



化学プラントにおけるプロセス制御の実用化に関する研究

花熊, 克友

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

1990-09-28

(Date of Publication)

2009-02-20

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

乙1455

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.11501/3057221>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D2001455>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



氏名・（本籍）	はな くま よし とも 花 熊 克 友	（兵庫県）
学位の種類	工 学 博 士	
学位記番号	工博ろ第44号	
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当	
学位授与の日付	平成2年9月28日	
学位論文題目	化学プラントにおけるプロセス制御の実用化に関する研究	

審 査 委 員	主査 教授	中 西 英 二		
	教授	片 岡 邦 夫	教授	池 田 雅 夫

論 文 内 容 の 要 旨

本研究の目的は、最新のプロセス制御技術を各種石油化学プラントに適用しながら、制御技術の研究開発、設計、運用を通じての検討結果を集大成し、プロセス制御技術の実用性を検証する事であり、以下の章から成る。

- 第1章 序論
- 第2章 時系列モデリング
- 第3章 モデル予測制御
- 第4章 繰り返し学習制御
- 第5章 ファジィ制御
- 第6章 オートチューニングコントローラ
- 第7章 プロセス異常診断
- 第8章 総括

第1章では、化学プロセス制御の既往研究の歴史と現状を整理し、実用化に関する数値実験や実験室規模での研究は数多くなされてはいるが、商用での研究は数少なく、実用化に際し数多くの問題が残されていることを述べ、本研究の目的と意義を明確化した。

第2章では、化学プロセス制御系設計のためのモデリングの問題を取り上げ、化学プロセスに適用されているモデリング手法の現状を整理し、現象論的モデリングとブラック・ボックス的モデリングの得失を述べた。その中で、ブラック・ボックス的モデリングである時系列モデリングでのむだ時間推定の難しさにふれ、このむだ時間を同時に処理できるむだ時間同時探索形逐次最尤推定法を提案し

た。さらに、非線形性の強い化学反応器のモデリングに現象論的モデルから簡略モデルに変換し、操業データからそのパラメータを推定する方法も提案した。これらをPC9801上で稼働できる時系列モデリング支援システムとしてまとめた。この支援システムをポリエチレン装置連続重合反応器の反応組成制御系、ポリスチレン装置バッチ重合反応器の反応温度制御系およびポリブテン装置連続重合反応器の反応温度制御系に適用し、その有効性を立証した。

第3章では、モデル予測制御を取り上げ、最短時間でかつ条件変更後すみやかに安定な制御が要求されていたポリエチレン装置連続重合反応器の銘柄変更制御に、プロセス同定機能を付加したDMC (Dynamic Matrix Control) 手法によるモデル予測制御方式を提案し、連続運転にてその有効性を立証した。特に実用性を考慮し、制御系のチューニングと自動制御モードに入れる際のパンプレス切り替え機能を単一のパラメータで行えるようにした。

第4章では、繰り返し学習制御系の欠点であった試行回数を商用の運転レベルまで減少できる初期値探索形繰り返し学習制御系を提案し、PPS (ポリフェニレンサルフィド) 実験設備バッチ重合反応器の反応温度制御系および光メモリディスク製造用射出成形機の型開き制御系での連続運転にてその有効性を立証した。

第5章では、フィードフォワード・フィードバック的経験知識を持ち、かつフィードフォワード制御則からの出力ゲインを調整できる自己調整付ファジィ制御系を提案し、数々のアドバンスト制御方式を適用したがうまくいかなかったエチレン装置脱メタン塔の塔底温度制御系でその有効性を立証した。

第6章では、制御状態でオートチューニングが可能な閉ループ形PIDオートチューニングコントローラを提案し、エチレン装置脱メタン塔の塔底温度制御系でその有効性を立証した。

第7章では、プロセス制御とプロセス異常診断の一体化の必要性を述べ、従来からオペレータが行っていたヒューリスティックな方法にヒントを得た予測警報方式、時系列データ解析法、警報一元化表示法ならびにエキスパート法によるプロセス異常診断法を提案し、実装置でその有効性を立証した。

第8章では、本研究の結果をまとめると共に、さらに実用的なものにするためには以下の課題があることを述べた。

- (1) 時系列モデリングに関する多変数プロセスの入出力変数の選択法、モデル次数の決定法やサンプル周期の選定法
- (2) モデル予測制御に関する強い干渉を持つ多変数プロセスへの拡張
- (3) 繰り返し学習制御に関する突発外乱への対応
- (4) ファジィ制御に関する断片的定性知識の整理法と制御則の設計
- (5) オートチューニングコントローラに関する負荷変動時などの非線形特性を考慮したプロセス同定法
- (6) プロセス異常診断に関する診断精度の向上とオペレータとの融合策

論文審査の結果の要旨

本論文は著者が過去10年にわたって行った化学プラントにおけるプロセス制御の実用化に関する研究成果をまとめたもので以下の8章から構成されている。

- 第1章 序論
- 第2章 時系列モデリング
- 第3章 モデル予測制御
- 第4章 繰り返し学習制御
- 第5章 ファジィ制御
- 第6章 オートチューニングコントローラ
- 第7章 プロセス異常診断
- 第8章 総括

第1章では、化学プロセス制御の研究の歴史と現状を整理し、化学プラントにおけるプロセス制御の実用化に関して、数値実験や実験室規模での研究は多くなされてきているが、商用プラントでの研究は少なく数多くの問題が残されていることを述べ、本研究の目的と意義を明確化した。

第2章では、化学プロセス制御系設計のためのモデリング手法の現状を整理し、現象論的モデリングとブラックボックス的モデリングの得失を検討した。そして、従来の時系列モデリング法の欠点であったむだ時間の同時探索を可能にするむだ時間同時探索形逐次最尤推定法を提案し、その有効性をポリエチレン連続重合反応器の組成制御系・ポリスチレン回分重合反応器の温度制御系、ポリプロピレン連続重合反応器の温度制御系に適用しその有効性を実証した。ここで提案されたモデリング手法の特長は次のように要約される。

1. モデルの構造を任意に選定することにより精度の高いモデリングができる。
2. 化学プロセス特有の長いむだ時間も同時に近似推定できる。
3. 化学反応に代表される非線形性の強いプロセスのモデリングもできる。
4. グラフィック表示とコマンド入力による対話型インターフェースを用いて、モデリング作業を効率よく進められる。

第3章では、最近化学プロセス制御で広く活用され出したモデル予測制御をとりあげ、プロセス同定機能を付加したDMC (Dynamic Matrix Control) 手法を提案し、その有効性をポリエチレン連続重合反応器の銘柄変更制御で実証した。これらの実装置での検証を通じて、ここで提案されたモデル予測制御は以下の特長を有していることが分かった。

1. むだ時間を持つプロセスへの適用が容易である。
2. 簡易な内部モデルで十分な制御性と高いロバスト性が達成できる。

3. 制御アルゴリズムが比較的簡単であるため、システム構築がパソコンレベルでも十分可能である。

第4章では、従来の繰り返し学習制御系では困難であった試行回数の低減について検討し、試行回数が商用の運転レベルまで低減できる初期耐探索形繰り返し学習制御系を提案し、ポリフェニレンサルファイド回分重合反応器の温度制御系及びディスク製造用射出成形機の型開き制御系でその実用性を立証した。この設計法の特長をまとめると以下ようになる。

1. 初回の運転実績からプロセスの動特性モデルを選定し、制御量を目標値に一致させるための次の操作量パターンをモデルの逆問題として求めることにより、制御量を目標値に一致させるまでのバッチ運転回数が実用レベルまで低減できる。

2. むだ時間の長いプロセスに対して予見操作量パターンが算出できるため、従来の学習制御系で見られる操作量の極端な立ち上がり現象によるプロセス変動が防止できる。

第5章では、フィードフォワード・フィードバック的経験知識を持ち、かつフィードフォワード制御則からの出力ゲインを調整できる自己調整機能付ファジィ制御系を提案し、これまでいろいろなアドバンスド制御方式を適用してもうまくいかなかったエチレンプラント脱メタン塔の塔底温度制御系でその有効性を実証した。この自己調整機能付ファジィ制御系の特長を要約すると次のようになる。

1. フィードフォワード・フィードバックファジィ制御系であることにより、現場オペレータにも分かりやすく知識獲得が容易となる。そのために制御系の設計が効率的に行える。

2. 制御則が従来オペレータが行っていた経験による手動運転に類似しているためオペレータに受け入れられ易い。

3. 反復パラメータ調整法を用いることにより、試運転時やプロセス動特性の変化時などの制御パラメータの調整が自動で行える。

第6章では、制御状態でオートチューニングが可能な閉ループ型PIDオートチューニングコントローラを提案し、エチレンプラント脱ブタン塔の塔底温度制御系でその有効性を実証した。しかし、連続運転時において装置の急激な負荷変動に伴い供給量が大きく変動したときなどには、プロセスの同定に時間がかかりPIDパラメータが収束しない場合がある。この原因はプロセスの非線形性によるものと考えられ今後に残された課題とした。

第7章では、プロセス制御とプロセス異常診断の一体化の必要性を述べ、従来からオペレータが行っていたヒューリスティックな方法にヒントを得た予測警報方式、時系列データの解析法、警報一元化表示法ならびにエキスパート法によるプロセス異常診断法を提案し、BTXプラントを対象とした実装置でその有効性を示した。しかしながら高い精度の異常診断システムを構築しようとするれば経済性が問題となり、また総合判断力ということになればまだまだ人間の力に及ぶ異常診断システムを作り出すことは難しい。基本的には異常診断システムは、オペレータの判断を支援するものと考えべき

で、結局、機械と人間の長をうまく融合させたシステムをいかに構築するかが今後の課題と結論した。

第8章では、本研究の結果をまとめると共に、プロセス制御の更なる実用化のためには次のような課題が解決されなければならないことを指摘した。

第2章：時系列モデリングに関する多変数プロセスの入出力変数の選択法、モデル次数の決定法及びサンプリング周期の選定法

第3章：強い干渉性を有する多変数プロセスへのモデル予測制御の適用性

第4章：突発外乱に対する繰り返し学習制御の対応性

第5章：ファジィ制御における断片的定性知識の整理法と制御則の設計法

第6章：オートチューニングコントローラの設計に際する負荷変動時などの非線形特性を考慮したプロセス同定法

第7章：プロセス異常診断における診断精度の向上とオペレータとの融合策

以上の内容について慎重に審査・討議した結果、本論文は数多くの化学プラントにおけるプロセス制御の実用化に関する研究結果をまとめたものであり、その成果の化学プロセス制御技術に寄与するところ大である。

よって本論文は学位審査に値するものと認める。また、学位の種類は工学博士が適当であると判断する。