

## S11310

## 多孔質材料を用いた低電流用電気しゅう動接点のトライボロジー特性

## Tribological Characteristics of Electric Sliding Contacts for Low current with Porous Materials

○正 吉田 浩之<sup>\*1</sup>, 金子 寛<sup>\*2</sup>, 田浦 裕生<sup>\*2</sup>, 境野 恵理<sup>\*1</sup>Hiroyuki YOSHIDA<sup>\*1</sup>, Satoru KANEKO<sup>\*2</sup>, Hiroo TAURA<sup>\*2</sup> and Eri SAKAINO<sup>\*1</sup><sup>\*1</sup> 株式会社ミツバ MITSUBA Corporation<sup>\*2</sup> 長岡技術科学大学 Nagaoka University of Technology

In recent years, with the demand for lower electricity consumption and longer life of automobiles, it is required to reduce current consumption and improve the reliability for electric sliding contacts. In this study, for the purpose of lower current consumption and reliability improvement of the sliding contacts, tribological characteristics (coefficient of friction) and electrical conductivity of the sliding contacts with porous materials were analyzed experimentally and the impact of chemical changes of the sliding surface on these characteristics was examined. In the experiment, the porous materials were applied to the sliding contacts and a pin-on-disk friction testing machine and a surface analysis device were used. As a result, the following findings were obtained. The sliding surface that was exposed to a high temperature atmosphere was oxidized both in the porous materials and the impregnated lubricating oil, affecting the tribological characteristics and the electrical conductivity. In particular, the oxidation of the lubricating oil greatly affected the electrical conductivity, and the more the oxidation of the lubricating oil proceeded, the more the electrical conductivity decreased.

**Key Words** : Electric sliding contacts, Porous materials, Tribological characteristics, Oxidation, Lubricating oil

## 1. 緒 言

相対運動する物体の間に電流を流す電気しゅう動接点は自動車用電装品に広く用いられている。最近の自動車の低燃費、低電費および長寿命化等の要求にともない、電気しゅう動接点には低電流化や信頼性の向上が求められている。一般に、電気しゅう動接点の低電流化には高い通電性が必要となる一方、信頼性の向上には機能寿命を延ばすという特性が要求される。これは、しゅう動部には通電を低下させることになる厚い潤滑油膜を発生させずに機能寿命に関わる耐摩耗性を向上させるという、背反する性能向上を要求されていることを意味する。従来<sup>(1)(2)</sup>の研究では、電気しゅう動接点の通電性や摩擦特性におよぼすしゅう動面状態や潤滑油の種類などの影響が定性的に明らかにされている。トライボロジーの視点から通電性と長寿命とを両立する潤滑状態には、しゅう動面に流体膜と境界潤滑膜および金属接触部が混在する混合潤滑が望ましく、この点で金子ら<sup>(3)</sup>は、自己潤滑軸受の材料として多用されている多孔質材料をしゅう動接点に用い、トライボロジー特性および通電性を実験的、理論的に解析し、多孔質材料の透過率がそれら特性に及ぼす影響を明らかにしている。しかしこれらの解析においては、しゅう動面は運転中に変化しないとしているが、実際は、しゅう動表面の状態は運転時間や放置時間とともに変化しており、その影響は考慮されていない。

そこで本研究では電気しゅう動接点に多孔質材料を用い、一定時間恒温槽内にしゅう動接点を放置し、放置後の状態のトライボロジー特性および通電性を実験的に解析し、しゅう動表面の状態変化がそれら特性におよぼす影響を明らかにする。

## 2. 実験装置および実験方法

図1に実験装置の概略を示す。自由に回転できるアーム先端に設置したライダ（固定面）を回転ディスク（運動面）に押し付けてしゅう動される構成である。ライダは軸受鋼 SUJ2 製で、しゅう動面は半球面形状である。表1に仕様を示す。回転ディスクは青銅系の多孔質材料であり、ポリ $\alpha$ オレフィン（PAO）油を真空中で含浸させた。表2に仕様を示す。アームは中間部に押し付け方向と、水平面方向に回転を可能とする支点がある。ピンと反対側の端に取り付けられたバランス重りで無荷重の状態にしたのち、ピンの上部より分銅を用いて静荷重を負荷した。またアーム側面に取り付けられたピンを介してロードセルにより回転方向のトルクを測定した。ライダと回転ディスク間の電圧  $V_c$  を図2の回路を用いて測定した。得られた  $V_c$  より、分離度  $\tau (=V_c/V_d)$  を計算した。ここで  $V_d$  は非接触時の二面間の電圧であり、実験毎に測定する。 $\tau = 1$  で絶縁状態、 $\tau = 0$  で常時通電状態である。

表3に実験条件を示す。本研究では各条件において、3回測定し、計測データの平均値を実験値として用いた。得られた結果は、無次元数  $S (= \eta UL/W)$  を用いて評価する。

実験は回転ディスクに PAO 油を含浸させる場合（含浸状態）と含浸させない場合（無含浸状態）の二種類で行った。二種類の回転ディスクを  $140^\circ\text{C}$  に設定した別々の恒温槽内でしゅう動表面が露出されるように放置した。回転ディスクを各一定時間（0h, 96h, 250h, 500h）放置後に取り出し、摩擦係数  $\mu$  および分離度  $\tau$  と軸受特性数  $S$  との関係性を求めた。その際  $S$  の値を変化させるために、荷重  $W$  一定の下で回転速度  $U$  を変化させた。この一連の実験は、 $U$  の低い値から増加させる方法で行った。 $\mu$  および  $\tau$  と  $S$  との関係性を求めたのち、ヘキサンを用い、回転ディスク内の含浸油の抽出および回転ディスク表面の洗浄を行った。抽出液はヘキサンを取り除いたのち、回転粘度計（Brookfield 製 DV-III ULTRA）を用いて、含浸油の粘度測定に使用した。回転ディスクは表面状態の分析に使用した。

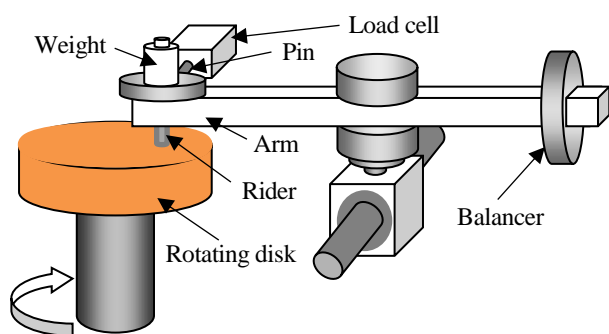


Fig.1 Schematic diagram of the experimental apparatus

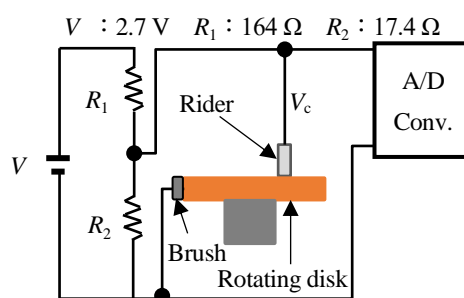


Fig.2 Measurement circuit

Table 1 Specifications of rider

Rider material	SUJ2
Curvature radius R [mm]	2.8
Length L [mm]	5.6
Width B [mm]	5.6
Roughness Ra [ $\mu\text{m}$ ]	0.02
Vickers hardness HV	780

Table 2 Specifications of disks

Disk material	Bronze Cu-Sn-(C)
Diameter [mm]	40
Thickness [mm]	8.0
Permeability k [ $\text{m}^2$ ]	$1.2 \times 10^{-13}$
Relative density [%]	76

Table 3 Experimental conditions

Applied load $W$ [N]	0.5, 1.0
Disk rotating speed $U$ [m/s]	0.03 ~ 0.35
Lubricating oil	PAO
Viscosity $\eta_0$ [ $\text{Pa} \cdot \text{s}$ ]	0.59 (@ $26^\circ\text{C}$ )

### 3. 結果及び考察

#### 3・1 含浸状態における高温放置後の摩擦係数および分離度

図3に各一定時間(0h, 96h, 250h, 500h)放置した含浸状態の回転ディスクを用いた実験の摩擦係数 $\mu$ および分離度 $\tau$ と軸受特性数 $S$ との関係を示す。 $\mu$ は、 $S \geq 2.0 \times 10^{-4}$ の領域では、放置時間に関わらず、0hよりも高い値を示すが、 $S < 2.0 \times 10^{-4}$ の領域では逆に低い値を示す。一方、 $\tau$ は、 $S$ が低い領域では、放置時間の増加とともに高い高い値を示し、 $S$ が高い領域では初期の値に漸近する傾向がみられる。この際、0hに漸近する $S$ 値は放置時間に影響を受けており、放置時間の増加とともに大きくなる。

これらの挙動は放置による含浸油の粘度増加に伴う油膜厚さの増加が主たる原因と考えられる。(0h:  $0.59 \text{ Pa} \cdot \text{s}$  → 96h:  $0.57 \text{ Pa} \cdot \text{s}$  → 250h:  $0.70 \text{ Pa} \cdot \text{s}$  → 500h:  $0.90 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ ) ただし、粘度増加のない96h放置後の状態においても、同様の傾向がみられることから含浸油の粘度増加以外の $\mu$ および $\tau$ の挙動に影響を及ぼすしゅう動表面の状態変化も考えられる。

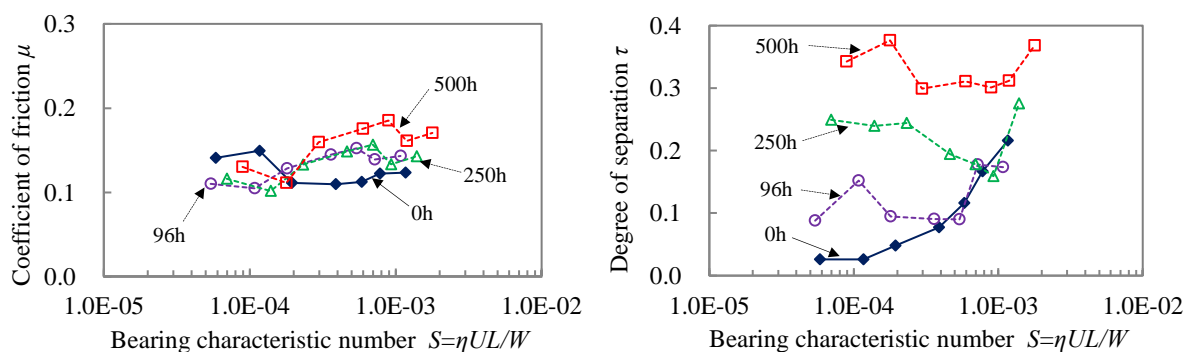


Fig.3 Coefficient of friction  $\mu$  and degree of separation  $\tau$  versus bearing characteristic number  $S$

#### 3・2 無含浸状態における高温放置後の摩擦係数および分離度

図4に各一定時間(0h, 96h, 250h, 500h)放置した無含浸状態の回転ディスクを用いた実験の摩擦係数 $\mu$ および分離度 $\tau$ と軸受特性数 $S' = \eta_1 UL/W$  ( $\eta_1$ : 気体粘度  $1.8 \times 10^{-5} [\text{Pa} \cdot \text{s}]$ )との関係を示す。 $\mu$ は放置時間に関わらず、広い $S'$ の領域で0hよりも低い値を示す。一方、 $\tau$ は広い $S'$ の領域で放置時間に関わらず概ね同じ値を示す。これらのことから、恒温槽内で $140^\circ\text{C}$ に放置された回転ディスクのしゅう動表面は熱により、 $\tau$ 値に影響をおよぼさない程度の金属酸化膜が形成され、 $\mu$ 値を低下させた可能性が考えられる。よって次項では、放置による回転ディスクへの含浸がしゅう動表面の状態におよぼす影響を検討する。

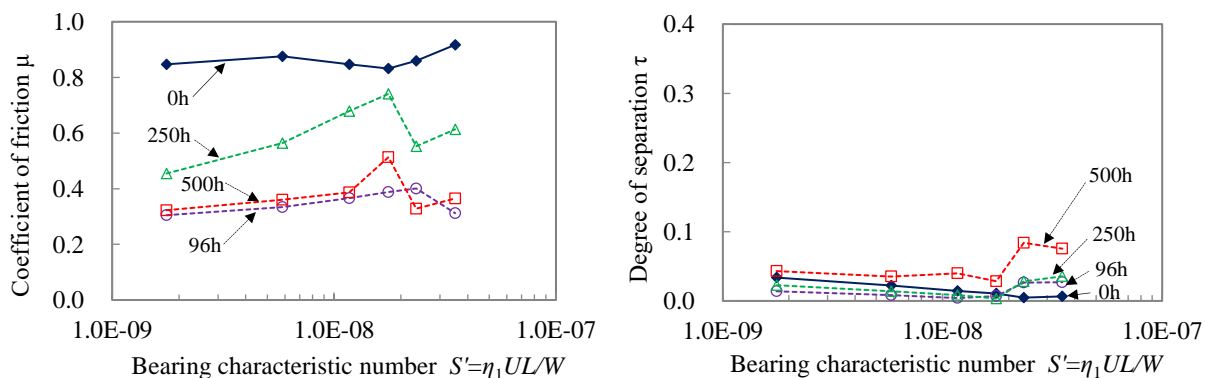


Fig.4 Coefficient of friction  $\mu$  and degree of separation  $\tau$  versus bearing characteristic number  $S'$

### 3・3 回転ディスクのしゅう動表面状態

摩擦係数  $\mu$  および分離度  $\tau$  の測定を行った含浸状態の回転ディスクをヘキサンで脱脂し、しゅう動部付近の表面の状態を FT-IR (Thermo Scientific 製 Nicolet iS10 FT-IR, Ge プリズム, ATR 法) を用い分析した. その結果を図 5 に示す. 図中 (A)  $2900\text{cm}^{-1}$  付近は  $-\text{CH}_2,3$  基 (PAO 油) の振動スペクトル<sup>(4)</sup>で, (B)  $1560\text{cm}^{-1}$  付近は  $\text{R-COO}^-$  基 (カルボン酸塩) の振動スペクトル<sup>(4)</sup> ( $-\text{CH}_2,3$  を一部含む) である. 0h において  $\text{R-COO}^-$  基の振動スペクトルのないことから, このスペクトルの強弱により潤滑油の酸化 (膜) 状態が推定できる. 右図 5 に (A) と (B) の比 ( $\text{R-COO}^-$  基の変化量) と放置時間との関係を示す. 放置後のしゅう動表面における  $\text{R-COO}^-$  基は, 時間とともに増加, 言い換えれば, 酸化が促進していることが分かる.

次に, 含浸状態および無含浸状態の回転ディスクのしゅう動表面に存在する酸素 O および炭素 C の質量濃度を走査型電子顕微鏡 SEM (日立製 S-3400N, 加速電圧 15kV, 測定範囲  $100 \times 100\mu\text{m}$ ) およびエネルギー分散型 X 線分析装置 EDS (オックスフォード・インストゥルメンツ製) を用いて測定した. 図 6 に回転ディスクの表面の酸素および炭素の質量濃度と放置時間との関係を示す. 含浸状態での回転ディスクの酸素濃度は FT-IR での分析結果を裏付けるように放置時間とともに増加する (酸化が進む). 一方, 無含浸状態の回転ディスクの酸素濃度は 96h 以降, 概ね同じ値を示す. また, 含浸状態の回転ディスクの炭素濃度は放置時間とともに減少する. 一方, 無含浸状態の回転ディスクの炭素濃度は概ね同じ値を示す.

以上の結果から, 恒温槽内に放置することで回転ディスク内の含浸油は酸化し, しゅう動表面にカルボン酸塩を生成させる. この生成物の発生と増加がライダと回転ディスク間の通電性を低下させたものと考えられる.

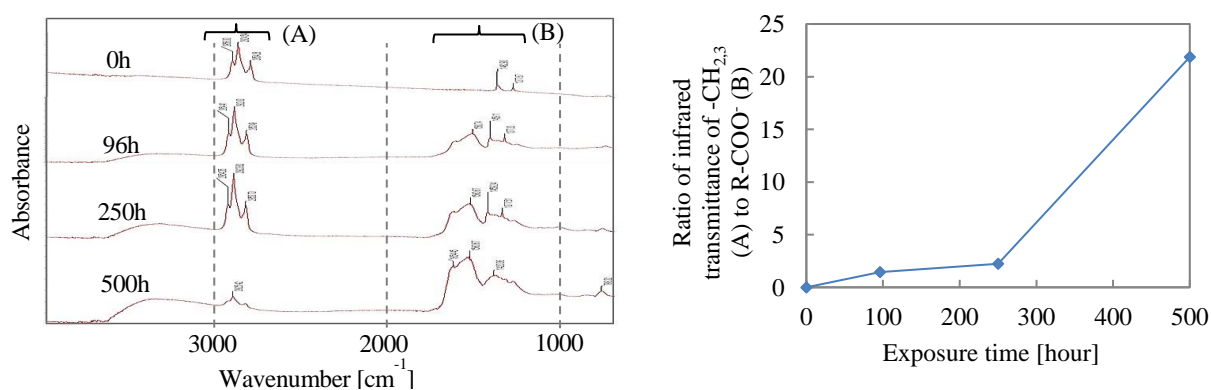


Fig.5 Ratio of infrared transmittance of  $-\text{CH}_2,3$ (A) to  $\text{R-COO}^-$ (B) versus Exposure time

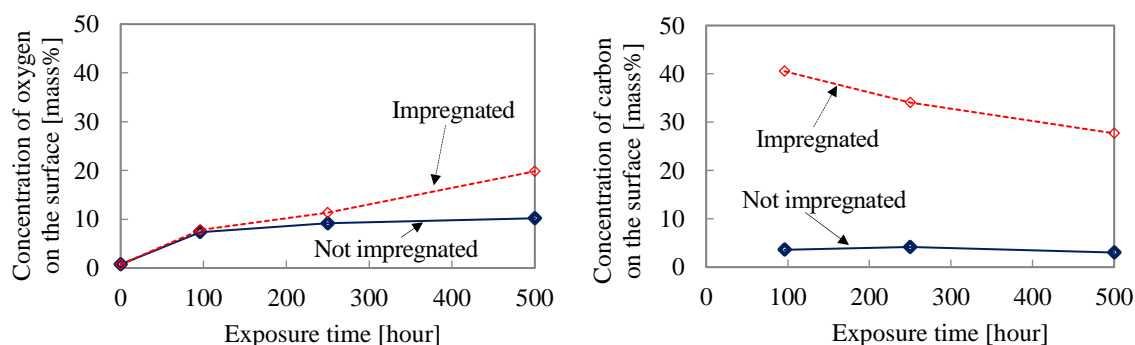


Fig.6 Concentration of oxygen and carbon on the surface versus Exposure time

#### 4. 結 言

電気しゅう動接点に多孔質材料を適用し, 140°Cの高温に放置された場合のしゅう動表面の状態とトライボロジー特性および通電性との関係を実験的に調べた結果, 以下の知見が得られた.

1. 軸受特性数  $S \geq 2 \times 10^{-4}$  の領域でのライダと含浸状態の回転ディスク間の摩擦係数  $\mu$  は, 放置時間に関わらず, 0h の状態よりも高い値を示す.
2.  $S \leq 3.6 \times 10^{-4}$  の領域でのライダと含浸状態の回転ディスク間の分離度  $\tau$  は, 放置時間にともない増加を示す.
3. 放置により回転ディスク内の含浸油は酸化し, しゅう動表面にカルボン酸塩を生成させる. この生成物の発生と増加はライダと回転ディスク間の通電性を低下させる.

#### 文 献

- (1) 谷口正成, 高木相, “しゅう動接点の雑音とトライボロジー”, トライボロジスト, Vol. 34, No. 10 (1989), pp. 719-724.
- (2) 渡辺克忠, “小電流の通過とトライボロジー: 小電流用接点”, トライボロジスト, Vol. 41, No. 7 (1996), pp. 552-557.
- (3) 金子覚, 田浦裕生, “多孔質含油軸受材料を用いた電気しゅう動接点のトライボロジー特性”, 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 78, No. 791 (2012), pp. 259-269.
- (4) 堀口博, “赤外吸光図説総覧”, 三共出版, 第9刷 (2007), pp. 17, 214.