

酸化劣化 EV 駆動油中の添加剤分析（第 2 報）
Analysis of additives in EV fluid degraded by oxidation (Part 2)

日産アーク * (正) 柴田 悠人 (正) 沼田 俊充 (正) 荒木 祥和 (非) 藤井 由利子 (非) 佐藤 誓
Yuto Shibata, Toshimitsu Numata, Sawa Araki, Yuriko Fujii, Chikai Sato
NISSAN ARC, LTD.

1. はじめに

自動車産業では近年のカーボンニュートラルの推進に代表される環境問題を背景としてさらなる CO₂ 削減が求められており、ハイブリッド車やバッテリーEV (BEV) など電動車の普及が進んでいる。ハイブリッド車では内燃機関が併用されるため、エンジンオイルが必要となるが、BEV ではエンジンオイルとは異なる専用の駆動油が必要となる。BEV においてもエネルギー効率の向上は必須であり、そのために摩擦損失の低減が要求され、低粘度オイルの開発が進んでいる¹⁻³⁾。

本研究では BEV を想定して低粘度 EV 駆動油の加熱による酸化劣化試験を実施し、劣化油を作製した。得られた劣化油については添加剤の分析を行い、各種添加剤の減少や変質について確認した。さらに、摩擦特性の評価、トライボフィルムの分析を行い、添加剤の減少と摩擦特性の変化、ならびにトライボフィルムの組成との関連性を確認した。本報では前報⁴⁾よりさらに劣化を促進した劣化油を作製し、各水準間で比較を行い、劣化挙動の変化について考察した。

2. 実験

市販の低粘度 EV 駆動油を購入して実験に使用した。酸化劣化油の作製は JIS K2514-1 に規定されている内燃機関用潤滑油酸化安定度試験 (ISOT) の条件を参考に 150℃ に加熱したオイル中に銅および鉄の試験片を入れ、攪拌して劣化試験を行った。試験時間は前報の 96 時間より延長して最大 192 時間とした。

摩擦特性の評価は SRV 摩擦試験機にて実施した。試験片材質はシリンダー、ディスクのどちらも SUJ-2 である。概要および試験条件を Fig.1 および Table 1 に示す。

購入した EV 駆動油は事前に LC-MS 分析を行い、含有添加剤を確認した。その結果を Table 2 に示す。また、作製した劣化油は LC-MS および GPC による添加剤の調査を行った。さらに、摩擦試験後のディスク表面についてオージェ電子分光法(AES)で深さ方向分析を実施した。

3. 結果および考察

3.1 劣化油の分析

新油と作製した各劣化油の摩擦試験結果を Fig.2 に示す。GPC 測定結果を Fig.3 に示す。なお、GPC は 254 nm の UV 波長で測定し、分子量はポリスチレン換算値にて算出した。

摩擦試験の結果、劣化に伴い摩擦係数が上昇する傾向が確認された。LC-MS による低分子添加剤の分析結果では、酸化防止剤や極圧剤などすべての添加剤が劣化に伴い減少していた。GPC 分析の UV と RI の検出状況より、分子量 1000~10000 程度の領域で UV 吸収の増加が確認されたことから、ベースオイルよりも高分子量の成分が変質していると考えられる。加えて、ISOT144 時間および 192 時間の劣化油では、分子量 65 万以上の分子量域においても UV 吸収の増加が確認されたことから、劣化に伴い高分子成分が生成していると考えられる。

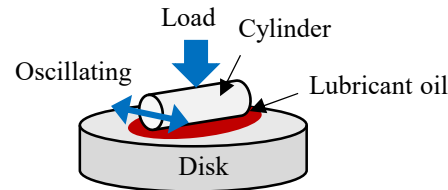


Fig. 1 Schematic diagram of tribotester

Table 1 Test conditions	
Method	Oscillating type (SRV)
Frequency	50 Hz
Amplitude	2.0 mm
Load	400 N
Test duration	30 min
Temperature	80 °C
Lubricant	100 μl

Table 2 Results of additive analysis (LC-MS)

Antioxidant (Amine, Phenol)
Organic P type EP additive
Organic S type corrosion inhibitor / EP additive
Succinimide, Salicylate

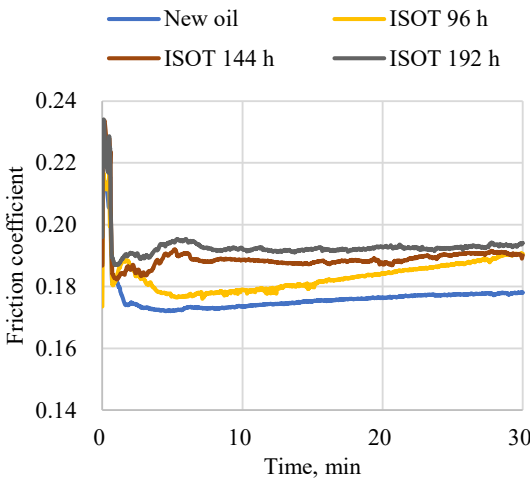


Fig.2 Friction coefficient of each lubricants

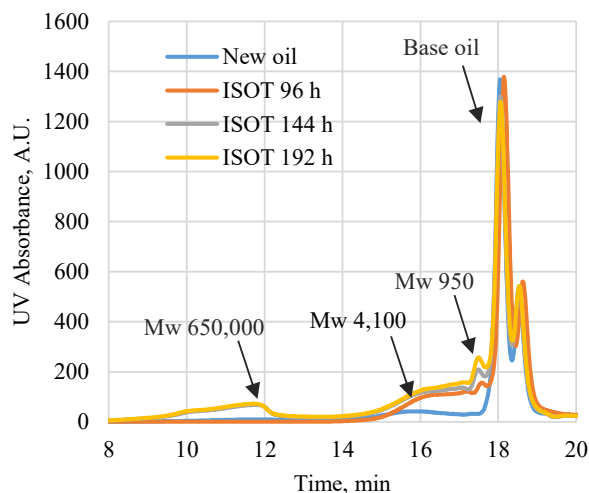


Fig.3 GPC chromatogram of each lubricants

これらの結果より、摩擦調整剤といった添加剤の変質により金属同士の接触が増加して摩擦係数が増大した可能性が示唆される。

3.2 摩擦面の分析

摩擦試験後のディスク表面についてトライボフィルムを確認するために AES 分析を行った。AES によるデプスプロファイル測定結果を Fig.4 および Fig.5 に示す。なお、横軸の sputter depth は SiO₂ 換算値である。また劣化に伴うトライボフィルムの膜厚変化を Fig.6 に示す。なお、膜厚は Fe の原子濃度が 50% となる sputter depth から算出した。

AES 分析の結果より、摩擦面から Ca や P 等の添加剤に由来する元素が検出された。また、潤滑油の劣化の進行に伴い、膜厚が増加する傾向が確認された。

これは、潤滑油の劣化に伴い摩擦試験中の金属同士の接触頻度が増加するため、添加剤由来の被膜形成が促進されたためと考えられる。

4. おわりに

酸化劣化させた EV 駆動油について摩擦特性、添加剤含有量の変化、摩擦面の状態について分析を行い、以下の結果を得た。

- ・摩擦試験時に摩擦係数の上昇が確認された。
- ・潤滑油の劣化に伴い、添加剤の減少および変質や、高分子成分の生成が確認された。
- ・摩擦面に添加剤由来の元素が確認され、添加剤の劣化および変質により金属同士の接触が増加したと推定された。
- ・潤滑油の劣化に伴い、トライボフィルムの膜厚の増加が確認された。

文献

- 1) 中村ほか：電動車用超低粘度トランスアクスルフルードの開発，自動車技術会 2021 年秋予稿集 (2021) 20216177.
- 2) 浜口：e-Axle 用フルードの課題と将来展望，トライボロジー会議 2023 春東京予稿集 (2023) 64.
- 3) ゲーゲン・ダーキン：次世代パワートレイン向けの専用 e フルード潤滑油添加剤の進化，トライボロジスト, 68, 2 (2023) 79.
- 4) 沼田・荒木・藤井・中村：酸化劣化 EV 駆動油中の添加剤分析，トライボロジー会議 2024 秋名護予稿集 (2024) 322.

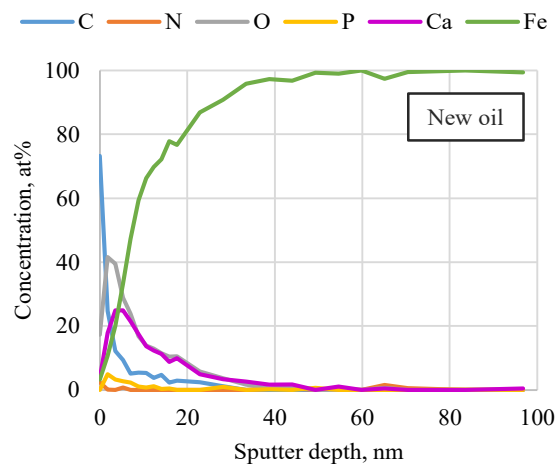


Fig.4 AES depth profile of sliding surface (new oil)

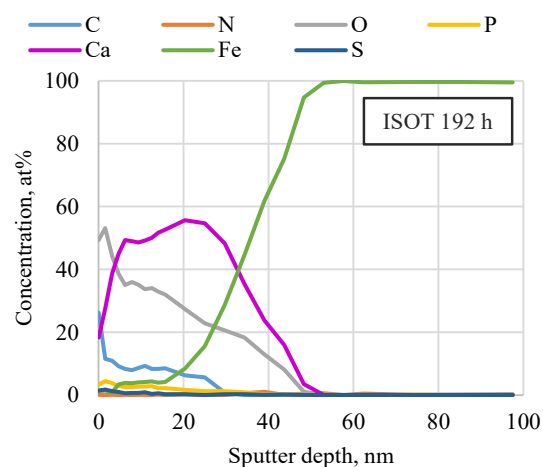


Fig.5 AES depth profile of sliding surface (ISOT 192 h)

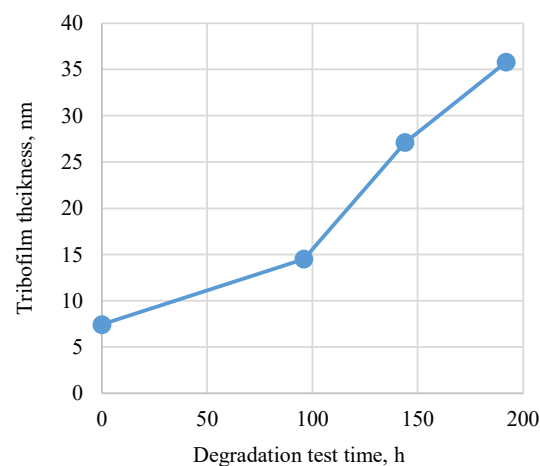


Fig.6 Tribofilm thickness against degradation time of lubricant