

燃料電池自動車用高圧水素減圧弁の開発* 1

Development of High Pressure Hydrogen Regulator for Fuel Cell Vehicles

久保利賀剛 T. KUBO

We have developed a high pressure hydrogen regulator for fuel cell vehicles which achieves an improved pressure regulation characteristic, higher reliability, and a lighter weight than the conventional regulator. The pressure regulation characteristic was improved by reducing sliding friction of the seal around the periphery of the piston. Reliability was achieved by decreasing wear through the improvement of surface roughness of the parts which repeatedly open/close and slide during operation. Furthermore, we have achieved weight saving by abolishing stainless steel components of the sliding parts and applying aluminum alloy components with a surface treatment.

Key Words: regulator, hydrogen, high pressure, fuel cell vehicle

1. はじめに

近年、エネルギー源の供給途絶リスクを低減するために、エネルギー源の多様化が図られている。また、地球環境保全や温暖化防止の観点から、自動車に対するCO₂排出量削減の要求は高まっている。これらを背景として、各自動車メーカーではさまざまな原料から生産することができる水素をエネルギー源とし、走行時にCO₂を排出しない燃料電池自動車の開発が進められている。今回、当社では高圧水素貯蔵方式を採用した燃料電池車に搭載用の「高圧水素減圧弁」を開発した。従来品と比較し、調圧特性と信頼性の向上と同時に軽量化も実現したので、結果を以下に紹介する。

2. 高圧水素減圧弁の概要

図1に水素ガス供給システムの基本構成を示す。高圧水素減圧弁の機能は、水素タンクに貯蔵された高圧の水素を減圧し、下流部品に供給することである。また、高圧水素減圧弁下流の圧力上昇時に部品を保護するためのリリーフ機構を内蔵している。開発した高圧水素減圧弁の外観と構造をそれぞれ図2、3に示す。

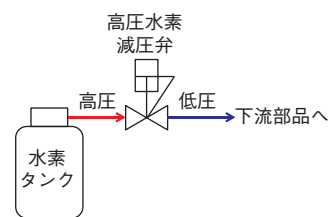


図1 水素ガス供給システムの基本構成
Basic structure of the hydrogen gas supply system



図2 高圧水素減圧弁の外観
Appearance of high pressure hydrogen regulator

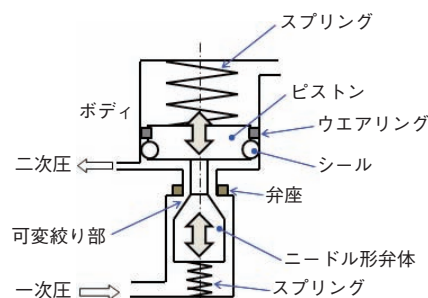


図3 高圧水素減圧弁の構造
Structure of high pressure hydrogen regulator

* 1 本論文は公益社団法人自動車技術会 2015年春季大会学術講演会 講演予稿集 (No. 37-15, 20155174) を基に作成した。

3. 開発の内容

今回開発した、高圧水素減圧弁の主な開発アイテムを表1に示す。

表1 高圧水素減圧弁の主な開発アイテム
Main development items of high pressure hydrogen regulator

目的	開発内容	開発アイテム
調圧特性の向上	調圧値のばらつきを低減	ピストン外周のシールのしゅう動抵抗低減
耐久性の向上	可変絞り部の耐久性向上	ニードル形弁体の弁座接触部の面粗度向上
	ピストン外周しゅう動部の耐久性向上	・ウエアリングの耐摩耗性向上 ・スプリングの押し付け力低減 ・しゅう動面の面粗度向上
軽量化	ニードル形弁体しゅう動部の部品点数削減	アルミニウム合金ボディへの表面処理追加

3.1 調圧特性の向上

高圧水素減圧弁はニードル形弁体と弁座からなる可変絞り部、ピストン、ピストン外周のシール、スプリングなどで構成される。ここでは、高圧水素減圧弁の下流側の圧力を調圧値と呼ぶこととする。高圧水素減圧弁を流れる水素の流量が変化した時の調圧値の過渡特性は、高圧水素減圧弁の下流部品の制御に影響を与える。過渡的な調圧値のばらつきが大きい場合、下流部品の特性のばらつきも大きくなり、車両の燃費を低下させる可能性がある。また、水素が流れる時、下流部品の作動に同期し高圧水素減圧弁の水素流量も変化する。この水素流量の変化に対応してピストンがストロークし、これに連動してニードル形弁体がストロークし、可変絞り部が開閉する。この時、ピストンとともにしゅう動するピストン外周のシールのしゅう動抵抗が大きく不安定であると、調圧特性がばらつく要因となる。ここで、シールの材質は従来品では樹脂を使用していたが、コストに優れ組立てが容易なゴム材料を今回採用した。ゴム材料の場合、温度による物性の変化が影響し、ピストンしゅう動部のしゅう動抵抗の変化が大きくなる。特に、低温時はしゅう動抵抗が増加する。そこで、シールのしゅう動部の接触面積を減少させつつシール面圧を確保できる形状を採用し、さらにしゅう動面にグリース溝を設けることによりグリース切れを抑制した。これらの対策により、しゅう動抵抗増加の抑制とシール性能の確保を両立した。

3.2 信頼性の向上

高圧水素減圧弁は下流部品の作動による水素流量の変化に連動し、可変絞り部が開閉する。このため、可変絞り部を形成するニードル形弁体と弁座とのシール部位と、可変絞り部の開閉に連動してしゅう動する部位には高い耐久性が求められる。

3.2.1 可変絞り部の信頼性向上

可変絞り部は開閉することによりニードル形弁体が弁座と接触する。ニードル形弁体は金属製、弁座は樹脂製である。この接触が繰り返されることにより、樹脂製の弁座がニードル形弁体の形状にならうように摩耗する。この摩耗が進むことによりニードル形弁体と弁座の接触面積が広がり、可変絞り部のシール面圧が低下する。これを防止するためにニードル形弁体の弁座接触部を研磨加工することにより面粗度を向上させ、弁座の摩耗を低減した。図4に研磨加工有無による弁座の摩耗量の比較を示す。こうして可変絞り部のシール部位の耐久性を向上させた。

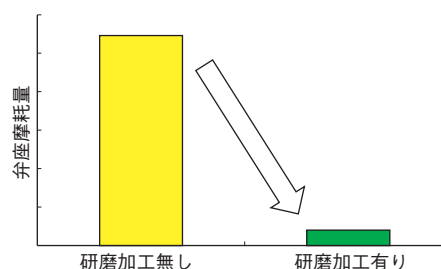


図4 研磨加工有無による弁座の摩耗量の比較
Comparison of wear amount of valve seat due to existence of grinding

3.2.2 しゅう動部の信頼性向上

次に、しゅう動部の信頼性向上の取り組みとして、開発品ではピストン外周のしゅう動部に、ピストンとしゅう動相手面の直接接触を防止するために樹脂製のウエアリングを採用した。このウエアリングを介してピストンと相手面はしゅう動するが、ウエアリングの摩耗が進行しピストンと相手面が直接接触すると、しゅう動抵抗が変化し調圧特性が安定しない可能性がある。そこで、ウエアリングの摩耗量を低減する取り組みを行った。ウエアリングの材料を耐摩耗性樹脂に変更し、ウエアリングの耐摩耗性を向上させた。さらにピストンに接触しているスプリングについて、形状の見直しを行い、軸に対し

て垂直方向の荷重を低減することによりウエアリングを押し付ける力を低減し、ウエアリングの摩耗量を低減させた。同時に、ウエアリングのしゅう動相手面の面粗度も向上させた。

3.3 軽量化

ニードル形弁体の外周面しゅう動部は、従来品では信頼性を確保するためにニードル形弁体しゅう動部の相手面がステンレス材となるように、ステンレス製のスリーブを高圧水素減圧弁内部に組み込んでいた。今回の開発品では軽量化を図るため、このステンレス製スリーブを省略するための取り組みを行った。ステンレス製のスリーブを省略すると、アルミニウム合金製であるボディとニードル形弁体はしゅう動することとなる。しかし、アルミニウム合金は一般的に硬度が低く、しゅう動面を形成するとしゅう動時の摩耗によるしゅう動不良や発生する摩耗粉が減圧弁内部のシール部にかみ込み、シールの機能不良を引き起こす可能性がある。この対策として、アルミニウム合金への表面処理を検討した。検討方法として、水素中でボールオンディスク法による摩耗試験を行い、基礎的評価を行った。図5に、今回実施した摩耗試験の概要を示す。ボール側をニードル形弁体、ディスク側をボディ側と想定し、ボール側はニードル形弁体と同じ金属材、ボディ側をアルミニウム合金とし、表面処理の種類を変更して評価した。負荷荷重はニードル形弁体がボディに押し付けられる荷重を計算して決定し、しゅう動距離は高圧水素減圧弁の耐久寿命から計算して設定した。摩耗試験の結果、アルミニウム合金にアルマイト法による表面処理を施すことにより、水素中でも十分な耐摩耗性を確保できることが分かった。図6にアルミニウム合金にアルマイト処理を施したディスクに対し、摩耗試験を実施した後のディスク表面の写真を示す。こうして、アルマイト処理の採用とステンレス製のスリーブの廃止により、減圧弁の軽量化を実現した。

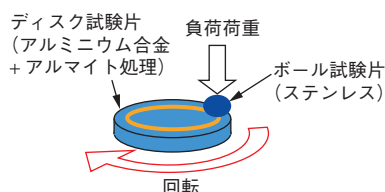


図5 ボールオンディスク式摩耗試験の概要
Overview of ball-on-disk wear test

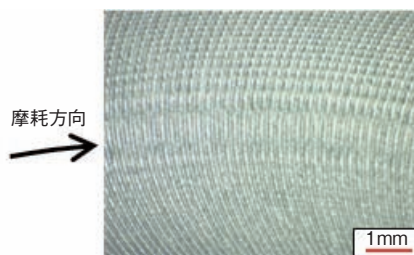


図6 摩耗試験後のアルマイト処理品の表面写真
Photograph of surface of alumite-treated components after wear test

4. おわりに

開発した高圧水素減圧弁は従来品と比較して、可変絞り部、しゅう動部の信頼性を向上しつつ、調圧特性の向上、軽量化を図ることができた。今後は次期モデルに向けてさらなる低コスト化、軽量化に取り組み、将来、到来が予想されている水素エネルギー社会において当社の燃料電池車用製品が多くの顧客にご採用いただけるように開発を進めている。

筆者



久保利賀剛*
T. KUBO

* 自動車部品事業本部 FC 部品事業部