

審査の結果の要旨

氏名 フステイー チャバ ジョージ

本論文は、ホール・教会の他、様々な室内空間の音響評価のために、インパルス応答を精度よく計測し、残響時間に代表される室内音響指標をインパルス応答から安定して算出可能な新たな手法を提案するものである。

室内音響性能は、日常生活、文化活動、余暇活動等、室内空間で行われるおよそ全ての人間活動に影響を与える主要な環境要素の一つであり、その性能を的確に評価するためには精度の高い音響特性計測法ならびに精度の高い音響指標の算出方法が必要である。室内に音源と受聴点がある場合、それら 2 点間のインパルス応答には対象とする室の音響伝搬に関する全ての情報が含まれている。したがって、室内音響評価の課題はインパルス応答計測の精確性と計測したインパルス応答から抽出する音響情報の精確性の問題に帰着する。本論文では、暗騒音の影響の低減を目的とした新たなインパルス応答の計測方法を提案するとともに、残響時間に代表される音響指標をインパルス応答から簡便かつ精度よく求める新たな分析方法を提案した。

本論文の構成は以下の通りである。

第 1 章では、研究の背景、目的について述べ、本論文の構成を示している。

第 2 章では、室内音響におけるインパルス応答のもつ意味、およびこれまでに多くの研究者によって開発されてきたインパルス応答の主要な計測方法を概観し、第 3 章以降に展開される新たな計測方法の基となる事項をまとめている。

第 3 章では、時間領域で自由度の高い計測用試験信号を得る手法を新たに開発し、試験信号の基本的な性質をまとめるとともに、その適用性を検証している。

一般に空気伝搬音のインパルス応答計測では、暗騒音、外来音および計測機器の自己ノイズが計測結果に大きく影響する。そのような影響を軽減させるために、従来、時間伸長パルスや M 系列信号等、試験信号の時間長を長くすることによって信号のエネルギーを増大させることによって高い信号対雑音比 (S/N 比) を確保する計測方法が開発されてきた。暗騒音がそれぞれの計測環境に特有の周波数特性を有することを考慮すると、信号対雑音比をさらに効率よく増大させるためには暗騒音の周波数特性に応じて試験信号の周波数特性を自由に設計できる手法が有効である。そこで本論文では、時間伸長パルスを用いる手法に着目し、掃引正弦波の時間特性を制御することによって任意の周波数特性を有する試験信号を生成する新たな手法を提案している。その定式化において、掃引周波数の時間変化を表現する関数群を分類し、それぞれの関数が有するスペクトル特性の特徴を整理し、対象となる試験信号のスペクトルに応じてそれらの関数群を適宜組み合わせる方法を示している。

第4章では、室内インパルス応答の評価に関する事項を要約し、インパルス応答の SN 比の推定と減衰時間の計算法について述べている。

インパルス応答から算出される音響指標として、残響時間、時間重心、明瞭性指標をはじめとした多くの物理量が提案されているが、そのうち最も代表的な指標が残響時間である。従来、残響時間をインパルス応答から求める方法として二乗積分法が用いられてきたが、この方法ではインパルス応答に混入するノイズや分析に使用する信号長さに応じて混入するバイアスの影響で十分な S/N 比を確保することが困難になる場合がある。また、減衰曲線の回帰の仕方によって、求められる推定値に大きなばらつきが生じる可能性も指摘されている。そこで本章において、インパルス応答に基づくエネルギー減衰関数について理論的かつ系統的に検討し、インパルス応答二乗積分法に基づく信号対雑音比とピーク対雑音比に関する詳細な考察を行っている。現実の室のインパルス応答は減衰が滑らかでない場合が多く、減衰時間を推定することは容易ではないが、上記の理論的考察をベースとし、減衰時間を推定する新たな手法としてフーリエ変換を利用する方法を提案している。

第5章では、二乗積分法を概念的に拡張してインパルス応答振幅の p 乗積分による独立制御平滑化の概念を導入し、一般化減衰関数 (Generalized Decay Function:GDF) およびこれを利用した時間重心 (Generalized dispersion about Zero:GDZ) を新たに提案し、低周波数領域における残響時間推定の高精度化や、強い直接音および暗騒音の影響の低減に有効であることを示している。次に、インパルス応答の平滑化制御に基づいて残響時間を再定義し、回帰を行うことなく、インパルス応答の前進積分のみで残響時間を推定する計算法を提案し、その妥当性を検証している。この手法は、従来室内音響分野で示されてきたものとは全く異なる概念に基づき、高い新規性を有するものである。さらに、インパルス応答から算出されるいくつかの音響指標について、一般化減衰関数を応用した計算法を示し、膨大な実測データベースを利用した相関分析を行い、その妥当性を検証している。

第6章では、以上の研究成果を取りまとめ、今後の課題と展望について述べている。

以上に述べたように、本論文は、室内音響評価において最も基礎的な物理量であるインパルス応答に関して、その計測方法および評価方法の2つの観点から詳細な分析を行い、多くの新たな提案を行っている。提案された手法は、それぞれ緻密な理論展開のもとに構築されているとともに、非常にユニークであり、高い新規性が認められる。さらに、実際の計測の際に混入する様々なノイズや、信号処理に起因する様々なバイアスの影響を定量的に評価しており、手法の信頼性も高い。本論文で得られた成果は、室内音響工学の発展に寄与するところが極めて大である。

よって、本論文は、東京大学大学院の博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。