

スラスト玉軸受の低トルク化に及ぼす PAMA 構造の効果

Effect of PAMA structure on torque reduction in thrust ball bearings

ENEOS(株)・(正)*田川 一生 湘南工科大・(正)村木 正芳

Kazuo Tagawa*, Masayoshi Muraki**

*ENEOS Corporation, **Shonan Institute of Technology

1. はじめに

近年、地球温暖化などの環境問題を背景に、機械の効率向上が強く求められている。とくに自動車では、燃焼効率の向上やフリクションロスの低減に加え、ハイブリッド車（HEV）や電気自動車（EV）の開発が進み、多様な機構が市場に投入されている。潤滑油も高効率化に対応し、省燃費型エンジン油や EV 用 eAxle 専用油などが実用化されている。効率向上の観点からは、機械的損失の低減や低粘度化による攪拌抵抗の軽減が重要である。

本報告では、eAxle のさらなる効率化を目指し、転がり軸受の低摩擦化に有効な PAMA と ATF 用添加剤との組み合わせによる低トルク化について検討した結果について述べる。

2. 実験

2.1 試験機

摩擦モーメントの評価には、Fig.1¹⁾に示す転がり軸受試験機を使用した。回転トルクは、供試軸受を納めた容器の側面に取り付けたアームを介してロードセルで測定した。得られる回転トルクは試験容器下部に設置した支持軸受の抵抗も含んでいるが試料油のみを変更して測定しているため、得られた測定値を評価値とした。試験時間は、トルクが安定する 30 分間とした。実験は複数回測定を繰り返し、試験毎に軸受と試料油を新品に交換して実施した。試験片には単式スラスト玉軸受（NSK #51305）を用い、回転トルクと同時に振動も測定した。

また、軸受試験結果をシミュレートするため、Fig.2 に示す接触電気抵抗回路を設けたボールオンディスク試験機を用い、摩擦係数と分離度を測定した。試験条件は、油温 100℃、周速 0.05m/s、すべり率 50%、荷重 70N（最大ヘルツ圧 1.24GPa）である。試験時間はトライボフィルムの生成状況を入念に調べるために長めの 9 時間とした。

2.2 試料油

実験に使用した PAMA は、本試験用に合成した PAMA である¹⁾。原料は、2-エチルヘキシルメタクリレート（EH）、ラウリルメタクリレート（LA）、ステアシルメタクリレート（ST）であり、各々を単独で重合したもの、それらを等量混合した Mix、およびメチルメタクリレートと等量混合した C1Mix の 5 種類で、重量平均分子量は 20,000 前後に揃えた。Table 1 に評価油の性状を示す様に、高度精製鉱油を基油に、パッケージ型添加剤を定量配合し、PAMA の添加により 100℃の動粘度を 5.8mm²/s に揃えた。また試料油の名称は PAMA に + をつけて表記した。比較油として PAMA 無添加でパッケージ型添加剤のみを定量配合して粘度調整した Pac を使用した。

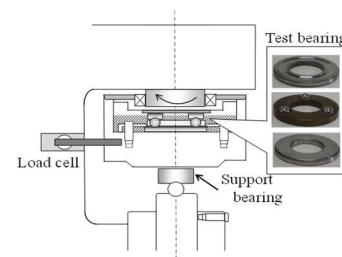


Fig.1 Rolling bearing tester

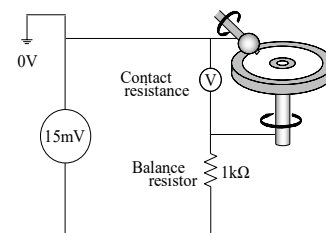


Fig.2 Electrical contact resistance circuit

Table1 Physical properties of test oil

	Pac	EH+	LA+	ST+	Mix+	C1Mix+
Base Oil	Highly refined mineral oil					
Additives	Additive package for ATF					
PAMA, mass%	-	2.8	3.2	3.4	3.0	3.0
KV, mm ² /s (100℃)	5.75	5.74	5.79	5.79	5.76	5.79
Viscosity Index	136	147	149	149	148	151
Metal content (ICP), ppm	B : 45, Ca : 110, P : 330, S : 3,600 : N : 2,100					

3. 実験結果

3.1 軸受試験機による回転トルクの評価

Figure 3 に C1Mix+を用いた回転トルクと同時に測定した振動のプロファイル例として示す。各試料油の回転トル

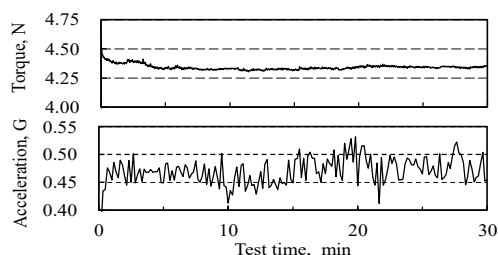


Fig.3 Torque and Acceleration (C1Mix+)

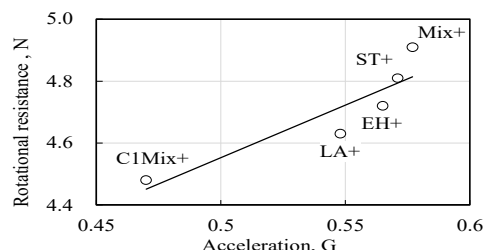


Fig.4 Rotational resistance vs. acceleration

クと振動を同様に測定して平均値をとりその関係を見たのが Fig. 4 である。両者には正の相関が認められ、振動が小さいほど回転抵抗が小さいことが分かる。5種類の試料油中 C1Mix+が低振動かつ低回転トルクを示している。

3.2 ボールオンディスク試験による摩擦特性の評価

Figure 5 に C1Mix+の摩擦係数と分離度のプロファイル例として示す。試験に供した試料油全てについて評価を行い、平均分離度 SD_{mean} と平均摩擦係数 μ_{mean} との関係を見たのが Fig. 6 である。両者には明確な負の相関が認められ SD_{mean} が高いほど μ_{mean} は低くなる傾向にあることが分かる。PAMA 毎にみると C1Mix+は最も SD_{mean} が高く μ_{mean} は低く PAMA の構造の違いが BOD 試験での摩擦特性に大きく影響していることが分かる。また、試験後の鋼球表面に形成するリン系反応膜の厚さを SLIM²⁾により評価し SD_{mean} との関係を見たのが Fig. 7 である。両者にはおおむね負の相関が認められることから、反応膜は金属接触の頻度が影響し PAMA の構造によりその頻度が異なる。これらの結果は PAMA とリン系添加剤の競合吸着の可能性を示唆しており、吸着性の高い C1Mix+は表面への吸着とその高い維持性により金属接触を抑制し、せん断応力の大きいリン系の反応膜の形成を抑制する。一方吸着特性が C1Mix+に劣る Mix+は金属接触の頻度が高く、せん断応力の大きいリン系の反応膜が厚くなるため高摩擦となると考えられる。

4. 考察

PAMA による回転トルク低減メカニズムを解析するため、軸受試験機での回転トルクと BOD 試験機での摩擦係数との関係を見たのが Fig. 8 である。図より両者には明確な正の相関が確認される。このことは軸受試験での回転トルクと BOD 試験機での摩擦特性が関係づけられることを示唆している。したがって、軸受試験機において回転トルクに差異が認められたのは、PAMA が金属表面に吸着しせん断応力の大きなリン系の反応膜形成を抑制したためと考えられる。また軸受試験機での振動の要因としてせん断応力の高い反応膜の形成が考えられることから BOD での反応膜の厚さと軸受試験機での振動 (G_{mean}) との関係を見たのが Fig. 9 である。両者には概ね正の相関が認められることから、転がり軸受試験機においても PAMA は金属表面に吸着しその維持性により金属接触を抑制し、せん断応力の高いリン系の反応膜の形成を抑制することで回転トルクを低減すると推定される。反応膜の抑制は振動にもあらわれ、吸着性および吸着膜の維持性が高い PAMA の配合により低回転トルクかつ低振動となると推定される。

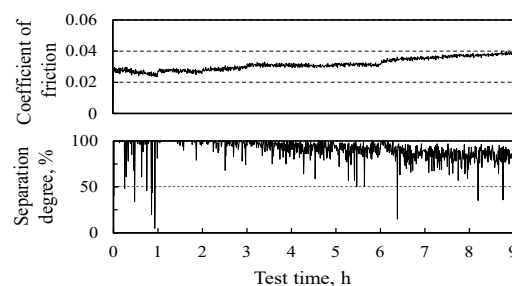


Fig.5 Coefficient of friction and Separation degree (C1Mix+)

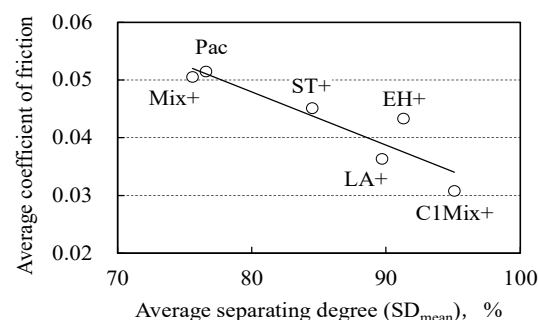


Fig.6 μ_{mean} vs SD_{mean}

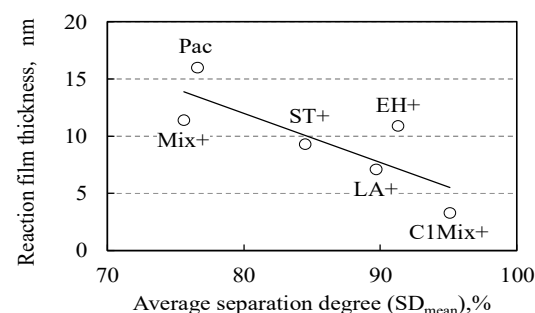


Fig.7 Reaction film thickness vs SD_{mean}

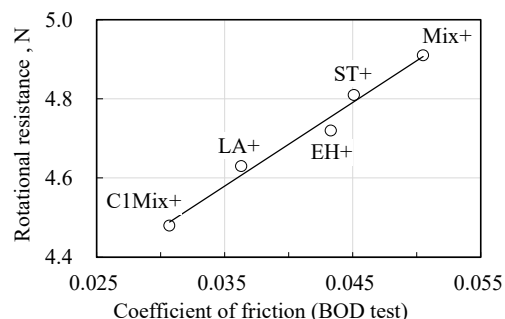


Fig.8 Rotational resistance vs BOD coefficient of friction

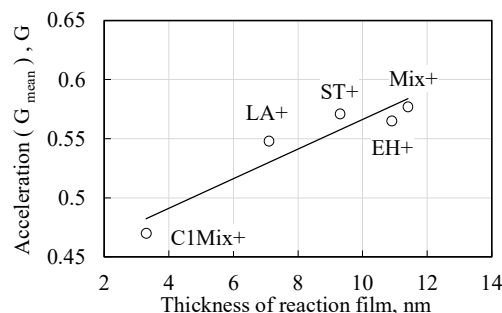


Fig.9 Reaction film thickness vs Acceleration

5. 文献

- 1) 田川一生, 村木正芳: トライボロジー会議 2016 秋 新潟 予稿集, 333.
- 2) 田川一生, 村木正芳: トライボロジスト, 60, 11 (2015) 752.