

電 氣 的 積 算 方 式 の 流 量 計

岩 淵 芳 雄*

Electrical Integrating Type Flow Meters

By Yoshio Iwabuchi

Hitachi Research Laboratory, Hitachi, Ltd.

Abstract

Examination has been made, with satisfactory results, of an electrical method of indicating and integrating the flow volume of liquids, by utilizing the differential pressure created within a pipe by the insertion of orifices.

In this method, a mercury-filled U-pipe of special construction is used in conjunction with floats or bell floats whose vertical movement is designed to follow the ratio of flow volume.

The 4 inductance coils on the armature attached to these floats and on the movable core of the flow rate indicator form the first A.C. bridge, so that the movement of the indicator armature, corresponding to the deflection of the transmitter armature, is transmitted to the indicator needle and thus shows the flow volume.

In addition, the appliance is equipped with a stator core with two coils, which are joined to the abovementioned coils to form a second A.C. bridge, and the unbalance currents are utilized to operate the integrator for the purpose of integrating the flow volume. Through this system, it has now become possible to manufacture an indicator having a composite margin of error of $\pm 1\%$ for both indication and integration.

〔I〕 緒 言

流体が流れる管内にオリフィスなどを挿入し、その前後の差圧を利用して流量を測定する従来の差圧式流量計においてはその差圧が流量の二乗に比例するため、流量を積算しようとする場合は機械的な方法を採用している。したがって連続的な積算が不可能で、かつ、高精度のもの製作が困難である。

そこで筆者は流量を電氣的に積算するために水銀中に浮かべた浮子、または沈鐘の上下動が流量に比例するように設計した特殊構造の水銀 U 字管および沈鐘を試作し、浮子、または沈鐘に取付けた鉄心と指示計の可動鉄心とにそれぞれ巻装せる 4 つの線輪で第 1 の交流ブリッジを構成し、自動平衡作用にもとづく発信器鉄心の上下

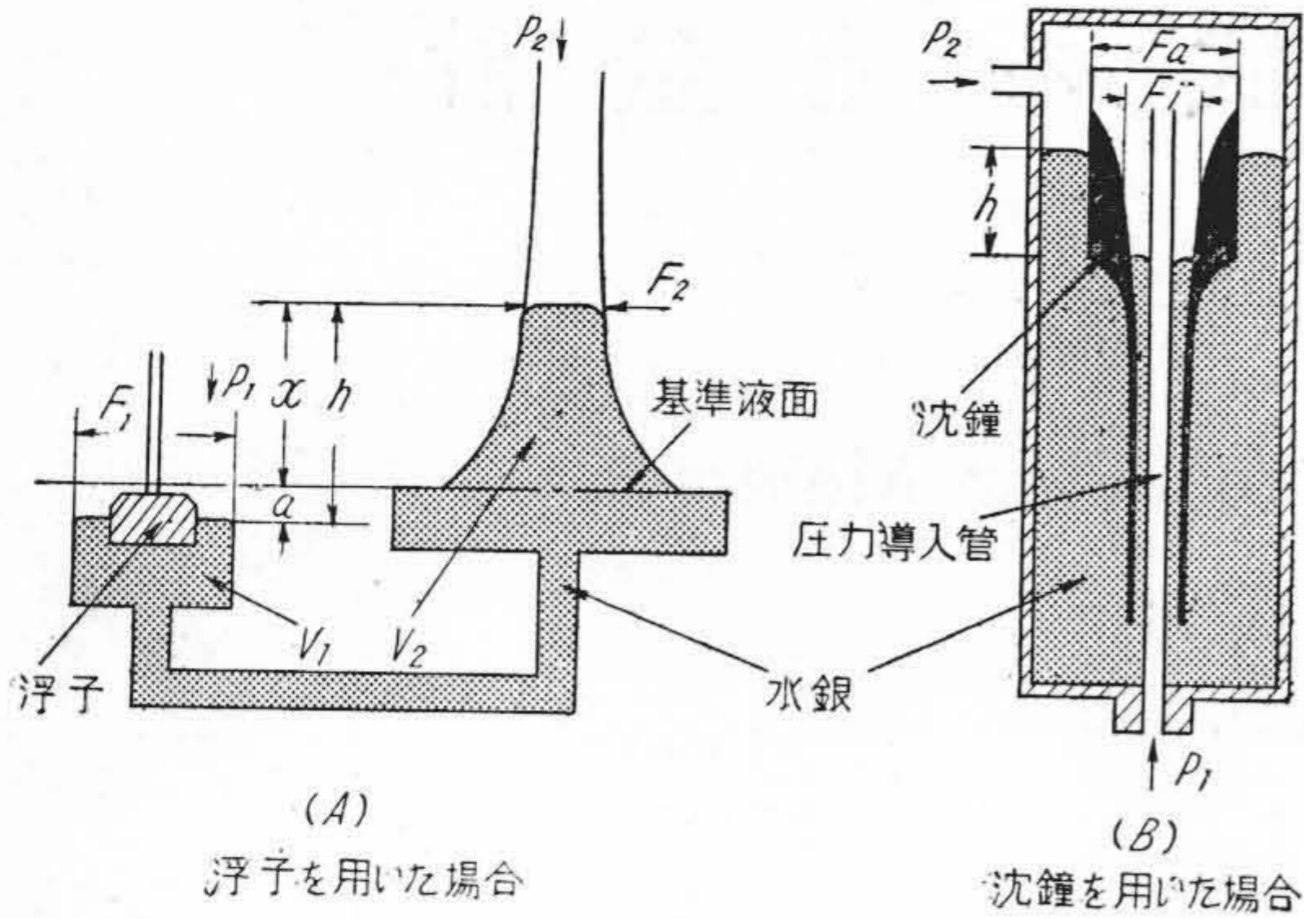
動に伴う指示計の可動鉄心の動きを指針に伝えて流量を指示せしめ、さらに、固定鉄心とそれに巻装せる 2 つの線輪とを設けて、これと前述の各線輪とで第 2 の交流ブリッジを構成し、その不平衡電流を利用して流量積算計を動作せしめて流量を積算する方法を検討し、十分満足しうる結果がえられたので、その構造ならびに性能を紹介し参考に供する次第である。

〔II〕 容 器 の 設 計

(1) 浮子を用いる場合

水銀 U 字管を用いて水銀面の上下動に伴う浮子の変位により流量を測定する場合に、浮子の変位を流量に比例せしめるためには低圧室ならびに高圧室の寸法をつぎのようにして求めればよい。すなわち第 1 図(A)において差圧 h のときの高圧室 V_1 および低圧室 V_2 の水銀面の

* 日立製作所日立研究所



(A) 浮子を用いた場合
(B) 沈鐘を用いた場合

第 1 図 説 明 図

Fig. 1. Explanatory Diagram

上下動をそれぞれ a, x とすれば

$$h = a + x \dots\dots\dots (1)$$

a が h の平方根に比例するためには

$$a = kv\sqrt{h} \dots\dots\dots (2)$$

ただし、 k は流量 100% のときの差圧を H 、そのときの高圧室 V_1 内の水銀面の動きを A としたとき A/\sqrt{H} で与えられる値とする。(2)式に(1)式を代入して平方すれば

$$a^2 = k^2(a+x) \dots\dots\dots (3)$$

これを微分して整理すれば

$$\frac{da}{dx} = \frac{k^2}{2a - k^2} \dots\dots\dots (4)$$

また、高圧室 V_1 の内部断面積を F_1 、低圧室 V_2 の基準水銀面より x の距離における内部断面積を F_2 とし、差圧が dh 変化したときに a が da 、 x が dx 変化するとすれば

$$F_1 da = F_2 dx \dots\dots\dots (5)$$

(4) 式と (5) 式より

$$F_2 = \frac{F_1}{2a/k^2 - 1} \dots\dots\dots (6)$$

(6) 式に (3) 式を代入して

$$F_2 = \frac{F_1}{\sqrt{4x/k^2 + 1}} \dots\dots\dots (7)$$

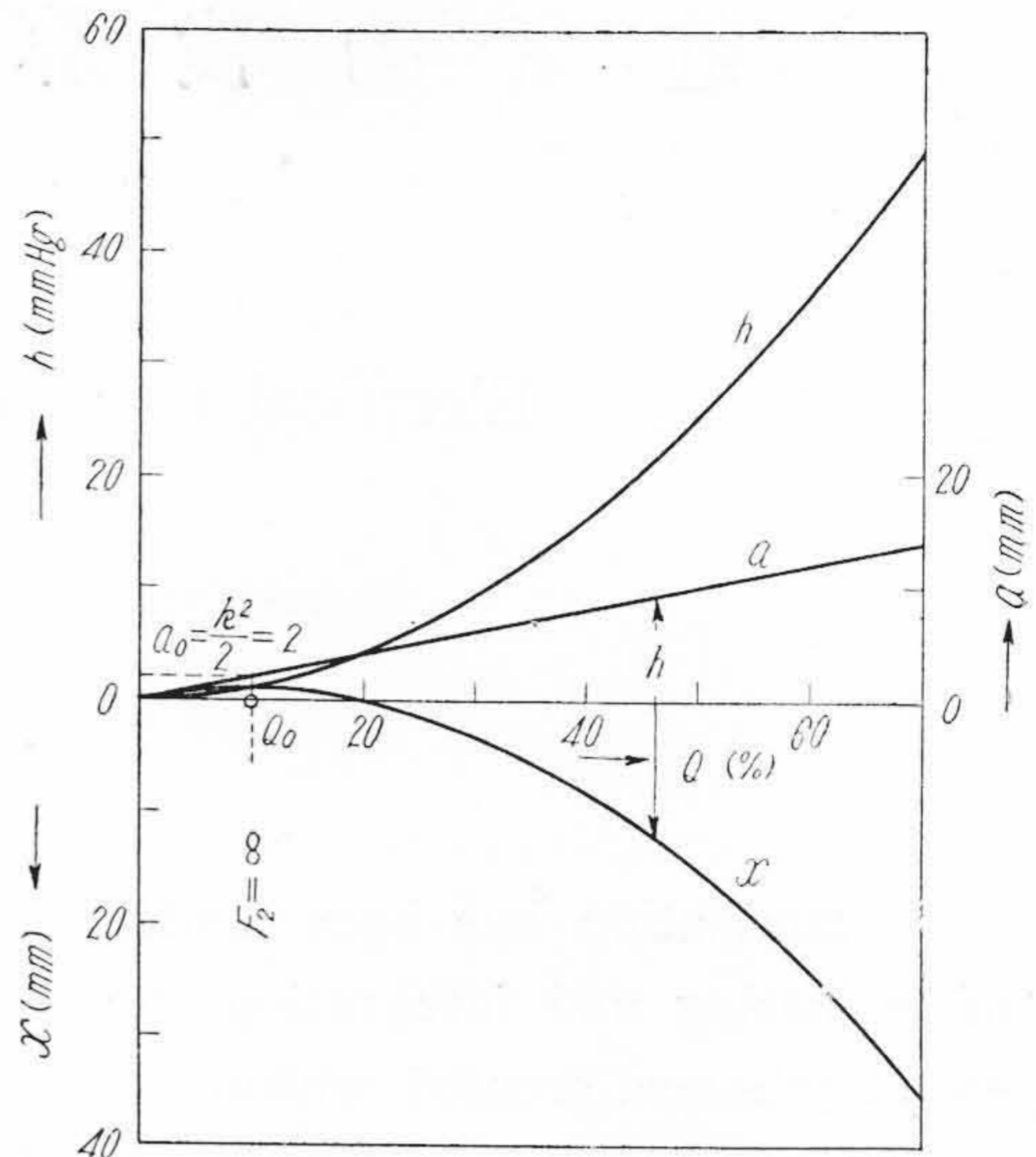
(7)式において F_1 と k が与えられれば x と F_2 との関係が求まり、低圧室 V_2 を設計することができる。

しかし、(6)式において F_1, F_2 は正数であるから

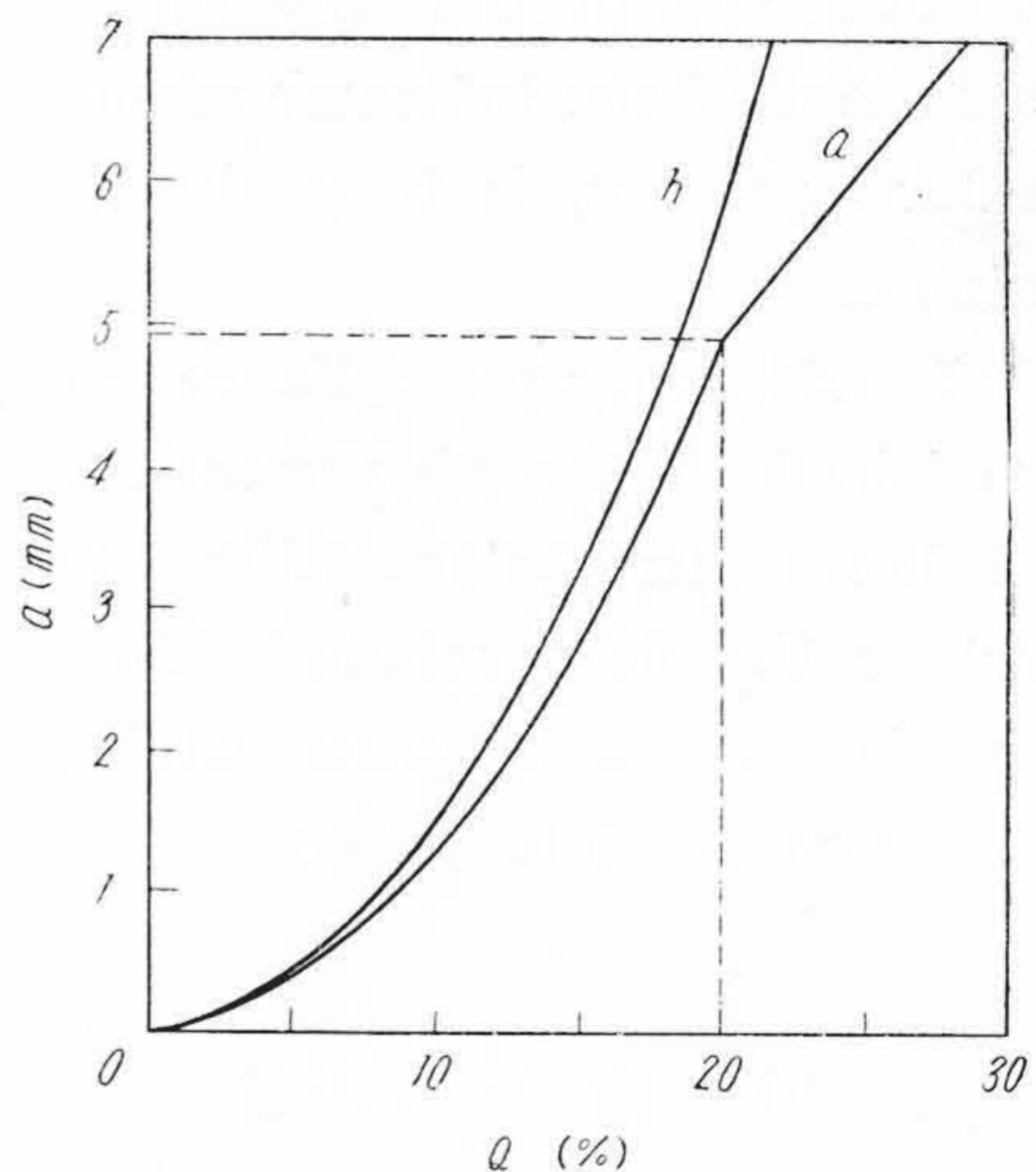
$$\frac{2a}{k^2} - 1 > 0$$

$$\therefore a > \frac{k^2}{2}$$

したがって理論的に $h=0$ 、すなわち $a=0$ から開平することは不可能である。 $a=k^2/2$ の場合は (6) 式より F_2



第 2 図 計算による水銀面の動き
Fig. 2. Movement of Mercury Level by Calculation



第 3 図 Q と a との関係
Fig. 3. Relation between Flow Rate Q and Movement of Mercury Level a

$=\infty$ 、また、(7)式より $x = -k^2/4$ となり、実現不可能である。 $x=0$ の場合は $F_2 = F_1$ 、 $a = k^2$ となり、これが実現可能の限界である。このときの流量は $100 \times A/H\%$ となり、 a と流量とを比例させることができる最低流量は H である。流量 100% で差圧 $H=100$ mmHg、 $A=20$ mm とすれば $k = A/\sqrt{H} = 2$ となり、このときの流量 Q と h, a および x との関係は第 2 図となる。 $x=0$ では $a=h=4$ mm、 $Q=20\%$ である。

なお今回試作したものは $h=5.83\text{mmHg}$ のとき $a=4.83\text{mm}$, $x=1\text{mm}$ となり, これより大きい差圧のときは

$$a = k\sqrt{h}$$

ただし, $H=144\text{mmHg}$, $A=24\text{mm}$

$$k = \frac{A}{\sqrt{H}} = 2$$

なる関係が成立するように設計した。したがって a が流量に比例しはじめるときの流量は 20% である。第3図は計算による流量 Q と高圧室内の水銀面の動き a との関係である。

(2) 沈鐘を用いる場合

水銀中に沈鐘を浮かべ, 差圧に伴う沈鐘の変位により流量を測定する場合の沈鐘の寸法はつぎのようにして求めることができる。第1図(B)において沈鐘の上部鐘壁の外側の断面積を F_a , 差圧 h のときの沈鐘内部の水銀面の位置における鐘壁の内側の断面積 (ただし, 圧力導入管の外側の断面積を除く) を F_i とし, 差圧 h のときの沈鐘の変位 a が h の平方根に比例するとすれば

$$a = k\sqrt{h} \dots\dots\dots (8)$$

ただし $k = \frac{A}{\sqrt{H}}$

(8)式の両辺を平方して微分すれば

$$\frac{da}{dh} = \frac{k^2}{2a} \dots\dots\dots (9)$$

しかして差圧が dh 変化したときに a が da 変化するとすれば

$$F_a da = F_i (da + dh)$$

これより

$$\frac{da}{dh} = \frac{F_i}{F_a - F_i} \dots\dots\dots (10)$$

(9)式と(10)式より F_i を求めれば

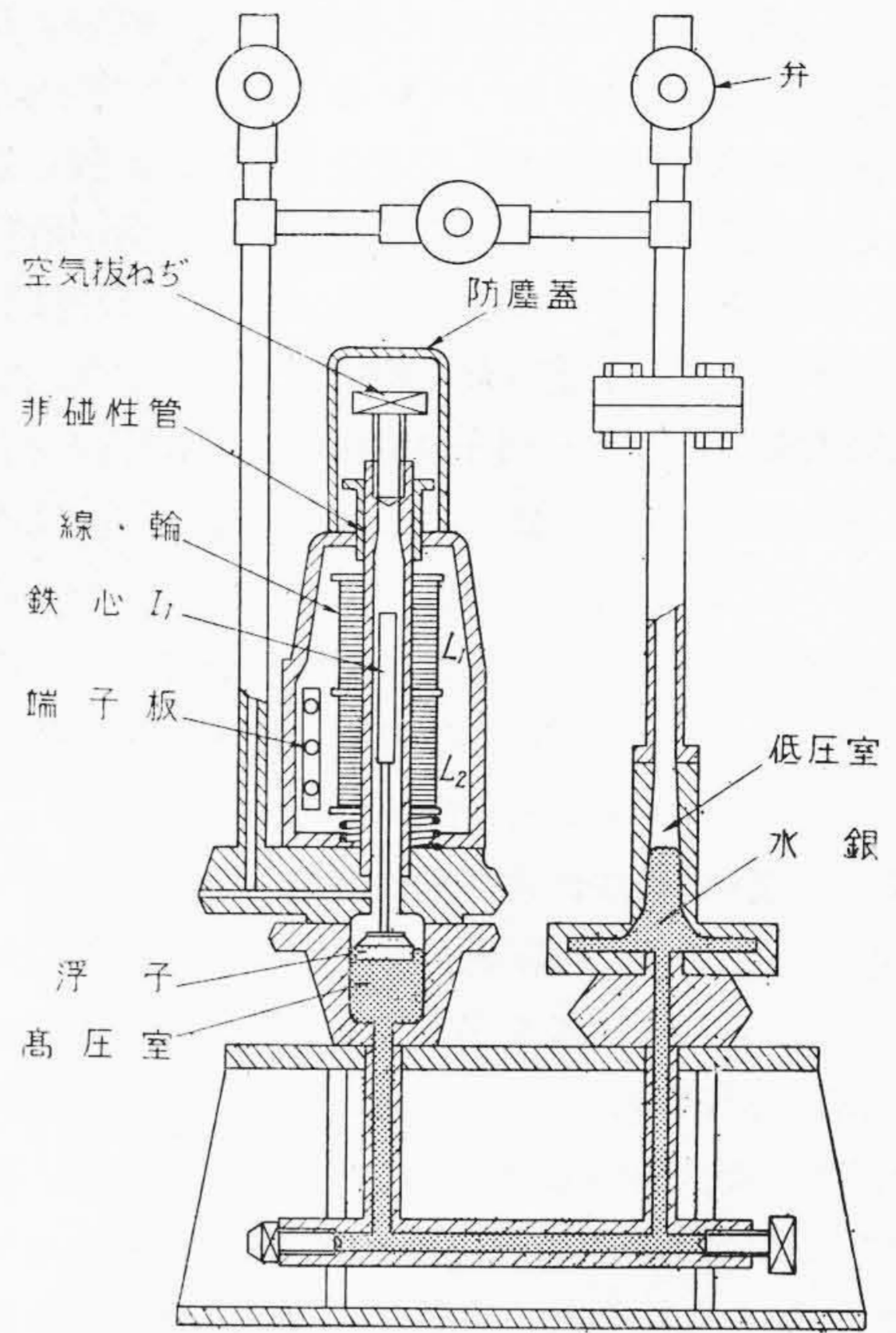
$$F_i = \frac{F_a}{2a/k^2 + 1} \dots\dots\dots (11)$$

したがって(11)式より F_a を与えて F_i を求め沈鐘を設計することができる。しかして沈鐘の場合は $F_a > F_i$ が必要条件であるから a , いいかえれば h が零でなければいかに小さい値であつても開平が可能である。しかし水銀の表面張力による多少の履歴誤差はまぬがれない。

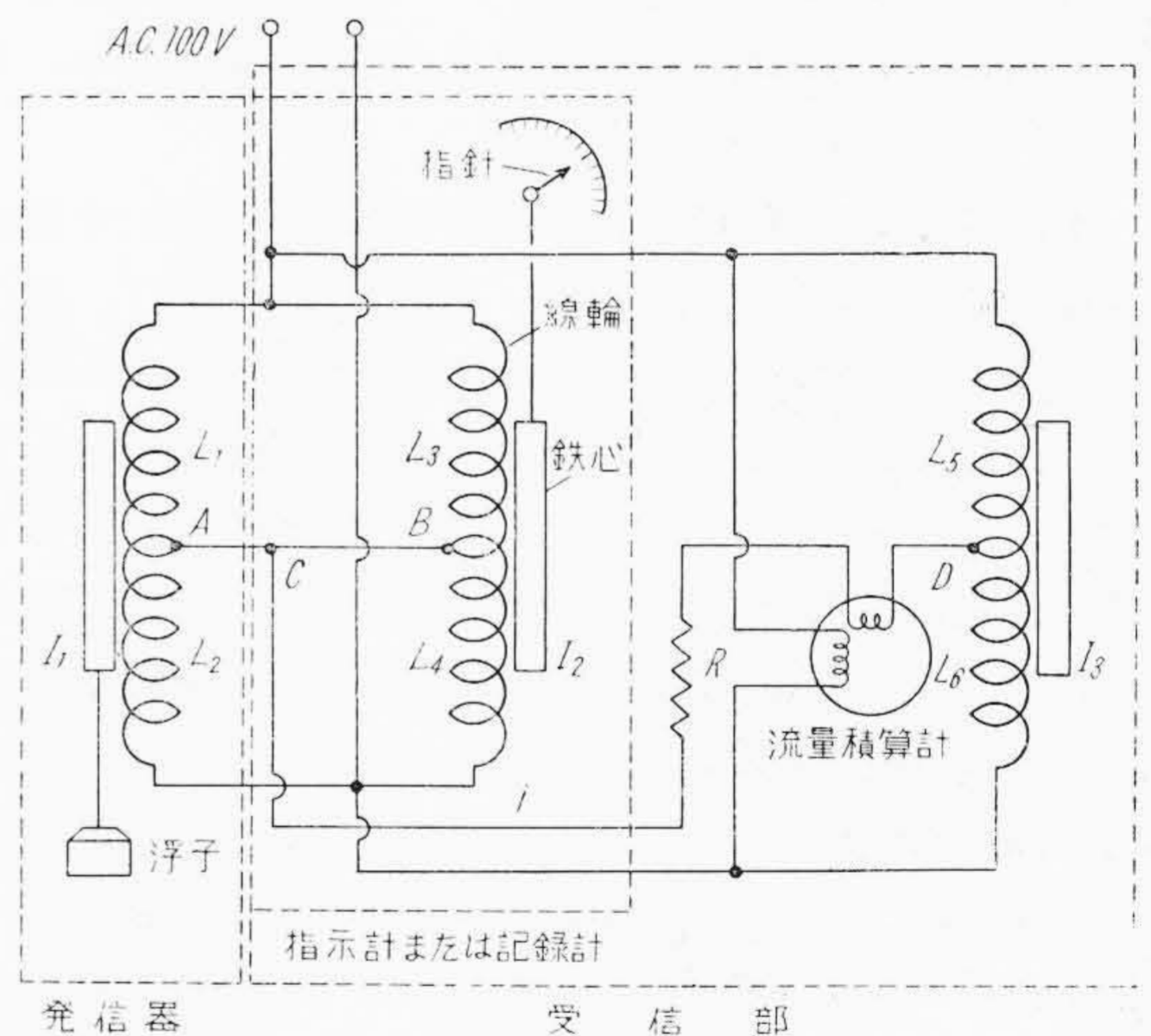
〔III〕 流 量 計 の 構 造

(1) 発 信 器

発信器として特殊構造のU字管, または開平沈鐘を用いるが, 今回は前者の場合について述べる。第4図は流量計発信器の構造である。同図の低圧室は高圧室内の水銀面, すなわち, 鉄心を取付けた浮子の変位が流量に比例するように設計してある。その他の部分は従来より



第4図 流量計発信器の構造
Fig.4. Construction of Flow Meter Transmitter



第5図 電気回路説明図
Fig.5. Circuit Diagram of Flow Meter

日立製作所で製作している FLR 型流量計発信器と同様で, 浮子に取付けた鉄心 I_1 が水銀面の上下動に応じて非磁性管内を自由に上下するようになっており, その導管の外側には2箇に分けられた誘導線輪 L_1, L_2 がある。

(2) 受 信 部

受信部 (第5図参照) は可動鉄心 I_2 とそれに巻装せる誘導線輪 L_3, L_4 とを自蔵する流量指示計 (または流量

記録計), 固定鉄心 I_3 とそれに巻装せる誘導線輪 L_5, L_6 および流量積算計よりなつている。しかして各鉄心ならびに誘導線輪は発信器のものと全く同様で, 固定鉄心 I_3 にはそれを任意の位置に固定しうる調整装置が取付けてある。流量積算計としては 100 V, 50 \sim 用三相積算電力計をつぎのように改造したものをを用いた。すなわち, 制動用永久磁石および一相分の電圧, 電流両線輪を取外し他の一相分の電圧線輪はそのままとし電流線輪は適合した容量のものと取替え, また, 永久磁石のかわりに電磁石を取付け電磁石制動とした。電磁石制動にしたのは後述するごとくブリッジの不平衡電流は電源電圧によつて変動するので, その影響を除くためである。

(3) 回路の構成および動作機構

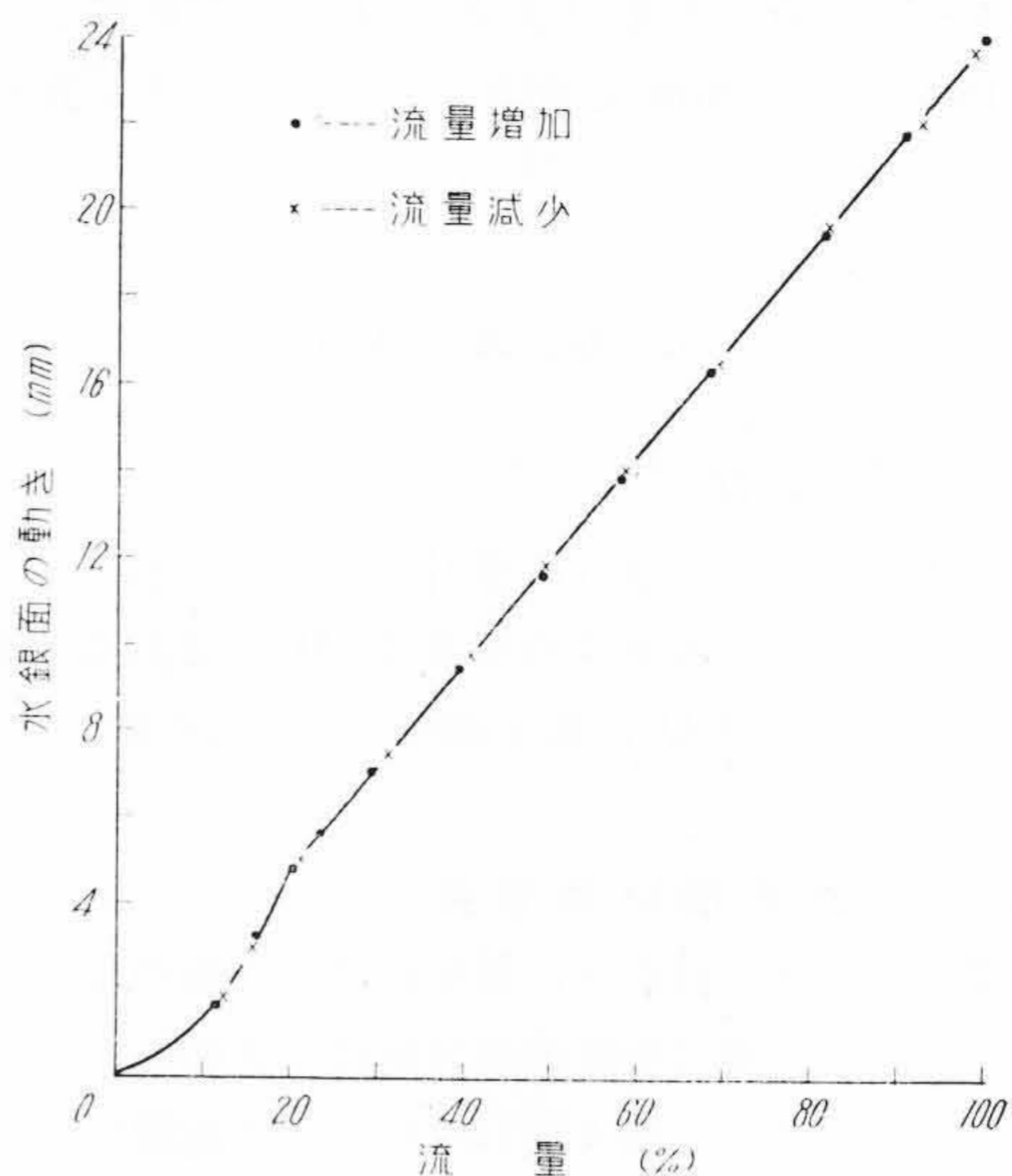
流量の指示, または記録は浮子が流量に比例して変位するから, その変位量を測定することによつて達せられる。本流量計においてはその測定方法として交流誘導線輪の自動平衡作用の原理を利用した。すなわち, 第 5 図において発信器鉄心 I_1 に巻装せる誘導線輪 L_1, L_2 と指示計, または記録計の可動鉄心 I_2 に巻装せる誘導線輪 L_3, L_4 とで第 1 の交流ブリッジを構成しており, 流量に比例して鉄心 I_1 の位置が変わると L_1 と L_2 とにかゝる電圧の割合が変化し, 可動鉄心 I_2 を磁気力により鉄心 I_1 と同位置まで上下さすから, この移動量を適当なる機構により指針に伝えて迅速正確に流量の指示, または記録を行うようにした。

また固定鉄心 I_3 に巻装せる誘導線輪 L_5, L_6 と前述の各線輪とで第 2 の交流ブリッジを構成して, 鉄心 I_3 は流量零において第 2 の交流ブリッジが平衡する位置に固定してある。しかして鉄心 I_1, I_2 が流量に比例してその位置が変わつたときブリッジの平衡が破れて橋絡線 $C D$ に流量に比例した不平衡電流 i が流れるように調整しておき, この回路に直列に流量積算計の電流線輪を接続し, その電圧線輪に電源電圧を印加すれば, 流量積算計の回転円板は流量に比例して回転するから流量が積算される。なお, 流量積算計は流量 50% のときに回転円板が毎時 2,500 回の速度で回転するように電磁石線輪と直列に接続した加減抵抗器で調整した。

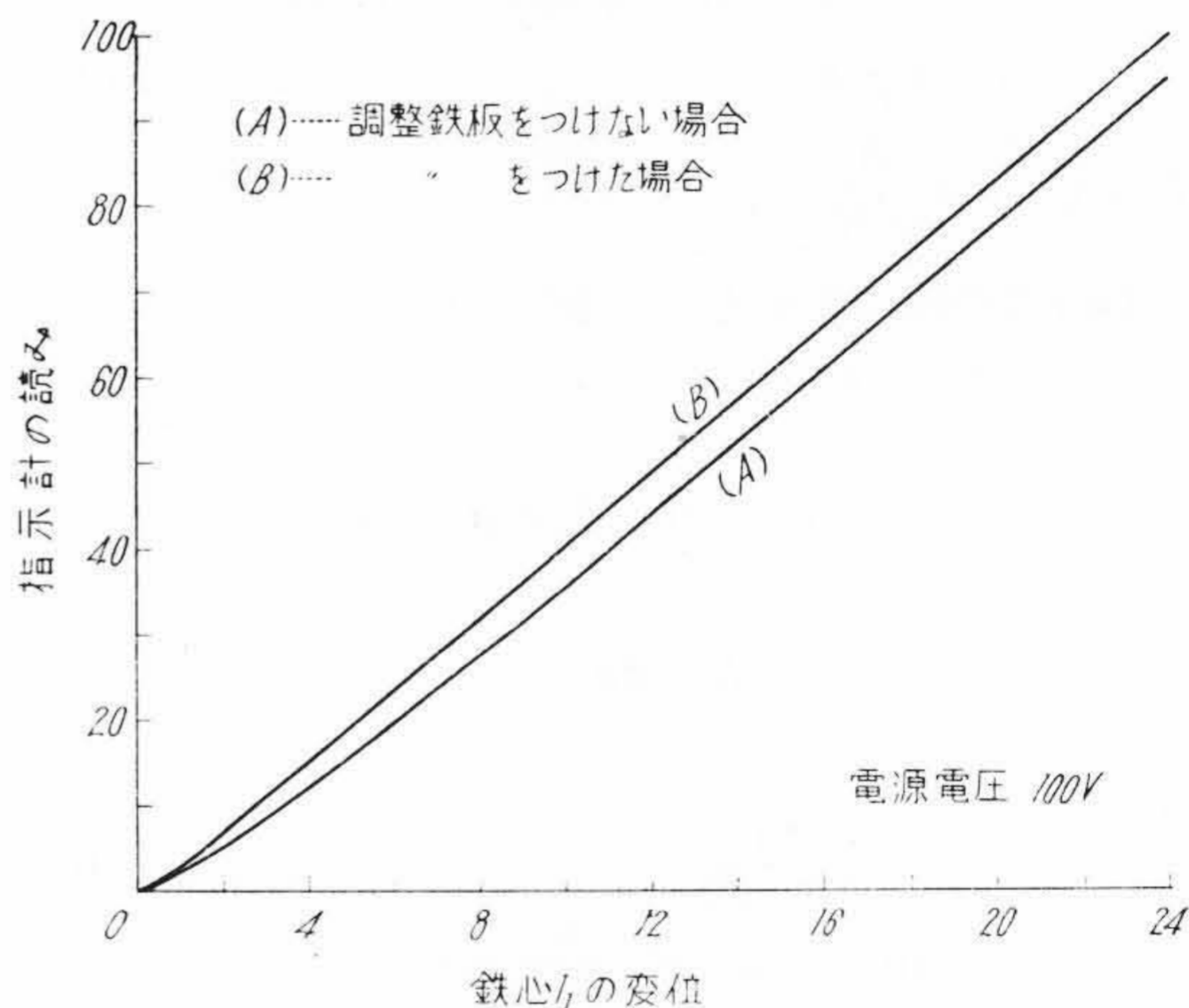
[IV] 流 量 計 の 特 性

(1) 流量と水銀面の動きとの関係

まず流量計発信器内の浮子を取除いてから差圧を導入し, そのときの高圧室内の水銀面の動きをマイクロメータで測定して流量と水銀面の動きとの関係を検べた。実験結果を第 6 図に示す。流量と水銀面の動きとは流量 20% 以上においては原点を通る直線関係となり, 誤差は最大 0.3% で, また, 流量の増加と減少とによる履歴現



第 6 図 流量と水銀面の動きとの関係
Fig. 6. Relation between Flow Rate and Movement of Mercury Level

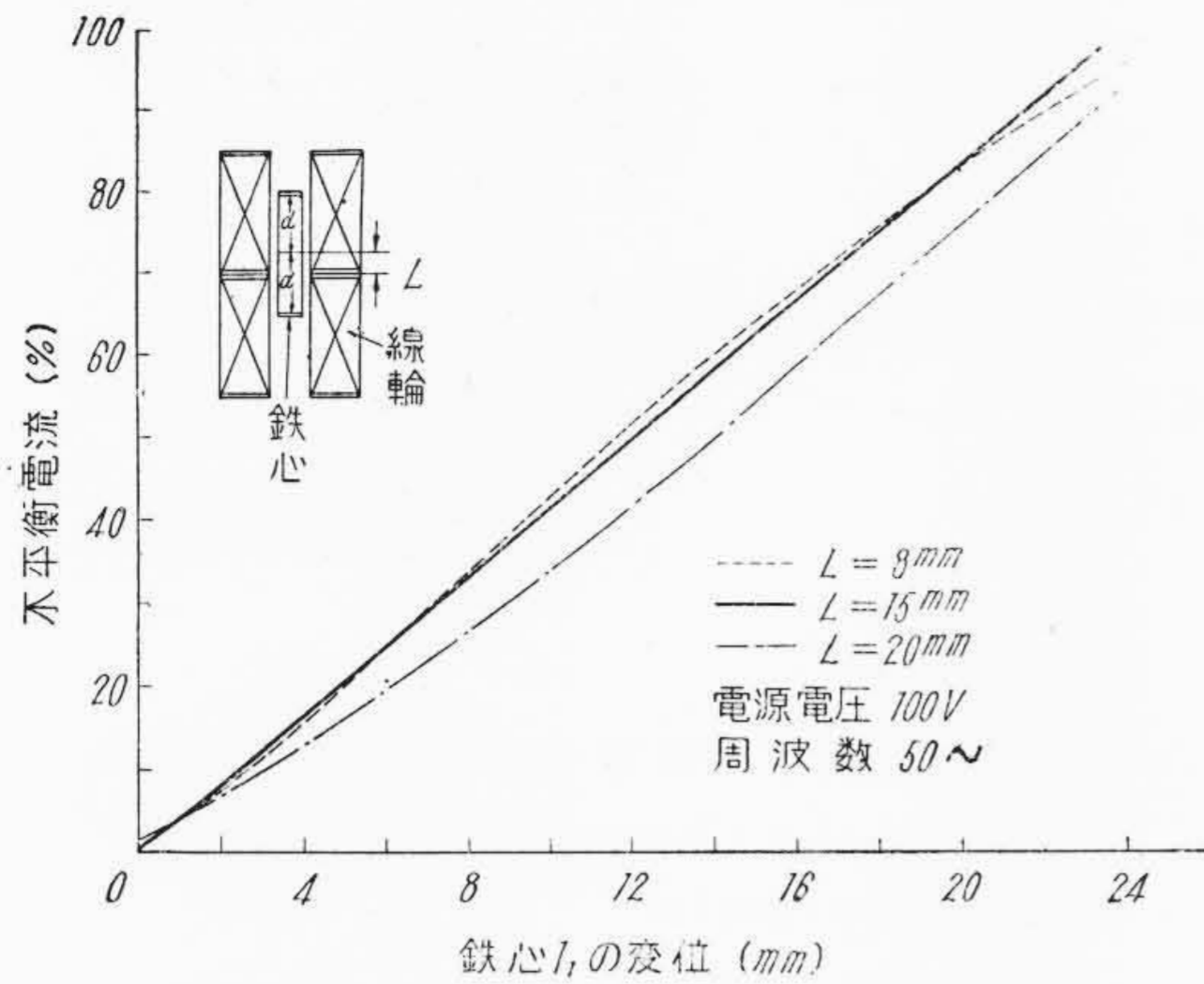


第 7 図 鉄心 I_1 の変位と指示計の読みとの関係
Fig. 7. Relation between Displacement of Armature I_1 and Indication of Meter

象はほとんど認められない。しかし, 後述するごとく水銀中に浮子を浮かべた場合の浮子の変位に多少履歴誤差を伴うことはまぬがれない。

(2) 発信器鉄心の変位と指示計鉄心の変位との関係

原理的には発信器鉄心 I_1 と指示計の可動鉄心 I_2 との変位はよく一致しなければならないが, 実際においては発信器の線輪は鉄製容器内に納められていて, 指示計のそれは裸のまま取付けてあるため, 両線輪内の鉄心の可動部分の磁束分布状態が異つていること, および指示機構の可動部分の摩擦などのため, 両鉄心の変位は一致しない。すなわち第 7 図(A)のごとき関係になる。たゞし



第 8 図 鉄心 I_1 の変位と不平衡電流との関係
Fig. 8. Relation between Displacement of Armature I_1 and Unbalance Current

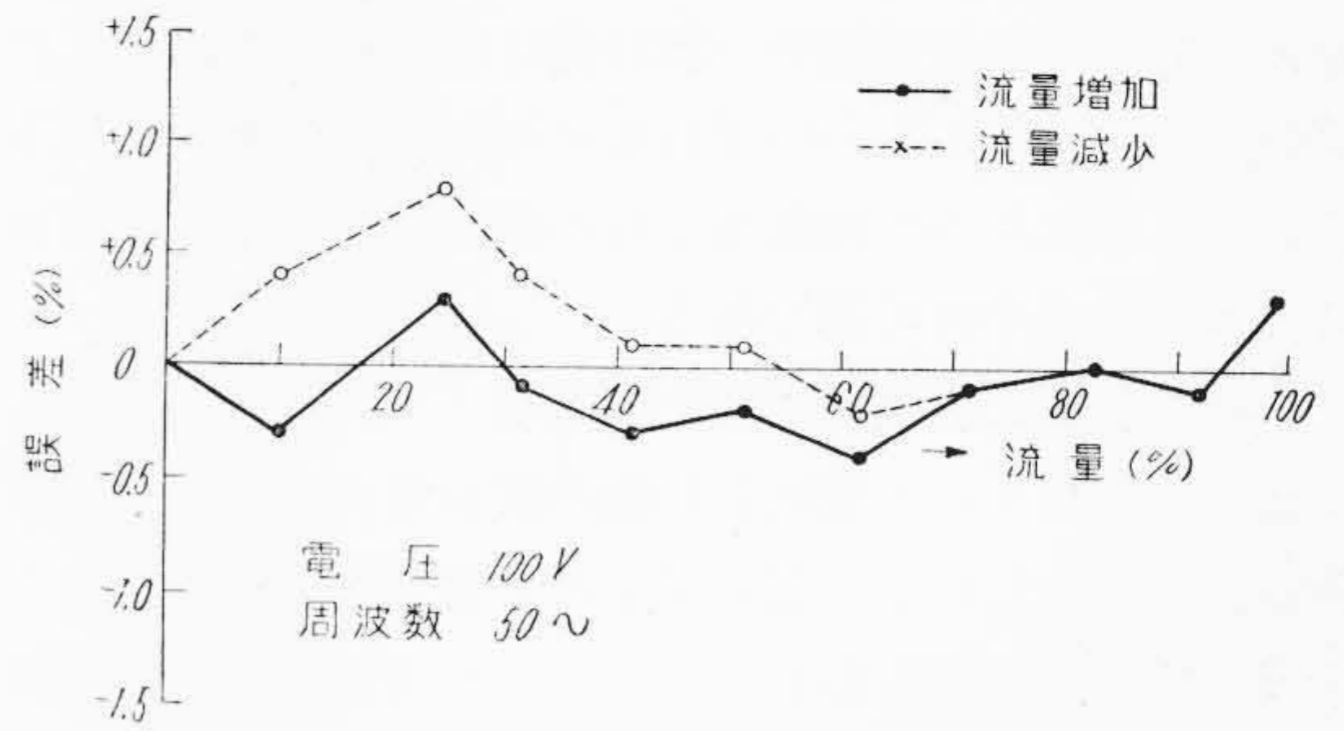
指示計鉄心の変位は指針の振れで示してある。よつて指示計の誘導線輪 L_3 の上部に薄い調整鉄板を配置し、その枚数を調整することにより両鉄心の変位をほとんど一致せしめた。同図(B)がその結果である。

(3) 発信器鉄心の変位と不平衡電流との関係

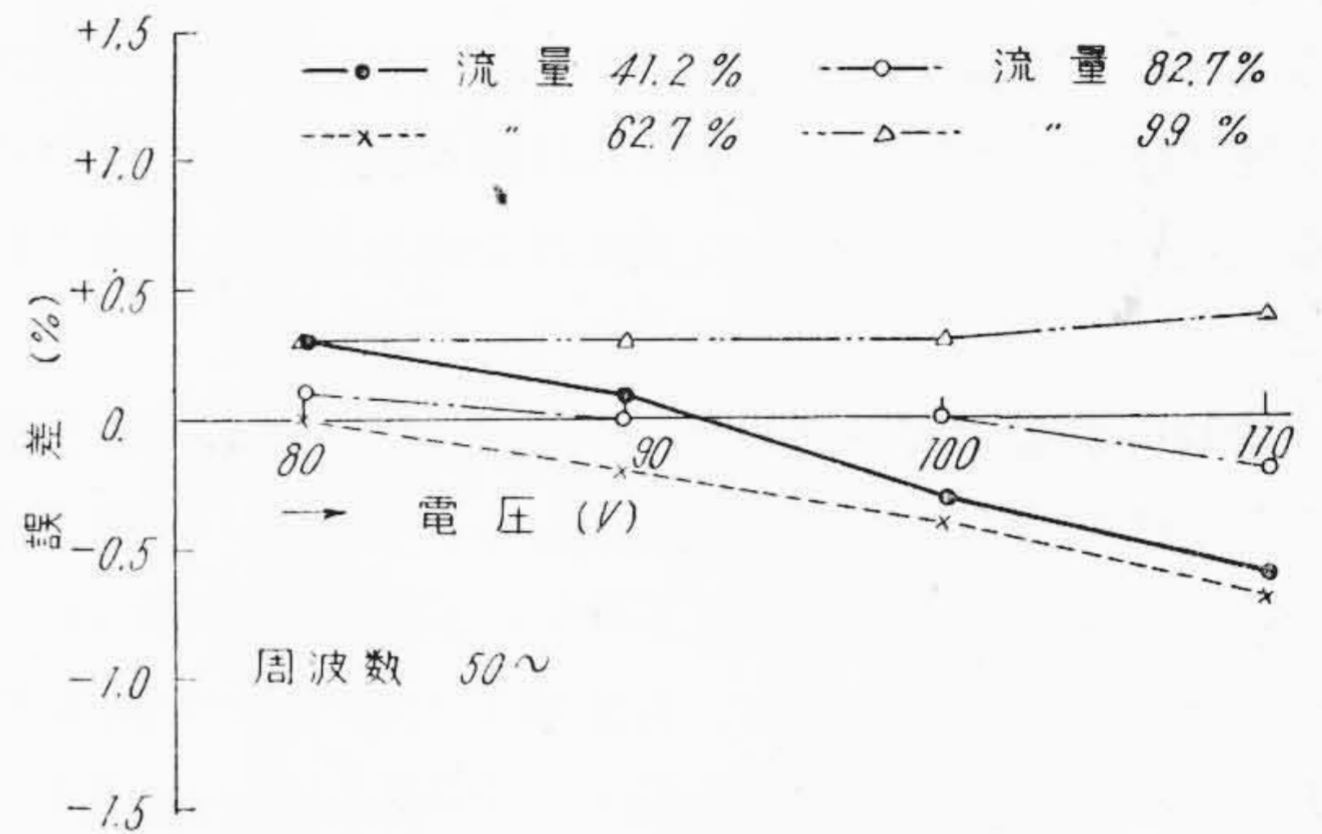
流量を電氣的に積算するためには流量、すなわち、発信器鉄心 I_1 の変位と第2の交流ブリッジの不平衡電流 i とが比例していなければならない。しかし、流量零における誘導線輪にたいする発信器鉄心 I_1 の位置が適当でないと鉄心 I_1 の変位と不平衡電流 i とは比例しない。第 8 図は鉄心 I_1 の位置を種々に変えた場合の I_1 の変位と不平衡電流との関係である。ただし、流量零における鉄心 I_1 の線輪にたいする位置は同図に示してあるごとく線輪 L_1 と L_2 との中間と鉄心 I_1 の中央との距離 L で示した。これよりあきらかなごとく線輪にたいする鉄心の位置が高すぎると鉄心の変位が小さいときに不平衡電流の増加割合が減少し、低すぎると変位が大きいときに同様の傾向を示す。しかして $L=15\text{ mm}$ のときは鉄心 I_1 の変位と不平衡電流とがよく比例する。したがつて今回の実験では流量零における線輪にたいする鉄心 I_1 の位置を $L=15\text{ mm}$ に調整した。

(4) 流量と指示計の読みとの関係

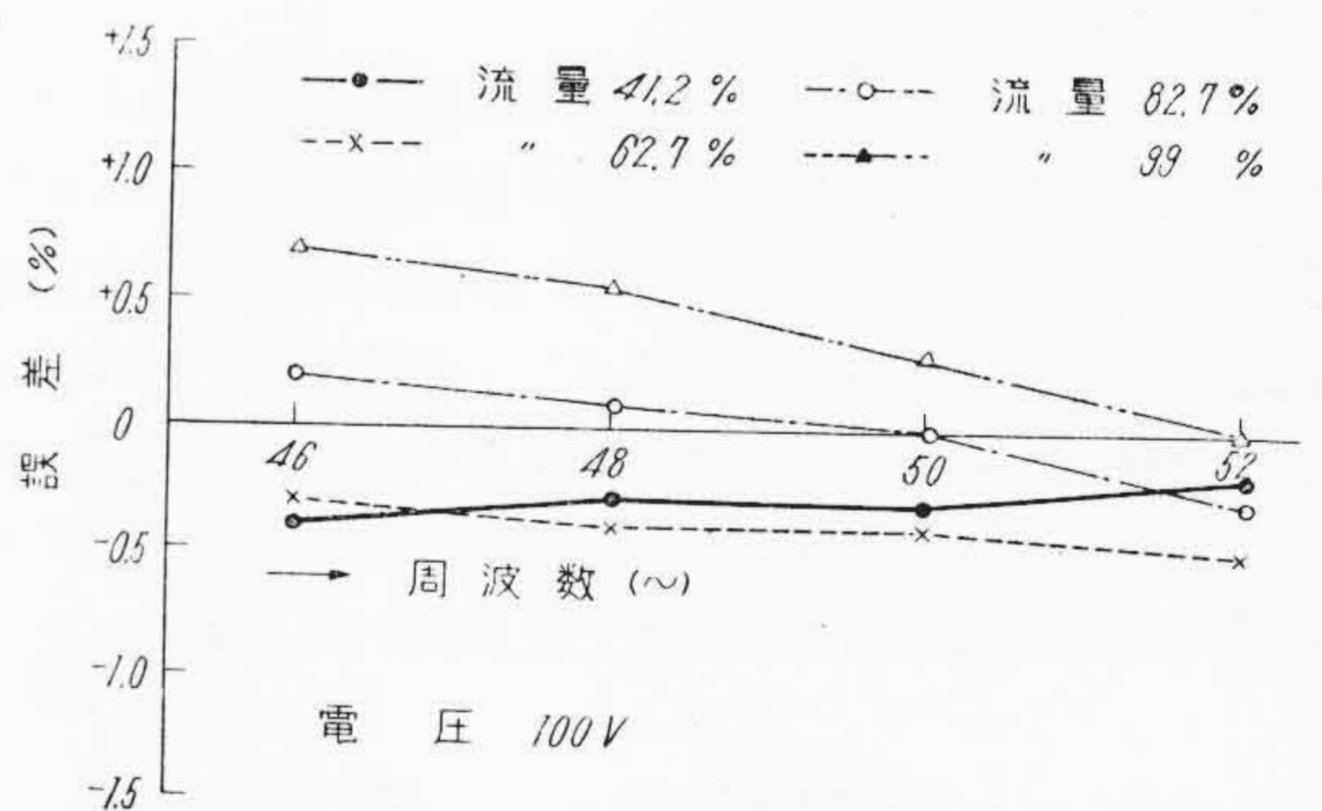
第 6 図からわかるように発信器鉄心 I_1 の変位が流量に比例するのは流量 20% 以上の場合であるから、指示計の目盛は流量 20~100% は等間隔目盛とし、0~20% は不等間隔目盛とした。まず電源の電圧を 100 V、周波数を 50~ に保ち、発信器に差圧を導入して流量と指示計の目盛の読みとの関係を検べ、流量と指示値の誤差との関係を求めると第 9 図の結果になる。ただし、誤差は真値と指示値との差の定格値にたいする百分率で示し



第 9 図 流量と指示値の誤差との関係
Fig. 9. Relation between Flow Rate and Error of Indicating Value



第 10 図 電圧と指示値の誤差との関係
Fig. 10. Voltage Characteristics Curve of Indicator



第 11 図 周波数と指示値の誤差との関係
Fig. 11. Frequency Characteristics Curve of Indicator

た。これよりあきらかなごとく、流量 60% 以下の場合には流量増加と減少とで約 0.5% の履歴を生ずるが、これは指示機構の可動部分の摩擦の減少を図ればさらに小さくすることができる。したがつて最大誤差 $\pm 0.5\%$ の指示計の製作は可能である。

なお、本流量計は交流誘導線輪の自動平衡作用の原理を利用して流量の指示を行つているから、原理的には電源の影響をうけないはずであるが、実際には第 10 図および第 11 図に示すごとく多少影響される。第 10 図は電圧と

指示値の誤差との関係で、第11図は周波数と指示値との関係である。しかし、いずれもその影響は±0.5%以下である。したがって流量指示計の総合誤差を±1%におさえることは十分可能である。

(5) 流量と流量積算値との関係

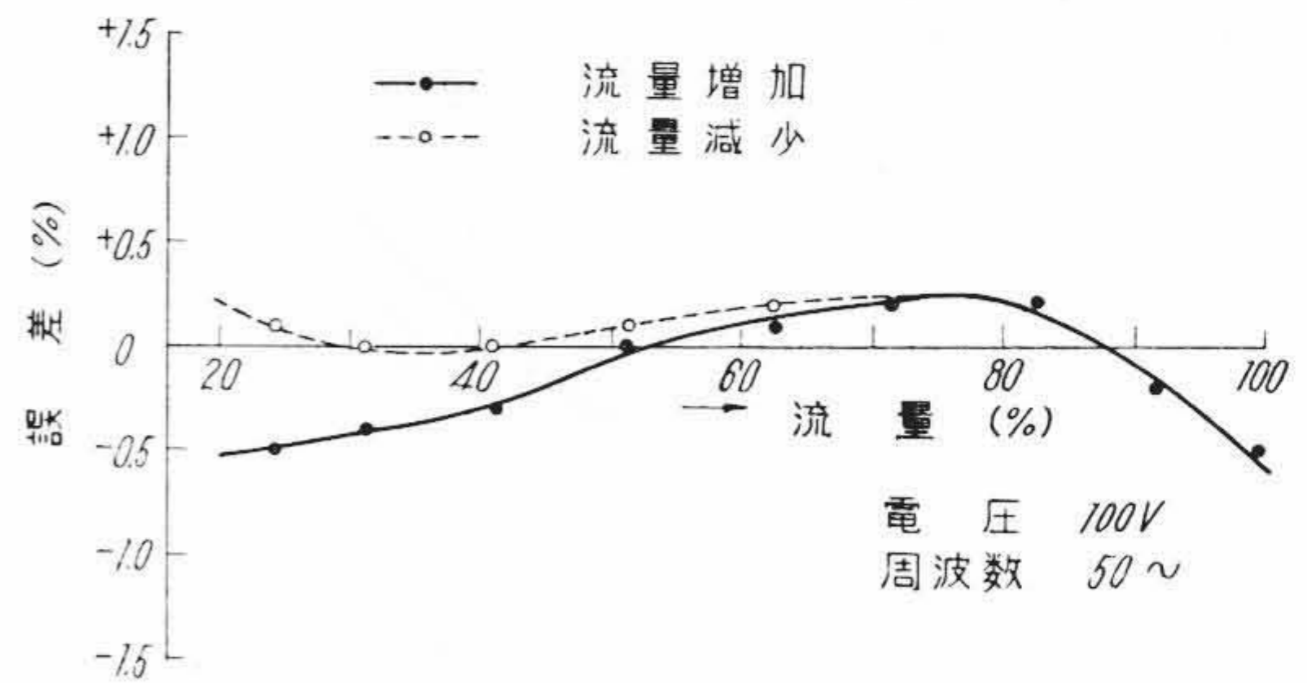
流量積算計として電磁石制動の積算電力計を用いれば流量積算値にたいする電源電圧の影響を除きうるが、このまゝでは周波数の影響が入る。それは電磁石線輪電流が回路のインピーダンスのため周波数により変化し、制御回転力が変わるからである。そこでこの周波数の影響を除くためつぎのような方法を採用した。すなわち、周波数によつて第二の交流ブリッジの不均衡電流が変化するようにしておき、制御回転力の変化分だけ駆動回転力が変化するようにした。それには第5図の流量積算計の電流線輪と直列に接続した抵抗Rの値を適当に調整すればよい。

第12図は電源電圧 100 V、周波数 50~ における流量と流量積算値の誤差との関係である。たゞし、誤差は真の値と実測値との差の流量 100% における真の値にたいする百分率で示してある。流量増加と減少とで最大約 0.5% の差を生ずるが、誤差は ±0.5% 以内におさまっている。なお、不平衡電流が流量、すなわち、発信器鉄心 I₁ の変位に比例するのは流量 20% 以上の場合であるから、本流量計においては流量 20% 以下の場合は流量積算が困難である。

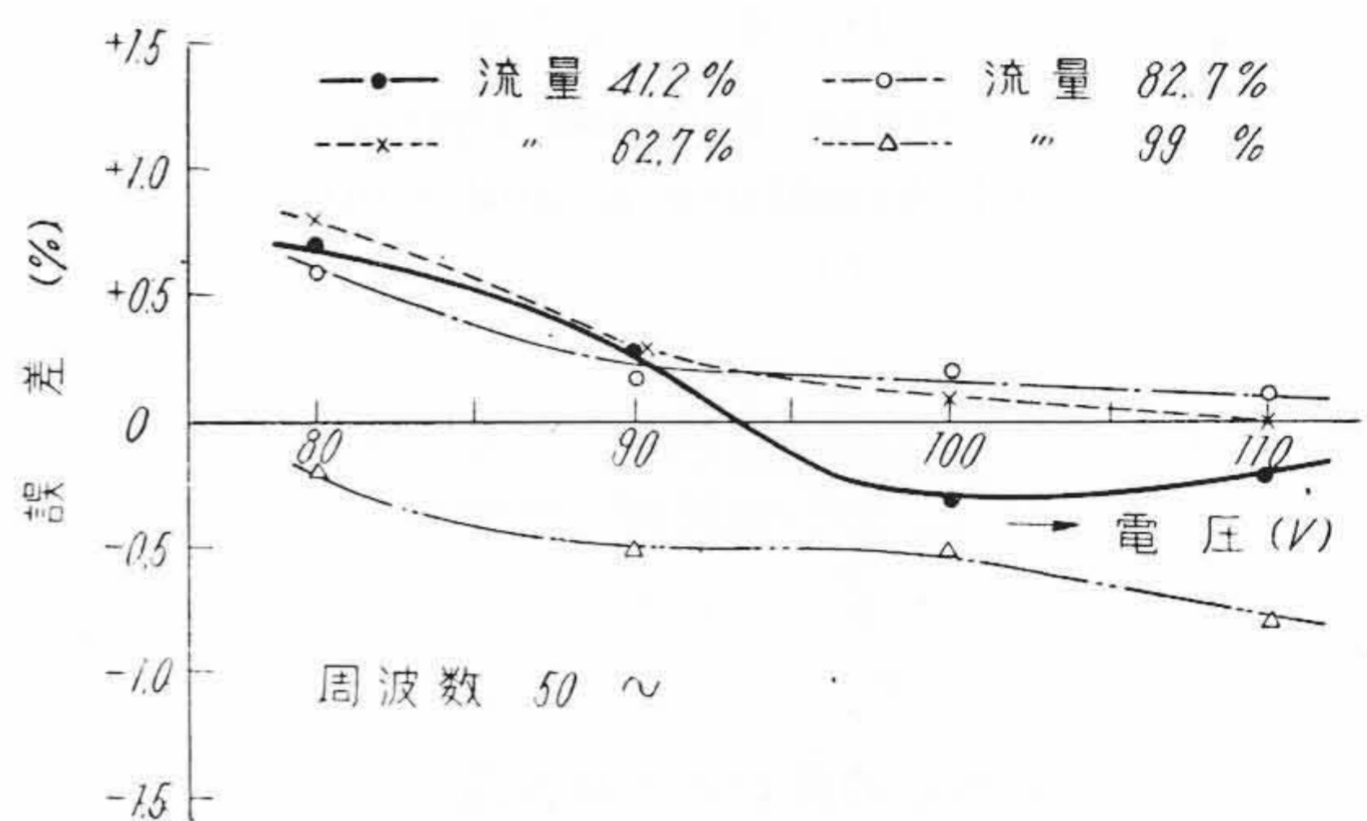
しかして前述せる方法によつて流量積算値におよぼす電源電圧ならびに周波数の影響は相当程度除きうるが完全ではない。そこで流量積算値の誤差におよぼす電源電圧ならびに周波数の影響を検べた。その結果を第13図および第14図に示す。これよりあきらかなごとく、電源の変動による影響は±0.5% 程度であるから、総合誤差±1% の流量積算が可能であることがわかる。

[V] 結 言

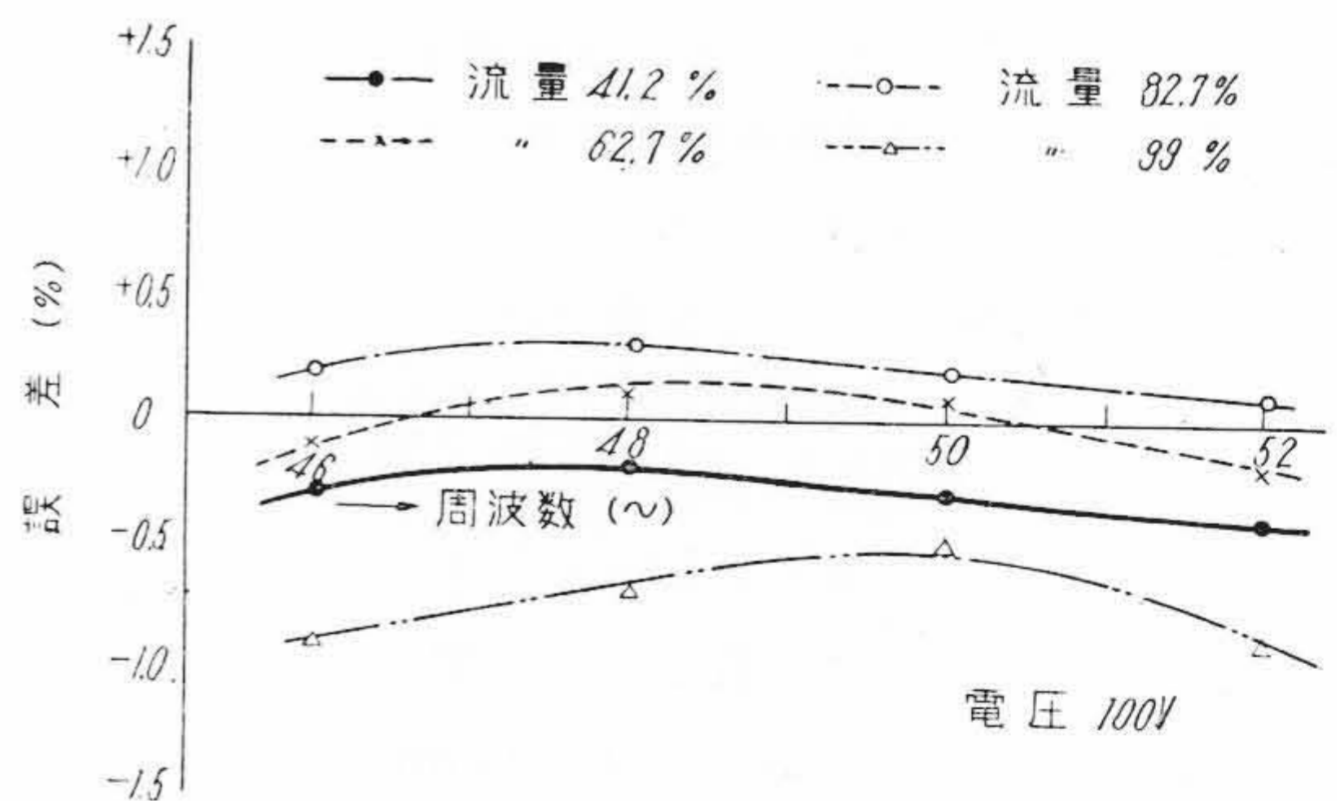
以上今回はオリフィス前後の圧力差を利用して電氣的に流量の指示、記録ならびに積算を行う流量計について研究を行い、総合誤差±1%の流量計を製作しうることをあきらかにした。この方式の流量計は指示が安定していて、しかも記録が容易であり、その上流量を電氣的に積算するものであるから連続的な積算が可能になり、その利用価値は増大するものと思われる。



第12図 流量と積算値の誤差との関係
Fig.12. Load Characteristics Curve of Integrator



第13図 電圧と積算値の誤差との関係
Fig.13. Voltage Characteristics Curve of Integrator



第14図 周波数と積算値の誤差との関係
Fig.14. Frequency Characteristics Curve of Integrator

最後に本研究を行うにあたり終始御指導御鞭撻を賜つた日立製作所日立研究所副所長三浦博士、ならびに主任研究員西堀博士に感謝の意を表す。