

低ひずみ率スピーカシステム

Low Distortion Loudspeaker System

杉 本 利 孝* 鷹 見 紀 彦**
Toshitaka Sugimoto Norihiko Takami

河 村 信 一 郎*** 小 原 功****
Shin'ichirō Kawamura Isao Obara

要 旨

高級 Hi-Fi コンポーネント開発の一環として、Lo-D(低ひずみ率)を目標とした高品質スピーカシステムの開発を行なった。このため、新たに低音用として 20 cm コーンスピーカ、高音用としてホーンスピーカを開発し、これを用いて 2 ウェイスピーカシステムを構成した。本論文では、設計方針、開発上の種々の問題点とその解明、および得られた性能について述べる。

1. 緒 言

スピーカシステムは音響再生系の出口を受けもつもので、この性能によって再生音質は大きく左右される。従来も国の内外で、多くのスピーカシステムが発売されているが、より高品質のスピーカシステムの開発がたえず要望されている。

ラウドスピーカが現在の形式となったのは、古く 1930 年ころであり、それ以来、磁気回路、振動系関係に多くの改良が行なわれてきた。しかし、スピーカの振動系の運動は非常に複雑で、従来の研究も単純化した場合について取り扱って⁽¹⁾いるにすぎず、これらの研究結果を実際のスピーカの設計に応用するには、種々の障害があつてじゅうぶんな効果をあげていない。

われわれは、上記論文⁽²⁾のように、聴覚上の評価による音質と音響の物理特性との関連を追求してきた。これによると、非直線ひずみを小さくすることが音質上大きく貢献することが見いだされた。そのため、新しく開発するスピーカシステムでは、非直線ひずみをできるだけ小さくするという目標をたて、この実現に努力した。

開発を始めたころ、いわゆるブックシェルフタイプとして超小形のエンクロジヤを用いたシステムが発売され、市場の関心を集めていた。しかし、この程度のエンクロジヤでは音質上大きな制約をうけるので、われわれは高品質の達成に重点をおき、かつ実用上の使い勝手を考慮してエンクロジヤをできるだけ小さくするという方針で進んだ。

2. 設 計 方 針

開発性能の重点としては、非直線ひずみを小さくすること、すなわち 50 cm 点の出力音圧レベル 100 dB で高調波ひずみ率 1% 以下を目標とし、このほか再生周波数範囲、再生振幅特性の平坦さも現在発表されているスピーカシステムのものよりまさることをねらいとした。

2.1 再生周波数範囲、再生音圧レベル

高忠実度スピーカシステムに要求される再生周波数帯域としては NHK 技術研究所で開発されたモニタスピーカ⁽³⁾のデータなどを参考にすると、均一再生帯域としては 40 Hz から 13 kHz であることがわかる。

さて、音楽やスピーチは衆知のように時間的に振幅が変化している。人間がこれらの信号を聞く最適レベルは受音点で 60 dB ないし 80 dB S. P. L. (0 dB=0.0002 μb) といわれている⁽⁴⁾。しかし、音

表 1 高音用スピーカの利点、欠点の比較

比 較 項 目	ホ ー ン 形	コ ー ン 形
(1) 変 換 効 率・出 力 音 圧	高 (≒110 dB)	低 (<100 dB)
(2) 振動板の分割振動による特性の乱れ	小	大(特性改善困難)
(3) 湿 度 の 影 響	小	大(コーン紙)
(4) 大入力用ウーファとの接続	可(能率でカバーできる)	困難
(5) 空 気 対 する 過 負 荷 によるひずみ	あり	なし
(6) 構 造	複雑	簡 単・安 価
(7) 形 態	高音用のため大きくならない	小

楽やスピーチの瞬時的ピークも忠実に再生するには、内容によっても異なるが、さらに約 20 dB 以上の余裕を考えなければならない。音楽信号のレベル分布、ミクシングによるピーク値の減小などを考慮してモニタスピーカでは要求される最大値は 100.5 dB⁽⁵⁾とされている。これを考慮して、低音用スピーカの出力音圧レベル、耐入力の設計をすすめた。

2.2 高音用スピーカとしてのコーンスピーカ、ホーンスピーカの比較

40 Hz から 13 kHz までの帯域を 1 個のスピーカで再生することは必ずしも不可能ではない。しかし、低音の再生を能率よくするため口径を大きくする必要があり、このため、高域での指向性が鋭くなる、高・低音を同一のコーンから放射するため必然的に混変調ひずみが増大する、スピーカコーンが高域で高次モードで振動するため周波数特性上に大きな山谷を作る、という理由から高品質にするためには 2 ウェイもしくは 3 ウェイにして、再生帯域を分割するほうが好ましい。ここでは小形化のねらいから 50 l (リットル) 程度のエンクロジヤとし、口径 20 cm のスピーカを低音用にした 2 ウェイ方式を採用した。2 ウェイ方式とすると、高音用スピーカの形式としてはコーンスピーカか、ホーンスピーカかのいずれかが選ばれる。これらの得失を比較すると表 1 のようになる。同表からもみられるように耐入力の問題、2 ウェイスピーカに要求される高音レベル調整の問題などを考えると、ホーンスピーカのほうが有利であり、かつ性能実現も容易であることがみられる。

なお、ここで開発した低音用スピーカ、高音用スピーカは、このスピーカシステムのみで使用されるのみでなく、必要に応じて、他のスピーカとも任意に組合せてスピーカシステムを構成できるものでなければならない。

2.3 エンクロジヤの大きさ

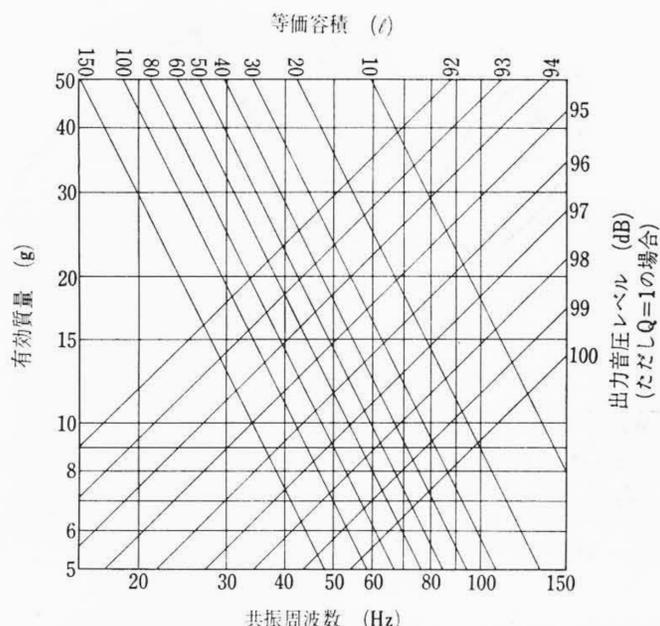
本開発の当初、超小形エンクロジヤ(容積 5~8 l)が流行となっていた。スピーカシステムの低音再生限界はスピーカ自体の最低共振周波数とエンクロジヤ容積できまるので、上記のスピーカシステムでは低音限界としてせいぜい 80 Hz くらいである。さききのべた

* 日立製作所家電研究所 工学博士

** 日立製作所家電研究所

*** 日立製作所横浜工場

**** 日立製作所戸塚工場



(ただし、出力音圧レベルは 50 cm 点, $Q_0=1$ のときの値を示す)

図 1 口径 20 cm スピーカの有効質量, 等価容積, 共振周波数, 出力音圧レベル間の関係

ように 40 Hz まで再生するためには少なくとも 50 l 程度のものが必要となる。図 1 にスピーカシステムとしての最低共振周波数と振動系の質量, 系のコンプライアンス(等価容積で示す)と $Q=1$ のときのスピーカの出力音圧レベルとの関係を示す。スピーカシステムを駆動する増幅器の出力を 60 W 程度とすると, スピーカシステムとしての出力音圧としては, 95 dB 以上確保する必要がある。これから, 高品質を確保するためには 50 l 以上のエンクロジヤ容積が必要である。

なお, 低音再生条件からすれば, エンクロジヤ容積の大きいほうが実現しやすいが, 取り扱い使用面ではできるだけ小形のほうが有利であるとの立場から 50 l を選定した。

3. 低音用スピーカの設計および性能

高品質のスピーカシステムを構成するためには, それを構成するスピーカ自体の性能を向上させておかなければならない。低音用 20 cm スピーカの開発にあたり目的とした点は, 以下のとおりである。

(1) 非直線ひずみを小さくする

コーン振動部を変形しにくい構造とし, 分割振動に起因するひずみを小さくする。

駆動部としては, 磁気空げき幅内にボイスコイルが完全にはいった形式とし, 磁束分布の平坦な部分のみで振動させる。

そのほか, エッジ, スパイダなど非直線ひずみの原因となる要因を徹底的に追及する。

(2) ピストン振動領域を拡大する

再生振幅周波数特性を乱す原因となる分割振動を極力抑制する。

そのほか, 特性を悪くするエッジ共振, 付加的な空気柱共振などを小さくする。

3.1 構 成

本開発で最終的に採用した低音用スピーカの断面を図 2 に示す。ここで特長的にみられることは振動系を駆動するボイスコイル径が従来の 20 cm スピーカのものより非常に大きいこと, ボイスコイル巻幅が狭く磁気空げき幅が 12.4 mm と広いことである。コーンおよびキャップの形状, 材質, 重さ, エッジの材質, 形状およびセンタリングスパイダについて検討を加え, 所期の目的に合致するような性能を得た。この間, エッジの高次共振や各部の空気の流出入にとともなる共振についても逐一对策を行なった。ここではおもな事

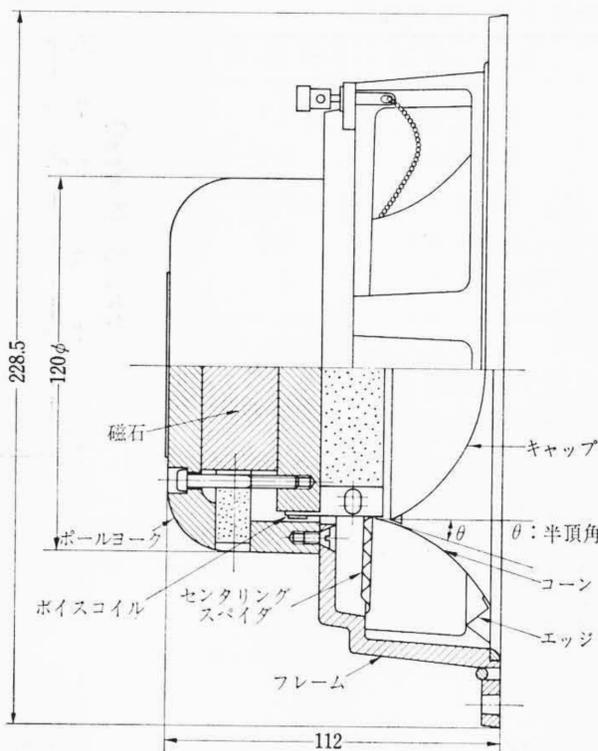


図 2 低音用 20 cm スピーカ構成図

項のみについてのべる。

3.2 コーン条件について

従来のスピーカでは, 主として磁気回路の経済的使用という面から, ボイスコイル径すなわち駆動円が小さく設計されている。このため, 駆動点からのコーン長は長くなり, 分割振動による高次モードが発生しやすい。ここでは,

- (1) コーンの bending にあずかるコーン長をできるだけ短くする。
- (2) ボイスコイルに対するコーンの振動質量および音の放射インピーダンスの負荷を均一にする。

以上のことをねらいとして, ボイスコイルの径をコーン径の 63% に設定した(従来のものでは大きい

いものでも 40%)。このようにすると, 半頂角が小さくてもコーンが深くならず, スピーカの深さを小さくできる。このとき, 音の放射はコーンのみならず中心のキャップからも行なわれる。

コーン, キャップとボイスコイルボビンとの接触点でのコーンの頂角は, つけ根のコンプライアンスを形成する⁽¹⁾ので, できるだけ頂角を小さくしたほうがコーンの強度を増すことができ, ピストン運動領域を拡大することができる。しかし, 抄紙によるコーンの製作という面から半頂角は約 30 度が限界であるので, 最小の半頂角としてこれを用いた。

コーン, またはキャップの断面の最適形状については定説がなく, エクスポネンシャル, ハイパボリックなども作られている。ここでは, コーンの任意半径上の点で, 外側と内側の質量のバランスを考えにいれ, 図 2 に示すようなコーン形状を採用した。

表 2 に示す種々な条件のコーンを用いてスピーカを試作し, これらのスピーカの振幅周波数特性, ひずみ率の大きさおよびその周波数特性を比較検討し, ひずみ率に関しては, 半頂角を小さくするほど, またコーン重量が大きくなるほどよくなることがわかった。しかし, 出力音圧は振動系の質量に反比例して低下するので, 出力音圧とのかねあいから, コーン条件としては半頂角 27°, 重量 8 g を採用した。

全体の振動系質量はコーンの質量のほかにボイスコイルの質量, 放射インピーダンスの反作用による質量分も加わり, 全体としての振動系有効質量は約 18.2 g であった。

3.3 コーン材質の検討

スピーカ用コーン(ここではキャップも含めて)としては, 放射音響インピーダンスによる反作用およびエンクロジヤ内の音圧(軸上 50 cm 点の音圧レベルを 100 dB としたとき, 50 l のエンクロジヤ内の音圧レベルは, 40 Hz で 141 dB にも達する)によって変形しないことが要求され, 一方出力音圧レベルの点からはなるべく軽いことが望まれる。すなわち, ヤング率が大きく, 密度がなるべく小さいほうが好ましい。

表 2 低音用スピーカコーン実験条件

コーンの半頂角	27°, 54°, 71°
コーンの材質	硬, 軟
コーンの抄紙条件	叩解度, プレス圧
コーン重量	4g, 8g, 16g

表3 開発したコーンの紙質とその従来範囲

	単 位	従 来 範 囲	開 発 品
厚 み	mm	0.2 ~ 2.0	0.3
密 度	g/cm ³	0.2 ~ 0.8	0.9
ヤ ン グ 率	10 ¹⁰ dyn/cm ²	0.3 ~ 3.4	4.9
波動の伝播速度	10 ⁵ cm/s	1.0 ~ 2.5	2.4
内部損失 tan δ	10 ⁻²	5 ~ 7	6

コーン材質としては、紙質のミセル化や膠(こう)化の度合をきめる即解(こうかい)度、繊維の配列や結合点の数が支配される乾燥温度および成形圧力をパラメタとして検討を進めた。低音用スピーカのコーンおよびキャップの実験に供した紙質の見かけヤング率と厚さの範囲を図3に示す。図中●印は最終的に使用することにきめた材質の値である。なお、これらの値を従来品と比較したのが表3である。この表から、ヤング率は従来のもの約1.5倍得られていることがわかる。

3.4 エッジおよびセンタリングスパイダ

コーン、キャップなどの主放射体およびこれを駆動するボイスコイルの全体を支持するためにエッジおよびセンタリングスパイダが用いられる。数年前のエッジは一般にコーンと一体成形されており、したがって紙であったが、ハイコンプライアンスの要求が高まるとともに、コーンと別材料が用いられるようになった。これらの支持系に要求される性能としては

- (1) 中心保持がよいこと。
- (2) 上下振動に対し非直線ひずみが小さいこと。
- (3) 高次共振を起しにくいこと。
- (4) コーン、キャップおよびボイスコイルの重量によって長期間クリープしにくいこと。

である。

さて、エッジに関しては従来、断面を波形やU字形に成形し、主として、展開長を長くすることによってコンプライアンスの増大および直線性の改善を図っている。しかし、まだじゅうぶん良好な性能に達しているとはいいがたく、そのうえ、高次共振を起し、いわゆる中音の谷⁽¹⁾を形成し、特性を劣化させている。

われわれは初期において、上記の高次共振を抑圧する目的で、V字形のエッジを採用した。この模型図は図4に示すとおりである。ここで、AP、PBがかたいと通常用いられている波形やU字形のものより高次共振が起りにくい。

さて、エッジの運動をよくみると、コーンの上下運動に対し、エッジの中心部は半径方向に伸び縮みしている。すなわち、AP、PBなる素片が固く、P点でのみ曲りを起こすものと考え、B点の上下運動はP点では半径方向に伸び、または縮みが起こらなければならない。P点は実際は円形であるので、この伸張収縮には非直線がともなう。極端な場合には、P点でしわが生ずるようになる。

AP、BP部が剛性をもち、かつP点の半径方向の伸縮を自由にするため、ギャザードエッジを考案した。この要部を図5に示す。P円周はこのギャザーのために蛇腹(じゃばら)と同じ動作をするので、半径方向に伸縮しやすくなる。このギャザードエッジを用いることによって、エッジの高次共振を抑圧しながらコンプライアンスを大きくし、しかも振動の直線性をよくすることができる。V字形とギャザードエッジを使用したときの低域での非直線ひずみの測定結果を示すと図6のようになる。エッジの運動の非対称性に起因する第2高調波ひずみ率が著しく低減されていることがみられる。

センタリングスパイダの主目的は中心保持である。これもエッジと同様に、高次共振および非直線性が問題となる。しかし、エッジのように直接音の放射に関係なく、また径方向の展開長もエッジよ

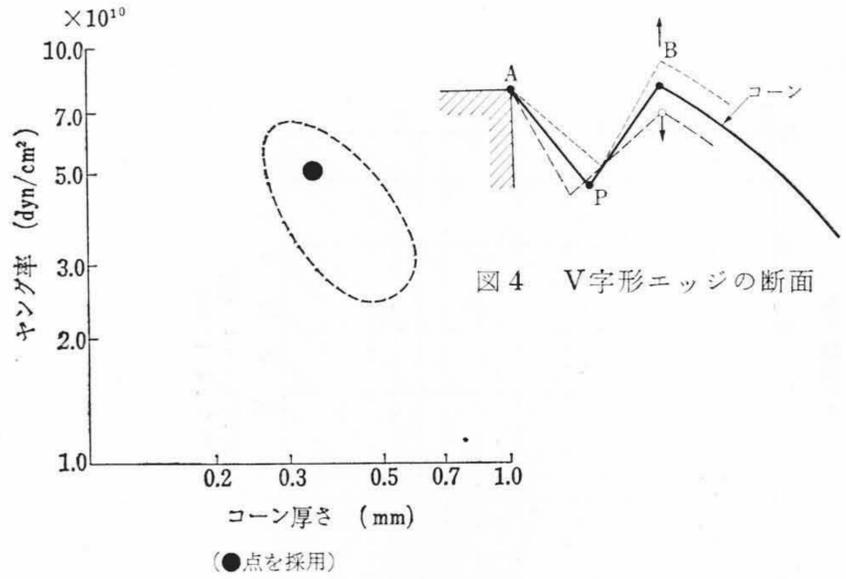


図3 試作コーンのヤング率の範囲

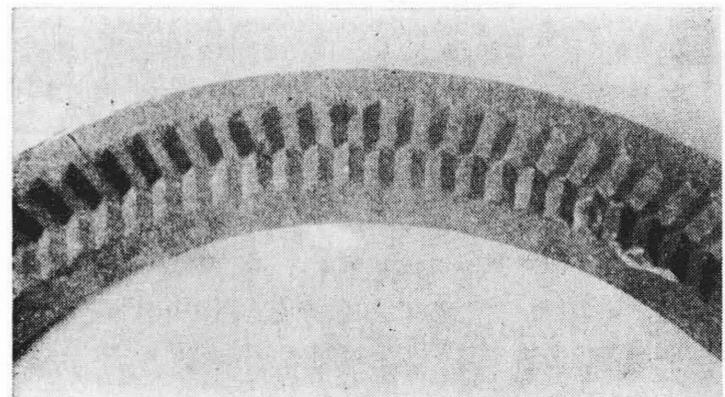


図5 ギャザードエッジ

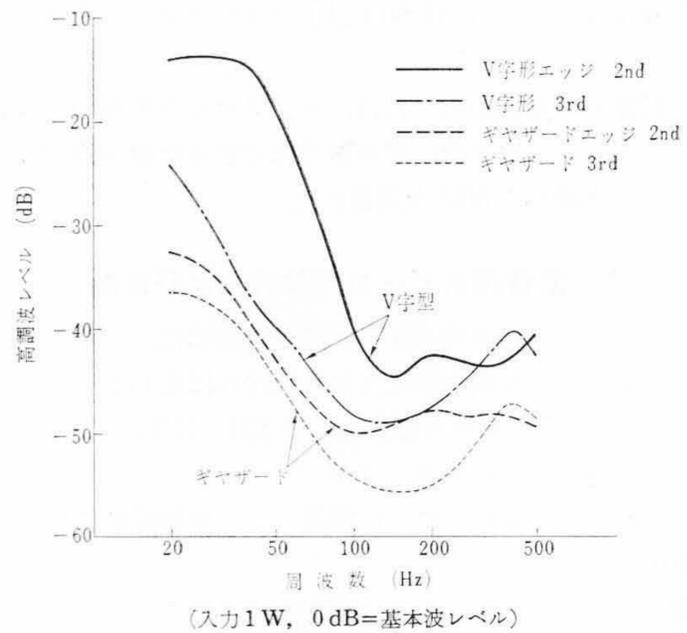


図6 ギャザードエッジとV字形エッジでの第2, 第3高調波レベルの比較

りじゅうぶん長くとれるので非直線ひずみに対する寄与も小さい。(図5の測定では同じ形、材質のセンタリングスパイダを用いた。)

コンプライアンスを大きくするため、エッジおよびセンタリングスパイダを柔らかくすると、高温多湿の環境下では、支持しているコーン、キャップおよびボイスコイルの重量によって永久変形を起すことが観察された。このクリープ量をできるだけ小さくし、コンプライアンスを所定の値に保持するため、湿気に対して強い繊維を材質として用い、これに加工成形用の樹脂含浸を行なうことを検討した。含浸剤の濃度とコンプライアンスおよび高温、多湿試験(40°C, 95%)時のクリープ量との関係を測定した。このデータを用い、スピーカの最低共振周波数の要求からコンプライアンスを決め、かつクリープによる変形量を小さくする含浸度を採用した。

3.5 得られた性能

以上述べたように、コーン、キャップ、エッジおよびセンタリン

グスパイダなどの主振動体の検討のほか、センタキャップ内の空気の流出入による付加的共振などに逐一对策を行なって、最終的な性能を得た。この構造図は図2のとおりで、図7、8はその外観である。

このスピーカの振幅周波数特性、インピーダンス特性、ひずみ率周波数特性を示したのが図9である。これから、目的とした低ひずみに関しては70 Hz以上で、1%以下であることがわかる。

4. 高音用スピーカの設計とその性能

ホーンスピーカを高音用として用いることは表1に示したように多くの利点がある。しかし従来発表されているホーンスピーカは、非直線ひずみが大きかったり、振幅周波数特性が平坦でなかったり、高品質の性能を満足していなかった。ここでは、これらのものを改善した高品質のホーンスピーカを開発することに努めた。

4.1 ホーンスピーカの設計

(i) 再生帯域の拡張

ホーンスピーカの構成は図10に示すようで、振動板とホーンが空気室を介して結合されている。ここで、ホーンと空気室は振動板に対する放射インピーダンスを高めるトランスフォーマの役割をしている。

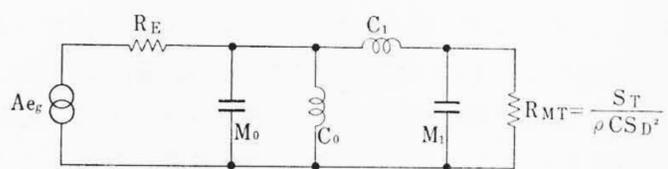
高音用のホーンスピーカは、振動系質量、コンプライアンスの制限から、再生周波数帯域では質量制御の領域で使用される。このとき、放射される音響パワーは高音域になるにつれて低下する。これを改善するため普通マイクロホンなどで利用される高域強調音響回路をもつ2自由度系を採用した。このときのホーンスピーカの等価回路は図11に示すとおりである。ここで、 M_1 は高域強調用にそう入した質量で、これを除いた等価回路が普通のホーンスピーカの等価回路である。この質量として振動板前面の空気室とホーンを結合するのど部に2~5 mmの音響質量を形成させ実現した。高域強調用の質量を変化させたときの放射音響パワーの周波数特性の変化を、等価回路を用いて測定した例は図12に示すとおりである。

(ii) 非直線ひずみの改善

ホーンスピーカの非直線ひずみの要因として次の2点があげられる。

- (1) 振動板クランプの非対称性
- (2) ホーンののど部での過大音圧による空気の非直線

(1)に関しては、加工精度をあげ対称性をよくし、クランプを強固安定するため、振動板の下側にはフェノー



- Ae_g : 機械系に変換した駆動電圧
- R_E : 機械系に変換したボイスコイル抵抗
- A : 力係数
- M_0 : 振動板の質量
- C_0 : 振動板のコンプライアンス
- C_1 : 空気室のコンプライアンス
- M_1 : 2自由度にするための質量
- R_{MT} : 振動板からみたホーンの機械抵抗
- S_T : ホーンののどの面積
- S_D : 振動板の面積
- ρ : 空気の密度
- C : 音速

(力-電流対応)

図11 2自由度を用いたホーンスピーカの等価回路

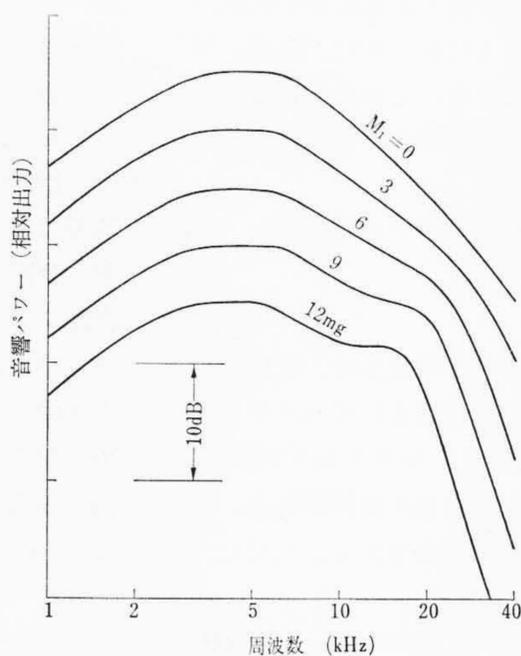


図12 2自由度用質量を変化したときの音響パワーの周波数特性の変化



図7 20 cm 低音用スピーカ正面

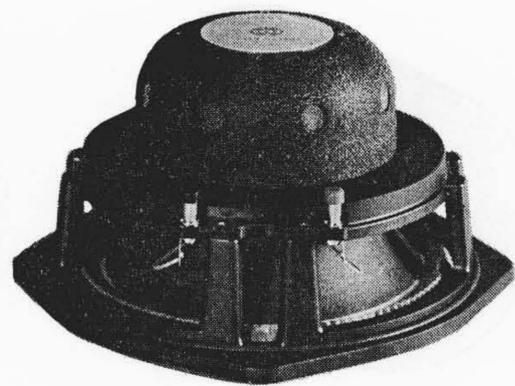
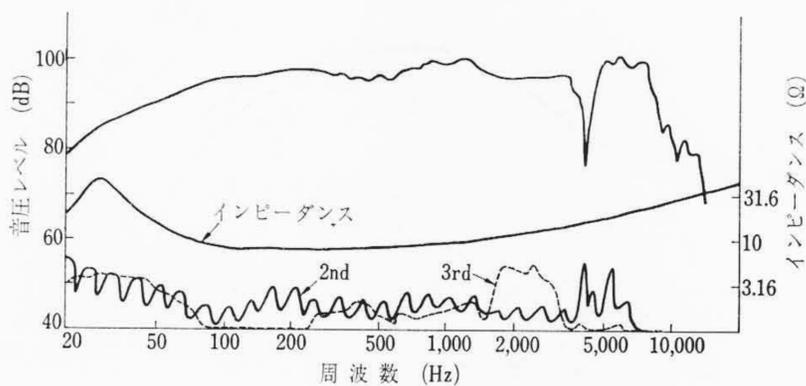


図8 20 cm 低音用スピーカ側面



(入力1 W)

図9 低音用スピーカの振幅周波数特性、インピーダンス特性、高調波ひずみ特性

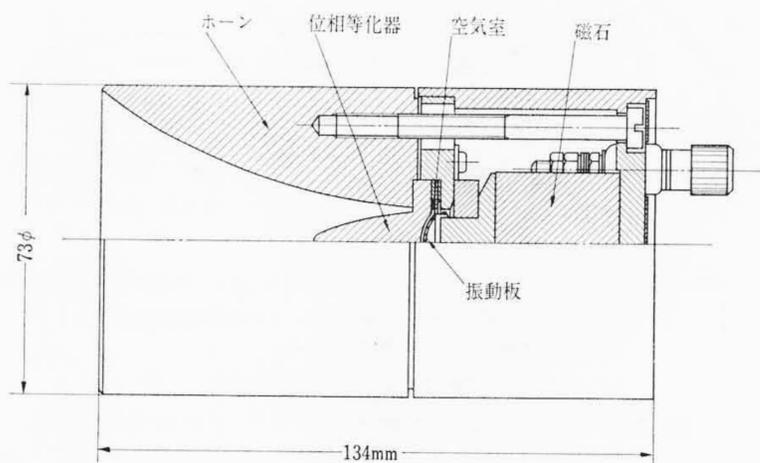
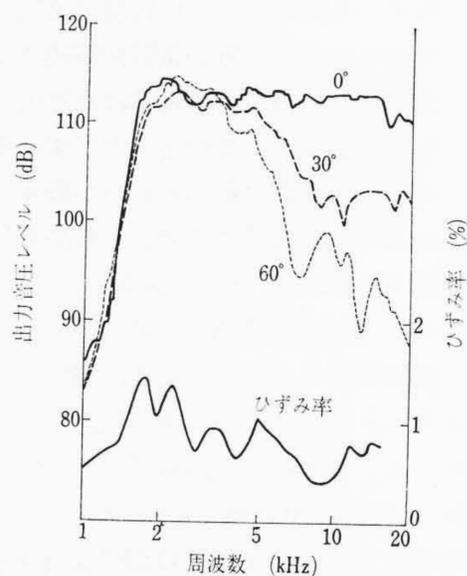


図10 高音用ホーンスピーカ構成図



(350×380 mm バッフルつき、ひずみ率は出力音圧 50 cm 点100 dB のときのもの)

図13 高音用ホーンスピーカの振幅周波数特性、指向特性およびひずみ率の周波数特性

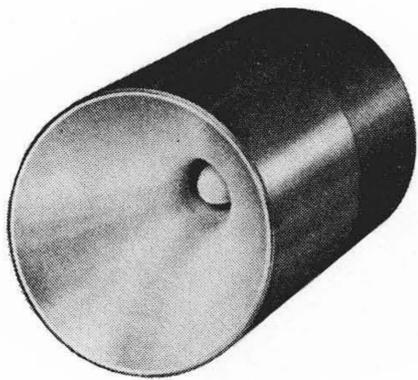


図14 高音用ホーンスピーカ正面

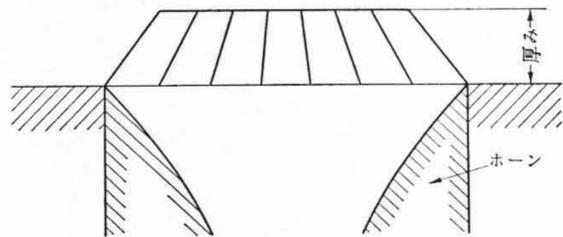


図15 “ハ”の字音響レンズ断面図

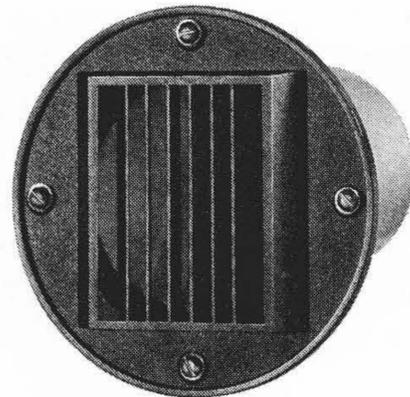


図16 “ハ”の字形音響レンズ

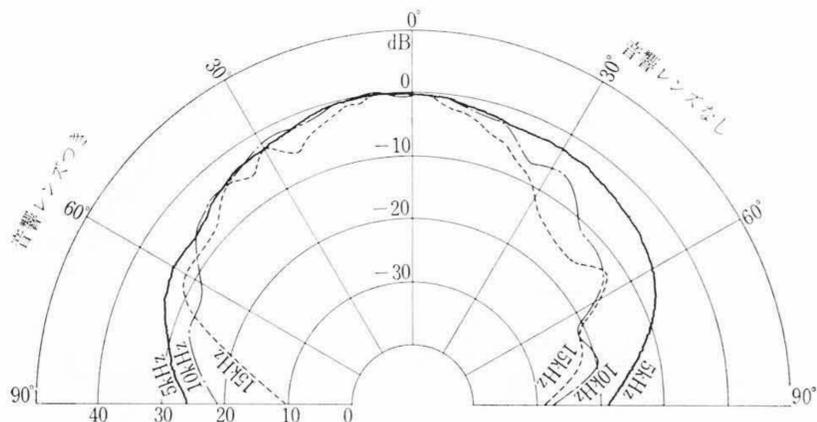


図17 ホーンスピーカに音響レンズをつけた場合とつけない場合の指向特性

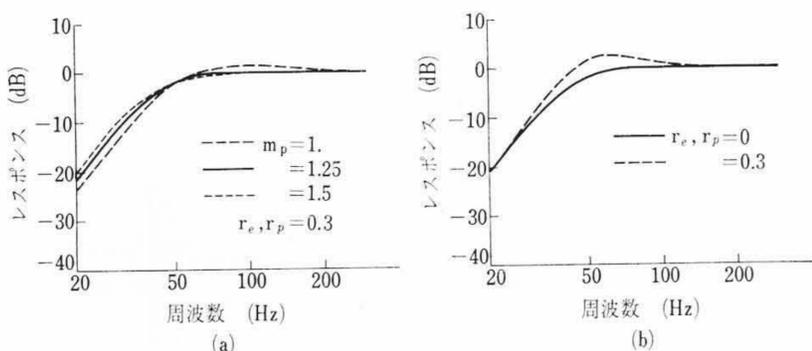


図18 バスレフレックスエンクロージャの低音特性

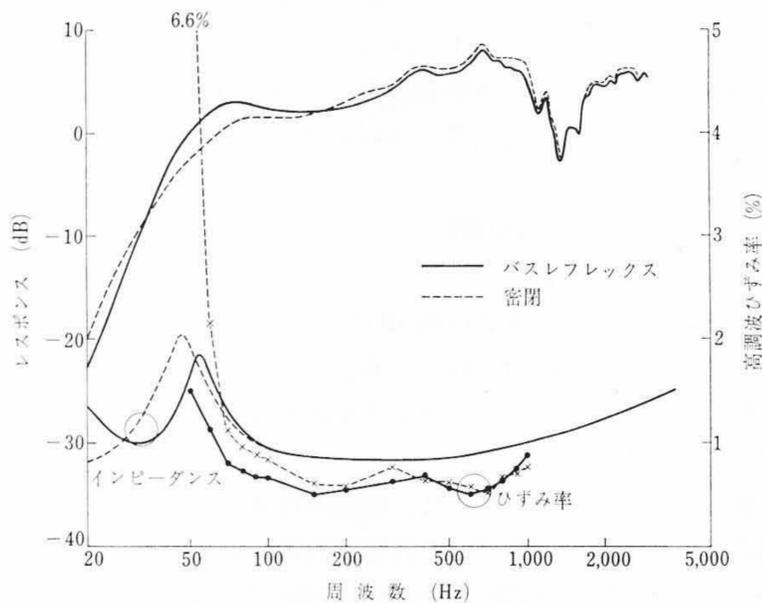


図19 バスレフレックスと密閉形エンクロージャでの低音のひずみ率の比較

表4 ホーンの喉(のど)での過大音圧による空気の非直線によるひずみ率

	周波数	ひずみ率	ホーンの喉の音圧レベル
抵抗制御	3 kHz	1.10%	154.5 dB
質量制御	10 kHz	0.75%	140.6 dB

ホーンカットオフ周波数 1.5 kHz 入力 1W

この外観を示したのが図14である。

4.3 ホーンスピーカにおける指向性の改善

ホーンスピーカの最大の欠点の一つは指向性が鋭くなることである。この指向性は開口径およびホーンフレヤ常数によってきまるが、高音用の45度切断のホーンでは、ホーン開口径をピストン円板と考えたときとよく一致することがみられた⁽⁷⁾。

一般にホーンスピーカの指向性改善のため音響レンズが用いられる。従来、音響レンズとして、種々の形式のものが発表されているが、指向性改善効果のよいものは構造が複雑であり、簡単なものは改善効果が小さい。簡単で効果の得られる音響レンズとして、図15および図16に示すような“ハ”の字形レンズを考案した。ここで音響レンズの入口対出口の比を大きくし、レンズ厚みを大きくするほど指向性改善効果は大きくなる。しかし、指向性をよくすると、正面軸上の特性は高域に向かって低下し、かつ特性上に鋭い山谷が多くなる。これらの特性上の劣化と指向性改善効果を比較検討し、出口の大きさを入口の約70%、レンズ厚みを15mmと設定した。このときの特性の一例は図17に示すとおりである。

5. スピーカシステムの構成および性能

5.1 エンクロージャの構成および設計

スピーカエンクロージャの容積が50 lのとき、これに取り付けるス

ル樹脂板を使用し、また空気室の間げき0.3mmを確保するためジュラルミンのスペーサを採用した。

ホーンののど部の過大音圧による空気の非直線は、従来発表されている式⁽⁶⁾から、抵抗制御領域では周波数とともにひずみ率が大きくなり、一方質量制御領域では一定となる。また、 S_D/S_T が大きくなるほどひずみ率は直線的に増大する。これから、 $S_D/S_T \div 4$ ととった。このときのひずみ率の計算値およびホーンののど部の音圧の計算値を示したのが表4である。

以上の考察に基づき設計した高音用ホーンスピーカの構成の一例は図10に示すとおりである。

4.2 得られた性能について

高域強調用音響管の長さ、空気室の間げきを変化させ、最良点を求めた。高温、多湿試験の検討から、振動板材質としてマイラを採用した。以上の検討から得られた特性は図13に示すとおりである。図は350×380mmのバッフルにつけたときの音圧周波数特性、指向特性およびひずみ率の周波数特性を示したものである。ただし、ひずみ率は出力音圧100dBのときのものである。

1W入力の出力音圧レベルは109dB以上で、3kHzないし20kHzまで平坦に再生でき、ひずみ率も使用帯域で、ほぼ1%の線を満足していることがみられる。

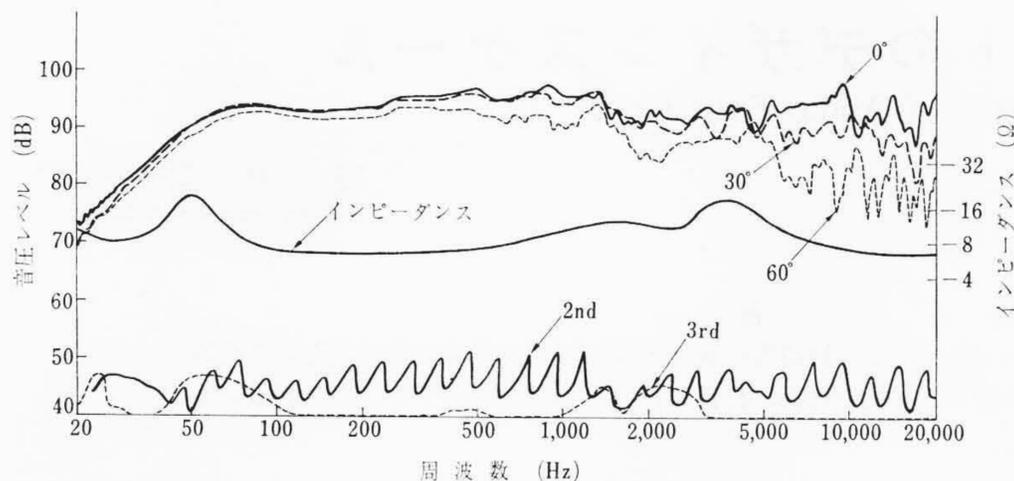


図20 スピーカシステムの振幅周波数特性、指向特性インピーダンス特性、第2高調波第3高調波の特性

ピーカの stiffness がゼロであっても、スピーカの等価質量が 20g のとき最低共振周波数は約 44 Hz となる (図1)。ここで開発した低音用スピーカの等価体積は約 126 l であるので、全体としての等価容積は約 36 l となり、密閉形のエンクロジヤを用いると、低音の再生が不じゅうぶんである。

低音再生限界をできるだけ拡張するため、バスレフレックスエンクロジヤを採用した。理想的なバスレフレックスを構成するためにはエンクロジヤ容積が、スピーカの stiffness 等価体積の 2 倍、スピーカの $Q=0.57$ が要求され⁽⁶⁾、またポートおよびエンクロジヤの音響抵抗は小さいことが望ましい。本開発では、エンクロジヤ体積がスピーカの等価体積の約 1/3 と小さいので、適当な値の音響抵抗を使用することにした。抵抗を考慮したバスレフレックスの等価回路を用いて、電氣的に測定すると、エンクロジヤ容積の小さい場合での最良条件が求められる。この測定結果の 1 例を示したものが図 18 である。図から、ポートの等価質量を適切、たとえば 1.25 にとることによって、再生帯域を拡張できることがみられる。音響抵抗は、共振の Q を低くする目的のもので、これを実現するため、エンクロジヤ内にガラスファイバを充てんした。このガラスファイバは、バスレフレックスの特性を制御する役割のほかに、エンクロジヤ内で起こる定常波、エンクロジヤの壁面の板共振などを著しく減衰せしめうるが見いだされた。

バスレフレックスエンクロジヤの共振点付近では、スピーカとポートの両方から音が放射されるためにスピーカの振動振幅は密閉箱に比べて小さくなる。このため、低音でのひずみ率が小さくなることがもう一つの効果としてあげられる。この様子を示したのが図 19 である。

なお、エンクロジヤの設計にあたって、エンクロジヤ内の共振が相互に縮退しないこと、および定尺物からの木どりを考えにいれ、外径寸法で 360×610×340 mm とした。

5.2 スピーカシステムの構成および性能

スピーカシステムを構成するとき、上記の低音域の問題のほか、低・高音用の二つのスピーカの接続の問題がある。この接続には、クロスオーバー回路を用いるが、終端インピーダンスが純抵抗でないため、クロスオーバー周波数付近で、特性が乱れる。電氣的特性ならびに音響的特性を考慮して回路素子を決定した。

以上のほか、スピーカの取付けにあたって、スピーカの前に音響管が形成されないようにすること、エンクロジヤの飾り縁の影響などを検討し、エンクロジヤの外まわりのデザインを決定した。

前述の低音用スピーカ、高音用スピーカを用いて組立てたときのシステム全体の振幅およびひずみ率の周波数特性は図 20 に示すとおりである。図から、当初ねらいとした 40 Hz から 20 kHz までほぼ平坦に再生できることがみられる。また、非直線ひずみに起因



(表面サランネットをはずしたところ)

図21 2ウェイスピーカシステム (HS-500)

する高調波ひずみ率も 1 W 入力で 40 Hz 以上 20 kHz まで 1% 以下にすることができた。図 21 は本スピーカシステムの外観を示したものである。

6. 結 言

高品質、小形化を目標として、非直線ひずみの小さい低音用スピーカおよび高音用ホーンスピーカを開発し、これを 2 ウェイスピーカシステムとして構成した。

本スピーカシステム開発にあたって、上記のひずみのほか、特性を劣化させる要因を一つ一つ解明し、それらについて対策を立て、最終的に上述のような性能を得た。紙面の関係上、検討した全部の項目を書くことはできないので、比較的重要なものみに止めた。以下、本開発で得られたおもな結論を要約して示す。

- (1) 低音用スピーカのコーン形状に関し、従来のものにとらわれず、新しい考え方で設計した。
- (2) ギャザードエッジを開発し、ハイコンプライアンス化、非直線ひずみの減少に大いに効果があった。
- (3) センタリングスパイダについては、クリープ量とコンプライアンス両面から適切な値をとれるようにした。
- (4) ひずみが小さく、再生帯域も 20 kHz まで平坦にのびた高音用ホーンスピーカを開発した。
- (5) 簡単で、拡散効果の大きい音響レンズを開発した。
- (6) 低域特性の拡大のため、ガラスファイバの音響抵抗を利用したバスレフレックスを採用した。

以上のスピーカシステムは形名 HS-500 と名づけられ、現在発売されているが、その音質に関しては好評を得ており、しばしばステレオ関係の評論雑誌に紹介されている。

終わりに臨み、本システムの開発にあたって、NHK 放送基礎科学研究所長(当時音響研究部長)中島氏、同総合技術研究所山本主任研究員から多くの助言と技術協力をうけた。また日立製作所額田、江馬両氏には、本開発の推進に対し大きな協力をいただいた。以上の諸氏に感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) 二村ほか：日本音響学会誌 7 No.2 p. 16 (1951)
- (2) 河島ほか：日立評論 51, 647 (昭 44-7)
- (3) 中島：録音 No. 13 p. 17 (昭 41-3)
- (4) 黒木ほか：NHK 技術研究 No. 33 p. 37 (昭 32-2)
- (5) 江原：日本音学会講演論文集 p. 159 (昭 39-5)
- (6) H. F. Olson: Acoustical Engineering, D. Van Nostrand Co. (1957)
- (7) 鷹見ほか：日本音学会講演論文集 p. 93 (昭 43-4)
- (8) 中島ほか：NHK 技術研究 No. 27 p. 23 (昭 31-8)