

圧力増幅式マルチレンジ超微圧計の試作研究

TAKEDA, Shin' ichiro / SUZUKI, Hiroshi / 鈴木, 広志 / 武田, 晋一郎

(出版者 / Publisher)

法政大学工学部

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

Bulletin of the Faculty of Engineering, Hosei University / 法政大学工学部
研究集報

(巻 / Volume)

4

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

10

(発行年 / Year)

1967-03

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00004266>

圧力増幅式マルチレンジ超微圧計の試作研究

教授 武田晋一郎 (基礎学科)

実験助手 鈴木広志

A New Pressure Magnifying Type Multi-Range Supersensitive Pressure Gauge

Shin'ichiro Takeda, *Professor of Physics*

Hiroshi Suzuki, *Assistant*

1. 緒 言

微圧計には傾斜圧力計, 環状天びん圧力計あるいは沈鐘圧力計などが用いられているが, いずれも指示の遅れが大きいとか, 取扱いが不便であるとか, 運動体の上では使用できないとかの欠点がある。著者は先頃, 微圧を受ける波形空盒の変位を別の圧力源によって作動する自動平衡式空気マイクロメータの原理によった圧力増幅式微圧計を試作し, 指示範囲 $\pm 5 \text{ mmAq}$, 精度 0.5%, 感度 0.01 mmAq, 指示確定時間 0.8 sec のもの得て, 他の微圧計の欠点を除くことができた。その詳細は下記論文にて報告したとおりである。

(1) 武田晋一郎, 鈴木広志: 圧力増幅式微圧計の試作研究

日本機械学会論文集, 23巻126号, (昭和32年2月), 101/107頁

(2) Shin-ichiro Takeda and Hiroshi Suzuki: A New Pressure-Magnifying Type Sensitive Pressure Gauge.

Proc. of Japan National Congress for Applied Mechanics, 1956, pp. 415/418.

その後, 著者はこの圧力増幅式微圧計の感度をさらに飛躍的に増大し得る増幅方式を開発して, 昭和29年3月には約200倍の増幅をしたものの予備試作に成功したが, 前記圧力増幅式微圧計の製作に追われて放置したままであった。しかし, その仕事が一応完了するとともに, 新しい超高感度の増幅方式の微圧計の製作に従事し, 同時に微圧測定範囲を普通の電流計, 電圧計と同様に多段(マルチ・レンジ)式に変更できるようにもして, これを前のものに対して圧力増幅式マルチレンジ超微圧計と称することにした。

(4) 法政大学工学部研究発表講演会 第1回 昭和38年11月15日

(5) 第9回 日本応用力学連合講演会 昭和39年

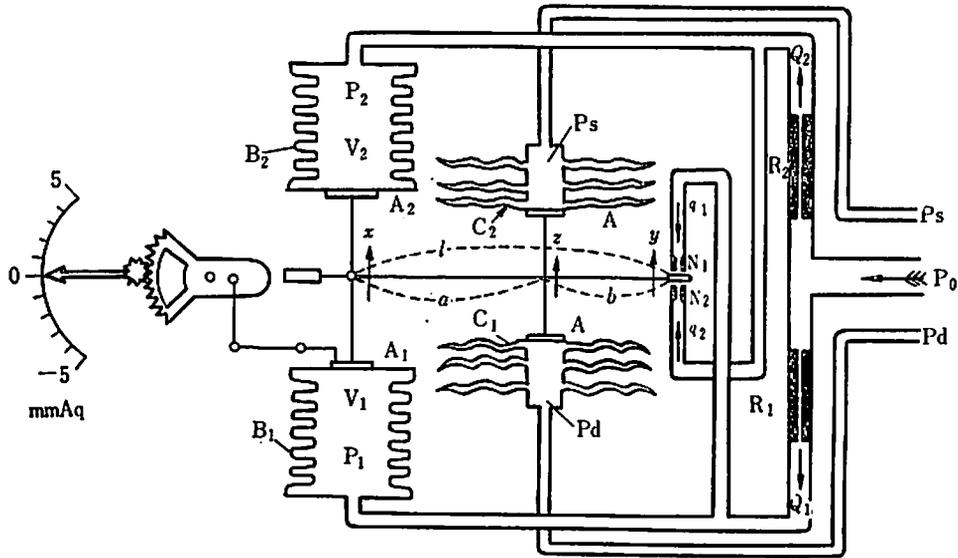
武田晋一郎, 鈴木広志: マルチレンジ空気圧増幅式超微圧計の試作研究

今回は, これについてその作動原理, 構造, 性能および特徴について述べることにする。

2. 超微圧計の原理

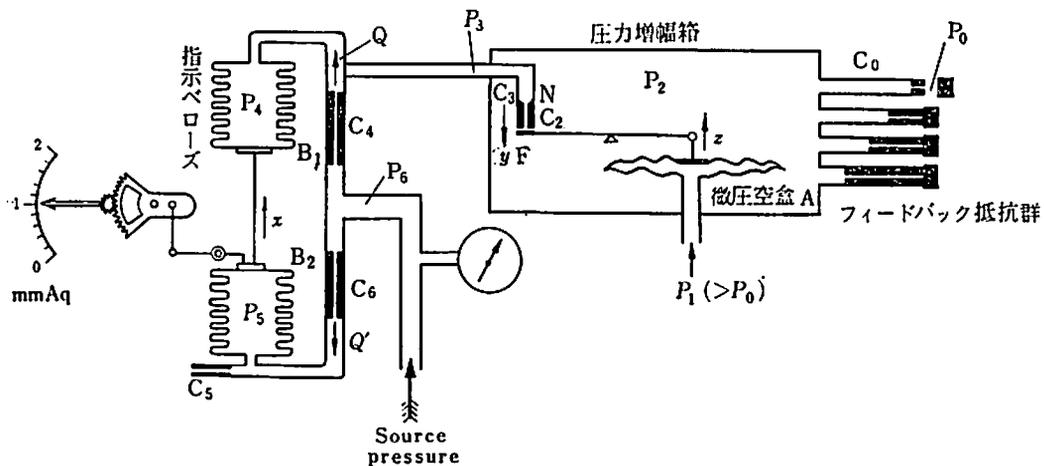
圧力増幅式微圧計の作動原理は測定微圧(水柱数 mm 程度)を微圧空盒に受けて, その変位

をノズル・フラップ原理にて増幅してより強力なる指示力のある指示ベローズにて指針を回転するものであるが、前回に発表したものは第1図に示してある通り、微圧空盒 A の微小変位 z に伴うフラップの変位 y は指示ベローズ B_1, B_2 の変位 x によって機構学的に（フィードバックレバーにて）ネガチブ・フィードバックを受ける構成になっている。



第1図 圧力増幅式微圧計の原理図（直接フィードバック方式）

これに対し、今回発表するものは第2図に示してある通り、微圧空盒 A と指示ベローズ B_1, B_2 とは機構的には分離して配置してあり、指示空盒 B_1, B_2 の変位 x のフィードバックは機構学的方法では行われず、後に詳細に説明するように特殊な流体力学的方法によって行われるのである。



第2図 圧力増幅式超微圧計の原理図（圧力フィードバック方式）

圧縮空気源に連結された定圧装置部によって一定圧に調節された空気圧を持った空気は流入抵抗 C_4, C_5 を通って指示ベローズ B_1 と（平衡用）指示ベローズ B_2 を通るが、 B_1 を通るもの

は受圧函部に流れ、 B_2 を通ったものは平衡用抵抗 (毛細管) C_5 を経て外気に流れ去る。

指示ベロース B_1 より受圧函に入った空気は抵抗 C_3 を経て抵抗 C_2 を持つノズル N より噴出するが、測定微圧 (大気圧より高いもの、例えばピトー静圧管による風速測定におけるピトー圧のようなもの) を受けて変位 x を行う微圧空盒 A によって変位 y をするフラップ F によって抑止作用を受ける。しかし、ノズル N より噴出した空気は受圧函内部に漸次蓄積して、微圧空盒 A を外方から圧迫し変位 x を小さくするように (フィードバック的に) 働くが、フィードバック用抵抗 C_0 を経て外気に逃れ去る。その際、流量が定常状態に達したとき、受圧函内部の空気圧 P_2 は微圧空盒の内部圧 (測定微圧) P_1 にほぼ等しくなっている。このとき、抵抗 C_0 を通って外気に流れ去る空気流量を Q とすれば、測定差圧 p について

$$p = P_1 - P_0 = P_2 - P_0 = C_0 Q \quad (1)$$

となって、流量 Q は測定差圧 p に比例する量となる。

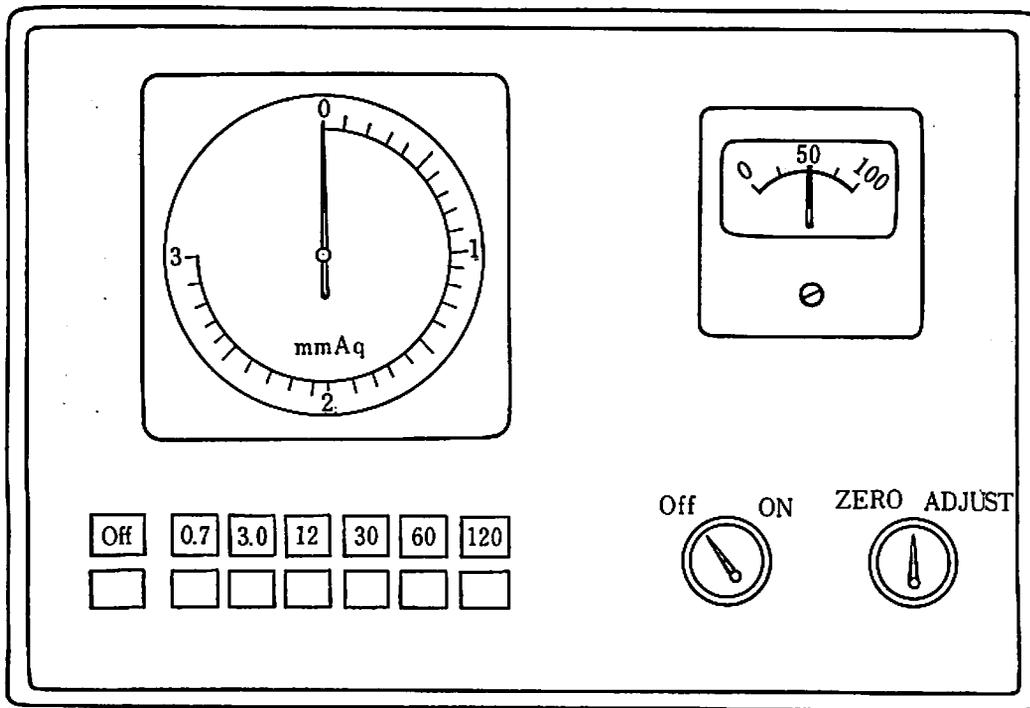
流量 Q は抵抗 C_4 を流れるから、その両端には $C_4 Q$ なる圧力差が生じ、測定差圧 p に比例するものとなる。平衡用ベロース B_2 については、 $C_6 = C_4$ で C_5 は平衡用であって、測定差圧 p が 0 のとき丁度 $P_4 = P_5$ となるように調整せられてある。したがって、測定用ベロース B_1 と平衡用ベロース B_2 との差動変位 x は測定差圧 p に比例し、これが歯車をへて指針の回転角に拡大指示されるわけである。

圧力の拡大率は抵抗 C_0 と抵抗 C_4 との比に比例するので、 C_0 を小さく、 C_4 を大きくすれば、非常に大きな拡大率を得ることができるのである。その上、抵抗 C_0 を第 2 図のように種々に用意し、それを切換えて使用すれば、測定微圧の測定範囲 (レンジ) を変更することが極めて容易なことは普通の電流計、電圧計のようになる。すなわち、マルチレンジ微圧計が構成できるのである。

3. マルチレンジ超微圧計の構造

前節の原理によつて、測定範囲を通常の電流計・電圧計 (分流抵抗の切換えによる方式) のように相当に広い範囲に涉つて変更することができる圧力増幅式超微圧計のマルチ・レンジのものを造り上げることができる。

試作したものの一例の外観図は第 3 図の通りである。微圧指示ダイヤルがやや左寄りに位置して、その下に圧力測定レンジ切換え押しボタンが並んでいる。測定レンジは最大圧が水柱 0.7, 3.0, 12, 30, 60, 120 mm に切換えることができるようになっている。押しボタンを押すだけで、測定範囲がきわめて簡単に変更できるわけである。右寄りの小さな圧力計は作動空気圧を示すもので水銀柱最大指度 100 mm である。その中のツマミは ON, OFF と零調整のためのものである。



第3図 試作超微圧計の外観図

つぎには、各部の特性構造を述べて行く。

(1) 微圧空盒系

これは内径 0.3 cm、長さ 24 cm の導管を連結された波形空盒であって、その特性はほぼ直線的である。

$$\text{圧力変位特性: } \frac{\Delta x}{\Delta p} = 0.0605 \quad (\text{cm/cmAq})$$

$$\text{容積変位特性: } \frac{\Delta V}{\Delta x} = 16.8 \quad (\text{cm}^3/\text{cm})$$

$$\text{空盒内容積: } V = 7.7 \quad (\text{cm}^3)$$

$$\text{空盒有効容積: } V_e = V + P_0 \frac{\Delta V}{\Delta p} = 7.7 + 1034 \times 0.065 \times 16.8 = 1058 \quad (\text{cm}^3)$$

(2) ノズル・フラップ・レバーの拡大率

拡大レバーが板バネ支持であるため、微圧空盒を圧力で動かして間接に拡大率を求めた。

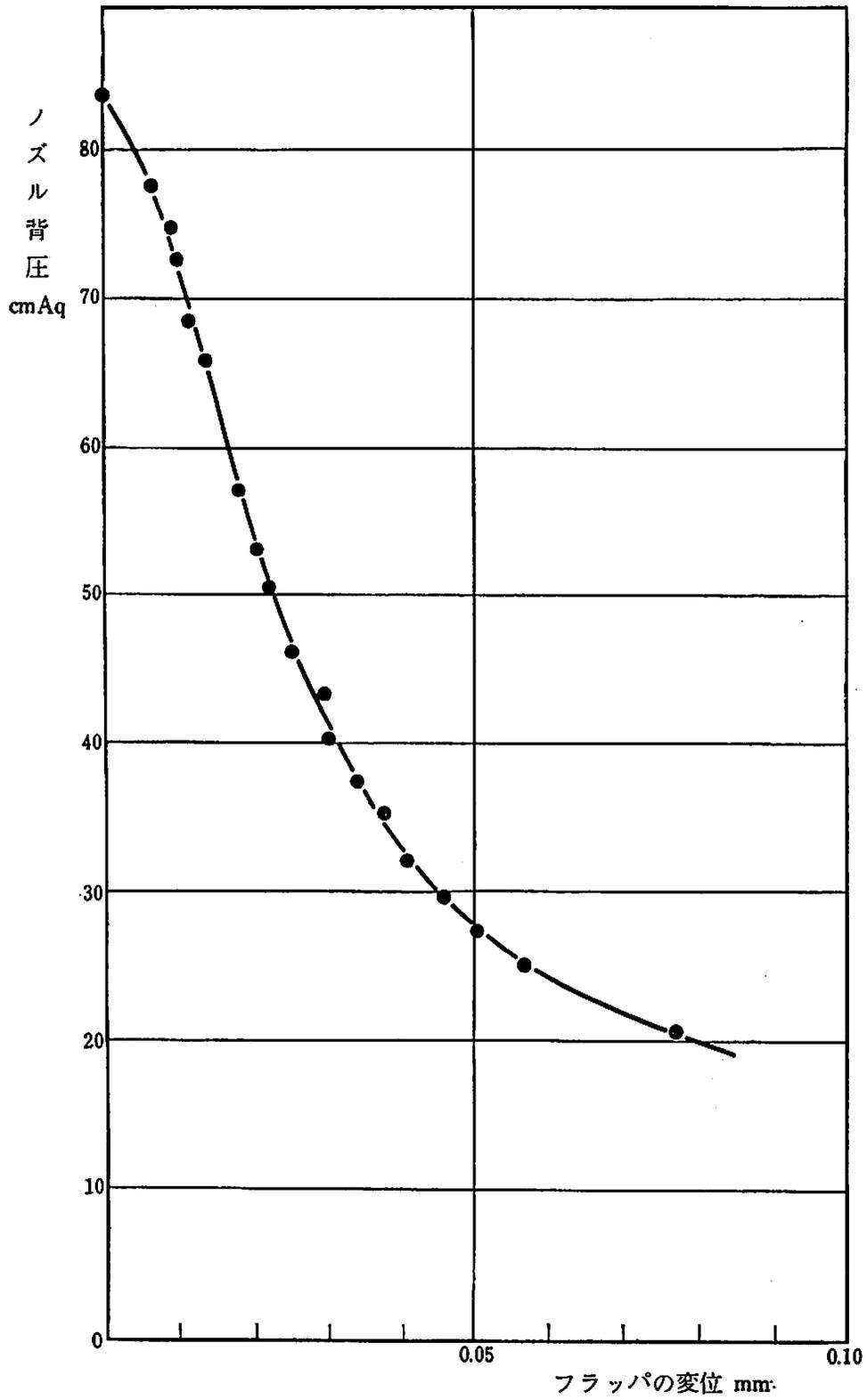
$$\frac{\text{フラップの変位}}{\text{微圧空盒の変位}} = 2.52$$

すなわち、微圧空盒の変位はフラップ部には 2.52 倍に拡大される。

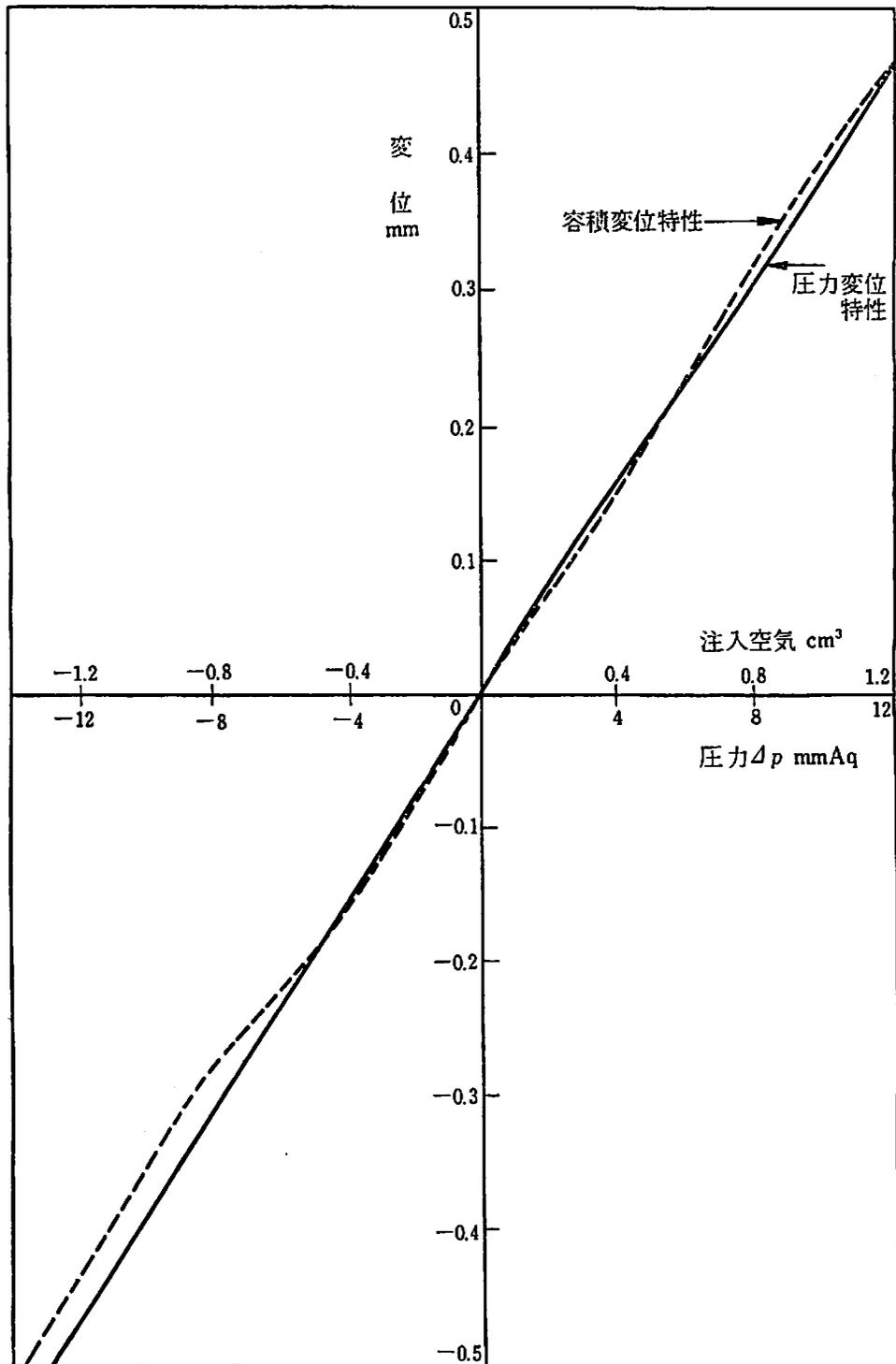
(3) ノズル・フラップの特性

フラップの変位とノズル背圧との関係を源圧を 84.0 cmAq として測定したものは第4図の通りである。最も圧力増幅度の高い部分では

$$\text{約 } 15 \text{ cmAq} / 0.01 \text{ mm} = 15000 \quad \text{cmAq/cm}$$



第4図 ノズル・フラップの特性曲線



第5図 指示ベロースの特性曲線

である。

(4) 指示ベローズ系

これはほぼ同じ特性をもつ二つのベローズを機械的に連結したもので、その特性曲線はいずれも直線的であって

$$\text{圧力変位特性: } \frac{\Delta x}{\Delta p} = 0.00388 \quad \text{cm/cmAq}$$

$$\text{容積変位特性: } \frac{\Delta x}{\Delta V} = 0.00388 \quad \text{cm/cm}^3$$

である。上の数値の一致は偶然的なものである。

$$\text{指示ベローズの内容積} \quad V_B = 53.2 \quad \text{cm}^3$$

$$\text{指示ベローズの有効容積} \quad V_e = 157.1 \quad \text{cm}^3$$

$$\text{指示ベローズの有効面積} \quad A_0 = \frac{\Delta V}{\Delta x} - \frac{V}{P} \frac{\Delta p}{\Delta x} = 12.5 \quad \text{cm}^2$$

(5) 指示機構

指示ベローズの変位をセクタ・ピニオンで指針の回転角 θ に変える機構の特性を指示ベローズに加えた圧力と指針の回転角度で表わしたものは

$$9.5 \text{ 度/cmAq}$$

である指針の最大回転角度は約 270 度である。

また、指示機構の有効質量を指示空盒の変位点にて求めると、

$$529 \text{ グラム}$$

である。

4. 試作したマルチレンジ超微圧計の作動特性

試作微圧計の作動特性として指示特性(マルチ・レンジ性)、過渡応答、周波数応答をしらべた結果を述べる。

(1) 指示特性

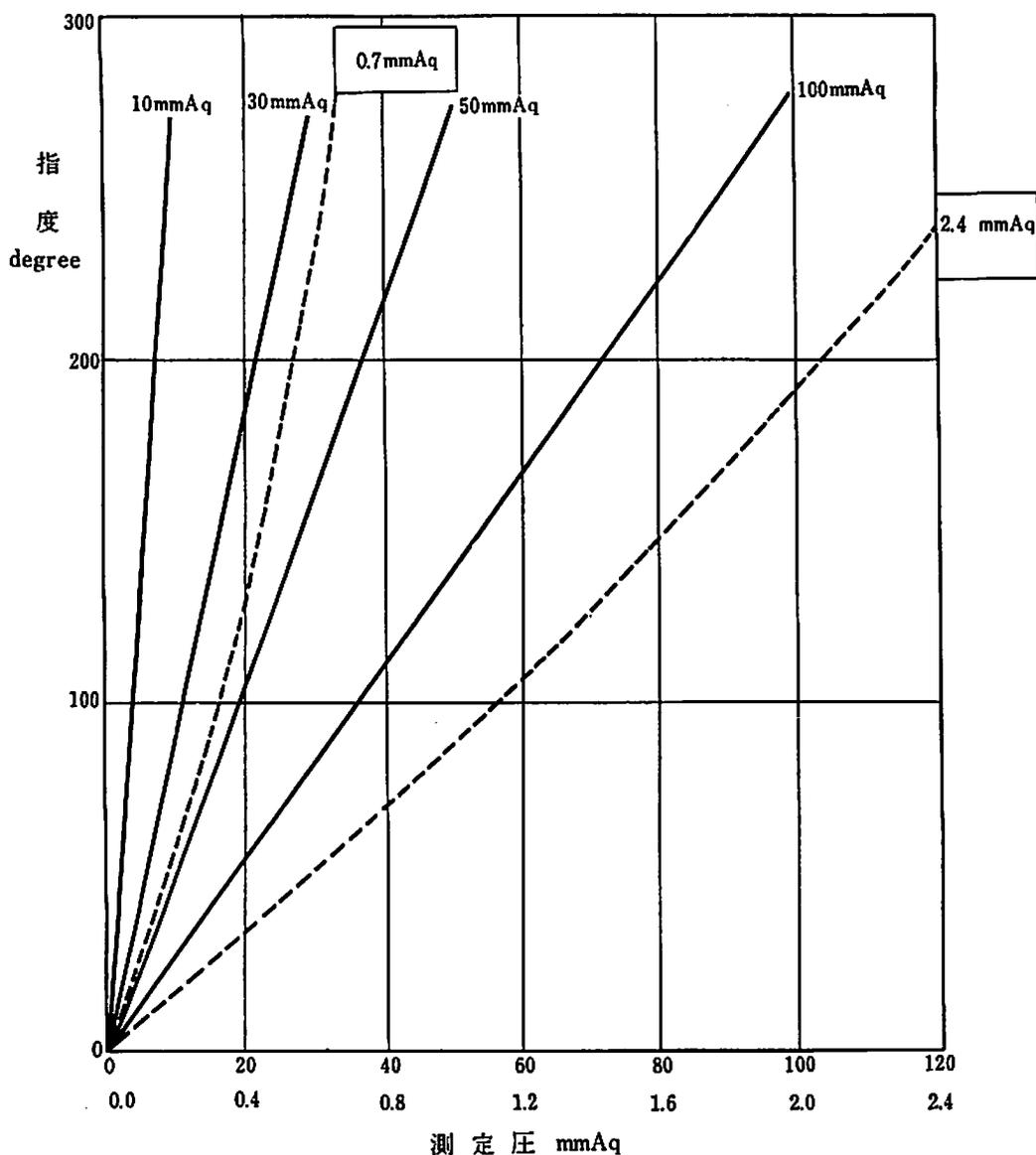
指示特性は測定レンジの如何で変わる。第6図はその測定結果で、最大測定圧力を

$$0.7, 2.4, 10, 30, 50, 100 \quad \text{mmAq}$$

とした場合の、測定微圧と指針の回転角度との関係が示してある。いずれも、指度と圧力との関係は直線で、また、圧力測定レンジが整然と切換えられていることを示している。すなわち、同じ目盛分割に適宜の数字を附記するだけで、100 倍以上の広い範囲の微圧が測定できることを意味しているのである。円筒微圧計を基準圧力計として測定した。

(2) 過渡応答特性

各測定レンジの最大圧まで測定圧を加えて静止したのち、急に測定圧を 0 にしたときの指針



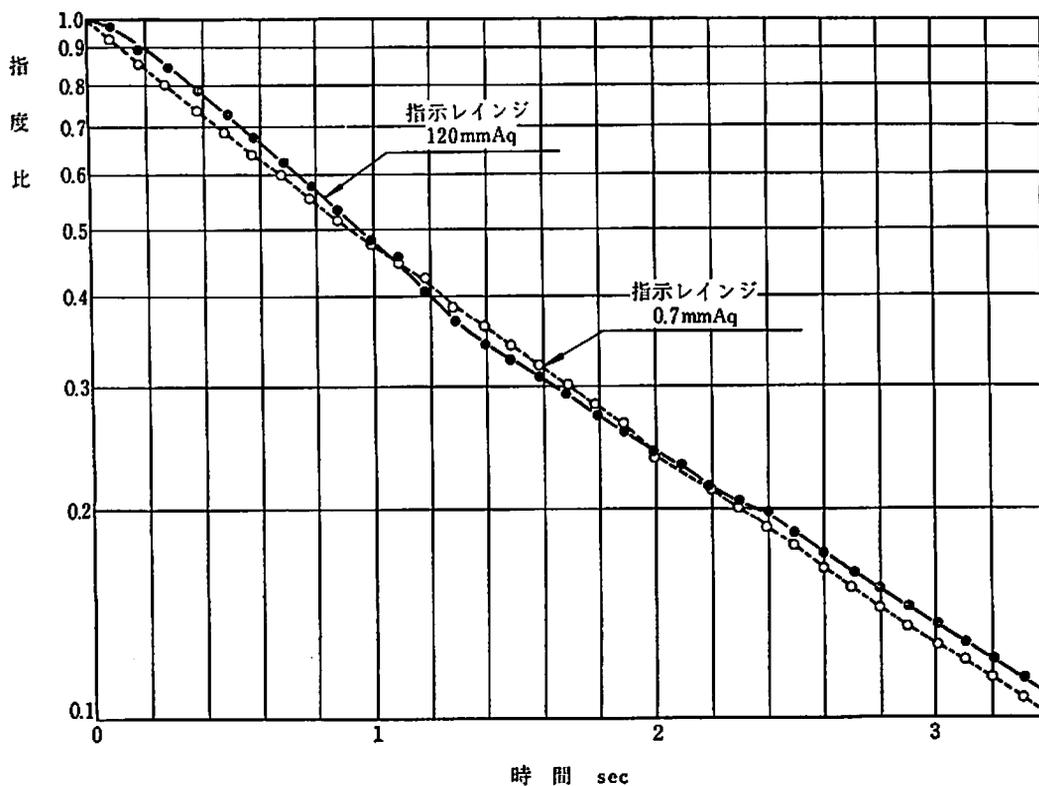
第6図 指示特性 (実線, 点線は測定圧のそれぞれ上の数字, 下の数字に対応する)

の動きを 10 cps のストロボライトで照射して1枚フィルムの上に写し, これを現像して指針の回転角と時間との関係を読みとった。第7図に示したものは最大圧 120 mmAq と 0.7 mmAq との場合の二つの曲線である。両者に著しい相違は認められないので, この間の測定レンジに対する過渡応答特性はみなほぼ等しいものと考えられる。

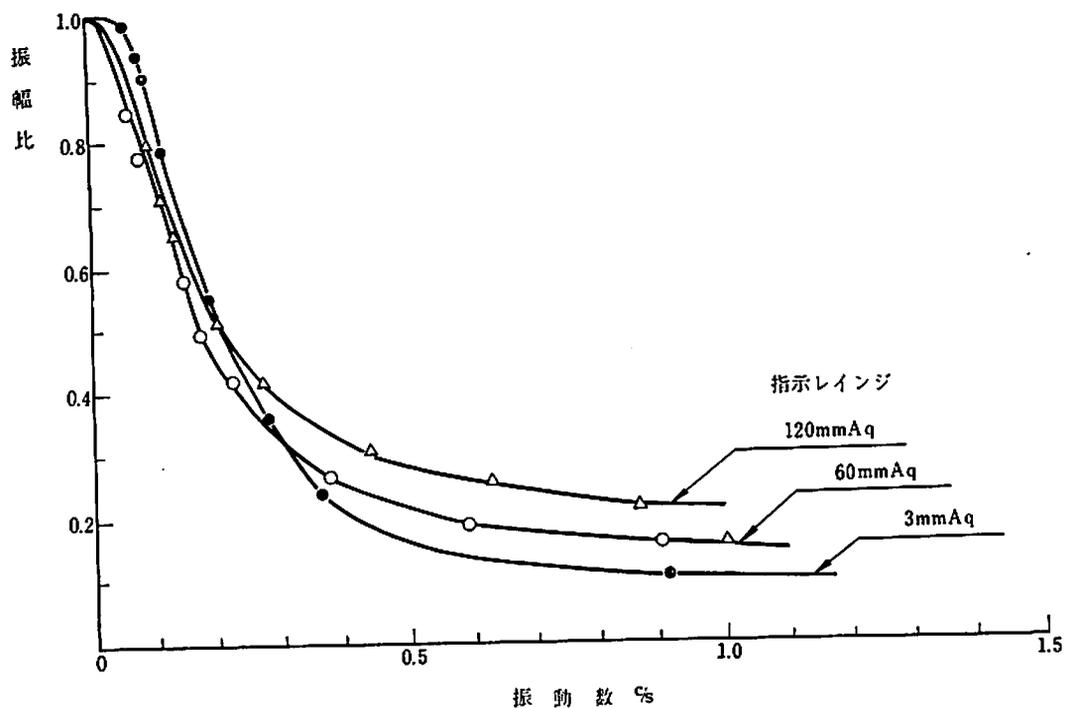
時定数を求めると約 1.4 sec であって, 通常の指針指示の計器としては実用に耐える速さである。

(3) 周波数特性

試験超微圧計に約 1 cps までの周期的な正弦波微圧を加えて, 周波数応答を試験した結果は第8図の通りである。最大指示圧力 (レンジ) によって少しの相違が見られる。これをみれば, また過渡応答の時定数約 1.4 sec からも推察されるように余り速い圧力変化の測定には適当でな



第7図 過渡応答特性 (120 mAq と 0.7 mAq に対するもの)



第8図 周波数応答特性 (120, 60, 3 mAq に対するもの)

いが、それでも他の機械的な微圧計のくらべては格段に速い応答である。

過渡応答および周波数応答の特性は第3節に述べた各部の特性から理論的に容易に計算することができる。微圧空盒系および指示微圧空盒系の有効容積を正しく計算すれば、本節の測定値と大体合致した値となる。各部の特性を考慮して全体系の応答（伝達）函数を求めることができ、それによって前述の特性を導くことができたが、それらの詳細は省略する。

5. 結 言

圧力増幅式微圧計は前から開発して有効に使用されて来たものであるが、今回はさらにこれに根本的な改変を加えて、特殊な増幅およびフィードバック方式を考察して、非常に感度の高い微圧計を得ると同時に、測定レンジを広い範囲に涉つて変更できる画期的な超微圧計を構成試作することができた。

測定レンジの一例は

0 ~ 0.7	mmAq
0 ~ 3.0	mmAq
0 ~ 12.0	mmAq
0 ~ 30.0	mmAq
0 ~ 60.0	mmAq
0 ~ 120	mmAq

であつて、微圧測定としては十分な範囲に涉つているといえる。

圧力源は小型の電動ポンプが便利であるが、電源のないところではゴムふいごを用いても十分測定できるので、防爆考慮の必要なところの通風などの測定にも効果的に応用されよう。

指示は指針の回転によつた指示計器の形で試作したが、電気的なトランスジューサを指示ベローズに連動せしめることによって、電気的な方法による記録、遠隔伝達を行うことも容易である。

また、微気圧振動（大気の）測定、微小な高度差（気圧の差による）（例えば数 cm）の測定にも応用されて、興味ある結果が得られる。

この研究は相当前に一応完成していたものであるが、正式に印刷文としての報告は遅れて今日に至つたものである。

(昭和41年9月1日 受理)