

氏 名	ザン 張	サン 暁	ドン 敦
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)		
学 位 記 番 号	工 博 第 1584 号		
学位授与の日付	平 成 9 年 3 月 24 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 学 研 究 科 電 気 工 学 第 二 専 攻		
学 位 論 文 題 目	Robust Stability and Control of Uncertain Nonlinear Systems (不確実な非線形系のロバスト安定性と制御)		

(主 査)
論文調査委員 教 授 荒 木 光 彦 教 授 安 陪 稔 教 授 片 山 徹

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、特性が正確にはわからない非線形の制御対象に対するフィードバック制御機構の設計法を確立することを目的として、不確実な非線形系のロバスト安定性と制御に関して研究し、その結果をまとめたもので、7章からなる。

第1章は緒論であり、不確実な非線形系の安定性と制御に関する研究の歴史をまとめ、本研究の意義を明らかにするとともに、本論文の構成を示している。

第2章では、本論文中で用いる数学的事項および過去の研究結果を要約している。まず、リアプノフ安定性に関する定義を明記したあと、大域的漸進安定性を導くために必要となるリアプノフの第二法について記している。つぎに、システムのゲインおよび入出力安定性に関する定義を明らかにしたあと、非線形システムの安定化についての基本的な定理を記している。

第3章では、ルーリエ型非線形系の線形部分の係数行列が不確実性を含む場合のロバスト安定条件について考察している。不確実性の誘導ノルムの上限が与えられている場合を一般型、不確実性が特定の形式で表現されていて、その中の1つの因子の誘導ノルムの上限が与えられている場合を構造化型として、両方の場合について、ロバスト安定条件を導いている。ロバスト安定条件は特定のリカッチ型方程式の解を使ったものであり、その条件の成立を具体的に確認するためのアルゴリズムも呈示している。数値例に適用することにより、本論文の定理が Grujic と Petkovski によって導かれていた定理よりも格段に良好な結果を与えることを示している。

第4章では、ルーリエ型に限らないより一般的な非線形系について、リアプノフの意味でロバスト安定化する方法を考察している。すなわち、非線形系が標準型の常微分方程式で記述され、方程式の右辺が状態変数のみに依存する関数と、状態変数のみに依存する関数を係数とする入力1次の項との和として表現できるものとして、状態変数のみに依存する2つの関数が不確実性を含む場合を考えている。この問題についても、不確実性の誘導ノルムの上限が与えられている場合を一般型、不確実性が特定の形式で表現

されていて、その中の1つの因子の誘導ノルムの上限が与えられている場合を構造化型として、両方の場合について安定化の方法を示している。安定化の方法は、特定のハミルトン・ヤコービ型方程式の解を使って状態フィードバックを行うものである。

第5章では、第4章と同じ形の不確実な非線形システムのH無限大型制御について考察している。一般化型と構造化型の両方の場合について、特定のハミルトン・ヤコービ型方程式が解をもてば、その解を使った状態フィードバックを行うことによって、H無限大型評価関数が指定した値以下になるような制御が行えることを示している。また、零状態可観測性が満たされていれば、得られた閉ループ系は、入出力安定であるとともにリアプノフの意味で漸近安定になることを導いている。

第6章では、第4章および第5章で使ったハミルトン・ヤコービ型方程式の近似局所解の求め方について考察している。すなわち、行列のクロネッカ積を使った非線形関数の級数展開表現法を利用して、本論文で使われているハミルトン・ヤコービ型方程式の近似局所解を求めるためのアルゴリズムを示している。さらに、そのアルゴリズムを使って簡単な数値例、および磁気浮上系の例についてH無限大型制御問題を解き、得られた制御系が良好なロバスト性を持つことを示している。

第7章は結論であり、本論文の総括を行っている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、不確実な非線形系のロバスト安定性と制御に関する研究をまとめたもので、得られた主な結果は以下の通りである。

- 1) 線形部分の係数行列が不確実性を持つルーリエ型非線形系について、特定のリカッチ型方程式が正定値解を持てばロバスト安定性が保証できることを導き、この条件が従来から得られている条件よりも格段に良好な結果を与えることを数値例によって示した。
- 2) 入力について線形な常微分方程式で与えられるような不確実な非線形系を、特定のハミルトン・ヤコービ型方程式の正定値解を使ってロバスト安定化する方法を示した。
- 3) 上記の不確実な非線形系について、H無限大型評価関数を指定した値以下にするようにフィードバック制御する問題を考察し、特定のハミルトン・ヤコービ型方程式が正定値解を持てばこの問題が解けることを示した。また、零状態可観測性が成立する場合には、得られた閉ループ系がリアプノフの意味で漸近安定になることも示した。
- 4) 上に述べた安定化および制御のために用いられるハミルトン・ヤコービ型方程式の局所解を近似的に求めるアルゴリズムを示した。また、例題に対してその方法を用いて制御則を計算し、得られた制御系が良好なロバスト性を有することを数値的に示した。

以上要するに、本論文は、特性が正確にはわからない非線形の制御対象に対してフィードバック制御機構を設計する場合に現れる数学的問題の解を与え、それを利用することによって良好なロバスト性を持つ制御系が構成できることを明らかにしたもので、得られた成果は学術上、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9年1月13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。