

氏 名	お 小 河 守 正
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	論 工 博 第 3611 号
学位授与の日付	平 成 13 年 11 月 26 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	ポリオレフィンプラントの高度制御システムに関する実証的研究

論文調査委員 (主 査) 教 授 橋 本 伊 織 教 授 荒 木 光 彦 教 授 片 山 徹

論 文 内 容 の 要 旨

本研究は、ポリオレフィンプラントの高度制御システムを開発し、実用化したものである。本論文は、プロセス動特性モデル、制御アルゴリズム、実装調整の方法および得られた成果について、実証された技術を纏めたものである。高度制御システムが多くの PID 制御を土台に構成されるため、第 1 部で PID 制御システムの包括的な設計方法を提示している。第 2 部では、多品種のポリオレフィン製品を所定量だけ自動的に生産するための、高度制御システムについて詳述している。

【序論】

序論では、プロセス制御システムの設計を、実践者の視点から展望している。著者の現場経験に基づき、制御技法の適用状況などが整理され、本研究に至る背景とねらいが簡潔に述べられている。

【第 1 部：PID 制御システムの包括的設計方法】

第 1 部は全 7 章から構成される。プロセス動特性モデル、I-PD コントローラの PID 設定則、ロバスト PID 調整方法、均流液面制御、制御性能の評価と監視、さらにセンサー故障に対するフェイルセーフまで、PID 制御システムの包括的な設計方法が詳述されている。

第 1 章 PID コントローラの適用状況と課題では、PID コントローラの適用状況を調査し、チューニングを中心に課題を整理している。

第 2 章プロセス動特性モデルとモデリングでは、化学プロセスの代表的な 5 種類のモデル構造とパラメータ範囲が示されている。そして、“1 次遅れ+むだ時間”系として、その動特性が表現できるプロセスを対象に、システム同定により得られたモデルのパラメータ誤差を定量化する方法が示されている。さらに、無定位プロセスのシステム同定方法を与えている。

第 3 章 I-PD コントローラの操作量制約を考慮したロバスト PID 調整方法では、目標値変更に対して臨界制動応答を得る PID 設定則を導出し、ロバスト性を確保するための直感的な評価指標として最大操作量変化制約を導入し、ロバスト性を確保する方法を提案している。

第 4 章代表プロセスのロバスト PID 調整方法では、前述した 5 種類の代表プロセスに対する、PID 設定則とロバスト PID 調整方法を与えている。

第 5 章均流液面制御では、制御性能の評価指標を制御性と均流性の両面から定義し、この評価指標を満たすギャップ付 I-P コントローラのパラメータ決定アルゴリズムが与えられ、その有効性が実施例と共に示されている。

第 6 章 PID コントローラを用いた SISO システムの制御性能の評価と監視では、実用的な方法が多くの適用事例と共に示されている。

第 7 章センサー故障に自律的に安全を確保する PID コントローラでは、偶発的なセンサー故障に対して、コントローラが自律的にフェイルセーフを確保する方法を詳述している。センサー故障にコントローラが誤作動することを防止するために、センサー故障を自動検出し、コントローラを健全な状態に戻す方法が考案されている。

【第 2 部：ポリオレフィンプラントの高度制御システム】

第2部は全6章から成る。この高度制御システムは、スラリー重合高密度ポリエチレンプラントを主たる対象とし、重合反応条件から製品の品質と生産量を統合的に制御することを目標として開発されたものである。ここでは、適用範囲の広いプロセス動特性モデル、不安定システムである重合温度プロセスの制御、サンプル値制御による重合反応器気相の組成制御、生産量制御、品質の直接制御について、実施結果と共に詳述されている。

第1章ポリオレフィン製造プロセスと制御システムの機能では、ポリオレフィン製造プロセスとスラリー重合高密度ポリエチレンプラントについて概説し、制御システムの基本仕様をまとめている。

第2章プロセス動特性モデルでは、制御システム設計に用いるプロセス動特性モデルが導出されている。多様な銘柄の製品を変種変量生産するため、プロセスの動的挙動を的確に表現できるモデルが必要である。触媒の滞留時間分布と触媒活性、重合レート、モノマー分圧および水素分圧のモデルが、数値例と共に示されている。

第3章重合温度制御では、定常状態における感度解析から重合温度プロセスが不安定システムであることを明らかにし、プロセス動特性モデルに基づいたI-PDコントローラのPID設定則とロバストPID調整方法を示し、適用実績からその有効性を実証している。

第4章組成制御では、サンプル値制御を用いた重合反応器気相のH分圧とC₂H₄分圧の組成制御について詳述している。この制御システムは、目標値変更に対する速応性を重視したフィードフォワード制御と、2自由度フィードバック制御を組合せて実現している。

第5章重合レート制御では、生産量に相当する重合レートの制御について、2段重合反応における低分子量ポリマーと高分子量ポリマーの重合レート比率制御を対象として議論している。

第6章品質制御では、メルトインデックス制御について詳述している。まず、現象論モデルと物理モデルを組合せた品質モデルが導かれ、このモデルに基づく品質推定機構と制御アルゴリズムを与えている。最後に、適用結果を示し品質制御の有効性を明らかにしている。

【結論】

最後に結論では、本研究の成果と今後の研究課題が簡潔にまとめられている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、ポリオレフィンプラントの高度制御システムの実現を目指して実施された広範な研究開発の成果を纏めたものであり、特に、プロセス動特性モデル、制御アルゴリズムおよび実装調整方法に関して得られた新しい多くの知見を実プラントで検証し、それらを高度制御システム一般に適用可能な形の設計技術として提示したものである。その主な成果は以下の通りである。

1. 高度制御システムがPID制御を土台に構築されることに着目し、PID制御システムを実用化するための包括的な設計方法を提案している。そこでは、プロセス動特性モデルのパラメータ誤差の定量化方法、臨界制動応答を得るI-PDコントローラのパラメータ設定則、および操作量制約を考慮したロバストPID調整方法を、5種類の代表的なプロセスモデルについて示している。さらに応用として、均流液面制御の新しい設計方法を与えている。
2. PID制御システムが実稼動に耐えうるために必要な、制御性能の評価と監視システム、およびセンサー故障による誤動作を防止するフェイルセーフシステムを考案している。
3. 次に、ポリオレフィンプラントの高度制御システムを開発し、実用化している。これは、スラリー重合高密度ポリエチレンプラントを主たる対象とし、多種類の製品の品質と生産量を統合的に制御することを可能にする品質制御システムとなっている。具体的には、不安定システムである重合温度プロセスの制御、サンプル値制御による重合反応器気相組成の制御、生産量制御、および品質であるメルトインデックス（ポリマーの流動性を示す値）の直接制御から構成される。そこでは、解析的に導かれた適用範囲の広いプロセス動特性モデルに基づく制御アルゴリズムに、2自由度制御や有限整定応答法を適用するなど多くの工夫がなされている。

以上要するに、本論文はポリオレフィンプラントの高度制御システムを開発するとともに、その過程で、他の化学プロセスの制御にも活用できる多くの有益な知見を与えたもので、学術上および實際上、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13年9月25日に論文内容とそれに関する試問を行った結果，合格と認めた。