

水素施設用ゴム O リングの摩擦摩耗特性

Friction and wear characteristics of rubber O-rings for hydrogen facilities

九大・工（正）*田中宏昌 NOK(株)（正）青柳彩子 BAM（非）Géraldine Theiler FTI（非）Emiel Dobbelaar, NOK(株)（正）本田重信 九大・工（正）澤江義則

Hiroyoshi Tanaka*, Ayako Aoyagi**, Géraldine Theiler ***, Emiel Dobbelaar****, Shigenobu Honda**, Yoshinori Sawae*

*Kyushu University, **NOK Corporation, ***Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung(BAM), ****Freudenberg Technology Innovation SE & Co. KG

1. はじめに

水素利用機器においては、高圧水素ガスをシールするためにゴム製 O-ring が多く利用されている。O-ring は用いられる機器により高温または低温環境において繰返し圧力負荷を受けるため、O-ring 溝内で容器表面と相対運動を繰り返す、ゴム表面に摩耗を生じることがある。O リングの密封機構は面圧による相手面への押し付け時にシールラインと呼ばれる連続した接触部の形成によるものとされ、それが摩耗により途切れることでリークにつながる可能性がある。そのため、ゴム表面の摩擦摩耗特性を把握することが重要となる。

上のことを踏まえ、本研究ではゴム製 O-ring の摩擦摩耗特性を調査した。機器それぞれの雰囲気条件下での摩擦試験を模擬するために、著者らの所属する各々の研究機関の複数の摩擦試験機を用いた。一部の試験は高圧水素ガス環境を模擬するために高圧(40MPa)水素下で摩擦試験を行い、また一部の試験は極低温(−100℃)水素環境下で試験を行った。また、装置間、研究機関間での試験結果の相違を確認するために、試験データを比較して相互に妥当性を確認した。

2. 試験方法

Figure 1 に本研究において、すべての試験に供したゴム試験片、および摩擦相手面であるディスク試験片の形状を示す。ゴム試験片の材料は従来材(以降 Conventional 材)に加え、Life cycle assessment を意識して開発された Sustainable 材を用意した。本研究で使用したゴム材料を Table 1 に示す。VMQ はシリコンゴムであり、高圧水素機器の O-ring 材として広く用いられている。FKM はフッ素系ゴムであり、これも高圧水素容器にしばしば用いられる。一方、NR（天然ゴム）は本試験において Sustainable 材の位置づけであり、HNBR（水素化ニトリルゴム）では Conventional 材に加えて Life cycle assessment において環境負荷の小さい Sustainable 材を準備した。摩擦試験はピンをゴム試験片としてディスク（またはプレート）を回転往復（または往復）させる往復動摩擦試験を実施した。試験条件を Table 2 に示す。

ゴム試験片の摩耗量を計測するために二つの研究機関でそれぞれに所有する共焦点レーザ顕微鏡を用いた。3D プロファイルを取得したうえで球体からの体積変化を摩耗体積とした。これは、摩擦試験の準備として真空引きしたり、加熱したりするとそれだけで重量変化が現れることを考慮したためである。

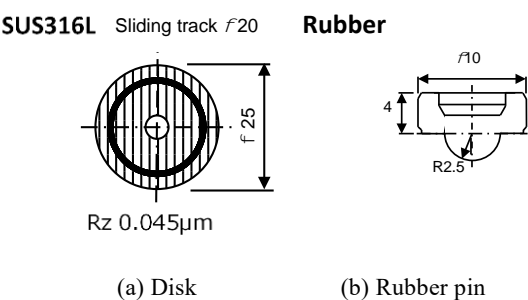


Fig. 1 Test specimens

Table 1 Test conditions	
Load, N	5
Stroke, mm	3, 1(High pressure hydrogen test)
Sliding velocity, mm/s	6
Temperature, °C	-100, R.T., 80
Environmental gases	Hydrogen, Air
Gas pressure, MPa	0.1, 40

Table 2 Rubber materials						
	VMQ1	FKM1	NR	NR4 b	90HN BR1	90HN BRs
Hardness, IRHD	81	93	74	80	89	89
Tensile stress, MPa	11	15.7	21.4	22.6	31.6	32.4
Elongation, %	310	140	436	150	188	213

3. 試験結果と考察

Figure 2 に BAM で実施された試験において計測された摩耗量を示す。VMQ1 は Conventional 材であるが、他のゴムと比較して優れた摩擦摩耗特性を示すわけではなく、Conventional 材に比べ Sustainable 材が比較的低摩耗を示すことが分かった。NR 材はいずれも低摩耗を示すが、摩擦係数は比較的高い。九大で実施された試験の摩擦カーブを確認す

ると、三角波に近い挙動を示しており、往復動試験において、ゴム表面ですべりが生じていないことが示された(Fig. 3(a)). 従来材の選定においては摩擦摩耗特性以上に他の因子、例えば低温、高温特性やブリスト等損傷の回避に重きが置かれており、摩擦摩耗という観点での配慮がなされていない可能性を示唆する。従って、今後の高圧水素機器に対する O-ring 用ゴム材料の選定に摩擦摩耗特性という新しい視点が必要となるのか慎重に検討する必要がある。

高温試験においては、NR 材の摩擦係数が軒並み大きく低下することが確認された。摩擦挙動において温度依存性が大きいことは O-ring の滑りや変形が温度に大きく依存することを示すため、O-ring の耐久性にとって望ましい現象なのか精査する必要がある。その中で、NR4b は NR 材の中では比較的高温においても室温に比べて摩擦係数の低下が小さいことが確認された(Fig. 3(b)). NR 材の配合を工夫することで必要な特性を付与することができれば、NR 材は高圧水素環境下で使用可能な候補材となりうる。

Figure 4 に BAM で実施された低温試験を含む NR4b の摩擦試験結果を示す、低温に特徴的なゴムの硬化による摩擦・摩耗の低下が各ゴムで確認された。本研究において用いたゴム種の範囲では硬化がゴムの摩擦摩耗に及ぼす影響においてゴム種の影響は大きくなかった。

高圧水素環境摩擦試験においては、機器の制限により 1mm ストロークでの実験となった。従って、すべてのゴム種で顕著な表面すべりは発生せず、摩耗は低いレベルに抑えられた。このことは高圧水素ガス環境であっても、O-ring の溝内での挙動を適切に管理すれば摩耗、ひいてはリークを押さえることができる証左である。

4. おわりに

各種ゴム材料を用いた水素環境下での摩擦摩耗試験を行った。従来材(VMQ,FKM 等)と比較して,NR(天然ゴム)やHNBR ゴムは低摩耗を示した。極低温水素環境下では各種ゴムは低摩耗を示し、一方高温環境下では NR ゴムに顕著な摩擦係数の低下が確認された。ただし、各ゴムの配合を工夫することで、高圧水素環境適合 O-ring の候補材が広がる可能性がある。

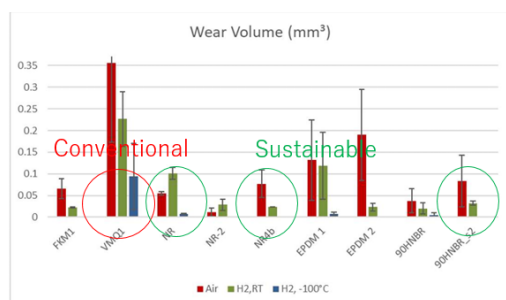


Fig. 2 Wear volume of rubber samples after the test

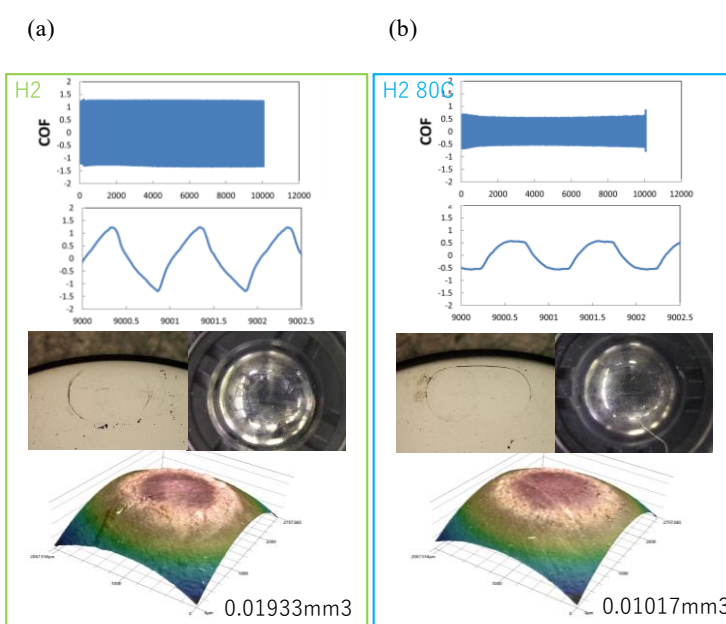


Fig. 3 Overview of NR4b test
(a) in hydrogen and (b) high temperature hydrogen

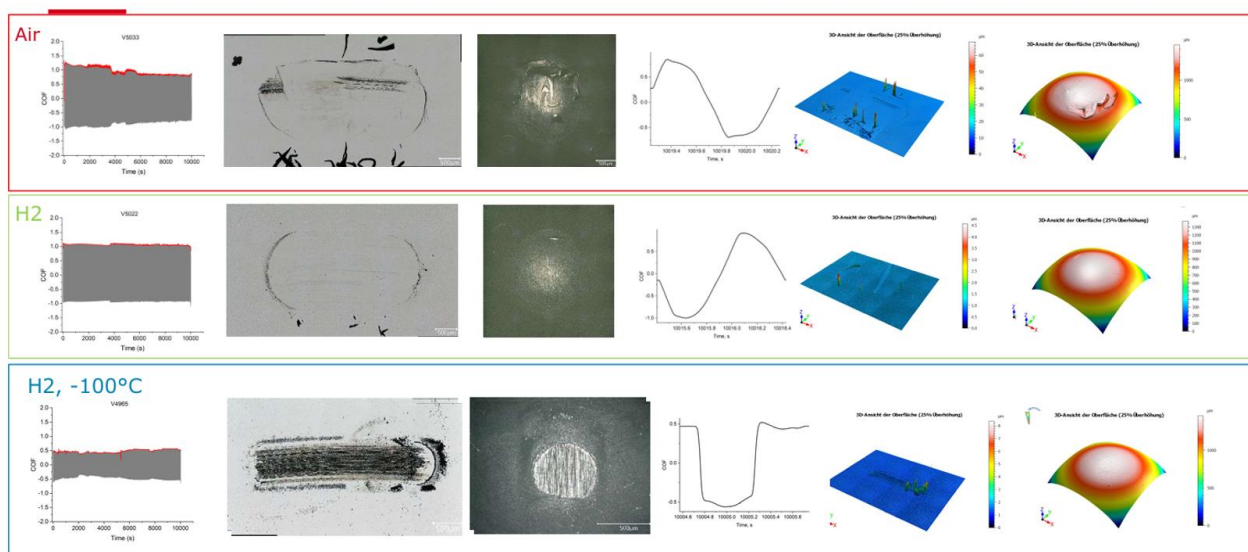


Fig. 4 NR4b tested in air, hydrogen and low temperature hydrogen