

リチウム石けんグリース潤滑下の往復すべり摩擦に及ぼす基油の影響
Effect of base oil on reciprocating sliding friction under lithium soap grease lubrication

豊橋技科大・工(正) *竹市 嘉紀 豊橋技科大・工(学) 伊野波 盛隆 豊橋技科大・工(学) 千葉 瑞生
ソミック石川(正) 鈴木 学 ソミック石川(非) 飛田 真利 ソミック石川(非) 江塚 晃葉
Yoshinori Takeichi*, Moritaka Inoha*, Mizuki Chiba*, Manabu Suzuki**, Masatoshi Hida**, Akiha Ezuka**
*Toyohashi University of Technology, **SOMIC ISHIKAWA INC.

1. はじめに

自動車の重要保安部品のひとつであるボールジョイントは主に自動車の足回りに使用されている継手部品であり、金属製のボールスタッド先端の球とそれを受ける樹脂製のベアリングシートの間で摺動が発生し、二面間はグリースで潤滑されている。球の動きは回転や揺動およびこれらの組合せなどと複雑であり、その動作も連続であったり間欠であったりするため、グリースの潤滑状態も複雑に変化していると予想されるが、その把握が困難である¹⁾。高い耐久性や性能安定性が求められるボールジョイントにおいて更なる性能向上を目指すためにもグリースの潤滑機構の解明が必要であり、我々は往復動すべり摩擦試験や様々な観察手法を用いてグリースの潤滑状態の把握に取り組んできた^{2,3)}。

自動車を取り巻く様々な要望の変化の中で自動車部品に対する要求はますます厳しくなっているが、ボールジョイントへの要求の一つに広い温度域での性能維持が挙げられる。ボールジョイント設置部周辺の温度上昇によるグリースの軟化を考慮して、使用されるグリースには高粘度の基油が用いられているが、温度変化によるグリースの粘度変化は潤滑特性に影響を及ぼし、その結果、性能や寿命にも影響を及ぼすことが考えられる。そのため更に広い温度域においてグリースの潤滑特性を維持できることが望ましく、このような観点からのグリースの見直しも検討項目として挙げられ、我々は粘度の温度依存性が低い基油を成分としたグリースを用いることによる、広い温度域での性能維持を検討している。

本報では、従前より用いている PAO (ポリ α オレフィン) もしくは鉱油を基油としたリチウム石けんグリースに対し、PAO と比較して粘度の温度依存性が低いシリコンオイルを基油としたリチウム石けんグリースを検証対象とし、往復動摩擦試験によって、これらのグリースの潤滑特性に及ぼす基油の影響を調べることにした。

2. 実験

2.1 供試材料と摩擦試験

グリースの潤滑特性を把握するため、各グリース潤滑下の摩擦試験を実施した。試験に供したグリースは Table 1 に示す 3 種類で、基油が PAO のもの (Gr_PAO)、シリコンオイルのもの (Gr_Si)、鉱油のもの (Gr_Mi) である。増ちょう剤はすべてステアリン酸リチウムである。いずれも、ちょう度がだいたい同じとなるようにしてある。

摩擦試験はピン・オン・ディスク方式で、ボールジョイントの動作を考慮して往復動摩擦で実施した。材料のペアはいずれも実機ボールジョイントで用いているものと同じ材質とし、ピン試験片には POM を曲率半径 17.5 mm に射出成形したものを、ディスク試験片には耐水研磨紙にて表面粗さ 0.02 $\mu\text{m}(Ra)$ 以下に調整した SCM440 の板材を使用した。グリースはディスク試験片に厚さ 10 μm 狙いで塗布した。試験は垂直荷重 500 N、ストローク長さ 3 mm、往復周波数 1.3 Hz とし、5 時間 (23,400 往復) 実施した。

Table 1 Greases

Grease	Gr_PAO	Gr_Si	Gr_Mi
Thickener	Lithium soap		
Base Oil	PAO	Silicone oil	Mineral oil
Kinematic viscosity of base oil at 25°C, mm ² /s	2,847	8,000	223
Penetration	280	290	280

2.2 グリースの挙動観察

往復摩擦中のグリースの潤滑状態を把握するべく、その場観察を実施した。摩擦試験で用いた SCM440 製のディスク試料をスライドガラスに変更し、POM との接触面の裏側からマイクロスコープで観察することで、接触円近傍のグリースの挙動を観察することとした。ただし、レイアウトの都合により摩擦試験におけるディスク試験片設置部にマイクロスコープを設置することができないため、摩擦試験時の往復動作を転用した観察系を用いており、挙動観察時の摩擦力は取得できていない。往復動の条件は摩擦試験と同等であるが、ディスク試験片をスライドガラスに変更したため、破壊強度を考慮して垂直荷重は 2 N に変更した。

2.3 基油の摺動材料に対するぬれ性

各基油の摺動材料に対するぬれ性を評価するため、ステンレスニードル (19 G) を装着したシリンジで各基油を 4 μL 吐出し、

ディスク状の各材料(POM, SCM440, スライドガラス)に着滴した。それぞれの材質はいずれも摩擦試験もしくは挙動観察で用いたものと同一である。接触角の観察はマイクروسコープを用いた自作の観察系で行い、着滴から 60 秒間の液滴の様子を動画撮影し、 $\theta/2$ 法から接触角を算出した。

3. 結果と考察

3.1 摩擦試験

Figure 1 に摩擦試験の結果を示す。各グリースとも 3 回の摩擦試験を実施している。Gr_PAO および Gr_Mi について、どちらも試験中に摩擦係数が 0.1 を超える結果もあったが、全体として 5 時間の摩擦試験を通して 0.06 以下の低い摩擦係数を維持した。一方、Gr_Si の場合、摺動開始から 10 min 程度の最初期については他の 2 つのグリースよりも低い摩擦係数を示したが、その後に急激に上昇し、最大で摩擦係数が 0.3 あたりに達することもあり、潤滑不良が生じた。

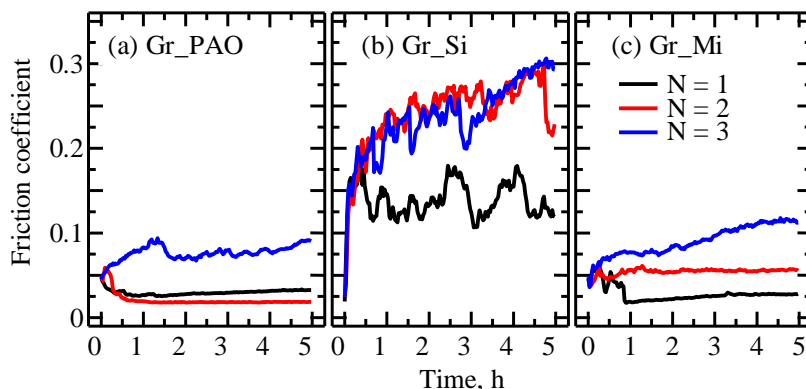


Fig. 1 Variation of friction coefficient during friction test

3.2 グリースの挙動観察

Figure 2 に摩擦開始から 5 時間後の往復端部における樹脂ピン周りのグリース挙動観察結果を示す。図中の黄色い円は試験片の物性値と実験条件から算出されるヘルツ円(直径 400 μm)と推定される接触円の箇所を示している。曲率半径が 17.5mm であり、接触円が非常に小さいことから、接触円の周辺におけるピン試験片とディスク試験片の隙間は小さく、往復動で掻き分けられたグリースは接触円の周辺で両試験片間に挟まれた状態となる。そしてピン試験片の往復動に伴って、この接触円周辺のグリースも一緒に連れ回る挙動を示す。図中で緑線で囲まれた領域は、この両試験片に挟まれたグリースの領域を示す。

Gr_PAO および Gr_Mi については接触面の周辺にグリースが潤沢に存在し、摺動に伴い接触面の両脇を連れ回り、往復動両端部ではその一部が摩擦方向前方へと移動し、接触円前後をグリースで濡らすような挙動が見られた。一方で Gr_Si について、グリースは摺動方向の両脇で連れ回るのみで、接触面に供給するような挙動は見られなかった。

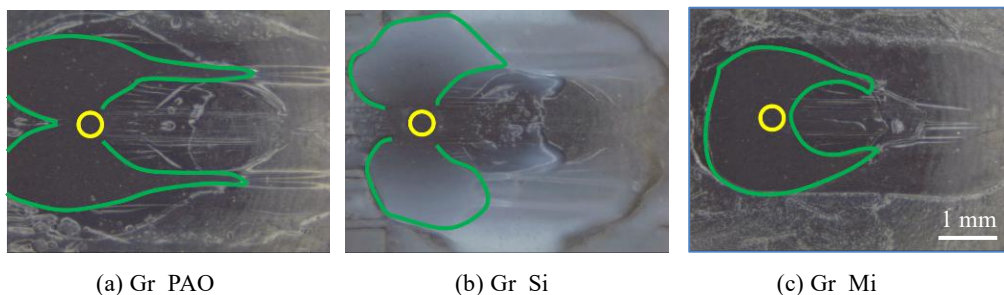


Fig. 2 Behavior of each grease around contact area of pin specimen at about 18,000 seconds (23,400 cycles)

3.3 基油の摺動材料に対するぬれ性

Figure 3 に各摺動材料に対する基油の接触角の経時変化を示す。グラフの横軸は液滴を着滴させてからの経過時間で縦軸は接触角を表している。左からピン試験片と同じ材質の POM 板、ディスク試験片の SCM440、挙動観察に用いたのと同じスライドガラスに対しての結果である。液体の種類は、プロットの赤が PAO、青がシリコンオイル、緑が鉱油である。いずれの材料に対しても、基油が時間の経過とともに濡れ広がるため、着滴してから時間が経過するとともに接触角が小さくなった。60 秒後の接触角で比較すると、SCM440 に対してはシリコンオイルより鉱油の方が若干小さい接触角を示すが、3 種類の異なる材料すべてにおいてシリコンオイルは小さい接触角を示し、これらの基材を良く濡らす油であることが分かった。一般的には、ぬれ性が高いことは潤滑性に対しては有利に作用することから、Gr_Si で見られた初期の低摩擦はシリコンオイルの良好なぬれ性が影響を及ぼしたと考える。一方で Fig. 2 の結果より、Gr_Si は接触面へのグリースの供給能力が乏しいことから、実験の進行とともに摩擦係数が大きく上昇したと考えられる。

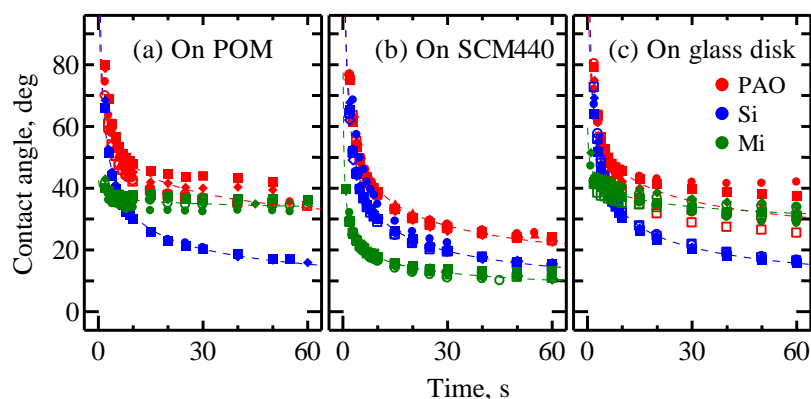


Fig. 3 Contact angles of base oils on POM / SCM440 / Glass disk

4. まとめ

リチウム石けん増ちょう剤で、基油が PAO、シリコンオイル、鈹油と異なる 3 種類のグリースを潤滑剤とし、POM ピンと SCM440 ディスクの摩擦試験を行い、各グリースの潤滑特性を調べた。シリコンオイル基油のグリースは摩擦の最初期には他のグリースよりも低い摩擦係数を示したものの、その後摩擦係数は上昇し、最も高い摩擦係数を示した。PAO および鈹油が基油のグリースは、摩擦試験最後まで低めの摩擦係数を示す傾向が見られた。これらの潤滑性の際の要因を調べるために、グリースの挙動観察やぬれ性試験を実施した。グリースはピンとディスクの接触円周りを連れ動き、シリコンオイル基油のグリースでは他のグリースとは異なった挙動が見られ、往復時の潤滑油の供給源として作用しづらいと考えられる挙動を示した。一方、ぬれ性の観点では、シリコンオイル基油が最も潤滑性が優れる可能性を示した。このような接触部周辺の挙動と基油のぬれ性の両方が、摩擦係数の経時変化の特徴的な差異に影響を及ぼしたと考えられる。

文献

- 1) 鈴木・白井:ボールジョイントの技術動向とトライボロジー, トライボロジスト, 54, 9 (2009) 604-609.
- 2) K. Maruyama, T. Nawata, T. Ando, Y. Takeichi, M. Suzuki, R. Morita, K. Arakawa: Observation of behavior of thickener at grease lubricated friction interface by fluorescence method, International Tribology Conference 2019, P2-17.
- 3) 伊野波・竹市・鈴木・荒川: 金属と樹脂との摩擦に及ぼすリチウム石けんグリースの基油の影響ーPAO とシリコンオイルとの比較ー, トライボロジー会議予稿集 (2022-11) B31.