

Title	Multiobjective Control Design Based on Geometric Structure of the Controller
Author(s)	下村, 卓
Citation	大阪大学, 1998, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/41077">https://hdl.handle.net/11094/41077</a>
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、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈/a〉</a> をご参照ください。

***Osaka University Knowledge Archive : OUKA***

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

Osaka University

氏 名	しもむらたかし 下村卓
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 1 4 1 7 5 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 10 年 10 月 14 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学 位 論 文 名	Multiobjective Control Design Based on Geometric Structure of the Controller (制御器の幾何学的構造に基づく多目的制御系設計)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 藤井 隆雄 (副査) 教 授 田村 坦之 教 授 潮 俊光

## 論 文 内 容 の 要 旨

近年、多目的制御系設計が注目されている。これは、例えば、制御対象の不確かさに対してロバスト安定性を確保しながら、過渡応答を最適に調整しようとするものである。単一の設計仕様を満足する制御器設計の研究はこれまで十分行われ、ほぼ完成の域に達していると言えるが、複数の設計仕様を満足する単一の制御器の設計問題は非常に難しく、系統的な設計法がこれまでに十分確立したとは言い難い。この問題に対し、現在、主流となっていて、もっとも有望視されている解法は、線形行列不等式 (LMI=Linear Matrix Inequality) を用いる方法である。もし解くべき問題が LMI で定式化できれば、最近、実用的な高速化が内点法の出現によって達成された凸最適化アルゴリズムにより、大域的最適解が数値的に求められる。実際、上記設計仕様 1~2 各々は、LMI により次のように表現可能である。

$$\begin{cases} 1. H_{\infty} \text{ 仕様: } \exists X_{\infty} > 0 \text{ s.t. } \Phi_{\infty}(W_{\infty}, X_{\infty}) < 0 \rightarrow H_{\infty} \text{ 制御器: } K_{\infty} = W_{\infty} X_{\infty}^{-1} \\ 2. H_2 \text{ 仕様: } \exists X_2 > 0 \text{ s.t. } \Phi_2(W_2, X_2) < 0 \rightarrow H_2 \text{ 制御器: } K_2 = W_2 X_2^{-1} \end{cases} \quad (1)$$

多目的制御系設計問題の難しい点は、これら複数の仕様を満たす制御器が同一のものとして決定されなければならない点である。(2)式の仕様の場合は、次の制約条件:

$$\text{多目的制御器: } K = W_{\infty} X_{\infty}^{-1} = W_2 X_2^{-1} \quad (2)$$

が成立しなければならない。このような制約ゆえ、多目的制御系設計問題は、一般に問題が凸にならず、凸最適化問題として解けない。この難点を克服するため、従来は LMI 解  $X_{\infty} > 0, X_2 > 0$  を共通解  $X_{\infty} = X_2 = X > 0$  として選定する方法がとられてきた。このとき、上記制約条件(2)は自動的に満たされ、多目的制御系設計が凸最適化問題として解ける。しかし、本来異なってもよい LMI 解  $X_{\infty} > 0, X_2 > 0$  に共通解の制約を課すため、設計結果が保守的になってしまう。また  $H_2$  コストについても正確な  $H_2$  コストの最小化ではなく、その上界の最小化 (上界コスト最小化) しか達成できない。

これに対し、本研究は制約条件(2)を満たしながら LMI 非共通解  $X_{\infty} \neq X_2$  を許す多目的制御系設計の一解法を与える。LMI を解いて求まる制御器が、多くの場合、ある定数行列 (多くの場合、プラントパラメータ) と LMI 解の積の形で与えられることに気が付けば、制御器、LMI 解の両方を前から掛かる定数行列の像空間とその直交補空間に関し

てパラメトライズすることができる。そして、その LMI 解のうち、直交補空間に属する部分は制御器を生成する掛け算の過程で消えるため、各設計仕様毎に異なっても良いことに着目し、この部分に関する連立凸な多目的制御系設計問題の LMI 定式化を行う。

このパラメトリゼーションの原型は ILQ (=Inverse Linear Quadratic) レギュレータ設計法にみることができ、本研究では、まず、ILQ レギュレータ設計法を一般化する。その過程で、Riccati 解を入力行列の像空間とその直交補空間に関して陽にパラメトライズする。つぎに状態フィードバックの混合  $H_2/H_\infty$  問題にこのパラメトリゼーションを適用し、多目的制御系設計問題の連立凸な LMI 定式化を得る。その際、ILQ での部分極配置法は領域極配置法に拡張される。さらに、動的出力フィードバックのひとつである強正実  $H_2$  コントローラの設計問題が同様の考え方をを用いて解かれる。多目的制御系設計では従来 LQG で成り立っていた分離定理がもはや成立せず、レギュレータとオブザーバがカップリングするが、本研究では、そのカップリング構造も明らかにされる。

## 論文審査の結果の要旨

近年注目されている多目的制御系設計問題は、従来、解析的には容易に解けなかったが、最近、設計仕様毎に定まる線形行列不等式 (LMI=Linear Matrix Inequality) を連立させて数値的に解けるようになった。しかし、大域的最適解の探索に必要な「問題の凸性」を保つため、従来、連立 LMI は事実上共通解でしか解けず、設計結果が保守的になっていた。

本論文では、まず、設計仕様毎に定まる制御器の幾何学的構造に基づき、これまで数値的にしか得られていなかった LMI 解を制御器とともにいくつかの基本パラメータで表現した。つぎに、基本パラメータの一部を適切に固定すれば多目的設計問題がより低次の LMI で定式化され、LMI 解の一部を非共通解に選んでも凸性を失わずに解けることを理論的に明らかにし、数値例によりその有用性を示した。一般に制御器全体を固定すれば、多目的設計問題は凸性を保ちながら LMI 非共通解で解けるが、これは解析であって設計ではない。一方、設計の立場から制御器全体を未知変数と考えれば多目的設計問題は事実上 LMI 共通解でしか解けない。その中間として制御器と LMI 解の一部を固定すれば、多目的設計問題が凸性を保持したまま LMI 非共通解で解ける可能性がある。本論文はこの問いに対し一つの合理的な解答を与えたものである。

本論文では、まず、この理論の基礎となる ILQ (Inverse Linear Quadratic) レギュレータ設計法を一般化し、つぎに、状態フィードバック混合  $H_2/H_\infty$  問題に対し連立凸な LMI 定式化を行う。その上で、従来の共通解で与えられる  $H_2$  コストが本手法により実際に改善されることを数値例で示す。さらに、出力フィードバック強正実  $H_2$  制御器についても、いくつかの興味深い結果を与えている。

以上のように、これまで LMI 共通解でしか解けないとされていた多目的制御系設計問題に対し、本論文は LMI 非共通解に基づく新たな設計手法を提案しており、従来結果で問題となっていた設計結果の保守性の改善に寄与するのみならず、多目的制御系設計の分野に新しい可能性を示した点でその貢献は大きい。よって博士 (工学) の学位論文として価値あるものと認める。