

## 軸受のはく離に及ぼす摩擦帯電とグリース組成の影響

## Influence of electrostatic charge and grease composition on flaking in ball bearing

日本精工株式会社（正）\*戸田 雄次郎 （正）河野 知樹

Yujiro Toda, Tomoki Kawano

NSK Ltd.

## 1. はじめに

自動車の電装補機やベルト駆動のモータに使われる転がり軸受は、計算寿命の 1/10 以下の短時間にて、鋼内部の白色組織変化と電食を伴うはく離が起こる場合があり、このはく離のメカニズム解明のため様々な取組みがなされている。過去の取組みから推定されているはく離メカニズムとして、玉とリングのメタルコンタクトにより軸受転走面に生じた新生面でグリースが分解し、水素が発生、これが鋼中に侵入し水素脆性が起こる説<sup>1)</sup>や、通電により摩耗が促進され水素脆性を助長する説<sup>2)</sup>、また、静電気を模擬した微小な電流を強制的に流すことによる電気化学反応から水素が発生する説<sup>3)</sup>や放電プラズマ作用により油が分解し水素が発生、これが鋼中に侵入する水素脆性説<sup>4)</sup>などが提唱されている。ただ、この中のメタルコンタクトによる新生面を起因とするメカニズムについては、転がり軸受が回転すれば多かれ少なかれ玉とリングのメタルコンタクトが発生する一方で、白色組織変化を伴うはく離は限られた用途で起こっていることを考えると、新生面とは別の要因が大きく影響し、はく離が起きていると考えるべきであろう。この点においては、以前に軸受の帯電がはく離に大きく影響する結果が得られ、これを報告した<sup>5)</sup>。

今回の報告では、白色はく離を再現できるベルト駆動の軸受回転試験機を用い、軸受に掛かる電気的負荷を変えた評価の結果と組成の異なるグリースの評価結果及び、双方の結果から想定されるはく離メカニズムを示す。

## 2. はく離試験方法と結果及び考察

## 2.1 軸受に掛かる電気的負荷を変えたはく離試験

軸受のはく離試験は Fig. 1 に示すベルト駆動の外輪が回転する試験機にて行い、試験軸受は、はく離が起こりやすい添加剤を配合したウレアグリースを封入した内径 12mm、外径 37mm の深溝玉軸受を用いた。ここで、軸受回転時に軸受に掛かる電気的負荷を変えるため、軸受まわりの構造を変えて行った。具体的な構造を Fig. 2 に簡易的に示す。Type I は軸が付いたブラケットを定盤に固定し接地した状態、Type II は軸受を圧入したプーリにカーボンブラシを押し当て、これをケーブルで電気的に接地することでベルトとプーリで発生する静電気を逃がす方法、Type III は試験軸とブラケットの間に樹脂板を挟み、軸を樹脂ボルトでブラケットに固定することで、軸や軸受を接地させない方法、Type IV は樹脂製のプーリを用い、ベルトとプーリの摩擦で発生した静電気が軸受に到達しない方法の 4 つの方法で試験した。尚、Type I ～IV の試験において、上記の電気的負荷以外の軸受回転条件である荷重 ( $F_r=1225\text{N}$ )、回転数 ( $7000\text{min}^{-1}$ )、温度（室温から成り行き）は全て同じである。この結果を Table 1 に示す。

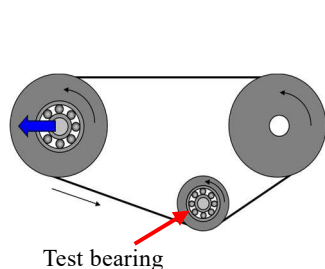


Fig. 1 Experimental setup

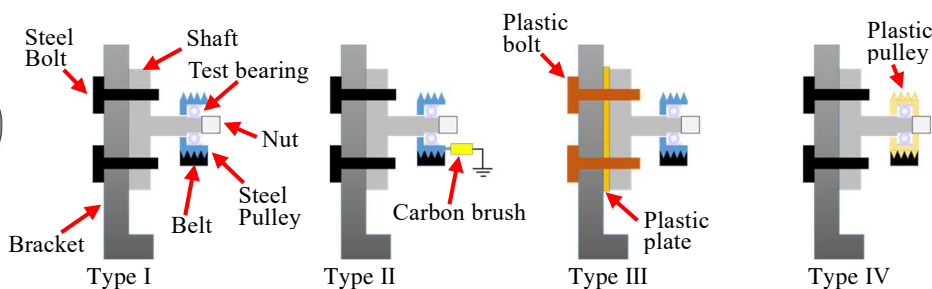


Fig. 2 Four types of experimental setup around bearing

Type I では早期にはく離が発生し、軸受に電食損傷がみられた一方で、Type II, III, IV では、はく離は発生せず、電食損傷もみられなかった。ここで、早期にはく離した Type I は、ベルトとプーリの摩擦で静電気が発生し、加えて軸受の内輪は接地された状態であるため、電荷の移動が自由に起こる。そのため、軸受回転時は油膜（グリース膜）に隔てられた内輪と玉、外輪と玉の間に各々電位差が発生、軸受のはく離を助長したとみられる。これに対し Type II, III, IV では、ベルトとプーリの摩擦で静電気が発生するものの、この静電気を除く、もしくは電荷の移動を制限することで、はく離寿命が大幅に延長しており、軸受に掛かる電気的負荷がはく離に大きく影響していると考えられる。

Table 1 Results of flaking test and bearing observation

Type of setup	Bearing flaking test result	Electrical erosion on bearing race
Type I	67h inner ring flaking	Existent
Type II	500h No flaking	Non-existent
Type III	500h No flaking	Non-existent
Type IV	500h No flaking	Non-existent

## 2.2 はく離に及ぼすグリース組成の影響

次にはく離に及ぼすグリース組成の影響を調べるため、Table 2 の各グリースを封入した軸受のはく離試験を行った（軸受周りの構造や軸受回転条件は上記 Type I と同様）。尚、本試験では添加剤の影響を除くため、全て基油と増ちょう剤からなる無添加のグリースを用いた。はく離試験結果を Table 2、軸受回転時に内輪と外輪の間に発生する電位差の推移を Fig. 3 にそれぞれ示す。ここで、軸受回転により発生する内輪と外輪の間の電位差は、プーリにカーボンブラシを押し当て、そこに接続したケーブルと、内輪押えに取り付けたケーブルの双方をオシロスコープに繋ぎ測定した。

Table 2 Test greases and flaking test results

Grease name	Type of thickener	Base oil (kinematic viscosity, mm <sup>2</sup> /s@40°C)	Bearing flaking test result
Grease A	Urea	Ether ( $\nu=100$ )	167h inner ring flaking
Grease B	Urea	Ether ( $\nu=15$ )	500h No flaking
Grease C	Urea	Ester ( $\nu=30$ )	500h No flaking
Grease D	PTFE	PFPE ( $\nu=60$ )	500h No flaking

Figure 3 より、基油動粘度  $\nu=100\text{mm}^2/\text{s}@40^\circ\text{C}$  のエーテル油を基油としたグリース A は、電位差が時間とともに上昇し早期にはく離が発生した。また、フッ素グリースであるグリース D も電位差が高く推移したがはく離は発生せず、 $\nu$  が低いグリース B と C は電位差が低く推移し、はく離は発生しなかった。ここで Table 3 の試験後の軸受を見ると、グリース A 及び D は電位差が高く推移したため、どちらも  $1\mu\text{m}$  以上の電食痕がみられる一方で、はく離寿命には大きな差がある。これは、電食損傷が酷いほどはく離する訳ではなく、グリース組成が影響したとみるべきであろう。また、 $\nu$  が高いグリース A は早期にはく離した一方で、 $\nu$  が低いグリース B は転走面に摩耗とみられる損傷はあるが、はく離は発生しなかった。このことから、ここでのはく離の要因はメタルコンタクトとは全く逆で、良好な潤滑状態ゆえにリングと玉の間の絶縁性が高まり、はく離したと考えられる。

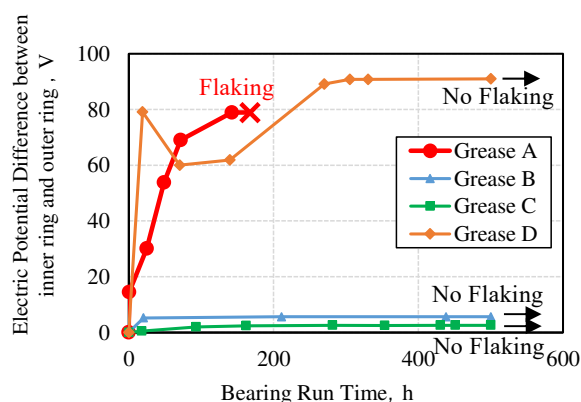


Fig. 3 Changes of EDP and flaking test results

Table 3 Bearing image after flaking tests

	Grease A	Grease B	Grease C	Grease D
Optical Image of Inner ring				
SEM image of outer ring race				

## 3. まとめ

はく離を再現できる試験機において、軸受に掛かる荷重や回転数等を一切変えずに、軸受の帯電状態のみを変えた試験を行うことで、軸受のはく離寿命に劇的な違いがみられた。このことから、軸受に掛かる静電気由来の電氣的負荷がはく離に大きく影響していると言える。また、基油動粘度が高いグリースで潤滑した軸受は、基油動粘度が低いグリースで潤滑した軸受よりも早期にはく離した。このことから、電氣的負荷が原因とみられるはく離においては、電食やメタルコンタクトによる摩耗がはく離に直結するのではなく、リングと玉の間に介在した比較的厚い油膜（グリース膜）により、リングと玉の間の絶縁性が高まることで起こる軸受の帯電が、はく離に直結していると考えられる。

## 文献

- 磯：NSK Technical Journal, No.679 (2005) 28.
- 川村・三上：トライボロジー会議予稿集，東京 (2007) E9.
- Joerg Loos, Iris Bergmann & Matthias Goss：Influence of Currents from Electrostatic Charges on WEC Formation in Rolling Bearings, 59, 5 (2016) 865.
- 納山・羽山・董・中山：トライボロジー会議予稿集，東京 (2019) A2.
- 戸田・河野：トライボロジー会議予稿集，東京 (2021) D16.