

## 鋼と接触するポリアミドの摩擦における油/グリース潤滑の比較

### The comparison of oil/grease lubrication on the Friction of Polyamide - Steel Contact

ジェイテクト（正）\*芝田 将鵬 ジェイテクト（正）\*国島 武史

Masato Shibata\*, Takeshi Kunishima\*

\*JTEKT CORPORATION

#### 1. はじめに

近年、カーボンニュートラルを背景とする自動車の軽量化および静粛性向上の要求などから、金属の代替として樹脂製しゅう動部品の適用が検討されている。一般に、樹脂材料は自己潤滑性を有するため、無潤滑下での利用を検討されることが多い。さらに、鋼歯車と樹脂歯車のかみ合い部における高面圧下における転がり-すべり条件では、摩擦に伴う損失やしゅう動発熱の低減などを目的としてグリースが用いられ、このような潤滑環境下においても樹脂部品の適用は進んでいる<sup>1)</sup>。しかしながら、グリース潤滑下における樹脂-鋼接触において、表面粗さや雰囲気温度などの因子が摩擦に及ぼす影響を体系的に研究した例は少なく、樹脂製しゅう動部品の適用範囲拡大には、メカニズムの深化が必要である。そこで本研究では、まずは基本的な摩擦特性を理解するため、グリース基油 (PAO) 潤滑下における鋼に対する非強化 PA6 の摩擦特性を評価した。さらに、グリース潤滑下において同様の評価を実施し、これらの摩擦特性の比較を行った結果を報告する。

#### 2. 試験手法

##### 2.1 評価材料

樹脂材料には市販の非強化 PA6 を用い、鋼材には SUJ2 を用いた。Table 1 に各材料のヤング率を示す。潤滑剤には、樹脂製しゅう動部品に多用されるウレアグリースの基油であるポリ- $\alpha$ -オレフィン (PAO8) および、脂肪族ウレアグリースを用いた。試験に用いたグリースの不混和ちょう度は 276 である。

##### 2.2 摩擦試験

鋼球と樹脂板の両方が回転しゅう動するボールオンディスク試験を用いて摩擦試験を行った。摩擦試験は、油潤滑およびグリース潤滑下において、摩擦係数 ( $\mu$ ) に及ぼす樹脂粗さ、速度、温度および荷重の影響をそれぞれ評価した。また、摩擦試験では、実部品を想定し、グリーススクーパーは使用していない。Table 2 および Fig.1 に試験条件および本試験の概略をそれぞれ示す。

Table 1 Properties of specimens

Specimen	Type	Young's modulus @25°C
Polymer	PA6	3.4 GPa
Steel	SUJ2	212 GPa

Table 2 Test conditions for the friction tests

PA6 disc specimen	Dimensions (w×d×h)	40×40×2 mm
	Surface roughness (Ra)	0.05 - 1.0 $\mu\text{m}$
Steel ball	Diameter	12.7 mm
	Surface roughness (Ra)	0.027 $\mu\text{m}$
Entrainment speed		0 - 1000 mm/s
SRR (Slide-Rolling Ratio)		50%
Normal load		50 N
Environment temperature		25°C (RT) - 120°C
Amount of lubricants	Oil	Immersion
	Grease	0.4 g

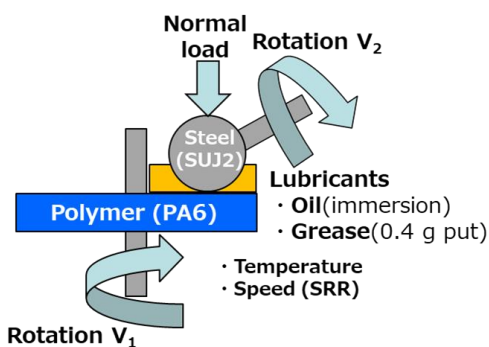


Fig. 1 Schematics of the test specimens and test setup

#### 3. 試験結果

##### 3.1 油潤滑下における摩擦特性

80°Cの油潤滑下における樹脂表面粗さおよび引き込み速度と摩擦係数の関係を Fig.2 に示す。いずれの表面粗さにおいても速度の上昇に伴う $\mu$ の減少が認められ、表面粗さが小さくなるほど $\mu$ の低減が認められた。

この結果について、中央油膜厚さ  $h_{central}$  と合成表面粗さの比である油膜パラメータ ( $\Lambda$ ) で再整理した。なお、油膜厚さの算出には、樹脂-鋼の接触 (ソフト EHL) における、Hamrock and

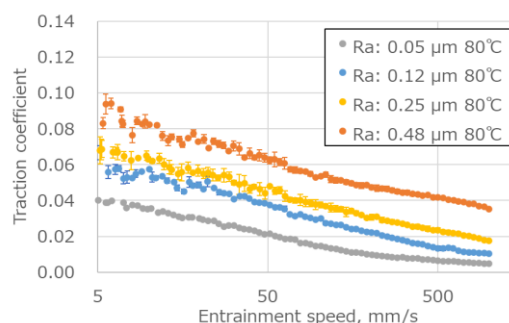


Fig. 2 Results of friction test under the oil lubrication (80°C, Normal load:50 N, SRR:50%)

Dowson の油膜厚さ算出式<sup>2)</sup>を用いた。Figure 3 に、80℃に加え、RT および 120℃で取得した $\mu$ と $\Lambda$ の関係を示す。図示されるように、異なる粗さ・速度・温度条件にて得られた $\mu$ が、 $\Lambda > 0.4$ の領域では 1 本のマスターカーブで整理可能であり、 $\Lambda$ の増加に伴い $\mu$ が低下した。一方、 $\Lambda \leq 0.4$ の領域では、マスターカーブからの乖離が生じた。これは $\Lambda$ が小さい領域では固体接触の割合が増加することに起因すると考える。

### 3.2 グリース潤滑下における摩擦特性と油潤滑との比較

Figure 4 に、PAO8 およびグリース潤滑下における $\mu$ の速度および試験温度を比較した結果を示す。PAO8 潤滑では、高速領域で $\mu$ が低下したが、グリース潤滑では逆に $\mu$ が増加した。この相違を検討するため、PA6 と弾性率が近い透明 PC ディスクを用いて、樹脂 - 鋼間のグリース潤滑下における油膜厚さの実測を試みた<sup>3)</sup>。Figure 5 にすべり接触下におけるグリース油膜厚さとその時の $\mu$ の測定結果を示す。この試験では、グリーススクーパーを使用せず、引き込み速度を 1(5) - 1000 mm/s として試験を 3 回繰り返した。この結果、引き込み速度が一定速度までは、速度の上昇と共に油膜が減少し、高速領域では油膜厚さが一定となった。この速度に対する油膜厚さは、試験繰り返し数と共に減少した。さらに、一連の試験で油膜厚さが 40 nm 以下となる領域においては、一定の速度以上の場合に $\mu$ の上昇が確認された。このことから、PAO8 潤滑とは異なり、グリース潤滑においては、一時的にしゅう動面からグリースが捌け、油膜形成性が低下することによって、摩擦が増加したと推定する。これらのことから、グリーススクーパーを利用しない転がり - すべり接触下においては、グリースが接触面から捌けてしまい、かつ、再流入も困難となるため、 $\Lambda - \mu$ マスターカーブに一致せず、油潤滑の $\mu$ と異なる挙動を示したと考える。

また、試験温度の影響を確認すると、PAO8 潤滑では高温ほど $\mu$ が増加したが、グリース潤滑では逆に低減した(Fig.4) 。潤滑剤の温度依存性を比較するため、回転式レオメーターを用い、油とグリースの粘度の測定を行った結果を Table 3 に示す。粘度測定の結果から、いずれも高温ほど粘度が低下した。また、PAO8 に対してグリースは、100 倍以上粘度が高い値であった。一般に、粘度は、油膜厚さと共にしゅう動部における粘性抵抗/攪拌抵抗にも影響する。このことから、油潤滑の場合、油自体の粘度が室温と80℃の差は認められるが、いずれの温度でも低いため、粘性抵抗/攪拌抵抗の影響が小さく、油膜厚さ減少にともなう固体接触面の増加により、80℃の $\mu$ が室温よりも高くなったと考える。一方、グリース潤滑においては、室温と80℃では粘度が大きく異なり、80℃では、グリース粘度が低下し、粘性抵抗/攪拌抵抗が低下するとともに室温では困難であったグリースの再流入が促進されたため低 $\mu$ が得られたと考える。

## 4. おわりに

- 1) 油およびグリース潤滑下における PA6-鋼間の摩擦特性を比較した結果、油とグリースでは異なる速度依存性および温度影響を示すことが明らかとなった。
- 2) 油潤滑下における $\mu$ は、油膜パラメータ $\Lambda$ が小さい領域( $\Lambda \leq 0.4$ )では、境界潤滑下における固体接触部の寄与度が大きく、 $\Lambda$ が大きい領域( $\Lambda > 0.4$ )では $\mu$ におよぼす油膜厚さの寄与度が大きいと考える。
- 3) グリース潤滑における $\mu$ は、グリースの捌け状態の寄与度が大きく、また、温度に対してグリースの粘度の寄与度が大きいと考える。

## 文献

- 1) 国島ら, JTEKT ENGINEERING JOURNAL No.1020 (2023) 57-67.
- 2) B.J. Hamrock, D. Dowson, Tri. Int. 99 (2016) 267-277.
- 3) T.Kochi et al., Tribol. Online 12 (4) (2017) 171-176.

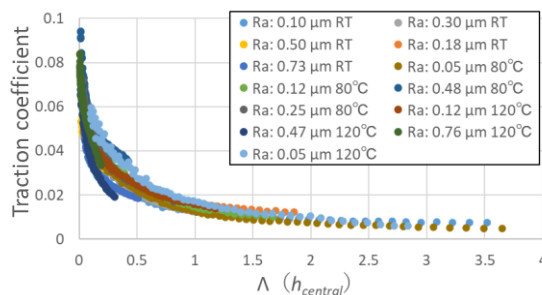


Fig. 3 Relationship between  $\Lambda$  and  $\mu$

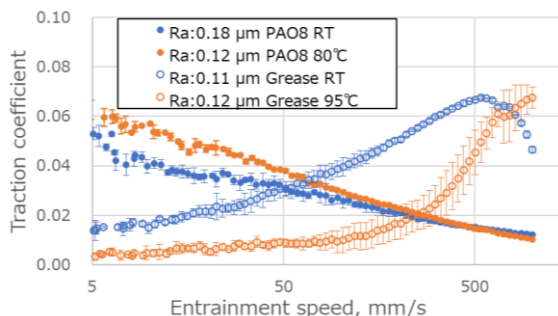


Fig. 4 The comparison of oil/grease lubrication

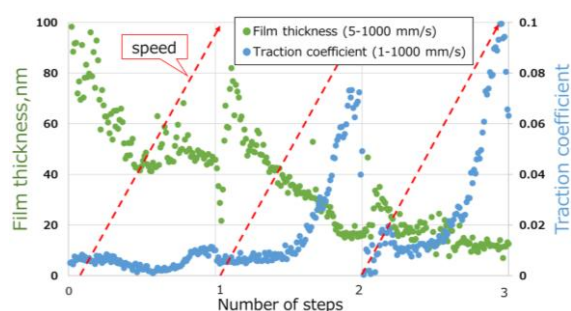


Fig. 5 Results of friction test and film thickness (25℃, Normal load:40 N, SRR:50%)

Table 3 The comparison of viscosity of oil and grease

	Temperature	Oil	Grease
Viscosity(Pa·s) @ 100 mm/s	25℃	0.081	15.106
	100℃	0.007	2.790