



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

長坂, 一郎
山岸, 淳
田浦, 俊春

(Citation)

精密工学会誌, 62(11):1567-1571

(Issue Date)

1996-11-05

(Resource Type)

journal article

(Version)

Version of Record

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/90001542>





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—

長坂 一郎** 山岸 淳** 田浦 俊春***

3D Geometric Model for Shape Design (1st Report)

— 3D Geometric Model Focused on Shape Feature Generation Process —

Ichiro NAGASAKA, Atsushi YAMAGISHI and Toshiharu TAURA

Designing shapes of products is one of the most primary activity in design process. It is common, especially in the early design stage, that designers have only a vague image of shapes in their mind, and they try hard to extract these image by making sketches or prototypes. At this stage, exhibiting a definitive image of shapes with hard lines to the designers might restrict the bounds of their imagination. Therefore, a new methodology of representing free form shape feature with the aim of making the system capable of holding and exaggerating their features after synthesizing them to support designer in their early design stage is proposed. The key idea in this study is dynamic representation and generation of feature shapes. Developmental biology is applied to devise a computational model of the representation called Cell Model using genetic algorithms (GAs). Finally, a computer program is developed to evaluate the methodology by combining two existing shapes. It is demonstrated that the methodology can show variety of shapes with original, often exaggerated, features.

Key words: dynamic representation of feature shape, generation process, shape design, genetic algorithm

1. はじめに

工業製品などの設計において、意匠的な製品形状の決定はもっとも基本的な作業の一つである。

ここで、特に意匠設計の初期の段階においては、デザイナーは対象となる形状をひとつの明確な形としてとらえるのではなく、あいまいなボリュームとして出発したり、既存の形状特徴を組み合わせて新たな形状の発想を試みることが多い。デザイナーはこのときスケッチや試作品を用い、意識の中の対象のイメージを具体的な形状へと定着させようとする。それは、デザイナーの持っている知識をもとに既に頭の中に描かれていたものを外在化させることにはかならない¹⁾。このように考えると、コンピュータを用いて意匠デザインを支援するためには計算機が意匠的形状特徴を認識し、誇張や合成の操作が可能である必要がある。ここで、意匠的な形状の特徴とは、穴や溝のような製品の部分形状の特徴のことでなく、デザイナーが形状をデザインしている時に注目する大まかな表面的形状特徴を意味している。

スケッチや試作品における形状特徴は対象に対する明確な意図を含んでいると同時に、あいまいな部分を残すことによって、後の設計の自由度を確保しておくという相反する要求にも答える必要がある。それは、明確に描かれたスケッチが、その後のデザイナーの自由な発想を阻害することがあるからである。このような場合においては、表現する形状の幾何情報にはある程度のあいまいさや不完全さが許されるべきである。しかし、従来のCADは、その支援する設計活動のさまざまな側面のうち、製造に関する側面や機能的側面を重視してきた。この結果、これまでのCADの形状モデルは、いかに、その形状を正確に表現するかを追求するものとなっている²⁾。現在、盛ん

に研究されているフィーチャモデル³⁾においても、そのフィーチャが、一般に穴や溝といった製品形状の特徴的な部分形状を指すことでも明らかのように、もともとこうした意匠的な形状の特徴を取り扱うことを目的としたものではない。

ところで、意匠的形状特徴表現では、自由曲面表現を用いることが適切な場合が多い。しかし、従来の自由曲面モデリングの手法では、その意匠的特徴を保持したまま新たな形状を操作することは非常に困難である。

本研究では、こうした自由曲面で表現された意匠的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 (dynamic representation of shape feature)⁵⁾を提案する。従来の形状表現方法は、幾何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が多かった。しかし、生成プロセスに注目した形状特徴の表現法では、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、その形状の特徴はこのコードに表現されていると考える。従って、本表現方法を用いて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的特徴を保持しつつ、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り、設計の初期の段階における意匠デザインの支援に有効に作用することが期待される。

本研究においては、最終的には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が重要な目標であるが、本論文ではそのための基礎的研究として意匠的形状特徴の合成可能性の観点から本手法の有効性について考察する。

以下で、2章で生成プロセスに注目した形状特徴の表現法の概念を説明し、3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。4章では、結論と今後の展望を述べる。

2. 生成プロセスに注目した形状特徴の表現法の概念

2.1 3次元形状モデル

3次元形状モデルのなかで形状が3次元空間中に占める領域

* 原稿受付 平成8年2月29日

** 学生会員 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)

*** 正会員 東京大学人工物工学研究センター

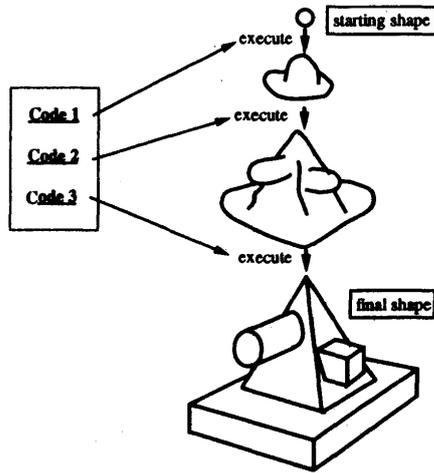


Fig. 1 Dynamic representation

が一意に決まるものとしてソリッドモデルがある。そして、ソリッドモデルの代表的な表現方法に CSG 表現 (Constructive Solid Geometry) と境界表現 (boundary representation) がある。CGS 表現では、立方体や円柱などの単純な形状を和、差、積の集合演算で組み合わせることによって形状を表現している。一方、境界表現では最終形状を位相要素の集まりとして直接表現する。一般的には CAD 上で形状を対話的に操作する必要があるため、形状データとしては境界表現を用いることが多く、CSG 表現は形状操作の履歴の保持のために補助的に使われることが多い²⁾。

ここで、上記のように記述されている内容が、その表している形状に直接的に対応しているような形状表現方法を静的形状表現法 (static representation) と呼ぶ。

ここで、このような従来の形状モデルは、形状の記述がそれぞれ直接形状を表現しているため、初期の意匠の形状デザインを支援する上で次のような問題点が指摘できる。

- CGS 表現のような集合演算の組合せによって形状を表現したものはそれらの合成を行う場合に自由曲面の取扱いが難しく、また合成を行った場合、単純に2つの形状を合体させたものになってしまう。
- 境界表現の合成の方法は見出し難く、後に述べる本論文の対照実験で用いた合成法に示したように、合成できたとしても形状の意匠的な特徴が薄められてしまうことが多い。

2.2 生成プロセスに注目した形状特徴の表現法

本研究では、このような静的形状表現法に対して生成プロセスに注目した形状表現法を提案する。ここで、「生成プロセスに注目した」形状特徴の表現法とは、形状がその生成プロセスを実行するコード (以下、これを生成コードと呼ぶ) によって記述され、その内容が後述する細胞モデルのようなある規則に従って実行されていくことで形状が生成される方法である。生成コードには直接には幾何情報が記述されておらず、形状特徴が生成コードとその規則の組合せによって実行される生成プロセスによって表出されるところに本手法の特徴がある。

具体的には、図1に示すように、もととなる形状 (starting shape) を出発点とし、それに後述する細胞モデルにおける図4のような細胞分裂型生成コード (code 1, code 2, ...) を段階的に実行することによって、表現する形状 (final shape) を生成する手法である。つまり、この形状の意匠の特徴はこれらの生成コードの中に間接的に表現されている。ここで、形状の生

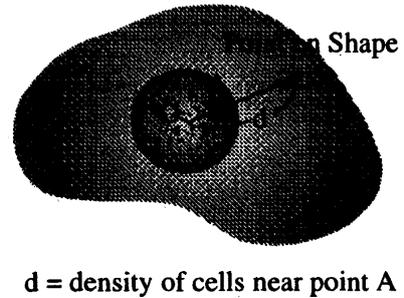


Fig. 2 Correspondence between shape and distribution of density in cell division model

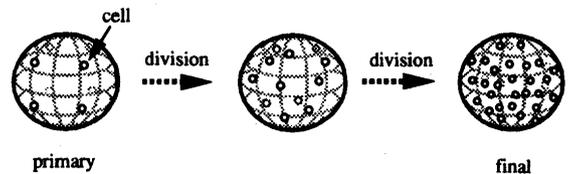


Fig. 3 Cell division model

成プロセスとは、このもとになっている形状から表現する形状に至るまでに実行されるプロセスの集積である。このことは、生物の発生において、遺伝情報 (遺伝子型) を解読し実行することによって生物の形状 (表現型) が表現されることにたとえることができる。

上述した CGS 表現はある意味で形状を作り出すプロセスを表記したものにとらえることができるが、その基本となる立方体や円柱などの単純な形状は、やはりその幾何情報が形状に直接的に対応して記述されており、生成プロセスに注目した形状表現法とは言えない。また、境界表現は最終形状を位相要素の集まりとして直接に表現していることからわかるとおり、完全な静的形状表現法である。

2.3 形状の表現法

ここで自由曲面形状を生成コードを用いて間接的に表現するための手法を説明する。

形状特徴を間接的に表現するための下準備として、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⁶⁾) を応用し、自由曲面形状をいったん球面上の点の密度に変換する。つまり、この球の中心から曲面までの距離をその球面上の点の密度に変換することによって形状を表現するのである。図2に示すように、球面上のある特定の領域にはその中心と表現される曲面までの距離に比例した密度の点が存在している。ここでは、この点を生物の発生のアナロジーから細胞と呼んでいる。

このようにして自由曲面形状と球面上の細胞の密度分布に対応付ける。次に、細胞の分布のプロセス (=細胞分裂のプロセス) の仕方を生成コードとして記述する。この細胞分裂のプロセスを記述したものをここでは細胞分裂型生成コードと呼ぶ。

2.4 細胞モデルの提案

このような、細胞分裂型生成コードを用いて形状の特徴を間接的に表現する方法を本研究では細胞モデルと呼ぶ。具体的には細胞モデルとは以下のようなものを指す (図3)。まず球面を設定し、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。

細胞分裂は、前もって記述された生成コードに従って進む。

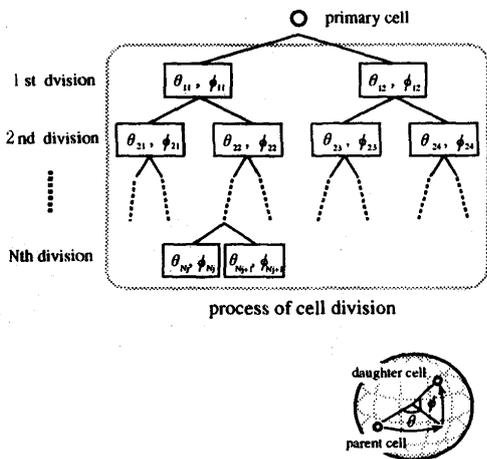


Fig. 4 Diagram of cell division process

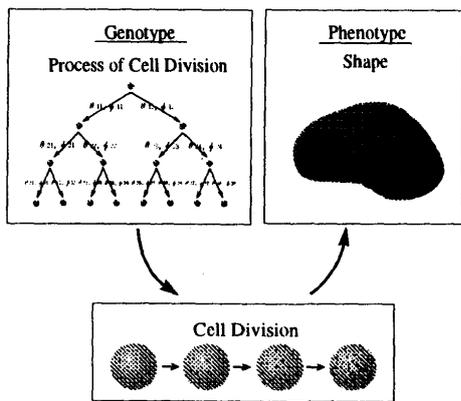


Fig. 5 Genotype and phenotype

その記述されている内容は、細胞の分裂の有無と分裂した場合の子細胞の移動方向および距離である。

図4に示されるように、細胞分裂のプロセスは最初の細胞が2つの子細胞に分裂することから始まる。ここで、 θ_{ij} と ϕ_{ij} は、それぞれの親細胞が分裂する方向を緯度と経度によって相対的に示しており、その位置に子細胞が発生する。同様にして、子細胞がさらにその子細胞へと生成コードに従って分裂していく。

このようにして、ある決められた回数分の分裂を記述された生成コードに従って行っていくと、結果的に球面上の細胞群に密度の差が現れてくる。ここで、この密度の差を図2に示されている方法で球の中心から形状の表面までの距離に換算することによって形状が生成される。

つまり、この細胞モデルにおける細胞分裂の生成コードの記述が生物学における遺伝子型 (genotype) にあたり、これが実行された後の細胞密度の分布を形状に変換することによって間接的に形状という表現型 (phenotype) を生成する。図5にこの関係を示す。

2.5 形状生成プロセスの発見

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コードを、探索処理の特性を持つGA (遺伝的アルゴリズム)⁶⁾⁷⁾によって探し出す方法を提案する。

図6に示すように、与えられた形状に対応する生成コードを探し出す過程は以下のように進む。

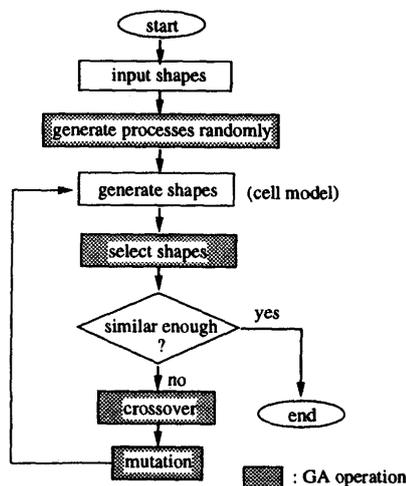
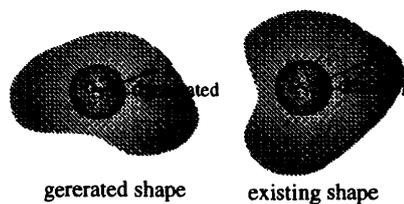


Fig. 6 Configuration of system



Evaluation score = $1/\sum (d_{generated} - d_{existing})$

Fig. 7 Evaluation of shapes

- (1) 目標とする形状をCADを用いて入力する。
- (2) 複数の細胞分裂型生成コードをランダムに生成させる。
- (3) 生成コードを実行し、形状を生成させる。
- (4) 生成された形状が目標とする形状にいかに近いかを評価関数として、GAが生成コードを選択する。
- (5) 選択された生成コードをGAにより交差および突然変異させる。
- (6) (3)~(5)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。
- (7) 数世代後に求める形状を生成する細胞分裂生成型コードを得る。

ここで、(4)において用いられる評価関数は、生成された形状と目標とする形状の各表面の対応する位置にあらかじめ決められた数の測定点を設定し、それぞれに対応する測定点について図2に示した球面上の中心からの距離を求め、その差分の絶対値をすべて測定点について計算し、その和を比較することにした(図7)。図中の式に示すように、この和が小さいことは生成された形状が目標の形状に近いことを意味し、したがって評価値 (Evaluation score) は大きくなる。

このようにして得られる細胞分裂型生成コードは、同様な細胞の分布をもたらす生成コードが複数存在し得るため、一つの形状に対して複数存在する。

2.6 生成プロセスに注目した形状特徴の表現法とデザイン

上記のような手法で得られた細胞分裂型生成コードを、GAのオペレーションである交差や突然変異により合成することによって新しい形状を得ることができる。例えば、交差の位置や突然変異の割合を変えるなどして、さまざまな形状のバリエー

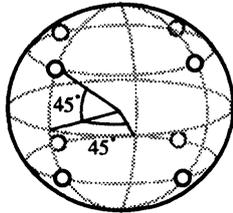


Fig. 8 Initial position of cells

ションを得ることができる。

ここで、形状の特徴は、細胞分裂型生成コードにより間接的に表現されていると考えられるので、後述の実験で示されるように生成コードを合成させて得られた形状は合成前の形状の特徴を保ってはいるが、微妙に異なる形状になる場合が多い。また中には既存の形状において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ることも期待できる。これはちょうど子供が、その両親とは似ているが、その中間の形とも微妙に違っていたり、ある部分が誇張したように現れることにたとえられる。

このように、形状生成コードを発見し、それを合成することで新たなバリエーションを発生させることのできるシステムは、デザイナーがそれと対話的にデザインを進めるようにすることで、デザイナーの創造性を刺激し、デザイナー単独では思いつかなかった形状が生成されることが期待できる。

3. システムの試作と実験

今回は、主に2つの部分からなる実験を行っている。1つは細胞モデルとGAを用いた形状の細胞分裂型生成コードの発見に関するものであり、もう1つはこのコードを合成して新たな形状を生成する実験である。

3.1 形状の生成プロセスについての実験

3.1.1 システムの構成

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、前章の形状表現プロセスの発見で説明した図6に基づく構成となっている。

3.1.2 実験方法

最初の球面上の細胞の数は8で、図8に示すように、半径1の球面上に均等に分布させる。

この状態から、細胞分裂を12回行い、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。

図9に示すように世代を重ねるごとに生成された形状が、目標とする形状に近付いていく様子がわかる。143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がほぼ見いだされたことを示している。

図10は、各形状がどれだけ目標形状に近いかを評価する評価関数（球面の中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）を示したものであるが、これによ

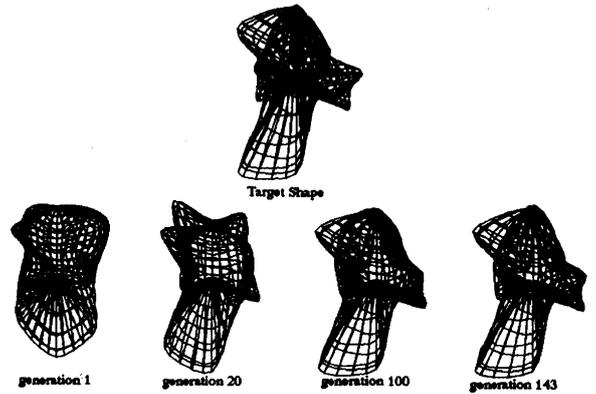


Fig. 9 Growth of shapes

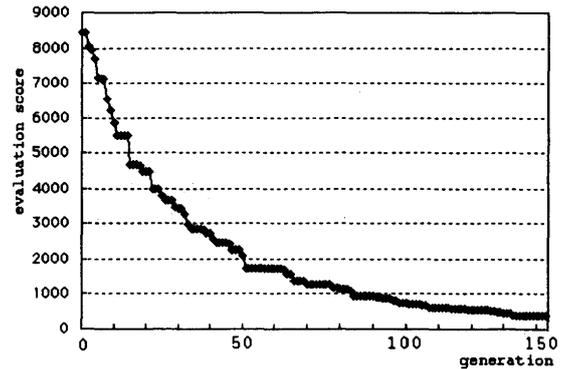


Fig. 10 Distance between target shape and generated shapes

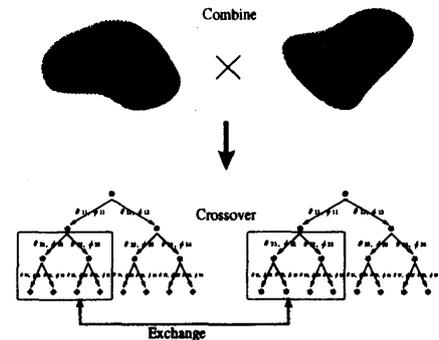


Fig. 11 Combination of the code of cell division

て150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。

3.2 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、形状の合成による新たな形状の生成を本表現法と、従来の静的な表現法によって行った。

本表現法では、上述したようにして得られる生成コードを異なる2つの形状について求め、それらをGAによって交差させることで新しい形状生成プロセスのバリエーションを得た。図11にコードの交差の様子を示す。

比較のために行われた静的な形状表現法による形状の合成は、生成プロセスに注目した形状記述法における測定点の位置を境界表現によって表現し、合成の対象とする2つの形状の対応する測定点について球面の中心からの距離をある割合で内分・外分することによって合成し、その割合をパラメトリック



Fig. 12 Original shapes

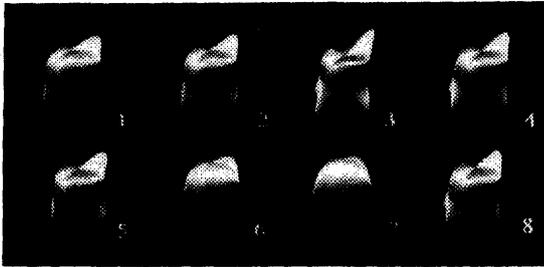


Fig. 13 Shapes generated by static representation

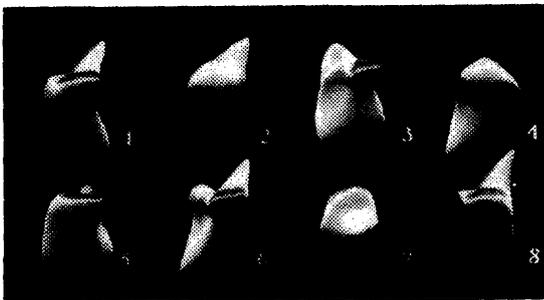


Fig. 14 Shapes generated by dynamic representation

に変化させることによって形状のバリエーションを得た。

図12に合成する前の形状を、また、図13、図14にそれぞれ静的形状表現法と生成プロセスに注目した形状特徴の表現法を用いて生成された合成後の形状バリエーションを示す。

この結果、静的な表現法による合成の結果は、既存の形状の中間的なものを示すのとどまり、形状の特徴が薄められてしまったものが多かった。これに対し、生成プロセスに注目した記述法によって得られた形状は、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。特に図14の中の形状1においてはそれぞれの意匠の特徴を保ちながら、ある部分では合成前の特徴を誇張した形になっており、また左下の部分は合成前とはちょうど反対側にその形状の特徴が現れるなど興味深い結果が得られた。

ここで、それぞれの表現法におけるコードの詳細を図15に示す。

4. 結論と展望

本論文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形状特徴の合成可能性の観点から評価することを目的とした。この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

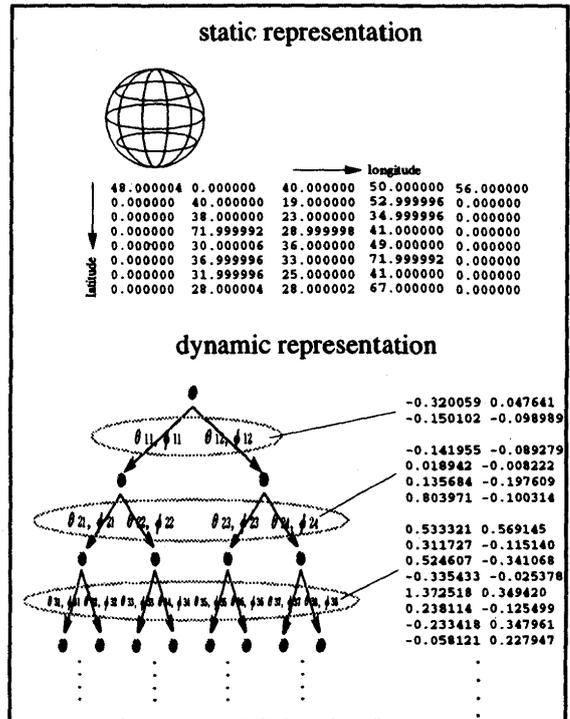


Fig. 15 Code of representations

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。

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

- 本表現法では取り扱うことのできない、球の中心から回り込むコップのような形状の表現法。
- より複雑な形状の表現法。
- 遺伝子型の中の形状特徴（表現型）の特定、および遺伝子型に対する表現型の一意性に関する研究。

参考文献

- 1) 田浦俊春：入門・人工物工学，M & E，(1995) 152.
- 2) 吉川弘之，木村文彦編：設計とCAD，朝倉書店，(1993) 94.
- 3) S. C. Ludy, J. R. Dixon and M. K. Simmons: Designing with Features: Creating and Using a Features Data Base for Evaluation of Manufacturability in Castings, in *ASME Computers in Engineering Conference*, (1986) 285.
- 4) 福田収一：形態の意味，「形態とデザイン」(日本機械学会編)，培風館，(1993) 3.
- 5) 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.
- 6) D. E. Goldberg: Genetic Algorithms in Search, Optimization & Machine Learning, Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, (1989).
- 7) J. H. Holland: Adaptation in Natural and Artificial Systems, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, (1992).
- 8) C. Brown: Fast Display of Well-tessellated Surfaces, *Computer and Graphics*, 4-4, (1979) 77.
- 9) D. D. Pomerai: From Gene to Animal, Cambridge University Press, Cambridge, (1985).