

氏 名	くろ おか たけ とし 黒 岡 武 俊
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	論 工 博 第 3674 号
学位授与の日付	平 成 14 年 5 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	蒸留プロセスの構造最適化と制御・監視システムに関する研究

論文調査委員	(主 査) 教 授 橋 本 伊 織	教 授 田 門 肇	教 授 大 嶋 正 裕
--------	----------------------	-----------	-------------

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、蒸留プロセスに対する構造の最適化、および制御・監視システムの改善に関する研究をまとめたものであって、10章からなっている。

第1章は序論であり、蒸留プロセスの発展の歴史および現状と課題をまとめ、本研究に至る背景と目的を述べている。

第2章から第5章を第Ⅰ部とし、バッチ蒸留塔のエネルギー効率を高めることを目的に、これまでほとんど考察されることがなかった、塔の最適構造について検討している。

第2章では、塔頂と塔底の両方から同時に低沸点、高沸点成分を抜き出す新しいタイプのバッチ蒸留塔（複合塔）の特性を考察している。この塔を、濃縮部型バッチ蒸留塔のリボイラーと回収部型バッチ蒸留塔のコンデンサーを組み合わせた構造とみなし、濃縮部型バッチ蒸留塔と回収部型バッチ蒸留塔のそれぞれの特性を考察することで、複合塔が通常のバッチ蒸留塔よりも有利となる分離条件を明らかにしている。

第3章では、一般の多成分系について、様々な構造のバッチ蒸留塔の中から最適なものを決定する方法について考察している。バッチ蒸留塔の基本構造として、2成分を分離する濃縮部型、回収部型、全還流型の3つの構造のバッチ蒸留塔の分離特性を明らかにし、これをもとに、分離に必要なエネルギー消費量の最小化という観点から多成分系の分離に対する最適な構造を決定している。

第4章では、エネルギー消費という点で、連続蒸留に大きく劣ると考えられてきたバッチ蒸留が、多重効用型バッチ蒸留システムという構造を用いることで、連続蒸留に比肩しうるエネルギー効率を持つことを明らかにしている。また、分離が難しい場合に、多重効用型バッチ蒸留システムが、連続蒸留よりも有利となる可能性が高いことを明らかにしている。

第5章では、多重効用型バッチ蒸留システムを全還流で運転する場合の実用上の問題点について考察している。還流槽の液レベル制御が理想通りにいかない場合を想定し、このような状況に対して、余分な中間槽を設置するが、塔内の液ホールドアップを大きめにすることで、外乱の抑制が可能であることを明らかにしている。

第6章から第9章を第Ⅱ部とし、連続蒸留塔の操作性を高めることを目的に、非線形制御手法の適用と新しい監視手法の提案を行っている。

第6章では、水/酢酸/n-酢酸ブチルの不均一系共沸蒸留塔のダイナミックシミュレータを開発している。物質収支、エンタルピー収支、気液液平衡、各段の液ホールドアップの動的挙動を考慮した厳密なモデルを構築し、系の持つ複雑な挙動を表現できるようにしている。また、気液液平衡のモデルをもとにした計算結果から、不均一系共沸蒸留塔が複雑な動的挙動を示す原因を確認している。

第7章では、水/メタノール系の蒸留塔の多変数制御に対して、非線形制御手法の代表的な一つである厳密入出力線形化を適用し、PI制御器からなる多重ループ制御系と比較して、良好な制御性能が得られることを示している。厳密入出力線形化の適用にあたっては、プロセス制御の特徴である、実プロセスと定量的に一致するモデルの作成が困難であるという点を考慮した工夫がなされている。

第8章では、非線形性の強い水/酢酸/n-酢酸ブチルの不均一系共沸蒸留塔の多変数制御に対して、厳密入出力線形化を適用し、PI制御器からなる多重ループ制御系と比較して、良好な制御性能が得られることを示している。

第9章では、プラント運転システム上に蓄積された履歴データをもとにしたプロセスの状態監視の一手法を提案している。この方法は、自己組織化マップと呼ばれる学習アルゴリズムを用い、指定した数の過去の正常データの典型的なパターンを生成させ、その正常パターンとの比較によって、プロセスの状態監視を行う。この中で監視変数の選択に利得比と呼ばれる指標を利用するなどの工夫がなされている。提案した手法を複雑な動的挙動を示す不均一系共沸蒸留塔に適用し、提案手法が有効であることを示している。

第10章は結論であり、本論文で得られた結果について要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、蒸留プロセスの構造および制御・監視システムに対する改善手段を検討した結果をまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. バッチ蒸留は、分離条件の変動に柔軟に対応可能という長所を持つ反面、連続蒸留に比べてエネルギー効率の劣るプロセスとみなされてきた。本論文では、バッチ蒸留の構造を見直し、塔中央部に中間槽を設けた新しい構造を考えることで、バッチ蒸留のエネルギー効率を大幅に改善できることを明らかにしている。中間槽を持つバッチ蒸留塔の特性解析を行った上で、最適なバッチ蒸留塔の構造を決定し、分離の難しい条件下において、連続蒸留に比肩するエネルギー効率を発揮することを明らかにしている。また実用面における外乱を考慮し、これを抑制する方法を検討している。

2. 連続蒸留塔に対して、原料の状態や製品要求の変動に柔軟に対応させることを目的に、非線形制御手法の適用を検討している。水/メタノール系の蒸留塔および非線形性の強い水/酢酸/酢酸ブチルの不均一系共沸蒸留塔の多変数制御に対して、非線形制御手法の代表的な一つである厳密入出力線形化を適用し、良好な制御性能が得られることを示している。厳密入出力線形化の適用にあたっては、プロセス制御の特徴である、実プロセスと定量的に一致するモデルの作成が困難であるという点を考慮した工夫がなされている。

3. 複雑な動的挙動を示す不均一系共沸蒸留塔を対象に、プラント運転システム上に蓄積されたプロセス変数値の履歴データをもとにした、プロセス状態の監視手法を提案している。この方法は、自己組織化マップと呼ばれる学習アルゴリズムを用い、指定した数の過去の正常データの典型的なパターンを生成させ、その正常パターンとの比較によって、プロセスの状態監視を行う。この中で監視変数の選択に利得比と呼ばれる指標を利用するなどの工夫がなされている。

以上要するに本論文は、バッチ蒸留に対して省エネルギー型の新しい構造を開発し、また連続蒸留に対して、分離条件の変動に柔軟に対応できるよう、非線形制御手法の適用とプロセス状態の監視手法の開発を行ったもので、産業界における蒸留プロセスの改善に有効な多くの知見を与えるものとなっており、学術上および実用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4月22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。