

アミン/水の吸脱着平衡がOLAP添加油の摩擦係数湿度依存性に及ぼす影響

The Effect of Amine/Water Adsorption-Desorption Equilibrium on the Humidity-Dependent Friction Coefficient with Oleyl Acid Phosphate-Containing Lubricant.

名工大・工（院）*天野 竜輔 名工大（正）前川 覚 名工大（正）糸魚川 文広

コスモ石油ルブリカンツ（株） 植町 ゆかり コスモ石油ルブリカンツ（株） 山本 邦治

Ryusuke Amano*, Satoru Maegawa*, Fumihiro Itoigawa*, Yukari Uemachi**, Kunihiro Yamamoto**

*Nagoya Institute of Technology, **Cosmo Oil Lubricants Co., Ltd

1. 緒言

工作機械摺動面専用油として広く用いられるオレイル酸リン酸エステル（以下、OLAP）添加油は、運転環境の相対湿度によって摺動特性が大きく異なることが報告されている^{1,2)}。このような特性は、製品の加工精度に影響を及ぼすが、すべり案内面を有する工作機械は比較的大型である場合が多いため、その運転環境を制御することは容易ではない。したがって、湿度依存性を有しないロバストな潤滑油が求められている。そのような中で、OLAP 添加油にアルキルアミンを併用処方することで、ネックであった摩擦特性の悪化を抑制できることが報告されている²⁾。しかもその抑制効果はアミンの炭化水素基構造の違いが顕著に現れるため非常に興味深い³⁾。そこで本研究では、第二級アルキルアミンの炭化水素基が異なるものをOLAPと併用し摩擦特性を取得した。結果から、アミンの性質が如何に油剤のロバスト性を担保しているかについて検討する。

2. 試験装置および実験方法

摩擦試験機には、Fig. 1 に示す工作機械すべり案内面のしう動特性を簡便に評価することができる Pin-on-Ring 型摩擦試験機を用いた⁴⁾。上部試験片は 6 本のピンが円周上に等配置され摩擦力が作るモーメントによる傾斜が生じない構造となっている。これらが動力計に固定された下部試験片上を滑ることで摩擦を測定する。荷重は上部試験片に直接錘を取り付け死荷重として与え、安定した低面圧接触状態を得ることができる。

試験片の諸元を Table 1 に示す。試験前の表面粗さは十点平均粗さで 3.0~3.5 μm とした。また、潤滑油の諸元を Table 2 にまとめて示す。添加剤として OLAP のほかに di-n-octyl amine（以降、Di-OA）および Di-(2-ethylhexyl) amine（以降、Di-2EHA）を使用した。

本研究では、二種類の実験方法によって試験油を評価した。一つ目は、なじみ試験である。これは所定の時間なじみ運転を行い、各なじみ時間において摩擦特性の取得のためにストライベック曲線を取得する。なお、ストライベック曲線の取得においては、最低速度 (4.6×10^{-5} mm/s) から最高速度 (8.7×10^1 mm/s) までステップ状に速度を増加させて摩擦係数を測定した後に、逆に最高速度から最低速度まで低下させて摩擦係数を測定した。二つ目は、サイクル試験である。これは試験油の変更と相対湿度環境を実験中に変化させて、継続的ななじみ試験を行い、摩擦特性を取得する。本研究では、はじめに OLAP 単体処方油にて 16 時間のなじみ試験を行い、試験油のみをアミン併用油に入れ替え、低湿度条件で 4 時間、引き続き高湿度条件で 4 時間、それぞれなじみ試験を行った。試験開始直後と各なじみ試験後にストライベック曲線を取得した。なお、湿度条件は高湿度を相対湿度 80%，低湿度を相対湿度 30% と定義し、試験装置を密閉されたチャンバーの中に設置し、適宜モニタリングをしながら測定した。

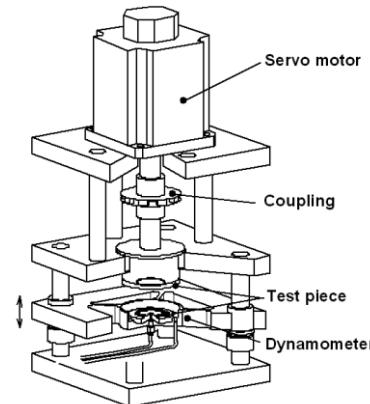


Fig. 1 Schematic of experimental apparatus

Table 1 Specifications of specimens

	Upper	Lower
Material	S45C	FC300
Hardness	535 HV	700 HV
Dimension of sliding surface [mm]	φ8 (6 pins) or φ5 (3 pins)	φ96 (External) φ80 (Internal)

Table 2 Lubricant composition

Base oil	Paraffinic mineral oil			
	Additive	di-n-octyl amine	di-(2-ethylhexyl) amine	OLAP
Concentration	0.04 mass%			0.2 mass%
Structural formula of alkyl group				

3. 実験結果および考察

Figure 2 に示した摩擦特性は、潤滑油として OLAP / Di-OA 添加油を用いたものと、OLAP / Di-2EHA 添加油を、低湿度条件で 16 時間のなじみ試験を行い、試験開始直後と試験終了後にストライベック線図を取得した結果である。なお、すべての実験において摩擦係数の測定は 4.6×10^{-5} mm/s から行ったが、一部の潤滑油条件下では低速域でスティックスリップが発生し摩擦係数が安定しなかった。図中には、スティックスリップが発生せずに安定した摩擦係数が得られた速度条件の結果のみをプロットしている。本図からは、低湿度条件では Di-2EHA 併用油が Di-OA 併用油と比較して優れた摩擦特性を示した。これは試験開始直後でも同様の優劣である。OLAP 単体処方油の場合は試験開始直後からほぼ全域で摩擦特性が取得できるため¹⁾、いずれも単体処方油には劣る性能ではあるが、Di-2EHA 併用油では単体処方油に近い特性を示しており、これは吸着特性が試験開始直後のバルキーな鉄表面に対して Di-2EHA よりも OLAP が優位であることを示している。一方 Di-OA 併用油では、バルキーな鉄表面に対する吸着特性は OLAP より Di-OA が優位であることを示している。これは分枝アルキルアミンの鉄表面への防食効果に関する中川らの報告⁴⁾と一致する。

以上の結果をふまえ、鉄表面のサイクル試験を行った。

Figure 3 は、OLAP / Di-2EHA 併用油を用いたサイクル試験の結果、Fig. 4 は OLAP / Di-OA 併用油を用いたサイクル試験の結果である。はじめに、16 時間の OLAP 単体処方油によるなじみ試験の結果を黒プロットで示す。なじみ運転によりどちらも OLAP 由来の境界膜を形成し、OLAP 添加油特有の速度依存性が発現した。次に、アミン併用油に切り替え低湿度条件で 4 時間なじみ試験を行った結果を青プロットに示す。ここではどちらも黒プロットと同様の摩擦特性が発現した。この段階では、いずれのアミンも OLAP 由来の境界膜に影響しないことを示している。その後、高湿度条件に切り替え 4 時間のなじみ試験を行った結果を赤プロットで示す。Di-2EHA 添加油は Di-OA 添加油よりも優れた摩擦特性を示した。これは、高湿度による OLAP 由来の境界膜の破壊を抑制する効果が Di-2EHA の方が強いことを示す。先の実験では、バルクな鉄に対する吸着特性に着目し、分岐の小なる構造が優位であることを示したが、本実験のように、十分 OLAP 由来の境界膜が鉄表面を覆っている場合においては、その吸着ないしは保護特性が逆転することが明らかとなった。

4. 結言

以下に本研究で得られた知見を示す。

- ・OLAP 由来の摩擦特性は、アミンの併用により悪化する傾向にあるものの、アミン種によりその悪化率は異なる。
- ・悪化率はアルキル基構造の違いによる鉄表面との吸着特性の差と相関があり、OLAP に対しての吸着特性の優劣が低湿度条件における悪化率を決定している。
- ・表面に有機吸着膜が存在する場合、アミンと鉄の吸着特性はバルクの鉄とは異なる。低湿度条件で OLAP 由来の境界膜を保護している場合、摩擦特性悪化が抑えられる傾向にある。

文献

- 1) 則久・糸魚川・中村・小川：低面圧境界潤滑における摩擦係数の速度依存性に関する研究（第 2 報），トライボロジスト，53, 10 (2008) 689.
- 2) 近藤・山本・渡邊・糸魚川：実使用環境下において切削液及び湿度条件がすべり案内面潤滑油のしゅう動特性に与える影響と改善技術，2017 年度精密工学会春季大会 予稿集，(2017) 939.
- 3) 天野・日比野・前川・糸魚川・植町・山本：湿度が工作機械しゅう動面専用潤滑剤の摩擦特性に及ぼす影響，トライボロジー会議 2023 春 東京 予稿集，(2023)
- 4) 則久・糸魚川・中村・中尾：工作機械すべりガイドのしゅう動性能評価装置の開発，トライボロジスト，52, 9 (2007) 679.
- 5) 中川・橋詰：分枝アルキルアミンの防食効果と吸着，電気化学および工業物理化学，37, 6(1969)403

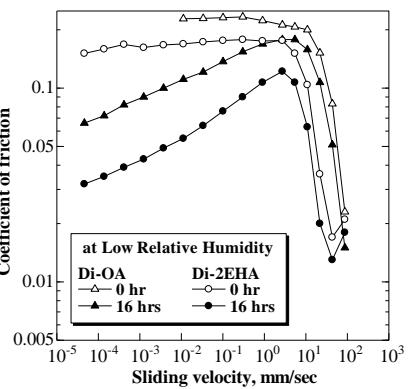


Fig. 2 Friction coefficient with sliding velocity at low relative humidity

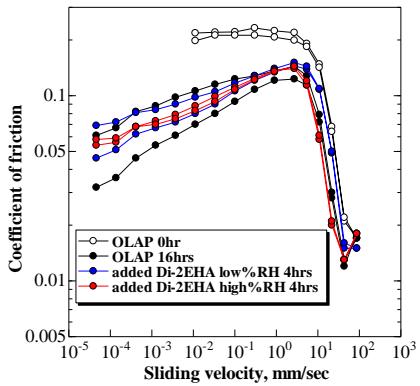


Fig. 3 Friction coefficient with sliding velocity in the cycle test (OLAP/Di-2EHA)

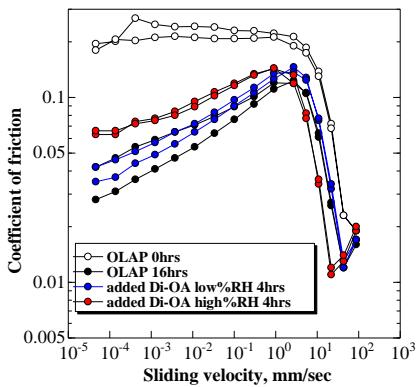


Fig. 4 Friction coefficient with sliding velocity in the cycle test (OLAP/Di-OA)