九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

集中系モデルを用いたモデルベースの能動騒音制御

久野, 翔太郎

https://doi.org/10.15017/1931906

出版情報：九州大学, 2017, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：

（様式２）

氏　　名　：久野　翔太郎

論 文 名　：集中系モデルを用いたモデルベースの能動騒音制御

区　　分　：甲

論　文　内　容　の　要　旨

騒音の対策は工学的に重要な課題であるが，一般に用いられる受動的な騒音対策では低周波騒音の低減を行う場合，波長に合わせたサイズの大きな壁や大量の吸音材などが必要となり高コスト化が避けられない．一方，騒音に対して別の音源から音を出力し，騒音と重ね合わせることで音圧を低減させる能動騒音制御手法は，低周波の騒音に対して有効である．能動騒音制御において，騒音に対して，逆位相・同振幅の制御音を騒音と重ね合わせる適応フィードフォワード制御手法が従来用いられるが，この手法による制御効果は誤差マイク近傍に限られ，閉空間全体の制御が困難であるという課題がある.この問題に対して,マイク数を増やすことで制御範囲を広げる方法があるが，多数のマイクを空間に分散配置する必要がありコストがかかる．また，閉空間のモード形状を利用した手法では閉空間全体で制御効果を得ることができるが，固有モードが既知であるような簡単な空間形状にしか適用できない.

そこで，本研究では，複雑な閉空間全体の騒音制御の確立を目的として，制御に用いる音響機器の動特性と音響空間を集中系モデルでモデル化し，状態フィードバックを用いたモデルベースの制御手法を提案する.

第 1 章では，研究背景として能動騒音制御に関する過去の研究について紹介し，これまでの研究の問題点と本研究の目的についてまとめた.

第 2 章では，モデルベース制御に用いるための 1 次元音響空間および 2 次元音響空間とスピーカの連成モデルを作成した．スピーカは動電形スピーカを低周波数領域で使用することを仮定し，電気回路による位相遅れを無視して 1 自由度振動系として定式化した．1 次元音響空間と 2 次元音響空間の集中系モデルを示し，スピーカモデルと音響モデルの連成の取り扱いを示した．また，スピーカ単体の振動測定実験を行い，スピーカモデルの解析結果と比較することでモデルの妥当性を確認した．さらに，1 次元音響管および 2 次元矩形音響空間の音響測定実験を行い，実験結果と連成モデルを用いた計算結果の比較を行った．その結果，実験結果と定性的・定量的によく一致することから連成モデルの妥当性を確認した．さらに，共振点において連成によるスピーカの振動特性の変化が発生することから連成の必要性を確認した.

第 3 章では，1 次元音響空間および 2 次元音響空間において騒音源と制御音源を対称配置した場合の制御限界を把握するため，波動方程式を用いて制御限界を確認した．そして，制御限界を実現するためにモード座標で低次元化し，極配置を用いた設計手法を提案した．1 次元音響空間においては両端に騒音源と制御音源を配置した場合について制御限界を検討し，制御対象モードが奇数次の場合と偶数次の場合で，それぞれ最適な制御位相があることを示した．奇数次もしくは偶数次単体のモードを制御する場合には，制御対象のモードは消去され，制御対象でない方のモードが 2 倍に増幅し制御限界となる．また，フィードバック制御で，奇数次と偶数次のモードを同時に制御す

る場合には，それぞれのモードへの入力が悪影響を与えあうことで制御限界が奇数次もしくは偶数次単体を制御した場合より悪化し，制御音源が無反射となることを示した．また，長方形の 2 次元音響空間の 1 辺の両端に騒音源と制御音源を配置した場合についても制御限界を検討し，水平方向のモード次数が奇数次の場合と偶数次の場合で最適な制御位相があることを示した．1 次元と同様にフィードバック制御で奇数次と偶数次のモードを同時に制御する場合には，それぞれのモードへの入力が悪影響を与えあうことで制御限界が奇数次もしくは偶数次単体を制御した場合より悪化することを確認した．実際の制御効果を確認するために，1 次元音響空間および 2 次元音響空間それぞれで制御実験を行った．デジタル信号処理装置（DSP）などの限界により極の移動が限られ，制御限界までは制御できないものの，奇数次，偶数次のみを制御したときに制御効果が大きくなる現象は確認できた．これより，本手法によって，少ないセンサとアクチュエータで閉空間全体の制御が可能となることが分かった．

第 4 章では，複雑な閉空間へ適用するため，1 次元音響空間において騒音源と制御音源を非対称配置した場合の制御限界を確認し，位相だけでなく振幅関係の異なるモード群が存在することを確認した．また，複雑な音響空間で制御が可能となるように，位相・振幅関係の近いモードをグループ化し，異なるモード群間で干渉を少なくする入力の設計手法を提案した．この手法を 1 次元音響空間および複雑な 2 次元音響空間に適用した数値シミュレーションを行った．その結果，低干渉化した制御系では制御入力を大きくしてもモードの増幅が発生しにくくなっており，複雑な空間においても閉空間全体の制御が可能であることが分かった．

第 5 章では，得られた結果を総括した．

本論文で提案した制御手法は，少ないセンサとアクチュエータを利用して閉空間全体で高い制御効果を得ることが可能である．また，制御効果向上のためにモード群間で低干渉な入力の作成を行い，音源の配置と個数を適切に決定することで制御効果が向上できる可能性を確認した．