

e-Axle 専用油に求められる性能と技術開発への取り組み Requirements and Technology Development for e-Axle Fluids

ENEOS（正）*飯野 麻里 ENEOS（正）松井 茂樹 ENEOS（正）松木 伸悟

Mari Iino*, Shigeki Matsui*, Shingo Matsuki*

*ENEOS Corporation

1. はじめに

CO₂ 排出量削減による地球温暖化防止のため、自動車の電動化が進んできている。各国がガソリン車販売禁止を発表しており、今後 EV の普及は加速し更なる電費向上が求められる。EV 駆動システムとして減速機、モーター、インバーターを一体化した e-Axle は小型化・高効率化に寄与することから今後普及していくことが予想される。¹⁾減速機の潤滑用途のみであれば、既存ギヤ油や ATF が使用可能であるが、モーターを冷却する用途としても使用する場合、新たに電気絶縁性能やモーター部材料適合性が求められる。また EV はハイブリッド車よりも大きなモーターパワーが必要であるため、高い電圧で使用される傾向にある。EV の高効率化や高性能化に向けて、e-Axle は更なる高電圧化、小型化、高回転化が考えられる。²⁾これらの理由から、e-Axle 専用油には減速機に対する高いギヤ効率や耐荷重性能とともに、モーターに対する冷却性能、適切な電気特性や材料適合性が求められる。ここで、ギヤ効率向上とモーター冷却性能向上には潤滑油の低粘度化が有効である。³⁾低粘度化に伴いギヤ効率は向上するが、過度な低粘度化はベアリングの疲労寿命悪化やギヤその他部位の摩耗促進、消泡性悪化につながる。同様に低粘度化に伴い冷却性能は向上するが体積抵抗率は低くなり電気特性が悪化する。本報では、減速機に対して高いギヤ効率と耐荷重性能、耐久性能を維持しつつ、モーターに対し冷却性能と絶縁性能を両立する e-axle 油の配合技術について報告する。

2. e-Axle 油の設計（低粘度化と高性能基油の適用）

先に述べたように e-Axle 油は減速機とモーターの適合性とを兼ね備える必要がある。ギヤ・ベアリングの疲労寿命、銅などの材料適合性の観点やこれまでの適用実績から、ATF に適用される添加剤配合で検討した。一般的な ATF は基油、添加剤、粘度指数向上剤（VII）から構成される。減速機の伝達効率とモーター冷却性の向上を目的に、既存 ATF より低粘度化した e-Axle 油を狙いとした。具体的には基油を低粘度化し、VII 未配合の設計とした。

低粘度化により懸念となる疲労寿命を改善するには粘度指数の改良、トラクション係数の低減、油膜向上等の手法がある。トラクション係数は金属表面間で起こる抗力を表しており、高圧域において局所粘度が上がると増加する。今回、粘度指数が高くトラクション係数が低い高性能基油の使用を検討した。高性能基油は Gp.III 基油と比較して直鎖比率が高く、高圧条件において滑らかに動くためトラクション係数が低くなる。

同一性能添加剤を用いた基油違い処方での IAE ギヤ試験温度上昇経過を測定すると、油温は Gp. I > Gp.III > 高性能基油処方となり、高性能基油により上昇が抑えられた。これはギヤの EHL 領域でのせん断応力が低下したことを意味し、疲労寿命改善やギヤ効率向上が期待できる。次に高性能基油の疲労寿命への効果をボールベアリング試験により検証した。回転に対して荷重を垂直に負荷するスラスト型軸受けで試験を行い、閾値を超える振動が発生する時間をピッチング発生時間とし、L10 寿命にて比較した（表 1、図 1）。Gp.III 基油を用いた系で粘度を下げた Sample b は Sample a よりも疲労寿命が劣るが、高性能基油適用の Sample c は低粘度でありながら高い疲労寿命を維持した。

Table. 1 Characteristics of Samples

	Sample a	Sample b	Sample c
VII	with	w/o	w/o
Base Oil Type	Gp.III	Gp.III	High Performance Base Oil
Kinematic viscosity 100°C, mm ² /s	5.6	3.2	3.2

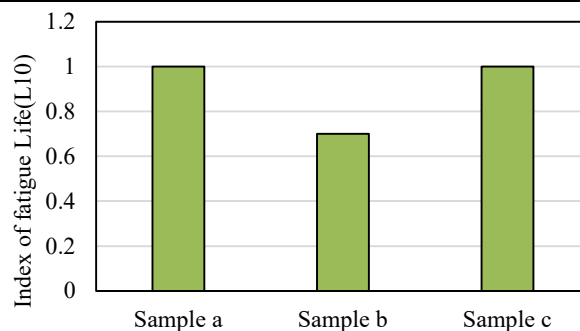


Fig. 1 Ball bearing test result

3. 添加剤改良による冷却性と耐荷重性能の両立

添加剤はギヤ・ベアリング等の潤滑に必要であるがモーター冷却性や絶縁性に影響を及ぼす。中でもギヤ潤滑に必須の極圧剤は絶縁性を悪化させる。絶縁性能指標である体積抵抗率に対する添加剤の影響を評価した。一般的な ATF ベースの添加剤を用いた処方を基準として各添加剤を抜いた場合の体積抵抗率の変化を見ると、分散剤や清浄剤では変化は少ないが、極圧剤や摩擦調整剤を抜くことで体積抵抗率が大きく上がった。極圧剤としては一般に硫黄系やリ

ン系添加剤が使用される。リン系添加剤は P-OH 結合や P=O 結合を有する部分が金属表面への吸着後、金属表面に反応被膜ができる。摩擦調整剤は金属表面に極性基が物理吸着し、炭化水素鎖の設計により摩擦を調整する膜を形成する。添加剤は基油に溶解し油中に存在しており、添加剤存在下では電気を通しやすくなる性質がある。これは基油のみでは無極性のためほぼ絶縁された状態にあるのに対し、添加剤の存在により添加剤分子中の極性部分が配向し電気が流れやすくなるためと考えられる。金属表面への吸着作用が大きく比較的極性の高い添加剤が体積抵抗率悪化に影響しやすいと考えられる。一般的な e-Axle の駆動システムには湿式クラッチが無いため、摩擦制御に必要な摩擦調整剤や分散剤等の添加剤量を低減できるが極圧剤は必須添加剤である。

そこで体積抵抗率を維持しつつ高い耐荷重性能を有する極圧剤の検討を行った。極圧剤種類を変えた検討処方(表 2)について、体積抵抗率と FALEX 耐焼付性を評価した(表 3、図 2)。EP-A は ATF では一般に効果のある極圧剤である。Sample-E2 は Sample-E1 に対し EP-A を抜くことで体積抵抗率が増加し電気特性改善が確認された一方、耐焼付性は悪化した。極圧剤の構造として、極性が強く配向しやすいと体積抵抗率の低下が大きくなる傾向がある。そこで一般的な極圧剤に比べて極性が弱い極圧剤 EP-B を検討した。EP-B を適用した SampleE3 の体積抵抗率への影響は非常に小さいことが確認され、また Falex 試験での焼付きは発生せず、耐荷重性能にも問題ないことが確認された。極性の高い EP-A の代わりに極性の低い EP-B とその他極圧剤 EP-C の併用により耐荷重性能と絶縁性を両立できたと考えられる。

4. e-Axle 油の性能

上記検討から e-Axle 専用油を設計した。基油に高性能低粘度基油を適用、性能添加剤は EV 油に求められる絶縁性を改良し、モーター冷却性とギヤ潤滑性を両立する改良添加剤を適用した。汎用 ATF との各種性状性能比較により、ギヤ伝達効率、冷却性能、耐荷重性能、及び実機耐久性能の改善が見られた。実車評価に関して、EV 車両を用いた電費試験(STP モード)にて純正油対比約 1%の改善効果を確認した。低粘度化に加え低トラクションの効果が出たと考えられる(図 3)。また実車耐久評価では耐久試験後の Input Gear および Counter Gear 等の部品に問題ないことを確認した(図 4)。

5. まとめ

本報では、減速機に対する高いギヤ効率とモーターに対する高い冷却性能を有する低粘度油の検討を行い、低粘度化と背反する耐荷重性能、耐疲労性能および絶縁性能を両立する技術を報告した。更なる冷却性能向上、伝達効率向上が図れる技術を検討していく。

文献

- 1) Uemura, K., "三位一体形駆動ユニット MEIDEN e-Axle の開発," 明電時報 通巻 367 号 No.2 (2020)
- 2) 村木：トライボロジスト Vol.65 No.3(2020) 125-131
- 3) 中村・新吉ら：電動車用超低粘度トランスアクスルフルードの開発, 秋季大会学術講演会(2021)

Table. 2 Characteristics of Samples

	Sample E1	Sample E2	Sample E3
Base Oil	Gp.III		
EP-A	✓		
EP-B			✓
EP-C	✓	✓	✓
Another Additives	✓		
Kinematic viscosity 100°C, mm2/s	5.2		

Table.3 Falex Pin V Block test result

	Sample E1	Sample E2	Sample E3
Burn in	OK	NG	OK

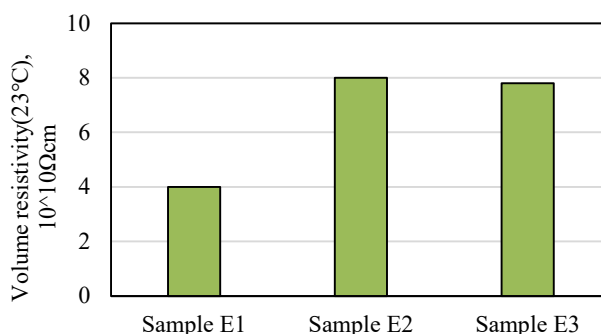


Fig.2 Volume resistivity test result

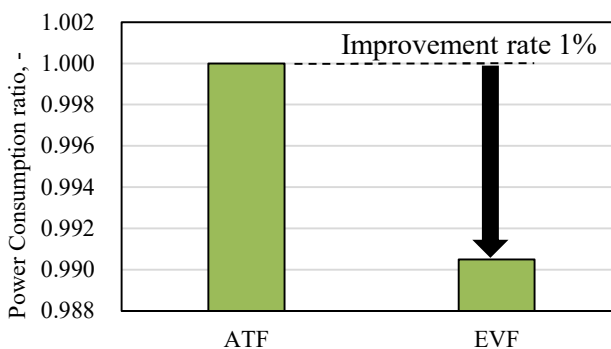


Fig.3 Electricity consumption improvement

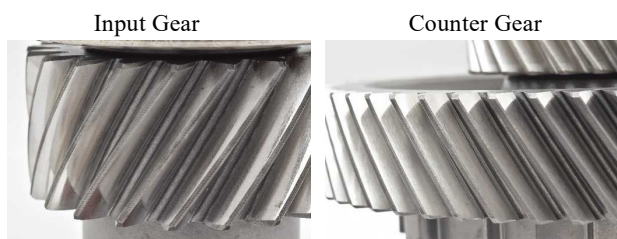


Fig.4 Durability test result (Gear surface)