

氏 名	か しま けん じ 加 嶋 健 司
学位(専攻分野)	博 士 (情 報 学)
学 位 記 番 号	情 博 第 156 号
学位授与の日付	平 成 17 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 複 雑 系 科 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	General Solution to Standard H - infinity Control Problems for Infinite-dimensional Systems (無限次元系に対する標準 H 無限大制御問題の解)
論文調査委員	(主 査) 教 授 山 本 裕 教 授 磯 祐 介 教 授 杉 江 俊 治

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は無限次元システム（分布定数系）の H 無限大制御に関する研究を行ったものである。従来よりこの問題に対してはいくつかの解法が得られていたが、作用素方程式を解く必要があるなど実際の計算が困難であるものが少なくない。それに対して本研究は、最終結果が容易に計算可能なランク条件として与えられている skew-Toeplitz 解法を発展させることにより、より広いクラスの H 無限大制御問題に対して実用的な解法を与えている。

本論文は(1)実用的な問題に即した問題設定に基づいて、その統一的な解法を与え、(2)従来必ずしも明らかではなかった問題の構造特に無限次元性の本質的な影響や、最終的に導出される補償器の構造を明らかにすることを目的とし、以下の7章から成る。

第1章では、無限次元システムの H 無限大制御に関して、意義および歴史的背景、従来得られている結果およびその問題点をまとめている。

第2章では本論文において必要な数学的準備が述べられた後、skew-Toeplitz 解法により従来得られている結果を、Zhou-Khargonekar 公式の証明を通じて概観している。

第3章では、工学的にも重要でありかつこの公式が適用不可能であったいわゆる混合感度最適化問題や制御対象が不安定である場合に対して、結果を拡張している。

第4章では無限次元システムの H 無限大制御問題をいわゆる一般化プラントを用いて定式化し、その一般解を導いている。これにより従来個別の問題に対して議論がなされることが多かった同問題をより一般的な枠組で捉えることが可能となるのみならず、既存の結果では避けられなかった煩雑な前処理を必要とすることなく様々な実用的な問題を扱うことができる。また最終的に得られた結果は行列方程式とランク条件により与えられており、作用素方程式などを解く必要はない。さらに（有限次元問題と比較しての）無限次元性の本質的な影響および得られる補償器の構造を明らかにしている。

第5章では、いわゆる入出力むだ時間系の内部安定化補償器に関してよく知られているスミス補償器の概念が、より一般の無限次元システムに拡張できることが示されている。これは既約分解といわゆる Youla パラメトリゼーションにもとづく特徴づけとは違い、構造に関する直接的な解釈を与え得るものである。また制御対象が無限次元である場合であっても、非有理関数の既約分解を求める必要がない点も従来結果とは大きく異なる。

第6章ではいわゆる擬有理型伝達関数のインナアウト分解を考察している。この分解は無限次元システムの H 無限大制御問題において重要な役割を果たし、第4章で導いた結果を実際に用いるために唯一必要な前処理である。しかしながら非有理関数に対してこの分解を得ることは必ずしも容易ではない。まず前半では Beurling-Lax の定理と等価な H^2 の左シフト部分空間の特徴づけを与えている。また後半ではこれをもとにインナアウト分解がある仮定のもとで簡単な形で与えられることが示されている。最後に第4、5章の結果と合わせ、無限次元システムの標準型 H 無限大制御問題に対する統一的な制御系設計の手順が述べられている。

第7章では、本論文で得られた結果のまとめおよび今後の課題および将来的な展望が述べられている。

論文審査の結果の要旨

本論文は無限次元システム（分布定数系）のH無限大制御に関する研究をまとめたものである。従来よりこの問題に対してはいくつかの解法が得られていたが、作用素方程式を解く必要があるなど実際の計算が困難であるものが少なくない。それに対して本研究は、最終結果が容易に計算可能なランク条件として与えられている skew-Toeplitz 解法と呼ばれるものを発展させることにより、より広いクラスのH無限大制御問題に対して実用的な解法を与えている。

本論文は(1)実用的な問題に即した問題設定に基づいて、その統一的な解法を与え、(2)従来必ずしも明らかではなかった問題の構造、特に無限次元性の本質的な影響や、最終的に導出される補償器の構造を明らかにすることを目的とし、以下の結果を得ている。

まず第1章、2章で無限次元システムのH無限大制御に関して、意義および歴史的背景、従来得られている結果を概観するとともに、その問題点をまとめている。特に Zhou-Khargonekar 公式と呼ばれる非常に美しくかつ重要な結果を記述しその証明を与え、以降への導入としている。

1. 混合感度問題といわれる問題と、制御対象が不安定である場合に対して、Zhou-Khargonekar 公式が拡張可能であることを示している。これらはこれまで全く知られていなかったものである。
2. 無限次元システムのH無限大制御問題をいわゆる一般化プラントを用いて定式化し、その一般解を導いている。これにより従来個別の問題に対して議論がなされることが多かった同問題をより一般的な枠組で捉えることが可能となるのみならず、既存の結果では避けられなかった煩雑な前処理を必要とすることなく様々な実用的な問題を直接に扱うことを可能とした。また最終的に得られた結果は行列方程式とランク条件により与えられており、作用素方程式などを解く必要はない。さらに（有限次元問題と比較しての）無限次元性の本質的な影響および得られる補償器の構造を明らかにしている。
3. いわゆる入出力むだ時間系の内部安定化補償器に関してよく知られているスミス補償器の概念が、より一般の無限次元システムに拡張できることを示した。これは既約分解といわれる Youla パラメトリゼーションにもとづく特徴づけとは異なり、構造に関する直接的な解釈を与え得るものである。また制御対象が無限次元である場合であっても、非有理関数の既約分解を求める必要がない点も従来結果より優れている。
4. いわゆる擬有理型伝達関数のインナアウト分解（正準分解）を与えた。この分解は無限次元システムのH無限大制御問題において重要な役割を果たし、上記の結果を実際に用いるために唯一必要な前処理である。しかしながら非有理関数に対してこの分解を得ることは必ずしも容易ではない。これまでは極と零点の数値計算に依存していたが、この結果ではこれらの計算が不要であることを示した。さらにこの場合において、これはいわゆる Beurling-Lax の定理と等価な H^2 の左シフト部分空間の特徴づけを与えることを示している。最後に上記の結果と併せて、無限次元システムの標準型H無限大制御問題に対する統一的な制御系設計の手順を与えている。

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17年2月18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。