

E-フルード用耐焼き付き性向上添加剤

Lubricant additive for E-fluid to improve seizure resistance

三洋化成工業株式会社 * (非) 吉田和徳 (正) 植野和志

Kazunori Yoshida*, Kazushi Ueno

Sanyo Chemical Industries, LTD.

1. はじめに

世界的なカーボンニュートラル推進を背景に自動車の電動化が加速し、モーター・インバーター・ギヤを一体化した高効率な駆動ユニット「E-Axle」の採用が拡大している。E-Axle に用いられる E-フルードには、耐摩耗性、冷却性能、絶縁性、耐銅腐食性など、多面的な性能が求められており、その性能は EV 全体のエネルギー効率や信頼性を左右する重要な要素となっている。

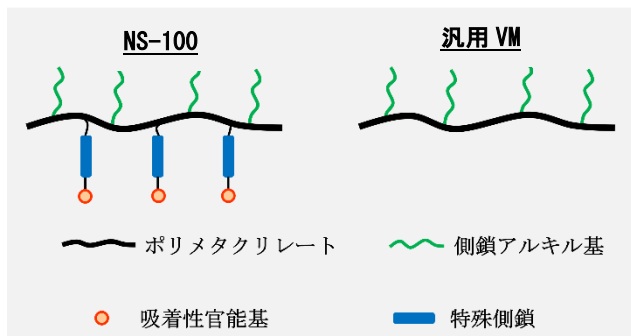
なかでも近年は、モーターの高性能化に伴う冷却性付与および粘性抵抗低減による航続距離向上を目的に、E-フルードの低粘度化が進んでいる。しかしその一方で、油膜が薄くなることによる摺動部（しゅうどうぶ、部品同士がすべり合う部分）や機械部品の摩耗・焼き付きによる故障リスクが高まり、新たな技術課題となっている。

本講演ではこうした課題に対応すべく、低粘度環境下でも高い耐摩耗性・耐焼き付き性を発揮しつつ、E-フルードに求められる多面的な性能をバランスよく備えた新しいポリマー添加剤の特長を紹介する。

2. NS-100 ポリマー設計

低粘度環境下でも高い耐摩耗性・耐焼き付き性を発揮させるために、摺動部での油膜形成能が最大化するように設計した アクループ NS-100 について以下に説明する。NS-100 には、長い側鎖の末端に高極性の吸着性官能基を有する特殊部位を導入しており、汎用的な VM に比べて金属表面に吸着しやすいという特長がある (Fig. 1)。

Figure1. 吸着性を有する PMA イメージ図



グループ III の基油（100℃動粘度＝3.1mm²/s）に開発品 A または汎用 VM をポリマー分で 2.0 重量% 添加して試験油を調製した。各試験油の粘度性状を Table 1 に示す。

Table 1. ポリマー添加油の粘度特性

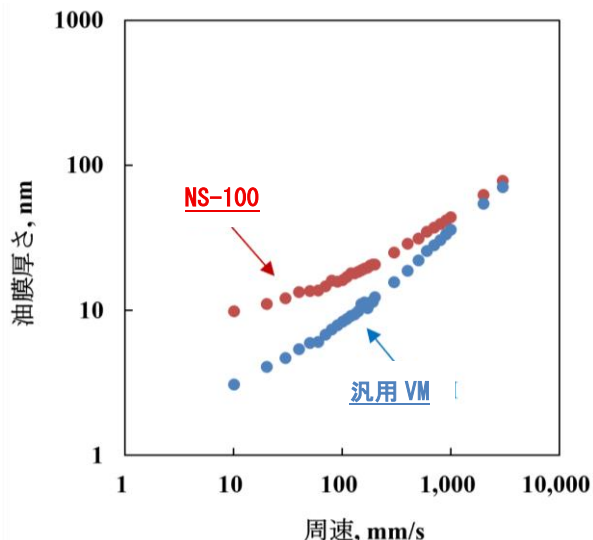
	動粘度(100℃), mm ² /s	動粘度(40℃), mm ² /s
NS-100	3.3	13.2
汎用 VM	3.4	13.4

3. NS-100 油膜厚形成能

油膜厚さ試験機を用いて、Fig. 2 に記載のポリマー添加油による油膜厚さを測定した。試験には SUJ2 相当のスチールボールと、半反射クロム膜とシリカ膜がコーティングされたガラスディスクを使用し、光干渉法を用いてスチールボールとガラスディスクの間に介在する接触部中央の潤滑油膜厚さを測定した。測定条件は荷重 20N、滑り転がり比 0%, 周速 10~3,000mm/s、油温 100℃である。

Fig. 2 に、NS-100 および汎用 VM 添加油の膜厚-速度線図を示す。Fig. 2 より分かるように、NS-100 は汎用 VM よりも厚い油膜を形成し、最も低速度となる 10mm/s においては汎用 VM 比で 3.2 倍にまで厚膜化した。スチールボール表面の酸化膜は極性をもっていることを考えると、ポリマーの側鎖にある吸着性官能基は酸化表面への親和性が高いため、ポリマーが吸着した厚い膜が形成されると考えられる。また NS-100 の膜厚は低速域のみならず他の速度域でも厚くなっている。これは酸化表面に吸着したポリマーに対して、油中から供給された別のポリマーが絡まるようにして膜が厚く成長するからだと推察されるが、メカニズム解明のためには更なる検証が必要である。

Figure. 2 NS-100 の油膜厚形成能



4. NS-100 油膜厚形成能

次に NS-100 の摩擦低減効果について調べた結果を紹介する。

トラクション試験機を用いて、Table 1 に記載のポリマー添加油による摩擦係数を測定した。試験には直径 19.05mm のスチールボールと直径 46mm のスチールディスクを使用し、ボールとディスクの間で発生した摩擦力を測定した。測定条件は荷重 30N、滑り転がり比 50%、周速 $10 \sim 3,000$ mm/s、油温 100°C である。

Fig. 3 には摩擦係数-速度線図を示す。摩擦係数は全速度域で NS-100 < 汎用 VM < 基油の順に低くなっており、これは Fig. 2 で示した通り NS-100 が金属酸化物表面に厚い油膜を形成することで金属間接触が緩和される結果と考えられる。

摩擦試験に用いたスチールディスク表面を XPS (X-ray Photoelectron Spectroscopy, X 線光電子分光法) により分析した結果を以下に紹介する。Fig. 4 には摩擦試験後のスチールディスク表面の C1s スペクトルを示す。NS-100 含有油の摩擦試験に用いたスチールディスク表面の C1s スペクトルは波形分離することで 3 成分に分離することができ、それぞれのピークは 285.2eV が C-C/C-H 結合、286.7eV が C-O 結合、289.1eV が $\text{O}=\text{C}-\text{O}$ 結合に帰属された。C-O 結合、 $\text{O}=\text{C}-\text{O}$ 結合は PMA に由来する構造であることから、スチールディスク表面へのポリマーの吸着が示唆される。汎用 VM の場合、摩擦試験に用いたスチールディスク表面の C1s スペクトルは波形分離することで 2 成分に分離され、それぞれのピークは 285.2eV が C-C/C-H 結合、288.2eV が C=O 結合に帰属された。NS-100 とは異なり C-O 結合、 $\text{O}=\text{C}-\text{O}$ 結合といった PMA に由来する構造が確認されなかったことから、汎用 VM はスチールディスク表面に対して吸着しにくいことが示唆される。

Fig. 3 NS-100 の摩擦特性

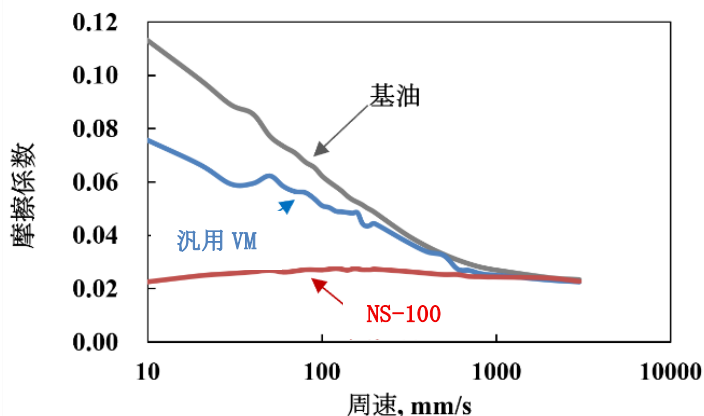
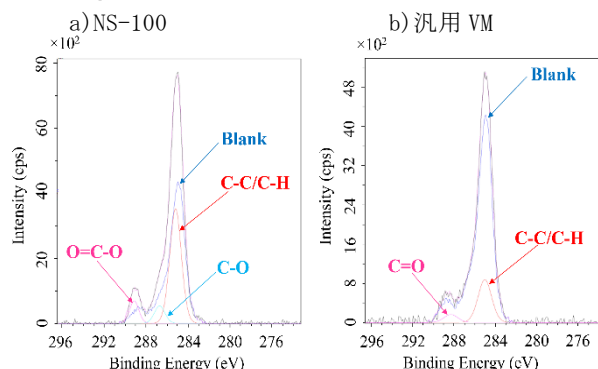


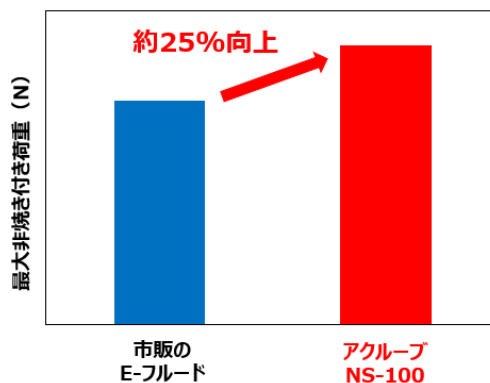
Fig. 4 スチールディスク表面の C1s スペクトル



5. NS-100 耐焼き付き性能

最後に、NS-100 の耐焼き付き性能に対する効果を示す (Fig. 5)。市販の E-フルードに、添加剤を 3.3 wt% (うちポリマー成分 2.0 wt%) 添加し、ASTM D2783 に準拠して 4 ボール摩耗試験機を用い、試験条件：回転数 1760 rpm、室温、各荷重 10 秒間で評価を実施。試験球には AISI 52100 (直径 12.7 mm) を使用、試験油量は 10mL。摩耗痕径および焼き付き発生の有無を基準に、最大非焼き付き荷重を判定した。NS-100 の添加時、未添加と比較して最大非焼き付き荷重が約 25%向上することが確認できた。

Fig. 5 NS-100 耐焼き付き性



6. おわりに

CO_2 排出削減のためにパワートレーンの電動化が進められているが、BEV (Battery Electric Vehicle, 電気自動車) のみならず PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle, プラグインハイブリッド自動車) も含めて駆動ユニットである e-Axle 用潤滑油の開発が盛んであり、潤滑油低粘度化の背反事項である焼付きや疲労摩耗の対策として油膜形成ポリマーが適用されることがある¹⁾。本潤滑油に求められる要求は多種多様化しており、それを満たすための添加剤材料の開発は必須である。今後設計バラエティーに富んだポリマー材料がこういった要求に貢献できることを期待する。

7. 文献

- 1) 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) A24
- 2) 植野：高分子添加剤の基礎と最新動向 トライボロジスト 2024 年 (Vol. 69) 3 号 163 頁