

## 軸受の転がり疲れに及ぼす潤滑油基油と水の影響

## Effects of lubricant base oil and water on rolling contact fatigue of rolling element bearing

九大・工（正）\*田中 宏昌 出光興産（正）砂川 洋二

\*Hiroyoshi Tanaka,\*\* Yoji Sunagawa,  
\*Kyushu University,\*\*Idemitsu kosan Co., Ltd.

## 1. はじめに

転がり軸受の疲れ寿命は、潤滑条件や潤滑油の状態に大きく左右される。本研究においては、鉱油と合成油を潤滑油基油として選定し、スラスト玉軸受の転がり疲労寿命試験を行った。転がり軸受の疲労寿命を考えるうえで、水素脆化の影響は無視することができない。そのため本研究においては、水素脆化の原因と考えられている水素の軸受鋼中への浸入・拡散を想定し、油の分解がその原因となると仮定した。これまでも油の分解が水素ガスの発生につながるという報告は多くなされているが[1, 2], 空気中の酸素による鋼表面の酸化の影響を除外するために、本研究では転がり疲労寿命試験を窒素中において行った。また、水素脆化の原因とされる水素の発生には油のみならず、水分も関与している可能性が指摘されている。従って、潤滑油基油に対して水を混入させた試験も行い、油中水分量とともに鋼へ侵入した水素の濃度を計測して水分と転がり疲れ寿命との関係を調査した。

## 2. 実験・理論

雰囲気制御型転がり疲労試験機を用いて疲労寿命試験を行った[3]。試験片はスラスト玉軸受#51107の軌道盤をそのまま用いたガイドディスク、PEEK製のリテーナに保持したボール試験片、鏡面研磨した軌道盤の裏面を利用したディスク試験片を用いた。試験条件はTable 1に示す。潤滑剤には粘度を3段階変化させた2種類の油を準備した。一つは合成潤滑油基油PAO（ポリ $\alpha$ オレフィン）であり、もう一つはパラフィン系基油MOである。軸受をセットしたのちボール試験片の中頃まで潤滑油基油を供給し、疲労試験中の再供給はしない。転がり疲労試験は試験片に損傷が発生するか、損傷なくディスク試験片表面の応力繰り返し数が1億サイクルに達した場合に試験終了とした。疲労試験後、試験片につき鋼中の水素濃度計測、表面分析、断面観察、ラマン分光分析等の各種分析を行った。

## 3. 結果と考察

## 3.1 フレーキング寿命

疲労寿命試験の結果をFig. 2に示す。鉱油MOの系列においては、粘度の低下とともに転がり疲れ寿命が低下することが明瞭に確認できる。MO7においては $\Lambda$ 値はおよそ1, MO22で2, MO32では3程度であり、突起間干渉が厳しくなるに従って転がり疲労寿命が低下することが確認された。一方、PAOの系列においては、最も低粘度のPAO5においても寿命は1億サイクルを超えた。PAO5の試験に関してのみ、1億サイクルを超えても疲労試験を続行し、最終的には1.01億サイクル、1.5億サイクルでフレーキング寿命を迎えた。ただし、PAO5に関しては他の試験に比べ試験開始直後からやや高い振動レベルを示し、試験後には潤滑油レベルは低下しほぼ枯渇状態であった。転走トラックは、茶褐色の表面膜でおおわれていた。PAO17,32は1億サイクルまで健全に試験が継続したため、規定サイクル数到達として実験を停止した。

Table 1 Test conditions

Material	SUJ2
Rotational speed	1500rpm(3.4m/s)
Experimental environment	Nitrogen
Oils and Viscosity grade at 40C	PAO5,17,32 MO7, 22, 32
Temperature	363K

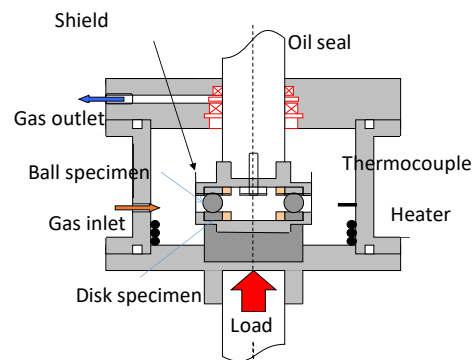


Fig. 1 Rolling contact fatigue tester

### 3.2 疲労寿命に対する水分の影響

転がり疲れ寿命特性における水分の影響を明らかにするため、PAO5 に対して、20%蒸留水を添加した油 (PAO5+Water) を実施した。Figure 2 において、1 億サイクルを上回る PAO5 の寿命は、水を加えることにより 2 例中 1 例半減した(Fig. 3)。試験後の軸受では、球にフレーキング損傷が確認された。Figure 4 に転がり疲労試験後の軸受鋼中の水素濃度を示す。PAO5 に水を加えた場合、軸受球側に圧倒的な水素侵入が確認された。このことは、PAO5 を用いた試験に比べ水を加えた試験が低寿命を示し、さらに球側にフレーキングが発生した事実を踏まえると大変興味深い。

### 3.3 油分解試験による水素発生速度の比較

上述の転がり疲労試験に用いた各潤滑油を用いて、油分解試験を行った。これは窒素チャンバ内で純鉄を WC チップで切削して現れた新生面に油を付着させることで分解と水素生成を確認する試験である[2]。Figure 5 に結果を示す。これによると、PAO 系列の油は粘度が低いほど水素生成速度が大きいことがわかる。さらに、最も低粘度の PAO5 に対して水を加えた試料を用いて油分解試験を実施すると、PAO5 のさらに 2 倍程度の水素発生速度を示した。従って、低粘度の油で、しかも水分が併存する潤滑油は窒素中の転がり接触により現れる新生面露出により分解と水素生成が促されることが示唆された。このことは、鋼への水素侵入量や寿命の低下という上述の事実と良い相関を示すものである。

## 4. 結論

- 1) 鉱油を潤滑剤として用いた場合、 $\Lambda$  値の減少に伴い寿命が低下する。しかし、合成潤滑油 PAO を用いた場合低  $\Lambda$  領域においても明瞭な低寿命化は示されなかった。
- 2) PAO に水を加えると、低寿命を示す例が観察された。
- 3) 低寿命化した試験片の水素濃度を計測すると軸受球への顕著な水素侵入を確認することができた。

## 参考文献

- [1] 納山ほか, トライボロジスト, 68, 9, 644-654 (2023).
- [2] Tanaka, H., Presentated in ECO Trib 2023.
- [3] Tanaka, H., Morofuji, T., Enami, K., Hashimoto, M. & Sugimura, J. Tribol. Online 8(1), 90–96 (2013).

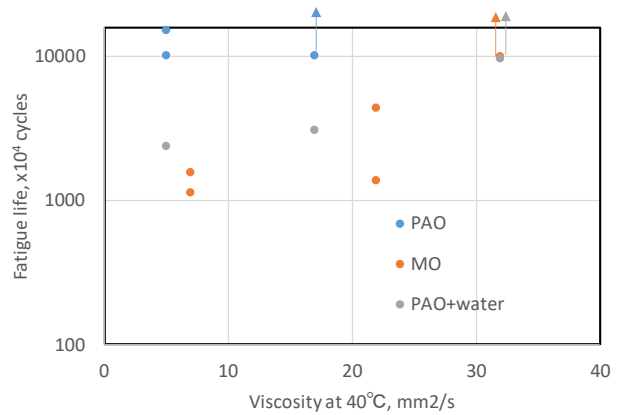


Fig. 2 Changes in fatigue life with oil viscosity

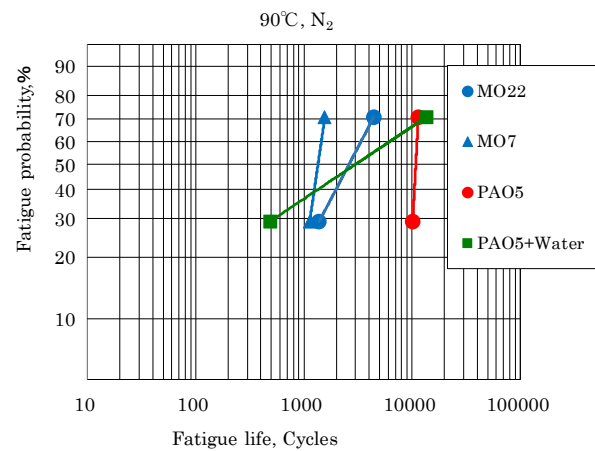


Fig. 3 Weibull plot

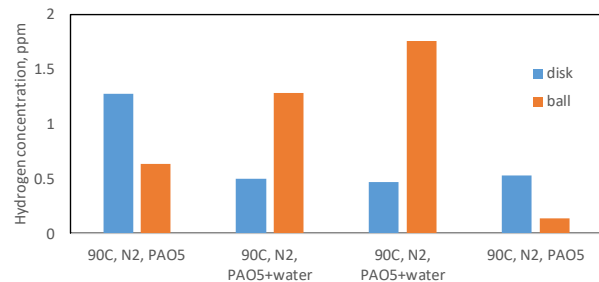


Fig. 4 Hydrogen concentration after RCF test

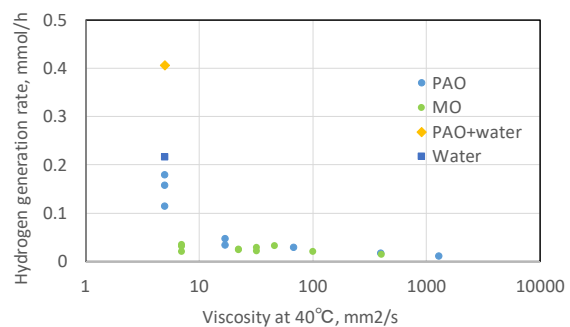


Fig. 5 Hydrogen generation rate