

ソリッドモデルにおける細分割曲面の生成方法

吉井ゆかり[†], 徳山喜政[†], 今野晃市[‡]
 東京工芸大学工学部[†], 岩手大学工学部[‡]

1. はじめに

CG キャラクター(人間、動物など)のモデリングにおいて、細分割曲面が有効であるため多くの CG システムに採用されている。しかし、これらのシステムの多くはサーフェスモデルという立体表現方法をベースにしている。また、ソリッドモデル¹⁾をベースにしたシステムでも、細分割曲面の初期メッシュ形状は面のオフセットや押し出しなどの操作で位相的に穴やボスを含まない形状として生成される場合が多い。一方、ソリッドモデルをベースにしたシステムでは集合演算を利用して形状モデルを作成することが有効な手段の一つである。しかし、多面体同士の集合演算により形状を生成すると、穴やボスを含む可能性がある。このような多面体形状に細分割曲面をそのまま適用すると、意図しない形状が生成される。

本論文では、上記の問題を解決するために、集合演算で生成された穴やボスを含む形状モデルでの面(P ループ)と穴(C ループ)の関係に着目し、2種類の細分割曲面形状の生成方法を提案する。

2. 細分割曲面

細分割曲面にはさまざまな方法^{2) 3)}があるが、Catmull-Clark の曲面²⁾を用いた。Catmull-Clark の細分割曲面は、任意の多面体を初期メッシュとし、メッシュが正則な場合には分割を繰り返すことにより双3次 B-spline 曲面⁴⁾に収束する。分割によりできる新しいメッシュの頂点は、分割前のメッシュの頂点、辺、面に対応付けられる。新しいメッシュの面上点 f^{i+1} は各面の重心に、边上点 e_j^{i+1} はその辺の両側の面上点と、両端の頂点の平均とする。

$$e_j^{i+1} = \frac{v^i + e_j^i + f_{j+1}^{i+1} + f_j^{i+1}}{4} \quad (1)$$

新しい頂点 v^{i+1} は以下のように求める。n は価数で、頂点に接続する稜線の数である。

$$v^{i+1} = \frac{n-2}{n} v^i + \frac{1}{n^2} \sum_j e_j^i + \frac{1}{n^2} \sum_j f_j^{i+1} \quad (2)$$

3. sharp edge

Catmull-Clark の細分割曲面の方法を用いたとき、初期メッシュの分割を繰り返すことにより得られる形状は滑らかな形状となり、初期メッシュの鋭角形状が表現できない。DeRose ら⁵⁾は鋭角形状も表現できるように Catmull-Clark の細分割曲面方法を拡張した。その方法では、シャープエッジの边上点は辺の midpoint に、頂点に接続するシャープエッジの数により、新たに生成される頂点の位置を決定する。頂点に接続するシャープエッジが 0 本または 1 本のとき式(2)、2 本のとき式(3)、3 本以上のとき式(4)としている。

$$v_{i+1} = \frac{e_j + 6v_i + e_i}{8} \quad (3)$$

$$v_{i+1} = v_i \quad (4)$$

4. ソリッドモデルへの適用

ソリッドモデルをベースにしたシステムにおける集合演算により生成した穴形状を含む多面体モデルを図1に示す。これを Catmull-Clark の細分割曲面式(1)(2)を用いて分割を行うと図2のようになり、意図した形状を生成することができない。そこで、集合演算で生成された穴やボスを含む形状モデルでの面(P ループ)と穴(C ループ)の関係に着目し、2種類の細分割曲面形状の生成方法を提案する。

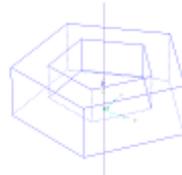


図1:初期モデル

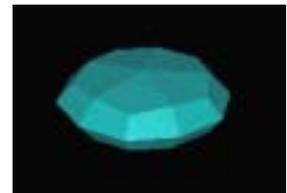


図2:細分割後のモデル

【a】滑らかな曲面形状の生成

P ループと C ループが存在する面の面上点と边上点の置き方を次のようにする。

頂点数の少ない C ループ(又は P ループ)

Generation of Subdivision Surfaces based on Solid Model.

[†]Yukari Yoshii, Yoshimasa Tokuyama

[†] Faculty of Engineering, Tokyo Polytechnic University
 (1583, Iiyama, Atsugi-shi, 243-0297, Japan)

[‡]Kouchi Konno

[‡]Faculty of Engineering, Iwate University
 (4-3-5, Ueda, Morioka-shi, 020-8551, Japan)

を形成する1つの稜線の両端にある頂点の座標と、その各々に最も近い位置にあるPループ(又はCループ)の頂点座標の平均を面上点とする(図3)。

新たに置いた面上点とその隣にある新たな面上点の2つの座標と、その間にあるPループとCループの頂点同士の座標の平均を辺上点とする(図4)。このとき、式(2)の価数 n を $n+1$ とする。

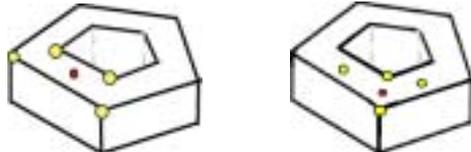


図3

図4

【b】P-C関係を維持した鋭角を持つ形状の生成
Pループ、Cループに属する稜線を鋭角稜線にし、オイラー操作によりP-C関係の無い独立した形状にする。

それぞれの独立した形状の鋭角稜線に対して、シャープエッジの式(3)(4)を利用した細分割を行う(図5)。

各々の細分割した形状の不要要素を除去する。ここで、不要要素とは、両側に法線ベクトルの方向が等しい二つの平面をもつ稜線のことである。その結果P-Cループ平面上における細分割で生成された稜線や頂点が削除される(図6)。

その後またP-C関係を付け直す。



図5

図6

5. 実行例

図1の初期メッシュモデルに【a】の手法を用いて3回分割を行ったものを図7に示す。また、図8はボス形状に【a】の手法を用いて3回分割を行ったものを示す。

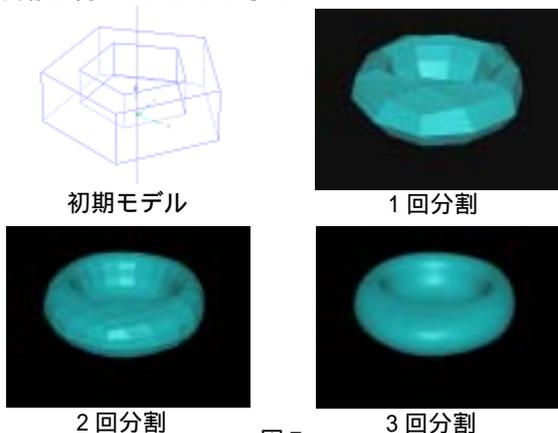


図7

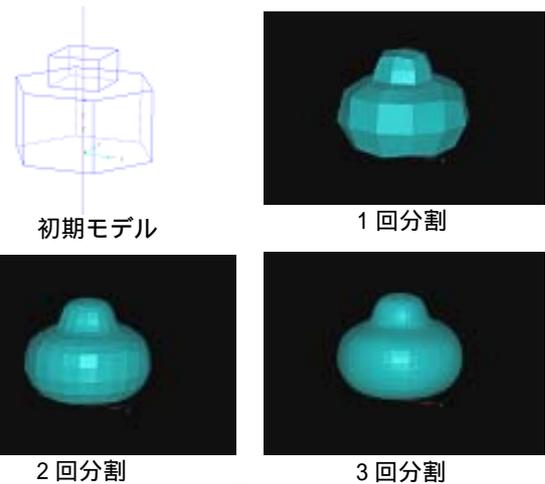


図8

図1の初期メッシュモデルに【b】の手法を用いて3回分割を行ったものを図9に示す。

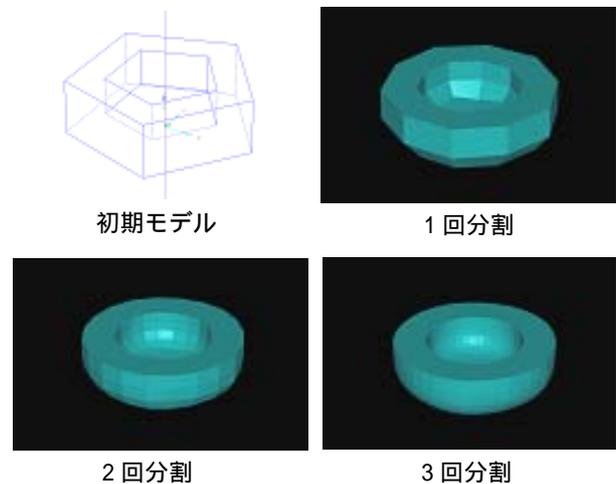


図9

6. まとめ

本稿では、集合演算により生成されたモデルのPループとCループの関係に着目した細分割の手法を提案した。これらの方法を用いれば、穴やボスを含む様々な多面体へ適用することが可能である。

【参考文献】

- [1] 鳥谷浩志, 千代倉弘明: 3次元CADの基礎と応用, 共立出版, 1991.
- [2] E. Catmull and J. Clark. Recursively generated B-spline surfaces on arbitrary topological meshes. Computer aided Design, 10(6):350-355, 1978.
- [3] C. T. Loop. Smooth subdivision surfaces based on triangles. Master's thesis Department of Mathematics, University of Utah, August 1987.
- [4] 三浦曜, 望月一正: CAD・CG技術者のための実践NURBS, 工業調査会, 2001.
- [5] T. Deroose, M. Kass, and T. Truong. "Subdivision Surfaces in Character Animation", Proceedings of SIGGRAPH 98, pp. 85-94, 1998.