

# 高純度水素雰囲気における PTFE/PPS 複合材料の摩擦挙動に対する微量水分の影響 Influence of Trace Moisture on the Tribological Behavior of PTFE/PPS Composite in High-Purity Hydrogen Atmosphere

九州大・工（学）\*何 悦      九州大・工（正）新盛 弘法  
九州大・工（正）森田 健敬      九州大・工（正）澤江 義則  
Yue He\*, Hironori Shinmori\*,  
Takehiro Morita\*, Yoshinori Sawae\*  
\* Kyushu University

## 1. はじめに

水素ステーションにて用いられる水素ガス圧縮機のピストンリングには、自己潤滑性に優れる PTFE 複合材が広く使用されている。PTFE はしゅう動時に相手面へ転移膜を形成することで優れた潤滑特性を示す。さらに耐熱性、化学的安定性や成形性などに優れる性能を持つ材料である[1]。しかし、PTFE 単体では機械的強度や耐摩耗性に乏しい。これらを補うために、硬質粒子である Poly Phenylene Sulfide (PPS) を添加した複合材が使用されている。本研究では、PTFE に PPS 粒子を 20vol% 充てんした PTFE/PPS 複合材の摩擦・摩耗に対する、高純度水素ガス中に残存する微量水分の影響を検討した。

## 2. 実験方法

本研究の実験には、高度雰囲気制御ピン・オン・ディスク型摩擦試験機を用いた。PTFE (80vol%) を母材とし、PPS 粒子 (20vol%) を充てんした樹脂複合材をピン試験片とし、ディスク試験片には、マルテンサイト系ステンレス鋼 SUS440C を使用した。Table. 1 に示す摩擦・摩耗試験の試験条件において、各条件で 2 回以上の試験を繰り返し実施した。試験後はピン表面の三次元形態をレーザー顕微鏡で観察し、フーリエ変換赤外分光分析 (FT-IR) と XPS 分析により、ピン表面ならびにディスク上に形成されたトライボ膜の化学組成を調査した。

Atmosphere	H <sub>2</sub>
Contact pressure [MPa]	1, 2
Sliding speed[m/s]	1.0, 2.0, 3.0, 4.0
Temperature [°C]	RT
Sliding distance[m]	30000
Water content	1ppm, 20ppm

Table.1 Experimental condition

## 3. 結果

### 3.1 摩擦試験

Fig.1 に PV 値（滑り速度×接触圧力）1, 2, 4, 6, 8 での摩擦係数をそれぞれ示す（マーカーは複数回の試験の平均値を示し、エラーバーは各条件で観測された最大値と最小値の範囲を示す）。水分量に関係なく、PV 値 1 から 6 まで、全体的に低摩擦を示した。しかし、PV 値 8 になると、摩擦係数が急上昇し、過大摩耗を生じたため、試験を中断した。

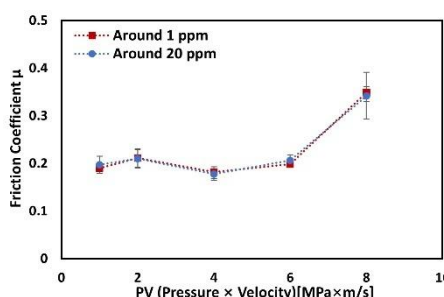


Fig.1 Friction

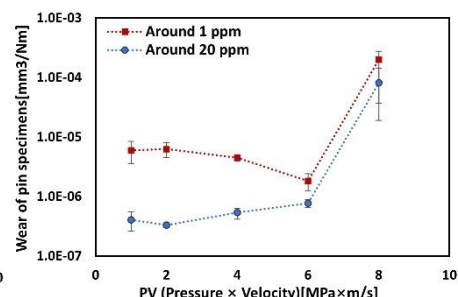


Fig.2 Wear rate of pin specimens

Fig.2 に PV 値 1, 2, 4, 6, 8 における比摩耗量を示す。PV 値 1 から 6 まで、水分量が 20 ppm の場合、1 ppm と比較して比摩耗量が少なくなった。しかし、20 ppm では PV 値の増加に伴い摩耗が増加する一方、1 ppm では PV 値の増加に伴い摩耗が減少する傾向が見られた。また、PV 値が 8 になると、比摩耗量が急激に増加し、低水分量と高水分量の相違は見られなかった。

### 3.2 IR 分析

Fig.3 に、滑り速度 2 m/s と 3 m/s、接触圧力 2 MPa での試験後のディスク表面について、ピンからの移着した移着物から取得した IR スペクトルを示す。Fig.3 (a) では、1200cm<sup>-1</sup> 付近に PTFE の CF<sub>2</sub> 結合に由来する 2 つの大きなピークが確認できる。加えて、PTFE の転移膜が形成される際に形成される CF<sub>2</sub> 基の対称伸縮振動に関連する 1253 cm<sup>-1</sup> 付近のピーク生成も確認できた[2]。また、PPS に由来するピークが 820cm<sup>-1</sup>, 1011cm<sup>-1</sup>, 1076~1094cm<sup>-1</sup>, 1390cm<sup>-1</sup>, 1472cm<sup>-1</sup>, 1573cm<sup>-1</sup>

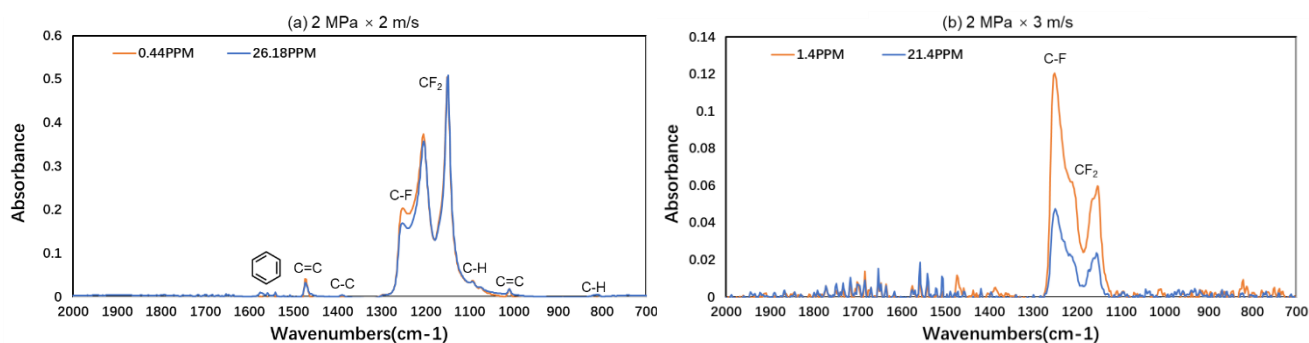


Fig.3 Reflection-IR spectra from disk surface after sliding

<sup>1</sup>にそれぞれ確認できる[3]。しかし、Fig.3 (b)で、速度が3m/sまで増えると、ディスク表面への転移膜形成が減少し、PPS由来であるピークがなくなると共に、また1253 cm<sup>-1</sup>付近のピークが強くなった。

### 3.3 XPS 分析

すべり速度2m/s、表面圧力2MPaおよびすべり速度3m/s、表面圧力2MPaでの試験において、ディスク試験片に残ったしゅう動痕からXPS分析により得たフッ素、酸素、および硫黄のスペクトルをFig.4に示す。フッ素のスペクトルでは、689eV付近にc-f結合由来のピークが全ての条件で確認された。一方、685eV付近のフッ化金属由来のピークは、PV4で比較すると、水分が1ppm程度では、20ppm程度と比較し低くなっているが、PV6になると1ppm程度でも高くなっている。フッ化金属由来のピークが弱いPV4、1ppm程度の条件では、硫黄のスペクトルの164eV付近にPPS由来のピークが確認された。

### 4. 考察

本研究において評価したPPS充てんPTFEは、PV値6までは安定した摩擦・摩擦耗を示した。この領域では、水素ガス中の水分量が1ppm程度になると、20ppm程度の場合と比較し比摩擦耗量が大きいの。FT-IR分析およびXPS分析の結果から、20ppmの水分が存在することで相手面上にフッ化金属が形成され、これがPPS移着の抑制に貢献した。水分量の相違により、PV値の影響も異なる。1ppm程度では、PV値が低い場合、フッ化金属が形成できなかったが、PV値の増加により金属フッ化物の形成が促進され、それによってPPSの移着が抑制され、摩擦耗が減少した。一方、水分量が20ppm程度では、水分の作用によってフッ化金属が形成されたが、PV値が増大すると転移膜形成量が減少し、その結果、摩擦耗が増加した。

### 5. 結言

PPS充てんPTFEの摩擦・摩擦耗は高純度水素ガス中に残存する微量水分の影響を強く受けることが示された。微量水分は金属相手面表面に形成されるフッ化金属量に影響し、水分量が1ppm程度まで減少すると、形成されるフッ化金属が減少し、その結果充てん材であるPPSの移着が増加し、複合材自体の摩擦耗量が増加した。

[1] Brian J. Briscoe, et al. Wear, 108, (1986) ,357-374

[2] Kathryn L. Harris, et al. Macromolecules 2015, 48, 3739-3745

[3] Zhuangzhu Luo, et al. Surface & Coatings Technology 203, 2009, 1516-1522.

トライボロジー会議 2025 春 東京 予稿集

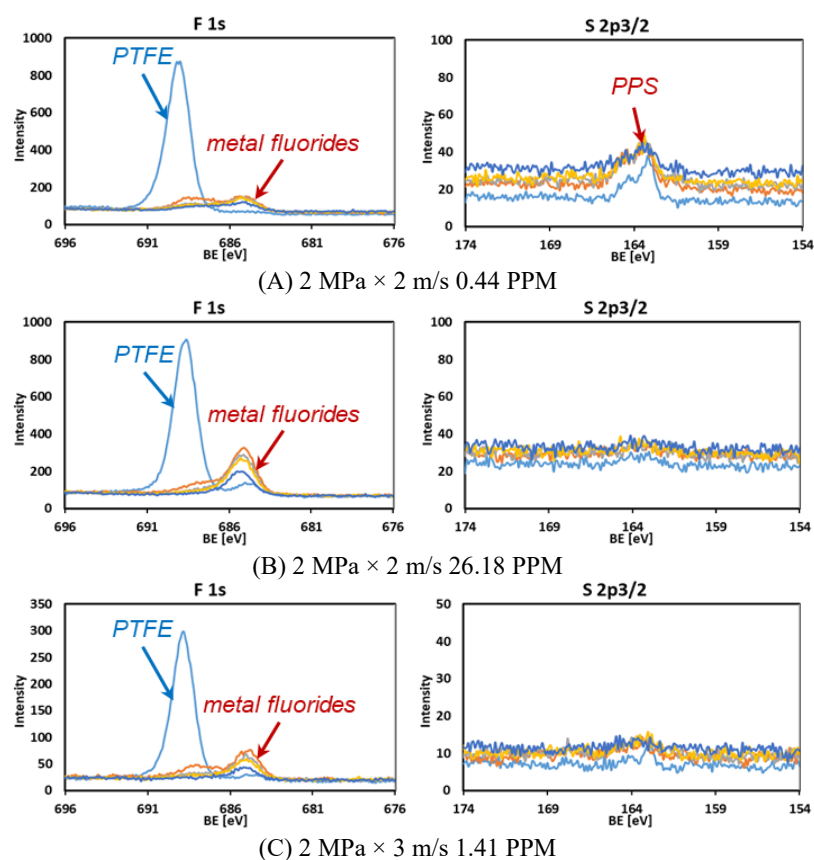


Fig.4 ATR-IR spectra from pin surface after sliding tests