

含水率の異なる重油エマルジョンの 被洗浄特性の実験および分析

CLEANING CHARACTERISTICS OF EMULSIFIED HEAVY FUEL OIL OF DIFFERING MOISTURE CONTENT

齋藤幸博¹・吉江宗生²・藤田勇³

Yukihiro SAITO, Muneco YOSHIE and Isamu FUJITA

¹正会員 (独) 港湾空港技術研究所 施工・制御技術部 (〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1)

²正会員 工修 (独) 港湾空港技術研究所 施工・制御技術部 (〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1)

³正会員 工博 (独) 港湾空港技術研究所 施工・制御技術部 (〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1)

Oil spill accidents frequently occur around Japan after the accident of the Russian tanker “Nahodaka” in 1997. Environmental and economic damage by the spilled heavy oil is serious and the cost for recovery and cleaning is enormous. An effective washing method is necessary for decreasing the cost and the environmental impact.

In this study, ultrasonic wave washing was applied to remove oil from solid surface. Experiments were conducted with W/O emulsified heavy C oil and various materials such as steel and FRP. The effects of moisture content of the emulsified oil, temperature and surface materials on the oil removing rate are discussed.

Key Words : oil spill, viscosity, ultrasonic wave, cleaning, emulsified heavy fuel oil, turbidity, moisture content

1. はじめに

日本近海では、1997年のロシア船籍タンカー「ナホトカ号」による重油流出事故以後も小規模ながら船舶等による油流出事故が発生している¹⁾。また、近年は異常気象で台風などの来襲が多く、船舶が座礁して油が流出する事例も起こっている。このように油が流出すると回収作業は非常に困難で、海洋および海岸等への環境に与える影響も甚大なものとなる²⁾。そのようなことから、効率的な油回収資機材等の研究開発が進められている^{3), 4), 5), 6)}。一方、油回収後の船舶及び回収資機材などの清掃に関する研究は少ないのが現状である。しかしながら、電子部品、精密加工部品、自動車部品などの分野では洗浄技術の開発が盛んに行われている。その方法としては、超音波洗浄、噴射洗浄、洗浄剤を用いた浸漬洗浄などがある⁷⁾。回収後の洗浄及び廃棄物処理においては、環境負荷への影響を考慮する必要があるため費用が莫大となり、効率的で低廉な洗浄及び処理技術の開発が必要となる。また、そのためには重油エマルジョンの特性を把握することが重要である。

重油エマルジョンのメカニズムは解明されていないが、原油における事例⁸⁾では、ある程度の波浪により海水を

取り込んでエマルジョン化し、産地や海象条件（水温、波浪など）によって成分や粘度特性が異なることが明らかとなっている⁹⁾。回収後の船舶及び回収資機材に付着する状況は、漂流する時間や海象条件によって異なるため、重油エマルジョンの特性が重要であり、また、重油の種類や被洗浄物の種類によっても洗浄特性は異なるものとする。

本研究では、含水率の異なる重油エマルジョンを用いて水温の違いおよび被洗浄物の違いによる洗浄特性について超音波発生装置を用いた洗浄実験を行った。

2. 実験概要

(1) 供試油特性

a) 含水率

本実験では、大型船舶や火力発電所等で一般的に用いられているC重油を供試油としている。

海洋に流出した重油は、海水と混合してエマルジョンを形成するが、重油エマルジョンに取り込まれる水分率は概ね60%程度である⁹⁾。しかし、漂流時の波浪等の影響によって、含有する水分率は異なるものとする。そこで、本実験では、C重油に15%、30%、45%、

60%の水を加えた4種類の重油エマルジョンを作製した。重油エマルジョンの作製においては、同一条件となるように各含水率ともに一定速度で60分間攪拌した。

b) 粘度

重油は、産地や温度などによって重油エマルジョンの粘度が異なることが知られている。

含水率の異なる重油エマルジョンの粘度を図-1に示す。測定には、B型粘度計（ブルックフィールド粘度計）を用いた。温度は、後述する洗浄実験の温度を参考までに示す。ここで示す値は、1rpmの場合の粘度を整理した。

重油エマルジョンは、含水率の増加とともに高粘度となり、指数関数的に推移していることがわかる。また、温度の低下とともに高粘度となることも確認でき、回収作業などに影響を及ぼすものと考えられる。

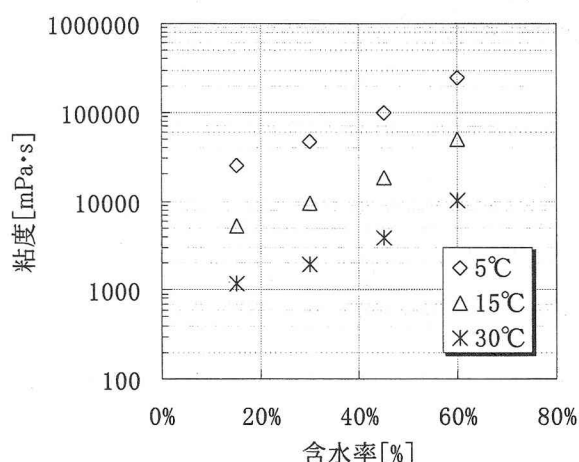


図-1 含水率の違いによる粘度の関係

(2) 洗浄実験装置

図-2に実験装置の概要図を示す。超音波発生装置は、電力計を介して水槽内に振動子を設置した。

洗浄実験は、ピーカーが超音波輻射面上に設置できるようにピーカー固定用治具で固定している。ピーカー内の溶液は、既往研究¹⁰⁾においては洗剤を用いたケースで

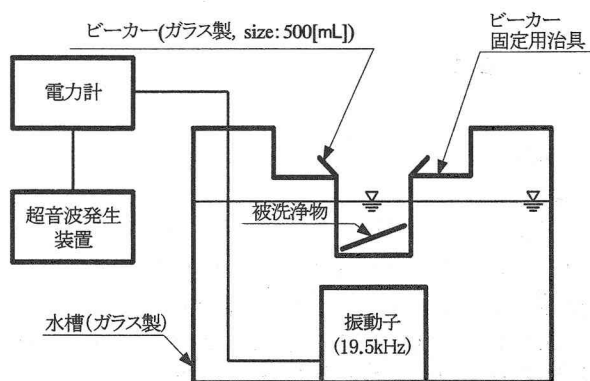


図-2 実験装置概要図

洗浄効果が高いとされているが廃油処理上の問題があるため清水で行った。

超音波発生装置（ユニット）の選定は、既往研究¹⁰⁾で洗浄効果が高い19.5 [kHz]を用いた。また、洗浄実験で用いた電力（単位面積当たりの強度）は、電力計で確認し、概ね120W（強度換算で約0.62 [W/cm²]）とした。

水温の影響における洗浄特性を把握するため、写真-1に示すような冷却装置及び加熱装置を用いて水槽内の水温調整を行った。冷却装置は、恒温槽から液体を水槽内に設置している銅管を介して循環した。また、加熱装置は、水槽内に直接投げ込み式のヒーターを投入し、水温を一定にするため攪拌機を用いて攪拌した。

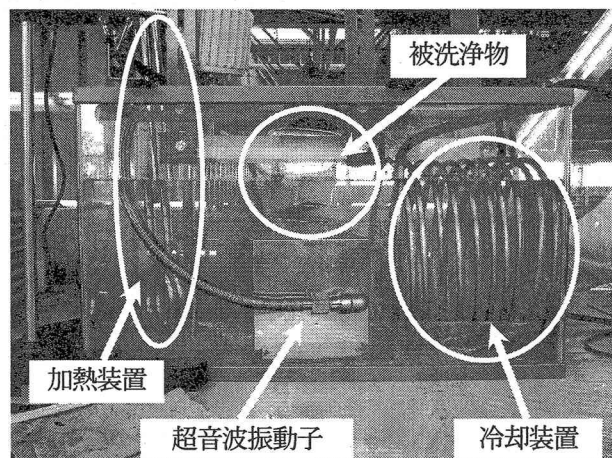


写真-1 洗浄実験状況

(3) 被洗浄物の種類

漂流した重油エマルジョンを回収する際には、船舶や油回収資機材を用いて回収作業が行われるが、回収後の清掃処理に苦慮しているケースが多い。そこで、本実験では船舶の材質に近いものを想定し、鋼材（大型船舶）、FRP（小型船舶）の2種類を対象とした。ただし、厳密に言えば通常の船舶は腐食防止など表面に何らかの処理が施されている。それにより付着状況や洗浄効果に影響を及ぼす可能性があるが、本実験においては基礎的な

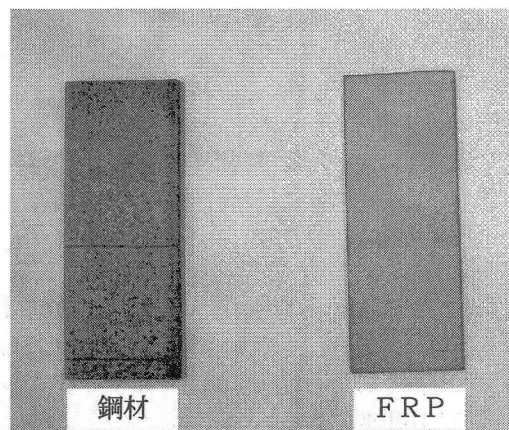


写真-2 被洗浄物

実験のため、材料をそのまま用いた。写真-2 に洗浄実験に用いた被洗浄物を示す。形状は8cm×3cmである。なお、塗布量は0.29g程度である。

実験ケースを整理すると表-1 のとおりであり、重油の原液（以下、0%と記す。）と作製した重油エマルジョン（15、30、45、60%）の5種類について水温を3ケース（5、15、30℃）設定して、温度変化による洗浄特性および被洗浄物（鋼材・FRP）の種類の相違による洗浄特性を把握した。

表-1 実験ケース

ケース番号	含水率[%]	水温[℃]	被洗浄物の種類
1	0	5	鋼材, FRP
2		15	
3		30	
4	15	5	
5		15	
6		30	
7	30	5	
8		15	
9		30	
10	45	5	
11		15	
12		30	
13	60	5	
14		15	
15		30	

(4) 洗浄効果の評価

付着した被洗浄物の洗浄効果を定量的に求めるには、被洗浄物に付着した重油エマルジョン量と時間毎の洗浄後の残存する量を計測して、洗浄量を直接算定することが簡単である。しかしながら、本実験の場合は、計測時に被洗浄物へ水分が付着するため、これらの拭き取り作業が精度に影響する可能性があり、適正な方法とは言えない。そこで、間接的な方法として「乳化濁度測定法」を用いることとした¹⁰⁾。

この方法は、超音波によって乳化した懸濁液の濁度を計測するものである。本実験の超音波洗浄と酷似することからこの方法を用いた。

手順は、まず洗浄前の初期試料（清水）を測定した後、被洗浄物に重油エマルジョンを塗布して超音波を発生させて乳化させた後、懸濁化した濁度を計測して乳化前の濁度を差し引いた増加量から油分濃度を算定する。

洗浄の速度特性を把握するため、4分毎の濁度を測定し、合計20分間の測定を行った。20分後の被洗浄物に付着している水滴を取り除いた重量残量から洗浄率を算定した。

(5) 濁度と油分濃度の関係

図-3 に示すように濁度と油分濃度は、相関関係があるため、濁度を油分濃度として取り扱うことができる。

なお、本実験で使用した濁度計は、比濁計濁度単位NTU（Nephelometric Turbidity Unit：投射光と直角方向へ散乱された光量を光電管などで検出し、電子機器を使用して測定した場合の単位）を採用している。

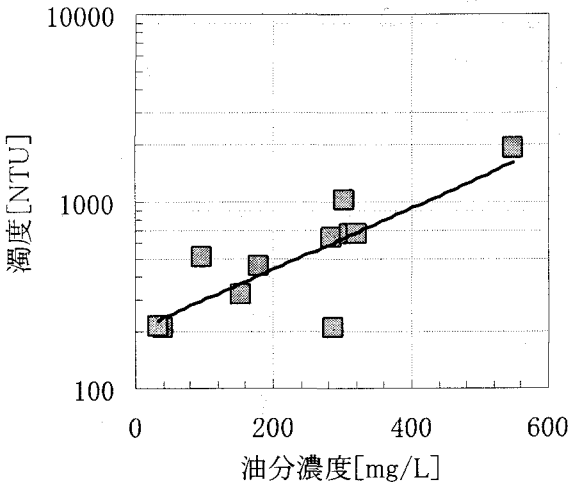


図- 3 濁度と油分濃度

(6) 濁度とエマルジョン換算油分濃度

本実験では、エマルジョン化油の洗浄特性を評価するため、濁度をそのまま評価に用いず、エマルジョン化油に含まれていた水分が同時に分散したと仮定した換算値を用いた。本論文では、この値をエマルジョン換算油分濃度と定義し、次の(1)式を用いた。

Ed = Od (1+C/100) (1)

Ed：エマルジョン換算油分濃度
Od：油分濃度
C：含水率[%]

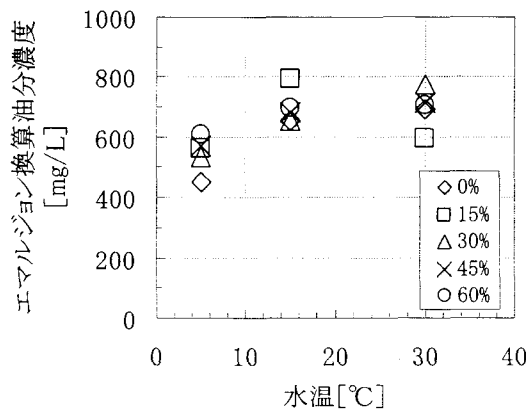
3. 実験結果と考察

(1) 水温の違いによる洗浄特性

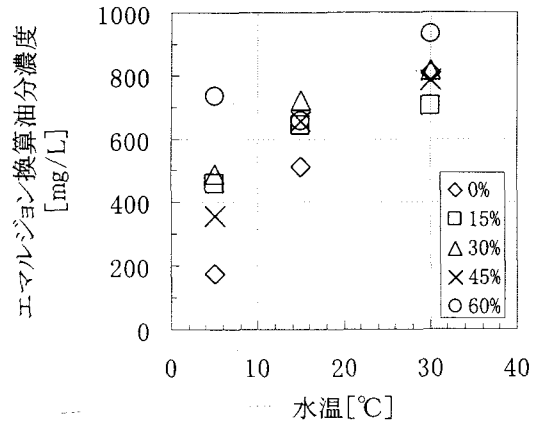
洗浄実験は、同一条件になるように行ったが、超音波洗浄中の温度上昇や被洗浄物の設置状況等の条件によりデータにバラツキが見られた。

図-4 に水温とエマルジョン換算油分濃度の関係を示す。水温が高い方が洗浄されやすい傾向を示している。特にFRPにおいては顕著である。含水率が高い方がエマルジョン換算油分濃度は高く洗浄されやすい傾向がある。また、30℃のデータは全般的にFRPの方がエマルジョン換算油分濃度は高く、水温による影響が大きい。

このことから被洗浄物の種類によって洗浄特性は異なり、洗浄の際の重要なパラメータとなることがわかった。このような違いは、被洗浄物の表面状況に影響されるも



(a) 鋼材



(b) FRP

図- 4 水温の違いにおけるエマルジョン換算油分濃度

のと考えられる。

水温による違いについて考察すると、低温になると高粘度となり接着性が増すことのほかに、洗浄実験中には定在波の影響が小さい位置へ付着したまま移動する現象が確認できたことから、接着性が高くなると、すぐに剥離せずに大部分が洗浄されにくい位置へ移動して、洗浄しにくくなると考えられる。特にFRPのような表面が滑らかな場合は影響が大きい。逆に、温度が上昇すると粘度が低下し（接着性が低下）、超音波洗浄では効果が大きくなるものと考えられる。

(2)被洗浄物の違いによる洗浄特性

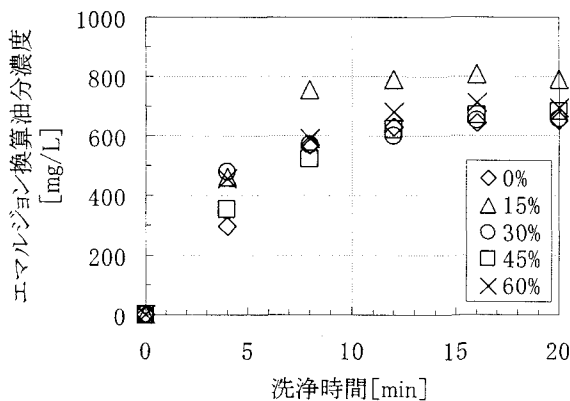
代表例として、15℃の場合におけるエマルジョン換算油分濃度と洗浄時間の洗浄特性（洗浄曲線）を図-5に示す。20分間の洗浄で塗布した重油エマルジョンは概ね洗浄されていることを目視で確認した。

エマルジョン換算油分濃度は、洗浄時間とともに増加し、洗浄効果は大きくなる。また、被洗浄物によって洗浄速度に違いが見られ、被洗浄物による影響は大きい。

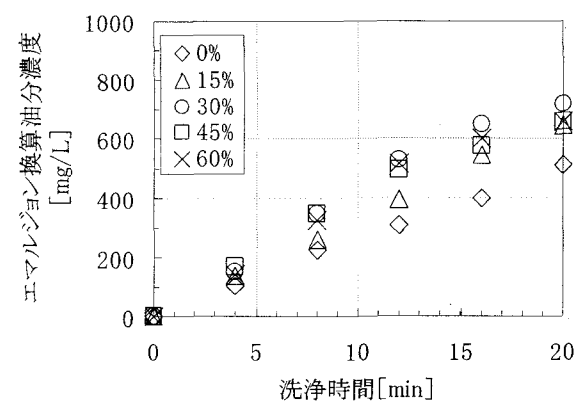
鋼材は、洗浄開始時の洗浄効果が高く、12分以降では洗浄効果は飽和する結果となった。

FRPは、鋼材とは異なり、洗浄時間に比例して洗浄され線形傾向を示し、含水率が高い方が洗浄効果は高いことがわかった。

水温の違いによる洗浄傾向を図-6,7に示す。FRPでは、水温が異なる場合においても線形傾向を示す洗浄特性であった。これに対して、鋼材は水温の違いによって洗浄傾向が水温の上昇に伴って線形に変化している。このように、被洗浄物の違いによって洗浄特性が異なることが解った。

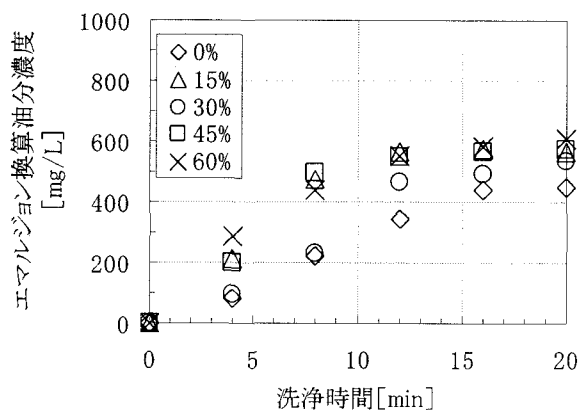


(a) 鋼材

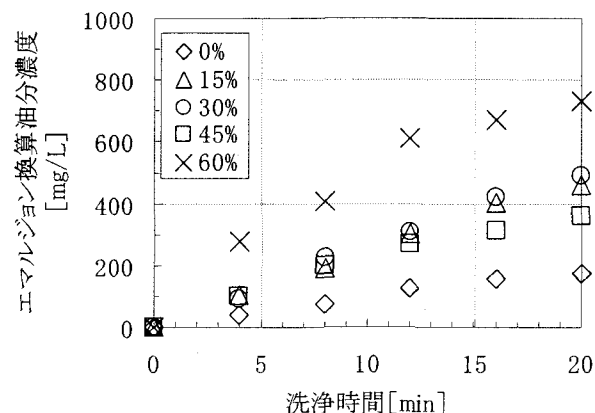


(b) FRP

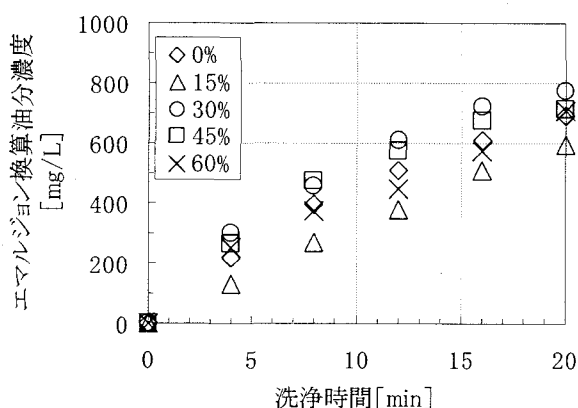
図- 5 エマルジョン換算油分濃度と洗浄時間（15℃）



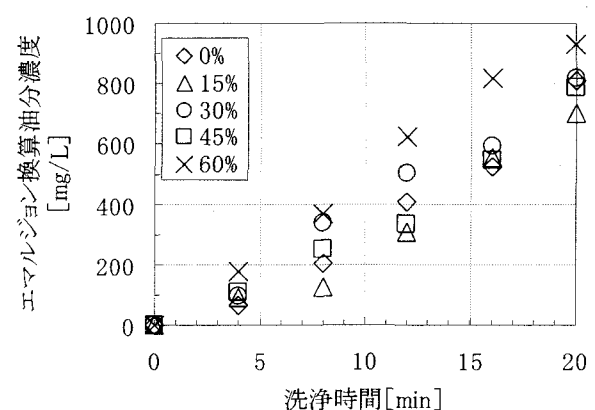
(a) 5°C



(a) 5°C



(b) 30°C



(b) 30°C

図-6 鋼材における洗浄特性

図-7 FRPにおける洗浄特性

4. 結論

含水率及び水温の条件を変化させて超音波洗浄実験を行い、以下の知見を得た。

- ①含水率が異なる重油エマルジョンは、含水率の増加とともに高粘度化し、指数関数的に粘度が増加する。
- ②含水率の異なる重油エマルジョンは、含水率が高い方が洗浄されやすい傾向を示した。
- ③水温の違いによる洗浄特性は、温度上昇に伴いエマルジョン換算油分濃度は高くなり、被洗浄物の影響によっても異なる特性を示す。
- ④洗浄曲線から見た特性は、鋼材とFRPで異なることが確認できた。

謝辞：本研究は、科学研究費補助金（独立行政法人日本学術振興会）の支援を受けて実施したものである。

5. おわりに

本実験では、超音波装置により洗浄を行ったが、重油エマルジョンが超音波により振動して洗浄効果の弱い位置へ付着したまま移動する現象が見られ、また、被洗浄物に再付着することが確認された。洗浄においては、このような問題を解決する必要がある。

今回は、1種類の重油のみについて確認したが、油種の違いによるエマルジョン化現象の相違や粘度の違いについても検討する必要があると考えられる。

また、超音波洗浄に用いる洗浄溶液についても洗浄効果が大きく環境負荷にならないものが必要である。さらに、超音波洗浄後に発生した懸濁液の処分方法については、今後検討する必要がある。

参考文献

- 1) 海上保安庁：一未来に残そう青い海—海洋汚染の現状（平成15年1月～12月），2004。
- 2) 海洋工学研究所出版部編：重油汚染・明日のために～ナホトカは日本を変えられるか～，（株）海洋工学研究所出版部，1998。
- 3) 吉江宗生，佐藤栄治，白井一洋：沿岸域の高粘度油高濃度回収システムの研究開発，港湾空港技術研究所報告，第4

- 2 卷, 第 1 号, pp.115-137, 2003.
- 4) 吉江宗生, 藤田勇, 佐藤栄治: 海岸の浅い水面での高粘度油の回収作業を省力化する油回収システムの研究, 海洋開発論文集, VOL.19, pp.43-48, 2003.
- 5) 藤田勇, 吉江宗生, 佐藤栄治, 水谷雅裕, 佐野正佳: 高粘度液体の管内空気輸送における圧力損失特性, 海洋開発論文集, VOL.19, pp.821-826, 2003.
- 6) 藤田勇, 吉江宗生, 佐藤栄治, 水谷雅裕, 佐野正佳, 不動雅之: 真空吸引式油回収装置の研究, 海洋開発論文集, VOL.20, pp.1247-1252, 2004.
- 7) 工業調査会編: 環境問題に対応する洗浄技術入門, 2001.
- 8) 石油連盟基盤整備・油濁対策部: ムース化のメカニズム, <http://www.pcs.gr.jp/doc/jmousse/mousemechanism.htm>
- 9) 石油連盟基盤整備・油濁対策部: 流出油性状変化データベース, <http://www.pcs.gr.jp/>
- 10) 佐藤栄治, 吉江宗生, 藤田勇: 流出油対策のための重油エマルジョンの超音波洗浄実験, 海洋開発論文集, Vol.20, pp.1259-1264, 2004.
- 11) 油 分 計 測 器 及 び 油 膜 計 測 器 : <http://www.mandc.org/MandC/include/html/tech/40310.htm>