

# 形状の3次元的編集と応用

大宅伊久雄 水野寿寿 寺地隆 山岸政幸 岩崎義人  
 (沖電気工業(株))

## 1. まがき

機械部品のような3次元CADにおいて、設計プロセスを図面編集とすれば、必要とされるモデルは2次元で充分である。しかしより上流の設計過程まで踏みこめば、すなわち試行錯誤的特徴をもつ基本設計段階では、設計対象が3次元的に記述されている方がよい。文献(2)によれば前者を image modelling、後者を geometric modelling と呼び、絵的編集と実体モデル操作を区別している。

本論文では設計の初期過程から有効に用いられる形状編集とその応用を中心に記述する。また、CAD ソフトウェア構築上の問題点にもふれる。これは通産省工業技術院大型プロジェクト/レーガ応用種合生産システムの自動設計技術の研究開発の中間成果の報告である。

## 2. システムの概要

本システムは、機械部品の3次元形状モデルを中心として、部品形状の変更、組み立て操作、設計計算、図面作成などの一連の設計作業を支援し、効率化をはかることを目的としている。本システムのハードウェアとソフトウェアの構成をそれぞれ図1、図2に示す。

システムの核となる3次元形状の表現構造には、文献(3)、Baumgart により提案された Winged Edge 表現を用いた。これに、円柱面と穴のあいだ形状を表現できるように拡張を行っている。

また、計算機との Interaction は、ディスプレイ画面を見ながらタブレットとペンション・キーを用いて会話的に行なわれる。

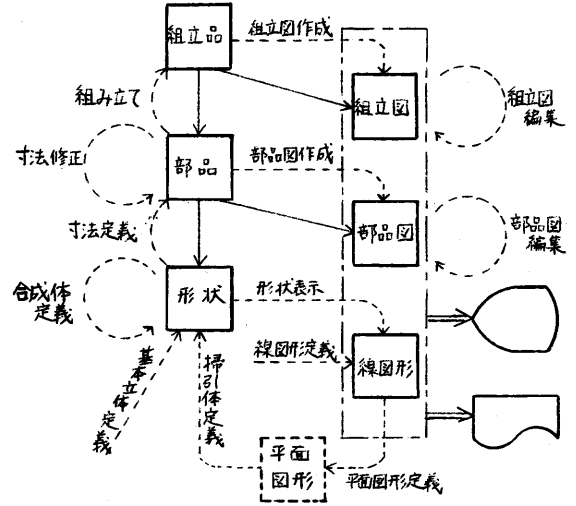
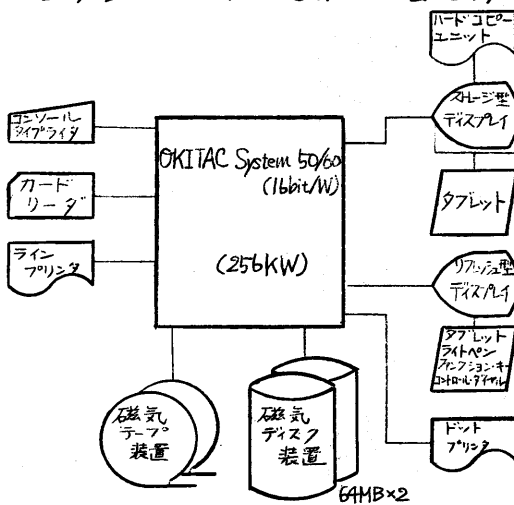


図1 ハードウェア構成

図2 ソフトウェア構成

### 3. 3次元形状の編集

#### 3.1 形状の生成

3次元形状モデルの定義方法には、基本立体、掃引体、合成体の3種類があり、これらを組み合わせて立体形状を定義する。基本立体には直方体と円柱の2種類があり、その $x$ 、 $y$ 、 $z$ の形状、位置を規定するパラメータを与えることによりその形状を生成する機能である(図3)。掃引体は平面図形から立体を生成する機能であり、平行掃引体と回転掃引体がある。まず、線分と円弧から構成される平面図形を定義し、平行掃引では平面図形をその平面に垂直な方向に平行移動させて、また回転掃引では平面図形を、その面を含む平面上の回転軸のまわりで回転移動させて立体を生成する(図4)。合成は、基本立体、掃引体あるいはこの合成機能を用いて生成された立体の任意の組み合わせの3次元集合演算として新しい立体を生成する機能であり、和集合、差集合、積集合がある(図5)。

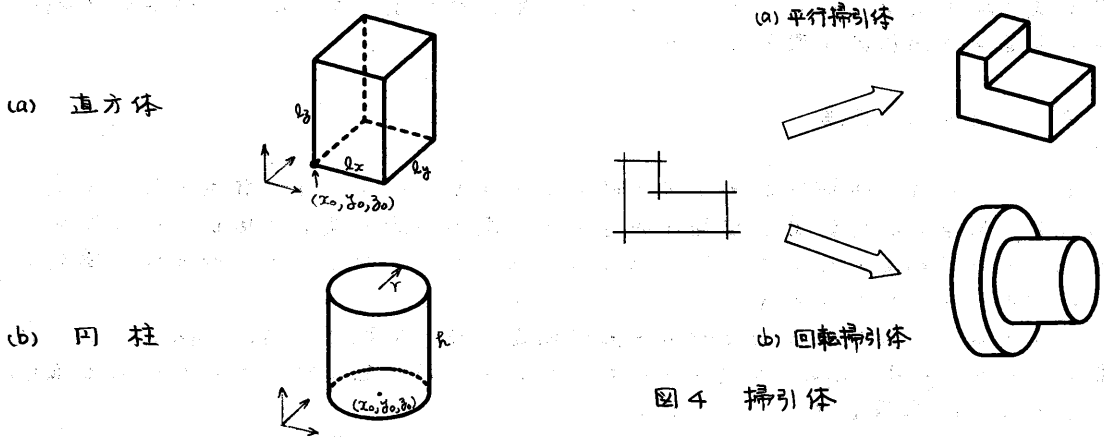


図4 掃引体

図3 基本立体

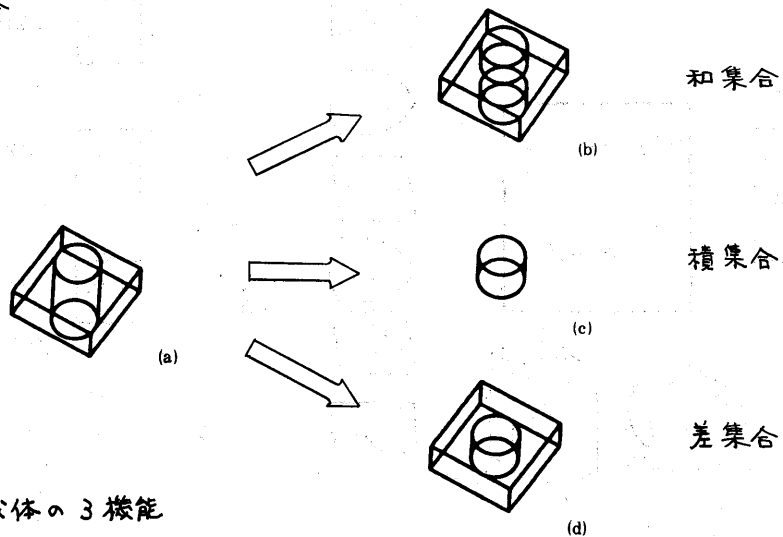


図5 合成体の3機能

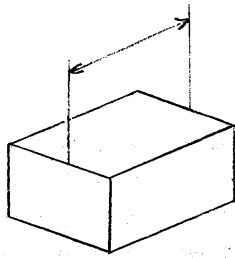


図6 平行な2平面間の距離

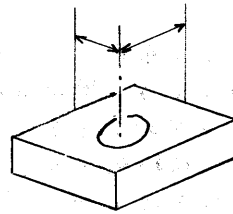


図7 円柱面の中心位置

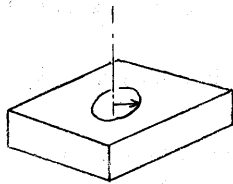
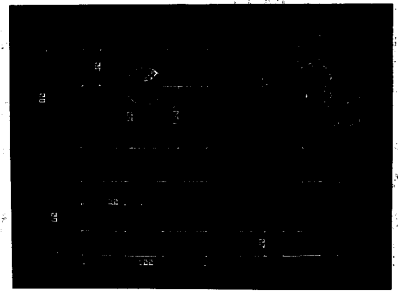
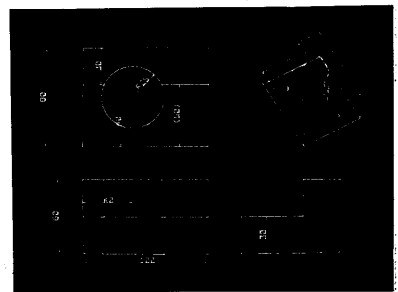
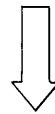


図8 円柱面の半径



(a) 自動計算された寸法



(b) 修正指示後の形状

図9 形状の寸法指定操作の例

3.2 寸法の指定  
 前述の形状生成では、物の形 (Topology) を定義することを第1の目的とし、形的大小、寸法については必ずしも厳密に規定する必要はない。これは形状の Topology を構成していく過程で、できるだけのゆるい寸法指定の軽減をほかっている。すなわち、形状の生成では3次元の形状のラフスケッチを行なうともいえる。  
 ここでは、形の決まった3次元形状モデルについて、正確な寸法を与え、または、必要な寸法の修正を行う操作について述べる。  
 3次元形状の寸法指定操作では、形状モデルの面を指定して次のような寸法を記入する。  
 ・ 平行な2平面間の距離 (図6)  
 ・ 円柱面の中心位置 (図7)  
 ・ 円柱面の半径 (図8)  
 このとき、寸法値は内部データから自動計算される。寸法修正操作では、記入された寸法の寸法値を修正指示する形で、3次元形状モデルの情報を修正する。形状の寸法指定操作を行なった例を図9に示す。

## 4 応用

### 4.1 組み立て操作

組み立て操作では、機械部品の組み立てを3次元形状モデルを用いてシミュレートすることを目的とする。3次元物体を空間的に位置決めするためには、平行移動成分と回転移動成分を与えなければならないが、ここでは物体間の面の位置関係を与えて位置決めできるようにし、座標系を意識せずに組み立て操作を行なえるようにした。このため、次の3種類の位置決め機能を用意した。

- ・ ATTACH 機能 部品の平面と平面を接触させる。すなわち指定された2つの平面の法線方向を逆向きにし、位置を同一にする(図10)。
- ・ FIX 機能 部品の平面と平面の方向を同一にする。すなわち指定された2つの平面の法線方向を同じ向きにし、位置を指定された数値Rだけ離す(図11)。
- ・ AXIS 機能 部品の指定された2つの円柱面の軸を同一方向にする(図12)。

これらの機能を用いて組み立てを行なった例を図13に示す。また、組み立てられた結果に隠れ線処理を施したものを図14に示す。組み立てられた結果は組み立て品としての関係付けを部品間に行って、ファイルに登録する。以降、組み立て品名を指定することにより組み立て品の形状データをアクセスすることが出来る。

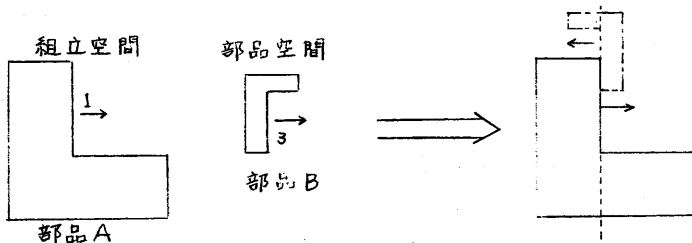


図10 ATTACH機能

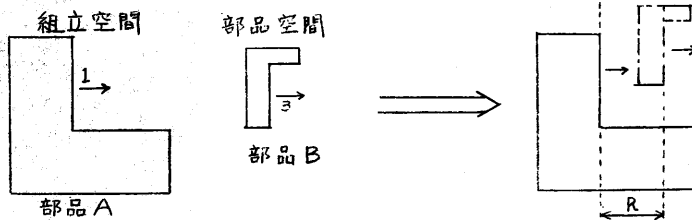


図11 FIX機能

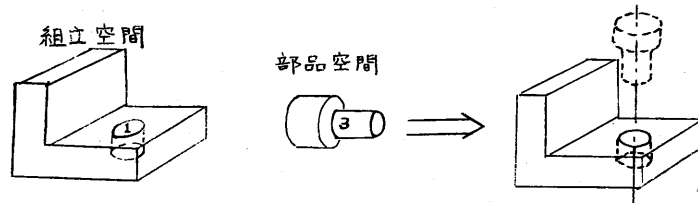
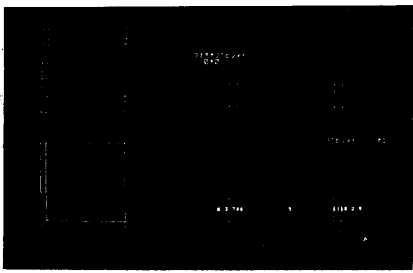
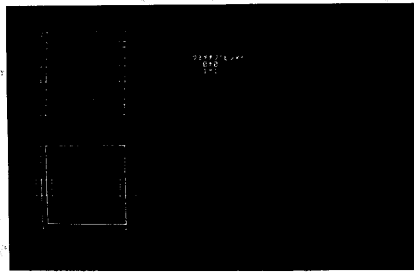


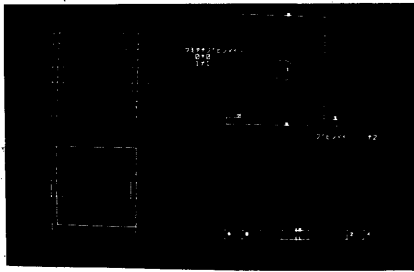
図12 AXIS機能



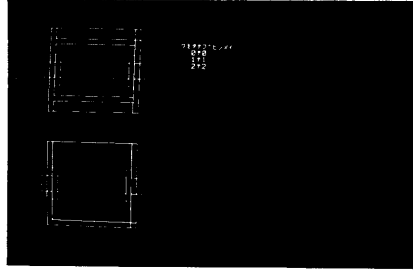
(a)



(b)



(c)



(d)

圖 13 組立操作例

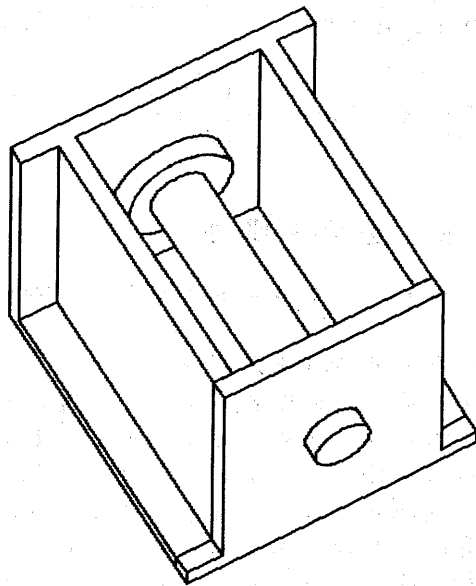


圖 14 組立結果

## 4.2 部品・組み立て品の表示

部品表示とは指定した部品の三面図あるいは任意投影図をグラフィックディスプレイに表示するものである。組み立て品表示では、複数部品から構成される組み立て品の任意投影図を表示する。表示の際して、隠れ線の消去/破線表示がされる。以下の複数部品の集まりに対する、平行投影隠れ線消去処理について、その概要を説明する。

まず全体の流しは次のようになっている。

- ① 部品の投影座標変換と円柱への輪郭線埋め込み
- ② 表の面の抽出と外部ファイルへの書き込み
- ③ 画面分割数の決定
- ④ 分割画面に関係する面集合の作成
- ⑤ 隠れ線処理

扱う部品は平面と円柱面で構成されている。円柱面は解析的に表現されており、輪郭線を埋め込む作業が必要である。表の面のデータ構造を図15に示す。境界を構成する線の列は、その境界内部を進行方向の左側に見るように順序付けられている。

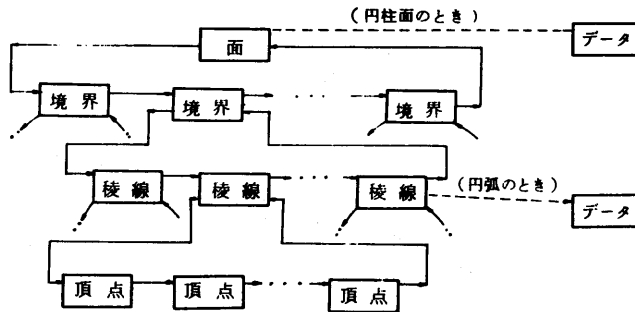


図15 面データ構造

隠れ線処理時は、複数の面をリング状に結んで前から順に処理する。

### ・ 三角形分割を用いた種の可視性決定方法

隠れ線処理において、種と種の交差検査のあとに、種のある区間について、その区間を真に隠す他の表の面があるかを決定する作業が必要である。図16はその説明図である。e<sub>0</sub>, e<sub>1</sub>は問題となっている区間で、M<sub>0</sub>, M<sub>1</sub>はそれらの中点である。図のように中点が領域の内部にある場合は区間は全域不可視、外部にある場合は全域可視と決定される。領域の内部にあるか否かの決定は図のように三角形に分けて、三角形と1点の包含関係を計算する方法を用いている。

### ・ 画面分割方式

使用できるワークエリアが小さいため、部品の数が多いときは自動的に画面を分割して処理する。面が外部ファイルに書き込まれる際に、横軸方向の最小値/

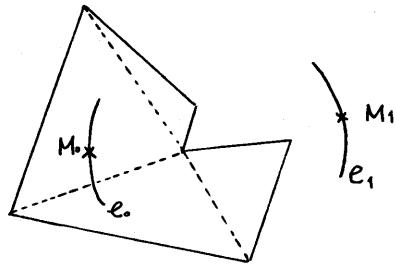


図16 三角形分割の利用

最大値、隠れ線処理開始時のメモリ占有量、ならびにメモリ増加量評価のための各種の値が付加工されている。

画面分割は横軸方向のみとし、分割数は動的に変化しつねに残り画面が対象となる。処理時のメモリ増加使用量を見積る関数を用意し、ワークエリアを越えないような、最小の数(1, 2, 4, 8, ...)をみつけ、これを分割数とするのである。この方式は、ワークエリアが十分大きいときは最適ではないが、本プログラムのように小さいときは有効であろう。図17に組み立て品の表示例を示す。

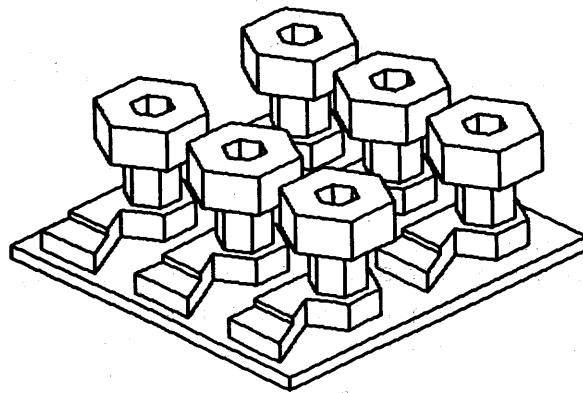


図17 組立品表示例

#### 4.3 形状特性量の計算

機械部品のCADにおいて、部品固有の物理的・材料力学的ないろいろな特性量を計算機内部に表現された形状モデルから直接計算できることは、複雑な手計算を不要とし、設計作業を進めてゆく上の非常に強力な道具とすることができ、本システムでは、これらの多種多様な特性量のうち、体積、慣性モーメント、および部品固有の密度を与えて重量を、複雑な形状であっても部品名を指定するだけで、短時間に1%以内の誤差で求めることができる。

##### (1) 体積

前述のように、3次元形状モデルはWinged Edge表現を拡張して用いているので、構成要素である面の情報を容易にとり出すことができる。体積の計算では、この面情報を一つずつ取り出して三角形に分割し、これをある一定の平面に投影してできる三角柱の体積(図18)の総和として求めている。

##### (2) 慣性モーメント

慣性モーメントはその回転軸からの距離に依存する量であるから、ユーザの指定した回転軸をもとづいて形状モデルを座標変換したあと、体積の場合と同様に三角柱を作り、公式

$$J = \iiint_{\bar{V}} (x^2 + y^2) dz dy dx$$

$$\bar{V} = \{ (x, y, z) \mid x_1 \leq x \leq x_2, \\ y_1 \leq y \leq y_2, 0 \leq z \leq \bar{z} \}$$

す、 $\bar{z}$ は $x$ の1次式、 $\bar{y}$ は $x, y$ の1次式

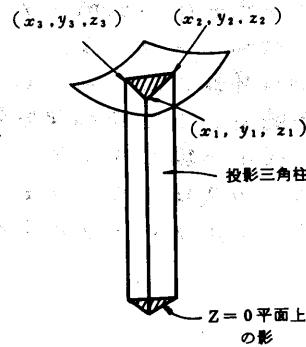


図18 体積の計算単位

からその $x, y$ の慣性モーメントを計算し、その総和を求める部品形状の慣性モーメントとしている。

#### 4.4 図面の作成 編集

3次元モデルでの編集作業が終了すると、次のステップは詳細設計である。詳細設計では、主に現行の設計作業の出力である図面の作成が主な作業となる。ここでは、まず3次元でモデル化している部品、組み立て品の情報をディスプレイ等に表示可能な2次元のモデルに変換する。ここを前節で述べたような隠し線消去処理を施して、設計者にとって理解しやすい形式の形状図を作って表示する。同時に、3次元的に記述されている寸法情報も合わせて表示する。次に、設計者はコーナー、面とり、仕上げ情報等の形状の詳細情報をディスプレイ画面上に描かれた形状図を見ながら会話的に記入していく。

形状情報の詳細化と平行して、図面として不要な部分線を消去したり、寸法線を消す等たり、また部品名や加工上の注意事項などのコメントを合わせて記入し編集することにより、図面としての体裁を整えることができる。



## (1) 形状の2次元的表现

3次元上に存在する物体を2次元平面上の絵として表現する方法にはいろいろ考えられ、利用者がより理解しやすい形式で表示することが望ましい。本システムでは機械部品の設計者が利用者となる。設計者は、通常三面図を通して部品の形状や組み立て品の構造を把握する。したがって、本システムでは部品の三面図と任意投影図および組み立て品の1面図を作成することができる。計算機による図面作成の際には画面あるいは紙面のレイアウトが問題となるが、部品あるいは組み立て品を包み込む最小の直方体(エンベロープと呼ぶ)データをもち、それからレイアウトの自動計算を行っている。

## (2) パネル

作成される図面の2次元情報は、そのデータの種類のパネルと呼ばれる平面で書き込まれる。したがって、パネルごとに作成・編集したり、目的とするパネルだけを表示したり、複数のパネルを重ね合わせて表示することが出来る。部品図のパネルの種類とそれを重ね合わせて表示する例を図19に、部品図作成の例を図20に示す。組立品の場合にも同様である。

一度作成された図面情報は、部品あるいは組み立て品の従属情報としてデータベースに登録される。また作成された図面はドットプリンタを用いてハードコピーをとることが出来る。

以上、おおよそに図面の作成・編集の機能を説明した。

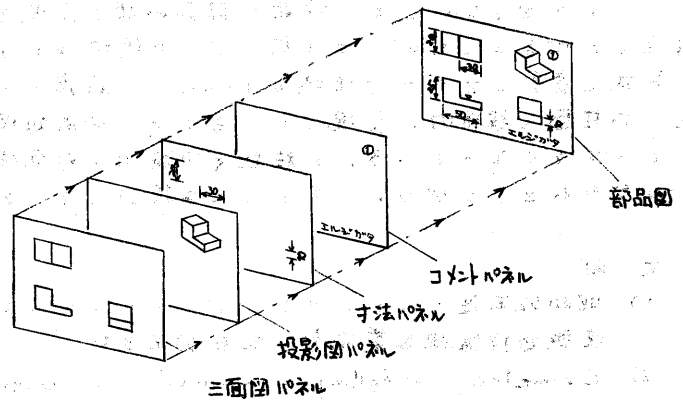


図19 パネルの重ね合わせ

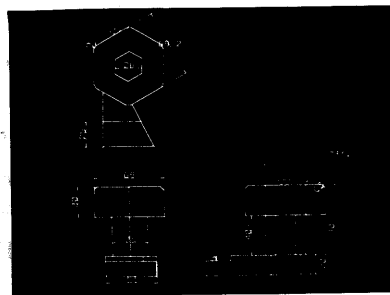


図20 部品図作成の例

## 5. あとがき

以上、機械部品の設計支援システムについて、3次元形状モデルの応用例を中心に紹介した。本システムの特徴点をまとめると

- 3次元的な形状変更ができること。
- 単一部品のみならず組み立て品に対しても隠れ線消去処理が可能であること。
- 部品図、組み立て図が容易に作成できること。
- 部品の体積、慣性モーメントの自動計算ができること。
- 座標系に独立な部品の組み立て操作が行なえること。

である。

現在、3次元形状データはプログラム領域と共存しているため8Kバイトしかとることができない。より複雑な部品形状を表現するためには、プログラムの信頼性をあげるとともに、より広いデータ領域をとる必要がある。立体データ操作の方式を変更してデータ領域を70Kバイト程度まで広げよう検討している。また、円柱面を解析的に表現しているため、合成処理や隠れ線処理のプログラムサイズが大きくなっていく。円柱面や円錐面を多面体近似することにより、各処理プログラムをコンパクトにすることを検討している。

## 文 献

- 1) 昭和52年度エンジニアリング・データベースシステム調査報告書  
情報処理振興事業協会 昭和53年3月
- 2) Geometric modelling ; a survey, A Baer, C Eastman and M Henriion,  
computer-aided design, Vol 11, No. 5, September 1979
- 3) Bruce G. Baumgart : A Polyhedron Representation for Computer Vision,  
Proc. of National Computer Conference, 1975
- 4) I. C. Braid and C. A. Lang : Computer-Aided Design of Mechanical Components  
with Volume Building Bricks, Proc. of 2nd PROLAMAT
- 5) N. Okino, et al : TIPS-I : Technical Information Processing System for  
Computer-Aided Design, Drawing and Manufacturing, Proc. of 2nd PROLAMAT
- 6) H. B. Voelker and A. G. Requicha : Geometric Modelling of Mechanical Parts  
and Processes, Computer, Dec. 1977, IEEE Computer Society, U. S. A.
- 7) G. Spur : Status and Further Development of the Geometric Modeling System  
COMPAC Proc. of Geometric Modeling Project Meeting, CAM-I, 1978
- 8) M. Hosaka, F. Kimura : An Interactive Geometric Design System with Hand-  
writing Input, Proc. of IFIP Congress, 1977
- 9) 大場忠憲, 垣野義昭, 岩田一明 : 生産自動化のための形状記述に関する  
研究(第2報) - 3次元部品への拡張 -, 日本機械学会講演論文集(1977)
- 10) I. Oyake, H. Shu : Object Synthesis for Design and Manufacturing  
Proc. of 13th NCS Conference
- 11) 吉川弘之, 北嶋克寛 : 機械の構造規則, 精密機械 45巻9号
- 12) 西田友是, 中前栄八郎 : 画面分割法による三次元物体表示および遠近処理,  
コンピュータ・ビジョン研究会資料5 (1980)