

微量油潤滑下における玉軸受内部の潤滑油挙動に与える保持器形状の影響

Effect of cage shape on lubricant behavior inside ball bearings under small quantity lubrication

NSK（正）*宮本 羽留佳 NSK（正）佐藤 努 NSK（正）元田 智弘

Haruka Miyamoto, Tsutomu Sato, Motoda Tomohiro

NSK Ltd.

1. はじめに

カーボンニュートラルを達成するため、省エネルギーやエネルギー効率の向上が求められている。転がり軸受は、内外輪と転動体および保持器から構成され、転動体の転がり運動によって回転部を支持することから元来トルクは低い。この転がり軸受も例外ではなく、さらなる低トルク化が求められている。この要求に応える手段の一つとして、軸受内部を微量の油で潤滑し、かくはん抵抗を下げる事が挙げられるが、この場合低トルク化は達成できるものの、しゅう動部で潤滑油が不足し、軸受の耐久性が低下する恐れがある。そのため、微量油での潤滑を成立させるためには、軸受内のしゅう動部に潤滑油を保持し続ける技術の構築が必要と考えられる。本技術を構築するためには、まず軸受内での潤滑油挙動を把握する必要があるが、一定の潤滑油を供給した条件での軸受内の潤滑油挙動を調査した報告^{1,2)}はあるものの微量油潤滑下における報告例はない。そこで本研究では、微量油潤滑下で2種類の保持器を用いた場合のマクロな潤滑油挙動を観察し、潤滑油挙動に与える保持器の種類の影響を調査したので報告する。

2. 実験方法

Figure 1 に実験装置の概略図を示す。本研究では、合成油 PAO (poly- α -olefin oil) を微量封入した深溝玉軸受(608)を用いて、純アキシアル荷重条件下かつ内輪回転で実験を行った。試験条件および試験に用いた潤滑剤の物性を Table 1, 2 に示す。また本試験で用いた保持器を Fig. 2 (冠形樹脂保持器、波形プレス鉄保持器)に示す。本実験では軸受内の潤滑油挙動を観察するために透明のアクリル樹脂シールを軸受に装着し、軸受内部の観察を可能にした。また潤滑油に蛍光剤 (TRACER PRODUCTS, TP3400) を 0.1vol% 混ぜ、試験中に軸受内部に UV ライトを照射することで潤滑油挙動の視認性を向上させた。潤滑油の供給は注射器を用いて転動体に滴下することで行い、潤滑油が転動体と内外輪、保持器の間に介在している静止状態を試験初期とした。

3. 実験結果と考察

Figure 3 に冠形樹脂保持器を使用した場合の可視化試験の結果を示す。図中の薄緑に見えているのが、UV ライトで蛍光した潤滑油である。冠形樹脂保持器の爪が開いている保持器開口側からの観察では、軸受の回転が始まると、内輪と外輪の間で潤滑油の蛍光が残像として全域に見え、時間の経過とともに蛍光の色が薄まっていく現象が確認された。これは開口側から見えている潤滑油の量が減っていることを示している。3 分間の回転の後、試験機を停止した状態で軸受内部を観察したところ、試験初期の状態と比較して転動体と内輪、外輪、保持器の間に介在する潤滑油の量が減少していた。このとき、保持器開口側のシール内面には潤滑油の付着は見られなかった。一方、保持器開口側の反対である保持器円環側からの観察では、軸受の回転が始まると内輪側に位置する潤滑油の蛍光が薄まり、さらに時間が経過すると潤滑油が保持器外径面と外輪溝肩の間を移動し、シール内面に付着する現象が観察された。その後、潤滑油はシールの外径全周にわたって濡れ広がっていき、シールの内径側で

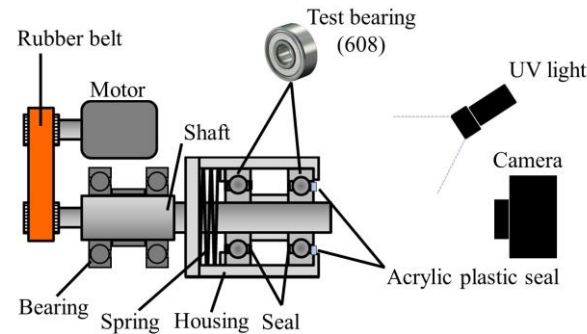


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

Table 1 Test conditions

Bearing	608
Rotational speed, min ⁻¹	6000
Axial load, N	30
Radial load, N	0
Temperature, °C	25

Table 2 Lubricant properties

Oil	PAO
Kinematic viscosity, mm ² /s at 40°C	31
Density, g/cm ³ at 15°C	0.827
Oil amount, mg	40

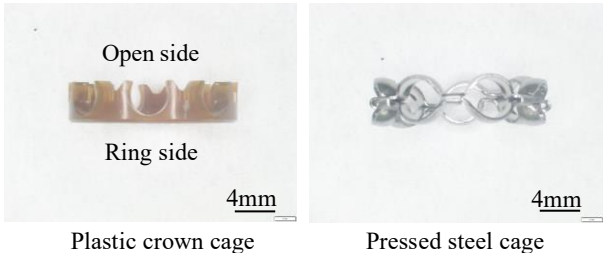


Fig. 2 Photographs of bearing cage types

ある保持器円環部とシールの隙間に入り込もうとする挙動を示した。保持器開口側からの観察の結果とあわせて考えると、封入した潤滑油の大部分が、軸受の回転に伴って保持器円環とシール間に移動することが判明した。

Fig. 4 に可視化試験の結果より推測した潤滑油挙動の概略図を示す。試験開始直後、内輪側に位置する潤滑油の蛍光が薄まった現象は、内輪側に位置する潤滑油が遠心力によって外輪側へと移動したために起こったと考えられる。そして、その後に生じる保持器外径面と外輪溝肩の間を通る潤滑油の移動は、外輪側に集まった潤滑油が表面張力に起因する力で保持器外径面と外輪溝肩の隙間に引き付けられたことによって起きたと考えられる。すなわち本実験で用いたような小径の軸受内部において、潤滑油挙動は遠心力や重力などの体積力に影響を受けるだけでなく、表面張力に起因する力の影響を強く受けることが示唆された。

波形プレス鉄保持器を使用した場合の可視化試験の結果を Fig. 5 に示す。軸受の回転が始まると、潤滑油が内輪側から外輪側へと移動していく様子が見られ、次に潤滑油が軸受内部で飛散し、シール内面に付着していく現象が確認された。Fig. 2 に示すように冠形樹脂保持器は開口側と円環側で形状が違うことから、観察方向によって確認される潤滑油挙動は異なっていたが、波形プレス鉄保持器は上下で対称であるため、観察面に対して反対側の面でも同様の現象が起きていると考えられる。試験機を停止すると、潤滑油がシール内面、保持器表面など、軸受内部を全体的に分布している状態が見られた。波形プレス鉄保持器を用いた場合は、潤滑油が集まる外輪の溝肩と保持器外径の間が、冠形樹脂保持器を用いた場合と比較して空間的に広くなるため、表面張力に起因する潤滑油のまとまりが起きにくく、全体的に飛散する現象が起きたと考えられる。

4. まとめ

本研究では、2 種類の保持器を用いて微量の潤滑油を封入した状態における軸受内部での潤滑油挙動を可視化試験によって観察した。その結果、冠形樹脂保持器を使用した場合は、軸受の回転に伴って潤滑油が外輪側へと移動し、保持器外径面と外輪溝肩の隙間を通して保持器円環側へと移動していく現象が確認された。また、波形プレス鉄保持器を使用した場合は、軸受の回転に伴って潤滑油が軸受内部で飛散し、全体的に分布していく様子が確認された。本実験で用いたような小径の軸受内部では微量の潤滑油を封入した場合に、保持器の種類によって潤滑油挙動に違いがあることがわかった。

文献

- 1) 遠山護ほか, 高速回転深溝玉軸受の油膜厚さ計測およびオイル分布観察, トライボロジスト, 68, 8(2023)577.
- 2) Wei Wu, Chunhui Wei, Shihua Yuan. Numerical simulation of ball bearing flow field using the moving particle semi-implicit method, Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics, 16, 1(2022)215

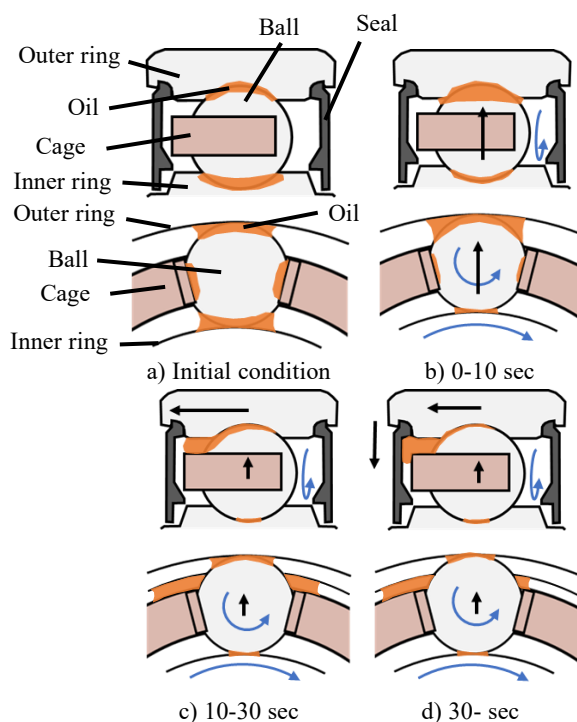
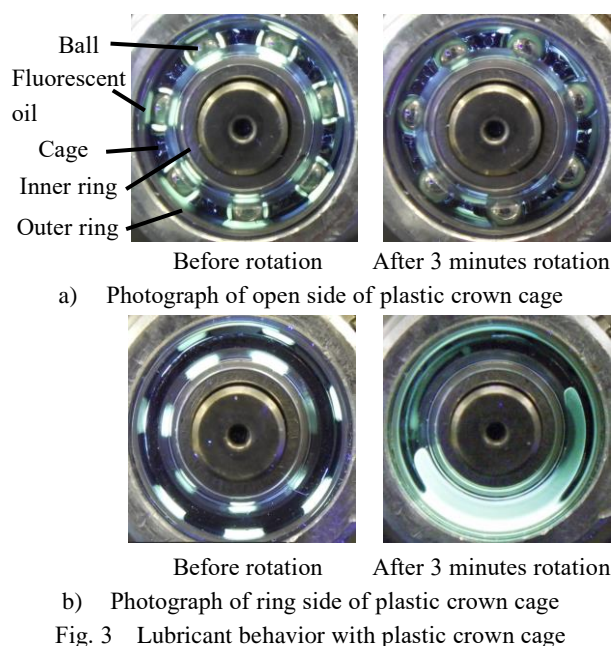


Fig. 4 Schematic diagram of bearing interior from two directions and estimated lubricant behavior

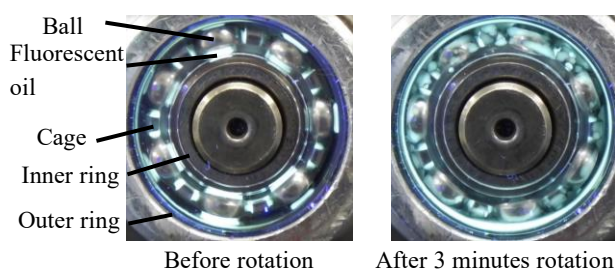


Fig. 5 Lubricant behavior with pressed steel cage