

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



教授 渡邊 則昭
Professor
Noriaki Watanabe

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 conducted various research in energy resource, environmental sciences, and engineering, such as environmental risk assessments, geosciences, and geoengineering in light of energy resource production, and geo-informatics for a sustainable future. We have investigated hydraulic, mechanical, and chemical properties of geomaterial such as rocks at a wide range of temperature and pressure conditions, as well as ways to control and utilize them. Our work focuses on the sustainable and profitable production of petroleum and geothermal resources, as well as CO₂ sequestration and mineralization. Recently, we initiated research on a new method for CO₂ mineralization, in which an environmentally friendly chelating agent is applied and recycled to efficiently extract calcium from industrial waste for high-purity calcium carbonate production in an alkaline aqueous solution. Furthermore, we initiated new research on enhanced CO₂ geological storage and mineralization in basalt using biodegradable chelating agents and atmospheric CO₂ removal via enhanced mineral dissolution with natural chelating agents.

CO₂ 利用 / 誘発地震抑制型地熱貯留層造成技術

CO₂ を用いた岩石破碎により地熱貯留層を造成し、造成した貯留層から CO₂ で熱抽出を行い発電するカーボンリサイクル CO₂ 地熱発電技術の研究開発が JOGMEC により実施されている。当研究室では、この CO₂ を用いた岩石破碎の特徴およびプロセスを室内実験および数値シミュレーションにより解明した (Takuma et al., *15th ISRM Congress 2023 & 72nd Geomechanics Colloquium*)。また CO₂ を用いた岩石破碎における欠点を克服するため、新たに CO₂ と水を併用した岩石破碎法を発明した。加えて、地熱貯留層への CO₂ 圧入における誘発地震のリスクを検討するため、新たに岩石き裂のせん断すべり実験を開始した。さらに、CO₂ や水などの高圧流体圧入の使用を最低限にとどめ、誘発リスクの懸念を低下させるために発明した、環境調和型キレート剤による選択的鉱物溶解を用いた岩石き裂浸透性改善技術 (特許 7115692) に関して、花崗岩き裂への適用における最適 pH および火山岩への有効性を明らかにした (Takahashi et al., *Geothermics*; Salala et al., *Geothermics*)。

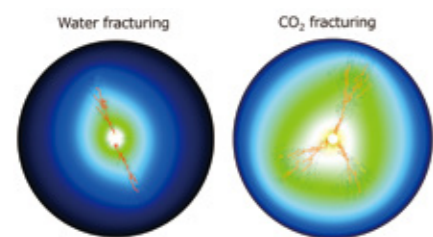


Fig. 1 Simulations on fracturing of a volcanic rock by water and CO₂ injection

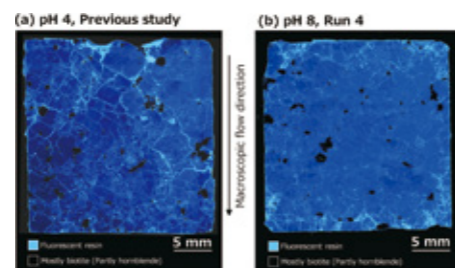


Fig. 2 Thin-section microphotographs of fractured granite after a chelating agent flooding

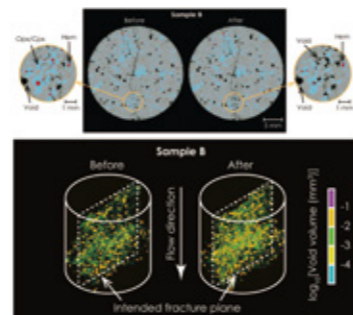
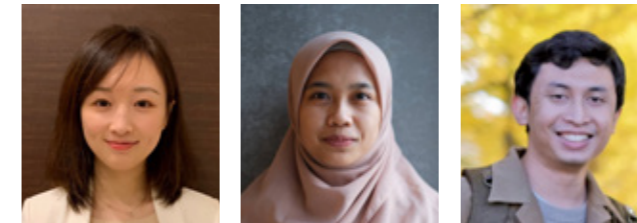


Fig. 3 Formation of voids in a fractured volcanic rock by a chelating agent flooding

Creating geothermal reservoirs by injecting CO₂ and/or environmentally friendly chelating agents

Japan Organization for Metals and Energy Security (JOGMEC) has conducted research and development of carbon-recycling CO₂ geothermal power-generation technology, in which a geothermal reservoir is created by rock fracturing using CO₂, and CO₂ heat extraction from the created reservoir generates electricity. In our laboratory, the characteristics and processes of CO₂ fracturing were elucidated by laboratory experiments and numerical simulations (Takuma et al., *15th ISRM Congress 2023 & 72nd Geomechanics Colloquium*). To overcome the disadvantage of rock fracturing using CO₂, a new rock fracturing method that combines the use of both CO₂ and water was invented. In addition, shear-slip experiments of rock fractures were initiated to investigate the risk of induced seismicity when CO₂ is injected into geothermal reservoirs. Moreover, a rock fracture permeability improvement technique using selective mineral dissolution by environmentally friendly chelating agents (patent 7115692) was developed to minimize the use of high-pressure fluid injection, such as CO₂ and water injections, to reduce the risk of induced seismicity. The optimal pH for applying this technique to granite and the effectiveness of this technique for volcanic rocks were determined (Takahashi et al., *Geothermics*; Salala et al., *Geothermics*)。



助教 王佳婕
Assistant Professor
Jiajie Wang
助教 バニー ノビタ
アルビアーニ
Assistant Professor
Vani Novita Alviani
助教 エコ プラムディオ
Assistant Professor
Eko Pramudyo

生分解性キレート剤を用いた玄武岩への CO₂ 貯留・鉱物固定促進法

当研究室で発明した環境調和型キレート剤を用いた地熱貯留層の化学的刺激法 (特許 7115692) を応用することにより、生分解性キレート剤を用いた玄武岩への CO₂ 貯留・鉱物固定促進技術を開発し、特許を出願した (特願 2023-51335)。また、本技術の日本国内の玄武岩質 CO₂ 貯留層への適用に関する民間企業との共同研究を開始した。

再生可能キレート剤を用いた CO₂ 回収・鉱物固定技術

再生可能キレート剤をの革新的利用により大規模適用可能な新しい CO₂ 回収・鉱物固定技術を開発した (特許 7345791)。本技術は、室温での CO₂ を吸収させたキレート剤水溶液 (抽出液) による産業廃棄物からのカルシウム (Ca) の加速抽出、抽出液の加熱 (100°C 未満) による炭酸塩鉱物の製造および CO₂ ガス吸収による抽出液の再生からなる。本技術は、従来の CO₂ 鉱物固定技術のもつ問題を解決するとともに、CO₂ 回収をも可能にしたものであり、複数の企業と実用化に向けた共同研究を実施している。

天然キレート剤を活用した大気中 CO₂ 除去システム

ケイ酸塩鉱物の水中での溶解による pH 上昇を利用して、大気中 CO₂ の水への溶解を促進できる可能性がある。一方、キレート剤は鉱物の溶解を促進する。以上のことから、当研究室は、湿地生態系に豊富に存在する天然キレート剤 (アミノ酸等) と水を活用したケイ酸塩鉱物の加速溶解による革新的な大気中 CO₂ 除去システムを考案した。さらに、天然キレート剤による鉱物溶解促進効果と大気中 CO₂ 除去効果を検証し、促進効果が高い天然キレート剤の種類と今後の応用可能性を明らかにした (Kikuchi et al., 2023WRI-17)。

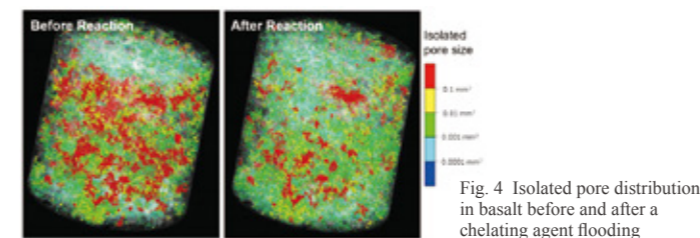


Fig. 4 Isolated pore distributions in basalt before and after a chelating agent flooding

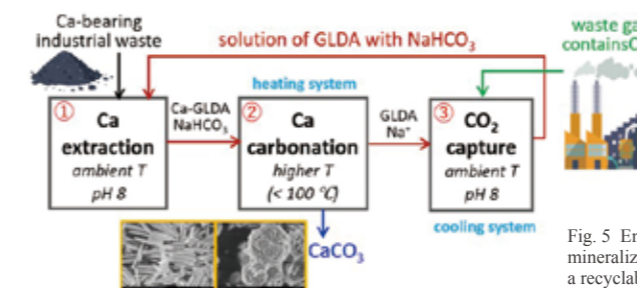


Fig. 5 Enhanced CO₂ mineralization process using a recyclable chelating agent



Group Photo

Enhanced CO₂ geological storage and mineralization in basalt using biodegradable chelating agents

By applying the chemical stimulation method for geothermal reservoirs using environmentally friendly chelating agents invented in our laboratory (patent 7115692), we invented a technology to enhance CO₂ geological storage and mineralization in basalt using biodegradable chelating agents. This year, we initiated a joint research project with a private company on the application of this technology to promising basaltic CO₂ reservoirs in Japan.

Enhanced CO₂ capture and mineralization process using recyclable chelating agents

An advanced CO₂ capture and mineralization process, assisted by a chelating agent, has been developed for large-scale application (patent 7345791). This innovative approach tackles common challenges in CO₂ mineralization, notably the excessive use of chemicals and substantial wastewater generation. The process involves the enhanced extraction of calcium from industrial waste using a CO₂-charged chelating agent solution at room temperature, carbonate mineral production by heating the extraction solution (< 100°C), and CO₂ capture by the extraction solution (regeneration of the solution). This process is currently undergoing practical implementation through joint research with multiple companies.

Atmospheric CO₂ removal system using accelerated mineral dissolution by natural chelating agents

The dissolution of some silicate minerals in water raises the pH level and facilitates CO₂ gas adsorption, and the presence of chelating agents boosts this process. Based on this, our laboratory proposed an innovative atmospheric CO₂ removal system using natural chelating agents such as amino acids, and water abundantly present in wetland ecosystems to accelerate mineral dissolution. The effectiveness of this system has been experimentally demonstrated. We also identified specific natural chelating agents with high promotion capacity, establishing a foundational theory and toolbox for potential system applications.

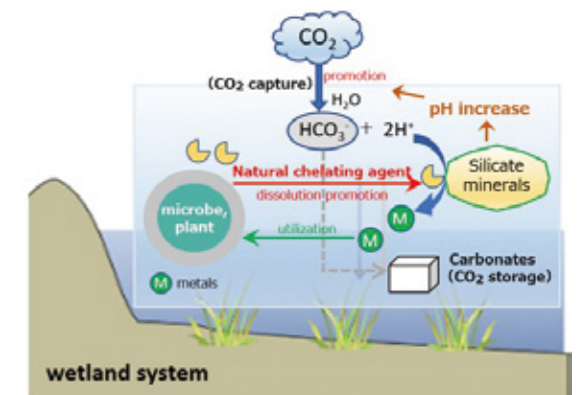


Fig. 6 Natural chelating agents accelerate mineral dissolution for atmospheric CO₂ reduction