

〈翻 訳〉

米国におけるスケジューリング・ アプローチの現状とチャレンジ

Jacob V. Simons
福島 和 伸 訳

1. はじめに

スケジューリングの重要性について述べることから始め、スケジューリングによる決定を行なうに際しての種々の背景となっている米国での状況について解説する。そして、現在使われているスケジューリング方法について概括する。最後に、今後のスケジューリング分野でのチャレンジとして、主ないくつかの点について考えてみたい。

2. 背景となる要因

特定のスケジューリング方法について議論する前に、これらの方法が適用されるための背景となるいろいろな要因について考えてみるのが重要であると思われる。

(1) 工程のタイプ (Process Type)

スケジューリングの必要性と方法は、それが使われる生産工程のタイプによって変わってくる。プロジェクト型の会社では、それぞれ独立した資源を必要な時にうまく割り当てられるようにスケジュールしなければならない。プロジェクトの各タスクは、その時間的長さがたいへん不確定であるが、各タスクをその技術的な制約条件にしたがってスケジュールしていく必要がある。ジョブショップ型の場合では、多様な製品のミックスが変化していくという需要に合わせるべく、多種の資源をうまく使うように調整しなければならない。繰り返し性の高い連続プロセスの産業では、投資集約型の工場をいかに最大限に操業するかを考えねばならない。その場合、高い稼働率、生産順序の従属性、製品の品質を実現するようなスケジュールが必要である。

(2) 生産の戦略 (Production Strategy)

生産のタイミングに対する会社のアプローチのしかた、すなわち、Make-To-Stock (見込生産)、Make-To-Order (受注生産)、Assemble-To-Order (受注組立)であるのかによっても、どのようなスケジューリング・アプローチのタイプが意味あるのか違ってくる。日本においては、繰り返しの見込み生産企業が多いのに対して、米国においては、受注生産のジョブショップが多いと言う人がいる。しかしながら、このことは、時とともに事実ではなくなっていくと思われる。米国の企業では、コアコンピテンス、すなわち核となった技術力を持ったものだけに、ますます絞り込んで操業し、他のものはできるだけアウトソースするという傾向がある。いずれにしても、それぞれの戦略によって、それぞれ効果的なスケジューリング方法が必要である。

(3) 生産のフィロソフィー (Production Philosophy)

スケジューリング・システムとは、実際、下手に設計された生産システムに対して不適切な応答をするもの以上の何物でもないという意見を唱える人がいる。このことは、つぎのように解釈できると思われる。上手に設計されたシステムであるならば、必要とされる時に生産すればよいのであり、これが、いわゆる“プル”生産と言われているのであるが、何も、いくつものジョブを待ち行列に並べる必要性はないというわけである。米国においてもプル生産が広く行われているのであるが、一方で、プッシュ生産も多くの会社で実施されている。そして、スケジューリングがどのような場合においても重要ではあるが、特にプッシュシステムにおいて、より重要と考えられている。

3. 米国におけるスケジューリング・アプローチの現状

(1) 経験とカン (Shoot-From-The-Hip)

一般に主要な業界での大手企業に関心が集まりやすいのであるが、小さなビジネスもやはり米国経済に大きな貢献をしている。このことは、いくつかの理由が考えられる。第一に、多くのアメリカ人は、自分のコミュニティ、すなわち地域の人たちとビジネスをすることを今でも好んでいること。なぜなら、そのほうがたいへん便利であり、責任感があり、忠誠心があるためである。特に小さなコミュニティでは、擬似パートナーシステムが残っており、近隣の人たちがお互いのビジネスを助け合っている。多くの小企業は、家族で所有し、彼らのビジネスの取り引きに対しても、そのコミュニティへの貢献に対しても、ともによい評判を築いている。そして、そのような小企業は、全国的な規模で、あるいは国際的な規模で競争しているわけではなく、オーバーヘッ

ドを低くして、低コストを実現することができるのである。

このようなビジネスの多くでは、スケジューリングのプロセスは、かなり単純なものである。この単純さというのは、ビジネスの規模が小さいことからくるのかもしれないが、マネジャーの能力が限られていることからきているように思われる。もっと複雑な方法を使えば、やりがいのある改善ができるかもしれないが、小企業にあっては、ふつう最低限の骨だけを持ったメンタリティしかないものである。

正式なスケジューリング・システムのような新しいプロセスに投資する決断を下すのは、絶対にそれが必要となった時だけである。成功している小企業では、それまで成功をもたらしてきたやり方を変えるという必要性を感じていない場合が多い。絶えず改善を続けなければならないという理念に相反すると批判を受けるかもしれないが、これが一般的な見方である。

小企業においては、つぎの2つのアプローチのうちの1つがスケジューリングに対して行われていると思われる。最も一般的なのが、First-Come-First-Service (FCFS) のロジックである。小企業では、それほど遠い未来に対して計画を立てたり、スケジュールを組んだりしないものである。需要の多くが、短期日のうちに依頼されるものだからである。その結果、単純にジョブが到着したら手をつけ、到着順に並べることになる。FCFSは、適用が簡単であり、少なくとも我々のカルチャーのもとでは、“社会的に公正”であり優先順位を公平につけるものと理解できる。この場合、もし対応が遅いということになれば、それは、その生産者が今たいへんに忙しいということを示していると顧客が理解することになる。

小企業でよく使われているもう一つのアプローチが、“Internalized Heuristic” アプローチと呼ぶべきものである。これは、何らかの言葉で表せないロジックにしたがって、マネジャーがジョブをスケジューリングするやり方のことを差している。多くの場合、経験をつんだマネジャーは、スケジューリングについて適切なロジックをすでに作り上げているものである。ただし、そのロジックは書かれたものではなく、コンピュータにプログラムされたものでもない。他の人に説明さえしたことの無いものである。この理由の一つは、ロジックが多面的であり、多くのパフォーマンスメジャー（評価尺度）やジョブの特性を考慮しなければならないからである。そして、そのロジックは、たぶんダイナミックなものであり、最新のビジネス条件やニーズによって変化していくものである。したがって説明が難しく、とくに、その仕事に詳しい人でないと説明することができない。さらに、小企業においてスケジューリングを担当しているマネジャーは、マネジャーというよりも、技能者（テクニシャン）であることが多い。このような人たちの多くは、マネジメントのスキルよりも、テクニカルなスキルのほうで採用され、その面で昇進してきた人たちである。その結果、意思決定のロジックを表現することを好まないか、できないということになる。不幸にして、これが小企業における失敗のもとであることも多い。たとえば、家族企業において、

親が的確な意思決定を行っていたノウハウについて、その息子や娘が知らなかったことに気づくのが遅かったということが起きたりする。

(2) MRP/MRP-II/ERP システム

大企業の間では、ERP (Enterprise Resource Planning systems) が、最有力なスケジューリング・プラットフォームとなっている。MRP (Material Requirements Planning) クルセードが1960年代に始まった時代、比較的少数の製造業ではあったが、このシステムを導入している。皮肉なことに、資材在庫をよりよくマネジすることが、その導入の動機であったのだが、MRPのロジックは、時として在庫を増殖させ、否定的な結果に導くものであると非難されたりすることもあった。それでも、現在、以前よりもまして、MRPが資材管理のためのよりロジカルな基礎とされるようになった。

今後の10年から20年、もっと多くの会社がMRPを導入すると思われるし、一方でまた、多くの会社は導入しないであろう。システムのコストが高いこと、広範囲なデータの収集とメンテナンスが必要なこと、技術的に複雑なことなどが、導入をためらわせており、しばしばプロジェクトが失敗している原因である。

ただし、最近では、他の別の理由からERPシステムを多くの会社が導入してきた。初期の頃の情報システムは、特定のビジネス機能をそれだけ単独にサポートするために開発されてきたという場合が多い。しかし、ビジネスやコンピュータ技術が進歩するにつれ、これらの初期の頃のシステムは、“レガシーシステム (遺産システム)” と呼ばれるようになり、新しいシステムに置き換えられるべきものとなった。多くの会社では、個別仕様に合わせたソフト開発に傾注して高い経費にはまり込むことを嫌い、出来合い (off-the-shelf) のソフトでシステムを新しく置き換える機会であると、ERPを評価したのである。1990年代の後半はY2K問題の可能性を考慮し、とくに多くの数の企業が、従来のレガシーシステムを置き換える手段の一つとしてERPを採用した。ちなみに、2000年以降、導入のスピードは減ってきていると思われる。

さらに、ERPシステムが、いろいろなビジネス機能を取り込んでいくにつれ、以前は自動化されていなかったビジネスプロセスさえ、それを自動化するための手段としてERPシステムを採用するようになってきた。ただし、最も重要なことは、単一の共通プラットフォームを提供することにより、ERPシステムは、ビジネス機能やプロセスを統合するよりよい能力を会社に与えることになることである。共通的なシステムを使用することにより、会社のデータベース間で以前は存在していた違いを減らすことになる。このことは、いくつかの“エアーギャップ”を無くすことにもなる。すなわち、以前は、ある機能の情報システムからのデータアウトプットを他のビジネス機能の別のシステムに手で指示したり、入力し直したりしなければならなかったので

あるが、これがエアギャップであり、これを無くすことになる。このようなエアギャップは、遅れやエラーの原因となっているのである。

今日、米国の大手メーカーの多くは、何らかのタイプの MRP または ERP システムを持っており、中小規模の会社でも導入が増えていると業界誌が報じている。この導入には高い金額と時間を消費する努力が必要なため、最初に ERP システムを導入する会社では、高額報酬を出してコンサルタントに手伝ってもらう場合が多い。大学の卒業生の間でも、ERP 専門職に対する求人が高いものがある。多くの大学では、ERP の概念やロジックを大学のカリキュラムに入れやすくするために、ERP のベンダーとのパートナーシップを結んでいたりする。

(3) ERP プラニング/スケジューリング

ERP システムの心臓部は、1950 年代に考案された基本的なスケジューリングのロジックと同じもので構成されている。ERP は、BOM (bill of materials)、在庫レコード、最終品目のマスター生産スケジュールによって、部品や半製品に対するオーダーのタイミングと量を定めるものである。そのロジックでは、バックワード・スケジューリング・アプローチを用いており、オーダー発行する日を“タイムバケット (time buckets)”と称する固定的な時間単位で計算するやり方を使用している。タイムバケットとは、典型例としては 1 週間という長さであるが、その生産システムをモデル化するときの最小の分解単位となっているものである。

ERP システムは、導入のコストや困難さというほかに、数多くの制約があるがゆえに、批判もされてきた。最も多い批判は、“出来合いの既製品”，すなわち“1 つのサイズですべてを合わせる”というアプローチでは、すべての会社でうまくいくわけではないというものである。特定の会社あるいは特定の業種における特有のプロセスについてまでサポートされてはいない。ある必要なプロセスが、その ERP システムにたとえ存在していたとしても、そのプロセスが実際に運用されるやり方でモデル化されているとはかぎらない。できるだけフレキシブルに対応させようとして、ERP ソフトの開発者は、たくさんのシステムパラメータを用意して、そのプロセスのロジックをある程度うまく仕立て上げることができるようにしてきた。しかしながら、これらのパラメータとそれぞれの値の意味について理解するためには、膨大な教育が必要となってしまう。その正しい組み合わせを選択すると、導入のための時間と困難さがさらに増してくるとともに、それでも、その会社が必要とする機能に依然として足りないということになる。

また、ERP は、スケジューリングの観点から厳密な意味で批判されてきた。第一に、変化する実世界を考えるのに、リードタイムとか、歩留まりとか、ロットサイズとか、不良率などの固定的な計画パラメータに広範囲に依存していることである。たとえば、リードタイムであるが、これは明らかに、ある時点でのそのシステムにおける仕掛り (WIP) のレベルによって決まる

ものである。WIPのレベルは、変化するものである。したがって、リードタイム・パラメータは最悪のケースのシナリオをベースにしたものになってしまう。これによって、低次レベルの部品を必要以上に早めに手配してしまう。WIPが増えると、リードタイムが長くなり、このロジックでは、WIPとリードタイムの両方とも増え続けることになってしまう。これら2つの主要なパフォーマンス指標の改善を促進するどころではなくなるわけである。

「計画とは、ある期間の未来の条件について近い推定をすること」であると言われている。そして、「スケジューリングとは、短期間の現状の条件にもとづいたイベントの正確なリストを作ること」であると言われている。ERPのタイムバケットが最小の分解単位であり、作業のサイクルタイムの多くは1タイムバケットよりも小さいので、ERPは、スケジューリング・システムというよりも、計画システムと言うほうが当たっている。オーダーをいつリリースするかということを知るロジカルな基礎を与えるものが、スケジューリングであるので、1つのタイムバケットの中で、アクティビティの順序(sequence)をスケジュールしたりコントロールしたり、あるいは生産資源を割り当てることに対しては、役に立たないことになる。さらに、基礎的なMRPのロジックでは、ワークセンターのキャパシティを無視している。したがって、ERP生産計画は、実現不可能なものであるかもしれない。

このような制約を穴埋めするために、数多くの“プラグイン”ソフトウェア・モジュールが開発されてきた。とくに、ベンダー各社が、詳細なキャパシティ・プランニングとスケジューリングの両方のモジュールを開発している。しかしながら、これらのモジュールは、直列的に働くものであり、しばしばモジュール間での反復が必要になってしまう問題がある。最初の計画が立てられた後、付け加えられたモジュールによって、その計画が評価され、さらに詳細に計画されていく。そこで、実現不可能な点が検出され、この実現不可能な点を避けるために条件を追加して、もう一度、最初のモジュールを実行し直すことが必要となる。さらに、たいへんな時間と努力を要するとともに、この反復アプローチによって実現可能なスケジュールをたとえ組めたとしても、それがベストなものであるかどうかは分からない。

(4) 有限キャパシティ・スケジューリング (Finite Capacity Scheduling, FCS)

1980年代の初め、ソフト開発者たちが詳細なショップフロア・スケジュールを実現させる試みを始めた。これらのシステムでは、ショップの実際のキャパシティと任意の時点での負荷(workload)を考慮に入れたものである。これらは、有限キャパシティ・スケジューリング(FCS)システムと呼ばれている。

PlenertとKirchmierは、FCSで使われる3つのタイプの方法を分類している。すなわち、ジョブベース、イベントベース、リソースベースというものである。これらの3つの方法は、フォ

ワードパス、バックワードパス、あるいはフォワードとバックワードの組み合わせに対して適用されている。フォワード・スケジューリングとは、開始可能となったら、すぐに開始すべくスケジューリングを行うやり方である。フォワード・スケジューリングの利点は、予期しえぬ遅れに対する防御のために、できるだけ早く仕事に取りかかるということである。この場合、本来の需要が不確定であるほど、できるだけキャパシティを多く確保しておかねばならないことになる。

これとは逆に、バックワード・スケジューリングは、それぞれの納期に終了するように、各タスクをスケジューリングするやり方である。バックワード・スケジューリングのほうが、WIPを最小にするためには有効であり、所要量の変化によりよく対応することができる。なぜなら、絶対に必要となる時まで、リソースを使うように指示しないからである。フォワードパスとバックワードパスを組み合わせることによって、スケジュールの妥協ができ、生産の平準化をしやすくする効果がある。

a) ジョブベースの FCS (Job-Based FCS)

ジョブベースの方法では、まず各ジョブを金額、納期、あるいはその会社の特有のプライオリティに関係するその他の尺度にしたがって、プライオリティ（優先度）を付ける。最も高い優先度のジョブの各オペレーション（各単位作業）をそれぞれ割り当てることのできるワークセンターのスケジュールに入れていく。そして、つぎに高い優先度をもつジョブを同様にスケジュールする。1つのジョブのすべてのオペレーションをスケジュールしてから、つぎの優先度のジョブを組む。ある特定のオペレーションのスケジューリングによって、そのワークセンターのその期間の指定されたキャパシティを超えてしまうような場合、それは早く前倒しされるか、または遅れてスケジュールされることになる。このような“シフティング”は、そのジョブの他のオペレーションに影響を与えるので、それらの調整も必要となる。

b) イベントベースの FCS (Event-Based FCS)

ジョブベースの FCS とは違って、イベントベースの FCS では、シミュレーションスタイルのロジックおよびディスパッチングルールと昔から言われているものを組み合わせた方法を用いている。この方法では、現時点から開始して、現在、仕掛り中のすべてのオペレーションを示す。1つのオペレーションが完了するまで、シミュレーションしている時計を前に進める。そして、その時点で、そのジョブのつぎのオペレーションを考える。もし、必要なリソースが埋まっていなければ、つぎのオペレーションを開始すべくスケジュールする。もし、リソースが埋まっていれば、そのジョブは、そのリソースでの待ち行列に加わることになる。1つのリソースが1つのオペレーションを終了したら、そのリソースでのジョブの待ち行列を確認する。もし、2つ以上

のジョブが待っている場合は、つぎに処理すべきジョブを選択するための何らかの種類の優先度ロジックを適用することになる。ジョブベースの方法の場合と同様に、そこでの優先度ロジックの選択によって、オペレーション・レベルまたは会社レベルでの競争力に影響を与えることになる。この方法の場合、優先度はジョブ・レベルではなく、オペレーション・レベルに対しての適用である。したがって、あるジョブを優先的に流すようにしたいときでも、そのオペレーションの優先度を変えることしかできない。

c) リソースベースの FCS (Resource-Based FCS)

リソースベースの FCS は、イベントベースの方法とある意味で似ている。異なったジョブの複数のオペレーションを一度に 1 台の機械にスケジュールすることが同じ点である。ただし、イベントベースの方法では、すべての機械を一度にスケジュールしてしまうのに対して、リソースベースの方法では、1 つのキーとなる機械のみについてスケジュールするやり方である。キーとなる機械というのは、一般に、そのシステムのボトルネックのことである。このタイプのアプローチの初期の理論的根拠が、TOC (制約理論) として知られている。この場合の多くのシステムにおける前提は、その生産システムで 1 つのリソース (または少数のリソース) のみが、他の残りのリソースよりも厳しいキャパシティ制約をもつということである。その結果、このリソースがシステム全体の能力を決める (制限する) ことになり、最も注意深く管理していかなばならないことになる。したがって、この機械にかける仕事をまず先に、組織レベルまたはオペレーションレベルで決められた優先度にしたがってスケジュールをする。非制約リソースに対するスケジュールは、この制約スケジュールから導かれ、上流のリソースに対してはバックワード・スケジュールリングで、下流のリソースに対しては、フォワード・スケジュールリングでスケジュールされる。ただし、ここでの前提条件は、非制約リソースのキャパシティは、制約リソースよりも大きいというものであるから、非制約リソースに対する詳細スケジュールを行う必要はないという考えもある。むしろ、このシステムが使用する資材のリリースと最終製品の出荷のためのスケジュールを展開するという考え方であると思われる。

d) リソースベースの変形

リソースベース・アプローチのその後のバージョンでは、必ずしも単一のキーリソースだけに焦点をあてるのではなく、もっとフレキシブルに運用するようにしている (Adams, Balas and Zawack/Morton and Pentico/Simons and Simpson)。これらの新しいバージョンでは、作業負荷計画をもとに、そのシステムの制約を特定して見つけていくというスケジューリング・プロセスを加えている。いったん第一の制約が見つかり、先に述べた方法を適用する。ただし、最

初のスケジュールの結果が、他の非制約と見なされていたリソースに与える影響を求めていくという引き続きの手順を含めている。もし、非制約に対する作業負荷が結果的に実現不可能ということが分かった場合、そのリソースは制約リソースと指定され、最初のプロセスが、この新しい情報を考えに入れて繰り返されることになる。このような方法は、少なくとも2つの利点がある。第一に、時間軸にしたがって作業負荷が変わっていく場合に、制約をシフトしていくことができるようになること。第二に、2つ以上の制約リソースが存在する場合にも適用できることである。

e) FCS 比較

上記3つの方法を比較すると、それぞれ利点と欠点がある。ジョブベースの方法は、包括的な見とおしが得られるという利点がある。たとえば、ある1つのジョブは、そのルーティングの全てのステップにおいて、他のジョブに対して同じ優先度を持つことができる。この方法は、待ち行列が短い場合とか、シーケンシング（順序付け）が重要な問題ではないような場合に、最も効果的である。一方、イベントベースの方法は、それぞれの特定のリソースの稼働を最大にする能力を持っており、WIP レベルが高い場合に最も効果的である。たぶん、この方法は、装置産業型のところに最も適用できると思われる。ただし、イベントベースの方法は、近視眼的な性質があり、ジョブベースの方法が持っている包括的な見とおしに欠けるところがある。リソースベースの方法は、たとえ需要が変化しても、ある特定のリソースで長期的にボトルネックが続くような場合に適したものである。そのロジックを効果的に使うためには、非制約リソースが明らかに大きなキャパシティを持っているか、あるいは、反復のスケジューリングが必要となる。

(5) FCS 対 ERP

FCS と ERP のロジカルな関係は、どのようなものであるのかについて考えよう。すでに述べたように、ERP が未来に対する計画を第一に立てようとしているのに対して、FCS は、現時点での条件をもとにして、より詳細レベルのスケジュールを立てようとするものである。もう一つの違いは、ERP は、第一に資材リソースのアベイラビリティにもとづいて計画しようとするのに対して、FCS は、レイバーまたは生産リソースのアベイラビリティ、すなわちキャパシティに焦点を当てることを第一にしていることである。その意味では、2つのシステムは、補完的なものである。主として、資材によって制約されている生産システムの場合は、ERP が十分な計画ツールである言えよう。ただし、生産リソースのキャパシティが大きな制約となっている場合は、何らかの種類の FCS が必要になると思われる。もう一度繰り返すが、米国における製造業は、MTO、すなわちジョブショップ・タイプが多いため、キャパシティ制約を重視することが多い。したがって、今後、FCS が使われる傾向が高いと予想できる。

また、これら2つのシステムにおける情報の関係について考えてみよう。両方のシステムとも、かなりの量のデータを必要とする。ただし、ERPのほうは、すでに長期間で多くのデータによって運用されている。たとえば、BOM（資材表）、ルーティング、標準時間などである。そして、これらのデータは、FCSでも使うことになる。すでに多くの会社がERPシステムを持っているので、FCSを開発するにあたってERPプラットフォームで動かすシステムを作り上げるか、少なくともERPシステムからダウンロードしたデータで動かすシステムを作り上げればよいことになる。しかしながら、すでに述べたように、ERPのプラグイン・モジュールが持つ問題が、システムの統合やフィードバックに対して存在する。多くの場合、ERPシステムからFCSシステムへ一方通行的にデータが流れるだけになっている。もしFCSシステムがERP計画の修正が必要であることを示した場合、手修正や繰り返しのプロセスが必要になってしまうからである。

一方、FCSが必要とするデータもある。とくに、ダイナミックなショップフロアの条件に関するデータで、ERPシステムには含まれていないものである。また、ERPを導入していないとか、導入したくないという会社も多くある。マネジャーの中には、これら2つのタイプのシステムにおける考え方やロジックは相矛盾すると考えている人もいる。この理由により、FCSシステムの中には、スタンドアローン・システムとして運用すべく設計されているものもある。

(6) APS (Advanced Planning Systems)

FCSは、基本的なERPシステムよりも、より詳細で複雑なスケジューリングの能力があるが、欠点もある。すでに述べたように、FCSの多くは、資材所要量を考慮せずに、生産キャパシティに焦点を当てている。ただし、先に述べたFCSの各方法とも、静的な計画期間を使っている。言い方を換えると、ジョブの手持ちの所要量にもとづいて、ある時点でのスケジュールを組む。このようなアプローチについて批判する人は、すでに存在しているスケジュールの中に新しいジョブをダイナミックに挿入するハンドリングを必ずしもうまくできないと言う。したがって、1つのジョブが加わるそのつど、単純に全てのスケジュールをやり直すことになる。使用している方法によっては、新しいジョブを1つ挿入すると、かなり大きな変更を生み出すことになってしまう。このことは、MRPシステムでも、長年、“繊細すぎ”として知られていた問題と同様である。

ごく近年、ソフト会社（vendors）が、APSシステムと呼ばれるものを供給するようになった。ベンダーの多くは、古いシステムを新しい用語を使ってマーケットに出しているので、APSシステムを提供しているというベンダーが、何を意味しているのかを調べてみるのが重要である。APSシステムと呼ばれている多くは、すでに述べたFCSシステムそのものであり、新しい名前を使っているだけという場合が多い。

APSシステムの中には、資材計画、予測、流通、輸送ロジックなどを含めて、新しい機能を

付加し、確かにFCSとは違っているものもある。しかしながら、APSの中に組みこまれたスケジューリング・ロジックは、先に述べたFCSと同じであるように思われる。したがって、APSという用語は、本当にユニークなスケジューリング・ロジックというよりも、いろいろなビジネス機能を付加してサポートすることを指しているようである。このようにいろいろな機能を付け加えていくことは、ERPシステムにいろいろな付加機能を組み込んでいくことと、同じことである。言い方を換えると、APSベンダーは、スケジューリングを高めていこうとするだけでなく、機能領域を拡大することによって、幅広い範囲の顧客によりアピールすべくシステムを作っ
ていこうとしている。すなわち、ERPシステムと直接的な競合関係になっていくと思われる。

4. 生産フィロソフィーの進化／統合

以上の内容は、主としてコンピュータをベースにしたスケジューリングの方法に焦点を当ててきたものである。しかしながら、このような方法は、ある特定の生産システム、方法、フィロソフィーの状況の中でのみ意味があるが、米国における生産フィロソフィーは、進化し続けているということに留意しなければならない。

すでに述べたように、米国における製造業において、プル生産方式の導入に関する数多くの初期的な議論を重ねたすえ、日本で開発されたプル生産方式の導入が増えた。しかしながら、産業、マーケット、組織、あるいはまたその他の違いから、かんばん方式をそのまま適用することを難しくしていることが多い。その結果、プルタイプのロジックを別の形で試みようとしているいくつかの興味深い方法が考案された。

たとえば、TOCのフィロソフィーがDBR (Drum-Buffer-Rope) と呼ばれる形で導入された。この点については、議論の余地があるが、多くのアメリカ人は、DBRをプルタイプのシステムとして考えている人がいる。なぜかという、ボトルネックでの生産速度が、この生産システムへリリースする資材を制限しているからである。したがって、WIPも制限することになる。このアプローチの推進者は、かんばん方式よりも全体のWIPを減らすことになると考えている。そして、制約リソースのスループットを守るために必要なところだけWIPを積みばよいと主張している。

DBRとかんばんの折衷案のような方法として、CONWIPがあると思われる (Hopp and Spearman)。CONWIPとは、Constant Work-in-Process という意味である。かんばん方式の場合のように、各工程間でWIPを置くのではなく、また、DBRのように制約リソースの前に置くのではなく、CONWIPでは、WIPの場所を特定せずに、その生産システムにトータルとしてのWIPをコントロールしようというものである。かんばん方式と比較して、全体のWIPを減

らすことができ、生産しようとする製品品目のフレキシビリティが大きく可能となる。したがって、この方法であれば、繰り返し生産の製造業だけに限定されることなく、もっと一般的なフローショップでも使用できることとなる。DBRと同様に、CONWIPでも制約が存在するやり方である。WIPは、普通、制約リソースの前に累積されるからである。ただし、CONWIPでは、ある特定の静的な制約の存在に依存するのではなく、シフトしていく制約に対応できるようになっているのである。

さらに、もう一つ別の生産コントロールの方法として、POLCA (Paired-Cell Overlapping Loops of Cards with Authorization) と呼ばれるものがある (Suri)。この方法は、カンバンのロジックをジョブショップの状況に拡張しようという試みであると思われる。このアプローチの本質は、ジョブショップ環境でのもとの、工程のペアーの間でWIPを制限するために、コントロールカード (かんばんと類似している) を使うというやり方である。ここでの前提は、ある一つの忙しいリソースでの待ち行列になっている仕事に制限はないということである。ただし、コントロールカードはリソースを特定するものであり、部品を特定するものではない。したがって、何を生産すべきかについては、フレキシビリティがたいへんに高いことになる。このアプローチは、システムレベルではなく、ワークセンターレベルでのCONWIPタイプのロジックを適用する手段として考えることもできる。

5. ユニークな方法 (Unique Methods)

全ての米国の企業が、統一して最良の方法が何かを決めているわけではない。ある企業は、ある方法について、その特定の業種では実現できないとか役に立たないなどの理由で使わない。たとえば、装置産業では、その要求する条件や状況などが独特なものであり、むしろ計画やスケジューリングに対しては、従来からのアプローチをそのまま使っていく傾向にあるように思われる。

このような企業のために、業種に特有ないろいろなスケジューリング方法が考えられてきた。たとえば、化学や製紙会社などでは、需要、原料のアベイラビリティ、資材のグレード、バッチの履歴、シーケンスなどを同時に考慮して、生産スケジュールを作り出す個別開発のシステムを使っている場合が多い。別の例では、木材会社の場合であるが、それぞれの材木の物理的特性だけでなく、現時点の価格や在庫レベルなどを考慮して、どの大きさでどの形の材木を切るのかを決めていくアルゴリズムを工夫したりしている。このようなケースでは、そのタイプのビジネスで使われるデジジョンサポート・システムに組み込む特別のアルゴリズムをORの専門家が開発しているのである。

6. チャレンジ

米国における現在のスケジューリング事情について述べてきたわけであるが、我々がこれから直面するであろう新しい挑戦についても検討しておきたい。今まで、繰り返し強調してきたことであるが、米国におけるスケジューリングの実際といってもたいへんに多様性がある。そして、大きく変化している。そこで、これからの未来において、スケジューリングを形作るいくつかの課題について考えてみる。

(1) アプローチに対する理解

まず最初のチャレンジは、新しいスケジューリングの方法について、そのユーザーが理解することである。一般に、企業は、いまその会社で行われているやり方について従業員に教えているので、我々大学としては、新しい方法、異なった方法に気づく力をもった人材を作り出すことが要請されているはずである。スケジューリングについて学ぶ米国の学生は、普通、IE、生産技術、ビジネスの分野で学士号をとって卒業する。

教育者としての役目は、いくつかの理由でチャレンジングなものである。ビジネスを学ぶ学生の多くは、学部レベルで一つの分野を取り、修士レベルでさらにもう一つの分野を取る場合が多い。それらのコースでは、いくつかのトピックについて学習するが、その中に、全体のコース時間の一部分を使ってスケジューリングを扱う。この分野の実務は、急速に発展しているので、教師は、卒業までにいろいろな種類のものと出会う可能性を学生に与えねばならない。したがって、限られた時間に、2つのアプローチ、一つはより伝統的なアプローチ（プッシュ生産、ERP）、そして比較的新しいアプローチ（プル生産、DBR、FCS）を分けて扱うことになる。

大学での教育で、新しいスケジューリングの方法について教えることは、非常に限られていること、そして企業では、専ら現在の方法について焦点をあてがちになることから、企業のマネジャーにとって、新しいスケジューリング・アプローチについて認識することは、かなり難しいことになる。

(2) ソフトウェアに組み込まれたアプローチのビジビリティ

新しいスケジューリング・アプローチが米国において普及する第一の手段は、アプリケーションソフト経由である。ある会社において、どのスケジューリング・ロジックが望ましいかを定めるために、そのアプローチをサポートしているソフトウェア・ベンダーを探すというのは、理屈にかなったことと思われる。ただし、必ずしも、このような場合だけではない。むしろ、ソフト

ウェア購入の決定は、他の基準、たとえばコスト、いま存在するソフトウェアとの互換性、ユーザーインターフェースがよいかどうか、サポートされている機能／プロセスの数などにもとづくことが多いと思われる。そこで使われているスケジューリング・ロジックは、マイナーな検討項目でしかすぎず、その会社の現在のやり方と違っているかあるいは互換性がないということが分かって、結果的に検討を中止することも多いようである。

たとえユーザーが、ある特定のソフトウェア・アプリケーション（現在、この分野での用語を使うならば“ソリューション”）が、その会社のビジネスプロセスと互換性があり、競争的に優位なものであることが分かって、実現困難という判断になることもある。スケジューリング・ロジックは、ソフトウェア・コードに組み込まれている。ソフト会社によっては、そのロジックを公開することを拒否しており、そのソフト会社の資産と考えて守っているところもある。ソフト会社によっては、単純に、ロジックについて詳細には知らせていないということもある。そして、多くのソフトウェア・パッケージの場合、実施段階でのパラメータ設定によっていろいろな形に仕上げていくわけであるが、そのソフトウェアがいったいどのように振舞うのか一般化して説明することが難しいことが多いのである。たとえば、ユーザーが使用するロジックのタイプを決めることができても、いろいろなソフトウェア・アプリケーションやベンダー間を通してのアルゴリズムのパフォーマンス比較を確かめる能力はほとんどないと思われる。

大学の研究者は、提供されているいくつかのソフトウェア・アプリケーションのスケジューリング・ロジックを研究し、内容を記述し、分類し、テストをすることによって、この課題に対する挑戦を手助けすることができるのではないだろうか。ただし、ここには、いくつかの理由から難しい問題もある。第一に、このタイプの研究は、大学でのキャリア昇進に対する価値がそう高くないこと。第二に、そのロジックを解明するのに大学といっても、ユーザーと同じ立場にある。第三に、新しいソフトウェア・アプリケーション開発の速度が、比較研究を完成させる速度を超えてしまっていることである。

(3) サプライチェーンマネジメント (SCM: Supply Chain Management)

企業内での機能をよりよく統合していくことに加えて、米国の企業では、SCMの重要性が強く叫ばれるようになった。米国の企業は、Wickham Skinnerが描いたモデルをますます追いつめているようである。日本でも導入している製造業があると思われる。このモデルによると、いろいろな種類の製品やサービスを提供している大規模な工場が、より限られた範囲の産出物に焦点を当てている各工場のネットワークによって置き換えられるというものである。ある一つの工場の“コア・コンピテンス”の部分ではない能力 (capability) が必要となったときには、その能力はアウトソースする。さらに、最低価格のソースを探して厳格な購買をするよりも、むしろ、

少数のサプライヤー（顧客でさえ）との長期的な関係を作り上げることにする。これらのサプライヤーとは、共通の競争的な優位性を分け合っているのである。

サプライネットワークにますます依存していく、この傾向のマクロレベル効果は、バーチャル組織としてのサプライチェーン全体を見ることができることである。したがって、一つの会社の中でも、いろいろな機能を統合化することにもサプライチェーンが適用される。サプライチェーンの各メンバーは、そのサプライヤーとカスタマーとして、より緊密にコミュニケーションするようになってくる。そして、ソフトウェア・アプリケーションが、この統合化の仲立ちとして働くのである。結論を言えば、スケジューリングの互換性とは、一つの企業の機能間だけでなく、サプライチェーンの企業間においても必要なことである。

(4) ビジネスプロセス・リエンジニアリング (BPR: Business Process Reengineering)

企業がすでに述べたタイプの変化をとげていくにつれ、そして、企業が絶えず改善を続けていくとき、ビジネスプロセスが統合化されるだけではなく、ビジネスプロセス・リエンジニアリングによって本質的な変革をとげることになる。プロセスが変化すると、スケジュールすべきものが変化していく。そして当然、それをスケジュールするためのベストウェイを生み出していかねばならない。

最近、Portugal と Robb の論文では、スケジューリング理論の応用性に疑問が提起されている。ビジネスプランニングのシナリオというのは、プランニングレベル、生産のタイプ、生産の戦略、生産のサイクルタイムによって、変わるものである。したがって、詳細のスケジューリング方法は、これらのファクターの比較的少数の組み合わせにしか適用できないという結論である。

とくに、スケジューリングは、生産サイクルタイム（ジョブを完了するために、どれだけの時間がかかるか）が、生産計画単位期間（すなわち、計画のタイムバケット）を超える場合にのみ意味があるという見方が興味深い。この見方の意味するところは、BPRによって代表的なサイクルタイムを計画単位期間よりも短くすることができれば、マネジメントは、詳細スケジュールを組む必要性を効果的に無くすことができるということである。換言するならば、マネジメントは、計画をより粗くすることができ、計画単位期間内で何をすべきかという詳細は、ショップフロア担当者など、より低いレベルのマネジメントの裁量にまかせることができるということである。

この論文の著者は、このような判断は、必ずしもいつも成功するとは限らないことを認めているが、この見方は、生産システムを適切に設計することによって、詳細スケジューリングの必要性を無くすことができると Spearman が述べていることと一致していると思われる。このことは、プル生産における基本的な前提条件であるかもしれない。企業がそのプロセスを絶えず変革

していくとき、プル方法を選択するにせよ、しないにせよ、スケジューリングの必要性に基本的な変化をもたらすものだと考えられる。

(5) E-コマース (E-Commerce)

たぶん上記の（プル生産における）前提条件のもっとも良い例は、e-コマースの急激な成長に見られる。B2CとB2Bの両方とも、物やサービスを速い速度で交換するためにITが用いられる。ただし、この現象について、ある人達の発言を聞くと、つぎのような印象を受ける。製品をカーソルで選んでクリックすることによって、得ることができるとなると、伝統的な生産を陳腐化していくというものである。（このような発言は、ウォールストリートの金融トレーダが、会社の売り買いだけでお金を作り出すことができ、その会社が何を生み出すことができるかは関係ないと明言していることを思い出してしまうのである。）

実際、ある会社のトップが、情報技術が生産効率の重要性を凌駕したと言っているのを聞いたことがある。しかしながら、より速くオーダーでき、商品を受け取ることができる能力が、生産をより簡単にできるであろうか。むしろ反対に、e-コマースによって、生産をフレキシブルに、敏感に行なうように圧力がかかると思われるのである。

このことは、新しいオンライン・ビジネスについてのあるテレビコマーシャルで十分に表現されている。ある新しいビジネスを担当しているメンバーが、ウェブ・ベースの顧客オーダーシステムが稼働しているのを熱心に監視している。受注件数をカウンターが表示しており、最初のオーダーを受けてから、それがどんどん増えていく。そして、彼らは「ビジネスが成功した」と言って、安堵と情熱をもって叫ぶ。しかし、カウンターが増えつづけ、ものすごいスピードでいよいよ警戒レベルにまで達すると、彼らは沈黙してしまうのである。このような大きな需要に対して、いかに対応すべきかを知らないことに気づき始めたからである。すなわち、ここでの主張点は、e-コマースは、生産スケジューリングの重要性とダイナミックに変化していく条件に対応する必要性を増していくということである。

7. データの正確性

さらに別のチャレンジ課題は、データの正確性の問題である。ERPやFCSといった計画とスケジューリング・システムの実施は、かなりの量の正確なデータに強く依存している。スケジューリング・アルゴリズムも、正確なデータがあることを前提としている。しかしながら、経験的なリサーチによる意見であるが、実世界のデータは、それほど正確ではないということである。

不正確なデータには、いくつかの原因がある。一つの原因は、把握しようとするデータ・エ

レメントの選択そのもの（あるいは、データを取る時のタイミング）の問題である。データ・エレメントを決めるのが難しく、主観的である。別の原因としては、データを収集する担当の従業員が、正確なデータを得るために、必要な手間と努力を払うことに価値があるものと思っていないこと。企業経営のセンスからすると、利益はコストに勝るものであるべきだが、その利益がデータを集める人以外の人に与えるものであるとすると、その人にとって、そのトレードオフが価値あるものとは思えないわけである。最後に、たとえ正しいデータが得られたとしても、データ入力の際にエラーが発生する恐れが存在する。

スケジューリングが、不正確なデータにもとづいているのであれば、生み出されたスケジュールも意味のない達成できないものになってしまう。このような欠陥スケジュールを立てると、従業員もマネジャーも、そのスケジューリング・システムに対して信頼を失ってしまう。その結果、そのシステムにおいて、正確なデータを維持しようとすることの重要性さえおろそかとなり、悪循環におちいることになる。最後はエスカレートして、システムが事実上、使えないものになってしまう。

この問題に対処するためには、スケジューリング・システムにおいて、データの不正確さがどの程度であるのかを評価する能力をマネジャーがもつ必要がある。また、不正確さの発生元を特定して、それを除去する方法を見つけるツールも必要である。これがうまくいかない場合は、少なくとも不正確なデータによってセンシティブに反応しないスケジューリング結果を作るようにしなければならない。このような研究は、あまり行なわれていないのであるが、正確なデータを前提にしたスケジューリングの方法を作り出そうとしているかぎり、リスクを負っているのである。

8. サービス部門

サービス部門の成長についてのインパクトを指摘せずに結論を締めくくることはできない。米国経済の75%以上は、サービスのビジネスに負っているであるが、サービス部門での生産性改善は、大きく製造部門に対して遅れをとっている。別の言い方をすれば、大きな金額のインパクトを与えるようなサービス改善を行なう機会が残されているということである。

人のスケジューリング、レイバースケジューリングは、実はたいへん注目すべきことであると思われる。より良いサービス・スケジューリングを達成できるような改善の可能性に対して、実務家も学者も今まであまり注目していなかった。多くの場合、製造業で考え出されたスケジューリングの方法をそのままサービス部門に対して、擬似製造業と見なして移転しようとしただけである。たとえば、物理的な形のあるWIP、順序をつけたオペレーション、繰り返し処理などという要素をそのまま使用しようとした。しかしながら、サービス部門の多くの部分は、實際上、

形のないものであり、とくにペーパーワークのフローは、理解しにくいものである。

サービス・スケジューリングは、複雑なトピックであり、カスタマイゼーションのレベルは、ますます高くなっていくと思われる。処理時間を予想するのも難しい。サービスのセットアップ（段取り）についても全く研究されていない。ある特定のタスクのバッチ処理を遂行するのに、相当長い準備時間を使っているのが分かっているにもかかわらず、そのことについての研究が進められていない。さらに複雑さを増していることは、サービス・オペレーションが、相反する優先度をもった多くの因子を含んでいるということである。“ハード”なオペレーションのファクターと“ソフト”な行動面でのファクターとが同時に存在しており、これがサービス・スケジューリングに問題を与えている。しかし、うまくできるようになれば、得られる利益の可能性も大きいのである。

9. おわりに

米国のビジネスは速い変化の状況下であり、国際競争が変化を速くしてきた。そして、コンピュータ、通信、輸送の能力の進歩が、これを促進してきたのである。さらに、米国のビジネスは、生産のプランニング、スケジューリング、コントロールに対して、いろいろな方法を開発し続けている。現在、この分野のソフトウェア・アプリケーションの開発と実施にあたっては、スケジューリングのプロセスとロジックが大きな決定要因となっている。また、ソフトウェア導入を決定する段階で、スケジューリング・ロジックの質や妥当性以外のいろいろなファクターも考慮されている。とくに、企業内・企業間の機能の統合化に力を入れることは、今日の米国において、非常に大きな関心事となっている。ビジネスプロセスが進化し続けると、それによってスケジューリングの重要性に気づくことになる。場合によっては、ビジネスプロセスの変化により伝統的な分野で、スケジューリング理論の妥当性が減ることもある。しかしながら、eコマースやロジスティクスをますます重視するのあれば、とくに新しい分野では明らかに重要性が増していく。今まで以上に、実務家も学者も、いろいろな分野での仕事をいかにうまく遂行するかという方法を競って探り出しているところである。

本稿は、米国ジョージア州立ジョージアサウザン大学の Dr. Jacob V. Simons が、2001年8月3日に日本経済新聞社の主催によって講演した内容である。この講演において、福島和伸が通訳兼コーディネータを担当したのであるが、その時の日本語翻訳原稿を論文調に書き直したものである。なお、城西大学経済経営紀要に本稿を掲載することについては、日本経済新聞社の承諾を得ている。

参照文献

- Adams, J., E. Balas and D. Zawack (1988), "The Shifting Bottleneck Procedure for Job Shop Scheduling", *Management Science* (34), 391-401.
- Hopp, W. and M. Spearman (2001), *Factory Physics* (2nd edition), New York: Irwin/McGraw-Hill.
- Morton, T. and D. Pentico (1993), *Heuristic Scheduling Systems with Applications to Production Systems and Project Management*, New York: John Wiley.
- Plenert, G. and B. Kirchner (2000), *Finite Capacity Scheduling*, New York: John Wiley.
- Portugal, V. and D. Robb (2000), "Production Scheduling Theory: Just Where Is It Applicable?", *Interfaces* (30), 64-76.
- Simons, J. and W. Simpson (1997), "An Exposition of Multiple Constraint Scheduling as Implemented in the Goal System (Formerly Disaster)", *Production and Operations Management* (6), 3-22.
- Suri, R. (1998), "Don't Push or Pull-POLCA", *APICS-The Performance Advantage* (November), 32-38.

《Summary》

Current U. S. Scheduling Approaches and Challenges

By Jacob V. SIMONS

This paper provides a current review of production scheduling methods and challenges in the United States. It begins with a discussion of the importance of scheduling and the various contexts within which scheduling decisions in the U. S. are being made. Scheduling methods are perceived to be dependent on the company's process type, production strategy, and production philosophy.

The paper then provides an overview of both traditional and relatively newer methods currently in use. While smaller companies continue to use informal heuristics, many larger manufacturers have chosen to implement computer-intensive MRP and ERP scheduling systems. Although MRP-based systems provide a means of integrating complex manufacturing organizations, their schedules have been criticized as not being sufficiently precise or providing much support for lead time reduction.

Finite Capacity Scheduling (FCS) and Advanced Planning Systems (APS) have been developed to address these concerns by more specifically considering current shop conditions. These systems typically develop schedules by focusing on job priorities, future expected shop conditions, and/or constraining resources.

Finally, several topics are discussed which present challenges to the practice of scheduling. These include user understanding and visibility of scheduling methods, software and data issues, and evolving business processes, to include Supply Chain Management.