

電動車用超低粘度トランスアクスルフルードの製品化

(トヨタ自動車(株)*・ENEOS(株)**)

○床 桜 大輔 *・白石 有 *・佐野 敏成 *
薄田 洋平 **・多田 亜喜 良 **・相澤 康樹 **

1. 研究の目的、背景

電動車の普及と技術革新は地球温暖化防止とCO₂排出削減の観点からますます重要性を増している。電動車の普及を加速させためには電動車の更なる燃費・電費向上が重要な取り組みとなる。電動車のエネルギー損失のうち、電動車の駆動ユニットであるトランスアクスル(以下、T/A)の損失割合は大きく、T/Aの損失低減は全電動車に有効な燃費・電費向上アイテムになる。電動車のT/Aの損失として潤滑油による攪拌抵抗の割合が約70%と大きいことが分かっている。よって、潤滑油を低粘度化することにより電動車のT/Aの大幅な損失低減が期待できる。

2. 技術内容の概要

開発した電動車用T/Aフルードの動粘度は40°C動粘度が12mm²/sであり、従来油対比で約50%以上の粘度低減を達成している。この低粘度化により、電動車ユニットの無負荷損失を従来オイルと比較して油温30°Cで30%，油温10°Cで45%低減することが可能となり(図1)，モード燃費としてWLTCモードで1.2%以上の燃費向上効果が得られることを確認した。さらに低粘度化によりオイルの熱伝達係数が向上することで、モータ単体評価においてステータ表面温度が4°C以上軽減されることを確認した(図2)。

一方、低粘度化により悪化が懸念される耐疲労性、耐摩耗性、耐焼付き性、消泡性の低下に対しては、添加剤処方の改良による対策を行い、油膜保持性の大幅な向上、添加剤反応被膜の平滑化、消泡剤の沈降抑制に成功した。その結果、極限までの低粘度化と、従来油同等以上のユニット耐久性・電気絶縁性の両立を達成した。

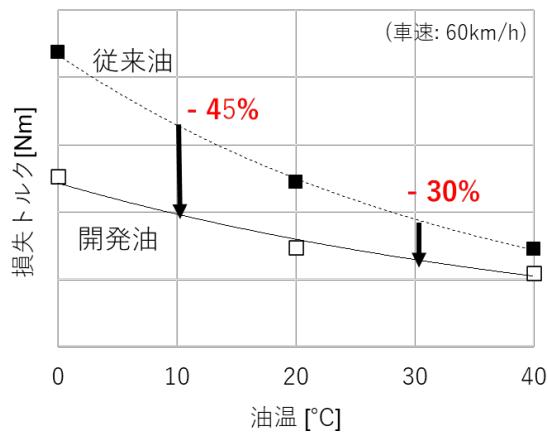


図1. 電動車T/Aの損失低減効果

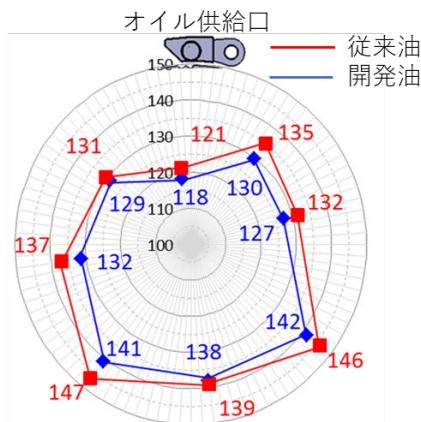


図2. モータステータ表面の温度測定

3. 技術開発と実験結果

従来油と同じ添加剤の低粘度試作油を用いた実機高負荷耐久試験を実施したところ、各種軸受やギヤ歯面において疲労剥離が発生した。また、オイル供給が乏しい貧潤滑摺動部においては焼付きが生じた。以上のことから、潤滑油の低粘度化を実現するには、耐疲労性と耐焼き付き性を向上するための改良が必要であることが判明した。

ギヤや軸受の疲労剥離は繰り返し摺動による金属表面へのダメージ蓄積により発生する。耐疲労性を

向上させることを目的として、油膜の形成能を強化すること、および、金属表面に形成する添加剤由來の保護被膜をより平滑化することにより、摺動表面のせん断応力の低減を狙った。具体的には、分子構造内に極性基を有する油膜形成力を強化したポリマーを採用すること、および、金属系清浄剤の構造を変更して添加剤反応被膜の表面粗さを変化させることを対策として講じた。当該ポリマーを適用した場合、摩擦試験機 MTMにおいて混合潤滑領域での摩擦係数低減が確認されたことから、油膜厚さが増していることが示唆された。実際の T/A を用いた高負荷耐久試験においてギヤの表面粗さが低減され、従来油よりも低粘度であるにもかかわらず、疲労寿命が向上することを確認した（図 3）。

さらに、耐焼付き性向上として、添加剤被膜の強化を狙った。硫黄系極圧剤、リン系摩耗防止剤から形成される保護被膜の強化を狙い、摩耗防止剤の增量を図った。添加剤增量の背反として、モータに求められる潤滑油の電気絶縁性(体積抵抗率)が添加剤成分のイオン化によって低下することが懸念されたが、電動車用 T/A における必要性能を考慮して添加剤配合を最適化することにより、潤滑油の電気抵抗の低下を抑制しながらリン系摩耗防止剤を增量することを実現した。結果として、従来油と同等の体積抵抗率を確保しながら、SRV 試験機を用いた焼付き試験において損傷が発生しない水準まで摩耗防止剤を增量することが可能となった（図 4）。

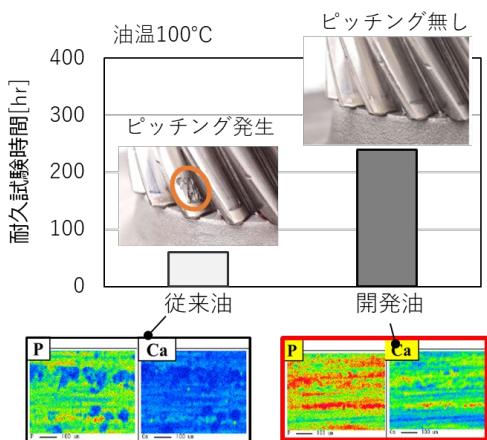


図 3. 実機高負荷耐久試験結果

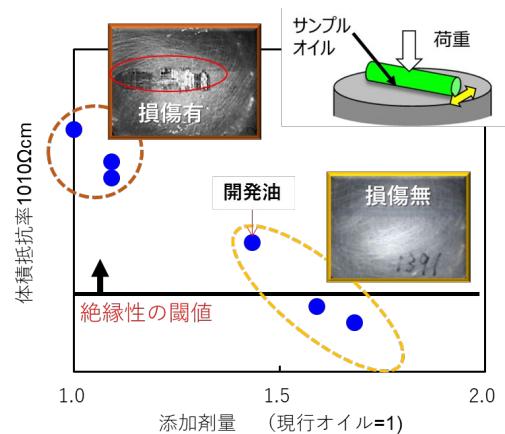


図 4. SRV 烧付き試験結果

4. 技術のまとめと将来への影響

本技術は、電動車用トランスアクスルフルードとして世界最高の超低粘度油の製品化に成功したものである。低粘度化の課題である耐疲労性・耐焼付き性の低下と絶縁性の低下に対し、電動車ユニットに特化した添加剤の設計を行うことで対策した。その超低粘度化に伴う課題を卓越した添加剤技術により解決することで、攪拌抵抗の低減とモータ冷却性の向上を実現し、電動車の大幅な燃費向を達成した。

本製品は'22年発売のHEV車両を頭出しとして、PHEV,BEV や FCEV にも順次展開が予定されている。本技術によって'30年には新車の CO₂ 排出量を年間約 12 万トン削減可能と見込まれており、カーボンニュートラルに対して大きな貢献が期待される。

今回完成した電動車用超低粘度オイルの添加剤パッケージをもとに、将来のニーズに対応した新規な機能を付与することで、さらなる性能向上を目指した革新的なオイル技術開発を続ける。

参考文献

- (1) SAE Technical Paper 2022-01-1102
- (2) SAE Technical Paper 2022-01-1103
- (3) 自動車技術会 2021 年度秋季大会 20216177