

# Lagrange 緩和法によるスケジューリングの実用化

## (1) 問題の抽象化と解の具体化

\* 加納敏行, Peter B. Luh†, 長谷川哲夫, 京屋祐二, 米田清, Ling Gou†

東芝, 研究開発センター

†Department of Electrical & System Engineering, University of Connecticut

### 1 はじめに

実際に稼働中の生産工程がある。そのスケジューリングを、有限バッファを持ち段取りがあるジョブショップとして Lagrange 緩和法で行う [1, 2]。この方法は解が短時間で求まり、しかも解の最適性が評価できるという利点を持つ。しかし数理的に扱えるのは抽象化されたモデルであり、得られる解も政策を実施に移すには具体性に欠ける面がある。そこで実用上は、数学的には扱い切れない雑多な条件を別途、処理することが不可欠である。

本稿では実用データを数理モデル用に変換する抽象化と、数学的に得られた解を現実的に使えるような形に変換する具体化について述べる。

### 2 生産工程の特徴

対象とした生産工程は次の特徴を持つ。

- 同一品種の製品を製造できる経路が複数あり、分岐合流する。ワークステーションには複数の機械があり得る。
- 製造装置の間には容量が有限のバッファがあり得る。その容量は、製品の個数あるいは、大きさの和で規定される。
- 段取りが必要な作業がある。段取り時間は製品の種類に依存する。
- 作業毎に残業や臨出があり得る。
- 製造装置には休憩時間にも稼働するものと、停止するものがある。
- 部品の組立てがある。

一つの製品を完成するのに必要な作業の数は 15 から 40 くらいである。

### 3 スケジューリングの手法

手法の中心は Lagrange 緩和法 [1, 2] とよばれる、制約条件付きの離散的な非線形最適化法である。この手法が有効であるためには、対象となる生産工程を分離可能 (separable) な形に定式化しなければならない。目的関数は個々の製品の納期遅れをもとに定義する。制約条件は、例えば「一度に行なう作業は製造装置の数を超えることができない」とか、「先行作業が終らないと後続作業にかかれない」などを表す条件である。

先に述べた生産工程の特徴をすべて、Lagrange 緩和法で効率的に最適化できるような形の制約条件に定式化するのは無理である。そこで、実際の生産工程を Lagrange 緩和法を利用できる形に抽象化する手続きが必要である。また逆に、抽象化された問題を解いて得られた抽象的な解を、実施できるような現実的な形に具体化する手続きも必要である。

### 4 ソフトウェアの構成

ソフトウェアの構成は次のとおりで、データは上から下へ流れる。

$I$	Data 変換, 手入力.
$H_{-2}$	数学に乗らない部分を削る.
$H_{-1}$	計画期間を決める.
$M$	準最適化. 解は実行可能と限らない.
$H_1$	過負荷を延期して実行可能解に直す.
$H_2$	数学に乗らなかった部分をなんとかする.
$O$	表示.

これは software layer としては、次のようにも書ける。

準最適化層	$H_{-1}, M, H_1$
整合化層	$H_{-2}, H_2$
Interface 層	$I, O$

各層に属する module は同一の data model を扱う。最上層  $H_{-1}, M, H_1$  の扱う data model は最も純化された essence であって、下層に行くほどより多くの情報が加わる。

## 5 整合化

整合化層  $H_{\pm 2}$  について説明する。

### 分岐合流

製造工程には、同一の製品を作るための方法、すなわち行なうべき作業の列が複数存在している。スケジューラはその中から一つを選択する。また、そのような作業の流れの分岐とともに、合流も存在する。Lagrange 緩和法の現在のプログラムでは、合流の直後に分岐が来る場合に対応していない。そこで、そのような合流と分岐の間にダミーの工程を挿入する。数理モデルはダミー工程を製造装置やパッファとは異なる扱いをする。 $H_{-2}$  がダミーを挿入し、 $H_2$  がダミーを取り除く。

### 部品の組立

一つの製品が複数の部品によって構成される場合、初めは複数の部品を並列的に同時に処理し、その後、一つの製品に組み立てて処理を続行する。並列に処理する部分は全工程から見ると僅かなので、現在の数理モデルでは対応していない。そこで、部品の製造および、組立後の処理を直列的に並べ替える必要がある。 $H_{-2}$  が直列化し、 $H_2$  が並列性を回復する。

### 休憩時間

製造装置には、作業員の休憩時間も稼働する自動機械と、稼働しない手作業機械がある。数理モデルにはこの区別がない。休憩時間も作業時間の一部に含めてしまう。すなわち、自動機械の一日の稼働時間を  $a$  時間とし、手作業機械の一日の稼働時間を  $b$  時間としたとき、手作業機械の作業時間を自動機械の作業時間の  $a/b$  倍にする。 $H_{-2}$  が休憩を除き、 $H_2$  が回復する。

### 段取り時間

実際の製造工程では、同一形状の製品を連続して処理する場合、二つめ以降の製品では段取り時間は 0 である。しかし、スケジューリングプログラムへの入力データにおいては、製品の形状を、離散的なコードに置き換えて表している。そのため、コードが同じでも実は形状が異なるという場合がある。すなわち、入力データを見ただけでは、段取りが必要かどうかを完全には判定できない。

そこで、平均的な数値として、製品の形状を表すコードが等しい製品を連続して処理する場合は、二つめ以降の製品では段取り時間は、通常の段取り時間の割合  $r$  だけ必要であるとする。

さらに、数学部分での処理を簡単化するため、数理モデルでは

段取り時間 :=  $(1 - r) \times$  もとの段取り時間

加工時間 := もとの加工時間 +  $r \times$  もとの段取り時間

とみなす。そして、製品の形状コードが同じ製品が連続した場合に、二つめ以降の製品の段取り時間を 0 とし、それ以外の時は上で定義した段取り時間を用いる。 $H_{-2}$  が上のように変換し、 $H_2$  が逆変換する。

### 工程内の製品

スケジューリング実行時には、まだ作業が開始されていない製品と、工程内にある製品の両方が存在する。工程内の製品については、次のように処理する。

- 当該製品については、現在実行中の処理の次の処理から始まるものとする。
- 現在実行中の処理の終了予定時刻を最早開始時刻とする。

$H_{-2}$  が上の変換をし、 $H_2$  は処理中の印をつける。

### 暦

実際の勤務形態を表すカレンダーを元に、製造装置の利用可能な時間帯を求める。 $H_{-2}$  が実働時間に交換し、 $H_2$  が暦日に逆変換する。

## 6 おわりに

以上のように処理は条件が繁雑で計算量が僅かである。ソフトウェアの実装は、層化モデルに従ってモジュール化し、AI 用の shell [3] で実現し、工期の短縮をはかった。

## References

- [1] Luh, P., et al. Job shop scheduling with feature-dependent setups, finite buffers, and long time horizon. *Submitted*.
- [2] 京屋 祐二, 他. Lagrange 緩和法によるスケジューリングの実用化: (2) 実行可能解の構成. 日本 OR 学会秋季研究発表会, 1995.
- [3] 荒木大, 小島昌一. スケジューリングエキスパートシステム構築ツール ARES/SCH と応用システム. 経営システム vol.5 No.1, pp.27-34, 1995.