

# FMS スケジューリング

山本 正明

多品種少量生産における生産性と柔軟性の両面の向上を求めて、FMS (flexible manufacturing system) が活躍している。FMS は目的に応じて多様なシステム構成が考えられているが、一般的に言えば、機能の異なる複数台の加工機械 (NC 工作機械、マシニングセンターなど) を自動搬送装置 (コンベアー、ロボット、自動搬送台車など) で連結して、コンピュータによる統合的な制御を可能にしたシステムである。あらかじめ加工プログラムが与えられている製品に対しては、その時々々の生産オーダーに応じて柔軟に生産を行なうことができる。

FMS の進展とともに、システム設計問題、生産・負荷計画問題、スケジューリング問題など FMS のいろいろなレベルでの意思決定問題が OR ワーカーに提示されているが [1]、この小文では FMS スケジューリング問題について触れてみよう。

FMS スケジューリング問題は、1 計画期間に製造すべき製品の品目と数量が決定され、そのための生産準備も整い、実際に生産が開始された後の、実時間で FMS の運行に関する決定問題である。このため、

- 1) システムに投入する製品の順序と時期を決めること
- 2) 同一機械で加工待ちの製品が複数個ある場合は、それらの間の優先順位を決めること

が必要となる。この 2 つの決定問題をそれぞれ独立な問題と考え、適当なヒューリスティックな順序づけ規則を用いて処理するのが一般的なやり方である。

個別生産型工場の日程計画作製モデルとして、ジョブショップ・モデルが古くからよく知られているが [5]、FMS の構造も基本的にはジョブショップである。そこで、ジョブショップ・スケジューリング手法の効果を確かめるため、図 1 に示すようなループコンベアで連結された FMS を考えてみる [2]。図中黒丸で示す加工品はローダにおいてパレットに装着されてシステムに投入され、制御コンピュータの指示にしたがい所定の機械に取

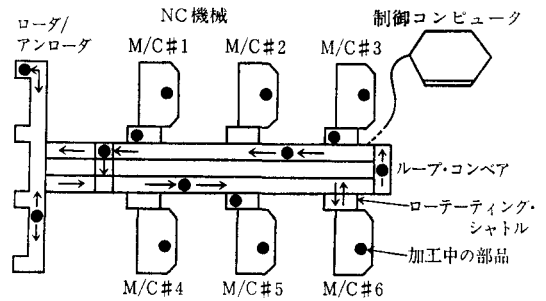


図 1 6 機械・ループコンベアによる FMS

り込まれる。所定の機械が他の仕事でふさがっているときにはループコンベア上で回転しながら待機している。所定の工程を終えた完成品はアンローダから取り出される。加工される製品の工程は図 2 に示すようなネットワークで与えられる。このネットワークからスケジュールを求めるのは、これまで研究されてきたジョブショップ・スケジューリングのアルゴリズムの何を用いてもよい。いずれにしても最適解を求めるのは無理だから、効率のよい近似解法を採用する必要がある。

計算したスケジュールどおりにシステムが動けばこれで問題はないのだが、実際にはこれからのズレが発生する。機械の故障、所要時間の変動 (図 2 のコンベアでの運搬時間も、機械待ち状態からの移動のときには変動する) などによって、その前に計算したスケジュールから狂ってくるおそれがある。そこでシステムの状況変化に対応するために、次のようなスケジュール/リスケジュール手順をとることにする。

## (1) 計画フェーズ

- 1.1 実行開始スケジュールの作製
- 1.2 ローディング表の作成 (システムへの投入時期や各機械での製品加工順序を示す表)

## (2) 制御フェーズ

- 2.1 ローディング指示の発生 (その他の割込み)
- 2.2 進行データの検討とリスケジュールの必要性の判断
- 2.3 割込みの種類に応じた処置

やまもと まさあき 法政大学 工学部

〒184 小金井市梶野町 3-7-2

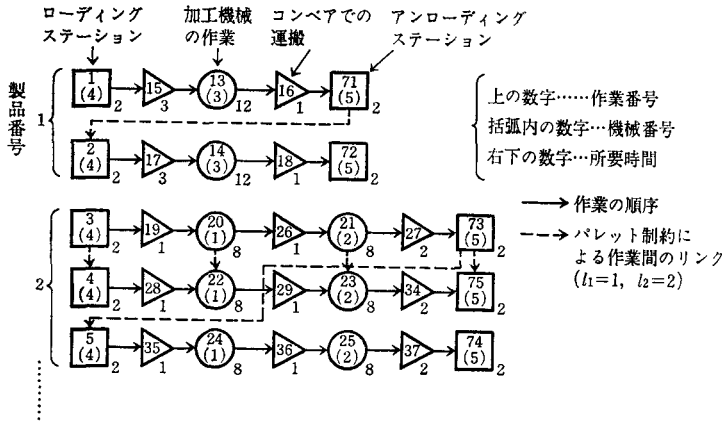


図 2 製品の工程を示すネットワーク(一部)

(3) リスケジューリング・フェーズ

- 3.1) リスケジューリング計算
- 3.2) ローディング表の改訂

リスケジューリング計算は、すでに加工の終わった作業および加工中の作業のスケジュールは現状のまま固定した上で、残された未加工作業についてだけスケジューリング・アルゴリズムを適用すればよい。

工場の実績データを入れてこの手順を現状と比較したところ、基準とした FCFS(first come first service) 規則による優先順位法に比して、実行開始スケジュールにおいて約10%の効率改善がみられ、操業後の機械故障や作業時間の変動による影響をシミュレーション実験により検討した結果でも、この優位性はかなり保存されていることが明らかにされた[2], [3]。

いま説明した問題はジョブショップ・モデルがそのままの形で利用できるものであったが、FMSの構造上から新しい条件を考えねばならぬ問題も多い。

FMSを構成する加工機械には作業ごとに工具や支持具を指定のものに取り替えてはならない場合が多く各種の自動交換装置が設置されている。このような工具交換の時間が前後の作業の種類によって大きく影響され、加工時間に対して無視しえない大きさとなる場合を考えなくてはならない。ある作業  $T_j$  の付加資源必要量  $r_l(T_j)$ ,  $1 \leq l \leq s$  が与えられている。通常は  $r_l(T_j)$  は 0

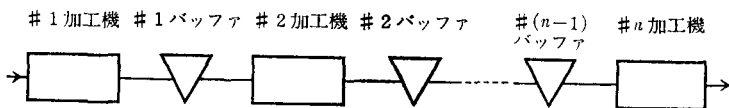


図 3 直列型配置のFMS

か1の値で与えられる。作業  $T_j$  の次に作業  $T_k$  を順序づけしたときのコスト  $c_{jk}$  は、

$$c_{jk} = \sum_l w_l |r_l(T_j) - r_l(T_k)|$$

で求める。ここで  $w_l$  は工具  $l$  を取り替えるに必要なコスト(時間)である。単一機械での順序づけを考えるのなら、この問題は距離行列  $\{c_{jk}\}$  をもつトラベリング・セールスマン問題となることは明らかであろう。この問題を整数計画法に定式化して、そのラグランジ緩和問題を利用した効率のよい解法が提案されている[4]。複数機械での一般的順序づけをこのような取

間との複合した形の問題は未解決の問題であろう。

FMSスケジューリング問題で考えねばならぬもう1つの問題に中間バッファの容量制限がある。図1のループコンベアは搬送装置であると同時に、機械待ちの加工品の中間バッファの役割も果たしている。FMSの物理的制約からバッファの容量には制限が生ずる。図3のような直列型の配置をしたFMSの場合は各機械ごとにバッファが分れるからこの制約は厳しくなる。第  $k$  機械の後のバッファが容量制限一杯になると、この機械が製品  $i$  の加工を完了しても機械から外すことができず、したがって第  $k$  機械での第  $(i+1)$  製品は機械待ちの状態でも  $1$  つ前のバッファに留められる(図4参照)。これをブロッキングと呼んでいる。二機械フローショップ問題で目的関数を総所要時間の最小化にとった時、ジョンソンルールが成り立つことがよく知られているが[5]、このルールは第1機械と第2機械の間に中間仕掛品をできるだけ多く貯めることにより、第2機械での遊休時間を減らし、第1機械の完了時刻(一定)から第2機械の完了時刻までの時間差を小さくしようとするものである。したがっ

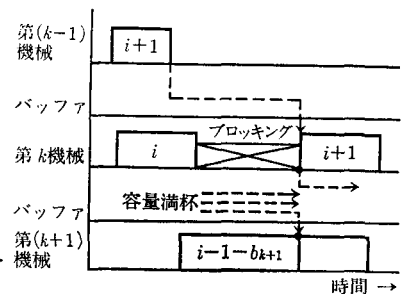


図 4 ブロッキングの発生

て中間バッファ量に制限がある場合にはこれと矛盾し、ジョンソノ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