

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



助教 王 佳婕
Assistant Professor
Jiajie Wang



助教 エコ プラムディオ
Assistant Professor
Eko Pramudyo



助教 ルイス ホセ サララ サントス
Assistant Professor
Luis José Salalá Santos



Group Photo

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、循環型資源利用や持続可能なエネルギー生産に関わる科学的・工学的課題、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 studies in sciences and engineering related to energy resources and environments, such as environmental risk assessments and reduction, and geosciences and geoenvironment, in light of energy resource developments and environmental protections 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, atmospheric CO₂ removal, and CO₂ geological storage 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 and peridotite using bio-based biodegradable chelating agents and atmospheric CO₂ removal via enhanced mineral dissolution with natural chelating agents.

植物由来薬剤で岩盤改良・地熱エネルギーを引き出す

地熱発電はCO₂の排出が非常に少ない再生可能エネルギーである。特に、深さ2～5kmにある中温の花崗岩層(150～200℃)は世界中に広く分布しており、未利用資源として注目されている。しかし、こうした岩盤は、発電に必要な水の通り道(透水性の高い割れ目)が少ないため発電利用が難しいとされてきた。当研究室は、植物由来の生分解性キレート剤GLDAを用いた岩盤改良実験を実施した。その結果、150～200℃、最大50MPaという深部条件においても、岩盤の透水性が数倍～数十倍に改善することを実証した(国際学術誌 Geoenergy Science and Engineering に掲載)。

かんらん岩体を利用した新たなCO₂固定技術を開発

マントルを構成するかんらん岩は、マグネシウムや鉄などの2価の金属イオンを豊富に含んでおり、地殻変動により地表付近に移動してきたかんらん岩体を利用したCO₂の炭酸塩鉱物化(鉱物固定)

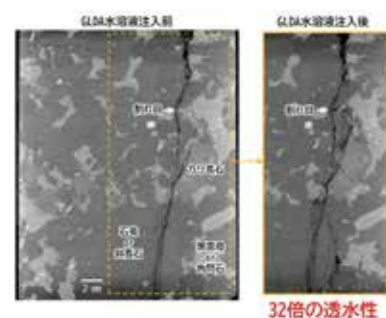


Fig. 1 X-ray CT images of a fractured granitoid core before and after GLDA solution injection

Plant-Based Agent Dramatically Improves Deep Rock Permeability for Geothermal Energy

We have developed a novel method to enhance the permeability of deep granitic rocks using GLDA, a biodegradable chelating agent derived from plants. Mid-temperature granitic formations (150–200 °C, 2–5-km depth) exist worldwide but are difficult to use for geothermal power because they contain few natural fluid pathways. We demonstrated that GLDA can increase rock permeability by several to more than ten times, even under deep-subsurface conditions of up to 50 MPa. The findings, published in Geoenergy Science and Engineering, open a new path to unlocking untapped geothermal resources with low CO₂ emissions.

New CO₂ Mineralization Technique Developed Using Peridotite and Plant-Based Reagents

Peridotite, a major mantle rock rich in divalent metal ions such as magnesium (Mg) and iron (Fe), has long been considered a promising host for CO₂ mineralization when lifted to near-surface environments. However, its low permeability has posed a major obstacle to efficient CO₂ storage. We have developed a breakthrough solution using GLDA,

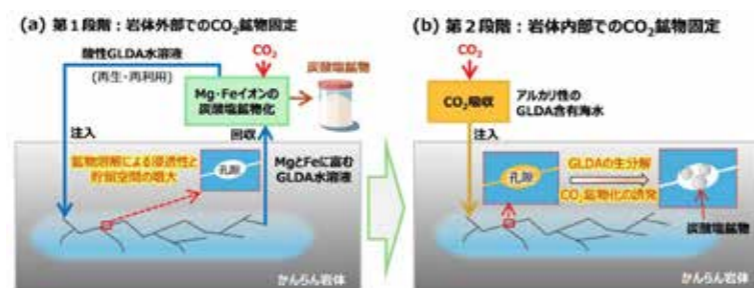


Fig. 2 Coupling of the ex- and in situ CO₂ mineralization processes via the enhanced dissolution of peridotite using biobased biodegradable chelating agents.

が期待されている。しかしCO₂の貯留を阻害する岩石の緻密さ・浸透性の低さが課題となっている。当研究室は、植物由来の生分解性キレート剤GLDAを用いて、この課題を解決するとともに、上記金属イオンを地上での鉱物固定にも利用する新技術を提案した(国際学術誌 Communications Earth & Environment に掲載)。

バイオマス灰を利用したCO₂固定・肥料製造プロセス

バイオマス発電における木質バイオマスの利用は年々拡大し、それに伴い燃焼副産物であるバイオマス灰の排出量も急増している。木質バイオマス灰にはカリウムやカルシウムなどの有用元素が含まれる一方で、環境や人体に悪影響を及ぼす重金属も共存するため安全かつ効率的な利用が困難であった。その結果、バイオマス発電の経済的・環境的な優位性が損なわれる要因となっていた。当研究室は、植物由来の生分解性キレート剤GLDAとCO₂を活用し、木質バイオマス灰の環境負荷低減、資源回収、CO₂固定を同時に実現する新しいプロセスを開発した(国際学術誌 Resources, Conservation & Recycling に掲載)。

コンクリート製品工場の「脱炭素革命」

コンクリート製品の製造工程では、大量の固体廃棄物の発生およびCO₂排出という環境課題を抱えている。CO₂鉱物化は、廃棄物中の金属成分を炭酸塩として固定化することで、これらの課題を同時に解決できる有望な手法として注目されている。しかし、従来技術では薬剤の大量使用や廃水の発生といった課題があり、環境面・経済面の両面で実用化に向けた大きな障壁となっていた。当研究室は、コンクリート製品の製造現場に再生可能な環境調和型キレート剤GLDAを導入したCO₂鉱物化プロセスの適用可能性を検討するとともに、その環境負荷低減効果を評価しました。その結果、本技術によりコンクリート製品の製造時に発生するスラッジケーキの削減とCO₂固定を同時に達成でき、地球温暖化を含む環境影響を大幅に低減できることが明らかになった(国際学術誌 Scientific Reports に掲載)。



Fig. 3 Sustainable biomass power system integrating a resource-circulating ash treatment process.

a biodegradable chelating agent derived from plants. The method enhances rock permeability and simultaneously enables the extraction of Mg and Fe ions for aboveground CO₂ mineralization processes. The study was published in the international journal Communications Earth & Environment.

New CO₂ Fixation and Fertilizer Production Process Developed Using Biomass Ash

The use of woody biomass for power generation continues to grow worldwide, leading to a rapid increase in biomass ash, a combustion by-product. Although this ash contains valuable elements, such as potassium and calcium, it also contains hazardous heavy metals, making safe and efficient utilization difficult. This challenge has undermined both the economic and environmental advantages of biomass power generation. We have developed a novel process that simultaneously reduces environmental risks, recovers useful resources, and captures CO₂ by using GLDA—a biodegradable, plant-derived chelating agent—together with CO₂. The method enables the extraction of valuable nutrients while immobilizing heavy metals and converting CO₂ into stable carbonates. The findings were published in the international journal Resources, Conservation & Recycling.

A “Decarbonization Revolution” for Concrete Product Manufacturing

Concrete product manufacturing faces two major environmental challenges: the generation of large amounts of solid waste and significant CO₂ emissions. CO₂ mineralization—fixing metal components in waste materials as carbonates—has emerged as a promising solution to address both issues simultaneously. However, conventional technologies require large quantities of chemical reagents and generate wastewater, creating serious environmental and economic barriers to practical implementation. We have assessed the feasibility of applying a recyclable, environmentally friendly chelating agent (GLDA)-based CO₂ mineralization process directly within concrete product factories. We also evaluated the associated reductions in environmental impact. Our study shows that the proposed technology can simultaneously reduce sludge-cake waste generated during concrete production and capture CO₂, resulting in a substantial decrease in overall environmental impacts, including global warming potential. The findings were published in the international journal Scientific Reports.



Fig. 4 CaCO₃ generated from concrete sludge cake via recycled use of a chelating agent solution.