

送話器炭素粉の變位-感度變換係數の測定

西山 靜 男*

Measuring of the Transducing Coefficient between Displacement and Responce of Carbon Granule for the Telephone Transmitter

By Shizuo Nishiyama
Totsuka Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

Measuring method of transducing coefficient, that is the magnitude of A.C. output power for a unit displacement of a moving electrode, is devised by means of the electrodynamic actuating and an electrostatic measuring type vibrometer having a diaphragm with a moving electrode.

Displacement of diaphragm is measured by microphone responce of the moving coil which is measured by mutual calibration with the product and the ratio of two electromechano transducers, that is driving and measuring elements of vibrometer.

Before carrying out the experiments of mutual calibration, the generalized reciprocity theorem of electromagnetic transducer in driving coil is proved.

And then, with this method, characteristics of transducing coefficient of displacement of electrode characteristics of frequency and of filling factor, are ascertained using the carbon granule for No. 4 transmitter.

As a result of displacement characteristic, I have been a range of linear displacement between transducing coefficient and displacement is confirmed.

Secondary, as a result of frequency characteristic, it is learnt that, when the frequency become too high to neglect a propagating time of pressure during the carbone granule, it looks as if there is a standing waves recogn.

And next, characteristic of filling factor indicales that transducing coefficient is not decreased as contact pressure increased by charging the granule into the carbon chamber nearly 100 percent.

Lastly, it is found that there is close mutual relation between the transducing coefficient by this method and the responce after being set into a transmitter, and this method is more precise than the other it is the confirmed that this measuring method is quite significant.

[I] 緒 言

炭素粉送話器はその機械インピーダンスの小さい程、又炭素粉の變位-感度變換率即ち可動電極の單位變位に

* 日立製作所戸塚工場

對し誘起する交流出力の大きい程能率は良い。實際の使用状態に於ては送話器振動系全體の機械インピーダンスに比し炭素粉のそれは可成り大きいもので炭素粉を扱う場合にはその機械インピーダンス及び變位-感度變換率を夫々獨立に取扱はねばならない。今回は上記二定數の内

變位一感度變換率即ち變換係數の測定法並びにその方法による炭素粉の二三の特性について述べた。

偕て變位一感度變換係數 δ_c は單位變位に對し發生する交流出力と定義して誘起開放端電壓、可動電極の變位及び話中抵抗を夫々 e_r, ξ, γ とすれば

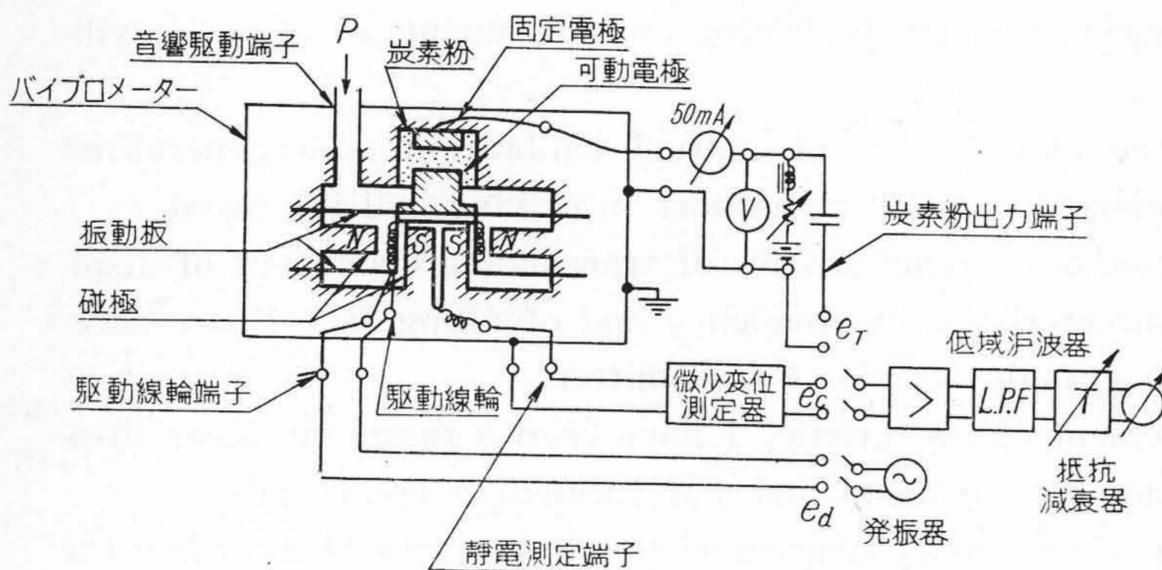
$$\delta_c = 20 \log e_r / \xi \gamma \dots\dots\dots (1)$$

と表示する事が出来る。上式の變位 ξ を正確に求める方法として動電驅動靜電測定型バイプロメータ⁽¹⁾⁽²⁾を用い、較正には相互較正法を使つて ξ を決定した。又この装置を用いて變位一感度變換係數 δ_c の變位特性、周波數特性、充填度特性、及び同じ炭素粉を本方式により求めた變換係數の値と送話器の感度との相關性につき測定例を簡単に述べた。

以下その大要を挙げ大方の御批判を仰がんとする次第である。

[II] 測定の方法

バイプロメータの構造及びこれを用いた測定回路は第1圖の如くである。バイプロメータは驅動線輪端子、靜



第1圖 バイプロメータ並びに變位、變換係數の測定回路

Fig. 1 Constitution of the Vibrometer and the Circuit Arrangement for Measuring Displacement Transducing Coefficient.

電測定端子、炭素粉出力端子、及び振動板驅動的爲めの音響驅動端子を有する。驅動線輪と可動電極とは固定してあり、これを驅動線輪により驅動して兩者を一體として振動せしめる。振動板と中心磁極とを一つのコンデンサーマイクロフォンとし、微小變位測定回路を通じて振動板の變位を電壓に變換する。

この測定端子の誘起電壓 e_c と變位 ξ との關係を豫め較正しておけば e_c より直に ξ を求める事が出来る。次に e_c と ξ との較正法について述べる。驅動線輪の力係數より求める方法も行つたが、今回は相互較正法を用いた。驅動線輪をマイクロフォン働かせしめて變位に對す

る驅動線輪の誘起電壓 e_d の比 e_d/ξ の絶對感度を豫め測定しておき、次に他の手段例えば圖の如き別の音響驅動端子より音壓を加えて振動せしめ、驅動線輪の誘起開放端電壓 ed よりその時の變位 ξ を知ると同時に微小變位測定器の出力 e_c を測ることにより e_c で ξ を讀む事が出来る。

相互較正法を用いれば他の標準音響機器も必要とせず比較的簡単に變位の絶對値を求め得て極めて便利である。驅動線輪の變位に對する誘起電壓の比即ち驅動線輪のマイクロフォン感度を $k_M = 20 \log e_d/\xi$ とおけば變換係數を表わす(1)式は k_M を用いて

$$\delta_c = 20 \log e_r / ed + (k_M - 10 \log \gamma) \dots\dots (2)$$

と表わし得る、 e_r/e_d は第1圖の方法により抵抗減衰器の讀みより求める事が出来る。

[III] 相互較正法による變位測定

相互較正法とは、音響機器を機械端子と電氣端子をもつ四端子網變成器と考えた時、電氣機械變換と機械一電氣變換との間に或る關係式において可逆則が成立する時

この變換器の電氣一機械感度と機械一電氣感度を求め關係式を用いて計算より感度を絶對値で求める方法を言う。そこで相互較正法を行うには驅動線輪の變位と電壓間の可逆則を證明しなければならない

先づ電磁型變換の電壓と變位の可逆性の一般則について證明する。電氣系の座標としては α, β, \dots の各獨立回路の電流を考え、機械系としては變位の座標系を用いた⁽³⁾。まづ電氣一機械變換即ち受話器として働かせしめる。電氣側の各獨立閉路に夫々 i_β なる

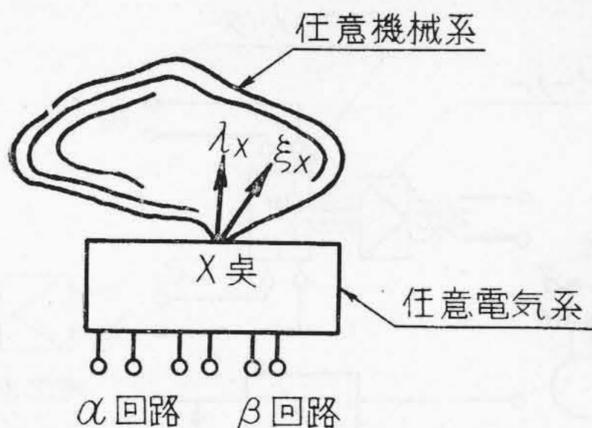
獨立局部電流が流れるとこの時の力係數を $A_{\beta m}$ とすれば機械系の第 m 次規準座標に $\sum \beta A_{\beta m} i_\beta$ なる規準力が作用する。その作用方向を λ_x なる單位ベクトルで示すこととすれば機械側 X 點に生ずる振動變位は

$$\xi_x = \frac{A_{\beta m} i_\beta}{j\omega z_x} \dots\dots\dots (3)$$

z_x は X 點より見た機械系の機械インピーダンスで無損失振動系の場合は

$$\frac{1}{z_x} = \frac{1}{M} \sum_m \frac{j\omega}{\omega_m^2 - \omega^2} (\lambda_x \Sigma_{mx}) (\lambda_x \Sigma_{mx}) \dots\dots (4)$$

$\omega_m \dots$ 第 m 次自由振動角周波數



第2圖 電氣機械變換模型
Fig. 2 Model of Electro Mechano Transducer.

Σ_{mx}第 m 次基準函數の X 點密度
 M全質量

然るに任意の二つの獨立閉路に着目して $\alpha\beta$ 間の相互自由インピーダンスを $Z_{\alpha\beta}$ とすると

$$i_{\beta} = \frac{e_{\alpha 1}}{Z_{\alpha\beta}}$$

$$\therefore \xi_x = \frac{A_{\beta m} e_{\alpha 1}}{j\omega Z_{\alpha\beta} z_x} \dots\dots\dots (5)$$

即ち電氣系 α 回路より見た機械系の X 點に於ける變位感度 k_R はその點より見た機械インピーダンスを用いて (5) 式より次の如くなる。

$$k_R = \frac{\xi_x}{e_{\alpha 1}} = \frac{A_{\beta m}}{j\omega Z_{\alpha\beta} z_x} \dots\dots\dots (6)$$

次に機械—電氣變換の場合には X 點に於ける速度 $\dot{\xi}_x$ により β 回路に誘起する電壓を e_{β} この時の力係數を $A_{m\beta}$ とすると

$$\xi_x A_{m\beta} = e_{\beta}$$

即ち $\xi_x A_{m\beta} = \frac{e_{\beta}}{j\omega}$

β 回路の自由インピーダンスを $Z_{\beta\beta}$, $\beta\alpha$ 間の相互自由インピーダンスを $Z_{\beta\alpha}$ とすると

$$e_{\beta} = \frac{Z_{\beta\beta}}{Z_{\beta\alpha}} e_{\alpha 2} \dots\dots\dots (8)$$

(8) 式、(7) 式より機械系の X 點に於ける變位に對する α 回路の電壓感度 k_M は

$$k_M = \frac{e_{\alpha 2}}{\xi_x} = j\omega A_{m\beta} \frac{Z_{\beta\alpha}}{Z_{\beta\beta}} \dots\dots\dots (9)$$

電磁型變換では $A_{m\beta} = A_{\beta m}^{(4)}$ $Z_{\beta\alpha} = Z_{\alpha\beta}^{(3)}$

(5) (9) 式より

$$k_R = \frac{1}{\omega^2 z_x} \frac{Z_{\beta\beta}}{Z_{\alpha\beta}^2} k_M \dots\dots\dots (10)$$

(10) 式が電磁型の電氣—機械變換の可逆則の一般式である。今この式をバイプロメータの驅動線輪の可逆性に適用する。單位ベクトル λ_x は中心軸と一致せしめ、機械系の自由度は $m=1$ となる。又電氣系では

$\alpha=\beta$ であるから (10) 式は簡單になり

$$k_R = \frac{1}{\omega^2 z_x} \frac{h_M}{Z_{\alpha\alpha}} \dots\dots\dots (11)$$

$$k_R = \frac{\xi_x}{e_{\alpha 1}}$$

$$k_M = \frac{e_{\alpha 2}}{\xi_x}$$

$Z_{\alpha\alpha}$驅動線輪の自由インピーダンス

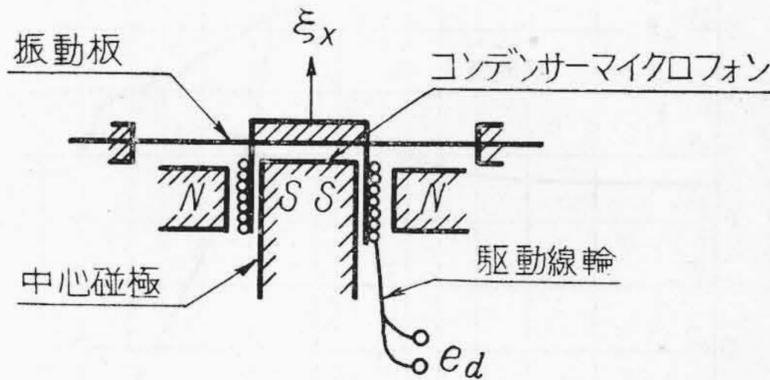
z_x驅動線輪より見た振動系全體の機械インピーダンス

[2] 相互較正法を用いた絶對感度測定法⁽³⁾

バイプロメータの驅動 測定の兩素子をそのまま用い、驅動線輪の可逆則に依り兩機器の感度積、感度比を測定すればよい。次にその方法を簡單に説明する。

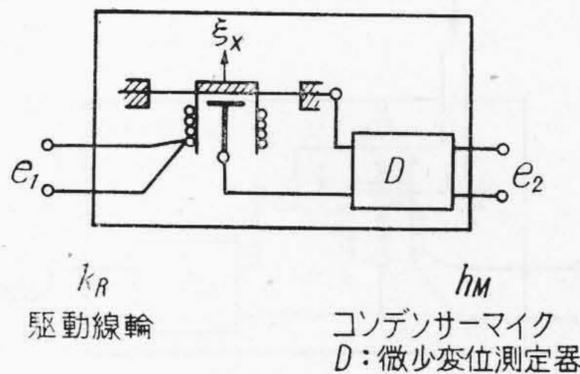
(A) 感度積の測定

驅動線輪及びコンデンサーマイクロフォンの二つの電



第3圖 バイプロメータの構造
Fig. 3 Mechanism of the Vibrometer.

氣機械變換器を機械インピーダンス z_x なる共通の振動板で結合したもので、第4圖の如き見掛上の四端子網となる。入力電壓出力電壓を夫々 e_1, e_2 とすれば變位は共通であるから

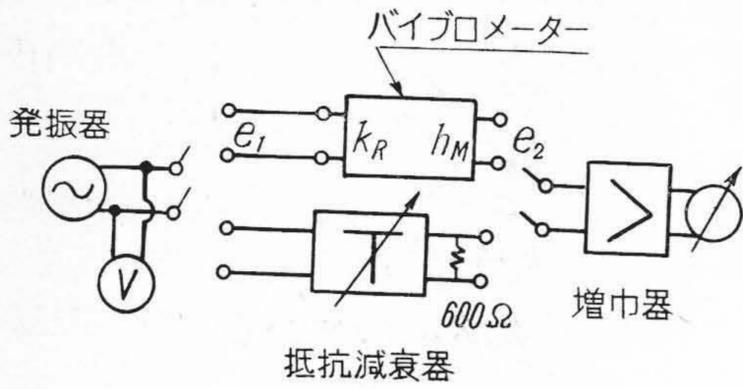


第4圖 感度積四端子網
Fig. 4 Four Terminal Network for Product of Two Responses.

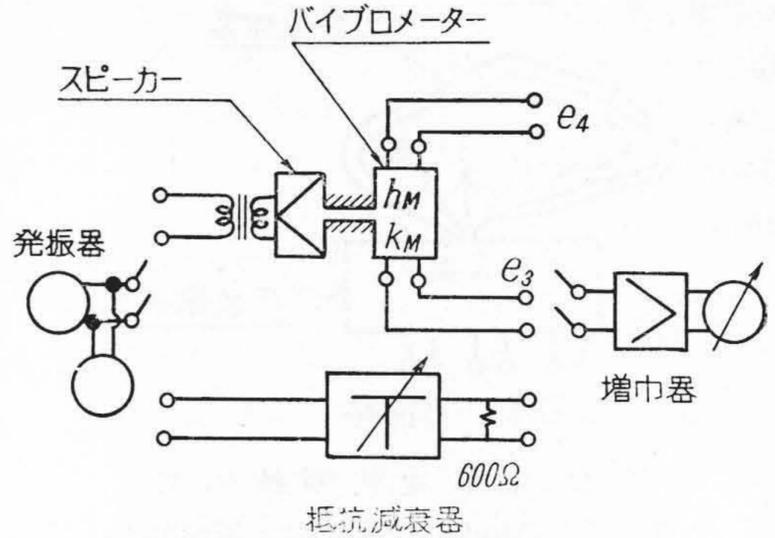
$$e_1/e_2 = e_2/\xi_x \cdot \xi_x/e_1 = h_M \cdot k_R \dots\dots\dots (12)$$

即ち見掛上の四端子網の電壓比は兩機器の感度積を表わす。

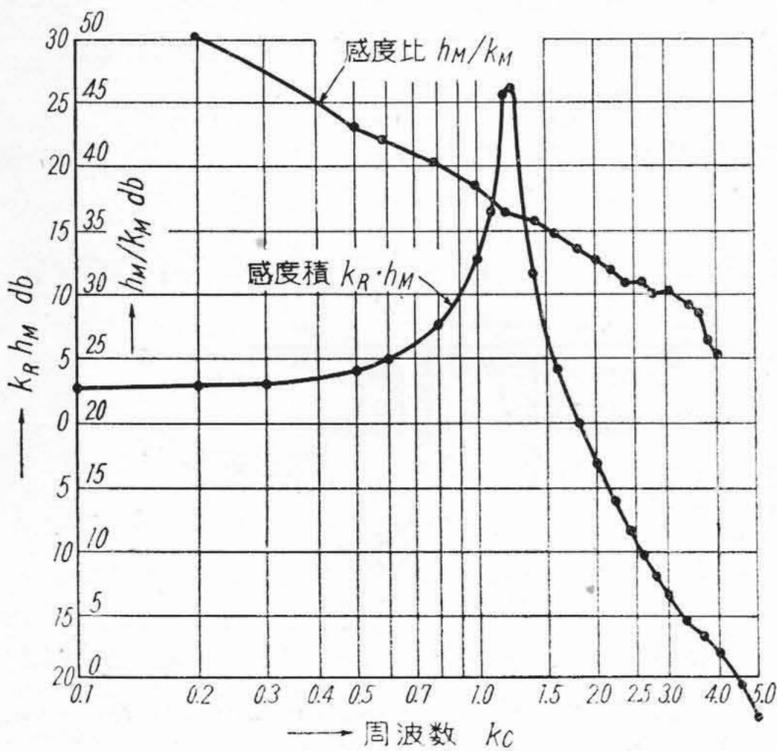
第4圖の微小變位測定器は後述の如く周波數變調方式



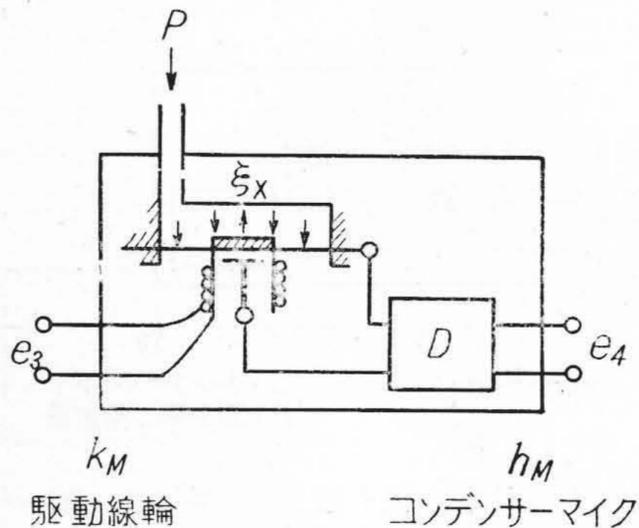
第5圖 感度積置換法測定回路
Fig. 5 Arrangement of Apparatus for Measuring the Product of Two Responses by Step-by-step Method.



第8圖 感度比置換法測定回路
Fig. 8 Arrangement of Apparatus for Measuring the Ratio of Two Responses by Step-by-step Method.



第6圖 感度積感度比の測定値
Fig. 6 Data of Product and Ratio of Two Responses.



第7圖 感度比四端子網
Fig. 7 Four Terminal Network for Ratio of two Responses.

による変位—電圧変換器で回路網に含めて考えて居る。感度積測定回路としては第5圖の如き置換法を用いた。

第6圖に測定結果を示す。

(B) 感度比の測定

駆動線輪をマイクロフォンとして動作せしめる。駆動音響端子より振動せしめて共通の振動板変位に對して誘起電壓比を求め次式を得る。

$$e_4/e_3 = e_4/\xi_x / e_3/\xi_x = h_M/k_M \dots\dots\dots (13)$$

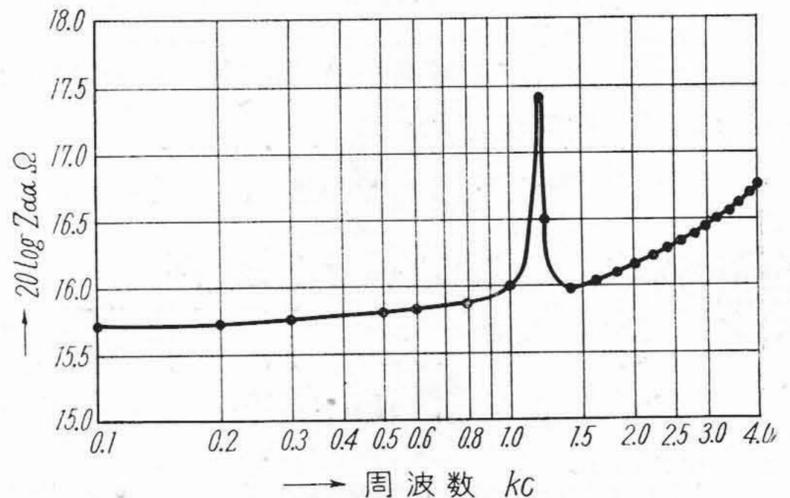
即ち端子の誘起電壓比は兩機器の感度比を表わす、測定回路は第8圖に示す。測定結果は第6圖の如く概ね周波數に逆比例する。(11), (12), (13) 式より k_M は次の式により決定される。

$$k_M = \sqrt{\frac{e_2}{e_1} \frac{e_3}{e_4} \omega^2 z_x Z_{\alpha\alpha}} \dots\dots\dots (14)$$

z_x は次節に述べる方式により容易に豫め測定出来る、駆動線輪の自由インピーダンス $Z_{\alpha\alpha}$ は別に測定しその結果は第9圖の如くである。

(C) 振動板の機械インピーダンス z_x の測定

駆動線輪から見た振動板の機械インピーダンス z_x は實際には損失があるから(2)式は用いられない、損失



第9圖 自由インピーダンス $Z_{\alpha\alpha}$ の特性
Fig. 9 Characteristic of the Free Impedance $Z_{\alpha\alpha}$.

を考慮し第一次様式振動の範圍に於ては實効質量 m_0 、實効ステイフネス s_0 、機械抵抗 γ_0 の集中定數の直列回路と考え一般に用いられる附加質量法⁽⁶⁾により m_0 、 s_0 を求めた、又共振の近傍の二つの周波數 ω_1 、 ω_2 の感度差 δ db より

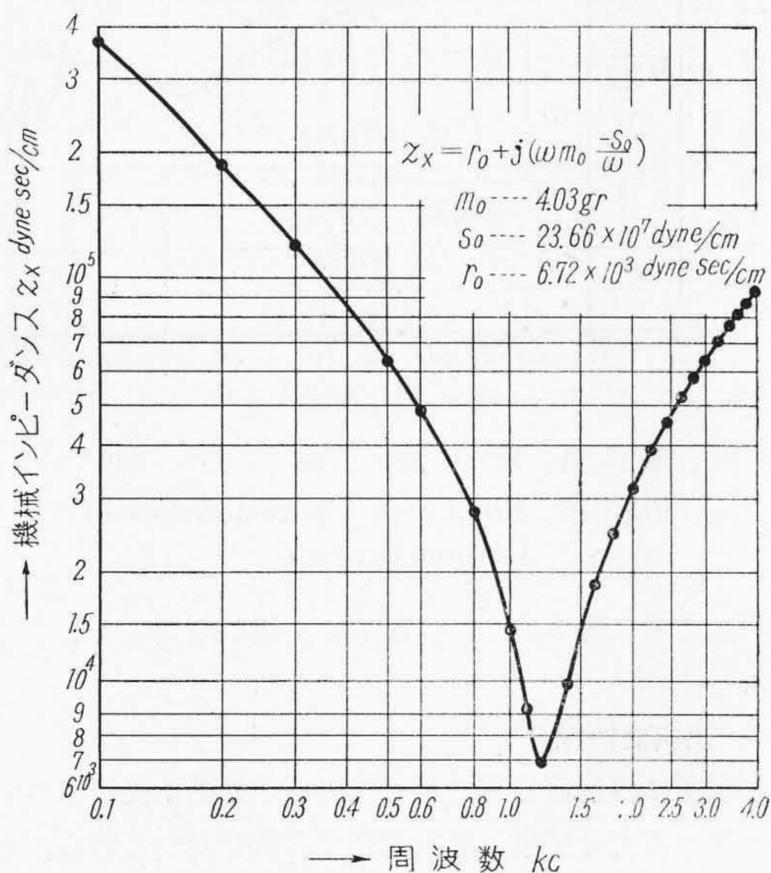
$$\delta = \frac{z_2}{z_1} = 20 \log \frac{\gamma_0 + j\left(\omega_2 m_0 - \frac{s_0}{\omega_2}\right)}{\gamma_0 + j\left(\omega_1 m_0 - \frac{s_0}{\omega_1}\right)} \dots (16)$$

より γ_0 を求められる。測定の結果は

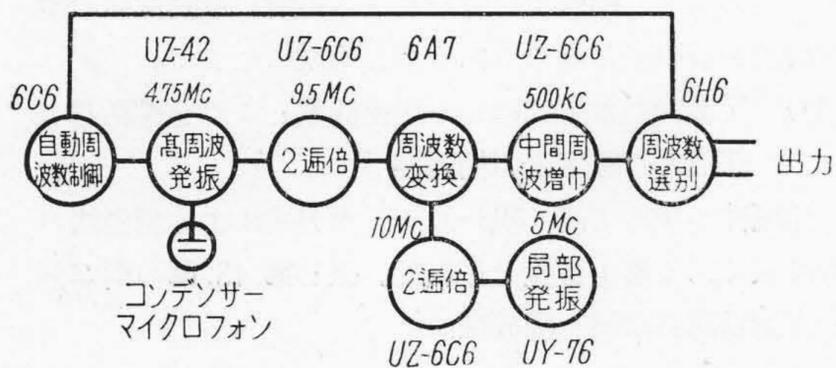
$$\left. \begin{aligned} \text{實効質量 } m_0 &= 4.03 \text{ gr} \\ \text{實効ステイフネス } s_0 &= 23.66 \times 10^7 \text{ dyne/cm} \\ \text{機械抵抗 } \gamma_0 &= 6.72 \times 10^3 \text{ dyne sec/cm} \end{aligned} \right\} (17)$$

第10圖はこの定數より z_x を計算したものである。

(D) 微小變位測定回路

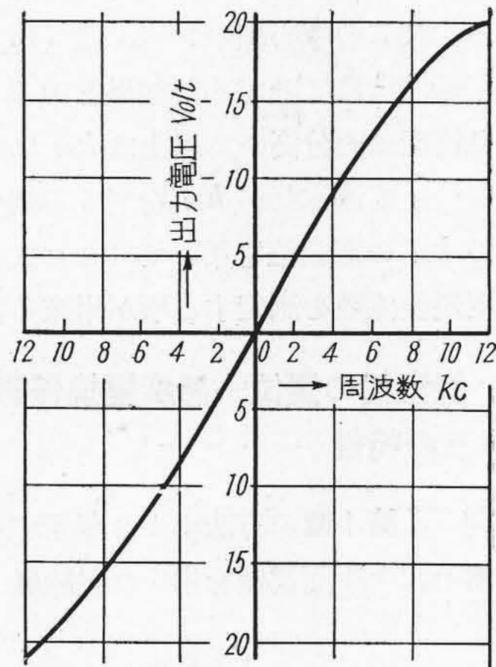


第10圖 機械インピーダンス z_x 計算値
Fig. 10 Characteristic of the Mechanical Impedance z_x by Calculation.

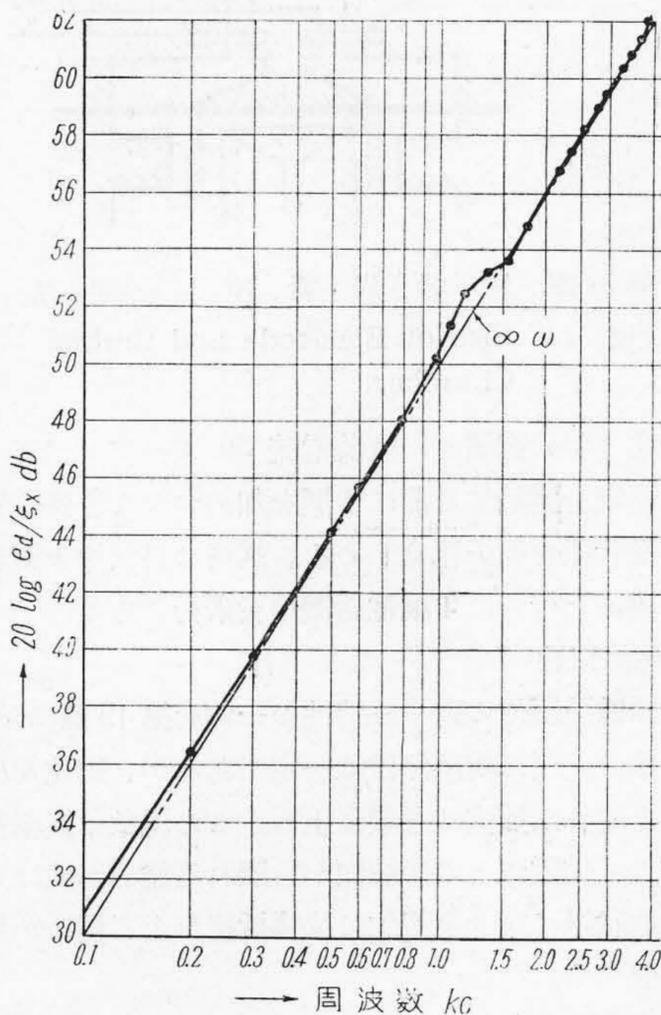


第11圖 微小變位測定回路
Fig. 11 Block Diagram for Measuring Micro Displacement.

變位を電壓に變換する一方法として周波數變調方式の回路を作つた。このブロックダイアグラムを第11圖に示す。4.75 MC の發振周波數をコンデンサーマイクで變調し、2週倍の後、500 kc にビートダウンしたもので選別回路の特性は第12圖の如くである。使用變調周波數帶域は2乃至4 kc 程度で、周波數を安定する爲めに特に自働周波數制御装置を挿入して居る。安定性は良く雜音も少い。



第12圖 周波數選別回路の特性
Fig. 12 Characteristic of Discriminator.



第13圖 驅動線輪のマイクروفオン感度 k_M
Fig. 13 Response k_M of the Driving Coil as Microphone Action.

(E) 變位の測定結果

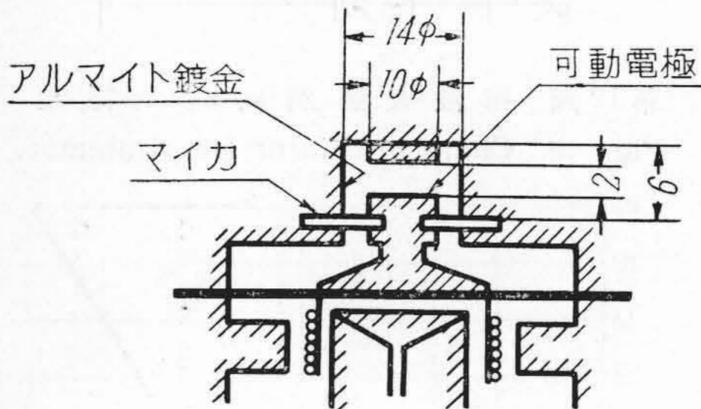
上記測定値を以て計算の結果は第 13 圖の如く正確に周波數に比例して居る。一般式 (9) 式はこのバイプロメータでは

$k_M = j\omega A_{1\alpha} \dots\dots\dots (18)$

$A_{1\alpha}$ は第一次様式振動に對する驅動線輪の力係數であつて磁界強度と線輪により決まる定數である。従つて、 k_M は第 13 圖で得た如く周波數に比例することになる。圖に於て周波數に比例する中心線に對し誤差は $\pm 0.2db$ の範圍にある。又この中心線のレベルは (18) 式より力係數を求め平衡法⁽²⁾により求めた結果と $0.2 db$ 程度で一致して居り精度は充分高い。以上は k_M により變位を求める方法について述べたが h_M を用うる場合も同様である。以上の k_M の測定値を用いて (2) 式より炭素粉の變位—感度變換係數を測定する事が出来る。

[IV] 炭素粉の變位—感度變換係數の二三の特性

變換係數 δ_c は第 1 圖の方法により測定する。電極構造は第 14 圖の如き平面電極を用いた。絶縁した炭素室



第 14 圖 電 極 炭 素 室 の 寸 法
Fig. 14 Size of Electrode and Carbon Chamber.

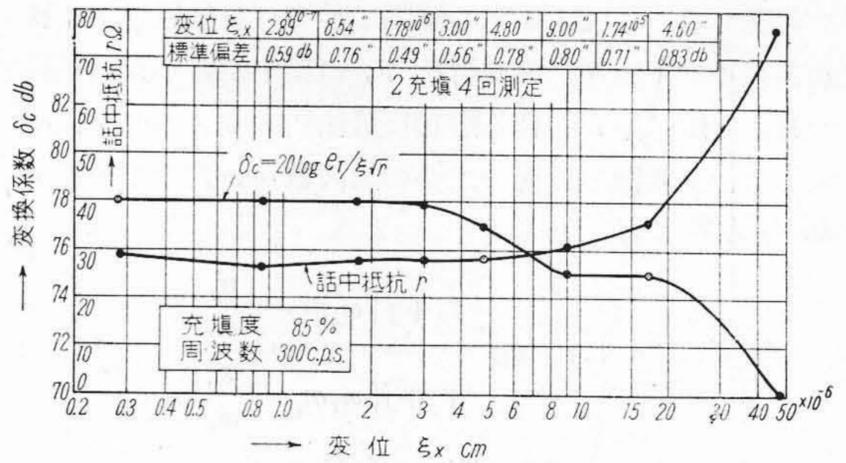
に容積比 85% 充填し、直流電流 50 ミリアンペアーを通ず。測定を開始する前に音壓を加へつゝよく振り炭素粉の接觸状態を均一化せしめる。試料は日立中央研究所に於て焼成を行つた 4 號電話機用炭素粉である。

(A) 變位特性

變換係數の變位に對する特性の一例を第 15 圖に示す。變位の小さい間は變換係數は一定であるが、變位を極めて大きくすれば抵抗は急激に上る。この現象は炭素粉が慣性的で可動電極との接觸面から離れる爲めか或は炭素粉が飛散状態になり全體的に接觸抵抗が上る爲めか更に検討を要する。

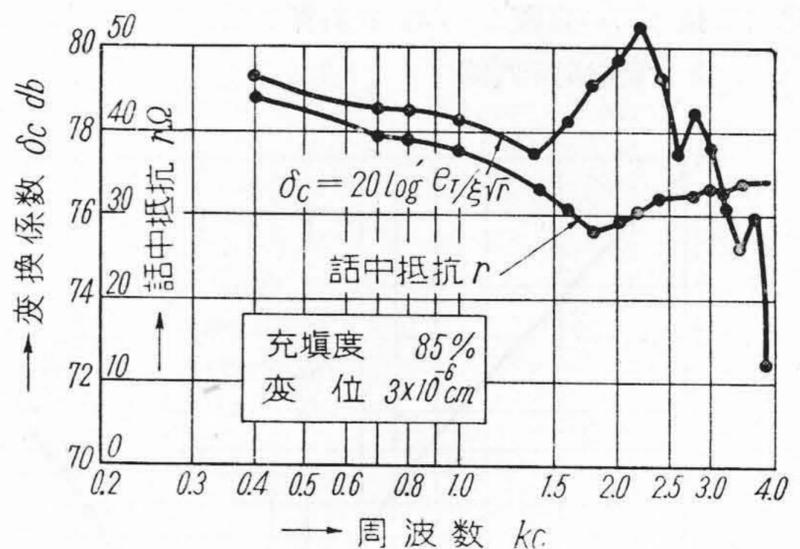
(B) 周波數特性

周波數が高くなると粉體中の振動の傳播速度が無視出来なくなり約 800 C.P.S 毎に見掛上の定在波が顯著に



第 15 圖 變 位 特 性

Fig. 15 Displacement Characteristic of Carbon Granule.



第 16 圖 周 波 數 特 性

Fig. 16 Frequency Characteristics of Carbon Granule.

現われて來て居る。これは各點の位相の差異によるものであろう。

(C) 充填度特性

充填度は容量百分率で示して居る。直徑 4 耗のメスシリンダーで充分振動し最密状態で容積を測つて居る。充填度が高くなつても變換係數は變らない、接觸壓力が増しても、マイクロフォン効果が變らない事を示すものである。一方送話器では充填度を多くすれば感度が下る事が知られて居るが、その原因は炭素粉の接觸壓力が増した爲めにその機械インピーダンスが増し可動電極の變位自體が減少した爲めである事が明確になつた。

(D) 炭素粉の本方式による變換係數とこれを送話器に組込んだ感度との相關性

相關性が極めて高く現われる。本方式による測定法の有意義である事が實證せられた。但し第 13 圖の測定例の炭素粉試料は同一焼成法によるものであつた。

[V] 結 言

動電驅動靜電測定型バイプロメータを用い、その變位を求める爲めに驅動線輪の機械—電氣變換の感度を相



第17圖 充 填 度 特 性
Fig. 17 Volume Percent Characteristics of Casbon Granule.

互較正法を用い測定した。これにはパイプロメータ自身の驅動素子と測定素子をそのまま使つて測定した。従つて先づ電磁型變換の電氣—機械變換と機械—電氣變換の可逆則について一般式を導いた。この方法によれば從來の平衡法に比し測定が非常に簡素化せられる。

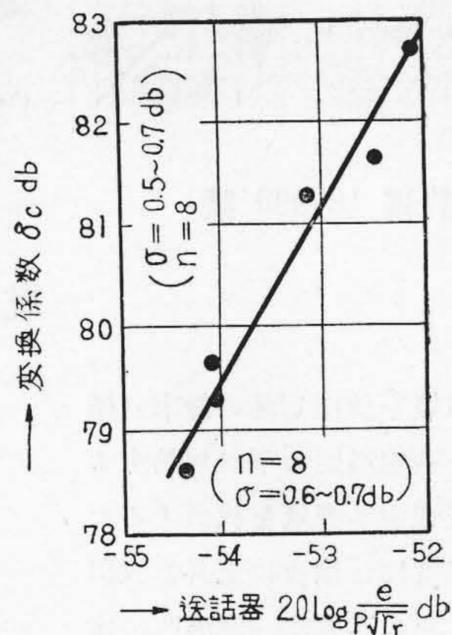
尙簡單ではあるが、この装置を用いて炭素粉の二三の性質を紹介した。變位特性は變位の少い間は單位變位當りの出力は等しい事を示した。

周波數特性により周波數が2,000 C.P.S. になると粉體中の振動の傳播速度が無視し得なくなり、見掛上定在波が存在する様な傾向を表わす。

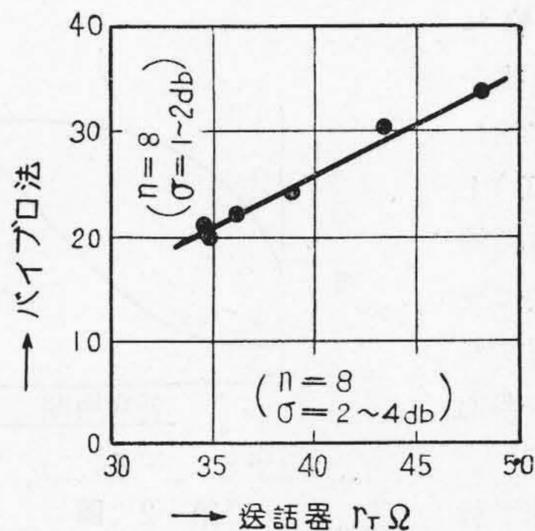
充填度特性により送話器で眞填度を大きくすると感度が下るが、これは機械インピーダンスの増加により可動電極の變位が抑えられる結果である。

又最後に本方式と送話器に入れた時の相關性は非常に高く、本方式の有意義である事が實證せられた。以上この測定法の應用例について簡単に説明を試みた。

今回の研究に當つては電通省電氣通信研究所伊藤、杉本兩技官の多大の御指導と御援助を得た。又當社東研究



(a) 感度の相關性



(b) 話中抵抗の相關性

第18圖 炭素粉の本方式に依る變換係數と送話器に組込んだ場合との相關係數

Fig. 18 Relative Characteristics between this Method and Transmitter for Carbon Granule.

課長より種々御助言を得た事に對して深甚の謝意を表す又實驗を主として擔當して戴いた飯田芳三君、猪瀬武君に厚く御禮を申上げる次第である。

参 考 文 獻

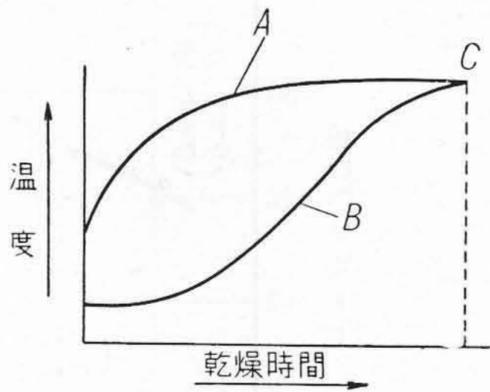
- (1) H. Böhme : Akast Zeit. 2 (1937)
- (2) 伊藤、杉本、大塚 : 通研月報 1 (1950)
- (3) 早坂 : 音響振動論、コロナ社
- (4) 早坂、小林、石井 : 通信學會論文集 昭 22
- (5) 岡田、福島 : 電通誌、昭 15, 10 月
- (6) 拔山、電氣音響機器の研究、丸善

特許第 185990 号

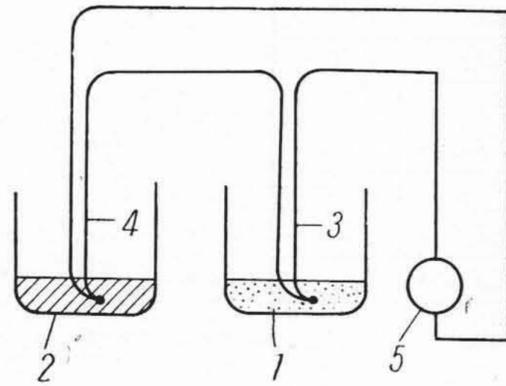
松本嘉雄・前田繁

乾燥度測定装置

一般に湿気を放出し易い粉末（標準粉末）を一定温度の下に加熱するときは、乾燥中は湿気を放出するため粉末の温度は、徐々に上昇し放出が終れば、その温度は一定温度に達する。（第2図A）。次に、上記と同一の熱的環境にある被測定物質について観察すれば、含有湿気の放出状態に応じて種々の経過をたどるが乾燥が終れば、これ亦一定温度に達し（第2図B）上記A、B曲線はCに於て交る。換言すれば、同一熱的環境の下に、標準粉末と被



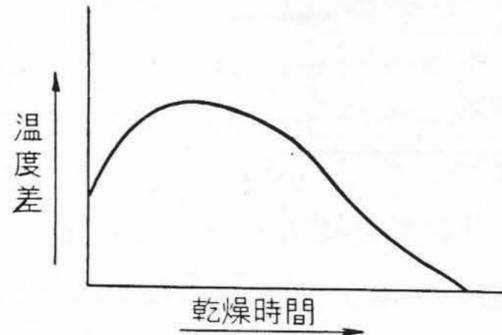
第 2 図



第 1 図

乾燥物質とをおくときは被乾燥物質が完全に乾燥するまでは、両者の間には温度差があり、この温度差は被乾燥物質が全く乾燥したとき零となる（第3図）。

この発明は、これら標準粉末と、被乾燥物質との温度差を、熱電対3及び4並びに計器5を以て外部より迅速正確に測定し、乾燥状態を観



第 3 図

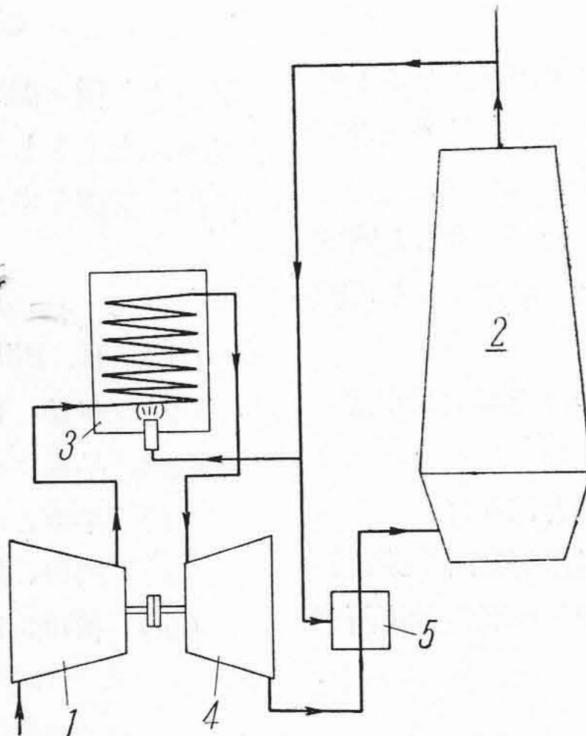
測し得る如くにしたものであつて、密閉容器中の粉末の乾燥状態を測定するに極めて便利である。（田中）

特許第 186369 号

松本嘉雄

高爐の送風装置

この発明は、空気送風機よりの空気を、高爐2より発生した高爐ガスを燃焼せしめる加熱器3に導いて加熱せしめこの加熱せしめられた空気を、空気タービン4に送つてタービンを駆動せしめ、ここに於て膨脹した空気を豫熱器5によつて豫熱し所要壓力を以て、高爐羽口に送り込む如くなし、且つ上記空気タービンを以て空気送風



機の動力源となしたものである。以上の如く高爐ガスを加熱源となして、高爐に送給すべき空気を空気タービンの作動媒体として利用し、空気タービンの出力は送風機駆動用として利用するものであるから極めて経済的な高爐送風装置を提供し得るものである。

（田中）