フォワードおよびバックワード手法を併用した ショップフロアスケジューリング*

今出 祐一^{*1}, 中村 信人^{*2}, 森川 克己^{*2}

Shop Floor Scheduling in Combination with Forward and Backward Methods

Yuichi IMADE, Nobuto NAKAMURA and Katsumi MORIKAWA

An approach to the scheduling of a shop Floor which may involve assembly machines is proposed. The objective of this approach is firstly to maximize productivity by avoiding idle time on the bottleneck machine which has maximum workload, and secondly to minimize average net flow time by making consecutive operations as close as possible. Initially the operation sequence on the bottleneck machine is determined by applying a dispatching rule. On the basis of this sequence, remaining operations are assigned to the specified machines using forward and backward methods to minimize average net flow time. As the initial schedule does not consider the conflict, the human scheduler modifies this schedule interactively until it becomes feasible. From the experiment the following four points are clarified: (1) schedulers can change the initial schedules to feasible ones steadily, (2) performance of the minimization of idle time and the average net flow time largely depends on the scheduler's scheduling ability, (3) schedulers having aptitude for scheduling often seem to produce near optimal schedules, and (4) the proposed approach is suitable for shop floors where the workload ratio of nonbottleneck to bottleneck machines is small.

Key Words: Production System, Operation Planning, Production Management, Production Planning, Heuristics, Human-Computer Interaction, Interactive Scheduling

1. 緒 言

ショップフロアレベルのスケジューリングに関しては従来より多くの研究⁽¹⁾がなされているが、それらを大別すれば、(a)解析的アプローチ、(b)ヒューリスティックアプローチという二つのアプローチに分類できよう。解析的アプローチは理論的に解の最適性が保証されたり、あるいは最適とはいえないまでもかなり精度の高い解が安定して得られるなどの長所があるが、スケジューリング問題が本質的に組合せ最適化問題であることより、小規模な問題ないし非常に厳しい前提条件のもとでしか利用できないのが現状であろう。他方ヒューリスティックアプローチは、得られる解の精度を解析的に議論することが困難であり、非常に精度の悪い解が得られる可能性もあるが、大規模問題に適用できる、適用にあたっての制約が緩いなどの理由により、特に実用的側面から高い関心を集めている。さらに、ヒューリスティックに作成されたスケジュールを、スケジューラ(人間)とコンピュータとの対

話によってよりよいものに改善していく方法についても多くの研究⁽²⁾がなされている。これらの研究の背景には、人間のもつ優れたパターン認識能力を積極的に活用することで、ヒューリスティックスの弱点が補えるとの考えがある。

本研究もまた、人間のもつ優れたパターン認識能力の利用を前提とした研究の一つである。従来の研究と異なる点は、組立工程を含む一般的なショップフロアを対象としていること、ならびに最も負荷の高い機械に遊休の生じない初期スケジュールを作成するヒューリスティックス(フォワードおよびバックワード手法の併用)を提案していることにある。なおこのヒューリスティックスはOPT(optimized production technology)⁽³⁾の考え方を基にしている。本研究で提案するスケジューリング方法は、まず実行可能性を問わないで評価基準に対するよい初期スケジュールを作成し、次にこの初期スケジュールをスケジューラがコンピュータとの対話的処理により実行可能なものへと修正していくものである。このスケジュール修正において人間のもつパターン認識能力を利用している。

そこで本研究では、まず初期スケジュール作成方法について説明した後に、開発したスケジューリングシステムを紹介し、実験によって提案した方法の特徴を

* 平成3年3月9日 中国四国支部第29期総会講演会において講演、原稿受付 平成3年11月13日。

^{*1} 積水化学工業(株) (〒601 京都市南区上鳥羽町2-2)。

^{*2} 正員、広島大学工学部 (〒724 東広島市鏡山1-4-1)。

明らかにする。

2. ショップフロアスケジューリング

2.1 対象 対象とするショップフロアではジョブショップ的な物の流れも可能で、組立工程を含めることも可能とする。ショップフロアに投入された材料は、機械による加工、組立処理(以後オペレーションと総称する)を何回か経て製品となる。各機械はそれぞれ固有の処理機能をもち、代替機械はないものとする。なお材料、製品そしてショップ内の仕掛品を含めてこれらを部品と総称する。また生産指示をオーダーと呼ぶ。

2.2 ボトルネック機械 スケジュールすべきオーダーの集合が与えられたとき、各機械の負荷はそれぞれ異なるのが一般的である。ここに負荷とは当該機械でのオペレーション時間をスケジュールすべきすべてのオーダーで合計して得られる時間値とする。この負荷が最も高い(すなわちオペレーション時間の和が最長の)機械をボトルネック機械と呼び、各オーダーがボトルネック機械において受けるオペレーションをボトルネックオペレーションと呼ぶことにする。

2.3 平均正味滞留時間 多くのスケジューリング問題では材料がショップへ到着する時刻を所与としているが、今日の生産環境、特にジャストインタイム生産方式を採用している環境においては、材料の到着時刻を当該材料のオペレーション開始時刻に一致させることが可能となりつつある。そこでここでは、材料のショップへの到着時刻を、生産スケジュール決定の結果(すなわち最初のオペレーションの開始時刻)として与えることのできる環境を想定する。

さて、ショップフロアの生産性を高めるためには、ボトルネック機械に遊休の生じないスケジュールを作成することが望ましい。そこで本研究においてはボトルネック機械の稼働率を損なうことなく平均正味滞留時間を最小にするスケジュールを求めることを目的とする。ここに平均正味滞留時間とは、製品を構成する材料の到着時刻と製品完成時刻の差の最大値を、全オーダーで平均したものである。最大値を用いる理由は、製品が二つ以上の材料から構成されている場合に、最も早くショップに到着した材料に着目することで、当該製品の最長滞留時間を管理しようとするところによる。

なお、製品完成時刻の代わりに製品納期によって滞留時間を計算する評価基準も提案されている⁽⁴⁾。これは実滞留時間と定義されているが、本研究では製品納期を考慮していないため、正味滞留時間を新たに提案

して用いた。製品納期遅れが許されない環境への本手法の拡張は今後の課題の一つである。

2.4 前提条件

(1) 計画対象オーダーはすべてボトルネック機械でのオペレーションを必要とし、かつボトルネック機械はショップ内に1台しかないものとし、しかもそのボトルネックオペレーションは各オーダーとも一つであるものとする。

(2) 計画対象オーダーはスケジュール作成時点ですべて既知であり、搬送時間、段取時間はすべてオペレーション時間に含めて取扱えるものとする。

(3) オペレーション時間ならびにオペレーション経路はすべて確定しているものとする。よってボトルネック機械ならびにボトルネックオペレーションはスケジュール作成時点で確定できるものとする。

3. フォワードおよびバックワード手法を併用したスケジューリング

3.1 スケジューリング手法の概要 フォワード手法とは、オペレーションが可能となった時点で当該オペレーションを機械に割当てるという方法を、最初のオペレーションから最後のオペレーションへと繰返し適用してスケジュールする方法であり、バックワード手法とはオペレーションが終了していなければならない時刻を基に、部品を最終オペレーションから前オペレーションへとさかのぼってスケジュールしていく方法である。本研究ではまずボトルネック機械でのオペレーション順序を決め、次にこの結果をもとに、二つのスケジューリング手法を、ボトルネックオペレーションを軸にして前工程と後工程に展開していく方法を提案する。

3.2 ボトルネックオペレーションの順序付け まずボトルネック機械に着目し、この機械でのオペレーションを順序付けする。すなわち、ボトルネックオペレーションに順序をつけ、第1番めのオペレーションから順に遊休をはさむことなくボトルネック機械上に割当てていくものである。前提条件(1)より、ボトルネックオペレーションの順序付けが決まると、ある時点(例えば最初のオペレーションの開始時刻)を基準にした時間軸を割当てれば、各オペレーションの最早開始時刻と最遅完了時刻が得られる。この情報をもとに後述するフォワードおよびバックワード手法を残りのオペレーションに対して適用する。

ところで、フォワードならびにバックワード手法によるスケジュール作成は、ボトルネック機械での順序付けを基に行うため、その良否が最終的なスケジュー

ルのパフォーマンスに大きく影響することが予想される。しかしながら、最終的なスケジュールへの影響を考慮したうえでボトルネックオペレーションの順序付けを決めることは非常に困難であるため、一般的に利用されているディスパッチング規則を用いることとする。

3・3 フォワード手法 ボトルネック機械以外の機械で、スケジュール可能になったオペレーションが、製品構造上ボトルネックオペレーションよりも上位に位置する場合に、そのオペレーションを最早開始時刻を起点として前向きにスケジュールする。ここにスケジュール可能になったオペレーションとは、その直前のオペレーションがすでにスケジュールされており、当該オペレーションの最早開始時刻が得られているものを指す。

3・4 バックワード手法 ボトルネック機械以外の機械で、スケジュール可能となったオペレーションが、製品構造上ボトルネックオペレーションの下位に位置するか、あるいはフォワード手法でスケジュールされたオペレーションの下位に位置する場合に、そのオペレーションを最遅完了時刻を起点として時間をさかのぼるようにスケジュールする。ここにスケジュール可能なオペレーションとは、当該オペレーションの直後のオペレーションがすでにスケジュールされているものを指す。

3・5 競合の解消 上述のフォワードならびにバックワード手法では、ほかのオペレーションがすでに機械に割当てられているか否かを考慮することなく、機械的にオペレーションをその機械に割当てるものとなっているため、機械に同時に複数のオペレーションが割当てられることがある。このオペレーションの競合に対しては、

(1) ボトルネック機械への順序付けのあと、フォワードないしバックワード手法でオペレーションの機械への割当てを行う時点で競合の発生の有無を調べ、もし競合が起こったならば、その時点で競合を解消した後、引続き同様の手続きを繰り返す。

(2) まずほかのオペレーションとの競合は考慮外としてすべてのオーダのスケジュールを作成する。その後、競合を起こしているオペレーションについてその解消を試みる。

という二つの方法が考えられるが、前者の方法では全体的なスケジュールの傾向が把握しにくく頻繁なスケジュール修正が必要となりやすいと考えられるため、ここでは後者の方法を採用する。

さて、オペレーションが競合を起こしている場合の

解消方法であるが、これは非常に複雑な問題であり効果的な方法はまだ見当たらないようである⁽⁶⁾。そこで本研究では非常に簡単に競合が解消できる場合を除いては、スケジューラがコンピュータとの対話的処理によって競合を解消するという方法を採用する。

3・6 例題 簡単な例題を用いて提案するスケジューリング手法を説明する。機械台数は5台とし、オーダは一つとする。図1はこの製品の部品展開データと工程構造データを表している。このデータより、機械M3がボトルネック機械であり、オペレーション6がボトルネックオペレーションであることがわかる。このデータに対し、フォワードおよびバックワード手法を適用して作成した初期スケジュールが図2である。なお、時間軸は最初の材料の投入時刻が零となるように設定している。図2から明らかなように、機械M4でオペレーション7と8、そして2と5の競合が発生している。この競合において、オペレーション8と5は先行するオペレーションがないため、ほかのオペレーションに影響を与えることなく開始時刻を早めることができる。そこで、オペレーション8は3時間、5は1時間だけ開始時刻を早めれば、図3に示す実行可能なスケジュールが得られる。なお、このオーダの正味滞留時間は32時間である。

4. スケジューリングシステム

提案するスケジューリング手法は、競合解消のためにスケジューラとコンピュータとの対話的なスケジュー

図1 例題のデータ

図2 初期スケジュール

ール修正を必要とするため、実際にスケジューリングシステムをコンピュータ上に構築することが必要となる。そこで NEC PC-9801 VX 上に Borland 社製 Turbo Pascal Ver. 5.5 を用いてシステムを開発した。図 4 は開発したシステムの画面を示す。画面領域制約などより、開発したシステムには以下のような制限がある。

- (1) 機械台数は 9 台以下である。
- (2) オーダ数は 20 以下である。
- (3) 一つのオーダに含まれるオペレーション数は 9 以下である。
- (4) 組立オペレーションで組合わされる部品は 3 個以下である。

このスケジューリングシステムはこれまで述べてきたボトルネックオペレーションの順序付け、フォワードおよびバックワード手法による初期スケジュール作成、そして競合の解消という三つのステップから構成される。ここでは競合解消のためのスケジューリングシステムの機能について説明する。画面上段はガントチャートの表示に割当てられており、下段に平均正味滞留時間、ボトルネック機械番号、使用データファイル名、ボトルネック機械で使用するディスパッチング規則名が表示され、最終行に五つのコマンドが準備されている。競合が発生しているオペレーションは赤く塗りつぶされて表示される。また、オペレーションをマウスでクリックするとそのオペレーションがほかの

オペレーションに影響を与えることなく移動できる区間が、時間軸の下に表示される。

各コマンドの意味は以下のとおりである。

・自動修正 3・6 節で述べたごとく、ほかのオペレーションに影響を与えることなくオペレーションの競合が解消できる場合に、当該オペレーションを移動させて実行可能スケジュールを見つけることを指示する。ただし、実行可能スケジュールに修正していく過程において評価基準を考慮していないため、たとえ実行可能スケジュールが得られたとしても、これがよいスケジュールであるという保証はない。しかしながら、簡単に実行可能化できる部分を手続き的に修正することで、スケジューラの作業負担を軽減できる。

・全オペレーション表示 オペレーションをクリックした後にこのコマンドを選択すると、当該オペレーションを含むオーダの全オペレーションがハイライトされる。

・開始を合わせる、完了を合わせる 最初にコマンドを選択した後、移動させようとするオペレーションをマウスでクリックし、移動させる先の開始時刻(ないし完了時刻)にてもう一度マウスをクリックすると、当該オペレーションを指定の位置に移動させたスケジュールに修正する。

・終了 システムを終了する。なお完成したスケジュールは画面ハードコピーを印刷することで保存する。

5. 実験

5・1 目的 本研究では、評価基準に対してよい初期スケジュールを作成すれば、人間のもつ基本的なパターン認識能力によって評価基準をあまり犠牲にすることなく実行可能なスケジュールを得ることができるという仮定を前提としている。そこで実験によってこの仮定が成り立つか否かを検討する。同じ初期スケジュールを異なるスケジューラに与えたとき、得られる最終スケジュールがほぼ同じであれば、本研究での仮定が成り立つものと考えられるし、もしスケジューラによりかなりの差がある場合には、基本的なパターン認識能力以外にスケジューリングに対する個人的適性が影響しているものと考えられる。

5・2 予備実験 ボトルネックオペレーションの順序付けにディスパッチング規則を用いる場合、用いる規則の違いによって最終スケジュールの平均正味滞留時間にどのくらいの差が生じるかを検討しておく必要がある。しかしながら、今日までに提案されているディスパッチング規則は膨大な数にのぼるため、すべ

図 3 実行可能スケジュール

図 4 スケジューリングシステムの画面

てを調べることは不可能である。よって比較的広く使われている SPT (shortest processing time), LPT (longest processing time), LTP (least total processing time), MTP (most total processing time) の四つのディスパッチング規則を選んで予備実験を行った。データ数は 24 通り、スケジューラは一人 (すべて同一人物) である。24 通りすべてに対し、ボトルネック機械に遊休のない実行可能なスケジュールが得られ、その結果を検討したところ、これら四つのディスパッチング規則間で平均正味滞留時間に有意差は見られなかった〔分散比 $2.08 < F(3, 64; 0.05) = 2.75$ 〕。この結果はディスパッチング規則がオーダのごく一部の情報しか利用していないことから予想され得る。この予備実験の結果より、特定のディスパッチング規則が常にほかの規則よりも優れた結果を与えるという可能性はほぼないと想定されるため、以下の実験ではボトルネックオペレーションの順序付けにすべて SPT を用いた。

5.3 実験方法

被験者 被験者 (スケジューラ) として 5 人の学生を選んだ。5 人のうち 2 人 (A, B) は大学院修士課程 2 年生であり、スケジューリングについての知識ならびに実験経験が約 3 年ある。残りの 3 人 (C, D, E) は学部 4 年生であり、スケジューリングに関する知識はあまりなくスケジューリングの実験経験もない。

データ 表 1 に示す四つの要因を選び、それぞれ 2 水準を設定した。なお機械のうち組立機械は機械台数が 5 台のとき 1 台、9 台のとき 2 台とした。またボトルネック機械の位置は各オーダともほぼ真中に位置するときと、各オーダで異なる場合を設定した。ボトルネック機械と非ボトルネック機械での負荷比については、ボトルネック機械での負荷を 1 としたときに、非ボトルネック機械での負荷がほぼ 0.9 ないし 0.7 となる 2 通りを考慮した。またボトルネックオペレーションの順序に関しては、ディスパッチング規則で決められた順序を固定のものとして扱う場合と、必要があれば変更を許す場合の 2 通りを取り挙げた。

表 1 実験の設定

Factors	Levels
Number of Machines	5, 9
Place of Bottleneck Operation	Middle, Undefined
Workload Ratio of Non-bottleneck Machines to Bottleneck Machine	0.9, 0.7
Sequence of Bottleneck Operations	Fix, Changeable

スケジュール修正の目標 被験者に対しては以下のような目標を与えた。“まず実行可能なスケジュールに修正すること。次に、実行可能性を保ちつつできるだけボトルネック機械に遊休が生じないようにすること。もしボトルネック機械に遊休のないスケジュールが得られたならば、その状態を保ちつつできるだけ平均正味滞留時間を短くすること。”

実験手順 まず、練習用のデータを各被験者に与え、スケジューリングシステムの使用方法和スケジューリングに対する感覚を養う。次に、同じデータを 5 人の被験者に与え、それぞれに先の目標を達成するように指示する。なお実験中にはほかの被験者の結果を教えないようにした。また被験者の疲労による影響を除くために、1 日の実験回数は 6 回以内に制限した。

5.4 実験結果と考察 実験結果を表 2 に示すが、この結果を検討するにあたっていくつか注意しなければならないことがある。

(1) 被験者はすべて No.1 から No.16 の順に実験を進めたため、実験結果の後半が前半に比べて全体的に優れている理由の一つとして被験者の学習効果が無視できない。

(2) 開発したスケジューリングシステムには、過去が一番よいスケジュールまでさかのぼるという機能がない。そのためボトルネックオペレーションの順序を可変とした場合、どんなに悪くても順序を固定したときの結果を下回ることにはないはずであるが、実際には固定した場合に比べて悪くなった場合があった。

(3) 得られたスケジュールの評価には (近似) 最適スケジュールが必要であるが、それを求めることは困難であるため、初期スケジュールの平均正味滞留時間、そして自動修正 (競合しているオペレーションのいずれかがほかのオペレーションに影響を与えることなく競合解消領域に移動可能な場合に、当該オペレーションを移動させる操作) 可能なところまでスケジュールを修正したときの平均正味滞留時間を比較対象とした。前者はボトルネックオペレーションの順序が固定された条件のもとでは最適スケジュールの下界値となる。しかしながら、初期スケジュールは実行可能性をまったく考慮していないため、下界値が真の値から大きくかけ離れている可能性がある。そこで自動修正により可能な限り競合を解消したスケジュールの平均正味滞留時間も考慮の対象とした。なお、ボトルネックオペレーションの順序を可変とした場合の比較対象には適当なものがないため、先の二つの平均正味滞留時間を用いて議論することとする。なお、実験を行った 16 通りすべてにおいて初期スケジュールならびに

自動修正後のスケジュールは実行不可能であった。

以上の諸点に基づき実験結果を考察する。

(1) すべての実験において、すべての被験者が実行不可能な初期スケジュールから実行可能なスケジュールを求めており、実行可能化には人間のもつパターン認識能力が安定して利用できることがわかる。ただし、ボトルネック機械での遊休時間の最小化などの第2, 第3の評価基準に関しては被験者間にかなりのばらつきが見られる。しかも必ずしも知識があり経験の長い被験者 (A, B) がよいスケジュールを見出すわけではなく、むしろ学習効果が上がるにつれて経験のない被験者 (C, D, E) もよいスケジュールを見つけることが多くなるなど、スケジューリングに適性のあることがうかがえる。

(2) 16通りの実験のうち2通り (No. 1, No. 2) についてはいずれの被験者もボトルネック機械に遊休の生じないスケジュールを見つけることができなかった。この2通りを除いた14通りについてはいずれかの被験者がボトルネック機械に遊休の生じないスケジュールを見出し、その平均正味滞留時間の最良値と、初期スケジュールの平均正味滞留時間を比較すると、最悪で下界値の約1.8倍 (No. 5) であり、そのほかは1.1~1.4倍にとどまっている。しかも自動修正後のスケジュールよりは平均正味滞留時間の短いものもあることから、得られた最良スケジュールは比較的最適スケジュールに近いものと期待される。

(3) 負荷比が小さいほう (0.7) がボトルネック機

械に遊休を生じないスケジュールを求めやすいことがわかる。ボトルネック機械と非ボトルネック機械で負荷にほとんど差がない場合、ボトルネック機械の遊休のみをなくすスケジュールを作成すると、ほかの機械が実質的なボトルネック機械となる恐れがあることも踏まえると、提案したアプローチはボトルネック機械での負荷が非ボトルネック機械の負荷に比べてかなり高い場合に有効であると思われる。

6. 結 言

本研究ではフォワードおよびバックワード手法により作成した初期スケジュールを、スケジューラとコンピュータとの対話的な操作により実行可能な計画へと修正していく方法を提案し、その特徴を実験により検討した。その結果、スケジューラが初期スケジュールを修正することにより実行可能な計画を求めるという目的はすべて達成されたが、ボトルネック機械に遊休をつくらない、平均正味滞留時間を最小化するという第2, 第3の目的に対してはスケジューラによるばらつきがかなり現れ、これらを目的とする問題が比較的取扱い難いものであることがわかった。ただし、最良スケジュールは最適スケジュールにかなり近いものが得られており、スケジューリングに適性のあるスケジューラに対しては第2, 第3の評価基準最適化にもかなり効果的であると期待される。また非ボトルネック機械の負荷がボトルネック機械の負荷に比べて相対的に低いほど、提案したアプローチが有効であることも

表 2 実験結果

No.	Level of Factors				Average Net Flow Time ¹⁾							
	No. of Machines	Place of Bottleneck Operation	Workload Ratio	Sequence of Bottleneck Operations	Subject					Best Schedule	Initial Schedule ²⁾	After Auto Revision ²⁾
					A	B	C	D	E			
1	5	Middle	0.9	Fix	*	*	*	*	*	*	38.8	55.9
2	5	Middle	0.9	Changeable	*	*	*	*	*	*	-	-
3	5	Middle	0.7	Fix	*	44.9	*	*	*	44.9	31.4	40.9
4	5	Middle	0.7	Changeable	*	40.6	*	*	*	40.6	-	-
5	5	Undefinite	0.9	Fix	*	72.5	*	*	*	72.5	39.6	52.7
6	5	Undefinite	0.9	Changeable	*	*	*	*	53.4	53.4	-	-
7	5	Undefinite	0.7	Fix	*	42.5	40.4	*	*	40.4	32.7	40.5
8	5	Undefinite	0.7	Changeable	*	43.2	40.6	*	35.9	35.9	-	-
9	9	Middle	0.9	Fix	*	84.1	78.6	80.3	*	78.6	59.5	77.2
10	9	Middle	0.9	Changeable	*	81.2	*	86.8	*	81.2	-	-
11	9	Middle	0.7	Fix	*	73.3	66.6	74.2	*	66.6	60.9	64.0
12	9	Middle	0.7	Changeable	70.3	64.5	60.9	67.1	61.6	60.9	-	-
13	9	Undefinite	0.9	Fix	74.9	*	79.4	77.2	*	74.9	59.7	74.4
14	9	Undefinite	0.9	Changeable	*	*	64.2	83.0	69.6	64.2	-	-
15	9	Undefinite	0.7	Fix	57.6	56.5	54.3	54.2	55.6	54.2	48.5	54.1
16	9	Undefinite	0.7	Changeable	53.4	*	52.2	55.1	54.1	52.2	-	-

Notes: 1) Asterisks mean no feasible solution without idle time on the bottleneck machine can be obtained.

2) All initial and revised schedules are infeasible.

わかった。

今後はスケジューラによるパフォーマンスの差があまり大きくならないようなスケジューリング支援システムの構築方法について論究していく必要がある。

文 献

- (1) 例えば, Melnyk, S. A., ほか 3 名, *Shop Floor Control*, (1985), 157, Dow Jones-Irwin.
- (2) 例えば, 中村・ほか 3 名, FMS におけるインタラクティブスケジューリングシステムの開発とディスパッチング規則の選択に関する知識獲得, 機論, 56-524, C(1990), 1070.
- (3) Goldratt, E. M., Computerized Shop Floor Scheduling, *Int. J. Prod. Res.*, 26-3(1988), 443.
- (4) 宮崎・世古口・太田, 平均実滞留時間最小化のバックワード・スケジューリング: ジャストインタイム生産方式におけるスケジューリング (第 1 報), 日本経営工学会誌, 39-4(1988), 239.
- (5) 例えば, Bel, G., ほか 4 名, (Kusiak, A. 編), A knowledge-based approach to industrial job-shop scheduling, *Knowledge-Based Systems in Manufacturing*, (1988), 207, Taylor & Francis.