

## パーソナルコンピュータによる工作機械の 構造解析入力支援システムの開発

Development of Supporting Software in Generating the Input Data of Finite Element Analysis  
for Machine Tools by Using a Personal Computer

谷 泰 弘\*・尾 高 広 昭\*\*・佐 藤 壽 芳\*

Yasuhiro TANI, Hiroaki ODAKA and Hisayoshi SATO

### 1. はじめに

工作機械の構造設計のプロセスにおいても、その合理化のために、種々の分野に適用されている電子計算機を用いた最適設計(CAE)が利用されるようになりつつある。この手法は、有限要素法等のマトリクス数値解析法を用いて、構造体全体あるいは要素部品の静剛性、動剛性および熱剛性を評価し、この情報を設計にフィードバックすることで、最適な構造体形状の把握を行おうとするものである。こうした最適設計を簡易に行いたいという実用的立場からの要求に応じて、様々な汎用のソフトパッケージが用意されている<sup>1)</sup>。

しかし、工作機械構造は鋳物で作られた構造にしろ溶接構造にしろ構造全体の寸法に比較して板厚がきわめて小さく、このため三次元ソリッド要素を利用して解析するとその変形を十分に追うことが困難である。そこで、二次元要素を用いて構造体を三次元的に近似して解析しようとするれば、そうした目的のために製作された使いやすい汎用のソフトパッケージをなかなか見いだせないのが現状である。

そこで、著者らはこうした立体的な板構造の場合に利用できる、大型電子計算機における有限要素解析のための入出力を支援する実用的なソフトパッケージを、パーソナルコンピュータを用いて製作した。このソフトシステムのうち、既報<sup>2)</sup>においては、この有限要素解析を行った大型計算機の出力データをもとに工作機械構造の動剛性を評価するソフトシステムについて報告した。本報においては、三次元構造体の簡易な形状入力、二次元の要素モデルによる自動要素分割および大型計算機への入力データの自動作製等、有限要素解析の入力を支援するために製作した一連のソフトシステムの内容について報告する。

### 2. 構造解析入力支援システムの構成

本システムでは、三次元構造体を二次元要素モデルにより近似し、その有限要素解析のため入力データを、パーソナルコンピュータを用いた自動処理により能率よく

製作することが目的である。このためには、図1に示される次のような手続きが必要となる。

- (1) 三次元構造体の形状を入力する。このソフトシステムでは、三次元構造体を二次元要素モデルを用いて近似するため、構造体をすべて二次元の平板要素の組みあわさったものとみなして分割し、この分割形状を二次元座標系で入力する。
- (2) (1)のようにして対話形式で入力された二次元形状を組み立てて、グラフィック画面上に表示し確認する。
- (3) (2)で組み上げられた構造体の形状において、他の二次元要素との接続や形状のいびつき等のために最低限必要な要素分割を三次元的に行う。さらに要素分割の必要性がある場合には、全体座標系の座標軸の方向ごとにその分割の程度を指示し、再分割を行う。
- (4) (3)で得られたグラフィック画面上の分割の情報をもとに、大型計算機での有限要素解析のための入力データを作製する。

### 3. 構造解析入力支援システムの機能

このソフトパッケージを起動させると、使用するデータファイル名と対象構造体の最大寸法をキーボードから入力することがまず要求される。この入力が終了すると、図2のようなメインメニューの画面が自動的に現れる。このメニューに示されるように、本システムは①座標軸に垂直な各面ごとに分割した形状の入力、②その入力情報の確認・変更、③これら形状の二次元情報を組み立てた構造体の三次元表示、④この構造体のグラフィック画面上の自動要素分割および⑤以上の情報を用いて行う大型計算機における有限要素解析のために必要となる入力データの作製の各ルーチンから成り立っている。そこで、本章ではこれらの各ステップごとに、その機能について説明する。

#### 3.1 形状入力

本システムでは、座標軸に対して傾いた面であっても、座標軸に対して垂直なX-Y面、Y-Z面、Z-X面のいずれ

\* 東京大学生産技術研究所 第2部

\*\* 東京工業大学工学部附属工業高等学校

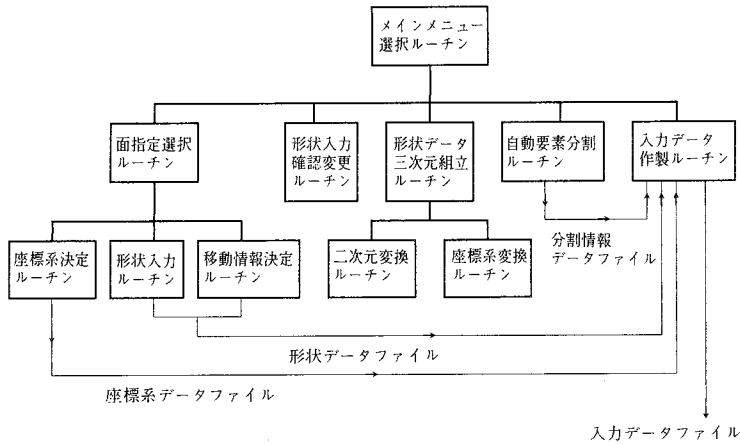


図1 有限要素解析入力支援システムの基本構成

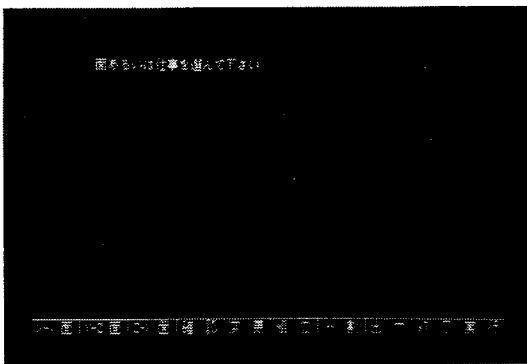


図2 メインメニューの画面

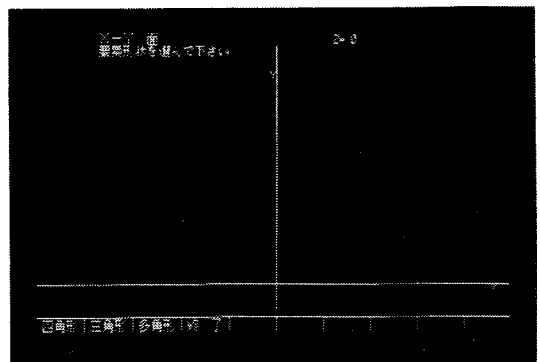


図3 形状入力のためのサブメニュー

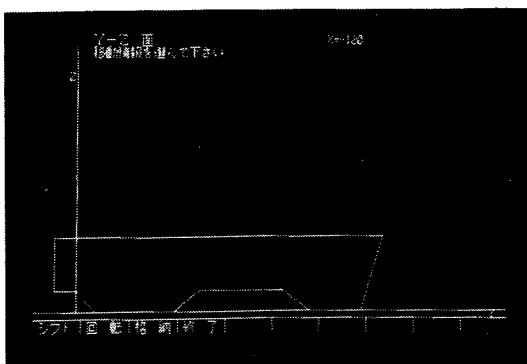


図4 移動情報選択のためのサブメニュー

れかで、その形状を入力するようになっている。そこで、この入力する面の指定を選択すれば、現在入力しようとしている面が全体座標系で表示可能であるか、あるいは局部座標系を用いて表示する必要があるかを、次に入力するように要求される。このとき、局部座標系を選択すると、大型計算機での有限要素解析の入力形式<sup>3)</sup>にした

が、局部座標系の原点、Z軸上の一点およびX-Z面内の一点の合計三点の全体座標系での座標値を入力することが求められる。一方、全体座標系で形状が入力しうる場合には、その面と座標軸との交点の座標の入力が次に要求される。

以上の入力が終わると、図3のような形状入力のためのサブメニューが自動的に現れる。このメニューに示されるように、本システムではすべての面を四角形、三角形あるいは多角形で入力する形式をとっている。ただし、ここで画面に表示されている四角形、三角形は長方形、直角三角形を意味しており、これ以外の形状の場合には、これら基本形状の組み合わせか、あるいは多角形を選択することで入力するようになっている。

本システムでは、これらの形状をまず第一象限内で入力する。すなわち、四角形、三角形の場合には、直角を挟んで隣り合う二辺の長さを入力し、形状を決定する。また、多角形の場合には、節点数(≧2)を指定した後、各節点の座標値を入力する。形状の入力が終われば、グ

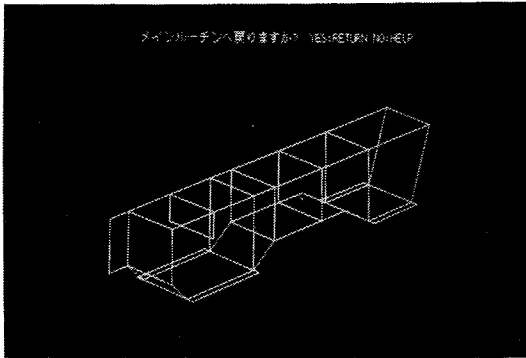


図5 形状データの三次元組み立て例

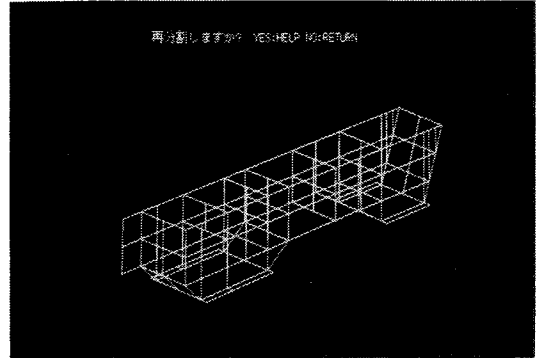


図6 三次元構造体の分割例

グラフィック画面には図4のような移動情報選択のためのサブメニューが自動的に表示される。そこで、メニューを選択し各形状を目的的位置まで平行移動あるいは回転移動させる。形状の入力が終わり正しく入力されたことが確認されれば、面の番号、節点数、座標系、各節点の三次元座標が形状データファイルに、局部座標系の場合には、座標系番号、座標系を示す上記三点の座標値が座標系データファイルにおおの格納され、メインメニューに戻る。

メインメニューの「確認・変更」を選択すれば、形状入力の場合と同様のグラフィック画面が現れ、各面ごとに入力した形状の確認と修正を行うことができる。

### 3.2 形状データの三次元組み立て

三次元座標データの二次元グラフィックデータへの変換や、局部座標系から全体座標系への変換については、既報<sup>2)</sup>に報告したとおりである。これらの変換を形状データファイルおよび座標系データファイルの情報に対して行い、その変換で求められた二次元グラフィックデータを用いて、おおのの画面ごとにグラフィック画面上に描画する。以上の手続きを経て三次元表示された構造体の一例を図5に示す。

### 3.3 自動要素分割

自動要素分割については、すでに様々な方法が提案されている<sup>4)5)</sup>が、本システムで対象としているように二次元要素を用いて三次元構造体の自動要素分割を行う場合には、あまり効果的な方法がないのが現状である。それは、次のような理由による。すなわち、

- (1) 二次元要素の接合部は、必ず分割線と成りえること
- (2) ある一面の分割は、他の面の分割に対して影響を及ぼすこと

である。そこで、本システムでは以下のような基本的な考え方で簡便に自動要素分割を行った。

- (1) 構造体の輪郭線上に存在しない内部の節点の位置

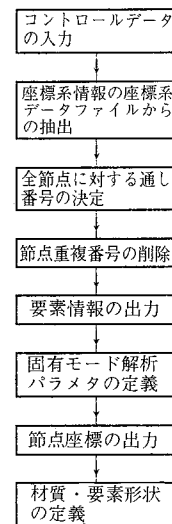


図7 入力データファイル作製の手順

では、必ず分割すること

- (2) 分割後の各要素の形状は、すべて長方形あるいは直角三角形とすること
- (3) 分割後の要素の大きさは、できる限りそろえることである。そこで、まずこの(1)および(2)の考え方にしがたい自動要素分割を行い、次に(3)の考え方にのっとって本システムの利用者の指示のもとに再分割を行うこととした。図5の三次元構造体を、本システムにより分割した一例を図6に示す。

この自動要素分割の結果にしたがい、X, Y, Z 各方向の分割数、および分割点の値を格納した分割情報データファイルを自動作製する。

### 3.4 入力データファイルの作製

以上のように、分割点が求まりその分割状態をグラフィック画面上に表示することが完了しても、実際の意味で自動要素分割が終了したとはいえない。すなわち、分

```

ファイル名:SEED1
ID 2EM-660
OFF 0100
TIME 30
SOL 0.2
GEN1
TITLE=DEF. OF MACHINE
SUBTITLE=FINITE ELEMENT METHOD
METHOD=20
PROCS=20
DISPLACEMENT=ALL
SEMI-BAND
ORDERP 1 0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 131
*E2 1.0 0.0 1.0 1.0
ORDERP 10 1 0.0 85.0 0.0 0.0 0.0 90.0 234
*E4 120.0 0.0 90.0
ORDERP 11 1 0.0 1300.0 0.0 0.0 1400.0 100.0 345
*E5 150.0 1400.0 130.0
ORDERP 1 200 1 10 9
ORDERP 2 100 2 2 11 10
ORDERP 3 100 3 1 12 11
ORDERP 4 100 4 4 13 12
ORDERP 5 200 4 13 13

```

a)

```

*E1 125 11 0.0 0.2 344.019 5
*E10 126 11 -150.0 85.0 0.0 6
*E10 127 -150.0 225.0 0.0 6
*E10 128 -150.0 335.0 0.0 6
*E10 129 -150.0 445.0 0.0 6
*E10 130 150.0 85.0 0.0 6
*E10 131 150.0 225.0 0.0 6
*E10 132 150.0 335.0 0.0 6
*E10 133 150.0 445.0 0.0 6
*E10 134 -150.0 1000.0 0.0 6
*E10 135 -150.0 1200.0 0.0 6
*E10 136 -150.0 1500.0 0.0 6
*E10 137 150.0 1000.0 0.0 6
*E10 138 150.0 1200.0 0.0 6
*E10 139 150.0 1500.0 0.0 6
PART 10 2.12+4 .27 6.03+10
PRM100 100 10 10.0
PRM102 100 10 10.0
PRM104 200 10 10.0
PRMAT 033P10S1
PRMAT 033P10T 0

```

b)

```

*E100 100 100 121 102 60 63
*E100 100 100 7 81 123 122
*E100 104 100 21 85 124 123
*E100 106 100 35 82 125 124
*E100 108 100 122 123 72 59
*E100 107 100 123 124 85 82
*E100 108 100 124 125 101 82
*E100 109 100 125 1 2 127
*E100 110 100 127 2 3 129
*E100 111 100 126 9 4 130
*E100 112 100 53 130 131 54
*E100 113 100 84 131 132 55
*E100 114 100 95 132 133 56
*E100 115 100 134 5 135 136
*E100 116 100 135 6 7 137
*E100 117 100 87 137 138 58
*E100 118 100 88 138 139 59
*E100 119 100 100.0 1000.0 22
*E PRM1
ORDERP 1 1
ORDERP 2 1 -120.0 85.0 0.0
ORDERP 3 2 -120.0 225.0 0.0
ORDERP 4 3 -120.0 335.0 0.0
ORDERP 5 4 -120.0 445.0 0.0

```

c)

図 8 作製された入力データファイルの一例

系を含む座標系の情報が座標系データファイルから入力形式に沿った形で抽出される。

- (2) 次に、すべての面の節点に対して、通し番号をふった後、二面以上の面に属する節点の重複した番号を削除する。
- (3) この作業を終えた後、要素番号とその要素を構成する節点の番号で表される、要素の構成を示す情報を入力データファイルに出力する。
- (4) 固有モード解析の場合にはそのパラメータ<sup>3)</sup>を対話形式で定義する。
- (5) 次に節点の座標を入力データファイルに自動出力する。
- (6) この後、材質の定義<sup>3)</sup>および要素形状の定義<sup>3)</sup>を対話式に行い、入力データファイルの自動作製は一応完了する。
- (7) 以上のようにして作製された入力データファイルに対して、対話式に必要な情報の追加・修正を行い、完全な形態に整える。

こうしてできあがった入力データファイルの一例を図 8 に示す。この入力データファイルを用いて、既報<sup>2)</sup>の動剛性評価支援システムを起動させれば、図 6 と全く同じ構造体の基本図形をグラフィック画面上に復元することができる。

### 4. おわりに

工作機械の構造解析を大型計算機により行う際に必要となる、自動要素分割や入力データファイルの自動作製などを行い、大型計算機への入力を支援する実用的なソフトシステムを、パーソナルコンピュータを用いて作製した。このソフトシステムは、工作機械構造のようにその構造体の寸法に比較して板厚が小さく、二次要素を用いて三次元構造を近似する必要があるような立体的な板構造の場合のために製作したものである。本システムを使用すれば、すべて対話形式で形状入力から入力データファイルの作製まで行える。(1985年10月7日受理)

### 参 考 文 献

- 1) たとえば、CADソフトパッケージガイド、応用機械工学、286(昭58-12)162
- 2) 谷・尾高・佐藤：パーソナルコンピュータによる工作機械構造の動剛性評価支援システムの開発、生産研究、37、4(昭60)153
- 3) (株)日立製作所ソフトウェア工場：HITACプログラムプロダクトVOS2/VOS3 マニュアル「総合構造解析システム ISAS II」機能編、(昭56-1)
- 4) 横山：有限要素解析のための自動要素分割技法、精密機械、48、12(昭57)1664
- 5) 尾田・山崎：有限要素自動分割法の現状とその利用法(1)、機械の研究、37、6(昭60)704

割された各要素を構成する節点が抽出され、有限要素解析の入力形式に沿った形で出力されてはじめて自動要素分割が完了したことになる。ところが、有限要素解析のための入力データファイルを作製する作業は、その確立された入力形式にそえる必要があるため、結構煩雑である。その作業のフローチャートを図 7 に示す。

この流れ図のように、本システムにおける入力データファイルを作製する作業は、有限要素解析の入力形式の順序<sup>3)</sup>にしたがい行っている。すなわち、

- (1) まずコントロールデータ<sup>3)</sup>の入力の後、基本座標