

## フラーレン添加油剤を用いた潤滑面のその場観察

In-situ observation of interface lubricated with fullerene dissolving oil

名城大・院（学）\*佐藤 泰紀 名城大・理工（正）\*\*宇佐美 初彦

Taiki Sato\*, Hatsuhiko Usami\*\*

\*Graduate school of Meijo University, \*\*Meijo University

### 1. はじめに

その場観察は、接触面にて生じる摩擦・摩耗現象をリアルタイムで観察することができる手法であり、実際にこれまで、焼付き過程の解析や添加剤由来反応膜の形成の観察等に応用されている<sup>1,2)</sup>。ガラスのような透過材料を使用する制限があるが、接触面の過渡的情報を得る重要な手法である。

フラーレンは粒径 1 nm の硬質な極微細粒子であり、抗酸化性や熱的特性に優れている点から固体潤滑剤として注目されている。さらに、近年では潤滑油への配合により、油剤の吸着効果や凝着の抑制効果による摩擦低減効果が示唆されている<sup>3,4)</sup>。

しかし、現在報告されているフラーレン添加油剤による効果は、試験後の観察から予想されたものが大半であり、実際に潤滑面で発生する現象を観察した事例はほとんどない。したがって、その場観察により、実際に潤滑面で発生する摩擦・摩耗現象を観察することで、フラーレンによる摩擦低減機構の解明に寄与する可能性が高い。

本研究では、潤滑面におけるフラーレンの摩擦低減機構の理解を目的として、高炭素クロム軸受鋼およびアルミニウム合金とサファイアガラスから構成される接触面をその場観察し、摩擦係数と接触状態を整理および考察した結果を報告する。

### 2. 実験方法

実験にはボールオンディスク型の摩擦試験装置を使用した。試験片は直径 1/4 インチ (=6.35 mm) の高炭素クロム軸受鋼 SUJ2 球およびアルミニウム合金 A5052 球とサファイアガラスディスク ( $\phi 50.8 \times t 5$  mm) であり、接触部背面には高速度カメラを設置し、サファイアガラスディスクを通して接触状態を観察した。実験条件は負荷荷重 20 N、摺動速度 0.05 m/s であり、粘度指数 0W-8 のエンジン油に種々の添加剤が配合された潤滑油を使用した。なお、試験温度は室温 (25°C)、観察時のフレームレートは 50 fps、初期の接触面圧は 0.29 GPa (高炭素クロム軸受鋼 SUJ2)、0.10 GPa (アルミニウム合金 A5052) である。

### 3. 実験結果および考察

高炭素クロム軸受鋼 SUJ2 を使用した場合の各潤滑油における摩擦特性 (a)、その場観察結果とボール摩擦面の光学顕微鏡像 (b) が Fig. 1、アルミニウム合金 A5052 を使用した場合が Fig. 2 である。油剤 I は摩擦調整剤以外の添加剤を含む潤滑油であり、油剤 II は油剤 I に摩擦調整剤であるモリブデンジチオカーバメート (MoDTC)、油剤 III は油剤 I にフラーレンが配合されている。

高炭素クロム軸受鋼 SUJ2 の摩擦係数は、油剤 I の場合、実験初期で 0.04 程度である。その後、50 m 地点までは摺動距離の上昇に伴い摩擦係数は低下する。しかし、50 m 地点以降、摺動距離の上昇に伴い摩擦係数は上昇し、実験終了時で 0.07 程度となる。100 m 以降、摩擦係数は大きな変動を伴って上昇することが確認される。油剤 II の場合、油剤 I と同様に、実験初期で 0.04 程度であり、50 m 地点までは摺動距離の上昇に伴い摩擦係数は低下する。しかし、50 m 地点以降、摺動距離の上昇に伴い摩擦係数は上昇し、実験終了時で 0.06 程度となる。摩擦係数が上昇する際、摩擦係数は大きく変動することが確認される。油剤 III の場合、実験初期で 0.01 程度と油剤 I および II に比して非常に小さい値である。摺動距離の上昇に伴い摩擦係数は上昇し、実験終了時で 0.06 程度となる。摩擦係数が上昇する際の変動は油剤 I および II に比して小さいことが確認される。

その場観察結果では、油剤 I の場合、実験開始直後の 0.15 m 地点で摺動痕とみられる黒色部の発生が確認される。その後、摺動距離の上昇に伴い黒色部は増加および拡大する。これらの黒色部は実験終了時点で接触面中央に集合しており、直径 300 μm 程度まで拡大する。油剤 II の場合、油剤 I と同様に実験開始直後の 0.15 m 地点で摺動痕とみられる黒色部の発生が確認される。その後、摺動距離の上昇に伴い黒色部は増加および拡大する。これらの黒色部はこれらの黒色部は実験終了時点で接触面中央に集合しており、実験終了時点で直径 350 μm 程度まで拡大する。油剤 III の場合、油剤 I および II に比して遅い実験開始直後の 0.25 m 地点で摺動痕とみられる黒色部の発生が確認される。その後、摺動距離の上昇に伴い黒色部は増加および拡大するが、油剤 I および II に比して黒色部は分散しており、最大 200 μm 程度と小さいことが確認される。

油剤 III は、実験初期における摩擦係数が油剤 I および II に比して小さい値であり、摩擦係数の変動が小さい。さらに、その場観察結果より、油剤 I および油剤 II に比して摺動痕の発生が抑制されていることが確認される。以上のことから、フラーレン添加油剤は油膜保持効果により、固体接触の頻度を低減し、摩耗を抑制したことが示唆される。

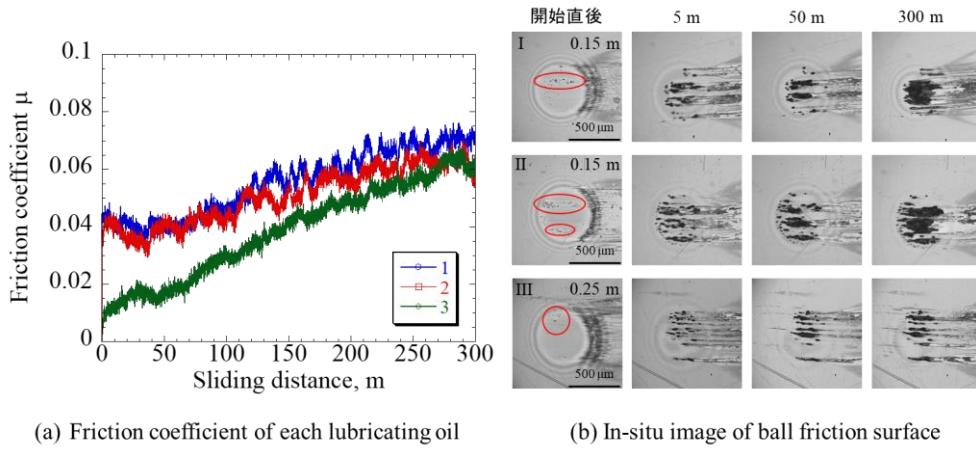


Fig. 1 Friction test results with SUJ2

アルミニウム合金 A5052 の摩擦係数は、油剤 I の場合、実験初期で 0.04 程度である。その後、実験終了時まで摺動距離の増加に伴い上昇し、実験終了時点では 0.07 程度となる。130 m 以降、摩擦係数は大きな変動を伴って上昇することが確認される。油剤 II の場合、実験初期で油剤 I に比して高い 0.06 程度である。摺動距離の増加に伴い摩擦係数は減少し、50 m 地点で 0.05 程度となる。その後、摩擦係数は 0.05 程度で安定して推移する。この時、摩擦係数の変動は油剤 I に比して小さい。油剤 III の摩擦係数は実験初期で油剤 I と同程度の 0.04 である。摺動距離の増加に伴い摩擦係数は減少し、50 m 地点で 0.03 程度となり、250 m 地点まで摩擦係数は 0.03 程度で安定して推移する。250 m 地点以降、摩擦係数はさらに減少し、実験終了の 300 m 地点では 0.02 程度となる。摩擦係数の変動は油剤 I に比して小さい。

その場観察結果では、油剤 I の場合、実験開始直後の 0.10 m 地点で線状の摺動痕の発生が確認される。その後、5 m 地点までは、線状の摺動痕の形成および拡大が確認される。5 m 地点で摺動痕の上下で摺動痕とみられる黒色部の発生が確認される。5 m 地点以降、これらの黒色部の拡大が確認され、実験終了時点では最大 400  $\mu\text{m}$  程度まで拡大する。油剤 II の場合、実験開始直後の 0.05 m 地点で線状の摺動痕の発生が確認される。その後、5 m 地点までは、線状の摺動痕の形成および拡大が確認される。5 m 地点で摺動痕の上下で摺動痕とみられる黒色部の発生が確認される。5 m 地点以降、これらの黒色部の拡大が確認され、実験終了時点では最大 100  $\mu\text{m}$  程度まで拡大した黒色部が数カ所確認される。油剤 III の場合、油剤 I および II より遅い実験開始直後の 0.15 m 地点で線状の摺動痕の発生が確認される。その後、5 m 地点までは、油剤 I および II と同様に線状の摺動痕の形成および拡大が確認される。5 m 地点で摺動痕の上下で摺動痕とみられる黒色部の発生が確認され、実験終了時点では最大 300  $\mu\text{m}$  程度まで拡大する。

油剤 III は、実験初期における摩擦係数が油剤 I および油剤 II に比して小さい値であり、摩擦係数が減少する。さらに、油剤 I に比して摩擦係数の変動が小さい。また、その場観察結果より、油剤 I および油剤 II に比して線状の摺動痕の発生が抑制されていることが確認される。以上のことから、フーラレン添加油剤は油膜保持効果により、固体接触の頻度を低減し、摩耗を抑制したことが示唆される。

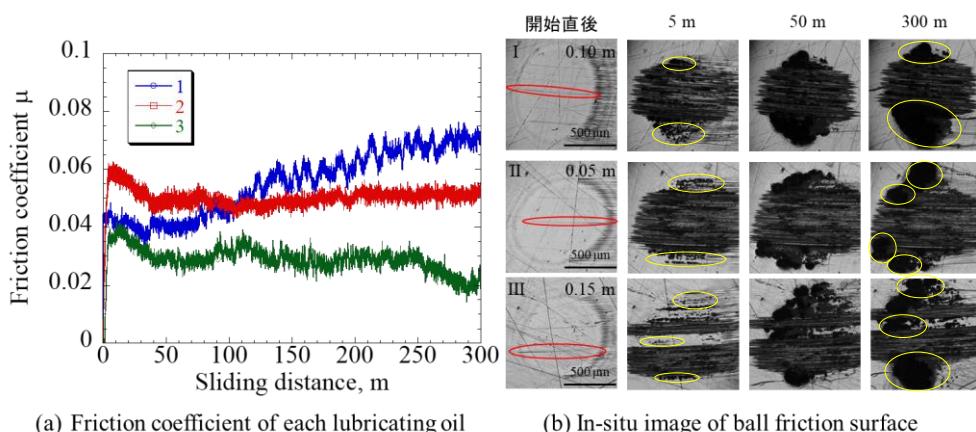


Fig. 2 Friction test results with A5052

#### 4. 結言

高炭素クロム軸受鋼およびアルミニウム合金とサファイアガラスから構成される接触面をその場観察し、摩擦係数と接触状態を整理した結果、フラーイン添加油剤を用いた場合、実験初期における摩擦の抑制および摺動痕の発生や拡大の抑制したことが確認された。このことから、潤滑油に配合したフラーインは油膜保持効果を有し、油膜切れによる固体接触の頻度を抑制したことで、摩擦低減効果を示したことが示唆された。

#### 文献

- 1) 八木：各種その場観察法による焼付き過程の理解、トライボロジスト, 64, 5 (2019) 294-301.
- 2) 鈴木・宇佐美：潤滑状態での接触面のその場観察、トライボロジー会議 2021 春 東京 予稿集
- 3) 三田村・宇佐美：フラーイン分散潤滑油の摩擦特性、[No.18-60] 日本機械学会第 26 回機械材料・材料 加工技術講演会 (M&P2018) 論文集 [2018.11.2-4, 山形], pp.102
- 4) 三田村・宇佐美：アルミニウム合金におけるフラーイン分散潤滑油剤の摩擦特性、[No.20-1]日本機械学会 2020 年度年次大会 講演論文集 [2020.9.13-16, 名古屋]