

境界潤滑下におけるエステル油の摩擦特性

Friction properties of ester oil under boundary lubrication

出光興産(株) (正) *武川 大輔 出光興産(株) (正) 成田 恵一

名大 (正) 梅原 徳次 名大 (正) 野老山 貴行 東北大 (正) 村島 基之

Daisuke Takekawa*, Keiichi Narita*

Noritsugu Umehara**, Takayuki Tokoroyama**, Motoyuki Murashima***

*Idemitsu Kosan Co, Ltd., **Nagoya University, ***Tohoku University

1. 緒言

近年、地球環境保護や省エネルギー化の観点から、自動車産業においては排出ガスのクリーン化や、二酸化炭素を始めとする温暖化ガスの大幅な削減が強く求められている。このような背景の中、電動車両向けトランスアクスル(E AXLE)は省燃費性に優れることから様々なメーカーが開発を行っており¹⁾、ユニット自体の効率向上も重要な技術課題となっている。効率向上には様々な手法があるが、E AXLEの構成要素である減速機の歯車、軸受摺動部の境界潤滑下における金属間摩擦係数を潤滑油で低減することができれば、ユニットの効率向上に貢献できる可能性がある。

金属間摩擦係数を低減するためにはモリブデンジチオカーバメート (MoDTC) 等の摩擦調整剤が使用されることが多いが、基油にエステル油を用いることでも摩擦係数を低減させることができる。Havetらはエステル油の摩擦特性を評価し、摩擦低減のメカニズムをエステル油のエステル基の金属表面への吸着によるものだと考察した²⁾。また、平田らは反射分光法を用いたその場分析で、エステル油の膜厚が増大することにより低摩擦が発現することを明らかにした³⁾。しかしながら、エステル油の摩擦低減に及ぼす分子構造の影響やそのメカニズムについては未だ十分には明らかにされていない。本報では、エステル油の摩擦低減効果とそのメカニズムについて摩擦試験と表面分析を用いて検討した結果について述べる。

2. 実験方法

2.1 金属間摩擦係数評価方法

本研究では、金属間摩擦係数の評価にボールオンディスク型往復動摩擦試験機を用いた。試験片はφ10mmの軸受鋼(SUJ2)ボールとφ30mmのSUJ2ディスクを用いた。接触部に供試油を塗布し、試験条件を油温100℃、荷重50N、振幅1mm、周波数50Hz、試験時間30分に設定し、摩擦係数の経時変化を測定した。

2.2 供試油

摩擦試験に用いた供試油をTable 1に示す。供試油は100℃動粘度が9.5~14.0mm²/sの鉱物油、ポリαオレフィン(PAO)、エステル油を用いた。エステル油分子構造の摩擦係数への影響を検討するため、エステル油の酸部が不飽和脂肪酸構造と飽和脂肪酸構造であるEO-A、EO-Bを選定した。また、比較用としてパラフィン系鉱物油のMO-A、PAOのPAO-Aを用いた。

Table 1 Oil samples for friction test

	MO-A	PAO-A	EO-A	EO-B
Characteristics	Mineral oil	PAO	Ester oil (Unsaturated fatty acid structure)	Ester oil (Saturated fatty acid structure)
Kinematic viscosity@100℃,mm ² /s	10.9	9.6	9.5	14.0

2.3 表面分析方法

光学顕微鏡を用いて摩擦試験後ディスクの摩耗痕を観察し、顕微FT-IRで摩耗痕に生成した化合物を分析した。

3. 実験結果及び考察

3.1 金属間摩擦係数の評価

往復動摩擦試験機にて測定した供試油の摩擦係数の経時変化をFigure 1に、試験時間25~30分における摩擦係数の平均値をFig. 2に示す。MO-AとPAO-Bの摩擦係数の差は小さい一方、エステル油のEO-A、EO-BはMO-A、PAO-Bに対して低い摩擦係数を示した。さらにEO-AとEO-Bを比較すると、不飽和脂肪酸構造をもつEO-Aの方が飽和脂肪酸構造のEO-Bより低い摩擦係数を示した。

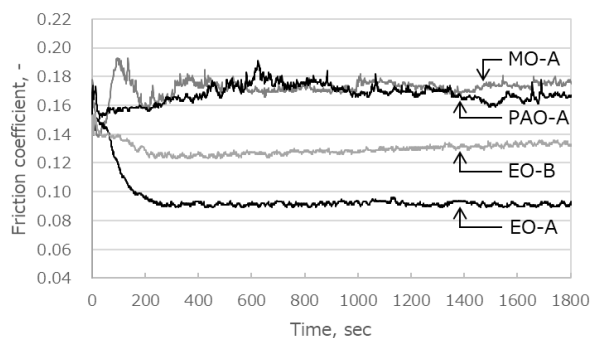


Fig.1 Friction properties of oil samples

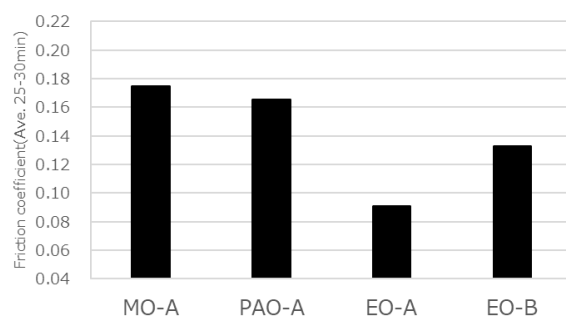


Fig.2 Mean value of friction coefficient(25-30min)

3.2 表面分析によるメカニズム解析

Havet らは、エステル油が低摩擦を発現する要因をエステル油分子の金属表面への吸着であると考察した²⁾。この結果を鑑みると、EO-A と EO-B が MO-A、PAO-A よりも低摩擦を発現したのは金属表面にエステル油分子の吸着膜を形成したためと考えられる。一方、EO-A が EO-B よりも低い摩擦係数を示した点については、EO-A と EO-B の分子構造の差異は脂肪酸構造が飽和か不飽和かのみであり、吸着性へのこの差異の影響は小さいと考えられることから、エステル油分子の吸着膜の形成以外にも要因があると考えた。そこで、顕微 FT-IR を用いて摩擦試験後のディスク摩耗痕の分析を行った。

顕微 FT-IR の測定結果を Figure 3 に示す。EO-A の摩耗痕には EO-A のエステル基由来の 1740cm^{-1} のピークが検出されたが、EO-A の脂肪酸部の二重結合由来である 3010cm^{-1} が検出されないため、EO-A の脂肪酸部が摩擦熱により反応した化合物が金属表面に生成していることが示唆された。一方の EO-B の摩耗痕には 1740cm^{-1} のピークが検出されないため、EO-B の反応化合物は金属表面に生成していないと考えられる。

平田らは反射分光法を用いたその場分析で、

EO-A の膜厚が増大することにより低摩擦が発現することを報告している³⁾。本研究における表面分析結果から、膜厚が増大した要因は、EO-A の金属表面への吸着に加え、EO-A の摩擦熱による反応化合物の生成によるものと考えられる。

EO-A、EO-B の分子構造、すなわち飽和脂肪酸構造、不飽和脂肪酸構造が金属表面への吸着性に及ぼす影響は小さいと仮定すると、EO-A は摩擦熱によって金属表面に反応化合物が生成することによって、反応化合物が生成しない EO-B よりも低い摩擦係数を示したと考えられる。

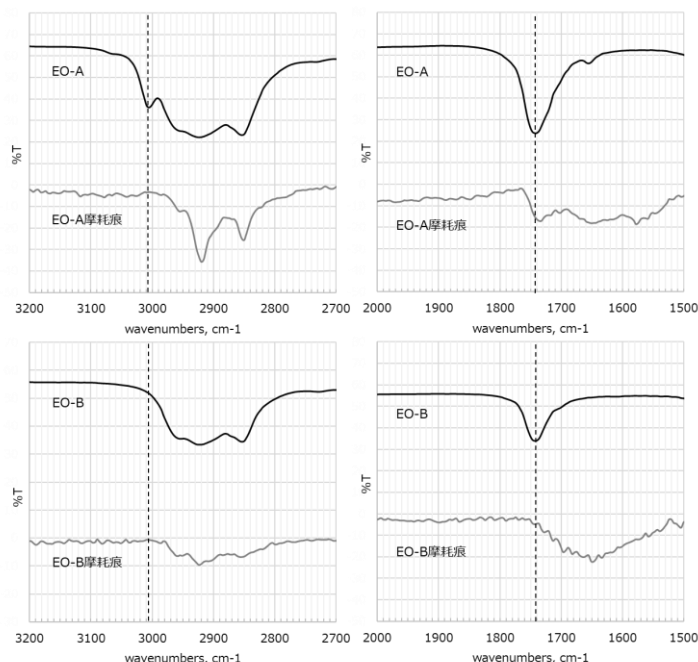


Fig.3 Microscopic FT-IR spectrum of wear scars tested with ester oil

4. 結言

エステル油について摩擦試験と顕微 FT-IR による表面分析を行い、以下の知見を得た。

- (1) エステル油の EO-A、EO-B は MO-A、PAO-B に対して低い摩擦係数を示した。また、不飽和脂肪酸構造をもつ EO-A の方が飽和脂肪酸構造の EO-B よりも低い摩擦係数を示した。
- (2) 低摩擦を示した EO-A の摩耗痕には EO-A のエステル基由来のピークが検出された。EO-A の脂肪酸部の二重結合由来のピークは検出されないため、EO-A の脂肪酸部が摩擦熱により反応して変化した化合物が金属表面に生成していると考えられる。

文献

- 1) 武川・松原・成田：電動車両向けトランスアクスル用フルードの性能向上技術，トライボロジー会議 2021 春東京，D26
- 2) Havet, L., et al. "Tribological characteristics of some environmentally friendly lubricants." *Wear* 248.1-2 (2001): 140-146.
- 3) 平田・梅原・野老山・村島・李・武川・成田：反射分光その場分析装置によるエステル油混合 PAO 油中における摩擦特性に及ぼすエステル油吸着の影響の解明，トライボロジー会議 2021 秋松江，E18