

2026 年 7 月 16 日

報道機関 各位

国立大学法人東北大学

**岩盤に低負荷で流路をひらく新しい水圧破碎法を開発
—国産エネルギー資源をより身近にする新技術—****【発表のポイント】**

- 地熱発電や天然ガス開発など、国産エネルギー資源の開発では、地下深部の岩石にき裂を作り、流体の通り道を形成する水圧破碎技術が重要です。
- 高温の地下深部では注入流体が逃げやすく、岩石が割れにくい、または割れてもき裂が開きにくい場合があります。
- 植物や微生物に由来する成分を用いた反応性増粘流体破碎法^(注1)により、流体の逃げを抑えながら岩石を化学的に弱め、注入圧力の上昇を抑えてき裂の発生・開口を促進できることが確認されました。

【概要】

地熱発電や天然ガス開発など、国産エネルギー資源の開発では、地下深部の岩石にき裂を作り、流体の通り道を形成する水圧破碎技術が重要です。しかし、高温の地下深部では水の粘度が低下し、注入流体が既存き裂や空隙に逃げやすくなります。そのため、岩石が割れにくい、または割れてもき裂が十分に開かない場合があります。一方、流体に粘性を持たせると逃げを抑えられますが、注入圧力が高くなりやすいという課題がありました。

今回、東北大学大学院環境科学研究科の Eko Pramudyo 特任助教、Luis Salalá 特任助教、渡邊 則昭教授らの研究グループは、地熱・天然ガス貯留層を構成する代表的な岩石の一つである火山岩を対象に、植物由来原料から製造可能なキレート剤 GLDA^(注2)と微生物由来の増粘多糖類スクレログルカン^(注3)を組み合わせた反応性増粘流体破碎法を開発しました。本手法は、流体の逃げを抑える粘性、岩石を弱める反応性、目詰まりを抑えるキレート作用を統合したものです。室内実験により、過度な破碎圧力の上昇を抑えながら、岩石中のき裂の発生・開口を促進する効果が確認されました。本成果は、国産エネルギー資源の開発に必要な貯留層刺激技術の高度化に貢献することが期待されます。

本成果は、国際学術誌 Geothermics に 2026 年 7 月 13 日付で掲載されました。

【詳細な説明】

研究の背景と経緯

エネルギー資源の海外依存を低減し、安定的なエネルギー供給を実現するうえで、国内に存在する地熱資源や天然ガス資源を有効に活用することが重要です。これらの国産エネルギー資源の開発では、地下深部の岩石中に流体の通り道を作る、または既存の通り道を広げる技術が重要な役割を担います。

その代表的な技術が水圧破碎です。水圧破碎では、井戸から流体を高圧で注入し、地下の岩石にき裂を発生・開口させることで、熱水や天然ガスなどの流体が流れやすい状態を作ります。しかし、高温の地下深部では、水の粘度が低下するため、注入した流体が既存き裂や空隙に逃げやすくなります。その結果、破碎対象部やき裂先端に十分な圧力が伝わらず、そもそも岩石を割ることが難しくなったり、割れたとしてもき裂が十分に開かなかったりする場合があります。

この問題を解決する一つの方法は、流体に粘性を持たせることです。粘性の高い流体は、既存き裂や空隙へ逃げにくく、き裂を発生・開口させるうえで有利です。一方で、流体を高粘性化すると、注入圧力や破碎圧力が高くなりやすく、現場適用上の負担が増える可能性があります。すなわち、高温の地下深部における水圧破碎では、流体の逃げを抑えてき裂を開きやすくすることと、注入圧力の上昇を抑えることの両立が課題でした。

そこで本研究では、この課題を解決する新しい方法として、岩石を化学的に弱める「反応性」と、流体の逃げを抑える「粘性」を組み合わせた反応性増粘流体を設計し、これを用いた新しい水圧破碎法を開発しました。

研究の内容

今回、東北大学大学院環境科学研究科の Eko Pramudyo 特任助教、小幡 凪大学院生、Luis Salalá 特任助教、Jiajie Wang 助教、渡邊 則昭教授は、キレート剤 GLDA と増粘多糖類スクレログルカンを組み合わせた反応性増粘流体を用いる、新しい水圧破碎法を開発しました。本研究では、この手法を反応性増粘流体破碎法と呼びます（図 1）。本手法では、流体の逃げを抑える粘性、岩石を弱める反応性、溶け出した成分を水溶液中に保持するキレート作用を一つの流体に統合しています。

GLDA は、岩石中の鉱物成分と反応し、岩石を局所的に弱化させる役割を担います。また、溶け出した金属成分を水溶液中に保持することで、二次沈殿や目詰まりを抑えることも期待されます。一方、スクレログルカンは、流体に粘性を与える増粘多糖類であり、高温でも粘性を保ちやすい特徴を持ちます。これにより、注入流体が既存き裂や空隙へ逃げることを抑え、き裂先端へ圧力を伝えやすくなることができます。また、スクレログルカンを含む流体は、流れが速い配管内やき裂内では粘性が下がって注入しやすく、流れが遅い微細な空

隙では粘性が高く保たれます。そのため、必要な場所に流体を届けながら、岩石内部への過度な逃げを抑えることが期待されます。

本手法の特徴は、岩石を単に高压で割るのではなく、流体の逃げを抑える「粘性」、岩石を弱める「反応性」、溶け出した成分を水溶液中に保持する「キレート作用」を一つの流体に統合した点にあります。すなわち、「逃げにくくする」「割れやすくする」「詰まりにくくする」という複数の機能を組み合わせた、高度に設計された水圧破碎法です。

研究グループは、地熱・天然ガス貯留層を構成する代表的な岩石の一つである火山岩を対象として、通常の水、反応性を持たない増粘流体、および反応性増粘流体を用いた室内水圧破碎実験を行いました。実験では、岩石試料に設けた孔から各種流体を注入し、破碎時の圧力変化や、破碎後に形成されたき裂の形態を比較しました。

その結果、反応性増粘流体では、GLDA による岩石の化学的弱化と、スクレログルカンによる流体の高粘性化が組み合わさることで、粘性流体でありながら過度な破碎圧力の上昇を抑え、き裂の発生・開口を促進する効果が確認されました。本成果は、水圧破碎に用いる流体を単なる「圧力を伝える媒体」ではなく、岩石と反応して破碎挙動を制御する「機能性流体」として設計できることを示すものです。

今後の展開

本研究は、岩石を化学的に弱めるキレート剤と、高温でも粘性を保ちやすい増粘多糖類を組み合わせることで、高温の地下深部に適した新しい水圧破碎法を設計できる可能性を示したものです。特に、流体の逃げを抑えてき裂を開きやすくする効果と、注入圧力の上昇を抑える効果を両立するうえで、反応性と粘性を組み合わせることが有効である可能性を示しました。

今後は、より実際の地下環境に近い高温・高応力条件下での実験を進め、反応性増粘流体がき裂形成、き裂開口、地下流体の通り道の形成に与える影響を定量的に評価します。また、岩石種、応力条件、流体組成、反応時間を変化させることで、どのような条件で最も効果的に破碎圧力を抑え、き裂の発生・開口を促進できるかを明らかにします。

本成果は、地熱発電や天然ガス開発など、国産エネルギー資源の開発に必要な貯留層刺激技術の高度化に貢献することが期待されます。さらに、き裂面の化学的な凹凸形成により、将来的には砂などの支持材（プロパント）に大きく依存しない貯留層刺激技術への展開も期待されます。また、将来的には、CO₂ 地中貯留における注入性改善、地下水素貯蔵、高温岩体を対象とした新しい地下利用技術への応用も期待されます。植物や微生物に由来する成分を活用した環境調和型の地下岩盤制御技術として、低炭素社会の実現にも貢献する基礎技術となることが期待されます。

なお、本成果に関連する水圧破碎技術については、東北大学が特許出願中（特願 2025-77753）です。

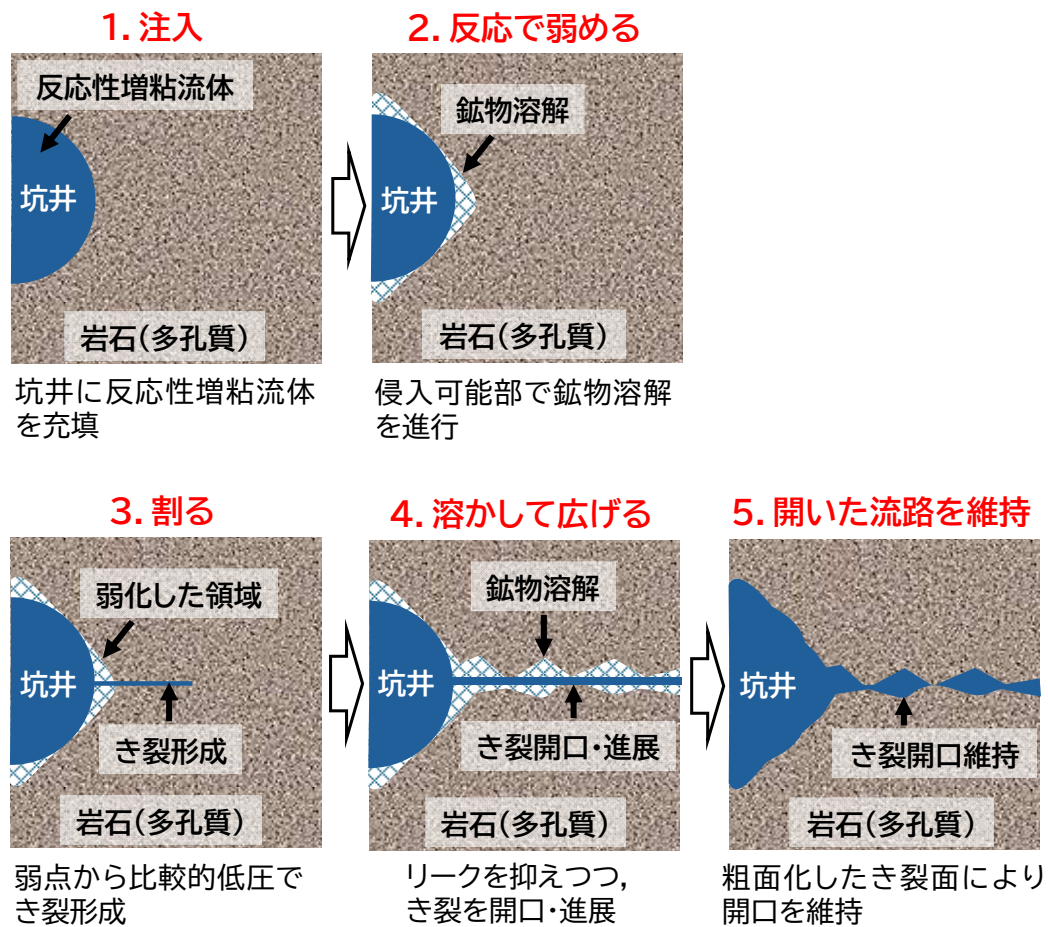


図 1. 反応性増粘流体破碎法概念図

【謝辞】

本研究は、日本学術振興会（JSPS）科学研究費助成事業「基盤研究（B）（22H02015、23K23283、23H01903、23K26596、24K01412）」、「挑戦的研究（開拓）（21K18200）」、「基盤研究（A）（26H02258）」、「基盤研究（S）（22H04932、26K21718）」の支援により実施されました。

また、本研究では、株式会社 INPEX より提供を受けた岩石コア試料を使用しました。

本論文は「東北大学 2026 年度オープンアクセス推進のための APC 支援事業」の支援を受け、オープンアクセスとなっています。

【用語説明】

注1. 反応性増粘流体破碎法：岩石と反応する成分と、流体に粘性を与える

成分を組み合わせた反応性増粘流体を用いて、地下の岩石にき裂を発生・開口させる水圧破碎法です。本研究では、岩石を化学的に弱めながら、流体の逃げを抑えてき裂を押し広げることを目指しました。

注2. GLDA：L-グルタミン酸二酢酸の略称です。グルタミン酸由来の生分解性キレート剤であり、金属成分と結合して水溶液中に保持する性質を持ちます。本研究では、岩石中の鉱物成分の溶解を促進し、岩石を局所的に弱化させる目的で用いました。

注3. スクレログルカン：微生物が生産する多糖類の一種です。水に粘性を与える増粘剤として利用され、高温でも粘性を保ちやすい特徴を持ちます。本研究では、注入流体の逃げを抑え、き裂の開口を促進する目的で用いました。

【論文情報】

タイトル：Reactive viscous fluid fracturing of volcanic rocks: chemical weakening offsets viscosity-induced pressure increase

著者：Eko Pramudyo*, Nagi Obata, Luis Salalá*, Jiajie Wang, Noriaki Watanabe*

*責任著者：東北大学 大学院 環境科学研究科 特任助教 Eko Pramudyo

東北大学 大学院 環境科学研究科 特任助教 Luis Salalá

東北大学 大学院 環境科学研究科 教授 渡邊 則昭

掲載誌：Geothermics

DOI：10.1016/j.geothermics.2026.103752

URL：https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2026.103752

【問い合わせ先】

（研究に関すること）

東北大学 大学院 環境科学研究科

教授 渡邊 則昭

TEL: 022-795-7384

Email: noriaki.watanabe.e6@tohoku.ac.jp

（報道に関すること）

東北大学大学院環境科学研究科

情報広報室

TEL: 022-752-2241

Email: kankyo.koho@grp.tohoku.ac.jp