

特異形状を含む3次元モーフィングモデルの 作成法と印象操作に基づく造形物デザイン

行場, 次郎 / AKAMATSU, Shigeru / GYOBA, Jiro / ISHI,
Hanae / KOCHI, Jumpei / INABA, yoshinori / 赤松, 茂 / 稲
葉, 善典 / 河内, 純平 / 伊師, 華江

(出版者 / Publisher)

社団法人映像情報メディア学会

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

映像情報メディア学会技術報告 / 映像情報メディア学会技術報告

(号 / Number)

6

(開始ページ / Start Page)

19

(終了ページ / End Page)

24

(発行年 / Year)

2009-02-04

特異形状を含む3次元モーフィングモデルの作成法と 印象操作に基づく造形物デザイン

稲葉 善典⁽¹⁾ 河内 純平⁽²⁾ 伊師 華江⁽³⁾ 行場 次朗⁽⁴⁾ 赤松 茂⁽⁵⁾

⁽¹⁾法政大学大学院工学研究科

⁽²⁾法政大学工学部システム制御工学科

⁽³⁾宮城工業高等専門学校情報デザイン学科

⁽⁴⁾東北大学大学院文学研究科

⁽⁵⁾法政大学理工学部応用情報工学科

E-mail: ⁽¹⁾yoshinori.inaba@gs-eng.hosei.ac.jp, ⁽²⁾junpei.kochi.j4@eng.hosei.ac.jp, ⁽⁵⁾akamatsu@hosei.ac.jp

Address: ⁽¹⁾〒184-8584 東京都小金井市梶野町3-7-2

あらまし 本研究では、3次元物体の視覚印象に影響するパラメータを、既存形状に対する印象評定結果に基づく計算によって決定する手法の可能性を探る基礎検討を行った。3次元物体の一例として自動車のボディを取り上げ、異なる車種のプラモデルの形状をレンジファインダで計測し、各形状を表現した多次元ベクトルに主成分分析を適用することで、形状の多様性を少数のパラメータで表現できる3次元モーフィングモデルを求めた。形状の事例が与える視覚印象を一対比較法で定量化した結果から、視覚印象を操作するパラメータの変位を求める予備実験を行い、心理実験によってその効果を検出することで、3次元物体デザインでの印象操作に対する本アプローチの有効性を確認することができた。また、既存のモーフィングモデルが前提とする多次元ベクトル表現に適合しない特異形状の物体を取り込むことで、モーフィングモデルが表現しうる物体の多様性の幅を拡大する手法を提案した。

キーワード 感性情報処理, 造形デザイン, 視覚印象, 3次元モーフィングモデル, 主成分分析, 一対比較法

Method of making 3D morphable model including heterogeneous shape and Designing a class of 3D objects driven by the perceived visual impressions

yoshinori INABA⁽¹⁾ jumpei KOCHI⁽²⁾ hanae ISHI⁽³⁾ jiro GOHBA⁽⁴⁾ and shigeru AKAMATSU⁽⁵⁾

⁽¹⁾Graduate School of Engineering, Hosei University

⁽²⁾Department of Systems Control Engineering, Hosei University

⁽³⁾Department of Design and Computer Applications, Miyagi National College of Technology

⁽⁴⁾Department of Psychology, Graduate School of Arts & Letters, Tohoku University

⁽⁵⁾Department of Applied Informatics, Hosei University

E-mail: ⁽¹⁾yoshinori.inaba@gs-eng.hosei.ac.jp, ⁽²⁾junpei.kochi.j4@eng.hosei.ac.jp, ⁽⁵⁾akamatsu@hosei.ac.jp

Address: ⁽¹⁾3-7-2 Kajino-cho, Koganei-shi, Tokyo, 184-8584 Japan

Abstract In this work, preliminary experiments were conducted on a novel method seeking physical parameters of 3D objects that might strongly contribute to their visual impressions through computational investigation of the impression ratings made on learning samples. Car body was selected as a class of 3D objects to be investigated, and a set of the 3D shape data for various car types was obtained by measuring plastic models of different car lines with a range-finder. Morphable 3D model of car bodies describing the variation of their appearance in terms of a smaller number of parameters was obtained by applying PCA to a set of high dimensional vectors representing the 3D shapes. A preliminary method was proposed to transform the visual impression of the 3D object by manipulating the parameters defined in the morphable 3D model. Results of psychological experiments conducted by applying the method of paired comparison indicated possible validity of the proposed method. A new scheme is also proposed to properly re-sample a novel object having even a peculiar shape so that such object could also be represented by the morphable 3D model.

Keyword KANSEI information processing, Geometric design, Visual impression, Morphable 3D model, Principal component analysis (PCA), Method of paired comparison

1. はじめに

今日の「ものづくり」においては、製品が市場で受け入れられるためには、多くのユーザが魅力的と感じるようなデザインを創り出すことが重要なポイントとなることは広く認識されている。工業製品のような人工構造物であれ、自然物であれ、対象物に対して人間が感受する「魅力」のような高次の印象は、個々人の感性や認知にかかわる情報処理に大きく依存するものであるから、設計段階から多くのユーザの嗜好を反映したデザインを創り出すことは現実にはなかなか難しい。従って、多くの評価者の共通的感性にマッチしたデザインを創出する手法に対する潜在的なニーズは高いものと思われる。

報告者らは、3次元物体が有するその形状などの物理的特徴ならびにその視覚像の観察条件が、観察者によってその物体から共通して感受される高次の印象とどのような関係にあるかを明らかにし、両者を関連づけるモデルの構築に取り組んでいる。そしてその研究の「ものづくり」への応用として、ある共通するクラスに属する3次元物体としての人工構造物について、幾つかのデザイン事例に対する印象を多数の一般ユーザに評定してもらい、その結果を分析することによって、より多くのユーザが魅力を感じる3次元物体の造形を創出することをめざしている。

本論文では、形状に応じて異なる印象を与える3次元物体の一例として自動車のボディをとりあげ、望ましい印象を与える新規の形状を、既存形状の事例に対する印象評定結果にもとづく計算によって決定する手法の可能性について報告する。また、3次元物体の形状の多様性を表現するモーフィングモデルに、特異な形状をもつ物体の事例を取り込む方法についても報告する。

2. 背景と本研究の概要

特定クラスに属する物体の視覚パターンが示す多様性を少数のパラメータで表現するとともに、そのパラメータを人為的に操作することによってその視覚パターンから多くの観察者が共通して感受する高次の印象を自在に変換するモデルについては、人間のコミュニケーションにおいて重要な働きをする媒体である「顔」という3次元物体の視覚像を対象にこれまでに多くの研究がなされてきた。

まず、2次元顔画像を形状と濃淡分布（以後、テクスチャとよぶ）を表す多次元の特徴ベクトルとに分離して表現し、多数の顔画像から得られた特徴ベクトルに主成分分析を行うことによって、対応する固有値の大きい順に選ばれた上位主成分をパラメータとして顔パターンの多様性を表すことができるモーフィングモデル^[1]が提唱された。さらに顔を3次元計測して得られた形状と表面テクスチャを表す特徴ベクトルにこの手法を適用することによって、顔のモーフィングモデルは3次元に拡張された^[2]。

また、様々な形をした3次元物体の例として車のボディ形状に注目し、幾つかの車種のボディ形状のCADデータに対して主成分分析を行い、少数のパラメータによってボディ形状の多様性を表現するGUI環境を構築する試み^[3]も報告されている。

筆者らのグループでは、このモーフィングモデルで定義された低次元のパラメータ空間において、2クラス間のパターン分類を定めるFisher線形判別法にもと

づいて印象変換ベクトルを定義し、2次元顔画像に対して、性差など相対する2つの属性に関する印象の間で変換する手法を提案した^[4]。さらにこれを顔の3次元モーフィングモデルに適用し、顔がもつ3次元的な特徴を操作することで、性差などの人物属性の印象を変換する試み^[5]を行うとともに、その発展形として任意の入力顔に対する印象変換の自動化を目指し、入力顔の3次元形状と3次元モーフィングモデルとの位置あわせによる対応付けをICPアルゴリズムを用いて自動化する試み^[6]も行っている。これと並行して、多数の観察者によって顔画像から感受される「品性」に代表される高次の視覚的印象をSD法を用いて主観評定した結果から、印象変換ベクトル法を顔パターンの高次印象の変換に適用する試み^[7]についても良好な結果が得られている。

これらの先行研究を踏まえて、本研究では、顔を対象にこれまで取り組んできた3次元モーフィングモデルを応用した印象変換の研究^{[5][6]}の延長として車のボディ形状という人工造形物に適用するだけでなく、先行研究^[7]で試みたように、多数の観察者の共通的感性としての視覚的な高次印象にもとづいて、3次元形状のデザインを行う手法に寄与することを目指す基礎検討を行うことにした。

3. 車体形状の3次元モーフィングモデル構築

3.1. 車体の3次元形状の測定

本研究で使用した3次元物体は様々な車種の1/24スケールのプラモデルである。この3次元形状の測定にはNEC製のレンジファインダDanae-Rを使用した。この装置を使用して3次元計測を行うことにより、およそ15万~30万点のサンプリングポイントについての測定点の3次元座標、表面の色情報からなる点群データとして出力される。得られたデータに対しリバースモデリングソフトであるRapidForm2006を使用し、これらを合成することによって当物体の3次元モデルの点群データを取得した。

3.2. 3次元形状のベクトル表現

レンジファインダで得られるサンプリング点は車体毎に点の数やその点の位置が異なるため、データに一貫性が無い。そのため、他の車体を測定した形状データと比較する事ができない。しかし、今後の演算処理のためには車体形状をベクトルによって表現しなければならない。そこで、再サンプリングという処理が必要になる。再サンプリング処理はデータの車体毎の点数、各点における意味を一致させる事を目的とする。これにより形状データを多次元ベクトルとして一貫性を保つ事ができ、異なる形状であっても互いに比較することが可能となる。また、それは得られた多次元ベクトルデータを多変量解析によって次元圧縮することが可能という事でもある。そこで本研究では以下の方法を使用した。

まず、再サンプリングの基準となる68個の特徴点をRapidForm上にて目視での取得を行う。この68個の特徴点は、想定される任意の車体の形状を近似する三角形の頂点となる。この作業によって図1に示すように任意の車体は105個の三角形によって近似することができた。次に、この三角形のエリアから一定数のサンプリング点を抽出する処理が必要となる。そこで、

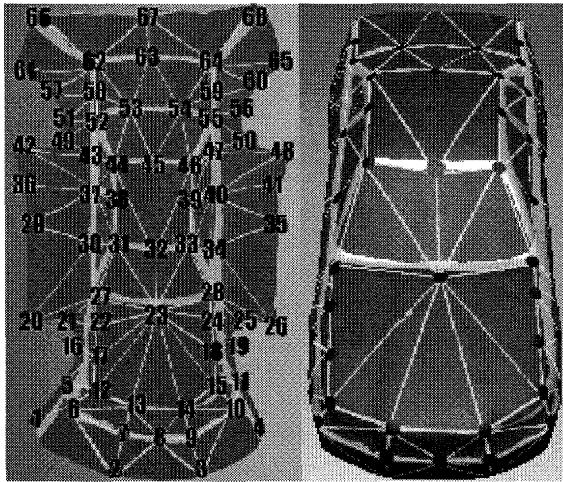


図 1. 三角形近似と特徴点番号

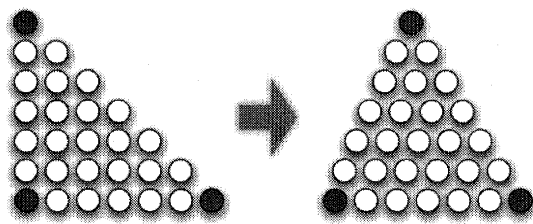


図 2. 変形前後の基準三角形点群

サンプリング点を三角形内に均一に得るために、点を取得する基準となる三角形点群を定めた。これを基準三角形点群と呼ぶ。この基準三角形点群を特徴点からなる三角形に合わせて変形させる事により、抽出する点の基準とした。変形前後の基準三角形点群を図 2 に示す。今回は基準三角形の一边の点数を 30 点としたため、各々の三角形内から取得するサンプリング点の数は 465 点となった。この手法により各車体のサンプリング点数は基準三角形点群の点数×三角形の個数である 48,825 点となり、また各サンプリング点の各車両間における意味づけも一致させる事ができた。こうして車体の形状、テクスチャは、サンプリング点の(x, y, z)座標, RGB 値をそれぞれ並べた多次元ベクトルで表される。

3.3. 主成分分析による 3 次元モーフィングモデル

$\mathbf{x}_m (m=1,2,\dots,M)$ は M 個の車体の形状ベクトル、又は、テクスチャベクトルを表すものとする。 $\mathbf{x}_m (m=1,2,\dots,M)$ を主成分分析することで正規直交基底 $\mathbf{U}_k (k=1,2,\dots,K)$ を求める事ができる。ここで $\mathbf{U}_k (k=1,2,\dots,K)$ は対応する固有値の大きさの順に並べている。この正規直交基底によって、各々の \mathbf{x}_m は各成分が(1)式で求まる k 次元ベクトル \mathbf{f}_m に次元圧縮される。 $\bar{\mathbf{x}}$ は $\mathbf{x}_m (m=1,2,\dots,M)$ の平均を示す。

$$\begin{aligned} \mathbf{f}_{m,k} &= \mathbf{U}_k^t \cdot (\mathbf{x}_m - \bar{\mathbf{x}}) \\ (k=1,2,\dots,K, K \leq M) \end{aligned} \quad (1)$$

逆にこの正規直交基底 $\mathbf{U}_k (k=1,2,\dots,K)$ を用いて(2)式のような線形結合を求め、このときの重み係数 $\hat{\mathbf{f}}_k (k=1,2,\dots,K)$ を任意に変化させることによって多様な車形状パターンを生成することができる。

$$\hat{\mathbf{x}} = \bar{\mathbf{x}} + \sum_{k=1}^K \hat{\mathbf{f}}_k \cdot \mathbf{U}_k \quad (2)$$

これを 3 次元モーフィングモデルと呼んでいる。

4. 視覚印象による車体形状デザイン実験

～ 一対比較法による“速さ”の印象の

定量化とその印象変換の試み ～ [9]

顔画像を対象としてその高次の印象を変換する方法を提案した先行研究^[7]では、まず既存の顔画像の個々のサンプルに対して SD 法による主観評定を行った。次にその印象評定データに因子分析を行うことによって、指定された印象次元における正負の印象の強度を定量化し、その大小により既存の顔画像の学習サンプルを 2 つのクラスに分けた。そして、これら 2 クラスのサンプル集合を分類する Fisher 線形判別法に基づいて、与えられた入力顔画像に対する印象変換の操作を定める印象変換ベクトルを求めていた。

しかしながら本研究では、車体形状の視覚印象を変換するデザイン法の予備実験として、一対比較法を用いた試みを行った。その理由の一つは、SD 法を用いた主観評定によって印象の定量化を行うには多数の被験者による主観評定データが必要であり、コストと時間がかかることである。また、もう一つの理由として、パラメータの次元数に比べて学習サンプル数が小さいため、Fisher 線形判別法における射影軸方向として定義される印象変換ベクトルを求めることはできないことがあげられる。

本研究では、実験対象とした 10 車種の車体形状サンプルについて、主成分分析により 9 次元に次元圧縮したパラメータから再合成された車体形状と、それらの平均車体形状について、RapidForm 上でポリゴンベースの 2 次元画像を作成した。その結果得られた計 11 枚の画像を対象に、指定された印象の次元における個々のパターンの視覚印象の強度を Thurston の一対比較法^[8]による主観評定実験によって求め、その大小によって車体形状サンプルから 2 つのグループを定めた。

一対比較法によって個々の車体形状サンプルの印象を定量化する実験は、車体形状が与える“速さ”の印象について行った。その際、PC ディスプレイは 24 インチディスプレイを縦に置き、画像の大きさは 7cm 程度の正方形、ディスプレイまでの距離は 70cm 程度で行った。その結果、各々の車体形状サンプルについて得られた“速さ”の印象についての尺度値は、図 3 の様になった。この図より、LEXUS と SKYLINE が“速い”印象を与えると判断され、bB・HIACE・SUBARU360・today は“遅い”印象を与えると判断された。そこで、“遅い”組に属する車体形状を表すパラメータを各々の“速さ”の印象尺度値で重み付け平均した“遅い”組の平均車体形状のパラメータ $\bar{\mathbf{f}}_1$ から、“速い”組に属する車体形状のパラメータを同じく印象尺度値で重み付け平均した“速い”組の平均車体形

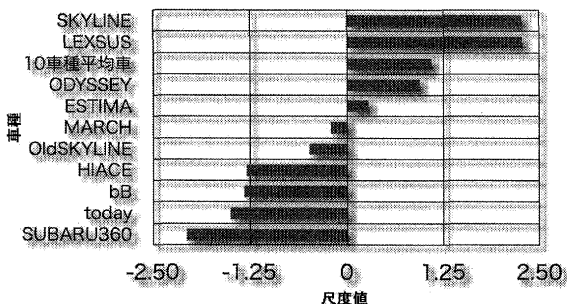


図 3. 一対比較法による車体サンプルの印象評定実験結果

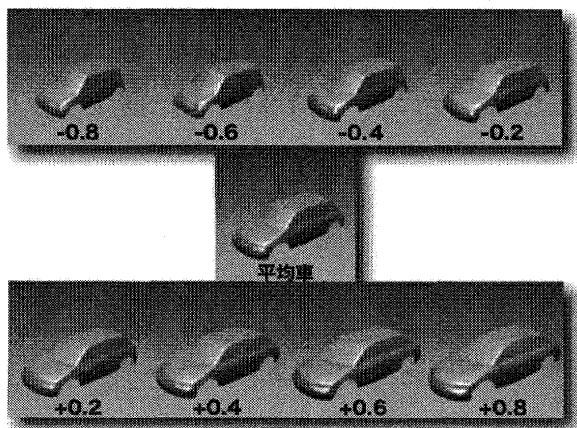


図 4. 車体の平均形状に対する印象操作の結果

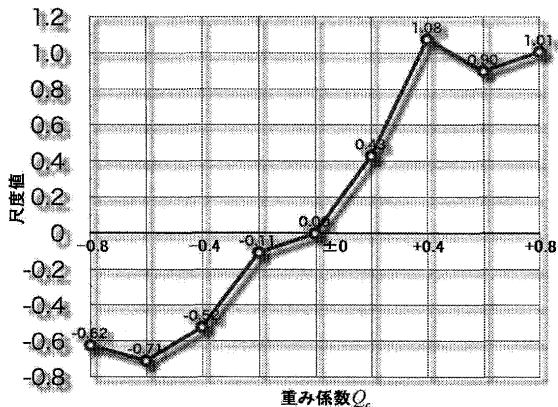


図 5. 平均車に対する一対比較法による合成車体形状の印象評定実験結果

状のパラメータ \bar{f}_2 へと向かう変位の方向を表す単位ベクトル e を、先行研究での印象変換ベクトルを近似するものと考えた。そして任意の車体形状に対する“速さ”についての視覚印象の操作に用いることができないかについて、その効果を確かめることにした。

そこで 10 車種から得られた平均車体形状を表すパラメータ \bar{f} に、“速さ”についての視覚印象操作のために求めた単位ベクトル e に(3)式に示すように重み係数 $-0.8 \leq Q_c \leq 0.8$ による重み付けを行って加算した。

$$\hat{f} = \bar{f} + Q_c \cdot e \quad (3)$$

そして、重み係数 Q_c の値を段階的にシフトさせて

求めたパラメータ \hat{f} から再合成した車体の画像を図 4 に示す。なお、図中の数字は Q_c の値を示す。

また、車体形状を表す低次のパラメータをこの単位ベクトル e の方向に変位させて得られる合成車体の画像に対して、パラメータ空間における変位の物理的な大きさと、その時に認知される印象変換の強度との関係を調べるため、先の実験と同条件で一対比較法による実験を行った。その結果を図 5 に示す。

図 5 より、平均車への重み係数 -0.6 から $+0.4$ までは概ね線形に評価が増していると読み取れる。それ以外の範囲である、 $-0.8, +0.6, +0.8$ では速さへの印象が飽和してしまったと考えられる。また実験後の聞き取り調査によると、 $+0.6, +0.8$ では形状としては速そうだと感じるが、大きさが大きくなってしまったため相対的に遅そうと感じるという意見が少なからず聞くことができた。これは大きなものほど動きが遅く感じるというブラウンの法則によるものではないかと考えられる。

5. 特異な形状のサンプルを反映した

モーフィングモデルの拡張

以上の検討では、モーフィングモデルの学習ならびに印象変換の対象はいずれもセダンに類する車体に限られていた。

ところが、屋根の無いオープンカーや車体形状の大きく異なるトラックのような得意な形状の車体に対して特徴点を取得しようとする、図 1 のように特徴点の位置が決められているため今までの方法を適用することは困難であり、3次元モーフィングモデルを作成することはできなかった。そこで、オープンカーやトラックなどの幅広い車種のボディ形状に対しても3次元モーフィングモデルを作成することが可能になるように3次元形状のベクトル化の方法を拡張する。

5.1. 提案手法

特異形状の物体をベクトル表現するために、以下に示す「特徴点決定ルールの柔軟化法」と「特徴点の追加法」を提案する。

本研究では各主成分をその固有値の大小にかかわらず一律に用いて変形を行った。これは先行研究^[7]において、顔画像に対してであるが、固有値の大きさが必ずしも人間の視覚印象に与える大きさと等しくならないとされているためである。

またその評価方法として、再サンプリングをした後の形状がどの程度再サンプリング前の形状を再現しているかを定量的に評価するためにエラー指数を定義した。

エラー指数とは、特徴点がつくる三角形領域内にある再サンプリング前後の点群データに対し、再サンプリング前の各点からの、再サンプリング後への点群内の最近傍点までのユークリッド距離の平均値とした。

この値が大きい場合は形状が十分に再現されておらず、小さい場合は良好に形状が再現されていることが示される。この値を使って再サンプリング前後の再現度合いを評価する。

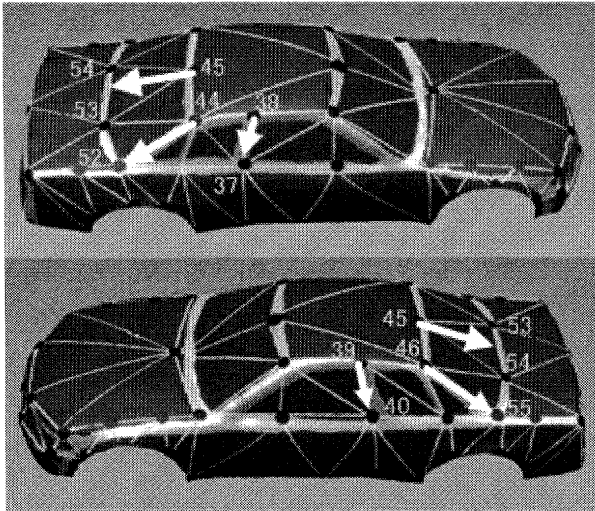


図 6. 柔軟化法による縮退の方法

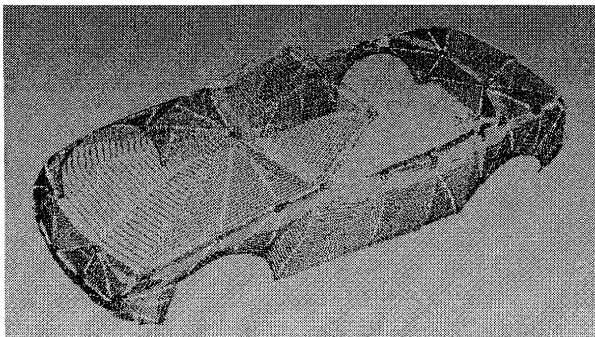


図 7. 柔軟化法による再サンプリング後画像

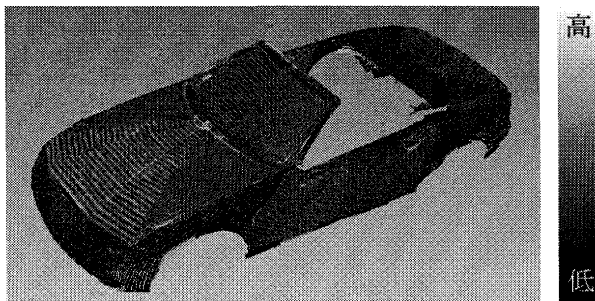


図 8. 柔軟化法のエラー指数画像

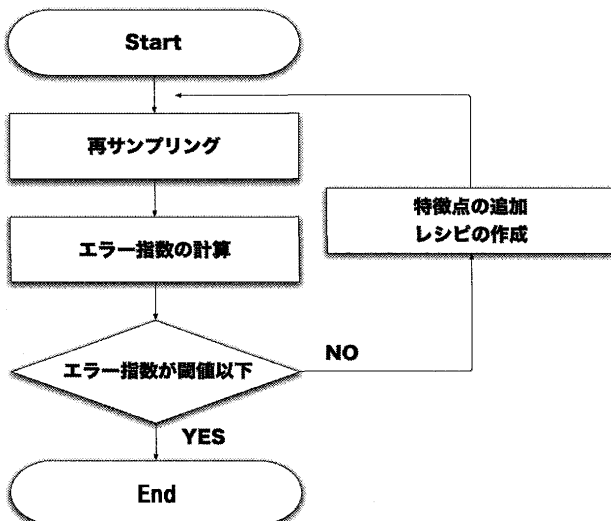


図 9. 特徴点の追加法のフローチャート

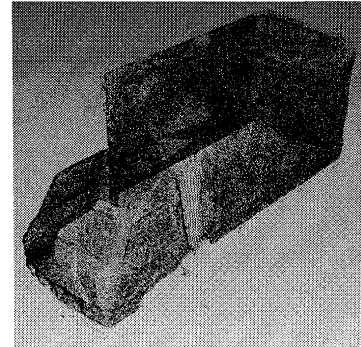


図 10. 特徴点の追加法による再サンプリング後画像

5.1.1. 特徴点決定ルールの柔軟化法

オープンカーの例のようにモーフィングモデルで想定している物体に共通して存在する特徴点の一部が存在しないような物体も同様に多次元ベクトルとして表現するために、特徴点の決定ルールを柔軟化させた。具体的には、オープンカーの天井部分をセダンに代表されるような車の天井が縮退していると考えた。図 6 に示すように、天井部分の特徴点を下に移動させることにより、縮退を表現している。

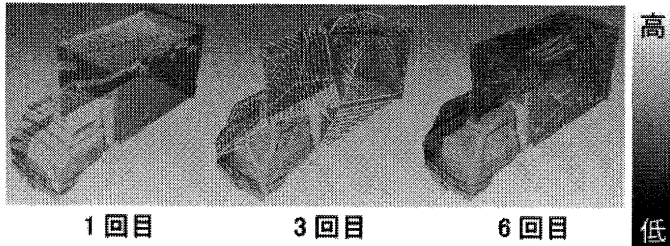
本手法で再サンプリングを行った結果を図 7 示す。また、この車のエラー指数を濃淡変化によって表した結果を図 8 に示す。この図のとおり、良好に形状が再現できていることが分かる。

本手法によって、既存の形状データに対して特徴点を追加することなく、新たな形状の物体をモーフィングモデルに取り込むことも可能になる。しかし、既存のモーフィングモデルで想定している特徴点の一部欠落によっては説明できないほど形状が大きく異なる物体に対しては、本手法ではエラー指数を低下させることが困難である。

5.1.2. 特徴点の追加法

トラックの例のように、モーフィングモデルで想定している物体を表現するために設けた特徴点では表現できないほどその形状が大きく異なる物体を表現するためには、新たな特徴点の追加が必要となる。特徴点追加の必要な場所を決定するためには評価基準が必要である。図 9 に示すように、再サンプリングを行った後、三角形ごとに求まるエラー指数が閾値以上になった場合には、その三角形内に特徴点を追加し、以後、エラー指数が閾値以下になるまでループを繰り返す。また、特徴点の追加にあたっては、既存の物体についても、新規に追加された特徴点に対応した特徴点を新たに追加設定できるようにしなければならない。そのためには、追加される特徴点はその座標を指定するのではなく、その特徴点が含まれる三角形の頂点を定める特徴点番号と、当該三角形内の位置を与える内分比を指定する。追加する特徴点を指定するのに役立つこれらの情報をレシピと名付ける。既存形状に新たに設ける特徴点は、レシピを参照することによって決定することができる。

具体例として本手法でトラックの再サンプリングを行った結果を図 10 に示す。また、この車のエラー指数を濃淡変化によって表した結果を図 11 に示す。この図のとおり、良好に形状が再現できていることが分かる。また、三角形の数とエラー指数の平均値の関係を図 12 に示す。



1回目 3回目 6回目

図 11. 繰り返しによるエラー指数変化

高
低

果に基づく計算によって決定する可能性を実験によって示した。また、特異形状の物体に対しても再サンプリングを行うことが可能となり、3次元モーフィングモデルを取得することができるようになった。

このようにして得られた3次元モーフィングモデルから生成されるパターンに対して、SD法による印象評定の結果に対して因子分析を適用し、当モデルによって操作される印象要因の分析を進めている。

7. 謝辞

本研究の一部には、科学研究費補助金（基盤研究(B) 18300076, 新学術領域型 20119005)の助成を得た。ここに記して謝意を表す。

文 献

- [1] T. Vetter and N. Troje. "A separated linear shape and texture space for modeling two-dimensional images of human faces," Max-Planck-Institute fur biologische Kybernetik, TR, No. 15, 1995.
- [2] V. Blanz and T. Vetter, "Face Recognition Based on Fitting a 3D Morphable Model," IEEE Trans. PAMI, vol. 25, no. 9, Sept. 2003
- [3] 早川達順, 関根佑介, 前島謙宣, 森島繁生, "標準モデルによる車体形状表現および車体形状合成 GUIの構築," Visual Computing グラフィクスと CAD 合同シンポジウム'07-51, pp.285-289, June 2007
- [4] 小林敏和, 大図正孝, 大竹俊輔, 赤松茂, "形状とテクスチャの特徴空間における線形判別関数を用いた顔イメージの生成-年齢・性差に関する印象変換の試み-, "日本顔学会誌, vol.4, no.1, pp.33-44, Sept. 2004
- [5] Y. Okada, M. Ohzu, T. Sakurai, M. Inaba, and S. Akamatsu, "Automatic Impression Transformation of Faces in 3D Shape -A Perceptual Comparison with Processing on 2D Images-, " Proc. of 7th IEEE Intl. Conf. on Automatic Face and Gesture Recognition, pp.535-540, April 2006
- [6] 岡田裕也, 竹下直樹, 秋田友洋, 赤松茂, "3次元顔モーフィングモデルの自動生成と顔の印象変換への応用," 日本顔学会誌, 第7巻, 第1号, pp.111-120, Sep. 2007
- [7] T. Sakurai, T. Akita, Y. Okada, H. Ishi, Y. Sakuta, J. Gyoba and S. Akamatsu, "Automatic Face Image Generation System for Higher-Order Impression Transformation," Proc. of IWAIT2007, pp.572-577, Jan. 2007
- [8] 心理学実験指導研究会編, 「実験とテスト=心理学の基礎」(解説編), 培風館 1985
- [9] 稲葉善典, 伊師華江, 行場次朗, 赤松茂, "3次元モーフィングモデルを用いた視覚的印象にもとづく3次元造形物デザインの試み," 信学技報 HIP2007-168, pp.53-59, March. 2008Z

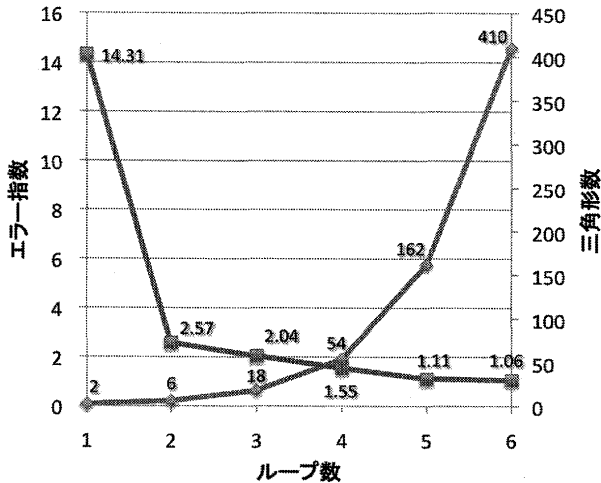


図 12. 特徴点数とエラー指数の移り変わり

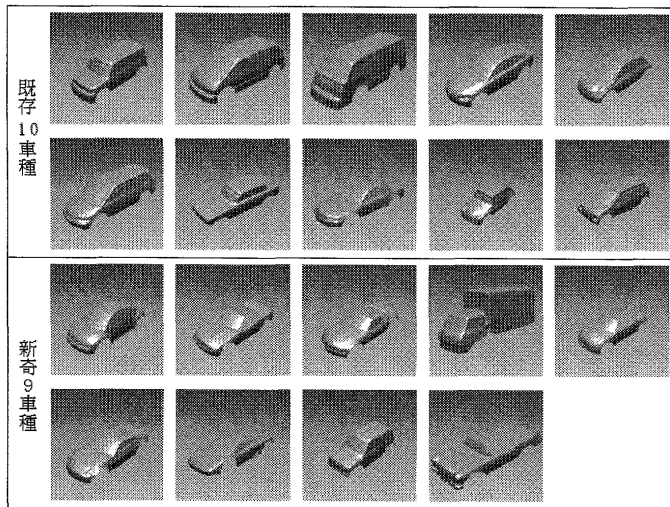


図 13. 新奇サンプルを加えて再構築された固有空間から可視化された19台のサンプル形状

5.2. 特異な形状の新奇サンプルを含む

固有空間の再構築

特徴点の柔軟化法と特徴点の追加法を用いることによって、特異な形状を持つ新奇サンプルを再サンプリングすることができた。これらの再サンプリング後のデータに主成分分析を適用することによって固有空間を再構築し、各々の車体形状を少数のパラメータで表すことができた。これらのパラメータから形状を復元して可視化したものを図13に示す。

6. むすび

本研究では、3次元物体における印象を変化させるパラメータ算出方法を、既存形状に対する印象評定結