



家庭でのアクティブ防音

# Sound Asleep

ヘルムート・シュミット大学 (ハンブルク連邦国防軍大学) の研究者は、家屋における交通騒音レベルの低減など、アクティブに音を消去するシステムを研究しています。このシステムの実現には、計算量の非常に多い適応型アルゴリズムが必要ですが、このアルゴリズムには dSPACE DS1006 プロセッサボードが使用されています。

### 騒音公害

特に都市部では至るところで発生する騒音にさらされることで、ストレスのために病気になる場合もあります。家に防音装置を取り付けることはできますが、換気などのために窓を少しでも開けると最高の防音素材を使っても効果がありません。さらに、音の周波数が低下すると（つまり、低音域の音や波長の増加により）、防音効率は低下します。100Hzの低音音波（トラックのディーゼルエンジンの低いエンジン音など）の波長は、3.5m 弱です。このような音波は、一般的に使用されている厚みが数センチの遮音層を通り抜けてしまいます。German Federal Foundation for the Environment (DBU) の資金提供を受けているヘルムート・シュミット大学（ハンブルク連邦国防軍大学）は、これらのシナリオ向けに低周波数や窓が開いている状態でも機能するアクティブ防音システムを開発しました。

### アンチノイズ機能で騒音を消去

アクティブ防音は、2つの逆位相波が互いに打ち消し合う相殺的干渉の原理に基づいています（図2）。キャンセル音波は、ノイズ音源近くの騒音信号を計測するマイク

ロフォンおよび音波とキャンセル音波の重畳により生じる信号を計測するマイクロフォンの2台で行った計測から計算します。ただし、音は全方向に伝播され、ノイズ音源での計測値自体がキャンセル波の影響を受けているため、すべての騒音を完全に消し去ることはまず不可能です。さらに、騒音は壁で反射し、複雑な音場も発生させます。最後に、騒音は通常、幅広い周波数帯で構成されているため、それら全体に対して正確なキャンセル信号を発生することはできません（非常に限られた周波数帯でのみ発生可能）。

### 家庭でのアクティブ防音

ヘルムート・シュミット大学で開発されたノイズキャンセルシステムの実験セットアップ（図3）は、騒音音波とキャンセル音波を発生させる低反射の外部屋と、住宅の一室の一般的な音響特性を持つ内部屋の2部屋で構成されています。システムは標準的な市販の窓を通して外部屋に接続します。過度に高い騒音レベルからは保護が必要です。エラーマイクロフォンの信号（「エラー」は理想としてはゼロにする必要がある残留ノイズ）は、dSPACE DS2004 High-Speed A/D Board を介して



図1：騒音が窓に届く前に、ノイズキャンセルスピーカが騒音を低減（第3のプロジェクト段階）。

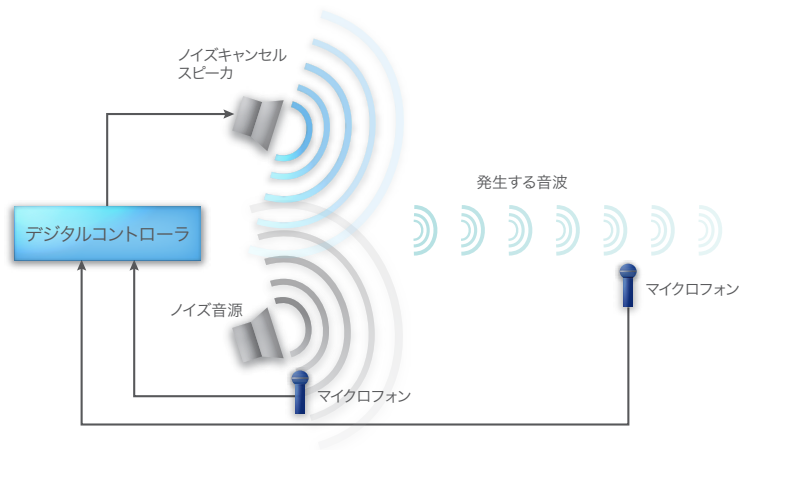


図2：アクティブ防音の原理：元の音波（グレー）とキャンセル音波（青）が重なり、互いを（ほぼ）打ち消し合う（シアン）。

DS1006 Processor Board に渡され、このボードで適応型デジタル制御アルゴリズム（フィルタリングされた x 最小二乗平均または FxLMS アルゴリズム）を使用して出力信号が計算されます。出力信号は DS2102 D/A Board を介して出力され、ローパスフィルタを通り、増幅され、最終的にノイズキャンセルスピーカに渡されます。実験によっては、ノイズ音源で直接騒音を計測する基準マイクロフォンを設置する場合もあります。

#### 信号処理の詳細

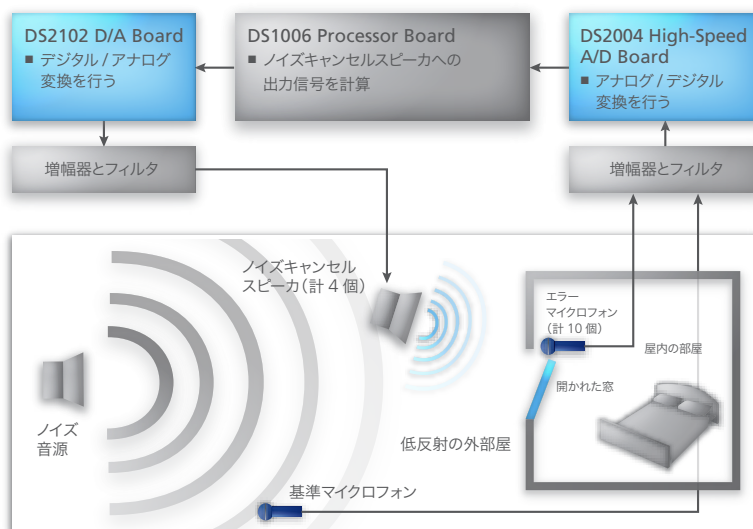
騒音がノイズキャンセルスピーカに到達するまでにキャンセル音波を生成する必要があるため、信号処理速度には非常に厳しい要件が課せられます。騒音がスピーカに届く短い時間（20センチで約0.6ミリ秒）で、入出力信号が増幅器とアナログアンチエイリアシングフィルタを通過し、FxLMS アルゴリズムが出力信号を計算する必要があります。マルチチャンネルシステムでは、ノイズキャンセルスピーカごとの

デジタルの適応型有限インパルス応答（FIR）フィルタ、および各ノイズキャンセルスピーカと各エラーマイクロフォン間の音響経路（二次経路）を表す追加 FIR フィルタによりアルゴリズムが構成されます。そのため、このセットアップ（4 台のノイズキャンセルスピーカと 10 台のマイクロフォン）では、4 つの制御用 FIR フィルタと 40 の二次音響経路用 FIR フィルタがあります。各 FIR フィルタは 1 つの畳み込み演算に対応しています。フィルタ係数が増えると、乗算の回数も増えます。ただし、フィルタは物理的に存在するパルス応答を表すので、良好な制御結果を得るには、ある程度の数の係数が必要となります。サンプリングレートの値を大きくすると、必要なフィルタ係数が増え、計算に使用できる時間が短くなります。

#### サイレンスゾーンの拡大

最初のプロジェクト段階 \*) では、枕元に置いた 2 台のエラーマイクロフォンとベッドの頭部分に置いた 2 台のスピーカによりアクティブ防音を行いました（図 4）。防音効果は約 18dB ですが、空間的には非常に限られていました。2 番目のプロジェクト段階では、追加スピーカとマイクロフォンを使用して位置を最適化し、サイレンスゾーンを拡大しました。ただし、このセットアップは現実的にはあまり実用性がないので、3 番目のプロジェクト段階では窓で直接騒音を消すことを目指しました（図 1）。この「アクティブサウンドブロッカー」は、ノイズ音源で騒音を計測する基準マイクロフォンと連動し、スピーカとマイクロフォンを窓枠に直接取り付け使用します。部屋全体に散らばった 20 カ所の計測点で計測したところ、80 ~ 480Hz の平均周波数範囲で、騒音を大幅に（16dB）抑えることができました。

図3：キャンセル音波実験の実験セットアップ図。



\*) 2006 年以降、German Federal Foundation for the Environment (DBU) より複数のプロジェクトで資金援助を受けています。



「DS1006 Processor Board の高い処理能力により、ノイズキャンセルシステムのサンプリングレートを 2kHz から 8kHz に問題なく引き上げることができました。マルチタスキングをフル活用することで、制御を改善するための余裕が生まれます。」

ヘルムート・シュミット大学 (ハンブルク連邦国防軍大学)、Sergej Jukkert 氏

#### ラボから家庭へ

現在、他の実用面についても、Adaptronics International GmbH と協力しながら研究が行われています。研究の目的は、基準マイクロフォンを取り外し、窓枠でスピーカとマイクロフォンを統合することです。この新しい制御コンセプトでは、基準信号をエラー信号から内部的に生成します。生成された信号は騒音信号より遅れるので、速い実行速度がさらに重要になります。フィルタ係数の数はまだ十分ではありませんが、すでに速度は同じチャンネル数で 2kHz から 8kHz に高速化済みです。したがって、現在の焦点は、DS1006 ボードの 4 つのコアすべてに制御アルゴリズムを分散させることです。周波数範囲でモデルの各部を計算するコントローラのコネプトも試行中です。これにより、フィルタ係数を増やし、制御の質をさらに高めることができます。■

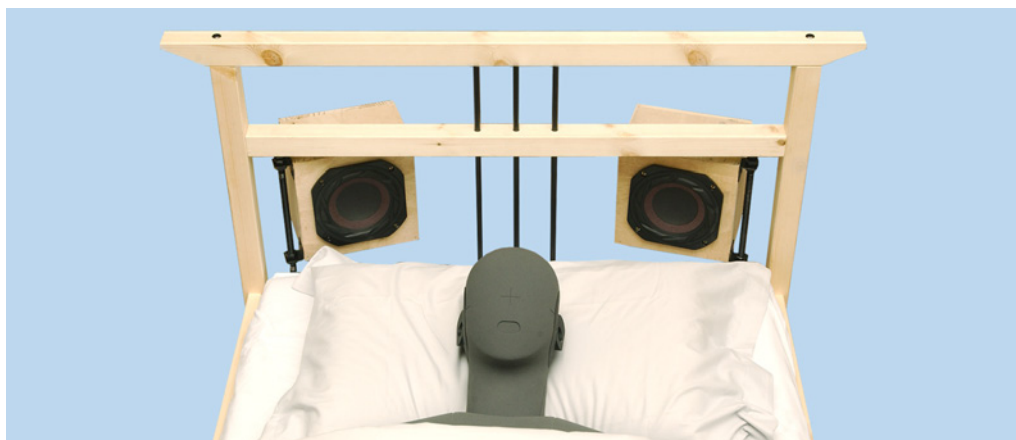


図 4 : ベッドの枕元に直接置かれたノイズキャンセルシステム (第 1 のプロジェクト段階)。

ヘルムート・シュミット大学 (ハンブルク連邦国防軍大学)、  
Jan Foht 氏、  
Sergej Jukkert 氏、  
Delf Sachau 博士

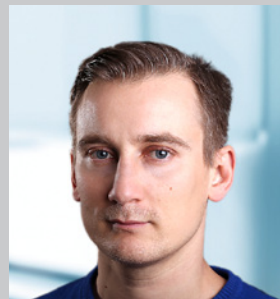
#### Jan Foht 氏

同氏は、ドイツヘルムート・シュミット大学 (ハンブルク連邦国防軍大学) のメカトロニクス学部の教授職に就いている研究員で、航空機のアクティブ防音プロジェクトに重点的に取り組んでいます。



#### Sergej Jukkert 氏

同氏は、ドイツヘルムート・シュミット大学 (ハンブルク連邦国防軍大学) のメカトロニクス学部の教授職に就いている研究員で、この記事で取り上げたプロジェクトの現チームメンバーです。



#### Delf Sachau 博士

(Univ.-Prof. Dr.-Ing.) ドイツヘルムート・シュミット大学 (ハンブルク連邦国防軍大学) のメカトロニクス学部の学部長です。

