



意匠デザインのための3D形状モデル(第2報) : 生成 ルールに注目した形状特徴の表現法

長坂, 一郎
山岸, 淳
田浦, 俊春

(Citation)

精密工学会誌, 63(2):193-197

(Issue Date)

1997-02-05

(Resource Type)

journal article

(Version)

Version of Record

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/90001544>



意匠デザインのための3D形状モデル (第2報)*

——生成ルールに注目した形状特徴の表現法——

長 坂 一 郎** 山 岸 淳** 田 浦 俊 春***

3D Geometric Model for Shape Design (2nd Report)
— 3D Geometric Model Focused on Shape Feature Generating Rules—

Ichiro NAGASAKA, Atsushi YAMAGISHI and Toshiharu TAURA

Designing shapes of products is one of the most primary activity in design process. In this paper, a new methodology of representing free form shape features with the aim of making the system capable of holding and manipulating their features after synthesizing them to support designer in their early design stage is proposed. The key idea in this study is *Shape Feature Generating Rules* and specifying the rules which generate feature shapes. Developmental biology is applied to devise a computational model of the representation called *Cell Model* using Pitt approach of classifier system. Finally, a computer program is developed to evaluate the methodology by combining two existing shapes to examine if the features of shape are preserved in combined shapes. In addition further examination is conducted to specify which rules are actually hold the feature of shape. It is demonstrated that the methodology can show variety of combined shapes with original, often exaggerated, features and the rules are specified which hold the part of feature of shapes.

Key words: shape feature generating rules, shape design, genetic algorithm, classifier system

1. はじめに

本研究の目標は、デザイナーが形状をデザインしている時に注目する意匠的な形状特徴を操作可能な形で抽出し設計支援に用いることである。前報¹⁾では、このような形状特徴を表現する一手法として生成プロセスに注目した形状特徴の表現法を提案し、形状の合成可能性の観点からその有効性を示した。前報において提案した手法の最大の特色は、形状は生成のプロセスを実行するコードによって記述されており、形状特徴がこのコードによって表現されている点である。本報では、前回の手法に加え意匠的な形状特徴を表現するもう一つの手法として生成ルールに注目した形状特徴の表現法を提案する。本手法の特徴は、前報では生成プロセスそのものを直接記述したのに対し、本報では形状を生成するプロセスをルールによって記述し、そのルールを生成途中の形状の状態や形状全体に対する位置、ルール適用の履歴などの条件にあてはめることにより形状を生成することである。従って、本手法も前報の手法同様に形状を記述する情報とその表現している形状とは直接的に対応しているものではない。生成プロセス記述のレベルで異なった形状を合成すると、単に幾何情報を合成する場合と比較して自由曲面で表現された形状の意匠の特徴を保持しつつ、それらの特徴の誇張された形状や合成された形状を示すことが可能となる。加えて、本手法ではルールに形状における部分的な位置や形状の状態などの条件を適用するため、遺伝子型の中の形状特徴(表現型)の特定が容易になることが考えられる。

以下、2章で前報の結果を述べ、3章で生成ルールに注目した形状特徴の表現法を説明し、4章でこの表現法を用いたシステムの構成を述べ、実験によりその有効性を考察する。また、その中で遺伝子型の中の形状特徴の特定を試みる。そし

て、5章では結論と今後の展望を述べる。

2. 前報の結果

前報では、生成プロセスに注目して形状特徴を取り扱うことの有効性について、その基礎的研究として意匠的な形状特徴の合成可能性の観点から評価した。この表現法を用いて異なった形状を合成した結果、自由曲面で表された形状の意匠の特徴を保持し、かつその特徴を誇張した形状を示すことが可能であることが示され、本表現法の有効性が示された。

3. 生成ルールに注目した形状特徴の表現法

3.1 生成ルールに注目した形状特徴の表現法

本報では、生成ルールに注目した形状特徴の表現法を提案する。これは、生成プロセスに注目した形状特徴の表現法の一つであるが、そのプロセスをルールによって記述している点が異なっている。図1の右側に示すように、前述の表現法では形状生成のプロセスが記述されており、その記述された内容をプロセスの上流から順番に実行することによって形状を生成した。

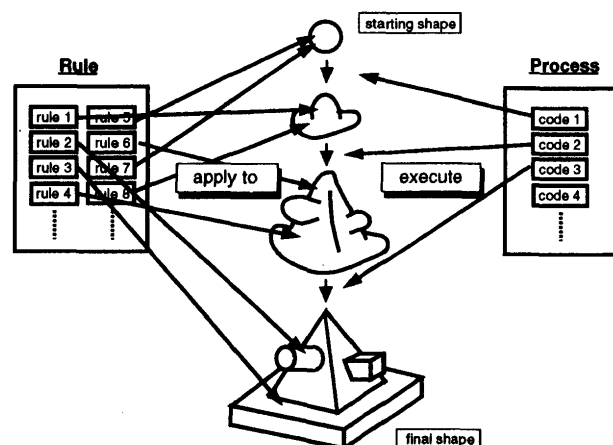


Fig. 1 Rule and process based form feature representation

* 原稿受付 平成8年8月5日

** 学生会員 東京大学大学院 (東京都目黒区駒場 4-6-1)

*** 正 会 員 東京大学人工物工学研究センター (東京都目黒区駒場 4-6-1)

よって、プロセスの性質上、より上流にあるコードは形状全体に対する特徴の生成に関して大きな影響力を有している。従って、生成コードを形状特徴の操作可能な形で特定し抽出することが困難であった。

ところで、本研究では生物の発生における遺伝情報（遺伝子型）から生物の形状（表現型）が表現されることの類推として細胞モデルにいったん形状を変換し、その細胞モデルに生成コードを適用する方法を採用している。前報の方法では細胞分裂生成コードにはその遺伝子に細胞の分裂のプロセスが細かく記述され、分裂があらかじめ決められたプロセスに従って進んで行くようになっていたが、実際の生物の発生における細胞分裂ではそうではなく、生物の発生の各段階で参照されている遺伝情報はその遺伝子の中のごく一部であり、各細胞がそれぞれその役割に合った遺伝子を周囲の環境などの条件を参照しながら必要に応じて適用している²⁾。

そこで、本手法では実行する時間的順序にそって生成プロセスを記述するのではなく、生成される形状の状態を条件として、プロセスをルールによって記述することを試みる。具体的には、形状全体に対する位置と生成過程の履歴により生成ルール群（遺伝子型）の中からルールを特定し、そのルールを形状の局所的な情報と比較し適用することにより形状（表現型）を生成する方法である（図1）。

本手法では、形状の意匠的特徴に対応するルール群の特定が容易になると考えられる。従って、異なる2つの形状において各々の意匠的形状特徴を保存したかたちで合成しやすくなると期待される。

3.2 細胞モデル

自由曲面形状を生成ルールを用いて間接的に表現するための準備として、本報でも前報で用いられている細胞モデルを採用する。ただし、前報では細胞分裂を細胞分裂型生成コードとしてそのプロセスを明示的に記述することによって示したが、本報の生成ルールに注目した形状特徴の表現法では、ルール群の中から選択されたルールを形状の局所的な情報と比較した結果をもとに細胞分裂をさせること、およびその際に後述するクラシファイアシステムを応用する点が異なっている。

具体的には、前報同様まず立体形状の重心から形状の表面までの距離によって立体形状を表現する Well tessellated sphere 表現（モザイク状球面表現）³⁾を応用し、自由曲面形状をいったん球面上の細胞の密度に変換し、球面上の細胞の密度分布に対応付ける。次に、細胞分裂の仕方を複数のルールによって制御することでこの細胞の分布を表現する。この細胞分裂を制御するルールの集まりをここでは細胞分裂型生成ルール群と呼ぶ。

3.3 クラシファイアシステム

この細胞分裂型生成ルール群によって細胞分裂を制御する方法としてクラシファイアシステム（classifier system）⁶⁾を採用する。クラシファイアシステムとは Holland によって具体化された GA (genetic algorithms) をもとにした学習システムであり、与えられた実行例から基本モデルに即した汎用的規則を帰納学習するものである⁸⁾⁹⁾。このクラシファイアシステムはルールのまとめ方の違いから2種類に分類される。一つはミシガンアプローチと呼ばれるもので Holland 自身が開発したシステムはこれにあたる。図2に示されるように、このシステムは環境の状態が検出器によって検知され、その情報がメッセージとしてシステムに送られる。メッセージは内部処理に利用さ

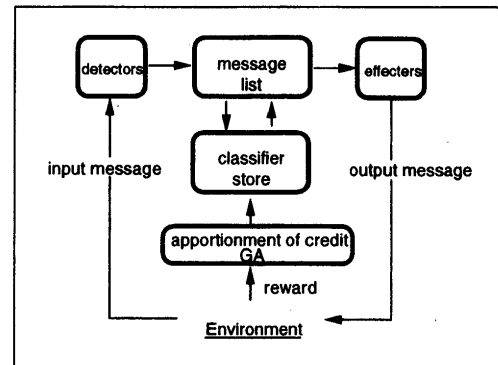


Fig. 2 Classifier system

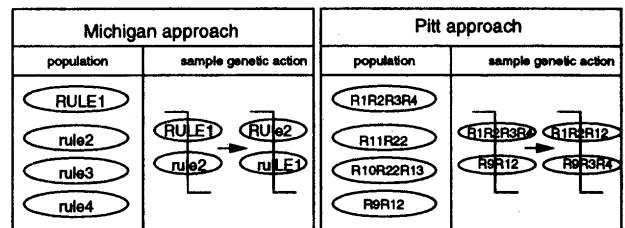


Fig. 3 Comparison between Michigan and Pitt approach

れるだけでなく、一部は効果器に作用して環境に働きかけを行う。環境からはシステムのパフォーマンスに対する評価データが報酬のかたちで与えられる。システムはこれに基づいて学習を行う。

このクラシファイアシステムの主要な構成要素は、信用賦与システムとルール発見システムおよび遺伝的アルゴリズムの3つである⁵⁾。信用賦与システムではニューラルネットワークにおける誤差逆伝播に似たバケット・ブリゲート・アルゴリズム (bucket brigade algorithm) と呼ばれる仕組みが用いられ、間接的に環境への働きかけに貢献したルールに報酬を与える。また、ルール発見システムにおける計算的機能は、下記のようなクラシファイア (classifier) と呼ばれる一種のプロダクションルールによって付与される。

<classifier>=<condition>:<action>

if <condition> then <action>

ここで、このクラシファイアのうちの<condition>部分が満足するときに1対1に対応している<action>が環境に送り出される。この環境に対して有効な働きかけをした場合に環境から与えられた報酬を評価関数としてクラシファイアを遺伝的アルゴリズムによって選択し、貢献度の低い（報酬額の合計の低い）クラシファイアと入れ換えていくことにより新しいクラシファイアを生成する。こうして、より良いルールを発見していくのである。

これに対して、もう一つのアプローチはピッツアプローチと呼ばれるもので Smith⁷⁾によって開発されたものである。基本的には同様の手法を用いているが、ミシガンアプローチとの大きな相違点は、ルールを個別に扱わず、いくつかのルールをまとめてルールセットを作り、評価や遺伝操作をすべてそれを単位にして行うようにしている点である（図3）。これによりルール1個ずつについて信用賦与システムを適用する必要がなくなり、複雑な手続きが必要であるバケット・ブリゲート・アルゴリズムが不要となる。しかし、一方でフィードバックのかかる頻度が少なくなるため、学習のための試行に手間がかかる

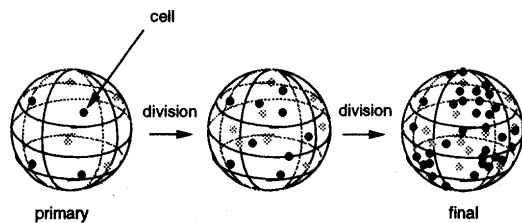


Fig. 4 Cell division model

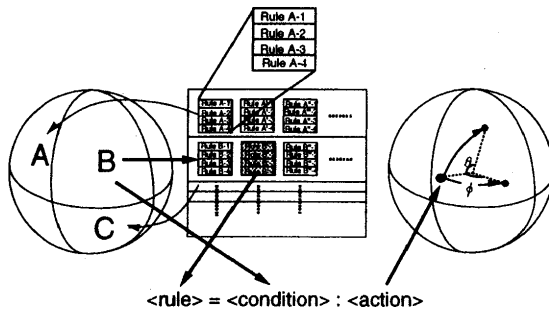


Fig. 5 Rules applying to cell division

ことも指摘されている。

3.4 細胞モデルへのクラシファイアシステムの応用

本手法においては、形状を生成する複数のルール群の中から求める形状を生成するルール群を発見することを目指としているので、このミシガンアプローチを採用することにした。

上述したように，細胞モデルの基本的手法は細胞モデル(図4)と同様である。つまり，球面を設定し，その球面上に決められた数の細胞を分布させる。そして，細胞は球面上で移動しながら分裂を繰り返し，子細胞を生み出していく。

この細胞分裂は細胞分裂型生成ルール群によって制御される。細胞分裂型生成ルール群は上述したピッツァプローチにおけるルール群にあたり、構成しているそれぞれのルールがクラシファイアである。このうちの〈*condition*〉は、球面上の細胞の位置と細胞分裂の履歴およびその細胞の周りの局所的な細胞密度であり、〈*action*〉は分裂した場合の子細胞の移動方向および距離である。

ここで、すべてのルールを球面上のすべての細胞について適用することは膨大な計算が必要となるばかりでなく、ある部分的形状特徴を生み出したルールをルール群の中から特定することをより困難なものとするのが考えられる。そこで、球面上の細胞の位置と細胞分裂の履歴の情報により、ある細胞についてルール群の内どのルールを細胞分裂に適用させるかを特定できるようにしている。これは、発生生物学において、一般にある細胞の周りの化学物質の濃度などの環境情報およびこの情報から判断される細胞の位置によって遺伝子全体の中でその細胞に必要な遺伝情報を特定していることの類推である。

図5に示すように、球面を任意の数に分割する。次に、その分割された球面のどの部分に細胞が存在するかによって適用するルール群の範囲を限定する。さらに、現在行われている細胞分裂はどの段階かによって、そのルール群からさらに1つのルールを特定するのである。特定されたルールは、適用される細胞の周囲の細胞密度を参照し、それがルールの〈condition〉に記述されている値に適合する場合のみ、この〈condition〉と1対1に対応している〈action〉が実行される。つまり、細胞が2つの子細胞に分裂し、〈action〉に指定された方向および距離に従って子細胞が親細胞の位置から移動する。

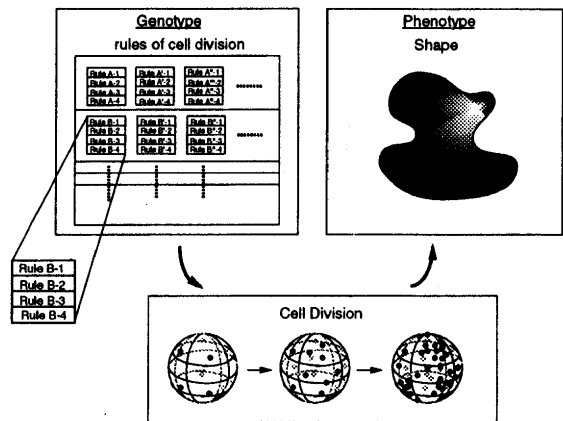


Fig. 6 Genotype and phenotype

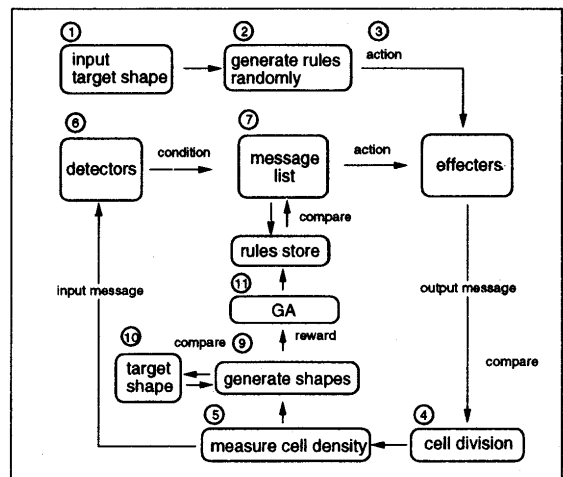


Fig. 7 Configuration of system

そして、結果的に現れた球面上の細胞群に密度の差が球の中心から形状の表面までの距離に換算されることによって形状が生成されるのである。

つまり、この細胞モデルにおける細胞分裂の生成ルール群が生物学における遺伝子型 (genotype) にあたり、これが適応され実行された後の細胞密度の分布を形状に変換し間接的に形状という表現型 (phenotype) を生成する。図 6 にこの関係を示す。

3.5 形状生成ルール群の発見

デザイナーが実際に形状を入力する場合に、細胞分裂型生成コードを直接入力することは現実的には難しい。よって、ここではデザイナーの作成した形状に対して、それに対応する生成ルール群をクラシファイアシステムのルール発見システムを用いて探し出す方法を提案する。

図7に示すように、求める形状を生成するルール群を発見する過程は以下のように進む。

1. 求める形状をCADを用いて入力する。
2. 複数の細胞分裂型生成ルール群をランダムに作成する。
3. 第1回目の〈*action*〉はメッセージリストからの入力なしで行う。
4. 〈*action*〉の記述に従って細胞分裂を行う。
5. 適用される細胞の周囲の細胞密度を計算し、それをメッセージに変換する。
6. メッセージをメッセージリストにため、それぞれ適用すべき細胞分裂型生成ルールに送る。

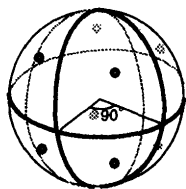


Fig. 8 Initial position of cells

7. 送られたメッセージを〈condition〉と照合し、適合した場合に限り〈action〉を出力する。
8. 4～7を決められた回数繰り返す。
9. 細胞密度の分布を形状に変換し、形状を生成する。
10. 生成された形状が入力された形状にいかに近いかを評価関数として、GAが生成ルール群を選択する。
11. 選択された生成ルール群をGAにより交差および突然変異させる。
12. 4～11を目標とする形状を生成する生成コードを得るまで繰り返す。この繰り返し1回が形状生成における1世代にあたる。
13. 数世代後に求める形状を生成する細胞分裂型生成コードを得る。

このようにして得られる細胞分裂型生成ルール群は、同様の細胞の分布をもたらす生成ルール群が複数存在し得るので、1つの形状に対して複数存在する。

4. システムの試作と実験

今回は、主に3つの部分からなる実験を行っている。始めに細胞モデルとクラシファイシステムを用いて与えられたCAD形状に対して、それを生成する細胞分裂型生成ルール群を発見することを行い、次にこのコードを合成して新たな形状を生成することを試みる。そして、ある形状特徴（表現型）に対して、その生成根拠となるルール群（遺伝子型）を特定することを行う。この実験に用いたシステムは、C言語を用いてUNIXワークステーション上にインプリメントされ、前章の形状生成ルール群の発見で説明した図7に基づく構成となっている。

4.1 形状の生成ルールについての実験

本実験では、図9のTarget ShapeをCADデータとしてシステムに入力し、それを生成するコード群を発見することを試みる。

まず、図8に示すように球面を8分割し、その分割された球面の各部分に適用されるルール群を限定する。そして、この分割された球面上それぞれの中央に8つの細胞を分布させる。

この状態から、図7の④～⑦をTarget Shapeに充分近い形状が生成されるまで繰り返し、球面を緯度、経度それぞれ45°ずつに分割した範囲の細胞の数を計算し、これを下記のようにして球の中心からの距離に変換する。

$$d = N \times 0.1 + 1$$

ここで、 d は球の中心から形状の表面までの距離を表し、 N はその領域における細胞の数である。

このようにして得られる値を球面上のすべての範囲で計算し、この範囲の中心点と球の中心を結んだ延長線上に、球の中心から d の位置に点を取り、この点を制御点としたBスプライン曲面を生成した。このように形状を表現した場合の限界として、穴があるような形状および極端に細長い形状や薄い形状の取扱いが困難となることが挙げられる。

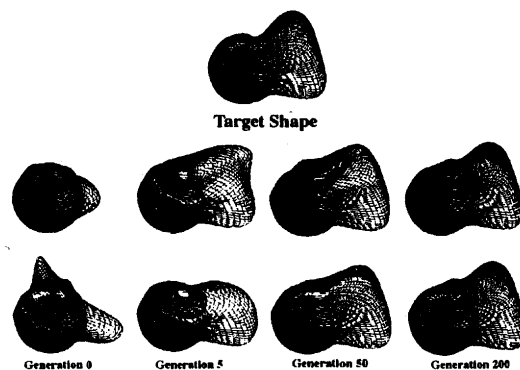


Fig. 9 Growth of shapes

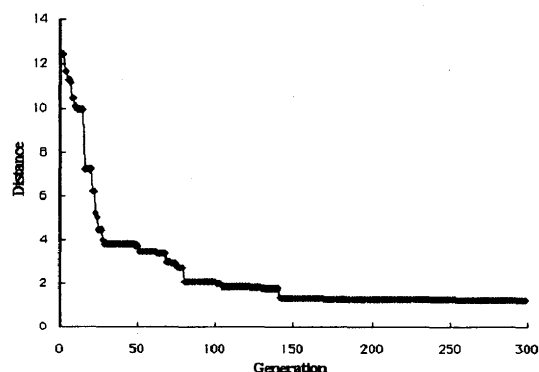


Fig. 10 Distance between target shape and generated shapes

図9に示すように世代を重ねるごとに各世代ごとに得られたコード群から生成される形状が、目標とする形状に近付いていく様子がわかる。200世代では、ほとんど目標とする形状となり、求める細胞分裂型生成コード群がほぼ見いだされたことを示している。

図10は、世代を重ねるに従って、各世代ごとに得られたコード群から生成される各形状が目標形状に近付いていく様子を評価関数（形状の重心からそれぞれの形状の表面上の測定点までの距離の差の絶対値の和）を用いて示したものであるが、これによって300世代には初期の値に比べて十分に小さくなっていることがわかり、生成された形状が目標に近付いていることがわかる。

4.2 新しい形状の生成

本表現法の形状デザイン支援への有用性を検証するために、新たな形状の合成を試みた。

異なる2つの形状に対して、それを生成するルール群を上記の方法によって求め、次にそのルール群をGAによって交差させることで新しい形状生成ルール群のバリエーションを得た。図11にルール群の交差の様子を示す。

図12に合成する前の形状を、また、図13に生成された合成後のバリエーションを示す。

得られた合成形状は、図に示すようにそれぞれの意匠的な形状の特徴を保持しつつ、表面的には目立たなかった意匠的な特徴が合成後に誇張された形で現れたり、また違った場所に現れていることが分かる。これは、前報の生成プロセスに注目した記述法によって得られた合成形状によっても確認されたことであるが、本手法におけるものの方がより部分的な形状特徴がよく保存されており、また、形状の表現が比較的詳細なものとなっている。例えば、図中の形状8ではそれぞれの形状特徴を保存しつつ、全体としてどちらとも違った印象を与える形状と

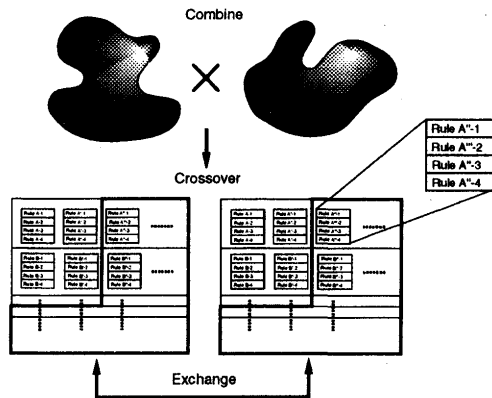


Fig. 11 Combination of the rules of cell division

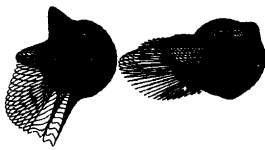


Fig. 12 Parent shapes

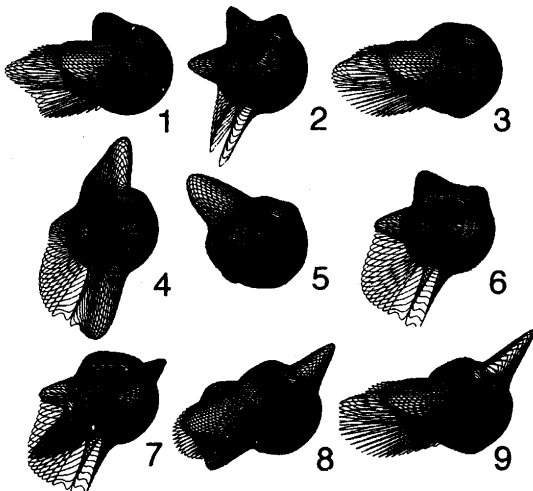


Fig. 13 Shapes generated by rule based representation

なっている。また、形状1ではそれぞれの形状特徴が良く保存された形で合成されている。これは、形状の各部位に対して、異なる細胞分裂型生成コード群を組み合わせて適用されているので、部分的な形状特徴の保存やそれらの合成に有利にはたらくためと考えられる。

4.3 遺伝子型の中の形状特徴（表現型）の特定

次に、形状特徴に対して、それに対応する生成ルール群を特定することを試みる。図14の内、中央に示したものがルール群の詳細とそのルール群から生成された形状である。

図に示すように、本表現法におけるルール群はそれぞれの位置と細胞分裂の段階により分類されたバイナリのコードである。ここで、この図中央のルール群の中で囲われた部分を図の左側に示すように*に変更すると、形状は図の左側の形状のように変化する。また、同じ部分を今度はすべて*としたルール群に挿入すると図の右側に示すように、中央の形状の楕円で囲んだ形状特徴が球面上に現れ他の部分は球面のままである。

このことから、細胞分裂型生成ルール群のなかに形状の特徴を表すルール群を特定できる場合がある。しかし、すべての形状の特徴的な部分に対応するルール群をいつも特定することが

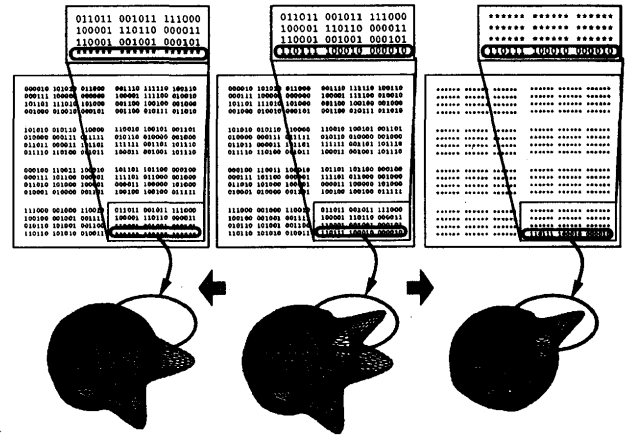


Fig. 14 Code of representations

できるわけではなく、球面上の2つ以上の部分にまたがる部分形状などは、その形状を生成したルール群を特定することは困難となる。

5. 結論と展望

本論文では生成ルール群に注目して形状特徴を取り扱う方法を提案し、その基礎的研究として意匠的形状特徴の合成および意匠的な形状特徴を操作可能な形で抽出するという観点から評価した。本表現方法を用いて異なった形状を合成した結果、自由曲面で表された形状の意匠の特徴を保持し、かつその特徴を誇張した形状を示すことが可能であることが示された。また、部分的形状特徴に対応するルール群を特定できたことは、意匠的形状特徴の抽出という観点から評価できる。なお、任意の意匠的形状特徴に対してそれを生成するルール群を特定することは非常に興味のあることであるが、これについては次報の課題としたい。

今後の研究の課題としては以下のことが考えられ、引続き本表現法の研究を進める必要がある。

- ・より複雑な形状の表現法。
- ・遺伝子型の中に特定された形状特徴（表現型）の一意性に関する研究。
- ・遺伝子型を操作することによる意匠的形状特徴の回転や平行移動などを含めた操作に関する研究。

参考文献

- 1) 長坂一郎, 山岸 淳, 田浦俊春: 意匠デザインのための3D形状モデル (第1報) ——生成プロセスに注目した形状特徴の表現法, 精密工学会誌, 62, 11 (1996) 1567.
- 2) D. D. Pomerai: From Gene to Animal, Cambridge University Press, Cambridge, (1985).
- 3) C. Brown: Fast Display of Well-tessellated Surfaces, Computer and Graphics, 4, 4, (1979) 77.
- 4) I. Nagasaka, A. Yamagishi and T. Taura: Methodology of Emergent Shapes for Creative Design, Proc. Third Int. Roundtable Conf. Computational Models of Creative Design, (1995) 117.
- 5) D. E. Goldberg: Genetic Algorithms in Search, Optimization & Machine Learning, Addison-Wesley, Reading, Mass., (1989).
- 6) J. H. Holland: Adaptation in Natural and Artificial Systems, MIT Press, Cambridge, Mass., (1992).
- 7) S. F. Smith: A Learning System Based on Genetic Algorithms, PhD Dissertation, University of Pittsburgh, (1980).
- 8) Z. Michalewicz: Genetic Algorithms + Data Structure = Evolution Programs, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, (1994).
- 9) ICOT-JIPDEC AI センター (編): AI 白書——人工知能の技術と応用, コンピュータエージ社, (1994).