

ディーラオプション向けプレミアムダブルツィータサウンドシステム開発

Development of Premium Double Tweeter Sound System for Dealer Option

中道 登志夫
Toshio NAKAMICHI

遠部 俊光
Toshimitsu ONBE

齋藤 和昭
Kazuaki SAITO

西尾 裕樹
Yuki NISHIO

坂上 智康
Tomoyasu SAKAUE

入江 邦彦
Kunihiko IRIE

要旨

車載サウンドシステムの音は各社メーカーさまさまざまな方向性で開発され、車型によっても音の作り方がさまざまである。また、メーカーオプション向けプレミアムサウンドシステムは、その車両に特化した音作りがなされているものの、一部の車両にしか設定がされていない。ディーラオプション向けサウンドシステムは、ほぼすべての車両に設定されることから、汎用性を持つコンポーネント開発をする必要があり、またサウンドコンセプトでもある『リアルサウンド』を追求する必要があった。

リアルサウンドの追求とは、『正確な音』の再生であり、各音像の定位の正確性、楽器、ボーカルなどの表現力を両席で実現することである。それを実現するために、トヨタ自動車株式会社様と共同開発を実施。二軸の方向を持つダブルツィータとその効果を最大限に発揮できる信号処理技術およびアンプの高音質化に取り組んだ。リアルサウンドの実現に向け、取り組み内容を述べる。

Abstract

Sound of an in-vehicle sound system has been developed in various directions by respective manufacturers, and there are a variety of ways to create sounds depending on types of vehicles. Although the sound specified for its vehicle is created by the premium sound system for maker options, which is set only for some vehicles, the sound system for dealer options is set for almost all vehicles. Therefore, it is necessary to develop components with versatility and to pursue “real sound” which is also a sound concept.

Pursuing the real sound is to reproduce the “accurate sound”, and to realize the accuracy of localization of each sound image and the expressive power of musical instruments, vocals, and others at both seats. Joint development with Toyota Motor Corporation was implemented in order to achieve it, which led an approach to double tweeter with two-axis direction, a signal processing technology capable of maximizing its effect, and an improvement in higher sound quality of amplifiers. The contents of approach toward the realization of real sound are described in this article.

1. はじめに

当社は、トヨタ自動車株式会社様と共同でディーラオプション向け“プレミアムダブルツィータサウンドシステム”を開発した。このシステムは、運転席・助手席の両席同時にリアルなサウンドを楽しむために開発されたシステムであり、車種を選ばず、多くの車両に取り付け可能で良い音を実現できるようにしたものである。本稿では、システムの開発コンセプトと実現するために用いた各種技術について述べる。

2. 開発の目的

2.1 開発コンセプト

当社は2001年にECLIPSE ホームオーディオを発売して以来、『正確な音』を一貫して追求してきた。これは、アーティストの想いをそのまま伝え、お客様に感動していただくためである。この『正確な音』の追求により、ボーカルの口の動きや演奏者の指使いが見えるような『明瞭感』、キレの良いリズムを刻む『スピード感』、録音された音の位置情報まで正確に描く『空間再現力』といった特徴が得られる。この『正確な音』を運転席・助手席の人へ余すところなく届け、ホームオーディオを車の中で再現させることを目標とし、開発を行った（図1）。



図1 車室内で再現する音のイメージ

2.2 カーオーディオの音質課題

『正確な音』の再現に向けて、カーオーディオ特有のリスニング環境によって生じる諸問題を、ホームオーディオのリスニング環境と比較し次に述べる。

2.2.1 音像定位感

まず、カーオーディオのリスニングにおいて最も問題となるのはステレオ音場の偏りである。人は左右の両耳に入ってくる音のレベル差と時間差（位相差）により音像の方向感を知覚している。また、両耳間の距離差に対して低音は波長が長いいため方向を特定しにくく、逆に中高音は波長が短く音源の方向を特定しやすい性質を持っている。

ホームオーディオは、通常、左右スピーカの中央でリスニングを行う。左右スピーカから同じ音（同位相・同音圧レベルの信号）を出力すると、リスナーには左右スピーカから同じ時間に同じ大きさの音が届き、リスナーの正面（左右スピーカの中央位置）に音像が定位する。また、左右スピーカで異なる音を出力すると、前後／左右／上下の拡がりをもった音場感を得ることができ、リスナーはあたかも目の前で演奏しているかのような臨場感で音楽を楽しむことができる。

一方、カーオーディオのリスニングポジションである運転席・助手席は、両席ともに左右スピーカが非対称位置にあり、各スピーカからリスナーまでの音の到達距離に差が生じる。

音の大きさは空気を伝わる間に徐々に小さくなることから（距離減衰）、距離差のある二つのスピーカから同じ音を出力した場合、耳に近いスピーカから届く音の方が大きくなる。左右方向感知覚には両耳のレベル差が関係していることから音像定位が偏る要因となり、特に中高域が影響を受けやすい。

また、左右スピーカからの音の到達時間にも差が生じる。先行音効果として知られるように、リ

上述のことから、音像定位の偏りを解消するためには、左右スピーカから再生される音の時間差／レベル差を補正する必要がある。

次に問題となるのが音の明瞭感の不足である。ホームオーディオではスピーカに正対（又は正対に近い）状態でリスニングを行い、また、リスニングルームも十分な広さを確保できる。スピーカから出力された音がリスナーに直接届く「直接音」に対し、床や壁に反射して届く「反射音」の大きさは比較的小さく適度の時間差をもっており、リスニングルームの環境（広さ、形、内装材）に応じた響きとともに音楽を楽しむことができる。

また、カーオーディオでは多くの場合、高音再生スピーカ（ツイータ）がインストルメントパネルに上向き方向へ埋め込まれていることが多い。これは、内装意匠の一体性が重視されるためであるが、その条件下において、直進性の強い高音をフロントガラスの反射を利用することによって効率的にリスナーに届け、狭い車室内空間において拡がり感の向上を図る搭載手法である。しかし、リスナーに届く直接音の割合が少なくなるため明瞭感が不足する。

2.2 章で述べたカーオーディオの音質課題に対し、ディーラオプション向けサウンドシステムでの取り組み内容をこの章で述べる。

2.2.1 章で述べたように、カーオーディオでは、左右スピーカからリスナーまでの音の時間差／レベル差が生じ、音像の偏りが問題となっている。その問題を解決するために、従来の手法では、特定のリスニングポイントに対し、音の到達タイミング／レベルを揃える調整（タイムアライメント）がなされてきた。例えば、運転席における音の到達タイミングを最適化する場合、**図2**のようになる。

てしまい、さらに偏った音像定位となってしまう。つまり、従来手法では両席の乗員が同時に理想の音像定位を得ることができなかった。

今回、運転席・助手席の人に対し、両席同時定位できる2軸をもったツイータ（図3）をトヨタ自動車株式会社様と共同開発した。



図3 ダブルツイータ（左チャンネル）

役割の異なる二つのツイータを一体化し、2軸の音を自由に調整（時間／レベル）することが可能となった。それぞれのツイータの役割、音作りの考え方を図4、図5に示す。まず、一つ目のツイータは近くの乗員に対し遅延をかけた音を出力する『ダイレクトツイータ』を、もう一つは対角線上にいる遠くの乗員に向け、できる限り手前の乗員に音がもれないよう、指向性の狭いホーン型構造をもつ『ホーンツイータ』を採用した。

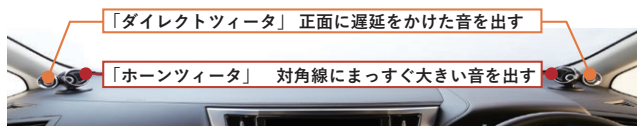


図4 各ツイータの役割

加えて、ホーンツイータの音が届くタイミングに合わせ、ダイレクトツイータの遅延時間を設定することにより、運転席・助手席共にダイレクトツイータとホーンツイータが同じタイミングで音が届くようになる。

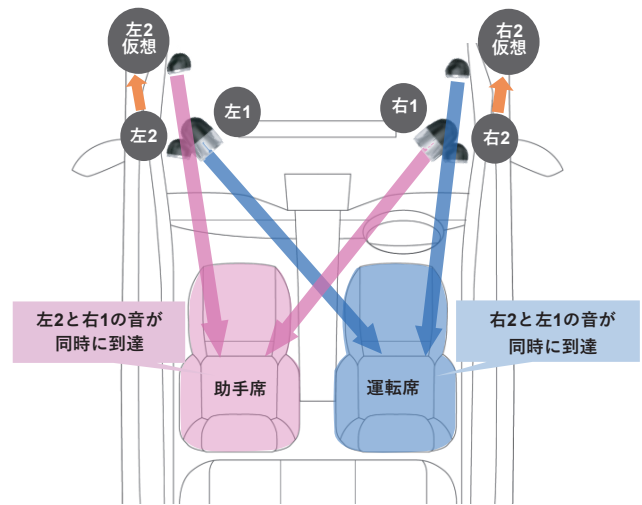


図5 今回の到達タイミング補正方法（タイムアライメント）

その結果、いままで偏った音像が目の前で鮮明にあらわれ、ホームオーディオと同じような音像定位を実現することができた。

また、インストルメントパネルの両サイド上にダブルツイータを配置し、スピーカの音軸をそれぞれのリスナーに向けることで、直接音が多い成分の音を、届けることが可能となった。その結果、これまでのカーオーディオでは成しえなかった高いレベルのステレオ空間の再現を、音の明瞭感を確保しながら、運転席・助手席、同時に実現することができた。

3. システム構成

システム構成について説明する。サウンドシステムの特徴となるダブルツイータはインストルメントパネルの両サイド上に配置する。

また、フロントドアスピーカは、従来のフルレンジから低音域に特化したウーハタイプに変更している。

さらにこれらスピーカ性能をあますことなく発揮できるよう8チャンネル出力の高音質パワーアンプを採用した。サウンドシステム構成図に示す（図6）。

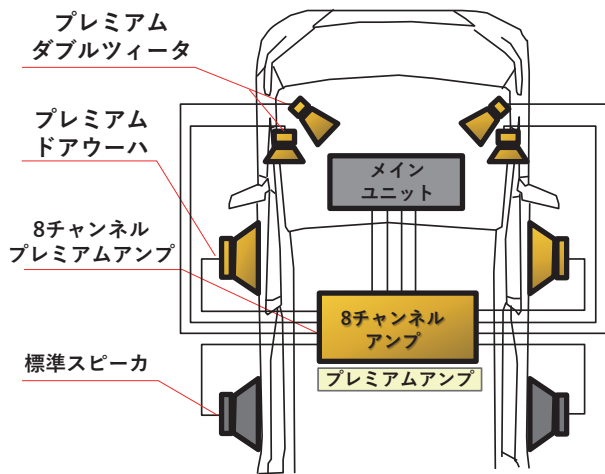


図6 サウンドシステム構成図

3.1 スピーカ技術

スピーカ単体においても高音質化の取り組みをしており、特にプレミアムダブルツィータにおいては、ECLIPSE ホームオーディオスピーカで培った『正確な音』を再生する技術を取り入れている。

ダブルツィータ

図7に構造を示し、各役割について説明する。



図7 ダブルツィータ

(1) フローティング・コンストラクション

スピーカユニットとスピーカBOXが直接接触することを避けたフローティング構造を採用。再生すべき音以外の不要な振動の発生を抑制。

(2) グランドアンカー

グラウンドアンカー（錘）という足場を設けることで、フローティング構造によって課題となる電気信号から音声への変換効率を向上。

(3) ラウンドシェープド・エンクロージャ

外径に起因する放射された音波の乱れを抑制するためエンクロージャに独自の曲面フォルムを採用。音の波形をより正確に再生。

またこれらは汎用性をもたす（多くの車種で搭載可能にする）ために、全体の大きさ、脚の形状においても工夫したスピーカとなっている。

プレミアムドアウーハ

音の追従性にこだわり、パワーリニアリティ特性を改善したプレミアムドアウーハを開発（図8）。特に支持系を強化（形状、材質など）し、ダンパーは大型ダンパーを採用。エッジにはリニアリティーが良いウレタンを使用。その結果、大入力時においても、低域の共振点（ f_0 ）もほぼ変化することなく、歪の少ない低音再生を可能にした（図9）。

また、リニアリティが良いことから、小信号時から大信号時まで広範囲の音の変化に対して追従性があり、スピード感ある音質も確保できた。



図8 プレミアムドアウーハ

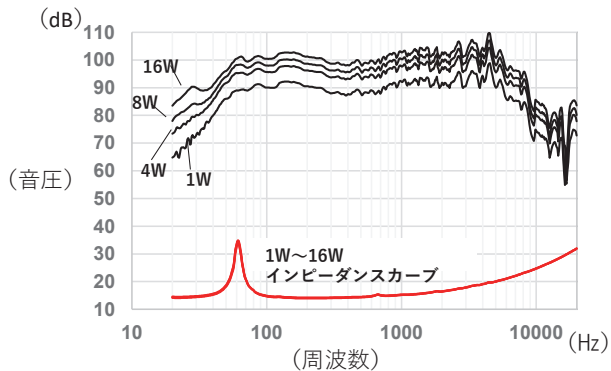


図9 パワーリニアリティ特性 (1W ~ 16W)

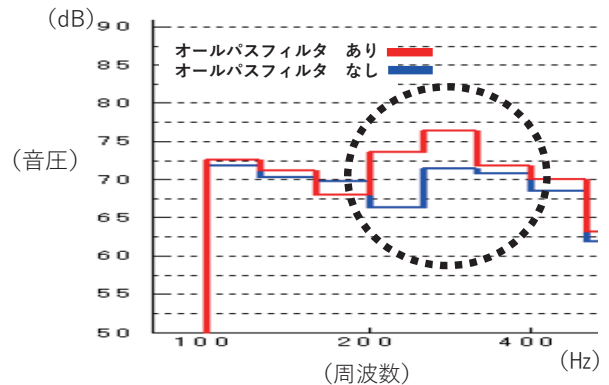


図10 車室内音圧周波数特性 (運転席)

4. 信号処理技術

車載向けアンプには、一般的に車室内の音響特性を補正できるよう DSP (Digital Signal Processor) が搭載されている。この製品においても、タイムアライメント、音圧周波数特性をチャンネルごとに補正ができ、『正確な音』の再生に寄与している。加えて、ダブルツータシステムでは、より音楽を楽しむために、ボーカルの厚みも重要としている。

しかし、車室内では、ドアマウントされたスピーカの音を運転席・助手席のような非対称ステレオ聴取位置で聴く場合、左右スピーカから聴取点までの距離差による位相干渉で特定の周波数帯域でディップが生じる

ディップが生じている帯域(200Hz~400Hz付近)はボーカルの厚みとして重要な帯域であり、単にイコライザを用いて補正しても、ボーカルの厚みは出せない。そこで、オールパスフィルタを使い、位相差を極力無くし、その上でイコライザ処理をしている (図10、図11)。

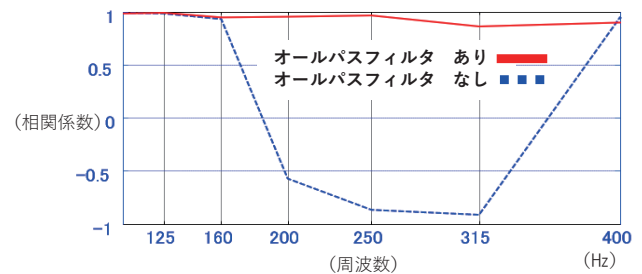


図11 両耳相関係数特性 (運転席)

さらに、ソースによって録音されている中低音のレベルが違うため、一定量で補正するような一般的なイコライザによる補正技術では、聴感上、最適な補正がなされない場合がある。今回、新たな補正技術を確立できたので詳細を次に述べる。

この音の厚み (ボーカル帯域の厚み) を補正する技術は、音楽ソースに含まれるモノラル信号のレベルを検出し、その検出結果に応じてイコライザ補正量を最適化する技術である。補正技術の概要を図12に示す。

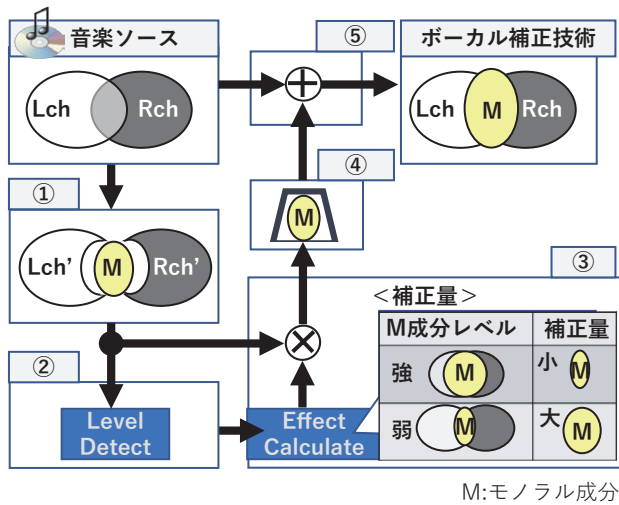
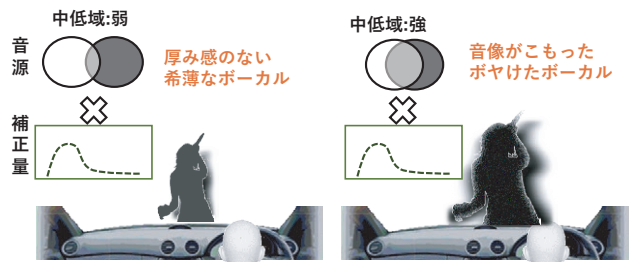


図 12 ポーカル補正技術概要

この技術により、リアルタイムでアクティブに補正することが可能となり、従来のイコライザ補正では成しえなかった、いろいろな録音レベルの音楽ソースでも常に均一のボーカル厚み感を創出することが可能となった。

従来のイコライザによる補正技術と、新たなボーカル補正技術の結果を示す（図 13）。

従来：イコライザによる補正



今回：ボーカル補正技術



図 13 ポーカル補正技術

このシステムでドアウーハは 2kHz 以下の帯域を受け持っている。一般的に波長の長い低い周波数ほど（約 150Hz 以下）、音像定位への影響は少ないとされているが、その上の帯域では取付け位置の非対称性が影響を及ぼすことが多い。今回のシステムでは、より正確な音像定位の実現に向け、こうした周波数においては両耳間の相関係数特性を確認しながら、ツィータから出す音とのバランスを考えチューニングをおこなった。

5. プレミアムパワーアンプ

車室内の音質補正は、主として信号処理で行うが、素音（ハード単体の純粋な音）は信号処理で補うことができない。

今回、目標としている『正確な音』を実現するためには、高い明瞭感を持ち、音の厚み感 / スピード感があり、また、試聴室における素音評価でも正確な音像定位が高いレベルで実現されているアンプの開発が必要不可欠である。この項ではその

開発取り組みについて述べる。

素音のレベルアップにはさまざまな取組みがあるが、今回は音作りのベース性能となる位相雑音性能に着目した。

位相雑音性能とはデジタルのクロック信号の純度を示す性能である。電源ラインや信号ラインからクロック信号へノイズが重畳した場合、信号波形に時間的な揺らぎ（ジッター）が発生し、デジタルアナログ変換の際に意図しない微小なズレとなる。これは音質面で悪影響を及ぼす。例えば、明瞭感が欠如することにより音の厚み感／スピード感の減少、音像定位が定まらない、といった全体的な音質に悪影響を及ぼす。

位相雑音性能の改善には、ノイズ要因を低減させる必要がある。ノイズは、主に内部の電子回路動作に起因し発生する。そのため、各ICの電源性能、部品性能、通信波形、パターンニングといった細部の設計に対して一段深い領域で検討を実施する必要がある。この領域では、極わずかな性能改善であったとしても聴感上は大きな変化が出やすい。

入念な性能検討と聴感評価を繰り返し、目標とする『正確な音』の実現に向け、次の取り組みを行った。

5.1 高音質電解コンデンサ開発

従来モデルよりも、『正確な音』を追求するために、部品メーカーと共同で高音質電解コンデンサを開発している。この高音質電解コンデンサは、スピーカを駆動するためのパワーアンプICの電源供給ラインに使われる部品である。

パワーアンプICの電源は、多数のスピーカを駆動するために必要な電力を素早く、かつ十分な電力を供給するための性能が要求される。

従来も、この電源に使われる電解コンデンサは必要な電気性能を作りこむことに加えて、試験を繰り返しながら音質性能を吟味してきた。

今回、ダブルツィータとボーカル補正技術で追求する『正確な音』に合わせて、電解コンデンサ

の構成材料から見直しを図っている（図14）。

まずコンデンサメーカー様とは、当社試験室にて合同試験を行い、お互いの聴きどころ、感じ方をしっかり把握することから始め、音質改善を行う内容を細かく決めていった。

時には、一度に複数サンプルを作り、どの電気特性が音質改善に最も効果をもたらすか、また電気特性にあらわれない、スリーブの色、印字されている色などにも評価をおこない、細かな微調整を加えながら、音質の作り込みを積み重ねた（図15）。

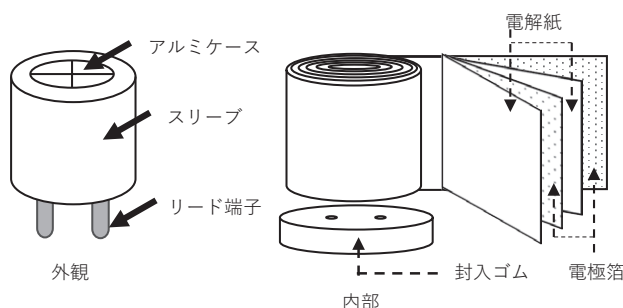


図14 電解コンデンサ（構成）



図15 電解コンデンサ（検討部品の一部）

電解コンデンサの電気特性として、ESR(Equative Series Resistance: 等価直列抵抗)の値を調整することが、最も『正確な音』に対し、効果があることを検討結果から得ることができた。

そこからさらに、ESRの値を細かく変更し、試験を繰り返すことを重ね、ようやく音質を作り上げた。ESRの値は、従来品から15%低減している（図16）。



図 16 採用した電解コンデンサ

5.2 全体の音質調整

位相雑音性能劣化は前項で述べたとおり、電子回路の動作を起因として発生するものが大半を占める。そのため、最も影響が大きい回路の電源ライン、通信ラインに重点を置き、位相雑音性能の改善検討を実施した（図 17）。

また、5.1 章で述べた高音質電解コンデンサのように、回路全体に対して再度部品選定、パターンニング検討を、机上シミュレーション・聴感評価の相関を確認しながら繰り返し実施し、位相雑音性能に影響を与えるノイズ要因の低減を図った。

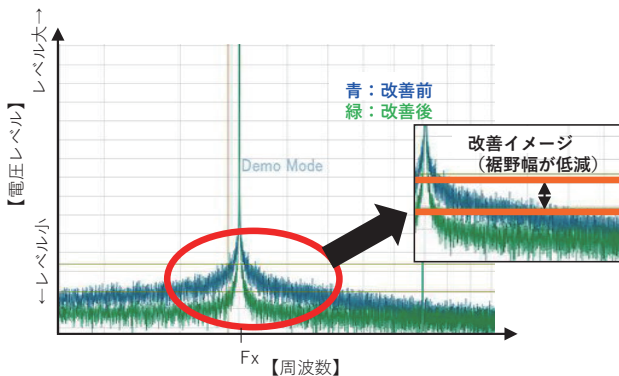


図 17 位相雑音低減による効果のイメージ
(アンプ出力部)

今回開発したオーディオアンプの音質は、一つの音の粒立ちがはっきりと聞き取れるほどに明瞭感を出すことができた。さらに明瞭感が増したことで、音の厚み感、音の立ち上がり、音像定

位も向上され、目指した『正確な音』に相応しい素音に仕上がった。

6. まとめ

以上、ディーラオプション向けプレミアムダブルツィータサウンドシステムの音作りについて、開発経緯と技術紹介を交えながら述べた。

一般的なオーディオシステム（標準グレード）との音質比較結果をレーダチャートで示す（図 18）。この音質評価結果は音響設計者数名で行い、総合音質 8 ポイント以上がプレミアムサウンドに相応しい音質としている。

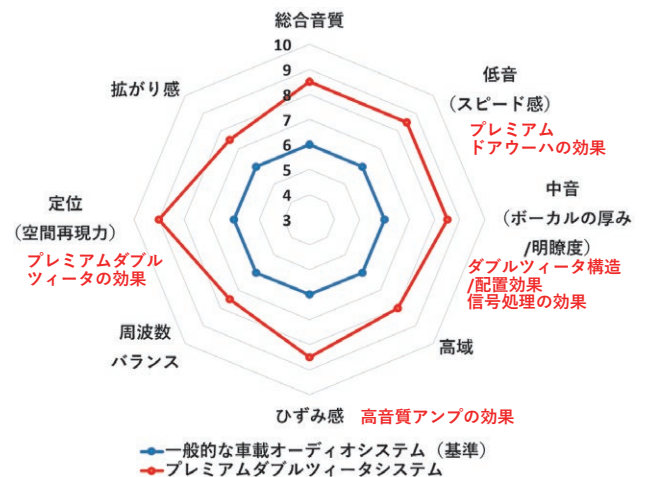


図 18 音質比較レーダチャート

ダブルツィータによって、運転席・助手席共に、録音された音の位置情報まで正確に描く『空間再現力』の実現。また搭載においては、ダイレクトに音が届けられるスピーカ構造、配置をとることで、ボーカルの口の動きや演奏者の指使いが見えるような『明瞭感』を大幅に向上。さらに信号処理技術においては、ボーカルの厚みをどのソースにおいても自然に強調できることで、音の生々しさを、表現することができた。ドアウーハにおいては、音の立ち上がりから立ち下りまで微細な信号まで再生し、キレの良いリズムを刻む『スピード感』を実現。まさに車室内でホームオーディオ

を聴いているような感覚になる。

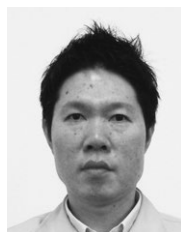
このシステムについては、自信を持ってお届けできる仕上がりになっており、ぜひ聴いて頂きたい。

謝辞

今回のシステム開発にあたり多大なご協力いただいたトヨタ自動車株式会社様、および高音質電解コンデンサの開発にあたり、多くのサンプル提供、音質試聴に協力して頂いた、ニチコン株式会社様、ニチコン大野株式会社様に、この場をお借りして深く感謝いたします。

・ECLIPSEは、株式会社デンソーテンの登録商標です。

筆者紹介



中道 登志夫
なかみち としお

CI 事業本部
音響技術部



遠部 俊光
おんべ としみつ

株式会社デンソーテン
テクノロジー



齋藤 和昭
さいとう かずあき

株式会社デンソーテン
テクノロジー



西尾 裕樹
にしお ゆうき

株式会社デンソーテン
テクノロジー



坂上 智康
さかうえ ともやす

トヨタ自動車株式会社



入江 邦彦
いりえ くにひこ

CI 事業本部
音響技術部