

## 工具配分制約型FMSにおけるスケジューリング法

01501824 神戸大学 藤井 進 FUJII Susumu  
01604524 神戸大学 \*森田 浩 MORITA Hiroshi  
中国電力 松本博忠 MATSUMOTO Hirotada

## 1 はじめに

FMS は多品種少量生産のための自動化された生産システムであり、マシニングセンタ等の工作機械と自動搬送装置などを連結し、コンピュータによる統合的な製造を可能にしたものである。あらかじめ加工方法を入力することで、その時々における生産オーダーに応じて柔軟にジョブの加工を行うことができる。

効率的な FMS の運用には、負荷計画と日程計画が互いに密接に関連した重要な計画活動となる。負荷計画では、各マシニングセンタにかかる加工負荷が均等になるようにジョブや工具の配分を行う必要がある。その際、ジョブの移動回数も少なくすることは段取り時間等の非稼動時間を減少させるだけでなく、スケジューリングをしやすくする上で重要となる。

従来、負荷計画を集中管理型のコンピュータによって一括処理するのではなく、各マシニングセンタが自律的に自らの処理を選択するオークション方式と呼ばれる自律分散型の計画手法を提案した[1]。本稿では、この負荷計画を有効に利用して良好なスケジューリングを行うことが目的であり、ここでも各マシニングセンタが自律的に意思決定を行うオークション方式を適用したスケジューリング手法を提案する。

加工ジョブの選択には既存のディスパッチングルールを使用しているが、あらかじめ与えられている負荷計画や工具配分を若干修正することで、より良好なスケジュールを作成することができた。最大完了時間、総納期遅れ、納期遅れジョブ数を評価指標として、数値例による評価も行った。

## 2 対象モデル

本稿では、複数の意思決定の機能を持ったマシニングセンタ(MC)、複数の MC の調整を行うためのコーディネータとしてのコンピュータ(Co)、ジョブと工具を搬送する自動搬送装置、無限容量のバッファから構成されるジョブショップモデルを対象とする。各 MC は互いに独立で、Coのみと通信することができるものとする。ここでは以下を仮定する。

- 各ジョブは動的に到着し、その到着時間や順序は未知である。
- 各 MC にはあらかじめ複数の工具が配備されているが、他の MC への移動は可能である。
- ジョブの納期は到着時に知らされる。

## 3 スケジューリングアルゴリズム

負荷計画ではある一定期間にどんなジョブがいくつ到着するかの情報は与えられていて、これに基づいてジョブと工具の割り当てが行われている。しかし、ジョブの到着時間や順序およびその納期等は考慮されていないため、動的にジョブが到着する場合に負荷計画通りにジョブの配分を行うと、一時にあるマシニングセンタに加工が集中したり遊休状態の MC が生じたりして稼働率の低下を招く。まず、次節では与えられた負荷計画に従ってスケジュールするアルゴリズムを示す。そして、次に工具交換やジョブの最割り当てなどの修正をするアルゴリズムを示す。

## 3.1 負荷計画に従うスケジューリング

ジョブの各工程は負荷計画によって加工される MC が決められており、同一の MC で加工される工程列をタスクと呼ぶことにする。各ジョブは動的に到着し、タスクの加工される MC が稼動中ならばバッファで待機することになる。各 MC は加工が終わると次のジョブをバッファの中から選ぶことになるが、そのときの選択則として何らかのディスパッチングルールを用いる。

## 3.2 負荷計画を修正するスケジューリング

負荷計画において負荷の均等化がなされていても、ジョブの到着の時刻や順序などによって実際には負荷に不均等が生じる。遊休状態にある MC へジョブを回すことで遊休時間を減少させることができるように、ジョブの最割り当てをすることでより良好なスケジュールが得られる。ただし、大幅な変更をするのでは、最初に立てた負荷計画を無視することと同じであり、極めて大規模な計画問題を取り扱うことと同等となるので、負荷計画の変更は局所的な小さな変更にとどめることにする。再割り当てには単にジョブを移動させるだけの場合と工具交換を必要とする場合がある。

## 3.2.1 工具交換を認めない場合

タスクの加工が終了したマシニングセンタ MC0 が遊休状態になり、他の MC のバッファに加工待ちジョブが存在しているとき、MC0 の所持している工具で加工可能な加工待ちジョブがあれば、これを MC0 へ再割り当てする。この条件を満たすジョブが複数個存在しているときには、何らかのディスパッチングルールにより優先

順位をつけることにする。

### 3.2.2 工具交換を認める場合

工具交換を認めるとMCの保持工具が変わるため、最初の負荷計画から大幅な変更を余儀なくされることもあり、全体としての負荷バランスの近郊を保持できるとは限らない。そのため、再割り当てを行うタスクの加工に対してのみ工具交換を行うこととし、工具配分の変更は一時的なものとする。また工具交換にも時間を要するため、頻繁な工具交換は、負荷計画を崩すだけでなく完了時間の短縮に効果を示さないと考えられる。そこで、交換する工具数はできるだけ少なくしかつ交換する工具は使用頻度の少ないものを優先するようにした。

## 4 数値結果

負荷計画に基づいたスケジュールと修正をしたときのスケジュールを比較することと、優先規則を決めるディスパッチングルールの有効性を検討するために、テスト問題20題を以下の条件で発生させ、スケジュールを作成した。

- マシニングセンタは4台、ジョブ数は100個、全工程数は2000
  - ジョブの到着時間間隔は平均75の指数乱数
  - ジョブと工具の搬送時間は200
  - 各ジョブの平均加工時間は21886.4
  - 各ジョブの納期は、(到着時間)+k・(加工時間)とする。kは2から5までの一様乱数
- 負荷計画によって得られた結果では、
- マシニングセンタの平均所持工具数は85.87本
  - 1ジョブの平均移動回数は0.27回
  - 平均タスク数は126.05

となった。また、検証したディスパッチングルールは次の8つである。

SPT:加工時間最小順 SRPT:残存加工時間最小順  
LPT:加工時間最大順 LRPT:残存加工時間最大順

EDD: 納期最早順 MST: 納期余裕最小順  
FCFS: 先着順 random: ランダム順

表1に各ディスパッチングルールを適用して得られたスケジュールの最大完了時間と納期遅れジョブ数を示す。これより以下のことがわかった。

- 各ディスパッチングルールの一般的な特徴がこのモデルでも現れており、最大完了時間最小化にはLPTルール、納期遅れジョブ数最小化にはSPTルールなどが有効である。
- ランダムに選んだときと各ルールに大きな差が見られないのは、バッファ中の加工待ちジョブ数がそれほど多くないためにルールの効果が顕著に現れなかったのではないかと考えられる。
- いずれのルールでも再割り当てを行うことでスケジュールの改善ができています。特に再割り当てにより遊休時間を減少させたことで、納期遅れジョブ数を減らすことができた。このときはSPT,SRPT,EDD,MSTルールが良好な結果を示している。
- 最大完了時間は再割り当てによる効果が見られていない。これは、工具交換やジョブの移動に余分な時間がかかるためではないかと考えられる。

## 5 おわりに

遊休時間の減少が良いスケジュールを与えることがわかるが、ジョブや工具の移動回数を減らすことでさらに良好なスケジュールを求めることができるものと思われる。

### 参考文献

- [1] 藤井進, 森田浩, 松本博忠, 高田芳治, 龍田康登, FMSにおけるジョブ及び工具配分問題に対するオークション方式の適用, 第5回インテリジェントFAシンポジウム講演論文集, pp. 25-28 (1995).

表1 各ディスパッチングルールから得られたスケジュールの最大完了時間と納期遅れジョブ数

ルール	最大完了時間			納期遅れジョブ数		
	負荷計画に従うスケジュール	負荷計画を修正したスケジュール		負荷計画に従うスケジュール	負荷計画を修正したスケジュール	
		工具交換なし	工具交換あり		工具交換なし	工具交換あり
SPT	7097.3	6824.3	6624.0	<b>19.8</b>	<b>13.2</b>	<b>8.4</b>
SRPT	<b>6875.0</b>	6825.6	<b>6604.3</b>	<b>19.9</b>	<b>13.3</b>	<b>8.8</b>
LPT	<b>6890.1</b>	<b>6768.9</b>	<b>6617.5</b>	33.2	21.2	16.1
LRPT	7195.6	6799.1	<b>6616.2</b>	33.7	20.8	15.2
EDD	7036.8	<b>6788.7</b>	6621.4	28.8	15.7	<b>9.3</b>
MST	7022.3	6814.9	6623.6	30.8	16.5	<b>9.7</b>
FCFS	6970.2	<b>6783.2</b>	6621.0	36.8	20.3	12.3
random	6958.7	6796.5	<b>6599.0</b>	22.8	19.7	12.5