

水素環境下で摩耗したシリコンゴム表面の調査

Investigation on Wear Behavior of Silicone Rubber Surfaces in Hydrogen Environment

NOK(正)*青柳 彩子 NOK(正)橋本 光 NOK(正)本田 重信

九大(正)田中 宏昌 九大(正)森田 健敬 九大(正)澤江 義則 九大(正)杉村 丈一

Ayako Aoyagi*, Hikaru Hashimoto*, Shigenobu Honda*,

Hiroyoshi Tanaka**, Takehiro Morita**, Yoshinori Sawae**, Joichi Sugimura**

*NOK CORPORATION, **Kyushu University

1. 緒言

高圧水素用ガスタンクに使用されるゴム製 O リングは実用環境を想定した水素ガスの加圧-減圧サイクルを与える
と、O リング表面に摩耗が発生することが確認されている¹⁾。これは装着溝内で O リングの体積変化が起こった際²⁾
の微小なしゅう動が要因であると推定されている。また、ゴムの摩擦には水素が影響することが報告されている³⁾。本
研究ではゴムの摩耗への水素の影響を明らかにすることを目的に、水素中でのゴムの摩耗特性を調査した。

2. 実験方法

実験に用いた水素中摩擦試験機を Fig. 1 に示す。チャンパー内に
設置したピンオンディスク装置を用い、シリコンゴムを加硫成型
して作製したゴムピンに対し SUS316L 製のディスクを相手材とし
て往復動摩擦試験を実施した。チャンパーをスクロール真空ポンプ
とターボ分子真空ポンプで事前排気した後、内部にガスを導入して
常圧まで昇圧し、排気口を開放した状態でガスをチャンパーに流し
続けた。チャンパーから出たガスの水分量は水分センサーにより測
定した。荷重と摩擦力は 2 軸のロードセルを用いて測定した。Figure
2 に、摩擦試験中のディスクのしゅう動速度とディスクに対するゴ
ムピンの相対変位を示した。摩擦係数は各往復サイクル中の最大摩
擦係数をサイクル数に対してプロットした。

実験に用いたシリコンゴムの機械物性を Table 1 に示す。この
ゴムは主にシリコンポリマーとシリカフィラーで構成されてい
る。ガスは純度 99.999 % の水素ガスに対して、水分コントロール設
備³⁾を用いて雰囲気ガスの水分量を調整した。水素中の水分含有量
は 0.4~0.9 ppm (乾燥水素) および 83~110 ppm (湿潤水素) であ
った。空気中の水分含有量は 1.4~2.0 ppm (乾燥空気) であった。
摩擦試験後のゴム表面は、光学顕微鏡観察および、顕微赤外分光法
(顕微 FT-IR 法) による分析を行った。

3. 結果

各種雰囲気下での摩擦係数の推移を Fig. 3 に示す。どの条件にお
いても摩擦係数は開始後増加し、800~900 サイクル目経過時点で
減少に転じた。減少に転じた後の摩擦係数は乾燥水素中、湿潤水素
中、乾燥空気中の順に大きかった。

摩擦試験後のゴムおよび相手材表面の光学顕微鏡写真を Fig. 4 に
示す。乾燥水素中試験後のゴム表面と乾燥空気中試験後のゴム表面
の様相に大きな違いは見られなかった。湿潤水素中試験後のゴム表
面には摩耗痕が多く観察され、このとき、相手材にも摩耗痕が観察
された。

乾燥水素中および湿潤水素中試験後のゴム表面の顕微 FT-IR 分析
を行った。得られたスペクトルのうち 950 cm⁻¹ から 1250 cm⁻¹ の間
の吸収強度を Fig. 5 に示す。この吸収バンドは、シリコンゴム中
に含まれるシリカフィラーの Si-O 結合由来のピークと一致する。
乾燥水素中試験後ゴム表面のしゅう動部においては、測定位置によ
る吸収強度の違いはなかった。一方で、湿潤水素中試験後サンプル

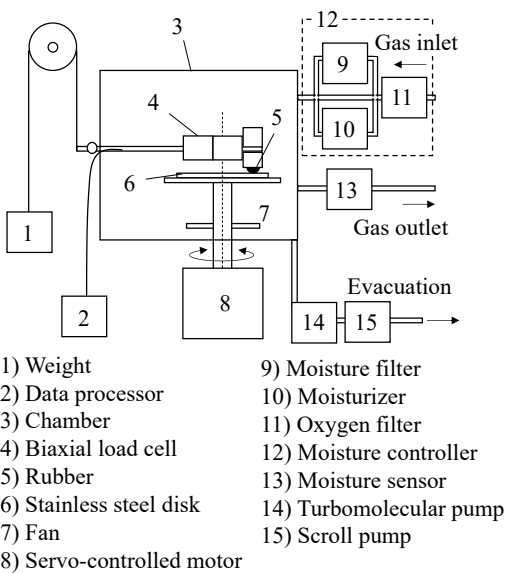


Fig. 1 Schematic diagram of pin-on-disk tribometer equipped with atmosphere control system

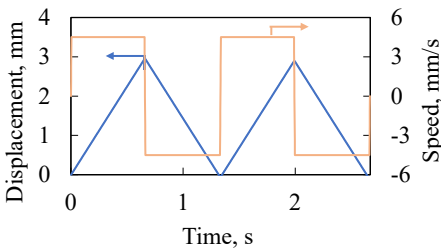


Fig. 2 Motion of servo-controlled motor

Table 1 Physical properties

	VMQ
Hardness, Duro A	81
Tensile strength, MPa	11.0
Elongation, %	310

のしゅう動部においては、摩擦試験時の接触域の中心に近いほど、シリカフィラーと推定されるピークの吸収強度が高かった。

4. 考察

乾燥水素中の摩擦係数は、乾燥空気中および湿潤水素中の摩擦係数よりも高かった。これは、シリコンゴムと SUS316L の凝着力がガス雰囲気により異なることを示唆している。

湿潤水素中で試験したゴム表面においては、しゅう動部の中心付近ではしゅう動部の周縁部付近よりもシリカフィラーが多く検出された。これはゴム表面のシリコンゴムが減少し、シリカフィラーが露出したことを示唆している。ディスクの摩耗痕はゴム表面に露出したシリカフィラーとのしゅう動が原因の可能性がある。

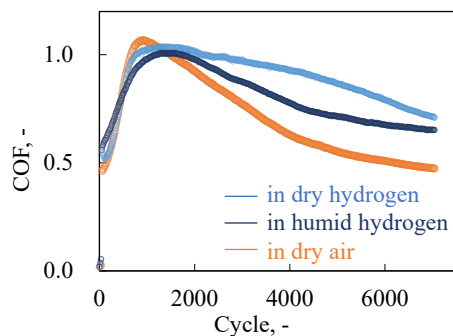


Fig. 3 Variations of maximum friction coefficient

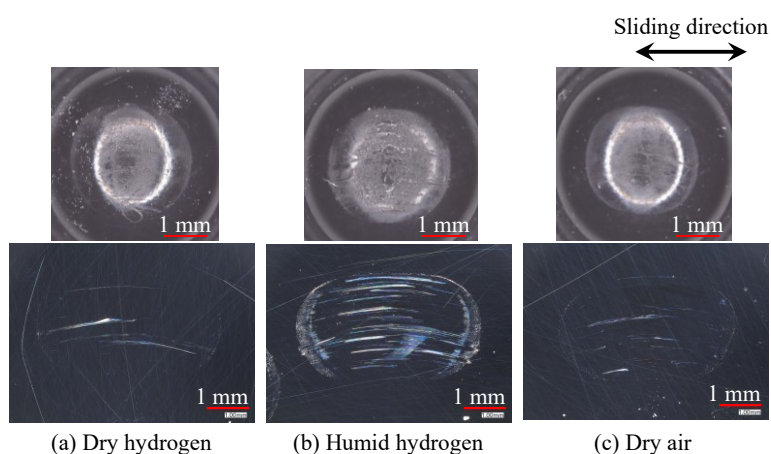


Fig. 4 Microscopic images of rubber and disk surface after sliding test

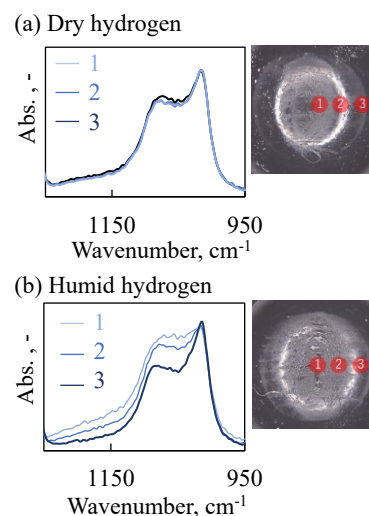


Fig. 5 FT-IR spectra and microscopic images of rubber after sliding test

5. 結言

水素がゴムの摩耗に及ぼす影響を明らかにするため、異なるガス雰囲気中で往復動摩擦試験を行った。その結果、シリコンゴムと SUS316L の摩擦力は、含有水分量が同程度であれば、水素中では空気中に比べて高いことが示唆された。また水素中では水分量が高いほど摩耗が大きくなり、このときしゅう動部の中央部ではシリカフィラーが露出している可能性が示唆された。

謝辞

本成果の一部は JST および BMBF (The Federal Ministry of Education and Research) より資金提供を受けた SICORP プロジェクト(JPMJSC2121)の一環で行われ、九州大学水素材料先端科学研究センター(HYDROGENIUS)の装置を借用して実施したものである。

文献

- 1) 山辺・古賀・西村: 高圧水素ガス環境下におけるエチレンプロピレンゴム製シール材の破壊現象と水素透過特性, 日本ゴム協会誌, 83, 6 (2010) 159.
- 2) 竹越・市川・林・鈴木: 高圧水素の繰り返し負荷による O リングの摩耗, トライボロジー会議 2017 秋 高松 予稿集 (2017).
- 3) K. Furusho, H. Tanaka, K. Yagi, Y. Sawae & S. Honda: Reciprocating Sliding Test of Rubbers in Hydrogen, ITC Fukuoka 2023, Japan, 2023, 6H03.
- 4) 福田・橋本・杉村: 鋼の摩擦摩耗特性に及ぼす水素雰囲気中の微量不純物の影響, トライボロジスト, 55, 1 (2010) 53.