

メッシュモデルの特徴領域抽出と貼り付け操作

Interactive Feature Extraction for Cut-and-Paste Editing

吉岡 康博[†], 古川 慈之^{††}, 正会員 増田 宏[†]Yasuhiro Yoshioka[†], Yoshiyuki Furukawa,^{††} and Hiroshi Masuda[†]

Abstract We propose modeling operations using a volume-based cut-and-paste method for generating rough 3D models. Cut-and-paste editing extracts a characteristic feature from a source model and copies it to a target model. To create such a cut-and-paste technique, we developed a new method that consists of mesh segmentation and volume fitting. In our method, a feature region and its surrounding area are separated from the user-specified area and are used for generating a parametric volume that involves the feature region. In feature pasting, parametric volumes are deformed and pasted to the target model, and then, features inside the volume are adaptively deformed and pasted to the target. Our experimental results show our operations can effectively generate new models by removing, pasting, and deforming partial shapes in existing models.

キーワード：メッシュ，モデリング，カット&ペースト，セグメンテーション，デフォメーション

1. ま え が き

これまで、3D モデルを作成するために、数多くのツールが開発されてきた。多くのシステムでは、区分的多項式曲面などの表現を用いて 3D モデルを作成している。しかし、これらのシステムを用いることで一から詳細な 3D モデルを作成することができるが、それには熟練したテクニックやノウハウ、そして労力が多分に必要とされる。そのため、今日のように非常に多くの 3D モデルが作成・蓄積される状況においては、既存の 3D モデルを改変して新たなモデルを効率的に作り出すことが有効である。そのような目的で近年、メッシュ編集技術が盛んに研究されるようになっていく。

代表的なメッシュ編集手法としては、位相変形を行わずに頂点座標を変更する操作であるデフォメーションと、特徴的な細部の形状を、切り出したり貼り付けたりするカット&ペースト編集が挙げられる。本研究では、これらを組合せたメッシュ編集手法を提案する。

カット&ペースト編集とは、対象とする部分形状（詳細形状）の切り取りや複製を行い、他の領域に貼り付ける操作のことである。近年では、カット&ペースト編集に関する

研究が多数行われるようになり、パラメトリック曲面、ポリゴンメッシュ、細分割曲面、点群モデルに対する手法が提案されてきた^{1)~6)}。しかし、このようなカット&ペースト手法においては、詳細形状を差分ベクトルとして記述することが多い。その場合、ねじれたり覆いかぶさるような形状を扱うことができず、また、自己交差の問題から、対象が薄い形状に限られる。Kanai ら⁴⁾は貼り付け元の形状と貼り付け先の形状をブレンドすることで、薄い形状以外を扱うことを可能としたが、平面と同相な形状しか扱えないという問題があった。

このような問題を解決する手法として、我々はボリウムを用いたカット&ペースト手法を提案している⁷⁾。この手法は、ターゲット形状に対してパラメトリックボリウムを貼り付けることによって、オーバハングのある形状でも貼り付け操作ができ、また、最適化計算により、自己交差を効率的に避けることを可能にしている。

ただし、この手法では、ソース形状から詳細形状を切り出すことが容易ではないという問題があった。詳細形状が微小であれば、メッシュの平滑化⁸⁾や簡略化⁹⁾によって詳細形状が除去できるため、平滑化された形状をベース形状とし、元のソース形状との差分を詳細形状とすることができた。しかし、詳細形状が微小でない場合に、これらの手法を用いると、ベース形状と詳細形状を明確に分離することができないという問題が生じる。そのため、インタラクティブにカット&ペーストを行うことが難しい。

これらの問題を解決するために、我々はメッシュモデルを対象とした、セグメンテーション手法を考える。メッシュモデリングの場合には、パッチや face といった明示的な分

2004 年 11 月 9 日受付, 2005 年 4 月 15 日再受付, 2005 年 6 月 15 日採録

[†] 東京大学 大学院工学系研究科

(〒 113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)

^{††} 産業技術総合研究所

(〒 305-8564 茨城県つくば市並木 1-2)

[†] School of Engineering, The University of Tokyo

(7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656)

^{††} National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

(1-2 Namiki, Tsukuba-shi, Ibaraki 305-8564)

割を持たないため、対象とする詳細形状、すなわち特徴領域の指定に工夫が必要である。

詳細なメッシュモデルから手作業で正確に境界付近のメッシュを指定することは非効率的であり、これまでも領域の自動抽出手法が研究されてきた^{10)~14)}。特徴的な領域を自動抽出する際の問題点は、抽出したい領域が対象や応用目的に依存するために、一意に領域を決めるのが難しいということである。これらの手法では、既定のテンプレートと一致するものに対象が制限されたり、形状の意味と無関係に領域を抽出するために、利用者の意図に沿った形状が抽出できるとは限らないという問題があった。また実用上も、結果がノイズや模様などの凹凸に影響されたり、モデルのサイズが大きくなると、実行時間がかかりすぎるといった問題がある。

カット&ペーストのために、切り出される特徴領域は人の認識に基づいて恣意的に決定されるため、その境界は必ずしも一定の幾何学的性質に基づいた、セグメンテーションによって決定されとは限らない。Katz ら¹⁴⁾ はモデル全体をおおまかにセグメンテーションし、境界付近を大域的に再分割することで、ノイズや模様などの凹凸からの影響の少ない境界を得たが、最初のおおまかなセグメンテーションの実行に時間がかかる上、得られた結果は必ずしも直感的ではない。

そこで本研究では、ユーザが特徴領域の境界付近をラフに教示し、そのストロークから自動的に境界を決定するインタラクティブなセグメンテーション手法を用いる。

本論文では以下の手法を提案する。

- (1) 直感や使用目的に応じて恣意的に決定される境界を、ユーザの教示に基づきインタラクティブに抽出する手法を提案する。
- (2) ボリウムフィッティングを用いることで、オーバーハングのある形状をインタラクティブにカット&ペーストする手法を提案する。

2. 手 法 の 概 要

本手法は、対象領域のセグメンテーション、B-spline 曲面およびボリウムのフィッティング、カット操作とペースト操作によって構成される。

図 1 に処理の流れを示す。まず、特徴領域を抽出する処理を行う (a)。ユーザがマウス等を用いて、大まかに特徴領域を指定すると、セグメンテーションアルゴリズムによって、特徴領域と周辺領域の境界を抽出する。この仕組みを用いることによって、メッシュモデルの欠点であった領域指定の困難さを補うこととする。次に、周辺領域に対して B-spline 曲面当てはめを行い、ベース曲面を生成する (b)。特徴領域はベース曲面の上に定義されているものと考え、カット操作では、分離された特徴領域をベース曲面で置き換えることで実現される (c)。また、特徴領域を別のモデル上に転写するペースト操作においては、パラメトリック

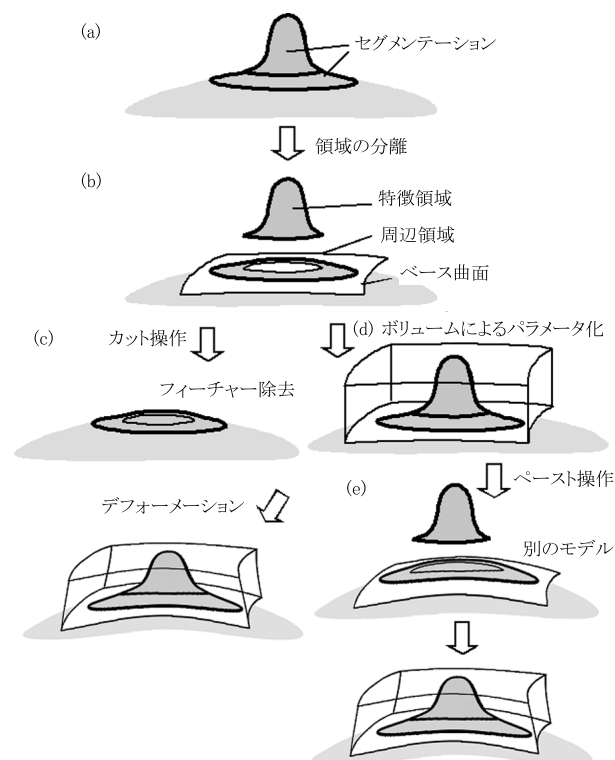


図 1 処理手順
Modeling process.

ボリウムに基づくデフォメーション法を導入する。まず、ベース曲面を底面とする B-spline ボリウムを生成する。なお、特徴領域がベース曲面の両側に存在するときには、ボリウムも両側に生成される (d)。B-spline ボリウム $V(u, v, w)$ は R^3 から R^3 への写像であるので、特徴領域の形状は、このボリウムの制御格子の制御によって変形させることができる。また、ボリウム内の形状をパラメータ空間で正規化することで、別のモデルや同一モデル内の別の位置に貼り付けを行うことができる (e)。ボリウムの変形を自動化するために、貼り付けの際には最適化計算によって、ボリウムの底面が貼り付け領域に一致し、かつ全体が滑らかに変化するような制約付の最適化計算を施す。得られたボリウムに合わせて特徴領域の変換写像 $V(u, v, w)$ が変化するので、貼り付け先のモデルに自然な形で特徴領域を転写することができる。

3. 曲面・ボリウムフィッティング

あるモデルに対して、カット&ペースト操作を行う際、特徴領域を滑らかにフィッティングするためには、その対象となる詳細形状がどのような周辺領域上に形成されていたかという幾何学的情報を保存する必要がある。そのため我々は、この幾何学的情報を保存するベース曲面を生成し、詳細形状と共に用いる。

ベース曲面を生成するためには、先の幾何学的情報を表現する充分な数の点群をメッシュモデルから指定する必要がある。ここでは、必要な点群を得るためにセグメンテ

ションを利用する．

3.1 曲面フィッティング

まず，ユーザが選択したラフな領域から，後述のセグメンテーションによって，特徴領域と周辺領域の境界を算出する．ここでは，周辺部分の頂点群 $\{Q_t\}(t=0, \dots, s-1)$ を用いて曲面当てはめを行い，ベース曲面 $S(u, v)$ を生成する．この問題は，下記の式を最小化するような最適化問題として解くことができる． β は定数である．

$$\sum_{t=0}^{s-1} |Q_t - S(u_t, v_t)|^2 + \beta \iint (|S_{uu}|^2 + 2|S_{uv}|^2 + |S_{vv}|^2) dudv \quad (1)$$

この定式化では，各頂点のパラメータ (u_t, v_t) を与える必要があるが，この推定は一般には難しい問題である．そこで，我々は，Weiss らの提案した B-spline 曲面の制御点計算と，パラメータ修正を交互に行う方法を用いる¹⁵⁾．この方法では，点群を近似平面上に投影して初期パラメータを計算し，式 (1) を最小化する曲面 $S(u, v)$ を計算する．次に，式 (2) を用いてパラメータ修正を行う．すなわち，頂点 (u_t, v_t) に最も近い面上の点を計算し，その点のパラメータ $(\hat{u}_t, \hat{v}_t)$ を新たなパラメータとして用いる．

$$\begin{cases} S_u \cdot (S(\hat{u}_t, \hat{v}_t) - Q_t) = 0 \\ S_v \cdot (S(\hat{u}_t, \hat{v}_t) - Q_t) = 0 \end{cases} \quad (2)$$

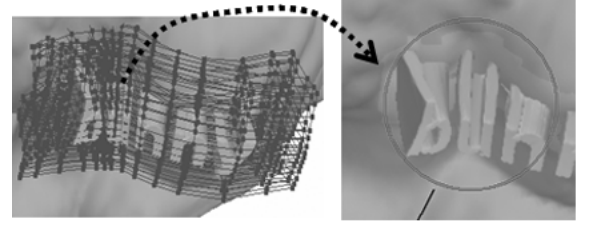
得られたパラメータを用いて，再度曲面当てはめを行う．また，曲率の高い部分に対しては，そもそも自由度が不足しており，十分な精度での当てはめはできないため，誤差が局所的に大きくなる．そのような箇所では自動的にノット挿入を行い，自由度を適応的に向上させることで対応する．これらの処理を繰り返して当てはめ精度を向上させる．

3.2 ポリウムフィッティング

次に，我々はこの手法をポリウムに拡張し，算出されたベース曲面を等パラメータ面とする B-spline ポリウム $V(u, v, w)$ を算出する．この場合においても，元の特徴領域とのずれができるだけ小さくなり，かつ，滑らかになるようなポリウムを最適化処理によって算出する．この方法の利点は，図 2 に示すように，曲率が大きい個所に特徴領域のペーストを行った場合でも，形状の折れ曲がりに対してはペナルティが科されるため，自己干渉を生じない滑らかな写像 V が生成できることである．

初期ポリウムは，抽出したフィーチャが内部に含まれるように決める．ベース曲面が $V(u, v, 0)$ と一致し，かつ交差が起こらない最適化として，式 (3)(4) を最小化するように最適化計算を行う．

$$\sum_{t=0}^{v-1} |Q_t - V(u_t, v_t, w_t)|^2 + \beta \iiint (|V_{uu}|^2 + |V_{vv}|^2 + |V_{ww}|^2 + 2(|V_{uv}|^2 + |V_{vw}|^2 + |V_{wu}|^2)) dudvdw \quad (3)$$



B スプラインポリウム

自己干渉の回避

図 2 自己干渉の抑制
Prevention of self intersections.

$$V(u, v, 0) = S(u, v) \quad (4)$$

また，曲面当てはめの場合と同様に，式 (5) を用いてパラメータ修正を行う．

$$\begin{cases} V_u \cdot (V(\hat{u}_t, \hat{v}_t, \hat{w}_t) - Q_t) = 0 \\ V_v \cdot (V(\hat{u}_t, \hat{v}_t, \hat{w}_t) - Q_t) = 0 \\ V_w \cdot (V(\hat{u}_t, \hat{v}_t, \hat{w}_t) - Q_t) = 0 \end{cases} \quad (5)$$

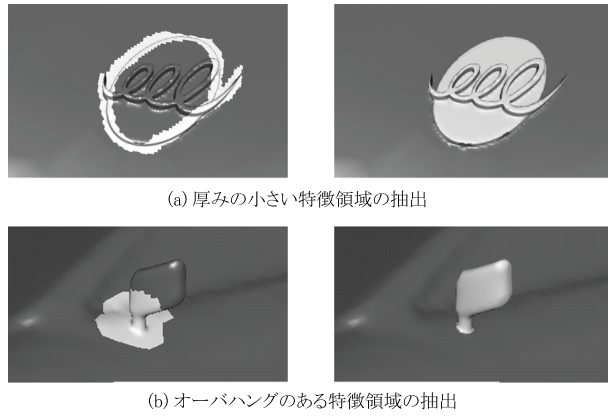
次に，生成されたポリウム内の各頂点を，パラメータ (u, v, w) ($0 \leq u, v, w \leq 1$) と対応付けて，詳細形状の座標の正規化を行う．再利用のためのデータとしては，正規化された座標と制御格子の縦横高さの比を保持しておく．

3.3 セグメンテーション

高精度の曲面フィッティングを行うためには，フィッティングの対象となる周辺領域と特徴領域を適切に分離する必要がある．これまでにもセグメンテーション手法が研究されてきたが，カット&ペースト操作に用いる場合，特徴領域と周辺領域の境界は目的に応じて決定されるため，自動分割は適さない．そのため本研究では，その時々目的に従ってユーザが描いたストロークを基に境界の決定を行う．すなわち，ユーザのストロークによって得られた領域から，境界のループを抽出する問題へと帰着させる．

この際，必要とされる条件は，ユーザのストロークにより得られる領域が，特徴領域の境界を包含していることのみとした．そのため，ユーザは次の 2 種類のストロークを使い分けるだけでよい．図 3(a) のような薄い領域の場合，境界をなぞり表向きの面を選択することで容易に指定ができる．一方，図 3(b) のようなオーバハングのある構造を持つ場合は，(a) のように 1 視点方向から境界を見渡せないが，このような場合も視点を変更する必要はなく，そこに含まれる表向きの面と裏向きの面を共に選択するだけでよい．この際，モデルの反対側も選択してしまうが，これは後のステップにより自動的に除去される．これにより (a)(b) どちらのタイプのストロークを行っても，次の処理に必要な領域が選択される．

次にユーザが特徴領域の境界付近をラフに指定したストロークから，自動的に境界の決定を行うことを考える．一般的に考えられる局所探索では平坦な部分での境界の同定が難しく，また，ノイズのために正しい境界を得られない，ジグザグな境界ができやすいという問題が生じる．特に点



(a) 厚みの小さい特徴領域の抽出

(b) オーバーハングのある特徴領域の抽出

図 3 ユーザのストロークと適用結果
User's stroke and the result of segmentation.

群計測によって作成された場合にはこの問題が顕著である。

そこで、我々は、局所的な探索手法は取らず、全体の最適化によって分割領域を決める方法を採用する。そのための手法がいくつか提案されているが^{10)~14)}、本研究に適した手法として、Katz らの提案したネットワークの流量モデルに基づく分割法¹⁴⁾を用いることとした。

Katz らの手法では前処理の段階で、モデルの中のすべてのメッシュ同士の重み付き距離を算出しているため、計算コストが高く、大規模なモデルを扱うことに向いていない。また、必ずしも直観や使用目的に合った境界が得られるとは限らないという問題がある。そこで、ユーザ自身が境界の候補となる領域を教示し、探索空間を制限することを考える。マウスによるストロークで指定した後、その領域から境界の決定アルゴリズムを利用し、指定された範囲内での最適解を求める。

この際、ユーザの教示するストロークの必要条件は、特徴領域の境界候補となるエッジをすべて包含すること、および、選択した領域によって特徴領域とそれ以外の領域が非連結になることである。指定領域の冗長性、および非連結性は、他の特徴領域の境界を含まない限りにおいて、構成される双対グラフの最小カットには影響を与えないため、問題とはならない。

境界の決定方法は次の通りである。図 4 のように、面をノード、エッジをパスとするメッシュモデルの双対グラフを作成する。この図では、元のメッシュモデルのエッジを破線、その双対グラフを実線で示している。次に、各パス (i, j) に対して、面間の角度に応じた流量 $C(i, j)$ を後で示すように設定する。

その上で、図のように、ソース S とシンク T を設定し、ソースからシンクに至る流量が最大になるような流れを設定する。このとき、ノードを二つの集合 V と $\bar{V}$ に分割し、 V と $\bar{V}$ にまたがるパスの集合を $E(V)$ とする。このとき、 E の流量の総和が最小となるような分割を最大流最小カットと呼ぶ。このエッジを領域の境界とするものとする。本問題の場合には、面間の傾きが大きい箇所をなぞるような

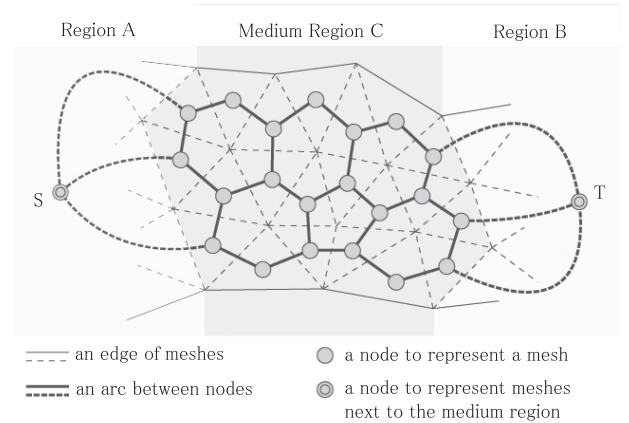


図 4 双対グラフ
Dual graph.

境界が生成される。パスの流量は以下の式で決める。ここで α_{ij} は隣り合う三角形 i と j のなす角度を示す。 η は定数で、我々の実装では多くの場合において、凸領域では 0.1、凹領域では 1.0 とした。

$$Ang_Dist(\alpha_{ij}) = \eta(1 - \cos \alpha_{ij}) \quad (6)$$

$$Cap(i, j) = \begin{cases} \frac{1}{1 + \frac{Ang_Dist(\alpha_{ij})}{avg(Ang_Dist)}} & i, j \neq S, T \\ \infty & \text{else} \end{cases} \quad (7)$$

4. カット操作とペースト操作

セグメンテーション操作で抽出された特徴領域を除去することによって、カット操作が実現できる。それにより、メッシュに穴が空くが、この穴をベース表面上の点を用いてリメッシュすることで、滑らかな曲面に置き換える。

ペースト操作においては、まず、貼り付けるべきターゲット領域と貼り付ける向きを指定する。次に、ターゲット領域の点群を用いて、B-spline 曲面当てはめを行い、その上にもボリュームを生成する。登録フィーチャはこのボリュームのパラメータ値に対応するように座標変換される。

また、必要に応じて、制約条件の追加や制御点の移動によって、ペーストされたフィーチャの調整を行うことができる。ある頂点 $P_i(u_i, v_i, w_i)$ が指定された頂点 P_c となるような制約条件は、 $V(u_i, v_i, w_i) = P_c$ と書けるので、その条件を最適化の式に追加して、ボリュームの再計算を行えばよい。

5. 結果

本研究の手法によるメッシュモデル編集の結果を以下に示す。ここでは、CPU:Pentium4 2.8GHz、メモリー:2GB の計算機を用いた。

このセグメンテーション方法では、必ず二つの領域に分割されるので、カット&ペースト操作と相性がよい。また、我々が評価した結果では、ノイズを含んだモデルでも安定した解が算出でき、平坦な部分でも境界として検出できるので、ラフな指定から正確な境界の抽出を必要とする本研

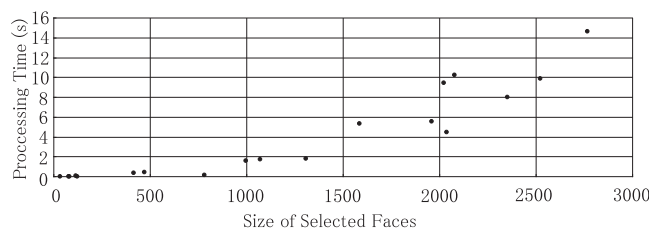


図 5 選択された面数とセグメンテーションの計算時間
Relation between the number of selected faces and processing time.

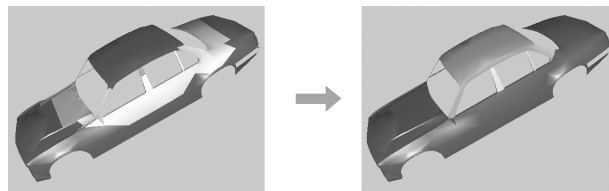


図 6 穴のある面における境界の検出
(左:選択された領域, 右:抽出された境界.)

Extraction of the border of a surface with cavities.
(Left:Selected area. Right:Extracted borders.)

表 1 $\theta = 45$ における精度
Precision of the segmentation where $\theta = 45$.

p	10	20	30	40	50	60
精度 (%)	100	95	95	70	65	40

究の目的に適していると考えられる。

5.1 セグメンテーション

図 5 に選択された面数と計算時間の関係を示す。ユーザのストロークによって選択される領域は限られるため、大規模、もしくは詳細なモデルであっても適用可能である。また、対象となる境界が図 3 のように隠れている場合や、図 6 のように穴のある場合においても、ほとんどの場合において、ユーザの操作は 1 回のストロークで充分であった。

次に、図 7 のような折れ角 θ 度の平面形状に対して、メッシュの頂点間隔の $p\%$ を最大誤差とするホワイトノイズを法線方向に加え、セグメンテーションを適用した。図 7(a)(b) はノイズのない場合における選択領域と抽出結果である。図 7(c) のように $p = 40$ 程度の大きな誤差を含む形状に対しても、また、図 7(d) のように $\theta = 10$ 程度のかなり平面に近い形状に対しても、境界を検出できることがわかる。また、図 8 に示すように、実際のモデルに対してノイズを付加した場合でも高い精度で境界が判定可能である。

5.2 曲面・ボリュームフィッティングとカット&ペースト

図 9(a) はベース曲面を作成して、特徴領域を除去した例である。この特徴領域は、ボリュームフィッティングに

表 2 $p = 10$ における精度
Precision of the segmentation where $p = 10$.

θ	5	10	15	20	25	30
精度 (%)	0	70	85	90	95	100

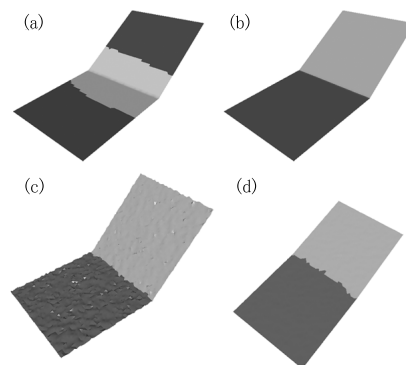


図 7 板を折り曲げた形状
Models of bended plates.

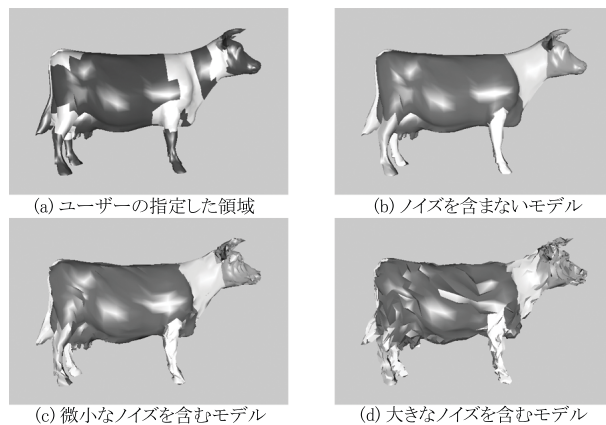


図 8 ノイズを付加したモデルに対する適用結果
Segmentation of models with noise perturbation.

よって正規化され、別のモデルへの貼り付けに利用される。図 9(b) は、(a) のモデルの特徴領域を別のモデルにペーストした例を示している。その際、貼り付け領域に対して曲面フィッティングを行い、その曲面に合うようにボリュームを生成する。特徴領域はそのボリューム内に生成される。

図 10 は、カット操作とペースト操作を同時に適用した例である。これらの操作は同一のボリュームフィッティングによって実現できる。

図 9 の例においては、カット操作・ペースト操作ともに許容誤差 0.5% で 4 秒程度を要し、図 10 の例においては、許容誤差 0.25% で 1 秒程度を要した。ここでの許容誤差とは「データ点と曲面の投影距離の、選択領域を代表する長さに対する割合」であり、「選択領域を代表する長さ」とは、対象とするデータ点のバウンディングボックスの最長辺の長さを指す。ここで図 9 と 図 10 で許容誤差が異なるのは対象とする領域の滑らかさが異なるためである。

6. 結 論

本研究では、既存のメッシュモデルを編集して新しいモ

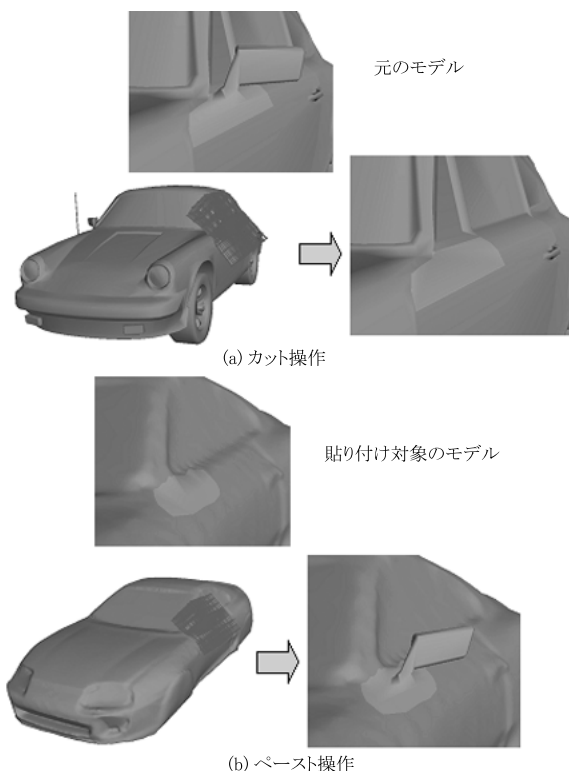


図 9 カット操作とペースト操作
Examples of cut and paste operations.

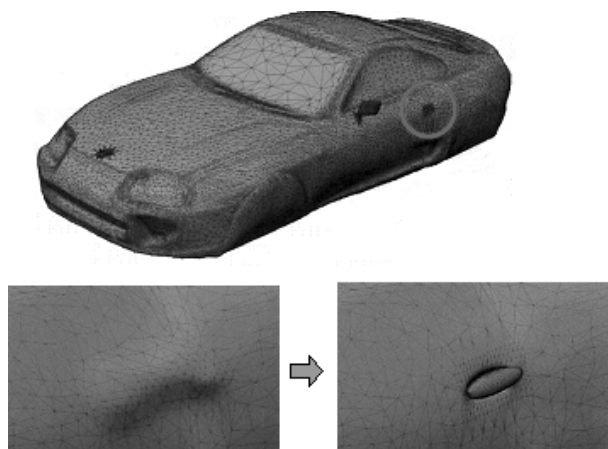


図 10 カット操作とペースト操作の組合せ
Combination of cut and paste operations.

モデルを作成する方法を示した。本研究では、メッシュモデルから、特徴領域を容易に抽出するセグメンテーション操作を示し、それに基づいて、カット操作とペースト操作をインタラクティブに実現する方法を示した。従来、メッシュモデリングの柔軟性については知られていたが、反面、特徴領域の抽出が困難であるという問題があった。ここでは、セグメンテーション法を利用することでこの問題を解決し、容易な特徴領域指定を可能にした。また、形状変形操作については、その実装を行い、評価実験を行った。その結果、特徴領域の抽出、除去、ペースト、変形が容易にかつインタラクティブに行えることを確認した。

今後、本手法を発展させ、直観的なデフォメーションを

含めて、リアルタイムモデリングに適用する可能性を検討していく予定である。

〔文 献〕

- 1) C. Barghiel, R. Bartels, and D. Forsey : " Pasting spline surfaces, " Mathematical Methods for Curves and Surfaces, pp.31-40 (1994).
- 2) L. K. Y. Chan, S. Mann, and R. Bartels : " World Space Surface Pasting, " Proceedings of the conference on Graphics Interface, pp. 146-154 (May 1997).
- 3) B. Conrad, and S. Mann : " Better Pasting via Quasi-Interpolation, " Curve and Surface Design, Vanderbilt University Press, pp. 27-36 (1999).
- 4) T. Kanai, H. Suzuki, J. Mitani and F. Kimura : " Interactive mesh fusion based on local 3D metamorphosis, " Graphics Interface 99, pp. 148-156.
- 5) H. Biermann, I. Martin, F. Bernardini and D. Zorin : " Cut-and-paste editing of multiresolution surfaces, " ACM Trans. on Graphics, 21(3), pp. 312-321 (2002).
- 6) 伊達宏明, 金井理, 岸浪建史 : " パラメタライゼーションを用いた表面詳細合成形状の三角形メッシュモデリング ", 精工学誌, 69, 4, pp.581-585 (2003).
- 7) 古川慈之, 増田宏, 三浦憲二郎, 大和裕幸 : "制約付き B-spline ボリウムフィッティングによる 3 角形メッシュ形状のカット&ペースト編集," Visual Computing/グラフィクスと CAD シンポジウム, (2003)
- 8) G. Taubin, "A Signal Processing Approach to Fair Surface Design," Computer Graphics, 29, pp. 351-358, (1995).
- 9) P. S. Heckbert, and M. Garland, "Optimal triangulation and quadric-based surface simplification," Computational Geometry, 14, pp. 49-65 (1999).
- 10) B. Chazelle, D. P. Dobkin, N. Shouraboura and A. Tal : " Strategies for polyhedral surface decomposition: An experimental study, " Symposium on Computational Geometry, pp. 297-305 (1995).
- 11) A. P. Mangan and R. T. Whitaker : " Partitioning 3D surface meshes using watershed segmentation, " IEEE Trans. on Visualization and Computer Graphics, 5(4), pp. 308-321 (1999).
- 12) X. Li, T. W. Toon and Z. Huang : "Decomposing polygon meshes for interactive applications," Symposium on Interactive 3D Graphics, pp. 35-42 (2001).
- 13) S. Shlafman, A. Tal and S. Katz : "Metamorphosis of polyhedral surfaces using decomposition , " Eurographics, pp. 219-228 (2002).
- 14) S. Katz and A. Tal : " Hierarchical mesh decomposition using fuzzy clustering and cuts, " ACM Trans. on Graphics, 22(3), pp. 954-961 (2003).
- 15) V. Weiss, L. Andor, G. Renner and T. Varady : " Advanced surface fitting techniques, " Computer Aided Geometric Design, 19, pp. 19-42 (2002).

よしおか やすひろ
吉岡 康博 2004 年、東京大学工学部システム創成学科知能社会システムコース卒業。現在、同大学院工学系研究科環境海洋工学専攻修士課程において三次元形状処理、CG、設計支援システムに関する研究に従事。



ふるかわ よしゆき
古川 慈之 1998 年、東京大学工学部船舶海洋工学科卒業。2003 年、同大学院工学系研究科環境海洋工学専攻博士課程修了。同年（独）産業技術総合研究所ものづくり先端技術研究センターに入所、現在に至る。三次元形状処理、設計・製造支援アプリケーション用ソフトウェアプラットフォームに関する研究に従事。博士（工学）。



ますだ ひろし
増田 宏 1985 年、東京大学工学部精密機械工学科卒業。1987 年、同大学院工学系研究科修士課程修了。同年日本アイ・ビー・エム（株）入社、東京基礎研究所に勤務。1998 年、東京大学に移り、人工物工学研究センター助教授を経て、2003 年より東京大学大学院工学系研究科環境海洋工学専攻助教授。三次元形状処理、CG、設計支援システムに関する研究に従事。工学博士。正会員。

