

令和 2 年 9 月 13 日現在

機関番号：72692

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06988

研究課題名(和文) 重質油に対するデジタルオイル構築法の開発

研究課題名(英文) Development of digital oil for asphaltene aggregation

研究代表者

松岡 俊文 (Matsuoka, Toshifumi)

公益財団法人深田地質研究所・その他部局等・主席研究員

研究者番号：10303851

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：カナダオイルサンドに代表される重質油は、スチームを貯留層に圧入し粘性を下げ生産されるが、化学的な溶剤を混入させる考えも提案されている。具体的にどのような溶剤が最適であるかの評価が必要になるが、短時間に経済的に最適な溶剤を選定することは困難である。本研究ではこの課題解決のため、重質油の分子モデルであるデジタルオイルの構築方法の検討を行い、重質原油に対して分子モデルの作成法を確立した。これにより原油に対する化学試験を行うことなく、分子動力学を用いて化学溶剤の評価が可能となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

重質油は現在世界で広く存在しており、炭化水素資源としての重要性はまだ高い。しかしながらその生産には、重質油の貯留層にスチームの圧入など経済的に高価な面もあり、その十分な利用には至っていない。本研究で確立されたデジタルオイルによる重質油のモデル化は、個々の油田の原油に対して、粘性を低減させるに必要な温度・圧力条件、さらに最適な化学溶剤の種類について示唆を与えるものであり、将来における重質油の広い利用の道を開いた。

研究成果の概要(英文)：As the Canada Oil Sands, heavy oil is produced by injecting the steam into a reservoir to reduce its viscosity. However, the idea of incorporating a chemical solvent has also been proposed. Although it is necessary to evaluate what kind of solvent is optimum, selecting the optimum one economically in a short time is challenging. To solve this problem, in our study, we examined the construction method of digital oil for heavy oil, which is a molecular model of crude oil. We established a way of creating a molecular model based on the NMR data. Our approach made it possible to evaluate chemical solvents using molecular dynamics without conducting chemical laboratory tests on crude oil.

研究分野：石油工学

キーワード：油層工学 重質油 増進回収法 アスファルテン デジタルオイル 分子動力学 QMR法 オイルサンド

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

1. 研究開始当初の背景

炭化水素資源は大別すると、石炭資源、石油資源、天然ガス資源に分類できる。近年の地球温暖化問題に関連して、石炭を燃料とする火力発電所から大気中に排出される大量の CO₂ が社会的な関心を呼んでいる。本研究で取り上げる重質油は石炭よりも CO₂ の排出は少なく、石炭より環境に優しいと言われている。石油・天然ガス資源は、将来におけるエネルギー源の中心となる再生可能エネルギー時代への橋渡しの資源として、まだまだ現代社会においては重要な位置を占めている。重質油は世界の多くの場所に存在するが、カナダにおけるオイルサンドは有名であり、開発要素があるオイルサンド油田が多く存在している。しかしながら、オイルサンドの開発が一気に進まない理由は、これらの重質油は地下の貯留層内ではほとんど流動しない為である。この問題を解決する為、通常は地上からスチームを地下数百メートルに存在する貯留層に圧入し、油の粘性を下げ流動性を高めて地表で回収できるようにする。この手法は SAGD 法 (Steam-Assisted Gravity Drainage) と呼ばれている。さらに最近では、有機溶剤を利用する原油の増進回収法の適用も検討され始めている。

SAGD の適用や有機溶剤を利用するには、個々の油田での原油に対して、粘性を下げ油の回収に必要な流動性を持たせる温度・圧力条件や、どのような種類の有機溶剤が適切であるかの検討が必要になる。これらの情報は、原油の圧力・体積・温度の関係 (相挙動) などを実験室で測定分析し、沸点圧・露点圧、さらに原油粘度の圧力に対する変化など、多くの物理化学的な原油性状を取得する必要がある。しかしながら、これには多くの時間と経費が必要であった。本研究では坑井で採取された重質油のサンプルに対して NMR などの化学分析を行い、そのデータを基に原油の分子レベルでの成分モデル (デジタルオイル) を構築し、分子シミュレーションを適用することで、オイルサンド原油が有している各種の物理化学的な性状の推定技術の高度化を目的としている。この技術が完成すれば、今まで以上に油層管理の精度を高め、その開発を促進することでエネルギー供給の安定化に貢献できる。

2. 研究の目的

石油の貯留層での巨視的な振る舞いを知ることが出来る油層シミュレーション技術は、石油の生産活動において不可欠である。この為現在においても多くの新しい手法が提案され、より複雑で高度な手法が開発されている。このシミュレーションに必須である原油の性状に関して、相図の作成などの物理化学的な情報は PVT 分析に依存している。本研究では油層内で採取された原油に対して、化学分析を行い原油の分子レベルでの成分モデル (デジタルオイル) を構築し、分子動力学を適用することで、ナノスケールでの原油の挙動をシミュレーションする。これらの結果を基に、原油が有している各種の物理化学的な性状の推定技術の高度化を目的とする。一方、

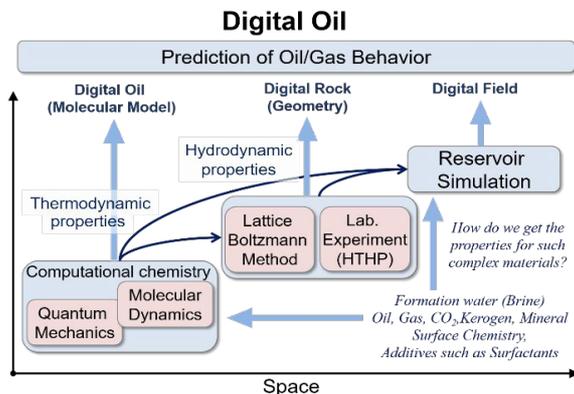


図1 デジタルオイルを用いた油田の数値解析技術

地層の隙間であるマイクロスケールの孔隙内での挙動に関しては、格子ボルツマン法などの手法により、原油の流動特性を知ることが出来る。これらの関係を図1に示す。

このデジタルオイルの基礎的な構築法とその応用は、既に一定の成果を上げてきた。そこで本研究では、この手法の適用が困難と考えられてきた重質油に対するデジタルオイルの作成を試みた。重質油に対しての困難性は、重質油の成分である飽和炭化水素 (アルカン) と芳香族炭化水素分の分離が難しいために、正確なモデルを作成できない点であった。まずこの点に対して新しいデジタルオイルの構築法を提案する。さらにこの手法の具体的な適用として、有機溶剤を重質油の貯留層に圧入する増進回収法において、どの程度の粘性の低下が期待できるかを評価する。またデジタルオイルを用いることで、アスファルト舗装性能の評価検討なども視野に入れて、重質油に対するデジタルオイルの有効性を検証することを目的とする。最終的には、このような研究を通じて今まで以上に油層管理の精度を高め、経済的な SAGD 手法の普及を促進することで、将来のエネルギー資源の安定化に貢献することが目的である。

3. 研究の方法

現在までの研究によって QMR 法^{1,2)}は原油中のアスファルテン分子の構造決定においては有用であり、その後の分子シミュレーションによって推定したアスファルテン分子の物理化学的な性状は、実際の油層におけるアスファルテンの挙動と整合的であった。しかしながら、重質油成分においては、重質油成分に含まれている飽和炭化水素成分 (アルカン) が作っている異性体の区別が必要になって来る。アルカンは同じ炭素数、水素数であっても分子構造が異なっ

たノルマルアルカンとイソアルカンの2種類が異性体して存在する。これらは分子構造の違いにより、物理化学的な性状にも大きな違いが見られる。そのためデジタルオイルの構築においては、この課題を解決する必要がある。この課題に対しては、前述の化学分析の方法をより精度良く進めることが必要であると同時に、アルカンには異性体が存在することを条件に取り込んだQMR法の拡張が必要である。これらの課題に関して、以下の様に対応した。

最初に原油試料に対してSARA分析に基づいて4つの種類(飽和、芳香族、レジン、アスファルテン)に分ける。そしてこれらの元素組成については、炭素、水素、窒素、硫黄の質量比をFLASH2000分析機を用いて直接測定し、平均分子量はゲル浸透クロマトグラフィー(GPC)および蒸留ガスクロマトグラフィー(GCD)で測定した。さらにNMRを用いて¹Hおよび¹³Cの構造タイプを求めた。また原油の物性(密度及び粘度)を大気条件及び貯留条件下で実験的に測定した。QMRは考えられる炭化水素分子候補を、幾つかの要素を組み合わせることで非常に多く作成し、これらの候補者の中から、上記の観測値に整合的な炭化水素構造を選び出すモンテカルロインバージョンで行われる。QMR法はもともとアスファルテンや重い分子のために考えられた手法なので、飽和した非芳香族の成分を提供することが出来なかった。そこで非芳香族の分子の要素となる構造を加えた。その結果パラフィンなどの非芳香族分子を、これまでの研究よりも複雑な鎖構造で生成することが可能になった。また本研究では分子シミュレーションに於いてはGROMACSシステム(バージョン4.6.7及び5.1.4)を用いて、また力場に関してはCHARMM一般力場(CGenFF)を用いた。その他各種ハイパーパラメータは一般的な値を用いた。

本研究の目的を達成するためには、オイルサンド原油の粘性を評価する必要があるため、剪断粘度は平衡分子シミュレーション(EMD)と非平衡分子シミュレーション(NEMD)の2つの異なる方法で計算した。EMD法では拡散係数・熱伝導率・剪断粘度などの輸送係数を、平衡状態の変動の時間相関関数で表すことが出来る³⁾。剪断粘度はグリーン・久保の式で評価した。非平衡のNEMD法では剪断粘度はコサイン曲線の加速度を伴う外力に応答するモデルの速度プロファイルから計算することができる。また拡散係数に関しては、平衡分子シミュレーションより評価した。

この様に本研究ではSARA分析された重質油に対して拡張QMR法によりデジタルオイルを作成し、それを用いて分子シミュレーションを使って、各種物性値の評価を行った。さらに化学溶剤によるこれら物性値の変化についても評価を加えた。

4. 研究成果

試料に対してSARA分析を行い、さらに元素組成分析を行った。これらの分析値に対して拡張QMR法を適用し、最終的にデジタルオイルとして最終的に36種類の炭化水素を含む合計917分子を含むモデルを作った。このモデルに対してGROMACSシステムの分子シミュレーションを適用した。図2にそのスナップショットを示す。

最終的に構築された重質油に対するデジタルオイルが元の原油の特性をどの程度表現できているかを知るために、分子シミュレーションによりマクロな物性値の推定を行い、実験で得られた値との比較を行った。具体的には、密度と粘性の圧力依存性について検討した。この時の温度は貯留層温度である323.15 Kと設定し、圧力は24.2 MPaから0.48 MPaまで変化させて計算を行った。

原油の密度に関する結果を図3に示す。高压領域(10.4 MPa以上)においては実測値とよく一致している。低压領域(10.4 MPa以下)においては実測値と乖離がみられる。その理由は分子シミュレーションにおいては、液体と気体の相の違いが判らない為である。

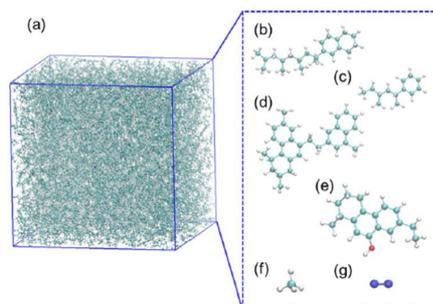


図2 分子シミュレーションのスナップショット。計算条件は圧力 24.2 MPa 温度 325.15K の時 (b) 飽和成分 (c) ロスト成分 (d) 芳香族成分 (e) レジン成分 (f) メタン (g) 窒素の分子構造。計算領域は 7.75 nm×7.75nm×7.75nm の立方体。

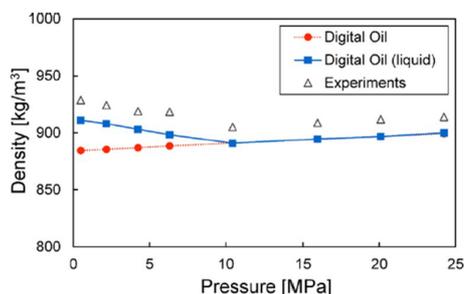


図3 構築されたデジタルオイルに対して分子シミュレーションを適用し貯留層条件下で推定した密度と測定結果。

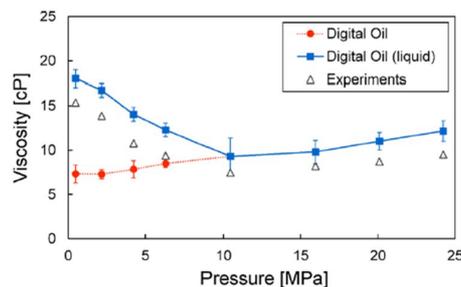


図4 構築されたデジタルオイルに対して分子シミュレーションを適用し貯留層条件下で推定した粘度と測定結果。

液相のみに着目するために状態方程式を解いて、フラッシュ計算を行った。これにより、溶解ガスの分を取り除いた結果、原油密度の圧力依存性はほぼ正しく再現できた。次に構築されたデジタルオイルに対して粘度を、同様に分子シミュレーションにより推定した。この場合も溶解ガスのバブリングに関しては考慮が必要である。結果を図4に示す。粘度に関しても、密度同様に実測値と良い一致を示している。これらの結果が示している事は、デジタルオイルは元の原油の物理化学的な性状を十分表現できる計算機上のモデルとなっている。さらにこの結果を用いて化学溶剤等の圧入に対して、この重質油がどのような性状の変化を示すか、分子シミュレーションを利用することで考察できることを示唆している。

我々はこの課題に対して、メタンガスと二酸化炭素を例として取り上げ、これらのガスの圧入によって、元の重質油の性状がどのように変化するか検討した。図5にメタンガスと二酸化炭素を付加した時の粘度の変化と膨張率を示す。実験的に測定された値と比較すると、原油の計算結果と同様両者の偏差は系統的で、計算値は実験値よりも1.5倍高かった。また二酸化炭素は、メタンよりも油の粘度を大幅に低下させた。さらに、メタンは高压範囲(≥11.8MPa)でのみオイルの粘度を低下させたが、二酸化炭素はすべての圧力でオイルの粘度を低下させた。また溶剤の添加によりバブルポイント圧力が上昇することが確認できた。これらの結果は、二酸化炭素は油粘度の低下という点でEORに大きな効果を与えている事の検証となった。

次に油膨潤の比較を行った。メタンおよび二酸化炭素によるデジタルオイルの膨潤係数を同じく図5に示す。ここで膨潤係数は、元の油の体積に対する油と溶剤の混合物の体積の比率である。計算された膨潤係数は、実験値とよく一致した。膨潤はバブルポイント圧力を超えて増加しないことも確認出来た。各バブルポイント圧力で、CO₂はオイルを約21%膨潤させ、CH₄はオイルを約5%膨潤させた。これはまた、CO₂が油膨潤に関してもEORに大きな影響を与えることを示している。

一般的に重質油の生産は困難であり、化学溶剤の添加により粘度を低減出来ればより経済的な生産の可能性も考えられる。ここではデジタルオイルにさまざまな溶剤を追加したときのオイル特性の変化を評価することにより、最適な溶剤を検討した。候補溶媒は、窒素、二酸化炭素、メタン、エタン、プロパン、n-ヘプタン、n-オクタン、トルエン、およびキシレンの3つの異性体(o-キシレン、m-キシレン、およびp-キシレン)を選んだ。すべての溶媒をデジタルオイルに10wt%で添加した。但し窒素とメタンの溶解限度は10wt%未満であり、これら2つの溶媒を10wt%で添加すると、気相が出現した。したがって、フラッシュ計算によりデジタルオイル-N₂およびデジタルオイル-メタン混合物の液相成分を特定した。評価した物理化学的特性は、溶媒の粘度、膨潤係数、および拡散係数を選んだ。圧力と温度はそれぞれ17.0MPaと323.15Kに制御され、これは貯留層の条件と同じである。粘度及び拡散係数の計算結果を図6に示す。

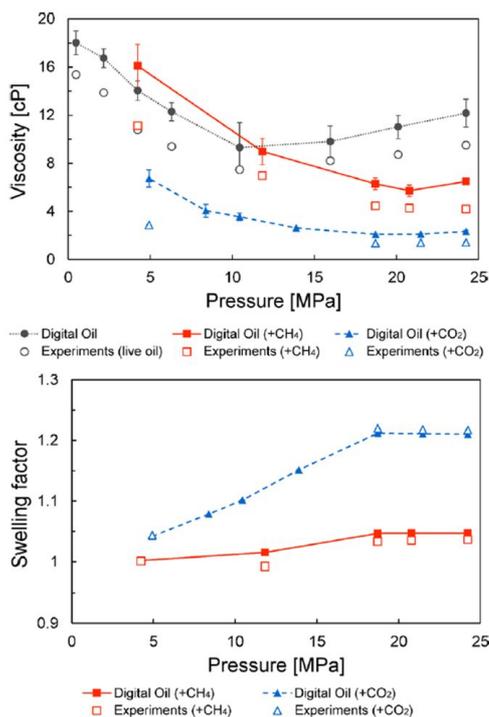


図5 メタンと二酸化炭素を重質油に添加することで粘度の変化と、原油がどの程度膨潤するかを分子シミュレーションにより示した。

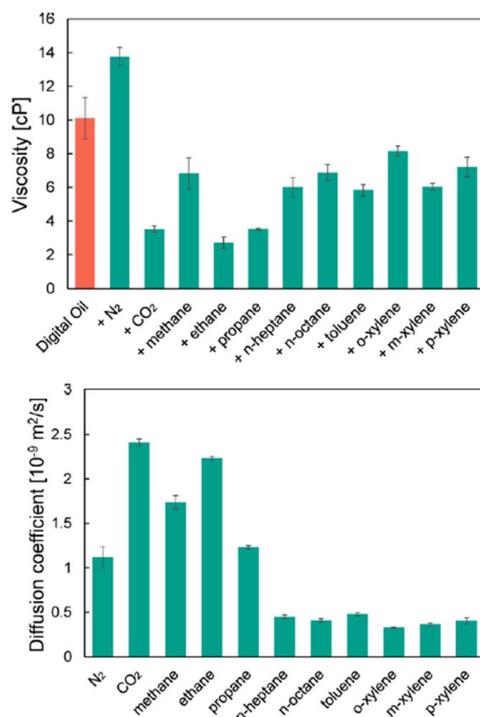


図6 化学溶剤として各種の化学物質を添加した時の原油の粘度の変化と拡散係数の値を示す。

この研究においては、重質原油に対する EOR プロセスを知るために、まずデジタルオイル手法の確立を進め、拡張 QMR 法の提案を行った。さらに原油試料に対してその適用を行った。対象の油田には、浅層と深層の 2 つの貯留層が存在し、この研究で使用した重質油は、浅い貯留層から得たものである。深い貯留層はガスコンデンサイト層である。この油田はまだ生産されていないため、いくつかの EOR プロセスが現在実験とシミュレーションによって広範囲に検討されている。天然ガス(メタン)は、深い貯留層から容易に回収できるため、メタンは EOR 適用の候補と見なされている。さらに、この油田は二酸化炭素の回収および貯蔵場所の近くにあるため、CO₂ 注入も有望な候補と考えられている。そのため、まずデジタルオイルにメタンまたは CO₂ を追加した場合のオイルの特性変化を計算して、各々の効率を評価した。その結果、CO₂ は、オイルの粘度低下、オイルの膨潤、オイルへの拡散の点でより効果的であることが分かった。さらに、11 種類の溶媒の有効性も評価した。エタンが油粘度の低下と油膨潤に最も大きな影響を与え、CO₂ が最も高い拡散係数を示した。これらの結果から、エタンと CO₂ はこの原油に適した圧入溶剤と言える。これは、気体の溶剤が液体溶剤に比べて重油の回収に有利であることも示している。

<参考文献>

1. Boek, E. S.; Yakovlev, D. S.; Headen, T. F. *Energy Fuels* **23**, 1209–1219, (2009).
2. Sugiyama, S.; Liang, Y.; Murata, S.; Matsuoka, T.; Morimoto, M.; Ohata, T.; Nakano, M.; Boek, E. S. *SPE Journal*, SPE-189465-PA. (2017)
3. Hess, B. *J. Chem. Phys.*, 116, 209–217, (2002).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Jia Jihui, Liang Yunfeng, Tsuji Takeshi, Miranda Caetano R., Masuda Yoshihiro, Matsuoka Toshifumi	4. 巻 123
2. 論文標題 Ab Initio Molecular Dynamics Study of Carbonation and Hydrolysis Reactions on Cleaved Quartz (001) Surface	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 4938 ~ 4948
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.8b12089	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 Sugiyama Shumpei, Liang Yunfeng, Murata Sumihiko, Matsuoka Toshifumi, Morimoto Masato, Ohata Tomoya, Nakano Masanori, Boek Edo S.	4. 巻 23
2. 論文標題 Construction, Validation, and Application of Digital Oil: Investigation of Asphaltene Association Toward Asphaltene-Precipitation Prediction	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 SPE Journal	6. 最初と最後の頁 0952 ~ 0968
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2118/189465-PA	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 Okamoto Naoki, Kobayashi Kazuya, Liang Yunfeng, Murata Sumihiko, Matsuoka Toshifumi, Akai Takashi, Takagi Sunao	4. 巻 23
2. 論文標題 Slip Velocity of Methane Flow in Nanopores With Kerogen and Quartz Surfaces	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 SPE Journal	6. 最初と最後の頁 102 ~ 116
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2118/176989-PA	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 -
1. 著者名 ISHITSUKA Kazuya, LIANG Yunfeng, MATSUOKA Toshifumi	4. 巻 67
2. 論文標題 Evaluation of Adsorption Characteristics between an Asphaltene Molecule and Silica Through Free Energy Calculation by Molecular Dynamics Simulation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of the Society of Materials Science, Japan	6. 最初と最後の頁 208 ~ 214
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2472/jsms.67.208	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 -

1. 著者名 M. Iwase, Y. Liang, Y. Masuda, M. Morimoto, T. Matsuoka, R. Ueda, and K. Nakagawa	4. 巻 83
2. 論文標題 石油増進回収への適用を考えた重質原油のデジタルオイルの開発	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Japan Assoc. Petrol. Tech.	6. 最初と最後の頁 418
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 無
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 -

1. 著者名 Kobayashi Kazuya, Liang Yunfeng, Murata Sumihiko, Matsuoka Toshifumi, Takahashi Satoru, Amano Ken-ichi, Nishi Naoya, Sakka Tetsuo	4. 巻 121
2. 論文標題 Stability Evaluation of Cation Bridging on Muscovite Surface for Improved Description of Ion-Specific Wettability Alteration	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 9273 ~ 9281
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.6b12116	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 -

1. 著者名 Liang Yunfeng, Tsuji Shinya, Jia Jihui, Tsuji Takeshi, Matsuoka Toshifumi	4. 巻 50
2. 論文標題 Modeling CO ₂ /Water/Mineral Wettability and Mineralization for Carbon Geosequestration	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Accounts of Chemical Research	6. 最初と最後の頁 1530 ~ 1540
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.accounts.7b00049	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 -

1. 著者名 Sugiyama Shumpei, Liang Yunfeng, Murata Sumihiko, Matsuoka Toshifumi, Morimoto Masato, Ohata Tomoya, Nakano Masanori, Boek Edo S.	4. 巻 Preprint
2. 論文標題 Construction, Validation, and Application of Digital Oil: Investigation of Asphaltene Association Toward Asphaltene-Precipitation Prediction	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 SPE Journal	6. 最初と最後の頁 189465-PA-1-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2118/189465-PA	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 Iwase Motoaki, Sugiyama Shumpei, Liang Yunfeng, Masuda Yoshihiro, Morimoto Masato, Matsuoka Toshifumi, Boek Edo S., Ueda Ryo, Nakagawa Kazunori	4. 巻 32
2. 論文標題 Development of Digital Oil for Heavy Crude Oil: Molecular Model and Molecular Dynamics Simulations	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Energy & Fuels	6. 最初と最後の頁 2781 ~ 2792
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.energyfuels.7b02881	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 石塚 師也、梁 云峰、松岡 俊文	4. 巻 67
2. 論文標題 分子動力学法による自由エネルギーを用いたアスファルテン分子とシリカ鉱物の吸着特性の評価	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 材料	6. 最初と最後の頁 208 ~ 214
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.2472/jsms.67.208	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 -

[学会発表] 計7件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 J. Cao, Y. Liang, Y. Masuda, H. Koga, H. Tanaka, K. Tamura, S. Takagi, and T. Matsuoka
2. 発表標題 Molecular simulation of methane adsorption behavior in kerogen nanopores for shale gas resource assessment
3. 学会等名 Proceedings of 11th International Petroleum Technology Conference, Beijing (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 J. Pang, Y. Liang, Y. Masuda, T. Matsuoka, Y. Zhang, and Z. Xue
2. 発表標題 Molecular dynamics study of interactions between kaolinite, water and carbon dioxide
3. 学会等名 AGU 2018 Fall Meeting, Washington, (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 M. Iwase, S. Sugiyama, Y. Liang, Y. Masuda, M. Morimoto, T. Matsuoka, E.S. Boek, T. Ohata, and R. Ueda
2 . 発表標題 Development of Digital Oil for an Extra Heavy Oil for Investigation of Enhanced Oil Recovery
3 . 学会等名 The 18th International Conference of Petroleum Phase Behavior and Fouling (PetroPhase2017) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 R. Muramatsu, Y. Tateyama, S. Murata, Y. Liang, Y. Masuda, S. Takahashi, and T. Matsuoka,
2 . 発表標題 Influence of Cation on Adsorption Structure of Oil-Mineral Interface for Enhanced Oil Recovery
3 . 学会等名 The 4th International Symposium on "Application of NanoGeosciences in Petroleum Engineering (NanoGeoscience2017)" (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 K. Kobayashi, Y. Liang, S. Murata, T. Matsuoka, S. Takahashi, K.-I. Amano, N. Nishi, T. Sakka,
2 . 発表標題 Low Salinity Water Injection from View Point of Crude Oil-Brine-Mineral Interaction
3 . 学会等名 The 4th International Symposium on "Application of NanoGeosciences in Petroleum Engineering (NanoGeoscience2017)" (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 M. Iwase, S. Sugiyama, Y. Liang, Y. Masuda, M. Morimoto, T. Matsuoka, E. S. Boek, R. Ueda, and K. Nakagawa
2 . 発表標題 Development of Digital Oil for Heavy Crude Oil: Molecular Model and Molecular Dynamics Simulations
3 . 学会等名 The 4th International Symposium on "Application of NanoGeosciences in Petroleum Engineering (NanoGeoscience2017)" (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1. 発表者名 岩瀬本明・杉山俊平・梁云峰・増田昌敬・森本正人・松岡俊文・大畑朋也・上田良
2. 発表標題 EOR の数値解析的検討を目的とした重質油に対するデジタルオイルの適用
3. 学会等名 平成29年度石油技術協会春季講演会
4. 発表年 2017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