

## 高面圧域のPOM-アクリル摩擦のその場界面観察による摩擦・摩耗メカニズムの解明

### In-situ Observations of friction and Wear of POM-Acrylic Friction under High-Contact Pressures

兵庫県立大・工（正）\*田中 芹奈 兵庫県立大・工（正）松本 直浩

兵庫県立大・ダイセル（正）須貝 幸廉 兵庫県立大・工（正）木之下 博

Serina Tanaka\*, Naohiro Matsumoto\*, Yoshiyuki Sugai\*, \*\*, Hiroshi Kinoshita

\*University of Hyogo, \*\*Daicel Corporation

#### 1. はじめに

ポリアセタール（POM）は、コストと機械的強度のバランスから代表的なエンジニアリングプラスチック（エンプラ）として広く利用されており、さらに自己潤滑性を有することから、近年エンプラ系摺動材料の代表的な存在となっている<sup>1-2)</sup>。しかし、POM のトライボロジーの詳細は未解明な部分も多く、一般的に金属材料よりも相手材への移着および摩耗粉の排出が顕著であることから、金属材料とは潤滑特性が大きく異なると予想される<sup>3)</sup>。

本研究室では、摩擦界面のその場観察を行うことで、POM とソーダ石灰ガラスの摩擦・摩耗メカニズムの解明に取り組んでいる。その結果、摩擦力と接触面積には線形関係があり、また再凝着摩耗粉が摩擦・摩耗特性に大きな影響を与えることが示唆された。一方で、樹脂と樹脂の摩擦も実用上において非常に重要であるが、POM-ガラスの摩擦と同じメカニズムを有しているか不明である。例えば、透明材であるアクリル樹脂を POM の相手材として摩擦した場合、ソーダ石灰ガラスと比較してヤング率が 1/25 程度と非常に小さく、また表面粗さ( $R_a$ )が 2 倍程度大きいなど機械的特性が全く異なり、摩擦メカニズムが大きく異なる可能性がある。そこで本研究では、POM とアクリル樹脂の摩擦界面のその場観察を行い、摩擦・摩耗メカニズムを解明することを目指した。

#### 2. 実験方法

ピンオンディスク試験により摩擦特性を評価した。Figure 1 に装置の模式図を示す。ピンには直径 4mm の POM 球（表面粗さ( $R_a$ )：約 1.9  $\mu\text{m}$ ），基材には厚さ 3mm のアクリル樹脂を用いた（表面粗さ( $R_a$ )：約 0.03  $\mu\text{m}$ ）。ディスク中心から POM 球までの距離は約 0.02m であり、ディスク 1 周あたりの摩擦距離は約 0.13m である。荷重範囲は 1~10N、しゅう動速度は 2.5~21mm/s とし、すべり距離 1.5~75 m の範囲において大気中無潤滑状態で試験を行った。さらに、光学顕微鏡（対物レンズ倍率 4 倍）を用いて試験中の摩擦界面を撮影し、摩擦係数・接触面積・せん断応力を求めた。

#### 3. 結果と考察

##### 3.1 摩擦係数と接触面積の関係

Figure 2 に荷重 10N、しゅう動速度 21mm/s 時のすべり距離 0m から 20m 間における摩擦係数および接触面積の関係を示す。すべり距離 19m までの間に、摩擦係数が増加するステージ I（すべり距離 0~約 2m），摩擦係数が大幅に減少するステージ II（すべり距離約 2~10m），そして摩擦係数がわずかに減少するステージ III（すべり距離約 10~19m）が存在することがわかった。また、ステージ I では摩擦係数の変動幅が大きかったが、その後ステージ II では徐々に変動幅が小さくなり、ステージ III では摩擦係数の値が安定した。一方で接触面積は、ステージに関係なく増加傾向を示すことがわかった。光

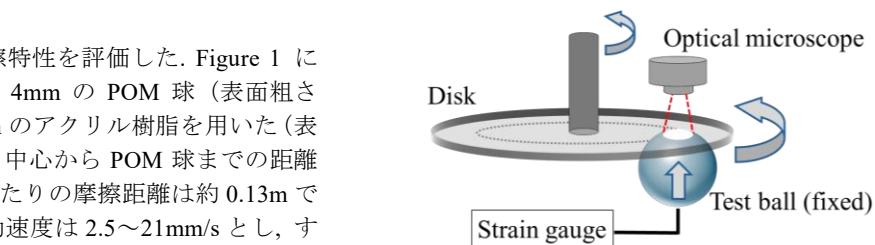


Fig.1 Schematic diagram of pin-on-disk-type friction tester

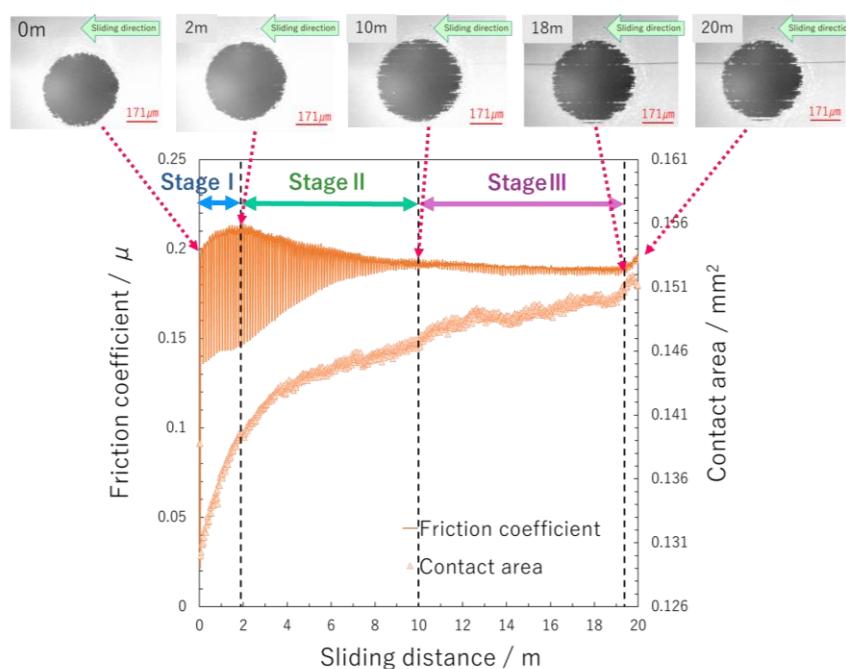


Fig.2 Friction coefficient (-) and contact area ( $\Delta$ ) for sliding distance between 0m and 20m

学顕微鏡による摩擦界面画像に注目すると、すべり距離の進行に伴い、POM 球は摩擦方向と平行に筋状に摩耗される（溝の形成）ことがわかったが、ステージの境界近傍では摩擦界面に明確な変化は観察されなかった。

Figure 3 に荷重 10N、しゅう動速度 21mm/s 時のすべり距離 0m から 75m 間における摩擦係数および接触面積の関係を示す。ここで、Fig.2 で示した 3 つのステージを 1 つの周期とする。すると、すべり距離 75m までの間に、摩擦係数はこの周期を 4 回以上繰り返すことがわかった。ただし、すべり距離が増加するに伴い、Fig.2 に示したステージ III の領域は徐々に小さくなつた。また、1 周期目のステージ I および II で観察された摩擦係数の大幅な変動は、2 周期目以降で

は観察されなかつた。一方で接触面積は、周期内では増加傾向を示し、周期が移行するタイミングで減少傾向を示すことがわかつた。光学顕微鏡による摩擦界面画像に注目すると、すべり距離の進行に伴い溝の形成が顕著になるもの、周期境界近傍では大きな変化は観察されなかつた。

### 3.2 POM 球とディスクの表面形状

レーザー顕微鏡を用いて POM 球とアクリルディスクの表面形状観察を行つた。Figure 4 は、Fig.2,3 に示すすべり距離 1.5m (1 period) およびすべり距離 75m (5 periods) 時の POM 球とアクリルディスクの表面形状およびその 3 次元画像を示す。POM 球に注目すると、摩擦界面外縁の摩擦前方と、摩擦後方の摩擦界面縁に堆積が生じ、これは摩耗粉によるものと推測される。また、摩擦界面には溝が形成されており、これはすべり距離が大きいほど顕著に観察された。一方で、アクリルディスク表面は摩耗されることなく、部分的に POM の移着が生じることがわかつた。この移着は、すべり距離の増加に伴い生じにくくなり、さらにしゅう動速度の増加によっても減少した。これら POM の摩耗粉やアクリルディスクへの移着は、Fig.2 に示すステージおよび Fig.3 に示す周期と密接に関係すると考えられる。

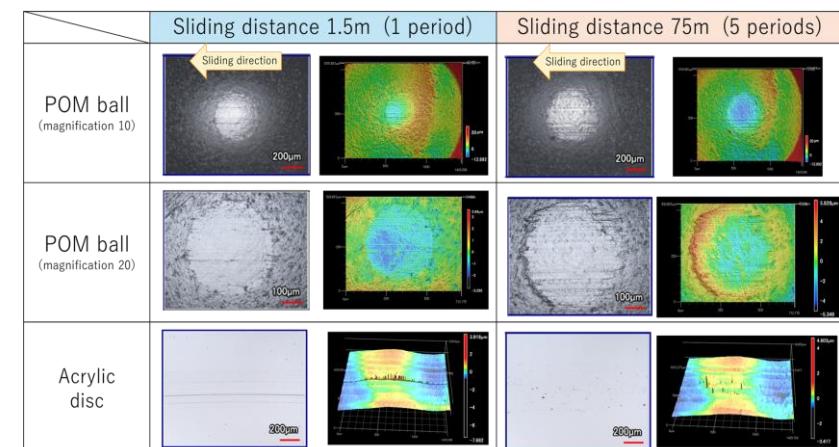


Fig.3 Friction coefficient (-) and contact area ( $\triangle$ )

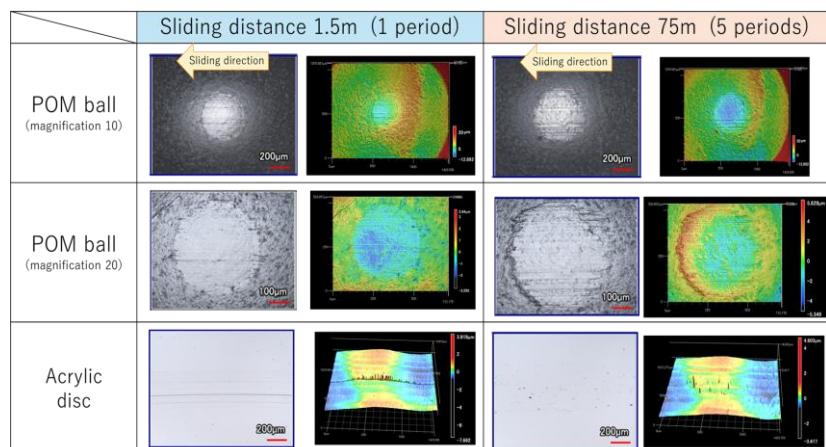


Fig. 4 Observations of the surfaces for POM and disk

## 4 結言

POM とアクリルのピンオンディスク試験と同時に光学顕微鏡による摩擦界面その場観察を行つた。その結果、すべり距離の進行に伴い、摩擦係数は 3 つのステージから成る周期（約 19m 間隔）を繰り返すことがわかつた。また、1 周期目のステージ I および II で観察された摩擦係数の大幅な変動は、2 周期目以降では観察されなかつた。一方で、接触面積は周期内では増加傾向、周期が移行するタイミングで減少傾向を示すことがわかつた。これらの現象は、POM の摩耗粉およびアクリルディスクへの移着と密接に関連すると示唆される。また、光学顕微鏡による摩擦界面画像においては、摩耗の様子をリアルタイムで観察できるものの、ステージおよび周期の境界近傍で大きな変化は観察されなかつた。

## 文献

- 竹市 嘉紀：高分子材料のトライボロジー、表面技術, 65, 12 (2014), 562-567.
- 西谷 要介：高分子トライボロジーの基礎 その 1, トライボロジスト, 62, 6(2017), 393-398.
- 木之下博, 池田 修悟, 須貝 幸廉, 松本 直浩：トライボロジー会議 2024 春 東京 予稿集, 26-27.