

トラクションドライブにおける高周速下メニスカス内圧力推定法の検討と 給油方向違いによる比較

Estimation of Meniscus Pressure in Traction Drive at High Peripheral Speed and
Comparison with Different Direction of Lubrication

東海大・工（学）*佐藤 克義 東海大・工（正）落合 成行 東海大（学）朴 峻希
東海大・工（学）田島 駿一
Katsuyoshi Sato, Masayuki Ochiai, Shunki Boku, Shunichi Tajima
Tokai University

1. はじめに

現在、電気自動車普及のため航続距離の延伸が求められており、駆動源であるモータの小型・高回転化による軽量化が推進されている。モータの高速化に際しては、モータ回転数を車速相当まで減速する必要があり、その機構には、一般的に歯車式減速機が使用されている。しかしながら、歯車は高速回転した際の振動発生による騒音の増大や、歯面への潤滑油の供給不良、搅拌抵抗の増大といった様々な問題が発生してしまう。そこで電気自動車の減速機には、高速回転に対応したトラクションドライブ方式の減速機が期待されている。

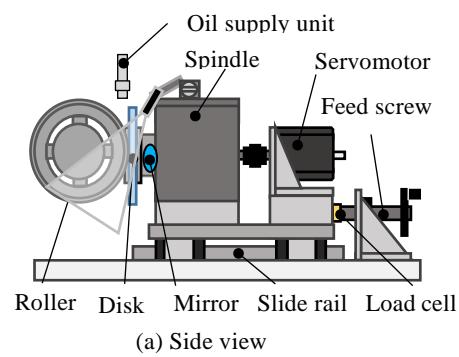
トラクションドライブは、二つの転動体間にトラクション油^[1]という特殊な潤滑油を介在させ、両端から強い押しつけ荷重を加えることで動力を伝達させる方式である。その際の高い面圧によって転動体表面は弾性変形し、トラクション油はガラス転移と呼ばれる固化された状態になる^[2]。このような潤滑状態を弹性流体潤滑(以下 EHL)と呼ぶ。このEHL接触部でトラクション力が発生し、駆動側から受動側へと油膜を介して動力が伝達されるため、歯車方式に比べて静音性や損失低減といった面から高速モータとの組み合わせに優れている。

しかしながら、トラクションドライブにおいては、動力伝達時にEHL接触部に生じるせん断発熱によりトラクションローラの表面温度が上昇し、トラクション係数が低下することが知られている^[3]。またその際のローラ表面温度とトラクション係数の同時測定結果も報告されている^[4]。このような背景から、モータの高速化に際してはローラの表面温度の冷却が重要であるといえる。平ら^[5]は、二つの転動体への給油方向の変更や給油速度に着目して、ローラの冷却効果の向上に向けた研究を行い、高速回転下において転動体接触部への給油方向によって冷却性能の違いが出ることを明らかにした。更にそのメカニズム解明のために、EHL接触部近傍でのメニスカス油膜内部流れのPIVによる可視化を実施し、更に同油膜内部の圧力推定まで行っているが、高速条件では難易度が高く低速条件に留まっている。また、給油方向違いによる比較もなされていない。そのため、本研究では、高速条件の下での接触部周りの油膜状況の可視化及びPIV解析と圧力推定を給油方向を変えて行い、さらなる冷却性能のメカニズムの解明を行った。

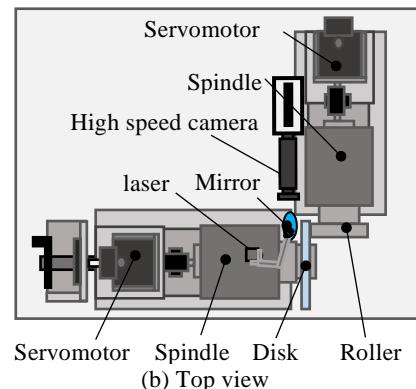
2. 実験装置・方法

Figure1に今回の実験で使用した実験装置の概略図を示す。ここで同図(a)は装置の側面図を、同図(b)は装置の上面図を示している。ローラの直径は192mmで、幅方向の曲率半径は25.4mmである。ローラの材質にはクロムモリブデン鋼を使用し、表面に鏡面仕上げを施している。ディスクの直径は200mm、厚さは15mmであり、材質には高強度かつ光の透過率が高いサファイアガラスを使用した。ディスクとローラはそれぞれ独立した回転機構により構成されており、滑り率の調整が可能である。ディスクとローラは接触半径が等しくなる位置に配置しており、ディスク側の回転機構はスライドレール上に設置されている。後方の送りねじにより荷重を調整しながらディスクをローラに押し付けることが可能である。トラクション油は、ローラの上部に設置した供給ポンプからノズルを通して給油される。

ここで、本実験装置は剛性確保の観点から通常よりも大型となっていることから可視化に際し撮影スペースが非常に狭い。そのため、ディスク正面から直接油膜を観察することが困難である。そこで、ローラと並行になるようにカメラを設置し、ディスクの



(a) Side view



(b) Top view

Fig. 1 Schematic of experimental device equipment

裏側に反射鏡を設置することで油膜の撮影を行った。また、今回の実験では5Wのレーザーを用いたが、同様の理由から油膜を直接照射することが困難であった。そのため、Fig.1(b)のように接触部に対して45°の方向から光源であるレーザを照射した。

Table1に実験条件を示す。本実験では、潤滑油内に蛍光粒子を用いた。蛍光粒子では光を吸収し他の波長帯の光を放出する。これにより、高速回転下でも安定した油膜流れの可視化を行うことができるようになった。

3. 実験結果

Figure2に、回転方向とは逆側から潤滑油を供給する「かみ外れ」方向で実験を行った際の結果の一部を示す。周速は5.0m/sで、以前^[5]よりも高速条件となっている。

同図(a)の可視化結果を見ると、レーザー光によって励起した蛍光粒子がメニスカス油膜全体に混入した様子を確認することができる。次にこの実験で得られた可視化結果を用いてPIV解析を行った。その結果を同図(b)に示す。図中の速度ベクトルでは、暖色に近いほど速度が速く、寒色に近いほど緩やかな速度を示している。また、オレンジで囲まれた部分はローラとディスクのEHL接触部である。その他の油膜内と比べて極めて圧力が高く、油膜も薄いため、潤滑油は同接触部を避けて左右へ搔き分けられている。またローラ

表面の周速が5m/sなのにに対し、最も早い粒子の速度は同程度で、その他の粒子速度も概ね3.0~4.5m/sであることから、本実験のPIVで粒子の動きを追跡できているといえる。

同図(c)には、PIV解析結果を用いて算出されたメニスカス油膜内圧力分布の結果をゲージ圧で示す。同図から、EHL接触部上流で油膜圧力が高まった後、左右に分かれたメニスカス油膜の各先端部において、大気圧より低い圧力が確認される。このような負の圧力により、周囲の潤滑油を引き寄せているものと考えられ、この油膜がEHL接触部を通過して温度上昇したローラ表面の冷却に関与するものと想定される。

4. まとめ

本研究では、高周速下でもPIV解析が行えるよう、蛍光粒子を用いてメニスカス油膜内部流れの可視化を行い、油膜内部の圧力分布推定を実施した。得られた知見を以下に示す。

- 1) 蛍光粒子を用いることにより、周速5m/s・かみ外れ条件下においても鮮明に粒子画像を撮影可能となり、メニスカス内部の油膜圧力推定まで行うことができた。
- 2) 周速5m/sにおいて、EHL接触部後縁側のメニスカス油膜の先端部に負圧の発生が確認された。この圧力が周囲の潤滑油を引き寄せ、更に下流側で一度破断した油膜が再形成され、ローラの冷却に関与することが想定される。

参考文献

- [1]畠一志, “トラクションオイルの分子構造とトラクション特性”,精密工学会誌 56巻 第9号(1990) 1589~1592.
- [2]大野信義, “トラクション油の機械的性質”,トライボロジスト, 第46巻 第5号(2001) 349~354.
- [3]佐野敏成, “トラクションドライブ式CVTの動力伝達接触部温度推定技術”,トライボロジスト, 59, 11 (2014) 701-707.
- [4]H. Itagaki, H. Hashiguchi, M. Kita & H. Nishii, “Development of a High-Power Traction Tester and Measurement of Traction Curves”, Tribology online, 11, 6, (2016) 661-674.
- [5]平勇人, “トラクションドライブにおける接触部メニスカスの特性を考慮したローラ表面の冷却に関する研究”,東海大学学位論文, (2022)

Table 1 Experimental condition

Traction oil,	KTF-1
Tracer particles	Fluorescent particles(red)
Particle size, μm	3.5~4.5
Oil supply amount Q , L/min	3.5
fueling velocity F , m/s	1.3
Oil temperature T , $^{\circ}\text{C}$	25
Peripheral speed V , m/s	5.0
Pressure W , N	1000

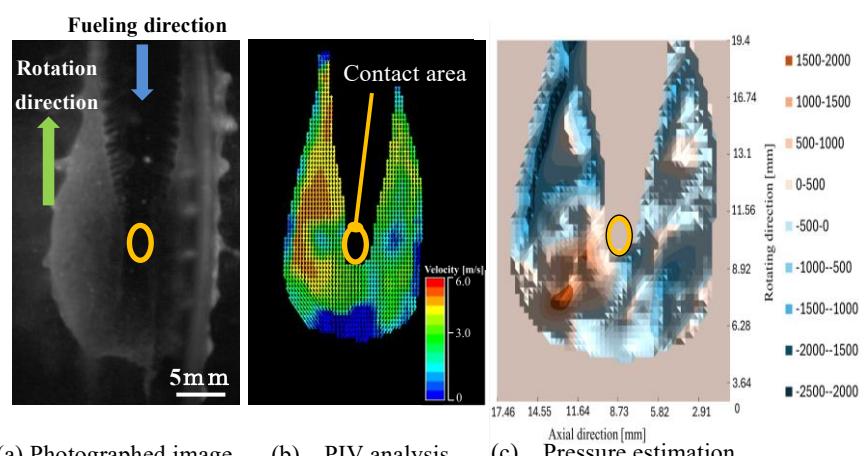


Fig.2 Visualization and analysis results in oil film