

両眼視差を用いた直接座標入力による  
三次元空間内立体視設計システム

正員 若松 秀俊  
学生員 本間 達

電気学会論文誌 C  
(電子・情報・システム部門誌)

平成 12 年 8/9 月号 抜刷

Trans. IEE of Japan, Vol. 120-C, No. 8/9, Aug./Sep., 2000

# 両眼視差を用いた直接座標入力による 三次元空間内立体視設計システム

正員 若松 秀俊 (東京医科歯科大)  
学生員 本間 達 (東京医科歯科大)

## Stereoscopic 3D CAD-System with Stereo-Coordinate Input Device Based on Binocular Parallax

Hidetoshi Wakamatsu, Member, Satoru Honma, Student Member (Tokyo Medical and Dental University)

A stereoscopic input system of 3D-coordinate is developed for the stereoscopic design of machinery parts according to their stereoscopic view by binocular parallax. 3D-coordinate is stereoscopically input by 3D-mouse cursor synthesized as an input device which freely moves in any direction of real and imaginary spaces. It is used for the realization and change of stereoscopic design of an image object displayed in a real time. An input-shape is given as a trajectory of an input device. The stereoscopic intermediate image is obtained on every input-operation making clear a trace of edge-point of an input device with rest domains characterized by different colors. The complete image of an object gives necessary information which is directly used for the realization of its actual parts with appropriate characteristics.

キーワード：立体視座標入力，三次元 CAD，立体設計システム，仮想物体，両眼視差

### 1. まえがき

形状の詳細を三次元実空間内で直接立体視しながら機器の設計<sup>(1)~(7)</sup>を行い，この過程を投影図または見取り図として与え，構成部品を含めた全体の形状を正確に描き出すことは，設計機器の構造の直感的理解と生産に直結する重要なマン・マシンコミュニケーション手段である。ところで，機器や部品の設計を空間内で運動・感覚系の相互作用を考慮して，画像で与えた仮想三次元物体を操作・加工システム技術としてとらえれば，人工現実感の技術<sup>(8)~(16)</sup>と共通するものがある。

従って，著者らが提案した仮想物体の種々の加工法<sup>(5)</sup>は CAD による様々な形状をした部品の試作や，手術，生体臓器の解剖など広い分野でその威力を発揮できる。ここでは立体視化マウスカーソルの技法<sup>(8)</sup>を基礎とし，CRT ディスプレイ画面前方の実空間だけでなく画面の奥の仮想空間に及んで立体画像で与えた仮想物体を操作できる設計装置を提案する<sup>(5)</sup>。この装置により，設計者が手と指の動きを直接的に認識しながら，卓上で機器の立体視設計を行うことができる。

以下では，両眼立体視による立体画像の形成と同時に直接的な座標入力および CAD に付随する説明事項の自動記述化機能を備えた立体視設計システムを構築する。

### 2. 三次元座標の入力と立体構成

〈2・1〉 両眼視差による仮想物体の立体視 図1のように，左右両眼それぞれのための三次元画像の投影画像を CRT 上に作成する。これらを交互にディスプレイし，これと同期して開閉する液晶眼鏡を用いた両眼視差によるカーソルと図形の立体視法を採用する<sup>(8)</sup>。図中  $V_L, V_R$  は左右の視点の位置とする。また，三次元空間上の点  $P$  について，両眼にそれぞれ入る物体の画面上の投影位置を  $P_L,$

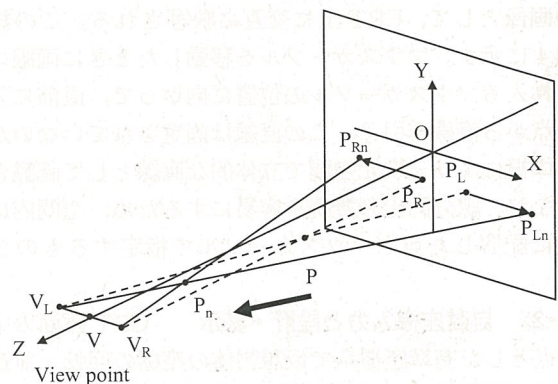


図 1 両眼視差による立体視

Fig. 1. Stereoscopic view of an image object based on binocular parallax.

$P_R$ , それらの移動後の投影位置を  $P_{Ln}$ ,  $P_{Rn}$  とすると  $P$  から  $P_n$  に向かって点が移動する。これより, 線分の移動を含めて画像の立体視が可能になる。このとき,  $P$  をカーソルの先端とすれば,  $P$  および  $P_n$  の座標は自動的に入力できるだけでなく, 描写立体は画面の内側の空間内にも存在させることができる。

### 〈2・2〉 立体視化マウスと三次元座標データの入力

立体視化三次元マウスの原理と CRT 前後の空間内での仮想物体の立体視座標入力法について述べる。マウスカーソルは一個しか表せないで, グラフィック画面の映写の切替えに同期させて両眼視差に対応する位置にカーソルを移動させることにより立体視を行う。実際には空間内の所望のカーソルの位置から左右両眼用の二つのカーソルの CRT への投射座標を算出する。これらのカーソルの画像を, 左右両眼を視点として交互に映写することによって立体視する。マウスカーソルは従来の上下左右の連続的な動きに加えて, 前後の連続的な動きが可能となり, 三次元空間内での連続的な移動操作が可能となる。すなわち, 入力すべき点を決定した後に, 例えば改行復帰キーを押すことによってその点の座標値を入力することができる。このように立体視カーソルの先端を用いて, 同時に立体視しながら順に点を入力して線分を描き, 線分の組み合わせにより三次元立体図形を描く。すなわち, 得られた三次元図形はカーソルとともに実時間で左右両眼用の画像に合成され, 両眼視差により立体として認識される。従って, CRT ディスプレイ画面前方の実際の空間だけでなく, 画面の奥の空間に入り込んで, 立体画像からなる仮想物体を操作できる。

## 3. 立体視設計システム

〈3・1〉 システムの概要 前節に述べた立体視化マウスを用いて, 実際に入力制御可能なシステムを図2のように構成する。図3に示すように, 三次元運動可能な立体視化マウスのカーソルで端点をクリックしながら立体図を描く。このための線分の位置が決まった時点でカーソル先端の空間座標の値が入力される。

カーソルと追加再合成された立体画像データが左右両眼用の画像として, CRT 上に交互に映写される。この様子を図4に示す。マウスカーソルを移動したときに両眼にそれぞれ入るマウスカーソルの位置に向かって, 直前に入力した点から直線を引く。この直線は固定されていないが両眼立体視により三次元空間で立体的な直線として認識される。なお, 線分同士の接続を容易にするため, 空間内に格子状に配置した点をマウスカーソルで指定するものとした。

〈3・2〉 自動座標入力と設計・表示 CRT 画面の中央を原点とした基準座標系で仮想物体の座標の回転・並進移動による位置変化を同次変換行列を用いて求め, その三次元画像の位置を定める。これより, 任意の視点方向から見た三次元空間の仮想物体の座標と CRT 画面への透視投影

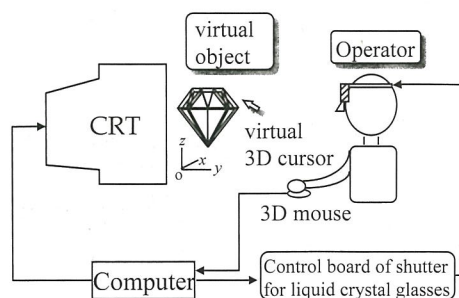


図2 立体視設計システムの概略

Fig. 2. CAD-system for drawing of stereoscopic image.

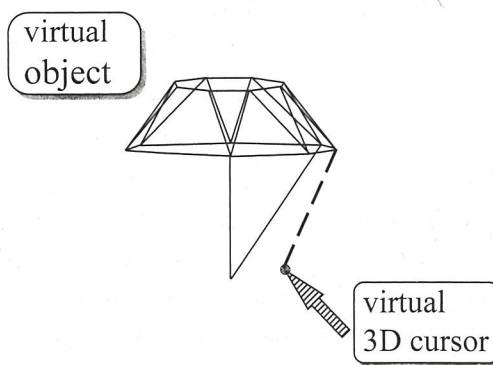


図3 立体視マウスカーソルによる三次元物体の描写

Fig. 3. Drawing of an object by the assignment of 3D coordinate using a virtual pointing device.

を求めることができる<sup>(7)-(9)</sup>。

〈3・3〉 座標回転と設計状況の監視 キーボードからの適当な指示により, 立体図形的位置を変え, 全体の形状を確認しながら正確に作図することができる。すなわち, 立体画像を回転させながら作図することにより, 見えにくい場所に存在する頂点を見やすい部分に移動し, 隠れた線分を正確に接合できる。

〈3・4〉 立体形状の変更 本設計システムを用いて, 立体視作図中の仮想物体の部分に削除の操作を施し, 寸法の算出を含めた設計線の自動変更が可能である。例えば, 余分な部分について, 図形上に多角形の頂点を指定し, その内部に存在する部分を切り取ることができる。

この場合に, 新たな線分を自動的に追加することにより, 物体を再構築することが可能である。その様子を図5に示す。この機能を利用して, あらかじめ目的とする物体よりも大きい物体を構築し, 平面で削り取りながら試行錯誤的に目的とする立体を設計することもできる。これは, 設計よりむしろ製作に近い手法であり, 設計者はより直感的に設計を行うことが可能である。

〈3・5〉 モデル表現の変更と質感の表現 ワイヤフレームモデルとして構成した仮想物体のそれぞれの面を部品として認識し, 隠線処理を行うことによりサーフェスモデル, あるいはソリッドモデルとしての表現が可能である。その様子を図6に示す。このとき, 素材が異なる層状

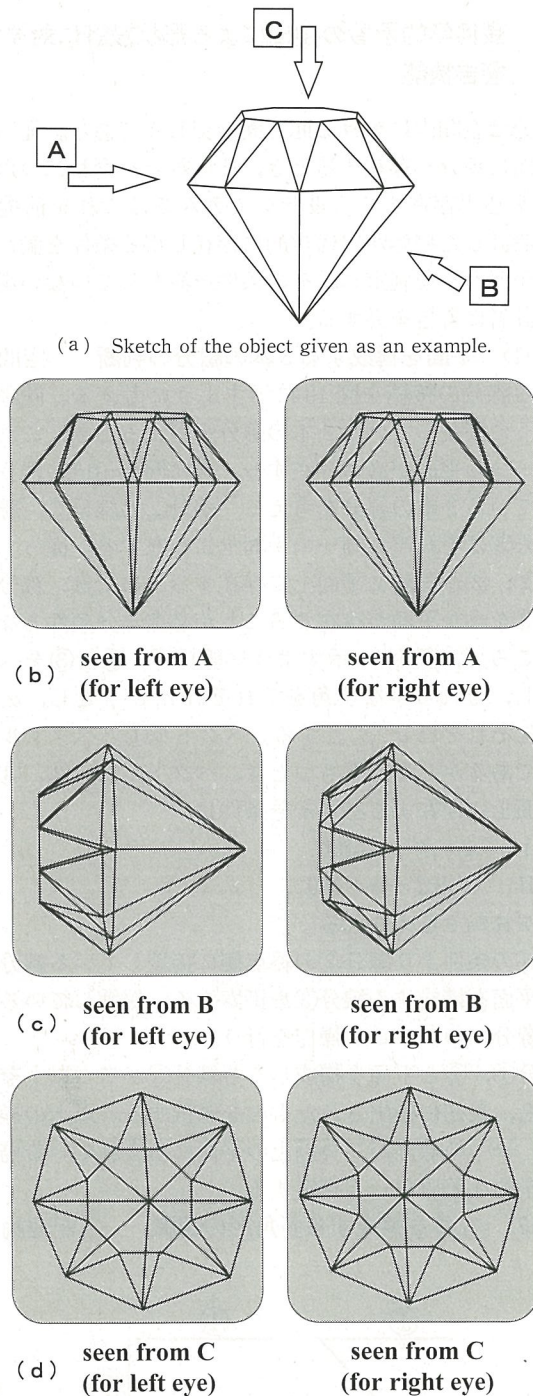


図4 仮想物体のCRT上への投影と立体視  
Fig. 4. Stereoview and projection of the designed object on the CRT.

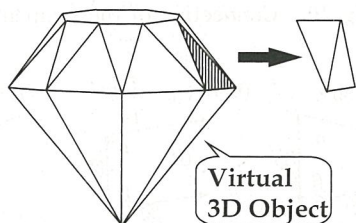


図5 仮想物体の形状の変更  
Fig. 5. Design-change by partial cutting-off of the object.

構造の仮想物体を表示対象と考えれば、素材に依存した彩色により、材質感を部分的に表現可能である。

〈3・6〉 部品形成のための設計図の出力 作図した立体視画像から正面図・側面図・平面図（三面図）を出力することが可能である。その際、縮尺を選択することにより、三面図の大きさを指定できるのみならず、寸法も自動付加する。その様子を図7に示す。

〈3・7〉 立体を構成する部品の自動作成 構成した仮想物体の各頂点の座標値から、線分ごとの長さそれぞれの間の角度が算出できる。これを基に、立体を構成する厚みのある平面または単純な立体を製作可能な図面として出力する。すなわち、各基本構成部品の見取り図を自動生成する。最初は外観のみ注目して設計した立体の内部に、厚みを考慮して縮小した立体を自動的に構成し、対応する点同士を接続する。これによって図8に示すように、立体を構成する面に適当な厚みを与え、立体から部品ごとのデータを作成し、任意に取り出すことができる。しかしながら縮小形状を与える際、中心に対して3軸方向について均一の縮小率で縮小を行うと、立体の形状と中心からの位置によって部品ごとに厚みの較差が大きくなる場合がある。そこで、中心点に対する部品の位置ごとに厚みを考慮し、縮小率を調整して厚みの較差を減少する。厚みは各軸ごとに

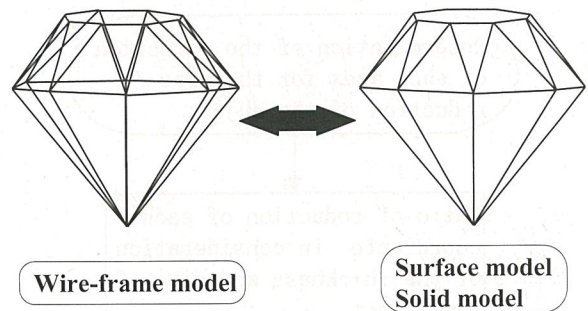


図6 仮想物体の質感の変更  
Fig. 6. Transformation of the model of the designed object.

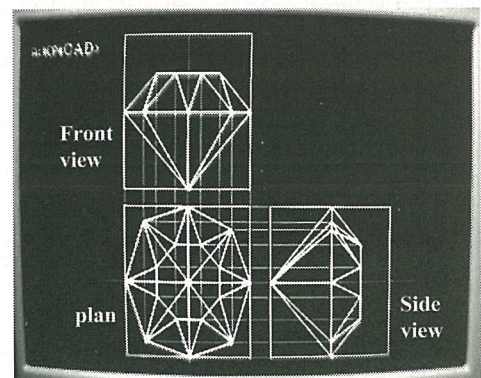


図7 三次元立体視仮想物体の三面図投影（実際のCADシステムにおけるCRT表示）  
Fig. 7. Three basic projections obtained from the structure of the designed object (Display of the object on the CRT in the actual CAD-system).

指定することも可能であり、これによって任意の部品の厚みを自由に設定できる。この手順を図9に示す。

この際、厚みの変更に伴って部品の形状は変更するので、常に部品ごとの接続に矛盾を生じないように調整する。ところで、立体視画像および三面図では座標軸の位置姿勢によって距離と線分のなす角度にひずみが生じるので立体の形状を正確に認識できないことがある。この場合にも部品に分解することによって、その形状を正しく認識できるようになるので、実際の製作が容易になる。

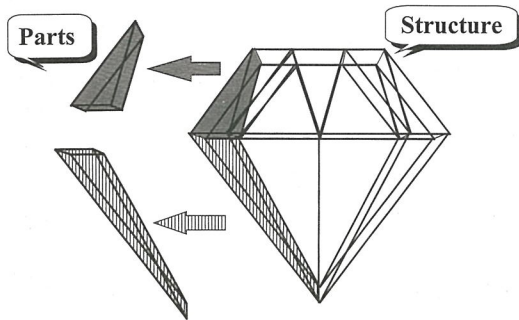


図8 立体視設計物からの部品の生成  
Fig. 8. Parts obtained from stereoscopically designed object.

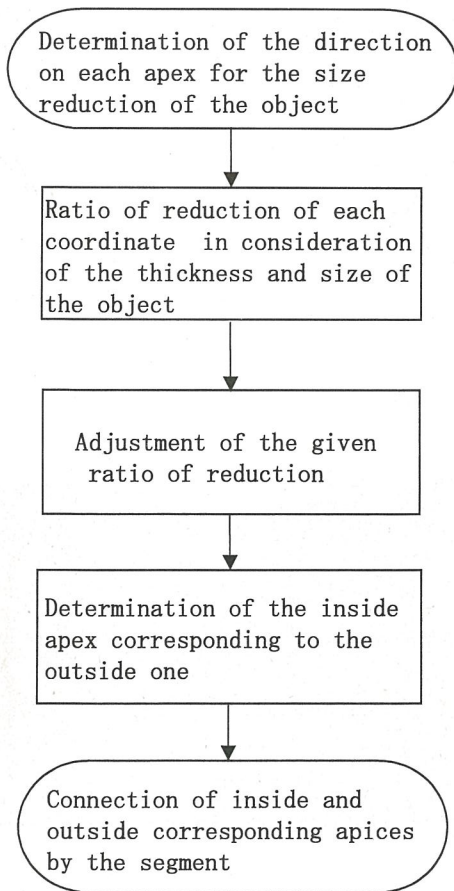


図9 設計物からの部品の生成法の概略流れ図  
Fig. 9. Flowchart for generating parts of the object.

#### 4. 幾何学的矛盾の検出による形状設計に対する警告機能

線分は空間内における面と面の交わりである。従って、空間内に線分が存在するとき、その線分を含む二つ以上の平面が必ず存在する。設計システムではこれを前提として、設計した物体が幾何学的に存在し得る条件を満たしているかどうかを判定し、その条件を満たしていない場合には設計者に警告を発する。

〈4・1〉 平面を構成する3本の線分の判断 空間内における線分の接続を図10に示すように考える。同図(a)のように接続している2本の線分を考えるとき、これらを含む一つの平面が必ず存在する。次に同図(b)のように接続している3本の線分を考える。線分①と線分②、線分②と線分③はそれぞれ同一の平面上に存在する。従って線分①、②、③が同時に平面上に存在するためには、線分①と線分③を含む平面が存在することが必要十分条件となる。

ところで、図11に示すように線分①、②、③をベクトルとし、それらがなす角をそれぞれ $\alpha, \beta, \gamma$ とし、 $\alpha, \beta$ の外角をそれぞれ $\alpha', \beta'$ とする。ベクトル①とベクトル③が平行であるか、交点をもつとき、ベクトル①、②、③が同一平面上に存在する必要十分条件は、

- I.  $\alpha + \beta + \gamma = 180^\circ$
- II.  $\alpha' + \beta' + \gamma = 180^\circ$

のいずれかで与えられる。

上述の条件より線分②の終点側に接続している線分の中から平面を構成する線分③を探索する。接続しているすべての線分についてこの操作を行う。

線分①、②と平面を構成しうる線分③が二つ以上存在する場合、最初に検出されたものを選択する。以上の操作により、一つの線分が二つ以上の平面に含まれている場合、幾何学的な矛盾なしと判定する。

〈4・2〉 立体を構成する多角形の認識 上記理論に従

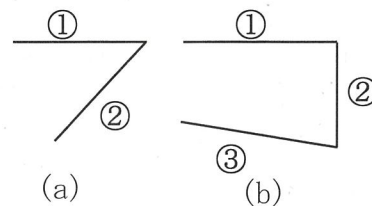


図10 線分の結合の仕方  
Fig. 10. Connection of the segments.

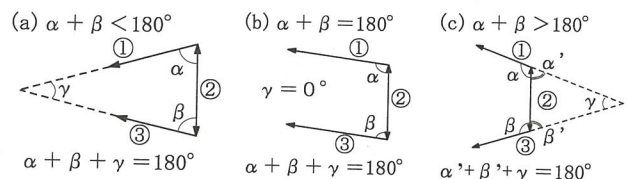


図11 平面上に存在する3本の線分  
Fig. 11. Three segments on the plane.

ってワイヤーフレームモデルとして構成した立体の各面を認識する。3本の線分①, ②, ③が同一平面上に存在することを確認できた場合, 線分③の線分②と反対側の端に接続し, かつ線分②, ③と同一平面上に存在する線分④を探

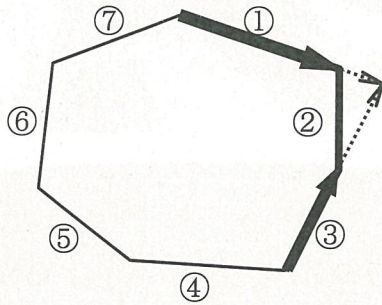


図 12 多角形の各辺の探索

Fig. 12. Detection of the segments of polygon.

索する。同様にして⑤, ⑥, …と線分①に戻るまで探索をくり返す。このようにして3本以上の線分で構成された多角形を, 立体を構成している平面として認識する。線分①, ②に接続する線分③を探索している場合について太線により図 12 に示した。なお, 平面を構成するベクトルの探索順をベクトルの番号で示した。また, 探索の論理の流れを図 13 に示した。

これより意図した多角形かどうか判定できる。

〈4・3〉 角度の検証による幾何学的条件の判定法

(1) 一般の幾何学的判定法

空間内における平面については, 一般に各点の座標からその方程式を決定することが可能である。しかし, 平面が3軸直交座標系の各軸のいずれかと垂直である場合, いずれの軸と垂直になるかを判別し, これにもとづいて処理を分岐しなければならない。従って, 設計システムを構築する場合, 様々な条件を想定したプログラムを作成する必要がある。すなわち, 条件によって処理が異なり計算に要する時間も異なる。しかし以下に述べるように角度に着目して考える場合, 処理を一元化できる。

(2) 算出角度による平面成立条件の判定

本研究で開発した設計システムでは, 角度によって平面の成立を判定している。ところで, 角度のみに注目した場合, 計算上の誤差のために, 偶発的に平面の成立条件を満たす角度の組合せになる危惧がある。そこで, 真の平面ではないが見かけ上, 平面と考えられる幾何学的条件を想定して, 前述した平面成立条件との差異について以下のような検討を行った。

例えば, 図 14 に示すように同一の平面上に存在する P, Q, R を想定し,  $\alpha=90^\circ$  とする。次にこの平面から z 軸方向に最小単位分の距離<sup>(注1)</sup>だけ P を平行移動した点 S を設定する。

このとき, 図中の P, Q, R, S の座標, ベクトル  $A, B, C, C'$  より, 内積  $BC=1, AC'=x, |A||C'|=\sqrt{x^2+2}, |B||C|=\sqrt{x^2+2}$  なので, ベクトル  $B, C$  のなす角  $\beta$ , ベクトル  $A, C'$  ( $=C$ ) のなす角  $\gamma$  は以下のように求められる。

$$\beta = \cos^{-1}(BC/|B||C|) = \cos^{-1}(1/\sqrt{x^2+2})$$

$$\gamma = \cos^{-1}(AC'/|A||C'|) = \cos^{-1}(x/\sqrt{x^2+2})$$

$\alpha, \beta, \gamma$  の和に関して偏差を  $\Delta = |180^\circ - (\alpha + \beta + \gamma)|$  で定義するとき, PQ 間の距離  $x$  [unit] と偏差  $\Delta$  [degree] の関係を図 15 に示す。これより, PQ の増加とともに線分 QP と線分 RS は平行に近づき, これに伴い偏差  $\Delta$  は零に近づくと一定値に収束し, 真の平面の満たすべき理論上の値が零に収束しないことがわかる<sup>(注2)</sup>。

(3) 幾何学的矛盾と設計精度に関する考察

(2) のシミュレーション結果を基に,  $\Delta$  がある値より小

(注1) 各座標の値はマウスカーソルの移動量の処理から決まる最小値を1とみなしたものであり, ここではこれを単位距離 [unit] と呼ぶ, 距離はその整数倍で表す。

(注2) 真の平面であっても, 電子計算機による演算では例えば,  $\Delta=0.0 \neq 0$  であることを考慮しなければならない。

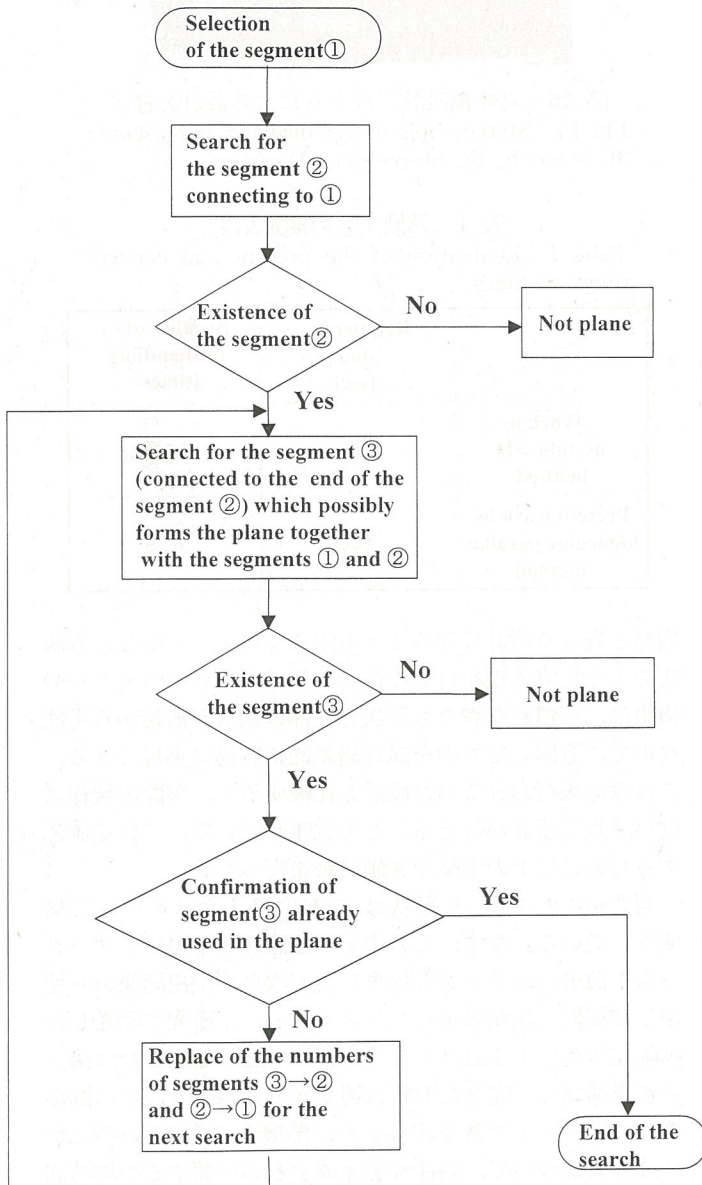


図 13 平面成立の確認

Fig. 13. Confirmation of the existence of the plane.

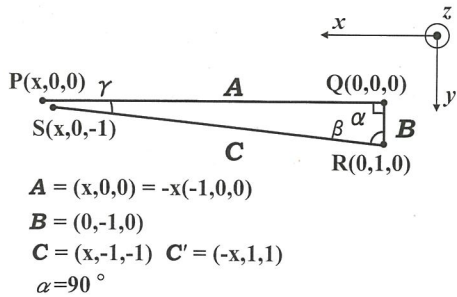


図 14 平面の成立条件の検討

Fig. 14. Examination of consistency of the plane.

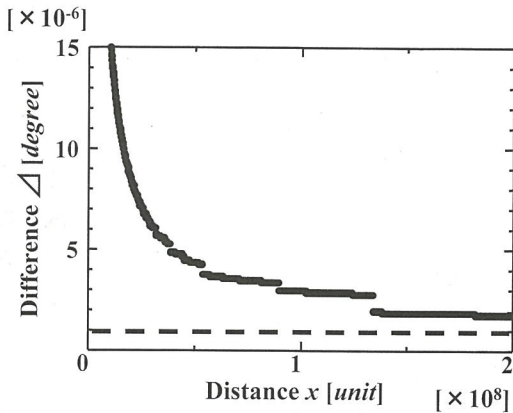


図 15 接続距離と誤差の関係

Fig. 15. Relation between the difference  $\Delta$  and the length  $x$  of the segment.

さい ( $\Delta < \epsilon$ ) 場合に平面としての条件が成立したものと考える。これを平面成立条件とし、 $\epsilon = 1 \times 10^{-6}$  を設定した。図 15 から 2 点間の距離  $x$  が  $2 \times 10^8$  以上になっても偏差は  $\epsilon$  よりもはるかに大きいことがわかる。従って、設計システムとしての三次元作業空間として、入力点として  $(2 \times 10^8)^3$  以上の格子点を設定できる。これは実用上、十分な領域であり、本判定法ならびに立体視入力法が有効であることを示している。

## 5. 設計システムの性能について

**<5・1> 立体視設計システム** 図 16 に本システムを用いて実際の設計を行っている様子を示す。両眼視差を考慮して画像を切り替えながら表示しているので、肉眼視した場合、ディスプレイ上には同図(b)のように画像が重なって映っているように見える。実際の運用では図(a)に示すように画面と同期した液晶眼鏡を着用しているので、立体視が可能である。

**<5・2> 製図機器としての性能** 設計システムではユーザインタフェース<sup>(17)(18)</sup>の差異によりしばしば作業効率が左右される。すなわち設計システムを効率的に利用するために、直感的な操作によるユーザインタフェースの向上がもっとも重要である。ところで、周知のことながら三次元立体をイメージしながら二次元図面を描くことは容易ではないし、二次元で設計したものが真に意図した三次元立体

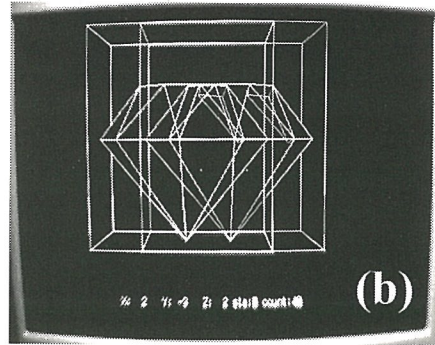


図 16 立体視設計システムによる設計の様子  
Fig. 16. Stereoscopic design drawing stereoscopic 3D image by the proposed CAD-system.

表 1 評価実験の測定結果

Table 1. Evaluation of the present and conventional methods.

	Required time [sec]	Number of mishandling [times]
Work by pseudo-3D method	266	1.125
Present work by binocular parallax method	199	0.25

図形と異なる設計になることも少なくない。しかし、本論文のように立体視を行いながらのワイヤフレームモデルの構築は、不慣れな者でも三次元立体の設計が最初から可能なので、意図したものを試行錯誤的に容易に実現できる。これは従来行われていた設計と比較すると、実際の製作に近い感覚で設計が行えることを意味している。これを確認するために以下の手順で評価実験を行った。

図 3~図 8 に示した形状は 40 本のワイヤフレームで構成されている。まず、この中から任意の 3 本のワイヤフレームを消去したデータを用意した。次に片眼用画像のみ使用して擬似三次元表示したシステムと、本研究で開発した両眼立体視による設計システムについて、上述した欠落データを補完して完全な形状に戻すまでの時間と、この間に誤って描くワイヤ数を記録した。健康な男女 (20~36 歳) の被験者について、立体図を完成するのに要する平均時間と平均誤認回数を表 1 に示した。両眼立体視を行うことにより、所用時間が平均 67 秒短縮し、カーソル位置の誤認

によって意図していない線を描画する回数が平均 1 回減少している。この結果からも両眼立体視三次元設計システムはユーザインタフェースの向上に有効であることを確認できた。

また、設計時に各部品ごとに各種の物性値を設定することにより<sup>(19)</sup>、製作あるいは使用時の材料を模擬しながら直感的な製作ができるのでマン・マシンインタフェースの向上にも有効である。

**5・3) システム稼働に関する考慮** 本論文では、ワイヤフレームにより構成した三次元画像モデルによる立体視設計法を提案した。このシステムは液晶シャッタとマウス以外のすべてをソフトウェアで実現している。従って、立体視している画像の合成とマウスカーソルの位置の描写のための計算が不可欠ゆえ、描写箇所の入力中に、液晶シャッタの開閉とそれに同期して移動させるマウスカーソルの表示をリアルタイムで実行する必要がある。本システムでは液晶シャッタの開閉と画面の切替を 30 ms のサンプリング周期で行っている。扱う画像が静止画に近いこと、また、入力時にワイヤフレームモデルを採用し、幾何学的矛盾を簡便に検出するアルゴリズムを採用したことにより処理時間を短縮したので、上記のサンプル周期以下でシステムが構成できる。

曲線・曲面の入力の場合についてはカーソルの先端で座標を正確に与えることが困難である。これは基本的には立体図形の直線表示に起因しており、適当な補間法を与えた立体設計の改善が必要である。曲線を直線で近似することにより、自動的に座標を与えることは原理的に可能であり、実時間での処理も可能である。

ところで構築する画像の立体感とひずみについては、視点から画面までの距離と視差角に影響を受けるので、本システムでは画面の大きさを考慮して視点から画面までの距離をほぼ 70 cm に選んだ<sup>(8)(9)</sup>。

## 6. あとがき

本研究では、本来、三次元画像の立体視切離用具として開発した立体視化三次元マウスを空間座標入力デバイスとして立体視設計システムに応用したものであった。設計システムの滑らかな操作性と軌跡である入力線を即座に表示して、座標入力が容易に行えることを確認できた。また、実際に内外表面や内実部に色彩を施すことによって、仮想物体の立体視と設計の臨場感を向上することを確認できた。

本設計システムは既存の設計システムとは異なり、直感的設計を可能とするものである。従って、これを設計ツールとして用いた立体視による直接の設計は従来経験と熟練が必要であった機器設計の分野に、専門家以外の者にも広くその道を開くものである。

なお、本研究の一部は文部省科学研究費基盤研究(C)および三菱財団の補助によるものである。

(平成 10 年 10 月 28 日受付, 同 11 年 11 月 26 日再受付)

## 文 献

- (1) 小堀:「バーチャルリアリティが拓く次世代の CAD」, BIT, 30, 9, 11~18 (平 10)
- (2) P. Schellekens, N. Rosielle, H. Vemeulen, M. Vemeulen, S. Wetzel, and W. Pril: "Design for Precision: Current Status and Trends", *CIRP Ann (Int Inst Prod Eng Res)*, 47, 2, 557~586 (1998)
- (3) A. P. Hameri and J. Nitilae: "Computerized Product Process: Measurement and Continuous Improvement", *Res Eng Des*, 10, 3, 166~177 (1998)
- (4) 白井・藤川・松本:「VR を利用したプラント設計のための 3D ビジュアルエディタの開発」, 日本機械学会設計工学・システム部門講演会講演論文集, 8, 31~34 (平 10)
- (5) 若松・本間:「立体視座標入力による三次元設計システムの開発」, 電気学会 C 部門大会論文集, 687~690 (平 9)
- (6) 竹内:「パーソナル 3 次元 CAD/CAM—その開発と応用技術—」, 工業調査会, (平 8)
- (7) 橋本・東本:「コンピュータによる自動生産システム」, (昭 62) 共立出版
- (8) 今井・若松:「両眼視差を用いた立体視による脳画像の三次元切除法」, 電学論 C, 111, 6, 242~248 (平 3)
- (9) 若松・今井:「抵抗感を伴う立体視画像切断システムの開発」, 電学論 C, 113, 8, 627~634 (平 5)
- (10) 若松・安名:「鈹状デバイスによる紙状立体仮想物体の切断感覚の実現システム」, 電学論 C, 116, 10, 1163~1168 (平 8)
- (11) H. Wakamatsu, X. Zhang, and S. Honma: "Teleoperational Force Display System in Manipulation of Virtual Object Using Scissors-type Cutting Device", *Proc. 3rd Asia-Pacific Conf. Control & Meas.*, 312~316 (1998)
- (12) M. Minsky, M. Ouh-young, O. Steele, F. P. Brooks, and M. Behensky: "Feeling and Seeing-Issues in Force Display", *Comput Graph. ACM SIGGRAPH*, 24, 2, 235 (1990)
- (13) F. P. Brooks, M. Ouh-young, J. J. Batter, and P. J. Kilpatrick: "Project GROPE-Haptic Displays for Scientific Visualization", *Comput. Graph. ACM SIGGRAPH* 24, 4, 177 (1990)
- (14) H. Iwata: "Artificial Reality with Force Feedback: Development of Desktop Virtual Space with Compact Master Manipulator", *ibid.*, 24, 4, 165 (1990)
- (15) 古川・名倉:「3 次元空間用無負荷時非接触型力覚提示装置」, 日本バーチャルリアリティー学論, 3, 3, 75~82 (平 10)
- (16) 阪口・古荘:「ER アクチュエータを用いた 2 次元力覚提示装置の開発」, 日本バーチャルリアリティー学論, 3, 3, 133~140 (平 10)
- (17) パソコン CAD の新潮流—その機能・特質と位置付け, M & E, 5 月号, 96~106 (平 9)
- (18) CAD/CAM システム—その基礎と最近の技術的新潮流—, M & E, 5 月号, 120~128 (平 8)
- (19) 本間・若松・張:「粘弾性体モデルで表現した仮想物体の構築と加工」, 電学論 C, 119, 12, 1437~1443 (平 11)

**若松 秀俊** (正員) 1972 年横浜国大修士課程修了。同年東京医科歯科大学助手。足利工業大学助教授, 福井大学工学部教授を経て, 現在, 東京医科歯科大学医学部教授。73~75 年, ドイツ連邦共和国学術交流会 (DAAD) 給費により留学。Erlangen-Nürnberg 大学医学部客員研究員。94 年オレゴン州立大学, 95 年釜山国立大学, 96 年華中理工大学, 天津大学など客員教授 (工学博士)。



**本間 達** (学生員) 1993 年 3 月日本大学理工学部卒業。97 年東京医科歯科大医学部卒業。同年同大学医学系研究科博士前期課程入学, 現在に至る。化学工学会員, 臨床生理学会員。

