2 機械フローショップ形 FMS における工具配分法*

(第1報, 完全機能分散形の場合)

長 沢 啓 行^{*1}, 永 野 克 己^{*2}
平 林 直 樹^{*1}, 西 山 徳 幸^{*1}

A Method for Distributing Tools in 2-Machine Flowshop Type FMS

(1st Report, A Case of Completely Separated Functional FMS)

Hiroyuki NAGASAWA, Katsumi NAGANO,
Naoki HIRABAYASHI, and Noriyuki NISHIYAMA

A completely separated functional FMS (flexible manufacturing systems), or a partly separated functional FMS, should be constructed because a fully functional FMS, where each machine has all of the tools required for processing various kinds of jobs, is superfluous and wasteful in meeting the multiform and changeable demands of consumers in a flexible manner. A series of the effective methods are presented in this study for allocating the tools to each machine in a 2-machine flowshop type FMS to meet the above demands and to maximize the utilization of the FMS. The method for a completely separated functional FMS having no duplicated tools is proposed in this report. Some simulation results clarify that the utilization of the FMS by this method is as high as the fully functional FMS when the number of jobs is large, but is less than that when the number of jobs is small, especially in the case that a distribution of job operations is exponentially biased.

Key Words: Production System, Flexible Manufacturing System, Distribution of Tools

1. 緒 言

消費者の多様でかつ変化の激しい欲求を満足するために、製品の仕様も多様化し、多種少量生産が避けられなくなっている。これに対応するためには、柔軟性の高い生産システムである FMS (Flexible Manufacturing System) が必要であり、その構築および運用法の開発が迫られている。

FMS の構成要素には、マシニングセンタ (MC) を用いることが多い。MC には、さまざまな工具を取付けることで幅の広い加工が可能となる。加工に必要な工具を全種類重複させて配分する「全機能形 FMS」では、稼働率は高く、運用法も容易であるが無駄が多い。それらの工具を完全に分割して配分する「完全機能分散形 FMS」および一部の工具だけを重複して配分する「機能分散形 FMS」を設計し、運用するほうが無駄が少なくてよい。この場合、全機能形 FMS に近い稼働率を確保するために、工具を MC へどのように配分すればよいかという工具配分法が問題となる。

従来の工具配分法では、MC の保有工具数に制限を

持たせ、いずれかの MC 1 台だけでジョブの加工が完了することを前提として工具を配分する Steckel の方法⁽¹⁾および 1 台の MC に対して工具の入替え回数が最小となるような工具の組をみつける鈴木らの方法⁽²⁾などが提案されているが、フローショップ形 FMS への工具配分法はまだ提案されていない。

完全機能分散形 FMS および機能分散形 FMS に対して、稼働率最大化の最適な工具配分を解析的に求めることは極めて困難である。

本報では、完全機能分散形の 2 機械フローショップ形 FMS に対し、稼働率最大化のヒューリスティックな工具配分法を開発する。この工具配分法による完全機能分散形 FMS の稼働率を、全機能形 FMS の稼働率と比較して、前者が有効となる条件をシミュレーション解析する。なお、機能分散形 FMS については、第 2 報で扱う。

2. F M S モ デ ル

本報では、工具配分法を論じるための基礎段階として、図 1 のような 2 機械フローショップ形 FMS モデルを対象とする。その前提条件は次のとおりである。

(1) モデルの構成要素は 2 台の機械 (マシニングセンタ MC 1 および MC 2)、パレットチェンジャ、

* 昭和 63 年 11 月 26 日 関西支部第 248 回講演会において講演、原稿受付 昭和 63 年 4 月 14 日。

^{*1} 正員、大阪府立大学工学部 (〒591 堺市百舌鳥梅町)。

^{*2} 大阪府立大学大学院。

プールライン、搬入・搬出装置および自動倉庫から構成される。

(2) システム全体で取扱う工具種類数、ジョブ種類数は所与とし、各ジョブの需要量は1とする。

(3) システムの各構成要素は故障せず常に利用可能な状態にある。

(4) ジョブはパレットに装着された状態で自動倉庫に保管されており、いつでも着手可能な状態にある。

(5) ジョブの割込み、追越しは許さない。

(6) 各ジョブは MC 1, MC 2 の順に加工され、いずれか一方だけで加工を完了してもよいものとする。

(7) ジョブ間および各ジョブの加工要素間には加工順序の先行関係はない。

(8) ジョブの搬送時間および段取り時間は加工時間に比べて十分小さく、その稼働率への影響は無視できるものとする。

ジョブの流れは次のとおりである。スケジュールに従い、各ジョブは自動倉庫から搬入装置によって、プールラインへ搬入され、プールライン上をコンベアにより一定速度で搬送され、パレットチェンジャにより各機械へ供給される。各機械での所定の加工が完了すると、再びパレットチェンジャによりプールラインへ搬出され、プールライン上を搬送されて、搬出装置により自動倉庫へ戻される。

本報では、FMS の生産性を評価するために稼働率〔=加工時間の総計/(総処理時間×機械台数)〕の最大化を取り上げる。ただし、総処理時間とは最初のジョブの加工開始から最終のジョブの加工終了までの時間である。なお、稼働率の最大化は本モデルの場合、総処理時間の最小化と等価である。

図1 FMSモデル

3. 工具配分法に基づく

FMS の類別

3・1 全機能形 FMS 加工に必要な全種類の工具を各機械に全部重複させて配分した場合の FMS を「全機能形 FMS (Full functional FMS)」とよぶ。この場合、並列形システムに近くなり、ジョブの大半は MC 1 または MC 2 のいずれかで加工が完了される。したがって、稼働率を最大にするには、ジョブおよびジョブの加工要素をいずれの機械で加工するかを決めるジョブの割付けが課題となる。

3・2 完全機能分散形 FMS 加工に必要な工具を完全に分割して各機械に配分し、重複工具の全くない FMS を「完全機能分散形 FMS (Completely separated functional FMS)」とよぶ。この場合には、各工具をいずれかの機械へ配分すれば、自動的に各機械で加工されるジョブ加工要素が定められる。したがって、どの工具をどの機械に配分するかを決める工具の配分が課題となる。

3・3 機能分散形 FMS 加工に必要な工具のうち一部の工具のみを各機械に重複して配分した場合の FMS を「機能分散形 FMS (Partly separated functional FMS)」とよぶ。この場合には、重複工具の選定、非重複工具の配分および重複工具によるジョブの割付けのすべてが課題となる。

4. 工具配分法

4・1 全機能形 FMS ジョブの割付けについての基本的な方針は、各機械でのジョブの総加工時間の均等化、すなわち負荷平準化である。

これを次の2段階で行う。

(1) 第1段階 加工時間の最も大きなジョブを MC 1 に、次に加工時間の大きなジョブを MC 2 に割り付ける。割り付けられたジョブの加工時間の機械別累計が小さいほうの機械(等しい場合には MC 1)へ、まだ割り付けられていないジョブの中から加工時間の最も大きなジョブ(複数存在する場合にはジョブ番号の最も小さいもの)を割り付ける。これを繰返して全ジョブをいずれかの機械に割り付けることにより、大まかな負荷平準化を行う。

各機械に割り付けられたジョブを互いに交換することによって、さらに負荷平準化を行う。計算の効率化をはかるために、ここでは互いに交換する一対のジョブの加工時間の差が機械別総加工時間(ジョブの加工時間の機械別累計)の差の1/2の値以下で、その値に最も近くなるジョブの組を選ぶ。負荷平準化がこの方

法によって改善できなくなるまで、この操作を繰返す。

(2) 第2段階 第1段階終了時点で両機械の加工時間が均等でない場合には、要素加工時間の移動による負荷平準化を追求する。機械別総加工時間の大きいほうの機械で加工されるジョブの加工要素に注目し、機械別総加工時間の差の1/2の値以下で、その値に最も近い要素加工時間を見つける。その加工要素だけを別の機械に割付け変更する。この場合のジョブ加工時間を基に Johnson 法でスケジュールして、稼働率を調べ、この加工要素の割付け変更により稼働率が以前より改善されなければ、この割付け変更を取り消し、元の状態に戻す。

4.2 完全機能分散形 FMS この場合の工具配分の基本的方針は、両機械の総工具利用時間の負荷平準化である。

工具配分法は次のとおりである。工具利用時間の最も大きな工具を MC 1 に、工具利用時間の次に大きな工具を MC 2 に配分する。未配分の工具の中から工具利用時間が最大となる工具(複数存在する場合には工具番号の最も小さなもの)を、機械別に配分済みの工具に関する工具利用時間の累計の小さいほうの機械(等しい場合には MC 1)へ配分する。この操作を繰返して、全工具をいずれかの機械へ配分することにより、大まかな負荷平準化を行う。

各機械へ配分された工具を互いに交換することにより、さらに負荷平準化を行う。ここで1対1の工具交換を全工具について行い、それぞれの場合の稼働率を調べることは、計算時間が膨大になり実用的ではない。そこで本研究では、各機械別総工具利用時間の差に着目し、1対1の工具交換を行ったときの総工具利用時間の差が、ある限界内に収まるように、工具交換を限定する。この差があまり大きくなるような工具配分を行っても負荷のアンバランスが大きくなり、かえって稼働率の値が改善されないだろうと考えられるからである。

ジョブ種類数 N が 10、工具種類数 M が 10 および要素加工時間を $[1, 50]$ の一様乱数として予備実験を行ったところ、各機械の総工具利用時間の差の限界を 30 程度にすれば、1対1の全工具交換と比較して平均稼働率の差が少なく、かつ計算時間も早いという結果が得られたので、総工具利用時間の差の限界を 30 として1対1の工具交換を行うことにする。

5. シミュレーション実験 および結果

シミュレーション実験では、ジョブ種類数 N 、工具種類数 M および加工要素数の割合 P を変え、ジョブグループ I～IV に対して完全機能分散形と全機能形の各 FMS の稼働率を調べた。ただし、ジョブグループ I～IV は、ジョブ加工回数と工具利用回数の各分布がそれぞれ、(I)一様分布と一様分布、(II)一様分布と指数分布、(III)指数分布と一様分布、(IV)指数分布と指数分布の場合であり、ジョブの要素加工時間は、 $[1, 50]$ の一様乱数で与えた。ジョブ番号を i 、工具番号を j 、ジョブ加工回数を F_i および工具利用回数を F_j として、表 1 にジョブの要素加工時間(ジョブグループ II)の例を示す。

表 1 要素加工時間(ジョブグループ II)

$i \backslash j$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	F_i
1	27	5	0	16	47	0	0	0	16	0	5
2	44	0	0	0	0	0	0	0	0	34	2
3	37	18	4	0	30	0	0	0	0	0	4
4	0	0	28	28	48	28	38	0	0	0	5
5	6	35	0	0	25	48	9	0	0	0	5
6	46	24	25	0	0	17	0	0	0	0	4
7	44	50	0	3	6	28	0	0	0	0	5
8	6	0	0	49	0	44	0	25	0	0	4
9	34	18	0	0	22	0	0	0	0	0	3
10	21	0	5	15	0	0	0	0	0	0	3
F_j	9	6	4	5	6	5	2	1	1	1	40

図 2 加工要素数の割合と平均稼働率
($M=100$, グループ I)

表 2 ジョブグループごとの平均稼働率(%)

Job group	M	P	10			50		
			20	40	100	20	40	100
I	50	95.5	94.2	92.2	99.6	99.1	98.5	
	100	94.0	93.4	91.8	99.2	98.8	98.4	
	150	93.8	93.0	91.7	99.1	98.7	98.3	
II	50	95.7	93.8		99.5	99.0		
	100	94.6	93.1		99.2	98.8		
	150	93.7	92.8		99.0	98.7		
III	50	93.6	91.8		99.9	99.9		
	100	89.7	89.1		99.9	99.8		
	150	88.2	88.3		98.9	99.8		
IV	50	94.1	93.4		99.9	99.8		
	100	94.9	91.2		99.9	99.6		
	150	89.2	90.0		98.5	99.6		

シミュレーションの結果を図2、表2および表3に示す。なお、シミュレーション回数は50回とし、平均稼働率は試行50回の平均とした。

図2より全機能形 FMS では、ジョブグループ、ジョブ種類数 N および加工要素数の割合 P にほとんど影響を受けずに 99% 以上の高い平均稼働率が得られた。

完全機能分散形 FMS では、表2が示すように、すべてのジョブグループで N の値が大きい場合に、全機能形 FMS と同程度の高い稼働率が得られた。これは、最初と最後の遊休時間(最初に加工されるジョブが MC 1 で加工されている間の MC 2 の遊休時間と、最後に加工されるジョブが MC 2 で加工完了されるまでの MC 1 の遊休時間)の総処理時間に占める相対的な割合が、 N の値の増大に伴い減少するためである。また加工要素数の割合 P や工具種類数 M が大きくなると平均稼働率が低くなっている。 P の値が大きくなると、各機械ごとのジョブ加工時間に差がなくなり、また、 P の値が同一でも M の値が大きくなると、要素加工時間を一様乱数で与えているため、各機械ごとのジョブ加工時間の差が小さくなり、最初と最後の遊休時間を小さくするジョブができにくくなるためである。

ジョブ加工回数が指数分布であるジョブグループ III, IV ではジョブグループ I, II に比べて平均稼働率は低い。とくに、 P および N の値が小さく M の値が大きい場合にそのことがいえる。 N の値が小さい場合などでは、工具を一部重複させて機能分散形 FMS とすることにより稼働率を改善する必要がある。

最後に、提案法と 1 対 1 の全工具交換法との比較を行う。提案法による平均稼働率の低かった $N=10$ の場

表 3 提案法と 1 対 1 の全工具交換法との平均稼働率(%)の比較 ($M=100, N=10$)

Job group	percentage of operations %	The proposed method	The method of exchanging all pairs of tools
I	20	94.0	96.1
	100	91.8	92.1
III	20	89.7	92.3
	40	89.1	90.8

合についてシミュレーションした結果を表3に示す。

P の値が 20% および 40% と小さい場合には、提案法による平均稼働率は、1 対 1 の全工具交換法と比較して、2% 程度劣っているが、ジョブグループ I での加工要素数の割合 P が 100% の場合では、ほとんど差がないことがわかる。また、1 回のシミュレーション当たりの計算時間は、提案法では 2~3 min であるのに対し、1 対 1 の全工具交換法では 1~2 h もかかった。なお、計算にはパーソナルコンピュータ PC-9801 vm(NEC) を用いた。 N および M の値がそれぞれ 10 および 100 より大きくなると、1 対 1 の全工具交換法では、計算量は膨大なものになり実用的でなくなる。総工具利用時間の差の限界を 30 とした提案法は実用上有効である。

6. 結 言

(1) 2 機械フローショップ形 FMS において、全機能形 FMS および完全機能分散形 FMS のヒューリスティックな工具配分法を提案した。

(2) ジョブ種類数、工具種類数、加工要素数の割合およびジョブグループが提案法による FMS の稼働率に与える影響をシミュレーション解析した。その結果、ジョブ種類数が大きく、工具種類数が小さい場合には稼働率が高く、ジョブ種類数が小さくジョブ加工回数に偏りがある場合には、稼働率が低くなることがわかった。

本提案法は、4.1 節の第 1 段階でのジョブ配分および 4.2 節の最初の段階での工具配分を MC 1 から順次行うことにすれば、3 機械以上の FMS に対しても適用可能である。

文 献

- (1) Berrada, M. and Stecke, K.E., *Manage. Sci.*, 32-10(1986), 1316.
- (2) 鈴木・ほか 2 名, *J. Operat. Res. Soc. Jpn.*, 27-3(1984), 205.