

体感サウンドシステム（ボディソニック）

Body Sensitive Sound System (Body Sonic)

高 谷 政 義⁽¹⁾ 奥 田 昌 男⁽²⁾ 植 田 厚 三⁽³⁾
Masayoshi Takatani Masao Okuda Kozo Ueda

要 旨

当社は、トヨタ自動車㈱との共同により、'84年2ボックスカー・スポーツ仕様車向けに、体感サウンドを取り入れたボディソニックシステムを開発した。

本システムは、若者が音楽を楽しむ時、耳からだけでなく音楽を全身で受けとめたいという欲求に照準を合わせて、従来車室内で不足がちな低音域を、小型軽量のドライバユニットを組み込んだ専用シートと、駆動用アンプとにより、限られた車室内空間で実現したものである。従来の聴感のみのカーオーディオでは、得ることが出来なかったパワフルな重低音を体感可能な、自動車用ボディソニックシステムとして開発を行った。

本稿ではその要点について紹介する。

Cooperative development between FUJITSU TEN LIMITED and TOYOTA MOTOR CORPORATION produced the BODY SONIC SYSTEM provided with an audibility of a body sensitive sound for the 1984's two box sports car models.

This system aims at a youngman's desire to receive a music sound not only with his ears but also with his whole body when he enjoys music. The system realizes an audibility for a lower sound insufficient in previous cars, combining a private seat in incorporated with a small, light weight audio driver and a driver amplifier in a limited car space.

We have developed the car body sonic system which enable him to receive, with his whole body, a powerful, super low frequency sound that can not be caught by previous ear-audibility only. This paper gives an essence of the system.

(1), (3) 第二技術部

(2) 第一技術部

1. はじめに

近年カーオーディオは、モータリゼーションの急速な発展とともに好調な伸びを示している。

また、カーオーディオに対するユーザーニーズも、多様化、多機能化にくわえ高級化へと要求が高まってきた。当然再生音に対しても、重低音から高音まで、幅広い周波数帯域を再生可能なオーディオ機器への要求が高まっている。特にカーオーディオを楽しむ世代である若者は、音楽をただ聞くだけでなく、自ら演奏に参加し、体に響いてくる振動に酔いしれ「パワフル」さを求める傾向にある。オーディオ空間としては厳しい制約条件の多い車室内で、この全身で音楽を受けとめるのに必要となる重低音再生は、特に設置上の制約から困難とされている。この重低音が再生不十分であると、音楽全体のバランスがくずれたり、音楽の輪郭がボヤケたりする。すなわち音楽再現に重低音はかかすことができないのである。

最近では、大口径スピーカやマルチチャンネルシステムによる専用ウーハ、3Dスーパーウーハ、というように各種低音再生システムが現れている。しかしこれらシステムの取付可能な車は、大型車でリヤトレイが広いという条件に限定される。リヤトレイが確保できない小型車の重低音再生では、走行中の外部騒音（ロードノイズなど）の影響を受けやすく不足しがちである。そこで小型2ボックスカーを対象車とした重低音再生システムについて開発が必至となった。我々は重低音再生をスピーカから音として耳へ伝える方式でなく、シート内部へ組込まれた、トランスデューサ（電気-振動変換器）により、体感振動として重低音を体へ伝えるボディソニックシステムを採用することにした。

開発に際し、次のような目標を設定した。

1) 100 Hz 以下の帯域で重低音感を十分得るこ

とができる。

2) スピーカ再生帯域と振動帯域のつながりが自然である。

3) 振動ユニットが埋め込まれたシートの座り心地に異物感がない。

4) 振動感が体に異和感なく自然に広がる。

これらの目標を満足させる、ボディソニックシステムについて、概要、設計、基本性能、今後の展開についてのべる。

2. ボディソニックの概要

2.1 聴覚と体感振動

人間の聴覚¹⁾気管は耳であるが、総合的に音響を知覚するのは「耳」だけでないことは一般的に知られている。

音楽において、低音域は、スピーカシステムの箱鳴りや、床の振動、壁、窓ガラスの振動等々周囲の物への影響が大きく、これらの振動を押えるのに苦勞することが、一般的なリスニングルームの音作りとなっている。

このことは低音域の音響エネルギーが、面や物を振動させる性質が顕著であるといえる。

バスドラムや大太鼓、大地震等のプログラムソースを再生した時、聴取者の腹に響くのは、この低音域の音響エネルギーが、人間の身体を振動させているためである。このような性質を持つ音響エネルギーに直面している聴取者は、当然この影響を受け、微かな感覚を音響情報の重要な一部分とし、総合的に音響知覚が行われている。

このことは、意識的に受け入れるものから、無意識の中に感じとるものまで多くの場合がある。

しかし、いずれの場合でも最終的には、耳からの情報収集と同時に、「音」としてとらえている体感情報の多くは、無意識のうちに聴感的役割をはたしている。

この低音域音響エネルギーは、聴取者の体に

「音圧」として感じられるだけでなく、床面等を伝わってくる振動を感じているのである。この振動感が音の情報の一要因として、最終的に「音」として認識されている。これらの体に直接感じる振動や、床面等を伝わって感じられる振動を、意識されるものから無意識なものまで含めて「体感振動」ということにする。

「体感振動」は、一般的に周波数が低くなる程聴覚に及ぼす影響が大きくなり、数十 Hz 以下の周波数では、耳で聴く情報より、体で感じる情報が多くなるといわれている。また、この体感振動は聴覚的に、聴取者の本能的な感性や意識下に影響をあたえる。

体感振動があたえる影響として、音楽であれば、重低音感、リズム感、エネルギー感、陶酔感、恍惚感などの心理的快感、生理的快感を増加することが大きい、また反面不安感、緊迫感、恐怖感を倍加することがある。

耳から聴いている音の大部分が意識的、論理的な意識上の世界であるのに対して、体感振動は、意識下の世界に影響をあたえる好対照を示す。

聴覚にあたえる体感振動の重要性を述べてきたが、次にこの体感振動を発生させるのに、ウーハを使用すると、電気―音響変換後、さらに音響―機械振動変換というように、二重のエネルギー変換をするため、エネルギーの変換効率も悪く、装置も大型化になる傾向にある。

そこで電気―機械変換器（トランスデューサ）を振動発生器として使用することにより、エネルギー変換も、電気―機械振動だけで、直接体感振動を発生可能となり効率も高く、装置についても、小型軽量化がはかれる。

またボディソニックシステムを現在のステレオ再生とともに、音楽鑑賞用として使用する場合でも、音楽の分野が異なると、その求める期待効果も大きく異なる。

2.2 ボディソニックの効果

1) 重低音感

低音域の振動を体に伝えるので、あらゆるジャンルの音楽に共通した効果として重要視されるが主として、クラシック音楽を聴いている人達の期待感が強い傾向にある。

2) リズム感

モダンジャズを主として聴いている人達が最も重要視する効果であり、期待感も強い。

ジャズにおいては、リズムが重要な音楽を構成する要素であるので、当然といえる。

ベースのアタック音や、パーカッションの打撃音が振動として伝わってくるので効果も大きい。

このジャンルの音楽を聴いている人達はリズム感に、神経を集中しているせい、重低音感には、必ずしも関心を示していないようである。

3) エネルギー感

ロックなどを主として聴いている人達が重視し、期待する効果である。

ロック演奏で再現される圧倒的な大音響エネルギー感は、ロック音楽にかかすことができない要素であり、ロック音楽を小音量で静かに聴いていたのでは、ロックの良さは味わうことができない。体に強い衝撃感を与えるバスドラムの音や、強烈なエレキベースの音を体感振動として体に与えることにより、強烈なエネルギー感が再現され、ロック音楽の真髄にふれることができる。

4) 快よさ、陶酔感

あらゆるジャンルの音楽に共通する効果であるが、その中でもポピュラ音楽に期待するところ大である。特にエレキベースの音が、快よく響き、快よいリズム感とともに、大変リラックスした気分になり、ストレス解消の効果も大きい。

このように音楽とボディソニックの効果について分類をしたが、現実にはこれら効果が、いろいろ重なり合っており、上記以外の要素も考えられ

る。

ここでボディソニックを現代のステレオに付加することを世に提言された糸川英夫博士の考えについて本文で述べることにする。

＝ 糸川英夫博士の提言 ＝

「楽器を演奏する人は、弦楽器でも、管楽器でも、二つの音を聴いている。一つは空気中を伝わり耳から来る「音波」であり、現代のステレオはこの世界をいう。もう一つは、ボーンコンダクションと呼ばれ、楽器をもつ手や、抱えている身体を通して、直接振動として伝わり、骨を通り、聴覚系伝播されるものである。

現在のステレオに欠けているのは、このもう一つの「音」である。

音楽の中で、聴く人に真の恍惚感を与えるのは、このボーンコンダクションなのである。

例えばバイオリニストが、あごにバイオリンを当てて、陶然と自分の弾く音に浸っているのは、あごの骨に、バイオリンの本体から、じかに伝わる振動音、ボーンコンダクションの音を聴いているためである。ピアニストの場合でも、指先、足、腰等から、ピアノからの音をボーンコンダクションで聞いている。

古典音楽がヨーロッパで発展したのは、貴族社会の中、小さい室内であって、チャンバミュージック（室内楽）という名がつけられた通りである。部屋の大きさはこのボーンコンダクションの

範囲でつくられていた。

楽器の振動が床板を伝わり、イスの足を通して、イスに座っている人の腰に減衰せずに伝達する範囲であった。音楽が大衆化したときに、大ホールが現われ、この時点で、これらは棄てられ、空中を伝わる「音波」だけの音楽になった。

そしてエレクトロニクスのテクノロジーが登場した後も「音波」だけの音楽になりきり、ボーンコンダクションは忘れ去られた。

ディスコや、ディスコティックで物凄い音響を出し、ドラムの音がけたはずれの音量で出されるようになったのは、若い人達が本能的に、ボーンコンダクションを現代に復活させようという一つの試みである。ボーンコンダクションは、それに気がつけば、エレクトロニクスのテクノロジーを使って再現することは可能である。

このボーンコンダクションを欠いた現代のオーディオシステムは、どんな高価なものであっても「音楽」をきく装置として欠陥商品といえる。

ボーンコンダクションをステレオにつける可きである[＊]。この様に音楽再生にかかすことができない低音域を、耳からの「音波」と体に感じる「振動」を両立させ、音楽の臨場感を高めるボディソニックシステムを車載用として開発したので以下に車載用ボディソニックシステムについて述べることにする。

3. 車載用ボディソニックシステム設計

3.1 システム概要

今回開発したボディソニックシステムは、音楽

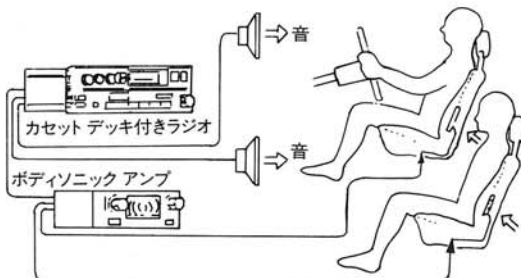


図-1 ボディソニックのシステム概要
Fig. 1 System of body sonic.

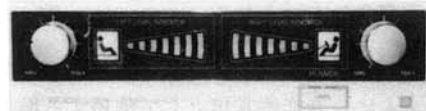


図-2 アンプの外観図
Fig. 2 Amplifier for body sonic system.

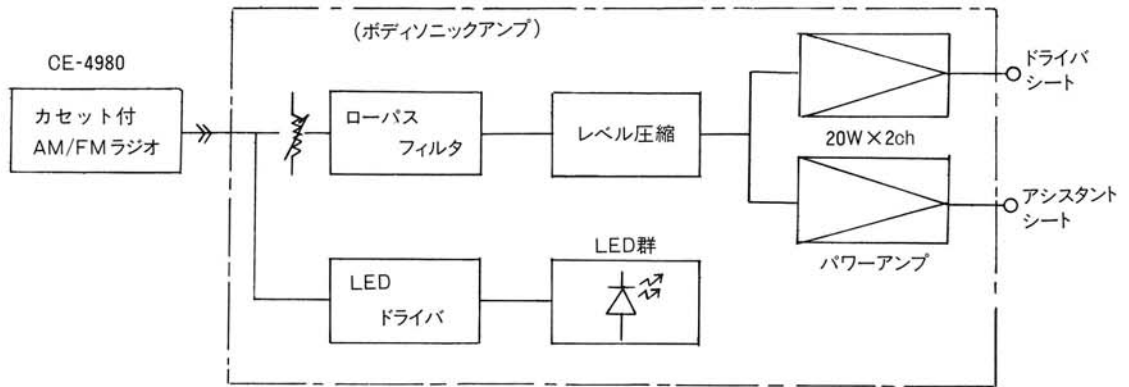


図-3 ボディソニックアンプシステムブロック図

Fig. 3 System scheme of body sonic amp.

ソース中の低音域を信号として取り出し、ボディソニックアンプで駆動に必要な電力に増幅し、ボディソニックシートに埋め込まれたトランスデューサ（電気―機械変換器）で、聴取者へ体感振動として伝達する。ボディソニックアンプは、ドライバ席、アシスト席のボディソニックシートを別々にコントロールすることが可能である。独立したボリュームは、最適な振動レベルを調整し、聴取者へスピーカからの「音」とトランスデューサからの「振動」のバランスを取り、音響効果をより高めることができる。またボディソニックアンプの前面パネル部には、7ポイントのLED群が、ドライバ席、アシスト席用にそれぞれ配置されており、このインジケータは、ボリュームコントロールにより、出力調整された振動レベルに応じて点灯する。

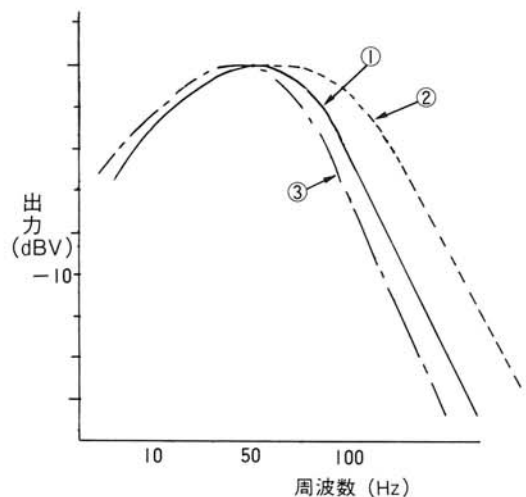
今回のボディソニックシステムは、「音」「振動」「イルミネーション」というように、耳・体・目から音楽を表現する新しいオーディオシステムとなっている。

3.2 システム・ブロック

本機のシステムブロック図を（図-3）に示す。ボディソニックシステムのアンプ部は、カセット付 AM/FM 電子同調ラジオからの信号を、振動

に必要な帯域だけ取り出すための、ローパスフィルタ回路部と、大音量時に耳からの音と、体からの振動レベルに不自然さを与えないレベル圧縮回路部により構成されている。また、振動による体感をより効果よく高めるために、7ポイントのLED群を、信号レベルに応じて点灯させるLEDドライバ回路も付加されている。

次にローパスフィルタ部の特性を（図-4）に示す。このフィルタ特性は、実車におけるシートでの実用振動モードで評価した。②のカーブでは、

図-4 ローパスフィルタ特性
Fig. 4 Characteristic of L. P. F.

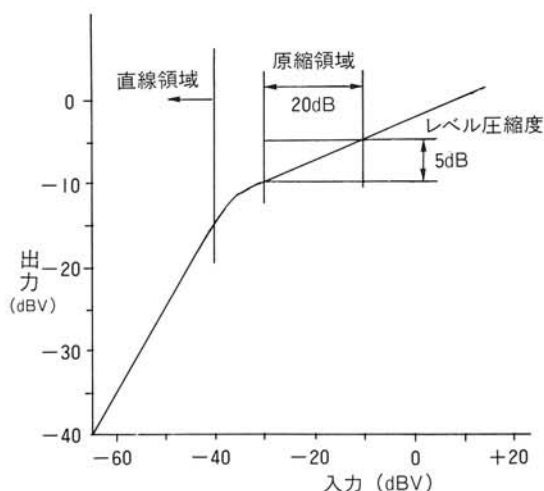


図-5 レベル圧縮特性

Fig. 5 Characteristic of level compression.

カットオフ周波数が高い ($f_c=150$ Hz) ため、低音域のリズムモード以外の音が出られ異和感を生じた。⑧のカーブでは逆にカットオフ周波数が低い ($f_c=60$ Hz) ため、総合出力で振動レベルが弱く、その結果最適フィルタカーブを①と決定した。

レベル圧縮部の特性は(図-5)による。

図の如く、レベル圧縮動作は入力レベルが-40 dBV以上から動作をはじめる。

レベル圧縮度は、入力レベル -30 dBV~-10 dBVまで20 dB変化に対して5 dBである。

これらの値については、組合せられる1体機C E-4980とスピーカにより出力される音圧と、ボディソニックアンプ振動レベルが、大音量時においても、体感上不自然さを与えないレベルである。



図-6 ハイブリッドIC外観

Fig. 6 Hybrid IC.

今回開発したボディソニックアンプは、これら回路を、1チップのハイブリッドICにまとめて省スペース化と回路の簡素化を図った。

ボディソニックプロセッサ用ハイブリッドICの外観写真を(図-6)に示す。

ボディソニックシートはトランスデューサ(電気-機械変換器)をポリウレタンシート(振動板)に取付け、ドライバユニットとしてドライバ席、アシスト席それぞれのシートの背当て部分に組込まれている。また次の項目について重点的に、注意し設計している。

- (1) ヒップポイント
- (2) ビビリ
- (3) ドライバユニット取付位置

1) ヒップポイントについては、シート本来の役割であるすわりごこちを、ボディソニックドライバユニットにより阻害してはならないため、トランスデューサの厚みをできる限り薄くなる構造をとっている。ドライバユニット取付図、およびトランスデューサ構造図を(図-7)(図-8)に示す。

2) ビビリについては、体感振動を発生するドライバユニットの振動が、シートを構成する周辺部品に悪影響を与えて“異音”発生を起さないように、構造について十分考慮している。

3) ドライバユニット取付位置は、自然な体感

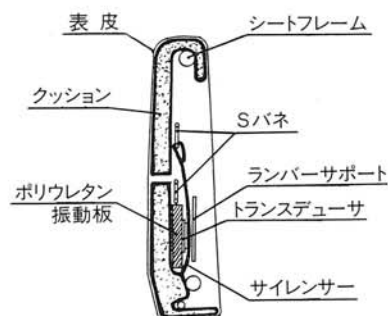


図-7 ドライバユニット取付図

Fig. 7 Driver unit installation.

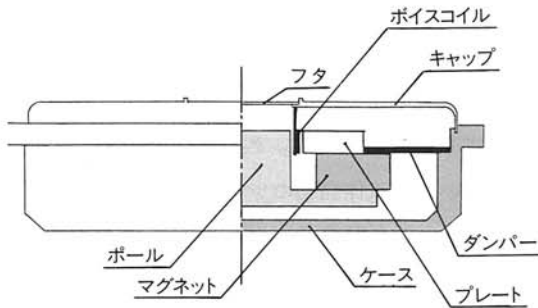


図-8 トランスジューサ取付図
Fig. 8 Transducer.

振動を伝える最適ポイントを評価テストの結果により決定することにした。

評価テスト条件は、(図-9)に示すA・B・C・Dの4ポイントで振動効果を5段階評価した。

結果は(表-1)の如くC・Dのポイントが自然な体感レベルを得られる位置と判断した。次にこ

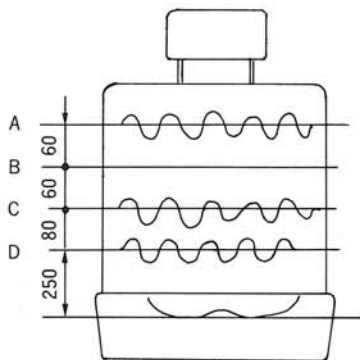
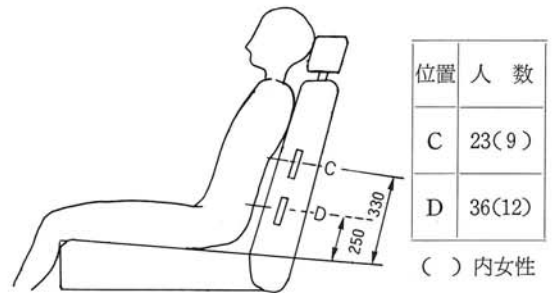


図-9 テスト・ポイント
Fig. 9 Test point.

表-1 振動強度レベル

位置	振動レベル評価
A	2
B	3
C	4
D	5

表-2 最適振動評価結果



の二点について、18才～25才の男女パネラによる最適ポジションを選ぶ体感評価テストを実施し、表-2に示す通りCポイント39%、Dポイント61%の結果が得られた。これらの評価結果に基づいて、ボディソニックシステムに最適なシート構造の見直しを行った。ドライバユニットの設置は、背当部分1ヶ所とし、取付位置をDポイントに決め、最適体感振動が得られる様に、シート部材(クッション硬度やSバネ強度、Sバネ支持位置etc)の諸条件を決定し(図-10)の如くボディソニックシートが完成した。



図-10 ボディソニックシート
Fig. 10 Body sonic seat.

4. 性 能

4.1 総合周波数特性

本ボディソニックシステムの、1体機の周波数特性とボディソニックアンプの周波数特性について図-11に示す。

4.2 ボディソニックアンプのVOL回転角と出力特性

入出力特性は、ボディソニックプロセッサICのレベル圧縮特性が、自然な体感振動となるように、ボディソニックアンプのインテンシティ調整

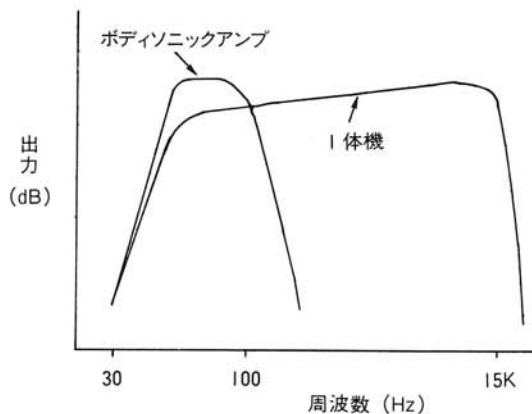


図-11 総合周波数特性
Fig. 11 Total frequency response.

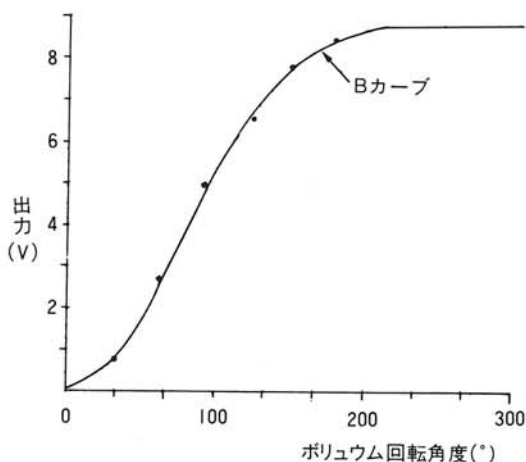


図-12 VOL回転—出力特性
Fig. 12 Volume position vs outlet level.

ボリュームのカーブを決定したものであり、体感評価により（図-12）に示した特性となっている。

4.3 ボディソニックシート振動分布

完成したボディソニック振動板内蔵シート2品種について、試作当初のシステムと体感評価を比較テストした。開発品はどちらも類似した振動分布であり、試作システムにくらべドライバユニットが腰に近い位置のため腰から背中にかけて振動レベルが強→弱へ分布している結果であることがわかる。（図-13）

4.4 総合体感評価

完成したボディソニックシステムを試作当初のシステムと体感評価について、比較テストした結果を表-3に示す。

評価法は、自然な体感振動が得られるシステムを5段階評価して平均値を出した。表中の結果か

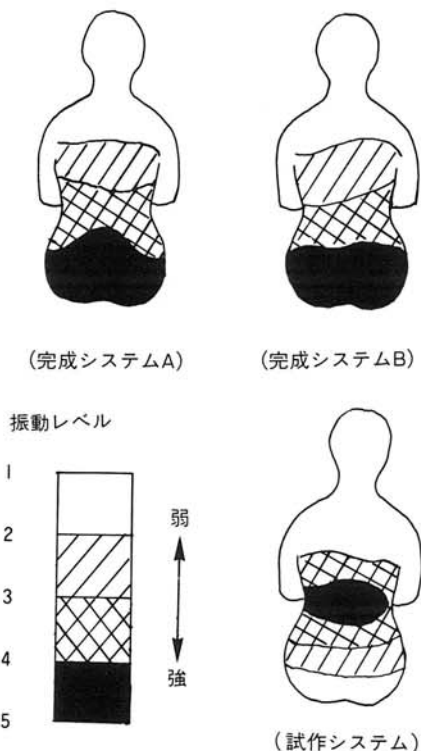


図-13 ボディソニック振動分布
Fig. 13 Vibration distribution of body sonic seat.

表-3 他社システムとの比較評価

	ドライバユニット位置	V O L カ オー プ	評価平均点
試 作 シ ス テ ム	C	B	2.9
完 成 シ ス テ ム A	D	B	3.6
完 成 シ ス テ ム B	D	B	3.7

(評価方法は5段階評価)

らもわかる様に、試作システムにくらべ完成システム2品種とも点数が上まわっており、今回開発のボディソニックシステムは、十分性能的にも満足できるものと判断する。車室内で本システムを動作し音楽を聴いた時、従来のオーディオシステムでは得られない低音感、リズム感、エネルギー感などが、スピーカとともにシートから体へ快ちよく体感として伝わってくる。特に、スピーカだけの再生では、走行時のロードノイズ、エンジンノイズで重低音がマスキングされ、音楽情報が不足しがちであったが、本ボディソニックシステムにより解消されて、音楽にいっそう臨場感が増した。

5. 諸 元

本システムの諸元を表-4に示す。

項 目	性 能
感 度	200mV以下
歪 率	2%以下
信 号 対 雑 音 比	45dB以上
周 波 数 特 性	-12dB (200Hz) 70Hz基準
実 用 最 大 出 力	10W±2W
適 合 負 荷	8Ω
入力インピーダンス	150kΩ以上
電 源 電 圧	10.5～16.0V
消 費 電 流	最大 35A
寸 法	180(W)×50(H)×130(D)mm
重 量	約760g

6. む す び

以上、体感振動を利用した。車載用ボディソニックシステムを紹介した。

本システムの開発により今まで2ボックスカーのカーオーディオで再現が困難となっていた重低音域を、再現可能とした。特に走行時ロードノイズによってマスキングされがちなウーハ再生帯域に有効である。

本システムは、すでにスポーツ仕様の3車種に採用されており、音楽を全身で受けとめたい若者たちの間で、好評を得ている。また、今後開発中の車種についても、本システムを搭載するように、各部分の改良と性能アップを検討して行きたい。最後に、本システムの開発にあたり、ご指導を賜った、トヨタ自動車関係各位をはじめボディソニック関係各位に、紙面を借りて、厚く御礼を申し上げる。

参 考 文 献

- 1) 小松 明：『身体で聴く音響装置』、JAS JOURNAL、6月号（1981）



図-14 ボディソニックシステムの取付図
Fig. 14 Body sonic amplifier installation.