
ステレオ電蓄特集

ESP 法による音質設計	55
低雑音ベルトドライブプレーヤー	61
テープデッキの性能分析	66
低ひずみ率トランジスタ増幅器	71
低ひずみ率スピーカシステム	76
ステレオセットのデザインスケール	82

ESP 法 に よ る 音 質 設 計

Design of Reproduced Sound Quality by ESP Method

河 島 幸 彦* 三 浦 種 敏**
Yukihiko Kawashima Tanetoshi Miura中 山 剛*** 宮 川 陸 男****
Takeshi Nakayama Rikuo Miyagawa

要 旨

ステレオ電蓄の音質設計を合理的な基盤に立って行ない、顧客の好みに最も適合した音質の機器とする方法を開発した。開発に当たっては受聴者内部での音質評価過程を解析し、要素感覚過程と総合情緒過程の2段階よりなるモデルを設定した。要素感覚過程においては、音刺激が多次元要素感覚に変換され、総合情緒過程においては、感覚情報から音質の好みの判断が形成される。

本報告では、このモデルにもとづいた音質設計法の概要と、この方法で重要な役割をはたす観客層の音質の好みの分析、およびこの方法のステレオ電蓄設計への具体的な適用法を例をあげて説明する。この方法は情緒反応 (Emotional response), 要素感覚 (Sensation) および物理特性 (Physical characteristics) の間の関係に基づいて音質設計を行なうため、ESP 法と命名された。

日立製作所においては昭和42年度以降発売の日立ステレオ電蓄“キャッスル・シリーズ”全機種的设计にこの ESP 法を適用し、効果をあげている。

1. 緒 言

ステレオ電蓄の設計者に寄せられる第一の要求は、良い音の電蓄を設計することである。しかし良い音とはいったい何であろうか。戦後 LP レコードが発売された当初、これに刺激された Hi-Fi 論議がはなやかだったころは原音を忠実に再生する装置が良い装置であるとされた。この場合は良い音の基準として原音を取り、再生音がこれに近いほど良い音であると考えた。これをつきつめれば原音と再生音の音圧波形が完全に一致したときに原音に完全に忠実な再生ができたことになる。しかし反射や吸収のため原音場、再生音場を問わず、音場の振幅および位相の周波数特性はきわめて複雑な様相を呈しており、すこし離れた2点での周波数特性は全く異なったものとなる。まして原音場が大きなホールで再生音場が家庭の4畳半の部屋であつたりすれば音場の特性は全く異なったものとなり、両音場で音圧波形を比較しうる1点を合理的にきめることは不可能である。一方、耳で聴(き)いた音色は音場内で多少聴く場所を移動してもさほど著るしい差異を感じられず、音場の周波数特性にはげしい山や谷があるにもかかわらず、それとも感ぜられない。また最近では音楽放送や録音にマルチマイクによる收音が行なわれている。これは音場内の1点で收音したのでは各楽器音の分離が悪いので、楽器ごとに1本ずつマイクを配して、楽器の音を別々にとり、ミキシングによってまとめたアンサンブルの効果を出そうとするものである。この場合にどのようにミキシングするのかはミキサーの主観と経験にまかせられている。こうなるともはや物理的な原音という概念のはいり込む余地は無くなり、ミキシングされて出て来る音楽信号はミキサーの芸術的なセンスと再生音がどのようにきこえるかという経験的知識によっていかようにも変わりうる。このような事情のもとでは原音の忠実再生という考えは意味をもたない。

本来再生音場で音楽を聴くのは人間であり、波形的に多少変わっても原音場で聴くのと同一心理的效果を再生音場にいる人間に与えればよいはずである。この意味では原音場における心理的效果の忠実再生が最終的な目標である。しかしこの意味での忠実再生は人間

の音楽刺激に対するレスポンスの特性を知らなければ論ずることができない。従来、こうした問題を定量的に扱う方法がなかったために、技術者のみで処理しうる原音の忠実再生という考え方に流れざるを得なかったのであろう。後述するように最近の計量心理学の発展によって、人間の種々な心理的レスポンスを数量的に表現することが可能となった。この知見を利用してわれわれは良い音とは何かという問題を受聴者に与える心理的效果の面から考察し⁽¹⁾⁽²⁾、再生音場で原音場と同様な心理的效果を与えるにはどのように機器を設計したらよいか明確に指示しうるシステムを開発した⁽³⁾⁻⁽⁶⁾。これによって、機器設計の際に聴覚的に重要な部分に重点的に力を注ぐことが可能となり、原音の忠実な複写を作るために聴覚的に無意味な努力をするといった不経済を避けうる。

なお、ESP 法の詳細については前報⁽⁶⁾に述べてあるので、本論文では前回じゅうぶんに意を尽くせなかった ESP 法の考え方を重点として述べることにする。

2. ESP の基本的な考え方

2.1 良い音とは何か

一般的に言って、良い音か否かは人間がステレオ電蓄で音楽を再生して聴いた場合の、再生音楽の品質に対する主観的な評価でまゐる。この主観評価の特性が問題であるが、これを知るために一歩しりぞいてステレオ電蓄による音楽再生の目的から考えてみる。この目的は、受聴者が原音場にいる場合に与えられる感情的、情緒的情報を、再生音場にいる受聴者に伝達することであると考えている。ここで問題を定量的に論じてゆくために、こうした感情的、情緒的情報の測度を定めなければならない。古来、感情の表現には多種多様のものがあり、強さによっても気分といわれるごく弱いものから、身体的表出を伴う情緒と呼ばれる強いものまで種々な段階に分かれる。こうした感情表現の多様性の中から、独立なもののみを取り出し、比較的少ない次元数の座標空間中の一点として個々の感情を位置づけようとする研究が古くからある。この結果によれば、感情は終極的には快-不快という一次元の座標軸上に射影しうるものであるとされている⁽²⁾。したがって、前記の測度としては、音の快さをとればよい。

ここでひとつ問題がある。それは「たで食う虫もすぎずき」という言葉があるように、何を快く感じるかは人によって異なり、同じ

* 日立製作所豊川工場 理学博士
** 日立製作所中央研究所 工学博士
*** 日立製作所中央研究所
**** 日立製作所家電研究所

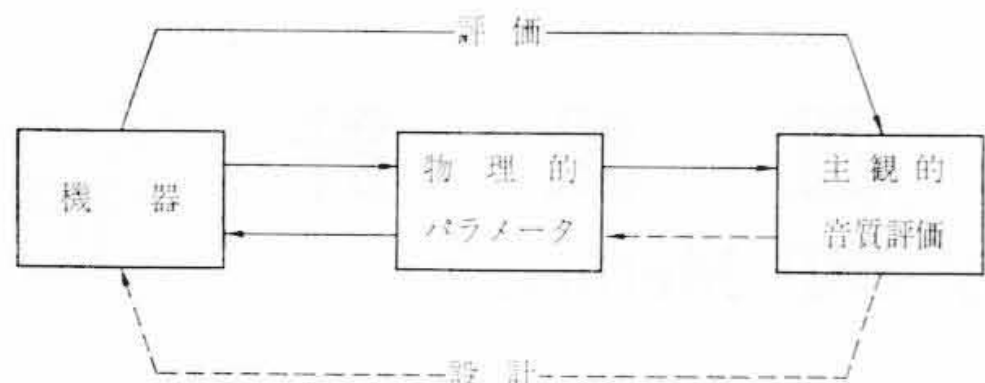


図1 従来の音質評価の過程

音を聴かせても、Aは快いと感じるが、Bは不快に感じることもありうる。それは快さが、外から与えられる音刺激だけで決定されるのではなく、その時の個人の内的条件、すなわち欲求と、音刺激でひきおこされた感覚との対比によってきまるからである。刺激によって欲求が充足される場合には快感情が生じるが、これが阻止されれば不快感が生じる。そこで、音刺激とそれによる音の快さを結びつけるには個々の人間の欲求の差異ないしはそのばらつきが問題となる。これまでの研究によれば、身体内外の環境が極端なものでなければ欲求は個々ばらばらなものでなく、類似の欲求を持ついくつかのグループに分類できることが明らかになっている⁽²⁾。後述するように、刺激条件と音の好みの反応をもとにして、受聴者をこうしたグループに分類する統計的な方法も考え出されている。

一般に再生音の快さと言った場合に問題になるのは、快さの差異が再生音の音楽的内容によるのか、あるいは再生系の特性のちがいによるのかという点である。ステレオ電蓄の設計で問題とするのは後者の差異であって、前者は芸術の問題であり、ここで論ずべきものではない。再生系の特性のちがいによる再生音の快さの差異は、基準再生系と、問題とする再生系を通して同一音楽を同一受聴者に聴かせ、両者間の再生音の快さの度合いの差をとれば求まる。再生音の快さの度合いを定量的に表わす方法は最近の計量心理学の発展により確立されている。再生系の特性のちがいによる再生音の快さ、あるいは好ましさを差異の定量については前報に詳しく述べた。

2.2 機器設計と音質評価

以上に再生音の良さとは何か、その定量に当たってどんな問題に留意しなければならないかを概観した。こうした再生音の良さが定量できるとして、これをステレオ電蓄の設計にフィードバックし、当初の目的である良い音のするステレオ電蓄の設計手順に織込みうるような音質評価の具体的な方法を考えてみる。

その前に、音質評価が機器設計にどのような地位を占めているかを考えてみる必要がある。音響機器設計の理想は、図1に示すように、物理的パラメータの仕様を考えて、これを実現する機器設計を行なうだけでなく、音質評価の成果から市場にアピールする音質の設計を積極的に行なうことである。すなわち、顧客のどの層にはどのような音質の製品がアピールするかという情報を集めておいて、与えられる大体の価格条件内で、それぞれの製品が目指している顧客層に応じ、最もアピールする音質の仕様を決定し、これを実現するための物理的な設計を行なうというのが音響機器設計の理想的な姿である。従来の音質評価の研究、あるいは音響設計では実線の矢印で示す部分しか行なわれず、点線矢印で示すような、音質評価の成果から積極的に音質の設計を行なって、これをもとにして製品を作り出すという過程は欠けていた。ESP法の目的は、こうした過程を実現しうるような音質設計の体系を作りあげることにある。

2.3 ESP法の基本的構想

それでは従来の音質評価ではなぜ設計に役だたなかったのであろうか。この原因を考察し、排除すれば、当然可能な道が開かれる。そのためには第1に設計と評価をバラバラに考えず、設計のための評価という考え方に徹することがたいせつである。第2には評価の方法を単に新しい方法であるとか、面白そうな方法であるとかということで安易に採用せず、〔設計⇄評価〕の全体系の基本構想を練ったうえでこれを実現するに必要な条件を備えた方法を選択しなければ

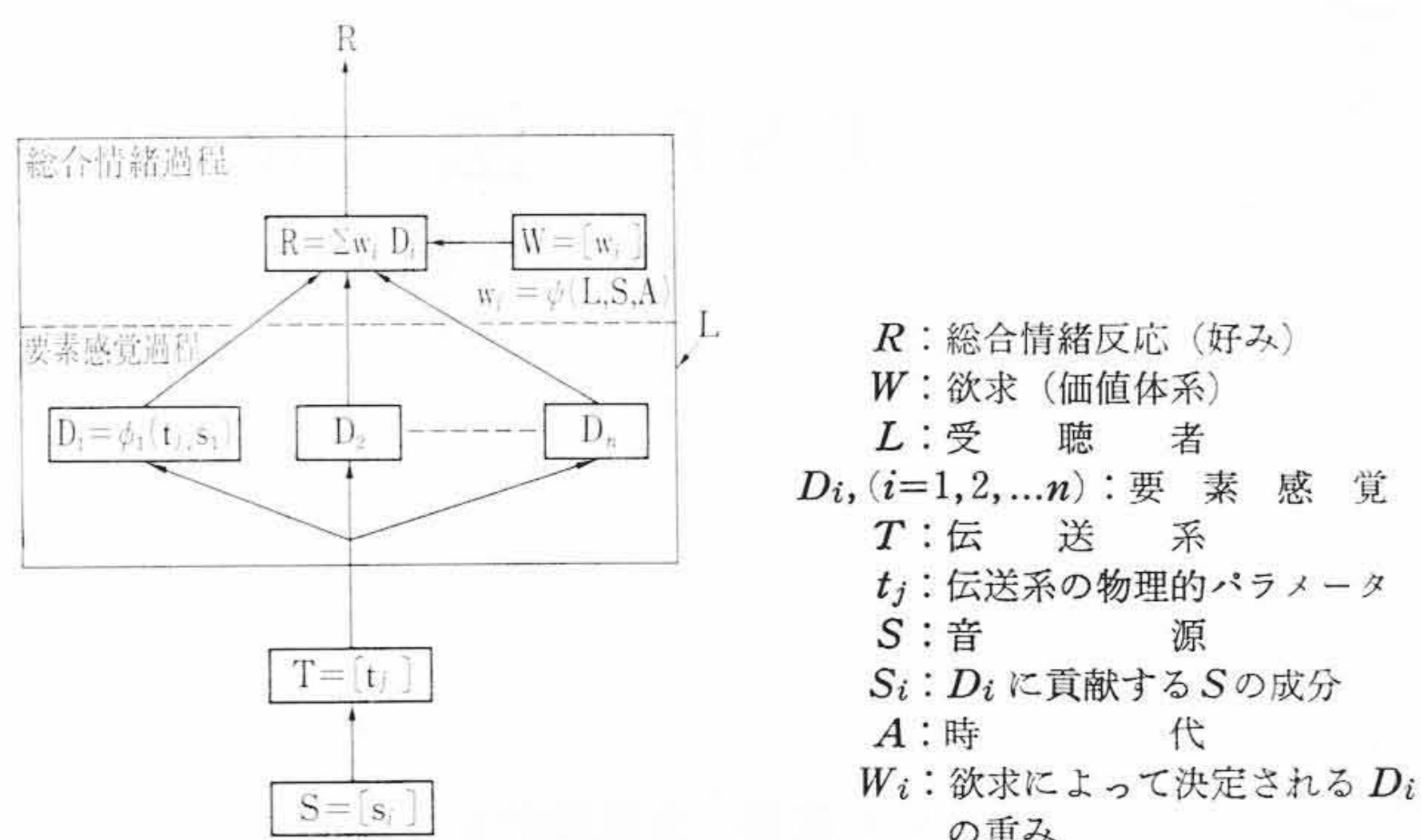


図2 音質評価過程のモデル

ばならない。

われわれは前述の感情的、情緒的情報の伝達に関する考察から、人間の内部における主観評価の過程を、分析的過程と総合的過程に分けて考えることにした。そして

分析過程を 要素感覚過程

総合過程を 総合情緒過程

と呼ぶことにした。再生された音楽などのプログラム音は、聴覚器官を媒介として人間の内部に音の感覚を生ぜしめる。この感覚は通常一つのまとまった音の感覚として知覚されるが、分析的に聴こうとする態度をとることによって、要素的な感覚、たとえば低音の感覚、高音の感覚、ひずみにともなう雑音性の感覚などに分解される。これが要素感覚であり、主として末梢受容器の特性によって決定され受容器の機能障害の場合をのぞけば、Personal invariant でありかつ Time invariant であることに特長がある。したがって、この要素感覚は音源や伝送、再生系の物理的特性と安定に、しかも再現性に富む関係づけが可能である。

しかし、こうした感覚における量の大小がそのまま音質のよしあし、または好みの判断を形成するものではない。前述のように、そのような感覚と個々の人間のもつ欲求との対比によって、人間の内部に快感または不快感が形成され、これが好き、嫌いなどの反応を生む。すなわち、対象のよしあしはこのような情緒にしたがった価値づけと考えられる。ここで欲求というのは、生理的欲求だけではなく、二次的に形成された社会的、知的な欲求をも含めている。これが価値判断における判断規準となる。欲求は個人によっても、時代によっても変わると考えられるから、総合情緒的反応は Personal variant であり、Time variant であることを認識しておくことがたいせつである。

以上の考え方に立ってわれわれが決定したモデルを図示すると図2のようになる。ここで D_i は要素感覚であり、これは音源 S においてこの感覚に寄与する成分 S_i と、伝送再生系の特性を記述する種々な物理的パラメータ t_j との関数であると考えられる。 D_i と個人 L の欲求 W との対比によって最終的判断が行なわれ、そのレスポンス R が生まれる。ここで W は個々の D_i がその個人 L にとってどの程度の価値をもつかという重みと考えられるから、個々の D_i に対応する W の i 成分、すなわち W_i の集合と考える。この方法では、音質設計の基礎を Emotional response, Sensation および Physical characteristics の間に存在する上記の関係においているため、ESP法と命名された。

2.4 ESP法の具体化

このように音質評価過程をモデル化して考えると、最初に要素感覚 D_i の関数形 ϕ_i の形が問題となる。これを求めるには S_i をパラメータとして種々な t_j についての ϕ_i の形を示すグラフを作ればよい(このグラフを音質設計チャートと呼んでいる)。したがって ESP法の研究は、まず種々な音源 S と伝送系 T について要素感覚尺度

D_i を求めることから出発した。ただしモデルから D_i は相互に独立であることが必要である。このため D_i の尺度値を求める方法としては対象を多次元の直交座標空間の一点として定位できる多次元尺度構成法⁽⁷⁾を採用した。

次に最終レスポンス R は図 2 に示すように D_i と重み W_i の積和で与えられるとするモデルをとっているため、重み W_i の値を決定する必要がある。 W_i は R の D_i に対する重線形回帰係数として求められる。したがって、音質の好ましさの尺度 R は単位が D_i の単位と線形であり、できれば同じ単位で表わせることが必要である。また D_i の尺度値には加法性が成立することも、このモデルに沿った音質評価体系では必要なことである。このため R の尺度化(数量化)には一対比較法⁽⁸⁾を使用し、 D_i と同じ弁別限を単位とする尺度⁽⁹⁾を構成した。 W_i は図 2 に示すように L, S, A の関数であるから、後述の方法によって顧客を音質の好みの類似したいくつかの集団に分類し、音源も W_i に対する影響にもとづいていくつかのグループに分け、それぞれの集団を組み合わせた場合の代表値を求めておく。

このような手続きによって(1)任意の特性の伝送系に任意の音源を入れた場合、再生音が特定のグループの人間にどの程度好まれるかということが定量的に推定でき、一方において、(2)音響機器の設計に当たって売込もうとする顧客層が決定されれば、その層が最も好むと考えられる音源について、最もアピールする音質はどのような要素感覚によって構成されているものであるかを知り、そのような感覚を実現する物理特性の製品を設計することが可能となった。

この方法は音質の問題に限らず、テレビの画質評価のような視覚、そのほか味覚、嗅覚、触覚などの問題にも適用できる。実際に画質評価にも適用してよい結果を得ている例⁽¹⁰⁾がある。

3. 顧客層の音の好みの分析

前章に ESP 法の骨組について述べた。この方法の理論的、実験的な細部については前報⁽⁶⁾に報告した。ここでは、重要な問題でありながらあまり詳しく述べるのでできなかった受聴者層の分類の具体的一例をとりあげて、その方法および結果を紹介する。

受聴者をグループ分けする方法として、林氏⁽¹¹⁾の発案による多次元数量化法がある。本方法は、受聴者相互の好みの反応の一致度に基づいて、受聴者間の多次元的距離を求め、受聴者を音質の好みにおいて等質ないくつかのグループに分類する方法である。

90名の顧客を対象に、本方法を用いて分類し、その好みの傾向を調べるための実験を行なった。

3.1 多次元数量化法の概要

前述したように、本方法はさまざまな刺激に対する受聴者の好みの反応の一致度にもとづいて、受聴者をグループ分けする方法である。

いま、 A, B という 2 刺激を N 人の受聴者に対提示し、 A と B のどちらを好むか、という反応を求めたとする。各人がどちらを好むとするかは、 A と B という刺激の相対的な差異によって異なるが、ある受聴者が A を好むとするのに対し、別の受聴者は A を好まず B を好むとするような差異は、刺激による差異ではなく、受聴者間の好みの差異が表現されていると考える。そこで、行と列がそれぞれ N 人の人間をあらわす $N \times N$ の行列を作り、要素 e_{ij} として、各人の反応の一致度を記入する。 e_{ij} は任意の刺激対 A, B に対し、 i なる受聴者と j なる受聴者が A あるいは B をともに「好む」(あるいは「好まない」)とした度数を、すべての刺激対について合計したものである。この一致度行列から固有値および固有ベクトルを計算し、受聴者相互の多次元的距離を求める。

表 1 一致度行列の一部

$i \backslash j$	1	2	3	4	5	6	7	8	...	...	87	88	89	90
1		55	72	49	65	67	67	58			73	40	67	40
2			66	68	61	58	59	53			61	47	57	53
3				57	63	60	64	64			73	36	65	42
4					60	43	39	58			55	54	46	53
5						62	55	72			71	56	61	64
6							70	71			72	40	74	45
7								50			59	40	80	32
8											66	50	56	58
...														
...														
87												40	58	42
88													44	59
89														44
90														

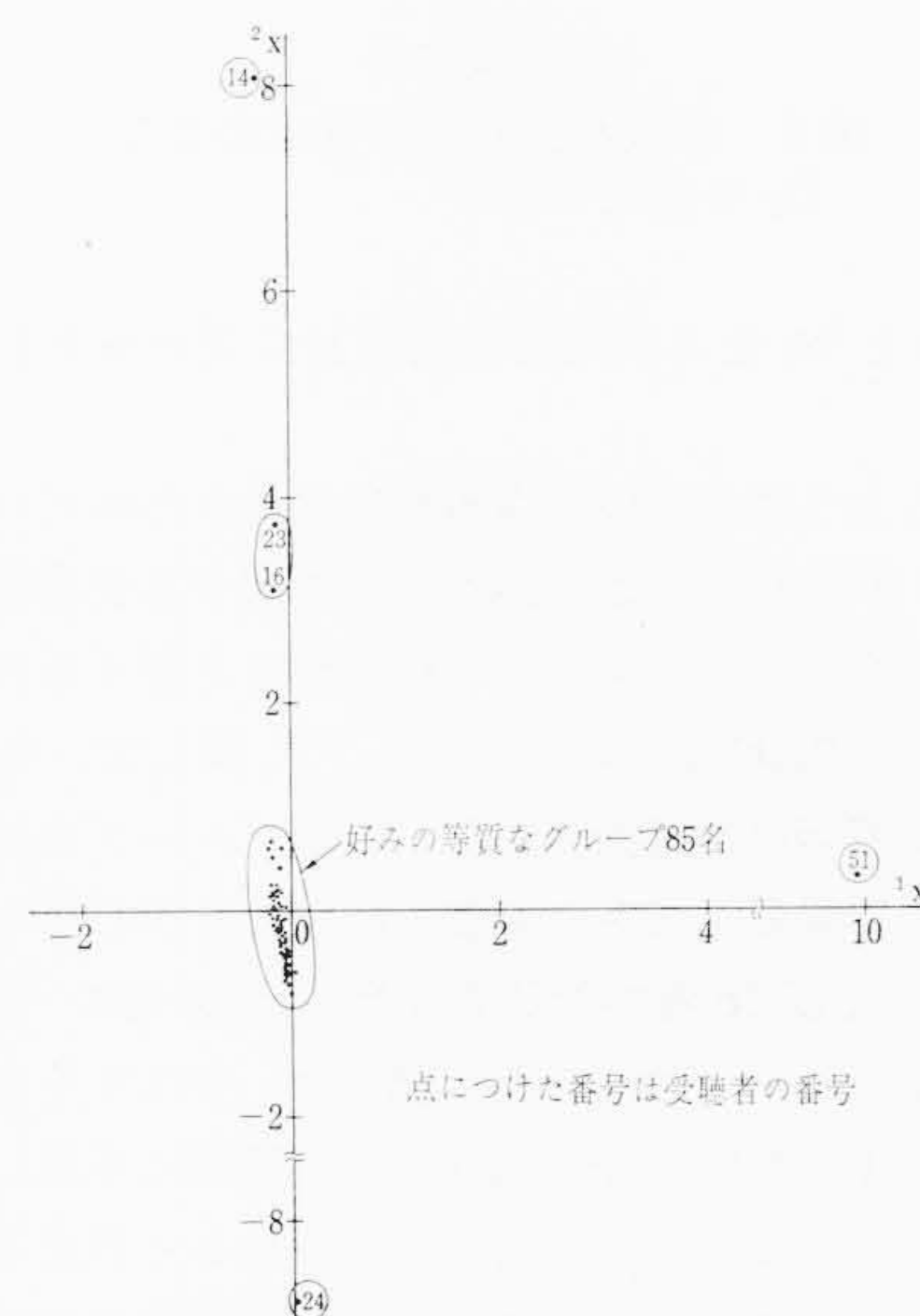


図 3 音質の好みにおける受聴者間の二次元距離

3.2 実験方法

対象とした受聴者は、山形県内の家電品販売店の店員 90 名である。全員男性で、年齢は 20 代から 40 代まで分散している。

刺激には、振幅周波数特性が互いに異なる系を通った再生音、13 種類を選んだ。これを不完備行列に従って組み合わせ、50 対の刺激対を作った。刺激の提示順序を逆にした対も作るから刺激対は合計 100 個となる。音源は全刺激対について同一である。対比較法によって、受聴者に前刺激と後刺激を比較してどちらが再生音として好ましいかを判定させた。

音源には、有馬三恵子作詞、鈴木淳作曲、伊東ゆかり唄「あの人の足音」(レコード、キング SKK-373) より約 15 秒の区間を使用した。

実験場所は、約 130 m² の広さをもつ会議室である。2 スピーカ、モノホニック再生で音刺激を提示した。

3.3 実験結果

刺激対に対する、各受聴者の好みの反応の一致度行列の一部を表 1 に示す。この行列をもとにして得られる固有値 λ の大きいほうから λ_1 と λ_2 を求め、これにそれぞれ対応する固有ベクトルのエレ

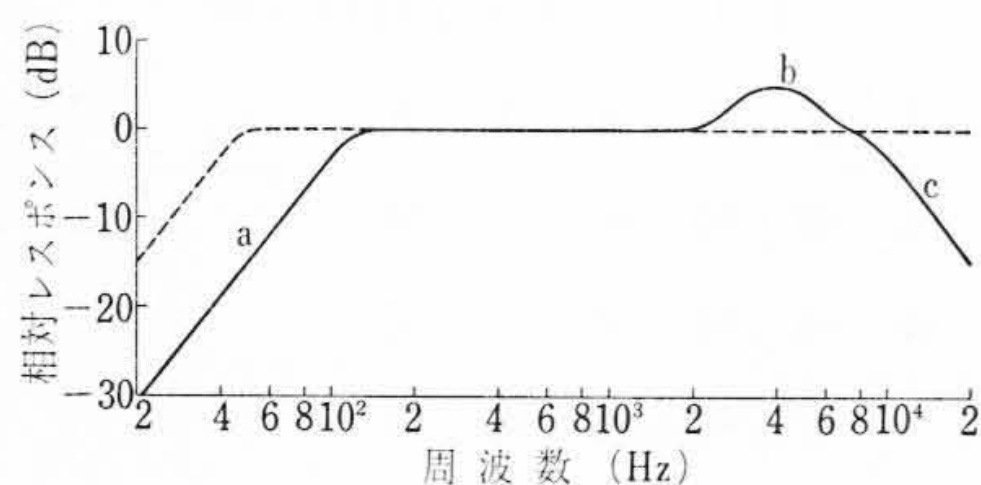
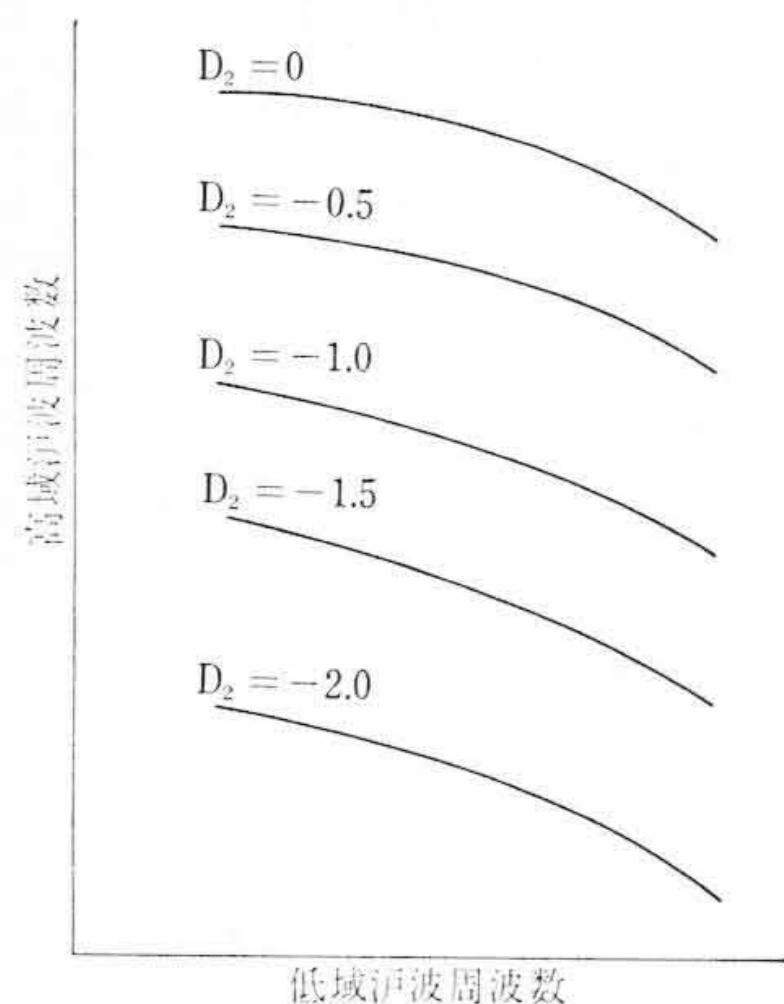


図4 振幅周波数特性の一例



(等高線的表示)

図5 帯域通過特性の変化による D_2 の変化の様子

メントの値 1x_i と 2x_i を2次元直交座標上にプロットした。これが図3である。

図にみられるように、座標の原点付近にあきらかに一つのかたまり (cluster) が存在する。このかたまりに属する受聴者は、音質の好みの点で等質な一つのグループを構成すると考えられる。今回の実験の全受聴者の約94%がこのグループに属している。このグループに属する受聴者の反応内容から、このグループは雑音性感覚が小で、かつ低音感覚の大である音質を好むことがわかった。

14番、23番および16番の受聴者は 2x の正方向に、等質グループからはみ出しているが、これらの受聴者は、やはりその反応内容から低音感覚の大小に関心で、高音感覚が極度に不足し、かつ雑音性感覚のきわめて少ない音を好む人たちであると言える。反対に 2x の負方向にとびだしている24番の受聴者は、高音感覚ができるだけ大でかつ低音感覚の小なる音を好む傾向をもっている。

1x の正方向にとびだしている51番の受聴者は、互いに矛盾した反応が多く、好みの基準が明確でない。無定見に判定したために他の受聴者との一致度が低くなり、他の受聴者との距離が遠くなったものと思われる。

このように、本実験において、受聴者は94%からなる一等質グループと、これと好みの異なる少数の受聴者に分かれた。他の実験⁽¹²⁾からも同様な結果が得られており、受聴者はあまり多くの層に分かれないことが予想される。

4. ESP法の使い方

4.1 音質設計チャートによる好みの尺度値の計算法

図2に示したように、音質の好み R は伝送系の物理的パラメータ t_i に対応する要素感覚尺度 D_i と、既知の W_i とから推定できる。その具体的計算法を、振幅周波数特性を例にとって紹介する。

いま、あるステレオの振幅周波数特性を測定したところ、図4に実線で示すような特性が得られたとする。図中に破線で記した特性は尺度の原点となる特性で、これを一応平坦(へいたん)特性とする。測定によって得られた特性は、図中に示すように a 、 b および c の各

表2 W_i の一例

W_1	1.00
W_2	0.75
W_3	0.25
⋮	⋮
⋮	⋮
⋮	⋮

領域で平坦特性と異なっている。まず、本特性に対応する D_i を求めるわけだが、ここで、この特性は平坦特性上の b の領域に図のようなピークが存在し、さらに $a-c$ のように帯域通過されたものと考え、この二種類の特性が合成されたものとする。

いま、上記のピーク特性に対応する D_i を D_{bi} 、帯域通過特性に対応する D_i を D_{aci} とし、これらの二特性が合成された特性に対応する D_i を D_{ti} とする。 D_i の尺度値は、無ひずみ、平坦系を原点とする間隔尺度であり加法性が成り立つから、

$$D_{ti} = D_{bi} + D_{aci} \dots\dots\dots (1)$$

音質設計チャートには、図5にその一例を示すように、各種の帯域通過特性、ピーク、ディップ特性、その他もろもろの物理特性と D_i の関係を表わすデータが収められているから、これを用いて D_{bi} および D_{aci} を求めれば、 D_{ti} は(1)式によって簡単に得ることができる。

このような手順によって、各種物理特性に対応する D_i を求めることができる。

次に、好み R を推定するのであるが、これには当然 W_i が必要である。ある受聴者グループおよび音源について得ている W_i の値を表2に例示する。この W_i と上記の D_{ti} を用いて、 R の推定値 $\tilde{R}$ は

$$\tilde{R} = \sum W_i D_{ti} = 1.00 D_{t1} + 0.75 D_{t2} + \dots\dots + W_n D_{tn} \dots\dots (2)$$

によって得ることができる。

このようにして、できあがった機器の物理特性から、 R を推定できるばかりでなく、 W_i の大きさを考慮しながら、 R が最大になるような物理特性を音質設計チャートから求めることによって、最も好まれる音質を与える機器を設計することができる。

4.2 ESP法の製品に対する応用例

この節では、ESP法が製品にどのような点において応用することができるかについて述べる。ESP法は「好まれる音」を見いだすこと、この好まれる音質を実現するために、構成部品のもつ物理的性能の仕様をきめることおよびこれらの部品の組合せにもとづく総合的物理特性、たとえば音圧振幅周波数特性などをどのように規定すべきか、の三つの点を明かにするうえに便利な方法である。

「好まれる音」は要素感覚 D_i に重み W_i を付した心理尺度値の関数として表現しうることを考えると、 W_i に注目したときは、音質方針を打ち出すことになり、 D_i に注目したときは、構成部品の物理的性能の仕様をどのように規定してゆくべきかを定めることになる。総合的にこれら D_i および W_i によって決められる好みの評価値 R を最大にすることが最終目標となることは論をまたない。以下このような考え方のもとに、順次ESP法をどのように設計的に使用してゆくことができるかを示してゆく。

(1) 音質方針の決定

2.で述べたように音質の好みの尺度値 R は図2の中で示されるように W_i と D_i の積和の形で表現される。この中の W_i の値は心理実験によって統計的に決められる量で、受聴者グループ、音源などによって異なる。その一例は表2に示すとおりで、 W_1 が最も大きい値となっている。この傾向はわれわれの実験結果では常に得られるものであり、例外は一つもない。 W_1 に対する要素感覚

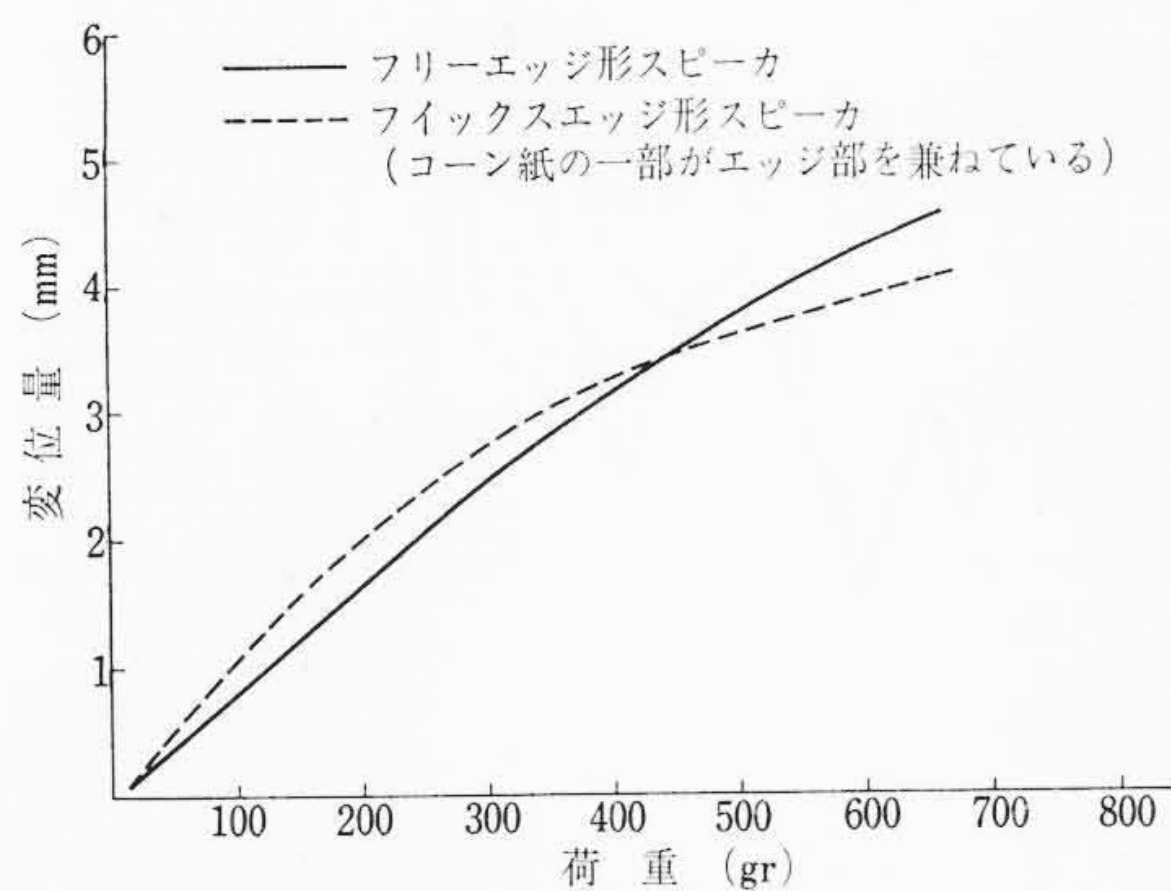


図6 フリーエッジ形スピーカとフィックスエッジ形スピーカの振動部のコーン紙の駆動力と変位量の関係

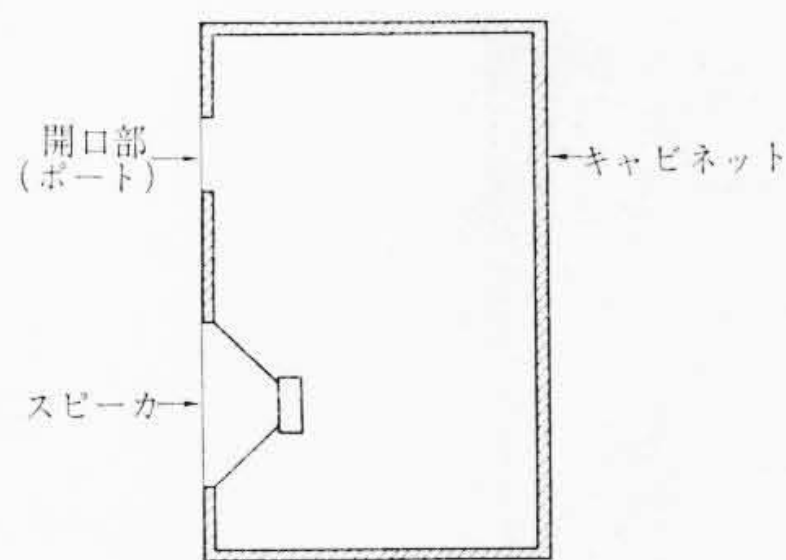
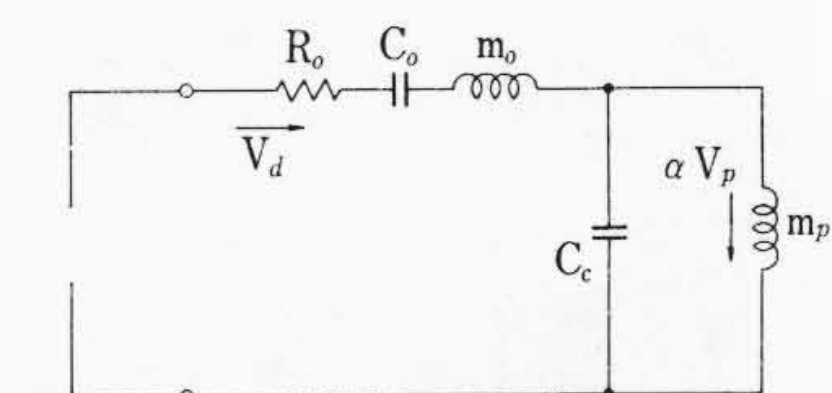


図7 位相反転形キャビネットの模型図



m_o : スピーカ振動部の有効質量
 C_o : スピーカ振動部のコンプライアンス
 R_o : スピーカ振動部の等価抵抗
 V_d : スピーカ振動部の速度振幅
 V_p : 開口部の空気速度振幅
 C_c : キャビネットの等価コンプライアンス
 m_p : 開口部の有効質量
 α : 開口部有効面積とスピーカ振動部の有効面積の比

図8 位相反転形キャビネットの機械回路

D_1 は主として非直線ひずみに対応する雑音性の感覚とよばれるものである。したがってこれらのデータは、設計にあたって最も重要視すべき要素であるから、音質の基本としてひずみを極力少なくする。すなわち低みずみ率設計を方針とすべきことが結論される。

この方針の具体化として Hi-Fi コンポーネントを「Lo-D」(Low Distortion)と銘打って商品の基本方針とした。またキャスル・シリーズとして売出されているステレオも同じく低みずみ率を基本方針とした。

(2) 構成部品の性能向上

要素感覚 D_i を ESP 法によって得られる最適条件にするために構成要素または部品の撰択、性能向上を行なったが、これについての具体例をとりあげて説明する。

要素感覚としては、雑音性感覚と低音感覚をとりあげてみることにする。雑音性感覚の、好ましい音質に対する貢献度をあげるためには、物理特性としてはセットのひずみ率を少なくすることがたいせつである。このためにスピーカの選択およびオーディオ増幅器の性能向上に意を用いた。

スピーカのひずみ率を少なくするために、スピーカコーン紙を動かす力とコーン紙の変位との間に比例関係が成り立つのが理想であるが、実際にこの関係を満足させることはむずかしいので、できるだけ直線性のよいものを使うことにした。この条件を満足するのは、いわゆるフリーエッジ形スピーカである。フリーエッジ形の特長はコーン紙の周辺部にあるエッジ部に使用する材質が非常に柔軟な布で構成されていることである。これに対して普通のスピーカ(フィックスエッジ形スピーカ)はコーン紙の一部をエッジとして使用している。図6はコーン紙に働く力と変位の関係をフリーエッジ形と普通のスピーカの両者について比較したものである。フリーエッジ形のほうがより直線に近い特性をもっていることがわかる。

オーディオ増幅器については、トランスを使用することによって予想される低周波と高周波のひずみを少なくするため、入力トランスを使用しないでパワー段を駆動し、出力トランスなしでスピーカを駆動する方式を開発し、これを使用している。この方式を ITL, OTL 方式という。また小信号時特に問題になるクロスオーバーひずみを少なくするため、ドライバー段とパワー段のトランジスタに流れる無信号時のバイヤス電流を調整している。さらにプリアンプ部に日立の開発した LTP (Low Temperature Passivation) トランジスタを使用し、雑音の低下をはかっている。(この増幅器に関する詳細なことは本特集中の「低ひずみ増幅回路」を参照されたい)

プレーヤー部についてはランブル音の少ないベルト駆動形プレー

ーを開発し量産している。(これについては本特集「低雑音ベルトドライブプレーヤー」を参照されたい。)

低音感覚の好まれる音質に対する貢献度を高めるために必要な物理的特性は、単に低音特性だけではないが、低音特性が最も重要な要素であることは容易に想像できることであるので、対象をこれにしぼって説明する。低音特性はスピーカと同じ程度にキャビネットの内容積、音響的構成法などが重要な役目をする。音響的構成はキャビネットの内容積によって異なり、比較的内容積の大きい場合は位相反転形⁽¹³⁾(バスレフレックス形)の音響的構成を採用し、小さい場合は密閉形のキャビネットを用いている。位相反転形キャビネットを採用した理由は、特性変化に必要なパラメータが増すため、低音特性の変化をもたせるのに便利だからである。また小さい内容積キャビネットを使用するときは、位相反転形では ESP 法で要求される低音特性を満足させることが密閉形より困難になるからである。図7は位相反転形キャビネットの構造模型を、図8はその機械的等価回路を示している。図7における開口部(ポート)の部分占める空気は質量的に働き、キャビネット内部を占める空気は弾性的に作用する。この二つの要素によってきまる共振周波数より低い周波数では、スピーカコーン紙の振動と、開口部の空気の振動とは逆位相になるため音はでなくなり、高い場合は同位相となるため音がじゅうぶん放射される。したがって開口部の空気の等価質量とキャビネットの等価スチフネスできまる共振周波数を低音再生限界と考えることができる。この共振周波数付近ではスピーカコーン紙の振動振幅が小さくなるため、ひずみも同時に小さくなる。

設計に際して用うる要素感覚は上記のほかにもまだ数個あるが、やはり同様の過程をもって行なわれる。以上のように、機器の物理特性と要素感覚尺度値との関係を示したチャートを利用し、各構成部分の物理的特性をきめ、音の良し悪しで表現される情緒を要素感覚を通じて物理的特性と結ぶことができる。

4.3 ESP 法による推奨特性と他特性との比較聴取実験

前述のような計算によって、音質の好み R を最大にする物理特性を導き、ステレオの設計にとり入れているが、この特性による音質が実際に好まれるか否かを確かめる実験を行なった。

4.3.1 実験方法

シミュレータ(図9)を用いて、13種類の伝送特性を実現し、これらの系を通った再生音を、対比較法(Thurstone の case V を仮定)にしたがって受聴者に提示し、好みの尺度値 R を求めた。

なお、これに先立ち、すでに得てある W_i のデータから、これらの伝送特性による音質に対する好みの尺度の推定値 $\tilde{R}$ を算出した。 $\tilde{R}$ が最大となる特性も、上記13の種類の刺激条件の中に加えてある。

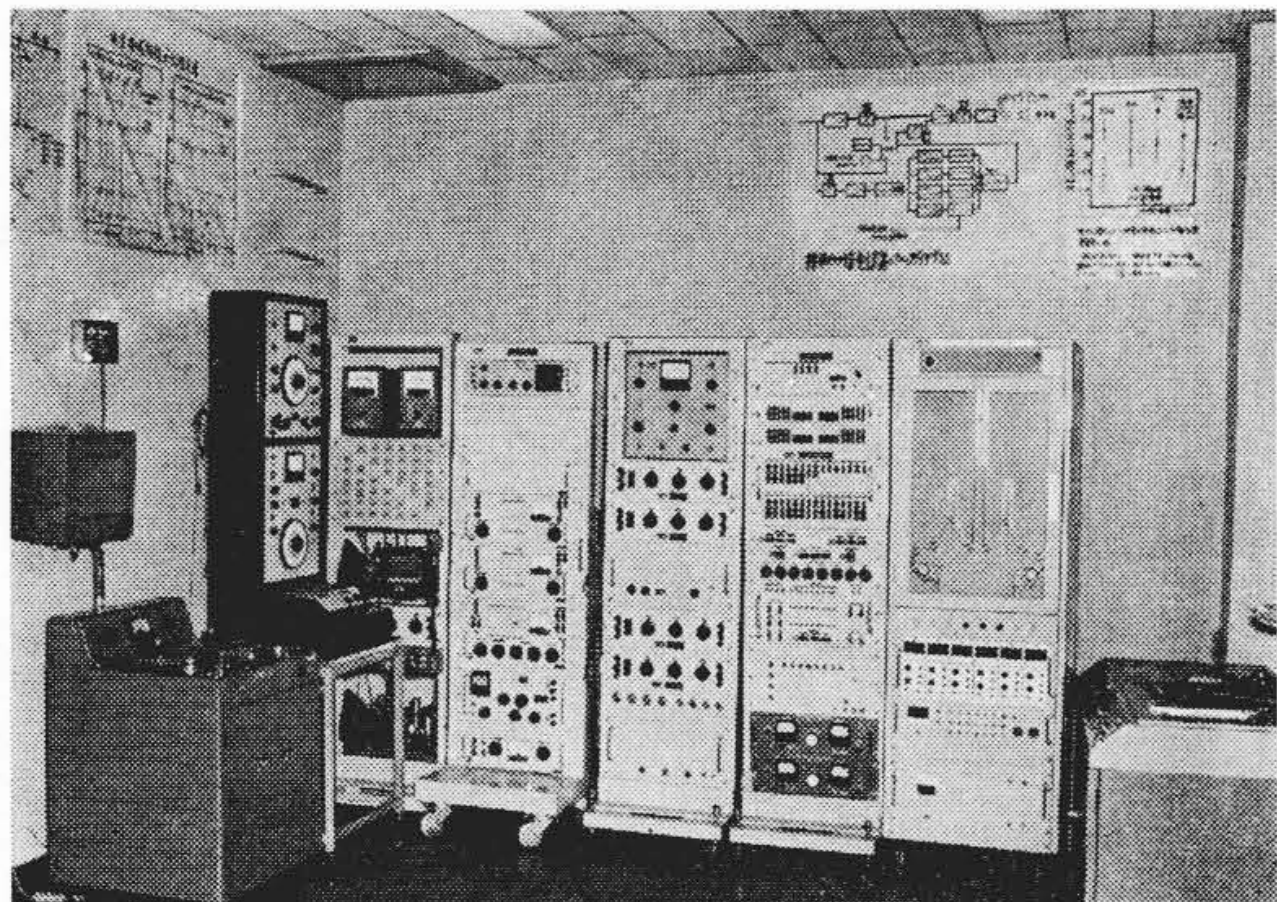


図9 伝送系の物理特性をシミュレートするプログラム信号再生実用標準装置

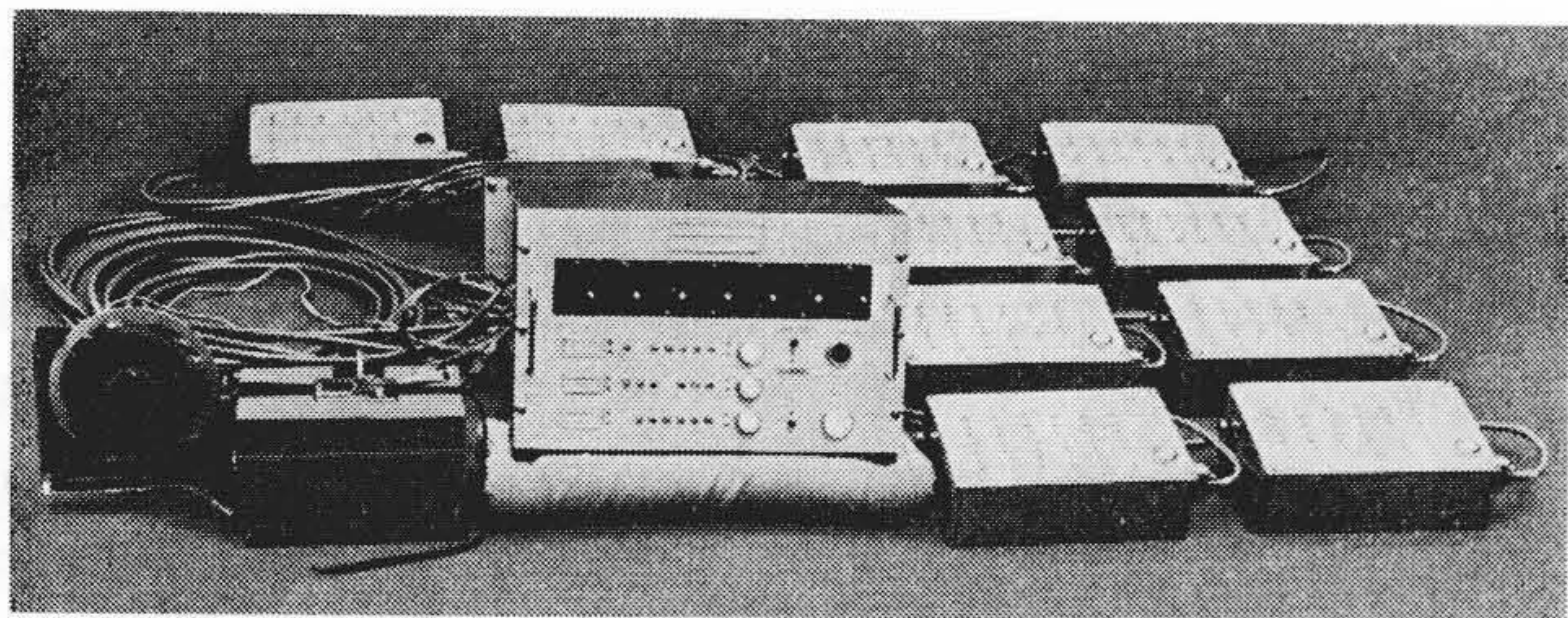


図10 音質評価用可搬形レスポンス集計装置

音源は、映画音楽「幸福への招待」の一部、約15秒の区間で、弦楽合奏が主体となっているものである。

受聴者は、男女大学生26名であるが、本実験における好みの反応から、多次元数量化法によって分類したところ、19名からなる等質な1グループと、相互に好みの異なる7名の受聴者に分かれた。尺度値の計算にあたっては、等質グループに属する19名の受聴者によるデータのみを採用した。

なお、本実験は、この種の実験データの集計、計算などを能率的に処理するために製作した可搬形レスポンス集計⁽¹⁴⁾(図10)を用いて行なわれた。

4.3.2 実験結果

好みの計算値 $\tilde{R}$ と聴取実験による実測値 R を図11に示す。同図において、横軸の刺激番号とは、シミュレータによって実現した伝送特性の番号であり、それぞれの刺激に対応する好みの推定尺度値が破線で、実測値が実線で結んである。

図に見られるように、 R と $\tilde{R}$ は、この種の心理実験にしてはよく一致している。このことから、ESP法は基本モデルの妥当性のみならず、音質設計チャートの実用上じゅうぶんな精度も確かめられた。

なお図11の刺激番号9の特性の R は、計算値、実測値ともに最大であるが、本特性はESP法による推奨特性として、すでにステレオ、キャッスル・シリーズに実現されている。

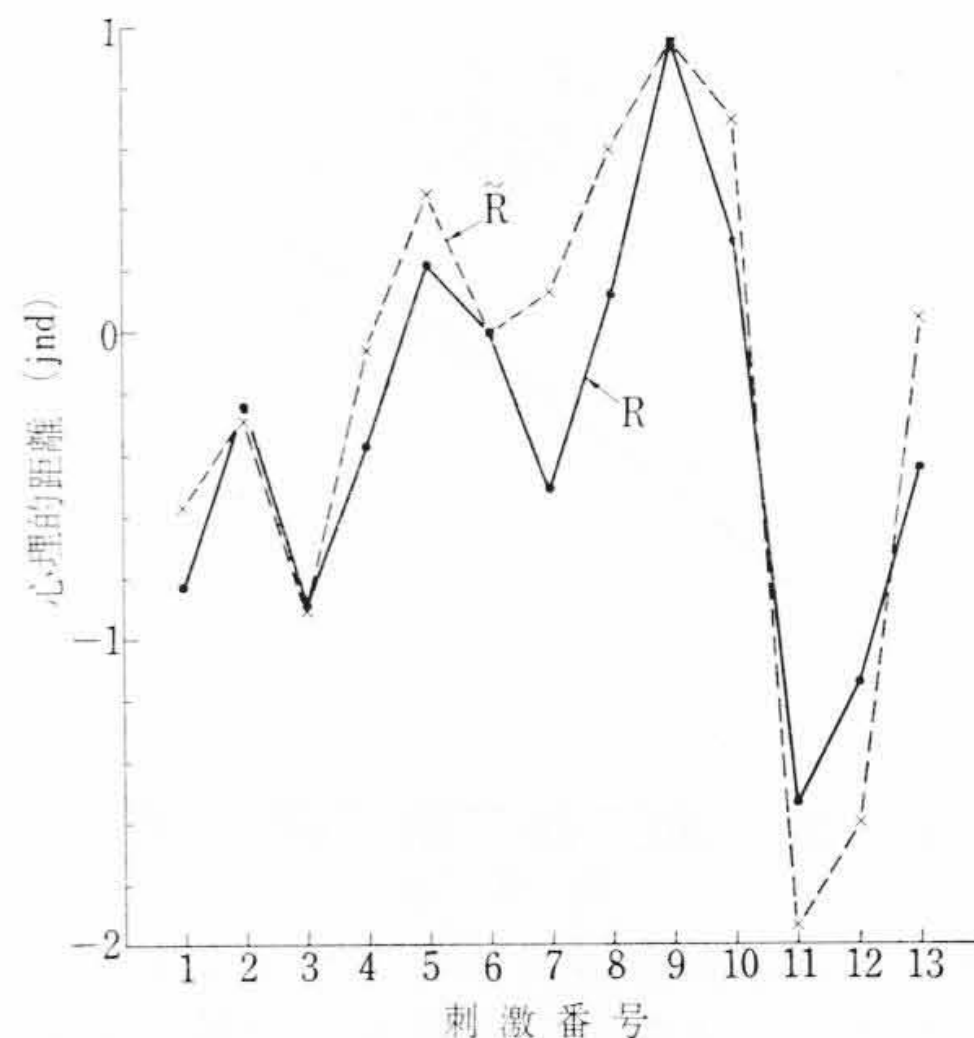


図11 好みの計算値 $\tilde{R}$ と実測値 R の比較

5. 結 言

顧客の要求する音質を実現するために、音質の情緒的評価の尺度値を要素感覚尺度値 D_i と重み W_i との積和の形で規定し、この分析過程をへて、機器設計と情緒的評価を結びつけるESP法を開発した。この方法により(1)受聴者の音質に対する情緒的嗜好が大部分特定の傾向を示すことが判明し、(2)好まれる音を再生するために必要な総合的物理特性をは握した。この特性の中でひずみの少ないことが最も重要な要素である。したがってこの大部分の人々の好む音質に合致する設定を実施して、量産的に顧客の要求する音質のステレオを提供することができるようになった。上記の基礎のもとにキャッスル・シリーズを発売し好評を博している。

終わりに常々ご指導いただいている早稲田大学理工学部伊藤毅教授、お茶の水女子大学音楽科大宮真琴助教授、統計数理研究所林知己博士ならびに広くご討論の機会を作っていただき有効適切なお助言をいただいた日本放送協会総合技術研究所黒木総一郎博士に深甚な謝意を表する。

参 考 文 献

- (1) 三浦：音響講論，3-1-22 (昭38-10)
- (2) 中山，越川，三浦：音響誌，21，209 (昭40)
- (3) T. Nakayama, R. Miyagawa and T. Miura：Hitachi Rev., 15, 256 (1966)
- (4) 中山，三浦：音響誌，22，319 (昭41)
- (5) 中山，宮川，三浦：音響誌，22，332 (昭41)
- (6) 中山，宮川，三浦：創刊50周年記念日立評論論文集，70 (昭43-12)
- (7) W. S. Torgerson：Theory and method of scaling, 247 (1960, John Wiley & Sons)
- (8) J. P. ギルホード著，秋重監訳：精神測定法，189 (昭34，培風館)
- (9) 吉田，岩崎：音響誌，16，206 (昭35)
- (10) 本城，野中：画質評価の尺度化について，テレビジョン色彩研究委員会資料 (昭41-1)
- (11) 林：統計数理研彙報，4，19 (1956)
- (12) 宮川，中川ほか2名：日科技連官能検査大会報文集 (1968-6)
- (13) 中島，山本：NHK技術研究 第27号 (昭31-8)
- (14) 三浦：日科技連官能検査研究会資料 第75号 (昭40-11)