

| | |
|---------|--------------------------------------|
| 氏名 | 増井 詠一郎 |
| 授与した学位 | 博士 |
| 専攻分野の名称 | 工学 |
| 学位授与番号 | 博甲第5546号 |
| 学位授与の日付 | 平成29年 3月24日 |
| 学位授与の要件 | 自然科学研究科 産業創成工学専攻 (学位規則第4条第1項該当) |
| 学位論文の題目 | 無限次元システム理論に基づくむだ時間系の安定解析と制御系設計に関する研究 |
| 論文審査委員 | 教授 平田健太郎 教授 渡邊 桂吾 教授 見浪 護 |

学位論文内容の要旨

物質の搬送や情報の伝搬などに伴う信号の時間遅れをもつシステムはむだ時間系と呼ばれる。むだ時間系のダイナミクスは過去の履歴にも依存することから、状態空間表現を考えた場合、状態が無限次元となり、その解析・設計は数学的に容易ではない。このため、従来研究は幅広いアプローチが混在しており、理論的に包括的な理解が得られているとは言いがたい面もある。そこで本研究では、無限次元システム理論に基づくことで、より数学的に厳密なむだ時間系の安定解析・制御系設計を検討することを目的とする。

本研究の1つめのトピックとしては、遅れ型むだ時間系の安定解析について考える。モノドロミ作用素によるシステム表現を経由すると、その行列近似手続きの妥当性は作用素の数学的な性質から厳密に議論することができる。離散化にあたり、低次のホールド多項式を用いる場合には次数増に対して、計算効率が単調によくなるという従来結果を補完し、高次多項式近似を用いた場合の一般的傾向を明らかにすることが第1部の主目的である。

第2のトピックとしてむだ時間系に対する制御系設計、とくに状態予測制御を取り上げる。従来研究においては、システム行列と同じ数の極を任意に配置することができ、その他は自動的に消去される、と述べられているが、離散時間系の場合、閉ループ系は指定極以外のむだ時間要素に対応する原点極も有することが示されることから、この観察は必ずしも正確ではない。ここでの目的は第1部と同様に作用素を用いたシステム表現に基づいて、状態予測制御系の数理的性質を明らかにすることである。

3番目のトピックは状態予測制御の拡張に関するものである。ここでは、作用素表現は陽に用いないものの、研究の動機は第2部で考察したスペクトルの分布に関連している。離散時間系に対しては、通常自動的に配置される原点極を、任意の地点に配置とする拡張手法が提案されている。ここでは、この方法の連続時間系への拡張、すなわち複素平面の左無限遠にある極の一部を有限領域に配置する制御則の導出をおこない、その性質について考察する。

論文審査結果の要旨

本論文は、通常、むだ時間系と呼ばれる、信号の時間遅延を含む動的システムの安定性解析や制御系設計にあたって、作用素表現あるいは関数解析的手法を用いてシステムを記述する、いわゆる無限次元システム理論を援用することで、問題の数理的構造を明らかにし、厳密な数学的事実と、数値計算による近似の境界を明示することを主眼としている。

内容は大きく3つに分かれており、まず始めに、遅れ型むだ時間系の安定解析についての検討がなされている。系の安定性は、解のリフティングより導かれるモノドロミ作用素のスペクトルによって特徴づけられるが、その数値計算にあたっては状態遷移作用素の行列近似が必要となる。これを出力の関数空間の有限次元近似と捉え、一般化サンプリングと任意次数の非因果的な多項式ホールドを適用した場合の行列表現を導出し、これによって計算効率が改善されること、この手続きが誤差収束の意味で数学的な妥当性を持つことを示している。従来研究の非自明な拡張に成功しており、意義のある結果である。

次に、状態予測制御と呼ばれる制御系設計法について、無限次元システム理論からの接近をおこなっている。具体的には、同手法を用いた際の閉ループ系の挙動を抽象的微分方程式によって記述し、その状態遷移作用素のスペクトルに関する従来知見を別の角度から特徴づけている。また、得られた結果を解作用素アプローチに基づく数値計算により確認している。

3つめの研究課題としては、連続時間入力むだ時間系に対する状態予測制御の拡張に取り組んでいる。新たな理論構築によって、離散時間系について知られていた従来結果を連続時間系に適用するにあたっての障害を取り除いている。さらに、この拡張によってもたらされた設計の自由度を利用して、ロバスト性能の向上、とくに状態予測制御器側で既知としているむだ時間長のノミナル値とのミスマッチに対するロバスト安定性の改善が可能であることを数値例により示している。

以上の結果は、理論上・実用上の両面から、むだ時間系に対するシステム制御理論の発展に寄与するものであり、博士（工学）の学位に値するものと認める。