

機械図面の計算機処理

飯塚 厚*

横山 正明**

*東京工業大学大学院 **東京工業大学

あらまし 機械図面の計算機処理に関する基礎的研究として、二面図あるいは三面図から実用的に重要な曲面を含む立体の自動生成に関して研究している。すなわち、図面中の曲線分の記述に2次の有理Bezier曲線、立体の曲面分の記述に双2次の有理Bezier曲面を導入し、曲線の次数を1次とすることにより得られる、直線分のみから成る図面の処理によって生成される多面体を仲介にして、曲面を含みもとの図面を満足する立体を生成する手法を提案している。さらに、この手法にもとづいて立体自動生成プログラムを作成し、これにいくつかの制限事項を満たす図面を入力し、曲面を含み二面図あるいは三面図を満足する立体モデルが得られることを確認して、本手法の有効性を明らかにしている。

COMPUTER PROCESSING OF MACHINE DRAWINGS

Atsushi IIZUKA*

Masaaki YOKOYAMA**

*Graduate Student of the
Tokyo Institute of Technology

**Graduate School of the
Tokyo Institute of Technology

4259, Nagatsuda, Midori-ku, Yokohama 227 JAPAN

Abstract Not a few works have been done on the construction of polyhedral objects from usual orthographic two or three views. However, these works cannot be applied to the drawings of mechanical parts, because real mechanical parts are composed of curved surfaces as well as flat ones. In this paper, we present an algorithm which can represent all solid objects with curved surfaces satisfying orthographic two- or three-view drawings. The algorithm for the construction of polyhedral objects is modified by introducing the quadratic rational Bezier curves and the biquadratic rational Bezier surfaces. This new algorithm has been implemented and has functioned well on complex objects with curved surfaces.

1. 緒 言

計算機援用による機械の設計・生産をおこなう際、3次元形状データを計算機に入力して形状を生成する必要がある。しかし、3次元形状のデータ入力は容易ではないため機械系CAD利用の大きな障害となっており、実用的な入力方法の研究・開発が望まれている。3次元形状データを入力するには幾つかの方法が考えられるが、その中でも機械図面を入力して計算機に3次元形状を自動生成させる方法は、人間が理解しやすいというだけでなく、蓄積された膨大とも言える機械図面をそのまま利用できるという点で非常に有効な手段と言える。

三面図から立体モデルの生成に関する研究は、15年以上前の出沢の研究¹⁾以来すすめられ、平面だけから構成される多面体の生成に関しては幾つか研究発表²⁾³⁾⁴⁾がなされているが、直線分だけからなる機械図面は多くはなく、実用化がむづかしいのが現状である。

曲面を含む立体モデルの自動生成に関する研究が大きく遅れている理由は、主に以下のような点にある。

- ① 従来の機械製図法では、文字・記号等を使用しない限り立体を一意に決定できない(文字・記号等を使用しても一意に決定できないものがほとんどである)。
- ② 従来の機械製図法では、曲面と平面、曲面と曲面が1次連続で接合する場合には、その接合部の稜線を描かないため、稜線生成が困難である。
- ③ 任意の曲面を表現する完全な方法がなく、立体を構成する曲面を複数のパラメトリックな曲面パッチに分けて近似表現する必要がある。このため、図面には表わされていない曲面パッチの境界稜線を生成しなければならない。

しかし機械図面は、加工作業の条件、曲面を図面で表わした場合の曖昧さなどの理由から、そのほとんどが曲線としては円弧のみを用いており、立体として平面・円錐面・円筒面・球面および円環面のみから構成されるものが多い。このため、直線分および円弧だけからなる機械図面から立体モデルを生成する方法は、利用価値が大きいと思われる。

本研究はこのような考えから、直線分および円弧を含む機械図面からの立体自動生成のシステムを開発することを目的としている。

2. システムの構成

本システムのハードウェアには、HP社製ワークステーション「アポロドメインDN3500」(CPU:MC68020, 32bit, 25MHz)を使用した。

ソフトウェアは、機械図面入力のための2次元CADプログラムおよび立体自動生成のための3次元形状自動生成プログラムの2つをC言語によって作成した。なお、3次元形状自動生成プログラムでは、3次元グラフィックス表示用にHP社製3Dグラフィックス・メタファイル・リソース・パッケージ(3D-GMR)を使用した。

3. 機械図面から曲面を含む立体の生成法

3.1 機械図面の入力 機械図面は、単に3次元物体の形状を表わす直線・曲線だけでなく、寸法・加工情報のための文字・記号など多種の図形要素を含んでいる。しかし、計算機にそれらの区別を判断させることは非常に困難であり、また処理速度を考えると実用上得策ではない。そのため本研究では、機械図面入力の際に入力方法によってそれらの区別をつけ、立体生成の際には3次元形状を表わす図形要素以外を取除いて処理をおこなうこととした。

また、図面は非断面投影図の互いに矛盾のない二面図または三面図とし、3次元形状を表わす図形要素は直線分および円弧のみとした。

3.2 子図について 本システムでは、複数の同一形状の部品をもつ機械図面からの立体生成のために“子図”という考えを取入れた。図1に子図を利用したときの処理の流れを示す。まず、子図とする部分の図面aを入力して立体形状データを生成し、その立体形状データと入力図面をそれぞれ登録しておく(b, c)。つぎに残りの部分の図面dを入力し、その図面に、登録された子図面cを呼び出す(e)。立体形状データの生成の際には、子図を取除いた図面

dのみから立体を生成し(f),その後子図による立体形状データbを呼び出す。

子図は、またそれ自身に別の子図をもつことができる。この子図を利用することによって、組み立て図のような複数の機械部品からなる立体の図面を取扱うことができる。また、立体同士の接合面を取除くことによって、複雑な形状を段階的に分けて生成することができるようになる。

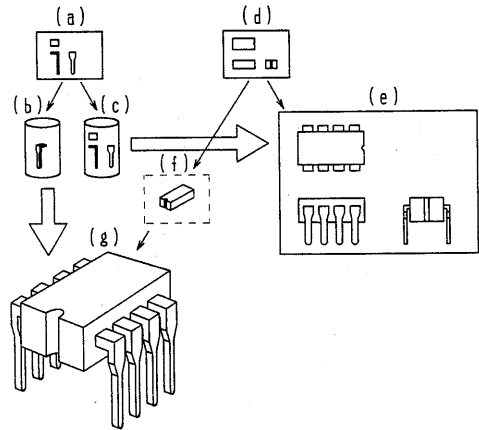


図1 子図の処理

3.3 処理の流れ 図2に、本システムの処理の流れを示す。頂点・稜線・ループ・面の生成の際には、実際の立体を構成する要素以外の要素も登録されてしまっている。それらの要素を“虚立体要素”と呼ぶことにする。本システムの立体要素生成の方法では、稜線の生成・ループの生成・面の生成と段階が進むにつれて処理が複雑になり時間を多く必要とする。このため、明白な虚立体要素をその都度除去することによって候補立体要素数を少なくし、処理速度を上げている。明白な虚立体要素とは、例えば「稜線を3本以上もたない頂点」や、「ループを2つ以上構成しない稜線」などである。

3.4 単線化および円弧の分割 2次元CADによって機械図面を入力した場合、1本の線分・円弧を2本以上で繋げたり、重ねたりして描く場合がある。そのため、これらのような図形要素を単線化する。

つぎに円弧を、他の線分・円弧との交点や、図3に示すようにその点での接線が図面の水平線または垂直線となるような点で分割する。後者の点を特に“極”と呼ぶことにする。本システムでは曲面を表現するのに双2次有理ベジエ曲面を用いているが、極で円弧を分割することによって、生成される曲面は近似しやすいパッチとなるためである。

以上の処理を各図面の前処理としておこない、それぞれの図形要素データリストに登録しておく。

3.5 頂点の生成 まず個々の面図において、図形要素の端点、図形要素同士の交点、および円弧の中心点を“面図上の頂点”として登録する。円弧の中心点は球の極や円錐の突起部の頂

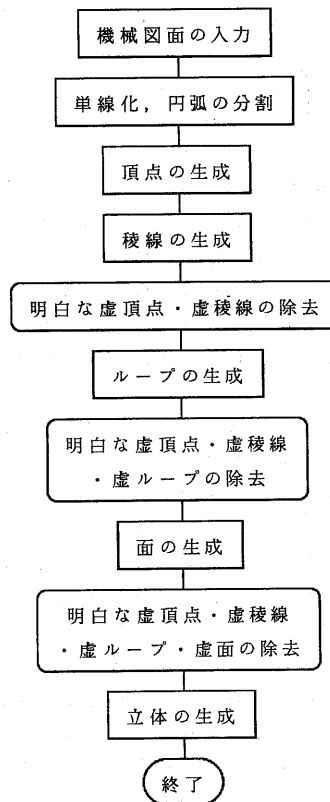


図2 処理の流れ

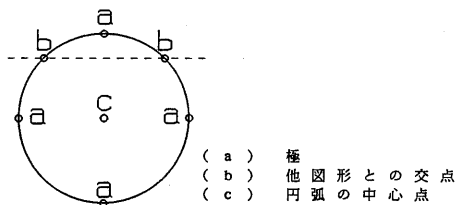


図3 円弧の分割点

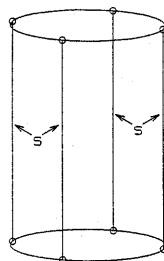


図4 シルエット稜線

点生成に必要なためである。さらに、円弧の極および中心点は別に“シルエット頂点”²⁾として登録する。

つぎに、各面図に投影したとき少なくとも1面図で面図上の頂点として現われ、他の2面図で面図上の頂点としてまたは図形要素に含まれているような3次元空間内の点をすべて列挙し、それらを頂点として登録する。登録の際には、同一座標の頂点を複数登録しないようにする。これは、以後の稜線・ループ・面の登録についても同様である。

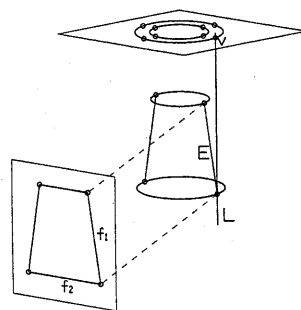


図5 シルエット稜線の生成

3.6 稜線の生成 稜線には、すべての面図に線分・円弧または点となって現われる稜線と、図4のsのようにある面図には図形要素として現われない稜線がある。後者の稜線を特に“シルエット稜線”²⁾と呼ぶことにする。シルエット稜線は曲面を含む立体にのみ現われる稜線である。

稜線生成は、まず、正面図中のある図形要素を面図に対し垂直に掃引したときにつくられる面を考える。他の平面図・側面図に対しても同様の面を考える。それら3つの面上にある、3次元空間内の頂点が2点以上ある場合、それらの頂点を結ぶ直線分・円弧を稜線として登録する。登録には、端点座標の他に、生成の際の図形要素の種類によって線分稜線か円弧稜線かの区別も同時に登録する。この作業を各面図中のすべての図形要素に対しておこなう。

しかし、シルエット稜線は上述の方法では生成できないため、別の方法によって生成をおこなう。いま図5において、シルエット稜線Eはつぎのようにして生成される。平面図中の円弧

の端点vを平面図に対し垂直に掃引したときに作られる直線Lを考える。直線Lを正面図に投影して得られる直線上に交点をもつ2つの図形要素を $f_1 \cdot f_2$ とする。 f_1 を正面図に垂直に掃引して作られる面と、直線Lを含み正面図に平行な平面との交線分がシルエット稜線Eである。ただし、シルエット稜線はシルエット頂点を端点としてもたなければならない。この処理を、各面図のすべての円弧についておこなう。

3.7 ループの生成 つぎにループの生成を以下のようにしておこなう。登録された頂点の1つに注目し、その頂点を共有する複数の稜線から同一直線上にない2本を取り出せば、それらは1つの平面を決定する。この場合、稜線が円弧稜線の場合には、その端点を結ぶ線分稜線として平面を決定する。その平面上で先の2本の稜線を含む閉ループを探索する。この作業をすべての頂点に対して行ない、ループを登録していく。

3.8 面の生成 ループの包含関係によって、面を生成する。面は、その境界を表わす1つのループと、面の穴を表わす複数のループによって定義する(図6)。この場合、穴をもつ面は平面のみであり、曲面上には図面の前処理による円弧の分割によって穴が現われない。

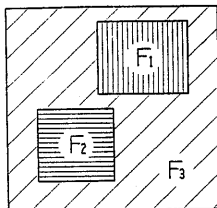
面は、それを定義するループを構成する稜線の種類によってのみからだけでは一意に決定できないが、取扱う曲面を円錐面・円筒面・球面・円環面と限定することにより以下のように判断する。ただし、この場合、複数の線分でも1本の線分で置き換えることができる場合には、それらを1本の線分として数えている。

- ① ループが1つの円弧と2つの線分によって構成される場合には、そのループが定義する面は円錐面である。
- ② ループが2つの円弧とそれらの端点を結ぶ2つの線分によって構成される場合には、そのループが定義する面は円筒面である。
- ③ ループが3つの円弧によって構成され、それらの中心が同一の場合には、そのループが定義する面は球面である。
- ④ ループが4つの円弧によって構成され、それらがある円環面上にあるとき、そのループが定義する面は円環面である。

上記の条件に当てはまらない、円弧を含むループがある場合には、本システムでは面を特定できない。

3.9 候補立体の生成 上述の方法で生成された頂点・稜線・ループ・面には、実際の立体にはない虚物体要素が含まれている場合がある。この虚物体要素を、以下のようにして取除いていく。

ある稜線を共有する面が3面以上ある場合、



F₃は2つの穴をもつ

図6 ループの包含関係による候補面

それらの面のうち2面だけを残し、その他の面を虚面として取除く。面の除去によって新たに虚物体要素となったものをすべて連鎖的に除去し、その後各図面と照合する。照合は、図面中の図形要素から3次元空間内の物体要素に対して行ない、ある図形要素に対して1つも対応する物体要素がない場合には、虚面の選択が間違いであるとしてつぎの虚面除去をおこなう。もし、すべての図形要素が対応する物体要素を持つ場合には、残った物体要素群に対し同様の処理を再帰的に行ない、すべての稜線が2面のみを持つまでおこなう。

以上の作業によって、複数の候補立体が生成される。

4. 図面から曲面を含む立体の生成例

4.1 立体生成の例 実際に機械図面を入力し、立体形状を自動生成した例を図7に示す。

- (a) 二面図による立体の生成例である。正面図に1本だけ補助線を加えている。
- (b) 子図を利用しICの形状を生成した例である。ただし、本体部分とピンとの接合面はまだ除去されていない。
- (c) この立体では、曲面パッチの境界稜線生成のために入力図面に数本の補助線を加えている。
- (d) 複雑な形状をした機械部品の例である。以上のいづれも、ただひとつの立体形状データを生成した。

4.2 制限事項のまとめ 本システムの3次元立体形状自動生成の方法の制限事項は以下のようにならめられる。

- ① 図面は寸法・加工情報のための図形要素を含むことができるが、この場合、それらの図形要素は専用の入力コマンドを用いて入力されていなければならない。
- ② 円錐面および円筒面の母線以外のシルエット稜線は、基本的に補助線が必要である。
- ③ 取扱うことのできる曲面は、円錐面・円筒面・球面・円環面のみであり、三面図のいづれかに線分・円弧以外の図形要素として現われる断面を持つものであってはならない。

④ 現在、隠れ線は考慮していない。

参考文献

5. 結 言

本研究では、いくつかの制限事項を満たす線分・円弧からなる二面図または三面図から立体形状データを自動生成するシステムを開発し、曲面を含む機械図面を満足する立体モデルが生成されることを確認した。

- 1) 出沢正徳：三面図から立体形成のためのシステム，日本機械学会論文集，38巻，310号，pp.1267-1276 (1972)。
- 2) Remi Lequette：Automatic construction of curvilinear solids from wireframe views，COMPUTER-AIDED DESIGN，Vol. 20，No. 4，pp.171-180 (1988)。

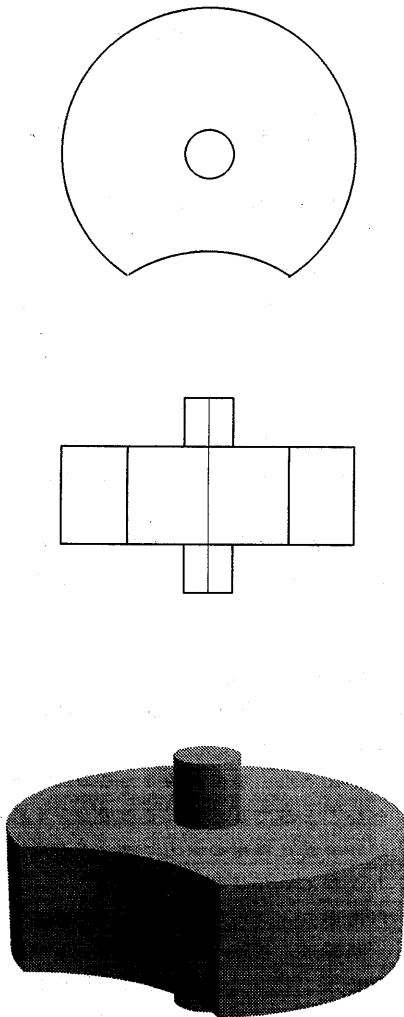


図 7 (a)

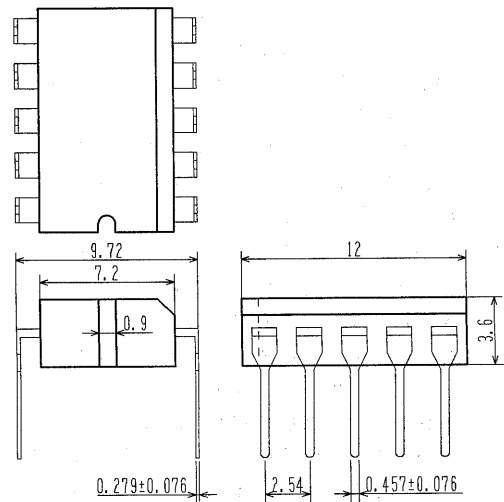


図 7 (b)

- 3) 佐々木康仁, 伊藤潔, 鈴木誠道: 非線形疑似ブール代数解法による三面図からの物体の自動合成, 情報処理学会論文誌, Vol. 30, No. 6, pp.699-708 (1989).
- 4) 横山正明, 河上恵三: 三面図から曲面を含む立体の自動生成, 日本機械学会論文集C編, 56巻526号, pp.1518-1523 (1990).

- 5) 千田豊満: 三面図からもとの立体の自動復元, 情報処理学会論文誌, Vol. 31, No. 9, pp.1313-1320 (1990).
- 6) 伊藤潔: 三面図を用いたソリッドモデルの構成, 情報処理, Vol. 31, No. 8, pp.1095-1106 (1990).
- 7) 桜井貞美, 福井幸男: ワイヤフレームからソリッドへの一変換手法, 情報処理学会論文誌, Vol. 31, No. 1, pp.24-31 (1990).

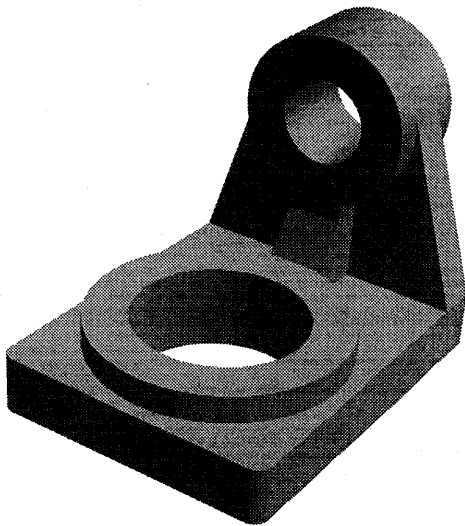
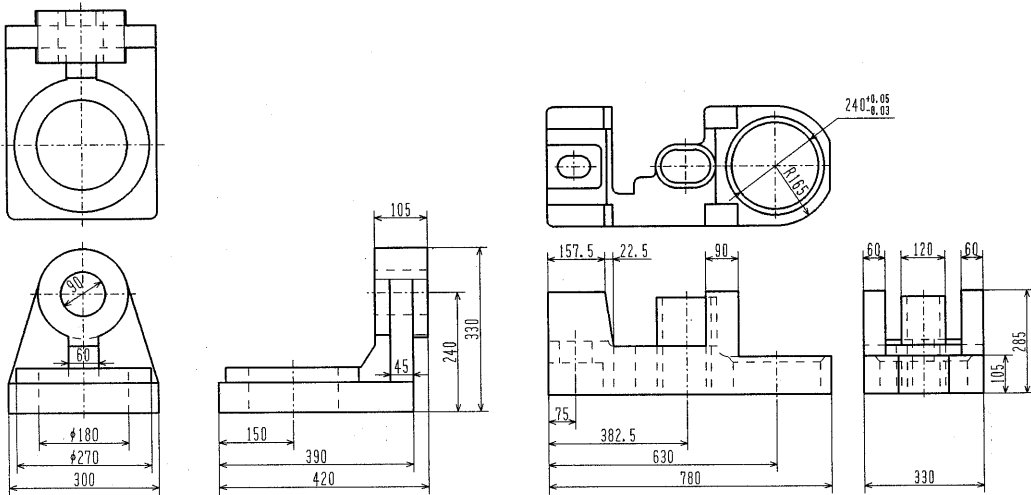


図7 (c)

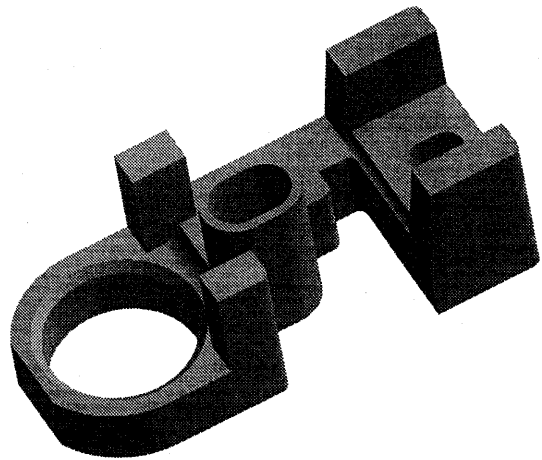


図7 (d)