

Original

An Improvement Method for Due-Date-Conformance Oriented Production Schedule Generated by Simulation-Based Scheduling System

Masahiko FUYUKI,* Masahiro ARAKAWA,* Yoshio FURUICHI* and Ichiro INOUE**

Abstract

An improvement method of simulation-based production scheduling, named Parameter Space Search Improvement Method, is proposed. The improvement phase of the simulation-based production scheduling activity is first discussed, focusing on due-date conscious production such as make-to-order production and job shop production. Discussion then centers on methods for enhancing the production scheduling quality. Further, including the definition of a parameter space to search for a better solution, an improvement method is proposed and its effectiveness is shown not only on a simple job shop model, but also on an actually working system.

Key words: job shop, simulation, schedule improvement, Parameter Space Search Improvement Method

* Kansai University
** Kyoto Sangyo University

論 文

シミュレーションベース納期重視型生産スケジューリングの改善フェーズにおけるパラメータ空間探索改善法

冬木正彦*, 荒川雅裕*, 古市吉男*, 井上一郎**

シミュレーションベースの生産スケジューリングは現在のところ実用上最も有力であると考えられるが、その技法が最適化指向の技法でないことから、また、シミュレーション模型の操作性が高いことから、一般に、スケジュール自動作成フェーズの後には出力評価→改善策案出→スケジュール自動作成という改善フェーズが続くことになる。この改善フェーズにおいては、様々な改善法が遂行されているが、現在の改善プロセスはいずれも系統的とはいえない。本論文では、納期重視型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生産スケジューリングの改善フェーズにおける系統的な改善法“パラメータ空間探索改善法”を提案し、その有効性を示す。なお、有効性評価にあたっては、5機械単純ジョブショップ過程モデル上での評価だけでなく、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評価も行い、提案の新技法の有効性を示す。

キーワード：ジョブショップ、シミュレーション、スケジュール改善、パラメータ空間探索改善法

1. はじめに

企業間競争が激化する中、生産活動に対して課せられる条件は製品の品質面、価格面において、また納期面でもますます厳しいものがある。さらに、製品のライフサイクルが短くなったことにより、生産の多品種化あるいは変品種化が促進されることとなり、この状況下においては、生産リードタイムへの関心、また製品の納期への関心がますます高まっている。

従って、各製造企業においては、生産スケジューリング業務の質的向上および効率化は緊急の課題になっており、とりわけ納期重視型の生産スケジューリングに対する期待は大きい。

生産スケジューリングに有効な技法としては、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、また現実に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〔1〕。

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、スケジュール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の研究開発、さらに、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を組み合わせることによる納期重視型スケジュールの研究開発などが盛んに行われている。

しかしながら、シミュレーションベースのスケジュール法そのものは、その技法の特性上、最適化指向の技法ではないということから、シミュレーションベースのスケジュール法にて算出された最初のスケジュール（以後、当初スケジュールと称す）が示されると、この当初スケジュールに関する改善ポイントが思い浮かび、当初スケジュールに手を加えたいという状況が生じるのが一般的である。

納期重視型スケジュール分野においては、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）は、従来法に比べて極めて優れた性能を有することが明らかになっている〔2〕。このBFHS法を実装した生産スケジューリングシステムの実運用例をみても、当初スケジュールに対し、改善のための手が加えられることが少なくない。具体的には、スケジュール担当者が当初スケジュールを見て必ずしも満足するとは限らず、さらにより良いスケジュールに改善したいと考え手を加えることが少なくない。

つまり、シミュレーションベースのスケジュールにおいては、その技法がその特性上、最適化指向の技法ではないということから、また模型の操作性が高いことから一般に、スケジュール自動作成フェーズの後には、出力結果評価→改善策案出→スケジュール自動作成という改善フェーズが続くことになる。

この改善フェーズにおいては、シミュレーションと

* 関西大学

** 京都産業大学

受付：1997年5月14日、再受付（1回）

受理：1997年11月21日

いう技法の特性上、つまりスケジュール作成過程の可視性/イメージ性が高いことから改善提案が比較的案出しやすいという特性がある一方、手を加えた際のスケジュールリング結果の良否について事前に見通しが立て難いという傾向がある。事実、シミュレーションベースの生産スケジュールリングの改善フェーズにおいては、その改善プロセスが系統的に遂行されているとはいえない。

本論文においては、納期重視型スケジュールリング問題に焦点を絞り、シミュレーションベースの生産スケジュールリングの改善フェーズのための新技法を提案し、その有効性を示す。なお、有効性評価にあたっては、従来一般に用いられている比較的単純化理想化された単純ジョブショップ過程モデル〔3〕上での評価だけでなく、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ルリングシステム上での評価も行う。

2. シミュレーションベース生産スケジュールリングにおける改善フェーズ

シミュレーションベース生産スケジュールリングの改善フェーズにおいては、様々な改善法が試行されているが現在それらの中で代表的なものを取り上げると：
[一本づりの改善策]

当初スケジュールを見て、スケジュールリング業務担当者が問題を感じた場合、問題となるジョブ（例えば、納期遅れジョブ）に対し、そのジョブの問題を解決するための方策として、そのジョブ自体のプライオリティを高めて、あるいはジョブの投入日を早めて再スケジュールを試みる。（いわば、これは一本づりの改善法といえよう。）

この一本づりの改善法の場合、プライオリティを上げたりジョブの投入日を早めたりするなどの手当てを施したジョブは当該の問題は解消されることにはなるが、しかし、周りのジョブが、この影響を受け納期遅れになってしまうという現象が起こりうる。さらにこのジョブを手当てすれば、また別のジョブに問題が生じるというように、いわば、もぐら叩き現象が発生し、手数をかけてはみても、“改善”が得られなかったり、また“改善”が得られる見通しがたってもかける手数に見合う“改善”量が得られるがどうかかわからないという問題をかかえている。

[ディスパッチング変更策]

当初スケジュールが満足のいくものでない場合、スケジュールリング業務担当者はシミュレーションベース・スケジュールリング実行時に適用しているディスパッチングルールを変更してみることによって、改善を試みる。スケジュールリング対象となっているワークセ

ンタ全体にディスパッチングルールを変更した場合はもちろんのこと、問題となるワークセンタでディスパッチングを局所的に変更する場合でも、一般に再スケジュールリング結果は当初スケジュールから大きく変化することになる。これにより、“改善”がもたらされることもあれば、そうでないこともある。いずれにしても、このディスパッチングルール変更策においては、スケジュールリング結果の変化量が大きいことから、適用ルール変更前後の相関が把握しづらく、改善を重ねて行うことが難しい。つまり、このディスパッチングルール変更策においても、“改善”見通しの点で問題を抱えている。

上記、改善フェーズにおける、従来の改善法は、いずれにしても系統的な改善法とはいえるものではなく、下記の傾向が見受けられる。

- “改善”に、手数をかけても“改善”が得られるかどうかの見通しがたないながらも、ともかく“改善”を試みている。
 - また、“改善”ができるという見通しが立った場合でも、かける手数に見合う“改善幅”がえられるのかが分からない。
- という問題をかかえている。

3. パラメータ空間探索改善法

改善フェーズにおいて、“改善”を目的として手数をかけるに際しては、当然のことながら、“改善”が得られること、さらに、見込みうる“改善”幅が、投入手数に十分見合うものであるということが重要である。そのためには系統的な改善が必要である。

本章では、「改善フェーズにおいて、“改善”を求めて設定する探索空間の中で実用的な意味で十分に効率的に最良解が求められる」というコンセプトを基にして、パラメータ空間探索改善法を提案する。

まず、第一ステップでは、“改善”を模索するための探索空間を設定する。第二ステップでは、第一ステップで設定した空間の中で、効率的に最良解を見つけ出す。

“改善”を模索するにあたっては、操作しうる要素は各種存在する。前章に例を示した一本づりの改善策の場合では、計画対象のジョブ各々個別に（独立に）ジョブのプライオリティを変化させようものとの前提を設けて、“改善”を模索しようとするものである。この場合探索しうる範囲を「空間」として捉えると、存在するジョブの数だけの次元が存在することになり、また、プライオリティの変化のさせ方の自由度をも加味すると、極めて多次元の空間の中での探索となる。つまり、探索空間は少なくともジョブの数以上の

多次元空間となり、この多次元空間の中での探索を系統的に行おうというのは極めて困難である。

そこで、ここでは“改善”を効率的にかつ効果的に推進するための方策として、有効性の高い探索空間の設定のしかたおよび、その空間内での最良解の求めかたを提案する。ここで提案する改善法をパラメータ空間探索改善法と名づける。

[第1ステップ：探索空間の設定]

- (1) 計画対象のジョブをいくつかの (n 個の) ジョブグループに分ける。ジョブをいくつかのジョブグループに分けるにあたっては、ロットサイズの大きさにて区別する。

この時、設定するロットサイズの大きさをジョブ区分パラメータとして取扱う。

- (2) ジョブのプライオリティは各々のジョブ個別にではなく、またすべてのジョブ全体にわたって一律に変化させるのではなく、ジョブグループ別に各々のプライオリティを変化させる。納期重視型のスケジューリングにおいては、各々のジョブの納期に対し、各々のジョブが有する時間的余裕は、スケジューリング進行過程中、常に変化するが、この時間的余裕に着目し、これをプライオリティの操作に活用する。つまり、余裕時間計算時に、あるジョブグループには時間的余裕を加え、別のジョブグループには時間的余裕を削るという操作を加えることにより、プライオリティを変化させる。

すなわち、あるジョブグループには時間 $\Delta_1, \Delta_2, \dots$ を加え、別のジョブグループには時間 $\Delta_1, \Delta_2, \dots$ を削る (時間 $-\Delta_i$ を加えると同等) こととし、この時に設定する時間 Δ を納期余裕変更パラメータとして取扱う。

- (3) ジョブ区分パラメータおよび納期余裕変更パラメータの2種のパラメータにてパラメータ空間を形成する。

[第2ステップ：探索空間内でのより良い解の探索]

- (4) パラメータ空間すなわち探索対象の空間の中での改善可能性と改善可能時の見通しを効率的に立て、設定した領域において列挙法を用いて最良となる解を見つけ出す。

第1ステップでロットサイズによりジョブをグループ分けし、ジョブグループ別に設定する納期余裕変更パラメータを操作することにより、例えば大ロットジョブが優先して割付けられるスケジュールから別のグループのジョブが優先して割付けられるスケジュールまで、ジョブの割付けが大きく異なるスケジュールを

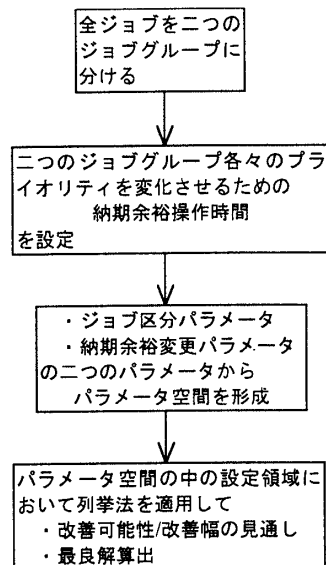


図1 パラメータ空間探索改善法適用の具体的手順例

得ることができる。このことは納期に関連した評価値が大きく異なるスケジュールを得ることが出来る可能性を示唆しており、第2ステップでの探索において、パラメータ空間内の設定した領域内の限られた数の設定点を調べることにより最良となるスケジュールを見つけ出すことができ、前章で述べた改善フェーズの問題点の克服が期待できる。

なお、今回、数値実験を行うに際して用いるパラメータ空間探索改善法の適用の具体的手順は以下の通りである (図1)。

- ①計画対象ジョブは二つのジョブグループに分ける。
- ②ジョブのプライオリティはジョブグループ別に変化させる。
- ③上記①、②のパラメータ、つまりジョブ区分パラメータおよび納期余裕変更パラメータにてパラメータ空間を設定し、このパラメータ空間の中で探索を行う。パラメータ空間すなわち探索空間内での探索を行うにあたっては、各々のパラメータに対して、適切な値を設定する。
- ④列挙法にて、探索空間の中での最良となる解を見つけ出し、同時に“改善”への可能性および“改善”幅を算定する。(このステップは自動計算にて算定する。)

4. 単純ジョブショップ過程モデル上での改善法評価

この章では、前章で提案したパラメータ空間探索改善法を単純ジョブショップ過程モデル上でのスケジュール改善に適用し、提案法の有効性を検討する。

ここでは、平均納期遅れ時間および最大納期遅れ時

間の評価基準に関するスケジュール改善について評価を行う。

当初スケジュールおよび改善フェーズでのスケジュール生成は、フォワードシミュレーション法およびBFHS/typeC法〔2〕を用いる。ディスパッチングルールには、ジョブ数、機械数によらない一般的なルールとされているSLACKと黄らのルール〔4〕を用いる。（以下、それぞれをFS/SLACK、FS/MSPSLと略記する。）また、BFHS/typeC法の第1段階のバックワードシミュレーションではSLACKルールを用いる。

改善法の評価は、単純ジョブショップ過程モデル上で、納期条件ごとに用意した計画データ100題に対し、3種類のスケジュール生成方式でそれぞれスケジュール改善を行い、それぞれの方式で得られる評価値や改善幅を比較検討することにより行う。なお、ここでのすべての計画データは、ジョブ数24、オペレーション（機械）数5とし、納期条件はBaker〔5〕と同じTWK（ジョブの納期＝加工時間合計×（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、ここでの各計画データは、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、各機械での加工時間を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。

4.1 パラメータ空間の設定と探索

[パラメータ空間の設定]

パラメータ空間探索改善法を単純ジョブショップ過程モデル上の計画データに適用するにあたり、ジョブ区分パラメータおよび納期余裕変更パラメータを以下のように設定する。

単純ジョブショップ過程モデルにおいては、ロットサイズを明示的には扱っていないが、一般に、大ロットサイズのジョブは加工時間が長く、小ロットサイズのジョブは加工時間が短いことを踏まえ、ここでは、加工時間合計の長いジョブグループを大ロットサイズのジョブグループ、加工時間合計の短いジョブグループを小ロットサイズのジョブグループと見做してジョブを区分する。具体的には、ジョブのグループ化は、ジョブを加工時間合計の大きいものから降順に並べ、途中で区分することにより行う。つまりジョブ区分パラメータとしては、大ロットジョブグループに属するジョブ数の全ジョブ数に対する割合を用いる。

一方、納期余裕変更パラメータは、大ロットジョブのグループと小ロットジョブのグループに対し反対方

向に同一量だけ時間的余裕を変更させるように独立な納期余裕変更パラメータを1つ設定する。このパラメータの値を変化させることにより、大ロットジョブと小ロットジョブの相対的なプライオリティに関して、大ロットジョブを優先する場合から小ロットジョブを優先する場合までが設定できるよう値を選ぶものとする。

単純ジョブショップ過程モデル上でのスケジュール生成に対して、上記のジョブ区分パラメータと納期余裕変更パラメータによる2次元の探索空間を設定し、その空間内において各々のパラメータの取り得る値を決めて、スケジュール生成を行う。具体的には、ジョブ区分パラメータの値としては、4/24、8/24、12/24を設定する。一方、納期余裕変更パラメータ Δ の値は-96、-48、48、96を設定する。従って、パラメータ空間内に、13個（ $=3 \times 4 + 1$ ）の格子点を設けたことになる。（当初スケジュールが生成される $\Delta=0$ の点も含めて+1とした。）

[最良解の探索]

平均納期遅れ時間および最大納期遅れ時間に関してそれぞれ最良となるスケジュールの探索は列挙法にて行う。すなわち、1つの計画データから、上述の格子点の数のスケジュールを生成し、その中で平均納期遅れ時間に関して最小の評価値を与えるスケジュールを平均納期遅れ時間に関する最良解とし、最大納期遅れ時間に関する最良解を決める。

4.2 結果の評価

表1、表2は、納期条件が極めてきつから緩いまで4段階について、平均納期遅れ時間および最大納期遅れ時間それぞれに関して、3種類のスケジュール生成方式を用いた場合の当初スケジュールおよび最良解の評価値の100計画データの平均値を表している。

まず平均納期遅れ時間に関しては、納期条件のきつさによらず、いずれのスケジュール生成方式を用いても同程度の改善幅で最良解の得られていることが分かる。さらに改善幅の大きさは、当初スケジュールの評価値のスケジュール生成方式による違いと同程度である。表2に示す最大納期遅れ時間については、当初スケジュールの評価値はスケジュール生成方式により差があるが、最良解については方式によらず同程度の評価値を示している。

以上の数値結果より、平均納期遅れ時間と最大納期遅れ時間に関して、いずれのスケジュール生成方式を用いても、また納期条件のきつさによらず、意味のあるスケジュール改善がパラメータ空間探索改善法により得られることが明らかである。

表 1 納期係数別の平均納期遅れ時間の平均値

納期係数	FS/SLACK		FS/MSPSL		BFHS/typeC	
	当初 スケジュール	改善(最良) スケジュール	当初 スケジュール	改善(最良) スケジュール	当初 スケジュール	改善(最良) スケジュール
3.8	7.2	6.3	6.1	5.7	5.8	5.2
4.0	5.2	4.4	4.3	3.8	3.8	3.4
4.2	3.4	2.9	3.0	2.4	2.5	2.1
4.4	2.0	1.5	1.6	1.2	1.4	1.1

表 2 納期係数別の最大納期遅れ時間の平均値

納期係数	FS/SLACK		FS/MSPSL		BFHS/typeC	
	当初 スケジュール	改善(最良) スケジュール	当初 スケジュール	改善(最良) スケジュール	当初 スケジュール	改善(最良) スケジュール
3.8	13.7	12.6	13.9	11.8	12.0	11.3
4.0	9.9	8.9	9.6	8.1	8.3	7.5
4.2	6.2	5.3	5.9	4.6	4.7	4.3
4.4	3.4	2.6	2.7	2.0	2.4	2.0

5. 実稼働中のスケジューリングシステム上の計画データによる評価

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になっている工場はまず存在しない。現実の工場では機械数や取扱ジョブ数、ジョブあたりの工程数が多いため計画データの規模は通常大きく、ジョブの納期設定も納期係数を求めるとジョブごとに異なっているのが普通であり、さらに機械ごとに稼働予定（操業カレンダー）が設定されているなど計画条件は複雑である。したがって、提案した改善法の適用可能性と有効性を示すためには、現実規模の問題にて評価を行う必要がある。

ここでは個別受注生産を行っている典型例としてジョブショップ型機械加工工場を取り上げ、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〔6〕にて過去4年間48カ月間にこのシステムで使われた48計画データに対してパラメータ空間探索改善法を適用し、改善法の評価を行う。

5.1 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。そ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カ月であり、スケジューリングの対象となるジョブは、上位部門から与えられる新規投入ジョブと、計画開始点での工場内仕掛りジョブの両方が対象である。

スケジューリング対象となる製造工程の特徴は次の通りである。

製造工程の規模および操業条件：

- 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。

ジョブおよび工程作業：

- 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。（約3割が仕掛りジョブであり、残り7割は新規投入ジョブである。）
- 各ジョブには、品目名、ロットサイズ、納期および着手可能時刻が指定されている。
- ロットサイズは、1から250程度にまたがっているが、ロットサイズの小さいジョブが多く、約8割はロットサイズが20以下である。
- 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、場合によっては同一の作業場を複数回使用することもある。
- 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っているため、機械操業カレンダーによる作業の中断・再開、あらかじめ予定されている残業時間、段取り時間の品種切り替え依存、搬送時間の存在、ジョブのオーバーラッピングの存在を考慮に入れ（1日を24時間として、1~1.5カ月分の）スケジュールを作成する。

5.2 パラメータ空間の設定と探索

現実の計画データにパラメータ空間探索改善法を適用するにあたり、設定したパラメータ空間とその中で

表3 実稼働スケジューリングシステム上での評価結果

評価基準	FS/SLACK		FS/MSPSL		BFHS/typeC	
	当初 スケジュール	改善(最良) スケジュール	当初 スケジュール	改善(最良) スケジュール	当初 スケジュール	改善(最良) スケジュール
平均納期遅れ時間の 平均値(日)	6.1	4.7	4.6	4.2	3.6	3.0
最大納期遅れ時間の 平均値(日)	20.5	18.3	24.9	19.2	14.3	13.0

の探索について述べる。

計画対象ジョブはジョブのロットサイズにより2つのグループに分ける。ジョブを区分するパラメータとしては、大ロットジョブのグループに区分するジョブ数の全ジョブ数に対する比率をジョブ区分パラメータとして用いる。一方、納期余裕変更パラメータについては、前章と同様に大ロットジョブグループと小ロットジョブグループに対し反対方向に同一量だけ納期余裕時間を変化させる。従って、探索のために設定するパラメータ空間は前章同様2次元の探索空間となる。この空間内で各々のパラメータの取り得る値は次のように選ぶ。ジョブ区分パラメータの値は、10%から50%まで10%刻みとし、納期余裕変更パラメータ Δ の値は、-12日から+12日まで4日刻みとする。従って、探索空間内に、31個(=5×6+1)の格子点を設けることになる。

最良解の探索は列挙法にて行う。なお、現実の複雑かつ大規模な計画データを対象として列挙法を用いる場合には、上述の格子点の数のスケジュールを1計画データごとに生成するのに要する処理時間の長さも実用的観点からは問題にする必要がある。今回の数値実験ではその処理時間も計測する。

5.3 結果の評価

表3に、平均納期遅れ時間および最大納期遅れ時間の評価基準に関する当初スケジュールとパラメータ空間探索改善法により得られた最良解の評価値を示す。ここの数値は、3種類のスケジュール生成方式により生成されたスケジュールの48計画データに関する評価値の平均値である。

この表から、平均納期遅れ時間と最大納期遅れ時間のいずれの評価基準に関しても、スケジュール生成方式によらず当初スケジュールからの改善が得られることが分かる。ただし、改善幅は、スケジュール生成方式の違いによる当初スケジュールの評価値の違いに比べると小さい。これはスケジュール生成方式の優劣の差が単純ジョブショップ過程モデルに比べてより顕著に現れていることによる。3種類のスケジュール生成方式の中で最良のスケジュールを与え、当初スケジュールから極めてよい結果を出しているBFHS/typeC法に関しても、実用的に極めて有用な改善幅が得られ

ている。

なお、今回の数値実験にて、列挙法を現実データに適用した場合の処理時間は、計測した結果、1計画データあたりFS/SLACKとFS/MSPSLについては平均1分20秒、BFHS/typeCについては平均2分(Sun Microsystems, Ultral Model 200E [SPECint 7.44, SPECfp 10.4]での計測値)という実用的な時間であった。

以上の数値実験結果より、パラメータ空間探索改善法は、平均納期遅れ時間と最大納期遅れ時間に関して、いずれのスケジュール生成方式においても、実用的に意味のあるスケジュール改善を効率的に行うことが可能な改善法であり、その有効性が示された。

6. おわりに

シミュレーションベースの生産スケジューリングの改善フェーズのための新技法、パラメータ空間探索改善法を提案した。この方式は改善フェーズにおいて、“改善”を効率的にかつ効果的に推進するために、有効性の高い探索空間を設定し、この空間の中で実用的な意味で十分に効率的に最良解を求める方式である。

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評価し、効率的に当初スケジュールが改善されることを示した。さらに、実稼働中のシミュレーションベースの生産スケジューリングシステム上でも評価を行い、現実の生産スケジューリング業務遂行においても、本方式が実用上有効性の高いことを示した。

シミュレーションベースの生産スケジューリングにおいては、今後さらにその改善フェーズの重要性が増すものと考えられ、改善法の開発は最重要課題の一つであろう。より効率的な探索空間の設定のしかた、探索空間の中での探索法等々、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関西大学工学部管理工学科の杉原俊昭、高原 愛、中村 武君の協力を得、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。

参 考 文 献

- [1] 井上一郎, 冬木正彦: “シミュレーション法活用の生産スケジューリング支援”, 計測と制御, Vol. 33, No. 7, pp. 547-553 (1994)
- [2] 冬木正彦, 井上一郎: “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”, 日本経営工学会誌, Vol. 46, No. 2, pp. 144-151 (1995)
- [3] Conway, R. W., Maxwell, W. L. and Miller, L. W. (関根知明監訳): 「スケジューリングの理論」, 日刊工業新聞社, 東京, pp. 328-341 (1971)
- [4] 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, Vol. 41, No. 6, pp. 383-389 (1991)
- [5] Baker, K. R.: “Sequencing Rules and Due-Date Assignments in a Job Shop”, *Manage. Sci.*, Vol. 30, No. 9, pp. 1093-1104 (1984)
- [6] 日沖幸治, 鹿島正孝, 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)