

令和 3 年 6 月 15 日現在

機関番号：12614

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04578

研究課題名(和文)環境対応型潤滑油の天然海水混入条件下におけるトライボロジー特性

研究課題名(英文)Tribological Characteristics of Environmentally Acceptable Lubricants under Natural Seawater Mixing conditions

研究代表者

地引 達弘(Jibiki, Tatsuhiro)

東京海洋大学・学術研究院・教授

研究者番号：40322094

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：環境対応型潤滑油(Environmentally Acceptable Lubricants、以下EALと略記)に天然海水が混入した場合のトライボロジー特性を、3ピンオンディスク摩擦試験装置を用いて、従来油と比較した。プロペラ軸材と船尾管軸受材を試験片として、種々のしゅう動条件下で、摩擦係数を計測し、ストライベック線図にプロットして解析評価した。その結果、不飽和エステル油、飽和エステル油、従来油ともに、海水が混入すると、広い軸受定数の範囲で摩擦係数は上昇した。EALは、しゅう動条件によってはトライボロジー特性が不安定であった。生分解の影響については、本実験条件下では、特に見られなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

EALのトライボロジー特性については、ほとんど公表されていないため、造船メーカーやユーザにとっては手探りの状態が続いている。従来油との相違点や海水混入によるトライボロジー特性への影響を調査し、その結果を一刻も早く公表し、更なる改良を求めるための根拠を示し、国内の潤滑油メーカーにおいては、国産のEAL開発の加速化を促し、EALの更なる信頼性向上と品質向上を求めるものであり、その学術的意義や社会的意義は大きい。

研究成果の概要(英文)：The Tribological characteristics of the Environmentally Acceptable Lubricants (hereinafter abbreviated as EAL) mixed with natural seawater were compared with the conventional oil using a 3-pin on-disk friction tester. Using the propeller shaft material and the stern tube bearing material as specimens, the coefficient of friction was measured under various sliding conditions and plotted on a Stribeck diagram for analysis and evaluation. As a result, when seawater was mixed in with the unsaturated ester oil, the saturated ester oil, and the conventional oil, the coefficient of friction increased in a wide range of bearing constants. The Tribological characteristics of EAL were unstable depending on the sliding conditions. No particular effect of biodegradation was observed under the conditions of this experiment.

研究分野：トライボロジー

キーワード：環境対応型潤滑油 天然海水 トライボロジー特性

# 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

## 1. 研究開始当初の背景

環境対応型潤滑油(Environmentally Acceptable Lubricants、以下 EAL と略記)は、2013 年に発効され、船尾管等に使用され、船外に漏洩する可能性のある潤滑油については、生分解性、非毒性、非生物濃縮性を有する潤滑油の使用が義務付けられた。これに伴って、欧米の各種潤滑油メーカは、既にこの条件に適合する潤滑油を開発し、販売を開始している。EAL は、特にエステル油の場合、水が混入すると加水分解や熱分解を起こし、カルボン酸を発生させ、シールリング材を攻撃するため、その対策が講じられている一方で、トライボロジー特性に及ぼす影響について調査された文献は未だ見当たらない。このため、特に海水が混入した際の、潤滑性能への影響について調査を行い、一刻も早い情報公開が求められている。このようなニーズの下、科研費に応募して申請が採択されたため、人工海水を潤滑油に混入させてトライボロジー特性への影響を調査したところ、EAL の潤滑特性は、従来油のそれに比べて不安定であった。ここで疑問となったのが、この差異が加水分解によるものなのかどうかであった。そこで報告者は、天然海水に着目する。これまで実験に使用した人工海水ではなく、生分解が生じる天然海水が混入した条件下で、トライボロジー特性がどのようになるのかを調査する。

## 2. 研究の目的

1. で述べたような研究背景を踏まえ、本研究課題では、実海域で採取された天然海水を使用し、生分解が生じる条件下で EAL と従来油のトライボロジー特性を比較・調査することで、更なる実験データの信頼性の向上を目指し、その結果を速やかに公表し、国外の潤滑油メーカにおいては、更なる改良を求めるための根拠を示し、国内の潤滑油メーカにおいては、国産の EAL 開発の加速化を促し、EAL の更なる信頼性向上と品質向上を求めることを主な目的として研究を遂行した。

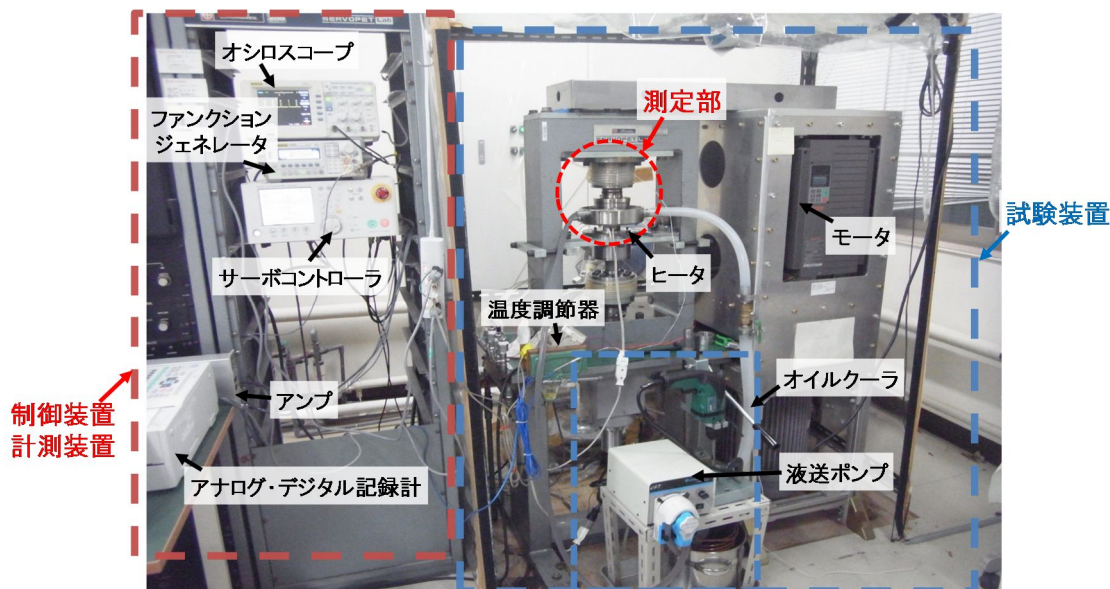


図1 3ピンオンディスク摩擦摩耗試験装置の外観

## 3. 研究の方法

(1) 実験には図1に示す3ピンオンディスク摩擦摩耗試験装置を用いた。プロペラ軸に見立てた3つのピン試験片(直径15mm)を、しゅう動直径38mmに配置し、その直上に船尾管軸受に見立てたディスク試験片(直径57mm)を配置し、下から垂直荷重をかけながらディスク試験片をインバータモータで回転させてせん断力を負荷し、発生する摩擦トルクを4枚のひずみゲージで計測し、摩擦係数を得る。ピン試験片ホルダを兼ねた容器には、潤滑油を満たす。図2に、潤滑油の温度制御

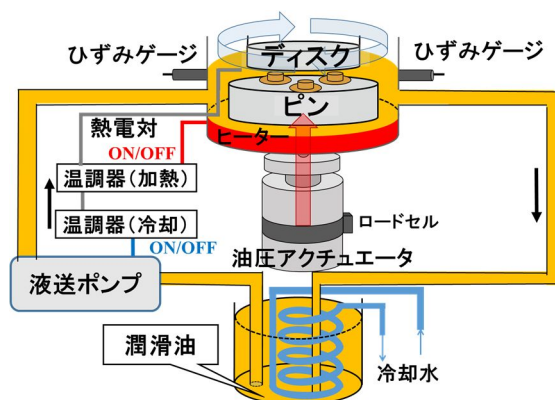


図2 温度制御部の様子

方法についての概略を示す。加熱用と冷却用の、2つの温調器を用い、加熱の際には電気ヒータを用い、冷却の際には冷却水により冷やされた潤滑油を液送ポンプで容器に循環させることで潤滑油の温度制御を行う。用いた潤滑油は、不飽和エステル系、飽和エステル系油、および従来油(鉱油)であり、それらの性状を、表1に示す。実験は、面圧  $P$ 、しゅう動速度  $v$ 、温度  $T$  を種々変化させて行ったが、それぞれの詳細については、実験結果のところでも後述する。ピン試験片は、プロペラ軸材(鋼)から、また、ディスク試験片は、船尾管軸受材(ホワイトメタル2種)から製作した。天然海水は、本学の練習船「汐路丸」にて、伊豆大島沖で採取したものを使用した。

表1 使用潤滑油の主要性状

	動粘度 [mm <sup>2</sup> /s]		密度 [g/cm <sup>3</sup> ]
	40	100	15
従来油	111.0	12.0	0.89
不飽和エステル系 EAL	100.0	19.0	0.92
飽和エステル系 EAL	96.5	14.5	0.93

#### 4. 研究成果

(1) 不飽和エステル油、飽和エステル油、従来油に対し、天然海水未混入、混入直後、および、2週間後の平均摩擦係数を求め、ストライバック線図にプロットして比較・調査した。実験条件

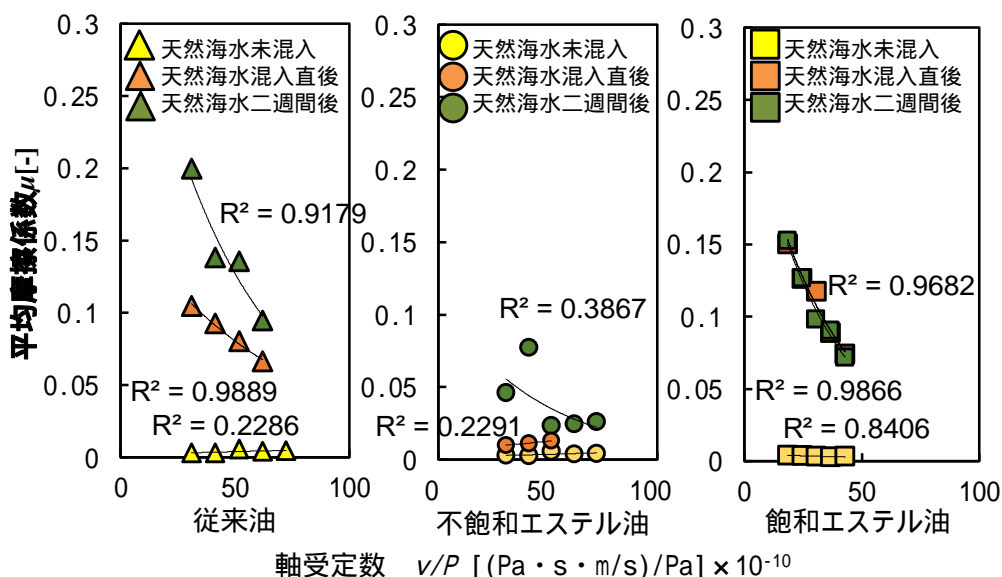


図3 天然海水混入による摩擦係数の変化

は、面圧  $P=8.7\text{MPa}$  一定、温度  $T=60$  一定とし、しゅう動速度  $v=387\sim 903\text{mm/s}$  (5種類)、試験時間は1条件当り15minとした。その結果、図3に示すように、潤滑油の種類によらず天然海水混入後の摩擦係数は上昇した。また、しゅう動速度が小さくなると、摩擦係数が急上昇した。これは、天然海水混入による潤滑油の性能低下により、十分な油膜厚さを確保できなくなったことが考えられた。図4に、潤滑油の経時観察の様子を示す。天然海水混入により、EALは若干の白濁が観察されたが、大きな変化は見られなかった。以降、トライボロジー特性に比較的優れているとされる、飽和エステル油に焦点を当てる。

(2) EALにおいては、温度の影響を強く受けることが報告されており、特に温度上昇が生じると、トライボロジー特性が悪化する可能性がある。このことに着目して、まずは、温度と粘度の関係を、天然海水混入の有

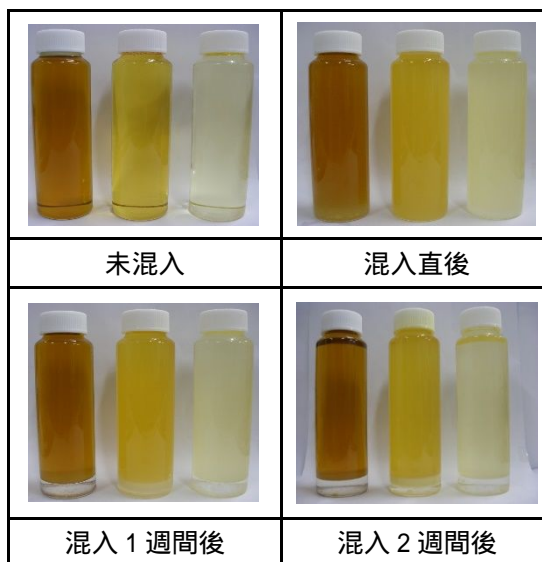


図4 天然海水混入による潤滑油の経時変化 (左:従来油、中:不飽和エステル油、右:飽和エステル油)

無により調査した。その結果、図5に示すように、従来油は天然海水混入により若干静粘度が小さくなったが大きく変化しない、飽和エステル油は従来油よりも静粘度が若干高く、天然海水混入により、さらに静粘度が高くなり、その差異は低温側で見られるが、せいぜい最大で  $10\text{mPa}\cdot\text{s}\cdot\text{g}/\text{cm}^3$  程度である。

(3) 温度変化の影響に着目し、面圧  $P=6.6\text{MPa}$  一定、しゅう動速度  $v=78\sim 181\text{mm/s}$ (5種類)とし、温度  $T=40, 60, 80$  とした場合の飽和エステル油と従来油の摩擦係数を、天然海水未混入と混入4週間後で比較・調査した。その結果、図6に示すように、双方の潤滑油は広い軸受定数の範囲で同程度の摩擦係数となったが、従来油は、軸受定数が小さいところで、飽和エステル油よりも摩擦係数が大きくなった。天然海水が混入すると、双方の潤滑油とも、摩擦係数は上昇するが、飽和エステル油は、低い軸受定数で未混入時と変わらず低かった。ただ、60 においての摩擦係数は高く、天然海水の影響を受けたものと考えられた。

(4) 面圧変化の影響に着目し、温度  $T=60$  一定、しゅう動速度  $v=78\sim 181\text{mm/s}$ (5種類)とし、面圧  $P=4.3, 6.6, 8.7\text{MPa}$  とした場合について、(3)と同様に比較・調査した。その結果、図7に示すように、天然海水未混入時では、双方の潤滑油ともに同程度の摩擦係数となった。天然海水が混入すると、従来油は摩擦係数が若干上昇したのに対し、飽和エステル油は大きく上昇した。図8に、試験後の摩擦面の様子を観察した結果の一例を示す。天然海水未混入時では、双方の潤滑油ともに、損傷は軽微であるが、天然海水が混入すると、しゅう動条件によっては、損傷が激しくなることがわかる。粘度の変化は見られないことから、油性などの、潤滑油性能の劣化が考えられる。

(5) 総合考察として、人工海水、天然海水とも、それが潤滑油に混入すると、トライボロジー特性を悪化させる可能性があることがわかった。また、従来油よりも、EALの方がその程度が大きくなる可能性があることがわかった。特に、エステル系 EAL は、水が混入すると加水分解や熱分解を起こし、カルボン酸を発生させるが、天然海水の場合には、加水分解に加え、生分解も起こるため、トライボロジー特性への影響が懸念されたが、生分解は長時間をかけて少量ずつゆっくりと進行するため、人工海水と天然海水の大きな差異はみられなかった。しかしながら、EALは従来油に比べて不安定なトライボロジー特性を示すことが見られたことから、今後、更なる性能向上が期待されることである。

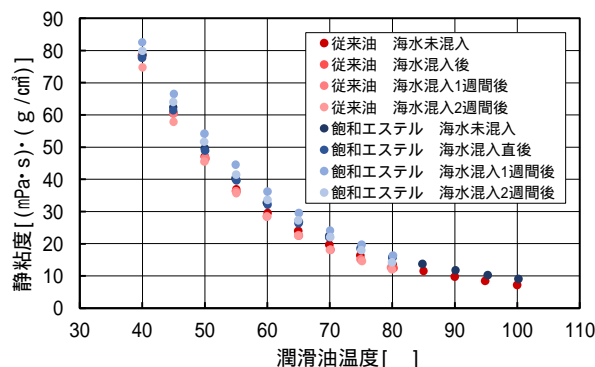


図5 潤滑油温度と静粘度との関係

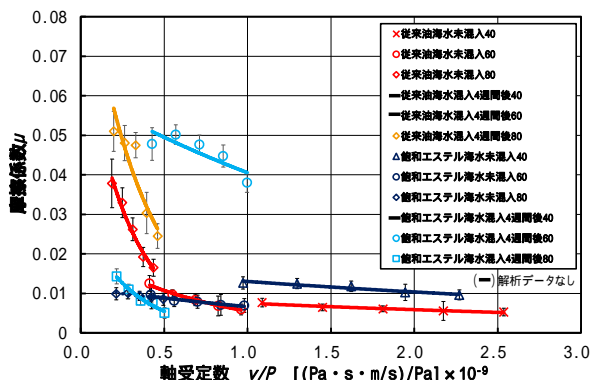


図6 ストライベック線図(温度の影響)

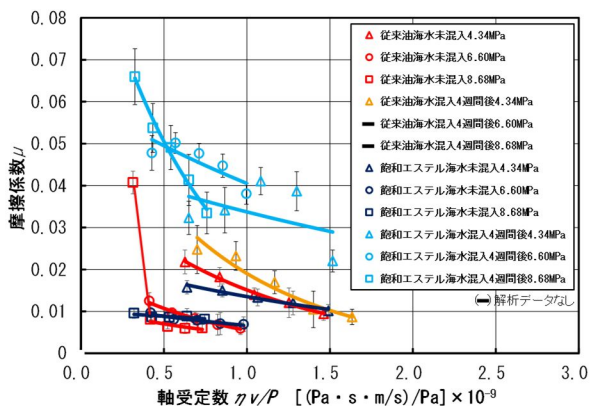


図7 ストライベック線図(面圧の影響)

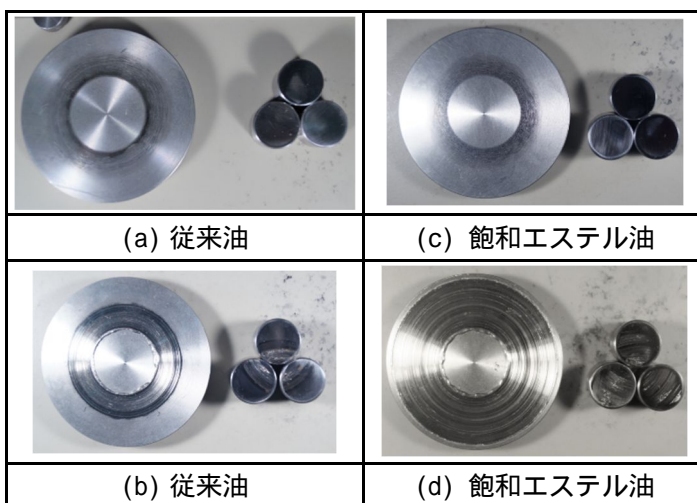


図8 しゅう動面の様子の一例(6.60MPa、40 )  
(上:天然海水未混入、下:混入4週間後)

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 地引 達弘、藤野 俊和、苗 田、伊藤 佳寿、二宮 大輔
2. 発表標題 環境対応型潤滑油を使用した船尾管軸受と軸間のスティックスリップ現象解析
3. 学会等名 日本マリンエンジニアリング学会第90回（令和2年）マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集, 221
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 地引達弘、藤野俊和、矢野海人、伊藤佳寿、二宮大輔
2. 発表標題 しゅう動速度が天然海水を混入させた環境対応型潤滑油のトライボロジー特性に及ぼす影響
3. 学会等名 日本機械学会関東支部第26期総会・講演会講演論文集, 17E14
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 苗 田、豊田健一郎、藤野俊和、菅原隆志、地引達弘
2. 発表標題 天然海水混入条件下における環境対応型潤滑油のトライボロジー特性
3. 学会等名 日本機械学会関東支部第24期総会・講演会講演論文集, GS0706
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

東京海洋大学 海洋工学部 海洋電子機械工学科 機械応用力学研究室 研究発表  
<http://www2.kaiyodai.ac.jp/~jibiki/ouriki/paper.html>  
 東京海洋大学 学術研究院 海洋電子機械工学部門 機械応用力学研究室HP 研究発表  
<http://www2.kaiyodai.ac.jp/~jibiki/ouriki/paper.html>

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	藤野 俊和  (Fujino Toshikazu)  (70508514)	東京海洋大学・学術研究院・准教授   (12614)	
研究分担者	菅原 隆志  (Sugawara Takashi)  (90456319)	東京海洋大学・学術研究院・助手   (12614)	

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