

## フラーレンの潤滑効果：金属－セラミックス間摺動

Tribological properties of fullerene as additive : effect on friction and wear between ceramic and metal surfaces

昭和電工・融合製品開発研究所 \* (正) 近藤 邦夫 (正) 亀井 雄樹 (正) 安部 穎典 (正) 今村 貴子

(非) イルワンシャ (非) 島津 嘉友

Kunio Kondo, Yuuki Kamei, Yoshinori Abe, Takako Imamura, Irwansyah, Yoshitomo Shimazu

### 1. 序

フラーレン（以下“FLN”と記載）は金属・ハロゲンなどを含まない、炭素原子のみから構成される構造が特定された分子で、グラファイトなどの炭素系固体潤滑剤とは異なり、種々の有機溶媒に単分子分散する特徴がある。これまでに FLN を配合した潤滑油が種々の金属間の摺動に対し、低摩擦 (Fig. 1)<sup>1)</sup>、耐摩耗、焼き付き防止といった優れた潤滑性能を示すことが報告されている<sup>1,2)</sup>。

FLN の潤滑メカニズムについては、歴史的には 2003 年に分子ペアリング効果が報告<sup>3)</sup>されているものの、それ以外ではほとんど報告されていない。とりわけ、FLN を油（有機溶媒）に配合した状態では、油中の FLN が摺動界面にどのように作用し、効果を発現するかは未知であった。

我々の研究では、これまでに FLN を配合した油中で FLN に起因する特異な構造体（以下“構造体 X”と記載）が形成されていることが示されている (Fig. 2)<sup>4)</sup>。我々はこの“構造体 X”が潤滑性の発現に関わっているとの考えの下、金属表面上に筋子状の“構造体 X”が形成され、油膜を保持することで低摩擦・耐摩耗性が発現するという仮説を立て、その検証を進めている<sup>4,6)</sup>。これまでに、油中で測定された“構造体 X”に類似した形態の粒状粒子が、FLN を配合した鉱油に浸漬した後の鉄表面に吸着していることを AFM 観察で確認している (Fig. 3)<sup>7)</sup>。

このように、金属間の摺動に及ぼす FLN の影響や金属表面における FLN の挙動については一定の検討が行われてきた。一方で、非金属材料の摺動において FLN が潤滑性能に及ぼす効果や FLN の挙動についての研究は少なく、未知な部分が多い。

そこで本研究では、金属－セラミックス間摺動に対する FLN の潤滑効果を検討するため、ボールオンディスク（以下“BOD”と記載）試験を実施した。その結果、潤滑油に FLN を配合することで金属側の摩耗が抑制されることが示された。

### 2. 実験

金属－セラミックス間摺動に対する FLN の潤滑効果の検討のとして、本実験では、試験基材に高炭素クロム軸受鋼（以下、“SUJ2”と記載）基板 ( $13 \text{ mm} \times 13 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ ) と、炭化珪素（以下“SiC”と記載）ボール（直径 6.35 mm）を使用した回転摺動式 BOD 試験を実施した。試験基材表面は鏡面とした。潤滑油は、鉱油ベースの加工油、および加工油に FLN を配合した油（以下“FLN 配合加工油”と記載）の二種類を使用した。試験は、潤滑油を SUJ2 基板全体に 0.02 ml 滴下した後に、摺動速度 0.025 m/s、負荷荷重 27N の条件下、摺動距離が 150 m に達するまで摺動させることにより行った。

### 3. 実験結果

回転摺動式 BOD 試験における FLN 配合による潤滑効果の検証結果を以下に示す。摩擦特性を Fig. 4、試験後の SUJ2 基板の摩耗面のレーザー顕微鏡像及び断面プロファイルを Fig. 5 にそれぞれ示した。摩擦係数は、加工油では試験初

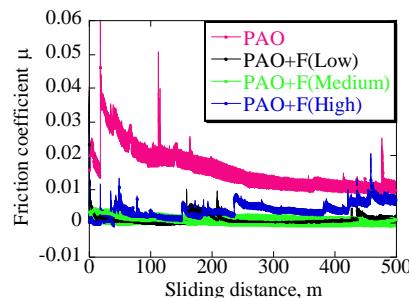


Fig.1 Friction coefficient between SUJ2 disk and ball lubricated by PAO with and without fullerene (as shown in “F”). Three fullerene concentrations were examined; Low, Medium, and High. The measurement was conducted by using ball-on-disc

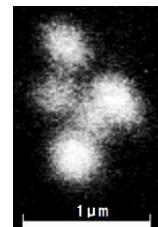


Fig.2 A confocal micrograph of structure X emerged in fullerene-containing mineral oil. The structure X about 1 micrometer in diameter, and smaller components 10~100nm are observed.

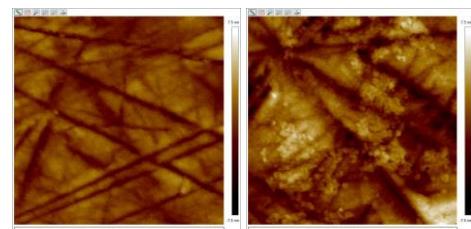


Fig.3 AFM images of SUJ2 surfaces after soaked in pure mineral oil (left) and oil containing fullerene (right). Granular objects about 10nm in diameter were observed.

期で上昇傾向にあり、摺動距離 25 m 付近からは次第に安定した。これに対して FLN 配合加工油では、加工油と同様に試験初期での上昇傾向は認められたが、全体的に摩擦係数が低い値を示した。また、試験後の SUJ2 基板の摩耗面の条痕幅が、FLN 配合加工油では加工油と比較して狭くなっており、摩耗断面積も小さくなっていることより、FLN 配合により SUJ2 基板の摩耗が抑制されることが確認された。

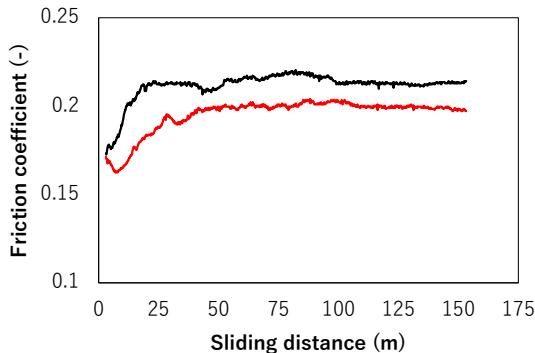


Fig.4 Friction fluctuation profile of ball-on-disk test under existence of Cutting oil (based on mineral oil) without (black) and with fullerene(red) using SiC ball and SUJ2 substrate, 0.025 m/s of velocity, and 27 N of applied load.

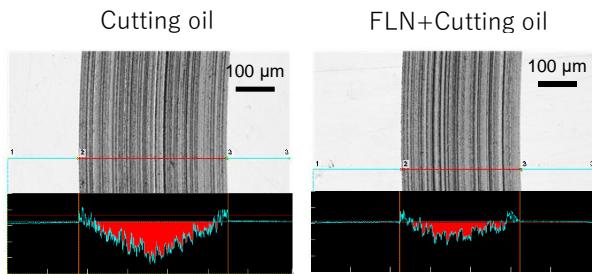


Fig.5 Wear surface images and profiles of the SUJ2 disc: Cutting oil (left), Cutting oil with FLN (right).

#### 4. まとめ

本研究では、金属-セラミックス間摺動に対する FLN の潤滑効果を検討するため、SUJ2 基板と SiC ボールを使用した回転摺動式 BOD 試験を実施した。その結果、鉱油ベースの加工油に FLN を配合することにより、摩擦係数の低減、および SUJ2 基板の摩耗の抑制を確認した。

#### 文献

- 1) 三田村・宇佐美：トライボロジー会議 2019 春口頭発表
- 2) エン・伊藤・福澤・東・張：トライボロジー会議 2021 秋口頭発表
- 3) Miura and Sasaki, Phys. Rev. Lett., 90, 5 (2003)
- 4) 近藤・門田・高・栗谷・坂口・上野・島津：トライボロジー会議 2019 春口頭発表
- 5) K. Kondo, R. Monden, A. Morelos-Gomez, H. Ushiyama, Y. Gao, M. Kuritani, S. Tejima, M. Terrones, M. Endo: ITC 2019 Sendai 口頭発表
- 6) 近藤・門田・安部・今村：トライボロジー会議 2020 秋口頭発表
- 7) 今村・近藤・安部・イルワンシャ・亀井・南・島津：トライボロジー会議 2021 秋口頭発表