

## 曲面の形状感の表現

穂坂 衛 (東京電機大) 木村 文彦 (東大)  
田嶋 太郎 (名大) 近藤 邦雄 (名大)

### 1. まえがき

本研究の目的は、1) 輪郭や濃度変化を指示することにより、容易に濃淡付けが行なえる手法を作ること。2) 立体の形状感を人に容易に理解させるためのレンダリングルールをまとめること。3) これらの処理が可能となるソフトウェアを作ることである。

本研究の目標は、マンマシンコミュニケーションをよくするために、人が物体を容易に理解できる表現法を作り、コンピュータグラフィックスの表現能力を拡充することである。これが可能となれば、計算機内部で作られた対象の形状を人に分かりやすい表現に変換することにより、作った対象のモデルが良いか悪いかを評価できるようになる。

このような問題に対し、エンジニアリングの分野では線図と面画の手法が用いられている。線図では地形の等高線表示のように曲面を規則的な平面で切断し、そこに表われる曲線を表示する方法が用いられている。これは技術的に正確であるが曲面の形状感は表現しにくく、人は図から想像して、その感じを知覚しなければいけない。また、面画の分野では、陰影付けの方法が用いられている。この方法は物理法則に従い、現実の状態に近い図を表示するものである。これは現実の一つの状態を示すことにより、対象の形状が理解しやすくなるという考えといえる。この方法は、対象の位置、光源・視点の位置を入力すると後は設定した条件式によって陰影計算が行なわれ、濃度が決定され図が作成できる。その図に対して変更を行なうときは光源の位置・数を変えることになる。しかし、人にとって、自分の要求する図を出力するためにはどのように変更すればよいかという問題はむづかしいことである。

これに対し、芸術の分野では古くから形状を表わす方法として濃淡をつける方法が使われている。これは物の形状的性質(ふくらみ、丸みなど)を表現するもので、形状の感じはよく理解できる。これは絵画を描く人が物を表現するとき、特徴の強調や省略を行なっているか、または、経験的に曲面のパターン分類をしていて、そのパターンに合うように濃淡付けを行なっているからであると考えられる。ここでは、この芸術の分野の考えを計算機援用によって行なえるようにしようとした。つまり、人が計算機に対して各種の指示をし、特徴の強調・省略を行ない図を作っていく。そして、図が自分の考えと同じにならないときは、変更点に対してコマンド入力を行なう。このようにすることにより、考えた対象形状をよりはっきりと確認でき、図によって対象を他人に伝えることも可能となる。

これらを実現するために、濃淡図形の形状感表現のためのソフトウェアを作成した。これにより、多数の例を扱い評価を行なった。

このソフトウェアの特徴は次のようである。

1) 人が作画すべき図に対して順に操作を加えることができるので、特徴強調・省略が行なえる。

2) 2次曲面のような基本的曲面に対して、パターン分類を行なうことにより、それを利用することにより、表示・理解が容易にできる。

3) 立体形状に限らず、絵画分野のイラストへの利用も可能である。

以下、2. 形状感の表現、3. 濃淡図形の作成手順、4. 濃淡図形作画のための各種コマンド、5. レンタリングのルール、6. 各種出力例について説明する。

## 2. 濃淡図形による形状感の表現

図によって形状を示すとき、その形状感の理解を容易にするための条件としてここでは次の3つをあげる。

1) いくつかの異なる性質をもつ曲面の違いが区別できること。

2) 一つの曲面の表裏(凸凹)の区別がつくこと。

3) 一つの画面に複数の立体があるとき、それらが区別できること。

これらの条件が満たされたとき、その図のことを、

理解の容易な図、分りやすい図ということにする。

図1は線図であり、A・B部分の内部は、何も表現されていない。この図に対して濃淡をつけた例が

図2である。(1)では穴にみえるが、(2)では円すいのようなものが感じとれる。(4)ではB部が平面でないように見えてしまい、凸凹のどちらにでも受けとることかできる。これらのことから、

濃淡をつけることにより、線図のあいまい性をなくすことが可能であること、濃淡付けの方法をまちがうと異なる形状に受けとられることが分かる。

図3は、平面からなる立体の投影図である。この線図からは凸凹のどちらにでも受けとれる。これに濃淡をつけて表裏を区別しようとしたものが(1)、(2)である。

物体は一つで形状的性質は変化しないが見る方向によって凸凹の違いが生じる。ここでは、人の経験から光が上方から来ることを想定し、光が当たる面を明るくした。このように濃淡をつけることにより、凸凹の区別をつけることができる。

いくつかの立体を区別することは一つの投影図による線図・面画表現ではむづかしい。シンボルとして境界線をはっきり示すが、立体視図のように奥行きを区別がつくものを利用するとよい。

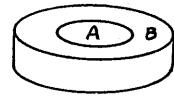


図1 線図

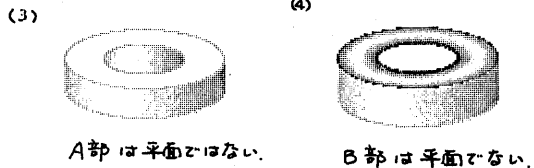
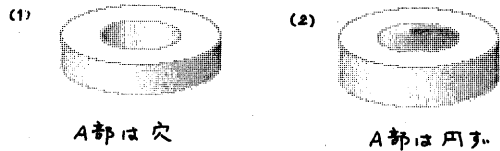


図2 濃淡付けの例

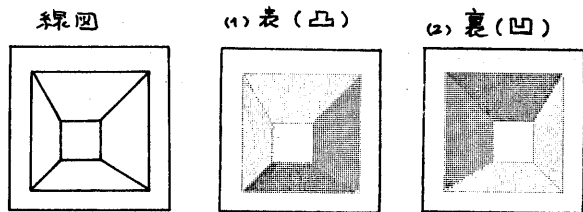


図3 表裏の区別

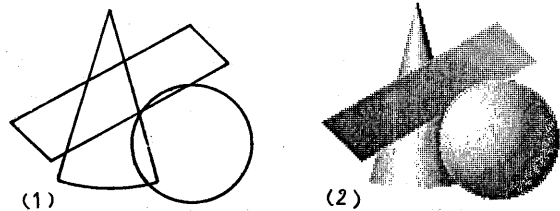


図4 複数の立体表示

### 3. 濃淡図形作画の手順

濃淡図形を計算機内部に作成するためのソフトウェアの構成を図5に示す。濃淡図形を作画するために人は各種のコマンドを入力するようになっている。したがって、処理の途中で図を出力することもできる。作画にあたり、人はプログラム内部の処理方法はほとんど知らなくて良く描きたい図だけを考えて、作業を進めていくことができる。

濃淡図形作画の手順は現在のところ、次のようである。

描きたい図形の輪郭・濃淡付け範囲をタブレットにより入力しファイルに保存する。このとき、各面には番号が付けられる。次に1つの面に対し、濃淡の選定を行ない、どんな濃淡分布にするかを指定する。さらに、その濃度をどんな範囲につけるかを面の番号を入力することにより決定する。このとき、面が基本的曲面であれば、上記の入力より少し少ない入力で作画できる。さらに同じものをいくつもかきたいときは、図形の変換を指示することにより可能となる。このようなことを繰り返し行なうことにより、濃淡図形を作画することができる。これらのデータは作業領域内に生成され、コマンドによって計算機内部のファイルに保存され、後に修正・追加が行なえるようになっている。このようにして作画した例を図6に示す。

以上で、ソフトウェアと作画手順のあらましを述べた。このソフトウェアは、現在名古屋大学大型計算機センタ富士通M-200のTSS上で稼働している。

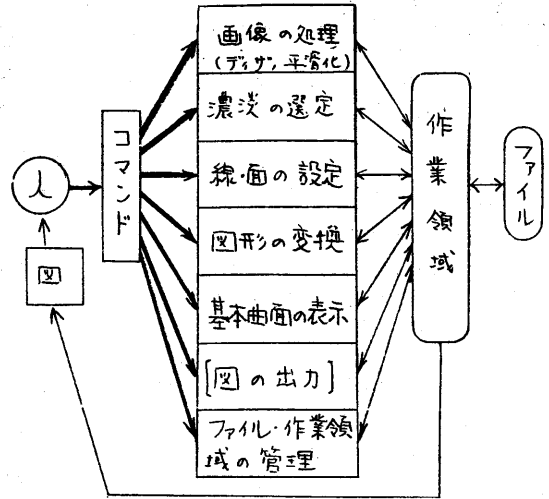


図5 ソフトウェアの構成とその使用法

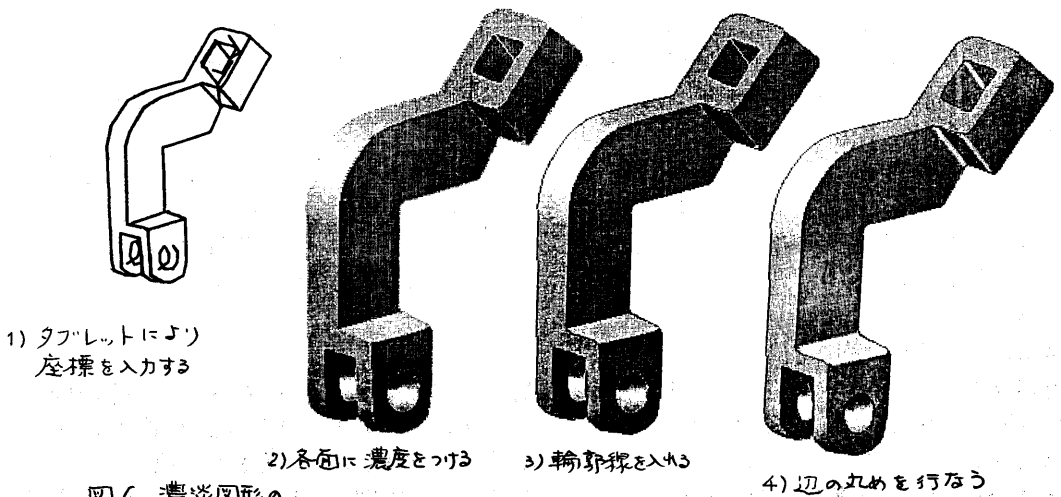


図6 濃淡図形の作画手順

## 4. 濃淡図形作画のコマンド

### 4.1 画像の処理

画像の平滑化やディザ法による擬似高階調表示を行なう。ここではディザ法について説明する。入力濃度レベルが装置レベルよりずっと高い階調をもつとき、それを単純に分割し等濃度表現すると図7のようになる。各階調の変化する部分において偽のりんかくができ、マッハ効果によりなめらかな濃淡変化が得られない。これを解決するために乱数ディザ法を用いた。入力レベルを装置レベル  $N-1$  で分け、ある1つの入力値に対して、乱数値と比較しその大小によって、 $n$ か $n+1$ の値をその入力値に対する濃度とした。

これによって、小さな範囲を見たとき、擬似的に高い階調が表現されることになる。図8は図7と同じ入力値に対して乱数ディザ法を用いた例である。本ソフトウェアの内部ではディザ処理を行なうコマンドを入力することにより、描きたい部分に対して、各画素ごとに順にディザ処理を行なうので、図の輪郭がぼけることはない。本報告の濃淡出力例は、10階調表示可能なレーザプリンタと16階調表示可能な日本無線NWX-220を用いて作画した。

### 4.2 濃淡の選定

濃淡の変化を作り出すために、ここでは図9に示すような濃淡分布曲線の種類とそれらの合成を考えた。曲線のどのような変化の部分を使用するかという範囲のデータとそれをどのような濃度値のところへ設定するかという2種のデータを入力することにより、濃淡変化が決定できる。No.1~No.6は簡単な数式で表わされるものであり、これらによってかたりの変化を作り出すことができる。これらで表わせないときは、No.7のBezier曲線を用いることにより複雑な変化も表現できる。これらの濃度は線分にも面分にも与えることができるので、これらの合成を行なうことにより、さらに各種の濃淡変化を行なうことが可能である。No.8の例は線分に放物線、面分に円弧を与え、その平均値を濃度として表示したものである。

### 4.3 濃淡付けの線・面の設定

基本的操作として図10に示すものを用意した。設定法としては、平行移動、回転、拡大、縮小、中間写像、マフクがあげられる。また、線分も用意されていて、濃度を付けることができる。これらは、線分にも面分にも濃度を与えることができるため、同じ回転の操作を行なって異なる種類の図を作ることができる。

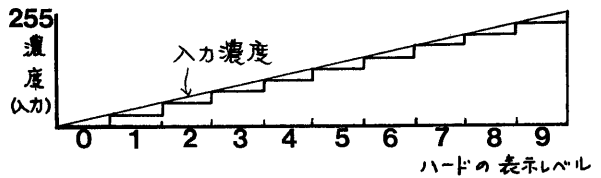
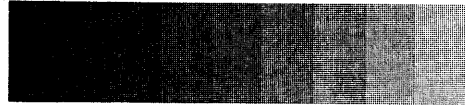


図7 等濃度表示

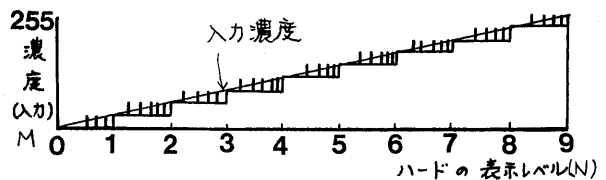
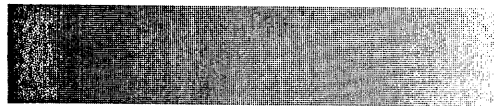


図8 乱数ディザ法

濃度分布曲線の種類

入力-9: No, ks, kf, ls, lf

| No.1 直線  | No.2 放物線             | No.3 円弧       | No.4 高次曲線  |
|----------|----------------------|---------------|------------|
|          |                      |               |            |
|          |                      |               |            |
| No.5 直線2 | No.6 放物線2            | No.7 Bezier曲線 | No.8 曲線の合成 |
|          | $f=y^2$<br>$c=3$<br> |               |            |
|          |                      |               |            |

図 9

濃度を付ける範囲の決定法

|       | 平行移動  | 回転  | 拡大・縮小                             | 中間写像                             | マスク                           | 線分                   |
|-------|---|---|-----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------------|
| 入力データ | 移動量 $\Delta x, \Delta y$<br>線分の座標 $P_m(x, y)$ | 回転角度 $\theta$<br>回転中心 $Cx, Cy$<br>線分の座標 $P_m(x, y)$ | 倍率 $scal$<br>線分・図形の座標 $P_m(x, y)$ | 2線分の座標数<br>$N$<br>$P_{1n}(x, y)$ | マスクの座標数<br>$N$<br>$P_n(x, y)$ | 線分の座標<br>$P_m(x, y)$ |
| 説明図   |   |   |                                   |                                  |                               |                      |
| 例 1   |   |   |                                   |                                  |                               |                      |
| 例 2   |   |   |                                   |                                  |                               |                      |

図 10

#### 4.4 図形の変換

作成した一つの図を一つの画面のいろいろな場所に配置するためのものである。平行移動・回転・鏡映変換・縮小が行なえる。これらを用いることにより、容易にいくつもの図形を作画することが出来る。

#### 4.5 基本曲面の表示

人がよく知っている曲面に対し、濃淡付けや範囲決定を順に行なえるようにし入力を楽にした。さらに、これらのパターンは後述のように人の経験的パターン分類を重視しており、人のパターンに合うように濃淡付けされる。これらの種類として、平面、球、円柱、円錐、さらにだ円放物面、一様双曲面がある。

#### 4.6 ファイル・作業領域の管理

コマンド入力手順の呼び出し、画像データのフリア、保存、呼び出しを行なう。また、2つの画像データの重ね合せも行なうことができる。

### 5. レンタリングルール

#### 5.1 濃淡付けのルール

- 1) 実際に見える濃淡をすこし誇張して付けるとよい。図11の写真では濃淡変化は少ないが、イラスト図は図12のようになる。
- 2) 濃淡の変化は曲面の曲率に比例させるとよい。曲率大のときは大きな変化、曲率小のところでは小さな変化にする。
- 3) 明るく変化のない部分や影となり一様な暗さでも、形状が変化しているときは濃淡変化をつけるとよい。
- 4) 曲面のなめらかな変化を示すときは、濃淡にあらを作るとはいけない。

#### 5.2 基本的曲面のパターン化

ここでは人に対して曲面が凸であるか凹であるかという程度の区別をつける濃淡パターンの表示について説明する。どういった濃淡をつけたら球やだ球に見えるかという量的な濃淡変化の付け方は

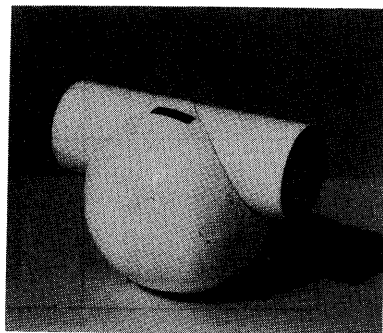


図 11 モデル

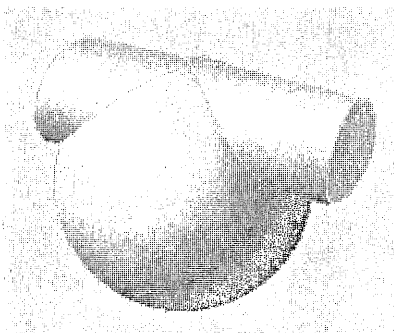
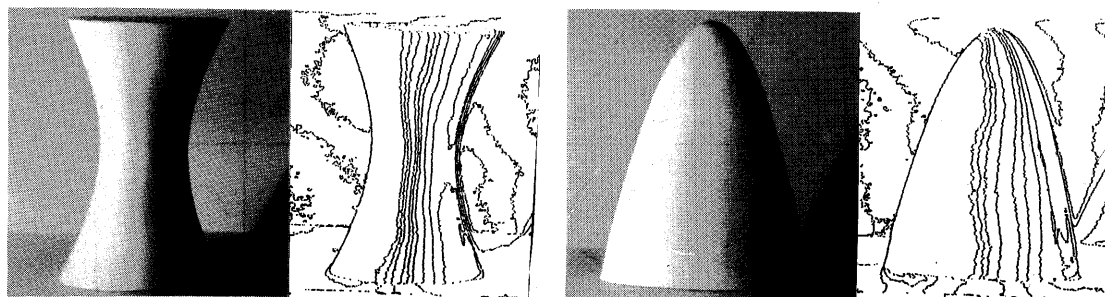


図 12 イラスト図



a) 一葉双曲面

b) だ円放物面

図 13 写真と等濃度線図

さらに考察が必要であり、別の機会に報告したい。

ここでは、パターン化するために、1) 写真から等濃度線表示図を作成し、濃淡の変化を調べる。2) 曲面モデルをもとにいくつかの濃淡図をかいて分類する。この2つを行ない、それらの共通点を見い出した。これを図14に示す。図13の例と濃淡変化は異なるが分布のパターンはたて方向で同じようである。このパターンにより、凸、凹曲面が分る。このとき、濃淡変化の違いにより、ふくらみの感じが異なってくる。

### 6. 出力例

図15は線画とそれをもとに作成した面画である。線画に留意点を記入した。

図16には、鉛筆による濃淡図とプリンタによる出力図を示す。図17はイラスト図、図18は透視画に人が点景を加えたものである。


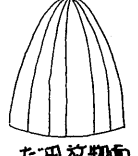
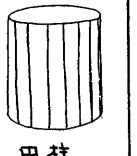
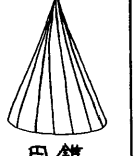
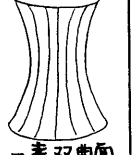

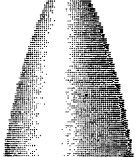
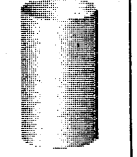
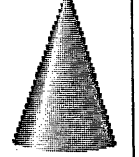
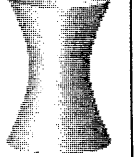
|      | 凸凸   | 凸0  | 凸凹  |  |  |
|------|--|---|---|--|--|
| パターン | <br>球 | <br>た円穹面 | <br>円柱 | <br>円錐 | <br>一帯双曲面 |
| 出力図  |       |          |        |        |           |

図14 パターンと出力図

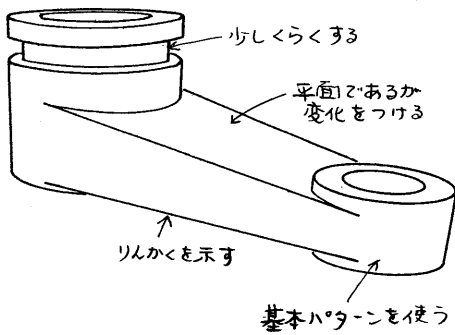
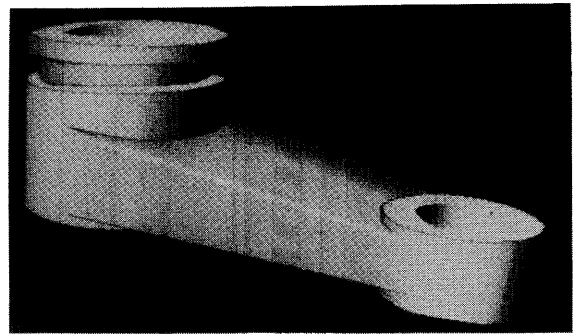


図15 線画と面画



(NW-X-220出力)

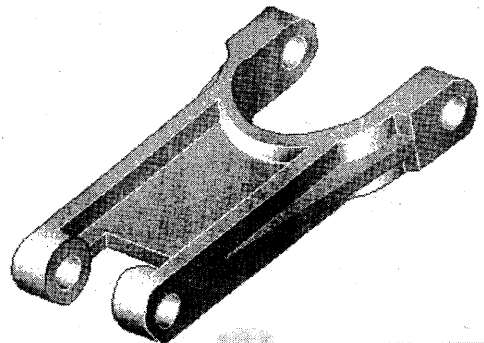
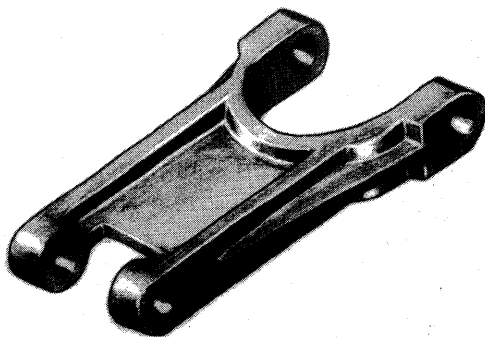


図16 鉛筆による濃淡図とプリンタ出力図

(レーザープリンタ出力)

## 7. まとめ

本研究により、濃淡付けの基本的ソフトウェアを作成することができた。今後は、1)これらの道具を用いて、より理解を容易にするレンダリングルールを作成すること。2)濃淡付けと形状との関係を明らかにし、より高いレベルの理解ができるような表現法を考えていく予定である。

## 謝辞

本研究の中でデザイン法に関し、名古屋大学杉原厚吉助教授に御指導を賜りました。



図17 イラスト例  
(下部はわざとデザイン処理を行っていない)

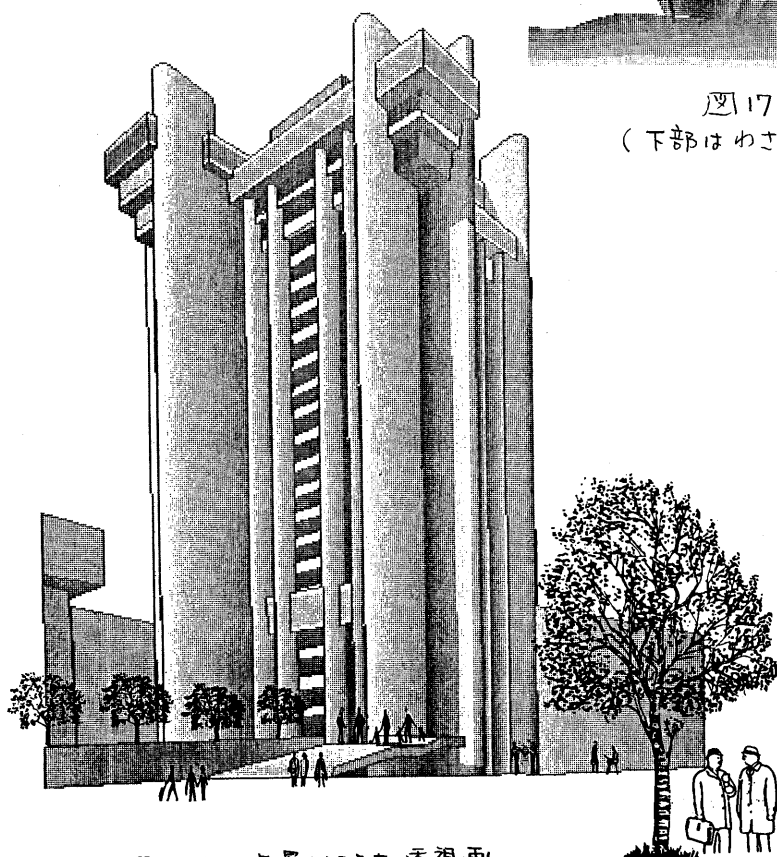


図18 人が点景を加えた透視画

## 参考文献

1. 穂坂・木村  
機械設計自動化のための  
幾何モデル生成システム  
機論 44巻 378号
2. 穂坂・木村・田嶋・近藤  
曲面の形状感の表現  
56年精機・秋期大会
3. 穂坂・木村・田嶋・近藤  
曲面の形状感の表現  
57年精機・秋期大会