

# ナノカーボンを適用した転がり軸受用導電性グリースの 電食防止性能評価

材料技術研究部 潤滑材料研究室

副主任研究員 鈴木 淳一

## 1. はじめに

電車の主電動機軸受においては、軸受に電流が流れることに起因して表面損傷の一種である電食が発生し、軸受の計画取替よりも前に軸受の交換が必要になる場合がある。電食対策としては軸受絶縁と軸受通電の2つの異なる考え方があり、現在の主電動機軸受では前者の考え方にに基づき、軸受外輪を絶縁性のセラミックスや樹脂で被覆した絶縁軸受が採用されている<sup>1)</sup>。鉄道車両では、導電性グリースを使用した軸受通電による電食防止対策の検討は今までに行われていないが、主電動機軸受の潤滑グリースとして、電食防止性能を有する導電性グリースを適用することができれば、絶縁軸受を用いるよりも低コストな電食対策となることが期待される。

ここでは、主電動機軸受の新たな電食対策となる可能性がある軸受通電および導電性グリースに関する知見を得ることを目的とし、導電性に優れたナノカーボン（ナノメートルスケールの炭素材料）を分散させた導電性グリースについて、小型軸受を用いた通電回転試験を実施し、電食防止性能を評価するとともに、導電性グリースの電食防止メカニズムを検討した結果および、グリース組成（基油の種類、ナノカーボンの種類や量）が電食発生に及ぼす影響について紹介する。

## 2. 小型軸受を使用した通電回転試験

### 2.1. 通電回転試験装置

本研究で使用した小型軸受通電回転試験装置の概略を図1に示す。試験軸受として深溝玉軸受（呼び番号：6206）を用いた。試験グリースを封入した試験軸受をハウジングに組み込み、180 Nのラジアル荷重を負荷させ、回転数 $1000 \text{ min}^{-1}$ で回転させる。ここで設定した荷重は、玉と軌道輪の最大接触面圧が実車の主電動機軸受とほぼ同じになる値である。

軸受内への通電は、外輪に接するハウジングと、内輪に接する回転軸に取り付けたロータリーコネクタに直流電源の電極端子を接続することによって行った。直流の場合にはマイナス側の軌道面にリッジマーク状電食痕が発生するとの報告<sup>2)</sup>がある。本試験では試験後の評価対象部位を表面状態の観察等の際に取扱いが容易な内輪とするため、通電方向は外輪軌道面（プラス）から内輪軌道面（マイナス）とした。また、通電条件については、

軸受の電食発生と転がり接触面の電流密度（単位接触面積あたりの電流値）には相関があり、電流密度が $1 \text{ A/mm}^2$ 未満の場合には電食は発生しないという知見が得られている<sup>3)</sup>。本試験では電流密度を一定値とするために定電流制御とした。電流値は、ロータリーコネクタ等の許容電流を考慮しつつ、非導電性グリースで試験を行った際に比較的短時間で確実に電食を発生させることが可能な電流密度が与えられるように、 $6 \text{ A}$ （電流密度： $5.3 \text{ A/mm}^2$ ）の定電流とした。

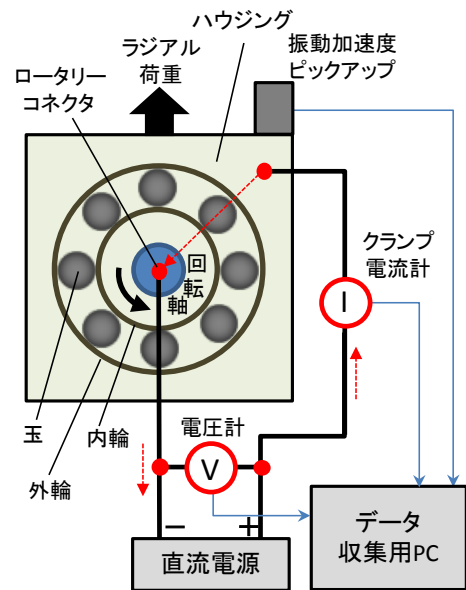


図1 小型軸受通電回転試験装置

試験軸受に電食が発生すると回転時の軸受振動が増大するため、ハウジングに取り付けた振動ピックアップにより、垂直方向の振動加速度を測定した。また、本試験は定電流での通電であるため、電圧は軸受内部の電気抵抗の変化に応じて変動する。そこで、外輪と内輪の間に電圧計を取り付け、外輪／内輪間の電圧を測定した。試験終了後は軸受を分解し、外輪、玉、内輪の外観観察により電食の発生状況を確認した。

## 2.2. 試験グリース

試験を実施した7種類のグリース（A～G）の概要を表1に示す。グリースAは鉄道車両の誘導電動機軸受グリースとして広く使用されているグリースで、非導電性である。グリースB～Dは主に事務機器軸受用として、基油にカーボンブラック（以下、CB）を配合した導電性グリースである。CBは直径数nm～数百nmの炭素微粒子で、導電性グリースにおいては粒径が30～70 nm程度のCBが導電性付与材として10質量%程度添加されており、グリースを半固体状に保つための増ちょう剤としての役割も果たしている。グリースE、FはそれぞれグリースB、Cに添加されているCBの量を半分に減らすことで体積抵抗率を大きくしたグリースである。グリースGはグリースAにカーボンナノチューブ（以下、CNT）を、分散剤を用いて1.5質量%分散させて導電性を付与したグリースである。CNTは炭素原子が六角形の網目状に二次元的に結合したグラフェンシートが、ナノメートルオーダーの直径の円筒に丸まった中空の管状物質であり、優れた機械的特性および導電性を有する新材料として注目されている。

表1 試験グリースの概要

グリース	基油	増ちょう剤	導電性付与材	ちょう度 (25℃,不混和)	体積抵抗率 ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )	基油粘度 40℃( $\text{mm}^2/\text{s}$ )	備考・用途
A	鉱油	Li 複合石けん	なし	310	$1.0 \times 10^7$ 以上	101	誘導電動機用グリース(非導電性)
B	合成炭化水素油	CB	CB	259	$6.7 \times 10^1$	30.5	事務機器軸受用グリース
C	合成エステル油	CB	CB	220	$4.1 \times 10^1$	33.2	事務機器軸受用グリース
D	合成フッ素油	CB	CB	224	$5.5 \times 10^2$	400	特殊用導電性グリース
E	合成炭化水素油	CB	CB	430	$1.7 \times 10^3$	30.5	CBの量がグリースBの1/2
F	合成エステル油	CB	CB	430	$1.7 \times 10^2$	33.2	CBの量がグリースCの1/2
G	鉱油	Li 複合石けん	CNT	211	$5.6 \times 10^4$	101	グリースAにCNTを分散

## 3. 導電性グリースの電食防止メカニズム

グリースA（非導電性グリース）とグリースB（導電性グリース）について25, 50, 100時間の小型軸受通電回転試験を行い、グリースの導電性の有無が電食発生に及ぼす影響について検討した。100時間試験後の軸受内輪軌道面の外観を図2に示す。なお、グリースAについては軸受振動が増大したため試験開始後、約88時間で試験を中止した。非導電性グリースであるグリースAでは内輪軌道面に電食が認められる。一方、導電性グリースであるグリースBでは、100時間試験後においても軸受内輪軌道面に電食は認められなかった。以上から、導電性グリースには電食の発生を防止する効果があることがわかった。

100時間の試験を行った際の電圧変動波形を図3に示す。グリースAでは電圧変動波形の振幅がグリースBよりも大きく、試験時間の増加に伴い、波形の振幅が増大する傾向がみられる。一方、グリースBでは試験時間が増加しても波形の振幅はほぼ一定である。前述の通り、本試験ではグリースの種別に関係なく常に6Aの電流が軸受に流れている状態であり、電圧変動波形は軸受内部の電気抵抗や通電経路の影響を受ける。すなわち、電圧変動波形の違いは導電性グリースと非導電性グリースでは軸受内部の通電状態が異なることを示している。そこで、電圧変動波形のFFT

(高速フーリエ変換) 解析を行うことにより各波形の周波数成分を求め、軸受の回転に起因する周波数(保持器や内輪の回転周波数、玉の自転・公転周波数)と比較することにより、軸受内部の通電状態について考察した。

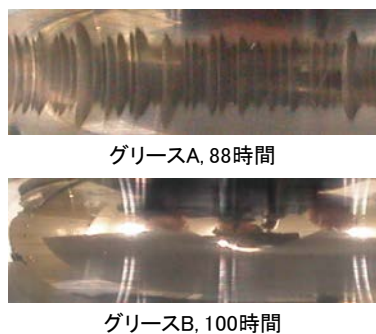


図2 試験後の軸受内輪軌道面(拡大)

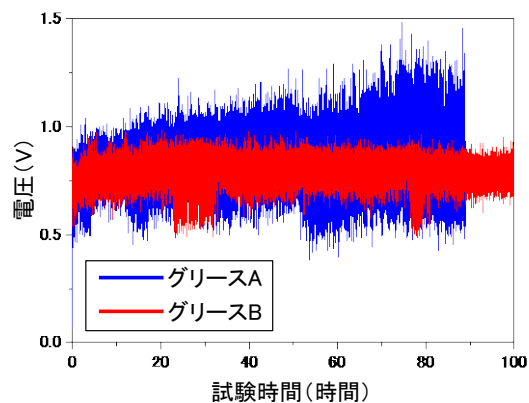


図3 100時間試験時の電圧変動波形

グリースAおよびグリースBについて、25, 50,

100(グリースAでは88)時間試験終了直前の電圧変動波形のFFT解析を行った結果を図4に示す。グリースAの電圧変動波形は、試験開始後25時間では6.69 Hzの周波数に、試験開始後50, 88時間では16.63 Hzの周波数に大きいピークが認められる。これらの周波数は、前述の試験条件で軸受が回転する際の玉の公転周波数(保持器の回転数)6.61 Hzおよび内輪回転数16.67 Hzにそれぞれほぼ一致する。グリースAでは、いずれの試験時間においても、軸受の回転運動に起因する周波数に従った周期で外輪と内輪間で通電していると考えられる。試験開始後25時間では、内輪軌道面に変色(電食生成の前段階)が発生し、玉の公転運動に従った周期で通電している。試験開始後50, 88時間では、内輪の回転運動に従った周期で通電している。通電経路が玉から内輪に変化したのは、内輪軌道面全体に電食が発生したことが影響していると考えられる。以上の結果から、非導電性グリースでは、転がり接触部(玉と内輪)の油膜が絶縁破壊されることで通電経路が形成されると考えられる。

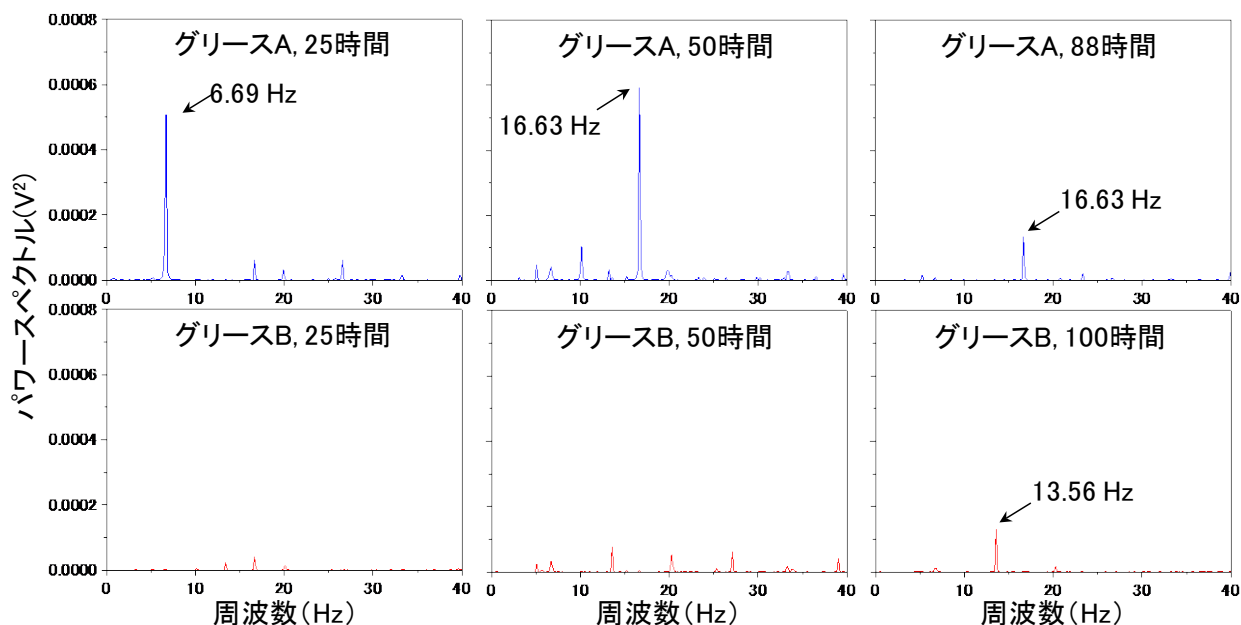


図4 電圧変動波形のFFT解析結果

一方、導電性グリースであるグリースBでは、試験開始後25時間および50時間では、軸受の回転運動に起因する特定の周波数に大きいピークは認められない。試験開始後100時間では13.56 Hzの周波数にやや大きいピークが認められるが、この周波数は軸受の回転運動に起因する周波数には一致しない。この結果は、通電経路は軸受の回転に影響されず、転がり接触部以外にも通電経

路が存在していることを示唆している。

電圧変動波形のFFT解析結果から推定される導電性グリースと非導電性グリースの通電経路の模式図を図5に示す。電食の原因となる放電が発生する転がり接触部の電流密度は、同じ電流が軸受内に流れた場合、導電性グリースを使用した軸受では通電経路が分散されるため、非導電性グリースを使用した軸受に比べて小さくなり、本試験条件では電食の発生が防止できたと考えられる。

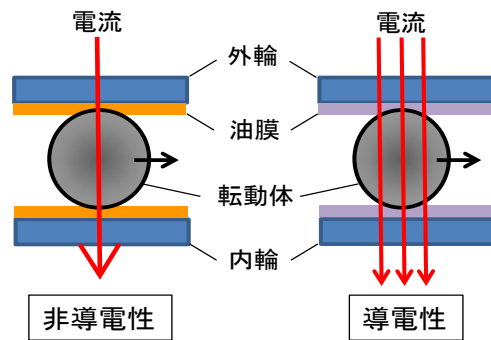


図5 通電経路モデル

#### 4. グリースの組成が電食発生に及ぼす影響

導電性グリースの組成（基油の種類、ナノカーボンの量）が電食発生に及ぼす影響を調べるために、前述のグリースA, Bに加えて表1に示すグリースC~Gについても50時間の小型軸受通電回転試験を行い、電食の発生状況を確認した。試験後の軸受内輪軌道面の外観を図6に示す。試験した導電性グリースのうち、グリースD, Gでは電食が発生した。

グリースB, C, DはいずれもCBを導電性付与材としたグリースであり、基油の種類が異なる。これらのグリースのうちグリースDのみ電食が発生した。グリースDは合成フッ素油を基油としたグリースであり、グリースB, Cの基油である合成炭化水素油および合成エステル油よりも基油粘度と体積抵抗率が大きいことが電食の発生に影響を及ぼしている可能性がある。

グリースE, FはそれぞれグリースB, Cに添加されているCBの量を半分に減らすことで体積抵抗率を大きくしたグリースであるが、これらのグリースではいずれも電食は発生しなかった。以上から、グリースB, Cでは体積抵抗率をそれぞれグリースE, Fと同程度の $1700 \Omega \cdot \text{cm}$ ,  $170 \Omega \cdot \text{cm}$ 程度に上昇させた場合でも電食の発生は防止できると考えられる。

グリースGはグリースAに導電性付与材としてCNTを分散させたグリースであるが、電食が発生した。グリースGは体積抵抗率が他の導電性グリースと比較して大きいため、本研究で使用したCNTの種類、添加量および分散方法では電食の発生を防止できなかったと考えられる。

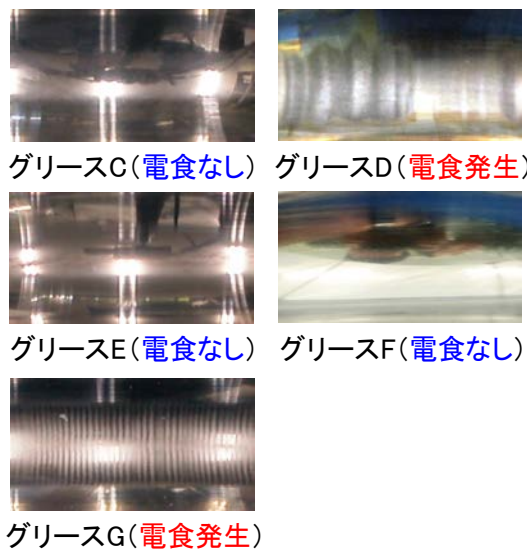


図6 50時間試験後の軸受内輪軌道面

#### 5. おわりに

軸受通電の考え方に基づいて、導電性グリースによる電食防止対策を検討し、適切な組成の導電性グリースを使用することにより電食を防止できる可能性を示した。今後は実物の軸受を使用した試験により、最適な導電性グリースの組成に関する検討を進める予定である。

#### 参考文献

- 1) 渡邊朝紀：鉄道車両の軸受と電食，鉄道車両と技術，No.12，pp.3-10，1995
- 2) 池田博志ほか：転がり軸受の電食再現試験，トライボロジー会議予稿集，pp.483-485，1997-11
- 3) 野口昭治ほか：小型玉軸受の電食に関する研究（第1報），トライボロジスト，Vol.52，No.8，pp.622-628，2007