

## 高純度水素雰囲気における PTFE/PPS 複合材の摩擦・摩耗特性

Friction and wear of PTFE/PPS composite in high-purity hydrogen gas environment

九州大・工（学）何 悦      九州大・工（正）新盛 弘法      九州大・工（正）陳 乾

九州大・工（正）森田 健敬      九州大・工（正）澤江 義則

Yue He\*, Hironori Shinmori\*, Qian Chen\*,

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実用されている。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。摩擦・摩耗試験の試験条件を Table.1 に示す。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転移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, 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, 8 での摩擦係数をそれぞれ示す。水分量に関係なく、PV 値 1 から 4 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。

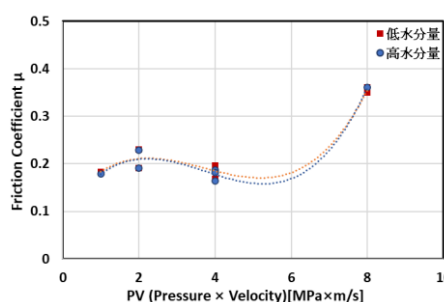


Fig.1 Friction

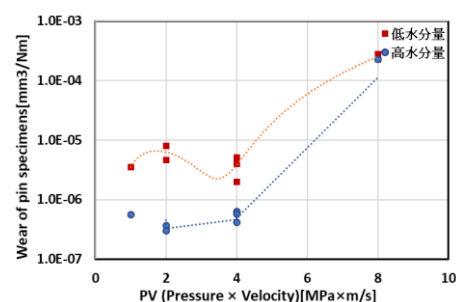


Fig.2 Wear rate of pin specimens

Fig.2 に PV 値 1, 2, 4, 8 における比摩耗量を示す。PV 値 1 から 4 まで比摩耗量は安定しており、水分量 20 ppm では 1 ppm と比較し比摩耗量が 10 分の 1 程度となった。PV 値は 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 と Fig.4 に、滑り速度 2m/s、接触圧力 2MPa 条件での試験後のピン表面およびディスク表面から取得した IR スペクトルを示す。ディスク表面ではピンからの移着した部分、ピン表面では PPS 粒子が視認されない部分からスペクトルを取得した。

Fig.3 では、1200cm<sup>-1</sup> 付近に PTFE の CF<sub>2</sub> 結合由来にする 2 つの大きなピークにが確認できる。加え

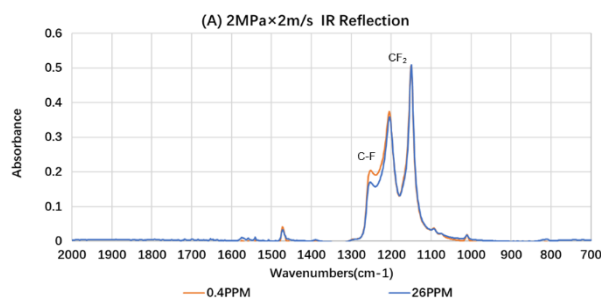


Fig.3 Reflection-IR spectra from disk surface after sliding

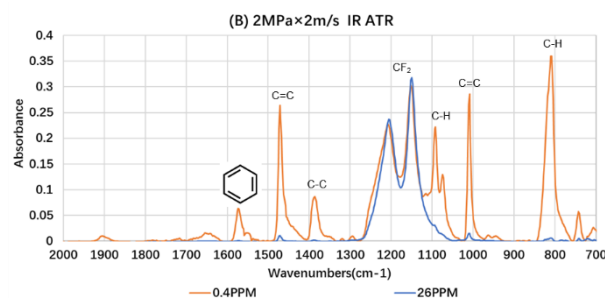


Fig.4 ATR-IR spectra from pin surface after sliding tests

て、PTFE の転移膜が形成される際に形成される  $\text{CF}_2$  基の対称伸縮振動に関連している  $1253 \text{ cm}^{-1}$  ピークの生成も確認できた[2].

Fig. 4 でも、 $1200 \text{ cm}^{-1}$  付近に PTFE に由来するピークにが確認できる. また、低水分量の場合、PPS 由来であるピークが  $820 \text{ cm}^{-1}$ ,  $1011 \text{ cm}^{-1}$ ,  $1076 \sim 1094 \text{ cm}^{-1}$ ,  $1390 \text{ cm}^{-1}$ ,  $1472 \text{ cm}^{-1}$ ,  $1573 \text{ cm}^{-1}$  にそれぞれ確認できる. 高水分量の場合も PPS に関するピークが認められるものの信号強度が低くなっている.

### 3.3 XPS 分析

すべり速度  $2 \text{ m/s}$ , 表面圧力  $2 \text{ MPa}$  での試験後のディスク試験片に残ったしゅう動痕について、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. 5 に示す. フッ素のスペクトルでは、 $689 \text{ eV}$  付近に  $\text{c-f}$  結合由来のピークが水分量関係なくで確認できた. 一方、 $685 \text{ eV}$  付近のフッ化金属由来のピークは、低水分量では低く、高水分量では強くなっている. 硫黄のスペクトルから、低水分量では、 $164 \text{ eV}$  付近に PPS とその分解生成物由来のピークが確認できた.

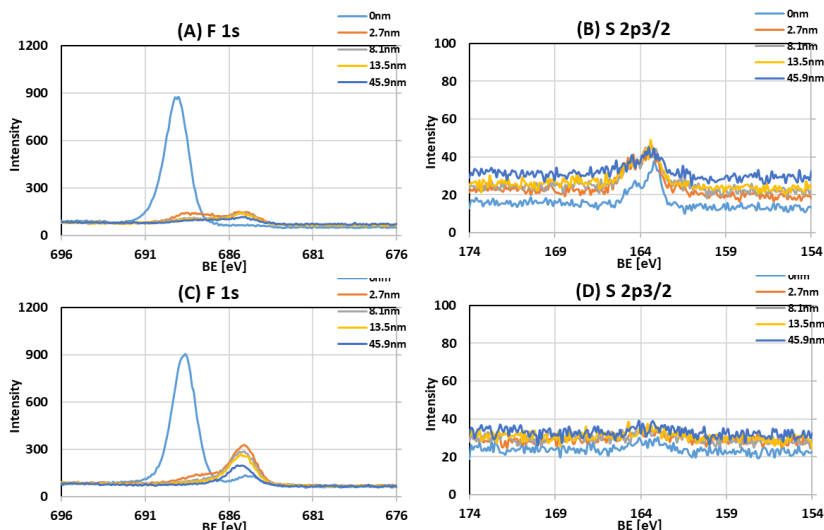


Fig.5 ATR-IR spectra from pin surface after sliding tests in  $2 \text{ MPa} \times 2 \text{ m/s}$ ,

(A) (B) in Low water content, (C) (D) in High water content

### 4. 考察

本研究において評価した PPS 充てん PTFE は、PV 値 4 までは安定した摩擦・摩耗を示した. この領域では、水素ガス中の水分量が  $1 \text{ ppm}$  程度になると、 $20 \text{ ppm}$  程度の場合と比較し比摩耗量が 10 倍程度に増加した. FT-IR 分析および XPS 分析の結果から、 $20 \text{ ppm}$  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 PTFE による転移膜形成に貢献したことが示唆された. 水分量が  $1 \text{ ppm}$  程度になると、フッ化金属の形成が抑制され PTFE による転移膜形成が不十分となり、その結果充てんされた PPS がディスク表面に移着・摩耗してしまい、複合材の比摩耗量が著しく増加したと考えられる.

### 5. 結言

PS 充てん PTFE の摩擦・摩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、水分量が  $1 \text{ ppm}$  程度になると比摩耗量が 10 倍程度増加することが示された. これは、水分量の減少により相手側表面へのフッ化金属形成が抑制され、PTFE を主とする転移膜形成が不十分となり、その結果、接触面で荷重を支持する PPS 粒子が相手面に移着・摩耗するためである.

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

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