

## 交流電圧下の滑り摩擦における電食発生メカニズム Mechanism of electric corrosion at sliding part under AC voltage

宇大（正）\*久保 有里 馬淵 豊

日産（正）山田 脩裕 奥田 紗知子 （非）田口 新

Yuri Kubo\*, Yutaka Mabuchi\*, Naohiro Yamada\*\*, Sachiko Okuda\*\*, Arata Taguchi\*\*

\*Utsunomiya University, \*\* Nissan Motor Co., Ltd.

### 1. 緒言

近年、温室効果ガス排出削減効果による電気自動車の急速な普及に伴い、動力伝達部において発生する、電氣的な損傷すなわち電食の対策が求められている。電食とは、本来絶縁である潤滑油内の潤滑膜に大きな電荷が蓄積されると、絶縁破壊を起こし摺動面で放電が発生し、金属表面を溶融・蒸発させる表面損傷の一つである。これまで転がり軸受における電食の解析例が多く報告されているが<sup>1-3)</sup>、滑り条件下で評価した事例は少なく知見に乏しい。

そこで本研究は、交流電圧を負荷した滑り摩擦環境において、異なる摺動条件下での電食の発生度合いを画像処理により定量化して評価し、電流の流れやすさの指標であるインピーダンスや潤滑油粘度（ $\propto$ 油膜厚さ）との関係を調べることで、電食発生メカニズム解析を行うことを試みた。

### 2. 試料及び実験方法

Fig.1 に摩擦試験機を示す。試験はボールオンディスク方式とし、ボール側をセラミックスで固定することで周辺から絶縁し、ボールから配線を取り出して相手材ディスクとの間で回路を形成した。この回路に LCR メーターを接続して交流電圧を印加し、インピーダンス  $Z$  を測定した。荷重を 120g(最大ヘルツ接触面圧 500MPa)、摺動回転数 100rpm(周速度 0.08m/s)とし、試験時間を 2 時間とした。ディスク試験片に SCM440 鋼、表面粗さ Ra0.05、硬度 HRC48~50 の仕様を用いた。相手材に SUJ2 鋼、硬さ HRC64、精度 29 号、直径 3/8 インチのベアリング用ボールを固定して用いた。異なる摺動条件下で電食評価を行うため、試験油に粘度の異なるポリアルファオレフィン 4 種(PAO2, PAO4, PAO8, PAO40)を用いた。試験温度は 40℃を基準とし、PAO2 では 80℃、PAO40 では 25℃でも行った。試験時の電圧は 5V を基本条件とし、PAO4 のみ 0.5~4V の異なる条件で試験を行った。試験後に、FE-SEM によりボール側の摺動痕を観察し電食の発生を確認したうえで、レーザー顕微鏡により得られた像の画像処理により電食痕を 2 値化して電食面積を算出した。

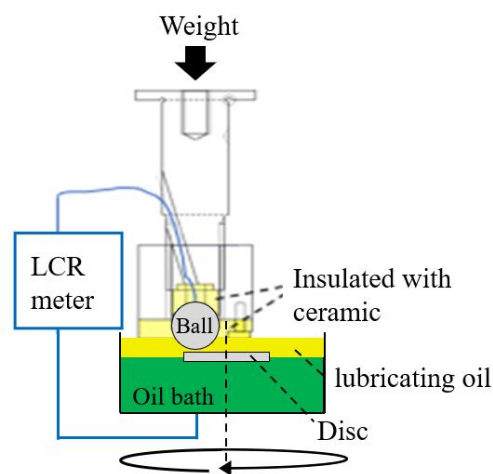


Fig.1 Schematic diagram of test equipment.

### 3. 結果及び考察

Fig.2 に PAO2, 40℃, 5V の条件で試験したボールの摺動痕のレーザー顕微鏡画像(50 倍)と、摺動痕上の黒色部及び白色部の FE-SEM 画像(10000 倍)を示す。黒色部には、SEM 画像により電食の形態によく見られる無数のピット状の腐食痕を確認した。一方、白色部では腐食痕は認められなかった。このことから、黒色部を電食発生箇所と見做せる。

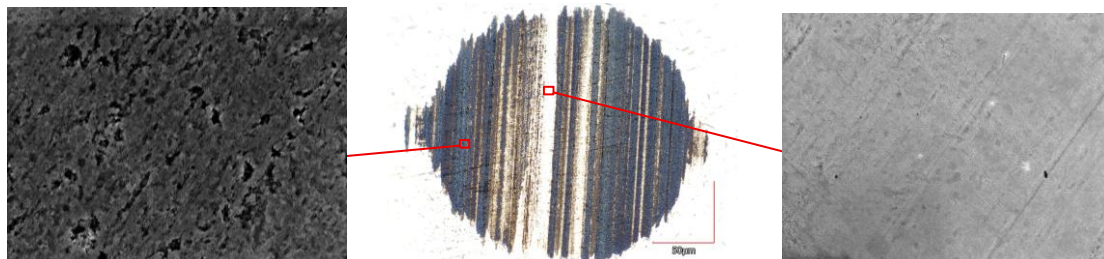


Fig.2 50x laser microscope image of sliding marks after testing at 5V and 40℃ using PAO2, and 10,000x FE-SEM images.

異なる電圧下での試験結果を Fig.3 に示す。電圧が高いほど、電食面積が増加する傾向を示した。また、電圧 5V の粘度違いの油種での結果から、粘度が大きいほど電食面積は減少する傾向を示した。電食面積を、電圧  $V$  と実測したインピーダンス  $Z$  の逆数との積（ $\equiv$  流れた電流）で整理した結果を Fig.4 に示す。電食面積は  $V/Z$  が大きいほど、また粘度が低いほど増加する傾向を示し、電気抵抗の少ない最小油膜厚さの箇所で放電が発生するとして Zeidan らの報告例<sup>2)</sup>と同様の傾向を示した。PAO2 の 80℃ の試験は最も粘度が低いため、最も電食面積は大きい値を示した。

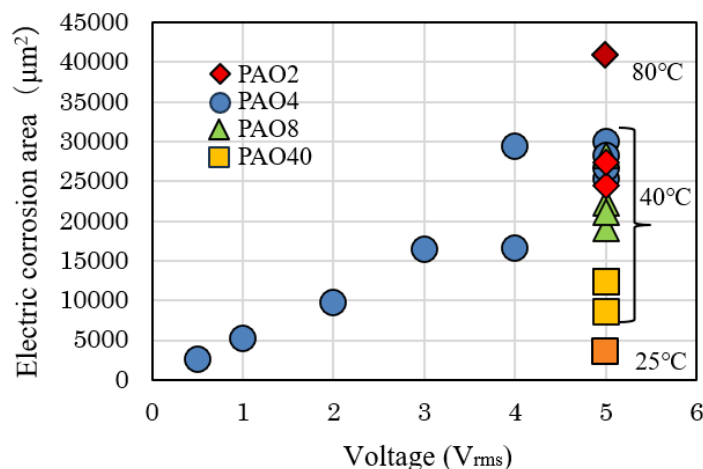


Fig.3 Relationship between electrolytic corrosion area and voltage under different viscosity conditions.

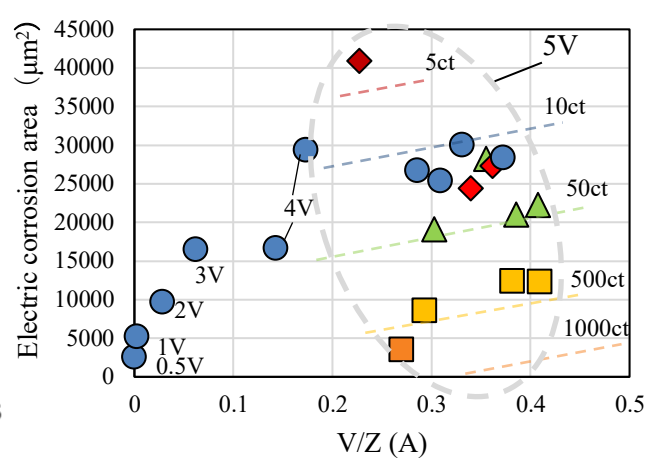


Fig.4 Relationship between electrolytic corrosion area and current under different voltages.

一方、Fig.4 の 5V のどの粘度においても  $V/Z$  に対する電食面積はほぼ線形の傾向であるが、PAO4 の 4V 以下においては放物線を描くように減少傾向にある。これは、印加電圧が低いほど流れる電流が減り、ジュール熱が減少することから、5V での油膜厚さに比べてより厚くなることで、部分的な金属接触が減り、電食面積が減少したと考えられる。このことから、 $V/Z$  による整理にはジュール熱を加味した接点の油膜厚さを考慮する必要性が示唆された。

#### 4. まとめ

- (1) 交流電圧を付与した滑り条件下において摺動部に黒色の部位が認められ、SEM 観察の結果、無数のピット状の電食痕で構成されていることがわかった。
- (2) 電圧が高いほど、また潤滑油粘度が低く油膜厚さが薄い程、電食面積が増大する傾向を示した。
- (3) 電食面積を、電圧とインピーダンスの逆数の積  $V/Z$  ( $\equiv$  流れる電流) で整理することで、両者の間に線形の関係が認められた。一方電圧が低いほどこの関係から外れることが分かった。

#### 文献

- 1) S. Raadnui, S. Kleesuwat. "Electrical pitting wear debris analysis of grease-lubricated rolling element bearings", Wear, Vol. 271, Issues 9–10, 29 July 2011, pp. 1707-1718.
- 2) Fouad Y. Zeidan, Bernard S. Herbage. "Fluid Film and Bearings Fundamentals and Failure Analysis", Turbomachinery and Pump Symposia (1991) pp. 161-186.
- 3) Feng HE, Guoxin XIE, Jianbin LUO, "Electrical bearing failures in electric vehicles", Friction 8(1): 4-28 (2020).