

銅イオン交換ゼオライトを 用いたキセノン濃縮法の開発

丸藤祐仁
帯広畜産大学



2025年度 学術変革領域A (公募研究)

『銅イオン交換ゼオライトを用いたキセノン濃縮法の開発』

2026年3月6日 (金) 第11回「極低放射能技術」研究会

目的

■ 将来の暗黒物質探索

- DARWIN(XLZD)

Total Xe : ~ 50 ton

■ 将来の $0\nu\beta\beta$ 崩壊探索実験

- 10 ton ~ 100 ton の ^{136}Xe

Total Xe : 100 ton ~ 1000 ton

■ 年間生産量は 100 ton 未満で LO_2 , LN_2 , LAr 生産の副産物

■ 普通に購入する方法では, この量を調達するのは難しそう

キセノンの回収

■ 大気中から

- 大気中濃度は 0.00000087% (~0.087 ppm)

■ 核燃料廃棄物から

- ウランの核分裂は、質量数 130 付近と 90 付近の原子核を作り、 ^{136}Xe が残っているはず
- 希ガスは大気中に放出するしかないので、排気管の途中に回収ラインを入れれば入手可能なはず

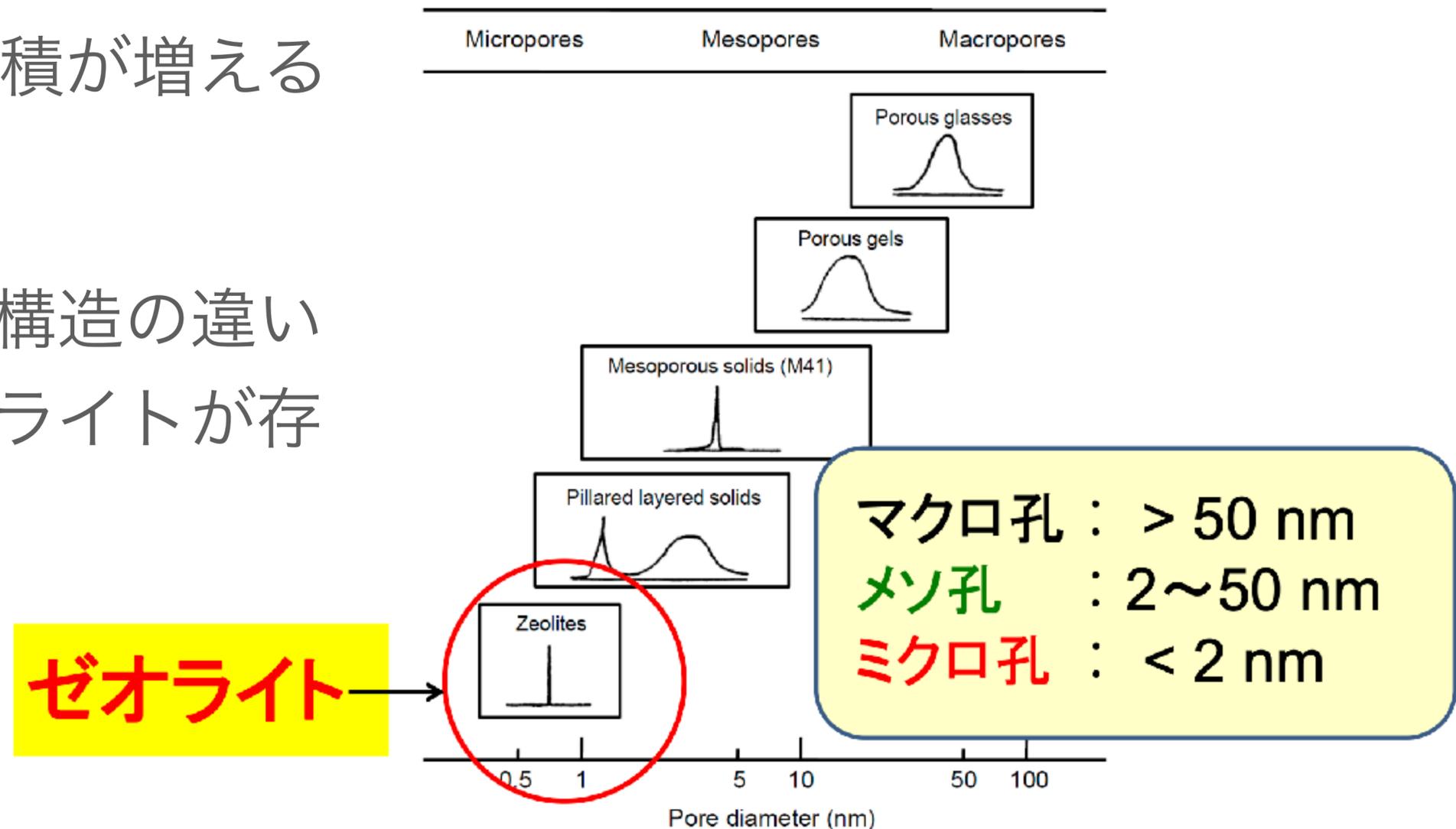
■ 同僚の化学屋さんが「銅イオン交換ゼオライトはキセノン进行吸着する(*)」と言うので、回収装置の開発を進めることに

(*) H.Torigoe, T.Mori, K.Fujie, T.Ohkubo, A.Itadani et al., J. Phys. Chem. Lett., 1, 2642 (2010)

ゼオライト

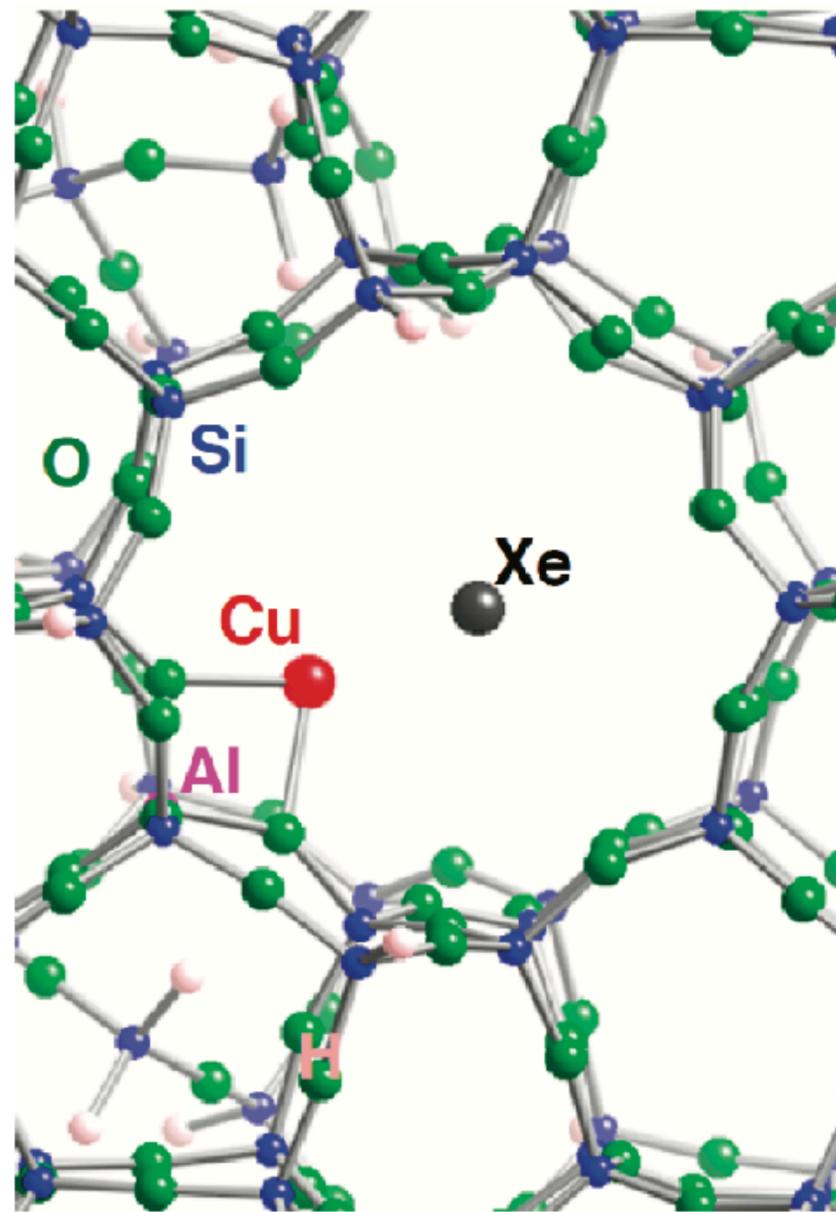
- 基本的に粉体
- 単位質量あたりの表面積が増える
- とても小さい穴がある
- Si と Al の比率と骨格構造の違いにより、各種母体ゼオライトが存在する

孔 (細孔) の分類



K. S. W. Sing et al., *Pure Appl. Chem.* **57**, 603 (1985).

銅イオン交換ゼオライト



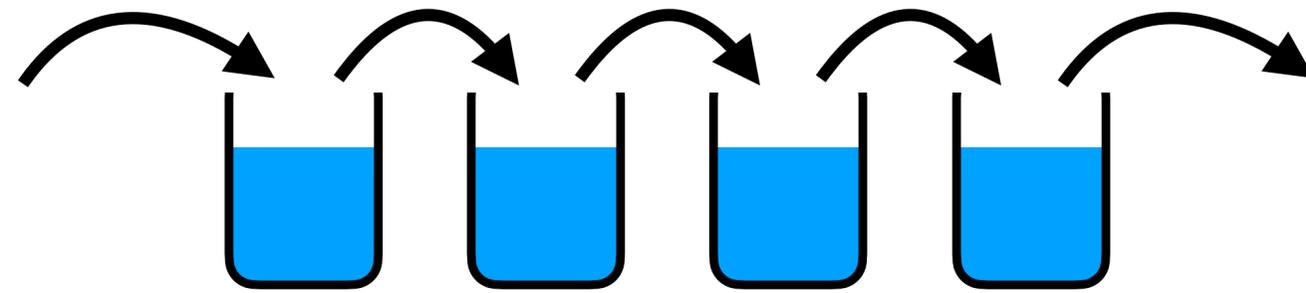
- ・ゼオライトは三次元構造をもつアルミノケイ酸塩の一種
- ・ひとまず MFI 型 (Si/Al=14.5) のゼオライトを母体ゼオライトにしたものを用意
- ・これらの母体ゼオライトにイオン交換によって銅イオンを注入する
- ・**単体での銅イオンでは不可能な、特異な吸着能力を持つ素材**
- ・室温で吸着が機能する

銅イオン交換ゼオライトの作成



MFI型ゼオライト
(Si/Al=14.5)

N₂ は吸着する



酢酸銅水溶液とか
塩化銅水溶液など

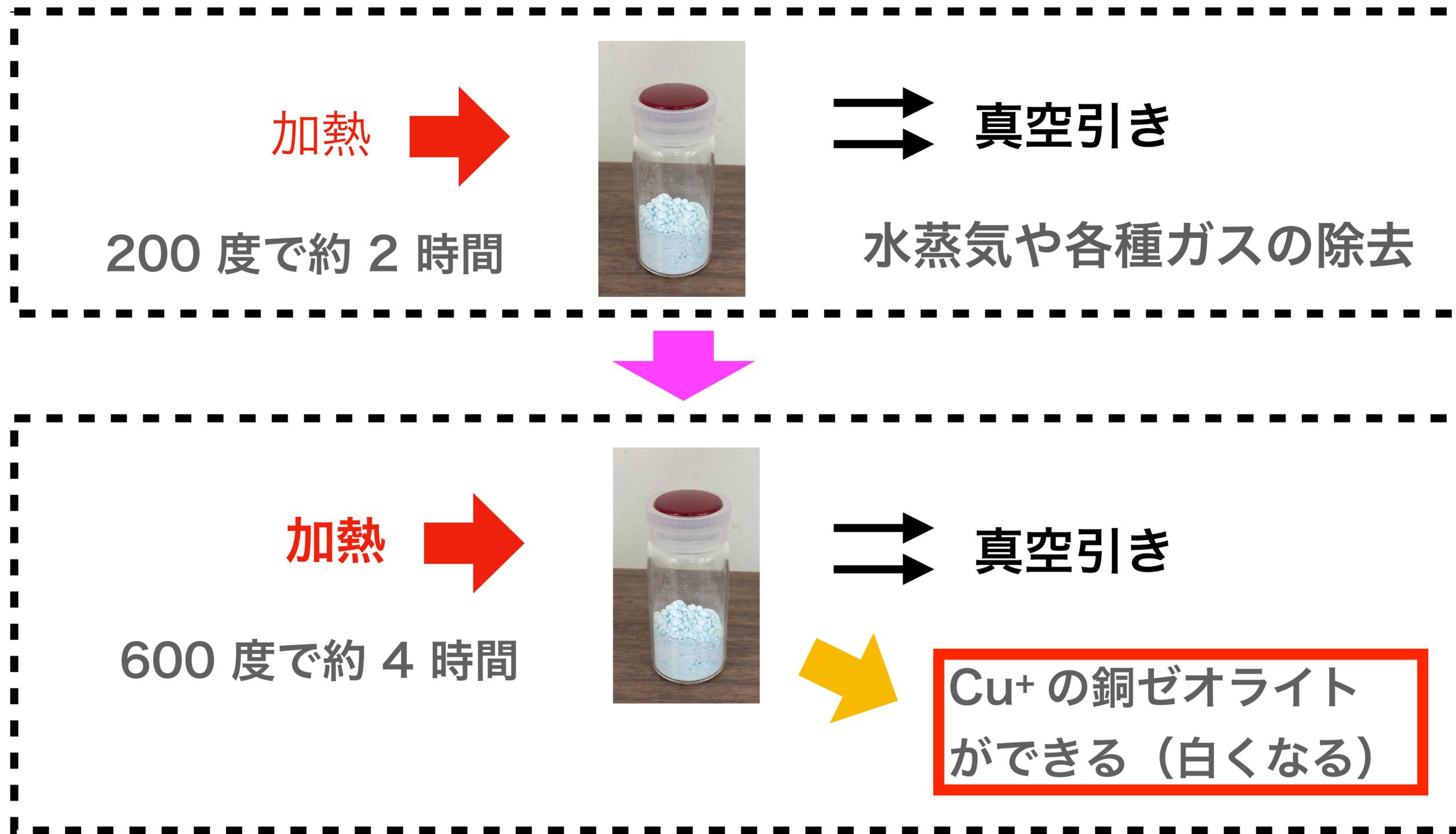


銅イオン交換ゼオライト

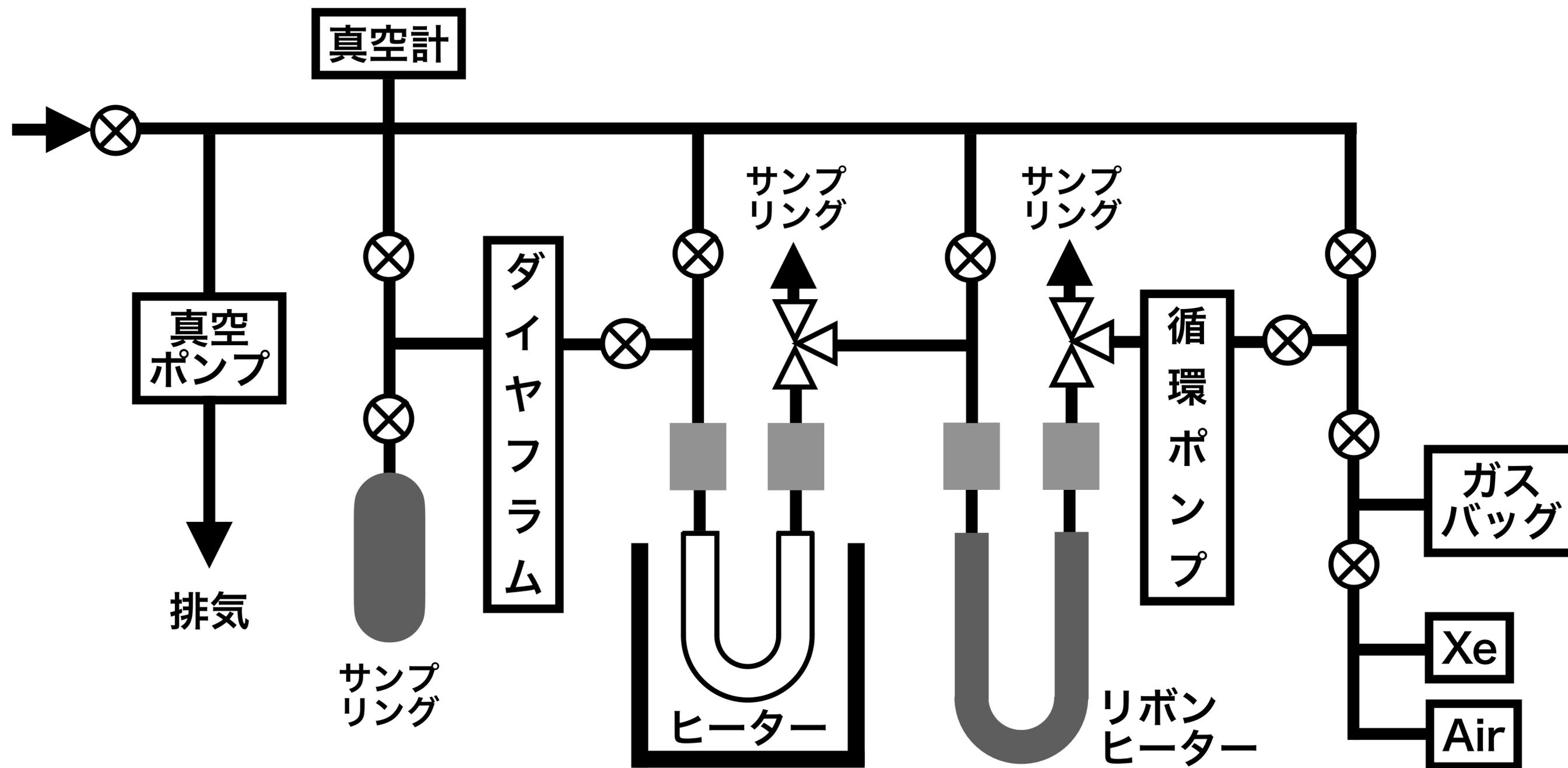
Cu²⁺ の銅ゼオライト

このままではキセノンは吸着しない

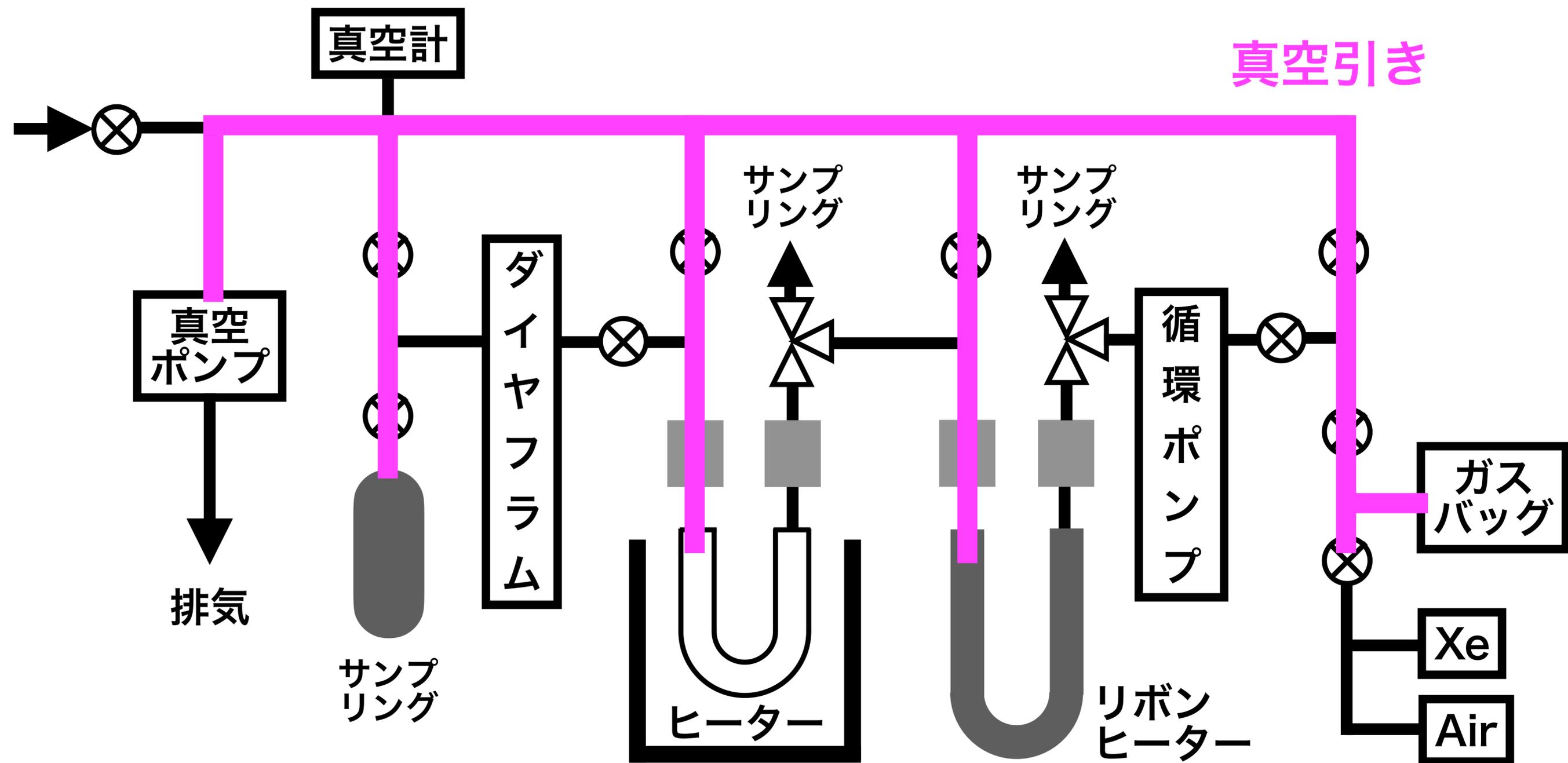
ゼオライトのガス吸着と再生



全体の概略図

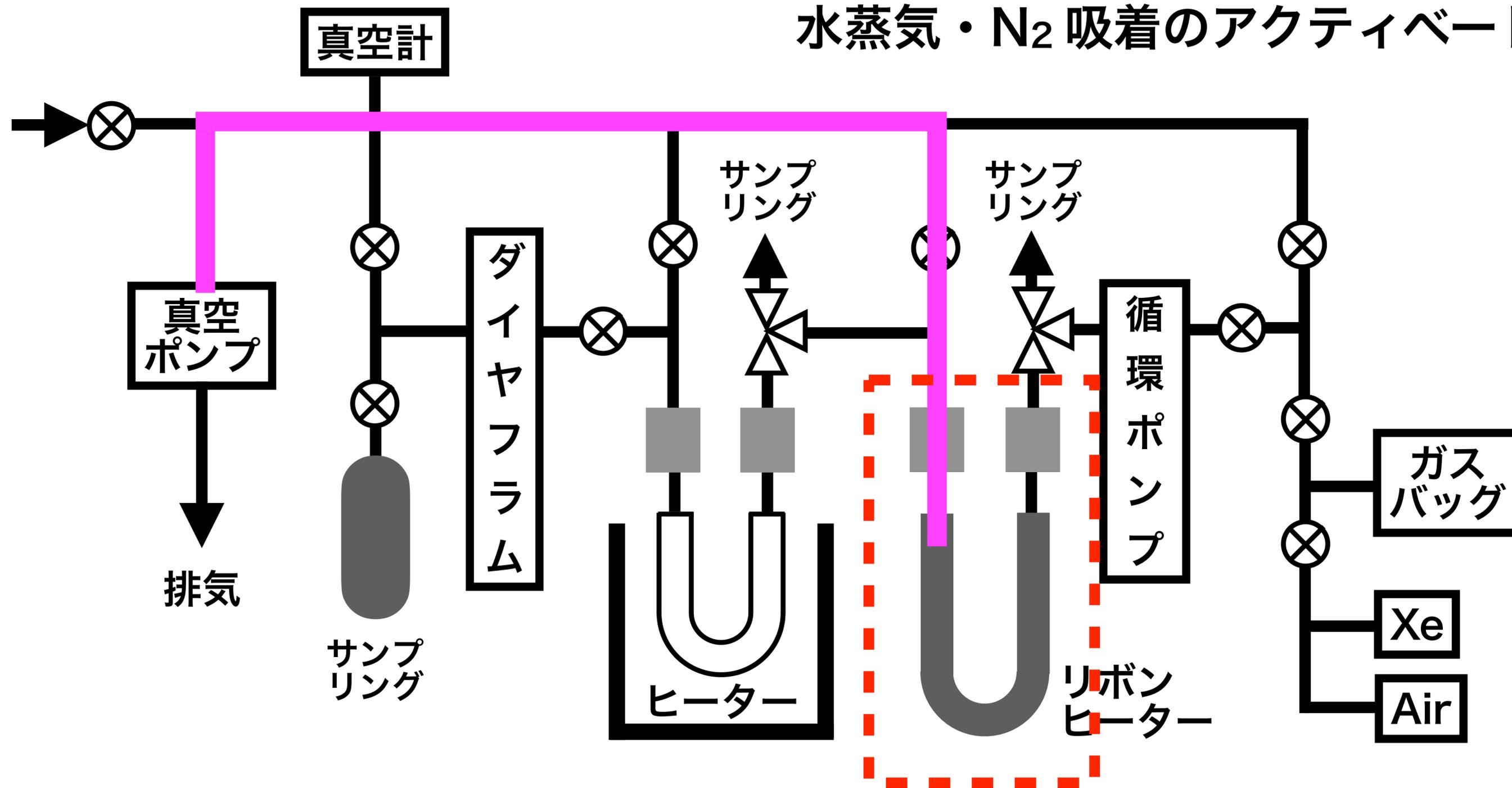


全体の概略図



全体の概略図

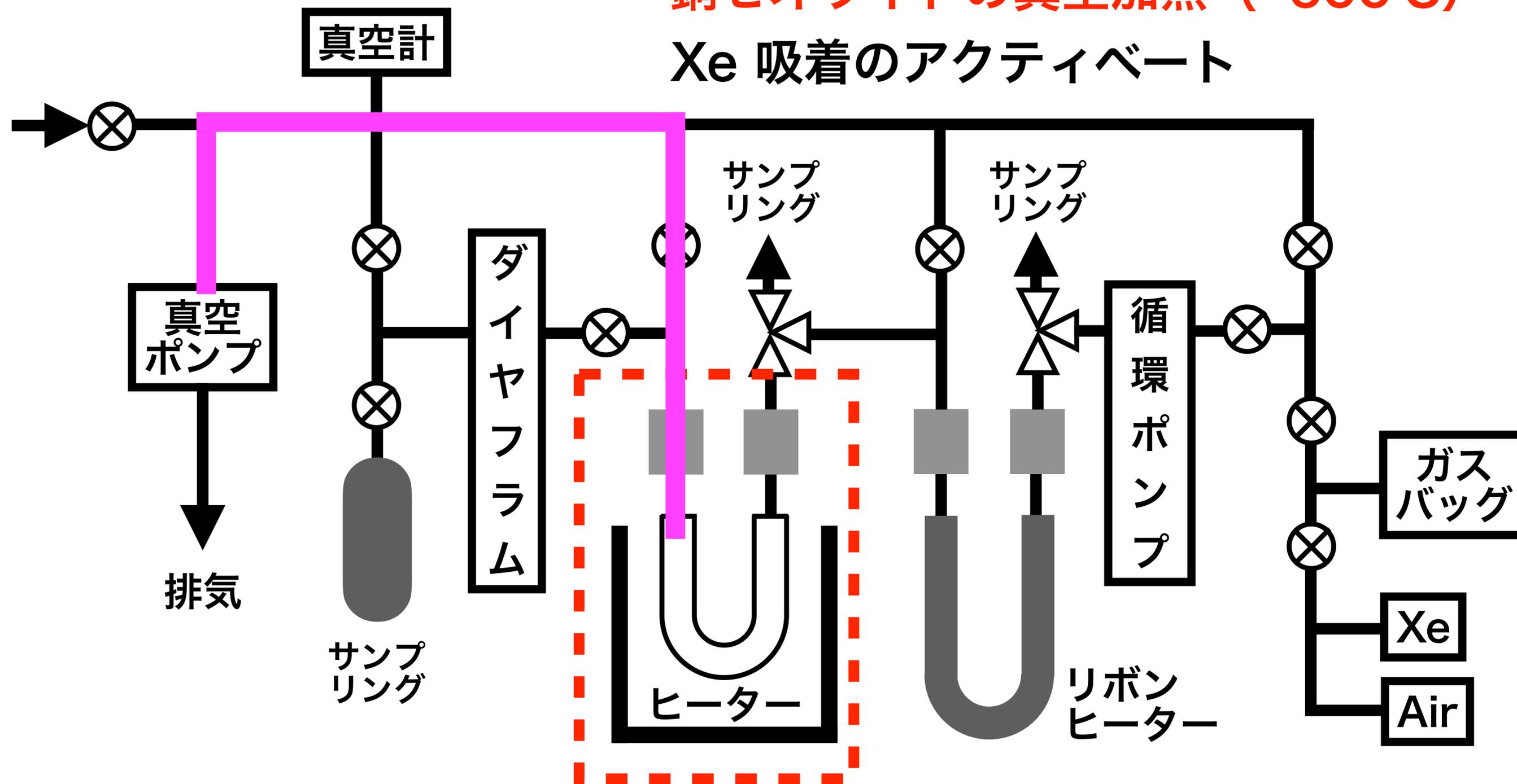
ゼオライトの真空加熱 (~200°C)
水蒸気・N₂ 吸着のアクティベート



全体の概略図

銅ゼオライトの真空加熱 ($\sim 600^{\circ}\text{C}$)

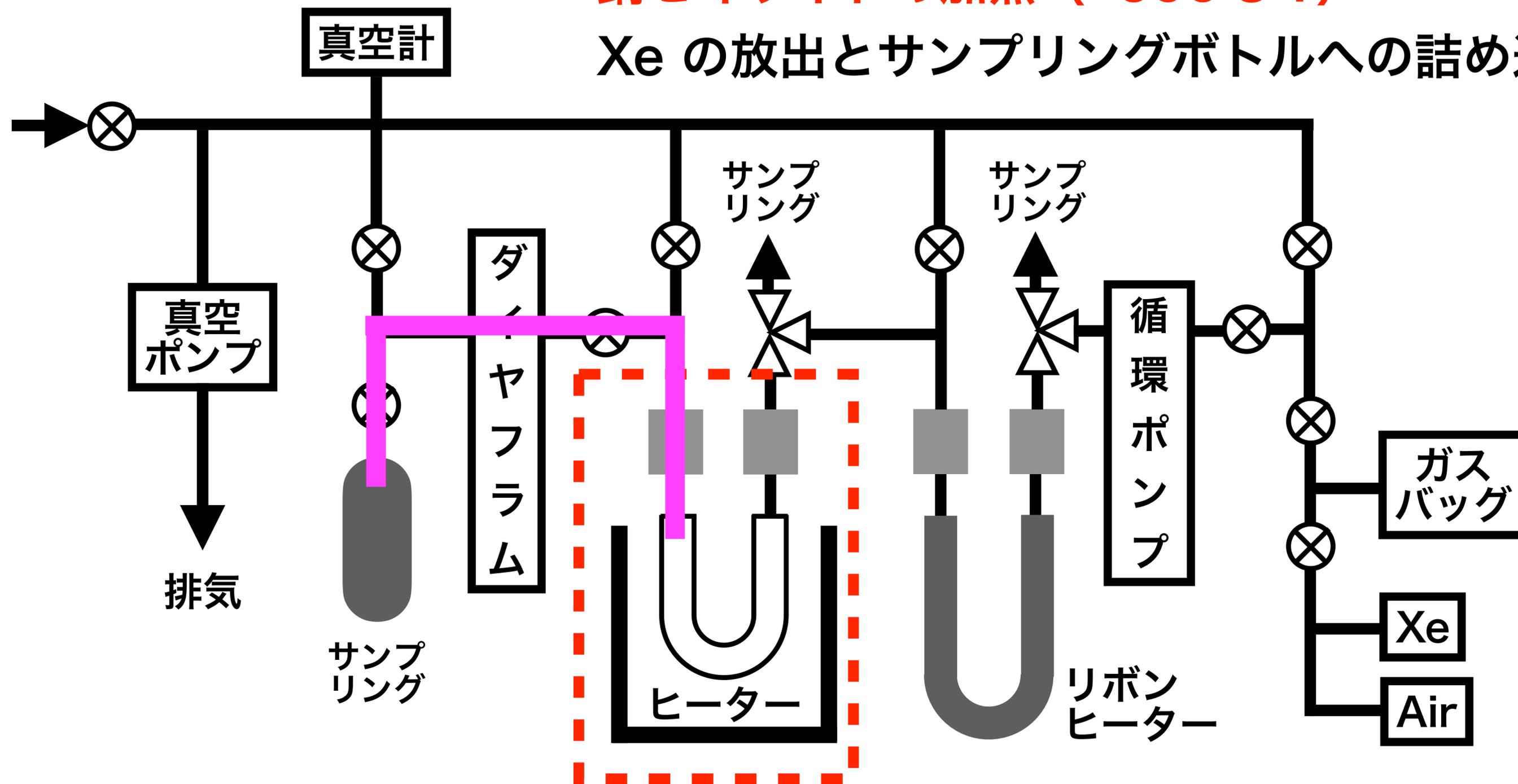
Xe 吸着のアクティベート



全体の概略図

銅ゼオライトの加熱 (~600°C ?)

Xe の放出とサンプリングボトルへの詰め込み





- 借りたものの、動かなかったターボ分子ポンプ
- 数 Pa までしか測れないピラニゲージ

装置全体の写真



装置の現状

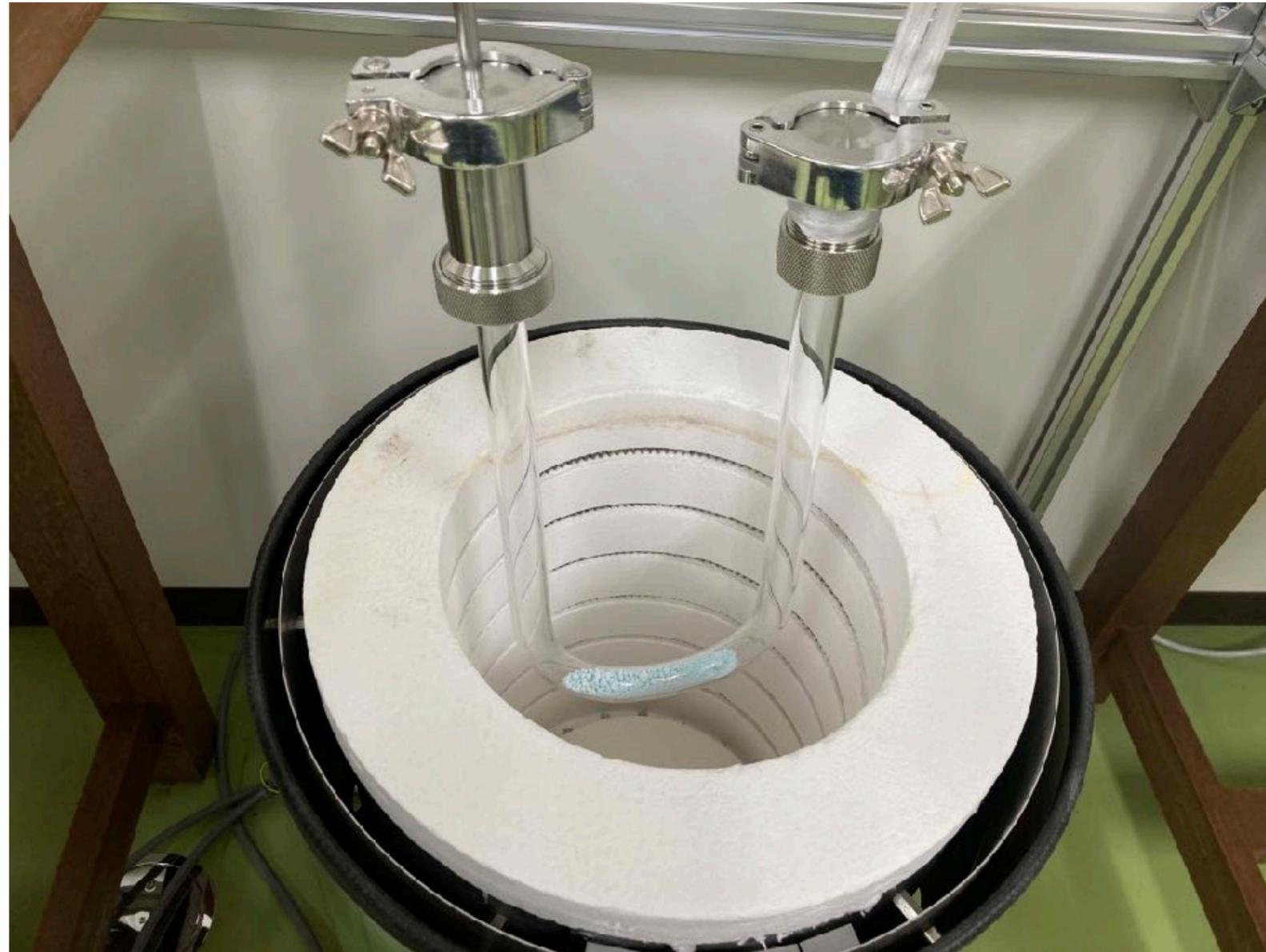
■ 配管接続

- 今のところ Swagelok, NW25 で接続
- 真空度が 10^{-2} Pa 程度までしか下がらない
- 石英管 (+ゲージポート) じゃなくてもいいか要確認
- VCRにしないといけないうか検討中

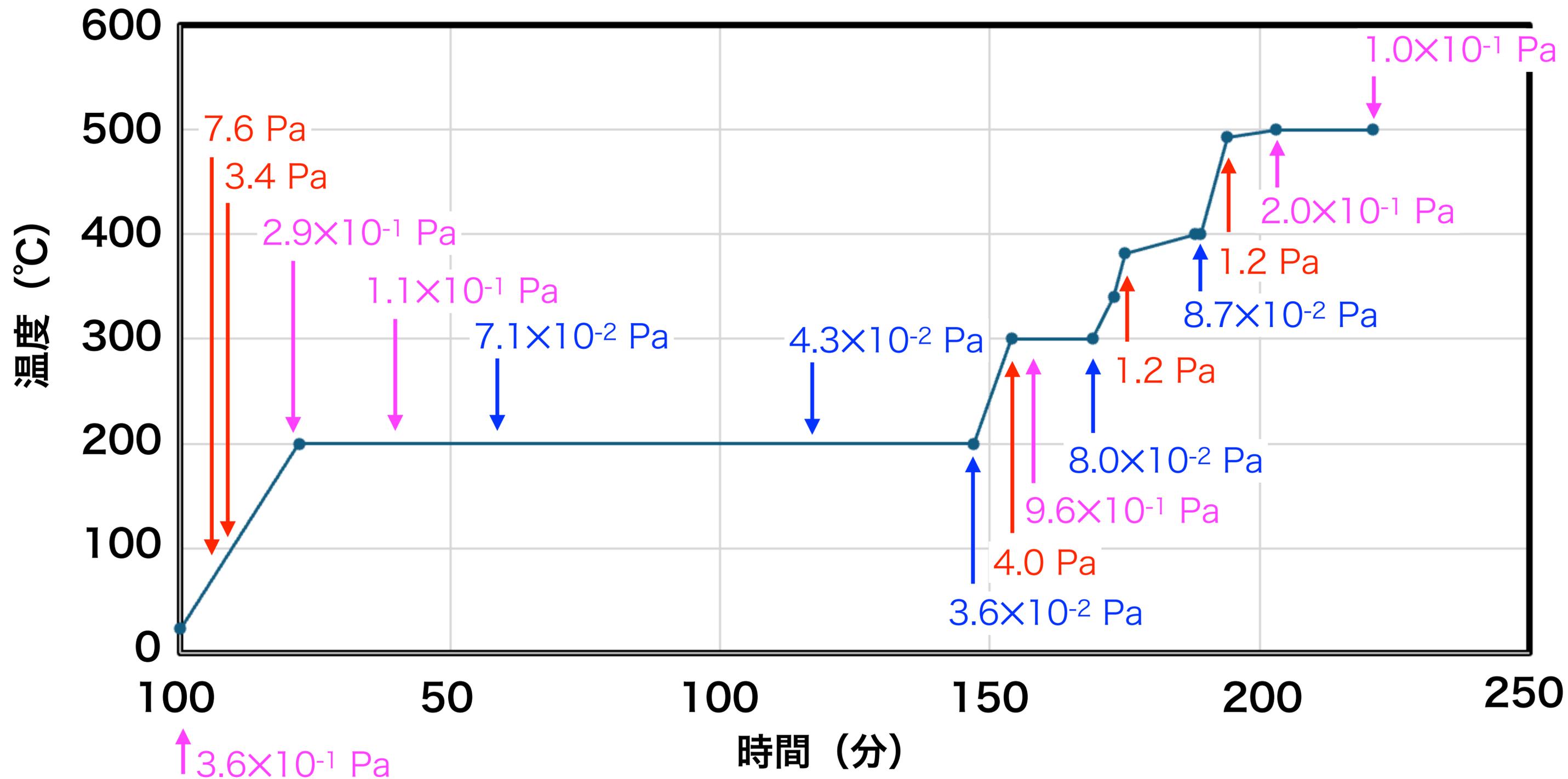
■ ヘリウムリークテスト

- ヘリウムがまだ納入されていない
- 高圧ガスは青函トンネル通れないから船便で…とかなんとか

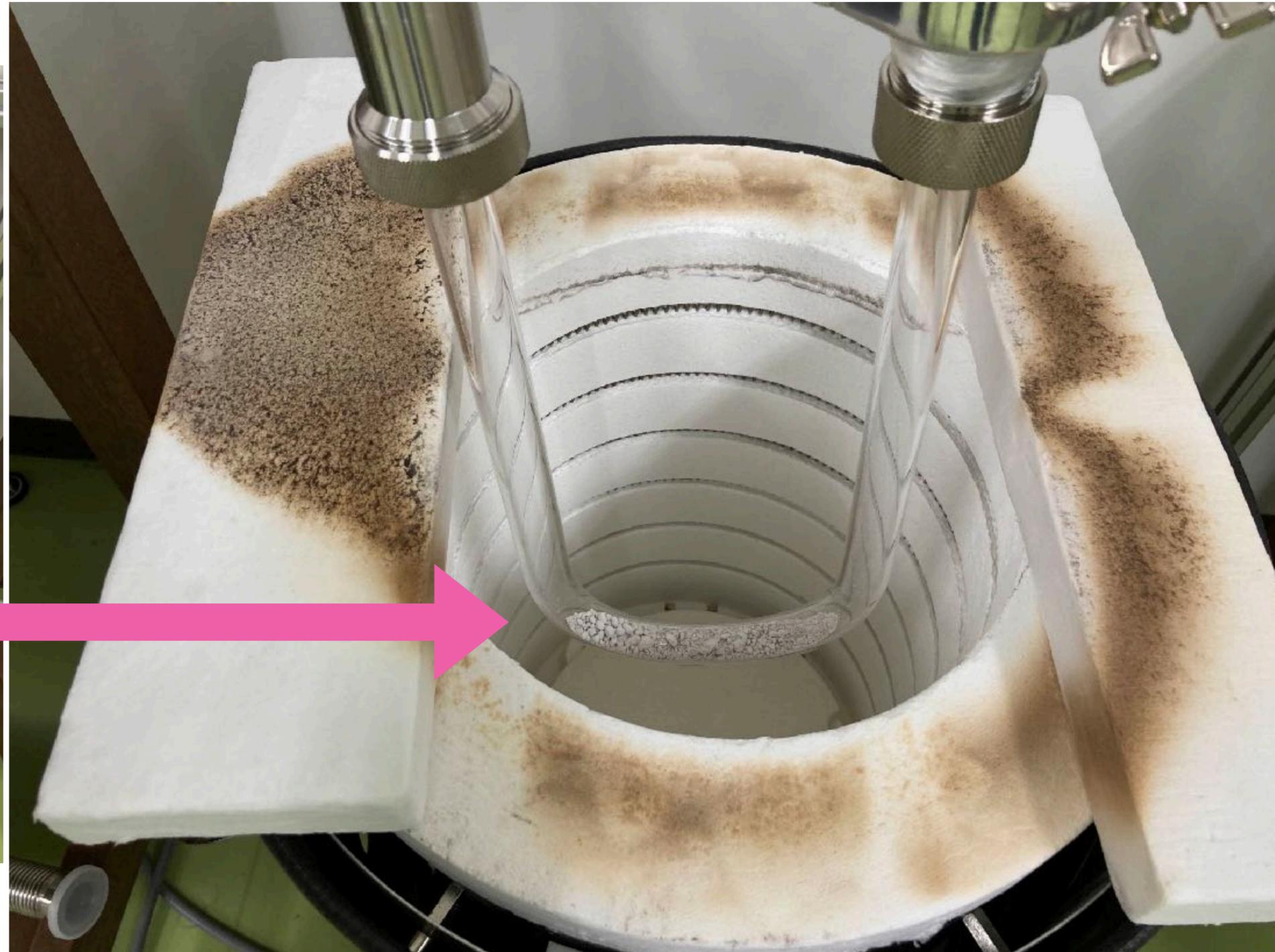
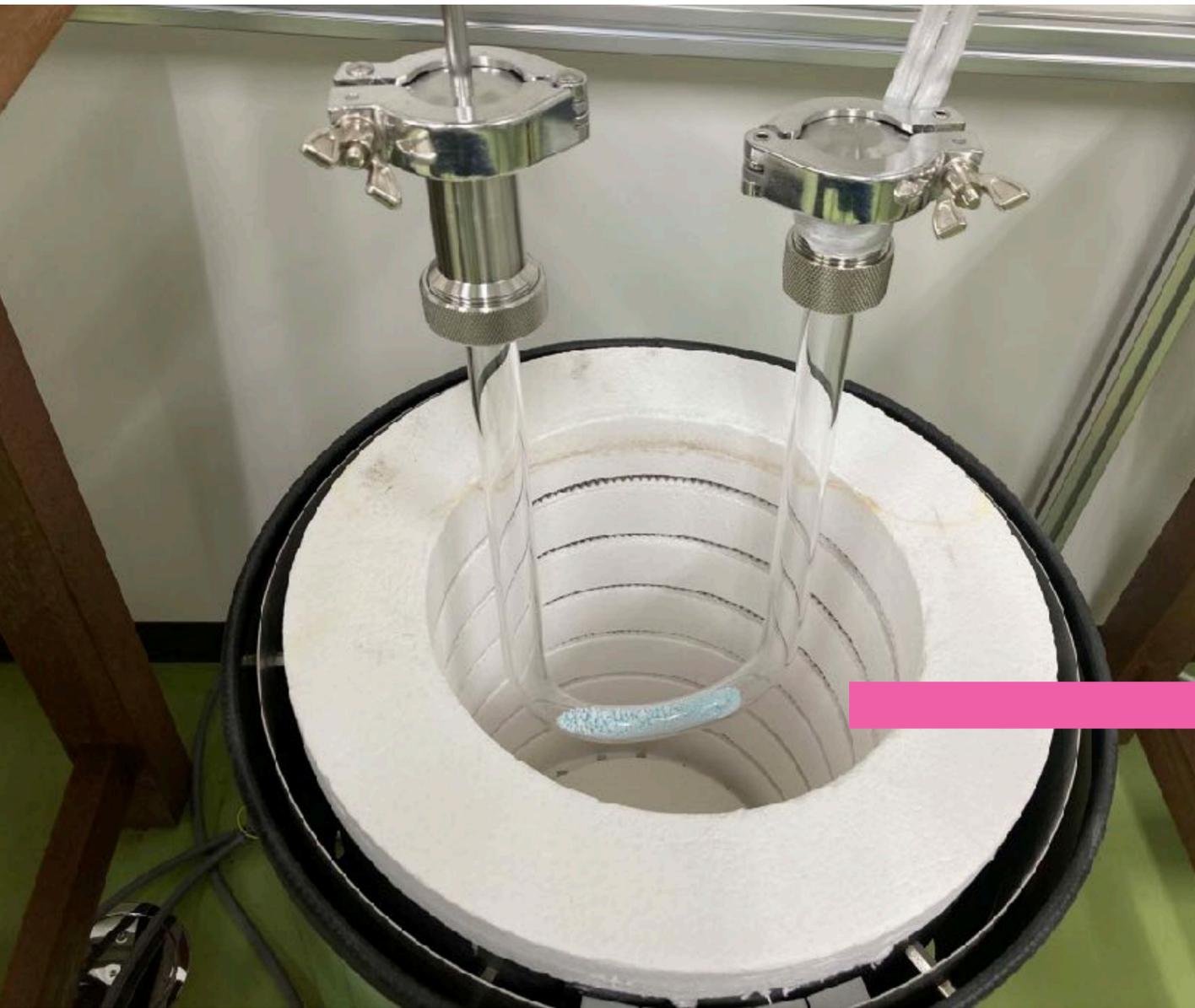
少量サンプルでの真空加熱テスト



真空加熱テスト



真空加熱テスト後の銅ゼオライト



真空加熱テスト後の銅ゼオライト

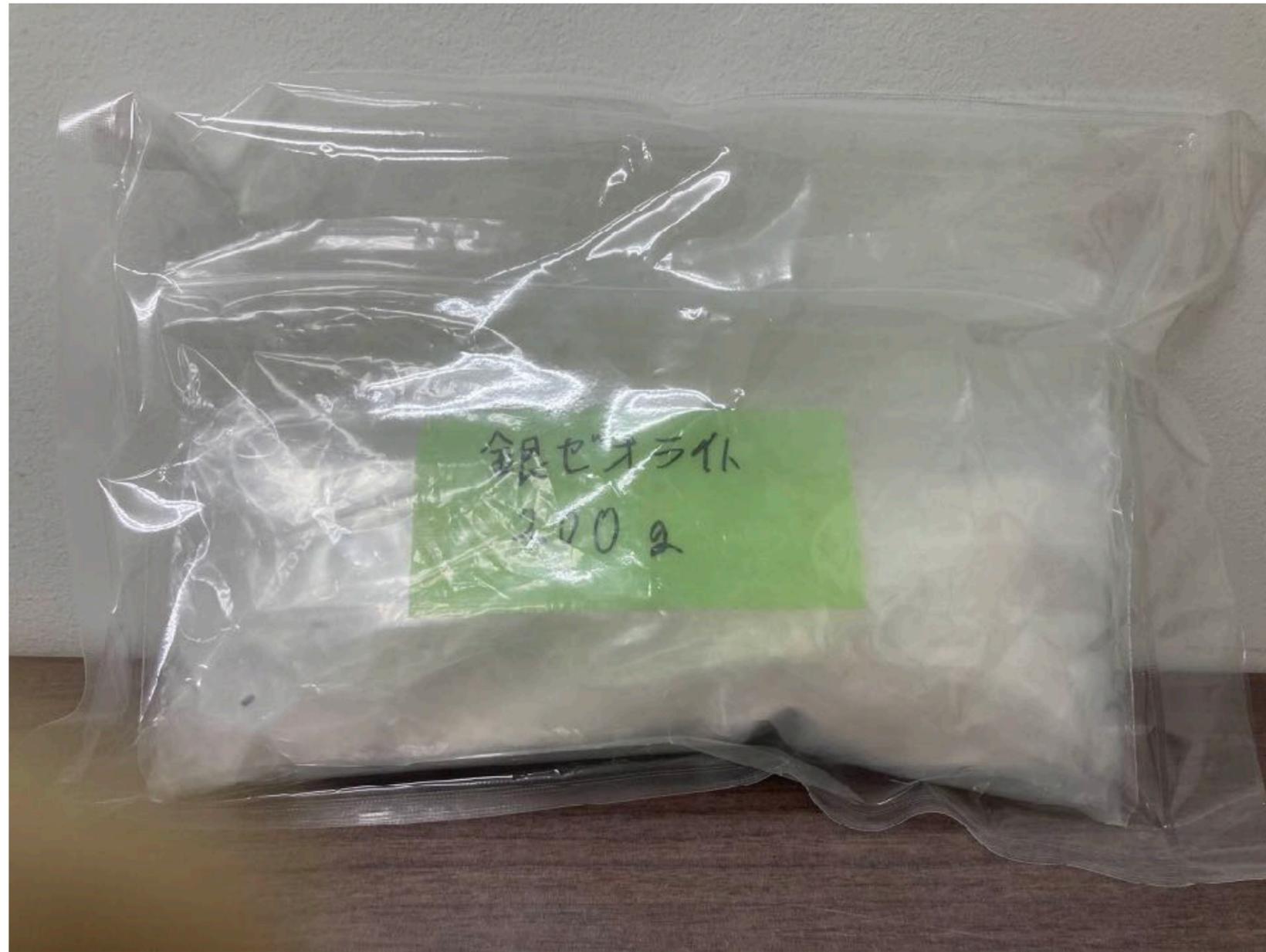


空気導入



- 一瞬で白いゼオライトが青いゼオライトに変化
- キセノン以外のガス (H₂O, N₂, etc.) を吸着するゼオライトを前段に設置？

銀イオン交換ゼオライト



■ 銀イオン交換ゼオライト

- 東北大から提供していただいたもの
- 銅イオン交換ゼオライトとの比較を行う予定

まとめ

- 銅イオン交換ゼオライトを用いて、空気中からキセノンを回収する方法について開発を進めています
- 各種必要な装置を調達して、一通りテストラインを組みました
- 動作確認のテストを開始
- 真空加熱を行ったところ、2 価の銅ゼオライトから 1 価の銅ゼオライトへ変化したと思われる現象を確認した
- 今後、各種テストを進める予定