



Table1 Specifications of control valve

Item	Specification
Actuator	
Form	Multiple spring / Single acting diaphragm
Direction	Air to close
Maximum range	38 [mm]
Supply pressure	0.24[MPa]
Spring range	0.04~0.20[MPa]
Diaphragm diameter	330[mm]
Diaphragm effective area	515[cm <sup>2</sup> ]
Diaphragm maximum capacity	4510[cm <sup>3</sup> ]
Body	
Form	Groove
Valve size	4B(100[mm])
Pressure rating	JIS 10K
Action	Direct action
Rated CV	140

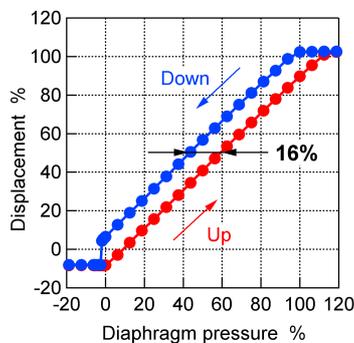


Fig.2 Hysteresis characteristics of control valve

## 2.2 電子式ポジショナ

ステムの位置制御を主目的とする電子式ポジショナは、角度センサ、離散演算装置としての PC、I/P 変換要素、パイロットリレーより構成される。PC を離散演算部とすることで任意の制御手法の構築が可能となり、その効果を実機にて確認できる点が大きな特徴と言える。Fig.1 にはポジショナでのステム位置の制御フローを併せて示している。まず、PC 上でステム位置の目標値が与えられる。この目標値と角度センサより出力されたステム位置信号とが比較演算され、偏差に基づく出力信号が D/A 変換器、V/I 変換器を介して電流信号として出力される。電流信号は I/P 変換要素により圧力信号（ノズル背圧）に変換される。このノズル背圧がパイロットリレーを操作して、作動空気がダイヤフラム室に供給され、ステムを駆動する。位置制御の離散演算周期は 15[ms]であり、調節弁の動作に比べて十分速い演算周期を実現している。

## 2.3 計測系

測定するシステムの挙動は、ステム位置（角度センサ）、ダイヤフラム室内圧力（半導体圧力センサ）、そして調節計の各演算信号（PC 内で演算）である。いずれの測定器も十分な動特性を持っていることを確認している。以上のデータはポジショナでの離散演算周期と同一のサンプリング周期で測定し、A/D 変換器を介して PC のハードディスク上に保存している。なお、使用する PC の CPU は PentiumII-233MHz である。

## 3. 調節弁・ポジショナ系の非線形要素

調節弁・ポジショナ系は多くの非線形要素を有し、これらがシステムの応答に大きな影響を及ぼす。そこで、各構成要素が持つ非線形性を調査・整理する。

### 3.1 調節弁

本論文は、ヒステリシスの大きな調節弁に使用する電子式ポジショナの高性能化を実現するための制御手法の開発を目的としている。実験の再現性を保障するために、前述のグラウンドパッキンを充填した時の調節弁のヒステリシスが 16% になるように常に調整し（Fig.2）、以降の実験を行っている。このヒステリシスはグラウンドパッキンの摩擦力（約 1300[N]）に起因するもので、ステム位置（フルスパン：0~38[mm]）に対するダイヤフラム室内圧力（フルスパン：0.04~0.20[MPa]）の関係に見るヒステリシスを指す。図中に示すように、同一のステム位置であっても、ステムの上昇時（図中赤線）と下降時（図中青線）でダイヤフラム室内圧力が大きく異なることがわかる。このため、ステムの目標値の変化方向と変化前のステムの動作方向との関係により、応答に違いが現れる。ここでは便宜上、目標値入力の変化と変化前のステム動作とが同一方向の場合を Forward mode、逆方向の場合を Reverse mode と呼ぶ。Reverse mode では、ダイヤフラム室内圧力がヒステリシス相当分変化するまで（弁軸推力がパッキンの摩擦力に打ち勝つまで）ステムは動き出すことが出来ない。

### 3.2 パイロットリレー

ポジショナの一構成要素であるパイロットリレーは、Fig.3 に示すように、給気弁（作動空気を出力室へ供給）と排気弁（出力室から作動空気を大気へ放出）の 2 つの機能を担うポ

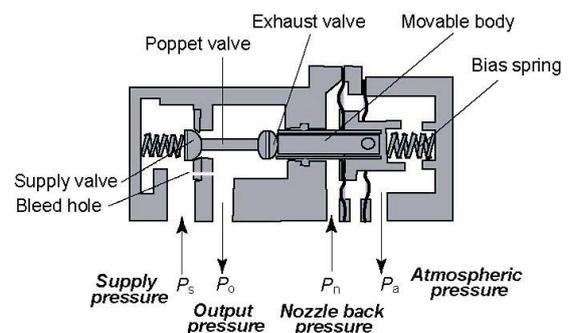


Fig.3 Detailed view of pilot relay

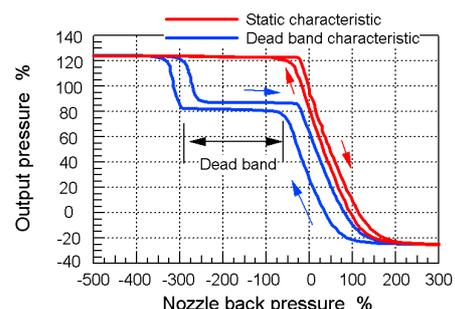


Fig.4 Static characteristics of pilot relay

ペット弁を持ち、ノズル背圧が主弁体を押す力とバイアスばねとの釣り合いにより、いずれか一方の弁が開く構造になっている。また、機構上、両方の弁が閉じている状態が存在し、この時は出力圧が応答しないため、給気弁座にはブリード孔を設けて給気機能を補償している。Fig.4 にノズル背圧(入力)をごく緩やかに上昇、下降させた時の出力圧の測定結果(赤線)を示す。パイロットリレーの負荷容量が極小小さく、またノズル背圧の変化を準定常とみなせることから、ブリード孔からの給気のみ(給気弁は全閉)で出力圧がフルスパンにわたって変化している。これに対して、出力圧室の空気を微小量大気に放出した時の測定結果を図中青線にて示す。この場合、給気時にはブリード孔からの給気量のみでは出力圧が上昇しなくなり、給気弁が開くことになる。しかし、ポペット弁は供給空気圧によって給気弁座に常に押し付けられており、給気弁を開くにはこの押し付け力に打ち勝つまでノズル背圧が変化する必要がある。この間、ブリード孔からの給気量と大気への放出量が平衡し、出力圧は一定値に保持される。また、排気時には、ポペット弁が供給空気圧から受けている力を全て給気弁座に受け持たせた時点で排気弁が開くため、同様に出力圧が一定となる領域が存在する。ここでは、出力圧一定の下でのノズル背圧の変化分をパイロットリレーの不感帯幅と定義する。この不感帯は、出力圧をフルスパン操作するのに必要なノズル背圧の変化量(図中赤線参照)に対して、無視しえない大きさであることを確認できる。Fig.4 では、この不感帯の影響が準定常的な入、出力特性に現れるように、微量の空気を意図的に大気に放出したが、通常の動作状態では、ブリード孔からのみの給気(不感帯の範囲内)で出力圧は緩やかに上昇し、ノズル背圧が出力圧の応答速度よりも速く変化し、かつノズル背圧の変化量がこの不感帯幅より大きくなる場合に初めて給気弁が開き、出力圧が急激に上昇することになる。以上より、パイロットリレーは、ブリード孔からのみの給気と給気弁からの給気の2段階の給気動作が存在するために、強い非線形性を持つことを確認した。

### 3.3 I/P 変換要素

Fig.1 に示すように、ポジションナにおいて電磁アクチュエータとノズルフラップは一つのシステム構成要素(I/P 変換要素)と見なす。このI/P 変換要素への入力電流とノズル背圧(出力)の間には磁気回路に起因する大きなヒステリシスが存在する。I/P 変換要素とパイロットリレーとを組み合わせ、入力電流をごく緩やかに上昇、下降させた時のパイロ

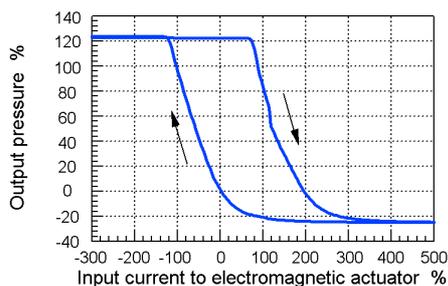


Fig.5 Static characteristics of pressure control unit

トリレー出力圧の応答を Fig.5 に示す。Fig.4 に見るように、パイロットリレー単体(ノズル背圧の変化に対する出力圧の応答)のヒステリシスは小さいが、I/P 変換要素のヒステリシスが大きいために、2つの要素を組み合わせるとして観た場合のヒステリシスは大きくなるのがわかる。また、磁気回路のヒステリシスは入力電流の変化幅により特性が異なることから、I/P 変換要素は非線形性が極めて強い要素と言える。

## 4. ヒステリシスの大きな調節弁にポジションナを付帯した場合の不具合現象

ヒステリシスの大きな調節弁に一般的な電子式ポジションナを使用した場合の不具合現象として、ステム位置制御に微分先行型PID制御(以後PI-D制御)を採用した時の、10%幅の目標値ステップ状変化に対するシステムの応答(調節弁の初期状態はReverse mode, 初期弁開度50%)をFig.6に示す。ここでは、ステム位置、ダイヤフラム室内圧力、調節計の出力信号、各調節計での演算信号の応答を取り上げる。調整値の設定は限界感度法によったが、十分な安定性を得るために積分時間を長めにしている。Table2に各調整値を示す。

目標値変化に対して出力信号が大きく変化するため、パイロットリレーの給気弁が開き、ダイヤフラム室内圧力が速やかにヒステリシス相当分変化してステムが上昇する。その後、

Table2 Parameter of the position controller

Item	Parameter
Loop gain	120
Integral time	10[s]
Derivative time	0.125[s]

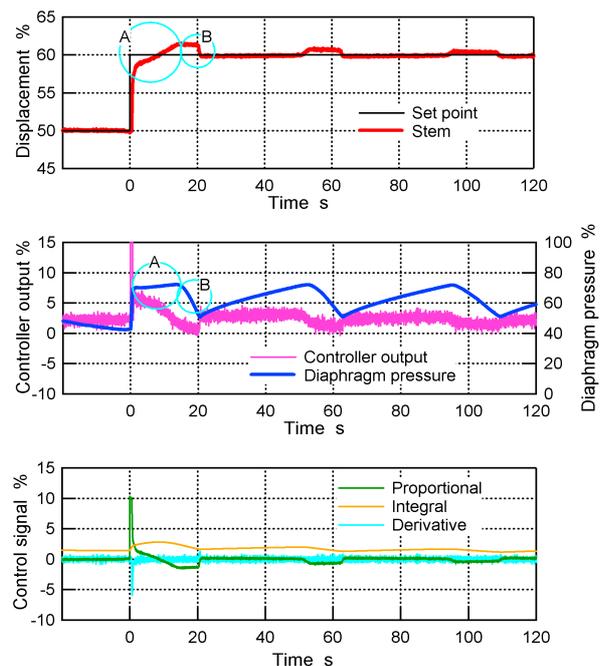


Fig.6 Response of the system with a PI-D position control to step change

ステム位置が目標値に近づくにつれ、調節計では出力信号を低下させているが、ダイヤフラム室内圧力はさらに上昇し続けるために、ステムはオーバーシュートすることがわかる(図中 A)。これは、第3章で明らかにしたように、圧力操作部が強い非線形性を有することに起因する。すなわち、IP 変換要素のヒステリシスにより出力信号の変化にノズル背圧が追従せず、また、パイロットリレーでは不感帯の範囲内で給気動作が行われていることにより、ダイヤフラム室内圧力は緩やかに上昇することになる。また、オーバーシュートに対する訂正動作はパイロットリレーの排気弁が開いた後に初めて行われるが、ダイヤフラム室内圧力がヒステリシス相当分変化するまでステムは停止しており、その後スティックスリップ運動を生じてステムが瞬時に変位することがわかる(図中 B)。しかし、ポジションナではこの挙動を制御することができず、また、積分器が微小偏差を許容しないため、訂正動作が繰り返されてハンチングを生じている。なお、初期弁開度により給気、排気応答の速度に差異はあるものの、全弁開度域でほぼ同様の挙動が得られていることを確認している。

現在普及しているポジションナの多くは、機械的な構造により比例制御を行うため、スティックスリップ運動により生じる偏差を定常偏差として許容し、システムを安定させることができる。しかし、電子式ポジションナは、PI-D 制御を始めとするより高度な制御動作を採用できる利点を有する。PI-D 制御を採用するならば、比例制御のみに比べて速応性が著しく向上するが、この利点を生かすためには、目標値近傍での微小偏差の許容と、調節計の出力信号に対するダイヤフラム室内圧力の追従性の改善が不可欠となる。

### 5. ポジションナの制御手法の構築

前章で明らかにした調節弁・ポジションナ系の不具合を改善し、制御性能を向上させるための制御手法について検討する。

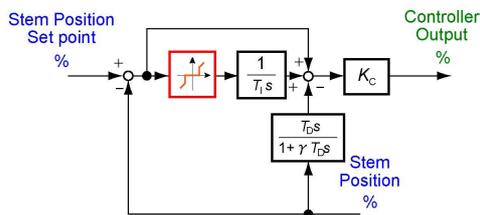


Fig.7 Block diagram of PI-D controller with gap in integrator

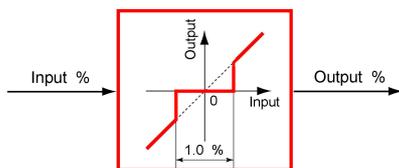


Fig.8 Configuration of gap in integrator

### 5.1 積分器入力信号にギャップを設ける効果

PI-D 制御を採用した際に生じるハンチングを抑制してシステムを安定させるためには、目標値近傍での偏差を許容し、積分器による訂正動作を停止させる必要がある。そこで、ステムのスティックスリップ量を考慮して、Fig.7, Fig.8 に示すように、積分器への入力信号のみに 1%幅 (±0.5%) のギャップを設け、偏差がギャップ内に入った場合には積分演算を停止 (積分器出力信号はそのまま保持) させる方法を採用する。ギャップ内の偏差に対しては、比例、微分動作のみで制御を行うことになる。なお、各調整値は前章の実験と同様 (Table2) としている。汎用のギャップ付き PID 制御<sup>6)</sup>と異なり、ギャップの付与を積分器のみに限定しているのは、ハンチングを生じる原因が積分器で偏差を許容しない点にあること、また、ギャップの範囲内でもステムの位置制御を比例・微分動作で行うことにより、定常偏差を極力小さくすることを意図するためである。これにより、16%のヒステリシスを持つ調節弁に対して、ポジションナを付帯した際に最大 0.5%の定常偏差を許容することになる。以上の効果を確認するために、積分器入力信号にギャップを設けた場合の 10%幅の目標値ステップ状変化に対するシステムの応答 (調節弁の初期状態は Reverse mode, 初期弁開度 50%) を Fig.9 に示す。PI-D 調節計の調整値は Fig.6 の場合と同様であり、積分器の入力にギャップを設けた点のみが異なる。

実験結果より、ギャップを付与することで、安定時間は長い (ダイヤフラム室内圧力で評価すると約 80[s]) もの、ハンチングを起かさずに安定することがわかる。安定時間が長くなるのは、オーバーシュートに対する訂正動作でステムがギャップ内に入って停止した場合に、調節計の出力信号は一定値を保持するものの、ダイヤフラム室内圧力が安定せずに

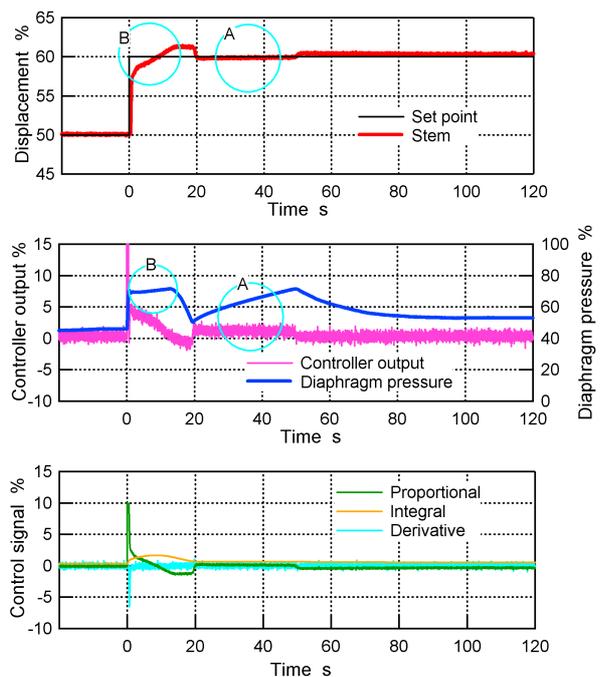


Fig.9 Response of the system with a PI-D action and gap in integrator to step change

ヒステリシス相当分緩やかに変化して (図中 A), システムがさらに変位することによる. すなわち, 調節計の出力信号に対するダイヤフラム室内圧力のゲインが非常に大きく, かつその応答が極めて遅いことが整定時間を増大させる要因となっている. また, Fig. 6 で見られた, 目標値近傍でのシステムの緩やかな上昇 (圧力操作部の非線形性に起因) に伴うオーバーシュートは, ギャップを付与した場合でも同様に発生している (図中 B). オーバーシュートに対する訂正動作後に図中 A の挙動が生じるため, オーバーシュートは好ましくないが, PI-D 調節計の調整値を変更した場合もほぼ同様の挙動になることを確認している. よって, 圧力操作部の強い非線形性の影響は, 位置制御系の調整値によらず発生し, システムの整定性を低下させる大きな原因であると言える.

### 5.2 圧力制御系を付与する効果

システムの整定性を低下させる主要因が, 調節計の出力信号に対するダイヤフラム室内圧力の応答特性にあることから, ここではダイヤフラム室内圧力のフィードバック制御系 (圧力制御系) を付与したカスケード制御系を構築し, その有効性を明らかにする. 圧力制御系を付与した場合の調節計のブロック線図を Fig.10 に示す. まず, これまでと同様にシステムの位置制御 (PI-D 制御, 積分器入力信号には 1%幅のギャップを設ける) が行われ, 位置制御調節計から演算信号が出力される. この出力信号が圧力制御系における目標圧力値となり, ダイヤフラム室内圧力がフィードバック制御されてシステムを駆動する. ダイヤフラム室内圧力を中間制御量とする目的は, 位置制御調節計の出力信号に対するダイヤフラム室内圧力のゲインを小さくすることと, 圧力操作部の非線形性と応答性を改善することにある. そこで, ダイヤフラム室内圧力の制御には微分先行型 PD 制御 (以後 P-D 制御) を採用する. 調整値は十分な安定性と高い応答性が得られるように設定している (後述の一巡ループゲイン  $K_{LP} = 150$  に相当). また, 位置制御系の調整値は, 圧力制御系を付与した制御対象に限界感度法を適用して設定している. Table3 にこの時の

各調整値を示す. なお, 調整値の設定例については次章にて述べる. 以上に構築したカスケード制御を行う時の 10%幅の目標値ステップ状変化に対するシステムの応答 (調節弁の初期状態は Reverse mode, 初期弁開度 50%) を Fig.11 に示す. ここでは, システム位置, ダイヤフラム室内圧力, 位置制御調節計の出力信号の応答を取り上げる.

図中 A に見るように, 圧力制御系を付与することで, ダイヤフラム室内圧力が位置制御調節計の出力信号の変化に良好に追従することがわかる. よって, 目標値の変化に対してシステムはオーバーシュートするものの, 訂正動作が速やかに行われている. また, ダイヤフラム室内圧力の応答速度が速いために, 訂正動作時にダイヤフラム室内圧力がヒステリシス相当分変化してシステムが動き出すまでに要する時間が, 位置制御のみを行う場合 (Fig. 6, Fig. 9) に比べて短くなっていることを確認できる (図中 B). さらに, 積分器に付与するギャップ内にシステムが入った後のダイヤフラム室内圧力の整定性が著しく向上し, システムの整定時間が大幅に短縮 (ダイヤフラム室内圧力で評価すると約 5[s]) していることがわかる. 以上より, 位置制御系に圧力制御系を付与したカスケード制御を採用することで, システムの制御性能が飛躍的に向上することを明らかにした. 前章同様に初期弁開度により給気, 排気応答の速度に差異は生じうるが, 圧力制御系を付与することによりその影響は十分小さくなり, 初期弁開度を 50%で代表することに相応の妥当性があるものと考えられる. なお, 他の初期弁開度においても同様の改善効果が得られることを確認している.

ここに提案するカスケード制御では, ダイヤフラム室内圧力を直接計測するため, 実装に際してはダイヤフラムに圧力センサを新たに設ける必要がある. しかし, 管路モデルを用いてパイロットリレー出力圧からダイヤフラム室内圧力を精度良く見積りうるため<sup>6)</sup>, この演算機能を離散演算部に追加すれば, 多くのポジションが装備するパイロットリレー出力圧室の圧力センサで十分代用できるものと考えられる.

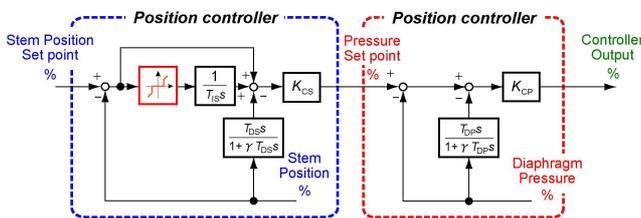


Fig.10 Block diagram of cascade controller

Table3 Parameter of the cascade controller

Item	Parameter	
Position controller	Proportional gain	4.39
	Integral time	0.665[s]
	Derivative time	0.166[s]
Pressure controller	Loop gain	150
	Derivative time	0.125[s]

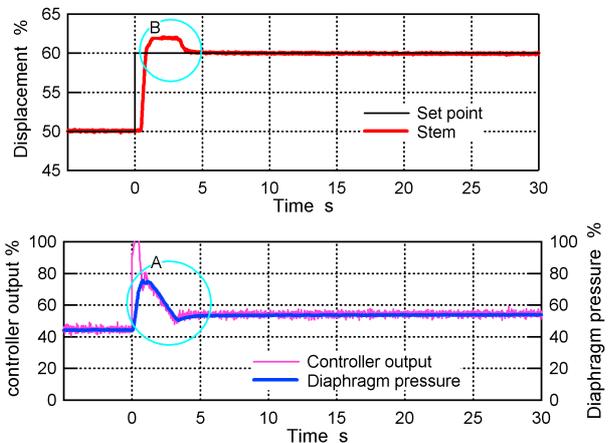


Fig.11 Response of the system with cascade control to step change

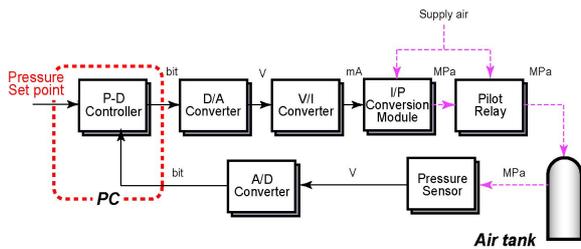


Fig.12 System configuration of pressure control system

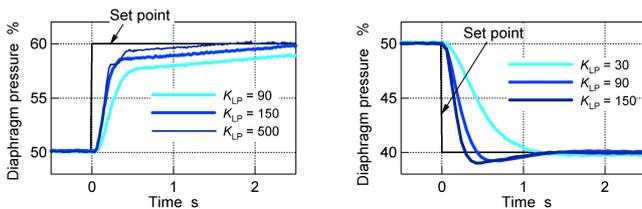


Fig.13 Response of pressure control system to step change of set point

## 6. カスケード制御系の調整例

第5章にてその有効性を確認したカスケード制御系の調整方法について検討する。

### 6.1 作動空気圧制御系の調整例

カスケード制御系の調整方法を検討するに当たり、まず、2次制御ループである圧力制御系に注目する。ここでは、ステム位置50%時のダイヤフラム室容量に相当する圧力容器を、I/P変換要素、パイロットリレーからなる圧力操作部の負荷とみなして検討する。Fig.12に対象とする圧力制御系の構成図を示す。

ダイヤフラム室内圧力の制御には、十分な安定性を持ちながらかつ高い応答性を得るためにP-D制御を採用している。微分時間は制御対象(圧力操作部+圧力容器)に限界感度法を適用して決定する( $T_{DP}=0.125[s]$ )。また、圧力制御系の一巡ループゲイン $K_{LP}$ の設定に関しては、圧力操作部の特性が給気時と排気時で大きく異なることに留意する。ループゲイ

ンを変えた場合の目標値ステップ入力に対する圧力の応答をFig.13に示す。圧力上昇時には、いずれのループゲイン設定においても、パイロットリレーの不感帯の影響を受けて、目標値近傍ではダイヤフラム室内圧力の上昇速度が飽和している。さらに、ループゲインを過度に大きくした場合には、先行している微分動作による制動効果が過剰に現れて、応答性に変化がほとんど見られなくなることから、給気時の応答に着目した調整としては $K_{LP}=150$ とすれば十分である。一方、圧力下降(排気)時は、比較的小さなループゲイン設定でもオーバーシュートしやすいことがわかる。よって、排気時の応答に着目する場合は、位置制御系への干渉を避けて、オーバーシュートが生じないように $K_{LP}=30$ とする。

給・排気時の応答に基づくゲイン設定の下、カスケード制御系の応答を評価することで、圧力制御系の調整値を決定する。圧力制御系のループゲインを上述の2通りに設定した場合の10%幅の目標値ステップ状変化に対するシステムの応答(調節弁の初期状態はReverse mode, 初期弁開度50%)をFig.14に示す。位置制御系の調整値は前章同様に限界感度法により決定している。まず、排気時の応答に着目して $K_{LP}=30$ とする場合には、位置制御調節計の出力信号に対するダイヤフラム室内圧力の追従が悪く(特に出力信号の変化方向の反転時)、積分器に設けたギャップ内でステムを整定させることができない。また、訂正動作時にステムが停止している時間(ダイヤフラム室内圧力がヒステリシス相当分変化する時間)も長いために、この間の積分器出力信号の増大が顕著になり、ハンチングを生じている。一方、給気時の応答に着目して $K_{LP}=150$ とすると、ダイヤフラム室内圧力の追従性が著しく改善され、システムが速やかに整定することがわかる。前述の通り、目標圧力値がステップ状に低下する場合には、作動空気圧の応答はオーバーシュートするが、ステム目標値の下降に対する位置制御動作でもこれに起因する不具合は見受けられず、良好な挙動を得ていることを確認している。これより、カスケード制御を行う際の圧力制御系には、給気時の応答に着目したゲイン調整を採用することで、圧力操作部の非線形性が十分に小さくなり、良好な制御動作が得られることを確認した。

### 6.2 位置制御系の調整例

前節で明らかにしたように、圧力制御系のループゲインを適切に設定するならば、位置制御調節計の出力信号に対してダイヤフラム室内圧力が良好に追従する。よって、システムの応答には位置制御系の調整値の設定が支配的となるため、ここでは位置制御系の調整に3通りの調整則を適用し、応答の評価を通して調整方法を検討する。ヒステリシスの大きな

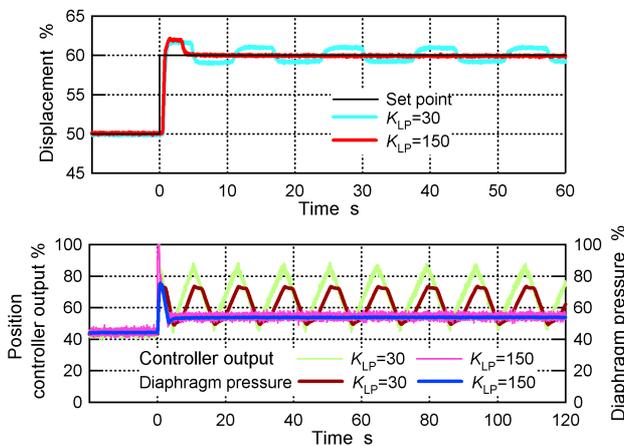


Fig.14 Effect of pressure controller adjusting on response to step change

Table4 Three ways of controller parameters

Regulated rule	$K_{CS}$	$T_{IS}$ s	$T_{DS}$ s
Critical gain	4.39	0.665	0.166
Improved critical gain	3.25	1.20	0.109
Chien-Hrones-Reswick	3.57	3.30	0.232

調節弁・ポジシヨナ系では制御対象がむだ時間（ダイヤフラム室内圧力がヒステリシス相当分変化するのに要する時間）を有することから、この点を考慮できる調整則を適用することが望ましい。そこで、これまで採用してきた限界感度法に加えて、改良型限界感度法で目標値追従型の条件と、Chien-Hrones-Reswick 法で行き過ぎなしの条件を適用する<sup>5)</sup>。Table4 に3つの調整則より得た調整値を示す。これより、比例ゲイン  $K_{CS}$  は限界感度法が最も大きく、その他2つの調整則ではほぼ同様となる。積分時間  $T_{IS}$ 、微分時間  $T_{DS}$  はそれぞれ大きく異なり、Chien-Hrones-Reswick 法、改良型限界感度法、限界感度法の順にこれらが小さくなっている。3通りの調整則を適用した場合の1%幅の目標値ステップ状変化に対するシステムの応答（初期弁開度50%）を Fig.15 に示す。調節弁の初期状態は Forward mode の場合と Reverse mode の場合をそれぞれ取り上げる。10%幅の目標値変化に対する応答では、目標値変化時の出力信号の操作量が大きくなり、初期状態による応答の違いがほとんど現れないため、ここでは両者の違いがより顕著に現れる1%幅の目標値変化を取り上げている。

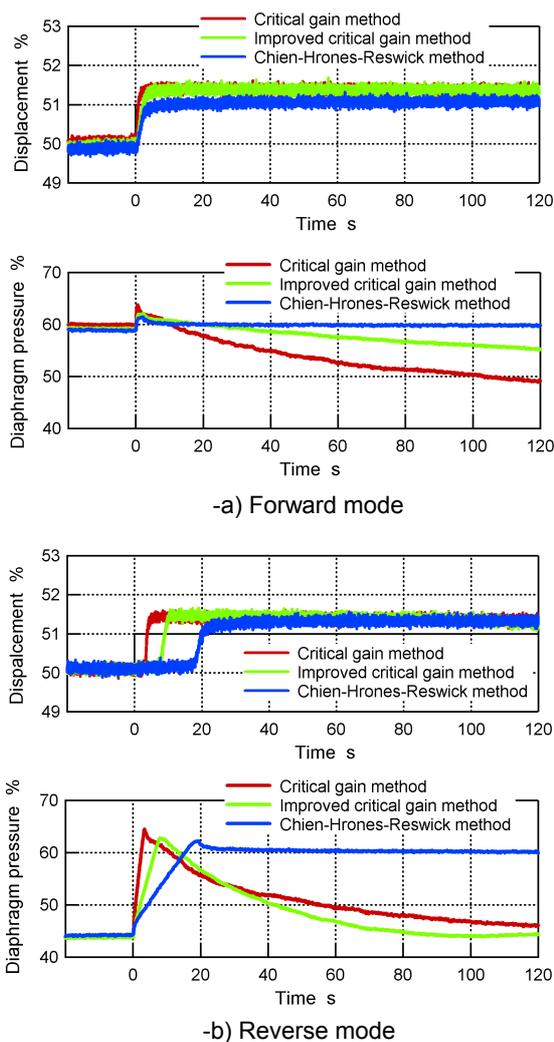


Fig.15 Effect of position controller adjusting on response to step change

調節弁の初期状態の違いは、ステムの応答に見るむだ時間に現れる。すなわち、Forward mode ではわずかなダイヤフラム室内圧力の変化でステムが動き出すのに対して、Reverse mode ではダイヤフラム室内圧力がヒステリシス相当分変化する必要があり、これに要する時間がむだ時間となる。しかし、Chien-Hrones-Reswick 法によるならば、いずれの初期状態においてもオーバーシュートせずに（積分器に付与するギャップ幅を超えずに）整定することがわかる。一方、改良型限界感度法を適用すると、限界感度法に比べてオーバーシュート量は若干低下するものの（オーバーシュート量はむだ時間を生じる Reverse mode の方が大きくなる）、どちらの場合でも積分器に設けるギャップ内でステムが整定せず、訂正動作が行われる。10%幅の目標値変化に対する応答では、オーバーシュート量が大きいためにその後の訂正動作が速やかに行われるが、ここに見るオーバーシュート量はギャップ幅を僅かに超える程度のものである。よって、訂正動作時の出力信号の変化はごく緩やかなものとなり、目標値の変化後 120[s]が経過しても整定しないことがわかる。これより、ヒステリシスの大きな調節弁に使用するポジシヨナの調整値は、オーバーシュートせずに目標値に追従するように設定（Chien-Hrones-Reswick 法を適用）することが望ましいと言える。しかし、その場合でも、Reverse mode ではむだ時間が長くなるため、この点については改善の余地を残す。

## 7. 結 言

空気圧式調節弁・電子式ポジシヨナを一制御系として捉え、調節弁のヒステリシスが大きな場合に起こる不具合を改善し、制御性能を向上させるための制御手法を検討した。対象とする調節弁は、高温、高圧下での使用を想定しているため、大きなヒステリシスを持ち、ポジシヨナの構成要素の中でも I/P 変換要素、パイロットリレーが強い非線形性を有している。電子式ポジシヨナでは、ステムの位置制御に PI-D 制御を採用できるが、積分器が偏差を許容しないために訂正動作が繰り返され、ハンチングを生じる不具合を確認した。しかし、このハンチングは積分器の入力信号にギャップを設けて、微小偏差を許容することで整定させうることを明らかにした。さらに、ダイヤフラム室内圧力のフィードバック制御を付与したカスケード制御を導入することで、圧力操作部の非線形性、応答性が改善されて、調節弁が大きなヒステリシスをもつ場合でも、その制御性能が著しく向上することを明らかにした。ここに提案する2つの制御手法を用いるならば、機器の新たな追加や改良を行わずとも、離散演算方法の変更のみで高性能化が図れるため、実用性に優れている。また、本論文ではカスケード制御系の調整例も示した。圧力制御系に関しては、一巡ループゲインを大きくして圧力操作部の非線形性を低減させることを優先すれば良く、位置制御系については、オーバーシュートを生じない調整がシステムの整定性の点から観て有効であることを確認した。しかし、目標値入力の変化と変化前のステムの動作とが逆方向となる場合の挙動には、改善の余地を残すため、引き続き検討を加えたい。

## 参考文献

- 1) 石塚光正：バルブのスマート化がもたらすもの～ユーザ評価と開発課題を通して，計装，44-5，27/29 (2001)
- 2) 呂，友近：インテリジェントポジショナからインテリジェントバルブへの進展，計装，44-5，35/38 (2001)
- 3) たとえば，香川，清水，本田，小山：空気圧パイロット弁の非線形性を考慮した電空ポジショナの特性解析，計測自動制御学会論文集，29-11，1337/1341 (1993)
- 4) 本格運用が期待されるバルブ実流総合試験設備，計装，40-5，1/3 (1997)
- 5) 須田信英：PID制御，朝倉書店，(1992)
- 6) 浦田，藤田，香川，黒田，稲垣：分離型調節弁の制御性に関する研究，第2回流体計測制御シンポジウム，01SY0015，53/56 (2001)

## [著者紹介]

### 涌井 徹也 (正会員)



2001年早稲田大学大学院理工学研究科博士後期課程修了。博士(工学)。99年日本学術振興会特別研究員，2001年早稲田大学理工学総合研究センター助手，現在に至る。動力システムの力学的挙動・制御問題の解明及びその最適設計に関する研究に従事。日本機械学会，電気学会他会員

### 橋詰 匠 (正会員)



79年早稲田大学大学院理工学研究科博士後期課程修了。工学博士。76年同大学理工学研究所助手，同専任講師，同助教授を経て，87年同教授，現在同大学理工学総合研究センター教授。エネルギー・動力システムに関する研究等に従事。日本機械学会，電気学会他会員

### 西島 剛志



81年東京都立大学理学部物理学卒業。同年(株)北辰電機製作所((現)横河電機(株))入社。バルブポジショナ，電磁流量計，温度伝送器など，フィールド機器の開発に従事。現在に至る。

### 石井 実



99年早稲田大学大学院理工学研究科修士課程修了。バルブポジショナの高性能化に関する研究に従事。同年，横河電機(株)入社。航空宇宙分野における電気および機械設計に従事。現在に至る。