

時間特性に着目した車室内音質の改善

Improvement of In-Car Sound Focusing on the Time-Domain Characteristics

阿部 泰久，徳正 健，玉谷 和幸

Yasuhisa Abe, Takeshi Tokusho, Kazuyuki Tamaya

引地 俊博，井藤 剛，細井 慎太郎

Toshihiro Hikichi, Takeshi Ito, Shintaro Hosoi

要旨 車室内音響の解析に，従来から一般的に行われていた周波数特性による解析に加え，時間特性に着目することで，車室内音場に特有の反射音を制御し，直接音の明確な定位感と，間接音による滑らかな周波数特性が両立する車室内音響システムを構築した。

Summary We present an improved in-car sound reproduction system, which has a clearer sound image by the direct sounds and a smoother frequency response by the reflected sounds. The reflected sounds which characterize the in-car sound field are controlled by analyzing the time-domain characteristics as well as the previously measured frequency-domain response.

キーワード : 車室内音場，時間特性，周波数特性，直接音，間接音

1. まえがき

一般的な室内音響と比較して，車室内音響は独特の特徴を多く有する。以下に，それらの例と，音響的な影響を示す。

- (1) 着座状態では試聴位置が制限され，左右非対称空間での聴取となる。したがって，再生空間の印象がいびつになったり，定位が不安定になったりしやすい。
- (2) 実走行時には，走行ノイズによるマスキングや乗車人員の変化に伴う車室内音響特性の変化が発生する。
- (3) 窓や天井など室内構成面までの距離が非常に近いために反射波の到来が非常に早く，独特な反射音場が形成される。

- (4) スピーカの取り付け位置が制限され，バツフル効果，鏡像効果，指向性の問題などが生じる。

これらのうち，(1)項に関しては，昨今DSPによるタイムアライメント手法によりこの問題を克服する試みが業界内で広く行われている。(2)項の走行ノイズについても電氣的な補正手段を用いて対策する手法が色々提案されている。

(3) ,(4)項に関しては従来からカット&トライによる対処がされてきた。また従来，車室内音場は周波数特性からの解析が一般的であった。筆者らは，リスニングポイントで観測される音声信号のインパルスレスポンスに注目し，さらに新しく「Sound Layer」⁽¹⁾という概念を考

案して、上述の(3) ,(4)に起因する車室内音場特有の特性を改善することを試みた。

本稿では便宜上ツイーターについて述べるが、ウーファーなどについても同様の考え方が適用できる。

2. 車内音場の特性

車室内でのスピーカの特性の例を図1に示す。同図(a) ,(b)に、車室内のダッシュボードおよびAピラーに取り付けたツイーター(右チャンネル)の周波数特性を示す。同図(d)に示す無響室での特性に比べ、車室内では反射の影響が大きく、周波数特性に大きなピーク・ディップが現れている。従ってこのような取付ではサウンドステージが眼前に広がり、歌声や楽器の音などの良好な音像定位が得られる反面、音質に癖が出やすい。この特性をグラフィックイコライザーなどで補正しても位相特性のうねりにより音質劣化が生ずる。

同図(c)にはキックパネルの奥に取り付けた

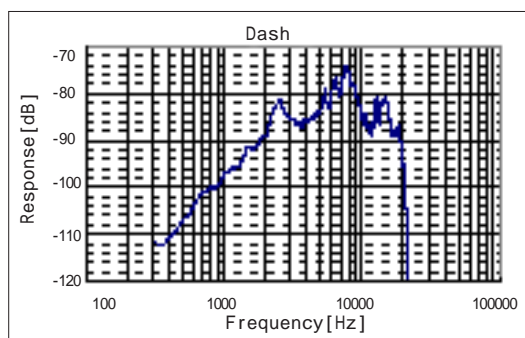
場合を示す。つまりスピーカはリスナーから見えないような位置に取り付けられている。ピーク・ディップは見られるものの同図(a) ,(b)に比べ小さく、大まかな特性は滑らかである。試聴印象ではバランスの良い音質が得られるが、明瞭さに欠け、サウンドステージの再現性も良くない。

このように、車室内では音質のバランスの良さと同質なサウンドステージを同時に得ることは従来難しかった。

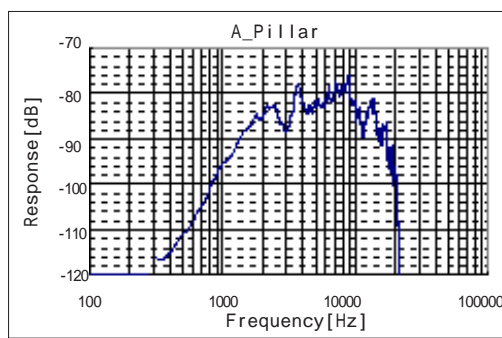
3. Sound Layer という考え方

自然な実音場では直接音の到来後ある時間において間接音が到来する。図2にある著名な音楽ホールのインパルスレスポンスを示す。空間が広く、拡散性が良いほど間接音の時間特性は滑らかで長い。この例では直接音の後に初期に明確な反射音を伴う長い間接音が観測されている。

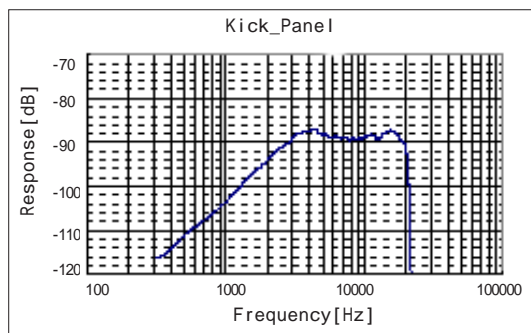
このように、「音楽空間」とは、「音響」、つまり「音」+「響き」と捉えることができる。例えば



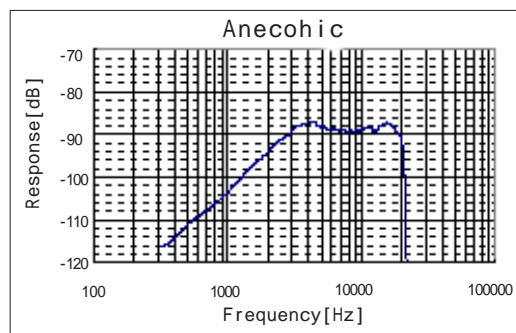
(a) ダッシュボード



(b) Aピラー



(c) キックパネルの奥



(d) 供試ユニットの無響室特性

図1 取り付け位置による周波数特性の違い

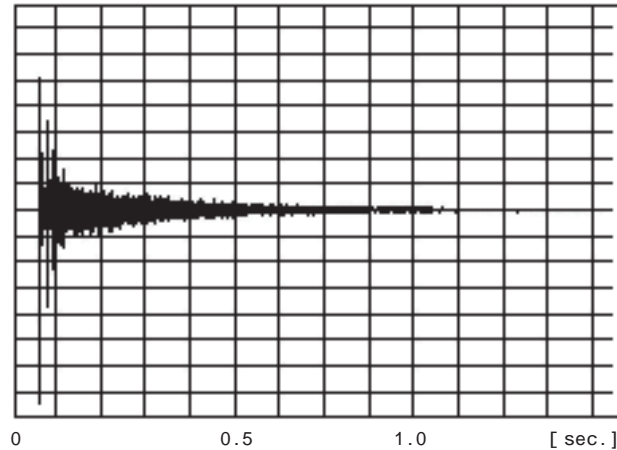


図2 音楽ホールのインパルスレスポンス

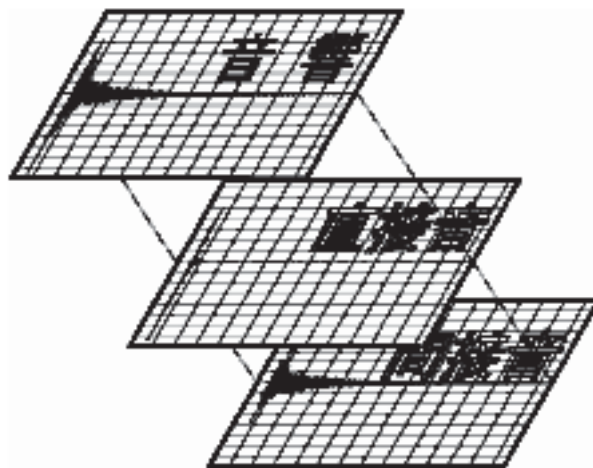


図3 Sound Layer という概念

音楽ホールで演奏を聴いているときは、ステージ上の演奏者からの直接の「音」とホールを介しての「響き」を聴いている。

図3にこのSound Layerという概念を示す。「音響 = 直接音(音) Layer + 間接音(響き) Layer」と定義する。2つのLayerは時間とレベルを正確に整合され、足し合わされる。車室内では狭小空間のため間接音は短い時間間隔で到来するが、この概念を車室内での音を良くするために適用してみる。つまりそれぞれのLayerに最適なスピーカユニットや設置方法を考えることで総合的な結果を良好にしようとするものである。

4. 車室内特性の改善

4.1 車室内音響の時間特性

車室内にSound Layerの考え方を適用するにはまず車室内のインパルスレスポンスに着目する必要がある。図4は、図1に対応したインパルスレスポンスを示す。

ダッシュボード上およびAピラーへの取付特性では直接音のレベルが高く、直接音からやや遅れてかなり大きな反射音が到来し、その後も特定の時間間隔を持つスパイク状の反射音やうねりが間接音として観測される。従ってこれらの設置は直接音主体の設置方法といってもよく、癖のある音質はこのよう

間接音が原因であると考えられる。

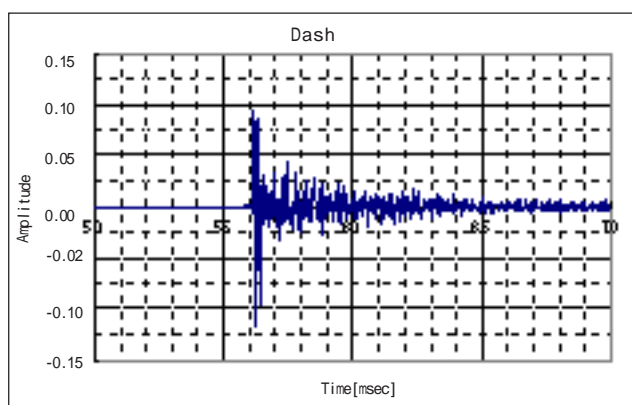
キックパネル奥部への取付特性は前2者と大きく異なり、直接音のレベルに比べ間接音レベルが高く、間接音の細部にも明確な特徴が少ない。従ってこのような設置は間接音主体の設置方法であり、図1(c)のように比較的スムーズな特性が得られつつも定位感が曖昧になるの

は、直接音レベルの不足が原因であると考えられる。

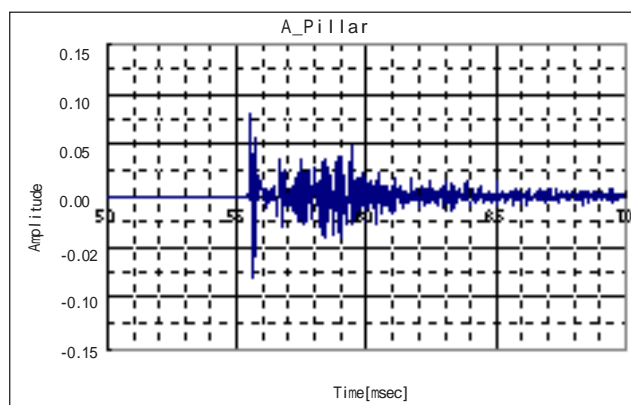
以上のことから、車室内の音質改善には直接音と間接音それぞれに十分配慮した再生システムが必要であることがわかる。

4.2 Sound Layerの構成

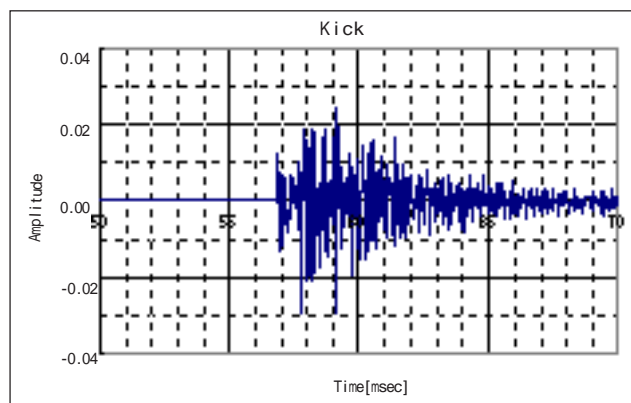
以上の測定結果や考察を経て、Aピラーに取



(a) ダッシュボード



(b) Aピラー



(c) キックパネルの奥

図4 車内各部に取り付けたスピーカのインパルスレスポンス

り付けたスピーカからの音を「直接音レイヤー」に、キックパネル奥部に取り付けたスピーカからの音を「間接音レイヤー」に充て、

これら2組のスピーカの音を同じ周波数帯域に使用することでSound Layerを構成した。

図5に、今回実験したSound Layerシステム

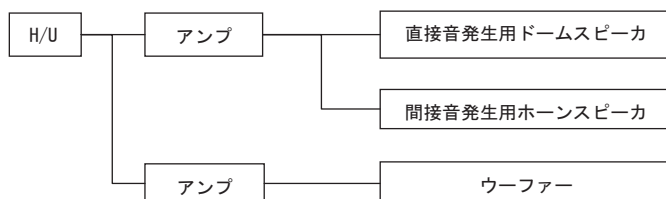
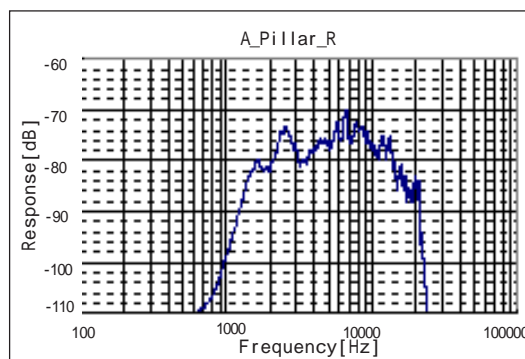
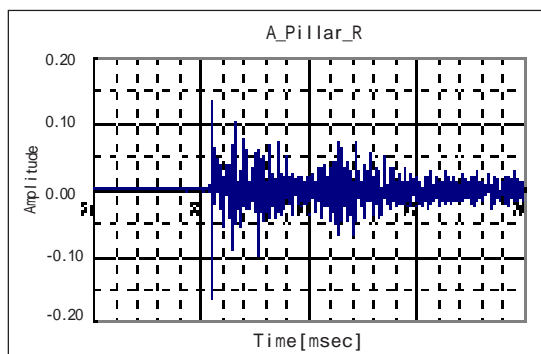
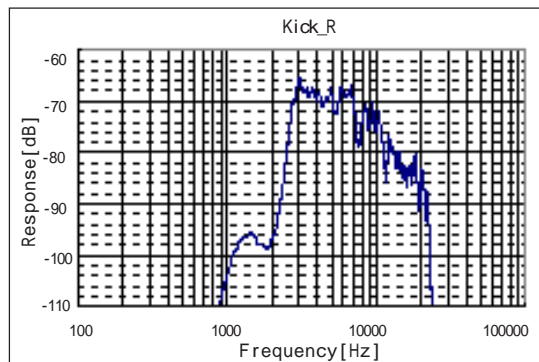
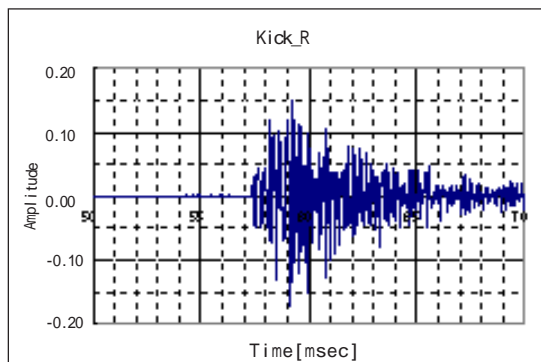


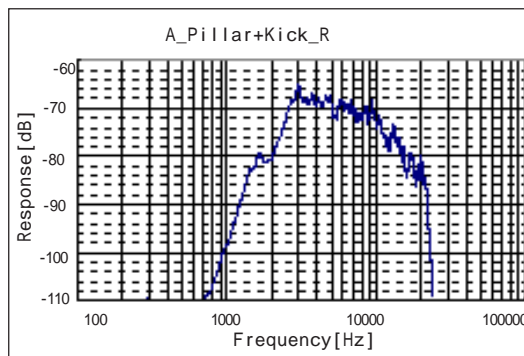
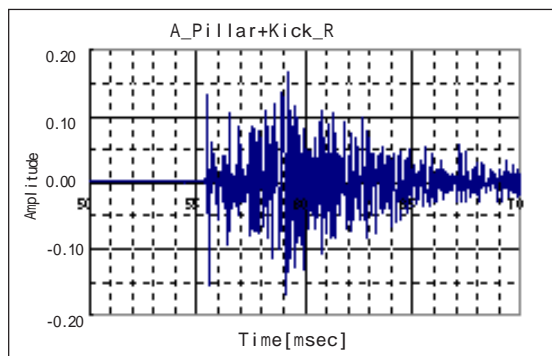
図5 Sound Layer システム構成



(a) 直接音用ドームスピーカ



(b) 間接音用ホーンスピーカ



(c) 直接音用スピーカ+間接音用スピーカ

図6 Sound Layer システムのインパルスレスポンス（左列）と周波数特性（右列）

の構成を示す。「間接音レイヤー」のツイーターには、レベル整合のために高感度を得られるホーン形を使用し、その直接音は「直接音レイヤー」から1.7msec(Rch)、1.4msec(Lch)遅れて到達するところに設置した。

図6に、Sound Layer システムの各Layer および総合のインパルスレスポンスと周波数特性を示す。

直接音レイヤーに見られる反射音は間接音レイヤーの特性に溶け込み、2msec 以内の反射の影響も間接音発生システムとのレベル差の関係から弱められている。インパルスレスポンスの形は時間間隔が短いものの、広い空間での実際の楽器などの時間波形パターンとよく似ている。

直接音レイヤーと間接音レイヤーの相互の特性が補完しあい、滑らかな周波数特性が得られた。また、試聴により明確な音像定位感も確認できた。

5. まとめ

時間特性に着目し、Sound Layer という考えの元に新しい車室内音響システムを構築した。この新しい考えにより、従来の間接音を重視したスピーカの設置で見られた比較的良好な音質バランスに加え、直接音を重視したスピーカ設置特有の明確な音像定位や空間再現性を併せ持つ再生音を得ることができた。

今後の課題として、以下の項目について検討を進める。

- (1) 直接音、間接音のレベルバランス、タイミング、スピーカユニット選定法や取り付け方法の最適化
- (2) DSP などを用いて間接音スピーカをさらに積極的に使用して響きを付加する手法の開発

6. 謝辞

本稿をまとめるにあたり、長年、本研究のプロジェクトリーダーとして指導を頂き、昨年役員を退任された中園次郎氏、また本研究活動に

支援を頂いているパイオニア(株)AVC 福羅英人氏、およびAVCスピーカ技術部関係各位、東北パイオニア(株)スピーカ事業部の関係各位に感謝します。

参考文献

- (1) 浜田, 細井:「DVD オーディオ時代のマルチチャンネル録音再生技術」, PIONEER R&D, Vol.11, No.3, 2001年

筆者

阿部 泰久 (あべ やすひさ)

所属: 東北パイオニア(株) スピーカー第一設計部

入社年月: 1993年4月

主な経歴: 市販向け車載用スピーカ設計・開発

徳正 健 (とくしょう たけし)

所属: 東北パイオニア(株) スピーカー第一設計部

入社年月: 1984年4月

主な経歴: 車載用スピーカ設計・開発

玉谷 和幸 (たまや かずゆき)

所属: 東北パイオニア(株) スピーカー開発技術部

入社年月: 1996年4月

主な経歴: 市販向け車載用スピーカ設計・開発, 最近はRSハイエンドスピーカの開発

引地 俊博 (ひきち としひろ)

所属: 東北パイオニア(株) スピーカー第一設計部

入社年月: 2000年4月

主な経歴: 車載用スピーカ設計・開発

井藤 剛 (いとう たけし)

所属: 東北パイオニア(株) スピーカー第一設計部

入社年月: 2001年4月

主な経歴: 車載用スピーカの先行開発, ドアの振動解析など

細井 慎太郎 (ほそい しんたろう)

所属: AVC スピーカ技術部

入社年月: 1999年4月

主な経歴: スピーカ開発, マルチチャンネル向け信号処理の開発など