

Title	スプライン型リアプノフ関数を用いたゲインスケジューリング制御系の設計法
Author(s)	久米, 彩登
Citation	
Issue Date	1998-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10119/1138">http://hdl.handle.net/10119/1138</a>
Rights	
Description	Supervisor: 示村 悦二郎, 情報科学研究科, 修士

# スプライン型リアプノフ関数を用いた ゲインスケジューリング制御系の設計法

久米 彩登

北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

1998年2月13日

キーワード: ゲインスケジューリング, LPV システム, パラメータ依存リアプノフ関数, スプライン関数, LMI.

近年, 制御系に要求される制御性能はますます高まる傾向にある. この一つの例を, 1950年代から始まった航空機の高性能化に見ることができる. 航空機の高性能化によって, 広い範囲の速度や高度, 姿勢で飛行することが要求されるようになる. それによって, 機体の動特性は状況により著しく変化し, 従来の固定ゲインを用いるフィードバック制御では所望の性能が得られなかったり, 場合によっては安定性を失うという問題が生じる. この問題に対する一つの解決法として, 航空機の飛行状態に応じて, コントローラのゲインを調整するという方法がとられている. このように, オンラインで観測される制御対象の特性変動に応じて, 制御器の特性を変化させる制御をゲインスケジューリング制御と呼ぶ. 上の航空機のように, 広範な稼働条件の下で安定性や制御性能を高度なレベルで要求される場合には, ゲインスケジューリング制御系の安定性や制御性能を理論的に検証することが望まれる.

こういった背景から, ゲインスケジューリングが制御理論の立場から研究されている. ゲインスケジューリング制御系の数式表現として, 状態空間表現の各係数行列が対象の特性変化を示すスケジューリングパラメータに依存した LinearParameter-Varying(LPV) システムが用いられている. 制御対象を LPV システムとして表現すると, これまでの線形制御理論の豊富な結果を用いて制御系の解析や設計を行えるという大きな利点がある.

この LPV 表現に基づくゲインスケジューリング制御系の設計法として, いくつかの設計法が提案されている. パラメータ凍結法と呼ばれる方法は, スケジューリングパラメータをいくつかの値に固定したときに得られる各線形時不変システムに対して, 安定性と要求される制御性能を保証する制御器をそれぞれ構成し, オンラインで観測されるパラメータに応じて 制御器をスケジューリングする方法である. しかし, スケジューリング

パラメータが速く変化する場合には安定性を保証できなくなるという問題を含んでいる。一方、二次安定化の手法を用いて、パラメータが任意に速く変化する場合にも安定性を保証する方法が提案されている。しかし、この方法ではスケジューリングパラメータが緩やかにしか変化しない場合には、制御が保守的になる。そこで、これらの問題を解決する方法として、パラメータに依存するリアプノフ関数を用いる方法が提案されている。この方法では、パラメータの変化速度を考慮した制御系の設計が可能であり、パラメータ凍結法と違って安定性や性能が保証でき、二次安定化に基づく方法よりも保守性が軽減されている。

このパラメータに依存したリアプノフ関数を用いて、制御系の内部安定性と設計仕様である  $L_2$  ゲイン性能を満たすコントローラの存在条件を、線形行列不等式 (Linear Matrix Inequalities:LMI) で記述するアプローチが試みられている。このアプローチでは、コントローラの存在条件をスケジューリングパラメータに依存した LMI 条件で与えている。ここで、連続パラメータに依存した LMI 条件の解を求める必要が生じるが、その解はパラメータを固定する毎に得られる無限個の LMI 条件を満たさなければならない。しかし、実際に無限個の LMI 条件を計算機で判定することは不可能である。この問題に対して、無限個の LMI 条件を解くのではなく、いくつかの研究によって新たに有限個の LMI 条件を構成し、その解を求めれば元の無限個の LMI 条件を満たすのに十分であることが示されている。これらの結果では、新たに構成する有限個の LMI 条件は、スケジューリングパラメータに依存した LMI 条件に対する十分性は満たすが必要性は証明されていない。そのため、パラメータ依存 LMI 条件の解が存在するとしても、必ずしも解を得られないという問題点が生ずる。そこで、保守性の小さな解析・設計をするために、パラメータに依存した LMI 条件に対して必要十分となる LMI 条件を構成することは重要である。

本論文では、パラメータに依存した LMI 条件と等価な LMI 条件の構成法を提案する。本論文で新たに提案する方法は、次のようなものである。まず、パラメータ依存 LMI 条件に対して、解の形を区分的に連続なスプライン型の関数とし、元の LMI 条件の十分条件となる有限個の LMI 条件を構成する。そして、スプライン関数の分割区間を十分小さくすれば、新たに提案する有限個の LMI 条件が元の LMI 条件の必要条件となることを証明する。

新たに提案するこの手法を、まず、LPV システムの安定性、および、 $L_2$  ゲイン性能を評価するパラメータ依存 LMI 条件に対して適用する。次に、その結果を状態フィードバックによるゲインスケジューリング制御系の安定性、および、 $L_2$  ゲイン性能を評価するパラメータ依存 LMI 条件に対して拡張する。このとき、コントローラのゲインは、新たに構成する有限個の LMI 条件の解から得られるスプライン関数を用いて与えられる。