

て中間バッファ量に制限がある場合にはこれと矛盾し、ジョンソンルールが適用できない場合が起きる。2機械モデルにはS. K. Duttaらの研究[6]があり、それを m 機械に拡張した由良らの研究[7]があるが、まだ残された課題は多いように思う。

参考文献

- [1] Stecke, K. E. : Design, Planning, Scheduling, and Control Problems of Flexible Manufacturing Systems, *Annals of OR*, Vol. 3 (1985), 51-60.
- [2] 山本, S. Y. ノフ : 自動生産システムにおけるスケジューリング方式, *日本経営工学会誌*, Vol. 33-3(1982), 189-195.
- [3] Yamamoto, M. and S. Y. Nof : Scheduling/Rescheduling in the manufacturing operating system environment, *Int. J. of Production Research*, Vol. 23-4(1985), 705-722.
- [4] Bard, J. F. : A Heuristic for Minimizing the Number of Tool Switches on a Flexible Machine, *IIE Transaction* Vol. 20-4 (1988), 382-391.
- [5] Conway R. W. et al, 関根智明監訳 : スケジューリングの理論, 日刊工業(1971).
- [6] Dutta, S. K. & Cunningham, A. A. : Sequencing Two-Machine Flow-shops with Finite Intermediate Storage, *Management Science*, Vol. 21-9(1975). 989-996.
- [7] 由良, 人見 : 中間在庫に制限のあるフローショップスケジューリング, *日本機械学会論文誌C-48巻* (1982), 1094-1106.

FMS設計に活きるOR

藤井 進

1. はじめに

フレキシブル生産システム, FMSは, 1970年代の後半から多品種少量生産の効率化の決め手として機械加工を中心に急速に導入が始まり, 板金加工, 組立等生産に関わる多くの分野に普及した。その背景には, 需要の多様化, 個性化といった多品種少量生産体制への移行に対する強い要請や労働者の高齢化等の社会的変化と, マイクロエレクトロニクス技術, 通信技術の進歩とそれに伴う固有技術の発展という技術面での変化があった。

FMSは自動生産設備群を自動搬送装置により結合し, コンピュータによって制御することにより自動的に生産を行なうことのできる多品種少量生産向きのシステムであり, 設備の制御ソフトウェアと治工具を変更することにより多様な製品を加工できる点が, 従来の専用の量産向き自動生産システムと異なる。

このようなシステムの設計と運用について, 本論ではオペレーションズ・リサーチの観点から概観する。

2. システム設計とORマインド

FMSを導入する主な目的は多様でかつ変動しやすい製品需要に迅速に対応できる能力を多品種少量生産の場に付与することである。その導入により, 自動化, 省力化をはじめ無人運転による稼働時間の増加, リードタイム短縮, 在庫削減などの生産性向上, 製品の品質化といった直接的効果を楽しむことができる。さらに, FMSの効率的な設計, 運用のために製品の設計標準を設定する等の合理化により工数や治工具数等の削減といった間接効果や生産管理の簡素化, 前後工程の効率化などの波及効果も期待できる。これらの効果は, リードタイム, 在庫量, 仕掛り期間などの総合的経済性評価項目と, 機械台数, 作業者数, 投資額, 加工費用, 加工時間, 所要面積などの個別の評価項目によって評価されている。

FMSの設計導入過程は導入計画, 基本設計, 詳細設計を経て製造, 設置, 稼働開始, 運用に分けることができる。導入計画段階における生産対象製品群の設定とその生産量, 生産頻度等の長期的な生産計画の見通しはシステムの構成や規模を決定する重要な要件であり, 設計仕様の大枠を与える。FMSの性能に大きな影響を与え

る主な設計要因は次のとおりである。

- (1) ワークステーション数 (加工, ロード, アンロード, 洗浄, 検査, 組立等)
- (2) 搬送速度, 搬送能力 (容量, 台車数等)
- (3) システムレイアウト
- (4) パレット, 取り付け具の数, 工具マガジン容量
- (5) パレットプール容量, パレツェンジャ容量
- (6) 保管能力 (容量, 保管物寸法等)
- (7) 各種決定規則 (台車の運行スケジュールとその経路, ワークの加工工程と機械選択, 故障時対策等)

さらに, システムの性能は実際の運用時における製品の種類, ロットサイズ, 投入スケジュールにより大きく影響される。このように初期投資の大きさとシステム設計段階においてシステムの運用時まで含んだ数多くの要因を考慮に入れることの必要性から, FMS 設計過程における設計手順として OR における問題解決の手順, すなわち,

- (1) 問題の明確化
- (2) 目的の設定
- (3) システム合成 (解決策の提案)
- (4) システム解析 (解決策の評価)
- (5) システム選択 (解決策の選択)
- (6) 実行計画

を, 意識的に繰り返すように規定されている場合も多い。このようにまず設計の基本プロセスにおいて OR マインドが重視されていることは, 従来の単体的な設備や専用性の高いシステム導入と FMS の導入とが質的に違うことを示唆しているといえよう。

3. FMS 設計, 運用とシミュレーション

FMS の設計は組合せ的であり, 多数の設計候補案が考えられる。したがって, 最適解の選択に解析的な OR 手法の有効性が期待されるが, めだった成果を挙げるにいたっていないのが現状であろう。さまざまな理由の中で, システムの対象製品が長期的には特定しがたく本質的に不確定であること, システムの性能評価項目が多様であり, 多目的として取り扱わねばならないことなどが主なものとして考えられる。また, 現実に取り扱う FMS の規模であれば設計者の経験で十分に対処できるため, 大規模システムに有効な手法を必要とするにいたらないとも考えられる。

解析的手法の適用の難しさに対して, FMS 設計の有効なツールとしてシミュレーション技法は広く用いられ

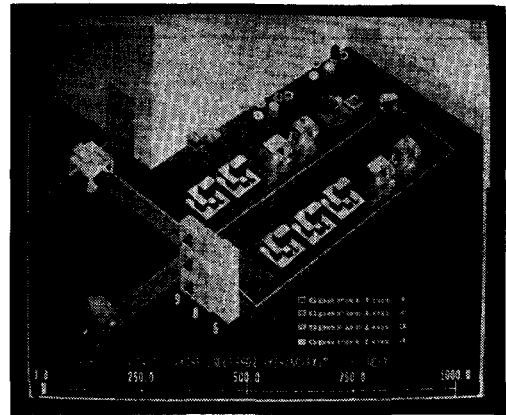


写真 1 アニメーション出力例 (構造計画研究所提供)

ている。しかし初期の頃には, 海外からの引合いのさいに, 提案の妥当性を明らかにするシミュレーション結果の提示を要求されたためという場合も多かったようである。その後, 設備台数やシャトル容量など, 微妙ではあるが設備規模ひいては投資額に大きく影響する決定をシミュレーションを用いて実施した事例が報告されることによって, 設計案の性能評価に対するシミュレーションの有効性が次第に明らかとなり, 現在ではさまざまなシナリオのもとで設計案を計画段階で評価するのが当然となっている。

シミュレーションの普及に伴って, シミュレーション言語, あるいは FMS 専用シミュレータの開発や導入が活発に行なわれ, FMS 設計に不可欠なツールとなっている。特に端末機のグラフィック機能の向上とともにシミュレーション結果のグラフ表示ばかりでなく動的なアニメーション表示機能をもつものが多くなり, 設計者が計画案の問題点を動的な状態変化を観察しながら効率よく抽出し, 適切に対処できるようになっている。また, アニメーション表示は顧客に対する視覚的説得用ツールとしても有効であることが認識されており, その表示画像も 3 次元立体表示を可能とするなど最大の効果を挙げる工夫がなされている。写真 1 に汎用シミュレーション言語 SLAM II のシミュレーション支援システム TESS による 3 次元表示画面の例を示す。

FMS の運用段階において有効な OR 手法の代表は, 本誌別稿に述べられているスケジューリング技法であることは言うまでもない。シミュレーション技法もまたこの段階において有力な方法である。作成されたスケジュールの視覚的評価やその改善の支援ばかりでなく, スケジュールにもとづいて機械別の必要治工具の一覧表を作

表1 FMSシミュレータの特性

	比較事項	運用シミュレータ	設計用シミュレータ	
使用環境	使用時間	概略設計時	システム運用時	
	使用目的	設計案評価	運用案評価 ワーク投入計画・作業指示作成 故障対策・モニタリング	
	使用者	システム設計者	システム運用者	
	対象システム	多様な仮想システム	実システム	
	処理対象ワーク	仮想的・多様・粗い記述	所与・限定・詳細な記述	
	評価項目	多様	固定	
	シミュレータ特性	ハードウェアの機能表現	多様・粗	固定（故障時一時可変）・詳細
ソフトウェアの構成表現		内部制御ソフト	多様	固定（故障時一時可変）
		外部制御ソフト	比較的単純	多様（マニュアル入力・リスケジューリング含む）
初期状態設定		使用者指定	実システム対応	
処理ワーク設定		仮想ワークファイルより 指定/ランダム	実ワークファイルより 日程計画にしたがい選択	
工具管理		粗	詳細	
故障時対策		粗	詳細	
出力データ		多様	固定	
処理時間		短い方が望ましい	短いこと	
使用利便性・操作性		システム表現の柔軟性とのバランス	優れていること	

成することによりそれらの手配，指示の効率化を達成することができる。また，正常稼働時にシステムモニターとして利用し，故障時にリスケジューリングなどの対策立案を支援するツールとしての役割も重要である。このような日々のシステム運用の使用を考慮すると，個々のFMSに対応した専用シミュレータの使用が効果的である。

以上述べたように，FMSの設計，運用いずれの段階においてもシミュレーション技法は有効であり，使用利便性の面からは目的に応じた専用シミュレータの開発が望まれる。しかし表1に示すように使用目的の違いからその具備すべき機能，特性には大きな違いがある。

4. おわりに

FMSの設計，運用に対して有効なOR手法としてシ

ミュレーション技法とスケジューリング技法以外にはめだつたものがないのが現状であろう。しかし，現在多数の研究が進められており，今後が期待される。また，FMSや自動機器の導入によって工場全体の自動化，統合化，すなわちFA化が進んでいる。これは経験と直観で対処できる小規模なFMSからその範囲を越す大規模なシステムへと対象が移行していることを意味する。さらに，企業全体の生産に関わる全活動を情報ネットワークにより統合しようとするCIM化が進むにつれて，今後ますますOR手法の適用が不可欠となる場合が増えるとともに，新しい状況に対応できる新たな手法の開発が急務となると考えられる。