

フラーレン添加潤滑油の添加剤相互作用及びメカニズム解析

Additive Interaction and Mechanism Analysis of Fullerene-Doped Lubricants

宇大・工（院）*青木 聖人 宇大・工（正）馬渕 豊 アイシン（非）三宅 悠
 アイシン（非）元土肥 計彦 日産アーク（正）荒木 祥和
 Masato Aoki*, Yutaka Mabuchi*, Yuu Miyake**
 Kazuhiko Motodohi**, Sawa Araki***

*Utsunomiya University, **Aisin Corporation, ***NISSAN ARC

1. 緒言

地球温暖化対策として CO_2 排出量の削減が求められており、EV 車の普及が急務となっている。また、EV の電費向上の一策として EV 用減速機の効率向上があり、摩擦損失を低減する方法として、部品摺動部の平滑化や、硬質で低摩擦であるダイヤモンドライクカーボン膜の適用等が挙げられる。一方、著者らは一部の部品でなく、潤滑する全ての部位で摩擦低減が可能なナノ粒子を添加した油に着目している。

これまでナノ粒子による潤滑下の低摩擦メカニズムとして、転がり作用、保護膜生成、補修効果、研磨作用等が提案されている。しかしながら、DLC 膜の低摩擦機構においては表層に形成された C-OH 基と、極性をもつ油性剤との間で低せん断層が形成され、摩擦が低減すると考えられていることから、DLC 膜と同様に sp^2 結合を含むフラーレンにおいても、同様の機構で低摩擦化すると考えている (Fig. 1)¹⁾。

そこで本研究は、フラーレンによる摩擦低減の阻害因子となりうる、オイルの主要添加剤の一つである Ca 系清浄剤との相互作用に着目し、構造や塩基価、添加量の影響を調べ、フラーレン共存下での摩擦モデルを提案する。

2. 実験方法

基油ポリアルファオレフィン (PA04) に純度 99.5% のフラーレン (FLN) を 0.1wt%，分散材兼摩擦調整剤として油性剤グリセリンモノレート (GMO) を 1.0wt% 添加した。また Ca 系添加剤として TBN300 の塩基性 Ca スルホネート (Ca-SuTBN300) を 0.1, 0.2, 0.3wt%，塩基性の比較として TBN20 の中性 Ca スルホネート (Ca-SuTBN20) を 0.3, 0.5wt%，1.5wt%，構造違いの比較として Ca サリシレート (Ca-SaTBN225) を 0.2, 0.44wt% をそれぞれ添加した仕様を用い、分散は超音波洗浄機により 480 秒で計 4 回繰り返して混合した。摩擦試験は Ring on Disk 方式で行った。ディスク試験片に SCM440 (HRC48~50)，表面粗さ Ra0.05 の仕様を用いた。リング試験片に S45C 焼入鋼 (HRC45) の中空円柱 ($\Phi 20/\Phi 30$) を用い、試験面は円筒の端面で、表面粗さを Ra0.3 とした。

表面粗さの計測にオリンパス製レーザー顕微鏡 (OLS4000-SAT) を用い、油中の FLN の二次粒子径は、FLN の濃度を 0.01wt% に基油で希釈した上で、動的光散乱法 (Zetasizer Nano ZSP) で計測した。摩擦試験後、添加剤による反応被膜の解析に、アルバック・ファイ製走査型オージェ電子分光分析装置 PHI710 を用い、添加剤の構成成分の元素分布およびデプスプロファイルにより被膜の厚さを計測した。

3. 実験結果と考察

Fig. 2 に各仕様の試験末期の摩擦係数を、試験後の Ring と Disk の合成表面粗さで整理した結果を示す。ベースとなる基油+GMO+FLN に対し、いずれの Ca 系添加剤を含む仕様は合成表面粗さの悪化と共に摩擦係数の悪化が認められた。添加量が多いほどその傾向は強く、特に TBN300 の Ca スルホネートで顕著であった。同じスルホネートでも TBN20 ではその傾向は緩やかであった。対して Ca サリシレートは、基油+GMO+FLN に比べ合成表面粗さと摩擦係数は悪化したもの、添加量の影響は見られなかった。

Fig. 3 に試験末期の摩擦係数を、Ca 含有量で整理した結果を示す。Ca 量と摩擦係数の間におおまかな相関関係が認められた。Ca-SuTBN300 は僅かな添加量で摩擦係数が大きく悪化したが、添加剤に含まれる Ca の比率が高かったためと考えられる。一方、Ca-SaTBN225 では、添加量の影響が少なく、特に 0.44wt% は全体の傾向から外れた。

Ca 添加剤により生成した反応被膜の摩擦係数への影響を確認するため、試験後の Disk に対しオージェ分光分析のデプスプロファイルより Ca の分布深さを調べ、Fig. 4 に整理した。Ca-SuTBN300 の添加量 0.3wt% で最も厚い 100nm の被膜が認められたが、添加量に大きく依存する。一方、Ca-SuTBN20 は添加量によらず 5nm 程度と薄かった。Ca-SaTBN225 では 30nm と厚いものの、添加量の影響は見られなかった。この被膜厚さで摩擦係数を整理した結果を Fig. 5 に示す。被膜が厚くなるほど摩擦係数が上昇し、良い相関を示した。しかしながら、Ca-SuTBN20 では膜厚の差がないにも関わらず、摩擦係数に差が認められた。そこで試験後の Ca-SuTBN20 の Disk の Ca の分布を調べ比較した結果を Fig. 6 に示す。0.3wt% では Disk 表面に部分的に分布し、0.5wt% では表面に均一に分布しており、被膜の厚さに加え被覆率も影響

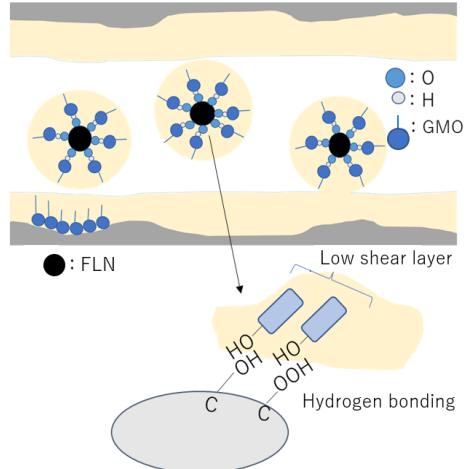


Fig.1 Low-friction mechanism model.

因子であることが予想される。以上の結果を基にした、フラーレンとCa系添加剤が共存する場合の摩擦モデルをFig.7に示す。Ca系清浄剤はその反応被膜の膜厚と分布量がGMOの表面吸着やその後のなじみ(=平坦化)に影響することで、フラーレンによる低摩擦化を阻害していると考えられる。

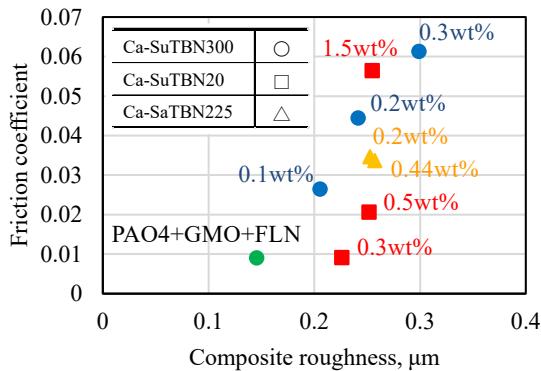


Fig.2 Coefficient of friction at synthetic roughness of FLN dispersion with Ca-based cleaners.

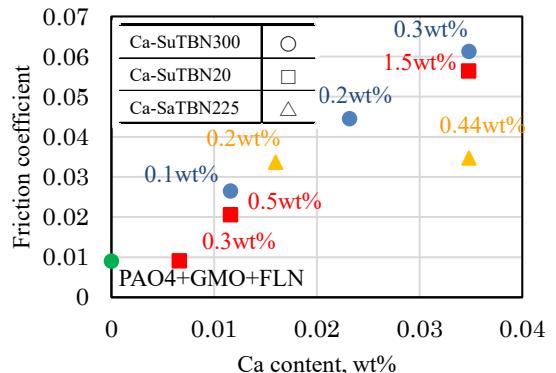


Fig.3 Coefficient of friction for each Ca-based cleaner with respect to Ca content

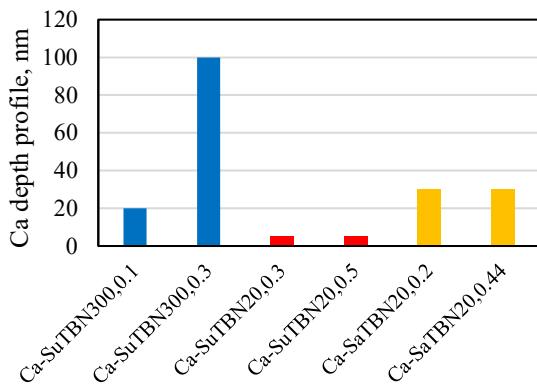


Fig.4 Ca depth distribution on disk surface after addition of each Ca-based cleaning agent.

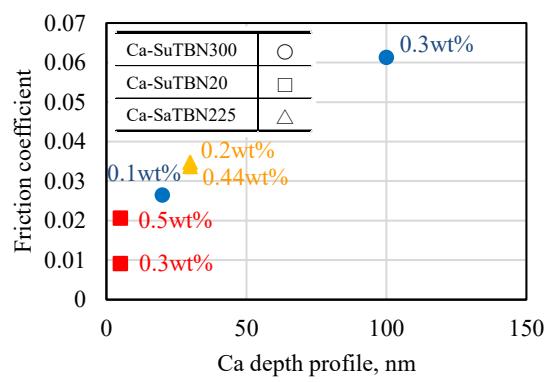


Fig.5 Friction Coefficient in Ca Depth Distribution on Disc Surface.

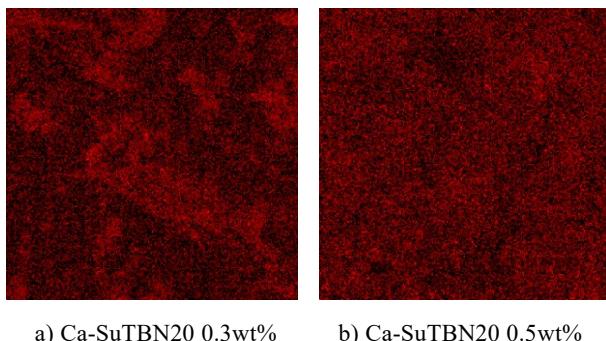


Fig.6 Ca distribution on disk surface measured by Auger spectroscopy.

4. まとめ

- (1) フラーレンとの共存下において、Ca系清浄剤の添加は合成表面粗さの悪化と摩擦係数の増大に繋がる傾向にある。
- (2) CaスルホネートのTBNが低いほど被膜形成は少なく、摩擦への影響も小さい。
- (3) CaサリシレートTBN225はCaスルホネートTBN300とTBN20の中間的な位置づけで、添加量の影響は認められなかった。

文献

- 1) 岩下悠至ら, トライボロジー会議 2023 春 東京, 予稿集 B39, p156-157.
- 2) Y. Mabuchi, et. al., TRIBOLOGY TRANSACTIONS, Vol. 43 (2000), 2, p229-236.

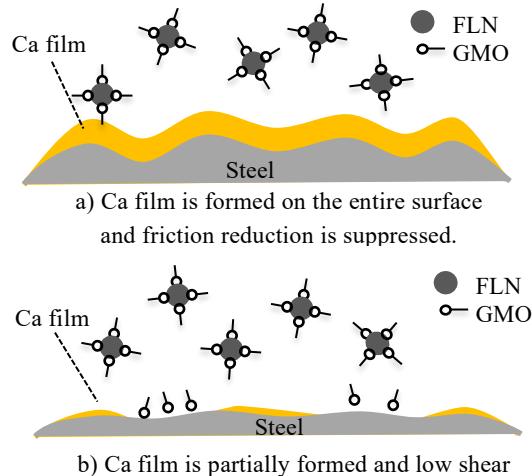


Fig.8 Friction model for the coexistence of fullerenes and Ca-based additives.