

氏 名 ^た田 ^{なか}中 ^{ひで}秀 ^{ゆき}幸
 学位(専攻分野) 博 士 (工 学)
 学 位 記 番 号 論 工 博 第 3417 号
 学位授与の日付 平 成 11 年 3 月 23 日
 学位授与の要件 学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
 学 位 論 文 題 目 INTEGRATED DESIGN OF CONTROL SYSTEMS BASED ON MATRIX
 INEQUALITIES

(行列不等式に基づく制御系の統合的設計)

(主査)

論文調査委員 教 授 杉 江 俊 治 教 授 片 山 徹 教 授 山 本 裕

論 文 内 容 の 要 旨

制御工学の分野では計算機性能の向上と効率の良いアルゴリズムの発展により、数値最適化に基づく制御系の解析と設計が注目されている。このような計算機能力を十分に用いた制御系設計の中でも、行列不等式が制御系の解析および設計の重要な道具であるとして、使われるようになってきている。本論文ではこの行列不等式を用いたアプローチに着目し、その基礎的性質の解析、および構造系と制御系の同時設計問題への応用について検討したものであり、7章から構成されている。

第1章は序論であり、行列不等式アプローチによる制御系の設計・解析の背景、およびその構造系と制御系の統合化設計への拡張の重要性について述べ、従来研究を概観してその問題点を指摘した後、本研究の目的について述べている。

第2章では、低次元の安定化補償器が存在するための必要十分条件とそのような補償器の構造について考察している。制御対象が与えられたとき、制御対象より低次元の安定化補償器を求めることは重要である。しかし、これは一般には計算量の多い双線形行列不等式でしか記述することができず、効率よい計算のために双線形行列不等式で記述された問題を等価な線形行列不等式問題に帰着することが重要となる。本章では、補償器の変数を変換することによって双線形行列不等式問題を線形行列不等式問題に帰着させる手法に着目し、定数補償器を含む低次元安定化補償器の存在条件を線形行列不等式形式で導出し、さらに指定された次数のすべての補償器の構造を明らかにしている。この場合には、複数の制御仕様を考慮しやすいという利点が期待される。

第3章では前章の結果を、安定化だけでなく、 H_2 ノルムや H_∞ ノルムで表現された制御性能を満たす補償器の場合にまで拡張し、その存在条件と補償器の構造の特徴付けを行っている。また、これらの補償器の存在条件がランク条件付きの線形行列不等式で記述されるため、これを既存の計算アルゴリズムが利用できる形式に変換する手法を示し、具体的な計算法を与えている。さらに、数値計算例により、その有効性を確認した。

第4章では線形行列不等式による設計法の応用例として、地震に対する建築構造物のアクティブ制振について述べている。近年 H_∞ 制御手法を導入した建築構造物の制振の研究がなされてきているが、これまでの制御系設計では必ずしも同定手法と制御手法との整合性が良いとはいえない。そこで、本章では5層実大試験体を対象として、モード分解によるシステム同定を行い、同定から得られるモードに着目して H_∞ 制御仕様を設定し、制御系設計を行っている。この場合には、従来のリカッチ方程式による解法を直接適用できないため、線形行列不等式に基づく解法を用いている。そして、模擬地震実験により、その有効性を検証した。

第5章では、設計仕様の高度化に対応するべく、制御対象の構造も補償器と同時に設計する問題について考察している。本章では、線形行列変換表現と呼ばれるシステムの表現形式を利用することにより、この同時設計問題の一般的な定式化を与え、さらに、ディスクリプタ表現を利用することによりこれを双線形行列不等式条件に帰着できることを示した。また、数値例により、その有効性について検討している。

第6章では、構造系と制御系の同時設計のための仕様の設定について考察している。本章では、特に、2自由度制御系を

用いた場合の構造系と制御系の同時設計について考察し、構造系が設計できる自由度がある場合に適した制御評価指標について検討している。そして、フィードフォワード補償とフィードバック補償のそれぞれについて、構造系との同時設計に適した評価指標の一つを与え、線形行列不等式を用いた具体的な制御系の設計法を明示している。さらに、フィードフォワードとフィードバックと制御対象を含むシステム全体の同時設計について考察し、同時設計ではフィードフォワードとフィードバックの仕様に関してトレードオフの関係にあることを指摘し、数値例によってこれを示している。

第7章では、結論として以上の各章の内容を要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、数値最適化に基づく制御系の解析と設計に関する研究をまとめたもので、特に近年注目を集めている行列不等式を用いたアプローチに着目して、その基礎的性質、および構造系と制御系の同時設計への応用について検討したものであり、得られた主な結果は以下のようである。

1. 閉ループ系の極配置や H_2/H_∞ 制御仕様などの基本的な種々の仕様について考察し、これらの仕様を満たす低次元の安定化補償器が存在するための条件をランク条件付の線形行列不等式で与え、さらに、そのような補償器の集合を陽に記述した。また、所期の低次元補償器を求める具体的な数値計算法にも言及している。
2. 線形行列不等式に基づく制御系設計に関して、建築構造物の地震に対するアクティブ制振制御を例にとり、具体的な補償器の設計法を与えた。そこでは、構造物の同定手法と整合性の良い制御指標を与え、線形行列不等式の利点を活用して、補償器を求めている。そして、5層実大構造物を対象として、その有効性を実験により検証している。
3. 構造系と制御系の同時設計問題について考察し、線形行列変換表現と呼ばれるシステムの表現形式を利用して、同時設計問題の一般的な定式化を与えた。さらに、ディスクリプタ表現を利用することによりこれを双線形行列不等式の条件に帰着できることを示した。
4. 2自由度制御系を用いた場合の構造系と制御系の同時設計について考察し、構造系が設計できる自由度がある場合に適した制御評価指標について検討した。そして、そのような評価指標の一つを与え、具体的な制御系の設計法を明示している。

以上、要するに、本論文は行列不等式を用いた制御系の解析と設計に関してその基礎的性質を明らかにし、さらに構造系と制御系の同時設計への応用について有益な知見を与えたものであり、その成果は学術上、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11年1月25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。