

軸受の転がり疲れに及ぼす潤滑油と水の影響

Effect of lubricants and water on rolling contact fatigue of rolling element bearing

九州大・工（院）*高山 隼輔 出光興産（正）砂川 洋二 九州大・工（正）田中 宏昌 九州大・工（正）八木 和行

Shunsuke Takayama*, Yoji Sunagawa**, Hiroyoshi Tanaka*, Kazuyuki Yagi*

*Kyushu University, **Idemitsu Kosan Co., Ltd.

1. はじめに

近年、カーボンニュートラル実現への取り組みとして、環境負荷の小さいクリーンなエネルギーに注目が寄せられている。特に風力発電は、我が国の広大な周辺海域に、年間消費量の約3～4倍の発電ポテンシャルがあると言われている。また、環境への配慮から電気自動車の更なる普及も期待されている。これらの導入に際し、メンテナンス性やエネルギー効率の観点から、搭載される転がり軸受の長寿命化および使用する潤滑油の低粘度化が要求されている。加えて、実環境では雨水を始めとする水の混入も想定され、より過酷な潤滑状態に適応する潤滑油が必要である。軸受の損傷は、軸受の運転に不可欠な潤滑油や油中に混入した水が分解することで、水素が恒常的に生成される影響が大きい。水は軸受損傷の主要な原因になりうる。

本研究では、基油として広く用いられるポリ α オレフィン（PAO）とパラフィン系鉱油（MO）を使用し、粘度や水の有無を変化させて疲労試験を行った。また、エンジンオイルに不可欠な金属系清浄剤についても検討を行った。試験後の試料について表面分析や水素侵入量分析を行うことで、転がり軸受の寿命に及ぼす潤滑油と水の影響を検討した。

2. 試験方法

本研究で用いたボール・オン・ディスク型転がり疲労試験機におけるチャンパ内部の模式図を Fig.1 に示す。試験片の材質は SUJ2 で、ディスク試験片は内径 35mm、外径 52mm、ボール試験片は直径 6.35mm のものを用いた。ベースオイルのみの試験における実験条件を Table 1 に、金属系清浄剤を添加した潤滑油について Table 2 に示す。金属系清浄剤入りの潤滑油については、過塩基性（Overbased）の Ca-A と中性（Neutral）の Ca-B の2種類を用いた。

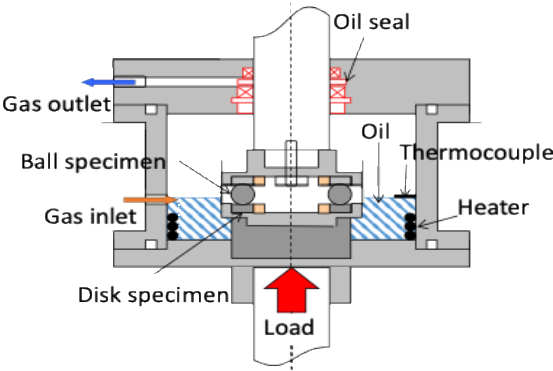


Fig. 1 Illustration of RCF tester

Table 1 Condition of RCF test

Material	SUJ2
Maximum Hertzian Pressure	4.8GPa
Rotational speed	1500rpm (3.4m/s)
Experimental environment	Nitrogen
Oils and Viscosity grade at 40°C	PAO5, 17, 32 MO7, 22, 32
Water-Contaminated Oil	PAO +water (20vol%)
Temperature	363K

Table 2 Composition and properties of test oil

Detergent	Calcium Sulfonate
Base Oil	PAO17
Oil type	Ca-A (Overbased) Ca-B (Neutral)

3. 試験結果

3.1 基油を用いた試験

疲労試験と水素侵入量分析の結果を Fig.2 および Fig.3 にそれぞれ示す。Fig.2 の縦軸は疲労寿命（ $\times 10^4$ cycles）、横軸は潤滑油の粘度グレード（cSt）である。Fig.3 の縦軸は水素侵入量（ppm）、横軸は使用した潤滑油、疲労寿命（ $\times 10^4$ cycles）、フレーキング箇所である。PAO と MO のそれぞれで、より高粘度であるほど長寿命であった。同じ粘度グレード付近で比較すると、PAOの方がMOよりも寿命が長くなることがわかった。また、PAO に水を入れた試験では、寿命が著しく低下するものもあり、結果が大きくばらついた。

3.2 金属系清浄剤を添加した潤滑油を用いた試験

金属系清浄剤の添加による影響を調査するために PAO17（基油）に 2 種類のカルシウムスルホネートを添加した油を用いて基油と同様の疲労試験を行った。基油のみの結果と比較すると、Ca-A は基油と同等の長寿命が得られた。一方で、Ca-A に水を入れた試験では、寿命が著しく低下した。基油と Ca-B を比較すると、Ca-B は基油よりも低寿命となったが、水の有無による寿命の変化はごく僅かであった。いずれの添加剤も水を混入した試験後の転走痕は褐色を呈した。

3.3 水素侵入量

基油のみの結果と比較すると、Ca-A、Ca-B のいずれも水素侵入量が減少した。特に、ボール試験片側での減少が顕著に見られ、それに伴いフレーキングも相対的に水素侵入量の多いディスク側で生じている。

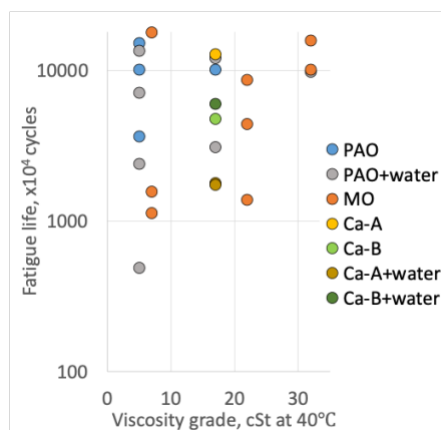


Fig.2 Fatigue Life

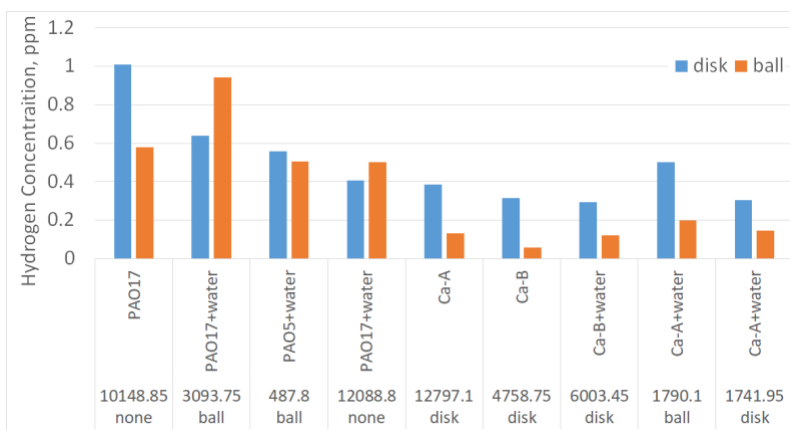


Fig.3 Hydrogen Concentration in bearing steel

4. 考察

試験後の表面組成を観察するため、PAO17 および金属系清浄剤を添加した油を用いた試験の試料表面に対し、ラマン分光分析を行った (Fig.4)。PAO17 の基油潤滑において長寿命化した試験では、表面に厚いカーボンの表面膜の生成が確認された。一方で、Ca-A 配合の試験では炭酸カルシウム、Ca-B では試料油の測定時と同じ成分が観察された。表面の写真観察からもわかるように、Ca-A 配合油による表面膜形成は極めて滑らかで、均質な印象を受ける。これが保護膜として表面を安定化し、転がり疲労寿命に良い影響をもたらしたと推察される。

金属系清浄剤を添加した油に水を混入した試験において、過塩基性である Ca-A 添加油の試験後表面からは酸化鉄 Fe₃O₄ が、ニュートラルである Ca-B 添加油では酸化鉄 Fe₂O₃ が強く検出された。Ca-B 添加油において水を添加した試験で寿命が比較的高いのは Fe₂O₃ が微細な粒子を形成して Fe₃O₄ より潤滑特性に有利であるからだと考えられる。また、表面を光学顕微鏡観察すると Ca-A 配合油水混入試験における表面には粗大な粒状の粒子が観察される。このような表面性状の劣化が転がり疲労寿命の低下につながったと考えられる。

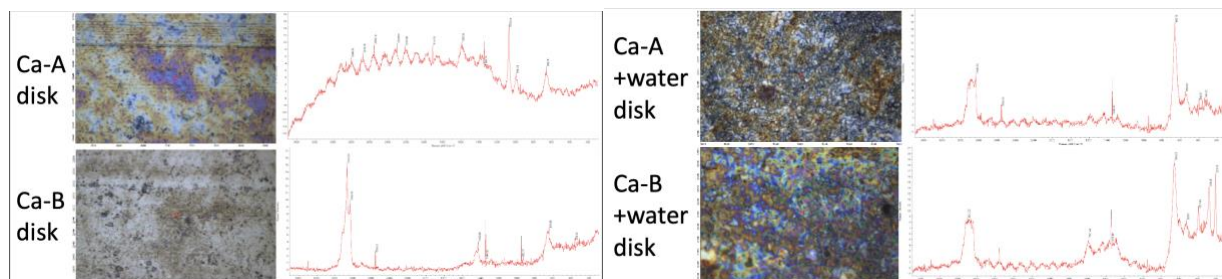


Fig.4 Raman analysis of rolling contact surface after the RCF test

5. おわりに

本研究では、基油のみを用いた試験や金属系清浄剤を添加した潤滑油を用いた試験を通じて、疲労寿命や水素侵入量の比較を行った。水の添加により、基油のみの試験と金属系清浄剤を添加した試験のそれぞれで、試験後の試料表面に特徴的な表面組成の変化が確認され、それらが疲労寿命や水素侵入量に大きく影響することが判明した。

文献

- 1) M.-H. Evans. (2012). “White structure flaking (WSF) in wind turbine gearbox bearings: effects of ‘butterflies’ and white etching cracks (WECs)”, Materials Science and Technology, Vol. 28.
- 2) 田中・砂川, トライボロジー会議 2025 秋名護
- 3) Monica Ratoi, Hiroyoshi Tanaka, Brian G. Mellor & Joichi Sugimura. (2020). “Hydrocarbon Lubricants Can Control Hydrogen Embrittlement”, Nature, Scientific Reports