

## 靴用 CAD システムにおける三次元カーソル機能の開発†

阪本 英 男\*\* 加藤 敏 春\*\*\* 岸本 和 一 郎\*\*\*  
多田 幸 生\*\*\*\* 村上 明\*\*\*\*

靴はそのデザインに多様な形状が要求される。近年においては、デザインに対する仕様の変化する期間が短くなってきているため、このような需要動向に即応できることが望まれる。靴の製造工程においても靴 CAD システムが導入されているが、三次元でのデザインを作成するための機能については不十分である。筆者らは、靴用 CAD システムにおいて靴のデザイナーによるデザインの作成作業を支援するための三次元カーソル機能の開発を行い、三次元のグラフィックディスプレイ上で実現した。本報告では、作業の対象であるラストの曲面形状をその三次元形状測定点から創成する過程、三次元カーソルの動きをモデリング曲面上のみに拘束するための処理手順、システムのハードウェア構成について述べる。また、実際に三次元カーソルを用いてデザイン曲線を作成した例を挙げる。

## 1. はじめに

靴の設計・製造工程において、ラスト（靴のデザインの立体的な出来具合を検討およびデザインを決定するための靴型）曲面上でデザインの出来具合を検討することは、一連の設計・製造工程の入り口にあたる重要な作業であり、現状ではデザインを決定するまでに多くの時間を費やしている。靴の部品づくりは、ラスト上でのデザインの作成→平面展開→平面図作成→グレーディング→裁断の順序で行われる。平面図作成以降の工程については、二次元機能を中心とした CAD/CAM システムが実用化されているが、ラスト上でデザインを作成する上で必要である、複雑な自由曲面にデザイン曲線を入力する機能については不十分であった。

そこで、グラフィックディスプレイに表示したラストの曲面モデルに対して、直接にデザイン曲線を入力することのできる三次元カーソル機能の開発を行った。

## 2. ラスト曲面のモデリングについて

## 2.1 曲面の創成方法

ラスト曲面をモデリングするにあたって、システ

ムとして曲面の修正は行わないので、処理の容易な Ferguson の曲面創成方法<sup>1),2)</sup>を用いる。これにより定義される曲面パッチの繋ぎあわせでラストの全表面を表す。

Ferguson の曲面パッチは、 $U, V$  を図 1 のような曲面パッチ上の相交わる二方向のパラメータとすると (1) 式のように表される。

$$P(U, V) = [H_{0,0}(U), H_{0,1}(U), H_{1,0}(U), H_{1,1}(U)] \\ \times \begin{bmatrix} Q(0,0) & Q(0,1) & Q_v(0,0) & Q_v(0,1) \\ Q(1,0) & Q(1,1) & Q_v(1,0) & Q_v(1,1) \\ Q_u(0,0) & Q_u(0,1) & 0 & 0 \\ Q_u(1,0) & Q_u(1,1) & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ \times \begin{bmatrix} H_{0,0}(V) \\ H_{0,1}(V) \\ H_{1,0}(V) \\ H_{1,1}(V) \end{bmatrix} \quad (1)$$

ブレンド関数については、変数  $U, V$  それぞれにつき、

$$\left. \begin{aligned} H_{00}(t) &= (t-1)^2(2t+1), & H_{01}(t) &= t^2(3-2t) \\ H_{10}(t) &= (t-1)^2t, & H_{11}(t) &= (t-1)t^2 \end{aligned} \right\} (2)$$

で与えられる。

マトリクスの部分は、曲面パッチの四隅のデータで  $Q$  は位置ベクトル、 $Q_u$  は  $U$  方向の接ベクトル、 $Q_v$  は  $V$  方向の接ベクトルのデータをそれぞれ表す。

(1) 式において、各曲面パッチについての要素を定義するにあたり、三次スプライン曲線によるワイヤフレームでラストを表し、これらの曲線を境界条件とする。

$(N+1)$  個の離散的な三次元座標  $Q_j$  ( $j=0, 1, \dots, N$ ) が与えられたとき、スプライン曲線の各セグメントは、(3) 式のように表される<sup>3)</sup>。

† Development of 3-dimensional Cursor-function for Shoe's CAD System by HIDEO SAKAMOTO (Department of Machinery and Electronics, Industrial Research Institute of Hyogo Prefecture), TOSHIHARU KATO, WAICHIRO KISHIMOTO (Department of Planning and Information Service, Industrial Research Institute of Hyogo Prefecture), YUKIO TADA (Department of System Engineering, Faculty of Engineering, Kobe University) and AKIRA MURAKAMI (Toyo Information System, Co., Ltd.).

\*\* 兵庫県立工業試験場機械電子部

\*\*\* 兵庫県立工業試験場企画情報部

\*\*\*\* 神戸大学工学部システム工学科

\*\*\*\*\* (株)東洋情報システム



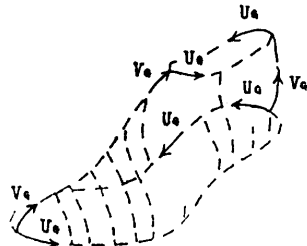


図 5 グローバルな  $U_G, V_G$  パラメータの定義  
Fig. 5 Definition of global  $U_G, V_G$  parameters.

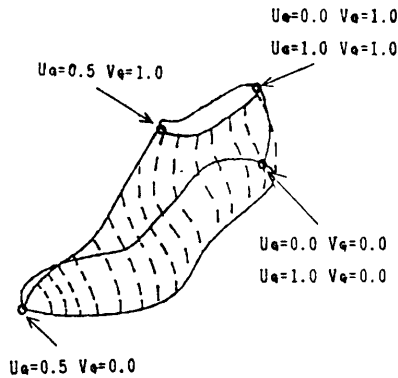


図 6 ラストの特徴点における  $U_G, V_G$  パラメータ  
Fig. 6  $U_G, V_G$  parameters of characteristic points in Last.

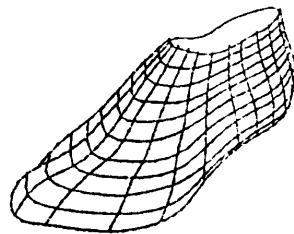


図 7 スプライン曲線により表されるラストのワイヤフレームモデル  
Fig. 7 Curved line model of Last by splines.

各ラインを構成する測定点を抽出し、各々のラインをスプライン曲線により表す。これらの四つのラインに対して、ソールとアッパを  $U_G$  方向、ヒールとセンタを  $V_G$  方向とし、パラメータの変化を図 5 のように定義する。

ラストの特徴点におけるパラメータは図 6 のとおりである。

Ⅲ) ワイヤフレームモデルの創成

曲面パッチの境界を与えるワイヤフレームの創成方法を説明する。まず、向かい合うアッパラインとソールライン上に同数の分割点を設ける。対応する二点に基づいて順次に分割面を発生させ、形状測定データとの干渉計算を行う(付録参照)。

一つの分割面上の交点列にスプライン曲線をあてはめる。

すべての分割面について同じ操作を行うことにより、 $V_G$  方向の境界曲線を得る。これらの曲線上で同数の分割点を設け、対応する点列間にスプライン曲線をあてはめることにより、 $U_G$  方向の境界曲線を得る。

このようにして得られる境界曲線によるワイヤフレームモデルは図 7 に示すとおりである。

3. 論理バリュエータ装置によるカーソルの操作

バリュエータ装置は、その操作による装置の動きに対応するパラメータを入力できる<sup>4)</sup>。

バリュエータ装置から入力されるパラメータを曲面のパラメータに変換し、これによりカーソルを制御することで、カーソルの動きを曲面上に拘束することを考える。

入力パラメータに対応する曲面上の位置へカーソルを駆動するための処理手順を図 8 に示す。

図 8 において、バリュエータ装置による入力パラメータは、曲面全体に対するグローバルパラメータ ( $U_G, V_G$ ) として処理される。次にパラメータ変換により、曲面パッチのセグメント名 ( $I_u, I_v$ ) とローカルパラメータ ( $U_L, V_L$ ) に変換する。

カーソル情報については、カーソル基点の曲面上の三次元座標値と、カーソルの傾きの計算を行う。

三次元座標値は、上で得たパラメータ変換の結果から(1)式により計算する。

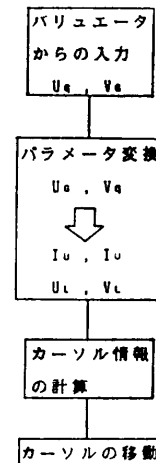


図 8 三次元カーソルを曲面モデル上で動かすための処理手順  
Fig. 8 Procedure to control 3-d Cursor on the curved surface model.

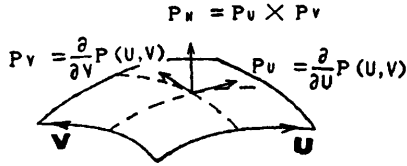


図 9 ワールド座標空間におけるカーソルの傾き角の計算  
Fig. 9 Calculation of inclination angle for Cursor in the world coordinate space.

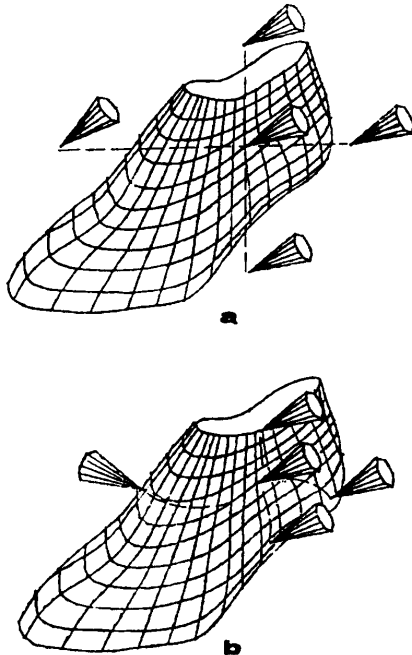


図 10 三次元カーソル  
Fig. 10 3-d Curson.

カーソルの傾きとしては、図 9 に示すように曲面の二つのパラメータ方向の接ベクトルの外積計算により得られる法線ベクトル ( $P_n = P_u \times P_v$ ) を与える。

こうして得たカーソル情報に基づいて、グラフィック画面上でカーソルの移動を行う。これにより、輪理バリュエータ装置の操作に対するカーソルの動きを曲面上のみの動きに拘束することができる。

その様子を図 10 に示す。(a)は三次元カーソルがワールド座標空間全体を移動する場合の例で、(b)は今回開発した方法による場合の例であるが、(b)の場合は、ラストのモデル上のみをカーソルが動くので、デザイン線の入力を行う上で操作しやすい。

#### 4. システム構成

三次元カーソル機能を組み込んだ、我々が開発を行った靴 CAD システムのハードウェアの構成を図 11

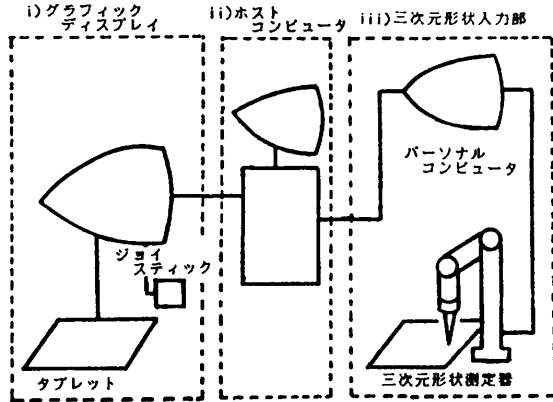


図 11 システムのハードウェア構成  
Fig. 11 Configuration of system hardware.

に示す。

i) はグラフィックディスプレイであり、デザインの作成を行う。グラフィックディスプレイには、曲面モデルに対する作業であることから、三次元レベルのものを用いる。また、三次元カーソルを操作するための論理バリュエータ装置の物理装置として、ジョイスティックとタブレットを接続している。

ii) はホストコンピュータで、曲線や曲面の形状処理のための計算を作業に違和感なく行うのに必要な演算速度の点から 32 ビットのミニコンを用いている。

iii) はラストの三次元形状入力部であり、多関節でマニュアル操作方式の三次元形状測定器と、それによる形状測定データを収集するための 16 ビットのパーソナルコンピュータで構成される。

#### 5. カーソルの操作方法およびデザイン線の作成について

三次元カーソルを操作するための方法として、ジョイスティックおよびタブレットによる方法を用意した。

これらの装置によりカーソルを操作し、デザイン線を入力するための処理手順の概要を図 12 に示す。

ジョイスティックを用いる場合は、その操作に対するカーソルの動きをグラフィック画面上で確認しながらデザイン線の入力を行う。

実際にジョイスティックを用いてデザインを作成した例を図 13 に示す。

図 13 中に示されているのは、ラストの輪郭線と三次元カーソルおよびデザイン曲線である。図中で円錐形状のものが今回開発した三次元カーソルであり、三次元カーソルを用いてラストの曲面上にデザイン曲線

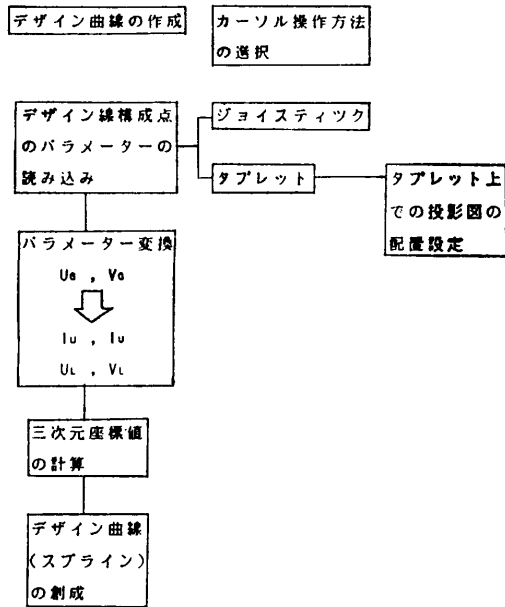


図 12 デザイン曲線を作成するための処理手順  
Fig. 12 Procedure to create design line.

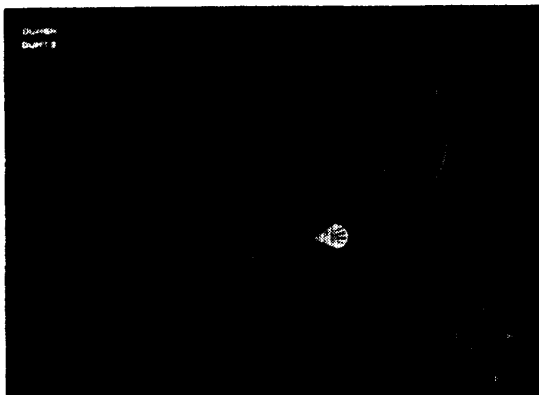


図 13 三次元カーソルをジョイスティックで操作して  
デザイン線を作成した例  
Fig. 13 Example of design lines created by the  
3-d Cursor controlled by a joystick.

を入力している様子を示している。

タブレットによる操作は、ラストの輪郭線を平行投影して得られる投影図に基づいて行う。

投影図は、図 2 に示したラストに対する座標系で Y 軸方向からラスト輪郭線を X-Z 面上に投影することにより、図 14 に示すように、内側と外側の二つの投影図を得る。この二つの投影図は、システムの初期設定によりタブレット上での配置設定を行うことで、ラスト曲面と一対一対応の対応関係付けが行われる。

これにより、投影図上でスタイラスペンを動かすとカーソルに投影図上のスタイラスペンの位置と位相的

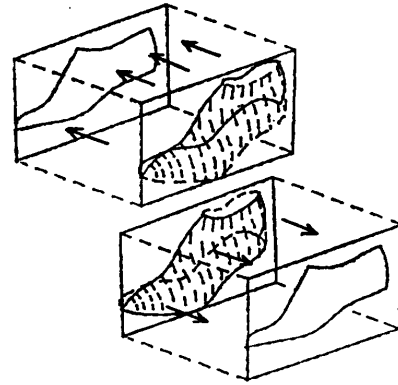


図 14 ラストの内・外に対する二つの投影図の作成  
Fig. 14 Two projection pictures of inside and outside of Last.



(a)



(b)

図 15 三次元カーソルをタブレットで操作して  
デザイン線を作成した例

Fig. 15 Example of design lines created by the  
3-d Cursor controlled by a tablet.

に等しい曲面モデル上の対応位置を辿らせることができる。

投影図からの入力方法によると、同一のラストで既に作成した実際の靴について、その投影方向から撮影した写真により、ラストのモデルにデザイン線を転写



図 16 デザイン線およびラストのシェーディングモデル  
Fig. 16 Design lines and shading model of Last.

することができ、このようにして得たデザインから新しいデザインへと発展させることができる。

タブレット上から、既存の靴のピンナップ写真を用いてデザイン線を転写した例を図 15 に示す。

図 15(a) は、投影図に対応する靴の写真である。

図 15(b) は、タブレットから (a) を用いて靴の足入れ口に当たる曲線と踵部の縫い込み線を入力している様子を示している。

図 16 は、デザイン線に加えてラストのモデルを表示した例である。

## 6. む す び

靴用の CAD システムにおける三次元カーソル機能の開発を行い、従来の靴 CAD システムでは不十分であった三次元で靴のデザインを作成するための機能を実現した。

これにより、従来では多くの資材や作業時間を必要としていたデザインを作成する作業の大幅な省力化が可能である。

また、三次元カーソルを用いて作成したデザインの形状は、平面展開プログラム<sup>6)</sup>に入力することができるので、三次元から靴部品製造における二次元の工程まで一貫して自動化を図ることができ、最終的な靴の部品の完成期間の短縮が図られる。

ラストのモデリングについては、スプライン曲線を境界条件とする Ferguson の曲面パッチによりモデリングしたが、今回はスプライン曲線上で曲面のセグメントを等分割位置に発生させ、300 セグメントで表した。

現状の製造工程で用いられる多くのラストについては問題ないが、変形の大きいラストについても精度良

くモデリングするためには、スプライン曲線上で曲面パッチの端点位置を最適化する必要があり、このような手法を確立することが今後の課題である。

謝辞 本研究を遂行するにあたり、システム開発の面で協力していただいた、是川氏を始めとする(株)東洋情報システム応用技術システム開発部の方々に感謝します。

また、現状の靴のデザイン作成方法の概要について教えていただきました真鍋主任研究員(兵庫工試・産業工芸部)に感謝します。

研究を遂行するにあたり、終始激励をたまわりました沖田部長(兵庫工試・機械電子部)に感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) 山口富士夫: 形状処理工学 [ I ], pp. 96-100, 日刊工業新聞社, 東京 (1985).
- 2) Ferguson, J.: Multivariable Curve Interpolation, *J. ACM*, Vol. 11, No. 2, pp. 221-228 (1964).
- 3) 市田浩三, 吉本富士市: スプライン関数とその応用, pp. 43-48, 教育出版, 東京 (1979).
- 4) 今宮淳美訳, Foley, J. D./Dam, A. V. 著: コンピュータ・グラフィックス, p. 77, 日本コンピュータ協会, 東京 (1984).
- 5) 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).

## 付 録

曲面のセグメント分割面の発生および分割面と三次元形状測定点との干渉計算について

$n$  番目の分割面が、ベクトル

$$a_n = a_{n1}e_1 + a_{n2}e_2 + a_{n3}e_3$$

を法線ベクトルとする平面方程式

$$a_{n1}x + a_{n2}y + a_{n3}z + d_n = 0 \quad (5)$$

で表されるものとする。

$e_1, e_2, e_3$  は、それぞれ  $X, Y, Z$  軸の正の向きに向く単位ベクトルである。

平面方程式の係数  $a_{n1}, a_{n2}, a_{n3}, d_n$  を以下の順序で得る。

アップライン上を取った分割点のうち、 $U_G$  パラメータ 0.0 の点より  $n$  番目の分割点の三次元座標を、

$$P_n(p_{n1}, p_{n2}, p_{n3})$$

とする。

同様に、ソールライン上を取った分割点のうち、

$U_G$  パラメータ 0.0 の点より  $n$  番目の分割点の三次元座標を

$$Q_n(q_{n1}, q_{n2}, q_{n3})$$

とする。

ソールライン上およびアッパライン上での分割点数を  $(N+1)$  とすると、向かい合った対応二点で定義されるベクトル

$$\begin{aligned} r_n &= \overrightarrow{P_n Q_n} = (q_{n1} - p_{n1}, q_{n2} - p_{n2}, q_{n3} - p_{n3}) \\ &= (r_{n1}, r_{n2}, r_{n3}) \end{aligned}$$

と、

$$\begin{aligned} s_n &= (\cos \{ \pi + 2\pi(n-1)/N \}, \\ &\quad \sin \{ \pi + 2\pi(n-1)/N \}, 0.0) \\ &= (s_{n1}, s_{n2}, s_{n3}) \end{aligned}$$

の外積により、

$$\begin{aligned} (b_{n1}, b_{n2}, b_{n3}) &= r_n \times s_n \\ &= (r_{n2}s_{n3} - r_{n3}s_{n2}, r_{n3}s_{n1} - r_{n1}s_{n3}, r_{n1}s_{n2} - r_{n2}s_{n1}) \end{aligned}$$

を計算し、

$$\begin{aligned} a_{n1} &= b_{n1} / \sqrt{b_{n1}^2 + b_{n2}^2 + b_{n3}^2}, \\ a_{n2} &= b_{n2} / \sqrt{b_{n1}^2 + b_{n2}^2 + b_{n3}^2}, \\ a_{n3} &= b_{n3} / \sqrt{b_{n1}^2 + b_{n2}^2 + b_{n3}^2}, \\ d_n &= -(a_{n1}p_{n1} + a_{n2}p_{n2} + a_{n3}p_{n3}) \end{aligned}$$

を得る。

一つの分割面上に存在するラスト表面との近似交点の計算については、隣合う二つの測定点の三次元座標を

$$(v_1, v_2, v_3) \quad (w_1, w_2, w_3)$$

とすると、分割面が二点間に挟まれた位置関係にあれば、二点の座標値と分割面の平面方程式の係数の間に以下の条件が成立する。

$$a_{n1}v_1 + a_{n2}v_2 + a_{n3}v_3 \leq d_n \leq a_{n1}w_1 + a_{n2}w_2 + a_{n3}w_3$$

または、

$$a_{n1}w_1 + a_{n2}w_2 + a_{n3}w_3 \leq d_n \leq a_{n1}v_1 + a_{n2}v_2 + a_{n3}v_3$$

この条件が成立すれば(5)式と二点を結ぶ三次元の直線方程式

$$\begin{aligned} (x-v_1)/(w_1-v_1) &= (y-v_2)/(w_2-v_2) \\ &= (z-v_3)/(w_3-v_3) \end{aligned} \quad (6)$$

を連立して解くことにより得られる。

この手順を繰り返すことにより、一つの分割面上の近似交点列を得る。

(昭和 63 年 2 月 10 日受付)

(昭和 63 年 10 月 7 日採録)



阪本 英男 (正会員)

昭和 33 年生。昭和 57 年関西大学工学部電気工学科卒業。59 年大阪大学大学院工学研究科修士課程修了。59 年兵庫県立工業試験場勤務。現在に至る。三次元 CAD システムの研究開発に従事。応用物理学会会員。



加藤 敏春

昭和 18 年生。昭和 41 年大阪市立大学工学部応用化学科卒業。昭和 46 年同大学院博士課程修了。工学博士。46 年兵庫県立工業試験場勤務。現在に至る。産業廃棄物の化学処理に関する研究に従事。日本化学会会員。



岸本和一郎

昭和 4 年生。昭和 26 年同志社大学工学部機械工学科卒業。26 年兵庫県立工業試験場勤務。現在に至る。加工の自動化技術の研究に従事。日本機械学会、精密工学会会員。



多田 幸生

昭和 27 年生。昭和 50 年神戸大学工学部機械工学科卒業。昭和 52 年同大学院修士課程修了。昭和 55 年大阪大学大学院工学研究科博士後期課程機械工学専攻修了。工学博士。同年、神戸大学工学部システム工学科助手。昭和 61 年同助教授。CAE などのシステム設計、構造物の最適設計、バイオメカニクス、画像処理などに関して研究している。日本機械学会、日本 OA 学会各会員。



村上 明

昭和 23 年生。昭和 48 年大阪大学理学部数学科卒業。昭和 50 年同大学院修士課程修了。50 年(株)東洋情報システム入社。現在に至る。CAD システムおよび CG システムのソフトウェア開発に従事。