

# 樹脂複合材の摩擦・摩耗特性に及ぼす高圧水素雰囲気と試験条件の影響

Effect of high-pressure hydrogen atmosphere and test conditions on friction and wear properties of polymer sealing material

九大・工（正）\*森田 健敬 九大・学（非）石井 康太郎 九大・工（正）澤江 義則

Takehiro Morita\*, koutaro Ishii\*, Yoshinori Sawae\*

\*Kyushu University

## 1. 緒言

高圧水素ガスをエネルギー媒体とする燃料電池自動車や関連水素ガスインフラでは、高圧ガスコンプレッサーや減圧バルブなどにおいて水素ガス中でしゅう動する動的シールとして樹脂複合材料が多数使用されている。これまでに PTFE 系複合材を主に評価を行ってきたが、これらは優れたしゅう動特性を示す一方で環境適合性が高いとは言えず、環境への影響が小さい代替材料への要求が高まっている。そこで本研究ではポリアミドに注目し、ポリアミド、ポリアミド複合材および PTFE 複合材の高圧水素雰囲気と試験条件の影響を検討した。

## 2. 実験装置及び実験方法

実験は、高度雰囲気制御チャンバを有するピン・オン・ディスク摩擦試験機、高度雰囲気制御摩擦試験機<sup>1)</sup>と高圧容器の内部にピン・オン・ディスク型試験機を組み込んだ高圧環境下摩擦試験機<sup>2)</sup>を用いてしゅう動試験を行った。両試験機ともピン試験片を保持しているアームに荷重を負荷し、ディスク試験片下部に取り付けられたモーターを回転させることで一方向回転すべり試験を行った。

ピン試験片として無充てん PA66(記号 A)に加えて、ガラス繊維(GF)を充てんした PA66 複合材(B)、それと炭素繊維(CF)と青銅を充てんした PTFE 複合材(C)を用いた。ディスク試験片にはオーステナイト系ステンレス鋼 SUS316L を使用した。

## 3. 実験結果及び考察

### 3.1. 摩擦試験結果

Figure 1 に実験 1 なじみ試験摩擦係数経時変化を示す。無充てん PA66 は初期摩擦が高く、すぐに振動が大きくなりすべり距離 540m で実験を中断し、複合材 B はすべり距離 4500m 付近までは不安定で上昇傾向にあるが、以降は安定で減少傾向を示した。しかしなじみ後の摩擦が大きく、本試験は行わなかった。PTFE 複合材では、試験初期には高いが、1000m 付近で最低値を示し、8000m までは低く安定した値を示したが、それ以降は摩擦係数の変動が見られたが大きな上昇は見られなかった。

Figure 2 は実験 2,3 の摩擦係数の経時変化を示す。実験 1 で試験を中断してしまった無充てん材 A は実験を行っていない。複合材 B は実験 2 において初期から摩擦係数が大きく、振動が大きくすべり距離 38m と早期に実験を中断した。この実験 No.3 は行っていない。PTFE 複合材 C の実験 2 では、低面圧・高すべり速度実験 1 と実験開始後の摩擦係数は同程度であるがその後、上昇して 30000m までは高いが最終的には 0.05 まで低下、安定した値を示していた。高圧の実験 3 では、低圧試験 2 比較し試験開始 4500m 付近で摩擦の急上昇が見られるものの安定して高い値を示している。

### 3.2 摩耗・表面観察・分析

Table 2,1 に試験片の比摩耗量、Fig.3,4 にレーザー顕微鏡による表面写真と高さ像それと Fig.5 にラマン分光分析結果を示す。

無充てん PA66(A1)は Fig.3 のピン・ディスク試験片ともに

Table 1 Experimental condition

Test No.	1	2	3
Atmosphere	H <sub>2</sub>		
Contact pressure	1MPa	1.8MPa	
Sliding speed	2m/s	0.25m/s	
Sliding distance	20000×2m	4500m	
Gas pressure	0.1MPa	0.1MPa	40MPa

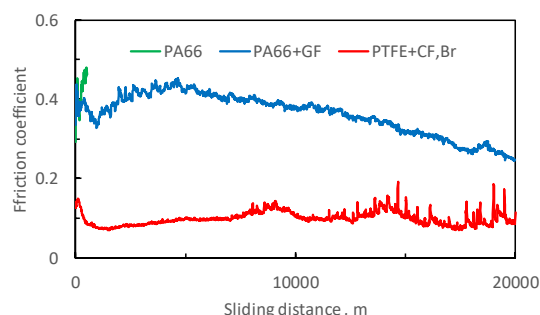


Fig.1 Friction coefficient of test No.1

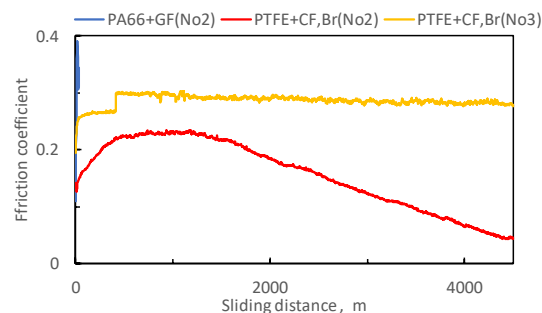


Fig.2 Friction coefficient of test No.2 & 3

Table 2 Specific wear rate of test No.1 mm<sup>3</sup>/Nm

Material	Mode	Pin	Disk
PA66	Run-in	-8.97E-05	9.56E-05
PA66+GR	Run-in	4.72E-05	3.18E-06
PTFE+CF, Bronze	Run-in	3.62E-07	-4.46E-08
	Main	2.34E-07	-4.27E-08

Table 3 Specific wear rate of No.2 & 3 mm<sup>3</sup>/Nm

Pressure	Material	Pin	Disk
0.1MPa	PA66+GR	-3.06E-04	1.61E-04
	PTFE+CF, Bronze	2.53E-07	-8.53E-08
40MPa	Bronze	2.64E-07	9.14E-08

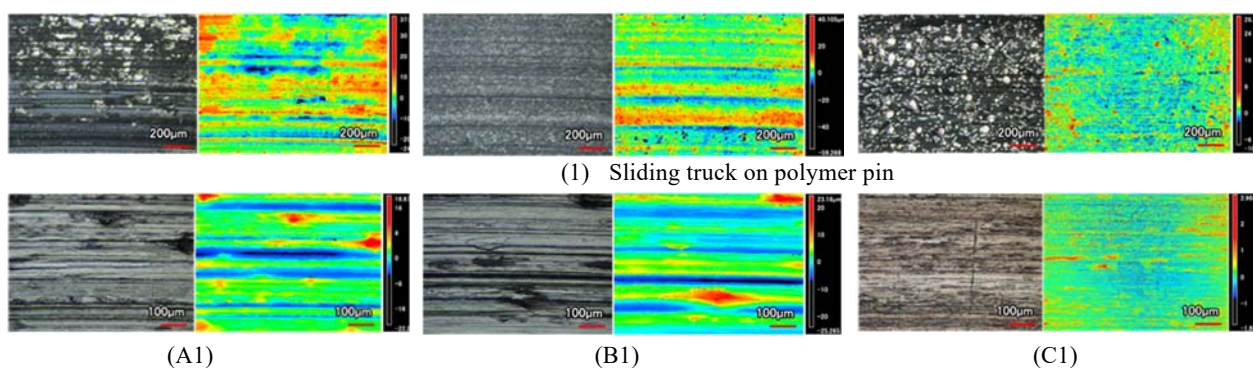


Fig.3 Laser microscopes images of test No.1

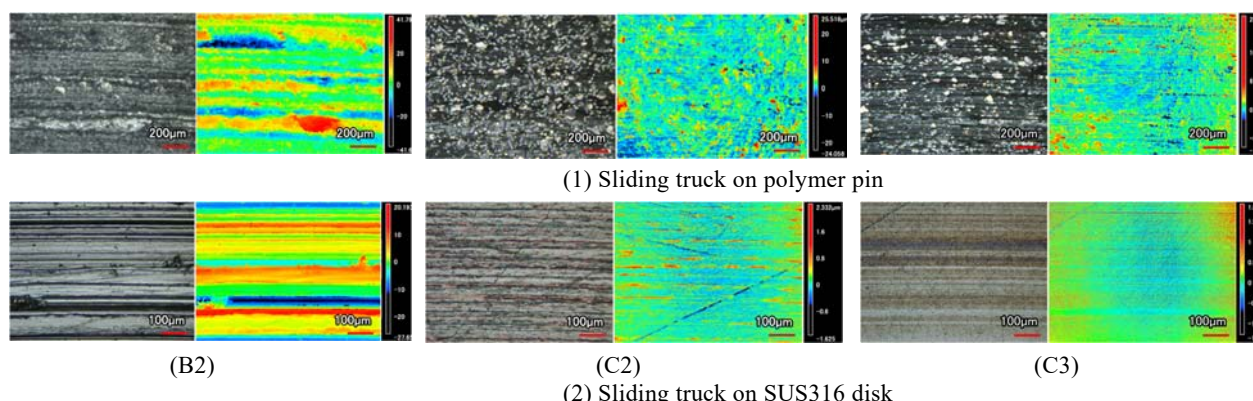


Fig.4 Laser microscopes images of test No.2 & 3

すべり方向に平行なアブレシブ摩耗によるしゅう動痕が見られた。ピンの左上部や中央部の黒色部分や白色部、ディスクの表面の黒色部や白色部も調べたがラマンのピークは確認されなかった。ピン試験片の比摩耗量の減少は相手面金属の移着によるものだと考えられた。

GF 充てん材 B では充てん材の GF が相手面を傷つけ、比摩耗量がピン・ディスクともに増加するが、高面圧・低速度実験 2 では無充てんと同じくピンの比摩耗量の低下が大きく、相手面の比摩耗量は増大した。ピン表面にはしゅう動方向に細長い白色の物質が見られた。これに対応してラマン分析において実験 B1 では、アミド結合による  $1650\text{cm}^{-1}$  付近のピークと  $1450\text{cm}^{-1}$  付近のピークが見られた。実験 B2 において同じようなピークが確認された。

PTFE 複合材では G バンドと D バンドからなるピークが確認される。高圧下の実験 C3 では同じく傾向が見られるものの炭素の強度が極端に低下する部分が見られた (Fig.5 (f))。

#### 4. 結言

ポリアミドに注目し、無充てん PA66, GF 充てん PA66 複合材および PTFE 複合材の水素雰囲気圧力、実験条件影響を検討し、PA66 に GF を充てんすることで摩擦・摩耗はある程度改善されるが条件により相手金属面が移着し振動が発生することがわかった。また、PTFE 複合材はどの条件においても優れた摩擦・摩耗特性を示すことがわかり、水素雰囲気圧力により形成される転移膜が異なることがわかった。

#### 文献

- 1) Y.Sawae et al.: Friction and wear of PTFE composites with different filler in high purity hydrogen gas, Tribology International, 157(2021), 106884
- 2) Y.Sawae et al.: Tribological characterization of polymeric of polymeric sealing materials in high pressure hydrogen gas, Proceedings of the STLE/ASME 2010 International Joint Tribology Conference, October 17-20, 2010

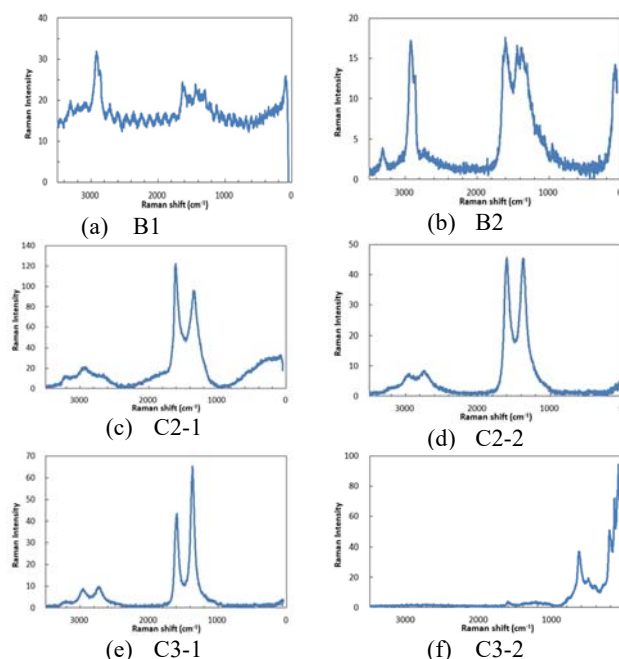


Fig.5 Representative Raman spectrum obtained from sliding track on polymer pin