

平行溝テクスチャ表面の弾性流体潤滑下でのトラクションおよび油膜厚さ測定

Measurements of Traction and Film Thickness in Elastohydrodynamic Lubrication

Contacts with Longitudinal Textured Surfaces

九大・工（学）*久野 由起 九大・工（正）八木 和行

日産（正）松下 雄紀 日産（非）三浦 吉孝 日産（非）太田 義和

Yoshiki Hisano*, Kazuyuki Yagi*, Yuki Matsushita**, Yoshitaka Miura**, Yoshikazu Ohta**

*Kyushu University, **Nissan Motor Corporation

1. はじめに

無段変速機の一つであるトラクションドライブは、潤滑油膜により動力を伝達するものである。トラクションドライブの小型化、高出力化を達成するには潤滑油膜のトラクション力を増加させる必要がある。その方策の一つとして、表面テクスチャの付与^{1,2)}がある。本研究では、潤滑表面にすべり方向と平行な溝のテクスチャ形状を付与し、トラクション係数および油膜厚さに及ぼす影響を調べた。

2. 実験方法

本研究で使用した実験装置は、前報²⁾と同様のものであり、ローラとサファイアディスクの表面間に潤滑面を作り出すものである。両表面はACサーボモータによりそれぞれ独立の回転駆動が行われ、任意のすべり転がり条件が設定可能である。ローラは軸受鋼 SUJ2 製であり、回転方向および直交方向の曲率半径は 12.7 mm と 45 mm である。

テクスチャ形状については、ローラ表面に回転方向に平行に溝を付与した。Table 1 に本研究で使用したテクスチャ形状の寸法を示す。平行溝のパラメータは溝ピッチ t_p 、溝幅 t_w 、溝深さ t_d の 3 つあり、平滑面ものと合わせて 11 種類のローラを用いた。油膜厚さの測定については光干渉法により行った。潤滑油にはトラクション油である TDF3200 を用いた。実験条件については、潤滑油温度 80°C、最大ヘルツ圧力 0.79 GPa（荷重 70 N）、引き込み速度 $u_m = (u_b + u_d)/2$ （ u_b : ローラ表面速度, u_d : サファイアディスク表面速度）を 2.0 m/s とし、すべり率 $S = (u_b - u_d)/u_m$ を 0 から 1.0 の範囲でトラクションを計測し、すべり率 0, 0.15, 0.3 の 3 条件で油膜厚さの測定を行った。

Table 1 Specifications of longitudinal grooves

	t_p : pitch	t_w : width	t_d : depth
a	200 μm	20 μm	1 μm
b	200 μm	20 μm	2 μm
c	200 μm	40 μm	1 μm
d	200 μm	40 μm	2 μm
e	120 μm	20 μm	1 μm
f	120 μm	20 μm	2 μm
g	120 μm	40 μm	1 μm
h	120 μm	40 μm	2 μm
i	80 μm	20 μm	1 μm
j	80 μm	20 μm	2 μm
k	flat		

3. 実験結果および考察

Figure 1 と Figure 2 に溝ピッチ $t_p = 200 \mu\text{m}$ および $120 \mu\text{m}$ の場合において溝幅 t_w と溝深さ t_d をパラメータとしたときのすべり率とトラクション係数の関係を示す。これらの結果から、溝深さを深く、溝ピッチを狭く、溝幅を広くするとトラクション係数が増加することがわかった。三つのパラメータの変化に対するトラクション係数の影響については、

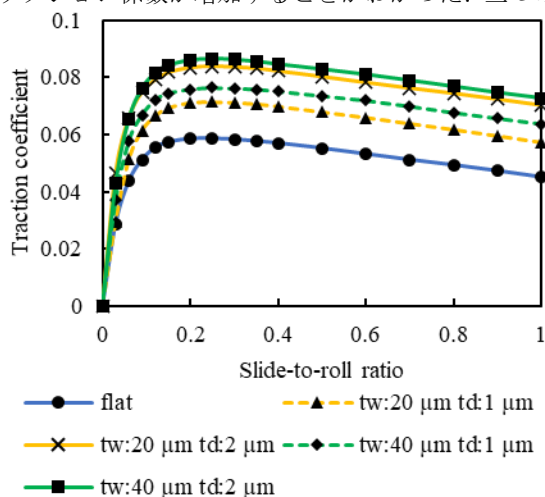


Fig.1 Variations in traction coefficient at different slide-to-roll ratios at $t_p = 200 \mu\text{m}$

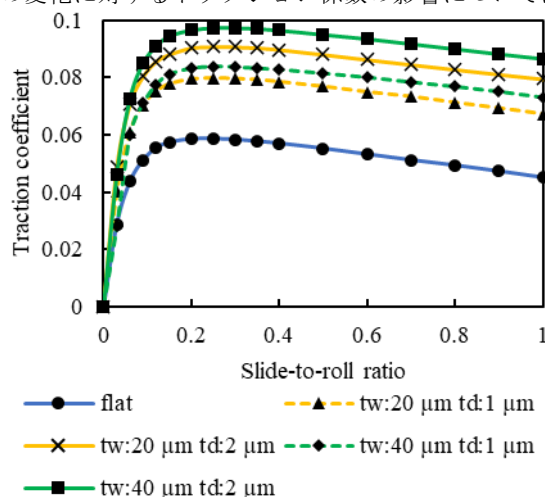


Fig.2 Variations in traction coefficient at different slide-to-roll ratios at $t_p = 120 \mu\text{m}$

溝深さ、溝ピッチ、溝幅の順で大きいことがわかった。

Figure 3 に溝幅 $t_w = 20 \mu\text{m}$ 、溝深さ $t_d = 1 \mu\text{m}$ で、溝ピッチ t_p を $200 \mu\text{m}$ 、 $120 \mu\text{m}$ 、 $80 \mu\text{m}$ と変化させたときの純転がり状態 $S = 0$ の干渉縞像を示す。溝ピッチが狭くなるほど干渉縞の色が変化しているが、中心部での油膜厚さが 250 nm から 170 nm 程度にまで減少していることを意味している。これは、溝ピッチが狭いほど潤滑面内に入る溝の数が増え、溝および溝周辺部の圧力の減少により、油膜厚さが減少するとともにランド部での圧力が上昇したためと考えられる。

Figure 4 に溝ピッチ $t_p = 200 \mu\text{m}$ における潤滑面中心部での油膜厚さとすべり率関係を示す。この結果から、溝深さを深くすると油膜厚さが薄くなることがわかる。また、溝深さが深いほどすべり率の増加に対する油膜厚さ減少の度合いが高いことがわかった。溝が深いほど溝の中の圧力が下がりやすくなることが原因で油膜厚さが薄くなったと考えられる。トラクションに対する影響は Figure 1 と 2 に示したとおり溝深さが大きいほどトラクション係数が増加していたが、この油膜厚さの減少およびランド部での圧力上昇によりトラクション係数が増加したと考えられる。一方、溝幅による油膜厚さへの影響は溝深さに比べて小さいこともわかる。この原因については、溝幅を増やしても潤滑面にある溝の本数に変化はなく、溝内部の圧力発生も大きくは変化しなかったためと考えられる。

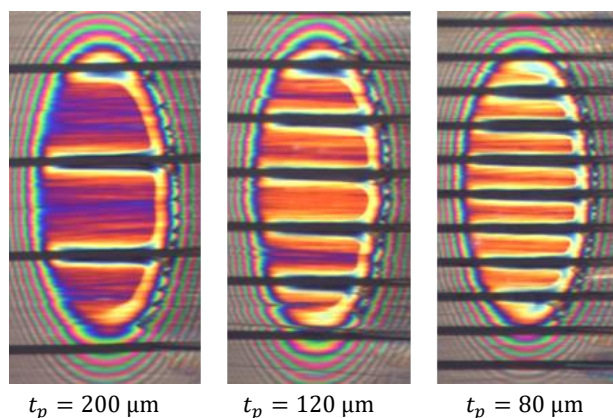


Fig.3 Optical interferograms at different groove pitches

Figure 5 にすべての試験片の最大トラクション係数とすべり率 0.3 での潤滑面中心の油膜厚さの関係を示す。図中の記号は Table 1 のものに対応している。テクスチャの付与による油膜厚さの減少にともない、トラクション係数は増加する傾向にあるが、同程度の油膜厚さに対してトラクション係数が高くなるテクスチャ形状 c, d, f, h と低くなる形状 a, e, i, j があることがわかる。トラクション係数が高くなるテクスチャ形状の寸法を見ると、テクスチャ形状 f を除いては溝幅 t_w が $40 \mu\text{m}$ のものである。一方、トラクション係数が低くなるテクスチャ形状の寸法は全て溝幅 t_w が $20 \mu\text{m}$ である。以上のことから、溝幅の増加は油膜厚さの減少を抑えつつトラクション係数を増加させるためには有効であることが明らかとなった。

4. おわりに

本研究では、平行溝を潤滑表面に付与して弾性流体潤滑下でトラクション係数および油膜厚さの測定を行い、表面テクスチャ形状と油膜厚さとの関係を調べた。その結果、以下のことがわかった。

- (1) 溝深さの増加はトラクション係数および油膜厚さに最も影響が大きかった。溝が深いほど、トラクションは増加し、油膜厚さは減少した。
- (2) 溝ピッチの減少は溝深さに次いで影響が大きかった。溝ピッチを減少させるとトラクション係数は増加し、油膜厚さは減少した。
- (3) 溝幅が増加するとトラクションは上昇し、油膜厚さは低下するが、他のパラメータと比較して油膜厚さの減少は抑えられ、広い溝幅は油膜厚さの減少を抑えながら高いトラクション係数を得るためには有効であった。

文献

- 1) 南部・保田・牛嶋・Zhu：表面微細形状によるトラクション係数向上（第1報、微細形状の方向性の影響），日本機械学会論文集（C編），74, 738 (2008) 417.
- 2) 金・八木・杉村・工藤・松下・三浦：弾性流体潤滑下でのテクスチャ表面によるトラクション制御，日本機械学会 2019 年度年次大会 秋田 (2019) S11115.

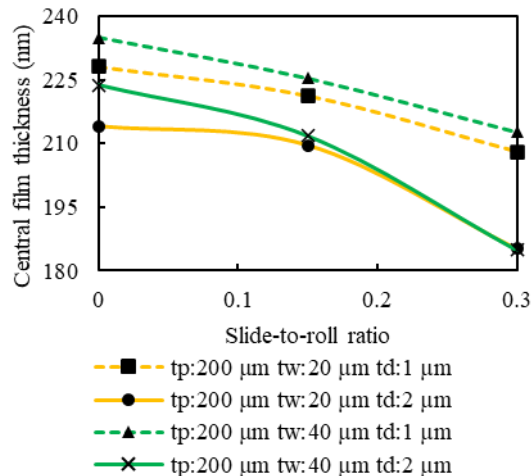


Fig.4 Variations in film thickness at different slide-to-roll ratios

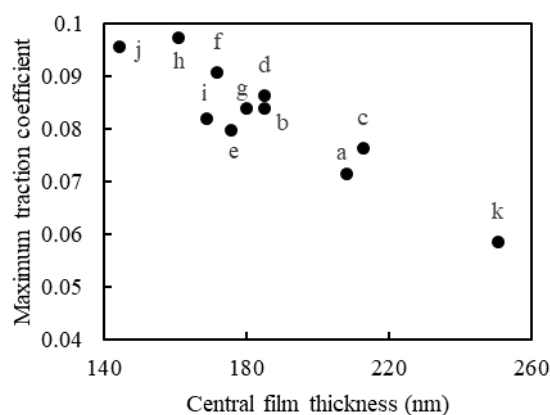


Fig.5 Relationship between maximum traction coefficient and film thickness for different groove specifications