

微小音響振動の絶対測定法と応用例

西山 静男* 猪瀬 武**

Absolute Measurement of the Micro Acoustic Vibration

By Shizuo Nishiyama and Takeshi Inose
Totsuka Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

The article gives the method of combining static vibrograph and dynamic-driving static-measuring vibrometer for measuring the absolute value of micro acoustic vibration. In this method, in short, the measured vibration is transmitted on a vibrometer and from the amounts recorded on the vibrometer the absolute value of displacement and phase is measured.

The writers, through analytical study of the theory of action working in this method and the measurement errors, have made it clear that the method has a merit that the measurement and the calibration of apparatus can be effected almost in the same manner. In the ends of the article, quoting a few typical examples of measurements and results, the writers assert the high sensitivity of the method and its high effectiveness in practical application.

〔I〕 緒 言

音響振動体或はこれに類似の振動体の振動模様、相互機械インピーダンス或は特性機械インピーダンスの測定には従来より静電容量型振動計法或は音響インピーダンス法⁽¹⁾等が有効に利用されて来た。この内静電容量型振動計は極めて微小な変位、速度の測定には極めて都合な方法であるが、変位、速度を絶体値で求めることが出来ない憾みがあつた。

筆者は静電容量型振動計とバイブロメータを組合わして精度も高く、較正も都合の良い方法を研究した。こゝに用いたバイブロメータは動電駆動静電測定型で既に報告あるもの⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾と同型である。測定素子に静電容量型を用いた理由は、振動測定に於て静電型の機械—電気変換を行うので実際の測定と、変位算出に必要なバイブロメータの較正に、変換の電気回路が共通に利用出来る長所があるためである。駆動素子に動電型を用いたのは普通の音響機器として考えるのと同じように波形歪を軽減するためである。

種々の実際の使用例に基き検討した結果、極めて都合の良い方法であるとの確信を得るに到つたのでこゝに報告し、諸賢の御批判を得たいと考える次第である。

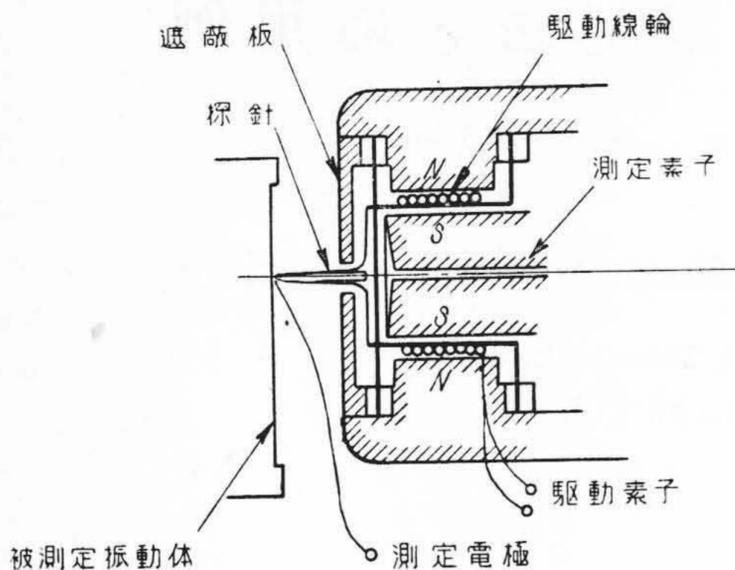
* ** 日立製作所戸塚工場

〔II〕 測 定 法

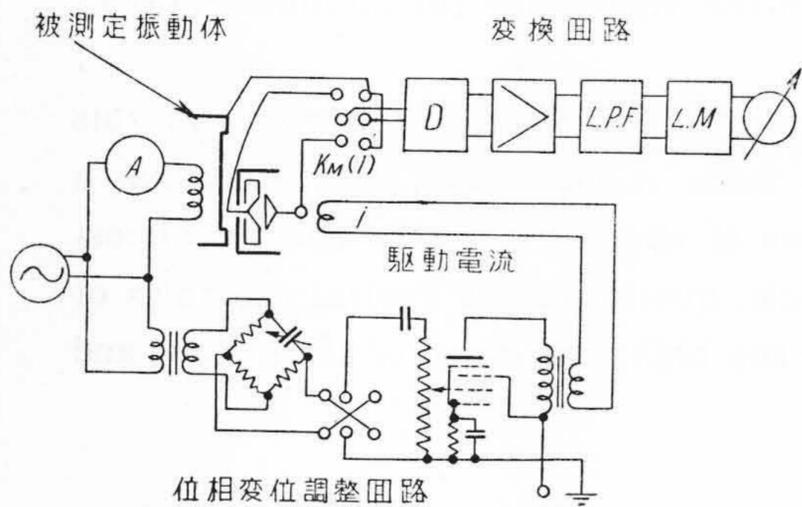
動電駆動静電測定型バイブロメータの原理は既に報告がある⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾。特に本測定法に於て必要な機能は、第1図(次頁参照)の如く振動板中央軸上に軽量の探針を附しその先端に微小面積の測定電極をつけたものである。又振動系の変位、位相は駆動電流を調整して変えられるようにしている。

被測定振動体と測定電極との間に静電容量を作り、測定は通常の振動計と同じ要領により行う。たゞ振動計の測定電極も同時に振動せしめる如くする。従つて静電容量は両極により同時に変調されることになる。測定電極の軸方向を測定振動の方向と一致して任意の位置に近接する。次いでその周波数、変位及び位相を等しくする(これを同調を取ると称する)。同調のとれた時の両極の振動ベクトルの和は0となる。即ち静電容量の振動分に比例する出力は0となり、出力計を見て同調の正否を判断できる。同調のとれた状態は測定振動の周波数、変位及び位相は完全にバイブロメータに移し得たことを意味する。その後の取扱いは全くバイブロメータ自身の振動の計算に帰着する。

測定に当つてはバイブロメータ振動系が駆動線輪以外の被測定振動体の音圧から起振力を受けるために起る誤



第 1 図 動電駆動静電測定型パイロメータ
Fig. 1. Electrodynamic Actuating and Electrostatic Measuring Type Vibrometer



第 2 図 変位測定回路
Fig. 2. Measuring Circuit Diagram of Displacement

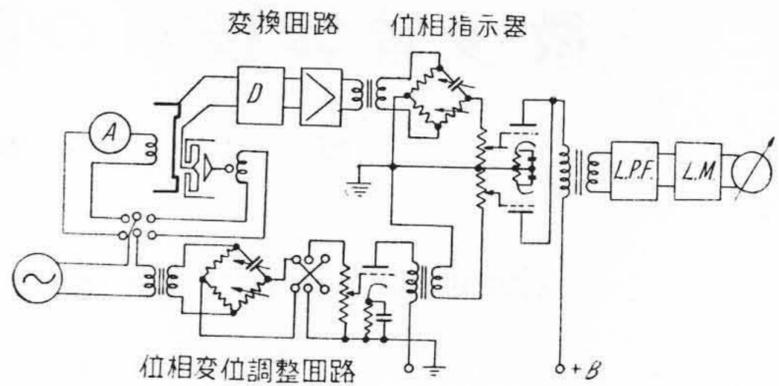
差が混入することのないように、振動系の機械インピーダンスを高くするか或は前面に適当な遮蔽板を設ける等の考慮が必要である。われわれが用いた方法は後者であつて第 1 図にそれらの要領を示す。

第 2 図は変位測定回路である。同調が完全にとれた時の測定電極の変位はパイロメータの測定素子の機械-電気変換係数 $K_M(1)$ を用いて知る。即ち変位 ξ と出力 e との間には次の関係がある。

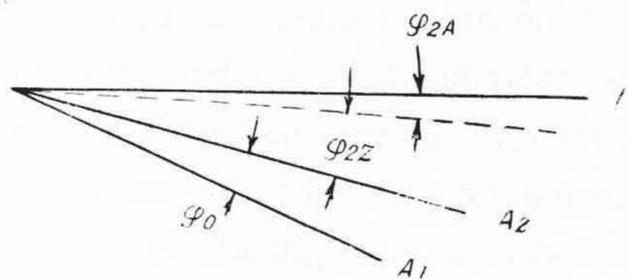
$$K_M(1) = 20 \log \frac{e}{\xi} \dots \dots \dots (1)$$

$K_M(1)$ は予め較正しておき e を測定することにより直に ξ を知ることが出来る。測定回路及び測定素子に使用する変換回路は切換電鍵により共用出来る。

第 3 図は位相測定回路で回路の位相特性を消去するために切換法を用いている。被測定振動体及び測定電極の駆動電流を基準にした位相角をそれぞれ ϕ_1, ϕ_2 とし交互に振動せしめて両極の位相差 ϕ_0 を位相指示器により求める。その方法は先づパイロメータのみを振動して



第 3 図 位相測定回路
Fig. 3. Measuring Circuit Diagram of Phase



第 4 図 位相の関係
Fig. 4. Relation between Vibration Phases

変位位相調整回路を用いて出力計が 0 になる如くし、次に被測定振動体のみを振動して位相指示器を調整し同様に出力計の 0 を求めた時の位相指示器は位相差 ϕ_0 を与える。

ϕ_1, ϕ_2 は機械インピーダンス角とそれぞれの力係数の遅れ角の和として表わされる。第 4 図はその関係を示す例で、 ϕ_{2Z} はパイロメータ振動系の機械インピーダンス角、 ϕ_{2A} は力係数の遅れ角でパイロメータに固有のものであつて、動電型では僅少であるが電気インピーダンス角の実数部、虚数部のなす角より容易に求められるものである⁽⁵⁾。

〔III〕 原理の解析

測定電極は微少な平面或は半球であるが、測定すべき振動体は振動板等の如く平面であることが多い。両極間の距離 D は

$$D = D_0 + A_1 \sin(\omega_1 t - \phi_1) - A_2 \sin(\omega_2 t - \phi_2) \dots (2)$$

但し ω_1, ω_2 : 両極の振動角周波数

A_1, A_2 : 両極の振動振幅

D_0 : 中心距離

添字 1, 2 はそれぞれ被測定振動体及び測定電極を意味する。一般に

$$D_0 > A_1 \sin(\omega_1 t - \phi_1) - A_2 \sin(\omega_2 t - \phi_2) \dots (3)$$

両極間の静電容量 C は間隙に逆比例するものであるから k を比例常数とすれば

$$C = \frac{k}{D_0} \frac{1}{\left[1 + \frac{A_1 \sin(\omega_1 t - \phi_1) - A_2 \sin(\omega_2 t - \phi_2)}{D_0}\right]} \dots\dots\dots (4)$$

分母を級数に展開して(3)式を用いその第一近似から

$$C \doteq \frac{k}{D_0^2} [D_0 - \{A_1 \sin(\omega_1 t - \phi_1) - A_2 \sin(\omega_2 t - \phi_2)\}] \dots\dots\dots (5)$$

第2図の例の如く簡単のため両極の駆動力は同じ発振器より供給されるものとするのが実際にも即している。即ち $\omega_1 = \omega_2 = \omega$ とする。

(5) 式より

$$C \doteq \frac{kA_1}{D_0^2} \left[\frac{D_0}{A_1} - \sqrt{1 + \alpha^2 - 2\alpha \cos \phi_0} \sin(\omega t - \phi_1 + \phi) \right] \dots\dots\dots (6)$$

こゝに $\alpha = \frac{A_2}{A_1}$

$$\phi = \tan^{-1} \frac{A_2 \sin \phi_0}{A_1 - A_2 \cos \phi_0}$$

静電容量の交流分のみを取出した時の出力指示計の読みを M_s とすると

$$M_s = 20 \log \frac{kA_1 Q}{\sqrt{2} D_0^2} \sqrt{1 + \alpha^2 - 2\alpha \cos \phi_0} \dots\dots (7)$$

こゝに Q は電気変換回路の変換係数である。

実際出力 M には M_s の外にバイプロメータのディスタバンスによるもの及び装置の雑音による出力 M_N が加算される。然し乍らわれわれが行つた如くバイプロメータを音声周波で駆動して静電測定を高周波で行えば波形歪以外の誘導等によるディスタバンスは殆ど無視し得ることは容易に推察出来る所である。

今この雑音を被測定振動の変位に換算した比率を換算雑音率として $P\%$ なりとする

$$M_N = 20 \log \frac{kA_1 Q}{\sqrt{2} D_0^2} \frac{P}{100} \dots\dots\dots (8)$$

従つて M_s と M_N が同時に存在するときは

$$M = 20 \log \frac{kA_1 Q}{\sqrt{2} D_0^2} \left[\sqrt{1 + \alpha^2 - 2\alpha \cos \phi_0} + (P/100)^2 \right] \dots\dots\dots (9)$$

次に測定電極の振動を止めた時の出力を M_0 とすると $\alpha = 0$ となる。

$$M_0 = 20 \log \frac{kA_1 Q}{\sqrt{2} D_0^2} \sqrt{1 + (P/100)^2} \dots\dots\dots (10)$$

(9), (10) 式より

$$M = M_0 + 20 \log \frac{\sqrt{1 + \alpha^2 - 2\alpha \cos \phi_0} + (P/100)^2}{\sqrt{1 + (P/100)^2}} \dots\dots\dots (11)$$

完全に同調のとれた時には $M_s = 0$ 従つて $M = M_N$ となる。

〔IV〕 同調曲線の考察

測定電極の変位、位相を調整して被測定振動に合わせると(11)式右辺第2項は同調曲線を描く。(12)式より同調曲線の急峻さは距離 D_0 には無関係で D_0 が大なる時は Q を上げて補償すれば任意の位置で測定が可能となる。

換算雑音率 $P\%$ は装置により異なるもので、換算雑音率を求めるには(8), (10)式より

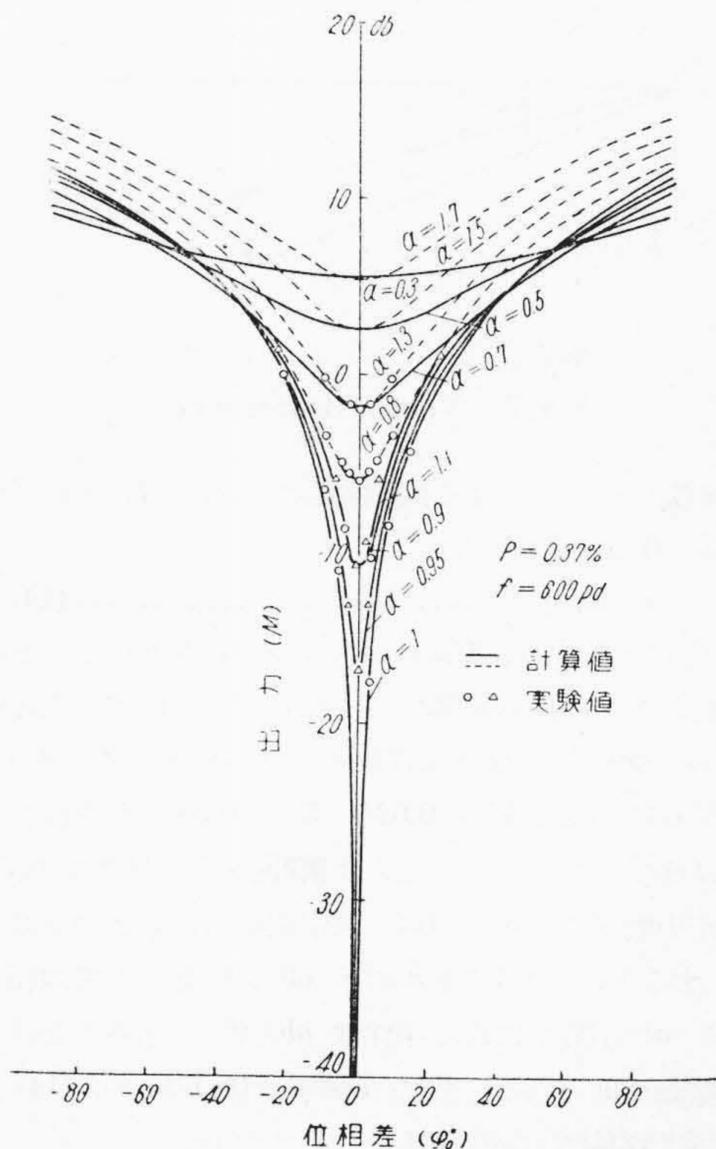
$$P \doteq 10^{\frac{M_N - M_0}{20}} \times 100\% \dots\dots\dots (12)$$

の關係を得て、 M_N, M_0 の測定値より知ることが出来る。筆者が用いた装置を例にとると $M_0 = 8.7 \text{ db}$, $M_N = -39.9 \text{ db}$ より $P = 0.37\%$ を得た。この装置では変換回路は周波数変調を用いたもので、雑音をこの程度に抑えることは困難ではない。

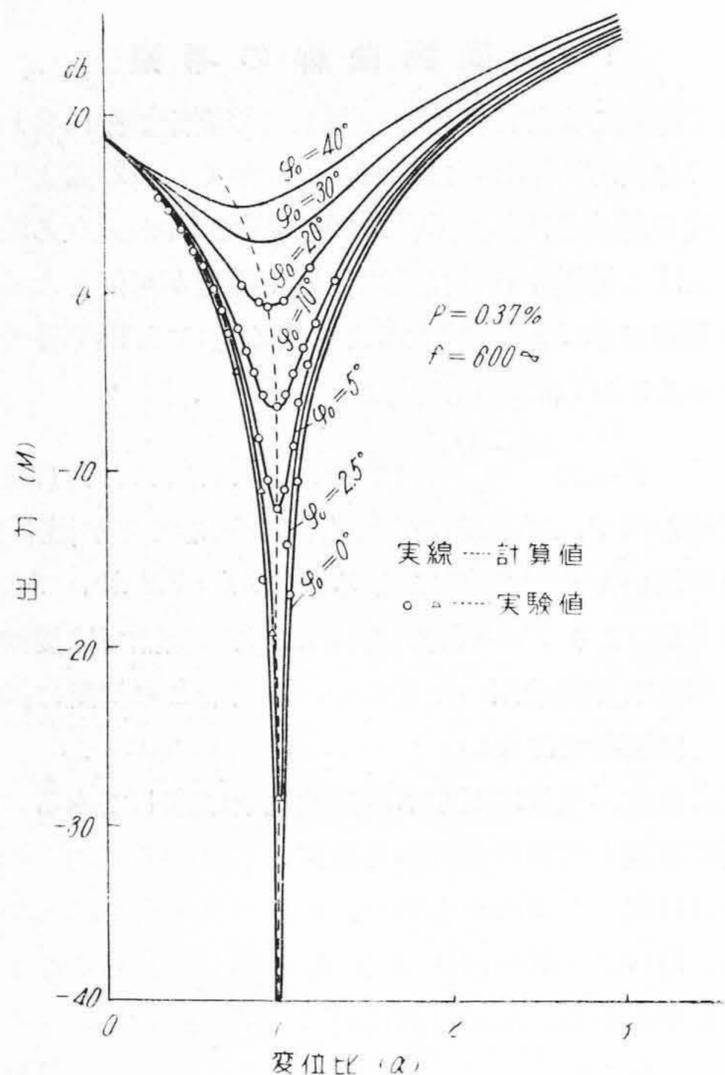
次に変位、位相に対する同調曲線を考察してみる。第5図は位相を同調の位置から逐次移した時の出力との關係を(11)式より求めたもので、 α をパラメータにとつてある。 $M(\phi_0) = M(-\phi_0)$ より ϕ_0 に関して左右対称であることがわかる。又(11)式に於て $\partial M / \partial \phi_0 = 0$ より

$$\phi_0 = 0 \dots\dots\dots (13)$$

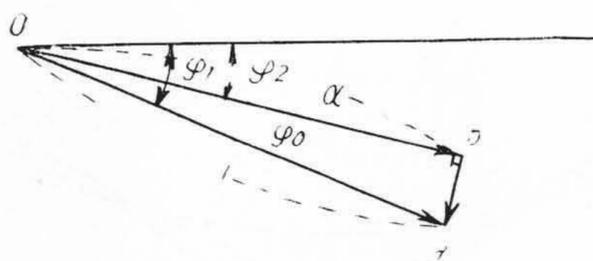
$\alpha \neq 1$ に於ても M_{\min} より直ちに位相を求めることが出来る。



第5図 位相と出力との關係
Fig. 5. Relation between Phases and Output



第 6 図 変位と出力との関係
Fig. 6. Relation between Displacements and Output



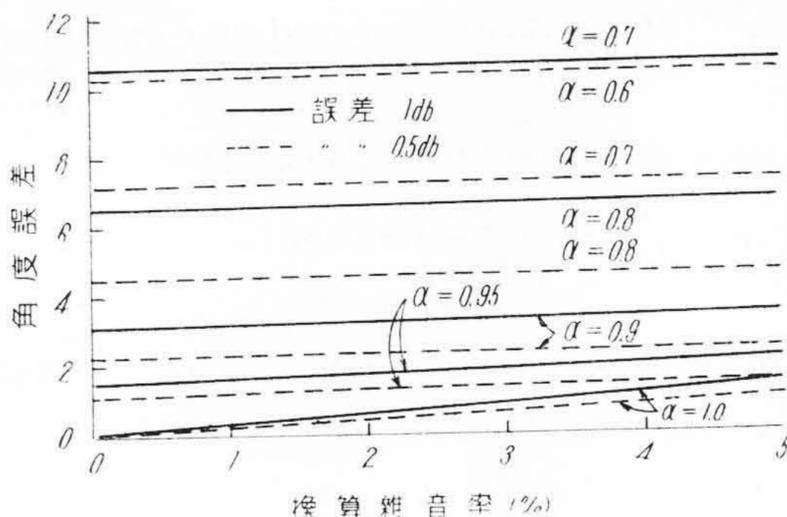
第 7 図 ベクトル差
Fig. 7. Vector Difference

第 6 図は変位に対する同調曲線である。(11)式に於て $\partial M / \partial \alpha = 0$ より

$$\alpha = \cos \phi_0 \dots\dots\dots (14)$$

従つて $\phi_0 \neq 0$ の時、 M_{\min} からは $\alpha = 1$ を求めることが出来ないことに注意を要する。即ち位相差が大になるに伴い $\alpha = \cos \phi_0$ の関係より同調点は $\alpha = 1$ よりづれる。その誤差は例えば 1° で 0.02% 、 5° で 0.38% の程度で一般には僅少である。このことは第 7 図よりも明瞭である。被測定振動ベクトルを $0a$ 、測定電極の振動ベクトルを $0b$ とすると、このベクトルの差 ab が信号として取出される。 ab が最少になる条件は $ab \perp 0b$ であることは容易に結論づけられる。故に $\cos \phi_0 = 0b / 0a = \alpha$ 、(14) 式の関係は容易に了解出来る。

第 5 図及び第 6 図に於ける打点は本装置を用いた時の実験値である。



第 8 図 角 度 の 指 示 誤 差
Fig. 8. Error in Indicating the Phase Angle

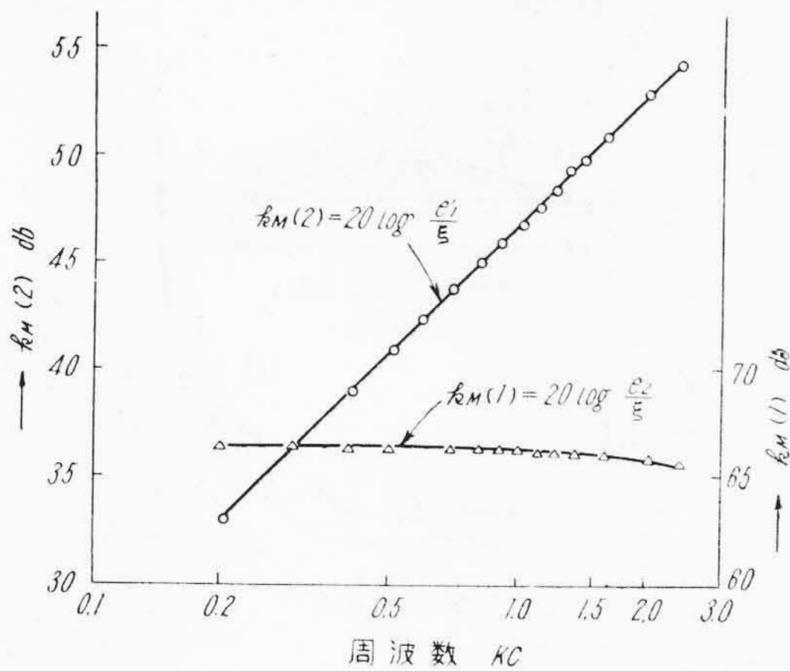
位相調整が不十分であれば位相と同時に変位の誤差も招来するが、変位調整が不十分でも変位に関係なく M_{\min} より位相は求められることが判つたので、調整の順序として位相の後、変位の調整を行うことが有意義であろう。

同調曲線の急峻さは換算雑音率 P に左右されるのは当然である。この関係を確認するのは第 8 図である。 α の種々の値に対して位相同調点の最少出力 M_{\min} より 0.5db 、 1db 多くなつた時の位相角の誤差を代表的に計算した値である。図で明瞭であるが同調の不十分による誤差が大部分を占めており換算雑音率による影響は極めて少いのである。この事実は実験の精粗により誤差の大半が決定せられ装置の良否によるものは少いことがわかるのである。又本方式に於ては同調曲線の急峻さは周波数が低くなつても落ちないことは (11) 式より容易に推察出来る。

[V] バイプロメータの較正

同調点の変位は (1) 式に示すバイプロメータの測定素子の機械—電気変換係数 $K_M(1)$ より求める。こゝに $K_M(1)$ を予め較正しておく必要があるが、これに就いては屢々本誌をかりて報告⁽⁴⁾⁽⁶⁾したので今回は省略する。

第 9 図は本装置に使用したバイプロメータをこの較正法を用いて行つた変換係数の測定結果である。図に示す $K_M(2)$ は駆動線輪の機械—電気変換係数の意味であつて、上記の較正法を用いれば $K_M(1)$ 、 $K_M(2)$ は同時に求まるもので両者共掲げた。 $K_M(1)$ はコンデンサーマイクロホンとしての機械—電気変換を行つたものであるから、第 9 図の如く殆ど周波数に関係なく一定である。又 $K_M(2)$ は動電型であるので理論解析によつても⁽⁴⁾ 図示の如く周波数に比例すべきものである。この較正法に於て強調したいことはバイプロメータには静電測定型を用いたため測定素子の変換回路は第 2 図の変換回路と同じものでよく、共用し得るので極めて都合がよい。即ち測定と較正が同じ回路で行い得る利点がある。



第9図 変換係数 $K_M(1)$, $K_M(2)$
Fig.9. Transducing Coefficients $K_M(1)$, $K_M(2)$

[VI] 応用例

音響振動の測定には極めて多方面に利用することが出来る。

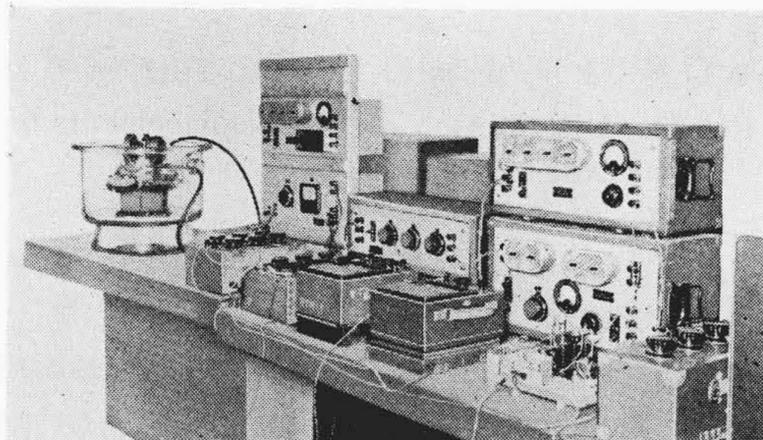
次にそれらの例に就いて代表的なものを掲げるが、今回用いている装置の概要を写真に示す。第10図は測定中の本装置を示し、第11図はバイブロメータと測定試料との関係を特に示したものである。又極端な低機械インピーダンスの振動測定では、音場測定であるため各部からの反射波の影響も考慮する必要があるのでその部分全体を真空容器中に収めて、その影響を除去する如くしている。

(1) 振動模様の測定

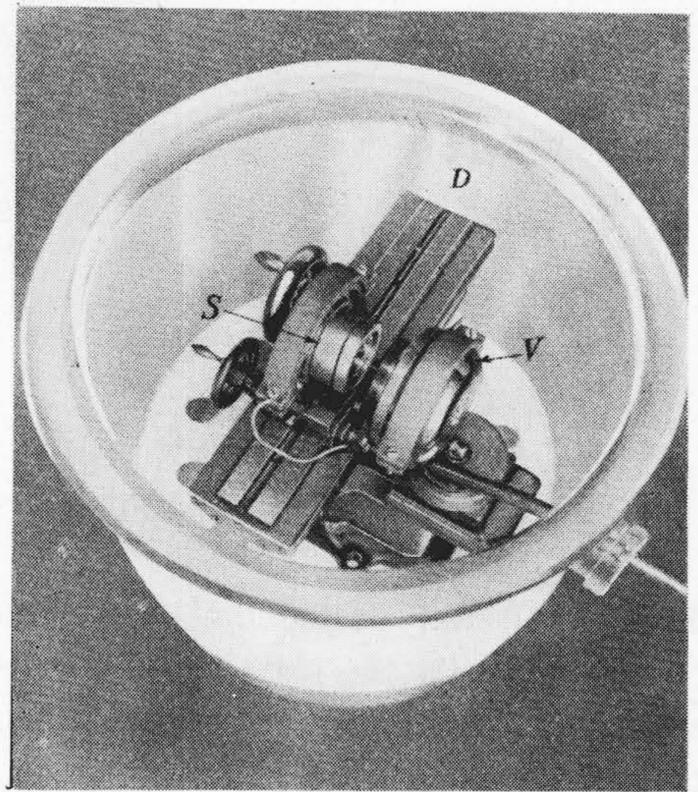
(A) 周辺をクランプされた円形振動板

電磁型で駆動せられる受話器の振動板に就いて測定した。第2図と同様な測定回路を用いた。受話器の構造は第12図に示す如く、半径の0.38倍の所に駆動点を有する双極型である (RM-303)。

測定結果は第12図の打点の如く得られた。測定は500~及び1,500~で行った。これ等はそれぞれバイブ

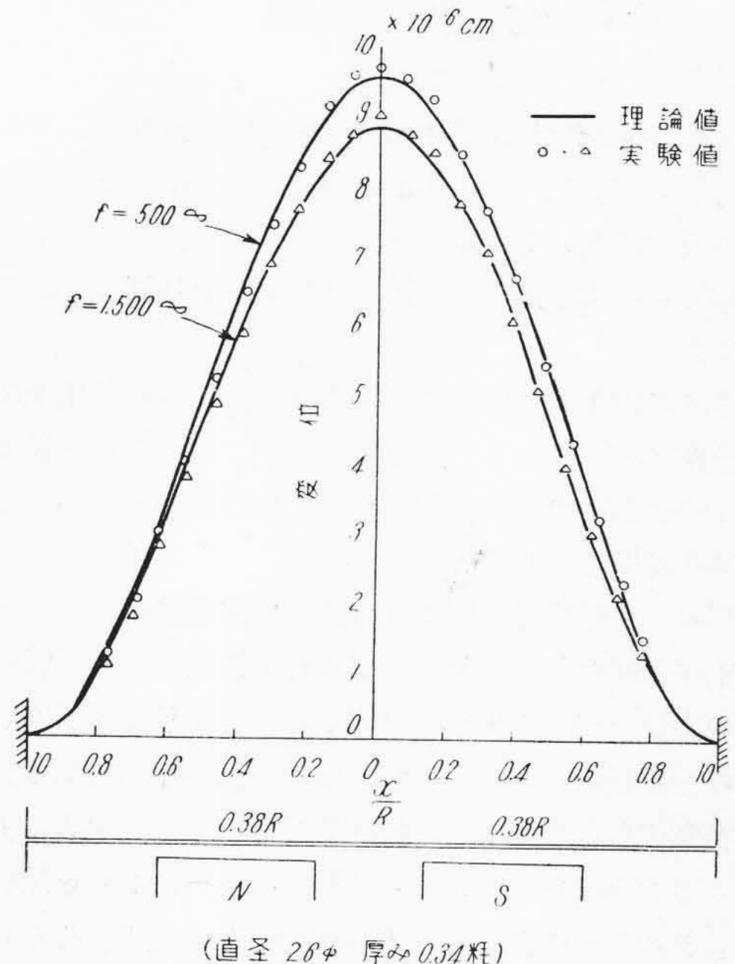


第10図 測定装置
Fig.10. Measuring Apparatus



第11図 測定部拡大図
(S: 試料 V: バイブロメータ)
(D: デシケータ)

Fig.11. Magnifying View of Measurement
(S: Sample V: Vibrometer)
(D: Desiccater)



第12図 振動の変位分布
Fig.12. Distribution of the Displacements of Vibration

メータ振動系のステイフネス制御及び慣性制御の点を代表している。測定結果が理論値と一致するか否かを次に検討する。

振動板面上の変位 ξ は⁽⁷⁾

$$\xi = \frac{1}{M} \sum_m \frac{A_i}{\omega_m^2 - \omega^2} E_m \dots \dots \dots (19)$$

- 但し M : 振動板の全質量
- A : 受話器音声線輪の力係数
- i : 受話器音声線輪の電流
- E_m : 第 m 様式振動の基準函数
- ω_m : 第 m 様式振動の自由振動角周波数
- ω : 測定角周波数

周辺クランプされた円形振動板では第 2 様式振動に関しては半径の 0.38 倍に節を有するので、この点を駆動すれば第 2 様式振動は消滅する。又第 3 様式以上の高次様式振動は ω_m が大きく今論議している如き低周波に於ては無視出来るので、(19)式に於て $m=1$ のみを考察すれば良い。従つてこれを一定気室に結合した時の感度との間には、変位 ξ とその点より見た面積率 q に関して面積率の定義を挿入して次の関係式を導き得る。

$$\xi = \frac{V}{q\kappa S} K_R i \dots \dots \dots (20)$$

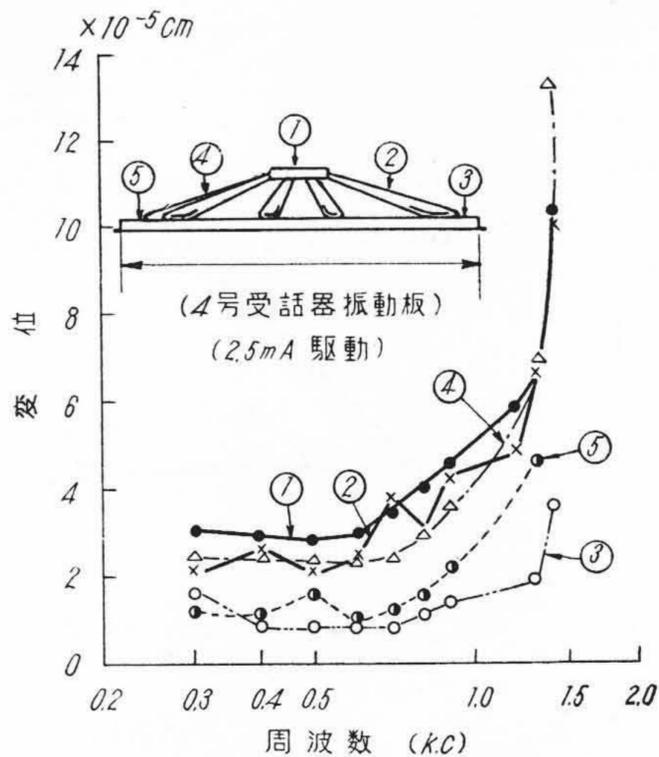
- 但し K_R : 受話器感度 (P/i)
- S : 振動板全面積
- V : 結合気室容積
- κ : 空気の体積弾性係数
- i : 駆動電流

こゝに $K_R=60.8$ db (600 \sim), 60.1 db (1,500 \sim), $V=20$ cc 又 $\kappa=1.41 \times 10^6$ g/cm $^{-2}$ を用い、面積率 q は振動板上の各点に就いて計算されている⁽⁷⁾ので、これ等を用いて(20)式により変位を算出した結果は第12図の実線の如くである。

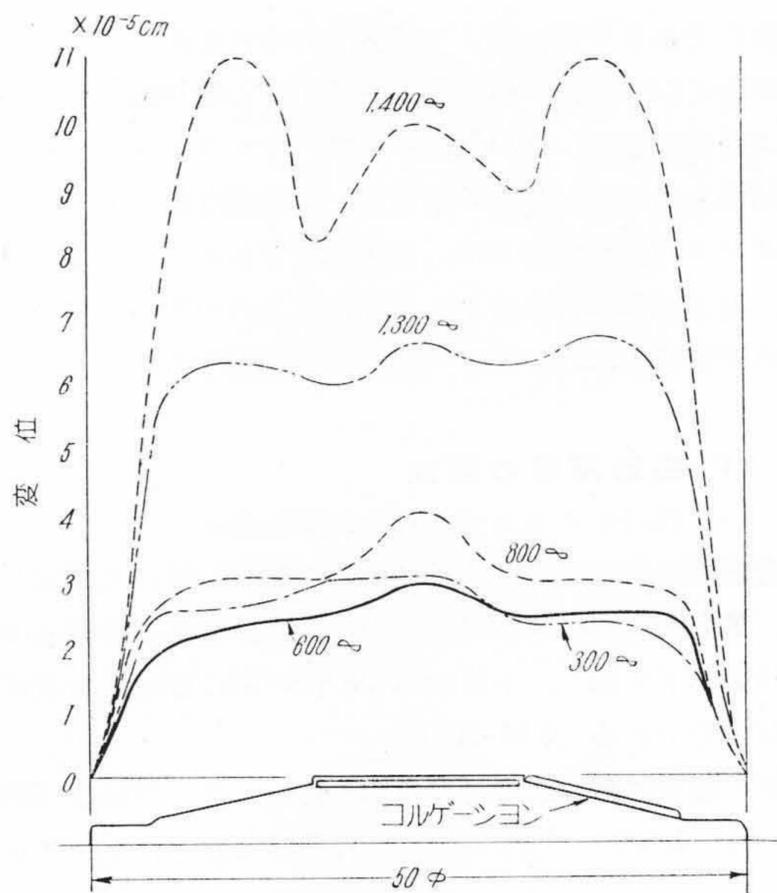
さきに得た実験値と比較すると、変位の絶対値及びその分布は極めてよく一致している。この結果から最初に第 1 様式振動のみが存在するとした仮定の正しいことも同時に証明された。

(B) 4号受話器振動板の変位; 位相分布

前項と同様な方法を用いて4号電話機用の受話器振動板の変位分布, 位相分布を測定した。4号受話器は振動板の音響輻射能率を向上するため構造が複雑である。即ち振動板を音響輻射面と電磁駆動面に分け, 前者にデュラルミン薄膜を用い後者に高磁性のパーマンダを用い, デュラルミンによりパーマンダをその中央に絞める如くしている。又面積率を上げるために中央部は円錐になると同時に半径方向のコルゲーションを数本附して剛性を与えている。又伝送周波帯域を調整するコンプライアンスは円辺に沿つて平坦部を与えることにより目的を達し



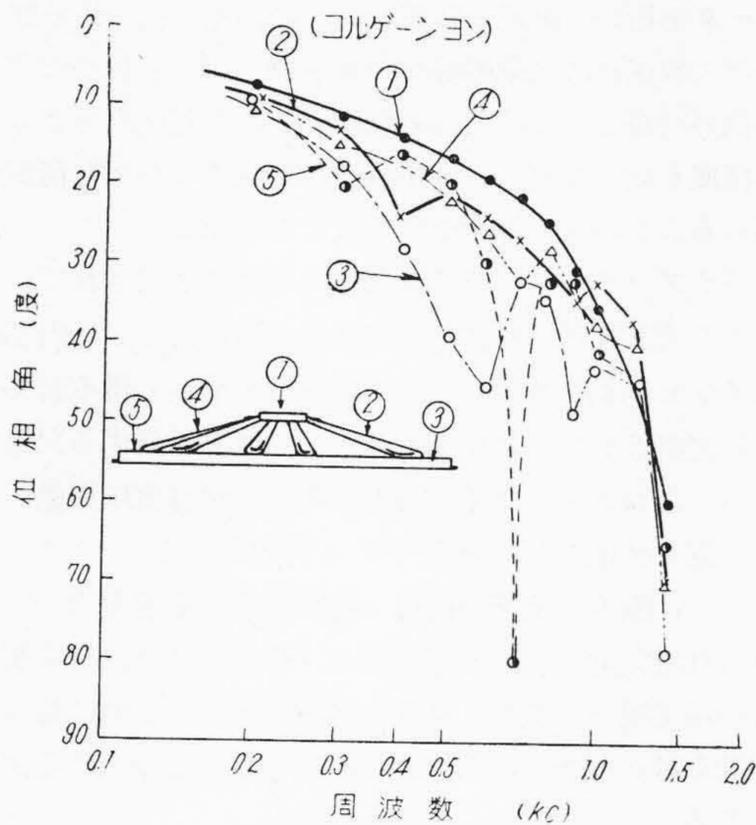
第13図 4号受話器振動板変位周波数特性
Fig. 13. Frequency Characteristic of the Displacements of No. 4 Telephone Receiver



第14図 4号受話器振動板変位分布
Fig. 14. Distribution of the Displacements of No. 4 Telephone Receiver

ている。大体の構造は第13図の断面図により了解されたい。

第13図は各部の変位の周波数特性, 第14図は各周波数に於ける板上の変位分布を示す。第15図は位相の周波数分布であつて測定回路は第3図と同様である。第14図の変位分布を考察するに振動板全体は, 比較的ピストン運



第15図 4号受話器振動板位相周波数特性
Fig. 15. Frequency Characteristic of the Phases of No. 4 Telephone Receiver

動を行い、面積率も高いことをよく表わしている。第15図に示す位相とは〔II〕に於て述べた如く駆動電流を基準にしたものであるから受話器の力係数の遅れ角を含むものである。従つて位相はそれだけ多くの遅れを示す。力係数の遅れ角は普通共振周波数附近で20°程度である。

(2) 機械インピーダンスの測定

(A) 送話器用炭素粉の機械インピーダンス(8)

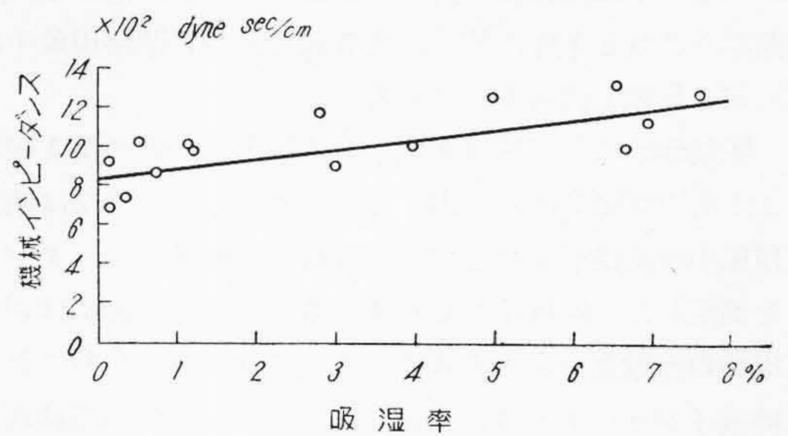
粉体振動に於ける炭素粉の機械インピーダンスは可成り大きい値を有する(9)。特に送話器では振動系全体を低インピーダンスにする程空気特性インピーダンスに整合され集音面に於ける勢力反射が少く能率が良い。従つて振動板等は機械インピーダンスを極めて低くする。そのため炭素粉のインピーダンスが振動系全体の中で大きな比率を占めるものである。従つて炭素粉の機械インピーダンスを下げるのが大きな問題となる。

第16図は4号送話器を背気室より音圧駆動した時の可動電極の変位を本方法で測定したもので、炭素粉の吸湿率との関係を求めた一例である。音圧による駆動力は面積率を測定し、変成比と等しいとして 56.0 dyne を得た。これより機械インピーダンスを求めるに駆動力Fが判つているので

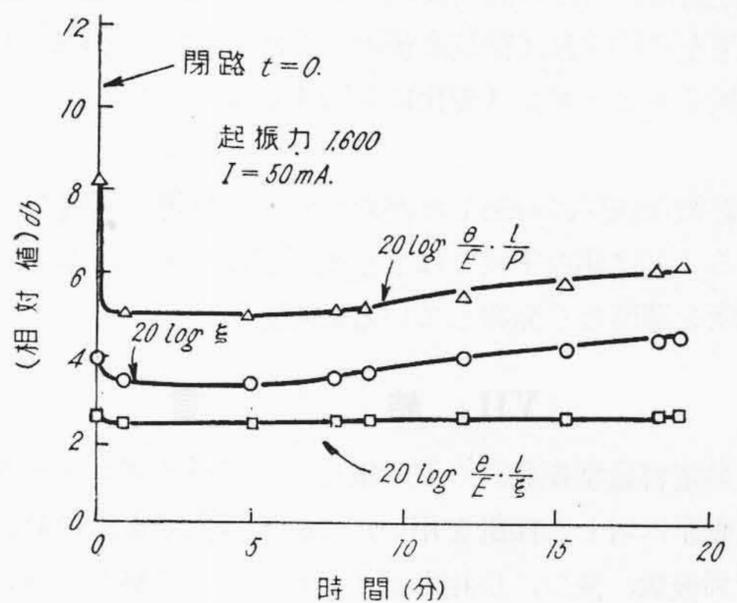
$$z = \frac{F}{\omega \xi} \dots \dots \dots (21)$$

より容易に算出することが出来る。zは振動板の機械インピーダンスも含めたものである。

この測定の結果炭素粉の吸湿率の少い程機械インピーダンスを減少することが出来ることが判明した。



第16図 機械インピーダンスと吸湿率との関係
Fig. 16. Relation between the Mechanical Impedance and the Absorption Factor for Vapour



第17図 閉路現象の解析
Fig. 17. Analysis of the Switch-in Phenomena

(B) 炭素送話器の閉路現象に於ける機械インピーダンス(10)

炭素送話器の直流の閉路直後数分間は感度が不安定になる。これを閉路現象と称する。4号送話器は定電流回路に於てはこの間感度が急激に降下する。降下の原因を検討のために本方式による測定を応用した。

送話器の音響—電気変換能率 η は

$$\eta = 20 \log \frac{e}{R} \frac{1}{P}$$

$$= 20 \log \frac{e}{E} \frac{1}{\xi} - 20 \log z + 20 \log \frac{IS_e}{\omega} \dots \dots (22)$$

- 但し e: 炭素粉の開放端出力電圧
- E: 炭素粉の印加直流電圧
- ξ: 可動電極の変位
- z: 炭素粉を含む全機械インピーダンス
- I: 直流饋電流
- S_e: 振動板の実効面積
- ω: 測定音声角周波数

(22)式第1項は炭素粉のマイクロホン能率を表わすも

ので第 2 項は振動板の機械インピーダンス, 第 3 項は送話器及び測定条件に基き決まる値であつて閉路現象中は一定と見做し得るものである。

閉路現象に於て感度が低下する原因は上式の第 1 項によるものが第 2 項に基因するかを検討した。方法は閉路現象中の変換能率 η を測ると同時に機械インピーダンスを測定した。機械インピーダンスを求めるためには可動電極の振動変位を本方式による測定法を用いて行つた。機械インピーダンスは一定起振力を与えた時の閉路現象中の変位の逆数より求められるものである。第 17 図はかようにして得た 4 号送話器の閉路直後の変換能率及び機械インピーダンス従つて変位の測定を示したものである。

閉路現象自体の説明は別の報告⁽¹⁰⁾に譲るが第 17 図の結果を要約すれば閉路直後の変化は炭素粉の圧縮による機械インピーダンス変化に起因するものであることが判る。

詳細な説明は省略したが要するにこれ等の原因を分離することは他の手段では全く不可能なことで、本方式の長所を遺憾なく發揮していると考ええる。

[VII] 結 言

静電容量型振動計の測定電極としてバイプロメータの振動系に附した探針を用い、これを被測定振動に対向して周波数、変位、位相をバイプロメータに移して測定する方法に就いて述べた。

使用に都合が良いように動電駆動静電測定型バイプロ

メータを用いて測定と較正を共通の回路で行い得る如くした。較正法には駆動線輪の可逆則を用いて行つた。その他の特長としては両極の間隙は任意の近接点でよく且つ精度も極めて高い。使用周波数が低くなつても精度が落ちることがない等を挙げる事が出来る。

バイプロメータは既に各方面で有効に活用されているがこの方法を用いれば、変位計或は速度計として内部機械インピーダンスは 0 に等しい状態で測定し得る音響振動測定器として、利用面も甚だ多いことゝ信ずる次第である。なお本装置は正弦波形のみならず非直線振動、振動の過渡状態などの測定⁽¹⁰⁾にも有効である。

終りに臨み本研究の間種々懇篤なる御指導を賜つた電々公社電気通信研究所早坂博士、伊藤氏並びに日立製作所戸塚工場三木課長に深甚の謝意を表すると共に種々御援助を戴いた西口、田島両氏に厚く御礼を申上げる次第である。

参 考 文 献

- (1) 糸川: 応用物理 18 213 (1949)
- (2) H. Böhme: A.Z. 2 303 (1937)
- (3) 伊藤, 山崎: 通学誌 3 134 (昭 26)
- (4) 西山: 日立評論 33 849 (昭 26)
- (5) 拔山: 電気音響機器の研究 丸善 42 (昭 23)
- (6) 西山: 日立評論 36 863 (昭 29)
- (7) 早坂: 電気評論 27 (昭 14)
- (8) 西山: 電気三学会大会 5 (昭 29)
- (9) 伊藤, 山崎: 通研月報 Vo. 5 No. 7 (1952)
- (10) 西山: 電気三学会東京支連 10 (昭 28)



Vol. 15 日 立 造 船 技 報 No. 2

◇ 目 次 ◇

SKS-3 の恒温変態処理による材質的改善.....	中 村 勇.....	(1)
バイトの切削能率に関する研究.....	倉 田 忠 雄.....	(6)
Si-Mn-Cr 系耐熱鋳鉄の研究(第1報).....	渡 辺 精 三.....	(12)
ボイラ胴の斜め穴列部の効率.....	山 中 秀 男.....	(17)
長周期振動測定用加速度計.....	{ 安 田 益 一 谷 直 重	(23)
舵軸に加わるねじりモーメントについて.....	岡 田 正 次 郎.....	(28)
製 品 紹 介.....		(34)
特 許 ・ 新 案 紹 介 (21).....		(36)

本誌につきましての御照会は下記発行所へ御願致します。

発 行 所

日 立 造 船 株 式 会 社 技 術 研 究 所

大 阪 市 此 花 区 桜 島 北 之 町 60