

氏 名	かわもと あつし 川 本 睦 史
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	工 博 第 1828 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 1 項 該 当
研究科・専攻	工 学 研 究 科 数 理 工 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	Studies on Generalized Algebraic Riccati Equation for Descriptor Systems and Its Applications (ディスクリプタシステムに対する一般化代数リカッチ方程式とその応用に関する研究) (主査) 論文調査委員 教授 片 山 徹 教授 山 本 裕 教授 杉 江 俊 治

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、連続時間ディスクリプタシステム (DS) に対する一般化代数リカッチ方程式 (GARE) について、見通しの良い基礎理論の確立とそのスペクトル分解問題、最適制御問題への応用を目指して行われた理論的研究をまとめたもので、8章からなっている。

第1章は序論であり、状態空間システムとの比較から、DSのモデリング能力の高さについて説明した後、GAREに関する過去の研究を概観し、本論文の研究目的と研究成果の概要を述べている。

第2章では、行列ペンシルとDSに関する基礎事項と記法をまとめている。また、第7、8章で用いられる行列ペンシルの無限固有空間の直和分解の定義とその数値計算法を与えている。

第3章では、消散システムの理論に基づいて、DSの無限時間線形2次 (LQ) レギュレータ問題を考察している。この問題に関する従来の研究は変分法に基づいており、無限時間問題は有限時間問題の極限として扱われていた。しかし、DSのLQレギュレータ問題の場合、有限時間問題に対して導出された一般化リカッチ微分方程式 (GRE) は、一般には $t \rightarrow \infty$ のときGAREには収束しない。このため従来の研究では、GAREがGREの定常解という形では導かれておらず、無限時間レギュレータ問題とGAREの関連には不透明な部分が残されていた。本章では、消散システムの理論が有限時間問題を經由せずに無限時間問題を直接扱える点に着目し、最適コストの存在性からGAREを自然に導き、LQレギュレータ問題の可解性と付随するGAREの安定化解の存在性の間の関係を明らかにしている。さらに、終端制約付きLQレギュレータ問題の可解条件と最適制御則を与えている。

第4章では、J-スペクトル分解問題や H_∞ 制御問題において典型的に現れる2次項の係数行列が一般に不定値行列であるようなGAREの安定化解の存在条件と、その全ての安定化解のパラメトリゼーションを導出している。この条件は、GAREに付随するハミルトニアン行列ペンシルの安定固有値に対応する固有ベクトルが一次独立であるという条件と自明な無限固有値に対応する実対称行列の慣性条件という2つの条件によって記述される。前者の条件は、従来の代数リカッチ方程式の安定化解の存在条件を一般化したものであるが、後者の条件は、DSの特異性から現れた新しい条件である。

第5章では、不定値有理スペクトル行列に対するJ-スペクトル分解問題を定式化し、GAREに基づいた解法について考察している。この問題は、DSの標準 H_∞ 制御問題と関連があることから、標準J-スペクトル分解問題と呼ばれている。第4章のGAREの安定化解の存在条件を利用することにより、標準J-スペクトル分解問題が可解であるための必要十分条件がある不定値型GAREが安定化解をもつことであることを示し、J-スペクトル因子の計算法を与えている。この章の結果は、よく知られた正準J-スペクトル分解に対する状態空間解法をDSへ拡張したものになっている。

第6章では、拡張 H_∞ 制御問題と総称される非プロパーかつ不安定な重み関数をもつ H_∞ 制御問題の解法について考察して

いる。総合安定化器のパラメトリゼーションを使って、拡張 H_∞ 制御問題を等価なモデルマッチング問題に帰着した後、このモデルマッチング問題を第5章の標準J-スペクトル分解の結果を利用して解いている。その結果、2つのGAREの安定化解を用いた拡張 H_∞ 制御問題の解法が得られている。数値例では、現実の制御系設計でしばしば要求される高周波帯域でのロールオフ特性とサーボ仕様を同時に満たす H_∞ 制御器の設計問題を取り上げ、提案手法の有用性を確認している。

第7章では、スペクトル行列が無限遠点を含む虚軸上に零点をもつことを許容する、いわゆる非標準J-スペクトル分解問題を考察し、零点補償器による手法を援用して、GAREの半安定化解に基づく解法を提案している。半安定化解の構成には、一般に縦長である行列ペンシルの虚軸上の有限固有値と無限固有値に対応する固有空間の計算が必要となるが、これは、特異行列ペンシルの階段型クロネッカ正準形を求めるアルゴリズムを利用することによって、数値的に安定に計算できることを示している。また、特殊ケースである非標準スペクトル分解問題に対しては、零点補償器を用いない、より簡潔な証明法を与えている。

第8章は結論であり、本論文で得られた諸結果の要約と今後の課題を述べている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、連続時間ディスクリプタシステムに対する一般化代数リカッチ方程式（GARE）の基礎理論を確立し、それをスペクトル分解、最適制御問題へ応用することを目標として行われた研究についてまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

- 1) ディスクリプタシステムに対する無限時間線形2次（LQ）レギュレータ問題を消散システム理論に基づいて考察し、LQレギュレータ問題が可解であることと付随するGAREの安定化解が存在することの等価性を証明した。
- 2) 2次の係数行列が一般に不定値であるようなGAREの安定化解の存在条件を、ハミルトン行列ペンシルの固有ベクトルの一次独立条件と実対称行列の慣性条件によって与え、さらにGAREの全ての安定化解をある2次行列方程式の解によってパラメトライズしている。
- 3) 不定値の係数行列をもつGAREの安定化解を用いて、非プロパーなスペクトル行列にも適用できる標準J-スペクトル分解問題に対する解法を与えた。さらにこの結果を発展させることにより、スペクトル行列が無限遠点を含む虚軸上に零点をもつ、非標準スペクトル/J-スペクトル分解問題に対して、GAREの半安定化解に基づく新しい解法を与えた。
- 4) 標準J-スペクトル分解問題の結果に基づいて、従来の状態空間システムの枠組みでは扱えなかった非プロパーかつ不安定な重み関数をもつ H_∞ 制御問題の解法を提案し、応用上重要な高周波帯域でのロールオフ特性をもつ H_∞ サーボ制御器の設計問題へ適用した。

以上要するに、本論文は連続時間ディスクリプタシステムに対する一般化代数リカッチ方程式に関して、安定化解の存在条件といった基礎的問題とそれを応用したJ-スペクトル分解問題や H_∞ 制御問題に対して幾つかの新しい知見を得たものであり、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2月23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。