

第3章 特徴ある当社の音響技術

1 車室内音場制御技術

1.1 車の音環境と音づくり

車室内をオーディオのリスニングルームとしてみた場合、図1に示すように、走行騒音が大きい、スピーカの設置条件が限定される、音場が狭いなどの弱点がある。



図1 リスニングルームとして見た車室内空間の弱点

このように車室内空間は、オーディオ再生にとっていろいろと不利な条件が多い。しかし、車室内空間の音響的な特徴についての解析が進むにつれ、発想を変えて、むしろホームよりスピーカと聴取者の条件が固定され、予め分かっている車室内の方が、きちんと音づくりができ、メーカとしてユーザに対し責任をもってよい音を提供可能であるという考え方ができるようになった。当社はこの考えの基で長年、車室内空間での最良の音づくりにこだわってきた。そして先に述べた車室内空間の解析から、以下の三つを車でよい音を得るための要素と捉え技術開発を進めてきた。

- ・騒音に対応した音づくり
- ・広帯域で平坦な再生周波数帯域の実現
- ・狭い車室内を感じさせない広がり感のある音づくり

以下に、それぞれの技術内容を説明する。

1.2 騒音に対応した音づくり

(1) オートラウドネス

オーディオ装置を使って音楽を聴く場合、再生する音量はユーザの好み（大きい音量が好き、小さい音量が好き）や、ソース（ポップス、クラシックなど）によってさまざまな音量に設定される。

オーディオ装置の設計において考慮しなければならない聴感特性として、等ラウドネス特性がある。これは人間の耳の感度が音圧レベルと周波数によって異なるため、音圧レベルが等しい音でも、聴感上音の大きさが異なって聴こえるという現象である。

図2に有名なフレッチャー＆マンソンによる等ラウドネス曲線を示す。これは、例えば90ホンの大きさの音では、50Hzと1kHzとで、音圧レベルと聞こえてくる音の大きさの関係は等しいが、60ホンの大きさの音では、50Hzで1kHzと同じ音量感を得ようとすると、50Hzの音圧レベルを約20dB上昇させる必要があるということを示している。

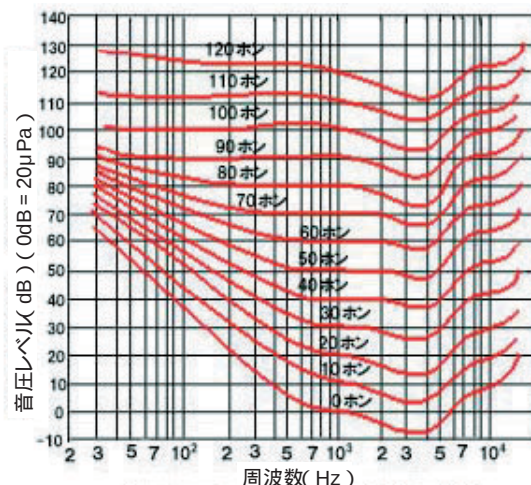


図2 フレッチャー＆マンソンの等ラウドネス曲線

この聴感特性を補正する目的で、オーディオ装置にはラウドネス回路が用いられる。本回路には、一般的に図3のようなボリューム（VOLUME）位置に連動して高域と低域特性が変化する一次のシェルピングフィルタを用いることが多い。このラウドネス回路の特性を図4に示す。

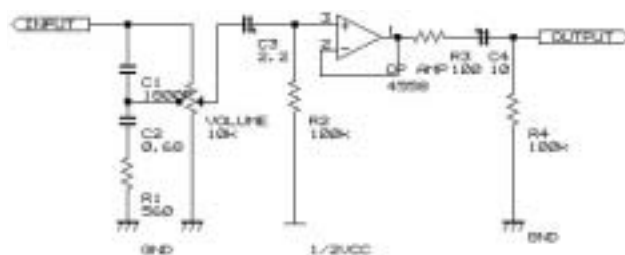


図3 ラウドネス回路の例

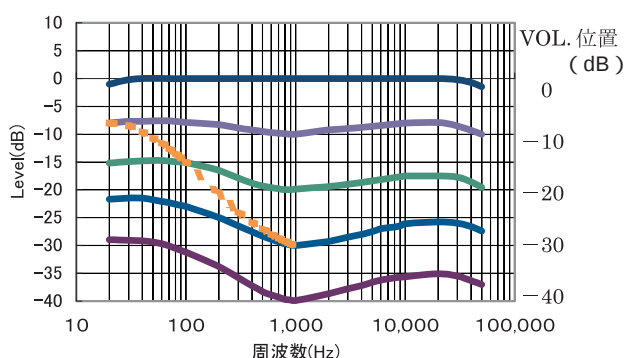


図4 ラウドネス回路の特性

この回路によって前述の聴感特性を補正するため、例えばVOL.位置が0dBの時90ホンの音が得られるようにすると、VOL.位置が-30dBになると図4の破線のように50Hz付近の補正量を20dBにする必要がある。このとき、200Hz付近の補正量は約8dBになり、必要とされる補正量の5～6dBに対して過補正になるがこれによって、再生音に「こもり感」を生じやすい。従って、最大補正量を犠牲にしても、過補正を抑える方がよいとの考え方から図4の実線のような特性を用いることが多い。

一方、車室内には走行騒音があり、図5に示すように、低音域になるほどレベルが高くなりオーディオの再生音をマスキングしてしまう。従って、低音域においてラウドネス補正量が不足するとますます低音感の乏しい音になる。

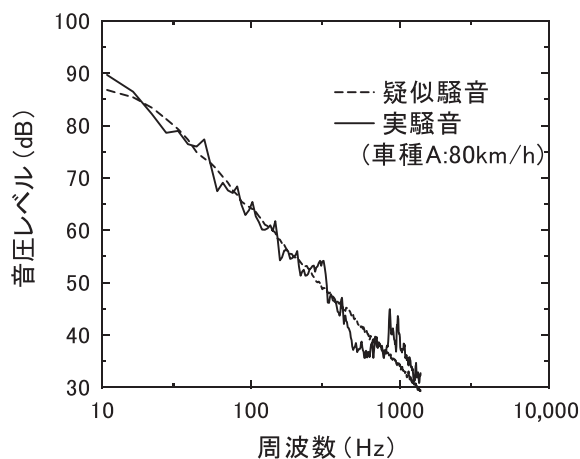
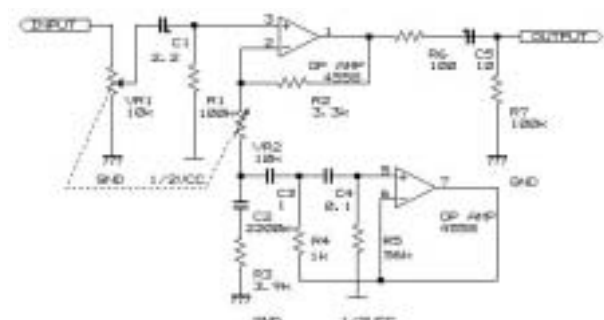


図5 走行騒音の周波数分析の例

こうした背反する事項を解決するため、低域特性2次のピーキングフィルタを採用したオートラウドネス回路を開発した(図6)。



$$\begin{aligned} \text{中心周波数: } f_0 &= 1 / (2\pi \sqrt{(R4R5C3C4)}) \\ \text{ゲイン} &: G = (R2 + R4) / R4 \\ \text{Q値} &: Q = \sqrt{(C4R5) / (C3R4)} \end{aligned}$$

図6 オートラウドネス回路の例

本回路の低域補正の中心周波数 f (Hz) は、搭載するスピーカの低音再生限界周波数に合わせ、ゲインは聴感特性から導かれる補正量に一致させる。その上で2次のピーキ

ングフィルタのQ値をコントロールすることで、200Hz付近の補正量を最適化させる。これにより前述の背反事項を解決することができ、その特性例を図7に示す。

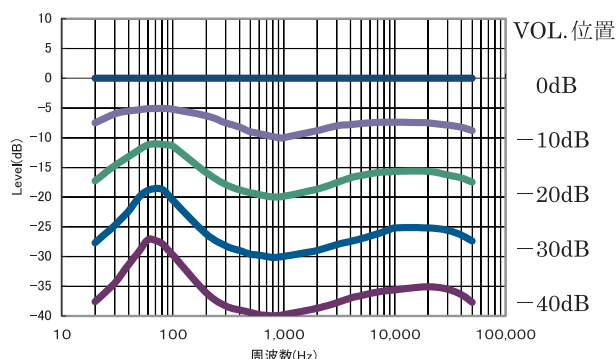


図7 オートラウドネス特性の例

多くの場合、小型のスピーカが用いられている車載システムで、一般のラウドネス回路を用いて低音再生限界周波数以下を無理にブーストし聴感補正しようとする、低音の歪を生じ易い。オートラウドネス回路はこの歪を防止する点でもメリットがある。

(2) 騒音感应自動ボリュームとDDRC

(Digital Dynamic Range Compressor)

走行時の問題点として、車両から発生するエンジン音、タイヤノイズ(低域のノイズ)や風切音(高域のノイズ)がオーディオの再生音をマスキングし、聞こえにくくしてしまうことがある(図8)。例えば、カーオーディオを比較的小さい音量で聞きながらドライブしていて一般道から高速道路に入ると、騒音が大きくなり音が聞き取りにくくなって音量を上げる。逆に、高速道路から一般道にもどると思ったより音量を上げすぎている感じになり、今度は音量を下げるといったことをよく経験する。

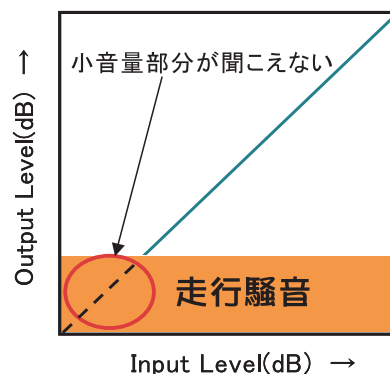


図8 走行騒音がある時の再生音

こうした煩わしい操作をなくすため、走行騒音に応じてオーディオ音量を自動的に調整する「騒音感应自動ボリューム」を開発した。

この基本原理はマイクロホンで検出した騒音とオー

ディオの再生音から騒音成分だけを信号処理で取り出し、その量に応じてオーディオの音量を自動補正するものである。

この騒音感応自動ボリュームの回路ブロックを図9に、動作イメージを図10に示す。

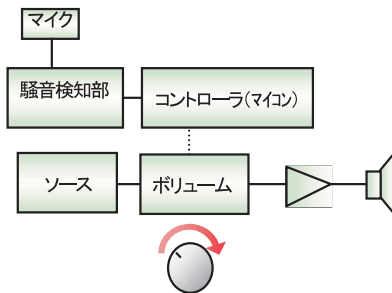


図9 騒音感応自動ボリュームのブロック図

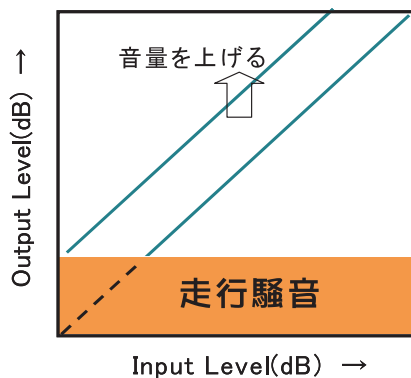


図10 騒音感応自動ボリュームによる音量補正のイメージ

しかしこの方法では、検知した走行騒音に対して必要とされる補正量をそのまま加えると、レベル全体を変化させてしまうため音量感が変化してしまい、不自然に感じる。そこで、実際には補正する帯域を限定し、効果量を制限(10dB程度)するなどの工夫を行っていた。

こうした問題点を解決するために当社オリジナルのDDRCを開発した。この特徴は、再生レベル全体はそのまま、走行騒音でマスクされやすい小音量時だけ補正を行うことができることである。図11にDDRCの制御ブロックを示す。

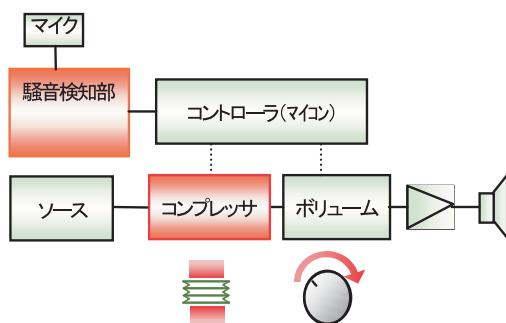


図11 DDRCのブロック図

特徴は以下の通りである。

- ・小さい音のみ増幅することから、自然な補正を行いながら効果量を大きくできる。(最大約20dB)
- ・騒音検出に適応制御を採用することで検出帯域を200Hzまで拡大し、検出性能を向上させることができる。

図12に動作イメージを示す。

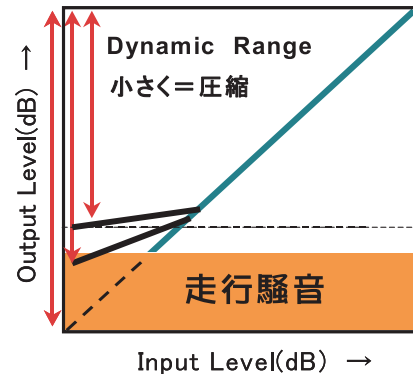


図12 DDRCの動作イメージ

図12で示している圧縮量は以下のようにして求めた。

まず代表的な車種において、走行速度に応じた車室内騒音の測定結果を図5の破線のようにモデル化し、各騒音レベルにて、補正前の音量ごとに必要とされる補正量を心理実験により求めた。この補正量をつないで圧縮特性を導き出し、DSPによる信号処理で本特性を実現する。一例として、3000ccクラスのセダン系の高級乗用車における走行騒音のレベルと補正前の音量に対して必要とされる圧縮特性を図13に示す。

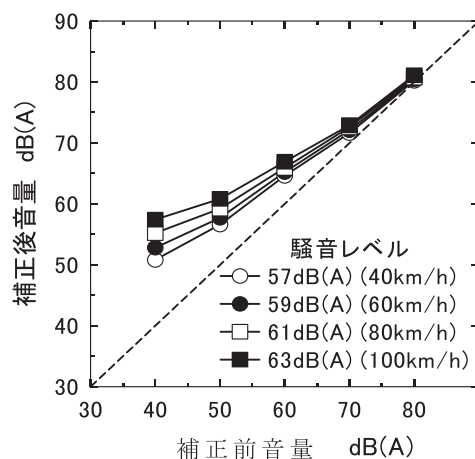


図13 DDRCのダイナミックレンジ圧縮特性の例

DDRCは、現在普及しているDVDなどダイナミックレンジの広いソースを走行中の車室内で再生する場合、非常に有効になると考えられる。

今後、車載用オーディオシステムの進化に伴い、車の騒音に対するオーディオへの要求もさらに高度化していくことが予想される。私達はこうした要求に対しても高音質を

維持しながら自然な音質を提供するため、さらなる技術開発を進めていく。

1.3 広帯域で平坦な周波数特性実現への取組み

音楽メディアのデジタル化により高音質化が進み、カーオーディオにもホームと同じ高品位な音楽ソースが提供されるようになった。これに伴い機器への高音質化要求が高まり、なかでもスピーカシステムの広帯域化が要求されてきた。一方、車室内は、スピーカにとって不利な条件が多く特に搭載上の制約から、音楽ソースに含まれる高音域や低音域が十分に再現されていないことが多い。また、音圧周波数特性上のピークディップを生じやすい。このような問題を改善し、原音に忠実な音楽再生を実現するために、これまでにさまざまな取り組みを行ってきた。

(1) 小型高性能サブウーファ

音楽再生にとって、低音の再生は大変重要である。しかし小型の車両では低音再生に有利な大型のスピーカを取付けることは困難であり、低音の不足したオーディオシステムが多かった。このクラスの車両に対し、音楽のもつ臨場感やスケール感を再現するためには、小型でかつ超低音域まで忠実に再現できるサブウーファが必要であった。この実現のため、エアトランス式や音響共振型（ケルトン式）を採用し、当社独自の製品開発を行ってきた。

1) エアトランス式サブウーファ

1983年に市販向けとしてエアトランス式サブウーファを開発、発売した。本方式は図14のように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おり、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いでいる。本製品では、車のトランクルームが、バックキャビティの役割を果たし、図15に基本構造および搭載図を示す。

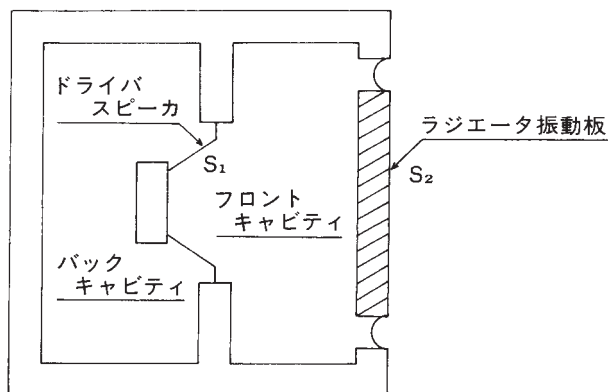


図14 エアトランス式ウーファの原理図

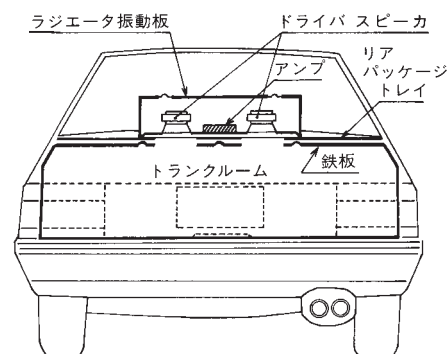


図15 本製品の基本構造および搭載図

構造上の特長として、ドライバスピーカを通常とは逆向きに取付けることにより、トランクルームへの飛出しをなくし、車への搭載性を大幅に改善していることが挙げられる。

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板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が可能となる。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できる。さらに高い周波数は、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。従って、再生音は本質的に低歪率となる。

図16、および図17に一般的な口径20cmスピーカと本製品との周波数特性を示す。50Hz付近の帯域では、2次高調波歪、3次高調波歪ともに本製品の方が、10dB以上低い値を示しており、優れた歪率特性を有することがわかる。

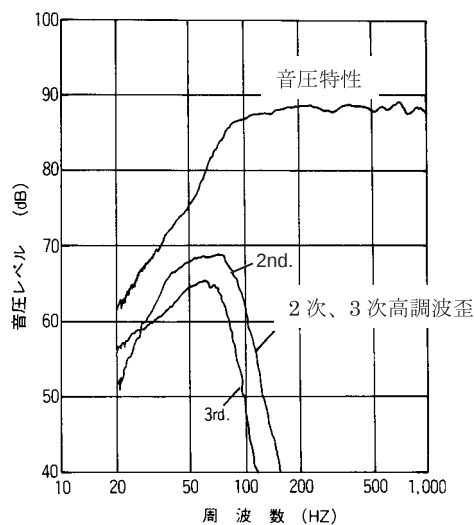


図16 口径20cmスピーカの周波数特性

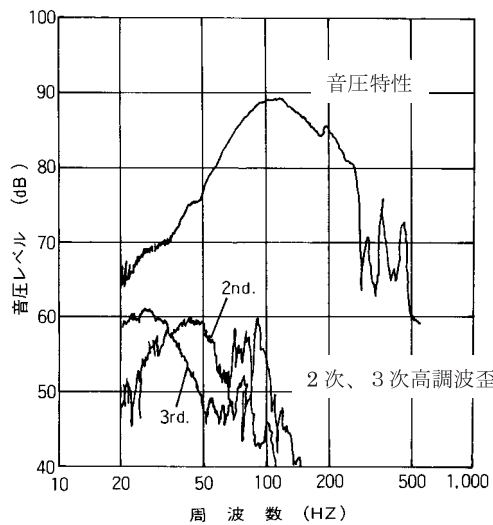


図17 本製品の周波数特性

本製品では、これまで不明確であったコントラバスの低音弦の音程の動きまで聴き取れ、より自然に感じられる。さらにこれまで車載用スピーカでは聴くことのできなかったパイプオルガンや太太鼓のような超低音も忠実に再生されるようになった。

2) 音響共振型（ケルトン式）ウーファ（ARW：Acoustic Resonance Woofer）

1987年に発売したケルトン式ウーファ（ARW）は、図18のような基本構造になっている。ヘルムホルツの共振現象を利用して、ダクト内の空気を仮想的に振動板として働かせて音を放射するため、次のような特長がある。

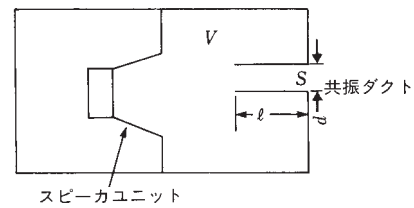
小型・高効率：口径12cmスピーカと7ℓのボックス容量で、特定の帯域では従来の口径16cmスピーカと20ℓのボックス容量のシステムに等しい低音再生が得られる。
低歪率：ダクト内の空気が振動板として働くため、スピーカユニットの歪を直接空間へ放射しにくく、本質的に低歪率である。

その他：トランクルームのない車でも性能を確保できる。

図19は、ARWの音圧周波数特性を口径12cmスピーカ単体の場合と比較したもので、この例では100Hz付近の帯域において、約6dBの能率向上の効果をj得ている。実際の搭載車では、あらかじめ測定しておいた車室内の伝送特性にあわせてARWで得られる音響的バンドパス特性を設計することにより、目標とする総合特性を実現し、豊かな低音感を得ることができる。

（2）小型高性能ツイータ

高音質化の重要アイテムとしてツイータによる高域の広帯域化は必須である。ツイータには振動板形状の違いでコーン型、ドーム型、バランスドーム型などがあり、振動板の材質の違いで紙系、ハード系、セミハード系などがあ



$$\text{共振周波数 } fr = \frac{C}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{S}{\ell e V}}$$

- ℓ：ダクトの長さ
- S：ダクトの断面積
- V：容量
- C：音速
- ℓe：ダクトの有効長（ℓ+0.8d）
- d：ダクトの直径

図18 ARWの原理図

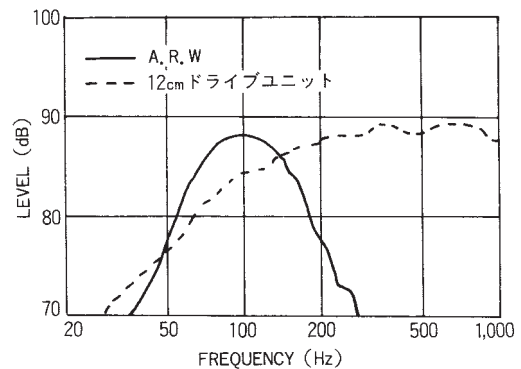


図19 ARWの無響室音圧周波数特性（1W・1m）

る。一般的に車載用ツイータとしては、小型の磁気回路で高性能が得られるセミハード系のバランスドーム型ツイータが多く採用されている。

特徴としては、音の伝播速度が速く過渡応答特性に優れたポリイミド系の樹脂振動板が使用される。また樹脂のバランスドーム型は紙コーン型のツイータに比べ高音域の帯域が広く、指向特性も大幅に改善できる（図20）。

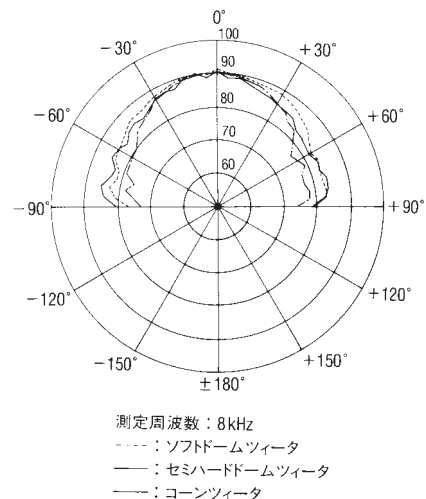


図20 ツィータの指向特性の比較

さらに磁性流体をギャップ内に充填し、振動系のダンピングを示すQ値をコントロールすることで、周波数特性を調整することもできる。またボイスコイルの放熱を促進し温度上昇を抑え、耐入力の上向上も可能となる。

次に、セミハード系のバランスドーム型ツイータよりさらに指向特性が優れているソフト系のドーム型ツイータについて紹介する。一般的に上位グレード車両のオーディオシステムに採用することが多く、振動板材質としては、セミハード系のバランスドーム型ツイータで使用していた樹脂（ポリイミド系）に対し、布（絹）を使用しているものが多い。その特徴としては、内部損失の高い素材を用いることで、過渡応答特性を向上させ、クリアで質感の高い高域再生を実現することができる。最近ではチタン振動板などのハード系も多く使用されている。

またドーム型にすることで図20に示すとおり、コーン型やバランスドーム型のツイータより、指向性が大幅に改善され、広い指向特性を有することがわかる。しかし絹やチタンなどの材質は、紙や樹脂と比較して振動板重量が重くなり、十分な音圧を確保するためには、非常に大きなマグネットが必要になる。従って、車載用としては従来のフェライトマグネットより磁力性能が非常に高いネオジウムマグネットを採用することで、高音質でかつ小型軽量ツイータを実現することが可能になった。

（3）車室内音響チューニングシステム

本節で紹介した各スピーカを実際に車へ搭載し、スピーカの持つポテンシャルを十分に発揮できるように、車の音響チューニングをすることが重要である。

従来、車の音響チューニングを行う際、以下のような問題があった。

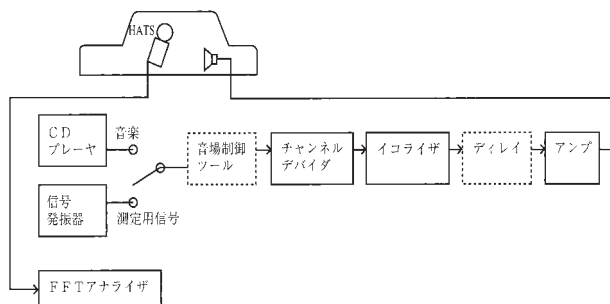


図21 従来のチューニングシステムのブロック図

図21のとおり、多数のオーディオ機器や測定器を接続して使用していたため検討の準備や操作に手間取っていた。

チューニングに必要なシステム全体の規模が大きくなり、車室外にセッティングする必要があるため、試聴（車室内）—チューニング（車室外）を繰り返すため、効率が悪い。

オーディオの信号処理部のデジタル化が進むにつれ、音場制御や遅延処理などの従来にないチューニング機能にも対応する必要がある。

従来機能と新機能を一括して制御することは困難であり、システムの規模が増大し、作業はより複雑化する。システムの複数のハード接続から生じる信号劣化（音質劣化）が無視できなくなり、高いクオリティの持つ製品の微妙な音質評価が難しくなってきた。

このような問題を解決するために、現在は図22のような音響チューニングシステムを開発し使用しており、その概要について、以下に紹介する。

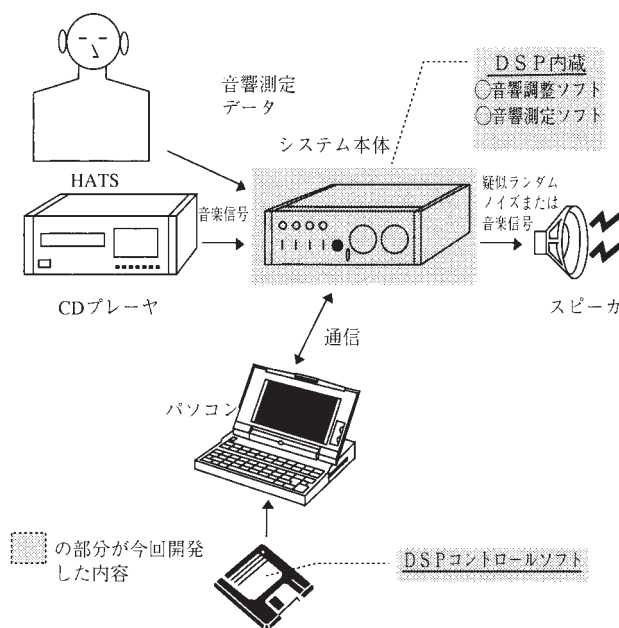


図22 音響チューニングシステムの全体図

本システムで実現できる機能には、大きく分けて音響測定機能（車室内周波数特性などの測定機能）と音響調整機能（イコライザなどの音響特性調整用機能）の二つがある。音響測定機能では、測定を行う際の入力として1ポイントマイクロホンに加えてHATSを用いる。音響調整機能では、入力に試聴用のCDプレーヤーが接続される。

この二つの機能を実現するための信号処理は、図22中のシステム本体で行っており、使用目的に応じて内部の動作を切り換えることができる。実際の音響チューニング時のシステム本体内部の動作と接続ブロックを図23に示す。

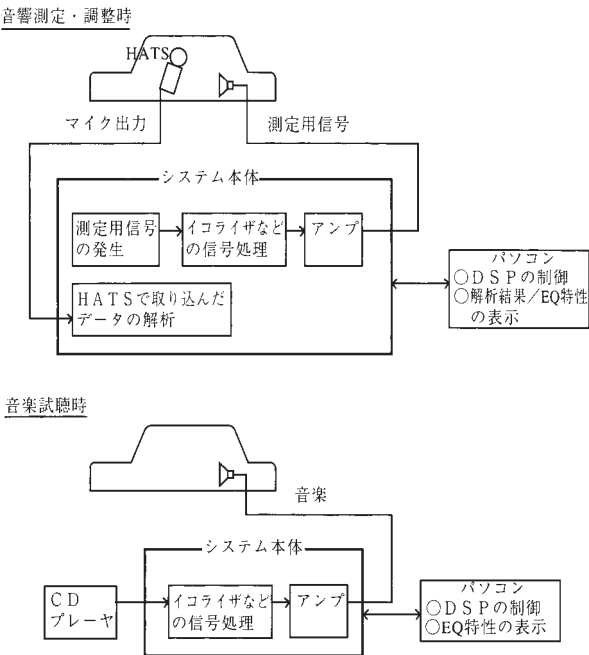


図23 音響チューニングシステムのブロック図

このシステムの開発により、従来方法と比較し大きく以下の様な効果があった。（詳細は表1に示す。）

音響チューニング作業の効率化（約30％工数削減）

音響チューニングシステムの音質向上

（フルデジタル化によりノイズの影響が減少）

音響システムの小型／軽量化

（重量1／4 容積1／6）

現在も当社では、スピーカなどコンポーネント開発から音響チューニングシステム開発に至るまで、さらなる高音質化と作業効率の向上に取り組んでいる。

表1 従来システムとの比較表

項 目	従来システム	新システム
ハード関連	ハード構成	イコライザ、チャンネルデバイダ、アンプ、FFTアナライザ、信号発生器、HATS（音場制御ツール、ディレイ）
	信号処理方式	アナログ
	S/N	90dB
	総重量（HATSは除く）	約42kg
	総容積（HATSは除く）	約0.12m ³
ソフト関連	各機能の制御方法	各ハード上で個別に制御
	f特解析精度（20～20kHz 間のポイント数）	31ポイント [1/3octバンドf特測定時]
	その他	従来システムにない機能として・イコライザ特性の画面への表示・スピーカから聴取位置までの音の到達時間の自動測定などがある。
音響チューニング方法	車室内で音楽を試聴、車室外でパラメータ調整の二つの作業を繰り返し実施	車室内で音楽を試聴しながら、パラメータを調整

1.4 拡がり感のある音づくりへの取り組み

車室内で音楽を楽しむ場合、これまで述べてきたように車載環境特有の条件があり、その結果、ステレオ感・拡がり感の乏しい再生音となってしまふ。このような車室内音場を改善し、臨場感のある音楽再生を実現するために、これまでさまざまな取り組みを行ってきた。その内容について述べる。

（1）空間音響の解析とDSPによる車室内音場制御技術

車室内音場を改善するためには、まず音場を解析し、その特性を知る必要がある。

音場制御を行う上で、まず参考としたのは実際のホールなどの音場である。ホールの音響特性を表す指標として代表的なのが残響時間であり、一般にインパルス応答を測定することにより算出される。

インパルス応答を測定するには、古くは火薬の爆発や火花放電などのパルス性の音源を使用していたが、近年ではデジタル信号処理の進歩により、ある種のノイズやスイープ信号を使い効率的に精度よく測定することができるようになっている。

ホールなどの空間でインパルス応答を測定すると、まず、音源から発生した直接音が受聴点に到達する。続いて、壁や床や天井などからの反射音が遅れて到達する。さらに引き続いて、反射が複雑に繰り返されて生じる残響音が到達する（図24）。

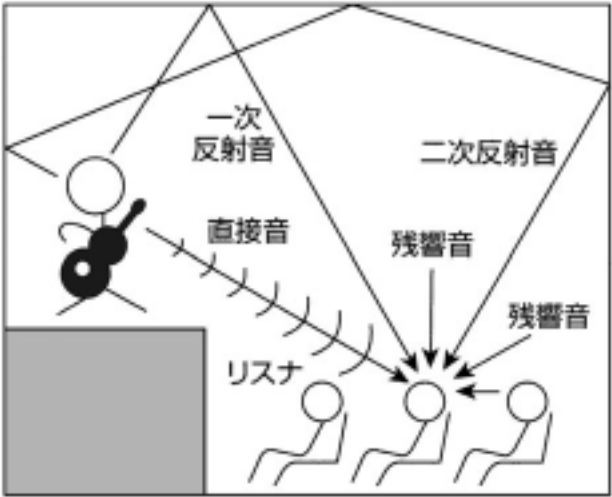


図24 音の伝わり方

従って、測定されたインパルス応答は、音響空間の広さや形状、材質の影響などの情報を含んだデータとなる（図25）。このインパルス応答を再現することができれば、目標の音場を再現できると考えられる。

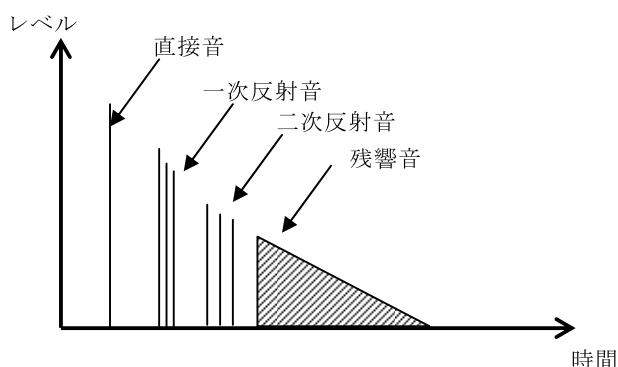


図25 反射音の構造

このような反射音・残響音を付加する手段として、DSP（デジタル・シグナル・プロセッサ）を応用した音場制御システムが発展してきた。

反射音を作り出す手段として遅延処理が用いられる。アナログでは良質で長時間の遅延は非常に困難であるが、DSPによるデジタル信号処理を用いることで容易に遅延処理を行うことができる。反射音のレベルや遅延時間はメモリ上にある係数を書き換えることによって自由に变化させることができるため、一つの音場に留まらず、複数の異なる音場を再現することも可能である。

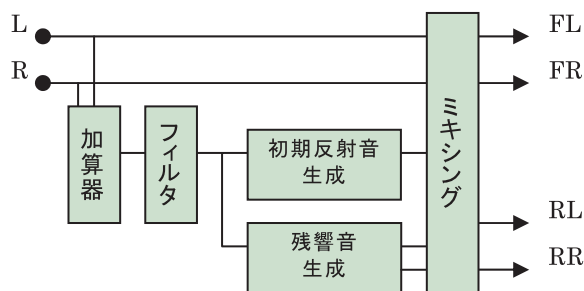


図26 音場制御信号処理ブロックの例

（2）近接4点法による車室内音場測定

残響時間を再現するだけではホールの音響特性を再現することはできない。さらに必要な要素として、反射音・残響音の到来方向が重要である。この測定のため近接した4点で計測したインパルス応答から、相互の信号処理を行い到来音の方向、強さ、みかけの音源（仮想音源）位置を求める「近接4点法」が利用される。どの方向からどんな強さの反射音がどのような時系列で到来しているかを直感的に把握することができる。（第2章5節参照）

この手法を使って、車室内音場とホールのような広い空間の音場を比較すると、反射音の到来方向の分布と密度の差からその違いが明らかである。また車室内では比較的強い反射が近距離すなわち直接音から短時間（数ms～数10ms：赤色）に集中して存在しており、それ以降の残響成分は殆どみられない。それに対して、コンサートホール

では、数10ms程度（赤・緑色）の初期反射音に加えて、数100ms以上（青・白色）遅れて残響成分が多方向から到来していることがわかる（図27、図28参照）。

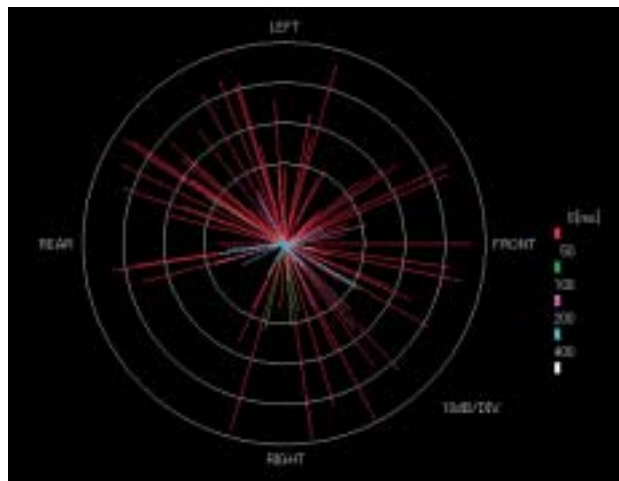


図27 反射音到来の様子（車室内）

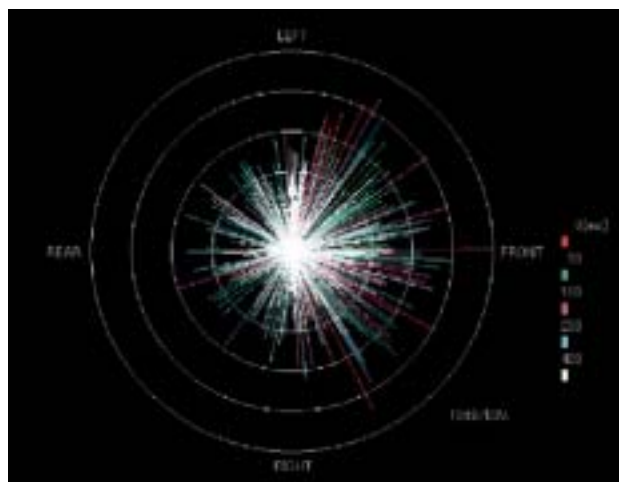


図28 反射音到来の様子（コンサートホール）

車載オーディオでは、後方へのスピーカ配置が比較的容易なため、後方からの音を再現しやすい。この特徴を活かし、初期反射音や残響音の方向までうまく再現することにより、さらに広がり感を表現することができる。

例えば、前方左右のスピーカからは主に直接音を再生させる。そしてセンタスピーカをインパネなどに設置し初期反射音や残響音を再生させることにより、前方の広がり感・奥行き感を再現することができる。さらに後方左右のスピーカから残響音を再生することにより、残響に包み込まれるような臨場感あふれる音響空間を演出することができる（図29）。

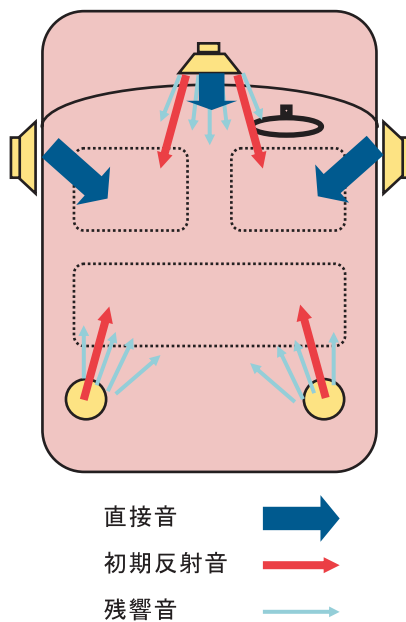


図29 反射音・残響音の再生例

（3）HAAS効果を応用した車載用5.1chサラウンドシステム

近年、車載オーディオにおいても5.1chサラウンド再生が普及してきている。しかし、車載特有の制約条件のため、ホームオーディオのようなサラウンド効果を得ることは困難である。特に、着座位置の差による制約が大きく、各座席で均一な場を作り出すことができない。

例えば後部座席の状況を考えて、まずインパネなどに取付けられたセンタスピーカが遠いため映画のセリフなどが再生された場合、聞き取りにくい。さらに、フロントドアスピーカから再生されるフロントLRチャンネルの信号はシートに遮られるため、不明瞭になってしまう。そこで、近くにあるスピーカをうまく利用してこの問題が解消できないかと考え、ある心理音響理論にたどり着いた。それがHAAS効果である。

HAAS効果は先行音効果とも呼ばれる。2個のスピーカが図30のように配置されている場合を例にあげ説明する。両スピーカから同一の信号を再生すると、音像はスピーカ間の中央に定位する（ ）。ここで、左のスピーカの再生音量を小さく絞ると、中央に定位していた音像は右のスピーカ側に偏ってしまう（ ）。再度、両スピーカの音量を同一とし、今度は左のスピーカからの再生信号に遅延を加えてみる（ ）。すると、両スピーカの再生音量は同一に関わらず、左の再生音量を小さくした場合と同様に音像が右のスピーカ側に偏る。

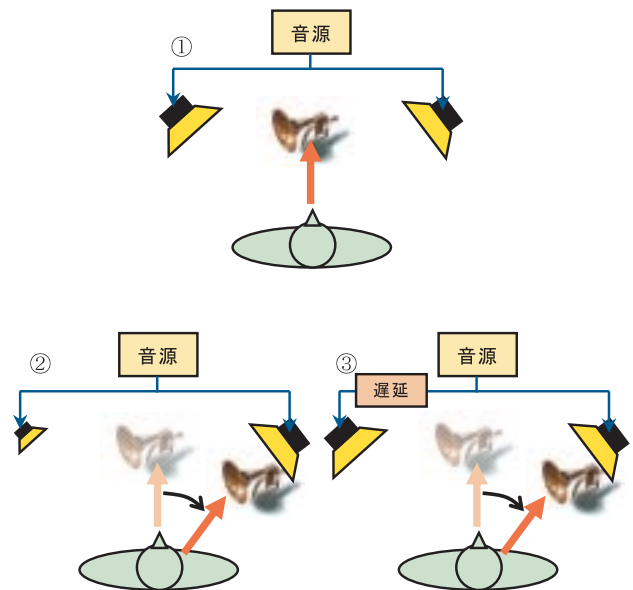


図30 HAAS効果

この効果を応用すると、遮られた遠くにあるスピーカから再生する音を遅延させて別の、近くのスピーカの音にミックスして再生することにより、遠くのスピーカの位置方向に音像定位を保ったまま明瞭度の高い音を再生するという効果を得ることができる。

つぎに、これを車載用5.1chサラウンドシステムに応用した場合を説明する。例えば、後部座席に座っている人にとってインパネ上に設置されたセンタスピーカは遠く、音の明瞭度が悪い。そこで、センタスピーカに加える信号を分岐して遅延処理をし、リアスピーカの信号に加えて再生する。そうすると、後部座席に座っている人は、先のHAAS効果によって、音像定位はセンタスピーカの方向に保ったまま、リアスピーカからの音によって明瞭度の高い音が楽しめる。

この処理をそれぞれ各座席で個別に行うことで、どの座席でも音像定位と明瞭度を両立させることができるようになり、5.1chサラウンドの効果を最大限に発揮することができる（図31）。

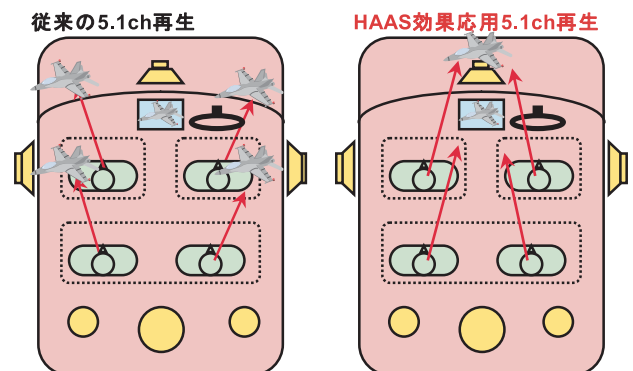


図31 HAAS効果を応用した5.1chサラウンドシステム

この効果を応用した信号処理は、2000年に市販向けに発売された当社初の5.1chサラウンドプロセッサに搭載された後、5.1ch対応のライン装着のオーディオシステムにも搭載されている。

(4) ヘッドライナースピーカ（内装駆動型スピーカ） 開発概要

従来、車室内という限られた空間のなかで音の拡がり感を得ようとする場合、DSPによる信号処理技術を用いる方が一般的であった。しかし、信号処理技術だけでは限界があり、また車室内とリスニングルームの空間情報、特に上方からの空間情報に差があるため、天井などの車室内上方に広指向性スピーカを配置し、空間情報を再生することが望まれていた。ところが、従来方式のスピーカでは寸法上の問題で天井付近に配置することは困難である。また音の拡がり感が出にくいなどの問題から、これらを解決できる新しいスピーカの開発が必要となっていた。

そこで、省スペースでその拡がり感と音像の高さを得るための新技術スピーカとして、ヘッドライナースピーカを内装メーカーと協業開発した。このスピーカは従来のコーン型とは異なり、エキサイタ（振動子）を天井材に取付け振動させることにより天井材自身を振動板として駆動し、Distributed Mode（振動モード分布）を形成するものである。このモードにより天井材自身に多数の音源が分布する面音源を実現でき、特に大型車両のリア席（2列目および3列目）の音響効果（拡がり感と音像の上昇）を得ると共にエキサイタの小型軽量化に取り組むことで省スペース化を図った。

車載用オーディオシステムの問題点と改善の考え方

1) 従来のカースピーカシステムでの問題点

従来の車載用オーディオシステムで、拡がり感のある音響空間を作り出せない原因は、図32のリスニングルームと車室内の空間情報に差があるためである。この主要因としては、内装材「天井・カーペット・シート」が吸音材として働いていることが考えられる。さらに車室内のスピーカ搭載位置により、上方からの空間情報に差があると推測できる。

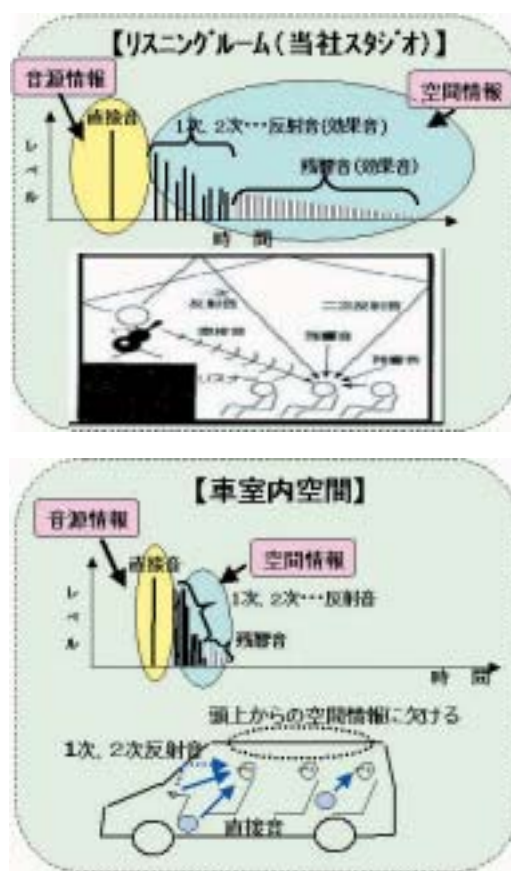


図32 リスニングルームと車室内との比較

2) 改善の考え方

課題である「上方からの空間情報の差」を埋める方策として、スピーカとリア席聴取者間に障害物がなく搭乗者全員に対し均等に空間情報を提供できる位置、すなわち天井に広指向性スピーカを配置すると共に、リスニングルームに相当する反射音および残響音などの効果音（30ms以下に相当）を再生させる。具体的搭載位置としては、前席後方天井が最適であると考えられるが、この位置へスピーカを配置するためには、スペース制約から薄型スピーカが必要である。

3) スピーカ方式と特徴

飛躍的な薄型化が可能なNXT⁽¹⁾方式スピーカの特徴について述べる。

NXT方式は従来型スピーカのピストン振動モード（図33）とは異なり、平面パネルの曲げ振動の共振を応用した方式であり、パネルに最適なDistributed Mode（振動モード分布）を形成する（図34）。

本スピーカの概略構造を図35に示す。このDistributed Modeによりパネル上に多数の音源が分布する面音源を実

(1) 本スピーカは英国New Transducers Limited社のNXT®フラットパネルスピーカ技術を使用。NXT®はNew Transducers Limited社の登録商標。

現できるため指向性が広く、内装材などのパネルを直接駆動することができるために薄型化が図れる。

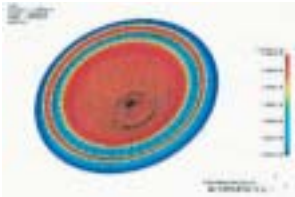


図33 ピストン振動モード

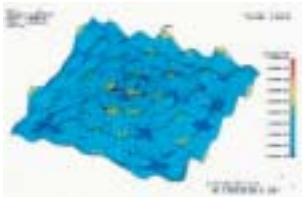


図34 振動モード分布

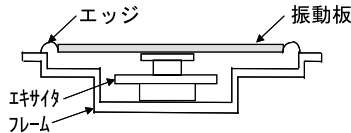


図35 NXT（方式）の概略構造図

ヘッドライナースピーカ

1) 構造

今回開発したヘッドライナースピーカは、図34の Distributed Modeを天井材自身に発生させるために、振動を発生するエキサイタ（振動子）と振動板となる天井材の二つに大きく分けることができる。このエキサイタは天井材とボディ間の隙間へ搭載するため、薄型で軽量のエキサイタが必要となる。従来型スピーカを天井に搭載した場合の搭載イメージ図36とヘッドライナースピーカの搭載イメージ構造図37を示す。

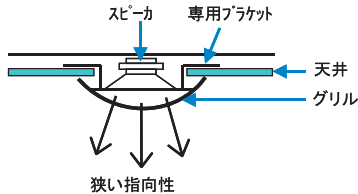


図36 従来型スピーカを天井に搭載した場合

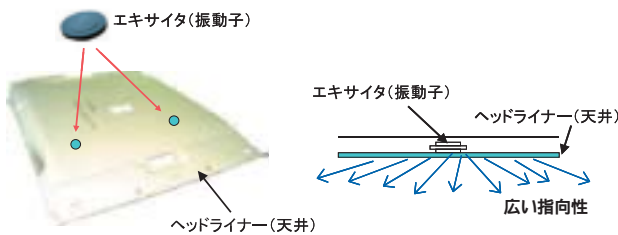


図37 ヘッドライナースピーカの搭載構造

従来型スピーカとヘッドライナースピーカの違いを比較表にまとめる（表2）。

表2 従来型スピーカとの比較

	項 目	従来型スピーカ	ヘッドライナースピーカ
性能	全高	34mm	14mm
	重量	180g	100g
	指向性	狭い	広い
構造	天井からの出っ張り	有り	無し
	部品点数	3点	2点

搭載要件

従来型スピーカと異なり、天井材自身を振動板として使用していることから車両搭載条件により音質への影響が大きく左右される。搭載要件になる下記6項目の内、特に注力した1), 2), 3) について以下に説明する。

- 1) エキサイタとブラケットの固定構造
- 2) 天井背面温度に耐えるエキサイタ構造
- 3) エキサイタ最適搭載位置（車両前後方向）
- 4) エキサイタ最適搭載位置（車両左右方向）
- 5) 振動板としての天井材の必要面積
- 6) 天井材曲げR寸法

1) エキサイタとブラケットの固定構造

エキサイタとブラケットの固定構造の前提条件として、下記a)～d)の要件を満足する必要がある。

- a) 締結部、内装材の経年劣化後の締結力の確保
- b) サービス性の確保（エキサイタ脱着可）
- c) 車両振動に耐え得る締結力およびエキサイタダンパ強度の確保
- d) 締結部を含めたエキサイタ全高の確保（薄型化）

この中より、a)の締結力に対しては、b)のサービス性と強く関連し、b)を満足しかつ締結力を確保する必要がある、最終的に図38のようなネジ構造での実現を図った。要件a)～d)を満足した開発品の外観図を図39に示す。

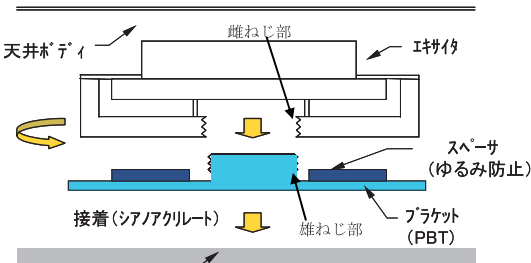


図38 エキサイタおよびブラケット構造

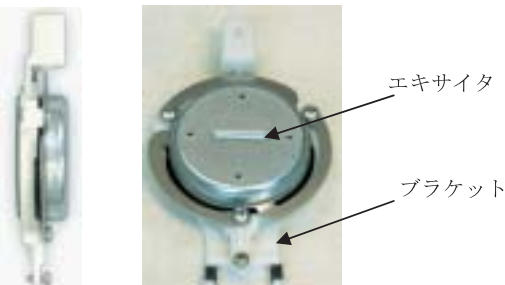
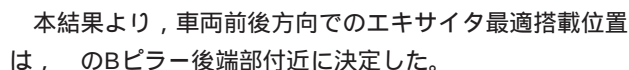


図39 開発品

2) 天井背面温度に耐えるエキサイタ構造

天井背面の温度は環境により大きく左右される。この温度に耐えうるエキサイタの構造が必要である。

本データ差を見ると、フロント席、リア席でのレベル差が小さいのは、 の位置もしくは の位置が良い。さらに、聴感評価結果より、位置 では音像定位が高すぎるため、最適位置は、 の位置となった。



效果

今回開発したヘッドライナースピーカを車両への搭載要件を満たした上で1ボックスカー用オーディオシステムに織り込んで仕立て、効果の確認を行った。ヘッドライナースピーカを搭載することにより、特性上では図43のように1.25k~7.5kHzで2~5dBの音圧レベルの改善があり、中~高域の音圧周波数特性も平坦化している。実車における聴感評価においても、図44のようにリア席での「拡がり感」を確認できた。仕立てシステムのスピーカレイアウトを図45に示す。

音圧レベル (dB)

ヘットライナースピーカ有り
ヘットライナースピーカ無し

周波数 (Hz)

周波数 (Hz)	ヘットライナースピーカ有り (dB)	ヘットライナースピーカ無し (dB)
20	48	48
30	58	58
40	58	58
50	64	64
60	59	59
80	56	56
100	54	54
120	51	51
160	41	41
200	41	41
250	46	46
320	47	47
400	47	47
500	48	48
630	53	53
800	48	48
1k	47	47
1.25k	51	51
1.6k	46	46
2k	45	45
2.5k	49	49
3.2k	45	45
4k	49	49
5k	44	44
6.3k	48	48
8k	47	47
10k	46	46
12.5k	48	48
16k	41	41
20k	39	39

図43 ヘッドライナースピーカ有無での1/3oct音圧レベル

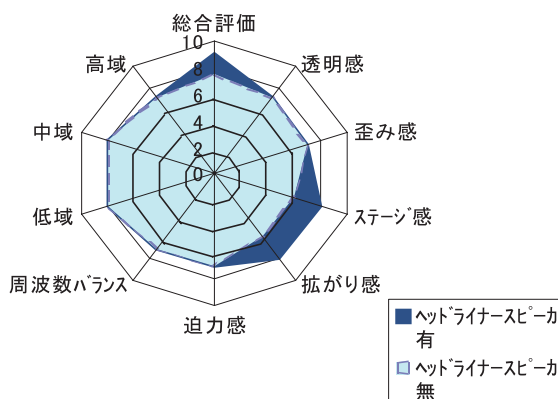


図44 聴感評価結果

搭載位置	FR席	RR席	レベル差
①	86dB	81dB	5dB
②	84dB	82dB	2dB
③	84dB	84dB	0dB
④	80dB	83dB	3dB

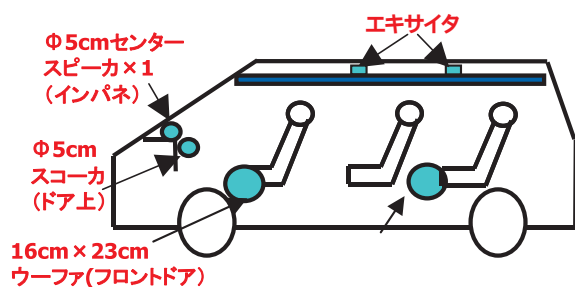


図45 スピーカレイアウト図

2 タイムドメイン理論とその応用

2.1 ホームオーディオシステム開発に至る経緯

当社は2001年4月にホームオーディオシステム「ECLIPSE TD」シリーズの発売を開始した。ECLIPSE TDシリーズは波形忠実再生を目指したタイムドメイン理論に基づいて設計している。

タイムドメイン理論の具体化は、1999年パソコンのAV連携が進むなかで持ちあがった、富士通製パソコン用高音質スピーカの開発に遡る。その開発の過程で由井啓之氏⁽²⁾の提唱するタイムドメイン理論に基づいて試作された新スピーカの音を試聴する機会を得た。これは私達が行ってきた信号処理によるスピーカの音質改善とは違い、スピーカ自身の音を周波数特性ではなく時間波形に基づいて改善するという全く新しいアプローチで得られた音で、スピーカ音質改善の課題が一気にクリアになった。

タイムドメイン理論で開発した富士通製パソコン用のスピーカは、まさに追い求め続けて来たピュアでナチュラルな音そのものであった(図46)。そこで、これまで世のなかにない画期的なスピーカの開発を行いたいという想いが高まり、2000年より開発プロジェクトを結成、2001年に当社初のホームオーディオ用スピーカを発売した。



図46 富士通製パソコン用タイムドメインスピーカ

2.2 タイムドメイン理論とは

従来のオーディオシステムの多くが、いかに「低い音から高い音までフラットに歪み少なく再生する」という

「周波数特性」を重視した設計を行ってきたのに対し、タイムドメイン理論は、音の発生から消滅までいかに「空気の動きを正確に再現する」という「時間特性」を重視する考え方である。人間が空気の動きを鼓膜で感じ、それを音として捉えているということから、このタイムドメイン理論の考え方は自然の摂理に合っている。そしてスピーカがどれだけタイムドメイン理論に忠実か、すなわちスピーカに入力された波形と出力された波形がどれだけ近いか、という波形の正確性を評価する指標としては、インパルス応答を用いることができる。

(1) インパルス応答

インパルスはあらゆる信号処理理論で用いられるが、音の最小単位要素としても用いることのできる信号であり、数学的には下記のように定義されている。

【インパルスの定義】

音の振幅(高さ)が無限大、音の時間幅=無限小、その振幅×時間幅となる面積が1となる信号

(図47)

ただこれは理想状態を表し、現実的にはあり得ない信号であるため、実際の音響測定では、デジタル信号の1サンプルのパルス信号をインパルスと見なして測定を行う。例えばCDなどのようにサンプリング周波数が44.1kHzの場合、インパルス信号のパルス幅は $1/44100$ s(約22 μ s)で、振幅はその再生系で扱える最大振幅を用いるのが一般的である。

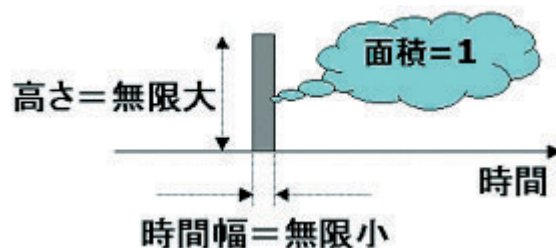


図47 インパルスの定義

インパルス応答の概念を理解するには、インクジェットプリンターのインクと、それにより描かれた絵の関係を考えてみると分かりやすい。インパルスはインクの1滴であり、インパルス応答は、その1滴のインクで描かれた点である。もしその描かれた点(インパルス応答)が、理想的に最小な点(インパルス)になっていれば、絵は正確に描けるが、もしその描かれた点が滲んでいれば、描かれた絵全体が滲んだ絵になる。その絵の滲み具合、すなわち正確さは1滴のインクで描かれた点の滲み具合(インパルス応答)で評価することができる。

(2) 由井啓之氏 音響機器のベンチャー「タイムドメイン社」社長

この考え方をスピーカの音響的な考察に置き換えてみる。例えばCDなどに記録されている音声データをパソコンなどで見てみると、図48のような波形が観測できるが、この一部を拡大してみると、一つ一つの音データがパルスの羅列として表されているのがわかる。つまり音の最小単位が、インパルスで構成されているのである。従ってインパルスをスピーカで再生したとき、仮にそのインパルス応答が完全にインパルスとなった場合は、この波形は完全に正確に再生される、つまりこのスピーカは完全に正確な音を再現できるスピーカであるといえる。

この考え方はデジタル信号処理技術やコンサートホール設計・開発などに関わる空間音響工学では世界中で汎用的に用いられる基礎理論であるが、スピーカ設計ではこれまではあまり深く追求されてこなかった。

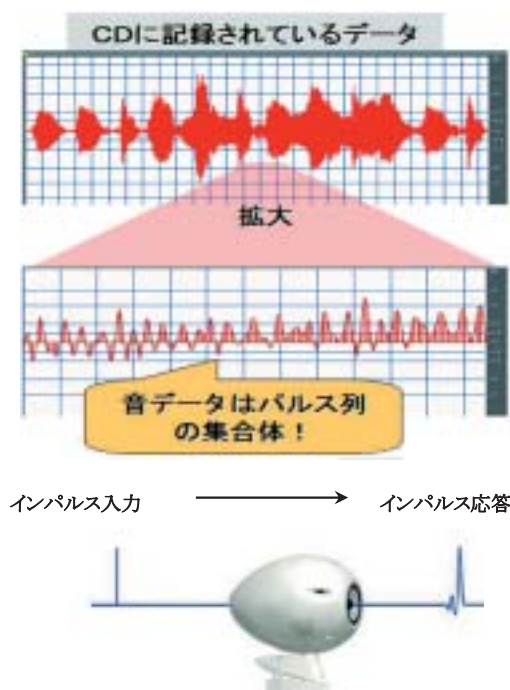


図48 インパルス応答の概念

ここで、インパルスの再生を『空気の動き』として考えてみる。図49は音の波形と空気中の粒子をモデル化した様子である。の音がない状態では空気中の粒子は均等に並んでいるが、の正弦波のような音がある状態では密と粗の部分ができる。そしてのインパルスの状態は、その部分だけが一瞬间に高圧縮されるという正確に再生することが難しい信号である。実際に、インパルス波形は自然界で最も再生の困難かつ理想的な波形であり、逆にいえばこの難しいインパルス波形を正確に再生できれば、どのような波形でも再生できるといえる。

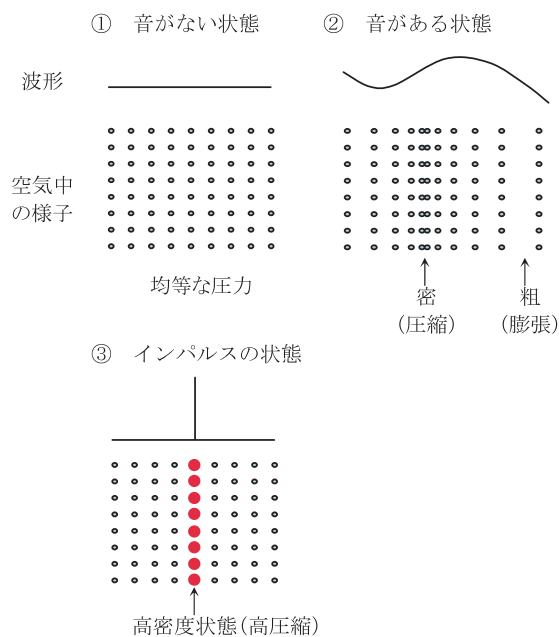


図49 音の波形と空気の動き

ここまでインパルス応答の内容を説明すると、「ではこれまでの周波数特性の問題はどう考えればよいか？」という疑問が湧いてくる。そこで、インパルス応答と周波数特性の関係について述べる。

(2) インパルス応答の周波数特性

周波数特性には「振幅周波数特性 (amplitude frequency response)」と「位相周波数特性 (phase frequency response)」の二つが存在する。一般に周波数特性という時は、振幅周波数特性のことを指す場合が多い。

インパルス信号は周波数特性を考える上でも基準となる特殊な存在である。数学的にはインパルスの振幅周波数特性と位相周波数特性はいずれも完全にフラットであり、理論的に振幅と位相双方の周波数特性がいずれも完全にフラットな信号というのはインパルスだけである。このことを伝達関数という考え方をを用いて説明する。

(3) 伝達関数と畳み込み演算

音を評価するときには、音が伝わるそれぞれの段階を分解して考える「伝達関数」という概念を用いることができる。例えば、CDプレーヤ、アンプ、スピーカ、部屋、耳介、それぞれが音を形成する要素を持っており、それぞれの音の特性が重なり合って、最終的に耳で聞こえる音を形成する。そこでそれぞれの要素ひとつひとつにインパルスを入力し、その出力であるインパルス応答をそれぞれの要素の伝達関数として扱えば、最終的に耳で聞こえる音は、各伝達関数の畳み込み演算を行うことで、表現することができる。

次に畳み込み演算について図50で簡単に説明する。入力信号AをCDなどに記録されている音楽信号のデジタルデータとし、 a , b , c をスピーカのインパルス応答を表すデジタル値とする。(ここでは説明をシンプルにするためにそれぞれのデータが3サンプルだけであると仮定する)

この時、入力信号をこのスピーカで再生したときの音はどうかを図50に示している。

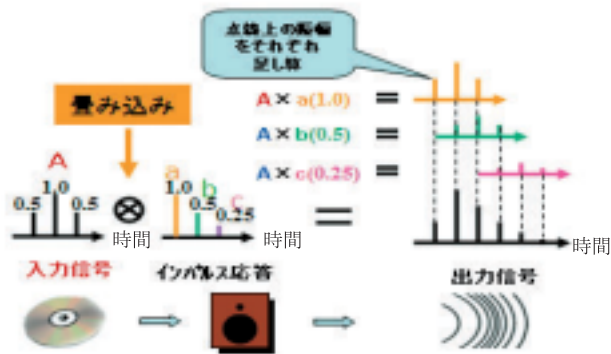


図50 畳み込み演算のしくみ

まず入力信号Aに a の値を掛ける。つぎに1サンプルだけデータを右にシフトし（遅らせる）、その次にAと b の値を掛ける。同様にまた1サンプルデータシフトしてAと c の値を掛ける。すると、出力信号は、それぞれのサンプルにおける上記かけ算を行った値の加算値となる。これが畳み込み演算のプロセスである。

この演算において、もし b と c の値が0であった場合、出力信号はAになる。これがインパルス応答とインパルスとが等しい場合であり、入力信号が出力信号と完全に一致しており、インパルス応答が入力信号を全く変化させていない状態である。つまり伝達関数として振幅周波数特性も位相周波数特性も完全にフラットな唯一の状態である。

このように、スピーカのインパルス応答が仮にインパルスになれば、振幅・位相周波数特性とも完全にフラットであるといえる。数学で「1」という数字が特殊であり、どんな数字と掛け合わせても元の数字と同じ値が得られる、という特異な状況と、音響工学における伝達関数上のインパルスの持つ意味は同義である。

(4) スピーカインパルス応答の現状

インパルスを完全に再生できる理想的なスピーカは存在しない。それは先に述べたように完全なインパルスを実現するためには、ドライバユニットが空気を押しながら前に出て、その後元の位置に戻って完全に静止するまでの時間が0sである必要があり、現実的には不可能な動作だからである。次に現実的にどの程度のインパルス応答まで再生することができるのか述べる。

図51が、当社製品であるECLIPSE TD712zと他社製品とのインパルス応答の比較である。

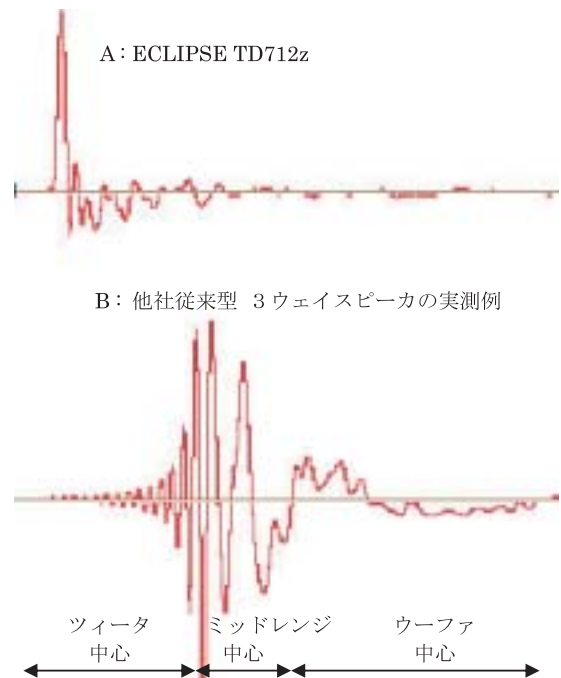


図51 スピーカのインパルス応答比較

上段はTD712zのインパルス応答であり、インパルスに近い形状が再現されているのがわかる。

下段は従来型3ウェイスピーカの例である。特徴は、ツイータからの音（波長の短い音）が最初に発せられ、次に時間遅れを伴ってミッドレンジスピーカの音（波長のやや長い波）、そしてウーファの音（波長の長い波）と続いている、つまりそれぞれのスピーカからの音がバラバラに発せられている点である。

(5) 音の違い

図51のA, Bの各スピーカで再生される音の聴感上の違いは、定常音（オルガンのように長く続く音）では単に音の大きさの差として聞こえる程度であるが、過渡音（ピアノのタッチ、弦楽器のピチカートやドラムのアタック音など）を聞くと、音の切れ（立ち上がりや立ち下りの速さ）や明瞭度の違いとして聞き取ることができる。また定常音を聞くと、Bの方が低音が多く聞こえる場合でも、過渡音（ベースの弦を弾く音やバスドラムなど）を聞くと、逆にAの方が低音が多く聞こえることが多い。これは先行音効果という聴覚現象によるもので、先に届いた音を大きく感じ、それによって反射音などが多い環境でも音源の方向性を捉えやすくするという効果である。Aは過渡音の立ち上がりの低域から高域までの耳への到達タイミングが元の状態から殆ど崩れないので、録音されたときの音の状態が維持されるが、Bは高域が他の帯域よりも早く耳に到達するため、高域レベルをより多めに感じてしまい、そのため録音された音よりも相対的に低域を弱く感じるようになる。

る。ただし定常音になると、それぞれの音の相対的到達時間差は聴覚上殆どわからなくなるため、振幅周波数特性で低音の量が多いBの音の方が重厚な音に感じやすい。

2.3 スピーカへの応用



TD712z



TD307II

図52 ECLIPSE TDシリーズ製品

(1) フルレンジスピーカへの応用

次にインパルス応答をインパルスに近づける方策として当社ECLIPSE TDのフルレンジスピーカ（図52）に採用している技術を説明する。

フルレンジスピーカの技術（図53）

1) 小口径ドライバユニット

インパルスのような立ち上がりの速い信号を再生するためには、空気を押す振動板は小型軽量であるのが理想的であるため、ホーム用Hi-Fiスピーカとしては小口径である直径12cmのドライバユニットを採用している。ここでいうドライバユニットとはスピーカ単体を表している。

2) グランドアンカ

ドライバユニットの振動板が正確に空気を押すためには、ドライバユニットの背面の反作用を押さえる必要がある。そこでグランドアンカと呼ぶ金属の錘をドライバユニットの背面に配置し、その慣性質量によってドライバユニットの反作用を押さえ、振動板が正確に空気を押すことが可能な構造を採用している。

3) ディフュージョンステー

ドライバユニットとグランドアンカをディフュージョンステーと呼ばれる支持パーツを介してスタンドに直接取付けている。これによって、ドライバユニットをより安定させて正確に空気を押すことが可能になった。

4) フローティング構造

ディフュージョンステーに緩衝剤を介してエンクロージャを取付けることによって、エンクロージャとドライバユニットの機械的な接点をなくし、ドライバユニットの振

動をエンクロージャに伝えにくくするフローティング構造を採用している。これによりエンクロージャ固有音の放射を低く押さえることで、スピーカ固有の不要音を最低限に押さえることが可能になった。

5) エッグシェルエンクロージャ

エンクロージャの形状には卵形を採用した。これによりエンクロージャ内に平行に向かい合う面がなくなったため、定在波の発生を抑えることが可能になった。またバツフル面が丸くなり、角がなくなることで、音（球面波）が拡がる過程で発生する回折波の発生も抑えることが可能になった。

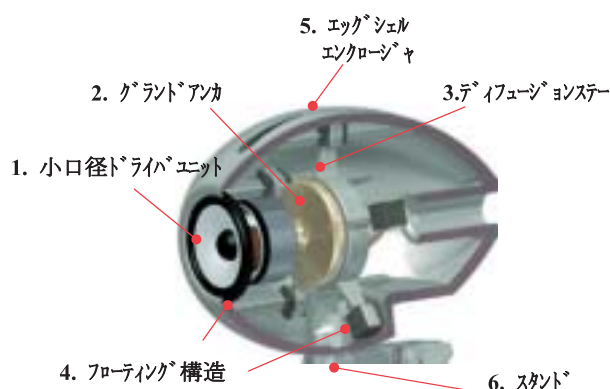


図53 フルレンジスピーカTD712zの内部構造

音の特徴

以上のような技術を採用することで波形の正確さを追求したECLIPSE TDシリーズの音の特徴としては主に以下の3点が挙げられる。

1) 明瞭度の向上

音楽などを再生するときにスピーカ固有の音が殆ど加わらず、入力されている音のみが再生されるため、音の明瞭度が向上する。特に従来スピーカで聞くと、スピーカ固有の響きによって埋もれていた小さな音がよく聞こえるようになる。例えば人の声を明瞭に録音されたCDなどを再生すると、口や舌の動きまで感じられたり、あるいはレコーディングの際に気付かなかった背景音などが聞こえたりすることが多い。

2) スピード感の向上

従来スピーカのインパルス応答のように、響き（残響）が加わった状態のインパルス応答が積み込まれた音は、音の時間幅が広がる。つまり音の立ち上がりや立ち下がりがなまる。逆にインパルス応答がインパルスに近づくと、立ち上がり、立ち下がりがCDなどに記録された信号の素早い立ち上がり、立ち下がりの状態のまま再生されるため、録音が生の楽器の音に近ければ近いほど、スピーカから再

生される音も生の楽器の音に近いキレの良い音を再生することが可能である。

3) 空間再現性の向上

もう一つの大きな音の特徴は、従来のスピーカに比べて音像の定位感がシャープになり、音がスピーカからではなく、空間から聞こえる感じが強まることである。それはインパルスを正確に再生できるスピーカでインパルスを再生した時に、左右それぞれのスピーカから音波は一つだけ再生されるため、それぞれの音波の位置関係が明確になるからである。これに対してインパルス応答が崩れた波形になればなるほど、入力された一つの音波に対して複数の音波が再生されるため、それぞれの音波の位置関係がぼやけ、音の定位がぼやけて大きな音像を結ぶようになる（図54下段参照）。また、従来スピーカの場合、音がスピーカから聞こえる傾向が強い。これはスピーカが持つ固有の響きをスピーカ自身が発生させているため、その発生源に音が定位するためである。ところがECLIPSE TDシリーズのようにスピーカ固有の音が極めて少ないスピーカの場合、音は録音されたときに定位していた位置（録音用マイクロホンに対して相対的に音源のあった位置）にほぼそのまま定位するため、音が空間から聞こえる印象が強まり、各楽器の位置が横方向だけでなく、縦方向、奥行き感を含めて明快に表現できるようになった（図54上段参照）。

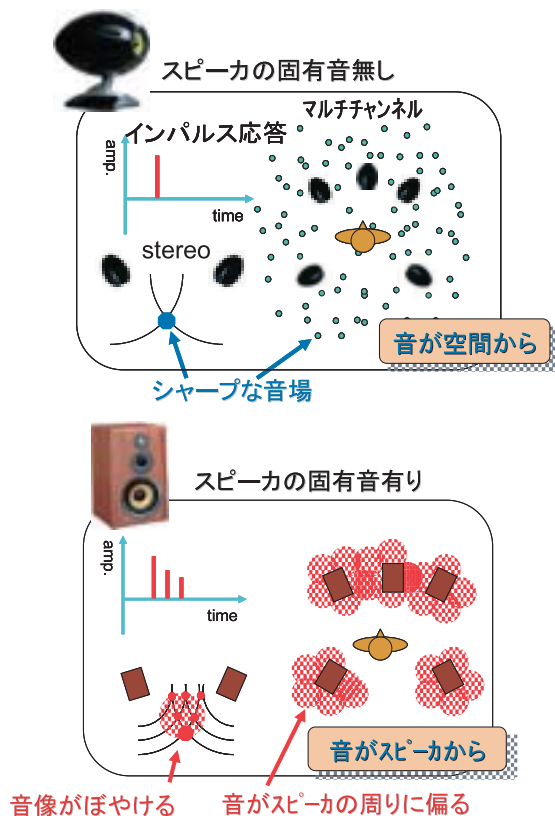


図54 音像定位のイメージ図

(2) サブウーファへの応用

従来型サブウーファの課題

従来のサブウーファは、低音の「量」の再生（つまり周波数特性）に重点を置いた物が多く、音の立ち上がりや立ち下りのスピードが遅くなり、結果として締まりのない低音になりがちであった。低音のスピードが遅くなると、ステレオ用スピーカにマスキング作用（つまり低音が中高音に被る）を起こし、再生している音全体がぼやけた締まりのない音になりがちである。これが、オーディオ愛好家のなかでサブウーファによる低音改善に対して、否定的な評価があった最大の要因と考えられる。

そこで当社は、ECLIPSE TDシリーズのコンセプトである音の波形の正確さを重視したキレのよい音のサブウーファを目指して開発を行い2006年に発売した。その結果、従来サブウーファと違うスピード感のある本格的な音が、国内外で高く評価された。

採用技術

ECLIPSE TDシリーズとしてキレのよい音のサブウーファを実現するために新たに開発・導入された技術は下記の三つである。

- 1) 小型ドライバユニットの採用
- 2) ドライバユニット反作用の抑制構造
- 3) フローティング構造

以下に開発詳細について述べる。

1) 小型ドライバユニットの採用

従来の考え方では、口径の大きいドライバユニットを使うほど重低音を多く再生することが可能になるため、サブウーファの低域再生限界を拡大するために大型ドライバユニットを採用されるケースが多かった。しかし波形忠実再生の観点から見ると、大口径になればなるほど過渡応答が悪くなるのは明らかである。そこで、高級サブウーファとしては従来と比較して小口径である25cm径のドライバユニットを2本採用することで、低域再生帯域拡大と過渡応答のバランスを確保した。

2) ドライバユニット反作用の抑制構造

ECLIPSE TDシリーズの他のスピーカと同様に、ドライバユニットの反作用を抑制すべく、ドライバユニットの背面にグラウンドアンカを配置する構造を採用すると、非常に巨大なグラウンドアンカが必要となり、製品としての成立性が困難になる（図55）。

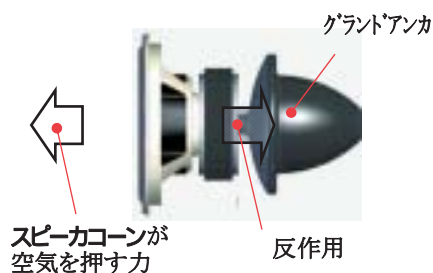


図55 従来のドライバユニット反作用抑制構造

そこで、二つのドライバユニットの背面同士をシャフトで結合することで、それぞれの反作用を相殺する構造を採用した。この構造では、各ドライバユニットを同相駆動させることにより、それぞれのドライバユニットで発生する反作用を互いに打ち消しあうため、グランドアンカが不要となり、製品全体の大幅な軽量化を図ることができた（図56）。

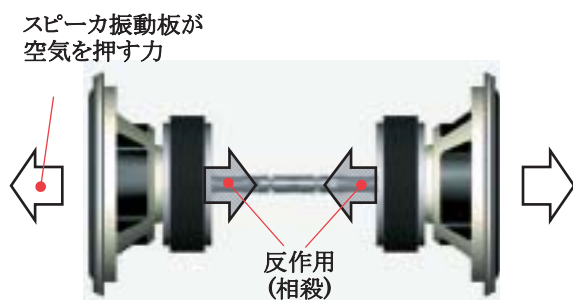


図56 背面对向結合によるスピーカ反作用抑制構造

3) フローティング構造

新サブウーファのフローティング構造は、グランドアンカやディフュージョンステーがないためECLIPSE TDシリーズのフルレンジスピーカとは違う構造を採用した。

まずドライバユニットの背面同士を結合するシャフトを、エンクロージャ内に固定された支持板の穴で受けることによって固定した。さらにシャフトと支持板の接触部に緩衝材を介し、またフレームとエンクロージャ間はエンクロージャに貼り付けられた緩衝材を介して接触させた。これにより、2個のドライバユニットとアルミシャフトはエンクロージャからフローティングされたことになる（図57）。

エンクロージャは30mm厚のMDF⁽³⁾を用い、強固な筐体による不要な振動・響きの抑制を図っている。

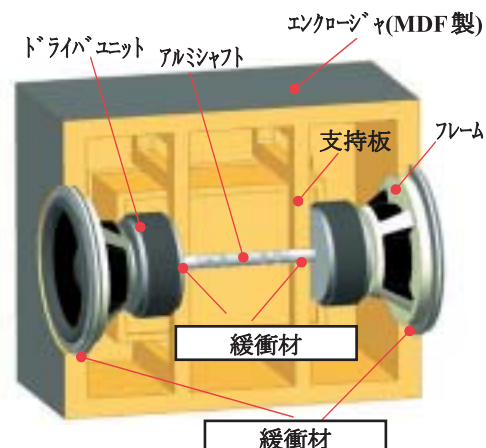


図57 サブウーファのフローティング構造

本構造の採用によりドライバユニット振動のエンクロージャへの伝達を抑制でき、従来製品に比べてエンクロージャ壁面の振動を93%抑制できた（図58）。

（ピンクノイズを 90dB SPL 再生時）

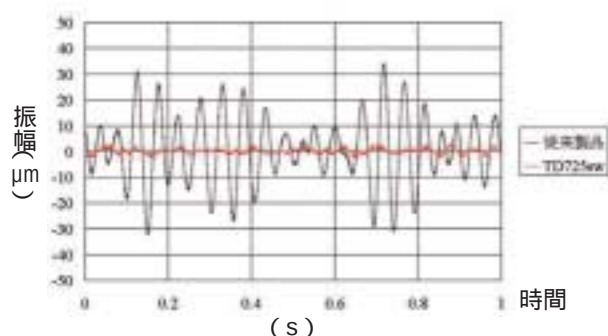


図58 サブウーファのエンクロージャ振動比較

主な仕様

新サブウーファTD725swの外観（図59）および主な仕様はつぎの通りである。



図59 ECLIPSE TD725sw外観（リモコン付）

（3）MDFとはMedium Density Fiberboard（中質繊維板）の略。木材チップを繊維状まで分解し接着剤で固めた素材。適度な内部損失をもち、不要な響きを持ちにくい。

- ・スピーカユニット：口径25cm×2個
- ・内蔵アンプ出力：500W
- ・再生周波数帯域：20Hz～200Hz
- ・外形寸法：W517×D503×H473（mm）
- ・重量：約42kg

外観形状はほぼ立方体となっており，他のECLIPSE TDシリーズと外観のイメージは異なっているが，200Hz以下のサブウーファの再生帯域では，エンクロージャ内で発生する定在波やエンクロージャの角で発生する回折現象の影響は少ない。従って，一定の外形寸法で最大限の容積を確保するために効率の良い形状を採用した。

また内蔵アンプには最大定格出力500Wの高効率なデジタルアンプを採用し，十分な音量を確保しつつ動作時の省電力化も図っている。

効果

音質としては次のような結果を得られた。

- 1) 映画などの爆発音などで有効な，いわゆる効果音としての重低音だけでなく，キレの必要な音楽再生用としての重低音としても十分満足のゆく過渡応答の早い音の実現でき，特に打楽器や弦楽器などの低音表現力が非常に高いサブウーファを実現できた。
- 2) エンクロージャを手で触れても，振動が殆ど分からないほどエンクロージャへの振動伝達を抑制することができたため，従来，部屋への設置で特にコントロールが難しかった床への不要振動の伝達もかなり軽減することができた。これにより，部屋鳴りの軽減効果も含めてにゴリの少ない，クリアでキレの良い重低音を再生できるようになった。

ECLIPSE TDシリーズの市場評価

【市場評価】

音に関する市場からの評価は，賛否が分かれ、以下のような結果となった。

「非常に良い」という意見

狙ったTDスピーカの特徴が市場でも評価され

- ・クリアーで明快な音
- ・立下り、立ち上がりの速いスピード感ある音
- ・音像の定位感が明確になり、空間再現性が増す。
- 「もう一つだ」という意見
- ・低音や高音の量感不足（ただし、低音不足はサブウーファなしの場合）
- ・音色に関する違和感（柔らかさや響きの不足）

評価が分かれた要因としては以下のように考える。

趣向の違い

要するに個人の、音の好みの問題であり、ワイドレンジでダイナミックな音を求める人もいるし、心休まるゆったりした音を重視される人もいるなど、さまざまである。

エンクロージャの響きに起因する音の違い

従来スピーカのように、エンクロージャを響かせると音の量感が増し、どんな音楽でも比較的柔らかく、心地よく聞こえる傾向にある。このような音は店頭などで比較試聴するようなケースでは良い評価が得られるようである。しかし、スピーカの響きを加えることで、明瞭性、スピード感、空間再現性は低下する。

個人の音のレファレンスの違い

家庭でCDなどの音源を繰り返し聞いていると、自分が普段聞いているスピーカの音がその人の音のレファレンスとなり、「このアルバムはこのように聞こえるのが本来の姿である」と思い込む傾向がある。従ってそのレファレンスと違った音はあまり良い評価が得られないこととなる。

【まとめ】

ECLIPSE TDシリーズのように音の正確性を高めていくと、従来テレビがハイビジョンに変わったのと同様にスピーカの個性が薄まり、より音源の素性の差が明確に聞き取れるようになる。その結果、細かい粗が目立つことになり、逆にスピーカの音が粗いとか、癖が悪いと誤解される場合もありあると考えられる。

しかし、表4の一覧表に示すように、音の評価に定評のあるヨーロッパの各種AWARDを獲得していることや世界のトップクラスのレコーディングエンジニア、アコースティックミュージシャンなどから極めて高い評価を得られたのも、タイムドメイン理論の優位性の裏付けであると考えている。

（詳細は <http://www.eclipse-td.com/userlist/> を参照）

表4 ECLIPSE TD シリーズの代表的なアワード

型名	アワード名	出版社	備考	国名
TD712Z	Nov 2006	REVUE DU SON	オーディオ専門誌	フランス
	REFERENCE STATUS Mar 2007	Home Cinema Choice	AV専門誌	イギリス
	ビジュアルグランプリ 2007	音元出版	AV誌出版社	日本
	Hi-Viグランプリ(スピーカー部門賞) 2004	Hi-Vi	AV専門誌	日本
TD725SW	GOLD AWARD Oct 2006	Hi-Fi News	オーディオ専門誌	イギリス
	Oct 2006	What Hi-Fi?	AV専門誌	イギリス
	ビジュアル グランプリ ホームシアター大賞 2006夏・冬	音元出版	AV誌出版社	日本
	Hi-Viグランプリ	Hi-Vi	AV専門誌	日本
	ザ・ベストバイ サブウーファ部門 1位 2006 / 2007夏	ステレオサウンド	オーディオ専門誌	日本
TD512	May 2002	What Hi-Fi?	AV専門誌	イギリス
	Product of the year 2位 Jan 2003	Hi-Fi News	オーディオ専門誌	イギリス
	オーディオ銘機賞 技術賞2001	音元出版	AV誌出版社	日本
TD510	Mar 2006	What Hi-Fi?	AV専門誌	イギリス
	Editor's Choice Mar 2006	Hi-Fi News	オーディオ専門誌	イギリス
	ビジュアル グランプリ 2007夏ホームシアター大賞	音元出版	AV誌出版社	日本
TD508PA	オーディオ銘機賞 2008 銅賞	音元出版	AV誌出版社	日本
508PA	Oct 2003	Stuff	製品情報誌	イギリス
	Gold Award Christmas 2002	T3	製品情報誌	イギリス
	Test Winner 2007	T3	製品情報誌	イギリス
	ビジュアル グランプリ入賞(普及タイプ) 2007夏	音元出版	AV誌出版社	日本
	Feb 2006	What Hi-Fi?	AV専門誌	イギリス
	Group test winner 2006	What Hi-Fi?	AV専門誌	イギリス
	Editor's Choice Award 2005	MacWorld	PC専門誌	イギリス
	Dec 2003 / Nov2004	Stuff	製品情報誌	イギリス
		Mac User	PC専門誌	イギリス
TD307PA	Aug 2007	What Hi-Fi?	AV専門誌	イギリス
TD307TH	ビジュアル グランプリ ホームシアター大賞 2006夏・冬	音元出版	AV誌出版社	日本
307TH	Dec 2003	Home Cinema Choice	AV専門誌	イギリス
	Feb 2004	Essential Home Cinema	AV専門誌	イギリス
316SW	Nov 2004	Stuff	製品情報誌	イギリス

2.4 車載用機器への応用

ホーム用タイムドメインスピーカシステムの開発によって得られた技術ノウハウを車載用オーディオに応用することによって、車室内において再生される音を改善することができるようになった。すなわち、音響的な環境条件が厳しい車室内においても、不要振動や反射音を抑制する制振技術によって、

- ・クリアで透明感のある音
 - ・明確な音像定位感
 - ・聴取者前方に広がるサウンドステージ感
- といった音の実現できるようになる。

しかし、ホーム用のタイムドメインスピーカシステムの技術ノウハウである卵型エンクロージャーやグランドアンカなどは、そのまま車載用に持ち込むことができないため、次のような考え方で車載システムを構築した。

聴取者前方に、制振構造をもった小型のボックス型スピーカをメインスピーカとして設置。不要な反射音・振動が可能な限り少ない位置へ取付け、音声帯域以上の周波数をカバーする。

不足する周波数帯域は、制振構造を施して取付けたミッドベースとサブウーファで再生する。

各スピーカ間の距離差をデジタル信号処理で補正する。このような考え方によって構成したスピーカシステムの例を図60に示す。

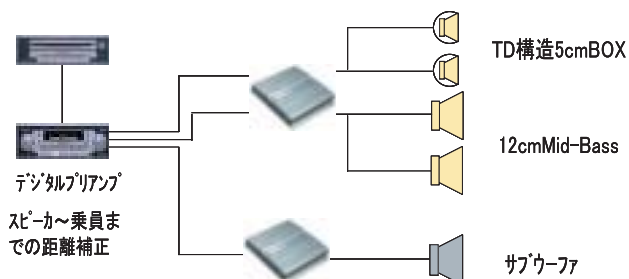


図60 タイムドメインの考え方を車載へ応用したシステム

(1) φ5cmボックス型メインスピーカの特徴

メインスピーカは、音声帯域以上をカバーし、しかも車室内で聴取者前方へ取付けることが可能な口径を考えると、φ5～6.5cmが限界になってくる。ここでは、φ5cmド

ライバユニットを小型のボックス内に完全にフローティングさせて取付けており、構造を図61に示す。

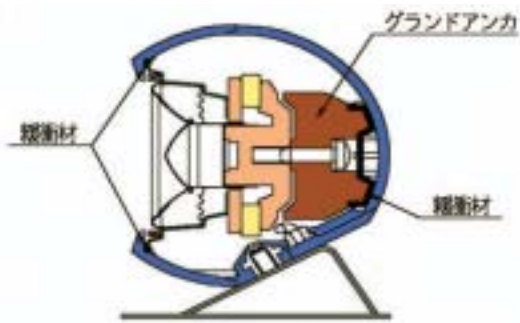


図61 φ5cmメインスピーカの制振構造

フローティングの効果は、新たに開発したマルチインパルス応答という測定法を用いて、音の時間的な拡がり方を視覚化し評価している。この測定法はインパルス応答をスピーカ周囲の多点で測定し、コンピュータ上で合成したものである。従来型の取付け構造とフローティングによる制振構造をとった場合の差を図62に示す。

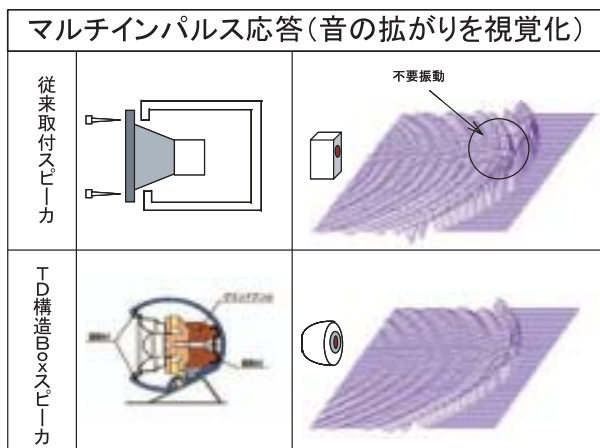


図62 フローティングによる制振構造の効果

音の波が広がっていく様子を見ると、フローティングによる制振構造をとった場合、不要振動の部分が少なくなり、入力信号波形に、より忠実な音を再生していることがわかる。

また、同じボックス型スピーカでも車室内での取付け位置や方法により、不要な反射音や振動音に差があり、これらが再生音質に大きな影響を与えることがわかっている。

この評価には、車室内で測定したインパルス応答をエネルギーレスポンスに変換し、0～20msまでのエネルギーを加算し、ピーク値で正規化した値である「初期エネルギー値」を用いている。

図63は、同一の車室内でメインスピーカをそれぞれインパネ奥、手前およびドア前方上方に設置した場合のエネルギーレスポンスから得た「初期エネルギー値」の差を示している。

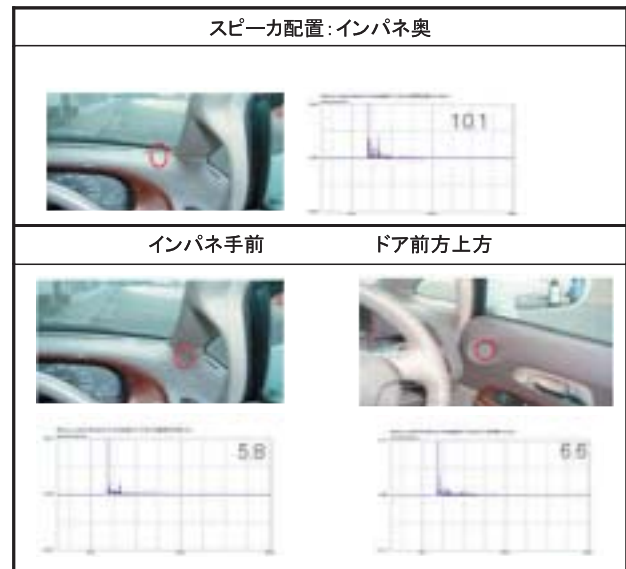


図63 メインスピーカ取付け位置による初期エネルギーの差

この例では、インパネ手前に取付けた場合が5.8と一番小さな値になっており、直接音に対して不要な反射音や振動音のエネルギーの割合が小さいことを示しており、入力に忠実な再生音という意味では最適な取付け位置であるといえる。

(2) φ12cmミッドベーススピーカの特徴

従来と同様に、車のドアやキックパネルの空間をスピーカボックスとして利用するために、スピーカユニットを車のボデーへ直付けするタイプのスピーカシステムにおいても、制振構造を取ることによって、大きな音質改善効果が得られる。

図64は、φ12cmミッドベーススピーカの背面にグランドアンカを配置し、取付け部にフローティングのための緩衝材を入れた例を示している。

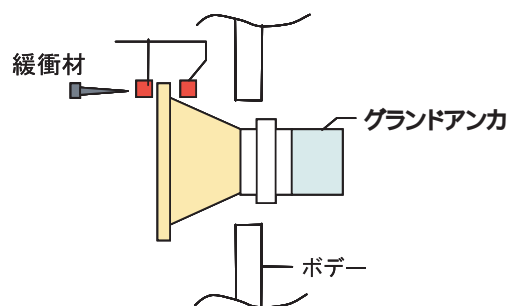


図64 φ12cmミッドベーススピーカの取付け構造

これらの効果は、車室内におけるインパルス応答より、立下り累積スペクトラムを求めることによって確認している。図65は、グランドアンカおよび緩衝材の有無による立下り累積スペクトラムの差を表している。

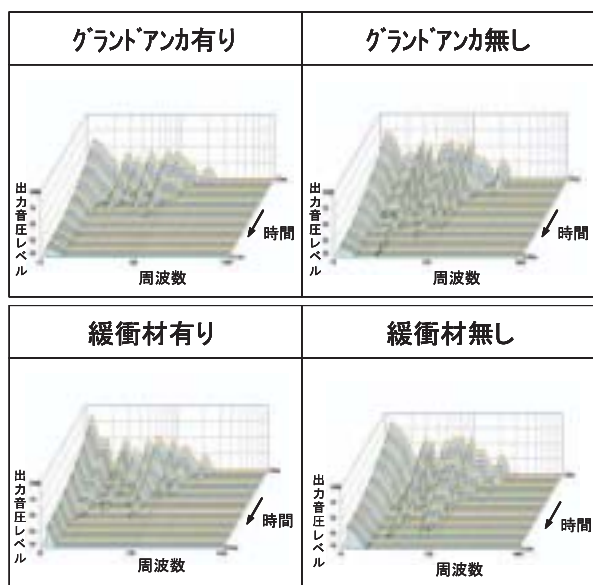


図65 立下り累積スペクトラムによる評価結果

制振対策により100Hz付近までの帯域において、時間軸上にいつまでも尾を引く不要な振動が少なくなっていることが確認できる。

(3) サブウーファの特徴

サブウーファの帯域になると、車載用としては大型のφ20cmクラスのドライバユニットが使われる。そこでホーム用サブウーファと同様に、グラントアンカを配置する代わりに二つのドライバユニットの背面同士をシャフトで結合し、反作用を打ち消しあう構造を採用した。

車載用で本構造を取ると、音を放射したい方向とドライバユニットの向きが異なるため、対策としてドライバユニットの前面に音響負荷を加え、音を車室内へ導く。これは音の立ち上がりや放射効率の改善も兼ねている。車載用サブウーファの構造を図66に示す。

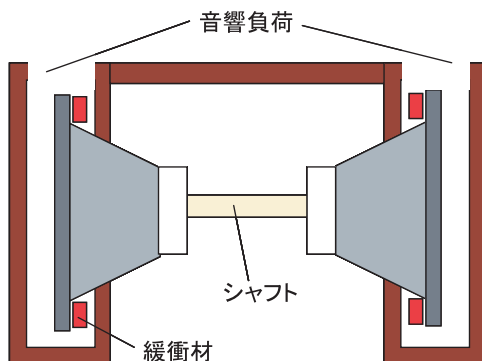


図66 車載用サブウーファの基本構造

このようにタイムドメインスピーカシステムの開発によって得られた技術ノウハウの応用によって、車載用オーディオの音を飛躍的に向上させることが可能になった。