

理工学部精密機械工学科／音響システム研究室
音響システム、機械力学・制御、CAE

戸井 武司 教授

【プロフィール】 戸井 武司(とい たけし)▷1963年、山梨県生まれ。中央大学理工学部精密機械工学科卒業。同大学院精密工学専攻修了。電機メーカー勤務を経て、1996年、中央大学理工学部精密機械工学科専任講師。助教授を経て、2004年、同大学同学科教授に着任。著書に『トコトンやさしい音の本』(日刊工業新聞社、単著)、『静音化&快音化設計技術ハンドブック』(三松、共著)、『快音のための騒音・振動制御』(丸善出版、共著)。2010年自動車技術会フェロー、JSAEフェローエンジニア【振動騒音／研究・教育】等受賞。日本騒音制御工学会理事、自動車技術会振動騒音部門委員会委員長等を務める。



「心地よい」音から、 「人の活動を支援する」音環境へ。 快音設計で、広がり続ける音の可能性を追究する。

パソコンの冷却ファンが立てる音が気になったり、エアコンの風音に涼しさを感じたり。「音」にまつわる、そんな経験をしたことがある人も多いのではないのでしょうか。戸井先生の「音響システム研究室」では、この「音」をテーマに研究を行っています。騒音の低減や音による構造物の状態把握など、音に関する多様な研究を手がける戸井先生が、中でも力を入れているのが「快音設計」。「音楽ばかりが快い音というわけではありません。機械が発する動作音などにも、耳にして気持ちが良い、不快にならないものがあります。こうした音を、騒音の対極に位置するものとして私は『快音』と定義づけています」そう語る戸井先生に、音の世界を案内していただきましょう。

目指すのは、「静音」ではなく「快音」。 音を通じて製品の価値を高める

戸井先生を訪ねると、まず、四方の壁はもちろん天井から床までくさび型の吸音材が施された不思議な部屋に案内されました。「ここは家電製品の動作音の測定などに使用する『無響室』です」と戸井先生。遮音機能があり、扉を閉めると室内はほとんど無音の状態になります。「音はしないけれど、小さくキーンと耳鳴りするような気がしませんか？音を騒音ととらえてそれをなくそうとするニーズは大きいのですが、このように、まったく音がしない状態も、必ずしもよいとは言えないのです。それは空間環境ばかりでなく、家電製品や自動車などが発する音についても同様。掃除機をかけて



▲「無響室」で説明を行う戸井先生。音響システム研究室は、重量のある機器も運び込める「半無響室」や、収録した音の分析を行う「解析室」なども保有。

いてゴミを吸い取る音がしないと掃除をした達成感がありませんし、自動車を運転していてエンジン音がしなければ、ドライバーは加速や減速をしても実感が得られません」

つまり機器が発する音には、ユーザーが操作感を得るために必要な情報の一つ、という側面があるとともに、時にはその存在が、機器

を利用する「心地よさ」や「楽しさ」につながることもさえるのです。とはいえ、どんな音でもいい、というわけではもちろんありません。そこで登場するのが、戸井先生が取り組む「快音設計」。これは、機器からどのような音を出すべきかを追究し、音をデザインするというものです。「現在、五感を通じてユーザーにどのような価値を提供するか、ということが、幅広い分野の製品開発において重視されるようになってきました。特に、意識しなくても聴覚を刺激する『音』への関心は高く、使い心地のよい、高品質なものづくりにつながる要素として改めて注目が集まっています」それゆえ、企業と共同で行う研究も多く、戸井先生はこれまでに、家電製品からオフィス機器、自動車、スポーツ用品まで、延べ200社以上の企業の製品について快音化研究を手掛けてきたそうです。

快音は、これまでにない 発想と工程から生み出される

では、「快音設計」はどのように行われるのでしょうか。戸井先生に訊ねると、驚いたことに、「目標とする快音」を最初に設定すること。「製品開発において、一定の機能を備えた製品を製作してから出る音の改善を行う、という工程がこれまでは主流でした。しかし、どのような機能を装備させるかと同様に、音についてもあらかじめどのような発音をさせるか設定してしまう、新しい発想での製品開発を私たちは提案しています」まず、その製品から「どんな音が出たら心地よさや、製品が目指す価値をユーザーに提供できるか」という視点で目標音を設定します。次に、現在出る音のどの要素を抑制したり除去、時には音を付加すれば目標

音を実現できるか、設計や使用材料など工学面での検討を重ね、シミュレーションを繰り返しながら快音をつくり上げていきます。音は感性で評価されがちですがそれに頼るばかりでなく、心電図や脳波などの生体情報も測定して、人が意識できない部分に影響が出ないかについても考慮するそうです。

「最近はある家電メーカーと共同で、エアコンの動作音について研究を行いました。エアコンから気流が出る際に発生する音は、ユーザーが『涼しさや温かさ』を実感するための重要な要素。エアコンから適切な大きさの快音を出して『涼しい』『温かい』という感覚につながれば、設定温度を大きく変えなくても心地よさを提供できます。発音に関わるエネルギーは温度調節に要するエネルギーよりも少ないため、エアコンを快音化すれば省エネを実現することができます」

1つの空間の中に、複数の音環境を共存させる「スマートサウンドスペース」

そして現在、戸井先生が最も熱心に研究しているのが「スマートサウンドスペース」の創造です。先生が「機能性音響空間」とも称するこの耳慣れない概念について、さらに詳しく説明していただきました。「例えば自動車の場合、車内という一つの空間の中に運転席と助手席、後部座席があります。しかし、それぞれの席に着く人にとって快適な音環境は異なります。ドライバーにはエンジン音やカーナビゲーションのアナウンスといった情報音は不可欠ですし、リラックスして運転するための音楽が必要なこともあるでしょう。一方、助手席にいる人にとって情報音はそれほど必要ではありません。後部座席にいる人には、DVDや音楽が気兼ねせずに楽しめる環境があってもいい。スマートサウンドスペースを実現するには、ある空間をエリアごとに制御して、そこにいる人にとって適切であると同時に、運転する・リラックスするなどの『行動』を支援する機能を持つ音環境を創造することなのです」

先生に案内していただいた「半無響室」には、自動車が設置されていました。車内の運転席と助手席の天井にはそれぞれ、垂直（真下）方向に発音するパネル状のスピーカーが埋め込まれているとのこと。先生の説明の通り、1台の車内の中で別々の音環境を創造しようという試みが行われているのです。

自動車以外にもスマートサウンドスペースの概念を活用できるフィールドはたくさんある、と戸井先生は語ります。「例えばオフィス。テンポの良い動作音を出すコピー機など、快音化した機器を事務スペースに設置することで作業の効率を高めるとともに、天井や壁な



▲自動車のボディを使ってスマートサウンドスペースの研究を推進。「半無響室」には機器を固定する定盤が備えられているなど、設備の充実度も高い。

どに埋め込んだスピーカーから制御音を発して音環境を区切る『サウンドパーテーション』といった音環境に関する技術を用いることで、会議スペースやリラックススペースを1つのフロアに共存させることも可能です。ビジネスだけでなく、エアコンなどの快音化機器と音環境技術を組み合わせることで、住環境においてもスマートサウンドスペースを実現することができます」目を輝かせながら語る先生のお話を伺っていると、音の持つ可能性が今後さらに広がっていくことが感じられ、こちらまでワクワクしてきます。

企業との共同研究が多いことが特徴。エンジニアとして不可欠な力を育む

前述の通り、音響システム研究室では企業との共同研究の機会が多々ありますが、先生は学生に、「要望を満たす研究を行うだけで満足してはいけない」と指導しているそうです。「音の専門家ではない企業も多いため、その要望が本当に目的を満たすものかどうかはわかりません。依頼された内容に取り組み一方、新たな課題を設定し、それを実現するためのよりよい方向性や改善策などを提示する姿勢を持つことが研究者として大切だと教えています」そして、「粘り強さ」を学生に身につけてもらうことも先生の教育方針となっているそうです。「目標音の追究にしても、今はコンピュータにデータを入力してシミュレーションすればある程度答えに近づくことができます。しかし、どの辺りのデータを集中的に検討すべきか予測するといった力は、経験を重ねなければ培うことができません。そのためには、効率にとらわれずに粘り強く取り組むことが大切。失敗を恐れず経験を積み重ね、実力を磨くよう学生を指導しています」

研究室の卒業生は自動車や家電メーカーにエンジニアとして就職することが多いため、最終的には「研究の方向性を自分で見出し、適切なゴールを設定してそこへの道筋をつける力」を学生の中に養うことが目標、と先生は言います。「その力がなければ、社会でエンジニアとして活躍することは難しい。特に、音のような主観が重要な分野については、適切なゴールを自分で決めざるを得ないのです。主観評価や生体情報に基づく客観評価を見定めながら、自分で設定した到達点に向かって地道な努力を積み重ねていく。すると、ゴールにたどり着いた時、大きな達成感を得られるはず。この醍醐味を、多くの学生に味わってほしいと願っています」

Message ～受験生に向けて～

暮らしに密接した「音」という存在を研究している者として、理系分野に進もうとしている皆さんには、一見当たり前に見えるものも当たり前ととらえず、些細な変化や小さな疑問も見見過ぎずに着目する意識を持っていただきたいと思います。そのためには周りとは異なる発想をするよう意識して、人とは違うことに挑戦する努力を心がけることが大切。自分の中にはない考え方やものの見方をする人たちと触れ合うことも、自らを磨くよい機会となります。勇気を持って、新しい世界や仲間との出会いを経験してください。