

## 転がり疲れに及ぼすフェニルエーテル添加アルキルジフェニルエーテル油の影響

Effects of Phenylethers-added Alkyldiphenylether oil on Rolling Contact Fatigue

MORESCO (正) \*畠 雅幸 九大・工 (正) 田中 宏昌 MORESCO (非) 真野 和人 MORESCO (正) 松本 浩之  
九大・工 (正) 杉村 丈一

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

\* MORESCO corporation, \*\* Kyushu University

## 1. はじめに

耐はく離寿命特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<sup>1) 2)</sup>について、その構造上の特徴であるフェニルエーテル基の作用に注目し、フェニルエーテル添加アルキルジフェニルエーテル油を用いたスラスト玉軸受の転がり疲労寿命試験を実施した。本研究では、アルキルジフェニルエーテル合成潤滑油について、特にその構造上の特徴であるフェニルエーテル基の作用に注目した。エーテル結合による極性が潤滑特性に及ぼす影響について、モデル配合潤滑油を用いて評価した。

## 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はく離寿命特性を明らかにするために、ADE100 と PAO100 を潤滑油として、スラスト玉軸受の転がり疲労寿命試験を行った。試験には市販のスラスト玉軸受#51107 の転動輪の一方を軌道輪とし、もう一方の裏面を鏡面研磨してディスク試験片とした。ボール試験片は市販の鋼球を使用した。材質はともに軸受鋼 SUJ2 である。転走トラック直径は 43mm、ボール直径は 6.35mm である。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軸受球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を保持した。雰囲気の圧力は大気圧、試料温度 150°C である。転がり疲労寿命試験の他の試験条件を Table 1 に示す。潤滑油基油として、アルキルジフェニルエーテル ADE100 と、ポリアルファオレフィン PAO100 の 2 種類の合成潤滑油を用いた。また、フェニルエーテル基の影響を調査するため、ADE100 にフェニルエーテル油 4P2E と 5P4E を 5 wt% 添加した。Table 2 及び Table 3 に用いた潤滑油の諸元と構造を示す。本試験条件において上記の油を使用すると、純転がり試験実施時の潤滑油膜の膜厚比  $\Lambda=2$  程度であり、潤滑状態としては混合潤滑領域にある。転がり試験前後の油剤構造・組成の変化についても分析を行った。

## 3. 実験結果

Figure 1 に各条件における疲労寿命結果のワイブルプロットを示す。マーカはディスク試験片にフレーキングが生じた場合は中実に、ボール試験片に生じた場合は中抜きとした。疲労寿命は、ADE100、及び PAO100 に比べると、ADE100 に 4P2E、5P4E を添加した潤滑油の方が長寿命化していることが分かる。また、PAO100、ADE100 の試験では多くがボール表面にフレーキングを生じたが、4P2E、5P4E 添加油はほとんどがディスクに生じた。ディスク、ボール各試験片の、試験前後の水素濃度変化量の平均値を Fig. 2 に示す。ディスク試験片の水素濃度の初期値は 0.26ppm、ボール試験片の水素濃度の初期値は 0.08ppm 程度である。ADE100、PAO100 については、ボール試験片への水素侵入量が大きく増加していることが分かる。Fig. 1 の寿命と照らし合わせて考察すると、このボールへの水素侵入量の劇的な増加がボール試験片へのフレーキング損傷の発生と対応していると考えられる。一方、フェニルエーテル添加油においては、ボールへの水素侵入が緩和されている。ここでも寿命と合わせて考察すると、ボールへの水素侵入の抑制がボールへのフレーキング損傷発生を抑制し、結果的にディスク試験片表面でフレーキング損傷が発生するまで寿命が延長したと解釈できる。

光学顕微鏡を用いてディスク試験片上の転走トラックを観察

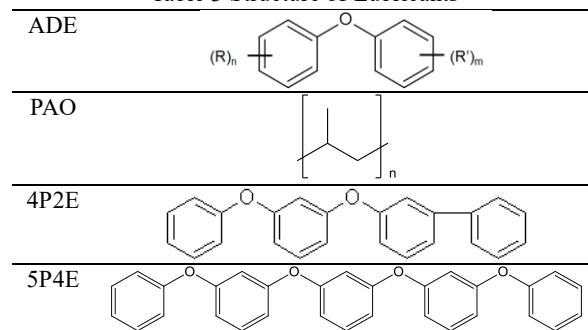
Table 1 Test conditions

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

Table 2 Properties of Lubricants

	Viscosity, mm <sup>2</sup> /s at 40°C	Viscosity, mm <sup>2</sup> /s at 100°C	Density, g/cm <sup>3</sup> at 40°C
ADE100	104	13.4	0.887
PAO100	108	15.2	0.826
ADE100+4P2E	97.8	12.1	0.905
ADE100+5P4E	102	12.3	0.906

Table 3 Structure of Lubricants



してみると、PAO100 を用いた試験の場合表面が一様に褐色を呈していた。一方それぞれの試験で個体差はあるが、ADE100 の試験においては、褐色部と金属光沢を残す部分が混合せずに分布している様子が観察された。ADE100 に 4P2E, 5P4E を添加すると、褐色の領域の面積比が増加すると考えられる。さらに、5P4E 添加油においては、転動体の転がり方向に直交する筋状に繰り返される表面パターンも観察された。このように、ADE100 及びフェニルエーテル油添加により、特異な表面層の形成が得られたことは、フェニルエーテル基の金属表面における不均一で選択的な吸着や、それに起因する境界潤滑特性の発現を示唆するものと考えられる。また、PAO100 の試験においては、ボール側接触幅全体に小さなはく離が多数発見された。これに比べて ADE100 は、ディスク表面と同様に金属光沢を残しており、接触幅中心において小さなはく離が生成されているにすぎない。4P2E 及び 5P4E 添加油においては、やや褐色を帯びた金属光沢を残しており、はく離はほとんど観察されなかった。これらはボール表面へのフレーキングの発生しやすさと対応しており、また、ボールへの水素侵入量の大きさとも対応している。

#### 4. 考察

フェニルエーテル油の転がり疲労に対する影響を調査するため、転がり転走面の顕微ラマン分光分析、及び転がり疲労試験後に採取した供試油の高速液体クロマトグラフィー(HPLC)及びガスクロマトグラフィー質量分析(GCMS)による分析を行った。ラマン分光分析の結果を Fig. 3 に示す。PAO100 の試験後表面には酸化鉄主体の表面膜が形成されているのに対して、ADE100 及びフェニルエーテル添加油の場合は無機炭素をより多く含む表面膜が形成されている。一方酸化鉄の信号強度は何れの供試油の場合も同等であった。

HPLC 及び GCMS 測定により、転がり疲労試験後に分子内のせん断がみられることが分かった。ADE100 に比べ PAO100 のアウトガス量が多いことから、主にアルキル鎖が切れていることが考えられる。また Fig. 4 に示すように ADE100 は転がり試験中にジフェニルエーテルを生成していることがわかった。これらがフェニルエーテル添加アルキルジフェニルエーテル油と同様の特異な表面層の形成現象につながったものと推測する。

#### 5. おわりに

2 種の基油、添加剤を用いて転がり疲労試験を実施した。ボール試験片への水素侵入が大きい場合、ボール表面においてはく離損傷が生じる傾向が極めて強いことが確認された。また、フェニルエーテル油の添加によって、ボール側への水素侵入量が低下することが示された。このことがボール表面へのフレーキング損傷を抑制することで、軸受寿命の延長に繋がった可能性を示唆するものである。

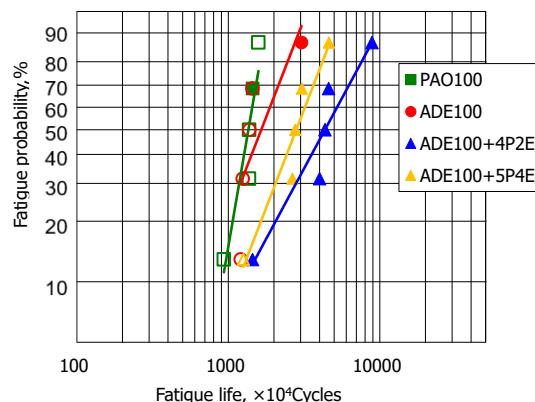


Fig. 1 Fatigue life with different lubricants: Bold mark indicates flaking occurred on the disk and open mark indicates flaking on the ball

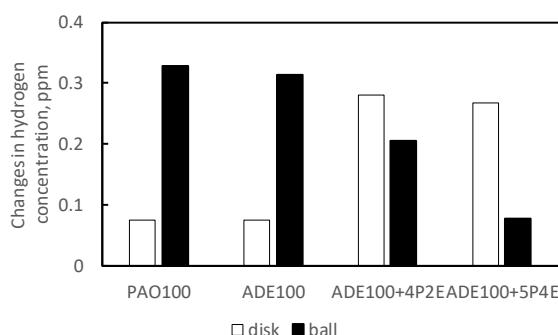


Fig. 2 Changes in average hydrogen concentration in steel sample before and after the RCF test

#### 文献

- 1) 畑・前田・林, トライボロジスト, 65, 3 (2020) 165.
- 2) 田中・畠・眞野・杉村, トライボロジー会議 2022 秋福井, B33

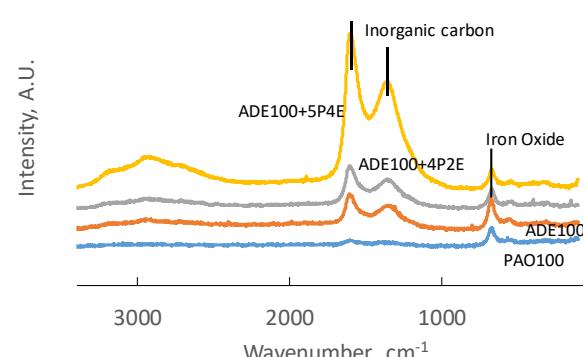


Fig. 3 Raman spectra on wear tracks after the RCF tests

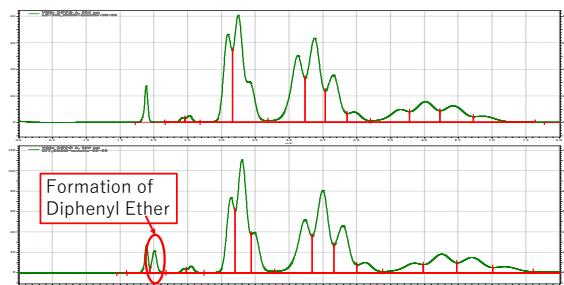


Fig. 4 HPLC spectra of ADE100  
(Upper row: Before test, Lower row: After Test)