

通電環境下における軸受損傷に及ぼす潤滑油粘度の影響評価

Influence of Lubricating-Oil Viscosity on Bearing Damage under Electrical Current Conditions

出光興産（正）*渡邊 大河 出光興産（正）亀山 敏貴 出光興産（正）砂川 洋二

Taiga Watanabe*, Toshiki Kameyama*, Yoji Sunagawa*

*Idemitsu Kosan Co., Ltd.

1. はじめに

温室効果ガス等の環境問題への関心が高まる中、電気自動車（EV）の需要が急速に拡大している。EV 化に伴い E-Axle といった電動ユニットの需要も増加している。

電動ユニットでは、既往の駆動ユニットと異なり各要素に電圧が印加されるようになるが、モータを支持するベアリングで電食と呼ばれる損傷が生じることがある。電食は波板状の損傷に発展する場合も少なくなく、振動・騒音の原因となりえるため、対策を講じることは重要である。

電食は電位差によるスパークに起因するため、ベアリングのボールをセラミックに変更し絶縁する、導電ゴムを用いて意図的に通電させ電位差を解消する、といったハード面での対策が中心となっている。しかし、ベアリングとともに使用する潤滑剤での対策検討は十分とはいえない。潤滑剤に関してはグリース潤滑下での電食に関する研究¹⁾は以前からされているものの、オイル潤滑下での知見は依然として乏しい。

そこで本研究では、合成基油 PAO（Poly- α -olefin）を用いたオイル潤滑下において、通電が損傷発生に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

2. 実験

Figure 1 に示す軸受疲労試験機は直流電流を付属しており、モータ支持ベアリングを再現している。この装置を用い、通電有無および潤滑油動粘度が損傷発生に及ぼす影響を評価した。軸受は単列深溝玉軸受 6008 型(NSK 製)を用いた。

Table 1 に試験油の性状を示す。通電有無の影響を評価した試験では PAO2 を使用し、実験条件は油温:100 °C、荷重:9,310 N、軸回転速度:1,800 rpm、電流値: 0.40 A(通電あり), 0.00 A(通電なし)とした。

また、動粘度の影響を評価した試験では、PAO2, PAO10, PAO40 をそれぞれ用い、動粘度ごとの損傷発生状況を比較した。なお、試験条件における油温、荷重、軸回転速度は上述の通電有無の影響を評価した試験と同様であり、電流値のみ 0.40 A で通電状態とした。

両試験とも振動値が 8.7 m/s^2 を超過した時点で、試験が自動的に停止するよう設定した。なお、試験開始から 160 h で試験が停止しなかったものは、160 h の時点で試験を停止させた。

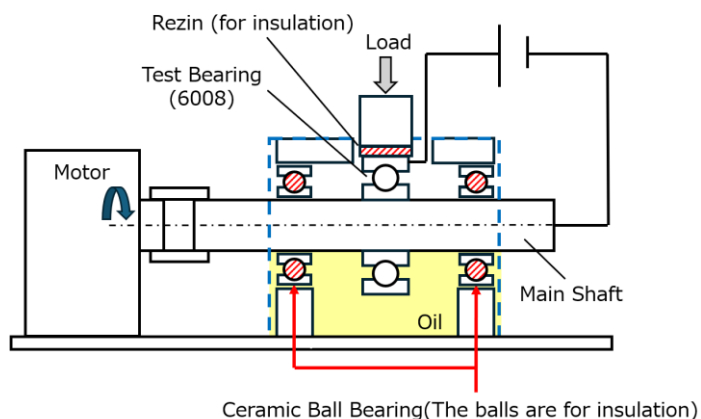


Fig. 1 Diagram of the testing machine

Table 1 Viscosity and Density of Each Oil		
Item	Viscosity@100°C	Density@15°C
Unit	[mm ² /s]	[g/cm ³]
PAO2	2	0.798
PAO10	10	0.835
PAO40	40	0.845

3. 結果と考察

各試験後インナーレースにおける剥離部分の観察結果を Fig. 2 に示す。また、試験後インナーレースにおける剥離部分以外の観察結果を Fig. 3 に示す。Fig. 2(a), Fig. 3(a)から通電ありの試験は剥離が発生し、通電なしの試験では剥離が発生しないことがわかる。また、Fig. 2(a)で示した通電ありの試験は試験開始後 71 h で停止したが、Fig. 3(a)で示した通電なしの試験は振動値の上昇がなく 160 h 停止しなかった。本結果から、グリース潤滑下¹⁾同様にオイル潤滑下の場合でも通電によって早期に疲労が発生することがわかった。

また、Fig. 2(a), (b), (c)からわかる通り、どの動粘度の PAO を用いても規定時間内に剥離が発生した。通電の初期

状態はクレーターのようないびつが生じると考えられているが²⁾, Fig. 3(b)で示される最も動粘度の低い PAO2 のレース表面からはそのいびつが確認できない。また, Fig. 3 における PAO10 と PAO40 を比較すると PAO40 の方が多くいびつが確認できる。ここで, 本試験条件下における各オイルの λ 値³⁾を比較すると, PAO2: $\lambda=0.32$ で境界潤滑, PAO10: $\lambda=1.29$ で混合潤滑, PAO40: $\lambda=3.63$ で完全流体潤滑となる。油膜によって絶縁されることで電食の原因となるスパークが発生すると考えられているが¹⁾, 本研究でも同様に PAO10, PAO40 は油膜が生じ一時的に絶縁されるため, スパークが発生しいびつが生じたと考えられる。一方で PAO2 はレースとボールが常に接触し通電するため, スパークによるいびつが生じなかったと考えられる。また, PAO10, PAO40 のクレーター数の差は, PAO10 が混合潤滑であり一部通電してしまうため生じたと考えられる。

PAO10, PAO40 は上記のようないびつを起点とした表面起点型の剥離が生じたといえる。ここで, PAO2 で生じた剥離の断面を観察したところ, Fig. 4 に示す白色亀裂(WEC)のような組織が確認できた。WEC は金属内部で生じる水素脆化⁴⁾で見られるため, PAO2 は水素脆化による内部起点型の剥離であると推察できる。

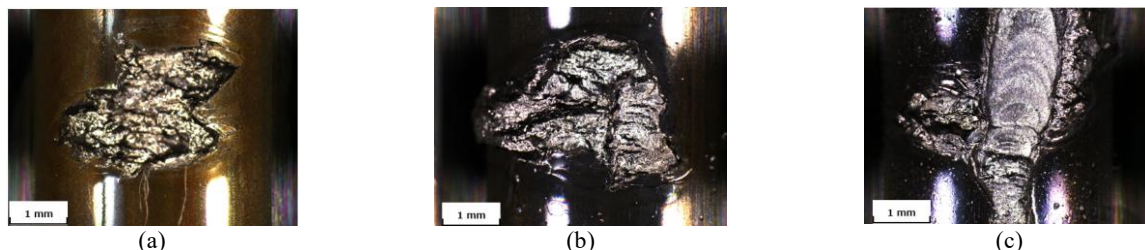


Fig. 2 Appearance of Damage area at Inner Race; (a) PAO2 with current, (b) PAO10 with current, (c) PAO40 with current

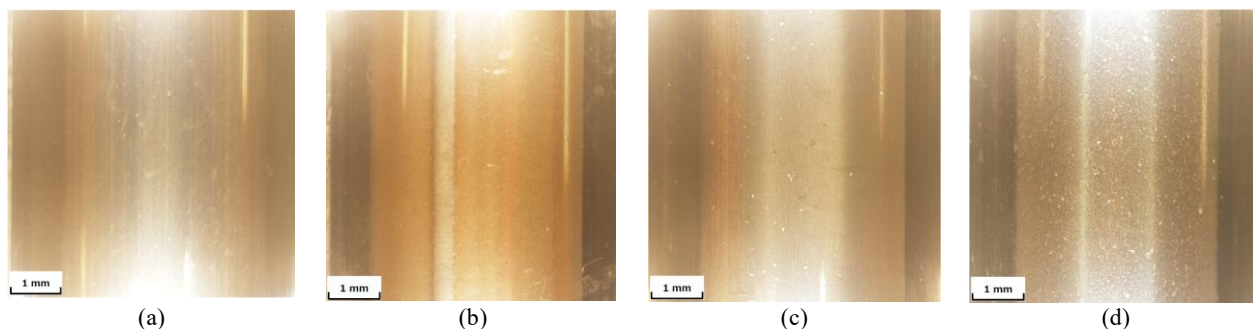


Fig. 3 Appearance of Non-damage area at Inner Race ; (a) PAO2 without current, (b) PAO2 with current, (c) PAO10 with current, (d) PAO40 with current



Fig. 4 Cross-sectional image of the interior of Damage of PAO2

4. まとめ

本研究では EV におけるモータ支持軸受を模擬した試験機を用い, 通電の有無および PAO 油の動粘度が軸受損傷に及ぼす影響を検討した。通電により疲労寿命が低下し, 高粘度油では油膜で絶縁された際に発生するスパークによるいびつを起点とする表面起点型の剥離, 低粘度油では WEC を伴う内部起点型の剥離が発生した。低粘度油は電食初期損傷を抑制する一方, 内部起点型の剥離を招く可能性が示され, 軸受電食対策として動粘度設計の重要性が明らかとなった。今後は添加剤を含有したオイルでの検討を行うことで, より EV 用軸受潤滑油開発の指針が明確になると考える。

文献

- 1) 野口・赤松・是永：小型玉軸受の電食に関する研究（第 5 報）-振動加速度の上昇に及ぼす油膜パラメータの影響-, トライボロジスト, 56, 11 (2011) 703.
- 2) 堀田：転がり軸受における電食と防止策, トライボロジスト, 69, 10 (2024) 669.
- 3) 転がり軸受研究会：転がり軸受寿命試験マニュアル(3), トライボロジスト, 53, 5 (2008) 326.
- 4) B.Gould & A.Greco：The Influence of Sliding and Contact Severity on the Generation of White Etching Cracks, Tribology Letters, 60, 29 (2015).