

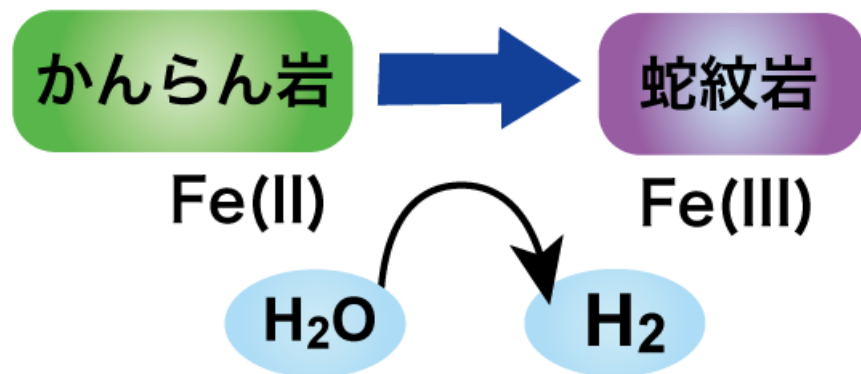
超塩基性岩を用いた水素生成・回収増進 に関する実験的検討

東北大学大学院環境科学研究科

岡本 敦

渡邊 則昭, Dandar Otgonbayar, Jiajie Wang, Luis Salala

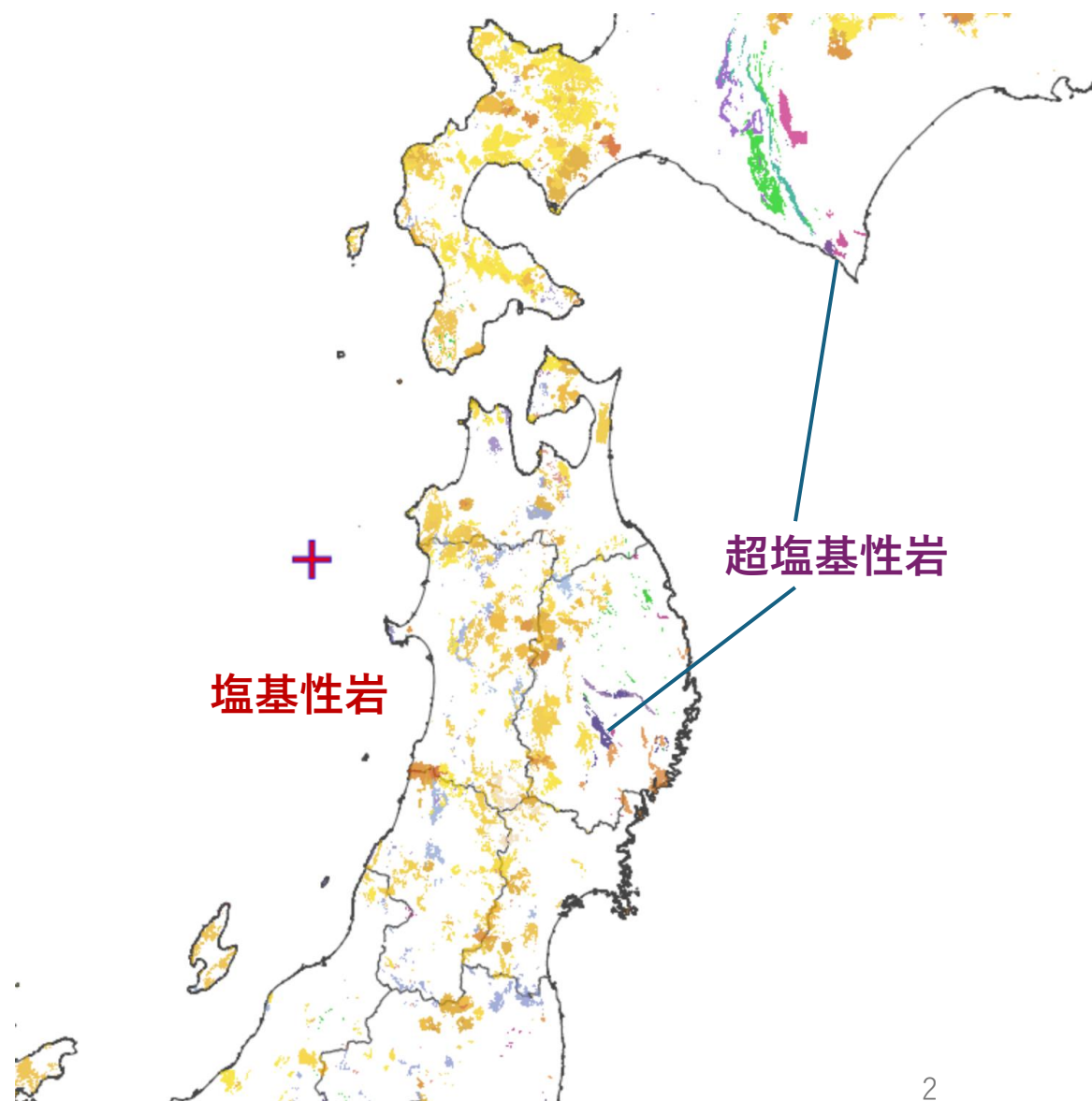
背景



超塩基性岩の蛇紋岩化が起こるときに、岩石中の Fe(II) が酸化されて、 Fe(III) に変化し、同時に水を還元して水素を発生する。

日本には、海洋底や沈み込み帯を起源とする様々なタイプのかんらん岩体・蛇紋岩体が多数存在している。これらは、鉱物種類、空隙組織、亀裂などバリエーションがある。

一方で、火山国であるために地温勾配が比較的に高く、超塩基性岩・塩基性岩が広く分布し、地熱や工場排熱などを利用した反応の促進の可能性も考えられる。



研究の目的

日本国内に存在する典型的な蛇紋岩・かんらん岩を対象として、水素生成に不可欠な鉄の分布評価と水素生成実験に基づき天然水素ポテンシャルを評価すること、また、鉱物溶解を促進し浸透性を高めることが期待される植物由来・生分解性キレート剤を利用した低環境負荷の水素回収・生成増進の方法を検討することを目的とする。

研究項目 A．超塩基性岩の水素回収・生成増進ポテンシャル評価

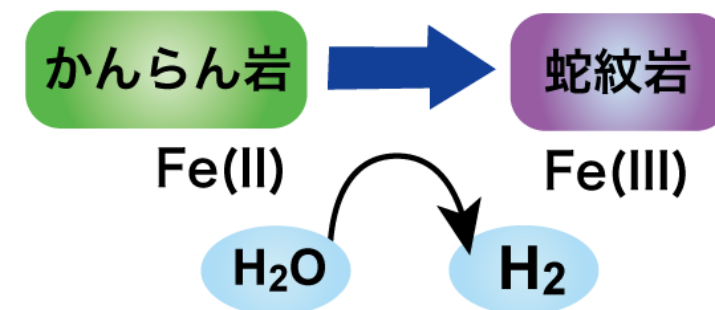
- A－1．超塩基性岩の岩石組織と鉄の化学状態の調査
- A－2．超塩基性岩を用いた水素生成の水熱実験

研究項目 B．キレート剤を用いた超塩基性岩からの水素回収・生成増進基礎技術

- B－1．キレート剤を用いた超塩基性岩の溶解実験
- B－2．キレート剤を用いた浸透性改善実験

A-1. 超塩基性岩の岩石組織と鉄の化学状態の調査

- ・国内の典型的なかんらん岩・蛇紋岩を選定し、蛇紋岩化の程度、鉱物種類・組織・鉄の化学状態の特徴を明らかにする。
- ・空隙の構造とそこに含まれる水素やメタンなどガス成分の存在を調べる。



Primary mantle minerals

Olivine (Mg, Fe(II))₂SiO₄
Orthopyroxene (Mg, Fe(II))Si₃O₈
Spinel

Serpentinization

Serpentine (Mg, Fe(II), Fe(III))₃Si₂O₅(OH)₄
Brucite (Mg, Fe(II))(OH)₂
Magnetite Fe(II)Fe(III)₂O₄

高エネ研(KEK)のX線吸収微細構造解析(XAFS)による鉄の化学状態鉱物中にFe(II)とFe(III)の分布を鉱物組織と併せて適切に評価する。(Yoshida, Okamoto et al. (2025) Am Min)

研究項目 A. 超塩基性岩の水素回収・生成増進ポテンシャル評価基盤技術の開発

A-1. 超塩基性岩の岩石組織と鉄の化学状態の調査

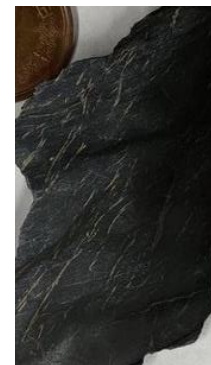
予察的な結果



Sample 1



Sample 2



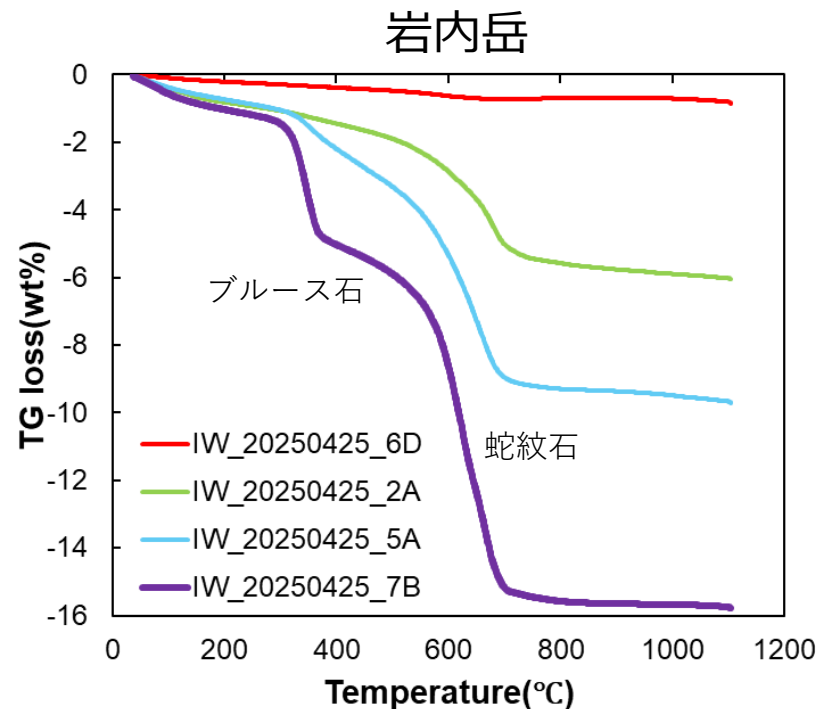
Sample 4



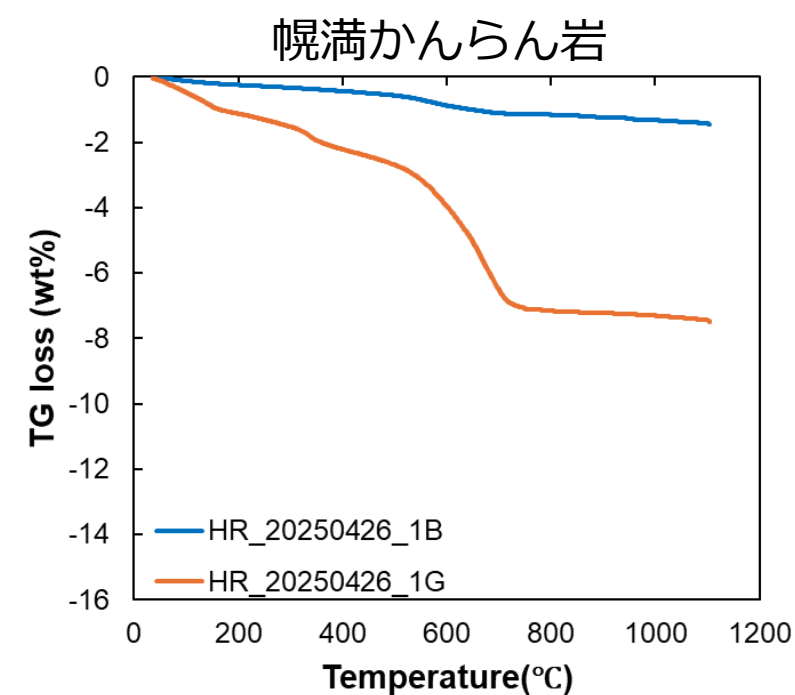
Sample 5



Sample 6



蛇紋岩化



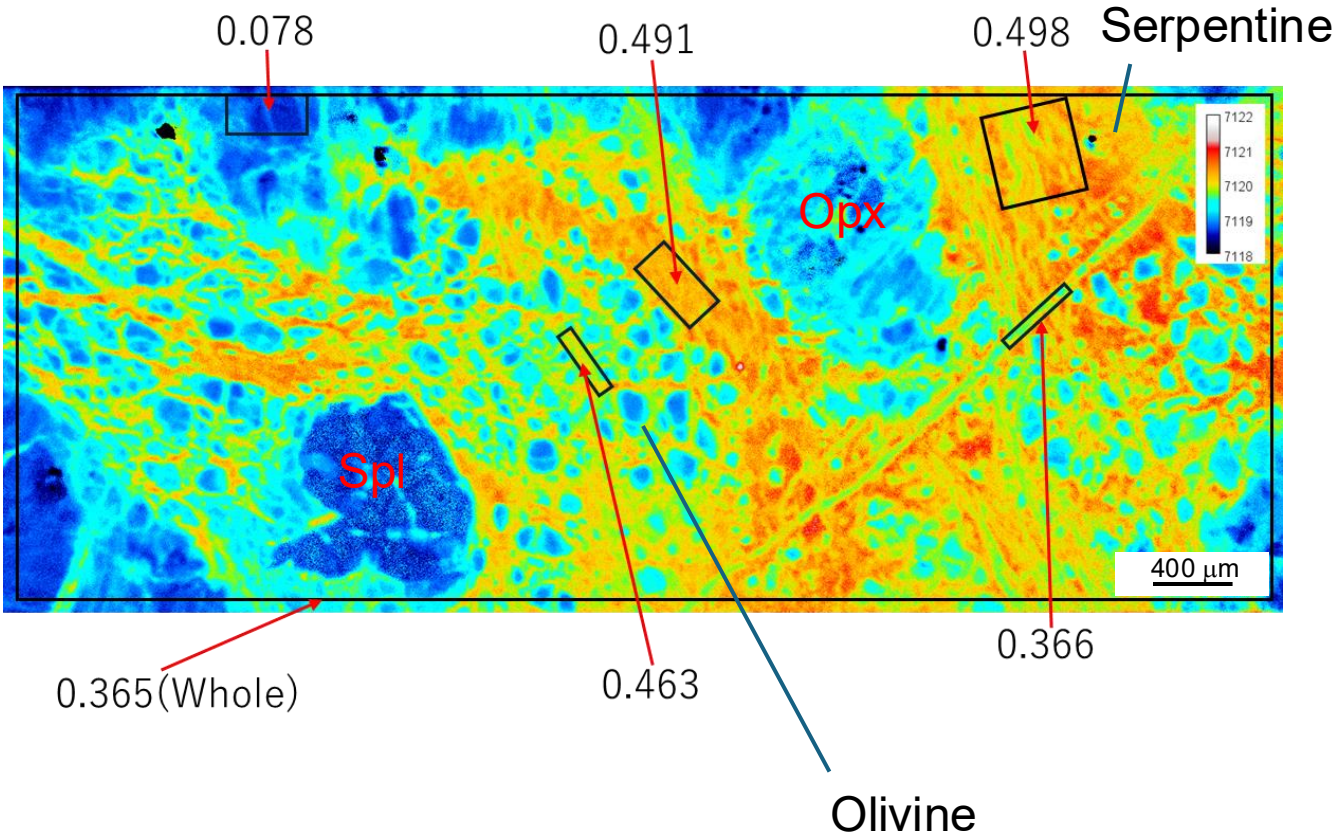
蛇紋岩化の度合いの異なるダナイトとハルツバージャイトの6 試料を選定

A-1. 超塩基性岩の岩石組織と鉄の化学状態の調査 予察的な結果

TG loss	-9.72
Fe ³⁺ /ΣFe(map)	0.365
Fe ³⁺ /ΣFe(bulk)	0.266

岩内岳, Sample 3, TG loss= -9.72

蛇紋石にもFe(III)が含まれる
未反応のかんらん石部分にFe(II)が残っている

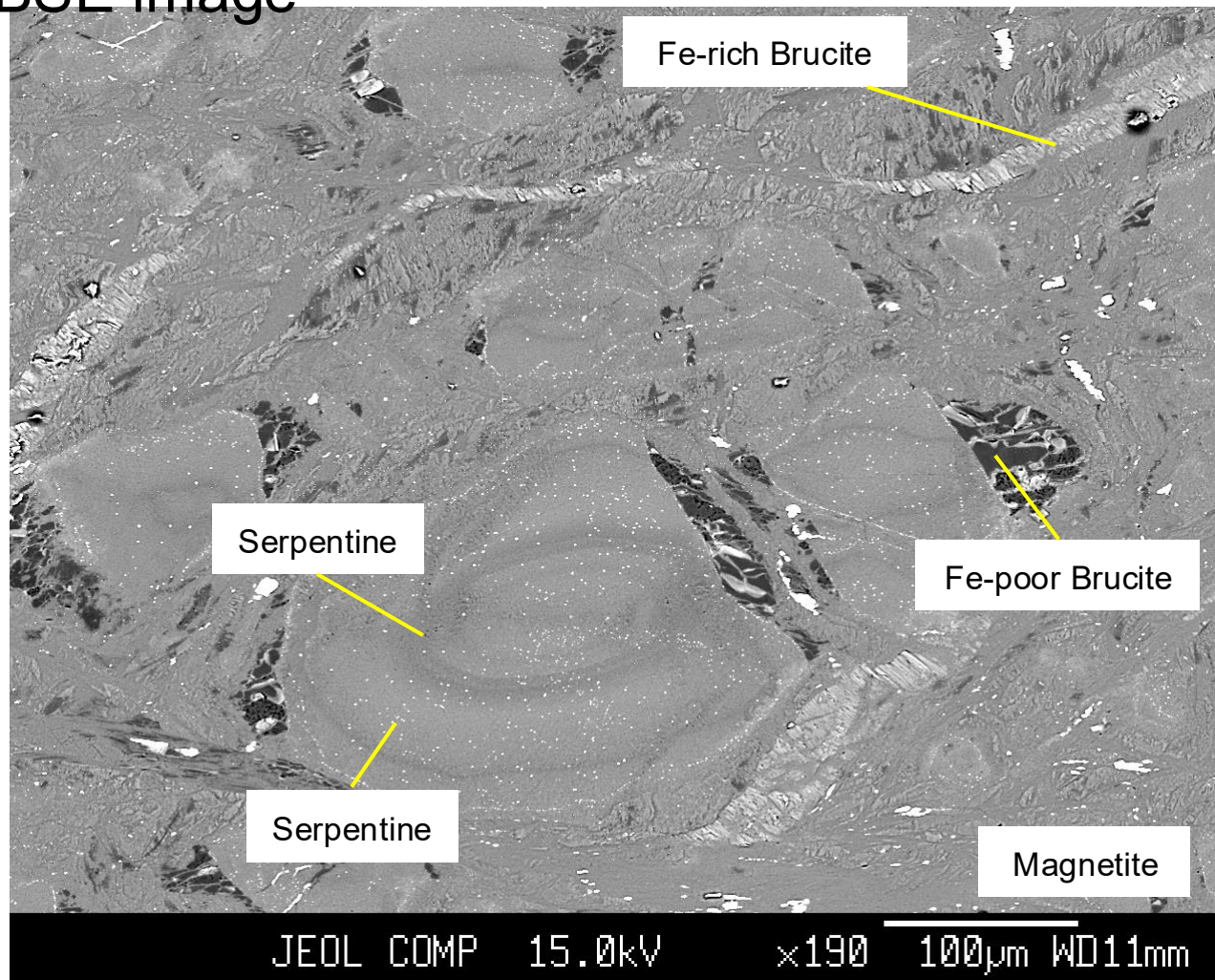


鉄の化学状態マップ
明るい方がFe(III)に富む

A-1. 超塩基性岩の岩石組織と鉄の化学状態の調査 予察的な結果

岩内岳, Sample 4, TG loss= -15.79

BSE image



鉄を含むブルーサイト

研究項目 A. 超塩基性岩の水素回収・生成増進ポテンシャル評価基盤技術の開発

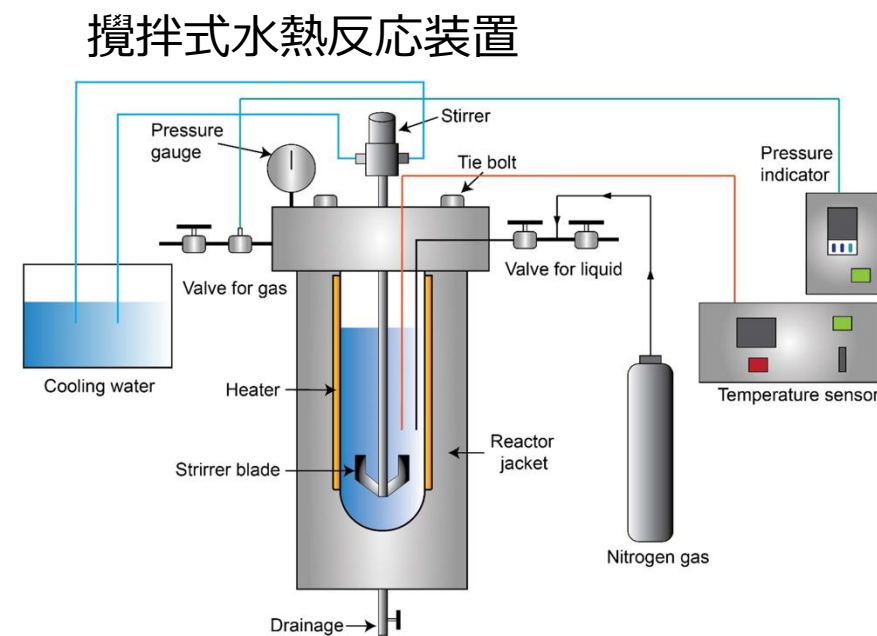
A-2. 超塩基性岩を用いた水素生成の水熱実験 温度 300°C, 72 h

攪拌式水熱装置を用いて、典型的な超塩基性岩の蛇紋岩化実験を行い、岩石種類による蛇紋岩化速度、水素生成量の違いを明らかにする。

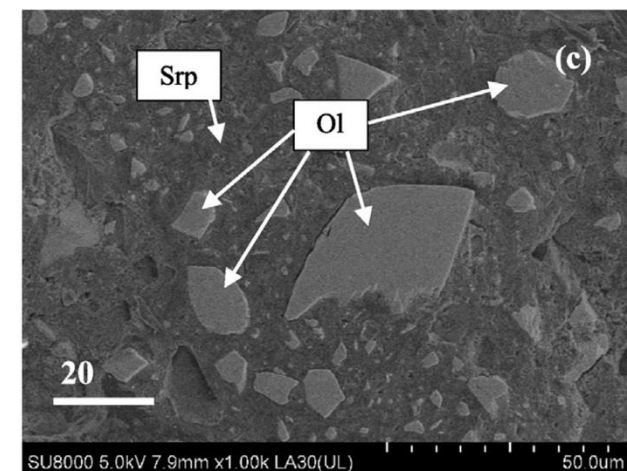
ポイント

独自に開発した**攪拌式水熱反応装置**

通常は数ヶ月以上かかる蛇紋岩化・水素生成反応を、数日間でも劇的に加速できる(Wang et al., 2019)。



300°C, 72h かんらん石の反応実験



Wang et al. (2019) Int J Hydrogen Energy

研究項目 A. 超塩基性岩の水素回収・生成増進ポテンシャル評価基盤技術

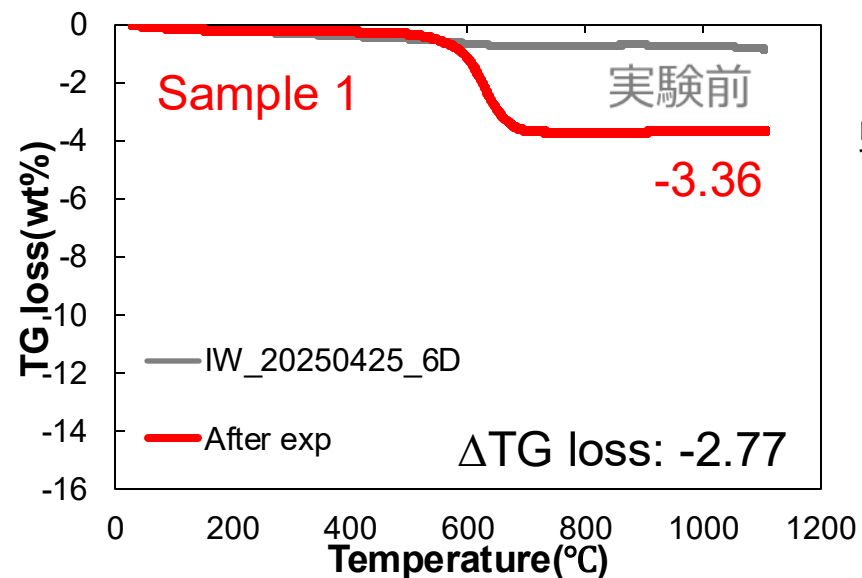
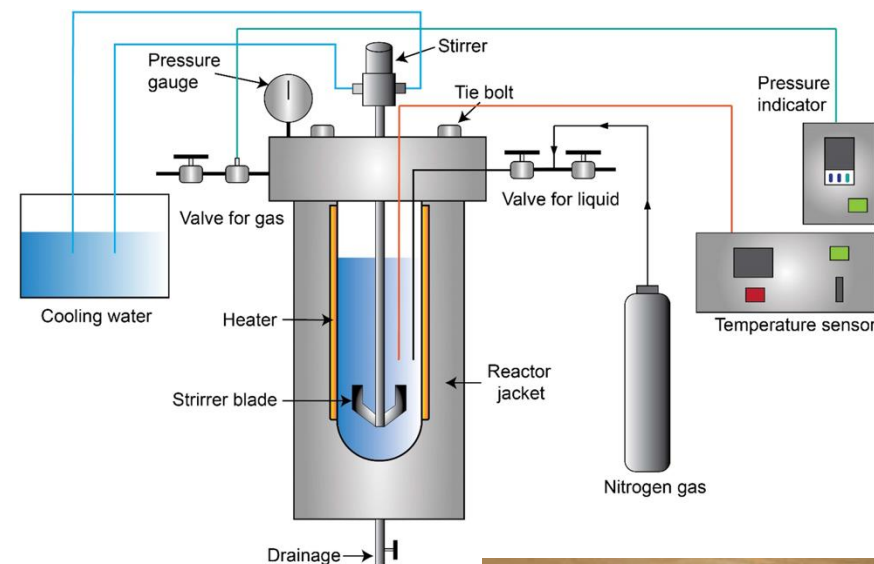
A-2. 超塩基性岩を用いた水素生成の水熱実験 温度 300 °C, 72 h

攪拌式水熱装置を用いた岩石粉末の蛇紋岩化実験を行い、
岩石種類による水素生成量の違いを明らかにする。

Powder sample: 5 g
Solution: Water (100 ml)

Temperature: 300 °C
Duration: 72 h
Pressure: 10 MPa
Stirring speed: 80 rpm
Vessel volume: 200 ml

攪拌式水熱反応装置



蛇紋岩化の進行の例

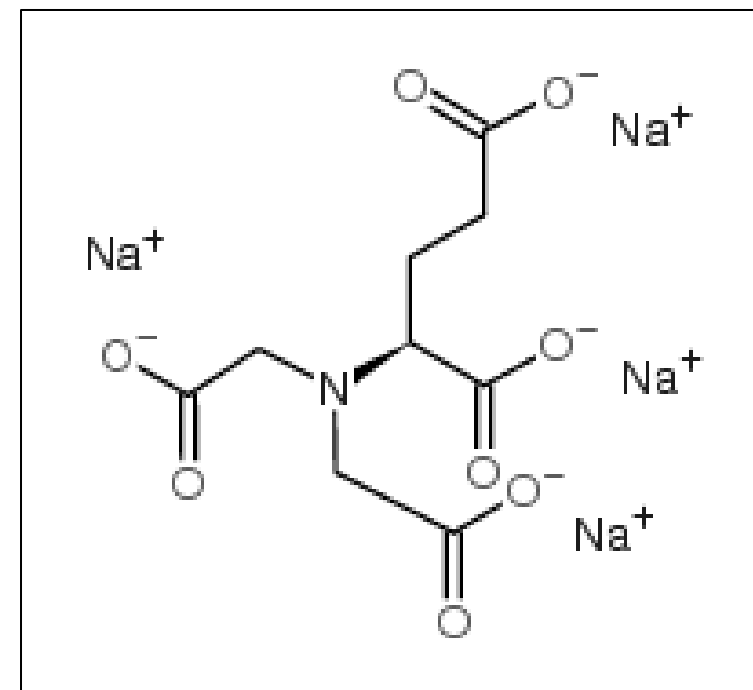
水素生成量
28 mmol/ kg rock

回収した水素



B-1. キレート剤を用いた超塩基性岩の溶解実験

- (1) 選定した典型的な超塩基性岩の粉末に対して、生分解性キレート剤(GLDA)を用いた溶解実験を行い、溶解速度、鉄イオンの抽出量を明らかにする。
- (2) 岩石片を用いた溶解実験により、実験前後の岩石組織を詳細に分析し、どの鉱物が選択的に溶解するか、どのような空隙構造が形成されるか を明らかにする。



GLDA: L- グルタミン酸-N,N'-2酢酸

技術的なポイント

GLDAを用いた岩石・鉱物溶解実験は、東北大グループが先駆的に行ってきた (Wang et al., 2024 AmMin; 2024 ; 特許 7115692, 7345791, 特願2023-51335)。これまで、主に火成岩（玄武岩、安山岩、花崗岩など）を対象としてきた実験を、超塩基性岩に適用する。空隙中に水素が存在している場合、溶解による水素回収の可能性も検討できる。

特許 2023-578140 岩石中の金属成分溶解方法、地中への二酸化炭素貯留方法、および二酸化炭素固定方法

B-1. キレート剤を用いた超塩基性岩の溶解実験

実験条件

GLDA水溶液80 mL (in 100 mL bottle)

岩石粉末4 g

岩石粉末/水溶液50 g/L

振とう速度150 rpm

溶液採取時間1, 2, 4, 6時間 (pH も測定)

pH調整塩酸

採取した溶液は、ICP-OESにより元素濃度を測定(20-50 times dilution)。

バッチ式実験

実験	岩石サンプル	GLDA濃度(wt%)	pH	温度(℃)
1	①(fresh peridotite)	0, 1, 2, 5, 10, 20	4	35
2	①	10	1,2,4,6,8,10	35
3	(1)(2)(3)(4)(5)(6)粉末	10	4	20, 35
4	(1)(2)(3)(4)(5)(6)粉末 ①②④のブロック岩石	10	4	60

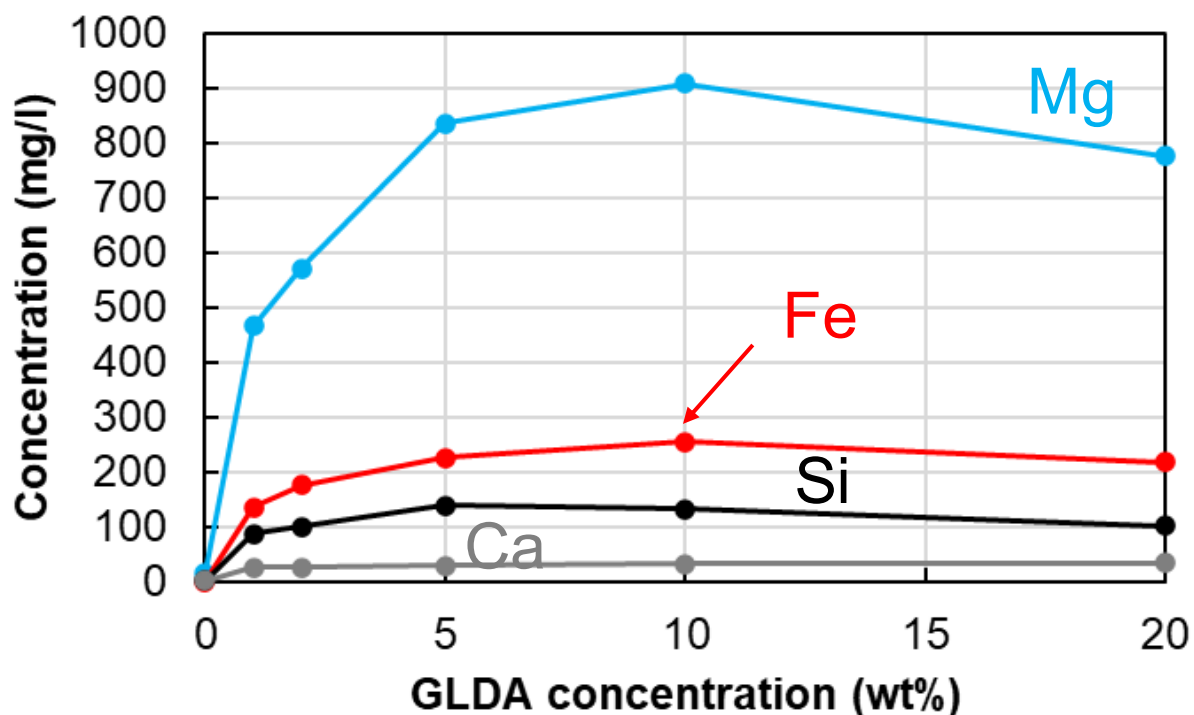


B-1. キレート剤を用いた超塩基性岩の溶解実験

GLDA濃度による溶出量の変化

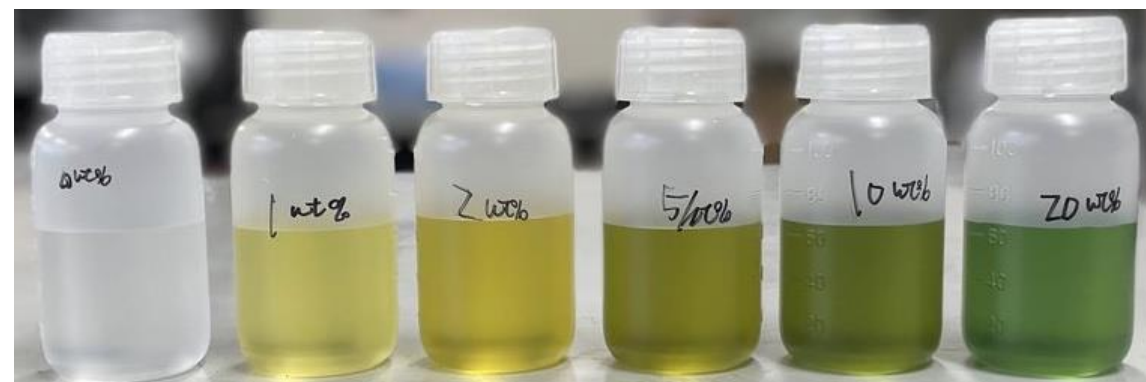
岩内岳 fresh かんらん岩

35 °C, 6時間, pH 4, 150 rpm



低温かつ短期間に関わらず

GLDAにより254 mg/l ものFeが溶出。



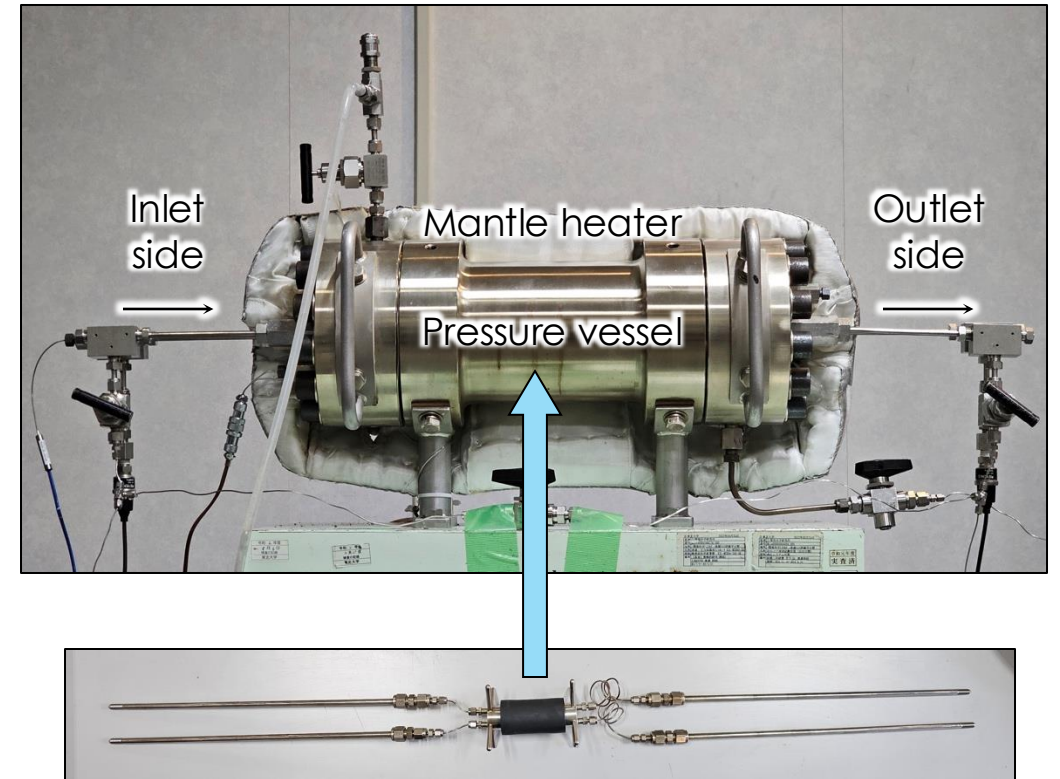
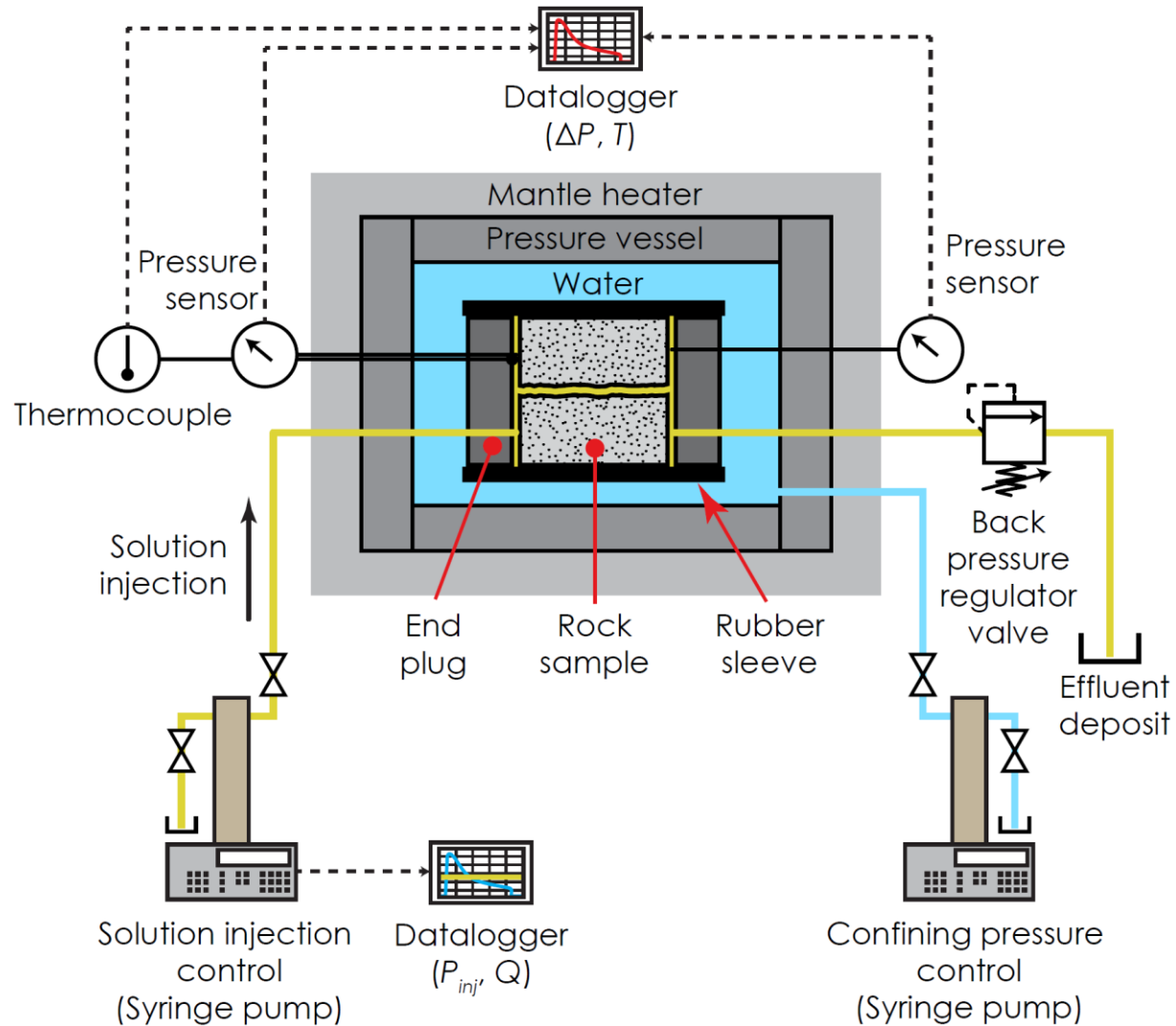
0 wt% 1 2 5 10 20

GLDA 濃度

Fe(III)/Fe(total)の測定を予定

Fe溶出速度の大きい鉱物の特定

B-2. キレート剤を用いた浸透性改善実験



研究項目B. キレート剤を用いた超塩基性岩からの水素回収・生成増進基礎技術

communications earth & environment

Article

A Nature Portfolio journal



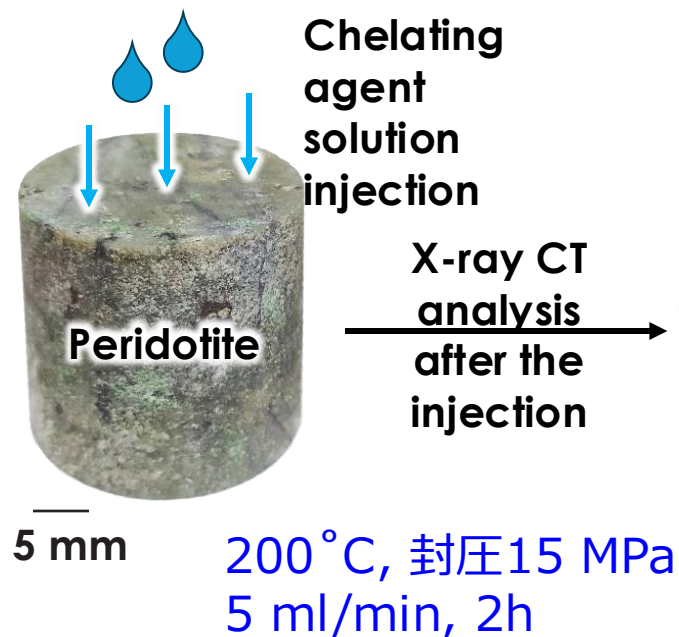
<https://doi.org/10.1038/s43247-025-02687-2>

Biobased biodegradable chelating agents enhance coupled ex situ and in situ carbon dioxide mineralization via peridotite dissolution and wormholing

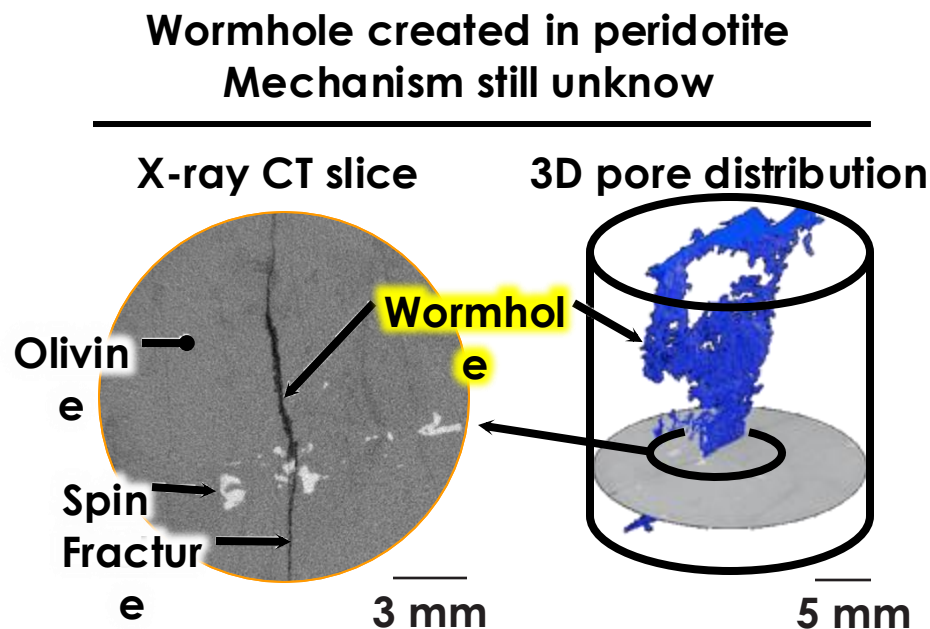
Luis Salalá^{1,2}, Noriaki Watanabe¹, Jiajie Wang¹ & Atsushi Okamoto¹

Salalá et al., Comm. Earth and Env., 2025

東北大よりプレスリリース 2025/9/2

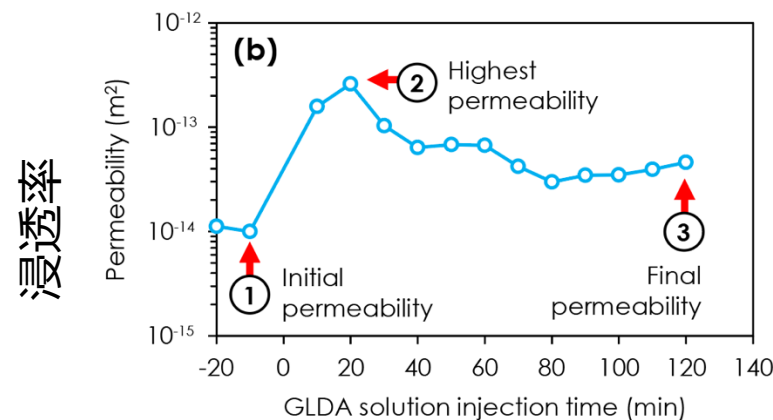
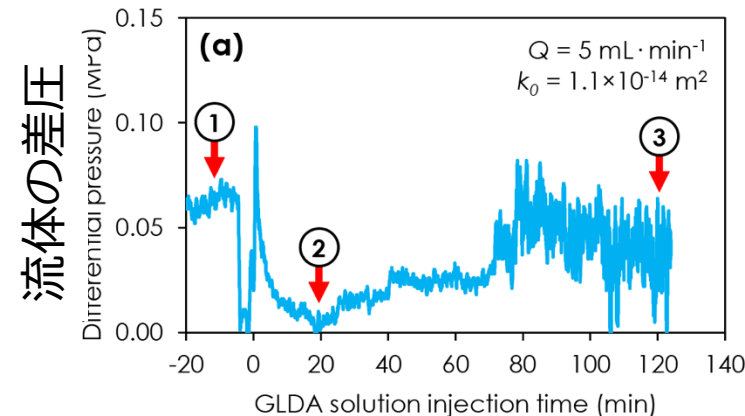
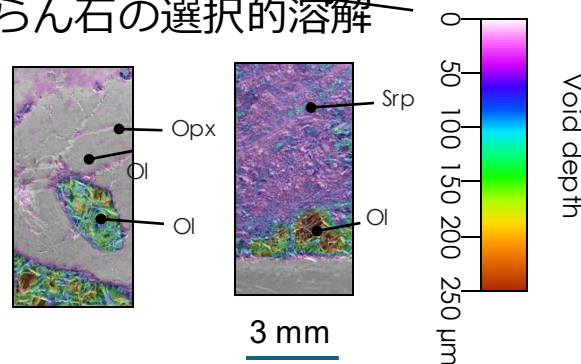


X-ray CT analysis after the injection



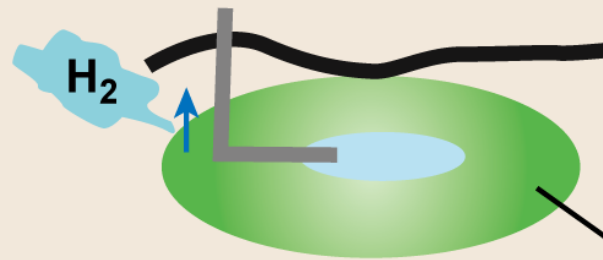
幌満かんらん岩のGLDAによる浸透率改善実験

かんらん石の選択的溶解



開発実装のイメージ

- ・ 岩石空隙に存在する天然水素の回収
- ・ 原位置での水素生成の促進



超塩基性岩体
(蛇紋岩化したかんらん岩)

- ・ Fe(II) を含む岩石・溶液の回収
→ 複合プロセスによる水素の生成

