

電気インピーダンス法によるゴム-金属間の潤滑状態評価

An Experimental Study on Lubrication State of Rubber-Steel Contacts by Electric Impedance Method

NOK (正) *酒井 陽平 (正) 青柳 彩子

Yohei Sakai, Ayako Aoyagi

NOK Corporation

1. はじめに

電動自転車用モーターの高速化や潤滑油の低粘度化などオイルシールの使用条件は過酷化しており、シールしゅう動面の潤滑状態の把握は重要である。これまでに筆者らはオイルシールと金属軸間の潤滑状態評価手法として電気抵抗法の検討を行った^{1,2)}。電気抵抗法は、しゅう動面間に直流電圧を印加し電気抵抗を測定することで、ゴム-金属間の接触状態(油膜破断率)を評価することができるが、油膜厚さの情報は得られない。一方、しゅう動面間に交流電圧を印加し、電気インピーダンスを測定する電気インピーダンス法では、油膜厚さおよび油膜破断率を測定することができる^{3,4)}。オイルシールの潤滑状態評価に電気インピーダンス法が利用可能であれば、簡便で定量的に油膜厚さを評価することができる。今回、基礎的な検討として導電性ゴムを用いたピンオンディスク摩擦試験と電気インピーダンス測定を同時に行った。得られた摩擦特性と電気インピーダンスから、しゅう動面の潤滑状態および導電性ゴムへの電気インピーダンス法の適用可否について考察を行った。

2. 実験

2.1 実験装置

本研究で用いたピンオンディスク型摩擦試験機の模式図をFig.1に示す。回転軸に固定されたガラスディスクに下側からゴム試験片を接触させ、梁の反対側に重りを乗せ、ゴム試験片に垂直荷重を負荷した。ゴム試験片は導電性のアクリルゴム(体積抵抗率: 約 $50 \Omega \text{cm}$)を用いた。ガラスディスクの表面には透明導電膜(ITO (Indium Tin Oxide) 膜)を被膜している。ガラスディスク表面に潤滑油としてフッ素オイル(25cSt at 40°C)を十分に塗布した後に、回転軸を回転させ、しゅう動時の摩擦力をゴム試験片に接続したロードセルで計測した。また、ゴム試験片およびガラスディスクをLCRメーターと接続し、交流電流を印加し、摩擦力と同時にしゅう動時の電気インピーダンスを測定した。さらに、全反射法によりしゅう動中のゴムの接触状態の観察も同時に行った。

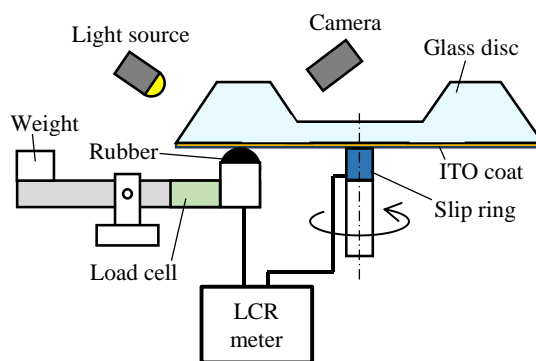


Fig.1 schematic of apparatus

2.2 試験条件

試験条件はTable 1に示すとおりである。各試験のしゅう動速度は一定とし、 0.6mm/s から 163mm/s まで変化させた。荷重は 1.0N 、印加電圧は 1.0V 、周波数は 1.0MHz とした。

Table 1 Test conditions

Rubber	Acrylic rubber
Resistivity, Ωcm	50
Lubricant	Fluorine oil
Viscosity at 40°C , cSt	25
Sliding speed, mm/s	$0.6 \sim 163$
Normal Load, N	1.0
Temperature, $^\circ\text{C}$	R.T.
RMS amplitude, V	1.0
Frequency, MHz	1.0

3. 結果・考察

各しゅう動速度における摩擦係数および電気インピーダンスから算出した電気抵抗の測定結果をFig.2に示す。図中○が摩擦係数(左縦軸)、△が電気抵抗(右縦軸)である。また、しゅう動速度 0.6mm/s から 65mm/s (①~⑥)におけるゴムの接触状態の観察結果をFig.3に示す。観察画像の黒色部はゴムとガラスの接触部であり、白色部は非接触部(油膜)である。摩擦係数は、 0.6mm/s から 65mm/s にかけてしゅう動速度の増加とともに減少した。 65mm/s 以降は、摩擦係数はしゅう動速度の約 $1/2$ 乗に比例して増大した。接触状態は 0.6mm/s (①)から 3.3mm/s (③)にかけてしゅう動方向上流側の接触部の色が薄くなっており、接触部がわずかに減少していると考えられる。 9.8mm/s (④)から 33mm/s (⑤)にかけてはしゅう動速度の増加とともに接触部が大きく減少したことがわかる。 65mm/s (⑥)以降では接触部は見られなかったことから、しゅう動面間に油膜が形成されていると考えられる。以上より、 0.6mm/s から 65mm/s にかけては摩擦係数および接触面積の減少が見られたことから、境界・混合潤滑領域であると考えられる。また、 65mm/s 以降は摩擦係数の増大およ

びゴムの接触部が見られないことから、流体潤滑状態に遷移したと考えられる。電気抵抗は 0.6mm/s から 3.3mm/s まではほぼ一定値を示し、9.8mm/s 以降増大した。3.3mm/s までは、油膜が形成されずゴムの接触部がほぼ全面残っているために電気抵抗が変化せず、9.8mm/s 以降は油膜が形成され、接触面積が大きく減少したために電気抵抗が増大したと考えられる。65mm/s 以降も油膜厚さの増大にともない電気抵抗が増大したと推察される。以上の結果より、ゴムと導電被膜間の接触状態および潤滑状態を反映して電気インピーダンスが変化していると考えられる。

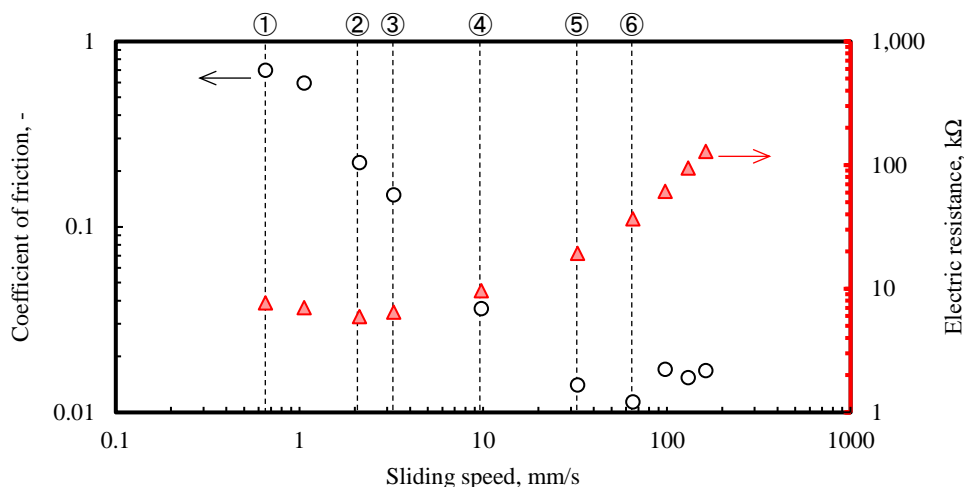


Fig.2 Measured coefficient of friction and electric resistance

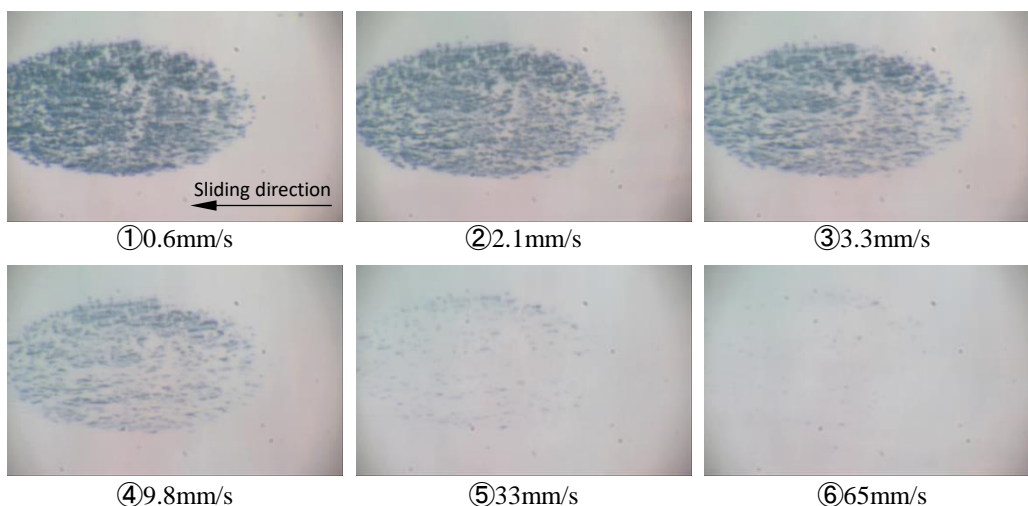


Fig.3 Observation results of contact condition of rubber specimen

4. まとめ

導電性ゴムと透明導電被膜を施したガラスディスクを用いたピンオンディスク摩擦試験と電気インピーダンス測定、接触状態観察を同時に行った。その結果、ゴムの接触面積の減少および油膜形成にともない、電気抵抗が増大することを確認した。ゴム・金属間の接触状態および潤滑状態の評価手法として電気インピーダンス法が適用可能であることが示唆された。

文献

- 1) Y. Sakai, N. Hosonuma, H. Mizuta and N. Suzuki: Evaluation of dynamic contact between rubber and metal surfaces by electric resistance method, Proc. 23rd Int. Conf. on Fluid Sealing (2016), 111.
- 2) 酒井・細沼・鈴木: 電気抵抗法を利用した往復動シールの潤滑状態評価, トライボロジー会議 2016 秋 新潟 予稿集 (2016), 44
- 3) T. Maruyama and K. Nakano: In Situ Quantification of Oil Film Formation and Breakdown in EHD Contacts, Tribology Transactions, 61, 6 (2018) 1057.
- 4) 丸山・岩瀬・糸魚川・中野・桃園: 電気的手法を用いた潤滑状態診断技術について, トライボロジー会議 2024 春 東京 予稿集 (2024), 111