



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	特性変動を有する動的システムのモデル化と制御 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	西留, 千晶
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第11567号
Issue Date	2014-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/57200
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Chiaki_Nishidome_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（工学） 氏名 西留 千晶

学 位 論 文 題 名

特性変動を有する動的システムのモデル化と制御

(A Study on Modeling and Control of Dynamic Systems with Characteristic Variation)

近年、工業製品の制御システムが複雑化する一方、開発期間の短縮が求められる中、モデルベース開発が航空・宇宙産業や自動車産業を中心として急速に発展している。モデルベース開発においては各プロセスに適した精度・規模のモデルが用いられる。開発上流においてはより抽象化されたモデルが用いられ、システム検証など開発下流においては実機に近い詳細なモデルが用いられる。また、年々厳しくなる規制への対応および振動・騒音性能の向上のためには、構造的な対策を行っただけでは難しいことが多く、制御技術の導入が検討されているが、従来行われてきた古典制御手法に代わる現代制御理論以降の制御手法の導入による性能向上が必要とされている。

このような背景から、制御系設計のためのモデル化手法および制御理論の選択は重要な課題といえる。また、モデル化手法や制御理論には、線形を仮定したものが多くある。しかしながら、ほとんどの制御対象は、特性変動を含んでいる。そのため、系の特性変動に適応させながら制御を行う必要がある。線形のモデル化手法や制御理論を特性変動に適応させることは、必要不可欠である。

第2章では、ガスタービン燃焼器に関し、多くの研究者や開発者から注目を集めている希薄予混合燃焼器を対象として、燃焼振動現象に対するモデル化および制御について検討した。本研究では、2次燃料噴射機構の弁指示開度を入力とし、燃焼器内の圧力センサからの計測値を出力とする入出力系について、周波数応答を計測し、実験モード解析の手法を適用してモードモデルを構築する。本手法により、入出力間の周波数応答が計測できれば、容易にモデルを構築することが可能である。このモデルに対して、混合 H_2/H_∞ 制御則に基づいてコントローラを設計する。対象としている燃焼器は、当量比により特性が非線形に変化するシステムであるため、上記コントローラのパラメータを当量比をスケジューリングパラメータとしてマップ化し、ゲインスケジューリングによる適応制御を構築する。主たる燃料として、水素の燃焼器とメタンの燃焼器に本手法を適用し、シミュレーションおよび実験により有効性を示した。

第3章では、柔軟リンク機構に対して運動と振動のモデル化および制御について検討した。柔軟リンク機構のモデル化に際し、電気・機械の複合領域の物理モデルを構築するために、瞬時エネルギーの伝達に着目した新しいモデル化手法として研究されてきた物理機能モデルを用いる。大きなエネルギーが必要となる1次モードの振動制御およびアームの位置決めについてモータをアクチュエータとして混合 H_2/H_∞ 制御を適用する。また、モータでは制御が困難である小さな振幅の振動に対しては、リンクをスマート化することにより直接速度フィードバック (DVFB) 型の振動制御法を適用する。シミュレーションおよび実験により本手法の有効性を示した。

第4章では、ディーゼルエンジンを対象として EGR および VNT の干渉性および非線形性を考慮した適応型の協調制御について検討した。まず ILQ 設計に基づく簡便な適応制御ロジックについて検討した。本制御手法の特徴は、技術者および設計者の経験や膨大な試行錯誤をともし PID 制御のパラメータ調整とは異なり、モデルベースの ILQ 設計法に基づいて、規定される追従指標にした

がって各設計点のコントローラが系統的に設計され、フィードバックゲイン行列の各成分を運転条件に対してマッピングすることにより、適応制御系が簡便に構成できる点にある。つぎに、ILQ 設計法に基づく制御手法の課題として残った、誤差積分の飽和などに起因する目標値追従性能の劣化を改善するため、EGR-VNT 協調制御手法としてモデル予測制御を導入した適応制御手法を構築し、目標値追従性能の向上を図った。多段モデル予測制御は最適化計算を必要とするためコントローラに対する負荷が大きく、実システムにおける実時間制御に関して課題がある。そこで、単段モデル予測制御をベースとし、制御ロジックを工夫することにより、所望の制御性能の達成および従来制御手法との優位性を示した。

本研究によって、燃焼振動に対して実験モード解析によるモデル化および混合 H_2/H_∞ 制御が有効であることが明らかになった。また、複合領域のモデル化において物理機能モデルによるモデル化が有効であることが確認された。そして、柔軟リンク機構の制御については混合 H_2/H_∞ 制御およびスマート化による DVFB 制御のハイブリッド制御が有効であることが確認された。さらに、ディーゼルエンジンの EGR/VNT システムにおいては、設定した複数の運動条件におけるステップ応答から同定される状態空間モデルを利用し、適応型の ILQ 制御およびモデル予測制御が有効に機能することを確認し、特に後者の目標値追従性能が優れていることを示した。以上の結果から、本研究は、モデルベース開発におけるモデル化と制御系設計について、手法の選択および適用方法の確立に大きく貢献した。