

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 7 年 6 月 13 日現在

機関番号：82627

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2022～2024

課題番号：22K04569

研究課題名（和文）高粘度重質油のエマルション化と流動性の向上及び回収分離技術の構築に関する研究

研究課題名（英文）Research on emulsification of high viscosity heavy oil and improvement of flowability and construction of technology for recovery and separation

研究代表者

小野 正夫（Ono, Masao）

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・海上技術安全研究所・研究員

研究者番号：80399526

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：海難事故による船舶からの流出油等を効率よく回収するための重油エマルション化について、重油、界面活性剤、水または海水による3成分による重油エマルション化の基礎的な流動特性等を明らかにした。新たに開発した高粘度物質の回収移送システムはエジェクター方式によるもので、実用化に向けて重油回収移送試験を実施し、従来知られているCAF（Core Annular Flow）法と比較してエマルション化によるO/W（Oil in Water）法が優位であることを明らかにした。また、新たな重油回収移送システムは、回収後のエマルション化重油を迅速に油と水成分に分離し、再利用できる循環型にして海洋環境にも配慮した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、主に海底に沈んだ沈船のタンク内に残存する高粘度重油を効率よく回収し環境被害を低減させるシステムの確立を目的として、重油に水と界面活性剤の3成分による安定したエマルションを生成させることで粘性を変化させ、流動性の向上を実現する新たな技術の開発を行った。本研究では重油エマルションによる流動化を促進するための基礎的な特性を解明し、エジェクターによる新たな回収移送システムを開発した。新たなシステムは回収後の混合油を迅速に油と水に分離し環境に配慮した方法とした。このシステムを用いることにより、高粘度重油の回収移送作業の効率化をもたらし、海洋汚染防止への威力のあるツールとなり得る。

研究成果の概要（英文）：We have clarified the basic flow characteristics of heavy oil emulsification using three components: heavy oil, surfactant, and water or seawater, in order to efficiently recover oil spilled from ships due to maritime accidents. The newly developed system for recovering and transferring high-viscosity materials is based on an ejector system, and tests of heavy oil recovery and transfer for practical use were conducted. The new heavy oil recovery and transfer method is also a new method for heavy oil recovery and transfer. In addition, the new heavy oil recovery and transfer system is designed to quickly separate the emulsified heavy oil after recovery into oil and water components, and to recycle the emulsified heavy oil for reuse, which is also environmentally friendly for the marine environment.

研究分野：油処理技術

キーワード：油処理 重油エマルション化 重油の流動性 重油回収技術 高圧ジェット エジェクター

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、研究者個人に帰属します。

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、放置すると重大な環境被害をもたらす恐れがあるため回収することが望まれる。特に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る。また、タンク内に海水が流入している状態ではエマルション化してより粘度の高い物質に変化する場合もあり、回収作業は非常に難しくなる。現状ではまだ多くの沈船が放置されたままである⁽¹⁾。さらに、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もエマルシ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⁽²⁾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バルクヒーティング法⁽³⁾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る作業が必要であり、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。



図1 従来の沈船からの重油回収イメージ

本研究者らは、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⁽⁴⁾、エマルション化による流動性の向上と管内輸送の効率化に関する研究⁽⁵⁻⁸⁾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、新たな回収移送システムを確立させるために研究を進めている。

2. 研究の目的

本研究では、上述の研究背景及びこれまで行ってきた重質油のO/Wエマルション化法による管内流動性の向上(図2参照)エジェクター吸引、微細気泡を用いた油水分離技術、油槽内流動化技術等の要素技術についての研究成果より、海底に沈んだ船舶に搭載された貨物油等や油流出事故で主な原因となる重油等の高粘度物質を効率よく回収し移送するために、重油・水または海水・界面活性剤の3成分による重油エマルション化による流動性の促進を図るための基礎的な特性を把握し、バルクヒーティング法などの従来手法の問題点を解決する新たな高粘度油回収移送システムの開発を目的とした研究を実施する。回収移送技術については、従来の方法とは異なるエジェクター方式による重油エマルション化について検討し、実用化に向けた重油回収移送模擬試験装置を製作して試験を実施する。さらに、新たな回収移送システムにおいては、回収したエマルション化重油から迅速に水成分を分離させ再利用する循環型システムの開発にも取り組む。本システムは複雑挙動を示す物理現象を制御し応用する技術であり、これまで実用例はなく海洋環境保全に多大に資する。

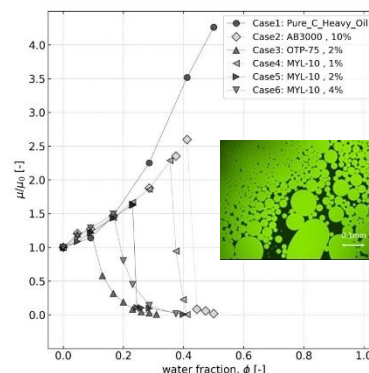


図2 重油エマルション化による粘性変化

3. 研究の方法

本研究では新たな重油回収移送システムを開発するために主に以下に示す3項目について検討した。

1) エマルション化による重油のレオロジー制御

重油、水または海水、界面活性剤の3成分による重油のエマルション化について、効率よく安定して生成するために必要な配合割合や攪拌方法等の要因と基礎的な特性について解明する。試験方法として高粘度物質を模擬したシリコンオイル(粘度:3000cs~30000cs)に水・界面活性剤の混合液を高圧ジェット(3MPa~6MPa)で噴射し流動拡散状態及びエマルション化状態について検証する。また、水を海水に置き換えた場合の重油エマルション化について海水と界面活性剤の適合性、粘度計測、顕微鏡観察等を実施し検討する。

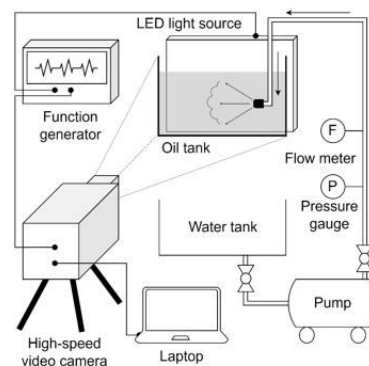


図3 高粘度油に対するエマルション化状態の検証

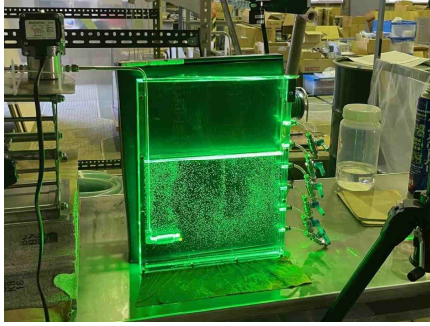


図4 重油模擬タンクからの回収移送試験の様子

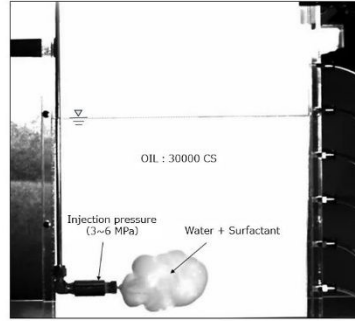


図5 エマルション化流動拡散試験時の様子

2) エジェクター吸引と管内輸送技術

重油回収に用いるエジェクターの最適条件を検証し製作する。製作したエジェクターによる回収試験及び長距離移送試験を実施した。エジェクターに用いる高圧水は ~ 5 MPa の範囲で検討した。また回収移送試験は、移送管を水平状態の場合及び垂直状態の場合を想定し検証する。移送管は超距離移送を想定し 43 m 用意した。

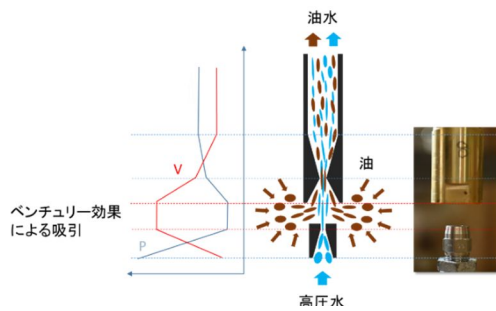


図6 エジェクターの原理

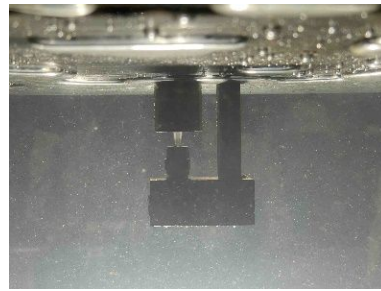


図7 エジェクターの性能試験の様子

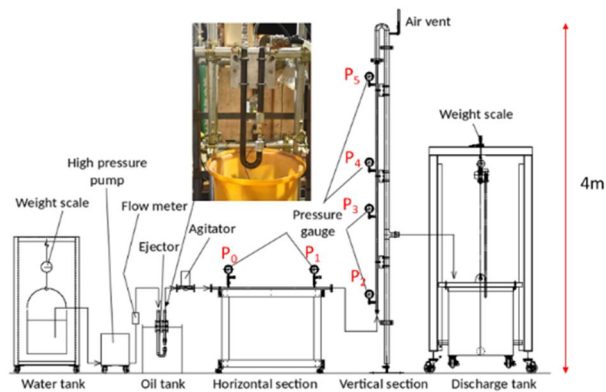


図8 回収移送試験装置の例



図9 回収移送試験の例

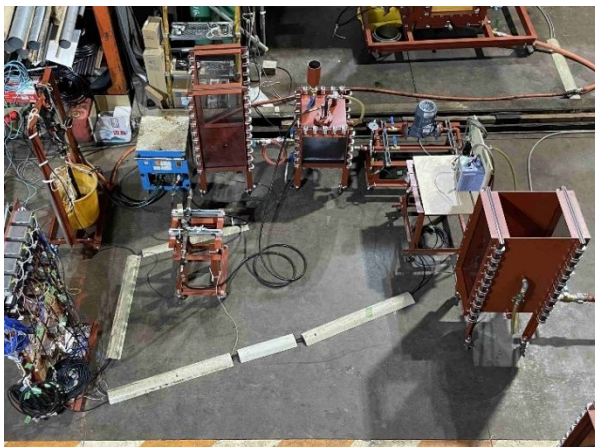


図10 実用化を想定したエジェクターによる重油回収移送試験装置

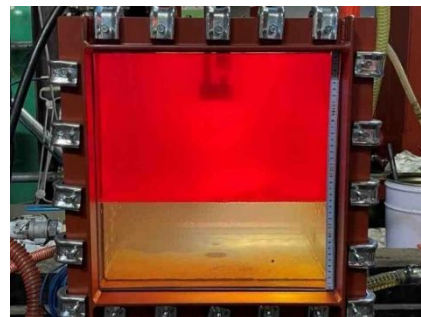


図11 エジェクター方式による模擬タンクからの油を用いた回収移送試験の検証時の様子

3) 油水分離技術

エジェクターによる回収したエマルジョン化重油を迅速に油水分離させ再利用するための基礎試験を実施した(図12参照)。試験方法はベンチュリ管により微細気泡を発生させ、微細気泡に油分を吸着させることで、浮上速度を増大、油水分離の促進を図る。試験ではエマルジョン流量、空気流量等が、ベンチュリ管の動作や油水分離挙動に及ぼす影響を測定し、油水分離促進技術における最適条件を検討した。

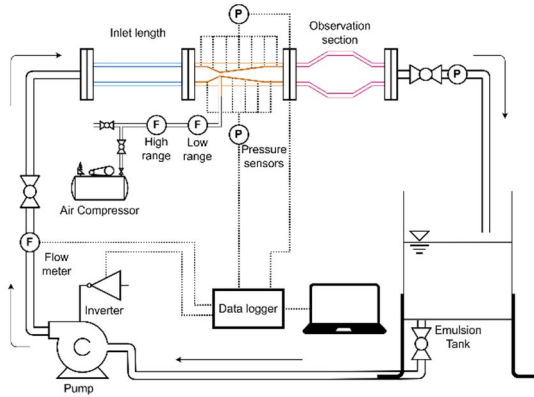


図12 ベンチュリー方式による油水分離試験装置概要

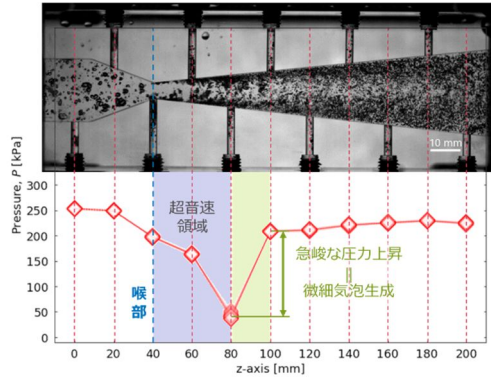


図13 ベンチュリー方式による油水分離試験の様子

4. 研究成果

1) エマルジョン化による重油のレオロジー制御

重油エマルジョン化については、水と界面活性剤の混合液を重油に加え拡散させることで安定したエマルジョン化重油を生成させることができる最適条件を把握することができた。また、海洋環境における海水を利用した場合の重油エマルジョン化について検討した。その結果、水の場合では問題なく使用できた界面活性剤においても、イオン系界面活性剤は塩水下では塩析が生成するため、非イオン系界面活性剤の使用が有望であることから海洋環境に応じた界面活性剤を選択する必要があることが分かった(図15参照)。粘度30000csの高粘度油に対し6MPa程度の水・界面活性剤の混合液を高圧ジェットで噴射した場合、混合液は拡散しエマルジョン化が生成されることが確認できた。これより重油回収時の吸込み付近の流動性の改善に利用できる。

2) エジェクター吸引と管内輸送技術

エジェクターによる重油回収移送試験を実施し、重油エマルジョン化を生成し長距離管路搬送できることが実証できた。また本実験条件では負荷の大きい垂直管路を設けた場合でも問題なかった。さらに、従来知られているCAF法と比較してO/W化法が優位であることを明らかにした(図14参照)。

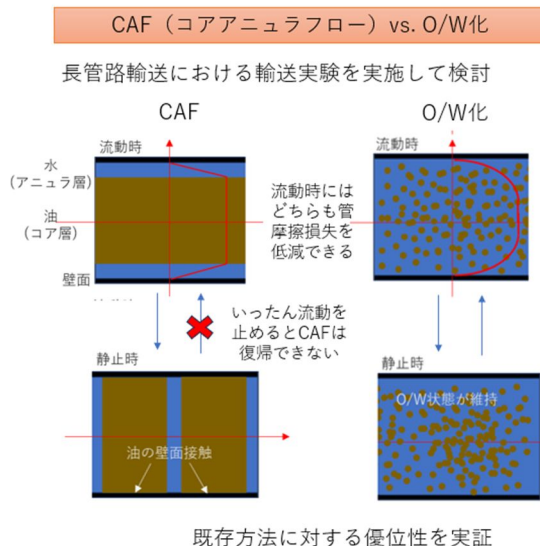


図14 CAF方式とエマルジョン化方式による管路輸送状態の比較

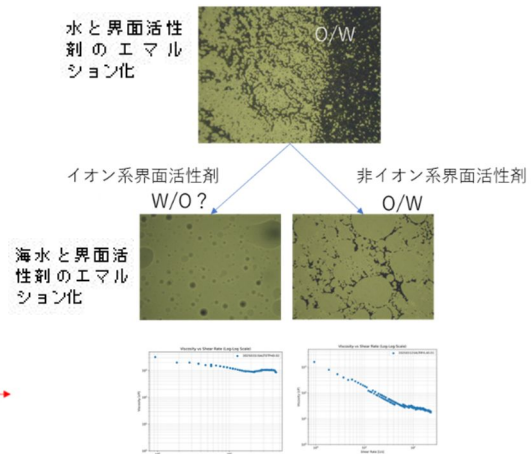


図15 水と海水の界面活性剤との適合性の比較

3) 油水分離技術

重油回収後に出るエマルジョン化重油の混合液の油水分離に関して、微細気泡が威力を発揮することから流体力学に基づき簡便に微細気泡を生成可能なデバイスであり、多方面で活用されているベンチュリ管を用いて、重油エマルジョン化混合液に微細気泡を積極的に接触させることが可能な試験計測装置を製作し、回収油を対象とした油水分離効果を計測しその有効性について把握することができた。具体的には、ベンチュリ管通過後の回収油に対して水分率を計測し、回収油や空気流量との相関を取得し最適条件を明らかにした。また環境に配慮した循環型の新たな重油回収移送システムに組み込むことで実用化に取りくんだ(図16参照)。

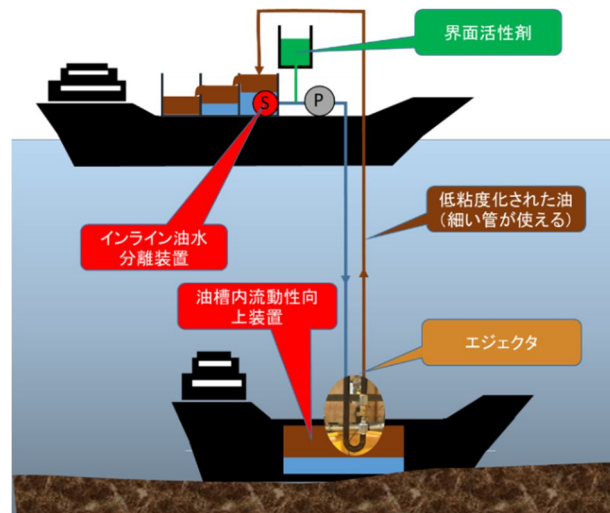


図16 新たな重油回収移送システム概略図

4) まとめ

本研究においては、重油エマルジョン化によって流動性が向上することを示すことができた。また、油水分離を促進する基礎的特性を把握できた。これらの成果技術を取り入れた環境に配慮した循環型の新たな重油回収移送システムの開発を行うことができた。

特許の権利化：重質油の回収方法、回収システム及び回収装置、特許第7573869号、2024.10.18

参考文献

- (1) 城田ほか14名、船舶からの油及び有害液体物質の排出・流出による海洋汚染防止に資する研究、海上技術安全研究所報告、第9巻、第3号(平成21年度)総合報告
- (2) Issue paper Potentially polluting wrecks in marine waters, International Oil Spill Conference, 2005
- (3) <https://www.youtube.com/watch?v=Lvqalj1Yzaw>
- (4) 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
- (5) 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
- (6) 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
- (7) 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
- (8) 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).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 藤田勇・馬驍・小野正夫・城田英之	4. 巻 Vol.58 No.6
2. 論文標題 海上・港湾・航空技術研究所における油濁対策研究開発 洋上と沈船からの油回収技術	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 日本マリンエンジニアリング学会誌	6. 最初と最後の頁 pp.92-99
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 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 馬驍
2. 発表標題 Experimental study on pressure drop reduction in pipe line flow of C Heavy Oil by adding surfactant aqueous solution
3. 学会等名 The 11th International Conference on Multiphase Flow (ICMF2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 馬驍
2. 発表標題 Experimental Study on Pressure Drop Reduction in Pipe Line Flow of Heavy Fuel Oil by Adding Surfactant Aqueous Solutio
3. 学会等名 Kobe International Conference Center, Kobe Japan (国際学会)
4. 発表年 2023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	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)	

6. 研究組織（つづき）

	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 (Shirota 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)	

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