

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 27 日現在

機関番号：11401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K05345

研究課題名(和文)超音波を利用したオイルサンドからのピチューメン低温分離回収過程における脱硫の検討

研究課題名(英文) Simultaneous recovery and desulfurization of bitumen from oil sand at low temperature using ultrasound

研究代表者

大川 浩一 (Okawa, Hirokazu)

秋田大学・理工学研究科・教授

研究者番号：00375221

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：オイルサンドからのピチューメンの分離およびピチューメン中の硫黄の脱離は、高温で処理されるため、エネルギー面で課題を有する。本研究は、ピチューメンの低粘度化のためにテトラヒドロフランを、ピチューメン中の硫黄の酸化のために過酸化水素を、そして酸化した硫黄を除去するために水酸化ナトリウムを使用し、それら各反応で超音波を使用することにより、45℃の低温において、ピチューメンの分離回収(93%)と脱硫(86%)を行うことに成功した。また、n-ペンタンを分散剤に使用した際に、極性の差を利用してピチューメンをアスファルテンとマルテンに分けることができた。そこでマルテンのみに酸化脱硫法を適用した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

オイルサンドからのピチューメンの分離および脱硫を同一過程にて低温で行う方法を見出した。テトラヒドロフラン(THF)をオイルサンドに添加し、ピチューメンの粘度を下げた状態で、過酸化水素を添加し超音波照射することで砂と分離ができるとともにピチューメン中の硫黄が酸化できることがわかった。酸化した硫黄はアルカリ水溶液で除去できた。また、THFは加温によりピチューメンから容易に分離できることがわかった。n-ペンタンをTHFの代わりに使用すると、疎水性のため脱硫が難しくなったが、超音波を用いることで2層(n-ペンタン層と水溶液層)が速やかに混合され脱硫が進むことが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：Bitumen recovery and desulfurization from oil sand require high temperatures; low-temperature methods are desired to reduce energy consumption. A process for the simultaneous recovery and desulfurization of bitumen in oil sand using hydrogen peroxide (H₂O₂), tetrahydrofuran (THF), and ultrasonic irradiation at 45 °C was studied. THF reduces bitumen viscosity and it makes easy to separate bitumen from oil sand using ultrasound. The optimized conditions for simultaneous bitumen separation and desulfurization from oil sand using oxidant and ultrasound were 15 ml THF, 3 wt% H₂O₂, and 60 min ultrasonic irradiation after NaOH addition, resulting in 86% desulfurization ratio and 93% recovery ratio.

Oxidative desulfurization of bitumen at room temperature was also performed using n-pentane and ultrasound. The oxidative states of sulfur in bitumen was investigated. Additionally, a novel method for separating bitumen into maltene and asphaltene was developed.

研究分野：化学工学

キーワード：ピチューメン オイルサンド 超音波 酸化脱硫 分離 テトラヒドロフラン コンデンセート 低温

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

カナダアルバータ州にて露天掘りにより回収されるオイルサンドから超重質油であるピチューメンを分離する際に、熱水(<100)や熱水蒸気(>100)が使用される。また、ピチューメンは5 wt%程度の硫黄を含有するため、燃料として使用する前に脱硫が必要であり、高温(200 ~ 425)、高圧(11 MPa)の環境で処理を行う水素化脱硫法が用いられている。従ってこれら処理は高温を必要とするため、より低温で処理できる方法が望まれている。そこで、本研究では低温におけるオイルサンドからのピチューメンの分離・回収および硫黄の除去を検討した。ピチューメンは、常温では粘度が高く、流動性がない。そこで、分散剤となる有機溶媒にオイルサンドを添加し、ピチューメンの粘度を低下した後、超音波を照射しピチューメンを砂から分離する。さらに、この分離過程で、酸化脱硫法を適用して硫黄を除去することを検討する。超音波は溶液中の物質輸送を促進するため、使用する薬剤の低濃度化および低温・短時間におけるオイルサンドからのピチューメンの分離・回収と脱硫が期待できる。

2. 研究の目的

本研究課題は露天掘りにより回収されたオイルサンドから超重質油であるピチューメンを分離・回収する過程において、硫黄の除去を同時に行うことを目的とした研究である。この同時処理を低温で行うことを特徴とする。本研究において、超音波照射と酸化脱硫法を組み合わせた新規回収方法を提案し、有機溶剤を分散剤として使用することで、オイルサンドからピチューメンを低温にて回収すると同時に、ピチューメンに含まれている有機硫黄の除去を検討する。これまでの2つのプロセスを1つにすることで、環境配慮と使用エネルギー量の抑制が期待できる。オイルサンドを水溶液へ分散することができ、酸化脱硫過程においても酸化剤の働きを阻害しない分散剤を探索する。また、溶液とオイルサンド間の反応を促進させるために超音波の使用を検討する。今回の方法で、超音波の効果を明らかにするとともに、処理しやすい硫黄としにくい硫黄の形態を明らかにする。

3. 研究の方法

ピチューメンの粘度を低下させる分散剤をオイルサンドに添加し、低周波数(28 kHz)超音波を照射しながら酸化脱硫法を行うことで、低温度(45 以下)、短時間(1 h 程度)にて、オイルサンドからのピチューメンの分離とピチューメンからの硫黄の除去を同一過程で行うことを検討した(ピチューメン回収率 および硫黄除去率は90%以上が目標)。そのために、ピチューメンの粘度を下げる分散剤として、下記の2つの性質を有することを条件に探索を行った。 . オイルサンドからのピチューメン分離を行う過程において、ピチューメンを溶液中に分散可能で、水溶液(過酸化水素)と混和性を有する分散剤を探索する。分散剤はピチューメンと分離可能なもの。 . 分散剤の添加が、過酸化水素による硫黄の酸化およびアルカリ(水酸化ナトリウム)による硫黄の除去(酸化脱硫法)を妨げないもの。その結果、テトラヒドロフラン(THF)、が候補となった。また、水溶液との混和性の面で難があるが、コンデンセートも候補とした。硫黄の脱離は、低温にて実施可能な酸化脱硫法の適用を検討した。過酸化水素によってピチューメン中の硫黄を酸化した後に、水酸化ナトリウム(NaOH)水溶液を添加することで、酸化した硫黄を水溶液に移動させる方法である。従って、 THF と コンデンセートを分散剤として用いた場合の、ピチューメンの分離回収と脱硫を行った。本稿では、代表的な結果について示す。

THFを用いたピチューメンの分離回収と脱硫

最初にピチューメン(1 g)にTHF(5, 10, 15 mL)を加え、粘度の変化を調べ、オイルサンドからピチューメンを分離する際に必要なTHF量を求めた。次に、オイルサンドからのピチューメンの分離と脱硫を行った。オイルサンド(アルバータ産, 3 g, ピチューメン含有率12.3 wt%)にTHF(99.5 wt%, 15 mL), H₂O₂(3, 5, 10 wt%, 15 mL)を添加し、超音波(28 kHz, 200 W)を10分照射した後、NaOH(20 M, 15 mL)を添加し、超音波を10-180分照射した。最後に、CO₂(100 mL/min)を流入しながら、超音波を15分照射することで、ピチューメンを浮上させた。各処理温度は45で行った。THFを蒸発させた後、ピチューメンの回収、洗浄を行った。ピチューメンの硫黄脱離率は、燃烧イオンクロマトグラフィーにて測定した硫黄濃度から算出した。ピチューメンの回収率は熱重量・示差熱分析にて測定した重量減少から算出した。

コンデンセートを用いたピチューメンの分離回収と脱硫

18.6 ± 0.6 wt%のピチューメンを含有するオイルサンドを使用した。また、n-ペンタンを模擬のコンデンセートとして用いた。オイルサンドからのピチューメン抽出分離実験は、ピーカーにオイルサンド1 gとn-ペンタン15 mLを添加し、空気を100 mL/minで流入させながら周波数28 kHz、出力200 Wの超音波を30分間照射することで行った。溶液中の温度はジャケット付ピーカーを使用して約20に調整した。超音波と比較するために、マグネチックスターラー(RSH-1DN, アズワン製)を用いて500 rpmの速度で撹拌をしながら同様の実験を行った。その後、

ビーカー底部に沈殿した砂を回収し、熱重量・示差熱同時測定装置(TG-DTA; DTG-60H, 島津製)にてピチューメン含有量を測定した。これら結果から、n-ペンタン中に抽出分離したピチューメン重量を算出し評価した。

次に、ピチューメンをマルテンとアスファルテンに簡易分離する方法について検討した。ピチューメン 1 g と n-ペンタン 15 mL を、ビーカーに入れ、28 kHz, 200W の超音波(超音波パワー 12.5 W)を 10 分間照射し、n-ペンタン中にピチューメンが均一に分散したスラリーを得た。これにイオン交換水 15 mL を添加し、500 rpm で 30 分間攪拌することでピチューメンは n-ペンタンに溶解する成分と、ビーカー底部(水層)に沈殿する成分に分離した。上層の n-ペンタン層を回収し、n-ペンタンを蒸発させることでマルテンを得た。澱物はアスファルテンとして回収した。回収物の官能基をフーリエ変換赤外分光光度計(FT-IR)により定性し、燃焼イオンクロマトグラフィーにより硫黄含有量を測定した。得られたマルテンの酸化脱硫を行った。マルテン 0.5 g と n-ペンタン 7.5 mL をビーカーに添加し、超音波(28 kHz, 200 W)を 10 分間照射することでマルテンと n-ペンタンのスラリーを得た。H₂O₂ 水溶液(15 wt%, 7.5 mL)を添加し、30 分間の超音波照射により硫黄の酸化処理を行い、酸化処理後のマルテンを得た。水酸化ナトリウム水溶液(10 M, 7.5 mL)を添加し 30 分間超音波を照射した。回収物を洗浄および乾燥することで脱硫処理後マルテンを得た。超音波の効果を知るために攪拌(500 rpm)でも同様の実験を行った。アスファルテンとピチューメンに対しても同様の酸化脱硫処理を行いマルテンの場合と比較した。硫黄含有量は燃焼イオンクロマトグラフィーを用いて測定し、脱硫率を求めた。

4. 研究成果

THF を用いたピチューメンの分離回収と脱硫

THF の添加により、ピチューメンの粘度がどのように変化するか調べた。45 °C におけるピチューメンの粘度は 24,870 mPa·s であったが、このピチューメン 1g に THF を 5, 10, 15mL 添加したところ、粘度はそれぞれ 6,900, 476, 218 mPa·s(45 °C)を示し、添加量が増加するにしたがって粘度は低下した(図 1)。ピチューメン(アルバータ州産)の温度と粘度の関係を示した曲線に、各 THF 量を加えたピチューメン(1g)の粘度(45 °C)をプロットしたものを図 2 として示す。15 mL の THF を 1g のピチューメンに加えると、その粘度はピチューメンを 100 °C で加熱したときと同じ値になることがわかった。従って、ピチューメン 1 g あたり THF を 15 mL 以上添加することで、オイルサンドからピチューメンの分離が期待できる。

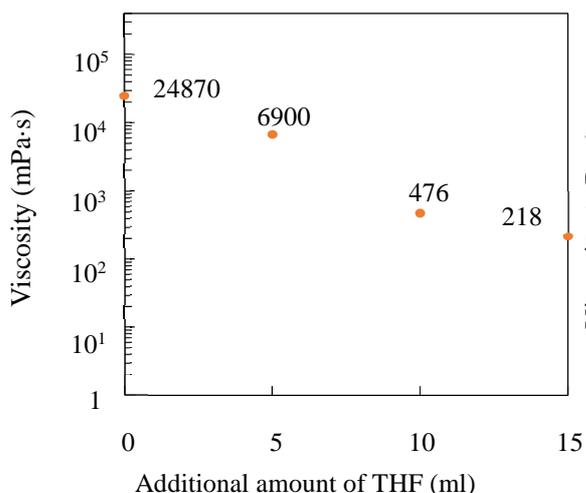


図 1 THF 添加量とピチューメン(1g) 粘度の関係 (45 °C) ¹⁾

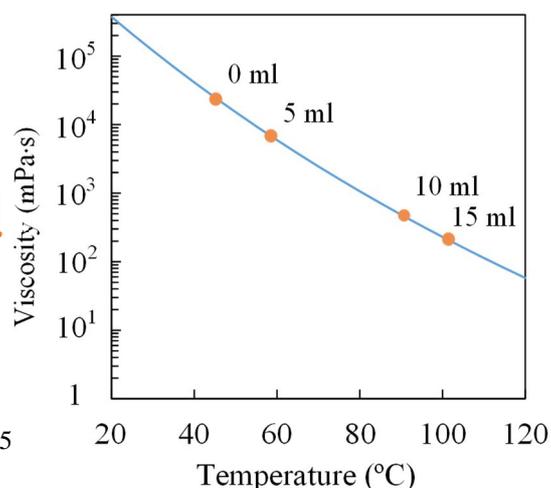


図 2 温度に対するピチューメンの粘度変化 (図 1 の THF 添加量におけるピチューメン 粘度の値をプロット) ¹⁾

そこで、15 mL の THF と超音波を用いてオイルサンドからピチューメンを分離するとともに脱硫することを検討した。オイルサンド 3 g を 3, 5, もしくは 10 wt% の過酸化水素水溶液(15 mL) と THF(15 mL) から成る溶液に添加し、超音波を 10 分照射した。照射後の外観を図 3 に示す。オイルサンドが溶液に分散していることがわかる。オイルサンド中のピチューメンが溶液内に分散することで、過酸化水素による硫黄の酸化が期待できる。次に酸化されたピチューメン中の硫黄を除去するために、水酸化ナトリウム水溶液(20 M) 15 mL を添加し、超音波を 10-180 分照射した(45 °C)。分離・脱硫処理後、THF を加熱し溶液から除くことで、ピチューメンを水溶液から分離した(図 4)。図 5 に各過酸化水素濃度で酸化処理した後にアルカリ溶液を添加し、超音波照射した時間に対する脱硫率変化を示す。照射時間の増加に伴って、60 分までは脱硫率が増加した。過酸化水素濃度 3 wt% で超音波を 60 分照射する条件で、ピチューメン回収率は 93% を示し、脱硫率は 86% を示した。過酸化水素濃度が 3 wt% よりも高くなると、残存した過酸化水素が、次の過程で添加する水酸化ナトリウム水溶液と反応し、生成した気体(主に酸素)がビ

チューメンを浮上させ、水溶液との接触面積が小さくなる。つまり、ピチューメン中の酸化した硫黄は、水酸化ナトリウム水溶液内への移動が抑制されると考えられる。従って過酸化水素濃度 3 wt%が、本実験条件において最適な値であることがわかった。

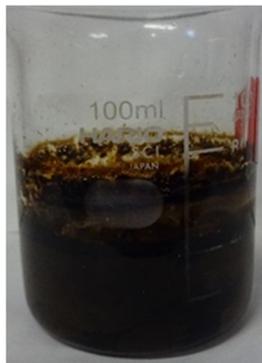


図 3 オイルサンドに THF と H₂O₂(3 wt%) を添加して超音波照射した後の写真¹⁾



図 4 図 3 の状態から THF を蒸発させた後の写真¹⁾

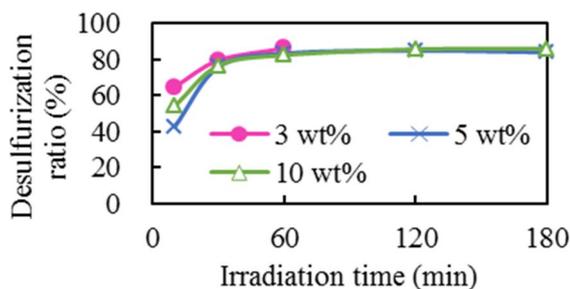


図 5 各濃度の H₂O₂ で酸化処理した後アルカリ溶液を添加し超音波照射することによる脱硫率変化¹⁾

コンデンセートを用いたピチューメンの分離回収と脱硫

の結果から、オイルサンドからの砂の分離と脱硫処理を低温で行うためには、有機溶剤の利用が適していることがわかった。しかし、実用化を考えると既に現地で使用されている薬剤を選択する方が現実的である。そこでコンデンセートに注目した。コンデンセートはピチューメンを精製プラントへパイプライン輸送する際の希釈剤として利用されている。コンデンセートは n-ペンタンを主とする疎水性炭化水素の混合物であるため、THF と比較して水溶液との混和が難しい。従ってピチューメンと砂の分離は可能と思われるが、脱硫の面で期待ができない。そこで、と同様に超音波の利用を検討した。混和しない 2 層の溶液に超音波を照射すると片方の液体が微細化し、もう片方の液体に分散する。この現象を用いてコンデンセート中のピチューメンと水溶液を混合させ、硫黄の酸化・脱硫反応の進行を期待した。

また、脱硫率を向上させるために、ピチューメンを酸化脱硫する前にアスファルテンとマルテンに分離することを検討した。ピチューメンは精製過程で除去される固体のアスファルテンと、燃料として利用される軽質成分のマルテンで構成されているため、アスファルテンを除き、マルテンに対する酸化脱硫を行うことを検討した。

この実験で使用したオイルサンドには 18.6 ± 0.6 wt% のピチューメンが含有していた。このオイルサンドからピチューメンを n-ペンタンへ超音波処理により抽出したところ、n-ペンタン添加量 15 mL において抽出率は 94% であった。一方で、撈拌で処理した場合の抽出率は 53% であり、超音波による剥離作用によってオイルサンド表面からピチューメンを n-ペンタン中へ効率的に分離することがわかった。n-ペンタンを用いた場合、分離という点では THF と同様に高い分離・回収率を示したが、脱硫では 50% 台でとどまった。そこで、次にマルテンをピチューメンから分離し、酸化脱硫を行うことを検討した。

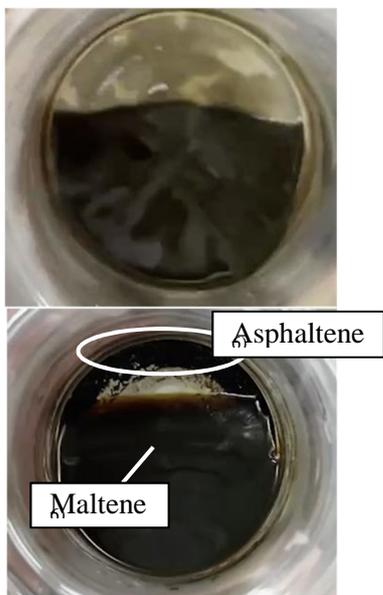


図 6 n-ペンタンとピチューメンを超音波照射することで得たスラリー(上)とそれにイオン交換水を加え撈拌した写真(下)²⁾

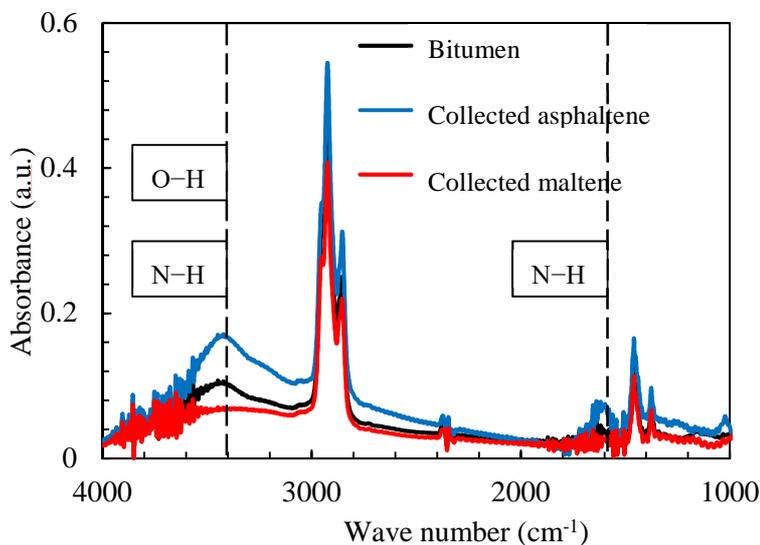


図 7 各回収試料の FT-IR スペクトル²⁾

超音波照射によりピチューメンを n-ペンタンに均一に分散させ、スラリーを得た後にイオン交換水を添加し、攪拌することで図6のようにピチューメンの一部は n-ペンタンに溶解したままで、ピーカー底部に殿物の存在が確認できた。n-ペンタンなどの無極性溶媒中ではアスファルテンの周囲をマルテン中のレジンを覆うことで、アスファルテンが安定に分散できることが報告されている³⁾。しかし、イオン交換水を添加後、攪拌したことで極性が強いアスファルテンが水層へ移動し、それらの粒子が凝集したことによりピーカー底部に沈殿したと考えられる。したがって極性の差を利用することでピチューメンからマルテンとアスファルテンが分離できることがわかった。マルテンとアスファルテンの分離を各成分の硫黄含有量から検証した。回収したマルテンとアスファルテンの硫黄含有量は、4.43wt%および6.88wt%であった。また、本実験で使用したピチューメン中のマルテンとアスファルテンの重量組成を従来法⁴⁾で分析したところ、80.0wt%および20.0wt%であった。得られた各成分の硫黄含有量に重量割合を掛けた値の和は4.92wt%と求まり、本研究で使用したピチューメンの硫黄含有量(5.01wt%)とおおよそ一致した。また、回収した試料の FT-IR スペクトル(図7)から、アスファルテンのスペクトルで見られたヒドロキシ基およびアミド基由来の吸収がマルテンでは見られなかった。よって、これらのことからピチューメンからマルテンが良好に分離できていることが確認できた。

マルテン、アスファルテン及びピチューメンの超音波を用いた場合の脱硫率はそれぞれ81.0%、7.6%、および68.1%であった。固体のアスファルテンを分離したことでマルテンに対する酸化反応および水酸化ナトリウムによる脱硫反応が液相のみの反応になり、進行しやすくなったと考えられる。したがって、硫黄の酸化脱硫反応が効率的に進行し、ピチューメンの場合よりも高い脱硫率を示したと考えられる。一方、攪拌を用いるとマルテンの脱硫率が大幅に減少した。このことから、超音波によるマルテンと水溶液の二層の混合はスターラーによる攪拌よりも効率が良く、硫黄の酸化脱硫反応の進行に寄与することがわかった。また、図8は超音波を用いたマルテンとアスファルテンの酸化および脱硫処理後の X 線吸収端微細構造(XANES)スペクトルを示している。酸化処理後における硫黄の状態を確認するために、これらのスペクトルをチオフェンとスルホキシドにピーク分離し、チオフェンのピーク面積に対する酸化硫黄のスルホキシド基のピーク面積比を計算したところ、マルテンの方がアスファルテンよりも値が大きく硫黄の酸化が進行している傾向が確認された。よって、固相であるアスファルテン中の硫黄はマルテンよりも酸化が進行しなかったため、脱硫率が低くなったと考えられる。以上の結果から、硫黄が固相に存在するか液相に存在するかの違いが脱硫率に影響することが明らかになった。

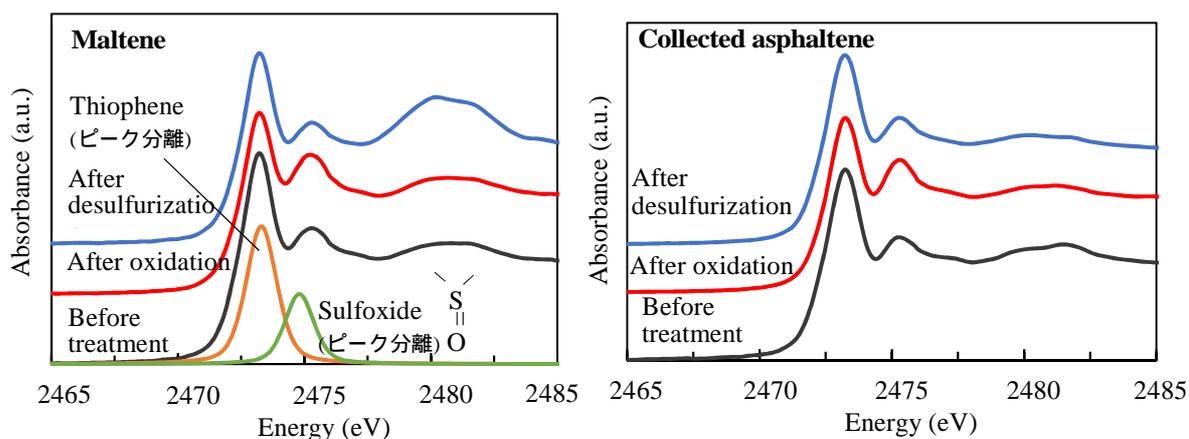


図8 得られたマルテン試料(左)とアスファルテン試料(右)の XANES スペクトル²⁾

<参考文献>

- 1) Hirokazu Okawa, Nobuyuki Akazawa, Takahiro Kato, and Katsuyasu Sugawara, Separation and desulfurization of bitumen from oil sand using oxidation combined with ultrasound, *Japanese Journal of Applied Physics*, 58(2019) SGGD01
- 2) Yoshitaka Wakisaka, Hirokazu Okawa, Takahiro Kato, Ultrasound-assisted oxidative desulfurization of bitumen and analysis of sulfur forms in a treated bitumen, *Japanese Journal of Applied Physics*, 62 (2023) SJ8005
- 3) Hilda Parra-Barraza, Daniel Hernandez-Montiel, Jaime Lizardi, Javier Hernandez, Ronaldo Herrera Urbina, Miguel A. Valdez, The zeta potential and surface properties of asphaltenes obtained with different crude oil/n-heptane proportions, *Fuel* 82 (2003) 869-874
- 4) L. Davarpanah, F. Vahabzadeh and A. Dermanaki, Structural Study of Asphaltenes from Iranian Heavy Crude Oil, *Oil & Gas Science and Technology - Rev. IFP Energies nouvelles*, 70 (2015) 1035-1049

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 7件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Wakisaka Yoshitaka, Okawa Hirokazu, Kato Takahiro	4. 巻 62
2. 論文標題 Ultrasound-assisted oxidative desulfurization of bitumen and analysis of sulfur forms in a treated bitumen	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SJ8005 ~ SJ8005
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/acaeb4	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 大川浩一	4. 巻 34
2. 論文標題 超音波を利用した第三級アミン水溶液からの二酸化炭素の低温脱離	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 超音波テクノ	6. 最初と最後の頁 24-29
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 Yoshitaka Wakisaka, Hirokazu Okawa, Kumi Saigo, Takahiro Kato and Katsuyasu Sugawara	4. 巻 -
2. 論文標題 Extraction and oxidative desulfurization of bitumen from oil sand using n-pentane and ultrasound	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac4929	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 Ronald Nguele, Hirokazu Okawa	4. 巻 82
2. 論文標題 Effect of ultrasound irradiation on asphaltene aggregation and implications to rheological behavior of bitumen	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Ultrasonics Sonochemistry	6. 最初と最後の頁 105879
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ultsonch.2021.105811	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 -

1. 著者名 大川浩一	4. 巻 51
2. 論文標題 超音波を利用した第一級および第三級アミン溶液からの二酸化炭素の低温脱離	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 分離技術	6. 最初と最後の頁 212-221
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 大川浩一, 金野正史, 仁部翔太	4. 巻 85
2. 論文標題 超音波との相乗効果を期待した液中プラズマ発生装置の開発	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 化学工学	6. 最初と最後の頁 254-256
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 Hirokazu Okawa, Hiroyasu Ito, Tatsuo Fujiwara, Yuya Kitamura, Takahiro Kato, Katsuyasu Sugawara	4. 巻 60
2. 論文標題 Utilization of tertiary amine solutions and ultrasound irradiation for CO2 desorption at low temperature in a CCS process	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SDDD01-1 - 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abe2e8	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 Yuya Kitamura, Hirokazu Okawa, Takahiro Kato, Katsuyasu Sugawara	4. 巻 60
2. 論文標題 Desorption of carbon dioxide from monoethanolamine solution via calcium chloride addition under ultrasound irradiation and evaluation of the characteristics of generated calcium carbonate	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SDDD12-1 - 12-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abec8c	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 Okawa Hirokazu, Akazawa Nobuyuki, Kato Takahiro, Sugawara Katsuyasu	4. 巻 58
2. 論文標題 Separation and desulfurization of bitumen from oil sand using oxidation combined with ultrasound	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SGGD01 ~ SGGD01-3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab0bb0	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 Okawa Hirokazu, Saito Tomonao, Yasuda Shohei, Kawamura Youhei, Kato Takahiro, Sugawara Katsuyasu, Babadagli Tayfun	4. 巻 59
2. 論文標題 Enhancement of bitumen recovery from the oil sand in an alkaline solution using ultrasound irradiation and carbon dioxide	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SKKD02 ~ SKKD02-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ab79ec	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 大川 浩一	4. 巻 31(5)
2. 論文標題 超音波併用酸化処理によるオイルサンドからのピチューメンの低温分離と脱硫 = テトラヒドロフランを溶媒として用いて =	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 超音波TECHNO	6. 最初と最後の頁 26-30
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 -

〔学会発表〕 計11件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 脇坂佳孝, 大川浩一, 加藤貴宏
2. 発表標題 超音波とコンデンセートを用いたオイルサンドからのピチューメンの分離および酸化脱硫法による硫黄の低温脱離
3. 学会等名 資源・素材2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 脇坂佳孝, 大川浩一, 加藤貴宏
2. 発表標題 Ultrasound-assisted oxidative desulfurization of bitumen and analysis of sulfur forms in the treated bitumen
3. 学会等名 第43回 超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大川浩一
2. 発表標題 電池材料および二酸化炭素回収貯蔵(CCS)技術に対する超音波の利用
3. 学会等名 第31回ソノケミストリー討論会(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大川浩一
2. 発表標題 超音波を用いたスコロダイトの合成とその応用
3. 学会等名 第23回反好会講演会(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 脇坂佳孝, 大川浩一, 西郷来実, 加藤貴宏, 菅原勝康
2. 発表標題 n-ペンタンと超音波を用いたオイルサンドからのピチューメンの分離及び酸化脱硫
3. 学会等名 第42回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大川浩一, 藤田知花, 加藤貴宏, 菅原勝康
2. 発表標題 超音波を用いた第三級アミン溶液からの二酸化炭素の低温脱離
3. 学会等名 第42回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大川浩一, 北村優弥, 加藤貴宏, 菅原勝康
2. 発表標題 低周波数超音波を用いたアミン溶液からの二酸化炭素の低温脱離
3. 学会等名 資源・素材2021(札幌)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hirokazu Okawa, Hiroyasu Ito, Tatsuo Fujiwara, Yuya Kitamura, Takahiro Kato, Katsuyasu Sugawara
2. 発表標題 Utilization of tertiary amine solutions and ultrasound irradiation for CO ₂ desorption at low temperature in a process of CCS
3. 学会等名 USE2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大川浩一, 斉藤知直, 安田昌平, 川村洋平, Tayfun Babadagli, 加藤貴宏, 菅原勝康
2. 発表標題 超音波とCO ₂ を用いたアルカリ溶液中におけるオイルサンドからのピチューメン増進回収
3. 学会等名 第40回 超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安田昌平, 大川浩一, 加藤貴宏, 菅原勝康
2. 発表標題 二酸化炭素と超音波を利用したアルカリ溶液中におけるオイルサンドからのピチューメン高効率回収の検討
3. 学会等名 第28回 ソノケミストリー討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安田昌平, 大川浩一, 加藤貴宏, 菅原勝康
2. 発表標題 二酸化炭素と超音波を利用したアルカリ熱水溶液中におけるオイルサンドからのピチューメン高効率回収の検討
3. 学会等名 第54回 秋田化学技術協会 研究技術発表会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 大川浩一、他執筆者59名	4. 発行年 2022年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 586
3. 書名 CO2の分離・回収・貯留技術の開発とプロセス設計	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 ピチューメンからアスファルテン及びマルテンを分離する方法	発明者 大川浩一、脇坂佳孝、加藤貴宏	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2022-140876	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------