

## レンダリングのための対話型透視図作図手法†

近藤 邦雄<sup>††</sup> 木村 文彦<sup>†††</sup> 田嶋 太郎<sup>††††</sup>

本論文の目的はフリーハンドで3次元形状を表現するための対話的技法を開発し、容易に意図した透視図作画できるようにすることである。画法幾何学で以前より提案されている透視図作図法は作画条件を与えてから透視図を描く方法であり、意図に合った図が得られるかどうか予想が難しかった。また、計算機を利用した透視変換では意図にあった図を作画するために、データの変更を試行錯誤で行わなければならなかった。本研究では5本の直方体の稜線を骨格と呼び、この骨格をフリーハンドで描き、これを利用した作画法により、物体の透視図を作画する。この方法によれば、透視表現された図の中に初めに作画したフリーハンド骨格が残るため意図した図を作画できる。これを実現するために、本論文では3つの消点を計算する方法、および、作画法を自動化し、意図した図を得るための入力方法を考案し、形状の定義、表現作画技法をまとめ PERS システムを構築した。そして、骨格法によって作画した3点透視図をもとに、CARP レンダリングシステムで濃淡付けを行い、透視画とする作画実験を行った。この結果、3次元形状を意図した図として作画するために、骨格法および、画法幾何学の作図手法を計算機処理で実現した基本作画技法、PERS システムが有効であることを確かめた。

## 1. 緒言

本論文の目的はフリーハンドで3次元形状を表現するための対話的技法を開発し、容易に意図した透視図作画できるようにすることである。

透視図は3次元形状の直感的理解を助けるものであり、多くの分野でプレゼンテーションとして利用されている。日常、われわれがものを意図した図として表現するとき、フリーハンドで自由に描き、正確な図法を適用することは少ない。この場合、誤った図を描く可能性もあるが、イメージを2次元上に自由に表現できるという長所がある。このような作画では作画条件が与えられるのではなく、作画する人が透視図作画の条件を規定しながら図を描いているのである。このとき、人は描かれたものをみて、次の作画を行いながら思考を展開する。ここでは、意図したものが表現されているかどうかという情報交換が人と図の間で行われている。このために、作画法は人の創造的活動の思考にあったものが必要になる。

画法幾何学で以前より提案されている透視図作図法は作画条件を与えてから透視図を描く方法であり、意図に合った図が得られるかどうか予想が難しかった。

また、作画面積を多く必要とすることや、基本的な作画手法を繰り返し利用する必要があり作画時間が多くかかること、作図による不正確性などの問題点が上げられていた。

一方、計算機を利用した透視変換では立体形状データを視点などの変換データを与えることにより、任意の位置から見た図を作ることができる。しかし、この方法では意図した図を直接描くというのではなく、計算結果として図が与えられ、それをみて自分の希望にあっていくかどうかを判断するのである。このために、意図にあった図を作画するために、データの変更を試行錯誤で行わなければならなかった。

これに対して、永田が提案した骨格法<sup>1),2)</sup>は人の意図した2点透視図を直接描くために提案されたものである。5本の直方体の稜線を骨格と呼び、この5本の作画をフリーハンドで描き、この骨格を利用した作画法を用いて、物体の透視図を作画するものである。この方法によれば、透視表現された図の中に初めに作画したフリーハンド骨格が残るため意図した図を作画できる。

この長所を生かしつつ、計算機が正確な図法に従って変換してくれたり、作図の補助を行うことができれば、フリーハンド作画の不正確さを補い、意図した図を作画できるという長所を生かした作画法が確立できると考える。筆者らは以前より作画システム CARP<sup>3)</sup>を作成し、人の意図する図を容易に作画できるようにしてきた。ここでは、人手で透視図の下図を用意する方法と3次元形状データを変換して透視図を得る方法

† A Perspective Drawing for Interactive Rendering by KUNIO KONDO (Department of Electronics, Tokyo Institute of Polytechnics), FUMIHIKO KIMURA (Department of Precision Machinery Engineering, Faculty of Engineering, The University of Tokyo) and TARO TAJIMA (Faculty of Engineering, Cyubu University).

†† 東京工芸大学工学部電子工学科

††† 東京大学工学部精密機械工学科

†††† 中部大学工学部

と結合し、立体表現を行ってきた<sup>4),5)</sup>。しかし、3次元形状を意図した図として描くためには不十分であった。そこで筆者らは骨格法を応用して、計算機を用いて3次元形状の表現を行うことにした。これらの骨格をフリーハンドで描き、3つの消点を計算する方法、および、作画法を自動化し、意図した図を得るための入力方法を考案し、形状の定義、表現作画技法をまとめた。そして、骨格法によって作画した3点透視図をもとに、CARPで濃淡付けを行い<sup>6)</sup>、透視図とする作画実験を行った。

この結果、3次元形状を意図した図として作画するために、骨格法および、画法幾何学の作図手法を計算機処理で実現した基本作画技法が有効であることを確かめた。

以下、2章では基本作画方法と基本立体の骨格、および入力法、3章では、立体形状の構成と表現法、作画自動化のためのアルゴリズムについて述べる。これをもとにCARPと接続した作画システムを4章で、そして、5章で作画実験について述べる。

## 2. 骨格法による消点決定

### 2.1 透視図の作画

透視図を作画するための一般的手順は、図学の教科書<sup>7)</sup>に見られるようによく知られている。ここではこれらの作画手順を利用する前の段階の作画法を考察する。このためにデザイナーに作画を依頼した。その例が図1である。四角いカップを描くという指示によって、これらの図は描かれた。これらを見ると大ワクは

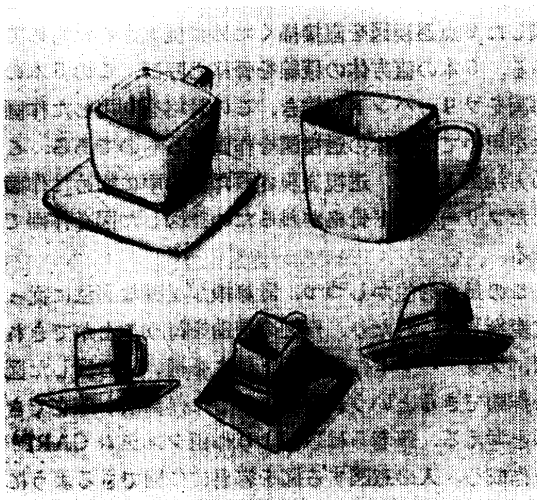


図1 フリーハンドによる透視図作画  
Fig. 1 Perspective drawing by freehand.

定規を用いて描かれ、詳細部はフリーハンドで描かれている。また、陰影は感覚によって描かれている。

このような作画手順は学習活動により、受け継がれると考えてよい。したがって、この方式から大きくはずれることは好ましくない。フリーハンドによる作画では人の能力により、誤ったものを描いてしまう恐れも大きい。その欠点を解決する方法として、骨格法は有効であると考えられる。

### 2.2 骨格法

骨格法を用いれば、意図した図を得ることができるだけでなく、作画面積を有効に利用できる。骨格法によって作画条件が規定されるため、その条件に従って基本作画方法を用いるものである。

3次元空間内の平行線が透視図上で一点に交わる点を消点という。図2において、線分A, A', 線分B, B', 線分C, C'が各軸に平行であるとすれば、3つの消点はV1, V2, V3となる。このような6本の線分を入力して消点を決めることは透視図の作画のためにはできあがる透視図の形の予想がつきにくいため適当な方法とはいえない。このために図3に示すような骨格入力の方法が提案されている。骨格とは、直交3軸である線分AB, BD, BEの3本と3次元空間内で線

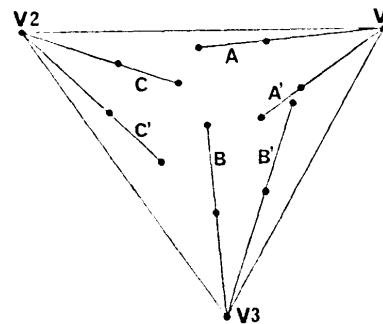


図2 6本の線分と消点  
Fig. 2 Six lines and three vanishing points.

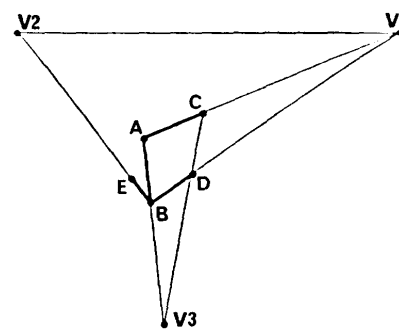


図3 骨格と消点  
Fig. 3 Calculation of perspective frame.

分 AB に直交し、線分 BD に平行で等しい長さの線分 AC を加えた太い線分で示されたものをいう。この骨格をもとに、2つの消点は画面上で水平線上にあると仮定し、4本の線と2つの頂点を結ぶ線分、水平線の合計6本から3つの消点を決めることができる。ただし、人が入力するデータは骨格の4本の線分だけでよい。この骨格は透視図の構図を平面上で決定できるものであり、3次元データを必要としない。

2.3 消点の求め方

骨格が与えられたときの消点を求める手順は次のようである。

- 1) 3次元で平行である2辺 AC, BD の交点を求める。これが第一の消点 V1 である。
- 2) この消点より水平線（地平線）を考え、辺 BE と水平線の交点を求める。これが第2の消点 V2 である。
- 3) 第3の消点 V3 は線分 AB と CD の交点によって求めることができる。ここで線分 AB, CD の長さは3次元空間内で等しい。

従来の消点を利用した方法では、作画面積に対して非常に大きな紙面を必要とする。計算機を用いる場合は、作画する画面の中におく必要はなく、3消点の座標値を利用することができる。このため、画面を有効に利用できるだけでなく、今まで提案されてきた各種の作画方法を自動化することにより、作画時間の短縮、作画の正確性が実現される。次に、意図した透視図を作画するための入力方法と3消点をもとにした作画方法の自動化について述べる。

3. 基本作画手法と入力方法

透視図法で用いられている手法は初等解析幾何学の演算で置き換えることが可能であり、意図した図を描くために、対角線の消点の計算、だ円の作画と角度分割、内挿、外挿、回転、鏡像、影付けの数種の作画法を用いる。以下ではこれらの作画方法について述べる。

3.1 対角線の消点と正方形

正方形の作画は円柱や円錐、および回転角度を求めするためのだ円の作画に重要なものである。

〈計算手順〉(図4)

- 1) 2点 (A, B) を入力し、線分 AB と線分 A・V1 を通り、線分 V1・V2 に平行な線分 CD を引く。この線分は任意の位置に取ることができる。直径 CD の円と、点Aを通り線分 CD に対する垂線との交点E

を求める。

- 2) 線分 DE と45度で交わる線分と線分 CD との交点Fを求める。ここで、線分 AF と水平線 V1・V2 の交点に対角線の消点となる。

- 3) 線分 AB を正方形の一辺と考えると、線分 B・V1 と線分 AF の交点Gが求められる。さらに線分 G・V2 と線分 A・V1 の交点として点Hが決定できる。これによって、正方形 ABGH の透視図が得られる。

3.2 だ円の作画と角度分割

だ円を描くための入力方法は半径を入力する方法と正方形の一辺を入力する方法がある。半径を入力する方法では半径をもとに外接する正方形が計算される。したがって、ここでは正方形の透視図を不等辺四角形と考え、これに内接するだ円を求める方法を示す。

〈計算手順〉

- 1) 入力した半径から求めた不等辺四角形 ABCD か

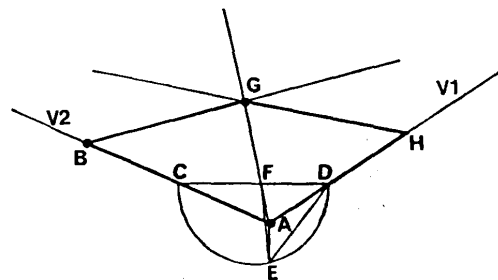
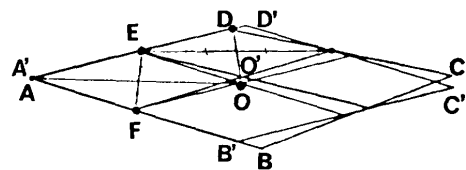
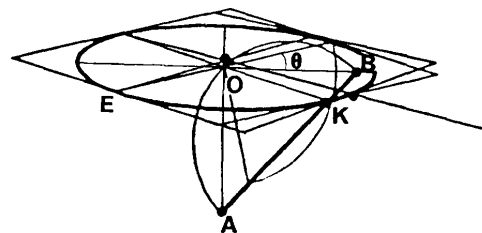


図4 対角線の消点と正方形  
Fig. 4 Vanishing points of a diagonal line.



(a) 平行四辺形の作画



(b) 共役直径の求め方

図5 だ円の作画  
Fig. 5 Drawing of an ellipse.

- (a) Parallelogram.
- (b) Drawing of axis.

- ら、図 5(a) に示すように平行四辺形を求める。まず、四角形 ABCD の対角線より、交点  $O'$  を求める。
- 2) 点  $O'$  を通り消点で収束する直線を探し、それらの線分で四角形 ABCD を 4 分割する。
  - 3) 分割した四角形の対角線を 2 等分し、その 2 等分点と点 A, D を結ぶ線分をつくり、その交点を  $O$  とする。
  - 4) 点 E, F より点  $O$  を通る線分を作り、これらの線分に対して平行線を作ることによって、線分  $A'B'$ ,  $D'C'$ ,  $A'D'$ ,  $B'C'$  が決定できる。これによって、平行四辺形が求められる (文献 2), p. 61).
  - 5) 平行四辺形からだ円の共役直径 KA, KB を Rytz の方法によって求める。
  - 6)  $O$  を中心とし、長軸 KA, 短軸 KB のだ円を角度  $\theta$  だけ回転する (図 5 (b)).

角度分割は図 6 に示す方法によって可能となる。外接正方形とだ円の接点を 0 度, 90 度, 180 度, 270 度とし、水平線と視心からの垂直線との交点と接点を結ぶ線を作り、参考円の直径との交点を求める。この点からつくる鉛直線と参考円の交点が 0 度となる。また、この逆の操作を行うことによって、だ円上の任意の点の回転角度も求めることができる。さらに、回転角度を与えた場合のだ円上の点も計算できる。

3.3 内挿, 外挿技法

3次元空間内で等しい長さを透視図として表現するときには、以下に示す内挿・外挿法は有効である。与えられた線分に対する割合を入力することによって、各辺の内部の点や延長した点を求めることが可能である。ここでは長方形 ABCD が与えられたとき、これを 3次元空間内で辺 BC に接続する同じ大きさの長方形を求める手順を図 7 に示す。

〈計算手順〉

- 1) 線分 DC に平行な線を点 A を通るように設定し、

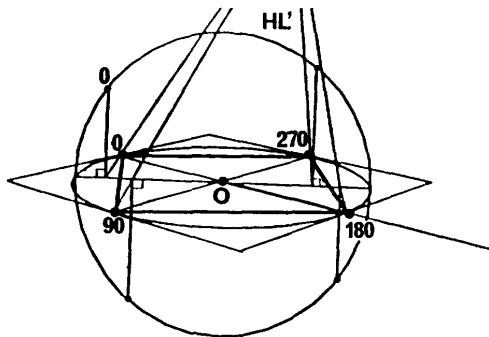


図 6 角度分割  
Fig. 6 Division of an angle.

- この平行線と線分 DB の交点 E を求める。
- 2) 線分 AE 上に線分 AE と同じ長さを点 E からとり、点 F とする。
  - 3) 線分 FD と線分 AB の交点を G とする。
  - 4) 線分  $V_2 \cdot G$  と線分 DC の交点を H とする。これによって長方形 BGHC が決定される。
- このような操作を他の辺でも繰り返すことによって、直方体のコピー、分割が可能となる。

3.4 回転手法

回転した物体を描くとき、回転角度を与える方法と任意方向を描く方法の 2 種類がある。角度が与えられた場合、その角度が示す方向を求めることは前述の角度計算によって可能である。ここでは、方向を与え、回転後の軸を求める方法を示す。

- 1) 図 8 に示すような線分 AB を回転方向として入力する。
- 2) 線分 AB と線分  $V_2 \cdot V_3$  の交点を求める。これが回転した消点  $V_2'$  である。
- 3) 線分  $V_1 \cdot V_2'$  から視心を通る垂直線を決定し、

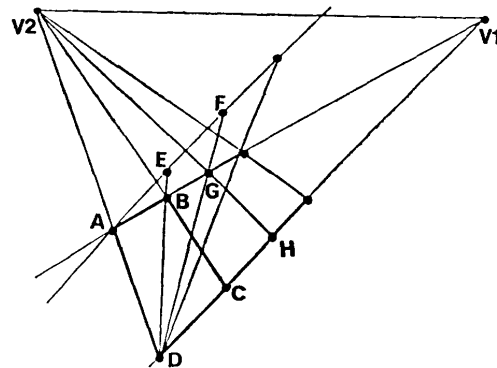


図 7 内挿・外挿の方法  
Fig. 7 Interpolation method.

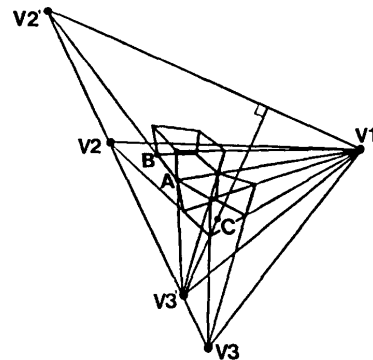


図 8 回転の方法  
Fig. 8 Revolution method.

この線分と線分  $V2 \cdot V3$  の交点を  $V3'$  とする。

4) 消点  $V1, V2', V3'$  は回転後の消点である。これをもとに透視図上で、立体の頂点座標を入力することができる。

### 3.5 鏡像作画法

鏡像法は対象物を構成するとき、および、鏡に映ったものや池に映ったものを表現するために重要である。鏡像を作るためには面の向きとその位置が必要である。面の方向を選択し、位置を画面上で入力することによって、点Bの鏡像点Cを得る手順を図9に示す。

〈計算手順〉

- 1) 点Aを与えることによって点Aを通る水平線Lを引く。
- 2) 測点S (文献2), p. 18) と点Bを結ぶ線分をSBとし、この線分SBと水平線の交点を  $B'$  とする。
- 3) 水平線上で点Aを基準にして対称に点  $C'$  をとる。
- 4) 点  $C'$  と測点Sを結び、線分  $V1 \cdot A$  と線分  $SC'$  の交点Cを求める。この点Cが点Bの鏡像である。

### 3.6 影付けの技法

影は対象の位置や姿勢を感覚的に理解させるために大切なもので、自然な感じを与えるものとして有効である。意図する影付けを行うためには影の形を直接示すことである。つまり、光源の位置を与えるのではなく、影のできる部分を示すことである。したがって、与えた影の一部の情報より光源の位置と影の消点を見つける手順によって、影の作画を行った。

〈計算手順〉 (図10)

- 1) 影の方向を示す一辺BCを入力し、水平線  $V1 \cdot V2$  との交点Sを求める。この点Sが影の消点である。
- 2) 与えた直方体の頂点Aと点Cを結ぶ線分を延長し、線分  $S \cdot V3$  との交点Oを求める。この点が光源

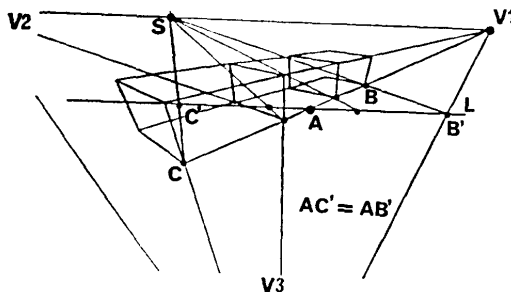


図9 鏡像の作画方法

Fig. 9 Mirror method by point input.

の位置である。

3) 点Oと立体の各頂点を結ぶ線分、および、点Sと立体の平面図上の各頂点を結ぶ線分との交点を繰り返して求めることにより、影の形状を得ることができる。

## 4. 立体図形の作画

ここで扱う図形と入力データを図11に示す。図の丸い点が入力点である。この点はタブレットから直接2次元データとして入力される。

- 1) 立方体：一辺の長さ (2点入力), 2) 直方体：3辺の長さ (4点入力), 3) 円柱：中心と軸方向の長さ、高さ (3点入力), 4) 円錐：中心と軸方向の半径の長さ、高さ (3点入力), 5) 円錐台：上面、底面の半径 (4点入力), 6) 正多角柱：正多角形を囲む円の半径と高さ (3点入力), 7) 正多角錐：正多角形を囲む円の半径と高さ (3点入力), 8) 正多角錐台：正多角形を囲む円の半径と上面の半径 (4点入力), 9) 柱体：底辺の座標と中心、高さ (座標  $n+1$  点入力), 10) 多角錐：底面の座標と高さ (座標  $n+1$  点入力)

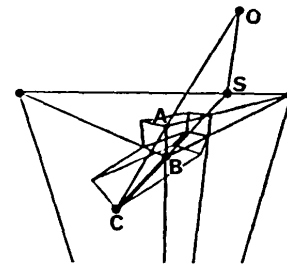


図10 影付けの方法

Fig. 10 Shadowing method by direction input.

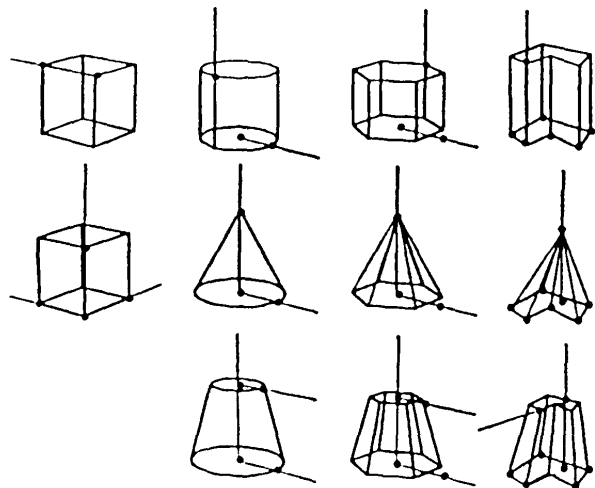


図11 基本立体の入力と作図例

Fig. 11 Input data of 3-D shapes and examples.

( $n+2$  点入力), 11) 多角錐台: 底面の座標と中心, 高さ, 上面の1点 ( $n+3$  点入力) である.

点を入力するとき, 高さ方向や半径方向の補助線を表示することにより, 形を容易に決定できる. さらに, 底面の向きを選択することによって, 立体の向きを決定できる.

### 5. 透視図作画システムによる作画実験

図12に透視図作画部とCARPレンダリングシステムの関係を示す. 前述した透視図作画機能を利用して, 面を定義し, それらを線画ファイルに保存するとともに, CARPの機能を用いて濃淡付けができるようになっている.

図13~15は手描き透視図の手法によって作画した線図の例である. 基本立体作画機能, コピー, 回転を用いて作画したものである. これらの線図を描く人の作業時間は5分から15分である. 図13は立方体をコピー機能によって上下左右の方向に配置した例であ

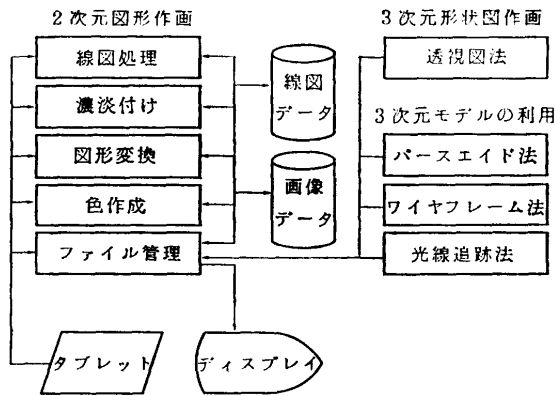


図12 透視図作画部とレンダリングシステム  
Fig. 12 Rendering system and perspective drawing parts.

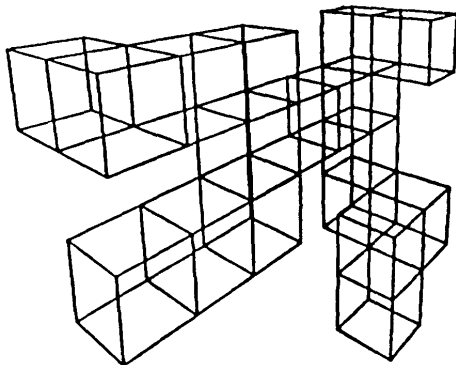


図13 コピー機能を用いた作画例  
Fig. 13 Example using copy method.

る. 方向を指示するメニューを選ぶだけでコピーが可能のため, 立体の構成を図を見ながら行うことができる. 図14は回転機能を用いたものである. 三つの大きな直方体は回転した位置にある. ここではこれらの配置を空間的に決定せず, 直接図の中へ方向を示した. 図15は分割機能を用いて作画した例である.

図16(a), (b)は濃淡図形の例である. これらを作画する時間は線図で約20分, 濃淡付けに約30分から1時間程度である. 図16(a)は多数の直方体を用いてディスプレイの外觀図を描いたものである. 図16(b)は室内の様子を表現したもので, 線図では詳細な部分は表現せず, 濃淡付けを行うときに追加した. このような濃淡図を作画することは物理的演算では難しいものである. 図17は透視図の修正例である. 図17(a)はスキャナ入力したもので, この図の6本の平行線から消点を求め, 3か所へ図形を追加したものが図17(b)である.

### 6. 結 言

本研究では, 骨格法を用いて透視図を作画するための基礎作画法を自動化した. これらの手法は人手で作

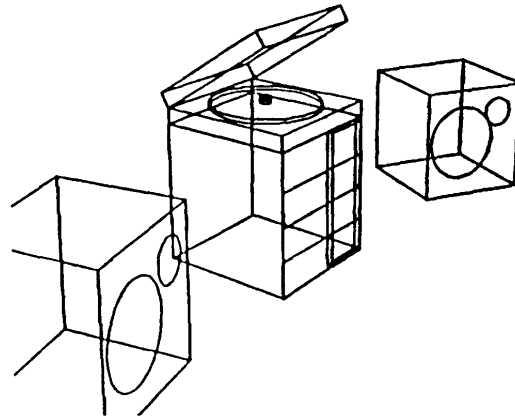


図14 回転機能を用いた作画例  
Fig. 14 Example using revolution method.

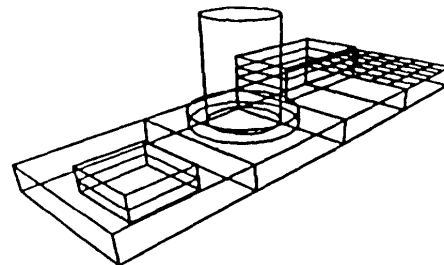
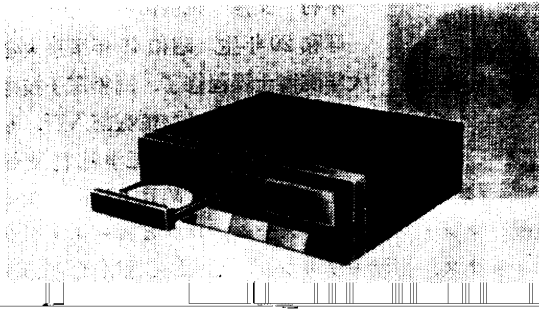


図15 内挿を用いた作画例  
Fig. 15 Example using interpolation method.



(1985. 9).

- 5) 近藤, 木村, 田嶋: インタラクティブレンダリングシステムによる3次元形状の表現, 情報処理, Vol. 26, No. 11, pp. 1401-1408 (1985).
- 6) 近藤, 木村, 田嶋: レンダリングのための濃淡表現アルゴリズム, 図学研究, No. 39, pp. 15-20 (1986).
- 7) 大久保: 詳説第1角法図学, 日刊工業新聞社, 東京 (1971).

(昭和62年7月30日受付)  
(昭和63年6月24日採録)

**近藤 邦雄 (正会員)**

昭和29年生. 昭和53年名古屋工業大学第II部機械工学科卒業. 昭和63年東京大学工学博士. 昭和48年より名古屋大学教養部図学教室勤務. 昭和63年より, 東京工芸大学工学部電子工学科講師. コンピュータグラフィックス, マンマシンシステムの研究に従事. 著書「モダングラフィックス」. 日本図学会, 精密工学会, 日本設計製図学会などの各会員.

**木村 文彦 (正会員)**

昭和20年生. 昭和49年東京大学大学院博士課程修了. 同年電子技術総合研究所パターン情報部入所. 昭和54年より東京大学工学部精密機械工学科助教授. 昭和62年より同教授. マン・マシン・システム, コンピュータ・グラフィックス, 形状モデリング, CAD/CAMなどの研究に従事. 工学博士. IFIP-WG 5.2-5.2-5.3 委員. 精密工学会, 日本機械学会などの各会員.

**田嶋 太郎 (正会員)**

大正12年生. 昭和20年東京大学工学部卒業. 工学博士. 昭和38年より名古屋大学教養部図学教室, 助教授・教授. 昭和62年より中部大学教授. コンピュータ図学, 設計製図などの研究に従事. 「自動製図システム」, 「コンピュータ図学」, 「モダングラフィックス」ほか数編の著書. 日本図学会, 日本設計製図学会各会員.