機械加工用FMCのシステム形態評価*

胡 金 鳴**

伊 東 誼***

Chin-ming HU

Yoshimi ITO

EVALUATION OF SYSTEM CONFIGURATION ON FMC FOR METAL CUTTING

CHIN-MING HU, YOSHIMI ITO

In the FMS of next generation, its system configuration is to be of modular type, in which the basic module is that of FMC. This FMC enables the FMS technology to be available for town and medium-size industries. To cope with such trends surrounding the FMC, it is now required of establishing a design theory of special-purpose FMC and also a standardization method of FMC. In this paper, thus, the similarity evaluation method of the FMC for metal cutting has been investigated to propose a classification method of FMC. The similarity evaluation proposed here puts its main stress on the system configuration, especially on the characteristics of the system component and work flow pattern, and to enable the evaluation procedure to be simplified, the FMC is represented with the directed graph. Through some trial applications, it can be verified that the proposed method is reliable and effective from the practical point of view.

Key Words: Production System, FMC, Machining, Similarity Evaluation,
Functional Description, Directed Graph

1. 結 論

最近の中小企業へのFMSの導入促進にみられるように、FMSは急速に普及しつつある。中小企業への導入では、特に運用の簡便さ、導入の容易さ、投資効率の向上が期待され、そのために、独立稼働形(Stand-alone)でも運用できるようなFMCが必要になる。また、大企業へのFMSの導入でも、システムの拡張性の向上及び陳腐化の防止を主眼としてFMCを基本モジュールとするシステム設計が重要視されている。このようなモジュラー方式FMSというシステム設計の方向では、「ある形態、機能をかなり高いレベルでコンパクトに保有する構造・機能複合体を主体とする目的適合形のFMCを基本モジュールとするシステム設計が有利」である。要するに、単独運転可能で、かつFMSの合理的な基本モジュールとなりうるFMCの重要性が高まっている。しかも、この傾向は同時にFMCの標準化という面を強く進めている。このように、FMCに対する今後の要求は、一面では、独自性

のあるFMCの設計技術、又、他の面では、FMCの類似性判定技術の確立である。そこで、本報では、機械加工用FMCを対象として、システム形態を有向グラフ表示するとともに、その類似性評価を試みている。なお、このようなFMSの評価はシステム形態と運用形態の両面より行なう必要があるが、ここで取扱っている有向グラフ表示は「システムの静的状態の評価」すなわち、システム形態評価である。

2. FMCの記述方法

FMCのシステム形態を評価するためには、それに適した形でFMCを表現、すなわち、FMCの記述を行わねばならない。FMCは、一般的に、工作機械、搬送機器、倉庫及び制御装置というシステム構成要素から成っている。そこで、それらを簡単に記述するため、まず、表1に示すように、システム構成要素を表現記号を有する点で表わす。次いで、システム内の「物」(工作物、切削工具、取付具及び切屑)の流れ

* 昭和61年11月23日 関西支部第246回講演会において講演、原稿受付 昭和61年5月27日。

** 学生員、東京工業大学大学院。

*** 正員、東京工業大学(〒152 東京都目黒区大岡山2-12-1)。

をこれら点間の該当部分を結ぶ矢印付の線で表わす。すなわち、FMCの構成をグラフ理論で言う有向グラフ、特に点の性質も表現したグラフで表わすことになる。但し、本報では、「物」として工作物のみを考える。

ここで、具体的に一つの例をあげると、図1に示したFMCは図2に示すような有向グラフとして記述できる。なお、図1のターニングセンタにはロボットが一体組込みとなっているので、それは一点鎖線のループを使って記述する。したがって、システム形態面、すなわち、ハードウェア構成からのFMCの類似性を、ここでは、点の性質と工作物の流れの両面から行うことになる。

2.1 工作物の流れ

評価対象のFMC群を設定した場合、各々のFMCを構成する要素の数やそれらの配置は異なっているのが普通である。そこで、有向グラフから隣接行列を作成する際に、ある規則を設けて一義性を与える必要がある。ここでは、この処理過程はマニュアル方式で行なうことを前提として、最大領域可変形と呼ぶ隣接行列の作成方法を用いる。これはまず行列中に工作機械領域、搬送機器領域及び倉庫領域を設けた後、各々の領域に対応する (i, j) 成分の占め得る範囲を次のように定める。いま、比較対象のFMC群のなかでの工作機械、搬送機器及び倉庫の最大数をそれぞれ n_m 、 n_t 、 n_w とすると、この場合、隣接行列は $(n_m + n_t + n_w) \times (n_m + n_t + n_w)$ となる。そして、隣接行列内の $(i; j) = (1 \sim n_m, 1 \sim n_m)$ 、 $(i; j) = (n_m + 1 \sim n_t, n_m + 1 \sim n_t)$ 、 $(i; j) = (n_t + 1 \sim n_w, n_t + 1 \sim n_w)$ が工作機械領域、搬送機器領域並びに倉庫領域に対応する。

ところで、システム要素をいかなる順番で行、あるいは列に配列するかは、特にコンピュータ援用の場合、重要な問題である。ここでは、マニュアル方式の配列であるので、次のような最低条件のみを設定している。

(1) FMCの場合、システム要素の総数はそれ程多くはなく、しかも加工工程順序の任意性は少ない。よって、一般的な工作物の流れ、すなわち、通常想定される加工工程順にシステム要素を行、又は列に順次割当てる。但し、比較する二つのFMCがある場合、例えば同じ機能の工作機械は同じ行及び列位置に配置する。

(2) システム要素の数が各領域に設定された最大数より少ない場合、残りの該当する行及び列の位置にはなんらの表現記号を入れない。

以上のような処置により、例えば、FMC(N0.1)の

表.1 システム要素表現記号

NC Machine tool	Symbol	Transportation function	Symbol	Warehouse function	Symbol
Lathe	(L)	Robot	(R)	Three dimensional warehouse	(W)
Turning center	(T)	AGV	(X)	Buffer(on-line)	(B)
Machining center	(M)	Stacker crane	(S)	Pallet pool	(P)
Milling machine	(M)			APC	(A)
Drilling machine	(D)			Load/Unload station	(L)
Hobbing machine	(H)			Three-dimensional warehouse of carousel type	(C)
Gear tooth chamfering machine	(G)				
Shaving machine	(S)				
Combination type contained more than one system component					()

図.1 ロボット形式FMC(N0.1)のシステム構成

図.2 FMC(N0.1)の有向グラフ表示

表.2 FMC N0.1の工作機械、搬送機器及び倉庫の運動記述の例

FMC N0.1					
Machine tool group		Transportation group		Warehouse group	
Symbol	Functional description	Symbol	Functional description	Symbol	Functional description
(L)	C/ZX	(T)	/ZCYBA	(W)	/Y
(T)	CV/ZX	(X)	/XAYB	(B)	/Y
		(S)	X/Y	(A)	/Y
				(C)	/Y
C/ZX		X/Y			
Work-side motion	Tool-side motion	Motion within system		Motion within transportation/warehouse facilities	

隣接行列は図3に示すようになる。

2.2 点の性質

点の性質の評価を行なう場合、その性質は工作機械、搬送機器及び倉庫の可能な運動機能で表わすことにする。例えば、具体的に一つの例をあげると、FMC (NO.1) の場合、それを構成する工作機械、搬送機器及び倉庫の運動機能は表2に示すようになる。この運動機能による点の性質の表現方法は、工作機械の場合には「運動記述」、あるいは「機能記述」として既にかなり研究が進められているので、ここではそれを用いている。又、搬送機器及び倉庫に関しては工作機械の運動記述の考え方を応用している。しかし、これらはシステム内で運動可能（外部運動機能）であると同時に、それ自身も運動機能（内部運動機能）を有することが多い。そこで、表2に示すように、スラッシュを用いてこの二つの運動を区別する記述方法を用いている。なお、搬送機器と倉庫では次のように座標系を定めている。

- (1) 工場平面に垂直方向をZ軸とする。
- (2) 工作物の流れがもっとも長い方向をX軸とする。

- (3) ロボットの場合、前段に位置するシステム要素より工作物を受け取る位置で運動機能を記述する。

以上のように点の性質が記述できれば、システム構成要素の面からFMCの類似性を評価できる。いま、比較しようとする二つのFMCを想定し、各々のシステム構成要素が有する運動機能をそれぞれ行及び列方向にまず配列する。次いで、両者の運動座標が一致する場合には、該当する(i, j)成分を1とする。この結果得られる行列をここでは共有度行列と呼ぶが、後述する式(2)を用いて、これより一致する成分の割合を計算すれば、類似性が求められる。ここで、図2及び図4に示す二つのFMCを構成する工作機械群に対して共有度行列の例を示すと、図5に示すようになる。図5は工作機械の6つの運動機能をX, Y, Z, A, B, Cの順に工作物側及び工具側それぞれに対して配列した後、該当する運動機能のみ残せば作成できる。なお、図4のFMCを構成するシステム要素の運動機能は表3に示すようになる。

ところで、この共有度行列の作成もマニュアル方式を前提とするが、一義性を保証するために、次のような規則を定めている。

- (1) 各システム構成要素群において、同じ運動機能が二つ以上ある場合にはそれを一つに統一する。
- (2) 該当の行及び列に対応する機能がない場合、その位置は空欄とする。

図.3 FMC NO.1の隣接行列

図.4 ロボット形式FMC(NO.2)のシステム構成

表.3 FMC NO.2の工作機械群、搬送機器群及び倉庫群の運動記述の例

FMC NO.2					
Machine tool group		Transportation group		Warehouse group	
Symbol	Functional description	Symbol	Functional description	Symbol	Functional description
(L)	C/ZX	(1)	/YBXA	(3)	/X
(M)	BXZ/YC	(2)	/ZCXA	(4)	/X

Machine tool group of FMC NO.1											
Work-side motion						Tool-side motion					
	X	Y	Z	A	B	C	X	Y	Z	A	B
X											
Y											
Z											
A											
B											
C											
X						1					
Y							1				
Z								1			
A											
B											
C											

図.5 二つのFMC NO.1とNO.2を構成する工作機械群の共有度行列.

3. 類似性の計算例

前章で述べたような手順で各々のFMCに対して隣接行列と共有度行列を得れば、それらを用いて工作物の流れとシステム構成要素の両面より、あるFMC群における相対的な類似性を評価できる。そこで、ここでは、まず図2及び図4に示した二つのFMC間、ついで、図2のFMCと他のFMC群間の類似性を評価した結果を示す。なお、評価因子としては類似度を用いているが、その算出は新野らの用いた式^{4,5)}を一部修正したものによっている。

3.1 工作物の流れの類似度

いま、比較しようとする二つのFMCの有向グラフをA, B, それらに対応する隣接行列 $[A_{ij}]$, $[B_{ij}]$ とすれば、工作物の流れの類似度は次式で与えられる。

$$I_{AB} = \frac{u}{u+v+w}, \quad 0 \leq I_{AB} \leq 1 \quad (1)$$

但し、

$$u = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \delta_{A_{ij}} \times \delta_{B_{ij}}, \quad v = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \delta_{A_{ij}} \times (1 - \delta_{B_{ij}})$$

$$w = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (1 - \delta_{A_{ij}}) \times \delta_{B_{ij}}$$

$\delta_{A_{ij}}$: $[A_{ij}]$ の成分値

$\delta_{B_{ij}}$: $[B_{ij}]$ の成分値

ここで、一例として図2と図4に示したFMCの間の類似度 I_{AB} を算出してみると次のようになる。

$$I_{AB} = \frac{u}{u+v+w} = 0.14$$

なお、図4のFMCの隣接行列は図6に示す。

3.2 点の性質の類似度

二つのFMC間の点の性質の類似度は共有度行列の行及び列がそれぞれ一つのグラフを示し、行列そのものが二部グラフであることを用いて次のように評価できる。但し、システム構成要素は加工、搬送および倉庫機能より成っているの、各々に対して類似度 S_i を算出し、それらの平均値 S を評価値とする。よって、

$$S = \sum_{i=1}^3 S_i / 3, \quad 0 \leq S_i \leq 1, \quad 0 \leq S \leq 1 \quad (2)$$

$$S_i = \frac{2|R_i(X)|}{|X| + |Y|} = \frac{2|R_i(Y)|}{|X| + |Y|}$$

但し、 S_1 : 工作機械群の類似度

S_2 : 搬送機器群の類似度

図.6 FMC NO.2の隣接行列

表.4 各FMCの構成一覧表

FMC NO.	Machine tool group		Transportation group		Warehouse group	
	kind	number	kind	number	kind	number
1	NC Lathe	2	Robot AGV	2	Buffer	2
	Turning center	1			Load station	1
2	Machining center	1	Robot	2	Unload station	1
					Warehouse	1
3	Machining center	1	Stacker crane	1	Buffer	1
					Unload station	1
4	NC Lathe	1	Robot	1	Load/Unload station	1
					Warehouse	1
5	NC Lathe	1	Robot	1	Load station	1
					Unload station	1
6	Hobbing machine	1	Robot	1	Load/Unload station	1
					Warehouse	1
7	NC Lathe	1	Robot	1	Load/Unload station	1
					Warehouse	1
8	Machining center	2			Pallet pool	1
					Automatic pallet changer	2
9	Machining center	1			Pallet pool	1
					Automatic pallet changer	1
10	Machining center	1	AGV	1	Pallet pool	1
					Automatic pallet changer	1
11	Machining center	1			Pallet pool	1
					Automatic pallet changer	1
12	NC Lathe	1			Automatic pallet changer	1
					Warehouse	1

S_3 : 倉庫群の類似度

また, $R(X)$, $R(Y)$: 共有度行列中の成分値が1である(i,j)成分の数

$|X|$: 運動機能の存在する行の数

$|Y|$: 運動機能の存在する列の数

ここで, 図5に示した共有度行列及び図示はしていないが, 該当する搬送機器、倉庫の共有度行列を用いてFMC NO.1とNO.2間の類似度 S を計算してみると次のようになる。すなわち、式(2)により

$$S_1 = \frac{2 \times 3}{4 + 8} = 0.5 \quad S_2 = \frac{2 \times 6}{7 + 6} = 0.92$$

$$S_3 = \frac{2 \times 0}{1 + 1} = 0$$

$$S = \frac{\sum_{i=1}^3 S_i}{3} = 0.47$$

ところで、類似性の評価に際しては、図7に示すように、縦及び横軸に工作物の流れと点の性質の類似度をとり類似性 S を表示することにより以上の結果を総合的に考察することが望ましい。そこで、図7には、図2のFMCを基準に図4のFMCの類似性をNO.1とNO.2の点として例示してある。又、NO.3~NO.12の点は、FMC NO.1を基準として表4に示すような種々のFMCを評価した結果である。図7より判るように、ここで提案した方法によって、あるFMC群の相対的な類似性を十分に把握できる。

4. 結 論

FMCのシステム形態を評価するために、FMCを有向グラフ表示し、それによる類似性の判定方法を検討した。その結果、次のような結論が得られた。

図.7 FMC NO.1と他のFMC 間の類似性判定結果

- (1) システム構成要素をその性質を表現しうる点又、それらの間の工作物の流れを有向辺で表示すれば、FMCのシステム形態を評価に有用な有向グラフとして記述できる。
- (2) 有向グラフでFMCを記述することによりシステム形態の類似性を簡便に判定でき、これは、FMCの標準化の際に有力な手段になりうると考えられる。

文 献

- (1) 伊東, 日本ロボット学会誌, 3, 2(1985), 24
- (2) Y. ITO, Y. SAITO AND T. KUDAMA; Description of Machining Function in FMS and Its Analysis, Proc. 23rd Inter. MTDR Conf. (1982) 503
- (3) Y. SAITO, Y. ITO; Computer-Aided Draughting System 'ALUDS' for Machine Tool Structures, Proc. 22nd Inter. MTDR Conf. (1981) 69
- (4) 新野・伊東, 機論, 48-425(昭和57), 124
- (5) 新野・伊東, 機論, 46-405(昭和55), 576