

# 第一次音響標準相互較正装置

西 口 薫\*

## Primary Mutual Calibration Equipment of Acoustic Standard by the Reciprocity Method

By Kaoru Nishiguchi  
Totsuka Works, Hitachi, Ltd.

### Abstract

When a condenser microphone is intended for the acoustic standard, it needs to be kept on the same response at all times, but this means a very difficult task.

In the effort of developing a calibration system which makes no use of the standard, the writer and his coworkers have assembled an absolute pressure calibration equipment of condenser microphones on the reciprocity method. In this paper, the writer's calculation of the influence of electric, acoustic and electroacoustic error on microphone response is related together with the equipment used in the research.

In the research, he had to tackle with the major problem that unless individual error of each component of the equipment were made smaller than 0.013 db in average, the total error could not be held under 0.2 db.

In order to diminish acoustic and electroacoustic errors it is necessary to have the first consideration as regards crosstalk, insulation, stray capacitance, noise, and the stability of microphones in electroacoustic reciprocity theorem.

After full discussion in these respects, the writer has got through the problem and given the successful results as described in this article.

### 〔I〕 緒 言

通信系の送信側及び受信側両端は、電気音響機器で終止するものが多い。我々も亦電話機用送話器、受話器、電鈴等の製造に関与しているが、これ等機器の性能を示すものとして、音に関する感度が先づ第一に挙げられる。

この感度を測定するためには、是非とも音の大きさを正確に測定しなければならない。数年前迄は音の標準が確立されていなかつたため、耳による比較測定さえ行われ、2~3 db の感度差も無視され易く、時々問題が起きた。その後、電々公社に於て標準器を必要としない音響標準相互較正装置が完成され、これによつて定期的に較

正されたコンデンサーマイクロホンをもつて工場の音響標準器とし、製品の感度はこれと比較測定してきた。<sup>(1)</sup> 音を測定する物指しはこれで一応安定となり、0.5 db の正確さで感度を表示することができるようになつたが、標準のマイクロホンといえども、次の較正期日迄の間感度変化は皆無とはいえず、音の標準器としてマイクロホンを保守することは容易ではなく、0.5 db を云々する精密測定にはかなり問題があつた。

そこで、我々も電々公社の標準装置と同じ原理に基づく音響標準器の要らない、第一次音響標準相互較正装置を製作完成し、常にマイクロホン感度の絶対値を 0.2 db の精度で測定できるようにした。以下この装置に就いて製作上留意した点の概要を記述する。

\* 日立製作所戸塚工場

### 〔II〕測定原理

原理に就いてはしばしば報告されている<sup>(2)</sup>ので音圧型マイクロホンに限定し簡単に紹介する。全く可逆的に動作する音圧形マイクロホンの、マイクロホンとしての感度と、受話器としての感度との間には一定の関係がある。これを可逆則と称する。2筒又は3筒の機器を結合して、電氣的伝送損失を測定することにより、音圧感度の絶対値を求める方法を、可逆則による相互較正法と称する。こゝでは、3筒のコンデンサーマイクロホンを2筒ずつ組合せて測定する方法に就いて述べる。

#### (1) コンデンサーマイクロホンの可逆則

電気インピーダンスが  $\frac{1}{j\omega C}$  の形で表示される静電型マイクロホンを、音源として用いた場合の感度  $k_R$  と、マイクロホンとして用いた場合の感度  $k_M$  との間には次の関係式が成立する。

$$k_M = \frac{V}{KC} k_R \times 10^7 \dots\dots\dots (1)$$

- 但し  $k_M = \frac{e}{p}$   $e$ : 無負荷時の開放端子電圧(V)  
 $p$ : 電気端子開放の状態、振動膜に加えられた音圧 ( $\mu\text{bar}$ )  
 $k_R = \frac{p}{e}$   $e$ : 音源マイクロホン入力電圧(V)  
 $p$ : 容積  $V\text{cm}^3$  の結合気密室内に発生する音圧 ( $\mu\text{bar}$ )

- $V$ : 結合気密室容積 ( $\text{cm}^3$ )  
 $K$ : 結合気密室内気体の断熱体積弾性率 ( $\frac{\text{dyne}}{\text{cm}^3}$ )

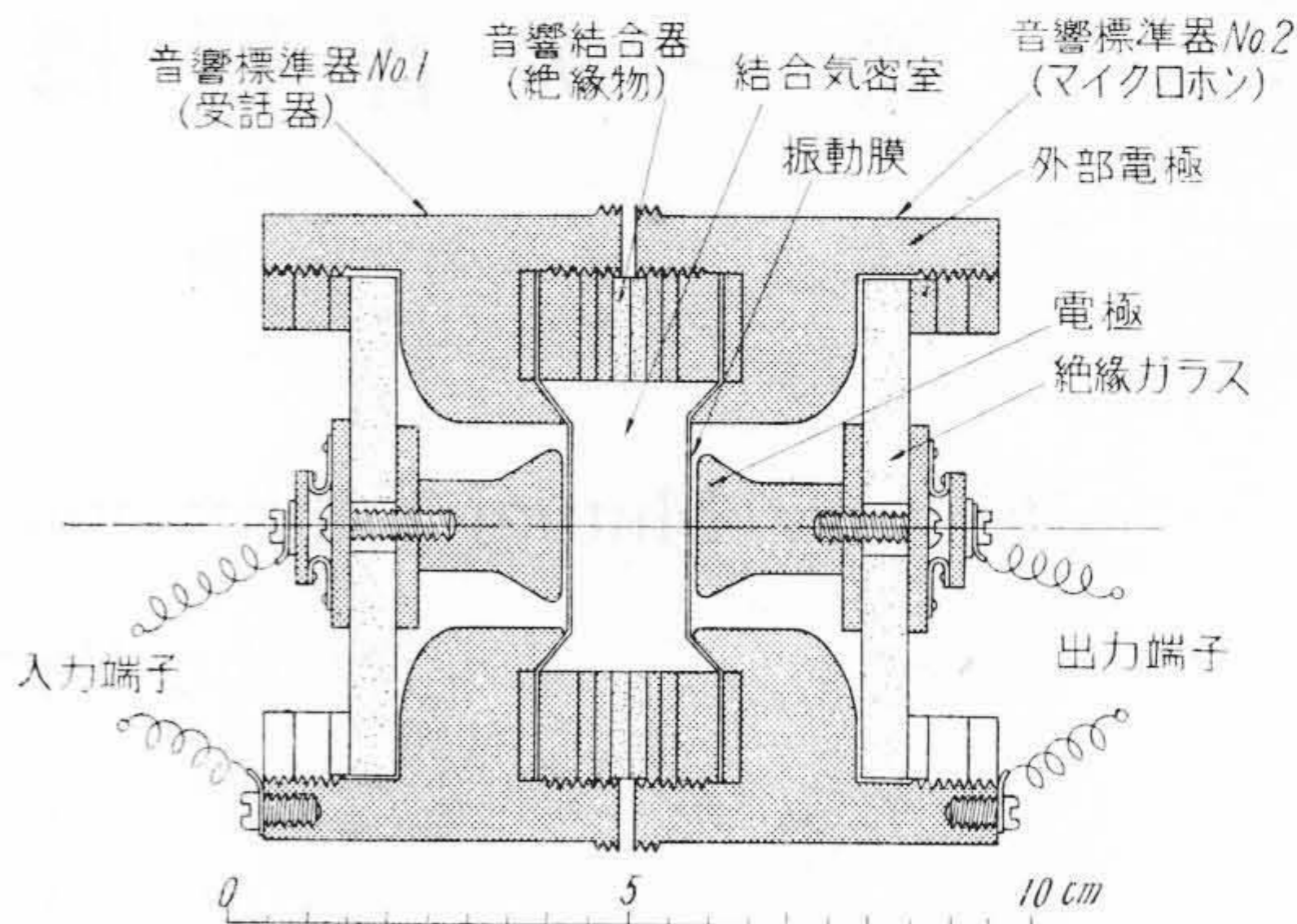
この関係式を用いると静電型マイクロホンの感度絶対値が測定算出可能となる。

#### (2) 相互較正法<sup>(3)</sup>

第1図の如く2筒のマイクロホンを結合気密室により音響的に結合したものを電気四端子回路網として伝送損失を測定する。測定回路は第2図の如くで、測定方法の詳細は本誌上で既に紹介<sup>(4)</sup>されているので省略する。この場合の伝送損失は次式で表わされる。

$$-N_{12} - 20 \log \frac{600}{60} = 20 \log k_{R1} + 20 \log k_{M2} \dots\dots\dots (2)$$

- 但し  $k_{R1}$ : No. 1 のマイクロホンを音源として用いた場合の感度 ( $\frac{\text{Volt}}{\mu\text{bar}}$ )  
 $k_{M2}$ : No. 2 のマイクロホンを受音側として用いた場合の感度 ( $\frac{\mu\text{bar}}{\text{Volt}}$ )  
 $N_{12}$ : 上記の場合の減衰器読み (db)



第1図 マイクロホン及び音響結合による等価電気四端子網

Fig. 1. Microphone and Equivalent Four Terminal Net-Work by means of Acoustic Coupling

$$20 \log \frac{600}{60} : \text{減衰器出力分圧回路の減衰量 (db)}$$

即ち伝送損失は両方の機器の感度積に等しいのである。同様にマイクロホン3筒を用いて順次組合せて測定すると、

$$-N_{23} - 20 \log \frac{600}{60} = 20 \log k_{R2} + 20 \log k_{M3} \dots\dots (3)$$

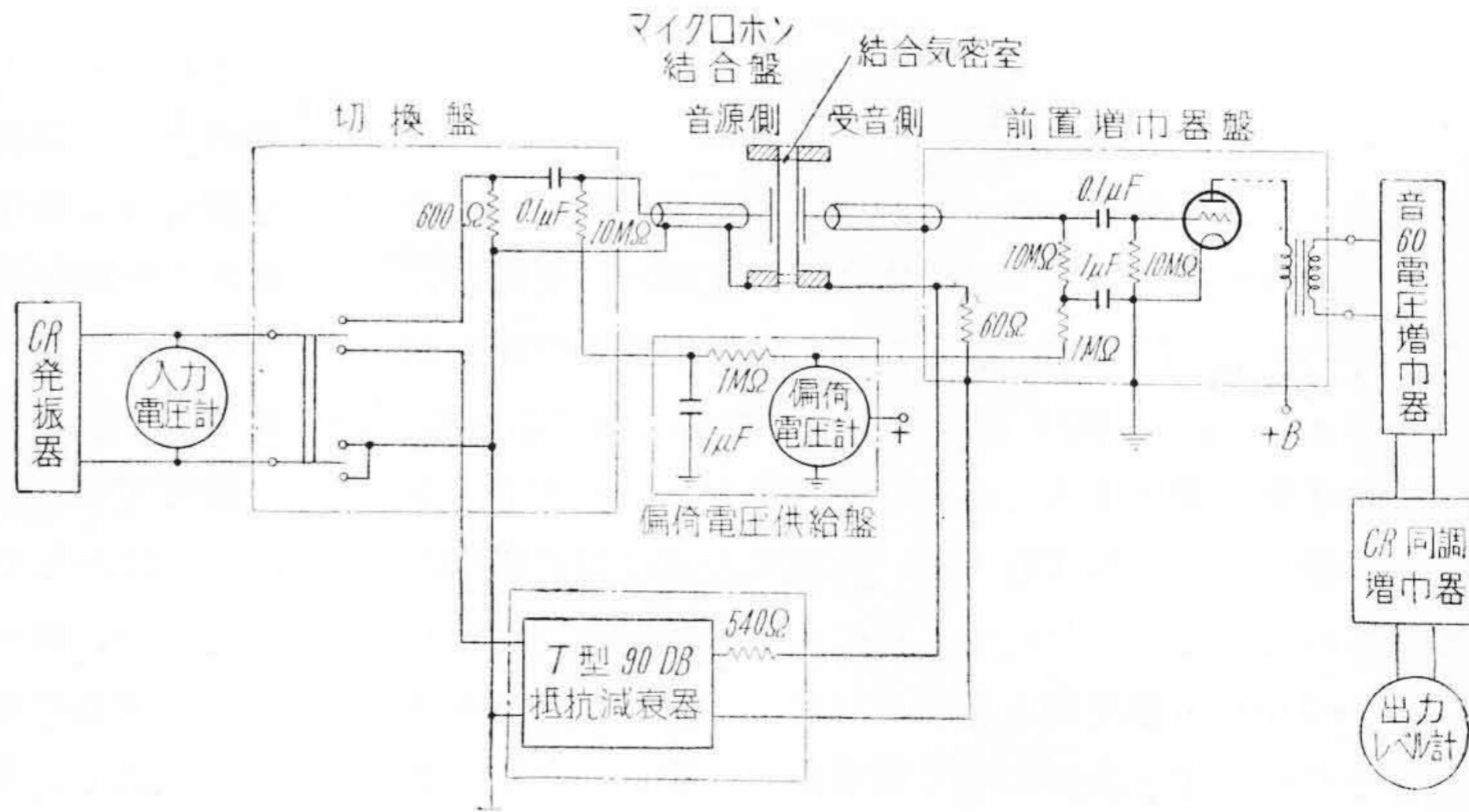
$$-N_{31} - 20 \log \frac{600}{60} = 20 \log k_{R3} + 20 \log k_{M1} \dots\dots (4)$$

それぞれのマイクロホンに関する可逆則 (1) 式を (2) (3) (4) 式に代入して解けば次のようになる。

$$20 \log k_{M1} = \frac{-N_{12} + N_{23} - N_{31}}{2} - 10 \log \frac{600}{60} - 10 \log \frac{C_3 C_1 K}{C_2 V} - 70 \dots\dots (5)$$

$$20 \log k_{M2} = \frac{-N_{12} - N_{23} + N_{31}}{2} - 10 \log \frac{600}{60} - 10 \log \frac{C_1 C_2 K}{C_3 V} - 70 \dots\dots (6)$$

$$20 \log k_{M3} = \frac{+N_{12} - N_{23} - N_{31}}{2} - 10 \log \frac{600}{60} - 10 \log \frac{C_2 C_3 K}{C_1 V} - 70 \dots\dots (7)$$



第2図 系統図  
 Fig. 2. Measuring Block Diagram

但し  $C_1, C_2, C_3$  はそれぞれのマイクロホンの静電容量  
(F)

(5)(6)(7) 式によれば、減衰器の読み、静電容量、結合気密室容積、体積弾性率を求めることにより、3 箇のマイクロホン感度が判明する。又 (1) 式を用いると受話器としての感度も知ることができる。

(3) 可逆則成立に関する条件

(1) 式の誘導過程には諸種の条件が含まれ、これを無視すると大幅の誤差となるので、是非検討する必要がある。列举すれば次のようになる。

(A) 振動膜の振動状態は音響結合によつて何等の変化をも受けないこと。

(1) 式の誘導の際この仮定を用いている。実際問題としては、振動膜のインピーダンスを結合気密室の音響インピーダンスに比して十分高い状態にし、且結合気密室内の音圧分布が一様と見なし得るように、音波長に比して結合気密室の寸法が十分小さい状態にして、この仮定に近づけないとそれだけ誤差になる。

(B) 可逆的であること。

受話器として用いた時の力係数と、マイクロホンとして用いた時の力係数が全く等しくないと、完全に可逆的であるとはいえず、(1) 式は成立しない。

(C) マイクロホンの電気インピーダンスは純キャパシタンスであること。

(1) 式の誘導には純粋キャパシタンスとして取扱つているから、絶縁抵抗の低いもの、音響負荷の影響の強いものは誤差となる。

(D) マイクロホンの感度として開放誘起電圧を測定すること。

振動膜のインピーダンスが十分高くなければ、電気負荷はできるだけ小さく、即ち電圧取り出し口のインピーダンスを十分大きくとらなければ誤差になる。

本装置の如く、極めて高い精度を要求するものでは、これ等の事項をどの程度まで満足されるかが問題である。

次章でこれ等の誤差に就いて検討する。

[III] 測定精度の検討

原理的には、以上のようにマイクロホンの感度を測定できることは明らかであるが、測定誤差が 0.2 db 以上もあるようでは標準装置としての生命はないのである。この測定精度を左右する諸種の原因を考察し、装置製作上留意した点に就いて述べる。

各測定値の誤差がマイクロホン感度の誤差として如何に現われてくるか、第 (5) 式から観察してみよう。(5) 式を書き改めると

$$20\log k_{M1} = \frac{N_{23}}{2} - \frac{N_{12}}{2} - \frac{N_{31}}{2} - 10\log \frac{600}{60} - 10\log \frac{C_3 C_1}{C_2} - 10\log \frac{K}{V} - 70$$

各項の測定値誤差を  $\Delta$  で表わせば、全体の誤差  $\Delta F$  は

$$\Delta F = \frac{\Delta N_{23}}{2} - \frac{\Delta N_{12}}{2} - \frac{\Delta N_{31}}{2} - 10\log \frac{C_3 + \Delta C_3}{C_3} - 10\log \frac{C_1 + \Delta C_1}{C_1} + 10\log \frac{C_2 + \Delta C_2}{C_2} - 10\log \frac{600 + \Delta 600}{600} + 10\log \frac{60 + \Delta 60}{60} - 10\log \frac{K + \Delta K}{K} + 10\log \frac{V + \Delta V}{V}$$

ここで誤差  $\Delta$  には  $\pm$  があるが、最大誤差を考えると、

$$\Delta F_{max} = 3\left(\frac{\Delta N}{2}\right) + 3\left(10\log \frac{C + \Delta C}{C}\right) + 10\log \frac{600 + \Delta 600}{600} + 10\log \frac{60 + \Delta 60}{60} + 10\log \frac{K + \Delta K}{K} + 10\log \frac{V + \Delta V}{V} \dots \dots (8)$$

但し  $\Delta N$  及び  $\frac{C + \Delta C}{C}$  は類似 3 項の中最大のものを採るものとする。

もし  $\Delta N, \Delta C$  の誤差が 3 箇共同一方向であれば

$$\Delta F = \frac{\Delta N}{2} + 10\log \frac{C + \Delta C}{C} + \Sigma 10\log \frac{X + \Delta X}{X} \quad (9)$$

但し  $\Sigma 10\log \frac{X + \Delta X}{X} = 10\log \frac{600 + \Delta 600}{600} + 10\log \frac{60 + \Delta 60}{60} + 10\log \frac{K + \Delta K}{K} + 10\log \frac{V + \Delta V}{V}$

(9) 式のように表示することができる。更に各項の誤差が極めて小さいときは次のように書換えられる。(4)

$$10\log \frac{X + \Delta X}{X} \approx \left[ \frac{\partial \{10\log(X + \Delta X)\}}{\partial X} \right]_{\Delta X=0} \cdot \Delta X = \frac{10\Delta X}{X}$$

従つて

$$\Delta F = \frac{\Delta N}{2} + \frac{10\Delta C}{C} + \Sigma \frac{10\Delta X}{X} \dots \dots (10)$$

以上の外に、マイクロホンの感度  $k_{M1}$  そのものの中に含まれている偏倚電圧、絶縁抵抗、[II] の (3) 項にのべた諸条件を忘れては重大な過誤をもたらすことになる。(9) 式及びこれ等のあらゆる誤差原因を第 1 表 (次頁参照) のように分類してみた。マイクロホン感度誤差を 0.05 db 以下に抑えるための所要限界精度を項目毎に具体的に示している。

(1) 電氣的誤差

測定の大部分は電氣的計測であり、電氣的測定誤差さえなければ、それに応じて音響レベル測定の精度もかなり高いものになる。

(A) 直接誤差

抵抗減衰器出力分圧回路の抵抗値は正確に 540  $\Omega$ , 60  $\Omega$  にならなくとも実測値に就いて計算した減衰量を用いれば、誤差は抵抗測定器の精度以内で済む。偏倚電圧回路

第 1 表 相互較正の誤差分類と最大誤差

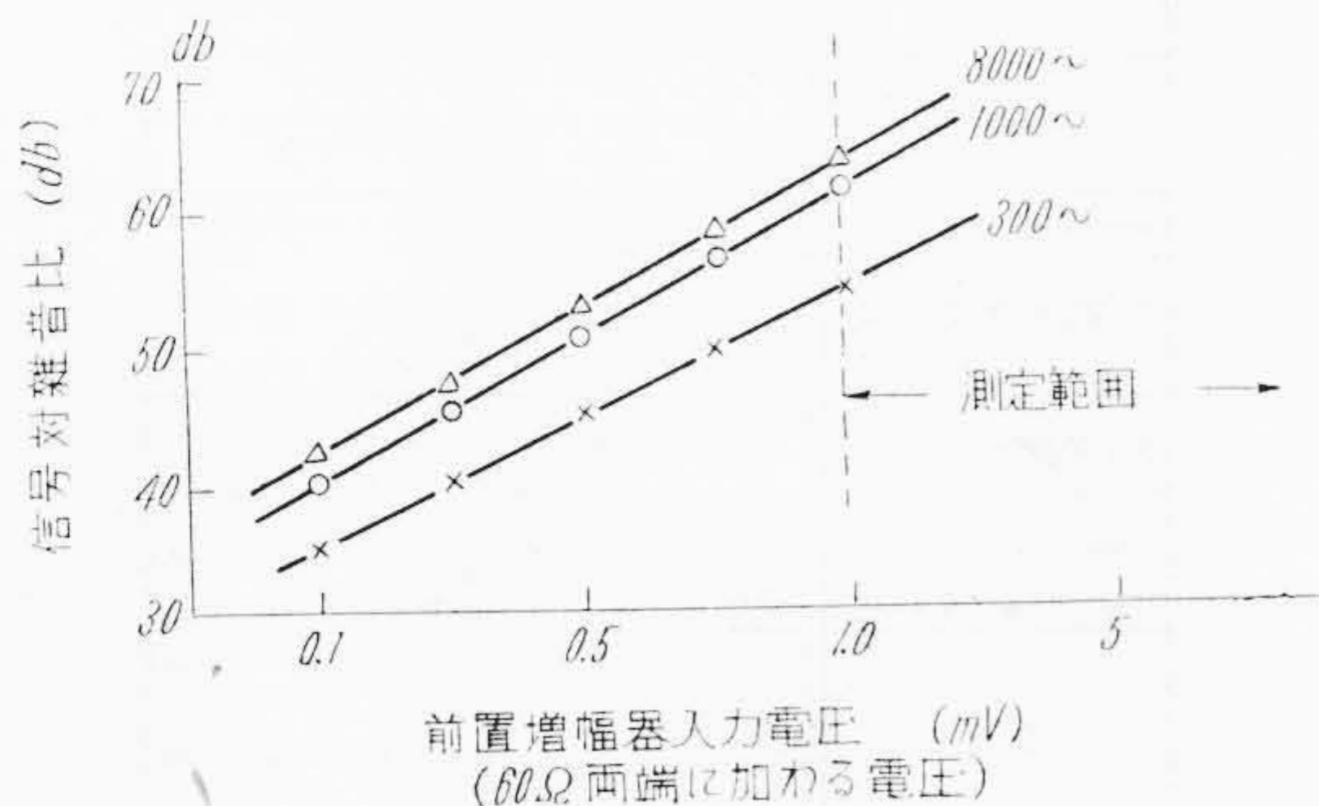
Table 1. Section of Errors on Mutual Calibration and Maximum Value of Error

| 区分         | 項目             | 測定値      | 誤差       | マイクロホン感度に対する誤差 (db)  | 通常測定値                                  | 0.05 db 誤差限界値*8   | 実測結果                               |           |       |
|------------|----------------|----------|----------|--|--|---|------------------------------------|-----------|-------|
|            |                |          |          |  |  |   | 測定誤差*8                             | 感度誤差 (db) |       |
| 電氣的直接誤差    | 抵抗減衰器          | $X_1$    | $x_1$    | $\frac{x_1}{2}$ *1   | 45 db                                  | *2<br>0.1 db  | 0.1 db                             | 0.050     |       |
|            | 同上出力分圧回路       | 540Ω     | $X_2$    | $x_2$  | $1 + \frac{x_2+x_3}{X_2+X_3}$          | 540 Ω   | 4 Ω                                | 0.1 Ω     | 0.007 |
|            |                | 60 Ω     | $X_3$    | $x_3$  | $1 + \frac{x_3}{X_3}$                  | 60 Ω  | 0.4 Ω                              | 0.1 Ω     |       |
|            | 偏倚電圧           | 電圧計      | $X_4$    | $x_4$  | $20 \log \frac{X_4+x_4}{X_4}$          | 200 V   | 1 V                                | 0.5 V     | 0.025 |
|            |                | 絶縁       | $X_5$    |  | $20 \log \frac{X_5+10}{X_5}$           |   | 1,730MΩ 以上                         | 2,500MΩ   | 0.034 |
|            | マイクロホン静電容量     | $X_6$    | $x_6$    | $10 \log \frac{X_6+x_6}{X_6}$ *3   | 50 PF                                  | 0.5 PF  | 0.1 PF                             | 0.008     |       |
|            | 入力電圧計          | $X_7$    | $x_7$    | $10 \log \frac{X_7+x_7}{X_7}$  | 5 V                                    | 0.06 V  | 0.02 V                             | 0.017     |       |
|            | 出力レベル計         | $X_8$    | $x_8$    | $10 \log \frac{X_8+x_8}{X_8}$  | 2.7 V                                  | 0.03 V  | 0.01 V                             | 0.016     |       |
| 電氣的間接誤差    | 漏話 (雑音、波形歪を含む) | $X_9$    |          | $10 \log (10^{\frac{x_9}{20}} + 1)$ *4                                     |  | *4<br>-39db   | -60 db 以下                          | 0.004     |       |
|            | 入力切替抵抗変動       | $X_{10}$ | $x_{10}$ | $10 \log \frac{600+x_{10}+X_{10}}{600+X_{10}}$                             |  | 6 Ω   | 0.01 Ω                             | 0.000     |       |
|            | 漂遊静電容量         | $x_6$    |          | $10 \log \frac{X_6+x_6}{X_6}$  |  | 0.5 PF  | 0.3 PF                             | 0.026     |       |
|            | 測定周波数          | $X_{11}$ | $x_{11}$ |  | 100~10,000~                            | *5<br>0.3%  | 0.03%                              | 0.005     |       |
| 音響的誤差      | 結合気密室容積        | $X_{12}$ | $x_{12}$ | $10 \log \frac{X_{12}+x_{12}}{X_{12}}$                                     | 15 cm <sup>3</sup>                     | 0.17cm <sup>3</sup>   | 0.1 cm <sup>3</sup>                | 0.029     |       |
|            | 空気の気体          | 気圧       | $X_{13}$ | $x_{13}$   | $10 \log \frac{X_{13}+x_{13}}{X_{13}}$ | 760 mmHg  | 8.7 mmHg                           | 0.2 mmHg  | 0.000 |
|            |                | 弾性係数     | 温度       | $X_{14}$   | $x_{14}$                               | $10 \log \frac{273.16+X_{14}+x_{14}}{1+0.00367(X_{14}+x_{14})}$ | 20°C                               | 258°C     | 0.2°C |
|            | 結合室周波数特性       |          |          | $10 \log (1 - \frac{\omega^2 L^2}{6C^2} + \frac{\omega^4 L^4}{120C^4})$ *6 | $L = 1.5 \text{ cm}$                   | 1,000~ 以上補正   |                                    |           |       |
| マイクロホン不安定性 | 振動機械インピダンス     | $X_{16}$ | *7       | $20 \log \frac{X_{16}+Z_A}{X_{16}}$ $Z_A$ は $X_{12}$ のインピダンス               | 175 $Z_A$ 以上                           |   | 14~18 cm <sup>3</sup> で変化 0.1db 以下 |           |       |
|            | 温度特性           | $X_{17}$ |          | $20 \log X_{17} \cdot x_{14}$  | $\frac{0.5}{10^\circ\text{C}}$ db      | 1°C   | 10°C につき 0.5 db                    |           |       |
|            | 絶縁抵抗           | $X_{18}$ |          | $20 \log \frac{X_{18}+10}{X_{18}}$   |  | 1,730MΩ   | 200 V D.C. で 4,200 MΩ 以上           |           |       |
|            | 可逆性            | $X_{19}$ | *7       | $\frac{N_{12}-N_{21}}{2}$  |  | 0.05 db   | 0.15 db 以下                         |           |       |
|            | 音圧特性           | $X_{20}$ | *7       |  |  |   |                                    |           |       |

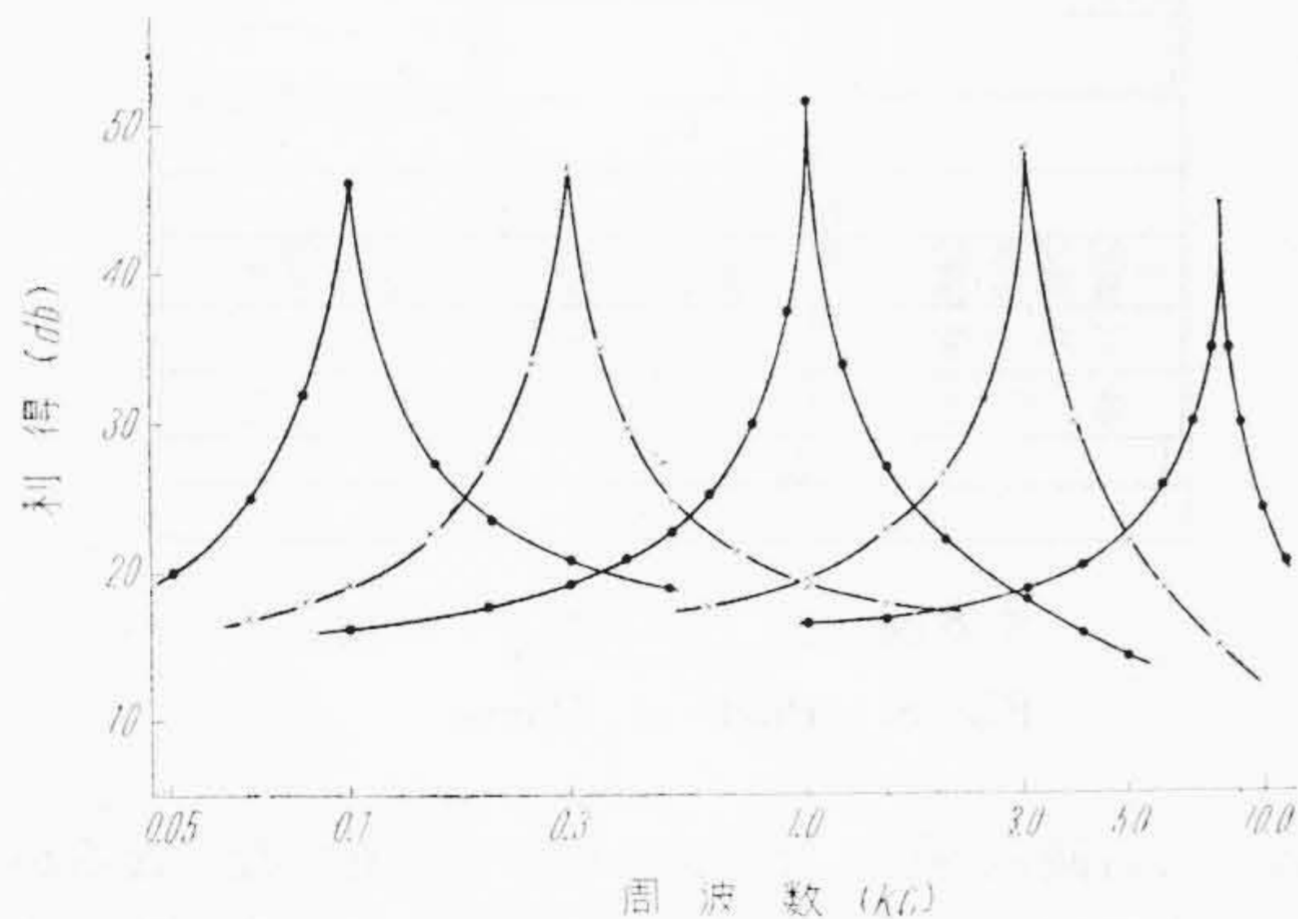
備考

- \*1  $N_{12}, N_{23}, N_{31}$  の誤差が同一方向であるとき、その中の最大のものを  $x_1$  とする。
- \*2 大部分減衰器そのものの表示誤差。
- \*3 (5), (6), (7) 式中の  $C_1, C_2, C_3$  の誤差が同一方向であるときその中の最大値を  $x_6$  とする。
- \*4 所要信号以外のものがすべて片側にのみ混入すると仮定した最大誤差を示す。
- \*5 4,000~5,000~ の減衰器読みの差が 4 db の実例の場合。
- \*6 第 1 図の如く結合室の形が円筒形で半径方向の共振を考えなくてよい場合。
- \*7 結合気室容積、音源と受音マイクの交換、入力電圧を変え減衰器読みの変化で検す。
- \*8 0.05 db 誤差限界値とは通常測定値に対しこれだけの誤差があれば各項目毎にマイクロホン感度として 0.05 db の誤差になることを示す。測定誤差とは読取誤差、計器の精度等あらゆる誤差を含んだ信頼限度を示す。

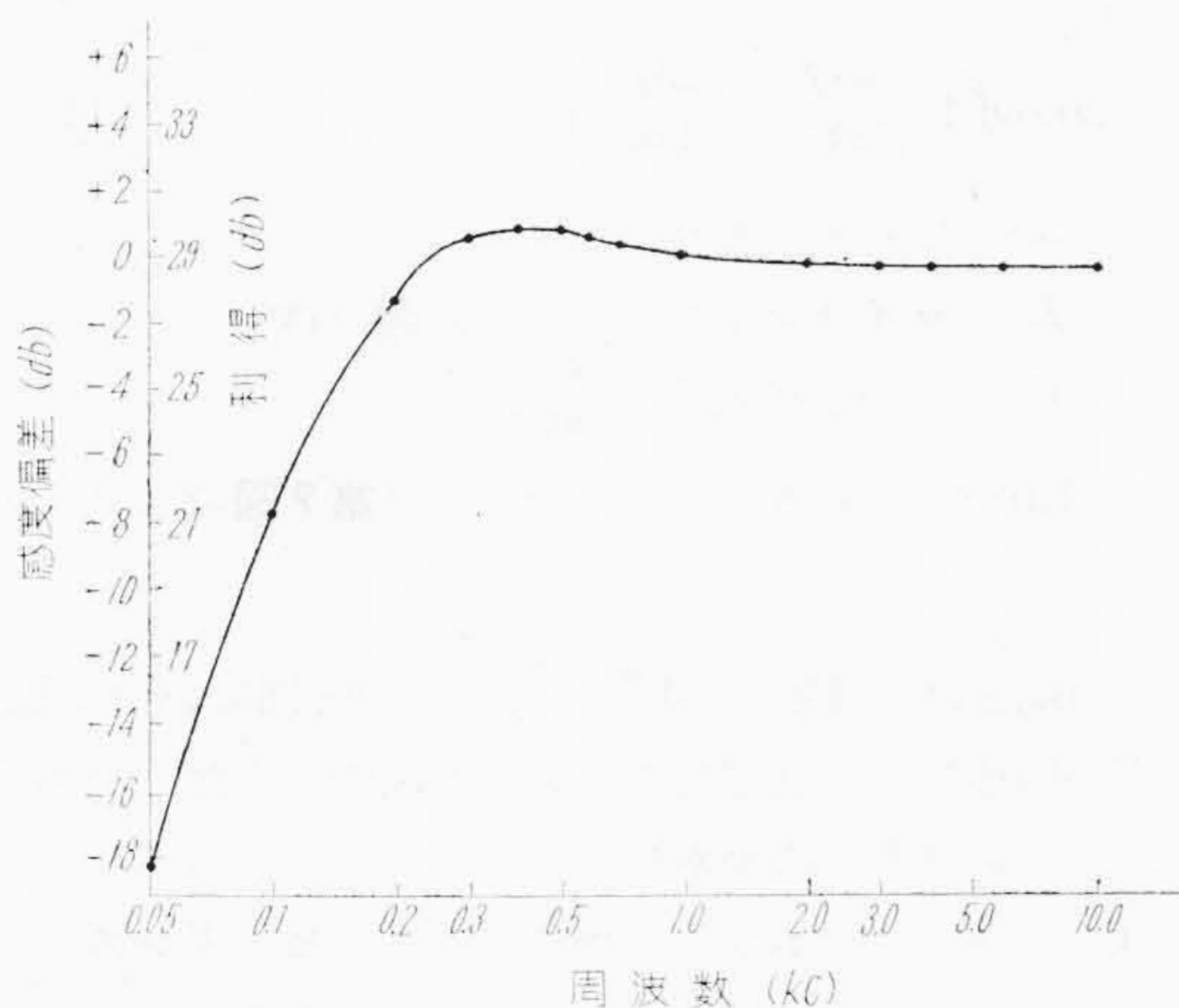
には  $10\text{ M}\Omega$  がついており、電圧降下を小さくするためには高度の絶縁抵抗が要求されることになる。入力電圧計、出力レベル計の精度は左程必要ではないが、切換操作により指針静止位置が変動する分に対しては誤差にな



第3図 総合信号対雑音比  
Fig. 3. Overall Signal to Noise Ratio



第4図 C.R. 同調増幅器選択特性  
Fig. 4. Gain Characteristic of C.R. Tuning Amplifier



第5図 前置増幅器周波数特性  
Fig. 5. Frequency Characteristic of Pre-Amplifier

る。何れにしてもこれ等の誤差は、各々測定計器の精度を向上せしむれば解決できる問題である。製作上問題となるのは絶縁抵抗の外に、減衰量及びマイクロホン静電容量に間接に混入してくる電気的間接誤差を、どこまで小さくし得るかである。

(B) 間接誤差

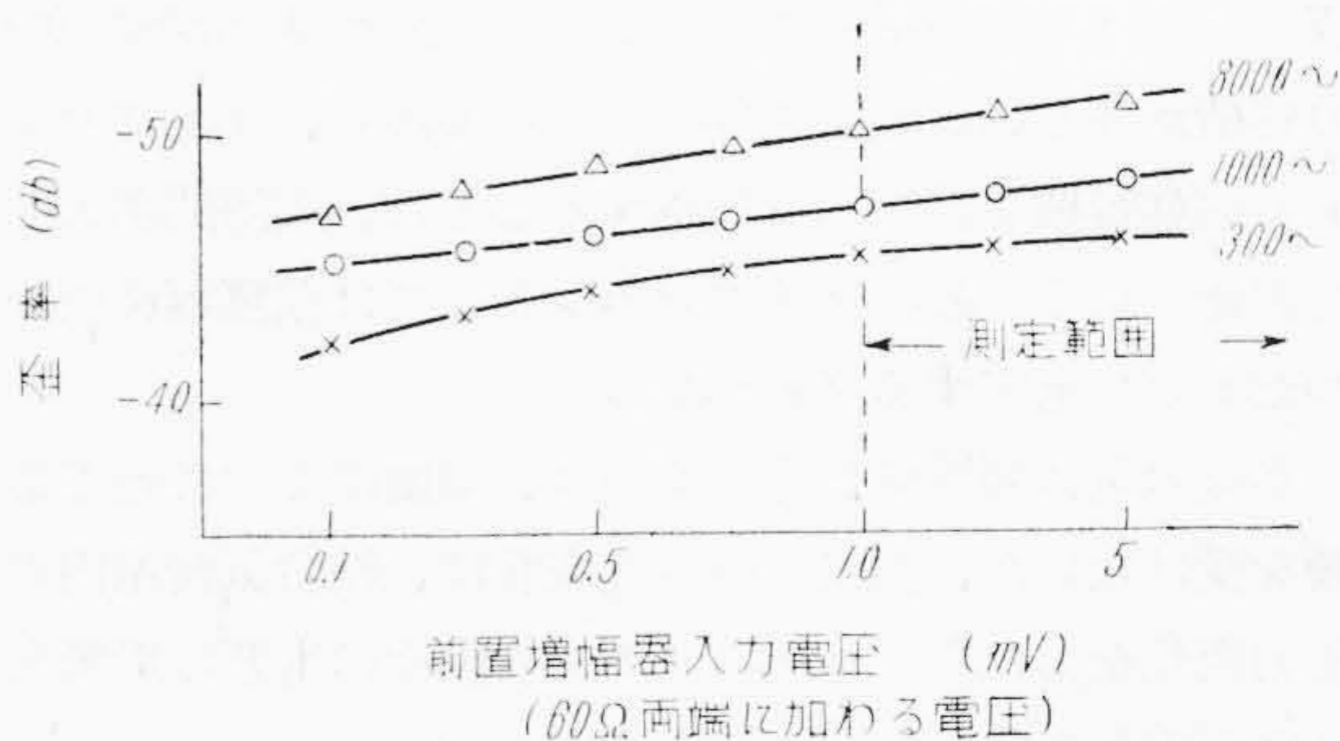
電気的な漏話、雑音、 $50\text{ Hz}$  誘導等は間接的に (8)(9)(10)式の減衰量  $4N$  に誤差として含まれ、受信側マイクロホンと並列になる測定回路の漂遊静電容量は、 $4C$  に誤差として含まれる。これ等はすべて前置増幅器の性能如何によつて定まり、専らこの点に最大の努力が傾けられた。特に入力格子の回路の部品に就いては耐圧、耐湿、絶縁抵抗、部品雑音、静電遮蔽、接地等が問題の核心となる。

漏話を完全に防止するために回路の検討を行い、その目的を達した。雑音は  $10\text{ M}\Omega$  の炭素抵抗及び真空管の吟味により、信号対雑音比を  $-40\text{ db}$  に抑え、更に同調増幅器により選択増幅を行い、総合特性として第3図の如く  $-52\text{ db}$  以下の好結果を得ている。同調増幅器の特性を第4図に示す。前置増幅器の周波数特性は、第5図に示す如く低域遮断特性を持たせ、 $50\text{ Hz}$  の誘導防止に役立させている。漂遊静電容量を極めて小さくするには、受信側マイクロホンから  $60\ \Omega$  の抵抗に至る導線を出るだけ短くしなければならない。総合歪率は第6図に示すように問題はない。

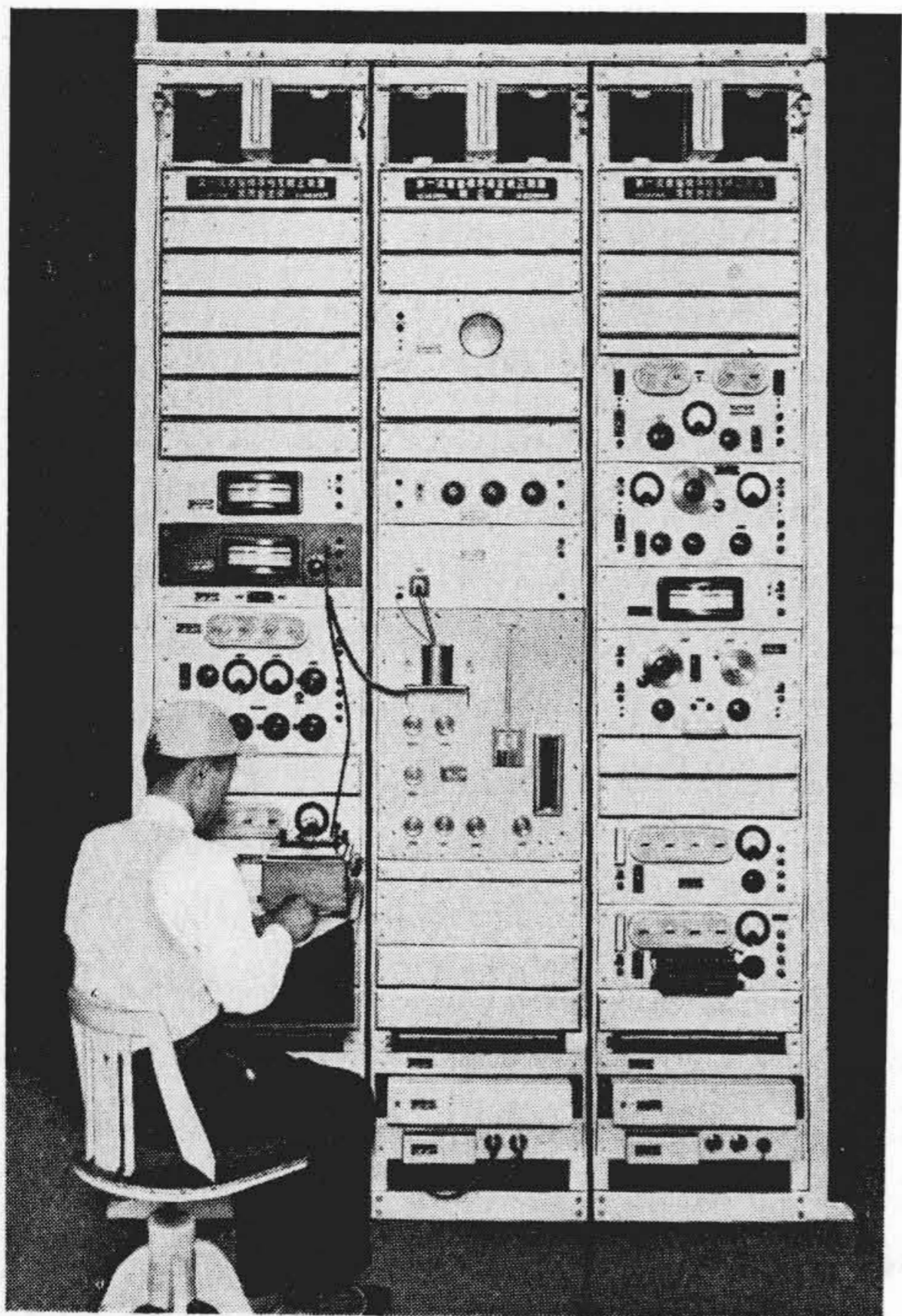
実際に完成した装置は第7図、第8図(次頁参照)に示す。測定架は埋込コンクリートブロックに固定され、上部は防震ゴムを介して天井に支えられている。前置増幅器、偏倚電圧の電源は電池を用い、その他はすべて交流電源整流器を用いている。電気的間接誤差を少なくするため、前置増幅器盤、抵抗減衰器盤、音響結合器盤を近接せしめてある。

(2) 音響的誤差<sup>(6)</sup>

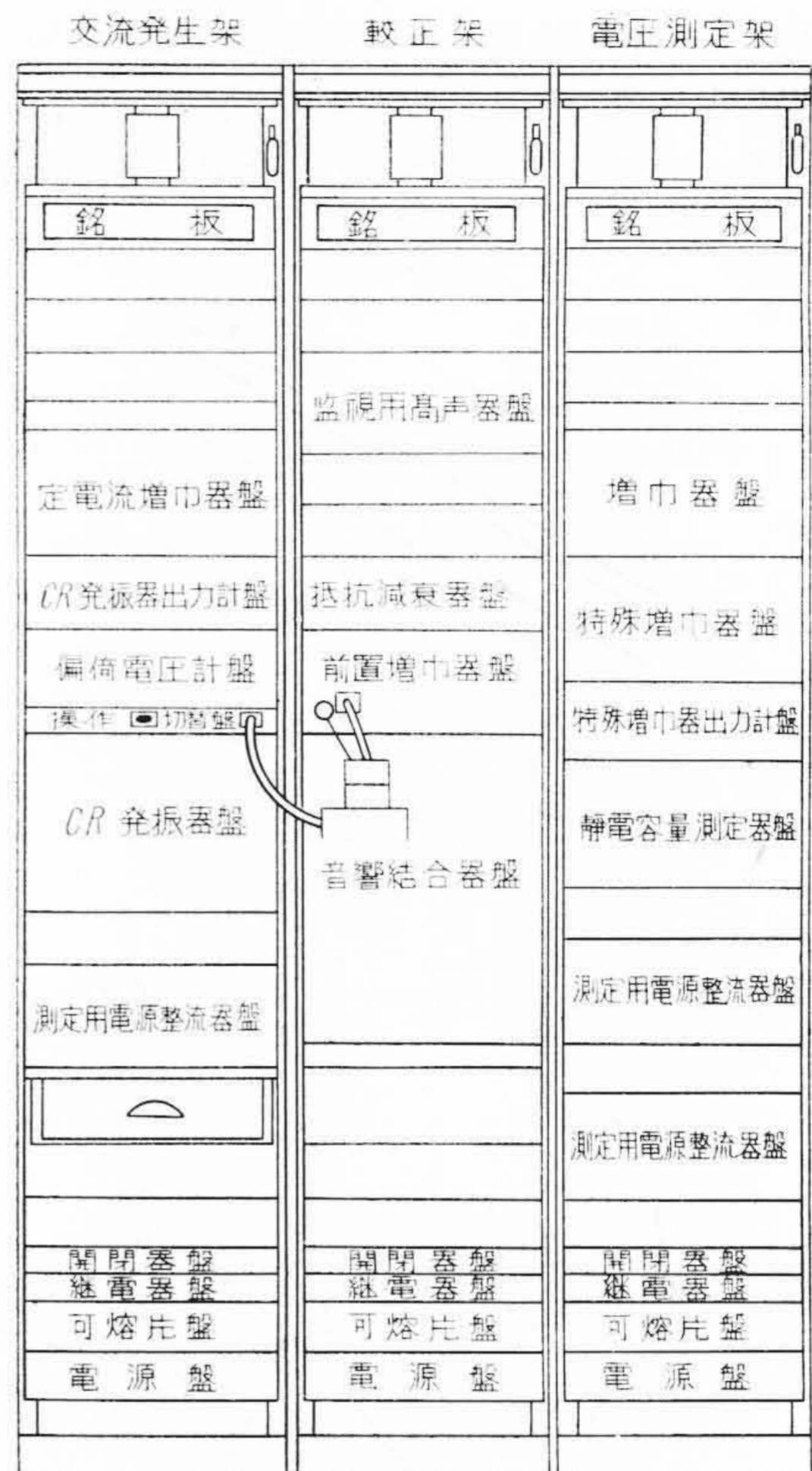
以上は主として装置自体の電気的誤差であるが、被測定マイクロホンに関する音響的誤差もゆるがせにできな



第6図 総合歪率  
Fig. 6. Total Distortion



第7図 第一次音響標準相互校正装置  
Fig. 7. Primary Mutual Calibration Equipment of Acoustic Standards



第8図 配置図  
Fig. 8. Post of Parts

い。それは [I] 章の (3) 項で述べたように、相互較正法が成立するためには多くの条件があり、標準用として特に作られた PS-102 型マイクロホンでも、完全にそれらの条件を満足するとは限らないからである。大要を列挙すれば第1表のようになる。

以下これに就いて説明する。

(A) 結合気密室容積

(8) 式の  $4V$  には音響結合器容積の誤差と、マイクロホンの前窩容積の誤差とが含まれている。(1) 式ではマイクロホンとして測定した時の容積と、受話器として測定した時の容積が全く等しいことが必要であり、(5)(6)(7) 式では3箇のマイクロホンを組合せた3回測定時の容積が等しいことを条件としているから、マイクロホンの前窩容積を計算して補正することは、実際問題として困難である。故にマイクロホンとしては前窩容積の揃ったものを選定する必要がある。

空気の気体弾性係数そのものは、温度によつて殆ど影響を受けないが、測定中の温度変化は、結合気密室内の圧力変化をもたらすマイクロホンの膜面にも悪い影響を与え誤差となる。

(B) 結合気密室の周波数特性

測定周波数が或程度以上高くなると、結合気密室寸法

に比して音波長が短くなり、一様音圧分布でなくなるから或周波数以上ではこの補正が必要となる。第1図に示すような簡単な円筒形結合気密室では、次式<sup>(6)</sup>により軸方向の音圧補正を行えばよい。即ち次式で求めた値を(5)(6)(7) 式の  $N_{12}$ ,  $N_{23}$ ,  $N_{31}$  に加える。

$$20 \log \left( 1 - \frac{\omega^2 L^2}{6C^2} + \frac{\omega^4 L^4}{120C^4} \right) \dots \dots \dots (11)$$

但し  $\omega$ : 振動角周波数 ( $2\pi f$ )

$L$ : マイクロホン膜面對向距離 (cm)

$C$ : 音の伝播速度 ( $\frac{\text{cm}}{\text{sec}}$ )

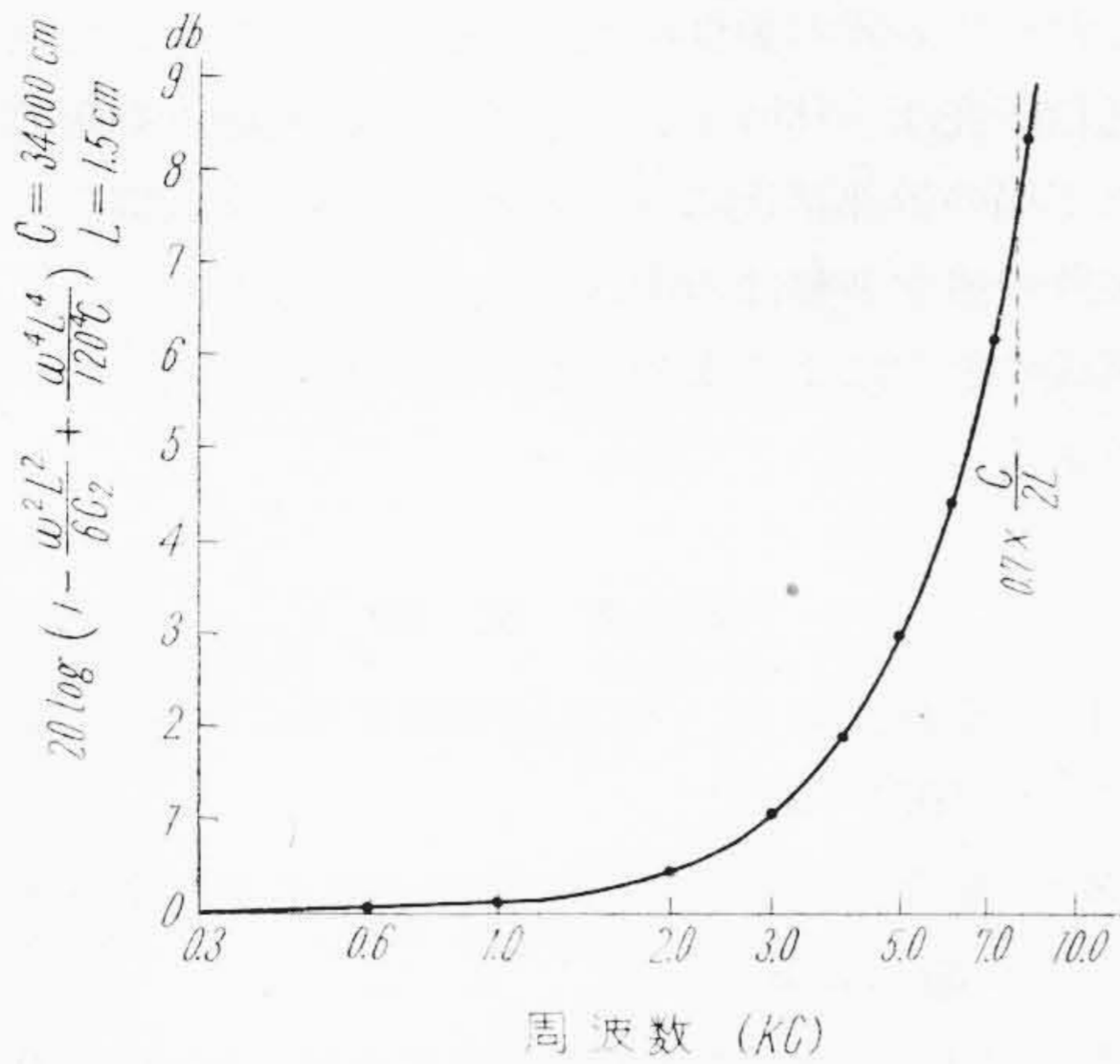
$L=1.5 \text{ cm}$  の場合これを図示すれば第9図の如くである。

この補正は周波数が  $0.7 \times \frac{C}{2L}$  迄の範囲で、それ以上の高い周波数には適用できない。<sup>(6)</sup> 実験的にたしかめるには、空気の代わりに水素を用いて検する。

(C) マイクロホンの振動膜機械インピーダンス

(2) 式の  $k_{M2}$  に (1) 式の条件を代入すると

$$-N_{12} = 20 \log \frac{600}{60} + 20 \log k_{R1} + 20 \log \frac{V}{KC_2} k_{R2} \times 10^{-7} \dots \dots \dots (12)$$



第9図 結合気密室周波数特性  
Fig. 9. Response of Coupler

容積  $V$  を  $V'$  に変えた時の減衰器の読みを  $N'_{12}$  とすると

$$-N'_{12} = 20 \log \frac{600}{60} + 20 \log k_{R1} + 20 \log \frac{V'}{KC_2} k_{R2} \times 10^{-7} \dots (13)$$

(13)―(12) を求めると

$$N_{12} - N'_{12} = 20 \log \frac{V'}{V} \dots (14)$$

充分低い周波数で、結合気密室の容積を変えて実測し(14)式の関係能满足するならば、 $k_{R1}$ ,  $k_{R2}$  が変化していないことを示す。換言すれば、マイクロホン膜のインピーダンスが結合容積の音響インピーダンスに比して十分高く、マイクロホン自体の感度が結合容積の大小に影響されていないことを間接的に実証したことになる。

(D) マイクロホンの可逆性<sup>(7)</sup>

音源側のマイクロホンと受信側のマイクロホンを交換すると(12)式は次のように変る。

$$-N_{21} = 20 \log \frac{600}{60} + 20 \log k_{R2} + 20 \log \frac{V}{KC_1} k_{R1} \times 10^{-7} \dots (15)$$

(15)―(12) を整頓すると

$$N_{12} + 20 \log C_1 = N_{21} + 20 \log C_2 \dots (16)$$

もし減衰器の読み  $N_{12}$ ,  $N_{21}$  と、マイクロホンの静電容量  $C_1$ ,  $C_2$  の関係が(16)式を満足すれば、一応可逆則が成立するものと考えられる。但し受信側マイクロホンに並列に混入する装置の漂遊静電容量がある場合には、たとえ可逆性が成立する場合でも(16)式の関係はくづれるから注意を要する。

(E) マイクロホンの偏倚電圧特性

マイクロホンの感度は偏倚電圧に比例するから、減衰器の読み  $N_{12}$ ,  $N'_{12}$  と、偏倚電圧  $E$ ,  $E'$  との間に次の関係式が成立つ筈である。

$$N_{12} - N'_{12} = 2 \times 20 \log \frac{E'}{E} \dots (17)$$

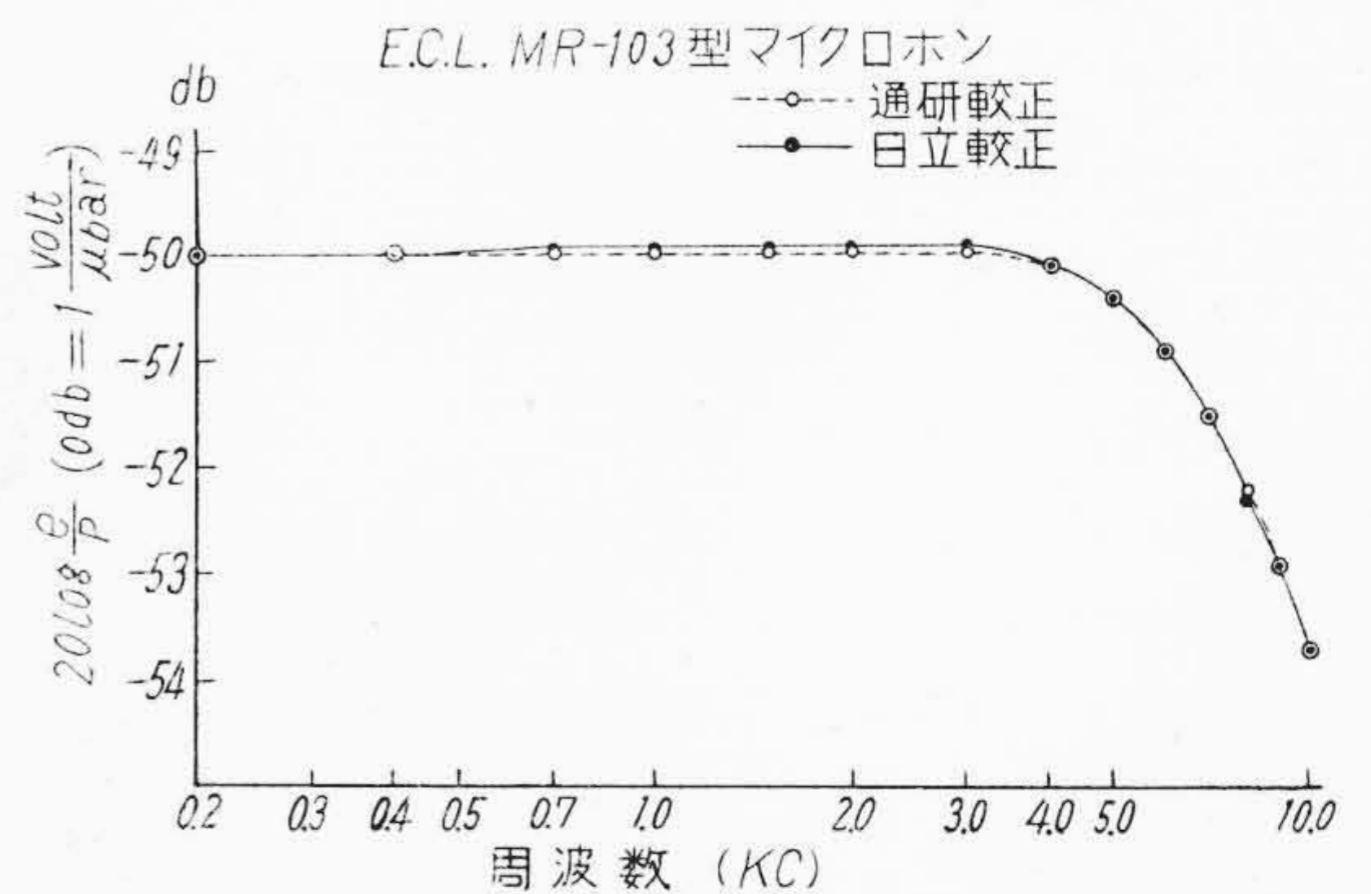
もしもこの関係を満足しない場合は、マイクロホンの絶縁が悪いか、マイクロホン振動膜が静電吸引力に影響される程弱いかである。

(F) マイクロホンの音圧特性その他

マイクロホンに与える音圧が或限度以上になると、音圧と出力電圧とが正しく比例しなくなる。又音源側に用いたものでは、入力電圧が或限度以上になると波形が歪むから、入力電圧を変えて、減衰器の読みに変化がないかを調べる必要がある。

その他マイクロホンにも多少の温度特性があり、測定は温度、気圧の変化しつつある時を避け、比較的短時間に完了した方がよい。又校正は使用状態に近い状態で行うか、或は校正状態と使用状態の感度変化を前以て実測して置く必要がある。相互校正の所要条件を完全に満足するマイクロホンはあり得ないから、以上の項目を実測検討しなければ誤差を云々することはできない。

以上各項目を検討し、装置に就いて実測した結果を第1表に附記した。この結果から見ると電気的間接誤差は問題なく、むしろ直接誤差の抵抗減衰器、偏倚電圧の誤差が比較的大きい。減衰器の測定誤差の中で一番大きいものは減衰器そのものの較正值であり、0.1 db の精度しかないから、各種の減衰量に対する精密な較正表を作成し使用する必要がある。偏倚電圧に関しては、絶縁抵抗をこれ以上に改善することは困難であるから、更に精度のよい電圧計を用いる必要がある。音響誤差の中で目立



第10図 相互校正の一例  
Fig. 10. Example by Means of Mutual Calibration

つのは結合気密室を構成するマイクロホン前窩容積である。現状では  $\pm 0.1 \text{ cm}^3$  の変動があり、結合気密室としては  $\pm 0.2 \text{ cm}^3$  の誤差になる場合もあるから、前窩容積を実測してなるべく揃ったマイクロホンを選定し、且結合気密室の容積は実測計算値を用いなければならない。

以上実測計算の結果、マイクロホンの選定に留意しさえすれば、(9)式に関する最大誤差は 0.2 db 以内に収め得るのである。参考までに電々公社通信研究所で較正された値と日立製作所に於て較正したものと比較すると第10図の如く偏差の最大値は 0.1 db 程度である。

#### [IV] 結 言

恒久的に安定な音響標準器を入手し、その感度レベルを高い精度で保守することはきわめて困難であるから、本報告で述べたように、相互較正法によつて感度の絶対値を求める方が簡便であり正確である。しかし、マイクロホンが可逆則の諸条件を満足するや否やを厳密に検討しなければ、たとえ1箇だけ不安定の場合でも、すべての実測値、算出した感度等は信頼できなくなるから特に留意を要する。

第1表の実測結果からみて、更に測定誤差を少なくするためには、抵抗減衰器、偏倚電圧、マイクロホン前窩容積等の精度を向上せしめなければならない。

可逆則による相互較正法は、絶対感度の基準器として抵抗減衰器及び静電容量、偏倚電圧計、抵抗、周波数等の基準器に依存するものであるから、これ等の計測器は常に較正して用いなければならない。

以上相互較正装置の誤差原因の概要を具体的に列挙説

明した。本装置の製作に当り御指導をいただいた電々公社通信研究所小林博士、鈴木民治氏、又種々御鞭撻を戴いた工場の幹部諸氏に厚く感謝の意を表す次第である。尙装置の組立調整は西山研究主任指導の下に主として田島興氏の努力によるものでありあわせて謝意を表すものである。

#### 参 考 文 献

- (1) 小林、鈴木：電気通信研究所成果報告 21 号 (1951—6)
- (2) 早坂、小林、石井：電気通信学会論文集第 2 輯 (昭 24. 8)
- (3) 岡田、福島：電気通信学会誌 (昭 15. 10)  
早坂、石井：電気試験所彙報 (昭 19. 7)  
早坂、小林：電気通信研究所実用化報告第 2 号 (1950. 4)  
小林：電気通信研究所実用化報告第 2 号 (1950. 4)  
R. K. Cook: J.A.S.A. 12—415 (1941)  
H. Primakoff: L—Foldy J.A.S.A. 109 (1945)  
A. L. Dr. Mattia, F.M. Wiener: J. A. S. A. 341 (1946)
- (4) 小野：誤差概論 (河出書房、昭 17. 9)
- (5) 西山：日立評論、測定特集号 (昭 28. 2)
- (6) 小林：電気通信研究所実用化報告別刷 (1952. 6)
- (7) E.M. McMillan: J.A.S.A. 344 (1946)

