - 10)\text{ppt} (10^{-12})$

[1] PHYSICAL REVIEW D 102, 072004 (2020)

[2] PHYSICAL REVIEW LETTERS 129, 161805 (2022)

- 研究背景
- 研究目的・測定手順
- 測定結果
- BG削減・安定化に向けた取り組み

□ 本研究の目的

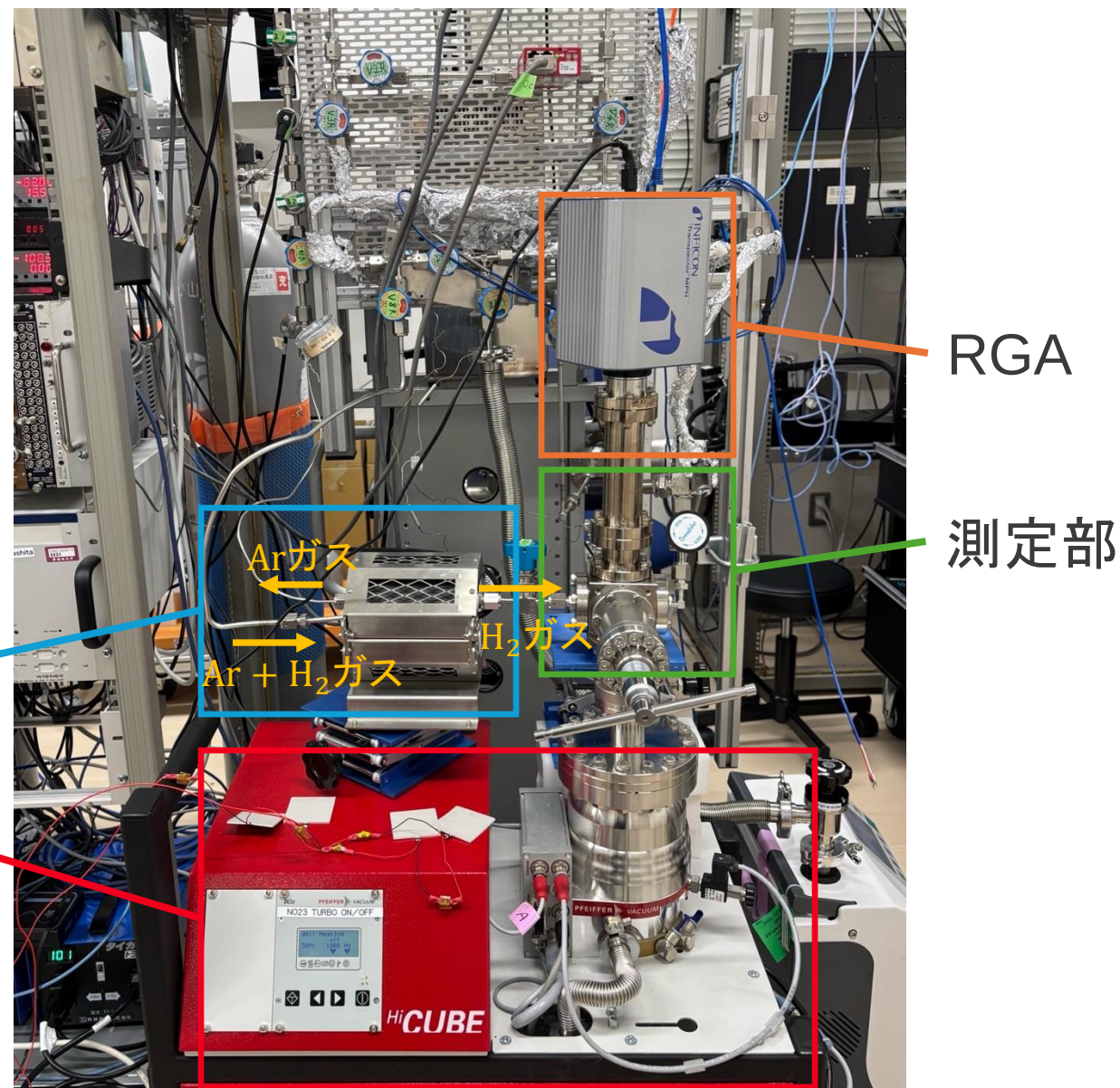
キセノンガス中のppt(10^{-12})レベルの微量水素を測定する手法の開発

□ 実験装置

- 実験では Ar ガス中の水素濃度を測っている
- Pure Arガスボトル + 1ppm(10^{-6})のH₂を含むキャリブレーションガスを用いて測定

水素分離膜

真空ポンプ

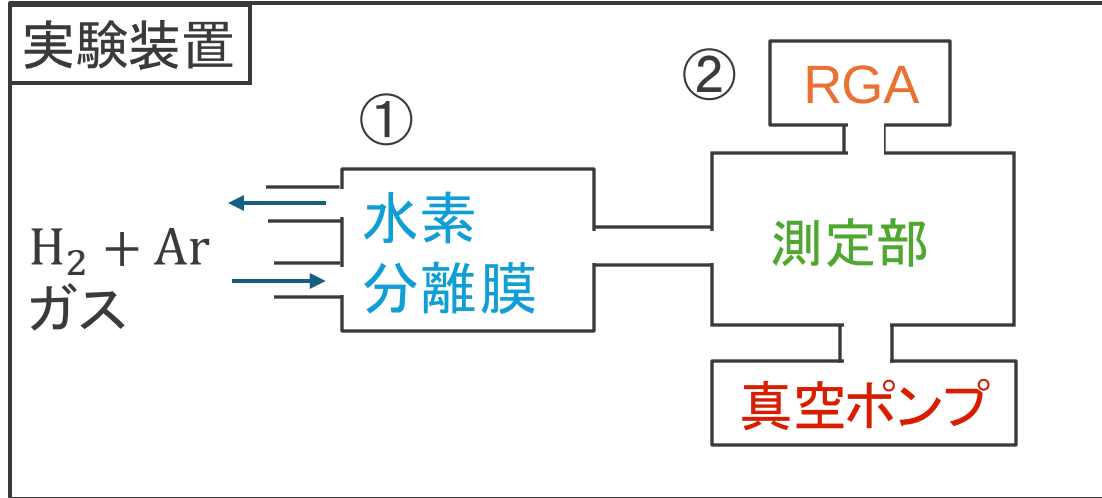


本研究の目的・実験装置

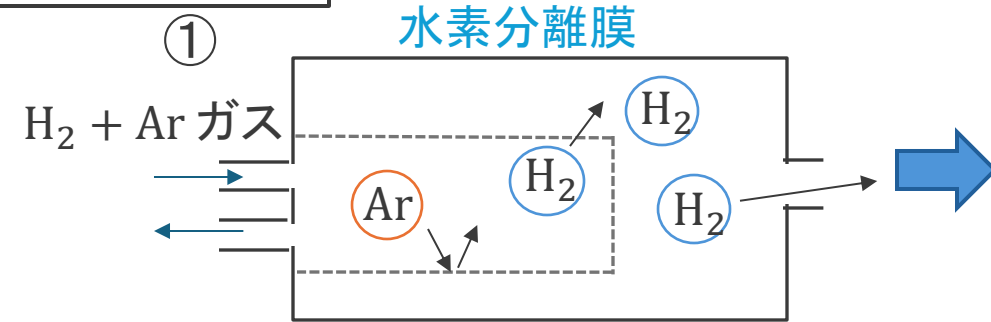
7/19

□ 本研究の目的

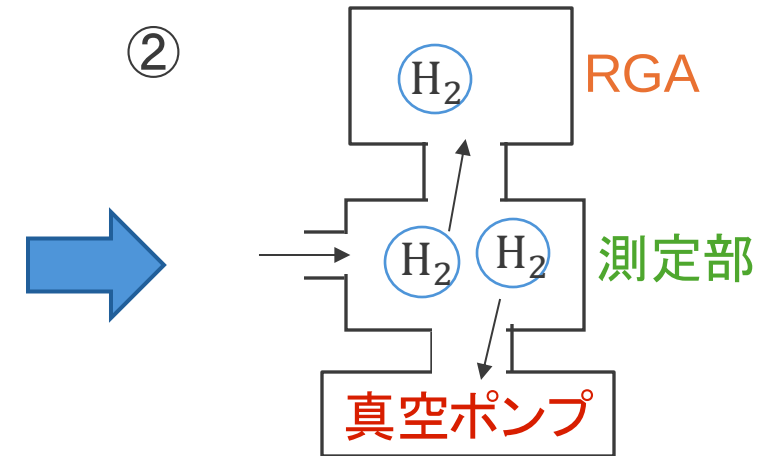
キセノンガス中のppt(10^{-12})レベルの微量水素を測定する手法の開発



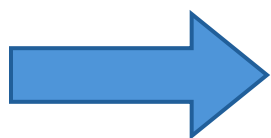
水素測定の様式図



- ・ 水素のみが膜を透過

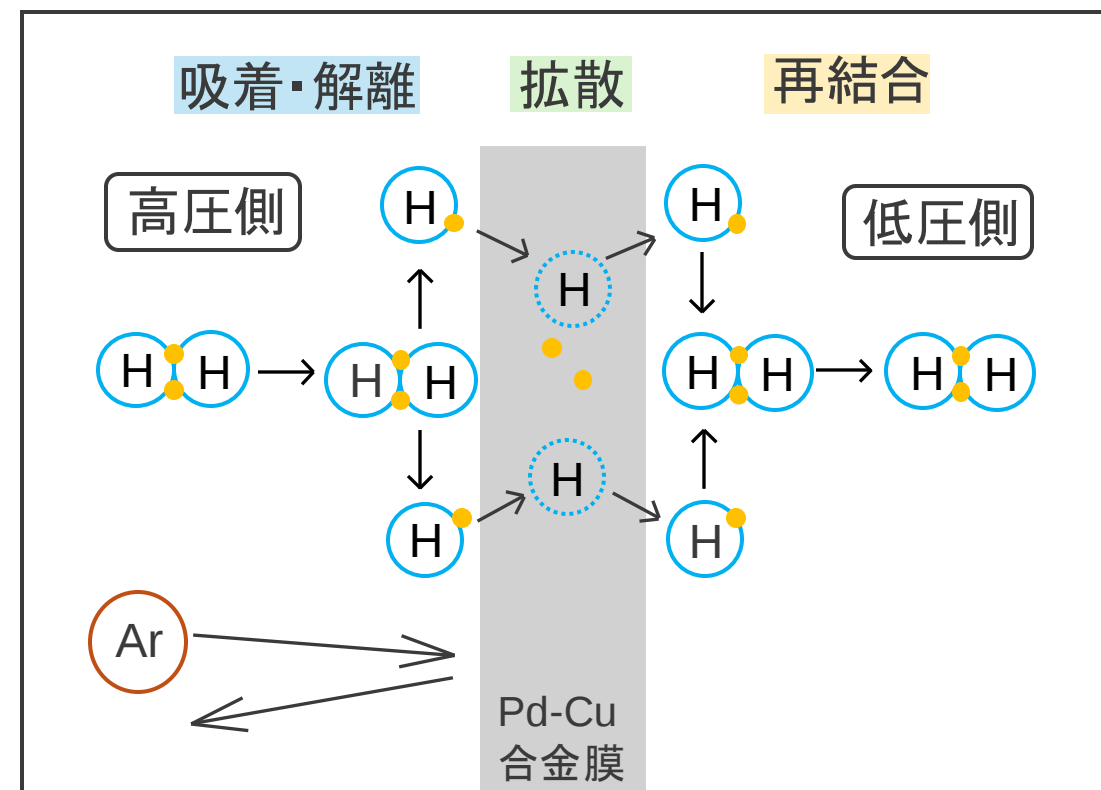


- ・ 水素分子がRGAによって、分圧として測定される



水素分離膜
(日本精線HPより引用)

水素分離膜モジュール



□ 水素分離膜・・・混合ガス中の水素のみを透過させ分離

• 水素分圧差により膜を透過

1. 高圧側で水素分子が膜に吸着し、原子に解離して膜の中に入り込む
2. 水素原子がPd合金膜のわずかな隙間に入り込み拡散し低圧側へ
3. 低圧側で水素分子に再結合する

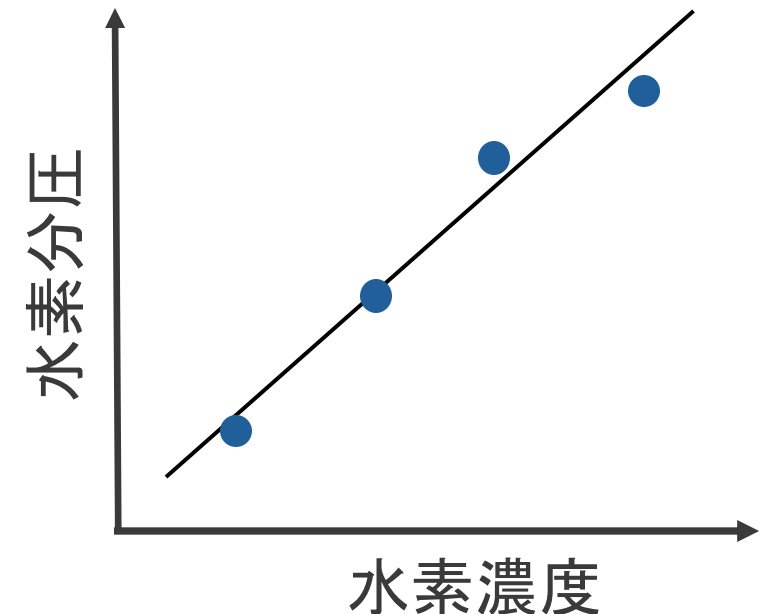
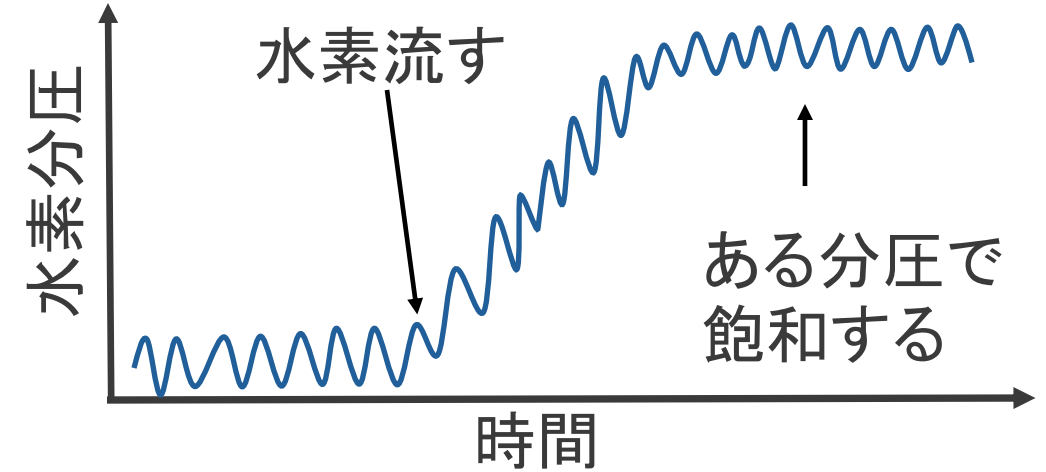
水素ガスの測定手順・測定例

9/19

□ 測定手順

1. 水素分離膜にある濃度の水素ガスを流す
2. 水素分圧上昇をRGAで測定
3. 一定時間後、水素分圧が飽和して一定値を取る

- ・ 今後、水素濃度を変えていって、それぞれの分圧上昇を測定しキャリブレーション



□ 測定例1- 7つの水素濃度での測定

- ・ 10ppb ~ 1ppm の濃度のガスの測定

□ 測定例2 - アウトガスBGの測定

- ・ 水素アウトガスBGの振る舞いの理解

- 研究背景
- 研究目的・測定手順
- **測定結果**
- BG削減・安定化に向けた取り組み

測定例1-様々な水素濃度での分圧上昇の結果

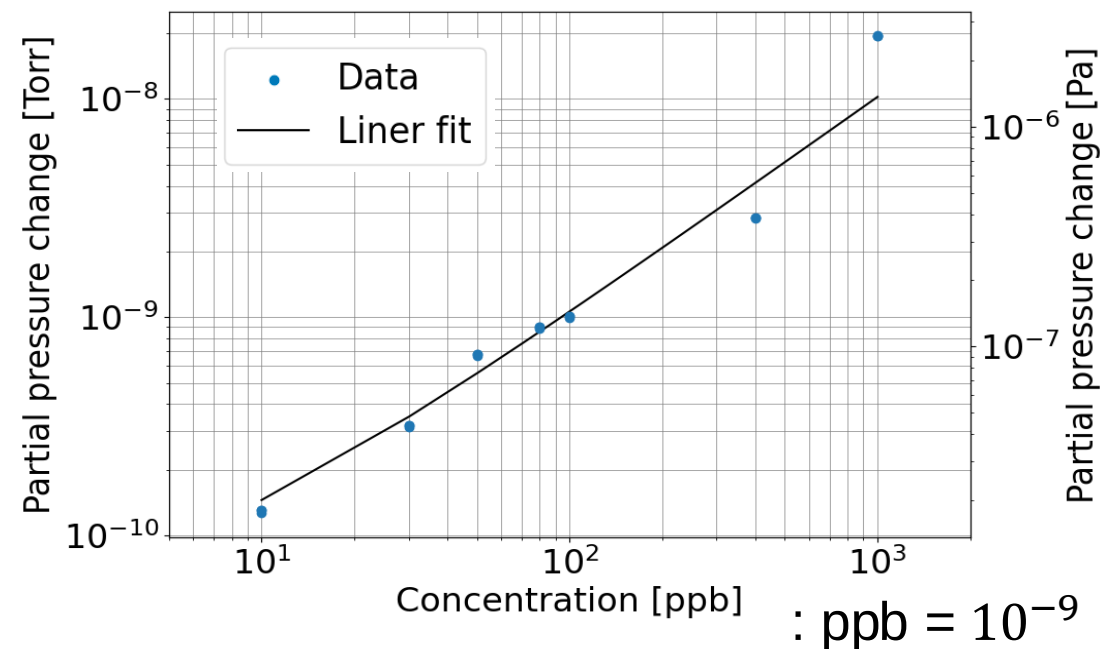
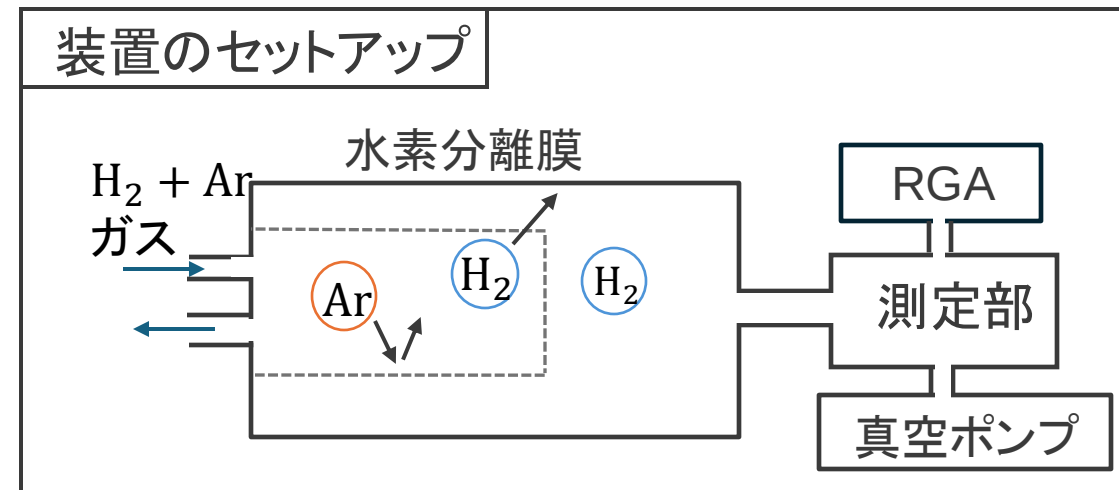
11/19

□ 目的、方法

- 分圧上昇の水素濃度依存性を確かめる
- 7つの濃度での分圧上昇を測定した

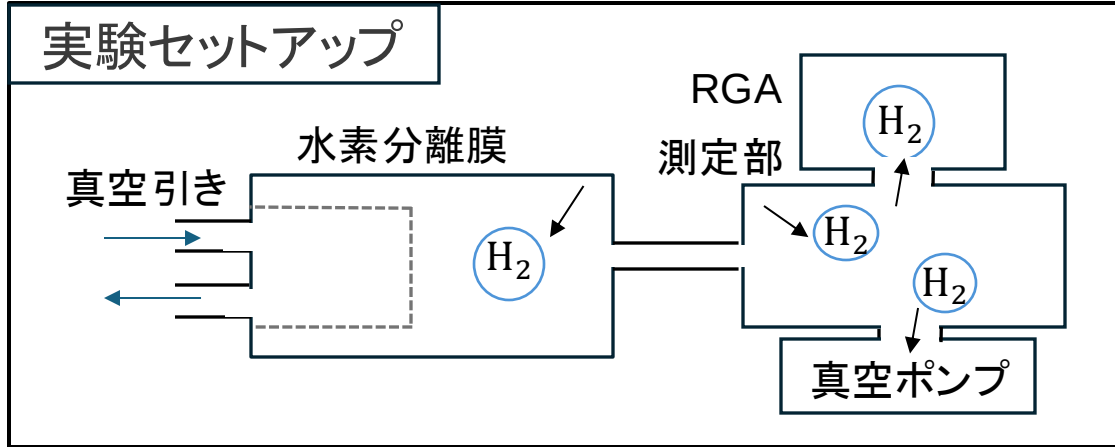
□ 測定結果

- 濃度と分圧上昇の線形性が確認できた
- このテストでは**最小10 ppb (10^{-8})**の水素濃度を測定した



測定例2 - アウトガスBGの安定性評価

12/19

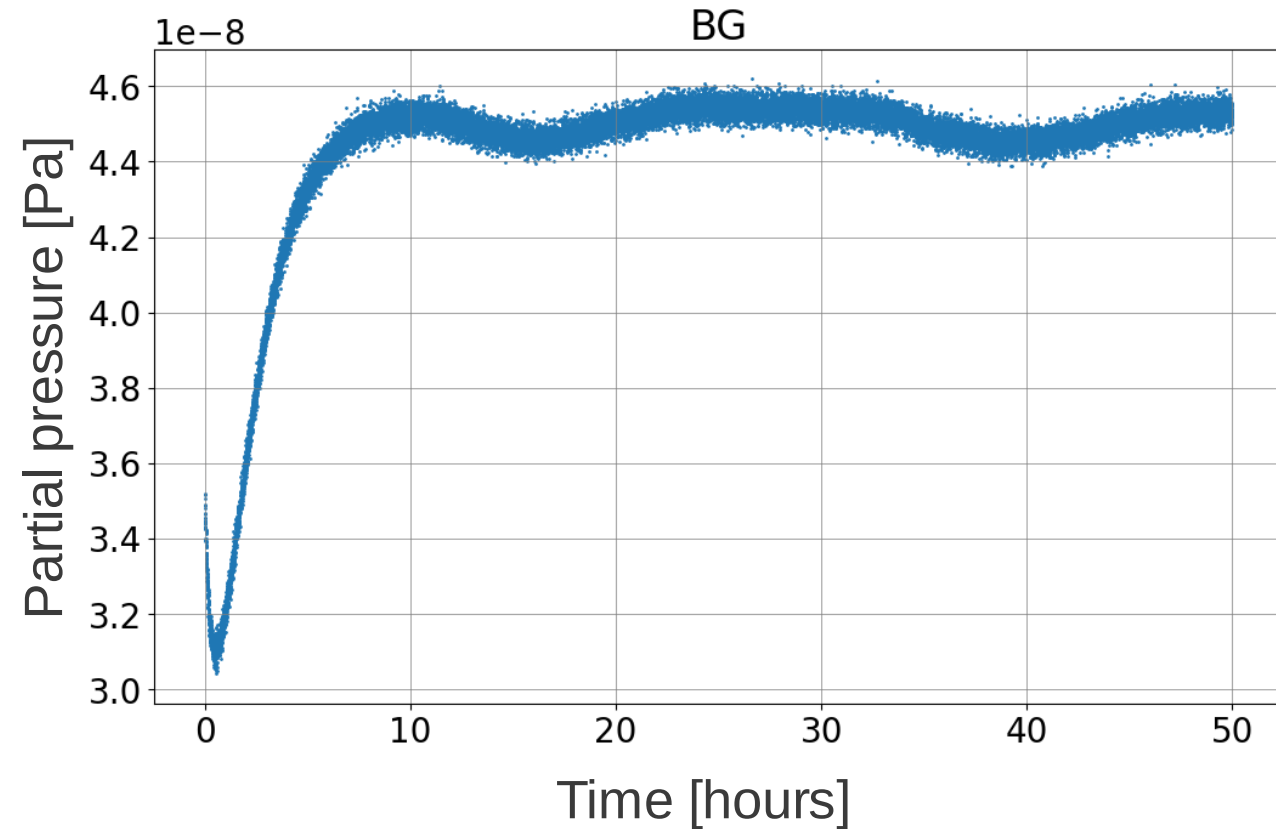


□ 目的

- アウトガスBGへの理解を深めるため、真空状態での長時間測定を行った

□ 測定結果

- アウトガスBGは15hで収束
- しかし、その後も小さな揺らぎが存在する
→対策が必要



- 研究背景
- 研究目的・測定手順
- 測定結果
- BG削減・安定化に向けた取り組み

- 低BG化のための装置改良
 - 低BGのRGAを導入した
(Transpector MPH 200M)

SRS 200



Transpector MPH 200M



- 新RGAの特徴
 - フィラメント、センサーニップル管(ICF70)に低輻射/高熱伝導のBe-Cu製を採用することで、低消費電力化とイオン源の低温化により、ガス放出を大幅に低減
 - フィラメント周りのグリッドを白金イリジウム (Pt-Ir)合金で製作することで、Electron Stimulated Desorption(ESD)ガス放出を低減

- RGA交換後の結果の変化

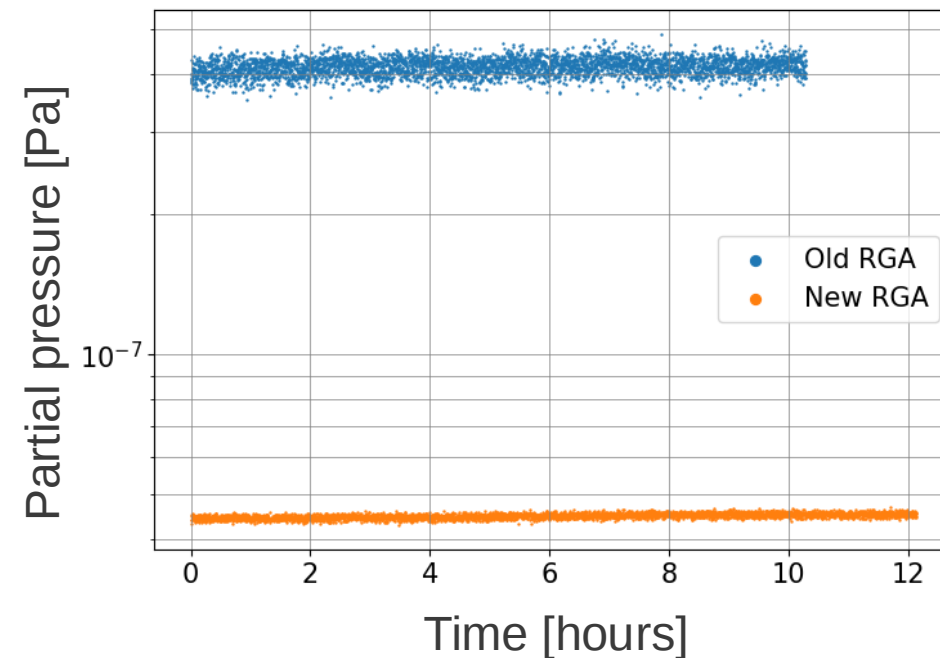
	平均値(Pa)	標準偏差(Pa)	100ppb流した時のS/N
旧RGA (RGA SRS 200)	4.20×10^{-7}	1.60×10^{-8}	0.68
新RGA (Transpector MPH 200M)	4.53×10^{-8}	4.91×10^{-10}	1.00

- 装置改良によって、
 - BGレベル(平均値)が1/10に
 - BGの標準偏差が1/30に
 - 100ppbでのS/Nが1.4倍に



- 標準偏差が小さくなったことから、より低濃度な測定ができると期待される
- ただし、BGの安定性の評価が重要

BGrunの結果



BG安定化に向けた取り組み

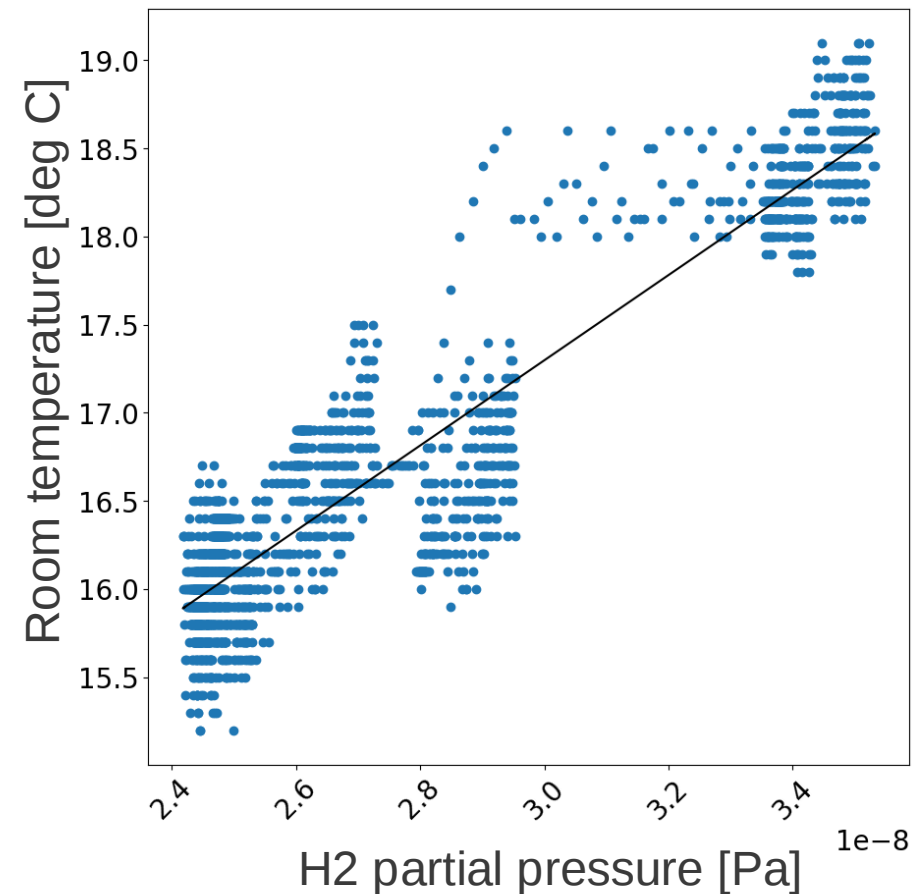
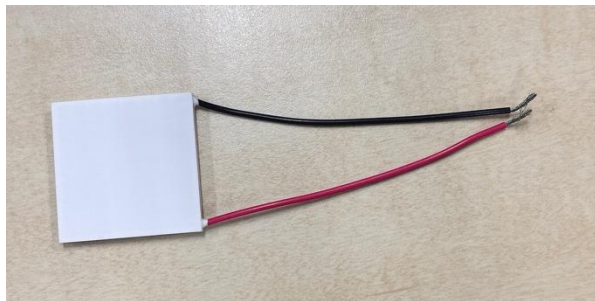
16/19

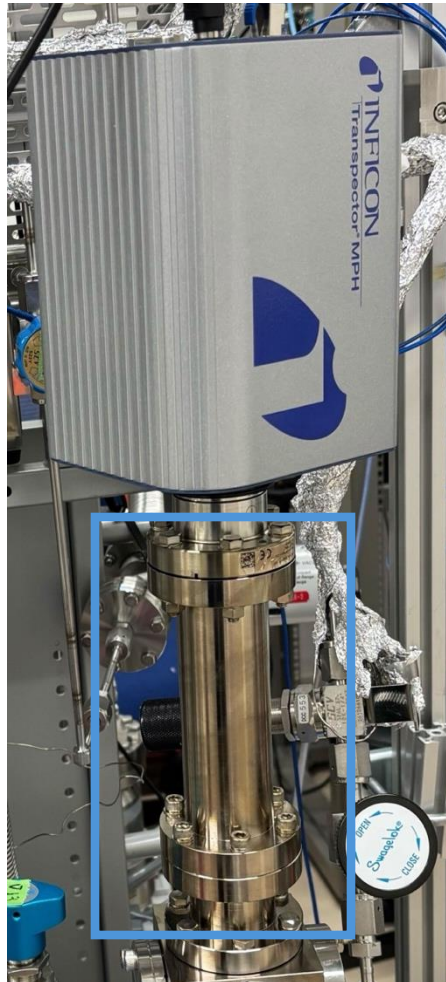
□ 水素BGと温度の相関

- 室温とBGの揺らぎに相関があることがわかった
- 相関係数:0.95
- RGA測定部での水素アウトガスの揺らぎによる変動だと考えている

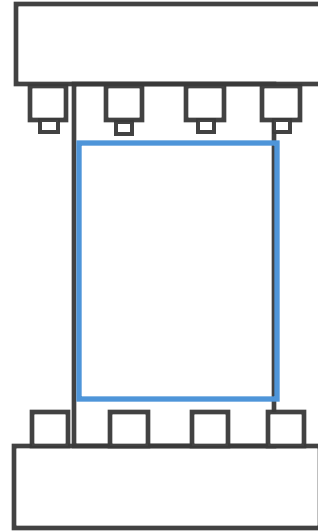
□ 対策

- RGAの測定部の配管部分を温度制御することで、水素BGを安定化させる
- 温度を下げて安定化させることができれば、BGも下がり安定する
→ ペルチェ素子を使う方針

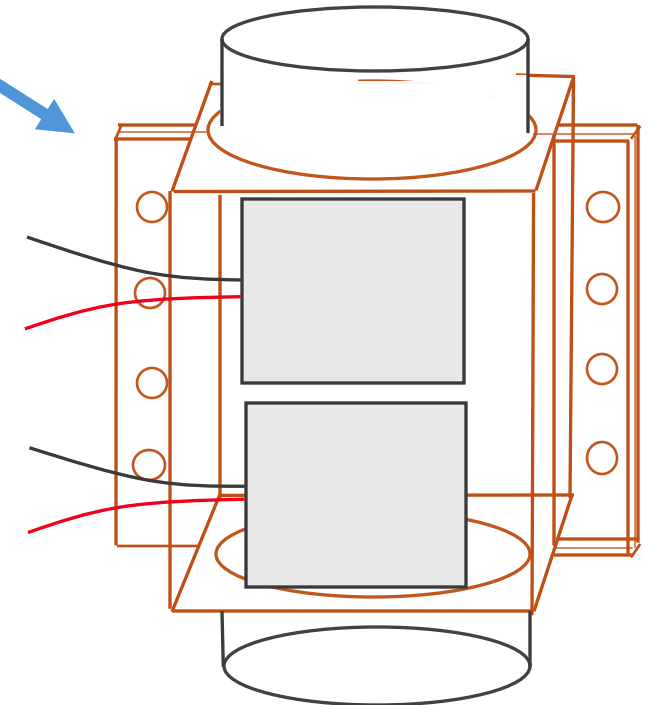




- RGA下の配管の温度を一定に保つ
- 目標は2hで 0.3°C 以内(目安)



- アルミ治具を取り付け、ペルチェ素子を用いて温度制御する方針



- 温度制御のテスト結果

	元の温度 (°C)	制御後の 設定値(°C)	時間 (分)	平均値 (°C)	最大最小 温度差(°C)	標準偏差 (°C)
テスト1	28.5	22.0	120	22.02	0.15	0.02
テスト2	27.7	22.0	120	22.02	0.16	0.02

- 温度制御できていることが確認できた
- BG安定性については今後評価する予定

- 実際の装置



□実験目的, 現状

- XENONnT、XLZD実験でのキセノン中トリチウム濃度定量評価のために、キセノンガス中のppt (10^{-12})レベルの水素測定法を開発中
- 現状は水素濃度10ppb (10^{-7})までの測定を行った
- より低濃度な水素を測るため、BG削減・安定化に向けた取り組みを行なっている

□今後の測定について

- 温度を制御しBGを安定化させより低濃度な測定を目指す
- 現状の測定法では目標の感度には達しない可能性がある
→シグナルが大きくなるような新しい測定法を現在開発中