

## 立体形状の多面体近似システム

## SYSTEM FOR THREE DIMENSIONAL SHAPE APPROXIMATION BY POLYHEDRON

三宅哲夫 土井淳多 (東京大学 農学部)

Tetsuo Miyake and Junta Doi (Faculty of Agriculture, Univ. of Tokyo)

ABSTRACT. A system is described which allows to approximate a 3-D object of arbitrary shape by a polyhedron. The polyhedron is constructed with solid model by taking the intersection of viewing pyramids, which are formed from 2-D image input by TV cameras of multiple position and their every center of projection. This system has the capability of speedy and non-touching shape measurement, mass property estimation and motion analysis.

## 1. まえがき

多くの工業部品の立体形状は、柱体や球等の基本的な図形を基にした集合演算により再現できるが、自由曲面を有する部品や自然界に存在する多くの物体の形状を再現するためには、物体表面の位置を測定し、それを適当なデータ構造で表現する必要がある。位置測定の方法は、接触法と非接触法に大別できるが、対象物体は静止剛体であるとか特殊な照明条件が必要であるものが多い。また長時間を要する方法は経時変化を伴う物体に適用できない。

本研究では、TVカメラ画像を基に対象物体の立体形状を近似した、ソリッドモデルとしてのデータ構造を有する多面体を自動的に出力するシステムを構成した。本研究における形状モデリングの原理を以下に要約する。

i) 物体のある方向への2次元投影像から、物体が存在する3次元領域として、投影中心を頂点とし投影像の形状を断面形状とする無限の錐体域、あるいは投影中心が無限遠方にある無限の柱体域が仮定できる。

ii) 物体は、多くの投影像から仮定されるすべての領域の内部に存在していなければならない。

iii) 各投影像の形状を閉多角形で近似す

れば、すべての仮定領域の相貫により得られる立体は多面体となる。この多面体を物体の近似多面体とする。

Baumgart は、同原理を "silhouette cone intersection" と表現し、プラスチック製の馬と人形を対象として計算を試みているが、画像入力方向は垂直軸まわりで2ないし4方向と少く、対象物体の立体形状を近似したと言える多面体は得られていない<sup>1) 2) 3)</sup>。Baumgart の報告は、多面体の論理積を計算できるソフトウェアシステムが、同原理の実行に供し得ることを述べたのにとどまり、統合されたシステムとしての立体形成の具体的手法を確立するまでには至っていない。

また、Martin と Aggarwal は、最近同原理の実用化を目指して、対象物体を "volume segment" で表現する試みを行った<sup>4)</sup>。これは、無限柱体の論理積として形成される領域を互いに平行な階層構造の線分で記述する手法である。この手法では、投影像の細部にわたる輪郭情報が失われる上、投影は平行投影とされているので近似精度に難点がある。この報告は、柱体の論理積の簡易的な計算法を示したのとどまっている。

多くの視点から得た画像情報を基に物体の形状を認識する他の手法として、断

面群の積層体として対象を表現する研究が行われているが<sup>5)</sup>, この方法も測定に時間がかかる。また, 上述の研究と同様に, 垂直軸まわりのみで多眼視を実現しているのので, 対象物体の形状によっては測定できない部分が増す。

本システムでは, 視点位置を任意とした多眼視を実現し, さらに予め空間内に配置した複数のカメラを用いて短時間に非接触で近似多面体の形成に必要なデータが得られるので, 静止した剛体のほか生物体等多くの物体に対して適用可能である。そして, この多面体は絶対座標系で記述されているので運動解析に対しても有効である。

## 2. 物体と多面体との関係

以下に, 物体とその近似多面体との集合関係並びに物体像と無限錐体との幾何学関係を説明する。

### 2.1 集合関係

対象物体を  $B$  で表わす。  $B$  は 3次元空間  $R^3$  の部分集合で,  $B$  の元を  $B(x, y, z)$  とすると

$$B = \{ B(x, y, z) \in R^3 \}$$

と表される。次に, 物体の 2次元投影像(以下, 物体像と略す)の 1つを  $I_i, I_i$  の元を  $I_i(u, v)$  とすると,  $I_i$  は  $R^2$  の部分集合で, 次のように表される。

$$I_i = \{ I_i(u, v) \in R^2 \}$$

$B$  から  $I_i$  への写像  $\phi: B \rightarrow I_i$  は,  $B$  のすべての元が  $I_i$  の元に写像されると考える。すなわち, 投影中心と  $I_i$  の元  $I_i$  を結ぶ直線上に存在するすべての元が,  $I_i$  に写像される。

物体像  $I_i$  が与えられたとき, 物体  $B$  の存在領域として, 投影中心と  $I_i$  のすべての元を結ぶ直線の集合  $C_i$  が仮定できる。 $I_i$  から  $C_i$  への写像を  $\psi: I_i \rightarrow C_i$  で表す。 $C_i$  の形状は, 投影中心を頂点とし,  $I_i$  を断面形状に持つ錐体である。

合成写像  $\psi \circ \phi: B \rightarrow C_i$  を考えると, 空間に存在する 1点  $P$  について

$$\forall P \{ P \in B \Rightarrow P \in C_i \}$$

である。  $N$  個の錐体の相貫により得られる立体図形を  $P$  とすると, 定義から

$$P \equiv \bigcap_{i=1}^N C_i$$

すなわち,

$$\forall P \{ P \in P \Rightarrow P \in C_i \}$$

である。  $P$  と  $B$  の関係は

- i)  $P = B$
- ii)  $N \rightarrow \infty \Rightarrow P \rightarrow B$
- iii)  $P \supset B$

の 3つの場合が考えられる。  $B$  の表面を構成するすべての点がかならず物体像の輪郭線上に写像できるとき, i) または ii) が成り立つ。このとき,  $B$  が多面体であれば有限の  $N$  で i) が成り立ち, 曲面を含む場合は,  $N$  が大きくなるにつれ  $P$  は限りなく  $B$  に近づく。ただし, 円錐体等は曲面を含むが, 有限の  $N$  で  $P$  を  $B$  に一致させ得る場合がある。 iii) は i), ii) 以外のすべての場合で, 例えば局所的なくぼみが存在する場合は,  $N$  の値によらず  $P \supset B$  である。

### 2.2 幾何学関係

空間内に左手系の絶対座標系  $O-xyz$  を考え, 物体座標系と呼ぶことにする。物体座標系を回転, 平行移動, スケーリング交換した座標系を  $O_0-nuv$  で表しスクリーン座標系と呼ぶことにする。図 1 に, 両座標系を示す。 2次元平面  $O_0-uv$  は, 物体像を投影する平面で, 仮想的なスクリーンである。空間の 1点の物体座標を  $(x, y, z)$ , スクリーン座標を  $(n_B, u_B, v_B)$  とする。このとき両座標間には次の関係が成り立つ。

$$\begin{pmatrix} n_B \\ u_B \\ v_B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \beta_x & 0 & 0 \\ 0 & \beta_y & 0 \\ 0 & 0 & \beta_z \end{pmatrix} \begin{pmatrix} l_1 & m_1 & n_1 \\ l_2 & m_2 & n_2 \\ l_3 & m_3 & n_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \Delta n \\ \Delta u \\ \Delta v \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$= \mathbf{T}_S \mathbf{T}_R \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \Delta n \\ \Delta u \\ \Delta v \end{pmatrix}$$

ここで、 $\mathbf{T}_R$  は回転マトリックス、 $\mathbf{T}_S$  はスケーリング変換マトリックスを表し、 $\Delta n, \Delta u, \Delta v$  は平行移動量である。

写像  $\Phi: B \rightarrow I_i$  により、スクリーン座標が  $(n_B, u_B, v_B)$  である物体点  $B$  は、図 1 に示されるように、 $O_c - uv$  平面上の点  $I(u, v)$  に投影される。この位置座標は、透視投影の投影中心をスクリーン座標で  $F(f, 0, 0)$  とすると

$$\left. \begin{aligned} n &= 0 \\ u &= u_B / (1 - n_B / f) \\ v &= v_B / (1 - n_B / f) \end{aligned} \right\} (2)$$

となる。このとき、仮想スクリーンは、 $\Delta n$  と  $\mathbf{T}_S$  の各成分の値によって、 $n$  軸上の任意の位置に設定できるので、以後は  $\Delta n = 0$  とする。

写像  $\Psi: I_i \rightarrow C_i$  は、基本的には  $\Phi$  の逆写像である。スクリーン座標系での物体像点  $I(0, u_i, v_i)$  および投影中心  $F(f, 0, 0)$  は、物体座標系ではそれぞれ、

$$\begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{pmatrix} = \mathbf{T}_R^{-1} \mathbf{T}_S^{-1} \begin{pmatrix} 0 \\ u_i + \Delta u \\ v_i + \Delta v \end{pmatrix} \quad (3).a$$

$$\begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{pmatrix} = \mathbf{T}_R^{-1} \mathbf{T}_S^{-1} \begin{pmatrix} f \\ 0 + \Delta u \\ 0 + \Delta v \end{pmatrix} \quad (3).b$$

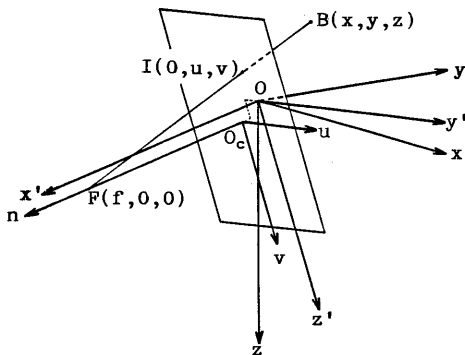


図 1 物体座標系とスクリーン座標系

となる。像点  $I$  は、写像  $\Psi$  により投影中心  $F$  と点  $I$  を通る直線に変換される。 $I_i$  に含まれるすべての点と投影中心を結ぶことにより、物体の仮定存在領域として開いた錐体が形成される。投影中心  $F(f, 0, 0)$  が無限遠方に存在するときは、投影は  $n$  軸方向への平行投影となり、形成される領域は開いた柱体となる。

### 3. 多面体の形成

透視投影に関する未知数の決定法を述べ、次に画像入力から多面体出力に至る手順を述べる。

#### 3.1 透視投影に関する未知数の決定

多方向から物体像を得るには、カメラを物体に対し相対的に移動する方法、複数の固定カメラを同時に用いる方法、さらには両者を組合せた方法がある。

まず、TVカメラを図 2 に示すように回転させることを考える。初期位置においては、カメラ光軸である  $n$  軸と  $x$  軸が平行で、カメラの仮想スクリーンの  $u$  軸が  $y$  軸に、 $v$  軸が  $z$  軸にそれぞれ平行とする。同図に示すようにカメラを  $\phi, \varphi, \theta$  回転したとき、 $O - xyz$  と  $O - x'''y'''z'''$  との間には次式が成り立つ。

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \mathbf{T}_R^{-1} \begin{pmatrix} x''' \\ y''' \\ z''' \end{pmatrix}$$

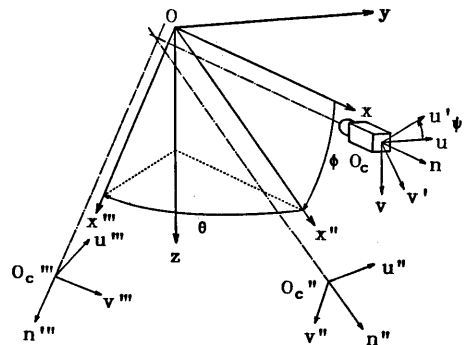


図 2 カメラの回転移動

ただし、

$$T_R^{-1} = \begin{bmatrix} \sin\theta \cdot \cos\phi & \sin\theta \cdot \sin\phi \\ \cos\theta \cdot \cos\phi & +\cos\theta \cdot \sin\phi \\ -\sin\theta \cdot \cos\phi & -\sin\theta \cdot \sin\phi \\ \sin\phi & -\cos\phi \cdot \sin\phi \\ \cos\phi & \cos\phi \cdot \cos\phi \end{bmatrix}$$

平行移動量は、原点  $O$  の像  $I_0$  の画面中心からのずれにより求まる。倍率は、寸法が既知の物体を原点近傍に置き、その像の寸法から計算によって求める。この物体とカメラとの距離を少し変えて同様の計算を行うことにより、原点と投影中心との距離が求められる。

固定カメラを用いる場合は、幾つかの基準点を物体座標系に配置し、それらの像から計算によって、変換に必要な諸量を求めることができる。物体座標系の点  $B(x, y, z)$  とスクリーン座標系の点  $B$  の像  $I(o, u, v)$  との関係は、(1), (2)式で表されるが、 $\alpha_u = 1/\beta_y$ ,  $\alpha_v = 1/\beta_z$  とし、 $\Delta n = 0$ ,  $\alpha_n = 1/\beta_x = 1$  として、次の様に表される。

$$\left. \begin{aligned} u &= u_B / (1 - n_B / f) \\ v &= v_B / (1 - n_B / f) \end{aligned} \right\} (4)$$

ここに、

$$\begin{aligned} n_B &= l_1 x + m_1 y + n_1 z \\ u_B &= (l_2 x + m_2 y + n_2 z) / \alpha_u - \Delta u \\ v_B &= (l_3 x + m_3 y + n_3 z) / \alpha_v - \Delta v \end{aligned}$$

である。座標  $I(o, u, v)$  は画像から求められるので、基準点の座標  $B(x, y, z)$  が既知であれば(4)式の2方程式が成り立つ。ここで基準点の1つを物体座標系の原点  $O(0, 0, 0)$  に選べば、上式からただちに、 $\Delta u = -u_0$ ,  $\Delta v = -v_0$  を得る。このとき(4)式は、回転に関する独立な6成分、倍率の2成分、そして投影中心距離の1成分の合計9個の未知数を含んでいる。これらは、原点を含めて一平面上にない6個の基準点とその像の座標から、数値解法により求めることができる。この結

果、透視投影の幾何学関係が確定する。

### 3.2 物体像の抽出

物体像は、以下の3条件を満足するよう、モニタで確認した後入力した。

- i) 対象物体は画像内に1つ存在する。
  - ii) 背景と物体像とのコントラストを十分にとる。
  - iii) 欠損のない物体像を鮮明に入力する。
- これらの条件を満足させる理由は、物体像を簡単にかつ正確に抽出するためであり、多面体の近似精度を画像入力の段階で落とさないためである。カラー画像も入力できるが、背面照明を施して上記ii)の条件を満足させる場合は、カラー情報は失われる。

この様にして得た画像から以下の手順で物体像の輪郭線を抽出した。

- i) 物体像領域の画素値を1、背景のそれを0として画像を2値化する。
- ii) 高さ  $H(0 < H < 1)$  の等高線を図3のように求める。得られた等高線は閉多角形となるが、これを物体像の輪郭線とし、閉多角形の頂点となる輪郭線上の点を順次抽出して輪郭構成点列  $L_p = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$  とする。
- iii) 輪郭構成点列  $L_p$  から輪郭特徴点列  $L_p^* = \{P_1^*, P_2^*, \dots, P_n^*\}$  を次の様に抽出する。図4に示す様に、
  - ①  $p_1$  を  $P_1^*$  とする。
  - ②  $P_k^*$  は  $L_p$  の元から順次抽出する。

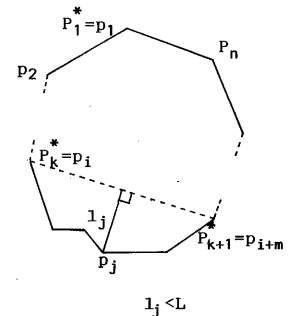
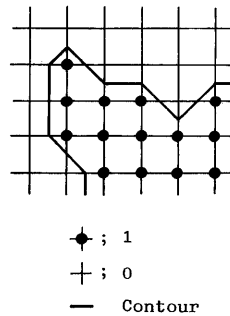


図3 輪郭線 ( $H = 0.5$ ) 図4 輪郭特徴点の抽出

③  $P_k^* = p_i, P_{k+1}^* = p_{i+m}$  のとき、線分  $P_k^* P_{k+1}^*$  と  $p_j \in \{p_{i+1}, \dots, p_{i+m-1}\}$  の距離を  $l_j$ , 設定値を  $L$  としたとき  $l_j < L$  である。

等高線の値  $H$  により物体像の面積は僅かに変化し、また設定値  $L$  により、輪郭線の近似は粗くも細かくもなる。

### 3.3 多面体の計算

多面体の計算過程を図5の流れ図に示す。まず、与えられた入力画像情報を基に、物体の仮定存領域である錐体を形成する。次に、すべての錐体の相貫により形成される形状モデルを、ワイヤフレームモデル、サーフィスマodelの順に、以下の考え方に従って作成する。はじめに、錐体  $C_i$  と多面体  $P$  の表面  $Sci$ ,  $Sp$  を次の式で定義する。

$$Sci = \left( \bigcup_j F_j^i \right) \cup \left( \bigcup_j E_j^i \right) \cup Vci \quad (5)$$

$$Sp = \left( \bigcup_j f_j \right) \cup \left( \bigcup_j e_j \right) \cup \left( \bigcup_j v_j \right) \quad (6)$$

ただし、 $f_j$  は各面、 $e_j$  は各稜線、 $v_j$  は各頂点を表し、(5)式に関しても同様である。このとき、ある稜線  $e_m$  に関して、

$$e_m = \left\{ E_j^i \cap \left( \bigcap_{n=1}^N C_n \right) \right\} \cup \left\{ F_j^i \cap F_\ell^k \cap \left( \bigcap_{n=1}^N C_n \right) \right\} \quad (7)$$

上式が成り立つような  $E_j^i$  または  $F_j^i$  と  $F_\ell^k$  の組が存在する。またある面  $f_k$  に関し、

$$f_k = F_j^i \cap \left\{ \bigcap_{n=1}^N C_n \right\} \quad (8)$$

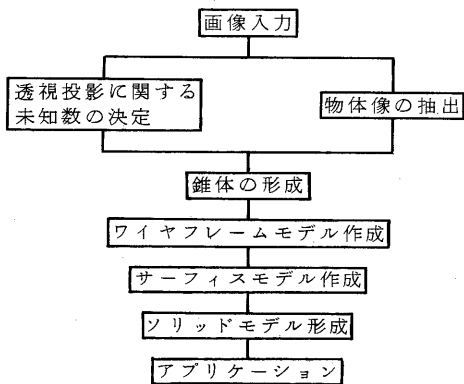


図5 多面体計算の流れ図

となるような  $F_j^i$  を見出せる。そして、 $e_k$  に関して、

$$e_k = f_i \cap f_j \quad (9)$$

を満たす  $f_i$  と  $f_j$  の組がかならず存在する。結局、(7)式の  $i, j, k, \ell$  のすべての組合せに関し計算を行うことによりワイヤフレームモデルが完成する。次に  $F_j^i$  に含まれるすべての稜線の接続関係を調べ、サーフィスマodelを作成する。(9)式は計算の検証に用いる。

多面体を完成させるためサーフィスマodelをソリッドモデルに変換する際、同時に出力多面体の個数を求める。その理由は、対象物体の近似多面体と幾つかの小さな多面体に分離する可能性があるからで、この数が不明であれば、オイラー数を確認することができない。

本システムは、表面積、体積、慣性モーメントの計算プログラム、簡易隠れ線消去法による多面体表示プログラムを備えている。表示は平行投影で、視点位置はキーボードから入力する。

### 3.4 システム構成

図6に、画像入力部のハードウェア構成を示す。画像入力装置は、3管式ビジコンカメラ、単板式MOS固体カメラ、CCDモノクロームカメラ等である。本システムの入力画像の画素数は  $256 \times 256$  あるいは  $512 \times 512$  が基本である。カラ

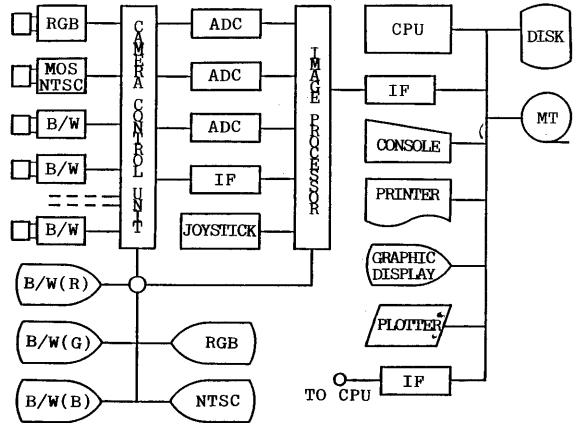


図6 システム構成

一画像の場合、各画素は赤、緑、青の各三原色に対し、3台の8ビットA/D変換器を用いて量子化を行っている。また、カメラのビデオ信号を切替えることにより18台までのモノクロームカメラからの画像入力が可能である。

多面体の形成は、主記憶64KBないし1MBの計算機で行う。計算機内部では、多面体の各頂点は絶対座標で表され、各面は構成頂点数と、順序づけられた頂点番号の並びで記述されており、これらの全データは磁気テープ等の記憶媒体に記憶される。多面体データは、グラフィックディスプレイ装置を介して図形として表示され、表示された図は、ハードコピー装置でコピーする。

#### 4. 適用例

図7は、図8以下の図中に示すパラメータの説明図である。回転角 $\phi$ 、 $\theta$ は出力視線方向を、 $\psi$ は視線まわりの回転を表すパラメータである。また、 $\lambda$ 、 $\mu$ 、 $\nu$ の値は、断面形状図を得るときの切断面の方向余弦を表す。同図に示す $y'z'$ 平面に図形を平行投影する。

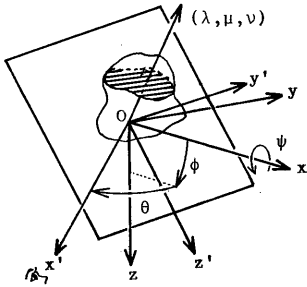


図7 投影方向と断面の方向余弦

##### 4.1 レモン(模型)

表1に、入力画像パラメータと近似多面体の構成要素を示す。図8は、レモンの近似多面体で、この多面体の体積の計算値は $142.0\text{ cm}^3$ 、実測値は $142.2\text{ cm}^3$ で、0.57%の誤差であった。また図中のAB間は最長区間で距離は $92.2\text{ mm}$ 、ノギスを

用いた実測値は $92.4\text{ mm}$ で、0.22%の誤差であった。この寸法誤差は、表1に示す1画素の大きさ $0.561 \times 0.476\text{ mm}$ 以下であった。図9は $1\text{ mm}$ 間隔の断面形状図である。断面形状は閉多角形であるが、これをスムージングして再構成することにより曲面体が得られる。また、この多面体を基にして有限要素法や境界要素法による解析が可能となる。模型を用いた理由は、比較のための測定と、再実験を可能にするためである。

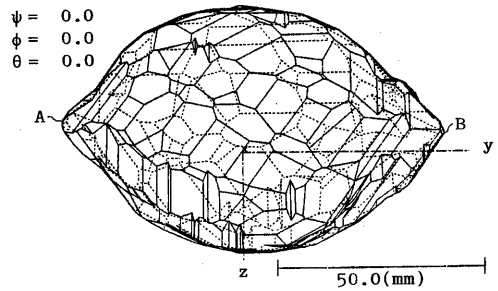


図8 レモンの近似多面体

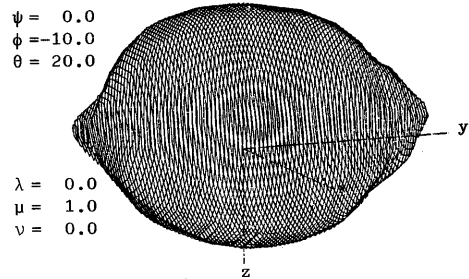


図9 レモンの断面形状図

##### 4.2 魚(模型)

表1に、入力画像パラメータと近似多面体の構成要素を示す。図10は、魚の近似多面体の三面図で、尾ひれ、腹びれ、背びれ等の薄い部分を精度よく再現するためには、ひれの接線方向への物体像が必要である。この多面体の体積は $22.0\text{ cm}^3$ 、実測値は $22.1\text{ cm}^3$ で0.45%の誤差であった。図11は $1\text{ mm}$ 間隔の断面形状図で、同図a)は等高線表示である。このシステムにより、魚の瞬時的な形態と運動が認識できる。

### 4.3 人形

表 1 に、入力画像パラメータと近似多面体の構成要素を示す。図12は人形の近似多面体のワイヤフレーム表示である。同図 a) 中の右足かかとと左手指先に相当する A B 間の距離は 106.0mm, 実測値は 106.6mm で 0.56% の誤差で、1 画素の大

きさと同程度の寸法誤差であった。図 13 は図 12 b) とほぼ同位置から撮影した人形の写真である。位置関係は厳密には正確ではないが、両図を比較すると人形の全体的形状がよく再現されており、生体の形状モデルの形成や運動解析に有効であることがわかる。

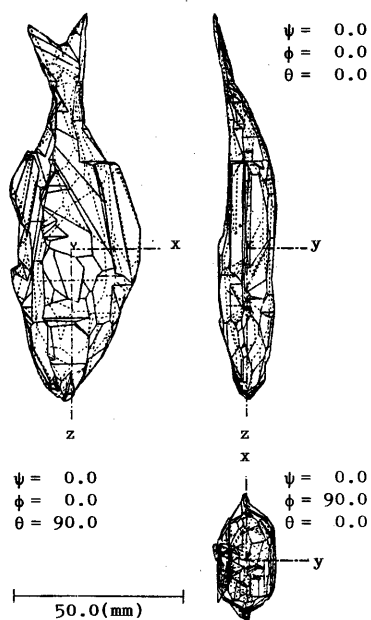


図 10 魚の近似多面体の三面図

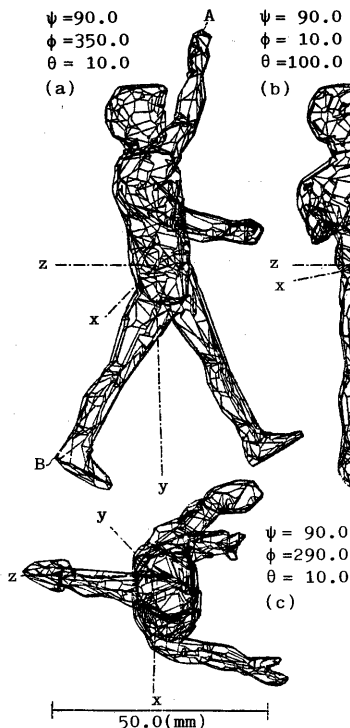


図 12 人形の近似多面体

図 13 人形の写真

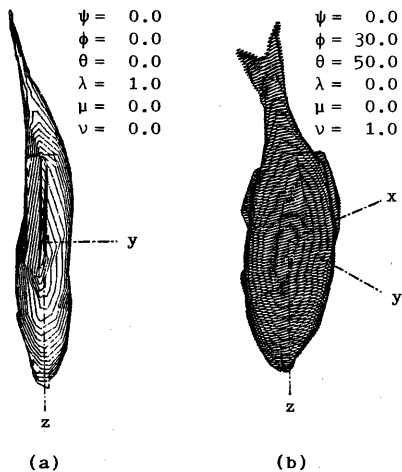


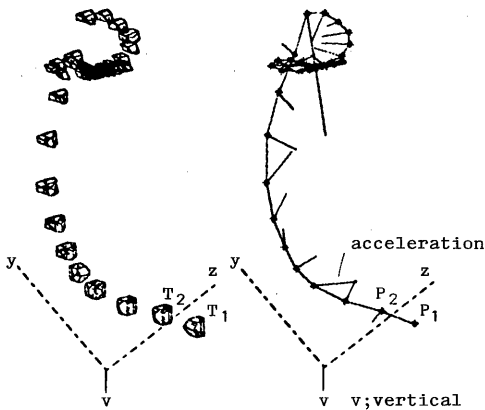
図 11 魚の断面形状図

表 1 画像入力パラメータと多面体の構成要素

	LEMON			FISH			DOLL			
NUMBER OF PICTURES	18			20			18			
ψ (deg)	0			0			0			
φ (deg)	0	-25	-50	0	-30	-60	-80	0	-30	-60
θ (deg)	0	0	0	0	0	0	352	0	0	0
	30	60	60	30	60	60	183	30	60	25
	60	120	120	60	120	120	-	60	120	90
	90	180	180	90	180	180	-	90	180	150
	120	240	240	120	240	240	-	120	240	215
	150	300	300	150	300	300	-	150	300	335
Δu (pixel)	-3.50			2.25			4.50			
Δv (pixel)	2.75			0.25			-15.90			
α <sub>u</sub> (mm/pix)	0.561			0.788			0.618			
α <sub>v</sub> (mm/pix)	0.476			0.668			0.524			
f (mm)	1842.4			3588.6			2661.7			
VERTEX	827			830			2020			
EDGE	1241			1245			3030			
FACE	416			417			1012			

#### 4.4 流れの可視化

図14 (a)は、流れ場に存在する直径約3mmのポリスチレン製の微小球が移動する様子を5秒間隔で表示した図である。球の近似多面体は、互いにほぼ直交する3台の固定カメラで得た画像を基に形成した。表2にカメラ1に関する校正データと、それから求めた座標変換パラメータを示す。各時刻における球の位置を近似多面体の重心位置で代表した図が図14 (b)で  $P_i, P_{i+1}$  は速度を、各重心を端点とする線分は比率を3倍した加速度を表す。この手法で得られる近似多面体は絶対座標系で記述されているので、この例の様に粒子の運動を通して流体の動きを把握できる。逆に、船体模型等の流れ場における運動解析にも応用できる。



(a) 各多面体の位置 (b) 運動の軌跡と加速度  
図14 微小球の運動追跡(36点)

表2 カメラ1に関する校正データと透視投影パラメータ

CAMERA 1 CALIBRATION DATA					
	u(pixel)	v(pixel)	x(mm)	y(mm)	z(mm)
1	-8.7	96.0	0.0	0.0	0.0
2	67.0	59.3	64.4	0.0	0.0
3	106.8	-14.0	64.4	0.0	64.4
4	45.0	-110.0	64.4	64.4	64.4
5	-26.5	-70.0	0.0	64.4	64.4
6	-72.0	1.8	0.0	64.4	0.0
PARAMETERS OF PERSPECTIVE PROJECTION					
$T_R^{-1}$	0.6515	0.6911	-0.3054	$\Delta u$ (pixel)	8.7
	0.2631	-0.5927	-0.7676	$\Delta v$ (pixel)	-96.0
	-0.7115	0.4136	-0.5634	$\alpha_u$ (mm/pix)	0.6057
				$\alpha_v$ (mm/pix)	0.5075
				f (mm)	1033.8

#### 5. 結論

本システムにより得られる近似多面体の全体的形状は、対象物体の持つ形状特性をよく再現しており、マスコプロパティは対象物体のそれに近い。しかし、本手法は物体像の輪郭情報を基にした形状モデリングであるので、輪郭線に現れない形状特性は多面体に表現できない点が原理的な限界である。

近似精度に関しては、画像数が多ければ、機械的に入力方向を定めてもかなり良い結果を得るが、形状に応じて理想的な方向を選べばより少ない画像数で精度を上げることができる。対象が静止している場合は、1台のカメラを移動しても良いが、運動している場合は、多数の固定カメラを備えたシステムが必要となる。

以上のように、近似精度を向上させる技術的な余地が残されているものの、かなり複雑な形状を有する物体に対しても、目的によっては現段階で適用可能な手法である。デジタル画像による測定を基本としているため画素分割に伴う誤差は不可避であるが、非接触で、短時間にデータを得た後、自動的に対象物体の近似多面体を形成することができる。したがって、本システムは、形状モデリングばかりでなく、物体の姿勢や運動を認識するのにも有効なシステムである。

#### 参考文献

- 1) B.G.Baumgart: "GEOMED - A Geometric Editor", Stanford AI Memo AIM-232, MAY 1974
- 2) B.G.Baumgart: "Geometric Modeling for Computer Vision", Stanford AI Memo AIM-249, OCTOBER 1974
- 3) B.G.Baumgart: "A Polyhedron Representation for Computer Vision", NCC, p.589, 1975
- 4) W.N.Martin and J.K.aggarwal: "Volumetric Description of Objects from Multiple Views", IEEE Trans., vol.PAMI-5, No.2, p.150, 1983
- 5) 佐藤幸男, 藤田広一: "曲面物体の形状測定と記述", 信学論(D), J62-D, No.1 p.1, 1978.