

特集：カーオーディオ

## 車内音場創りを支える基盤技術

パイオニア株式会社

太田 佳樹

### 1. はじめに

2015年現在、カーオーディオは標準的に車に装備され、車の中は、多くの人にとって日常的に音楽と触れ合う空間として、大きな比重を占めるようになってきました。パイオニアは、「より多くの人と、感動を」という企業理念の下で、カーオーディオを製造し、世界中のお客様のお手元に届け続けています。カーオーディオで音楽を聴くということが当たり前の時代に、改めて、車の中の音に関し、読者の皆様に何らかの発見がご提供できれば幸いとのお想いを込め、寄稿させていただきます。

### 2. 「音場」って何でしょう？

音は目に見えませんが、実は空気を揺らし続けています。生活する全ての場所に、声、音楽、周囲の音があり、空気の揺れ方は時々刻々と変化しています。音がして、結果、空気の揺れがある場所を総じて「音場 (Sound Field)」と呼んでいます。毎日の生活は、音場の中で過ごすこと、といっても良いのかもしれませんが。

人々は 日々、音場の中に身を置きながら、電車に乗るときはヘッドフォンで音楽を楽しんだり、パソコンで YouTube を見るときは小さなスピーカを通じて音声を聞いたり、スピーカが作りだす音場に触れています (資料 1)。車の中もそのような音場の一つであり、本稿では、これにフォーカスを当て、話を進めていきます。

車の中は、非常に狭く、車自体がゆれたり、外から大量の音が入ってきたりする音場で、家の中に比べ心地悪い音が多く、本来、音楽を聴くにはあまり適さない環境です。スピーカで揺らした空気を音楽としてお客様に適切に届け、より豊かなカーライフを楽しんで頂くために、車の中の音場を創るという取り組みを行っています。

例えば、運転席 (右席) に座ったとします。右からの音は右のドアについたスピーカから、左からの音は左のドアについたスピーカから出てきます。このとき、運転席に座った人には、右の音が早く届いてしまいます。この場合には、右の音を、左の音より少しだけ遅らせて出すようにすると、左右からの音は同時に、運転席に座った人に届いて、より良い音が聴こえます。こういった音の出し方を総称して「音場制御 (Sound Field Control)」と呼んでいます。

カーオーディオを利用するお客様にとって、音楽は目に見えず、ただ聞こえているだけの存在かもしれません。その一方で、より良い音楽をお客様にお届けしようと、エンジニアたちは、日々苦闘しながら、あの手この手で、音をじっくり見て聴いていて、安心してそして楽しく、車の中で音楽を聴ける環境を創る努力をしています。コンピューティング技術を活用して、音の出し方 (制御、Control) をどういう手順で組み上げているのか、そのために日々どんな作業をしてどんなデータを見ているのかについて、順を追ってご紹介させていただきます。

### 3. 車内音場創りの基本的手順

車の中で音場を創る手順を俯瞰しながら、そのときどきで使用する基盤技術に触れていきます。目の前に、実際に車があり、その車向けの音場制御技術を適用するに際し、我々は次の3つの手順で、制御を組み上げていきます。

- ①【構想】「車の中をどんな音にするかを定める。」
- ②【音場試作】「実際に車にスピーカを取り付けて音を鳴らしてみる。」
- ③【試聴】「音楽を聴きながら構想通りの音に仕上げる。」

この各手順の詳細は以下になります。

#### 3-1 構想

最初は、最終的に出来上がった後の音をイメージするための構想段階です。車の中で音楽がどのように鳴っているべきなのかを、できるだけ目に見える形で描いていきます。例えば、どの席に座ると、ボーカルの声はどこからどのように聞こえればいいのかなどを、紙やPCなどで、図示します。車の中のどの席で、どのような聞こえのイメージになるかを決めた後に、音場を創るためのモノを決めていきます。具体的には、スピーカをどこにいくつ付けて、それらからどんな音を出していくのかを決めます。複数のスピーカを取り付ける場所を、車の中で、あれこれ変えながら音の出方を確認する作業は、非常に時間と労力がかかってしまいます。そんなときに、コンピュータ上で、音の伝わりを可視化できる音場シミュレーションが重宝しています。

パイオニアでは、車の簡易モデル(図1)を作って、どうすれば本物の音に近いシミュレーションができるようになるのかという基礎研究を積み上げました(資料2)。その後、現在では、シミュレーションを、実際の技術開発の場面で利用できるようになってきています。

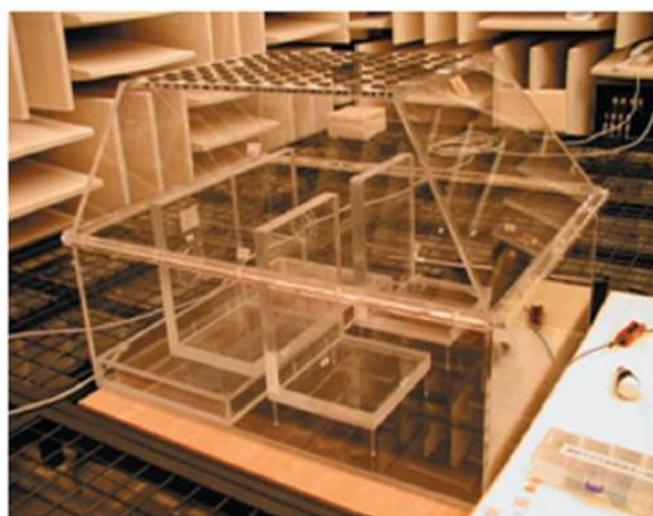


図1 簡易模型

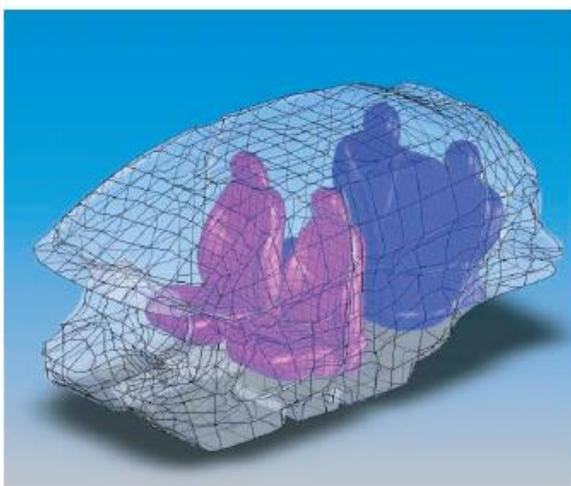
実際の技術開発の場面で、音場のシミュレーションを利用する前には、あらかじめ、車の形状や内装などに関する情報を、データ化してコンピュータに取り込んでおきます(図2(a))。次に、スピーカの位置を決めて、それらから音を出力したときの、音の伝わり方をコンピュータ上で計算して、計算結果を可視化します。図2(b)は可視化結果の一例です。

音が大きく聞こえるところを赤く、音があまり聞こえないところを青く、赤と青の間を黄緑色で表現しています。例えば、後ろの右席あたりが青く、音があまり聞こえないことなどが、一目瞭然で分かります。

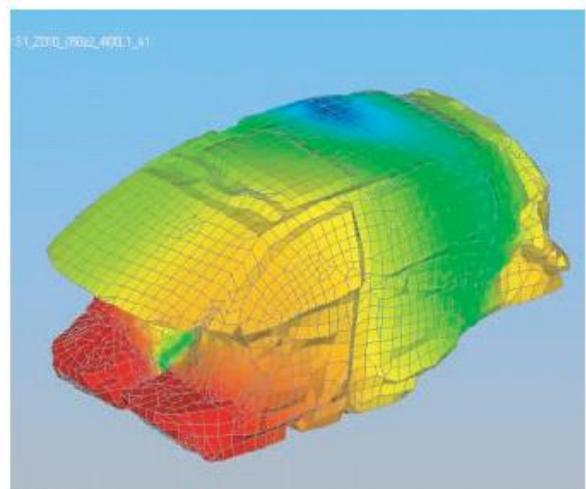
開発当初に構想した音と、シミュレーションによって出てきた結果を見比べて、両者が異なる場合には、スピーカの取り付け位置を変えたり、音の出し方を変えたりして、再度シミュレーションを実施します。そういった作業を繰り返し、構想したイメージ通りに、シミュレーション結果が出てきた段階で、スピーカの取り付け位置や、音の出し方などの音場試作の方向性が固まります。

こういったように、シミュレーションを上手く使いこなすことにより、構想段階で、車やスピーカなどの実物を使わないで、検討を進めることが可能になります。ただし、シミュレーションによる予測結果と試作物による実測結果に差異があることは、シミュレーションを利用する上で常につきまとう課題です。ただやみくもに実際の車で試作をスタートさせるよりも、シミュレーションで方向性を固めた上での方が、構想にマッチしたポイントから試作が開始できます。その点からもシミュレーション活用は構想実現への近道であるということが、実際の開発事例を通して分かってきています。シミュレーション結果に実測との誤差があることを念頭に入れた上で、その誤差の部分がユーザ体験にとって重要なポイントなのか否かを判断しながら、データを見ることが大事なポイントになります。

以上のことを考慮して、構想を満たしているか否かのチェックポイントを確認した上で、モノ作りの方向性を固め試作を開始していきます。



(a) 解析モデル



(b) 音圧分布結果

図2 シミュレーション例

### 3-2 音場試作

3-1 節の構想段階において音場シミュレーションがはじき出した結果に基づき、次に実際に車を用いた試作を始めます。車の中に、スピーカを取り付け、アンプを通して音楽が再生できる段取りを進めていきます。車の中で音が出るという状況が作れたら、音を再生したときのデータを測定します。測定した実測データとシミュレーションによる予測データを比較して、開発当初の構想が試作レベルで実現できているかを確認します。

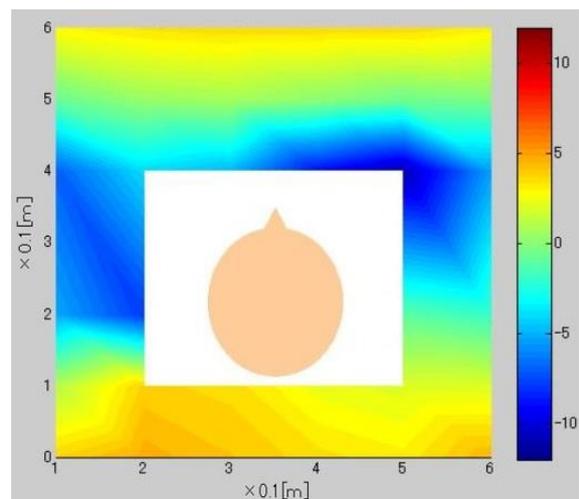
データ測定方法の一例として、車の中での測定風景を図3(a)に、そのときの測定結果を図3(b)に示しておきます。図3(a)では、人が聴いている音、および、その近傍の音を収録できるように、リスニングポイント周辺に複数のマイクを置いて、音の伝わり方をエリアとして観測します。図3(b)も、図2(b)同様に、音の大きさを色で示しています。乗員に対し、横方向に青いラインが走っています。このことは、横方向に音が聞こえにくいエリアがあることを示しています。横方向に音が届かないことが、開発構想にマッチしていれば、これでよしとします。もしマッチしていないようであれば、構想に合うようにシステムを修正変更して、再度測定を繰り返します。

前節で説明したシミュレーションには、図2(b)で示したような車全体の音を可視化できるという利点があります。実測データは、本物の車で、確認したいデータを測定できるという利点がある反面、多くのエリアの音を測るには非常に大きな労力が必要となる欠点があります。現実には、試作の段階において、開発する音場技術の主目的に応じ、シミュレーションと実測の両者の利点を上手く組み合わせて、取捨選択をしながら作業を進めて行きます。また、多くのポイントで測定するとなると、手間暇がかかりますので、そのときどきで、考察に必要な領域のみを切り出して測定するなどの工夫をしています。

このように、シミュレーションでも実測でも、データを見るということを繰り返しますが、この段階に来ると、データを見るだけでは無く、実際に音を聴いて出来具合を確認し始めます。



(a) 測定方法



(b) 音圧分布結果

図3 測定例

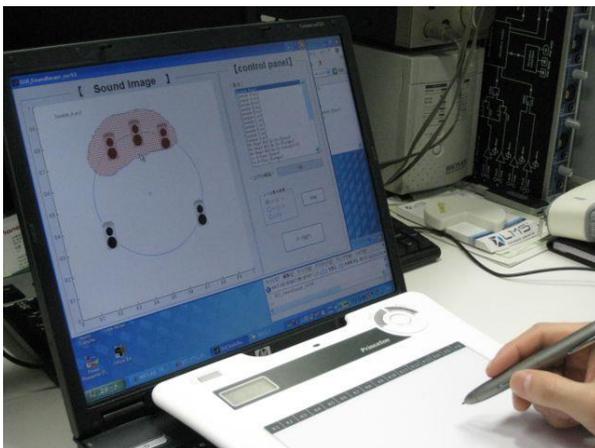
### 3-3 試聴

音場試作を終え、車の中で音楽が聴けるような状況になると、いよいよ試聴が始まります。様々な音楽を聴いて確認をしていきます。この段階でも、ただ聴くだけでなく、可能な限りデータを測ります。試作したシステムで、誰が、どの音楽を聴くと、どう感じとっていくのかのデータです。データ化する方法は、どういう音を創りたいのかという構想にも依りますが、ここではよく使っているツールを例に取りながら説明します。

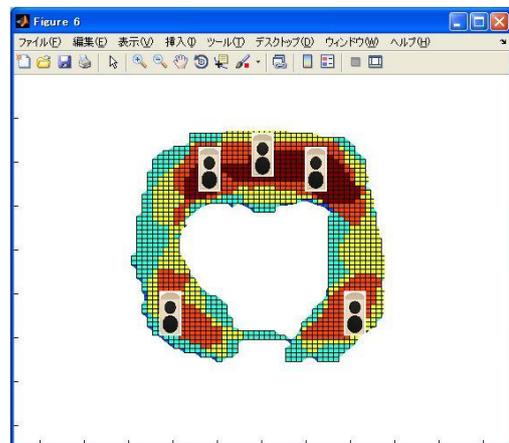
音の聞こえ方を、そのイメージ通りに可視化できないかという意図で作ったツールを、私たちはサウンドイメージツールと呼んでいます。図4(a)に示した写真は一例ですが、主観的な音の聞こえ方を評価したいときに、市販のペンタブレットを使ってお絵かきのように描いて、データ化してPCへ保存するツールです。こういったツールを利用して音を主観評価した結果例が図4(b)です。評価者の周囲に5本のスピーカがあるときに、音が聞こえてくる位置を座標で、音の大きさを色で、表現してあります。図4(b)は数名の評価者による評価結果を、平均値で示しています。平均的に、スピーカの周りには音が大きく聞こえ、横の方からは音があまり聞こえてこないということが、分かります。ここでは示していませんが、個々の評価者の結果を見比べれば、聞こえの個人差のようなことを評価することも可能です。

一般に、音の聞こえ方は、それぞれの人の頭の中でイメージするもので、それを言葉によって第三者に伝えることは難しいと言われています。その客観性の弱さが、音場の開発における、コミュニケーションギャップを生む原因の一つになっています。そういったギャップを埋めるべく、構想段階から、最終的な音の主観評価データがどうなっていれば良いかを、明文化できることが重要と考えます。最終的な評価のゴールがあった上で、シミュレーション結果はどうあって、車の中の測定結果はどうあるべきかのチェックポイントが、より明確になってきます。

試聴して、最終的なサウンドイメージ結果が構想通りになっていれば、ここで開発は一段落です。そうでなければ、実測と主観評価を併用して、システムに修正をかけて再評価というように、構想と実測値が合致するまで開発サイクルを継続します。



(a) サウンドイメージツール



(b) サウンドイメージ結果

図4 主観評価例

#### 4. 最後に

音場とは何かを振り返り、カーオーディオのための音場制御技術を適用する際のプロセスを概観しました。スピーカから音が出て、それを聴くということ自体は、オーディオが生まれてきた当初からあまり変わっていません。音は見えないモノですので、お客様から見ると、昔から何も変わっていないように見えてしまうかもしれません。しかし、それを見えないところで支える基盤技術が、日進月歩の進化を遂げる時代に入っています。

その背景に、コンピューティング技術の進化があります。目に見えない音を、精度よく解析、可視化でき、それらのデータを大量に蓄積して、離れた場所で共有することが、可能になっているからです。そこで、音を構想して、予測して、測って、聴いての開発の基本プロセスの中で、できる限りデータ化して、コンピュータが扱いやすく、そして、共有しやすく、加工する工夫を、基盤技術開発の注力点にしています。

音場の開発は、何が何でも音を聴かなくてはいけないというのがこれまでの常識で、長きにわたり、属人的、職人的と考えられて、耳が良い人以外は立ち入ることのできないような少し閉鎖的な領域でした。それが、誰の手の平の上にも世界中と繋がれるコンピュータが載る現在では、構想さえしっかりあれば、リアルタイムに、音のデータを見て、世界中の様々な人と共感し合いながら、音そのものを共有できるようになり始めています。音を、世界中で同時に、見て、触って、聴いて、創り出していく時代が到来しています。今回ご紹介した技術群は、日頃、お客様からは見えない部分です。こういった陰で支える基盤技術によって、音の開発エンジニア同士のコミュニケーションギャップが解消され、結果として、お客様とパイオニアの音に関するコミュニケーションがより密になっていくことが、私共の願いです。

今後も、「より多くの人と、感動を」という変わらぬ想いで、パイオニアのサウンドエンジニアは、お客様の喜びのために、日々進化するコンピューティング技術を最大限に活用しながら、車の中へ音楽を届け続けて参ります。最後までお付き合いいただいた読者の皆様に、心より感謝いたします。

#### 参考資料

1. 太田：「音場制御技術の研究開発」 <http://goo.gl/3e5h3C>
2. 長谷川・今西：「車室内音場シミュレーション技術の開発」 <http://goo.gl/kAWQ4i>

#### 筆者プロフィール

太田 佳樹（おおた よしき）

1996年3月 東京工業大学 電気電子工学専攻 修士課程修了

1996年4月 パイオニア株式会社 入社

以来、主に音場関連の研究開発を行い、現在は車載向けの次世代音場開発に従事