フローショップ形 FMS の工具配分法に関する研究* (第2報, 機能分散形の場合)

松本正樹^{*1}, 吉本一穂^{*2}

A Tool Allocation Method in Flowshop Type FMS (2nd Report, A Case of Partly Separated Functional FMS)

Masaki MATSUMOTO and Kazuho YOSHIMOTO

This paper describes a tool allocation method in flowshop type FMS. Each job has its own processing order and therefore it has its own order of using the tools. In obedience to the order, each job is processed in Machining Centers. In flowshop type FMS, there is a major direction of the flow of job. It is essential to pay attention to the direction and to minimize the backward flow. In this paper, the case of partly separated functional FMS is considered, and by using graph theory a new method of tool allocation in order to eliminate the backward flow is introduced. Firstly, by regarding the processing order as a directed graph, a completely separated functional FMS that has the minimum backward flow is obtained. Next, the overlapping tools are selected to eliminate the backward flow that remains.

Key Words: Production System, Flexible Manufacturing System, Production Planning, Tool Allocation, Graph Theory

1. 緒 言

市場における需要の多様化による多品種少量生産に対処し得る FMS(Flexible Manufacturing System)の構築およびその運用法の開発が進められている。FMSには MC(Machining Center)を用いることが多く, MCは ATC(Automatic Tool Changer)によりさまざまな工具を取付けることで幅の広い加工を可能にしているが, この場合 MC に対する工具配分法⁽¹⁾が問題となる。

前報⁽²⁾では, ジョブの主要な流れが存在するフローショップ形 FMS を取り上げ, ジョブの加工順序(使用工具順序)において, MC 間に発生する逆行をできるだけ少なくする完全機能分散形の場合, すなわち, 重複工具を考えない工具配分法について述べた。

しかしながら, 1箇所でも逆行が存在するとフローショップ形の特徴が生かせないため, その適用の場は限定されたものとなっていた。

そこで本報では, 前報で得られた完全機能分散形

FMS に対し重複工具を付加することにより, MC 間のジョブの逆行が完全になくなる機能分散形工具配分法, すなわち, 重複工具選定法について述べる。

2. 研究の対象

図1に示すようなフローショップ形 FMS の場合, 主要なジョブの流れが存在し, MC への工具配分は, どのジョブの加工順序(使用工具順序)を取り上げても MC 間に逆行が生じないように行われなければならない。

例えば図2に示すような3台の MC で構成されるフローショップ形 FMS において, それぞれ MC 1 に工具①, ②, MC 2 に工具③, ④, MC 3 に工具⑤, ⑥が配分されているとする。この場合は完全機能分散形工具配分⁽²⁾となり, ジョブ①→②→③やジョブ①→③→⑤は逆行しないが, ジョブ③→①→⑥やジョブ②→⑥

図1 フローショップ形 FMS

* 原稿受付 平成6年6月20日。

^{*1} 正員, 東京都立工業高等専門学校 (〒140 東京都品川区東大井 1-10-40)。

^{*2} 正員, 早稲田大学理工学部 (〒169 東京都新宿区大久保 3-4-1)。

→④は逆行してしまう。

このように完全機能分散形工具配分では依然としてジョブの逆行が存在する場合がある。そこで、完全機能分散形工具配分を初期工具配分として、それに対し工具を追加して持たせることによりジョブの逆行をなくすこと、すなわち一部の工具を重複させて持たせる機能分散形工具配分にするための重複工具選定法を考える。

図2の例ではMC2に工具⑥、MC3に工具①を重複して持たせることにより、ジョブ③→①→⑥やジョブ②→⑥→④の逆行をなくすることができる。

このような逆行を把握するために前報では、使用工具を節点とみなすことでジョブの加工順序を有向グラフで捉え、その節点接続行列を用いていた。しかしながら、重複工具を選定し逆行を完全になくすためには、節点接続行列では3機械以上の場合、逆行の一部を見落とす可能性がある。そこで、本報では3機械以上の場合可到達行列を用いることを提案し、あわせてラテン方格積を導入することによりジョブの逆行の見落としを防ぐことを考えた。

3. 初期工具配分

初期工具配分となる完全機能分散形工具配分を求め方法の概略は次のとおりである。

3.1 前提条件

本研究で扱う FMS モデルの前

図2 完全機能分散形 FMS

図3 初期工具配分を求める概略フロー

提条件は次のとおりである。

- 各ジョブ P_i の生産量は1とする。
- 各ジョブの加工順序は所与とする。
- すべてのジョブは、 N 台の機械[マシニングセンタ : $MC\ i(i=1, 2, \dots, N)$] により,
 $MC\ 1 \rightarrow MC\ 2 \rightarrow \dots \rightarrow MC\ N$

の順に加工されるものとする。

- ジョブの運搬時間および段取り時間は加工時間に比べて十分小さく、無視できるものとする。
- 故障はないものとする。

3.2 概略フロー

以下に示す4項目の入力情報をもとに図3に示す概略フローに従い工具配分案が導出される。

- MCの台数： N
- 全工具種類数： n
- 全ジョブ数： m
- ジョブ P_i の加工順序

3.3 加工順序の節点接続行列表現と逆行の把握

まず、使用工具を節点とみなしジョブ P_i の加工順序を有向グラフと捉え、その節点接続行列 r_i ($n \times n$ 行列) を作成する。次に、すべてのジョブについて求めた r_i のブール和行列 R を求める [式(1)]。

$$R = \sum_{i=1}^m r_i \dots\dots\dots (1)$$

式(1)の行列 R を用い、工具を各 MC に配分させた場合の逆行について考える。

全工具を N 台の MC に配分すると以下のような。

$$R = \begin{matrix} & \begin{matrix} C_1 & C_2 & C_3 & \dots & C_N \end{matrix} \\ \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ \vdots \\ C_N \end{matrix} & \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} & \dots & R_{1N} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} & \dots & R_{2N} \\ \vdots & R_{32} & R_{33} & \dots & R_{3N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ R_{N1} & \dots & \dots & \dots & R_{NN} \end{bmatrix} \end{matrix} \dots\dots\dots (2)$$

ただし $C_1, C_2, \dots, C_N$ はそれぞれ MC 1, MC 2, MC N に配分された工具(節点)の集合であるとする。行列 R の部分 R_{ij} は工具集合 C_i の要素から C_j の要素への可到達性を示している。つまり、部分 R_{ij} の要素の中に1が存在すれば MC i から MC j へのジョブの流れが存在することを示している。

したがって部分 R_{ij} ($i > j$) の要素すなわち左下半分の要素に1が存在すれば MC i から MC j へのジョブの逆行が存在することを示すこととなる。

3.4 初期工具配分

逆行をできるだけ少なくする工具配分を求めるためには、行列 R の左下半分の

要素ができるだけ零になるように、行列 R の行と列の置換を行えばよい。すなわち、行列 R のブロック三角化を行えばよい。

ここでブロック三角化した行列 R を式(2)のように区分けすることにより、完全機能分散形である初期工具配分を得ることができる。

4. 開発した重複工具選定法

開発した機能分散形工具配分法における、逆行を完全になくす重複工具選定法の概要は次のようになる。ただし、2機械の場合と3機械以上の場合では逆行の把握の方法が違うため別々に扱う。

4.1 2機械($N=2$)の場合の選定法 初期工具配分で求めた、行列 R をブロック三角化した置換行列を X とする。

MC 1 と MC 2 に配分されている工具(節点)の集合を C_1, C_2 とし、行列 X を C_1, C_2 の間で区分けする。このとき、区分けした行列 X を以下のように表す。

$$X = \begin{matrix} & \begin{matrix} C_1 & C_2 \end{matrix} \\ \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \end{matrix} & \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} \\ X_{21} & X_{22} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad \dots\dots\dots (3)$$

行列 X の逆行を表す箇所である部分行列 X_{21} の要素がすべて零である行および列を削除し、この行列を Z とする。

ここで行列 Z の1の最小被覆に含まれる行と列を求めることにより、逆行をなくすために必要でかつ最少本数である重複工具が選定できる。

すなわち、このとき選ばれた行を表す節点は、その節点(工具)を重複工具として MC 1 に持たせることにより、また選ばれた列を表す節点は、その節点(工具)を重複工具として MC 2 に持たせることにより、最少本数の工具ですべての逆行をなくすことができる。

行列 Z の1の最小被覆に含まれる行と列を求める問題は、バイパータイトグラフにおける最大マッチング問題に帰着でき、これは Hungarian Method⁽⁹⁾ を用いることにより解くことができる。

4.2 3機械以上へ拡張する場合の問題点 次に4.1節に示した選定法を、3機械以上に適用する場合について考えてみる。

例として MC 1 に工具①, ②, MC 2 に工具③, ④, MC 3 に工具⑤, ⑥の初期工具配分を考える。この場合ジョブ⑤→①→③に対して行列 X を考えると式(4)のように、また行列 Z は行列 X の逆行を示した部分を取り出し、式(5)のようになる。

ここで式(5)の行列 Z の1の最小被覆に含まれる行と列を求めると、⑤→①の(MC 3→MC 1)の逆行

に対して MC 1 に⑤を持たせる場合と MC 3 に①を持たせる場合の二通りが求められる。しかし、後者を選択すると①→③の(MC 3→MC 2)の逆行が解消されない。これはジョブの加工順序を工具を節点とみなした有向グラフの節点接続行列として把握したためであり、可到達行列として捉えることで解決できる。すなわち式(6)に示す行列 Z により MC 1 に工具⑤を重複して持たせればよいことがわかる。

$$X = \begin{matrix} & \begin{matrix} ①②③④⑤⑥ \end{matrix} \\ \begin{matrix} ① \\ ② \\ ③ \\ ④ \\ ⑤ \\ ⑥ \end{matrix} & \begin{bmatrix} & & & & 1 & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ 1 & & & & & \end{bmatrix} \end{matrix} = \begin{matrix} & \begin{matrix} C_1 & C_2 & C_3 \end{matrix} \\ \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & X_{13} \\ X_{21} & X_{22} & X_{23} \\ X_{31} & X_{32} & X_{33} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$Z = \begin{matrix} & \begin{matrix} C_1 & C_2 \end{matrix} \\ \begin{matrix} C_2 \\ C_3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} X_{21} & 0 \\ X_{31} & X_{32} \end{bmatrix} \end{matrix} = \begin{matrix} & \begin{matrix} ①②③④ \end{matrix} \\ \begin{matrix} ③ \\ ④ \\ ⑤ \\ ⑥ \end{matrix} & \begin{bmatrix} & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$Z = \begin{matrix} & \begin{matrix} ①②③④ \end{matrix} \\ \begin{matrix} ③ \\ ④ \\ ⑤ \\ ⑥ \end{matrix} & \begin{bmatrix} & & & \\ & & & \\ & & & \\ 1 & & & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad \dots\dots\dots (6)$$

また、3機械の場合逆行が生じる箇所は、(MC 2→MC 1), (MC 3→MC 1), (MC 3→MC 2) の3箇所である。このすべての逆行をなくすような工具を重複工具として選定するのであるが、この場合も工具の本数をできるだけ少なくする必要がある。しかし、前述の例と同様の工具配分において、以下のジョブがあった場合、行列 Z は式(7)のようになる。

$$\begin{matrix} P_1 & ⑥ \rightarrow ① & P_2 & ① \rightarrow ⑤ \rightarrow ② \\ P_3 & ④ \rightarrow ② & P_4 & ② \rightarrow ⑥ \rightarrow ④ \\ P_5 & ③ \rightarrow ⑥ \rightarrow ④ & P_6 & ④ \rightarrow ② \rightarrow ③ \end{matrix}$$

$$Z = \begin{matrix} & \begin{matrix} ①②③④ \end{matrix} \\ \begin{matrix} ③ \\ ④ \\ ⑤ \\ ⑥ \end{matrix} & \begin{bmatrix} & & & \\ & 1 & & \\ & & 1 & \\ 1 & & & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad \dots\dots\dots (7)$$

このとき(MC 2→MC 1)と(MC 3→MC 1)の逆行を同時になくすために、共通の重複工具として MC 1 の工具を選ぶことが可能であるときには MC 3 にその重複工具を持たせるだけで十分である場合(P_3 の④→②と P_2 の⑤→②の逆行を同時になくすための MC 3

に対する②) と, MC 2 と MC 3 の両方に持たせなければならぬ場合 (P_6 の④→②の逆行をなくすための MC 2 に対する②)とがあり, また同様に, (MC 3 → MC 1) と (MC 3 → MC 2) の逆行を同時になくすために, 共通の重複工具として MC 3 の工具を選ぶことが可能であるときには, MC 1 にその重複工具を持たせるだけで十分である場合 (P_1 の⑥→①と P_4 の⑥→④の逆行を同時になくすための MC 1 に対する⑥) と, MC 1 と MC 2 の両方に持たせなければならぬ場合 (P_6 の⑥→④の逆行をなくすための MC 2 に対する⑥)とがある。

これを見分けることは, 式(7)の (0, 1) 情報だけからでは不可能であり, 逆行しているジョブの加工順序を把握する必要がある。また重複工具は MC 1 と MC 3 からしか選定できない。そこで 3 機械以上の場合には, グラフ理論におけるラテン方格積の考え方を導入することにより逆行の見落としをなくし, また MC 1 と MC N 以外の工具を選定できるように, 工具選定の基礎となる行列 Z を修正する必要がある。

4.3 3 機械以上 ($N \geq 3$) の場合の選定法 3 機械以上の場合, 以下の手順により重複工具を選定する。

(STEP 1)

ジョブ P_i の加工順序を, 使用工具を節点とみなすことにより有向グラフと捉え, その有向グラフからラテン方格積を用いて長さ 1 から $n-1$ までのラテン行列 ($n \times n$ 行列) をすべて求める。さらにその長さ 1 から $n-1$ までのラテン行列を一つにまとめて表した行列を作成し, この行列を L_i とする。

(STEP 2)

すべてのジョブ P_i ($i=1, 2, \dots, m$) から求めた行列 L_i ($i=1, 2, \dots, m$) を一つにまとめて表し, この行列を L とする。

(STEP 3)

MC 1 から MC N に配分されている工具(節点)の集合を, それぞれ $C_1, C_2, \dots, C_N$ とする。

ここで, 行列 L の行を $C_1, C_2, \dots, C_N$ の順になるように置換し, それに対応する列の置換も行う。この置換行列を X_L と表し, $C_1, C_2, \dots, C_N$ の間で行列 X_L の区分けを行う。このとき, 区分けした行列 X_L を以下のように表す。

$$X_L = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & C_3 & \dots & C_N \\ \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ \vdots \\ C_N \end{matrix} & \begin{bmatrix} X_{L11} & X_{L12} & X_{L13} & \dots & X_{L1N} \\ X_{L21} & X_{L22} & X_{L23} & \dots & X_{L2N} \\ X_{L31} & X_{L32} & X_{L33} & \dots & X_{L3N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{LN1} & \dots & \dots & \dots & X_{LNN} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad \dots\dots\dots (8)$$

(STEP 4)

行列 X_L の対角線上にある部分行列 ($X_{L11}, X_{L22}, \dots, X_{LNN}$) より下にある行列だけを抜き出し, その右上の部分の要素はすべて零である行列を作成する。ただしこのとき, 行列の零以外の要素は, ラテン行列の基本路を表す成分になっているがこれを 1 に書き換える。すなわちここでできる行列 Y は, (0, 1) 行列である。

$$Y = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_{N-1} \\ \begin{matrix} C_2 \\ C_3 \\ \vdots \\ C_{N-1} \\ C_N \end{matrix} & \begin{bmatrix} X'_{21} & 0 & \dots & 0 \\ X'_{31} & X'_{32} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X'_{(N-1)1} & X'_{(N-1)2} & \dots & 0 \\ X'_N & X'_N & \dots & X'_{N(N-1)} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad \dots\dots\dots (9)$$

ただし,

X'_{ij} : X_{Lij} の要素を (0, 1) に書き換えた行列

0: すべての要素が零である行列

(STEP 5)

行列 X_L から部分行列 X_{Lij} ($i=3, 4, \dots, N; j=2, 3, \dots, i-1$) を取り出す。ここで X_{Lij} の零以外の要素である基本路を表す成分の中で, 節点(工具)の集合 C_j に含まれていない節点を方格積としており, その節点を含む集合 C_k としたときに $k < j$ の場合, その要素に対応している行列 Y の X'_{ij} の 1 の要素に丸印を付ける。

(STEP 6)

行列 X_L の対角線上にある部分行列の一つ X_{Lii} ($i=2, 3, \dots, N-1$) を取り出す。ここで, X_{Lii} の零以外の要素である基本路を表す成分の中で, 節点(工具)の集合 C_i に含まれていない節点を方格積としておりときその節点をすべて抜き出す。

ここで, その抜き出されたある節点を S , その節点を含んでいる集合を C_j とするとき, 以下のルールに従って行列 Y を修正する。

(i) $i > j$ の場合 行列 Y の列にある節点 S の横に $S(i)$ とラベル付けした列を新たに加え, 行列 X_{ij} の節点 S の列にある 1 を消し行を同じくして新たに加えた $S(i)$ の列に, その 1 を書き換える。

(ii) $i < j$ の場合 行列 Y の行にある節点 S の下に $S(i)$ とラベル付けした行を新たに加え, 行列 X'_{ji}

$$Y =$$

	③④⑩⑪⑦①①⑥⑨⑫⑫⑬
⑥	
⑨	1
⑫	
⑬	1 1 1
②	
⑦	
⑧	
⑮	1 1
⑯	1 1 1 ①
⑭	1 ① 1 1 ①

.....(12)

(STEP 6)

行列 Y の列については①を, 行については②, ⑧, ⑮, ⑭を追加修正式(13)のように行列 Y' を得る.

(2)

	③	④	⑩	⑪	⑦	①	①	⑥	⑨	⑫	⑬
Y' =	⑥										
	⑨	1									
	⑫										
	⑬										
	②										
(2)	②										
	⑦										
	⑧	1									
(2)	⑧										
	⑮										
(2)	⑮										
	⑯										
	⑭										
(2)	⑭										

.....(13)

(STEP 7)

式(13)の行列 Y' より行列 Z を式(14)のように求め, この行列 Z の 1 の最小被覆に含まれる行と列を求めることにより逆行をなくすために必要でかつ本数の少ない重複工具が選定できる. これにより逆行が完全でない機能分散形工具配分が求められる. 一例を表 3 に示す.

6. 結 言

フローショップ形 FMS で, ジョブの加工順序を有向グラフと捉え強連結成分を見い出すことにより, 重複なしでできるだけ逆行が生じないような工具配分案

表 3 工具配分

	MC 1	MC 2	MC 3
Tool	①③④	⑤⑥⑨	②⑦⑧
Allocation Set	⑩⑪⑦	⑫⑬⑯	⑭⑮⑬
Overlapping Tools	⑧⑫⑯	①⑭⑮	⑥⑩⑬

$$Z =$$

																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									</
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----

.....(14)

を作成する方法, すなわち完全機能分散形 FMS を構築する方法を前報で提案した.

さらに本報では, 各 MC に完全機能分散形工具配分である初期工具配分が与えられたとき, 依然として残っている逆行を完全になくすための工具を重複工具として選定する方法を提案した. このとき, 2 機械の場合には逆行を完全になくすために必要な最少本数の工具を重複工具として選定でき, 3 機械以上の場合にもできるだけ少ない本数の工具を重複工具として選定できると考えられる.

文 献

- (1) 長沢・ほか 3 名, 2 機械フローショップ形 FMS における工具配分法(第 1 報, 第 2 報), 機論, 55-512, C(1989), 1129.
- (2) 松本・ほか 3 名, フローショップ形 FMS の工具配分法に関する研究(第 1 報), 機論, 59-566, C(1993), 3211.
- (3) Kuhn, H. W., The Hungarian method for the assignment problem, *Naval Res. Logist. Quart.* 2, (1955), 83-97.