

氏 名	加 納 学 <sup>まなぶ</sup>
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	論 工 博 第 3409 号
学位授与の日付	平 成 11 年 1 月 25 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	化学プロセスにおける状態量の推定と制御

(主査)

論文調査委員 教授 橋本伊織 教授 片山 徹 教授 荒木光彦

## 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、化学プロセスを対象とした運転管理システムを実現するために必要な技術として、プロセス状態量の推定と制御に着目し、実用的な推定システムと制御アルゴリズムの開発を目的として研究を行い、その成果を取りまとめたものであり、6章から構成されている。

第1章は序論であり、化学プロセスにおける運転の高度化を実現するために解決しなければならない制御システム設計上の問題点を整理すると共に、推定制御とモデル予測制御について過去の研究を概観し、本研究の位置づけを明確にしている。

第2章では、線形回帰手法を適用する際に注意を要する多重共線性の問題を指摘すると共に、この問題を回避できる線形回帰手法について解説している。

第3章では、ナフサ分解炉反応管外壁温度推定システムを開発した。ナフサ分解炉を対象として、デコーキング開始時期の適切な決定に必要な反応管外壁(スキン)温度を推定するために、1)物理モデルの構築、2)物理モデルでは表現しきれないスキン温度の挙動(推定誤差)を表現するための統計モデルの構築、という2段階からなるモデリング手法を提案した。

物理モデルの構築に際しては、コーク成長速度モデルと伝熱モデルとからなる簡易モデルを導出した。しかし、運転状態が大きく変化する場合には、スキン温度の変化を物理モデルだけでは表現しきれないことが確認されたため、物理モデルによる推定値を補正する目的で、オンライン測定可能なプロセス変数を入力変数とする統計モデルを構築した。さらに、構築した推定モデルを実操業データに適用し、その有効性を確認した。

第4章では、多成分蒸留塔の製品組成をオンライン測定可能なプロセス変数から推定できる組成推定モデルを、PLSを利用して構築した。組成推定モデルの構築と評価を行った結果、今回対象とした蒸留塔については、還流量、リボイラー熱負荷、リボイラー圧力を入力変数として利用することにより、塔内温度測定段数を合計5段程度としても、十分に高い精度で製品組成を推定できることを明らかにした。さらに、定常状態モデル、静的モデル、動的モデルの3種類の組成推定モデルを比較し、動的モデルの利用によって推定精度を大幅に改善できることを示した。

構築した動的PLSモデルに基づいて計算される製品組成推定値を制御量として利用する製品組成推定制御について検討した。単純な組成推定制御系を採用した場合、組成制御を強くすると推定精度が低下してしまうという状況が発生したため、期待に反して塔内温度制御よりも制御性能を改善することはできなかった。この原因は、温度制御下で得られたモデル構築用データが組成推定制御下での運転状態を十分に代表していなかったことにある。そこで、製品組成をフィードバック制御すると同時に、原料外乱および塔他端における操作が製品組成に与える影響をフィードフォワード的に補償するために、塔内温度制御と製品組成制御を併用したカスケード制御系が有効であることを示した。

第5章では、安定プロセスおよび積分要素を有するプロセスに対して、2型の制御系を実現できるモデル予測制御アルゴリズムを提案した。提案したアルゴリズムでは、予測式中に予測フィルタを導入することによって、プロセスとモデルとの

出力の差に適切な動特性を持たせ、モデル予測制御の枠組みの中で内部モデル原理を実現することに成功した。予測フィルタと併せて、安定プロセスに対しては、制御区間を越える未来の操作量の傾きを一定とするように、アルゴリズムの改良を行った。

2型の制御系を実現するために、制御系および予測フィルタが満たすべき必要十分条件を導出した。さらに、導出した必要十分条件に基づいて、予測フィルタを実際に設計した。提案する2型モデル予測制御アルゴリズムを用いて数多くのシミュレーションを行い、その有効性を確認した。

第6章は総論であり、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、化学プロセスを対象とした運転管理システムを実現するために必要な技術として、プロセス状態量の推定と制御に着目し、実用的な推定システムと制御アルゴリズムの開発を目的として研究を行い、その成果を取りまとめたものである。具体的には、1) ナフサ分解炉反応管外壁温度推定システム、2) 多成分蒸留塔製品組成推定制御システム、3) 2型モデル予測制御アルゴリズムの開発が行われた。得られた主な成果は以下の通りである。

1) ナフサ分解炉の反応管外壁温度を推定するために、物理モデルと統計モデルとを統合することによって、広範な運転状態に適用可能な推定システムを構築した。さらに、開発した推定システムを実操業データに適用し、その有効性を示した。

2) 多成分蒸留塔を対象に、オンライン測定可能なプロセス変数から製品組成を推定できる動的PLS (Partial Least Squares) モデルを構築した。さらに、構築した推定モデルに基づく組成推定制御系の設計方法について検討し、塔内温度制御と組成推定制御とを組み合わせたカスケード制御系の有用性を示した。

3) 安定プロセスおよび積分要素を有するプロセスを対象として、ランプ状の設定値変更や外乱に対して定常偏差の残らない2型モデル予測制御アルゴリズムを開発し、その有効性をシミュレーションによって示した。

以上のように本論文は、多変量解析手法を利用した推定モデルの構築方法および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、それらの化学プロセスへの実用化を目指したものであり、学術上、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10年12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。