

# 高・低面圧条件における樹脂摩擦界面のその場観察による接触面積と摩擦力の関係解明

In-situ Observation of Polymer Friction Interfaces under High and Low Contact Pressure:

Elucidating the Relationship between Contact Area and Friction Force

兵庫県大・工（正）○木之下 博， 兵庫県大・理， ダイセル（正）須貝 幸廉，

兵庫県大・工（正）松本 直浩， 兵庫県大・工（正）田中 芹奈，

Hiroshi Kinoshita<sup>1,\*</sup>, Yoshiyuki Sugai<sup>1,2</sup>, Matsumoto Naohiro<sup>1</sup>, Serina Tanaka<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>University of Hyogo, <sup>2</sup>Daicel Corporation

## 1. はじめに

近年，樹脂の軽量性や自己潤滑性が注目され，機械要素やしゅう動部材への応用が急速に進んでいる．しかし，樹脂における摩擦・摩耗のメカニズムは依然として十分に解明されておらず，特に摩擦力が必ずしも荷重に比例せず，摩擦力の予測が困難であることが多い．また，摩耗粉や移着層などの摩擦への影響も未明である．

我々はこれまでに，ピンオンディスク型トライボメータのディスクを透明材料にすることで，比較的高面圧条件下におけるポリアセタール（POM）球の摩擦界面をその場観察し，界面がバルクの POM と再凝着摩耗粉で構成されていることを明らかにした．さらに，荷重と摩擦速度，球の直径を変化させて，接触面積と摩擦力の関係を測定した結果，同じ荷重，球の直径であれば，接触面積と摩擦力は線形関係を有し，それらの直線の傾きは摩擦速度に依存していることを見出した[1]．ただし，それらの直線は原点を通らないことも多々あったが，ある一点で交わることがわかった．他のボール直径，荷重の組合せでも全て，同じ摩擦速度であれば接触面積と摩擦力は同じ直線上に沿っており，それらの直線は一点で交わった．これは，摩擦開始時に最も接触面積が小さくそれが交点の位置となっており，そこから摩耗で接触面積が大きくなるに従って，摩擦速度に依存する傾きで線形的に摩擦力が大きくなって行くために，そのような結果になったと思われる．これらのことより摩擦力  $F$  は  $F = \tau_i S_i + \tau_g \Delta S_g$  になると我々は推測している．ここで  $\tau_i$  と  $S_i$  は最も接触面積が小さいときのせん断応力と接触面積である． $\Delta S_g$  は  $S_i$  からの摩耗による面積の増加分， $\tau_g$  はその増えた面積でのせん断応力である．この推測に基づいた考察の結果，我々は  $S_i$  の部分で荷重を支え摩擦力を発生させるが， $\Delta S_g$  の部分では荷重をほとんど支えておらず， $\Delta S_g$  の部分では摩耗粉の再凝着層や凝着せずディスクと共に移動する摩耗粉が横方向の抵抗力となって摩擦を増加させていると我々は考えている．

樹脂は材料も豊富であり，摩擦相手材の種類も豊富である．また摩擦方法も往復しゅう動試験をはじめ様々で，一般的に樹脂の摩擦では温度依存性がある．上記の実験では，POM 球とソーダ石灰ガラスディスクを用いた一方向の純すべり摩擦，室温，比較的高い面圧（最大 100MPa）で得られた結果のみであり，上述の式が樹脂摩擦全般において成り立つかは未明である．そこで本研究では，接触界面の面積と摩擦力の関係を，まずは比較的低面圧な条件で調べるために，リング試験片の一部を切り出し，球よりも大きな接触面積で摩擦させて，その関係を明らかにし，さらに摩耗粉の摩擦への影響を調べた．

## 2. 方法

本研究では，ガラスディスクと POM リング試験片の一部を切り出し(幅 2.8 mm，長さ 5 mm)長方形型として，リングオンプレート型のトライボメータで摩擦試験を行なった．0.6m/s 速度で回転するガラスディスクに試験片を荷重 20N で押しつけ摩擦させた．このときの摩擦力を計測し，同時に光学顕微鏡を用いてガラスディスク越しに摩擦界面を観察した．また，試験片の横から摩擦界面付近の温度の測定も行った．

## 3. 結果

Fig. 1 は，摩擦試験中の(a)摩擦力および(b)接触面積の時間変化，ならびに(c)両者の関係を示している．摩擦力は初期に急激に増加し，その後 1000 秒以降は比較的安定した値で推移した．ただし，約 4500 秒の時点で摩擦力が急激に

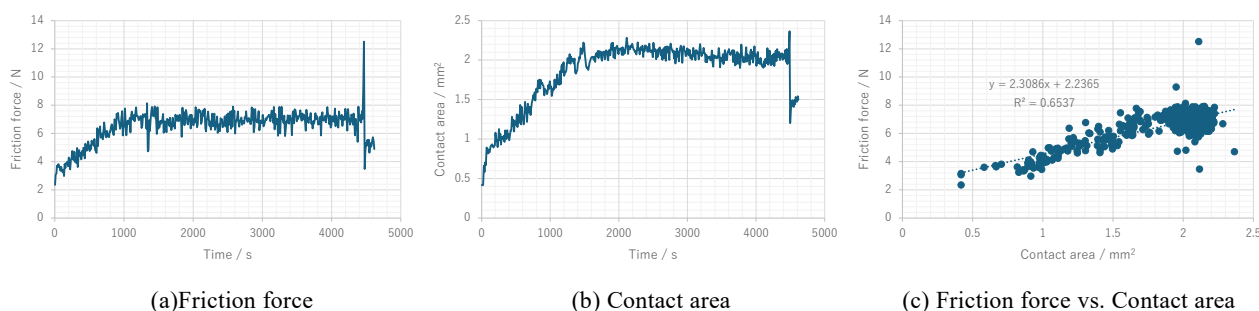


Fig. 1 Time evolution of friction force (a) and contact area (b), and their correlation (c). Friction force increases with contact area, showing a clear linear relationship.

上昇し、その後はそれ以前の安定状態よりも低い値で再び安定した。一方、接触面積も摩擦力と同様に初期に増加し、2000 秒以降ではほぼ飽和した状態となった。接触面積も 4500 秒付近で変化が見られ、摩擦力と同様に減少後、一定値で推移している。摩擦初期から試験全体を通して、接触面積は試験片上面の面積に比べて著しく小さい値であった。摩擦力と接触面積が安定状態に至るまでの時間には差があったが、摩擦初期には両者の増加がほぼ同時に観察された。また、面圧は試験開始直後に最大で約 50 MPa であり、その後徐々に減少し、定常状態では約 10 MPa となっていた。Fig. 1(c)で見られるように、接触面積と摩擦力の間に明確な線形関係が存在することが分かる。試験片形状がボールとは異なるにもかかわらず、低面圧条件下でも、接触面積と摩擦力はボールを用いた場合と同様に線形関係を示していた。ただし、その直線は原点を通過していなかった。

Fig. 2 は、摩擦試験中の摩擦界面を光学顕微鏡によりその場観察した像である。像中に摩擦開始後の時間と、試験片の横から測定した接触部付近の温度を示している。暗く見える領域は実際の接触部を示しており、ディスクは画像の左から右方向へ回転している。3 秒時点における赤線は試料片上面表面の全体の輪郭を示している。Fig. 1(b)で示したように、接触面積が極端に小さいのは、平坦な試料表面のうち一部のみが接触しているためである。その後、503 秒から 1344 秒にかけて、摩耗の進行に伴い接触領域が拡大していく様子が観察された。ただし、単純な面積拡大ではなく、接触位置も変化していた。すなわち 503 秒時点では右下の頂点が接触していたが、1004 秒ではその頂点は接触しておらず、接触領域は左側に移動していた。1344 秒ではさらに接触面積が広がっているが、依然として左側へのシフトが見られ、試料片の右端は接触していなかった。これは、ディスクの回転に伴って摩耗粉が左側から侵入・堆積し、その部分の局所的な高さが増加したことによって、接触位置が変化したためと推察される。また温度も摩擦熱の発生によって上昇し、1000 秒から 2000 秒の間で温度は定常値に達した。

4477 秒では、何らかの要因により接触領域が広範囲に拡大し、温度も 104° C に達した。このとき、多くの摩耗粉が摩擦界面を流動する様子も確認された。その後、接触領域左端に堆積していた部分が一瞬で崩れ、それに伴い、接触面積および摩擦力が急激に減少し、接触は試験片の上下端部と右端を中心に限定されるようになった。同時に摩擦熱の発生が抑制され、温度も低下した。その後はこの状態で安定に推移した。

### 3. まとめ

本研究から、試料片の接触面積をできる限り大きくしようと試みても、接触部分は極一部であり、摩擦に伴って表面は摩耗するが、単に接触面積が増加するのではなく、摩耗粉の堆積部が接触部分になることが推測された。ただしこの堆積部は不安定であり、何らかの理由で脱落することもあることが分かった。

[1] 木之下博ら, “高面圧域のPOM摩擦における摩耗粉再凝着による摩擦メカニズム” トライボロジー会議2024 秋 名護, 2024, D19.

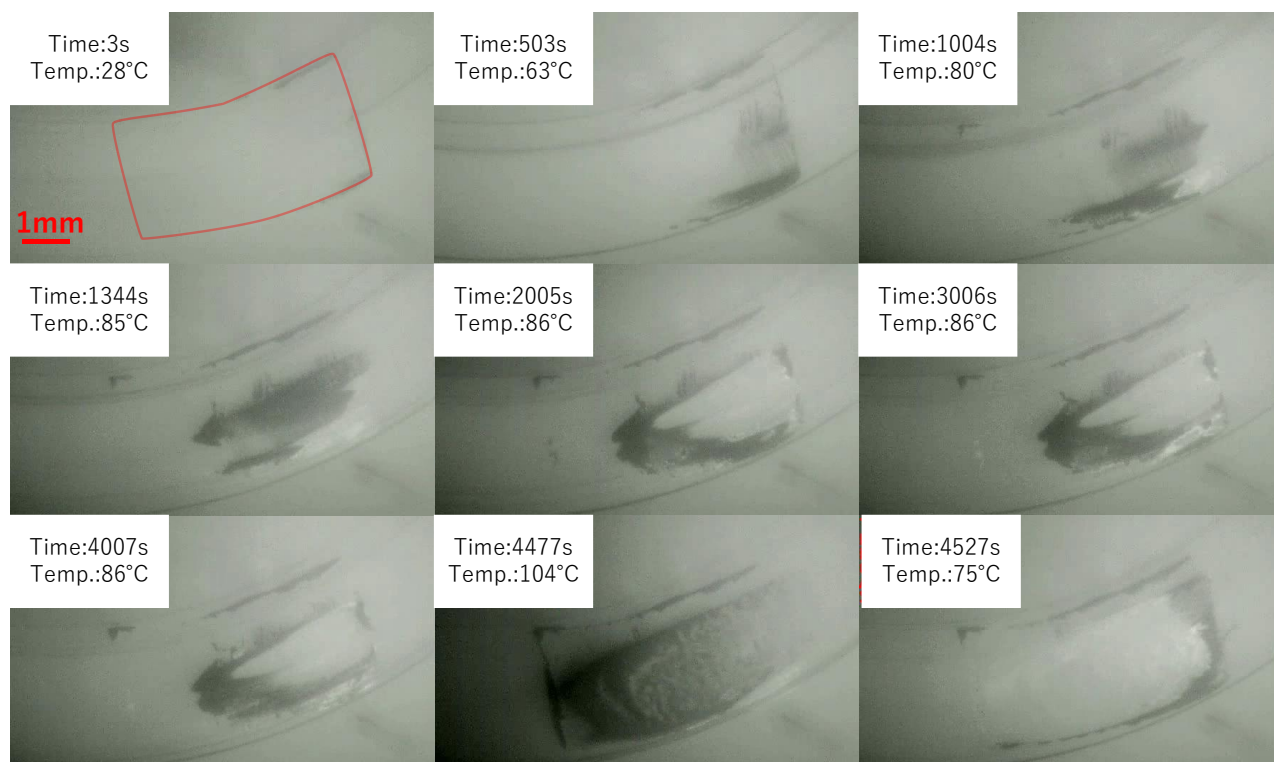


Fig. 2 Time-lapse optical microscopy images of the friction interface. Dark regions indicate actual contact areas. The red outline at 3 s shows the flat specimen shape, although only a partial region is in contact.