

(様式 2)

## 学位論文の概要及び要旨

氏 名 村尾 達也 印

題 目 アクティブ音響シールドイングに関する基礎研究

### 学位論文の概要及び要旨

近年、環境意識の高まりにより、音の発生源となる機械全般をはじめ、自動車・鉄道等の交通騒音や発電プラント等の工場騒音から、家庭電器製品等に至るまで様々な静粛化が行われている。音源発生の形態は様々であり、周波数帯域の違いや発生箇所、伝達経路などの特性によって、適切な対策が必要である。そこで本研究では窓から室内に騒音が侵入する場合に注目した。本来、窓を閉め切ることによって遮音効果があり、さらに2重窓などによる防音が主流であるが、省エネルギーのため、空調を切り、窓を開けておくには騒音が入ってしまう。このように、見える場所にある音源の騒音低減には、アクチュエータによる音波の干渉で騒音を低減する能動騒音制御 (Active Noise control :ANC) が必要である。そこで本研究では「風は通すが音を通さない窓」を目指したアクティブ音響シールドイング (Active Acoustic Shielding :AAS) を提案した。AASのコンセプトはホイヘンスの原理を応用しており、騒音の存在する音場に、制御音源として検出マイクロホンと制御スピーカを近接化したセルを対象音波の波長より短い間隔で並べ、同振幅・逆位相の制御音波を発生することで、音波の重ね合わせにより、広い空間を減音することである。さらに複雑な波面にも対応可能であり、一般的に制御の難しい移動する音源や複数音源に対しても減音可能になる手法である。

本論文では、以上の基本コンセプト実現性を明らかにするため、シミュレーションによる減音性能の予測計算と実験を行う。次に、実用面で問題となる、対応可能な周波数帯域と窓面積を増加する場合についての改善手法を提案し、さらに、制御システムの多チャンネル制御による複雑・大規模化を防ぐ制御手法の提案をした。

まず第1章では本研究の位置づけと目的を明確にし、コンセプトを述べる。第2章では、基本コンセプトの確認として数値シミュレーションによる減音量・減音分布の予測を行った。その結果、制御セルの配置間隔と対象周波数、入射角度、関係が明らかになった。

第3章では、小窓に取り付けたAAS装置により室内の減音量・減音分布を測定する。初めに、実験に使用する制御スピーカと検出マイクロホンを50[mm]に近接化したAASセルを製作した。制御スピーカに応答性の高い平板スピーカを使用し、さらにサンプリング周波数を48[kHz]と高くすることでアンチエイリアシングフィルタの遅れを小さくなり、近接化が可能となった。また制御手法としてコンセプトを満たす4[(1-1)-4]FX-LMSアルゴリズムを提案・実験を行った。上記アルゴリズムは各AASセルの制御フィルタを適応同定後に固定フィルタとすることで、独立に制御する手法であり、最終的に誤

差マイクロホンを用いずにフィードフォワード制御するだけで、多チャンネルと同等の減音性能を得る。結果、対象周波数の500[Hz]～2[kHz]を5～20[dB]減音可能であった。さらには、制御点と室内の広範囲での減音効果が複数の音源がある場合や移動音源の場合についても同様な減音性能を得ることができ、AASコンセプトの実現性が明らかとなった。

次に4章では、2種類のAASユニット（異なるスピーカサイズとセル配置間隔）で1つの窓を減音する改善手法を提案し、低周波帯域の減音性能を改善した。AASの減音可能な周波数の上限はAASセルの配置間隔に依存し、配置間隔が狭いほど高周波まで減音可能である。しかし下限については、制御スピーカの発音性能に依存し、低周波を励起するにはスピーカの直径が大きくなる。そのために対象可能な周波数上限と下限がトレードオフとなる問題が生じる。そこで、新手法での実験により、従来のAASと比べ、500[Hz]以下の改善が可能となり、300[Hz]～2[kHz]を5～15[dB]減音することが可能となった。

5章では、AASの窓面積の増加した場合、セル数が増加するために制御システムが大規模化することを防ぐ手法を提案し、実験と数値シミュレーションにより検証した。AASは窓面積の増加や対象周波数における性能（配置間隔）を保つには、セル数を増やす必要がある。従来の方法では各制御フィルタを適応同定するために、Mチャンネルの2乗個の誤差経路伝達特性を同定しておく必要があり、システムが大規模になってしまう。そこで、多チャンネル制御システムの大規模化を防ぐ制御手法として、 $M[(1-1)-L']$  FX-LMSアルゴリズムを提案し、実験とシミュレーションにより性能とその有用性を示す。上記のアルゴリズムにより、適応同定時のチャンネル数が各々 $L'$ チャンネルのみで可能となった。結果、500[Hz]～2[kHz]の帯域で10～20[dB]の減音効果を得ることができ、室内の広範囲の減音分布を得ることが可能となり、上記アルゴリズムの実現性が明らかとなった。

以上、本論文ではAASのコンセプトを証明し、また分散制御手法の改善により実用的な制御手法の研究・開発を行い、その有効性を示した。