

(6)：“ノウハウ活性化シミュレーション法”に基づく 生産スケジューリング業務支援

— 組織・システムアプローチ —

井上 一郎, 冬木 正彦

1. はじめに

生産活動が現実に行われている場においては、その生産の効率化および質的向上を目的とするスケジューリング業務が何らかの形で存在している。生産形態が単純で規模が小さいときには、たとえ組織の中で業務が明示的な形で存在していないように見えても、現場統括者の頭の中では、より効率的な生産のためのやりくり/手配計画が日常的に描かれスケジューリング業務は存在している。一方生産形態が多品種化などにより複雑化し、規模が大きくなったときには（頭の中でのやりくり/手配といったレベルでは追いつかず）手書き線表等にて計画立案を組織的に行うことになる。

昨今、品種の整理統合化が図られてきているとはいえ、スケジューリング業務担当者が取り組まなくてはならないスケジューリングの規模は依然大中規模であり、

- ・工数：スケジュールをたてるのに多大な工数がかかる。
 - ・スケジュールの質：業務のアウトプットであるスケジュールの質が満足水準に達し難い。
 - ・モラル：業務担当者のモラルが上がらない。
- という大きな問題をかかえている。

このスケジューリングにおける問題を解決するには、

- ・いかなる 方向 に向かって解決していこうとするのか
(コンセプト)
(例えば、'スケジューリング業務自動化'、'マンマシン協調'あるいは'業務担当者支援'などの方向がある)
- ・いかなる やり方 でその方向へもっていくのか
(方法論)
- ・その際にいかなる 技法 を用いるのか (技法)
- ・そして、その技法、やり方を 実際に使える形 に

いのうえ いちろう 京都産業大学経営学部
〒603 京都市北区上賀茂本山
ふゆき まさひこ 関西大学工学部
〒564 吹田市山手町3-3-35

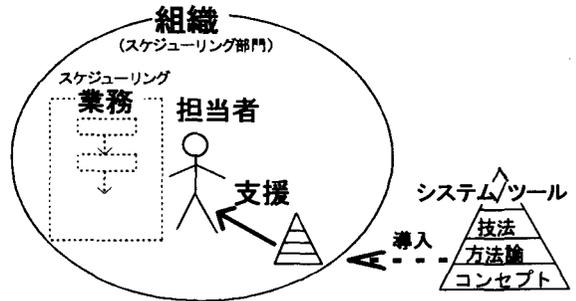


図1 生産スケジューリングに関する
組織・システム科学フレーム

いかように具現化するのか

(ソフトウェア化→システム化/ツール化)

を明確にしかつ実践に移し、具体的にシステム/ツールが構築されなくてはならない。

以上が、組織・システムアプローチ（組織・情報システム科学を基にしたアプローチ）におけるスケジューリング問題の見方であり（図1）、ここでは、コンセプト、方法論、技法、システム/ツールはスケジューリング問題の解決に必要な諸要素（広義の解法）と考える[1]。

昨今の厳しい経済情勢下、生産分野のスケジューリング（生産スケジューリング）は、高生産性、高柔軟性を創出する「戦略技術」と多くの企業が位置づけ、具体的に技法開発そしてシステム化に尽力してきている[2, 3, 4 など]。

生産スケジューリングのシステム化にあたって使われる技法としては、

- ①最適解/近似解指向のOR法
- ②シミュレーション法
- ③AI法

などにタイプ分けされようが、これらいずれの技法を

ベースに開発された既存のシステムも、システム開発部署の手で依然実験中であつたり、試行中であるとされるレベルのものが多く、スケジューリング担当部署（製造実行計画部署）が実践の場で日常的に使っているという実運用レベルに達しているシステムはいまのところ極めて少ない。これを、組織・システムアプローチの立場でコンセプト/方法論/技法/システムの観点から分析すると、

(1)生産スケジューリングに対し、スケジューリング業務担当部署とシステム開発担当部署との認識の相違、
 (2)スケジューリングシステムの位置づけの不適切さ、
 (3)スケジューリング技術そのものの実用性、
 に起因するものと考えられる。換言すれば、部署間でのコンセプトの不整合、また、コンセプト/方法論そのものの不適切さ、さらに技法の実用性に問題があるということになる。

ともあれ、技法に限って若干検討を加えると、“実践”の場に供し、有用性を発揮するには、技法そのものとしても現実規模（つまり、品種数、機械数、ジョブ数の点で大中規模の生産システム）がモデルとして取り扱え、しかも現実的な速度で処理されなくてはならないという条件が課せられる。この条件を考慮するに、現在のところはシミュレーション法がこれまでの実績と今後の可能性から見て、最有力の技法であると考えられる[5]。

本稿では、このシミュレーション法をいかに生産スケジューリングの場に“実践”し、具体的に有用性を創出するかという観点で、スケジューリングの解法を組織・システムアプローチの立場から説明する。ただし、紙面の関係で、今回は、シミュレーション法の実践にあたっての基本的な考え方（コンセプト）及び方法論に焦点を絞る。

2. シミュレーション法による問題解決

システムシミュレーションは、現実世界の問題対象をシステムとして捉え、これを模型化しコンピュータ上でその動きを模擬することにより問題解決を図ろうとする方法である（図2）。この方法を用いて、模型の挙動を観察することにより得られる情報をうまく加工編集し表示すれば、問題解決者は現実世界の複雑な動きを把握しやすくなるばかりでなく、実際に打つべき手が考案でき、その手を打てばどうなるかについてのイメージが描きやすくなる。つまり、システムシミュレーションは本質的に

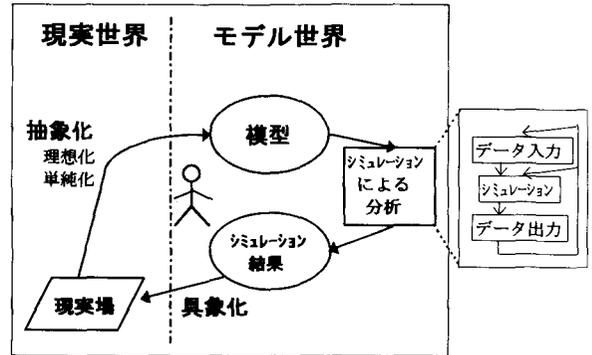


図2 シミュレーションによる問題解決アプローチ

- ・数値解析性 の他に
- ・時系列変化把握性
- ・イメージ性

の特性を合わせ持つ方法といえよう。

問題に合わせて構築された模型は、コンピュータ上にのせられ、必要なデータが入力され、決められた手順に従ってコンピュータ演算がなされて、データ出力がなされる。つまり、コンピュータシミュレーションが実行され、シミュレーション結果としての数値データを得る。これはシミュレーションの数値解析性に焦点をあてた形でのシミュレーションであり、最も一般的なパターンであるが、このパターンにおいては、

- 1)問題対象が大きく複雑になった場合の模型記述/挙動把握の困難性の問題が生じ、
- 2)たとえ模型記述ができた場合でも検証性の問題が生じる。

シミュレーションは前述のように、時系列変化把握性、イメージ性という特性を合わせもたせることが可能である故、これらの特性を活用することによってシミュレーションの適用範囲を拡大しその有用性を強化しうる。

システムシミュレーションを行うにあたっては、シミュレーション模型を明示した上で、データ入力→シミュレーション実行→シミュレーション経過/結果データの視覚化→結果の評価→改善案案出→入力データ変更→シミュレーション実行→・・・というシミュレーションプロセスサイクルを基本に考え、このサイクルを円滑に循環させうる機構を具備することが重要である。これにより、問題解決者の保持するノウハウがシミュレーションに反映されるだけでなく、問題解決者が潜在的に保持するノウハウもシミュレーションのプロセスサイクルを循環する中で活性化されることになる。

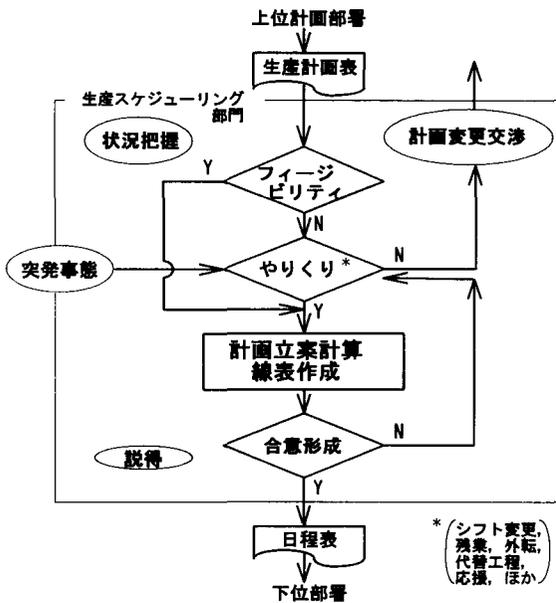


図3 スケジューリング部門におけるスケジューリング業務フロー

本稿では、シミュレーションの特性を生かした、より積極的な活用法である“ノウハウ活性化シミュレーション法”を紹介し、この技法を実践に移すためのシステム具現化について述べる。

3. 生産における計画業務に関するノウハウとシミュレーション

まず、ノウハウ活性化シミュレーション法の背景を概観する。

生産スケジューリング業務は通常生産管理部門の1セクション、あるいは工場の工程係といわれるセクションでスケジューリング業務担当者によって遂行されている。ここでの業務内容をつぶさに調査すると、スケジューリング業務は、上位計画部署より課せられる生産計画案(条件)に関する、フィージビリティチェック、やりくり、実行計画立案計算/線表作成等からなっている(図3)。

現在スケジューリング業務に関しては、工数、スケジュールの質、モラル等の点で多くの問題をかかえており、これらの問題解決を旨として、シミュレーションシステムの導入の試みは数多くなされてきている。しかし目的を満足するシステムの開発例は極めて少ないといわざるを得ないのが実状である。図に示されているように、計画立案、フィージビリティチェック、やりくり等にかかる評価、意思決定はこの業務の中核

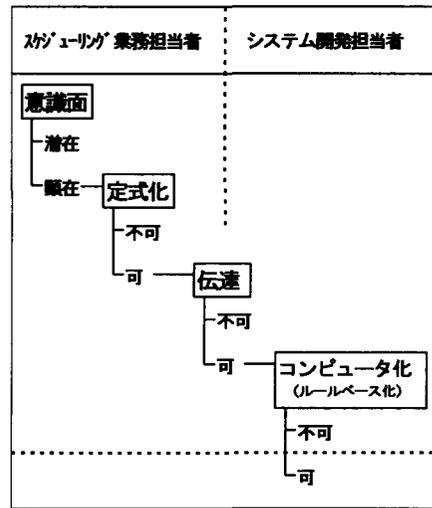


図4 ノウハウの分類

をなしており、これらは極めて人間的要素が強いものであり、過去から蓄積されてきた様々なノウハウが下地となり、これらのアクションがとられている。我々は、スケジューリング業務の中での計画、評価、意思決定に関係するノウハウを調査し、以下の所見を得ている。

- ・ノウハウは通常、計画/評価/意思決定を行う人の頭の中に存在し属人的で微妙なものが多い。一般にこれら微妙なノウハウは業務担当者に言葉で表現してもらうことが難しいだけでなく、もともと表現が不可能と考えられるものも少なくない。
- ・計画/評価/意思決定業務の積み重ねの中で、無意識に形成され、蓄積されているノウハウが少なくなく、これらのノウハウが重要な役割を演ずることが多い。従ってこれらのノウハウは業務遂行担当者の意識にのぼってこないだけに、問い出そうとしても聞き出せない。

上記の如く“ノウハウ獲得”は不可能かあるいは非常に困難であることが多い。図4は上記の調査結果を基に業務遂行担当者のノウハウを分類したものである。シミュレーションを行うにあたって、コンピュータ上に模型化し得る部分は点線以下の部分のみであることに留意する必要がある。

4. ノウハウ活性化シミュレーション

生産システムシミュレーションは文字通り現実世界のつまり現実の生産システムのワークセンタや加工物(ジョブ)などの挙動を模型化しコンピュータ上でそ

これらの動きを模擬するものである。前述のように、模型の挙動より得られる情報をうまく加工編集し表示すれば、業務担当者は現実世界の複雑な動きを把握しやすくなるばかりでなく、実際に打つべき手を打てばどうなるかについてのイメージが描きやすくなる。実際に打つべき手、うちうる手が複数存在するときには、それぞれを評価し、比較し、いずれを取るか意思決定するときにも上記シミュレーションの特性により、これら評価、意思決定の質的向上及び効率化は促進できる。さらにこのシミュレーションのイメージ性に関して筆すべきことは、上記評価の過程で、さらなる改善に向けて打ちうる手（改善案）のイメージが思い浮かぶ可能性を有することである。

コンピュータシミュレーション技術を導入することにより、計画/評価/意思決定に関する業務の効率化、質的向上を図りうる可能性は十分に大きい。これはシステム部門、スケジューリング部門の共通認識である。これら業務が現在かかえている問題を解決すべく、コンピュータ支援技術を導入するにあたっては、この技術の可能性を最大限引き出すために、以下の諸条件の確認は不可欠である。

- ・システム開発にあたっては、まずシステム開発部門とスケジューリング部門とは異なった視点を有していることを各々が明確に認識しておくこと。
- ・特にシステム開発部門は、計画/評価/意思決定業務遂行に関しては膨大な量のノウハウが存在し、かなりのノウハウは抽出することも、まして定型化、コンピュータ化することもできないものであるということを確認しておくこと。
- ・さらに、これらノウハウの中には、無意識のうちに使われているが非常に本質的で重要な役割を演じているものが少なくないことを認識しておくこと。

以上の見解を基礎にすえ、“ノウハウ活性化シミュレーション”コンセプト/方法論が提案されている[6]。

それは、『計画/評価/意思決定業務の効率化及び質的向上のため、コンピュータシミュレーションを駆使し、業務ノウハウの最大活用を図る。つまり定式化可能/伝達可能/コンピュータ化可能ノウハウをコンピュータシステムに移植して活用するだけでなく、さらに業務遂行者の頭の中に存在する潜在ノウハウに着目し、コンピュータシステムが人間の知的活動を活性化するように働きかけること（ノウハウ活性化）により積極的に活用する。』というものである。

この方式は、コンピュータシステムによる業務の完

全自動化を目差すのではなく、業務遂行者とシステムとが“協調”することにより、あるいは、業務遂行者をシステムが知的“支援”することにより質の高い業務を効率よく行おうとする方式ともいえよう。

5. ノウハウ活性化のためのメカニズム

ノウハウ活性化シミュレーションコンセプトを具現化するには、

- ①計画案の高速自動生成 及び
- ②その出力結果（計画案）の評価を容易にし、さらに改善を促進し、最終的に的確な意思決定を支援するためのメカニズム

が必要である。ノウハウ活性化シミュレーションのコンセプトに基づくスケジューリング業務支援システムを実現化するにあたっては、図5に示すようにシミュレーション活用による計画案の自動生成機構と、ヒューマンインタフェース機構とからシステムを構成する。そしてこのインタフェースを媒介にしてスケジューリングの業務担当者とのやりとりの中でスケジュール案を分析・評価し意思決定を行っていく。この過程で、シミュレーションー調整サイクルを形成し、業務担当者のノウハウを利用し活性化しつつ、質の高い計画立案を行い意思決定を支援して行こうとする方式である。この方式が実現するためには高速シミュレーション技術、出力結果の情報要約技術、評価容易性を高めアイデア創出を促進する視覚的表現技術、ディスプレイ

ノウハウ活性化メカニズム

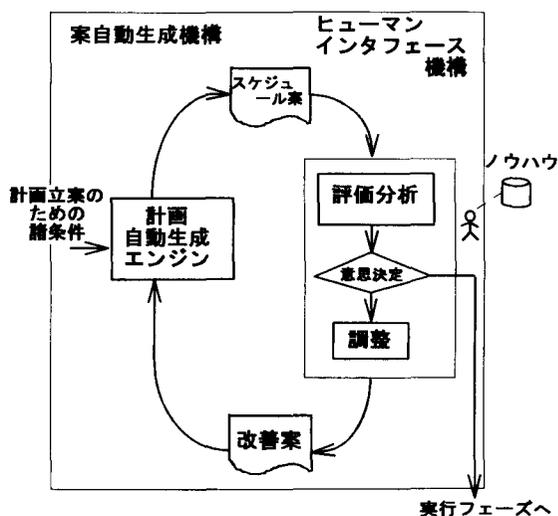


図5 スケジューリング業務におけるノウハウ活性化メカニズム

上での試行錯誤を容易にする情報編集加工技術などが要素技術として必要となる。

シミュレーション調整サイクルの形成

ノウハウ活性化が円滑に行われ、質の高い計画が立案され、評価/改善が加えられ最終的に的確に意思決定が下されるためには、

- ①スケジュール案の作成が迅速にでき（計画案作成）、
- ②作成された案の良否が評価でき（評価）、
- ③評価結果が思わしくない時にはその問題点が究明でき（問題点究明）、さらに、
- ④その問題点に対し、いかにすれば改善できうるのかが思い浮かぶ（改善策案出）、
- ⑤改善のアイデアそして具体策が出てくればそれを反映した形で、改良版スケジュール案が迅速に作成できる（改良版計画案作成）、

以上②～⑤を繰り返す、というサイクルが形成されることが重要である。

5. 1 スケジュール案自動生成機構

シミュレーション調整サイクルを形成するにあたって、その中核要素であるスケジュール案自動生成機構が備えなくてはならない条件としては、まず、

- ①現実規模の生産システムに関するスケジュール案が作成でき、しかも迅速に生成されることである。その上に、
- ②スケジュール案作成結果は調整が行いうる程度以上の質が保証されていること。（なぜなら、結果の質が悪ければ、調整しようという意欲が湧かないばかりか事実上不可能となる。）その他、
- ③スケジュール案作成過程がイメージされやすいこと（これは、次の作業である調整をやりやすく、アイデアを湧きやすくするために重要である。）

などがあげられる。

上記の条件のうち、現実規模の生産システムのシミュレーションにおいて高速化を実現することは極めて重要であり、この技術（高速シミュレーション技術）が鍵であると考えられる。スケジュール案作成結果の質を向上させる方策としては、従来のシミュレーション法を単独ではなく、ジョブの重要度別に複数回繰り返すという方法（多段階シミュレーション法）や、フォワードシミュレーション法をとバックワードシミュレーション法を組み合わせる方法（BFHS法）などがある[7,8]。

5. 2 ヒューマンインターフェース機構

シミュレーション調整サイクルを形成するにあたって、もう一つの中核要素はヒューマンインターフェース機構である。この機構は文字通り業務担当者とのインターフェースであり、業務担当者が、スケジュール案自動生成機構より出力された結果を評価し、問題点を究明し改善案を案出し、それをスケジュール案の調整/改良案として発展させていくにあたり、業務担当者のノウハウを活性化しつつ、これらの諸活動を促進させるものである。この機構を具現化するツールの形態としては、

生産スケジュール生成結果を計画線表（ガントチャート）に表示するツール、作業場のジョブの負荷量の、また作業場の仕掛け量の時間推移を表示するツール、稼働率を表示するツール、ジョブの納期達成率を表示するツール、複数案を比較対照し分析するツールさらに、生産進行状態を動的表示（アニメーション）することにより案を分析支援するツールなど複数の独立したツール群及びその組合せ

から構成される。（いわゆるツールズ・システム[1,2]）

これらのツールが満たすべき要件としては

- ①現実規模の生産システムデータ（一般に大量データ）がEDP的に扱え、
- ②表示するにあたっては、情報が要約され人間が理解/評価しやすい形で提示されること（情報要約/表示技術）、そのためには
- ③提示されうる情報はバラエティがあり（多面的情報提供機能）、
- ④見たいものが見たい形にできること（編集加工機能）、
- ⑤特に、全体が鳥瞰できると同時に任意の部分が拡大分析できること（鳥瞰/ズーム機能）、
- ⑥表示された結果の画面上で、結果の一部に修正を加え調整できること（出力結果の調整機能）、
- ⑦これらはEDP的に大量データ処理であってもレスポンスが速いこと（高速/迅速性）、

などが挙げられる。

6. スケジューリング技法/スケジューリングシステムの実用的仕様および適用例

現実場における生産スケジューリングの効率化および質的向上を狙って、組織・システムアプローチの立場から、コンセプト、方法論を説き、さらにノウハウ活性化シミュレーション法を説いてきた。これらを

“実践”に移し、現実にも有用性をもたらすためには、技法の詳細な説明及びシステム化/ツール化に際してのガイドラインが必要であろうが、ここでは紙面の関係で、基本的諸元を参考として示すに留める。

以下は、著者らの実態調査及び実践システム構築を含むケーススタディの経験から割り出した値である。

- ・ 模型規模：品種数100以上（ジョブ数100以上）機械数2桁以上のモデルが記述できること。
 - ・ シミュレーションスピード：1回の計画立案（案自动生成機構での処理）に要する時間が数分以内であること。
 - ・ シミュレーション調整サイクル：ノウハウ活性化が円滑に行われるためにも、1サイクル20分以内で循環でき、試行錯誤が容易であること。
- なお、ノウハウ活性化シミュレーション法に基づくシステム構築/運用例としては、鉄道車輛部品工場のスケジューリングシステムなどがある[9, 10]。

組織・システムアプローチそしてノウハウ活性化シミュレーション法は、数々のケーススタディ、実践システムのインプリメンテーションを通してその有効性を確認してきている。

7. おわりに

この実践講座の初回より繰り返し述べられているように、スケジューリング問題は基本的なものでさえ解くのが極めて難しいとされている。まして、現実規模の多品種生産のスケジューリング問題を解くことは至難あるいは不可能であるというのが一般認識であろう。

しかし、現実の場に目を転ずれば、多品種生産の場においても生産スケジューリング業務は歴然と存在し、多くの問題をかかえながらもスケジューリングが実行されてきてはいる。この状況の中で山積する問題/困難をいく分たりとも緩和し、スケジューリング業務の効率化、質的向上に何らかの形で役立つ“技術”（解法）の開発/整備に対するニーズは切実である。

組織・システムアプローチ（組織・情報システム科学に基づくアプローチ）は、この状況の打開に貢献しうる解法であると著者らは確信している。

複雑化高度化する生産環境下におけるスケジューリング問題等益々複雑化する現実世界の問題解決にあたっては、人間の知恵の活用（ノウハウ活性化）はなお一層重要となっている。シミュレーション技術とりわけ、ノウハウ活性化シミュレーション法はこの観点でも大いなる可能性を内包する技術であり、今後の発展

が期待されている。

参考文献

- [1] 井上一郎, 山田善靖, 組織柔軟性向上のための生産システム構築・実施論—“セクター最適性”コンセプトと支援ツール—, 組織科学, Vol. 22, No. 1, 1988, pp. 37-52.
- [2] 黒田充, 生産スケジューリング研究の課題と展望, 生産スケジューリング・シンポジウム'94講演論文集, 1994, pp. 1-13.
- [3] 松本和男, 生産スケジューリングへの熱い期待, 計測と制御, Vol. 33, No. 7, 1994, pp. 531-532.
- [4] 上野信行 他, 生産スケジューリングは役にたったか?—実際の生産スケジューリング問題の課題と解法アプローチについて—, 精密工学会誌, Vol. 60, No. 4, 1994, pp. 501-507.
- [5] 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, 1994, pp. 547-553.
- [6] INOUE, I. and FUYUKI, M., A Know-How Activated Simulation Tools-System for Production Management Support, in: Browne, J. (ed.), Knowledge Based Production Management Systems, North-Holland, 1989, pp. 73-82.
- [7] INOUE, I. and FUYUKI, M., Interactive Jobshop Scheduling Activity Support System - User Interface and Case Study -, in: Eloranta, E. (ed.), Advance in Production Management Systems, North-Holland, 1991, pp. 451-458.
- [8] 井上一郎, 冬木正彦, バックワード/フォワードシミュレーション法に基づく納期重視型生産スケジューリング, 生産スケジューリング・シンポジウム'94講演論文集, 1994, pp. 100-105.
- [9] 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—, OR学会1990年度秋期研究発表会アブストラクト集, pp. 48-49.
- [10] 冬木正彦, 井上一郎, 大規模生産システムにおける計画業務支援のためのシミュレーションシステムLSIP-モデルとシミュレーター, シミュレーション, Vol. 11, No. 4, 1992, pp. 314-324.