

マニア向け高級カーオーディオ “*Sound Monitor*” (スピーカ編)

For Enthusiasts of High-quality Car Audio “*Sound Monitor*” (Speaker Units)

高 谷 政 義⁽¹⁾ 大 谷 清 司⁽²⁾
Masayoshi Takatani Kiyoshi Otani

平 本 光 浩⁽³⁾ 矢 形 浩 二⁽⁴⁾
Mitsuhiro Hiramoto Kouji Yakata

要 旨

近年、高級カーオーディオ市場においても、デジタルオーディオが必要不可欠になるとともに、さらに高度な音質追求が進められている。

オーディオ機器の中でも、スピーカシステムは、音を決定するのに重要なキーパーツであり、高音質化を追求したマルチシステムが主流を成している。

このマルチシステムの開発にあたっては、社内のスピーカ試作設備を活用し、試作検討を進めることで完成度の高いスピーカユニットが開発出来た。

本稿では、一般的なコーンタイプのスピーカユニットの構造、主要部品の働きおよび試作工程について説明を行い、スピーカユニットの理解を深めるとともに、サウンド モニターのマルチシステムを構成するスピーカユニットの設計の要点を紹介する。

Digital audio has recently become an integral part of the high-grade car audio market, and is seen as indispensable for enhancing sound quality.

Speaker systems are a vital element in determining the sound of audio equipment, and a multi-system dedicated to the pursuit of high-quality sound is considered the most essential element.

To develop this multi-system, we used our in-house speaker R&D facilities. By means of a repeated process of trial manufacturing and testing, we were finally able to create this virtually ideal speaker unit.

We explain here the structure of a normal cone type speaker unit, the functions of its main elements, and the process of trial manufacturing. Our purpose is to clarify the working of the speaker unit, as well as to introduce the elements of the speaker system which form the sound monitor multi-system.

(1)、(2)AVC本部第二技術部、 (3)、(4)AVC本部機構技術部

1. ま え が き

近年カーオーディオ市場は、ライン純正を含め、高級化、高音質化が進んでいる。特に、アフターマーケット市場では超高級分野への取り組みが進められている。製品分類でスピーカ動向も高級化、高音質化に対して、使用部品の高級化、構造の見直し等さまざまな対策を施し、ユーザの要求に対応してきた。

当社では、社内に試作設備を導入し、基礎技術の検討から進める事で、市場より先行した商品開発を行い高級化、高音質化に対応した。

また、ユーザニーズを的確に反映した商品開発が実現出来た。

以下、コーンスピーカの基本構造、主要部品の働きおよび試作工程を紹介するとともに、サウンド モニタースピーカの狙い、概要と設計の要点を紹介する。

2. スピーカの基本構造と各部の働き

2.1 基本構造

スピーカユニットの基本構造は、図-1にあるように約11点の部品から構成されている。このよう

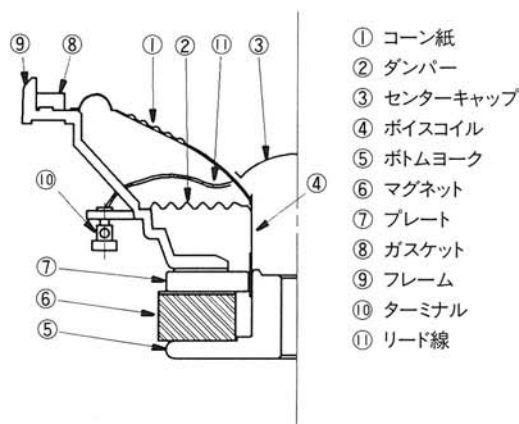


図-1 スピーカユニットの基本構造

Fig. 1 Speaker unit structure

に部品点数は少ないが、それぞれが直接音質に影響を与える重要部品である。

この中でNo①～④は実際に上下振幅を行い音響変換する部分であり、総称して振動系と言う。

また、No⑤～⑦は磁気ギャップに磁束を発生させる部分であり、総称して磁気回路と言う。

2.2 主要部品の働き

ここでは、大きく音質に影響をあたえる、主要部品の基本的な働きと、今回開発した内容を紹介する。

1) コーン紙

コーン紙は、スピーカの周波数特性、音質に影響する最重要部品である。今回は、軽量で強度が高く、高い内部損失を持つ3層構造コーン紙の開発を行った。

2) ダンパー

コーン紙とボイスコイルをセンターに保持し上下振動に対して追従性がよく、横方向には強固に支持出来ることが要求される。今回は、上下に2枚使用し、さらに上下の外形に差を持たせることで、基本性能を上げた。

3) センターキャップ

主として振動板前面からの防塵を目的とするが、音質にも影響を与える。今回は、不要な共振を無くするため、布にゴムをコーティングしたセンターキャップの開発を行った。

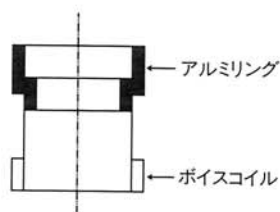


図-2 アルミリング

Fig. 2 Aluminum ring

4) ボイスコイル

電気信号に対し磁界内にあって、フレミングの左手の法則により力を得、コーン紙を上下に振動させる働きをする。今回は、アルミリング図-2を採用し大振幅時のボイスコイルの変形を防止した。

3. スピーカの組立と工程

ここでは、社内の試作設備を使用した開発の流れと、試作工程について説明する。

3.1 開発の流れ

まず、試作設備を使用した開発の流れを図-3に示す。

試作設備を使用した場合の開発の流れは、図-3でわかるように、社内で基本構想の試作品を作成し、検討を終えてから開発をスタートする方法を取った。試作検討の場で、当社の意図する開発の方向性が明確化でき、よりスムーズで密度の濃い検討が出来る開発体系が構築出来た。

3.2 試作工程

試作を行うにあたっては、スピーカユニットに適した治工具の開発、マグネットに磁気を与える着磁装置(図-6)の設置および電気特性を測定する測定器の設置を必要とした。

次に、実際の試作工程を紹介する。

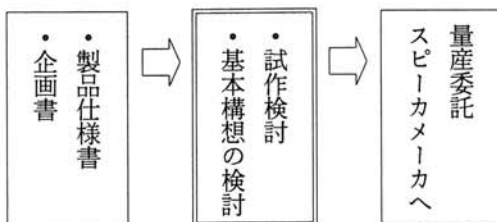


図-3 開発の流れ

Fig. 3 Development process

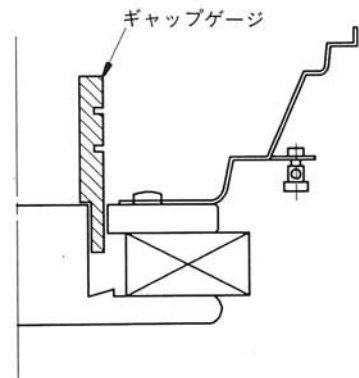


図-4 ギャップゲージ使用方法

Fig. 4 Directions for use of gap gauge

- 1) フレーム、ターミナルおよび磁気回路を組み付ける。この時ギャップゲージにより、磁気回路のセンター出しを行う。ギャップゲージの使用方法を図-4に示す。
- 2) ギャップゲージを抜き、ボイスコイル、ダンパーを1)に組み付ける。この時ボイスコイルゲージにより、ボイスコイルのセンター出しを行う。さらに、コーン紙、ガスケット、リード線を組み付け、時間をおいてボイスコイルとリード線のはんだ付けを行う。ボイスコイルゲージの使用方法を図-5に示す。
- 3) ボイスコイルゲージを抜き、センターキャップ

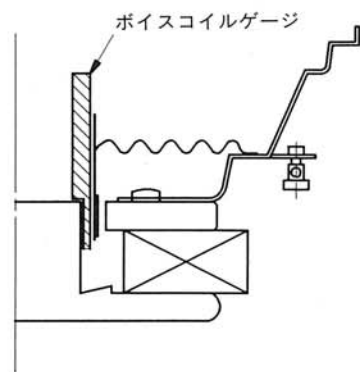


図-5 ボイスコイルゲージ使用方法

Fig. 5 Directions for use of voice coil gauge



図-6 着磁装置

Fig. 6 Magnetizing device

ブを組み付ける。

注) 組み付け手段の説明は行わない。

- 4) 3) で部品の組み付けは終了し、着磁装置
図-6により着磁し完成する。

4. スピーカ システム開発の狙い

4.1 フロント用 2 way

フロントスピーカは、最小数量のスピーカで、広帯域再生が出来る 2 way システムとした。2 way 構成は、口径 16cm ウーファ (SGX-6010) と口径 2.5cm ツィータ (SGX-1010) により、高品位な音質とスムーズな音のつながりを目指した。

特に、ツィータでは、使用再生帯域をフレッチャー・マンソン曲線で言う、最も人間の耳が敏感な帯域を避け、2kHz まで使用再生帯域を広げる事を目標にした。

さらにウーファでは、高音域での自然な（ピークのない）減衰を実現すること。また、高剛性オリジナルフレームの開発、防振構造の開発により制振設計を行った。

4.2 小口径サブウーファ (SFX-5400)

一般に、サブウーファは大口径と言うイメージがあるが、車載用を考慮した場合、取付け場所が

限定される。また、大きな振動板（重量が重い）を駆動する必要があるため、過渡応答が悪いなどデメリットがクローズアップされた。これらを解決するため、小口径サブウーファを多連駆動する方式を採用した。

すなわち、優れた過渡応答性を持つ口径 13cm スピーカユニットを採用し、さらに、4 個を駆動することで振動面積を確保し、過渡応答性の優れた高能率サブウーファの実現を目標に開発を行った。

また、音質面では、フロントウーファと同一構造、同品種のコーン紙胴体材質（エッジを除いた部分）を使用する事で、音色の統一を図った。

また、口径 13cm スピーカユニットを 4 個使用することで、取付け場所の自由度を向上させた。

4.3 パッシブネットワーク (PCX-1)

パッシブクロスオーバーネットワークを開発する上で、実際の車載条件の把握が必要であった。実際の車載条件においては、特にツィータの取付位置がさまざまであり、ツィータにはアッテネータをかけた状態でのセッティングが最も多く見かけられた。このような状況をふまえ、ツィータの取付条件に対応しスムーズな音のつながりを確保するため、クロスオーバー周波数の切り換え機能の設定、音質劣化の無いアッテネータ方式を採用した。

さらに、スピーカの逆起電力の影響を排除するバイアンプ仕様に対応出来る機能の設定、フィルムコンデンサーの採用など、音質重視設計を施した。

5. 開発製品の概要

5.1 口径 16cm ウーファ (SGX-6010)

5.1.1 3 層構造コーン紙

3 層構造コーン紙とは、従来の紙コーン紙にラ

ミネート加工を施し、さらに塗装した多層コーン紙である。これは、ラミネート加工することによりコーン紙の気密性を高め、紙コーン紙の持つ通気性を防止し音響変換ロスを排除し、さらに、塗装することによりコーン紙の共振モードの調整と、商品性の向上を図った。

さらに、1層目にはコーン紙の繊維を潰すことのない自然乾燥オープンコーンを採用し、高内部損失で強度の高いコーン紙とした。

ここで3層構造コーン紙と従来の1層コーン紙の中・高音域の違いを立ち下がり特性にて比較したデータを図-7に示す。

このデータは、経過時間による音の減衰状態を示している。

データより、周波特性の3 kHz～4 kHzで減衰状態に差が出ており、今回開発した、3層構造コーン紙の減衰が約0.9msec早いことがわかる。

5.1.2 制振設計

スピーカユニットは、振動系が振幅することで音響変換を行う。すなわち、常に振動系は自由に振動し、他は振動しないよう振動系以外の制振設計が重要になる。ここでは、フレームと防振材に

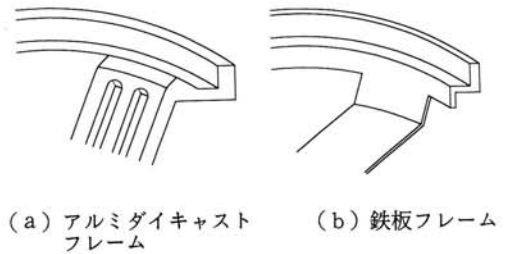


図-8 フレームの柱部形状差
Fig. 8 Comparison of frame

よる制振設計を紹介する。

まず、フレームは形状の自由度が高く、高剛性なアルミダイキャストを使用するとともに制振構造の開発を行った。この開発は、従来の鉄板フレームでは、実現不可能な柱部の形状に特に現れる。従来の鉄板フレームと今回開発したフレームの柱部形状差を図-8に示す。

この構造より分かるように、フレームの最も弱い柱部の強度を上げた。また、独自のスリット形状にすることで制振効果を向上した。ここで従来の鉄板フレームと今回開発したフレームの共振状態を比較したデータを図-9に示す。

データよりわかるように、今回開発したアルミダイキャストフレームを使用する事で共振が

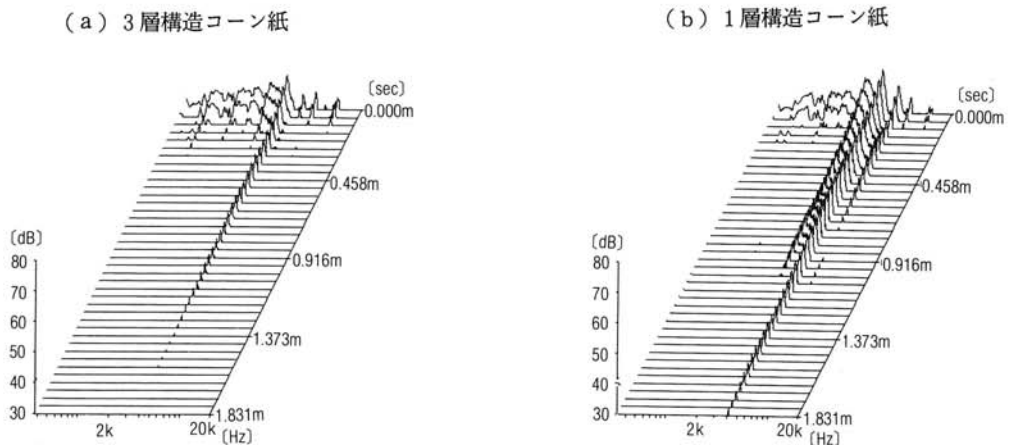


図-7 コーン紙の違いによる立ち下がり特性
Fig. 7 Cumulative spectrum

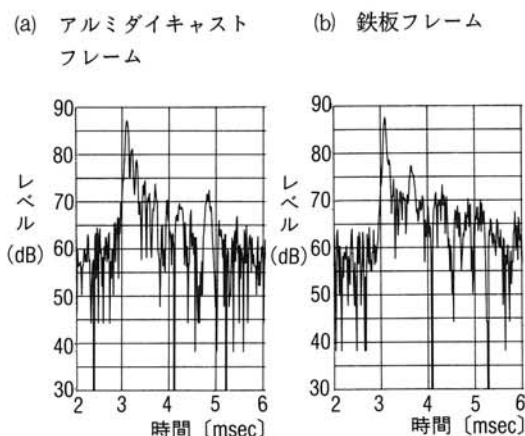


図-9 フレームの違いによる共振低減効果

Fig.9 Comparison of energy time response

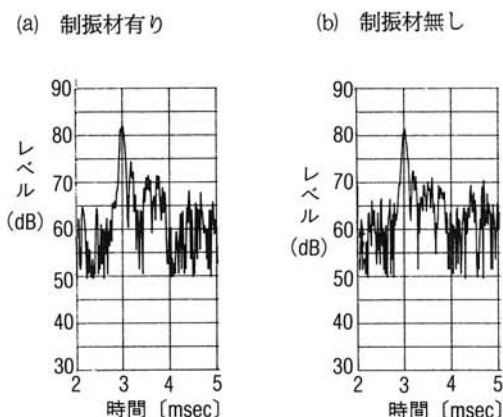


図-10 制振構造による共振状態

Fig.10 Comparison of energy time response

3.5msecで約4 dB減少している事がわかる。

また、柱部のスリットの全ての角にアールをもうけ、さらにフラット面を無くすことで、コーン紙の背圧による定在波の発生を防止し、音質の劣化を排除した。

次に、フレームとプレートの上に、防振材を介在させ各々の振動の伝達を防止する構造の開発を行った。今回開発した制振構造の有・無による共振状態を比較したデータを図-10に示す。

データよりわかるように、今回開発した制振構造により共振が3.3msecで約2 dB減少したことがわかる。

5.2 口径2.5cmツィータ(SGX-1010)

5.2.1 広帯域設計

広帯域設計では、最も人間の耳が敏感な帯域でクロスオーバー周波数を設定すること避けるため、2kHz～20kHzを使用再生帯域に持つ小型ツィータの開発を行った。これは、従来の一般的なスピーカ構造では、再生帯域を広く出来ないことから、独自のバックキャビティ構造を持ったツィータの開発を行い、広帯域再生を可能にした。

ここで、一般的なツィータ構造と今回開発したバックキャビティ構造の違いを図-11に示す。

ツィータ構造図の斜線部は、スピーカのバックキャビティとして働き、今回開発したツィータのバックキャビティが大きいことがわかる。しかし、このバックキャビティにも最適値がある。本ツィータはQ（共振の鋭さ）が0.8になる容量を最適値とすることで、500Hz～20kHz以上の周波数帯域を獲得でき、最も音質、データの優れた2kHz以上を使用帯域に設定出来た。

ここで、バックキャビティの容量の違いによる周波数特性の差を図-12に示す。

(a) バックキャビティ容量大 (開発品) (b) バックキャビティ容量小 (従来品)

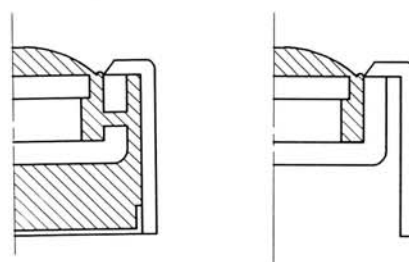


図-11 ツィータ構造

Fig.11 Structure of tweeter

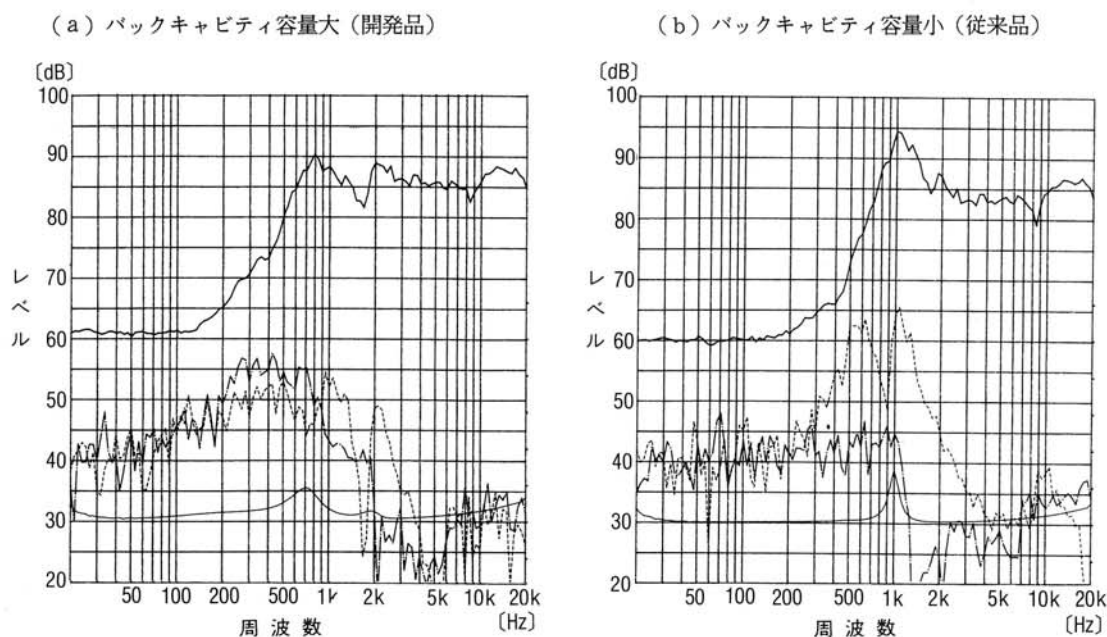


図-12 バックキャビティの容量の違いによる周波数特性

Fig.12 Comparison of frequency response

5.2.2 振動板

音質に最も大きい影響を与える振動板は、大きく分けて、布など柔らかい材質を使用したソフトドーム振動板と、金属材料を使用したハードドーム振動板がある。ここでは、口径16cmウーファとの音質のマッチングを考慮し、シルク素材を使用したソフトドーム振動板を採用し、独自のブルーの染色を施すことで商品性の向上を図った。

しかし、ソフトドーム振動板は、分割振動をすることで音響変換を行っており、音質を追求する過程で分割振動モードのコントロールが必要になった。この分割振動モードのコントロールおよび不要共振の防止をするため、振動板表面に特殊コーティング材を塗布し、振動モードの最適化を図った。これにより、キレの良い音質とウーファとのスムーズな音のつながりを実現した。

ここで、振動板のコーティング材の有・無によ

る分割振動（共振）の違いを立ち下がり特性にて比較したデータを図-13に示す。

データよりわかるように、振動板のコーティング材を施すことにより、とくに2kHzの共振の減衰が約0.75msec早い事がわかる。

5.3 口径13cm 4連サブウーファ(SFX-5400)

5.3.1 高過渡応答設計

図-14に示す、インパルスレスポンスのデータからもわかるように、大口径サブウーファに比べ、小口径サブウーファの過渡応答が優れている。

そこで、サブウーファとして使用する帯域を、再生できる最適スピーカ口径である、13cmスピーカユニットを採用した。

また、さらに過渡応答性を高めるため、ダンパーを2枚使用するダブルダンパーを採用した。

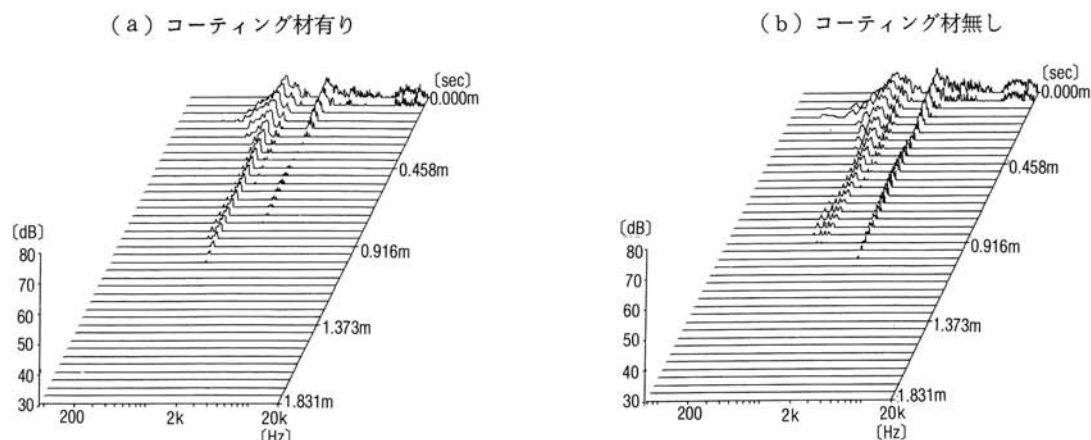
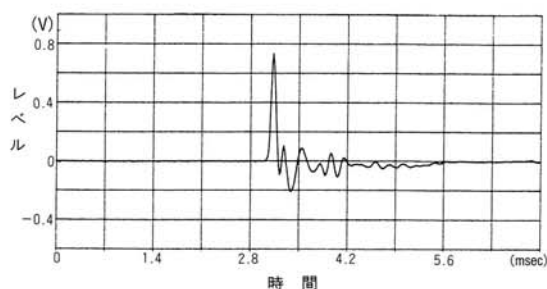


図-13 振動板のコーティング材の有・無
Fig.13 Comparison of cumulative spectrum

(a) 口径13cm × 4 pcsサブウーファ



(b) 大口径サブウーファ (口径25cm)

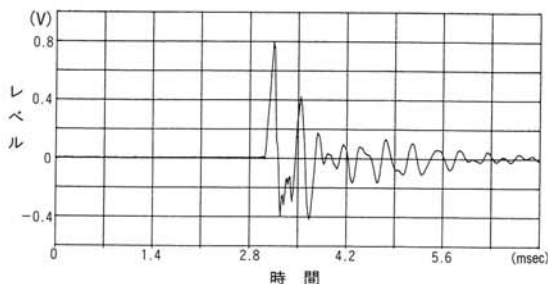


図-14 過渡応答特性 (インパルスレスポンス)

Fig.14 Comparison of impulse response

5. 3. 2 4連ドライブ設計

5. 3. 1で上げた過渡応答に優れた口径13cmスピーカは、4本をひとつのサブウーファシステムとして設計した。この方式は、新しい低音再生思想のスピーカシステムで、口径25cm相当の大振動面積を確保した。この4連ドライブ方式は、12Ωのスピーカユニットを4本平行接続することで、大口径サブウーファにも勝る、91dBの音圧レベルを確保出来た。

また、スピーカユニット単品で音圧レベルを無理に上げる必要が無いため、よりリアルな低音再生が可能となった。

5. 4 パッシブネットワーク(PCX-1)

5. 4. 1 トランス式アッテネータ

従来のネットワークでは、ツイータのアッテネータには、抵抗素子を用いたアッテネータがほとんどであった。しかし、この方法ではスピーカに対し直列に抵抗が入るため、直列抵抗が大きくなり、その値がアンプの出力抵抗にプラスされ、総合出力インピーダンスが上昇する。このため、スピーカ側から見ると、ダンピング抵抗が大きくダンピング・

ファクターの悪化や、負荷抵抗が変化することで、クロスオーバー周波数が乱れ、スピーカの周波数特性まで悪化させる。

そこでPCX-1では、上記の様なアッテネータによる音質劣化を防ぐため、カーオーディオでは初めてのトランス式アッテネータを採用した。

ここで、トランス式アッテネータの回路図および、抵抗素子を用いたアッテネータと、トランス式アッテネータの出力音圧周波数特性を、比較したデータを図-15、16に示す。

この方式により、スピーカのダンピングファクターが悪化することも、またスピーカの周波数特性への悪影響も排除出来た。

5.4.2 最適クロスオーバー周波数

クロスオーバー周波数の設定については、スピーカユニットの取付場所に左右されない、スムーズな音のつながりの実現を目標とし、クロスオーバー周波数切り換え機能の開発を行った。

これは、スピーカユニットの取付位置が車のドア形状等によりさまざまであり、各スピーカの取

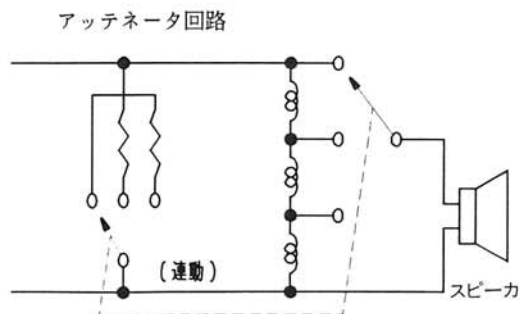


図-15 トランス式アッテネータ回路図

Fig.15 Attenuator circuit

付距離も一定でないからである。

例えば、ネットワークのクロスオーバー周波数を一定($f_c=4.5\text{kHz}$)とし、ウーファと同一ドアトリム上にツイータが取付けられた場合(距離が近い)とツイータがダッシュボード上に取付けられた場合(距離が遠い)の周波数特性を比較したデータを図-17に示す。

データより、ウーファとツイータの距離が離れるとクロスオーバー周波数付近で周波数特性上にディップ(円内)が発生する。

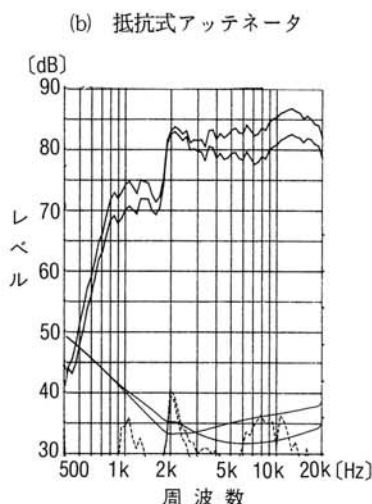
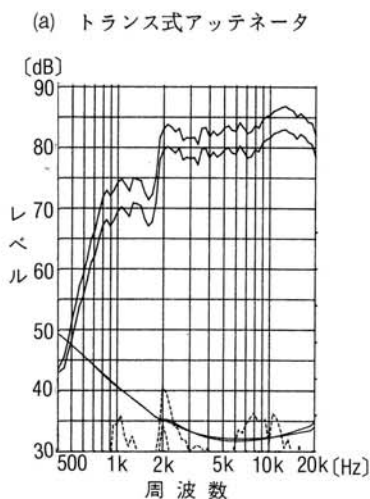


図-16 アッテネータ方式の違いによる周波数特性

Fig.16 Comparison of frequency response

この状態で今回開発した、クロスオーバー周波数切り換え機能を調整（ツィータのクロスオーバー周波数のみ $f_c=2.5\text{kHz}$ に調整）することで、周波数特性が図-18に示すように、フラットになり、スムーズな音のつながりが実現出来る。

これらのデータと、スピーカの周波数特性を考慮し、各スピーカのクロスオーバー周波数を 2.5kHz と 4.5kHz の切り換えを可能とし、取付け状態に最適なクロスオーバー周波数の選択を実現した。

6. 外 観

図-19に本システムの外観を示す。高級感溢れる外観に仕上げ、本体側とのデザインの統一を図った。

7. お わ り に

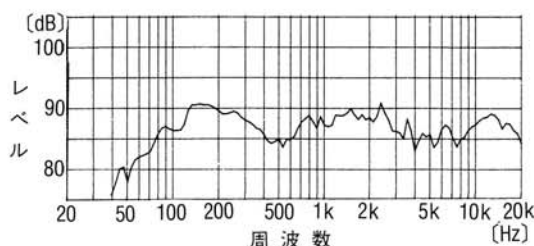
今回開発を行った、サウンドモニターのマルチスピーカシステムは、専門店市場にて発売を行っている。専門店市場のユーザは、非常にマニア指向が強いが、構造、使用材質、音質、デザインともに高く評価され、好評を得ている。

今後は、スピーカ部品の解析、スピーカユニットの物理特性の向上、車室内音場空間の解析を総合的に行い、今までにない、新しい手法によるスピーカシステムの開発を進めたい。

参考文献

- 1) 山本武夫：スピーカシステム上下、ラジオ技術社(1977)
- 1) 山本武夫：Hi-Fi スピーカとその活きた使い方、誠文堂新光社(1977)

(a) 距離の近い場合



(b) 距離の遠い場合

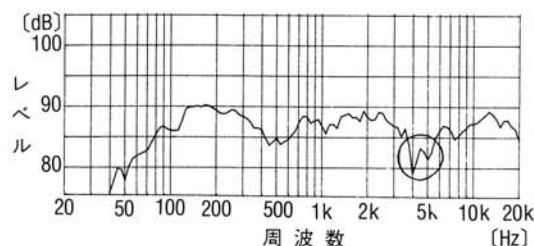


図-17 ウーファ・ツィータ間の距離の違いによる周波数特性

Fig.17 Comparison of frequency response

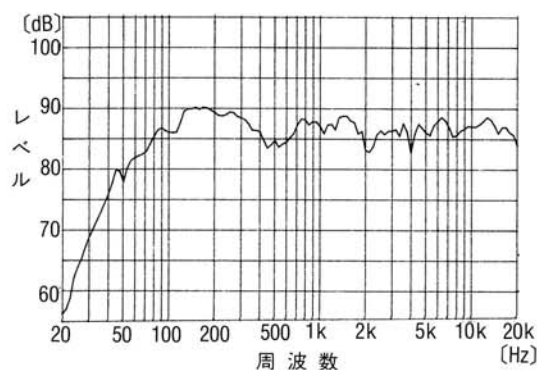


図-18 クロスオーバー周波数調整後の周波数特性
(距離の遠い場合)

Fig.18 Frequency response



• $\Phi 2.5\text{cm}$ ドームツイータ SGX-1010



• $\Phi 16\text{cm}$ ウーファ SGX-6010



• $\Phi 13\text{cm}$ サブウーファ (4 pcs) SFX-5400



• 2WAY パッシブクロスオーバーネットワーク
PCX-1

図-19 **Sound Monitor** (スピーカ編)
Fig.19 **Sound Monitor** (Speaker Units)