

令和 5 年 6 月 29 日現在

機関番号：82656

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K21163

研究課題名（和文）炭酸ナトリウムゲル生成によるCO₂分離及び浅帯水層へのCO₂固定化システムの開発研究課題名（英文）System development of CO₂ capture and sequestration by forming sodium carbonate gel in shallow aquifers

研究代表者

佐々木 久郎（Sasaki, Kyuro）

公益財団法人未来工学研究所・研究センター・研究員

研究者番号：60178639

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、メタケイ酸ナトリウム水溶液に亜臨界圧条件下でCO₂ガスをバブリング溶解させることで生成させた炭酸ナトリウムゲルの質量バランス、ラマン分光分析結果およびSEM-EDS 分光法による測定結果の分析と基盤的な化学反応データの取りまとめを行い、最適なゲル生成条件を探索した。その結果、水溶液濃度：1～7%および圧力：7MPa以下での炭酸ナトリウムゲルの生成が実用的であることを明らかにした。さらに、CO₂ガスの分離回収率および圧入システムの構成と実現性について、プラントや圧入設備などの仕様条件の検討を行い、炭酸ナトリウムゲルを浅層帯水層へダイレクトに圧入・固定するシステムの提案を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

安価なメタケイ酸ナトリウム水溶液に亜臨界圧条件下でCO₂ガスを溶解させることで炭酸ナトリウムゲルが容易に生成され減圧後も安定であることから、深帯水層に匹敵する貯留ポテンシャルを持つ300-400mの浅帯水層にCO₂を安全に固定できると着想した。また、炭酸ナトリウムゲル自体は自然界にも存在する化合物であり、深帯水層でのCO₂貯留の場合には地下微生物が激減する苛酷な酸性環境となるのに比較して、ゲル層は良好な涵養環境（pH=9-10）であるため、微生物による鉱物固定化などが促進され、CO₂の大気放出量の削減による地球温暖化の抑制に貢献できる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we have investigated the mass balance, Raman spectroscopic analysis results, and SEM-EDS spectroscopy of sodium carbonate (Na₂CO₃) gel formed by bubbling CO₂ gas into sodium metasilicate (Na₂SiO₃) aqueous solution under subcritical pressure conditions. We collected and summarized the measurement results and basic chemical reactions on the gel formation, and searched the practical and optimal gel formation conditions. As a result, it was clarified that the formation of sodium carbonate gel was practical with an aqueous solution concentration of 1 to 7 % and a pressure of 7 MPa or less. Furthermore, regarding the separation and recovery rate of CO₂ gas and the configuration and feasibility of the injection system, we have proposed the specifications of the formation plant and injection well and facility for direct sodium carbonate gel injection and sequestration in the shallow aquifer.

研究分野：地球資源システム工学

キーワード：二酸化炭素固 ケイ酸ナトリウム 浅帯水層 CO₂地中貯留 ゲル ダイレクトダンピング

1. 研究開始当初の背景

CO₂ 地中貯留は地球温暖化防止技術において重要な役割を期待されている。ただし、大量の CO₂ 貯留条件として超臨界条件を満足する 800m 以深の帯水層が対象となっている。この場合、亀裂などからの漏えいが無いことを担保するため常にモニタリングや環境評価が必要とされ、貯留費用などの経済性、立地や安全性に関わる課題も多く、世界的な商業化が拡大しない状況に陥っている。さらに、深帯水層に CO₂ を貯留した場合では微生物に苛酷な酸性環境となるため、微生物数がおよそ 1/1000 に減少したという報告もなされている(Viability and Adaptation Potential of Indigenous Microorganisms from Natural Gas Field Fluids in High Pressure Incubations with Supercritical CO₂, Frerichs et al.: Environ. Sci. Technol., 48, 1306-1314, 2014)。そのため、より安全に、かつ経済的に CO₂ を分離・固定化する革新的な技術が必要とされている。急速に地下水に溶解させることが可能なマイクロバブルを利用し浅帯水層中に圧入する方式も提案されている(分散型 CO₂ 地中貯留の可能性について、鈴木ら:大林組技術研究所報, No.77,1-8, 2013)が、地下水が炭酸水となることから依然として漏えいの可能性や微生物環境の悪化などの技術課題が残っている。

一方、安価なメタケイ酸ナトリウム(Na₂SiO₃・9H₂O)水溶液に亜臨界圧で CO₂ を溶解させることで炭酸ナトリウムゲルが容易に生成され減圧後も安定であることから、深帯水層に匹敵する貯留ポテンシャルを持つ 300-400m の浅帯水層に CO₂ を安全に固定できる可能性を有する。また、炭酸ナトリウムゲル自体は自然界にも存在する化合物であり、深帯水層での CO₂ 貯留の場合には地下微生物が激減する苛酷な酸性環境となるのに比較して、ゲル層は良好な涵養環境(pH=9-10)であるため、微生物による鉱物固定化なども促進できることが期待できる。

2. 研究の目的

本研究では、メタケイ酸ナトリウム水溶液の CO₂ ガスの吸収・分離特性、温度と圧力によるゲル化時間や強度および安定性を調べ、燃焼ガスから CO₂ を選択的に吸収させゲルとして分離・輸送し、浅帯水層への圧入するシステムを開発し、ゲル状物質の特性を明らかにする実験および測定を実施し、一連の浅層へのゲル状物質の貯留システムの要素に関する研究を行うことを目的としている。

3. 研究の方法

安価なメタケイ酸ナトリウム水溶液に比較的低圧力で CO₂ ガスを溶解させることで炭酸ナトリウム(Na₂CO₃)ゲルを容易に生成でき、減圧後もゲルとして安定であることを実験的に確認している。すなわち、低流動性のゲルを帯水層中に貯留する場合、300-400m の浅帯水層であっても安全に CO₂ を固定することが可能であると推定できる。また、炭酸ナトリウムゲル自体は自然界にも存在する化合物であり、深帯水層での CO₂ 貯留の場合には地下微生物が激減する苛酷な酸性環境となるのに比較して、ゲル層は良好な涵養環境(pH=9-10)であるため、微生物による鉱物固定化などが促進される。

本研究では、まず安価なメタケイ酸ナトリウムの濃度 1~7%水溶液に 7MPa 以下の圧力で CO₂ を溶解させ、炭酸ナトリウム(Na₂CO₃)ゲルを容易に生成し、その物理化学的特性を調べる(図 1)。なお、大気圧まで減圧してもゲルとして安定であることを実験的に示す。さらに、メタケイ酸ナトリウム水溶液と CO₂ ガスの実験システムやラマン分光によるゲルの特定、さらには CO₂ 地中貯留に関わる分離・固定化システムの要素開発に必要な実験データを収集する。なお、実験で生成されたゲルの分子結合および化学的特性の分析にはラマン分光法および走査電子顕微鏡/エネルギー分散型 X 線(SEM-EDS)分光法を用いた。

また、CO₂ 回収・地中貯留システム設計に必要なデータの収集、浅層の帯水層の特性を考慮した浸透率や孔隙率をモデル化し、メタケイ酸ナトリウム水溶液に対し CO₂ ガスの圧入条件や生成した 0 ゲルの圧入レート・時間、貯留領域などの数値シミュレーションを行った。

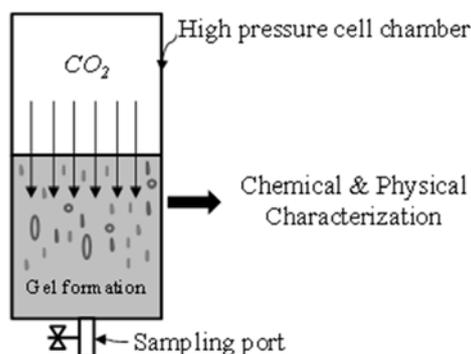


図 1 実験の概要



(5%溶液,圧力 5MPa で生成後に大気圧に減圧)

図 2 実験によって生成した炭酸ナトリウムゲル

4. 研究成果

(1) 炭酸ナトリウムゲル(Na_2CO_3)の生成とそのゲル特性

実験的に様々な条件を与えて生成させたゲルの写真を図 2 に示す。その生成条件がゲル特性に与える影響を測定した結果について以下に述べる。

メタケイ酸ナトリウム水溶液濃度 (1~10 wt%), CO_2 ガス圧 (2~7.5 MPa), 温度 (25~80°C), 塩分 (NaCl; 0.1-10 wt%), 二価イオン (Ca^{2+} ; 10-10000 ppm), および原油の有無などの条件設定に対する、物理的ゲル特性であるゲル化時間, ゲル強度およびゲルの安定性を測定している。

CO_2 ガス圧, 塩分 (NaCl), 二価イオン (Ca^{2+}) および多孔質媒体でのゲル生成挙動の影響に関する感度分析に関わる測定では, 5 wt% のメタケイ酸ナトリウム水溶液のベースライン濃度として使用した。 CO_2 ガス圧入後のゲル化時間は, 温度と圧力によって変化し約 1~24 時間の範囲であった。メタケイ酸ナトリウム水溶液の濃度と CO_2 ガス圧が高くなるほどゲル強度は増すことがわかった。

SEM 分析によってゲルの表面形態を比較した写真を図 3 に示す。図 3(a) に示すメタケイ酸ナトリウム水溶液が低濃度の場合, 生成したゲル構造はその後の高濃度に比較してその分子結合構造は小さく, 柔らかいことが推定できる。対照的に, メタケイ酸ナトリウム水溶液が高濃度ではゲル構造の緩みが少なくなっていることが図 3(b) からわかる。図 3(c) に示す高濃度で生成させたゲル構造はより大きい結合分子構造を示しており, 強い分子結合を示唆していると推定される。

さらに, 採取したゲルサンプルのラマンスペクトル分析結果を図 4 に示す。特徴的なバンド波数 (703, 1083 および 1424 cm^{-1}) にピークが観察され, それらはすべてメタケイ酸ナトリウム水溶液の濃度が高いほどより顕著に確認された。波数 703 cm^{-1} および 1082 cm^{-1} のピークは炭酸イオン (CO_3^{2-}) の対称伸縮に関連し, 1424 cm^{-1} のピークは炭酸イオンの非対称伸縮を示している (Brooker and Bates, 1971; Vargas Jentsch ら, 2013)。これらの結果は, 生成されたゲルが珪質ではなく炭酸塩であることを示唆しました。生成されたゲルのラマンスペクトルを市販の炭酸ナトリウム (Na_2CO_3) のラマンスペクトルと比較すると, それらのピークが同一の波数に現れていることがわかる。

EDS 分析によって化学反応経路を調べた結果を図 5 に示す。炭酸ナトリウムゲルには主に炭素 (CO_2 由来), ナトリウム (メタケイ酸ナトリウム由来), 酸素 (CO_2 とメタケイ酸ナトリウムの両方の由来) が含まれていることが明らかになった。シリコン (Si) の濃度は, ゲル生成を引き起こす化学物質に基づいて減少したため, Si の減少は関連する化学反応によって説明できる。実際に, ケイ酸塩 (SiO_4^{4-}) の生成は可逆的であり, メタケイ酸ナトリウム水溶液の濃度によって変化する可能性をもつことが明らかになった。

ラマン分光法と SEM-EDS 分光法の両測定結果から, 生成したゲルが炭酸ナトリウムゲルであることが明らかになった。

以上の測定結果から, 推定されたゲルの生成とゲル分子結合, 化学反応式によって生じた高分子構造の模式図を図 6 に示す。

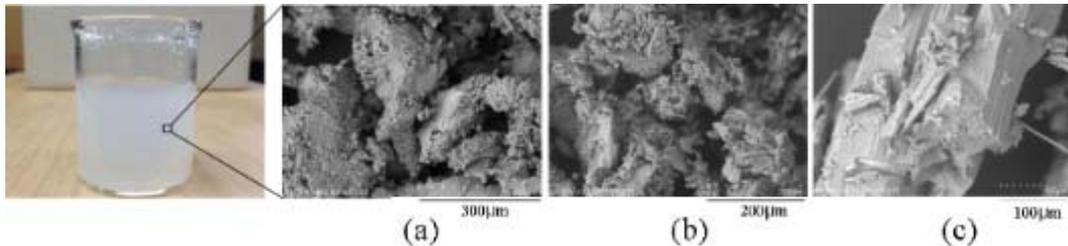


図 3 各メタケイ酸ナトリウム水溶液濃度において生成した炭酸ナトリウムゲルの SEM 写真
(a) 5 wt%, (b) 8 wt%, (c) 10 wt%

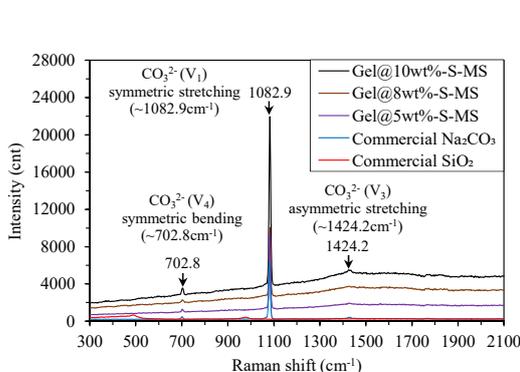


図 4 各濃度を有するメタケイ酸ナトリウム水溶液に 5 MPa の圧力下で CO_2 ガスを溶解させて生成したタンサンナトリウムゲルのラマンスペクトル

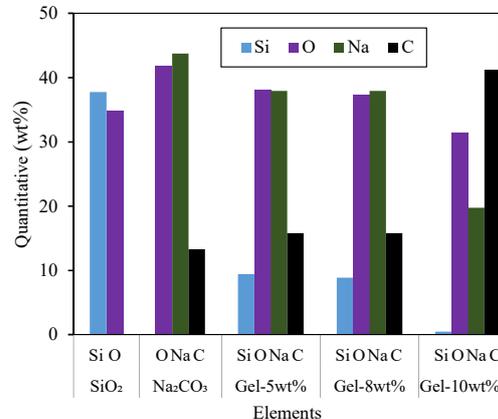


図 5 各濃度を有するメタケイ酸ナトリウム水溶液に 5 MPa の圧力下で CO_2 ガスを溶解させて生成したゲルの元素組成

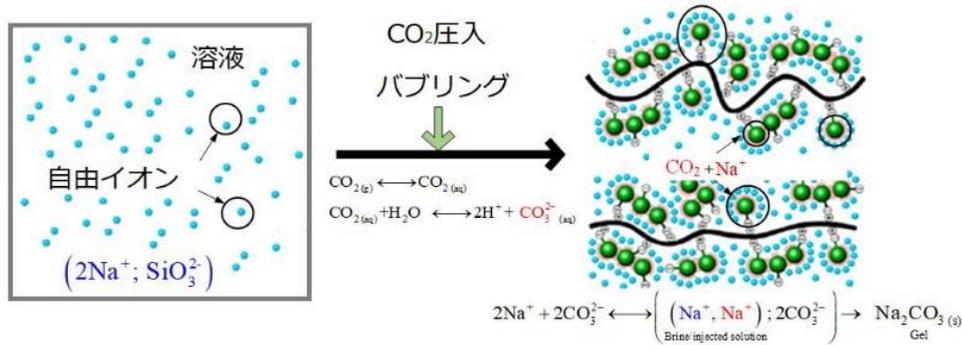


図 6 メタケイ酸ナトリウムと圧入された CO₂ ガスとの化学反応によるゲル生成

(2) 物理化学的特性; ゲル生成時間

2 MPa の一定ガス圧で CO₂ ガスを溶解させたときのゲル化時間は、メタケイ酸ナトリウム の初期濃度に応じて 1 ~ 4 時間であった。より低いメタケイ酸ナトリウム水溶液濃度 (≤ 5 wt%) では反応速度が低いため、より長いゲル化時間を必要とした。したがって、高濃度ではゲル化時間が減少しました。一方、メタケイ酸ナトリウム水溶液の濃度が高くなると、炭酸ナトリウム ゲルの粘度が高くなる。例えば、5 および 10 wt% のメタケイ酸ナトリウム水溶液によって生成されたゲル粘度は、それぞれ約 40 および 180 mPa·s と測定された(図 8 参照)。

5.5 MPa の CO₂ ガス注入圧力下において、10 wt% メタケイ酸ナトリウム水溶液の温度をそれぞれ 25 °C から 40 °C および 55 °C に上昇させた比較実験を行った結果を図 7 および図 8 に示す。25 °C ではゲル化時間が約 1 時間でその見かけ粘度が急激に増加したのに対し、水溶液温度を 40 °C ~ 55 °C に上昇させると、ゲル化見掛け粘度の上昇が遅くなり、ゲル化時間が 1 日程となることが明らかになった。したがって、浅層帯水層の温度が高い場合、直接水溶液中に CO₂ ガスを溶解させるシステムの場合には、CO₂ ガスの圧入後のシャットイン時間を数日設定する必要がある。

(3) 物理化学的特性; レオロジー特性とゲル強度

亜臨界 CO₂ 圧入条件(25°C, 5.5MPa) 下で、メタケイ酸ナトリウム水溶液濃度 (5, 8, 10 wt%) でゲルを生成させ、ゲル強度コード表に基づいて測定された 炭酸ナトリウム ゲル強度に対する メタケイ酸ナトリウム水溶液 濃度と CO₂ ガス圧力の影響を図 10 に示す。この図は、炭酸ナトリウムゲルの見掛け粘度とせん断速度の関係を示しており、CO₂ ガス圧力が高いほど見掛け粘度が高い傾向を示している。

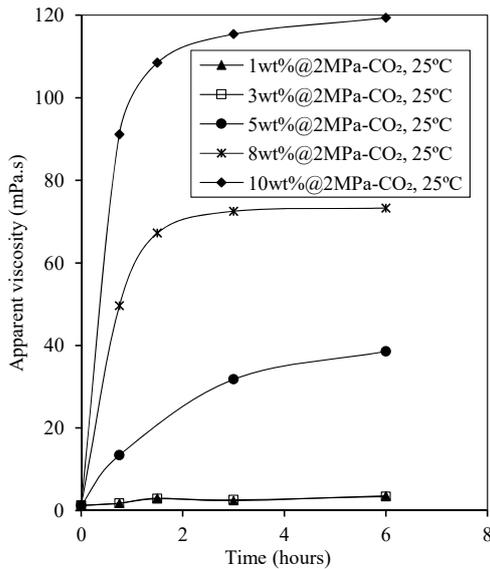


図 7 メタケイ酸ナトリウム水溶液濃度によるゲル化時間の変化

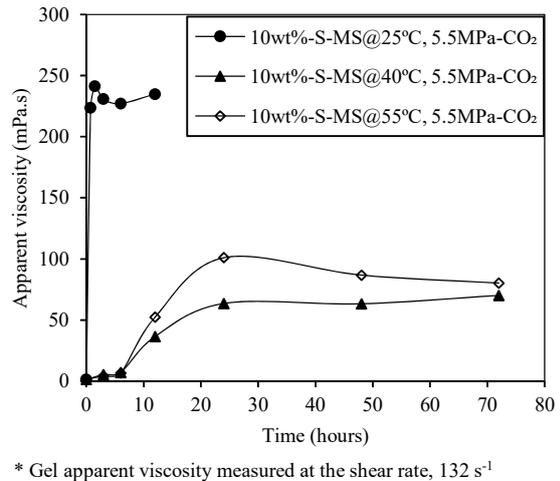
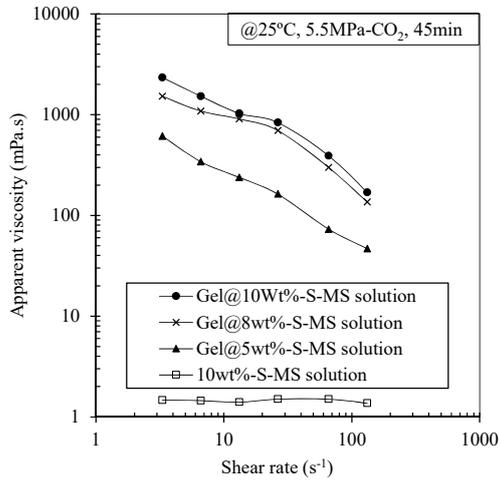
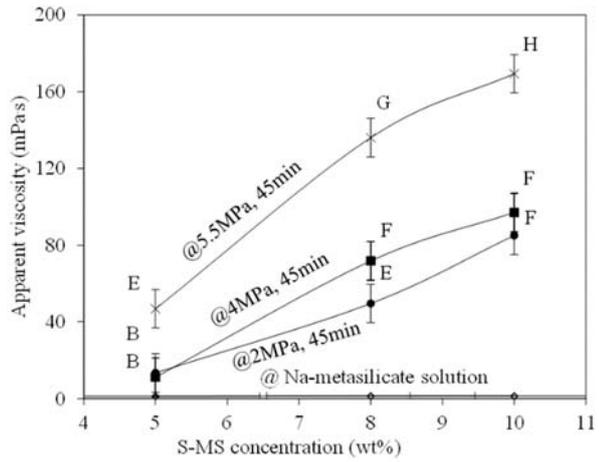


図 8 ゲル化時間とゲル強度に対する水温の影響



* Gel apparent viscosity measured at the shear rate, 132 s⁻¹



* Gel strength code: H (high strength), B (low strength)
* Gel apparent viscosity measured at shear rate, 132 s⁻¹

図.9 生成した炭酸ナトリウムゲルのレオロジー特性

図 10 メタケイ酸ナトリウム濃度および CO₂ ガス圧力に対する炭酸ナトリウムゲル強度(B~H)

(4) 岩石コア内の孔隙中にゲルを生成させた場合の実験結果

浅層帯水層を想定し、砂岩コアに炭酸ナトリウムゲルが生成させ、その浸透率変化の評価を CO₂ ガスの透過実験によって実施した。実験では、砂岩コアの圧力勾配の閾値 (TPG) の測定値に基づいて評価を行った。その結果、砂岩コア内の孔隙に炭酸ナトリウムゲルを生成させることによって水飽和状態と比較して TPG が 2.6 倍増加し、ガス浸透率が約 1/10 に減少することが確認され。ただし、浸透率が極めて高い浅層帯水層を考慮すると、炭酸ナトリウムゲル圧入とその流動性は確保できると算定された。

(5) CO₂ 分離・回収固定化システムの提案

本研究によって、CO₂ 分離・回収および浅層帯水層へダイレクトに固定化するシステムを図 11 に示す。そのシステムの実現性と有効性が実証されれば、数億トン規模の CO₂ 削減に寄与する革新的な技術となり得ると期待できる。現在まで、95~98%の高純度の CO₂ ガスの分離・回収を目標としたプラントと深層帯水層への地中貯留に必要とする設備費用および操業費用が経済的に重荷となっているのに比較して、本システムは簡潔なシステム構成と浅層帯水層を対象とするシステムであり、CO₂ の貯留・固定化コストを大幅に低減できる可能性を有し、技術レベル的にも世界の多くの国での実施可能性を有する。

また、本実験結果から、1 リットル中のゲル中には 0.1~0.2kg の CO₂ が含まれると概算できることから、CO₂ の水への飽和溶解量に比較して、2~4 倍程度の固定量であると結論付けられる。すなわち、CO₂ を低流動性のゲルとして帯水層に固定する場合には、300~400m の浅層帯水層であっても安全に貯留を維持できることを示す。また、炭酸ナトリウムゲル自体は自然界にも存在し、深層での pH が低い苛酷な CO₂ 貯留層の環境に比較して良好な環境 (pH=9~10) であるため、微生物の担持材としても用いることが可能と判断される。したがって、浅層帯水層に貯留した後に、無水ケイ酸鉱物などの鉱物化を推進する微生物の涵養によって安定な鉱物への早期転換が期待できる。

深度 200~400m の浅層帯水層は、800m 以深の深層帯水層よりもその貯留ポテンシャルが極めて大きい。減圧を伴う亀裂などの存在あるいは新たな生成があっても高粘度と高密度を有するゲル特性によって漏えいリスクはほぼ 0 に抑制され、帯水層中の地下微生物などに対してもやさしい環境で CO₂ 固定が可能と結論付けられる。

最後に、多くの要素開発、環境評価および経済性評価などに関する更なるさらなる実験的実証が必要とされる。

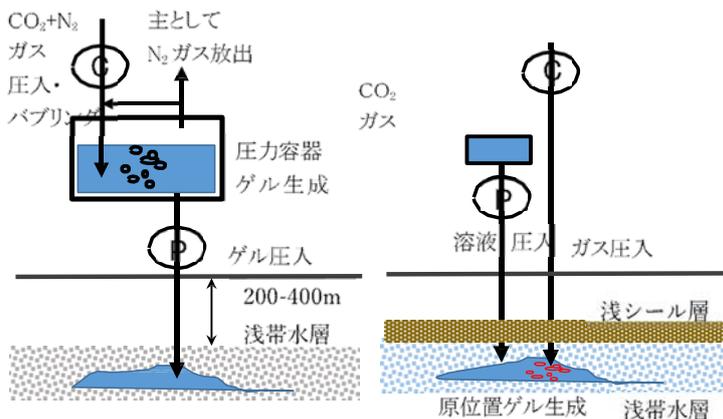


図 11 CO₂ 分離・回収および浅層帯水層へダイレクトに炭酸ナトリウムゲルを直接固定するシステム

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 10件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Zhang Hemeng, Sasaki Kyuro, Zhang Xiaoming, Sugai Yuichi, Wang Yongjun	4. 巻 2020
2. 論文標題 Formation of Cross-linked Gel from Complex Water-Solution of Sodium Metasilicate Nonahydrate and Polyvinyl Alcohol to Inhibit Spontaneous Coal Combustion	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Combustion Science and Technology	6. 最初と最後の頁 1-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00102202.2020.1867544	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Tola Sreu, Kyuro Sasaki, Yuichi Sugai, Ronald Nguele	4. 巻 14
2. 論文標題 An experimental study of the influence of the preflush salinity on enhanced oil recovery using silica-based nanofluids	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Energies	6. 最初と最後の頁 1-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/en14216922	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Qiang Sun, Kyuro Sasaki, Yuichi Sugai, Ronald Nguele	4. 巻 137-1
2. 論文標題 深部帯水層へのCO2地中貯留における初期圧入段階におけるモニタリング井での圧力応答の予測	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of MMIJ	6. 最初と最後の頁 17-23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2473/journalofmmij.137.17	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Ronald Nguele, Brian Adala Omondi, Soichiro Yamasaki, Shusaku Mandai, Yuichi Sugai, Kyuro Sasaki	4. 巻 622-126688
2. 論文標題 Evaluation of CO2-triggered and thermo-responsive gels for heterogeneous oil formations	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.colsurfa.2021.126688	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 佐々木久郎, チエサムニアン, 菅井裕一, シゲレロナルド	4. 巻 86(3)
2. 論文標題 採油増進回収およびCO ₂ ; 地中貯留・固定化に対するケイ酸ナトリウム水溶液を用いた複合システムの提案	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 石油技術協会誌	6. 最初と最後の頁 219-226
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Olalekan S. Alade, Mohamed Mahmoud, Dhafer Al Shehri, M.A. Mokheimer, Kyuro Sasaki; Ryo Ohashi; Muhammad Shahzad Kamal; Isah Muhammad; Ayman Al-Nakhli	4. 巻 244-A
2. 論文標題 Experimental and numerical studies on production scheme to improve energy efficiency of bitumen production through insitu oil-in-water (O/W) emulsion	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Energy	6. 最初と最後の頁 122700
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.energy.2021.122700	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Hemeng Zhang, Xiaoming Zhang, Yongjun Wang, Wei Dong, Jiafeng Fan, Kyuro Sasaki	4. 巻 147
2. 論文標題 Application of aging effect model in numerical simulation for predicting spontaneous combustion of coal stockpiles	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Thermal Analysis and Calorimetry	6. 最初と最後の頁 13847-13860
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10973-022-11708-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Mom Vatana, Kyuro Sasaki, Ronald Nguele, Yuichi Sugai	4. 巻 2022
2. 論文標題 Interactions between fine particles and heavy crude oil: an experimental study using thermo-gravimetric and rheological analyses	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Petroleum Science and Technology	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/10916466.2022.2049817	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Hemeng Zhang, Yongjun Wang, Xiaoming Zhang, Kyuro Sasaki, Yuichi Sugai, Fangwei Han, Wei Dong, Hung Vo Thanh	4. 巻 334-2
2. 論文標題 Experimental study of moisture effects on spontaneous combustion of Baiyinhua lignite from individual particles to stockpile	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Fuel	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.fuel.2022.126774	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Qiang Sun, Kyuro Sasaki, Qinxu Dong, Zhenni Ye, Hui Wang, Huan Sun	4. 巻 1187
2. 論文標題 Analysis of pressure response at an observation well against pressure build-up by early stage of CO2 geological storage project	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering	6. 最初と最後の頁 1-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jrmge.2023.03.013	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計16件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 Ronald Nguele, Alade Olalekan Saheed, Hirokazu Okawa, Kyuro Sasaki
2. 発表標題 Insights Into bitumen viscosity reduction using ultrasound-assisted EOR
3. 学会等名 SPE Western Regional Meeting (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Danielle Pougui, Yuichi Sugai, Kyuro Sasaki
2. 発表標題 Wellbore stability enhancement of water based drilling mud using polyvinyl alcohol
3. 学会等名 SPE Western Regional Meeting (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐々木久郎
2. 発表標題 炭化水素エネルギー資源の生産および利用と二酸化炭素の地中貯留に関する研究
3. 学会等名 資源・素材学会 2023年度春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Danielle Pongui, Yuichi Sugai, Kyuro Sasaki, Ronald Nguete
2. 発表標題 Insights Into bitumen viscosity reduction using ultrasound-assisted EOR
3. 学会等名 SPE Asia Pacific Oil & Gas Conference and Exhibition (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kyuro Sasaki
2. 発表標題 Consumption trends of crude oil and petroleum products and decarbonization in Japan over the past decade
3. 学会等名 CMG East Asia Workshop: Dynamic Modelling of the Energy Transition (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kyuro Sasaki
2. 発表標題 Direct geological damping of sodium carbonate gel for CO2 sequestration in shallow aquifer
3. 学会等名 5th International Conference on Environmental Sustainability and Climate Change (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐々木久郎
2. 発表標題 原油および石油製品の消費量と在庫量について
3. 学会等名 資源・素材 2022(福岡)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kyuro Sasaki
2. 発表標題 Analysis of the impact of COVID 19 on the consumption and inventory of fossil fuels crude oil; petroleum products; LNG and coal in Japan
3. 学会等名 3rd International Symposium on In-situ Modification of Deposit Properties for Improving Mining (IMDPIM2022) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 孫強, 佐々木久郎, 菅井裕一, シンゲレロナルド
2. 発表標題 初期CO2 地中貯留段階における圧入井と観測井の圧力応答について
3. 学会等名 石油技術協会・令和3年度春季講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 マーグレット ハロイアン, 佐々木久郎, 菅井裕一, シンゲレ ロナウド
2. 発表標題 地下浅層を利用したメタケイ酸ナトリウム溶液による排ガスからの二酸化炭素回収・固定に関する研究
3. 学会等名 石油技術協会・令和3年度春季講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 相原亮馬, 菅井裕一, Ronald Nguete, 佐々木久郎
2. 発表標題 メタケイ酸ナトリウムを用いたCO ₂ の回収と生成ゲル溶液のEOR の適用に関する検討
3. 学会等名 石油技術協会・令和3年度春季講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 菅井裕一, 相原亮馬, ングレ ロナウド, 佐々木久郎
2. 発表標題 メタケイ酸ナトリウムを用いたCO ₂ 回収およびその反応生成ゲルの石油増進回収への適用について
3. 学会等名 資源・素材2021(札幌)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kyuro Sasaki
2. 発表標題 Three technical challenges to reduce CO ₂ emissions by extinguishing a large scale of natural coal fires and spontaneous combustions
3. 学会等名 International Symposium on Earth Science and Technology 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kyuro Sasaki
2. 発表標題 Expected Applications of Gel Formation from Sodium Metasilicate Solution and CO ₂ Gas to Enhanced Oil Recovery, CO ₂ Sequestration and Inhibiting Spontaneous Combustion of Coals
3. 学会等名 2nd International Symposium on In-situ Modification of Deposit Properties for Improving Mining (IMDPIM2) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐々木 久郎, チエサムニアン, 菅井 裕一, ンゲレロナルド
2. 発表標題 油層内原位置ゲル生成技術を用いたEORとCO2 固定
3. 学会等名 令和2 年度 石油技術協会学術大会 開発・生産部門シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐々木 久郎, 菅井 裕一, ンゲレロナルド
2. 発表標題 ケイ酸ソーダ溶液を利用したゾル・ゲル生成によるCCUSシステムについて
3. 学会等名 資源・素材2020(仙台)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	NGUELE RONALD (Nguele Ronald) (50821401)	九州大学・工学研究院・助教 (17102)	削除: 2022年11月30日

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 協力者	NGUELE RONALD (Nguele Ronald)	米国・アラスカフェアバンクス大学・北方工学研究所・ Assistant Professor	追加: 2022年12月1日

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
中国	Liaoning Technical University			
米国	University of Alaska Fairbanks			