

## 学位論文の審査結果の要旨

本学位論文では、非最小位相系に対する外乱推定器の設計を念頭に、並列フィードフォワード補償器（PFC）の活用により性能向上を図る方法について考察している。その場合、意図した性能を実現させるためにはPFCの設計問題の定式化とその解法が重要となることから、幾つかの異なるアプローチによるPFCの設計方法を提案している。さらに、その効果を明確化するために、計算機シミュレーションによる解析や実験装置を用いた実験検証を行っている。

第1章では、非最小位相系における外乱推定問題における課題の重要性について述べており、先行研究の紹介と問題設定の位置づけを明確化している。

第2章では、本論文で考える制御対象の定義および考察する外乱推定問題とそこで用いるPFCの定義について述べている。

第3章では、PFCの一つ目の設計方法として、KYP補題を活用した方法について述べている。そこでは、外乱推定性能を向上させたい周波数帯域においてPFCの特性を確保するため、二乗和に基づいた評価関数を導入している。その際、PFC導入による拡大系の最小位相性の確保については、KYP補題に基づくLMI条件として定式化し解を導出している。その効果については、先行研究である $H_\infty$ 制御理論に基づく方法の性能と比較検証している。そこでは、PFCの導入によって最小位相化することによって、従前では適用が困難であったスライディングモードオブザーバが適用可能となること、さらには、比較対象である $H_\infty$ 制御理論による外乱推定性能よりも優れた特性を示すことができることを述べている。

第4章では、PFC設計のためのもう一つのアプローチとして、ディスクリプタ形式を用いて $H_\infty$ ノルム評価関数を最小化する解法を提案している。提案されたディスクリプタ形式に基づいた $H_\infty$ 制御理論に着目した設計方法は、独自性のある解法となっている。

第5章では、第3章と第4章で述べられた2つの設計方法の関係性について考察している。

第6章では、軸ねじり振動系実験装置を対象として、外乱推定実験を実施し、その結果を評価している。それによって提案方法の有効性を確認している。

第7章では、多変数系における設計問題への拡張を目指した動機に基づき、BMI制約を伴う2次評価関数最小化問題のLMI解法について述べている。BMI制約条件を伴った凸最小化問題の解法を提案したものであり、LMI形式の十分条件に変換して問題の解を得る方法を示している。提案方法は、状態フィードバック制御による切替制御系の設計にも応用することができるため、その適用方法

や適用例についても示されている。

第8章は結論であり、本論文の総括を行っている。

申請学位論文は、申請者を筆頭著者とする査読付き原著論文4編に基づいてまとめられており、学術的に十分高い評価を得ている。また、得られた研究成果は学術的にも工学応用の観点からも有益なものであり、その貢献が大いに期待される。従って、本論文は博士（工学）の学位論文として十分価値あるものと審査委員全員一致で判断した。

#### 公表主要論文名

- ・ 種村昌也, 千田有一: ディスクリプタ形式を用いた並列フィードフォワード補償器の設計と非最小位相系の外乱推定性能の向上, 計測自動制御学会論文集, Vol. 54, No. 4 (2018年4月号に掲載予定)
- ・ 種村昌也, 千田有一, 関口彰太, 小林弘幸: 並列モデルを用いた非最小位相系の最小位相化による未知外乱推定器の設計と実験検証, 計測自動制御学会論文集, Vol.53, No.2, pp.152-161 (2017)
- ・ Masaya Tanemura, Yuichi Chida: Linear Matrix Inequality Method for a Quadratic Performance Index Minimization Problem with a class of Bilinear Matrix Inequality Conditions, Journal of Physics, Vol.744, No.1, pp.1-8 (2016)
- ・ Masaya Tanemura, Yuichi Chida, Hiroyuki Kobayashi, Mitsuo Hirata: Parallel Feedforward Model for Improving Estimates of Unknown Disturbances to Non-Minimum-Phase Systems, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration (JCMSI), Vol.8, No.5, pp.354-361 (2015)