

人体計測システムにおける 曲面フィッティングと形状操作

渡辺 弥寿夫

金沢工業大学

小論では、人体の3次元計測データに、Bスプライン関数を用いて曲面フィッティングを行う方法について述べている。まず、各断面の輪郭データをあてはめるため、最も複雑な形の断面を選び、変曲点や極値点を節点とする。それらの間にさらに2つの節点を付け加えて、2乗誤差と2次分散の評価により最適フィッティングを行う。次に、断面間でも同様に行い、全体の曲面モデルを作る。いったん、3次元モデルができれば、幾何学的諸量が容易に計算できる。さらに、各種形状操作を行うために、弾性的幾何モデルを導入した。

Surface Fitting and Shape Operations in
the Measurement System for Human Bodies

Yasuo Watanabe

Kanazawa Institute of Technology

7-1 Ohgigaoka Nonoichi, Ishikawa 921, Japan

The paper presents a method for surface fitting of 3-D data of a human body sensed by a measurement system, making use of B-spline function. First of all, in order to fit contour data of each cross section, we choose the special cross section with the most complicated shape, and decide points of inflection and extremal points as candidates for knots. Then, adding two more knots between the previous knots, we optimize fitness by evaluating squared error and quadratic variation. After this, a similar processing between cross sections is carried out and eventually the whole surface model is produced. Once constructing a 3-D model, some geometrical quantities can be easily calculated. Furthermore, an elastic geometrical model is introduced in order to deal with various kinds of shape operation.

1. はじめに

人体の3次元形状モデルを作ることは、アパレル産業や医療の分野で非常に大きなニーズがある^{[1]-[4]}。人体表面の3次元情報を得るために、これ迄モアレやレーザ光を利用する方法が提案されている。本稿では、ポイント距離センサを利用して、360度全方向から得られる距離データをもとに、曲面フィッティングを行って、幾何学的諸量を計算し、また、各種形状操作が行えるように、弾性的な形状モデルを作る方法について述べる。

2. 3次元データの入力と曲面フィッティング

人体計測システムの3次元データ入力は、図2.1のようにポイント距離センサを内側に配列したリング状アレイを上から下へスキャンさせることにより行っている。得られる3次元データは、高さを z 、一断面における角度パラメータを θ 、距離センサから人体表面までの距離を $\rho(\theta, z)$ 、中心から距離センサまでの距離、即ち、距離センサ用アレイリングの内半径を R とすると、円筒座標系 (r, θ, z) を用いて、人体表面の座標値は、

$$r = R - \rho(\theta, z) \quad (2.1)$$

という関係になる。ここで、一断面におけるサンプルポイントは、2度毎で、180個、高さ方向のサンプルポイントは5mm毎で、360個である。(ただし、体幹部の3次元データは、全表面に渡って得られるが、首から上部と、股間から下部は、内側を向いている体表の3次元データが得られない。)

そこで、体幹部の3次元データをもとに、曲面のフィッティングを行う。フィッティングのための近似関数に要求される性質は、一般に、①データとの誤差ができるだけ小さいこと、および②できるだけ滑らかなことである。もっとも、②に関しては、エッジのような面の向きが不連続な場所は、その性質を保つことが望ましい。このような性質を満たす関数は、スプライン関数として、よく知られている。即ち、2次元の場合を例にすると、サンプルデータ $s(x_i, y_j)$ に対して、滑らかさの条件として、2次分散を用いると、

$$\sigma = \sum_{i,j} w_{ij} [(f(x_i, y_j) - s(x_i, y_j))]^2 + \lambda \iint (f_{xx}^2 + 2f_{xy}^2 + f_{yy}^2) dx dy \quad (2.2)$$

$(w_{ij} > 0, \lambda > 0)$

において、 σ を最小にするような関数 f が3次のスプライン関数となる。しかし、節点(knot)の決め方や、上式の w_{ij} 、 λ の自由度が残る。節点を決めることは、節点の数と位置、多重度を決めることで、この問題に対して、文献^[6]、^[7]では、データから2次微分の推定を行い、赤池の統計量を判定基準として用いて、あてはめの悪い区間では節点を順次追加修正していく、という方法で解決している。また、文献^[8]、



図2.1 ポイント距離センサによる人体の3次元データ入力装置

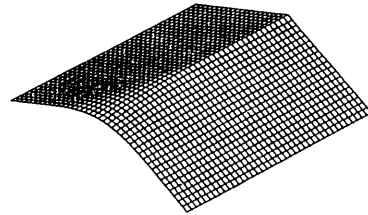


図2.2 2D/3Dスプラインに見られる節点の変動

^[9]では、Variation Diminishing Spline 関数を用いて、節点と節点の間におけるデータの誤差が均等になるように配置する方法をとっている。しかし、2次元や3次元データの場合、図2.2のように節点が多重になっていたり、途中で新しい節点が発生したりすることがある。これらは、エッジの部分から次第に滑らかな部分へ変わる点や、性質が変化する点、例えば、凸から凹に変わる点に見られる。また、文献^[5]では、 λ の値を変えて実験的に評価している。

一方、一連の断面輪郭線形状から全体の曲面モデルを作る方法は、大別して、①フーリエ記述に基づく方法^[3]と②スプライン関数を用いて、フィッティングを行う方法^[4]がある。幾何学的諸量を直接計算するには、②の方が好都合である。そこで、スプライン関数を用いて、まず、断面のデータのフィッティングを行い、次に、高さ方向の補間を行う方法を採用する。また、形状操作を行うために、制御点に基づいた表現であるBスプライン関数を用いる。

今、一断面上のデータにフィッティングを行うとする。データは、先に述べたように、円筒座標系で扱い易いようになっているので、ある高さ z におけるデータ $r(\theta_k)$ ($k=0, 1, \dots, 179$)に対するフィッティングを考える。このとき、近似関数を

$$f(\theta) = \sum_{i=0}^{n+3} N_{i,4}(\theta) r_i \quad (2.3)$$

とすると、式(2.2)に相当する条件は、

$$\sigma = \sum_k [f(\theta_k) - r(\theta_k)]^2 + \int f'(\theta)^2 d\theta \quad (2.4)$$

であるが、初めから、 σ を最小とする節点位置を求めるのは困難であるから、次のようにする。

まず、最も複雑な変化のある断面輪郭形状の部位(女性の場合、バスト)を選びその節点位置を基準に決める。すなわち、 f の特徴点として、極値点($f'=0$)と変曲点($f''=0$)を選び、節点とする。さらに、特徴点との間で2個の節点を配置する。ここで、 f' と f'' の値の推定は、 $2K+1$ 個のデータ $r(\theta_{k+j})$ $j=K, \dots, 0, 1, \dots, K$ から、最小2乗法により次のように行う。 θ_k の近傍で、

$$f_k(\theta) = c_0^{(k)} + c_1^{(k)}\theta + c_2^{(k)}\theta^2 + c_3^{(k)}\theta^3 \quad (2.5)$$

とおいて

$$\sum_{j=K} [f_k(\theta_{k+j}) - r(\theta_{k+j})]^2$$

を最小にするパラメータ $c_i^{(k)}$ ($i=0, 1, 2, 3$)を求めて、 $f'(\theta_k)$ と $f''(\theta_k)$ を得る。ここで、 f の特徴点は、厳密には、離散的な値 θ_k にはならないので、 $f'(\theta)$ 、 $f''(\theta)$ の推定値の符号が反転する直前の θ を用いる。

実験的に、 $K=5$ として特徴点16個、その間は、2個ずつ、合計48個の節点を配置することにした。特徴点間に節点を2個置くのは、境界条件として特徴点における2次微分の連続性が与えられた場合、間に2つ以上の節点が必要であることと、特徴点間では、曲線の凹凸が一樣で、曲率も単調であることを考慮するためである。特徴点である節点は、固定しておいて、その間の2つの節点の決め方は、初期値を決めておき、式(2.4)を評価しながら σ が小さくなる位置を選ぶ。ただし節点位置を変動させる範囲は、初期値から限定しておく。また、両端(特徴点)の節点を t_0 、 t_3 、間の2つの節点を t_1 、 t_2 とすると、

$$\int_{t_0}^{t_1} |f'| dt = \int_{t_1}^{t_2} |f'| dt = \int_{t_2}^{t_3} |f'| dt \\ = \frac{1}{3} \int_{t_0}^{t_3} |f'| dt \quad (2.6)$$

を満たす t_1 、 t_2 を初期値とする。以上のようにフィッティングした結果を図2.3に示す。

このように求められた1つの断面輪郭形状の近似関数の節点位置を、すべての断面に対して適用することにする。次は、一連の断面から、曲面モデルを作る。まず、断面輪郭形状の表現を $f(\theta)$ から、曲線定義ベクトルを用いた表現に変える。節点 θ_i に対して、一断面上における節点位置ベクトル P_i を、

$$P_i = (f(\theta_i)\cos\theta_i, f(\theta_i)\sin\theta_i) \quad (2.7)$$

とする。ユニフォームな3次Bスプライン曲線で表現すると、 P_i と曲線定義ベクトル V_i との関係は、次のようになる。

$$\frac{1}{6}V_{i-1} + \frac{2}{3}V_i + \frac{1}{6}V_{i+1} = P_i \quad (i=0, 1, \dots, m)$$

$$V_{-1} = V_m$$

$$V_{m+1} = V_0 \quad (2.8)$$

ここで、上記の V_i を解いて、断面輪郭形状を表わすユニフォームな3次Bスプライン曲線を

$$P(u) = \sum_{i=0}^{m+3} N_{i,4}(u) V_i \quad (2.9)$$

$$\text{ただし、} i' = i \bmod (m+1)$$

とおく。

ところが、 u 方向に閉じていて、 v 方向に開いたユニフォームな双3次Bスプライン曲面は、

$$P(u, v) = \sum_{j=0}^n \sum_{i=0}^{m+3} N_{i,4}(u) N_{j,4}(v) Q_{i',j} \quad (2.10)$$

$$\text{ただし、} i' = i \bmod (m+1),$$

$$Q_{-1,j} = Q_{m,j}, \quad Q_{0,j} = Q_{m+1,j}$$

$$(i=0, 1, \dots, m, j=0, 1, \dots, n)$$

と表わされる。 $v_j = \text{const.}$ なる u 曲線の曲線定義ベクトルを $V_{i',j}$ は、上記の V_i を断面 j 毎に得られたものとすれば、 $Q_{i',j}$ との関係は、

$$V_{i',j} = \frac{1}{6}Q_{i',j-1} + \frac{2}{3}Q_{i',j} + \frac{1}{6}Q_{i',j+1}$$

$$(i=-1, 0, 1, \dots, m, m+1, j=1, 2, \dots, n-1) \quad (2.11)$$

となる。そこで、上式と曲面の v 方向の両端における曲率0の条件

$$Q_{i',0} = Q_{i',1}$$

$$Q_{i',n} = Q_{i',n-1}$$

を連立方程式として解くと、 $Q_{i',j}$ が得られる。

断面方向(v)のデータが比較的少数の場合は、この定式化で補間できるが、データが多数得られて平滑化したい場合は、近似関数を考える必要がある。式(2.5)における P_i が、断面1毎に多数与えられるとして、

$P_{i,2}$ に対するフィッティングを考える。このアルゴリズムは、一断面の輪郭形状の近似関数を求める方法と同様に、最も複雑な変化のある縦断面の形状の部位を基準に決める。ただし、横断面の輪郭形状のBスプライン関数の節点位置 θ_i における縦断面のみを考え、 z 方向のデータ $r(\theta_i, z_k)$ をもとにフィッティングを行う。その近似関数を

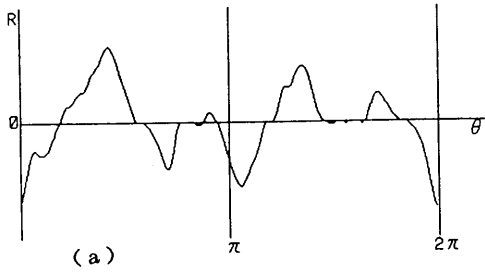
$$f(\theta_i, z) = \sum_{j=0}^n N_{j,4}(z) r_j \quad (2.12)$$

とすると、一連の節点 z_j に対し、

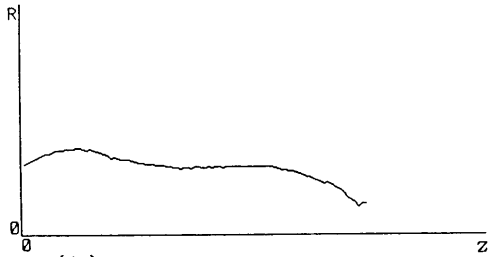
$$P_{i,j} = (f(\theta_i, z_j)\cos\theta_i, f(\theta_i, z_j)\sin\theta_i) \quad (2.13)$$

を得る。従って、 (θ_i, z_j) なる点に節点を設定することになる。

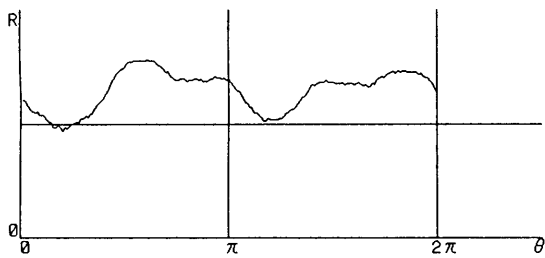
図2.4は、以上のようにして曲面フィッティングを行った例である。



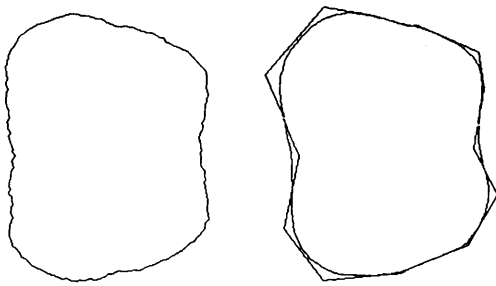
(a)



(b)



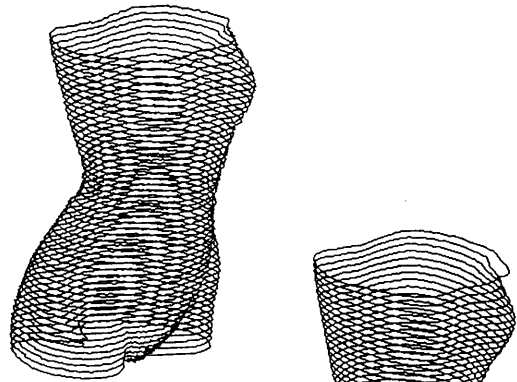
(c)



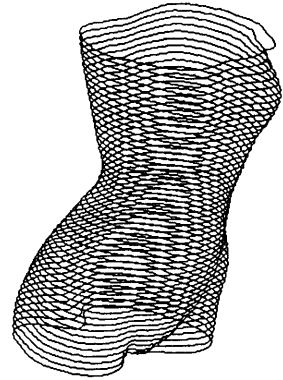
Original (d)

図2.3 断面における曲面フィッティング

- (a) 横断面計測データ
- (b) 縦断面計測データ
- (c) $r(\theta)$ の1次微分推定
- (d) 節点から制御点を求めBスプライン曲線によりフィッティングした結果



(a)



(b)

図2.4 人体計測データからの曲面フィッティング

- (a) 原データ
- (b) フィッティング結果

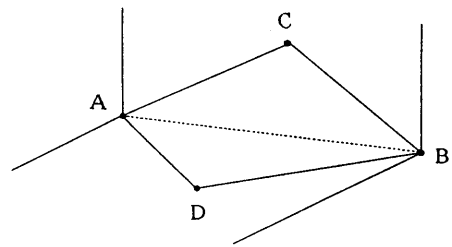


図3.1

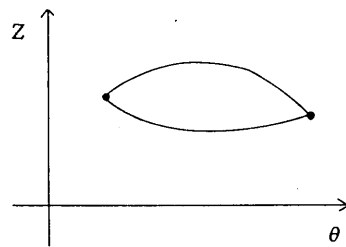


図3.2

3. 幾何学的諸量の計算

前節のように曲面モデルが作られると、対話的に表面積や体積、距離等の幾何学的諸量を計算することができる。対話的に曲面上の点を指定するために、サーフェイス・カーソルを用いる。これは、曲面モデルの上をパラメータに沿って動く3次元的なカーソルである。図3.1のように、サーフェイス・カーソルにより指定された曲面上の点A, B, Cで作られる平面と、点A, B, Dで作られる平面で曲面を切ったときの表面積と体積を求める。ただし、この2つの平面により切断された曲面は1つの閉じた領域をもつとする。即ち、図3.2のように θz 空間で閉領域をもつとする。

3.1 表面積

表面積を求める場合、メッシュに囲まれた小領域については直ちに求めることができるが、平面で切断される曲面の近傍の小領域は、図3.3のように平面により2分される。

(1) 境界線(切口)の追跡

まず、 θz 空間の離散的なサンプル点からなる格子点空間 UW を導入する。これは、図3.4のように $(U, W) = \{(i, j) \mid i \in \{0, 1, \dots, m-1\}, j \in \{0, 1, \dots, n-1\}\}$ で定義される。また、 θ 、 z との関係は、

$$U = \left[m \cdot \frac{\theta}{2\pi} \right]$$

$$W = \left[(n-1) \cdot \frac{z - z_{\min}}{z_{\max} - z_{\min}} \right]$$

ここで、 $[]$ は、小数点以下切捨てることを表わす。

今、サーフェイス・カーソルで点Cを指定したときの UW 空間での座標を (U_c, W_c) とする。この点を左下にもつ格子点から出発して、点Aあるいは点Bに至るまで切断面と曲面のメッシュとの交点を求める。

点A, B, Cの座標を $(x_A, y_A, z_A), (x_B, y_B, z_B), (x_C, y_C, z_C)$ とすれば、

$$(x, y, z) \cdot [(x_A - x_C, y_A - y_C, z_A - z_C) \times (x_B - x_C, y_B - y_C, z_B - z_C)] \\ = (x_C, y_C, z_C) \cdot [(x_A, y_A, z_A) \times (x_B, y_B, z_B)]$$

これより、次式が得られる。

$$\{(y_A - y_C)(z_B - z_C) - (z_A - z_C)(y_B - y_C)\}x \\ + \{(z_A - z_C)(x_B - x_C) - (x_A - x_C)(z_B - z_C)\}y \\ + \{(x_A - x_C)(y_B - y_C) - (y_A - y_C)(x_B - x_C)\}z \\ = x_C(y_A z_B - z_A y_B) + y_C(z_A x_B - x_A z_B) \\ + z_C(x_A y_B - y_A x_B) \quad (3.1)$$

点Cにおいては、当然、式(3.1)が成り立つ。そこで、点Cを含む格子の四隅の格子点において、式(3.1)の等号の代わりに不等号でおきかえた不等式を考える。左辺>右辺を \oplus 、左辺<右辺を \ominus と書くことにすると、図3.3の場合は、図3.5のようになる。そこで、点Cから出発し左に \oplus 、右に \ominus を見るようにして格子の間を追跡していく。

格子と格子の間の座標値は、線形補間により直線分と平面(切断面)の交点として求める。2つの格子の曲面上の座標を $(x_L, y_L, z_L), (x_H, y_H, z_H)$ とすると、この2点を通る直線の方程式は、次式で与えられる。 $(\alpha: \text{任意定数})$

$$(x - x_L, y - y_L, z - z_L) \\ = \alpha(x_H - x_L, y_H - y_L, z_H - z_L) \quad (3.2)$$

よって、(3.1), (3.2)より、

$$\alpha = \frac{d - (a x_L + b y_L + c z_L)}{a(x_H - x_L) + b(y_H - y_L) + c(z_H - z_L)} \quad (3.3)$$

ここで、 $a = (y_A - y_C)(z_B - z_C) - (z_A - z_C)(y_B - y_C)$

$$b = (z_A - z_C)(x_B - x_C) - (x_A - x_C)(z_B - z_C)$$

$$c = (x_A - x_C)(y_B - y_C) - (y_A - y_C)(x_B - x_C)$$

$$d = x_C(y_A z_B - z_A y_B) + y_C(z_A x_B - x_A z_B)$$

$$+ z_C(x_A y_B - y_A x_B)$$

従って、交点 (x, y, z) は、

$$(x, y, z) = (\alpha(x_H - x_L) + x_L, \alpha(y_H - y_L) + y_L, \alpha(z_H - z_L) + z_L) \quad (3.4)$$

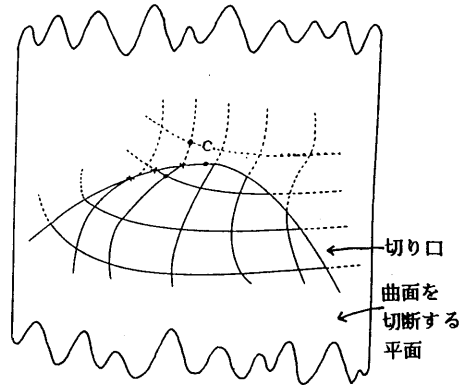


図3.3

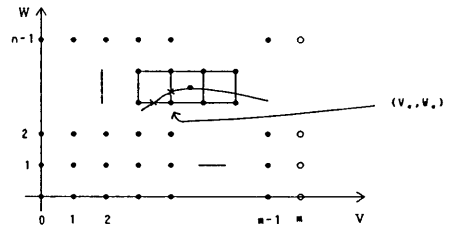


図3.4

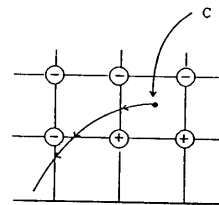


図3.5

(2) 境界線(切り口)近傍の小領域の面積

境界線近傍では、切断面により、図3.6のように、3角形、4角形、5角形に格子が分断される。面積は、3角形分割により求めるため、4角形、5角形は、それぞれ2つ、3つの3角形を作る。3角形分割のしかたは、一意的でないが、そのパターンにより、分割のしかたを決めておいてもよい。

3点 $(x_0, y_0, z_0), (x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2)$ で作られる3角形の面積 S は、

$$S = \frac{1}{2} \left| \begin{array}{ccc} (x_1 - x_0, y_1 - y_0, z_1 - z_0) \\ (x_2 - x_0, y_2 - y_0, z_2 - z_0) \end{array} \right|$$

$$= \frac{1}{2} [\{ (y_1 - y_0)(z_2 - z_0) - (z_1 - z_0)(y_2 - y_0) \}^2 + \{ (z_1 - z_0)(x_2 - x_0) - (x_1 - x_0)(z_2 - z_0) \}^2 + \{ (x_1 - x_0)(y_2 - y_0) - (y_1 - y_0)(x_2 - x_0) \}^2]^{1/2}$$

(3.5)

で与えられるから、すべての境界近傍の小領域について、その和を計算すればよい。

(3) 内部の格子で囲まれる小領域の面積

これは、4角形であるから、3角形2つの面積の和として(2)と同様に計算できる。この面積は、あらかじめ計算して記憶しておいてもよい。

3.2 体積

曲面が3角形分割されているとして3角形を平面1へ平面2と平行に斜めに投影する。このとき、図3.7のように3角柱ができ、この立体の体積 V は、

$$V = \frac{l+m+n}{3} \cdot \tilde{S} \quad (3.6)$$

ここで、 l, m, n は、3角柱の柱の部分の3辺の長さ、 \tilde{S} は、3角柱を垂直にカットしたときの断面積である。

次に、曲面上の3点を斜投影するための単位ベクトル v を求める。平面1、平面2の法線ベクトルをそれぞれ $n^{(1)}, n^{(2)}$ とし、 $n^{(1)}$ の向きは、対象とする領域が存在する方向とする。($n^{(1)}, n^{(2)}$ は、必ずしも単位ベクトルである必要はない。) このとき、 v は、次式を満たす。

$$\begin{aligned} v \cdot (n^{(1)} \times n^{(2)}) &= 0 \\ v \cdot n^{(2)} &= 0 \\ |v| &= 1 \\ v \cdot n^{(1)} &< 0 \end{aligned}$$

これより、

$$v = \frac{(n^{(1)} \times n^{(2)}) \times n^{(2)}}{|(n^{(1)} \times n^{(2)}) \times n^{(2)}|}$$

$$= \frac{(n^{(1)} \cdot n^{(2)})n^{(2)} - |n^{(2)}|^2 n^{(1)}}{|(n^{(1)} \cdot n^{(2)})n^{(2)} - |n^{(2)}|^2 n^{(1)}|}$$

(3.7)

$n^{(1)}, n^{(2)}$ は図3.1の場合、次のようになる。

$$\begin{aligned} n^{(1)} &= (x_A - x_C, y_A - y_C, z_A - z_C) \\ &\quad \times (x_B - x_C, y_B - y_C, z_B - z_C) \\ &= ((y_A - y_C)(z_B - z_C) - (z_A - z_C)(y_B - y_C), \\ &\quad (z_A - z_C)(x_B - x_C) - (x_A - x_C)(z_B - z_C), \\ &\quad (x_A - x_C)(y_B - y_C) - (y_A - y_C)(x_B - x_C)) \\ n^{(2)} &= -(x_A - x_D, y_A - y_D, z_A - z_D) \\ &\quad \times (x_B - x_D, y_B - y_D, z_B - z_D) \\ &= (-(y_A - y_D)(z_B - z_D) + (z_A - z_D)(y_B - y_D), \\ &\quad -(z_A - z_D)(x_B - x_D) - (x_A - x_D)(z_B - z_D), \\ &\quad -(x_A - x_D)(y_B - y_D) - (y_A - y_D)(x_B - x_D)) \end{aligned}$$

次に、図3.7において、 l, m, n に相当する量を計算する。曲面上の点の位置ベクトルを $Q_i (i=0,1,2)$ とすると、 Q_i から v の方向に向かう直線の方程式

$$P = Q_i + \lambda_i v \quad (\lambda_i: \text{任意定数}) \quad i=0,1,2$$

と、平面1の方程式(式(3.1)に相当)

$$P = [(Q_A - Q_C) \times (Q_B - Q_C)] = Q_C \cdot [Q_A \times Q_B]$$

を連立させて解けばよい。即ち、

$$\lambda = \frac{Q_C \cdot [Q_A \times Q_B] - Q_i \cdot [(Q_A - Q_C) \times (Q_B - Q_C)]}{v \cdot [(Q_A - Q_C) \times (Q_B - Q_C)]} \quad (3.8)$$

となる。上式で与えられる λ が、 l, m, n に相当する。従って、曲面上の3角形の頂点の位置ベクトルを Q_i に代入していけば、順次求められる。

さらに、図3.7における3角柱の面積 \tilde{S} は、曲面上の3角形の面積を v 方向に投影したものと考えれば、

$$\begin{aligned} \tilde{S} &= \frac{1}{2} [(Q_1 - Q_0) \times (Q_2 - Q_0)] \cdot (-v) \\ &= -\frac{1}{2} v \cdot [(Q_1 - Q_0) \times (Q_2 - Q_0)] \end{aligned} \quad (3.9)$$

となる。

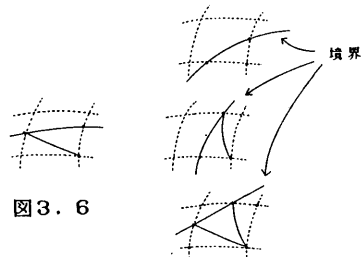


図3.6

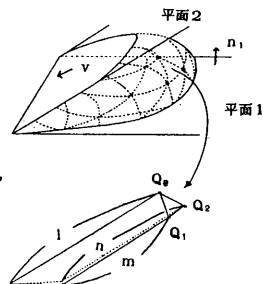


図3.7

ここで、面の外向き法線ベクトルをとっているので、 $(-v)$ をかけている。

式(3.6)~(3.9)のように、微小三角柱の体積が求められるので、この計算を対象とするすべての領域で行えばよい。図3.8のように、対象物の外側に三角柱ができるような場合でも、式(3.9)から明らかのように、負の体積として寄与するので問題はない。ただし、表面の三角形の頂点は、 Q_0, Q_1, Q_2 と回転したとき、右ねじの進む方向に法線ベクトルが、定義できるように、即ち、外向き法線ベクトルとなるようにしておかなければならない。(図3.9)

3.3 サーフェイス・カーソルで指定された点の間の面に沿った距離

(1) 3点を曲面上で指定し、その3点により作られる平面で曲面を切る方法

表面積を求める場合に行った処理と同様。境界線(切り口)の追跡を行って、式(3.4)で与えられるような交点の列から成る折れ線の長さとして、求めればよい。

(2) 2点を曲面上で指定し、その2点を結ぶ直線分を正斜影にもつ平面で曲面を切る方法

これも(1)と同様であるが、切断する平面の方程式の形が若干異なる。今、点A, Bの位置ベクトルを Q_A, Q_B 、視線ベクトルを V とすると、切断面の方程式は、

$$P \cdot [(Q_B - Q_A) \times V] = Q_A \cdot [(Q_B - Q_A) \times V] \\ = Q_A \cdot (Q_B \times V)$$

そこで、 $Q_A = (x_A, y_A, z_A)$, $Q_B = (x_B, y_B, z_B)$, $V = (x_U, y_U, z_U)$, $P = (x, y, z)$ とおくと、

$$(x, y, z) \cdot [(x_B - x_A, y_B - y_A, z_B - z_A) \\ \times (x_U, y_U, z_U)] \\ = (x, y, z) \cdot [(x_B, y_B, z_B) \times (x_U, y_U, z_U)]$$

これより、

$$\{(y_B - y_A)z_U - (z_B - z_A)y_U\}x \\ + \{(z_B - z_A)x_U - (x_B - x_A)z_U\}y \\ + \{(x_B - x_A)y_U - (y_B - y_A)x_U\}z \\ = x_A(y_B z_U - z_B y_U) + y_A(z_B x_U - x_B z_U) \\ + z_A(x_B y_U - y_B x_U) \quad (3.10)$$

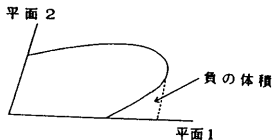


図3.8

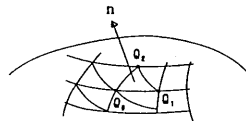


図3.9

4. 弾性体モデルと形状操作

単に静的な3次元データのみを扱う場合は、ソリッドなモデルで十分であるが、形状操作や、自由曲面の平面展開のような動的な問題を扱う場合、弾性的なモデルを取り入れる必要がある^{[10]~[12]}。デザインで必要とする形状操作は、束縛条件がなくて全く自由に行えるものから弾性的なものまで、多様である。例えば、アパレル分野では、ボディースーツなどのアンダーウェアの装着により、体型の変化をシミュレーションするような技術が要求される。

前述の曲面モデルで、デザイナーが制御点を操作することにより、形状が操作できる。制御点の変位による曲面上の各点の変位をそこに加えられる外力とみなして、対話的な応力解析、変位解析をすることができる。このとき、有限要素法による計算が必要であるが、局所的な部位にのみ限定すれば、計算は比較的少なくて済む。

図4.1は、このようにして、バストの部位を変化させた例である。

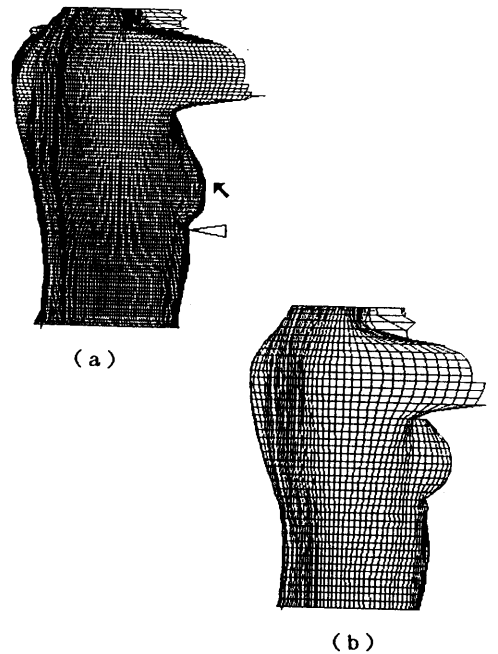


図4.1 形状操作の例

(a) 原データ

(b) 形状操作の結果

5. おわりに

曲面フィッティングに関しては、さまざまな分野からニーズがあり、研究も多いが、実用に際しては、計算速度が問題になるため、分野毎に工夫を施して、問題を簡単化しているのが現状である。また、モデリングという観点からは、単に固いモデルのみならず、柔い弾性的なモデルが必要とされる問題も多くある。

曲面フィッティングと弾性体モデルは、実は、同様な定式化が行われ、同様な計算を必要とする。従って、CADシステムのように対話的処理が必然にある場合、高速アルゴリズム、高速ハードウェアが必要不可欠であり、さらに、今後の研究を要するところである。

また、アパレルにおける自動化では、型紙を各個人の体型に合ったサイズに展開することが要求される。この場合、単に拡大や縮小を行っただけでは望みのものは得られない。3次元自由曲面形状をもつ複雑な対象物を設計する場合、厳密に平面に展開することは不可能であるから、近似的に平面に展開する手法が必要とされる^{[11]・[12]}。現在、この平面展開問題を弾性体モデルを使って検討中である。

最後に、人体の3次元計測データを提供下さった、北陸エステーアール協同組合、および、研究の機会を与えて協力下さった、隣コスモサミットの関係各位に感謝いたします。

参考文献

- [1] 広田、黒川、中野、篠崎：“体形モデルと双3次スプライン曲面フィッティング,” NICOGRAPH87 論文集., pp.275-284 (1987)
- [2] 長島、鈴木、永野、堤：“生体計測用自由形状処理システム,” 情報処理学会 グラフィックスとCAD研究会報告, CG38-3 (1989)
- [3] Kyung S. Park & Nohm S. Lee: "A Three-Dimensional Fourier Descriptor for Human Body Representation/Reconstruction from Serial Cross Sections," Computers and Biomedical Research, Vol.20, pp.125-140 (1987)
- [4] Wie-Chung Lin & Shiu-Yung Chen: "A New Surface Interpolation Technique for Reconstructing 3D Objects from Serial Cross-Sections," Computer Vision, Graphics and Image Processing, Vol.48, pp.124-143 (1989)
- [5] W.E.L.Gimson: "An Implementation of a Computational Theory of Visual Surface Interpolation," Computer Vision, Graphics and Image Processing, Vol.22, pp.39-69 (1983)
- [6] 吉本、市田、清野：“区分的3次関数を用いたデータ平滑化—節点の決定について—,” 情報処理, Vol.17, No.3, pp.200-206 (1976)
- [7] 吉本、市田、清野：“区分的3次関数を用いた2次元データの平滑化の自動的方法,” 情報処理, Vol.18, No.2, pp.128-134 (1977)
- [8] 塚越：“Variation Diminishing Spline 関数のknotsの決定法について,” 情報処理, Vol.18, No.6, pp.550-557 (1977)
- [9] 塚越：“Variation Diminishing Spline 関数のknotsの配置とその多重度の決定について,” 情報処理, Vol.19, No.3, pp.256-262 (1978)
- [10] 志沢、鈴木：“弾性体モデルを用いた図形の変形方法,” 情報処理学会コンピュータビジョン研究会報告, CV50-1 (1987)
- [11] 島田、多田、阪本、村上：“有限要素法による自由曲面の平面展開問題,” 日本機械学会論文集, Vol.C-54, No.498, pp.497-504 (1988)
- [12] 島田、多田：“有限要素法による自由曲面の平面展開問題(第2報, 各種設計制約がある場合),” 日本機械学会論文集, Vol.C-55, No.511, pp.810-817 (1989)