

## 2T-6

## 変形を考慮した会話型モデリング手法

柿本 正憲                      村上 公一  
株式会社富士通研究所

### 1. はじめに

コンピュータ・グラフィックスの分野は近年急速に発展したが、未解決の問題も多い。表面形状の変形する物体のモデリングもその一つである。本報告書では、変形物体の効率的なモデリングの手法について述べる。

### 2. 変形を表現するための従来手法

仮定として形状データは境界表現法によって表わされているものとする。変形を表現する従来方法として次のような二つの対照的な方法がある。

(a)ある形状と変形後のもう一つの形状を与え、表示の際には任意の中間形状をすべての頂点の補間によって与える。

(b)ある物体の形状と材質を特徴づけるパラメータを与え、表示の際には構造解析の手法によって形状を算出する [2]。

(a)の方法では与えるデータ量が多くなる上、柔軟性がなく一変形しかできないので、モデリングとして行なうのは効率が悪い。(b)の方法は変形を表現するためのデータ量は少なく(例えば弾性係数)パラメータを変えらるることによりいろいろな変形を表現できるが、複雑な物体になると計算時間が大きくなる。また、(b)は現実のシミュレーションであるから、デザイナーが好みの形状を作り出すような会話型モデリングとは目的が異なる。

### 3. 変形表現の基本方針

変形する物体のモデリングの難しさは、時間軸という次元が一つ加わったために、固定した物体より扱う情報量が格段に大きくなる点にある。しかし、実際には物体の変形には常にある種の拘束条件があり、変形の自由度は限られてくる。この点に着目して、次のような方針で変形物体を表現する。

①形状を定義する際に「その物体がどのように変化するか」を表わす付加情報を与える。

②物体の表示の際には、比較的少数のパラメータを与えて変形途中のある時刻の形状を表示する。

ここで問題となるのは、変形情報としてどんな意味を持

った情報を与えるか、またその情報をどのような形式で与えるか、の二点である。この問題に対する統一的で明確な答えはまだ見出していない。しかし、経験あるいは物理法則に基づく変形パターンをいくつか取り上げてそれを変形情報の形で表現することは可能である。また、前述した従来方法(a)(b)の両方をこの枠組みで扱うこともできる。このような変形情報は、固定したパラメータの形式で表現することはできない。データ構造としては種々の属性情報を物体データに付加することのできるものが望ましい。筆者はこのような柔軟なデータ構造を実現するためにプログラミング言語としてLispを採用したモデラを開発している [1]。

### 4. 回転体の軸を利用した変形例

柔らかい物体の変形のしかたにはいくつかのバリエーションがある。その一つとして、物体内に何か一本の芯が通っていて、その芯の屈曲の結果が物体の変形となるようなパターンが考えられる。

一つの例として、細長い回転体を曲げるような変形を考えると、回転体の軸となる直線を曲げることによって全体の形状も変化できるようにすれば変形の指定も容易になる。この場合、物体の形状データの他に付加情報として次のことを表現するデータが必要となる。

・回転体の軸を表わす直線

・軸上の点と物体表面との対応関係

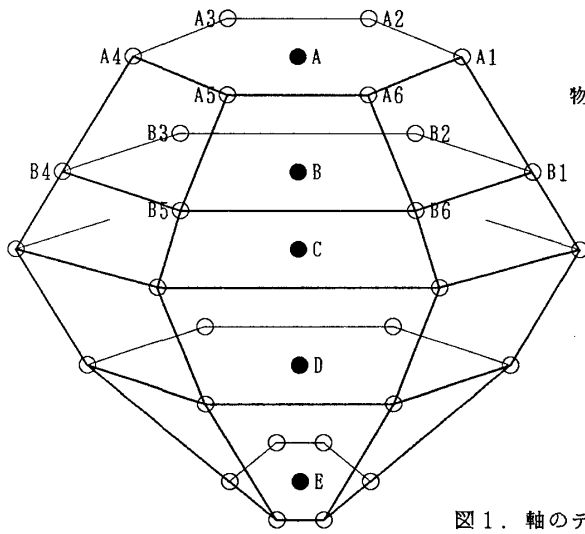
ここで、回転体は、折れ線を画面上で入力して同じ画面上にある中心線の回りに回転させてきた多面体近似物体と仮定する。すると、図1に示すように中心線も折線として表現することができ、物体上のどの点も回転軸上の折れ線の節点に対応づけることができる。

実際のデータ構造としては、物体を表現する基本データ [1] (リンク情報を含んだ頂点リスト・稜線リスト・面リスト)に加えて、属性リストが付加される(図1右)。属性リストのa-kind-of スロットには元の形が回転体であることが示され、axisスロットとdiskスロットには軸と物体表面の点の接続情報が記される。

さらにこの属性リストを解釈して、変形処理を行なう次のようなアルゴリズムが必要になる。

(1)会話入力により軸の曲がり方を決定する。

(2)軸の各節点*i* について



物体 = (頂点リスト 稜線リスト 面リスト  
 ((a-kind-of . 'revolution)  
 (axis A B C D E)  
 (disk (A A1 A2 A3 A4 A5 A6)  
 (B B1 B2 B3 B4 B5 B6)  
 (C C1 C2 C3 C4 C5 C6)  
 (D D1 D2 D3 D4 D5 D6)  
 (E E1 E2 E3 E4 E5 E6))))

図1. 軸のデータを属性として持つ物体の表現例

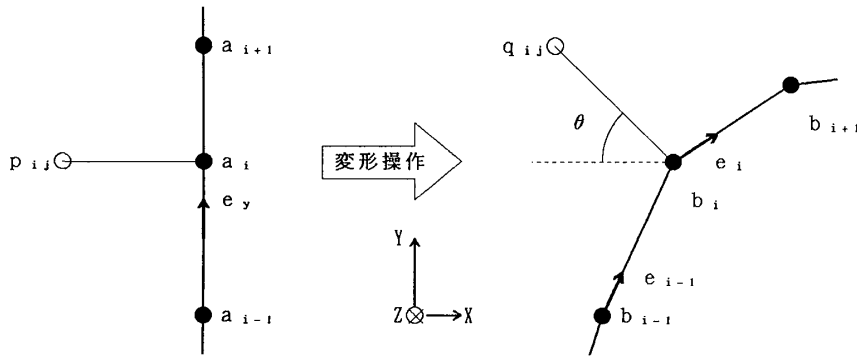


図2. 軸の曲げによる物体表面の点の移動

(2-1) 変形操作の変換マトリクス  $D_i$  を求める。

(2-2) その節点に対応する物体頂点について

(2-2-1) 頂点座標を  $D_i$  によって変換する。

(3) 物体を表示する。

変換マトリクス  $D_i$  の求め方について図2を使って説明する。添字付小文字は三次元のベクトルを表す。  $\{a_k\}$  は変形前の軸、  $\{b_k\}$  は変形後の軸、  $p_{ij}$  は変形前の物体表面のある一点の座標、  $q_{ij}$  は  $p_{ij}$  の変形後の座標である。このとき、線分  $a_i p_{ij}$  と線分  $b_i q_{ij}$  の長さは不変で、なおかつ、線分  $b_i q_{ij}$  が線分  $b_i b_{i-1}$  と線分  $b_i b_{i+1}$  となす角を二等分すると考えると、

$$q_{ij} - b_i = M_i (p_{ij} - a_i) \quad (1)$$

が成り立つ。ただし、  $M_i$  は  $3 \times 3$  の回転マトリクスで

$$M_i = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$\cos \theta = e^{mid} \cdot e_y \quad (3)$$

$$\sin \theta = e^{mid} \cdot e_x$$

$$e^{mid} = (e_{i-1} + e_i) / |e_{i-1} + e_i| \quad (4)$$

$$e_i = (b_{i+1} - b_i) / |b_{i+1} - b_i| \quad (5)$$

$e_x, e_y$  はそれぞれ  $x, y$  軸方向の単位ベクトルとなる。ここで式(1)は、  $4 \times 4$  のマトリクス  $D_i$  を使い

$$q_{ij} = D_i p_{ij} \quad (6)$$

と表現することができる。

### 5. まとめ

会話型モデリングで変形を効率よく扱う手法について述べた。今後は多くの手法をこの枠組みのなかに取り入れるとともに、より一般的な変形表現形式を考案する予定である。

[謝辞] 日頃から御指導いただく当社システム研究部の石井部長・白石室長に感謝いたします。

### [参考文献]

[1]. 柿本, 村上: "Lisp による三次元物体の境界表現", 第36回情処全大, 62-8, pp.2155-2156  
 [2]. Terzopoulos, et al.: "Elastically Deformed Models", SIGGRAPH '87 Conf. Proc., pp.205-214