

## 給油の影響を考慮したトラクションローラの熱流体解析 —給油条件の違いがローラの冷却性能に及ぼす影響—

Thermo-Fluid Analysis of Traction Roller Considering Influence of Oil Supply  
-Effect of Different Oil Supply Conditions on Cooling Performance of the Roller-

東海大・工（学・院）\*遠藤 大地 東海大・工（正）落合 成行 NSK（正）板垣 浩文  
NSK（非）大濱 和正

Daichi Endo\*, Masayuki Ochiai\*, Hirofumi Itagaki\*\*, Kazumasa Ohama\*\*

\*Tokai University, \*\*NSK Ltd.

### 1. 緒 言

電気自動車の普及が進む中、駆動源であるモータは小型・軽量化や高効率化を目的に高速回転化が求められている。高速化するにあたって、モータの回転数を車速相当まで減速する必要がある。従来の減速機の多くに歯車方式が採用されているが、高速回転下では歯の損傷や振動・騒音、潤滑油の搅拌抵抗が大きくなることが問題である。そこで、電気自動車の減速機には、高速回転の運転に優れたトラクションドライブ方式が期待されている<sup>(1)</sup>。

トラクションドライブは、表面が滑らかで曲率を持つ転動体間に潤滑油を供給した状態で強く押し付け、接触部で発生するトラクション力により動力を伝達する。このとき、接触部ではせん断による発熱で油膜内の温度が上昇し、伝達能力が低下する問題がある<sup>(2)</sup>。単純に冷却する手法には、潤滑油の給油量を増加させる方法が考えられるが、ポンプの油量や消費電力を増量する必要があることから、搅拌抵抗やコストの増加につながる。そこで本研究では、給油量を変化させることなく、高い冷却効果を得ることができる手法を検討している。宮島らは、ローラ周辺への飛散およびローラ本体への伝熱を考慮したモデルを用いて熱流体解析し、潤滑油を供給する際にかみあう方向に給油(以下、かみあい潤滑)した場合と、かみはずれるように給油(以下、かみはずれ潤滑)した場合におけるローラ表面温度を比較している。そこでは、給油条件が同じであっても回転方向によってローラ表面温度に差が生じることを明らかにしている<sup>(3)</sup>。しかし、回転方向が一定にならない環境下では、安定した冷却を行えないことが考えられるため、運用する環境に依存しない冷却手法を検討する必要があることから、給油条件に着目した。

以上の背景より、本研究では、トラクションローラへの給油流速を変更した際のローラ表面温度を推定し給油条件の違いが冷却効果に及ぼす影響について、ローラへの伝熱も考慮した二相流熱流体解析により検討した。

### 2. 解析方法

Figure 1 に解析モデルを示す。本研究では、先行研究<sup>(3)</sup>を参考に二円筒試験機<sup>(4)</sup>のローラとその周辺の空間を計算領域としてモデル化している。本モデルは計算コストを削減するために、ローラの接触面で対称条件を設定した。メッシュのサイズは、0.1 mm ~ 6 mm とし、ローラ表面には三層から成る層状のメッシュを加えた。

Table 1 に解析条件を示す。数値解析には、汎用数値解析ソフトウェアである、Ansys Fluent 17.2 を使用し、混相流モデルとして VOF 法(Volume of Fluid)を用いた。VOF 法では、液相と気相の体積分率を、1 つのセルに液体で満たされている状態を 1 とし、気体で満たされている状態を 0 として計算することで混相流解析を行っている。さらに、本解析ではローラとローラ周辺の気液との熱の移動を考慮した伝熱解析を取り入れた。伝熱計算では、ローラ表面に設けたメッシュの層がローラ表面付近の温度と同じ値になるまで繰り返し計算し、その計算過程で熱伝達率を求めてローラ表面温度を算出している。一方、解析に用いる EHL 接触部の温度は、接触前のローラ表面温度をベースに、EHL 油膜入り口部発熱の温度上昇量、EHL 油膜内部におけるローラ表面のせん断発熱による温度上昇量、油膜内部のせん断発熱における温度上昇量を加えたものとした<sup>(5)</sup>。なお、EHL 接触部の温度を計算するためのローラ表面温度としては、実験値の平均値を用いた。潤滑油の物性値は板垣ら<sup>(6)</sup>の論文中において示されている oil A の諸元を参考にした。また、本解析においては、各回転方向で表 1 に示す 4 通りの給油流速でローラ表面温度を推定し比較している。

Table1 Calculation condition

CFD-analysis software	ANSYS Fluent 17.2
Calculation model of	Volume of fluid
Two-phase fluid analysis	(VOF)
Peripheral velocity $U$ [m/s]	10
Oil flow rate $Q$ [L/min]	6
Oil supply Velocity $U_{inlet}$ [m/s]	10.4, 20.8, 31.2, 41.6
Supply oil temperature $T_s$ [°C]	100
Ambient temperature $T_a$ [°C]	25
Contact point temperature $T_c$ [°C]	Engaging Disengaging
	120.93 121.26

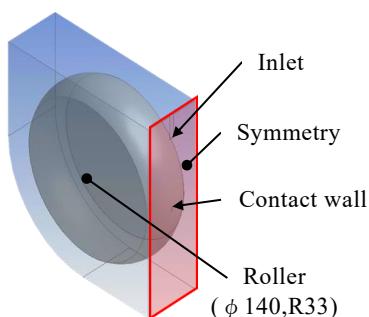


Fig. 1 Analysis model

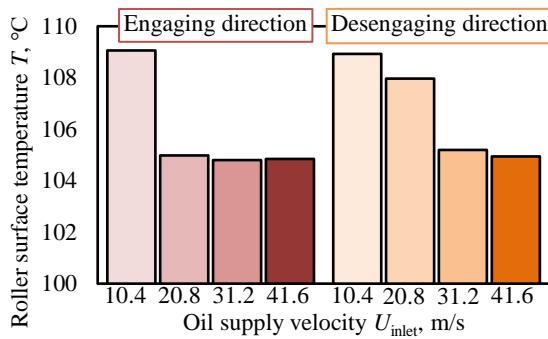


Fig. 2 Roller surface temperature in front of contact point

### 3. 解析結果

Figure 2 にローラ表面温度の解析結果を示す。同図は、かみあい潤滑、かみはずれ潤滑の接触部直前のローラ表面温度である。同図から、かみあい潤滑においては給油流速 20.8 m/s を超えると、ローラ表面温度が一定になっている。また、かみはずれ潤滑においては、給油流速 31.2 m/s を超えるとローラ表面温度が一定になる。この理由としては、発熱源である接触部への給油状況や給油後の潤滑油挙動が関係していると考えられる。Figure 3 にローラ表面の体積分率の解析結果を示す。同図は、ローラ表面温度が最も高い給油流速 10.4 m/s と、両潤滑方向においてロ

ーラ表面温度の減少量が小さくなった給油流速 31.2 m/s のローラ表面の体積分率を回転方向ごとに示している。同図(a)に示す給油流速 10.4 m/s の解析結果においては、潤滑油が接触部で一度広がるがその後方で集まる挙動を示している。一方、給油流速 31.2 m/s においては 10.4 m/s の場合とは異なり、接触部で潤滑油が大きく広がる挙動を示した後、中央には戻っていないことがわかる。このことから、10.4 m/s の場合には給油速度が小さいため熱を吸収した油がローラ表面に残留するのに対し、31.2 m/s の場合には接触部で熱を吸収した油がローラ外部に排出され、冷却効果が高まつたものと考えられる。一方、同図(b)に示すかみ外れ潤滑では、給油流速 10.4 m/s の場合には潤滑油が接触部ではじかれずに溜まっており、給油流速 31.2 m/s においては、かみあい潤滑同様にはじかれるような挙動を示した。これらのことから、熱を吸収した潤滑油が左右に流れて外部に排出されることが冷却効果に大きく影響するものと考えられる。

### 4. まとめ

本研究では、トラクションローラへの給油条件を変更した際のローラ表面温度を推定し、冷却性の違いを検討した。そこで得られた知見を以下に示す。

- 1) かみあい潤滑およびかみはずれ潤滑いずれの場合においても、給油流速を増加させた場合ローラ表面温度が低くなるが、一定の給油流速以上ではローラ表面温度が下がらなくなることを確認した。
- 2) 回転方向が異なる場合においても、潤滑油が接触部で左右に分かれる挙動を示す場合、冷却効果が高くなっていることを確認した。

### 謝辞

本研究を進めるにあたり、潤滑油の諸元を提供して頂きました出光興産株式会社に感謝申し上げます。

### 参考文献

- 1) 板垣：電気自動車駆動用モータの高速化に資するトラクションドライブ技術、トライボロジスト, 65, 3, (2020) 132-139.
- 2) 畑：潤滑領域図に基づいた潤滑油の温度によるトラクション係数遷移に関する研究、第二回機素潤滑設計部門講演会講演論文集, 2, , (2002) 195-198.
- 3) 宮島・落合・板垣・大濱：トラクションドライブにおける熱流体解析を用いた潤滑油の給油方法の違いによる冷却効果の検証、トライボロジー会議 2021 秋松江予稿集
- 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) 佐野：トラクション係数推定に関わる温度とレオロジーモデルの解釈、日本機械学会論文集, 82, 844, (2016)1-13.
- 6) H. Itagaki, K. Ohama & A. N. R. Rajan Method for estimating traction curves under practical operating conditions, Tribology International, 149, (2020) 1-18.

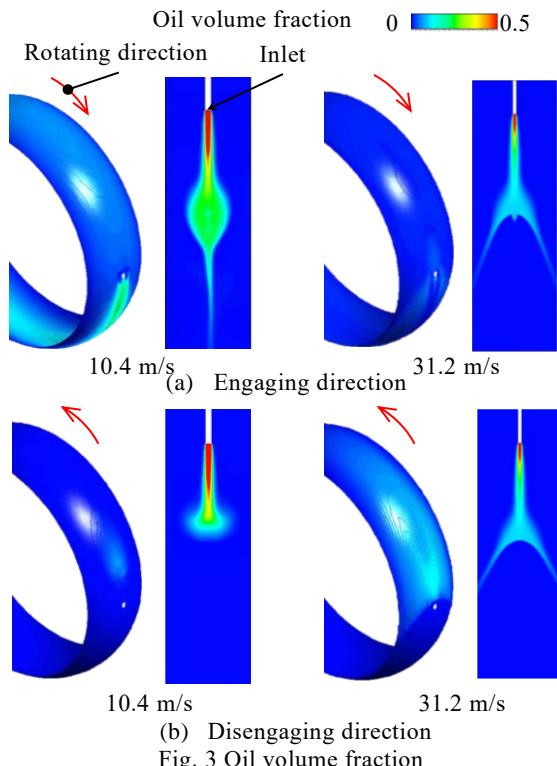


Fig. 3 Oil volume fraction