

製品サイロ出荷スケジュール最適化

01207015 三菱化学(株)水島事業所 *佐中俊哉 SANAKA Toshiya

三菱化学物流(株)西森 修 NISHIMORI Osamu 三菱化学(株)黒田浩二 KURODA Koji
MC-RIC ラメッシュ ラマン RameshRaman 三菱化学(株)藤田 薫 FUJITA Kaoru

Mitsubishi Chemical Corporation Mizushima plant Development and Engineering Research Center

Abstract This paper discusses the scheduling system in chemical products delivery in Mitsubishi Chemical Mizushima plant. Integer Programming is employed to optimize scheduling calculations in daily operation.

1.概要

化学工場における製品製造コスト低減は最大の課題であり生産、在庫、物流の各側面からの取り組みが必要である。三菱化学(株)水島事業所では物流コスト削減の観点から従来手作業によって行われている樹脂製品の出荷計画を支援するシステムの開発を行ってきた。日々入ってくる顧客からのオーダーに対して、在庫の中から出荷するロットを決め、それを配送するための車両を決定するという配車計画支援システムを既に開発した[1]。更にこのシステムを拡張し、サイロから各車両への製品の積み込み、積み下ろしスケジュール(以下、製品出荷スケジュール)を立案するシステムを開発した。今回、スケジュール立案について整数計画法(IP)によって最適化を実現した。本稿ではこのスケジューリングの機能について報告する。

2.製品サイロ出荷スケジューリング問題

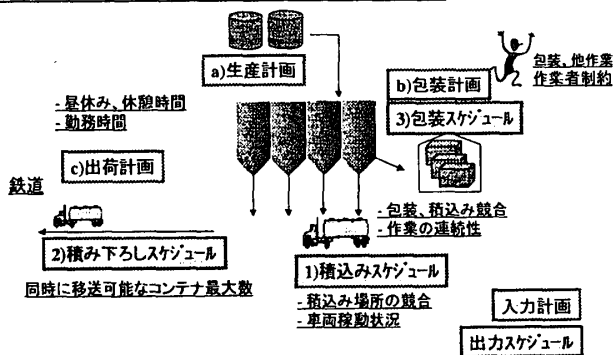


Fig.1 Product loading scheduling

製品出荷スケジューリング問題の概要をFig.1に示す。本問題は、a)生産計画、b)包装計画、c)出荷計画といった情報が与えられたとき、

- 1) 積み込み作業: サイロから車両へ製品を移動
 - 2) 積み下ろし作業: 車両から鉄道へ製品を移動
 - 3) 包装作業(包装): サイロから包装品へ製品を詰める
- これらのような各作業へのスケジュール(場所、時間)を求める問題である。

ただし、本問題には設備上の制約(同時に使用できないサイロ、包装機)、包装作業と他作業での要員競合などの制約

が存在する。また、作業の内容によっては作業に順序が決められているものも存在しスケジューリング上の制約となる。

3.スケジューリング問題の定式化

製品出荷スケジューリングシステムのモデルは、整数計画モデルとして定式化されている。例として積み込み作業(以下作業)のスケジュールについて考える。次の2つの0/1変数を目的変数として導入する。

- BinUseLoad(ls, lid, t): 作業可能な時間帯
 ls : 積み込み場所, lid : 積み込み作業番号, t : 時刻
 1: 作業場所 ls , 作業 lid を時刻 t で製品を積み込む
 0: 作業場所 ls , 作業 lid を時刻 t で製品を積み込まない

BinBegLoad(ls, lid, t): 作業開始を開始して処理が納期までに終了できる時間帯

- 1: 作業場所 ls , 作業 lid を時刻 t で開始可能
 0: 作業場所 ls , 作業 lid を時刻 t で開始不可能

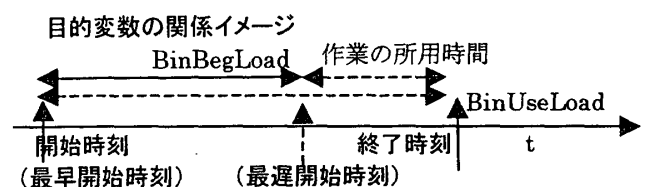


Fig.2 Scheduling Image

スケジューリングでは、以下に述べる主な制約(式)を考慮して最適なスケジュール(場所、作業、時刻の組み合わせ)を求める。

- 最大1つの積み込み作業を、各積み込み場所、各時間で実行することができる

$$\sum_{lid} BinUseLoad(ls, lid, t) \leq 1 \text{ for all } ls, t$$

- 各作業は必ず1度実行されなければならない

$$\sum_{ls, t} BinBegLoad(ls, lid, t) = 1 \text{ for all } lid$$

・作業開始時刻は必ず実行中

$$\text{BinBegLoad}(ls, lid, t) \leq \text{BinUseLoad}(ls, lid, tt)$$

tt: 作業可能時刻

・複数の作業間に順序の制約が存在する場合

$$\sum_{us} \text{BinBegLoad}(ls, lid, t) \leq \sum_{us} \text{BinBegUnld}(us, uid, t + T_Load(lid))$$

t: 積み込み作業開始可能時刻

lid/uid: 積み込み作業/積み下ろし作業 (lid→uidの順番は既知)

ls/us: 積み込み場所/積み下ろし場所

T_Load(lid): 積み込み作業lidの所要時間

・複数作業を同時に処理できる数に制約が存在する場合

e.g. 包装作業BinUsePackと他の作業BinUseOthrを同時に実施できる人役数MIに制約

$$\sum \text{BinUsePack}(ps, pid, t) + \sum \text{BinUseOthr}(os, oid, t) \leq M$$

ps/os: 包装作業/他の作業

pid/oid: 包装作業場所/他の作業場所

以上のような変数、制約式を他の作業についても準備し、サイロ出荷計画全体をモデル化する。

目的関数は以下の2つとした。

Obj1: 各作業をできるだけ早く終わらせる

Obj2: 連続作業は作業間の遊び時間最小である。

各時刻に重み(C(t))を持たせ各作業の重みの総和を最小化することによってスケジュールの最早終了を実現する。

$$\text{Obj1} = \sum_{ls, lid, t} (C(t) \times \text{BinUseLoad}(ls, lid, t))$$

今回のモデルでは、昼休みの時間帯の重みには大きな値を持たせている。この操作によって、スケジュールは昼休みの作業をできるだけ回避する。これは“緩やかな”制約であり、作業が多く過密なスケジュールになった場合、昼休みに作業が実施されることになる。

連続作業である積み込みと積み下ろし作業がある場合、その両者の開始時刻の差(遊び時間)をTdiff(uid, lid)とし、その総和を最小化することによってスケジュールの遊び時間最小を達成する。

$$\text{Obj2} = \sum_{uid, lid} Tdiff(uid, lid)$$

これらをまとめたモデル全体の目的関数は、wを重み係数として以下のとおりとした。

$$\text{TotalObj} = \text{Minimize} (\text{Obj1} + w \times \text{Obj2})$$

4.システム構成

システムの構成をFig.3に示す。本システムではホストで受注したオーダーをデリバリ担当者のPCで取り込み、配車計画、出荷スケジュールを立案する。その結果をホストへ送り、実作業へ作業指示が出されている。

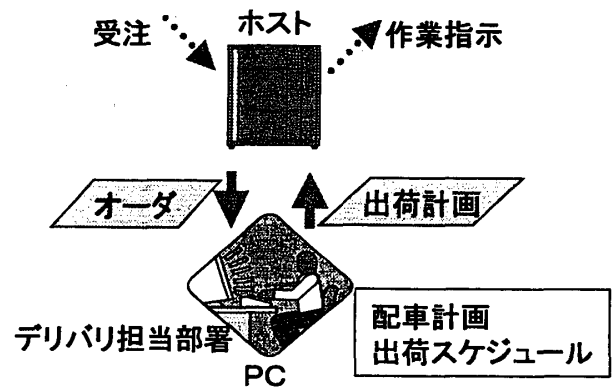


Fig.3 system structure

5.適用例

本システムは受け取ったn日分のオーダーに対して任意の期間の配車計画の計算が可能である。例として1日分の出荷オーダー20件、包装計画2件、連続作業6件、時間刻み30分からなる問題についてスケジューリング計画を実施したところ約1分で計算できた。(CPU 700MHz、RAM 320M) 方程式約16000式、整数(0-1)変数約1000個のサイズとなった。Fig.4はユーザへ計算結果を与えるガントチャート画面である。

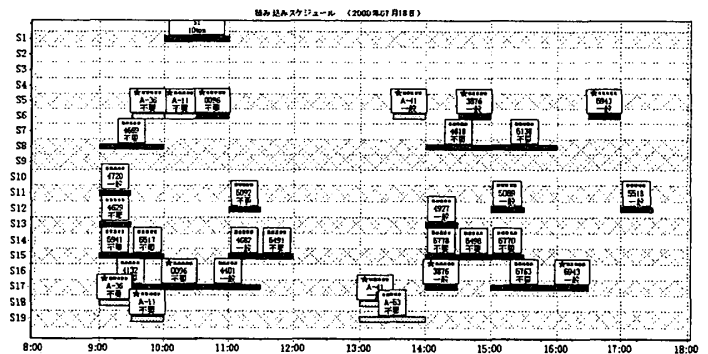


Fig.4 Result of scheduling calculation (Gantt Chart display)

6.まとめ

本システムは日々のデリバリー業務で使用されるため、激しい環境変化にフレキシブルに対応できるよう、ユーザ自身で設備の追加・削除、制約条件等の変更が容易に実施できるようユーザインターフェースの開発にも注力した。今後は生産・物流統合最適化システムの確立を目指すべく、工場から顧客までの輸送ネットワークの最適化にも取り組んでいく予定である。

[1]佐中、西森ほか: 製品出荷計画最適化, 第7回計測自動制御学会中国支部学術講演会論文集(1998)