

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

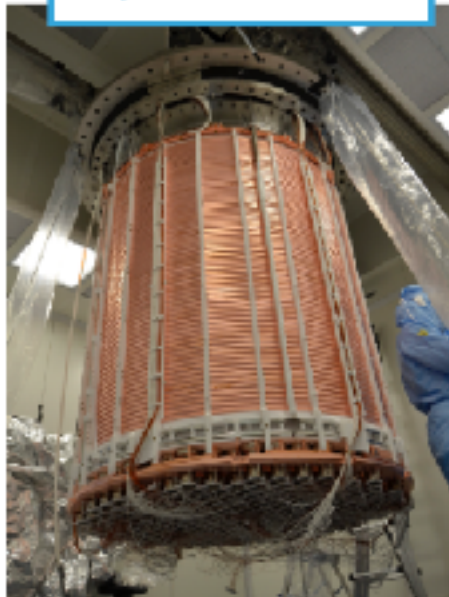
丸藤祐仁

帯広畜産大学/東北大RCNS

将来の極稀事象探索実験とキセノン

暗黒物質探索

現在

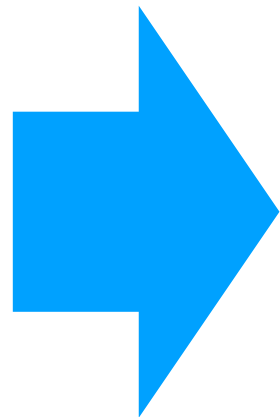


XENONnT

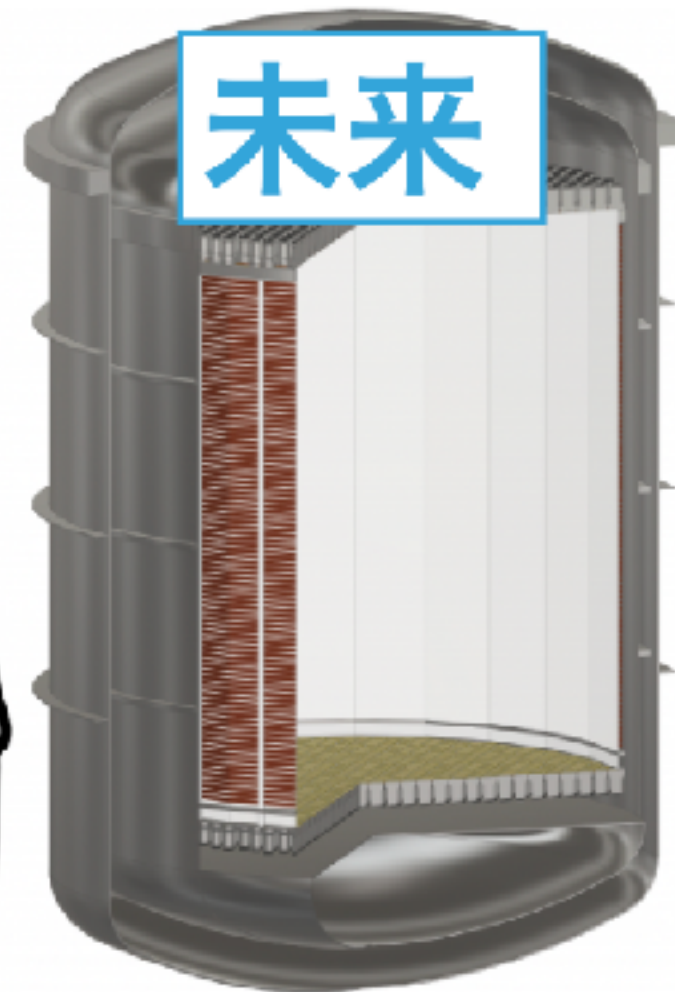
Total Xe: ~ 8.5 ton

Target: ~5.9 ton

Fiducial: ~4 ton



未来



DARWIN (XLZD)

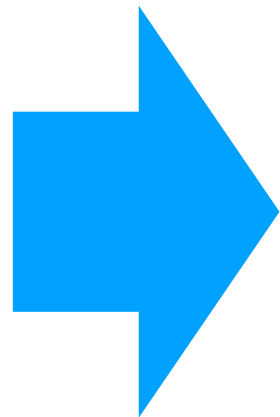
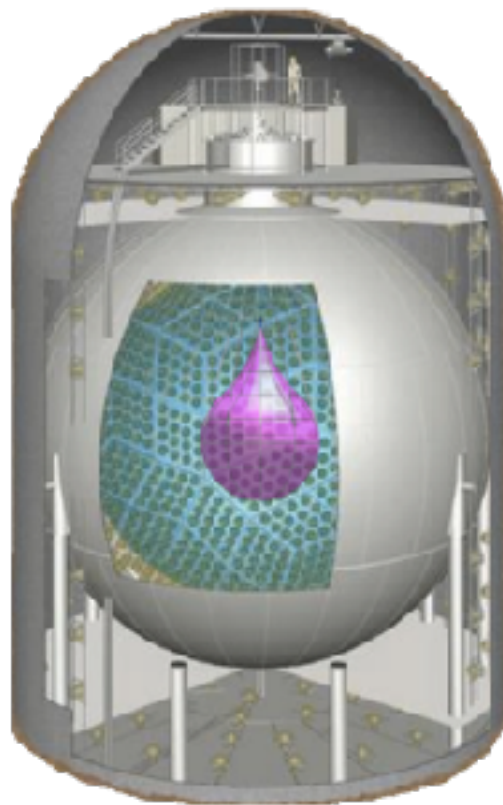
Total Xe: ~50 ton

Target: ~40 ton

Fiducial: >30 ton

将来の極稀事象探索実験とキセノン

$0\nu\beta\beta$ 崩壊探索実験



KamLAND-Zen 800

^{136}Xe : 677 kg (Total Xe: 745 kg)

(^{136}Xe の天然存在比が 8.86% のため、
もともと必要なXeは **7.6 ton**)

100 ton ~ 1000 ton の
キセノンから濃縮する必要があるはず

キセノン

キセノンの用途

半導体製造：Si に対するエッチング液； XeF_2

エキシマレーザー（Excimer Laser）； XeF , 351 nm

XeCl , 308 nm

EUV（Extreme Ultraviolet）；13.5 nm

UV消毒：パルスキセノンランプ

照明：車のヘッドライト，商業施設の照明

衛星：イオンエンジン

生産量

どうやら年間生産量は**100 ton 未満**

数年に渡って購入するとしても，通常の方法で購入できるかは甚だ疑問がある

キセノンの生産

大気中から

大気中濃度は 0.00000087% (~0.087 ppm)

(液体酸素, 液体窒素, 液化アルゴンを生産するときの副産物)

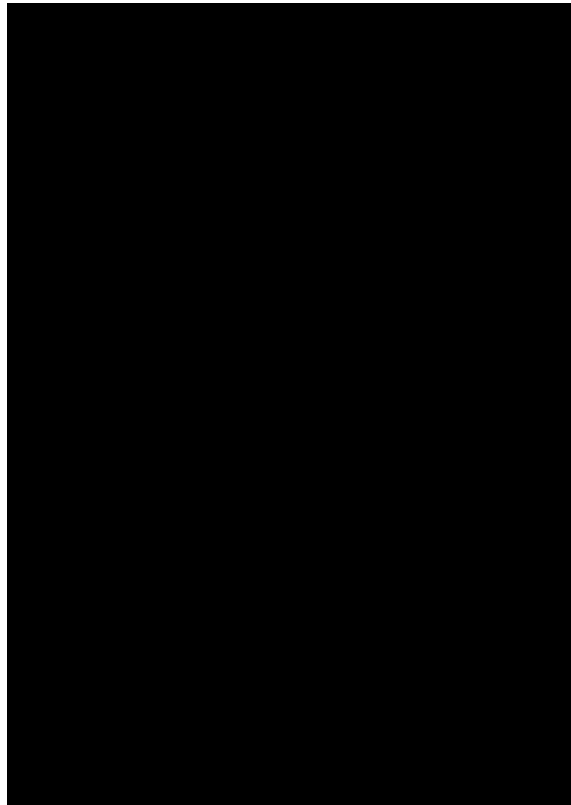
核燃料廃棄物から

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かもしれない (三菱重工などが何かしらデータを持っているかもしれない)

これらを効率よく回収したい

ゼオライト



板谷篤司さん
(研究協力者)

粉体を研究テーマにしている専門家

- ・ 粉体は単位質量あたりの表面積が増える
- ・ 小さい孔がたくさんある物質が対象

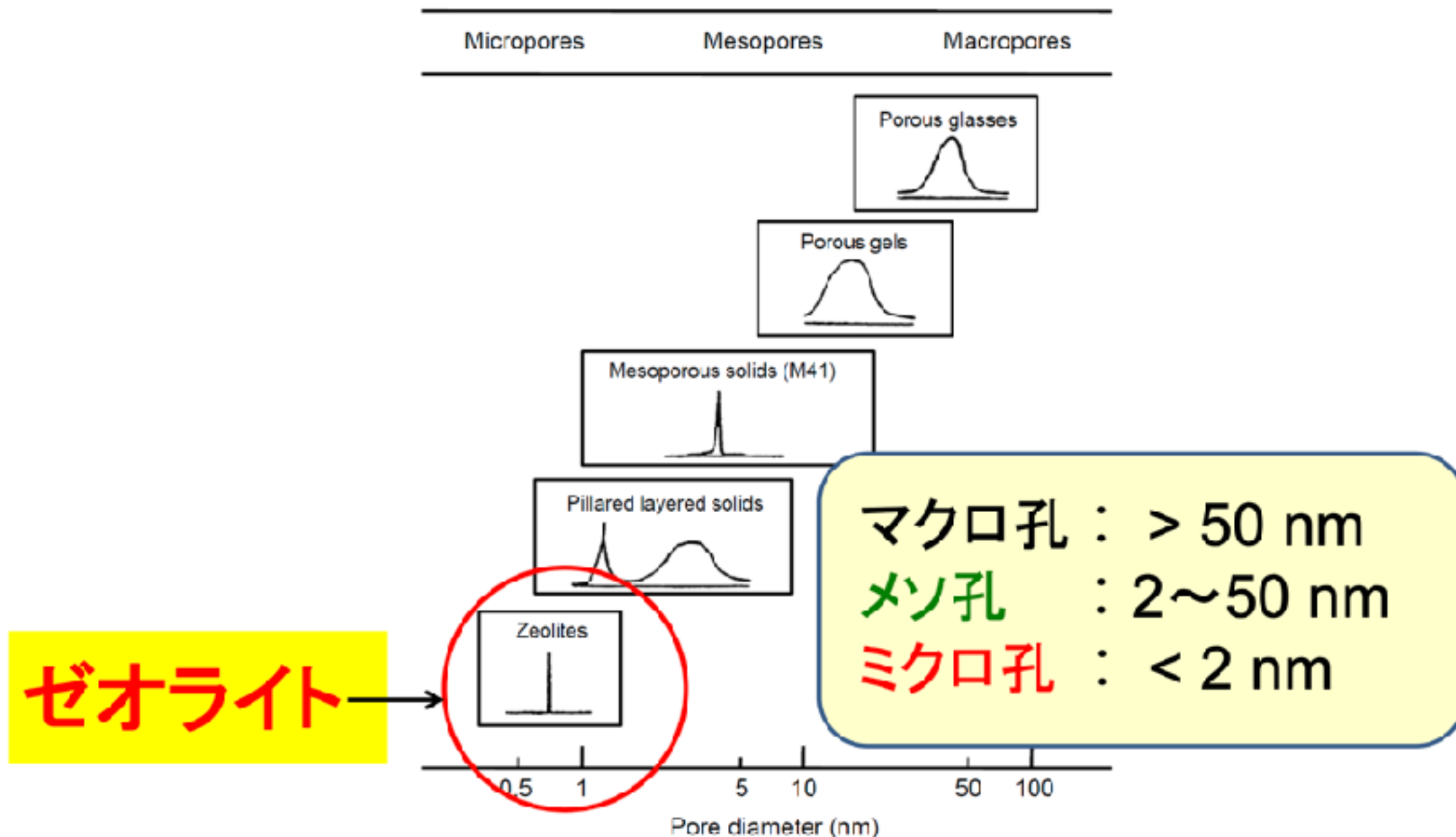
「キセノンなら、銀イオン交換ゼオライトより、銅イオン交換ゼオライトのほうが取れると思います」

申請書を書いている途中で分担者の設定が無いことに気づく

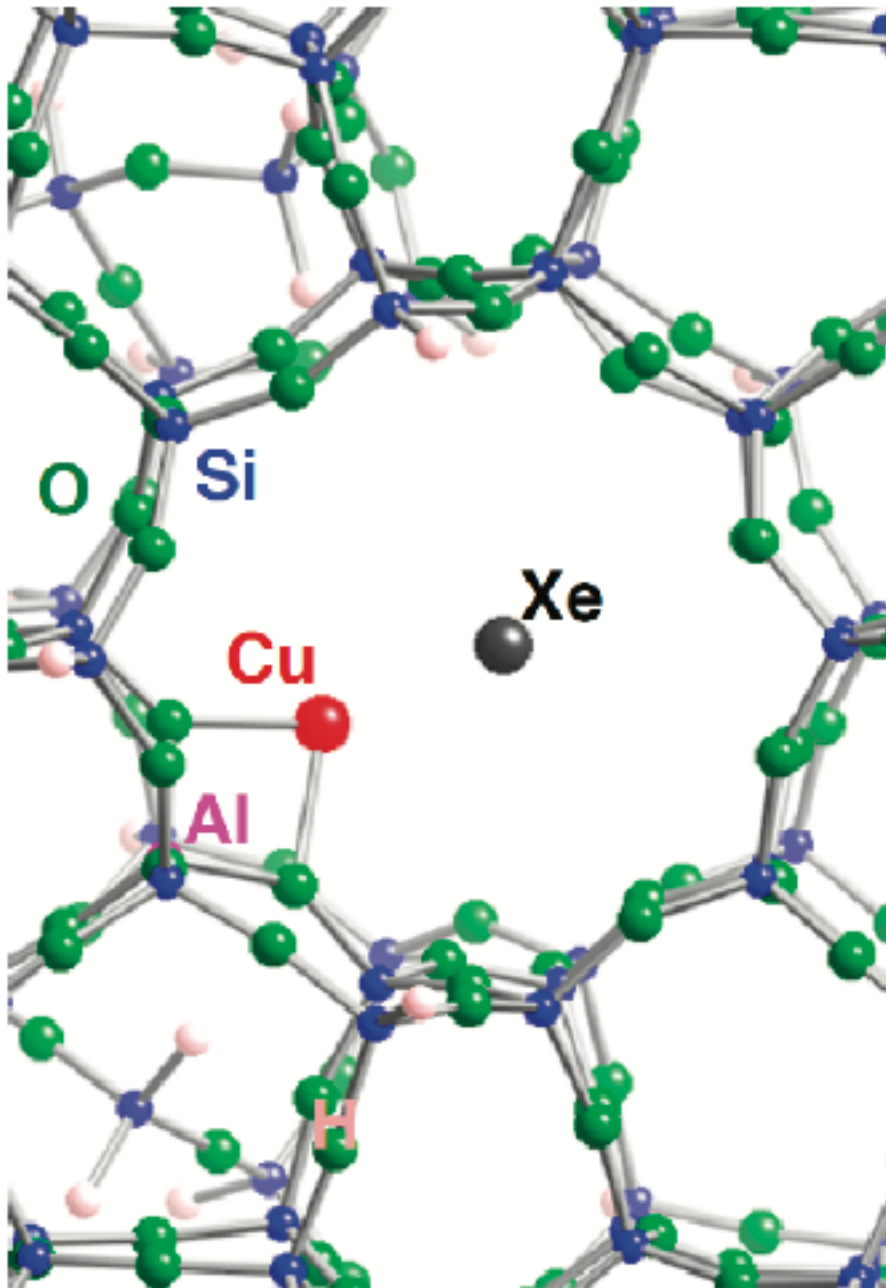
**銅イオン交換ゼオライトは用意してくれる
そうです**

ゼオライト

孔 (細孔) の分類

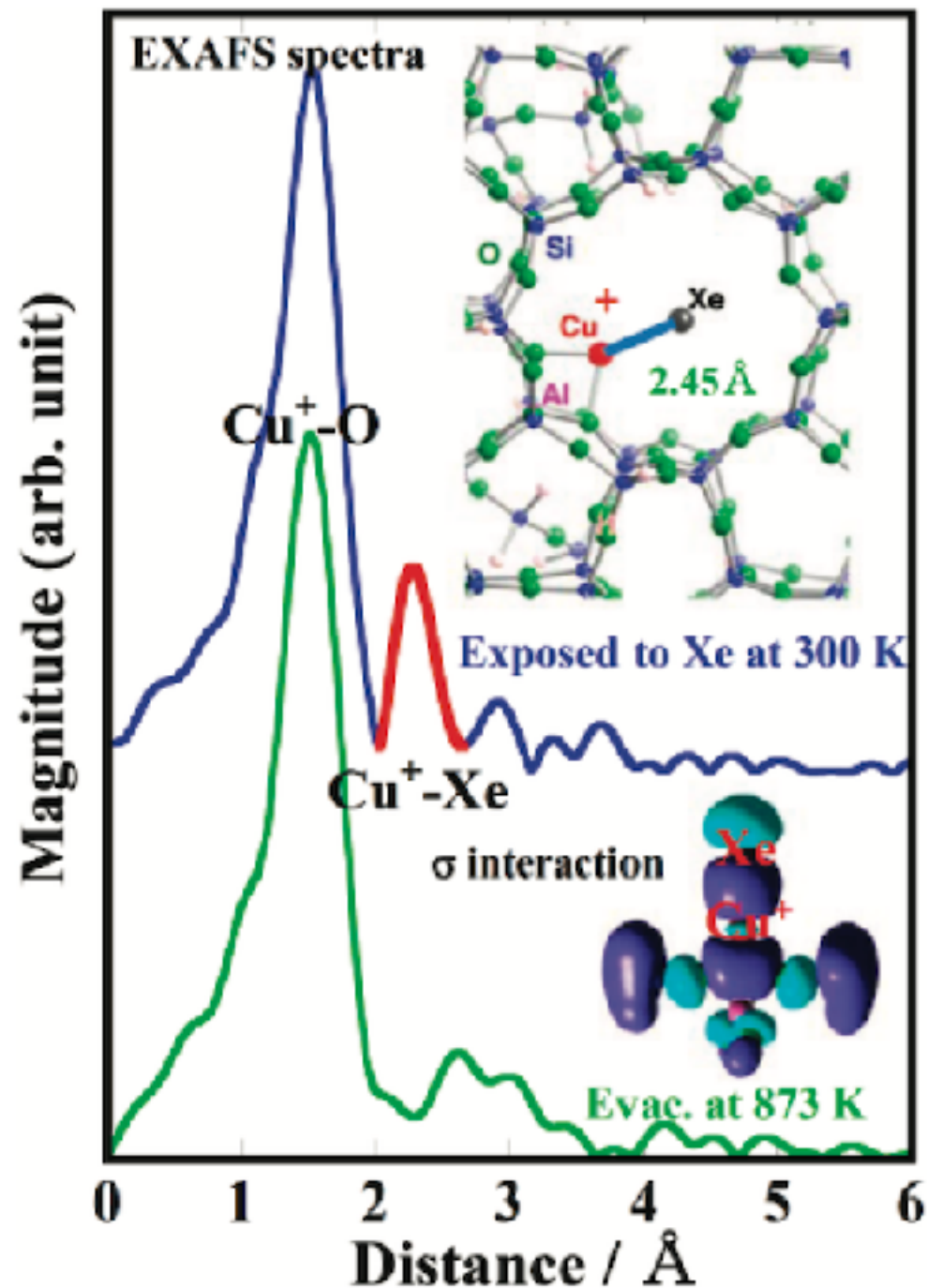


銅イオン交換ゼオライト



- ・ゼオライトは三次元骨格構造をもつアルミノケイ酸塩の一種
- ・Si と Al の比率と骨格構造の違いから、各種母体ゼオライトが存在する
- ・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**

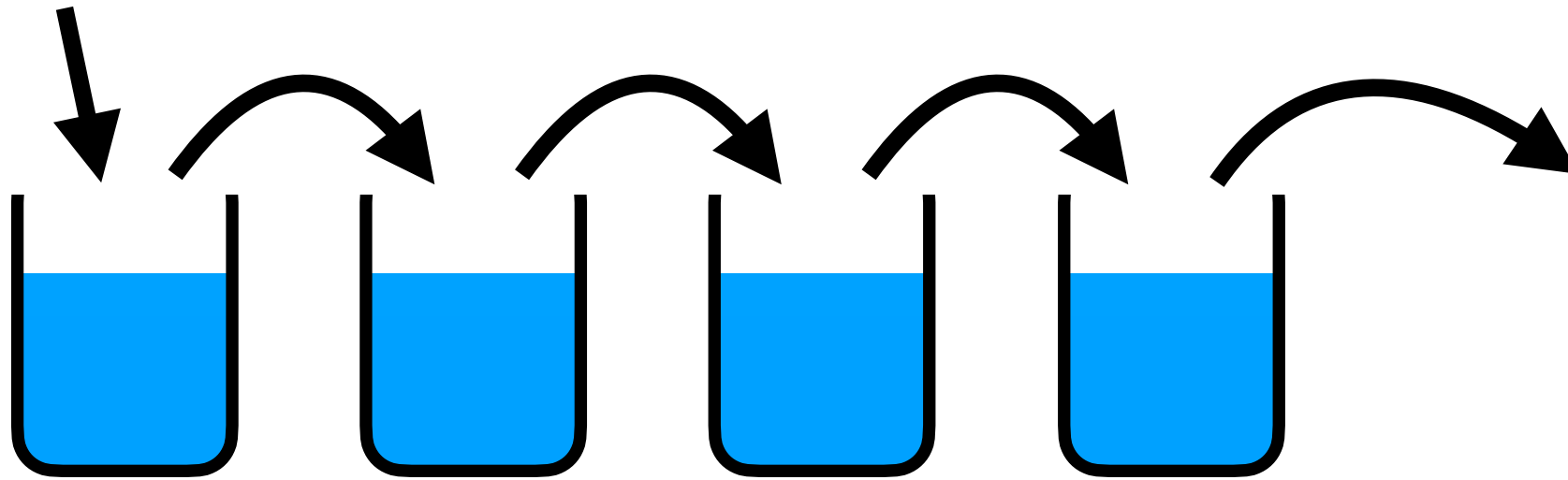
銅イオン交換ゼオライト



- ・ MFI 型ゼオライト (Si/Al=14.5) を母材ゼオライトとした **1 価の銅イオン交換ゼオライト** が、室温でもキセノンを吸着する
 - ・ 放射光の分析により、左図のようにトラップされているのは判明
- Hiroe Torigoe et al., J. Phys. Chem. Lett. 2010, 1, 2642-2650
- ・ ゼオライトから回収するのはまだ
 - ・ 定量的な議論もまだ
 - ・ FER 型や USY 型など (Si/Al = 10 付近), 他の母材ゼオライトを用いた場合の吸着量の違いについても調べたい

銅イオン交換ゼオライトの作り方

母体ゼオライト(白い粉)



酢酸銅水溶液とか塩化銅水溶液など

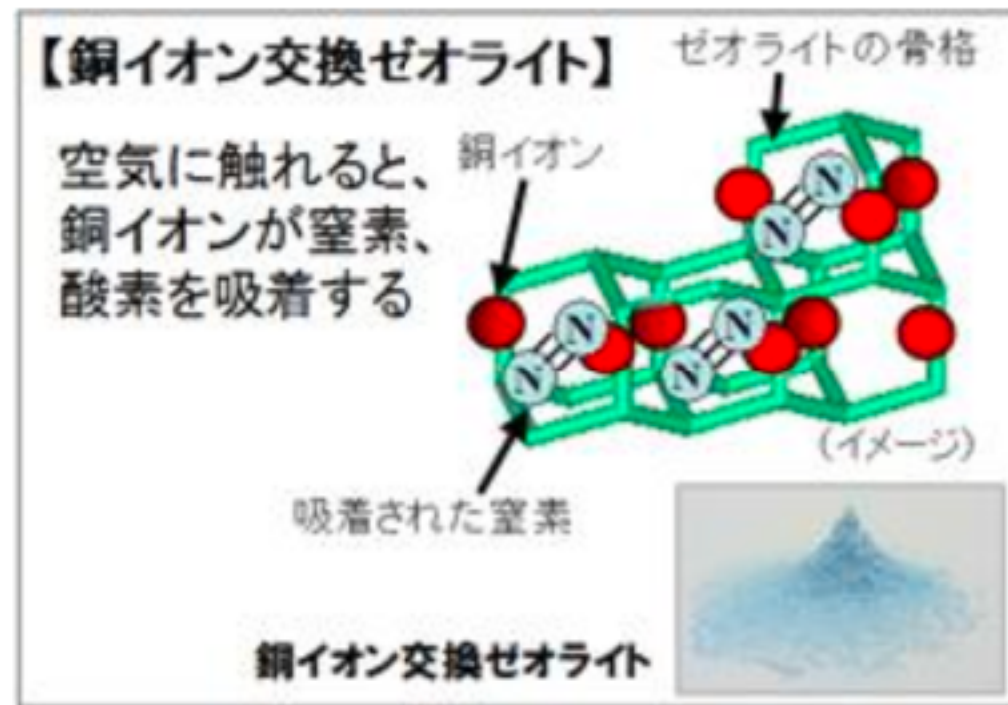


白い 1 価の銅の
銅イオン交換ゼオライト

加熱

銅イオン交換ゼオライト
(ただし, 2 価の銅)

銅ゼオライトの実用化の例

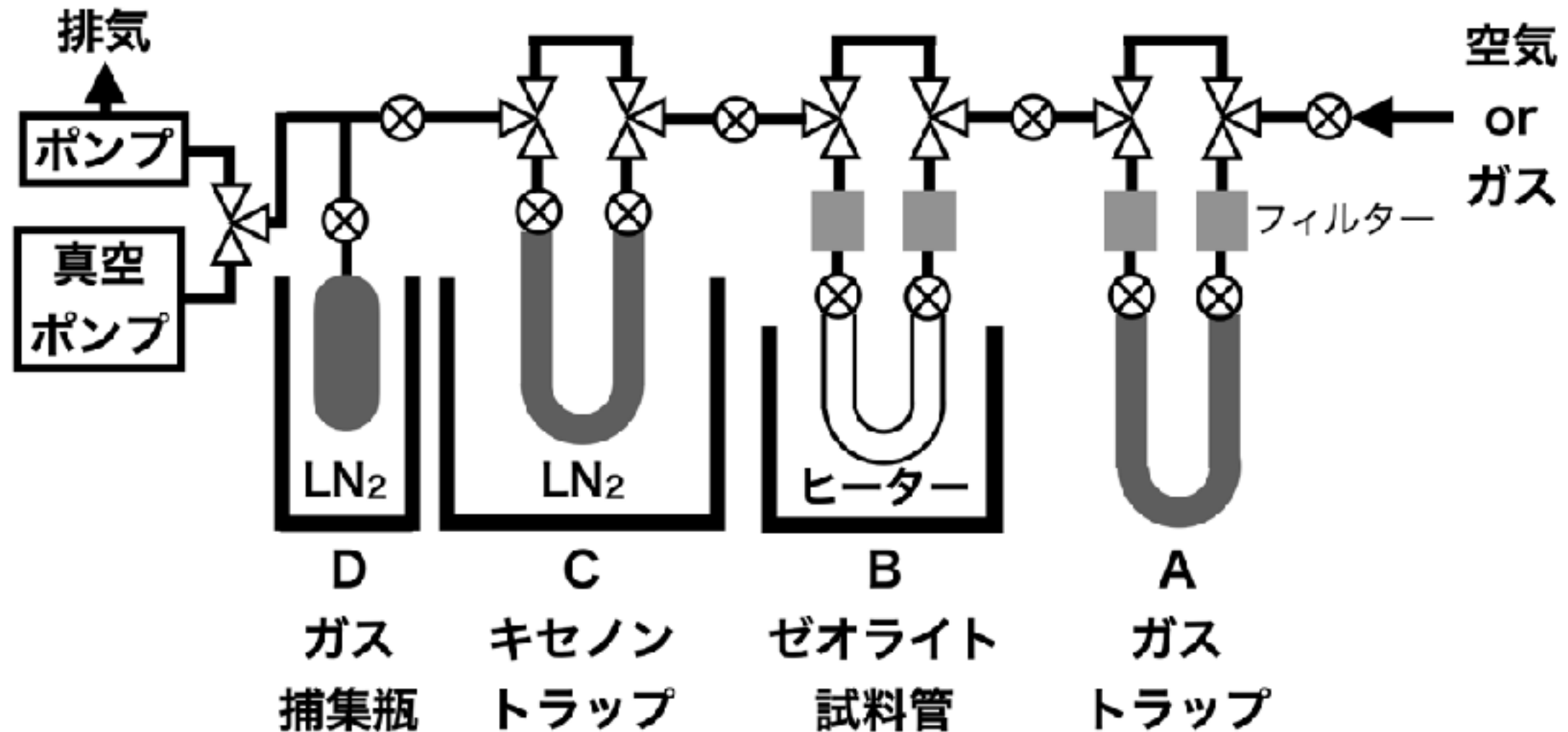


A. Yuasa, Y. Kuroda, M. Nagao, and A. Itadani,
Patent no. 4807552. (JP4807552B2)

U-VacuaV
(真空断熱材)

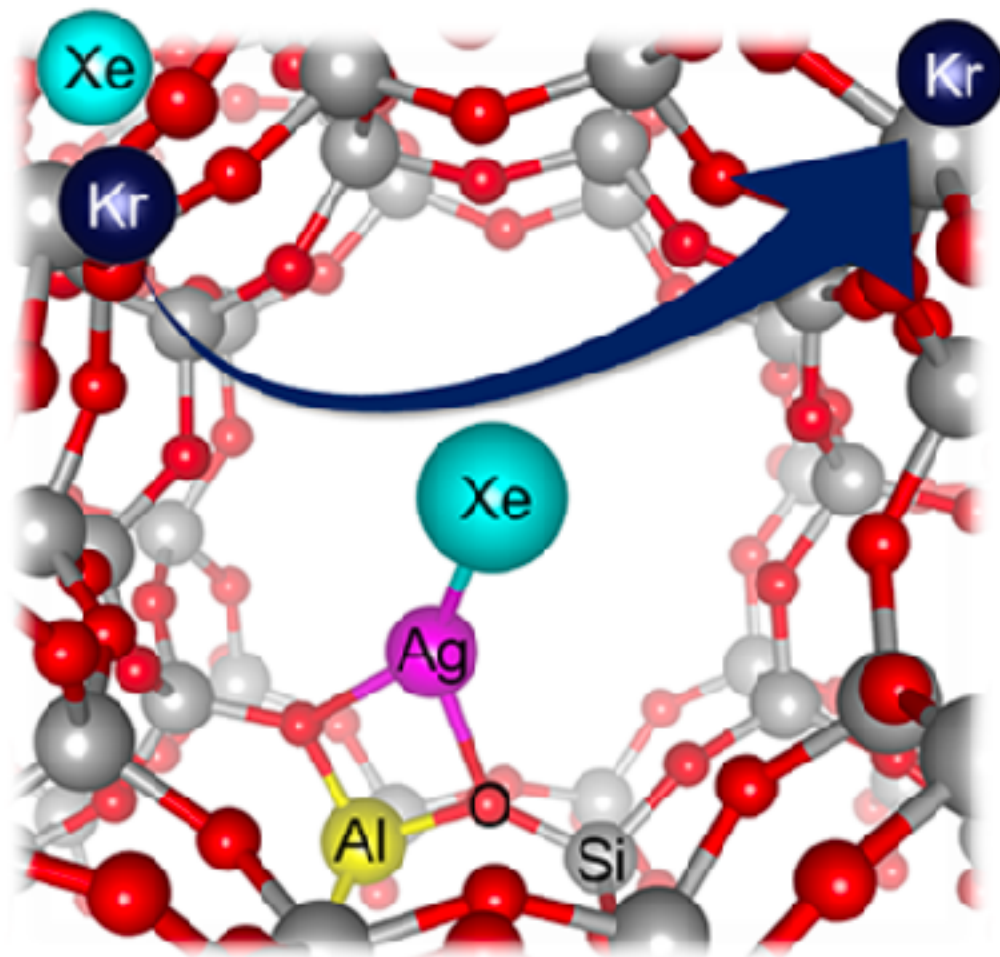
news.panasonic.com/jp/press/jn110906-3

銅ゼオライトを用いた吸着実験



- ・銅イオン交換ゼオライト中の Cu^+ は、窒素や酸素なども吸着する
- ・水蒸気は Cu^+ を Cu^{2+} イオンと金属 Cu^0 に変化させる
- ・上記の気体をできるだけ除去するために、前段階で吸着剤を使用したラインを組んで実験を行う予定

銀イオン交換ゼオライト (Xe の分離)



MFI 型ゼオライトを母材ゼオライトとした銀イオン交換ゼオライトが、キセノン・クリプトン・酸素混合物からキセノンを選択的に分離する、という研究が進められている

Akira Oda et al., J. Phys. Chem. C 2022, 126, 8312-8326

キセノンの測定



ガスクロマトグラフ@KamLANDエリア



RGAの残骸@KamLANDエリア

- ・うちの大学には適切な測定装置が無い
- ・キセノンが入っている（と思われる）ボトルを神岡に持っていき、ガスクロマトグラフ，RGAなどの分析装置で測定する

まとめ

- キセノンを用いて，さらに大型の地下稀実験を行うには，キセノンをなんとかして大量に確保する必要がある
- 銅イオン交換ゼオライトはキセノンを吸着する
- 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を開発する
- 各種銅イオン交換ゼオライト，銀イオン交換ゼオライトを用いて，選択的にキセノンを回収することができるか確認したい