

氏 名	た な か し ょ う ぞ う 田 中 章 三
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	博 甲 第 70 号
学位授与の日付	平 成 6 年 11 月 28 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研 究 科・専 攻	工芸科学研究科情報・生産科学専攻
学 位 論 文 題 目	境界要素法を用いた機械の低騒音化機構の解析に関する研究
審 査 委 員	(主査) 教 授 山 本 鎮 男 教 授 大 住 晃 教 授 木 瀬 洋 教 授 中 西 博

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、機械より発生する騒音を防音エンクロージャにより低減させることを目的として、まず騒音の伝播状況の数値解析手法を確立し、次に2種類の制音のための機構を考案して、その有効性を理論と実験の両面より確認したものである。すなわち、機械から発生する騒音は、空気-固体(エンクロージャ)-空気の多層の媒質を伝播するので、この音波の伝播メカニズムを解明することが望まれていた。従来、気体内での音波伝播は、体積変化を伴う縦波のみであるため、ポテンシャルをパラメータとするスカラー波動方程式を用いて解析し、一方、固体内の伝播は、縦波と共に、剪断波等が生じるため、変位ベクトルをパラメータとするナビエ・コーシの運動方程式を用いて解析していた。そして、各領域の波動が他の領域に外力として作用するとして多層の媒質の連成問題を解いていた。本論文では、このように媒質毎に異なる解析法を要する手法を改めて、多層の媒質内の音波の伝播を、変位ベクトルをパラメータとする共通の支配方程式により統一して表現し、境界要素法を用いて一度に解く手法を提案し、この手法に基づいた定式化と数値計算上の精度の検討を行っている。次に本手法を応用して、エンクロージャの開口部の大きさ、厚みおよびその材質と、気体と固体の連成固有値との関係を数値解析により示した後に、エンクロージャ外部への放出音の解析を行い、開口部からの直接放射音と壁面からの透過音の割合を明らかにして、開口部からの放射音が大きな割合を占めることを明らかにしている。この結論に基づいて、エンクロージャ開口部より流出する音波を大幅に制するための制音装置の提案を行ない、その有効性を実験と数値解析より明らかにしている。

本論文は、以下に述べる5章から構成されている。

第1章は序論であり、本研究の背景、および従来の研究経過を述べ、機械の騒音をエンクロージャで防音する際の現状での課題点を明確にすると共に、本研究の目的を明らかにしている。

第2章は、エンクロージャによる制音効果予測のための数値解析手法の提案を行ない、その解析精度について検討している。すなわち、エンクロージャ内部の音源から発生した音波が固体壁を透過し周囲空間へ放射する現象を解析するために、気体域および固体域よりなる連成系を伝播する音波を共通の支配方程式により統一して表現し、境界要素法により一度に解析することを提案し、この手法に基づいて数値計算上の精度の検討を行った後に基本的なモデルに対して数値計算を実施し、特性インピーダンスの観点でその解が精度を保つ限界を明らかにしている。本手法を円筒断面モデルに適用し、数値計算結果と厳密解を比較して、本解析手法の妥当性を示している。次に、本手法を定常音場解析へ適用して定式化を行い、円筒断面モデルについて数値計算結果と厳密解を比較し、解析手法の妥当性を明らかにしている。

第3章は、音源が開口部を有するエンクロージャで防音された場合の2次元場モデルに対して、第2章

に述べた手法による境界要素法を適用し、エンクロージャから放出される音の機構とその防音対策に関する基礎的検討を行っている。すなわち、まずエンクロージャの開口部の大きさ、厚みおよびその材質と、気体と固体の連成系の固有振動数との関係を数値解析により示した後に、エンクロージャ外部への放出音の解析を行い、開口部からの直接放射音と壁面からの透過音の割合を明らかにして、開口部からの放射音が大きな割合を占めることを明らかにしている。さらに、開口部からの直接放射音を低減するために、エンクロージャ内部に遮断板を設け、かつこれに粘性減衰を付与することによりエンクロージャの防音性能が改善されることを示している。

第4章は、前章の結論に基づいてエンクロージャ開口部より流出する音波を制するための制音装置の提案を行ない、その有効性を実験と数値解析より明らかにしている。すなわち、音波の捕捉とそのエネルギーの消散という観点より2種の制音装置（遮音板型、吸音ボックス型）を考案し、原形となる装置のモデルを試作して、その装置の制音上の有効性と問題点を実験的に検討している。さらに、実験によって、大きな制音効果が確認できたものに対して、境界要素法により数値解析を行ない、両者が一致することを確認し、境界要素法による解析の妥当性を確認している。このような作業の後に、現実の装置のより具体的な形態を求めるために、種々のパラメータに関してシミュレーションを行ない、制音装置設計の基礎資料を示している。

第5章は、本論文の結論であり、各章で得られた結果をまとめている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、機械より発生する騒音を低減させることを目的として、騒音の伝播状況の解析手法を確立し、かつ2種類の制音の機構を考案し、その有効性を理論と実験の両面より確証したものである。すなわち、機械から発生する音は、空気—固体（エンクロージャ）—空気の多層系を伝播するので、この音の伝播のメカニズムを解明することが切望されていた。しかし今までは、慣例的に気体（空気）はポテンシャルを用いたスカラー場、固体は変位を用いたベクトル場で解析を行ない、各領域の波動が他の領域に外力として作用するという手法で解いていた。このような解析手法では空気—固体—空気を伝播する音波を、直接把握することができず不便であり、本質を見落とす危険もある。そこで本研究の第1の着眼点は、多層媒質を伝播する音波の流れを一度に解析する手法を確立することであった。そこで今までの手法を抜本的に改めて、空気、固体共に共通の支配方程式（Navier Cauchy の運動方程式）によって構成されるベクトル場とした。そして各々の領域内に生じている現象をグリーンの定理を用いた境界要素法により境界に集約して、境界積分方程式を導出した。この方程式を数値計算により解くために離散化を行ない、各媒質間の境界上での変位の連続と力の適合条件より各層を合体して音波の伝播を一元的に観察し得るアルゴリズムを形成した。しかし、このようなアルゴリズムは、媒質のインピーダンスの比が 10^5 と極端に異なる媒質を伝播する音波を解析するので、桁落ちから来る数値計算上の不安定性に伴う発散現象に悩まされた。長い試行錯誤の結果、発散の原因を究明し、それを取り除いてこの困難を克服した。この一元的解析手法が一度確立されると、機械から発生する音波がどのようにエンクロージャで反射し、また透過するか、そして換気用の穴からどの程度音波が流出するかが明瞭に判明するに至った。特に、換気用の穴からの音波の流出量が大きな割合を占めることが判明した。そこで、換気用の穴からの流出する音波を制音すれば機械の低騒音化を果たすことができることを強く認識することができた。そこで第2の着眼点として低周波数域と高周波数域のそれぞれに有効な2種類の制音機構を創案した。それらの機構は、音波を捕捉してそれを熱に変換する仕組みとして考案されたもので、その効果を実験によって確証した後、前述の数値解析法を用いて種々のパラメータに関してシミュレーションを行ない、制音装置設計の基礎資料を示している。以上より、機械から発生する騒音を低減させる手法を提案することができた。

よって、以上の研究内容は制音に関する解析法の確立とメカニズムの提案に独創性があり、学術的および

び工学的価値が得られているものと認められる。

本論文の研究成果は、申請者を筆頭者として、日本機械学会論文集に2件掲載済、さらに1件掲載決定している。よって、学位授与に関する内規の第10条関係の要件を満たしている。