

# 論文内容要旨 (和文)

平成 21 年度入学 博士後期課程

専攻名 システム情報工学

氏 名 Mohd Khairi Bin Mohamed Nor



論文題目 The Design of Nonlinear Servo System using Fuzzy Method  
(ファジィ手法を使った非線形サーボ系の設計)

ファジィ理論は1965年にザデーによって提案された。そして、1974年にマンダニは実際の制御系にファジィ制御を適用し成功した。その後は多くの系に適用されている。例としてはセメントキルンプロセス、地下鉄制御系、および電化製品にファジィ制御が導入されている。初期の研究では、ファジィ制御がモデルなしの制御法で研究されていた。モデルなしの場合、制御系に適用するのは簡単だが解析が困難である。最近では、モデルに基づくファジィ制御が注目されている。この方法の長所は閉ループの安定性とロバスト性の解析が容易であることである。モデルに基づくファジィ制御の研究のほとんどは、原点に収束させる安定化の問題に集中している。この問題は、初期条件が平衡点からずれた値であるときに状態変数の偏差をゼロにする制御である。しかし、ファジィ手法を用いた非線形サーボ系の設計に関する研究は少ない。サーボ系は与えられた目標値に対して出力を追従させる制御系である。さらに、この系は外乱やモデル誤差などが存在しても追従できるようなロバスト性を持っている。

第2章は問題設定とファジィサーボ系の開発について説明する。非線形サーボ系の制御器をファジィ手法で設計することについて考察する。この制御法の基本的な考え方は2つに分けられる。まず、非線形系の非線形変数を確認する。そして、非線形系の非線形変数の動作領域を小領域に分割し、非線形系を局所線形系の集合体として扱う。各小領域での状態変数のフィードバック係数をDavison-Smithの方法に疋田の極配置法を使って計算する。ファジィ手法を用いて、局所線形系の制御則を合成する。ファジィ手法により合成された制御則を非線形サーボ系に与えて安定させることである。

第3章はファジィサーボ系の特性解析として、全状態の有界性および出力誤差のゼロ収束について述べる。サーボ系の状態の有界性はリアプノフ関数を使って証明することができる。さらに出力誤差のゼロ収束もまたリアプノフ関数を使って証明することができる。本論文では状態の有界性および出力誤

差のゼロ収束の条件よりメンバーシップ関数と分割する小領域の条件を与えることができた。これらはあくまで十分条件であり今後改善される可能性がある。

第4章では提案した設計法の有効性を立証するために数値例について説明する。非線形バネを含む力学系と倒立振子系を数値例としてシミュレーションを実行する。シミュレーションではシステムの出力が目標値の変化に安定に追従していることがわかる。この2つのシミュレーションにより提案した設計法が有効であることを確認することができる。そして、線形制御法と比較して提案した設計法の評価を行いました。このシミュレーションにより提案した制御法の方が線形制御法より速やかにシステム応答を安定することができることが分かった。第5章は結論である。

# 学位論文の審査及び最終試験の結果の要旨

平成 24年 8月 10日

理工学研究科長 殿

課程博士論文審査委員会

主査 ..... 大久保 重範 .....

副査 ..... 水戸部 和久 .....

副査 ..... 村松 鋭一 .....



学位論文の審査及び最終試験の結果を下記のとおり報告します。

## 記

### 1. 論文申請者

専攻名 システム情報工学専攻

氏名 Mohd Khairi Bin Mohamed Nor

### 2. 論文題目

The Design of Nonlinear Servo System using Fuzzy Method

( ファジィ手法を使った非線形サーボ系の設計 )

### 3. 審査年月日

論文審査 平成 24年 7月 25日 ~ 平成 24年 8月 10日

論文公聴会 平成 24年 8月 10日

場所 工学部 4号館 111号室

最終試験 平成 24年 8月 10日

### 4. 学位論文の審査及び最終試験の結果

(1) 学位論文審査 ..... 「合格」 .....

(2) 最終試験 ..... 「合格」 .....

### 5. 学位論文の審査結果の要旨

別紙のとおり

### 6. 最終試験の結果の要旨

別紙のとおり

## 別紙

専攻名	システム情報工学専攻	氏名	Mohd Khairi Bin Mohamed Nor
学位論文の審査結果の要旨			
<p>ファジィ理論は1965年にザデーによって提案された。そして、1974年にマンダニは実際の制御系にファジィ制御を適用し成功した。その後は多くの系に用いられている。初期の研究では、ファジィ制御がモデルなしの制御法で研究されていた。モデルなしの場合、制御系に適用するのは簡単だが解析が困難である。最近では、モデルに基づくファジィ制御が注目されている。この方法の長所は閉ループの安定性とロバスト性の解析が容易であることである。モデルに基づくファジィ制御の研究のほとんどは、原点に収束させる安定化の問題に集中している。この問題は、初期条件が平衡点からずれた値であるときに状態変数の偏差をゼロにする制御である。しかし、ファジィ手法を用いた非線形サーボ系の設計に関する研究は少ない。サーボ系は与えられた目標値に対して出力を追従させる制御系である。さらに、この系は外乱やモデル誤差などが存在しても追従できるようなロバスト性を持っている。本論文では非線形サーボ系の制御器をファジィ手法で設計することについて考察する。サーボ系は与えられた目標値に対して出力を追従させる制御系である。この制御法の基本的な考え方は2つに分けられる。第1に系の非線形変数の動作領域を小領域に分割し、非線形系を局所線形系の集合体として扱う。第2にファジィ手法を用いて局所線形系の制御則を合成する。サーボ系の状態の有界性はリアプノフ関数を使って解析できる。さらに出力誤差がゼロに収束することについて同じくリアプノフ法を使って証明される。本論文の構成はつぎのようになっている。第1章ではファジィ制御の研究背景と研究目的を述べる。第2章はファジィサーボ系の設計である。状態変数および制御入力について非線形であるような系について、変数変換によって状態変数に対してだけ非線形であるような系に書き換える。これは制御入力については線形であるようにするためである。この系に対し、1次のテーラー展開近似を行い、線形化する。線形化した系に対し、Davison-Smithの方法と足田の極配置法を使って制御入力を設計する。全体の制御入力は各小領域で構成した制御入力をファジィ適合度関数で合成する。第3章では内部状態の有界性と出力誤差のゼロ収束について考察する。拡大系の状態の2次形式を使いすべての状態が有界であることを示す。拡大系の初期値が一定の領域にあれば、内部状態は有界になる。さらに状態の微分に関する2次形式を使うことにより状態の微分がゼロに収束することを示すことができる。結論として拡大系の初期値が一定の領域内に存在すれば、出力誤差はゼロに収束する。第4章では倒立振り子および非線形バネ系に適用し、本手法の有効性を示す。シミュレーションでは目標値がゼロの場合とゼロでない場合および外乱がある場合とない場合など詳細にわたり考察している。第5章は本研究の結論の結論である。一般的な非線形系に対して、ガウス型メンバーシップ関数を使うことにより、全状態が有界な定数設定置値サーボ系が実現できることを述べている。内容公開として学術論文1編が掲載可になっている。さらに国際会議論文3編をすでに発表している。したがって、システム情報工学専攻の課程博士要件を満足している。本研究は非線形サーボ系の分野に新たな手法を与えるものであり、課程博士論文として合格であると判定する。</p>			
最終試験の結果の要旨			
<p>ファジィ制御について直接法と間接法および、連続時間系の安定解析と離散時間系の安定解析について口頭試問を行った。これらの問題に対して円滑に回答することができた。応用問題として非線形ファジィサーボ系のシミュレーション技術についてファジィメンバー関数の密度と安定領域の大きさについて問題を出した。これについても正確な回答が返ってきた。以上多岐にわたる専門的な質問に対し適切に回答したので最終試験は合格と判定する。</p>			