

令和 4 年 6 月 16 日現在

機関番号：82627

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04870

研究課題名(和文)高温高圧ジェットによる高粘度物質の微細化及び流動化に関する研究

研究課題名(英文) Study on Atomization and Fluidization of High Viscosity Substance by High Temperature and High Pressure Jets

研究代表者

小野 正夫 (Masao, Ono)

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・その他部局等・研究員

研究者番号：80399526

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：研究背景として海難事故における船舶に積載された高粘度油の新たな回収技術の開発がある。まずは、重油、水、界面活性剤を含むエマルジョンの粘度変化について着目し、各成分の比率をパラメータとして粘度変化を測定した。界面活性剤を添加した系では水分量の増加に伴い粘度も増加するが、ある領域で相転換により粘度が急激に減少することが分かった。その結果を踏まえ、重油配管移送系における流動性を評価するために、圧力損失の測定を行った。界面活性剤無添加の場合は、CAF(Core Annular Flow)の崩壊により高い圧力損失が発生するが、界面活性剤を使用した場合は、CAFが崩壊しても圧力損失は低い状態を維持した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

海底に沈んだ沈船のタンク内に残存する高粘度C重油等を効率よく迅速に回収し環境被害を低減させる技術の確立を目的として、流動化促進に最適な高粘度油のエマルジョンを生成し分散させることで、流動性の向上を実現する新たな技術の開発について検討した。高粘度重油と高圧ジェットの界面で生ずる力学的作用による油粒径の微細化に焦点を当て、さらに成分比率の異なる油処理剤等の付加による化学的分散作用の相乗効果の影響を解明する。船舶からの流出油や沈船からの高粘度油を迅速に効率よく回収するための新たなシステムの開発の基礎となる特性を明らかにすることができた。これを利用して回収システムの実用化を図る。

研究成果の概要(英文)：The background of this study is to develop a new oil recovery technology from shipping accidents. First, we focused on the relationship between the viscosity changes in emulsions containing heavy oil, water, and surfactants. Then, viscosity changes were measured for each ratio as a parameter. The results showed an important properties that a continuous change in viscosity with increasing water content as well as a drastically decrease in viscosity due to phase inversion that occurs at a certain water content. Based on the above results, to evaluate the fluidity in a pipe during heavy oil/emulsion transport, pressure losses were measured. The results showed the high pressure loss was observed without the surfactant conditions due to the collapse of the CAF (Core Annular Flow). On the other hand, the pressure loss remained low even after the CAF collapsed under with surfactant condition.

研究分野：材料

キーワード：高粘度油 エマルジョン 重油粘度 重油回収技術 界面活性剤 C重油

### 1. 研究開始当初の背景

海難事故等で海底に沈んだ船舶に搭載された貨物油や燃料油は、重大な環境被害をもたらす恐れがあり回収することが望まれるが、沈没した船舶のタンク内の重油等は海底の低温環境下で粘度が極めて高くなり、さらにタンク内に海水が流入している状態では重油等はエマルジョン化することでより粘度の高い物質に変化するため、回収作業は非常に難しくなる。また、船舶事故等で海洋に流出した油を回収した流出油回収船からの荷揚作業においてはエマルジョン化した高粘度油の移送管内は付加が大きいため作業の効率化等が課題となっている。近年の座礁船や沈船の積載油の回収作業の現状は、海水との自然置換法によるシャトルタンク輸送<sup>(1)</sup>や、蒸気やヒーターの加熱による熱伝達を利用して高粘度重油の粘度を下げて流動化を促進し回収する方法<sup>(2)</sup>が主流である(図1参照)。しかし、自然置換法や蒸気を利用した回収作業は長期間に渡っての作業が必要であり、海象・気象条件が悪い浅海域で2次汚染が危惧されるような環境汚染防止の緊急対応が求められる場合には、さらに迅速で効率の良い回収技術の開発が強く望まれている。本研究者は、これまでに誘導加熱による回収技術や水蒸気爆発による圧力波を用いた重油の微細化の基礎研究<sup>(3)</sup>、エマルジョン化による管内輸送の効率化に関する研究<sup>(4-6)</sup>を実施しており、これらの研究成果が回収技術の迅速化・効率化につながる可能性があることを示唆してきた。そして、新たな回収技術を確立させるために研究を進めている。



図1 従来の沈船からの重油回収イメージ

### 2. 研究の目的

上述の研究背景およびこれまでの研究成果より、重油等の高粘度物質を効率よく回収するために、水に界面活性剤等の化学的処理剤を加えた混合液を高温高压のジェットで高粘度物質に加えて微細化させ、分散化およびエマルジョン化させることで流動化促進を図り、回収時の作業効率を向上させるシステムの研究開発を目的として本研究を実施した。実験結果から流動化の促進が検証できれば、この技術を高粘度物質等の新たな回収技術や管内輸送時の効率化を図る応用技術へと発展させる可能性を示唆することができる。

本研究では、重油・水・界面活性剤等の3成分によるエマルジョン化とその最適な負荷割合についての基礎的な実験を実施し、重油の状態変化と粘度の変化点等を求めることで、微細化及び流動化のメカニズムを解明し、独自の高粘度物質分解、回収技術の確立について検証する。また、高粘度の重油に水と界面活性剤等の混合液を高圧ジェットで添加することで、重油の状態変化、エマルジョン化及び粘度の変化について検討する。基礎的特性を解明し、まずは実用化への応用技術として高粘度油配管移送系における流動性の向上について実験を実施し検証する。

### 3. 研究の方法

本研究では、以下に示す3つの項目について検討した。

#### (1) 高圧ジェット噴射による高粘度物質の微細化

基礎試験として高圧ジェット噴射装置(図2参照)を用いて、高粘度物質の微細化、流動化に関する基礎的な特性を得るための実験を実施した。高圧ジェットによる実験は、温度、圧力を制御できる構造で、噴射角度、噴射量の変化に応じてノズルを変更した。また、高圧ジェットを一箇所または二箇所から噴射するようにして、重油・水・界面活性剤の拡散状態、3成分によるエマルジョン化状態について検証した。

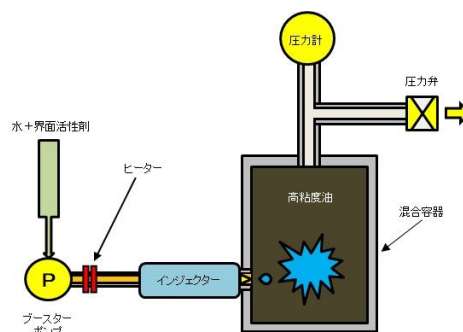


図2 実験装置概略図

#### (2) 油水分散系の粘性特性計測

油水分散系の粘性特性を把握するために油・水・添加剤(界面活性剤等)の3成分分散混合系の粘度特性を計測した。実験手法の概要を図3に示す。試料の調製は、Agent-in-Oil法を用いて実施した<sup>(7)</sup>。具体的には、予め重油に添加剤を加えた混合油を用意し、これに水を添加して攪拌する手法とした。攪拌には家庭用のミキサーを使用し、攪拌時間は3分間で統一した。調製した試料に気泡が多く含まれる場合は、真空ポンプを用いて3分間の脱泡処理を施した。試料の粘度計測には粘度計(BROOKFIELD DV-III Ultra プログラマブルレオメータ)を使用した。またエマルジョン化の状態観察には、蛍光顕微鏡(OLYMPUS BX50 System Microscope)を使用した。添加剤には、油処理剤と2種類の界面活性剤を用いた。界面活性剤の選定では、Bancroftの法則ならびにエマルジョン化油の管内流動特性の改善に関する既往の研究<sup>(8)</sup>を参考にした。さらに比較のために、添加剤を除いた油と水の場合についても検討した。

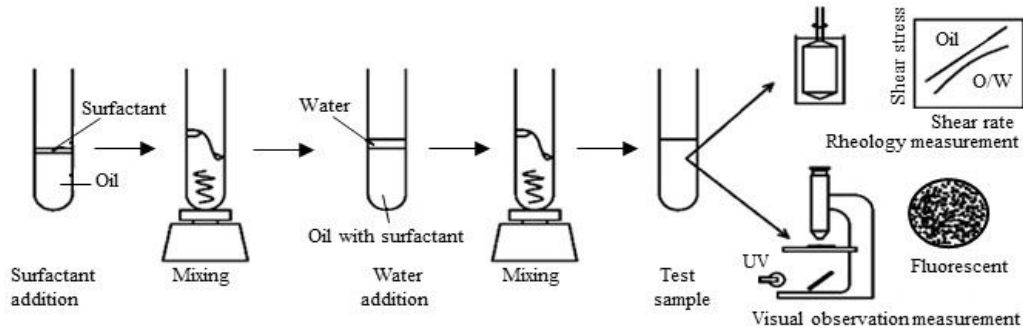


図3 エマルション化実験概要図

### (3) 配管移送系における圧力損失特性

基礎実験より得られた結果を基に実用化に向けた実験として配管移送系における重油のエマルション化による流動性の変化について調べた(図4・図5参照)。実験では、C重油を一定流量で配管内を流し、配管途中に設置した添加装置から、水あるいは界面活性剤溶液を添加した。添加装置下流の配管には、強制撹拌装置を配置した。圧力損失の計測は、溶液添加前、溶液添加後、強制撹拌後の各配管で行った。

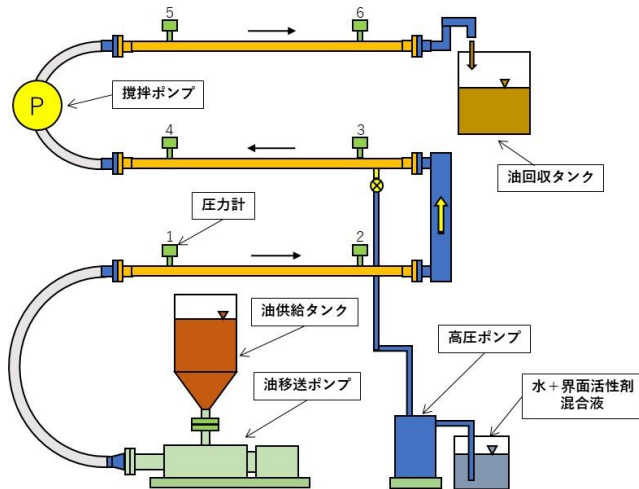


図4 重油の配管移送系による実験概要



図5 配管移送系実験装置概略

## 4. 研究成果

### (1) 高圧ジェット噴射による高粘度物質の微細化

高圧ジェット噴射による高粘度物質の微細化検討においては、ジェットが噴射された領域において粒子の微細化が観察されたが、形成されたエマルションはいずれの場合もW/O型であった。図6に高粘度シリコンオイルに水と界面活性剤の混合溶液を添加した場合の画像を示す。図7に高粘度シリコンオイルと界面活性剤の溶液に水を添加した場合の状態を示す。図8に高粘度シリコンオイルと界面活性剤の溶液に水を添加した場合の白濁部分の顕微鏡画像を示す。画像の透明な部分はシリコンオイルで、微小な球体は水である。

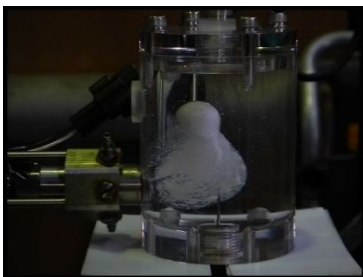


図6 高粘度シリコンオイルに水と界面活性剤の混合溶液を添加した場合の画像

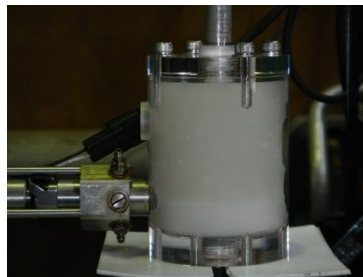


図7 高粘度シリコンオイルと界面活性剤の溶液に水を添加した場合の画像

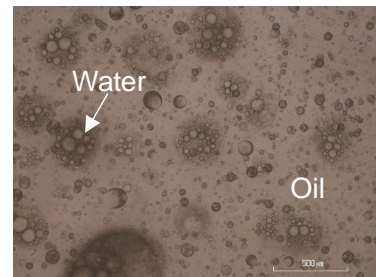


図8 白濁部分の顕微鏡画像(図7の溶液)

## (2) 油水分散系の粘性特性計測

油水分散系で流動性を高めるためには、図9に示すようなO/W型のエマルション形成が必要のため、どのような条件でO/W型が形成されるかを調べた。界面活性剤を添加しない油-水の2成分系では、O/W型エマルションの形成は見られず、W/O型エマルションと水単体相の分離という形になった。一方、界面活性剤を添加した系では、W/O型エマルションからO/W型エマルションへの転移が発生し、粘度が急激に低下する現象が観察された(図10参照)。

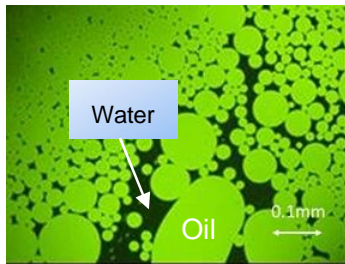


図9 O/W型エマルション  
重油の顕微鏡写真

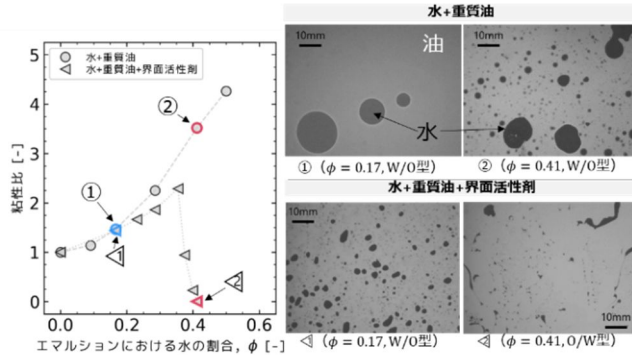


図10 重油のエマルション化  
による粘度変化

粘性特性の計測で観察された粘度が急激に低下する現象を説明する物理モデルとして、新たにLayer-stacking model<sup>(9)</sup>を提案した(図11参照)。

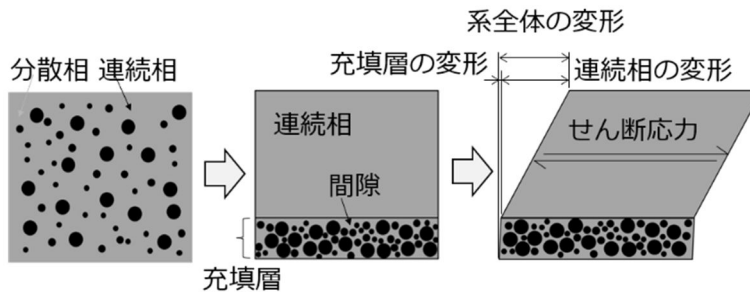


図11 エマルションの粘性変化の物理モデル概要図

物理モデルと計測結果を比較した結果、粘性変化を物理モデルで再現することができた。(図12参照)

## (3) 配管移送系における圧力損失特性

配管移送系においては、従来CAF(Core Annular Flow)により、低摩擦損失での輸送が可能であることが知られているが<sup>(6)</sup>、CAFの流動様式は必ずしも安定ではなく、管路長が極めて長い場合や、攪拌要素が管路中に存在する場合には崩壊する可能性がある。そのため、本研究では管路の途中で強制攪拌を行い、CAFを意図的に壊す実験を行った。界面活性剤を添加しない場合には、CAFの崩壊により、高い圧力損失が観測される一方で、界面活性剤を添加した系では、CAF崩壊後も圧力損失が低い状態を維持することができた。これは、O/W型エマルションを形成する本手法の有効性を示すものであると考えられた。

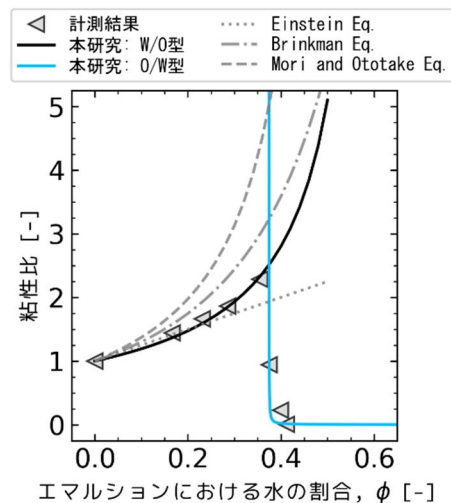


図12 重油のエマルション化による粘度変化

## (4) まとめ

本研究では、高粘度油の回収における流動性改善技術として、エマルション化法について検討した。O/W型エマルションを形成することが重要であること、O/W型エマルションの生成条件を明らかにした。研究の題名である「高温高压ジェットによる高粘度物質の微細化及び流動化」に必要な基礎データが取得された。

## 参考文献

- (1) Issue paper Potentially polluting wrecks in marine waters, International Oil Spill Conference, 2005
- (2) <https://www.youtube.com/watch?v=Lvqalj1Yzaw>
- (3) 小野正夫、城田英之、藤田勇、原正一、宮田修、圧力波による高粘度油の微細化及び流動化に関する研究、第27回海洋工学シンポジウム、講演論文集 CD版、2018.8
- (4) 藤田勇、松崎義孝、W/O エマルジョンを形成した水・重油系の流動特性と管摩擦損失の制御手法に関する研究、港湾空港技術研究所報告、Vol.52 No.4 Page.75-77,79-103、2013.12
- (5) 藤田勇、エマルジョンを形成した流出油への対応技術～流動制御と分散処理、海上防災、No.159 Page.25-39、2013
- (6) 藤田勇、油濁対応における混相流体技術(高粘度油中水型エマルジョンの管内輸送)、混相流、Vol.27 No.3 Page.290-297、2013
- (7) 鈴木敏幸、" 乳化技術の基礎(相図とエマルジョン) " , J. Soc. Cosmet. Chem. Jpn , Vol. 44 , No.2 , pp.103-117, (2010).
- (8) 藤田勇、松崎義孝、" W/O エマルジョンを形成した水・重油系の流動特性と管摩擦損失の制御手法に関する研究 " , 港湾空港技術研究所報告, Vol.052 (4) , (2013) , pp.75-103.
- (9) I. Fujita et al. , *engrXiv*, DOI: <https://doi.org/10.31224/osf.io/yvskc>, (2021).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 小野正夫
2. 発表標題 エマルション化による高粘度重質油の流動性向上に関する検討
3. 学会等名 日本機械学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤田勇
2. 発表標題 Experiments and model on viscosity characteristic of emulsion of heavy fuel oil and water for fluidity improvement
3. 学会等名 <a href="https://engrxiv.org/yvskc/">https://engrxiv.org/yvskc/</a>
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小野正夫
2. 発表標題 高粘度重質油配管移送時のエマルション化による流動性変化に関する検討
3. 学会等名 日本マリンエンジニアリング学会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 重質油の回収方法及び重質油の回収システム	発明者 小野正夫	権利者 海上・港湾・航空技術研究所
産業財産権の種類、番号 特許、8351005900	出願年 2021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
研究分担者	城田 英之  (SIROTA Hideyuki)  (40344238)	国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・その他部局等・研究員    (82627)	
研究分担者	藤田 勇  (FUJITA Isamu)  (40360763)	国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・港湾空港技術研究所・領域長    (82627)	
研究分担者	馬 驍  (MA Xiao)  (10825920)	国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・その他部局等・研究員    (82627)	
研究分担者	亀山 道弘  (KAMEYAMA Michihiro)  (40373427)	国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・その他部局等・研究員    (82627)	

## 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