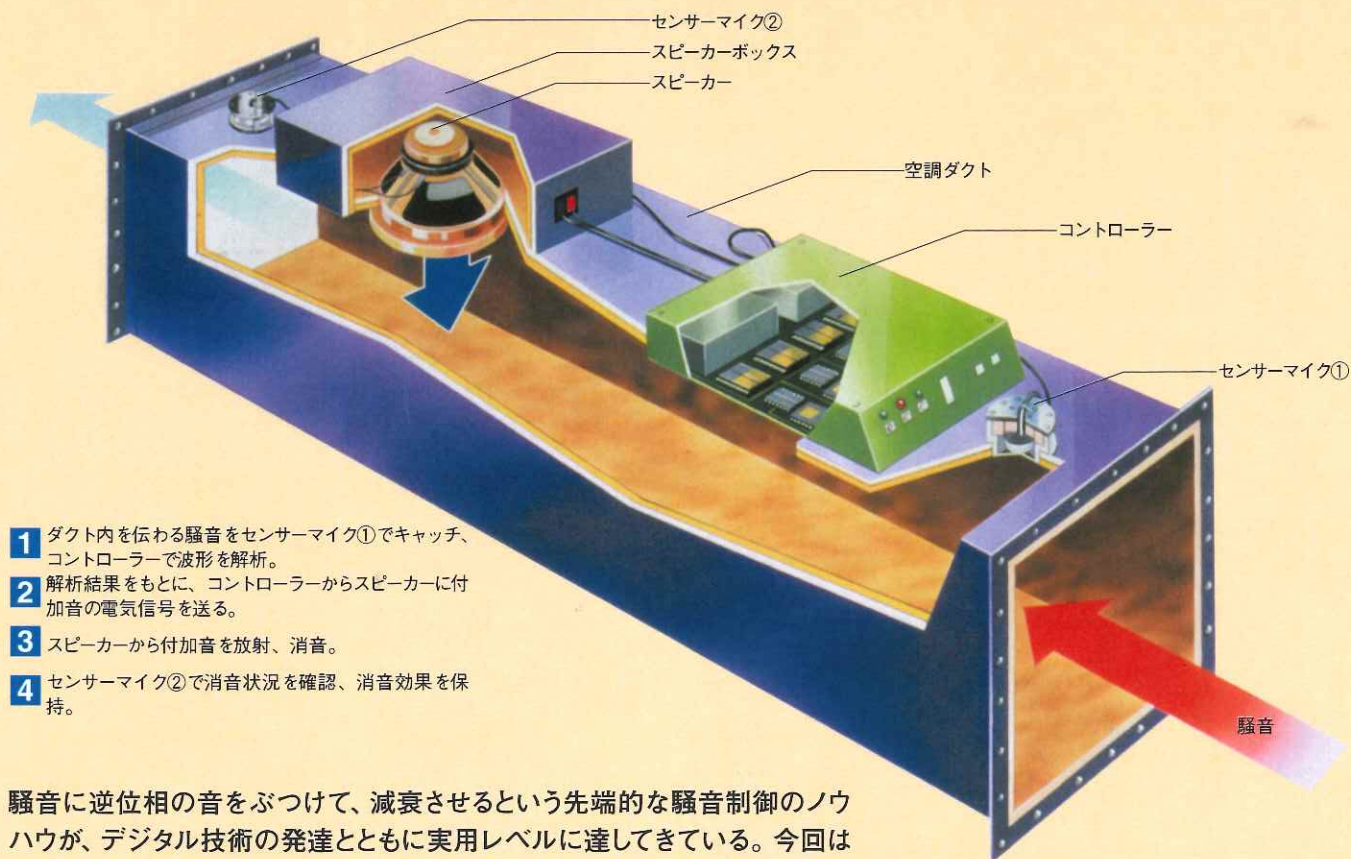




先端騒音対策

—音をもって音を制すアクティブ・ノイズ・コントロールの技術



- 1 ダクト内を伝わる騒音をセンサーマイク①でキャッチ、コントローラーで波形を解析。
- 2 解析結果をもとに、コントローラーからスピーカーに付加音の電気信号を送る。
- 3 スピーカーから付加音を放射、消音。
- 4 センサーマイク②で消音状況を確認、消音効果を保持。

騒音に逆位相の音をぶつけて、減衰させるという先進的な騒音制御のノウハウが、デジタル技術の発達とともに実用レベルに達してきている。今回はアクティブ・ノイズ・コントロールと呼ばれるこの技術の現状を、実例を追いながら概観してみよう。

イラスト：空調ダクト用電子消音システム
(日立プラント建設)。

現実のものとなってきたアクティブ・コントロール

今日の日本では、人口の過半数が都市生活者になっているといわれるが、自動車道路や鉄道に近接した都市での生活につきものなのが「騒音」である。空港や新幹線などの近接地では、公害対策としてのさまざまな騒音対策が講じられてきた歴史もあり、騒音問題は、高度に工業化された社会にとっては、大きな関心事である。

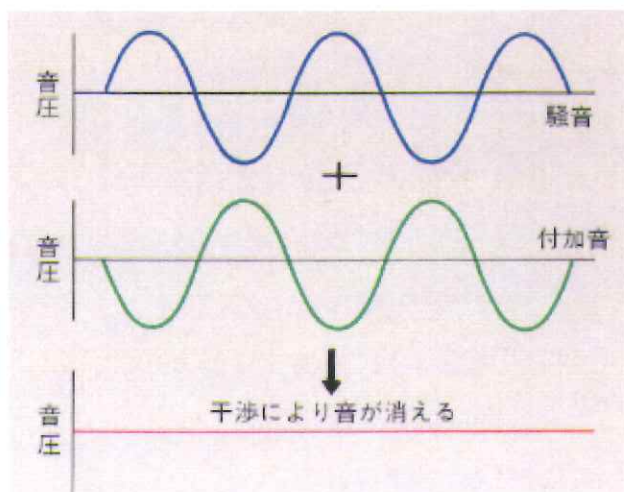
また近年では、JISの工場内騒音管理基準の改定のような、労働環境という場面でもより「人にやさしい」方向性が模索されるようになってきているが、工場プラントや設備機器などの出す騒音への対策も同様に重要な問題になっている。

これらの騒音対策の方法論として、より一般的なものが遮音材、吸音材を用いた防音対策であり、鉄鋼関連の製品としてもさまざまな形で実用に供されていることは周知のとおりである。

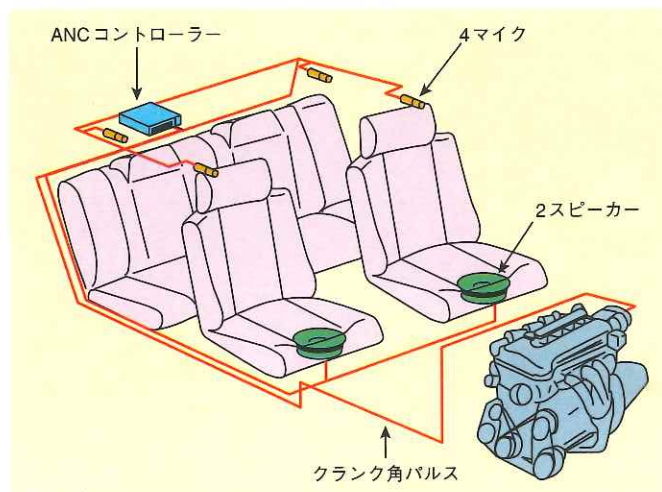
こうした音を制御する技術として、これまでの発想とはまったく異なる方法論が、デジタル技術の進展とともに、研究され、一部で実用化されてきている。いわゆるアクティブ・ノイズ・コントロール（以下ANC）といわれるジャンルである。

ANCとは、音が波である性質を利用するもので、ひとくちに言えば音の波に逆の波をぶつけて消音を行うという技術である。音の波は単純化して考えれば、一定の周期で山と谷が繰り返されるものだが、ちょうど山と谷が逆になった波（逆位相の波）をぶつけてやるともとの波と打ち消しあい、消音効果が期待できる。騒音源に対して逆（位相）の音を積極的に出してやることにより元の音を消してしまうということで「アクティブ」と呼ばれる。

ANCの発想はすでに1933年には登場してきており（P.Luegによる特許申請）、研究の歴史も比較的長いものがあった。しかしながら実用的な技術として現実味を帯びてくるのは、1980年代に入って高性能なデジタル・シグナル・プロセッサー



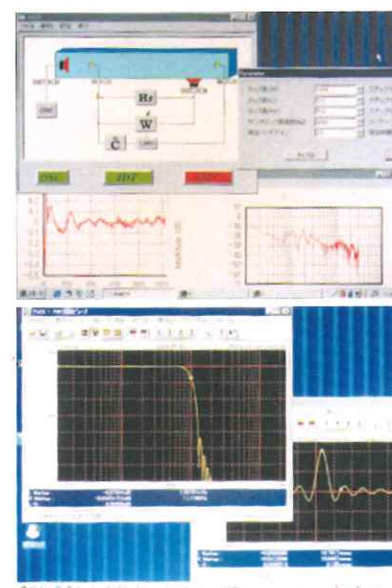
ANCの消音原理。



車載ANCの例（日産自動車）。出典：「騒音制御」Vol.20, No.6（1996）



ダクトなどに用いられる1チャンネル式のDSP（リデック）。



DSPの画面（リデック）。



多次元用に用いられるマルチチャンネル式のDSP（リデック）。



DSP用拡張ボード（リデック）。

（以下DSP）が一般化してからのことである。マイクロ・プロセッサとソフトウェアの組み合わせによって、検出した騒音を高速演算処理し、極小の誤差で逆位相の音を発生させることができるようになり、それによってはじめて可能になった技術といえる。

空調、エンジンのサイレンサーとして

ANCはすでにいくつかの分野で実用化されているが、もっともシンプルな一次元（騒音源がひとつ／単一チャンネル制御）の実例として空調ダクトの消音システムに着目し、ANCがどんなものであるのかをまずは概観してみよう。

左上のイラストに示すように、空調ダクト用のANCシステムは、騒音を検出するセンサー（マイク）、コントローラー（DSP）、二次音を発生させるアクチュエーター（スピーカー）から構成される。マイクでひろわれた騒音はコントローラーで位相反転の演算処理が行われ、スピーカーから逆位相の音が流される。このスピーカーから出た二次音がもともとの騒音と打ち消し合って音が減衰するというしくみである。

こうした消音システムは、静粛性が重視されるコンサート・



ダクトに取り付けられたANCの例（ミツヤ送風機製作所）。



ホールなどの空調用技術として有望視されている。これまでは消音のためのチャンバーを設けたり、吸音材を使用したり、ダクトそのものを曲りくねらせることで、消音効果を得ていた。エンジンのサイレンサー（マフラー）に近い発想といえるかもしれない。こうしたところにANCを適用することで、省スペース、省エネルギー（ダクトを曲げることでのロスをなくせる）などの効果が期待できるうえ、従来の消音技術では消しきれなかった波長の長い音（低周波等）までが制御できるようになる。

また従来用いられてきた遮音材や吸音材は、その消音メカニズムの性質上、低周波によるノイズをとらえきれないということがあった。たとえば、電力設備などのトランスが発生させた低周波によって1km先の民家の窓ガラスが振動するなどといった例があった。こうした波長の長い振動の場合、遮蔽物を入れても通りぬけてしまい効果が期待できない。こうした低周波のケースでもANCであれば、有効に対処できることから研究が進められている。

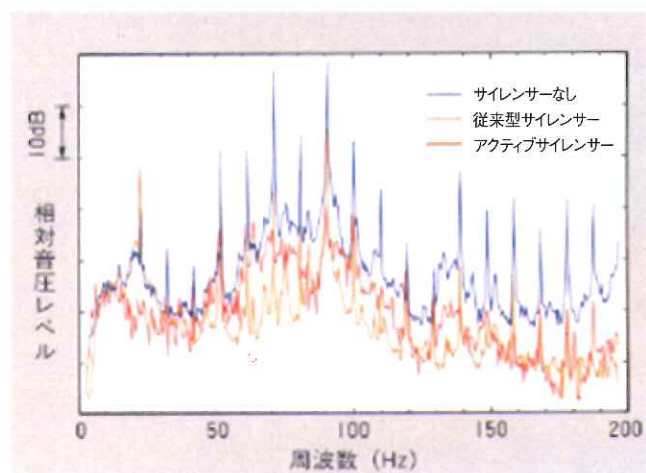
空調ダクトと似たケースとして、最近増えてきたコージェネレーション用エンジンのサイレンサーの例があげられる。従来ではこの種のガス・エンジンの消音は、消音用のチャンバー（パッシブ・サイレンサー）によっていたが、これはシステム全体に比べてもかなりの容積を占めてしまうものであった。これをANCに置き換えることで、かなりの省スペースが可能になる。

コージェネレーションは、都市部のビルなどにも採用される例が増えているが、地価の高い都市部では省スペースが経済効果に直結するので、ANCによるコンパクトなサイレンサーは有効だと考えられる。

自動車内部の静粛性を向上させる

空調ダクトの場合、1チャンネルというもっともシンプルなANCシステムが採用されていたが、用途によっては数チャンネルから数十チャンネルというマルチ・チャンネルが求められる場合もある。

身近なところでは、自動車の車内を静音化する場合などは、



ANC式サイレンサーの消音効果（NKK）。

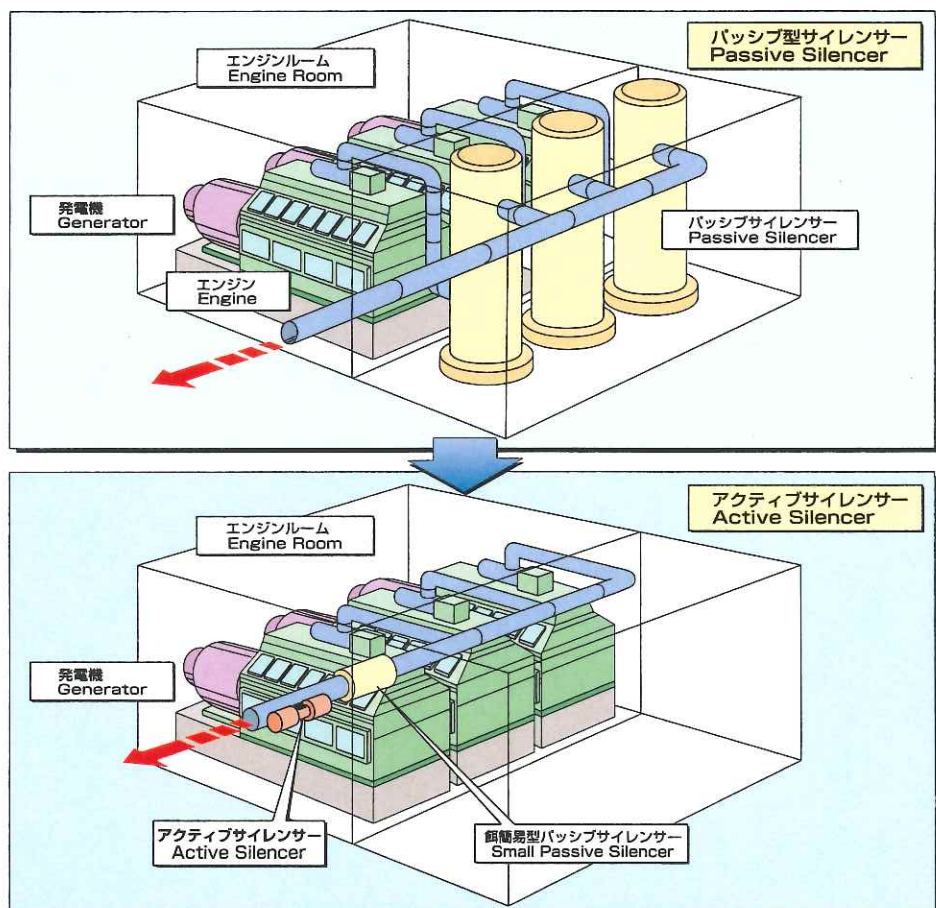
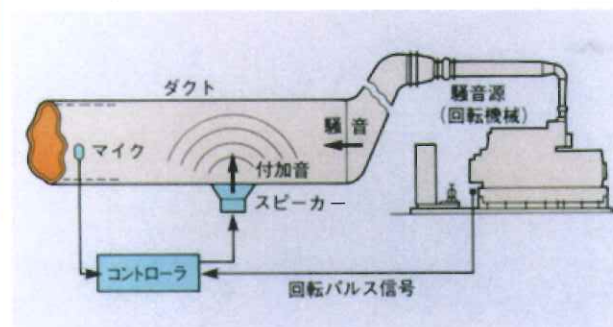
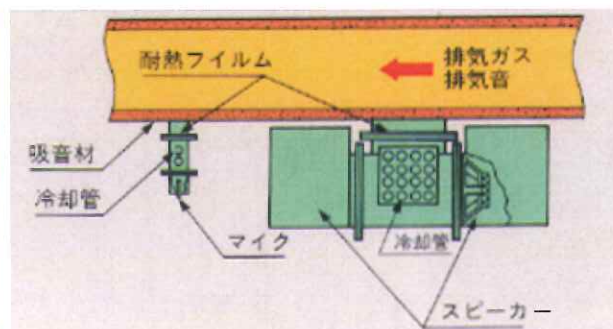
数チャンネルを必要とする例といえるであろう。自動車の高速走行時（3000～4000rpm）には、高音域のノイズが発生し、これがこもり音になる。この騒音を消去するために、ヘッドレスト周辺やシートに数カ所のスピーカーを置き、ANCによって騒音を消そうというのが、自動車への適用例である。騒音の検出部はエンジン・ルーム内に設置し、DSPによるコントローラーによって逆位相の音を発生させるように設計されている。自動車会社ではこのシステムをすでに一部の車種に適用しており、実用化している。エンジンの騒音が抑えられるということは、長距離走行などの疲労度を軽減するという意味でも有効だと考えられる。

昨今では省エネルギーや環境問題などから、自動車材料の軽量化とそのための材質の高強度化がめざされていることは、鉄鋼分野にも関連の深い事象である。ここでもかに自動車用の鋼材の高強度化が達成され、より薄く強い鋼板が使われるようになったと想像してみよう。

「材料が薄くなるということは、軽量化の面では効果がありますが、騒音の面では遮音性が低下するということを意味しています」（東京電機大学工学部情報通信工学科教授・浜田晴夫氏）



ANCによるガスエンジンのサイレンサー（NKK）。



ANC式サイレンサーの省スペース効果の比較。

というように、これまで厚い鉄板で減衰されていた騒音は、より車内に入りこんでくることになるわけである。ここで遮音材を用いれば、せっかくの軽量化の効果が半減してしまわないとも限らない。自動車の軽量化という流れのなかで、ANCはさらに有効な騒音対策として浮上してくることも考えられる。

自動車関連では、車内の静音化に続いてエンジン・マウントの振動を制御するためのANCシステムの研究が進み、実用化されるところまでできているという。また盛んに研究されているテーマとしては、ロードノイズ（路面とタイヤの摩擦等のノイズ）の制御などがある。不規則性の高いノイズをどう消すかがポイントになっているようである。

自動車では数チャンネル程度だが、航空機では数十チャンネルを使用して、ノイズを消去・低減する研究が行われている。プロペラ・タイプの小型飛行機ではすでに実用化例があり、ジェット機でも試作段階は成功している。

労働環境の快適化にも一役

ダクト、車内、機内といった限られた空間での騒音対策では、さまざまな実用化されているANCだ

が、道路や鉄道、空港などでの一般的な騒音対策には、まだ広く使用される段階には来っていない。それはやはりコスト問題という点に集約される。

「吸音材、遮音材はトンいくらという単位ですから、デジタル・プロセッサやアクチュエーターを必要とするANCはコスト面では現状なかなか競争するまでにはいきません。省エネ



ANCを応用した防音保護具。高中音騒音はパッシブで、低周波騒音はアクティブで防ぐ設計になっている。

ギー、省スペースのようなところまで含めて評価してもらえればいいのでは？」(前出・浜田教授)。

「詳しくデータをとるところまではいいませんがダクト用のシステムなら設置後おおよそ2〜3年くらい運転を続けると、省エネルギー効果でインシヤル・コストの分が償却可能なのではないかと考えています」(ミツヤ送風機製作所・古賀靖人氏)。

逆に消音空間の範囲が狭い場合は、ANCは適用しやすいとも考えられるが、もっとも狭い聴覚空間ということでは、ヘッドホンのような耳の周囲のみのスペースが想定されるであろう。ANCを適用したヘッドホン・タイプの消音器具は、たとえば強烈なエンジン・ノイズのバックグラウンドのなかで通信音だけを聴取しなければならないジェット戦闘機のヘッド・セットなどに採用されている。特定の音だけを制御し消音できるANCは、こうしたケースではきわめて有効だと考えられる。

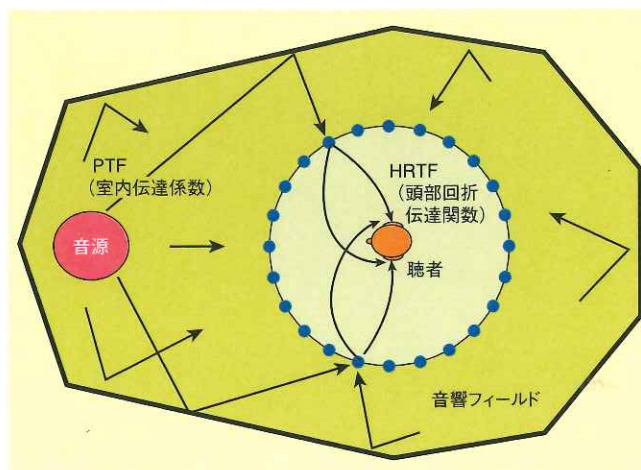
また最近では騒音の激しい労働環境下などで作業をする人たちの耳を守るイヤー・マフにANCが適用され、商品化されてきている。

ANC技術から生まれた画期的オーディオ・システム

ANCによる音の制御技術は、騒音対策という領域からオーディオ関連技術にも、新たな波をもたらそうとしている。

ANCで用いられる逆位相の2次音をその機能から逆フィルターと呼ぶが、この逆フィルターを空間内にうまく張りめぐらせることで、音に立体感をもたせることができるのである。現状、音に空間的な広がりを出すにはマルチ・チャンネルによるステレオ・サウンドを用いるのが一般的だが、この技術を用いると、スピーカーは前方に並べて置かれた2台のみで、あらゆる角度からの音を再現できる。

たとえば、電車が右から左へと去っていく音、などというものをかなりリアルに再現できる。その移動感や方向感覚はこれまでのステレオの比ではない。飛行機が確かに右上の上空に飛



バーチャル・サウンドのしくみ(空間知覚の伝達関数による表現)。



バーチャルサウンドを可能にする「ステレオ・ダイポール・システム」のデモCDジャケット。

び去っていったことが音ではっきりと識別できるほどである。

こうした音の仮想空間……仮想音源を、たとえば1枚のCDに記録されたデータによってすべてコントロールできてしまう点は、画期的といえる。

仮想音源の技術は、本誌7号で扱ったようなバーチャル・リアリティ空間のサウンド効果にはまさに最適なシステムであるばかりでなく、視覚障害者への人間工学的なサウンド・ディスプレイを考える場合などにも有効である。特殊なハードウェアを必要とせず、ソフトウェアによって自由に制御できることから、認知度が高まるとともに急速に普及していくことも予想される。今後のオーディオ技術にひとつの画期をもたらすものとなる可能性は高そうである。

取材協力・写真提供: (社)日本工業技術振興協会・アクティブノイズコントロール先端技術研究委員会、東京電機大学工学部情報通信工学科・浜田研究室、NKK基盤技術研究所、(株)重松製作所、日立プラント建設(株)、(株)ミツヤ送風機製作所、(株)リデック