

論 文

体積のある物体と退化形状物体を統一的に表現する幾何モデラの開発

望月 剛^{†*} 古山 隆志^{†*} 速水 康晴^{†**} 越川 和忠^{††}
山本 正信[†]

A Geometric Modeler to Represent 3D Objects and Degenerate Shapes in a Unified Format

Tsuyoshi MOCHIZUKI^{†*}, Takashi FURUYAMA^{†*}, Yasuharu HAYAMI^{†**},
Kazutada KOSHIKAWA^{††}, and Masanobu YAMAMOTO[†]

あらまし 本論文では、体積のある物体と紙や布のような退化形状物体を統一的に表現する幾何モデラについて述べる。このモデラでは、頂点・稜・面を素子（セル）として独立させ、物体の位相構造は隣接する素子間の関係を“継ぎ手”によって表現している。形状情報は素子には含めず、素子から参照できるようにしている。モデルは図形要素の具体的な形状と直接関連していないので、退化形状物体も位相的には多面体と同じとみなすことにより、統一的な表現で扱うことを可能としている。実装した幾何モデラの機能について詳しく述べる。具体的には、モデルの生成と改編、モデラの実装環境と実装、モデルの作成・修正を容易にするための GUI、等について述べる。

キーワード 幾何モデル, 退化形状物体, モチーフ編みモデル, GUI, 非多様体モデル

1. ま え が き

物体の幾何モデルをコンピュータ上に作成する際に、物体全体の形状が細部に至るまであらかじめ既知であることが望ましい。しかし、モデルの作成途中で新たな情報が加わったり変更されたりすることもある。その際、これまで作成したモデルを修正することが必要になる。実際、コンピュータビジョンによるモデル作りでは、新たな画像からの解釈が加わるたびに、これまでのモデルを修正することが必要となっている。

通常、物理的対象は体積をもっている。しかし、紙や布のような対象は厚さがなく体積のない物体とみなした方がよい。また、紐や針金のような対象は面積すらない物体とみなした方がよい。このような体積のない物体は、体積のある物体に対して退化形状物体と呼ばれている。新たな情報が加わることによって、体積のある物体と解釈されていた対象が退化形状物体に修

正される場合もある。また、その逆の場合もあり得る。解釈の変更に応じて、幾何モデル上の記述も動的に変更しなくてはならない。

越川は、体積のある物体と退化形状物体を統一して扱うことのできるモデルとして、モチーフ編み形状モデルを提案した [1]。このモデルの構造は、閉曲面の組合せ的な性質から導いたものである。すなわち、頂点・稜・面は素子（セルとして扱う）の種類にすぎず、閉曲面としての構造は隣接する素子間の関係を Euler 節と呼ばれる“継ぎ手”によって表している。したがって、個々の図形要素の具体的な形状には直接関連していないので、紙や布のような十分に薄いものも位相的には多面体と同じとみなすことにより、物体形状を統一した構造形式で扱うことを可能としている。

同様な提案は非多様体モデルとも呼ばれ、文献 [5]～[10] にも報告されている。例えば、Weiler [7] のモデルでは、素子間に use と呼ばれる継ぎ手を導入し use 同士を参照することによって位相情報を間接的に表現している。このモデルでは、素子を中心に位相構造を表現しているため隣接素子の数に応じて継ぎ手である use の数が増加している。これに対して、モチーフ編みモデルでは、継ぎ手であるオイラー節を中心に位相

[†] 新潟大学工学部情報工学科, 新潟市

Niigata University, 8050 Ikarashi 2-nocho, Niigata-shi, 950-2181 Japan

^{††} 電子技術総合研究所, つくば市

Electrotechnical Laboratory, Tsukuba-shi, 305-8568 Japan

* 現在, 富士通株式会社

** 現在, ナカノアイシステム

論文/体積のある物体と退化形状物体を統一的に表現する幾何モデラの開発

構造を表現し、オイラー節から参照すべき素子の数を3個に限定することができる。このため、位相構造の表現が簡潔になり、素子や継ぎ手を固定長のセル構造として計算機内で表現することができる。

本論文では、非多様体モデルの一つであるモチーフ編み形状モデルを作成するためのモデラを開発したので報告する。次章ではモチーフ編みモデルについて説明する。次いで、モデルの生成と改編、モデラの実装環境と実装、物体の作成・修正を容易にするためのGUI、等について述べる。

2. モチーフ編みモデル

形状表現における要素（点，線，領域）間の関係から、モチーフ編みモデルの構造（継ぎ手による構造）を導き、その構成要素とトポロジー表現の説明、複合節（Euler 節）の導入を行う。なお、モチーフ編みモデルのより詳しい説明（Euler-Poincaré 公式の充足性など）は文献 [1] を参考にされたい。

2.1 継ぎ手による構造

位相的な観点から、独立な構成要素である素子間の関係を考察する。

まず、頂点、稜、及び面で区分けされた閉曲面の一部を考えると、それは図 1 のように表すことができる。この図においては、頂点、稜、面がそれらとは次元性の異なる図形である点 (V)、線 (E)、領域 (F) のような要素となって表現される。

この閉曲面は図 2 のように多角形の素子の集まりとしても表され、素子の種類によって頂点、稜、面などに分けられる。更に、素子の離散性を考慮して図 3 のように図形要素として素子を独立させて表現することもできる。ただし、図 3 では要素間を関係づけることができない。

これに対して、図 4 では、ポイントによって素子間を関係づけることにする。しかし、素子にポイントをもたせることにすると素子としてのサイズが不定になり、素子を記憶領域に割り当てる際に不都合となる。

そこで、図 5 に示すような素子間の関係を表すためだけの「継ぎ手」で素子間を関係づける。このようにすれば、同じサイズの継ぎ手で隣接する素子間の関係を表現することができる。更に、継ぎ手間同士を関係づけるポイントも導入する。このポイントによって継ぎ手同士間はつながって輪を形成する（図 6）。このような構造化によって、素子としてはこれらの継ぎ手のポイントのうちどれか一つをもてばよいということ

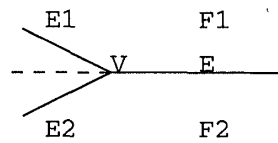


図 1 境界表現
Fig. 1 Boundary representation.

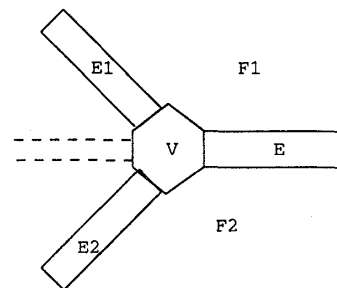


図 2 多角形素子による表現
Fig. 2 A representation by polygon cells.

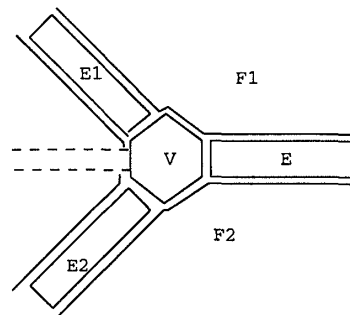


図 3 素子の離散性を考慮した表現
Fig. 3 A representation by discrete polygon cells.

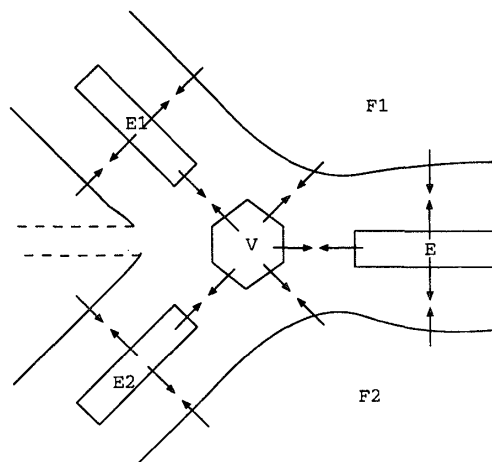


図 4 ポイントによる素子間の参照
Fig. 4 Direct pointing between discrete polygon cells.

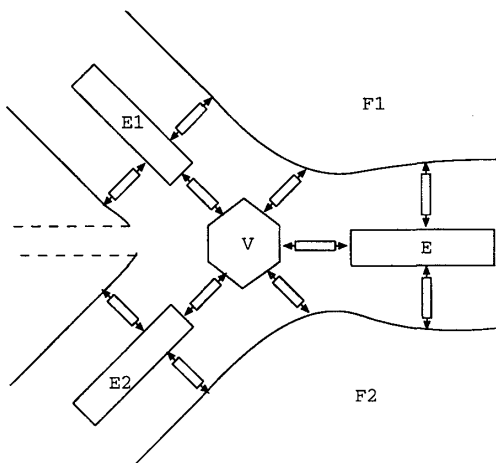


図5 素子を関係づける「継ぎ手」の導入
Fig. 5 A "connection" node denotes a relation between the calls.

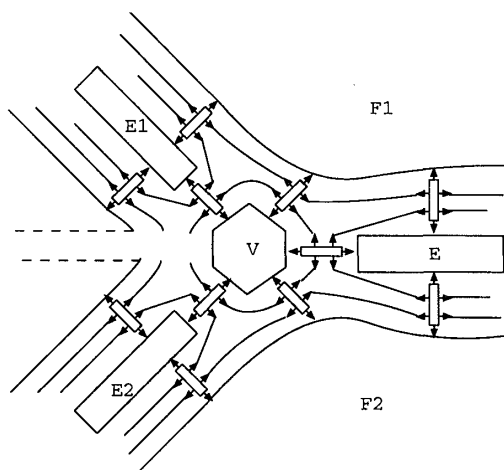


図6 「継ぎ手」による構造化 (モチーフ編みモデル)
Fig. 6 A motif-knitting model.

になる。このような構造を (単位となる図柄を編みつないで作る編物になぞらえて) 「モチーフ編みモデル」と定義する。

2.2 モチーフ編みモデルの構造の構成要素

前項で導いた構造形態は、素子を糸で絡ませた網目 (Stitch) に見立てることができる。図6の一部を拡大した図7を参考に、モデルの構成要素を以下のように定義する。

- 素子を「モチーフ」
- 継ぎ手を「節」
- 素子と継ぎ手を関係づけるポイントを「縦糸」
- その縦糸で素子を実際つないでいる代表ポイントを「糸口」
- 継ぎ手と継ぎ手を関係づけるポイントを「横糸」

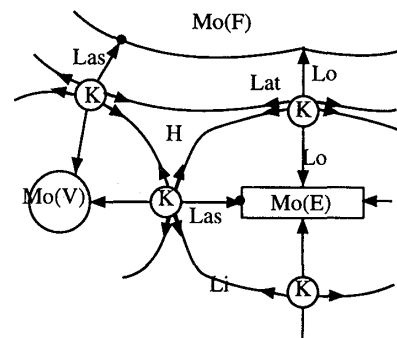


図7 モチーフ編み構造の構成要素. Mo: モチーフ (V, E, F), K: 節, Lo: 縦糸, Las: 糸口, Lat: 横糸, Li: 連結, H: 隙
Fig. 7 The elements in the motif-knitting model. Mo: Motif (V, E or F), K: Knit, Lo: Longitudinal thread, Las: Lash, Lat: Latitudinal thread, Li: Link, H: Hole.

- 輪で隣り合う節のつながりを「連結」
- 連結の糸で囲まれて素子がないところを「隙」

2.3 形状トポロジーの表現

このモチーフ編みモデルによる表現 (図7) から次のことが導かれる。

(1) 形状要素としての頂点, 稜, 面はモチーフの種類であって, 構造的にはいわば受容的に参加。

(2) 節の縦糸によって関係づけられているモチーフの組は次の3種類だけである。

- 頂点と面 (V-F) → α 節とする
- 頂点と稜 (V-E) → β 節とする
- 面と稜 (F-E) → γ 節とする

(3) モチーフにポイントを向ける節の縦糸から相手モチーフを見ながら, 輪の横糸にそって節をたどると, 一般に相手モチーフが

- 頂点では面と稜が
- 面では頂点と稜が
- 稜では頂点と面が

それぞれ交互に関係づけられている。

このうち, 稜は, 頂点 → 面 → 頂点 → 面 (→ 頂点に戻る) の4個に固定。

(4) 「隙」については3種類の節が一つずつあり, その二つずつの連絡が三辺形を形成する。

図7を形状トポロジーで表現したのが図8である。

2.4 複合節 (Euler 節) の導入

図8のモチーフ (V, E, F) とそれらに関係づける節の部分のみに注目すると, 部分内の (連結) ポイントは全部で12個ある。ここで α , β , γ 節を関係づけ

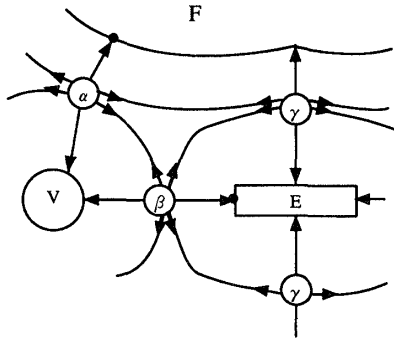


図8 形状トポロジーによる表現

Fig. 8 A topological representation of the motif-knitting model.

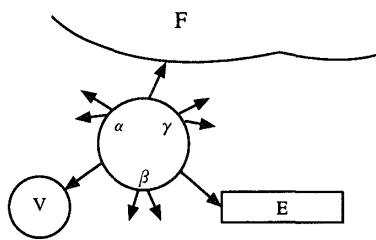


図9 複合節 (Euler 節)
Fig. 9 Euler node.

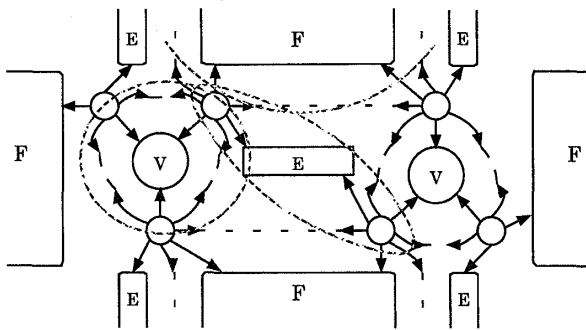


図10 Euler 節による構造化
Fig. 10 A representation by Euler nodes.

る内部に入った6個のポイントをひとまとめに考える。このようにすると、その6個のポイントは不要となる。また素子をつなぐポイントは一つあれば素子を参照できるので、その代表以外は不要となる(残り3個)。

以上の考察により、三つの節 α , β , γ をひとまとめたものを複合節 (Euler 節) と定義し、図9に示す。Euler 節を用いたモチーフ編みモデルの構造を図10に示す。この Euler 節を導入することによって、ポイントの数を減少させ扱いやすくなる。なお、この図の点線は 4. で説明する。

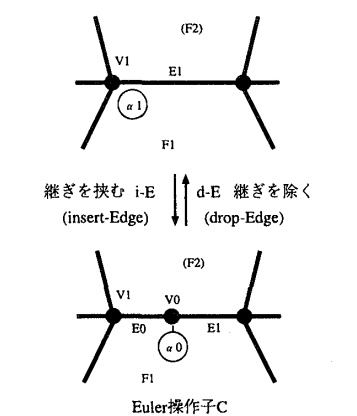
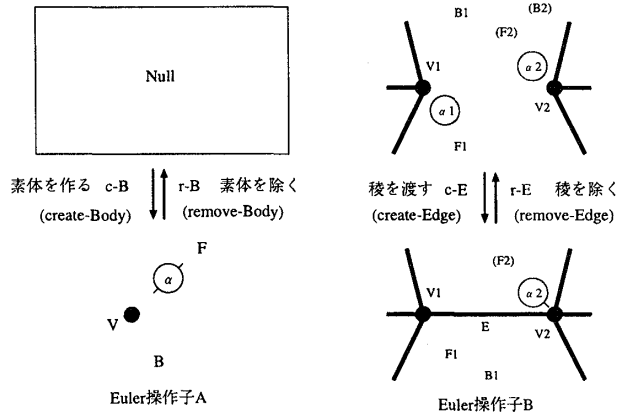


図11 3種類の Euler 操作子
Fig. 11 Three Euler operations.

3. モデルの生成と改編

モデルの生成と改編について、物体形成の基本となる処理は、次の3点である。

- (1) モチーフ素子を生成、あるいは削除すること。
- (2) それに伴って生じる素子間の関係付けを改めること。
- (3) 素子に内容を記載する、あるいは読み出すこと。

対象物を組合せ的に表現できるようにするには、これらの処理を、モチーフ編みモデルが常に成り立つような、ある程度まとめた処理を基本単位とする必要がある。そして、一般の操作はその基本操作の逐次実行だけで果たせるように制限する。このような単位となる基本操作は、Baumgart [4] が頂点、稜、面のトポロジーを常に保ちながら多面体を構築するため創始した「Euler 操作」の考え方を踏襲するもので、ここでも、その単位操作子を「Euler 操作子」と呼び、これらは次の3対の操作になる(図11参照)。

(1) Euler 操作子 A

- 個体の発生：最も簡単な個体として、頂点を一つもつだけの面（一面体と呼ぶ）を発生させる。

- 個体の消滅：一面体を消滅させる。

(2) Euler 操作子 B

- 稜の編込み：頂点と頂点を新たな稜で結ぶ。

- 解きはずし：頂点と頂点を結んでいる稜を取り除く。

(3) Euler 操作子 C

- 稜の分割：稜の途中に頂点を設け、稜を二つに区分する。

- 稜の融合：稜の途中にある頂点を取り除き、稜を1本にする。

これらを、モチーフを編んでいくための基本操作とし、この Euler 操作子を用いて形状の「素網」を形成していく。

今回はまず、この Euler 操作を実装した。Euler 操作を組み合わせることで物体形成のための基礎的な形状 (Shape) を作成した。基礎的な形状とは図 12 に一部が示されるような、枝（枝を伸ばす）、複合枝（枝を n 段伸ばす）、複合輪奈^(注1)（頂点に多辺輪奈を作る）、面内の穴（面内に多辺輪奈を作る）、支柱（多角形面に支柱を立てる）、錐（面を放射分割する）、台（面を台形分割する）などである。形状を生成した Euler 操作を逆の順序に適用すれば「解体」を実行することができる。

3.1 局所的加工

対象の形状を変更するためには、素網を変えていく操作が必要である。素網改編の基本操作として、稜の付替え（稜を締め出す）、稜の退化（稜を縮退させる）・発現、頂点の融合・分離、点絡（頂点を絡ませる）、などを用意した。

その例の一つである「点絡」という操作は、図 13 のように、頂点同士が接している状態、または頂点同士を分離させる操作である。この操作は、幾何的には頂点 $V1$, $V2$ を一致させる操作であるが、頂点を一つには融合せずに、トポロジーとしての状態を保ちつつ、二つの頂点が一致しているという関係を表現する手段である。つまり、これはトポロジーの操作であるから、「接している」という空間的な内容を直接表現するわけではなく、新たに渡した二つの稜に、長さ“0”の幾何を託すことにより、幾何的に $V1$, $V2$ が一致する状態になるという操作である。

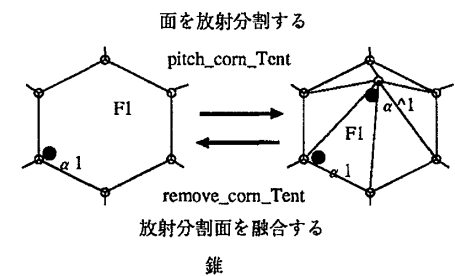
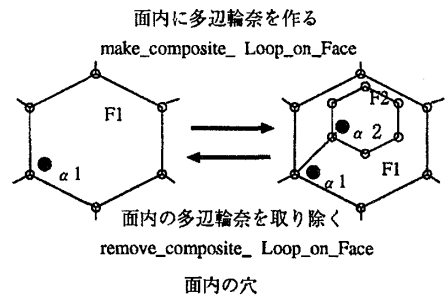
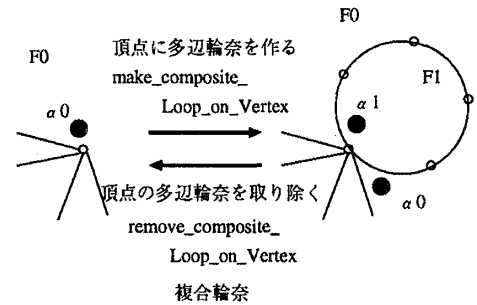
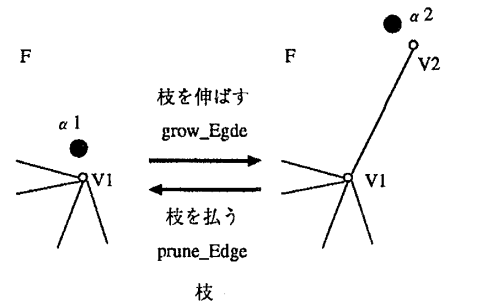


図 12 複合操作子例
Fig. 12 Combinatorial Euler operations.

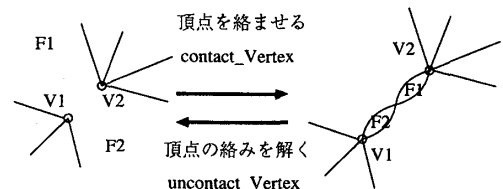


図 13 局所的加工例 (点絡)
Fig. 13 A local operation.

(注1)：輪奈(わな)。頂点の一つで稜が輪になった形態。境界表現で用いられる「ループ」と区別するため、本論文ではこの語を用いる。

4. オブジェクト指向モデラ EST

モチーフ編みモデルを作成するための、オブジェクト指向モデラ EST の実装について述べる。EST とは「Extendable Solid modeler for vision engineering research on Tcl」の略称である。

4.1 EST におけるデータ構造

Euler 節による構造である図 10 の点線部に注目すると、モチーフ編みモデルは、half-edge データ構造に頂点周りのポイントと面周りのポイントを併せ持ったデータ構造であることがわかる。このようなデータ構造を作るにあたって、次の事柄を考慮に入れた。

- 各素子を一つのセルとして扱う
- セルとセルとの関係を Euler 節で結ぶ
- セルの中には次にたどるべき情報を入れる
- トポロジーと幾何を分けて考える
- トポロジー素子（位相的データ）から幾何素子（幾何学的データ）を参照できる

このデータ構造の特色としては、位相（トポロジー）情報を位相のためのセル（Vertex, Edge, Face）におき、それぞれのセルに対して幾何情報のセル（Point, Curve, Surface）にもたせている。このように位相と幾何を分けて考えることによって、厚さがない物体も幾何“0”を与えることによって表現可能となる。

具体的な例として、紙は位相的には存在するが幾何としては存在しないように扱う。つまり、直方体を押しつぶして紙を作ると考えると、頂点が“接している”という空間的な内容を直接表現するわけではなく、側面なしに、紙の縁が「一方の面ともう一方の面を分ける稜」とみなすことで達成される。このトポロジーと幾何を分けて扱うデータ構造は、これまでのソリッドモデルで使われた手法を踏襲するものである。

4.2 素子（セル）間の階層関係

今回の実装のために作成した素子と、それらの間の親子関係について説明する。各々の素子の主な役割（機能）は表 1 に示すとおりである。

素子間の階層関係を図 14 に示す。この図における点線の左半分は、モチーフ編みモデルとして作ったもので、右半分は、モデラのデータ構造として後で加えたものである。また、各セルには記載されていないが、表 1 で説明した Extra というセルが接続している。

また、クラスとしての階層関係を図 15 に示す。ここで出てくる SuperClass とは親クラスのこと、Sub-

表 1 各素子（セル）名とその役割（機能）
Table 1 Function of cell.

Create CellClass	
CellClass	全体的な機能の定義。各セルが共通してもたなければならないものをまとめて作る (Flag・Extra), つまり, 必要な機能が親から子に伝わる
JointClass	二つの素子の関係づけのための「継ぎ手」の定義 (今回は 4 本で点周りと面周りのポイント (図 10 参照))
MatrixClass	同次変換行列 (4 × 4) の定義
VectorClass	ベクトルの値を記録する。4 次元ベクトルの点を定義
Create model cell Class	
ESTObjClass	素網モデルのセル及びモデラのデータ構造として後で加えたセルの代表。これだけはユーザが名前 (物体名) を付け, 他のセルは自動的に決まるように定義
BossClass	体主 → 個体としての統括のための定義
ExtraClass	特別の情報を付加するための素子定義
EulerKnotClass	図形要素のトポロジー的関係づけの定義, すなわち Euler 節の定義 (Boss, V, E, F)
RelativityClass	2 の個体の相対的な関係づけ定義
VertexClass	点であるというトポロジーの要素が書いてある。Euler 節と実際に値が入っているセル (Point セル) を結ぶ
EdgeClass	稜線であるというトポロジーの要素が書いてある。Euler 節と実際に値が入っているセル (Curve セル) を結ぶ
FaceClass	面であるというトポロジーの要素が書いてある。Euler 節と実際に値が入っているセル (Surface セル) を結ぶ
TransformClass	座標変換の定義
ActionClass	動作を記録するための定義
PointClass	幾何素子。頂点の座標値
SurfaceClass	幾何素子。曲面方程式
CurveClass	幾何素子。稜方程式
EulerOp	オイラー操作を定義 (実装)
Shape	物体形成の基礎となる基本的な形状の「生成」・「解体」を行う
ESTObject	Shape (Euler 節に対したもの) で生成した形状を呼び出し, ここで物体の「生成」・「解体」を行う
ESTCommand	物体の「生成」・「解体」に関するコマンドの設定
ESTAction	生成した物体をリストに登録し, 実際表示するかしないかを設定
ESTTrans	物体の回転・並進を扱うコマンドの設定
ESTRelate	物体間の親子関係を扱うコマンドの設定
ESTFile	物体の Load・Save を扱うコマンドの設定
ESTDisplay	物体を表示するとき点, 線, 面を構造から判定を行う
ESTCamera	カメラの設定
ESTDebug	デバッグ用の関数の定義
Add Class value,method(proc)	
ESTDefault	Default の値の設定.
ESTFlagMask	フラグのマスクの値の定義
ESTMatrix	行列の計算を扱う
CellUutil	ガーベジ収集 (ごみ集め) を扱う

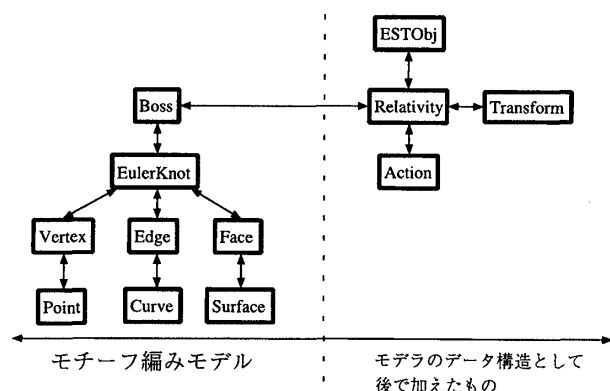


図 14 素子間 (セル) の階層関係
Fig. 14 A hierarchy structure of cells.

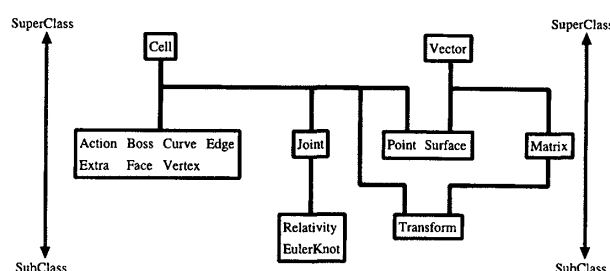


図 15 クラス間の階層関係図
Fig. 15 A hierarchy structure of classes.

Class とは子クラスのことである。この関係は、親クラスに子クラスが共通してもつ内容をもたせる意味で、関係を結ぶ。これはオブジェクト指向的なクラスの継承で、例えば PointClass は CellClass, VectorClass を継承することで、両方の性質を備えることができる。

5. モデラの実装

実装は次のような考えで行った。

- Tcl/Tk^(注2) 上で実装
- 素子をセルにして、素子間の対応をセルとセルの対応とする
 - その他に動作 (表示関連), 変換 (回転・並進) などのセルも作成
 - セルは必要なときに取り出せ, 不要になったら戻せるように作成 (ガーベジコレクション機能)

Euler 操作を適用して物体を形成するが、そのための操作はセルの組合せである。その操作を用いて現在のところ、孤立点、線分、多角形、角錐、角柱、多層角柱などの作成と表示、更に自由曲線・曲面 (ベジェまたは NURBS を使用)、更に退化形状の作成と表示が可能となっている。自由曲線・曲面の場合は幾何情

報としてはコントロールポイントで制御を行っている。これら物体の表示に関しては、OpenGL 若しくは OpenGL の互換ライブラリーである Mesa を使用した。

今回の実装は SUN または SGI のワークステーション上で行い、必要となる環境は以下のとおりである。

- OS としては Solaris1.1 以降, または IRIX5.3 以降
 - Tcl7.6/Tk4.2, C
 - (MIT)OTcl Ver0.96 (MIT の Tcl のオブジェクト指向拡張)
 - Togl1.3 (Tk に OpenGL の描画ウィンドウを加える拡張)
 - OpenGL 若しくは Mesa
- モチーフ編みモデラは、約 20,000 ステップの Tcl/Tk で書かれている。また、表示のためのインタフェースは C 言語で書かれ約 5,000 ステップである。

6. モデラの GUI

3次元モデルの作成・修正は、一般に大変な時間と労力を費やす作業であり、熟練した技術と経験をもったユーザでないかぎり、キーボードによる入力のみで全体形状を把握していくことは難しい。これはモチーフ編み形状モデルにおいても同様である。そこで、物体の作成・修正の簡略化を目的として種々の GUI を用意した。

6.1 モデルの表示

モデラを起動させると、メインパネルが表示される (図 16)。このパネルのリストボックスには生成した物体名が表示されている。物体名をクリックすると、物体を表示するためのパネルが現れる (図 17)。物体表示のためのパラメータ設定を次に示す。

- 光源の設定
 - ・光源を最大八つまで設定可能
 - ・光源の色, 位置, 向きの変更
 - ・並行光源, 点光源の切換え
- 材質の変更
 - ・環境光反射率, 拡散光反射率, 鏡面光反射率の変更
- テクスチャマッピング
 - ・環境マッピングも可能
- 表示の切換え

(注2): ライブラリー及び、ライブラリーを利用したサンプルシユル等の一連のプロダクトである言語。

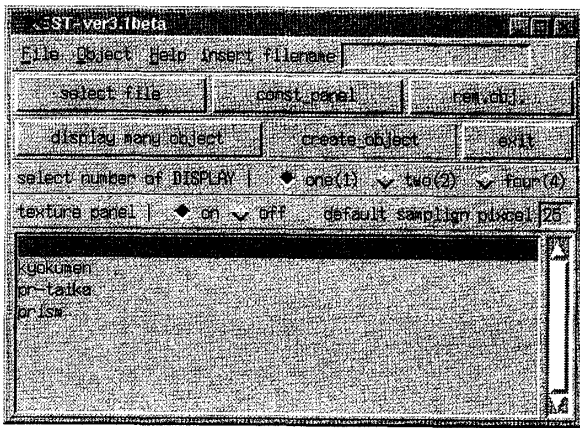


図 16 メインパネル
Fig. 16 Main panel.

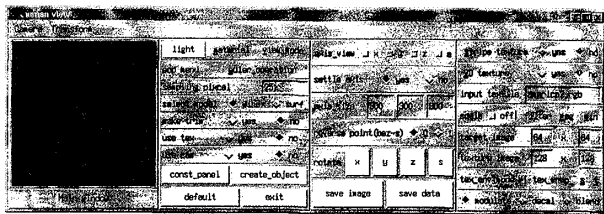


図 17 モデルの表示パネル
Fig. 17 A panel to display the model.

- ・ 陰影表示, ワイヤフレーム表示の選択
- ・ 正射影, 透視法射影の選択
- 回転, 並進, 拡大縮小
 - ・ モデルの回転, 並進, 拡大縮小はすべてマウスで操作することが可能
- 座標軸
 - ・ 座標軸の表示, 非表示の選択
- モデルの改編

6.2 基本形状の生成とトポロジーの変更

モデルの生成は基本的には何もないところから Euler 操作により行われる。モデル生成の過程を多角柱を例として述べる。最初に、まず図 11 の左上に示されるように、頂点を一つもつだけの面 (1 面体) を Euler 操作子 A によって発生させる。このモデルは、このモデルは、一つのオイラー節を中心に頂点と一つの閉曲面から構成されている。次に、Euler 操作子 B によって稜を編み込んでいく。稜が最初の頂点に戻ればループが形成される。この時点では、幾何を与えられていないので形状を表示することができない。もし、頂点と稜がすべて閉曲面上に載っているとすれば、ループ

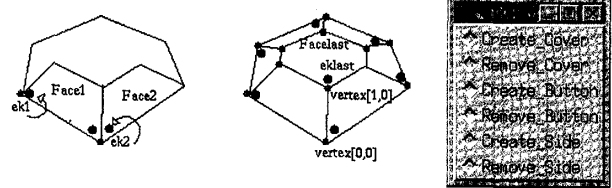


図 18 Euler 操作による物体構造の対話的生成・削除手順と操作パネル

Fig. 18 Creation and remove of parts of the model by Euler operations.

は閉曲面を二つの曲面に分割していることになる。更に、二つの曲面が一致するように幾何を与えれば、閉曲面は 1 枚の曲面を表していることになる。

さて、幾何を与えられない時点でまで戻って多角柱の作成を示す。作成されたループを多角柱の底面の稜とする。図 18 の左端図において、底面 (BaseFace) の作成後にオイラー節を ek1 に移し、側面 (Face1) を生成する。その後オイラー節を ek2 に移動し、面の生成を繰り返す。側面の生成が終了後、オイラー節を eklast に移動し、上面 (LastFace) を生成する (図 18 中)。このように点周りにオイラー節を移動させ、面を生成する操作を繰り返すことにより、物体の構造を生成することができる。この操作を逆に行えば、物体の構造を部分的に削除することが可能である。

これらのモデルの生成と改編は、すべてディスプレイ上に表示されたパネルから行うことができる。モデルのトポロジーを変更するためには、表示パネル中 (図 17) のモデルの改編 (euler operation) を選択する。図 18 の右端のパネルが表示される。パネルのボタンをクリックすることで、物体の上・側・底面を削除したり追加することができ、物体構造の動的変化を対話的に行うことができる。この操作の結果を図 19 に示す。ただし、表示のためには幾何を与えなくてはならないので、表示のたびに幾何を与えている。

なお、トポロジー関係の処理時間として、Face を追加するための処理時間を参考のために記しておく。50 個の Face を連続追加するのに約 10 秒、200 個の Face を連続追加するのに約 2 分必要とした。ただし、処理には SGI の O₂ (R5000 (160 MHz), 128 MB メモリ) を使用した。

複雑な形状は、基本形状のモデルをあらかじめ作成しておき、そのモデルの改編により作成する方が効率が良い。

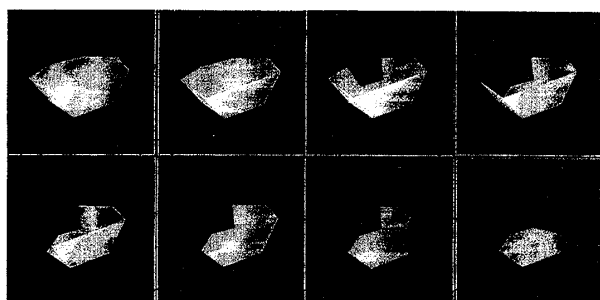


図 19 多角柱モデルの面の生成と削除
Fig. 19 Creation and remove of patches of hexagonal prism model by the Euler operations.

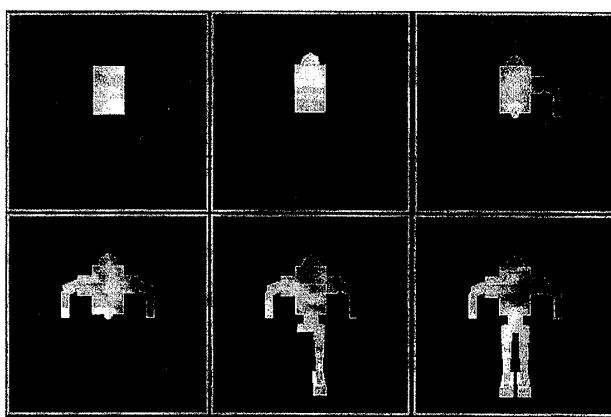


図 20 基本形状 (直方体) からの隆起による人体モデルの作成
Fig. 20 A human body model from a rectangular prism by modifications.

基本形状生成のためのマクロ命令として、

- Segment (線を作成)
- Polygon (一つの多角形を作成)
- Quads (複数のポリゴンからなる多面体を作成)
- Prism (角柱を作成)
- MPrism (角柱層を作成)
- Corn (角錐を作成)
- Bez (ベジエ曲面を作成)

が用意されている。

図 17 の人体モデルは最初に角柱を作成し、角柱の面を部分的に隆起させていくことにより作成した。図 20 は人体モデルが形成されていく過程が示されている。

6.3 幾何量の変更

幾何量の変更は点の座標値の変更である。3次元座標値の変更を容易にするための GUI も用意されている。メインパネルの Create object を選択すれば、図 21

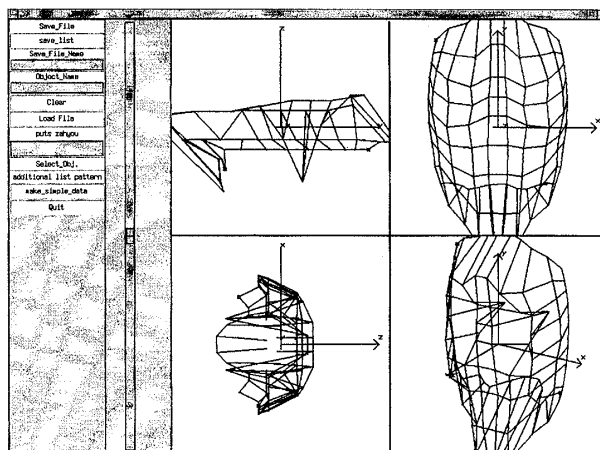


図 21 モデルデータを作成するための GUI
Fig. 21 A GUI for creating, modifying and removing models.

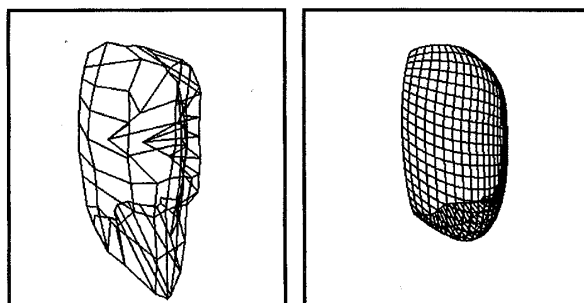


図 22 顔面の自由曲面表示 (右) と制御点 (左)
Fig. 22 Right: free-form surface model of Human face. Left: control points for the surface.

に示すパネルが現れる。このパネルは四つの画面を含んでいる。左上、右上、左下の画面はモデルの3面図である。各画面上で点の位置をマウスのドラッグにより修正する。3面独立に行えるので3次元座標の修正が容易に行える。このような GUI は SoftImage© 等の市販のソフトでも用いられている。右下の画面では修正したモデルを任意の方向から確認することができる。ここでの例は、人間の顔面を多面体モデルを作成しそれをワイヤフレームで表示したものである。更に、多面体モデルの頂点を制御点として自由曲面(ここではベジエ曲面)モデルを構成しそれらをワイヤフレームで表示したものが図 22 である。

この GUI を使って、唇、鼻、メガネのモデルを作成した例を図 23 に示す。唇と鼻はベジエ曲面、メガネは角柱モデルからの変形である。これらのモデルと先の顔面モデルとの組合せから作られた顔のモデルを

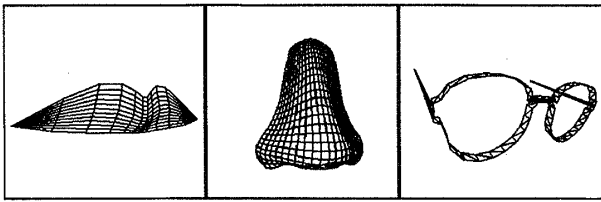


図 23 唇, 鼻, メガネのモデル
Fig. 23 Models of a lip, a nose and glasses.

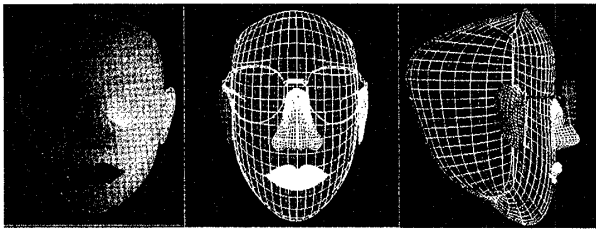


図 24 顔のモデル
Fig. 24 A model of Human face.

図 24 に示す. なお, 基本形状を生成するためのマクロは, 図 21 のパネル中の select object を選択する. このモデルは約 2,000 個のオイラー節から構成されている. また, 含まれる Vertex, Edge, Face の数は, それぞれ約 800 個, 1,000 個, 200 個であった.

7. む す び

本研究では, モチーフ編みの形状モデルを紹介し, そのデータ構造を作成するモデラを開発した. このモデラは, 基本形状 (孤立点, 線分, 多角形, 角錐, 角柱, 多層角柱, 自由曲線・曲面) の作成, 並進・回転などの物体変換, 物体の変形, 物体間の階層構造による関係づけ, 照光処理, テクスチャマッピングなどが可能である. これらの機能の実行を容易にするために, 様々な GUI を用意した. また, モーションキャプチャと組み合わせたパフォーマンスアニメーションの制作も可能である [3].

モチーフ編みの形状モデルのデータ構造は, 退化形状物体と通常の容積のある物体とを同じデータ構造で表現することが可能である.

今後の課題として, 画像の解釈に基づくモデルの構築を実際に行うこと, 更に使いやすいモデラを目指して GUI の充実や CHI 機能の付加, 等が挙げられる.

文 献

[1] 越川和忠, “計算機による物体認識のためのモチーフ編み

的形状モデリング,” 電総研研報, 第 916 号, 1990.

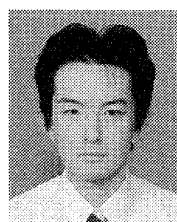
- [2] 望月 剛, 速水康晴, 越川和忠, 山本正信, “退化形状や非剛体をも統一的に表現できる幾何モデラの開発,” 情処学研報, 97-CG-85, pp.1-6, 1997.
- [3] 古山隆志, 望月 剛, 速水康晴, 越川和忠, 山本正信, “モチーフ編み形状モデラを用いた CG アニメーションのための GUI の開発,” 情処学研報, 98-CG-90, pp.49-54, 1998.
- [4] B. Baumgart, “Geometric modeling for computer vision,” Stanford Artificial Intelligence Laboratory Memo AIM-249, STAn-CS-74-463, 1974.
- [5] 山口 泰, 木村文彦, “非多様体位相の隣接関係の表現と操作,” 情処学論, vol.32, no.6, pp.731-739, 1991.
- [6] 山口 泰, “境界表現のための位相モデルの分類,” 情処学論, vol.38, no.1, pp.73-80, 1997.
- [7] K.J. Weiler, “Topological Structures for Geometric Modeling,” Ph.D. Thesis, Rensselaer Polytechnic Institute, 1986.
- [8] H. Desaulniers and N.F. Stewart, “An extension of manifold boundary representations to the r-sets,” ACM Trans. Graphics, vol.11, no.1, pp.40-60, 1992.
- [9] M. Higashi, H. Yatomi, Y. Mizutani, and S. Murabata, “Unified geometric modeling by non-manifold shell operation,” Proc. Second Symposium on Solid Modeling and Applications, eds. J. Rossignac, J. Turner and G. Allen, pp.75-84, A.C.M. 1993.
- [10] E.L. Gursoz, Y. Choi, and F.B. Prinz, “Vertex-based representation of non-manifold boundaries,” Geometric Modeling for Product Engineering, eds. M.J. Wozny, J.U. Turner and K. Preiss, pp.107-130, North-Holland, 1990.

(平成 10 年 8 月 12 日受付, 11 年 2 月 15 日再受付)



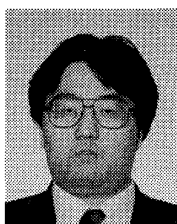
望月 剛

平 8 新潟大・工・情報卒. 平 10 同大学院自然科学研究科前期博士課程了. 同年, 富士通 (株) 入社. 在学中はコンピュータビジョンに関する研究に従事.



古山 隆志

平 9 新潟大・工・情報卒. 平 11 同大学院自然科学研究科前期博士課程了. 同年, 富士通 (株) 入社. 在学中はコンピュータビジョンに関する研究に従事.



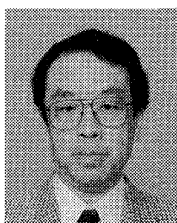
速水 康晴

平6新潟大・工・情報卒。平8同大大学院自然科学研究科前期博士課程了。日本電算機(株)を経てナカノアイシステム勤務。在学中は動画像処理の研究に従事。



越川 和忠 (正員)

昭39東大・工・航空卒。昭44同大大学院博士課程了。同年、電総研入所。現在に至る。物体認識及びその立場から3次元対象物の計算機内表現技術の研究に従事。



山本 正信 (正員)

昭48九工大・工・制御卒。昭50東工大大学院修士課程了。同年、電総研入所。動画像処理、コンピュータビジョン等の研究に従事。平1~2カナダ国立研究協議会招聘研究員。昭62情処学会研究賞受賞。平4より新潟大工学部情報工学科教授。工博。情報処理学会、IEEE CS各会員。