

低粘度減速機油の設計コンセプトとその検証（第2報）

Design concept and technical verification of low viscosity reducer oil (Second Report)

ENEOS（正）\*佐々木 涼 ENEOS（非）小松原 仁

ジャトコ（正）前田 誠 ジャトコ（非）加藤 豪 ジャトコ（正）石神 和訓

Ryo Sasaki\*, Hitoshi Komatsubara\*, Makoto Maeda\*\*, Gou Kato\*\*, Kazunori Ishigami\*\*

\*ENEOS Corporation, \*\*JATCO Ltd

1. はじめに

地球温暖化防止の観点から CO<sub>2</sub> 排出規制が強化されている。自動車メーカーでは、従来の内燃機関を搭載した車両に加え、ハイブリッド電気自動車（HEV）、電気自動車（BEV）などの普及に向けた開発が加速している。BEV の普及に向けた課題の一つに航続距離の短さが挙げられ、航続距離を延ばすためにバッテリーの搭載量（容量）を増やす必要がある。しかし、バッテリー容量を増やすと大幅なコストアップとなるため、省電費（電力量消費率）化によりバッテリー容量を抑えることが求められる。

また、BEVは小型・高出力密度化の要求も高く、小径・高回転モータによるトルク低下をギヤの高減速比で補う技術がトレンドになりつつあり、このモータの出力密度向上に伴い、モータの発熱も課題となり、モータを冷却するための性能もオイルに求められる。

ここでは、減速機内のトルク損失の低減（フリクション低減）により省電費化を図り、モータ油冷に有効な低粘度に対応した電気絶縁性を有する減速機油の開発を行ったので、その設計コンセプトと検証結果について報告する。

2. 開発目標

Table 1 に AT ユニットと BEV ユニットそれぞれに適用される潤滑油の要求性能を示す。BEV ユニットは変速機構をもたず湿式クラッチを非搭載である。従来必要とされていたクラッチ特性は不要になる。また、モータ冷却の効率を向上するための低粘度化は電気絶縁性と背反関係にある（Fig.1）。

そこで、市場 ATF の動粘度および電気絶縁性から、最も低粘度かつ電気絶縁性を高くすることを目標とし、40℃動粘度は 11mm<sup>2</sup>/s 以下、電気絶縁性は現行モータ冷却油の体積抵抗率以上とした（Fig.2）。

Table 1 Vehicle requirements and corresponding lubricant performance characteristics<sup>2)</sup>

Vehicle Requirement		Required lubricant performance characteristics	AT Unit	BEV Unit
Fuel Efficiency	Minimized hydrodynamic drag	Optimized low viscosity characteristics	○	○
Driveability	Seamless gear transitions	Superior frictional properties (μ-v curve)	○	
Durability	Fill for life	Enhanced anti-shudder capabilities	○	
		Improved scuffing resistance	○	○
		Improved wear resistance	○	○
Electrification	Cooling properties	Improved thermal conductivity		○
	Insulation properties	Improved volume resistivity		○

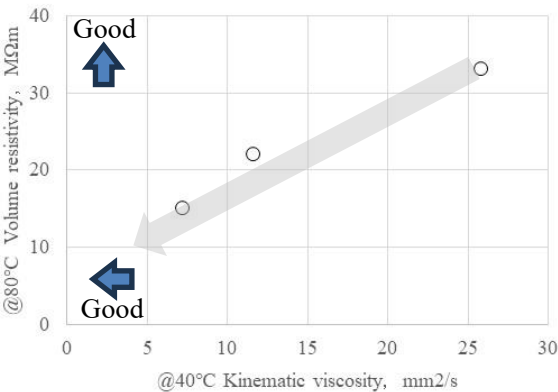


Fig.1 Volume Resistivity of the conventional ATFs

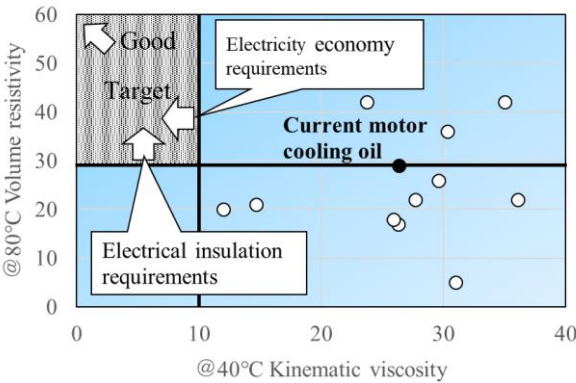


Fig.2 Performance targets of the developed oil

### 3. 電気絶縁性の検証

Figure 3 は従来 ATF より各添加剤を抜去したサンプル (Table 1) の電気絶縁性を示すが、湿式クラッチの摩擦特性を調整するための摩擦調整剤は電気絶縁性を著しく悪化させる結果であった。また、ATF で一般的に用いられる硫黄系添加剤、リン系添加剤も電気絶縁性を悪化させることが判明した。

### 4. 処方設計コンセプト

第2項の通り BEV ユニットは変速機構も持たないため、潤滑油は湿式クラッチ特性が不要となる。即ち減速機油では、電気絶縁性を大幅に悪化させる摩擦調整剤は排除可能である。しかしながら、摩擦調整剤の排除だけでは目標とする電気絶縁性を達成することが不可能であることから、次いで影響の大きい硫黄系添加剤に着目した。

ギヤ油で一般的に使用されるポリサルファイドは電気絶縁性への影響は小さいが、酸化安定性の低下および銅材の腐食が懸念されるため、銅材を多く用いるモータ冷却油には適用が難しい。そこで、電気絶縁性への影響の小さい硫黄含有化合物を選定した上で、金属不活性化剤を併用することで銅材への適合性を確保することとした。

上記の摩擦調整剤の排除、および、硫黄系添加剤の変更に加えて、第1報で報告済みのリン系添加剤配合<sup>3)</sup>を組み合わせることで、低粘度油でありながら電気絶縁性と極圧性を両立可能であることを確認した。

Table 1 Test samples

Sample A	Conventional ATF
Sample B	w/o Dispersant
Sample C	w/o Phosphorus-based additive
Sample D	w/o Calcium-based additive
Sample E	w/o Sulfur-based additive
Sample F	w/o Friction modifiers

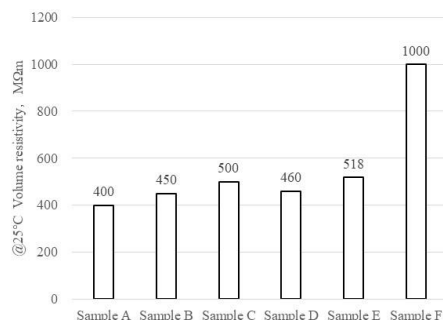


Fig.3 Test results of volume resistivity

### 5. 検証結果

Figure 4 に開発油の高速四球試験結果による耐焼付き性と体積抵抗率測定結果を示す。開発油は従来 ATF 以上の耐焼付き性と電気絶縁性を有することを確認した。また、更なる省電費化を見据え、開発油をさらに低粘度化 (40°C 動粘度: 6mm<sup>2</sup>/s 以下) した低粘度開発油においても極圧性を維持し、電気絶縁性は低下するものの従来 ATF 同等であることを確認した。

試作 BEV ユニットにおいて開発油のモータ冷却性能を確認した結果、従来 ATF 対比でモータコイル温度が 4°C 低下し、低粘度化によりモータ冷却性向上が可能であることを確認した (Fig.5)。

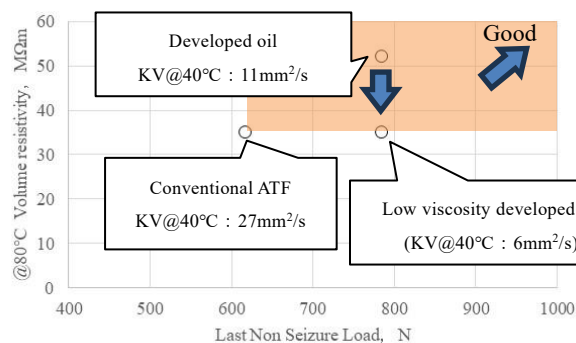


Fig.4 Test results of anti-seizure property and volume resistivity of the developed oils

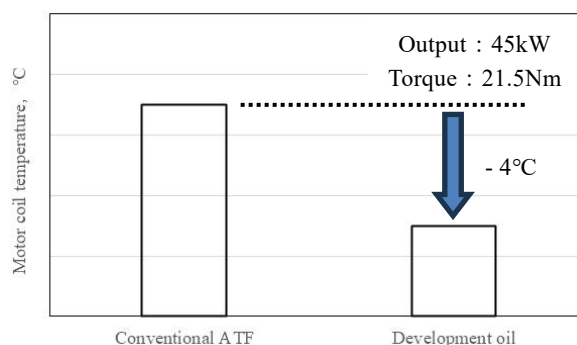


Fig.5 Test results of the motor coil temperature

### 6. まとめ

低粘度化による背反性能である電気絶縁性と極圧性を高次元で両立することで、ギヤ部品などの疲労防止性能、耐焼付き性を有し、かつモータの小型、高密度化を見据えたモータ冷却油としても優れた冷却性、電気絶縁性を有する減速機油を開発した。

本開発油は低粘度化による攪拌抵抗低減により、従来油対比でモード効率が約 10% 向上でき、車両航続距離の延長を期待できる。

### 文献

- 1) 塚越, 他: e-Axle 向け高回転モータにおける同期 3 パルス制御の開発, 自動車技術会論文集 Vol.53, No.3, May 2022
- 2) 石神, 他: 自動車用変速機油の変遷と最新動向 トライボロジスト 第 65 巻 第 8 号(2020)
- 3) 石神, 他: 低粘度減速機油の設計コンセプトとその検証 トライボロジー会議 (2024 秋)