



Title	入力拘束を有する制御系のダイナミクスと性能解析に関する研究
Author(s)	森永, 英二
Citation	大阪大学, 2005, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/45878
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏 名	森 永 英 二
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 19486 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 17 年 3 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第4条第1項該当
	工学研究科電子制御機械工学専攻
学 位 論 文 名	入力拘束を有する制御系のダイナミクスと性能解析に関する研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 太田 快人
	(副査) 教 授 池田 雅夫 教 授 白井 良明 教 授 古莊 純次

論 文 内 容 の 要 旨

アクチュエータの飽和特性に代表される入力拘束は、現実世界のシステムのほぼすべてに存在し、構築された制御系に著しい性能劣化や不安定化を引き起こすことが多い。全6章で構成される本論文は、そのような制御系のダイナミクスと制御性能の解析問題を、ハイブリッドシステム理論からのアプローチにより論じたものである。

第1章では、本研究の背景と目的、制御工学における位置付けを述べた。

第2章では、入力拘束の代表例である飽和要素・不感帯要素を有する制御系を、区分的アフィン(PWA)システムとして等価に表現した。このシステム表現が持つ、「『有限個のアフィンなダイナミクス』+『切り替え則』」というダイナミクスの構造から、ハイブリッドシステムとしての取り扱いが可能になった。得られたPWAシステムは、内部状態と外部入力に依存する連続な切り替え則を持ち、well-posedなシステムとなることを示した。

第3章では、前章で得られたPWAシステムに対し、入出力ゲインの一種で、制御性能の一般的な評価指標である、 L_2 ゲインの解析問題を論じた。システムの非線形性を考慮した局所的な解析の必要性も主張し、入力の大きさに制限を課した場合の局所的なゲインと、制限を課さない大域的なゲインを定義した。システムの消散性の概念を用い、大域的二次関数と区分的二次関数を構築して、それぞれ蓄積関数に適用した。この結果、効率良く数値計算可能な線形行列不等式(LMI)を連立させた形式で、解析条件がそれぞれ導出された。数値例による検証の結果、区分的二次な蓄積関数に基づく条件によって厳密性の高い解析が達成されることと、局所的な解析が妥当・重要であることが明らかになった。

第4章では、2章で得られたPWAシステムに対し、 L_2 ゲインより強い性能評価指標である、 L_2 インクリメンタルゲインの解析問題を論じた。3章と同様、入力の大きさを制限した局所的なゲインと、制限しない大域的なゲインを定義した。三種類の区分的二次関数を構築し、それぞれ蓄積関数に用いることで、厳密性の高い解析を達成しうる三種の解析条件が、連立LMIの形式で得られた。また、大域的二次な蓄積関数を用いた既存の解析手法では実現できない、局所的ゲインの解析が、区分的二次な蓄積関数の利用によって可能になった。

第5章では、3章において連立LMIの形式で得られた、区分的二次な蓄積関数に基づく L_2 ゲイン解析条件の解法を論じた。連立した個々のLMIを順次個別に取り扱い、勾配法に基づく反復計算を有限回繰り返すことで連立LMIの共通解を求める、逐次的な計算法を導出した。さらに、その計算法と二分法を用いて、最適な共通解を求める計算法を与えた。保持しなくてはならないデータ量や求解に必要な計算量が膨大になるという、既存の計算法が抱える問

題に対し、導出した計算法の有効性が示された。

第6章では、本研究で得られた成果を総括し、今後の展望を述べた。

論文審査の結果の要旨

本研究は、入力拘束のある動的システムを制御しようとするときに、その制御性能をはかる目的として、ゲイン解析を行おうとするものである。入力拘束システムは、ワインドアップのような制御性能劣化現象を起こす場合があり、それを回避する制御系設計を考えるためには、制御性能をはかる方法を論じることが基本的な問題である。本論文では、入力拘束のある動的システムをハイブリッドシステムとしてモデル化し、ある種のゲインを制御性能の尺度として提案し、その計算方法を与えていた。本論文で得られた結果を要約すると以下の通りである。

- (1) 入力拘束を有する動的制御システムを、区分的アフィンシステムとして記述できることを示している。得られた区分的アフィンシステムは、内部状態と外部入力によって切り替え則の定まる連続な区分的アフィンシステムになり、そのシステムの挙動は定義可能であることを明らかにしている。
- (2) システム性能を計るときに広く用いられる入出力ゲインのうち、特に L_2 ゲインを本論文では扱っている。ゲインとしては入力振幅を制約する局所的なゲインと制約しない大域的なゲインの双方を考察する。 L_2 ゲインに対応した消散性の考え方を利用し、蓄積関数としては区分的二次関数を用いることを提案している。本論文で扱う区分的アフィンシステムの場合には、消散性の条件は線形行列不等式条件として記述できることを示している。大域的二次関数を用いる場合に比べて、提案方法はより厳密なゲイン計算ができるこを、数値計算例として与えている。
- (3) システム性能を計る別の尺度である、 L_2 インクリメンタルゲインを用いた場合の解析方法を論じている。 L_2 ゲインと同様に、区分的二次関数を用いることによって、 L_2 インクリメンタルゲインが線形行列不等式を解くことによって計算できることを示している。
- (4) L_2 ゲイン解析問題における線形行列不等式は、変数および式の数が大きくなる。それらを連立して解くのではなく、勾配法に基づく有限回の反復計算によって、実行可能解を得ることを示している。この反復法と二分法を用いると最適値計算を行うことが可能である。従来法と比較すると、それぞれの反復には、小さな規模の問題になるために、計算量を低減させ得ること、また全変数を記憶しておく必要はないことという有利な点があることを示している。

以上のように、本論文では、区分的二次関数を入力飽和システムのゲイン解析に適用できることを原理的に示すとともに、その計算方法を提案しており、理論的成果を挙げている。本論文により、入力飽和システムの性能を議論することができ、アンチワインドアップ補償などの実用的制御方策の研究にも応用できることが期待できる。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。