

## 地圏環境科学の深化と持続可能なエネルギー資源開発

### Deepening of Geo-Environmental Science and Sustainable Energy Resource Development

エネルギー資源リスク評価学分野は、環境とエネルギー資源の相互作用に関する様々な研究成果をもとに、地球環境における物質循環に根ざした地圏システムの理解、エネルギー資源の開発にともなう安全保障および環境リスク管理、人の健康と自然環境との関係、地圏環境における土壌や地下水等の汚染問題、さらには有害化学物質のリスク評価に関する総合的な教育・研究を実施する。

本研究室の特色は、地球科学とエネルギー資源工学の学術を基礎として、地球環境および地域環境の保全に資する技術やシステムの研究開発を実施し、教育および研究を通じて学術や社会に貢献することである。学術集会や開発手法の技術公開、プレス発表等を通じて、研究成果を広く学術界および社会に発信している。

We have conducted various research in energy resource and environmental sciences and engineering, such as environmental risk assessments, geosciences and geoenvironment in light of energy resource production, geo-informatics, and so on, for our sustainable future. We have investigated hydraulic, mechanical, and chemical properties of rocks at a wide range of temperature and pressure conditions, as well as ways to control and utilize them, particularly for sustainable and profitable production of petroleum and geothermal resources as well as CO<sub>2</sub> sequestration and mineralization. Recently, we initiated research on a new method for CO<sub>2</sub> mineralization in which an environmentally friendly chelating agent is applied and is recycled to dissolve calcium silicate efficiently and produce high-purity calcium carbonate in an alkaline aqueous solution. Furthermore, we initiated new research on atmospheric CO<sub>2</sub> removal in croplands via enhanced weathering of industrial calcium-rich silicate by-products.

#### 超臨界地熱貯留層の造成技術：超臨界水圧破砕法

発電に利用可能な超臨界水や過熱蒸気の生産が期待される400℃以上の地下環境での水圧破砕による地熱貯留層造成シミュレータおよび本シミュレータによる地熱貯留層造成シミュレーションの結果を国際学術雑誌上で発表した(Watanabe et al., *Geothermics*)。本シミュレータは、室内実験で明らかにした超臨界水圧破砕の発生条件および透水性増加量を組み込んだ三次元・超臨界地熱貯留層造成シミュレータである。本シミュレータを用いて、貯留層造成シミュレーションを実施した結果、水圧破砕により半径数百メートルの貯留層が形成できることや、初期地殻応力場の貯留層形成に及ぼす影響が明らかになった。

#### 環境調和型キレート剤を用いた地熱貯留層の透水性改善技術

当研究室で発明した環境調和型キレート剤を用いた新・化学的刺激法により(特許7115692)、鉱物の沈殿を生じることなく、亀裂

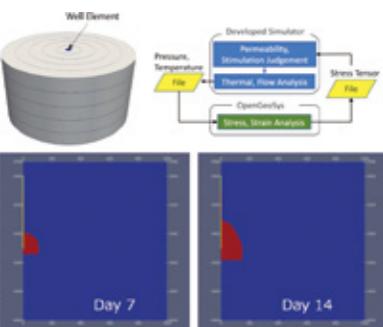


Fig.1 Simulation of supercritical geothermal reservoir formation

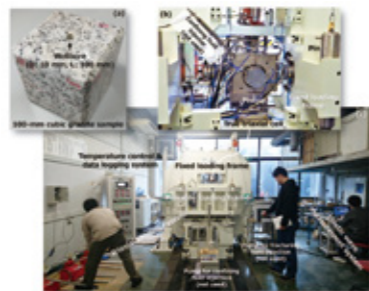


Fig.2 High-temperature true triaxial rock mechanics experimental system

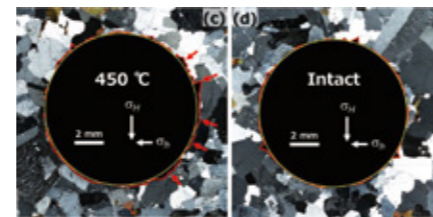


Fig.3 Wellbore failure of granite in a supercritical geothermal environment



教授 駒井 武  
Professor  
Takeshi Komai



教授 渡邊 則昭  
Professor  
Noriaki Watanabe



助教 中村 謙吾  
Assistant Professor  
Kengo Nakamura



Group Photo

を有する花崗岩(地熱貯留層となりうる岩石の一種)の透水性を迅速かつ大幅に向上できることがこれまでに示されている。エルサルバドルの地熱フィールドから採取した亀裂を有する火山岩に対して、キレート剤水溶液の流通実験を行い、火山岩からなる地熱貯留層でも新・化学的刺激法が有効であることを明らかにした(Salala et al., *Geothermics*)。

#### 再生可能キレート剤を用いたCO<sub>2</sub>の加速鉱物化プロセス

CO<sub>2</sub>の加速鉱物化プロセスとして知られるpHスイングプロセスにおける主要課題(薬品の大量消費と廃液の大量発生)を解決するため、再生可能なキレート剤のアルカリ性水溶液を用いて、室温付近でCO<sub>2</sub>の鉱物化を加速するプロセスを提案し、技術的な実現可能性を実験的に明らかにした(Wang et al., *Journal of Environmental Chemical Engineering*)。本プロセスは、弱アルカリ性におけるプロトンとキレート剤の攻撃によるケイ酸塩からのカルシウム(Ca)の加速抽出、強アルカリ性でのCaと炭酸イオンからの炭酸塩鉱物製造、およびCO<sub>2</sub>ガスのキャプチャによる抽出液の再生からなり、全反応をアルカリ性条件下で実施し廃液を生じさせない革新的プロセスである(特開2022-102786)。

#### 農地でのカルシウムに富む産業副産物の加速風化を利用した大気中CO<sub>2</sub>除去技術

農地におけるカルシウムに富む産業副産物の加速風化は、大気中CO<sub>2</sub>の大規模除去に利用できる技術として提案されているものの、本技術の有効性や特徴は実験的に明らかにされていない。そこで、農地土壌として黒ボク土、非農地土壌として真砂土、産業副産物としてポルトランドセメント、製鋼スラグおよびコールフライアッシュを用いた室内実験を行い、技術の有効性とその特徴を明らかにした(Yoshioka et al., *Frontiers in Environmental Science*)。

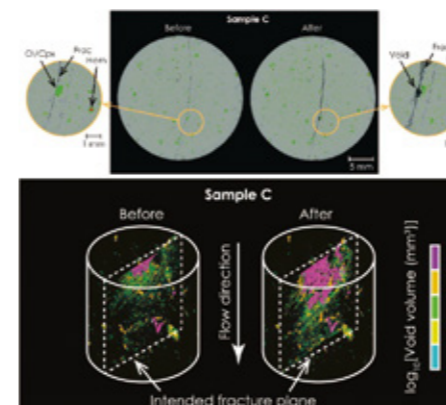


Fig.4 Void formation in a volcanic rock by a chelating agent flooding

granite (a type of rock that can serve as a geothermal reservoir) without causing mineral precipitation. Chelating agent flooding experiments on fractured volcanic rocks, taken from geothermal fields in El Salvador, were newly conducted, and as a result, it was shown that the new chemical stimulation method was also effective in geothermal reservoirs composed of volcanic rocks (Salala et al., *Geothermics*).

#### Enhanced CO<sub>2</sub> mineralization process using renewable chelating agent

To solve the major problems (i.e., large consumption of chemicals and generation of large amounts of waste fluid) in the pH swing process, which is a well-known enhanced CO<sub>2</sub> mineralization process, we proposed a new process to enhance CO<sub>2</sub> mineralization at around room temperature using an alkaline solution of a renewable chelating agent, and we experimentally demonstrated the technical feasibility of the process (Wang et al., *Journal of Environmental Chemical Engineering*). The process consists of enhanced extraction of calcium (Ca) from silicates by proton and chelating agent attacks in a chelating agent solution under weak alkalinity, production of carbonate minerals from Ca and carbonate ions in the same solution under elevated alkalinity, and regeneration of the extraction solution by CO<sub>2</sub> gas capture with the same solution. This chelating-agent-based enhanced CO<sub>2</sub> mineralization process conducts all reactions under alkaline conditions and produces no waste fluid.

#### Atmospheric CO<sub>2</sub> removal in croplands via enhanced weathering of calcium-rich silicate by-products

Enhanced weathering of calcium-rich industrial by-products in croplands has been proposed as a method that can be used for large-scale removal of atmospheric CO<sub>2</sub>, but the effectiveness and characteristics of this method have not been experimentally clarified. Therefore, we clarified the effectiveness and characteristics by conducting laboratory experiments using andosol as agricultural soil, decomposed granite soil as nonagricultural soil, and Portland cement, steel slag, and coal fly ash as industrial by-products (Yoshioka et al., *Frontiers in Environmental Science*).

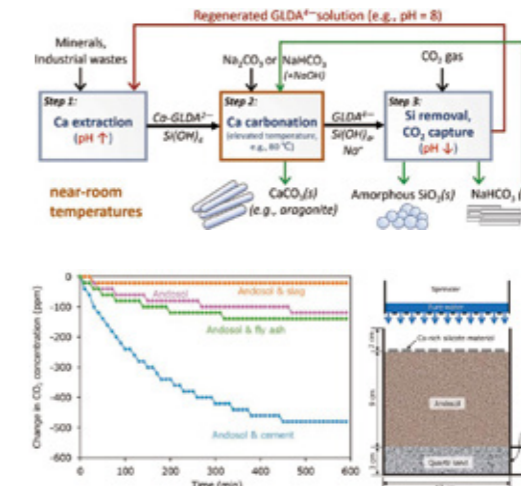


Fig.5 Enhanced CO<sub>2</sub> mineralization process using a renewable chelating agent

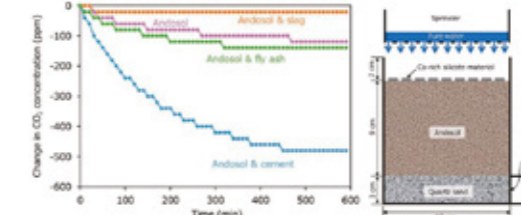


Fig.6 Atmospheric CO<sub>2</sub> removal by andosol with calcium-rich byproducts