

# 樹脂の摩擦力・凝着力の温度依存性のマイクロトライボロジーによる解明

## Temperature Dependence of Friction and Adhesion Forces of Resins in Microtribology

兵庫県大・工（学）＊國本 敬太 兵庫県大・工（正）田中 芹奈 兵庫県大・工（正）松本 直浩

兵庫県大、ダイセル（正）須貝 幸廉 兵庫県大・工（正）木之下 博

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

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

### 1. はじめに

樹脂は軽量で機械的特性に優れるといった理由から、軽量化・省エネルギー化・高性能化の目的で、近年金属の代替品として自動車産業や電子機器産業等で広く使用されており、樹脂の市場はますます拡大している。樹脂の中でもポリアセタール樹脂（POM）は耐摩耗性に優れ、自己潤滑性を持ち、ガラス転移温度が低い等の理由から、しゅう動部等に特に使用されている。しかしながら POM の摩擦・摩耗特性はいまだ未解明な部分が多いことから、POM に着目した。我々の研究グループの先行研究ではソーダ石灰ガラスディスクと POM 球を用いたピンオンディスク試験を行うことで、POM の接触面積は摩擦力と線形関係があること、試験時の POM 球表面には摩耗粉が付着していることが明らかになった。そこで、本研究では先行研究での摩耗粉の再付着には凝着力が影響していると考え、摩擦中の凝着力の算出が行えるマイクロトライボロジー試験を実施し、摩擦力・凝着力の温度依存性を測定した。また、汎用プラスチックのポリプロピレン（PP）においても同じ試験条件の試験を実施し、POM と比較することで、POM の摩擦・摩耗特性の解明を目指した。

### 2. 試験

#### 2.1 試験装置

Fig.1 にて試験装置のミリニュートントライボメータの概略図を示す。装置上部には先端に試験球を取り付けたロードセル、装置中央にはピエゾ素子に接続された試験基板、装置下部には光学顕微鏡を設置している。ピエゾ素子によって試験基板を微小変動させることにより基板を試験球に押し付けて、mN 単位の荷重を発生させ、摩擦した。その時の荷重・摩擦力をロードセルによって測定した。また、試験基板には温度調節コントローラーを接続することで、基板の温度を調節可能にした。試験中には光学顕微鏡を用いて摩擦界面を下からその場観察した。また、その場観察した映像から接触面積を算出した。

#### 2.2 試験条件

試験球には POM, PP の  $\phi 1/8$  インチ（3.175mm）球を使用し、摩擦相手であるディスクの材料にはその場観察を可能にするために透明であるソーダ石灰ガラスを使用した。また、しゅう動幅を  $315\mu\text{m}$ 、しゅう動周波数を  $0.25\text{Hz}$ 、対物レンズ倍率を  $\times 10$ 、潤滑条件を乾燥潤滑とした。試験温度は POM の融点が約  $165^\circ\text{C}$ 、PP が約  $160^\circ\text{C}$  であることから試験の最大温度が  $140^\circ\text{C}$  の、室温（約  $20^\circ\text{C}$ ）、 $40^\circ\text{C}$ 、 $60^\circ\text{C}$ 、 $80^\circ\text{C}$ 、 $100^\circ\text{C}$ 、 $120^\circ\text{C}$ 、 $140^\circ\text{C}$  とした。また、それぞれの温度条件で荷重  $15\text{mN} \rightarrow 14\text{mN} \rightarrow 13\text{mN} \rightarrow \dots \rightarrow 7\text{mN} \rightarrow 6\text{mN} \rightarrow 5\text{mN}$  の順番でそれぞれの摩擦力を測定し、 $F = \mu(L_N + L_A)$ （ $L_N$ ：垂直荷重、 $L_A$ ：凝着力）<sup>(1)</sup> の式から、各温度での凝着力、摩擦係数を算出した。試験は各球、室温から  $140^\circ\text{C}$  の低温側から順番に実施した。

### 3. 結果と考察

Fig.2 に荷重  $10\text{mN}$  時の室温、 $60^\circ\text{C}$ 、 $100^\circ\text{C}$ 、 $140^\circ\text{C}$  における POM, PP の接触面画像を示す。また、Fig.3 には縦軸に接触面積、横軸に摩擦界面温度をとっており、POM の  $10\text{mN}$  時の接触面積の温度推移を示している。Fig.2,3 より、接触面積は摩擦界面温度が上がるにつれて大きくなった。これは温度が上がることで POM の弾性率が下がっているからで室温から  $140^\circ\text{C}$  では 5～10 倍ほど接触面積が大きくなった。また、接触面の形が円形ではないのは、低荷重であり面圧が小さいため表面の凹凸が完全につぶれていないからだと考えられる。

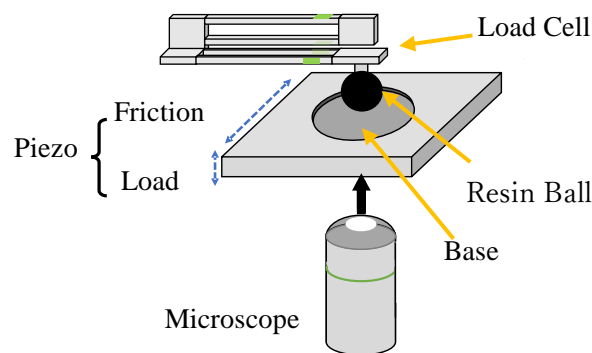


Fig.1 Schematic of the milli tribometer

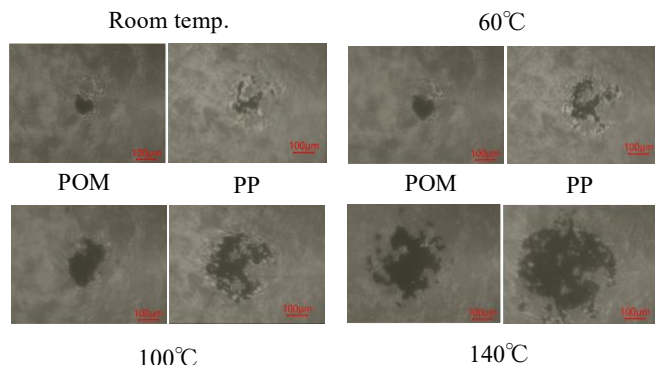


Fig.2 Contact surface image at  $10\text{mN}$

Fig.4 と Fig.5 では縦軸に摩擦係数, 横軸に摩擦界面温度をとっており, POM と PP のそれぞれの摩擦係数の温度推移を示している. 試験は POM では異なる 4 つの球, Ball No.1 から Ball No.4, PP では異なる 3 つの球, Ball No.1 から Ball No.3 と名付けているが, これらすべて同じ摩擦条件で行った. Fig.4 より, POM の摩擦係数は摩擦界面温度にかかわらず, ほぼ一定であった. Fig.5 より, PP の摩擦係数には減少傾向があった. また, 摩擦係数の値は, 低温では POM のほうが PP よりも小さく, 高温ではほとんど同じくらいの値であった.

Fig.4,5 で示したように POM では摩擦係数は摩擦界面温度によらずほぼ一定で, PP では摩擦界面温度が上がるにつれて摩擦係数は減少した. Fig.2,3 から接触面積は温度が上がるにつれ増加することが明らかになった. つまり, せん断応力 (=摩擦力/接触面積) は温度が上がるにつれて減少する. また, POM のせん断弾性率は, 温度が上がるにつれ減少する傾向がある. したがって, せん断応力とせん断弾性率は同じ減少傾向であり, せん断弾性率が下がり, POM 内部が変形しやすくなることで, せん断応力が小さくなっていると考えられる.

Fig.6,7 では縦軸に凝着力, 横軸に摩擦界面温度をとっており, POM と PP の凝着力の温度推移を示している. POM, PP どちらも温度が上がるにつれて凝着力は大きくなっており, 接触面積の増加に伴って大きくなったと考えられる. また, 凝着力の値は POM では最大約 5mN 程であったが, PP では最大約 20mN と POM に比べてかなり大きかった.

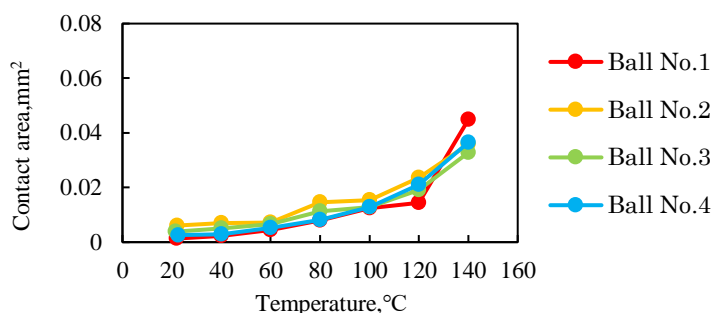


Fig.3 Temperature dependence of contact area (POM)

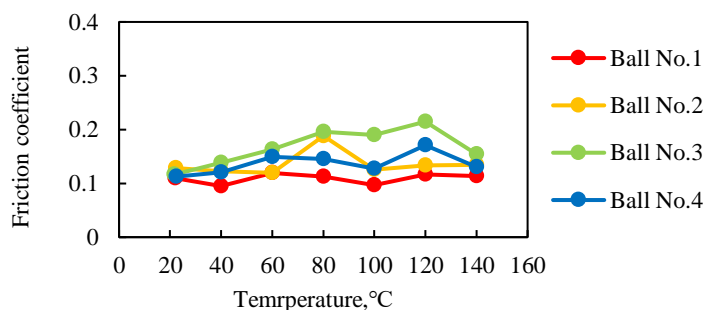


Fig.4 Temperature dependence of friction coefficient (POM)

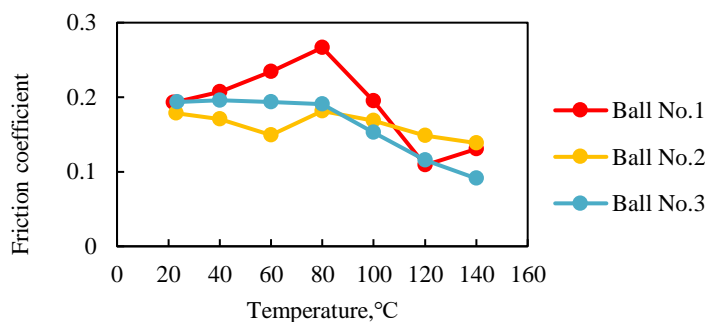


Fig.5 Temperature dependence of friction coefficient (PP)

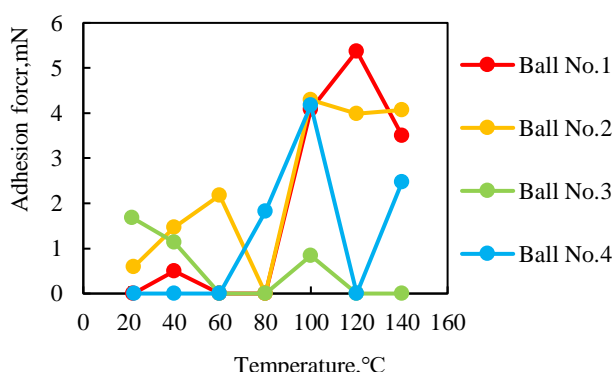


Fig.6 Temperature dependence of adhesion force (POM)

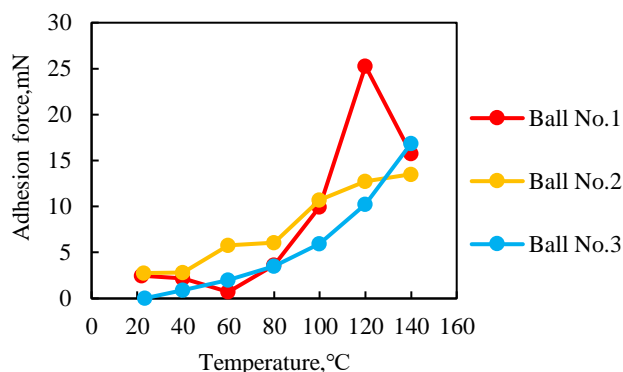


Fig.7 Temperature dependence of adhesion force (PP)

#### 4. おわりに

本研究では, POM と PP の摩擦力・凝着力の温度依存性をマイクロトライボロジー試験で測定した. POM の摩擦係数は温度によらずほとんど一定なのに対し, 接触面積は増加したことから, せん断応力は減少する傾向があった. POM のせん断弾性率は温度が上がるにつれて減少する傾向があるため, POM 内部が変形しやすくなることで, せん断応力が小さくなっていると考えられる. また, 凝着力は温度が高くなると接触面積が大きくなるため増加した. POM と PP の摩擦係数, 凝着力はどちらも POM が PP よりも小さかった.

#### 文献

- 1) 安藤泰久, “マイクロトライボロジー入門”, 米田出版(2009)