

(続紙 1)

京都大学	博士 (工学)	氏名	仲島 崇博
論文題目	境界音場制御の原理に基づくアクティブノイズコントロールに関する研究		
(論文内容の要旨)			
<p>近年注目されている騒音制御技術の一つにアクティブノイズコントロール(ANC)がある。従来のパッシブな騒音制御技術は、グラスウール等による吸音処理を行う、空気層を有する二重構造にする、厚く重い材料を使用して遮音性能を向上させる、等があげられるが、低周波数騒音を低減するためにはかなりの重量と容積が必要となるといった欠点がある。一方、ANCは騒音と同振幅・逆位相の音信号を二次音源スピーカで付加することによって騒音を低減する技術であり、低周波数騒音の低減を得意としていることから、パッシブな騒音対策技術の欠点を補うことが可能である。これまでANCは空調等のダクトを伝搬する騒音の制御に使用されてきた。ダクトを伝搬する騒音は、その波長がダクト断面寸法よりも十分に長ければ平面波として伝搬、すなわちダクトの長手方向のみに音圧が変化する一次元音場を形成する。しかし、騒音の伝搬は一次元音場ではなく三次元音場を形成することが一般的である。そこで、本論文はANCの適用範囲を三次元音場へと拡張することを目的とし、第一に、三次元音場を制御する手法の一つである境界音場制御の原理をANCに導入するために必要な各種の検討、第二に、防音塀を回折する騒音のANCによる対策について必要な技術の開発を行っている。</p> <p>本論文は6章からなっている。第1章では研究の背景を述べるとともに、以下の章の内容を概観している。第2章ではセンサの配置と騒音低減効果の関係について、その背景となる理論面での検討を行っている。第3章では開口から放射される騒音の制御について述べている。第4章ではフィードフォワード制御を用いた防音塀について、第5章ではフィードバック制御を用いた防音塀の回折音の低減について述べている。第6章は全体のまとめとなっている。なお、既往の研究に関してはそれぞれの章の最初にまとめて記述されている。以下、第2章以降の要旨について示す。</p> <p>第2章ではセンサの配置と騒音低減効果の関係について述べている。三次元音場を制御する手法の一つに境界音場制御の原理がある。境界音場制御の原理に基づくANCでは、ある面上において音圧と粒子速度をゼロとする逆システムを設計することによって、その面で囲まれた領域内において騒音をゼロにすることが出来る。しかし、実際には音圧を観測するマイクロホン(エラーセンサ)を配置し、面全体ではなく離散的な点においてのみ音圧を制御可能である。このエラーセンサの離散的な配置によって騒音低減効果は減少することが経験的に知られていたが、エラーセンサの配置と騒音低減効果の関係は定量的に検討されてこなかった。ここではその両者の関係を定量的に把握できるように定式化した。また、導出した定式を用いて円形領域内において5dB騒音を低減するために必要なエラーセンサの配置を算出したところ、騒音の半波長ごとにエラーセンサを配置すれば良いことが明らかとなった。さらに、15dB騒音を低減するためには1/3波長ごとにエラーセンサを配置する必要があることを明らかにした。</p>			

制御対象となる空間が大きい場合、それを取り囲む境界も大きくなり、それにともない制御システムの構成が実現不可能な規模となる場合がある。そこで現実的な対応策として、制御対象を騒音のエネルギーが通過する面のみに絞った制御について検討した。すなわち、第3章では開口から放射される騒音の制御に関する実験的な検討を行い、第4章では境界面において騒音のエネルギーを反射するシステム ANRU(Active Noise Reflection Unit)を新たに提案し、全く新しい概念を持った防音塀としての使用可能性について検討している。

第3章では、騒音のエネルギーを反射する制御の実現可能性を検討するために、模擬的な設備機械室を作製し、開口から放射される騒音を反射する ANC の実験を行った。境界音場制御の原理は二次音源の設置位置に依存せずに制御を行うことが可能な手法であるが、開口の周囲に二次音源を配置してもエネルギーを制御できることを実験によって確認した。これによって、空気の流れを妨げることなく騒音を低減することが可能となる。また、開口部付近でのインテンシティを計測したところ、騒音のエネルギーが反射されていることが確認された。

第4章では、フィードフォワード制御を用いて騒音を反射する境界面を生成するシステムである ANRU を提案し、防音塀として使用した場合の性能について検討した。ANRU は制御に必要な機材を全て組み込んでおり、システムを並列に設置することによって、大きな面で騒音を反射する制御も実現可能なものである。まず、数値計算によって ANRU を二つ設置することで、一つ設置したときよりもシステムの下流側の広い領域において騒音低減が可能であることを示した。また、インテンシティを解析したところ、ANRU は騒音を反射するだけでなく、ある限られた周波数では吸音性を有するという知見も得られた。これらのことは実験において検証され、二つの ANRU を使用することで、より広い領域を制御可能であること、及び ANRU は騒音を反射するだけでなく、ある限られた周波数では吸音性を有することも確認された。

第5章では、フィードフォワード制御よりも低コストなフィードバック制御を防音塀に導入することを目的とした技術開発が述べられている。従来のフィードバック制御では二次音源近傍のみで騒音を制御するため、遠距離場では騒音低減効果が小さくなるという欠点があった。そこで、遠距離場における騒音低減効果を向上させるために二次音源出力を高める手法を新たに提案した。この手法によるシステムを防音塀の先端に一つ設置したところ、従来手法よりも A 特性オーバーオール値で最大 4.7 dB 騒音低減効果が向上した。また、80 Hz では 9.6 dB 騒音低減効果が増加した。システムを二つ設置する条件では、提案手法は従来手法と比べて A 特性オーバーオール値で 6.7 dB 高い 13.0 dB の騒音低減効果を実現した。

第6章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、アクティブノイズコントロールの適用範囲を三次元音場へと拡張することを目的としており、得られた主な成果は次のとおりである。

(1) 三次元領域内で騒音を低減するためには、その領域を取り囲む境界面上にセンサを配置する必要があるが、領域内の騒音低減効果はセンサの配置によって決定される。そこで、センサの配置と騒音低減効果の関係を定式化した。また、この結果を用いて、円形領域内で騒音を 5 dB (15 dB) 低減するためには騒音の半波長 (1/3 波長) ごとにセンサを配置する必要があることを明らかにした。

(2) 模擬的な設備機械室を作製し、開口から放射される騒音を反射する ANC の実験を行った。開口部付近でのインテンシティを計測したところ、騒音のエネルギーが反射されていることが確認された。また、二次音源スピーカを開口の周囲に配置しても制御可能であった。以上のことから、空気の流れを遮ることなく騒音を低減可能な、騒音対策手法として全く新しい制御技術を提案した。

(3) 騒音を反射する境界面を生成するシステムであるアクティブノイズリフレクションユニットを提案し、防音塀として使用した場合の性能について検討した。数値計算及び実験によって騒音を反射していること、複数ユニットを使用することでより広い領域を制御可能であることを確認し、実際の騒音現場への適用可能性を示した。

(4) 防音塀を回折する騒音を低減するために、二次音源出力を増幅するフィードバック制御を提案した。数値計算によって、従来のフィードバック制御と性能を比較したところ、提案手法を用いることによって 80 Hz で 9.6 dB 騒音低減効果が増加するなど、高い騒音低減効果が確認された。

このように、本論文は従来、制御が困難であるとされてきた三次元音場を形成する騒音の制御に関して、制御システムの配置と騒音低減効果の関係を明らかにし、さらに、開口において騒音を反射する制御や防音塀などの新しい騒音対策技術を提案し、その高い有効性を確認しており、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 22 年 1 月 26 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。