

耳に不快な騒音を制御することも、快適な音環境にとっては欠かすことのできない要素であり、騒音制御分野で生まれた新技術はさまざまな製品開発の場に活用されている。音質改善技術の活用を中心に、快適な音環境について、東芝研究開発センターの穂坂倫佳さんにお話をいただいた。

不快音を減らす新技術

株式会社東芝研究開発センター
穂坂倫佳

構成・文=斎藤哲也



ほさか・りか
福岡県生まれ。1999年、九州芸術工科大学芸術工学部音響設計学科卒業、2001年同大学院芸術工学研究科情報伝達専攻博士前期課程修了、現在は(株)東芝研究開発センター機械・システムラボラトリーに勤務。これまで「三次元能動消音技術の大型開口部への適用」「能動消音による音質改善—Discrete Tone 分析による評価」を論文として発表している。

Photography by Eiji Ina



快適な音環境を創造するには？

快適な音環境の創造というと、コンサートホールや劇場、あるいは、ホームシアターやリスニングルームなどを思い浮かべる方が多いと思います。これらに共通しているのは、その場に身を置くことで快適であると感じる音場を設計する点です。こうした好ましい音については、「もっと大きくしたい」「もっと聴きたい」という要求に応えるために、音質向上の技術が研究されます。コンサートホールであれば、最適な残響時間を計算して室の形状や材質を決めたりすることがそうですし、スピーカーなどでは、低音の効いた音や抜けのあるクリアな音を出すために、電気音響学の知見をもとに音質の向上をめざします。

快適な音環境といったとき、もう一つ大事な要素があります。それが、騒音制御工学という分野です。製品の音を小さくする、部屋の材質を考えて、隣の部屋に音が漏れないようにする、道路に遮音壁を立てることで道路騒音が届かないようにする——こうした騒音制御工学の技術は、私たちの日常生活のさまざまな場面で応用されています。

騒音は、人にとっては好ましくない音ですから、一般的には、音を小さくすればいいと考えます。しかし現在は、単に音を小さくするというだけでなく、「音質」という観点からも騒音制御のアプローチがおこなわれています。これは、嫌な音を、心地よい音や気にならない音に変えるという取り組み方です。

なぜ騒音制御の分野で「音質」が着目されるのか？

では、なぜ騒音制御の分野で音質改善が必要になってきたのでしょうか。製品音を例に説明してみます。製品を開発する際、低騒音化という課題に対して、これまで、吸音材を貼ったり遮音をしたり、さまざまな工夫で低騒音化を実現してきましたが、音全体のレベルが小さくなると、今度は「耳障りでない音」が要求されるようになります。どうということかという点、全体的に音が下がった場合、そのなかに特殊な音が存在すると、人間はそれを聞き分けてしまうのです。そういったものが「耳障りな音」であり、この「耳障りな音」への対策から、単に音を下げただけでなく、「音質の改善」が製品開発の課題のひとつとして要請されることとなります。

これを人間の聴覚に即して考えてみます。人間の聴覚は図1のように、大きく分けて外耳、中耳、内耳と区別されます。音は中耳までは音波という振動で伝わり、内耳では聴覚神経内で観測される電気信号に変わります。この内耳の部分にある渦巻状の蝸牛管の中で、入ってきた音への粗い周波数分析がおこなわれます。蝸牛管にある周波数の音が入ってくると、基底膜が振動しますが、反応する周波数は基底膜上の位置によって決まっています(図2)。こうしたしくみから、音全体のなかの特定の周波数を聞き分けることが人間の耳には可能になっている、つまり、音が小さくても「心地良い」もしくは「耳障りである」と感じることができるといえます。

「A特性音圧レベル」の問題点

現在、騒音を評価する際、国際的に広く用いられているのは「A特性音圧レベル」という評価指標です。一般に人間の耳は、高い音に比べて低い音は聞きづらいという特徴をもっています。同じ音圧でも周波数によって音の聞こえ方が変わってくる。そこで、人間の聴感の周波数特性を反映させるために、周波数回路を補正した評価指標である「A特性音圧レベル」を用いるわけです。

製品音の評価をする際には、このA特性音圧レベルのオーバーオール値というものを用います。これは、低音に重み付けをして全体に対する寄与を小さくし、音の全エネルギーの総和をレベル化した値です。ところが、このオーバーオール値の評価では、ある製品が突出した周波数を出しているという点を適切に判断できません。製品の音そのものはそんなに大きくなくても、「ブーン」とか「キーン」という気になる音に、A音圧特性のオーバーオール値では対応できないわけです。そこで、もっと聴感を反映した指標で、製品音を評価する必要性が指摘されるようになり、A特性音圧レベルに代わる指標として、音質評価メトリクスで評価しようという動きが最近出てきました。

音質評価メトリクスは、A特性音圧レベルと違って、騒音全体に対するある特定の周波数成分の寄与やその時間的な変動、また、こういった原因の音がどれだけ不快に感じさせるのか、それとは逆にどういった要素を伸ばせば心地よい音と感じ

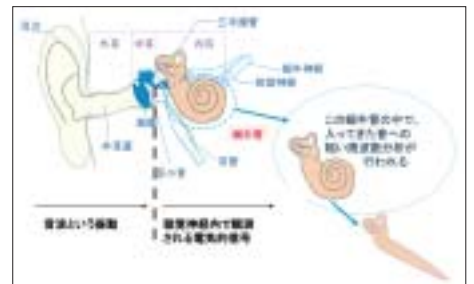


図1 人間の聴覚

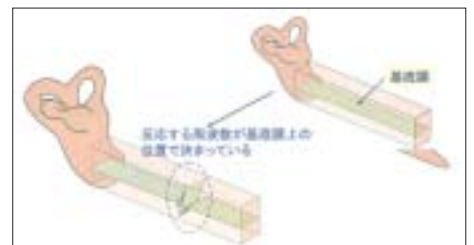


図2 人間の聴覚の周波数分解

られるのか、ということを数値で表わすことができます。音質評価メトリクスは、一般的には「ラウドネス(音の大きさ)」「シャープレネス(音の甲高さ)」「ラフネス(音の粗さ)」「変動強度(ラウドネスの時間変動)」の四つが基本メトリクスですが、私たちは、周波数スペクトル上のピーク値を評価する「TNR (tone-to-noise ratio)」も音質評価メトリクスのひとつとしています。

ピーク音のみを制御する 三次元能動消音

ではここで音質改善のための対策とその効果の評価例を紹介します。

たとえば、モーター回転音の場合、音の特徴として、回転音であるため卓越した成分が存在します。こういった音を長時間にわたって聞いていると、この成分が分離して聞こえ、耳障りだと知覚されるようになります。こうした「耳障りな音」に対する対策として、吸音や遮音では全体的にレ

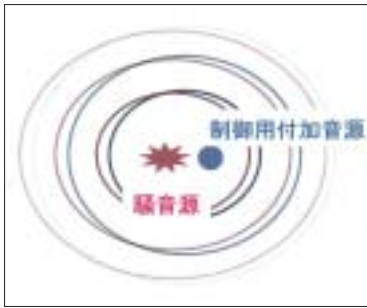


図4 三次元能動消音技術

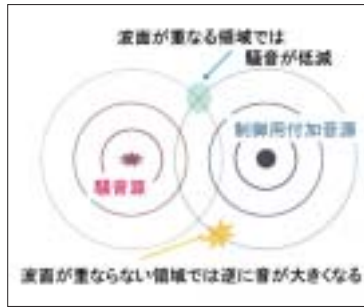


図3 従来の能動消音技術

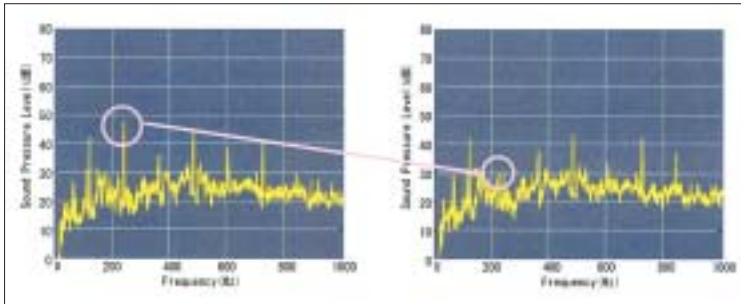


図5 三次元能動消音(3D-ANC)による制御効果

A特性 (dB (A))		TNR (dB)	
	O.A値	240Hzピーク値	
制御前	57.5	48.4	8.2
制御後	56.5	30.1	-0.2
制御効果	1	18.3	聴感上、耳障りではなくなった

表1 制御前後でA特性のオーバーオール値にはほとんど変化が表れないが、TNRによる評価ではピーク成分が大きく減少していることがわかる

「快適である音」は主観量によるものだからです。車のマフラーの音やエンジン音ひとつをとっても、車好きには心地よく聞こえるし、そうでない人にはひどい騒音に聞こえます。好ましい音がそうでないかは、音の大きさと関係なく、聴き手の心理に依存している部分もあるわけです。ですから、定量化、定量化という観点から快適な音環境のための開発、改良を進めると同時に、「快適さには人の心が働いている」ということを肝に銘じて、具体的な目的や状況に合わせた音環境づくりに取り組んでいかなければなりません。

とはいえ、万人に共通する快適な音環境をつくりだすことはほとんど不可能に近い。それは、「快適である音」は主観量によるものだからです。従来の低騒音化からさらに一歩進んだ騒音対策が可能になりました。音質評価は、騒音制御以外にも、満足度をあげるための音質を目的とするゴルフの打球音や車のドア音、注意を向けていなくても知覚される必要のあるさまざまな警告音などの研究に活用されています。

このように騒音の「音質」に注目することで、従来の低騒音化からさらに一歩進んだ騒音対策が可能になりました。音質評価は、騒音制御以外にも、満足度をあげるための音質を目的とするゴルフの打球音や車のドア音、注意を向けていなくても知覚される必要のあるさまざまな警告音などの研究に活用されています。

ペルを下げてしまうので、結局全体に対してピークが立ってしまったという状況は変わりません。では、ピーク成分の影響を低減させるにはどうしたらいいか。ここでは、東芝が開発しました三次元能動消音の例を紹介させていただきます。

能動消音の原理は、音の波面に対して逆位相の音を重ね合わせることで、波のない状態にするというものです。この原理を応用した従来の技術は、騒音源に対して、制御用の付加音源をかけて波面を重ねます。ただこれは、波面が重なる領域では騒音が低減しますが、波面が重ならない領域では音が大きくなってしまいうという問題があります

(図3)。そこで私たちは、この問題を解消するために、騒音源と制御用の付加音源が一つになるように、波面が完全に重なるように近接させることで、周囲全体の騒音を低減させます(図4)。

その結果、二四〇ヘルツのピーク音を、制御後は埋もれてわからなくなるぐらいまで下げることができました(図5)。数値的には、二四〇ヘルツのピーク音を一八・三デシベル下げたことになりました。しかし、先ほど説明したオーバーオール値で評価しますと、五七・五デシベルが五六・五デシベルに下がったということで、たった一デシベルしか低減の効果が出ていないと評価されてしま