X

日 立 BPR-2 形 空 気 式 差 圧 伝 送 器

Hitachi Two Bellows Type Orifice Meter



內 容 梗 概

プロセス制御用に使われる空気式差圧伝送器はすべて共通な統一信号のもとで作動し、本質的に発火性のないことなど空気圧方式の利点のうえにたって最も利用率の高い計器であるが、本論文では今回新しく開発した日立 BPR-2 形空気式差圧伝送器の構造、作動原理ならびに多様化された測定機能について述べ、さらに使用上最も重要な精度、信頼度の向上のために設計上特に考慮した構造の単純化、温度補償法などの効果とその実験的結果について述べてある。

1. 緒 言

圧縮空気を補助動力とする空気式工業計器は,すべて統一された 共通な信号のもとで作動し,また本質的に発火性のないことなどの 特長があり古くから各種プロセスの自動制御に使用されている。こ れら計器のうちで流量,圧力および液面測定用の差圧伝送器は一つ のプラント内においても数多く用いられ,計器精度,信頼度の確保 と測定機能の多様化についてはとくに深い考慮を払う必要がある。 説明する。まず第3図に受圧部の構造を示す。本体をはさんで高圧 ベローズ,低圧ベローズが固定され,ベローズ室内は封入液が充満 されている。低圧ベローズは過負荷,逆圧防止のためのストッパバ ルブ,液体の膨張などの周囲温度による誤差を除くためのバイメタ ルからなる温度補償部および恒弾性のレンジスプリングを介してト ルクチューブに接続し,また高圧ベローズはダンパを介して封入液 により低圧ベローズと接続している。測定する差圧は高,低圧ベロ ーズの両側に導入される。差圧の増加にしたがって高圧ベローズは

今回新しく上記目的に使用される空気式 BPR-2 形差圧伝送器を 開発した。これは従来用いられていた差圧伝送器⁽¹⁾をさらに改良発 展させたものであって、構造のユニット化および単純化、独特な温 度補償方法の適用などによる精度信頼度や互換性の向上とともに、 測定範囲の拡大と外部からの連続可変、正逆動作、初期値の移転な ど測定機能の増加を図った点に特長があり、変位平衡方式によって 作動する。以下この差圧伝送器の構造原理と各特性についての実験 結果を報告する。

2. 構造と作動原理

2.1 構造と作動原理

日立 BPR-2 形空気式差圧伝送器の使用例を第1図の流量制御系 で説明すれば、これは流路中にあるオリフィスなど絞り機構によっ て差圧に変換された流量をうけて、空気圧信号に変換し調節計など 受信部分に伝送するものであって、その外観は第2図に、またその 仕様概略は第1表に示されている。この構造を大別すれば、差圧を 変位に変換する受圧部と変位をさらに空気圧信号に変換する空気圧 変換部からなっており、両者は直列につながって作動するものであ る。以下本伝送器の構造および作動原理をこの二つの部分に分けて



第1表	日立 BPR-	-2形空気式差圧伝送器の(仕様

標	準	仕	様	
	$\nu \sim$	ジ:		基準レンジ 適用範囲
				500 mmAq 0-500~ 0-2,500 mmAq
				2,000 mmAq 0-2,000~0-10,000 mmAq
				連 続 可 変
	出	力:		$0.2 \sim 1.0 \text{kg/cm}^2 \text{G}$
	精	度:		±0.5% F.S.
	供給	圧:		$1.4 \mathrm{kg/cm^2}$
	最高使用	胆:		50, 100, 300 kg/cm ² G
	周囲温	度:		$-30\!\sim\!+90^\circ\!{ m C}$
	演	算:		サプレッション: (最大レンジ)-(測定レンジ)まで逆出力
	調	整:		零 点: ±10% 零点調整ねぢによる
				レンジ: 100~500% ノズル位置による
	材	質:		本 体: SUS-27, ベローズ: SUS-33
	接	続:		差圧導入管 15 A STPG (外径 21.7, 肉厚 2.8)
				空気配管 銅管 $6\phi \times 4\phi$
	取	付:		50 A SGP
	大き	さ:		$200 \times 273 \times 211 \text{ mm}$
	重	量:		17 kg



— 80 —

第1図 日立 BPR-2 形空気式差圧伝送器使用例

* 日立製作所日立研究所** 日立製作所那珂工場

第2図 日立 BPR-2 形空気式差 圧伝送器

B P R -2 形空気式差圧伝送器 立 日



第3図 日立 BPR-2 形空気式差圧伝送器受圧部断面図





要領説明図(空気圧変換部)

部分から取り出された回転変位は作動レバーを経てフラッパに伝え

圧縮され, 封入液はダンパバルブおよびストッパバルブの周縁を通 って低圧ベローズのほうに移動する。低圧ベローズ内の封入液の増 加にしたがって低圧ベローズは高圧ベローズ、レンジスプリングお よびトルクチューブのバネ係数と平衡する位置まで変位する。この

られ、これによってノズルとの間隔、したがってその背圧が変わ る。この背圧の変化は、パイロットバルブで増幅され出力圧として 伝送されるが,同時に復元ベローズにはいってノズル,フラッパの 間隔をほぼもとの状態に復元させるので、結局入力差圧に比例した 出力圧がえられる。比例ゲインはノズルフラッパ機構を回転してフ ラッパと作動レバーとの接触位置をかえることにより1:5 (レンジ 100~500%)の範囲で連続的に変えられる。プロセスによっては逆 動作すなわち入力が増加するとき,出力が減少する動作を要する場 合や,また液面制御におけるように入力がある一定値になった後, 出力信号を必要とする場合がある。本伝送器はこれらいずれの場合 にも応じられるようになっている。すなわち前者においては第5図 (b)のようにドライブアームと作動レバー部分を左右対称につけか えればよく,また後者においては第5図(a)の2点鎖線で示すよう にドライブアームに初期角度を与え,ノズルフラッパ間隔を hのよ うに大きくして不感帯をもたせるよう、あらかじめ調整しておけば よい。

3. 機構部分の理論的考察

3.1 受 部 圧

3.1.1 静 特 性

受圧部分にはいる差圧 ($P_H - P_L$) と伝達アーム(第3図参照)の 先端から取り出される変位δとの間の関係を理論的に求めてみ る。この関係をあらわすブロック線図は, 個々の構成要素間で成 立する関係式から第6図のように導かれ、これを整理すれば両者 の関係は(1)式から求められる。

変位はトルクチューブの回転に変換されて受圧部外部に取り出され る。温度上昇に伴いベローズ室内の封入液が膨張すればベローズは 外方に変位するが,同時に温度補償部分のバイメタルが弯曲し,こ の変位を伝達アームに伝えないようになっているので零点の変動は 生じない。つぎに空気圧変換部の構造,作動原理を第4図で説明す る。この部分はドライブアーム、作動レバー、ノズルフラッパ、復 元ベローズおよびパイロットバルブの各部分からなっている。受圧



ただし式中の各符号は第6図に付記されたものと同様である。こ こで簡単のため

日立製作所日立研究所創立三十周年記念論文集



第6図 受圧部のブロック線図

$$S_{EH} = S_{EL} = S_{VH} = S_{VL} = S \\ \frac{K_T}{l_1^2} \ll K_H, \ P_H - P_L = \Delta P \end{cases} \qquad (2)$$

第2表 金属のヤング率の温度係数

部品名	材	料	ヤング率の温度係数(deg-1)
高圧ベローズ	ステン	レス	4.1×10-4
低圧ベローズ	ステン	~ V X	4.1×10-4
トルクチューブ	Be-C	u	3.8×10^{-4}
レンジスプリング	ステン Ni—sr	レス Dan C	4.1×10^{-4}

よって,影響値 ELT(%) は

$$E_{LT} = \frac{\delta_T}{\delta} \times 100$$

$$=S^{2}\left\{K_{H} \gamma V - SD(K_{H} + K_{L} + K_{R})\right\} \frac{\Delta T}{\Delta P} \times 100 \ (\%)$$

ただし,上の値は封入液の膨張のみに関したものであるから,系 全体の温度影響としては系を構成している金属の膨張も考慮しな ければならない。いま, 金属の膨張による零点変動を $E_{MT}(\%)$, 全体の温度影響を $E_T(\%)$ とすれば

全体の温度影響がないためには、(5)、(8)式より

$$D = \frac{\frac{K_H}{S_{EH}S_{VH}}\gamma V + \frac{\Delta P}{10^2 \cdot \Delta T}E_{MT}}{S_{VL}\left(\frac{K_H}{S_{EH}S_{VH}} + \frac{K_L + K_R}{S_{EH}S_{VH}}\right)} \quad \dots \dots \dots \dots (9)$$

とすれば(1)式は

となる。本伝送器は変位平衡式であり,後述のように空気圧変換 部で100~500%のレンジ変更が可能であるのでδ=1~5mmに 設定している。ベローズのような弾性体はストロークが大きくな るとバネ係数が変化するので *ΔP* と δ の間に比例関係が成立しな くなる。しかし(3)式で

 $K_R \gg K_i(i \neq R)$ (4) のようにし、しかもレンジスプリングに純粋な恒弾性材料を使用 すれば K_H, K_Lが少し変化しても ∑ K_i としてはほとんど変化し ないことになる。従来一般にベローズ形の差圧伝送器は、レンジ 変更の必要性からレンジスプリングをベローズ外の測定流体に接 する部分(以下接液部と略す)に取り付けていたので,弾性特性が 劣る耐食材料を使用しなければならなかった。これに対して本伝 送器は空気圧変換部で大幅なレンジ変更が可能であるので,第3 図に示すようにレンジスプリングを内蔵できる。したがって純粋 な弾性材料を使用できるので,静特性が向上する。

3.1.2 零点の温度補償

零点に対する温度補償にはバイメタルの曲りを利用している。 すなわち,第6図において,入力差圧を零とし,周囲温度が AT だけ変化したときの伝達アーム先端の変位を ôr とすれば

のようにバイメタルの曲り量を定めればよい。簡単には(7)式を 用いれば

$$D = \frac{1}{S(K_H + K_L + K_R)} \left(K_H \gamma V + \frac{1}{10^2 S^2} \cdot \frac{\varDelta P}{\varDelta T} E_{MT} \right)$$
.....(10)

3.1.3 感度の温度補償

金属は一般にヤング率の温度係数をもっている。本伝送器に使 用している材料のうちおもなものを第2表に示す。そのために周 囲温度の変化によって系の感度が変わる。バネ係数はヤング率に 比例するので,単位温度当たりのヤング率の変化による伝達アー ムの先端の変位 doは、(3)式からバネ係数の全微分をとって、

$$i=H, L, R, T$$

よって影響値 $E_Y(\%)$ は,

$$E_{Y} = \frac{d\delta}{\delta} \times 100 = \frac{100}{K_{H} + K_{L} + K_{R} + \frac{\delta_{T}}{l_{1}^{2}}} \times \left(K_{H} \alpha_{H} + K_{L} \alpha_{YL} + K_{R} \alpha_{YR} + \frac{1}{l_{1}^{2}} K_{T} \alpha_{YT}\right) \dots (12)$$

ただし、 α_{YH} : 高圧ベローズのヤング率の温度係数 (deg⁻¹) ·ベー ブのセングダの泪座反粉 (1~~-1) にステンレスを用いねばならない。

 $\therefore \alpha_{YR} \doteq 4 \times 10^{-4}$

であるから(14)式は

 $E_{\rm x} \doteqdot 4 \times 10^{-2}$ (%/deg)(15) となる。すなわち、2%/50[°]C の感度変化がでることになる。これ に対して、本伝送器のようにレンジスプリングを内蔵させれば、 耐食性を考慮する必要がないので恒弾性材料を使用できる。Ni-Span-C は適当な熱処理によって

 $\alpha_{YR} \doteq 0$

とすることができるので上と同様な計算をすれば、

 $E_{Y} \doteq 0.67 \times 10^{-2}$ (%/deg).....(16) したがってわずかに $0.3\%/50^{\circ}$ の感度変化しかないことがわかる。

そのほか,腐食によって接液部の弾性特性が変わる場合にも, 上記と同様な考えから,レンジスプリングを内蔵させることによ って腐食による感度の経年変化を大幅に改善できる。

3.1.4 動特性および過負荷防止

本伝送器はきわめて高い感度をもっているので,プラントの脈 動を忠実に伝送してしまう。したがってスムーズに記録あるいは 調節動作を行なうためには脈動を減衰させねばならない。従来か ら伝送器の出力側に容量を入れて記録,調節動作だけスムーズに させるものがあるが,それでは伝送器自体の脈動は減衰されない ので寿命の点で好ましくない。本伝送器は**第3図**からわかるよう に,受圧部にダンパを内蔵して封入液の粘性抵抗により脈動を減 衰させている。



また,誤操作あるいは不測の事故による過負荷あるいは逆負荷 に対しては低圧ベローズにストッパバルブを付加し,封入液の非 圧縮性を利用して機構部の破壊を防止している。

3.2 空気圧変換部

空気圧変換部において,受圧部の伝達アームからはいる変位 δ と 出力圧信号 P₀との関係を求めてみる。この関係をあらわすブロック 線図は各機構要素間の作用を考慮して第7図のように求められる。

ところで実際の場合には(18)およびループゲインに関する(19)式 のような仮定がほぼ成り立つのでこれを用い上記ブロック線図を整 理し両者の関係を求めれば(17)式のごとくなる。ただし式中の各記 号は第7図に付記したものと同様である。

本伝送器の特長の一つは差圧レンジの変更が受圧部ではなく,空 気圧変換部の簡単な調整によって広範囲にわたり行なわれる点にあ る。この差圧レンジの変更は(17)式においてXをかえることに相当 する。(17)式の各記号に実際の設計値を代入し数値的関係を求めれ ば,

上式においてフラッパと作動レバーの接触位置Xを0~70mmの範

式と(17)式とをあわせ考えれば、当然差圧 *ΔP*に対する出力圧 *P*₀の 関係がえられる。

4. 各特性の実験結果と検討

4.1 静 特 性

この差圧伝送器受圧部の低圧側を大気に開放し,高圧側に差圧に 相当する圧力を加えた場合の出力圧特性実測結果を第8図に示す。 図からわかるように直線誤差,ヒステリシスともフルスケールに対 し 0.5% 以下であり、しかも差圧レンジを変えても精度の変動はほ とんど問題にならない。これは前にも述べたとおりループゲインが 高く,また構造が単純で機構部の摩擦や相互ずれの生ずる個所が少 ないためと考えられる。



囲で変えれば比例感度は0~∞の間で変えられるが製品ではこれを 0.8~4.0(レンジ100~500%)の範囲で連続可変できるようになって いる。ところで(17)式の関係は(19)式のようにループゲインが1よ りきわめて大きいことを前提とするが、 実際この値は 272~605 で 十分この条件を満足している。なおこの伝送器は変位平衡方式であ って作動時受圧部と空気圧変換部とが直列につながるものと考えら れるので、いままで両者別々に考察してきたけれども、ここで(3)

日立製作所日立研究所創立三十周年記念論文集



差圧伝送器を高静圧下で使用するとき,この静圧による出力圧

誤差が問題となる。この特性を確かめるため,受圧部両側から等 しい静圧をかけ,出力圧の変動状態を調べた。この結果を第9図 に示す。図からわかるように静圧0~100 kg/cm²の範囲において 出力圧零点の変動は差圧レンジ2,500 mmAqの場合最大2mmHg (0.3%)にすぎない。封入液中に気泡(きほう)がある場合はこの 誤差は大きくなるので,本器組立の際は注意して部品の洗浄を行 ない, また専用の液封装置を使い十分真空引きして後液封してい る。

4.2.2 片圧負荷特性

差圧伝送器使用時,調整者の不注意その他の原因により受圧部 の片側からのみ大きな圧力がかかってくることがある。このよう な場合、本伝送器ではすでに述べたようにストッパバルブ(第3) 図参照)が自動的に閉じて破損を防ぐようになっている。この動 作を確かめるため高圧,低圧側から交互に 50 kg/cm²の圧力を加 えてもとに戻したときの出力圧零点変動状態を調べた。結果を第 10 図に示す。 これよりわかるように差圧レンジ 2,500 mmAg 設 定時の変動値は最大3mmHg (0.5%) 以内にとどまりストッパバ ルブが確実に作動していることが認められた。

4.2.3 振動および衝撃

振動および衝撃に対する影響を調べるため振動試験器, 衝撃試 験器を用い,それぞれ周波数毎分 1,000 サイクル,振幅 2 mm の 振動と加速度1gに相当する衝撃を機体に加えて後,出力圧零点 変動状態を調べたが、いずれも1mmHg (0.17%) をこえなかっ た。この伝送器の設計にあたっては構造の単純化とともにできる 限り軽量化をはかり, とくに空気圧変換部においては構成部分は 径 1.4 mm の線材を主体とし、また部品間の結合にはネジ止め個 所を最小限にとどめて点溶接法を採用し,ゆるみやすい個所を少 なくしたので耐振動,衝撃性を著しく向上させることができた。 4.2.4 温度特性 周囲温度の変化に対する影響を調べるため,本伝送器を恒温槽 に入れ温度を0~85℃に変えて、各温度における出力圧零点の変 動状態を調べた。結果を第11図に示す。出力圧零点は温度の上 昇とともにきわめて徐々に上昇はしているけれども, 室温以上の 上昇に対してはほぼ 10℃ あたり 0.1% の変動にすぎない。 前述

第12図 給 気 圧 変 動 特 性



のように本伝送器の温度補償については, バイメタルを使用した 独自な方法を用い, また材料の熱膨張を考慮して構成部品の材料 を厳密に選定し、特にバネ部分はすべて恒弾性材料(Ni-Span C) によるなど意を用いたので,温度影響値をきわめて僅少にするこ とができた。

4.2.5 給気圧の変動

この差圧伝送器に供給される給気圧は1.4 kg/cm²であるが、 これを 1.1~1.6 kg/cm² の範囲で変えたときの出力圧零点の変動 状態を第12図に示す。本伝送器のループゲインは272~605と大 きいので出力圧零点の変動はほぼ ±1 mm Hg (0.17%) にすぎな 1'0

特 性 4.3 動

流量のように応答の早い変量の制御では計器の動特性が問題にな

る。この差圧伝送器に対しても周波数応答試験器を用い、角周波数 0.01~18 rad/sの正弦波入力信号を与えて出力信号の波形を調べ, ボード線図を求めた。その結果を第13,14図に示す。周波数毎分 256 サイクルまでの入力に対し出力の波形ひずみはほとんど認めら れなかった。一例として第13図には毎分64サイクルの場合の応答 波形を示す。また,第14図のボード線図からその折点角周波数は 最高 5.5 rad/s にまで達することがわかり、動特性においても向上

日 立 BPR-2 形 空 気 式 差 圧 伝 送 器



第14図 周波応答試験によるボード線図

が確認された。これは可動部分の軽量化によって慣性をできる限り 小さくしたためと考えられる。この伝送器の受圧部内にはすでに述 べたようにダンパバルブがついていて、これを調整することにより 第14図で示されているように周波応答特性は実際上0~5.5rad/sの 折点角周波数範囲内で任意に変えることができる。

5. 結 言

以上今回開発した日立 BPR-2 形差圧伝送器について報告したが,

これを要約すれば、本伝送器が新しい設計構造に基づく高度の単純 化と独自の温度補償法の適用によって性能、機能上に著しい向上が みられた。すなわち静特性、各影響値とも 0.5% 以内の計器精度と 折点角周波数最高 5.5 rad/s の応答特性が確認され、さらに測定範 囲の拡大と外部からの連続調整可能化、正逆動作、初期値の移転、 過差圧防止、脈動流量の減衰測定など測定機能の多様化を実現する ことができた。本伝送器の受圧部は電子式差圧伝送器と互換性をも ち、また空気圧変換部は圧力、温度伝送器に対しても共通要素とし て使用される。このように共通要素から成り立つことは、単に空気 式のみならず電子、空気両方式にわたる制御装置の統一系列化のう えに大きな意義をもつものと考えられる。

終わりにのぞみ本開発研究に当たりご指導いただいた日立製作所 日立研究所北川部長,那珂工場伊藤部長をはじめ,関係各位に厚く 謝意を表する。

参考文献

(1) 北川,長谷川, 斉木, 小野寺: 日立評論別冊 44 (昭 36)



超小型電動機用整流装置

きわめて細い線また箔状体を刷子として使用する起小型電動機の 整流装置においては1極の刷子を構成する複数本の刷子素体が整流 子と接触するときに各刷子素体はそれぞれ許される範囲内において 整流子の円周方向にずれた位置で接触すれば刷子素体が整流子片間 絶縁物によって通電を遮断されることなく有利であり,かつ各刷子 素体が整流子の軸方向にずれた位置で接触すれば摩耗の集中を防止 することができ有利である。

しかるに本考案装置は, 整流子1面に軸方向と円周方向にずれて

各極刷子素体2が接触するように刷子保持具3に軸方向および円周 方向にずれた位置にそれぞれ刷子穴4を形成しこの刷子穴4にほぼ コ字状の刷子素体2をそれぞれそう入固定するようにしたものであ る。

したがって各刷子素体2は自然的に整流子1面に軸方向および円 周方向にずれて接触するようになり,通電不良や摩耗の集中を防止 することができる。また刷子穴4は切欠けとしても同様効果が得ら れる。 (仙波)







第1図

第3図

