

J-30

# 変位関数曲面による細分割曲面変形の一手法

A Modification Method for Subdivision Surfaces with Displacement Function Surface

林 孝彰 †      二上 範之††      藤井 進†††      小堀 研一†  
 Takaaki Hayashi      Noriyuki Futagami      Susumu Fujii      Ken-ichi Kobori

## 1. はじめに

インターネット時代の到来により企業と消費者が情報を交換する環境が整い、消費者が直接に商品開発に参画可能となってきている。既に、家電・自動車メーカー等ではインターネットで消費者からアイデアやデザインを募集し商品開発を実施している。そこで、一般消費者が3次元形状を簡単に生成/変形できるモデリング技術の研究が重要となる。本稿では通常、2次元平面に使われる変位関数曲面<sup>[1]</sup>を細分割曲面に適用し、一般消費者でも3次元形状を簡単に変形できる手法を提案する。さらに、より滑らかな変形を可能とするため Adaptive Remeshing Technique を導入した。また、実製品に適用して本手法の有効性・対話性を示す。

## 2. 曲面変形方法

### 2.1 変位関数曲面

変位関数曲面は、NURBS(Non Uniform Rational B-Spline)等に代表される自由曲面局所変形手法の一手法である。変位関数曲面では、対象となる3次元空間に存在する曲面を基準曲面として定義し、基準曲面にスカラー値関数を足し合わせる事で曲面を作成する。スカラー値は、ユーザが定義するサンプリング点における分散度マトリクスを求め、その逆行列を計算し定める。基準曲面は、2次元平面パラメータ  $u, v$  で表現可能な曲面であればどのような形式でも利用可能である。例えば、Bézier 曲面、NURBS 曲面等も利用が可能である。変位関数曲面  $P_{DFS}$  は、式(1)で表すことができる。Pは基準曲面、nは単位法線ベクトル、rは  $uv$  平面で求めたオフセット量を表している。変位関数曲面は、ユーザが指定した  $n$  個のサンプリング点を必ず通過し、滑らかな曲面を生成可能な方法であるため、直観的にユーザが望む曲面を簡単に生成できるという利点がある。変位関数曲面の一例を図1に示す。

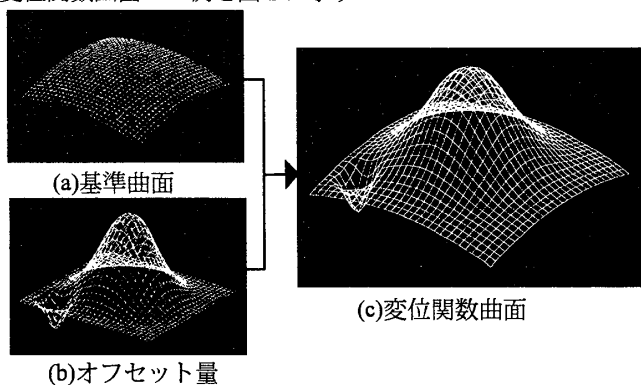


図1 変位関数曲面

† 大阪工業大学 情報科学部 情報科学研究科  
 †† シャープ株式会社 生産技術開発推進本部  
 ††† 神戸大学 工学部 情報知能工学科

$$P(u, v) = [x(u, v), y(u, v), z(u, v)]$$

$$(0 \leq u \leq 1, 0 \leq v \leq 1) \quad (1)$$

$$P_{DFS} = P(u, v) + r(u, v) \cdot n(u, v)$$

### 2.2 細分割曲面への適用

本稿では、インターネットでの利用を目的としているため、データ量が軽く、大域的な変形作業が容易である細分割曲面を基準曲面として導入する。細分割曲面を用いることにより、一般消費者はネットワーク上で粗い分割の少量データを取得し、必要に応じて細分割を行い目的の解像度を得ることが可能となる利点がある。細分割曲面は、Loopの手法<sup>[2]</sup>を用いた。

しかし、変位関数曲面を細分割曲面に用いるには、細分割曲面上で局所フレーム(形状変形領域)を指定し、その領域を2次元単位  $uv$  平面と対応付けする必要がある。そこで我々は、Eckらが開発した Harmonic Map<sup>[3]</sup>を用いてその問題を解決した。Harmonic Mapを用いることにより、細分割曲面上の任意の領域に変位関数曲面を指定することが可能となる。また、適用範囲を広げるために Harmonic Mapに拡張を行い、穴を含む領域も指定ができるようにした。Harmonic Mapは、細分割曲面上の局所フレームを構成する稜線をバネとみなし、バネエネルギーが最小になるように Mapping する処理である。図2に球面上の白い部分の曲面を2次元単位平面に写像した様子を示す。

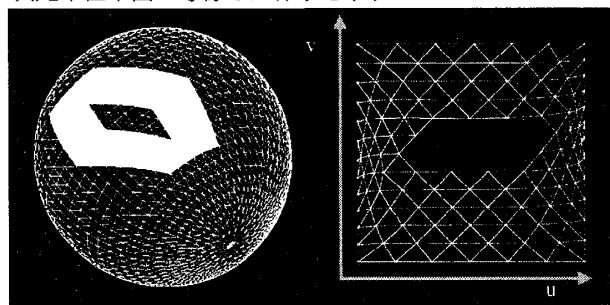
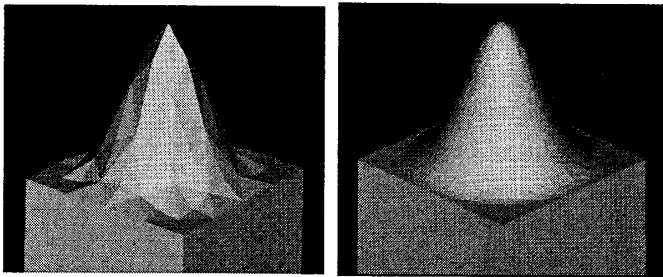


図2 Harmonic Map

### 2.3 Adaptive Remeshing Technique の適用

変位関数曲面を用いて形状を変形する際、電気製品に多用される曲面を生成するためには、変形領域に含まれるメッシュ数が700前後必要であることが予備実験により解っている。細分割曲面を局所的に変形する際に、変形部分において滑らかな曲面を生成するには必要なメッシュ数を得られない場合がある。そこで、鈴木らが開発した Adaptive Remeshing Technique<sup>[4]</sup>を用いて、変形領域を対話的にリメッシュし、部分的にメッシュの解像度を上げることで変形領域のメッシュ数が少ない場合でも滑らかな変形処理を実現する。図3に Adaptive Remeshing Technique を適用した例を示す。



(a)変位関数曲面のみ (b)本手法  
図3 Adaptive Remeshing Technique の適用例

3. 実験・考察

提案手法における対話性を検証するために変位関数曲面の計算時間、細分割曲面を2次元単位 uv 平面に対応付ける処理時間の計測を行った。実験は、CPU: Pentium IV 1.7GHz, OS: Windows2000 を用いて行った。図4に変位関数曲面計算時間、図5に Harmonic Map 処理時間を示す。図5のメッシュ数は、細分割曲面の変形領域に含まれるメッシュ数である。予備実験により、電気製品等の定義に用いるには、サンプリング点は50点あれば十分であり、変形領域に含まれるメッシュ数が700前後あれば十分に滑らかな変形が可能であるという結果が出ている。以上のことから、図4、図5より十分対話性が実現されていることが明らかである。

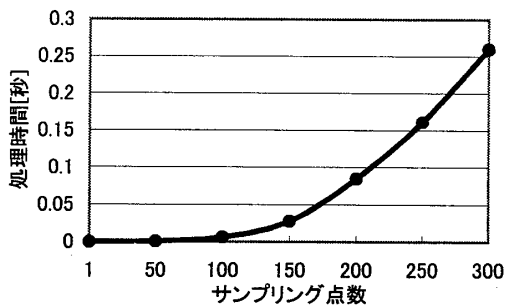


図4 変位関数曲面計算時間

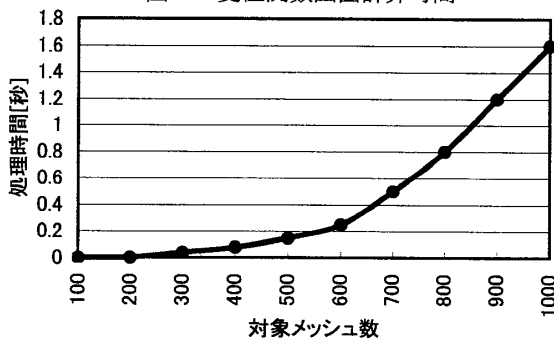


図5 Harmonic Map 処理時間

細分割曲面のみを用いて形状を作成する方法と本手法との比較を行うために、図6に示す実製品を作成する際の処理回数を計測した。形状生成手順は、以下の通りである。

- a) 細分割のみの形状生成手順
  - 1) 形状を定義するための初期メッシュに細分割処理を行う。
  - 2) 結果の細分割曲面が目的の形状なら終了。そうでなければ1)に戻る。

- b) 本手法の形状生成手順
  - 1) 修正領域を選択する。
  - 2) 各サンプリング点にそれぞれのオフセット量を加え、変位関数曲面を生成する。

a)の場合には、手順 1), 2)の処理を23回繰り返して形状を得たのに対し、b)では 1), 2)の処理を行い1回で目的形状に収束した。このことから、本手法における形状変形方法としての優位性が確認される。図6は、変位関数曲面を用いて、製品形状の取っ手部分におけるグリップの凹凸を形成している。凹凸部分は、サンプリング点数を3点とり、それぞれの点に異なるオフセット量  $r$  を加え作成した。

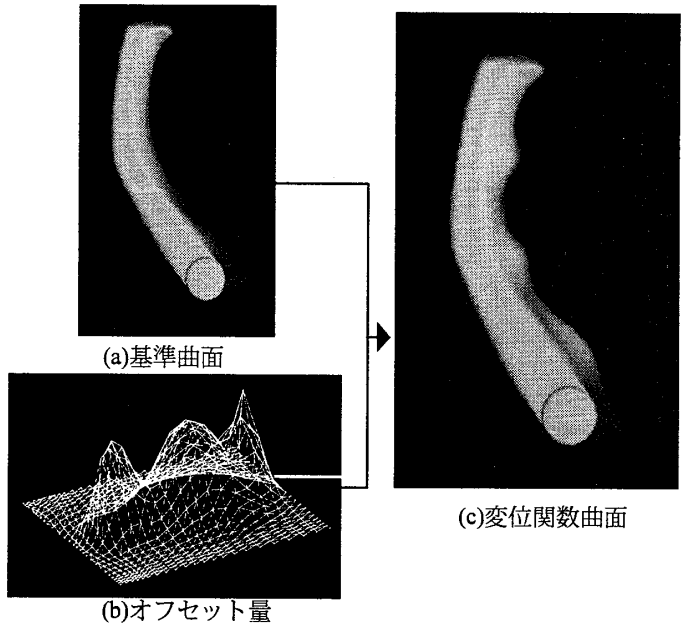


図6 実製品への適用例

4. おわりに

本論文では3次元形状変形の一手法として、変位関数曲面を提案し、細分割曲面への適用方法について示した。また、プログラムを実装して形状が作成可能な事を示すとともに、十分な対話性が実現されていることを確認した。今後は、一般の消費者がより簡単にかつ直観的に用いることができるインターフェースを実装したいと考えている。

<参考文献>

[1] 二上, 小堀: 仮想空間での変位関数曲面による曲面操作法; 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J78-D-II, No.9, pp.1356-1362(1995)  
 [2] C.T.Loop: Smooth Subdivision Surfaces Based on Triangles; Master's of thesis, The University of Utah, Department of Mathematics, 1987  
 [3] M.Eck, T.D.Rose, T.DuChamp, H.Hoppe, M.Lounsbery, and W.Stuetzle: Multiresolution Analysis of Arbitrary Meshes; SIGGRAPH95 Conferences Proceedings, pp.173-182(1985)  
 [4] Interactive Mesh Dragging with Adaptive Remeshing Technique, Hiromasa Suzuki, Yusuke Sakurai, Takashi Kanai and Fumihiko Kimura, J. The Visual Computer, Vol. 15, No.3/4, pp.159-176 (2000)