

氏 名 せき ひろ や  
 学位(専攻分野) 博 士 (工 学)  
 学位記番号 論 工 博 第 3680 号  
 学位授与の日付 平成 14 年 7 月 23 日  
 学位授与の要件 学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当  
 学位論文題目 Feedback Control of Nonlinear Chemical Reactors  
 (非線形化学反応器のフィードバック制御)

論文調査委員 (主 査)  
 教授 橋 本 伊 織 教授 荒 木 光 彦 教授 大 嶋 正 裕

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、化学工業生産の中心である化学反応器を対象として、より効率的、安定的な運転を実現するために、プロセスの非線形特性を考慮して、フィードバック制御系を設計する方法についてまとめたものであり、4章から構成されている。

第1章は序論であり、本研究の背景として、近年の化学産業を取り巻く状況の変化に対応するため、より効率的な化学プロセスの運転を実現することが要求されており、運転動作範囲を広くとるなどの必要性から非線形性を考慮した制御系の設計が重要であることを述べている。また、フィードバック制御系を設計する上で考慮すべき非線形性のうち、化学反応器に特徴的な例として、入出力関係における多重性について挙げ、本研究の対象を明確にしている。

第2章では、産業界でもっとも広く用いられている線形制御手法であるPID制御器について、出力多重性を示し開ループ不安定となるプロセスへの適用法について論じている。まず、開ループ不安定な系に対する既存のPIDパラメータのチューニング方法について、対象プロセスのモデル表現の仮定が、現実に遭遇する化学反応器の特性を表現するのに十分でなく、その適用機会が制限されることを指摘している。この問題点を解決するため、周波数領域におけるPIDパラメータの決定法について論じ、安定な閉ループ系を得るための十分条件を導いている。さらに、工業的な応用を容易にするためのチューニングガイドラインを提案している。

また、工業的な適用事例として、気相法ポリオレフィン重合反応器をとりあげ、温度制御系が運転条件の変化により不安定化する現象について、その原因をプロセスモデルに基づいて解析し、明らかにしている。さらに、最少限の数値情報で制御パラメータを再チューニングし温度制御系を安定化させる実用的な手法を提案して、その有効性を数値シミュレーションにより示している。

第3章では、非線形制御手法である非線形モデル予測制御の設計法およびその工業的な応用について論じている。まず、モデル予測制御の一般的な構造について触れ、非線形プロセスモデルを内包した非線形モデル予測制御を用いようとする場合、計算負荷の問題から、逐次線形化手法に基づく設計法が実用性の観点から好ましいことを述べている。本論文で提案する逐次線形化に基づく非線形モデル予測制御の設計法においては、逐次線形化されたプロセスモデルに対して入力を積分器で拡張したLQI制御を適用している。入力多重性を示す非線形系においては、定常ゲイン行列が特異となる動作点が存在するため、通常、積分器を有する制御器は適用不可能であるが、LQ最適化問題における評価関数を修正することによりこの問題を解決している。提案した制御系の安定性に関する数学的な証明を与えるとともに、化学反応器を対象とした数値シミュレーションによりその有効性を明らかにしている。特に、入力多重性を示す非線形系に対して、到達不可能な目標値を与えることにより、定常ゲイン行列が特異となる平衡点まわりに安定な閉ループ系が構成できることを示している。

また、モデル誤差が存在する場合について、定値目標値に定常偏差なく追従する制御系を構成するためには、拡張カルマンフィルタなどの状態推定器を用いてオフセットのない制御出力の推定が必要であることを示している。さらに、対象プロセスの非線形性に応じた状態推定器の設計がロバスト性に大きな影響を与えることをシミュレーションにより示している。

さらに、非線形モデル予測制御の実機応用に関して、セミ・バッチ式および連続式ポリオレフィン重合反応器への適用結

果について述べ、既存の制御系との比較により、提案した手法の有用性を示している。

第4章は結論であり、本研究全体を通して得られた成果をまとめ、今後の課題を述べている。

### 論文審査の結果の要旨

本論文は、化学工業生産の中心である化学反応器を対象として、非線形性を考慮に入れたPID制御系および非線形モデル予測制御系の設計方法およびそれらの工業的な応用についてまとめたものである。得られた主な成果は以下の通りである。

- 1) PID制御系の設計に関しては、周波数領域における設計手法を採用し、出力多重性を示す化学反応器の多様なダイナミクスに対処可能である設計法を提案した。安定な閉ループ系を構成するための十分条件を導き、PIDチューニングのガイドラインを示した。さらに、気相法ポリオレフィン重合反応器の温度制御系について、運転条件の変更による閉ループ系の不安定化現象の原因を解析し、その結果をもとに最少限の数値情報を用いてPIDパラメータを再チューニングする方法を提案した。
- 2) 非線形モデル予測制御系に関しては、逐次線形化手法を採用し、線形化されたプロセスモデルに対して入力を積分器で拡張したLQI制御を適用することにより、計算負荷の小さい実用性に優れた制御系が構成できることを示した。また、LQI制御の定式化において、評価関数を修正することにより、定常ゲイン行列が特異となる動作点を有する入力多重性を示す非線形系にも適用可能であることを示した。
- 3) 実機の応用として、セミ・バッチ式および連続式ポリオレフィン重合反応器への適用結果について述べ、既存の制御系との性能比較により、提案した手法の有用性を示した。

以上のように本論文は、非線形性を示す化学反応器に対するPID制御系および非線形モデル予測制御系の新しい設計方法を提案するとともに、それらの工業的応用を目指したものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成14年5月20日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。