

静音性・メンテナンス性に優れた 新型高圧ガバナの開発

A New Type of High-Pressure Gas Regulator with Low Noise and Good Maintainability

アズビル金門株式会社

山本 健一郎
Kenichiro Yamamoto

アズビル金門株式会社

齋藤 英明
Hideaki Saito

キーワード

高圧ガバナ, 自力式調整弁, 静音

高圧ガバナとして稼働実績のあるアズビル株式会社製高圧ガバナHRBの開発・生産・メンテナンスのノウハウを継承し、小口径、小型、軽量、低騒音であり、高いメンテナンス性を持った高圧ガバナHNVを開発した。減圧機構に可変2段・固定1段の3段多孔ケージ部を持ち、騒音の発生を抑制する。さらに可変2段にしたことにより、低开度における制御性を向上させる新構造を搭載した。

Benefitting from the know-how gained by the development, manufacture, and maintenance of the field-tested HRB high-pressure regulator, the newly developed HNV high-pressure gas regulator features a small bore, compact body, low noise, and high maintainability. The HNV has a three-level perforated cage, consisting of one fixed and two movable levels, the latter serving as a depressurizing mechanism to control noise. In addition, the HNV's novel two movable levels provide improved controllability when the degree of opening is small.

1. はじめに

導管において、ガス工場で発生させた高圧ガスを高圧状態で供給することは、遠隔地へのガス供給、圧力エネルギーの有効活用、災害時の緊急供給において非常に有益である。2011年3月11日の東日本大震災においても、津波の影響により宮城県臨海部のガス製造工場が打撃を受け、ガスの製造ができない状況であった。しかし、高圧導管には被害がなかったため、新潟-仙台間の高圧導管を使用し、遠隔地よりガスを供給することで、電気より1か月以上、水道よりも1週間早く、迅速に復旧できたことは記憶に新しい。

日本において、高圧導管の敷設延長が1995年度から2008年度までの13年間で1.6倍と増加している。また、ロシア連邦からサハリンを経てパイプラインを建設し天然ガスを輸入する構想もあり、今後天然ガスへの燃料転換が進むと

みられ、高圧機器の市場は拡大すると予想される。

ガバナとしては、現在海外製の高圧ガバナが市場に多く設置されているが、海外製ということもあり、メンテナンスに関わる部品調達に時間を要し、緊急時の対応に苦慮している現状である。

そこで、azbilグループが保有する、高圧ガバナHRBの開発・生産・メンテナンスに関わるノウハウを継承し、小口径、小型、軽量、低騒音、高いメンテナンス性を保有したHNVガバナを開発したので報告する。

2. ガバナの概要

2.1 ガバナとコントロールバルブ

ガバナとは、導管により送られてきたガスを所定の圧力に調整する機器である。

外部からの駆動源を用いず、導管内を流れるガスを駆動源として使用するため、自力式調整弁とも呼ばれ、モータなどの外力を用いて圧力を調整する他力式調整弁であるコントロールバルブと分別される。また、大別して直動式ガバナとパイロット式ガバナの2種に分類される。

2.2 直動式ガバナ

直動式ガバナは図1に示すように、整圧する2次圧力を感知するゴム膜であるダイヤフラムとスプリング、弁体で構成されている。作動原理は、2次圧力の減少に伴い、ダイヤフラムを押している力が小さくなることによりスプリングが弁体を押下し、流路が形成される。この流路の開度により1次側から流れるガスの量を調整し、2次側の圧力を一定に保つ機器である。

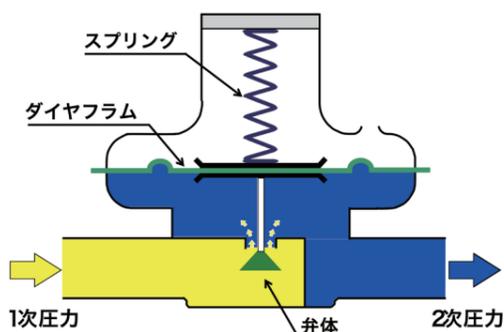


図1 直動式ガバナ模式図

通常、直動式ガバナはダイヤフラムと弁体が構造的に連結、もしくはレバーなどで機械的に連動しているため応答性が良い。しかし、大流量の流送により、オフセットと呼ばれる2次側の圧力低下が生じやすく、また、1次圧力の変動による影響(シフト)を受けやすい。一般的な直動式ガバナの流量-2次圧力特性の概念図を図2に示す。

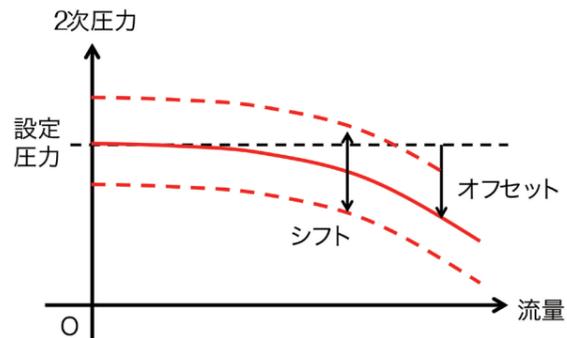


図2 直動式ガバナ流量-2次圧力特性

用途としては、ボイラーなどの燃焼装置に取り付けられる器具ガバナや、小規模工場などにガスを供給する専用ガバナなど、急な流量増加・減少に対する応答性が求められる場合に設置される。

2.3 パイロット式ガバナ

パイロット式は、図3に示すように大流量を流すための本体ガバナと、これを制御する直動ガバナであるパイロットガバナに分かれている。

作動原理は、本管から分岐した1次圧力を駆動源としてパイロットガバナが2次圧力を検知し、その2次圧力の変化を増幅して、本体ガバナを開閉する制御圧力を調整する。その制御圧力により、本体ガバナが開くことで1次側からガスが流れ、2次圧力を一定に保つ機器である。

直動式ガバナを単体で使用する場合と比べ、パイロットガバナは弁体により形成される流路が小さく、流量が少ないため制御圧力のオフセットが生じにくい。そのため、制御圧力を増幅して制御している本体ガバナも2次圧力のオフセットが生じにくい。そのため、本体ガバナで大流量のガスを流送しても、本体を開閉させる制御圧力は変動しにくい。安定性に優れている。しかし、構造が複雑であるため、直動式ガバナに比べ応答が鈍い。

用途としては、流量の急変が少なく、大流量のガスが使用される住宅地向けの地区ガバナに多く用いられる。

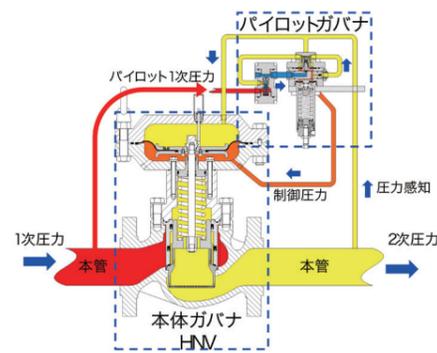


図3 パイロット式ガバナ系統図

3. HNV ガバナの開発

3.1 HNV (High Pressure Low Noise Valve)仕様

今回開発した、HNVガバナの仕様を表1に、製品の外觀写真を図4に示す。

項目	仕様		
弁サイズ	50 A	80 A	100 A
フランジ規格	ANSI Class 600		
1次圧力	1.0 ~ 8.5 MPa		
2次圧力	0.3 ~ 4.0 MPa		
定格 CV 値	25	56	95



図4 HNV ガバナ 外觀

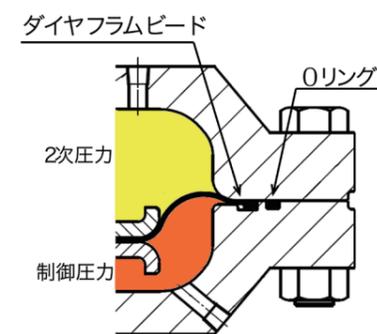


図5 2重気密構造

高圧ガス導管において使用されることから、流量変動が少なく、緊急時を除きガバナ自体が急閉・急開することがないため、HNVガバナでは流送時の安定性に優れているパイロット式ガバナを選定した。

本体ガバナの弁体を制御圧力が上昇することで開度も上昇するローディングタイプとした。もし地震災害などが発生し、パイロットガバナの供給ラインが破損しても、制御圧力が下降することで本体ガバナが閉まる構造であり、安全面を重視した設計を行った。また、減圧機構にHRBの構造を改良した新型機構を搭載し、低開度における安定性を確保した。

パイロットガバナには2段減圧パイロットを採用し制御の安定性を高めた。また、ポベット機構を採用することで、2次圧力が急上昇した場合の閉塞応答性を向上させ、安全性を高めることを目指した。

3.2 本体ガバナ

3.2.1 概要とアクチュエータ部

本体ガバナは圧力をダイヤフラムで感知し、弁体(プラグ)を稼働させるアクチュエータ部と、減圧機構を持つ本体に分かれている。

アクチュエータ部には、抜け止めと外部漏えい対策であるビードを一体成型した高圧用大型ダイヤフラムを新規設計した。さらに、図5に示すように、Oリングを外周に配置することで、外部漏えい対策を2重化し安全性を強化した。

本体のダイヤフラムを大型化することで、感圧部が大きくなることにより本体ガバナの制御性を高めた。その結果、プラグに対し長いストロークを確保することができ、多孔ケージによる減圧機構を採用しながらも大流量の流送を実現した。

加えて、アクチュエータ部には、開度指示機構を搭載することができ、アクチュエータを分解することなく簡単に取付け可能な構造を設計した。開度指示用のピンには抜け止めが付いており、もしピンがステム部から外れたとしても外部に飛び出すことがなく、ガス漏えいの危険性もない、構造的に安全な設計を行った。

3.2.2 新型減圧機構

一般的に減圧幅が大きいため、その圧力エネルギーの大きさから低開度でチャタリングが発生しやすく、低開度での制御は難しい。そこで、HRBでは3段多孔ケージによる減圧機構を採用しており、減圧幅を分割することでその問題を解決しようとしている。しかし、HRBの3段多孔ケージでは、ハンチングや減圧幅が大きいことによる衝撃波が生じる可能性があった。そこで、HNVでは、HRBの3段多孔ケージを改良し、2段可変、1段固定の新型3段多孔ケージを新規開発し、搭載した(図6)。HRBの3段多孔ケージは、2段目のケージ内部にプラグを配置しているのに対し、HNVの3段多孔ケージは1段目と2段目の多孔ケージの間にプラグを配置した構造を有している。HRBの3段多孔ケージでは、低開度・小流量時に1段目のケージを流体がすでに通過しているため3段減圧にならないが、HNVの3段減圧機構では、低開度・小流量時でも流体がすべてのケージを通るため、常に3段減圧を行うことができ、安定性を向上させ、ハンチングが起きにくい構造とした。

また、衝撃波対策としてプラグの刃を鋭角にし、ケージ1段目よりケージ2段目の流体が通過する孔数を増加させることで、1段目を通過してきた高速な流れを分散させる構造を提案し、低開度における衝撃波の発生を抑制した(特許出願中)。プラグの形状に関しては3.2.3項で後述する。

ケージ部にも改良を施し、ケージ1段目と2段目の孔は互い違いに孔が開けられる構造を設計した。流体が複雑な流路を流れることにより、段階的に流体の圧力を下げていき、流体が超音速になるのを防ぐことで、騒音の発生自体を抑制する構造を設計した。また、ケージ内部で流体同士を衝突させ、流体の運動エネルギーを圧力エネルギーに変換することでも騒音抑制を図った。このことにより、吸音材を搭載した他社製のガバナと同等の静音性能を実現し、吸音材・防音材の取付け部分をなくすることができるため、静音性能と軽量化・小型化を両立した。

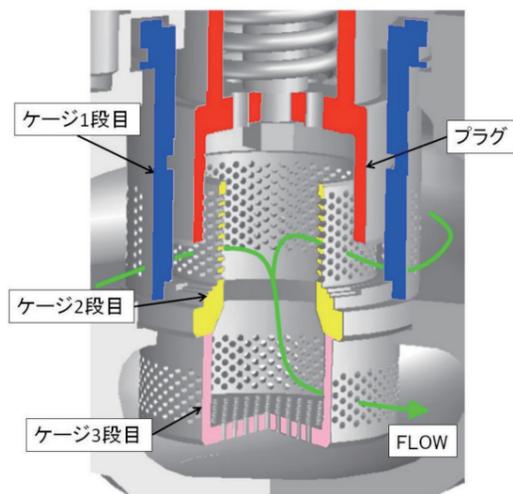


図6 3段多孔ケージ概要図

3.2.3 プラグと圧力キャンセル機構

HRB、他社製高圧ガバナの弁体は円筒形状を使用するが、HNVでは二つの径の違う円筒を組み合わせた形状の凸型のプラグを採用した(図7)。これにより、プラグ上部よりケージ1段目を取り付け、プラグ大径部分が1段目に引っかかることで、ケージ1段目とプラグをアセンブリ化できる構造とし、組立性を向上させた。

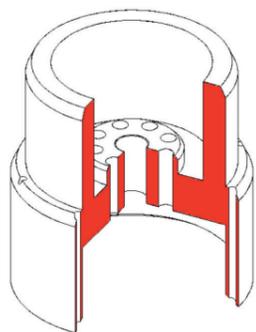


図7 プラグ形状

この構造を採用するにあたって、プラグとケージ1段目の間に空間ができ、圧力の逃げ場がないことによって、空気ばねになってしまう問題が発生したが、プラグに導通孔を設けることでその問題を解決した。

その結果、プラグ全体にかかる上下圧をキャンセルすることができ、2次圧力に左右されない動きを実現した(図8、特許取得済)。また、ケージ2段目と3段目を同一の部品とすることで、部品数を減らし組立性を向上させた。

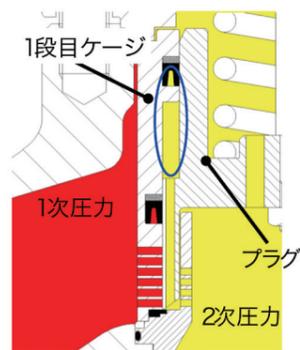


図8 圧力キャンセル機構

3.3 2段減圧パイロットガバナ

一般的に単体パイロットでの高圧制御では、減圧幅が大きいため、低開度での制御が難しいため、パイロットガバナが微小開度で急開・急閉を繰り返すハンチングが生じやすい。また、圧力が高圧なため、ダイヤフラムなどの感知部の高強度化が求められ、そのうえで精密な圧力制御を確実にこなすには難点がある。

HRBは、本体ガバナがダイヤフラムではなく大型のピストンで2次圧力を感知するピストン式直動ガバナであるため、ピストンの摺動抵抗が大きく、反応が鈍い。その反応の鈍さを補うため制御するパイロットは高性能でなくてはならない。その結果、構造が複雑かつ高い精度が要求され、調整や組立・メンテナンスに苦慮している。

HNVは本体ガバナにダイヤフラム式直動ガバナを採用しており、ピストン式に比べ応答性が良いため、複雑かつ高精度な構造のパイロットである必要がない。そこで、二つの一般的な構造の直動ガバナを直列使用する2段減圧パイロットガバナを採用した。

2段減圧とすることで、一つ目のパイロットで1次圧力を低減させ、制御圧力を調整する二つ目のパイロットの減圧幅を小さくすることができ、パイロットの弁体が微小に開いた場合でもハンチングを起こしにくく、安定してガスを供給できるガバナを目指した。図9にその構造を示す。

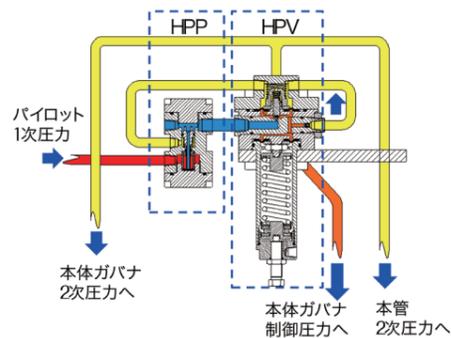


図9 パイロットガバナ構造

3.3.1 HPP (High Pressure Pre-pilot)

一つ目のパイロットガバナHPPは、上流側の圧力を二つ目のパイロットが制御できる圧力まで減圧する機器であ

る。一つ目のパイロットは、本体ガバナの制御圧力をコントロールしておらず、緻密な制御が必要ではないため、ピストン式の直動ガバナを採用した。

ピストン式直動ガバナは、一般的にダイヤフラムで圧力を感知する構造よりも、急激に圧力変動を起こした際に生じる圧力衝撃(圧力の数倍の衝撃力)に強く、故障しにくい。また、構造を単純にすることができ、HPPは11部品のみで構成され、組立性と安全性を両立することができた。

もし使用環境などにより、HPPから異音や振動が発生した場合には、ピストンを押えているスプリングを変更することにより、その異常を取り除くことができ、種々の条件を想定した部品を取り揃えている。また、スプリングはHPP上部の蓋を外すことにより現場で容易に交換することができる。

3.3.2 HPV (High Pressure Pilot Valve)

二つ目のパイロットHPVは、HPPから送られてきた圧力を2次圧力に調整する直動ガバナである。

本体ガバナと同様に、抜け止めと外部漏えい対策のビードを有したダイヤフラムを新規設計し、外側にOリングを配置することで、外部漏えい対策を二重化し、安全性を強化した。

高圧を制御する使用用途より、剛性の高いスプリングを圧力設定ねじによりねじ込んだ際に、ダイヤフラムがねじれてしまうことが考えられ、ダイヤフラムの切れによるガス漏えいや、圧力設定が正常にできなくなるなどの不具合が発生することが懸念された。そこで、HPVでは、圧力設定スプリングの設置面にスラストベアリングを配置することで、設定ネジを締め込むことによるダイヤフラムのねじれを防止した。

HPPと同様に使用環境により何らかの異常が発生した場合には、排気オリフィスを交換することで改善が見込まれる。他社製ガバナにおいては、排気オリフィスと同様の部品を本体ガバナに搭載しているため、本体ガバナを分解しなければ交換できないが、HPVではパイロットに排気オリフィスを取り付けており、パイロット単体で応答性を変化させることができ、使用条件に沿った最適なパイロットガバナを提供することを可能にしている。

また、HPVにはポベット構造を採用し、安全性を高めている。図10のように、本体部の制御圧力を調整する制御室がダイヤフラムに挟まれており、2次圧力が上昇した場合、ダイヤフラムが下に押し下げられ、ポベットが吸気ノズルのオリフィスを塞ぎ、パイロットの流れを遮断する。その後、2次圧力と制御圧力を繋ぐ通路が開き、二つの圧力を同圧とすることで、本体を急閉してガスの供給を止める構造を有している。

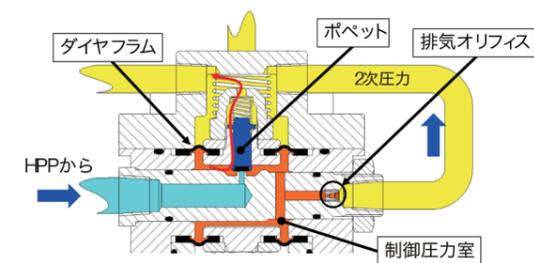


図10 ポベット構造図

3.4 メンテナンス性

現在多く配置されている他社製高圧ガバナの現状を以下に挙げる。

- ・特殊工具を必要とする
- ・本体下部より部品(重量物)を取り外す必要がある
- ・配管下部に体を入れて作業するため、危険
- ・上述理由により本体下部にスペースが必要
- ・海外製が多く、故障部品の取寄せや、問い合わせに時間をとられる

HNVでは、特殊工具を使用しない構造とし、容易に分解・メンテナンスできる構造とした。また、本体上部よりすべて組立を行うことができるトップエントリー方式を採用したことで、配管下部に入って作業する必要がなく、危険や制約がない。

海外製のガバナでは部品調達に時間が取られるのに対し、HNVではすべての部品において国内生産・調達することをコンセプトとし、一般交換部品も汎用品を選定しているため、メンテナンス部品調達も迅速にできる。

本体部品数も、多段多孔ケージによる減圧機構により、本体に防音・吸音材を必要としないことから大幅に減少させることができた。他社製ガバナが200部品以上であるのに対し、HNVは156部品と50部品減少させ、組立性を向上させた。

HPP、HPVともに問題が発生した場合でも、スプリング、排気オリフィスを交換することで、ハンチング等を改善することができる。

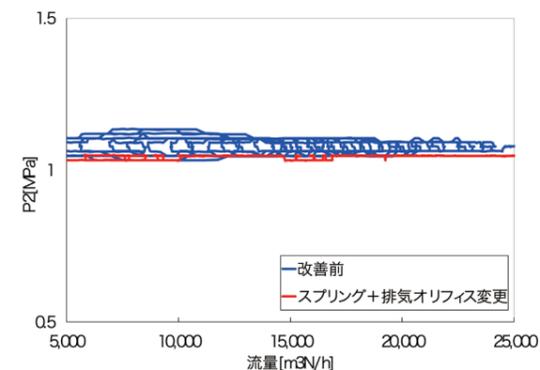


図11 スプリング、排気オリフィス交換の効果

図11は、高差圧流送時(差圧7 MPa)に実際にハンチングが発生した場合における2次圧力-流量の特性グラフである。改善前のグラフを見ると、流量が増減しており、ガバナが開いたり閉まったりしており、ハンチングを起こしている。そこで、スプリング・排気オリフィスを交換することでハンチングが完全に無くなり、2次圧力が流量に対し一定になる事が確認できる。

4. おわりに

本稿では、azbilグループの保有するHRBガバナの技術を継承した小口径モデルの高圧ガバナHNVについて報告した。小型、軽量、低騒音、高いメンテナンス性を兼ね備えた高圧ガバナをラインナップすることで、高圧から低圧まですべてのガバナを提供することにより、ガバナの総合メーカーとして顧客のニーズに合わせた製品を提供することを実現した。

<参考文献>

- (1) 総合資源エネルギー調査会ほか:東日本大震災を踏まえた都市ガス供給の災害対策検討報告書 pp.4-6 (2012)
- (2) ガスのインフラ整備に関するワーキンググループ:ガスのインフラ整備に向けて pp.4-8 (2011)
- (3) 北野哲司:東日本大震災における都市ガスの被害・復旧状況と地震対策の課題 「予防時報」pp.20-27
- (4) 仙台市ガス局:東日本大震災 復旧の記録(2012)

<著者所属>

山本 健一郎	アズビル金門株式会社 開発本部製品開発部
齋藤 英明	アズビル金門株式会社 開発本部製品開発部