

## 高効率・高信頼性を備えた次世代 ETF の技術開発

### New Generation High-Efficiency and High-Reliability ETF Technology Development

アフトン（正）\*足立 常夫    アフトン（非）ジャッキー ジョー

アフトン（非）クリストファー クリーブランド

Tsuneo Adachi\*, Jackie Zhou\*\*, Christopher Cleveland\*\*\*

\*Afton Chemical Japan Corporation, \*\*Afton Chemical Suzhou Co., Ltd., \*\*\*Afton Chemical Corporation

#### 1. はじめに

電動駆動ユニットの技術は急速に進化している。この進化を牽引するのは信頼性と効率であり、電動駆動油(ETF: Electrified Transmission Fluid)は重要な役割を果たす。ETF は、モーターやギヤボックスなどの主要構成部品において重要な要素であり、その価値は主にモーターの絶縁保護とドライブトレインの機械的保護にあると考えられる。電動駆動ユニットの高速化、高電圧化に伴い、高効率化に対する技術要求が高まるが、重要なことは信頼性を損なわないことである。本研究では、性能向上を維持しながらも、信頼性を維持する ETF について述べる。

#### 2. 効率向上と信頼性の両立

電動駆動ユニットの効率を改善するには、攪拌損失、歯車の摩擦低減、および電動駆動装置の冷却性を向上させる必要がある。

攪拌損失を低減するには、ETF の粘度を下げる必要がある。摩擦損失を低減するには、ETF の摩擦係数を下げる必要がある。冷却性能の向上は潤滑油の多くのパラメータに関連するが、最も直接的かつ効果的な方法の 1 つは、ETF の粘度を下げることである。

新技術の開発過程においては、信頼性に対する考慮も必要となる。低粘度油は効率向上をもたらす一方で高温における耐久性能が、実用化の鍵となるためである。粘度が低いほど、潤滑油がハードウェアを保護するための課題は大きくなる。信頼性の高い製品を開発するには、あらゆる側面を考慮する必要がある。

#### 3. 次世代 ETF の効率

冷却水温度 20℃における CLTC (China Light-Duty Vehicle Test Cycle)で、基準油と比較し、最大 1.5%の効率向上を達成できる最も効率的な ETF を特定した。冷却水温度が 40℃と 60℃の場合、試験した動作条件の最大効率向上値はそれぞれ 0.8%と 0.5%に達した。電動駆動ユニット製品の違いにより、この効率向上値には多少の差はあるが、全体的な傾向としては効率向上の方向に向かっていることを確認した。

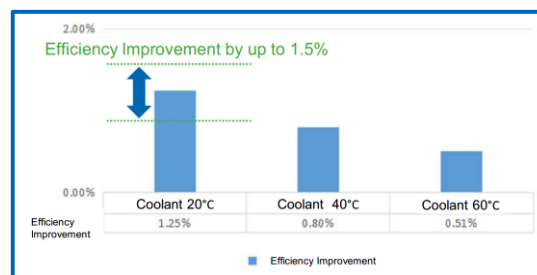


Fig. 1 Comparison of efficiency improvements in CLTC of developed ETF against reference oil

#### 4. 効率と ETF の摩擦特性

異なる潤滑油を同じ温度条件下で試験したところ、効率試験マップの結果から、作動条件における効率向上について違いが見られた。図中の 3 つの効率マップは、車両全体の CLTC 条件でカバーされる速度とトルクの範囲を示している。グラフに示されている 3 つの潤滑油は、それぞれ異なる効率改善率に対応しており、高効率域にも違いがある。

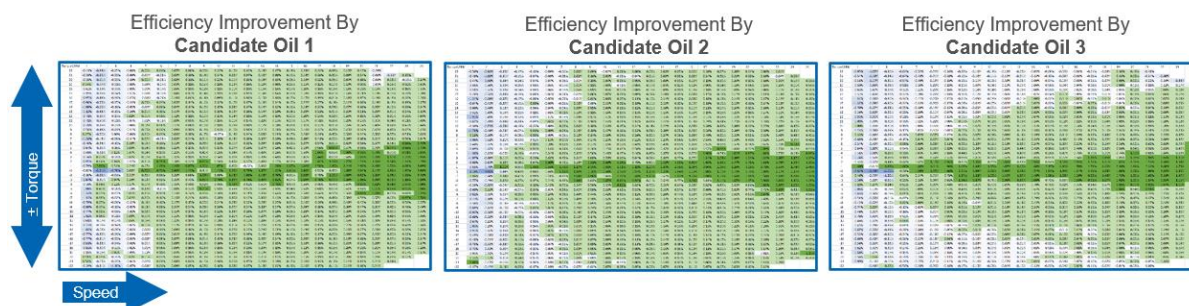


Fig. 2 Differences in efficiency improvement depending on oils

詳細な分析を実施し、添加剤、基油、粘度、機械構造、試験条件などの影響要因を特定した。その中でも、総合的な摩擦係数がより大きな影響を与えることが判明した。

Oil 1, 2, 3 の対応する摩擦係数は、Reference oil と比較して、速度の増加に伴って様々な程度に減少していることが分かる。その中で、Oil 1 と Oil 2 は低い摩擦係数を示しており、これは実際の効率試験マップと CLTC 効率と一致していることが分かった。

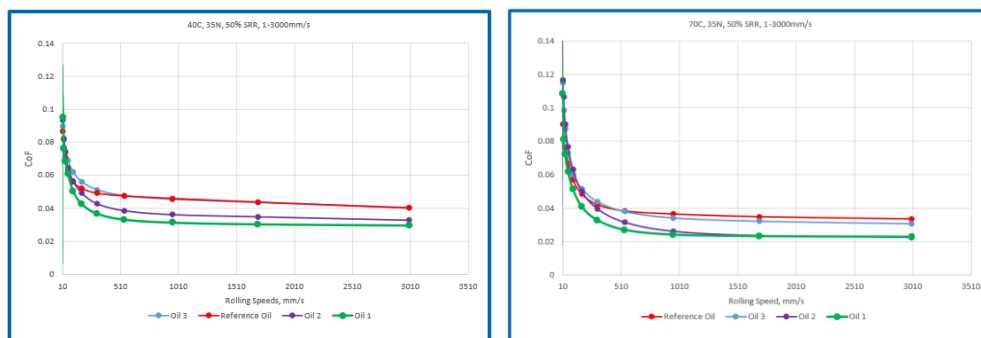


Fig. 3 Differences in friction characteristics of tested oils

## 5. 信頼性向上に向けて

開発初期の ETF で耐久試験を実施したところ、ある時点で油温が急上昇し、電動オイルポンプの電流が急激に減少することが確認された。しかし、電動駆動ユニット全体の動作にはその他の異常はなく、オイルサンプルの分析でも異常は見られなかった。データの異常を踏まえ、内視鏡観察により歯面を観察したところ、表面に初期損傷の兆候が見られた。この時点では試験試作機には故障の前兆となる兆候は見られなかった。分解後の歯面破損についてさらに分析・判断した結果、この不具合は高速作動時の泡立ちに関係しており、高速電動駆動における新たな故障モードであると判断した。

その後、改良した開発油を用いて、車両全体の約 100 万キロメートルに相当する電動駆動ユニットの耐久試験を実施した。試験過程における機械的・電気的特性は試験の期待値を満たし、試験後の分解調査でも部品の状態は良好であることが確認された。モーターステーター、銅線、ケーブルタイ、ブッシング、絶縁紙、絶縁塗料などの材料は依然として良好な状態を保っていることを確認した。軸受、歯車についても状態が良好であることを確認した。

また、ETF において銅に対する適合性への関心がある一方で、実情と ASTM D130 を用いた銅板腐食試験法での相関はまだ報告は少ない。前述の試験において、露出した銅線の外観と一致する ASTM D130 の温度、浸漬時間を調査した。その結果、160°C×20 時間の銅腐食試験条件結果に近いことを確認した。

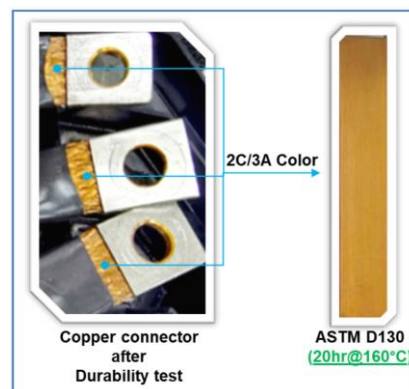


Fig. 4 Comparison of appearance of copper connector after durability test and ASTM D130

## 6. まとめ

今回の技術開発において、以下を確認した。

1. 電動駆動ユニットを用いた CLTC の効率が最大 1.5% 向上
2. 電動駆動ユニットの部品故障なしで 100 万 km 走行相当の耐久性を実証
3. 高速域での泡の新しい故障モデルを特定し、解決した。
4. 実際の絶縁材との適合性および銅腐食を実証

高効率・高信頼性の ETF 添加剤技術は、高速、高電圧、高度に統合されたシステム設計へと向かう電動化、カーボンニュートラルに対する未来を可能にすることが期待される。