

石油化学プラントにおける最適化技術の適用

三菱化学（株）科学技術研究センター 藤田 薫

1. はじめに

大規模な石油化学プラントでは、蒸気や電気などのユーティリティーや原料が大量に使用され、反応、蒸留などの単位操作をもとに多様な製品を製造する多数のプラントで構成されている。

環境保護の観点から効率的な運転を行い、諸経済情勢を反映した適切な生産・物流計画を立案することがますます重要となってきた。

本稿では、三菱化学（株）水島事業所における石油化学部門を対象とした生産・物流への最適化技術の適用事例について紹介する。

2. 石油化学プラントにおける最適化適用事例

2.1 全体概要

当社石油化学プラントにおける最適化の概念図を図1に示す。

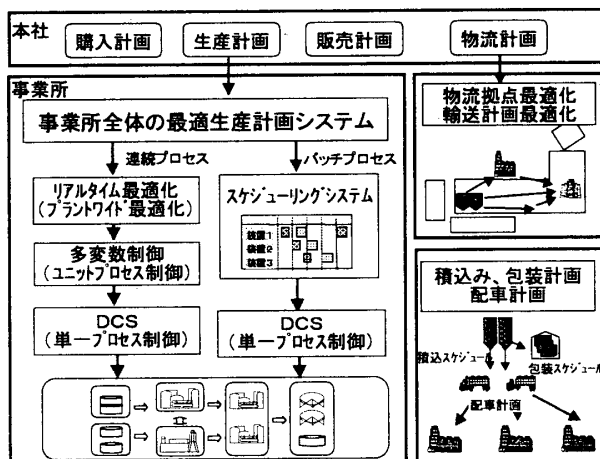


図1. 石油化学プラントにおける最適化

プロセス制御として、プラントの状態量を秒単位で取込み PID 制御を基本とした自動制御が DCS (分散型制御システム) において行われる。連続プラントにおいては、ユニットプロセス安定化のための多変数制御、およびプラントワイドに利益を最大化するリアルタイム最適化制御が適用されている。バッチプラントなど銘柄切換えのあるプロセスでは、生産のスケジューリングが実施されている。本社と連携した生産計画システムが構築され、事業所全体の生産バランス最適化が実施されている。また、物流の分野においては、日々の

出荷計画だけでなく、戦略、計画レベルの物流拠点配置、輸送計画の最適化を支援するシステムが構築されている。

次節より、プラント運転、生産計画、物流計画の最適化について述べる。

2.2 プラント運転の最適化

プラント運転の最適化の事例として、1997 年より運用している発電プラントのリアルタイム最適化について述べる。対象としたプラントは、ボイラー3缶、蒸気タービン6基を有し、事業所内の各プラントに電気、蒸気を供給している。また、エチレンプラントにも圧縮機駆動用の蒸気タービンが2基存在するので、これらも併せて最適化の対象とした。図2にその蒸気系統図を示す。

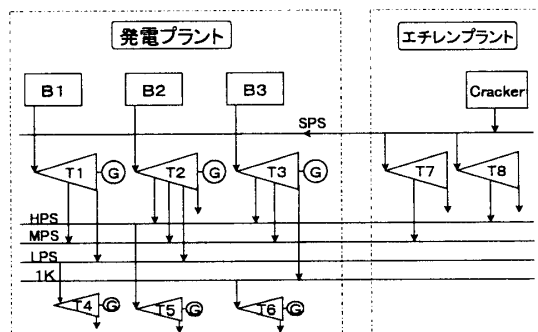


図2. 蒸気系統図

本最適化システムでは、制約条件(2)を満たす範囲で目的関数(1)を最小化する問題に定式化し、非線形計画法の代表的手法である逐次2次計画法(SQP)にて最適解を求めている。

$$\text{Minimize } f(z) \quad \dots (1)$$

$$\text{Subject to } h(z)=0, \quad z^L \leq z \leq z^U \quad \dots (2)$$

目的関数は、主としてボイラーの燃料コストからなる発電プラント全体の運転コストを表現している。発電プラントのボイラー、タービンなどの特性は、物質収支、熱収支などの厳密な非線形の物理モデルで表され、(2)式の等式制約の形で表現される。等式制約式の数約 10,000 である。^[1]

本システムにより、蒸気、電気の需要変化に対応して、ボイラー、タービンの負荷配分の最適化が約 10 分周期で行われ、下位の変数制御システムと協調し、最適解を目標値として与えることで

大幅な省エネを実現している。

2. 3 生産計画の最適化

石油化学プラントにおいては、多数のプラントが複雑に組み合わせられ、留分やエネルギーの授受が行われているため、適切な生産管理が不可欠である。今回、原料、燃料、ユーティリティ、および製品バランスを最適化し事業所全体として利益を最大化するための生産計画最適化システムを構築し、1998年より運用している。

本システムは、年間および月間の生産計画策定に利用されているのに加え、最適生産バランスを各プラントに日々提供している。また、ユーティリティ供給制約時などの突発時の生産対応、プラント新增設ケーススタディーなど意思決定支援としての機能も重視し開発した。

生産管理上、非線形特性を無視できない場合があるため、生産量に応じて非線形の生産特性を区分的に線形化してモデル化している。また、プラントやタービンの起動/停止の判断も最適化の対象とするため、混合整数型線形計画問題(MILP)として定式化している。大規模最適化問題を効率的に解くために、モデルの定式化や解法に工夫を加えたところ、モデルの規模は1年間(365日間)の生産計画問題で、式の数で約780,000、整数(0-1)変数の数で約2,800となりCPU 450MHzのパソコンで約1時間と実用的な時間で最適解を得ることができるようになった。^[2]

本システムにおいては、原料、製品バランスなどの入出力関係は、パソコンのWindowsベースのGUIで定義することができ、各プラントの生産特性を表現する関係式は、ネットワークを介して各製造課のパソコンから設定することができる。

2. 4 物流計画の最適化

製品の出荷計画として、サイロからローリーへのバルク品の積み込みスケジューリング、サイロから取り出される製品の包装スケジューリング、および配車計画などがあり、これらの業務を支援するシステムを開発し1999年より運用している。^[3]

ローリーの配車計画においては、品質管理の観点から前荷、後荷の製品グレードの組合せでの洗浄の度合いや禁止の条件、車両の運行状況などの全ての制約を考慮し、日々受注されるオーダーに対して車両を効率的に迅速に割り付けている。

これらの問題は、制約を満たし、かつコスト最小となるように整数計画問題として定式化されている。本システムは、CPU 700MHzのパソコンで、約1分で最適解を導出することが可能であり、

日々の物流業務に活用されている。

一方、戦略、計画レベルの問題として、物流ネットワークの設計、および輸送計画問題などが存在する。このような問題に取り組むために、当社では、三菱化学物流(株)と共同で、物流最適化システムを開発した。

物流ネットワークの設計問題においては、図3に示す通り、輸送費、保管費、荷役費の総コストが最小となるように、数理計画法を用いてストックポイントなどの物流拠点配置を最適化している。

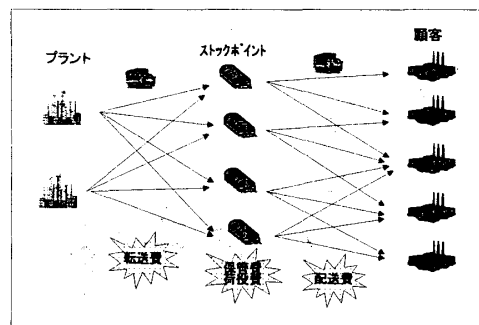


図3. 物流ネットワークの設計

また、輸送計画問題においては、トラック、ローリー、鉄道などの輸送手段、および輸送経路を最適化している。

本システムには、拠点間の距離を算出したり地理情報を可視化するための地理情報システム、各種輸送モードに対応する輸送コスト計算を行うための各種料金テーブルを組込んでいるため、効率的かつ高度な物流合理化検討が可能となった。

3. おわりに

サプライチェーンマネジメントの必要性が叫ばれている中、石油化学のようなプロセス産業の生産・物流分野において、数理計画法などの最適化技術を有効に活用することができた。

今後は、より幅広く顧客と連携したサプライチェーンの最適化、コンビナート各社との有機的連携など新しいビジネスモデルの構築に最適化技術を適用すべく取り組んでいきたい。

参考文献

- [1] 藤田, 江本, 竹下, 津田, 小野寺, 中川: 石油化学工場における発電プラントのエネルギー最適化制御, 計装, 43-5, pp. 34-37(2000)
- [2] 竹下, 朝倉, M. Turkay, 藤田: 大規模石油化学工場における生産計画最適化システム 2000 年度日本オペレーション・リサーチ学会秋季研究発表会, pp. 216-217(2000)
- [3] 佐中, 西森, 黒田, R. Raman, 藤田: 製品サイロ出荷スケジュール最適化 2000 年度日本オペレーション・リサーチ学会秋季研究発表会, pp. 98-99(2000)