

BSW (重低音再生) 内蔵 4WAY スピーカシステム “ α 5090B”

4Way BSW Speaker System “ α 5090B”

笹川 貞二⁽¹⁾ 高谷 政義⁽²⁾ 神野 勝⁽³⁾
Teiji Sasagawa Masayoshi Takatani Masaru Kamino

要 旨

近年カーオーディオ市場では、デジタルオーディオの普及にともない音質追求がますます進んでいる。オーディオ機器の中でもスピーカシステムは、ここ数年著しい進歩が見受けられる。特にBOXスピーカにおいては、取り付け性の改善、重低音再生能力の向上等を新技術により実現してきた。

本システムは、デジタルオーディオ機器の高音質な音響特性を十分引き出すべく、再生周波数帯域の拡大（特に重低音再生）、高耐入力、低歪みに重点をおいて開発した。

本稿では、BSW方式4WAYスピーカシステム“ α 5090B”の設計の要点を紹介する。

Nowadays, In the car audio market, High quality sound is increasingly required with the progress of digital audio equipments.

Especially, Speaker system has remarkably progressed in audio equipments.

Advanced technology has realized improvement of installation and enhancement of reproductivity of base range sound in box type speaker.

In this system, We focused our mind on enhancement of reproductive range (Especially base sound range) and high input resistance so that acoustic characteristic might be maximized. This report introduces outline of our engineering of Bass Sonic Woofer (BSW) 4way speaker system, “ α 5090B”.

(1) 第一オーディオ本部製造技術部

(2) 第二オーディオ本部商品企画室

(3) 第二オーディオ本部技術部

1. ま え が き

カーオーディオ市場では、CDプレーヤが急速に普及しており、今後DATを含むデジタルオーディオがますます普及の兆しにある中で、これらの高品位なデジタルソースをいかに車室内で忠実再生するかが大きな課題である。

これを実現するには、アンプ、スピーカといったオーディオ機器の性能向上と、車室内における音響特性を改善することが必要である。これらを統合的に分析し、研究開発していかなければ車室内での忠実再生を得ることは不可能である。

特にカーオーディオ機器では、スピーカの性能向上が重要であるため、基本性能である広帯域で平坦な再生、高ダイナミックレンジの追求が行われている。

従来の車載用BOXスピーカにおいては、特に低音再生能力が劣っており、デジタルソースに録音されている重低音を再生するためには、サブウーファを別に取り付ける必要があった。しかし、この方法では取り付けの車両が限定され、高度な取り付け技術を必要とする場合が多かった。

本開発品は、従来の車載用BOXスピーカと同様の取り付け性を有し、再生音についてはデジタルソースの重低音を十分確保し再生することができる^{脚注1)}B.S.W方式4WAYスピーカシステムである。

2. スピーカシステムの概要

2.1 スピーカ構造と特徴

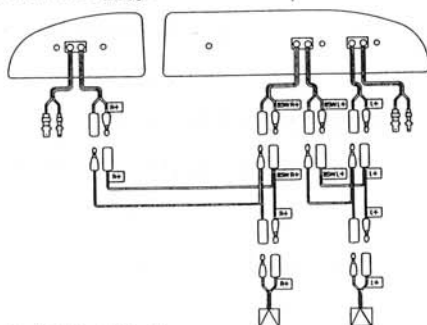
今回開発したB.S.W方式4WAYスピーカシステムは、重低音再生専用のB.S.WをL側のスピー

カキャビネットに組み込み、左右の3WAYスピーカと合わせて総合的に4WAY構造にしたスピーカシステムである。

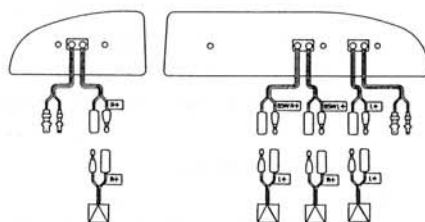
このスピーカの特徴をつぎに示す。

- 1) 従来の車載用BOXスピーカに比べて再生周波数帯域が広い。
- 2) サブウーファ部(B.S.W)を独立して駆動させ重低音の効果を発揮させることができる。
- 3) 高耐入力設計により、大出力アンプとの組合せができる。
- 4) 従来の小型BOXスピーカと同等の取り付け性を確保している。
- 5) アウトラインに沿ったライン状のイルミネー

① 4WAY仕様



② バイアンプ仕様



③ サブウーファ独立駆動

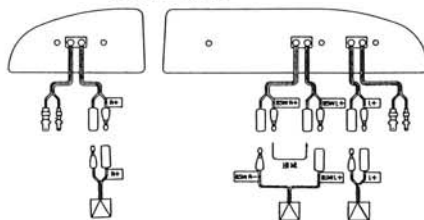


図-1 接 続 図

Fig.1 Connection diagram

脚注1) B.S.W : Bass Sonic Woofer

ヘルムホルツの音響共鳴管の理論により小型で迫力のある重低音再生を可能にしたサブウーファシステム

ションが夜間スピーカの存在感と一体観を出すことができる。

2. 2 駆動方式

アンプと本スピーカの接続図を図-1に示す。

① 4 WAY システムとして使用する場合

2ch アンプで駆動する場合か、4ch アンプをフロントとリアで駆動する場合の接続方法であり、L, Rの信号をサブウーファ部にそれぞれ分岐して入力させる。

② マルチウェイシステムとして使用する場合

4ch アンプを本スピーカにパイアンプ接続することにより、ユニット間の逆起電力を防止し、歪みの低減が図れる。

③ サブウーファ部を独立駆動する場合

サブウーファ出力をもつ機器と3ch アンプによる場合の接続方法で、サブウーファ部を独立でき重低音の調整が可能となる。

3. 基本仕様

本スピーカの開発にあたり高音質化はもとより、定量的目標値として耐入力、最大出力音圧、再生周波数帯域、歪特性等を以下に示すように設定した。

3. 1 基本性能の設定

3. 1. 1 耐入力

本スピーカシステムと接続される α シリーズのアンプとのパワーマッチングについて考えると、よい条件で音楽を聞くにはアンプの定格出力以下でスピーカを駆動するのがよく、このとき必要な音圧や音質をスピーカで作り込む必要がある。

α シリーズのアンプ($\alpha 5000M$ 、 $\alpha 3000M$)の定格出力を表-1に示す。

本スピーカシステムでは、アンプの定格出力に対して瞬間最大入力を150W(定格入力50W)に

表-1

機種	$\alpha 5000M$	$\alpha 3000M$
定格出力	125W	60W

(THD 0.04%, 1 kHz, 2ch 動作時)

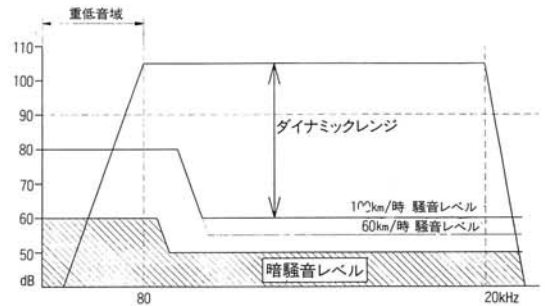


図-2 車室内リスニング特性

Fig. 2 Listening characteristics in a car

設定した。

3. 1. 2 ダイナミックレンジ

ダイナミックレンジとは音の強弱の幅をいうが、走行時、車室内においては騒音レベルが高く、低音域ではマスキング効果のためダイナミックレンジが小さくなる。

図-2に車室内リスニング特性を示す。

図で示すように100km走行時、低音域ではロードノイズが約80dBにもなり、現行の車載用BOXスピーカの低域での音圧レベルを考えると、150Hz以下ではダイナミックレンジが10dB程度である。

ダイナミックレンジを十分確保するには最大出力音圧レベルを大きくすることが必要であり、車載用においては特に低域での音圧確保が重要である。

一般的に音楽を聴く場合、もっとも適した音圧レベルは、聴取位置から見ると平均音圧レベルで80dB~85dB、さらに瞬間的には100dB~105dBが必要となる。

自由空間での音圧は、聴取点での音圧を P (dB)、音源からの距離を L (m)、スピーカ出力レベルを P_o (dB)とすると、

$$P = P_o - 20 \log L \quad \text{--- (1)}$$

という関係が成り立ち、また最大出力音圧レベル P_{max} は、最大入力を W_o (W)とすると、

$$P_{max} = P_o + 10 \log W_o \quad \text{--- (2)}$$

と表すことができる。

車室内空間は閉鎖された限定空間であり自由空間とは異なるが、低域において放射効率が上がることを考慮すると、自由空間での音圧を再生できるスピーカは、車室内での要求音圧を満足すると考えられる。

以上のことから $\alpha 3000M$ の定格出力で出力音圧レベル105dBを実現するためには、聴取距離が約1mであることを考慮して、スピーカの平均音圧レベルを約87(dB/W・m)とする。

3. 1. 3 再生周波数帯域

人間の可聴周波数帯域は、20Hz~20kHzといわれており、この帯域を車室内において一様な音圧で再生するのが理想であるが、一般的にリヤトレイに設置する車載用BOXスピーカキャビネット容量(2ℓ~5ℓ)では、重低音を再生させることは、非常に困難である。一般的な車載用BOX

Xスピーカ(当社)の無響室における周波数特性を図-3に示す。

車載用BOXスピーカの低域再生限界は100Hz(-10dB)程度であり、これよりも低いところに基本周波数をもつパイプオルガンやベース等の楽器の音色を正しく再生できないのが現状である。

しかし、車室内では無響室に比べると低域での放射効率が上がる傾向にあり、この放射効率を考慮して本スピーカでは無響室での低音再生限界周波数を70Hzに設定した。

3. 1. 4 歪み特性

スピーカの歪みは、ピストンモーションの大きな低域において増大するが、主に振動系の歪み、駆動系の歪みであり、それぞれエッジやダンパー等の非直線性、ボイスコイルにかかる磁束密度の変化等が要因である。

本スピーカはこれらの要因について対策し、歪み率の目標値を、70Hz~150Hzで10%、その他の帯域では1%に設定した。

3. 2 デザイン(形状)

車載用BOXスピーカは、リヤトレイの幅、奥行き、リヤウインドの傾斜、ヘッドレストなど車両の取り付け場所による制約条件が厳しく、キャビネットの大きさは限定される。

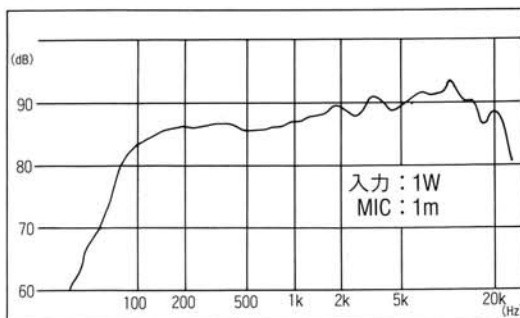


図-3 周波数特性

Fig. 3 Frequency characteristics of box speaker



図-4 スピーカ外観図

Fig. 4 Exterior view of box speaker

表-2 ユニット仕様

	サブウーファ	ウーファ	ミッドレンジ	ツィータ
音響変換機構	ダイナミック	ダイナミック	ダイナミック	ダイナミック
ユニット口径	10cm	10cm	5.7cm	3.5cm
振動板材料	クラフト パルプ	クラフト パルプ	スルフィド パルプ	スルフィド パルプ
マグネット 材料	ストロン チウム	ストロン チウム	ストロン チウム	コバルト
マグネット 重量	286g	286g	36.7g	10.2g
磁束密度	8000G	10500G	10900G	6300G
ボイスコイル 材料	銅	銅	銅	アルミニウム

よって本スピーカはBSWとL側のスピーカキャビネットを一体構造にし、さらにR側のキャビネットは、同シリーズの別のモデルのスピーカと共通化することによりデザイン統一化、コストメリット、性能の向上を図った。(図-4)

3.3 ユニット構成

目標基本性能を実現するため、帯域別にそれぞれ4種類のユニットを用い、特に低域専用スピーカには、ダブルボイスコイル構造のユニットを用いることにした。

表-2に各ユニットの仕様を示す。

4. 設計の要点

4.1 重低音の再生

4.1.1 BSWの原理

BSWは、ケルトン型ウーファの構造をした重低音再生専用ウーファとして当社で開発したもの

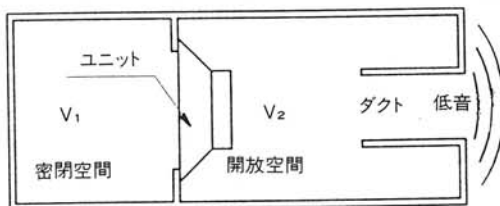


図-5 BSW構造略図
Fig. 5 Structure of B.S.W.

である。

BSWの構造簡略図を図-5に示す。

BSWは、ユニットに対して密閉空間(V_1)とダクトを備えた開放空間(V_2)とを有し、ヘルムホルツの音響共鳴管の理論により低歪みで効率のよい重低音再生を可能としたサブウーファシステムである。

4.1.2 キャビネットの構造

BSW部のキャビネット容量は、外形、キャビネット構造より密閉部の容積を1ℓ、開放部の容積を2.7ℓとし、ユニットとダクトの設計を行った。

ユニットは密閉部にコーン前面を向け高音の放射を少なくするとともに、ダクトとの距離を構造上可能な範囲で大きくとり、相互放射による影響を極力押さえるようにした。図-6にBSW部キャビネット構造を示す。

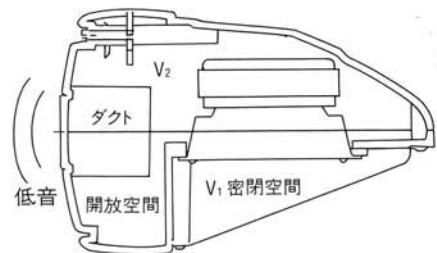


図-6 キャビネット構造図
Fig. 6 Cabinet structure

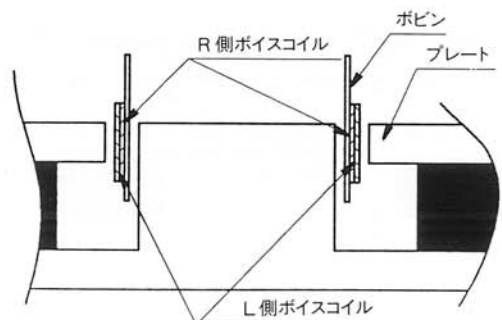


図-7 ダブルボイスコイル構造図
Fig. 7 Structure of double voice coil

4. 1. 3 ダブルボイスコイルユニット

B SW用ユニットには、3 D接続に対応するため、また小容量キャビネットの重低音再生に有利なダブルボイスコイルのユニットを使用した。

ダブルボイスコイルの構造を図-7に示す。

本スピーカのB SWユニットとしては、密閉部分の容積が小さくキャビネットのステフネスにより最低共振周波数が高くなってしまいうため、4 gの重りを振動板に付加し、振動板重量を大きくすることで最低共振周波数を下げた。

また、ダブルボイスコイルは巻幅が広くなり(10mm)、ロングボイスコイル同様振幅による磁束密度の変化を小さくでき低域での歪みを減少させることができた。

4. 2 高耐入力設計

瞬間最大耐入力150Wを実現するため、それぞれの破損要因に対して対策を講じた。

熱的破損には、1) ボイスコイルの断線、2) ボビンの変形、3) 両者の接着不良などが考えられ、機械的破損には、1) エッジ切れ、2) ダンパー切れ、3) ボイスコイルの磁気回路からの飛び出し、4) ボイスコイルの底当たりによる偏心などがある。

熱的破損のメカニズムは、電気エネルギーを運

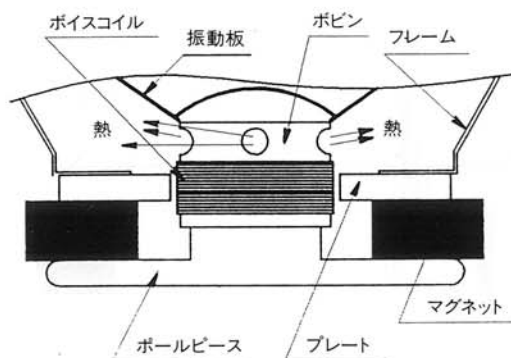


図-8 放熱メカニズム
Radiation mechanism

動エネルギーに変換する際に変換ロスにより熱が発生しこの熱により破損するというものである。

そこでスピーカの能率を上げるとともに、放熱効果のよいアルミ製のボビンを使用し、更にボビンの胴体に4つの穴を設けることにより放熱効果を向上し、ボイスコイルの断線やボビンの変形を防いだ。

また、ボイスコイルとボビンの接着には耐熱温度が220°と高いエポキシ系の接着剤を用い熱による接着不良を防止した。

図-8に穴開きボイスコイルによる放熱のメカニズムを示す。

機械的破損には、ボイスコイルのしゅう動距離に対する余裕を大きく取り、飛び出しや底当たりを防止し、エッジやダンパーについては、連続負荷に対する破壊強度が大きく経時変化にも比較的強いウレタンと、フェノール含有布地のコルゲーションダンパーを用いた。

4. 3 低歪み設計

低域での歪みを押さえるために、特に次の項目について対策を講じた。

- ① ボイスコイルの振動による駆動力の変化
- ② キャビネットの背圧によるコーン紙の屈曲

駆動力の変化については、ロングボイスコイルを採用することにより、振幅によって磁束密度の均一なプレート幅からのボイスコイルが飛び出すのを極力押さえ、駆動力の変化を少なくした。

図-9にロングボイスコイルによる低歪みのメカニズムを示す。

また1 lの完全密閉部に取り付けられているB SWユニットは、背圧によりコーン紙が屈曲し歪みを生じるため、コーンの材圧を従来のウーファの約2倍にすることにより強度をあげ、屈曲による歪みを極力押さえ低域での歪み特性を改善した。

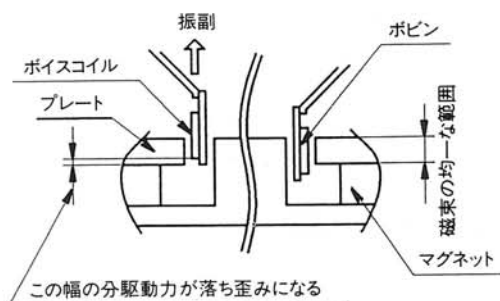


図-9 低歪みメカニズム

Fig. 9 Low distortion mechanism

4. 4 照明構造

本スピーカは、アウトラインに沿ってアーチ状に照明する仕様に対し照明部分に集光樹脂を使用した。

集光のメカニズムを図-10に示す。

集光樹脂は、透明なプラスチックと蛍光塗料により構成されていて、ここに入射した光は蛍光塗料に吸収される。

この吸収された光は蛍光としてプラスチック内でランダムに放射され、全放射の法則に従い樹脂の中を通り抜けて入射光の約40%が端面に達する。

これは従来のエッジライトによる照明と比較して効率がよく、さらに光の入射角度による影響が少ないため照明構造を簡単にする事ができる。

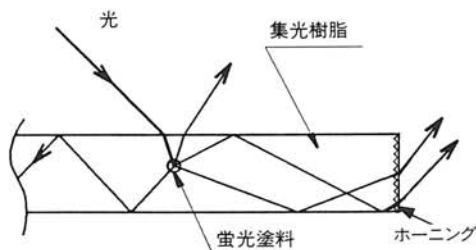


図-10 集光メカニズム

Fig. 10 Light collection mechanism

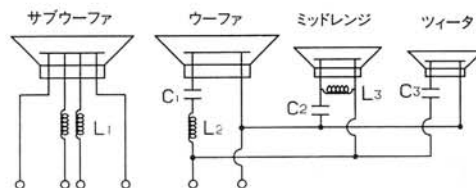


図-11 ネットワーク接続図

Fig. 11 Network

また、照明のムラについてはランプの指向性を考慮し照明面のライン方向に対してランプを垂直に配慮することと、照明面にホーニング加工を施すことにより対策した。

4. 5 ネットワーク

本スピーカは、ディバイディングネットワークにより、良好な帯域を分割して取り出した。

図-11にネットワーク接続図を示す。

本スピーカシステムのクロスオーバー周波数はそれぞれ、160Hz, 4.5kHz, 15kHzとした。

サブウーファとウーファには、ハイカット用のコイル L_1 L_2 を直列に接続した。サブウーファには特に大型のフェライト磁心入りコイルを用い大入力時の磁束の飽和による歪みを防いだ。

また高域でのインピーダンス低下と音質のつながりを考慮して、ウーファにはさらにローカット用のコンデンサ C_1 を直列に接続した。

また、ミッドレンジ、ツイータにもローカット用としてそれぞれコイルやコンデンサを接続した。

表-3 性能表

耐 入 力	150W(MUSIC) 50W(定格)
出力音圧レベル	87dB $\pm$ 2dB at 1W 1m
再生周波数帯域	65Hz $\sim$ 22kHz (−15dB)
インピーダンス	4 Ω $\pm$ 0.6 Ω at 400Hz
クラスオーバー 周波数	160Hz, 4.5kHz, 15kHz
外形寸法(L+R)	W1160(L+R)+D200+H145
重 量	(L) 4.6kg+ (R) 1.9kg

5. 諸 元

5. 1 性能表

本スピーカの性能を表-3に示す。

5. 2 性能グラフ

本スピーカの無響室での周波数特性と、車室内での周波数特性を図12, 13に示す。

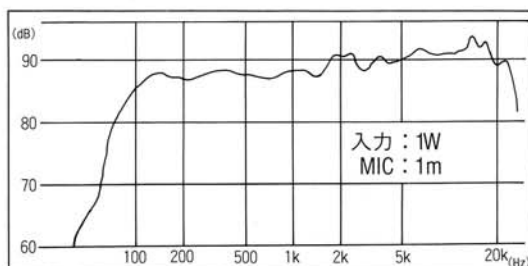


図-12 無響型周波数特性

Fig. 12 Frequency characteristics in a anechoic room

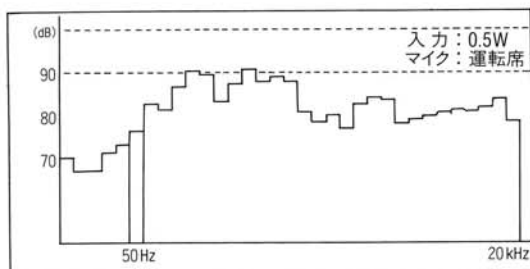


図-13 車室内周波数特性

Fig. 13 Frequency characteristics in a car

6. む す び

今回開発した車載用BOXスピーカは、車室内での音響特性にもとづいて、単品での性能を追求

した結果、当初の目標であった広帯域、高ダイナミックレンジ再生が実現し、歪みの少ないすっきりした音質に仕上がった。

なお、本スピーカは平成元年12月に発売され、斬新なデザインや、BSW内蔵の構造についても音質とともに高く評価され、好評を得ている。

今後はさらに単品での物理特性と、接続されるアンプ、ヘッドユニットを含めたシステムでの評価に加え、車室内音場空間の解析をより総合的に追求することにより新たなスピーカの開発を進める必要がある。

また、車載用スピーカには多くの車両にいかにか簡単に取り付けができるかという課題も残されており、これについても新構造や小型化を進めていかなければならない。

最後に、本スピーカシステムの開発に当たり多大なる協力を賜った、エヌエムビーオーディオリサーチ（株）関係各位に、紙面を借りて厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 山本武雄：スピーカ・システム（上下），ラジオ技術社（1977）
- 2) 佐伯多門：スピーカ&エンクロージャ百科，誠文堂新光社（1981）
- 3) 本島 顕他，“車載用ケルトン型ウーファ”，富士通テン技報，Vol. 5 No. 2（Oct 1987）