機械構造の自動生成に関する基礎的研究*

(第4報, 記号演算による運動伝達系の機能構造の生成法)

朴 来卿^{*1}, 横山正明^{*2}, 新野秀憲^{*3}A Basic Study of the Automated Generation of Machine Structures
(4th Report, Generation of the Functional Structures of
Motion Transmitting Systems by Symbolic Operation)

Rae-kyung PARK, Masaaki YOKOYAMA, and Hidenori SHINNO

As a basic study for the establishment of the methodology for computer aided or automated design of machine structures, three reports were published hitherto. But, the graphical method for the functional structure that was presented on the previous reports was not able to describe the complex structure of the motion transmitting system, because the functional structure was described by an adjacency matrix. Therefore, this paper presents a new method for the symbolic operation method. The functional structure of the motion transmitting system is described by the functional symbols and the operators, and is generated by the operation on the functional symbols. This symbolic operation method enables us to delete unnecessary elements or insert new elements on the level of the functional structure, and to describe the functional structure as a formulation. The effectiveness of the method has been illustrated by the application to some examples of machines.

Key Words : Machine Design, CAD, Automated Design, Design Engineering,
Machine Structure, Symbolic Operation, Functional Structure

1. 緒 言

機械構造の計算機援用設計方法論を確立するための研究の一環として既報⁽¹⁾⁻⁽³⁾において、機械の運動伝達系の機能構造のグラフ記述法ならびに自動生成法、機能構造から骨格構造の生成法について述べた。しかし、そこで提案した運動伝達系の機能構造のグラフ記述法は隣接行列を計算機の内部表現として使用するため、次のような欠点があった。

- (1) 複数の入力運動あるいは出力運動をもつ運動伝達要素の運動変換機能の記述ができないので、複雑な運動伝達系の機能構造の記述ができない。
- (2) 生成される運動伝達要素の数が多くなると隣接行列では表現しきれなくなる。
- (3) 一つの運動伝達要素が行う運動変換を直列的に複数の運動伝達要素に行わせる場合や、その逆の場合に運動伝達要素の挿入および削除ができない。
- (4) 運動伝達要素ごとの運動変換あるいは相対運動

などの機能記述ができないため、形態構造の生成などの次の段階とのデータ共有ができない。

以上の欠点を補完するため本報では既報の方法論に修正を加えた新しい方法論を提案する。すなわち、演算記号を用いて運動伝達系の機能構造を記述する方法である。この方法は

- (1) 運動伝達系の機能構造において、運動記号に関する演算により運動伝達要素の挿入と削除が容易にできる
 - (2) 複雑な運動伝達系の機能構造が一つの式で記述できる
- などの特長がある。

本報においては、先ず記号演算に基づく運動伝達系の機能構造の記述法を提案し、次にそれに基づく機能構造の生成法ならび生成結果に関して報告する。

2. 運動伝達系の機能構造の記述法

2.1 運動記号 機械の運動を表す記号を「運動記号」と呼称する。機械は入力としてエネルギーを受け取り、出力として運動をするものである。それゆえ、エネルギーと運動を記述する記号が必要とされる。運

* 平成元年3月18日 東北支部第24期総会講演会において講演、原稿受付 昭和63年5月9日。

^{*1} 准員、東京工業大学大学院 (〒227 横浜市緑区長津田町4259)。

^{*2} 正員、東京工業大学総合理工学研究科。

^{*3} 東京工業大学工学部 (〒152 東京都目黒区大岡山2-12-1)。

動には回転運動と直線運動があり、複雑な運動もこれらの運動の組合せで表す。これら二つの運動をR, Dの文字で表す。エネルギーには電気エネルギー, 化学エネルギー, 空気圧エネルギー, 油圧エネルギー, 人力などがあり, これらのエネルギーをE, C, A, O, Hの文字で表す。エネルギーは運動の源であるので, 本報では運動として取り扱うことにする。

2・2 演算記号 運動間あるいは運動変換機能間の関係を記述する記号を「演算記号」と呼称する。演算記号は次のような五つの記号から構成される。

2・2・1 入出力運動の変換を記述する記号「-」

機械, 運動伝達系, 運動伝達要素などにおいて, 入力運動と出力運動の間の変換機能を記述する記号である。入力運動が M_i , 出力運動が M_o である場合, 運動変換機能Fを次のように記述する。

$$F = \frac{M_o}{M_i} \quad \text{または} \quad F = M_o / M_i$$

2・2・2 二つの運動伝達要素間の運動伝達を記述する記号「×」 ある運動伝達要素から次の運動伝達要素へ運動が伝達される場合, その関係を記述する記号である。この場合, 運動を伝達する運動伝達要素の出力運動と運動が伝達される運動伝達要素の入力運動は一致しなければならない。それ以外はこの記号は意味をもたない。なお, 後に基本機能構造生成に際して一致しない場合に使用しているが, この場合は一致するように中間系を生成するという目的のために形式的表現を容認している。本報において, 運動伝達系の伝達経路は左から右に記述される。すなわち, 運動伝達系の機能構造の記述において, 左側は系の入力側にある運動伝達要素であり, 右側は系の出力側にある運動伝達要素である。 $F_1 = M_{o1} / M_{i1}$ の変換機能を持つ運動伝達要素から $F_2 = M_{o2} / M_{i2}$ の変換機能を持つ運動伝達要素に運動が伝達される場合, 次のように記述する。

$$F = \frac{M_{o1}}{M_{i1}} \times \frac{M_{o2}}{M_{i2}}, \quad \text{ただし} \quad M_{o1} = M_{i2}$$

演算を行うと $F = M_{o2} / M_{i1}$ となる。この記号に関して交換法則は一般に成立しない。

2・2・3 複数の運動伝達経路を記述する記号「⊕」

この記号は運動伝達系に複数の運動伝達経路が存在する場合の記述に使用する。例えば, 運動伝達経路 F_i ($i=1, 2, \dots$)から構成される運動伝達系Fは

$$F = F_1 \oplus F_2 \oplus \dots$$

のように記述する。運動伝達経路は相互に完全に独立な場合と図1の(a)のように途中で合流あるいは分岐する場合がある。図1の(a)の場合は

$$F = \frac{R}{R_1} \oplus \frac{R}{R_2} \quad \text{または} \quad F = \frac{R_1}{R} \oplus \frac{R_2}{R}$$

のように記述される。さらに, 演算過程においてこの記号は

$$F = \frac{R}{R_1 \oplus R_2} \quad \text{または} \quad F = \frac{R_1 \oplus R_2}{R}$$

のように入出力運動レベルまで下って使用できるものとしている。

2・2・4 二つの運動間の相対運動を記述する記号「⊙」

運動伝達要素の入出力軸は複数の運動をなしうる。入出力軸の固有の, 主たる運動を「主運動」, 主運動以外に入出力軸がする運動を「副運動」と仮称する。この記号は副運動に対する主運動の相対運動の関係の記述に使用され, その使用例は次のようになる。

(1) 入力軸 (または出力軸) において主運動以外に入出力運動 (または入力運動) から影響を受ける運動がある場合がある。例えば, 図1の(b)の機構において出力軸の主運動を直線運動D, 入力軸の主運動を回転運動Rとする。このとき, 入力軸はR以外に直線運動もする。この機構の運動変換機能Fを次のように記述する。

$$F = \frac{D}{R \odot D}$$

(2) 入力軸 (または出力軸) において主運動以外に入出力運動 (または入力運動) に影響をおよぼさない運動がある場合がある。例えば, 図1の(c)のスプライン軸において入出力軸の主運動は回転運動Rである。このとき入力軸または出力軸はR以外に直線運動もする。このスプライン軸の運動変換機能Fを次のように記述する。

$$F = \frac{R}{R \odot D} \quad \text{または} \quad F = \frac{R \odot D}{R}$$

(3) (1), (2)の場合は入力軸と出力軸のどちらか一方のみ副運動をもっていた。しかし, 図1(d)のような運動伝達系においては電動機は移動テーブルに乗って直線運動Dを行うので, 入出力両軸とも副運動をも

図1. 運動伝達要素の例

つ、この場合の電動機の相対的な運動変換機能は次のように記述する。

$$F = \frac{R \odot D}{E \odot D}$$

本研究においては $M_1 \odot M_1$, $M_1 \odot (M_2 \oplus M_3)$ の形の相対運動は考えない。

2.2.5 複数の運動の重ね合せを記述する記号 ' $\odot$ '

機械の出力運動において、複数の運動の重ね合せを記述する記号である。例えば、前報で取り扱った歯車形削り盤の工具の運動は、上下運動 D_1 、回転運動 R 、逃げ運動 D_2 の重ね合せからなり、その運動は

$$D_1 \odot R \odot D_2$$

のように記述される。この運動を D_1 , R , D_2 なる出力運動の一つずつもつ三つの運動伝達要素から実現する。このために後述する演算規約(3)~(5)を用いて

$$D_1 \odot R \odot D_2 = D_1 \odot R \odot D_2 \odot R \odot D_2 \odot D_2$$

のように展開する。この式から三つの運動伝達要素の、運動の相対的關係を考慮した出力運動を $D_1 \odot R \odot D_2$, $R \odot D_2$, D_2 と決定する。本報では $M_1 \odot M_1$, $M_1 \odot (M_2 \oplus M_3)$ の形の運動の重ね合せは考えない。

2.2.6 演算記号の優先順位 演算記号を用いて演算をする場合は演算記号の優先順位が必要とされる。本研究で用いられる演算記号を優先順位が高い記号から書くと、

$$\odot, /, \times, \oplus$$

のようになる。記号 $\odot$ は情報入力時の記述が主目的であるので除外している。しかし、 $\oplus$ よりも優先順位が高い。

2.2.7 演算規約のまとめ 本研究で定義した演算記号は次のような規約に基づいて演算を行う。

- (1) $M_1 \odot M_1 = M_1$
- (2) $\frac{M_3}{M_1} \times \frac{M_2}{M_3} = \frac{M_2}{M_1}$
- (3) $M_1 \odot M_2 = M_1 \odot M_2 \odot M_2$
- (4) $(M_1 \odot M_2) \odot M_3 = M_1 \odot M_3 \oplus M_2 \odot M_3$
- (5) $(M_1 \odot M_2) \odot M_3 = M_1 \odot M_3 \oplus M_2 \odot M_3$
- (6) $\frac{M_3}{M_1} \oplus \frac{M_3}{M_2} = \frac{M_3}{M_1 \odot M_2}$
- (7) $\frac{M_2}{M_1} \oplus \frac{M_3}{M_1} = \frac{M_2 \oplus M_3}{M_1}$
- (8) $\left(\frac{M_2}{M_1} \oplus \frac{M_4}{M_3} \right) \times \left(\frac{M_5}{M_2} \oplus \frac{M_6}{M_4} \right)$
 $= \frac{M_2}{M_1} \times \frac{M_5}{M_2} \oplus \frac{M_4}{M_3} \times \frac{M_6}{M_4}$
- (9) $\frac{R}{M_1} \times \frac{M_2}{R} \oplus \frac{R}{M_1} \times \frac{M_3}{R}$
 $= \frac{R}{M_1} \times \frac{R \odot R}{R} \times \left(\frac{M_2}{R} \oplus \frac{M_3}{R} \right)$

MTS : motion transmitting system
 sub-MTS : motion transmitting sub-system
 BTS : basic transmitting system
 MTE : motion transmitting element

図2. 運動伝達要素の機能構造の生成の手順

3. 運動伝達系の機能構造の生成法

前章で提案した機能構造の記述法を用いて運動伝達系の機能構造を生成する方法論に対して説明する。本報においては、運動伝達系は入力(小)系、中間(小)系、出力(小)系の三つの小系から構成されたと考える。設計対象になる機械が出力すべき出力運動に関する情報から運動伝達系の機能構造の生成までの手順は図2のようになる。運動伝達系の機能構造の生成過程を、図3のターニングセンタの運動伝達系の機能構造を例にとって説明する。

3.1 出力運動に関する情報 運動伝達系の機能構造の生成のために必要な出力運動に関する入力情報は、

- (1) 機械の出力運動
- (2) 機械の出力運動を生成する運動伝達要素

図3. ターニングセンタの運動機能

(3) 機械の入力運動

から構成される。機械の出力運動は設計対象になる機械が出力すべき運動である。運動は運動記号と演算記号 $\odot$, $\otimes$ を用いて記述する。図3における出力運動は $R_1 \odot D_1 \otimes D_3 \odot D_2$ である。機械の出力運動を生成する運動伝達要素は、同一の運動の運動伝達要素は数多くありえるので、現段階では設計者がメニューから選択して決定する。図3における出力運動を生成する運動伝達要素として、 R_1 に対しては R/R の運動変換機能をもつ要素を、 D_1 , D_2 , D_3 に対しては D/R の運動変換機能をもつ要素を採用する。機械の入力運動は出力運動を生成する運動伝達要素を駆動する入力系の運動伝達要素の入力運動である。入力運動としては電気エネルギーを用いることにして、 R_1 に対しては E_1 を、 D_1 に対しては E_2 を、 D_2 , D_3 に対しては E_3 を採用する。

3.2 運動伝達小系への分解 単一または複数の運動伝達要素からなる入力系と単一の運動伝達要素からなる出力系から構成される系を「運動伝達小系(motion transmitting sub-system)」と呼称する。そして、機械の運動伝達系は機械の出力運動を生成する運動伝達要素の数と同じ数の運動伝達小系に分解される。そのため出力運動を演算規約(3)を用いて次のように展開する。

$$R_1 \odot D_1 \otimes D_1 \otimes D_3 \odot D_2 \otimes D_2$$

この式により各運動伝達小系に対する出力運動は次のようになる。ここで、 O は運動伝達小系の出力運動を表す記号とする。

$$O_1 = R_1 \odot D_1$$

$$O_2 = D_1$$

$$O_3 = D_3 \odot D_2$$

$$O_4 = D_2$$

運動伝達小系の入力運動は機械の入力運動から決められる。機械の入力運動に対しては入力エネルギーのみ定義され、それらに対する副運動は定義されていない。そして、副運動を定義して運動伝達小系の入力運動を決める。本研究では次のような規約で副運動を決める。

(1) 運動伝達小系の出力系の運動伝達要素が単一である場合、出力運動と同一な副運動を取る。

(2) 運動伝達小系の出力系の運動伝達要素が複数である場合、それら運動伝達要素がもつ副運動の中で最少の副運動を取る。すなわち、入力系の運動伝達要素は出力系を構成する運動伝達系の中で機械のベースに一番近い運動伝達要素と同一な副運動をもつ。

以上の規約に基づいて入力運動の副運動を決めると、 E_1 は D_1 の副運動をもち、 E_2 と E_3 は副運動を持たない。そして、各運動伝達小系に対する入力運動は次のようになる。ここで、 I は運動伝達小系の入力運動を

表す。

$$I_1 = E_1 \odot D_1$$

$$I_2 = E_2$$

$$I_3 = E_3$$

$$I_4 = E_3$$

以上の出力運動と入力運動から各運動伝達小系の運動変換機能を求めると次のようになる。ここで、記号 S は運動伝達小系の運動変換機能を表す。

$$S_1 = \frac{O_1}{I_1} = \frac{R_1 \odot D_1}{E_1 \odot D_1}$$

$$S_2 = \frac{O_2}{I_2} = \frac{D_1}{E_2}$$

$$S_3 = \frac{O_3}{I_3} = \frac{D_3 \odot D_2}{E_3}$$

$$S_4 = \frac{O_4}{I_4} = \frac{D_2}{E_3}$$

3.3 運動伝達小系の機能構造の生成 運動伝達小系の運動変換機能から機能構造を生成する。運動伝達小系の機能構造の生成は次の過程からなる。

3.3.1 基本機能構造の生成 基本機能構造は中間系がなく、入力系と出力系からなる機能構造である。そのため入力系と出力系の運動伝達要素の運動変換機能が必要とされる。出力系の運動伝達要素の運動変換機能と入力系の運動伝達要素の入力運動は既に定義されているので、入力系の運動伝達要素の出力運動のみを求めればよい。入力系の運動伝達要素の出力運動は出力系の運動伝達要素における入力運動の主運動と同一な主運動を取り、運動伝達小系の入力運動の副運動と同一な副運動を取るにより決められる。すなわち、出力系の運動伝達要素の運動変換機能が $M_1 \odot M_2 / M_3 \odot M_2$ であり、入力系の運動伝達要素の入力運動が M_5 である場合、基本機能構造 T は次のようになる。

$$T = \frac{M_4 \odot M_6}{M_5 \odot M_6} \times \frac{M_1 \odot M_2}{M_3 \odot M_2} = F_1 \times F_0$$

ここで、 F_1 , F_0 は入力系、出力系の運動伝達要素の運動変換機能である。

各々の基本機能構造は次のようになる。

$$T_1 = \frac{R_3 \odot D_1}{E_1 \odot D_1} \times \frac{R_1 \odot D_1}{R_2 \odot D_1}$$

$$T_2 = \frac{R_5}{E_2} \times \frac{D_1}{R_4}$$

$$T_3 = \frac{R_7}{E_3} \times \frac{D_3 \odot D_2}{R_6 \odot D_2}$$

$$T_4 = \frac{R_3}{E_3} \times \frac{D_2}{R_9}$$

3.3.2 中間系の生成 基本機能構造において記号演算を行ない基本機能構造の運動変換機能 demands, 運動伝達小系の運動変換機能と比較し, 中間系を決める. 決められた中間系の運動変換機能が中間系の運動伝達要素のデータベースになれば, さらに中間系の運動変換機能を複数の機能に展開する. 現段階で中間系の運動伝達要素として登録されている運動伝達要素の固有の運動変換機能は R/R , D/D , R/D , D/R , $R \odot D/R$, $R/R \odot D$ である. すなわち, 運動伝達小系の運動変換機能が S , 基本機能構造のそれが $T (= F_i \times F_o)$ である場合, 中間系の運動変換機能 M は次のように求められる. F_i^{-1} , F_o^{-1} は F_i , F_o の各々の入力運動, 出力運動の交換を意味する.

$$M = F_i^{-1} \times S \times F_o^{-1}$$

そして, 運動伝達小系の機能構造 S は

$$S = F_i \times M \times F_o$$

のようになる.

各々の運動伝達小系の機能構造は次のように生成される.

運動伝達小系 S_1 において, 中間系 M は

$$M = \frac{R_2 \odot D_1}{R_3 \odot D_1}$$

のように求められる. この M の固有の運動変換機能は R/R であり, その機能はデータベースに登録されているので機能構造は次のようになる.

$$S_1 = \frac{R_3 \odot D_1}{E_1 \odot D_1} \times \frac{R_2 \odot D_1}{R_3 \odot D_1} \times \frac{R_1 \odot D_1}{R_2 \odot D_1}$$

同様な方法で S_2 , S_3 , S_4 は次のようになる.

$$S_2 = \frac{R_5}{E_2} \times \frac{R_4}{R_5} \times \frac{D_1}{R_4}$$

$$S_3 = \frac{R_7}{E_3} \times \frac{R_6 \odot D_2}{R_7} \times \frac{D_3 \odot D_2}{R_6 \odot D_2}$$

$$S_4 = \frac{R_9}{E_3} \times \frac{R_8}{R_9} \times \frac{D_2}{R_8}$$

3.4 運動伝達小系の結合 以上の方法で生成された運動伝達小系を結合し運動伝達系の機能構造を生成する. すなわち, 各運動伝達小系は演算記号 $\odot$ を用いて結合される. 運動伝達系 S は

$$\begin{aligned} S &= S_1 \odot S_2 \odot S_3 \odot S_4 \\ &= \frac{R_3 \odot D_1}{E_1 \odot D_1} \times \frac{R_2 \odot D_1}{R_3 \odot D_1} \times \frac{R_1 \odot D_1}{R_2 \odot D_1} \\ &\quad \odot \frac{R_5}{E_2} \times \frac{R_4}{R_5} \times \frac{D_1}{R_4} \\ &\quad \odot \frac{R_7}{E_3} \times \frac{R_6 \odot D_2}{R_7} \times \frac{D_3 \odot D_2}{R_6 \odot D_2} \\ &\quad \odot \frac{R_9}{E_3} \times \frac{R_8}{R_9} \times \frac{D_2}{R_8} \end{aligned}$$

$$\odot \frac{R_9}{E_3} \times \frac{R_8}{R_9} \times \frac{D_2}{R_8}$$

のようになる. この場合, E_3 の関与する運動変換機能が複数であるので, 整理すると次のようになる.

$$\begin{aligned} S &= \frac{R_3 \odot D_1}{E_1 \odot D_1} \times \frac{R_2 \odot D_1}{R_3 \odot D_1} \times \frac{R_1 \odot D_1}{R_2 \odot D_1} \\ &\quad \odot \frac{R_5}{E_2} \times \frac{R_4}{R_5} \times \frac{D_1}{R_4} \\ &\quad \odot \frac{R_7 \odot R_9}{E_3} \times \left(\frac{R_6 \odot D_2}{R_7} \times \frac{D_3 \odot D_2}{R_6 \odot D_2} \right. \\ &\quad \left. \odot \frac{R_8}{R_9} \times \frac{D_2}{R_8} \right) \end{aligned}$$

本研究では機械の入力を行う運動伝達要素の出力運動は単一であると制限する. この制限により E_3 の関与する運動変換機能は次のように展開される.

$$\frac{R_7 \odot R_9}{E_3} = \frac{R_{10}}{E_3} \times \frac{R_7 \odot R_9}{R_{10}}$$

ここで生成されたような機構を「分割機構」と呼称する. 逆に入力運動が複数で, 出力運動が単一である機構を「結合機構」と呼称する.

以上の過程から図3のターニングセンタの機能構造は次のようになる.

$$\begin{aligned} S &= \frac{R_3 \odot D_1}{E_1 \odot D_1} \times \frac{R_2 \odot D_1}{R_3 \odot D_1} \times \frac{R_1 \odot D_1}{R_2 \odot D_1} \\ &\quad \odot \frac{R_5}{E_2} \times \frac{R_4}{R_5} \times \frac{D_1}{R_4} \\ &\quad \odot \frac{R_{10}}{E_3} \times \frac{R_7 \odot R_9}{R_{10}} \times \left(\frac{R_6 \odot D_2}{R_7} \right. \\ &\quad \left. \times \frac{D_3 \odot D_2}{R_6 \odot D_2} \odot \frac{R_8}{R_9} \times \frac{D_2}{R_8} \right) \end{aligned}$$

4. 運動伝達系の機能構造の生成例

前章において概略説明した運動伝達系の機能構造の生成法に基づいてC言語による機能構造生成プログラムを作成した. 本報の定義した演算記号は実際の計算機では用意されていないので, 入出力に際しては ' $\odot$ ' は ' $\cdot$ ', ' $\odot$ ' は '+', ' $\odot$ ' は '@', ' $\times$ ' は '*' を用いている.

4.1 出力運動に関する情報の入力方式 機械の出力運動に関する情報は対話形式で入力する. 図4にマシニングセンタの出力運動に関する情報の入力方式を示すが, 本プログラムの使用者は下線を施した数値, 記号のみ入力する.

What is the output function of the machine? $R_1 \odot D_1 \cdot R_2 \odot D_3 \odot D_2$

Select the output device that has the function-R2

The menu is as follows :

1. rack-pinion_drive
2. rotatory_device(worm-worm-wheel_type)
3. rotatory_device(pinion_type)

Input the number = 2

Select the output device that has the function-D3

The menu is as follows :

1. crank-slider_mechanism
2. cam-mechanism
3. ball-screw_drive
4. screw-nut_drive
5. worm-worm-rack_device
6. rack-pinion_device(stationary)
7. rack-pinion_device(moving)

Input the number = 3

Select the output device that has the function-D2

The menu is as follows :

1. crank-slider_mechanism
2. cam-mechanism
3. ball-screw_drive
4. screw-nut_drive
5. worm-worm-rack_device
6. rack-pinion_device(stationary)
7. rack-pinion_device(moving)

Input the number = 3

Select the output device that has the function-R1

The menu is as follows :

1. rack-pinion_drive
2. rotatory_device(worm-worm-wheel_type)
3. rotatory_device(pinion_type)

Input the number = 3

Select the output device that has the function-D1

The menu is as follows :

1. crank-slider_mechanism
2. cam-mechanism
3. ball-screw_drive
4. screw-nut_drive
5. worm-worm-rack_device
6. rack-pinion_device(stationary)
7. rack-pinion_device(moving)

Input the number = 3

Input the input function : E_1, E_2, E_3

What is the output function driven by 'E3'? R_2, D_3, D_2

What is the output function driven by 'E2'? D_1

What is the output function driven by 'E1'? R_1

図4. 出力運動に関する必要な情報の入力形式

The motion transmitting system of machine is as follows;

$R_{13} \cdot D_1 / E_1 \cdot D_1 \cdot R_6 \cdot D_1 / R_{13} \cdot D_1 \cdot R_1 \cdot D_1 / R_6 \cdot D_1$
 $\cdot R_{12} / E_2 \cdot R_7 / R_{12} \cdot D_1 / R_7$
 $\cdot R_{11} / E_3 \cdot (R_{10} \cdot R_9 \cdot R_8) / R_{11} \cdot (R_{10} \cdot D_2 / R_{10} \cdot R_{10} \cdot D_3 \cdot D_2 / R_{10} \cdot D_2$
 $\cdot R_3 \cdot D_2 / R_{10} \cdot D_3 \cdot D_2 \cdot R_2 \cdot D_3 \cdot D_2 / R_3 \cdot D_3 \cdot D_2 \cdot R_9 \cdot D_2 / R_9$
 $\cdot R_4 \cdot D_2 / R_9 \cdot D_2 \cdot D_3 \cdot D_2 / R_4 \cdot D_2 \cdot R_5 / R_8 \cdot D_2 / R_5$

The elements that consist of this machine are as follows;

$D_2 / R_5, R_5 / R_8, D_3 / R_4, R_4 / R_9,$
 $R_9 \cdot D_2 / R_9, R_2 / R_3, R_3 / R_{10}, R_{10} \cdot D_3 \cdot R_{10},$
 $R_{10} \cdot D_2 / R_{10}, (R_{10} \cdot R_9 \cdot R_8) / R_{11}, R_{11} / E_3, D_1 / R_7,$
 $R_7 / R_{12}, R_{12} / E_2, R_1 / R_6, R_6 / R_{13},$
 R_{13} / E_1

図5. マシニングセンタの機能構造とその要素

4.2 機能構造の生成例 運動伝達系の機能構造の生成例として、マシニングセンタと自走型ロボットを取り上げる。

4.2.1 マシニングセンタ 図4の入力から機能構造は図5のように生成される。本システムの出力は運動伝達系の機能構造とその機能構造を構成する運動伝達要素の運動変換機能のリストからなる。これと同一の出力運動をもつマシニングセンタにおいて、出力系

The motion transmitting system of machine is as follows;

$R_{12} \cdot D_1 / E_1 \cdot D_1 \cdot R_6 \cdot D_1 / R_{12} \cdot D_1 \cdot R_1 \cdot D_1 / R_6 \cdot D_1$
 $\cdot R_{11} / E_2 \cdot R_7 / R_{11} \cdot D_1 / R_7$
 $\cdot R_{10} / E_3 \cdot R_5 / R_{10} \cdot D_2 / R_5$
 $\cdot R_9 \cdot D_2 / E_4 \cdot D_2 \cdot R_4 \cdot D_2 / R_9 \cdot D_2 \cdot D_3 \cdot D_2 / R_4 \cdot D_2$
 $\cdot R_8 \cdot D_3 \cdot D_2 / E_5 \cdot D_3 \cdot D_2 \cdot R_3 \cdot D_3 \cdot D_2 / R_8 \cdot D_3 \cdot D_2 \cdot R_2 \cdot D_3 \cdot D_2 / R_3 \cdot D_3 \cdot D_2$

図6. マシニングセンタの別の機能構造

The motion transmitting system of machine is as follows;

$R_{14} \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot R_4 \cdot D_1 / E_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot R_4 \cdot D_1 \cdot R_5 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot R_4 \cdot D_1 / R_{14} \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot R_4 \cdot D_1$
 $\cdot R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot R_4 \cdot D_1 / R_5 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot R_4 \cdot D_1$
 $\cdot R_{13} \cdot R_3 \cdot R_4 \cdot D_1 / E_2 \cdot R_3 \cdot R_4 \cdot D_1 \cdot R_6 \cdot R_3 \cdot R_4 \cdot D_1 / R_{13} \cdot R_3 \cdot R_4 \cdot D_1$
 $\cdot R_2 \cdot R_3 \cdot R_4 \cdot D_1 / R_6 \cdot R_3 \cdot R_4 \cdot D_1$
 $\cdot R_{12} \cdot R_4 \cdot D_1 / E_3 \cdot R_4 \cdot D_1 \cdot R_7 \cdot R_4 \cdot D_1 / R_{12} \cdot R_4 \cdot D_1 \cdot R_3 \cdot R_4 \cdot D_1 / R_7 \cdot R_4 \cdot D_1$
 $\cdot R_{11} \cdot D_1 / E_4 \cdot D_1 \cdot R_8 \cdot D_1 / R_{11} \cdot D_1 \cdot R_4 \cdot D_1 / R_8 \cdot D_1$
 $\cdot R_{10} \cdot D_2 / E_5 \cdot D_2 \cdot R_9 \cdot D_2 / R_{10} \cdot D_2 \cdot D_1 / R_9 \cdot D_2$

The elements that consist of this machine are as follows;

$D_1 / R_9 \cdot D_2, R_9 / R_{10}, R_{10} / E_5, R_4 / R_8,$
 $R_8 / R_{11}, R_{11} / E_4, R_3 / R_7, R_7 / R_{12},$
 $R_{12} / E_3, R_2 / R_6, R_6 / R_{13}, R_{13} / E_2,$
 $R_1 / R_5, R_5 / R_{14}, R_{14} / E_1$

図7. 自走型多関節ロボットの機能構造とその要素

の運動伝達要素が別々の電動機により駆動される場合の機能構造は図6のようになる。

4.2.2 自走型多関節ロボット 5自由度をもつ自走型多関節ロボットの出力運動は次のようになる。

$$R_1 \odot R_2 \odot R_3 \odot R_4 \odot D_1$$

出力運動を行う運動伝達要素として、 R_1, R_2, R_3, R_4 はR/Rの運動変換機能をもつ要素を、 D_1 はD/Rの運動変換機能をもつ要素を各々採用する。出力系の各運動伝達要素が別々の電動機により駆動される場合、その機能構造は図7のようになる。ここで、運動 D_1 と D_2 は自動的な添字付けのため添字が異なっているが、実際は同じものである。

5. 結 言

機械構造の計算機援用設計方法論の確立のための研究の一環として、演算記号を用いて機械の運動伝達系の機能構造を記述する方法を提案し、その機能構造を自動生成する技法を開発した。また、この技法に基づいて計算機プログラムを作成し、実際の機械の運動伝達系の機能構造の生成に適用し、技法と計算機プログラムの有効性を確かめた。

終りに、日頃有益な助言とご協力をいただいている本学大学院総合理工学研究科 林 国一教授ならびに工学部 伊東 誼教授に厚く謝意を表す。

文 献

- (1) 横山・ほか2名, 機論, 51-465, C (昭60), 1152.
- (2) 横山・ほか2名, 機論, 52-473, C (昭61), 417.
- (3) 横山・朴, 機論, 53-486, C (昭62), 392.