

論文審査の結果の要旨

氏名 宮村 亜位子

自然現象を数理モデル化する際に遅れ時間要素は不可避であるばかりでなくシステムの挙動に大きく影響を及ぼすため、その扱いが対象としている現象の根本原理を真に理解する為の鍵となることがしばしばある。遅れ時間システムは無限次元システムを表すクラスの一つであり、生命情報システムや経済システムなどのモデルとして広く利用されている。本論文ではこのような遅れ時間システムの安定性と構造的可同定性という二つの性質に関して理論的な解析を行い、実用面も考慮して計算機での実装が容易である形式での各性質に関する判定手法を提案することを目的としている。この問題は制御器設計などの工学的に重要な多くの応用の基礎となるばかりでなく、生物学や経済学といった他分野への応用も期待されるものである。

本論文は、"Theoretical Analysis of Stability and Structural Identifiability on Delayed Networks" (和文題目 遅れ時間を持つネットワークの安定性および構造的可同定性の理論解析) と題し、全 9 章より成る。

第 1 章では、問題の背景となる遅れ時間システムの性質や従来の研究との関連などを述べ、本研究の位置付けを明確にしている。

第 2 章では、本論文で扱う問題の基礎的な数理知識を整理している。これによって各章での問題の提起が煩雑になることを避け、円滑に本題に入ることが可能となっている。

第 3 章では、複数の離散遅れ時間を有する線形及び非線形システムのシステムパラメータにノルム有界な不確かさが加算的に存在するとき、そのシステムのロバスト安定性を線形不等式 (LMI) を用いた手法によって判定する手法をリャプノフ・クラソフスキー汎関数を用いて提案した。また、数値例により従来の手法より効果的であることを示すとともに、人工遺伝子ネットワークへの適応例を示し、他分野への応用について示唆した。

第 4 章では、第 3 章で扱ったシステムに確率要素が加わった遅れ時間を含む線形および非線形確率微分方程式にノルム有界な不確かさが加算的に存在する時のロバスト安定性を判定する手法を、LMI を用いた形で提案した。

第 5 章では、離散的な遅れ時間のみならず連続的な遅れ時間をも含む線形システムの安定性を判定する手法を、同じく LMI を用いた形で提案した。さらに連続的な遅れ時間が指数分布やガンマ分布などの特定の密度分布を持つ場合に対しては、新しい変数の導入により離散的な遅れ時間のみのシステムに還元できることを示した。

第 6 章では、遅れ時間システムの構造的可同定性という問題を定義し、線形通常状態空間システムに対しての可同定性問題を紹介したのち、その結果を構造的可同定性問題へと拡張するとともに、グラフ理論、特に有向グラフを用いてその条件を示した。

第 7 章では、第 6 章と同様の問題を遅れ時間を持つ特異システムに対して定義し、超関数の手法を用いて可同定であるための条件を導出し、さらに構造的可同定性へとその結果を拡張するとともに、グラフ理論、特に二部グラフを用いてその条件を示した。この結果は計算機での実装が容易かつ多項式

時間内で解くことができることが示されており、電力供給網システムや脳といった未知な巨大システムの構造的可同定性を判定するのに適している。

第 8 章では、第 6 章と第 7 章での結果を生体システムや遺伝子ネットワーク、更には神経回路システムといった具体的なシステムへ適用することにより、提案手法の有効性を示している。

第 9 章では、本論文での結果が遅れ時間システムの安定性解析に関しては不確かさ要素や確率的要素や連続的遅れ時間といった実際問題で直面する問題点を考慮に入れた形で更に従来の手法よりも効果的な手法を提案していること、一方構造的可同定性に関してはこの種の問題の遅れ時間システムに対しての研究はほとんどないばかりでなく、遅れ時間を持つ特異システムといった更に難しい対象を本論文では扱っていることから、世界的にも新しい問題に取り組んでいると結論付けている。

以上のように、本論文は遅れ時間を持つネットワークの理論及び応用に関して大きな成果を上げ、複雑理工学上貢献するところが大きい。なお、本論文第 3 章、4 章、5 章、6 章、7 章、8 章は合原一幸との共同研究であるが、論文提出者が主体となって問題を提起しその解の導出を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（科学）の学位を授与できると認める。