

レンダリングのための対話型透視図作図手法

近藤邦雄 (名古屋大学)

木村文彦 (東京大学)

田嶋太郎 (名古屋大学)

本論文では計算機援用レンダリングのための透視図作画システムPERSについて述べる。本研究の目標は、2次元平面上に容易に3D形状を表現する方法を開発することである。透視図を描く方法は2つに分けられる。1) 計算機を用いた3D形状の透視変換、2) 画法幾何学を用いた作画法である。これらの方法を利用するためには、多くのデータ、たとえば、形状の座標、視点、画面などを与えなくてはならない。PERSシステムでは絵の骨格となる部分を絵の構成を選ぶために与え、この骨格をもとに3消点を計算する。そして、3消点法による6つの作画技術を用いて人の意図にあった入力法によるインタラクティブな作画方法は開発された。このために、簡単な操作によって透視図を描くことができる。

A Perspective Drawing Method for Interactive Rendering

* Kunio KONDO, ** Fumihiko KIMURA, * Taro TAJIMA
* NAGOYA University 464, Furo-cho, Chikusa-ku, NAGOYA

This paper describes a perspective drawing system PERS for a computer aided interactive rendering. The system was developed to simplify a rendering of 3-D shapes on a plane. Two methods have been used for perspective drawings: 1) the perspective transformation technique of 3-D data by using computer, 2) the drawing technique of descriptive geometry. For the use of these methods, however, many data, such as coordinates of 3-D models, a point of sight, a visual center, a picture plane, must be given. The system PERS need only data of picture skeleton to select a composition of a picture and to calculate locations of three vanishing points. Six basic techniques of three vanishing points methods which have been used to draw perspective drawings are applied in the PERS. This system makes possible to render 3-D shapes on a plane by a simple operation.

1. 緒言

本論文の目的は対話的に3次元形状をフリーハンドを用いて表現するための技法を開発し、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、プレゼンテーションを始めとして多くの分野で利用されている。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。このためにイメージを2次元上に自由に表現できる。このような場合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想定しながら図を描いているのである。このような作画において、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。このとき、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、作図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る、複雑な形状を描くことは時間のかかること、作図による不正確性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¹⁾が提案した骨格法は人の意図した2点透視図を直接描くために提案されたものである。この方法は透視図をフリーハンドで描くことのできる骨格の限界を考え、そ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、作画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CARP²⁾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や3次元形状をデータを変換して透視図をえる方法によって、立体表現を行ってきた。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、骨格技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、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が有効であることを確かめた。

以下、2節では骨格法による消点決定、3節では、立体形状の構成と表現法自動化のためのアルゴリズム、4節では、基本立体の骨格、および入力法について述べる。そして、これをもとにCARPと接続した作画システムと作画実験を5節で述べる。

2. 骨格法による消点決定

2. 1 骨格法

本節ではフリーハンドで入力する骨格法について述べる。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。この方法は図1に示すような太い4本の直方体の辺を入力する。これによって、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。骨格はフリーハンド作画の限界であり、ここまでは自分の感覚によって、描いても透視変換に矛盾は生じないことが明らかにされている。

筆者らはこの骨格から消点を求めることができると考え、2点透視図の骨格を3点透視図に適用するために骨格を形成する辺の方向だけでなく、辺の長さも情報として利用することにした。

2. 2 消点の求め方

骨格が与えられた時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VXである。
2. この消失点より水平線（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VYである。
3. 第3の消失点VZは線分ABとCDの交点によって求めることができる。

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ことがわかる。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

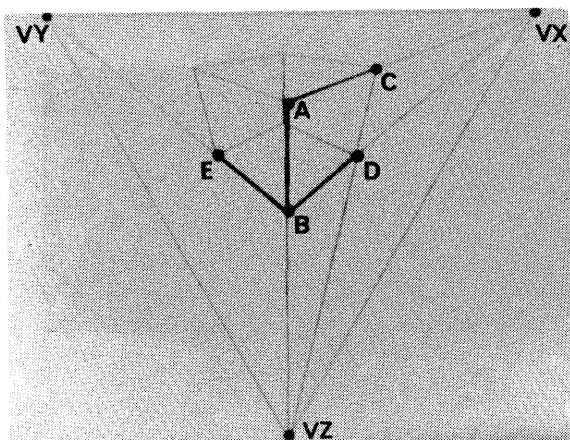


図 1

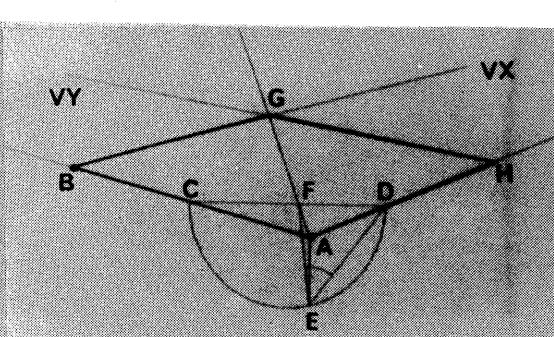


図 2

意図した透視図を作画するための入力方法とここで求めた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

作画技法の利用目的は、立体を構成していくためのものと線図として豊かな表現をしていくためのものの2つに分けられる。ここでは、形、大きさ、位置を表現するものとし、直感に合うような入力方法を考えることにする。これを実現するために、従来の3消点法を用いた作画法を整理した。これから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、

意図した図を描く場合のためには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ことによって可能であることがわかった。以下ではこれらの作画を実現するための入力法と処理手順について述べる。

3. 1 対角線の消点と正方形

正方形の作画は円柱や球、および回転角度を求めるためのだ円の作画に重要なものである。計算手順を次に述べる。(図2)

1. 2点(A, B)を入力し、線分ABと線分A, V Xを通る水平な線を引く。直径CDの円と点Aを通る垂線との交点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と水平線の交点に対角線の消点となる。
3. ABが正方形の一辺とすると、V X, V YとABおよび対角線の消点から、頂点ABGHの正方形の透視図がえられる。

3. 2 だ円の作画と角度分割

だ円を描くため芽の入力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。従って、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。

1. 不等辺四角形ABCDから対角線を利用し、だ円の中心Oを求める。そして、図3aに

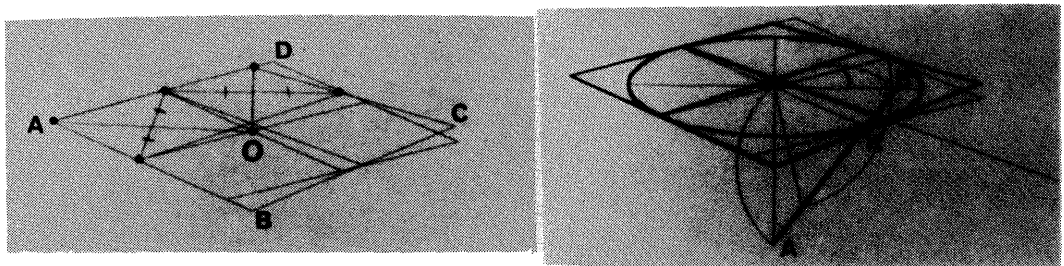
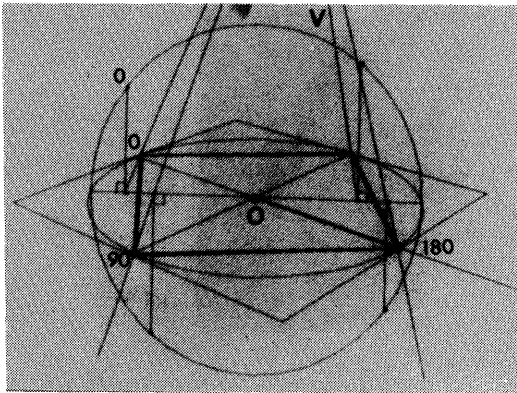


図 3

角度分割は図4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、消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される。



立体を構成していく方法として内挿，外挿の技法が有効といえる．内挿，外挿の計算から求められた点を結ぶことによって，より正しい形状を構成していくことが可能となる．平行線を引くことは計算された消点と内挿，外挿法を利用することによって実現できる．ここでは与えられた線分にたい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手順を図 5 に示す．

- これらの操作を繰り返す，他の辺でも同様の処理を行うことによって，直方体の内部の分割も可能となる。

回転した物体を描く時、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、方向が与えられたあと、えがきたい立体の回転された座標を求める方法を示す。

- = 5 =

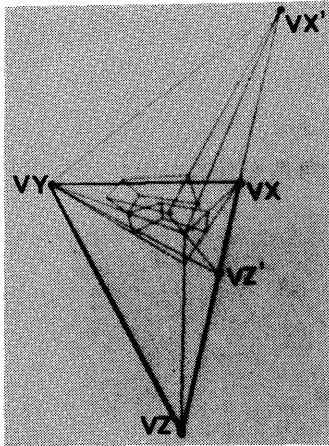


図 6

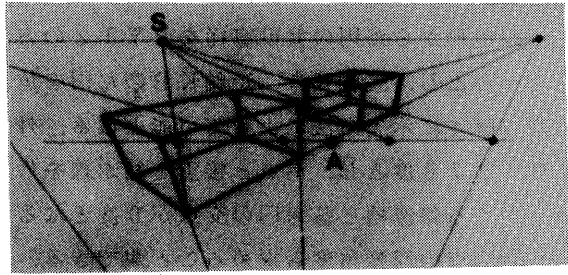


図 7

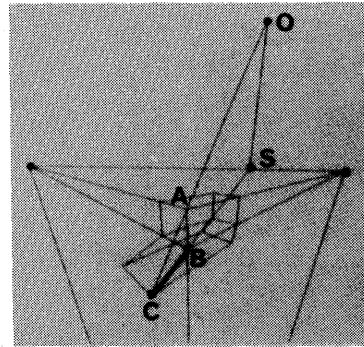


図 8

3. 5 鏡像作画法

鏡像法は対象物を構成するときに有効である。また、鏡に映ったものや池に映ったものを表現することはよくあることであり、これをうまく表現するために鏡像法は重要である。鏡像をつくるためには面の向きとその位置が必要である。図 7 に面の方向を選択し、位置を画面上で入力することによって鏡像を得る方法を示す。

- 1) 点 A を与えることによって点 A を通る水平線を引き、与えられた立体の各頂点と測点 S を結ぶ。
- 2) 水平線との各頂点を点 A を基準にして対称にとる。
- 3) 対称に取った点と S を結び、消点との交点を求めていくことにより鏡像を得る。

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。従って、与えた影の一部の情報より光源の位置と影の消点を見付ける手順によって、影の作画を行った。(図 8)

- 1) 影の輪郭となる一辺 A B を入力し、水平線との交点 C を求める。この点が影の消点である。
- 2) C A を延長し、線分 S, V Z との交点 O を求める。この点が光源の位置を示す。
- 3) O と立体の各頂点を結ぶ線分と V X の交点をを繰り返し求めることにより、影の形状を得ることができる。

4. 立体図形の作画

ここで扱う図形は複雑な形を抽象化した直方体，柱体，円錐などとする．これらの図を単体で作画するための入力データを図9に示す．図の丸い点が入力座標である．

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を示す一辺（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：底面の座標と中心，高さ（座標 $n+1$ 点入力），10) 多角錐：底面の座標と高さを示す一辺（ $n+2$ 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，高さ方向や半径方法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，底面の向きを各面で選択することによって，立体の向きを決定できる．

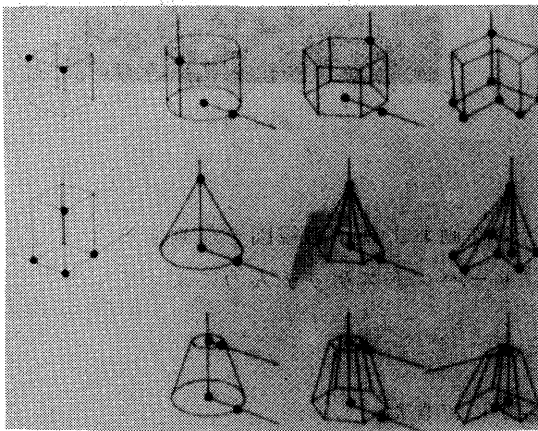


図9

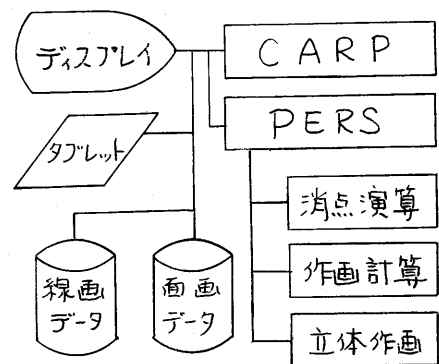


図10

5. 透視図作画システムと作画実験

図10に透視図作画と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，面を定義していき，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1から図9までの下図はPERSプログラムを用いて描いたものであり，CARPによって色付け処理を行った．図11は簡単な立体の例で内挿，外挿を用い，基本立体をいくつか組み合わせたものである．図12は回転法も用いた例である．図13は室内の表現であり，この領域をもとに色付けを行ったものを図14に示す．作画時間はそれぞれ5分，10分，20分であり，濃淡付けをした図14は30分である．

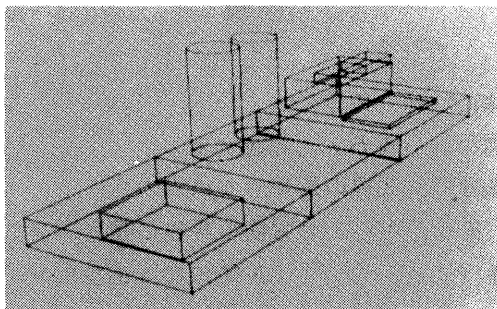


図 1 1

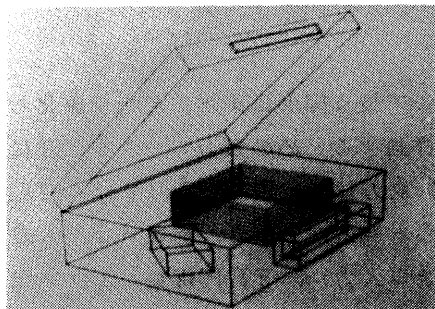


図 1 2

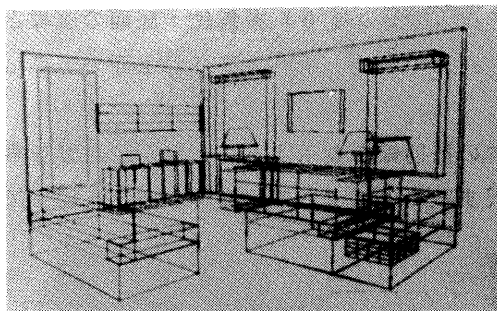


図 1 3

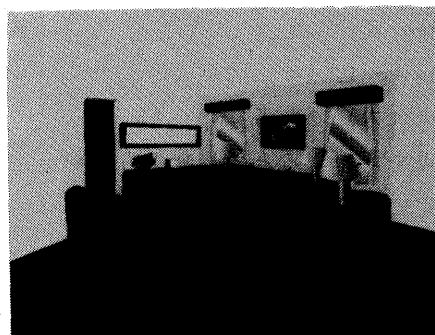


図 1 4

6. 結論

本論文では、骨格法を用いて、3次元形状の作画および、透視図を作画するための基礎作画法を自動化した。そして、この作画法をフリーハンドスケッチ入力によって用いることを考察し、実験した。

この結果、

- 1) 骨格法から消点を求める計算方法を明らかにできた。
- 2) 従来の数多い作画法から基本的作画法をまとめることができた。
- 3) 意図した図を描くための入力方法を考察し、それらによって与えられたデータから透視図表現する方法を作成できた。
- 4) アイデアを具体化する時から彩色まで一貫した透視図作画システムが実現できた。

今後の問題として、1) 入力手順をより整備し、さらに使い易いものにすること、2) 入力した立体の位置関係をつくることによって、より複雑な形状表現を実現することである。

文献

- 1) 永田：イメージ パースペクティブ デザイン 1979. 美術出版社
- 2) 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，情報処理学会，Vol. 26, No. 11, 1985