

着色剤添加グリースを用いた 転がり軸受内のグリースマイクロ挙動の可視化

Visualization of Grease Micro Behavior for Rolling Bearings Using Colorant-Added Grease Colored

NTN 株式会社（正）小畑 智彦

Tomohiko Obata

NTN Corporation

1. はじめに

転がり軸受において摩擦トルクの低減は最重要課題の一つであり、低トルクとなるグリースや軸受形状の設計において、軸受内のグリース挙動の理解が必要不可欠である。また、近年では CFD (Computational Fluid Dynamics) を用いてグリースの流動解析が実施されているが、解析コストが高い且つ、グリース自体の機械的特性が極めて複雑であるため、実験によるグリース挙動可視化のアプローチが幅広く行われている。

グリース潤滑された転がり軸受の潤滑状態はチャーニングとチャンネリングがある。高速回転時は、グリースが遠心力によって飛散し、攪拌されたのち静止空間に移動する。このチャーニングからチャンネリングへの移行を示す挙動は高速度カメラなどで容易に観察でき、摩擦トルクもこの挙動に合わせて変化する。一方、低速回転時は、保持器上に付着したグリースが外観上ほとんど動かないにもかかわらず、チャーニングの摩擦トルクを示す場合がある。これらのグリース流動を正しく理解するためには、マイクロとマクロなグリース流動を同時観察する必要がある。

この問題を解決する可視化技術として、軸受内の狭いすきまを通過したグリースやその移動量を定量化できる方法を開発した。本報ではこの手法と軸受内のグリース流動を可視化した結果を報告する。

2. 可視化方法

2.1 発色原理

グリース色とは異なる着色剤を微量添加し、その着色剤の凝集体サイズをグリース内で微細化することでグリース挙動の可視化を狙った。発色原理について説明する。

グリースに直径 d_0 の色のついた凝集体を添加する。この凝集体がすきまを通過し、直径 d_n の n 個の粒子に分裂したと仮定する。分裂した n 個の凝集体の総断面積 A_n は式(1)で表せる。

$$A_n = \frac{d_0}{d_n} \frac{\pi}{4} d_0^2 \quad (1)$$

このことから凝集体サイズが微細化すれば、凝集体の投影面積は増加し、元々のグリースに対する着色剤の色の割合が増加することがわかる。

次に透過光について考えると、透過光強度は光の通過する経路長さ t と吸収係数 α に対して指数関数的に減少することが知られている。着色剤添加前のグリースはある特定の波長の光を透過し、着色剤の凝集体がその波長を反射すると仮定する。特定の波長での透過光強度 I_{tra} は吸収係数 α (ここでは単位面積当たりの凝集体の投影面積 a_n に相当) によって以下の関数で表すことができる。ここで、 I_0 は入射光強度である。

$$I_{tra} = I_0 e^{-a_n t} \quad (2)$$

簡単のため散乱光を無視して考えると、反射光強度 I_{ref} と透過光強度 I_{tra} の和が I_0 であるため、 I_{ref} は次式で表せる。

$$I_{ref} = I_0 (1 - e^{-a_n t}) \quad (3)$$

式(3)から、グリースに添加された着色剤の凝集体サイズが微細化する、あるいはグリース膜が厚くなるほど凝集体が反射する波長の反射強度は大きくなり、グリース色は着色剤の色に近づくように見える。

2.2 使用した着色剤

着色剤には、黄色色素を有する凝集体を使用した。初期の凝集体の平均粒径は 30 μm である。粒径は転がり軸受のトルクの大小に関連する保持器ポケットや玉と軌道輪の接触部近傍のすきまと比較すると十分大きい。すなわち、軸受内でこれらのすきまを通過した場合には、凝集体の微細化が期待できる。

2.3 グリースの発色

すきまを通過した際のグリースの発色について検討した。転がり軸受用グリースに着色剤を1 wt%添加した。試験は円筒間の距離を所定のすきまに設定し、そのすきまにグリースを通した。Figure 1に通過したすきまに対するグリース内の着色剤の平均粒径を示す。すきまが小さくなるにつれて、粒径は微細化した。Figure 2にグリースの色変化を定量化した結果を示す。縦軸は着色剤に起因する黄色波長域の反射光強度の増加を表す。10 μm 以下のすきまを通過した際に、反射光強度が増加した。これは、凝集体の微細化が生じるすきまと一致する。すなわち10 μm 以下のすきまを通過したグリースは、凝集体の微細化による色調変化によって、可視化できる。

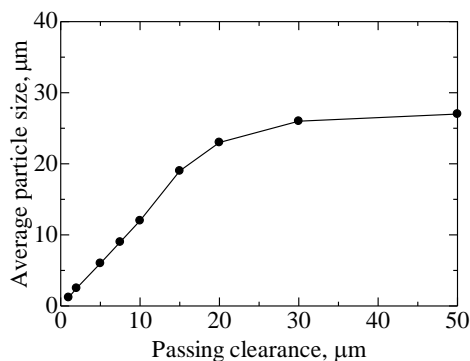


Fig.1 Relationship between passing clearance and particle size

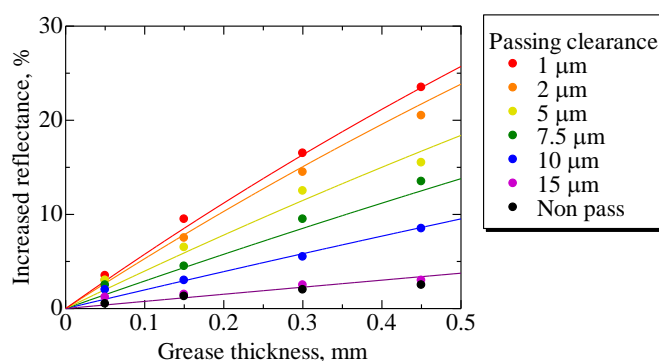


Fig.2 Increased reflectance of grease color

3. 軸受内のグリース流動観察

3.1 実験方法

試験条件をTable 1に示す。軸受は冠形樹脂保持器を用いた深溝玉軸受6204を使用した。シールなしの開放形式とし、軸方向から高速度カメラで運転時の軸受内のグリースを観察した。回転速度は1200, 3600 min^{-1} の2条件とした。

3.2 トルク結果

トルク測定結果より、今回用いたグリースのトルク特性は1200 min^{-1} ではチャネルリング、3600 min^{-1} ではチャーニング傾向であった。

3.3 可視化結果

Figure 3に試験中に観察した軸受内のグリース可視化結果を示す。回転速度1200 min^{-1} では、軸受内のグリース色は初期からほとんど変化がなかった。軸受内のグリースの流動はほとんどなく、チャネルリングであったと推察される。一方で3600 min^{-1} では、運転時間の経過とともに、軸受内のグリースの発色領域や発色強度が増加した。すなわち、絶えずグリースが流動しており、チャーニングであったことが示された。保持器上のグリースの反射光強度分布より、転動体のグリースが保持器ポケットのエッジで掻き取られ堆積し、その後、保持器を介して循環することがわかった。これらのグリースの流動がチャーニングを長期間維持した要因と推察する。

Table 1 Bearing torque test conditions

Test bearing	Deep groove ball bearing 6204
Rotational speed, min^{-1}	1200, 3600
Axial load, N	19.6
Temperature	Room temperature
Time, s	600

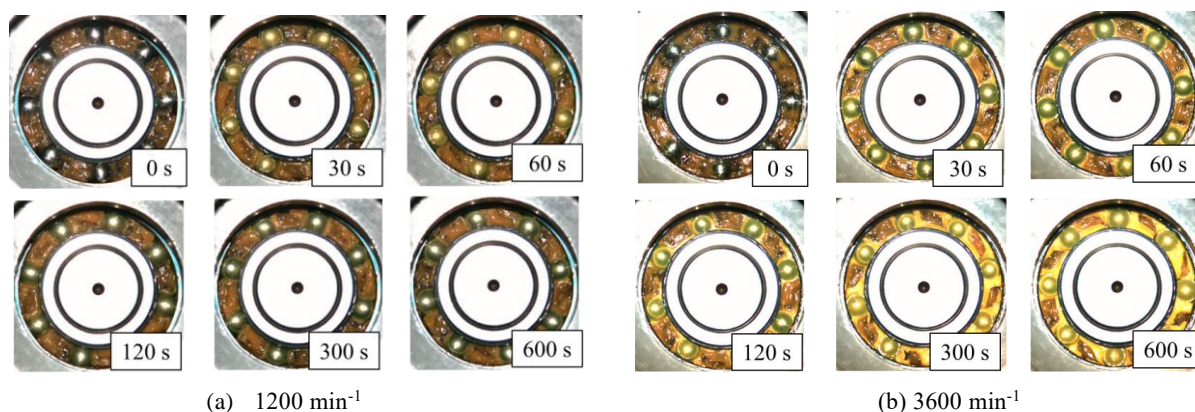


Fig.3 Grease color inside of bearings

4. まとめ

着色剤を用いたグリース流動の可視化技術を紹介した。グリースに添加した着色剤はすきまを通過すると微細化し、すきまのサイズや堆積量によって発色の状態が変化する。この現象を用いて、チャーニングとチャネルリングのグリース流動を明らかにした。

今後はグリースの流動可視化に加え、最先端のシミュレーション技術によって、グリース潤滑メカニズムの理解が加速すると予想する。