工作機械の構造創成方法*

(第3報, 結合パターンを用いたバリエーションデザイン方式による創成)

新野 秀憲**, 伊東 誼***

Generating Method for Structural Configuration of Machine Tools
(Variant Design Using Directed Graph)

by Hidenori SHINNO and Yoshimi ITO

The modular construction system for producing machine tools has recently become important, not only to help rationalize their design and manufacturing procedures, but also to help evolve a flexible manufacturing system. In this paper, therefore, to establish a design methodology for the modular construction system of machine tools, a generating method for structural configuration, i. e., a procedure of computer aided concept design has been proposed, simultaneously clarifying its characteristic and beneficial features. The proposed method is of the variant design type, in which a machine tool as a whole and modular complex is represented with the directed graph in the field of graph theory. When generating a structural configuration, at first, possible modular complexes in the data memory are referred to, and then through simple mathematical treatment they are integrated so as to form structural configurations. By this method, all possible structural configurations of the machine tool can be generated systematically and rationally, according to the machining requirement.

Key Words: Machine Tool, Generating Method, Structural Configuration, Variant Design, Directed Graph, Modular Construction

1. 緒 論

社会における各種製品機能の多様化と複雑化にともなう、必然的にそれらの生産手段についても種々の変革が要請されている。例えば、生産システムの中核加工機能である工作機械の設計・製造技術においても従来からの工作機械の設計原理である母性原則の具備という条件に加えて、構造および機能における融通性・多様性・拡張性の具備といった条件を満足させることが必要になってきている。モジュラ構成工作機械は、このような条件を容易に、しかも同時に満足させることができ、要求仕様に最適な工作機械構造を合理的・系統的に構築するうえで有用な構成方法であると考えられる。したがって、モジュラ構成工作機械の設計方法論を確立することは、次世代の工作機械技術を実現するうえで重要な課題のひとつであると考えられる。

著者らは以上の観点から、モジュラ構成工作機械の

設計方法論を確立するうえで基本的に重要となる工作機械の構造記述方法⁽¹⁾を提案し、その構造設計への利用について種々の検討を行った⁽²⁾⁽³⁾。さらに所期の目的を達成するため、工作機械の構造創成方法について一連の研究を行ってきた。その結果、基本となる構造形態を表す構造パターンを共有部と展開部に分けて、展開形を創成するバリエーションデザイン (Variant Design) 方式⁽⁴⁾と加工要求に従って基本構造モジュール群から自由に構造モジュールを組合せて工作機械の全体構造を創成するフリーデザイン (Free Design) 方式⁽⁵⁾の構造創成方法を提案し、それらの具体的な創成手順と特徴を明らかにした。

本報では既知の構造モジュールの組合せデータをもとに結合パターンと呼ぶ構造モジュールの可能な組合せを表示する有向グラフを生成し、それを用いて展開形を創成するバリエーションデザイン方式の構造創成方法を提案し、それが工作機械の概念設計などを行ううえで有効であることを明らかにしている。

2. 構造創成方法の概要

本創成方法では1台の工作機械構造は、以下の各レベルの構成要素から階層的に構成されているものとする。

* 昭和59年7月19日 第2回設計自動化学講演会において普通講演として講演、原稿受付 昭和60年4月9日。

** 正員、工業技術院機械技術研究所 (〒305 茨城県新治郡桜村並木1-2)。

*** 正員、東京工業大学工学部 (〒152 東京都目黒区大岡山2-12-1)。

(1) レベル 1: 1台の工作機械の全体構造, すなわち構造パターン⁽¹⁾に対応する。

(2) レベル 2: 構造パターンにおける力の流れの主流側と副流側, すなわち主流のサブパターンと副流のサブパターン⁽⁵⁾に対応する。

(3) レベル 3: 構造モジュール対, すなわち始頂点と終頂点⁽⁴⁾の組に対応する。

(4) レベル 4: 構造モジュール。

このように構造創成の各段階を階層構造で系列化することによって, それぞれのレベルのモジュールは下位のレベルのモジュールから組合せにより創成することができる。その結果, 構造創成の過程を合理的, かつ系統的に取扱うことが可能となる。

1台の工作機械の全体構造を創成するためには, まずあらかじめ設定された構造モジュール群から, 構造モジュールの構造的特徴による相互間の結合可能性を

表示する結合パターンと呼ぶ有向グラフを生成する。主流と副流のサブパターンの展開形は総て結合パターンから導出できるため, 最終的にそれらのサブパターンの組合せにより, 全体構造を創成することができることになる。

3. 具体的な構造創成の手順

3・1 構造モジュール群の設定 具体的な構造創成の手順を明らかにするため, ここでは図1に概形を示した9個の構造モジュールを基本構造モジュール群として設定する。なお, 1台の全体構造に同一の構造モジュールを重複して使用する場合は, 複数の同一構造モジュールをあらかじめ基本構造モジュール群に設定しておく必要がある。

3・2 結合パターンの生成 3・1節で設定した9個の構造モジュールは, 各々いずれの構造モジュールともランダムに結合できるというのではなく, それらの間には特定の従属関係, または順序関係が存在する。したがって, それらの構造モジュール相互間の拘束条件を考慮しなければ, 有意な構造形態を系統的に

	Structural Module	Name of Structural Module
1		Spindle Head
2		Slide Unit
3		Swivel Slide
4		Column
5		Rotary Table
6		Cross-slide Unit
7		Base (Stationary Unit)
8		Column Base
9		Bed (with Longitudinal Slide)

図1 構造モジュール群の設定

図2 始頂点と終頂点

	Combinations	Initial Vertex → Terminal Vertex
Initial Vertex	1
	2
	3
	4
	5
	6
	7
	8
	9

(注) 記号 F は工場床を表す。

図3 始頂点と終頂点の組合せ

創成することはできない。そこで本創成方法では、結合される2個の構造モジュールを図2のように力の流れを示す有向辺の向きにより、それぞれ始頂点、終頂点と名づけ、一組の構造モジュールとして取扱うものとする。図1の9個の構造モジュールを始頂点とした時、それらと結合できる終頂点の候補としては、例えば図3の組合せが列举できる。

図3の構造モジュールの接続関係は、始頂点と終頂点の構造モジュールに対応する行と列を有する二項関係を表す行列の形式で表示される。すなわち、行列の成分を M_{ij} で表すと、次のような関係である。

$$M_{ij} = \begin{cases} 1: i \text{ 行の構造モジュールを始頂点, } j \\ \text{列の構造モジュールを終頂点とする} \\ \text{組合せが可能な場合} \\ 0: \text{その他} \end{cases}$$

表1 結合パターンの隣接行列

		Terminal Vertex								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Initial Vertex	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0
	2	0	0	0	1	0	0	0	0	1
	3	0	1	0	0	0	0	1	0	0
	4	0	0	0	0	0	1	0	1	0
	5	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(注) 図中、丸印は構造モジュールを表す。

図4 結合パターン

図5 主流の結合パターン

図3の始頂点と終頂点の組合せは、表1のような行列により表示される。表1の接続関係を用いることにより、図4に示すような構造モジュールの可能な組合せを表す結合パターンを生成できる。すなわち、表1は図4の有向グラフの隣接行列に対応する。

得られた結合パターンは与えられた構造モジュール群から創成することのできる構造パターンの重ね合せであると考えられる。したがって結合パターンを用いて力の流れに沿って構造モジュールの配列・接続関係を決定できれば、それは実現可能な構造形態を導出することになる。

3.3 サブパターンの生成 レベル2の主流と副流のサブパターンは、次のように定義できる。

(1) 主流のサブパターン：主流の始点構造モジュールから最終点構造モジュール⁽³⁾に至る構造モジュールの連結。工具を支持し、工具側の運動機能、剛性などを分担する。

(2) 副流のサブパターン：副流の始点構造モジュールから最終点構造モジュールに至る構造モジュールの連結。工作物を支持し、工作物側の運動機能、剛性などを分担する。

したがって、それぞれのサブパターンは図4の結合パターンにおいて始点構造モジュールから最終点構造モジュールに至る有向パス⁽³⁾の導出により生成される。すなわち、主流のサブパターンは工具、副流のサブパターンは工作物を始点とし、工場床に至る有向パスを求めることになる。

以下に主流と副流のサブパターンの具体的な生成手順を示す。なお、有向パスを生成する手順の詳細につ

いては付録に示す。

まず、主流のサブパターンは以下の手順により生成する。

(1) 図4の結合パターンに工具、工場床を意味する頂点①および②を付加した図5に示すような主流の結合パターンを作成する。

(2) 工具①を始頂点とした時、終頂点になり得る構造モジュールを探索し、それらを有向辺で接続する。図5では、それらの有向辺を破線で表示している。

(3) 工場床②を終頂点とした時、始頂点となり得る構造モジュールを探索し、それらを有向辺で接続する。

(4) 図5の有向グラフにおいて、①を出発頂点、②を終着頂点とするすべての有向パスを列挙する。本創成方法では、図6のような出発頂点①を根とする根付き有向木⁽⁴⁾を付録に述べた生成手順に従って生成し、それをを用いて有向パスを導出する。

以上の結果、図6から明らかなように次の9個の有向パス、すなわち主流のサブパターンを生成することができる。

- (1) $T \rightarrow 1 \rightarrow 7 \rightarrow F$
- (2) $T \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 9 \rightarrow F$

図6 主流の結合パターンの根付き有向木

- (3) $T \rightarrow 1 \rightarrow 6 \rightarrow 9 \rightarrow F$
- (4) $T \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 8 \rightarrow F$
- (5) $T \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 9 \rightarrow F$
- (6) $T \rightarrow 1 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 9 \rightarrow F$
- (7) $T \rightarrow 1 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 8 \rightarrow F$
- (8) $T \rightarrow 1 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 9 \rightarrow F$
- (9) $T \rightarrow 1 \rightarrow 3 \rightarrow 7 \rightarrow F$

副流のサブパターンも同様に、図4の結合パターンに工作物、工場床を意味する頂点③、④を付加した図7の有向グラフを作成し、それにより図8のような③を根とする根付き有向木を生成して得られる。その結果、次の5個の有向パスを得ることができる。

- (1) $W \rightarrow 7 \rightarrow F$
- (2) $W \rightarrow 6 \rightarrow 9 \rightarrow F$
- (3) $W \rightarrow 5 \rightarrow 2 \rightarrow 9 \rightarrow F$
- (4) $W \rightarrow 5 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 8 \rightarrow F$
- (5) $W \rightarrow 5 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 9 \rightarrow F$

3.4 サブパターンの組合せ 工作機械の全体構造は主流と副流のサブパターンの組合せにより創成される。したがって、3.3節で生成した主流と副流のサブパターンにより、図9のような四十五とおりの組合せによる構造形態が創成できる。図9の構造形態は主流側と副流側が分離した、いわゆるフロアタイプであるが、適宜それらのサブパターンを合成すれば、図10の構造形態を得ることができる。

以上のように、本報では構造モジュールの形状・機能などの質的パラメータを用いて構造創成を行う方法について検討したが、同様の方法を用いて構造モジュールの寸法・剛性などの量的パラメータを考慮して結合パターンを生成することにより構造創成を行うことも可能である。

4. 結 論

本研究ではモジュラ構成工作機械の設計方法論を確立するため、工作機械の構造創成方法について検討した。そして前報に引き続いて、本報では結合パターンを用いたバリエーションデザイン方式による構造創成方法

図7 副流の結合パターン

を提案し、その具体的な創成手順と特徴について明らかにした。その結果、次のような結論が得られた。

(1) あらかじめ設定した構造モジュール群から、過去の構造モジュールの組合せデータをもとに結合パターンと呼ぶ有向グラフを生成し、それを用いて可能な構造形態を重複および欠落を生じることなく系統的に創成する方法を提案した。

(2) 階層方式のモジュラ構成と、始頂点・終頂点の構造モジュール相互の関係を用いて、力の流れに沿って有意な構造形態を創成することができることを明らかにした。

(3) 本報で提案した構造創成方法が、工作機械の概念設計や構造形態の決定などを行ううえで有効であることを明らかにした。

付録、根付き有向木の生成手順

a. 前提条件

(1) 図11のような配列行列 (I, J) に根付き有向木の構造モジュールを配置する。

(2) 配列行列 (I, J) の1個の要素には、1個の構造モジュールを配置する。

(3) 原則として根(出発頂点)を(1,1)要素に配置する。

図8 副流の結合パターンの根付き有向木

		Sub-flow of Force				
		1	2	3	4	5
Main-flow of Force	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
	8					
	9					

図9 構造創成結果

(注) 図中の数字, 例えば 52 は主流のサブパターン 5 と副流のサブパターン 2 の合成結果であることを意味する。

図 10 サブパターンの合成結果

b. 根付き有向木の具体的な生成手順 以下の手順は図 11 参照のこと。

(1) (i, j) 要素に配置した構造モジュールに着目し, それに接続する構造モジュールを $(j+1)$ 列めの 1 行めから順次配置する。その際に, i 行めの要素が既に配置済みで詰まっている場合は, $(i+1)$ 行めに配置する。

(2) (i, j) 要素に配置した構造モジュールに接続する構造モジュールを配置完了, もしくは (i, j) 要素の構造モジュールに接続する構造モジュールが存在しない場合, $(i+1, j)$ 要素に配置した構造モジュールに

図 11 根付き有向木の生成

着目し, 手順(1)を行う。

(3) j 列めに配置されている構造モジュールについて, 手順(1)と手順(2)を完了した場合, $(1, j+1)$ 要素に配置した構造モジュールに着目し, 手順(1)を行う。

文 献

- (1) 伊東・新野, 機論, 46-405, C (昭 55), 562.
- (2) 新野・伊東, 文献(1)の 572 ページ.
- (3) 新野・伊東, 機論, 48-425, C (昭 57), 124.
- (4) 新野・伊東, 機論, 50-449, C (昭 59), 213.
- (5) 新野・伊東, 機論, 50-459, C (昭 59), 2192.