

車載用超低音スピーカ「SB-6001」

Super Woofer Speaker System for Automobile「SB-6001」

加藤 茂樹⁽¹⁾ 柴田 浩⁽²⁾
Shigeki Kato Hiroshi Shibata

要 旨

音楽再生において、50 Hz以下の超低音域が臨場感、スケール感などの再現に重要な役割を果たすことは、広く指摘されている。超低音の再生には、大口径のスピーカと大型のキャビネットを使うほど有利であるが、制約条件の多い車室内では実現性に乏しく、従来、小型で十分な超低音再生能力を持った車載用スピーカはなかった。

SB-6001は、今まで再生出来なかった高音質な超低音を効率良く再生し、しかも多くの車種に取付け出来ることを目標に開発した。本機は、エアトランス方式を採用し、低音域での高い音圧レベル、低歪率な再生音、車両への優れた取付け性を実現した。

また、超低音再生システムとして、フィルタ回路、パワーアンプなどを内蔵し、既設の車載用オーディオシステムに、簡単に接続出来るよう設計している。

It has often been pointed out that ultra low bass range lower than 50 Hz is important in reproducing music. The larger loudspeaker and cabinet are, the more effectively ultra low bass is reproduced.

But in a vehicle space is not enough to install such a large speaker, and a small loudspeaker with enough reproducing capability for ultra low bass has never been developed. SB-6001 is the first loudspeaker developed to reproduce high-quality ultra low bass.

By using air transfer system, this unit realized sound pressure of high level in bass range, low distorted sound and that it is designed to be easily installed in various vehicle models.

1. はじめに

近年、車載用オーディオ機器の高音質化に対する要求が高まり、中でもスピーカシステムの広帯域化が注目されている。しかし、車室内はスピーカにとって不利な条件が多く、特に設置上の制約から、音楽ソースに含まれる低音域が十分に再現されないことが多い。

一方、音圧を一定とした時のスピーカの振幅は、周波数と振動板の実効振動面積に反比例することから、大振幅による歪を防ぎ、十分な低音を得るには、大口径のスピーカを必要とする。このため、最近では口径20cmクラスの車載用スピーカも使われ始めた。しかし、狭い車室内では取付け可能な車種が限定されること、口径に見合うバッフル効果が得難いことなどの問題点を残している。したがって、限られた空間で、いかに低音を再生するかということは、従来から車載用スピーカの大きなテーマの一つであった。

我々は、この問題を解決するため、車体構造を有効に利用出来る、エアトランス方式を採用した車載用超低音スピーカシステム S B-6001を開発した。開発にあたり、次のような目標を設定した。

- 1) 100 Hzにおいて、90 dB/W/m程度の出力音圧レベルを得る。
- 2) 車室内音響特性を考慮し、再生帯域の上限を250 Hz以下とする。
- 3) 多くの車種で、リアパッケージトレイ上へ、ボックス型スピーカと共に取付け可能であり、車の後方視界を妨げないものとする。
- 4) 既設スピーカシステムに、簡単に接続して使用出来るシステムとする。

本稿では、車室内における超低音の再生、S B-6001の開発と設計、基本特性、および今後の展望について述べる。

2. 車室内における超低音の再生

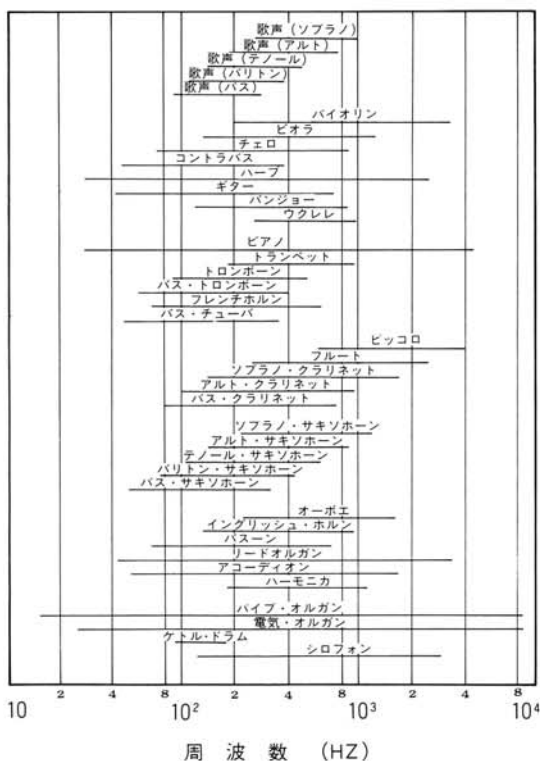
2.1 開発の背景

音楽の中にある低音の重要性は、音楽のジャンルを問わない。クラシック音楽でも、ジャズやロック・ミュージックでも、音楽全体の基盤を成し、音楽表現の重要な役割を果たすのが低音部である。

声や種々の楽器の基本周波数範囲をみると、パイプオルガン、コントラバスをはじめ、ピアノ、チェロ、バス・チューバなど多くの楽器が、100 Hz以下の基本周波数を持っている。(表-1)

一般的な音楽ソースの低音域の周波数スペクトルと車載用ボックス型スピーカ(TENVOX SB-8004)による、車室内音圧周波数特性の一例を図-1に示す。

表-1 声および種々の楽器の基本周波数範囲(オルソンより)



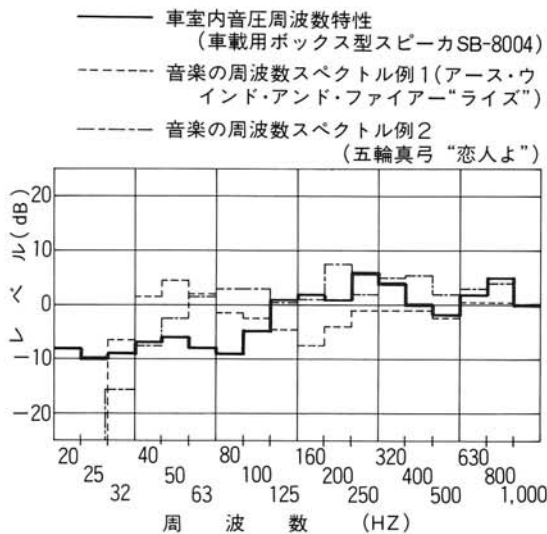


図-1 音楽の周波数スペクトルと車室内音圧周波数特性

Fig. 1 Frequency spectrum of sound source and frequency response in a vehicle.

このデータより、音楽ソース中の低音域は、50 Hz以下の超低音域まで、かなり高いレベルで録音されており、低音域の情報量に対する、スピーカの再生能力の不足が認められる。車室内でも、音楽の持つ臨場感やスケール感まで再現するためには、小型で、かつ超低音域まで忠実に再生出来るスピーカが必要である。これを実現するため、車体構造を効果的に利用した、エアトランス方式のスピーカを採用した。

2.2 車室内音響特性と超低音用スピーカの再生周波数帯域

狭い車室内では、室の固有振動数の分布から生ずる伝送周波数特性のピーク・ディップが、100 Hz～1 kHzまで存在し、聴感上に影響を与える。

図-2に、リアパッケージトレイに取付けた、口径20cmの低音用スピーカによる、車室内音圧周波数特性の一例を示す。このデータによると、250 Hz付近の音圧レベルが、100 Hzに対し、約10 dB上昇している。この傾向は、一般に、音の反射面となるリアウィンドガラスの傾斜が大きいセダン

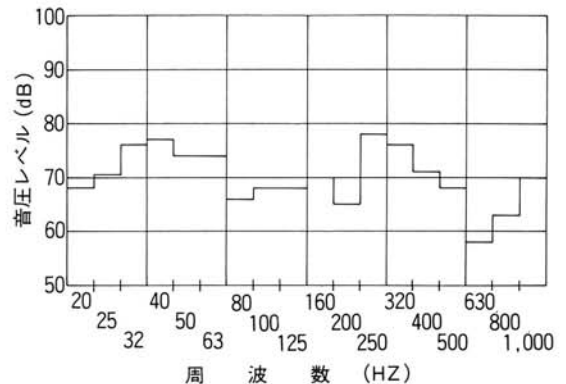


図-2 20cm低音用スピーカによる車室内音圧周波数特性

Fig. 2 Frequency response in a vehicle of 20cm woofer.

系の車種に多い。200 Hz～300 Hzの音圧レベルの上昇は、聴感上のこもり感を増加させ、音の明るさを低下させる原因となる。したがって、本機の再生帯域の上限は、この周波数以下とする必要がある。

車室内音響特性を考慮して、100 Hz付近を最大音圧レベルとし、250 Hzでは、10 dB以上減衰する特性を再生周波数帯域の目標とした。

3. 基本設計

3.1 原理

本機の特長であるエアトランスは、ラジエータ振動板とドライバスピーカが、フロントキャビティ（密閉された空気室）を挟んで、相対した構造になっている。ドライバスピーカの後部は、さらにバックキャビティにより覆われている。（図-3）これは、普通のスピーカシステムと同様、逆相成分の音が空間へ放射されるのを防ぐ。本機では、車のトランクルームが、この役割を果たす。

ドライバスピーカから出た音は、フロントキャビティを伝播して、ラジエータ振動板を動かし、空間へ音を放射する。この時、ラジエータ振動板の面積を、ドライバスピーカの振動面積より大きくするように設計しておく。これにより、ドライ

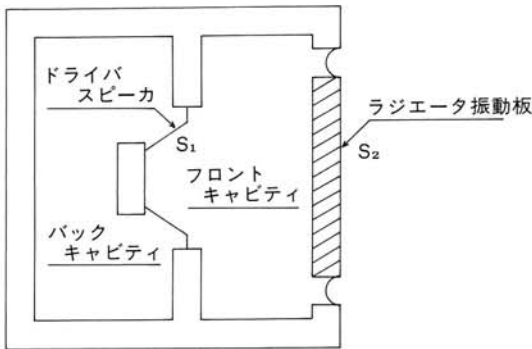


図-3 エアトランス方式の原理

Fig. 3 Principle of air transfer system.

バスピーカは、見掛け上、重い実効質量をもつラジエータ振動板を駆動することになり、低い周波数まで再生可能となる。

また、ラジエータ振動板は、フロントキャビティの空気によって、全面を均等な力で駆動されるため、分割振動を防ぐことが出来る。さらに高い周波数では、ドライバスピーカの音がフロントキャビティに吸収され、ラジエータ振動板から放射されない。したがって、本機の再生音は本質的に低歪率となる。

エアトランス方式の構造は、図-4(a)の等価回路で示される。ドライバスピーカとバックキャビティ、およびラジエータ振動板とフロントキャビティにより、バンドパスフィルタを形成している。また、ドライバスピーカとラジエータ振動板の面積比の2乗が、エアトランスの変成比に相当し、この割合で音響インピーダンスが変換される。

3. 2 エアトランス設計

エアトランスの設計を行うため、まず、図-4(a)で示した等価回路のトランス2次側を、1次側に換算して、図-4(b)のように表す。

ここで、無限大バッフル中の、ピストン振動板による音圧 $|\dot{P}|$ と、振動板の加速度 $|\dot{A}|$ の関係は、次式で表される。

- $\dot{F}$ ドライバボイスコイル駆動力
- C_B バックキャビティコンプライアンス
- M_D ドライバ実効振動系質量
- C_D ドライバ支持系コンプライアンス
- R_D ドライバ抵抗
- C_F フロントキャビティコンプライアンス
- M_R ラジエータ振動系質量
- C_R ラジエータ支持系コンプライアンス
- R_R ラジエータ抵抗
- $N = S_R / S_D = (a_R / a_D)^2$
- S_D ドライバ実効振動面積
- S_R ラジエータ実効振動面積

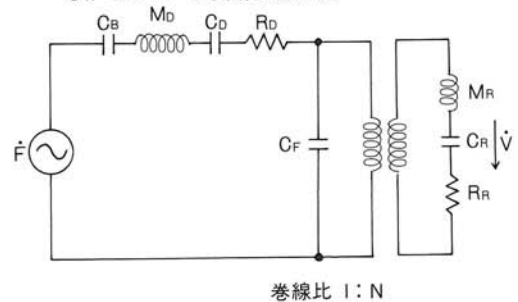


図-4 (a) エアトランス方式の等価回路(1)

Fig. 4 (a) Equivalent circuit of air transfer system. (1)

$$\begin{aligned}
 M_1 &= M_D \\
 C_1 &= C_B \cdot C_D / (C_B + C_D) \\
 R_1 &= R_D \\
 M_2 &= M_R / N^2 \\
 C_2 &= N^2 \cdot C_R \\
 R_2 &= R_R / N^2 \\
 C_3 &= C_F \\
 \dot{V}_1 &= \dot{V}_D \\
 \dot{V}_2 &= N \cdot \dot{V}
 \end{aligned}$$

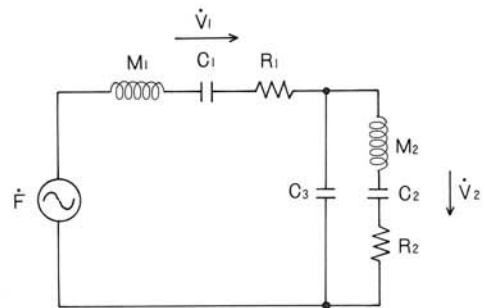


図-4 (b) エアトランス方式の等価回路(2)

Fig. 4 (b) Equivalent circuit of air transfer system. (2)

$$|\dot{P}| = \rho a^2 |\dot{A}| / 2x. \quad (1)$$

ρ : 空気密度

a : 振動板の実効振動半径

x : 振動板から受音点までの距離

また、振動板の加速度 $|\dot{A}|$ と、速度 $|\dot{V}|$ との関係は、次式で表される。

$$|\dot{A}| = 2\pi f |\dot{V}|. \quad (2)$$

f : 周波数

したがって、図-4(b)の等価回路より $\dot{V}_2$ を求め、これを図-4(a)に示されるラジエータ振動板の速度 $|\dot{V}|$ に換算し、(1) 式および (2) 式より、音圧レベルを求めることが出来る。

個々のパラメータの影響を、次の条件のもとでコンピュータシミュレーションにより求めた。

- 1) ラジエータ振動板の面積は、約 400cm^2 とする。
(口径 25cm スピーカ相当。)
- 2) ドライブスピーカは、口径 12cm スピーカのツインドライブとする。(外形寸法、耐入力特性、およびラジエータ振動板との面積比を考慮。)
- 3) バックキャビティは、約 200l とする。(車のトランクルームを想定。)

フロントキャビティ容量が、音圧周波数特性に与える影響をシミュレーションした一例を、図-5 に示す。

本図より、望ましい音圧周波数特性を得るためには、フロントキャビティとして、約 5l の容量を必要とすることが分かる。

3.3 外形形状の決定

3.3.1 外形寸法

1981~1982年式国産新型車の中から、若者に人気のある車、グレードの高い車を中心に、リヤパッケージトレイの寸法調査を行った。その結果をもとに外形形状を図-6のように決定した。

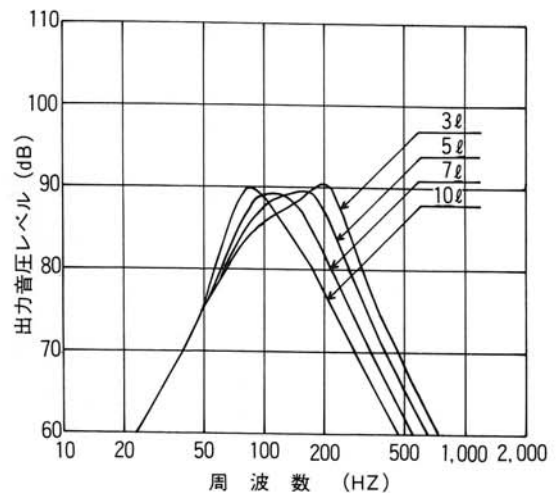


図-5 フロントキャビティの容量と音圧周波数特性
Fig. 5 Capacity of front cavity and frequency response.

また、車両リヤウインドガラスの傾斜を考慮し、本体背面に約 60° の傾斜を設けた。

さらに、車両リヤウインドガラスが曲面であることを考慮し、背面両端のコーナーをカットしたことで、取付け可能車種の増大を図った。

3.3.2 外観デザイン

後方からの視覚を意識したデザインとするため次の様な特徴を持たせた。

- 1) 背面部傾斜面に大型飾り板(透明アクリル製)を配した。
- 2) “THE SUPER WOOFER” のロゴとして、図-6に示すような新しい字体を開発した。

3.3.3 使用材料

本機は、車室内で最も直射日光を受けるリヤパッケージトレイ上に取付けるため、耐環境性の材料選択が機構面で重要となった。

- 1) 飾り板に用いる樹脂材料の選択では、耐熱性、耐候性、機械加工性に加え、デザイン上透明度も重要なポイントになる。樹脂板からの機械加工性が良いことを基本条件に、表-2に示す3種類の材料を選び、比較検討を行った。この中から、車両の使用環境条件に耐えるよう、熱

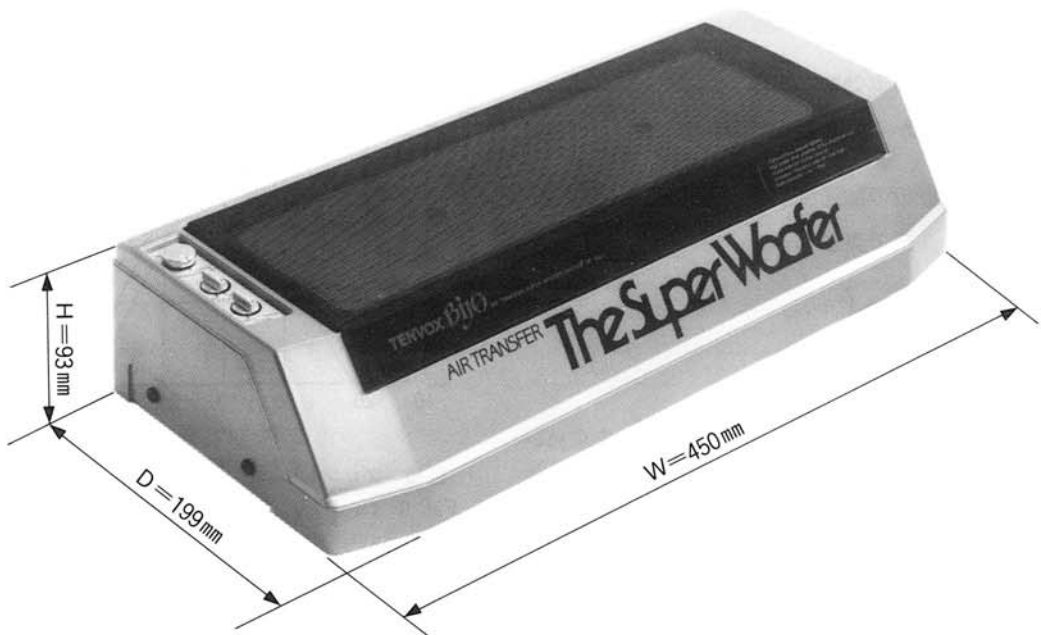


図-6 SB-6001 外形形状

Fig. 6 Dimensions and appearance of SB-6001.

表-2 樹脂材料の選択

項目 材料	耐熱性	耐候性	機械 加工性	透明度	コスト
A B S 樹脂	○	△	○	×	○
アクリル 樹脂	△	◎	○	◎	△
ポリカー ボネイト 樹脂	○	△	○	○	×

衝撃、耐熱、耐寒、耐候性試験等を行って、アクリル樹脂に決定した。

- 2) 本体部には平均肉厚 3 mm のアルミダイキャストを採用し、フロントキャビティとして十分な強度を得た。

3. 4 構造設計

3. 4. 1 システムの基本設計

エアトランスシステムの基本構造を図-7に示す。

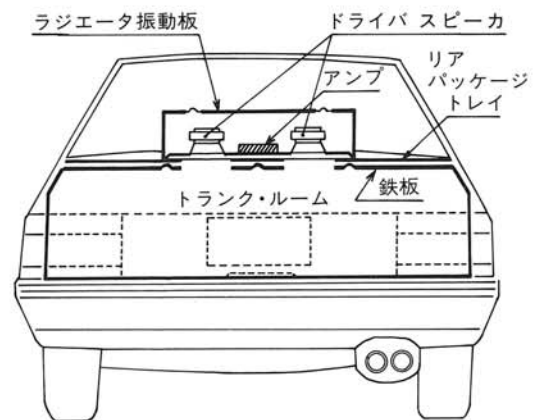


図-7 エアトランスシステムの基本構造

Fig. 7 Construction of air transfer system.

3. 4. 2 内部構造

SB-6001の内部構造を図-8に示す。

1) ドライバスピーカ

i) バッフル板への取付け方法

本機で必要とする低音域では、スピーカの表

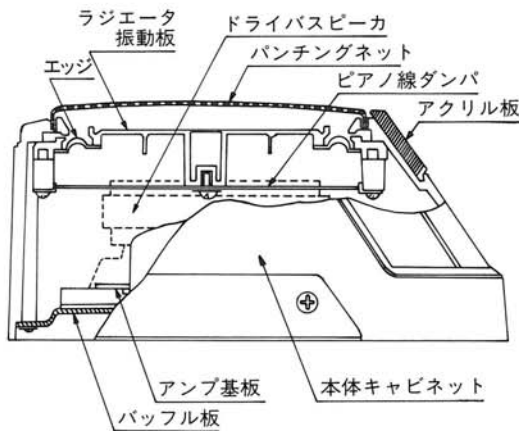


図-8 SB-6001 内部構造

Fig. 8 Cross-sectional view of SB-6001.

面と裏面から再生される音の音圧周波数特性の差はない。したがって、車両への装着性、商品性を考慮し、ドライバスピーカのマグネットが外部へ飛び出さないような取付け構造とした。

ii) バッフル構造

バッフル板を本体底面より10mm浮かした構造にしているため、トランクルームへの背圧空気抜き用に、リヤパッケージトレイおよび鉄板にける穴位置の制約はほとんどない。

ドライバスピーカによる背圧空気は、バッフル板とリヤパッケージトレイの10mmのすきまをまわり込み、開口部から、トランクルームへと抜けるため、バックキャビティとしての効果を得る上では、問題とならない。

図-9にドライバスピーカ開口部の真下に口径12cmの穴を2個開けた理想的な状態と、既設穴を用いて、背圧空気のまわり込みを利用した場合の開口面積の違いによる周波数特性の変化を示す。特性を満たす開口面積（ドライバスピーカ2個分の開口面積230cm²以上）が確保出来れば、必ずしもドライバスピーカの開口位置の真下へ正確に、2個の穴を開ける必要はないことがこのデータより明らかである。

2) ラジエータ振動板

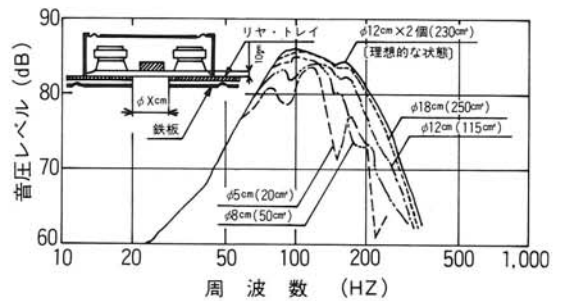


図-9 開口面積による音圧周波数特性の違い

Fig. 9 Total area of the back-panel-openings and frequency response.

i) ラジエータ寸法

前節で決定した外形形状より、本体上面部のスペースは約450mm×140mmとなる。コントロール系操作パネルとして用いる部分を除き、車載用スピーカとしては最大クラスの、口径25cm相当の振動板面積を確保するため、ラジエータ振動板を、356mm×114mmの角形とした。

ii) 支持構造

ラジエータ振動板の支持構造として、必要な条件を次に示す。

第一は、長方形のラジエータ振動板の横揺れを防ぎ、正しいピストン運動をさせるため、2点支持構造とすること。

第二は、フロントキャビティ内に取付けたドライバスピーカやアンプ部に接触したり、内容積が減少したりすることのないよう、薄型構造とすること。

この2条件より、本機では図-8に示すピアノ線ダンパーを用いた支持構造を採用した。この構造では、長手方向2カ所で振動板が支持され、スペース的にも極めて薄く収まり、スティフネス（ラジエータ振動板を支えるバネとしての力）も十分得られている。

4. 駆動アンプ回路

SB-6001は、既設の車載用オーディオシステ

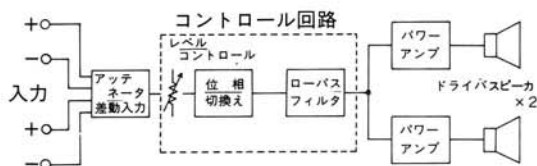


図-10 駆動アンプ回路ブロック図

Fig. 10 Block diagram of amplifier.

ム、パワーアンプ出力へ接続される。このため、簡単に接続出来、かつ、良質の超低音を、正しく再生出来るよう、差動入力回路、フィルタ回路を含む各種コントロール回路、および最大出力44Wのパワーアンプを内蔵している。(図-10)

4.1 入力回路

一般に、車載用パワーアンプの出力形式は、シングル出力の他に、BTL (Balanced Transformer Less) 出力も多く用いられている。本機では、アッテネータ回路と差動入力回路を組合せ、既設パワーアンプの出力方式に関係なく接続可能にしている。

また、既設パワーアンプから本機の入力まで信号を送る接続コードにノイズが混入した場合、ノイズは、差動アンプの同相入力成分となり、抑圧される。したがって、本回路は、車両ノイズの影響を受け難いという利点もある。

4.2 コントロール回路

本機には、既設スピーカシステムに不足している超低音だけ、効果的に付加するため、表-3に示す各種コントロール回路を備えている。

エアトランス方式のスピーカは、その特徴である音響フィルタの効果により、ローパス特性が得られるが、本機では、さらに電気的なローパスフィルタを設けた。これにより、既設スピーカの低域特性に応じて、本機の再生する周波数帯域が切り換えられるため、自然な音のつながりが得られる。(図-11)

4.3 駆動用パワーアンプ

表-3 コントロール機能

名 称	コントロール機能
位相切換えスイッチ (PHASE)	既設スピーカシステムとの位相合せを行なう。
クロスオーバー周波数 切換えスイッチ (FREQUENCY)	既設スピーカシステムとの音のつながりを調整する。 好みにより、HIGHでは 量感のある低音が、LOW ではのびのある低音が楽し める。
ウーファ・レベル コントロールツマミ (LEVEL CONTROL)	既設スピーカシステムとの レベル合せを行なう。

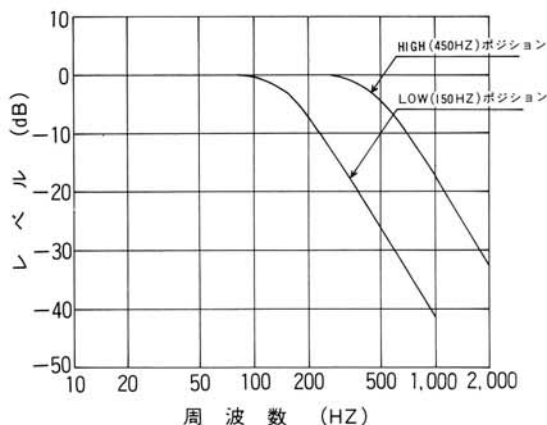


図-11 フィルタ回路周波数特性

Fig. 11 Frequency response of active filter circuit.

駆動用パワーアンプは、44W (22W+22W) のBTL方式を採用した。内蔵アンプの放熱器では、本体が車室内でも高温に成り易い場所へ取付けられるため、ドライバスピーカの取付け面を使用し、効率の良い放熱効果を得た。

5. 性 能

5.1 基本特性

5.1.1 音圧周波数特性

図-12に、本機の無響室における音圧周波数特性を示す。バックキャビティとして、本機専用に製作した内容量約200ℓの測定箱を使用した。こ

の結果、目標どおり、100 Hzにおいて、約89 dB/W/mの出力音圧レベルが得られ、また、これより出力音圧レベルが10 dB減衰する周波数も、225 Hzとなった。

5. 1. 2 歪率特性

図-12、および図-13に、本機と一般的な口径20 cmスピーカの歪率特性を示す。50 Hz 付近の帯域では、2次高調波率、3次高調波率ともに、本機の方が10 dB以上低い値を示し、エアトランス方式は、優れた歪率特性を有することが分かる。

5. 2 実装特性

図-14に、本機の車室内音圧周波数特性を示す。図-1に示した車載用ボックス型スピーカと比較すると、160 Hz以下の低音域で、5 dBから13 dBの音圧レベルの改善効果が得られている。

5. 3 試聴評価

ポピュラー系の音楽ソースでは、エレキベースやバスドラムの音が、引き締まった迫力のある超低音として、体感出来る。特にエレキベースは、

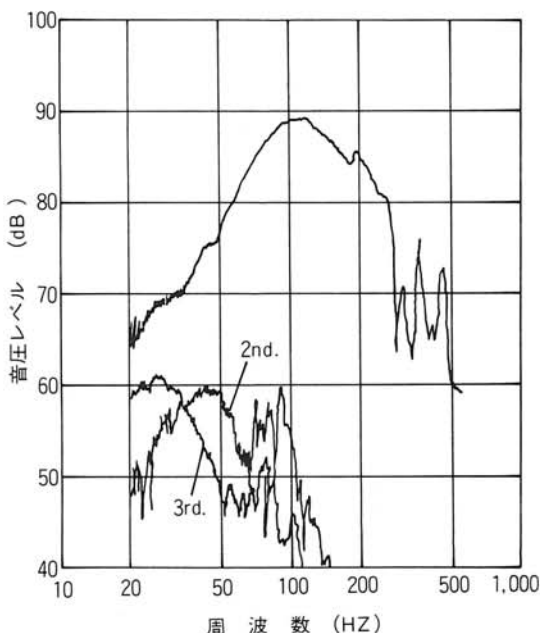


図-12 S B-6001の周波数特性

Fig. 12 Frequency response of SB-6001.

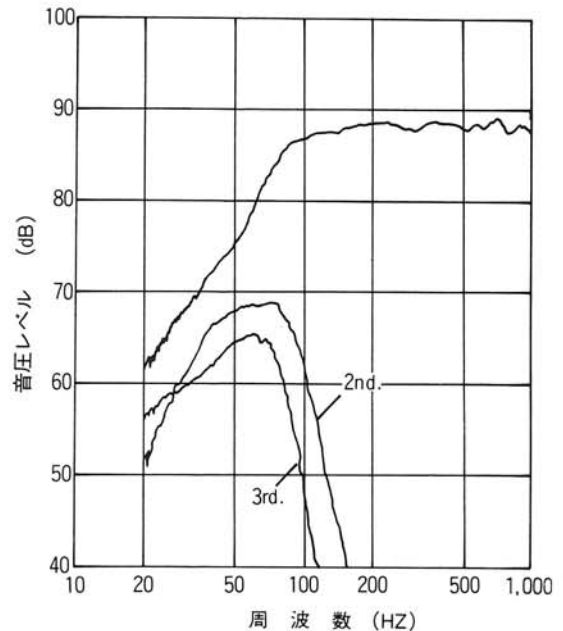


図-13 口径20cmスピーカの周波数特性

Fig. 13 Frequency response of 20cm loudspeaker.

これまで不明確だった低音弦の音程の動きまで、きれいに聴き取れる。

クラシック系の音楽ソースでは、コントラバスの音が余韻まで聴き取れ、自然に感じられる。さらに、これまで車載用スピーカでは聴くことの出来なかったパイプオルガン、大太鼓の地をほうような超低音も忠実に再生されるようになった。

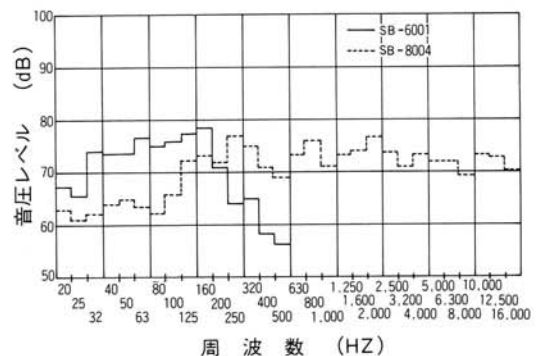


図-14 S B-6001 (及び S B-8004) 車室内音圧周波数特性

Fig. 14 Frequency response in a vehicle of SB-6001 and SB-8004.

また、ホールで録音された音楽ソースの場合、本機があると、臨場感が増し、会場の雰囲気まで楽しめるようになる。これは、楽器の音に加え、ホールの空調ノイズや床の振動ノイズまで、忠実に再生されるためと考えられる。

5. 4 諸 元

本機の諸元を表-4に、車に取付けた状態を図-15に示す。

表-4 製 品 諸 元

項 目	仕 様
出力音圧レベル	90 dB/2V+2V/1m (100 Hz)
再生周波数範囲	25 Hz (-15 dB) ~ 225 Hz (-10 dB)
入 力 形 式	差動入力 (BTLアンプ対応)
入 力 感 度	8 V (定格出力時)
入 力 インピーダンス	200 k Ω (ハイインピーダンス)
ド ラ イ ブ ユ ニ ッ ト	$\phi 12\text{cm}$ コーン型×2 マグネット重量/377 g
ラ ジ エ ー タ	356×114mm角形・平板×1
ドライブアンプ出力	16±2W (定格) 22±3W (最大)
電 源 電 圧	13.2VDC (⊖ボディアース)
消 費 電 流	1.2A (1W×2出力時) 4.9A (最大)
外 形 寸 法	450×199×93mm (ネットを含む)
重 量	5.5kg
そ の 他	・レベルコントロール (-∞~+8 dB) ・カットオフ周波数切換え (HIGH, LOW) ・位相切換え (Normal, Reverse) ・入力端子式とし極性を表示コード0.75m、3Mコネクタにて接続 ・電源コード~5m、ヒューズ5A オス端子、メス端子付分岐コード ・電源 ON/OFF コントロール ~5m、オス端子 ・アースコード~0.5m端子付

6. む す び

以上、エアトランス方式を採用した車載用超低音スピーカシステム S B-6001を紹介した。本機により、車室内でも、豊かな低音と音楽の持つ臨場感やスケール感を、再現出来るようになった。その低歪率な再生音は、特に、生の音楽に接する機会の多い音楽愛好家の間で、好評を得ている。また、今後CDプレーヤなど、入力ソースの高品質化が進めば、さらにその本領を発揮出来るものと思われる。

なお、本機の特徴を生かして、フロントキャビティを車体と一体構造にすれば、さらに小型、軽量、経済化の可能性があり、今後、各方面へ提案して行きたい。

最後に、開発にあたり、多大なご協力をいただいた、関係者の皆様に、感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 山本 武夫：スピーカ・システム(下)、ラジオ技術社 (1977)
- 2) 足立 厚：*超低音再生とスーパー・ウーファ*、ラジオ技術、第36巻第4号、P 94-102 (1982)
- 3) 田中 祥司：*超低音再生用スピーカの作りかた*、ラジオ技術、第33巻第4号、P 110-121 (1979)
- 4) 厨川 守ほか：オーディオと音楽のための音質のすべて、誠文堂新光社 (1981)
- 5) H. F. Olson著、平岡正徳訳：音楽工学、誠文堂新光社 (1969)
- 6) オンキョー(株)製品カタログ：*SL-1スーパーウーファシステム*、CAT. No. 03K01KN13 (1978)

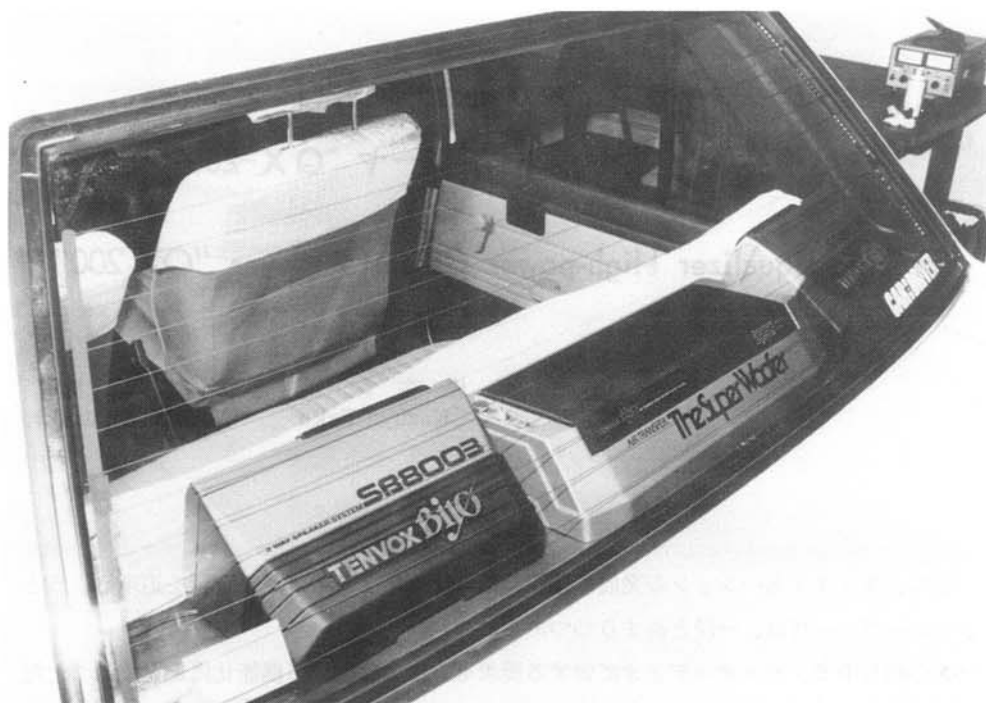


図-15 車に取付けた S B-6001、及び S B-8003
Fig. 15 SB-6001 and SB-8003 installed in a vehicle.