

トヨタ「i-unit」オーディオシステムの開発

Development of Audio System for TOYOTA "i-unit"

本島 顕	Akira Motojima
前田 昌宣	Masanobu Maeda
安東 正美	Masami Ando
山口 洋一	Yoichi Yamaguchi
今村 忠	Tadashi Imamura
吉井 祥平	Shohei Yoshii
加藤 茂樹	Shigeki Kato



要 旨

2005年日本国際博覧会（愛・地球博）に、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。i-unitには未来社会に向けた様々なIT技術を活用した運転支援システムが搭載されている。今回、人と車の融合をねらい、運転支援情報などを音、光、振動を用いてわかり易く乗員に伝えるヒューマンインターフェースを開発した。当社もオーディオシステムの開発に協力している。

本稿ではi-unitのオーディオシステムのハードウェア紹介と、併せてヒューマンインターフェースの向上をねらって制作した「音コンテンツ」の概要と、2スピーカーで乗員の周囲360度に音を定位させる、音像制御方法に関して紹介する。

Abstract

At the EXPO 2005 AICHI, JAPAN, the single seater "i-unit," a future concept vehicle, was submitted to the Toyota Group Pavilion for display. This i-unit is loaded with a driving support system which utilizes various types of IT technology geared towards future societies. In this project, with the aim of a fusion of humans and vehicles, a human interface has been developed which, using sound, light and vibration, provides the driver with easy-to-understand information regarding driving support. FUJITSU TEN also cooperated in this audio system development.

This document introduces i-unit audio system hardware. This introduction includes an outline of "audio contents" created with the aim of human interface enhancement, as well as an introduction regarding sound image control methods which are used to localize sound within a 360-degree circumference around the driver with two loudspeakers.

1

はじめに

本年3月25日から、2005年日本国際博覧会（愛・地球博）が開催されている。トヨタグループでは、一人乗りの未来コンセプトビークル「i-unit（アイユニット）」を開発し、トヨタグループ館に出展している。

i-unitは未来社会に向けた具体的な取り組みを実現させる様々な技術を盛り込んだ車で、当社もオーディオシステムの開発に協力している。本稿ではi-unitのオーディオシステムと、併せて制作した「音コンテンツ」を中心に紹介する。

2

i-unit概要

i-unitは、自由に移動したい、走ることを楽しみたいという個人の欲求の充足と、社会の調和、地球・自然環境との共生を高次元でバランスさせることを追求したパーソナルモビリティである。本章ではi-unitの概要を説明する。

2.1 概要

i-unitのコンセプト等の概要を表-1に示す。¹⁾

2.2 主な特長，機能

表-2に主な特長，機能の一覧を示す。

2.3 車両開発テーマとIT技術

i-unitでは「個人の欲求の充足」「社会との調和」「地球・自然環境との共生」の3つの開発テーマがある。それぞれを実現するためのIT技術の概要をまとめたものを図-1に示す。

表-1 i-unit概要

Table 1 Outline of i-unit

コンセプト	「人間の拡張」	人とクルマが融合することによって、人間の可能性を限りなく広げてゆく
テーマ	Inspire Individual 人も地球ももっとすばらしくなる。 モビリティが拓く、人と地球のよりよいつながり	移動することにより個人の世界が広がり、自然、社会、人、文化などとふれあう機会や可能性を創出。 新たな感動、発見、出会いを通じて、個人が精神的に豊かになるとともに、環境や地球との一体感を醸成する。
デザインテーマ	「葉」	太陽の光を命のエネルギーに換える、未知の力、生物の持つ合理性、シンプル（無駄の無い機能美）を実現。

表-2 特徴と概要

Table 2 Characteristics and outline of i-unit

最小サイズモビリティ	超軽量・コンパクトボディにより、車の移動空間から人の移動空間までシームレスに移動可能。 また、移動のための占有空間・消費エネルギーを最小化。
可変スタイルシステム	低速姿勢モードでは人と混在して移動できる最小サイズを実現。 高速姿勢モードでは定重心の安定した操縦性を確保。
簡単操作系 ドライブコントローラー ITコントローラー	ドライブパイワイヤー技術により、自然な操作で、その場回転から高速走行まで意のままに操作可能。 運転支援情報など各種情報を音、光、振動を用いて分かりやすく双方向のやりとりが可能。
走行サポートシステム	IT、ITS技術を活用した運転支援システムにより事故の少ない交通社会の実現を目指している。 インフラ環境の整備された専用走行レーンでは、効率的で安全な自動走行を可能としている。
マイ・ユニット機能	個人認証システムに基づき、個人の好み、気持ち等に合った情報、音楽の提供や、ボディカラーのカスタマイズも可能。
環境親和材ボディ	ケナフ等の植物由来の環境親和材をボディに使用。

3

オーディオシステム

2章で述べたIT技術を実現するための音のねらいを以下に示す。

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・操作音で情報提供することにより、認知度を向上させる。
- ・注意を向ける必要のある方向から警報音を出す事で、聞き逃し難い注意勧告を行う。

ねらいのIT技術を現在の技術で実現する事と、i-unit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て、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2つの小型の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、信号処理で実現した。

オーディオシステムのハードウェアとしては、「USBユニット」「パワーアンプ」「スピーカユニット」の3つから構成される。図-2に採用したハードウェア構成（システムブロック）を示す。また、ねらいの音を実現するための、音響仕様を以下に示す。

【音響仕様】

- ・周波数特性：300Hz～20kHz
- ・最大音圧：110dB（ダミーヘッド耳元）
- ・左右出力差：±3dB以内（ダミーヘッド，1kHz）
- ・分離度：70dB以上（アンプ，USB）

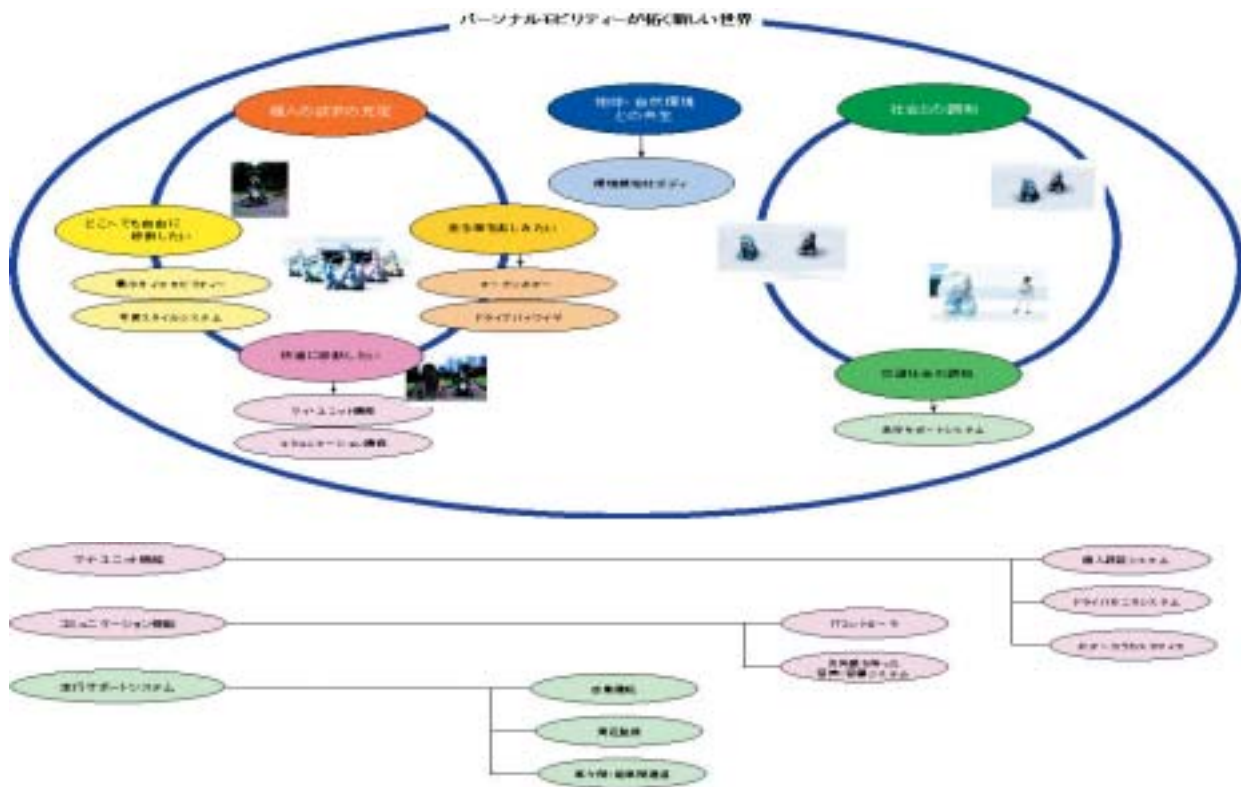


図-1 IT技術の概要
Fig.1 Outline of IT technology

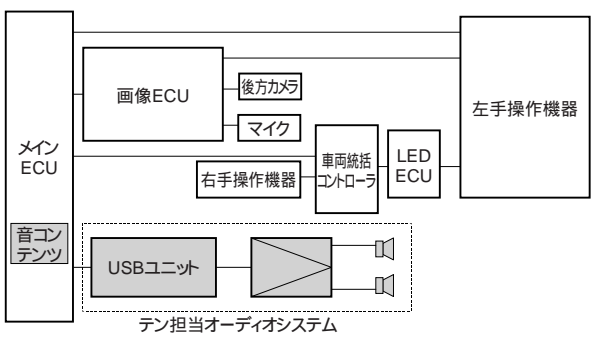


図-2 システムブロック
Fig.2 System block diagram

4 ハードウェア概要

本章では、オーディオシステムの各ハードウェアについて、その概要を説明する。

4.1 USBユニット

本節では、メインECU内の音コンテンツ（デジタルデータ）をアナログ変換・出力するUSBユニットに関して説明する。

4.1.1 ねらいと概要

コンパクトかつ省電力を狙って開発した。メインECUから出力されるデジタル音声は、USBケーブルを経由して本ユニットに入力される。本ユニットでは、その音声デー

タをアナログ信号に変換し、AMPユニットに伝送する。

4.1.2 形状

i-unitの車両自体が小型化というコンセプトのため、小型化と軽量化に注力した。

部品レベルでの小型化と同時に、フライリードコネクタの採用によるコネクタ部の削除等を行い、極限まで全高を下げる事が出来た。その結果、特殊な狭い車両への搭載が可能となった。

4.1.3 信頼性



図-3 USBユニット外観
Fig.3 USB unit external features

本ユニットは、開発対象、使用条件共に特殊であるが、信頼性を確保するため下記の取り組みを行った。

- 博覧会会場内での使用（室内）
- 会場内で使用する各種無線に対応した評価を実施。

4.1.3 バッテリーの電源変動への対応（電気自動車対応）

メインECUからの電源供給の大きな変動で、万一、音声回路がロックしても、ユニット内リセット回路により、システム全体にリセットをかけなくても音声出力回路を復帰させるしくみを設けた。

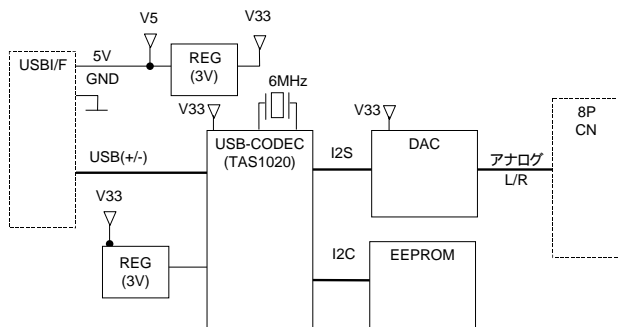


図-4 システム構成図

Fig.4 System block diagram of the USB unit

4.1.4 性能

本ユニットは、最大24Bit96kHzオーディオに対応しており、メインECUからのデジタル音を忠実に再現することができる。本ユニットの特性として、2chでサラウンドを実現するための性能目標値を満足する実力値を得た。

表-3 電気特性

Table 3 Electrical characteristics

評価特性	1	TS規格	2	目標値	実力値
全高調波歪(%)		0.2%以下		0.1%以下	0.01%
分離度(dB)		65dB以上		85dB以上	91dB
信号対雑音比(dB)		80dB以上		85dB以上	93dB
左右出力比(dB)		0±1.5dB以下		0±2dB以下	0±0.05dB

- 1 すべて周波数1kHz基準
- 2 05オーディオCD / DVD部性能仕様

4.2 パワーアンプ

本節では、USBユニットからの音声信号を増幅するパワーアンプに関して説明する。

4.2.1 ねらいと概要

今までにない少スペース対応のパワーアンプをコンセプトとした、USB オーディオからの音声信号を増幅し、スピーカへ出力する音声増幅装置である。

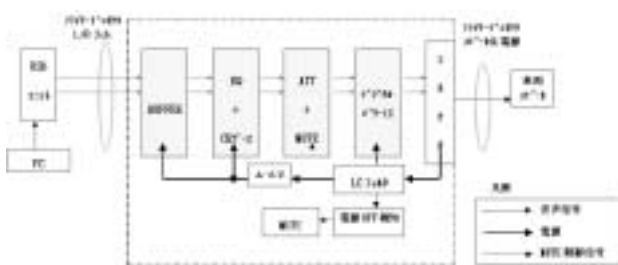


図-5 システム構成図

Fig.5 System block diagram of the power amp

4.2.2 要求仕様

今回のパワーアンプの目標仕様は次の通りである。

- 出力 12W以上 2chステレオ対応
 - サイズ 90mm×80mm×20mm以下（従来比 50%）
 - 低ノイズ化（S/N比・セパレーション70dB以上）
- 上記サイズを実現するため、高効率化と小型化が必要であることから、その点について述べる。

4.2.3 小型化

車両が特殊でコンパクトであることから、搭載される各ユニットにも小型化の要求があった。特に高さ方向に制約があり薄型化：20mm以下での設計となった。

1) 薄型化の実施内容

基本的な考え方

- 構造：材質は変えずに薄くし、クリアランスを再考。
- 部品：薄型チップを軸に部品を選定。



図-6 オーディオパワーアンプ外観
Fig.6 Audio power amp appearance

実施内容

- ・基板下クリアランスの縮小（3mm 1mm）
絶縁処理による短絡保護を実施。
- ・高さの低い電子部品の採用（最大部品高さ：14mm）
電子部品を極限までリフロー部品化。
- ・部品上蓋間クリアランスの縮小（1.5mm 0.8mm）
高精度部品を採用し、全高の余裕度を保持したままクリアランスを縮小。

4.2.4 高効率化

車両が電気自動車であることから、要求されたオーディオ出力を得ながら低消費電力を実現する必要があった。そこで、デジタルアンプを採用した。

1) デジタルアンプ

デジタルアンプとは、最終段をFETでスイッチング動作させることにより高効率化を実現したパワーアンプである。方式としては、PWM方式、（1bit）方式等があるが、今回は音響性能と、部品の小型化という2つの側面から、方式のアンプを採用した。

2) アナログアンプとデジタルアンプの効率の比較

消費電流の比較データを図-7に、発熱データを図-8に示す。発熱が少ない事から放熱板が必要なくなり、結果として小型化につながっている。

デジタルアンプとアナログアンプの比較を表-4に示す。

4.2.5 低ノイズ化

i-unitではスピーカが乗員の耳元に近接して配置されている事と、5章で述べる音像定位制御を実現するため、アンプの低ノイズ化と広帯域に渡るセパレーション70dB以上を実現する必要があった。そのため、基板設計の段階で以下のような配慮を行った。

- ・基板の多層化によりGND専用層を確保し、電源回路の低インピーダンス化とシールド効果を実現。
- ・部品のレイアウトを工夫し、配線上での一点アースと左右回路の分離を実現。

以上により、目標性能を確保すると共に、音質的にも優れたアンプに仕上がった。

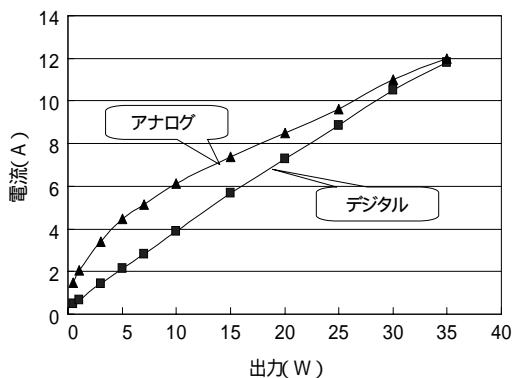


図-7 出力対電流グラフ

Fig.7 Graph of output power vs. current

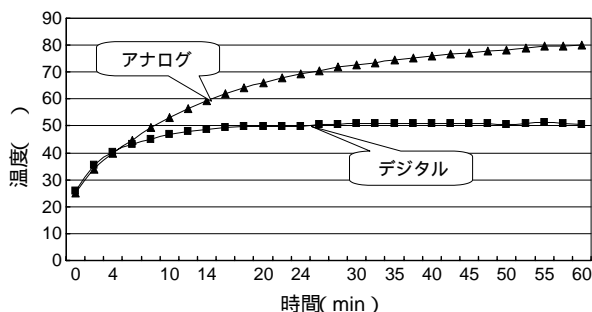


図-8 時間対発熱グラフ

Fig.8 Graph of time vs. heat generation

表-4 アナログアンプとの比較

Table 4 Comparison with analog amp

項目	内容
1W出力時の効率	71%(デジタルアンプ) 15%(アナログアンプ)
消費電流	70%(アナログアンプ比 1W出力時)
温度上昇	55%(アナログアンプ比 1H後)
筐体寸法(デジタルアンプ)	85×71×20(mm)
筐体寸法(アナログアンプ)	95×110×28(mm)
体積比較	49%(アナログアンプ比)

4.3 スピーカユニット

i-unitでは環境親和材のケナフをボディーパネルに使用している。本節では、このケナフパネルに取り付けるスピーカユニットに関して説明する。

4.3.1 ねらい・目的

車両の特長である小型化の観点を損なうことなく搭載でき、かつ、方向感制御に適した下記スペックを有する高音質のスピーカユニットを開発した。

【目標性能】

- ・周波数特性：300Hz～20kHz (-10dB)
- ・音圧レベル：75dB/W・m
- ・耐入力：3W以上(定格)



図-9 スピーカユニット外観

Fig.9 The loudspeaker unit appearance

4.3.2 スピーカ搭載条件

今回、車両デザインを損なうことなくスピーカを配置する必要があり、搭載スペースとして以下の制約があった。

- ・スピーカ全高：20mm以下。
- ・搭載面積：40mm以内。

これらの制約範囲内で要求音質を確保するために次の方策により厳しい搭載制約条件に対応した。

スピーカBOXレス

ケナフパネル内側の空間をBOX容積として利用することで、BOXレス構造でもBOXがある場合と同等の目標音質を達成した。

ボイスコイル内挿ダンパー

通常、ボイスコイルの外周部に配置するダンパーを、ボイスコイル内周部に置くという新技術を採用することで、スピーカの外形を制約範囲内に収める(30)とともに、従来相当の信頼性も確保した。

4.3.3 スピーカユニットの開発

搭載制約条件により超小型のスピーカユニットを開発する必要があったが、これに対し次の新技術を採用することで高音質化への対応をはかった。

発泡ゴムエッジ

高密度で、かつ、柔軟性のある発泡ゴムエッジを採用。特に低域の追従性と振幅に対する信頼性を確保した。

ドーム型振動板

振動板をドームとすることで振動板強度を確保。ピーク、ディップの少ない平坦な高域特性が得られ、拡がり感のある音を再生する。

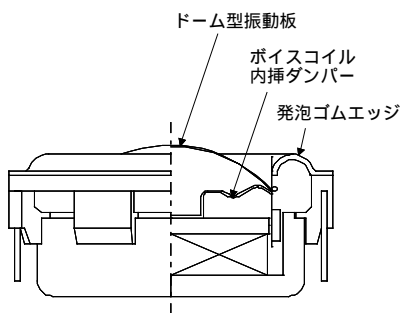


図-10 スピーカユニット構造図
Fig.10 The loudspeaker unit structure

5

音響処理

本章では、乗員の周囲、任意の位置に音像を定位させる信号処理方法に関して説明する。

5.1 搭載環境

i-unitの音響システムは以下の環境で使用される。

- ：ディスプレイが無くても使えるシステム
- ：スピーカが耳から約30cmの近距離配置
- ：キャノピーによる狭い閉空間

ではユーザ視覚に対するインターフェースが無いため、音による伝達が不可欠となる。また、 HRTF の影響でヘッドホンを装着したような頭内定位が生じ、疲労感を与える恐れがある。

5.2 音響処理概要

疲労感が無く、情報伝達にも適するということを考慮し、音が頭外知覚するような信号処理方法を検討した。その効果を与える信号処理方法として、 HRTF （頭部伝達関数）を用いた音像定位手法を取り上げる。この技術は、主に立体音場再生の分野で検討されてきたものである。 HRTF とは、ある場所の音源から人の耳に到達するまでの情報を含んだ伝達関数で、人の頭形、髪の毛、耳形によってそれぞれ異なる。この HRTF を利用し、搭載された2chスピーカで任意の音像定位を目指した。²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾

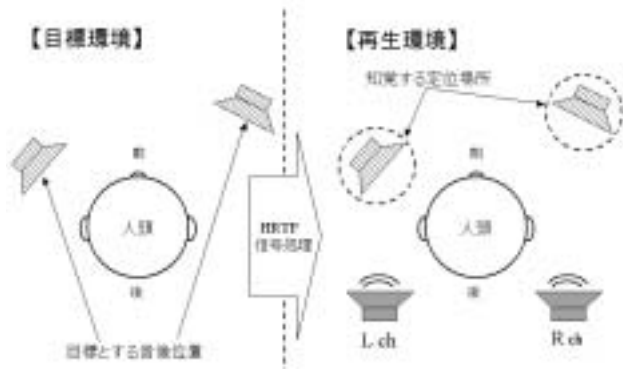


図-11 HRTF信号処理概要
Fig.11 Outline of HRTF signal processing

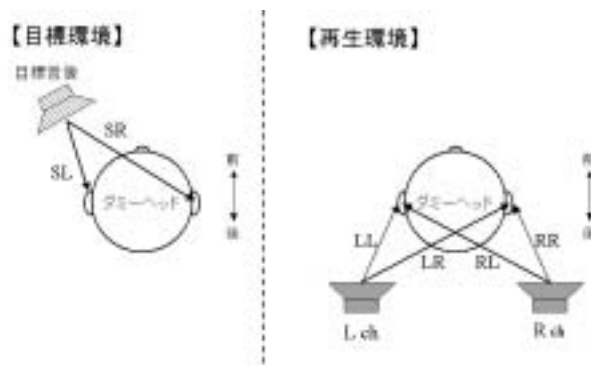


図-12 測定するHRTF信号
Fig.12 Measurement method for HRTF

一般的な HRTF 測定では、耳の部分にマイクロホンが埋め込まれた人頭を模擬したダミーヘッドマイクロホンを用いて行う（図-12参照）。⁶⁾

処理の手順は以下の通り。

- ・予め目標環境における HRTF [右：SR 左：SL]を測定する。
- ・再生環境のスピーカLch, Rchの HRTF [Lch：LL, LR Rch：RL, RR]を測定する。
- ・ HRTF からFIRフィルタ係数を算出する。
- ・音声信号にFIRフィルタ係数を畳み込む

5.3 モノラル音声の定位制御

基本的な信号処理内容をモノラル音声信号で述べる。信号処理を施す上で、原理的なブロックを図-13に示す。

先に述べたようにRR, RL はLL, LRと同じという条件を付加している。図中のTL, TRは、算出するFIRフィルタ係数である。

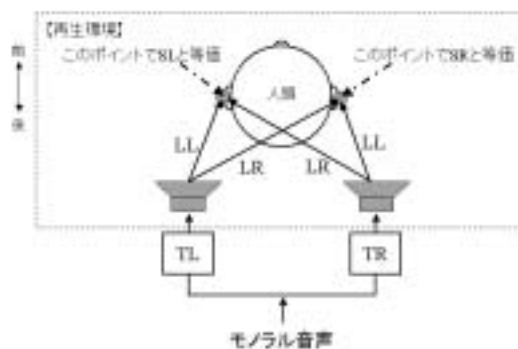


図-13 原理的なブロック
Fig.13 Principle of HRTF

このFIRフィルタTL, TRを通過した音声信号が左右の耳に到達し、
・耳位置で目標環境のSL, SRと等価になるように導く。

$$SL = TL \times LL + TR \times LR$$

$$SR = TL \times LR + TR \times LL \dots$$

となる。をTL, TRについて解くと、

$$TL = \frac{SL \times LL - SR \times LR}{LL^2 - LR^2}$$

$$TR = \frac{SR \times LL - SL \times LR}{LL^2 - LR^2}$$

このTL, TRを測定したHRTFから計算する。

なお、式を細分化することで図-14のようなブロック(目標環境特性付加部, クロストークキャンセル処理部)に分けて表現できる。

以上が基本的なHRTF信号処理法である。図-15に算出したTL, TRのFIRフィルタ係数を例示する。

5.4 i-unitへの応用

i-unit乗車時の音楽再生等では,ステレオ信号を扱うため,複数の入力信号に対する処理が必要である。また,異なる2種類の音を別の方向に定位させてユーザに提供することも考えられる。そのような場合の処理について述べる。

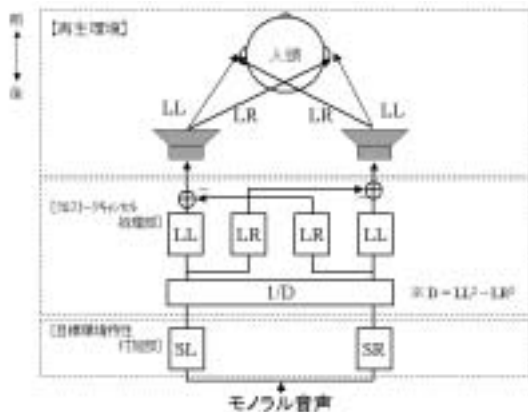


図-14 ブロック細分化
Fig.14 Block segmentation

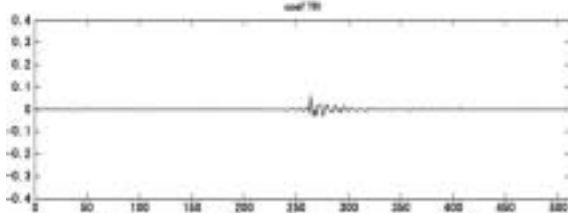
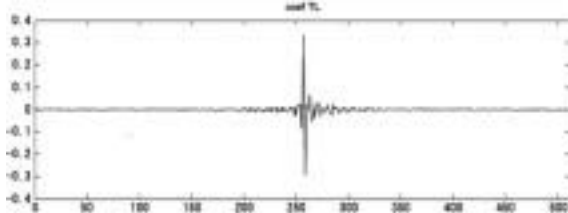


図-15 TL,TRの算出例 (FIRタップ長512)
Fig.15 Examples of TL, TR computation (FIR tap length: 512)

2音声の場合, 図-11, 図-12を参照すると目標環境のみが異なっており, 再生環境に影響はない。そのため, 図-14

の目標環境の特性付加部だけを変更するだけで処理が可能となる(図-16参照)。

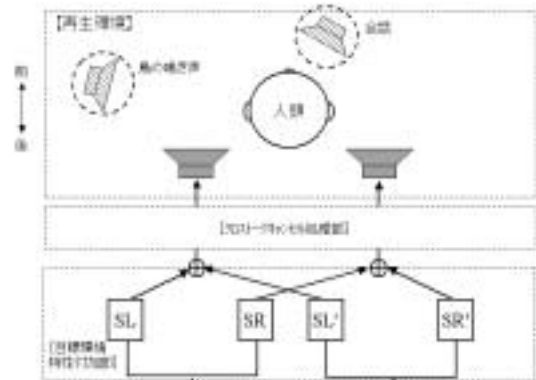


図-16 2音声信号の処理ブロック
Fig.16 Processing for two different sounds

これは音楽ステレオ信号でも同じであり, 別々の点にL, Rの信号を定位させることも可能になる。⁷⁾⁸⁾

5.4.1 360°回転音源の作成

i-unitは,「体調管理」という機能を想定しているので, 体調悪化時の効果音として, ユーザの周囲を360°回転するような音を作成した。この場合は, 音声信号を複数のフレームに分け, フレーム毎に各角度のFIRフィルタ係数TL, TRを畳み込む。角度の刻みは45°毎にとり, TL, TRを算出した。

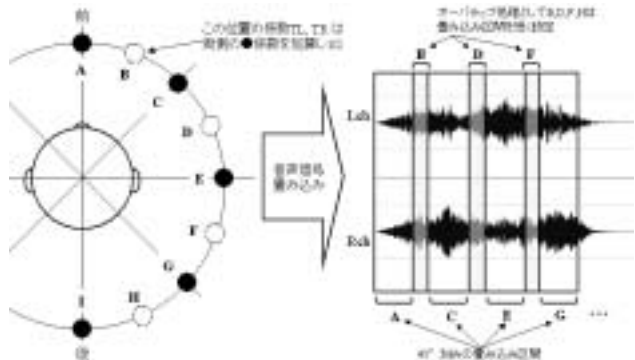


図-17 360°回転処理
Fig.17 360° rotation processing

6

音コンテンツ制作

i-unitの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, i-unitの様々な操作・動作をわかり易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ので, 本章ではその概要を説明する。

表-5 音のコンテンツ
Table 5 Sound contents

音の分類	音の例	概要
i-unitのスイッチ操作に伴う音	・キャノピー開閉音	キャノピーの開閉を知らせる音
	・姿勢変化音	低速モード 高速モードの姿勢変化中であることを知らせる音
周囲環境との調和をねらった音	・自走音	無人走行している事を周囲に知らせる音
	・起動音	動力が入った事を周囲に知らせる音
注意勧告	・警報音	周囲に物(人, 車等)が接近している事を乗員に知らせる音
BGM	・リラクゼーション音楽	走行しながら聴くための音楽(乗員をリラックスさせる音)

6.1 i-unitの動作と音コンテンツ

i-unitで再生する音コンテンツは、大きく次の4つに分類される。(表-5参照)

i-unitのスイッチ操作に伴う音

i-unitには左手と、右手にコントローラがあり、そこでキャノピー開閉等の操作を行う。その際「音」「光」「振動」をヒューマンインターフェースとして考えている。

周囲環境との調和をねらった音

i-unitには自動走行を行う機能があり、無人走行時の注意音等、周囲との融合を図るための音。

注意勧告

警報音、後退音等、乗員への注意勧告を行う音。

BGM

走行時に聞く音楽。

6.2 制作方法

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をとった。基本的な制作の流れを以下に示す。

【STEP 1. 基準音源の決定】

- ・ひとつの動作音に関して、ねらいの音を想定した複数(2~6種類)の異なるイメージのサンプル音を制作。
- ・実際の車(i-unit)を用いて、音源が各動作シーンに「合う」か「合わない」かを5段階で評価して貰う心理実験を実施。被験者はトヨタ自動車(株)社員、及びi-unit開発関係会社社員、計12名。
- ・心理実験結果より、各音の方向性を決定する。
- ・上記評価を、音源修正を含めて2回繰り返し、ベースとなる実車検討用の音源を制作。

【STEP 2. 実車検討】

- ・実車で「光」「振動」と組み合わせて音色、時間、音量調整を繰り返し、最終的な音源を制作。

6.3 音源概要

制作した音源のうち2種類を例に概要を説明する。

6.3.1 警報音

i-unitは安全性のサポートとして、自転車周辺を常に監視している。その中で乗降時に車、人等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。

現状の車でも様々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。

i-unitの警報音制作のねらいを以下に示す。

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。

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「音」「光」「ハプティックコントローラの振動」で乗員に知らせる。

方向感制御

今回は後方左右45°と真後ろの3段階で方向感制御を行う。

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した。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-6にまとめる。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-7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-6 人が距離感を感じる項目
Table 6 Items where a person senses distance

	距離感	
	遠	近
音量	小	大
周波数特性	高域減衰	
響き	大	小

表-7 警報音としての緊急性

Table 7 Characteristics of alarm and emergency levels

	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、i-unit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、音量の違いをメインに調整した。「響き」による制御は、反射音のある室内を想定しているため、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てパラメータを決定した。以下に各音源の概要を示す。また、各音源の波形と周波数特性を図-18～図-20に示す。

【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）

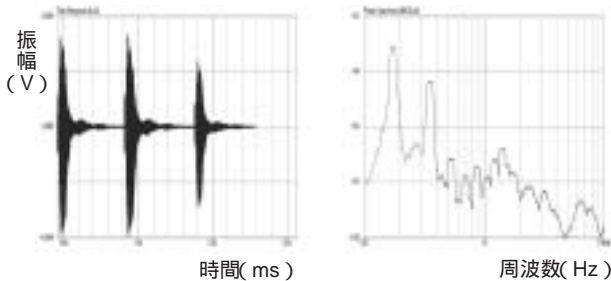


図-18 遠距離音の波形と周波数特性

Fig.18 Waveforms and frequency characteristics of long-range sounds

【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）

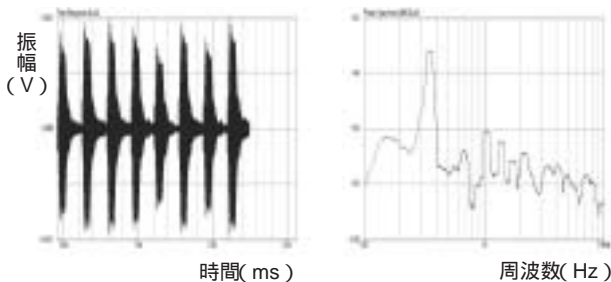


図-19 中距離音の波形と周波数特性

Fig.19 Waveforms and frequency characteristics of medium-range sounds

【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）

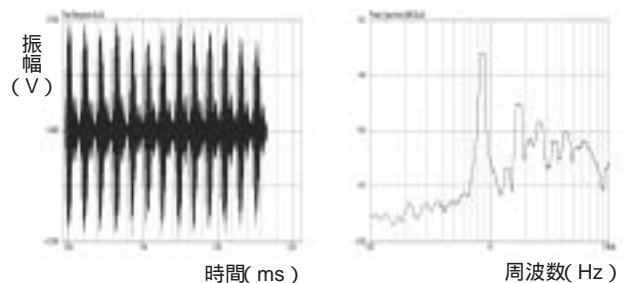


図-20 近距離音の波形と周波数特性

Fig.20 Waveforms and frequency characteristics of short-range sounds

6.3.2 個人認証音

i-unitに乗り込む前に、個人認証システムにより個人認証を行う。その際に「音」「光」「ハプティックの振動」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。（図-21参照）

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）

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ィー全体に色が広がっていく。
- ・キャノピーが開き乗車準備が整う。

上記動作における各音のねらいと、音の概要を以下に示す。また図-22、図-23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（4秒間程度）、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）



図-21 個人認証の手順
Fig.21 Procedure for individual identification

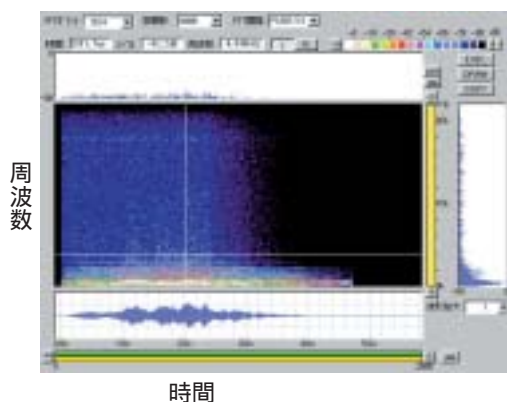


図-22 個人認証音（認証中）のソナグラフ

Fig.22 Sonograph of sounds for individual identification (during identification process)

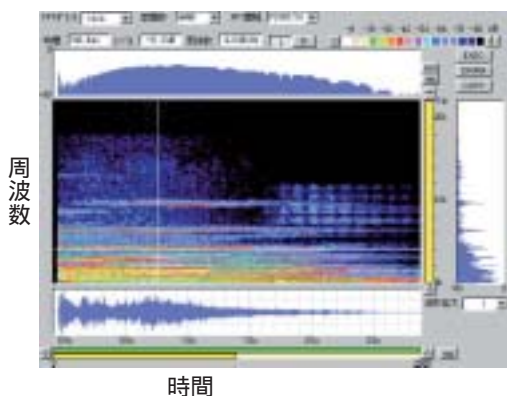


図-23 個人認証完了音のソナグラフ

Fig.23 Sonograph of sounds for completion of individual identification

【認証完了音】

(ねらい)

- ・各動作（ハプティック降下、キャノピー開、光の拡がり）のトリガー的な音にする。
- ・光がボディ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。

7

おわりに

i-unitのオーディオシステムと、音コンテンツの概要を説明した。i-unitは30年後の未来の車をイメージしており、様々なIT機能が搭載される。これら機能を乗員が容易に使用できるように「音」「光」「振動」を用いたヒューマンインターフェースの向上が図られている。今後の自動車には音を用いたヒューマンインターフェースの向上がますます重要になってくると思われる。

音楽を楽しむための今後のオーディオには、道路環境、乗員の心理状態に応じて能動的に変化する「良い音」が求められる一方、ヒューマンインターフェースとしての「音」は、安全性の向上をねらいにした判断し易い音と、付加価値として高級感を演出する音の開発も必要である。

本稿では音コンテンツの一例を紹介したが、今後は、i-unitを用いたデモ、展示会を通してユーザの評価をフィードバックし、音の制御方法と合わせて、より良い音の開発を進めていきたい。

参考文献

- 1) 愛・地球博 トヨタグループ館 公式ホームページ
http://expo.toyota-g.com/japanese/index_ja.html
- 2) 「ステレオダイポール (Stereo Dipole) について」 JAS Journal 1998.4月臨時増刊号 pp. 50-65 浜田 晴夫, 得能宏則, 江藤 雅弘, 渡邊 祐子 (東京電機大) P.A.Nelson (ISVR, Univ. Southampton, UK)
- 3) 「2チャンネル2スピーカーによる3D再生～原理から応用まで」 JAS Journal 1998.4月臨時増刊号 pp. 6-31 浜田晴夫 (東京電機大)
- 4) 「実時間畳み込み装置を用いた響きのある室内でのトランスオーラル系の実現」 日本音響学会講演論文集 1991年10月 pp. 757-758 岡田俊哉, 金子元司, 白石吾朗, 鯨島俊哉, 山崎芳男 (早稲田大学)
- 5) 「イヤースピーカを用いた新しいIOSS再生方式の基礎的検討」 日本音響学会講演論文集 1991年3月 pp. 373-374 下平美奈子 (日東紡音響エンジニアリング), 三浦種敏 (東京電機大)
- 6) 「ダミーヘッドを用いた音場再生」 日本音響学会誌46巻8号 (1990) pp. 650-656, 岡部 馨 (東京電機大)
- 7) 「車室内音場制御の一考察」 日本音響学会講演論文集 1989年3月 pp. 387-388 中村一啓, 宮川猛 (松下通信工業)
- 8) 「シャフラーフィルタを用いた2音源の音像定位手法について」 日本音響学会講演論文集 1993年10月 pp. 485-486 飯田敏之, 中山雅博, 淵上徳彦 (日本ビクター)

「i-unit」はトヨタ自動車株式会社の登録商標です。

筆者紹介



本島 顕
(もとしま あきら)

1983年入社。以来、車載用音響システムの開発に従事。現在、事業本部 音響事業部 音響システム部に在籍。



前田 昌宣
(まえだ まさのぶ)

2002年入社。以来、車載用音響システム、DSPアルゴリズムの開発に従事。現在、事業本部 音響事業部 音響システム部に在籍。



安東 正美
(あんどう まさみ)

1999年入社。以来、車載用音響システムの開発に従事。現在、事業本部 音響事業部 音響システム部に在籍。



今村 忠
(いまむら ただし)

1992年入社。以来、車載オーディオパワーアンプの開発に従事。現在、事業本部 音響事業部 音響技術部に在籍。



山口 洋一
(やまぐち よういち)

1980年入社。以来、車載オーディオ(ヘッドユニット)の開発に従事。1994年より車載スピーカーの開発に従事。現在、事業本部 音響事業部 音響技術部に在籍。



吉井 祥平
(よしい しょうへい)

2003年入社。以来、07システム開発に従事。現在、事業本部 第一事業部 第二技術部に在籍。



加藤 茂樹
(かとう しげき)

1979年入社。以来、車載用音響システムの開発に従事。現在、事業本部 音響事業部 音響システム部長。