

## フラーレン及びフラーレンを含む炭素系ナノ粒子と潤滑油添加剤との摩擦相互作用

Frictional interactions of fullerenes and fullerene-containing carbon-based nanoparticles with lubricant additives

宇大・工（学）\*青木 聖人 宇大・工（正）馬渕 豊 宇大（院）岩下 悠至

Masato Aoki\*, Yutaka Mabuchi\*, Yushi Iwashita\*

\*Utsunomiya University

### 1. 緒言

地球温暖化対策として  $\text{CO}_2$  排出量の削減が求められている。これまで自動車用内燃機関においては、摩擦損失の低減方法として、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（DLC）の適用が挙げられる。一方で、著者らは摩擦低減の手法として、炭素系ナノ粒子の潤滑油への添加に着目している。

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。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、摩擦低減を促すと考えている。フラーレンは構造において  $\text{sp}^2$  結合をとるため、同素体である DLC 膜と同様の機構で低摩擦化に繋がると考えている。

そこで本研究では摩擦低減の阻害要因となるオイル添加剤、特に金属系清浄材であり分散作用がある Ca スルホネートとの相互作用を調べた上で、フラーレンによる摩擦低減モデルの提案につなげる。

### 2. 実験方法

基油ポリアルファオレフィン (PAO4) に粉末状態のフラーレン (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、添加剤影響を調べるためにエンジン油の主要添加剤である TBN300 の塩基性 Ca スルホネートを 0.1, 0.2, 0.3wt%，塩基性影響を確認するために TBN20 の中性 Ca スルホネートを 0.3, 0.5wt%をそれぞれ添加し、超音波洗浄機を使用し超音波分散を 480s×4 回行った。

摩擦試験は Ring on Disk 方式で行った。ディスク試験片に SCM440、表面粗さ Ra0.05、硬度 HRC48~50 を用いた。リング試験片に S45C 烧入鋼製の中空円柱 ( $\Phi 20/\Phi 30$ )、表面粗さ Ra0.3、硬度 HRC45 を用いた。

表面粗さの計測にはオリエンパス製レーザー顕微鏡 (OLS4000-SAT)，二次粒子径は FLN の濃度を基油で 0.01wt%に希釈した上で、粒子計測装置 (Zetasizer Nano ZSP) を用いて計測を行った。

### 3. 実験結果と考察

Fig. 2 に摩擦試験結果を示す。基油のみから GMO 添加で約 73% 低減されていることに対し、GMO+FLN を添加すると約 86% 低減されている。また、要因を確認するため Fig. 3 に横軸を合成表面粗さでまとめたグラフを示す。GMO や GMO+FLN を添加すると左下側に低下する傾向がみられる。これらの結果から FLN 添加における摩擦低減メカニズムにおいて重要な要因は低せん断層の形成と、表面の平滑化による潤滑状態の改善と考えている。

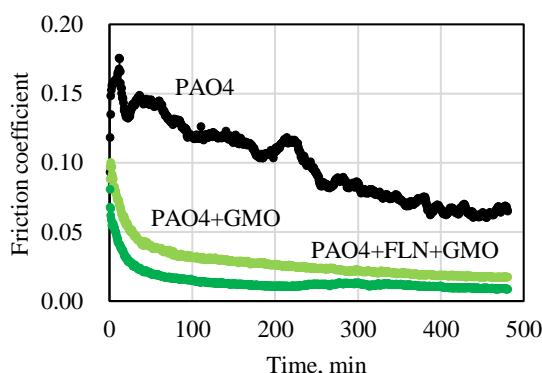


Fig. 2 Friction coefficient of dispersed FLN.

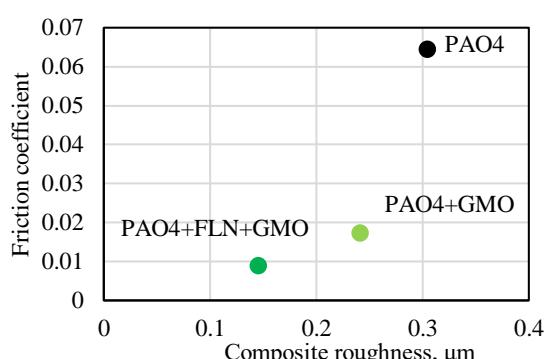


Fig. 3 Friction coefficient of FLN dispersion in synthetic roughness.

次に Fig. 4 に塩基性 Ca スルホネートの添加量違いの試験結果を示す。塩基性 Ca スルホネートの添加量を増やすごとに摩擦係数と合成表面粗さはいずれも悪化した。また、粒子径を測定した結果、塩基性 Ca スルホネートを添加した場合、著しく小径化することを確認した。

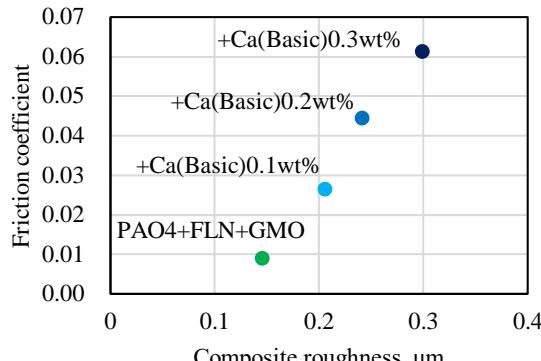


Fig.4 Friction coefficient at synthetic roughness of FLN dispersion with Ca.

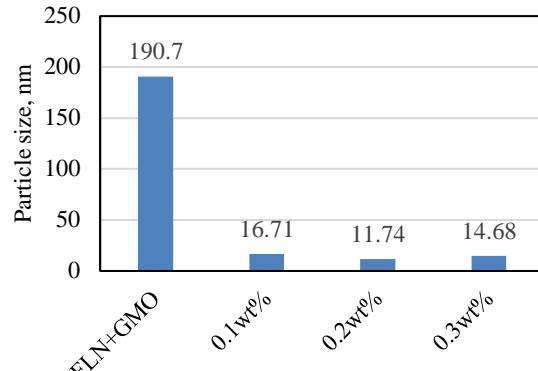


Fig.5 Particle size at different Ca addition levels.

これらの結果から、Ca スルホネートは GMO との競争吸着に勝り、FLN を覆う低せん断層の形成を阻害している他、小径化による相手攻撃性の低下（なじみ性の阻害）や、GMO の摺動部表面への吸着阻害が懸念される。

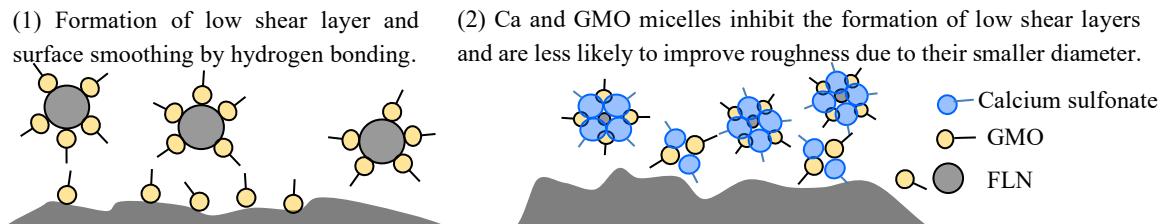


Fig.6 Consideration of friction mechanism under ideal conditions (1) and when Ca is added (2).

これらの相互作用を示す要因の一つとして Ca スルホネートの塩基性に着目し、中性 Ca スルホネートの添加量違いで摩擦試験を行った結果を Fig. 7 に示す。塩基性 Ca スルホネートと比較して合成表面粗さは悪化したもの、摩擦係数の上昇は抑制されていることがわかる。中性 Ca スルホネート添加による 2 次粒子径はいずれもほぼ 10nm と小さかったことから、塩基性から中性とすることで、GMO による低せん断層の形成自体の阻害が回避されたことが分かった。

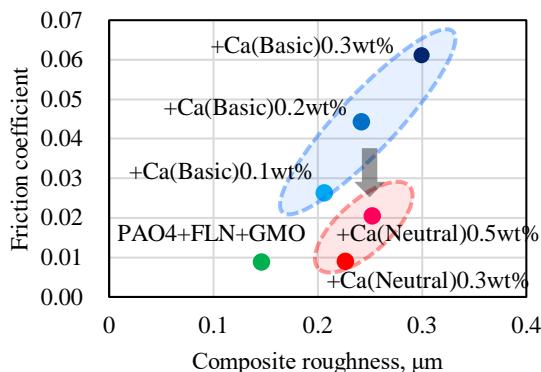


Fig.7 Friction coefficient at synthetic roughness of FLN dispersion with neutral Ca or basic Ca.

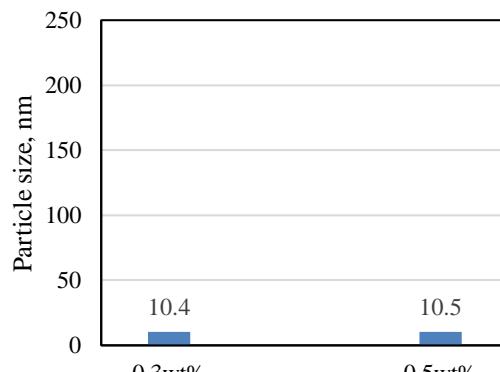


Fig.8 Particle size when neutral Ca is added.

#### 4. まとめ

- (1) 塩基性 Ca スルホネートの添加量に応じ、摩擦係数の増大と合成表面粗さの悪化が認められた。
- (2) 塩基性 Ca スルホネート及び中性 Ca スルホネートはフラーレンの 2 次粒子径を著しく小径化する。
- (3) 塩基性 Ca スルホネートに対し、中性 Ca スルホネートは摩擦低減阻害作用が小さい。

#### 文献

- 1) 岩下悠至, 他, トライボロジー会議 2023 春 東京, 予稿集 B39, p156-157.
- 2) レンツまりの, 他, トライボロジー会議 2022 春 東京, 予稿集 F15, p324-325.