

製品のサイバーデザインシステム」
ーサイバーデザインと実デザインー

松本 一輝

法政大学大学院 IT Professional Course

〒102-8160 東京都千代田区富士見町 2-17-1

ITPC 事務室

it013341@itpc.i.hosei.ac.jp

國井 利泰

法政大学大学院 IT Professional Course

〒102-8160 東京都千代田区富士見町 2-17-1

ITPC 事務室

tosi@kunii.com; http://www.kunii.com/

要旨

サイバー空間でデザインしたい製品のスケッチを行い、そのスケッチをサイバー空間上で認識させる。その認識結果に、セルモデルに基づくセル分解を利用して製品の各パーツを求める。セル分解するに当たり、製品の製造手順という変化の不変量を、ホモトピー理論を利用してホモトピー不変量として把握する。このプロセスにより求められた製品のパーツ及び、製造手順を蓄積したサイバーデザインデータベースを利用し、分解したセルにセル接着関数及びホモトピー理論を用いる事で、形状が変わる、或いは多様なサイズの製品群のような、幾何学で書けないものの実デザインをサイバースペース上で行う事が可能になる事を示す。具体例として鞆のデザインを取り上げる。

キーワード:

セルモデル、セル分解、ホモトピー理論、ホモトピー不変量、サイバーデザインデータベース、セル接着関数

The cyber design system of soft products

-Cyber design and Real design-

Kazuteru Matsumoto

IT Professional Course, Hosei University, Graduate School

ITPC Office, 2-1-17 Fujimi-cho, Chiyoda-ku, Tokyo 102-8160

Japan

it013341@itpc.i.hosei.ac.jp

Tosiyasu L. Kunii

IT Professional Course, Graduate School, Hosei

University

ITPC Office, 2-1-17 Fujimi-cho, Chiyoda-ku, Tokyo 102-8160

Japan

tosi@kunii.com; http://www.kunii.com/

Abstract:

After we sketch the design of a product in cyberspaces, we can obtain each part of the product applying a cell decomposition based on cellular model operations and the homotopy theory to the sketched result. When we perform cell decomposition, we can specify the manufacturing procedures of a product as homotopy invariants using the homotopy theory. Using the parts and the manufacturing procedures of a product, and cell attaching functions accumulated in the cyber design database according to these processes, we show first that we can perform the real design of soft products, the shapes of which are constantly changing. We then show that varied sizes can be uniformly specified by the cellular model. Thus, the cellular model is far powerful than geometric models. The design of a bag is taken as an example of soft object design.

Key words and phrases:

a cellular model, a cell decomposition, homotopy theory, homotopy invariants, a cyber design database, cell attaching functions

1. 緒 言

製品製造の工程に於いて、デザインのスケッチから製造迄の流れの中で現状発生している問題点を論じ、セル理論¹⁾²⁾³⁾、ホモトピー理論⁴⁾に基づく対応策を、鞆を具体例として以下に示す。

1.1 製品(鞆)のデザインシステムの現状

製品(ここでは鞆)を製造する場合、現在は次の工程で行っている。

①鞆のデザイン画を制作する。

- ②デザイン画を基に型起こしを行い、型紙裁ちをする。
- ③型紙から最終製品の鞆を作成する為の製造指圖書を作成する。
- ④型紙通りの革裁ちの為に「抜き型」を作る。
- ⑤抜き型を当てて、鞆の各部品作りの為に革を裁断する。
- ⑥裁断された各部品を製造指圖書基に仕立てを行う。

1.2 製品(鞆)デザイン制作上の問題点

現状の鞆のデザインに於ける問題点は、一旦確定したデザインに対し、

①部分的な形状の変化、

②サイズのみの変更等

を加えようとする場合であっても、デザインを初めから作成し直さなくてはならず、またそれに伴い、型起こし、型紙裁ち、製造指示書作成の一連の変更作業を行っている。この事が製造コストを押し上げている。

1.3 問題発生の原因

①全てのデザイン手法では全形状、寸法が決定しないと靴のデザインが作成出来ない。

②3次元データの保有量が膨大となる。

という問題が発生している原因は、現状は幾何学レベルで靴のデザインが行われている為である。

1.4 解決策

靴のデザイン工程にセル理論及びホモトピー理論を用いる事により、一度デザインが決定され、サイバーデザインデータベース¹⁾にデータが蓄積された、靴の形状／大きさ／製造手順等に対し、実デザインの変更を自由に行う事が可能となる。

またその際に製造指示書の作成迄を行う事が可能になる事を以下に示す。

その根拠は、「セルモデルは、ホモトピー理論の上に構築されているため、セル空間の変形の関数を保存しておく事により、動的にセル空間同士の関係を再現する事が出来、セル空間同士の関係は、数学的な裏づけにより保証される」からである。

2. 従来のデザインシステム 6)7) 8)9)10)

サイバー空間にデザインする対象を表現する形状モデリングには、以下に示す通り、ワイヤーフレームモデル、サーフェスモデル、ソリッドモデル、自由形状モデル等が有る。

2.1 ワイヤーフレームモデル

(1)概要

ワイヤーフレームモデルは、デザインする対象の形状を、頂点と稜線(頂点は3次元の座標として原点からの位置ベクトルとして表現され、稜線は1つの頂点と他の頂点を結ぶ事で表現される)により表す、「針金」によって形状を表現するもので、稜線以外に実体は存在しないモデルである。このモデルは今日でも幅広く利用されている。

(2)問題点

①このモデルは物体を任意の視点から投影する事は出来るが、隠線処理は出来ない。

②また、稜線の数が多く複雑な形状の対象に関しては、把握が難しい。

という欠点がある。

2.2 サーフェスモデル

(1)概要

サーフェスモデルは、複数の稜線から作られる面の集合体によって形状を表現するモデルである。

(2)問題点

①このモデルではデザインする対象の面の存在が明らかになるが、立体の内側と外側を判別する事が出来ない。

②サーフェスモデルは、面の接続実体を完全に認識するには面の何れの側実体が存在するか否かについての情報を付加する必要がある。

③部分的な形状の変化に対応出来ない。

という欠点がある。

(3)解決策

実体を実体としてサイバー空間で表現するには内部モデルが必要となる。

これには立方体、円筒、円錐、等の基本的な立体要素(プリミティブ(primitive))を用意し、これらに和・差・積等の「形状演算」を行い形状の構築を行う。

然し、この方策を施す事により3次元データの保有量が膨大となる。

2.3 ソリッドモデル

(1)概要

ソリッドモデルは、立体を3次元の物体として扱うモデルである。ソリッドモデルは形状を線や面で表現するのではなく、中身の詰まった実体として正確に表現する手法である。

(2)利点

ソリッドモデルの特徴を挙げると、実体の内部に関する情報を持っている為、実際の物体と近い取扱いが可能となる為、デザイン時の形状データを設計から製造まで一貫して利用する事が出来る。

その為、現在モデリングを行う場合、この方式が一般に採用されている。

(3)問題点

①形状データの情報処理量が他の方式に比較して膨大となるという問題を抱えている。

②ソリッドモデルには以下に挙げる様に幾つかの手法があるが、どの手法も、幾何学レベルで形状のモデリングが行われている為、全ての手法で全形状、寸法が決定しないとデザインが作成出来ない。

③部分的な形状の変化、サイズのみの変更等への対応が出来ない。

という問題が起きている。

(4)ソリッドモデルの種類

ソリッドモデルには以下のデータ構築方法があるが、

大別すると、2つのデータ構築法がある。

その1つは、ワイヤーフレームモデルに面情報を付加する事でサーフェスモデルを作成した様に、サーフェスモデルに立体の情報を付加する事により、ソリッドモデルを構築させる事が出来る手法で、境界表現(Boundary representation) または B-Reps 法という。

もう1つは、サーフェスモデルの処で述べた様に、ソリッドモデルの場合にも立体の基本的な立体要素であるプリミティブ(primitive)を用意する手法で、これらプリミティブの和・差・積等の形状演算によって、モデルを形成する。この方法を CGS(Constructive solid geometry) という。

現在では、デザインシステムとして B-reps を採用したものが多くなっている。

①B-Reps 法

B-reps(Boundary representations、境界表現)は、物体をその内側と外側の境界面と、それらの結合状態で表したものである。

ワイヤーフレームモデルに面と体の情報を付加して一体化したものである。

ワイヤーフレームモデルのデータを生かせる等の利点があるが、基本的に平面でモデリングする為、曲線(曲面)を表現しようとすると多くのデータを必要とし、形状が複雑になると処理量が飛躍的に大きくなるという欠点を有している。

②CSG 法

CSG(Constructive Solid Geometry)法は、基本立体を集合演算による組み合わせで表すものである。

CSG 法は部分的な操作には不向きで効率的でないが、全体的な処理や光源に対する陰影処理等に関しては向いている。

③空間格子法

空間格子法は 3 次元直交座標空間を一定の間隔で立方体状に細分し、形状の存在領域を立方体の有無により表現するものである。

曲面や傾斜を持った面の厳密な表現は難しい。

④Oct-Tree 法

Oct-Tree 法は原理としては空間格子法と同じであるが、対象となる物体を含む1つの立方体と考え、その物体の近似が不十分な時は各軸方向に立方体を二等分し、得られた 8 個の立方体をさらに分割して形状の近似を繰り返して行くというもの。

空間格子法と同様の欠点を有している。

⑤セル分割法

セル分割法は形状をセルという六面体に分割して表現する方法である。

これらのセルの結合によって望む形状を表す為、基本形

状から自由曲面を持つものまで形作る事が出来るが、セルに変換する事が手間となっている。

2.4 自由形状モデル

(1)概要

デザインシステムの分野では、意匠設計の様に曲面が重要な役割を果たす。そこで開発されたのが自由形状モデルである。

2次曲面の様に x, y, z 座標を陽に用いて解析的に曲面式が与えられていて、その曲面の種類と必要な係数がモデルの中に書き込まれていれば曲面上の点を求める事が出来る。この様な考え方で次数を上げ曲面の種類を多くすれば、多様な形状を記述する事が可能となる。

(2)利点

① x, y, z 座標自身を陽に用いる事を避け、ベクトルとパラメータによる表現を用いる為、形状制御が容易である。

②一般の曲面は区分的に定義された後、接続されて形状を構成する。これが自由曲面と呼ばれるもので、形状表現に柔軟性があり、また曲面の表現は特定の座標軸に依存しない。

(3)種類

曲面構成の基礎になっているのは空間曲線であり、区分的に定義された曲面を接続する時、境界を構成するワイヤーフレームも空間曲線である為、その代表例として、パラメトリック曲線レベルでの名称を挙げると以下のものがある。

①Bezier (ベツエ) 曲線

②Ferguson/Coons (ファークソン/クーンズ) 曲線

③B スプライン曲線 (ユニフォーム)

④NURBS (Non-Uniform Rational B-Spline: 非一様有理 B スプライン)

(4)現状

従来は欧州では Bezier 曲線が、米国では B スプライン曲線が発達していたが、以下の理由から便利な曲線として NURBS の実用化が進んでいる。

①NURBS 曲線は、色々な形状を表現出来る単一方程式を持つ曲線と考える事が出来る。

②しかも区分的な多項式の組み合わせとなっている為、局所的な形状変更が出来る。

本論文の中でも、自由曲面を捉える関数として NURBS 関数を取り上げる事とした。

3.サイバーデザインシステム

サイバーデザインシステムは、従来のデザインシステムと異なり、セル理論及びホモトピー理論を用いる事により、代数的な処理が可能である。

その為一度デザインが決定され、サイバーデザインデータベースにデータが蓄積された靴の形状/大きさ/製

造手順等に対し、実デザインの変更を自由に行う事を可能にする。以下にその内容を示す。

3.1 基礎データの入力

(1)前提

サイバーデザインシステムの構築に当たっての前提条件を以下に示す。

①既にサイバーデザインデータベースに、認識された鞆のデータが以下(2)に示す通り入力されている。

②対象となっている鞆は、最大限に細かいパーツに分解されている。

(2)対象鞆(鞆1、Fig.-1-1 参照)のデータ (Table-1 参照)
鞆1に関する以下のデータ呼び出す。

1)種類：トートバッグ

2)大きさ：A4 サイズ

3)取っ手：アーチ型2つ取っ手

4)ポケットタイプ：チャック付き外ポケット

5)色：前身ごろ：ベージュ、後身ごろ：水色、左まち：オレンジ、右まち：紫色、底：黒色、ポケット：ピンク、取っ手(前方)：黄色、取っ手(後方)：ライム、ファスナー：金色、糸：黒色

6)素材：革：牛革(カーフ)

ファスナー：真鍮

7)製造方法：糊付け後に糸で縫製

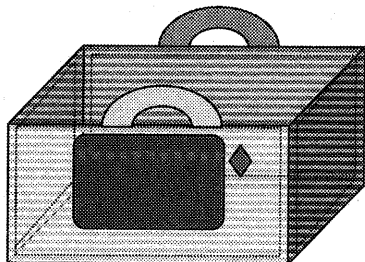


Fig.-1-1

「基礎データとして入力されている鞆」

①頂点データ

合計 20 の頂点が存在する。

$$X^0 = \{B_i^0 | i=1 \sim 20\}$$

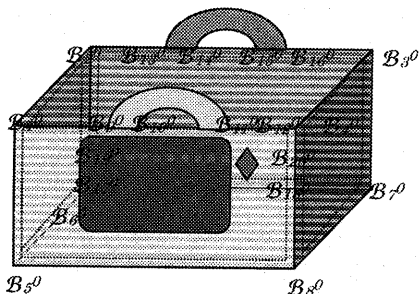


Fig.-1-2

「デザインされた鞆の各頂点」

Table-1-1

「頂点座標データベース」

X^0	座標	X^0	座標
B_1^0	(X_1, Y_1, Z_1)	B_{11}^0	(X_{11}, Y_{11}, Z_{11})
B_2^0	(X_2, Y_2, Z_2)	B_{12}^0	(X_{12}, Y_{12}, Z_{12})
B_3^0	(X_3, Y_3, Z_3)	B_{13}^0	(X_{13}, Y_{13}, Z_{13})
B_4^0	(X_4, Y_4, Z_4)	B_{14}^0	(X_{14}, Y_{14}, Z_{14})
B_5^0	(X_5, Y_5, Z_5)	B_{15}^0	(X_{15}, Y_{15}, Z_{15})
B_6^0	(X_6, Y_6, Z_6)	B_{16}^0	(X_{16}, Y_{16}, Z_{16})
B_7^0	(X_7, Y_7, Z_7)	B_{17}^0	(X_{17}, Y_{17}, Z_{17})
B_8^0	(X_8, Y_8, Z_8)	B_{18}^0	(X_{18}, Y_{18}, Z_{18})
B_9^0	(X_9, Y_9, Z_9)	B_{19}^0	(X_{19}, Y_{19}, Z_{19})
B_{10}^0	(X_{10}, Y_{10}, Z_{10})	B_{20}^0	(X_{20}, Y_{20}, Z_{20})

ここでは簡略化の為に x, y, z 座標で頂点座標を表す事とするが、ベクトルとパラメータを用いる表現も考えられる。

②稜線データ

合計 24 の稜線が存在する。

$$X^1 = \{B_i^j | j=1 \sim 24\}$$

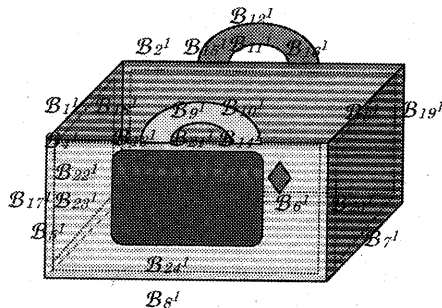


Fig.-1-3

「デザインされた鞆の各稜線」

Table-1-2

「稜線色データベース」

X^1	色	X^1	色
B_1^1	オレンジ	B_{13}^1	黄色
B_2^1	水色	B_{14}^1	黄色
B_3^1	紫色	B_{15}^1	ライム
B_4^1	ベージュ	B_{16}^1	ライム
B_5^1	黒色	B_{17}^1	ベージュ
B_6^1	黒色	B_{18}^1	オレンジ
B_7^1	黒色	B_{19}^1	水色
B_8^1	黒色	B_{20}^1	紫色
B_9^1	黄色	B_{21}^1	ピンク
B_{10}^1	黄色	B_{22}^1	金色
B_{11}^1	ライム	B_{23}^1	金色
B_{12}^1	ライム	B_{24}^1	ピンク

③NURBS データ

上記稜線の中、曲線に関しては NURBS 関数としてデータが保存されている。(NURBS 関数の詳細は省略する) 取っ手のカーブ ($B_9^1, B_{10}^1, B_{11}^1, B_{12}^1$) 及びポケットのカーブ (B_{21}^1, B_{24}^1) がそれに該当する。

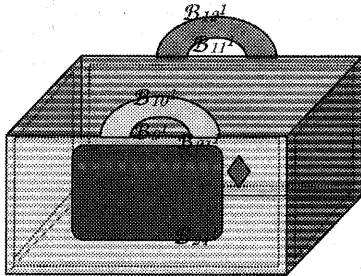


Fig.-1-3'
「デザインされた鞆の NURBS 各稜線」

Table-1-3
「NURBS データベース」

X^1	NURBS 関数	X^1	NURBS 関数
B_9^1	Nurbs1	B_{12}^1	Nurbs2
B_{10}^1	Nurbs2	B_{21}^1	Nurbs3
B_{11}^1	Nurbs1	B_{24}^1	Nurbs4

④面データ

合計 10 個の面が存在する。

$$X^2 = \{B_k^2 | k=1 \sim 10\}$$

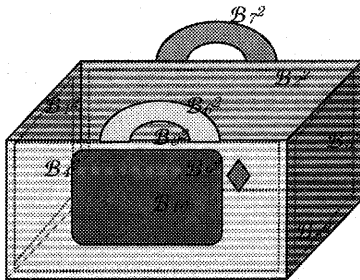


Fig.-1-4
「デザインされた鞆の各面」

Table-1-4
「面色データベース」

X^2	色	X^2	色
B_1^2	オレンジ	B_6^2	黄色
B_2^2	水色	B_7^2	ライム
B_3^2	紫色	B_8^2	ピンク
B_4^2	ベージュ	B_9^2	金色
B_5^2	黒色	B_{10}^2	ピンク

Table-1-5

「面素材データベース」

X^2	素材	X^2	素材
B_1^2	牛革(カーフ)	B_6^2	牛革(カーフ)
B_2^2	牛革(カーフ)	B_7^2	牛革(カーフ)
B_3^2	牛革(カーフ)	B_8^2	牛革(カーフ)
B_4^2	牛革(カーフ)	B_9^2	真鍮
B_5^2	牛革(カーフ)	B_{10}^2	牛革(カーフ)

⑤糸色データ

縫製する糸の色データは以下の通り。

Table-1-6

「糸色データベース」

X^1	色
$B_{糸}^1$	黒色

⑥セル接合関数データ

セル接合関数データとして以下の関数が存在している。

- 1)Fi: 頂点(0 次元)から面(2 次元)迄の組立に関する関数(参考文献 2) 参照)。(本関数はサイバースペース上に画像を生成する為に必要であるがここでは省略する。)
- 2)G: 鞆を製造する方法に関する製造手順(革を糊付けする)関数。
- 3)H₁: 鞆を製造する方法に関する製造手順(革を糸で縫製する)関数。

Table-1-7

「セル接合関数データベース」

関数	セル接合関数
Fi	頂点(0 次元)から面(2 次元)に矛盾無く組立てる。
G	革を糊付けする。
H ₁	革を糸で縫製する。

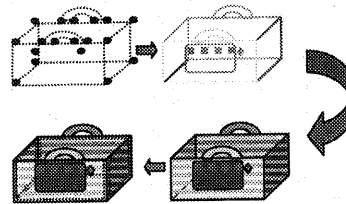


Fig.-1-5
「デザインされた鞆の組み立てイメージ図」

3.2 デザインの変更

呼び出した鞆 1 データに、以下(1)~(5)の変更を加え「B4 サイズ、角型 2 つ取っ手、色は、前身ごろ：グレー、後身ごろ：黄緑色、左まち：青色、右まち：茶色、底：赤

色、ポケット：黄色、取っ手（前方）：コバルト、取っ手（後方）：緑色、ファスナー：黒色、素材は、豚革、ファスナーはビニール」のチャック付き外ポケットを糊付け後に機械で圧着する靴2のデザインを作成する。

(1) 大きさの変更

大きさを A4 から B4 に変更する。(Fig.-2-1 参照)

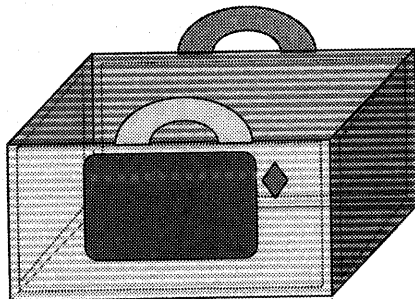


Fig.-2-1

「大きさが変更された靴」

同変更の為に、4 ページ Table-1-1 に示す「頂点座標データベース」のデータを、以下 Table-2-1 に示すデータに変更する。

Table-2-1

「変更頂点座標データベース」

X^0	座標	X^0	座標
B_3^0	(X'_3, Y'_3, Z'_3)	B_{12}^0	$(X'_{12}, Y'_{12}, Z'_{12})$
B_4^0	(X'_4, Y'_4, Z'_4)	B_{15}^0	$(X'_{15}, Y'_{15}, Z'_{15})$
B_7^0	(X'_7, Y'_7, Z'_7)	B_{16}^0	$(X'_{16}, Y'_{16}, Z'_{16})$
B_8^0	(X'_8, Y'_8, Z'_8)	B_{18}^0	$(X'_{18}, Y'_{18}, Z'_{18})$
B_{11}^0	$(X'_{11}, Y'_{11}, Z'_{11})$	B_{20}^0	$(X'_{20}, Y'_{20}, Z'_{20})$

(2) 色の変更

色に関し以下の変更を行う。(Fig.-2-2 参照)

同変更の為に、4 ページ Table-1-2 に示す「稜線色データベース」、5 ページ Table-1-4 に示す「面色データベース」のデータを、以下 Table-2-2、Table-2-3 に示すデータに変更する。

Table-2-2

「変更稜線色データベース」

X^{+1}	色	X^{+1}	色
B_{11}^{+1}	青色	B_{13}^{+1}	黄色
B_{12}^{+1}	黄緑色	B_{14}^{+1}	黄色
B_{13}^{+1}	茶色	B_{15}^{+1}	黄色
B_{14}^{+1}	グレー	B_{16}^{+1}	黄色
B_{15}^{+1}	赤色	B_{17}^{+1}	グレー
B_{16}^{+1}	赤色	B_{18}^{+1}	青色
B_{17}^{+1}	赤色	B_{19}^{+1}	黄緑色
B_{18}^{+1}	赤色	B_{20}^{+1}	茶色
B_{19}^{+1}	コバルト	B_{21}^{+1}	黄色
B_{20}^{+1}	コバルト	B_{22}^{+1}	黒色
B_{21}^{+1}	緑色	B_{23}^{+1}	黒色
B_{22}^{+1}	緑色	B_{24}^{+1}	黄色

Table-2-3

「変更面色データベース」

X^{+2}	色	X^{+2}	色
B_{11}^{+2}	青色	B_{16}^{+2}	コバルト
B_{12}^{+2}	黄緑色	B_{17}^{+2}	緑色
B_{13}^{+2}	茶色	B_{18}^{+2}	黄色
B_{14}^{+2}	グレー	B_{19}^{+2}	黒色
B_{15}^{+2}	赤色	B_{20}^{+2}	黄色

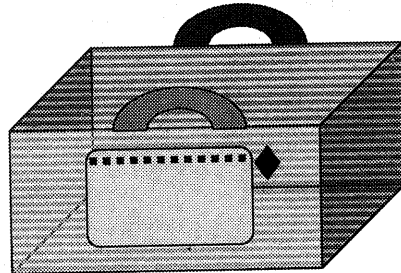


Fig.-2-2

「色が変更された靴」

(3) 素材の変更

革の素材を牛革（カーフ）から豚革に変更する。

又、ファスナーの素材を真鍮からビニールに変更する。

(Fig.-2-3 参照)

上記変更の為に、5 ページ Table-1-5 に示す「面素材データベース」のデータを、以下 Table-2-4 に示すデータに変更する。

Table-2-4

「変更面素材データベース」

X^{+2}	素材	X^{+2}	素材
B_{11}^{+2}	豚	B_{16}^{+2}	豚
B_{12}^{+2}	豚	B_{17}^{+2}	豚
B_{13}^{+2}	豚	B_{18}^{+2}	豚
B_{14}^{+2}	豚	B_{19}^{+2}	ビニール
B_{15}^{+2}	豚	B_{20}^{+2}	豚

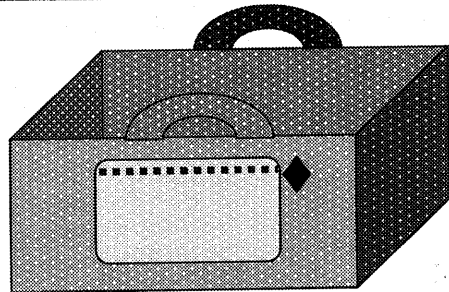


Fig.-2-3

「素材を変更した靴」

(4) 形状を変更した靴

取っ手の形状をアーチ型から角型に変更する。

(Fig.-2-4 参照)

上記変更のために、4 ページ Table-1-3 に示す「NURBS データベース」のデータを、以下 Table-2-5 に示すデータに変更する。

Table-2-5
「NURBS データベース」

X^{-1}	NURBS 関数	X^{-1}	NURBS 関数
B'_{10}^1	Nurbs1'	B'_{11}^1	Nurbs1'
B'_{10}^1	Nurbs2'	B'_{12}^1	Nurbs2'

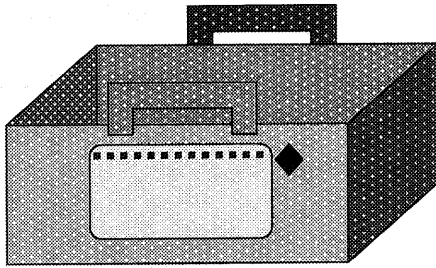


Fig.-2-4

「形状が変更された靴」

(5) セル接合関数の変更

製造方法を糸で縫製するから糊付けをした後に機械で圧着するに変更する。

同変更のために、5 ページ Table-1-7 に示す「セル接合関数データベース」のデータを、以下 Table-2-6 に示すデータに変更する。

Table-2-6
「セル接合関数データベース」

関数	セル接合関数
G	革を糊付けする。
H ₂	革を機械で圧着する。

前述(1)~(4)により変更された靴のパーツを使い、糸で縫製する(H₁)から機械で圧着する(H₂)に変更し、靴 2 を製造する手順を以下に示す。(糊付けする(G)部分に関してはここでは省略する。)

変更された 20 個の頂点を表す 0 次元のセルから成る X^0 に、24 本の稜線を表す 1 次元のセルを X^0 にアタッチする事により、構成された有効な Wire Frame Model X^1 に対し以下を行う。

変更された 10 枚の面 (靴のパーツ) の排他和は、

$$\cup_i B_i^2 = B_1^2 \cup B_2^2 \cup B_3^2 \cup B_4^2 \cup B_5^2 \cup B_6^2 \cup B_7^2 \cup B_8^2 \cup B_9^2 \cup B_{10}^2$$

であり、これにセル接合関数 H₂ を用い、 X^1 に接合すると、

$$H_2: \cup_i \partial B_i^2 \rightarrow X^1 \quad (i=1, \dots, 10)$$

H₂(λ) で、各パーツ B_i² の境界線 (λ ∈ ∂B_i²) を認識する事によって、バウンダリーモデル(Boundary Model) X^2 は、

$$X^2 = X^1 \cup_{H_2} (\cup_i B_i^2) = X^1 \cup_{H_2} (\cup_i e_i^2)$$

(i=1, ..., 10)

となる。この e_i² は B_i² の閉集合を表している。

この時の複合関数 H₂ は、以下の通りとする。

$$\begin{aligned} \partial B_1^2 \rightarrow e_{21}^1 \quad \partial B_2^2 \rightarrow e_{22}^1 \quad \partial B_3^2 \rightarrow e_{23}^1 \quad \partial B_4^2 \rightarrow e_{24}^1 \quad \partial B_5^2 \rightarrow e_{25}^1 \\ \partial B_6^2 \rightarrow e_{26}^1 \quad \partial B_7^2 \rightarrow e_{27}^1 \quad \partial B_8^2 \rightarrow e_{28}^1 \quad \partial B_9^2 \rightarrow e_{29}^1 \quad \partial B_{10}^2 \rightarrow e_{30}^1 \end{aligned}$$

上記により、糊付けした後にベージュ色の糸で縫製された靴を糊付けした後に圧着する靴に製造手順の変更が可能となる。

3.3 ホモトピー同値

上記 3.2 に於ける製造手順の変更は「可逆的な動きはすべてホモトピー関数で表現出来る」というホモトピー同値を理論的根拠としている。

「現象(Phenomena): 靴の前身ごろの革 (ベージュ) と左まち (紫色) の革を糸で縫製する。」を例に取り、以下にホモトピー同値に関し述べる。

2 つのトポロジー空間を想定し、

X: 前身ごろと左まちを用意した状態

Y: 前身ごろと左まちが糸で縫製された状態

とする。

この場合のホモトピー関数は以下の通り定義することが出来る。

$$\begin{aligned} H: X \times I &\rightarrow Y \\ (I=0) & \quad (I=1) \\ (\forall x \in X) & \quad (H(x, 0)=f(x), H(x, 1)=g(x)) \\ (\forall a \in A, \forall t \in I) & \quad (H(a, t)=f(a)=g(a)) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f: X &\rightarrow Y \\ A & \quad A \quad (A \subset X) \\ \text{ミシンに乗せた} & \quad \text{ミシンに乗せた} \\ \text{前身ごろに左まち} & \quad \text{前身ごろと左まち} \\ \text{を仮止めた位置。} & \quad \text{が糸で縫製された時} \\ & \quad \text{の仮止めの位置。} \end{aligned}$$

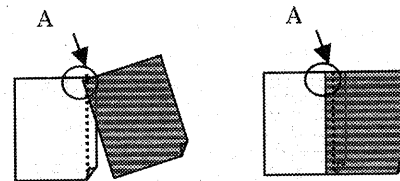


Fig.-3-1

「前身ごろと左まちを仮止めた位置(不変部分)」

Xの部分集合のうち不変部分をAとする。 $(A \subset X)$
A以外についての動きを表す関数をg、その逆関数をhとする。

$g: X \rightarrow$
マシンに乗せた
前身ごろに左まち
を仮止めして設定し
た状態。

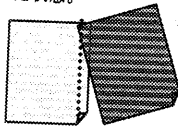


Fig.-3-2
「前身ごろと左まちを仮
止めて設定した状態」

Y
マシンに乗せた
前身ごろと左まち
が糸で縫製された状態。

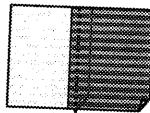


Fig.-3-3
「前身ごろと左まちが
糸で縫製された状態」

$h: Y \rightarrow$
マシンに乗せた
前身ごろに左まち
が糸で縫製された状態。

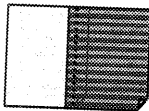


Fig.-3-3
「前身ごろと左まちが
糸で縫製された状態」

X
マシンに乗せた
前身ごろと左まち
を仮止めて設定し
た状態。

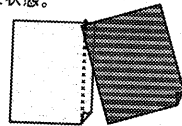


Fig.-3-2
「前身ごろと左まちを仮
止めて設定した状態」

以上により2つのトポロジー空間、X(前身ごろと左まちを用
意した状態)とY(前身ごろと左まちを糸で縫製した状態)は、
ホモトピー同値である。
すなわち以下が成り立っている。

$$g: X \rightarrow Y, h: Y \rightarrow X$$

$$h \circ g = 1_X, g \circ h = 1_Y$$

$$(1_X, 1_Y \text{ は識別関数 } / 1_X: X \rightarrow X, 1_Y: Y \rightarrow Y)$$

4. 結論

3.2に示した「変更内容及び変更手順のデータ」を、表2とし
て再度データベースに保存し変更が完了する。
このような手順を繰り返す事により、形状の変わる、或いは多
様なサイズの製品群のような、幾何学で書けないものを実デ
ザインをサイバースペースで行う事が可能になる。
併せて3.2に示した「変更内容及び変更手順のデータ」情報を
使用し、自動的に製造指示書の作成も可能となる。

5. 今後の課題

サイバードesignシステムを現行のCAD等のシステムと比較
した上でのロジックの研究開発を行う。

謝辞

本研究を進めるに当たり、サイバードesignに関するディス
カッションをして頂いた、法政大学大学院園井ゼミの木谷紀
子氏、本年夏学期のサイバードesignの授業で活発にディス
カッションを行い啓発し合えた法政大学大学院 ITPC 一期生の
児玉敏男氏、法政大学大学院園井ゼミの皆様及び同期生の皆
様に心より御礼申し上げます。

参考文献

- 1) T. L. Kunii, "The 3rd Industrial Revolution through Integrated Intelligent Processing Systems, *Proceedings of IEEE First International Conference on Intelligent Processing Systems (ICIPS'97), Beijing, China, October 28-31, pp. 1-6, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York, NY, 1997.*
- 2) T. L. Kunii, "Valid Computational Shape Modeling: Design and Implementation", *International Journal of Shape Modeling*, Vol. 5, No. 2, pp.123-133, World Scientific, December 1999.
- 3) T. L. Kunii, "Science of Computer Graphics", *Proceedings of Pacific Graphics '99 (PG99), October 5-7, Seoul, Korea, pp. 2-3, IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, California, 1998.*
- 4) T. L. Kunii, "Graphics with Shape Property Inheritance", *Proceedings of Pacific Graphics '98 (PG98), Singapore, October 26-29, pp. 2-6, IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, California, 1998.*
- 5) 木谷紀子、園井利泰「サイバードesignデータベース」
Proceedings of 情報処理学会DB研究会2002年1月21日.
- 6) Gerald Farin and Dianne Hansford, "The essentials of CAGD"(2000, A K Peters, Ltd.)
- 7) 岩田一明監修「基礎教育コンピューター設計・製図 I CAD/CAMの基礎」(1999年3月20日初版13刷、共立出版株式会社)
- 8) 竹内芳美著「パーソナル3次元CAD/CAM」(1996年8月10日初版1刷、株式会社工業調査会)
- 9) 武藤一夫著「はじめてのCAD/CAM」(2000年2月20日初版第1刷、株式会社工業調査会)
- 10) 三浦曜監修 中嶋孝行・大野敏則著「NURBS早わかり」(2000年7月3日初版第4刷、株式会社工業調査会)