

平成 30 年 5 月 31 日現在

機関番号：12614

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06615

研究課題名(和文) 環境対応型潤滑油の低速・高荷重下および海水劣化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 Environment acceptable lubricants on low speed and high pressure and sea water containin conditions

研究代表者

地引 達弘 (JIBIKI, TSTSUHIRO)

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) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：環境対応型潤滑油 (Environmentally Accepted Lubricants、以下EALと略す) に人工海水が混入した場合のトライボロジー特性を、従来油と比較した。まず、環境対応型潤滑油に人工海水を混入した条件で摩擦係数を求め、その結果、一般的な傾向が現れず、2週間ごとに増加や減少を繰り返した。これは、加水分解による脂肪酸の生成による摩擦の低減効果と、水分混入による摩擦の向上効果の双方が現れるためと考えられた。次に、低速高荷重下で摩擦挙動を観察した結果、従来油の方が安定していることがわかった。

研究成果の概要(英文)： In this research, we focused on the influence of artificial seawater on EAL(Environmentally accepted lubricants) on tribological characteristics, and found out saturated ester EAL, unsaturated ester EAL, nonester EAL and a mineral oil by using 3 pin on disk test with specimens used for stern tube bearings and propeller shaft as test specimens. We conducted a friction test on lubricants intentionally containing artificial seawater. In order to evaluate the tribological characteristics, we compared the results with the Stribeck curves under various operating conditions. When mixed mineral water, we found that ester EAL is more affected by natural seawater than mineral oil.

Additionally, we focused on the frictional behavior of these oils of stick slip phenomena by using the 3 pin on disk test apparatus. That results were that stick slip phenomenon was happened on the ester EAL, however, conventional oil was not happened.

研究分野：トライボロジー

キーワード：環境対応型潤滑油 トライボロジー特性

1. 研究開始当初の背景

(1) 環境対応型潤滑油 (以下 EAL) は、2013 Vessel General Permit、米国環境保護庁より 2013 年 12 月 19 日に発行され、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、Vickers、BP/Castrol、Total、Kluber、Exxon Mobil、Gulf、Lukoil (Fuchs) 等の、欧米の各社潤滑油メーカーは、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。その一方で、国内における潤滑油メーカーの開発状況は低調であり、動向を伺っている様子であると考えられる。

(2) EAL は、ベースオイルとして、植物油、合成エステル油、ポリアルキルグリコール (PAG) 等が用いられる。この中でエステル油の場合、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ことが問題となっていたが、これに適合する新材料の開発が完了したことにより、2014 年 1 月より供給が開始されている。EAL とシールリング材との適合性についてはシールメーカー各社より情報が提供されている一方で、すべり軸受のトライボロジー特性、特に潤滑性能について評価された文献は未だ見当たらず、造船メーカーや船社は手探りの状態が続いている。このような背景を踏まえ、申請者のところには、EAL のトライボロジー特性についての相談が寄せられるようになった。特に、プロペラ軸挿入直後で、なじみが重要となる「低速・高荷重下」において、従来油では問題なく機能していたすべり特性が正常に機能せず、ターニング時に負荷の変動がある、すなわち、スティックスリップ現象が生じる。EAL の使用が原因と思われる不具合が多数報告された。EAL の摩擦・摩耗特性、特に EAL に海水が混入した際にそれら特性にどの程度影響を及ぼすのかを解析評価し、その結果を一刻も早く公開することが求められている。

2. 研究の目的

(1) 申請者研究室でこれまで、自動車マニュアルトランスミッション (MT) に用いられる潤滑油 (MT 油) を評価するため、「3 ピンオンディスク試験装置」を開発し、面圧 P 、摺動速度 V 、油の温度 T を変化させた時の摩擦特性を解析評価する研究を行ってきた。

(2) 本研究の目的は、この 3 ピンオンディスク摩擦試験手法を応用して、市販されている数種類の EAL の摩擦特性を解析し、従来から市販されている油 (市販油) のそれと比較考察することである。その際、低速・高荷重下、および、海水劣化条件下におけるそれら摩耗特性を明らかにすることに注力す

る。

3. 研究の方法

(1) 図 1 に示す 3 ピンオンディスク摩擦摩耗試験装置を使用して、まずは予備実験データを得る。図 2 に、オイルクーラを用いた潤滑油の温度制御ユニットを示す。実験条件は、面圧 $P=1$ MPa、滑り速度 $V=129$ mm/s、潤滑油温度 $T=60^{\circ}\text{C}$ とする。実験に用いる EAL は、表 1 に示すように、エステル系、非エステル系油、および従来油 (鉱油) である。プロペラ軸材からピン試験片を、船尾管軸受材からディスク試験片を製作し、使用する。

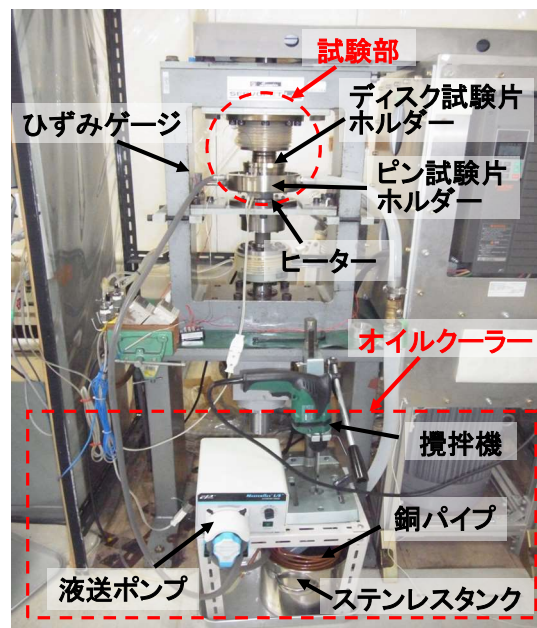


図 1 3 ピンオンディスク摩擦摩耗試験装置

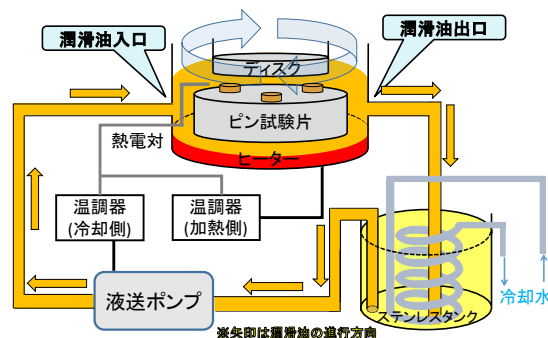
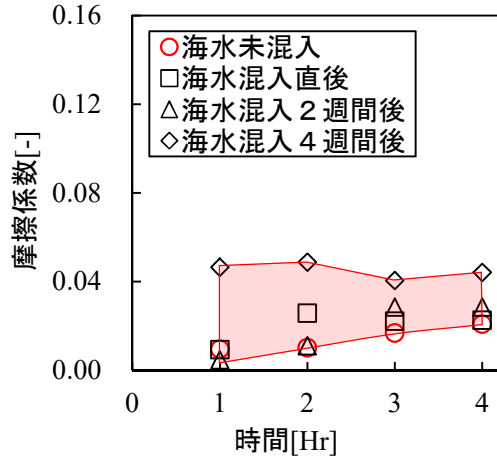


図 2 温度制御ユニットの概略

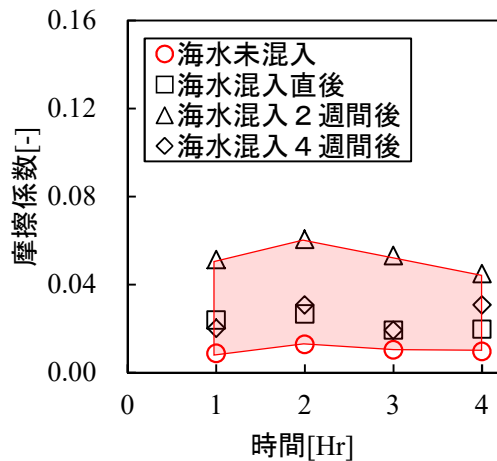
(2) 人工海水を意図的に混入させて、従来油と EAL のトライボロジー特性の比較を行う。潤滑油 6 リットルに対し、10% の海水を混入させる。2 週間ごとに 4 週目まで実験を繰り返す。実験条件は、面圧 $P=8.75$ MPa、滑り速度 $V=129$ mm/s、油温 $T=60^{\circ}\text{C}$ 一定、試験時間 4 時間とする。摩擦力 F を計測し、摩擦係数 μ を求める。

4. 研究成果

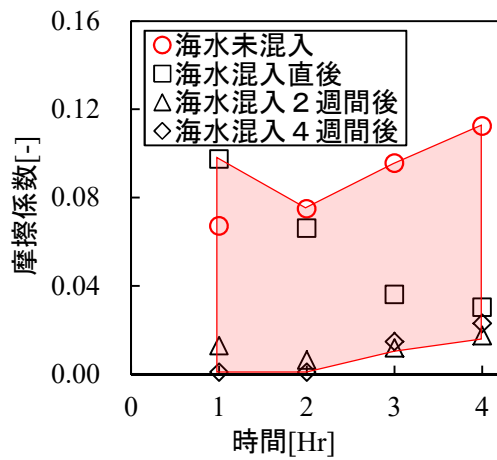
(1) 予備実験での海水未混入の摩擦係数の経時変化を図3に示す。従来油とエステル系油は低く安定しているが、非エステル系油はばらつきが多く、不安定挙動を示した。



(a) 従来油



(b) エステル系 EAL



(c) 非エステル系 EAL

図3 予備実験結果 (時系列)

表1 使用した潤滑油の諸元

	動粘度 ν [mm ² /s]		密度 ρ [g/cm ³]
	40°C	100°C	15°C
従来油	111	12	0.89
エステル系 EAL	100	19	0.92
非エステル系 EAL	86	15	1.13

(2) 予備実験結果 (混入直後、2、4週間) を同図 (図3) に示す。従来油では、混入直後に摩擦係数が微増し、2週間後に微減し、4週間後には再び増加した。エステル系油では、混入直後に微増し、2週間後に増加し、4週間後に減少した。非エステル系油では、混入直後に大きく増加し、2週間後に激減し、4週間後には微増し、他の2種類の油とは、明らかに異なる不安定挙動を示した。

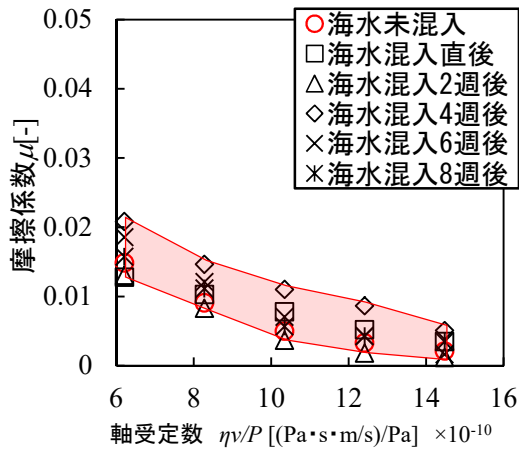
予備実験結果を踏まえ、本実験の実験条件は、表2に示す実験条件とした。油は実験前に十分に攪拌させ、ステンレスタンクの底部から採取するように改善した。得られた摩擦係数は軸受定数で整理し、ストライバック線図上にプロットした。

表2 実験条件 (本実験)

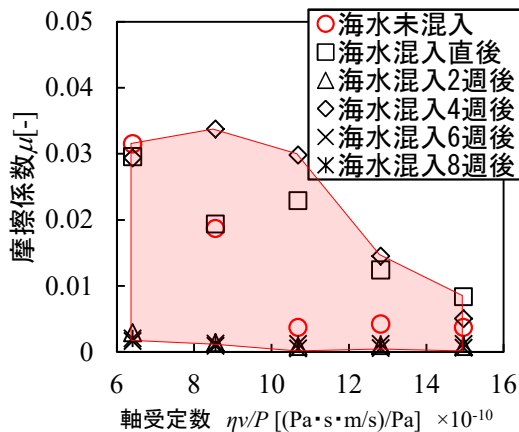
荷重 F [kN] (面圧 P [MPa])	4.6 (8.68)
摺動速度 ν [mm/s]	78, 103, 129, 155, 181
試験時間 [min]	15×5 条件
潤滑油温度 T [°C]	60

(3) 本実験結果を図4に示す。従来油とエステル系油を比べると、明らかにエステル系油の摩擦係数の変化は不安定であることがわかった。なお、非エステル系油は、異常摩耗を起こしたため、実験を中止し、結果から除外した。

本実験結果から、以下のようなことが分かった。まず最初に、従来油は比較的安定したストライバック線図が得られていること、それに対して、エステル系油の場合には、ばらつきが多く、従来油に比べて非常に不安定なこと、さらには、海水混入直後、2週間後、4週間後、6週間後、8週間後で一定の傾向が見られないことが分かった。



(a) 従来油



(b) エステル系 EAL

図4 本実験結果 (ストライバック線図)

図5は、すべり台方式を用いた動粘度の観察方法である。

図6は、動粘度を比較した結果の一例である。海水未混入に比べ、混入した油はいずれも高いことが分かった。また、従来油の方が、エステル系油よりも動粘度が高いことが分かった。

図7は、潤滑油の経時変化の一例を示したものである。いずれの油も、経時変化の違いは見られなかった。

図8は、試験後の試験片の概観の一例である。摩擦係数の低い試験片は、表面の損傷も軽微であった。

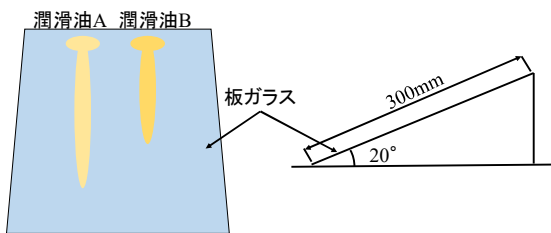


図5 動粘度の観察方法

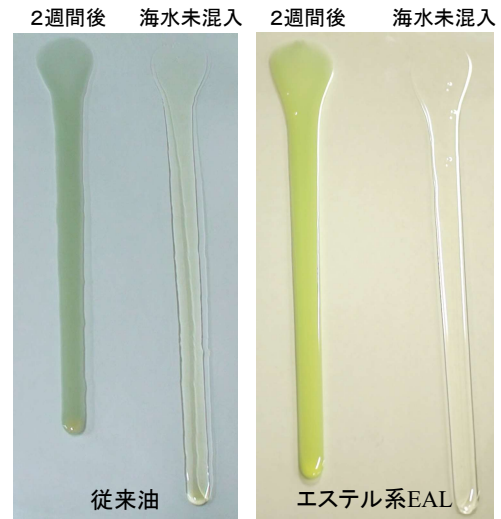


図6 潤滑油の動粘度観察結果の一例 (海水混入2週間後)



図7 潤滑油の経時変化の一例 (海水混入2週間後)

	従来油	エステル系 EAL
ディスク試験片		
ピン試験片		

図8 試験片観察結果の一例 (海水未混入)

結論として、以上のことから、以下のことが明らかとなった。

- ① 従来油よりエステル系油の方が海水混入による影響をより大きく受ける。
- ② 非エステル系油は十分な潤滑性能を有しない。

(4) 低速・高荷重下の摩擦挙動を比較した結果の一例を、図9、10に示す。実験条件は、垂直荷重(面圧) $P=12.5\text{MPa}$ 、 25MPa 、および 37.5MPa であり、速度 $V=25.9\text{mm/s}$ 、油温 $T=60^\circ\text{C}$ とした。その結果、エステル系油、非エステル系油の摩擦挙動は、従来油と比べて明らかに異なり、条件によってはスティックスリップ現象が発現することが分かった。表3に、スティックスリップ現象の有無の一覧を示す。

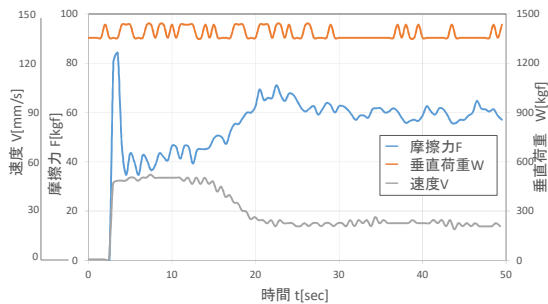


図9 スティックスリップ無し
(エステル系 EAL, 25 MPa, 25.9mm/s)

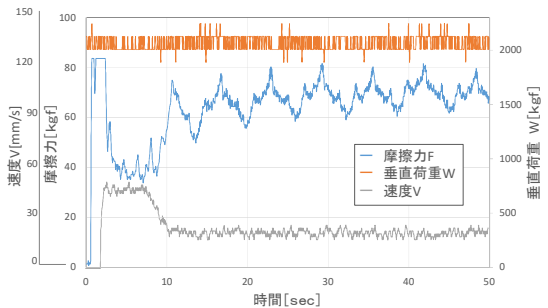


図10 スティックスリップ有り
(エステル系 EAL, 37.5 MPa, 25.9mm/s)

表3 スティックスリップの有無一覧
(0.5 Hz, 25.9 mm/s)

潤滑油 垂直荷重 [MPa]	従来油	エステル系 EAL	非エステル系 EAL
	12.5	×	×
25	×	×	○
37.5	○	○	—

○はスティックスリップ有り、×は無し、△はその間、—は結果無しであることを意味している。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計2件)

- ① 中村研人, 北村陸, 小岩井敏也, 藤野俊和, 地引達弘, 環境対応型潤滑油の海水混入条件下におけるトライボロジー特性(第二報) ストライベック線図による特性評価, 日本マリンエンジニアリング学会第86回(平成28年)マリンエンジニアリング学術講演会, 2016.
- ② 中村研人, 土内裕也, 地引達弘, 環境対応型潤滑油の海水混入条件下におけるトライボロジー特性, 第85回(平成27年)マリンエンジニアリング学術講演会, 2015.

[その他]

ホームページ等

東京海洋大学 機械応用力学研究室 研究発表 HP

http://www2.kaiyodai.ac.jp/~jibiki/ou_riki/paper.html

【謝辞】

本研究の実験等でご尽力頂いた中村研人大学院生、北村陸, 小岩井敏也、土内裕也学部生、藤野俊和准教授、大久保ユリ子非常勤教務補佐員の他、本研究にご協力頂いた新来島どつく殿、イーグル工業KEMELカンパニー殿、三菱マテリアル殿、大新金型工業殿に対して、深甚なる謝意を表す。

6. 研究組織

(1) 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