

相互較正法による音響機器の 絶対感度の測定法

西山 静 男*

Measuring Method of Absolute Response of the Acoustic Instruments by the Method of Mutual Calibration

By Shizuo Nishiyama

Totsuka Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

In this paper, the mutual calibration method for measuring absolute response by means of the principle of reciprocity between electro and acoustic, or electro and mechanical transducer is described. First the writer explains the relative formula of the principle of reciprocity both of electro-magnetic and electro-static types, with its measuring method and its actual applications.

Using this method, the thermal characteristics of the response of the No. 4 carbon transmitter was measured at the temperature between -30°C and 70°C , and found out that the response difference at the equilibrium state of temperature was nearly negligible being around 2 db. Further, the thermal characteristics of the non-battery type transmitter and receiver manufactured for trial was also measured. These examples as given above can never be measured by means of the conventional methods.

Next, the writer applied this method in the measurement of the response of the electro and mechanical transducer using the driving and measuring elements of the dynamic actuate and static measuring type vibrometer without any standard transducer. With this example, it was proved that the mutual calibration method gave the most convenient and high efficiency measurement. Lastly, the writer certifies the availability of the mutual calibration method giving three different examples.

〔I〕 緒 言

電気→音響、或は更に広義の意味に於て、電気→動体(電気→機械)間の変換機器の変換係数の絶対測定法は色々な面に於て困難が伴うものである。殊に音響機器ではその振動系の機械インピーダンスが比較的小さく、然も振動速度が非常に高いものでは絶対値の測定が極めてむづかしい。これは亦高温、低温等の苛酷な使用条件に対して変換係数(一般に感度)を保証することも極めてむづかしいことを意味する。そのために広い範囲で温度特性を保証した音響標準を得るということが非常にむづかし

い問題となる。しかるに普通の比較法から求める測定法ではどうしても標準器が必要であるためこのような目的には測定が不可能である。かゝる時相互較正法を用いることで標準器を使わずして非常に精度も高く且つ簡単に絶対感度測定が出来るようになったものである。

相互較正法は、音響機器の実際使用面として、従来の Thermophone, Layleigh Disc 等に代えて絶対感度測定に用いる外に、前述の如く普通の方法では測定出来ない場合でもそれを可能にするという所が更に大きな利点であろう。

近時相互較正法について電気→音響変換⁽¹⁾、電気→機械変換⁽²⁾等について種々報告されている。筆者もさきに

* 日立製作所戸塚工場

パイロメータについて振動系の機械インピーダンスを結合要素と考え駆動素子と測定素子の相互較正により変換係数の測定について一部報告した⁽³⁾。これ等の報告に於て多くの興味ある問題が解析されている。例えば変換器の可逆則を用いて、絶体較正に利用するということの他に、電気→音響、或いは電気→機械間の一方通過の不可逆性の成立する場合の解析を行つたものも多くある。従つて変換器もいつでも可逆則が成立するというものではないことに注意を要するのである。

相互較正法は可逆則が成立する変換器であればその種類は音響機器に限定されないので、継電器、計器或は回転機等でも良いのである。

今回は普通の方法では測定出来ないような苛酷な使用条件、即ち低温、高温に於ける電話送受話器の感度を相互較正法を利用して測定する方法（このような実験は今迄にも余り紹介されておらない）、及びパイロメータを相互較正法を用いて極めて有効に較正出来る。相互較正法を行うには可逆則が成立するか否かということが先づ問題であるがこれ等についても言及する。

〔II〕 相互較正法による測定法

相互較正法により変換機器の変換係数（感度）を測定するには任意の変換機器を2箇適当な結合要素によつて結合する。例えば回転機であれば回転軸を共通にする。電話送受話器の音圧較正をする場合には音響結合室に二つの機器を結合する。而して一方の機器は電気→音響、音響→電気の如く可逆性を有するものにする。測定は両方の変換係数の積を求め、次いで比を求める。そして可逆則の関係式を用いて算出してそれぞれの変換係数に分離するのである。この実際の取扱いは実験例により詳細に述べる。

先づ各種型の可逆則について説明する。

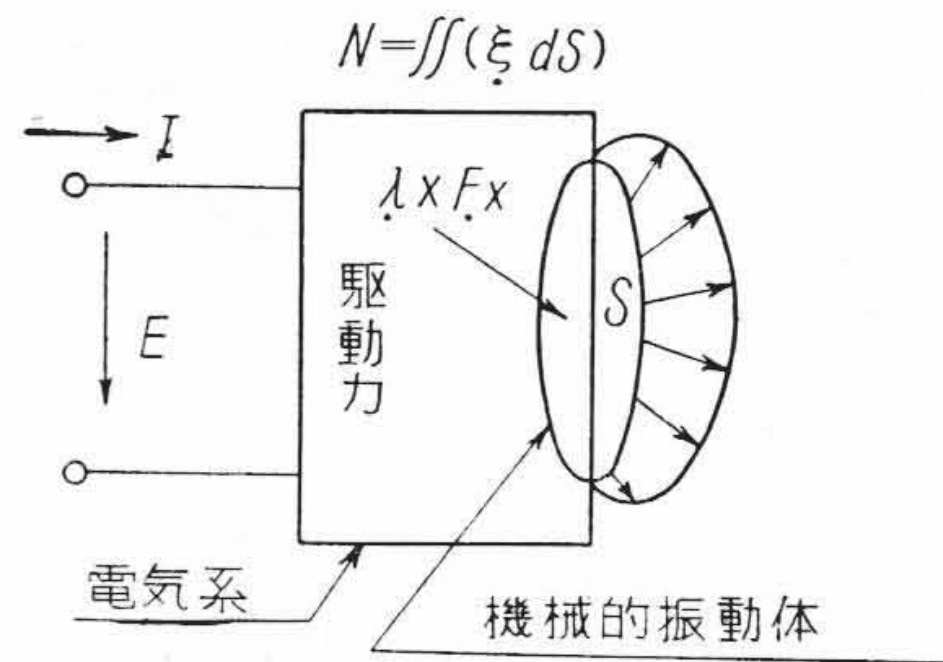
(1) 可逆則の証明

変換器としては電気→音響系の所謂音響機器では大別して電磁型、静電型がある。又後述のパイロメータの如く電気→機械変換の場合にも同様に電磁型静電型が考えられる。廻転機、計器等は電気→機械変換に属する。これらの内主なるものゝ可逆則について述べる。

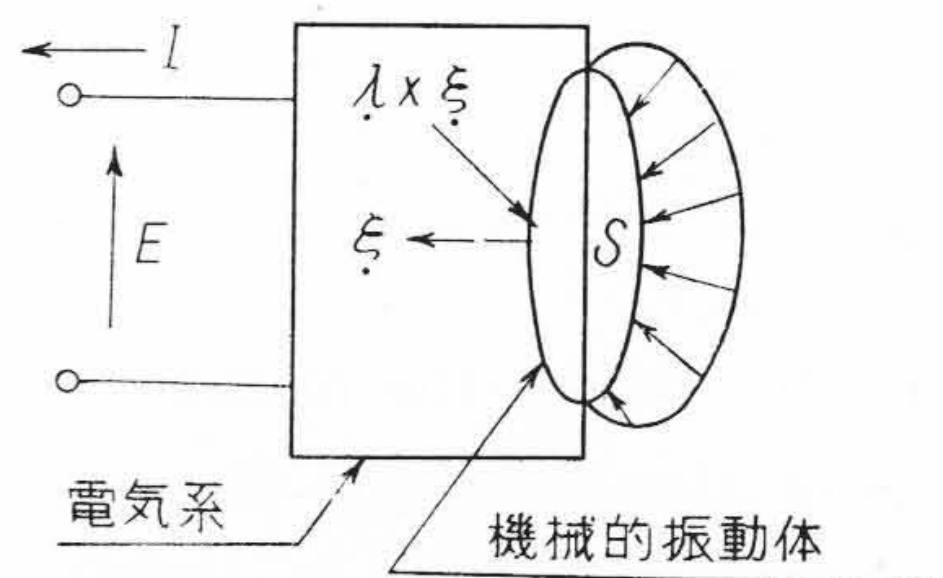
(A) 静電型電気→音響変換

静電型の代表的な場合としてコンデンサーマイクロホンを考える。これは勿論可逆変換器であるからこの可逆則の関係を求める。

振動板の変位を基準函数の無限級数のベクトル和として体積変位を求め、これに基く音響結合室内の音圧上昇との比より変換係数を求める方法⁽⁴⁾であつて、この場合は二つの音響機器の結合要素として結合室内の媒質（こ



(a) 電気→音響変換模型



(b) 音響→電気変換模型

第1図 電気→音響変換模型

Fig. 1. Model of Electro-Mechanical Transducer

の場合は空気)の体積弾性係数をとつている。即ち静電型電気→音響変換の場合はその関係は第1図(a),(b)の如くで、図(a)は電気→音響変換で受話器として用いた時である。図(b)は音響→電気変換でマイクロホンとして用いた場合である。

先づ、第1図(a)の如き電気→音響変換の入力端子に $e = E \epsilon^{j\omega t}$ なる電圧を加えた時、機械振動体の媒質排除量を $N \epsilon^{j\omega t}$ とする。音圧較正を考えているからこの振動板は音響結合器に終つている。従つて体積排除量による結合器内の気圧変化 p は、気密室容積を V 、媒質の体積弾性係数を K とすると、

$$p = K \frac{N}{V} \cdot \epsilon^{j\omega t} \dots \dots \dots (1)$$

しかるに体積排除量の一般式として

$$N \epsilon^{j\omega t} = \frac{F_x}{M} \sum_{m=1,2,\dots}^{\infty} \frac{(\lambda_x \bar{\epsilon}_{mx}) \iint (\bar{\epsilon}_m dS)}{\omega_m^2 - \omega^2} \epsilon^{j\omega t} \dots (2)$$

但し M は全質量、(1), (2) 式より

$$p = \frac{KF_x}{VM} \sum_{m=1,2,\dots}^{\infty} \frac{(\lambda_x \bar{\epsilon}_{mx}) \iint (\bar{\epsilon}_m dS)}{\omega_m^2 - \omega^2} \epsilon^{j\omega t} \dots (3)$$

こゝに $\omega_m, \bar{\epsilon}_m$ はそれぞれこの機械振動の第 m 次様式自由振動角周波数及び第 m 次様式基準函数であつて、 $m=1,2,\dots,\infty$ の総和を示す。

電気→音響変換のときの力係数を A_1 とすれば静電型では起振力 F_x は常に次の如く A_1 を定義している。即ち

$$F_x \varepsilon^{j\omega t} = A_1 e$$

従つて (3) 式は

$$p = \frac{KA_1 e}{VM} \sum_{m=1,2,\dots}^{\infty} \frac{(\lambda_x \Xi_{mx}) \iint (\Xi_m dS)}{\omega_m^2 - \omega^2} \dots\dots (4)$$

受話器としての感度を $k_R = p/e$ とすると (4) 式より

$$k_R = \frac{KA_1}{VM} \sum_{m=1,2,\dots}^{\infty} \frac{(\lambda_x \Xi_{mx}) \iint (\Xi_m dS)}{\omega_m^2 - \omega^2} \dots\dots (5)$$

次に図(b)の如く音響→電気変換即ちマイクロホンとして前と同様に感度を求める。振動板に加わる一様垂直駆動力を附加した時の出力電気端子の誘起電圧を e とする。振動板の振動による誘起電圧は前の電気→音響の場合に対応せしめられる。一様垂直駆動力により X 点に λ_x 方向に誘起される振動変位 ξ_x はこの時の力係数を A_2 、駆動圧力を $p = P \varepsilon^{j\omega t}$ とすると

$$\dot{\xi}_x = \frac{j\omega p}{M} \sum_{m=1,2,\dots}^{\infty} \frac{\iint (\Xi_m dS) \Xi_{mx}}{\omega_m^2 - \omega^2} \varepsilon^{j\omega t} \dots\dots (6)$$

出力端子より見た motional admittance を Y とすると

$$A_2 (\lambda_x \dot{\xi}_x) = i = Y e \dots\dots (7)$$

故に

$$Y e = \frac{j\omega p A_2}{M} \sum_{m=1,2,\dots}^{\infty} \frac{(\lambda_x \Xi_{mx}) \iint (\Xi_m dS)}{\omega_m^2 - \omega^2}$$

しかるに $k_M = e/p$ なる故

$$k_M = \frac{j\omega A_2}{YM} \sum_{m=1,2,\dots}^{\infty} \frac{(\lambda_x \Xi_{mx}) \iint (\Xi_m dS)}{\omega_m^2 - \omega^2} \dots\dots (8)$$

静電型に於ては $A_1 = A_2$ なる故

$$k_M = \frac{j\omega V}{YK} \dots\dots (9)$$

(9) 式が静電型の可逆則の関係式である。即ちこれは静電型変換器をマイクロホンとした時の感度 k_M と受話器とした時の感度 k_R との間の相関々係である。

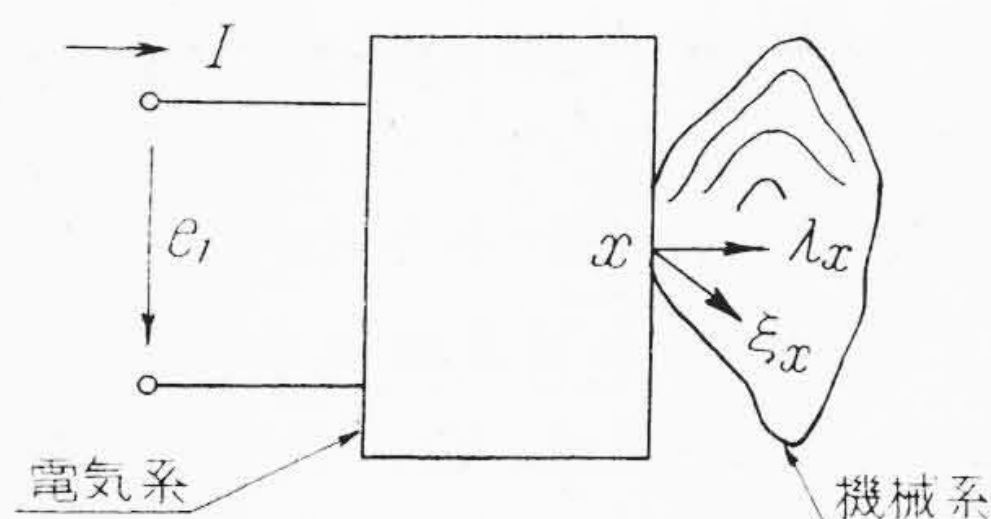
(B) 電磁型電気→音響変換

電磁型に関しては既に詳細な解析がされている⁽⁴⁾。それによると、入力端子より見た motional impedance を Z 、音響結合器の容積を V 、媒質の体積弾性係数を k とすると次の如く表わせる。

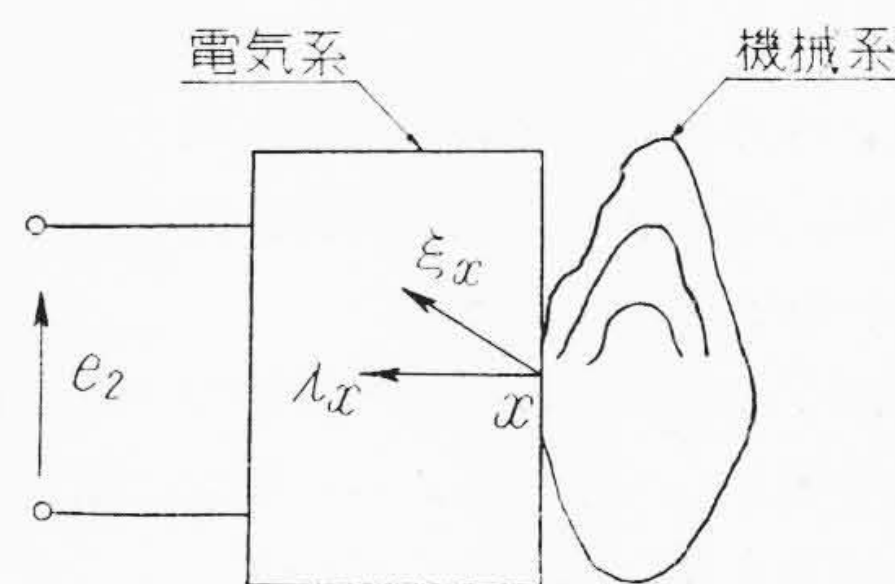
$$k_M = \frac{j\omega V Z}{K} k_R \dots\dots (10)$$

(C) 電磁型電気→機械変換

廻転機器、計器その他一般に電気→機械変換と考えられるものは頗る多い。これ等の内完全に可逆則が成立するか否かは振動系をよく吟味する必要がある。可逆則が成立する一つの例として電磁型電気→機械変換について説明する。これについては既に報告⁽³⁾したのでその結果のみを記す。可逆則として次式が成立する。



(a) 電気→機械変換



(b) 機械→電気変換

第2図 電気→機械変換模型

Fig. 2. Model of Electro-Mechanical Transducer

$$k_M = \omega^2 z_x Z k_R \dots\dots (11)$$

但し k_M : 機械→電気変換係数 = e_2/ξ_x

k_R : 電気→機械変換係数 = ξ_x/e_1

ξ_x : 着眼点 X に於ける振動変位

e_1, e_2 : 電気端子の印加並びに誘起電圧

Z : 電気端子の motional impedance

z_x : 着眼点 x より見た振動系全体の機械インピーダンス

ω : 振動角周波数

電気→機械変換の関係式(11)が電気→音響変換の(10)式と異なる点は前者は振動系の変位で感度を表わして関係式に振動系の機械インピーダンスが入っているのに対して、後者の場合は密閉された結合室内の音圧の大きさで感度を表わしている。従つて関係式には密閉室の媒質の体積弾性係数の体積密度が入つて来るのである。

以上述べた如く最も簡単な二つの系の変換は一般には可逆則が成立する。しかし次の如き場合には不可逆であつて一方通過である。例えば炭素送話器の如く音響エネルギーの有無に係わらず直流電源のエネルギー損失が存在し、音響エネルギーが加えられた時のみ振動系の振動によつて、その直流エネルギーを交流エネルギーに変調するので、振動系は単に開閉作用をするに過ぎないのである。

従つて炭素送話器は他の音響機器と違つてエネルギー源を大きくすれば無限に大きい電気出力を得ることが出来る長所を持つている。一般に基本動作式に散逸函数を含

む場合は不可逆である。他の特殊の例としては異種の複
数箇の変換器を結合して複合等価回路網を作つた時、或
る条件に於て不可逆が成立することがある。これ等に関
しては既述報告⁽¹⁾⁽²⁾に各種の紹介がある。

(2) 可逆則による相互較正法

可逆則が成立する変換器を用いて変換係数を求めるに
は二つの変換器の積と比より求めるのである。次にこれ
を説明する。

(A) 変換係数の積

これには可逆則の成立する変換器 k と他は可逆性を必
要としない任意の変換器 h とを第3図の如く結合要素に
より結び、入力電気端子と出力電気端子とで一種の四端
子網を作る。図(a)は電気→音響変換の例である。茲で

$$e_2/e_1 = e_2/p \cdot p/e_1 = k_R \cdot h_M$$

となり両端子の電圧比は電気→音響の k_R と音響→電気
の h_M との積として求まる。この場合は結合室の音圧は
一定で位相差もないものとしている。

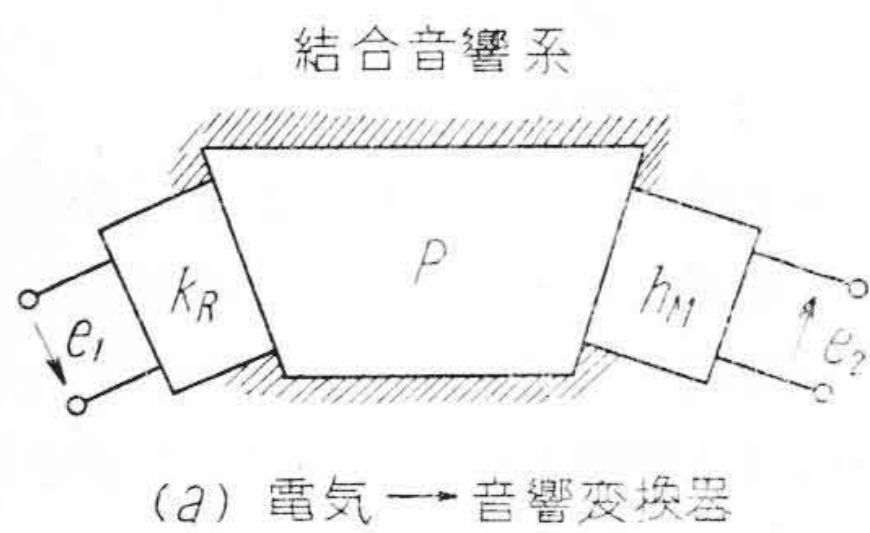
図(b)は電気→機械変換の例であるが、振動体の速度
或は変位が二つの変換器に共通でなく図の如く長さの比
が $l_1:l_2$ なる挺子により一つの変換器を作つてある例で
その時は

$$e_2/e_1 \cdot l_1/l_2 = k_R \cdot h_M$$

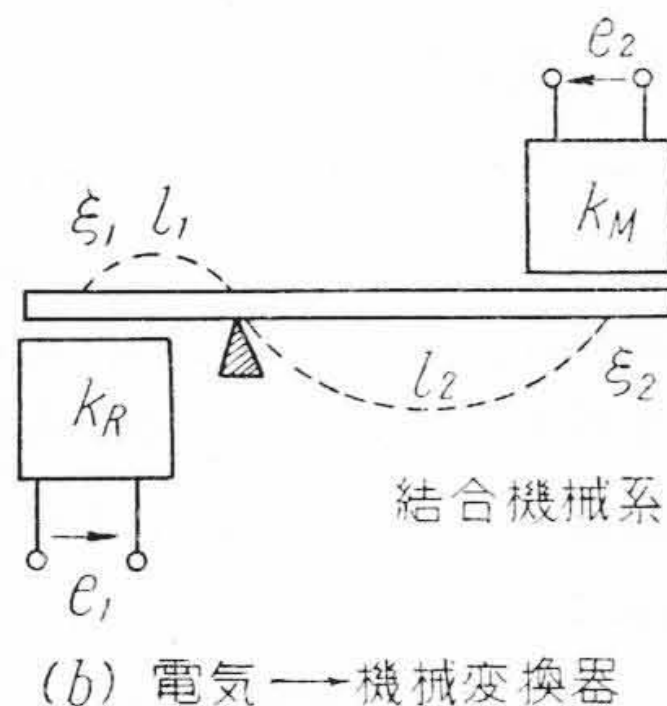
として容易に変換係数の積を得る。斯様に変換器をもつ
た例は電気→機械変換の場合に多い。

(B) 変換係数の比

二つの変換器を結合要素で結び之を他の方法により振
動せしめるのであつて、その一例を第4図(a),(b)に示



(a) 電気→音響変換器



(b) 電気→機械変換器

第3図 感度積四端子

Fig. 3. Four Terminals for Product of Response

す。図(a)は電気→音響変換の場合で音響結合室に細管
で他の音源から音圧を導入して、結合室内に音圧を与え
る。両方の変換器に同じ音圧が加わると

$$e_2'/e_1' = (e_2'/p)/(e_1'/p) = h_M/k_M$$

となり誘起電圧の比は変換係数の比に等しい。

図(b)は機械→電気変換の場合で、この時も特に両者
に加わる振動系の変位或は速度が一定でない例を示すも
のである。変位、速度が支点よりの距離に比例すると考
えると

$$e_2'/e_1' \cdot l_1/l_2 = (e_2'/\xi_2)/(e_1'/\xi_1) = h_M/k_M$$

誘起電圧比より容易に両方の変換係数の比を知ることが
出来る。

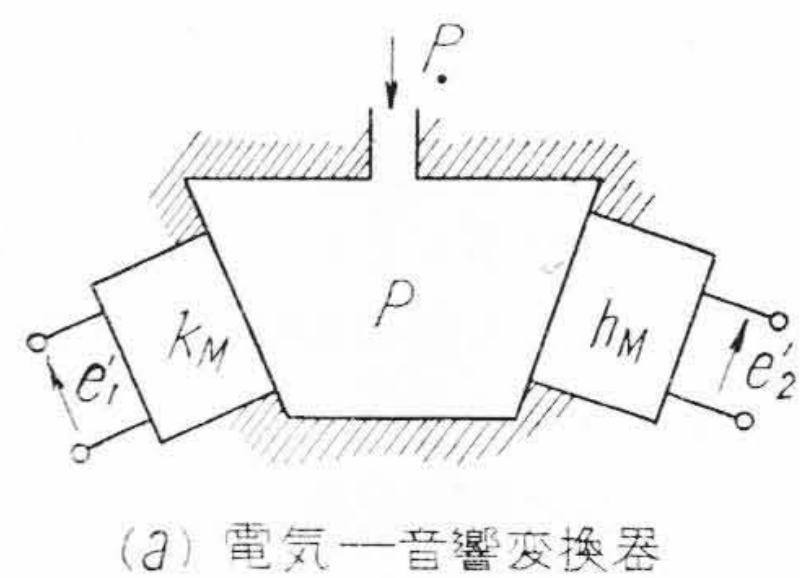
可逆変換器の可逆則の関係式は、その種類により (9),
(10), (11) 式等で表わされるが、これ等を全て $k_M = Ak_R$
として表わすと、変換係数の積、比を電圧比として実測
すれば

$$\left. \begin{aligned} k_M &= \sqrt{A \frac{e_2}{e_1} \cdot \frac{e_1'}{e_2'}} \\ \text{或は} \quad k_R &= \sqrt{\frac{1}{A} \frac{e_2}{e_1} \cdot \frac{e_1'}{e_2'}} \\ h_M &= \sqrt{A \frac{e_2}{e_1} \cdot \frac{e_2'}{e_1'}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (12)$$

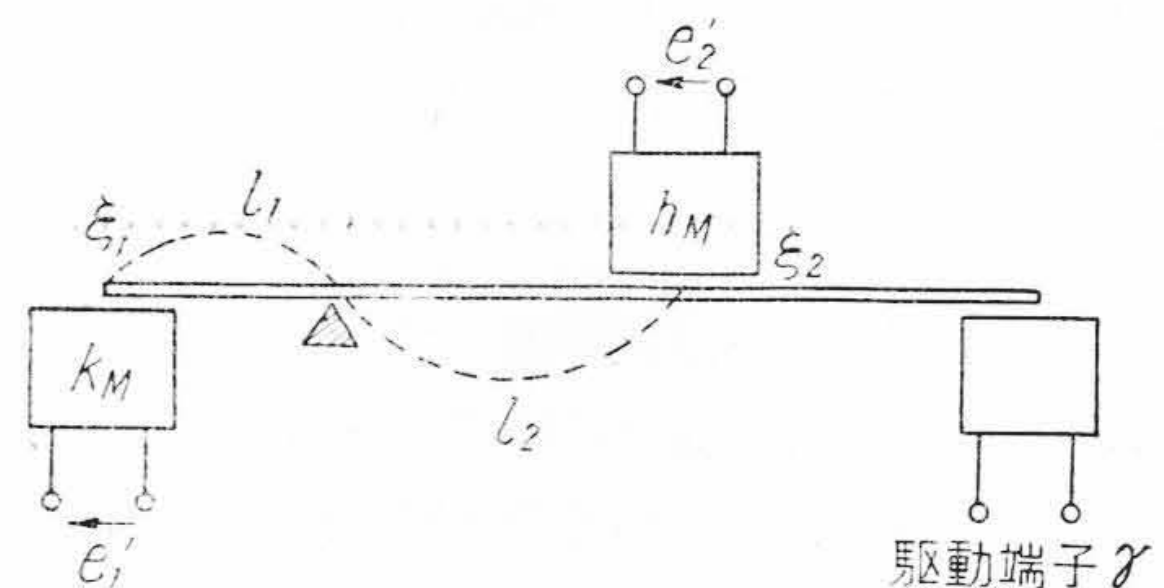
但し変成比 $l_1/l_2 = 1$ とす

より変換係数を算出出来る。

斯様に可逆変換器を用いて任意の他の変換器と組み
合せてその積と比を実測することにより、可逆関係式さえ
知つておれば変換係数を絶対値で求めることが出来る。



(a) 電気→音響変換器



(b) 電気→機械変換器

第4図 感度比四端子

Fig. 4. Four Terminals for Ratio of Response

茲に相互較正法の一つの特長は変換器 h は積、比の何れもマイクロホン動作をするので炭素送話器のように不可逆変換器でも積、比の安定な測定法さえあればこの方法で絶対感度を求めることが出来る。

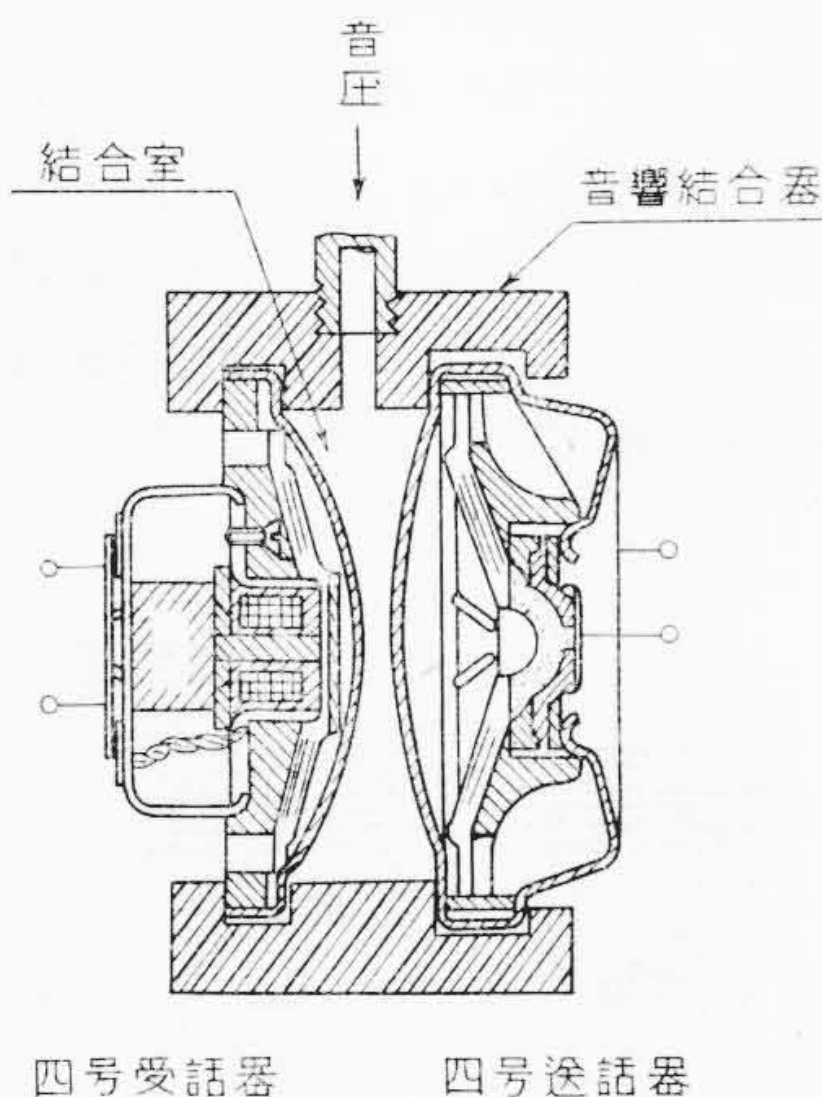
〔III〕 実 験 例

実際に用いて有効であつた代表的な例を三種類について述べる。電気→音響変換器の例では新型四号炭素送話器と今回当所で試作した無電池式電話機に用いる電磁型送受話器について、温度特性を広い範囲にわたり測定した。この例は相互較正法を用いなければ測定出来ないものゝ一例である。次は電気→機械変換の例で動電駆動静電測定型バイプロメータを駆動素子と測定素子とをそのまま用いて感度(変換係数)の絶対測定を行う方法である。この方法は相互較正を使うと非常に便利であることを示す例である。

(1) 新型四号送話器の温度特性

炭素送話器は 60 乃至 80 メッシュの炭素粉に直流を通じ炭素粉の接触抵抗を音声振動によつて変調する方式である。従つて感度が極めて高い反面非常に不安定で色々の特異現象を起す。しかも電話機に用いるので使用される場所も使用条件も幅が広く、温度についても安定を要求される範囲が広い。温度特性について測定する必要があつたが、基準音圧を発生するに必要な標準受話器の温度保証が得られないため実現出来なかつた。相互較正法を用いる場合でも感度の積、比を測定する時、送話器の状態が完全に一定でなければ較正值が違つて来る。検討の結果送話器の出力電圧を一定にして測定すれば最も安定なる特性を得ることを知つた。以下その方法について述べる。

第5図は四号送話器と受話器を音響結合室で音響的に



第5図 四号送受話器結合図

Fig. 5. Coupling Section No. 4 Transmitter and Receiver

結合した等価四端子網である。可逆器を受話器とした。電磁型電気→音響変換器であるから、可逆則の関係には式(10)を用いる。これは C.G.S. 単位であるから実用単位として、 $k_M k_R$ を $V/\mu \text{ bar}$, Z を Ω として

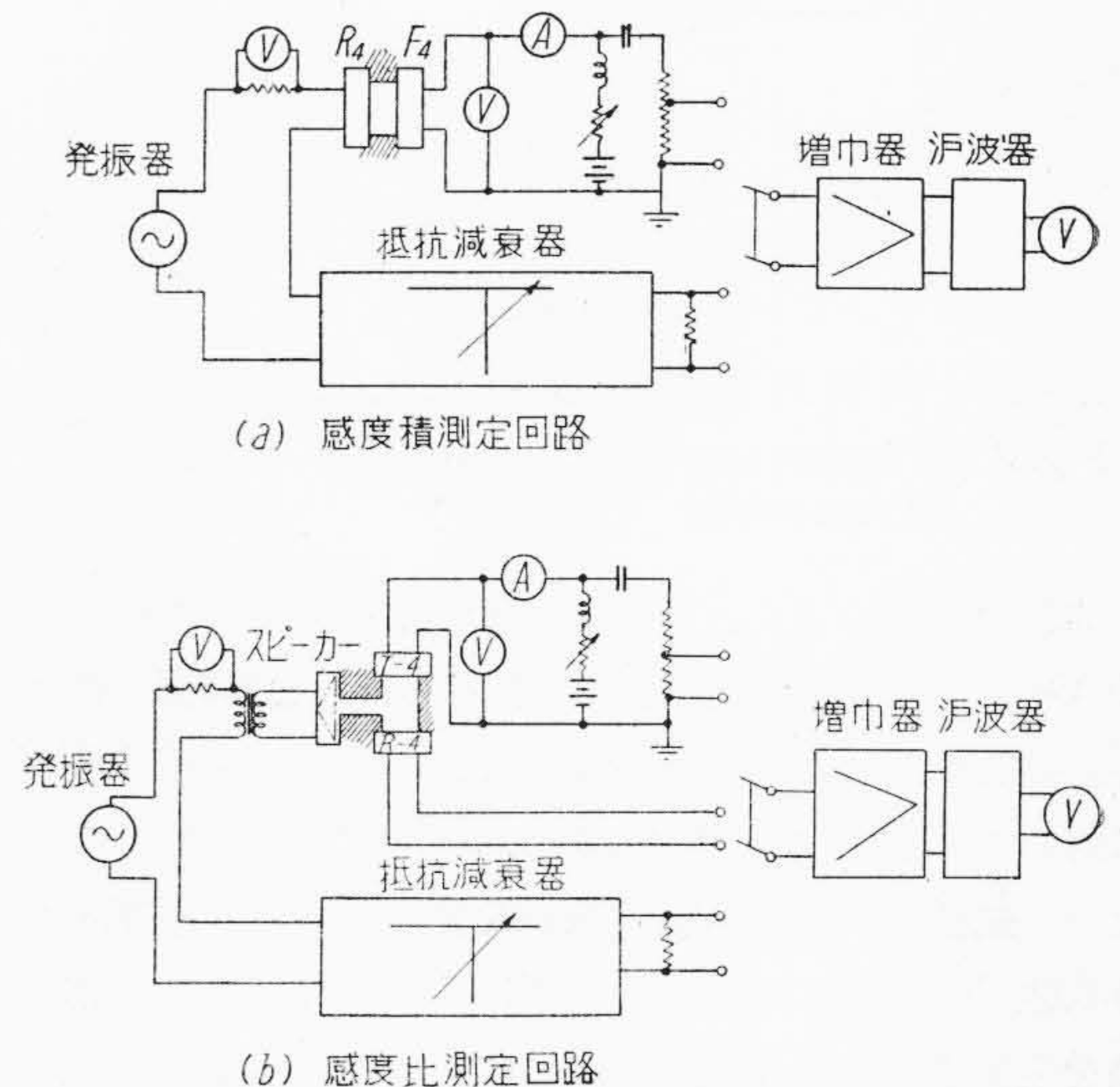
$$k_M = \frac{j\omega V Z}{K \cdot 10^7} k_R \dots \dots \dots (13)$$

(A) 測定回路

感度積、比を求める回路は第6図(a), (b)の如く、電圧比の測定は置換法を用い抵抗減衰器により求める。音響結合器に細管を設け音響駆動端子とし、感度比を求める時はこれにより別の音源より音圧を導入した。

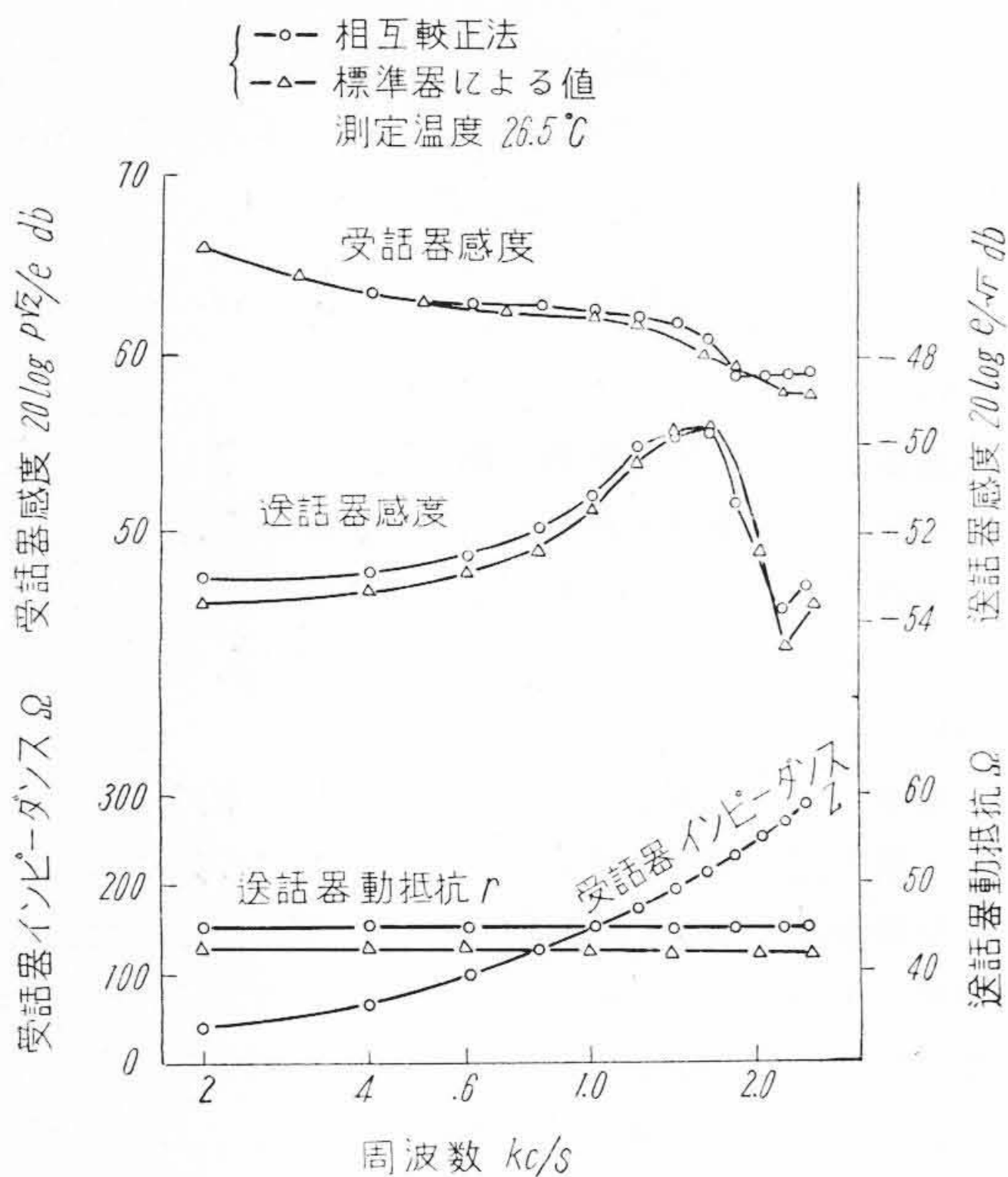
(B) 測定結果

感度積、感度比測定に送話器出力電圧一定にして測定した。第7図(次頁参照)は常温に於てこの方法により求めた周波数特性と、普通に行う如く、別に較正した音響標準器を用いて得た特性と比較したものである。受話器の測定結果では測定値の複元性も高いため両者の差は少い。送話器の場合も測定値の差は比較的少い。これは炭素粉の機械インピーダンスが測定の都度変つて来ることゝ、これが変位に対して非直線性を多くもつため相互較正法の感度積、比を求めるに除して結合室内の音圧が一定でない為、起振力が一定とならず、従つて測定の都度炭素粉の変位が等しくないことによる。送話器の積、比の時出力電圧 e_2, e_2' を等しくすることは変位を等しくすることであるから、この炭素粉の非直性を消去出来るのである。図では両者の差は 1 db 程度であるが、もしこの炭素粉の非直線性を考慮しないと 3 db 以上の誤差となり相互較正法を用いて測定の正確さが得られない。

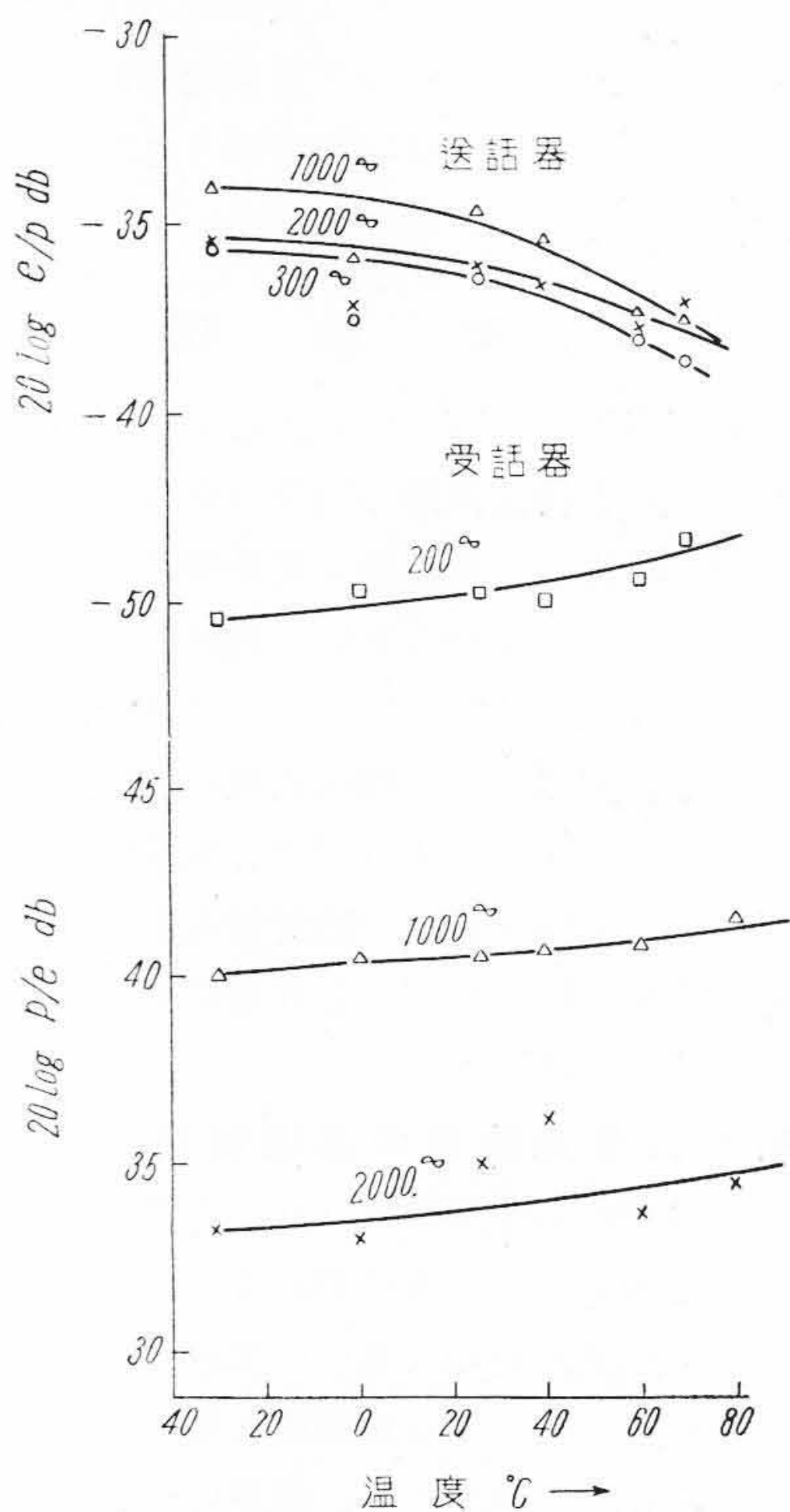


第6図 四号送受話器測定回路

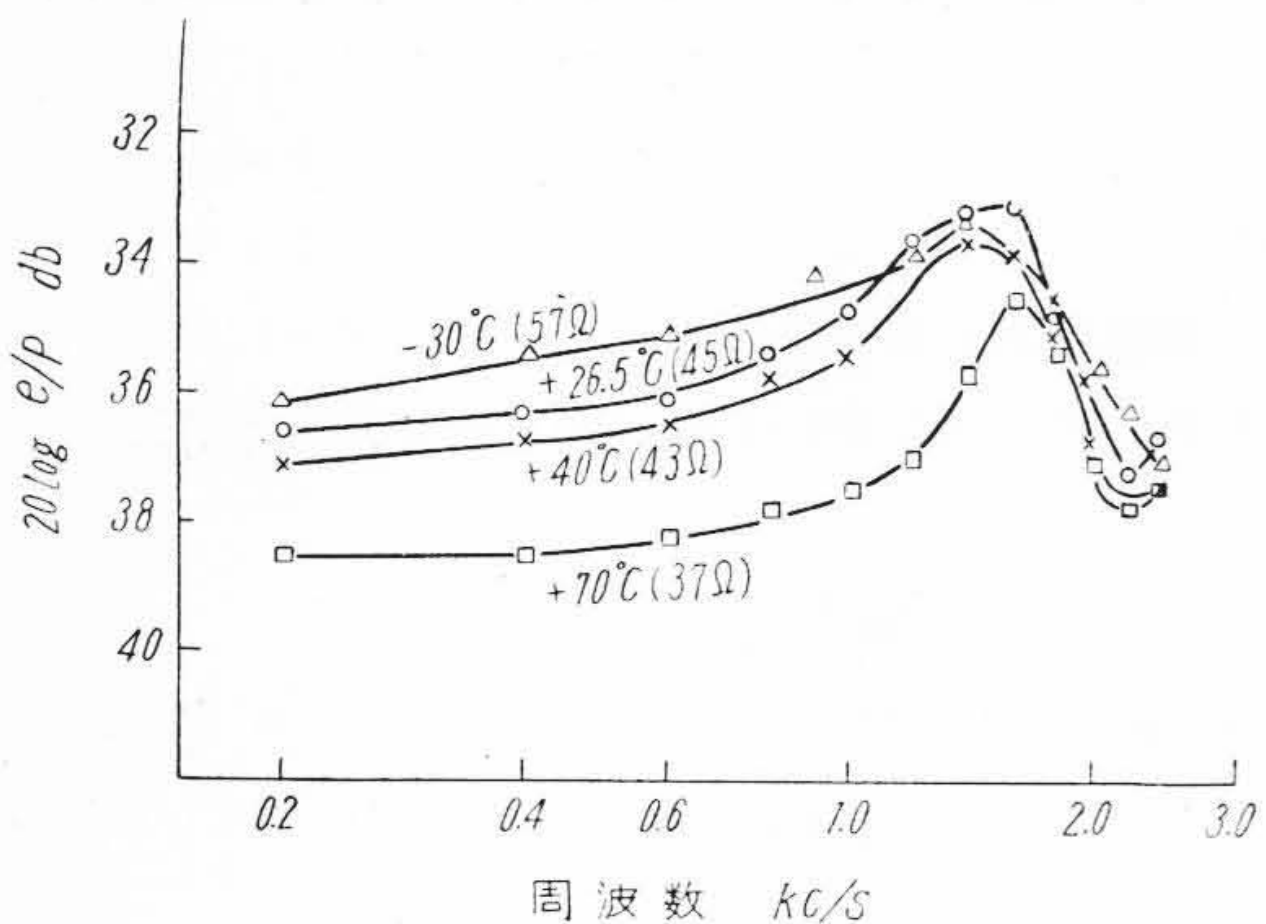
Fig. 6. Measuring Circuits of No. 4 Transmitter and Receiver



第7図 相互較正法と標準器による値との比較
Fig. 7. Comparison of Characteristics between the Method of Mutual Calibration and One Using Standard Receiver



第9図 感度と温度の関係
Fig. 9. Relation between Response and Temperature



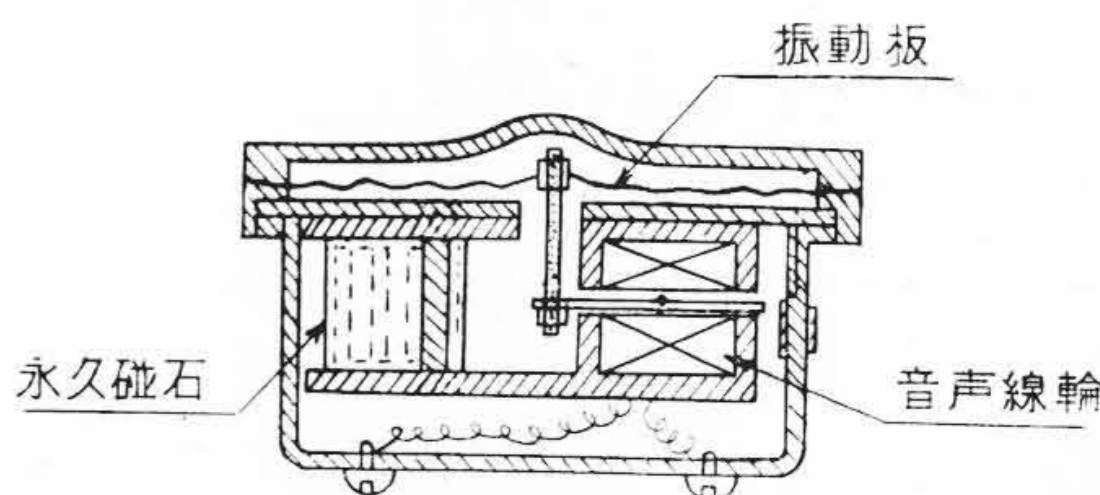
第8図 炭素送話器感度の温度特性
Fig. 8. Temperature Characteristic of Carbon Transmitter

前記の要領により、相互較正法を用いて -30°C 乃至 70°C 間の送話器の温度特性を求めた結果を第8図に掲げる。温度差は殆ど持っていないと云える。温度差 100°C に対して感度差は 2 db 程度で通話には何ら障碍とならない。送話器の温度試験で注意を要することは温度の過渡状態で測定すると機構の膨脹による変形のため異常現象を発生する⁽⁵⁾。今回の測定には音響結合器全体を恒温槽に入れ、十分平衡温度に達した後送話器を廻転して炭素粉の接触圧力が常に正常になるようにして測定して異常現象が入らないように特に注意したものである。

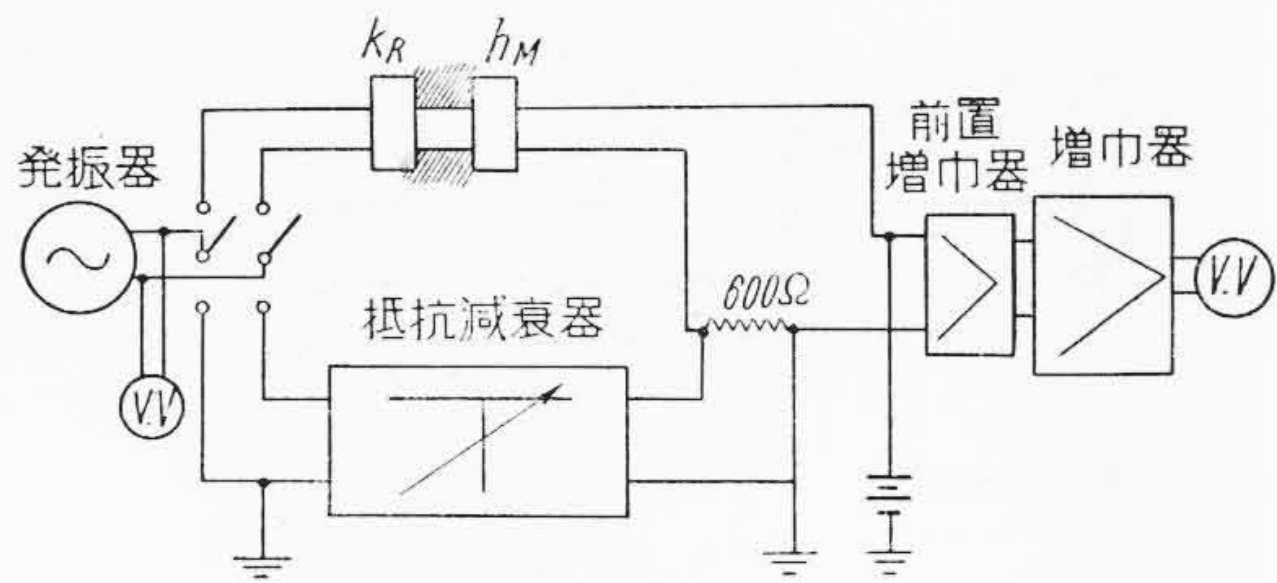
第9図は送受話器の各周波数に於ける感度と温度の関係である。平衡温度であれば送受話器共温度による影響は問題とするに足らぬ。

(2) 無電池式電話機用送受話器の温度特性

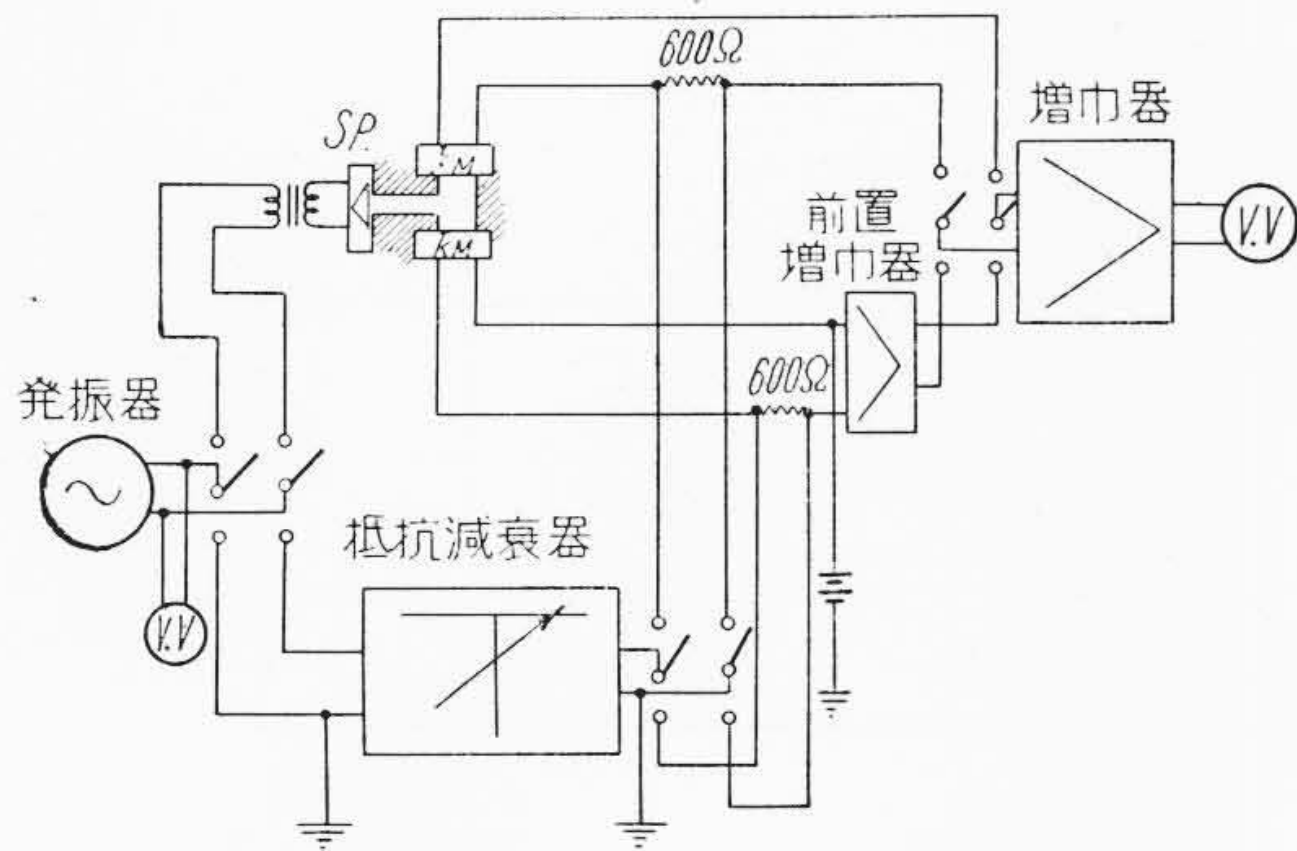
無電池式電話機とは直流電源を用いないで、送受話器共磁気変換器等を用いるものである。今回は送受話器共全く同じもの2箇を一方を送話器とし、一方を受話器として用いるものを試作した。これも使用される場所の温度差が大きいので、温度変化に対する考慮は十分払わなければならない。温度特性改善の過程に相互較正法を用いた。その構造は第10図の如くである。



第10図 無電池式電話機用送受話器構造図
Fig. 10. Construction of Transmitter and Receiver of Non Battery Telephone



(a) 感度積測定回路



(b) 感度比測定回路

第11図 無電池式送受話器測定回路

Fig. 11. Measuring Circuits of Transmitter and Receiver of Non Battery Telephone

この受話器を可逆器とし、これとコンデンサーマイクロホンとを組合わして等価四端子網を作った。用いた可逆器の関係は(13)式である。

(A) 測定回路

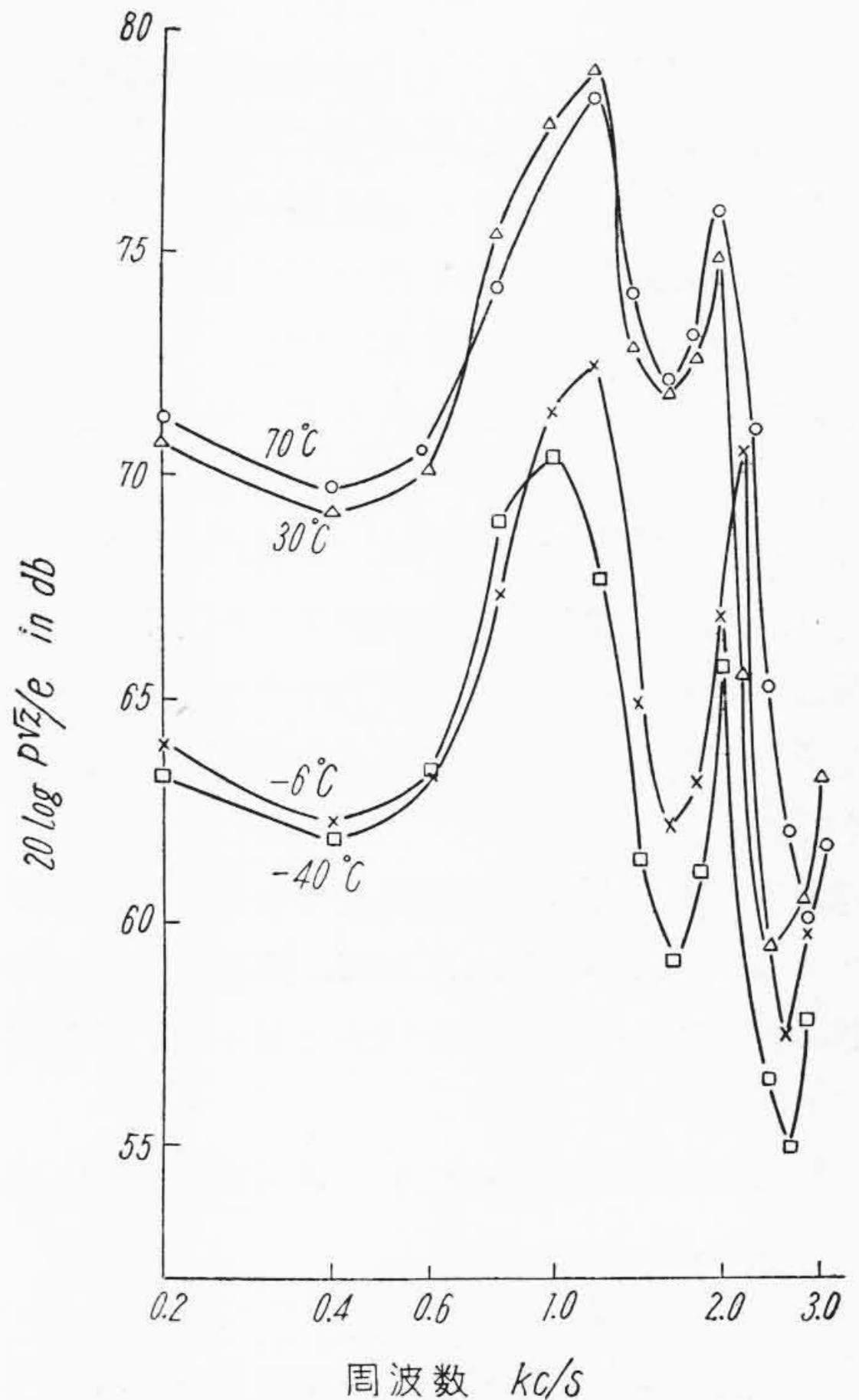
感度積、比の測定回路は第11図の如くである。電圧比は置換法により抵抗減衰器により求めている。

(B) 測定結果

温度特性を考慮しない構造の時の -40°C 乃至 70°C の周波数特性は第12図の如くである。温度が下つて来ると構造の変形のために急に特性が変る。周波数特性の形状が殆ど変わらず感度のみ変つているので、機械インピーダンスが変つたのではなく、力係数が変つたのである。第13図は温度特性を改善した後の $1,000\sim$ に於ける感度と温度との関係を示す。

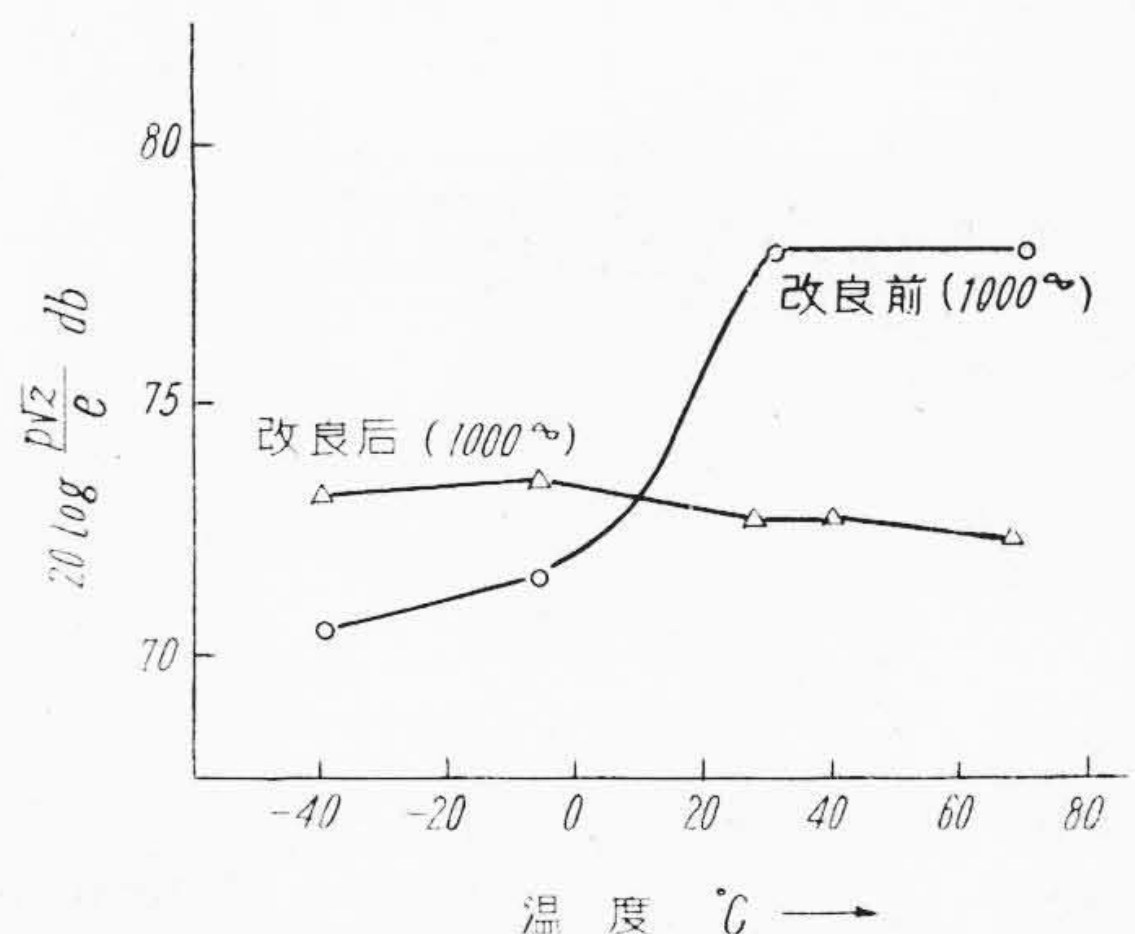
(3) 動電駆動静電測定型バイプロメータ

バイプロメータはその機能上振動系に駆動素子と測定素子の両方を備えた音響機器である。その動作は駆動素子により起振力を与えて振動系を駆動すると同時にその測定素子により振動系の変位、速度或は加速度を測定するものである。従つて電気端子より見ると二つの電気→機械変換器が振動系の機械インピーダンスを結合要素として結合した等価四端子網と考えることが出来る(測定



第12図 温度特性(改良前)

Fig. 12. Temperature Characteristic Curves (before improvement)



第13図 感度と温度の関係

Fig. 13. Relation between Response and Temperature

の必要上 3 箇以上の変換器が結合したもの)。駆動端子に与えられる入力により得られる起振力を知ること、又は測定端子に誘起する電圧によつて振動系の変位、速度或は加速度を知るためにはそれぞれの電気→機械変換係数の絶対値を知る必要がある。これを駆動素子と測定素子をそのまま用いて相互較正法を使い絶対値の測定をすることは較正法の最も便利な実施例⁽³⁾である。今回はその結果のみ簡単に述べる。

(A) 測定回路

今回用いたバイプロメータは動電駆動静電測定型でその構造は第14図の如くで、振動板に駆動線輪が固着し電流を通じて駆動する。そして測定素子としては中心磁極と振動板との間に静電容量を作りこれを微小変位測定回路で測定する。第14図より容易に判るように駆動線輪と静電容量の間に何ら変成器は入らず、変位等は両者同じである。

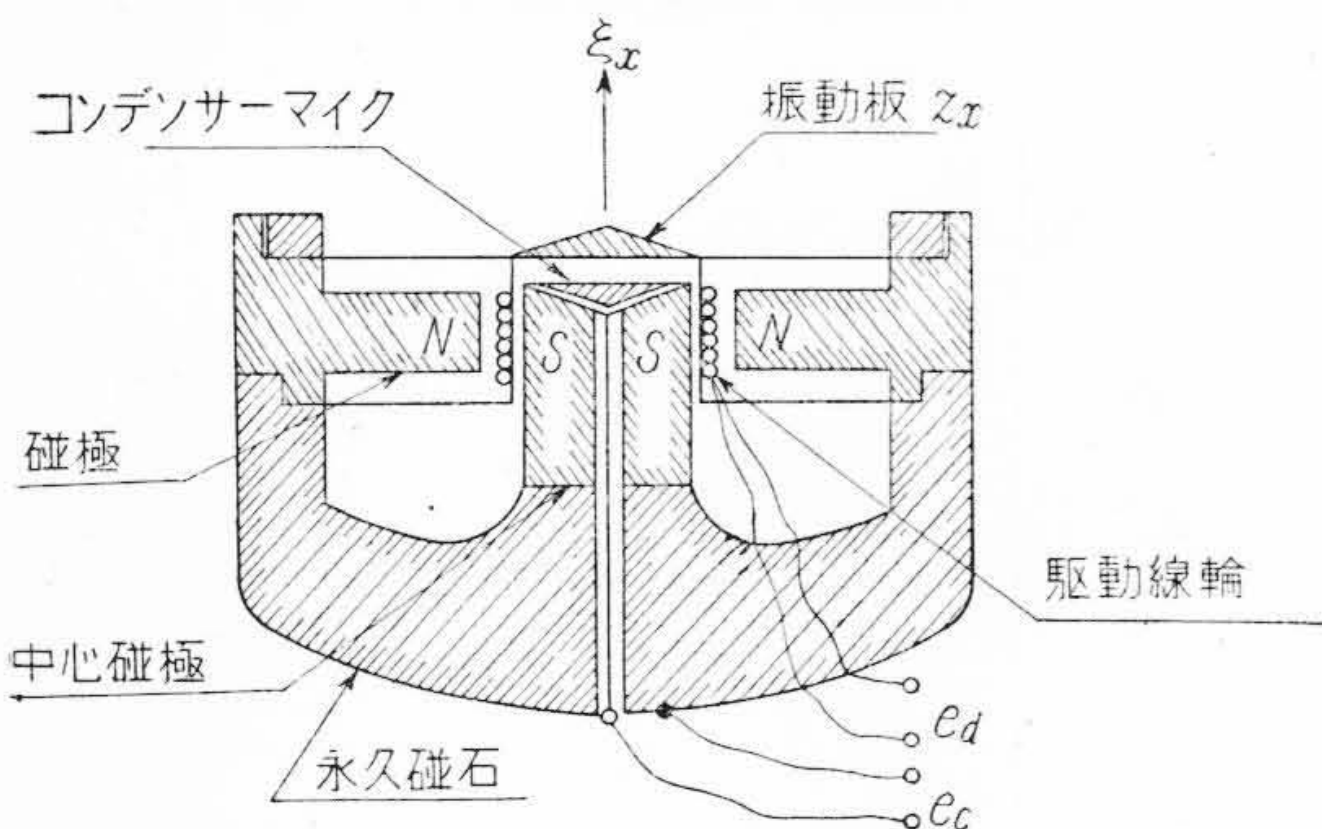
さてこの静電容量を 4.75 Mc の高周波回路に挿入し振動板の振動で変調して周波数変調を起さしめる。これを複調し低周波とした後その出力端子を以て測定素子の出力端子としたものである。微小変位測定回路は第15図の如くである。

測定素子を微小変位測定回路まで含めてコンデンサーマイクロホンと考え、その感度積、感度比の等価四端子網を第16図の如くした。測定回路は第6図、第11図と殆ど同じようにして得られる。

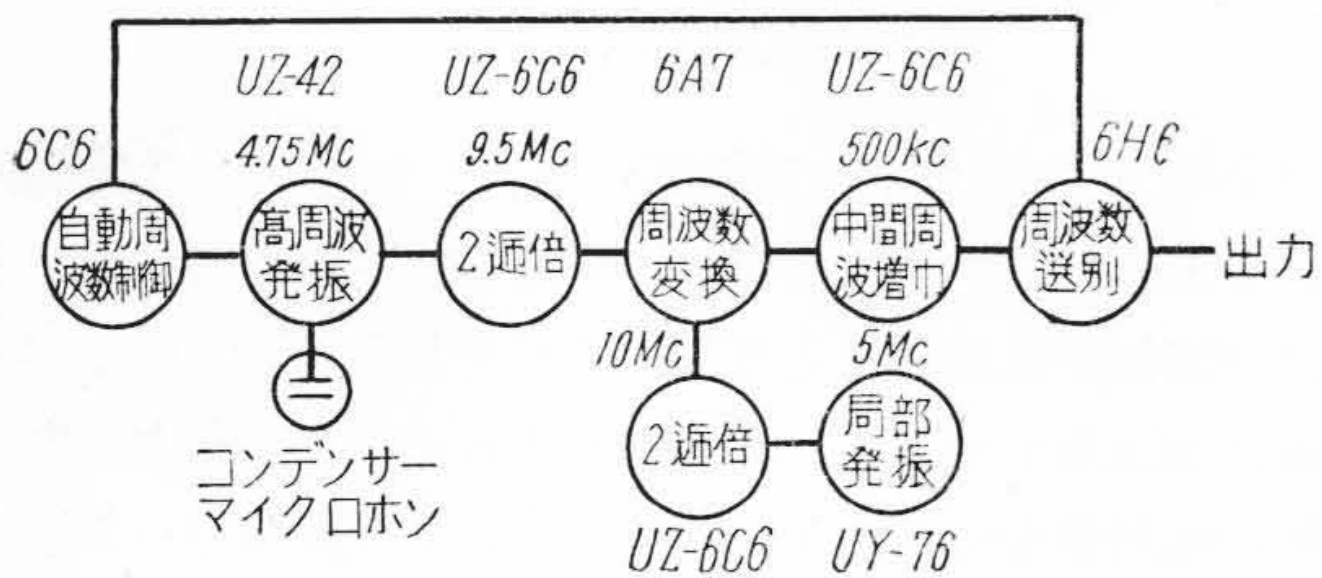
可逆器は駆動線輪を用いたから関係式は (11) 式を用いればよい。

(B) 測定結果

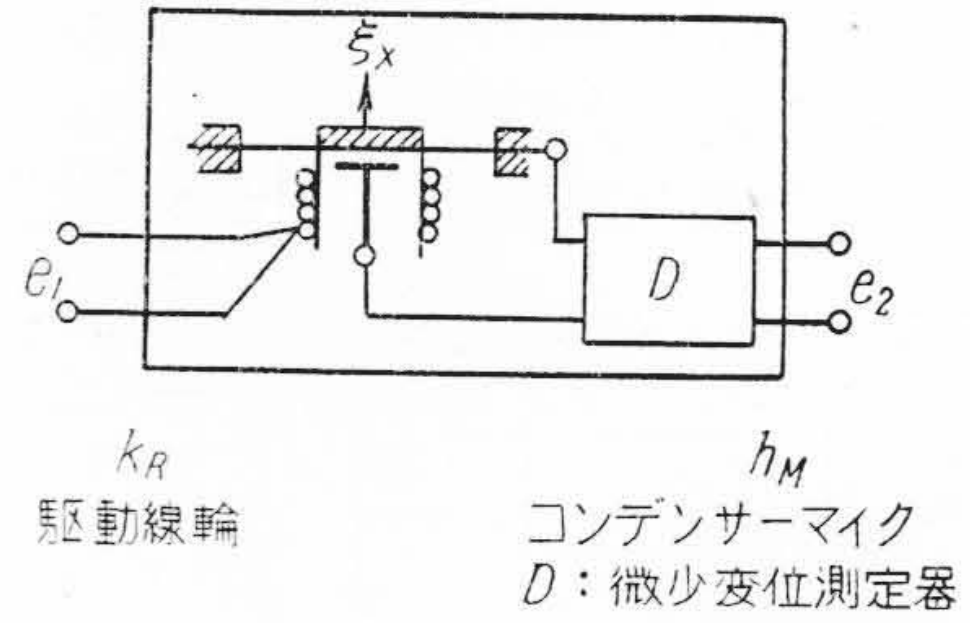
駆動素子及び測定素子の機械→電気変換係数として、第17図を得た。駆動素子の機械→電気変換係数は周波数に殆ど比例している。駆動線輪の力係数を A とすると



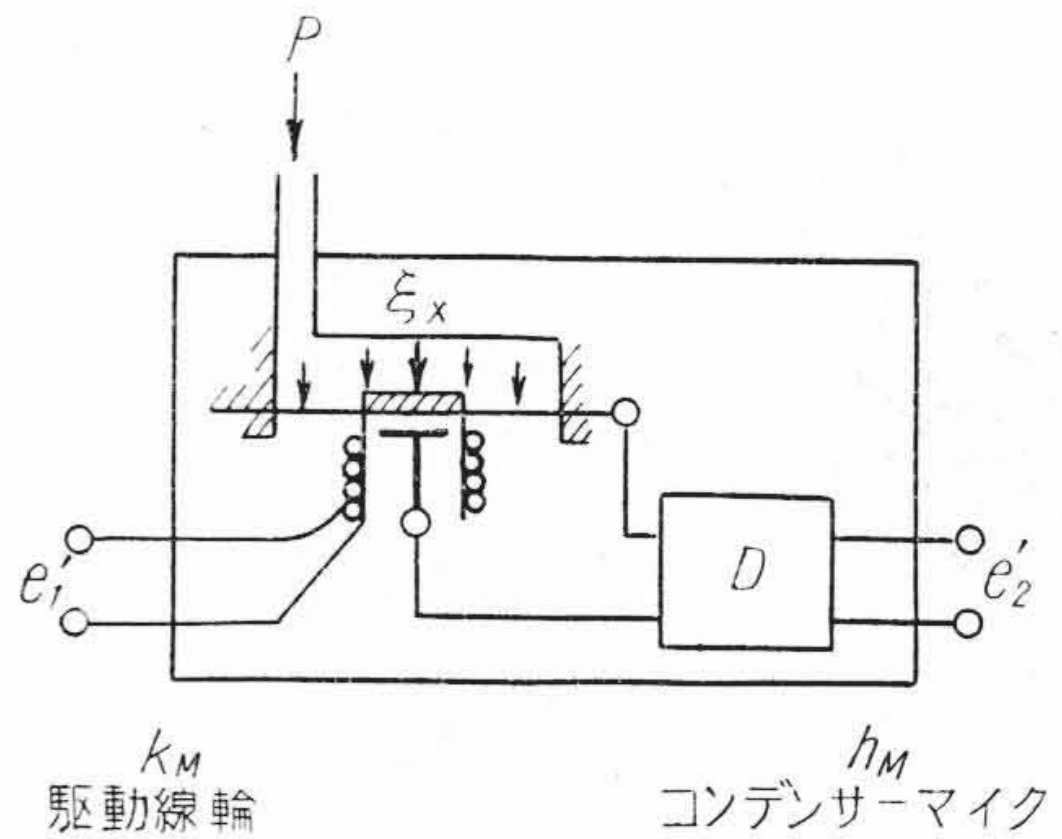
第14図 動電駆動静電測定型バイプロメータ構造図
Fig. 14. Construction of Dynamic Actuate and Static Measuring Vibrometer



第15図 微小変位測定回路
Fig. 15. Block Diagram of Measuring Micro Displacement

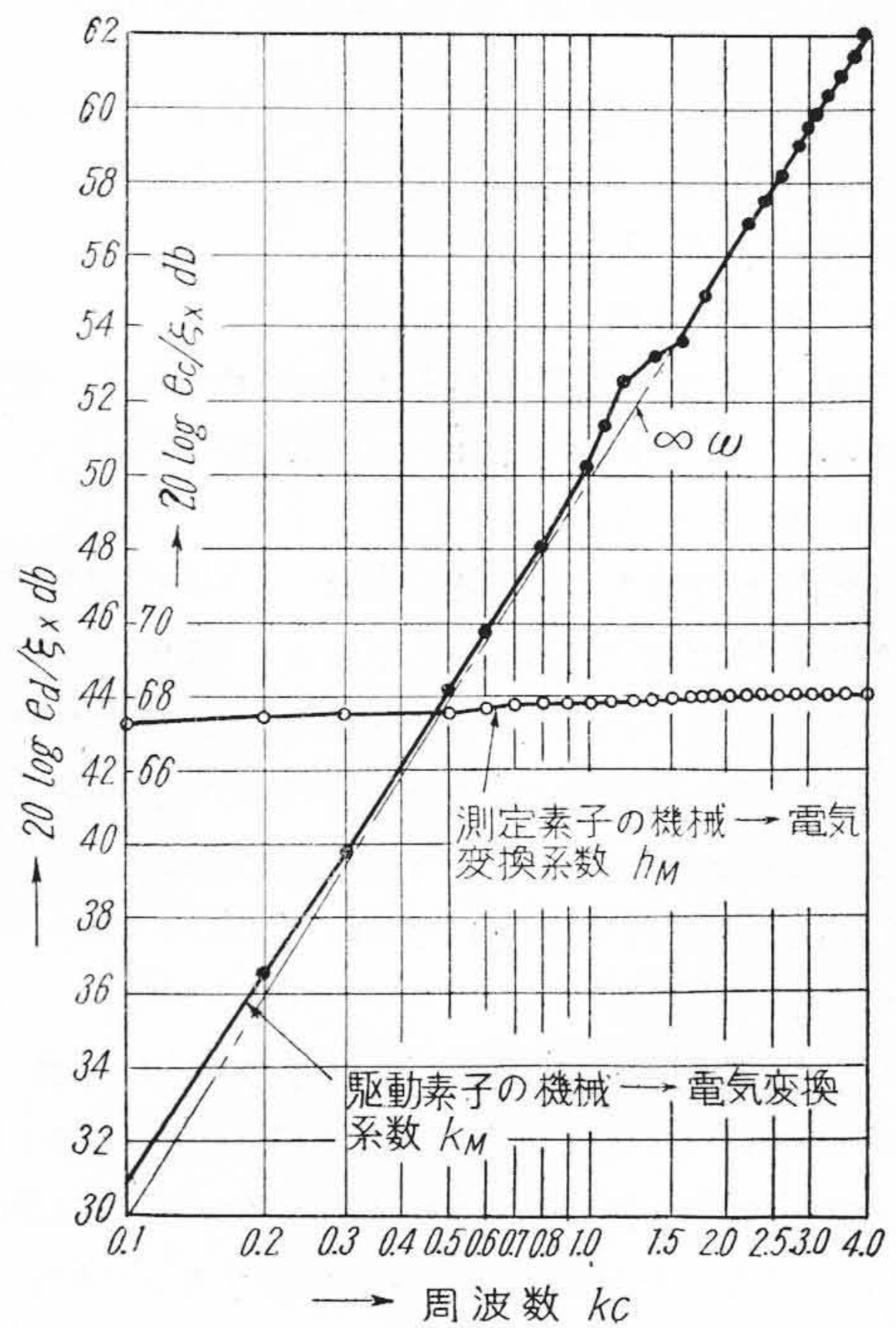


(a) 感度積四端子網



(b) 感度比四端子網

第16図 バイプロメータの等価四端子網
Fig. 16. Equivalent Net Work of Vibrometer



第17図 バイプロメータの駆動素子、測定素子の変換係数
Fig. 17. Transducing Coefficients of Driving and Measuring Elements of Vibrometer

$k_M = e_1' / \xi = \omega A$ なる故第 17 図の k_M の傾斜より求めた力係数 A は他の motional circle より得た値と 0.2 db 程度の誤差で極めてよく一致している⁽³⁾。又コンデンサ-マイクロホンの変換係数 $h_M (= e_2' / \xi)$ は殆ど一定として求められる。微小変位測定器の出力電圧 e_2' より直に振動系の変位を知ることが出来る。この微小変位測定回路に微分回路をつけることにより速度或は加速度を得ることが出来る。その場合の較正法は上記変位の場合と全く同様にして求めることが出来るのである。

〔IV〕 結 言

電気→音響、或は電気→機械変換器の絶対感度測定法の一つとして相互較正法が極めて有効であることを実証した。

静電型或は電磁型についてその可逆則の関係を説明し静電型電気→音響変換についてはその関係式を導出し、他のものについては他の文献を引用した。可逆則の関係式を用いて変換係数を実際に求める方法について三種類の代表的な実例について説明した。

他の方法では測定出来ないような場合に相互較正法を用いて極めて有効であることがある。その例として四号炭素送話器の温度特性を求め -30°C より 70°C までの周波数特性を求めた。その結果より送話器は温度の過渡状態に於ては極めて不安定であるにかゝらず平衡温度に対しては安定しており感度の差は 2 db 程度に過ぎぬことを実証した。

同じく有効な例として、今回試作した無電池式送受話器の温度特性を求め、改善の前後に於ける特性を示した。

次の例は相互較正法を用いれば非常に精度も高く、簡単に測定出来る実施例である。即ちバイプロメータの較正に於て、その駆動素子と測定素子をそのまま二つの電気→機械変換器とし、結合要素は振動系の機械インピーダンスとし、相互較正法を用いて変換係数の絶対値を得た。

相互較正法は他の種類の変換器例えば回転機、音響→機械変換等に用いて便利な所も多かろうと思われる。斯様な他の分野にも大いに利用され役立たされることが望まれるのである。

擧筆するに当り本研究の間種々御指導を賜つた電々公社電気通信研究所早坂博士、小林博士並びに日立製作所三木課長に対し、又主として実験を担当して戴いた飯田君並びに他の関係者に対し衷心より感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) W.R. MacLean: J.A.S.A. 12 (1940)
R.K. Cook: J.A.S.A. 12 (1941)
早坂: 電通誌論文集 第2集 昭 19-7
H. Primakoff: J.A.S.A. 17 (1945)
小林: E.C.L. Report 12 (948)
- (2) H.M. Trent: J.A.M. 4 (1948)
P. Thompoon: J.A.S.A. 9 (1948)
牧田、田谷: 音響学会講演要旨 和 24-5
蒲生: 波動関係講演会 昭 27-3
- (3) 西山: 日立評論 昭 26-10
- (4) 早坂: 電気試験所彙報 昭 19-7
- (5) 西山: 日立評論 昭 27-10



測定に関する日立評論既刊論文集

創刊号(大正7年1月)～第34巻第12号(昭和27年12月)

(その8)

621.317.7 電気測定法の応用

- 4) D-DT 型自働温度調節器
(紹介): 日立評論 19 2 (昭 11. 2) 173
- 5) 最近の自動温度調整法
山本英四郎: 日立評論 19 6 (昭 11. 6) 363
- 6) 高速電車で真空併用ブレーキ方式とその試験結果
平田憲一、青木喜六: 日立評論 34 7 (昭 27. 7) 855～872
- 7) 自動弁の高速試験
伊藤茂、横田晃一: 日立評論別冊1号 (昭 27. 11) 45～51

621.317.7 電気測定器・電気計器

- 1) 配電盤指示計器の制動に就いて
橋本真吉、斎藤健児: 日立評論 11 12 (昭 3. 12) 869
- 2) R₂₂ 型直流及び交流配電盤計器
(紹介): 日立評論 15 4 (昭 7. 4) 247
- 3) Q₁₁ 型高過装置付記録計
(紹介): 日立評論 16 11 (昭 8. 11) 579
- 4) Q₁₁ 型高速度装置付記録計器とその適用
木内勝造、小林季八: 日立評論 17 6 (昭 9. 6) 255
- 5) 日立携帯用精密級計器
豊田博司、木内勝造: 日立評論 18 4 (昭 10. 4) 221
- 6) 電気計器の機械的寿命
沼倉三郎: 日立評論 18 7 (昭 10. 7) 387
- 7) 電気計器の最近の趨勢
豊田博司: 日立評論 18 7 (昭 10. 7) 393
- 8) 精密電気器具の信頼度
橋本真吉: 日立評論 18 7 (昭 10. 7) 397
- 9) 日立携帯用精密級計器
辻田正一: 日立評論 18 7 (昭 10. 7) 405
- 10) 日立記録計器に就て
首藤義澄: 日立評論 18 7 (昭 10. 7) 409
- 11) 主として配電盤用指示計器
木内勝造: 日立評論 18 7 (昭 10. 7) 429
- 12) 配電盤用特殊指示計
米岡正四郎: 日立評論 18 7 (昭 10. 7) 437
- 13) 補償熱電対型高周波計器
辻田正一: 日立評論 21 7 (昭 13. 7) 509
- 14) 対数目盛を有する比率計
西山卓夫: 日立評論 23 12 (昭 15. 12) 613

- 15) 電気測定器に於けるセンダスト鋳物の利用
北川栄、大塚一政: 日立評論 24 10 (昭 16. 10) 415

621.317.7.002.3 電気計器の主材料

- 1) 永久磁石に関する二三の考察
辻田正一: 日立評論 23 6 (昭 15. 6) 324
- 2) 永久磁石設計に関する二三の考察
辻田正一: 日立評論 24 10 (昭 16. 10) 410

621.317.7.005 電気計器工場

- 我計器工場の創業を偲ぶ
豊田博司: 日立評論 8 12 (大 14. 12) 792

621.317.7.025.082.743 可動鉄片型交流計器

- 反磁係数より見たる反撥可動鉄片型交流計器の回転力
辻田正一: 日論集 1 3 (昭 23) 89～92

621.317.7.082.742 可動線輪型計器

- 1) 傾斜線輪型交流計器の回転力
辻田正一: 日立評論 29 3 (昭 22. 6) 61～65
- 2) 傾斜線輪型交流計器の鉄片の形状
辻田正一、島田稔: 日立評論 30 5 (昭 23. 12) 165～170

621.317.7.088 計器の誤差・測定結果の補正

- 計器製作に関する一考察
木内勝造: 日立評論 27 2 (昭 19. 2) 88～94

621.317.7 [621.52] 真空用電気計器

- 差動式抵抗真空計を用いた真空漏洩発見器
山本徳太郎: 日立評論 34 2 (昭 27. 2) 391～395

621.317.71 電流測定器

- 1) R41型交流及び直流配電盤計器
(紹介): 日立評論 15 8 (昭 7. 8) 594
- 2) LR41型交流計器
(紹介): 日立評論 15 8 (昭 7. 8) 593
- 3) Q型直流及び交流記録計
(紹介): 日立評論 15 10 (昭 7. 10) 691
- 4) R 62 型、R 72 型配電盤用小型直流及び交流計器
(紹介): 日立評論 20 10 (昭 12. 10) 689

621.317.71/72 電流及び電圧計

- UP₂₁型携帯用精密級直流電流計及び電圧計
(紹介): 日立評論 18 12 (昭 10. 12) 712

621.317.72 電圧測定器

- 電鉄帰線電位差記録用Q及びQP型直流記録電圧計
(紹介): 日立評論 17 4 (昭 9. 4) 189