

Oral presentation | S2: Water Rock Interaction (Special Session)

📅 Fri. Sep 12, 2025 10:30 AM - 12:00 PM JST | Fri. Sep 12, 2025 1:30 AM - 3:00 AM UTC 🏛️ Oral
Presentation C(Room No. 28)

S2: Water Rock Interaction (Special Session)

Chairperson: Noriyoshi Tsuchiya (National Institute of Technology (KOSEN), Hachinohe College)

10:30 AM - 10:45 AM JST | 1:30 AM - 1:45 AM UTC

[S2-01]

Slip characteristics and vulnerability of fault damaged by fluid phase change

*Kazumasa Sueyoshi¹, Asumi Matsumiya¹, Eko Pramudyo¹, Nobuo Hirano¹, Noriaki Watanabe¹, Noriyoshi Tsuchiya^{1,2} (1. Tohoku Univ. Env., 2. NITHC)

10:45 AM - 11:00 AM JST | 1:45 AM - 2:00 AM UTC

[S2-02]

Permeability evolution during CO₂-water-rock interactions under hydrothermal conditions: an example of andesite

*Naoki NISHIYAMA¹, Masao SORAI¹, Kentaro MASUOKA², Masashige SHIGA³, Amane TERAII⁴ (1. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), 2. Taisei Corporation, 3. UT Austin, 4. JOGMEC)

🏆 Student Presentation Award Entry

11:00 AM - 11:15 AM JST | 2:00 AM - 2:15 AM UTC

[S2-03]

Compositional Variation of Carbonate Minerals Induced by Selective Dissolution of Minerals in an Andesite-CO₂-Saturated Water System

*Jion Kubota¹, Otgonbayar Dandar¹, Tomohito Kameda¹, Masaaki Uno², Atsushi Okamoto¹ (1. Tohoku University, 2. The University of Tokyo)

🏆 Student Presentation Award Entry

11:15 AM - 11:30 AM JST | 2:15 AM - 2:30 AM UTC

[S2-04]

Microstructural Formation of Lizardite and Antigorite Coexisting with Olivine at Hodono, Niihama, Ehime, Japan

*Hinano Wada¹, Enju Satomi¹ (1. Ehime Univ. Sci.)

🏆 Invited Lecture

11:30 AM - 12:00 PM JST | 2:30 AM - 3:00 AM UTC

[S2-05]

Dehydration of magma: Its Role in geothermal resources, mineral resources, and catastrophic eruption

*Isoji Miyagi¹ (1. GSJ/AIST)

Oral presentation | S2: Water Rock Interaction (Special Session)

📅 Fri. Sep 12, 2025 10:30 AM - 12:00 PM JST | Fri. Sep 12, 2025 1:30 AM - 3:00 AM UTC 🏠 Oral
Presentation C(Room No. 28)

S2: Water Rock Interaction (Special Session)

Chairperson: Noriyoshi Tsuchiya(National Institute of Technology (KOSEN), Hachinohe College)

10:30 AM - 10:45 AM JST | 1:30 AM - 1:45 AM UTC

[S2-01] Slip characteristics and vulnerability of fault damaged by fluid phase change

*Kazumasa Sueyoshi¹, Asumi Matsumiya¹, Eko Pramudyo¹, Nobuo Hirano¹, Noriaki Watanabe¹, Noriyoshi Tsuchiya^{1,2} (1. Tohoku Univ. Env., 2. NITHC)

Keywords : fluid phase change、microcrack、shear slip、granite

断層付近において地震の前後で繰り返される間隙水圧の上昇と低下は、地震のサイクルにおける断層強度において重要である。特に、断層すべり時の空間形成に伴う急激な流体圧減少はflash vaporizationと呼ばれ、鉱脈の形成からその存在が示唆されている。また、流体圧の急激な減少は流体相変化を伴い、近傍岩石の冷却を引き起こすことが予想される。このような急激な温度変化は岩石に微細なき裂を発生させ、力学的特性に強く影響することが明らかとなっている（Sueyoshi et al., 2025）。しかし、流体相変化がもたらす微細なき裂造成によるすべり特性への寄与は明らかになっていない。本研究では、熱水条件下での流体相変化に伴う破碎が岩石の基礎的な力学的特性およびすべり特性に与える影響を明らかにするために室内すべり実験を行った。

実験には直径30 mm, 高さ40 mmの円柱状に整形した飯館花崗岩を使用し、軸方向に対して45度の傾斜を持つプレカットを導入することで断層を模擬した。作成後の試料を蒸留水とともにオートクレーブに封入し、300°Cで加熱後に大気圧に開放することで熱水条件下の急激な流体圧減少による破碎を再現した。また、300°Cに加熱した後に一晩かけて自然冷却させた試料も使用することで、冷却速度による破碎の相違及びすべり特性への寄与について検討することとした。このように事前に破碎を施した試料を、東北大学環境科学研究科設置の樹脂メルト式封圧三軸試験機を用いてせん断すべり実験を実施した。実験条件は、温度150°C, 軸圧55 MPa, 封圧30 MPaとし、封圧を段階的に減少させることで差応力を増加させた。また、実験中は軸変位、アコースティック・エミッション（AE）も同時に測定した。

実験結果から、自然冷却試料では差応力61 MPaにおいて大きなAEエネルギー放出を伴う急激なすべりが確認された。この時の応力状態から静摩擦係数は0.8と見積もられ、最大すべり速度は160 $\mu\text{m/s}$ に達していた。これに対し、急減圧破碎を施した試料では差応力29 MPaで連続的な遅いすべり（ $\sim 0.1 \mu\text{m/s}$ ）が始まることが示され、この時の断層面に働く応力から計算される静摩擦係数は0.35であった。その後の差応力増加の各段階において同様に連続的な遅いすべりが観測され、これらのすべりに伴うAEエネルギーは極めて小さいことが分かった。また、実験後試料の観察から、急減圧破碎後試料においては特にすべり面の摩耗によるガウジの付着が顕著であることが確認された。これらのことから、急減圧が流体相変化によって起こることを踏まえると、流体に接触する岩石表面が大きく破碎されることですべり面の弱化および摩耗によるガウジ形成を引き起こすと考えられる。また、ガウジの存在は臨界すべり距離に強く影響することが知られており、ガウジの厚さの増加によって臨界すべり距離も増加することから、後続のすべり挙動は安定的になると考えられる。以上を踏まえると、断層すべりによる流体の相変化はすべり面の顕著な弱化を引き起こし、その後はすべり面の摩耗、ガウジ形成、遅い安定的なすべりの促進が繰り返されることとなると考えられ

る。

Sueyoshi, K., Aoshima, S., Takagi, K., Mizuno, K., Hirano, N., Tsuchiya, N. (2025).
Vulnerability of Mechanical Properties of Rocks Generated by Rapid Decompression
Fracturing Under Hydrothermal Conditions. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 1-
13.<https://doi.org/10.1007/s00603-025-04468-x>

Oral presentation | S2: Water Rock Interaction (Special Session)

📅 Fri. Sep 12, 2025 10:30 AM - 12:00 PM JST | Fri. Sep 12, 2025 1:30 AM - 3:00 AM UTC 🏠 Oral Presentation C(Room No. 28)

S2: Water Rock Interaction (Special Session)

Chairperson: Noriyoshi Tsuchiya (National Institute of Technology (KOSEN), Hachinohe College)

10:45 AM - 11:00 AM JST | 1:45 AM - 2:00 AM UTC

[S2-02] Permeability evolution during CO₂-water-rock interactions under hydrothermal conditions: an example of andesite

*Naoki NISHIYAMA¹, Masao SORAI¹, Kentaro MASUOKA², Masashige SHIGA³, Amane TERA⁴
(1. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), 2. Taisei Corporation, 3. UT Austin, 4. JOGMEC)

Keywords : Permeability、CO₂-water-rock interactions、Andesite、Flow-through reaction experiment

著者らは、火山岩の地熱貯留層にCO₂を圧入して採熱・発電を行う「カーボンリサイクルCO₂地熱発電技術」プロジェクトの一環として、地化学反応に伴う水理特性変化に関する検証を進めている。貯留層には熱水が存在することが想定され、CO₂が溶解することで酸性の流体が形成される。酸性流体の存在下では、安山岩や玄武岩といった火山岩は高い反応性を示すことが予想され、溶解や沈殿によって間隙構造や浸透率が変化する可能性がある。本研究では、安山岩コアを用いた高温下でのCO₂溶解水の流通試験を実施し、地化学反応が浸透率に与える影響を評価した。

試料には、貯留層の模擬岩石として安山岩（群馬県浅間山）を用いた。流通方向に沿った反応の起こり方の違いを捉えるために、直径30 mm、長さ200 mmの長尺コアに整形した。安山岩の鉱物組成は、斜長石、ガラス、斜方輝石、単斜輝石、不透明鉱物、および二次鉱物である。試験前の間隙率は22 %、浸透率は $(2-3) \times 10^{-16} \text{ m}^2$ であった。試験では、CO₂ (CO₂分圧：10-14 MPa)を純水に溶解させたCO₂溶解水を、200 °C、間隙圧10 MPa、封圧11-15 MPaの条件下で42日間流通させた。浸透率変化に対する流速の影響を検証するために、流速は0.02および0.1 mL/minとした。実験の結果、浸透率は試験開始後7-10日目で約1桁低下したが、その後は継続的に増加した。浸透率の増加速度は流速が大きいほど顕著であった。流入面から約1 mm下流の領域までは溶解が卓越し、斑晶および石基はほぼ消失し、最大0.3 mmサイズの新たな間隙が多数形成されていた。さらに下流では溶解と沈殿の両反応が進行し、間隙表面の近傍にはスメクタイトと推測される粘土鉱物が沈殿していた。溶解は斑晶と比べて石基で顕著であった。石基ではガラスが選択的に溶解し、相対的に溶解が遅い斜長石と輝石の粒子は間隙表面に残存していた。石基の溶解が特に顕著な領域では、間隙同士が新たに連結しており、このような連結性の向上が浸透率の増加に寄与したと考えられる。

Oral presentation | S2: Water Rock Interaction (Special Session)

📅 Fri. Sep 12, 2025 10:30 AM - 12:00 PM JST | Fri. Sep 12, 2025 1:30 AM - 3:00 AM UTC 🏛️ Oral
Presentation C(Room No. 28)

S2: Water Rock Interaction (Special Session)

Chairperson: Noriyoshi Tsuchiya (National Institute of Technology (KOSEN), Hachinohe College)

◆ Student Presentation Award Entry

11:00 AM - 11:15 AM JST | 2:00 AM - 2:15 AM UTC

[S2-03] Compositional Variation of Carbonate Minerals Induced by Selective Dissolution of Minerals in an Andesite-CO₂-Saturated Water System

*Jion Kubota¹, Otgonbayar Dandar¹, Tomohito Kameda¹, Masaoki Uno², Atsushi Okamoto¹
(1. Tohoku University, 2. The University of Tokyo)

Keywords : Carbon mineralization, Andesite, Stirring batch experiment

Andesite contains abundant divalent cations, making it a promising candidate for CO₂ mineral sequestration. However, experimental studies on CO₂ mineralization using andesite are limited. Due to the presence of various Ca- and Mg-bearing minerals (e.g., plagioclase and pyroxene), the specific reaction pathways and resulting carbonate compositions remain unclear. Additionally, few experiments have reproduced how mineral dissolution and carbonate precipitation respond to chemical and physical conditions. This study aims to quantify CO₂ fixation and investigate mineral reactions in andesite under flow conditions using stirring batch experiments.

The experiments used powdered andesite samples from Niigata and Miyagi, and basalt from Iceland. Each 2.0 g sample was reacted with 50 mL of water in sealed containers under 20 MPa CO₂ pressure. Tests were run at 150°C and 200°C with stirring (80 rpm) for 10 days. Post-experiment analyses included ICP-OES, EPMA, TG, and TPD-MS.

TPD-MS analysis showed andesite samples contained 0.13–0.38 mmol CO₂/g at 200°C, about one-tenth to one-quarter of the 1.54 mmol/g sequestered in basalt. Carbonate and smectite clay minerals formed in all samples, with carbonates precipitating on primary minerals. Andesite carbonates were Ca- and Mg-rich (calcite to dolomite), while basalt carbonates were Mg- and Fe-rich (ferromagnesite).

Previous static batch experiments with andesite showed Fe-rich magnesite formation over 60 days, while stirring experiments produced Mg-rich calcite and dolomite. Geochemical modeling suggested typical andesite favors magnesite, with calcite formation being unfavorable. Changing the plagioclase-to-pyroxene ratio in the model affected carbonate types: an 8:2 ratio led to Ca- and Mg-rich carbonates like in stirred tests, while 1:9 produced Mg- and Fe-rich carbonates like in static tests. This implies pyroxene dissolves selectively under static conditions, but stirring enhances plagioclase dissolution, resulting in Ca-rich carbonates.

This study suggests that fluid flow variability in andesitic rocks influences the dissolution

of Ca- and Mg-bearing minerals, changing the composition of carbonate precipitates. This affects CO₂ storage capacity and long-term stability.

Oral presentation | S2: Water Rock Interaction (Special Session)

📅 Fri. Sep 12, 2025 10:30 AM - 12:00 PM JST | Fri. Sep 12, 2025 1:30 AM - 3:00 AM UTC 🏠 Oral Presentation C(Room No. 28)

S2: Water Rock Interaction (Special Session)

Chairperson: Noriyoshi Tsuchiya (National Institute of Technology (KOSEN), Hachinohe College)

◆ Student Presentation Award Entry

11:15 AM - 11:30 AM JST | 2:15 AM - 2:30 AM UTC

[S2-04] Microstructural Formation of Lizardite and Antigorite Coexisting with Olivine at Hodono, Niihama, Ehime, Japan

*Hinano Wada¹, Enju Satomi¹ (1. Ehime Univ. Sci.)

Keywords : peridotite、serpentinite、antigorite、lizardite、Higashi-akaishi peridotite body

【はじめに】

蛇紋石は、リザーダイト、クリソタイル、アンチゴライトの3種に分類され、アンチゴライトは比較的高温条件下で安定である(Evans, 2004)。蛇紋岩中では、蛇紋石とかんらん石の様々な共存組織が見られ、例えばかんらん石の粒間や割れ目から水が浸透し、外側から内側へ順にリザーダイトやクリソタイルへ置換されることでメッシュ組織が形成される。Schwartz et al. (2013) は、リザーダイトのリム、クリソタイルのコアをもつメッシュ組織が短冊状のアンチゴライトに置換された組織、Boudier et al. (2009) は、かんらん石の一定方向の亀裂に沿ってアンチゴライトが形成された組織を報告している。しかし、アンチゴライトとリザーダイト共存時の組織やそれらの形成順序、蛇紋岩化の進行度に伴う組織の多様性は十分に議論されていない。本研究ではこれらについて明らかにするため、三波川変成帯東赤石かんらん岩体南端の保土野谷川上流の露頭を対象に、かんらん石と共存するアンチゴライトとリザーダイトの組織に着目し、形成過程の考察を行った。

【研究手法】

南北50 mの露頭の14地点から試料を採取し、RIGAKU製 Ultima IVによる粉末X線回折で主要構成鉱物と蛇紋石種を同定した。代表的試料には偏光顕微鏡による組織観察と、Oxford製 EDSを装着したJEOL製走査型顕微鏡JSM-6510LVを用いた分析を行った。さらに、日本分光製NRS-5100grを用いたラマン分析より組織中の蛇紋石種を同定した。

【結果・考察】

露頭は蛇紋岩化の程度の異なるかんらん岩から構成され、産状や組織から4タイプに分類した。露頭上部の片状または塊状かんらん岩は粗粒かんらん石 (500 μm~1 mm) からなり、蛇紋岩化はあまりしておらず、アンチゴライトやリザーダイトを少量含む (タイプ①)。露頭下部の塊状かんらん岩は、細~中粒のかんらん石 (50-300 μm) からなり、蛇紋岩化が進みアンチゴライトが多く、ブルーサイトも含まれる (タイプ②)。露頭中部には性質の異なる2種類の小規模な岩体が見られた。一方は塊状かんらん岩で、細~中粒のかんらん石 (50-300 μm) からなり、蛇紋岩化が進みリザーダイトを多く含む (タイプ③)。かんらん石のコア、リザーダイトのリムからなるメッシュ組織やクロム鉄鉱周囲の堇泥石が特徴的であり、ブルーサイトも含む。もう一方の岩体は片状の蛇紋岩で、アンチゴライトとごく少量の細粒かんらん石 (50-100 μm) からなる (タイプ④)。各タイプのかんらん石のMg#はタイプ①91-93、タイプ②90-91、タイプ③95-96、タイプ④93-94である。

アンチゴライトは短冊状と細粒部があり、短冊状は比較的Alに富む。リザーダイトはかんらん石の割れ目や周縁部、メッシュ組織のリムに分布していた。かんらん石は、形状や割れ方にいくつか種類が見られた。くさび-板状のかんらん石は、アンチゴライトに富む試料で多

く確認され、特にタイプ②で顕著であった。中には、へき開のように一定方向の直線的な割れ目をもつ「Cleavable Olivine」も含まれ、これはタイプ②にのみ見られた。くさび状かんらん石は主にアンチゴライトが共存し、周縁部や割れ目の一部にリザーダイトを伴うものもみられた。一方、粒状かんらん石は全タイプで見られ、特にタイプ③で多く、周縁部や割れ目にリザーダイトを伴う。タイプ③では、コアに粒状かんらん石、リムにリザーダイトをもつメッシュ組織も確認できた。タイプ①の粗粒かんらん石も粒状であるが、蛇紋岩化の程度が他より低く、形状が異なる。粒間や割れ目にはリザーダイトがみられ、短冊状アンチゴライトが粒間や割れ目を横断して産する。本研究では、アンチゴライトに富んだ試料であつてもかんらん石の割れ目や周縁部にも少量のリザーダイトが確認され、タイプ④を除く全試料でアンチゴライトとリザーダイトが共存しており、これらのかんらん岩は高温・低温両環境下で蛇紋岩化を受けたと考えられる。さらに、くさび状およびCleavable Olは高温、粒状やメッシュ組織は低温条件でのかんらん石の亀裂形成と蛇紋岩化を示唆する。各タイプのかんらん石の組織から、タイプ①は蛇紋岩化の程度が低いが高温・低温両方を経験し、タイプ③では主に低温、②や④では主に高温条件で蛇紋岩化が進行したと考えられる。また、かんらん石やクロム鉄鉱の組成から、タイプ③のかんらん岩は他タイプと異なる起源をもつた可能性がある。以上より、保土野のかんらん岩体では、低温域から高温域までかんらん石から蛇紋石の形成が起こっており、岩体ごとに主な蛇紋岩化の段階が異なりそれが組織の多様性をもたらしていた。

Oral presentation | S2: Water Rock Interaction (Special Session)

📅 Fri. Sep 12, 2025 10:30 AM - 12:00 PM JST | Fri. Sep 12, 2025 1:30 AM - 3:00 AM UTC 🏠 Oral
Presentation C(Room No. 28)

S2: Water Rock Interaction (Special Session)

Chairperson: Noriyoshi Tsuchiya (National Institute of Technology (KOSEN), Hachinohe College)

◆ Invited Lecture

11:30 AM - 12:00 PM JST | 2:30 AM - 3:00 AM UTC

[S2-05] Dehydration of magma: Its Role in geothermal resources, mineral resources, and catastrophic eruption

*Isoji Miyagi¹ (1. GSJ/AIST)

Keywords : magmatic water、geothermal resources、melt inclusions、porphyry copper、catastrophic eruption

本講演では、セッションテーマである「水」の役割を学際的・分野横断的に探るため、マグマ水に焦点を当て、地熱資源、鉱物資源、そして巨大噴火とのかかわりを紹介します。

そもそもマグマ中にどれほどの水が存在するのかを正確に把握することが、本テーマにおいて極めて重要です。マグマ水の大部分は噴火時に放出されてしまうため、その量を見積もるには工夫が必要です。この課題には、主に以下の二つのアプローチがあります。一つは、噴火時に水が逃げにくい斑晶ガラス包有物を直接分析する方法です。この方法では、数マイクロメートルの空間分解能を持つ分析技術が求められます。もう一つは、斑晶鉱物の組み合わせや組成から間接的にマグマ水を見積もる方法です。これは、既知の含水量試料を用いた高温高压実験の結果と天然試料を比較することで行われます。さらに、熱力学計算は、これらの高温高压実験の成果を体系的にまとめる強力なツールとして機能します。

マグマから水が抜けるプロセスは、基本的に減圧と結晶化の2つに集約されます。メルトへの水の飽和溶解度は圧力に強く依存するため、マグマが上昇して減圧すると、飽和溶解度が低下し、その結果、水がマグマから分離します。一方、ほとんどの造岩鉱物は水をほとんど含まないため、マグマが冷却して結晶化が進行すると、残りのメルト中に水が濃集し、飽和溶解度に到達します。また、減圧によっても鉱物相平衡が変化し、結晶化が促進されることがあります。このようにしてマグマから放出される水は、地熱資源や鉱物資源の形成、そして巨大噴火のメカニズムに深く関わっています。

地熱の熱源はマグマですが、熱源から地熱貯留層までは数キロメートル離れており、遅い熱伝導では効率的な熱の運搬は困難です。これに対し結晶化によって放出されるマグマ水は、亀裂を高速移動し、浅所の岩石を効率的に加熱できます。この水が去った後に天水が通れば、天水起源の地熱貯留層が形成されと考えられます。また、マグマの減圧に伴う脱水は、条件がそろえば「火道内マグマ対流」を引き起こします。火道内マグマ対流は、含水マグマが火口直下で脱ガスし比重を増した結果地下深部に戻るものの繰り返しで大量のマグマ水を浅所で放出する現象で、未着手だが巨大な地熱資源です。

この火道内マグマ対流は、何百立方キロメートルもの膨大なマグマを一点で脱ガスさせるため、広範囲に分散していた物質を一箇所に濃集させると考えられ、鉱物資源、特に斑岩銅鉱床のモデルとされています。例えば、二酸化硫黄を1日あたり1000トン放出している火山(阿蘇中岳や桜島)は、銅を約1トン/日、金を約15トン/年も大気に出していると見積られ、これを回収しないことは大きな損失と言えます。

最後に、マグマ水は巨大噴火の発生にも関連しています。過飽和になった水や二酸化炭素は大量の高压ガスとしてマグマを地下深部から地上へと一気に移動させるからです。巨大噴

火（噴出量10立方キロメートル以上）はおよそ1万年に一度発生する低頻度事象ですが、その被害範囲の広さから、東日本大震災と比較して数十倍も危険であると考えられ、しかも事実上避難は不可能です。我々は、巨大噴火の発生を阻止するという発想を本格的に検討すべきです。あるタイプの火山に対しては巨大噴火の発生を抑止できる可能性が見えてきました（特許出願手続き中）。この重要な課題に興味のある方は、ぜひ仲間になっていただきたいと思います。