

## 水中における酸化グラフェンの構造や結合状態が摩擦特性に及ぼす影響

Effect of structure and bonding state of graphene oxide in water on friction properties

宇都宮大・工（正）\*吉川友哉\* 馬渕豊\* 寺内舜

日産（正）山田 倭裕\*\* 奥田 紗知子\*\* 日産アーク（正） 荒木 祥和\*\*\*

Tomoya Yoshikawa\*, Yutaka Mabuchi\*, Shun Terauchi\*, Naohiro Yamada\*\*, Sachiko Okuda\*\*, Sawa Araki\*\*\*

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

### 1. 緒言

自動車用エンジンを始めとする機械の部品間の摩擦や摩耗を減らすことは、機械全体のエネルギー損失の低減と長寿命化につながる。近年、量産方法が確立しつつあるグラフェンとその誘導体である酸化グラフェン(Graphene Oxide, GO)は優れた化学的・物理的特性から新たな潤滑油用の添加剤として注目されている<sup>1)</sup>。GOを水や潤滑油に添加することで、鋼材の摩擦や摩耗の低減する現象が報告されているが、そのメカニズムが何に起因するのかはまだ十分に解明されていない<sup>2),3)</sup>。また、ナノ粒子による摩擦低減のメカニズムとして、粒子の転がり作用、保護膜形成、補修効果、研磨作用などが提案されている<sup>4)</sup>。しかし著者らは、Fig.1に示すように表面が官能基により修飾された粒子が、溶媒中の極性基との間に水素結合による低せん断層を形成することにより、低摩擦効果を発揮すると考えている。よってGO粒子表面の構造や結合状態を調査することは低摩擦メカニズムの解明につながる。本研究では、GOの構造、官能基の状態、結晶子サイズの異なるGOの仕様5種を含む分散水を用いて摩擦試験を行い、各因子の潤滑性能に及ぼす影響を明らかにし、摩擦低減モデルの検証を試みた。

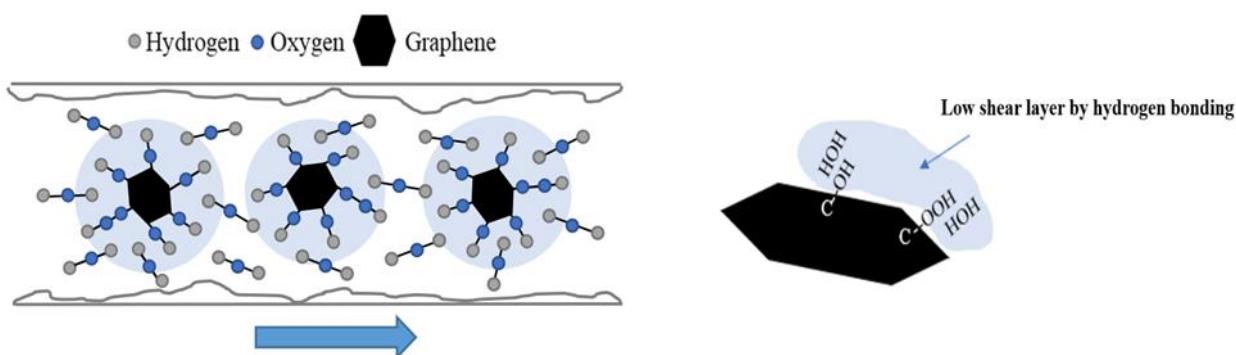


Fig.1 The schematic of the low friction mechanism with GO dispersed water.

### 2. 実験方法及び試料

ハマーズ法により得たGO3種及び熱処理により還元したrGO2種を純水中に分散させ、0.4wt%の分散液を調製した。分散にはホモジナイザー(SMT社製 ULTRASONIC HOMOGENIZER UH-600S チップ HO-S36)を用い、3分間攪拌して分散水を得た。溶媒は逆浸透膜によるpH5~7、導電率1.0 μS/cm以下の純水を用いた。GO分散水の摩擦特性の評価にリング/ディスク型摩擦試験機を用いた。ディスク試験片にSUJ2浸炭鋼、表面粗さRa0.01、硬度HRC60を用いた。リング試験片にS45C焼入鋼製の中空円柱(Φ20/Φ30)、表面粗さRa0.27、硬度HRC45を用いた。試験荷重を117.7Nの面接触(投影面圧0.35MPa)とし、回転数を60rpm(滑り速度0.08m/s)、室温、試験時間60分の条件で評価した。GO及びrGOの結合状態を調べるためX線光電子分光分析(XPS、X線光電子分光分析装置 PHI製 Quantum-2000)を行った。XPSにおける結合エネルギーのシフト補正にsp<sup>2</sup>結合の284.3eVを用いた。

### 3. 結果及び考察

Fig.2に摩擦試験結果を示す。GO1およびGO2は、GOを含まない純水に比べ摩擦係数が5分の1以下となった。一方、分散性の劣るGO3、rGO1、rGO2の摩擦係数は初期に約0.2と低い値を示したもの、最終的には0.4以上と高い値を示した。これらの結果の考察として、分散性が悪い分散液では、もともとの二次粒子径が大きいことに加え、試験中の二次凝集により沈降し、摺動部に供給されていない可能性がある。各分散水の30分放置後の上澄み部分は循環して、摩擦に寄与すると仮定し、その濃度を計測した。得られた結果をFig.3に示す。沈降が確認されたGO3、rGO1、rGO2の分散水では、0.1wt%以下となった。Fig.4に上澄み液の濃度と摩擦係数の関係を示す。上澄み液の濃度が小さい分散水では摩擦係数が高くなかった。Fig.5にXPS分析により測定されたC-O-およびC-COOH結合の割合と上澄

み液の濃度の関係を示す。C-O-および-COOH結合の割合が高いほど、分散性が向上していることが確認された。以上のことから、C-O-および-COOH結合の数が分散性を決定し、間接的に摩擦係数に影響を及ぼしていると考えられる。

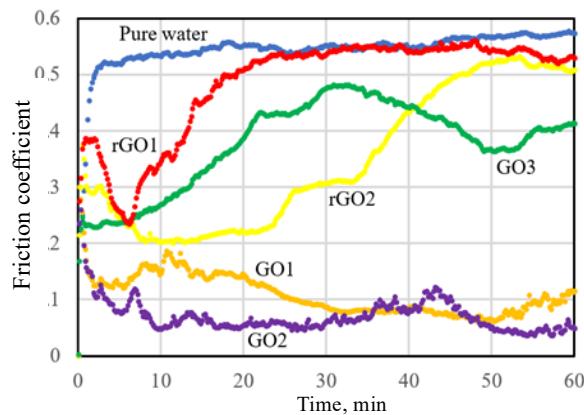


Fig.2 Friction coefficient for each dispersed water.

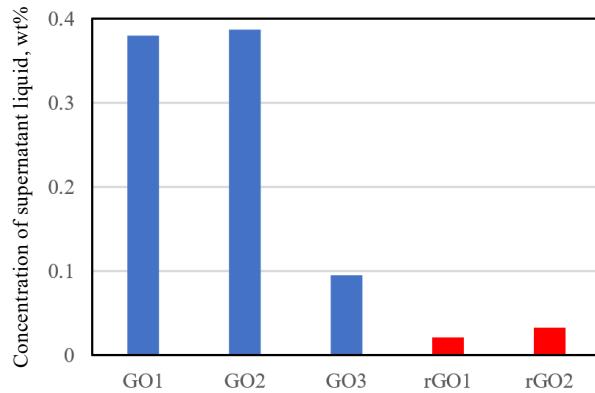


Fig.3 Concentration of supernatant liquid of each dispersed

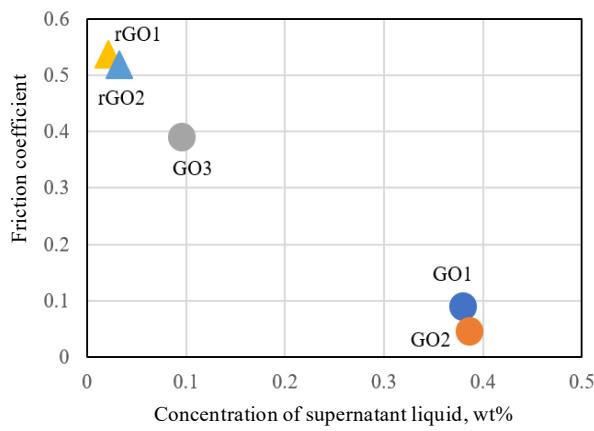


Fig.4 Relationship between the concentration of supernatant liquid and the friction coefficient.

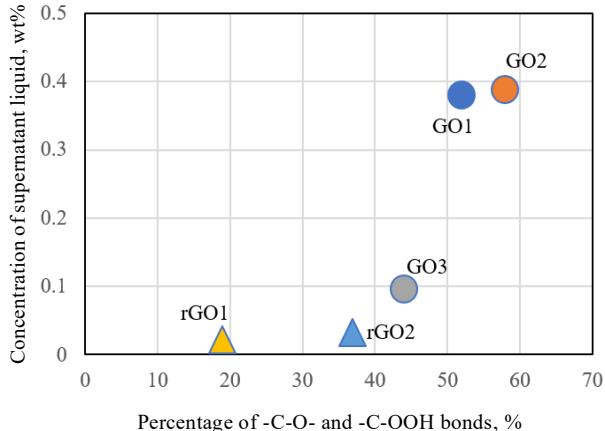


Fig.5 Relationship between the percentage of -C-O- and -COOH bonds and the concentration of supernatant liquid.

#### 4.まとめ

- (1) 分散性が悪く、上澄み液の濃度が小さい分散水では摩擦係数が高くなかった。
- (2) C-O-及びCOOH-結合の割合が高いほど、分散性が向上した。

#### 文献

- 1) Wei Dai, et.al., Tribology International, Volume 102, 2016, Pages 88~98.
- 2) Aydil Azri Arias, et.al., Proceedings of Tribology Conference 2013 Spring Tokyo, in Japanese.
- 3) Marino Lenz, et.al., Surface Technology, Proceedings of the 141st Conference, 2020, p238-241, in Japanese.
- 4) Gangqiang Zhang, et.al., Tribology International, 126(2018) p39-48.