

アルキルジフェニルエーテル油の転がり疲れ寿命に及ぼす滑りの影響

Effects of slip on rolling contact fatigue life with alkyldiphenylether oil

九大・工（正）\*田中 宏昌 MORESCO（正）畑 雅幸 MORESCO（非）眞野 和人 MORESCO（正）松本 浩之

九大・工（正）杉村 丈一

Hiroyoshi Tanaka\*\*, Masayuki Hata\*, Kazuhito Mano\*, Hiroyuki Matsumoto\*, Joichi Sugimura\*\*

\* MORESCO corporation, \*\* Kyushu University

1. はじめに

転がり疲労損傷を考えるうえで接触域における部分滑りは、摩耗や潤滑油膜のせん断発熱など、接触状態を変化させる因子となりうる。本研究では、耐はく離性が期待されるアルキルジフェニルエーテル合成潤滑油が、滑りを含む転がり接触下において示す挙動に注目した。転がり接触下においては、鉱油に対してポリフェニルエーテル潤滑油の摩耗が大きいこと<sup>1)</sup>や、滑り接触においてアルキルジフェニルエーテル合成潤滑油のアルキル鎖の長さが摩耗量を変化させること<sup>2)</sup>が報告されている。上記の特性が、アルキルジフェニルエーテル合成潤滑油の転がり疲労寿命特性にどのように影響するのかを調査するため、滑りを考慮した転がり疲労試験を実施した。

2. 実験

アルキルジフェニルエーテル合成油の転がり疲労寿命を評価するために、スラスト軸受タイプの転がり疲労寿命試験機を用いて軸受の寿命試験を実施した。試験体には市販のスラスト円筒ころ軸受 81107 を用いた。材質は軌道輪、ころともに軸受鋼 SUJ2 であり、転走トラック直径は 43mm、ころの直径は 5mm、長さ 5mm である。ころは 3 個のみ残り他はリテーナから抜き取った。この状態で規定の荷重を付加すると接触圧は Hertz の最大面圧で 1.5GPa となる。全ての試験片は、実験直前にヘプタン中で超音波洗浄した。潤滑油は実験ごとに試験部に全体が浸る程度供給し、再供給はしない。また、実験中は窒素ガスを 100ml/min 吹き込み続けることで試験雰囲気保持了。雰囲気の圧力は大気圧、試料温度 150℃である。転がり疲労寿命試験の主な条件を Table 1 に示す。

潤滑油として、アルキルジフェニルエーテル、ADE100 と、ポリ α オレフィン、PAO100 の 2 種類の合成潤滑油を用いた。Table 2 に用いた潤滑油の諸元を示す。

すべりを付加した状態での潤滑油の挙動を把握するために、別途ボールオンディスク摩擦試験機を用いてトラクション特性を取得した。諸元を Table 3 に記す。

Table 1 Test conditions

Material	SUJ2
Rotational speed	1500rpm(3.4m/s)
Experimental environment	Nitrogen
Temperature	423K

Table 2 Lubricants

	Viscosity, mm <sup>2</sup> /s at 40℃	Viscosity, mm <sup>2</sup> /s at 100℃	Density, g/cm <sup>3</sup> at 40℃
ADE100	104	13.4	0.887
PAO100	108	15.2	0.826

Table 3 Ball on disk test conditions

Material of disk/ ball	Sapphire / SUJ2
Diameter of the ball	25.4 mm
Radius of rolling track on the disk	21.5 mm
Entrainment velocity	3.0 m/s
Slide/roll ratio	-20~20 %
Temperature	303, 323, 353 K

3. 転がり疲労寿命試験

3.1 疲労寿命

Figure 1 にヘルツ最大面圧 1.5GPa における疲労寿命試験の結果をワイブルプロットで示す。マーカーは、ころ試験片表面にフレーキングが生じたものを中抜きに、上下ディスク試験片に生じたものを中実とした。Figure 1 においては、ADE100 の方が長寿命であること、PAO100 についてはワイブルプロットの傾きが大きく、寿命の差が非常に大きいことが確認された。寿命のばらつきが大きいことは、初期条件の小さな差が、のちの潤滑状態に敏感に影響することを示唆するものと考えられる。

3.2 摩耗とはく離損傷

触針式粗さ計による断面プロファイルを Fig. 2 に示す。ADE100 を用いた試験の方が摩耗が大きいことが分かる。また、それらは差動滑りの大きいころの端部に近い領域で顕著である。

また、はく離損傷が発生した位置も油種によってそれぞれ特徴が確認された。PAO100 を用いた試験の場合、フレーキングはころとディスク試験片の接触域の端から発生することが多く、一方 ADE100 の場合は、接触域の中心付近に発生することが多い。このことは上述の摩耗特性と関係しているものと思われる。

3.3 ラマン分光分析と水素侵入量

転動輪の表面層の組成を知るために、ラマン分光分析を行った。Figure 3 に結果を示す。接触域の中心線付近においては、ADE100 の方が無定形炭素膜の信号強度が大きい。しかしころの内側、外側接触境界付近においては、ADE100 は摩耗により鋼の表面が露出しており、したがってラマン分光分析においては何も検出されない。一方 PAO100 では、弱いながら表面膜としての酸化金属の信号が確認された。以上のように、表面層の組成を見ることにより、滑りの大きな領域で ADE100 には窒素中で摩耗を促す効果があることが示唆された。

表面の組成は、表面の活性に反映されることから、吸着した油の分解を予測する指標となる。活性な表面に吸着した油は分解を促進され水素を生成し、一部は鋼内部へ侵入すると考えられる。

#### 4. トラクション測定

すべりを与えられた状態の潤滑油の特性を評価するためにトラクションカーブを取得した。試験はサファイアディスクと鋼球のボールオンディスク摩擦試験機を用いて実施した。サファイアディスクの窓越し観察により試験中に直接接触がないことを確認している。Figure 4 に各温度条件におけるトラクションカーブを示す。トラクションは ADE100 の方が PAO100 に比べいずれの温度についても大きいこと、特に温度の上昇とともにその差が顕著化していることが示された。滑り率 0 付近の直線領域の傾きはいずれの温度域においても ADE100 の方が PAO100 より大きい。環境温度が上昇すると、直線領域の傾きは小さくなり、滑り率 20% までの範囲でトラクションが増加し続ける。そのような、温度が高く、滑り率が 5% 程度の領域においては、ADE100 のトラクションが PAO100 に比べ顕著に高いことが示された。

滑り率の大きくなるころの内側、外側の接触部においてトラクションの高い油を用いた場合、トラクションの増大によるせん断発熱により、ローカルな油膜厚さが減少する因子となりうる。このようなローカルな接触条件の変化が、ADE100 を用いた際、ころの接触部の内側、外側において摩耗をやや促進し、結果的に適度な摩耗が応力集中の緩和や、疲労き裂の発生・進展の緩和につながった可能性がある。

#### 5. おわりに

スラスト円筒ころ軸受の転がり疲労寿命試験をアルキルジフェニルエーテル合成潤滑油を用いて行った。ポリ  $\alpha$  オレフィン油と比較すると、アルキルジフェニルエーテル油を用いた試験では作動滑りの大きなころ端部での摩耗がやや増加するが、フレーキング寿命は延長した。

#### 文献

- 1) R. J. Parker, E. V. Zaretsky, and W. J. Anderson, NASA technical note, NASA TN D-3130 (1965).
- 2) R. Lu, M. Morimoto, H. Tani, N. Tagawa and S. Koganezawa, Lubricants, 7 (2019) 112. (1995) 513.

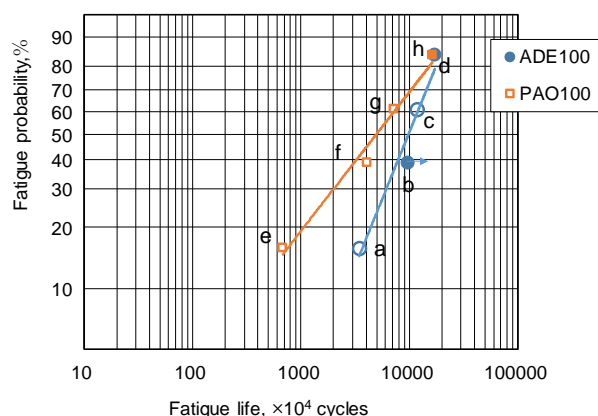


Fig. 1 Fatigue life of roller bearing lubricated with ADE100 and PAO100

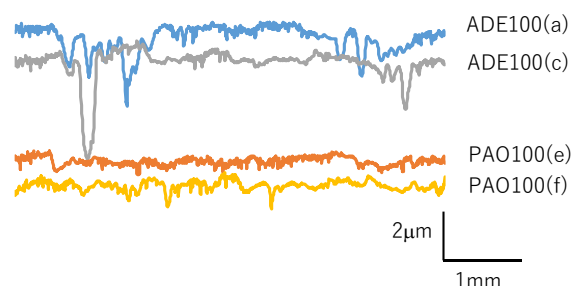


Fig. 2 Roughness of lower disk specimens with different lubricants

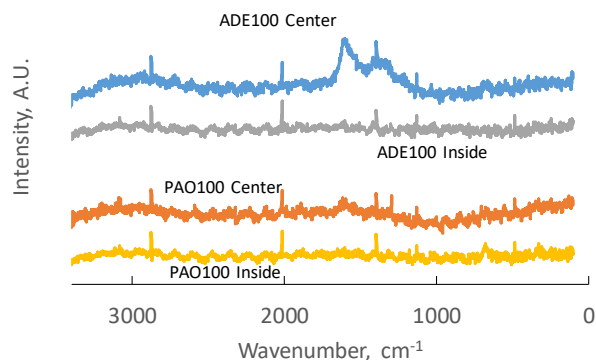


Fig. 3 Raman analysis of lower disk surfaces

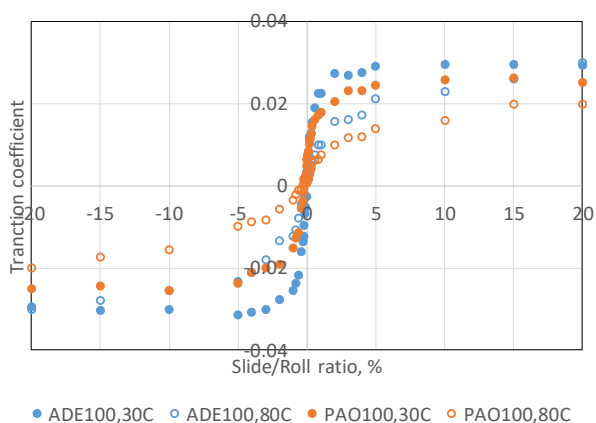


Fig. 4 Traction curve of tested oils with different temperature