

# のぞき込み可能な3次元形状表示装置の試作

阿南正明  
機械電子部

## Development of Side-Visible Display System for 3D Object Data

Masaaki ANAN  
Mechanics & Electronics Division

### 要旨

3次元形状データを画面に表示する際、頭を動かしてのぞき込む動作により、現実の物体と同じように側面や穴の中が見えるようにするには、どうしたらよいかを検討した。ユーザ頭部の位置をPSDを使って検出し、検出された頭部位置から本来見えるはずの画像を、たえまなく画面に出力することにより、現実物体と同様なのぞき込みの出来る表示装置の試作を行い、ワイヤーフレーム表示された実際の3次元図形に対し、のぞき込みの試験を行った。

### 1. はじめに

加工技術の進歩にともない、箱形をベースにした工業製品も、複雑な曲面を伴う任意形状へと変化しつつある。このため意匠設計などに使われる3次元CADの表示装置においても、より複雑な立体形状の前後関係や全体像を伝えるための技術が今後必要になってくると思われる。

3次元物体の画像に、いわゆる立体感を付加する方法として、時分割メガネを用い人間の左目、右目に視差を伴う別々の画像を見せるというのが一般的であるが、ここではユーザが頭を動かした際、その位置から本来見えるはずの画像を、たえまなくディスプレイに表示させるという方法について検討した。

一般に3次元形状を画面に投影させる計算は、通常目と画面の位置関係は固定されているものとして行う。例えば画面の中心から垂直に30cmの所にユーザの目がある、という固定した取り決めのもとに画像を算出する。斜めからのぞき込んだ場合、実際には歪んだ図形が表示されるが、普段CADの使用者はあまりそのことを意識していない。

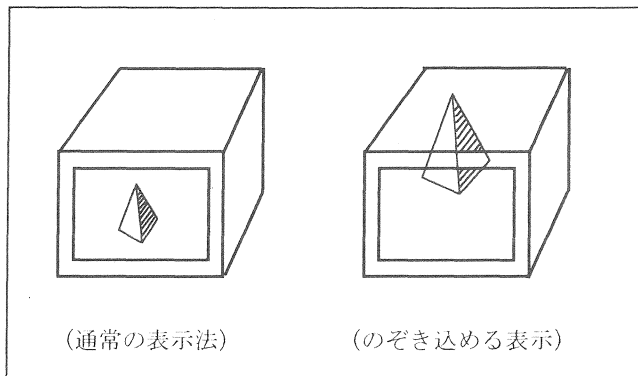


Fig. 1 のぞき込み可能な表示装置

目と画面の正しい位置関係を画面への投影処理に入力した場合、このような歪み成分がなくなり、常に正しい3次元形状が投影されることになる。その結果、CAD使用者は、どのような位置からでも現実物体であればそのように見えたはずの画像を見る事になり、3次元物体の概形を正確に理解しやすくなる。又これにより、表示物体の側面や穴の中をのぞき込むことが可能になる。

### 2. のぞき込み可能な表示法

#### 2.1 システムの概要

Fig. 2 にシステムの概要を示す。

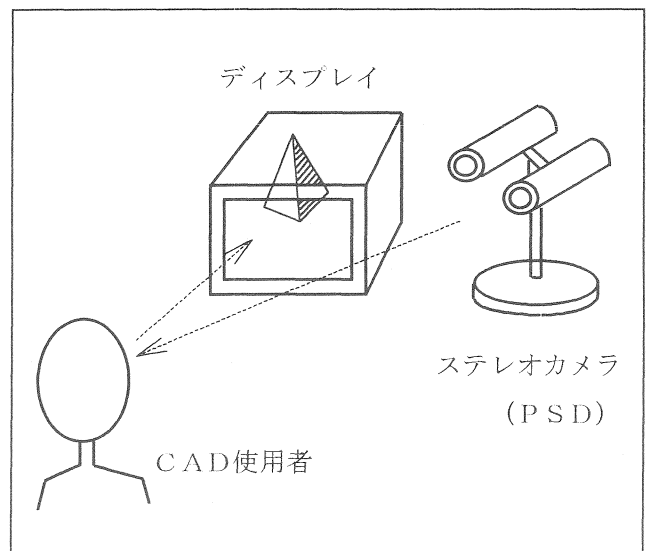


Fig. 2 システム概要

CAD使用者の頭部位置をステレオカメラ(またはPSD)で検出し、コンピュータ本体にその情報を送る。コンピュータは受け取った頭部位置の情報に基づき、本来

その位置から見えるはずの画像を算出し、ディスプレイに動画として表示する。これを絶え間なく繰り返す。

2.2 頭部位置の算出

ステレオカメラ（またはPSD）による頭部位置の情報は2つのカメラの2次元座標 (C1x, C1y), (C2x, C2y) として入力される。これを3次元の位置情報に変換するため、以下のような一般のステレオ法の式を用いた。

頭部3次元位置の算出に以下の式を使用した。  
 <ステレオ法>

x = C1x  
 y = C1y  
 z = BD / (C1x - C2x) : カメラ横並びの場合  
 z = BD / (C1y - C2y) : カメラ縦並びの場合

ただし、

(C1x, C1y)	カメラ1の出力
(C2x, C2y)	カメラ2の出力
B : Base Line	(カメラ間距離)
D : Focal Distance	(カメラ焦点距離)

(1)

2.2 透視投影による表示

得られた頭部位置の情報から、本来その位置から見えるはずの画像を算出するための式を求めた。のぞき込み移動量（以下の式で  $d\vec{F}$ ）を明確にするため、3次元のベクトルを使って、通常の透視投影と、のぞき込み表示のための透視投影の式をそれぞれ求めた。

2.3.1 透視投影の入力パラメータ

透視投影を行うには、以下のパラメータが必要である。

- 物体上の任意の点 :  $\vec{X} = (x, y, z)$
- 目の位置 :  $\vec{E} = (Ex, Ey, Ez)$
- 視線の水平角度 :  $\theta$
- 視線の垂直角度 :  $\phi$
- 目と画面との距離 : F
- 目から画面原点までの垂直なベクトル :  $\vec{F}$
- 画面に対する視点のずれ (画面上の座標で) :  $d\vec{F} = (dFx, dFy, 0)$
- なお簡単のため,  $\vec{P} = \vec{X} - \vec{E}$  とかく。

ここで、 $\vec{X}$  は表示したい物体上の、現在処理を行っている点を表す。透視投影の処理はすべての必要な点に対して行う。

$\vec{E}$ ,  $\theta$ ,  $\phi$  は被表示物体側の座標（画面の中の世界の座

標）での目の位置や角度を表す。この3つの値は通常の透視投影で、もともと使用されるパラメータであり、現実のユーザの目の位置や角度の値とは異なる。 $\theta$  と  $\phi$  の表現は、視線ベクトル  $\vec{F}$  の始点を被表示物体側の座標の原点に重ねた時のベクトルの角度と考え、極座標で記述する。

又、(1)式で得られたのぞき込み量 (x, y, z) は上記の (dFx, dFy, F) にそれぞれ入力する。(dFx, dFy, F) は現実のユーザの目と、画面との位置関係を表す。

通常の透視投影は、Fの値を固定値と考え、画面の原点から垂直距離Fの所に現実の目があると想定して計算する。のぞき込み表示では、これに dFx, dFy が加わり、F も変化量になる。

2.3.2 透視投影の方程式

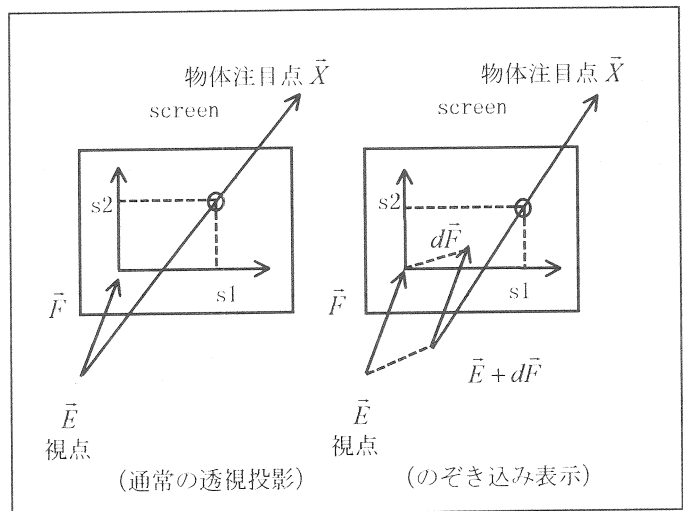


Fig. 3 ベクトルの位置関係

Fig. 3 において  $\vec{P} = \vec{X} - \vec{E}$  と書き、 $\vec{e}_1$ ,  $\vec{e}_2$  を画面上の  $s_1$  軸,  $s_2$  軸の単位ベクトルとする。平行なベクトルがスカラー一倍(k)になる関係を用いて、

(通常の透視投影)

$$k \vec{P} = \vec{F} + s_1 \vec{e}_1 + s_2 \vec{e}_2 \tag{2}$$

(のぞき込み表示)

$$k (\vec{P} - dFx \vec{e}_1 - dFy \vec{e}_2) = \vec{F} + (s_1 - dFx) \vec{e}_1 + (s_2 - dFy) \vec{e}_2 \tag{3}$$

が得られる。また、 $\vec{F}$ ,  $\vec{e}_1$ ,  $\vec{e}_2$  を、物体側の座標で表現すると、

$$\begin{aligned} \vec{F} &= (F \sin \phi \cos \theta, F \sin \phi \sin \theta, F \cos \phi) \\ \vec{e}_1 &= (\sin \theta, -\cos \theta, 0) \\ \vec{e}_2 &= (-\cos \theta \cos \phi, -\sin \theta \cos \phi, \sin \phi) \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (4)$$

(2)式と(3)式は3次元に書き下すことにより、それぞれ3つの方程式となる。未知数は  $k, s1, s2$  の3つである。

2.3.3 解

(4)を(2)に代入して  $s1, s2$  について解くと、

(通常の透視投影)

$$\begin{aligned} s1 &= (F/t1) (Px \sin \theta - Py \cos \theta) \\ s2 &= -(F/t1) (Px \cos \theta \cos \phi + Py \sin \theta \cos \phi - Pz \sin \phi) \end{aligned}$$

ただし、

$$t1 = (Px \cos \theta \sin \phi + Py \sin \theta \sin \phi + Pz \cos \phi)$$

..... (5)

(5)式は通常の透視投影に用いられる。(今回は特に使用しない。)

又、(4)を(3)に代入して  $s1, s2$  について解くと、

(のぞき込み表示)

$$\begin{aligned} s1 &= dFx + (F/t1) (Px \sin \theta - Py \cos \theta - dFx) \\ s2 &= dFy - (F/t1) (Px \cos \theta \cos \phi + Py \sin \theta \cos \phi - Pz \sin \phi + dFy) \end{aligned}$$

ただし、

$$t1 = (Px \cos \theta \sin \phi + Py \sin \theta \sin \phi + Pz \cos \phi)$$

..... (6)

が得られる。(6)式によつてのぞき込み量を伴った透視投影を行う事ができる。

3. 実験方法

3.1 システム構成

ユーザの頭部位置計測には、今回はPSDを使用した。ユーザに何も装着させないためには、将来ステレオカメラによる計測に変更したい。

今回のシステムでは、Fig.4 に示すようにヘッドフォンにとりつけたLED(発光ダイオード)をユーザに装着してもらい、2つのPSDカメラでLEDの位置を検出した。LEDの位置の情報はA/Dボードでコンピュータに送られ(-5V~+5V)、(1)式を用いて3次元の値に変換する。

得られた頭部位置の3次元情報を(6)式の

(dFx, dFy, F)に代入し、あらかじめ作っておいた実験用立体図形の一点一点を同式に基づいて変換し、画面に描画する。以上の操作をたえず繰り返す。

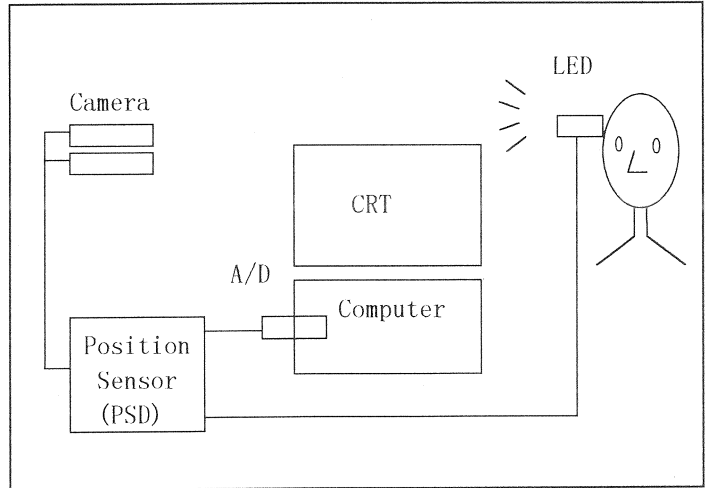


Fig.4 システム構成

3.2 使用機器

上記のシステムの構成に、以下の機器を使用した。

- PSD : 浜松フォトニクス C1373
- Computer : NEC 9802Bp (Windows3.1)
- Microsoft C/C++ Ver.7.0
- AD Board : Interface Corp. AZI-3104

3.3 実装について

頭部位置の判定時、PSDがやや上の方から見下ろしているため、上下方向の値(dFy)を奥行き方向の値(F)で線形補正し、画面に水平・垂直な軸に頭部位置の情報を修正した。

又入力時のノイズを除去するため、常に過去N回分の入力情報との平均を取るようにした。

表示実験の際、下記のパラメータを、キーボードから変更できるようにした。

- 2次元画面 : 原点と拡大率
- dFx, dFy, F : 初期値と倍率
- 2.3.1で示した  $\vec{E}, \theta, \phi$  の値
- 物体の各座標軸まわりの回転
- 過去の入力との平均回数N
- 形状データファイル(テキストで記述)の指定

4. 結果と考察

4.1 結果

PSDと表示プログラムを立ち上げ、LEDを取り付けたヘッドフォンを装着することにより、のぞき込み角度によって画面が連続的に変化する様子を確認した。

ヘッドフォンを取り付けたままの状態、適当な位置で Fig. 5 のような写真を取った。

#### 4.2 リアルタイム性について

PSDを使用したシステムでは、画像は頭の動きに即応してほぼリアルタイムに変化する。ただ、3.3 で述べた入力の平均回数によっては、やや動きに遅れが生じる。

#### 4.3 3次元計測部のキャリブレーション

現状では頭部位置の3次元計測は、 $dF_x$ 、 $dF_y$ 、 $F$  の初期値や倍率を使って調整しているが、キャリブレーション法を検討し、実測値との対応付けを行えるよう、改良が必要である。

#### 4.4 頭部移動量の強調について

3次元CADの表示システムとして考えた場合、あまり体を大きくのぞけたり、立ち上がったり、地面にしゃがんだりしながらのぞき込むとすると、かえって使いにくい物になってしまう。

今回の実験中に  $dF_x$ 、 $dF_y$  の倍率をさまざまな値に変更してみたところ、倍率をかなり大きめに設定し、わずかな顔の移動量で大きくのぞき込めるようにしても、実際にはほとんど違和感を感じなかった。このような移動量の強調がどの程度可能かについて、今後検討したい。

### 5. まとめ

のぞき込み効果を伴う表示装置を試作し、実際の3次元図形について、ユーザ頭部位置に従って画像を変化させる実験を行った。頭部計測の実測値との関連づけ、移動量の強調などについて、今後検討を進めたい。

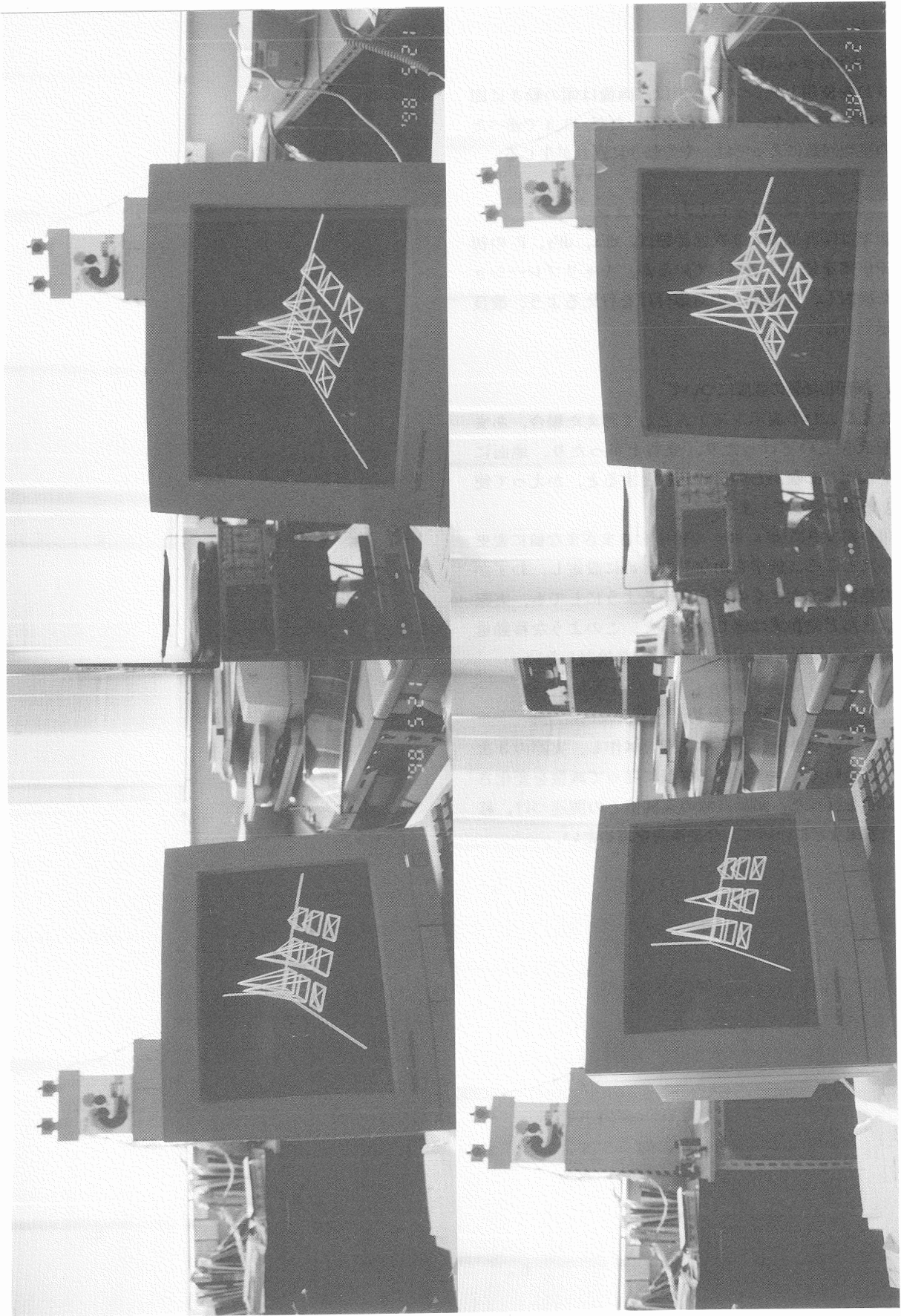


Fig. 5 のぞき込み位置による画像の変化