機械構造の自動生成に関する基礎的研究*

(第3報, 機能構造から運動伝達系の骨格構造の生成法)

横山 正明**, 朴 来卿***

A Basic Study of the Automated Generation of Machine Structure (3rd Report, Generation of Skeletal Structure of Motion Transmitting System from Functional Structure)

Masaaki YOKOYAMA and Rae-Kyung PARK

As a basic study for the establishment of the methodology for computer aided or automated design of machine structures, this report deals with an algorithm and a computer program for the automated generation of the skeletal structures of the motion transmitting systems of power transmitting or motion transmitting machines, such as machine tools and measuring apparatuses. The motion transmitting systems of the machines are considered as an aggregation of motion transmitting elements, such as gear mechanism, screw driving mechanism and cam mechanism, and their skeletal structures are generated automatically using their functional structures, the algorithm and the application results were explained in the second report of this study. Some results for machine tools are presented, which were generated by the implementation of this computer program.

Key Words: Machine Design, CAD, Automated Design, Design Engineering, Machine Structure, Skeletal 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基礎的研究の一環として既報⁽¹⁾⁽²⁾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について述べた。すなわち、機械の運動伝達系を運動伝達要素の連なりとして把握し、入力された基本仕様を満足するように各要素の変換ベクトルを決定し、必要ならば要素のそう入とその変換ベクトルの決定を自動的に行う技法について述べた。次の課題としては、いかにしてこの機能構造から骨格構造を自動生成するかという問題が残っており、その解決が必要である。

本研究における機械構造の自動生成過程は、

- (1) 基本仕様の入力から基本グラフの生成
- (2) 基本グラフから三次元の機能構造グラフへの拡張
- (3) この機能構造グラフから運動伝達系の骨格構造の生成
- (4) 運動伝達系以外の部分の骨格構造の生成
- (5) 骨格構造への肉付け

* 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30日.

** 正員, 東京工業大学 (〒227 横浜市緑区長津田町4259).

*** 学生員, 東京工業大学大学院.

の五つの過程から構成されるが、本報においては(3)の過程の自動化に関する方法論を取扱う。

2. 運動伝達系の骨格構造の生成法

2・1 機能構造と骨格構造 本研究において取扱う機械には機能と形態の二つが不可欠であり、これらは各々第1報⁽¹⁾において説明したような構造を有している。機能構造は運動伝達機能の構造で、まだ「大きさ」の概念が導入されておらず、形態の大小は問わない。機能構造が同じであれば、例えば大形旋盤も卓上小形旋盤もここでは同一のものとみなされる。実際の機械設計には形態の大きさの決定が必須である。しかし、機能構造から一足跳びに形態構造を生成するのは難しいので、本研究においてはまず骨格構造を生成し、次にこの骨格構造に肉付けを行い、形態構造とする方式を採用する。

本研究においては、機械の運動伝達系の骨格構造を次のように定義している。すなわち、機械を構成する運動伝達要素(以後MEと略記する)各部の太さおよび厚さを捨象し、それらMEの位置とその姿勢、ME間のつながりの仕方をも抽出した機械の構造を骨格構造と呼称する。ベースのような機械本体はこの場合にはMEに含めない。

2・2 骨格構造の生成法 本報における骨格構造の生成は全自動的ではなく、設計者と計算機の対話を一部取り入れた対話方式を採用する。したがって、ME間の干渉の有無の判定などの技法はこの生成法の中には含まれていない。骨格構造の良し悪しは設計者が図形表示装置ならびに出力リストを見ながら判断し、悪いと判断された部分は計算機との対話により修正するものとする。

2・2・1 基本仕様の入力形成 前報⁽²⁾において取扱った三次元の機能構造生成に必要な基本仕様は、前報と円じく表1のように

(1) 入力側(Input)の運動の種類(Motion)と方向余弦(Direction)

(2) 出力側(Output)の運動の種類と方向余弦ならびに入力への依存性(Source)
から構成されている。入力側の運動としては、前報と同じく回転運動 R を採用する。すなわち、動力源としてERタイプのMEを使用する。入力側の運動の方向余弦は全体座標系に対する動力源の回転軸の方向余弦を表す。全体座標系としては、 Z 軸を鉛直上方とする右手直交座標系を使用する。出力側の運動としては2系統の運動を用意し、同一系統の出力運動においては3つの運動まで重ね合わせができる。また、番号の小さい順に重ね合わせるなどは前報と同じである。入力への依存性はどの動力源により駆動されるかを示し、各々の IN_{no} は $IN_1 \sim IN_3$ のいずれかに対応する。

骨格構造の生成のためには、これらの基本仕様に加えて

(3) 動力源の位置

(4) 加工空間の種類、大きさ、姿勢ならびにどの面を加工するか

の情報を与える。往復台などに動力源が取り付けられる場合には位置が可変で決定できないので、特定の位置に往復台などを固定して動力源の位置を与える。次に加工空間であるが、機械加工などを行わない測定機械などにおいては加工空間を作業空間とでも読みかえるものとする。加工空間としては図1のように、直方体形と円柱形の加工空間を考えることにし、大きさとしては図中の諸元を与える。直方体形加工空間においては一つの頂点に原点 O があり、 X, Y, Z すべて正の空間にあるものとする。円柱形加工空間では端面の円の中心に原点 O があるものとする。姿勢としては、直方体形では各面は座標軸に垂直であり、円柱形では軸線は座標軸に一致する場合を考え、斜傾した加工空間は取扱わない。さらに、どの面を加工するかの情報、すなわち、直方体形においては上面か側面か前面か、

円柱形においては円柱面か端面かの情報を与える。加工空間は、被加工物が直線運動しないときはその大きさ、ある座標軸方向に直線運動するときはその方向に被加工物を2倍した大きさとしている。

2・2・2 骨格構造の生成法 本報においては、基本運動として回転運動 R 、直線運動 D 、往復直線運動 $\bar{D}$ (計算機入出力では B で代用する) の三つを考える。これらの基本運動を実現し、かつ入力基本運動が R であるMEとして、出力運動 R に対しては円筒歯車、かさ歯車、ウォーム歯車、ベルト駆動機構、出力運動 D に対してはねじ送り機構、出力運動 $\bar{D}$ に対してはカム機構、クランク-ピストン機構のみを採用している。それゆえに、これらのME以外のMEの要求される機械の骨格構造は生成できない。

座標軸としては、機械の基本的な姿勢として長手方向を全体座標系の X 軸の方向に選ぶ。すなわち、加工空間の長手方向を X 軸の方向に選び、円柱形加工空間において中心軸を鉛直に立てない場合には中心軸は X 軸の方向に選ぶ。この結果、水平面内にある長い動力伝達軸、テーブル送り用の長い送りねじなどは基本的には X 軸に平行になる。

機械の大きさは加工空間の大きさに依存しなければならない。すなわち、大きな被加工物を小さな機械では加工できないし、反対に、小さな被加工物のために大きな機械を設計するのは不合理である。この場合、加工空間の大きさにより直接に規定されるMEの要素の大きさ決定には問題はないが、例えば動力源の大

表1 機能構造生成のための基本仕様

	Serial No.		Motion	Direction	Source
Input	IN ₁		R	(l ₁ , m ₁ , n ₁)	
	IN ₂		R	(l ₂ , m ₂ , n ₂)	
	IN ₃		R	(l ₃ , m ₃ , n ₃)	
Output	A	1	MA ₁	(l ₄ , m ₄ , n ₄)	IN _{no}
		2	MA ₂	(l ₅ , m ₅ , n ₅)	IN _{no}
		3	MA ₃	(l ₆ , m ₆ , n ₆)	IN _{no}
	B	1	MB ₁	(l ₇ , m ₇ , n ₇)	IN _{no}
		2	MB ₂	(l ₈ , m ₈ , n ₈)	IN _{no}
		3	MB ₃	(l ₉ , m ₉ , n ₉)	IN _{no}

図1 加工空間の諸元

きさ、プーリの直径と厚さ、円筒歯車の直径と歯幅あるいは刃物台の幅と厚さなどは現段階では決定できないので、加工空間の基準寸法に依存して適宜決定している。加工工具類についても同様である。すなわち、加工空間の基準寸法を L とするとき、例えば、電動機については直径=長さ= $2L/7$ 、プーリとか円筒歯車のような円板形状要素については直径= $2L/7$ 、厚さ=直径/4、刃物台のような直方体形テーブルについては幅= $2L/7+10$ 、厚さ=幅/3、円板形工具については直径= $2L/7$ のように一応決めている。これらの寸法は必要に応じて設計者によって対話的に修正される。ただし、 $2L/7$ は 10 以上、20 を越えないものとする。また、寸法は無次元としている。基準寸法としては、直方体形加工空間については空間内部を通る対角線の長さ、円柱形加工空間については直径を採用している。

骨格構造の生成は次のような過程を経る：

- (1) 加工空間の設定、
- (2) 出力 A 側の基本運動、方向余弦に関して番号の大きいほうから順次、ME とその大きさ、位置、姿勢の決定、
- (3) 出力 B 側について(2)と同様の決定、
- (4) 電動機から(2)、(3)で決定した各 ME の入力端までの運動伝達用の歯車、軸、プーリ、ベルトなどの決定、
- (5) 対話形式による不都合部分の修正の繰返し、
- (6) 骨格構造を構成する ME 等の各要素の固定状態、動力授受の決定と諸元出力。

以下において、これらの過程に関して詳しく説明していく。

最初に、(1)の加工空間の設定であるが、これは入

図 2 上平面加工における回転工具の軸方向あるいは工具の運動方向

図 3 円柱面加工における回転工具の軸方向あるいは工具の運動方向

力された加工空間の種類、無次元の大きさ、姿勢を考慮して原点周りに設定する。

次に、(2)の加工工具の取付けられる出力 A 側の ME の種類、大きさ等の決定について考える。ここでは表 1 の基本運動 $M_{A1} \sim M_{A3}$ を直接出力する ME のみについて取扱い、それ以外の運動伝達用の ME 等については(4)において取扱う。決定は番号の大きいほうから順次行う。ME の種類としては、前述のように本報においては RR 要素としては歯車機構、ベルト駆動機構、 RD 要素としてはねじり送り機構、 $R\bar{D}$ 要素としてはカム機構、クランク-ピストン機構(回転円板-ピストン機構で代用)のみを採用しているので、表 1 の基本運動 $M_{A1} \sim M_{A3}$ が D の場合は自動的にねじり送り機構になる。これらの運動が $\bar{D}$ の場合、番号がいちばん大きいときは回転円板-ピストン機構、それ以外のときはカム機構を採用するように現段階のアルゴリズムではなっている。さらに、これらの基本運動が R の場合、番号がいちばん大きく、かつ単独の電動機で駆動されるときはベルト駆動機構、それ以外のときは歯車機構を採用する。また、加工工具の運動が $M_{A1} + R + \bar{D}$ タイプの場合、加工面が円柱面、 R と $\bar{D}$ と円柱の回転軸が平行、かつ被加工物の回転と同一の電動機で駆動されるときはこの R を出力する ME はウォーム歯車機構とする。この場合、被加工物の回転運動を出力する ME もウォーム歯車機構を採用する。各

図 4 偏心カム機構

図 5 回転円板-ピストン機構

図 6 ねじり送り機構とねじの長さ

MEの姿勢は、その出力軸の方向余弦が表1の $M_{A1} \sim M_{A3}$ の対応する基本運動の方向余弦に一致するように決め、またその入力軸は座標軸に平行になるように決定する。各MEの位置と大きさは番号の大きいほうから順次決めていかなければならない。加工工具の取付けられる番号のいちばん大きいMEに関しては、どの面を加工するかの情報およびその基本運動の種類と軸方向あるいは運動方向を考慮して決定される。図2および図3に、方向が座標軸に平行な場合の回転工具の軸方向あるいは加工工具の運動方向の例を示している。図2において、方向1, 2は円筒フライス、平面研削、形削りなどの加工に対応し、方向3は正面フライス、ドリルなどの加工に対応する。また、図3では方向1は円筒歯車のホブ切り、方向2は円筒研削、歯車形削りなどの加工に対応する。加工面の中央の点から、加工工具の直径あるいは長さに対応した規定距離だけシフトとした○印を付けた点を起点としてMEを取付ける。例えば、歯車機構の場合にはこの点から方向余弦と逆方向に歯車軸を規定量 s だけ延長し、ここに歯車を取付ける。この規定量 s は図4～図7における s についても共通で、 $s=40$ としており、必要に応じて後程各々の場合に修正する。 $R\bar{D}$ 要素として採用している図4の偏心カムの偏心量、図5の回転円板-ピストン機構の回転円板の大きさ、シリンダの長さは必要なストロークの大きさに依存する。加工工具の運動が二つの直交する D_1 と D_2 の重ね合せ D_1+D_2 のとき、二つの直方体形テーブルは重ね合され、 D_2 のテーブルの大きさは前述の規定幅を一辺とする正方形に選ぶが、 D_1 のテーブルの長さは D_2 の送りねじの長さに足りるものとしなければならない。直径あるいは幅が100以上の加工空間の上平面の加工の場合には門型構造を採用することにしており、上下方向移動テーブルは対称位置に配置される2本の送りねじにより駆動される。図6に送りねじの長さの決め方を示す。(a)は被加工物が移動しない場合、(b)は移動する場合に対応する。

(3)の被加工物の取付けられる出力B側のMEの種類、大きさ等の決定について考える。(2)の場合と同様に、表1の基本運動 $M_{B1} \sim M_{B3}$ を直接出力するMEのみについて取扱う。決定は番号の大きいほうから順次行う。基本運動の重ね合せについて考えると、直方体形加工空間においては D 運動の重ね合せ、すなわち $D_1+D_2+D_3$ のタイプの出力運動で駆動され、円柱形加工空間においては D 運動に R 運動が重ね合された D_1+D_2+R タイプの出力運動で駆動される。直線運動あるいは回転運動するテーブルの重ね合せに

なり、その運動方向および回転軸の方向は表1の方向余弦に基づいて決定される。どちらの場合も M_{B3} 運動するテーブルの大きさはその上にのせられる被加工物の大きさに依存する。 D 運動出力はすべてねじ送り機構により出力されるが、 R 運動出力、すなわち回転する円柱形加工空間の駆動は図7のような2種類の駆動法による。円筒歯車のホブ切り、歯車形削りの場合は(b)を使用する。(b)においては回転テーブルに歯切りしてウォーム歯車機構を形成させ、長さ40の歯車軸はそれが水平面内にあるときは X 軸に平行に配置する。

続いて、(4)の電動機から(2)、(3)で決定した各MEの入力端までの運動伝達用の歯車、軸、プーリ、ベルトなどの決定について考える。出力A側、B側も同じ電動機で駆動されると仮定するとき、最初に電動機からの運動伝達系が設定されるのは、出力A側の M_{A1} を出力するMEの入力端と出力B側の M_{B1} を出力するMEの入力端のうち電動機までの距離が短いほうである。ここで、MEの入力端とは、図4～図7に例示するように歯車が取付けられる長さ40の運動伝達軸の軸端を意味している。電動機までの距離は、この二つの入力端から、電動機の端面から垂直に突出た長さ20の運動伝達軸の軸端(電動機出力端)までの距離である。図8に電動機からの運動伝達系の設定方法を示す。この運動伝達系の最初のMEは必ずベルト

図7 回転する円柱形加工空間の駆動法

図8 電動機から他の軸への運動伝達系

図9 平行2軸間の歯車による運動伝達系

駆動機構とする。以下において出力 A 側が採択されたと仮定して説明する。図 8 において P_1 は電動機の出力端, P_3 は M_{A1} を出力する ME の入力端とする。 P_2 は電動機の出力軸と平行に P_3 から距離 40 の点とする。 P_3 において ME の入力軸と線分 P_2P_3 が平行のとき P_2 は P_3 に一致させる。平行でないときは P_3 においてかき歯車が採用される。このようにして図 8 に示すように, P_2 において水平面内に規定の大きさの一对の円筒歯車対を設定し, また P_1 において規定の大きさのプーリをもつベルト駆動機構を設定し, 軸間距離 A に対応してベルト長さを調整して運動伝達系を設定する。次に図 9 に基づいて, 出力 B 側の M_{B1} を出力する ME [これを ME (M_{B1}) と表す] までの運動伝達系の設定について説明する。ME (M_{A1}) の入力軸上において P_3 から規定量離れた点 P_4 を設け, この点から ME (M_{B1}) の入力軸に平行に 40 離れた点 P_2 を設定し, 入力端 P_1 の間に図 9 のような円筒歯車列を設定する。歯車列は 2 軸を結ぶ直線上に配置し, P_2 側は一对, P_1 側は軸間距離 A に応じて変化する。ME (M_{A1}), ME (M_{B1}) までの運動伝達系は, ME (M_{A1}), ME (M_{B1}) の入力軸上に P_4 に相当する点, およびこの点を基準として P_2 に相当する点を設定し, 図 9 と同様に設定する。

以上の方式に従って骨格構造を生成しても必ずしも完全なものは得られず, ME 間の干渉, ME と加工空間の干渉など不都合が生じる。不都合部分の修正は表示図形および出力リストを見ながら対話形式に行う。現在のプログラムで修正できる構造諸元は, 運動伝達軸の長さ, 一对の歯車のかみ合い位置, 運動伝達軸の分岐の位置などである。

前報においては機能構造を隣接行列によって表現し, ME 間の運動伝達の有無, ME の入出力軸が他の ME の入出力軸に固定されているのか相対運動が許されているのかなどとの関係を与えた。しかし, 骨格構造においては ME の数も多くなり, また運動伝達軸など ME 以外のものも含まれてくるばかりでなく, 大きさの概念, 位置の概念も入ってくるので, 隣接行列のみでは表現しきれない。そこで, 隣接行列は前報の基本行列, 準基本行列の段階にとどめておいて, 骨格構造を表現するために ME を単体の要素にまで分割する。そして, 骨格構造を軸状, 円板状, 直方体状などの単体の集合として把握し, それら単体の位置, 大きさ, 方向, 固定か否か, 運動伝達などの情報の総合として表現する。単体間の固定か否か, 運動伝達の関係は基本行列, 準基本行列を参照して個別に決定する。

3. 運動伝達系の骨格構造の生成例

3.1 制限事項のまとめ 前章において概略説明した骨格構造の生成法に基づいて FORTRAN による骨格構造生成プログラムを作成した。本プログラムは約 3000 行のプログラムであり, その適用の際の制限事項は前報の五つの制限事項に加えて, 前述のように, RR 要素, RD 要素, $R\bar{D}$ 要素に対して少数の限定した ME しか用意されていないので, それらの ME 以外の ME が要求される骨格構造が生成できない点である。

3.2 基本仕様の入力方式 機械の基本仕様は対話形式で入力する。図 10 に歯車形削り盤の基本仕様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, 記号のみを入力すればよい。

3.3 骨格構造の生成例 骨格構造生成例として旋盤と歯車形削り盤を取りあげる。

旋盤の基本仕様として, 円柱形加工空間 (直径 70, 長さ 120, X 軸平行, 円柱面加工), 電動機 1 [方向余弦 (1, 0, 0), 位置 (-120, 50, -20)], 出力 A ($D_1 + D_2$), 出力 B (R), D_1 [方向余弦 (1, 0, 0), 電動機 1 で駆動], D_2 [方向余弦 (0, 1, 0), 電動機 1 で駆動], R [方向余弦 (1, 0, 0), 電動機 1 で駆動] を

```
Welcome to use the system of the automated generation of machine structure.
Generally, this is the colored graphic. Do you want the b/w graphic?....(Y/N)M
What type of the machining space?
1. cylinder
2. cuboid
3. mixed type
Input the number... 1
Diameter of the machining space: 100
Length of the machining space: 20
What style of the space?...(X/Z)Z
What side of machining space do you want to work? 2
The mode of element in a-part: B+R+B
The mode of element in b-part: D+R
How many motors do you use? 1
Input the direction cosines and the location of motors.
1: 1.0, 0.0, -200.50, 80.
Input the direction cosines of each mode and the number of motor for each mode.
*** part-a ***
B: 1.0, 0.0, 1
R: 0.0, 0.0, 1
B: 0.0, 0.0, 1
*** part-b ***
D1: 1.0, 0.0, 1
R: 0.0, 0.0, 1
```

図 10 機械の基本仕様の入力形式

図 11 旋盤の骨格構造の表示結果

*** SPECIFICATIONS OF ELEMENTS ***

NO	NE	LOCATION	DIRECTION	DIMENSION	DEG	A	FXSL	PWR
1	5	60.0, -15.0, -40.0	.0, 1.0, .0	100.0, 1.0, .0	.0	.0	SF	2
2	1	60.0, -65.0, -40.0	.0, -1.0, .0	10.0, .0, .0	.0	.0	SF	28
3	1	60.0, 35.0, -40.0	.0, 1.0, .0	15.0, .0, .0	.0	.0	SF	0
4	11	60.0, -50.0, -40.0	.0, 1.0, .0	10.0, 30.0, 30.0	.0	.0	SS	1
5	11	60.0, -15.0, -50.0	.0, 1.0, .0	10.0, 100.0, 30.0	.0	.0	OS	6
6	5	60.0, -15.0, -50.0	1.0, .0, .0	150.0, 1.0, .0	.0	.0	OF	7
7	1	-15.0, -15.0, -50.0	-1.0, .0, .0	40.0, .0, .0	.0	.0	OF	27
8	1	135.0, -15.0, -50.0	1.0, .0, .0	15.0, .0, .0	.0	.0	OF	0
9	14	-2.5, .0, .0	-1.0, .0, .0	35.0, 5.0, .0	.0	.0	OF	10
10	1	-2.5, .0, .0	-1.0, .0, .0	40.0, .0, .0	.0	.0	OF	17
11	6	-120.0, 50.0, -20.0	1.0, .0, .0	10.0, 20.0, .0	.0	.0	OF	0
12	1	-110.0, 50.0, -20.0	1.0, .0, .0	20.0, .0, .0	.0	.0	OF	11
13	9	-90.0, 20.0, .0	1.0, .0, .0	10.0, 5.0, .0	.0	.0	OF	15
14	9	-90.0, 50.0, -20.0	1.0, .0, .0	10.0, 5.0, .0	-33.7	36.1	OF	12
15	10	-90.0, 50.0, -20.0	.0, -8, .6	36.1, 5.0, 10.0	.0	.0	OF	14
16	1	-90.0, 20.0, .0	-1.0, .0, .0	-47.5, .0, .0	.0	.0	OF	13
17	2	-42.5, .0, .0	1.0, .0, .0	10.0, 5.0, .0	.0	.0	OF	18
18	2	-42.5, 20.0, .0	1.0, .0, .0	10.0, 5.0, .0	.0	20.0	OF	16
19	2	-27.5, .0, .0	1.0, .0, .0	6.5, 5.0, .0	.0	.0	OF	10
20	2	-27.5, -3.8, -12.5	1.0, .0, .0	6.5, 5.0, .0	-106.8	13.1	OF	19
21	1	-27.5, -3.8, -12.5	1.0, .0, .0	-27.5, .0, .0	.0	.0	OF	20
22	2	-55.0, -3.8, -12.5	1.0, .0, .0	6.5, 5.0, .0	.0	.0	OF	21
23	2	-55.0, -7.5, -25.0	1.0, .0, .0	6.5, 5.0, .0	-106.8	13.1	OF	22
24	1	-65.0, -7.5, -25.0	1.0, .0, .0	20.0, .0, .0	.0	.0	OF	0
25	2	-55.0, -11.3, -37.5	1.0, .0, .0	6.5, 5.0, .0	-106.8	13.1	OF	23
26	1	-65.0, -11.3, -37.5	1.0, .0, .0	20.0, .0, .0	.0	.0	OF	0
27	2	-55.0, -15.0, -50.0	1.0, .0, .0	6.5, 5.0, .0	-106.8	13.1	OF	25
28	2	60.0, -75.0, -40.0	.0, 1.0, .0	10.0, 5.0, .0	.0	.0	SF	29
29	4	60.0, -75.0, -52.5	1.0, .0, .0	2.5, 15.0, .0	-90.0	12.5	SF	30
30	1	60.0, -75.0, -52.5	-1.0, .0, .0	100.0, .0, .0	.0	.0	OF	38
31	2	-40.0, -15.0, -50.0	1.0, .0, .0	7.5, 5.0, .0	.0	.0	OF	7
32	2	-40.0, -30.0, -50.6	1.0, .0, .0	7.5, 5.0, .0	-177.7	15.0	OF	31
33	1	-50.0, -30.0, -50.6	1.0, .0, .0	20.0, .0, .0	.0	.0	OF	0
34	2	-40.0, -45.0, -51.3	1.0, .0, .0	7.5, 5.0, .0	-177.7	15.0	OF	32
35	1	-50.0, -45.0, -51.3	1.0, .0, .0	20.0, .0, .0	.0	.0	OF	0
36	2	-40.0, -60.0, -51.9	1.0, .0, .0	7.5, 5.0, .0	-177.7	15.0	OF	34
37	1	-50.0, -60.0, -51.9	1.0, .0, .0	20.0, .0, .0	.0	.0	OF	0
38	2	-40.0, -75.0, -52.5	1.0, .0, .0	7.5, 5.0, .0	-177.7	15.0	OF	36

図 12 要素諸元の出力リスト

与える。この仕様を本プログラムによって処理すると図 11 の骨格構造の図形表示結果、図 12 の要素諸元のリストが得られる。図 12 のリストにおいて、左より要素の番号、種類、位置、方向余弦、大きさ、かみ合い位置の角度、軸間距離、固定か滑動か、動力をもらう要素の番号を示す。要素の種類は 1：軸、2：円筒歯車、4：ウォーム、5：送りねじ、6：電動機、9：プーリ、10：ベルト、11：直方体テーブル、14：円形テーブルを示す。位置は軸以外は重心の位置を示し、軸はスタート位置を示す。このために後述の軸の長さに負号がつく場合がある。大きさは軸：(長さ, *, *), 円柱形要素：(半径, 幅, *), 送りねじ：(長さ, 太さ, *), テーブル：(厚み, 長さ, 幅), ベルト：(軸間距離, 幅, プーリ半径) のように表す。固定か滑動かの FXSL において、最初の数字は固定される要素を表し、次の記号は固定 (F) か滑動 (S) かを表し、0 は機械本体を表す。動力をもらう要素の番号を示す PWR において、0 は動力をもらう要素のない電動機あるいは単なる支持の軸を示している。

歯車形削り盤の基本仕様として図 10 の仕様を与え

図 13 歯車形削り盤の骨格構造の表示結果 (修正前)

図 14 歯車形削り盤の骨格構造の表示結果 (修正後)

る。出力 A 側に加工工具, 出力 B 側に被加工物を取付ける。この仕様を本プログラムによって処理すると, 最初は図 13 のような不都合な部分を含んだ骨格構造の図形表示結果が得られる。次に, 不都合部分等の修正を施すと図 14 の骨格構造の図形表示結果が得られる。要素諸元の出力リストは長くなるのでここでは省略させていただく。図 13 の不都合部分等の修正前の表示図形を見るに, 加工空間駆動用の 4 個の円筒歯車の列は加工空間内に侵入しており, また, 出力 A 側の最終の $\bar{D}$ のための運動伝達系はシリング駆動系のウォーム軸から分岐している。これらの 2 点を修正すれば図 14 の骨格構造の図形表示結果が得られる。

以上において, 旋盤と歯車形削り盤の骨格構造の生成結果について説明したが, 他の機械の場合と同様に期待どおりの骨格構造が生成され, 作成したプログラ

ムの有効性に確信を持つに至った。

4. 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, 機械の骨格構造の自動生成を取りあげ, そのための技法を開発した。また, この技法に基づいて対話形式の計算機プログラムを作成し, 実際の機械の骨格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。

終わりに, 日頃有益な助言とご協力をいただいている本学大学院 林 国一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.