

多面体のスケッチ図による入力方法について

福井幸男 広谷豊史 大平智弘 岸義樹
(工業技術院・製品科学研究所)

1. はじめに

コンピュータによる図形処理は増加の一途をたどっており、コンピュータ内に生成された形状モデルを用途に従って変更したり、属性を付加し、あるいは人間に理解しやすい方向からその形状をみた投影図を出力したりするシステムがいくつか発表されてきている。今後、ハードウェアの小型化と低価格化および蓄積されるソフトウェアの増大とによって、この応用分野はさらに拡大してゆくことが確実視されている。

一方図形データの入力に関しては、あらかじめ用意されている基本立体を集合演算によって複雑な形状に加工してゆく方法や、複数枚の異なる視点からの投影図を用いて、対応点を確認して、2次元の点列を入力する方法等がある。また平面図形を掃引、回転させて立体を生成することも行なわれている。

本報告では、設計者が頭に描いた3次元の形状イメージになるべく沿った状態でかつ、わずらわしさを軽減して、コンピュータに入力することを目標として、作成した図形データ入力システムについて述べる。

2. システム概要

本システムは、機械部品や建築構成材等一般的な形状をしたものを中心として、3次元物体のコンピュータ処理に必要なソリッドモデルの生成を、2次元の投影図より自動的に行なうことを目的としたものである。データの処理手順を図1に示す。矢印の方向に情報は流れるものとする。なお図2に本システムで使用するハードウェアの構成を示す。

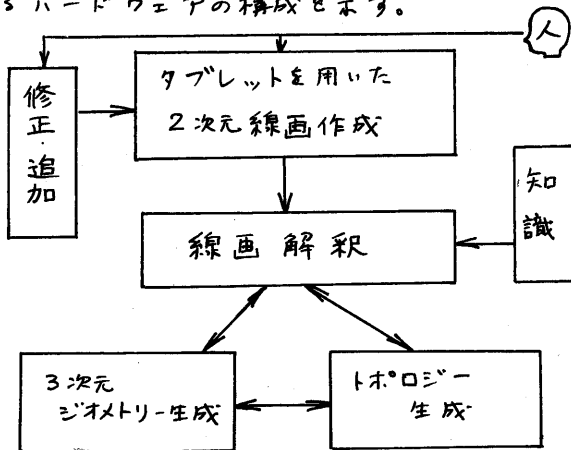


図1 データ処理手順

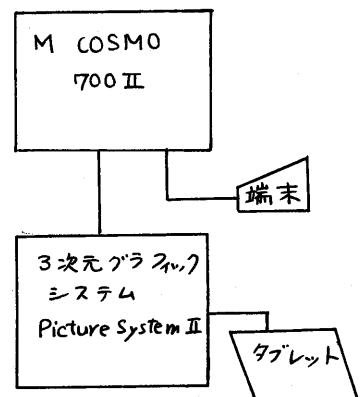


図2 ハードウェア構成

3. 2次元線画の条件

スケッチ図の2次元線画から3次元物体をユニークに決定することは一般的には無理であり、ここでは実用的な面から若干の制限を加えて2次元線画を描くこととする。

(1) 正射影法による作図

物体を描くときは、正射影法による投影図を用いて、一般の位置に視点の方向を設定した状態を描くこととする。この投影法を用いた理由は、物体が平行な稜をもっていれば、投影図上でも必ず平行になり、この逆も一つの例外を除いて一般的に成立するからである。

視方向ベクトルと2つの稜を構成する線分をベクトルで表現したとき、これらのベクトルが同一平面上にあるときは、例外となる(図3参照)。

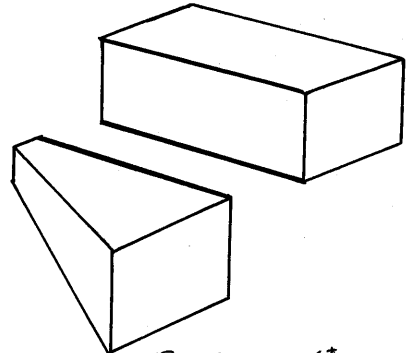


図3 平行に見える2つの稜

(2) 対称な形状をした面を有する

これは図形からその面内の2つの直角な軸方向を抽出して、3次元変換するときの基準座標軸設定に用いるためである。図4に三角柱の2つの面に関して、直角な2方向を抽出した例を示す。

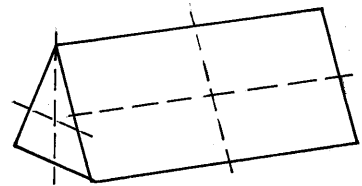
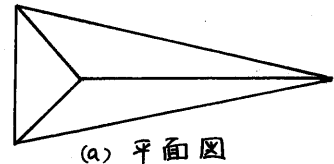


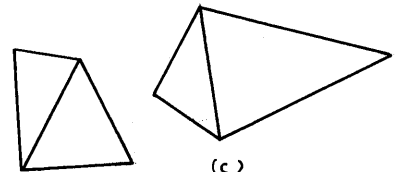
図4 面内の2直角方向

(3) 物体を最もよく表現する方向から描く

物体を描く方向は一般性があり、かつ最も幾何学的特徴を表現していると思われる方向から描くものとする。図5はこの例を示す。図5(a)に示す平面図をもつ三角錐を描く場合、図5(b)に示す方向よりも同図(c)に示す方向から描くものとする。



(a) 平面図



(b)

(c)

図5 物体を描く方向の相違

(4) 描く物体は水平面上に安定に置かれた状態であるとする。

(5) 必要な陰線は点線で入力する。

これは奥行き方向の情報を間接的に与えてトポロジーの描出を正確に行なうのに必要な条件である。

これらの条件の下で物体の斜視図を与えることにより、直ちに3次元変換して、3次元データを生成することができる。

4. 線画解釈

タブレットより入力された図形は、線と点の2次元座標値が登録されている。このデータをもとに2次元線画を解釈して、3次元変換の準備をする。

4.1 処理手順

(1) 輪郭部の抽出

互いに接続された線の集合のなかで輪郭を構成する点列と線列を、視方向からみて時計まわりに順番にとり出して、輪郭毎に区別して登録すると共に、各々の線に輪郭番号と方向を記録する。図6の場合2つの輪郭が登録されることになる。

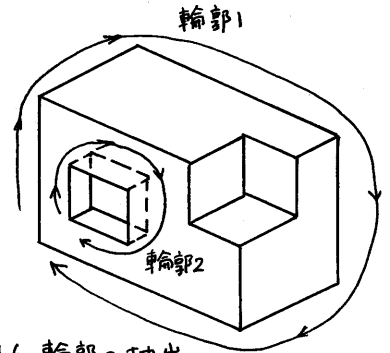


図6 輪郭の抽出

(2) 各領域の抽出

3次元物体上の面あるいは穴となる2次元上の領域を、以下の手順で抽出する。

- (i) 輪郭を含めて、すでに一方向にたどってある線に着目して、たどった方向と逆向きに線をたどってゆく。
 - (ii) 線が複数本接続されているときは、進行方向に対し、一番左側の線をたどる。ただし点線は最初無視する。
 - (iii) 途中で途切れたり、点線になっている線は保留する。
 - (iv) 全ての実線について (i) にもどってくり返し実行する。
 - (v) 一周したら、領域として登録し、各々の線に領域番号と方向を記録する。(図7参照)
 - (vi) 実線で囲まれた領域が全て終了した段階で点線をたどる。複数本の線が接続されている点にきたときに次にたどる方向は原則として次のようにする(図8参照)。
- 現在たどっている線が実線の時
次の一番右の線が点線ならばこの線に進む。
実線ならば左側から順次この優先度でたどってみる。
- 現在たどっている線が点線の時
次の線が全て実線ならば一番右へ進む。
その他ならば左側から順次この優先度でたどってみる。

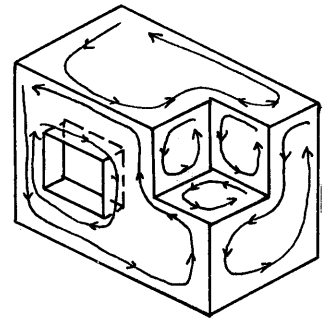


図7 各領域の抽出

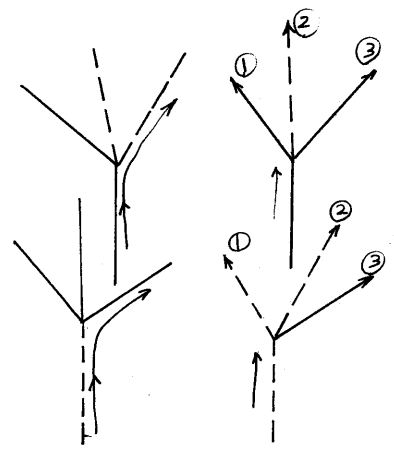


図8 追跡方向と優先度

4.2 データ構造

2次元線画から抽出されたデータに対して生成されるデータ構造を図9に示す。矢印はその方向へのポインタを示し、太線は順序も定義づけられていることを示す。

3次元データ構造もほぼ同様な形式を採用しているが、各種の接続されるプログラムによって形式は適宜変換される。

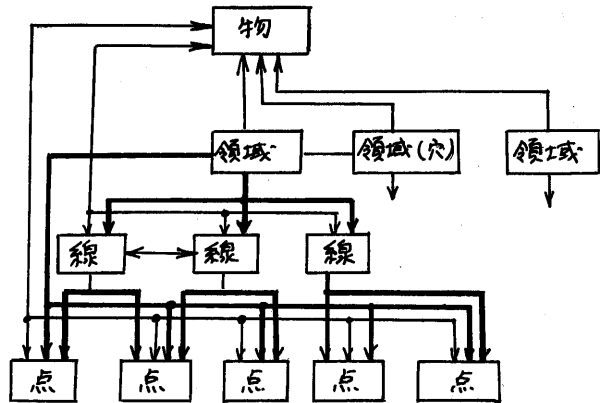


図9 2次元線画データ構造

4.3 特殊なトポロジー記述

(1) 輪郭の取扱い

2次元線画の解釈で輪郭部のデータを3次元的に解釈するときには次の2つを実行する。

(i) 他の領域に含まれていない輪郭（一番外側の輪郭）は追加入力の際に再び必要な部分であり、3次元変換後も対応する接および頂点グループを保持しておく。

(ii) 他の領域に含まれるループは穴を表わす場合は図10のように3次元変換後は穴の面を表わすループに自動的に変更して記録する。

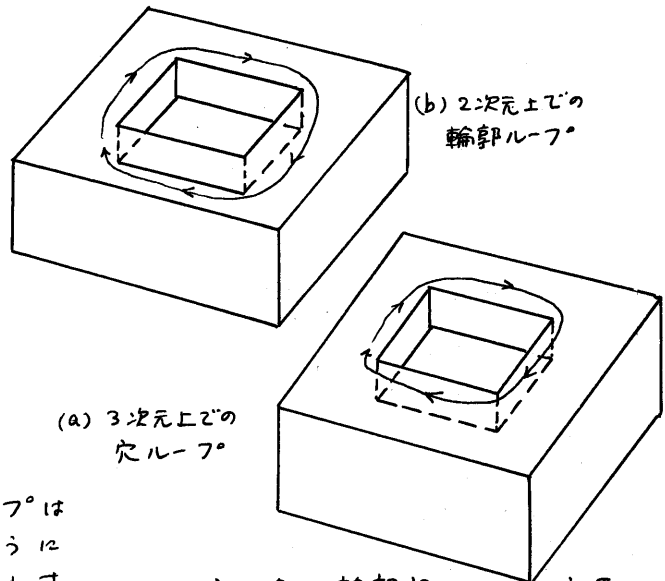


図10 穴を含む輪郭部のループ変更

(2) 途切れ線の取扱い

一つの線が他の線にかくされている場合（図11参照）のときは、かくされている線を含む領域（図11の斜線部）は、2次元線画の解釈の段階では、領域の定義は保留される。しかし3次元座標値の求まる点は、求めておいて面の定義は再度入力された時点で行なわれる。

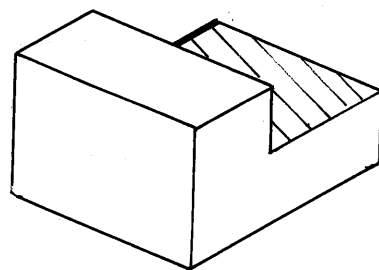


図11 途切れ線によってできる不完全領域
(太線) (斜線部)

5. 3次元座標変換

5.1 座標軸設定

2次元線画の座標系は図12に示すxyz座標系のxy座標面をとる。視線方向は-z方向とする。また描かれた物体に対応して設定する3次元物体座標系XYZは同図の太線で示す座標系を用いる。これは視座標系xyzをx軸まわりに図示の方向に θ_x 、その後z軸まわりに図示の方向に θ_z 回転させたものである。

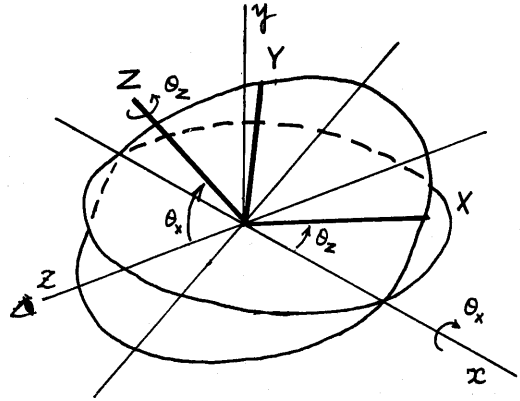


図12 視座標系と物体座標系

視方向からみたときにxy面に投影される物体座標系の各軸とx軸とのなす角を図13のように設定すれば θ_x, θ_z は次式で表わされる。

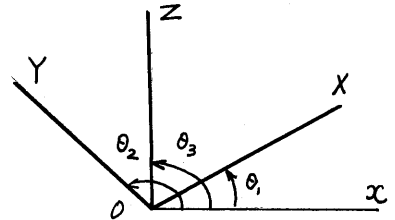


図13 視方向からみた物体座標系

$$\left. \begin{aligned} \theta_x &= \cos^{-1} \sqrt{-\tan(\theta_1 - \varphi) \tan(\theta_2 - \varphi)} \\ \theta_z &= \tan^{-1} \left(\pm \sqrt{-\frac{\tan(\theta_1 - \varphi)}{\tan(\theta_2 - \varphi)}} \right) \end{aligned} \right\} \dots (1)$$

$$z = z' \quad \varphi = \theta_3 - \frac{\pi}{2}$$

ただし $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ の満たすべき必要条件として次式を用いた。

$$\left. \begin{aligned} \frac{\pi}{2} - \delta < \theta_3 < \frac{\pi}{2} + \delta, \quad 0 < \delta \leq \delta_0, \quad \delta_0: \text{許容値} \\ 0 \leq \theta_1 < \frac{\pi}{2} \text{ ならば } & \frac{\pi}{2} \leq \theta_2 < \pi, \quad \theta_2 - \theta_1 > \frac{\pi}{2} \\ \frac{\pi}{2} \leq \theta_1 < \pi \text{ ならば } & \pi \leq \theta_2 < \frac{3}{2}\pi, \quad \theta_2 - \theta_1 < \frac{\pi}{2} \\ \pi \leq \theta_1 < \frac{3}{2}\pi \text{ ならば } & \frac{3}{2}\pi \leq \theta_2 < 2\pi, \quad \theta_2 - \theta_1 > \frac{\pi}{2} \\ \frac{3}{2}\pi \leq \theta_1 < 2\pi \text{ ならば } & 0 \leq \theta_2 < \frac{\pi}{2}, \quad \theta_2 - \theta_1 + 2\pi < \frac{\pi}{2} \end{aligned} \right\} \dots (2)$$

物体座標系から視座標系への変換マトリックスは次式を用いた。

$$M = \begin{pmatrix} \cos \theta_z & \sin \theta_z & 0 & 0 \\ -\sin \theta_z & \cos \theta_z & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_x & -\sin \theta_x & 0 \\ 0 & +\sin \theta_x & \cos \theta_x & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi & 0 & 0 \\ -\sin \varphi & \cos \varphi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \dots (3)$$

2次元座標値 (x, y) は視座標系 (x', y', z') の (x', y') 成分とし、物体座標系の座標値 (X, Y, Z) とは(3)式の変換マトリックスを用いて次式で対応づける。

$$\begin{aligned} (x' \ y' \ z' \ w') &= (X \ Y \ Z \ W) (M) \\ (x \ y \ z) &= (x' \ y' \ z') \times \frac{W}{w'} \end{aligned} \quad \left. \begin{array}{l} (W \text{は単位値}) \\ (M) \text{は変換マトリックス} \end{array} \right\} \dots(4)$$

描かれた2次元の線画に対応して、座標系が設定される。面の持つ対称性から物体空間での直角方向を推定して座標系を設定する。推定できない場合は、等角投影法で書かれたものとして、既定の座標系を設定する(図14(c))。

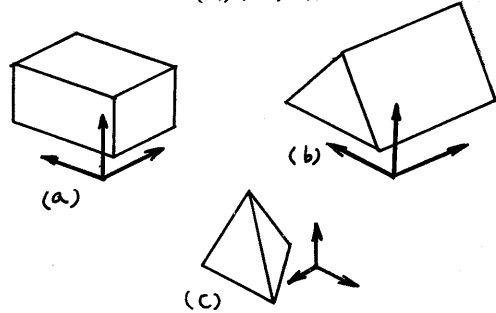


図14 物体座標系の設定例

5.2 ジオメトリ変換

2次元座標系を3次元座標系に変換するための手順は、基本的には点の座標値を3次元物体座標系

での値に変換しながら、面の方程式を求めていく方針をとっている。

3次元座標値を求めるために、システムにあらかじめ、物体に関する知識(条件)を与えている。これは次の(1)~(5)である。

- (1) 物体は基準平面(XY面)上に安定に置かれているものとする。
- (2) 同一領域内にある点(面内点と呼ぶ)は同一平面上に存在する。
- (3) 物体を構成する面は線対称形をとることが多い。
- (4) 物体は互いに垂直な面を有することが多い。
- (5) 物体は視方向に対して特殊な位置関係になく、一般的な方向である。

これらの知識を用いて行なう座標変換の手順は次のとおりである。

(ステップ1)

まず最初は、知識(1)より最下点の3次元座標値を(4)式より求める。

(4)式において既知の変数は $x, y, W, Z(=0)$ で、未知の変数は X, Y, x', y', z', w' , M で7個となり、式の数は7つだから求まることになる。

(ステップ2)

この点に接続された線の傾きが、視座標系に変換された物体座標系の座標軸に平行かどうか調べる。

平行ならば……物体座標軸と同比率で2次元座標面に投影されている(知識5)よりからこの比を利用して3次元座標値を求めることができる。

平行でないならば……この点に接続されている線のうち2本は基準平面上にある(知識1)から、 $Z=0$ として、(ステップ1)と同様に3次元座標値(3次元値と略す)を求めることができる。

(ステップ3)

すでに3次元値が既知の点在同一領域内で3つ以上あるかどうか調べる。もしあれば、それらの点在同一直線上になければ領域の平面方程式を次式で求める。その他の場合は、そのままにして次のステップへ進む

$$aX + bY + cZ + d = 0$$

ただし $a = \frac{a'}{l}, b = \frac{b'}{l}, c = \frac{c'}{l}$

$$d = -\frac{1}{n} \sum (aX_i + bY_i + cZ_i)$$

n は3次元値既知の点の個数で $X_{n+1} = X_1$ 等とする。

$$a' = \sum (Y_i - Y_{i+1})(Z_i + Z_{i+1})$$

$$b' = \sum (Z_i - Z_{i+1})(X_i + X_{i+1})$$

$$c' = \sum (X_i - X_{i+1})(Y_i + Y_{i+1})$$

$$l = \sqrt{a'^2 + b'^2 + c'^2}$$

(5)

各座標値の順序は実線の領域の場合、左回り方向にする。

(ステップ4)

再度、3次元値既知の点(変換済点と呼ぶ)に接続された線が座標軸に平行かどうか調べる。平行ならば(ステップ2)と同様にその先端の点を交換する。平行でなければそのままにする。

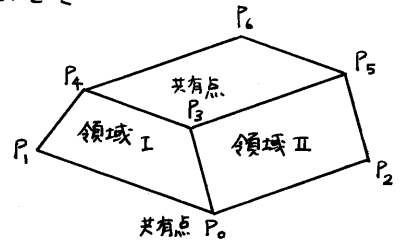
(ステップ5)

領域の平面方程式が求まっている領域のなかに3次元値の未知な点があれば、平面方程式を用いて3次元値を求める。

(ステップ6)

2つの隣接領域に対し、1つの共有点 P_0 とそれに接続された点で各々の領域に属する計3個の点 P_0, P_1, P_2 が変換済点のとき

(6-1) 2つの領域の一方が平行四辺形で他が別の多角形であるとき、知識(3)、(4)より多角形面は変換済点で構成される基準面に垂直であると判断し、多角形領域の面方程式を求め、 P_3 点を交換する。



(6-2) 2つの領域が両方も平行四辺形の場合、

知識(4)、(5)より、長い辺をもつ領域が基準面に垂直であると判断して同様に P_3 点を交換する。

図15 領域対と共有点

(6-3) 領域の一つが三角形の場合、知識(3)より、

二等辺三角形とみなし、(6)式の条件を追加して(4)式を求め、 P_3 点を交換する。

$$\left(P_2 - \frac{P_0 + P_1}{2} \right) \cdot (P_1 - P_0) = 0 \quad (P_i \text{ は点 } P_i \text{ の位置ベクトルを表わす}) \quad (6)$$

(ステップ7)

これまでのチェックでいずれの場合にもあてはまらない場合、(知識6)を用いて、視点からみた輪郭線の一部は基準面に垂直な面のなかで、その法線ベクトルと視方向ベクトルの内積の絶対値が最も大きな面に含まれると推定し、この輪郭線上の点(図15の場合 P_4 または P_5) を3次元値に変換する。

(ステップ8) くり返し(ステップ3)にもどってチェックを行なう。

5.3 追加入力後の変換

一度、3次元直に変換した後に再度入力した線画の認識も同様に、領域の抽出を行なうが、今回はすでに輪郭を登録しており、この輪郭線の方角を基準に追跡の方角と順序を先ず輪郭線に接続された線から記録してゆき、記憶し終った段階で領域抽出の追跡を開始することの方角を確認している。

6. 入力実験

2次元線画を入力して、3次元データ構造生成の実験を行なった。その結果の例を図16に示す。(a)は入力線画で(b)、(c)はそれを3次元に変換後、別の角度から見たもので、(d)は追加入力した状態を示す。(e)、(f)も同様である。左下の図は設定された物体座標系の方角と基準面を示している。

7. おわりに

一般の方角より描かれた3次元物体の投影図より3次元データの生成を行なった。複雑な図形でも少しずつ会話的に入力することができ、立体図形の入力作業を軽減させる手段に応用できると思われる。また写真からの3次元データの計測等の応用も現在検討中である。

なおこのシステムは図形エディタと他のグラフィック・パッケージとの結合用データ変換プログラムを作成中である。これによりさらに機能を大きく拡張できる予定である。

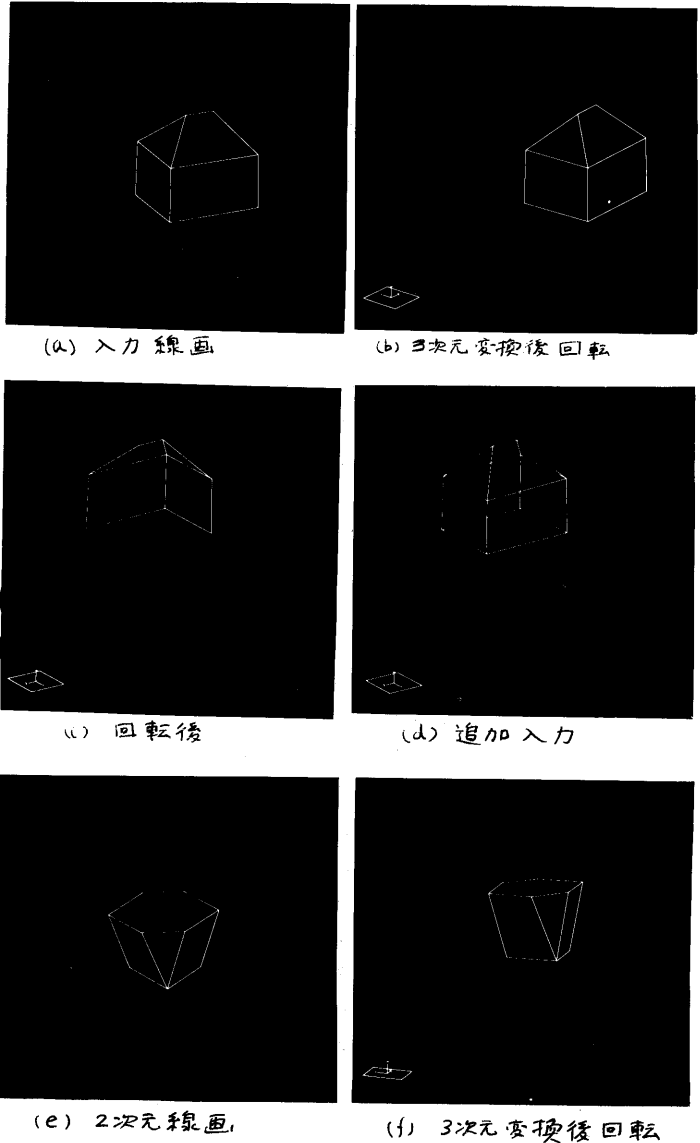


図16 2次元線画から3次元モデル生成例

8. 参考文献

- 1) T. Kanade : Recovery of the Three-Dimensional Shape of an Object from a Single view , Artificial Intelligence 17 (1981)
- 2) 穂坂衛 : 情報処理技術とCAD/CAM , 精密機械 47巻11号 (1981)