

摺動面の電流制御によるポリフェニルエーテルのトライボロジー特性の評価

Effect of Electric Current on Tribological Properties of Polyphenylethers

関西大（学）*紺谷 和史 関西大（正）呂 仁国 関西大（正）川田 将平

関西大（正）谷 弘詞 関西大（非）小金沢 新治 関西大（正）多川 則男

Kazufumi Kontani, Renguo Lu, Shohei Kawada, Hiroshi Tani, Shinji Koganezawa, Norio Tagawa

Kansai University

1. はじめに

近年、地球温暖化防止の観点から二酸化炭素排出量が抑えられる、電気自動車やハイブリッド自動車が注目されている。動力源が内燃機関から電気モーターへ置き換わることによりそれを取り巻く機械要素の構成および要求される機能も大きく変遷している。しかし、軸受の電氣的故障が頻繁に報告されている¹⁾。インバータ制御システムによる複雑な軸電圧や軸受電流が発生することが故障の要因となっている。したがって、潤滑油やグリースなどのトライボロジー特性に及ぼす電流の影響の解明が必要となった。

一方、フェニルエーテル油は耐熱性、耐酸化性と化学的安定性を有するため高温用のグリースの基油として使用され、また蒸気圧が低く、高温での粘度変化が小さいことから真空用ポンプ油としても使用されている²⁾。さらに、長時間摩擦しても水素の発生量が極めて少ないアルキルジフェニルエーテル油の報告があった³⁾。フェニルエーテル油は厳しい環境下でも優れた特性を持つため、軸電圧が発生しやすい環境にも役に立ったと考えられる。

そこで本研究ではポリフェニルエーテルのトライボロジー特性に及ぼす電流の影響を検討した。

2. 実験方法

2.1 試料

本研究で用いたポリフェニルエーテル油はテトラフェニルエーテル（4P2E）、モノアルキルテトラフェニルエーテル（R1-4P2E）、ジアルキルテトラフェニルエーテル（R2-4P2E）である。

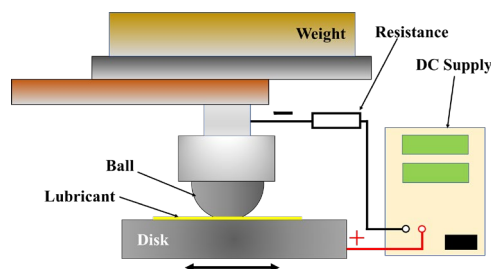


Fig.1 Schematic diagram of the friction tester

Table 1 Test Condition

Load, N	10
Speed, mm/s	8
Stroke length, mm	4
Test duration, min	60
Ball, mm	Φ 6.35, Ra 0.012, HRC65
Disk	Ra 0.015, HRC55
Electric current, mA	80
Temperature, °C	23 ± 2

2.2 実験装置および実験条件

潤滑油の摩擦係数はボールオンディスク型往復摩擦試験機（Fig.1）を用いて評価した。SUJ2 軸受鋼ボールとディスクを用いた。ボール側直流電源の正極、ディスクは負極に繋ぐ際に、記号 Ball+Disk-とした。一方、ボール側直流電源の負極、ディスクは正極に繋ぐ際に、記号 Ball-Disk+とした。測定条件は Table1 に示す。摩擦実験後、ボールとディスクの摩耗痕をレーザー顕微鏡で観察し、ディスク側の摩耗痕幅は摩耗量として比較した。

3. 結果と考察

代表例として、Fig.2 に R1-4P2E の摩擦係数を示す。先行研究では、ポリアルファオレフィン（PAO）やオレイン酸などの摩擦係数は通電時に上昇したことが報告された⁴⁾。本実験では、ポリフェニルエーテルの摩擦係数に通電の影響は確認されなかったため、高い電氣的な摩擦安定性を示したと考えられる。一方、Fig.3 にボールとディスクの摩耗痕写真を示す。無通電の場合は、ディスクの表面に黒いトライボフィルムが観察され、ボール側は摩耗痕の周りに黒い

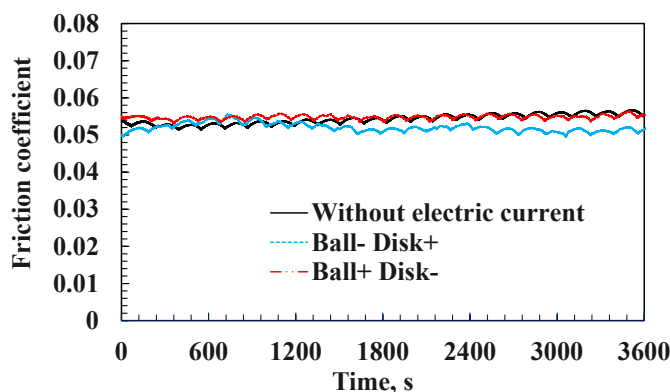


Fig. 2 Dependence of friction coefficient on time

生成物が堆積された．顕微 Raman を用い，黒いトライボフィルムの成分を分析した．主にグラファイトと判明された．ボール側直流電源の負極，ディスクを正極に繋ぐと，ディスク面に生成したグラファイトの分布は無通電と比べ，顕著な変化は見られないが，ボール側の生成物の量が減少したことが確認できた．さらに，ディスクの摩耗痕幅とボールの摩耗痕直径はいずれも大きくなった．ボール側直流電源の正極，ディスクを負極に繋ぐと，ディスク表面に生成物はほとんど観察されず，ボールの摩擦面がグラファイトで覆われていた．ディスクの摩耗痕幅とボールの摩耗痕直径はいずれも Ball-Disk+ より低くなった．

摩擦面に生成したグラファイトを定量的に比較するために，

XPS を用い，表面元素の分布を分析した．Figure 4 にディスク側の摩耗痕内の元素濃度を示す．摩擦前と比べ，いずれの摩擦実験においても，炭素濃度が大きく上昇したことが分かった．摩擦によりトライボフィルムの生成を示唆した．一方，ディスク側を直流電源の正極に繋ぐと，炭素濃度が無通電と比べ，上昇した．ディスク側を直流電源の負極に繋ぐと，炭素濃度が減少した．トライボフィルムは正極側の摺動面に生成しやすいと考えられる．

いずれの通電条件においても，ボール側またはディスク側，どちらかの表面にトライボフィルムが多く生成されたが，摩耗量は異なった．ボール側に生成されたグラファイトが多く見られた場合は，摩耗が抑制された．本実験で用いた試験機では，ボールの表面は常にディスク接触し，摩擦を受けるが，ディスクの表面は1往復で2回しかボールと接触できない．そこで，摩耗を抑制するために，電流の流れの向きはボール側からディスク側に設定したほうが良いと示唆される．

4. 結論

ポリフェニルエーテルは電気的な摩擦安定性を示した．電流を印加すると摩耗が増加傾向にあるが電流の向きにも関係していることが分かった．さらに，摺動部のプラス極側に潤滑油由来のトライボフィルムが生成しやすいことが確認できた．本研究では，摩耗を抑制するために，電流の流れの向きをボール側からディスク側に設定したほうが良いと示唆される．

謝辞

本研究は JSPS 科研費 (20K04247) および関西大学先端科学技術推進機構研究グループ助成金により行われたものである．

文献

- 1) Feng He, Guoxin Xie, Jianbin Luo: Electrical Bearing Failures in Electric Vehicles, Friction, 8, 1 (2020) 4-28.
- 2) 畑, 前田, 林: フェニルエーテル類潤滑油の構造と物性, トライボロジスト, 65, 3 (2020) 165-169.
- 3) R. Lu, H. Nanao, K. Takiwatari, S. Mori, Y. Fukushima, Y. Murakami, S. Ikejima, T. Konno: The Effect of the Chemical Structures of Synthetic Hydrocarbon Oils on Their Tribochemical Decomposition, Tribology Letters, 60, (2015) 27.
- 4) 濱田, 呂, 谷, 多川, 小金沢: 通電電流が潤滑油の潤滑特性に及ぼす影響に関する研究, 日本機械学会関西支部第96期定時総会講演会, (2021).

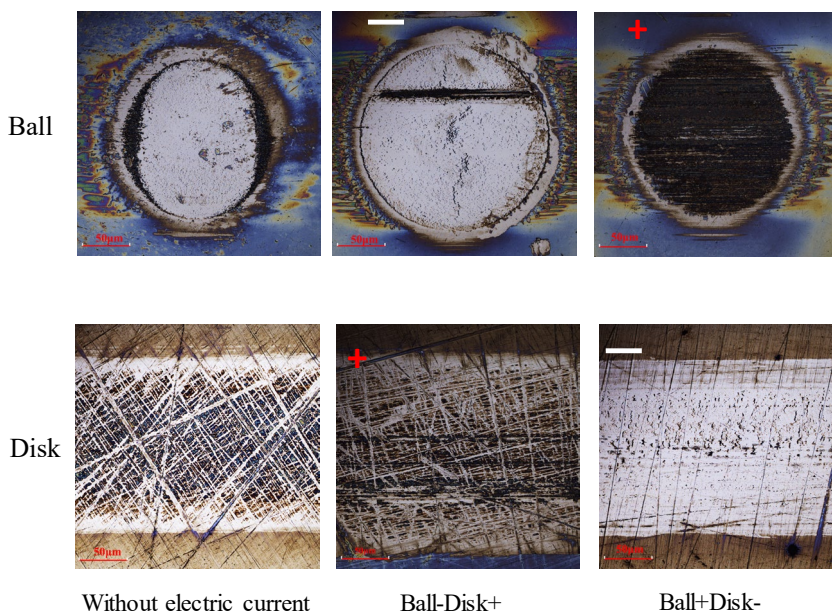


Fig.3 Worn surface morphology of ball and disk

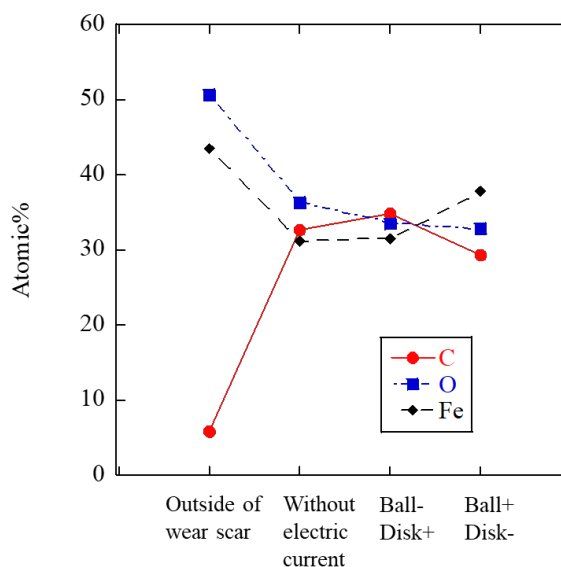


Fig.4 Element distribution on wear scars