

## 両手ジェスチャで変形可能な3次元形状表現法

西野 浩明<sup>†</sup> 凍田 和美<sup>††</sup> 宇津宮 孝一<sup>†</sup>

物の形を表す両手ジェスチャを用いて、3次元形状を容易かつ直観的に創作する手法を提案する。形の形成は、手の動作でなく変形される物体が制御するという新たな概念を導入し、これを基盤に考案した、手振り動作に自然にその対応づけが可能な形状パラメータを持つ3次元物体モデラの実現法を述べる。

### Deformable 3D Shape Representation Using Bimanual Gestures

HIROAKI NISHINO,<sup>†</sup> KAZUYOSHI KORIDA<sup>††</sup> and KOUICHI UTSUMIYA<sup>†</sup>

This paper proposes a simple and intuitive method for creating 3D geometric objects by using pictographic bimanual gestures. We introduce a new concept that 3D shape formation is controlled by the deformed objects rather than hand movements. Then the paper describes an implementation method of a 3D object modeler designed on the basis of the concept, containing some shape parameters easily associated with specific hand gestures.

#### 1. はじめに

VR (Virtual Reality) や 3次元 CG (Computer Graphics) 技術の急速な発展により、各種工業製品や工芸品の試作・評価をすべて仮想環境で行うことが可能になってきた。とりわけ3次元描画技術の進歩はめざましく、現実感のある立体映像として描かれる対象物を直接目で見ながら設計することができる。しかし3次元形状は、その2次元平面への投影図形で入力するのが一般的なため、複雑な形状ほど利用者がデータ入力に要する労力と時間は増大する。また、利用者が3次元形状を直接操作可能な場合でも、力覚フィードバックなしに空間内の変更点を正確かつ迅速に指示することは難しい。

我々は、物の形や大きさなどを表現する手振り動作が3次元データ入力にそのまま利用できれば、文書の執筆や推敲にワープロを使うような感覚で、手軽に3次元形状の創作が可能になると考えた。さらに両手を使えば、片手に比べて動作の精度や再現性が向上することも確認しており<sup>1)</sup>、力覚フィードバックがない環境でも、両手を用いて容易に作成者が意図する形状を提示できる。

本論文では、両手電子グローブ (Virtual Technolo-

gies 社製 CyberGlove) を利用し、手の象形または空間的ジェスチャで3次元形状を生成・変形する新たな手法を提案し、その実現法と初期の実験結果を述べる。

#### 2. 提案手法の特徴

従来に関連研究は、左右の手の非対称性に着目した形状変形法や<sup>2)</sup>、2つの手を1つの仮想の手として制御する手法<sup>3)</sup>など、手の動作特徴や使用法に重きを置く「手を中心」のアプローチである。これらは自由度の高い汎用性のある手の動作環境を実現できる反面、操作対象物には大域的な変形が難しいポリゴンモデルや変形できない剛体が想定されており、手の描写性を利用した動的かつ大域的な形状の生成や変形には適用しにくい。我々の手法は、形の形成を制御するのはむしろ物体側であるという「物体を中心」の観点から、両手ジェスチャと自然にその対応づけができる形状パラメータを持つ3次元モデラを実現することで、手と操作対象物との直観的対話を可能にする新しい造形インタフェースを構築しようとするものである。

#### 3. 実現方法

##### 3.1 3次元形状作成手順

3次元形状の設計・制作工程を、(a)基本形状の作成、(b)複数の基本形状を組み合わせて概形を形成、(c)概形の変形という3手順に分ける。これは概形から形状の詳細化と具体化を順次行う現実の造形手順を反映している。本手順に従って、「ねじれ形壺」を両手ジェス

<sup>†</sup> 大分大学工学部

Faculty of Engineering, Oita University

<sup>††</sup> 大分県立芸術文化短期大学

Oita Prefectural College of Arts and Culture

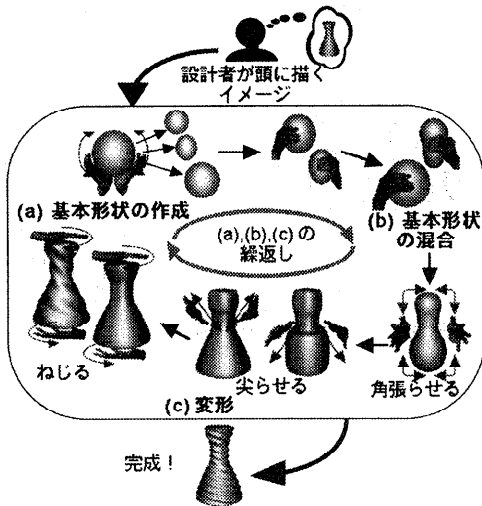


図1 両手ジェスチャによる3次元形状作成手順  
Fig. 1 3D shape modeling procedure using bimanual gestures.

チャを用いて作る例を図1に示す。まず、(a)「楕円」動作で3つの基本形状を作り、(b) これらを直接把持して混合し、(c) 上下を「尖らせ」て「くびれ」を入れながら「ねじる」ことで目的の形状が得られる。完成した形状を再び基本形状として利用し、本手順を繰り返せば、より複雑な形を造ることもできる。

### 3.2 3次元モデルの実現法

3手順の最初である基本形状の作成には、少ないパラメータでさまざまな形が表現できるという性質を持つ超2次関数<sup>4)</sup>を利用する。同関数で表される形状  $P$  の陰関数表現を次に示す。

$$P(x, y, z) = \left[ \left\{ \left( \frac{x}{r_x} \right)^{\frac{2}{e_2}} + \left( \frac{y}{r_y} \right)^{\frac{2}{e_2}} \right\}^{\frac{e_2}{e_1}} + \left( \frac{z}{r_z} \right)^{\frac{2}{e_1}} \right]^{e_1} \quad (1)$$

$r_x, r_y, r_z$  は  $x, y, z$  軸方向の大きさを表すスケールパラメータ、 $e_1, e_2$  は緯度面、経度面での角張り具合を表す形状パラメータである。図2(a)に示すように  $e_1, e_2$  の値を変化させることで、さまざまな形状を表現できる。これから図2(b)のように手の象形動作とパラメータ値とを対応させることで、楕円体や立方体などの基本形状を手振りで生成させることができる。さらに図2(c)のように、手の動作と  $e_1, e_2$  値の加減演算を対応させれば、尖らせる、角張らせるなどの変形操作が可能になる。

次に、基本形状の混合を考える。自然な混合形状を得るためには、隣接する基本形状間の境界部分が連続

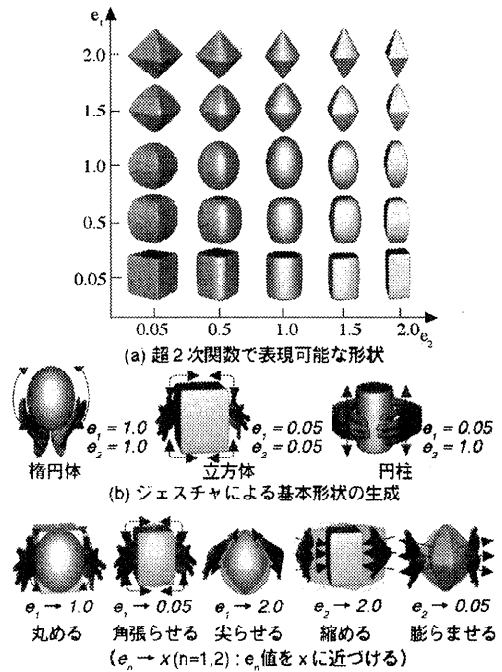


図2 超2次関数による基本形状の表現  
Fig. 2 Primitive shape representation using superquadrics.

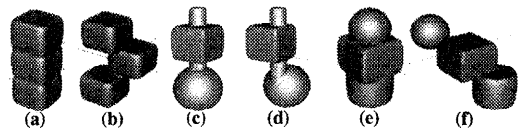


図3 基本形状の混合  
Fig. 3 Primitive blending.

かつ滑らかに接合できなければならない。境界部分の連続性を保証する複数の陰関数表現による混合処理手法が提案されているが、その中でも比較的計算負荷が軽く、 $G^2$  連続な接合面を生成可能な Wyvill の方法<sup>5)</sup> を応用して、式(1)を次のように拡張する。

$$B(P_1, \dots, P_n) = \sum_{i=1}^n \left( 1 - \frac{P_i^2}{R^2} \right)^3 - c \quad (2)$$

$P_i$  は式(1)で表される基本形状、 $n$  は混合する基本形状の数、 $R$  は混合処理の影響範囲、 $c$  は定数(通常  $1/2$ )である。式(2)により、3個の基本形状を混合した例を図3に示す。超2次関数で表現できる形は対称なものに限られるが、混合処理を用いれば、図3(b)、(d)および(f)のような非対称形状も表現できる。式(2)の  $P_i$  に作成済の混合形状を代入すれば、再帰的な混合処理も可能になる。

さらに、「つまむ (pinch)、尖らせる (taper)、ね

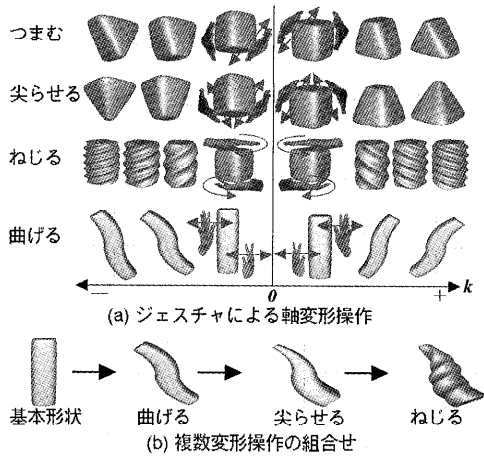


図4 軸変形

Fig. 4 Axial deformation.

じる (twist), 曲げる (bend)」という手の動作に自然に帰着できる変形操作を導入する。これらは軸変形 (axial deformation) と呼ばれる機能で、式 (1) に変形強度  $k$  と形状関数  $s(z)$  という2つのパラメータを加えることで実現できる。すなわち、軸変形可能な超2次関数  $P'$  は次のように表すことができる。

$$P'(x', y', z') = P(x, y, z, k, s(z)). \quad (3)$$

$k$ ,  $s(z)$  とともに  $x$ ,  $y$ ,  $z$  軸方向の変形を制御する3要素からなる。図4の変形例では、 $s(z)$  を次のように定義した。

$$s_x(z) = \frac{k_x}{r_z} z, s_y(z) = \frac{k_y}{r_z} z, s_z(z) = \pi k_z z. \quad (4)$$

図4(a)はジェスチャと  $k$  値の加減演算を対応させることで、手の動きに応じた自然な変形操作が可能であることを示している。動作の向きで物体上の変形位置や方向も指定できる。各変形操作は、物体上の点  $(x, y, z)$  を  $(x', y', z')$  に座標変換する以下の変換式で実現できる。

$$\text{pinch} : \begin{cases} x' = (1 - s_x(z))x, \\ y' = y, z' = z. \end{cases} \quad (5)$$

$$\text{taper} : \begin{cases} x' = (1 - s_x(z))x, \\ y' = (1 - s_y(z))y, z' = z. \end{cases} \quad (6)$$

$$\text{twist} : \begin{cases} x' = x \cos s_z(z) - y \sin s_z(z), \\ y' = x \sin s_z(z) + y \cos s_z(z), \\ z' = z. \end{cases} \quad (7)$$

$$\text{bend} : \begin{cases} x' = z \sin s_z(z) + x \cos s_z(z), \\ y' = y, \\ z' = z \cos s_z(z) - x \sin s_z(z). \end{cases} \quad (8)$$

図4(b)のように複数の軸変形を組み合わせた、図1の「壺形」への「ひねり」操作のように、混合形状に対して軸変形を行うことで、より複雑な形状が生



図5 仮想造形環境

Fig. 5 Virtual modeling environment.

成できる。混合形状に対する軸変形は次式のように定義できる。

$$B'(P'_1, \dots, P'_n) = \sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{P'_i{}^2}{R^2}\right)^3 - c. \quad (9)$$

## 4. 造形実験

### 4.1 実験環境

上述の3次元モデルをSGI製Onyx2上に実装した。造形物体は200インチの大形スクリーンに立体視映像で表示し、利用者が自分の手元で実物を変形するような感覚で操作ができるようにした。図5に本システムの利用環境を示す。入力処理には、すでに開発済みの自己組織化特徴マップ (SOM) を用いたジェスチャ認識機能<sup>1)</sup>を利用して、両手CyberGloveからサンプリングされる手振り動作を学習させる。学習が完了した後は、SOMによって認識される各ジェスチャに応じて、超2次関数の形状パラメータ ( $e_1, e_2$ ) の変更、あるいは軸変形操作の選択と変形強度 ( $k$ ) の変更を行うことで物体形状を生成・変形する。ジェスチャは前章にあげたものを用いたが、学習用サンプルを変えることで任意の動作が使用でき、利用者の好みや習慣によるばらつきを吸収できる。混合処理は、両手で基本形状を直接把持しながら意図する位置で接合させるのが最も自然な操作と考えられる。そこで、次に示す手と基本形状の交差判定をもとに、両者が交差状態 (true) にあるときに、把持動作が起動されるようにした。

$$P(x_f, y_f, z_f) \begin{cases} > 1, & \text{false} \\ \leq 1, & \text{true} \end{cases} \quad (10)$$

$x_f, y_f, z_f$  は、両手の各指関節の位置座標である。複数種類の操作を対象にジェスチャを用いる場合、

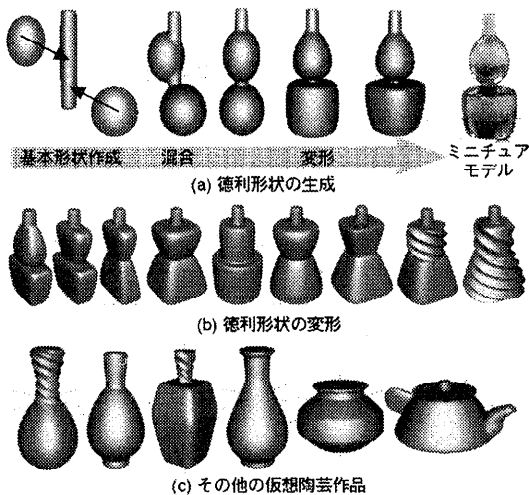


図6 実験結果

Fig. 6 Experimental results.

各々のジェスチャがどの操作を実行しているかを確実に判別できなければならない。そこで、手振りで物体の形を描いている間は、手の形を変えないのが一般的であると考え、基本形状作成、変形、把持、操作対象の指定等の操作種別を手の形で示し、その後手振りで形状描写を行うようにした。さらに、使い勝手の良いジェスチャインタフェースの実現には、有意な動作の開始を自動的に識別できることが重要である。本システムでは手の加速度を利用し、その値が設定値で定義される静止状態以上になるときを動作の開始として検出する。加速度の取得には専用のセンサ<sup>6)</sup>を導入せず、両手グローブに付属する磁気式位置センサ (Polhemus社製 Fastrak) から得られる位置データとその計測時間より二階差分値を順次計算する。また、物体の大きさは両手の間隔で直接指示できるようにした。

#### 4.2 実験結果

両手による仮想造形の一応用として、開発中の仮想陶芸システム<sup>7)</sup>に本モデルを統合化し、造形実験を行った。同システムの未経験者によって作られた陶芸模型を図6に示す。図6(a)は「徳利」形状の例をその制作過程とともに示している。図6(b)は徳利の一部を変形した作品の例である。このように既存形状の変形を通じて、造形アイデアの具体化やさらに新しいイメージの発想喚起にも本システムを有効に活用できる。これらすべての形状制作に要した時間は、被験者への事前説明を含めて1時間程度であり、提案手法の形状表現能力に加えて、市販のCADソフトではかなりの事前練習が必要な形状も簡単に創作できることが判明した。図6(c)はその他の作品例を示している。

今回の実験では、物体の変形速度を一定にしたが、

操作に慣れた被験者からは、変形量に応じて速度が調節できる機能を要求された。たとえば、手振り動作の速度に比例して変形速度を変えれば、操作の直観性を損なわずにこの要求を満足できる。これは今後の機能強化の課題である。また図6(a)の徳利を光造形装置でミニチュアモデル化する実験を行った。現時点では人手によるデータ変換なども含めて製造に半日程度を要するものの、仮想の設計データを継ぎ目なく生産へつなげる「実仮想統合生産」への手掛かりが得られた。

#### 5. おわりに

手振り動作に自然にその対応づけが可能なパラメータを有する3次元モデル構成法について述べた。人間同士の対面対話で、手を使って物の形を伝えるような感覚で計算機に立体形状の入力を行える効果は大きい。今後は、さまざまな年代や技術スキルの利用者を被験者として実験を行い、本手法の有効性を定量的に評価・考察することが急務である。また、非接触型の手振り動作入力手法や、音声を含めたマルチモーダル環境についても取り組みたい。

#### 参考文献

- 1) 西野浩明, 凍田和美, 宇津宮孝一: オンライン学習機能を備えた対話型両手ジェスチャインタフェース, 信学論, Vol. J81-D-II, No.5, pp.897-905 (1998).
- 2) Shaw, C. and Green, M.: THRED: A Two-Handed Design System, *ACM Multimedia*, Vol.5, No.2, pp.126-139 (1997).
- 3) 船橋健司, 安田孝美, 横井茂樹, 鳥脇純一郎: 仮想空間における両手による協調操作モデル, 情報処理学会論文誌, Vol.39, No.5, pp.1334-1342 (1998).
- 4) Barr, A.H.: Superquadrics and Angle-Preserving Transformations, *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol.1, No.1, pp.11-23 (1981).
- 5) Bloomenthal, J., et al.: *Introduction to Implicit Surfaces*, pp.166-195, Morgan Kaufmann (1997).
- 6) 澤田秀之, 橋本周司, 松島俊明: 運動特徴と形状特徴に基づいたジェスチャー認識と手話認識への応用, 情報処理学会論文誌, Vol.39, No.5, pp.1325-1333 (1998).
- 7) Korida, K., Nishino, H. and Utsumiya, K.: An Interactive 3D Interface for a Virtual Ceramic Art Work Environment, *Proc. Virtual Systems and Multimedia'97*, pp.227-234 (1997).

(平成10年6月1日受付)

(平成10年9月7日採録)