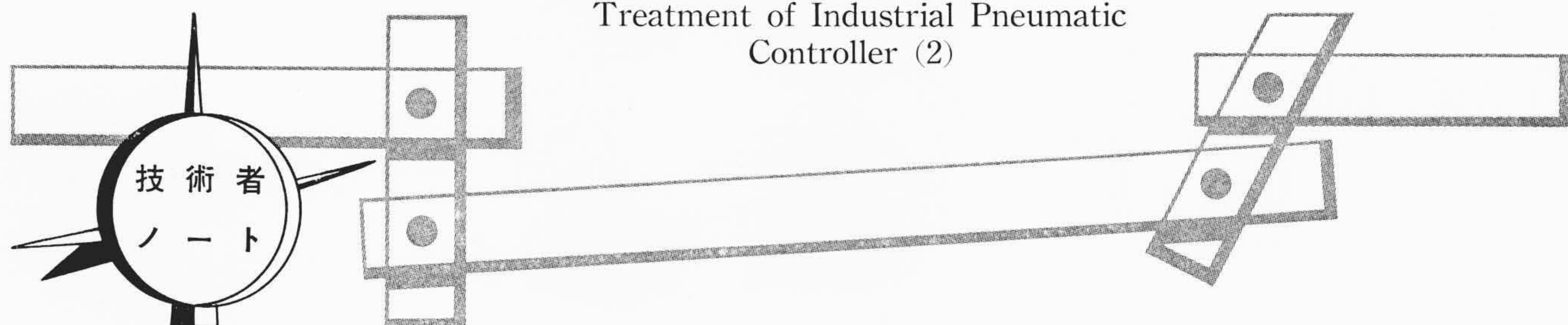


空気作動式調節計の取扱い(その2)

Treatment of Industrial Pneumatic Controller (2)



小野寺 進*
Susumu Onodera

(日立評論 Vol. 43, No. 2 より続く)

復原機構は比例動作のみの場合と積分動作付きの場合により、機構が異なっている。差動検出部と一体になって比例帯を変更したり手動再調整を行ったりすることができる。その構成は第11図のようになっている。差動検出機構は、日立独自の複吊機構を形作っており、比例帯の変更にはフラップを回転させて内わく、外わくに対する関係位置を変え、偏差によるリンクの同じ動きに対してフラップの動きを敏感にしたり鈍感にしたりする。同時に復原量に対してフラップの動き量を変えることもできる。第12図(1)のようなフラップの位置では、偏差によるリンクの動きに対しフラップは敏感に動き、復原の動きは伝わらない(外わくの回転軸上にあるため)。復原がフラップに伝わらないため、オンオフ動作(比例帯0)となる。第12図(2)の場合には、偏差の方向が(1)と同じであっても、フラップの動き方が逆になり、逆作動のオンオフ動作になる。第12図(3)の場合には、偏差によるフラップの動きはなく、復原のみに応動するので比例帯は無限大となる。復原はベローズによって行いが、積分動作の場合には第11図(b)のように、積分ベローズを配して絞り、タンクを経て連結される。

この機構における作動調整の良否は次のようにしてチェックできる。バランステストと称されるもので、バランスがよくとられている場合には、

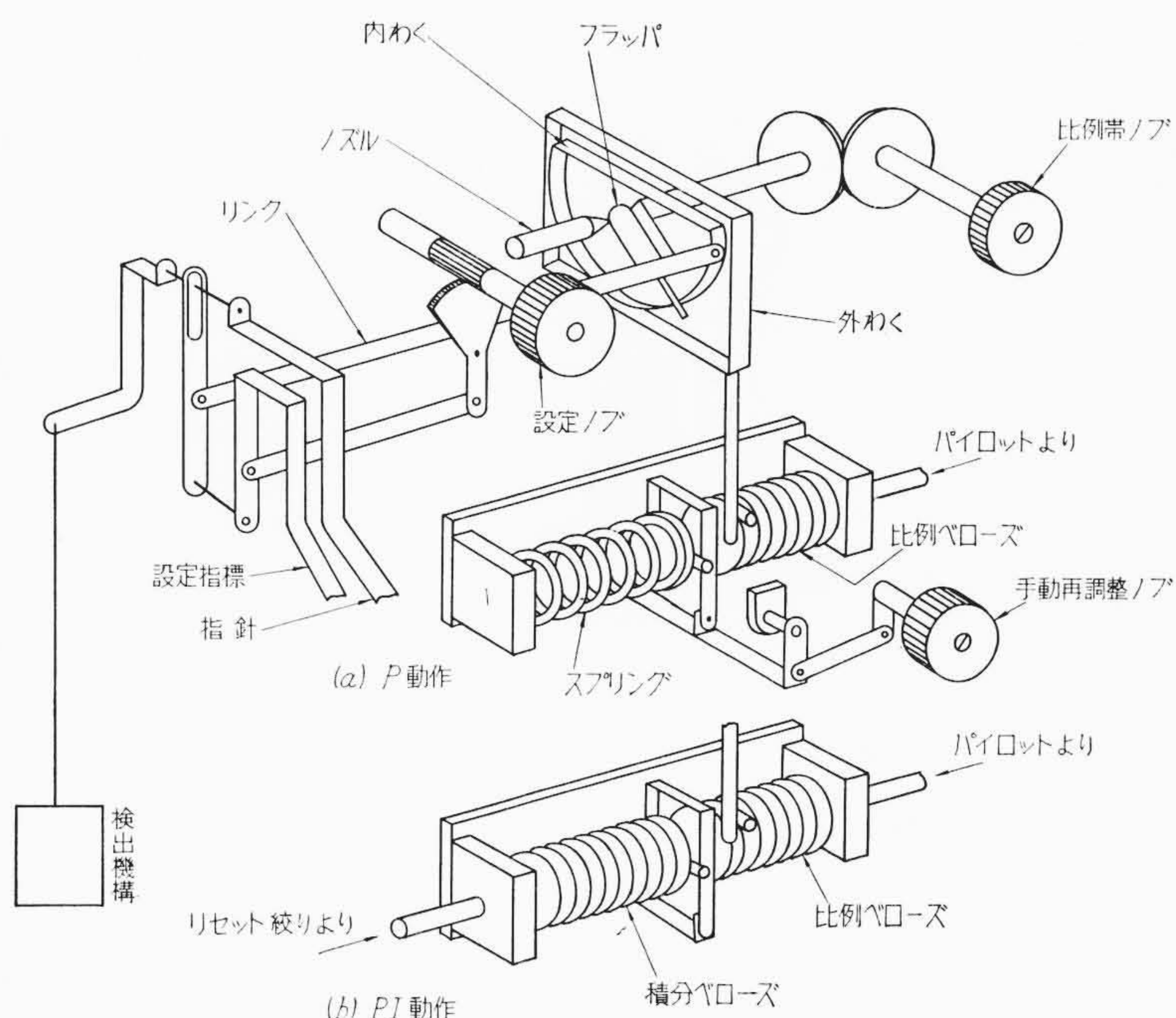
(イ) 目盛板上この点でも指針と指標が一致した場合には出力圧は同じでなくてはならない(たとえば 0.5 kg/cm^2 の出力が出るようにしたときは、零点で両針を合わせても、最大目盛の点で重ねても出力は 0.5 kg/cm^2 でなくてはならない。ただし積分動作付の場合には積分ベローズにも 0.5 kg/cm^2 の空気圧を加えて積分時間を最大(50分)とした上でテストする)。

(ロ) 上記(イ)の状態では、比例帯を変化させても出力空気圧は変動してはならない(このためにはフラップ回転平面と、内わくタッチ面とが完全に平行でなくてはならない)。

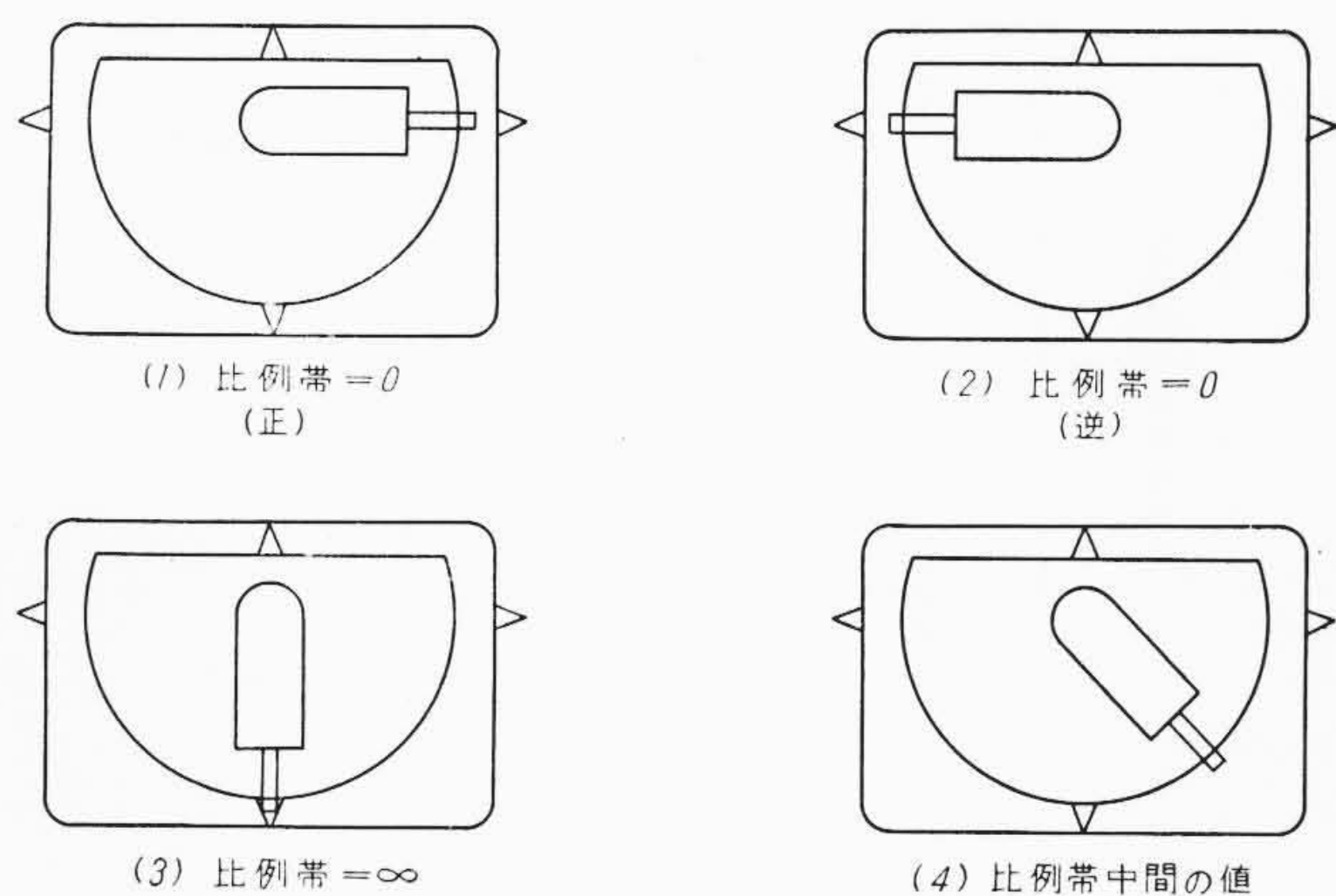
もちろん調整上にも限度があるため、出力圧変動は 0.05 kg/cm^2 以内に止まるようにされ、比例帯も全域にわたってではなく、正20%~ ∞ ~逆20%の範囲内で上記圧力変動内に収めねばならない。

これが狂っている場合には、(イ)の場合には指針指標の根元の微調整用小ネジにより、指針指標の回転軸(A軸)と中間レバー上の軸(P軸)(第10図参照)とを一致させねばならない。(ロ)の場合には出力圧がどの方向にフラップを回すと上昇するのか下降するのかによって異なるが、要はリンク(第11図)の長さの調整、復原位置の調整を行うことによって、上記2平面が完全に平行になるよう

* 日立製作所那珂工場



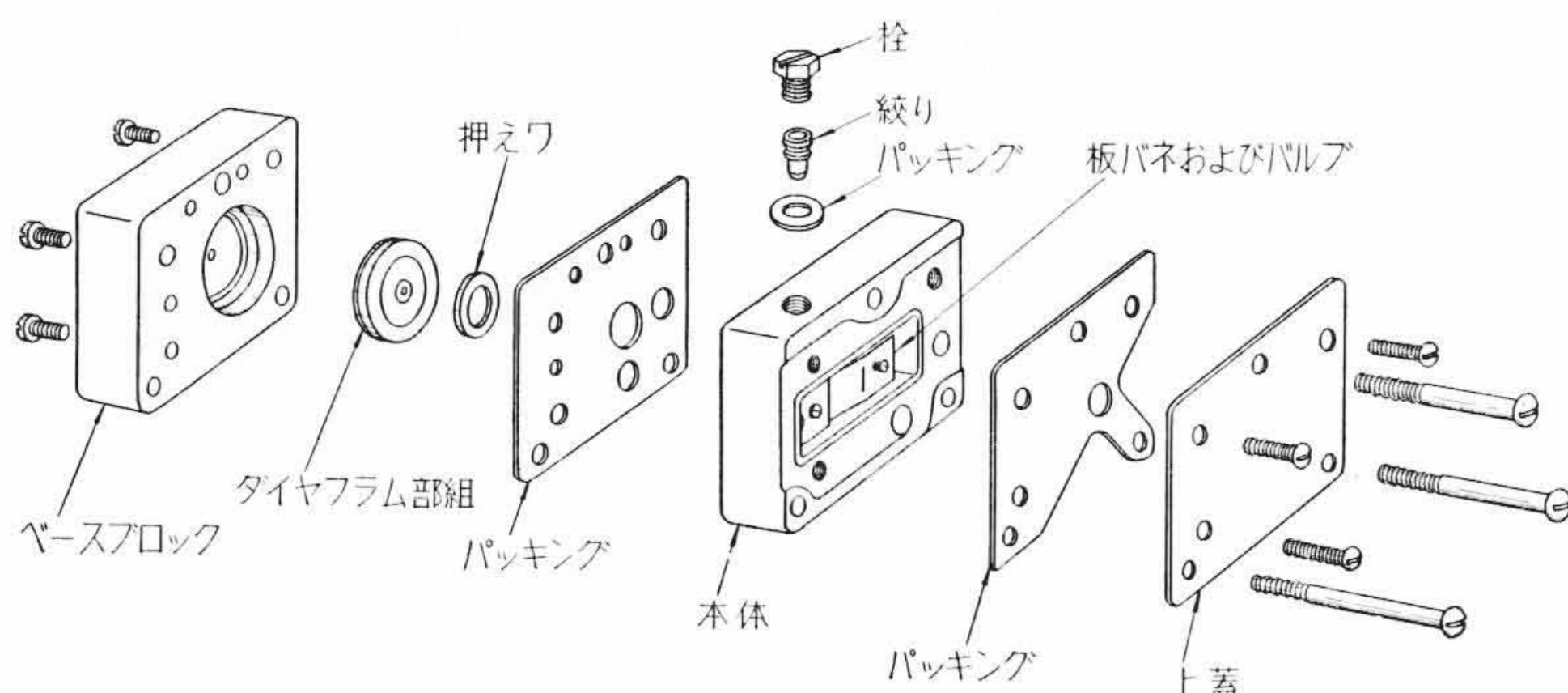
第11図 空気作動式調節計の構成



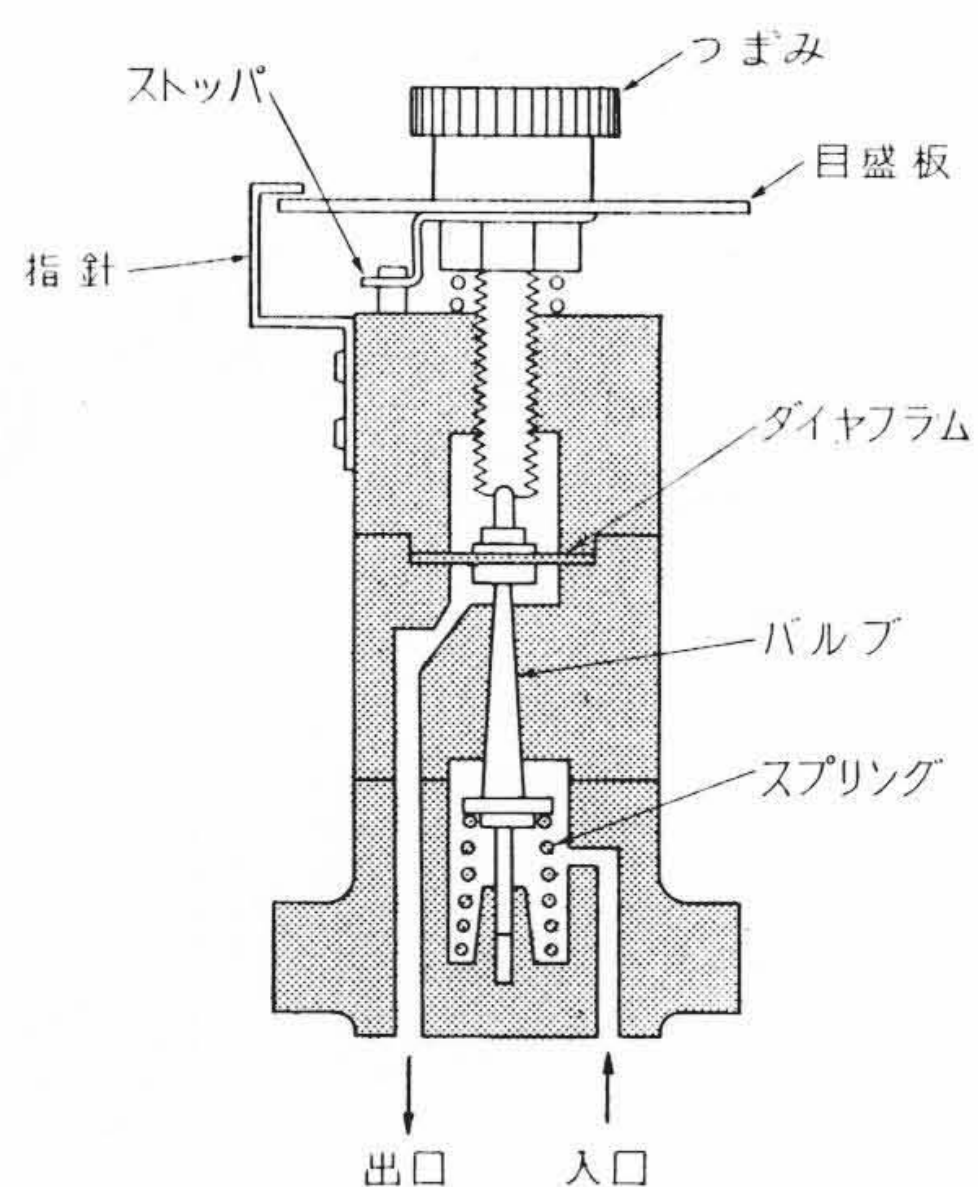
第12図 フラップの位置と比例帯の関係

に調整する。いずれもこの調整には相当の熟練が必要である。特に目盛がすでに書かれている場合には、目盛の狂いを生じてはいけないので、注意が肝要である。

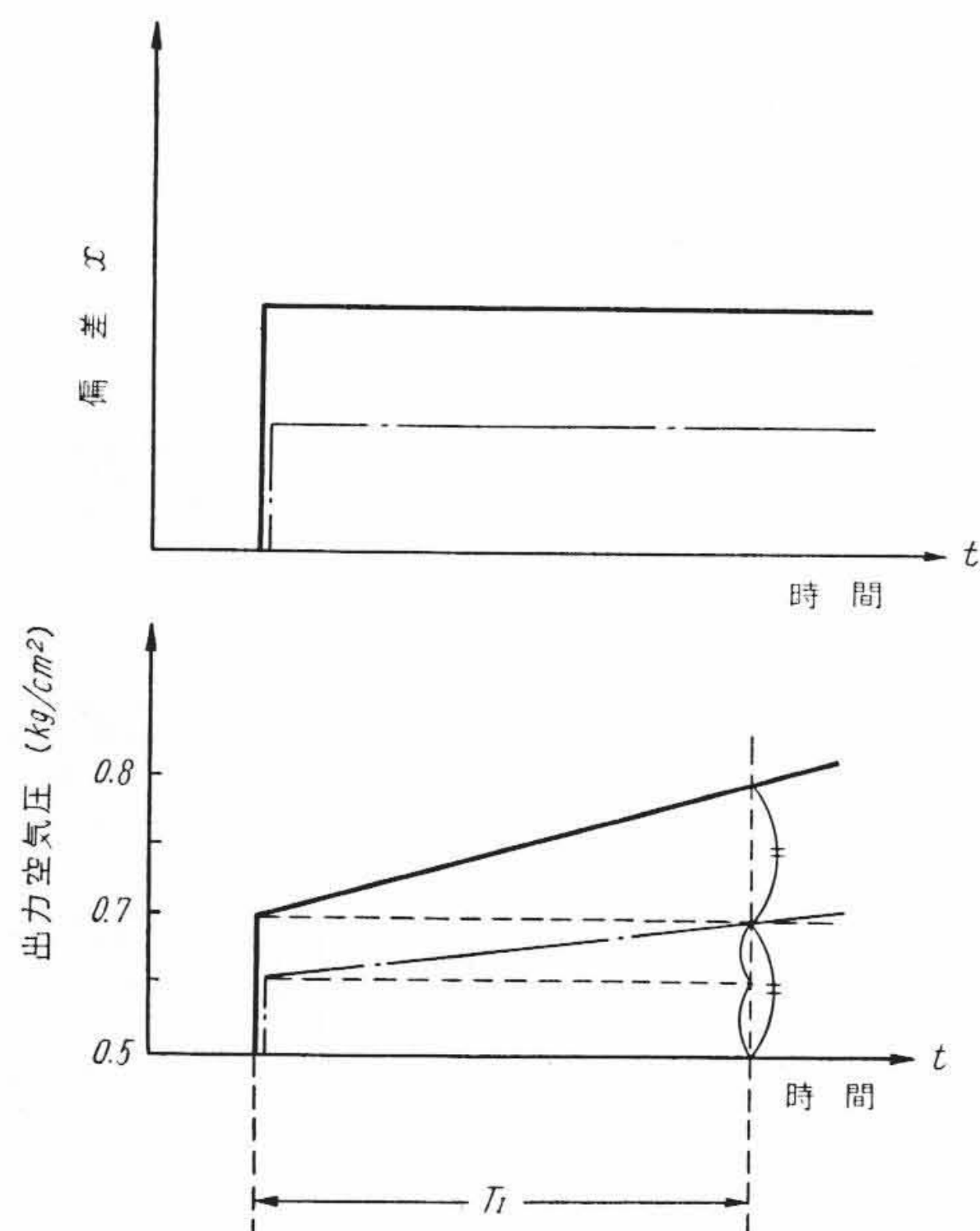
パイロットバルブは第13図に示すような構成であるが、ノンブリード形であるため、この増幅率は大小二つのダイヤフラムの受圧有効断面積の比で決まる。パイロットバルブ内にある絞りは、ノズルに送る空気の通路でノズルフラップ機構を正常に作動させるためにはノズル孔に比べてかなり小さいものであるから、つまりなどによって障害を起さないために適当な保守を行うことが必要である。



第13図 パイロットバルブの構成



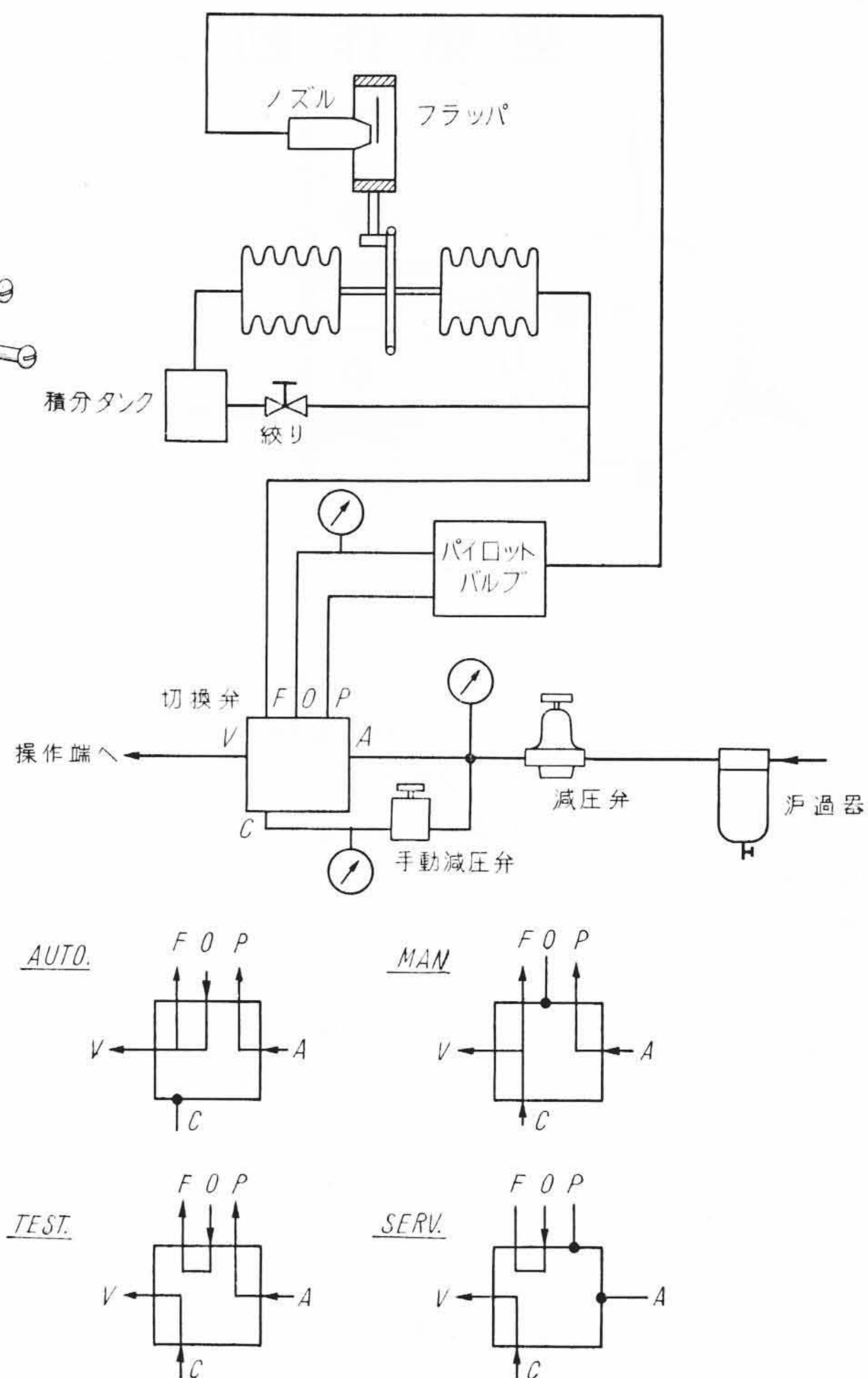
第14図 絞り弁の構造



第15図 積分動作説明図

このパイロットバルブは大形調節計に限らず、あらゆる空気圧式の調節計、発信器に使用され、微小圧力変動を増倍し、操作端の操作スピードを増大させるために欠くべからざるものである。

リセット機構、レート機構は絞りとタンクから成立ち、積分（リセット）絞リ、微分（レート）絞りは全く同じ構造のものである。その断面を第14図に示すが、わずかのテーパを持ったバルブが下からスプリングで押し上げられている。そのバルブをダイヤフラムを介して上のつまみで押し下げることにより、バルブと母体の間のわずかなすきまを変えるもので、ストップで回転角が制限されているた



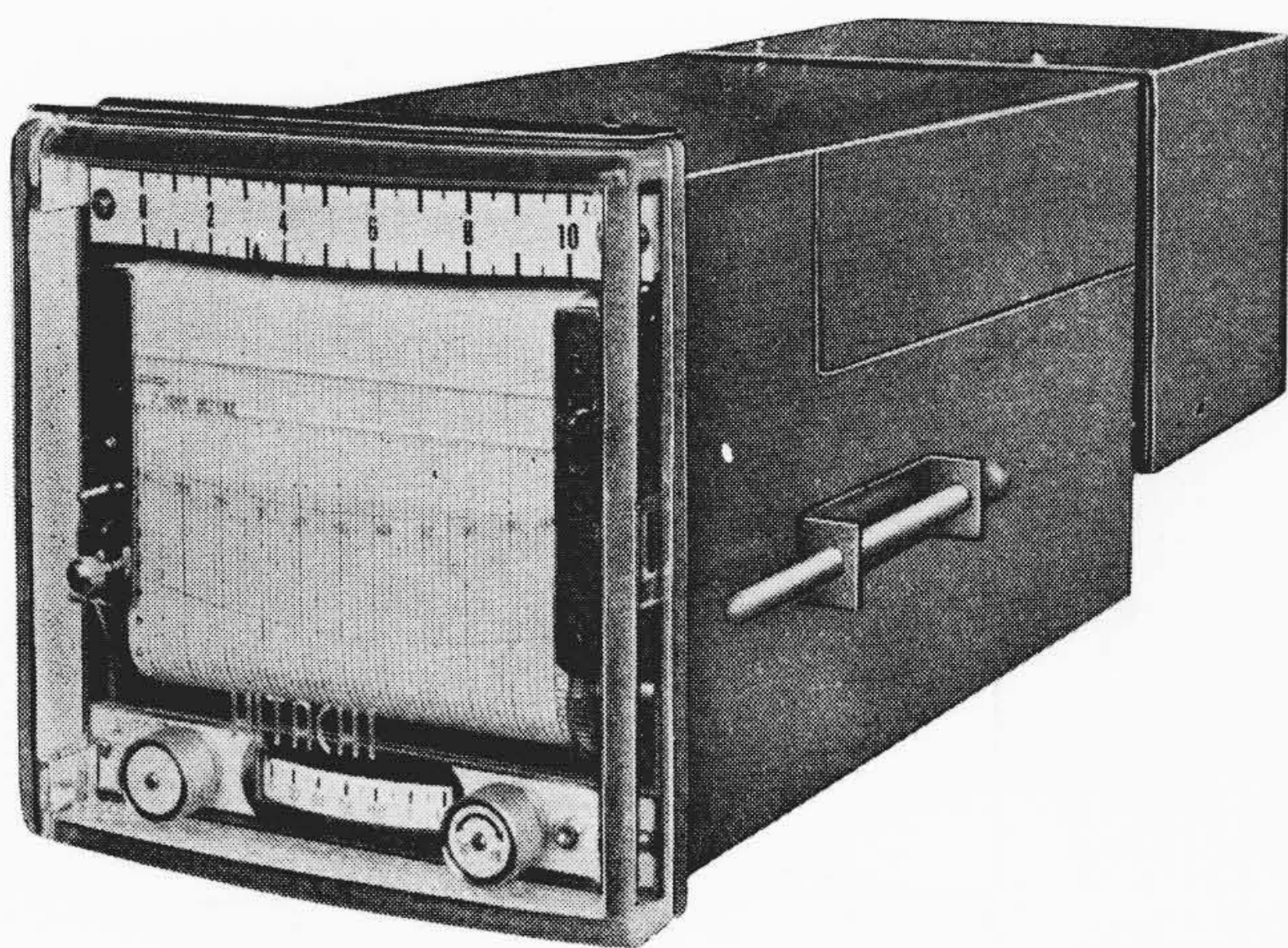
第16図 バイパス装置系統

め、このストップをゆるめると、積分（あるいは微分）時間が狂ってしまう。目盛板上の目盛は、積分微分いずれも分単位（Minute）である。

積分時間の実測テストは次のようにして行う。前述のように、この動作は偏差に比例した速度で操作端の位置を変えてやるものであるから、一定の偏差を保っておけば、出力空気圧は一定の速度で変化し続けて全開（または全閉）になるまで続く。比例+積分動作の場合、第15図にあるように設定指標（または指針）をステップ状に急に動かして偏差を与えそのまま保つと、出力空気圧は最初は比例動作によってステップ状に変わり、その後はそのステップの高さと積分絞りが開きぐあいの積に比例した速度で上ってゆく。これでわかるように絞りを一定開度にしておいたときには、初期圧力上昇が倍になると上昇速度も倍になり、積分時間（ステップ状入力に対して、比例動作の効果と積分動作の効果とが等しくなるまでの時間）は一定である。すなわち、積分時間は絞りの開度を変えるだけで変更できることを示し、第15図にあるように出力空気圧が0.5kg/cm²から0.6（あるいは0.7）kg/cm²まで急に上るようなステップ状偏差を与えて、0.7（あるいは0.9）kg/cm²まで上昇する時間をストップウォッチで測定すれば、積分時間をチェックすることができる。これを式で示すと

$$P_0 = K_P \left(x + \int_0^t \frac{x}{T_I} dt \right)$$

ここに P_0 : 出力空気圧（一般には操作量）
 K_P : 比例常数（比例帯の逆数）
 x : 偏差（一般には動作信号）
 T_I : 積分時間

第17図 PIB₄₁-P 形中形圧力指示調節計第18図 PKB₆₁-P 形小形調節計

微分時間の実測には、一定速度で増加（または減少）する偏差を入力として与え、その出力をみれば正確にわかるが、実際には正確な入力に加えられず測定誤差も大きいので、現地では絞りの開度（抵抗）と空気タンク（容量）によって決まる時定数を測定してチェックするほうがよい。

バイパス装置は、切換弁、手動操作減圧弁、手動操作空気圧力計からなりたっており、AUTO.（自動制御）、MAN.（手動制御）、TEST（試験）、SERV.（調整）の4点切換を行うことにより、運転開始の場合、計器調整の場合などに切換えをうまく行えるようにしたものである。第16図に示すように、供給圧をカットするのはSERV.の位置だけで、MAN.の場合には操作空気圧を復原回路に及ぼしており、TESTの位置では計器の性能チェックができるように切換弁を形成してある。操作端にゆく空気圧はAUTO.以外はすべて手動操作空気圧であるから、切換弁を操作するときは手動操作空気圧を必ず所定のところにもって行ったうえで行うよう心がけねばならない。外的損傷によって計器をパネルから取りはずして加工修理する必要がある場合には、切換弁をSERV.の位置に移し、第16図のP.O.F.の配管を取りはずし、盤裏からネジをはずしてバイパス装置の部分だけパネルに残し、計器をパネルから取りはずすことができるようにし、バイパス装置を計器に内蔵させてあっても、従来のような別付きの場合と同じ機能をもたせている。

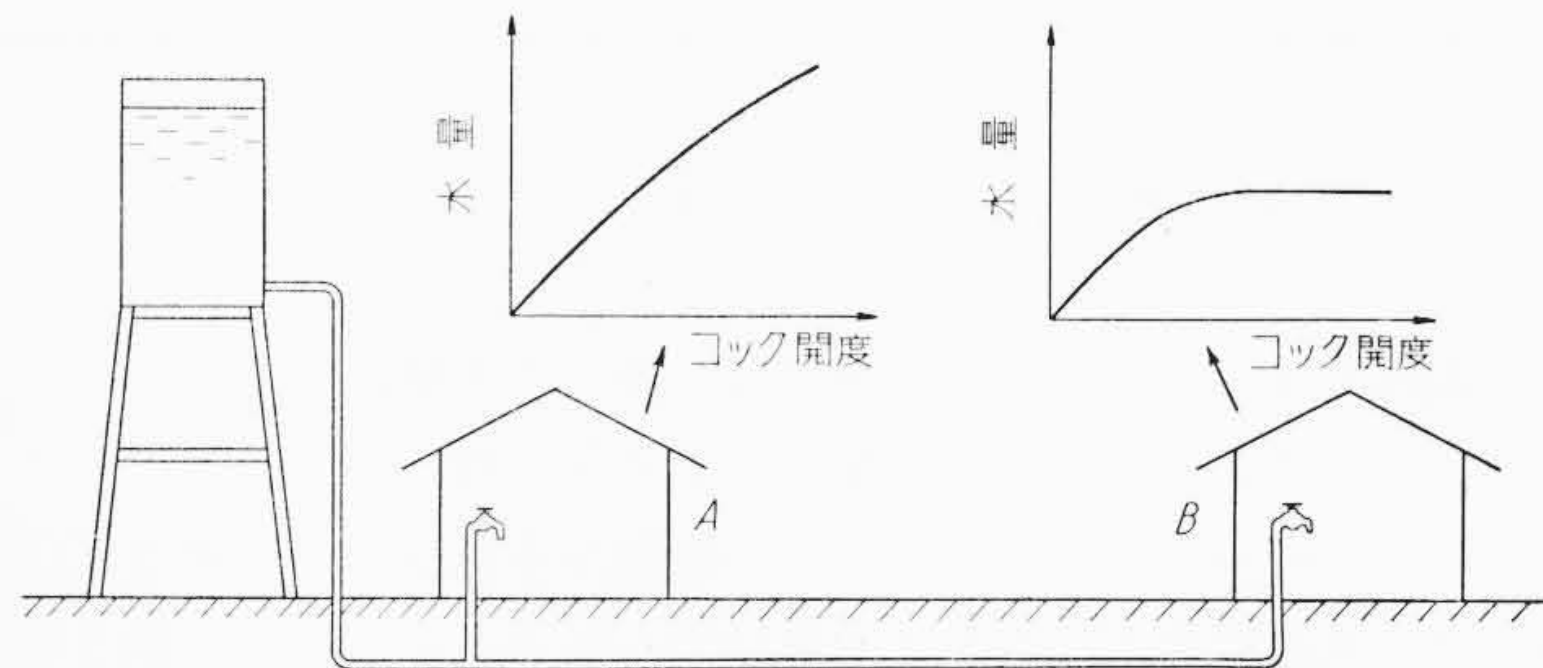
中形、小形調節計の主要部分は、全く同じ機構をもっており取扱上もほとんど同じなので写真を示すだけとし、詳細は省略する。

6.2 空気作動式調節弁

化学工業における操作端の多くは、流体の流量を制御する調節弁

第4表 調節弁の種類

項 目	内 容
サ イ ズ (口径)	1/2Bより8Bまで13種
材 質 { 本 体 要 部	FC, SC, BC, SUS類, ライニング SUS22~SUS33, ステライト熔着ライニング
作 動	正, 逆
流 量 特 性	オンオフ形, リニア形, イコールパーセント形
フ ラ ン ジ 規 格	JIS各種, ASME各種
空 冷 フ ィ ン	有, 無
弁 座	単座, 複座
内 弁 の 形 状	プラグ形, ディスク形, ニードル形, サンダース形
グランドシール部分	テフロンVリング, ペローズシール (グリース)
そ の 他	手動操作ハンドル付, 保温ジャケット付, 接点付

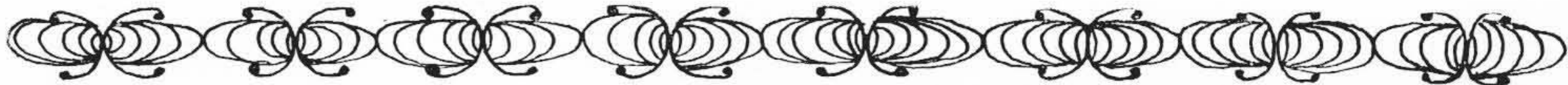


第19図 配管と弁流量特性の例

である。構造は割合に簡単であるが、サイズ材質、正逆作動、流量特性、そのほか仕様の相違によって種類としては非常に多い。種類に分類されるおもな項目と内容を第4表に示してあるが、調節動作の結果の良否を検討する際には、ループを形成する各機器（または装置）の特性が重要であり、操作端のヒステリシス、流量特性などもおろそかにできないことは現場経験のある方には十分おわかりと思う。ここでは弁径の大小が自動制御の結果にどんな影響をもっているかという問題について述べてみる。

弁径が小さすぎる場合には、流量が不足で、所要量を流すことができず、自動制御の目的を達することができないが、逆に大きすぎるくらい大口径の弁を使用しても、大は小を兼ねることにはならない。第19図に示した例は水タンクのすぐ近くの家と遠い家の水道の水の出方を表わしたもので、Aの家ではコックを開けば開くほど水は沢山出るが、Bの家では初めの1~2回転によって水量は決まってしまう、それ以上コックを開くことはむだである。この現象はヘッドHに対してBはAよりもずっと配管が長いために起るのであって、これは自動制御において調節弁が配管中に取付けられている場合も同様に考えることができる。配管による圧力損失が大きいときにはBのように信号空気圧が変化し弁が開閉していても、実際に流量は頭打ちして変化しておらず、自動制御は不可能である。さらに流量をふやすためにどんな大口径の調節弁を取付けてもむだである。これからおおよそ気が付くように、配管が決められたとき、その長さや配管の状態によって、その配管につけて流量が頭打ちせず調節弁としての機能を発揮できる弁の最大の口径が決まってしまう。もしその弁口径で所要流量が得られないなら、配管径を太くするか、短くするか対策を講じて配管損失を減ずる必要がある。これは、自動制御をうまく行わせるために装置側の改造が必要である一つの例であるが、装置側と調節用各機器とがうまくマッチしたとき、初めて制御結果は所期のものが得られ、調節用機器のみのひとり相撲ではだめであり、弁径の決定も等閑にはできないことを示している。

その配管長さと調節弁口径の関係を示したものが第5表である。この表からわかることは、口径1Bの弁を用いて管径1Bの配管を行う場合、弁による圧力降下と等しくなる配管の長さは6mであ



第5表 調節弁の前後圧力差と等しい圧力降下になる配管長

弁径	配管径	1/2	3/4	1	1 1/2	2	3	4	6	8
1/2		2	6	17	90					
3/4			4	10	50					
1				6	30	70				
1 1/2					8	20	110			
2						10	50	160		
3							18	50	250	
4								35	160	500

表中の数値は単位 m

第6表 エルボの等価配管長

配管径	1	1 1/2	2	3	4	6
エルボの等価長 (m)	0.5	0.9	1.5	2.7	4	7

る。頭打ちするかしないかの限度は、多くの実験結果から、

弁による圧力降下≧配管による圧力降下

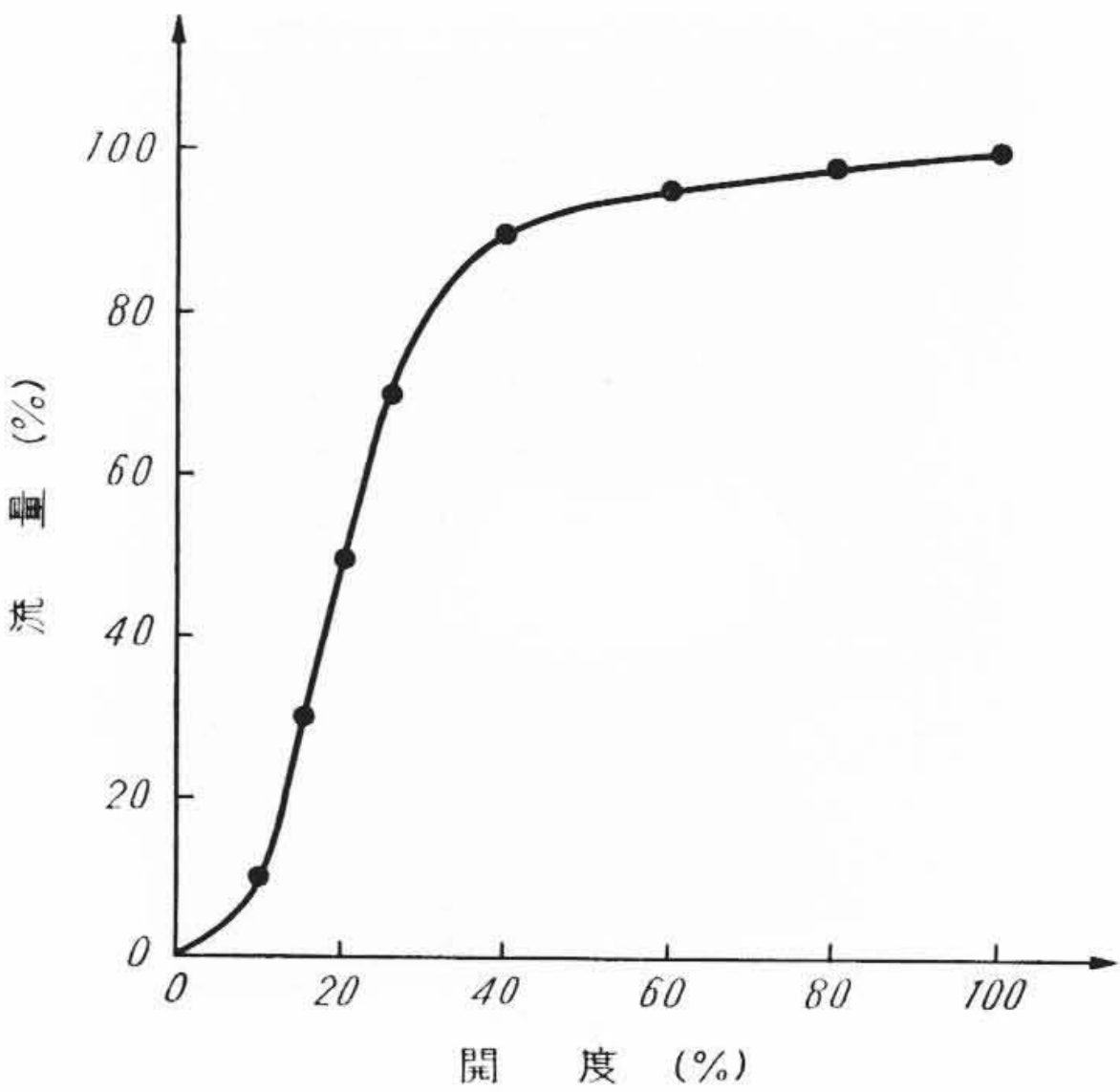
といわれている。したがって1 Bの配管が6 m以上ある場合には、調節弁の流量特性が頭打ちする危険性があることになる。第5表は配管が曲りなく直線状に行われたときの数値であり、エルボあり、ストップバルブありという場合にはこれらも考慮に入れなくてはならない。実際配管では、弁口径と配管径とが等しくなることは少なくまず配管径の1/2〜3/4くらいが弁口径であると考えてよい。エルボの圧力降下を配管等価長として表わしたのが第6表である。エルボ一つあるごとに配管が等価長さだけ長くなったと考えると、配管と同径の弁を使用する例は少ないことが第5表からも明らかであろう。

調節弁には正作動(加圧閉)と逆作動(加圧開)とがある。これは空気圧源がなんらかの事故によって空気圧がなくなった場合に、弁を開かせるか閉じさせるかの方向がプラントの安全上問題となる場合に、特に慎重に考えられねばならない。加熱源(たとえば蒸気流量)を調節して温度の制御をするプロセスにおいて、空気圧がなくなって制御不能となった場合に、温度を低下させるのが安全方向である場合には調節弁としては、逆作動(加圧開)を用いねばならない。このようにプラントの安全上決められた調節弁の作動に基いて、調節計の正作動(温度上昇に伴い出力圧上昇)か逆作動(温度上昇に伴い出力圧下降)かを決めるのである。

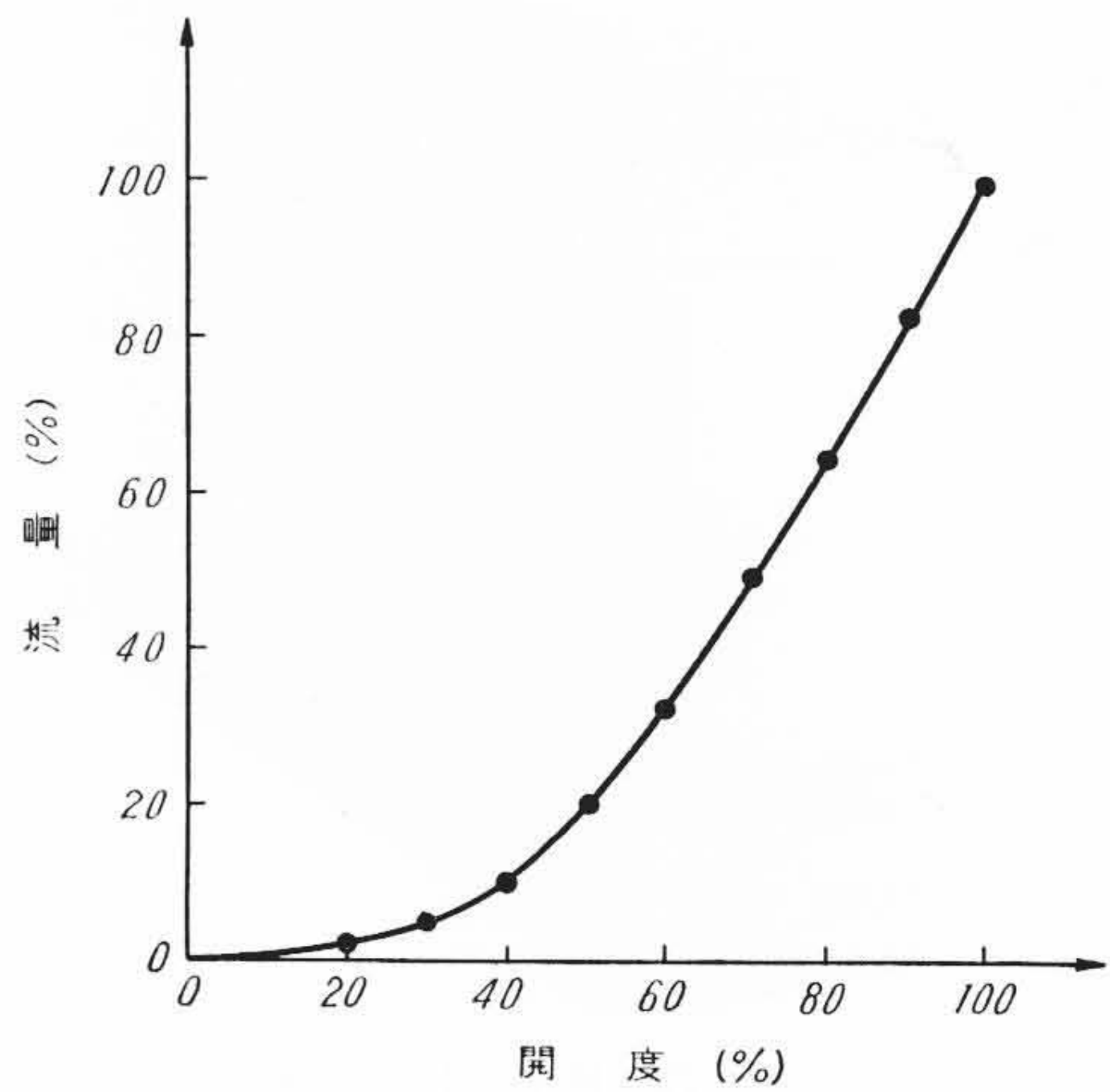
また調節弁の流量特性も制御上問題となることが多い。特性としては、オンオフ特性、直線特性、イコールパーセント特性などがあるが、普通の内弁(プラグ形、スリーブ弁など)ではその形状や、切欠の形で特性を修正できるので、そのむね指定してよい。しかしある種の弁ではその特性がおおよそ決まっている。たとえばピンチ弁やダイヤフラム弁の特性は第20図のように、25%開度(流量にして75%程度)までは大体順調に変化するが、25〜30%以上の開度では急に特性が曲り、制御上は好ましい特性でないゆえ、どうしてもこれを使用しないといけない場合には、開度25%以下で使用するよう計画しなくてはならない。第21図に示すバタフライ弁の特性はイコールパーセント特性に似ており、制御上も好ましい特性である。

これらの特性は弁単体として考えたときのもので、これを実際に管路の途中に取付けると、管路抵抗の影響をうける。管路抵抗が大きいほど、イコールパーセント特性のものは直線特性に近くなり、直線特性の弁はオンオフ形に近くなってゆくことも注意せねばならない。

以上のほか、振動の多い管路途中に取付けた場合のネジのゆるみや空気漏れなども常に注意を払うべきであり、ちりの多いところで



第20図 ピンチ弁およびサンダース形弁の特性



第21図 バタフライ弁の特性

第7表 操作端の種類

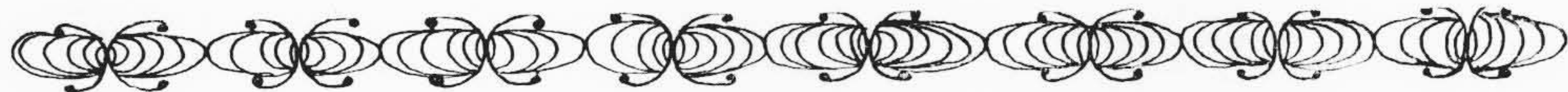
形名	名称	仕様
X-PD	操作機	最大変移 120 m のとき 670 g*
X-PC 4	パワーシリンダ	公称トルク 15kg・m 操作角 90°
X-PC 6		公称トルク 60kg・m 操作角 90°
X-PC 8		公称トルク 220kg・m 操作角 90°

注：* X-PV バルブポジションを付加した場合は 3 kg

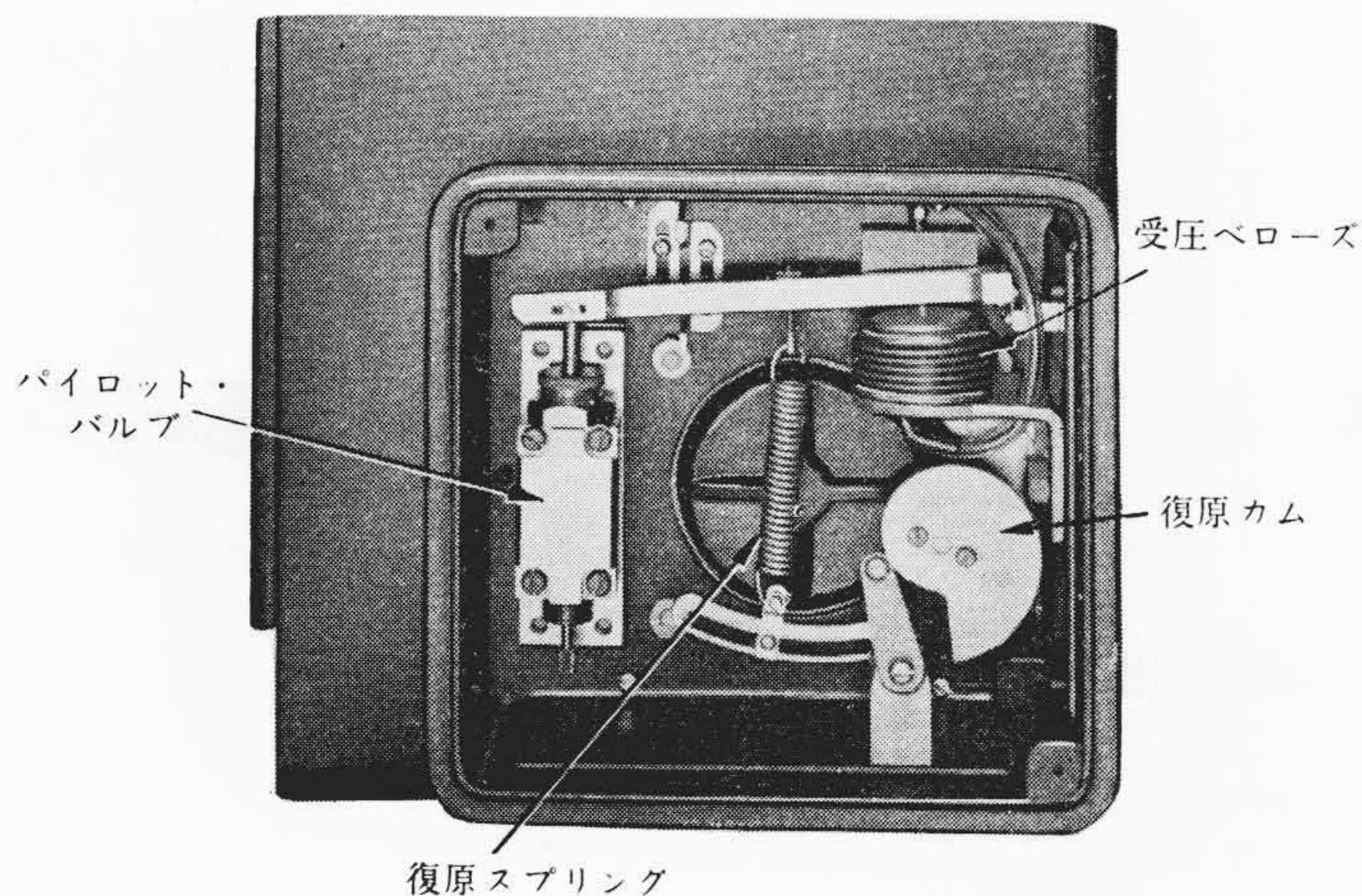
使う場合にはヒステリシスの増加、グラウンド部の漏えい点検も必要である。

6.3 そのほかの自動制御用操作端

調節計の操作端としては上記の調節弁で流量を押えることのみでは万全でない。たとえば炉内温度制御にはバーナの開度を変えることもあり、あるときは大きなダンパを開閉しなくてはならぬ場合もある。これらの操作端はいわば位置の調節であり、この用途には第7表に示すようなものがある。X-PD 形操作機は比較的許容荷重が小さいから、静摩擦が大きい場合にはバルブポジションを付加して使用する。これに比べ X-PC 形パワーシリンダはポジションを内蔵しており操作力もずっと強大である。パワーシリンダは、操作アーム上に5個の穴があり、アーム自体もスプラインにより取付角度の調整も行うことができ、荷重により3種類を使い分ける。第23図はパワーシリンダのポジション部分を示しており、復原用カムは直線カム、ルートカム、2乗カムの3種の場合に応じて付け替えることができる。零調整、振幅調整もそれぞれ容易にでき、供給空気圧によって特性変化がなく操作トルクが空気圧に比例して増減する。パワー



第22図 X-PD形 操作機
(X-PV形バルブポジショナ付)



第23図 X-PC形パワーシリンダのポジショナ

シリンダには、手動操作用装置、手動ロック装置が取付けてある。これらは第7表に示す6形、8形ではお互に関連をもち、ロック装置は供給空気源を停止しなければ不可能なインターロック機構になっている。4形の場合はインターロック機構をもっていないから、本体側面にはられた操作注意に基づいて取扱わねばならない。

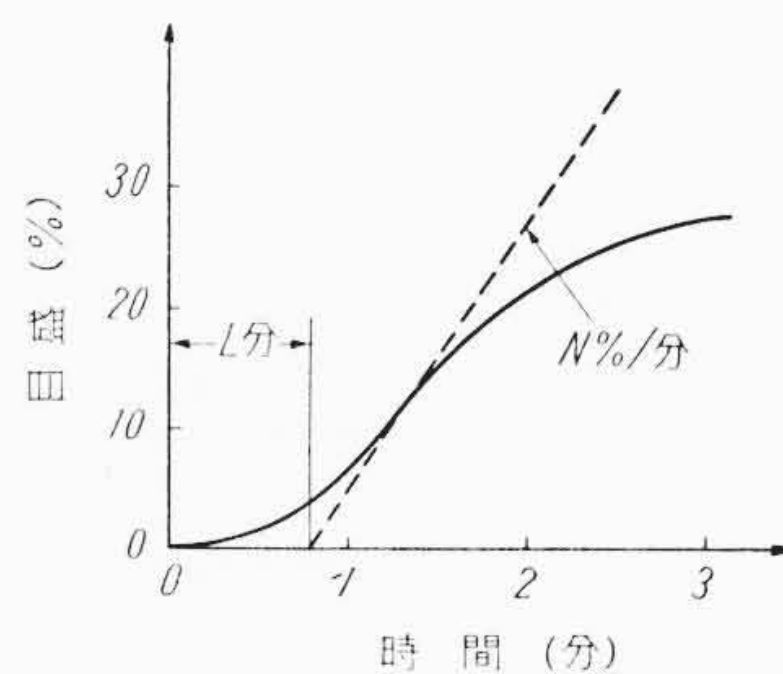
パワーシリンダの操作アームは、主軸の両端に取付けることができるが、操作の正逆は内部配管の継ぎ替えとカムの裏返しで変更することができるが、空気源がなくなった場合に安全側に移行させるような調節弁のような作動は普通は行わない。操作空気圧(3~4kg/cm²)がなくなれば、操作端(ダンパやバタフライ弁)の反力が大きいときはその反力によって動かされる。反力がない場合にはその場所で止まるのが常であるから、空気源の故障の場合安全側に移動させるためには、空気源圧力低下の警報接点によるリレー回路を用いて、極度に空気源圧力が低下してしまう前に、この対策が行われるように考慮するのが確実である。

7. 最適調整について

前述のとおり、自動制御の最適調整は、可調整にできている制御機器の諸量を、プロセス対象の性質によって現場試運転時に必ず行

第8表 ジーグラ、ニコルスの最適調整公式

	比 例 帯 (%)	積 分 時 間 (分)	微 分 時 間 (分)	制御量の振動周期 (分)
P 動 作	$\frac{100 N L}{\Delta P}$	—	—	5L
P I 動 作	$\frac{110 N L}{\Delta P}$	$\frac{L}{0.3}$	—	6L
P I D 動 作	$\frac{83 N L}{\Delta P}$	$\frac{L}{0.5}$	0.5L	3.2L



第24図 ジーグラ、ニコルスの最適調整点を求めるための簡単な実験

わねばならない。良い制御性とは、安定性が高いこと、速応性がよいことであるが、この両者は互に相反し、そのかね合いを見つけることであるが、これを決定する際にいろいろな規準があってその公式も異なっている。ここに代表的なものをあげてみよう。

7.1 ジーグラ、ニコルスの最小面積法

この規準は、外乱の単位突変の場合に、偏差量の時間的積分値(すなわち面積)が最小になるようにする調整法である。この基本としては、プロセス特性が、むだ時間+直線形、むだ時間+単容量形である場合とし、第8表に示すような公式を示している。これは現場において、簡単な実験を行ってのち利用することができる。すなわち弁を ΔP (たとえば20%) 急に開き制御変数(たとえば温度)の変化を求め第24図のような記録をとり、曲線の最大傾斜の点に切線を引いてむだ時間 L (分)と反応率 N (%/分)を求める。これから第8表により諸常数を決定するのである。この表は簡便であり利用効果も大きいから、気がるに利用することをおすすめする。

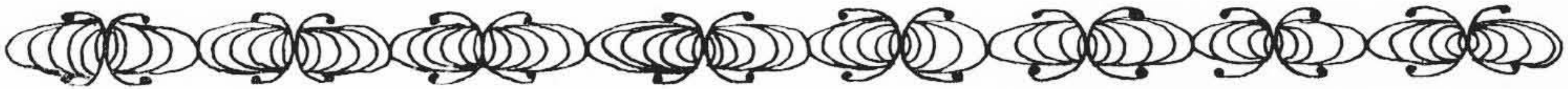
7.2 限界感度法

これもギーグラ、ニコルス氏によって発表されたもので、この規準は、前と同様なプロセス特性のプラントを対象とし、制御回路の過渡応答において、制御結果が25%ダンピングになるようにすることが最適調整であるという立場で検討されたものである。調節計がP動作のみでなく、I.D.動作がついている場合には $T_I = \infty$, $T_D = 0$, すなわち単純なP動作調節計として試運転には入れる。比例帯が広い間は(感度が鈍い間は)制御結果はハンチングしないが、徐々に比例帯をせまく(高感度に)してゆくと小さきみのハンチングをするようになる。この点は系として安定か不安定かの限界点である。したがってこの場合の感度(比例帯の逆数)を限界感度と呼ぶが、このときの比例帯を S_c , ハンチングの周期を T_c とすると、この二つの値を基準にして第9表のように各常数をセットすればよいのである。これも現場で適用するのが簡単で便利である。

これらの最適調整は現場で試運転調整を行う場合に、必ず行わねばならないもので、制御結果を時間をかけてよく判定しながら、各

第9表 限界感度法による調整公式

	比 例 帯 (%)	積 分 時 間 (分)	微 分 時 間 (分)
P 動 作	$2 S_c$	—	—
P I 動 作	$2.22 S_c$	$0.83 T_c$	—
P I D 動 作	$0.5 S_c$	$0.5 T_c$	$0.125 T_c$



常数を変化すると、制御結果がどういう方向に変わってゆくかだけは各自の頭の中に整理しておかねばならない。

8. 保守について

調節計を常によく作動させ、自動制御の実をあげるために、計器の事故を未然に防止し、万一事故のときにはすみやかに処置しなくてはならないが、それには日常の保守と、点検をおこなってはならない。と同時に緊急の場合部品調達に日数を要せぬように、必要な予備品消耗品を準備し、計器調節計の数が多い場合には、保守のための組織を作って管理に当る必要がある。保守のための人員は、企業

の種類や、設備、環境の良否によって、当然異なり、標準を示すことはむずかしいが、文献によればおおよそ次のような程度である。

全工場人員に対する比率	0.5~3%
一人当りの担当計器台数	20~80台

これらの保守員の仕事は、事故処理のほか、事故未然防止のための日常点検が主である。日常点検の間隔を参考までに示すと第10表のとおりである。この表には検出部や、制御対象によって異なる調節計の保守についてはふれていない。各制御対象によって、各計器ごとに規準表あるいは点検表というものを作成して保守もれのないように注意するのが良策である。

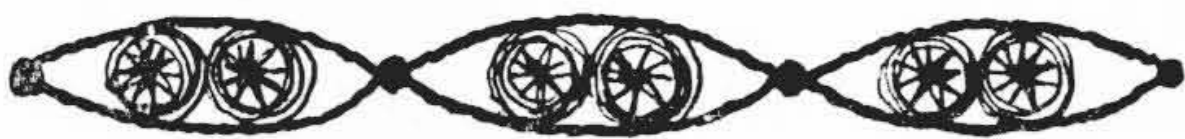
第10表 保守項目とその間隔

チェック間隔	項 目
日	制御動作状態の観察 記録紙の取かえまたは切取り 記録ペンにインキの補給 配管のドレン抜き 供給空気圧の点検 調節弁、開度の点検
週	調節計外部、パネル周りの掃除 記録ペンのペン先掃除 空気濾過器の点検掃除 配管継手部の漏えいチェック 配線の点検
月	フラップ、ノズルの点検 パイロットバルブの点検 配管漏れの点検

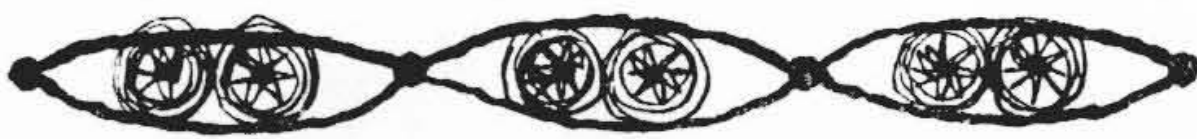
9. 結 言

以上2回にわたって、自動制御用機器、操作端、調整について述べたが、発信器、検出端をも含めて、これら一つ一つは自動制御の結果の成否を決める要素であり、ここに述べた事項は自動制御のための、ごく一部であり、しかも概説的に述べたにすぎない。空気作動式調節計にはそれに関連する付属品も多く、それらをも含めた保守には、相当広い知識も経験も必要であるが、生産にあずかっている人々に信頼して使ってもらうことができれば、ただ単に制御がうまく行くということのみでなく、増産、品質向上、ひいては原価低減にも大いに効果があるものと信ずる。

いい足りない点はまた稿を改めて述べたいと思うが、このノートがいささかなりとも読者の参考になれば幸である。



特 許 の 紹 介



特許 第268806号

氏 原 良 男・若 森 俊 郎
井 上 啓

炭 車 残 炭 掻 出 装 置

この発明は、等速回転運動をするクランクに連動するリンク機構に連結した掻出腕と、その腕の揺動、押付作用を行う押付装置と、掻出腕の先端に取りつけた回転刷子と、その刷子を炭車内外に進入、待避させる作業シリンダとにより掻出機構を構成し、その掻出機構を炭車の長手方向に往復動させることにより、炭車内全域にわたり残炭の掻出を行うようにしたものである。

炭車8を転倒させるチップラの回転の終りに作業シリンダ9内の圧気を排出すると、そのピストンはバネ力により押し上げられるためピストンロッド9cを介してリンク4を引上げ、そのリンクに連結する掻出腕5を炭車8内に進入させる。

その進入後に、掻出腕5は等速回転運動をするクランク1に連結するリンク機構2ないし4を介して回転するとともに、その一回転中に二回の切換が行われるリンク4に取りつけた押付装置7により左右方向に交互に揺動され、その腕の先端に取りつけた回転刷子5aを炭車8に押しつける。したがって、回転刷子はクランクによる掻出腕の軌跡(鎖線)の回転運動と、押付装置による揺動運動とにより実線で示すような軌跡の合成運動をする。そして、その合成運

動の軌跡を炭車の形状と一致させた。

掻出機構台10の往復動はそれに連結したピストン12を切換弁13を介して供給される圧気により駆動させることにより行う。切換弁13の切換はその弁のピストンロッドに連動するカム15a、15bと掻出機構台の突起10a、10bとの係合により自動的に行われる。

- この発明によれば次のような効果がある。
- 1. 取扱いが容易で細かい調整を必要とせず、静粛かつ円滑な運転を行うことができ故障がない。
 - 2. 炭車内全域にわたり余すところなく完全に、無理なく高速で掻出作業を行う。
 - 3. 掻出作業の高速化と相まってその作業の高能率化をはかることができ、かつ掻出速度はチップラの回転速度と無関係に最も効果的に設定することができる。
 - 4. 作業シリンダはその本来の機能を発揮するほかに、掻出腕の回転中に回転刷子を炭車に圧着させる役目をなし、掻出機構全体の緩衝作用を行う。(野 村)

掻出機構の説明図

