

水素ステーション向け液体水素昇圧ポンプにおけるトライボロジー課題への取組

Activities for tribological issues of liquid hydrogen booster pump for hydrogen refueling stations

三菱重工業(株) (正) *林 慎之 三菱重工業(株) (非) 鶴岡 誠司 三菱重工業(株) (非) 諫山 秀一
 三菱重工業(株) (非) 木原 勇一 三菱重工業(株) (正) 石崎 達也 三菱重工業(株) (非) 関原 傑
 三菱重工業(株) (非) 藤原 直子 三菱重工業(株) (非) 清水 弘 三菱重工業(株) (非) 光田 公彦
 三菱重工業(株) (非) 松林 利樹

Noriyuki Hayashi*, Seiji Tsuruoka*, Shuichi Isayama*, Yuichi Kihara*, Tatsuya Ishizaki*, Masaru Sekihara*,

Naoko Fujiwara*, Hiroshi Shimizu*, Kimihiko Mitsuda*, Toshiki Matsubayashi*

*Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.

1. はじめに

脱炭素化を目指した水素の利活用の一環として、燃料電池による発電技術があり、それを適用した燃料電池車 (FCV) の開発が自動車メーカー各社にて推進されている。一方、FCV の航続距離を延ばす観点から、水素の高圧充填が主流となり、水素ステーションでは貯留されている水素を充填圧よりも高いレベルにまで加圧する必要がある。著者らは、従来のコンプレッサ式の昇圧システムに比べ、水素供給能力、エネルギー消費、設置スペースの面で有利である液体水素昇圧ポンプの開発を推進し、性能・信頼性に関する各種評価を実施している¹⁾。

液体水素昇圧ポンプには、水素環境、特に極低温の液体水素環境で使用される機械要素が存在し、そのトライボロジー関連の評価が必要である。一方、液体水素環境下での摩擦摩耗評価事例²⁾は少ないのが現状である。そこで、著者らは液体水素環境下での摩擦摩耗評価が可能な設備を開発、それを用いた実験的検証を実施している。本報告では、液体水素環境下での摩擦摩耗評価試験設備、および液体水素環境で使用される弁の要素試験事例について紹介する。

2. 液体水素環境下での摩擦摩耗評価設備の開発

液体水素環境での摩擦摩耗評価の課題として、液体水素の消費抑制がある。現状、液体水素は高価であり、水素の消費量が試験コストに直接影響するためである。そこで、Fig.1 に示す摩擦摩耗試験機を考案した。本装置では、液体水素の蒸発を抑制する観点で、液体水素を真空断熱容器に入れ、かつ外部からの伝熱を抑制できるように、試験部と駆動用アクチュエータを長尺のロッドで接続する構造を採用した。本構造だとロッドが長くなるため、試験部での振動の発生が懸念されるが、駆動方向を装置の剛性が高い鉛直方向にすることで振動の抑制を図った。本装置により、実際の製品と類似のしゅう動形態である往復動での摩擦摩耗評価が可能となり、液体水素のシールに使用されるピストンリングの摩耗評価などに活用されている。

3. 液体水素環境における弁の評価事例

液体水素昇圧ポンプでは、低圧の液体水素をシリンダ内部へ吸入する部分、およびピストン/シリンダで昇圧された液体水素を吐出する部分に逆止弁が使用されている。この逆止弁は、筒内圧が最大 90MPa 程度の条件で液体水素が漏れないようシールする機能が求められ、かつピストンの上下動と同じサイクルでくり返し開閉動作し、高差圧条件での接触をくり返すこととなる。この動作が極低温で潤滑性が乏しい液体水素環境で行われることから、その信頼性の評価が重要になる。

弁のシール性能確保には、シート面が密着した状態を維持することが求められる。特に接触をくり返すことにより生じる面荒れを抑制することが必要である。ポンプの構造上、高差圧条件での接触が発生するため、シート面の接触面圧を下げることは難しい。そこで、接触時に発生する微小なすべりを抑制することがシート面の面荒れ抑制に効果があると考え、有限要素法 (FEM) を用いた弁の接触解析を実施し、接触面圧と接触時に発生するすべり量を求めた。

Fig. 2 は FEM から求めた設計変更前後でのシート面のすべり量と接触面圧の関係である。本検討の結果、シート面の

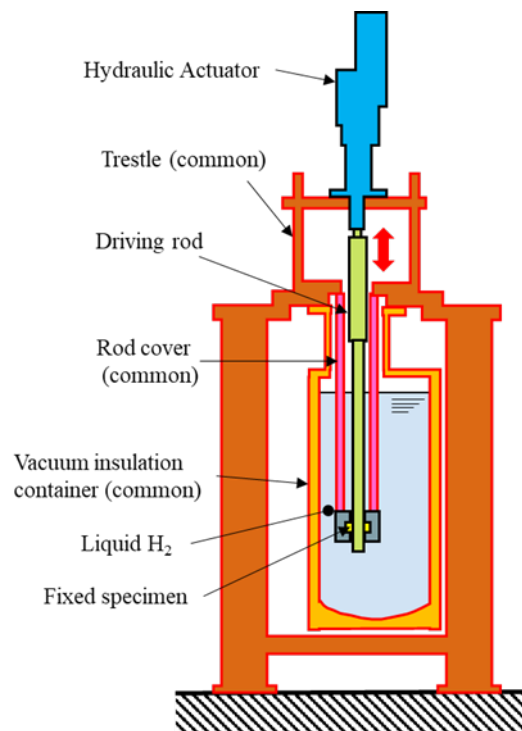


Fig. 1 Friction and wear tester for liquid H₂ environment

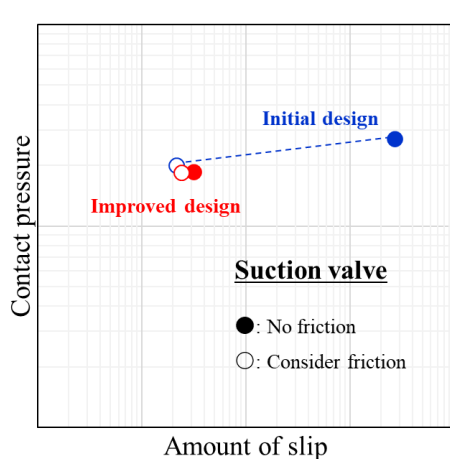


Fig. 2 Amount of slip and contact pressure on the valve seat obtained from FEM

すべり量に影響するシート面角度、弁の剛性を変更することにより、接触時に発生するすべり量を制御することが可能であり、吸入弁における改善効果が高いことを確認した。

この弁の液体水素環境でのくり返し接触に対する信頼性を評価する目的で、Fig. 3 に示す弁の要素試験装置を開発した。本装置は、Fig. 1 に示した摩擦摩耗試験装置と真空断熱容器等が共通化されており、試験部のアタッチメントを交換することで弁のくり返し接触を模擬した試験を実施可能である。また、摩擦摩耗試験装置と同様、液体水素の蒸発量の抑制、および実機より短期間での接触くり返しを実現する目的で、加振機を利用した駆動源を使用し加速試験を可能とした。試験中の弁体の変位と接触荷重の変化を Fig. 4 に示す。荷重が作用していない期間が存在するが、その間は弁体がわずかに弁座から離れており、弁のリフトと接触のくり返しを模擬できていることを確認している。

弁のくり返し接触試験の前後のシート面表面粗さの計測結果を Fig. 5 に示す。本試験の結果、今回開発した弁は接触くり返しに伴い若干変形するが、面荒れがほとんど確認されず、良好なシール性が長期間維持される。

4. おわりに

本報告では、液体水素昇圧ポンプに使用される機械要素のトライボロジー特性評価事例を紹介した。開発されたポンプは 2023 年より米国の水素供給施設にて長期耐久性の評価を実施しており、ここで紹介した弁についても信頼性の検証がされている。引き続き、製品化推進と更なる信頼性向上に向けた改良を実施する予定である。

文献

- 1) 佐野他：水素ステーション向け液体水素昇圧ポンプの信頼性向上に向けた取り組み，ターボ機械協会 第 89 回創立 50 周年記念学術講演会 予稿集。
- 2) T. Gradt et.al.: Low temperature tribometers and the behaviour of ADLC coatings in cryogenic environment, Tribology International, 34 (2001) 225.

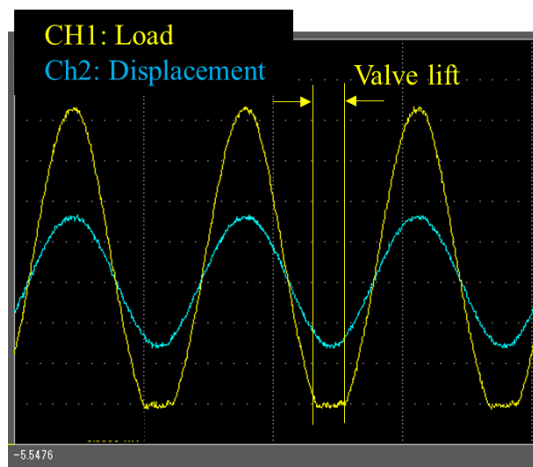


Fig. 4 Change of displacement and load during valve evaluation tests

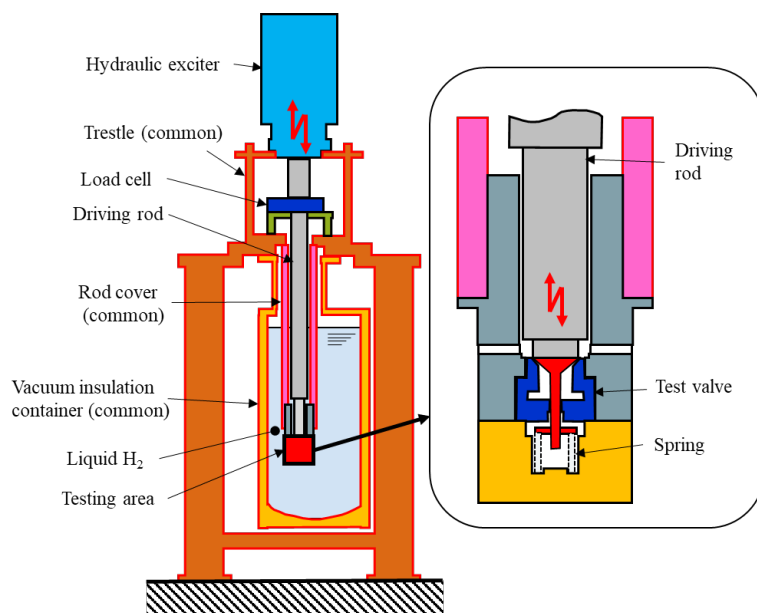


Fig. 3 Valve evaluation tester for liquid H₂ environment

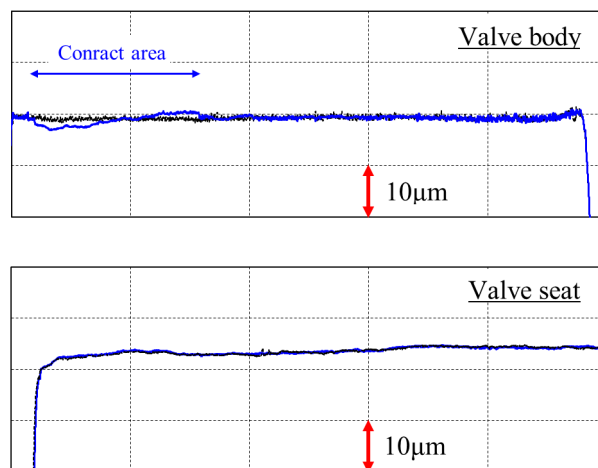


Fig. 5 Surface roughness of the valve seats before and after valve evaluation test