

氏 名	え もと げん いち 江 本 源 一
学位(専攻分野)	博 士 (情 報 学)
学位記番号	情 博 第 255 号
学位授与の日付	平 成 19 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	情 報 学 研 究 科 数 理 工 学 専 攻
学位論文題目	リアルタイムプロセス最適化技術の高度化に関する研究

論文調査委員 (主査) 教授 福嶋 雅夫 教授 酒井 英昭 教授 長谷部 伸治

### 論 文 内 容 の 要 旨

多大なエネルギーを消費する化学、石油精製などのプロセス産業において、省エネルギーを追求していくことはコスト競争力の維持、CO<sub>2</sub>削減の観点から最重要な課題の一つである。近年、省エネルギー実現の手段としてリアルタイム最適化の適用が大規模プラントを中心に急速に進んできたが、現在のリアルタイム最適化は、いくつかの限定された問題に対しては十分に実用化が達成されていると考えられるものの、適用範囲は大規模な石油精製プラント、石油化学プラントのごく一部であり、手付かずに残されている課題は少なくない。本論文は、現状のリアルタイムプロセス最適化技術のいくつかの課題をとりあげ、その解決方法を示したものであり、全6章から成っている。

第1章は序論であり、本論文の主題であるリアルタイムプロセス最適化の考え方と研究の背景、目的および課題を述べるとともに、論文全体の構成を示している。

第2章は、時間とともに特性が変化するプロセスをモデル化した時系列最適化問題に対して、問題の時系列構造を利用することにより、各運転時刻単位の小規模な問題に分解して解く新しい逐次2次計画法のアルゴリズムを提案している。また、提案したアルゴリズムを、ボイラーの汚れのために熱交換効率が劣化するボイラー運転最適化問題に対して適用し、その有効性を検証している。

第3章は、前章と同様、時間と共に特性が変化するプロセスをモデル化した時系列最適化問題を取り扱っている。本章では、問題の時系列構造から導かれるブロック構造を利用することにより、逐次2次計画法と並ぶ代表的な非線形計画法の手法である主双対内点法を並列化したアルゴリズムを提案している。また、提案したアルゴリズムを、触媒の活性が時間と共に劣化する反応器の運転最適化システムに実装し、その有効性を検証している。

第4章は、発電プラントにおけるタービンの負荷配分最適化問題を取り扱っている。タービンは一般に非凸で微分不可能な効率特性を持つことから、その取り扱いが難しく、リアルタイムでの大域的最適化の必要性が高い対象である。本章では、大域的最適化手法の一つであるリブシツ最適化法に対して、問題の特徴を利用して改良を加えたアルゴリズムを提案している。さらに、計算実験を行い、提案したアルゴリズムが汎用的な大域的最適化手法に比べて優れていることを示している。

第5章は、リアルタイムプロセス最適化システムにおいて、運転データから推定されたモデル係数や定数に含まれる誤差を考慮した最適化モデルを考察している。具体的には、モデル化誤差を伴う最適化問題を2レベル数理計画問題として定式化し、次にその問題を、相補性制約条件をもつ数理計画問題として再定式化することを提案している。さらに、この問題が正則化法と有効制約法を組み合わせ合わせたハイブリッド型のアルゴリズムを用いて実用的な時間で解けることを確認している。

第6章は結論であり、本論文のまとめと今後の展望を述べている。

### 論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文は、化学、石油精製などのプロセス産業における最重要課題の一つである省エネルギーの推進にあたって重要な

役割を果たすリアルタイム・プラント運転最適化問題を解くためのアルゴリズムを開発するとともに、具体的な問題に対して提案手法を適用することによりそれらの有効性を確かめたものであり、得られた成果は以下のとおりである。

1. 現在実用化されているリアルタイム最適化のほとんどは現時点のみを考慮したスナップショットの最適化である。しかしながら現実のプロセスでは、運転に伴って触媒の活性が劣化する反応器やボイラーの汚れのために熱交換効率が低下する自家発電プラントなど、時間とともにプロセスの特性が変化するものが少なくない。本論文では、時間とともに変化するパラメータを含むプロセスに対して、全運転期間でのコストを最小化する最適化問題を定式化したうえで、問題の構造を巧みに利用することにより、逐次2次計画法に基づく分解アルゴリズムおよび内点法に基づく並列アルゴリズムを提案するとともに、現実的な問題に適用して提案手法の有効性を検証した。

2. 発電プラントにおいて、タービンへの負荷配分最適化は最も大きな効果が期待されるが、タービンは一般に非凸で微分不可能な効率特性を持つため、その取り扱いが極めて困難である。そのようなシステムに対して、リアルタイムで大域的最適化を行うことができる手法を開発することは現実には大きな価値がある。本論文では、問題の特性を有効に利用したリブシット最適化に基づく分枝限定法のアルゴリズムを提案し、現実的なモデルに対して計算実験を行うことにより、提案手法が汎用的な大域的最適化手法に比べて優位性があることを確認した。

3. リアルタイム最適化システムの導入によって得られる効果は対象となるプラントの規模、特性などにより大きく異なるので、合理的にシステム化の可否を判断する事前調査（概念設計）が必要となる。そこでは運転データをもとにした統計モデルを採用することが多いが、一般に統計モデルは誤差を有するのでモデル化誤差を考慮した最適化手法の適用が必要である。本論文では、そのようなモデル化誤差を伴う最適化問題を、相補性制約条件をもつ数理計画問題に再定式化して解く方法を提案し、具体的な発電設備の運転最適化問題に対する計算実験により提案手法の有効性を検証した。

以上のように、本論文は現実の様々なリアルタイムプロセス最適化問題に対する新しい手法を提案し、それらの実用性を確認したものであり、得られた成果は学術上および応用上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（情報学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成19年1月16日実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認められた。