



ディスクリプタシステムの最適制御とロバスト制御

上里, 英輔

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

1996-03-31

(Date of Publication)

2012-07-03

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲1570

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.11501/3116918>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1001570>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



氏名・（本籍）	上 ^{うえ} 里 ^{さと} 英 ^{えい} 輔 ^ほ	（沖縄県）
博士の専攻分野の名称	博士（工学）	
学位記番号	博い第99号	
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当	
学位授与の日付	平成8年3月31日	
学位論文題目	ディスクリプタシステムの最適制御とロバスト制御	

審査委員	主査 教授 多田 幸生
	教授 藤井 進 教授 神吉 博

論文内容の要旨

本論文は、ディスクリプタ方程式で表わされた線形システム（ディスクリプタシステム）に対する最適制御およびロバスト制御について研究したものである。

状態方程式は、線形システムに対する代表的な数式モデルの一つとして知られている。しかし、この表現は、通常、システムの要素の物理・化学的特性やそれらの結合を記述する数式モデルに、いろいろな変換を施すことにより得られるため、その係数行列は物理的な意味付けが困難になる場合が多い。また、モデルのパラメータ誤差を考える場合、実システムの要素の特性誤差が、状態方程式の係数行列の誤差としてどのように現れるかという関連が見えにくいものとなる。つまり、システムの物理的構造、物理パラメータの変化に関して議論をする上では、状態方程式は満足のいく数式モデルとはいえない。

一方、ディスクリプタ方程式は、集中定数システムの要素の特性を表わす式とその結合を表す式を羅列して得ることができる数式表現であり、微分方程式だけでなく、代数方程式も含めることができる。そのため、ディスクリプタ方程式は、状態方程式の観点からは一般に冗長な変数を含むが、システム内の物理変数、定数や物理的構造を保存する能力をもつ記述能力に優れた数式モデルである。しかし、ディスクリプタ方程式は、その解の振る舞いに状態方程式では生じないインパルスモードが表われるなど、状態方程式に比べると数学的に扱いにくく、現状では、解析・設計能力に優れているとはいえない。したがって、ディスクリプタシステムを対象とした制御系の解析と設計の能力の向上が望まれている。本論文では、ディスクリプタシステムに対する制御系の解析、設計能力を高めることを目的に、この表現に基づいた最適制御およびロバスト制御について考察した。

本論文は5章から成り、第1章は緒論で、ディスクリプタシステムの最適制御およびロバスト制御問題に関するこれまでの研究と本研究の目的について述べた。

第2章では、ディスクリプタ表現の制御系設計能力を高めることを目的として、無限時間の最適レギュレータ問題を考えた。まず、対象とするシステムのダイナミクスがディスクリプタ変数とその微分の係数行列の積により代表させることができることを示した。その事実を有効に用い、システムの

動特性を評価する2次形式評価関数を導入し、また、フィードバック制御の能力を損なうことなくフィードバックゲインのクラスを限定した。そして、その最適レギュレータ問題の解が、一般化リカッチ方程式の対称・半正定解によって与えられることを示した。また、その一般化リカッチ方程式の解の存在性と性質について考察し、この方程式が最適制御則の計算において適当な解をもつための条件を明らかにした。そして、解が存在するとき、ディスクリプタ変数の微分の係数行列からなる行列と、システムの係数行列および評価関数の重み行列で構成されるハミルトン行列の組の固有ベクトルを使ってフィードバックゲインを計算する方法を提案した。

第3章では、ディスクリプタ変数と操作入力の係数行列に不確かさをもつシステムの線形フィードバック制御による2次安定化問題について考察した。まず、対象とするシステムの動的振る舞いが、ディスクリプタ変数とその微分の係数行列の積により代表されるという事実を根拠に、2次安定性を、ディスクリプタ変数の動的振る舞いに対しては正定な2次形式の関数を使って陽に定義して議論した。そして、ディスクリプタシステムの線形フィードバック制御による2次安定化可能性を一般化リカッチ方程式のある種の解の存在性と関連づけ、2次安定化可能であるための十分条件と必要条件を導いた。さらに、システムが2次安定化可能であるとき、ディスクリプタ変数の微分の係数行列から定義される行列とシステムの係数行列から定義されるハミルトン行列の組の固有ベクトルを使ったフィードバックゲインの計算法を与えた。

第4章では、ディスクリプタ変数の微分の係数行列にも不確かさをもつシステムのロバスト安定化問題について考え、ロバスト安定化可能条件を、2次安定化法からのアプローチにより導いた。そのために、対象システムとロバスト安定性に関して等価な、ディスクリプタ変数の微分の係数行列に不確かさを含まない二つのシステムを考え、それらのシステムに対する2次安定化可能条件を、行列不等式条件として与えた。さらに、行列ポリティプ型の不確かさが存在する場合について、それらの2次安定化可能条件を満たすための行列不等式条件を示した。そのうちの一つの条件は線形行列不等式であるから、容易に解を求めることができる。もう一つの条件は双線形行列不等式条件であるから、Homotopy法の考え方にに基づき、線形行列不等式の解を逐次的に更新して解く手法を提案し、制御則は既存の計算機ツールによって計算できることを示した。

第5章は本論文の結論であり、本研究の成果についてまとめた。

論文審査の結果の要旨

本論文は、ディスクリプタ方程式で表わされた線形システム（ディスクリプタシステム）に対する最適制御およびロバスト制御について研究した結果をまとめたものである。

線形システムに対する時間領域の代表的な数式モデルは状態方程式である。この表現は、1階の連立微分（または差分）方程式で、解を陽に書けるため数学的に取り扱いやすく、正確にモデル化されたシステムの解析と設計には非常に有効である。しかし一般に状態方程式の係数行列要素は物理的パラメータに対応しておらず、物理パラメータが不確かさを含む場合や変化する場合、その表現としては充分でないことが多い。したがって、状態方程式は、不確かさや変化するパラメータを含むシステムの解析・設計にまで有効であるとはいえない。

一方、ディスクリプタ方程式は、システムの要素の特性を表わす式とその結合を表す式を羅列して得ることができる数式表現であり、微分方程式だけでなく、代数方程式も含めることができる。そして、この表現は、物理パラメータをその係数行列の要素にそのまま含めることができるため、不確か

なパラメータの存在範囲をその係数行列に正確に反映させることができる。つまり、ディスクリプタ方程式は不確かなシステムを記述する能力に優れた数式モデルである。

しかし、ディスクリプタ方程式の解は陽に書けないため、状態方程式に比べると数学的に扱いにくく、現状では、この表現に基づくシステムの解析や制御系の設計が容易とは言えない。そこで、ディスクリプタシステムを対象としたその解析や設計の能力の向上が望まれている。本論文では、ディスクリプタシステムの解析、設計能力を高めることを目的に、この表現に基づいた最適制御およびロバスト制御について考察している。

本論文は5章から成り、第1章は緒論で、ディスクリプタシステムの最適制御およびロバスト制御問題に関するこれまでの研究と本研究の目的について述べている。

第2章では、ディスクリプタ表現の制御系設計能力を高めることを目的として、無限時間の最適レギュレータ問題を考えている。まず、対象とするシステムのダイナミクスがディスクリプタ変数とその微分の係数行列の積により代表させることができることを示している。その事実を有効に用い、システムの動特性を評価する2次形式評価関数を導入し、また、フィードバック制御の能力を損なうことなくフィードバックゲインのクラスを限定している。そして、その最適レギュレータ問題の解が、一般化リカッチ方程式の対称・半正定解によって与えられることを示している。また、その一般化リカッチ方程式の解の存在性と性質について考察し、この方程式が最適制御則の計算に適当な解をもつための条件を明らかにしている。さらに、解が存在するとき、ディスクリプタ変数の微分の係数行列からなる行列と、システムの係数行列および評価関数の重み行列で構成されるハミルトン行列の組の固有ベクトルを使ってフィードバックゲインを計算する方法を提案している。

第3章では、ディスクリプタ変数と操作入力の係数行列に不確かさをもつシステムの線形フィードバック制御による2次安定化問題について考察している。まず、対象とするシステムの動的振る舞いが、ディスクリプタ変数とその微分の係数行列の積により代表されるという事実を根拠に、2次安定性を、ディスクリプタ変数の動的振る舞いに対しては正定な2次形式の関数を使って陽に定義して議論している。そして、ディスクリプタシステムの線形フィードバック制御による2次安定化可能性を一般化リカッチ方程式のある種の解の存在性と関連づけ、2次安定化可能であるための十分条件と必要条件を導いている。さらに、システムが2次安定化可能であるとき、ディスクリプタ変数の微分の係数行列から定義される行列とシステムの係数行列から定義されるハミルトン行列の組の固有ベクトルを使ったフィードバックゲインの計算法を与えている。

第4章では、ディスクリプタ変数の微分の係数行列にも不確かさをもつシステムのロバスト安定化問題について考え、ロバスト安定化可能条件を、2次安定化法からのアプローチにより導いている。そのために、対象システムとロバスト安定性に関して等価な、ディスクリプタ変数の微分の係数行列に不確かさを含まない二つのシステムを考え、それらのシステムに対する2次安定化可能条件を、行列不等式条件として与えている。さらに、行列ポリトープ型の不確かさが存在する場合について、それらの2次安定化可能条件を満たすための行列不等式条件を示している。そのうちの一つの条件は線形行列不等式であり、容易に解を求めることができる。もう一つの条件は双線形行列不等式条件であり、現在その有効な解法が確立されていない。そこで、本論文では、その行列不等式を、Homotopy法の考え方にに基づき、線形行列不等式の解を逐次的に更新して解くという手法を提案している。

第5章は本論文の結論であり、本研究の成果についてまとめている。

以上のように、本論文は、ディスクリプタシステムに対する最適レギュレータ問題、2次安定化問題およびロバスト制御について考察を行ない、ディスクリプタ表現に基づく制御系の設計理論に関し

て工学的に重要な知見を得たものとして価値ある集積であると認める。

よって、学位申請者 上里 英輔は博士（工学）の学位を得る資格があると認める。