【 53 】

氏　　　　　名	下(しも)　村(むら)　　　卓(たかし)
博士の専攻分野の名称	博　　士（工　　学）
学 位 記 番 号	第　14175　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。

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

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：

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

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_∞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_∞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。