

玉軸受のグリース潤滑における潤滑寿命の研究（第2報） —基油の浸透特性にもとづく潤滑寿命の解析—

Service Life of Lubricating Grease in Ball Bearings (Part 2)

—Analysis of Service Life Based on Infiltration Characteristics of Base Oil—

協同油脂（正）*市村 亮輔 協同油脂（正）小森谷 智延 協同油脂（正）河内 健 協同油脂（正）吉原 径孝

協同油脂（正）酒井 雅貴 協同油脂（正）董 大明 東大・香川大（名誉）木村 好次

Ryosuke Ichimura*, Tomonobu Komoriya*, Tsuyoshi Kochi*, Michitaka Yoshihara*,

Masatake Sakai*, Daming Dong*, Yoshitsugu Kimura**

*Kyodo Yushi Co., Ltd., **The University of Tokyo/Kagawa University

1. はじめに

第1報¹⁾において、DIN 51821に準拠したアンギュラ玉軸受の潤滑寿命試験を実施して潤滑寿命に至る過程を調べ、直接の原因が玉と保持器の窓の摩擦面に生ずる焼付きであり、運転初期に外輪端部に形成された油溜まり、Fig. 1 の(a)から、付着層(b)内の浸透によって軌道面のグリース膜(e)に供給される基油の流量とそこから失われる流量のバランスが、潤滑寿命を支配する主要因であるという結論を得た。本報では、この結論の妥当性の立証と潤滑寿命を評価する手順の導出を試みる。

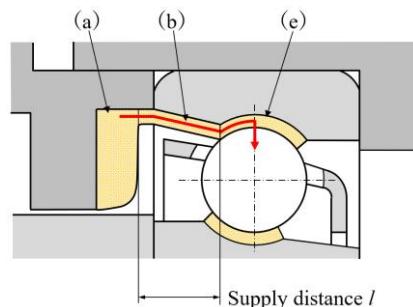


Fig. 1 Movement of base oil through re-distributed grease in a bearing

2. 基油の浸透速度の測定

第1報の潤滑寿命試験に用いたTable 1に示す3種類の供試グリースについて、基油の浸透特性を調べた。増ちょう剤の網目構造は基油中で形成されるため、網目構造内の浸透性を直接測定することができないので、ろ紙を媒体に用い、①基油からろ紙への浸透速度と②グリースからろ紙への基油の浸透速度を測定して、それらの比較により間接的に測定する方法をとった。測定装置をFig. 2に示すが、門形の枠から吊下げたろ紙への、浸透距離 l_i の時間変化を計測した。得られた浸透速度は、当然ながら基油からの場合①がもっとも高く、グリースからの場合②では $B > C \approx A$ となった。

Table 1 Sample greases

Grease	A	B	C
Base oil	Paraffinic mineral oil		
Kinematic viscosity, mm ² /s(298K)	142		
Thickener	Aromatic diurea	Aliphatic diurea	Alicyclic-aliphatic diurea
Concentration, mass%	20.0	8.0	8.0
Penetration (60W)	300	296	297
Additive	Antioxidant		

3. 浸透理論の適用

浸透距離などの場合も時間の0.5乗に比例しているので、液体の浸透に関するLucas-Washburnの式²⁾の適用を試みる。すなわち、網目構造内の流路を同一の内径をもつ多数の円管に置き換え、液体の一方向の浸透速度が網目構造と等しくなるように仮定した円管の半径を等価半径 r と定義し、浸透性を表す指標とする。

一般に多孔体の等価半径は空隙の体積率の関数として表されているが、本研究では増ちょう剤の質量濃度 f を用いているので、近似的な表現として次式を仮定した。

$$r = C^*(1-f)/f^n \quad (1)$$

定数 C^* と n は、各グリース A～C について測定値へのフィッティングによって決める。

各グリースについて、増ちょう剤の濃度を変えた浸透速度の測定値から求めた等価半径の変化を、Fig. 3 の実験点で示す。カーブは式(1)による計算値で、 C^* と n はグリース A～C の測定値へのフィッティングによっているが、式(1)がこの変化を必要な精度で表していることが分かる。

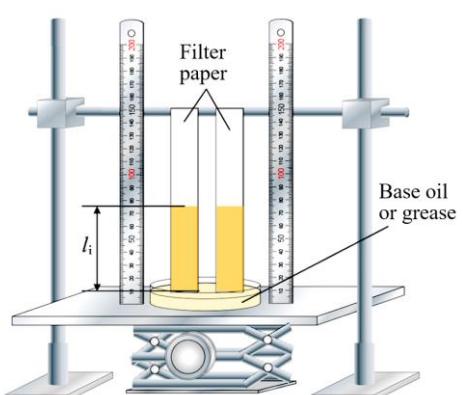


Fig. 2 Schematic of infiltration test apparatus

4. 運転中の等価半径の変化

運転開始から潤滑寿命に至る過程におけるグリースの状態は、順に①チャーニングによる再配置の期間、②軌道面からの蒸発・飛散等による基油の消失と、油溜まりからの基油の補充がバランスした期間、そして③補充が不十分になって運転を安定に継続しえない状態の3つに分けられる。以下、(b)内の浸透に注目して②における基油の流れを解析する。

Figure 1に示した基油の流れを、Fig. 4のように単純化して考える。長方形は油溜まり(a)と(b)における成分の量のイメージであり、 f_a と r_a 、 f_b と r_b は、それぞれ(a)と(b)の増ちよう剤の濃度と等価半径である。軌道面のグリース膜(e)からある量の基油が失われると、バランスを保つために同量 q_L の基油が(b)から(e)に移動し、それを補充するために(a)から(b)へ、これも同量 q_F の基油が移動すると考える。

$$q_L = q_F \quad (2)$$

この移動により f_b と r_b が上昇し、 r_b と r_a は減少する。基油の表面張力を T 、粘度を η 、増ちよう剤との接触角 θ とし、流路の長さをFig. 1の供給距離 l で代表させ、推定が困難な(e)の等価半径を r_b で代用して、 q_F を次の形で与える。

$$q_F = \frac{r_b^2 T \cos \theta}{4 \eta l} \left(\frac{1}{r_b} - \frac{1}{r_a} \right) \quad (3)$$

r_a/r_0 と r_b/r_0 を両軸にとったFig. 5において、運転開始時には $r_a=r_b=r_0$ 、すなわち状態点は P_0 にあり、 $P_0 \sim P_1$ が①を表すと考える。式(1)～(3)で q_F を一定として算出した r_a/r_0 と r_b/r_0 の変化をプロットすると、破線 $r_b=r_a/2$ を尾根とする等高線群が得られる。②の開始時の状態点は P_1 にあり、時間 t の経過につれて一本の等高線上を左下方に移動し、やがて P_2 に至る。この点を過ぎると等高線は右方向、すなわち r_a が増加する方向を向くが、以下の部分は上式の解ではあっても現象として生じ得ないので、 P_2 が②の限界を与える。その時刻 $t=t_2$ における(a)の等価半径 $r_{a,t2}$ は次式で与えられる。

$$r_{a,t2} = \frac{16 \eta l}{T \cos \theta} q_L \quad (4)$$

5. 潤滑寿命の推定

第1報で測定した潤滑寿命を、供給距離の関数としてFig. 6に実験点で示す。この寿命は上述した期間①②③の和になるが、解析においては、ごく短時間で終わる①を無視し、③には第1報の(a)を取り除いた場合の残存寿命を参考に、一定値30hを仮定する。次いで期間②の持続時間を、前節の解析に寿命試験の諸数値を入れて算出したが、一定と仮定した q_L の値は不明なので、Fig. 6の供給距離2mmにおけるグリースBの潤滑寿命の測定値を用いて逆算した値を用いた。こうして得られた潤滑寿命の推定値が、Fig. 6の折れ線である。潤滑寿命の供給距離による変化および3種のグリースの違いに関し、推定値は測定値と良好な一致を見せている。

6. 結論

- ろ紙を利用した浸透試験法を開発して基油の浸透性を測定し、その指標として等価半径を評価した。
- 軸受内各部に再配置されたグリースの等価半径の関係から潤滑寿命を推定する方法を導き、潤滑寿命試験結果と良好な一致を示す結果を得た。

文献

- 小森谷ほか：玉軸受のグリース潤滑における潤滑寿命の研究（第1報），トライボロジスト，66，2 (2021) 147.
- E. W. Washburn: The Dynamics of Capillary Flow, Phys. Rev., 17, 3 (1921) 273-283.

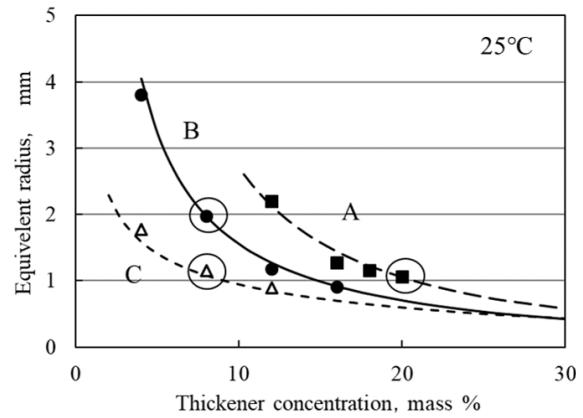


Fig. 3 Change in equivalent radius with concentration

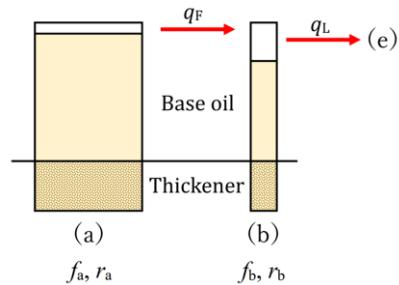


Fig. 4 Movement of base oil during Period 2

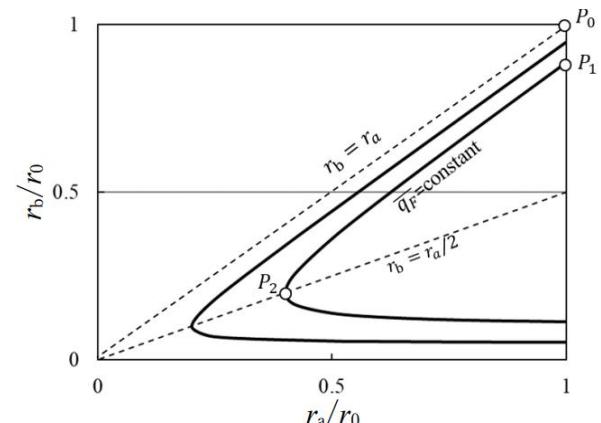


Fig. 5 Diagram showing r_a-r_b

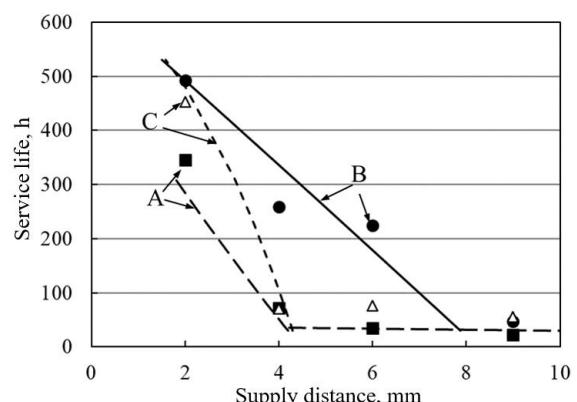


Fig. 6 Predicted and experimentally determined service life