

原油タンクスケジューリングへの適用

— 数値計画手法による定式化 —

01107933 富士通株式会社 草刈 君子 KUSAKARI Kimiko
富士通株式会社 宮崎 知明 MIYAZAKI Tomoaki
01011280 富士石油株式会社 池ノ上 晋 IKENOUE Susumu

1. はじめに

石油業界を巡る環境の変化に対応して、今後更に速く正確な生産計画作業が要求される。その中で製油所における原油タンクスケジューリングが重要である。原油タンカーの入港スケジュールが確定した後も、原油タンカーが運搬した原油を複数の原油タンクのどれに揚荷するか、揚荷計画と、複数の原油タンクから複数の常圧蒸留装置に通油するか、通油計画が必要となる。原油タンクスケジューリング問題を現実の設備に即したサイズで数値計画法の混合整数計画問題として定式化し数値実験を行った事例は少ない。この問題を対象とし、定式化と数値実験を行い、数値計画法システム適用の可能性を確認することとした。本稿では定式化について述べる。

2. 対象問題の要件整理

計画立案での要件を次の5種類に分類した。
前提条件: 生産/出荷方針と原油タンカーの入港スケジュールは確定情報とする。原油タンカー搬入量は入港日中に原油タンクに揚荷する。月間の原油処理量は与えられた数値を守る。対象期間は1カ月とし、最短注目単位は1日単位とする。
運転条件: 原油の性状と切替え発生回数を指針とし、原油性状については期初の原油の原油グループの中でのコンタミネーションのみを認めることで対応し、切替え回数についてはペナルティとして対応した。
設備データ: 装置の接続、停止情報、装置が処理できる原油の組み合わせは事前情報とする。各原油タンクの在庫バランス、常圧蒸留装置の流入量バランスは事前情報とする。
原油性状データ: 原油を原油グループに分類し、その分類の中でのみ組み合わせを考慮する。
計画結果指標値: 原油タンクスケジューリングは、連産品生産の一部分であるため、運転コストを取り出すことが難しい。今回は、運転の円滑さを指標とした。

3. 変数定義

原油タンカーを f 、原油タンクを t 、日程を d 、原油グループを g 、原油揚荷用バースを s 、常圧蒸留装置を p の各添字で示す。なお、 $d=0$ で期初状態を示すこととする。

UF_{tdgs} : 揚荷中を1、非揚荷中を0で示す整数変数。
 UV_{tdgs} : 揚荷量を示す1以上の実数変数。
 CF_{tdgp} : 通油中を1、非通油中を0で示す整数変数。
 CV_{tdgp} : 通油量を示す1以上の実数変数。
 I_{td} : 在庫量を示す実数変数。
 K_{tdg} : 通油切り替えが発生すると1を取り、発生しないと0を取る整数変数。
 CON_{tdg} : 非通油中から通油中に状態変化が発生すると1を取り、発生しないと0を取る整数変数。
 $COFF_{tdg}$: 通油中から非通油中に状態変化が発生すると1を取り、発生しないと0を取る整数変数。

4. 定数定義

$PMIN_p$: 蒸留常圧装置 p の処理能力の最小値
 $PMAX_p$: 蒸留常圧装置 p の処理能力の最大値
 $TMIN_t$: 原油タンク t の最小在庫量
 $TMAX_t$: 原油タンク t の最大在庫量
 SZ_t : 原油タンク t の期初在庫量
 SG_t : 原油タンク t の期初在庫原油グループ
 T_{rdg} : 原油タンカー f が日付 d に搬入した原油グループ g の搬入量
 $GMIN_g$: 原油グループ g の目標下限
 $GMAX_g$: 原油グループ g の目標上限
 REQ : 原油処理目標値
 $BigM$: ビックM

5. 制約式定義

原油タンク毎にある日に揚荷対象とする原油揚荷用バースの個数及び原油は多くても一個であり、通油対象とする常圧蒸留装置の個数及び原油は多くても一個である。揚荷と通油の両方が同時に発生することはない。

$$\sum_g (\sum_s UF_{tdgs} + \sum_p CF_{tdgp}) \leq 1, \text{ for } \forall t, \forall d$$

原油タンカーが運んできた原油は原油タンカー入港日に各原油タンクを揚荷する。

$$\sum_s UV_{tdgs} = T_{rdg}, \text{ for } \forall f, \forall d, \forall g, \forall s, \forall t$$

揚荷したかどうかを表現するためのフラグと、揚荷した量を示す変数の動きを揃える。

$$UF_{tdgs} \leq UV_{tdgs}, \text{ for } \forall t, \forall d, \forall g, \forall s$$

$$BigM \cdot UF_{tdgs} \geq UV_{tdgs}, \text{ for } \forall t, \forall d, \forall g, \forall s$$

各原油タンクから常圧蒸留装置へ処理する量については上限値と下限値で抑える。

$$PMIN_p \leq \sum_t \sum_g CV_{tdgp} \leq PMAX_p \text{ for } \forall d=1, \dots, 31, \forall p$$

常圧蒸留装置へ通油できる原油タンクの個数は常に一個である。

$$\sum_t \sum_g CF_{tdgp} = 1, \text{ for } \forall d, \forall p$$

通油したかどうかを表現するためのフラグと、通油した量を示す変数の動きを揃える。

$$CF_{tdgp} \leq CV_{tdgp} \text{ for } \forall t, \forall d, \forall g, \forall p$$

$$BigM \cdot CF_{tdgp} \geq CV_{tdgp} \text{ for } \forall t, \forall d, \forall g, \forall p$$

原油タンクの毎日の在庫は前日の在庫を基にして算出できる。

$$Z_{td} = Z_{t(d-1)} + \sum_g (\sum_s UV_{tdgs} - \sum_p CV_{tdgp}),$$

$$\text{for } \forall t, \forall d = 1, \dots, 31$$

$$Z_{td} = SZ_t, \text{ for } \forall t, d=0$$

原油タンクの在庫量は在庫可能範囲を守る。

$$TMIN_t \leq Z_{td} \leq TMAX_t, \text{ for } \forall t, \forall d$$

原油グループ毎の処理目標は目標の上限量と下限量を守る。

$$GMIN_g \leq \sum_t \sum_d \sum_p CV_{tdgp} \leq GMAX_g, \text{ for } \forall g$$

処理目標については目標値を守る。

$$\sum_t \sum_d \sum_g \sum_p CV_{tdgp} = REQ$$

切り替えを定義するための制約式を追加する。

$$\sum_p CF_{tdgp} - \sum_p CF_{t(d-1)gp} = CON_{tdg} - COFF_{tdg},$$

$$\text{for } \forall t, \forall d=1, \dots, 31, \forall g$$

$$CON_{tdg} + COFF_{tdg} = K_{tdg}, \text{ for } \forall t, \forall d=1, \dots, 31, \forall g$$

$$CON_{tdg} = 0, COFF_{tdg} = 0, K_{tdg} = 0, \text{ for } \forall t, d=0, \forall g$$

通油を行う場合は、最低2日間は連続運転する。

$$CF_{t(d+1)gp} \leq CF_{tdgp} + CF_{t(d+2)gp}$$

$$\text{for } \forall t, \forall d=0, \dots, 29, \forall g, \forall p$$

最低3日間は連続して通油する必要がある原油タンクの集合 $T3$ については、前記制約に次の制約を加える。

$$CF_{t(d+1)gp} + CF_{t(d+2)gp} \leq 2 * CF_{tdg} + 2 * CF_{t(d+3)gp}$$

$$\text{for } \forall t \in T3, \forall d = 0, \dots, 28, \forall g, \forall p$$

コンタミネーションを認めないため、各原油タンクに対して、初日の原油グループ SG_t と異なる原油グループ g に対して次の条件を加えた。

$$UF_{tdgs} = 0 \text{ and/or } UV_{tdgs} = 0,$$

$$CF_{tdgp} = 0 \text{ and/or } CV_{tdgp} = 0,$$

$$K_{tdg} = 0,$$

$$\text{for } \forall t, \forall d, \forall s, \forall p$$

原油タンク t が停止している期間の集合 DS_t については次の条件を加えた。

$$UF_{tdgs} = 0 \text{ and/or } UV_{tdgs} = 0,$$

$$CF_{tdgp} = 0 \text{ and/or } CV_{tdgp} = 0,$$

$$\text{for } \forall t, \forall d \in DS_t, \forall g, \forall s, \forall p$$

原油タンク t と常圧蒸留装置 p が接続されていない場合には次の条件を加えた。

$$CF_{tdgp} = 0 \text{ and/or } CV_{tdgp} = 0, \text{ for } \forall d, \forall g$$

常圧蒸留装置 p が処理できない原油グループ g については次の条件を加えた。

$$CF_{tdgp} = 0 \text{ and/or } CV_{tdgp} = 0, \text{ for } \forall t, \forall d$$

6. 目的関数定義

運転の円滑さの要望と、通油期間をできるだけ長くしたいという要望を、通油する原油タンクの切り替え回数を最小化することで吸収した。なお、揚荷する原油タンクの個数を削減したい、土曜日・休日の切り替えを起こしたくないという要望についてもペナルティで吸収している。

$\sum_t \sum_d \sum_g C_d * K_{tdg} + \sum_t \sum_d \sum_g \sum_s UF_{tdgs}$ → 最小化
ただし、係数 C_d は次の数値とした。

$$C_d = \begin{cases} 1.0 & = 1.0 \text{ for } \forall d \in \text{平日} \\ 1.0 + 0.5 = 1.5 & \text{for } \forall d \in \text{土曜日} \\ 1.0 + 1.5 = 2.5 & \text{for } \forall d \in \text{休日} \end{cases}$$

7. おわりに

数値計画法による定式化が可能であることを確認した。本稿では、基本的に制約式を使用した表現に努めたが、今後は、数値計画法システムの動作特性を活用することを意識して順次表現を変更する予定である。

加えて、運転コストを目的関数定義に反映しておらず、数値計画法システムの探索性能の悪化が予想されるため、運転コストをどのように数値表現するかを検討を平行して行う予定である。

尚、本研究は、(財)石油産業活性化センターの石油産業高度化技術開発事業の一環として実施したものである。

謝辞

最後に、終始的確な助言をいただいた東燃システムプラザ(株)早瀬実氏と、本稿の細部に渡り丁寧な査読をいただいた富士通(株)金指哲也氏に感謝いたします。

参考文献

- [1] 富士通株式会社、'AMPS説明書(数値計画法システム-線形計画法問題及び混合整数計画法問題の最適化)'、1994
- [2] 平成5年度石油精製合理化基盤調査事業、'石油精製工場における情報共有化のための高度情報処理技術に関する調査報告書'、石油産業活性化センター、1994
- [3] 日本石油株式会社、'石油便覧'、燃料油指新聞社、1994
- [4] 石油学会、'経営情報部会分科会活動報告書(平成4年7月~平成7年1月)'、1995