

# 各速度条件における POM ローラーの転がりすべり摩擦のトルクと摩擦界面の挙動評価

## Investigation of Torque and Friction Interface in Rolling-Sliding Friction Using a POM Roller at Various Speeds

兵庫県立大・工（学）\*毛利 笙太郎 兵庫県立大・工（非）森田 慧 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・理，ダイセル（正）須貝 幸廉 兵庫県立大・工（正）木之下 博  
 Shotaro Mohri\*, Kei Morita\*, Serina Tanaka\*, Naohiro Matsumoto\*, Yoshiyuki Sugai\*\*, Hiroshi Kinoshita\*

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

### 1. はじめに

近年，地球規模で深刻化する環境問題への対応として，機械分野では省エネルギー化や二酸化炭素排出量の削減が強く求められている．これに伴い，機械構造物の軽量化が進められており，従来は金属材料が使用されていた歯車や軸受などのしゅう動部品においても，代替材料として樹脂の活用が広がりつつある．なかでもポリアセタール樹脂（POM）は，耐摩耗性や自己潤滑性に加え，剛性・靱性といった機械的特性にも優れるエンジニアリングプラスチックであり，しゅう動部品の軽量化と性能維持の両立を可能にする材料として注目されている．我々の研究グループでは，POM の摩擦・摩耗特性に着目し，ピンオンディスク型の摩擦試験機を用いたすべり摩擦試験により，POM とソーダ石灰ガラスの摩擦挙動の評価を行ってきた．先行研究では，POM の接触面積は摩擦力と線形関係を示すこと，また，その接触面は POM 本来のバルク表面と，摩擦中に生成・再付着した摩耗粉の層によって構成されることが明らかとなっている．しかし，これらの知見は一方すべり摩擦のみに限定されたものである．

そこで本研究では，歯車や転がり軸受の摩擦条件に近い転がりすべり条件における接触面積の変化や摩耗粉の挙動，さらにそれらが摩擦力に与える影響について解明するために，POM ローラーと透明材料の強化ガラスとの摩擦対を用い，転がりすべり摩擦の界面を光学顕微鏡によりその場観察し，トルク測定と摩擦界面像観察を同時に行った．また，試験後には電子顕微鏡 SEM による観察も行い，摩耗粉の挙動の評価を試みた．

### 2. 実験

#### 2.1 試験方法

本研究では，透明性と高荷重耐性を併せ持つ強化ガラスおよび POM ローラーを用いて，転がりすべり条件下の摩擦試験を行った．使用した試験装置の構成を Figure 1 に示す．ローラーおよびディスクは，それぞれ駆動モーターにより速度制御され，相対速度を与えることで摩擦が発生する構造となっている．ローラーにエアシリンダを用いて荷重を印加し，印加荷重はロードセルによって計測した．また，ローラーと駆動モーターの間にはトルクメーターを設置し，試験中の摩擦トルクと回転速度を取得した．加えて，透明なディスク越しに摩擦界面をその場観察するため，光学顕微鏡を設置し，摩擦中の接触状態をリアルタイムで撮影・記録した．撮影した映像から接触面の明暗ドットを画像処理により読み取り，接触面積を評価した．

#### 2.2 試験条件

まず荷重 10N，ディスク 1000RPM でローラーの速度を変化させてトルクの変化を測った．次に，ディスク速度を 100 RPM，試験時間 100 秒，すべり率 20% で，荷重を 100N と 50N で比較した．いずれの試験も潤滑条件は乾燥摩擦とし，その場観察において使用した光学顕微鏡のレンズ倍率は 5 倍とした．本研究では転がりすべり接触におけるすべり成分の影響を示すため，Slide-Roll Ratio (SRR) を導入した．これは接触面の相対速度差をその平均速度で規格化した無次元指標である．

$$SRR = \frac{2(v_1 - v_2)}{v_1 + v_2} \quad (1)$$

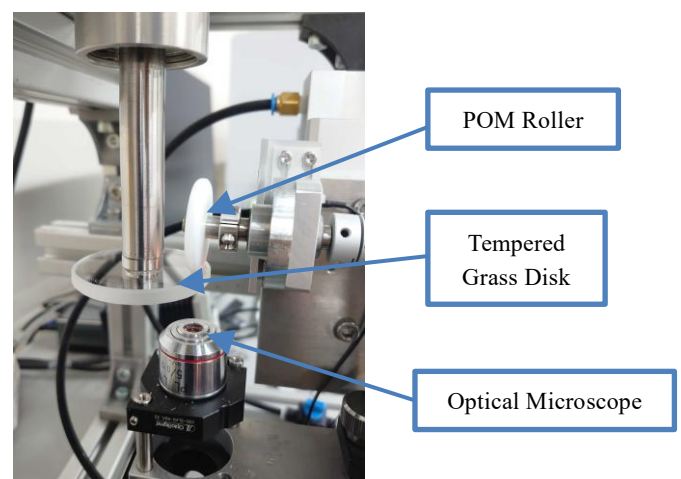


Fig.1 Tribometer

### 3. 結果と考察

#### 3.1 すべり速度とトルク変化

荷重 10N に行った各試験条件におけるトルクの試験結果を Figure 2 に示す．ディスクのしゅう動速度について，青色が 4.89m/s，橙色が 2.51m/s，灰色が 1.26m/s，黄色が 0.63m/s の結果である．縦軸はトルク（mN・m），横軸は SRR

であり、各点はそれぞれの試験条件下における測定データを示している。Fig.2 で示すように、各条件に共通して、SRR が±0.05 付近でトルク変化が急激に表れており、SRR の増加に伴いトルクが正負方向に非線形に増加していることがわかる。また、ディスク速度が高い条件において、トルクの絶対値が比較的大きくなる傾向が見られ、これは、ディスク速度の大きい条件は発熱が多く、この熱が摩擦に影響を及ぼしていると考えられる。つまり、発熱が同すべり速度でも高ディスク速度のほうが高トルクになる要因であると言える。

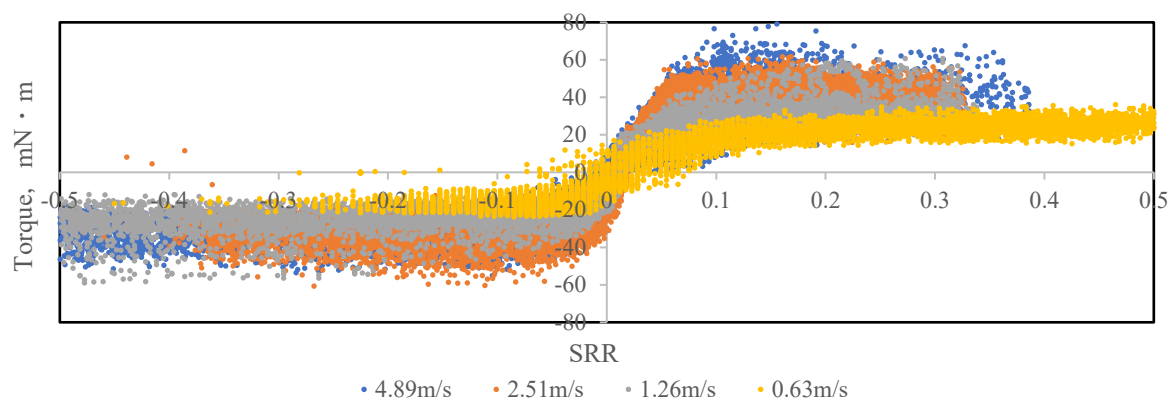


Fig.2 Torque trnsition for each SRR

### 3.2 トルクと接触面積の時間変化

次に荷重 100N と 50N における、ディスク速度 2.1m/s、すべり率 20%の試験を行った。Figure3 は試験時間におけるトルクの推移を示している。両条件ともに試験時間の経過とともにトルクは緩やかに増加する傾向が見られたが、荷重 100N の方が一貫して高いトルク値を示している。Figure4 は試験時間における接触面積の推移を示しており、いずれの条件においても、接触面積は時間の経過とともにやや増加する傾向が見られた。特に荷重 100N では、常に 50N より大きな接触面積が維持されており、荷重の増加が接触面の拡大をもたらすことがわかった。また、接触面積の増加は摩擦力の増加と連動しており、Fig.3 のトルク推移も同様の傾向を示しており、両者に線形的な関係が示唆される。

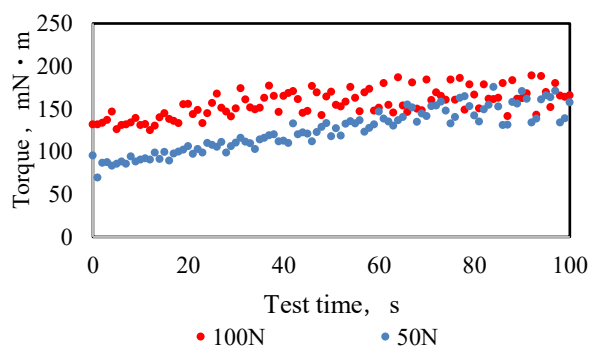


Fig.3 Torque Transition

### 3.3 摩擦界面の評価

荷重 100N、ディスク 1000RPM、すべり速度 20%の条件の試験における試験後の SEM 観察によりわかったことを示す。Figure6 は左から、POM ローラーを SEM 観察した様子、ディスクを SEM 観察した様子である。試験後の POM ローラーのしゅう動面では、摩耗粉が一列に積層された構造が観察された。この摩耗粉は比較的平坦であり、層状の形状をしていた。ディスク表面にはローラーで見られた摩耗粉の堆積や、明らかな移着は観察されず、層状の摩耗粉が広く散在しており、これらはローラー表面で生成・堆積した摩耗粉が、摩擦中に剥離し、ディスク側に脱落したものと考えられる。

このように、観察された摩耗粉はローラー、ディスクともに同様な層状構造をしていたが、純すべり摩擦で時折見られたロール状の摩耗粉は確認されなかった。このような層状構造の摩耗粉が確認されたことから、摩擦界面において、摩耗粉がいったんローラー側に再接着し、その後せん断・脱落を繰り返すというプロセスが進行していると言える。

## 4. 結言

POM の転がりすべり摩擦では、同じすべり速度でも、より大きいディスク速度のほうが高トルクになることがわかり、これは発熱が摩擦に影響を及ぼしているためと考えられる。また、摩擦に伴いトルクが上昇し、接触面積も上昇することがわかった。

SEM 観察より、摩耗粉が POM ローラー表面に堆積・脱落し、ディスク表面にフレーク状で散在している様子が観察された。

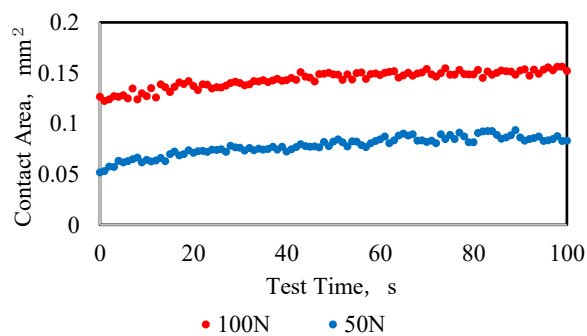


Fig.4 Contact Area Transition

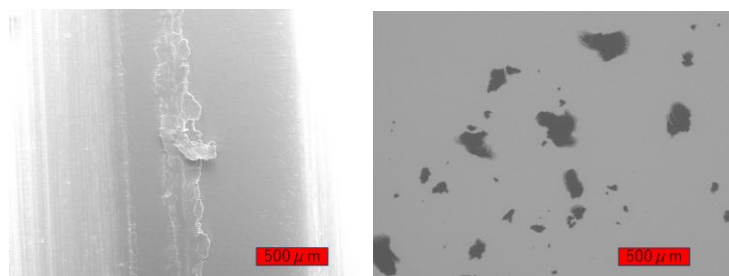


Fig.5 SEM images on the POM roller and Disk