

## 対話型進化計算を用いた創作支援型3次元モデラ

西野, 浩明  
大分大学工学部

Takagi, Hideyuki  
九州芸術工科大学芸術工学部

<https://hdl.handle.net/2324/4479685>

---

出版情報 : The transactions of the Institute of Electronics, Information and Communication Engineers. D-II. 85 (9), pp.1473-1483, 2002-09-01. IEICE

バージョン :

権利関係 :

## 対話型進化計算を用いた創作支援型 3 次元モデラ

西野 浩明<sup>†</sup>      高木 英行<sup>††</sup>      宇津宮孝一<sup>†</sup>

A 3D Modeler for Aiding Creative Work Using Interactive Evolutionary Computation

Hiroaki NISHINO<sup>†</sup>, Hideyuki TAKAGI<sup>††</sup>, and Kouichi UTSUMIYA<sup>†</sup>

あらまし 新しい形の創作を支援する 3 次元モデラの構成法を提案する。対話型進化計算 (IEC) を幾何形状の自動生成と変形に応用することで、初心者でも現実感のある 3 次元モデルを手軽に作りながらコンピュータグラフィックスの表現力を体験・習得できる。システムは、関数表現された 3 次元モデルを染色体に符号化し、遺伝的アルゴリズム (GA) による進化シミュレーションを用いて新しい 3 次元形状を自動生成する。これに対して利用者は、生成されたモデルに主観的な好みを表す適合度を与えて形の善しあしを評価する。この評価と GA による進化シミュレーションを、利用者が満足する形が出来上がるまで繰り返す。写実性と創造性を問う 2 種類の造形課題に対して主観評価実験を行い、IEC を 3 次元造形へ応用する効果と問題点について評価・検証した。キーワード 進化計算, 3 次元モデリング, コンピュータグラフィックス, 創作支援

### 1. ま え が き

コンピュータグラフィックス (CG) の利用分野の急速な拡大とともに、多様な 3 次元造形ツールがパソコン上で利用できるようになった。しかし、CG モデルの制作には相応の経験と専門的な操作技能に加えて、見る人の感性を刺激する魅力的な形がデザインできる芸術的センスも求められる。計算機に不慣れなデザイナー、あるいは図学やデッサンに疎い技術者でも、現実感のあるモデルを作りながら CG の表現力を体験したり、新しい形を描出する美的センスを磨いたりすることが可能なツールの実現が望まれている。

これまで、CG モデルの制作支援を目的として、両手で仮想物体を直接操作できる 3 次元モデラ [1], [2], 全天周ディスプレイを用いた没入型モデラ [3], ジェスチャによる造形法 [4], 分散仮想環境での協調型造形法 [5], [6] 等が提案されてきた。これらは、空間型インタフェースの提供による造形操作の簡易化と、モデルデータの部品化・共有化による造形工程の改善に着目

したもので、モデル形状の発想や概念設計を支援することはできない。

一方、対話型進化計算 (Interactive Evolutionary Computation; 以下 IEC) [7] を CG イメージの生成に応用した研究も多数報告されている。Dawkins [8] は、biomorph と呼ぶ生物に見られる複雑な構造の 2 次元線画を進化シミュレーションで生成した。Sims [9] と畝見 [10] は、品種改良のアプローチを IEC に組み込んだグラフィックアート制作システムを開発した。これらのシステムは、IEC による進化シミュレーションに対応付けしやすい抽象的なイメージや動植物形状の生成を目的としており、現実的な CG モデルの制作には適用しにくい。他の IEC 応用例として、3 次元 CG レンダリング [11]、動植物の CG 生成 [12]、CG イメージの陰影設定 [13]、顧客向けデザイン支援 [14]、シームレステキストの生成 [15]、インテリアデザイン [16] などがあるが、いずれも制作対象が固定のため、汎用的な造形ツールとしての利用は難しい。

本論文では、第 1 に、初心者でも新規性に富む 3 次元モデルが容易に制作できる汎用 3 次元モデラの構成法を提案する。この提案手法は、これまで筆者らが開発してきた関数表現による 3 次元モデラ [4], [6] を基盤として、IEC による造形支援機能を実現したものである [17], [18]。利用者が試行錯誤しながら新しい形の着

<sup>†</sup> 大分大学工学部, 大分市

Faculty of Engineering, Oita University, 700 Dannoharu, Oita-shi, 870-1192 Japan

<sup>††</sup> 九州芸術工科大学芸術工学部, 福岡市

Faculty of Design, Kyushu Institute of Design, 4-9-1 Shiobaru, Minami-ku, Fukuoka-shi, 815-8540 Japan

想に至る過程を IEC が支援し、利用者が、制作対象の完成イメージを明確にもっていなくても、システムが提示する候補モデルに適合度を付与しながら多様な CG モデルを制作できる。

提案手法では、関数表現された一つの 3 次元モデルを染色体として扱い、一定数のモデルを維持しながら、それらに選択・交叉・突然変異という遺伝的アルゴリズム (GA) 操作を施して利用者が好む形に進化させていく。利用者は、システムが生成するモデル形状の中から、自分の好みや目的の形に近いものを選択してそれらに高い適合度を与える。システムは、適合度が高い形の特徴を継承しながら GA 操作を実行して新しいモデルを生成する。この「利用者による形の評価と GA による新形状の生成」を利用者が満足する形 (最適解) が出現するまで繰り返す。したがって、CG やデザインの未経験者でも事前に操作練習などを行わずに新たなモデル形状の制作が可能となる。また、評価の試行回数が増加すると利用者の疲労などが原因で最適解への到達が困難になる。本手法で導入する GA には、多点探索を用いて最適解への収束を早めるという特徴があり、10 数回程度の試行でイメージする形状への収束が保証できる。これにより、他の最適化手法に比べて利用者の肉体的・心理的負担が少ない対話環境の構築が可能になる [19]。

本論文では、第 2 に、主観評価実験を通じて提案手法を評価・検証する。IEC は漠然としたイメージからの解探索には非常に有効である反面、目的形状が明ら

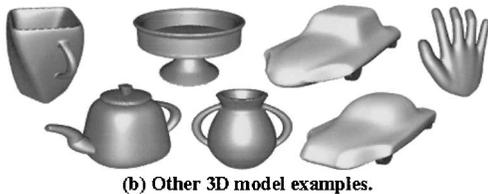
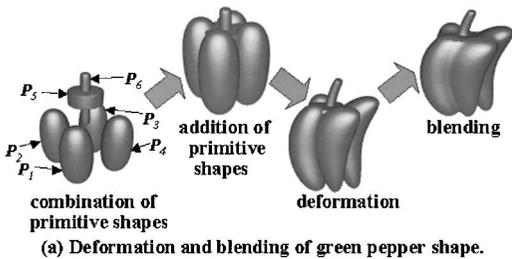


図 1 関数型モデラによる 3 次元モデル制作例

Fig.1 Example 3D models made by function-based geometric modeler.

かな場合には適合度付与という間接操作でその形へ明示的に近づくことが難しいという欠点もある。上述の関連研究において、この問題を定量的に論じているものはない。本論文では、事前に与えられた形をなるべく忠実に復元する写実的なテーマと、抽象的な表現から連想される形の制作を通じて創造性を問うテーマで提案手法と従来手法との比較実験を行う。各テーマごとに IEC 及び手動による直接変形の双方で実験を行い、IEC による造形支援の効果と問題点を評価・検証する。

2. 関数型モデラの機能

提案システムの基盤となる関数型モデラは、図 1 (a)

Parameter	Roles and functions
type primitive type in int	 super ellipsoid      supertoroid
$(r_x, r_y, r_z, r_a^*)$ scale in float	scale
$(x_0, y_0, z_0)$ position in float	position $(x_0, y_0, z_0)$
R (4x4 rotation matrix in float) orientation	orientation R = $\begin{bmatrix} m & m & m & 0 \\ m & m & m & 0 \\ m & m & m & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ global coordinate system
$(e_1, e_2)$ shape in float	 $(e_1, e_2) = (2.0, 2.0) \rightarrow (2.0, 1.0) \rightarrow (1.0, 1.0) \rightarrow (0.1, 1.0) \rightarrow (0.1, 0.1)$
$d_{TPX}, d_{TPY}$ : tapering $d_{SH}$ : shearing $d_{TW}$ : twisting $d_{BD}$ : bending deformation in float	 $d_{TPX}=d_{TPY}=0.0$ $d_{SH}=0.5$ $d_{TW}=0.5$ $d_{BD}=0.5$

\* $r_a$ : torus radius for supertoroid primitive

(a) Functional parameters to define a primitive shape.

Parameter	Roles and functions
FS: field strength in int	
$d_{TPX}, d_{TPY}$ : tapering $d_{SH}$ : shearing; $d_{TW}$ : twisting $d_{BD}$ : bending deformation in float (Same role with primitive deformation)	before blending FS=1.0      FS=1.5 FS=3.0      FS=5.0

(b) Functional parameters to define a blending operation.

図 2 3 次元モデルの関数パラメータ

Fig.2 Functional parameters to define a 3D model.



対象に選択された PTYPE 中のパラメータ値を符号化したビット列で表現される。PTYPE 中のどのパラメータを GA 操作の対象にするかは、利用者が選択フラグ (selection flag) で指定する。例えば、ピーマン形状の造形には、大きさ (図 2(a) の  $r_x, r_y, r_z$ ), 角張り具合 (同  $e_1, e_2$ ), 変形 (とがらせる:  $d_{TPX}, d_{TPY}$ , 曲げる:  $d_{BD}$ ) の各パラメータを GA 操作で進化させる。回転やひねり変形などのパラメータがピーマン形状の生成に不適切であると判断すれば、本機能を用いてあらかじめ GA 操作から除外できる。

PTYPE 中の各パラメータは、遺伝子 (gene) と呼ばれる 8 ビット単位のビット列 (0~255 の整数値) に符号化される。PTYPE 及び GTYPE 間の符号・復号化は、以下の式を用いて行われる。

$$P = P_{min} + \frac{P_{max} - P_{min}}{255} \times G. \quad (1)$$

ここで、 $P$  はパラメータ値、 $G$  はパラメータ  $P$  の遺伝子コード、 $P_{max}$  と  $P_{min}$  はパラメータ  $P$  の最大・最小値を表す。複数の遺伝子から構成される一つの GTYPE は染色体 (chromosome) と呼ばれる。染色体の長さは、 $p \times n + b$  バイトで表される。ここで、 $p$  は GA 操作に選択された基本形状パラメータの数、 $n$  は基本形状の数、 $b$  は混合パラメータの数を表す。例えば、図 4 のピーマン形状を表す染色体は 54 バイト ( $8 \times 6 + 6$ ) となる。

IEC は一定数の個体を常に維持しながら GA による進化シミュレーションを実行する。一度に生成される個体の集合は世代と呼ばれ、新しい世代 (子) は、現在の世代から選ばれた二つの個体 (親) の染色体を交叉 (crossover) して作られる。このとき、高適合度の個体が親になる確率が高いため、評価が高い形の特徴が継承され、世代更新の度に高適合度の形に収束していく。ただし、形の継承と収束を保証しながら新規性や特異性のある変化も継続させるために突然変異 (mutation) を確率的に発生させる。これにより、高適合度の形状とは異なる特徴をもつモデルが常に各世代中に発生するようになり、利用者の発想が画一的な形に偏ることを防ぐ効果がある。

### 3.2 処理手順

IEC モデリングの処理手順を図 5 に示す。最初に、モデリングに用いる初期形状を定義する (initial shape definition)。ここでは、楕円体、円柱形、直方体等の単純形状を配置しながら、造形対象物のイメージを単純化したモデルを作っておく。ピーマンの例では、

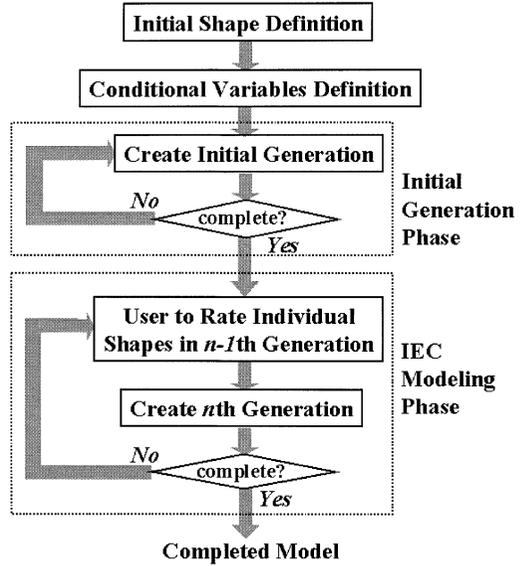


図 5 IEC モデリングの処理手順  
Fig. 5 IEC modeling procedure.

図 1 (a) の変形 (deformation) する前の形、すなわち 4 個の楕円体でピーマン本体を、細長い円柱と平たい円柱で茎部分を定義した形を作る。初期形状は、図 3 の関数型モデラを用いて作成する。

次に、進化計算の条件設定を行う (conditional variables definition)。ここでは、3.1 で述べた GA 操作の対象パラメータの選択と、式 (1) の計算に用いる各パラメータの最大・最小値、GA 操作で用いる交叉率や突然変異率の設定を行う。GA 操作の対象外パラメータは、初期形状の値をそのまま使用する。

条件設定後にモデルの初期世代を生成する (initial generation phase)。IEC では候補解の評価を人間が行うため、1 世代の個体数をたかだか 20 程度に設定するのが一般的である。少ない個体数で意図する形状に早く収束させるためには、利用者が描出したい形の特徴をもつ初期世代モデルが提示できなければならない。そこで、GA 操作の対象パラメータをランダムに増減させながら初期世代を生成するようにした。ピーマンの例であれば、利用者が「普通、細い、太い、曲がった」などの特徴に注目しながら、これらの形を有する形状が出現するまで初期世代の生成を繰り返す。

IEC モデリングフェーズ (IEC modeling phase) では、得られた初期世代から GA による進化シミュレーションを開始する。利用者は、個体の数だけ生成・描

画されるモデルに適合度を与えて自分が好む、あるいは目的形状に近いモデルを選択する。付与する適合度は、各世代ごとに最も良いモデル形状から最も悪いものまでを 5 点から 1 点まで相対的に評点する [22]。意図する形に収束してきたモデルが淘汰の対象にならないように、高適合度の個体はエリートとして次世代にそのまま継承されるようにした。エリート個体の割合は交叉率で指定するが、同値を 95% とすると 5% の個体がエリートとして次世代まで生き残る。残り 95% の個体は、現世代の中からルーレット選択法 [23] で選ばれた個体を親として交叉と突然変異を経て生成される。以上の処理を目的とする 3 次元形状が出現するまで繰り返す。

### 3.3 システムインタフェース

IEC モデリングで目的とするモデル形状が得られるか否かは、利用者による候補形状の適切な評価と選択に依存する。そのためには、利用者が各世代のモデル群から目的形状に近い形を容易に選択・指示できる操作環境の提供が重要となる。そこで、図 6 に示す GUI を設計・開発した。利用者は、同図のようにリスト形式で表示される候補モデルを同時に眺めながら、相互に形を比較して各モデルの善しあしを相対的に評価できる。適合度は、各モデルを表示するサブウィ

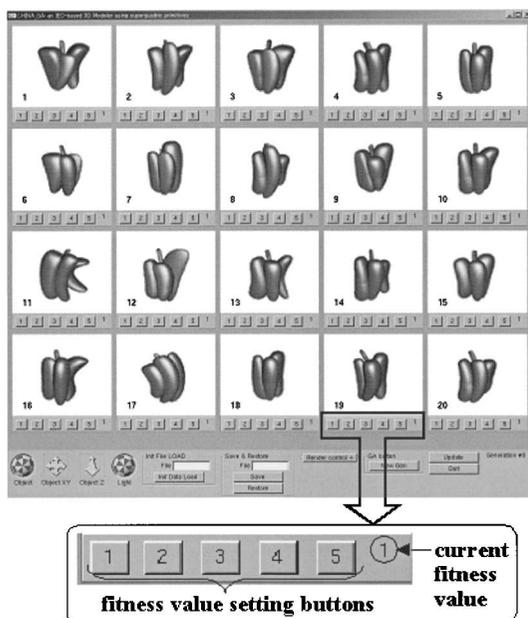


図 6 IEC モデラの GUI  
Fig.6 IEC modeler's GUI.

ドウの下部に配置されたボタンをマウスで押下して設定する。

## 4. 主観評価実験

### 4.1 造形課題

図 6 の IEC 法及び図 3 の関数型モデラによる手動変形法（以下、手動法）について、造形作業支援の有効性と操作性を比較・検証するために主観評価実験を行った。大学での CG 導入教育を想定して、工学部の学生 20 名の被験者に対して造形実験を行った。以下の理由からピーマンを制作対象形状に選んだ。

- 特殊な背景知識を必要とせず誰もが容易にその形状を頭に思い浮かべることができる。
- 単純な形であるが市販の CAD ツールで自然な形に仕上げるのは難しい。
- 絵画のデッサン等にも多用されイメージを膨らませるのに十分な変化やばらつきをもつ。

写実性及び創造性の二つの局面を問う以下の 3 テーマを制作課題として設定した。特に、創造的テーマにおいては、異なる感性表現に対する提案手法の造形能力を評価するために、対照的な意味の 2 テーマを設定した。

- (1) 写実的テーマ：図 7 の実物ピーマンの写真を提示して、これになるべく近い形を制作してもらおう。
- (2) 創造的テーマ 1：「<sup>たげだけ</sup>猛々しいピーマン」という表現からイメージする形を制作してもらおう。
- (3) 創造的テーマ 2：「悲しく元気のないピーマン」という表現からイメージする形を制作してもらおう。

### 4.2 実験の手順と環境

全被験者に対して、上記のテーマごとに IEC 法及び手動法を用いてモデルを制作してもらい、各テーマ終了後に以下の観点から二つの造形手法を 5 段階で比較評価してもらった。

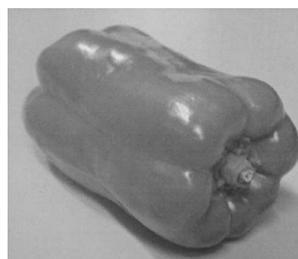


図 7 写実の実験の制作課題  
Fig.7 Design motif of realistic examination.

表 1 実験の手順とスケジュール  
Table 1 Procedure and schedule of experiments.

実験順序	グループごとの実験手順					
	Aグループ(4名)	Bグループ(3名)	Cグループ(3名)	Dグループ(4名)	Eグループ(3名)	Fグループ(3名)
1	写(IEC 手動)	創1(IEC 手動)	創1(IEC 手動)	写(手動 IEC)	創1(手動 IEC)	創1(手動 IEC)
2	創1(IEC 手動)	写(IEC 手動)	創2(IEC 手動)	創1(手動 IEC)	写(手動 IEC)	創2(手動 IEC)
3	創2(IEC 手動)	創2(IEC 手動)	写(IEC 手動)	創2(手動 IEC)	創2(手動 IEC)	写(手動 IEC)
1週間のインターバル						
4	写(手動 IEC)	創1(手動 IEC)	創1(手動 IEC)	写(IEC 手動)	創1(IEC 手動)	創1(IEC 手動)
5	創1(手動 IEC)	写(手動 IEC)	創2(手動 IEC)	創1(IEC 手動)	写(IEC 手動)	創2(IEC 手動)
6	創2(手動 IEC)	創2(手動 IEC)	写(手動 IEC)	創2(IEC 手動)	創2(IEC 手動)	写(IEC 手動)

写：写実的テーマ，創1：創造的テーマ1，創2：創造的テーマ2

● 形状品質：どちらの手法がよりテーマに近い形に出来上がったか。

● 操作性：どちらの手法が使いやすかったか。

全体をAからFの6グループに分けて，1グループ3名あるいは4名で実験を行った．造形手法や制作テーマの順序効果による結果への影響を最小限に抑えるために，表1に示すようにグループ間で手法やテーマの適用順を変えて実験を行った．Aグループの被験者は，写実的テーマをIEC法，手動法の順序で制作した後に比較評価を行い，続いて創造的テーマ1及び創造的テーマ2についても同様の手順で実施した．その後1週間を置いて造形手法の順序を逆にして同じテーマ順で実験を行った．B，Cグループの被験者は，Aグループとはテーマの適用順序を変えて実験を行った．更にD，E，Fグループは，それぞれA，B，Cグループのテーマ順に合わせて造形手法の適用順序をすべて逆にして実験を行った．1週間の間隔は，順序効果の影響を抑えるために，これまでの造形実験等の経験を踏まえて設定した．

IEC法の場合，平均して5世代前後でモデルの概形がほぼ完成し，その後の微調整を経て10～15世代で形状が収束することが事前の予備実験より判明した．一つのモデル造形に要する時間は個人差もあるが，5分からただか10分程度になった．そこで，被験者の疲労を極力抑えるために，1回の造形時間（IEC法あるいは手動法で一つのテーマに対してモデル造形を行う時間）を最大10分に設定し，テーマ間には適宜休憩を挟んで実験を行った．

IEC・手動法とも，図1(a)における変形前の単純形状で構成したモデルを初期形状に用いた．IEC法の実行条件は以下のように設定した．

- 各世代の個体数は20．
- 大きさ（図2(a)の $r_x, r_y, r_z$ ），角張り具合（同 $e_1, e_2$ ），変形（とがらせる： $d_{TPX}, d_{TPY}$ ，曲げ

IEC or manual modeler

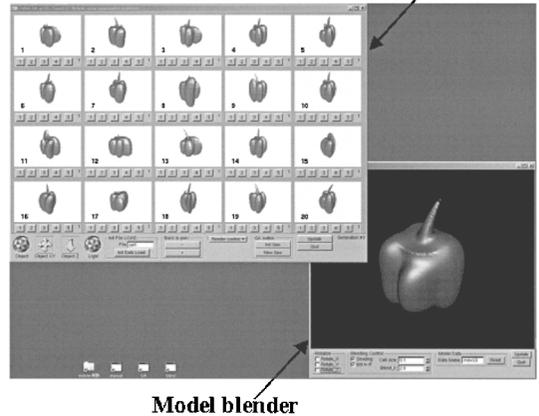


図8 実験システムの画面操作イメージ

Fig.8 A captured screen image of an experimental system.

る： $d_{BD}$ )の全8パラメータ×6基本形状＝計48パラメータがGAの操作対象．

- ルーレット選択とエリート戦略を適用．
- 交叉率は95%で一様交叉を使用．
- 突然変異率は1%．
- 適合度は5段階評価（5が最高，1が最低）．

各世代は，19個体（全個体数の95%）が交叉と突然変異を経て生成され，1個体がエリートとして前世代から継承される．

実験は図8に示すような操作環境で実施した．被験者は，IECあるいは手動モデラと，造形対象の混合結果を表示するブレンダー（blender）を同時に稼働させて造形を行う．混合処理の演算量は生成するモデルの表示品質（ポリゴン量）に比例するため，十分な応答性を確保するには品質を落とさなければならない[24]．実験では，応答性と表示品質の双方を確保するために混合処理をモデラ本体から分割し，モデラで混合前の

形状にリアルタイム変形を施しながら、混合後の形状確認が必要となきにブレンドで混合演算とその結果表示ができるようにした。また、IEC 法における 20 個体の同時描画や GUI 操作に十分な応答性を確保するために、1 GHz あるいは 933 MHz の CPU と 512 MB メモリを有する Windows 2000 パソコンを用いて実験を行った。

### 4.3 実験結果

本実験では、全被験者が各テーマに対して同一の造形法で 2 回ずつモデル制作を行っているため、その評価結果は以下の 4 通りに分類できる。

- (a) 2 度とも IEC (あるいは手動) 法が良いと答えた人。
- (b) 1 度は IEC (あるいは手動) 法が良いと答え、他方は両者に差がないと答えた人。
- (c) 2 度とも差がないと答えた人。
- (d) 2 度とも違う回答をした人。

以上の集計結果に対して、Sheffé の一対比較法 (浦の変形) [25], [26] で検定を行った。このうち、両者に差異が認められなかった (c) と、順序効果が顕著に現れたと考えられる (d) は検定データより除外した。

表 2 は分類 (a)、表 3 は (a) と (b) の集計結果をそれぞれ表している。写実的テーマでは、操作性の質問に対して 7 (3)<sup>注 1)</sup> 人が手動法、0 (5) 人が IEC 法を良い方法と回答した。これにより、分類 (a) の結果に対して 5% の危険率で有意な差が認められ、写実的テーマでの造形操作に関しては手動法が良いとの結果が得られた。また、創造的テーマ 2 の形状品質に関して、手動法が 9 (2) 人、IEC 法が 0 (4) 人の回答数となり、分類 (a) の結果に対して危険率 1% で手動法の方が良いとの結果が得られた。その他の項目

については、検定上の有意差は認められないが、特に写実的テーマと創造的テーマ 2 において手動法が良いという傾向が見られた。

## 5. 考察

### 5.1 主観評価実験に関する考察

4. の実験では、8 パラメータ × 6 基本形状を可動にして CG モデル生成を行った。このパラメータ数が十分多い場合には、GUI での表示スペースの問題と手動による調整の煩わしさから、IEC 法の優位性が容易に予想でき、逆に十分少ない場合は手動法が優位になる。4.3 の実験結果はパラメータ数が 48 個の場合であり、この実験条件で結果が大きく変わり得る。また一般に、利用者が表現しようとするモデル形状と特定のパラメータ調整による形の変化が 1 対 1 に対応する場合は、手動での直接操作が可能となり、手動法の優位性が強くなる。CG ライティング [13] の例のように、利用者が意図する表現形態と調整するパラメータの対応関係がわかりにくい場合には IEC 法が優位になる。以上の 2 点に留意した上で、前節の実験結果を考察する。

対象形状が提示された写実的テーマの場合は、必要な変形操作を明示的に指示できる手動法が好まれる傾向にある。IEC による造形は、GA で生成されたモデルの中から課題に類似する形に高い適合度を付与するという間接操作となり、モデルを直接変形できないもどかしさが複数の被験者から指摘された。表 2 及び表 3 の写実的テーマの結果にこの傾向が顕著に現れている。

また、創造的テーマについても「猛々しいピーマン」には有意差が現れなかったのに対して、その対照表現である「悲しく元気のないピーマン」には手動法の優位性が確認された。これには、テーマに対する造形イメージの難易度が影響していると考えられる。図 9 は三つのテーマで制作された 3 次元モデルの例を、被験者が支持した造形法で分類して示した結果である。創造的テーマ 1 の作品例を示した図 9 (b) では、直線的な表現、鋭角的な表現、あるいはボリューム感など、様々な形状特徴による「猛々しさ」の表現が確認できる。これに対して、創造的テーマ 2 の例を示した図 9 (c) では細長い形状で「悲しく元気のない」モデルを表現するという共通性が見られることから、テーマ 2 の方

表 2 分類 (a) の集計結果  
Table 2 Total amount of classification (a).

	写実的テーマ	創造的テーマ 1	創造的テーマ 2
	手動: IEC	手動: IEC	手動: IEC
形状品質	8 : 1	8 : 4	9 : 0**
操作性	7 : 0*	8 : 3	8 : 3

\*危険率 5% で有意差有り, \*\*危険率 1% で有意差有り

表 3 分類 (a) (b) の集計結果  
Table 3 Total amount of classification (a) and (b).

	写実的テーマ	創造的テーマ 1	創造的テーマ 2
	手動: IEC	手動: IEC	手動: IEC
形状品質	11 : 4	11 : 6	11 : 4
操作性	10 : 5	10 : 7	13 : 4

(注 1): 7 (3) は、7 名が分類 (a)、3 名が分類 (b) の回答数であったことを表す。

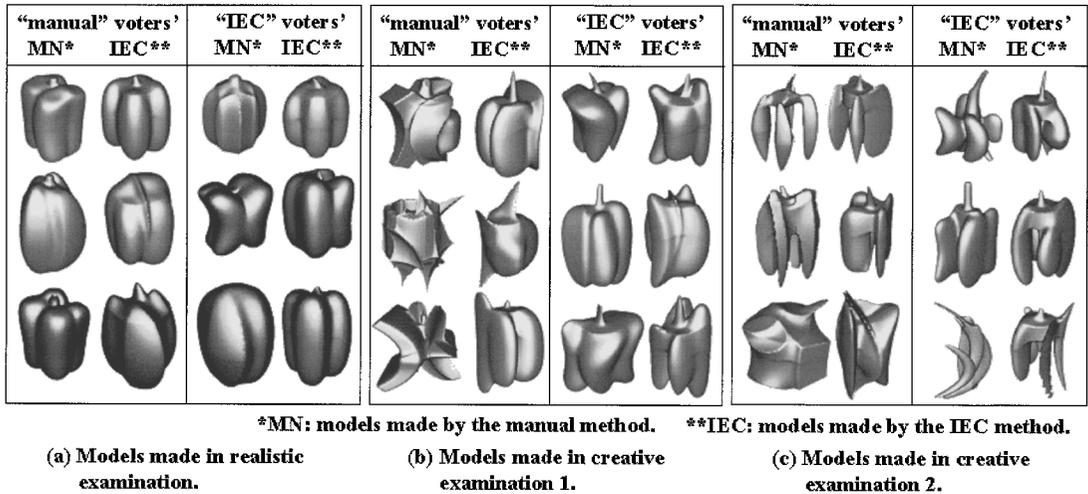


図9 実験で制作された3次元モデルの例  
Fig.9 3D models made in experiments.

がよりイメージしやすい課題であると推測できる。被験者からの内観報告にも「猛々しい」形状のイメージ化が難しい旨の指摘が多かった。このように、より抽象度の高いテーマでは、具体的なモデル形状を発想する難しさに加えて、手動法の場合にはその形を3次元モデル化する造形操作へ変換する必要がある。特に、CGに不慣れな利用者にはこれらの作業が難しいため、システムが提案する候補形状を評価しながら形の具体化が可能なIEC法を支持する意見が多かった。

表4は、20名の被験者から市販CGモデラの使用経験がある8名を除いて4.3の分類(a)と(b)を集計した結果である。写実的テーマと創造テーマ2では手動法優位の傾向がわずかに残るものの、創造的テーマ1では両造形法の差異がなくなっている。創造的テーマ1では、形状品質と操作性項目に対して6名及び5名がそれぞれ手動法を支持しているが、このうち4名及び3名の被験者は「猛々しい」形状の発想と概形生成にはIEC法が有効であったことを指摘している。

創造的テーマ1の作品例である図9(b)の形状に着目すると、手動法支持者(3例ともCGモデラ経験者)が大幅な変形を施した奇抜な形を手動法で作成しているのに対して、IEC支持者(すべてCG初心者)の手動法による作品は初期形状からの変化が少ない普通の形が多い。後者の原因として、手動造形に慣れていない、あるいは「猛々しいピーマン」のイメージ化が難

表4 CG造形経験者を除いた分類(a)(b)の集計結果

Table 4 Total amount of classification (a) and (b) excluding experienced subjects on CG modeling.

	写実的テーマ	創造的テーマ1	創造的テーマ2
	手動:IEC	手動:IEC	手動:IEC
形状品質	7:3	6:5	6:4
操作性	7:2	5:5	7:4

しい等の理由があるが、これらの被験者もIEC法で変化のある個性的な形を作っている。したがって、手動変形に慣れていないCG造形の初心者が、複雑な造形操作を要するモデルを作成するのにIEC法が有効であったと考えられる[13]。

導入教育を想定した今回の実験では、使用可能な造形操作をピーマン制作に適した48個のパラメータ調整に制限した。このため、課題形状とその形を生成するのに必要な造形操作との対応がとりやすく、手動法をより直観的な造形法に感じた被験者も多かった。写実的テーマの題材(図7)と初期形状(図1(a)の変形前の形)の差異が小さく、手動法での造形が比較的容易であったことも手動法支持者が多かった原因と考えられる。

### 5.2 IEC法の形状表現力

4.の実験では、ピーマンを題材に写実性と創造性の両面からCGモデルの創作支援効果を検証した。創造性に関しては、対照的な感性語に対するIEC造形法のモデル表現力についても確認できた。本節では、そ

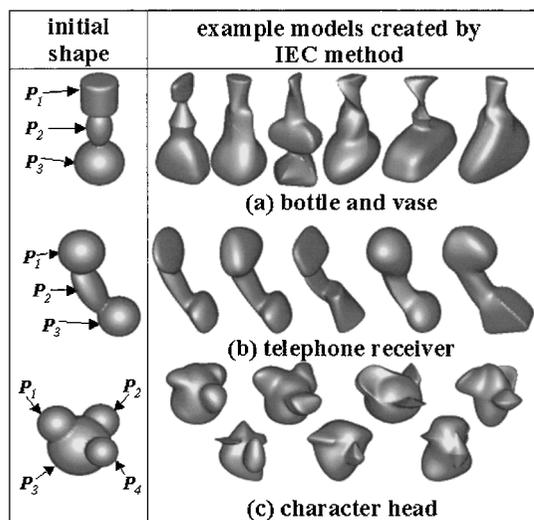


図 10 IEC によるその他の 3 次元モデル制作例  
Fig. 10 Other 3D model examples made by IEC modeler.

他のモデル制作例を示して提案手法の形状表現力について考察する。

IEC モデラを用いて作成したピーマン以外のモデル形状を図 10 に示す。それぞれ瓶・壺 (bottle and vase), 受話機 (telephone receiver), キャラクタ向けの頭部モデル (character head) を意図してデザインした。3 個あるいは 4 個の基本形状で定義した単純な初期形状から、異なる特徴を有する様々なモデルが制作できることがわかる。ピーマンの例では、ひねりとせん断変形を不可にして造形を行ったが、これらのモデル制作ではすべての変形を可動にした。他の実行条件は 4.2 で示したものと同一である。図 4 に示した選択フラグでひねりとせん断変形を GA 対象パラメータに加え、染色体構造や交叉・突然変異率等はピーマンの場合と全く同じ状態で図 10 のような変化に富んだ形状の生成が可能となった。これらのモデルはすべて 5 世代目に完成したもので、各モデルの制作に要した時間は 2, 3 分程度である。このように 5 世代前後でイメージの概形が決定できるのは、GA の多点探索による最適解への高い収束性能による効果であると考えられる。

CG 初心者の作成するモデルは、図 9 (b) の IEC 支持者による手動作品に見られるように、対称性のある変化の乏しい形状になりがちである。IEC 法では、直観的な適合度を与えるだけで図 10 に示すような意外

性のある形状変化が次々に提示されるため、変化に富んだ個性的な形状特徴を有するモデル制作が可能になる。4. の実験で手動法を支持した多くの被験者は、IEC 法による形状の微調整の難しさを指摘した。最初の 5 世代程度で概形を決定した後に、手動による微調整と IEC による形状変化を相補的に利用できるインタフェースを実現することで、提案手法の形状表現力と利便性を更に向上できると考えられる。更に、IEC の実行中に得られた知見をその後の進化計算に反映させるオンライン知識組み込み [27] を用いれば、IEC 造形中に新たに得られた形状の着想を、その後の造形工程に直接反映することも可能になる。

図 9 及び図 10 で示された形状を市販モデラで作成するには、自由曲面を用いた高度な操作技能が必須となる。一方、IEC 法では事前の説明や操作練習はほとんど必要ない。4. の実験でも、手動法はマウスによるパラメータ変更の練習に 10 数分程度、IEC 法は簡単な解説書配布のみで直ちに造形作業に移行することができた。したがって、開発した IEC モデラによる造形演習を数時間程度の授業や講演の中に組み込むことも可能である。義務教育現場への適用などを考慮すれば、ジェスチャや音声などの入力手段を組み込んだ、より直観的で楽しく利用できるインタフェースの提供も必要である。

## 6. む す び

本論文では、新しい形の考案や、頭の中に描く漠然としたイメージの 3 次元モデル化などを効率良く支援する IEC を用いた造形機能を提案した。CG の経験がない利用者でも、システムが提示する複数の形に主観的な適合度を与えることで新しい形を探索・変形しながら手軽に 3 次元モデルが制作できる。CG の導入教育を想定した主観評価実験を実施して、IEC を新しい形の創作支援に応用する効果と課題を明らかにした。写実性と創造性の 2 面を問う実験結果の比較から、特に、CG 初心者による創造的な制作課題に対して IEC の有効性が確認できた。実験結果より、概念設計や新たなデザインへの着想支援に IEC を活用しながら、手動変形による形の詳細化で高品質なモデルに仕上げる、というような相補的な造形環境の構築が IEC の有用性を更に向上させると考えられる。このためには、手動及び IEC の両手法を統合化した造形環境の構築が必要になる。

専門家の技能に大きく依存する従来型の造形法では、

急速に進展するデザインの複雑化や多様化に対応することは難しい。提案した IEC による候補形状提示型の造形法は、広範な利用者に CG モデルの創作環境を提供できる。また、IEC で生成される形の意外性や新規性は、熟練者の設計内容が画一的になるのを防止する効果も期待できる。これらについては、実際の製品設計や工芸品制作の現場などで試用しながら今後検証していきたい。

謝辞 本論文に対し有益かつ貴重なコメントを頂いた査読者に感謝します。また、主観評価実験に御協力頂いた九州芸術工科大学及び大分大学知能情報システム工学科の学生諸氏に感謝します。

## 文 献

- [1] C. Shaw and M. Green, "THRED: A two-handed design system," ACM Multimedia, vol.5, no.2, pp.126-139, March 1997.
- [2] K. Kiyokawa, H. Takemura, Y. Katayama, H. Iwasa, and N. Yokoya, "VLEGO: A simple two-handed modeling environment based on toy blocks," Proc. ACM VRST'96, pp.27-34, Hong Kong, July 1996.
- [3] 橋本直己, 中嶋正之, "CAVE における直観的操作手法と動的自由度制御を用いた 3 次元形状モデラ," 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, vol.4, no.3, pp.487-494, Sept. 1999.
- [4] 西野浩明, 凍田和美, 宇津宮孝一, "両手ジェスチャで変形可能な 3 次元形状表現法," 情処学論, vol.40, no.2, pp.698-701, Feb. 1999.
- [5] V. Anupam and C.L. Bajaj, "Shastra: Multimedia collaborative design environment," IEEE Multimedia, vol.1, no.2, pp.39-49, April 1994.
- [6] 西野浩明, 宇津宮孝一, 吉田和幸, 凍田和美, "陰関数表現を用いた協調型 3 次元造形システムの一構成法," 情処学論, vol.42, no.2, pp.308-317, Feb. 2001.
- [7] H. Takagi, "Interactive evolutionary computation: Fusion of the capacities of EC optimization and human evaluation," Proc. IEEE, vol.89, no.9, pp.1275-1296, Sept. 2001.
- [8] R. Dawkins, The blind watchmaker, Longman, Essex, 1986.
- [9] K. Sims, "Artificial evolution for computer graphics," Proc. ACM SIGGRAPH'91, pp.319-328, July/Aug. 1991.
- [10] T. Unemi, "A design of multi-field user interface for simulated breeding," Proc. 3rd Asian Fussy System Symposium, pp.489-494, Masan, Korea, June 1998.
- [11] S. Todd and W. Latham, "Artificial life or surreal art?" 1st European Conf. on Artificial Life, pp.504-513, MIT Press, 1992.
- [12] J. Graf and W. Banzhaf, "Interactive evolution for simulated natural evolution," Artificial Evolution European Conf. (AE'95), pp.259-272, Berlin, Germany, 1995.
- [13] 青木 研, 高木英行, "対話型 GA による 3 次元 CG ライティングデザイン支援," 信学論 (D-II), vol.J81-D-II, no.11, pp.1601-1608, Nov. 1998.
- [14] 中西泰人, "選好関数を用いた対話型進化システムの制御と評価—遺伝的プログラミングのデザイン支援システムへの応用," 人工知能誌, vol.13, no.5, pp.36-43, Sept. 1998.
- [15] 山田辰美, 橋本秋彦, 安達文夫, 下原勝憲, 徳永幸生, "遺伝的アルゴリズムを用いたシームレステクスチャ生成方法," 信学論 (D-II), vol.J82-D-II, no.7, pp.2017-2025, July 1999.
- [16] 是永基樹, 萩原将文, "対話型進化計算によるインテリアレイアウト支援システム," 情処学論, vol.41, no.11, pp.3152-3160, Nov. 2000.
- [17] H. Nishino, H. Takagi, S.-B. Cho, and K. Utsumiya, "A 3D modeling system for creative design," Proc. IEEE ICOIN-15, pp.479-486, Beppu, Japan, Jan./Feb. 2001.
- [18] 西野浩明, 高木英行, 宇津宮孝一, "対話型進化計算による 3 次元モデル制作支援機構," 信学技報, IE2000-78, Nov. 2000.
- [19] 大崎美穂, 高木英行, "対話型 EC 操作者の負担軽減—評価値予測による提示インタフェースの改善," 人工知能誌, vol.13, no.5, pp.712-719, Sept. 1998.
- [20] H. Nishino, M. Fushimi, K. Utsumiya, and K. Korida, "A virtual environment for modeling 3D objects through spatial interaction," Proc. IEEE SMC'99, vol.6, pp.81-86, Tokyo, Japan, Oct. 1999.
- [21] 伊庭斉志, 進化論的計算の方法, 東京大学出版会, 東京, 1999.
- [22] M. Ohsaki, H. Takagi, and K. Ohya, "An input method using discrete fitness values for interactive GA," J. Intelligent and Fuzzy Systems, vol.6, pp.131-145, 1998.
- [23] 安居院猛, 長尾智晴, ジェネティックアルゴリズム, 昭晃堂, 東京, 1993.
- [24] H. Nishino, K. Utsumiya, A. Sakamoto, K. Yoshida, and K. Korida, "A method for sharing interactive deformations in collaborative 3D modeling," Proc. ACM VRST'99, pp.116-123, London, UK, Dec. 1999.
- [25] 日科技連編, "一対比較法," 新版官能検査ハンドブック, pp.349-393, 日科技連, 東京, 1973.
- [26] 中川聖一, 高木英行, "パターン認識における有意差検定と音声認識システムの評価法," 音響誌, vol.50, no.10, pp.849-854, Oct. 1994.
- [27] H. Takagi and K. Kishi, "On-line knowledge embedding for an interactive EC-based montage system," Proc. 3rd Int. Conf. on Knowledge-Based Intelligent Information Engineering Systems, pp.280-283, Adelaide, Australia, Aug./Sept. 1999.

(平成 13 年 8 月 10 日受付, 14 年 1 月 8 日再受付)



西野 浩明 (正員)

昭 60 九大大学院・総理工・情報システム学専攻修士課程了。同年日本電気(株)入社。OS 開発部門, 米国駐在員を経て平 7 同社を退社。同年大分大学工学部助手。平 14 同講師。博士(工)。VR, 分散協調処理に関する研究に従事。IEEE ICOIN-15 PC 最優秀論文賞受賞。情報処理学会, 日本バーチャルリアリティ学会, ACM, IEEE 各会員。



高木 英行 (正員)

昭 56 九州芸工大大学院・芸術工学・情報伝達専攻修士課程了。同年松下電器産業(株)入社, 中央研究所勤務。平 3~5 UC Berkeley 客員研究員。平 7 九州芸術工科大学助教授。博士(工)。ファジー, ニューラルネット, 遺伝的アルゴリズム等の研究に従事。昭 63 年度本会篠原記念学術奨励賞, KES'97, IIZUKA'98 の各最優秀論文賞, IEEE ICOIN-15 PC 最優秀論文賞各受賞。日本ファジィ学会, 日本音響学会, 人工知能学会, 日本バーチャルリアリティ学会, IEEE 各会員。



宇津宮孝一 (正員)

昭 43 九大・工・電子卒。同年九大助手, 昭 52 同助教授を経て, 昭 61 大分大学工学部教授。平 10 工学部長。平 14 年 1 月から副学長。工博。VR, 計算機ネットワーク, CSCW の研究に従事。IEEE ICOIN-15 PC 最優秀論文賞受賞。情報処理学会, 日本ソフトウェア科学会, 日本ロボット学会, 人工知能学会, 日本バーチャルリアリティ学会, ACM, IEEE 各会員。