氏名	小島千昭（こじま ちあき）
学位（専攻分野）	博士（情報学）
学位記番号	情博第256号
学位授与の日付	平成19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	情報学研究科数理工学専攻
学位論文題目	Studies on Lyapunov Stability and Algebraic Riccati Equation for Linear Discrete-Time Systems Based on Behavioral Approach （ビヘイビアアプローチに基づく線形離散時間システムのリヤプノフ安定性と代数リカッチ方程式に関する研究）
論文調査委員	（主査）教授 太田快人　教授 山本 裕　教授 杉江俊治

論文内容の要旨

本論文は，ビヘイビアアプローチに基づいて，線形離散時間システムに対するLyapunov安定性と代数Riccati方程式への新しい理論的枠組みを提唱するものであり，本文は6章から成り立っている。

第1章は，序論であり，Lyapunov安定解析，2次元（2-D）システムの安定解析，代数Riccati方程式の実対称解に関する研究の概観を与えたのち，取り組むべき問題を提示し，本論文の目的を明確にしている。

第2章では，本論文での主要な道具立てとなるビヘイビアアプローチに関する基礎的概念をまとめている。特に対象が離散時間システムである場合には，信号の時間シフトは前進方向と後退方向の2種類を考える必要があり，連続時間システムとは異なる概念が必要であり，2次差分形式が重要になってくる。本章では，離散時間システムに対するビヘイビアアプローチで有用となるいくつかの重要な結果も含んでいる。

第3章は，高階の差分代数方程式によって記述される離散時間システムに対するLyapunov安定解析について考察している。2次差分形式を用いてLyapunov関数を特徴付け，それによってビヘイビアの漸近安定性に対する必要十分条件を導出している。この条件は，2変数多項式Lyapunov方程式を解くことによって判定可能である。またこの条件に基づいて線形行列不等式を用いた数値的により扱いやすい安定条件も導いている。

第4章は，高階の偏差分代数方程式によって記述される2次元（2-D）離散時間システムに対するLyapunov安定解析について考察している。まず，2次元平面上の特性集合を用いて，2-D離散時間システムの自律性と漸近安定性を定式化し，この定式化の下で，2-D離散時間システムの漸近安定性のための2次差分形式による十分条件を導いている。この結果はFornasini-Marchesini状態空間モデルに対する既存の安定条件のビヘイビアの枠組みへの一般化となっていることも示している。

第5章は，離散時間代数Riccati方程式の実対称解の特徴付けについて考察している。2次差分形式から得られるPick行列を用いて，離散時間代数Riccati方程式の全ての非混合解を特徴付けたのち非負定値解の存在に対する必要十分条件を与えている。離散時間代数Riccati方程式と離散時間状態空間システムの消散性を考えるときに，連続時間システムの場合には現れなかった2つの問題点がある。一つめは，状態の2次関数とならない蓄積関数の存在である。二つめは，代数Riccati方程式に関連したシンプレクティック行列ペンシルの零固有値と無限大固有値の間で相殺が発生することである。本論文では，これらの問題点を解決して実対称解の特徴付けに成功している。

第6章は，結論として以上の各章の内容を要約し，今後の課題について述べている。

論文審査の結果の要旨

動的システムの表現としてビヘイビアアプローチは，どの信号が入力や出力に相当するといったことをあらかじめ決めることなく，信号間の拘束条件をもとにシステムを記述する自然な表現の仕方である。本論文では，ビヘイビアアプローチに

基づいて，離散時間システムの Lyapunov 安定性と代数 Riccati 方程式を考察している。得られた結果は以下の通りである。

1．高階の差分代数方程式によって記述される離散時間システムに対して，２次差分形式を用いて Lyapunov 関数を特徴付け，それによってビヘイビアの漸近安定性に対する必要十分条件を導出した。この条件は，２変数多項式Lyapunov 方程式を解くことによって判定可能である。またこの条件に基づいて線形行列不等式を用いた数値的により扱いやすい安定条件も導いている。
2．高階の偏差分代数方程式によって記述される２次元（2‑D）離散時間システムに対する Lyapunov 安定解析を行なった。具体的には，２次元平面上の特性集合を用いて，2‑D 離散時間システムの自律性と漸近安定性を定式化し，この定式化の下で，漸近安定性のための２次差分形式による十分条件を導いた。さらにこの結果は Fornasini‑Marchesini 状態空間モデルに対する既存の安定条件のビヘイビアの枠組みへの一般化となっていることも示した。
3．離散時間代数 Riccati 方程式の実対称解の特徴付けを行った。２次差分形式から得られる Pick 行列を用いて，離散時間代数 Riccati 方程式の全ての非混合解を特徴付けたのち非負定値解の存在に対する必要十分条件を与えた。この結果により，離散時間システムに特有の問題であるシンプレクティック行列ペンシルの零固有値と無限大固有値の間での相殺に関しても解明することができた。

以上のように本論文は，連続時間システムと離散時間システムとで異なる取り扱いの必要な時間シフトについて留意した上で，ビヘイビアアプローチに基づいて，線形離散時間システムに対する Lyapunov 安定性と代数 Riccati 方程式を考察し，また数値計算のための方法も提案している。その成果は学術上，応用上寄与するところが大きい。よって，本論文は博士（情報学）の学位論文として価値あるものと認める。また，平成19年２月22日実施した論文内容とそれに関連した試問の結果，合格と認めた。