

水素ガス関連の実験における減圧弁

田近 豊

株式会社テクメーション (テスコム社日本総代理店)

〒104-0041 東京都中央区新富1-6-7

1. はじめに

近年、燃料電池を中心に水素ガス関連の研究、開発が活発に行われている。水素ガス関連の実験を進める上では流体の各条件、状態を制御する機器が必要である。特に実験条件に必要な重要な要素としては温度、流量と並んで圧力があり、その中で使用される代表的な制御機器として圧力調整弁が挙げられる。

比較的小規模な試験装置においては小型減圧弁(自立式圧力調整器 以下「圧力調整器」)が広く使われている。数多くある圧力調整器メーカーの中で、米国「テスコム」製品は「使い易く高性能」な圧力調整器として国内外を問わず幅広い分野の研究開発に携わる研究者、エンジニアの方々から高い評価を得て、数々の実績を重ねている。

この欄では「圧力調整器の種類、特徴」を紹介すると共に水素ガス関連の研究、開発の現場で研究者の皆さんにご迷惑を懸けつつも垣間見ている実験装置における「圧力調整器」の現状について幾つかの事例を紹介する。不勉強の誇りは免れそうには無いが、ひとときお付き合い願いたい。

2. 圧力調整器の作動原理

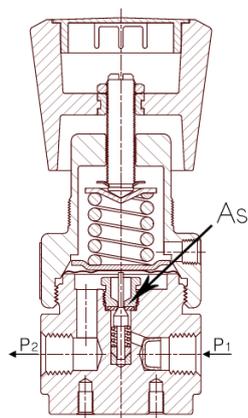


図1 減圧弁

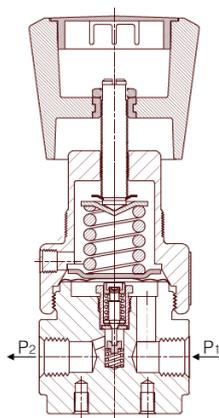


図2 背圧弁

圧力調整器は、プロセス流体の圧力による受圧部への応力と調整バネを圧縮することにより受圧部に与える応力の均衡により圧力を調整している。

減圧弁の場合 図1では次の関係となる。

調整バネ力=受圧部応力+オリフィス部応力

- ・調整バネ力 : バネ定数×圧縮量
- ・受圧部応力 : $P_2 \times \text{受圧面積}$
- ・オリフィス部応力 : $\text{オリフィス面積 } A_s \times (P_1 - P_2)$

以上の様な作動原理で製造されている圧力調整器の歴史は古く、現在では圧力調整器メーカー各社の製品は構造、使用部品、材質等の違いは少なく、似通ったものとなっているのが現実である。

圧力調整器を選定する際に、各メーカーのカタログを参考とするが仕様も各社、大同小異である。

しかし、実際に使用してみると「圧力設定の容易性」「安定性」「再現性」等のいわゆる「使い易さ」に大きな違いのある事に驚く事が少なからずある。

「使い易さ」は数値化できないために選定時、軽視されがちであるが、実験の効率化を図る為には重要な要因となる。メーカー、代理店へ最適な機種との相談をする事はもちろんだが、実際使用した他の研究者からの評価、実績等も含め検討する事をお勧めしたい。

3. 圧力調整器の分類と特徴、実用例など

3.1 調圧箇所

(a) 二次側圧力調整器 (減圧弁、レギュレータ)

圧力調整器下流側を所定圧力に保つ事を目的とする。図1に示すような構造を持ち、リリース機構を装備したものは圧力調整器本体から排気可能で二次側が閉塞した系でも調圧可能である。実験室ではポンプ出口圧力の調整、設備内の各種ガス圧の調整等に使用され、実際操作する機

会も多いのではないだろうか。

(b) 一次側圧力調整弁 (背圧弁、保圧弁、リリース弁)

圧力調整器上流側を所定圧力に保つ事を目的とする。

図2に示すような構造を持つ。ポンプ出口圧力を調整するためにリリース弁が広く使われているが、「噴き出し圧力→噴き止り圧力」に差がある場合が多い。

試験装置においてはこの「噴き出し圧力→噴き止り圧力」の差が極力少なく、設定圧力が安定する機種を選定する事が重要になる。

連続反応装置では反応容器出口側に配置し、反応容器内を所定の圧力に保つために使用される事が多い。

3. 2 受圧部構成

受圧部の構成は大別して下記の2種類がある。

(a) ダイアフラム・センサ型 図3

受圧部が薄膜(一般にSUS製、ゴム製)のダイアフラム構造で、ダイアフラムの変形により弁体の開度を調整する固体気密構造のために外部漏れに対し優れ、摺動抵抗が少なく圧力の再現性も良好である。短所として構造上高圧には向かず3.4MPa程度が上限である。また急激な流量変動、脈動にも耐久性が低下する場合がある。

(b) ピストン・センサ型 図4

受圧部がピストン構造で、ピストンの変位により弁体の開度を調整する。Oリングにより外部に対し気密構造を保つ。高圧にも使用可能であり200MPaを超えるものもある。また急激な流量変動、脈動にもダイアフラム型に比較して耐久性は良好である。短所としてはOリングによる気密構造は、経年変化を含めた耐久性、気密性でダイアフラム型に比較し劣る。また摺動抵抗が存在するため圧力の再現性も劣る場合がある。低圧の場合Oリングの代わりにペローズ膜で外部との気密構造を保つものもある。

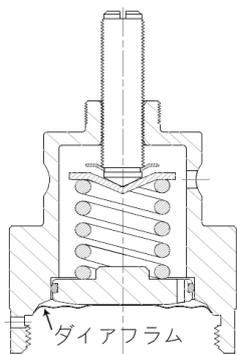


図3 ダイアフラム・センサ型

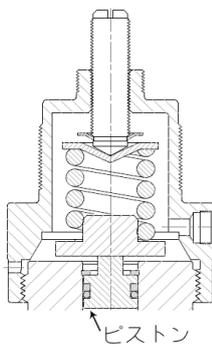


図4 ピストン・センサ型

3. 3 調圧方式

(a) バネ式

図5に示すような構造を持ち、ハンドルを回転させる事により調圧バネを圧縮し弁体を開ける。ガスの二次側への流入により圧力は上昇し受圧部より受けるプロセス側応力が高まりバネ圧縮力と均衡して一定圧を保つ方式。最も一般的な調圧方式である。

(b) ドム圧式

図6に示すような構造を持ち、ドム室側に加圧する事により弁体を開ける。プロセス側圧力とドム室側圧力が均衡して一定圧を保つ方式。

流量変動に対する圧力変動がバネ式に対して少ない長所を生かして大流量の調圧に使用される事が多い。

PEFCのセル評価装置ではセル出口圧力を自動遠隔操作する為に背圧弁をドム圧式にした事例がある。

(c) アクチュエータ式

図7に示すような構造を持ち、アクチュエータにパイロットガス(一般には0.5MPa前後の圧縮空気)を加圧する事により倍力し弁体を開ける。プロセス側応力とアクチュエ

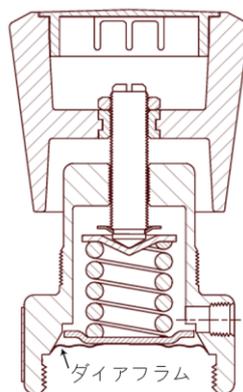


図5 バネ式

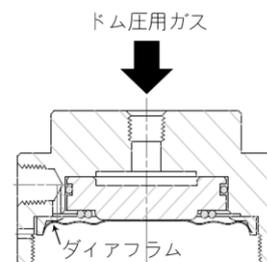


図6 ドム圧式

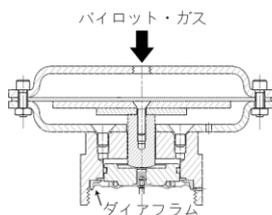


図7 アクチュエータ式

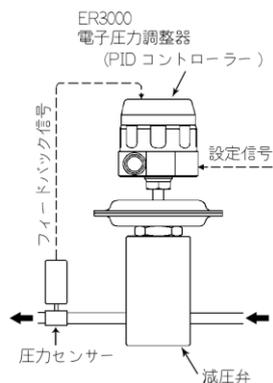


図8 自動制御減圧弁

ータ倍力が均衡して一定圧を保つ方式。低いパイロット圧を倍力する特長を生かし高圧(1 MPa以上)の調圧に使用される事が多い。低圧のパイロットガスで100MPa以上の調圧も可能である。また(b)ドム圧式と組合せドム圧制御に使用して低圧のパイロットガスで高圧大流量の流体の圧力制御をした事例もある。図8のような構成でのフィードバック制御による遠隔制御方式も近年需要が高まっている。

4. 圧力調整器への要求事例

4. 1 過酷条件への対応

(a) 水素ガスに対する耐リーク性の向上

圧力調整器も含めバルブ類には「漏れゼロ」が求められて来ている。水素ガス、特に高圧水素ガスで「厳密にゼロ」は至難の業である。実際に高圧ガス機器の検査で一般に行われている「漏れ検査液で検出できない」レベルでは不合格とされた事例もあった。各部品の表面処理、気密部品の材質の検討も含め今後の課題である。

(b) 高圧水素雰囲気での圧力調整器本体材質の見直し

現在、水素ガスに使用する配管材料も含めバルブ類、圧力調整器の材質はSUS316が主流である。最近「水素脆化」を考慮して構成部材の316L材での製作要求があった。

「テスコム」は米国製品でありASME材とJIS材との規格の相違もある。これは「技術的なハードル」とは異なるが対応せねばならない課題になりそうである。

(c) 高温下での使用

「加湿したガスを凝縮させず100℃以上に過熱したまま圧力調整をしたい」要求に対し約200℃まで使用可能な圧力調整器を供給した。さらに高温雰囲気での要求もあり各部品の材質、耐久性も考慮して改良すべき課題である。

(d) 特殊環境下での遠隔操作

試験環境上、運転員が圧力調整器を操作できない場合に遠隔操作を要求される下記のような事例が増加している。高圧試験装置運転中に運転者が試験エリアに立ち入るとは危険だが圧力を調整する要求があった。この事例では

3. 3 (c) アクチュエータ式の圧力調整器を提案した。

「恒温槽内の圧力調整」に対しては低圧であったため

3. 3 (b) ドム式圧力調整器を提案した。

4. 2 制御精度の向上

(a) 外乱影響の減少

今まで述べてきた自立式圧力調整器は構造上「一次圧、二次圧、流量」が相互に影響を受ける。

減圧弁の場合では調整している二次圧は「一次圧、流量」どちらかが変化すると影響を受けて変化してしまう。

実験中にガス消費によるポンペ圧力の低下等の原因で供給ガス圧が変化したり、設定流量を変える度に減圧弁の調整作業が発生する事は珍しい事ではない。

このような外乱の影響を極小にして圧力調整を自動化するシステムの導入が近年増加している。図8のような構成で圧力調整器をフィードバック制御し任意の圧力調整が可能になる。

化学プラント等で広く使用されているコントロール弁は弁開度を直接フィードバック制御している。それと比較すると、自動制御圧力調整器は弁開度自体を直接フィードバック制御していないため制御精度で劣る場合がある。

しかし圧力調整器の構造上「可変オリフィス」であり、「レンジアビリティの制約」を受けにくい「流量、圧力」の試験条件変更に一台で幅広く対応できる点が大きな長所である。

今後「圧力制御システム」を検討する際にはコントロール弁との「使い分け」「協調運転」も含めて外乱の影響が極小となるよう、さらなる制御性の向上が求められている

(b) 自動運転時の偏差極小を目指して

運転中における目標圧力と制御圧力の偏差は圧力センサの測定レンジに大きく影響される。現在までの実績ではセンサフルスケールの0.5～1%程度だが、好条件の場合では0.1%以内の場合もあった。

このような制御精度も燃料電池関連では「アノード⇄カソード」極間の差圧が問題となり差圧の偏差は単純に倍加してしまう。

このような場合「差圧制御」も加わり偏差が「数百(可能なら数十) Pa以内」と単位が変わるような要求もあった。

部材選定に限らず制御システムの見直しも含め「偏差極小」は「圧力調整の永遠のテーマ」のひとつであろう。

(c) 流量の制御精度向上

減圧弁を「圧力調整」だけではなく「流量調整の制御性向上」に使った事例をご紹介したい。

流量調整弁は調整範囲を広くするため「全閉→全開」の開度を調整するハンドルの回転数が多くかつ弁開度の微少な調整が可能なのが理想である。しかし高圧部から微量のガスを定流量抜き取るような場合、流量調整弁前後の差

圧が大きくわずかにハンドル調整しても流量の変動幅は大きくなり結果的に「調整しにくい」状態になる

このような場合、高圧部と流量調整弁の間に減圧弁を取り付け、流量調整弁前後の差圧を最適化する事で制御精度、安定性が向上する。

この方法はコントロール弁、MF Cを使用した自動運転時にも「ハンチング防止策」として有効である。

5. おわりに

翻ると後段は「圧力調整器の現状」というより「難題に対するボヤキ」の感は否めないが直接、研究者、エンジニアの方々と接する機会が多い一営業マンの生の声として寛容に見ていただければ幸いである。

今後の水素関連研究の更なる進化、発展、水素エネルギーによる持続性のある社会の実現を切に願いつつ、「高性能で安全、安心な機器を安定して供給する」事を通して研究者、エンジニアの研究開発の一助となるよう微力ながら貢献していく所存である。

このような機会をいただいたHES S編集委員への謝意を述べるとともに、HES S会員の皆様のご健勝を祈って結びとしたい。