

## 報 文

# バックワード/フォワード・ハイブリッドシミュレーション法に基づく 個別受注生産における納期重視型生産スケジューリング

冬 木 正 彦\*, 井 上 一 郎\*\*

シミュレーション法のスケジューリング問題への適用については、ディスパッチングルール中心の研究開発が盛んに行われてきた。しかしながら、納期重視型の生産スケジューリング問題においては、従来のディスパッチングルール依存のシミュレーション法は、シミュレーションそのものがフォワード型であるため、原理上そして技法上限界がある。本報文では、納期重視型の生産スケジューリング問題に焦点を絞り、シミュレーションベースの新技法(バックワード/フォワード・ハイブリッドシミュレーション法)を提案し、従来技法と性能比較することによりその有効性を示す。なお、性能比較するにあたっては、5機械単純ジョブショップ過程モデル上での性能比較だけではなく、現在現実に稼働中のシミュレーションベースのスケジューリングシステム上での性能比較も行い、提案の新技法が従来法よりも優れた性能を有することを示す。

## Due-Date-Conformance Oriented Production Scheduling in a Make-To-Order Production on the Basis of Backward/Forward Hybrid Simulation

Masahiko FUYUKI\* and Ichiro INOUE\*\*

A hybrid method of a forward simulation and a backward simulation is proposed for enhancing the quality of a scheduling activity support. The importance of production scheduling in a manufacturing environment these days is first discussed, focusing on due-date conscious production such as make-to-order production and job shop production. Discussion then centers on simulation methods which are highly potential for the support. Further, reviewing the potentiality and limitation of a forward simulation and a backward simulation, a hybrid method of them is discussed and its effectiveness is shown not only on a simple jobshop model, but also on an actually working system.

### 1. はじめに

個別受注生産においては納期順守が第一義的な課題である。すなわち、すべてのジョブの納期を順守しつつ生産性の最大化を図ること、ただし、すべてのジョブの納期が順守できない場合には順守できないジョブの遅れ度合いを最小化しつつ生産性の最大化を図ることがスケジューリング業務担当者に課せられた任務である。

一般に、スケジューリング部門の上位部門である生産計画部門は、客先納期を鑑み、「原理的にはすべてのジョブが工場納期を順守しうる程度に負荷調整された生産計画」をスケジューリング部門に渡すのが通常とされているが、現実には、継続的な生産性向上を下

位部門に図らせる意味でも、多少過負荷気味の生産計画を意図的にスケジューリング部門に課するのが通常となっている。

一般的に、負荷レベルの低い生産計画、つまり、受注高が小さく、この受注ジョブをこなすのに必要な工数(必要工数)に比べて、工場の保有する工数(保有工数)が十分大きい生産計画を基にスケジュール立案を行うにあたっては、すべての受注ジョブの納期を満たすことは通常可能であり、スケジュール業務担当者は納期を満たし、かつ、工場の最大効率が得られるようなスケジュールの立案を狙う。一方、受注高が比較的大きく、受注ジョブをこなすのに必要な工数が、工場の保有する工数に比べて大きいときには、すべての受注ジョブの納期を満たすことが困難になる。この場合、スケジュール業務担当者は、彼らに与えられた権限の中で、いかなるジョブを優先するのか、そして、いかなるジョブの納期割れを容認するのかを意思決定しなければならない。また、いくつかのジョブ

\* 関西大学 (Kansai University)

\*\* 京都産業大学 (Kyoto Sangyo University)

受付: 1994年7月7日, 再受付 (1回)

受理: 1994年12月19日

の納期割れを容認した場合でも、その納期割れ幅を最小化し、かつ、工場の最大効率化を狙ってのスケジュール立案が課せられる。

生産スケジューリングに有効な技法として、OR手法（数理計画最適化法）、AI手法、シミュレーション法などが検討を加えられ、具体的にシステム化の試みがなされてきてはいる。

現在のところ、現実の生産スケジューリング問題の特性を考えても、また現実稼働しているシステムが存在することから見ても、シミュレーション法が実用上最も有力であると考えられる。

シミュレーション法のスケジューリング問題への適用については、スケジューリング結果の質的向上をもたらすディスパッチングルールの検討という観点から研究開発が盛んに行われてきている。

しかしながら、前述の納期重視型の生産スケジューリング問題においては、従来のディスパッチングルール依存のシミュレーション法は、ここでのシミュレーション法そのものがフォワード型のシミュレーションであるため、原理上そして技法上限界がある。

本報文においては、納期重視型の生産スケジューリング問題に焦点を絞り、シミュレーションベースの新技法を提案し、従来技法と性能比較することによりその有効性を示す。なお、性能比較にあたっては、従来一般に行われている比較的単純化理想化された数台機械単純ジョブショップ過程モデル〔1〕上での性能比較だけではなく、現在現実に稼働中のシミュレーションベースのスケジューリングシステム上での性能比較も行う。

## 2. シミュレーションベースの生産スケジューリング

### 2.1 フォワードシミュレーションおよびバックワードシミュレーションの特性比較

#### (1) フォワードシミュレーション

フォワードシミュレーション法においては、各ワークセンタ前で競合するジョブの中から各々のディスパッチングルールに従ってジョブを選択し、時間軸に前詰めでそのジョブを割り付けていくという手順が基本であるため（図1）、稼働率向上を狙ったスケジュール作成には有効である。しかしながら納期重視型のスケジュール、つまり、納期順守度（ジョブ完了時刻と納期とのずれ幅）の向上を狙ったスケジュール作成には困難が生じることがある。つまり、フォワードシミュレーション法を用いたスケジュール作成は、稼働率向上は狙えても、納期順守度向上に関しては、たとえディスパッチングルールに納期優先ルールあるいは納期余裕（スラック）ルール等の納期関連のディスパッチ

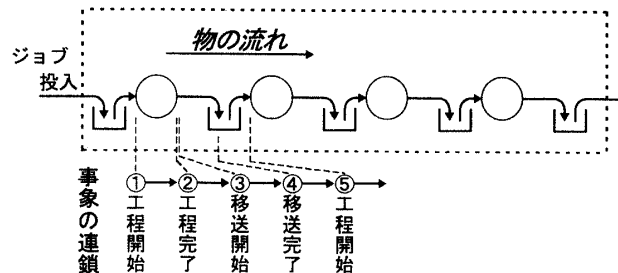


図1 フォワードシミュレーションの概念図

ングルールを適用してもそれを高められるとは限らない。

作業負荷が小さいときには納期に対して早くできすぎるといふ現象が起こるし、また一方、作業負荷が大きいときには納期遅れが生じる。しかも、これを調節することが困難である。具体的に述べると、納期遅れを起こすジョブが存在するときには、そのジョブの着手時刻を早めることができる場合には早めたり、あるいは、そのジョブのプライオリティを高め優先的に処理するようにするなどすれば、そのジョブの納期を守らせることはできる。しかし、このジョブが早まるということは工場内の機械等の資源を優先的に使うということであり、このジョブと競合する関係にあるジョブは資源割り当てが後回しとなり、結果的に進行が遅らされるということである。そのため、往々にして今度は、進行が遅らされたジョブが納期遅れになってしまうことになる。フォワードシミュレーションを用いる限り、こちらを立てればあちらが立たず、あちらを立てればこちらが立たずという、いわゆるモグラ叩きの現象が起こり収束させるのが難しい場合が少なくない。

#### (2) バックワードシミュレーション

ある時刻を起点として、現実の時間の流れとは逆方向に時間を進めながらシミュレーションを行う方式を提案した（これをバックワードシミュレーションと命名）〔2〕。バックワードシミュレーション法を納期重視型の生産スケジューリングに適用するに際しては、この方法は、納期を起点として、各ジョブが通過するワークセンタ系列上の各々のワークセンタ間を需要情報が伝達する様を模擬させるという手法であり（図2）、具体的には、納期に間に合わせるためには各ジョブは各々の上流工程において、いつ作業を始めいつ作業を終わらせなければならないのかを逐次下流から上流へ時間の流れに遡って計算していくという手法である。

したがって、この手法を用いることにより、各ジョブが開始しなければならない時点（ジョブの着手時

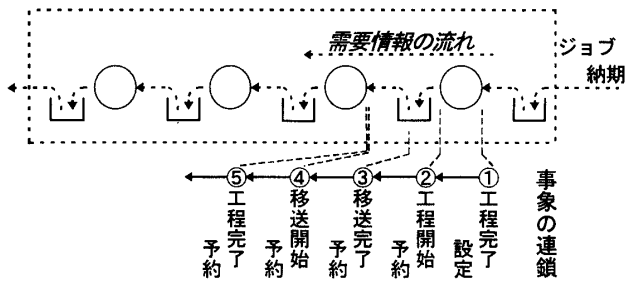


図2 バックワードシミュレーションの概念図

刻), さらにそれらのジョブが通過するワークセンタでの作業開始時点を算出する。換言すれば, ジョブ開始最遅時刻 (この時点より遅く開始すれば納期遅れが生じるという時点) が算出できるということである。ここで算出された時点通り開始できれば, すべてのジョブに関する納期は守られ, しかも納期順守度 100% (完了時点と納期のずれ無) ということになるのであるが, 実際上このバックワードシミュレーションは以下の点で問題が生じる。

①モデル精度上の問題: バックワードシミュレーションのモデルは, フォワードシミュレーションモデルと比べてラフにならざるを得ない。フォワードシミュレーションにおいては, モデルに段取り時間の考慮, 作業者の考慮など必要に応じてきめ細かな条件を, 各々の因果関係をロジック化することにより組み込むことができる。一方, バックワードシミュレーションの場合は, シミュレーションの時間進行を現実の時間の流れと逆行させるため, 多要素間の逆因果関係をロジック化し, そしてそれらのロジックを精緻なモデルに組み込むことは, 要素が多くなるに従い極めて難しくなる (注1)。

したがって, バックワードシミュレーションモデルは比較的簡素化されたモデルにならざるを得ない。つまり, バックワードシミュレーションの結果を現実のスケジューリング業務にそのまま適用するにはラフに過ぎ, これを直接作業指示につなげることは難しく, 何らかの方法で精緻化する必要がある。

②仕掛けジョブの扱い: 現実のスケジュールを作成する際には, 当然のことながら, 現在の仕掛けジョブおよび新規投入ジョブの両者がスケジューリングの対象となる。しかしながら, バックワードシミュレーションにおいては, 未来の時間である納期から, バックワードに遡ってきて現在のジョブの仕掛け状態を再現することは一般的には不可能である。したがって, 納期を始点とするバックワードシミュレーションにおいては現在の仕掛けジョブの再現は一応

表1 フォワードシミュレーションおよびバックワードシミュレーションの特性比較

	フォワードシミュレーション	バックワードシミュレーション
モデルの精粗度 (現実の写像度合)	粗〜精 (可変) (高くできる)	一般に粗 (一般に低. 近似の度合大)
納期意識	希薄	濃厚
作業指示との連結度 (現実への写像容易性)	高	低

無視した形でバックワードシミュレーションを行う。

③“過去”作業開始時点: バックワードシミュレーションにて算出したジョブの開始時点は常に現在以降の時間になるとは限らない。むしろ, 計画対象ジョブの必要工数が工場の保有工数に比べて大きいときには, すでに過ぎてしまった過去の時点に通常になってしまう。つまり, 過去のその時点に作業を開始していればそのジョブはその納期にジョブが完了できるという値が算出されるということであるが, しかし, バックワードシミュレーションの結果, 過去の時間を提示されても, 現在, 作業の開始はしていないし, また, 即刻開始したとしてもそのジョブは納期遅れを起こすことが必至ということになる。したがって, このバックワードシミュレーションの結果として得られるデータは直接作業指示にはつなげられない。

以上, 概観してきたように, バックワードシミュレーション法によってたてられるスケジュールは, 確かにすべてのジョブの納期を達成させるためのジョブ開始に関する最遅時刻のデータを提供するものではあるが, 必ずしも現実実行可能なスケジュールを提供するものではない。なぜならばバックワードシミュレーションは, (従来の負荷山積/山崩手法にくらべて, タイムバケットを前提とせず作業の先行順序関係をふまえている点で格段に精度の高い手法であるが) あくまで近似手法であり, 作業指示に必要とされる精度のスケジュールを作成するには上述の①〜③の難点がある手法である。

### (3) 特性比較

納期重視型のスケジュール作成という観点より, フォワードシミュレーションおよびバックワードシミュレーションの可能性と限界を概観してきた。表1はこれらの特性をまとめたものである。

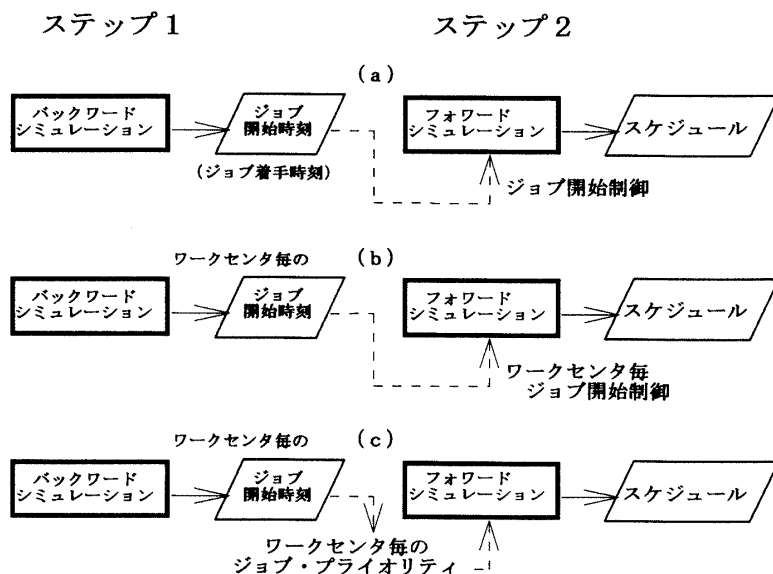


図3 バックワードシミュレーションとフォワードシミュレーションの組合せ (BFHS法) の例

## 2.2 バックワード/フォワード・ハイブリッドシミュレーション法に基づく生産スケジューリング

納期重視型の生産スケジュール作成にあたっては、バックワードシミュレーション法とフォワードシミュレーション法各々の特性を活かし、両シミュレーション法を組合せ統合する方式 (ハイブリッド法) が有効であり、本節ではこのハイブリッド法を提案する。(以下、BFHS法と略す。)

バックワードシミュレーションは納期を明確に意識した形でのシミュレーションを行うことにより、納期順守に有益な情報を提供しうることを、一方フォワードシミュレーションは基本的に納期考慮に難点はあるが、精緻な資源配分を逐次行いつつスケジュールを作成することで作業指示に役立つ情報を提供しうることを考えあわせると、バックワードシミュレーションをまず実行し、そこで得られる情報をフォワードシミュレーションに活用するという方式は、フォワードシミュレーション単独の方式の難点を克服し、さらにスケジュール作成結果の質を高めることになる。

スケジューリング対象のジョブに納期と先頭工程の着手可能時刻 (ジョブ投入時刻) が設定されているとき、バックワードシミュレーションとフォワードシミュレーションの組合せ方は、各種考えられる。図3はその一例を示すものである。

まず、第一ステップとしてバックワードシミュレーションを実行するが、このバックワードシミュレーションの結果、①ジョブの先頭工程のジョブ着手時刻および②ジョブが通過する各々のワークセンタでのジョブの開始時刻が算出される。

これらの情報は、第二ステップのフォワードシミュレーションにおいてはつぎの三通りの使用法が考えられる。

- 算出された値①は、この時刻より後にジョブを着手すると納期不達成となる時刻であり、この時刻より早く着手すると納期より早く完了し、納期からのズレが大きくなる値である、と解釈する。したがって、フォワードシミュレーション実行時には、ジョブの着手時刻をコントロールする情報として使用する。
- ①をさらに各ワークセンタに広げ、単にジョブの着手時刻のコントロールだけではなく、ジョブが通過するすべてのワークセンタにおける、そのジョブの各々ワークセンタの開始時刻のコントロールに②の情報を使う。
- バックワードシミュレーションは所詮、近似法でありおおよその目安を算出するものと割り切り、②で得られた時刻は先行順序のみに着手し、これを各ジョブの優先順序と解釈する。したがって、バックワードシミュレーションの結果は、フォワードシミュレーション実行時のジョブのプライオリティを決定するためのデータとして使用する。

本報文では、上記BFHS法のうち、(c)タイプを取り上げ、BFHS法の有効性を以下数値実験にて示す。

なお、今回、数値実験を行うに際して、用いるBFHS/type Cの手続きの詳細は以下の通りである。

### (i) バックワードシミュレーション

バックワードシミュレーションの開始時点は、スケ

ジューリング対象のジョブに設定されている納期の中で最も遅い時刻とする。なぜなら、この時刻までにすべての対象ジョブは完了し、しかも納期を達成していなければならないからである。このバックワードシミュレーション開始時点より、現実の時間の流れとは逆方向に時間を遡る形でシミュレーションを進める。

### (ii) ジョブ優先順序の決定

バックワードシミュレーションの結果より、ワークセンタごとにジョブの作業開始時刻を抽出し、時刻の早いもの順にジョブを並べ換え、これを各ワークセンタごとのジョブ優先順序とする。

### (iii) フォワードシミュレーション

スケジューリング対象のジョブは、各々のジョブに設定されているジョブの着手可能時刻以降、各々作業開始可能となる。なお、このフォワードシミュレーションにおいては仕掛けジョブは当然含まれており、仕掛けジョブおよび新規投入ジョブ両者を合わせて考慮する。シミュレーションは時間の流れに順方向に進める中で、各ワークセンタに各ジョブを割り付けてゆく。各ワークセンタにてジョブの競合が起きた場合には、(ii)で決定したジョブ優先順序に従いディスパッチングを行う。

## 3. 5 機械単純ジョブショップ過程モデル上での性能比較

BFHS法によるスケジュール作成方式と、従来のディスパッチングルールを用いたフォワードシミュレーション単独によるスケジュール作成方式との性能比較を行う。

ここでは従来のディスパッチングルールとして、ジョブ数、機械数によらない一般的ルールとされている、SPT, SLACK および、黄らの新ルール〔3〕(ここでは表記の簡略化のため以下 MSPSL と略す。)を取り上げる。(以下、それぞれを用いたフォワードシミュレーションによるスケジュール作成方式を、FS/SPT, FS/SLACK, FS/MSPSL と略記する。)なお、MSPSL は“競合ジョブのなかで、競合を起こしているオペレーション加工時間と正の Slack 時間の和が最小となるジョブを優先する”という一般的なルールであり、従来法よりも優れた性能を持つ新ディスパッチングルールと黄らが主張しているものである〔3〕。

性能比較にあたっては、スケジューリングの評価基準、問題の規模、納期条件を黄らの設定に準拠させる。

つまり、スケジューリングの評価基準としては平均納期遅れ時間を設定し、納期条件ごとに問題 100 題を

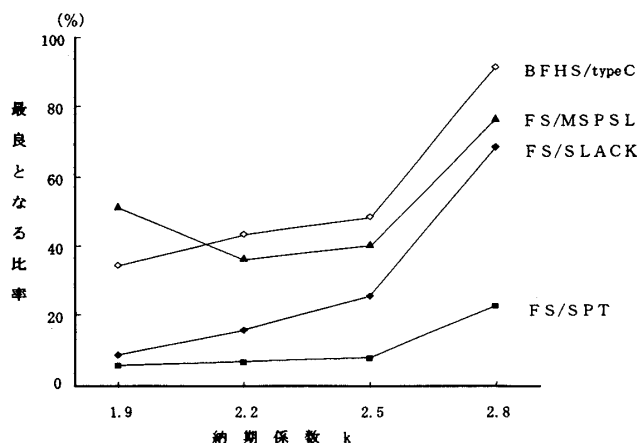


図4 平均納期遅れについて、各方式が最良となる比率

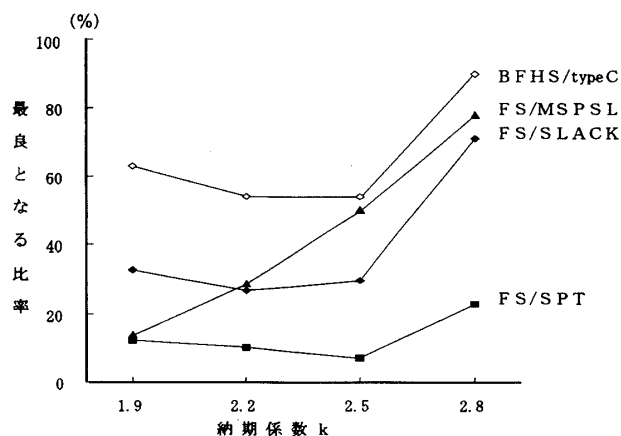


図5 最大納期遅れ時間について、各方式が最良となる比率

解いたとき、各方式が相対的に最良の解となった割合を示すことで優劣を比較する。なお、ここでは、すべての問題はジョブ数 12、オペレーション（機械）数 5 とし、納期条件には Baker〔4〕と同じ TWK (ジョブの納期 = 全オペレーション時間の和 × (納期のきつさをコントロールする納期係数  $k$ )) を採用する。ここでは、 $k$  の値は納期条件が極めてきつから緩いまで、4 段階を設ける。また、ここでの各問題は、ジョブごとに加工順序をランダムに決定 (各ジョブは、5 台のすべての機械を経由するものとする。) し、各オペレーションの加工時間を 1~5 の範囲の一様乱数によって決める方法によって作成した。

なお、今回の性能評価においては、スケジューリングの評価基準に、平均納期遅れ時間に加え最大納期遅れ時間をも比較する。

図 4、図 5 は、納期条件が極めてきつから緩いまで 4 段階について、平均納期遅れ時間と最大納期遅れ時間に関して各方式が最良となる比率を表している。

(評価値が同じ値の場合はダブルカウントしているので比率の合計が100%を越えている場合もある。) まず、平均納期遅れ時間については、BFHS/type Cが納期条件が極めてきつい場合を除いて他のいずれの方式よりも最良のスケジュールを与える比率が高くなっている。(なお、FS/MSPSLは、納期条件のきつきにかかわらずFS/SLACKおよびFS/SPTよりも良い結果を与える比率が高いという黄らの主張を追試、確認した形になっている。) 図5に示す最大納期遅れ時間については、BFHS/type Cが、納期条件のきつきによらず最良のスケジュールを与える比率が高くなっている。

以上の数値結果よりBFHS/type Cは、平均納期遅れ時間と最大納期遅れ時間の評価基準に関して、納期条件が極めてきつい場合を除き、現実的な状況下ではフォワードシミュレーション単独でスケジュールを作成するいずれの方式よりも優れた性能を示すことが明らかである。

#### 4. 実稼働中のシミュレーションベース・スケジューリングシステム上での性能比較

5機械単純ジョブショップ過程モデル上でBFHS法の優位性を明らかにしたが、ここでは複雑な計画条件が課せられている現実の計画問題においてもBFHS法が優れた性能を示すことを確認する。

一般に、個別受注生産を行っている現実のジョブショップ型工場の中で、工場内の物の流れが単純ジョブショップ過程となっている工場は、実際上まず存在しない。存在するとしてもこの工場は極めて特異なケースと言わざるを得ない。また、そこでの機械数、取り扱いジョブ数、ジョブあたりの工程数はそれぞれ少なくとも10台以上、数十ジョブ以上、数工程より十数工程以上存在するのが一般的であり、したがって問題の規模は通常大きく、かつ複雑である。したがって、新提案の方式について、その有効性を示すためには、やはり現実規模の問題にて、性能評価を行う必要がある。

個別受注生産を行っている典型的なジョブショップ型工場としては、機械加工工場がその代表であろう。本報文ではこの機械加工工場にて現実に稼働中のスケジューリングシステム〔5〕を一例として取り上げ、このシステムに新提案の方式BFHS法を適用し、従来方式との性能比較を行う。

なお、評価にあたっては、過去38か月間に現実に使われた38の計画データを用いて比較を試みる。スケジューリングの評価基準としては前章と同じく平均納期遅れ時間と最大納期遅れ時間を設定する。

#### 4.1 現実の製造工程とジョブの特徴

現実の製造工程としてここでは、鉄道車両用部品を製造しているジョブショップ型の機械加工工場をとりあげる。この工場でのスケジューリングに関する計画期間は1~1.5か月であり、スケジューリングの対象となるジョブは、上位部署から与えられる新規投入ジョブと、計画開始時点での工場内仕掛りジョブの両方が対象である。

まずスケジューリング対象となる製造工程の特徴について述べる。

製造工程の規模および操業条件は次の通りである。

- ・工場内に作業場は16、それぞれには1~6台の同一性能の機械が配置されている。
  - ・各機械には操業カレンダーが設定されていて、稼働可能な期間と不可能な期間が決まっている。
- 性能比較に用いる過去38か月分の38計画データに含まれるジョブの組と個々のジョブおよびその作業は次のような特徴を持っている。

- ・計画の対象となるジョブの総数は月により異なり、おおよそ100~200余で、内約3割が仕掛りジョブである。
- ・各ジョブには、品目名、数量、納期および着手可能時刻が指定されている。
- ・ジョブの遂行に必要な作業の種類と作業順序はジョブごとに決まっている。1ジョブあたりのオペレーション数は3~12であり、各オペレーションを行う作業場は一意的に決めてある。オペレーションのつながりのパターンはすべて直列であるが、同一の作業場を複数回使用するパターンもある。
- ・ジョブごとの加工時間の総和は約5時間から数百時間となっている。
- ・各ジョブに設定されている納期は、納期係数を用いて表すと、0.7~100数十とばらつきが大きい。約半数のジョブの納期係数は10以下である。

なお、ここでは現実問題を扱うという観点から、機械操業カレンダーによる作業の中断・再開、段取り時間の品種切り替え依存、搬送時間の存在、オーバーラッピングの存在を考慮に入れてスケジュール立案を行う。

#### 4.2 BFHS法と従来方式の性能比較

スケジューリングの評価基準としては平均納期遅れ時間および最大納期遅れ時間を設定し、BFHS/type C、FS/SPT、FS/SLACK、FS/MSPSLの方式により、38例の計画データに関する各々のスケジュールを作成する。そして、各方式が相対的に最良のスケジュールを作成した割合を示すことで優劣を比較す

表2 各評価基準について最良となる比率 (%)

評価基準	FS/SPT	FS/SLACK	FS/MSPSL	BFHS/type C
平均納期遅れ時間	0.0	5.1	7.7	87.2
最大納期遅れ時間	5.1	23.1	10.3	76.9

表3 各評価値の平均値

評価基準	FS/SPT	FS/SLACK	FS/MSPSL	BFHS/type C
平均納期遅れ時間(日)	10.9	6.7	6.5	4.1
最大納期遅れ時間(日)	37.8	22.0	29.0	17.0

る。

さらに、各方式により作成されるスケジュールにおける平均納期遅れ時間の38例の平均値および最大納期遅れ時間の38例の平均値を算出し、これらの平均値も比較の項目に加える。

表2は、平均納期遅れ時間と最大納期遅れ時間に関する評価基準についてスケジュールが最良となる比率を示したものである。BFHS/type Cは平均納期遅れ時間および最大納期遅れ時間とも、顕著な優位性を示している。

表3は、平均納期遅れ時間(日)および最大納期遅れ時間(日)に関して、38例の平均値を示したものである。BFHS/type Cはこれらの平均値においても、他の方式よりも優れた性能を示している。

## 5. おわりに

納期重視型の生産スケジュール作成のための新技法、バックワード/フォワード・ハイブリッドシミュレーション法(BFHS法)を提案した。この方式は、バックワードシミュレーション法およびフォワードシミュレーション法各々の特性を活かし、スケジュール作成結果の質的向上を図る、汎用性のある方式である。

本方式の有効性については、まず5機械単純ジョブショップ過程モデル上で検討、従来方式との性能比較を行い、本方式は従来方式よりも優れた性能を持つことを示した。さらに、実稼働中のシミュレーションベース・スケジューリングシステム上でも性能比較を行い、現実のスケジューリング業務遂行の場においても、本方式が従来法よりも優れた性能を有することを示した。

本報文においては、バックワードシミュレーション法とフォワードシミュレーション法の組合せ方を三例示しそのうち一例を具体的に挙げたが、他の組合せ方式についての、適用場およびその有効性については今後さらに検討を加えてゆきたい。

本研究では、データ解析にあたり大学院生福田誠司、富田義幸君の協力を得、またケーススタディでは住友金属工業(株)製鋼所の方々の協力を得た。ここに深謝いたします。なお、本研究の一部は平成5年度私立学校施設整備費補助金(統合生産模擬装置)の援助を受けたことを記し謝意を表する。

## 注

(1) バックワードシミュレーションにおけるモデルがフォワードシミュレーションにおけるモデルに比し、ラフにならざるを得ず、したがって「バックワードシミュレーションの精度は低くなる」。ここでは、「品種間段取り」をモデルに含めようとする場合を例にとりあげ概説する。

まずフォワードシミュレーションの場合には、事象“工程開始”が生起する時点においては、直前に“工程完了”したジョブの加工品種と“工程開始”する当該ジョブの品種は確定しており、段取時間は、規定の品種間段取時間テーブルを参照すれば一意に決まる。したがって、工程時間(一般に、段取時間+正味加工時間)が決まり、“工程完了”事象の生起時点が一意に決められる。このように、事象を順次確定的にあつかえることから“品種間段取り”をフォワードシミュレーションモデルに含めることは可能である。

一方バックワードシミュレーションの場合には“工程完了設定(予約)”時点では、当該ジョブの前に来る品種は確定しえず(可能性として複数考えられ)前後の品種が決まらなければ、段取りに必要な時間が定まらない。段取時間が定まらなければ工程時間が定まらず、“工程開始予約”事象の時刻(時点)が設定できない。このことはシミュレーションの進行ができないということになる。対応策として考えられることは、①バックワードシミュレーションにおいては、品種間段取りという詳細なことは考慮せず、段取時間は品種に独立に一定値をとるとする(品種に独立の段取時間設定)、②当該ジョブの前に来ると予想される品種を予め複数種想定(限定)し、各々の品種間段取りの時間を求める(品種限定による段取時間設定)、などが考えられる。いずれにせよ、これらは近似方策であり、バックワードシミュレーションにおいては、このような近似方策をとらざるを得ない。すなわち、バックワードシミュレーションにおけるモデルはラフにならざるを得ず、精度は相対的に低くなる。

なお、ここでは“品種間段取り”の例を取り上げたが、他の条件(作業条件、治工具の条件など)をモデルに取り込もうとするとバックワードシミュレーションにおいては同様の問題が生じ、シミュレーション精度の点で難しさが増大することになる。

## 参 考 文 献

- [1] Conway, R. W., Maxwell, W. L. and Miller, L. W. (関根智明監訳) : 「スケジューリングの理論」, 日刊工業新聞社, pp. 328-341, (1971)
- [2] Inoue, I., Kouno, H. and Fujii, S. : "A Backward Simulation System for Production Management Support," Bullinger, H. -J. and Warnecke, H. J. (eds.), *Toward the Factory of the Future*, Springer-Verlag, pp. 252-257, (1985)
- [3] 黄 東明, 圓川隆夫, 秋庭雅夫 : "成功例に基づく平均納期遅れ基準のスケジューリング問題におけるデ
- ィスパッチング・ルール生成に関する研究", 日本経営工学会誌, pp. 383-389, Vol. 41, No. 6, (1991)
- [4] Baker, K. R. : "Sequencing Rules and Due-Date Assignments in a Job Shop," *Manage. Sci.*, pp. 1093-1104, Vol. 30, No. 9, (1984)
- [5] 日沖幸治, 鹿島正考, 岡沢雄二, 酒井智幸, 冬木正彦, 太田孝夫, 井上一郎 : "機械加工工場におけるスケジューリング・システム—ノウハウ活性化シミュレーション・ツールズシステム PROPS の適用", 日本OR学会1990年度秋期研究発表会アブストラクト集, pp. 48-49, (1990)