

継電器磁気特性測定装置

Relay Measurement Equipment for the Magnetic Characteristics

二 見 二 郎*
Jiro Futami

内 容 梗 概

継電器の磁気特性の測定項目を吸引力、動的磁化特性、静的磁化特性に大別して装置を試作、研究した結果をとりまとめて概説したものである。

(1) 吸引力測定装置

差動変圧器、磁歪、抵抗線を用いた歪計、および振子形張力計の原理、構造を応用して、無極継電器の吸引力測定を行えるような装置を設計、試作し比較した結果を述べた。

(2) 動的磁化特性測定装置

二素子ブラウン管により、その一方を電子管にて切換を行ない、同時に三現象の比較観測できる装置を試作した。これにより過渡励磁電流、過渡磁束、接極子変位が同時に検討可能であることを示してある。

(3) 静的磁化特性測定装置

(a) 直流導磁率計

磁気部品のままで真の磁化特性を測定するもので、試料表面の有効磁場検出に基本周波 4kc 発振器、および濾波器、8 kc 選択増幅器の設計を適当にすれば、実用上十分な精度がえられることを示した。

(b) 直流磁化特性自動記録装置

継電器磁気回路、または磁性材料環状試料の磁化特性を測定するに、誘起磁束の積分回路に直交変換検流計を用いた方法を試作した。取扱容易、継電器測定には一応実用になることを示してある。

〔I〕 緒 言

ストロージャ交換機、クロスバー交換機に使用される電磁無極継電器は高い信頼度、速動化、長寿命化の改良研究が要求される。その性能の根幹をなす磁気特性の検討は、まず測定装置を完備することが緊要である。

昭和28年クロスバー交換機の開発研究開始とともに、継電器の研究に必要な測定器の整備、検討を行つた。

吸引力測定がまず第一に重要であるが、その方法の比較検討した発表を見ないので、現在考えられる5種類の試作実験をした。

継電器動的磁化特性測定装置は、dynamic fluxmeter⁽⁵⁾が発表されているが、われわれの目的のためにはブラウン管直視が簡便であるから、二素子ブラウン管による直視装置を試作したものである。

直流導磁率計⁽⁶⁾は、A.S.T.M. に発表された方法により試作したものである。

直流磁化特性自動記録装置は、誘起磁束積分回路に従来発表されている光電管を用いる代りに、直交変換検流計を用いて試作したものである。

〔II〕 吸引力測定装置

継電器の吸引力は接極子変位 0 で最大値を示し、変位の増加とともに吸引力は減少する曲線であるから測定圧 5 kg 程度でも微小変位の精度 0.01 mm を確保したい。吸引力検出素子になる差動変圧器、磁歪、抵抗線歪素子

は最大出力を出すに 0.01~0.04 mm 程度変位するものであるから、これが直接変位 0 附近の変位測定の精度に影響する。微動装置、取付方法にも機械的十分な剛性をうため注意すべき点が多い。以下各素子により継電器吸引力測定可能のように新らしく設計試作し検討した結果を報告する。

(1) 磁化曲線より吸引力を求める方法

後述の第 28 図 継電器磁化特性自動記録装置により求めた曲線において、あるアンペアターン NI 一定の場合の吸引力 F は (1) 式で求められる。

$$F = 1.02 \times 10^{-3} \frac{d}{dx} \int_0^{NI} \phi d(Ni) \text{ (g)} \dots\dots (1)$$

ここに x : アーマチュア変位 (mm)

ϕ : マックスウエル

NI : アンペアターン

この場合は磁化曲線を求めることは弾動検流計法または自動記録装置により精度が確保できる。測定点を定めるための各接極子変位を調整測定する方法が問題である。これには光挺子によるのが実施容易で精度もよい。

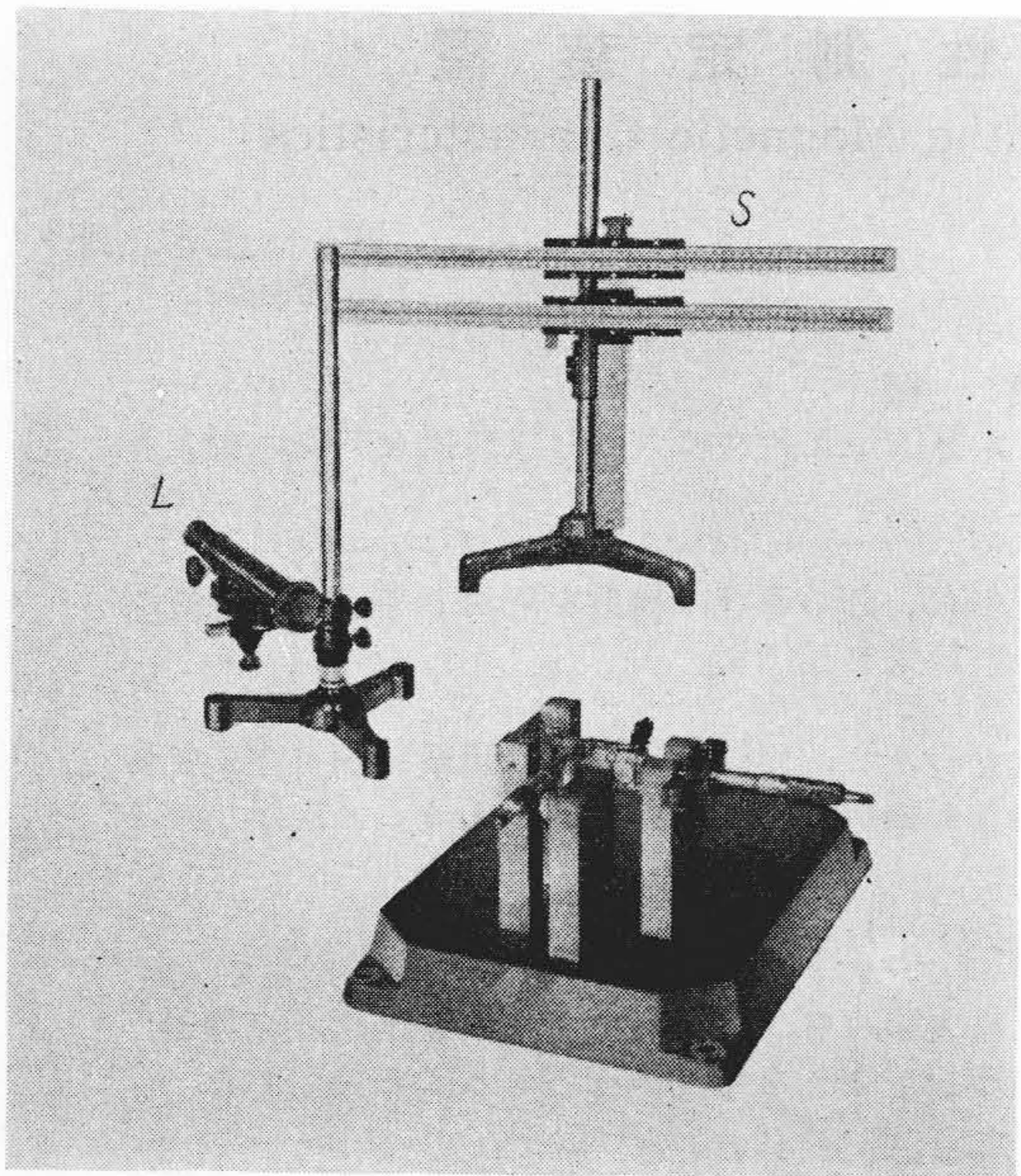
(A) 変位の測定

測定装置の構造、関係位置を第 1 図に示す。T は試料、M は接極子回転軸上に取付けられた鏡、L は望遠鏡、S はスケールである。

第 2 図において水平形リレー測定の場合光挺子の関係位置、寸法を示す。

$$d = 19 \text{ mm} \quad t = 4.1 \text{ mm} \quad \gamma = d - t \tan \frac{\theta}{2}$$

* 日立製作所戸塚工場



第1図 光挺子による変位測定

$$\lambda = r\theta = \left(d - t \tan \frac{\theta}{2}\right) \theta \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$x = r \tan \theta = \left(d - t \tan \frac{\theta}{2}\right) \tan \theta \quad \dots\dots\dots (3)$$

上式で条件が最悪の場合、すなわち変位 1 mm として x と λ との差を調べると、 $\tan \theta = 0.05285$ となり $\lambda = 0.9986$ で誤差 0.14%， $t \tan \frac{\theta}{2} \div 0.107$ ゆえに d に対し 0.5% で省略できる。ゆえに接極子の変位は

$$x = \frac{d}{2D} \delta \quad \dots\dots\dots (4)$$

で表わせる。 $\tan 2\theta$ を 2θ とする誤差は 0.11% である。以上のことから $D = 3,600$ mm とすれば、 δ の 1 目盛が 0.0025 mm をあらわすから 0.01 mm の精度は十分えられる。 D が 5 mm 測定誤差あつたとしても 0.13% 程度で問題とならない。

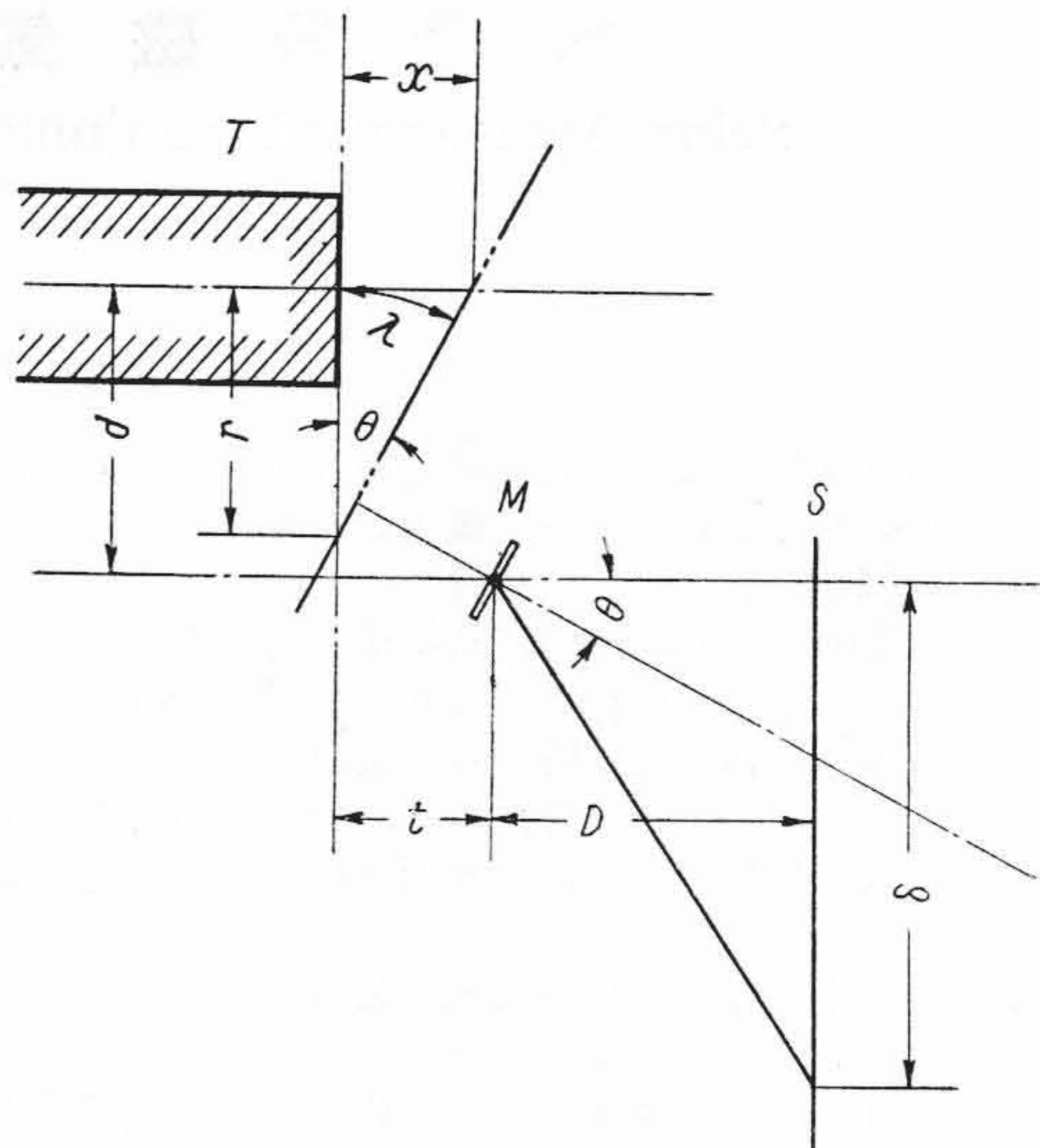
(B) 数値積分法，微分法⁽²⁾によるエネルギーおよび吸引力の計算

磁化曲線のままでできるだけ忠実に磁気エネルギーを計算するには、(5) 式 Stirling の内挿式による数値積分法，または Simpson 1/3 則 (6) 式による数値積分がよい。

$$\int_{x_1}^x f(x) dx = 2h \left(y_0 + \frac{1}{6} \Delta^2 y_{-1} - \frac{1}{180} \Delta^4 y_{-2} + \dots \right) \quad \dots\dots\dots (5)$$

第 3 項以下を省略すると，

$$\int_{x_0}^{x_2} f(x) dx = 2h \left(y_1 + \frac{1}{6} \Delta^2 y_0 \right)$$



第2図 光挺子

第1表 階 差 表

x	y	Δ	Δ^2	Δ^3	Δ^4
x_{-3}	y_{-3}				
x_{-2}	y_{-2}	Δy_{-3}	$\Delta^2 y_{-3}$		
x_{-1}	y_{-1}	Δy_{-2}	$\Delta^2 y_{-2}$	$\Delta^3 y_{-3}$	
x_0	y_0	Δy_{-1}	$\Delta^2 y_{-1}$	$\Delta^3 y_{-2}$	$\Delta^4 y_{-3}$
x_1	y_1	Δy_0	$\Delta^2 y_0$	$\Delta^3 y_{-1}$	$\Delta^4 y_{-2}$
x_2	y_2	Δy_1	$\Delta^2 y_1$	$\Delta^3 y_0$	$\Delta^4 y_{-1}$
x_3	y_3	Δy_2			

$$= \frac{h}{3} (y_0 + 4y_1 + y_2) \quad \dots\dots\dots (6)$$

(5) 式に比し (6) 式でも 0.02% 以下の誤差となるから、実用上は Simpson 1/3 則を使つた方が簡単で十分である。

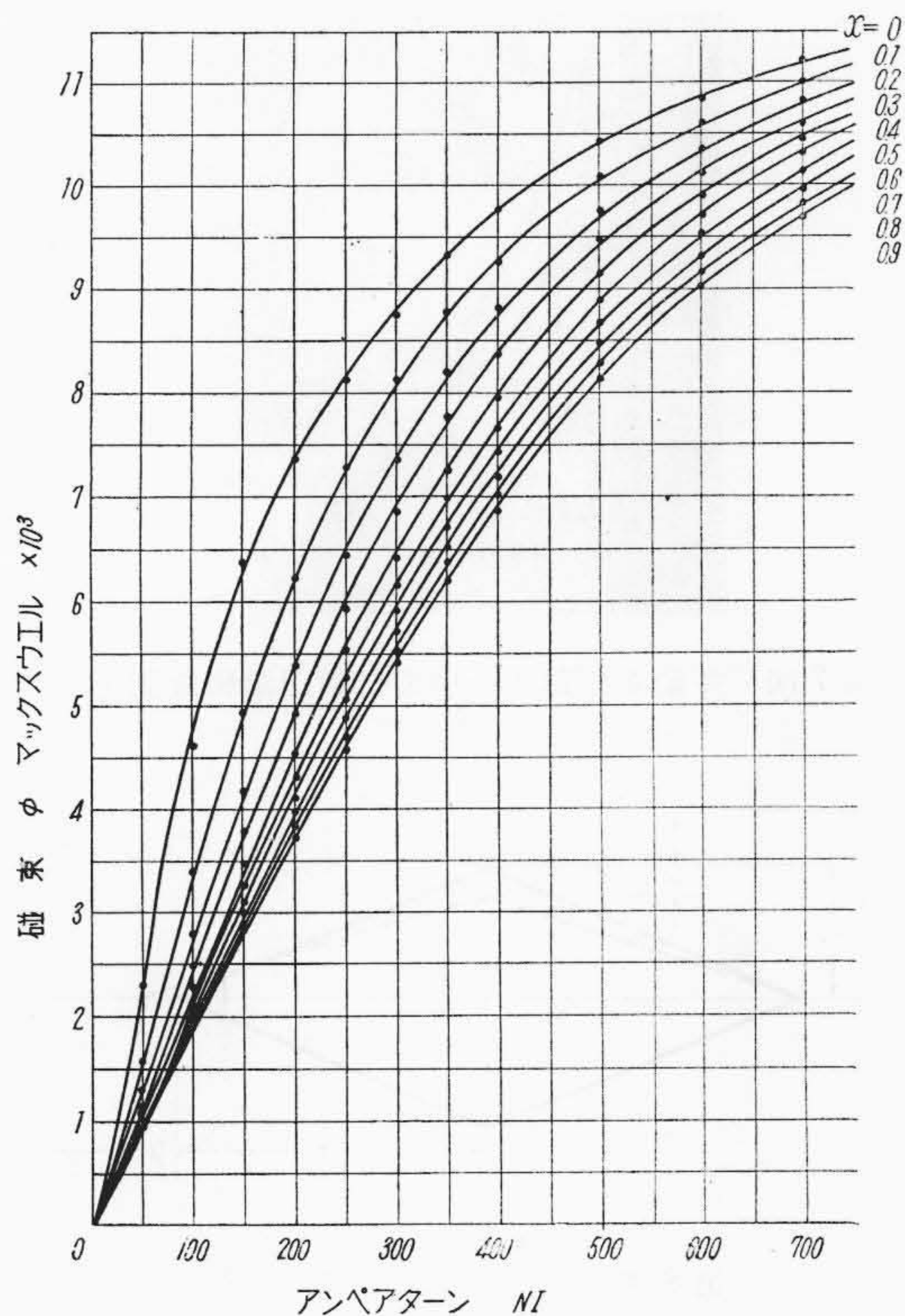
(6) 式を用いて第 3 図の磁化曲線につき各 AT 対変位の磁気エネルギーを計算すれば、(1) 式の積分記号内が求まる。これを変位に対して数値微分するわけで、それには Bessel の内挿式によるものが簡単である。

微分商は (7) 式のようなになる。また (8) 式も便利な式でこれにより計算してもよい。

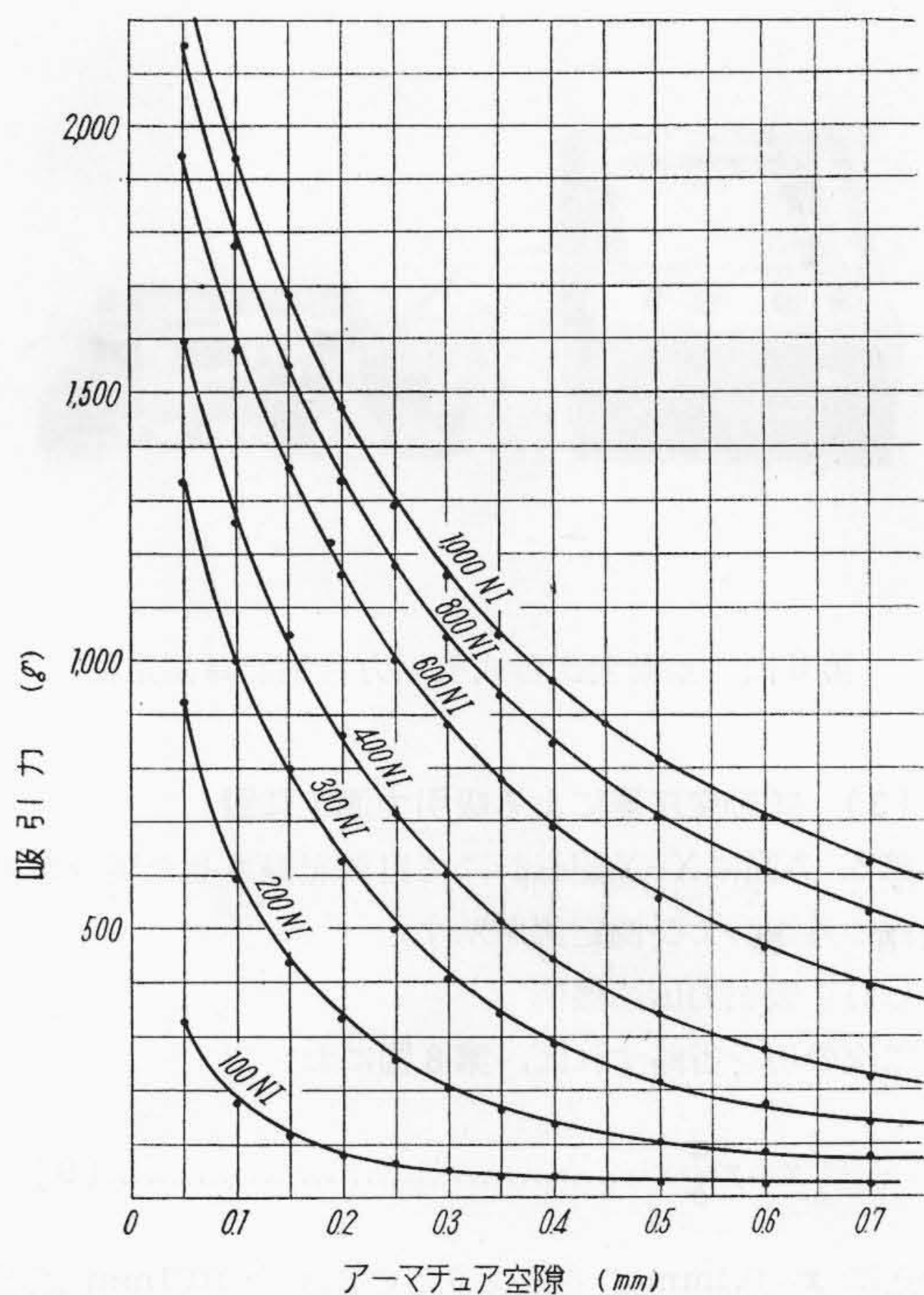
$$h \cdot f' \left(\frac{x_0 + x_1}{2} \right) = \Delta y_0 - \frac{1}{24} \Delta^3 y_{-1} + \frac{3}{640} \Delta^5 y_{-2} \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$\left(\frac{dy}{dx} \right)_{x_0} = \frac{8(y_1 - y_{-1}) - (y_2 - y_{-2})}{12h} \quad \dots\dots\dots (8)$$

以上の方法により求めた吸引力を第 4 図に示す。この方法によれば吸引力，磁気回路の状態を示す特性値がとれるので研究解析には有力な測定法である。しかし非常に手数がかかるので自動記録化しても測定器の代用にはならない。



第3図 水平形リレーの磁化特性



第4図 水平形リレー吸引力空隙特性
(数値計算による)

(2) 振子形吸引力測定器⁽³⁾

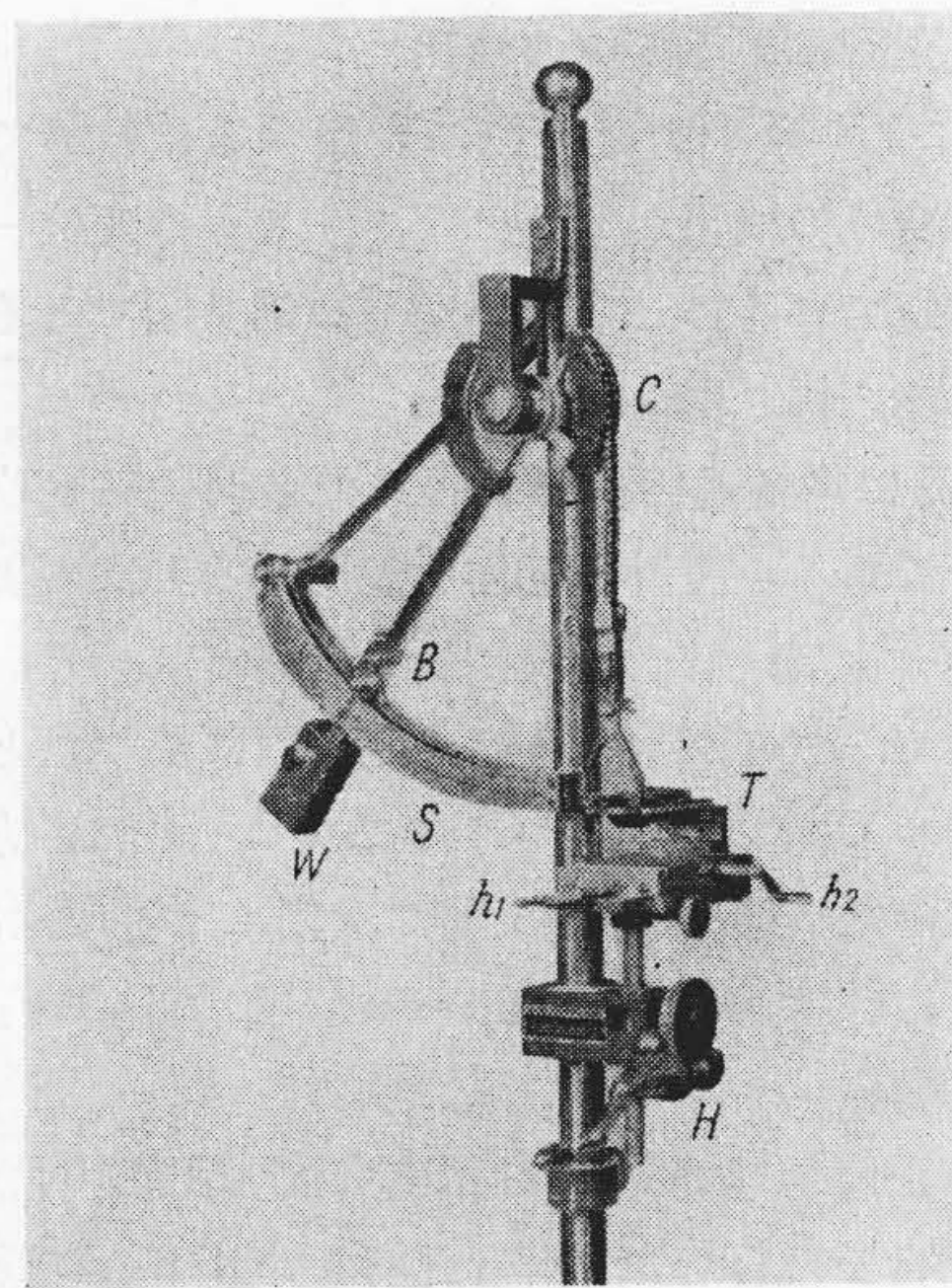
重錘による方法では、重錘が糸でアーマチュアに結ばれアーマチュアには非磁性のスペーサにより空隙をもたせてある。コイル電流を次第に流し吸引力が重錘より大きくなるまで増加させ吸引力とアンペアターンとの関係がえられる。重錘を種々に変えることにより吸引力曲線がえられる。しかしこの方法では非常に手数がかかり測定精度も期待できない。その欠点を除去するために米国で考案されたのが第5図の振子式吸引力測定器である。これは抗張力試験器を応用したものである。

(a) リレー取付台は h_1 , h_2 なるハンドルで前後、左右に微動でき試料を鎖Cの作用線上に取付ける。

(b) リレーTのコイルに所定の電流を流し、アンペアターン NI 一定とし測定すべき変位に対応する非磁性のスペーサを、アーマチュア、コア間にはさみアーマチュアに鎖Cの取付金具をかけ、振子Wが目盛Sの0の位置になるようハンドルHを上下に微動させ調整する。

(c) 測定はハンドルHでリレー取付台を下に微動させると振子は押し上げられ、アーマチュアに張力の増加していくのを示す。

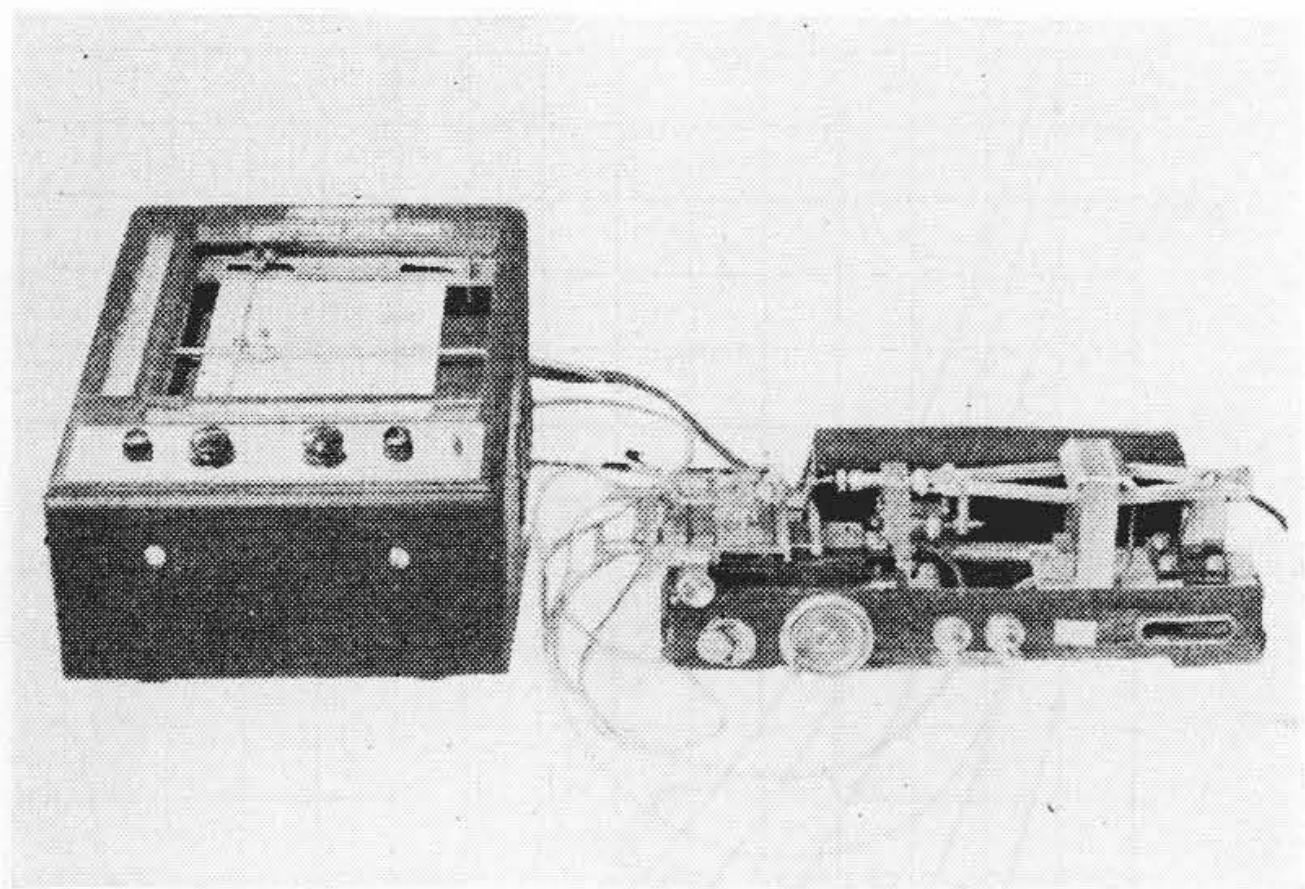
(d) Hをますます下げて張力を増大させ、リレーの吸引力より大きくなると瞬間にアーマチュアははづれ鎖の張力はなくなる。しかし歯止めBがあるので振子はそ



第5図 振子形吸引力測定器

のアーマチュア吸引力に対応した目盛で静止していて、その空隙における吸引力が測定できる。

この構造は、吸引力測定器中もつとも簡単なもので操作も容易である。しかし、測定点1点ごとにスペーサを入れて微動させる操作を繰り返すものであるから、測定の労力と時間がかかりあまり実用的でない。



第6図 差動変圧器式吸引力自動記録測定器

(3) 差動変圧器による吸引力測定装置

第6, 7図にX-Y記録計にて自動記録させた場合の本装置の外観および測定例を示す。

(A) 吸引力伝達機構

二次の項を省略すれば、第8図において

$$x = y \frac{a}{b} \dots\dots\dots (9)$$

ゆえに $x=0.4\text{mm}$ の変位をうるのに y を 0.01mm 以下にしたいためには、 a を b の40倍以上にとればよい。この機構を使うと吸引力を伝えるための変位を省略して、ほかの x なる変位に吸引力を変換することができる。

(B) 歪計による変位の検出

(A) により吸引力を変位に変換することができたので、微小変位の検出ができれば、リレーの変位—吸引力曲線を測定できる。この検出機構は第9図による。

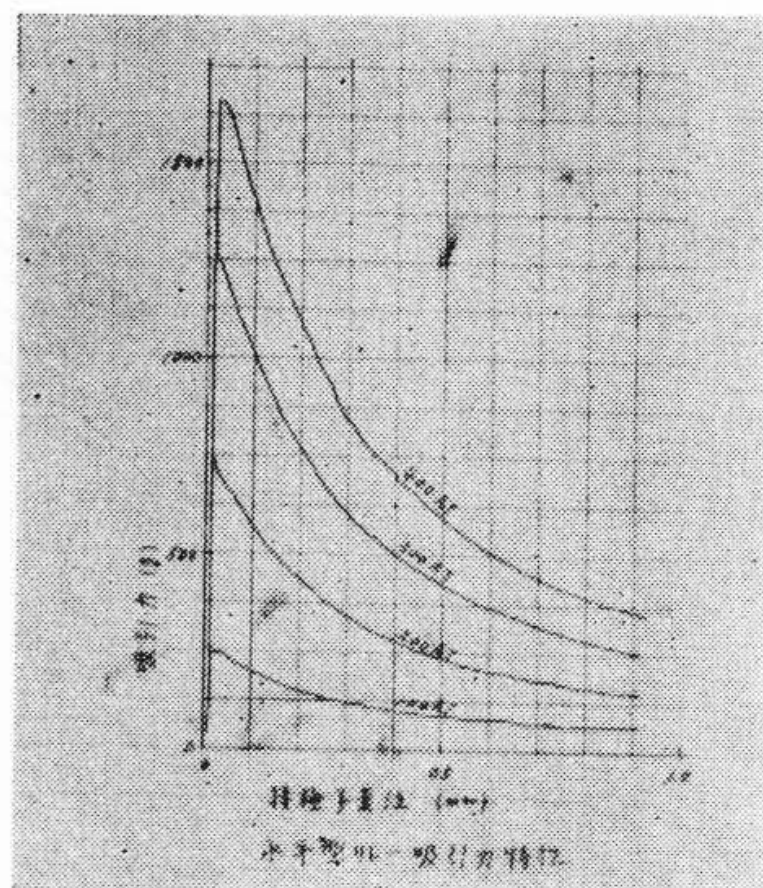
(C) 増幅器

第10図に増幅器回路でメータで吸引力—変位を直読する場合である。歪計の動作を説明すると次のようになる。

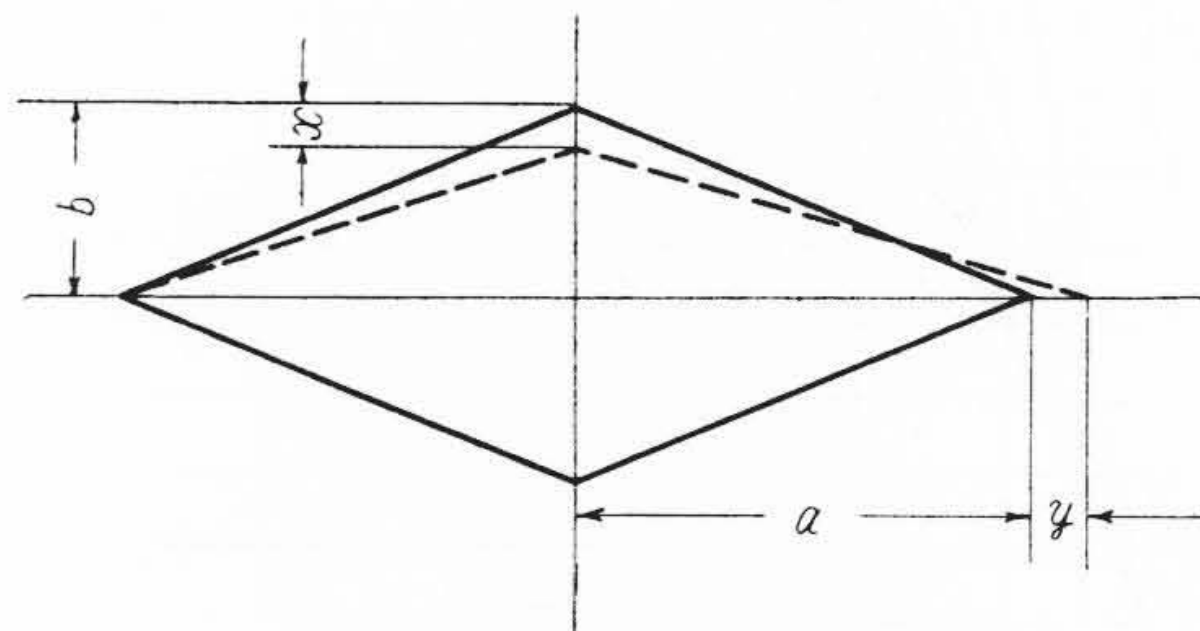
第9図で、鉄心がコイルの中正位置にあつたとすれば励磁コイル C_1 に対し C_2, C_3 の二次コイルは、方向相反する巻線のため第10図変圧器二次側には電圧は出ない。電源は V_6 で $1,000\text{ c/s}$ を発振させ、標準 D.T.F₂ のコイルおよび励磁コイル C_1 を励磁する。

鉄心中正位置における指示電流計 M の0点調整は VR_1 なる端子で行い、標準調整は D.T.F₂ の標準抵抗 R_{15}, R_{16} から出る標準電圧を、この増幅器の V_1 の入力として指示計 M がフルスケールになるよう VR_2 を加減して利得を常に一定とする。 R_3, R_4 は測定範囲を変えるため $500, 3,000\text{ g}$ の二目盛となつている。

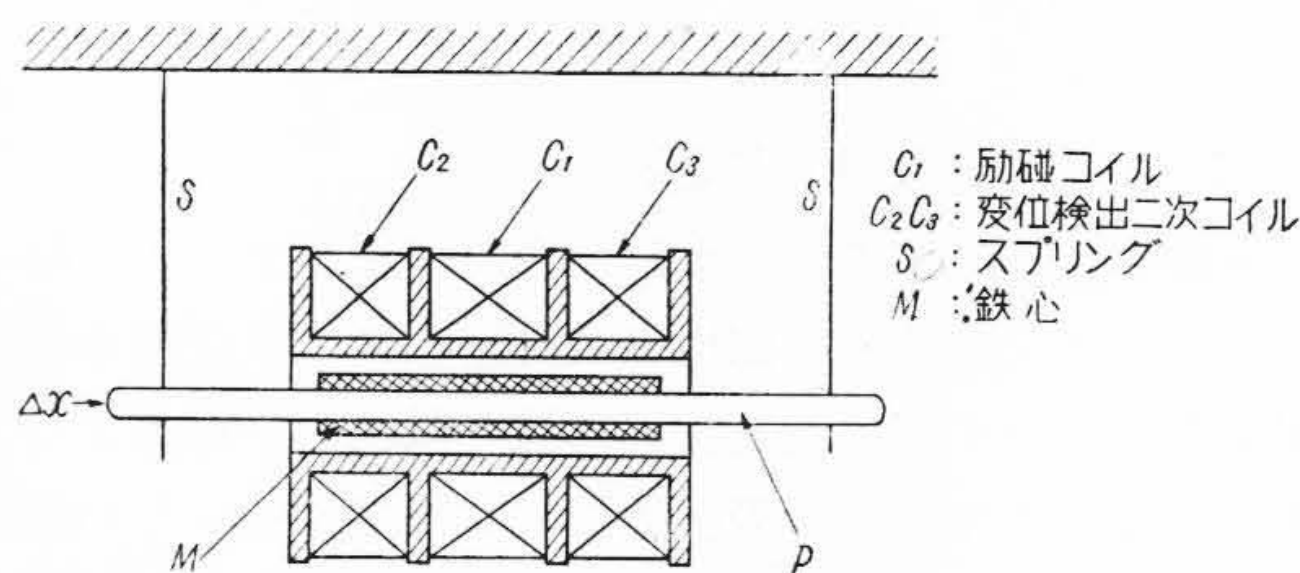
荷重の最大 $3,000\text{ g}$ は差動変圧器の変位 0.36 mm に相当する。これは第8図吸引力伝達機構で説明したように、アーマチュア変位としては 0.01 mm 以下に設計してあるから、吸引力検出のためのアーマチュア変位は省



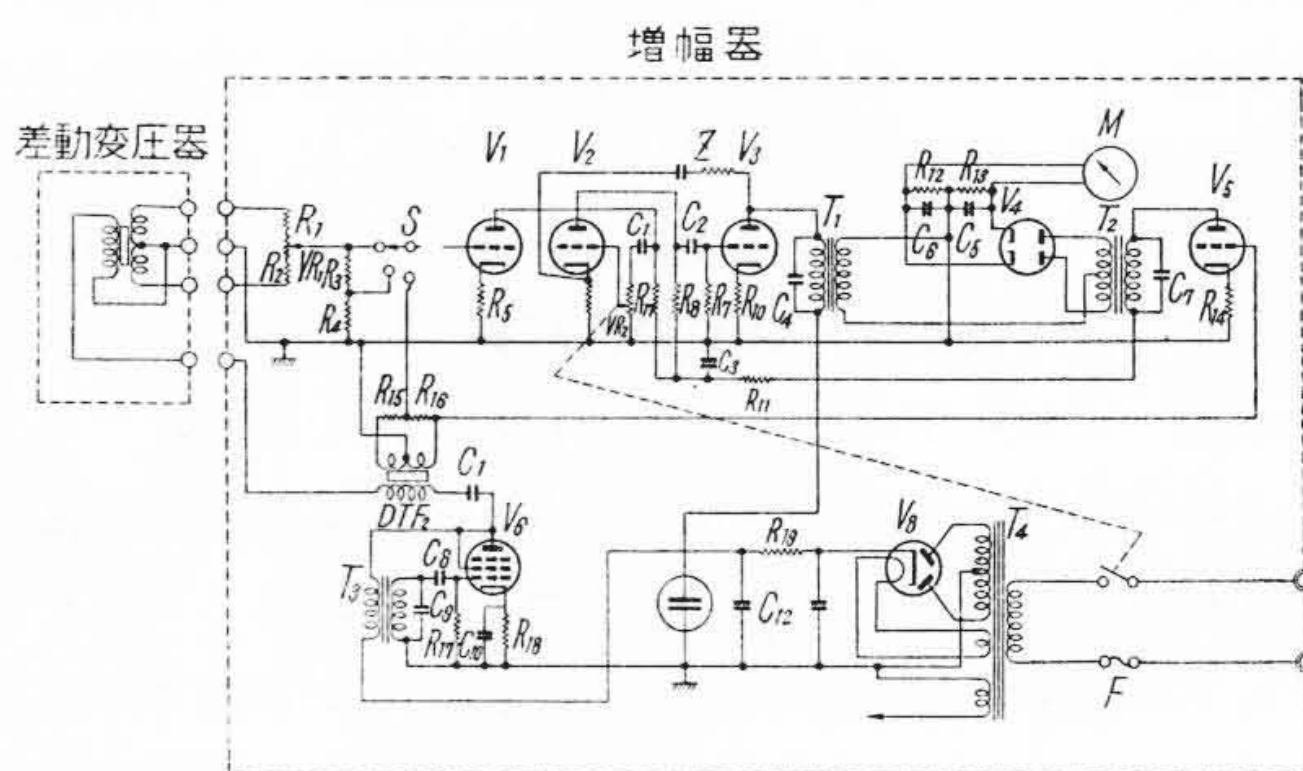
第7図 差動変圧器式吸引力自動記録装置測定例



第8図 拡大機構



第9図 差動変圧器の構造



第10図 差動変圧器用増幅器

略できて、荷重→力量計変位→荷重の変換が比例関係で求まる。

第11図は差動変圧器をアーマチュア変位検出に用いた場合で、全変位 0.1 mm でも全変位 1 mm でも増幅器

のフルスケールまで直線性が確保されている。

(4) 振り磁歪効果による吸引力測定

(A) 振り磁歪効果の説明⁽⁴⁾

振り磁歪効果とは、縦軸方向に磁化された強磁性体の棒を振ることにより円周方向に磁化を生ずる現象をいい、磁歪現象に関するキルヒホッフの理論によれば次のごとく説明される。すなわち、磁気の強さを歪の函数と考えて座標軸を歪の主要軸の方向にとると、その方向の磁気の強さ I_x , I_y , I_z は次式により与えられる。

$$\begin{aligned} I_x &= \left\{ K - K' \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) - K'' \frac{\partial u}{\partial x} \right\} H_x \\ I_y &= \left\{ K - K' \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) - K'' \frac{\partial v}{\partial y} \right\} H_y \\ I_z &= \left\{ K - K' \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) - K'' \frac{\partial w}{\partial z} \right\} H_z \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (10)$$

ただし u , v , w は座標 (x, y, z) なる点における分変位で、 H_x , H_y , H_z はその点における x , y , z 方向の磁場の強さである。また K , K' , K'' の定数中 K は歪が零なる時の磁気の強さと磁場の強さの比であつて通常の磁化率に等しい。 K' および K'' はそれぞれ体積および長さの変化が磁気に及ぼす影響をあらわす係数であつて、いわゆるキルヒホッフの定数である。しかし実際においては、 K' および K'' は K と同じく真の定数ではなくて磁場の強さの函数である。

さて管状棒に振りモーメントをあたえた時の歪の主軸は縦軸と45度の角をなすところのたがいに直角なる二方向である。いま試料の中心より r なる距離にある点について考えるに、この点を座標の原点とし x , y 軸を歪の主軸の方向にまた z 軸を半径の方向にとり、棒の縦軸の方向における単位長さの振りを τ とすれば、

$$\frac{\partial u}{\partial x} = +\frac{1}{2}\tau r, \quad \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{2}\tau r, \quad \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

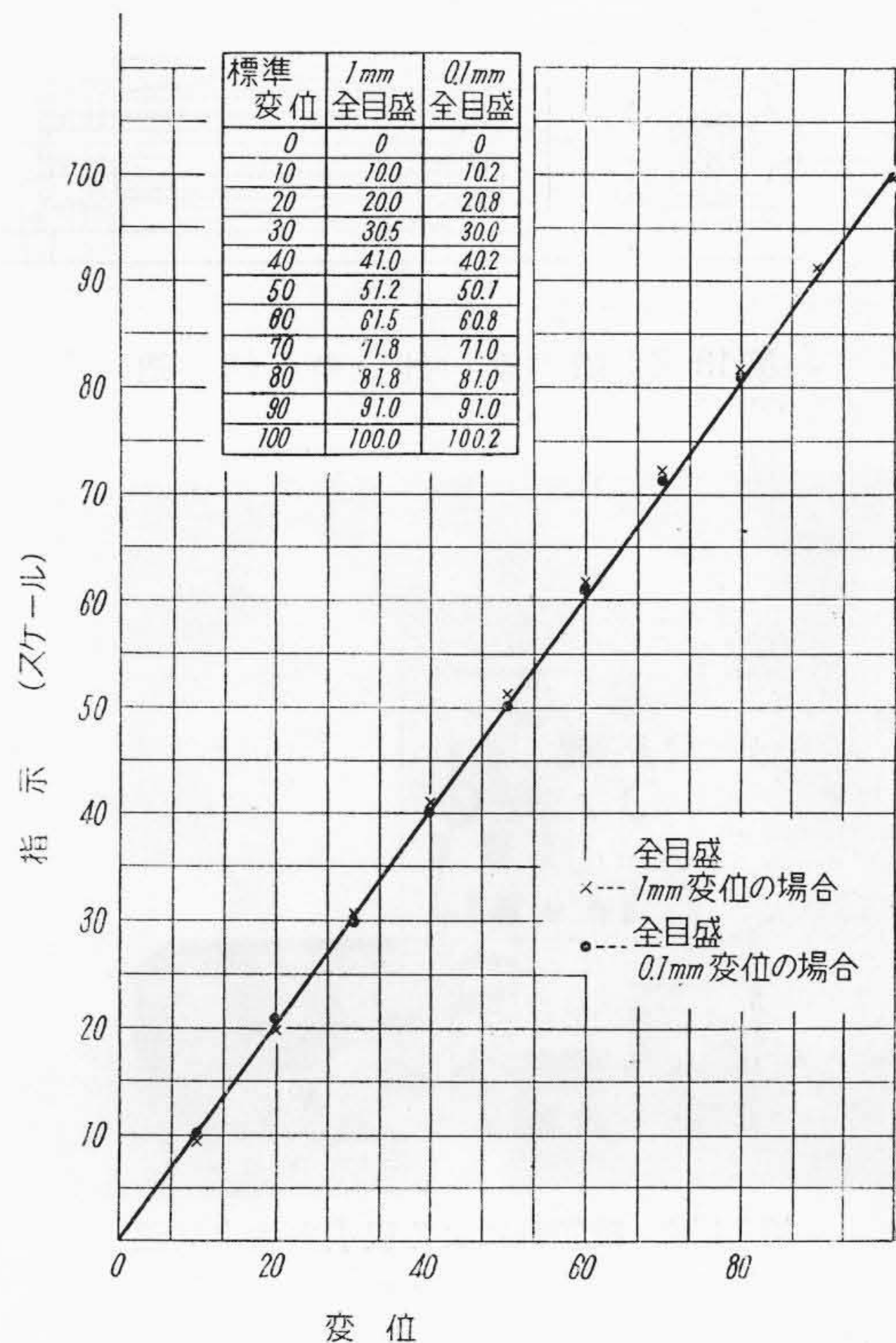
これらをキルヒホッフの式に代入すると、

$$\begin{aligned} I_x &= \left(K - \frac{1}{2}\tau r K'' \right) \frac{H}{\sqrt{2}} \\ I_y &= \left(K + \frac{1}{2}\tau r K'' \right) \frac{H}{\sqrt{2}} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (11)$$

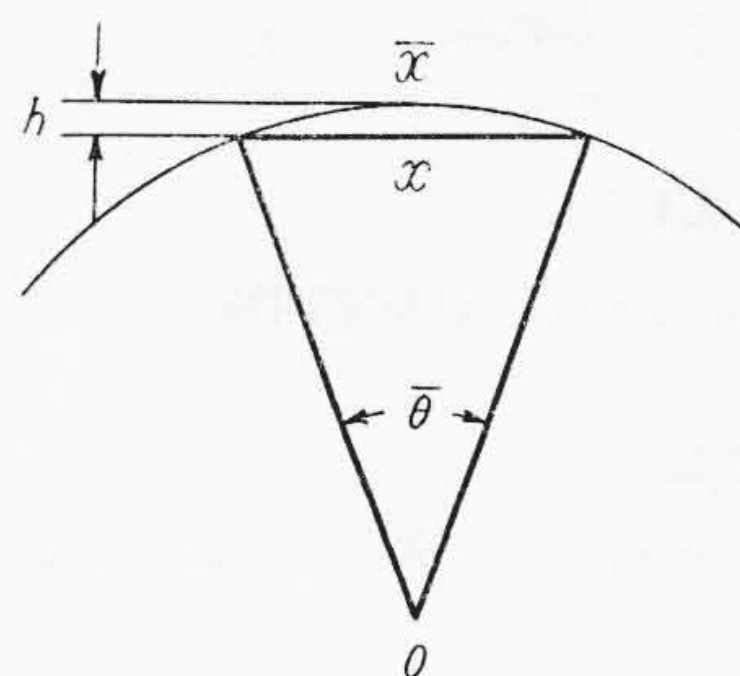
したがつて円周方向の磁化すなわち輪状磁化の強さを I_c とすれば、

$$I_c = I_x \frac{1}{\sqrt{2}} = I_y \frac{1}{\sqrt{2}} = -\frac{1}{2}\tau r K'' H \quad \dots\dots (12)$$

I_c は r により変化するが管状棒の切断面全体における平均値を $\bar{I}_c$ とすれば、棒の内径を $2R_1$, 外径を $2R_2$ として、



第11図 差動変圧器による変位計の特性



第12図 振り磁歪計の変位

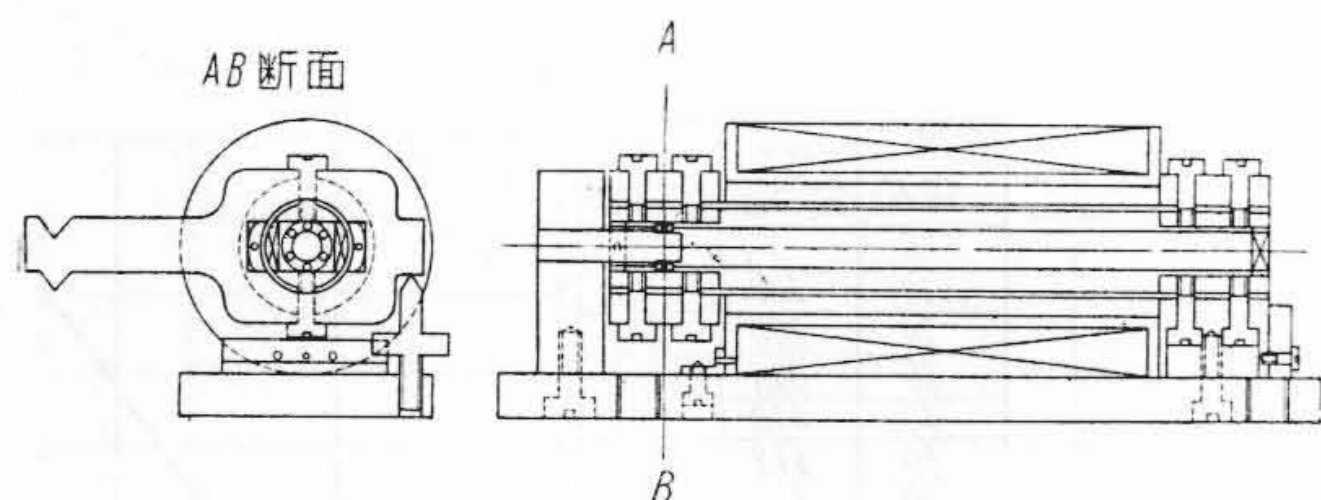
$$\begin{aligned} \bar{I}_c &= \frac{1}{\pi(R_2^2 - R_1^2)} \int_{R_1}^{R_2} 2\pi r dr I_c \\ &= -\frac{1}{3} \frac{R_2^3 - R_1^3}{R_2^2 - R_1^2} \tau K'' H \quad \dots\dots\dots (13) \end{aligned}$$

すなわち、

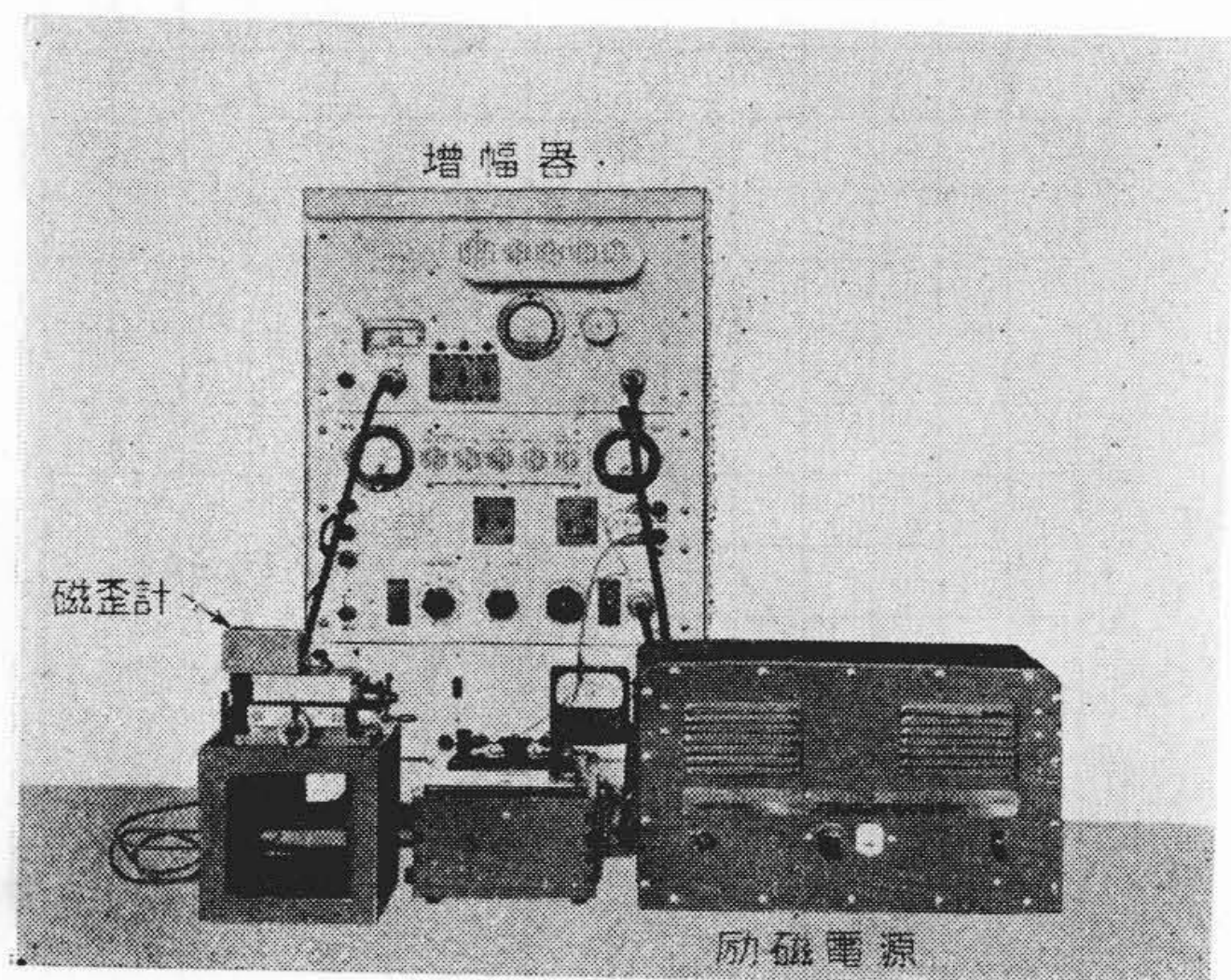
$$\bar{I}_c = C \tau K'' H \quad \dots\dots\dots (14)$$

ただし $C = -\frac{1}{3} \frac{R_2^3 - R_1^3}{R_2^2 - R_1^2}$ にして棒の大きさによつて決まる定数である。平均輪状磁化は振りの角 τ , 磁場の強さ H に比例するとともに、キルヒホッフの定数 K'' に比例することがわかる。

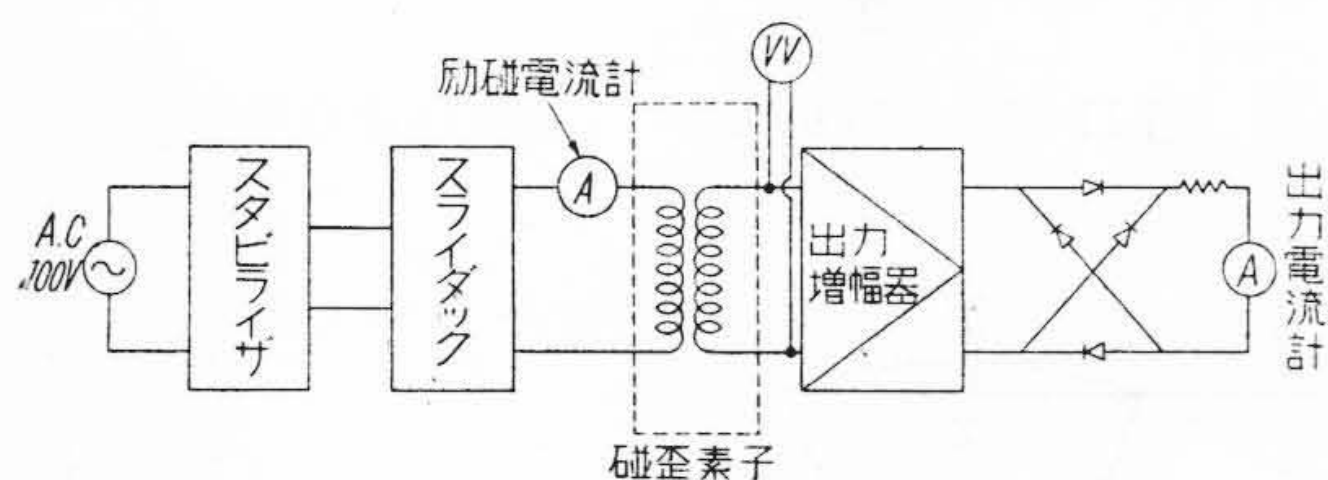
以上が直流磁場における振り磁歪効果であるが、力量計その他に応用するためには交番磁場における本効果を取り扱う必要がある。



第 13 図 磁歪計の構造



第 14 図 磁歪計による吸引力検出装置



第 15 図 磁歪計による吸引力測定回路

(B) 振り磁歪計設計要領

1 kg の計器の場合につき説明すると次のようになる。
条件として、

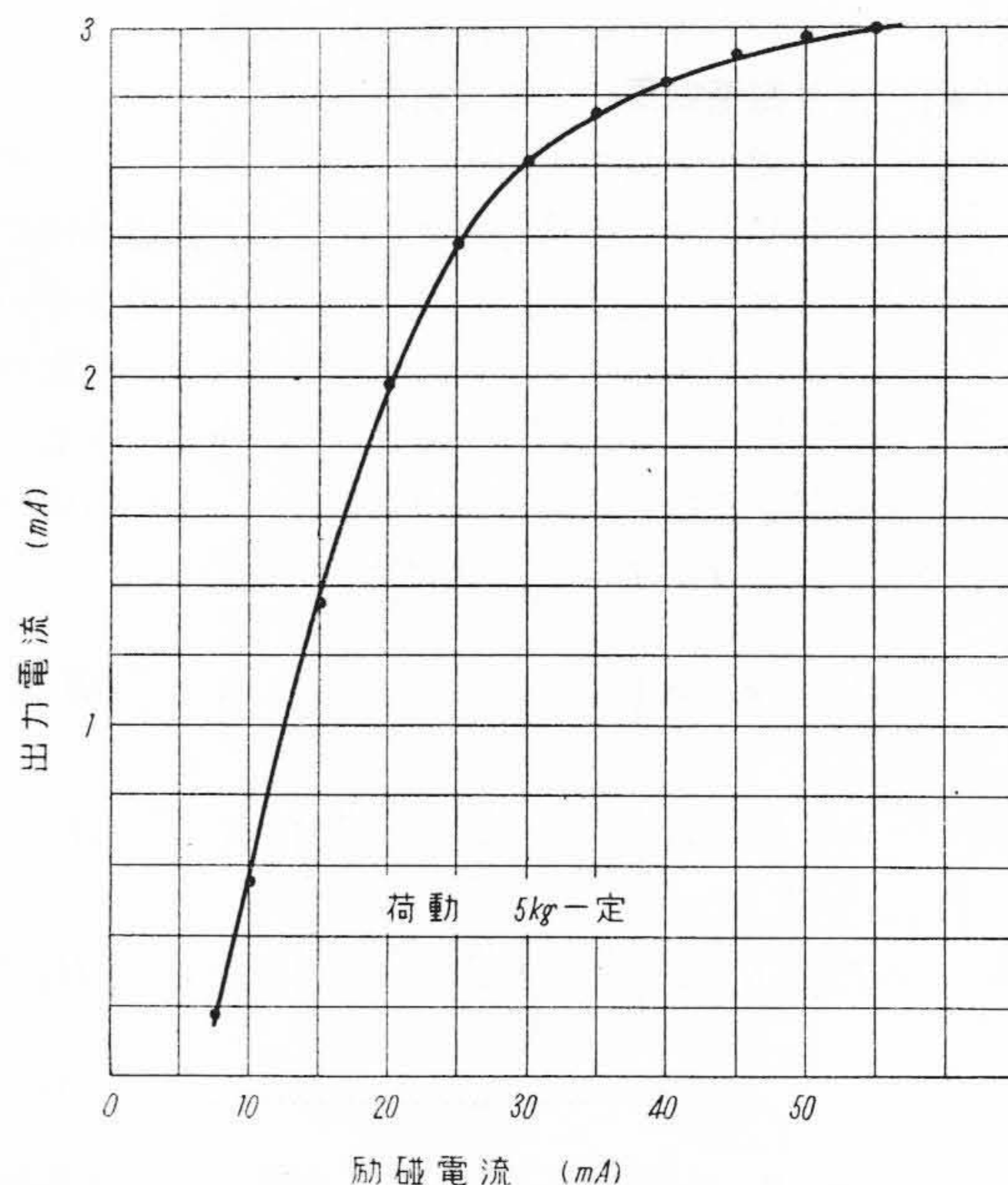
1. 荷重 $W \rightarrow$ 静荷重 1 kg。
2. 変位ができるだけ小なること。
3. 腕の負荷点は約 20 mm くらい (2 kg-cm)。
4. 出力はできるだけ大なること。
5. 励磁電流は比較的小なること。
6. 感度の点よりアルフェロをゲージとすること。
7. $l: 6R_2$ 一様磁化

(a) 磁歪素子の形状、寸法の決定

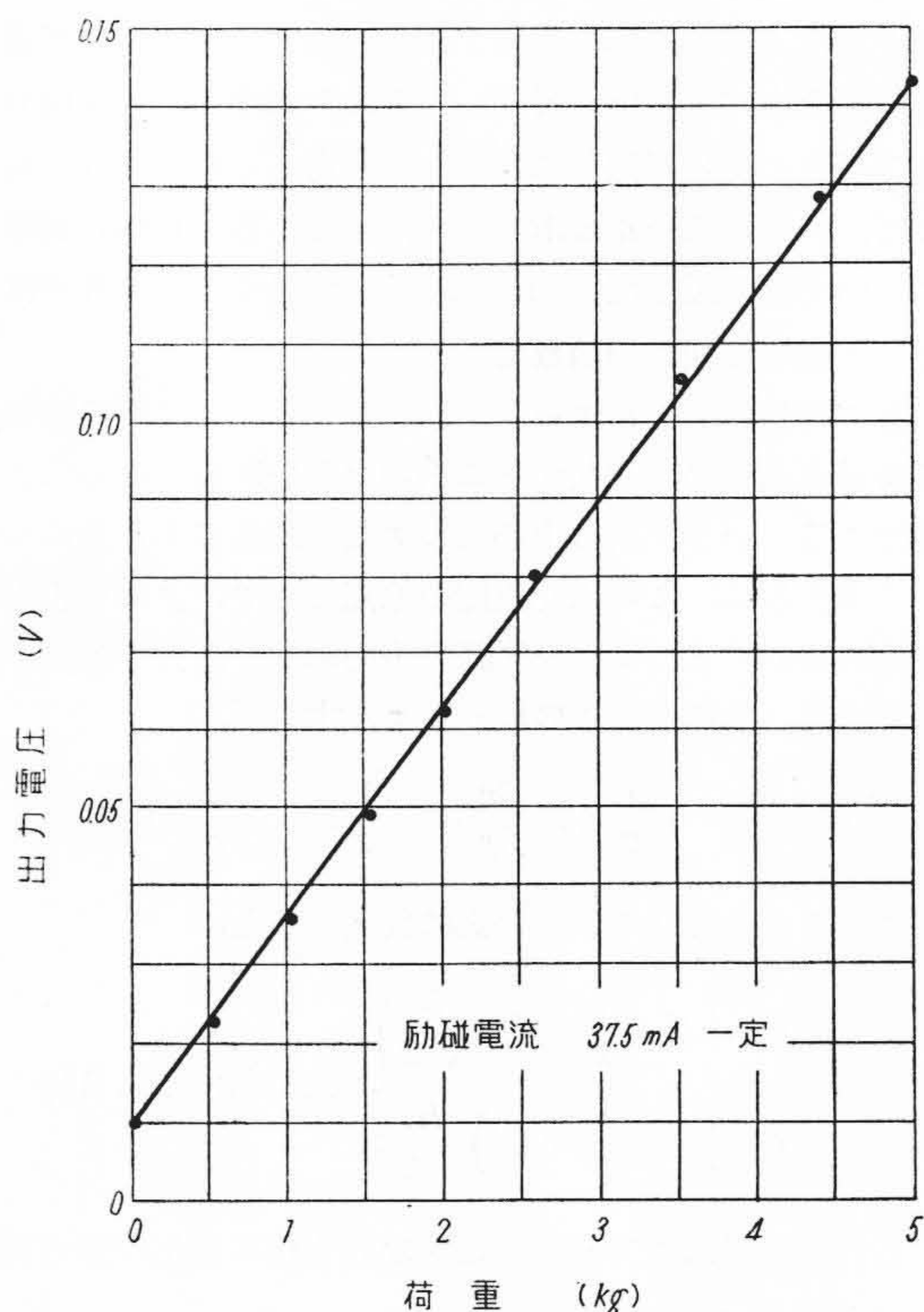
条件 1, 2, 3 より内径を定めて、最大剪断応力を 120 kg/cm² におさえ (15) 式により外径が定められる。

$$\tau = \frac{16R}{\pi(R_2^4 - R_1^4)} T \dots \dots \dots (15)$$

ここに τ : 最大剪断応力 R_2 : 外径
 R_1 : 内径 T : 振りモーメント



第 16 図 励磁電流—出力特性



第 17 図 磁歪による 荷重—出力特性

(b) 変位量の算出

単位長さ当りの振り角を θ とすれば、

$$\theta = \frac{32}{\pi(R_2^4 - R_1^4)} \cdot \frac{T}{G} \dots \dots \dots (16)$$

$G=5.3 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$: 13% アルフェロ

$\tau=102.0 \text{ kg/cm}^2$

を(16)式に代入して $\theta=4.5 \times 10^{-5} \text{ rad/cm}$ パイプ
固定点より腕固定点の長さ $l=(36\text{mm})$ とすると、
腕の中心位置における振り角 $\bar{\theta}=1.62 \times 10^{-4} \text{ rad}$, し
たがつて、腕の負荷点における変位 $\bar{x}$ は第12図にお
いて、

$$\bar{x}=3.402 \times 10^{-3} \text{ mm} \dots\dots\dots (17)$$

真の変位 $x=\sqrt{\bar{x}^2-\frac{16}{3}h^2}$ である。

(C) 磁歪計の特性

吸引力検出素子の構造を第13図に、その実際の装置
を第14図に示す。検定用分銅のかかっているところに
継電器接極子を取りつけるわけである。吸引力測定回路
は第15図による。

(a) 励磁電流と出力との関係

5 kg 全目盛の吸引力素子の場合 5 kg の荷重をかけ
ておいて、第15図の回路で励磁電流をかえると第16
図の曲線がえられる。ゆえにもし励磁電流が電源の変
動で 36 mA~39 mA まで変動したとして、すなわち、
8%変動したとしても検出出力としては2.14%の変動
となる。しかし実際には図のように電源を安定化して
いるから変動による誤差は問題としなくてよい。

(b) 吸引力と出力との関係

励磁電流 37.5 mA 一定とした場合の吸引力—出力特
性を第17図に示す。十分な直線性をうることができ
る。出力を電流計で読みとる場合は、その増幅、整
流、回路の直線性に注意する必要がある。

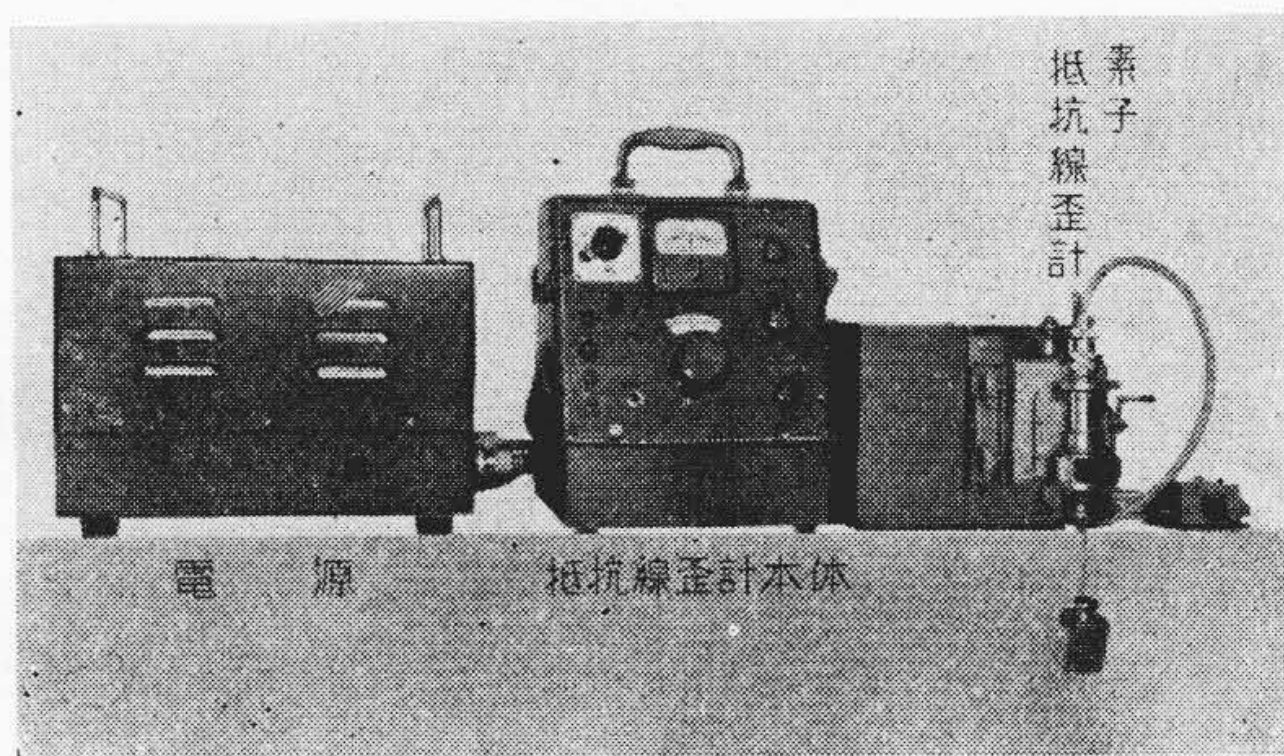
(5) 抵抗線歪計による吸引力測定

非接着型抵抗線歪計は機械的変位を小支柱の間隙変化
に移し、これにより小支柱間に非
接着的に張つてある抵抗線の抵抗
変化に変換する。抵抗線はブリッ
ジに組まれて出力変化を大にする。
実際の装置を第18図に示す。
写真は検定用分銅をつけたところ
で、その点に継電器接極子を取付
けて測定する。測定回路は第19
図による。

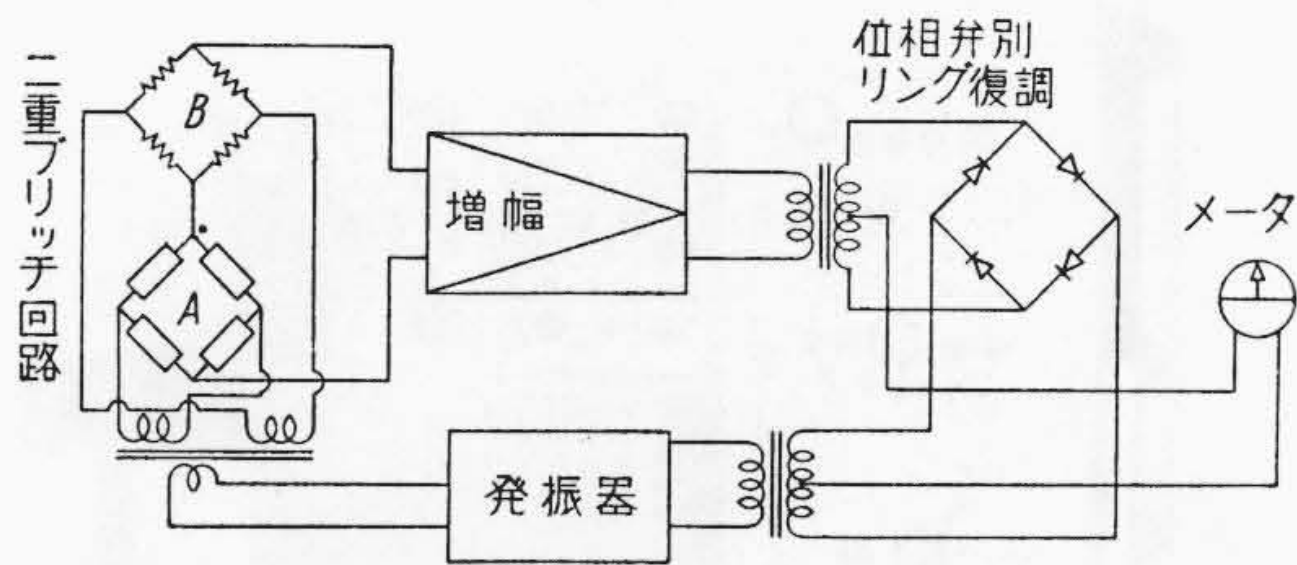
Aブリッジが歪計でダイヤル直
読とし、かつ広範囲に同一精度で
測定できるようにするためBブリ
ッジを附加してある。Aブリッジ
の出力と同電圧で逆位相の出力
 E' をBブリッジで生ぜしめて、
 $E+E'$ の代数和が0となるよう
にBブリッジを操作して測定値を

うるようにする。ブリッジの平衡点を見るにただ交流電
圧計を振らした場合、平衡調整抵抗が大きくなつても小
さくなつても同じ方向に振れる。それでは測定困難であ
るから位相弁別回路により抵抗線歪計の抵抗の変化方向
をわかるようにしてある。測定結果を第20図に示す。

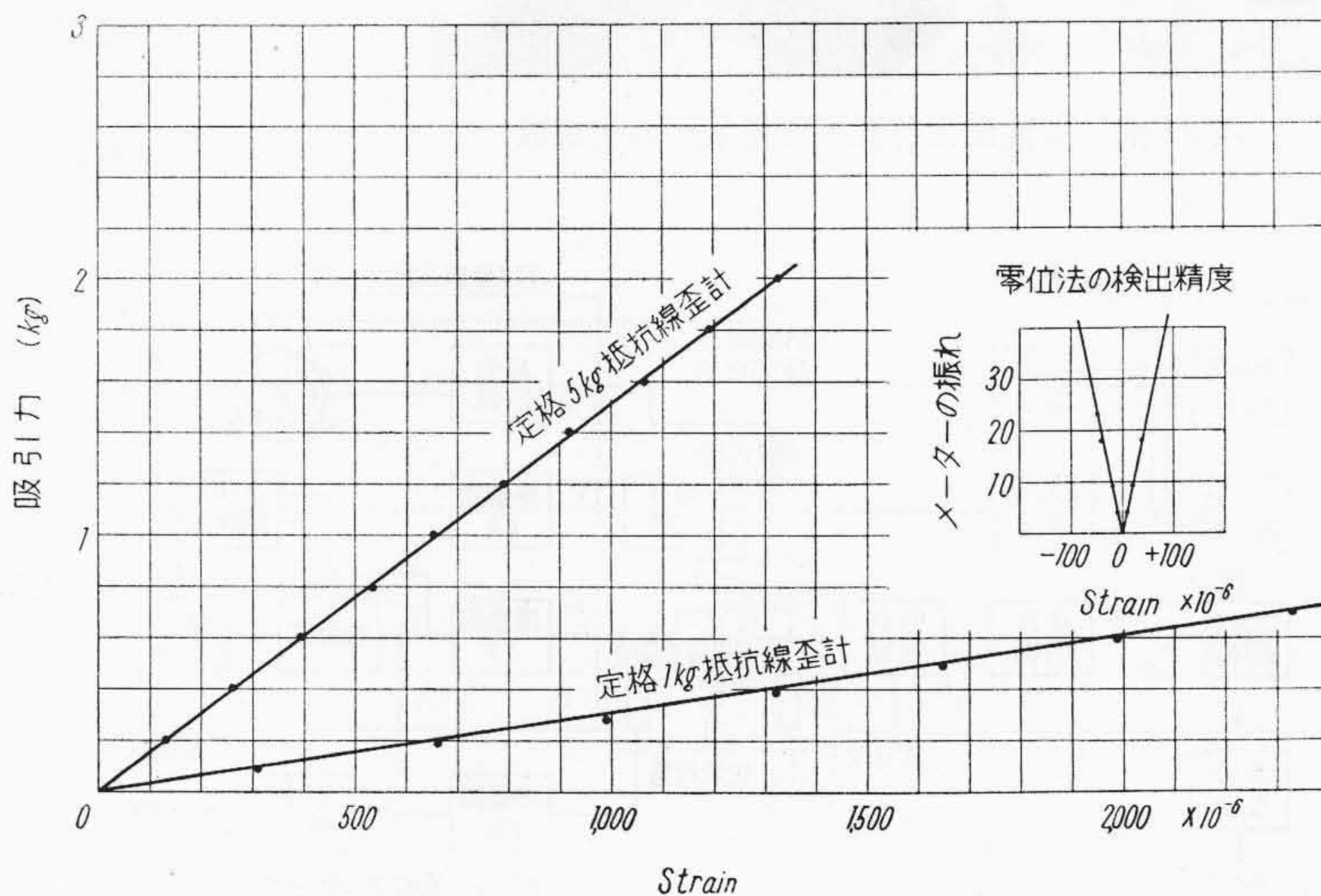
歪計定格に対する最大出力を出すためには変位が 0.04
mm 程度である。ゆえに 1 kg 定格素子では感度はよい
が 0.04mm の変位誤差を生ずる。5 kg 定格素子で 1 kg
までの測定に使えば変位誤差は 0.01 mm 以下になる。
検出精度は検出メータ 2 目盛あたり strain 10×10^{-6} で



第18図 抵抗線歪計による吸引力測定器



第19図 抵抗線歪計による吸引力測定装置回路図



第20図 抵抗線歪計式吸引力測定器の特性

ある。ゆえに零位法で 1 目盛 5×10^{-6} の平衡検出はできる。5 kg 素子で 100 g 測定に 130×10^{-6} strain であるから精度 4 % 以内で可能である。

(6) 各測定法の比較結果

磁化特性より数値計算により求める方法は、磁気回路解析のためには実施すべき重要な項目であるが測定器とはいえない。

振子形は構造操作簡単であるから、ある空隙、ある AT 1 点をきめて多数の試料測定などには使えるが測定器としては実用性が低い。

差動変圧器による場合は、変位計としてはこれにまさるものはないが吸引力検出には菱形拡大機構を使うので構造複雑で大型となり相互関係が微妙で保守が面倒である。空隙 0 で吸引力最大になる取付方法困難である。

振り磁歪計は原理的に変位計としては不適當であるが、吸引力検出には 5 kg 最大負荷でも感度よく変位誤差は容易に 0.01 mm 以下にできる。

抵抗線歪計は最大負荷変位誤差 0.04 mm 程度であるから、定格の $\frac{1}{4}$ 程度で使えば変位誤差 0.01 mm 以下にできる。しかし、零位法によらないと十分な感度がえら

れない。

零位法による場合は、非常に手軽に精度よく吸引力が測定できて実用的である。

以上より、変位測定には差動変圧器を用い、吸引力測定には振り磁歪計を用い、X-Y recorder にて自動記録するのが一番よいものと判定する。

〔III〕 動的磁化特性測定器⁽⁵⁾

継電器の電気回路の開閉にあたって、励磁電流 i 、誘起磁束 ϕ 、接極子変位 x の動的な特性がどのような状態であるかを知ることが実際の設計上必要である。このための専用測定器として二素子のブラウン管により、 i 、 ϕ 、 x を同時に直視するオシロスコープを製作した。その構造外観を第 21 図に示す。

(1) 回路および動作原理

第 22 図に示すブロックダイアグラムにおいて、左側が継電器駆動電源でリレー駆動用出力とそれに同期した時間目盛用輝度変調出力、および時間軸発生用パルスを与えている。ゆえに現象は常にブラウン管上にあり測定が容易にできる。

試料の継電器鉄心には、サーチコイルを巻きこの出力は積分回路を通つて直流増幅器 YA へ導かれ、ブラウン管に過渡磁化特性を直視する。

接極子の変位および速度は接極子、鉄心間を通る光量の変化として光電管で受け、変位、速度直視用増幅器へ導かれさらにオシロスコープの増幅器 YC へ導かれる。

一方継電器を駆動する電流による出力は、オシロスコープの増幅器 YB へ導かれ YC 出力とともに二現象切替器を経てブラウン管に表示されるから、電流波形、磁束変化、接極子の変位または速度が同時に観測できる。

時間軸は輝度変調による。掃引に対し駆動回路は、遅延回路をつけ現象の一部も任意に拡大観測できるようにしてある。この装置では 0.1 ms まで測定可能としてありこれより精細にしらべるためには、たとえばテクトロ

社製 545 オシロスコープにより部分的に調べるとよい。

(2) 測定結果

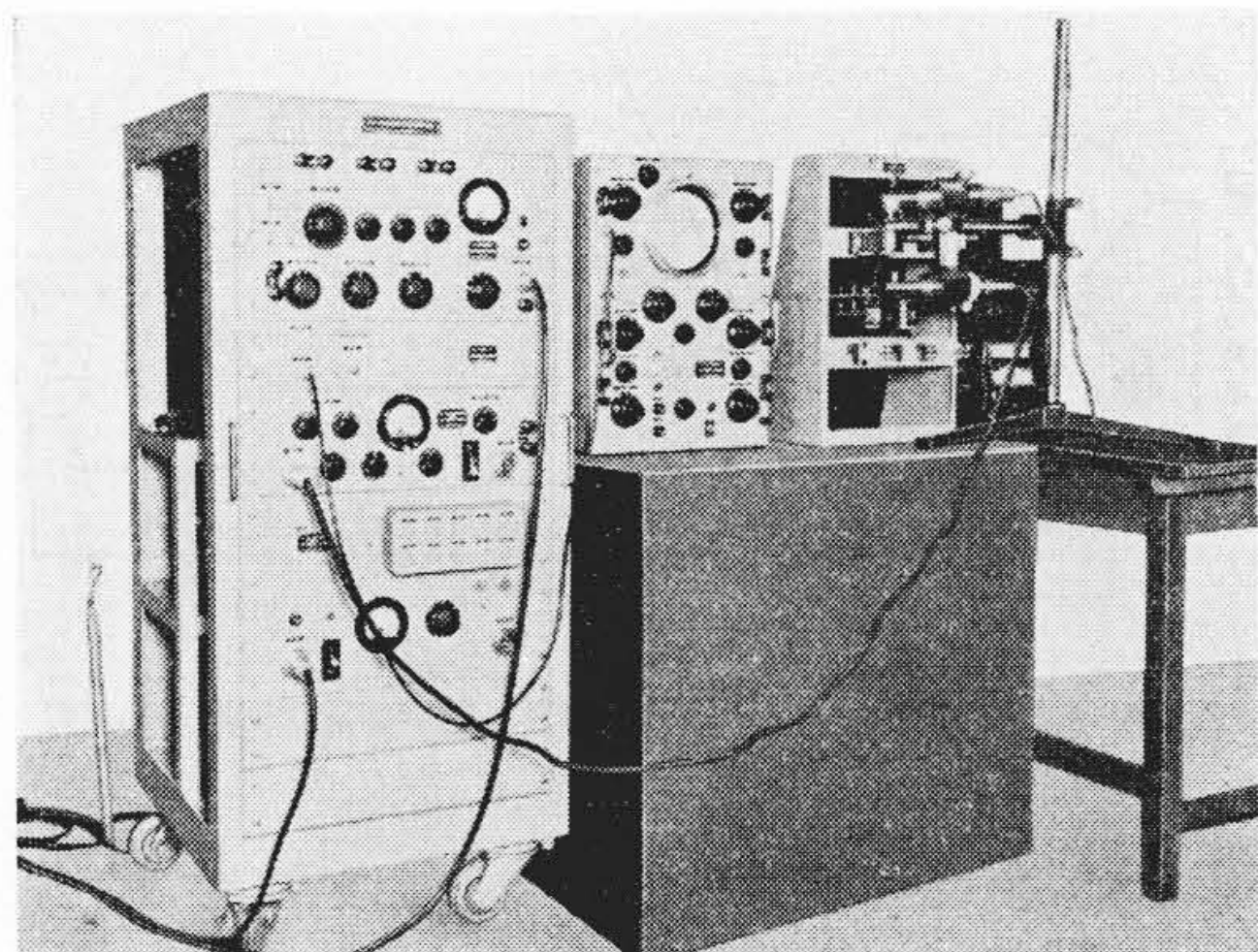
第 23 図の記号 ϕ 、 ϕ' 、 i 、 x は、それぞれ過渡磁束、その微分波形（磁束の変化量）、過渡励磁電流、接極子変位を示す。

微分値で観測し検討した方が変化する割合を調べるには有効である。

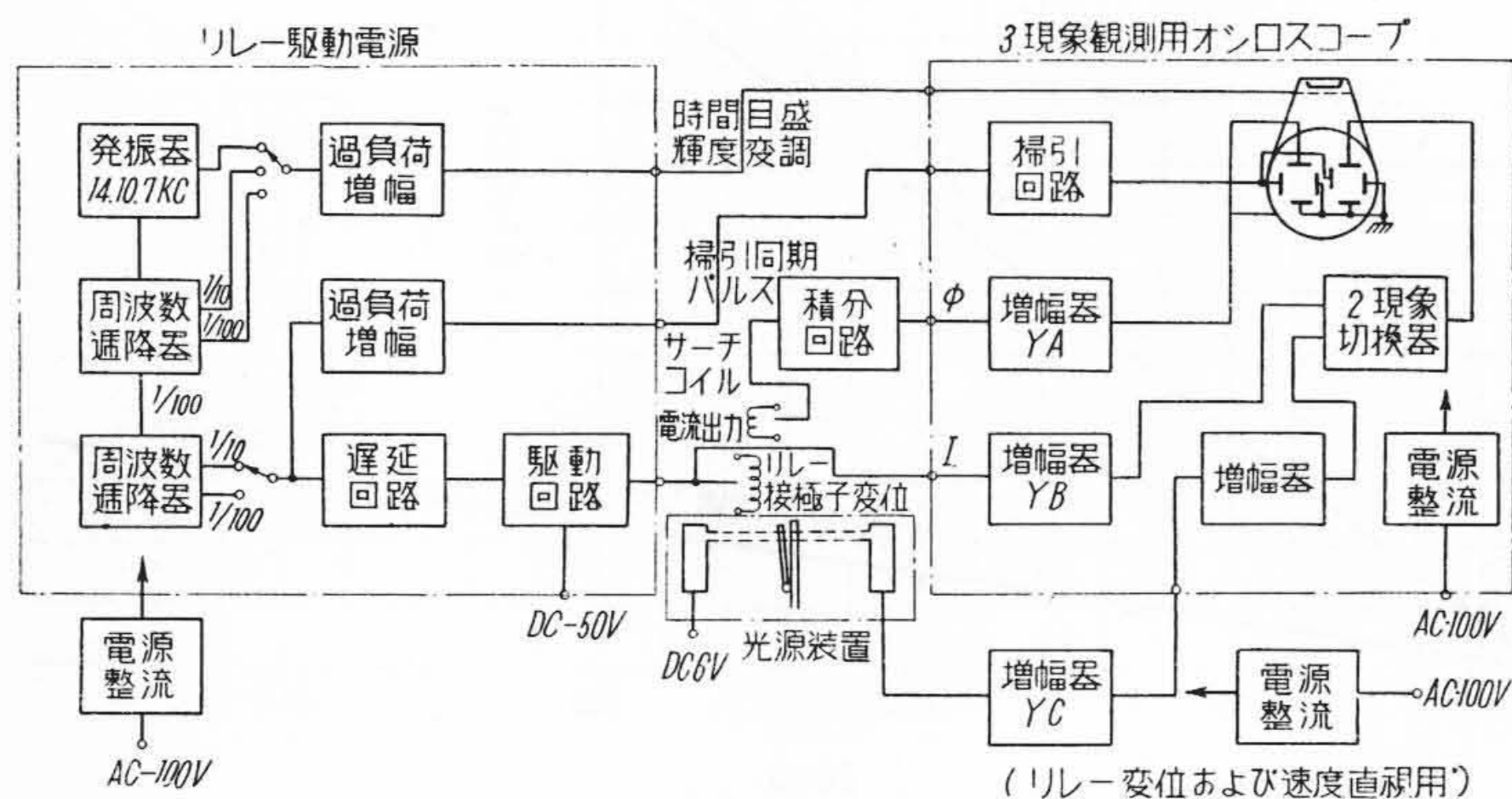
〔IV〕 静的磁化特性測定装置

(1) 直流導磁率計⁽⁶⁾

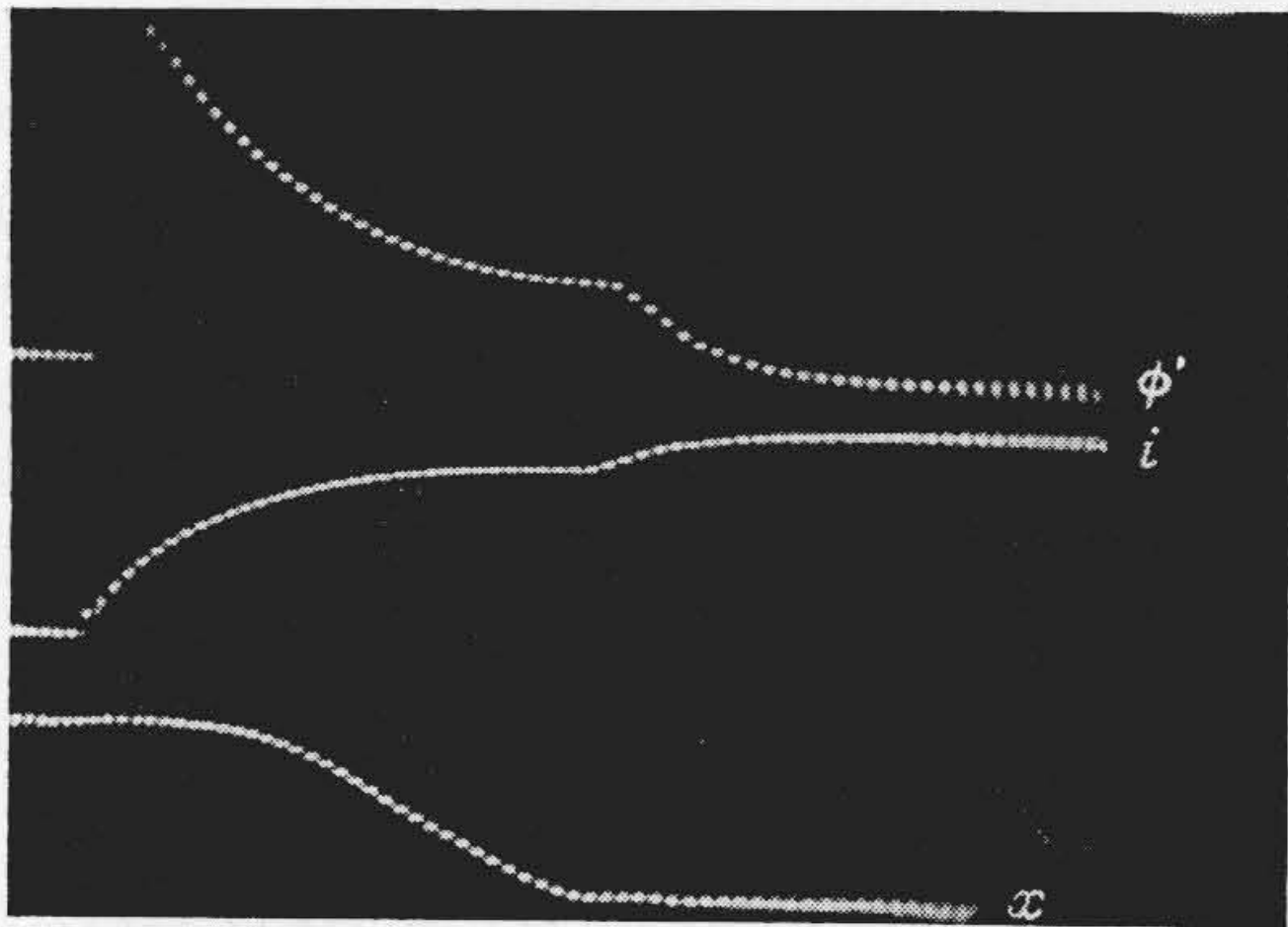
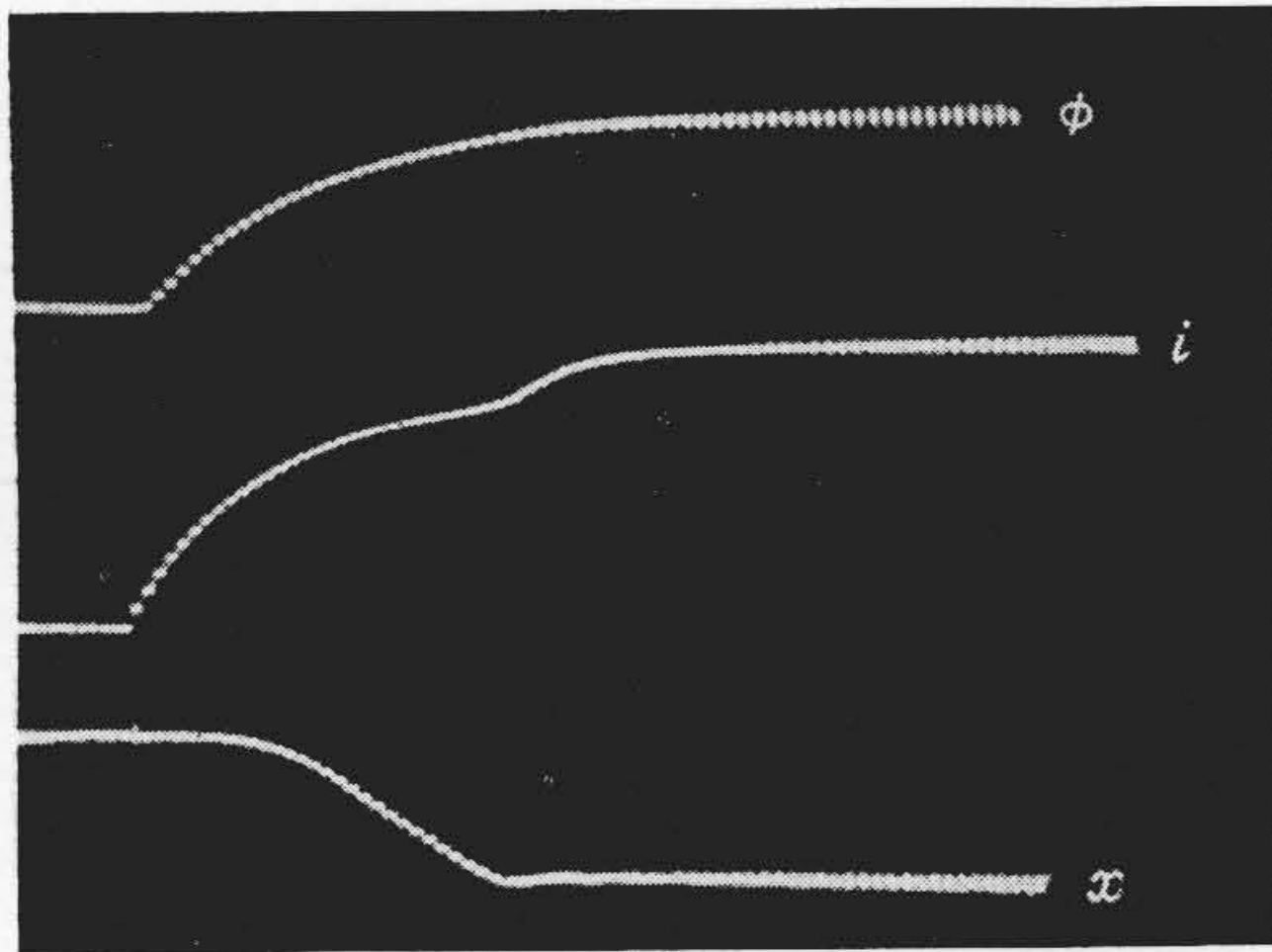
文献⁽⁶⁾にしたがつて製作した装置の外



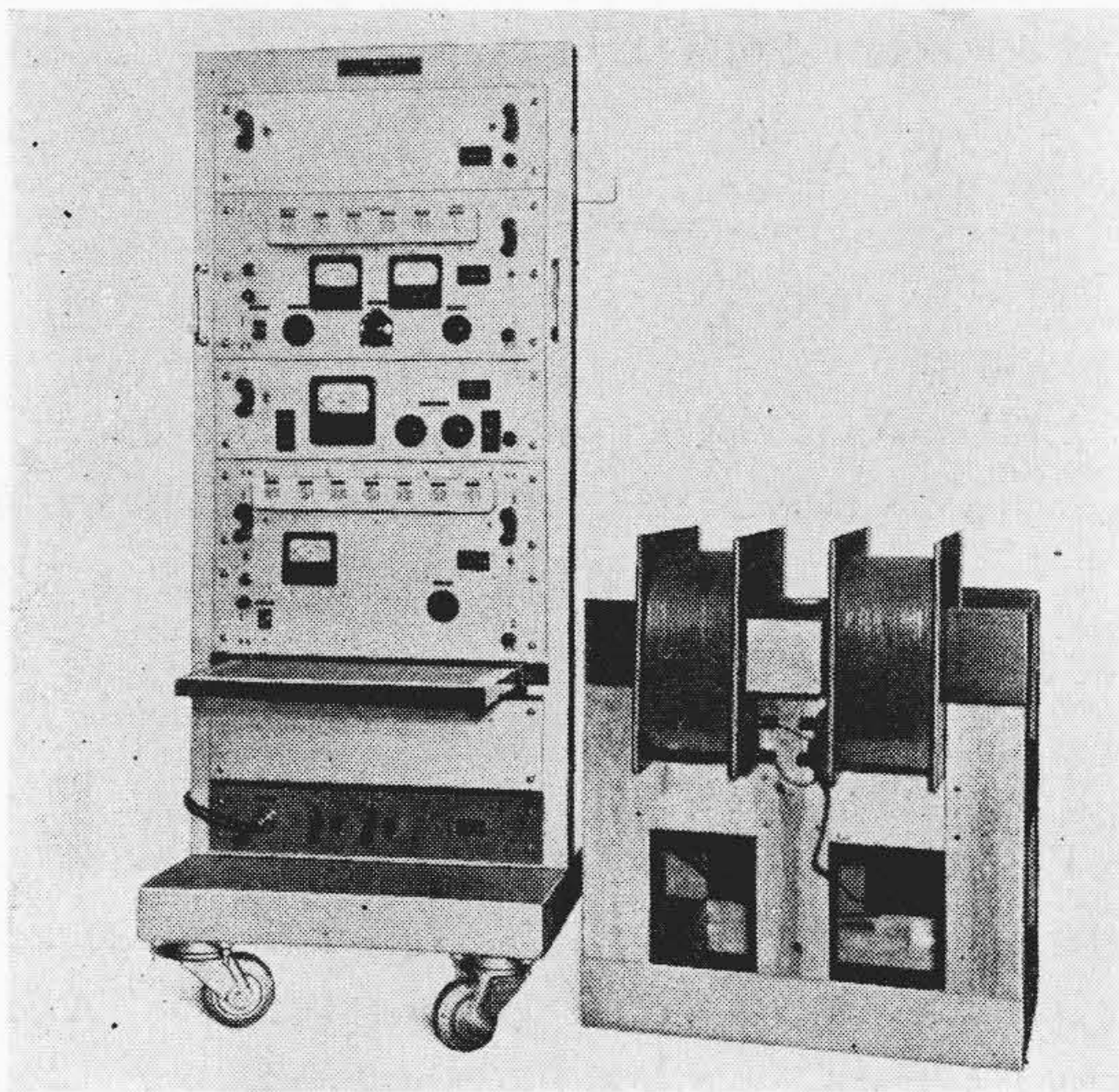
第 21 図 過渡磁化特性（三現象）直視装置



第 22 図 動的磁化特性測定装置ブロックダイアグラム



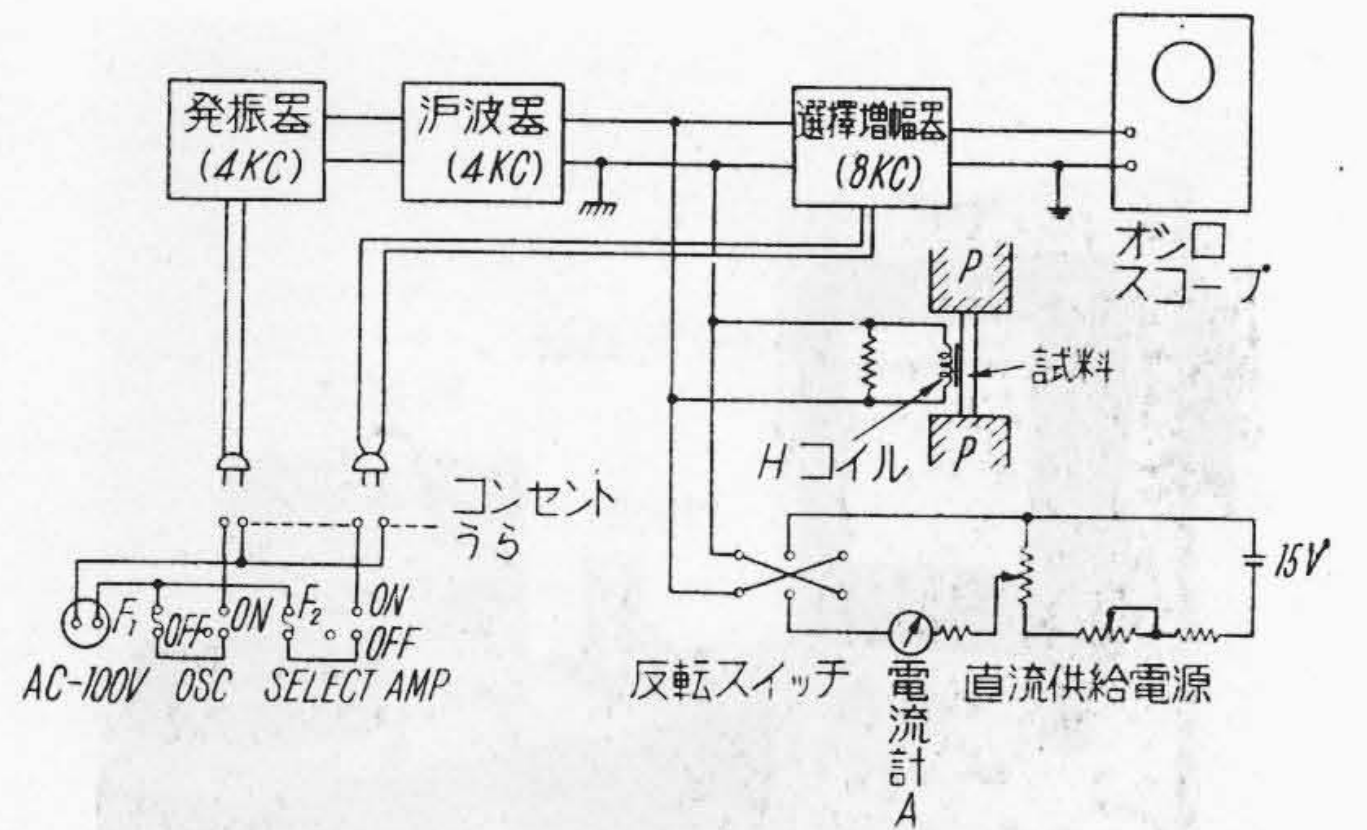
第23図 過渡磁化特性 (ϕ , i , x) の測定例



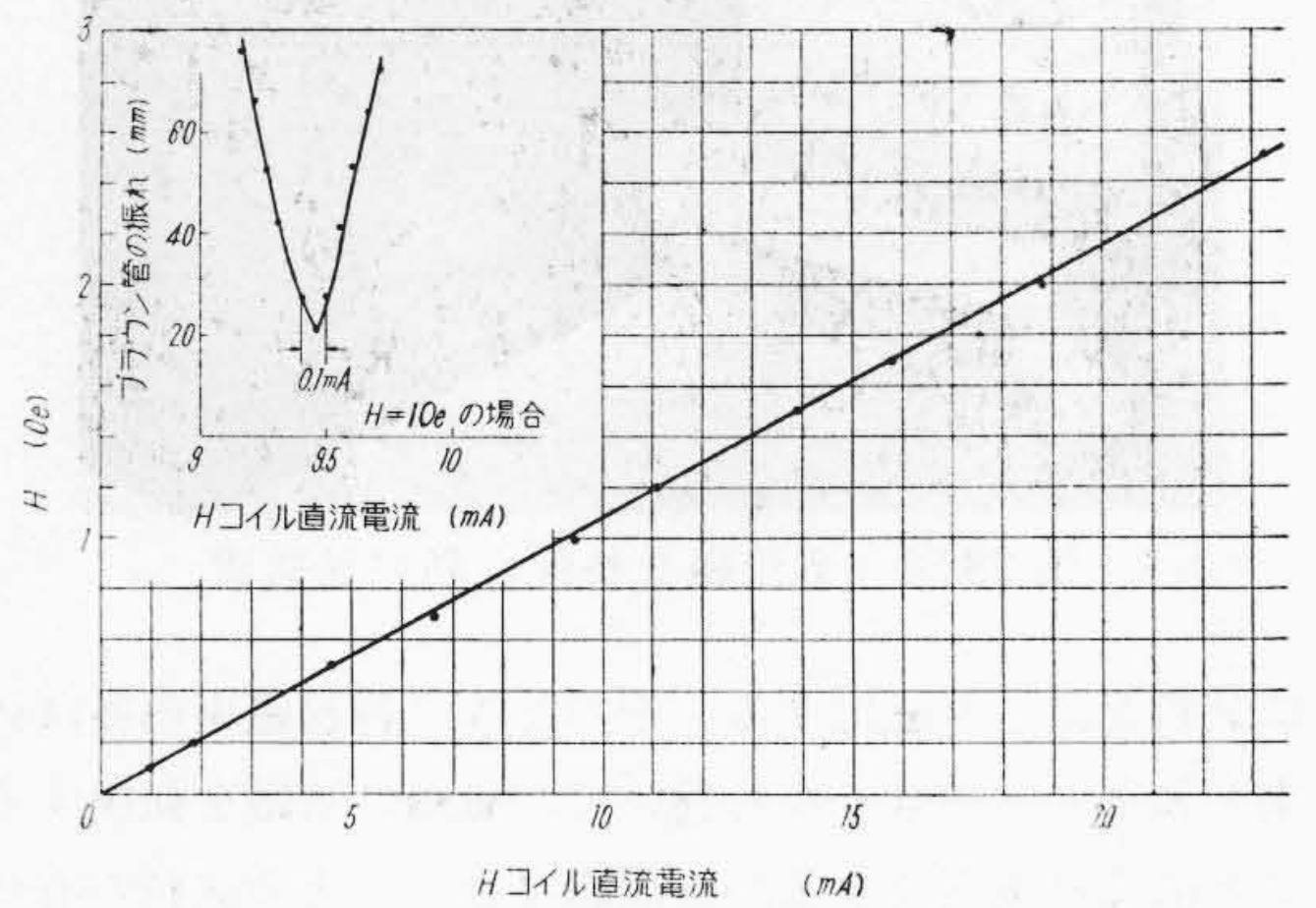
第24図 直 流 導 磁 率 計

観を第24図に示す。

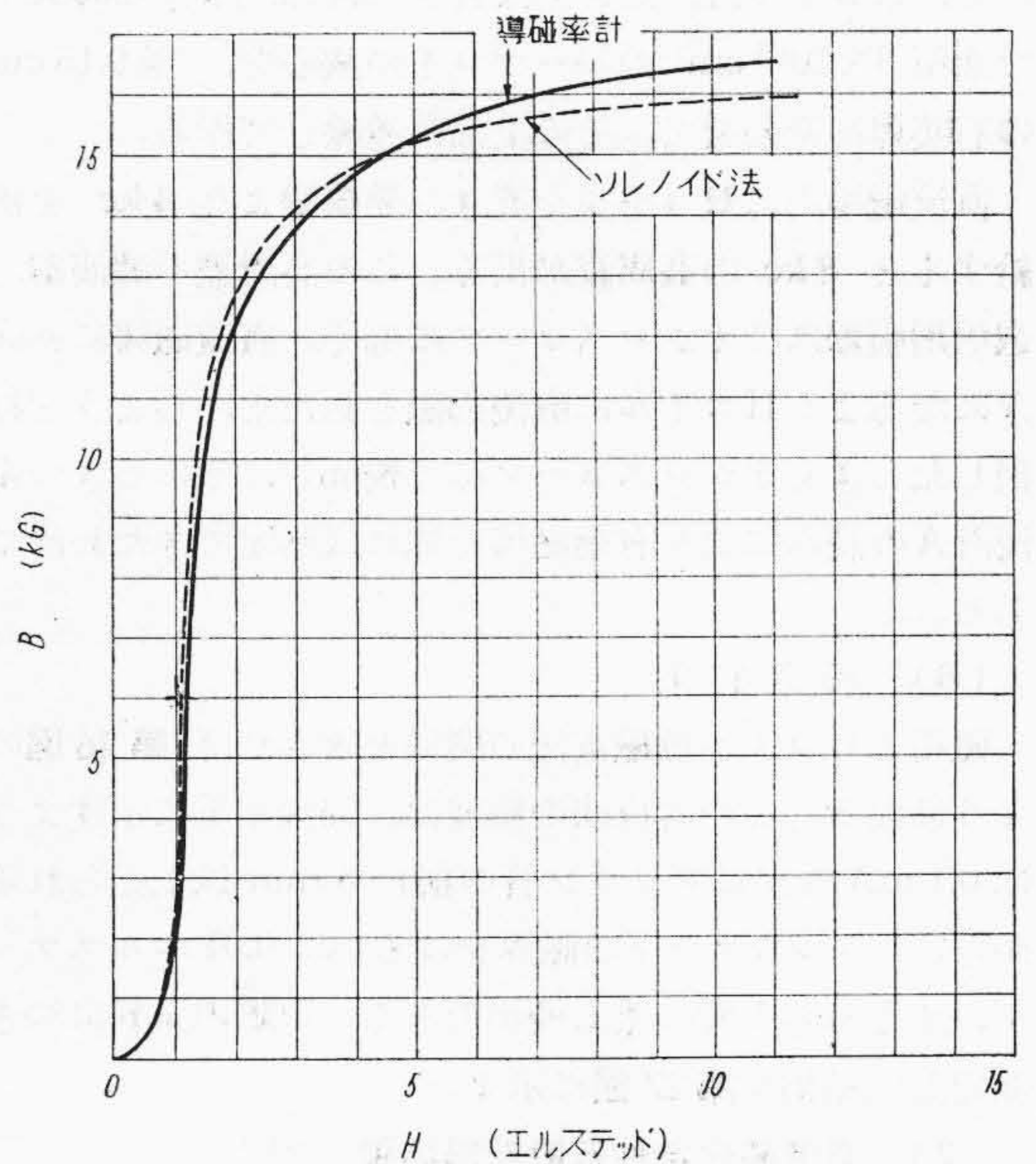
従来、 $10\phi \times 250$ mm 丸棒または 10×250 mm 平板は NS 導磁率計によつていたが、1 エルステッド以下は測定不能である。継電器などの磁気回路解析には、たとえば $9.5\phi \times 80$ mm とか、 $2 \times 10 \times 50$ の平板といった反磁場の大きい磁気部品のままで真の磁化特性を知る必要が



第25図 導磁率計ブロックダイアグラム



第26図 Hコイル逆励磁電流とHとの関係

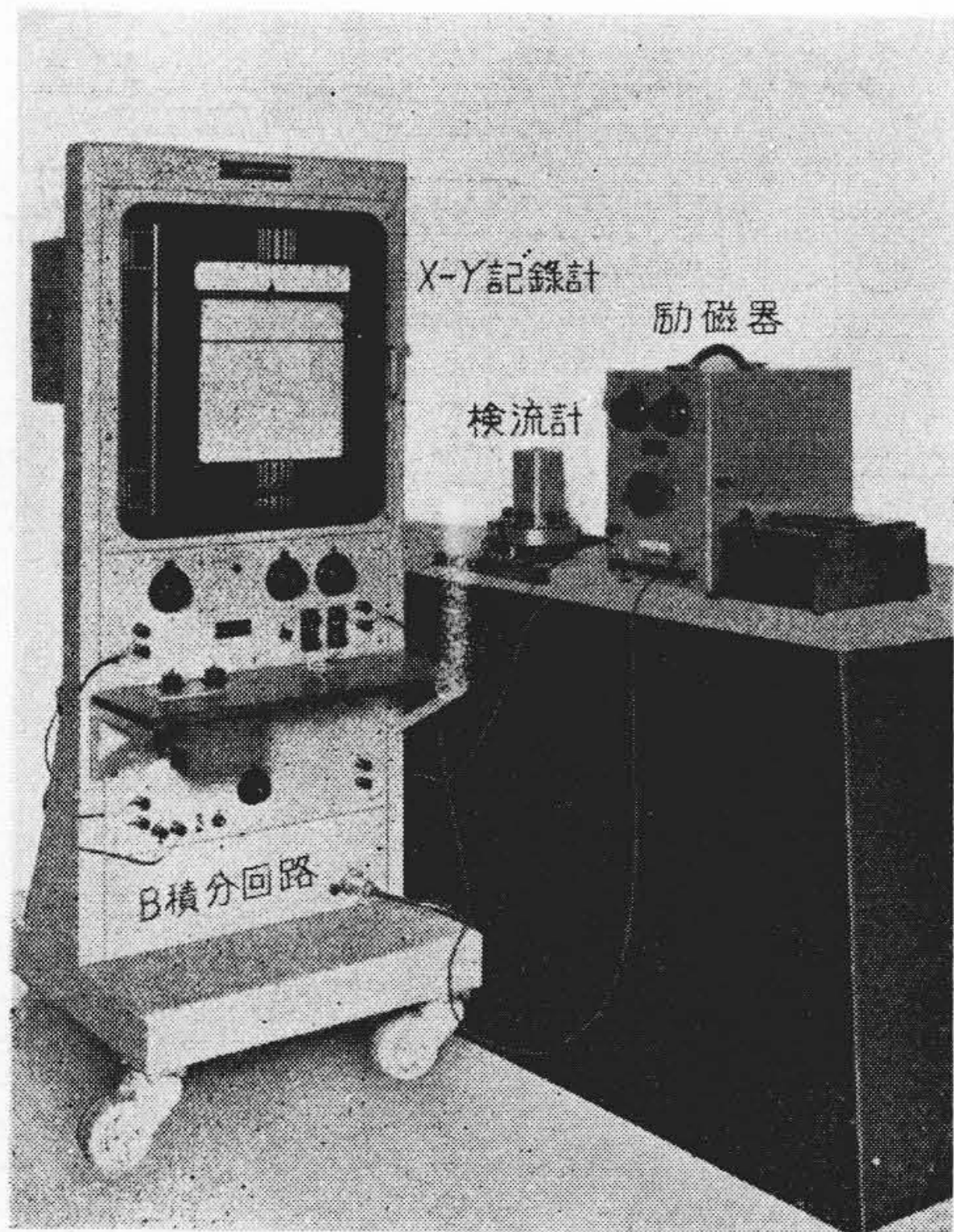


第27図 導 磁 率 計 測 定 例

あり、これらの測定に使用できて非常に有用な測定装置である。

(A) 装置の説明

第25図 ブロックダイアグラムにおいて、Pなる磁極



第28図 直流磁化特性自動記録装置

に試料をはさみ磁化する。そのときの誘起磁束密度は従来どおりサーチコイルを巻いて、磁極の励磁を転換することにより測定できるから問題はない。その試料の有効磁場をHコイルにてより正確にはかるため考えられたもので、Hコイルは、たとえば長さ1.6cm、厚さ0.003cmで面積 $3 \times 10^{-5} \text{ cm}^2$ のパーマロイの鉄心を、径0.15cmの石英棒にそわせて、その上部に巻線して作る。

直流磁場内にHコイルを置き、発振器より4kcを供給すると8kcの高周波が出る。この高周波を濾波器、選択増幅器にてオシロスコープに導く。直流磁場に逆向きになるようHコイルに直流励磁をあて、ちょうど打消したときをオシロスコープにて観測し、そのときの電流計Aの読みにより有効磁場を知れば測定できたわけである。

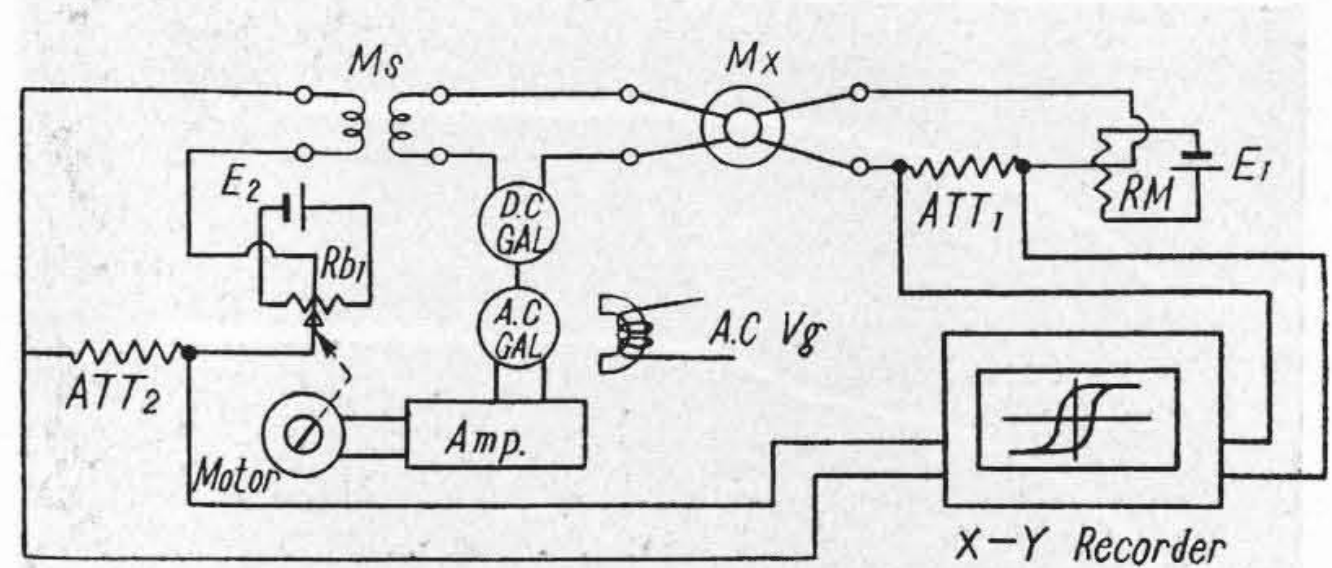
(B) 測定結果

磁場とHコイル励磁電流の関係を求めれば、第26図のようになる。この零位法の精度は、同図左上に示すように0.1mA検出にブラウン管の振れ6mm以上えられるから、1エルステッドの磁界をはるかに0.01エルステッド、すなわち1%の差も検出できる。実際の試料につき測定した結果を第27図に示す。

(2) 直流磁化特性自動記録装置^{(7)~(13)}

継電器磁気回路の磁化特性を測定する場合、接極子変位0から1mm以上その間を0.05mmまたは0.1mmおきに測定する必要がある。この方法は、〔II〕(1)磁化曲線より吸引力を求める方法に詳細に説明しておいた。

従来のように弾動検流計法で行つては非常な労力と時間がかかる。本装置は磁気回路、磁性材料の研究、



第29図 磁化特性自動記録装置原理図

試験に非常に有力である。

(A) 装置の概要

主目的を継電器の磁化特性を求めることとし、磁性材料の測定も可能にした。磁化の強さHは励磁電流に比例し記録計のx軸で直読できるゆえ問題ないが、磁束密度Bは、磁束変化量に比例した電圧eの積分値で求まるので、その積分方法が問題である。本装置は積分方法として、直交変換検流計によりBの変化量を検出、増幅し相互誘導器を用いた回路で積分してある。第28図にその外観を示し、第29図にその原理図を示す。

M_x は試料で、その一次コイル(磁化コイル)へ電池 E_1 によつて電流が流れる。電流の大きさは R_M によつて手動で調整し、その値は抵抗減衰器 ATT_1 の出力電圧をX-Y Recorderに送つて、その読みから求める。

今磁化電流を0からIに変えたとすると、 M_x の二次コイルに誘起する起電力 V_1 は、

$$V_1 = N_2 \frac{d\phi_1}{dt} \quad \phi = kI_1$$

$$= kN_2 \frac{dI_1}{dt} \dots\dots\dots (18)$$

ただし N_2 は二次コイルの巻線、 ϕ は全磁束

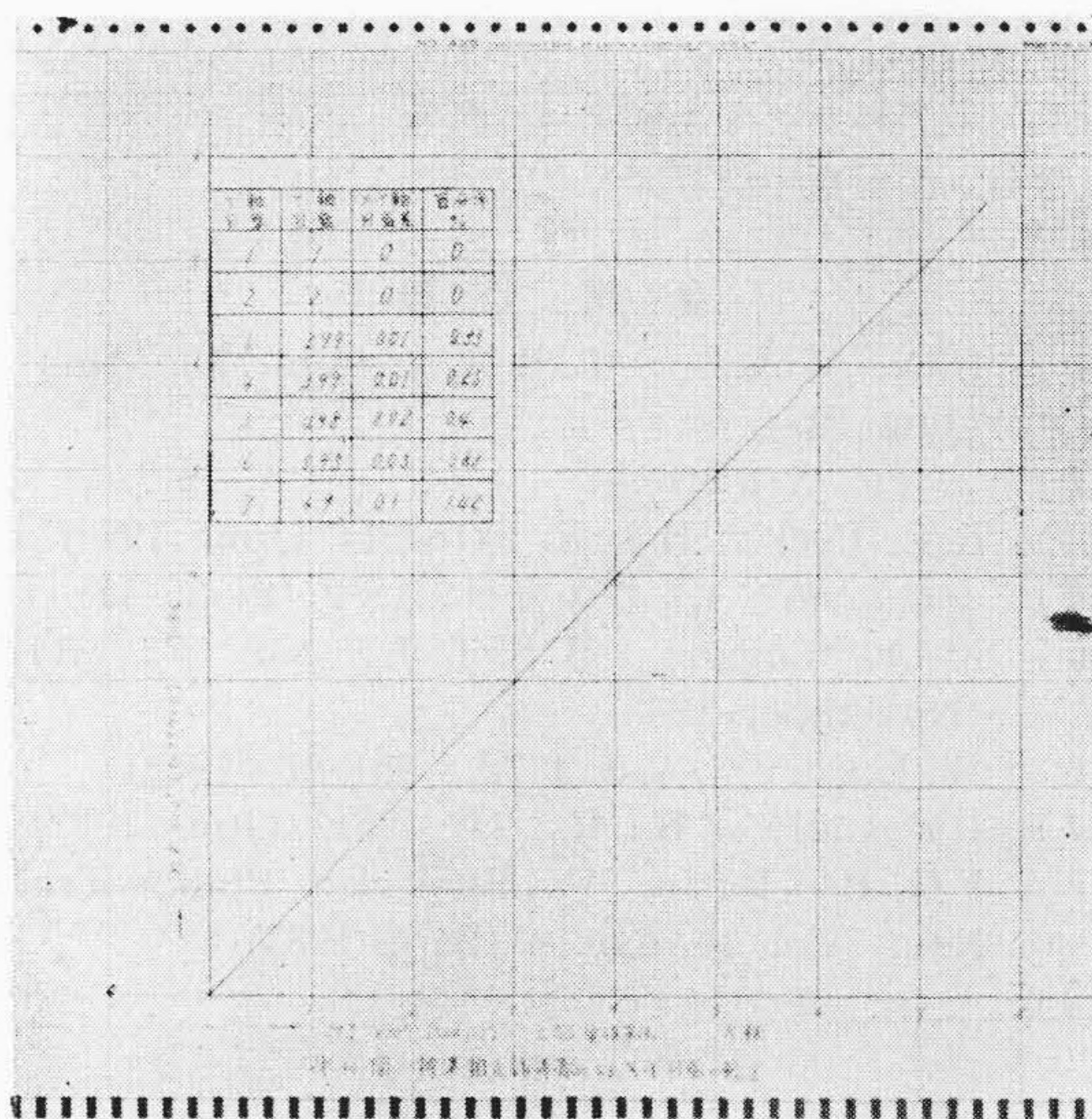
k は磁心の形と一次コイルの巻数で決まる値で、トロイダル型では平均直径 a cmをとすれば、

$$\frac{4N_1}{10 \cdot a}$$

V_1 によつてD.C. ガルバノメータの可動コイルは回転力を生じ回転する。このコイルと連動するA.C. ガルバノメータの可動コイルには、励磁コイルによつてA.C. 起電力を生ずる。この起電力を増幅器で増幅して、その出力を平衡電動機に送り電動機を回転させる。電動機と連動するスライド抵抗 Rb_1 の摺動子を動かすことによつて、標準相互インダクタンス M_s の一次コイルに電池 E_2 によつて直流が流れる。その電圧を I_s とすると M_s の二次誘起電圧 V_2 は

$$V_2 = M_s \frac{dI_s}{dt}$$

今もし $V_1 = V_2$ の条件がなりたてば、D.C. ガルバノ



第30図 磁化特性自動記録装置の標準相互誘導器による較正

メータには入力電圧はなくなり、したがってコイルは最初の位置に静止する。電動機もまた静止する。

$$N_2 \frac{d\phi_1}{dt} = M_s \frac{dI_s}{dt} \quad \dots\dots\dots (19)$$

$$N_2 \int d\phi_1 = M_s \int dI_s$$

$$N_2 \phi_1 = M_s I_s \quad \dots\dots\dots (20)$$

上記の式によつて

$$\phi_1 = \frac{M_s I_s}{N_2}$$

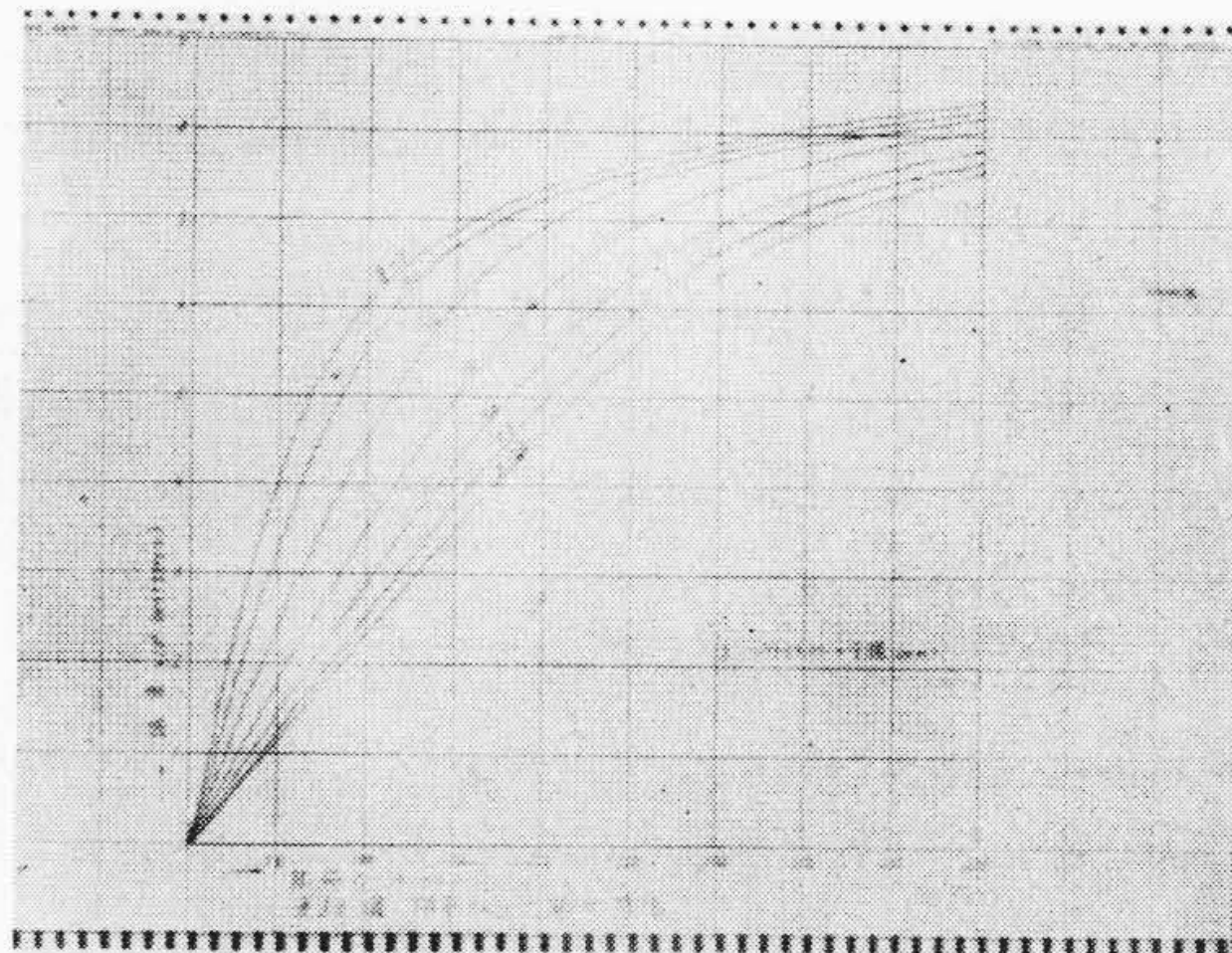
試料の断面積を $A \text{ cm}^2$ とすれば、磁束密度 B は

$$B = \frac{M_s I_s}{A N_2} \quad (\text{gauss})$$

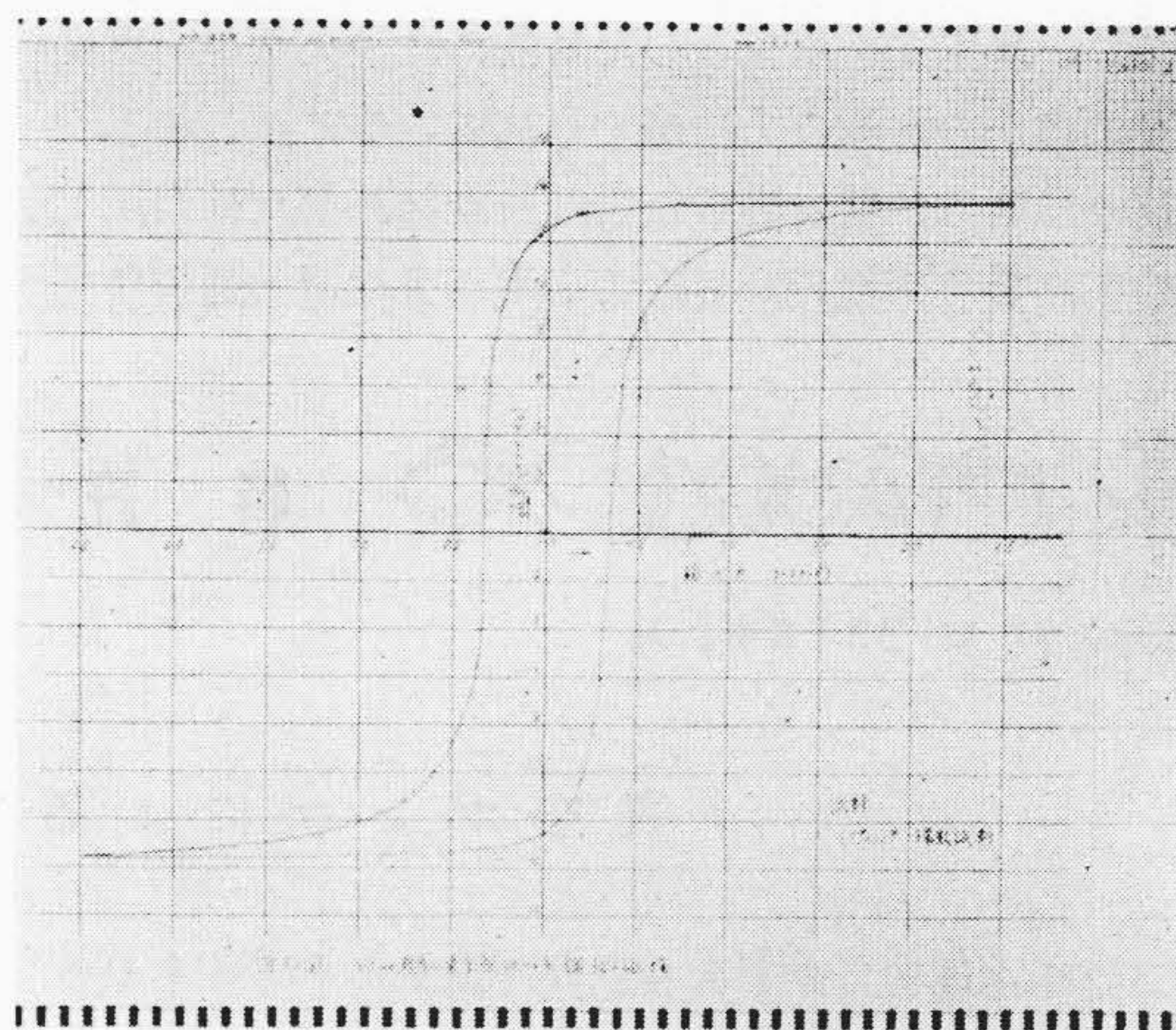
したがつて、 I_s を測定することによつて B を求めることができる。

抵抗減衰器 ATT_2 の出力電圧を $X-Y \text{ Recorder}$ に送つて、その読みから磁束密度が求められる。磁化電流を変えると自動的に I_s が変り、 $X-Y \text{ Recorder}$ 上に磁化曲線を求めることができる。

上記 (20) 式をうるのに回路上積分を要する。そのためにはガルバノメータが無大の時定数をもつか、帰還回路をもうけて外部から電圧を加えないかぎりもとの位置にもどらないようにする。本装置では、ガルバノメータの制動をできるだけ大きくしてある。また増幅器が飽和しても誤差が生ずるが磁化電流を調整する R_M の可変時間が、ある速度以上には大きくなりからそのおそれも少くなつてゐる。



第31図 継電器磁化特性自動記録測定例



第32図 磁化特性自動記録装置による環状試料の測定例

(B) 測定結果

(a) 精度の検定

標準相互誘導器の一次側を励磁し H 回路に接続し、二次側を B 回路に接続し、一例として 100 マックスウエルターン全目盛のレンジにつき検定すれば、第30図のようになり精度は 2% 以内で可能である。

(b) 実測例

第31図に、自動記録による励磁アンペアターン—磁束の曲線を示す。これにより継電器磁気回路の諸常数、および磁気エネルギーなどを計算できる。

第32図に、環状試料による磁性材料の磁化特性の測定例を示す。

〔V〕 結 言

以上、無極継電器の磁気特性研究のため整備した主要測定器を概説した。

現在の解析目的には、以上の主要測定器に若干の補助測定を併用すれば、ほとんど可能と思われる。

(1) 吸引力測定装置は、変位測定には差動変圧器、吸引力測定には磁歪計により $X-Y$ 記録計に自動記録するのがよいと判定する。

(2) 動的磁化特性測定装置は、本報告の三現象直視装置で実用上支障ないが、さらに、交流磁化特性測定器に使用されている手法、およびアナログ計算機の手法も検討する必要がある。

(3) 静的磁化特性測定器

磁気部品の測定には、本報告のもので十分と思われるが、 H コイルの素子を適当に選定することが重要である。

磁化特性自動記録には、本方式は磁束変化の積分は直交変換検流計による交流増幅回路であつて取扱いは容易であり、継電器を対象とした目的には使えるが、感度、精度はほかの文献の方法がすぐれていると思われる。

終りに臨み、種々貴重な御助言を賜つた神奈川工業試験所、長谷川巍氏、日本電信電話公社電気通信研究所

金属研究室比留間室長、七条祐三氏に深甚なる謝意を表する次第である。また測定器の整備、実験を担当された佐藤実、塩沢良司両君に厚く御礼申し上げる。

参 考 文 献

- (1) H. N. Wagner: B. S. T. J. Vol. 33, No. 1 (Jan. 1954)
- (2) 日高: 数値積分法
- (3) R. L. Peek: B. L. R. 221~214 (June 1953)
- (4) 安積: 精密工作技術資料 1~9 (昭 29-12)
- (5) M. A. Logan: B. S. T. J. Vol. 32, 1413 (November 1953)
- (6) W. J. Carr: A. S. T. M. 63~81 (1948)
- (7) P. P. Cioffi: B. L. R. 247~251, (June 1952)
- (8) F. G. Brockman, W. G. Steneck: Philips Tech. Rev. Vol. 16, No. 3 (Sept. 1954)
- (9) 七条: 電学誌
- (10) 長島: 科学計測学会報告 (1956-12-1)
- (11) 安永: 科学計測学会報告 (1957-2-2)
- (12) R. F. Edgor: A. I. E. E. 56, P. 805 (1937)
- (13) R. I. Berge: Electronics Vol. 27, P. 147 (1954)



特 許 の 紹 介



特 許 第 231644 号

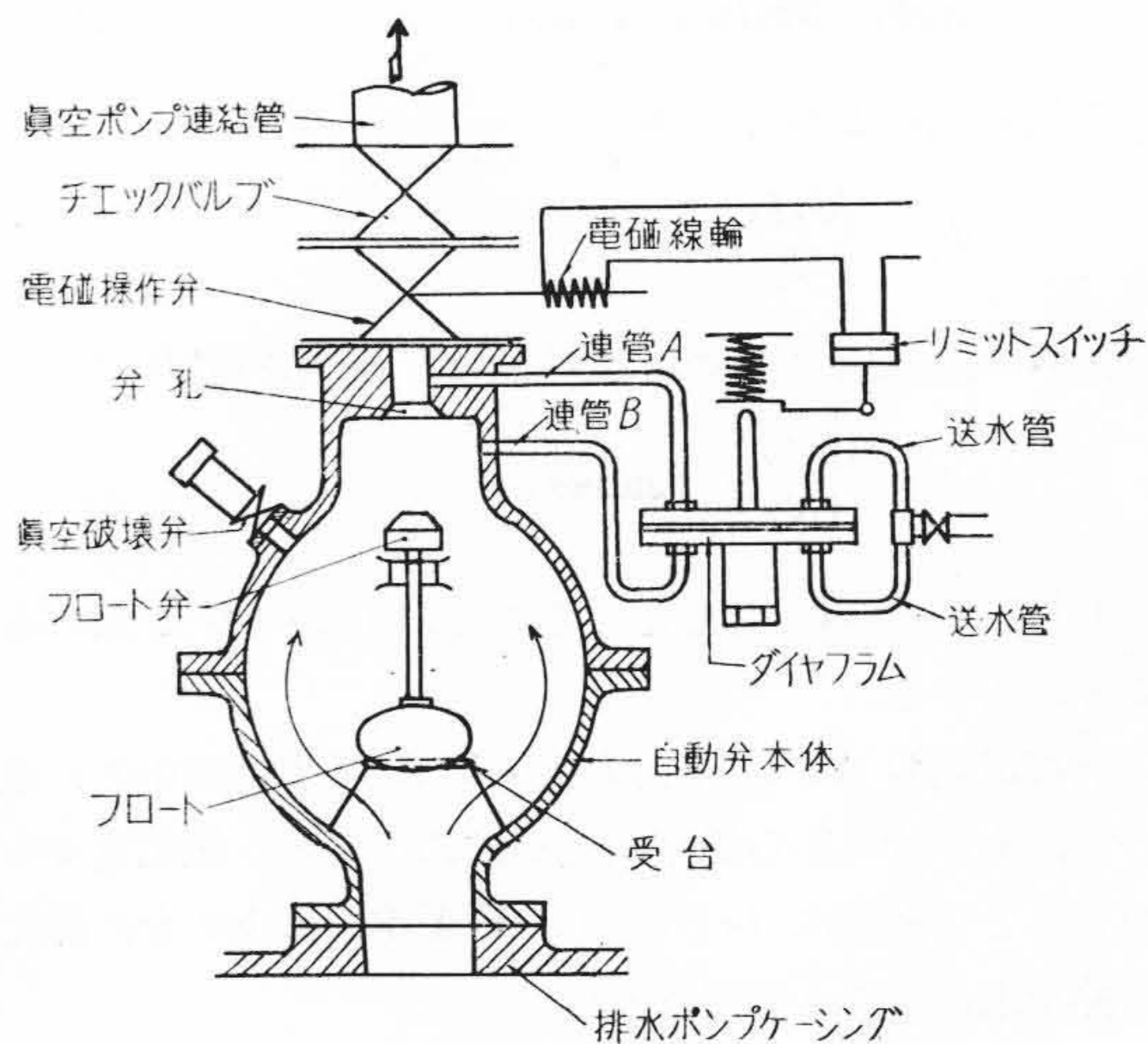
小 林 秀 夫

真 空 ポ ン プ に よ る 呼 水 操 作 自 動 制 御 装 置

この呼水操作自動制御装置は、排水ポンプとその排気用真空ポンプとの間に自動弁本体と電磁操作弁とを設け、自動弁本体にはフロートとこれによつて操作される弁とおさめ、なお、その弁によつて閉じられる弁孔の前後に連通しその圧力差に応動する装置を備え、これによつて電磁操作弁を操作するようにしたものである。

図は排水ポンプケーシング内が満水していない状態を示し、真空ポンプの運転によりケーシング内の空気は自動弁本体を矢印の方向に流れる。この状態ではフロートは受台に支えられ、空気の流れでは作用しない。したがつて、連管 A、B 内の圧力差は僅少で、リミットスイッチは動作しないように調整されている。水が吸いあげられ、フロートに達するとフロートは浮び上がりフロート弁は弁孔をふさぎ排気通路を遮断する。弁孔がふさがれると連管 A および B 内の圧力はそれぞれ真空ポンプの最高真空度および吸揚揚程となり、この差圧がダイヤフラムに作用してリミットスイッチを操作するように働き、電流を遮断して真空ポンプの電動機の運転を停止し、同時に電磁線輪を消勢して電磁操作弁を閉じる。この状態において、排水ポンプが運転状態に入るとポンプは圧力側となり、水は真空ポンプ内に浸入しようとするが、これは電磁操作弁によつて完全に遮断される。もし、排水ポンプの起動前に真空ポンプの運転が停止すれば、排水ポンプ側の負圧をうめようとして大気は真空ポンプを経て自動弁本体へ逆流しようとするが、その際チェックバルブは自動的に閉じて前記逆流を阻止する。

排水ポンプの運転を停止し、水を落すには真空破壊弁



を開く。これで最初の状態に戻る。

この呼水操作自動制御装置によれば、ポンプの運転開始にあたり、ケーシング内の排気呼水操作およびその満水による排気停止を自動的に行わせることができ、これによつて汚水が真空ポンプに入ることを防止してそのまま運転を続けることができ、動作も簡単確実で故障の生ずるおそれも少い。(富田)