

# 気液二相流解析に基づくトラクションドライブの給油による冷却特性に関する検討 Study on Cooling Characteristics of Traction Drive on Gas-Liquid Two-Phase Flow Analysis

東海大・工（学）\*田嶋 駿一 東海大・工（正）川本 裕樹

東海大・工（学）朴 峻希 東海大・工（正）落合 成行

Shunichi Tajima, Yuki Kawamoto, Shunki Boku, Masayuki Masayuki

Tokai University

## 1. はじめに

近年、世界的に電気自動車が普及しつつあるが、ガソリン車などと比較すると航続距離の短さが課題である<sup>(1)</sup>。そこで、航続距離の延伸に向けてモータの高速化による小型・軽量化が求められる<sup>(2)</sup>。高速化したモータにはそれに対応した減速機が必要となる。そこで、静粛性に優れたトラクションドライブ方式の減速機が注目を浴びている。トラクションドライブとは、2つの転動体を高荷重で押付け、トラクション油という特殊な潤滑油を介して動力を伝達する機構である。転動体を高荷重で押し付けることにより接触部における転動体表面は弾性変形を起こし、接触部に介在する潤滑油は固化するとされる<sup>(3)</sup>。このような弾性変形の影響を無視し得ない潤滑状態を弾性流体潤滑(EHL: Elastohydrodynamic Lubrication)という。その際、駆動側と従動側の速度差により接触部における潤滑油がせん断されることにより動力を伝達する。

しかし、動力伝達時の EHL 接触部において、せん断発熱が発生し伝達効率が低下することが知られている<sup>(4)</sup>。このせん断発熱に起因するローラ表面温度の上昇が伝達効率に影響するため表面の冷却が重要になる。先行研究として平らは、ローラの回転方向の違いによる冷却性能の変化を明らかにしている<sup>(5)</sup>。また、朴らは二つのローラを直交に配置した解析モデルを用いて給油流速を変更した場合の冷却について検討を行い、給油流速が高いほど表面温度の上昇が抑制されることを示唆している<sup>(6)</sup>。先行研究の解析においては、接触部周辺の一部の領域に着目しているが、冷却特性の把握にはローラ全体を考慮した解析が必要と考えられる。本研究では適合格子細分化(AMR: Adaptive Mesh Refinement)法による気液二相流解析を用いて、二つのローラ間に供給される潤滑油の挙動および温度変化を確認する。

## 2. 計算手法および計算領域

本研究では、支配方程式として三次元流れの非圧縮性 Navier-Stokes 方程式および連続の式、温度に関するエネルギー方程式を扱う。方程式は直交格子上で離散化され、物体および気液界面の定義には符号付き距離関数を用いるレベルセット法を適用した<sup>(7)</sup>。物体壁面に対してはゴーストセルを用いる埋め込み境界法により境界条件が定義される。気液界面はレベルセット関数の移流方程式および再初期化の式を解き、表面張力にはゴーストフルード法を用いて圧力のジャンプ条件を考慮した。また気液界面近傍の解像度を効率的に確保するため、Fig. 1 に示すブロックベースの AMR 法を採用した。これは各ブロックを木構造により階層的に細分化し任意の領域での解像度を高める手法であり、ブロック内は一定の格子数で分割されるためデータ管理の面で利点を有する。また各 CPU プロセスにおける計算負荷を均一化するため、Z-ordering による動的負荷分散を適用した。

Fig. 2 に示すとおり、本研究では回転する二つのローラのうち片方に着目した計算領域を設定し、周速度が 10.5 m/s となる回転数を設定した。軸方向の計算領域は軸対称とし、上部に給油ノズルを模擬し 15.1 m/s の流速を与え潤滑油を領域内に流入させた。またローラ間の接触部には周囲に対して 100°C の温度上昇を設定している。なお潤滑油の物性値はトラクション油の一つである KTF-1 に基づいている。計算格子は AMR 法により気液界面に対して 5 レベルの細分化を行い、最大で約 800 万点の解析である。

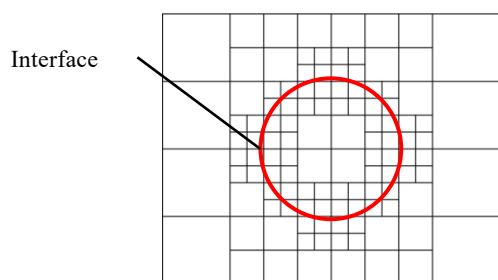


Fig.1 Schematic diagram of Adapted mesh refinement

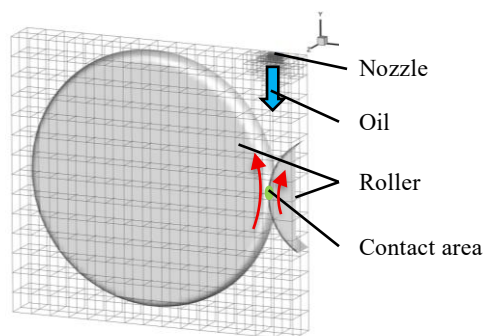


Fig.2 Computational domain

### 3. 解析結果

Fig. 3 に計算開始から 0.04 s 後における可視化結果を示す. 同図(a)より気液界面およびローラ中心断面における AMR のブロック構造, (b)に物体と気液界面の表面温度分布を示した. 結果より, 領域上部から供給された潤滑油が二つのローラ間の接触部周辺に到達し, 衝突後は多方向に分散する挙動が見られた. 断面のブロック構造より, 気液界面に細かい計算格子が配置されており本研究に適用した AMR 法の効果が確認できる. 潤滑油は二つのローラの壁面に付着しながら移動し, 遠心力により液膜が回転方向に延伸し, 一部で分裂する挙動が見られる. また, 潤滑油がローラ上を移動する際には軸の両端から中心部に向かう傾向を確認した. これはローラ表面のクラウン形状によるものと推測できる. 温度分布より, 接触部で発熱した影響によりローラの軸方向中心部が高温となるため, 付着した潤滑油の移動方向が冷却特性に影響を与えられと考えられる. また接触部周辺に多数の液滴が存在していることから, 接触部から液膜への熱伝導が生じた後, 軸方向に飛散することで放熱される現象も示唆される.

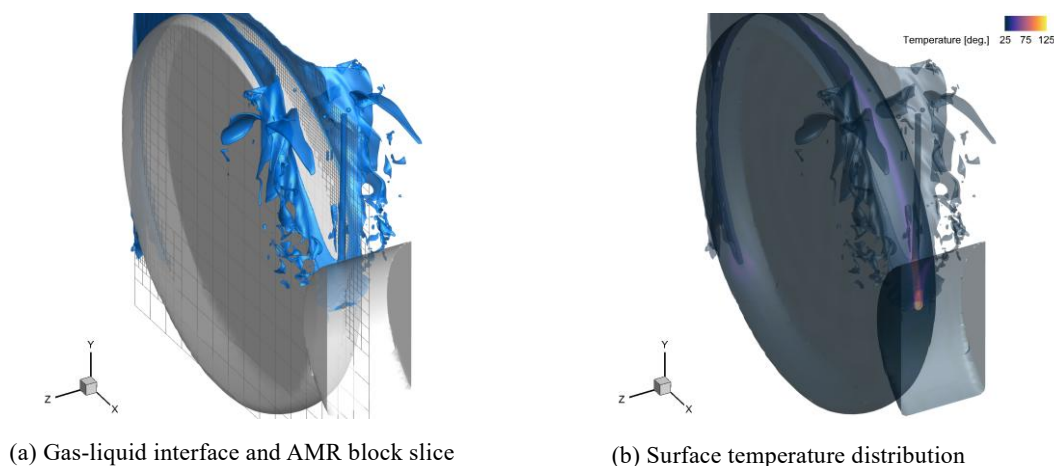


Fig.3 Visualization Results

### 4. まとめ

本研究では, AMR 法を用いた気液二相流解析により, トラクションドライブのローラ接触部周辺における気液二相流挙を検討した. 潤滑油は接触部到達後に油膜流れと液滴に分かれ, 油膜は軸の両端から中心部に進む挙動を確認した. 今後は複数の条件において各部の温度の定量評価し, 冷却のメカニズムに関して詳細を明確化する必要がある. また液膜や液滴の分裂を正確に捉えるため最小格子幅の検討が課題である. 本研究では衝突直後の過渡現象を確認したが, より定常状態に近い状況での評価を行うため, 長時間解析と実験検証を組み合わせた検討が求められる.

### 謝辞

本研究の一部は, TRAMI「自動車用動力伝達技術研究組合」の研究の一環として行われたものであり, 参画されている方々のご指導, ご鞭撻ご助言を賜り厚く御礼を申し上げます. また, 本研究は学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 (JHPCN) および, 革新的ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラ (HPCI) による支援を受けたものです (課題番号: jh250067).

### 文献

- (1) 木山昇, 小林雄一, 青島弘和, 白井啓介, 柏山正守, “航続距離可能距離と充電時間を考慮した電気自動車向けルート探索手法”, 情報処理学会論文誌, Vol.54, No.1, PP.156-165(jan.2013).
- (2) 板垣浩文, “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, Vol.65, No.3 (2020), PP. 132-139.
- (3) 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), PP. 349~354.
- (4) 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.
- (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”, 東海大学大学院 2022 年度博士論文.
- (6) 朴峻希, 川本裕樹, 佐藤克義, 落合成行, “高周速トラクションドライブにおける給油量を増加させた際のローラ表面の冷却効果および熱流体解析による冷却モデルの検討”, 自動車技術会, 2024 年春季大会.
- (7) 川本裕樹, “固気液混相流解析法を応用した自動車エンジン内ピストンリングまわりの流体挙動予測”, 東海大学大学院 2021 年度博士論文.