3N−10

粘土細工の変形過程を利用した自由形状モデリングの基礎検討

前野 輝　岡田 稔　鳥脇 純一郎
名古屋大学大学院工学研究科情報工学専攻

1. はじめに

従来,三次元グラフィックスのモデリング手法が検討されている.これらの多くは,自由曲面を組み合わせることによりモデリングを行っている.しかし,現実世界で形状創成を行う場合,たとえば物体を切削したり,指で押したりすることにより想像したオブジェクトを作成するという手段がある.これらの手法を用いることにより,直感的に曲面をモデリングできる.たとえば木の切削の場合では仮想彫刻[1],粘土細工の場合ではメタボールを使用した文献[2]などの手法が例に挙げられる.[1]の手法は直感的ではあるが,道具を使用した間接的操作であるため想像通りの形状創成が困難である.しかし,自分の指で「押す」という手法は容易に自分の想像を反映させることが可能である.

本研究ではこのような変形に対し,体積を一定に保ったまま,物体を変形するモデルを考えている.従来このようなモデルは文献[4]で示されるような,球充塡型モデルというものが考案されている.この手法では物体の中に球を詰めたモデルを考え,充塡された球の位置を変えることにより変形することが出来る.そこで,本論文では,仮想空間内の素材に対して,人間が「粘土」を指で「押す」ような感覚で,形状創成できる手法の基礎検討を行う.

2. 仮想粘土細工とその変形過程

自由曲面を表現する手法として,双三次ベジエ関数[3]を用いる.ベジエ関数とは(1)式で表され,パラメータ$u, v\,(0 \le u, v \le 1)$により曲面上の点を決定することができる.

$$\boldsymbol{R}(u,v) = \sum_{i=0}^{3}\sum_{j=0}^{3} B_i^3(u)\cdot B_j^3(v)\cdot \boldsymbol{P}_{ij} \qquad (1)$$

ここで$\boldsymbol{R}(u,v)$をベジエ曲面上の点,$\boldsymbol{P}_{ij}\ (0 \le i, j \le 3)$を制御点とし,$B_k^n(t)$はBernstein 関数であり(2)式で表される.

$$B_k^n(t) = \binom{n}{k}\cdot t^k \cdot (1-t)^{n-k} \qquad (2)$$

実世界で粘土のようなものを指で押すことにより変形する過程を計算機に実装するときに,次の4つの問題に直面する.

A. ベジエ曲面で囲まれた物体の変形方法
B. 与えられた物体の体積の計算方法
C. 凹凸面の生成方法
D. 制御点の移動量の決定方法

まず,自由曲面モデリングとして,現実世界での粘土細工を模擬し,指で押した場合に,押した部分がへこみ,その周りが盛り上がる現象を解析する(A).その際に問題になるのが,B, C, Dである.また,変形時には,体積が一定であると仮定したモデルを考えている.そのため,物体の体積を計算す

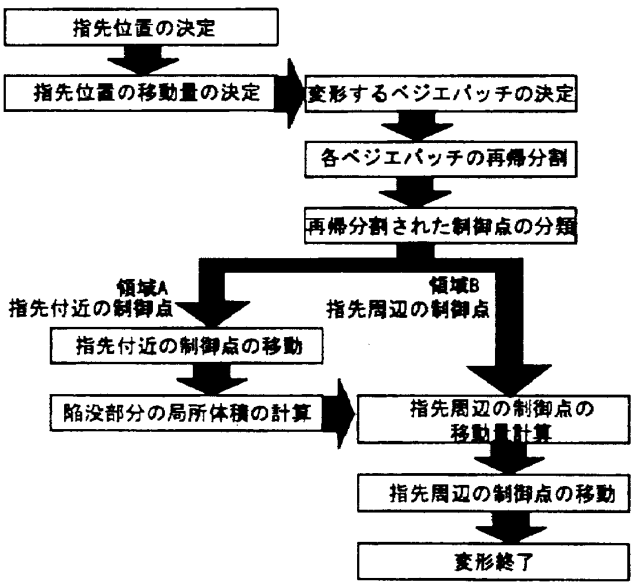

図1 変形過程

A Fundamental Study on Virtual Clay Modeling to Form Free-Formed Curved Objects
Kagayaki MAENO, Minoru OKADA, and Jun-ichiro TORIWAKI
Graduate School of Engineering, Nagoya University, Fro-cho, chikusa-ku, Nagoya, Aichi 464-8603 Japan

る手法が必要である(B)．また，変形過程は，図1で示したプロセスをたどる．まず，指で押した位置(以下指先位置と呼ぶ)とその移動量が決定すると，変形するベジエパッチの領域が決定し，その領域のベジエパッチを再帰分割することにより，曲面を細かく変形可能な状態にする．また，指先位置から再帰分割された各々の制御点との位置関係から，指先付近(領域A)と指先周辺(領域B)の制御点と分類する．指先位置の移動量から，領域Aの制御点の移動量を決定出来るので，これらの制御点を押した方向に移動する．そして，領域Aの制御点の移動量により，指で押して陥没したことによる物体の体積の減少量を計算する．体積の減少量から，領域Bの制御点の移動量を決定出来るので(D)，これらの制御点を指先位置の制御点から放射状に外側に，その移動量分だけ移動させて変形が完了する．このようにして，凹凸を表現することができる(C)．また，変形時には，再帰分割部分のベジエパッチの体積の計算のみにより，体積を再計算することが可能である．

3. 体積の計算方法

まず，ベジエ曲面i上の点と原点Oを結んだ線分を束ねてできる図1のような5つの曲面で構成された錐体の体積v_iを定義する．これを"1ベジエパッチの体積"と呼び(3)式で表すことができる．(a, b, c)は$\boldsymbol{R}(u,v)$の法線ベクトルの成分である．

$$v_i = \iint_{u,v} \frac{1}{3} \cdot H \cdot J du dv \tag{3}$$

$$H = \frac{(a,b,c) \bullet \boldsymbol{R}^t(u,v)}{\sqrt{a^2+b^2+c^2}} \tag{4}$$

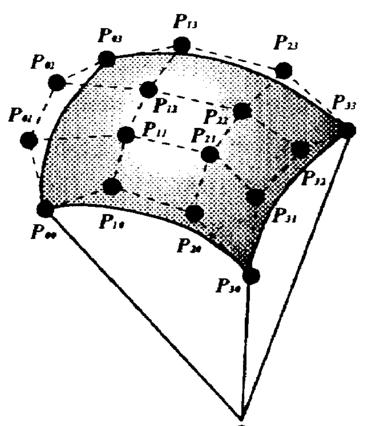

図2：1ベジエパッチの体積

$$(a,b,c) = \frac{\partial \boldsymbol{R}(u,v)}{\partial v} \times \frac{\partial \boldsymbol{R}(u,v)}{\partial u} \tag{5}$$

$$J = \begin{vmatrix} \dfrac{\partial \boldsymbol{R}(u,v)_x}{\partial u} & \dfrac{\partial \boldsymbol{R}(u,v)_x}{\partial v} \\ \dfrac{\partial \boldsymbol{R}(u,v)_y}{\partial u} & \dfrac{\partial \boldsymbol{R}(u,v)_y}{\partial v} \end{vmatrix} \tag{6}$$

v_iはOとパッチの位置によって負となることもあり，n個のベジエパッチ群で構成された閉曲面の体積Vは，(7)で表される．

$$V = \sum_{i=1}^{n} v_i \tag{7}$$

4. まとめ

本論文では粘土細工を指向した自由曲面モデリングに注目し，その変形過程と，ベジエ曲面で囲まれた物体の体積を計算する手法の基礎検討を行った．これを用いることにより，粘土のような変形過程を用いた自由曲面モデリングを行うことが可能となる．今後，計算機上にシステムとして実装し，有効性を検討する．

謝辞

日頃より熱心に御討論頂く岡田研究室，鳥脇研究室の皆様に感謝する．本研究の一部は文部省科研費によるものである．

参考文献

[1] 水野慎士，岡田稔，鳥脇純一郎，横井茂樹："仮想彫刻-仮想空間における対話型形状生成の一手法"，情処論，Vol.38, No.12, pp.2509-2516 (1997)

[2] 梅村隆，岡田稔："メタボールを用いた会話的モデラのためのパッチの一生成法"，画像電子学会誌，Vol. 26, No. 4, pp.306-313 (1997)

[3] P. Bezier: "Definition numerique des courbes et surfaces", *Automatisme*, Vol.11, pp.625-632 (1966)

[4] 江積剛，内山明彦，熊野宣弘，池本明夫，足立吉隆，高津光洋，鈴木直樹："手術シミュレーションシステムにおける弾性臓器モデルの開発" 第6回日本コンピュータ外科学会大会合同論文集97(VI)-1, pp.91-92 (1997)