

大規模石油化学工場における生産計画最適化システム

三菱化学（株）水島事業所技術開発センター
三菱化学（株）水島事業所技術開発センター
三菱化学（株）水島事業所技術開発センター
三菱化学（株）水島事業所技術開発センター

*竹下聡彦 TAKESHITA Toshihiko
朝倉立行 ASAKURA Tatsuyuki
メイトゥルカイ METIN Turkey
藤田薫 FUJITA Kaoru

1. はじめに

一般に石油化学工場は原料から最終製品の製造まで互に関連する数多くのプラントの組合せから構成される。従来から工場生産計画は線形計画問題(LP)として定式化され広く適用されている。しかし従来のLPでは非線形なプラントの生産特性や、プラントの稼働/停止を含めた生産計画の計算はできなかった。

本報告ではプラントの非線形特性、プラントの稼働/停止を考慮して図1に示す石油化学工場生産計画最適化問題を混合整数型線形計画問題(MILP)として解いた方法について説明する。また従来はヒューリスティックな方法でしか策定されなかったプラント定期修理スケジュールについても混合整数型線形計画問題(MILP)とし最適なスケジュールを計算した方法についても説明する。

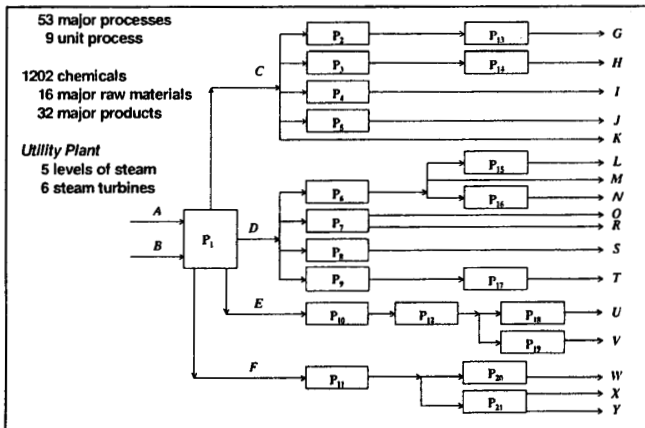


図1 石油化学工場のモデル

2. 生産計画最適化

石油化学プラントは反応、蒸留など様々な工程から構成されておりその生産特性は非線形特性を無視できない場合がある。本システムではこの非線形特性を考慮するため、生産特性を生産量に応じて区割りし、各区分毎に直線で近似することにより生産特性全体を折線で表現している。この考えの元に日々の1年間(365日)の生産計画をその

まま混合整数型線形計画問題(MILP)として定式化すると問題の規模は膨大となり、解を得ることは実用上不可能である。そこで解の最適性を失わずに実用範囲内の計算時間で解を得るために図2に示すように元の問題をLP部分問題に分割し0-1変数の数を削減して解く方法を開発した。この方法はLP部分問題において予め各折線中の選択する直線を仮定してLPとして解き、計算結果のプラントの生産量が仮定した直線の対象区分に入っているプラントについては以降もその直線を選択し、そうでないものについては、選択する直線を変えて再度LP問題として解く。以上の操作を複数回繰り返した後、選択する直線が決定されていない折線についてのみ0-1整数変数を導入してMILP問題として解く。ここで0-1変数を用いた折線の定式化にはconvex-hull理論を用いた。

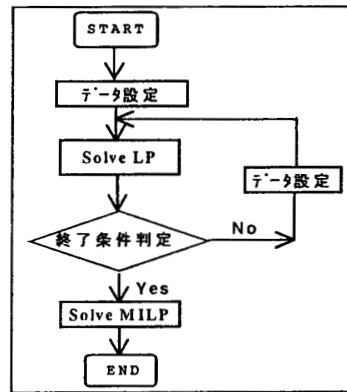


図2 LP分割アルゴリズム

一連の折線選択の手順を図3に示す。またこの他にも折線の形を分類して折線がconvex型の場合は0-1整数変数を導入せずに定式化を実施することにより0-1整数変数の数を削減した。

今回開発した生産計画最適化システムは、複雑に関連するプラント間のバランスを満足し、なおかつ在庫も考慮した上で、生産量が与えられた場合に目的関数である(購入原料コスト+購入燃料コスト-製品販売コスト)を最小化する工場全体の最適化計算、および生産量をフリーとした場合の利益最大化計算を実施することを目的としている。

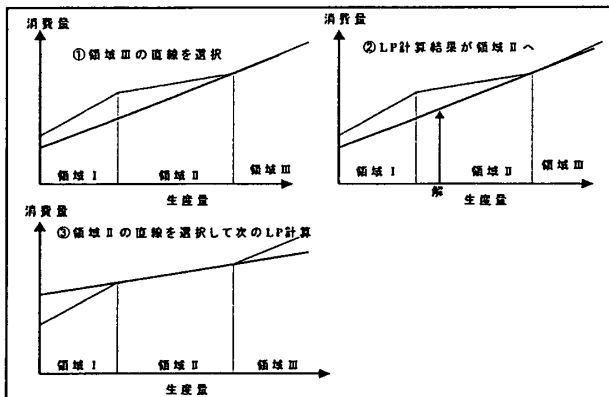


図3 各LP計算における折線選択方法

またこの生産計画システムはプラントの稼働/停止をも最適化する機能を有している。この機能により例えば原料調達量に制限がかかった場合、プラントの生産量を下限まで下げるかあるいは、停止操作中のオフ品発生などによるロスも考慮しても停止させてしまった方が良いかなどの判断が定量的に可能となった。

以上述べた方法によりモデルの規模は1年間(365日間)の生産計画問題で式の数約78万式、0-1変数の数約2800個にまで削減でき、計算時間はCPU:450MhzのPC(1GBメモリ)を利用して4時間程度と充分実用可能な範囲で解を得ることが可能となった。

またこのシステムはプラント新設、廃棄をした場合など様々なケーススタディーにも利用されている。

3. 定期修理スケジュール最適化

通常プラントは法令等により一定期間連続運転後は運転を停止して各機器の点検修理(プラントの定期修理と呼ぶ)を行う必要がある。一般に停止期間はプラント毎に異なるため、定期修理期間中は相互に関連しているプラント群の内、停止中のプラントと、稼働中のプラントが混在することとなる。そのため原料/製品バランスを取ることが困難である。また定期修理が集中すると要員コストが増加することがある。そこで定期修理スケジュール最適化は原料/製品バランスを満足する生産計画最適化と同時に工事要員コストを最小化する問題として定式化した。

定期修理スケジュールは前回の法定検査の有効期間等から各プラント毎に決められる定期修理実施可能な期間の中で定期修理開始日を決定することとなる。

定期修理スケジュール最適化は次のような0-1

$Y_{p,dy}$	1 プラントが定期修理の時 0 プラントが稼働中の時
$YF_{p,dy}$	1 定期修理の初日 0 その他

変数を導入することにより(1)~(5)式のように定式化される。ここでpはプラントをdyは日付を表す。

$$YF_{p,dy} - Y_{p,dy} + Y_{p,dy-1} \geq 0 \quad \forall p, dy \quad (1)$$

$$\sum_{dy_{first}}^{dy_{last}} YF_{p,dy} = 1 \quad \forall p \quad (2)$$

$$\sum_{dy_{first}}^{dy_{last}} Y_{p,dy} = MT_p \quad \forall p \quad (3)$$

$$YF_{p,dy} - YF_{p',dy} = 0 \quad \forall p, dy \quad (4)$$

$$YF_{p,dy} - YF_{p',dy} \leq 0 \quad \forall p, dy \quad (5)$$

(1)、(2)ではプラント定期修理中はプラントが連続して停止することを表し、(3)式は定期修理期間の長さを表し、(4)、(5)式は関連するプラント間で定期修理開始日の関係がある場合の式である。プラントが停止しているかどうかを示す0-1変数 $Y_{p,dy}$ は生産計画最適化問題のバランス式に導入されバランス式の定式化に利用される。

上述の式にプラント毎に必要な工事要員の制約式等を加えて4ヶ月間の定期修理スケジュール最適化問題は式の数約40万式、0-1変数の数約2000個のMILPモデルとなった。計算時間はCPU:450MhzのPC(1GBメモリ)を利用して2時間程度で充分実用可能である。

4. 終わりに

ここで説明した生産計画最適化および定期修理スケジュール最適化システムは当社水島事業所で運用しているが今後は、全社的な生産計画の効率的な運用あるいは地域コンビナートの最適化などに発展させていきたい。

参考文献

[1] M. Turkay and T. Asakura and Y. Natori :
"Total site optimization of petrochemical complex" AIChE Annual meeting 1998

[2] M. Turkay and I. E. Grossmann :
"Disjunctive programming Techniques for the optimization of process systems with discontinuous investment costs-multiple size regions" Ind. Eng. Chem. Res 1996, 35, 2611-2623