

## 潤滑油中の酸化グラフェンと金属表面性状の摩擦相互作用

Synergy effect of Metal surface properties on the low friction of graphene-oxide dispersed oil

宇都宮大・工（正）\*寺内 舜, 宇都宮大（正）馬淵 豊, 宇都宮大・工（非）岩下 悠至, 宇都宮大（非）鈴木 昇  
日産自動車（正）山田 脩裕, 日産自動車（正）奥田 紗知子

Shun Terauchi\*, Yutaka Mabuchi\*, Yushi Iwashita\*, Noboru Suzuki\*, Naohiro Yamada\*\*, Sachiko Okuda\*\*

\*Utsunomiya University, \*\* Nissan Motor Co., Ltd

### 1. 背景及び目的

昨今、地球温暖化対策として CO<sub>2</sub> 排出量の削減が求められている。自動車においては各部の機械損失の低減が燃費の向上に大きく貢献している。そこで著者らは摩擦低減の手法として、ナノ粒子である酸化グラフェン（Graphene Oxide, GO）の潤滑油への添加に着目した。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、1) 転がり作用、2) 保護膜生成、3) 補修効果、4) 研磨作用、等が提案されている<sup>1)</sup>。しかしながら、著者らは GO 表面に形成された官能基-OH がキーと考え、これに極性を持つ溶媒が水素結合したことによる低せん断層の生成が低摩擦化をもたらす主要因と考えている(Fig.1)<sup>2)</sup>。

本研究では酸化グラフェン分散油による摩擦低減機構について金属表面性状に着目し、具体的には油膜を厚くするテクスチャ形状を用いて、ナノ粒子の低摩擦効果に及ぼす 2 面間の潤滑状態の影響について明らかにした。

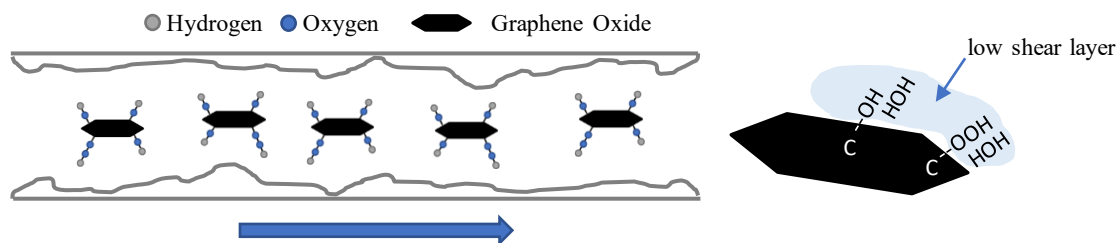


Fig.1 Low friction mechanism that forms low shear layer by hydrogen bonding with -OH/-OOH on GO

### 2. 実験方法

試験は Pin/Disk 形式とし、相手材のピンに SUJ2 鋼 (HRC 64, Φ5×5mm) を用いた。使用したディスク試験片を Table 1 に示す。ディスク試験片は SCM440 鋼 (HRC48-50, Ra0.05-0.08) の 2, 3 は研磨の行程の影響で、凹部が存在している (=テクスチャ形状)。そのほか表面にテクスチャ形状を有する球状黒鉛鋳鉄 (FCD600) と SUJ2 ディスク表面にリン酸マンガン処理を行い被膜を剥離したものを用い、以上 5 種のディスクで比較評価した。本試験では、試験油は鉱物油 (動粘度:40℃:25 mm<sup>2</sup>/s, 100℃:4.7 mm<sup>2</sup>/s) に GO を 0.1wt%, GMO を 1.0wt% 添加した油 (以下 STD) と、比較のため鉱物油のみ、鉱物油に GMO のみを混合した試験油を用いた。

試験条件は滑り速度  $7.4 \times 10^{-2}$  m/s, 荷重は SCM3 以外の 4 種のディスクで 26kgf (500MPa), SCM3 のみ 4kgf (200MPa) で 90 分試験した後に 26kgf に変化させた後 90 分試験した。油温は 80℃ の条件で行った。試験後の Pin と Disk についてはアセトンで超音波洗浄機にて洗浄/乾燥後、レーザー顕微鏡にて計測及び算出したピン及びディスク摺動部の合成粗さ  $R_{rms}$  を解析に用いた。表面粗さの測定は、FCD はピットの頻度が低い平坦部の粗さを計測し、ピットの頻度の多い SCM2 や SCM3, MnP はピットを含む粗さとなる。また摩耗後のピンの接触幅から曲率を推定し、この値を考慮して算出した最小油膜厚さ  $h_{min}$  との比から潤滑状態の指標となる  $\lambda$  ratio を求めた ( $= h_{min} / R_{rms}$ )。

Table1 Specifications of disk test specimens

Sample name	specification
SCM1	SCM440
SCM2	SCM440+ texture
SCM3	SCM440+ texture + polishing
FCD	FCD600
MnP	SUJ2+ Stripped manganese phosphate treated film

### 3. 実験結果

STD を用いた摩擦試験において SCM1 の試験では、摩擦係数は 0.11 と高い値で一定値を示した。SCM2 では摩擦係数は 26kgf で 0.04 と低い値を示した。SCM3 の摩擦係数は 4kgf で 0.10, 26kgf で 0.08 と SCM2 に対し悪化した。FCD では摩擦係数は 0.06 程度と SCM3 に近い値を示した。MnP では摩擦係数は 0.10 と高い値を示した。基油のみの摩擦試験では同条件の STD に対し、どのディスクでも摩擦係数は 0.14 程度と高い値を示した。

摩擦係数と表面性状の関係を調べるために、5 種のディスクの摺動部のレーザー顕微鏡で観察した 3D 画像を Fig.2 に示す。SCM1 では全体的に表面が大きく荒れているのに対し、SCM2 では滑らかな表面に凹部形状のピットが分布している。SCM2 にダイヤモンドペースト #3000 で追加研磨を行いピット深さを減らした SCM3 ではピット深さが減少したものの依然としてピットが存在している。FCD では SCM2 に比べ頻度は低い大きい径のピットが分布している。

MnP では粗い表面に深いピットが SCM2 のように多く存在している。

潤滑状態の違いによる摩擦係数への影響を調べるため、摩擦係数を  $\lambda$  ratio で整理した結果を Fig.3 に示す。摩擦試験後のピン及びディスクの摺動部の表面粗さ  $R_q$ 、合成表面粗さ  $R_{rms}$  を Table2 に示す。STD では  $\lambda$  ratio が大きいほど摩擦係数の低下傾向が認められた。テクスチャ形状を持つことで潤滑状態が改善し、なじみの進行によりピンやディスク間の2面間が精度良い状態で間隔が維持されることで、GO が摺動部に進入しやすくなり、摩擦特性を発揮したものと考えられる。なお、基油のみでは摩擦係数が高いため、テクスチャ自体の直接的な寄与は少ないと考えている。

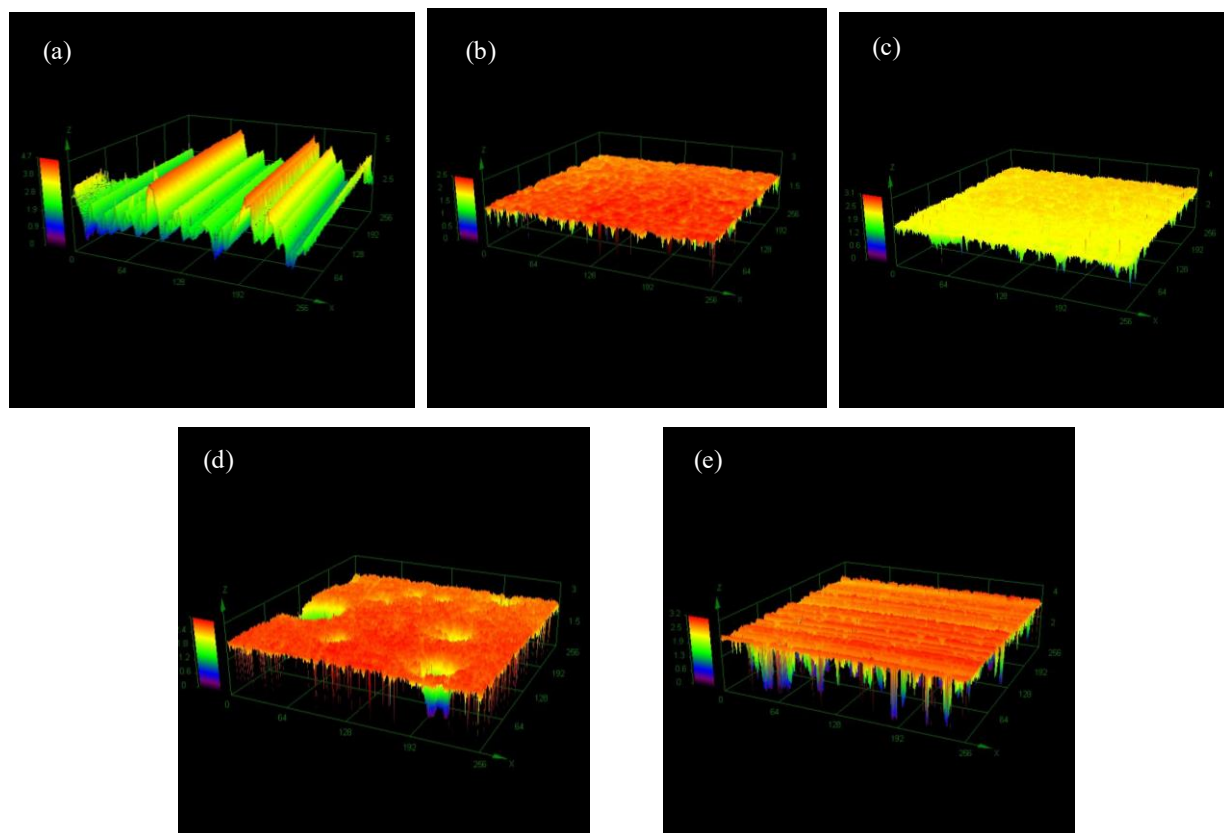


Fig.2 3D image of sliding disk after friction test (a)SCM1, (b)SCM2, (c)SCM3, (d)FCD, (e)MnP

Table 2 Surface roughness ( $R_q$ ) of disks and pins and composite surface roughness ( $R_{rms}$ ) in five different STD oil friction tests

	$R_{qpin}(\mu m)$	$R_{qdisk}(\mu m)$	$R_{rms}(\mu m)$
SCM1	0.346	0.176	0.388
SCM2	0.006	0.049	0.049
SCM3	0.013	0.094	0.095
FCD	0.035	0.091	0.097
MnP	0.130	0.228	0.263

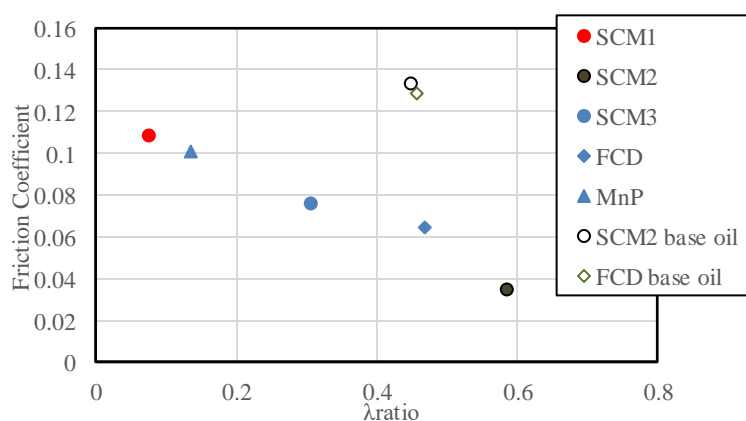


Fig.3 friction Coefficient and  $\lambda$  ratio

#### 4. まとめ

GO を含む潤滑油と凹部を含むテクスチャ形状のディスクを組み合わせた結果、鉱物油のみの同条件と比べ STD で 1/4 程度の摩擦低減効果が得られた。通常の研磨の Disk では GO の効果が得られなかった。5 種類のディスクで摩擦試験を行った結果、GO を含む試験油の試験後の Pin/Disk の摩擦係数と  $\lambda$  ratio が良い相関を示したことから、なじみ過程において、2 面間の潤滑状態が良好であることが、ナノ粒子の低摩擦効果を発揮する上で重要であることが明らかになった。

#### 5. 参考文献

- 1) Lee K, et. al., Tribology Letters. 35, (2009) p127-131.
- 2) レンツら, トライボロジー会議 2022 春 東京, 予稿集, F15, p.324-325.