審査結果の要旨

論文提出者氏名　小西　克巳

マイコンに代表されるコンピュータの発達を受けて，制御理論の産業応用が盛んになってきた．それに従い制御系設計への要求も高くなり，解決すべき設計問題が複雑になってきている．たとえば，制御問題は QMI(Quadratic Matrix Inequality)，BMI(Bilinear Matrix Inequality)，ならびに LMI(Linear Matrix Inequality)と呼ばれる行列不等式で記述できることが知られている．この中でも BMI と QMI は非凸問題と呼ばれる解くことが難しい問題である．このため，BMI や QMI の効率が良い数値解法の必要性が高まっている．

「Semidefinite Programming Relaxation for Control System Design（半正定値計画緩和による制御系設計法）」と題する本論文は，制御問題に出てくる最適化問題の解法を研究したものであり，緩和問題の行列表現を軸に計算効率が高い数値計算方式を提案している．

第１章は「Introduction」であり，本研究の目的，手法などが簡潔に述べられている．その中には制御系設計と数値最適化の関係，BMI や QMI と制御系設計との関係，BMI および QMI の数値最適化の現況，半正定値計画問題の概要，ならびに論文の構成が述べられている．

第２章は「Preliminaries」である．ここでは，本論文で使う記号の説明から始まり，BMI および QMI の定義，SDP 緩和の定義を説明している．そして，BMI や QMI に SDP 緩和を施すことにより半正定値計画問題となることを示している．さらに，SDP 緩和を軸に BMI および QMI 問題における種々の緩和法の関係を論じている．

第３章は「SDP Relaxation for Control Design Problems」である．ここでは、制御系設計に絞って QMI 問題を具体的に論じている．特に，QMI 問題の独自な記述法として QMI の行列表現とそれを用いた SDP 緩和を提案している．行列表現は制御問題の本質を残したまま BMI や QMI の問題として定式化できるため，従来から使われている要素別の表現より問題を簡潔に表現できる．それだけではなく，記述に必要となる変数の数を大幅に減らせることから，問題を解く手間が改善されることにつながることを示している．

第４章は「Branch and Bound Algorithm」である．ここでは，BMI や QMI 問題の解法の一つとして分枝限定法を取り上げ，この解法の概要と解法における上界値，下界値の役割を説明している．そして，前章で提案した行列表現に基づく SDP 緩和法を使った新たな下限値の計算法を提案し，それを用いた QMI 問題の解法を提案している．

第５章は「Numerical Examples」である．ここでは，提案した行列表現に基づいた SDP 緩和を基礎とした分枝限定法の有効性を数値実験を行って示している．BMI 問題，QMI 問題ともに，提案手法の方が効率的であることを実証している．それだけでなく，H2/H∞混合問題という代表的な制御問題を例にとった数値実験を行い，主題である制御系設計問題における提案解法の有効性を示している．

第６章は「Conclusion」である．ここまでの研究を総括するとともに，将来の研究課題をまとめている．課題の一つは，行列表現を用いた緩和の制御系設計における意味を明確にすることである．

以上，本論文は，制御系設計における半正定値緩和の重要性を強く認識し，行列表現形式に基づくBMIおよびQMI問題の定式化およびその定式化を用いた高効率の解法の提供と，制御工学の研究に貢献するところが大きい．よって，本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる．