水素エンジン用減圧弁およびリリーフ弁の開発

Development of High-Pressure Hydrogen Regulator and Relief Valve for Hydrogen Engines

小林寛明　H. KOBAYASHI

In order to meet the needs of hydrogen engines, we have developed a high-pressure hydrogen regulator and a relief valve for hydrogen engines, while making maximum use of the technology cultivated in our conventional products. For the high-pressure hydrogen regulator, a stepped piston structure was used to share parts with the conventional product to support higher pressure regulating values. For the relief valve, the amount of rubber protrusion and biting in was properly controlled to prevent the increase of operating pressure due to low temperature sticking. In addition, a pressure relief hole with an appropriate flow path area is provided in the spring chamber to prevent pressure oscillation during hydrogen release.

Key Words: regulator, relief, hydrogen, high pressure, engine

1．はじめに

近年，エネルギー供給の途絶リスクを低減するため，エネルギー源の多様化が進められている．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 CO_2 排出量削減の要求が高まっている．これらの背景を受け，各自動車メーカでは，さまざまな原料から製造可能な水素をエネルギー源とし，走行時に CO_2 を排出しない水素燃料電池車や水素エンジン自動車の開発が進められている．

水素燃料電池車は水素と酸素の反応により電気を生成する燃料電池を搭載し，その電力でモーターを駆動するため CO_2 を排出しない．一方，水素エンジン車は水素の燃焼反応を動力源とするエンジンを搭載しており，CO_2 を排出せずに水のみを排出する．いずれも環境負荷を低減する環境配慮型の車両である．特に水素エンジン車は従来のガソリンエンジンをベースに一部の改良で製造可能である．

当社は水素エンジンに対応するため，従来製品で蓄積された技術を最大限に活用しつつ，水素エンジン車用の「高圧水素減圧弁」を開発した[1)]．本減圧弁により，下流側の圧力（本報では「調圧値」と定義）の高圧化を実現した．さらに，高圧化に対応するため，リリーフ弁を新規に開発した．本報では，これらの開発内容とその成果について紹介する．

2．高圧水素減圧弁およびリリーフ弁の概要

水素ガス供給システムの基本構成を**図1**に示す．高圧水素減圧弁の機能は，水素タンクに貯蔵された高圧水素を減圧し，適切な圧力に調整して下流の機器へ供給することである．また，高圧水素減圧弁には下流の圧力上昇時に機器を保護するためのリリーフ弁が内蔵されている．開発した高圧水素減圧弁の外観と構造を**図2**および**図3**に示し，リリーフ弁の構造を**図4**に示す．

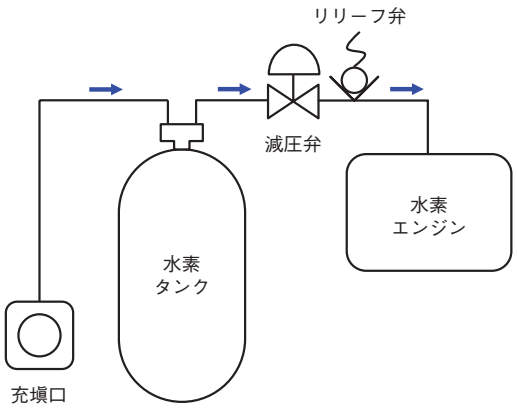

図1　水素ガス供給システムの基本構成
Basic structure of hydrogen gas supply system

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

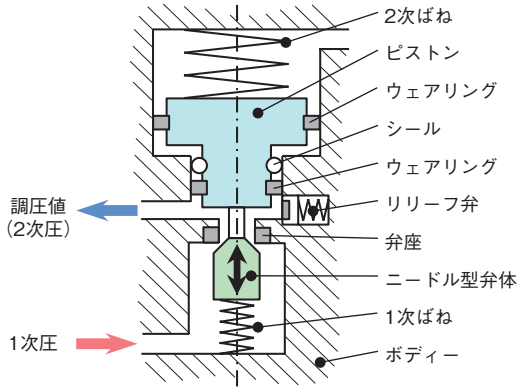

図3　高圧水素減圧弁の構造
Structure of high-pressure hydrogen regulator

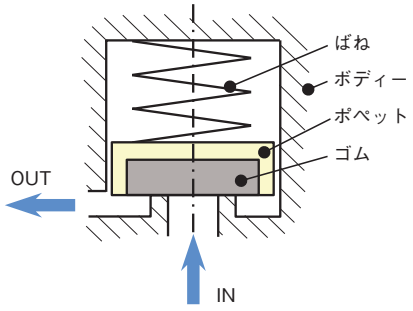

図4　リリーフ弁の構造
Structure of relief valve

3. 開発の内容

3.1　調圧値高圧化

高圧水素減圧弁はニードル型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，ばねなどで構成される．水素エンジンでは，燃焼室内に直接水素を噴射する必要があるため，減圧弁の調圧値を燃焼室内の圧力以上に設定する必要がある．したがって，従来の水素燃料電池車用減圧弁に対し，高い調圧値が求められる．調圧値は式(1)によって算出される．

$$P_2 = \frac{-S_1}{S_2 - S_1} P_1 + \frac{F_{k2} - F_{k1}}{S_2 - S_1} \quad (1)$$

P_1：1 次圧（Pa）
P_2：調圧値（2 次圧）（Pa）
S_1：1 次圧受圧面積（mm^2）
S_2：2 次圧受圧面積（mm^2）
F_{k1}：1 次ばね荷重（N）
F_{k2}：2 次ばね荷重（N）

これより，調圧値 P_2 を高くするには，2 次圧受圧径 S_2 の縮小または 2 次ばね荷重 F_{k2} の増大が必要となる．

本開発では，従来製品とのばねの共通化を目的として，ピストンを段付き構造とし，ばね座を確保しつつピストン外周シール径を小さくした．これにより，調圧値を高圧化した場合でもピストンに作用する荷重 F_{p2} を従来製品と同等にでき，同一のばねを採用できる構造を実現した（**図5**）．

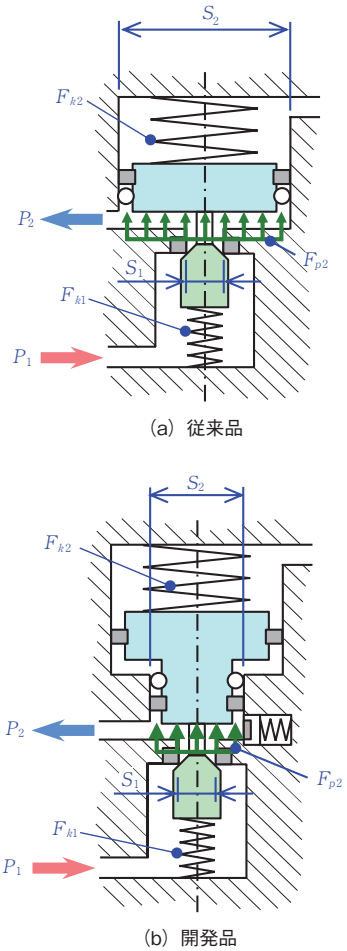

図5　従来品と開発品の構造
Structure of high pressure hydrogen regulator

3.2　高圧用リリーフ弁の新規開発

前述のとおり，水素エンジン用減圧弁の調圧値は従来製品と比較して高圧である．したがって，従来製品よりも高圧力で作動するリリーフ弁の開発が不可欠である．本節では，新開発の高圧環境下で確実に所定の圧力にて開弁する新開発のリリーフ弁について述べる．

3.2.1　低温ゴム張り付きによる作動圧上昇の防止

リリーフ弁は，高圧水素減圧弁の故障などで 2 次圧が過剰に上昇した場合に作動し，水素を放出して減圧弁および下流の機器を保護する．そのため，リリーフ弁は所定の圧力値で確実に作動する性能が求められる．

通常，リリーフ弁は圧力に応じてポペットが開弁して水素を放出する構造であるが，低温環境下ではゴム部とボディーが張り付くことで作動圧が異常に上昇する現象が確認されている．この現象を防止するため，ゴムシートの飛び出し量とゴムへの食い込み量が適切になるよう設計した．これにより，低温時の張り付きによる作動圧上昇の抑制が可能となった（**図6**，**図7**）．

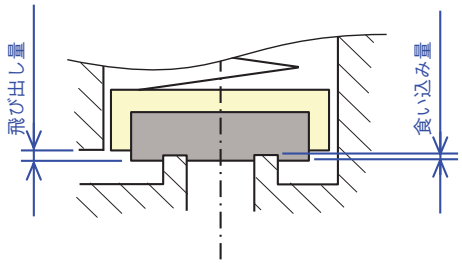

図6　ゴムの飛び出し量と食い込み量
Amount of rubber protrusion and bite into rubber

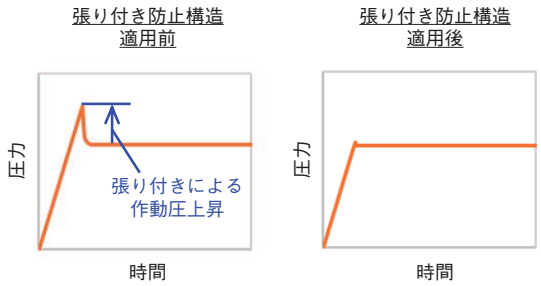

図7　張り付き防止構造適用前後における低温作動圧上昇の比較
Comparison of low-temperature operating pressure rise before and after application of anti-sticking structure

3.2.2　放出時の圧力上昇・振動の防止

前述のとおり，リリーフ弁は水素放出時に所定の圧力帯での安定した作動が求められる．すなわち，水素放出時はポペットが開弁状態を維持しつつ，水素を継続的に放出する必要がある．しかし，作動中にポペットとボディーの隙間を通って水素がばね室内に侵入すると，ばね室内の圧力が上昇し，ポペットに閉弁方向の力が作用する．この力により，ポペットが閉弁方向に移動するとIN 側の圧力がさらに上昇し，ポペットが上下に激しく振動する「チャタリング」（**図8**）が発生する．

チャタリングが生じると圧力振動によって安定した水素の放出が困難となる．また，チャタリングが生じたポペットは水素放出を妨げるため，通常状態と比べて水素放出時の圧力が上昇する．さらに，チャタリングはリリーフ弁内部の劣化，破損，水素放出時の騒音などの悪影響を及ぼす可能性がある．これらの問題を防止するため，ばね室内に適切な流路面積を確保した圧抜き穴を設け，ポペットとボディーの隙間を通過した水素を大気へ逃がす構造とした．これにより，ばね室内の圧力上昇を防ぎ，チャタリングによる圧力上昇および振動の防止が可能となった（**図9**）．

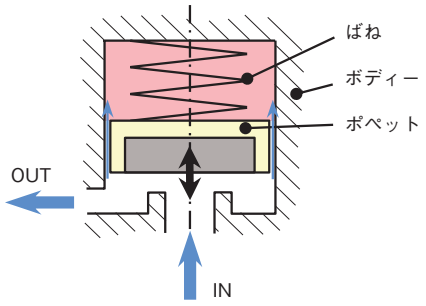

図8　チャタリング発生原理
Chattering principle

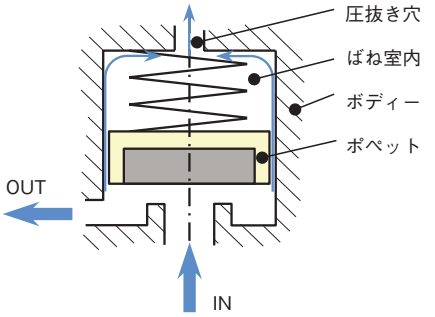

図9　チャタリング防止構造
Chattering prevention structure

4．おわりに

当社では水素エンジンに対応するため，従来製品で蓄積した技術を最大限に活用し，調圧値の高圧化に対応した減圧弁およびリリーフ弁を新開発した．開発した減圧弁は，高圧水素を適切な圧力に調整し，リリーフ弁は過剰な圧力の開放が可能である．これにより，水素エンジンシステムの安定性を維持できる．

水素エンジンは化石燃料に依存しないクリーンなエネルギー源として期待されており，その普及は地球環境保護に大きく貢献する．さらに，水素エンジンの技術はモビリティ領域にとどまらず，さまざまな産業領域で応用が可能である．

今後はカーボンニュートラルの達成に向け，高圧水素製品の開発を継続し，水素社会の実現に貢献していく．当社は環境保護とエネルギー供給の安定化に寄与し，次世代へよりよい地球環境を残すことを目指している．

参考文献

1）久保利賀剛：燃料電池車用高圧水素減圧弁の開発，JTEKT ENGINEERING JOURNAL, No. 1013 (2015) 74-76.

筆　者

小林寛明*
H. KOBAYASHI

*　自動車事業本部　FC システム技術部