マシニングセンタの構造形態設計*

—結合パターンを用いたバリエーション方式について—

李 厚 祥** 新 野 秀 憲*** 伊 東 誼†

Structural Configuration Design of Machining Center
—On the Variant Method Using Conjunction Pattern—

Husang LEE, Hidenori SHINNO and Yoshimi ITO

With the development of FMS, recently, various kinds of the machining center are being developed and their function and performance are being improved. In this regard, it is considered to be important to establish the CAD method of machining center. In this research, a desirable flow of the design system of machining center and a generating method of structural configuration have been investigated. The input of this design system is the specification of workpieces, and the output is the conceptional drawing of machining centers which have enough capabilities to machine the given workpieces. For the generation of the structural configuration, which is a part of the proposed design system, a hierarchical modular constitution method using the conjunction pattern is suggested. And also the case studies are carried out.

Key words : machining center, hierarchical modular system, CAD, variant design method, structural configuration, machine tool

1. 結 言

最近、多種、中少量生産における効果的な生産手段として、フレキシブル生産セル(FMC)、フレキシブル生産システム(FMS)が確固たる位置を占めつつあり、ひとつの生産方式として進歩をつづけている。それと共に、マシニングセンタ(MC)はFMSの中心機械として重要な役割を果たすべく、その機能と性能を著しく向上しつつある。その結果、MCはその構成と形態が多種、多様化しつつあるが、このような発展傾向は将来より進むと思われる。したがって、現時点において、より効率的、合理的なMCの設計方法、特に電子計算機を利用した設計方法(CAD)の確立が重要と考えられる。

ところで、工作機械の計算機援用設計システムに関する基礎研究としては、斉藤ら¹⁾、Saljéら²⁾³⁾、Vragov⁴⁾による運動記述を利用した基本計画図の作成方法の提案、並びに部品の形状創成過程をモデル化し、解析的

方法によって工作機械の構造を創成しようとする岩田ら⁵⁾の試みがある。また、FMSで重要視されている融通性、多様性を実現するひとつの手段であるモジュラ構成工作機械の設計方法論の確立を指向する新野ら⁶⁾⁷⁾の一連の研究がある。しかし、これらは工作機械全般を対象としていることが多く、実用的な工作機械のCADに関する基礎研究としては不十分な点が多い。その理由のひとつとして、各機種に特有の設計上のノウハウへの配慮が不十分なことがあげられる。

そこで、本研究では、機種を特定したCADシステムの開発を目的としている。このシステムは加工対象部品の情報を入力としてMCの基本計画図の作成を出力とするものである。本報では、このような設計システムの重要な部分を構成する工程、すなわち基本構造モジュール、あるいはモジュールコンプレックスと結合パターンを用いて階層的に構造形態を創成する工程について検討している。

2. 設 計 の 流 れ

研究の対象である設計システムでは、特にユーザリエンテッドなシステムを指向している。すなわち、最終的には、加工対象部品群の諸元を入力情報とし、これら部品群を加工しうる仕様を持つMCの基本計画図を出力する。従って、加工対象部品の多様化に適

* 原稿受付 昭和59年10月13日、昭和59年度精機学会秋季大会学術講演会(昭和59年10月2日)にて発表

** 正 会 員 韓国機械研究所(大韓民国慶尚南道昌原市私書函41)

*** 正 会 員 機械技術研究所(茨城県新治郡桜村並木1-2)

† 正 会 員 東京工業大学工学部(東京都目黒区大岡山2-12-1)

Fig. 1 Structural configuration design system of machining center

切に対処できるようモジュラ方式の構造構成方法を採用している。図1は目的とする設計システムの全体の流れ図であり、本報では、図中の一点鎖線内の工程を取り扱っている。

2.1 階層形モジュラ方式による構造創成

構造創成に当たっては、基本モジュールとこのモジュール間の結合可能性を表す結合パターンを用いる方法を採用した。この場合、基本となるモジュールと結合パターン数を増加させれば創成しうる構造形態は幾何級数的に増加し、その結果設計目的との適合性を検討すべき構造形態は膨大になる。そこで、MCのモジュラ構成方式について眺めてみると、その一般的な姿は図2に示すようになる。図にみられるように、いずれのレベルを基本モジュールとして設定するかは大きな問題となる。すなわち、下位レベルを基

Fig. 2 Hierarchical structure of MC in modular constitution

本モジュールとして設定すれば、構造創成の自由度は大きくなるが、その後の設計工程が煩雑となる。また、上位レベルを基本モジュールとして設定すれば、相反

する得失が生じる。

したがって、本システムはモジュールの設定を階層構造とし、ある特定の機能を具備しうる、モジュールコンプレックスと呼ぶ2~3個の基本モジュールの組合せをデータファイルに用意している。そして、通常は、用途に合わせてこのモジュールコンプレックスを基本として、その結合パターンを検討することにより、MCの構造を創成するようにしている。これにより、後で示すように、構造形態創成の大きな自由度と後流側の設計工程の簡易さを同時に満足しうる設計システムを実現できる。

ところで、この創成方法はMCの重要機能の一つである自動工具交換装置(ATC)の場合にも適用でき、それによって可能な構造形態の展開が達成できる。但し、ATCを構成する構造モジュールは数が少ないので、本設計システムではそれを基本モジュールとして設定している。

2.2 構造モジュール群の基本モジュールコンプレックスの設定

モジュラ方式の設計では基本となるモジュールの設定が重要である。その設定では過去の設計例と矛盾しない、さらに、可能な新しい構造形態が創成できるような配慮を必要とする。そこで、現在稼働中のMCの構造分析を行って、普遍的に現れるモジュールを選定してみると図3に示すようになる。

ところで、これらのモジュール相互間には、その構造的特徴および全体構造内における使用形態による結合の適否、あるいは可能性が存在する。図4にはそのようなモジュール相互間の結合の可能性、いわゆる結合パターンの例を示す。図中丸印内の数字は図3に示したモジュールに該当し、TおよびWはそれぞれ工具および工作物を示している。また、多重パスは結合の際における結合姿勢の違いを表す。

この結合パターンはモジュラ構成方式の設計で重要な役割を果たすものであり、結合されるモジュールの全体構造内における力学的な面を「力の流れ」⁹⁾の概念の形で同時に考慮したものである。すなわち、結合しうる2つのモジュールおよびその間の力の流れを点および矢印付きの線で表示したもので、それは有向グラフにはかならない。なお、この場合力の流れの上流側に位置するモジュールを始点モジュール、また、下流側を終点モジュールと呼ぶ。

従って、あらかじめ設定した構造モジュール群に対して図4に示すような結合パターン

Fig. 3 Example of MC modules

を作成すれば、それらの中から設計目的に適合するパスの部分を選び出すことによって、基本モジュールコンプレックスを、例えば図5に示すように設定しうる。ここで提案している設計方法では、通常は基本モジュールコンプレックスをもとに設計を進めるので、図4の結合パターンはバックアップデータとして保管される。また、図5のモジュールコンプレックスは結合されたモジュールとパスの内容と共にデータファイルに登録されて、次のレベルのユニットコンプレックス

Fig. 4 Conjunction pattern of structural modules

	FILE I (Conventional MC)				FILE II (MC for small-size parts)		
Spindle Head Complex	D. F. 2	D. F. 3	D. F. 4		D. F. 1	D. F. 2
Column Complex	D. F. 1		D. F. 2		D. F. 1	D. F. 2	D. F. 3
Cross-slide Complex	D. F. 2				D. F. 2
Slide & Base Complex	D. F. 1				D. F. 1
Table Complex	D. F. 0	D. F. 1	D. F. 2		D. F. 1	D. F. 2

D.F. : Degree of freedom in movement function

Fig. 5 File of module complexes

スを創成するためのモジュールとして使われる。なお、設計目的によって、図5にファイルIおよびIIとして示すように、別々のモジュールコンプレックスのデータファイルを設定、構造創成の効率化を図ることもできる。

3. モジュールコンプレックスの結合による構造形態の創成

3.1 一般的なモジュールコンプレックスの結合様式

前節で述べたような方法で設定されたモジュールコンプレックスを用いて上位レベルのユニットコンプレックスを創成する際の結合パターンは、MCの一般的な構造様式特性上、図6(a)に示すようになる。そこで、このような結合パターンを基にスピンドルヘッドモジュールコンプレックスを始点としてスライド・ベースモジュールコンプレックスを終点とする工具側のユニットコンプレックス、並びにテーブルモジュールコンプレックスを始点としてスライド・ベースモジュールコンプレックスを終点とする工作物側のユニットコンプレックスの可能な結合パターンを展開してみると、図6(b)、および6(c)に示すようになる。

この場合ひとつのモジュールコンプレックス群から次のモジュールコンプレックス群への結合では、群に

(a) General conjunction pattern

(b) Conjunction pattern for unit complexes in tool side

(c) Conjunction pattern for unit complexes in workpiece side

Fig. 6 Conjunction pattern of module complexes

含まれているモジュールコンプレックスの特性による結合の可・否が存在する。この可能性は力の流れの概念を用いると、結合されるモジュールコンプレックス

の終点モジュールと結合するモジュールコンプレックスの始点モジュールの結合可能性によって判断できる。そして、この可能性の検証には、図4の構造モジュールの結合パターンが流用できる。

また、ユニットコンプレックスの構造形態の合理性、有効性を高めるために、構造形態の創成時に何らかの適切な制約条件を設定することもできる。

例えば、

- (1) コラムモジュールは常に垂直方向の運動機能を持つので、コラムモジュールの後に垂直と水平間の運動方向変換用モジュールは結合されない。
- (2) 案内面の数または回転機能を持つモジュールの数は要求される運動の自由度に等しく設定し、それ以上の案内面は含まないようにする。

3.2 ユニットコンプレックスの創成例

図7は提案した方法により構造形態を創成した例であり、図中(a)は汎用マシニングセンタを設計対象としたものである。ここでは、汎用マシニングセンタで普遍的に現れるモジュールコンプレックスを図5のファイル(I)のように設定したときに創成可能なユニットコンプレックスを示してある。この場合、設定された17個のモジュールコンプレックスに対して工具側のユニットコンプレックス62種類、工作物側のユニットコンプレックス40種類の構造形態が得られるが、図にはその一部を示してある。

一方、図7(b)はある特定の設計目的に合わせて用意されたモジュールコンプレックス、この場合には図5のファイル(II)に示すような小形マシニングセンタ用モジュールコンプレックスから創成できるユニットコンプレックスの例である。

3.3 ATC 構造形態の創成

ATCの構造形態は2.1節で述べたように、設定された基本モジュール(図3参照)と工具マガジンが構造本体と結合される位置を点とする結合パターンにより創成できる。図8はATC構造形態を創成するのに用いた結合パターンであり、図中の多重パスは結合の際における工具マガジンの姿勢の違いを表す。

4. 全体構造の創成

MCの全体構造は上記のような方法によって創成さ

Fig. 7 Example of generated unit complexes

れた工具側と工作物側のユニットコンプレックスの中で要求条件に適合する構造形態を選び、その相互組合せによって得られる。なお、工具側と工作物側の組合せにおいては、工具側のユニットコンプレックスに対して工作物側のユニットコンプレックスを90°回転させた展開形も存在する。この場合、運動機能の自由度は変わらないが運動の方向は変化するので、別の構造形態となる。

ここで、要求される全体の運動の自由度を5とし、これを、表1に示すように、工具側と工作物側に配分することを考えてみる。いま、図7(a)のなかから該当するものを選択してみると、事例2の場合には組合せ可能な構造形態の総数は286になる。図9は、参考までに、その一部を示したものである。なお、表1にはその他の事例で得られる構造形態の総数も示してある。

MCの全体構造はこのように創成された本体構造形

Fig. 8 Conjunction pattern of ATC modules

Table 1 Example of structural configurations obtained when the degree of freedom in movement function is 5

	Unit complex for tool side		Unit complex for workpiece side	
	Degree of freedom in movement function	Number of structural configurations	Degree of freedom in movement function	Number of structural configurations
Case 1	1	0	4	8
Case 2	3	13	2	11
Case 3	5	15	0	1

Fig. 9 Example of MC structures generated from unit complexes

態と ATC の構造形態から適切な方法で最も要求仕様に適合する構造形態を選定，その組合せによって得られることになる。このとき，運動機能の過不足が生じて適切な構造形態が得られない場合には，基本モジュールデータファイルから創成可能なモジュールコンプレックスを改めて創成し，それにより創成できる構造形態の多様化を図る。

5. 結 論

本報では，マシニングセンタの設計方法論を確立するために必要な構造形態の展開方法に関して検討した。その内容をまとめると次のようになる。

- (1) 工作物の仕様を入力とし，基本計画図を出力とする，ひとつの設計システムを提案した。

(2) 提案した設計システムの一部である構造形態設計方法として，結合パターンを用いた階層形モジュール方式を提案，その事例研究を行い，この設計方法論が有効であることを確認した。

参 考 文 献

- 1) Y. Saito and Y. Ito: Computer-Aided Drafting System 'ALODS' for Machine Tool Structures, Proc. 22nd Int. MTDR Conf., MacMillan, (1981) 69.
- 2) E. Saljé and W. Redeker: Design of Machine Tools by Means of Computer Aided Design, Proc. 4th ICPE, JSPE, (1980) 386.
- 3) E. Saljé u. W. Redeker: Konzipieren von Drehmaschinen - Ein Beispiel für das methodische Konstruieren spanender Werkzeugmaschinen, Konstruktion, **27**, 6, (1975) 240.
- 4) Yu. D. Vragov: Structural Analysis of Machine Tool Layouts, Machines and Tooling, **43**, 8, (1972) 5.
- 5) 岩田一明ほか: 工作機械設計に対する解析的アプローチ (形状創成過程のモデル化とその分析), 日本機械学会論文集, **47**, 418 C (1981) 793.
- 6) 新野秀憲, 伊東 諒: 工作機械の構造創成方法 (第1報, バリエーション・デザイン方式による創成), 日本機械学会論文集, **50**, 449 C (1984) 213.
- 7) 新野秀憲, 伊東 諒: 工作機械の構造創成方法——その2, フリー・デザイン方式による創成, 日本機械学会講演論文集, **835**, 3 (1983) 91.
- 8) 伊東 諒, 新野秀憲: 工作機械の構造記述 (第1報, 記述方法とそれによる二, 三の記述例), 日本機械学会論文集, **46**, 405 C (1980) 562.