U. D. C. 681. 2. 084. 2-553. 4

日立空気作動調節計およびベローズ形差圧発信器の特性

Character of Hitachi Pneumatic Controller and Bellows Type Orifice Meter

北川 栄* Sakae Kitagawa　長谷川 洸** Hikaru Hasegawa
斎木 真弓*** Mayumi Saiki　小野寺 進*** Susumu Onodera

内容梗概

プロセス制御において，空気信号による計測，操作制御は現在も広く利用されているが，本論文においては調節計として要求される特性はいかなるものかを検討し，この要求特性を十分満足する日立調節計の解析および試験結果を述べ，さらに差圧発信器の温度補償，過差圧負荷時の保護対策の構成とその試験結果を述べてある。

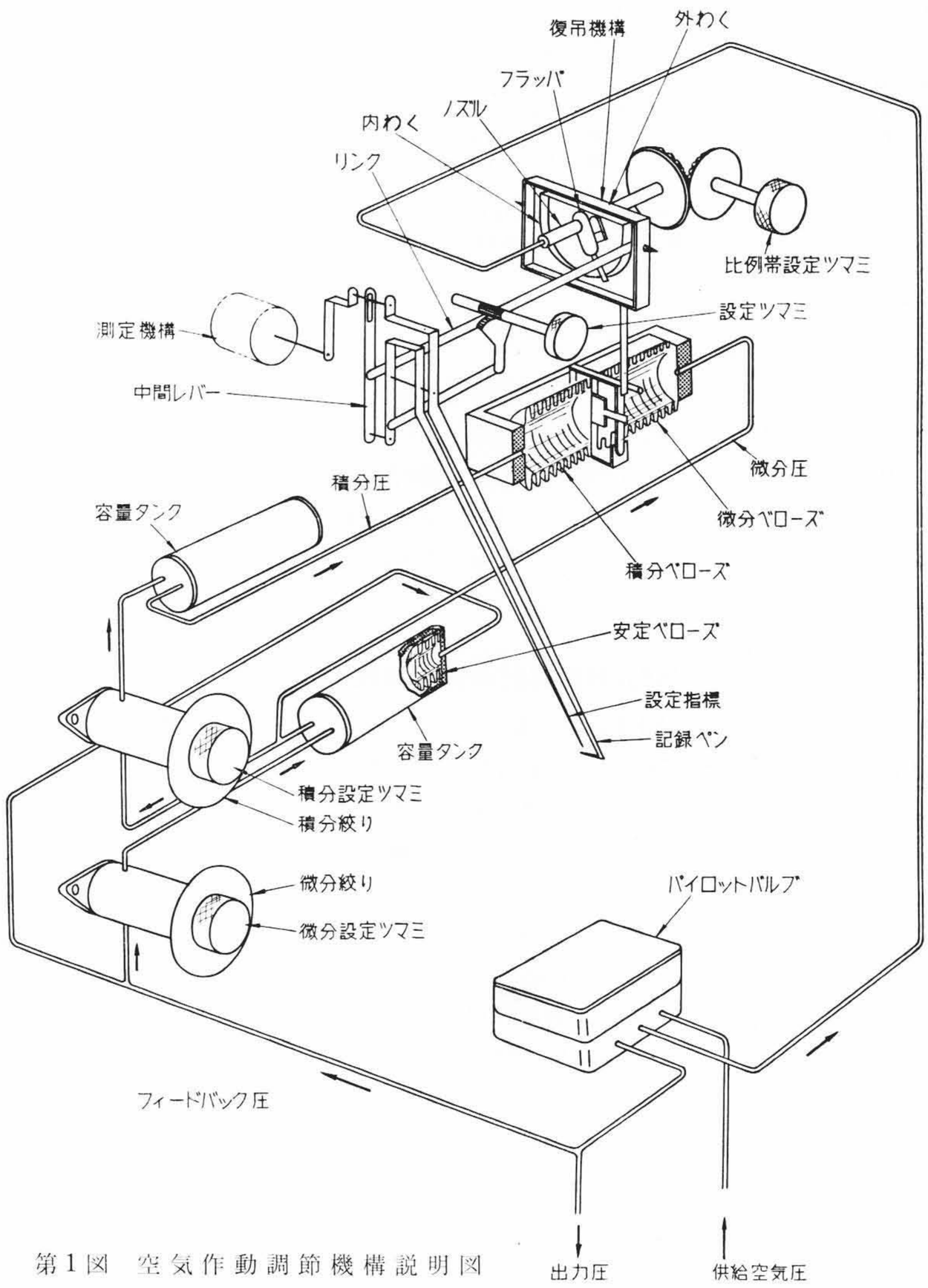
1. 緒言

近年プロセス制御の自動化に伴い，制御機器の発達は著しく，各種制御機器はそれぞれの持つ利点を活用して工業プロセスに広く使用されている。圧縮空気を補助動力源として使用される空気式制御機器は，防爆性に富み構造が簡単堅ろうという利点を有し，油圧とともに古くから使用されている。ここに述べる空気作動調節計は大形調節計として解説されているが，中形，小形調節計の構造動作とほとんど同一で，述べられている特性はいずれにも適用できる共通性と優秀性をもっている。またベローズ形差圧発信器は，力平衡方式の発信器と並んで最近広く使われ始めた変位平衡方式の発信器で，完全な温度補償装置をもち，過差圧負荷にも耐えうるなどの特長をもっている。ここでこれら調節計，発信器の動特性，静特性について述べ，関係各位のご参考の一助に資する次第である。

2. 空気作動調節計

2.1 空気作動調節機構の動作[1]

空気作動調節部は設定値と測定値との偏差を取出し，その偏差に比例，積分，微分演算を施した空気圧信号を出力圧として発信する機構である。第1図にその構造を示す。偏差は指針と設定指標との位置差を機械的変位として取出し，この変位を復吊機構の内わくに伝え，フラッパを動かし，ノズル背圧を変化させる。このノズル背圧をパイロット弁にて増幅し，出力圧として操作端を作動させると同時に，微分および積分ベローズに微分および積分回路を経て導入し，外わくリンクを変位させてフラッパ位置を最初の位置方向に作動するように帰還を加えて，比例＋積分＋微分動作を行わせるものである。



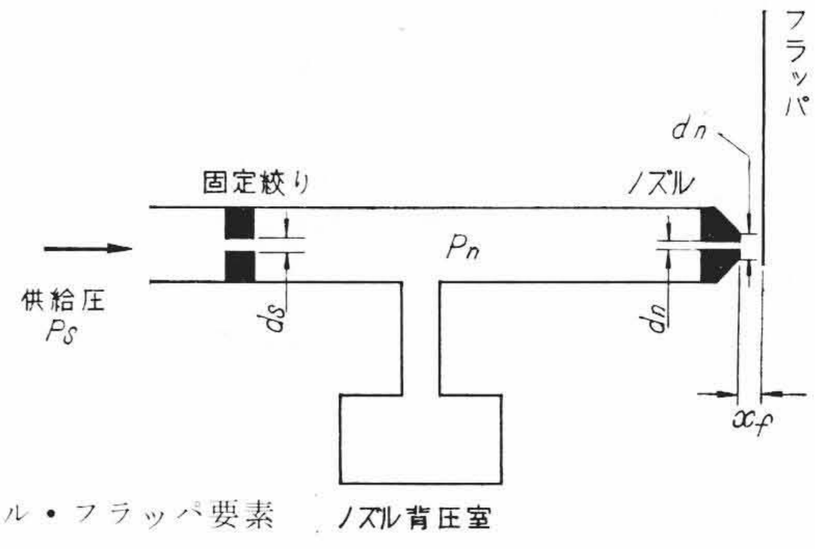
第1図　空気作動調節機構説明図

2.2 調節機構要素の特性

2.2.1 ノズル・フラッパ要素

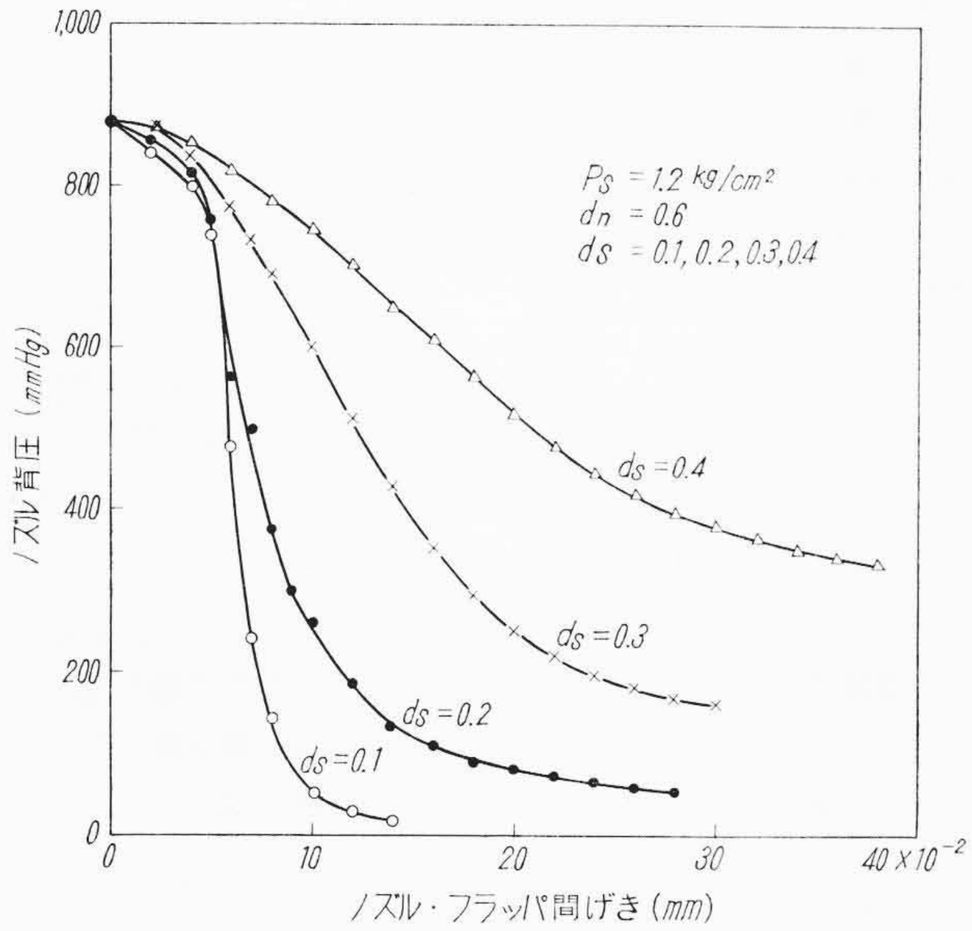
ノズル・フラッパ要素は機械的微小変位として与えられた制御偏差を大きな空気圧に変換する一種の増幅機構である。

第2図に示すようにノズル・フラッパおよび固定絞りより構成されており，空気は固定絞りを経て，一定供給圧源よりノズル背

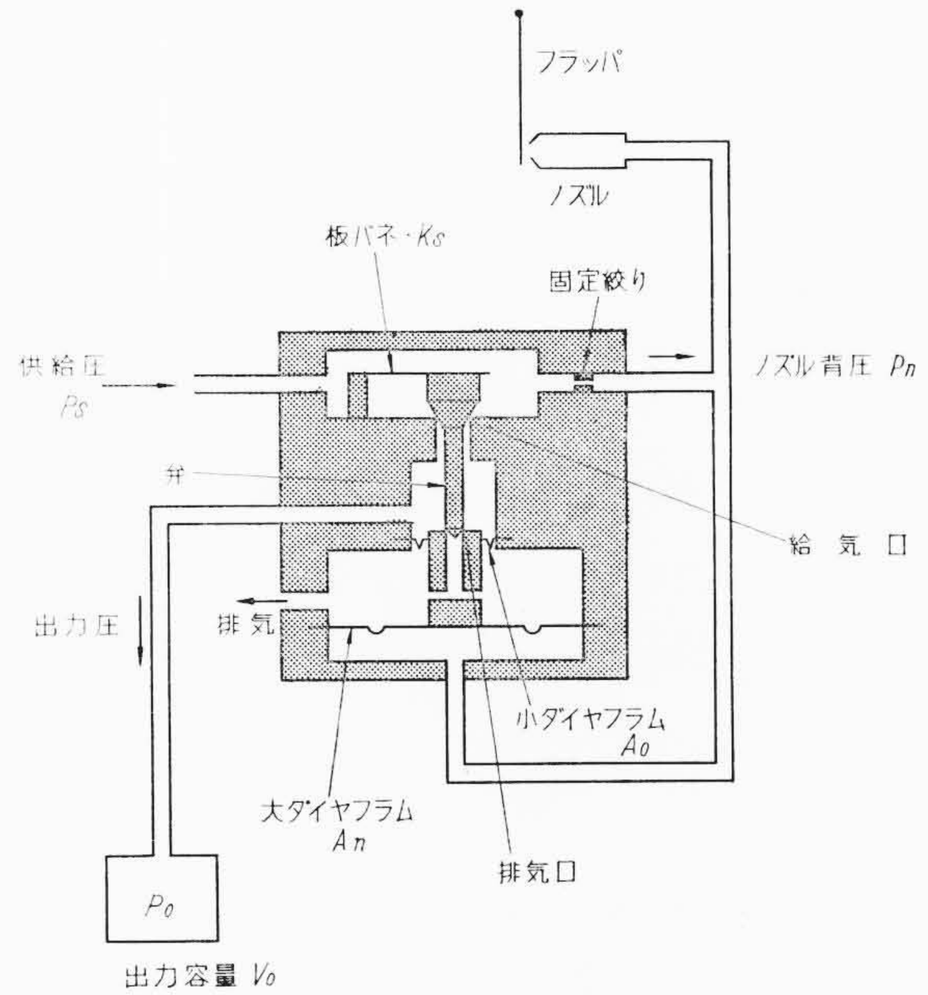


第2図　ノズル・フラッパ要素

* 日立製作所日立研究所　工博
** 日立製作所日立研究所
*** 日立製作所那珂工場



第3図　ノズル・フラッパ静特性



第4図　ノン・ブリード・パイロット弁原理図

圧室に供給される。それと同時に，ノズル・フラッパ部の可変抵抗を通り一部大気中に放出される。ノズル背圧は固定絞りおよびノズル・フラッパ部の圧力降下により定まる。ノズル・フラッパ部の空気通路面積が

$$\pi \cdot d_n \cdot x_f < \frac{\pi d_n^2}{4} \quad \cdots\cdots (1)$$

を満足する範囲においては，固定絞りおよびノズルを流れる空気は断熱変化を行うものと仮定すれば，ノズル・フラッパ間げきとノズル背圧との間には[2]

$$x_f = \frac{d_s^2 \cdot \alpha_s \cdot P_s \sqrt{\frac{2gk}{k-1}\left\{\left(\frac{P_n}{P_s}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P_n}{P_s}\right)^{\frac{k+1}{k}}\right\}}}{4 \cdot d_n \cdot \alpha_n \cdot P_n \sqrt{\frac{2gk}{k-1}\left\{\left(\frac{P_a}{P_n}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P_a}{P_n}\right)^{\frac{k+1}{k}}\right\}}} \quad \cdots (2)$$

の関係が成立する。ここに

d_n, d_s:　ノズルおよび固定絞り径

x_f:　ノズル・フラッパ間げき

α_n, α_s:　ノズルおよび固定絞り流量係数

k:　空気の断熱指数

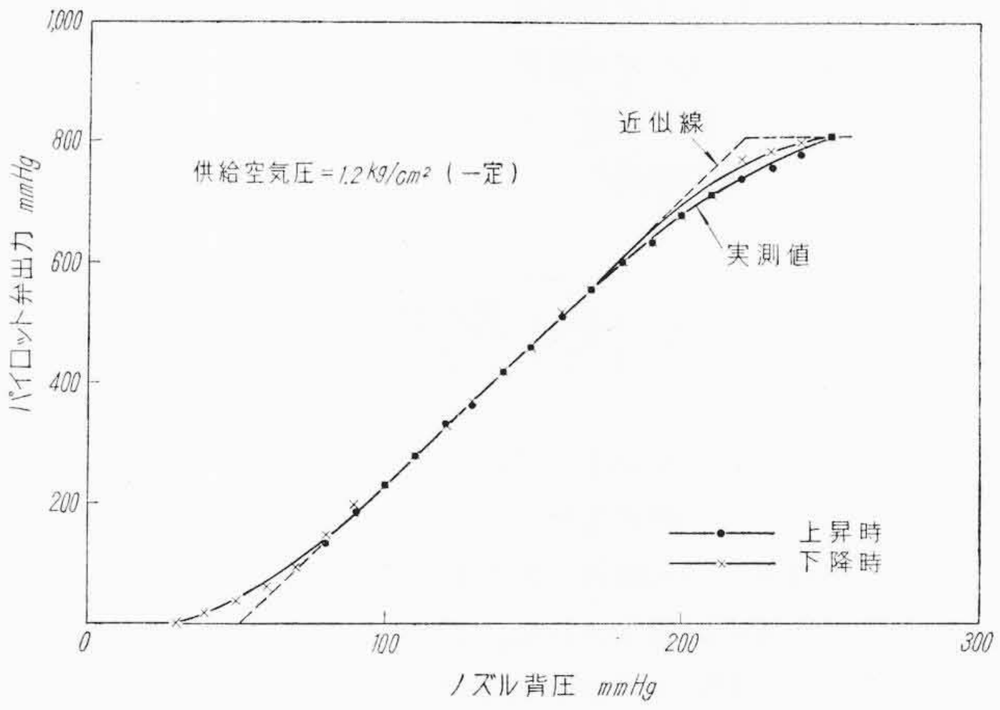
P_n, P_s, P_a:　ノズル，供給および大気圧

第3図にノズル・フラッパの静特性の実測結果を示す。一定供給圧 1.2 kg/cm² を加え，ノズル径 0.6 mm，固定絞り径 0.1，0.2，0.3，0.4 mm のそれぞれについて，ノズル・フラッパ間げきを変化させた場合のノズル背圧を実測したものである。ノズル径一定の場合，固定絞り径によりノズル・フラッパ要素の利得が変化することを示している。また，ノズル径および固定絞り径の比 d_n/d_s が1に近づくにしたがって残留圧が大きく，空気消費量が大きくなる。固定絞りを小さくしすぎると空気中の汚物によりふさがり，動作不能となるおそれがある。このため両者を考慮し，ノズルおよび固定絞り径を設計する必要がある。

2.2.2　パイロット弁

パイロット弁はノズル・フラッパ要素において増幅された空気圧をさらに増幅し，操作端を駆動するに十分な出力をうるための増幅要素である。すなわち，ノズル・フラッパ要素を直流電圧増幅器と考えるならば，パイロット弁は直流電力増幅器に相当する働きをする。

パイロット弁には動作時に空気を連続または不連続に放出するかにより，ブリード形とノン・ブリード形に分けることができる。



第5図　パイロット弁静特性

前者は不感帯，ヒステリシスが少ない，後者は平衡時に供給圧の変動を出力圧が受けず，空気消費量が少なく，設計が容易であるなどの利点を有する。日立製作所においては後者を採用している。**第4図**にその構造を示す。パイロット弁において大ダイヤフラムを上方に押上げる力と，小ダイヤフラムを下方に押す力とが平衡しているときは，**第4図**に示すように給気口と排気口は閉じている。この状態が平衡状態である。この場合は空気の供給および排気は行われない。すなわち

$$A_n P_n = A_0 P_0 \quad \cdots\cdots (3)$$

なる力関係が成立し，出力圧はノズル背圧と大，小ダイヤフラム有効面積比に比例する。ここに

A_n, A_0:　大および小ダイヤフラム有効面積

P_0:　パイロット弁出力圧

第5図にパイロット弁のノズル背圧対出力圧静特性の実験結果を示す。ノズル背圧を 0～250 mmHg の範囲において，順次上昇および下降させた場合の出力圧を示したものである。ヒステリシスは最大出力圧付近，すなわちノズル背圧 190～240 mmHg 範囲で約 20 mmHg 程度生じ，他のノズル背圧に対しては出力圧のヒステリシスは見当らない。出力圧の直線性はノズル背圧 80～180 mmHg 範囲では良好で，最小および最大値附近でややだれ気味である。これより実際にプロセス制御を行う場合，最も利用される出力圧の中間範囲は，ヒステリシスがなく，直線性がよく，パイ

ロット弁の機能を十分発揮しているといえる。なお，パイロット弁の利得は実測結果より4.7である。この値は(3)式における大，小ダイヤフラムの有効面積比と同程度である。

ノズル・フラッパ間げきが変化し，ノズル背圧が上昇したとすれば大ダイヤフラムを上方に押す力は増大し，(3)式の力平衡はくずれ，排気口を閉じたまま弁は押上げられ，給気口は開き，供給空気は給気口を経て出力容量に導入され，前記平衡状態に達するまで出力圧は上昇する。この場合は

$$A_n(P_n+\Delta P_n)=A_0(P_0+\Delta P_0)+K_{SD}X_V \quad \cdots\cdots(4)$$

なる力関係が成立つ。またノズル背圧対出力圧との関係[2]は

$$\frac{d(P_0+\Delta P_0)}{dt}+\frac{\alpha_0 K_{V0}A_0\sqrt{R\tau}}{K_{SD}V_0}\phi\left(\frac{P_0}{P_s}\right)(P_0+\Delta P_0)$$
$$=\frac{\alpha_0 K_{V0}A_n\sqrt{R\tau}}{K_{SD}V_0}\phi\left(\frac{P_0}{P_s}\right)(P_n+\Delta P_n) \quad \cdots\cdots(5)$$

である。ここに

K_{SD}：ダイヤフラムおよび板ばねの総合バネ定数
X_V：弁の動き
A_0，K_{V0}：給気口面積およびその定数
α_0：給気口流量係数
R：空気のガス定数
τ：供給圧温度
V_0：出力容量

また

$$\phi\left(\frac{P_0}{P_s}\right)=P_s\sqrt{\frac{2gk}{k-1}\left\{\left(\frac{P_0+\Delta P_0}{P_s}\right)^{\frac{2}{k}}-\left(\frac{P_0+\Delta P_0}{P_s}\right)^{\frac{k+1}{k}}\right\}} \quad \cdots\cdots(6)$$

である。反対にノズル背圧が下降した場合は大ダイヤフラムを押上げる力は減少し，両ダイヤフラムは下方に変位し，給気口は閉じたままで排気口のみ開き，出力容量に閉じ込められた空気は排気口を経て大気中に放出される。この場合は

$$A_n(P_n-\Delta P_n)-K_D x_D=A_0(P_0-\Delta P_0)$$

なる力関係が成り立つ。また，ノズル背圧対出力圧関係は

$$\frac{d(P_0-\Delta P_0)}{dt}+\frac{\alpha_e K_{Ve}A_D\sqrt{R\tau}}{K_D V_0}\phi\left(\frac{P_a}{P_0}\right)(P_0-\Delta P_0)$$
$$=\frac{\alpha_e K_{Ve}A_n\sqrt{R\tau}}{K_D V_0}\phi\left(\frac{P_a}{P_0}\right)(P_n-\Delta P_n) \quad \cdots\cdots(7)$$

である。ここに

x_D：ダイヤフラムの動き
K_D：ダイヤフラムのバネ定数
A_{Ve}，K_{Ve}：排気口面積およびその定数
α_e：排気口流量係数

また

$$\phi\left(\frac{P_a}{P_0}\right)=P_0\sqrt{\frac{2gk}{k-1}\left\{\left(\frac{P_a}{P_0-\Delta P_0}\right)^{\frac{2}{k}}-\left(\frac{P_a}{P_0-\Delta P_0}\right)^{\frac{k+1}{k}}\right\}} \quad \cdots\cdots(8)$$

である。ただし供給圧温度と出力容量温度は等しいと仮定した。

ノン・ブリード・パイロット弁では平衡時において，供給および排気流量は零であるゆえ，ノズル背圧が供給圧変動を受けないならば出力圧は供給圧変動の影響を受けない。第2図においてノズル背圧室に固定絞りを経て流入する空気流量は

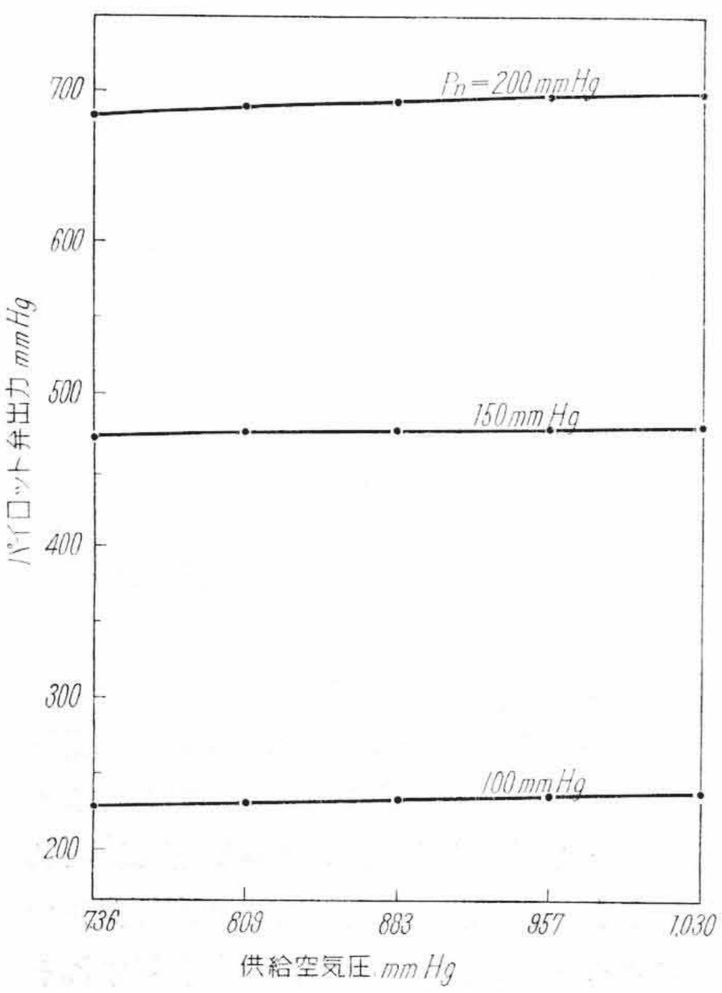
$$Q_s=\frac{\alpha_s\pi d_s^2 P_s}{4\sqrt{R\tau}}\sqrt{\frac{2gk}{k-1}\left\{\left(\frac{P_n}{P_s}\right)^{\frac{2}{k}}-\left(\frac{P_n}{P_s}\right)^{\frac{k+1}{k}}\right\}} \quad \cdots\cdots(9)$$

である。また

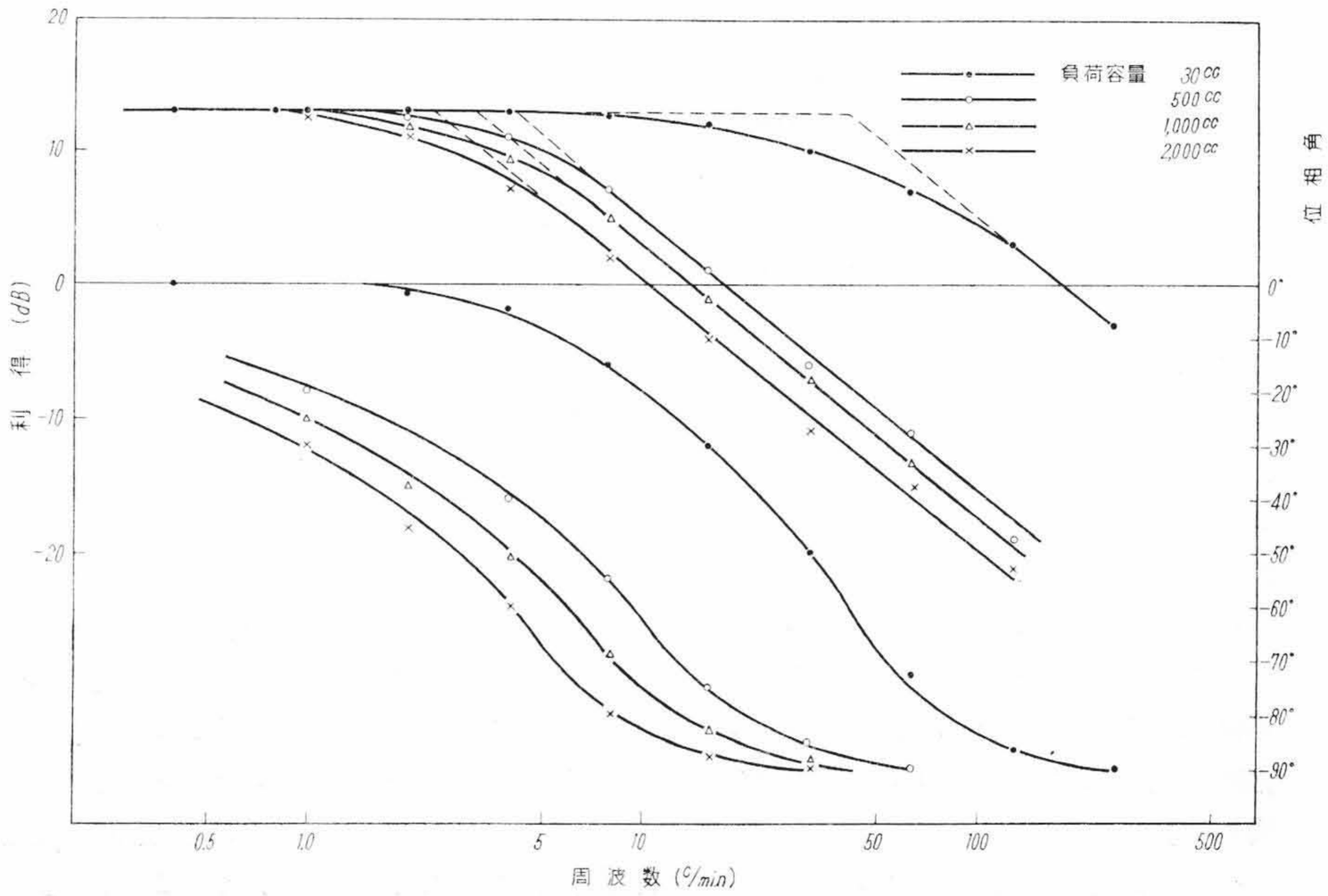
$$\frac{P_n}{P_s}<0.528 \quad \cdots\cdots(10)$$

の範囲においては(9)式は一定である。ゆえにノズル背圧室に流入する空気流量は，ノズル・フラッパ間げきが変化しない限り，平衡時においてはノン・ブリード・パイロット弁は供給圧変動により出力圧が(10)式を満足する範囲においては影響は受けない。第6図に平衡時における供給圧変動に対する出力圧変動を示す。ノズル背圧100，150，200 mmHgにおいては出力圧変動はほとんど認められない。

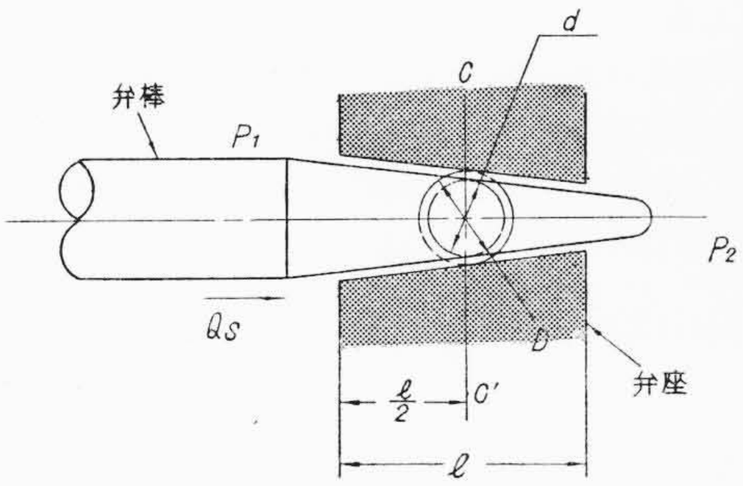
第7図にパイロット弁の周波数特性を示す。出力容量として30, 500, 1,000, 2,000 ccの容量タンクを接続し，入力正弦波周波数を0.25～256 c/minの範囲に変化させたときの出力応答をBode's Diagramに示したもので，これより追従性を検討できる。第7図における利得特性は折点周波数以下では利得一定で，それ以上においては−20 dB/decの傾斜で利得が減少する。すなわちパイロット弁は1次遅れをもった伝達関数で表示できるといえる。



第6図　パイロット弁の供給圧影響



第7図　パイロット弁の周波数特性



第8図　絞り部詳細図

2.2.3　積分および微分回路

積分および微分回路はそれぞれ絞り機構と容量タンクより構成されており，絞り機構の弁座孔とその中にそう入設置されたテーパを有する弁棒をスラストすることにより，弁座孔と弁棒との間げき面積を変え，絞り部の空気抵抗を変化させ積分および微分時間をえている。**第8図**に絞り機構の絞り部詳細図を示す。弁棒および弁座孔の間げき面積を弁座長さの中心c–c'断面の間げき面積で示すと

$$A_s=(D^2-d^2)\frac{\pi}{4}\simeq(D-d)\frac{D\pi}{2}\cdots\cdots\cdots\cdots(11)$$

ここに　A_s：絞り部間げき面積

D, d：c–c'断面の弁座孔および弁棒の径

絞り部間げきは実際に1/100 mm程度が使用範囲であるから，(11)式において d/D を零として近似した[3]。(11)式はc–c'断面の弁座孔の円周を一辺とし，間げきを高さとする長方形面積と等しい。また，絞り部の弁棒および弁座孔は構造上テーパが付いているが，それは小さく，無視し平行状のものと考え，この間を流れる空気流を層流と仮定すると，その圧力降下[4]は

$$P_1-P_2=\frac{64\,\mu\,l}{X\cdot D\cdot d(D-d)^3}\cdot Q_s\cdots\cdots\cdots\cdots(12)$$

である。ここに

μ：空気の粘性係数

l：弁座長さ

X：$(D-d)/d$ にて決まる定数

Q_s：絞り部を流れる流量

P_1, P_2：絞り部入口および出口圧

絞り部を通り容量タンク内に流入する空気流量によるタンク内圧と絞り部圧力降下との関係は，等温変化を空気流が行うとすれば

$$P_1-P_2=\frac{64\,\mu\,l}{X\cdot\pi\cdot d(D-d)^3}\cdot\frac{V_i}{P_2}\cdot\frac{\Delta P_2}{\Delta t}\cdots\cdots\cdots\cdots(13)$$

である。(13)式をラプラス変換し，その時定数を求めると

$$T=\frac{64\,\mu\,l}{X\cdot\pi\cdot d(D-d)^3}\cdot\frac{V_i}{P_2}\cdots\cdots\cdots\cdots(14)$$

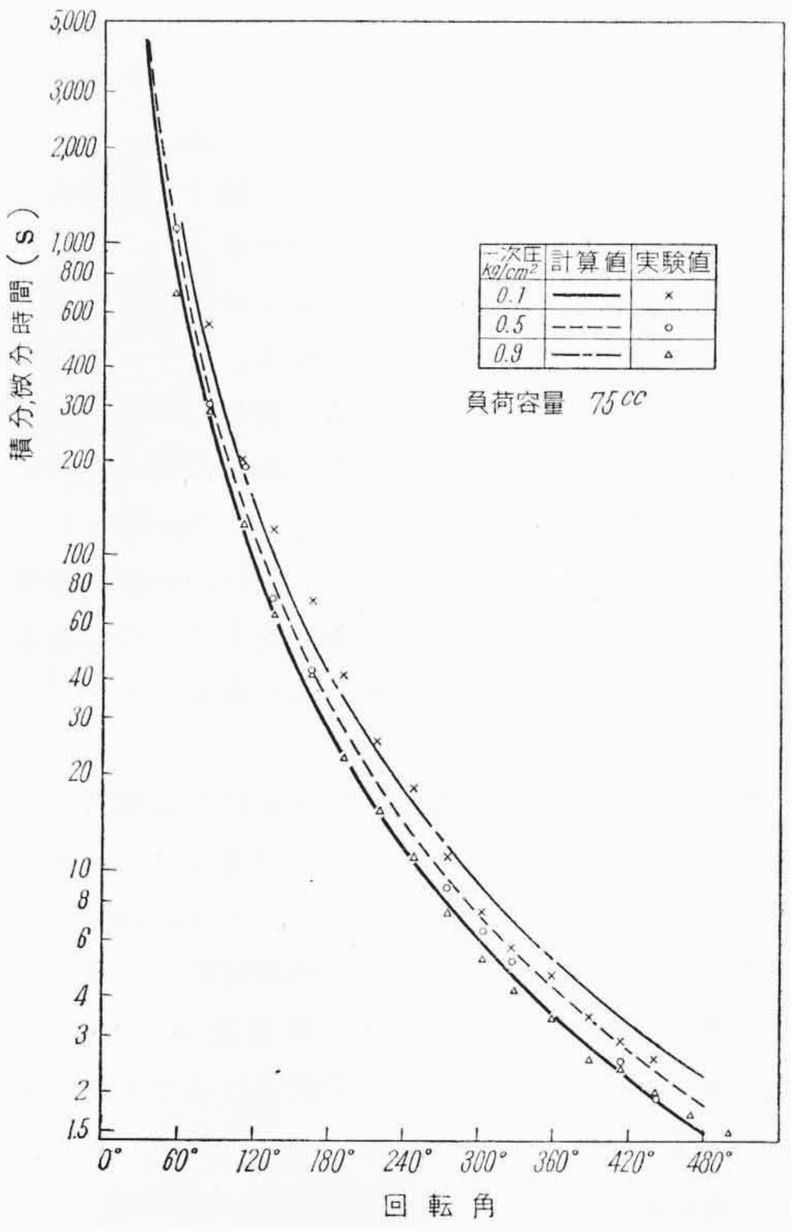
である。ここに

V_i：絞りに接続された容量

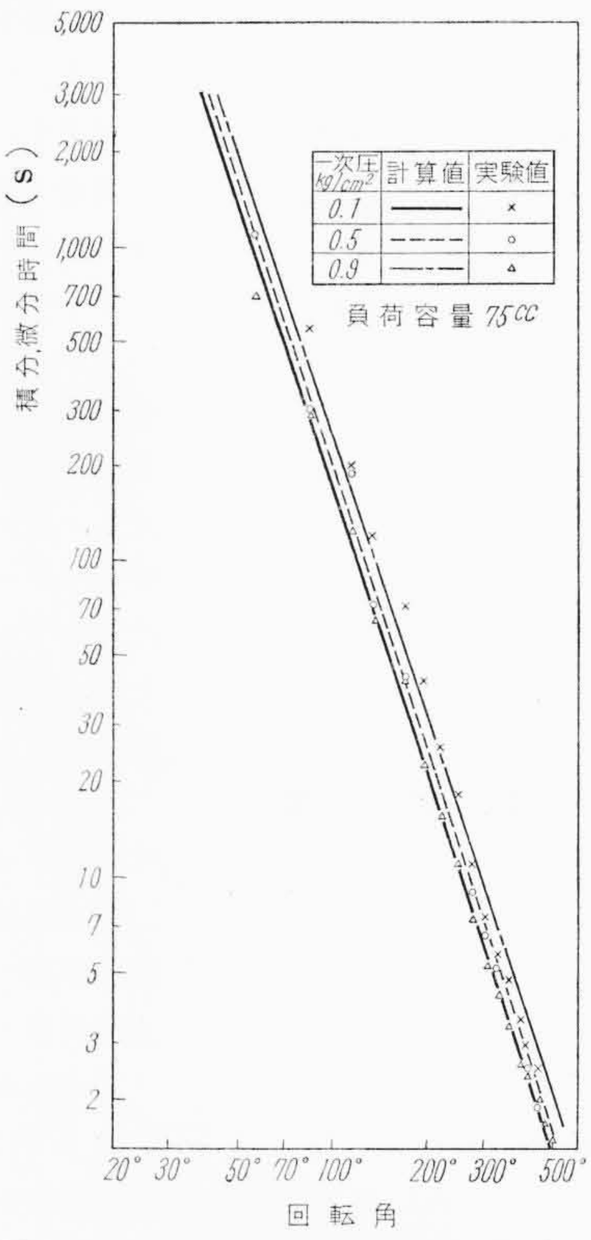
(14)式は積分および微分時間を示す。**第9図**に実測値と計算値を設定ダイヤルに対しプロットした。入口圧を0.1，0.5，0.9 kg/cm² として容量75cc負荷した場合を片対数に示したものである。**第10図**はそれらを両対数に記したものである。前者は設定ダイヤルに目盛る場合に目盛形状が見やすく，後者は理論的検討を加えるのに都合がよい。計算値に対し，実測値がばらついているが，この程度のばらつきは調節計の使用上問題はない。**第10図**の直線こう配は－3である。これは間げきの3乗に逆比例するためである。

2.2.4　復原機構部

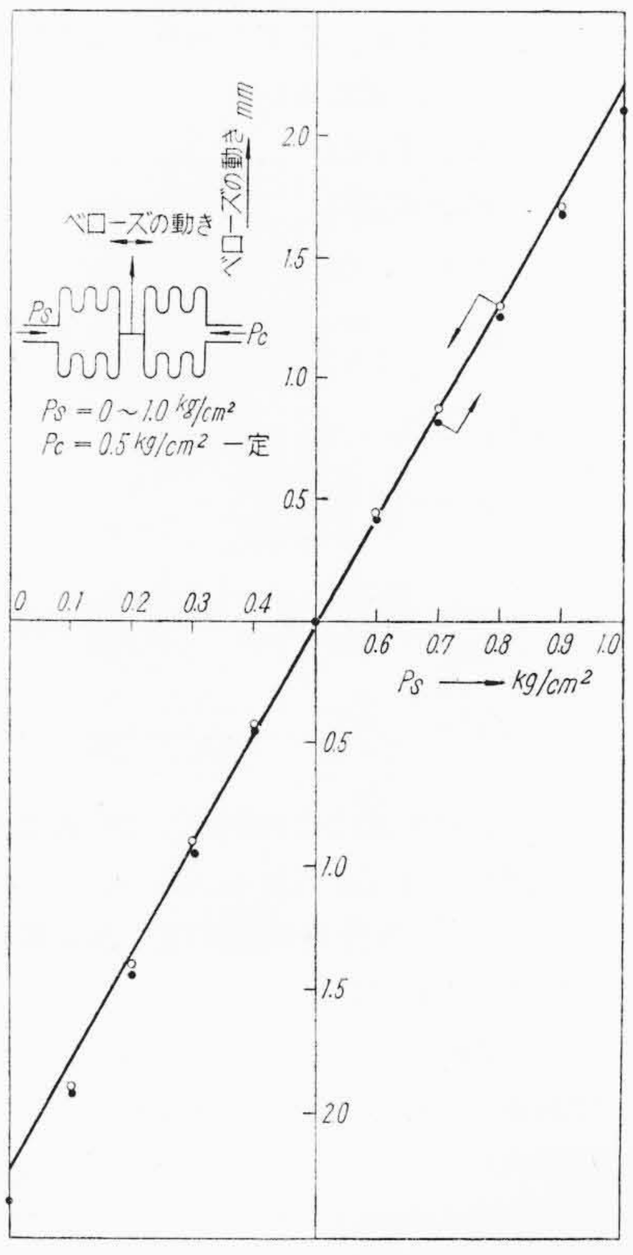
復原機構は積分および微分ベローズの内圧差によりフラッパに帰還量を加える機構で，**第1図**に示すように積分および微分ベローズが相対し設けられ，リンクにより両ベローズは連結され，リンクを介しフラッパを変位させる。両ベローズとも同一特性および構造のものを使用し，特にその選択には注意を払う必要がある。不均一特性のベローズを使用すると，定常偏差を生じ，静特性が劣化する。**第11図**に復原機構の特性を示す。積分ベローズ



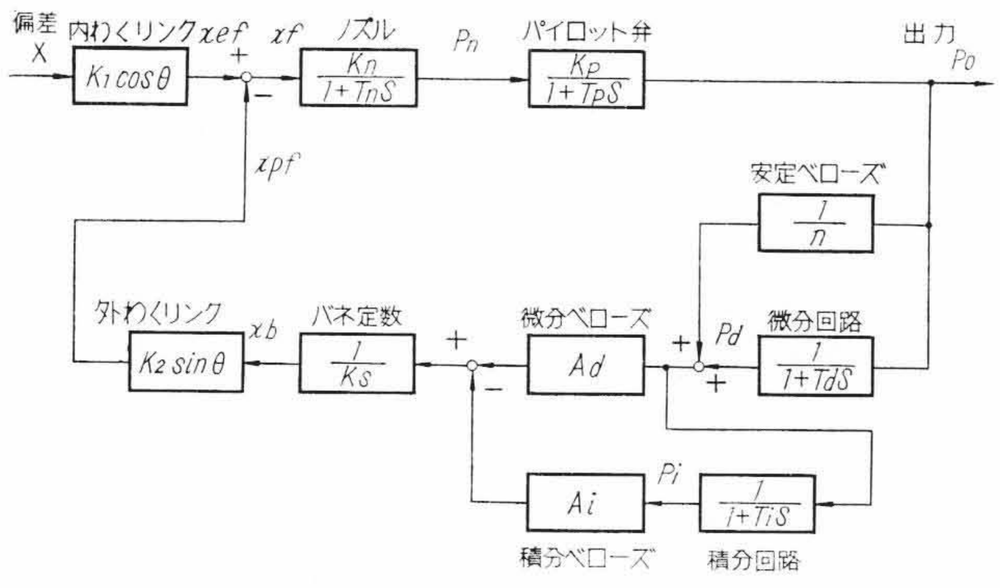
第9図　積分および微分時間特性（1）



第10図　積分および微分時間特性（2）



第11図　復原機構特性



第12図　日立調節計の Block Diagram

に 0.5 kg/cm² の空気圧を加え，平衡させ，その後微分ベローズ圧を順次上昇および下降させた場合のリンクの動きを実測した結果である。平衡点付近で直線は良く，ヒステリシスはなく，復原機構の条件を十分備えているといえる。

2.2.5 伝達関数

空気作動調節機構の Block Diagram を第12図に示す。伝達関数を求めると[5]

$$G(S)=\frac{K_1\cos\theta\dfrac{K_n}{1+T_nS}\cdot\dfrac{K_p}{1+T_pS}}{1+\dfrac{K_n}{1+T_nS}\cdot\dfrac{K_p}{1+T_pS}\cdot\dfrac{K_2\sin\theta}{K_s}\left(A_d-\dfrac{A_i}{1+T_iS}\right)\left(\dfrac{1}{n}+\dfrac{1}{1+T_dS}\right)}\quad\cdots\cdots(15)$$

である。ここに

K_1, K_2: 復帰機構リンク・利得

K_n, K_p: ノズル・フラッパおよびパイロット弁利得

K_s: ベローズバネ定数

T_n, T_p: ノズル・フラッパおよびパイロット弁時定数

T_i, T_d: 積分および微分時間

A_i, A_d: 積分および微分ベローズ有効面積

(構造上 $A_i=A_d$)

$1/n$: 安定ベローズ伝達定数

である。(15)式において

T_n, $T_p \ll 1$ ……(16)

K_n, $K_p \gg 1$ ……(17)

と仮定すると，伝達関係は

$$G(S)=\frac{m\cdot K}{1+T_d'S}\left(\frac{T_dS}{m}+1+\frac{1}{m\,T_iS}\right)\quad\cdots\cdots(18)$$

である。ここに

$$K=\frac{K_sK_1\cos\theta}{A_dK_2\sin\theta}\cdot\frac{n}{1+n}\quad\cdots\cdots(19)$$

$$m=\frac{T_i+T_d}{T_i}\quad\cdots\cdots(20)$$

$$T_d'=\frac{T_d}{1+n}\quad\cdots\cdots(21)$$

である。(19)式は比例利得，(20)式は相互干渉係数，(21)式は微分利得飽和時定数である。(18)式よりわかるように真の比例利得，積分および微分時間は相互干渉係数を乗除した値となる。また(18)式においては

$T_d > T_d'$ ……(22)

であるから微分利得は角周波数 $1/T_d'$ において飽和する。これは(20)式に示すように安定ベローズの伝達定数によるものである。積分利得の飽和は(18)式には見られない。これは(17)式に示すようにノズル・フラッパ利得およびパイロット弁利得をきわめて大きな値と仮定したためで，実際にはその値は定常偏差を考慮し100～500程度の値に調節計は設計されているので，角周波数のきわめて低い所で積分利得の飽和を生ずる。(15)式において計算を簡略化するため，微分動作は働かないものとして比例＋積分動作調節計として伝達関数を求めると

$$G_{PI}(S)=\frac{K'}{1+\dfrac{1}{T_i'S}}\left(1+\frac{1}{T_iS}\right)\quad\cdots\cdots(23)$$

ここに

$$K'=\frac{K_sK_1\cos\theta}{A_dK_2\sin\theta}\quad\cdots\cdots(24)$$

$$T_i'=\frac{A_dK_nK_pK_2\sin\theta}{K_s}T_i\quad\cdots\cdots(25)$$

(23)式はこの場合の比例利得，(24)式は積分利得飽和時定数である。また

$T_i < T_i'$ ……(26)

であるので，(23)式より積分利得は角周波数 $1/T_i'$ で飽和することがわかる。ノズル・フラッパを増幅要素とする空気調節計はノズル・フラッパ要素およびパイロット弁利得が有限値であるため積分利得が飽和すると同時に，総合復原方式を採用しているため自己発振を起す可能性があり，その防止策として安定ベローズ方式を採用すると微分利得はおのずと飽和する。これら積分および微分利得の飽和は総合復原方式を採用している調節計においてはまぬがれぬ点である。

2.2.6 周波数特性

調節計に要求される動特性は

(a) 比例動作の場合は，その周波数特性において利得特性が平たんで折点周波数が高く，かつ位相遅れのないこと。

(b) 比例＋積分動作の場合は，積分動作のきかない比較的角周波数が高い所で(a)の条件を満足し，角周波数零において積分利得が大きいこと。

(c) 比例＋積分＋微分動作の場合は，比例＋積分動作のきく比較的角周波数の低い所で(a)，(b)の条件を満足し，微分動作が働く高い角周波数において微分利得が大きいこと。

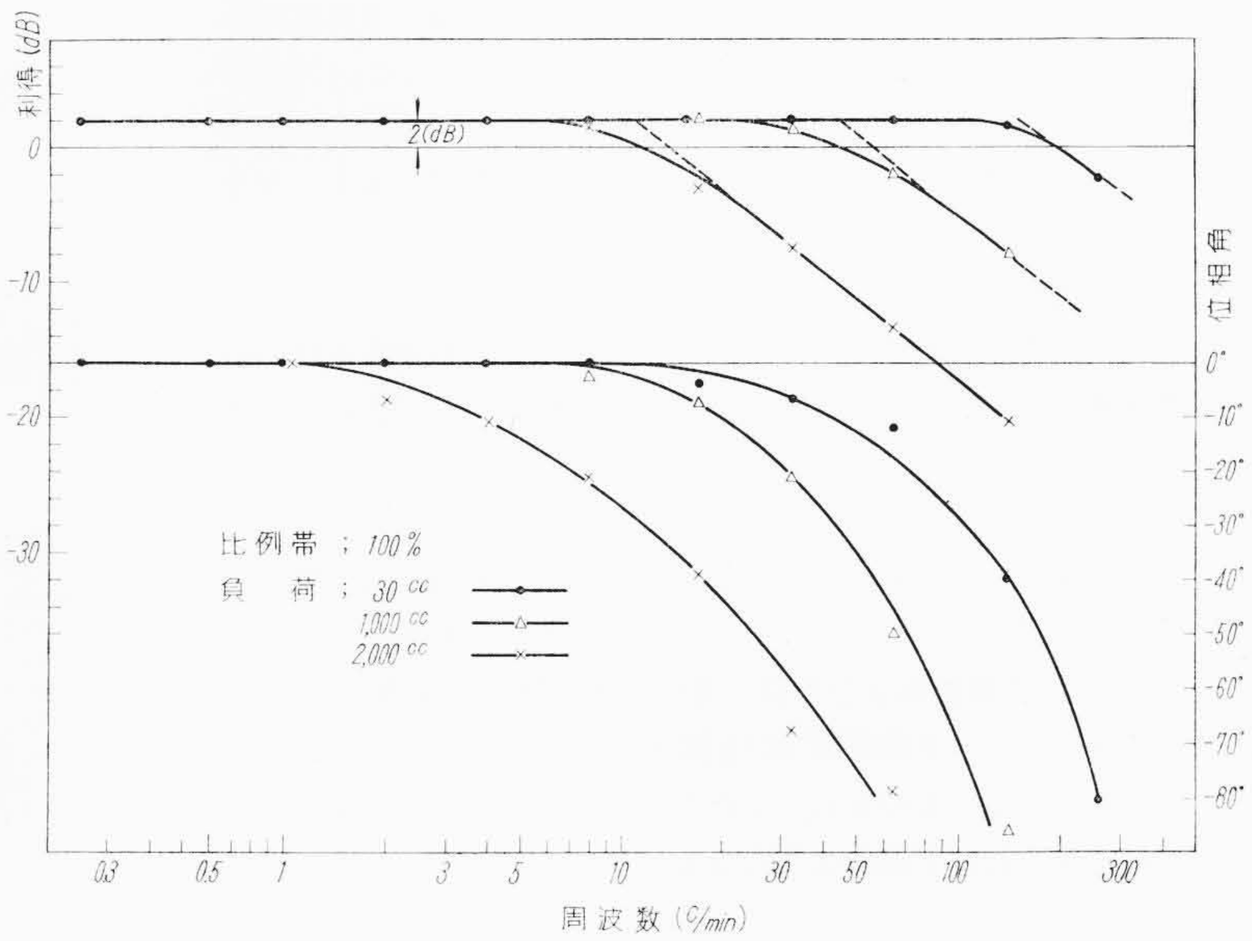
である。(a)は調節計の追従性を，(b)はオフセットを打消す力の強さを，(c)は微分動作のきく度合を示すものである。

前節で述べたように実存の調節計はほとんどが総合復原方式を採用しているため，(b)，(c)の条件を満足させると，ノズル・フラッパ要素およびパイロット弁の時定数が積分および微分時間に比し，きわめて小さくないと自己発振を生ずる。パイロット弁の時定数は第7図に示すように出力容量により変るため，出力容量を接続した場合，それらの時定数を常に積分および微分時間に比し，きわめて小さくすることは不可能である。この対策として安定ベローズを設けていることは先に述べた。そのため微分利得はおのずと飽和する。この両者は相反する条件をもつものであるため，動特性と自己発振現象を考慮し，最適値に安定ベローズの伝達定数を選択する必要がある。

第13図に比例＋積分＋微分動作調節計を比例動作調節計として作動させた場合の周波数特性を示す。出力容量として 30, 1,000, 2,000 cc の容量タンクを調節計に接続し，入力正弦波周波数を 0.25～256 c/min まで変化させた場合の実測結果である。折点周波数までは利得は平たんで，それ以上の周波数においては −20 dB/dec の傾斜で下降する。また折点周波数付近で共振現象による利得増大は見られず，自己発振を生ずる可能性はなく，安定動作を行うことを示している。折点周波数は出力容量 30, 1,000, 2,000 cc に対し 150, 44, 11 c/min である。現在プロセス制

御に使用されている空気制御機器の検出端および操作端はそれぞれ 100, 10 c/min 程度の折点周波数を有している。それゆえ，調節計としては操作端の動特性と同程度またはそれ以上の良好な動特性が要求される。出力容量 2,000 cc 以下においては，本調節計は十分その条件を満足している。出力容量 30 cc においては検出端と同程度の動特性を有し，検出器の発信信号に対し十分忠実に応答する。

第14図に比例＋積分＋微分動作調節計として作動させた場合の周波数特性を示す。比例帯 100%，積分時間 0.5 分，微分時間 0.15 分にそれぞれ設定し，出力容量 30 cc を接続して，入力正弦波周波数を 1/16～54 c/min まで変化させた場合の実測結果である。下限周波数 1/16 c/min においては積分利得の飽和はなく，また微分利得は周波数 11 c/min で飽和し，その利得は 13 dB である。微分利得は(18)式よりわかるように安定ベローズの伝達定数により決まるものである。

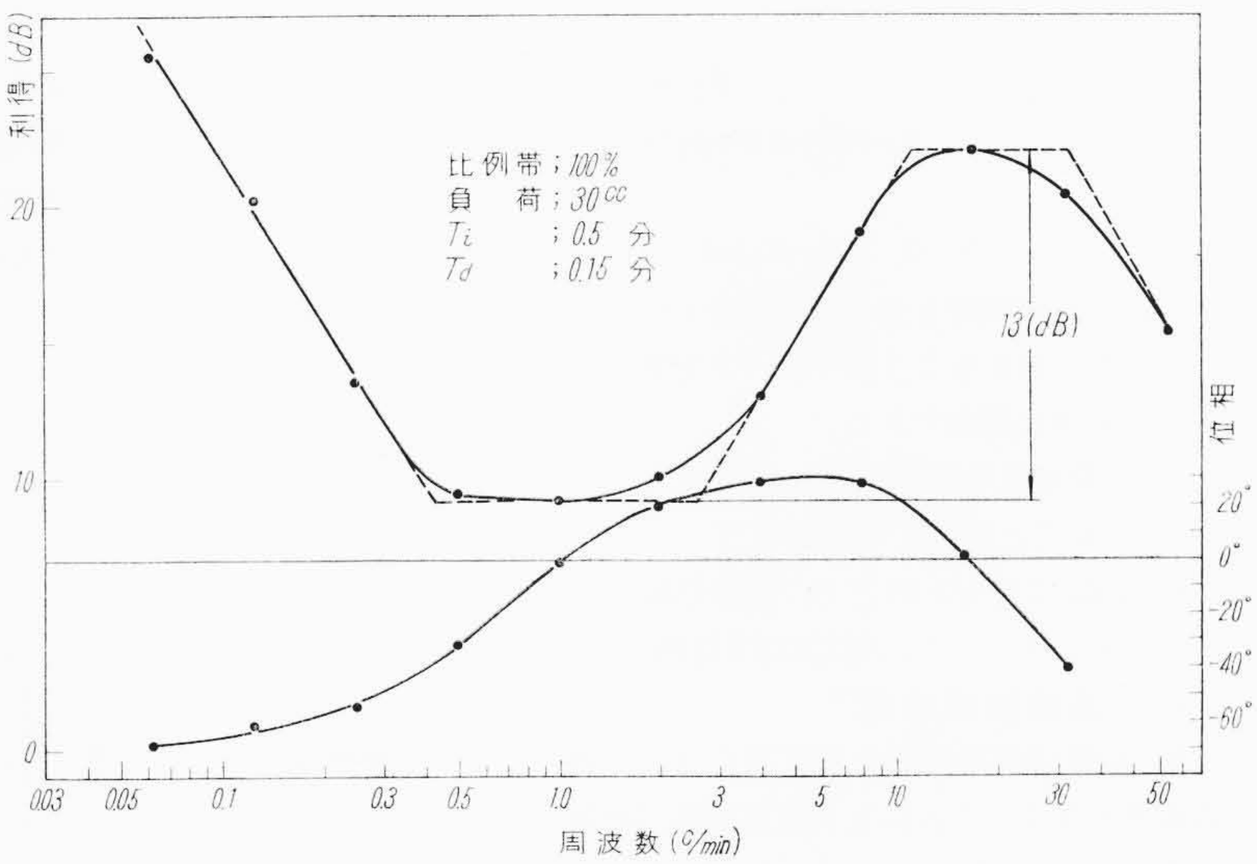


第13図　比例動作調節計の周波数特性

3. ベローズ形差圧発信器

3.1 構造と作動原理

本器の構造は受圧部と，空気圧変換部から成る。前者は差圧を受けてこれを対応変位に変換し外部に取り出す装置，後者はこの変位をさらに空気圧に変換する装置で，ノズル，フラッパ，パイロットバルブ機構からなっている。本発信器の受圧部は独得の構造を有するもので，**第15図**にこれを示す。すなわち，三つのベローズによって仕切られた非連通の二つの空間には特殊液体が充てんされ，中央のベローズは板ばねその他の伝達機構を介して，紙面に直角方向に突出したトルクチューブ機構に連結されている。図においてH，Lから高，低圧を導入すれば，これらの圧力は左右の伝達ベローズ，および左右液室の液を介して中央のベローズに伝わるので，その内外の圧力差により平衡バネは変位し，同時にこの変位は伝達機構からトルクチューブ機構に伝わり，その回転変位として外部へ取り出される。この変位がさらに前述の空気圧変換部に伝わりノズルフラッパ，パイロットバルブ機構により対応空気圧に変換伝送される。



第14図　比例＋積分＋微分動作調節計の周波数特性

3.2 特　　長

(1)　温度補償が確実かつ簡単にできる[6]。

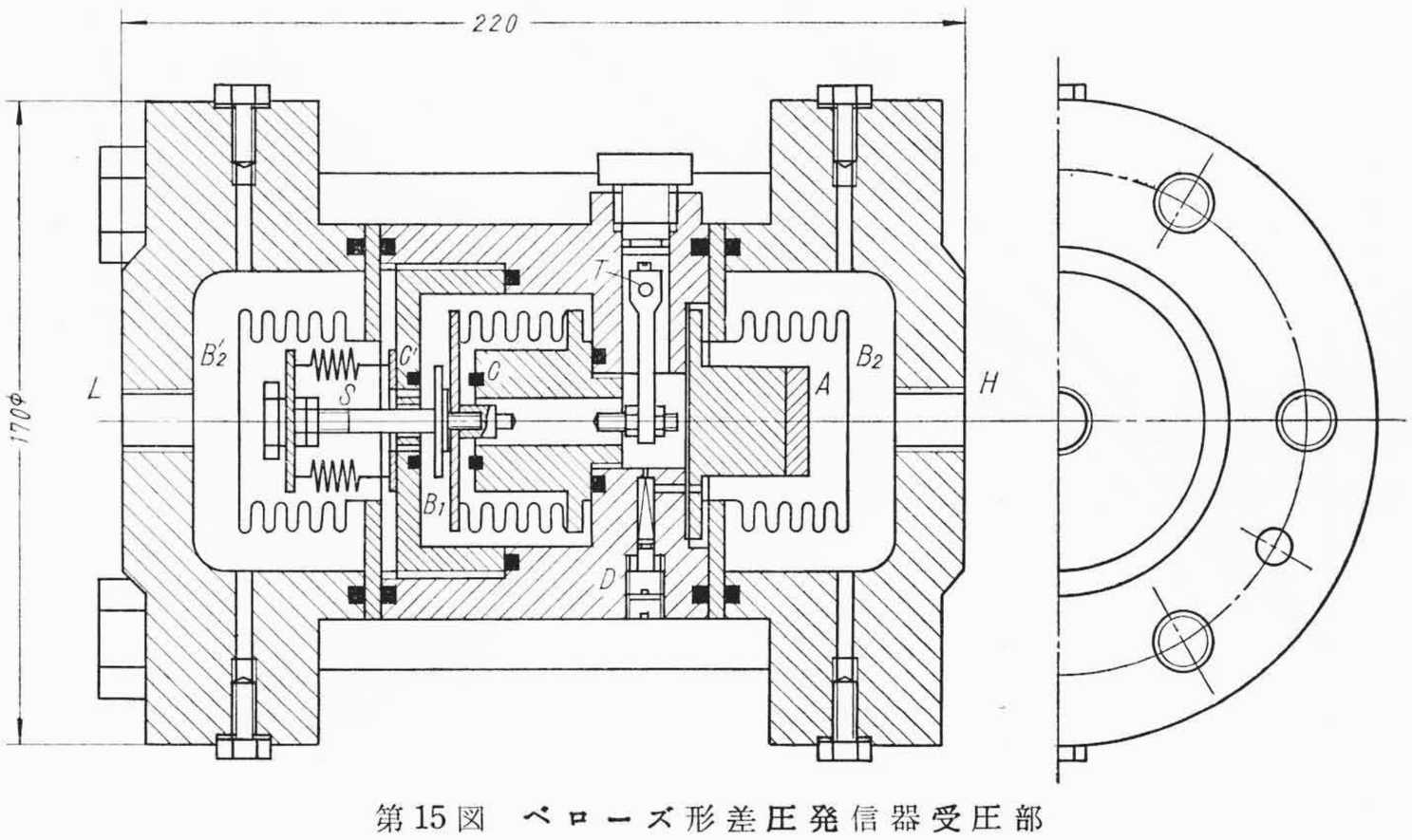
温度変化による液室中の液の体積および金属構造部の長さの変化が出力圧変動の原因となるが，本器では左右の液室の液量を適当に調整できるようにして，液膨脹による左右ベローズの伸び反力を適当にバランスさせ，熱膨脹の影響を簡単確実に補償できる。

(2)　脈動流体の平均値量測定が可能

第15図に示すようにパルセーションダンパDにより液通路の一部を絞って脈動を受圧部で減衰させるため，その平均値量が測定できる。

(3)　耐圧が高く，過差圧負荷時にも計器が保護される。

本発信器のシール部分であるトル



第15図　ベローズ形差圧発信器受圧部

クチューブは 400 kg/cm² の耐圧[7]をもつので計器の全体的耐圧が高くとれる。また，高低圧いずれ側から過差圧がかかっても第15図のチェックバルブ c, c′ が液の通路をふさぎ油を閉じ込めるので，ベローズ，トルクチューブなどはなんら破損のおそれがない。

（4） 耐食性が高く，ショックに対して強い。

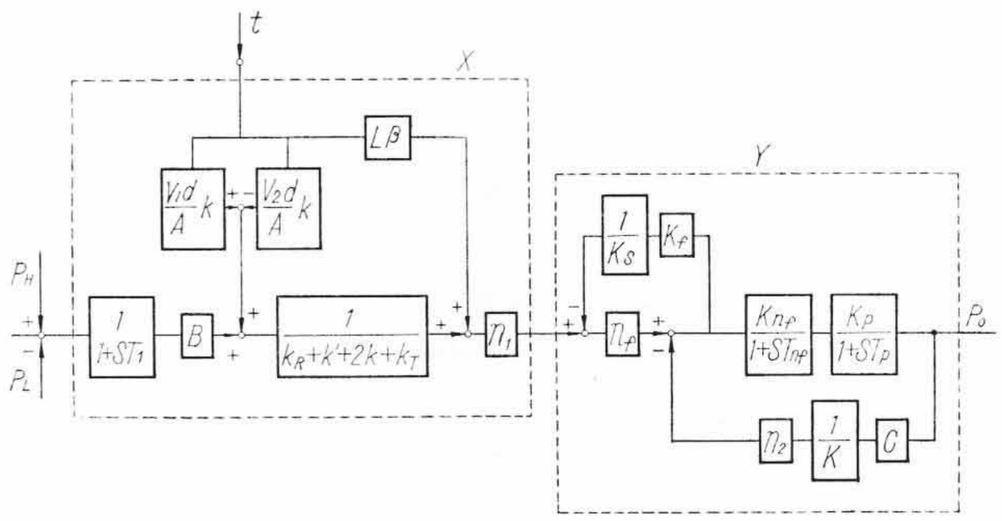
受圧機構部は左右のベローズおよび液体により被測定流体から隔離保護されているので耐食性が高く，衝撃に対してきわめて強い。

（5） 応用範囲が広い。

差圧が変位として取り出されるので空気圧変換部を取り替えれば電気式計器としても，また，指示記録計器としても使用できる。

3.3 ブロック線図および利得と発信器諸定数との関係

本発信器のブロック線図は第16図のように表わされる。いま温度による外乱がないものとし，これから伝達関数 $G(S)$ および比例利得 $|G|$ を求めれば下記のようになる。



Po: 出力圧
P_H, P_L: 高，低圧側圧力
A, B: 受圧，伝達ベローズ有効面積
V_1, V_2: 高，低圧側液室容積
k_R: 平衡バネ常数
k, k': 伝達，受圧ベローズバネ常数
k_T: トルクチューブバネ常数
L: 変位伝達部有効長
α: 封入液体積膨張係数
β: 変位伝達部線膨張係数
n_1: 受圧部変位伝達レバー比
n_f: フラッパのレバー比
K_f: フラッパのバネ常数
K_s: トルクチューブシャフト回転バネ常数
C: 復元ベローズ有効面積
K: 復元対抗バネ常数
n_2: 復元レバー比
K_{nf}: ノズルフラッパ比例利得
K_p: パイロットバルス比例利得
T_{nf}: ノズルフラッパ時定数
T_p: パイロットバルブ時定数

（X範囲は受圧部，Y範囲は空気圧変換部）

第16図　ベローズ形差圧発信器ブロック線図

$$G(S)=\frac{\dfrac{B_{n1}\,n_f\,K_{nf}\,K_p}{(1+ST_{nf})(1+ST_p)}}{(k_R+k'+2k+k_T)\left(1+\dfrac{K_f}{K_s}n_f\right)(1+ST_1)\left(1+\dfrac{n_2C}{K}\cdot\dfrac{K_{nf}\,K_p}{(KST_{nf})(1+ST_p)}\right)}\quad\cdots\cdots(27)$$

$$|G|=\frac{B_{n1}\,n_f\,K}{(k_R+k'+2k+k_T)\left(1+\dfrac{K_f}{K_s}n_f\right)n_2C}\quad\cdots(28)$$

（ただし $S=0$, $K_{nf}K_p\gg1$）

(28)式が比例利得と発信器諸定数との関係をあらわす式である。これを見ればわかるように平衡バネ定数 k_R をかえることによって測定差圧範囲を調整できる。

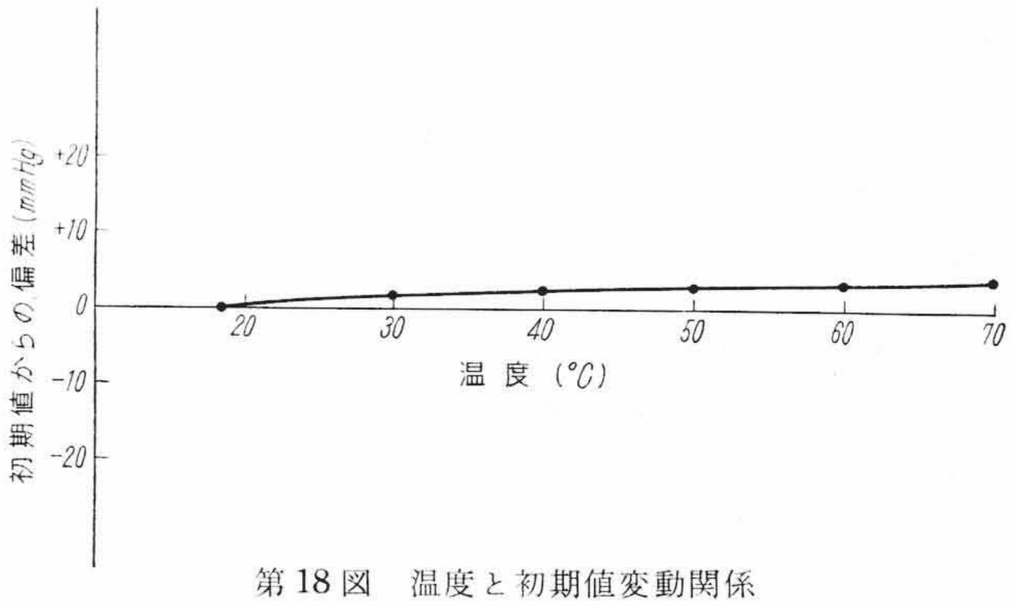
3.4 主要特性の実験結果

3.4.1 差圧と出力圧の関係

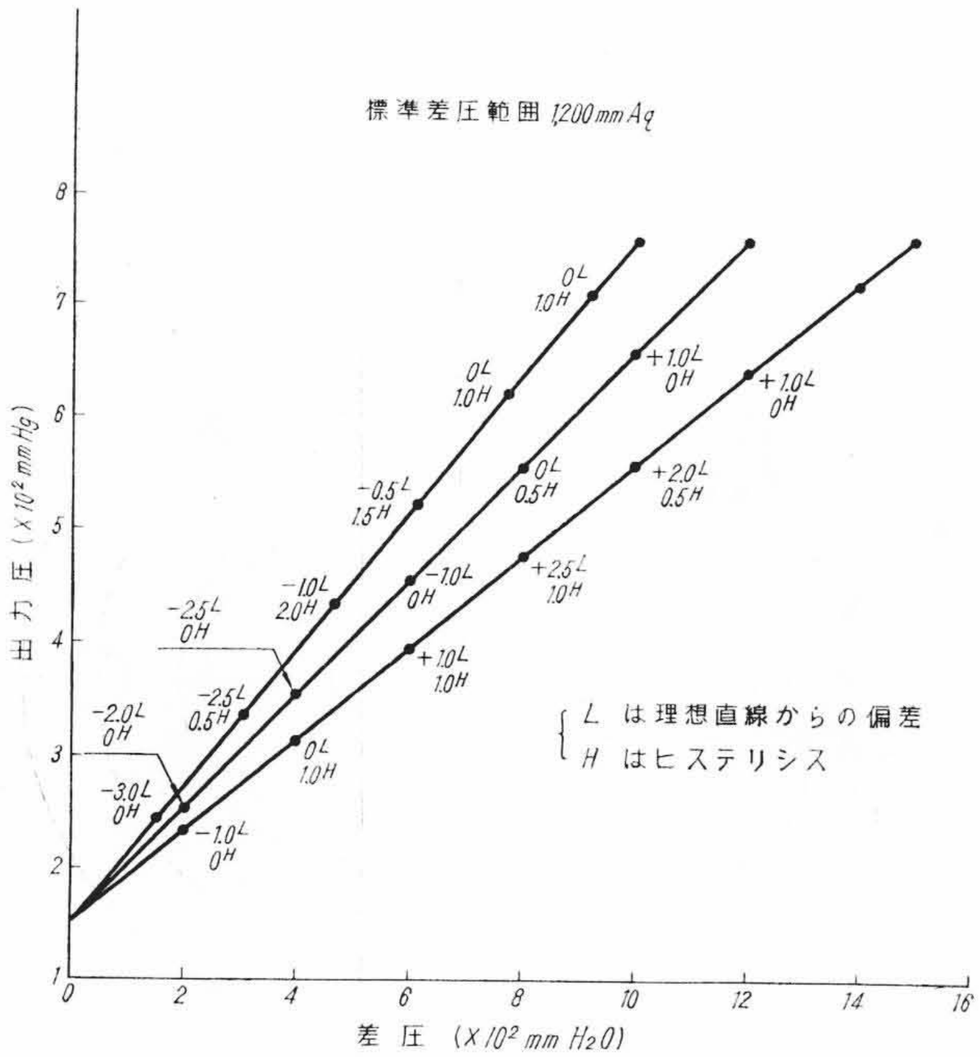
第17図は差圧と出力圧の関係であるが，ヒステリシス直線性いずれも全スケールに対し0.5%以内である。

3.4.2 温度補償効果[8]

第18図は外周温度を50°C変化させた場合の出力圧初期値からの偏差を示す。これにより温度補償が有効に働いていることがわかる。



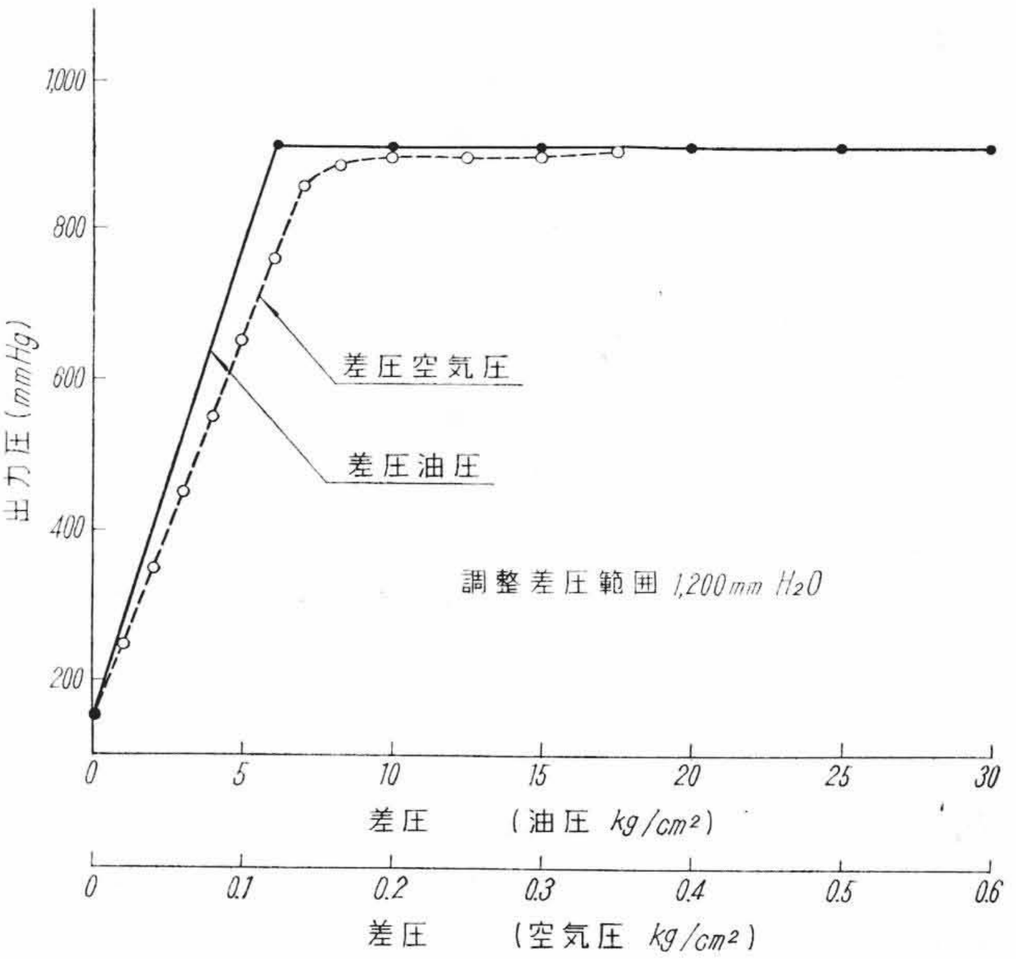
第18図　温度と初期値変動関係



第17図　差圧-出力圧関係

3.4.3 過差圧負荷時の動作

第19図は過負荷時の出力圧変化状態を示すが，差圧がある値以上になると作動は停止し，差圧除去後の偏差もほとんど認められない。



第19図　過差圧負荷時の出力圧変動

4. 結　　言

以上空気作動調節計とベローズ形差圧発信器の構造，性能について概略を述べたが，ここに主要性能をまとめて列記すれば，

空気作動調節計については

（1） パイロットの直線性は良好で，ヒステリシスは小さい。

（2） 復原機構は平衡点付近で直線性良好で，ヒステリシスが小さい。

（3） 比例動作調節計の動特性は良好で負荷容量 2,000 cc においては，操作端の応答周波数 10 c/min まで応答し，30 cc においては検出端と同程度の特性を有する。

（4） 比例動作調節計は折点周波数付近で共振現象による利得増加がなく，安定に動作する。

（5） 比例＋積分＋微分動作調節計の微分利得は 11 c/min で飽和し，下限周波数 1/16 c/min において積分利得の飽和がなく，残留偏差を打ち消す力が大きいことがわかる。

これにより調節計に要求される動特性を十分満足し，その機能を発揮していることがわかる。

ベローズ形差圧発信器については

（1） 差圧–出力圧特性においてヒステリシス，直線性はいずれも 0.5% 以内である。

（2） 測定差圧範囲は平衡バネを取替えることにより 1,000 mm H_2O～20,000 mm H_2O に変更できる。

（3） パルセーションダンパによる出力圧時定数変換範囲は全スケールに対し 10 秒～2 分である。

今後さらに精度の向上をはかるとともに種々の使用条件下における安定性を一層増大させ，プロセス制御の発展のために貢献したいと念願している。諸賢のご批判をお願いする次第である。

参　考　文　献

（1） 小野寺： 日立評論 39, 1253 (昭 32)

（2） 米沢： 機学会通常総会前刷 (昭 31–4)

（3） C. R. Webb： Trans of SIT, 7, 9 (May 1955)

（4） 機設便覧委員会： 機械設計便覧 1456 (昭 35)

（5） L. A. Gould, P. E. Smith： Instruments, 26, 886 (1953)

（6） 長谷川： 特許出願中

（7） 機学会： 機械工学便覧 4–101 (昭 26)

（8） W. S. Christian： Instrument and Control System, 33, 466 (Mar. 1960)

（9） 堤： 自動制御 7, 361 (昭 35–5)

特　許　の　紹　介

特許 第 224187 号　　小　池　　武

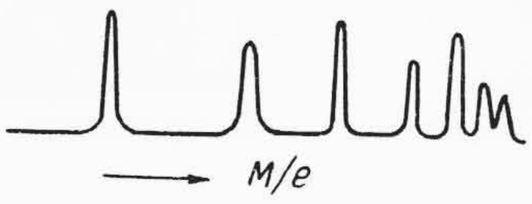
質　量　分　析　装　置

質量分析装置は，被測定ガスを流入口 1 よりイオン化室 2 に流入させてイオン化し，加速電極 3 にて加速して偏向磁界 4 にイオンビームとして投射する。イオンビームは，M/e (M: イオン質量，e: 電荷) に従って偏向され，収集電極 5 に到達して被測定ガス中の組成成分が分析される。M/e は磁界の強さの自乗に比例するため，磁界の強さの直線的に変化に対し，M/e の変化が直線的でないから，**第 1 図**に示すように M/e の小さいイオンの場合には各スペクトル像の間隔が広く，大きい部分における像の間隔は著しく狭くなる。

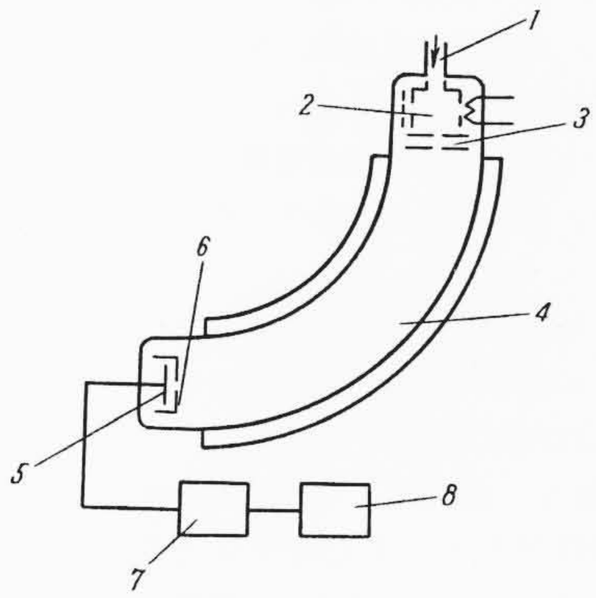
本発明は，このような現象を呈する質量分析装置において，収集電極 5 の前面にスリット幅を調節できるスリット 6 を設けている。なお 7 は増幅器，8 は検流計である。このスリットを用い，M/e の小さいイオン測定に当ってはその幅を拡げて測定時間を短縮する。M/e の大きいイオン測定に当っては，スリット幅を狭くし，分解能を高めるとともに，測定時間を長くする。

したがって，本装置は分解能が高められるとともに，測定時間がきわめて経済的に利用できるという特長を備えている。

（鎌　田）



第 1 図



第 3 図