

無添加グリース潤滑下の玉軸受における寿命過程の潤滑状態と酸化劣化の簡易評価
Simplified Evaluation of Lubrication Condition and Oxidative Degradation in Ball Bearings
Throughout Operation with Additive-Free Grease

日本精工 (正) *前田 成志 (正) 松崎 康男 (正) 眞鍋 佳資 (正) 稲葉 武信
(正) 松屋 優介 (正) 杉山 敬史 Science Tokyo (正) 桃園 聡
Masayuki Maeda*, Yasuo Matsuzaki*, Keisuke Manabe*, Takenobu Inaba*
Yusuke Matsuya*, Norifumi Sugiyama*, Satoshi Momozono**
*NSK Ltd, **Institute of Science Tokyo

1. はじめに

転がり軸受は、正しく使用してもある運転期間を経過すると潤滑剤が劣化してその機能が果たせなくなり、発熱・摩擦増大・摩耗などが生じ、最終的には焼付きに至る場合がある¹⁾。これは潤滑寿命と呼ばれ、特にグリース潤滑の場合はグリース寿命とされる。近年、カーボンニュートラルやSDGs (Sustainable Development Goals) の観点から、機械の安全・信頼性が求められており、転がり軸受においても、低トルク化・長寿命化技術に加え、寿命予測技術の高精度化が必要とされる。現状、グリース寿命を定量的に予測できる純粋な物理化学モデルは存在せず²⁾、寿命試験結果に基づく経験的な寿命予測に留まっている³⁾。本研究では、転がり軸受がグリース寿命に至るまでのメカニズムを解明することを目的に、回転数、外輪温度、ヒータ出力、アキシアル荷重、軸受トルク、モータ電流、振動加速度、AE (Acoustic Emission)、アルデヒドガス濃度、インピーダンスおよび位相差、転動体通過周波数の同時測定が可能な軸受試験機を構築した。本稿では、添加剤の影響を排除した無添加グリース潤滑下の玉軸受を用いて寿命試験を行った結果について報告する。

2. 実験

本研究で用いた軸受試験機の模式図を Fig. 1 に示す。本試験では、鉄保持器の深溝玉軸受 (型番 : 6305) を 2 個使用し、寿命試験時において、上記項目の同時測定を行った。供試グリースの詳細を Table 1 に、試験条件を Table 2 に示す。同試験条件で 7 回の試験を行っており、そのワイブルプロットを Fig.2 に示す。形状パラメータ $\beta = 2.39$ であり、本グリースおよび試験条件での軸受の故障モードは摩耗故障型であった。

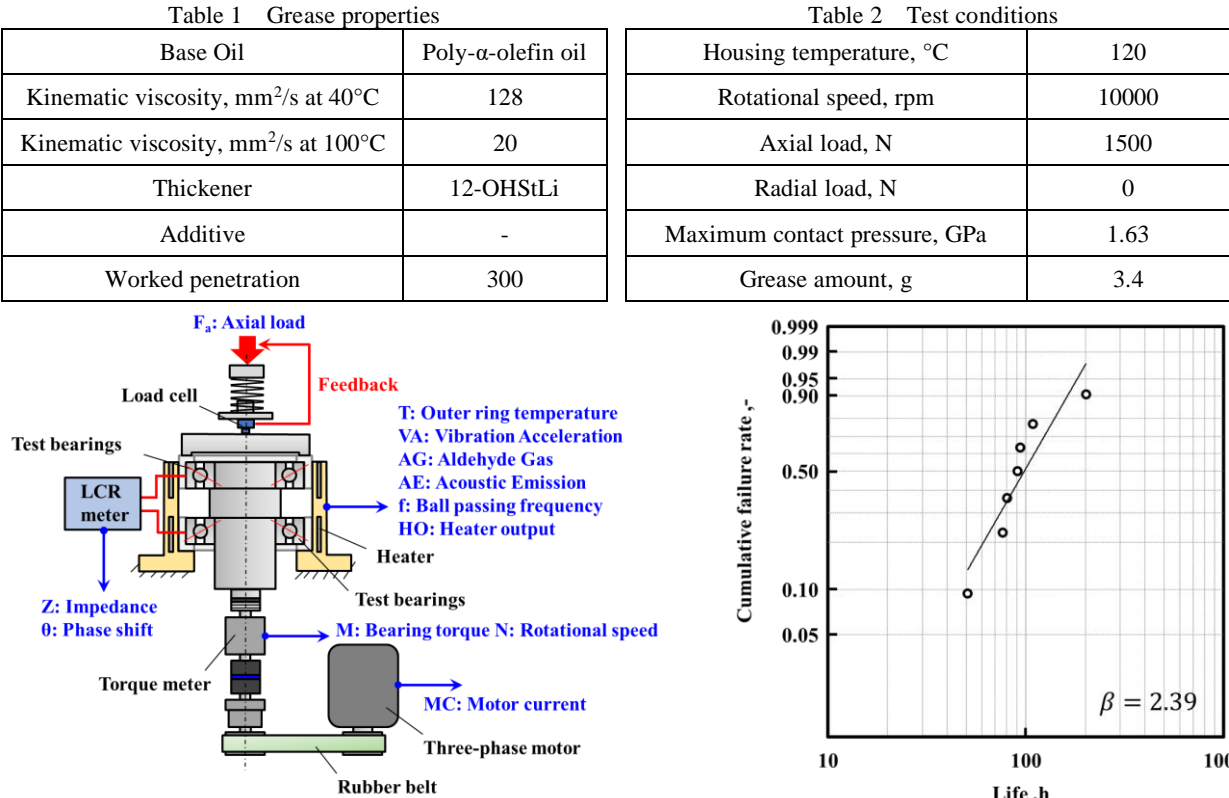


Fig. 2 Weibull plot

3. 結果と考察

寿命時間が 50.9hであった試験結果（寿命判定：上軸受，振動加速度の実効値が 200m/s^2 を超過）を Fig.3 に示す。図の横軸は時間 $t[\text{h}]$ ，縦軸はそれぞれ，回転数 $N[\text{rpm}]$ ，外輪温度 $T[^\circ\text{C}]$ ，ヒータ出力 $HO[\text{W}]$ ，アキシアル荷重 $F_a[\text{N}]$ ，軸受トルク $M[\text{N}\cdot\text{m}]$ ，モータ電流 $MC[\text{A}]$ ，振動加速度の実効値 $VA_{\text{RMS}}[\text{m/s}^2]$ ，AE のエンベロープ値 $AE_{\text{ENV}}[\text{V}]$ ，転動体通過周波数 $f[\text{Hz}]$ ，アルデヒドガス濃度 $AG[\text{V}]$ ，インピーダンス $Z[\Omega]$ ，位相差 $\theta[\text{deg.}]$ であり，赤プロットは上軸受の値，青プロットは下軸受の値を示している。

Z は EHD (elastohydrodynamic) 接触部の油膜厚さに相当する指標であることが知られており⁴⁾，寿命時とその直前（図中の赤矢印部）において，急激に低下した。同時に T ， M ， MC ， VA_{RMS} ， AE_{ENV} ， AG が上昇し， f が低下していることから，運転中に各項目が連動して悪化する現象，すなわち潤滑状態の悪化を確認することができた。また，アルデヒドは炭化水素基を持つ潤滑剤が酸化した際に生成されることが知られており⁵⁾， AG が試験途中（図中の青矢印部）において，急激に上昇した⁶⁾。同時に T や M が上昇していないことから，軸受内部においてグリースの酸化，すなわちフリーラジカル連鎖反応⁷⁾がこのタイミングで一気に進行したものと考えられる。さらに，今回行った 7 回の寿命試験すべてにおいて，潤滑状態の悪化に先行してグリースの酸化が観測された。このことから，本グリースおよび試験条件においては，グリースの酸化がグリース寿命に至るトリガーである可能性が示唆された。

4. 結論

グリース潤滑下の玉軸受における寿命試験時において，回転数，外輪温度，ヒータ出力，アキシアル荷重，軸受トルク，モータ電流，振動加速度，AE，アルデヒドガス濃度，インピーダンスおよび位相差，転動体通過周波数の同時測定が可能な軸受試験機を構築し，無添加グリースでの試験を行った結果，以下が判明した。

- (1) 運転中に各測定項目が連動して悪化する現象，すなわち潤滑状態の悪化を確認した。
- (2) 本グリースおよび試験条件において，グリースの酸化がグリース寿命に至るトリガーである可能性が示唆された。
- (3) 今後，異なる潤滑剤や試験条件で同様の測定を行うことで，潤滑剤や試験条件ごとのグリース寿命に至るメカニズムの解明に繋がる可能性があると考えられる。

謝辞

供試グリースは協同油脂株式会社より提供を受けました。ここに記してお礼申し上げます。

文献

- 1) 高田・相原：転がり軸受の寿命と信頼性，日刊工業新聞社 (2005) 104
- 2) Piet M. Lugt et al. : Grease Performance in Ball and Roller Bearings for ALL-Steel and Hybrid Bearings, Tribology Transactions, 63, 1 (2022) 1-13
- 3) 外尾・横内：転がり軸受用グリースの潤滑寿命推定技術，トライボロジスト，60，5 (2015) 314-319
- 4) T. Maruyama et al.: Lubrication Condition Monitoring of Practical Ball Bearings by Electrical Impedance Method, Tribology Online, 14, 5 (2019) 327
- 5) Piet M. Lugt : Grease Lubrication in Rolling Bearings, Wiley (2019) 183
- 6) 外尾・稲葉：潤滑グリースの酸化の検知技術，トライボロジスト，66，9(2021) 694-698
- 7) Jinichi Igarashi, Toshio Yoshida : Computer Simulation of Turbine Oil Oxidation. 1 : Consumption of a Hindered Phenol Antioxidant in Model Hydrocarbon Systems at 115°C , Lubrication Science, 7, 1 (1994) 1-23

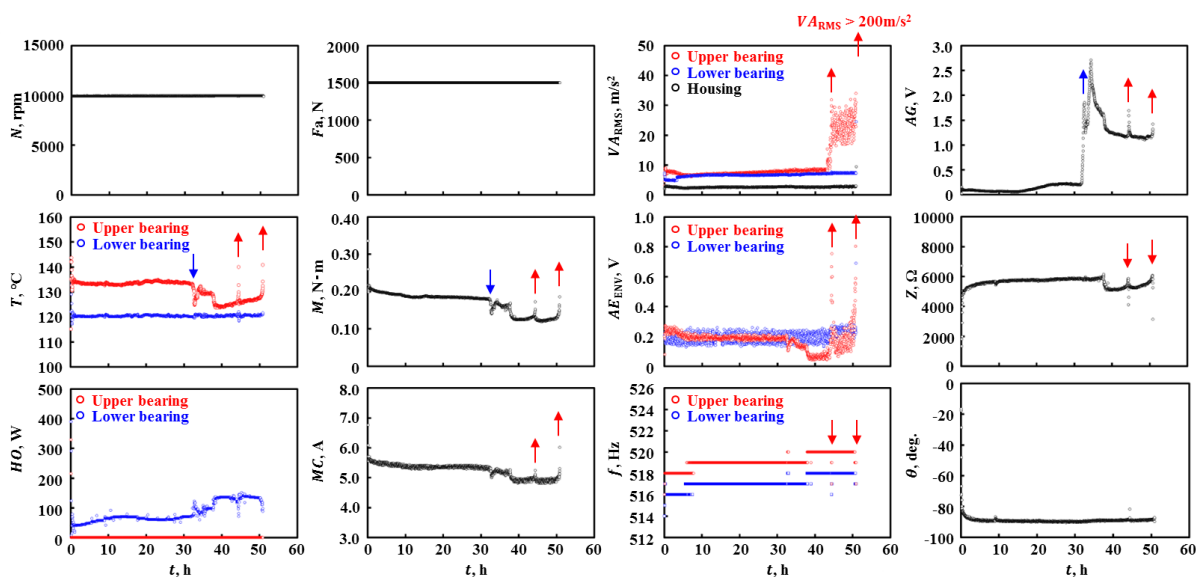


Fig. 3 Ball bearing life test results under additive-free grease lubrication