

電気式ダイヤルゲージの試作とその応用

Test Manufacturing of Electric Dial Gauge and Its Application

小堀 与一* 岩谷 六之介*
Yoichi Kobori Rokunosuke Iwaya

内 容 梗 概

低速回転機の運転にあたり、発生する軸の低周波振動を遠方で監視する必要があることがある。従来の振動計では低速回転による低周波の振動測定はきわめて困難であった。このためダイヤルゲージを振動体に直接接触し、その指針の振れ幅をもって振動振幅としていた。かかる方法は危険性と遠隔測定の不便をとともなうので、これを解決するためダイヤルゲージを電氣的に指示せしめる電気式ダイヤルゲージを試作した。検出部は回転軸に接触するダイヤルゲージの可動部分の後端に差動トランス⁽¹⁾を取り付けたものであり、トランスに発生する振動電圧を増幅器を通して拡大し、振幅をブラウン管または記録装置に指示せしめるものである。

測定可能振動数は0.8~8.3 c/s、測定可能全振幅は0.01~1 mm、電源変動100V $\pm$ 10%に対して指示幅誤差は $\pm 1\%$ 、検出部支持台（不動点）の緩慢なる振動振幅 ± 0.5 mmに対する指示幅誤差は $\pm 1.5\%$ で、総合的指示幅誤差は全目盛の $\pm 10\%$ 以内である。

1. 緒 言

水車発電機のつりあい試験において、軸の振動を遠方で監視することができるという利便がある。振動数が約15 c/s以上のときは、従来の振動計が用いられるが、振動数がこれより低い場合は用いられない。このため、ダイヤルゲージを軸に直接接触し、ゲージの振れを読んで振幅を求めていたが、遠隔測定を可能にするため、ダイヤルゲージの振れを電氣的に拡大し、かつ遠隔測定が可能であるような方式の振動測定器、すなわち電気式ダイヤルゲージを試作した。次にその概要を述べ参考に供したいと思う。

2. 従来の水車発電機軸の振動振幅測定

水車発電機の振動調整にあたり軸に発生する低周波振動を監視する必要がある、この振動振幅の測定法は、天井よりつり下げられた重錘を不動点として、これにダイヤルゲージを取付け、その先端が軸に接触するようにしておく。軸に振動が発生するときダイヤルゲージの指針がこれに応じて振動するので、この振れ幅をよむことにより、また危険を伴う場合には遠方からテレスコープによりダイヤルゲージの振れ幅を測定していた。この方法においては遠方よりテレスコープによりダイヤルゲージの振れ幅を観測するという不便があり、また波形の観測や記録ができないという不利な点があった。このためテレスコープを用いずに、電気式にダイヤルゲージの指示幅を観測または記録する装置を試作した。

3. 原理および特長

第1図に電気式ダイヤルゲージの原理を示す。4,000 $\sim$ 搬送波電源において4,000 $\sim$ の搬送波を作り（波形a）、これを検出部の差動トランス⁽¹⁾の一次側に加える。第2図に示す差動トランスのダストコアはダイヤルゲージの可動部分の後端に取付けられ、振動体または軸などが偏心して回転する場合、ゲージの可動部分をこれらに接触させておくと、差動トランスのダストコアもいっしょに振動し、差動トランスの二次側より振動数で変調された4,000 $\sim$ 変

調波を取り出すことができる（第1図波形b）。この変調波は前段増幅器により増幅され（波形c）、さらに全波整流管により整流される（波形d）。整流された2 $\times$ 4,000 $\sim$ の変調波は低周波ろ波器により8,000 $\sim$ の成分が除去され低周波のみの脈流（波形e）となる。この脈流はリミッタにより脈流中の直流分が調整されて交流波形fとなる。ブラウン管で振幅測定をする場合はB端子を用い、ペン書きオシロによる場合は、さらに後段増幅器により直流増幅をなしP端子よりペン書きオシロに接続して指示記録させることができる。

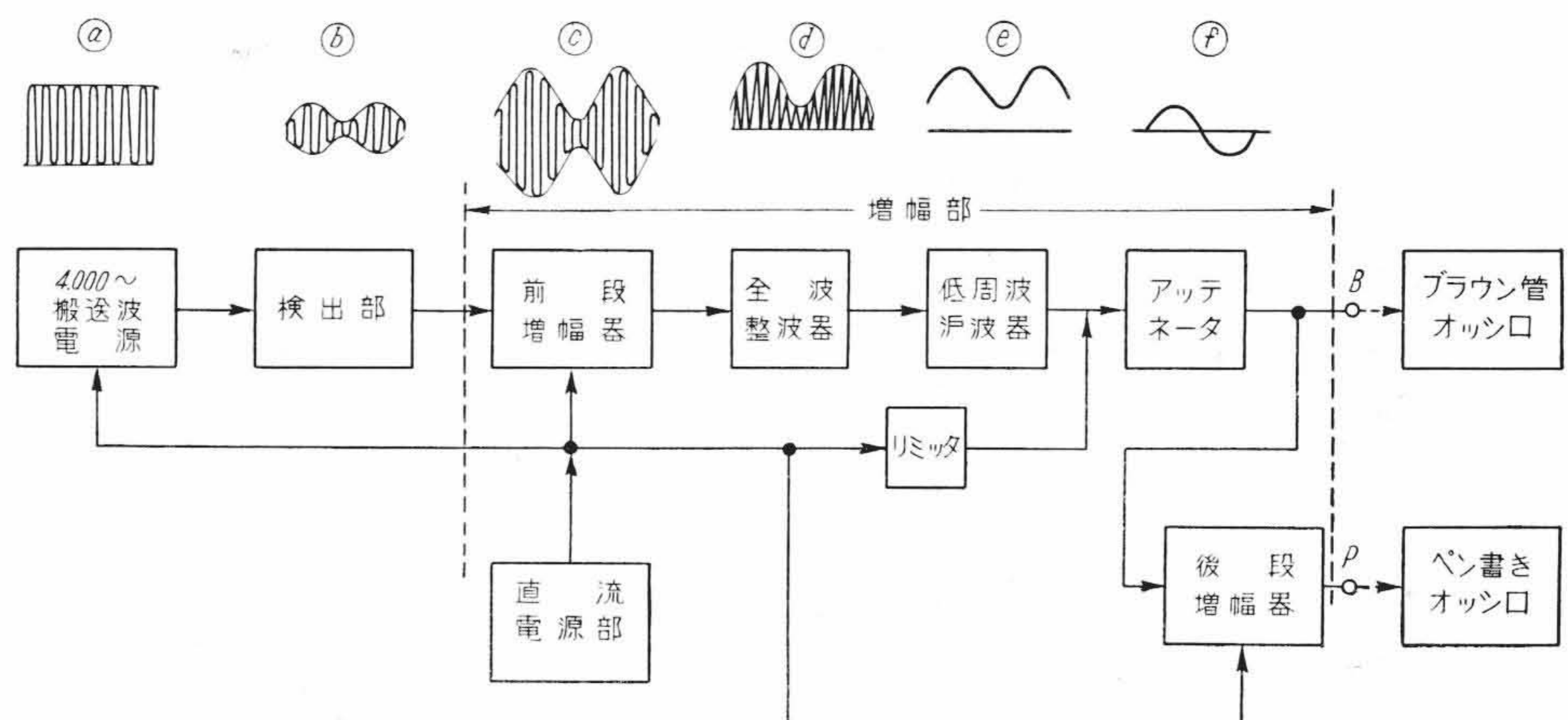
なお試作装置の特長は次のとおりである。

- (1) 測定可能振動数は1~8.3 c/sで、超低周波振動の測定ができる。
- (2) 振動の波形ならびに全振幅を記録測定することができる。
- (3) 検出部のダイヤルゲージは差動トランスとともに振動電圧の検出に用いられると同時に、増幅器の増幅度調整と相まって簡単、精確に電気式ダイヤルゲージの指示幅の校正ができる。
- (4) 遠隔測定が可能である。

4. 構 造

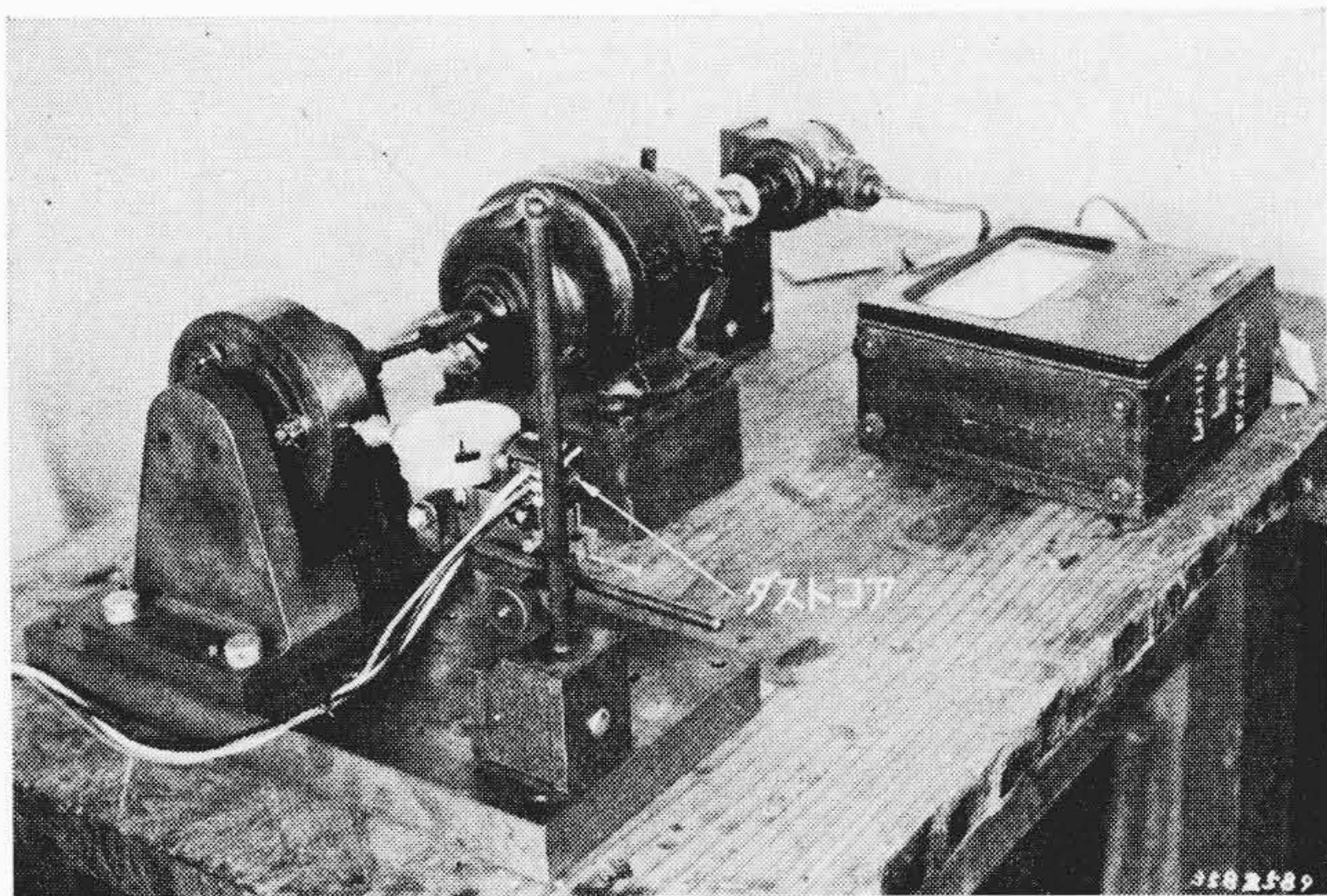
第1図のように試作装置は直流電源部、4,000 $\sim$ 搬送波電源部、検出部、増幅部および指示計よりなる。第3図に試作装置を示す。

電源部は真空管式定電圧装置を含み、これにより50 $\sim$ 電源の電圧変動によるB電圧を安定に保ち、またバラストランプを用いてヒータの電流変化を少なくしている。

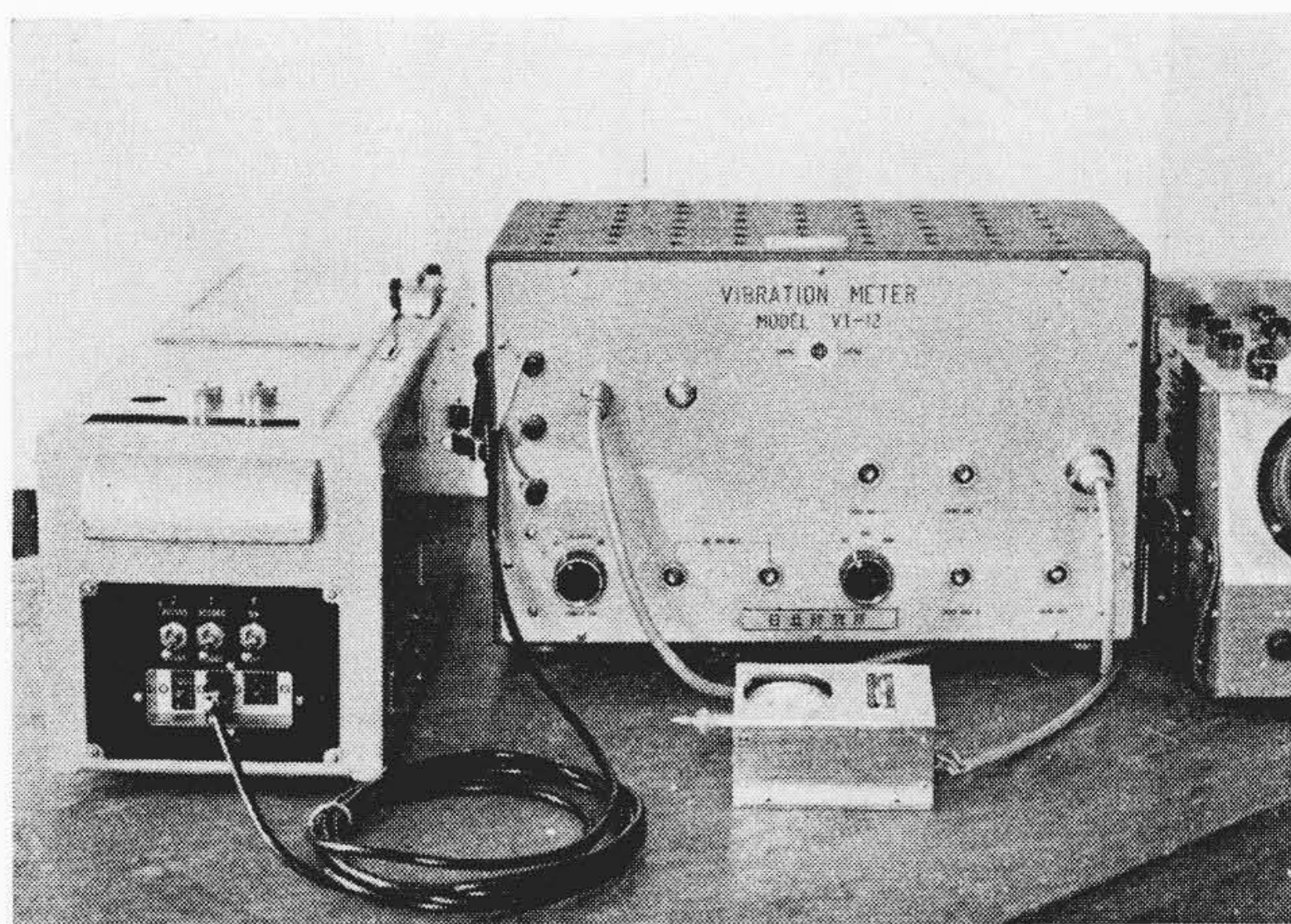


第1図 電気式ダイヤルゲージの原理

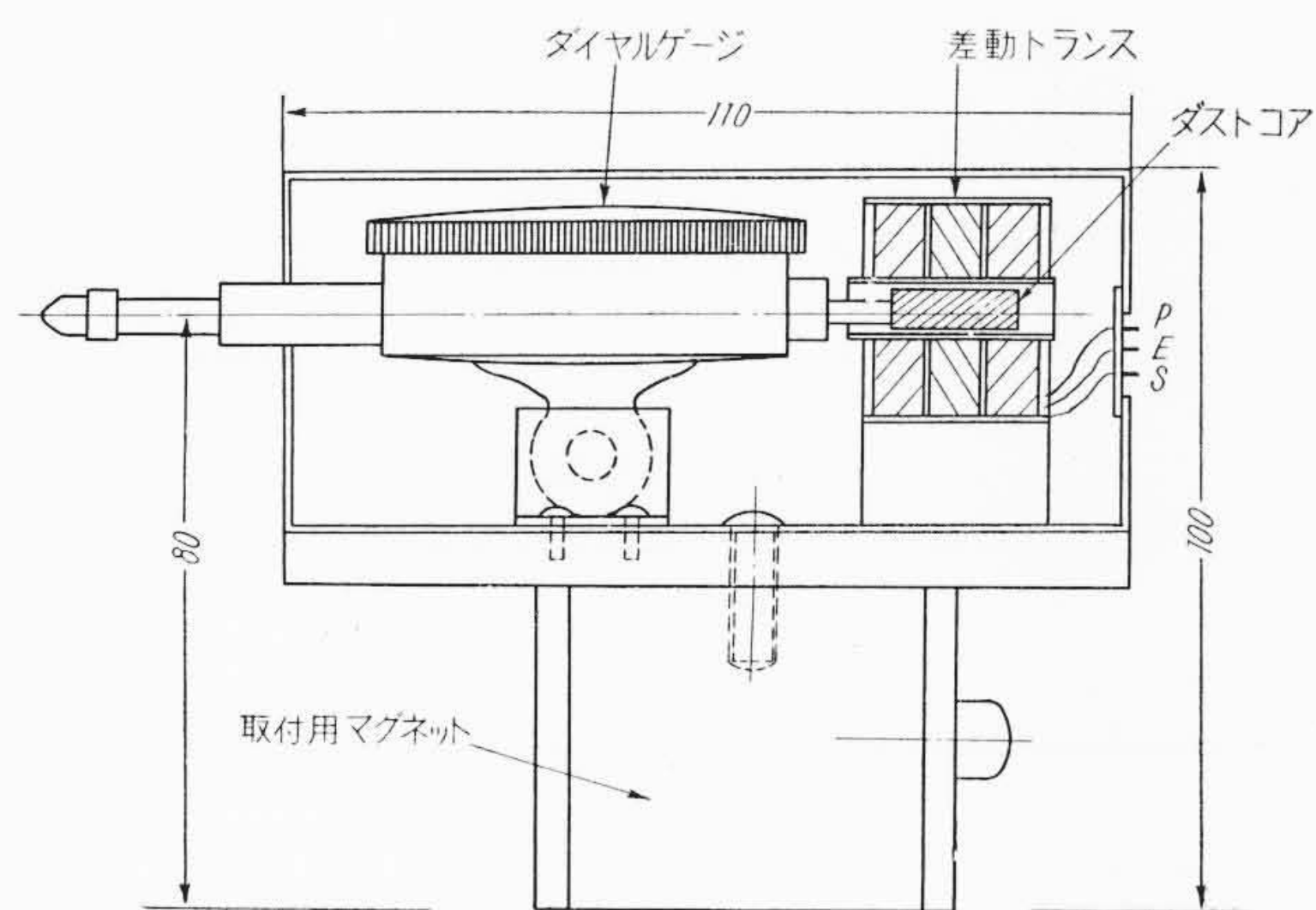
* 日立製作所日立研究所



第2図 較正装置(検出器は基礎実験に用いたものを示す)



第3図 試 作 装 置

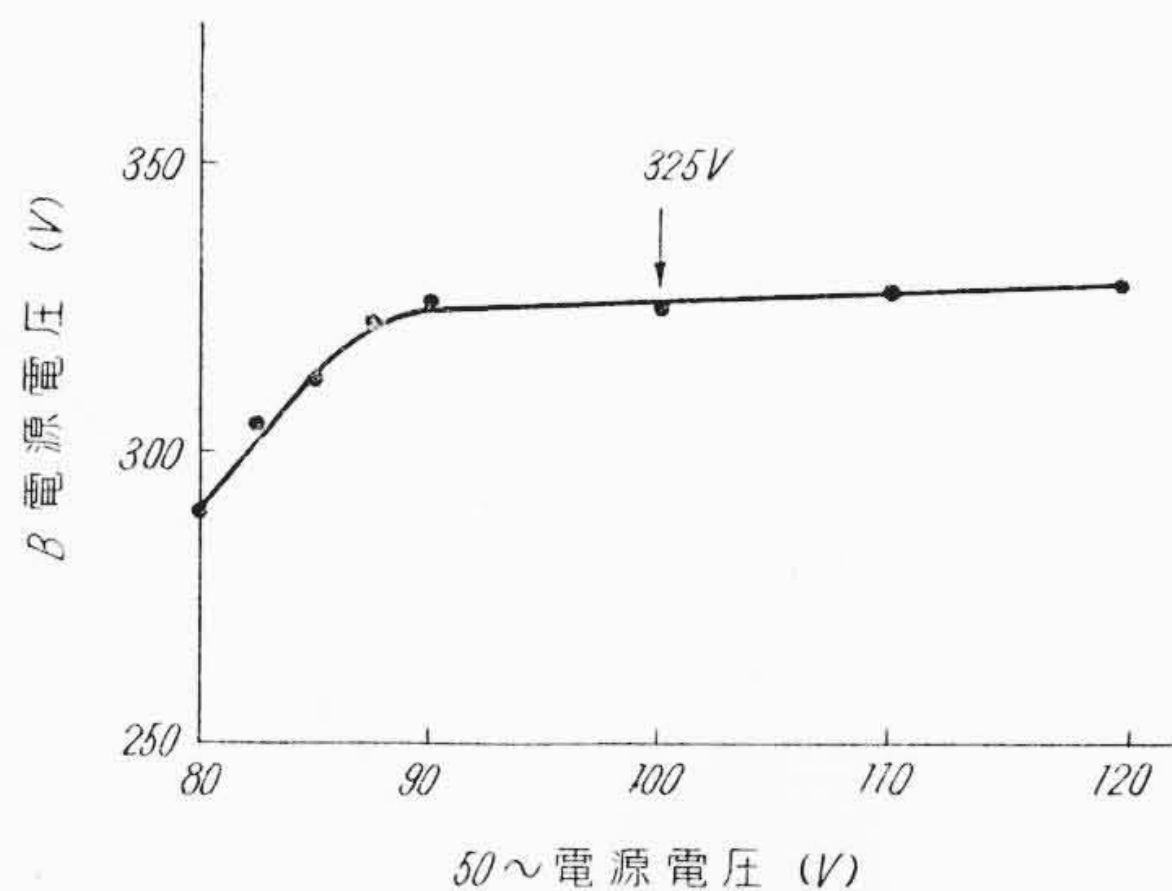


第4図 検 出 部

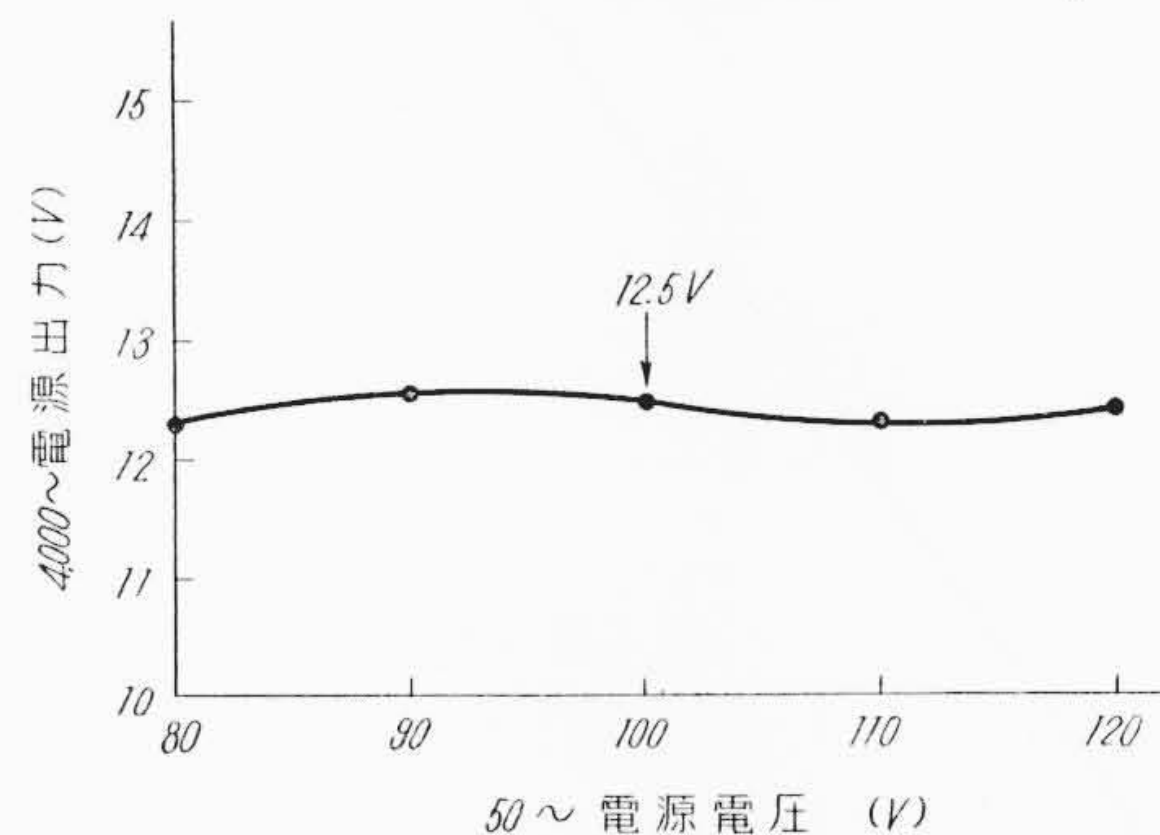
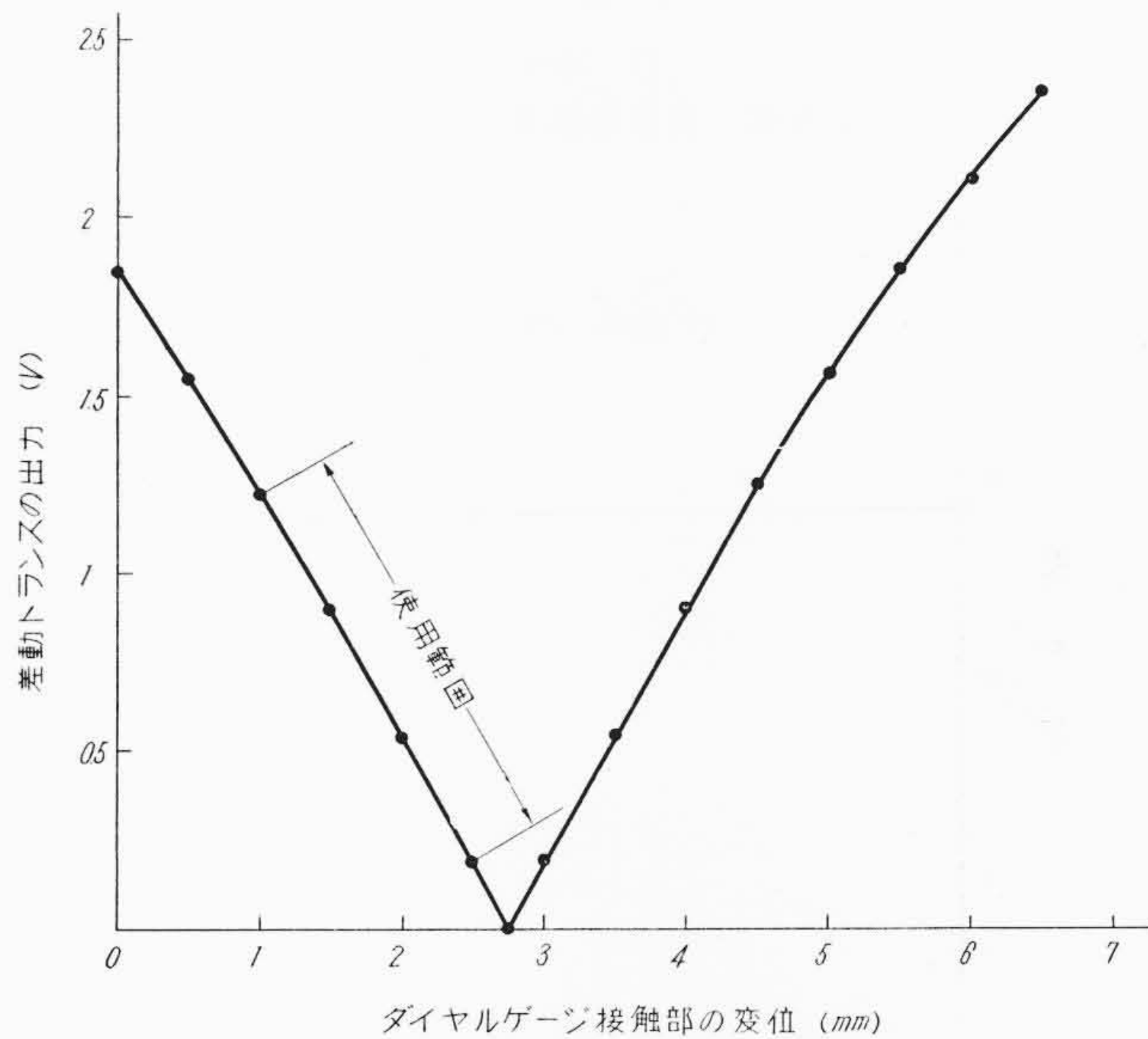
4,000 $\sim$ 電源部は発振器と増幅器とにわかれ、発振器にはウィーンブリッジ形CR発振器を用いた。

検出部は第4図に示すようにダイヤルゲージに差動トランスを取りつけたものである。ダイヤルゲージの指針の目盛は較正用のもので、指針の振れと増幅器の増幅度を調整することにより機械的変位と電氣的指示の関係を較正することができる。増幅部は前段増幅器と後段増幅器よりなる。前段増幅器は4,000 $\sim$ 変調波の増幅に用いられ、後段増幅器は直流増幅器で、低周波の増幅に用いられる。

指示計は振幅ならびに波形を記録する必要がある場合ペン書きオシロを用い単に波形ならびに振幅のみを観測する場合はブラウン管オシロを用いる。またゲージの針の振れの大小に応じてアッテネータを使用し、全振幅を1.0 mm, 0.5 mm, 0.1 mmの3段切換えにより計測できる。なおリミッタは指示の零調整に用いられる。



第5図 直流電源の交流電源電圧変動による影響

第6図 4,000 $\sim$ 電源の50 $\sim$ 電源電圧変動による影響

第7図 検 出 部 の 感 度

5. 特 性

5.1 各部の特性

第5図は50 $\sim$ 電源電圧の変動に対する直流電源電圧の変化を示す。これによりB電源変動は50 $\sim$ 電源電圧変動100V $\pm$ 10%に対し325V $\pm$ 0.7%程度である。

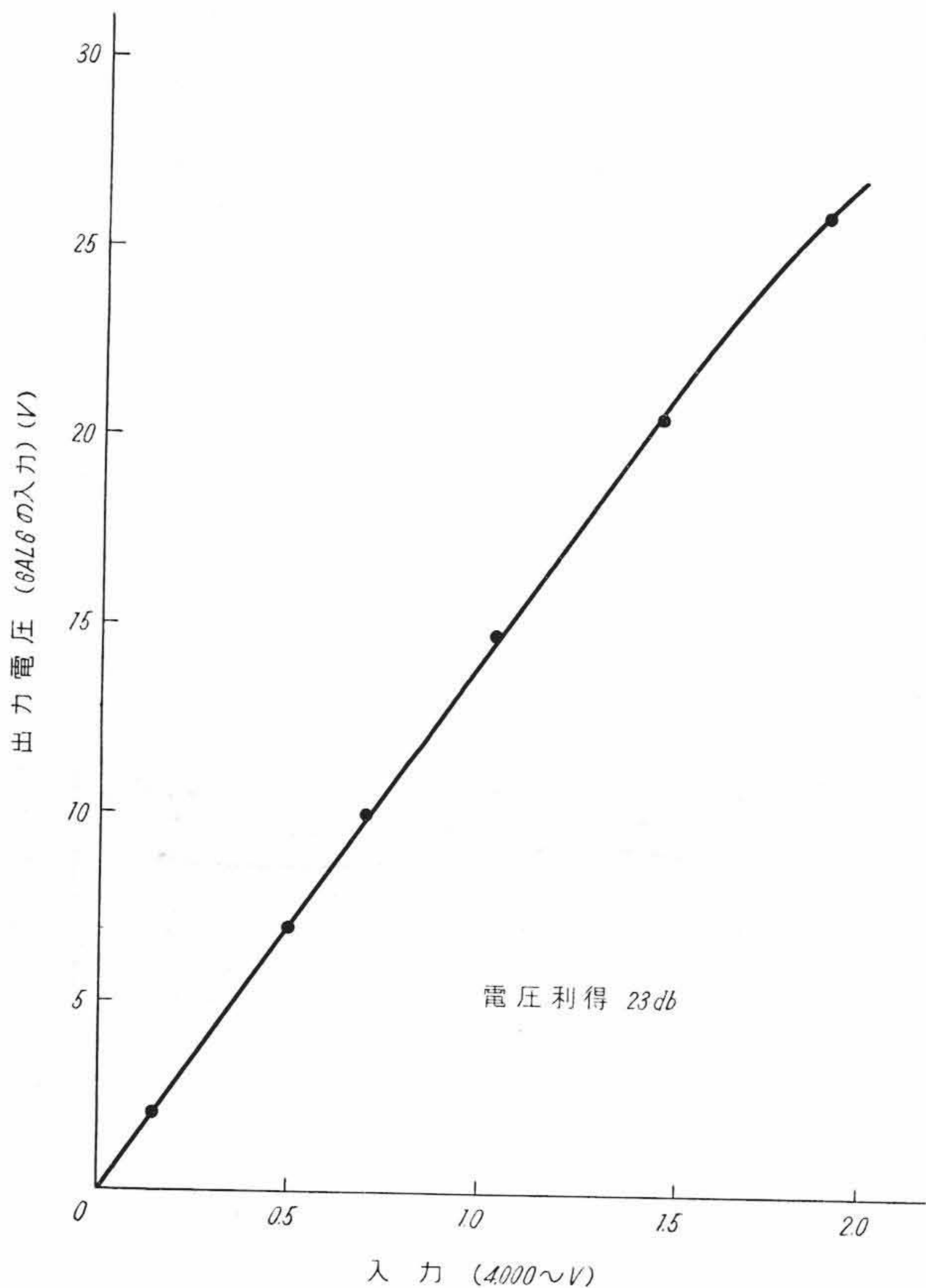
第6図は50 $\sim$ 電源電圧の変動に対する4,000 $\sim$ 電源の出力電圧の変動を示す。すなわち50 $\sim$ 電源電圧変動100V $\pm$ 10%に対し4,000 $\sim$ 出力電圧変動は12.5V $\pm$ 1.5%である。

第7図に差動トランスのゲージ接触部の変位(ダストコアの移動量)に対する二次差電圧の関係、すなわち検出部の感度特性を示す。

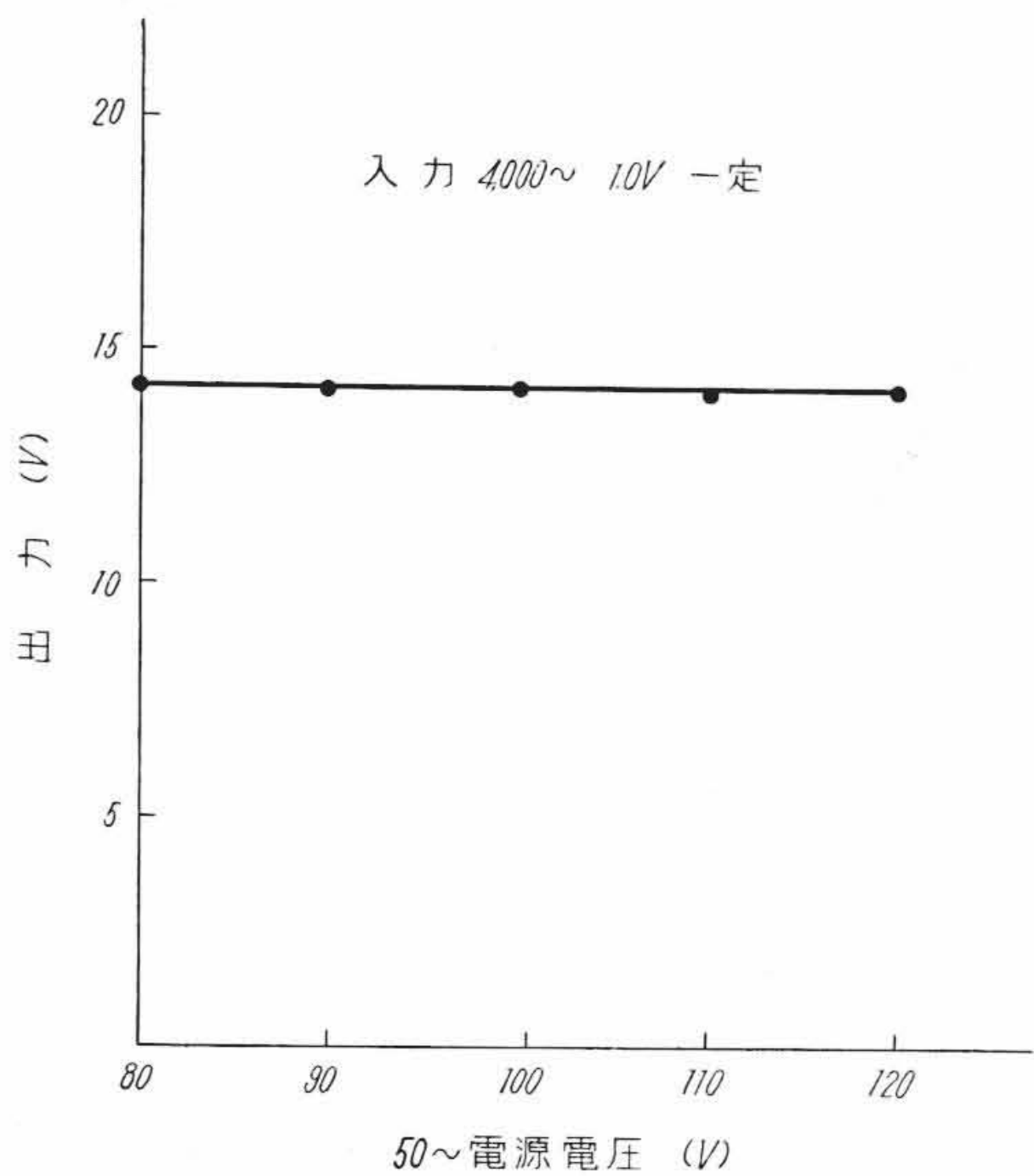
使用範囲は感度一定の部分を用い、これは約1.5 mmあり、感度は約0.65 V/mmである。

なお差動トランスの一次側の電流は75 mAで電流密度は2.4 A/mm²となり永続使用に十分である。

第8図に前段増幅器の増幅特性を示す。電圧利得は約23 dBで、



第 8 図 前段増幅器の増幅特性



第 9 図 前段増幅器の電源電圧変動による影響

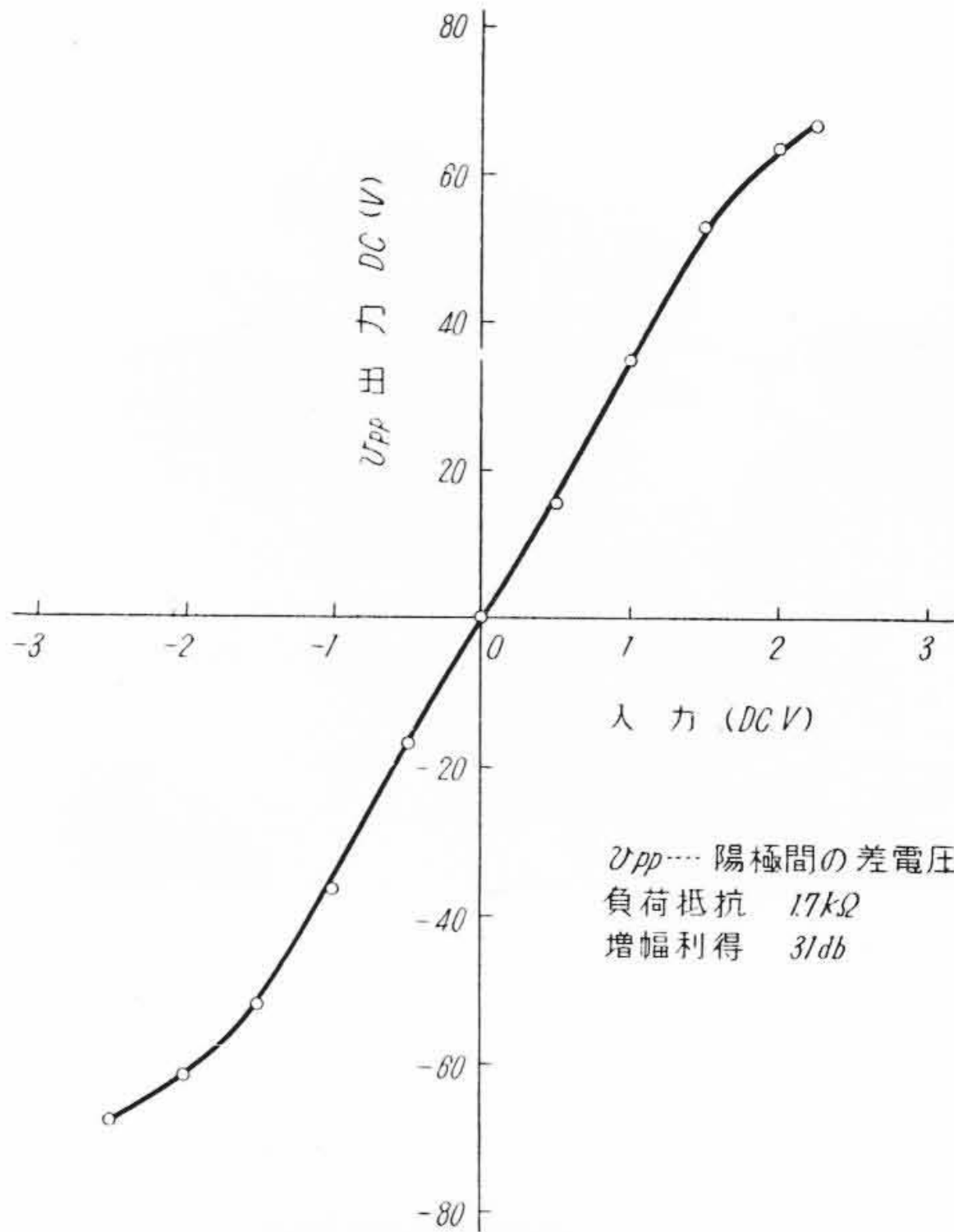
入力電圧 1.5 V 以内において増幅特性は直線性をもつ。なお負き還増幅器であるので50V電源電圧の変動に対して出力電圧は安定である。これを第 9 図に示す。

第 10 図は後段増幅器の増幅特性を示す。電圧利得は約 31 dB である。第 11 図は 50V電源電圧変動による直流増幅器の出力電圧の変動を示す。50V電源電圧変動 100±10% に対し 14.8V±1.3% である。

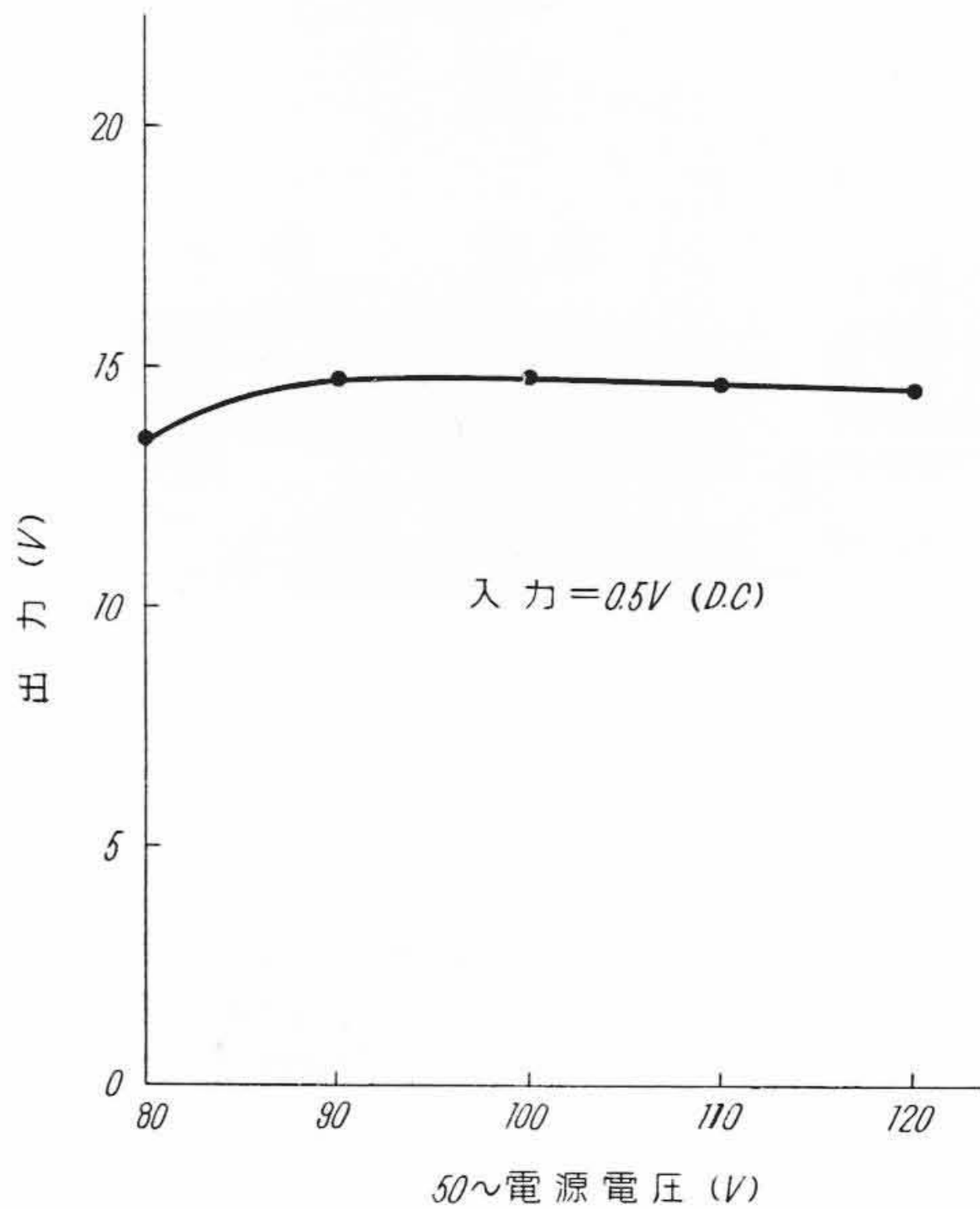
第 12 図は低周波濾波器の特性を示す。300Hz以下では平らな特性を示す。また 1,000Hz以上は十分に減衰していることがわかる。

5.2 総 合 特 性

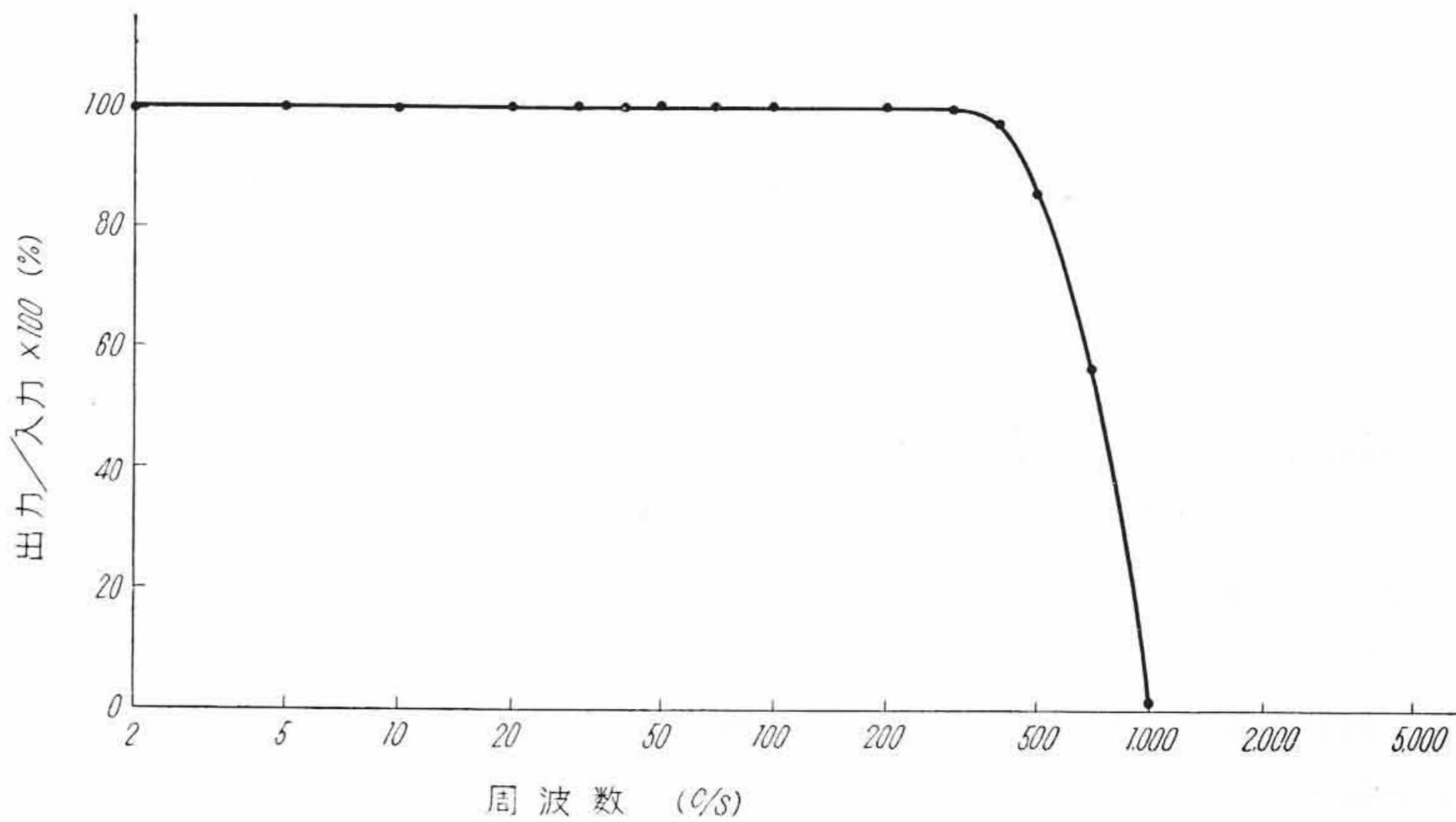
第 13 図は校正用円板を示す。校正用円板は直流電動機により所要の回転数をもって回転される。



第 10 図 後段増幅器の増幅特性



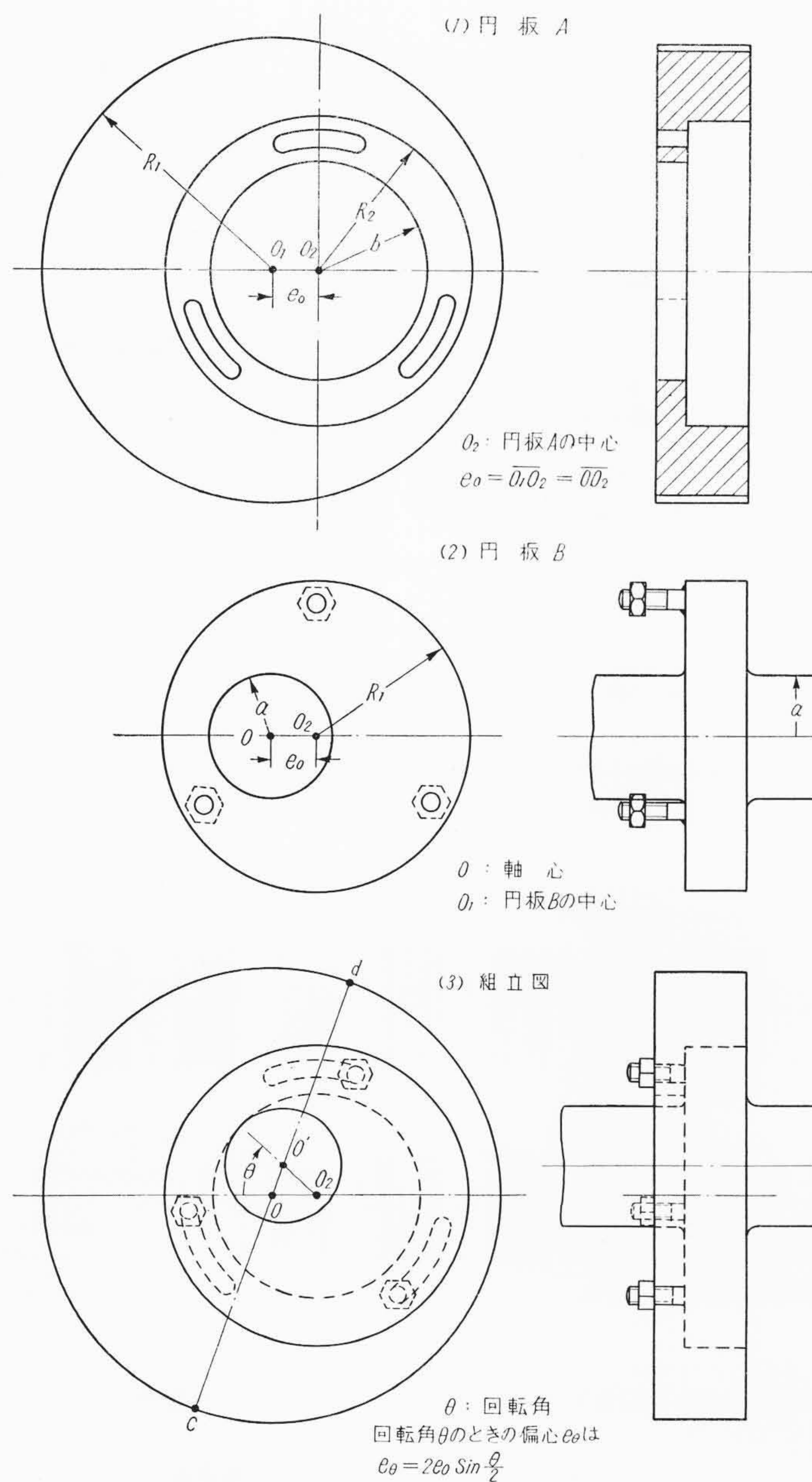
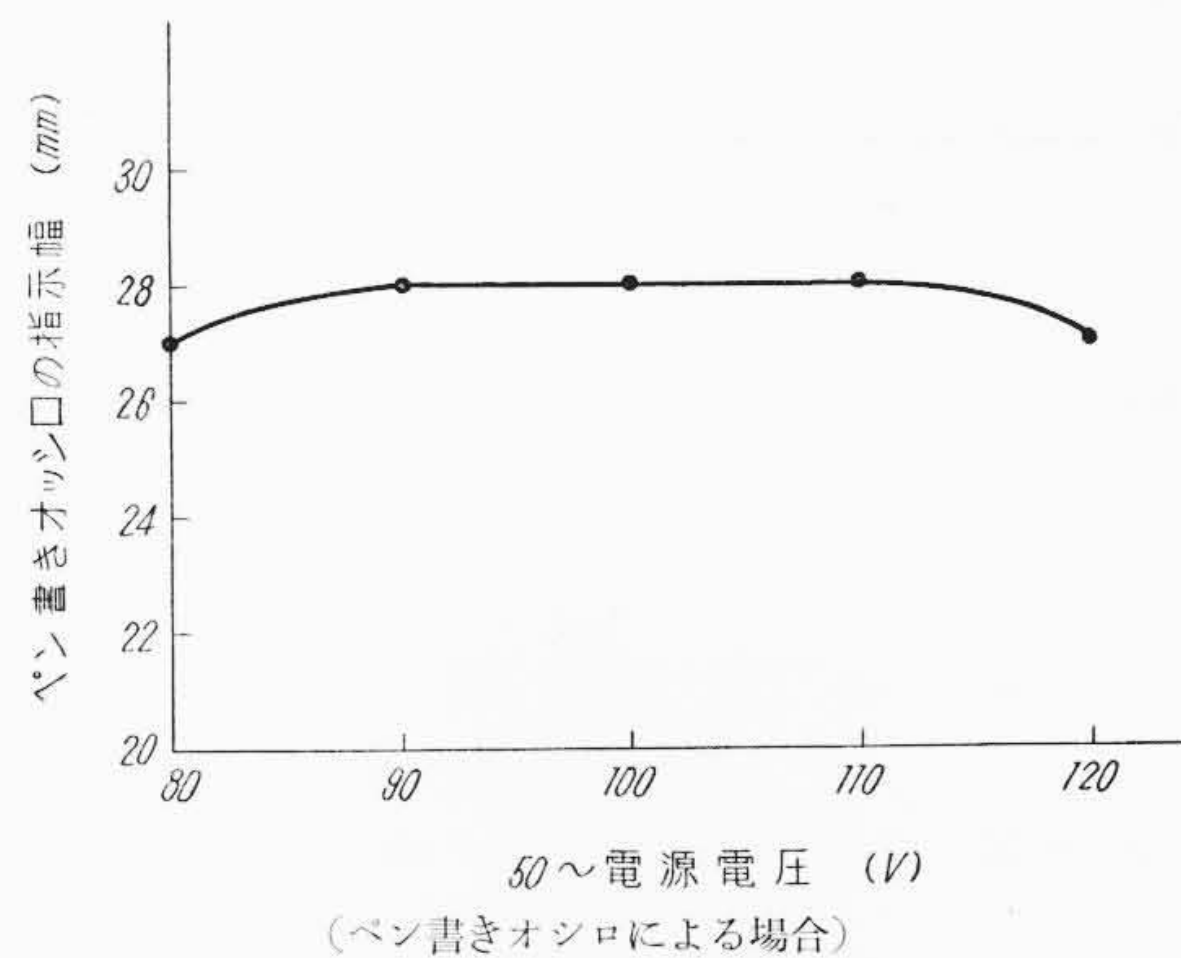
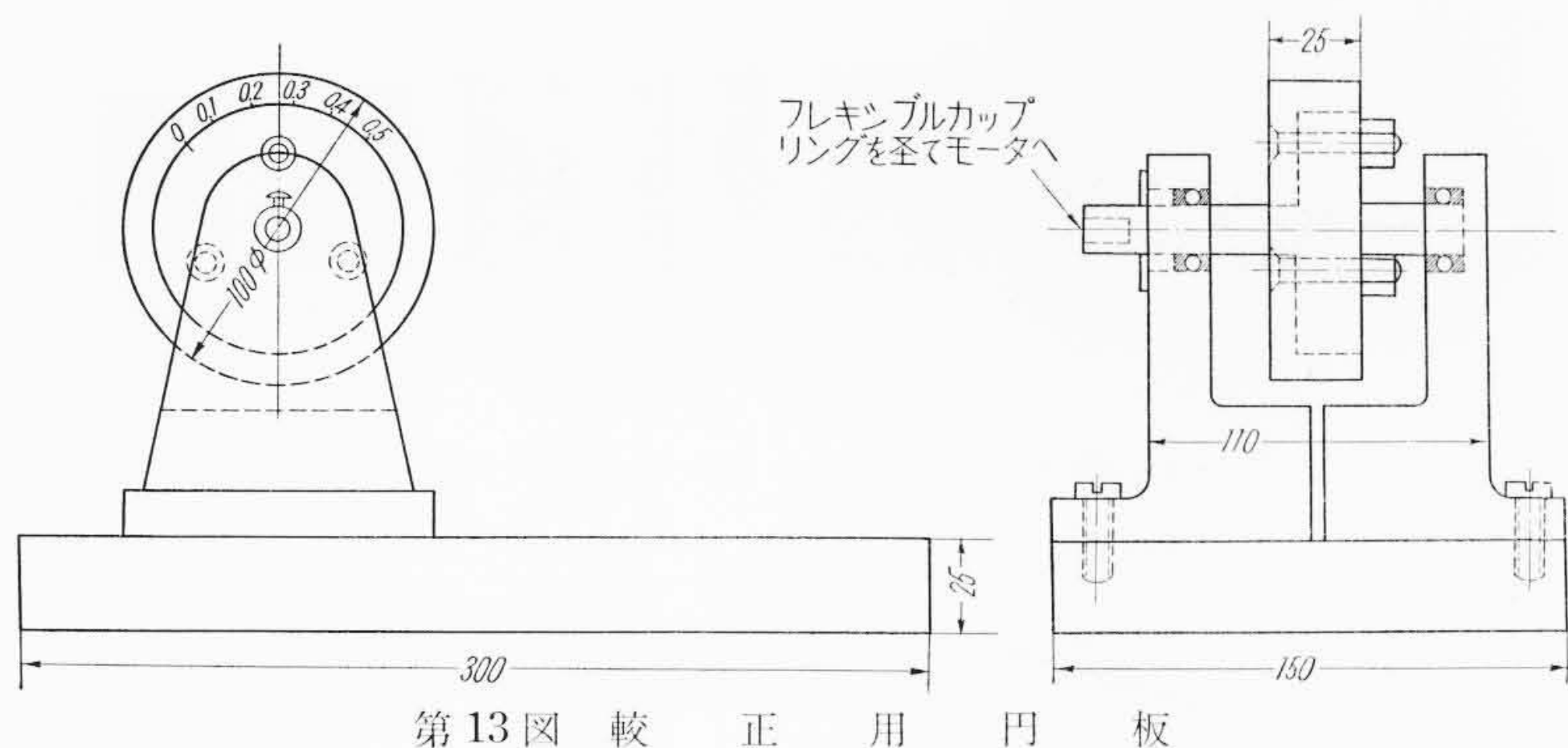
第 11 図 後段増幅器の電源電圧変動による影響



第 12 図 低周波濾波器の特性

第 2 図は校正装置の外観である。

第 14 図は校正円板の偏心生成原理を示す。校正用円板は円板 A と円板 B とよりなり円板 B は軸（半径 a ）と一体になっている。B は A の内円（半径 R_2 ）にガタがなく滑動するよう精密に加工されている。いま組立図のとおり B が A に対して θ だけ滑動させておいて、

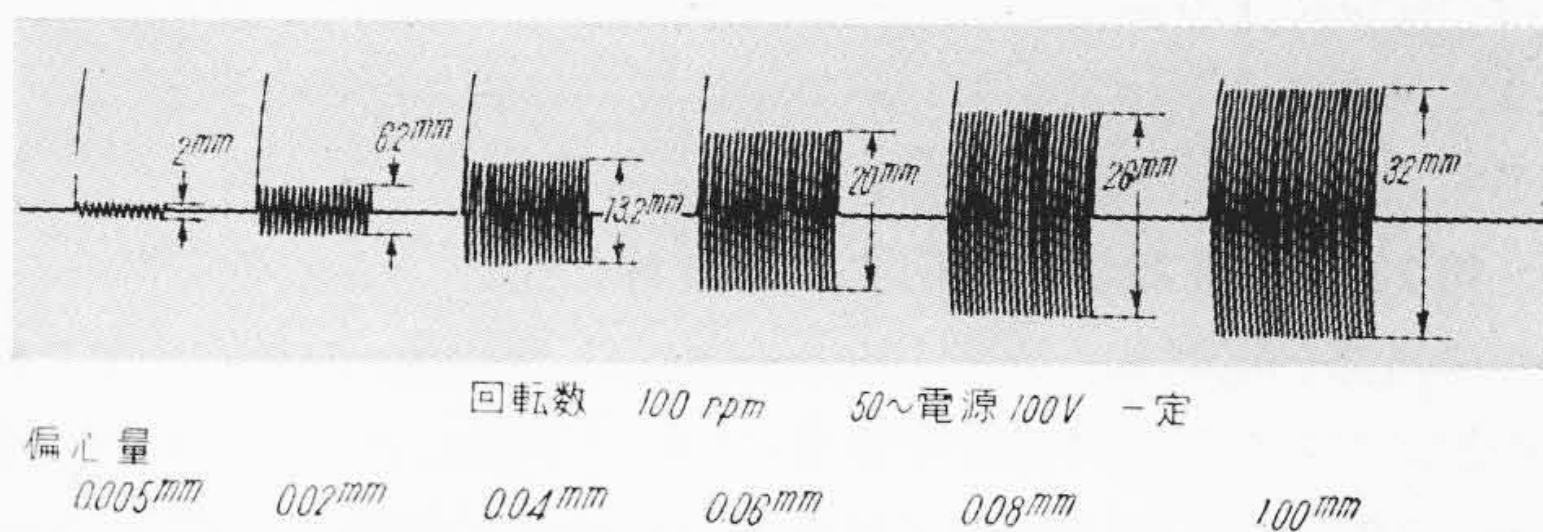
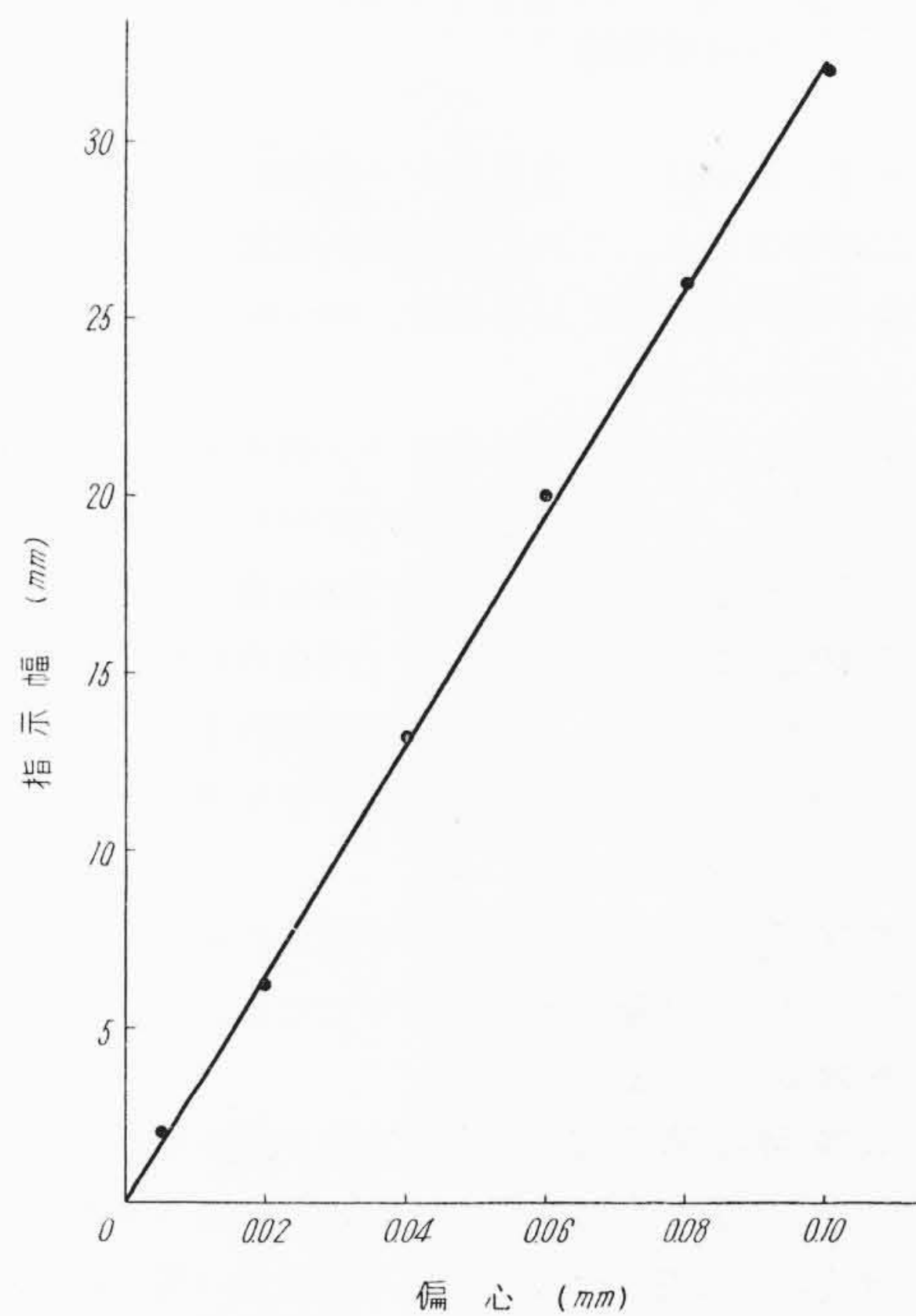
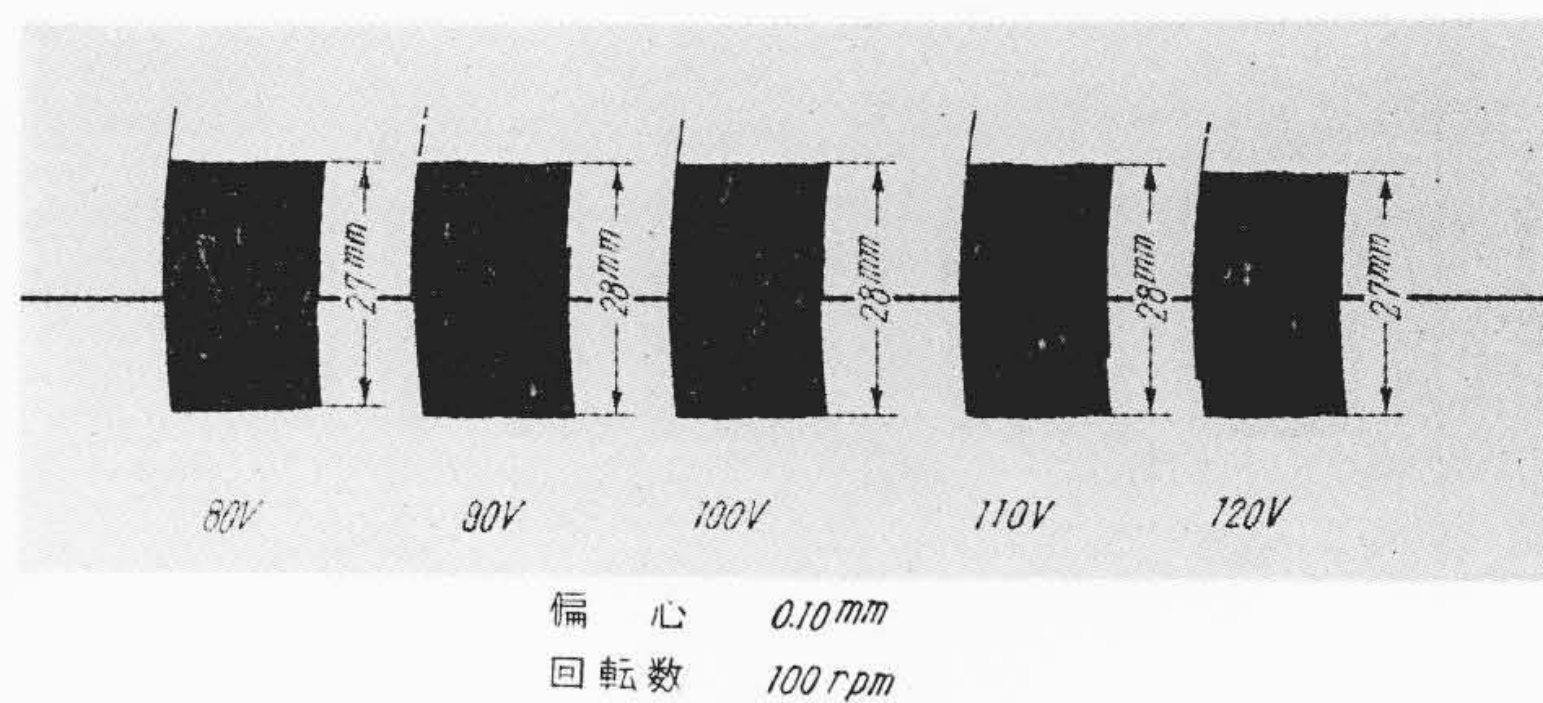


円板を回転すると円周表面は1回転に1回変化する。この変動の片振幅を偏心と定義し、この時の偏心を e_0 とすれば

$$e_0 = oo' = 2e_0 \sin \frac{\theta}{2} \dots \dots \dots (1)$$

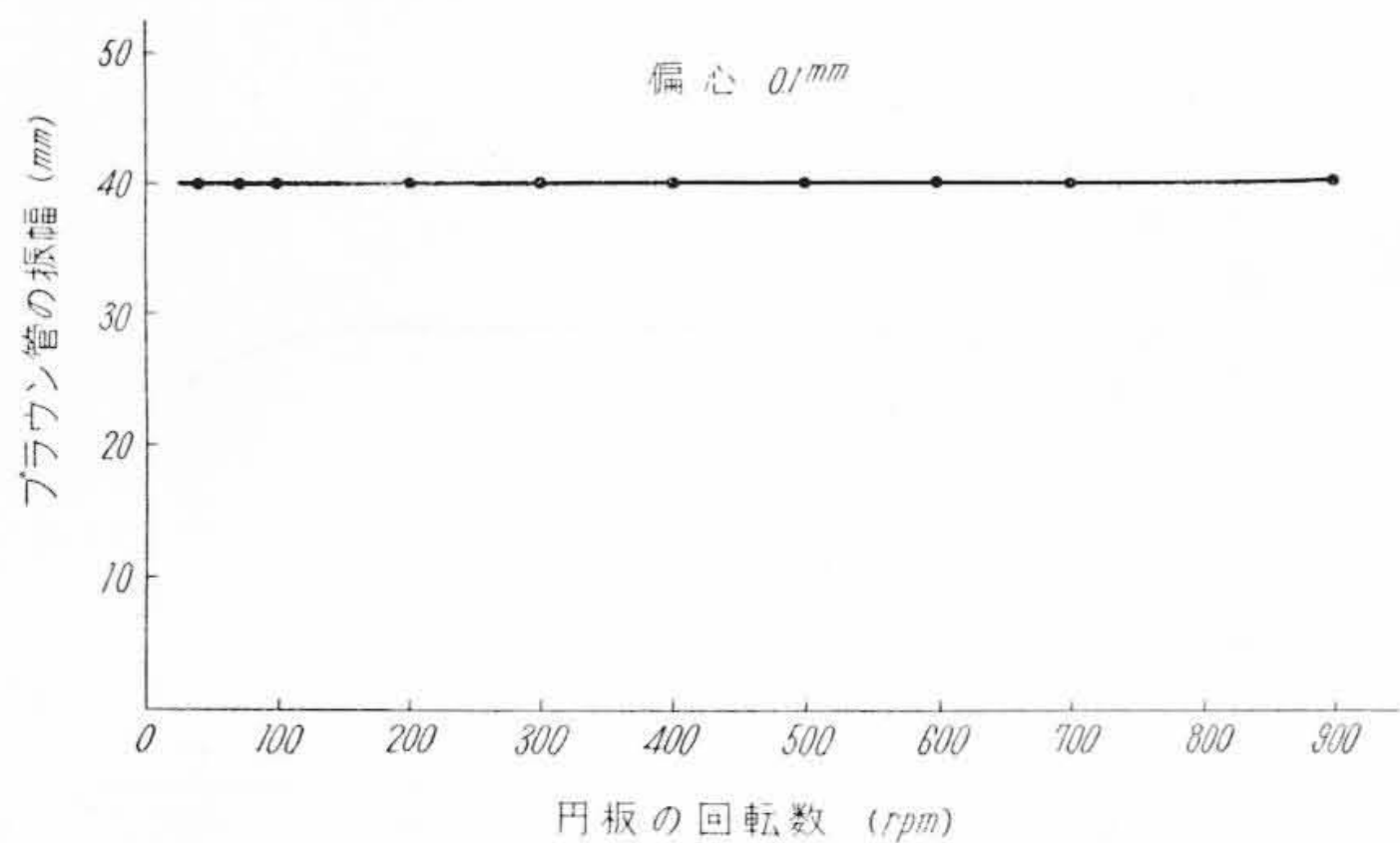
ここで

e_0 : 円板Bの中心 o_2 と軸中心 o との距離 oo_2

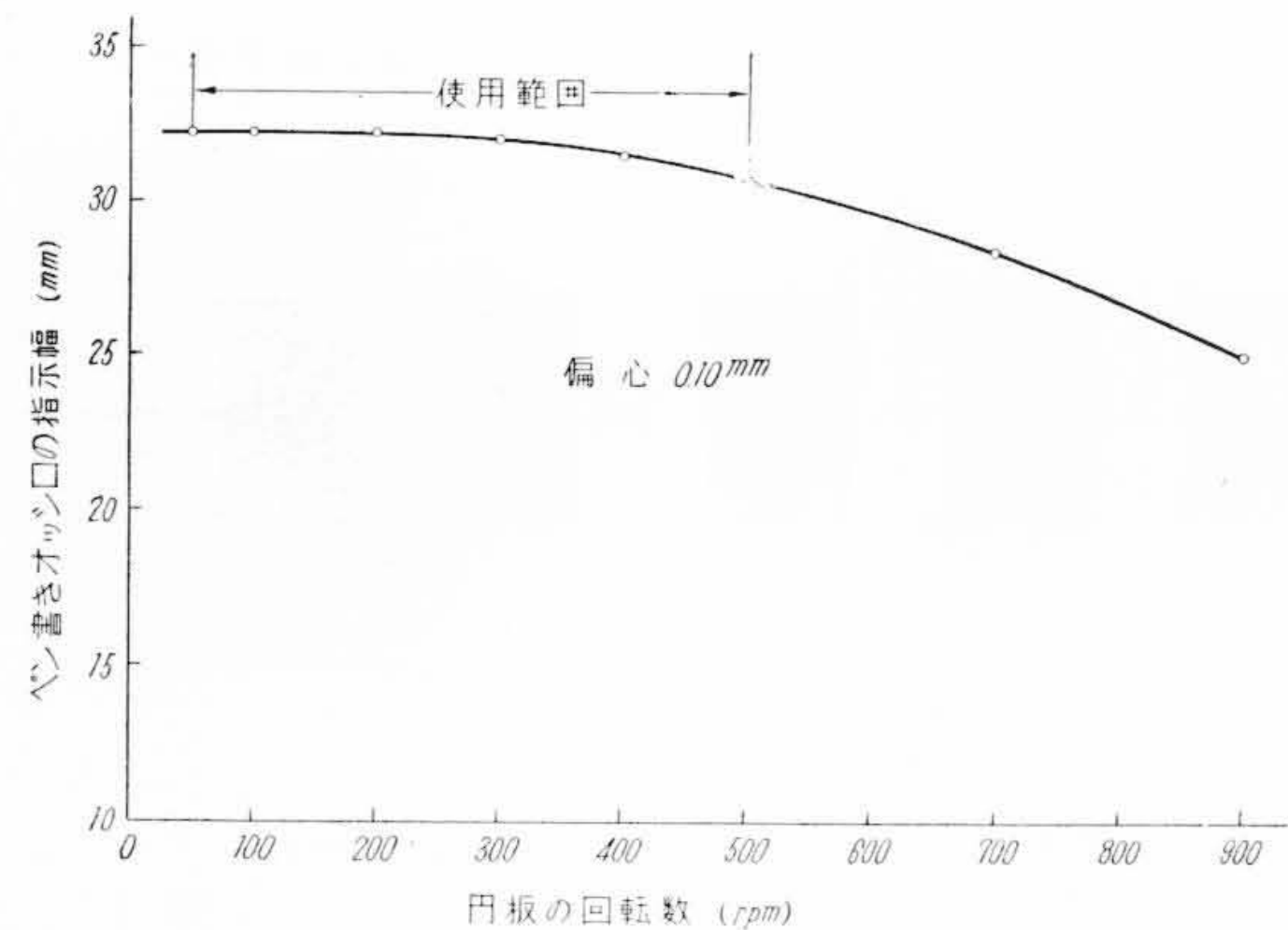


で表わされる。

第15図は校正円板の偏心を0.10mmとして100rpmで回転した場合、50~電源電圧が100V±20%の変動をしたときの指示幅変化



第 19 図 ブラウン管を用いた場合の周波数特性



第 20 図 ペン書きオシロによる指示幅の周波数特性

を示す。指示はペン書きオシロを用いた。第 16 図はその記録例である。これにより 50〜電源電圧の影響は電圧変動 $100V \pm 10\%$ とした場合、指示幅変化はほとんどないことがわかる。

第 17 図は円板の偏心量とペン書きオシロの指示との関係を示す。指示幅は偏心量に比例していることがわかる。第 18 図はこの指示特性の記録例である。

第 19 図は偏心量一定として円板の回転数を変えた場合のブラウン管オシロによる指示幅の変化、すなわち周波数特性を示すもので、900 rpm まで平坦な指示特性を有することがわかる。

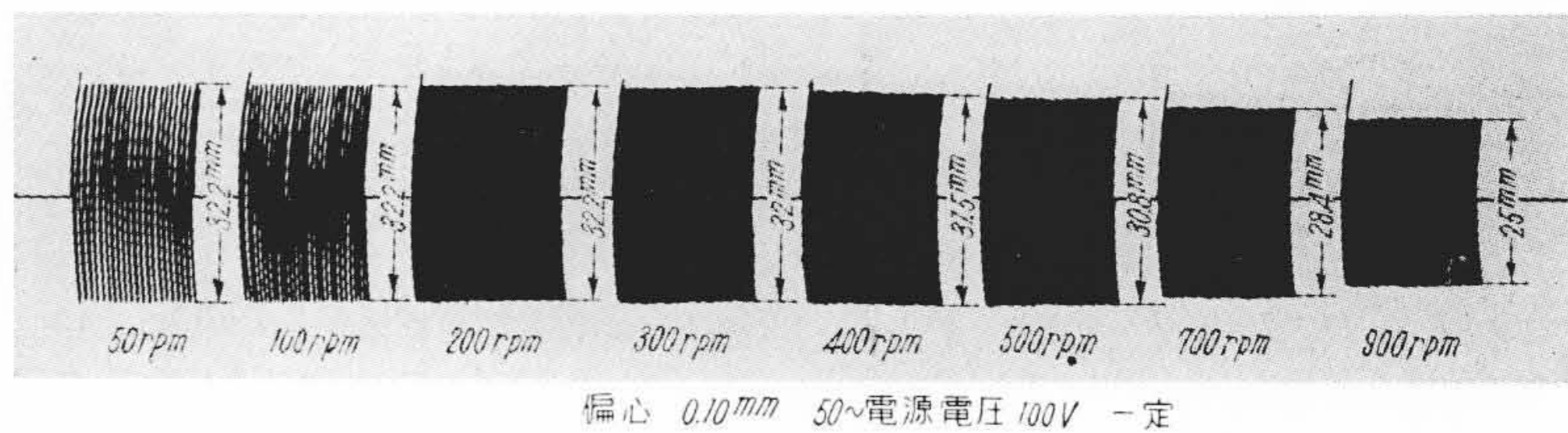
第 20 図はペン書きオシロを用いた場合の周波数特性で指示幅誤差は第 1 表のとおりとなる。

第 21 図は記録例を示す。

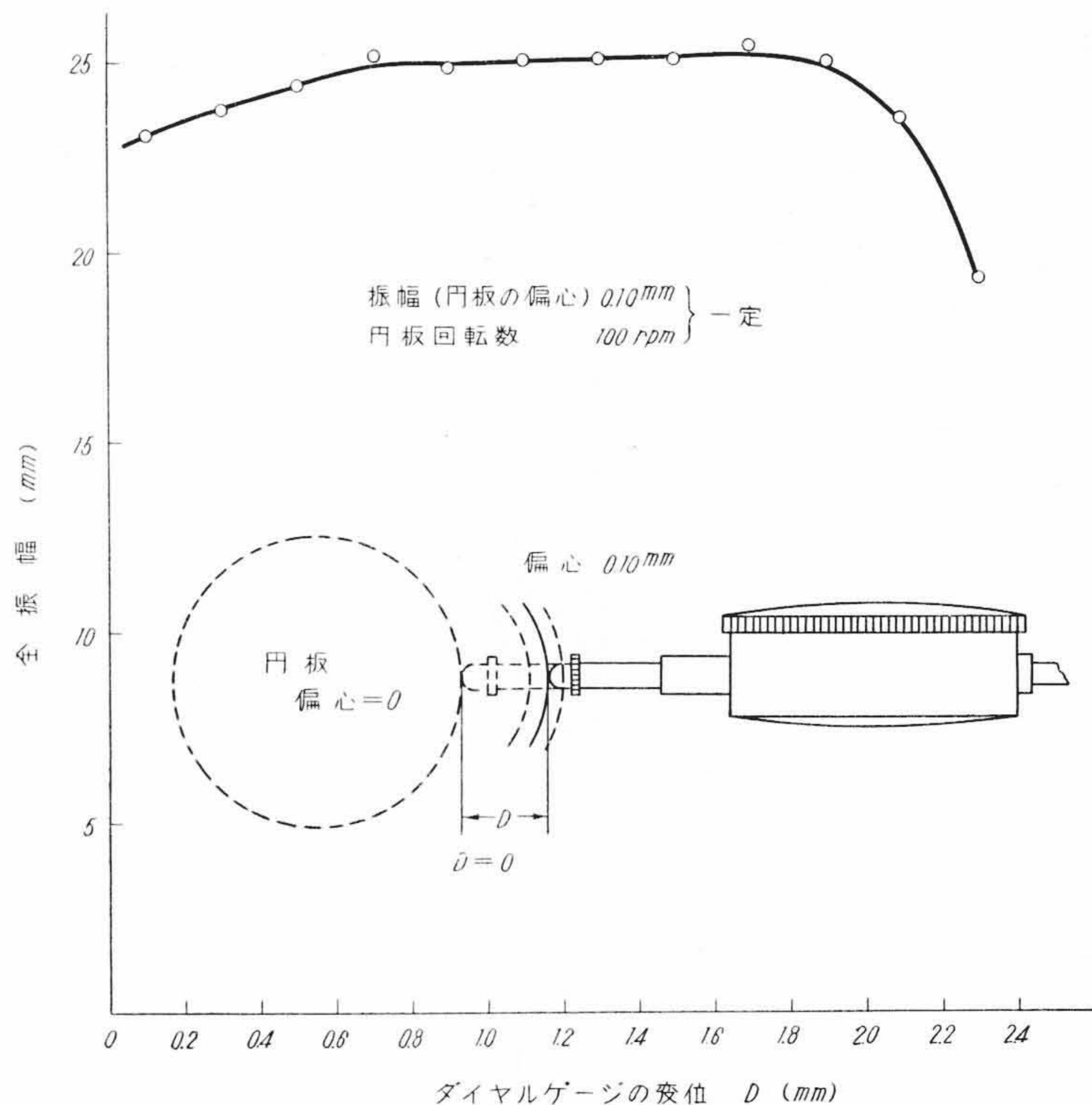
第 22 図は検出部支持台の変位が指示幅に及ぼす影響について実験した結果である。これにより支持台の位置変動があった場合その位置が基準位置（図では 1.3 mm）に対し ± 0.5 mm 変動したときの指示幅誤差は $\pm 1.5\%$ 程度におさまることがわかる。ただし、この場合、支持台の変位により指示がオーバスケールするので、これはリミッタにより指示をスケール中心部に移動させる必要がある。

第 23 図は第 22 図に対応する記録例である。

検出部と電源部を接続するリード線は 50 mm の長さがあり、この漂遊容量が指示に及ぼす影響について試験した。すなわち偏心量 $ga=0.2$ mm 一定とし較正円板を 300 rpm で回転した場合 50m $\times$ 3 本(1 本差動トランス一次、1 本は二次 1 本は共通でアース)のリード線を 1 m $\times$ 3 本のリード線に切換えたときの指示幅の変化はほとんどなく、指示ずれが約 3% 程度であった。これはリミッタによる零調整により簡単に指示幅の移動ができるので、リード線による指示幅に及ぼす影響はないことがわかった。この記録例を第 24 図

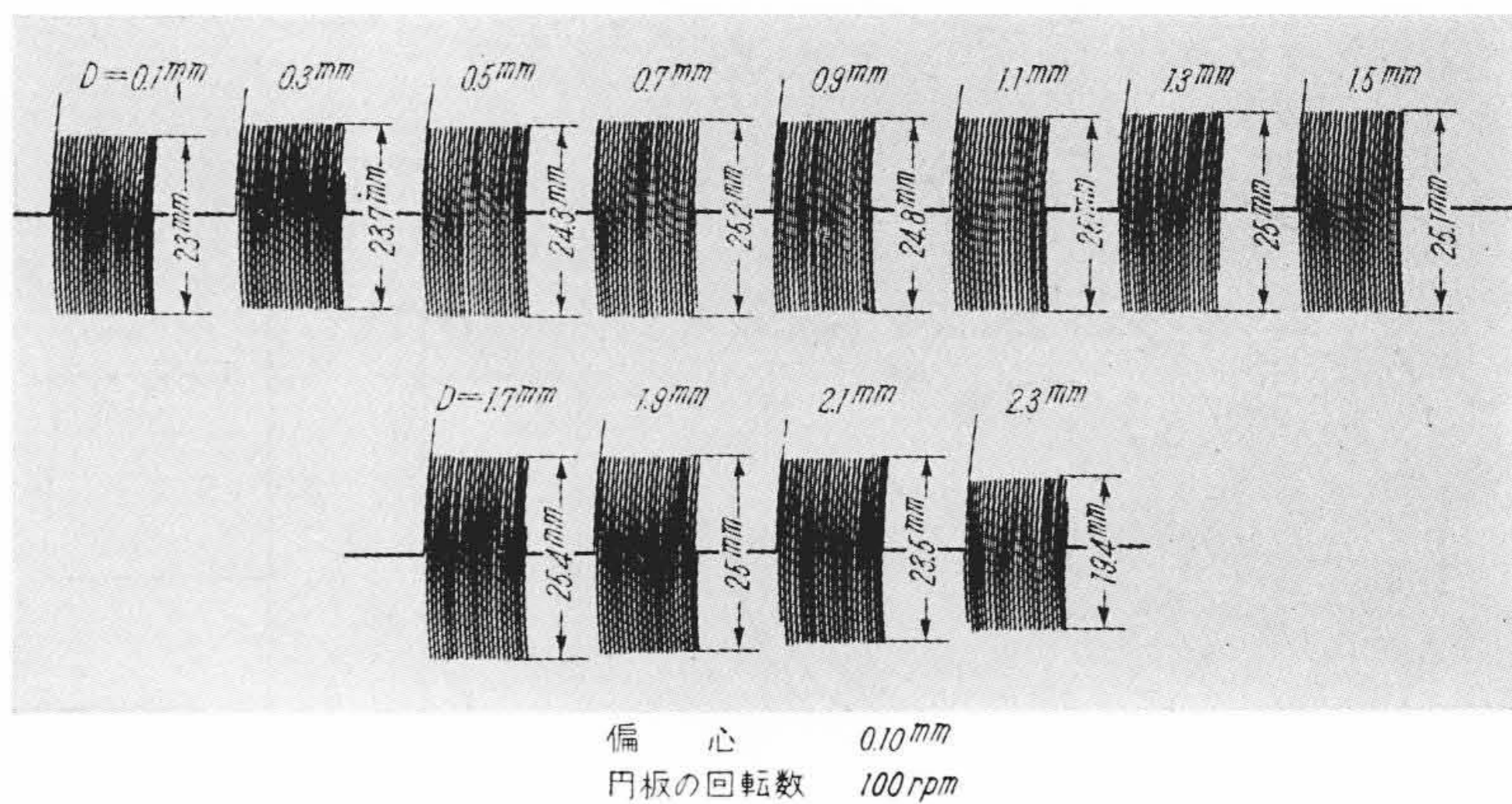


第 21 図 ペン書きオシロによる指示幅の周波数特性（記録例）



(D=0 はゲージの針圧が零のときを示す。またゲージ D=1.3 mm 付近で使用するのが適当である)

第 22 図 検出部支持台の変位による指示幅変化



第 23 図 検出部支持台の変位による指示幅変化（記録例）

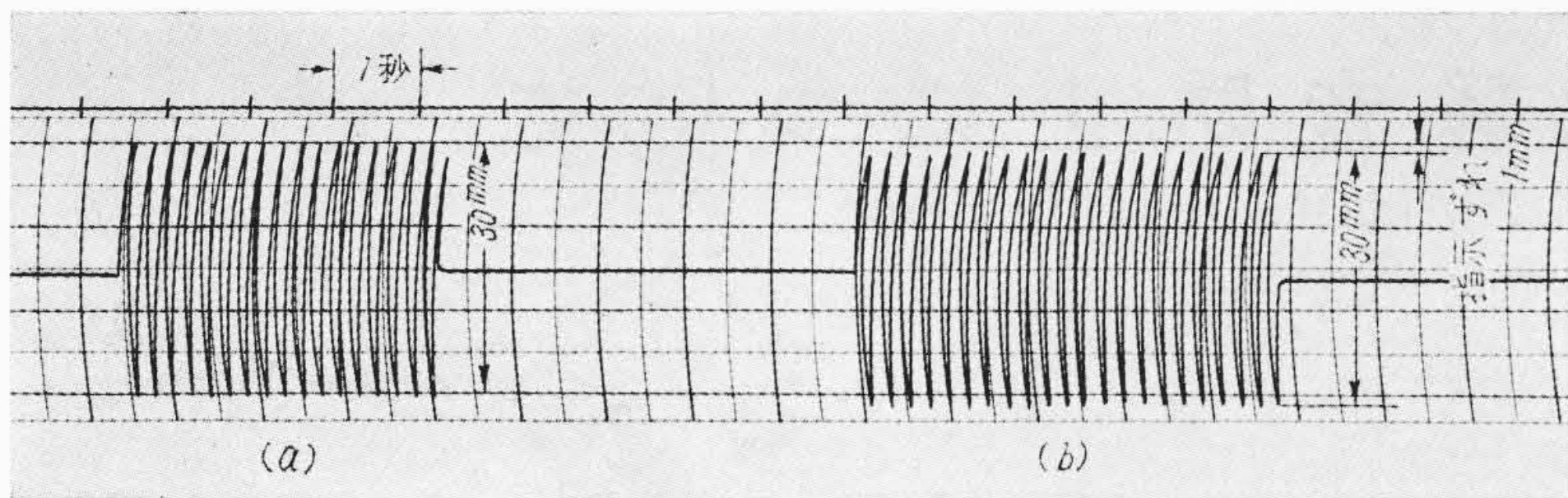
第 1 表 50 rpm に対する指示幅誤差

回 転 数 (rpm)	50	100	200	300	400	500	700	900
50 rpm に対する指示幅誤差 (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.6	-4.4	-12.5	-22.4

に示す。

5.3 指 示 幅 誤 差

指示幅誤差の原因としては電源電圧変動、振動数および検出部支持台の移動などが考えられる。第 2 表は各種指示誤差を示す。



(a) リード線 50m×3本のとき
(b) リード線 1m×3本に切替えたとき

第24図 検出部リード線の漂遊容量が指示幅に及ぼす影響

第2表 各種指示幅誤差

原因	変動範囲	指示幅誤差	
電源電圧の変動	100±10%	±1%	
支持台の振動	規準位置±0.1mm	なし	
	規準位置±0.5mm	±1.5%	
振動数の変動	—	ブラウン管による指示幅	ペン書きオシロによる指示幅
	50~250 rpm	なし	なし
	50~500 rpm	なし	-4.5%

これによりブラウン管オシロを用いる場合はもちろん、ペン書きオシロの場合も総合指示幅誤差は±10%以内となり実用に供しうる見通しを得た。

第2表のように振動数変動による指示幅誤差(-4.5%)の大きい理由はペン書きオシロ自身の周波数特性が悪いことに起因するものである。しかしペン書きオシロの特性の改良により周波数10~15~まで平坦な指示とすることは技術的に困難でないので振動数変動による指示幅誤差は今後改善可能である。

6. 更正方法

更正方法は次の方法による。

(1) ダイヤルゲージの設定位置(第22図より $D=1.3\text{mm}$)を基準として適当な変位、たとえば 0.1mm を与える。この変位はゲージにより直接測定する。

(2) 上記変位に対し、4,000~電源部の増幅器の増幅度調整により 0.1mm に対するペン書きオシロの指示幅を 0.1mm の指示目盛に合わせる。なお、この場合ペン書オシロの針の指示幅の中心がオシロ紙の目盛の中心よりずれる時はリミッタの調整により指示幅の中心を目盛中心に合わせるものとする。

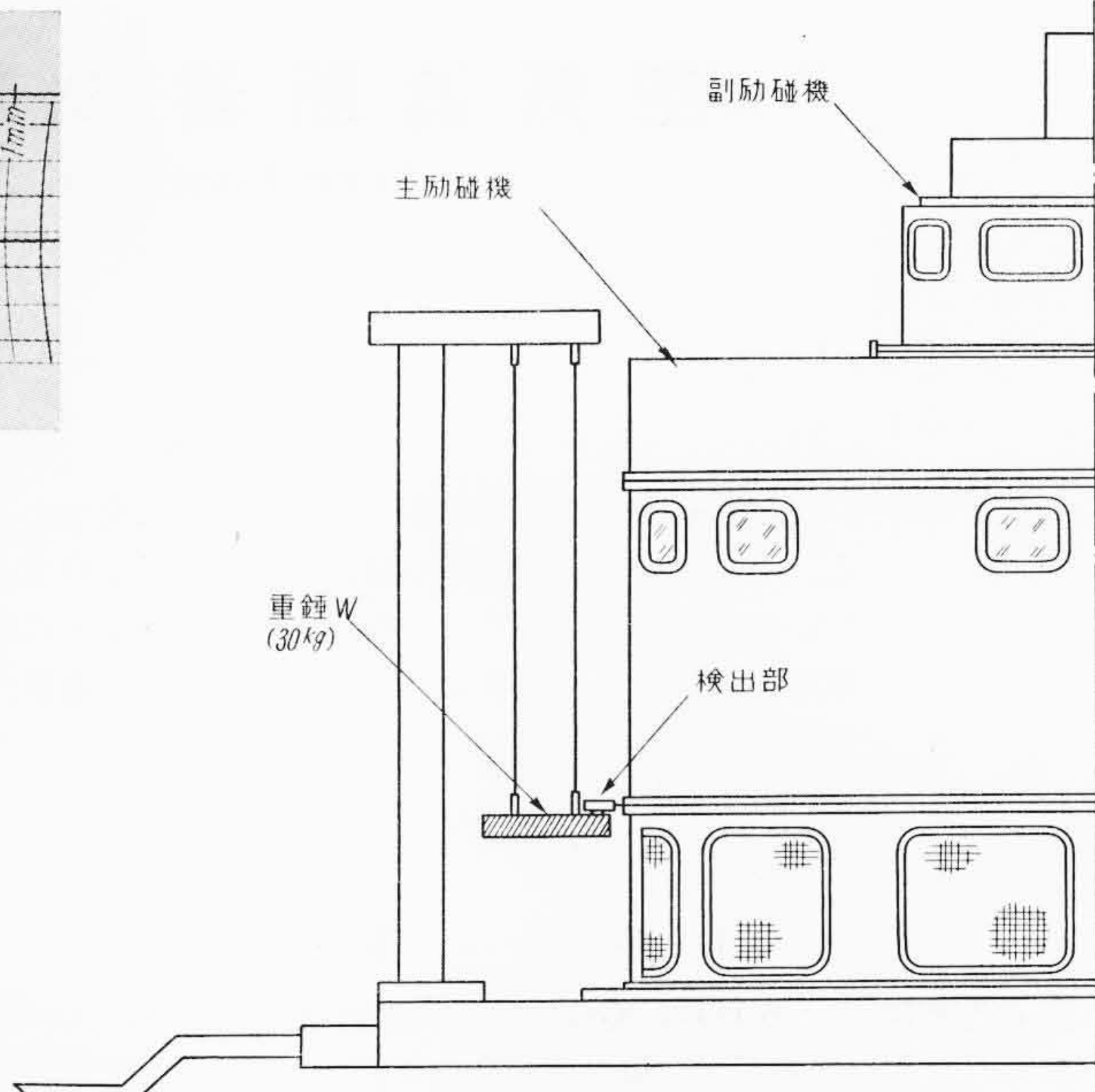
ブラウン管オシロを用いて振動を測定する場合は測定中にオシロの電源電圧が変動し同一振動振幅に対して指示幅が変化する。よって測定中に時折オシロの増幅度を更正する必要がある。このため一定の 50c/s 信号波形を用いて増幅度を更正する。

7. 応用例

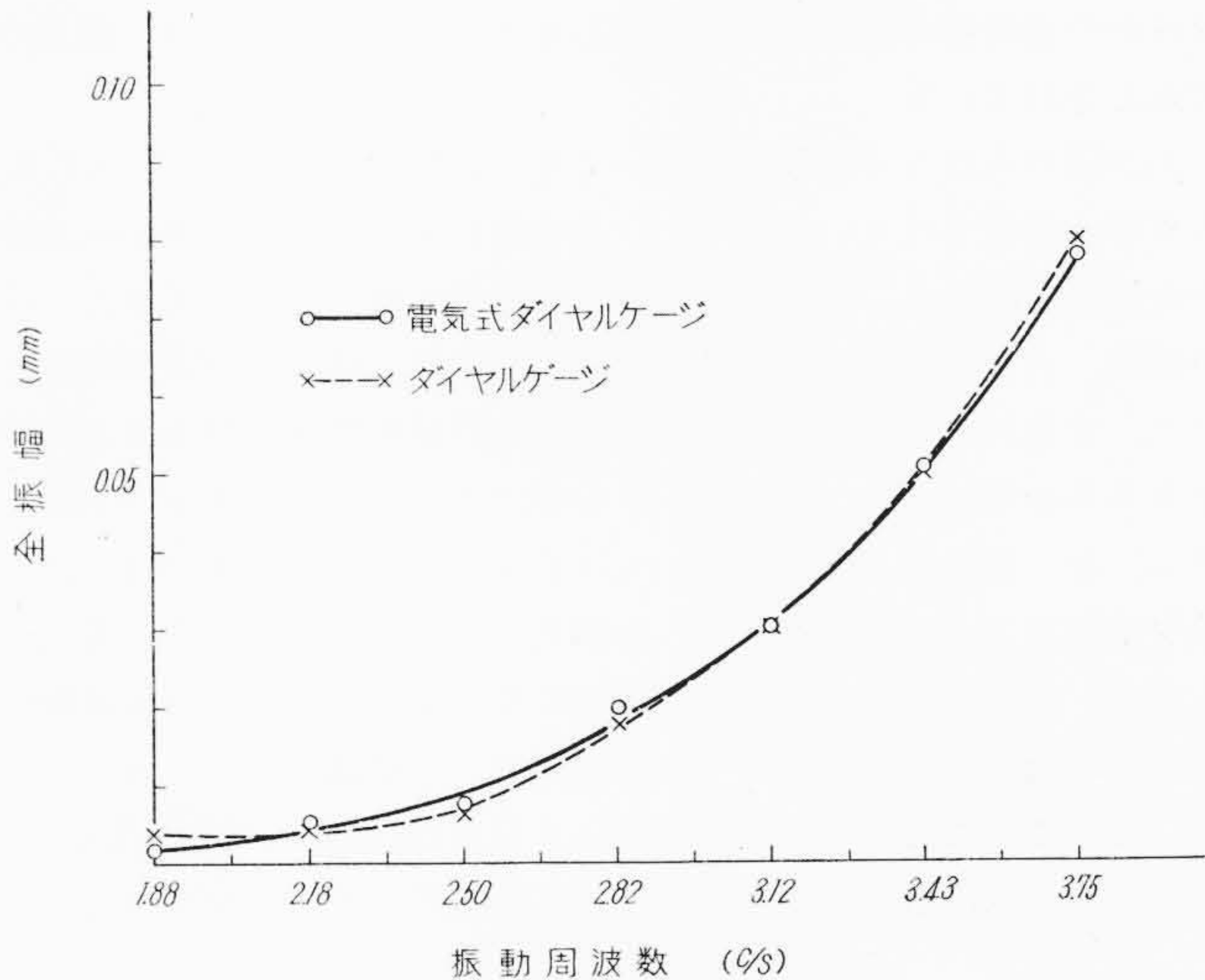
第25図は本測定器を水車発電機の振動調整に応用した状況を示すもので、不動点として励磁機上部よりつり下げられた重錘(約 30kg)を用いた。第26図は本装置とダイヤルゲージの比較試験を行うため振動体のバランスを故意に悪化させて測定した一例で、実線は電気式ダイヤルゲージによるブラウン管の指示幅より換算した振動振幅を示し、点線はダイヤルゲージの指示幅を示す。

8. 結 言

ダイヤルゲージにおける $0.8\sim 8.3\text{c/s}$ で変化する針の指示を電気的に拡大し、ブラウン管またはペン書きオシログラフに指示せしめ



第25図 検出器取付位置



第26図 振動測定例

る方式の電気式ダイヤルゲージを試作した。

- (1) 振動数の範囲 $50\sim 500\text{rpm}$ ($0.8\sim 8.3\text{c/s}$) に対し既設のペン書きオシロを用いた場合の指示幅誤差は-4.5%である(ただしペン書きオシロの周波数特性の改良により、さらに指示幅誤差は減少させることができる)。
- (2) 振動の全振幅は $10\mu\sim 1.0\text{mm}$ の範囲で測定可能である。
- (3) 検出部支持台(不動点)の移動による指示幅誤差は移動の片振幅 $\pm 0.5\text{mm}$ 以内において $\pm 1.5\%$ である。
- (4) 電源電圧変動 $100\text{V}\pm 10\%$ に対し指示幅誤差は $\pm 1.0\%$ である。
- (5) よって総合指示幅誤差は $\pm 10\%$ 以内におさまる。
- (6) 遠隔測定が可能である。

終りにのぞみ本研究に対し、ご指導ご激励を賜った日立製作所日立工場赤松部長、日立研究所今尾技師長ならびに北川部長に謝意を表する。

参 考 文 献

- (1) 無線と実験論: エレクトロニクス 303 回路集 (1956-5)
- (2) 計測: 差動トランスの零電圧とその補償法 (1958-2)