

第4章 未来の音づくり

1 未来のカーオーディオ

カーオーディオはカーラジオの導入をルーツとし、カーステレオと呼ばれていた時代を経て、機器を実現する半導体技術やメディアの進化などと共に、よりよい再生音を求めて発展してきた。今後、デジタル信号処理技術や空間音響工学の研究成果の積極的な活用により、さらなる音質向上が見込まれている。

一方でナビゲーションシステムの普及や携帯電話の著しい進化、路車間通信、車車間通信などといった自動車と外部をつなぐ通信機能がどんどん発達し、ドライバーを取巻く環境は大きく変化している。それら変化の中で、カーオーディオもさらに進化すべく、音や音楽を利用してどれだけ新しい付加価値をユーザに提供できるかがこれからの課題になるといえる。

以上の観点から本書の最後は、現在当社で考えているカーオーディオの将来像とその実現への取り組みについて述べる。

1.1 新しい付加価値と当社の取組み

これまでの音づくりは「迫力のある音」「きれいな音」など、どちらかといえば、メディアを良い音で楽しむことに重点を置いてきた。しかし現在は、これまでの音づくりに快適性、利便性、安心・安全の三つを新しい視点として位置付け、新しい技術開発に取り組んでいる。その概要を以下に述べる。

(1) 快適性

車室内は音響空間としてはとても狭い。リスニングルームでいるような、あるいは自然の森の中にいるような空間を再現することができれば、きっと快適なドライブを満喫できるであろう。これを実現するには音の「拡がり感」の制御（空間コントロール）技術が必要である（図1）。



図1 空間コントロールイメージ

(2) 利便性

図2は車両の位置から目的地の方向を算出し、音声もその方向から案内するというサービスを表している。

このサービスを実現するには、任意の方向から音を出す技術、すなわち音を「動かす」技術が必要である。スピーカのレイアウトは通常、車両条件により固定される。それゆえ、音が聞こえてくる方向（音の定位感）も一義的に決まってしまう。本技術はカーオーディオ用スピーカを使って、音の定位感を制御しようとするものである。



図2 音の方向感制御 例1

(3) 安心・安全

図3は車外の歩行者の接近をドライバに知らせるため、歩行者の場所を認識し、その方向から音を発して、接近を知らせるというサービスを表している。本サービスを実現するためにも音を「動かす」技術が必要である。



図3 音の方向感制御 例2

1.2 音の拡がり感制御技術

将来のサービスをいくつか紹介してきたが、まず図1を実現させるために必要な音の拡がり感制御技術は、第3章

で述べた新音響空間創生への取り組みをさらに進展させる必要がある。

図4は当社のリスニングルームのインパルス応答を、図5は代表的な車室内インパルス応答を示している。

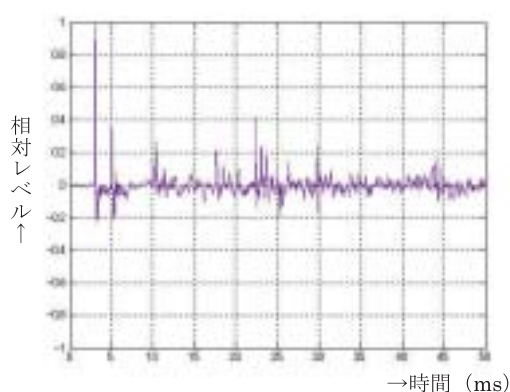


図4 リスニングルームのインパルス応答

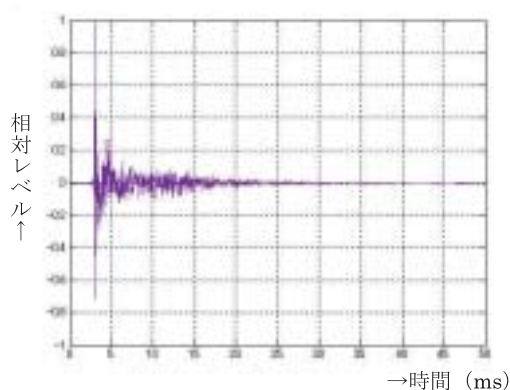


図5 車室内のインパルス応答

リスニングルームは直接音から数ms～数10msに明確な初期反射音が見られ、20ms以上にも離れた壁からの反射音が見られる。これと比較して車室内の反射音は、20ms以内の短い時間に集中し、それ以上はほとんど見られない。

次に、図6にリスニングルームの反射音の到来方向、図7に車室内の反射音の到来方向を指向性拡散図で示す。

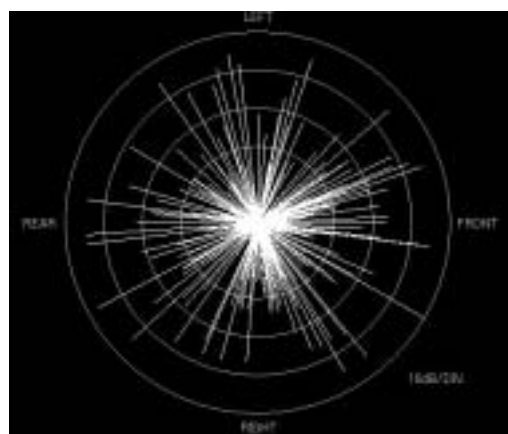


図6 リスニングルームの反射音到来方向（上面図）

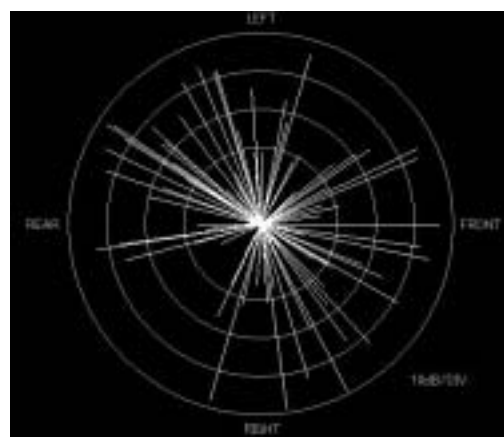


図7 車室内の反射音到来方向（上面図）

リスニングルームはあらゆる方向から高密度で反射音が到来しているのに比較し、車室内は方向が限定され、密度も低いのが特徴である。

このような結果から、車室内でリスニングルームのような拡がり感を得るには、以下のような検討が必要である。

- ①「狭さ感」を生じる不要反射音や振動音の抑制
 - ②「拡がり感」を得る新たな反射音（空間情報）の付加
- これらを実現するための考え方の概要を図8に示す。

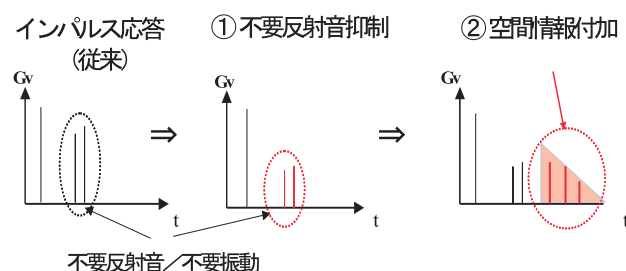


図8 音の拡がり感制御の考え方

1.3 音の方向感制御技術

次に図2の実現に必要な音の制御には

- ・ 特定の方向から聞こえるようにする技術（方向感制御）
 - ・ 聞こえる方向を時間によって変化させる技術（移動感制御）
 - ・ 音をクルマの外から聞こえるようにする技術（距離感制御）
- の三つがあり、いずれの制御も基本的な考え方は下記のようなになる。

目の前で鳥の鳴き声が聞こえるような音が収録されているソースを左右スピーカーで再現したのが図9A。右スピーカーからの右耳および左耳に入る信号をそれぞれHRr/HLr、左スピーカーからの右耳・左耳に入る信号をHLr/HLlとする。図9では既存のスピーカー位置を変えずに、鳥の鳴き声を右後方に定位させる制御概念図を示す。

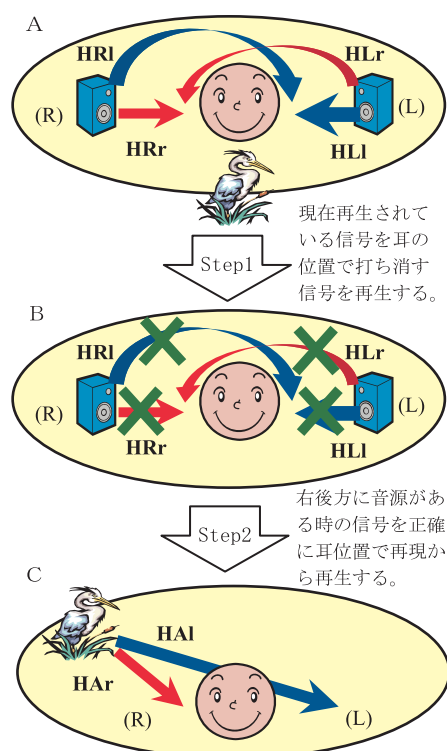


図9 方向感制御概念

Step1・Step2いずれも耳位置での正確な制御が必要であり耳元近傍に小型のスピーカを搭載させて実現している。数式化すると図10ようになる。

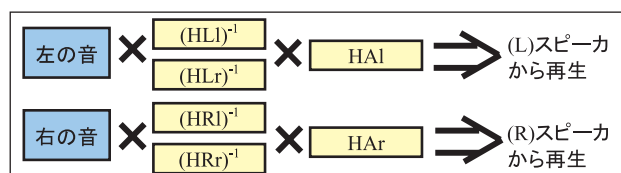


図10 音を任意の方向に定位させるための計算処理

現在までの当社の開発状況を下記にまとめる。

・方向感制御

耳元に小型のスピーカを搭載することで所望の方向へ定位させることができる。個人差の克服が今後の課題。

・移動感制御

所望の位置から位置への移動は実現できる。移動の間隔・時間など、違和感を与えないような配慮が必要。

・距離感制御

音量が小さい時の制御が問題。遠くに定位させようとすると残響を付加し、音量を下げる必要がある。そのため、車の騒音下では制御効果を得難い。この問題の解決策については、次の1.4で述べる。

当社はこれからも快適性、利便性、安心・安全をキーワードにした音づくりを進化させていき、車室内で発するすべての音を状況に応じて制御していく予定である。(図11参照)

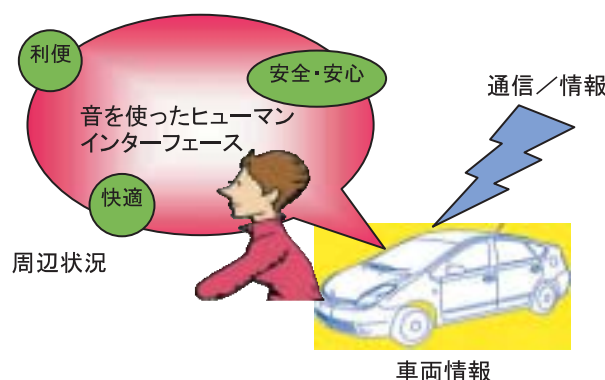


図11 音を使ったヒューマンインターフェース

次に今までの開発成果を活用した事例を紹介する。

1.4 音を使ったヒューマンインターフェースの具現化例

2005年3月から開催された日本国際博覧会（愛・地球博）において、一人乗りの未来コンセプトビークル「i-unit（アイユニット）」が、トヨタグループ館に出展された（図12）。この車には未来社会に向けて人と車の融合をねらい、運転支援を行うための環境情報などを音、光、振動を用いてわかりやすく乗員に伝えるヒューマンインターフェースが開発搭載された。これは今後のカーオーディオの方向性を示すものであり、当社も基礎開発の成果を活かしシステム開発に協力した。

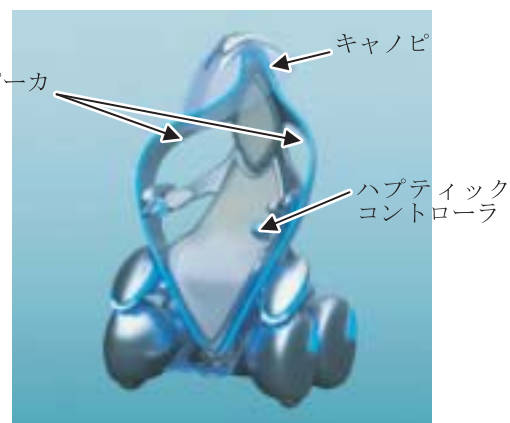


図12 未来カートヨタ「i-unit」

ここで未来のカーオーディオの狙いとして、

●快適な音空間の創出

- ・自分だけのプライベート空間、リラクゼーションスペースを提供する。

●状況に応じた音による情報提供

- ・方向感を持った音声・操作音で運転に必要な情報を提供することにより、認知度を向上させる。

という二つが考えられた。これらの狙いを現在のIT技術で実現することと、この車の特長である「最小サイズモビリティ」を実現するために、最小限のハードウェアを用いソフトウェア上で信号処理を行った。

スピーカシステムとしては、乗員の耳元近傍へ二つの小型高性能スピーカユニットを配置し、乗員の周囲、任意の位置への音像コントロールは、信号処理で実現している。オーディオシステム構成図を図13に示す。

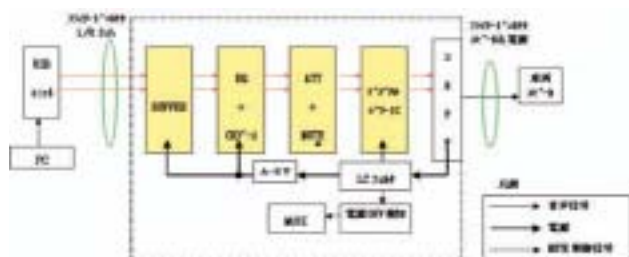


図13 i-unitオーディオシステム構成図

オーディオシステムで再生する「音コンテンツ」には音楽、警報音以外に、さまざまな操作・動作をわかりやすくするための操作音、効果音が含まれる。これらの音コンテンツの制作も同時に行った。再生する音コンテンツは、大きく次の四つに分類される。

①スイッチ操作に伴う音

i-unitには従来のハンドルに代わって、左手と右手にコントローラがあり、このコントローラでキャノピ開閉などの操作を行う。そこで、「光」、「振動」と共に「音」をヒューマンインターフェースとして考える。

②周囲環境との調和をねらった音

この車には自動走行を行う機能があり、走行時の注意音など、周囲との融合を図るための音。

③注意勧告

警報音、後退音など、乗員への注意勧告を行う音。

④BGM

走行時に聞く音楽。

これら音源制作は心理実験により音の方向性を決定し、実車検討で修正していく方法で開発した。制作した音源のうち代表として次の2種類を例に概要を説明する。

(1) 警報音

i-unitは安全性のサポートとして、自車周辺を常にセンサで監視している。そのなかで乗降時に車、人などが後方から近づいてきた場合、乗員に注意を促す機能があり、その時に再生される音が警報音である。現在の車でもさまざまな警報音が使用されているが、基本的には正弦波ベースの音が多い。以下に警報音制作のねらいを示す。

①人に優しい音

乗員に注意勧告するといった、警報音としての基本機能は維持しながら、人に優しい音にする。

②距離感制御

後方からの接近物を、その距離に応じて3段階に「光」「ハプティックコントローラの振動」と連動させ「音」の差で乗員に知らせる。

③方向感制御

今回は後方左右45度と真後ろの3段階で方向感制御を行う。

④人と車との融合

i-unitを単なる車として考えるのではなく、知性を持った生命体のイメージで音を制作する。

生命体のイメージを与える音として、今回は人の短い声「トゥ」をサンプリングし、繰り返し音として使用するという新しい試みがなされ、この音をベースに距離感制御を行った。

人が音で距離感を感じる要因を表1にまとめる。

表1 人が距離感を感じる項目

	距離感	
	遠	近
音量	小	大
周波数特性	高域減衰	
響き	大	小

一方、警報音としての緊急性の高低として考えられる要因を表2に示す。連続音に関しては、音量と周波数特性で決まるが、周期性のある音に関しては周期の長短も要因となる。

表2 警報音としての緊急性

	緊急性	
	低	高
音量	小	大
周波数特性	高域減衰	
繰り返し周期	長	短

以上の要因から距離感の制御は、「トゥ」のベース音の周波数と、繰り返し周期、音量の違いを基に調整した。「響き」による制御は、反射音や騒音のある車室内を想定しているので、前述の理由から今回は使用していない。

遠距離の音は「気配」を感じる程度の音で、近距離の音は緊急性を感じる音をイメージし、パラメータを決定した。以下、図14～16に各音源の概要を示す。

【遠距離音】

- ・基本周波数 : 175Hz
- ・繰り返し周期 : 900ms
- ・音量（乗員耳元）： 77dB（A）

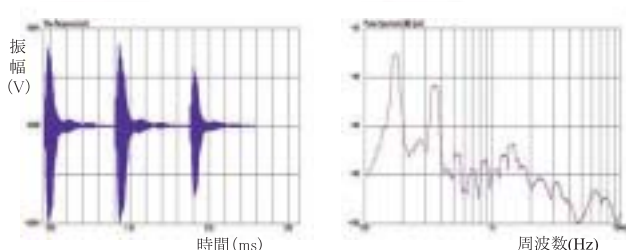


図14 遠距離音の波形と周波数スペクトラム

【中距離音】

- ・基本周波数 : 350Hz
- ・繰り返し周期 : 320ms
- ・音量（乗員耳元）： 83dB（A）

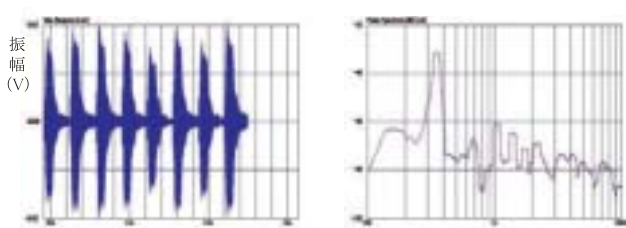


図15 中距離音の波形と周波数スペクトラム

【近距離音】

- ・基本周波数 : 880Hz
- ・繰り返し周期 : 210ms
- ・音量（乗員耳元）： 86dB（A）

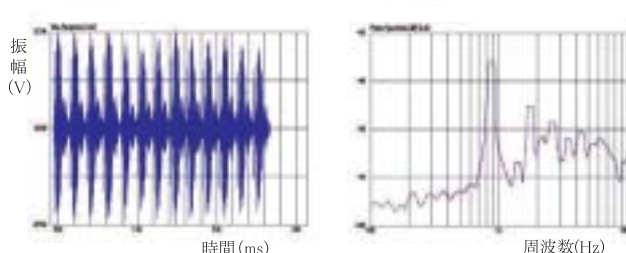


図16 近距離音の波形と周波数スペクトラム

(2) 個人認証音

i-unit機能として、乗り込む前には個人認証システムにより個人認証を行う機能がある。その際も「光」「ハプティックと呼ばれるコントローラの振動」に加え「音」によって「認証中」と「認証完了」を伝える。以下に個人認証の手順を説明する。

- ①ハプティックコントローラに手のひらをかざし、個人認証を開始する。認証中はハプティックコントローラの振

動と点滅、オーディオの音で認証中であることを伝える。（3～4sで認証が完了）

- ②認証完了と同時に「認証完了音」が再生され以下の動作を同時に行う。

- ・ハプティックコントローラが下に下がる。
- ・ハプティックコントローラ付近からボデー全体に色が広がっていく。
- ・キャノピが開き乗車準備が整う。

上記動作時における各音のねらいと、音の概要を以下に述べ、図17と図18に、各音源のソナグラフ（時間－周波数－レベルのグラフ）を示す。

【認証中の音】

（ねらい）

- ・ハプティックの振動と、周期の長いハプティックの点滅にイメージを合わせる。（高域成分を減らした拡がりのある音）
- ・認証作業中は大きな動作が無くなるので（4s程度）、優しい音で不安を取り除く。

（音の概要）

- ・400Hzの基本周波数を基にしたグラスハープのイメージの音。
- ・長めの（約1s）フェードイン・アウトによりソフトなイメージを与える。
- ・左右チャンネル間で振幅変調を行い、拡がり間を与える。（周期約0.5s、振幅変動約3dB）

【認証完了音】

（ねらい）

- ・各動作（ハプティック降下、キャノピ開、光の拡がり）のトリガー的な音にする。
- ・光がボデーに広がっていくイメージに合わせて、広がりのある余韻を付ける。

（音の概要）

- ・700Hzの基本周波数を基にした、柔らかい鐘の音でトリガーを表現。
- ・アタックのある音の初期部（約0.7s）はハプティック方向（左ch）に音を定位させ、余韻部（約2s）で左右chに広がっていくように定位制御。

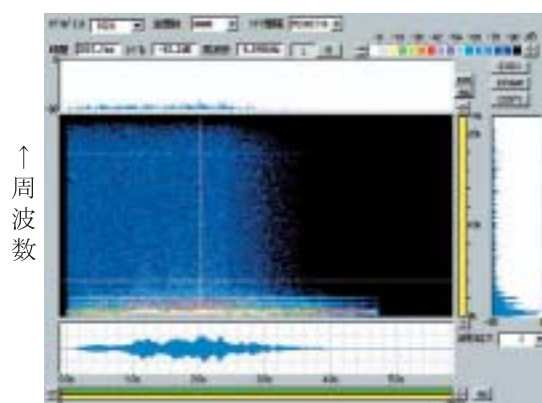


図17 個人認証音（認証中）のソナグラフ

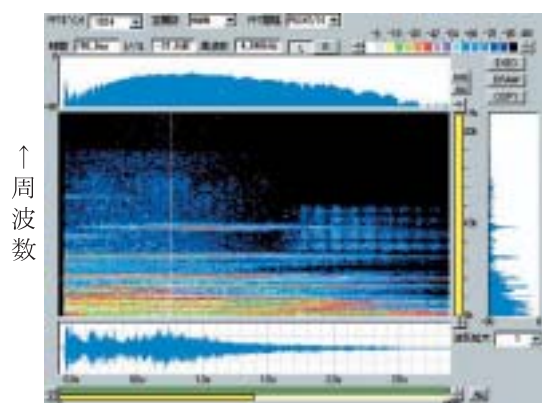


図18 個人認証終了音のソナグラフ

以上、代表的な音コンテンツについて述べた。

i-unitは30年後の未来の車をイメージしており、その頃にはさらにさまざまなIT機能が搭載されるであろう。これら機能を乗員が容易に使用できるように「光」、「振動」と共に「音」を活かしたヒューマンインターフェースの向上を図ることが求められる。また今後、ドライバが車との一体感を持てるように演出をしていく意味でも、このように「音」を用いたヒューマンインターフェースの向上が有効かつ重要になると予測される。

2 地球にやさしい車へのオーディオ

おわりに、現在の車社会では、地球温暖化や化石燃料の不足などの問題に対処していくため、燃費の良いハイブリッドカーの普及や燃料電池車の開発などが進められている。現在、バッテリーから電力供給を受けているカーオーディオも例外ではなく、効率向上のための技術革新が求められてくる。

今後、フラットで振動板面積を広げた電気―音響変換効率の高いスピーカや、デジタル化による高効率パワーアンプなど、良い音でしかもエネルギー効率の高いシステム開発への挑戦を続けていく。