

スケッチ情報を利用した3次元形状制御法

松田浩一[†] 近藤邦雄[†] 木村文彦^{††}

従来行なわれてきた3次元形状の曲面制御は、制御点移動による形状変形が主であり、制御点移動による形状変化を予測しながら経験による修正作業を行ってきた。本稿では、スケッチによる形状の直接入力を念頭に置き、スケッチにおいて面上に描かれる線に注目し、曲面生成へ利用する手法について述べる。面上に描かれる曲線には、(1) 直交するように描かれる、(2) 可視面における断面形状を表す、(3) 変化のある部分に描かれる、といった特徴があり、稜線だけでは曖昧になる形状を理解しやすくするために描かれる。そこで、この面上に描かれる線を利用した入力手法を提案する。さらに、形状を細分割曲面の制御ポリゴンとして表すことにより、少ないデータで形状を持つことが可能になる。少ないデータで形状を表すことにより、修正作業との関係を容易にすることが期待できる。本稿では、この面上に描かれる線を利用することにより形状を生成する手法を提案し、試作システムを構築した結果を報告する。本手法では制御点操作やパラメータ入力が必要でなく、従来の入力インタフェースよりも直感的に形状生成を行なうことができる。

Sketch Modeling using Curves on Surfaces

KOICHI MATSUDA,[†] KUNIO KONDO[†] and FUMIHIKO KIMURA^{††}

This paper introduces a new method to deal with sketch for surface operation using a computer with a stylus pen and a tablet. This study treats freehand curves that are drawn on surfaces. These are used when a designer draw sketches that have free form surfaces. Curves on surfaces have three characteristic. (1) These cross each other, (2) These show section lines on visible surfaces, (3) These are drawn on characteristic parts. By using these curves, a designer can keep his drawing with a stylus on a tablet at the same manner using a pencil on paper.

1. はじめに

筆者らは、ペンを用いた2次元平面上への直接入力による3次元形状入力システムであるスケッチインタプリタシステム¹⁾²⁾を構築している。本研究では、このシステムの曲面入力の手法として面上に描かれた線を用いる方法の提案を目的としている。

デザイナーが形状をイメージするときには頭の中に3次元形状がある。頭の中にあるイメージは直接ははっきりとした形として表すことができないため、概形を描き、徐々にスケッチを具体化していくことが一般的に行なわれている。このスケッチによる描画は発想の段階で多く用いられる。そこでコンピュータにおける形状入力において、このスケッチによる思考過程を取り入れたデザ

イナ自身がスケッチを描き試行錯誤できる入力インタフェースが望まれている³⁾。

従来手作業で行なわれていたデザイン工程に設計業務支援システムとしてCADの導入が進み、形状の作り込み・シミュレーション作業にコンピュータを用いることが多くなった。しかし、既存のCADシステムにおける形状入力は、基本形状の論理演算や制御点操作などの限られた作業を繰り返し行なう手法が主流である⁴⁾⁵⁾⁶⁾。これらのシステムでは平面に対して断面の座標点を入力し、制御点やサイズなどを変化させることにより任意の形状を得ることができる。しかし、コンピュータによる形状の表現能力は向上したが、形状生成時には得意な組合せを利用することが多く、また、曲面生成においては面の張り方にも法則があるため、同じような印象の形状ができてしまうことが指摘されている³⁾。従来の入力インタフェースは経験に頼った形状修正が必要であり、直感的な試行錯誤の可能な入力インタフェースとは言えない。

上記の問題を解決するために、スケッチを用いた3次

[†] 埼玉大学理工学研究科
Graduate School of Science and Engineering, Saitama University

^{††} 東京大学工学系研究科
Graduate School of Engineering, University of Tokyo

元形状のコンピュータへの入力手法について研究が行なわれるようになってきた。Zeleznikら⁷⁾による基本オブジェクトなどをスケッチにより入力し、組み合わせることにより空間内に形状を配置するインタフェース、五十嵐らによる丸みのあるオブジェクトの外形を描くと自動的に3次元形状に復元するTeddyシステム⁸⁾、自動車の形状に限定し、手書き情報を利用する3次元形状生成手法⁹⁾などが提案されている。しかし、これらの提案手法は形状がポリゴンベースであるため、出来上がった形状に対する修正手法、とりわけ曲面に対しては考慮されていない。

そこで本稿では、生成後の曲面修正を容易にすることを考慮した曲面生成手法を提案し、条件を限定した試作システムを構築した。提案手法は、形状についての情報をできるだけ少なく持つことを念頭に置く。また、入力情報としてスケッチに使われる手法を用いる。

スケッチの曲面表現によく用いられる線に、面の上に描かれる曲線がある。この面の上の線は、(1)直交するように描かれる、(2)可視面における断面形状を表す、(3)変化のある部分に描かれる、といった特徴があり、形状を理解しやすくするために描かれる。

既存のスケッチに使われる表現を利用するため、あらたな形状指示手法を制約として与えるわけではなく、また、あいまいな入力であってもそれらしい形状を出力することが可能である。

2. スケッチにおける曲面の表現手法

まず、スケッチにおける曲面の表現手法について整理する。スケッチにおいて曲面を表現する手法は主に以下の4種に分類できる。

(1) 輪郭線による形の表現

輪郭線は立体の一番外側に見える線であり、あるビューからの形状の見え方・形状の特徴を表す線となる(図1-(a))。

(2) 面上に描かれた補助線による表現

実際には存在しない線であるが、デザイナー本人が形状を確認するため、また、第3者に説明を行なうために描く(図1-(b))。

(3) 陰影による形の表現

ペンやマーカーで形状に陰影を与えることにより曲面の立体感を表現する。

(4) ハイライトや映り込みによる表現

反射のある金属やガラスなどを表現する場合に、マーカーなどで背景(空や地面)などを描いて面の流れを表現する。

上記のうち、(1)、(2)は線による曲面表現、(3)、

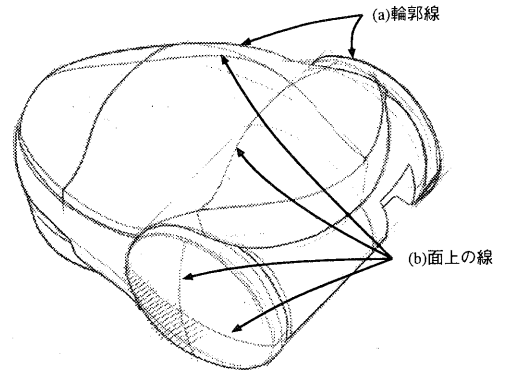
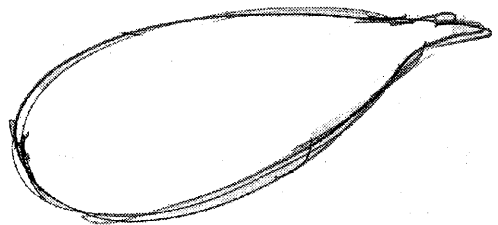


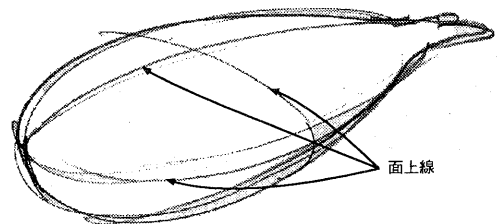
図1 スケッチにおける曲面表現

(4)は塗りつぶしによる曲面表現である。スケッチインタプリタシステムでは線画による入力を扱うので、対象となるのは(1)、(2)となるが、本稿では、(2)の面の上に描かれた線分を用いて曲面制御を行なう。以下、この面の上に描かれた線分のことを面上線と呼ぶ。

面上線はデザインの一部として存在するのではなく、形状を説明するための補足情報である。輪郭線だけで形状を表現すると曖昧な表現となるが、面上線を描画することにより、形状の曖昧さが解消される。図2(1)に示された絵は面上線がなければ楕円の断面をもつ形状に見えるが、面上線を入れることにより、上部は平たい形状であることが分かる(図2(2))。



(1) 輪郭線のみ形状



(2) 面上線による形状指示

図2 面上線による形状指示

この面上線は、スケッチを描く場合にはよく描かれる

要素であり、以下のような規則性・意味を持って描かれている。

- (1) 直交するように描かれる
- (2) 可視面における断面形状を表す
- (3) 変化のある部分に描かれる

これらの面上線の特徴を考慮することにより、曲面を有する形状を作る際に、各軸方向からの投影図を用いることなく形状を入力することを可能にする。

3. 面上線を用いた立体生成

筆者らは、手書き閉曲線から Doo/Sabin の細分割曲面¹⁰⁾の制御ポリゴンを生成し、立体の断面として利用する手法¹¹⁾を提案している。そこで、同様の手法を用いて制御ポリゴンを生成することにより、形状を少ないデータで表すことが可能になる。形状を表すデータを少なくすることにより、変形への負担が軽くなることは容易に想像できる。

本稿では、立体に制限を設けて形状入力システムを試作している。入力できる立体への制限は以下の通り。

- (1) 入力スケッチは輪郭線の他に面上線が3本
- (2) 3本の面上線は3次元空間上で直交しているとする
- (3) 左右対称な形状
- (4) 制御ポリゴンは8面体となること

本システムで得られる立体は左右対称であるが、上下は対称の制限はない。これらの条件をもとに、ラフに描かれたスケッチから、スケッチに近い形状を作り出すことを可能にする。

次に、細分割曲面の制御ポリゴンの生成手順について述べる。

- (1) 描かれたスケッチをもとに座標軸を設定する
まず、描かれた面上線に a ~ c の番号を付ける (図 3)。

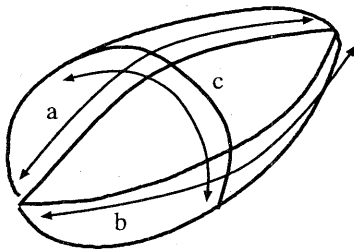


図3 面上線の番号付け

次に、垂線を z 軸とする。このとき、a と c の交点が z 軸上にあることになるので、a の両端点を結ぶ直線と z 軸との交点を原点 o とする。そして、a

の両端点を結ぶ直線が x 軸となり、さらに、b と c の交点と原点を結ぶ直線を引くと、これが y 軸となる (図 4)。

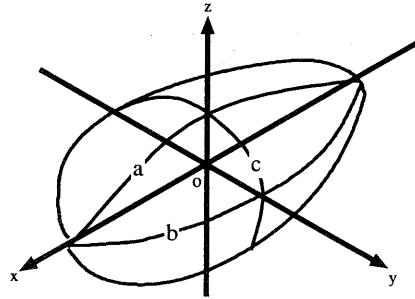


図4 座標軸の設定

- (2) スケッチを座標軸で分解する (図 5)

面上線を座標軸で分割し、分割された曲線にそれぞれ 1 ~ 6 の番号を付ける。

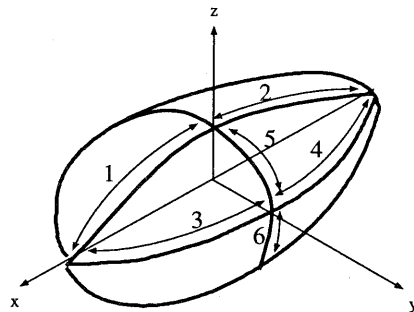


図5 面上線の分解

次に、それぞれの曲線の座標軸からの高さを求める。図 6 が、その高さの求め方を表しており、座標軸を平行移動する (図中の太線) ことにより高さを求める。

- (3) 制御ポリゴンの座標を求める (図 7)

(2) で得られた高さをもとに平面上に断面図を作成し、図 5 で分解した曲線 1 つにつき 1 つの接線を求める。その接線が座標軸と交わるところが制御ポリゴンの座標値となる。なお、1 点で交わらない場合 (図では y 軸) は、切片の平均をとる。同様の作業を行ない、左右対称であることを考慮すると、原点を挟んで x 軸、y 軸、z 軸の両方向に合計 6 点の座標が求まることになる。

- (4) 座標値の補正

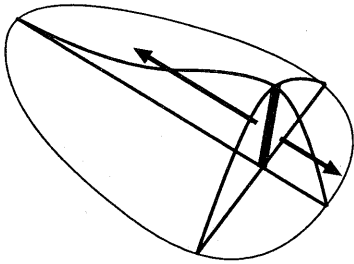


図6 高さの求め方

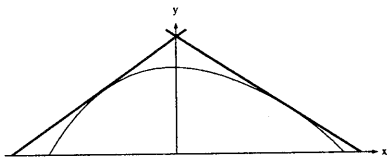


図7 制御ポリゴンの座標値の求め方

図6で得た高さは透視図による大きさの変化を考慮していないため、生成される立体は視点に近い部分が大きくなる。そこで得られた座標値の補正を行ない、最終的な制御ポリゴンを得る(図8)。

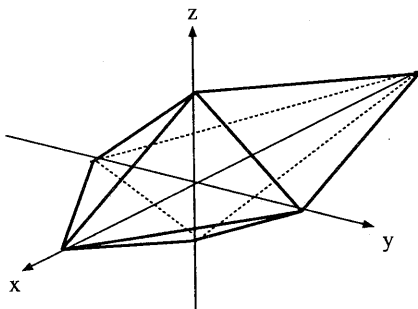


図8 生成された制御ポリゴン

4. 提案手法による形状作成例

作画実験は図9にある環境で行なった。使用したタブレットはWACOMの液晶タブレットPL-300(800x600)であり、画面への直接入力が可能である。この液晶タブレットをノートPCに接続し、PC-UNIXで使用した。

以下では、スケッチを入力し、提案手法を用いて生成した制御ポリゴンを細分割曲面の手法を用いて曲面生成

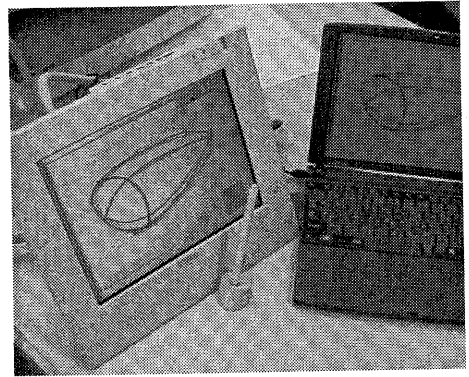


図9 実験環境

した結果を示す。

図10は、前後に均等なバランスを持つ形状を描いたものである。スケッチではもう少し幅があるように描かれているが、手前半分をもとに形状を生成しているため、細長い形状になっている。

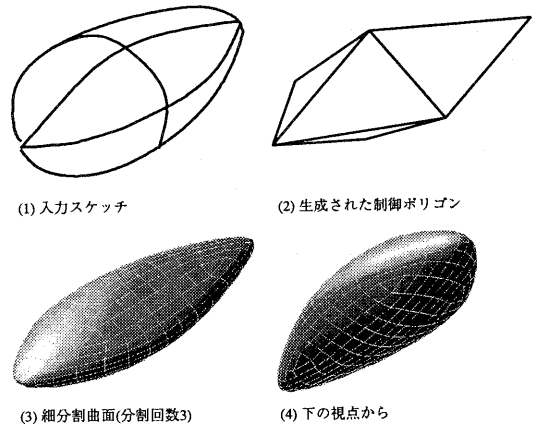


図10 例1

図11は、幅が大きく、下方向に膨れた形状を描画したものである。生成された形状は、スケッチの手前半分の情報をもとにしているため幅が大きくなっている。また、下部分が全体的にもう少し丸みのある形状になるとよい。

図12は、マウスのような形状を描いたものである。形状の前の方に高さのピークが作られ、下部は、あまり厚みのない形状として曲面が生成されている。スケッチと立体を比較すると、前面部に丸みが足りないという印象を受ける。

5. 考 察

以上の実験結果から、以下のような特長が確認できた。

1. 面上線を利用するため、可視部分の形状だけを指示すればよい
スケッチでは形状指示のために不可視部分を描くことは少ないため、可視部分の形状指示のみで形状ができる方が望ましい。
2. おおまかな形状を描くことにより曲面形状が得られる
必ずしも正確な形状情報である必要がない。スケッチを描くような感覚で立体生成が可能になる。
3. 6つの制御点でも、簡易な外形を表すことができる
最低限の制御点でもそれらしい形状を出力することができる。

上記の特長により、ラフに描きながら、それらしい立体を容易に得ることが可能になることが分かった。

また、以下の問題点も見つかった。

1. 曲面の曲がり具合が一定となる
曲面の曲がり具合が一定になるのは使用している細分割曲面のアルゴリズムに依存しており、制御点が少ないこともその原因となっている。したがって、実験においては頂点から離れた部分では丸みの少ない形状となる傾向があった。したがって、他のさまざまな細分割曲面についても検討すること、また、制御点を適度に増やすことにより解決できる。
2. 奥側の部分の雰囲気が生かされない
対称性を前提にしているため、奥側の形状については全く考慮していない。しかし、全体の雰囲気には奥側の部分も影響しており、奥側の形状を考慮に入れることにより、スケッチの雰囲気に近い形状を生成することができると考えている。

上記の問題点は今後の課題である。

6. おわりに

本稿では、スケッチ情報を用いた曲面入力手法についての提案を行なった。

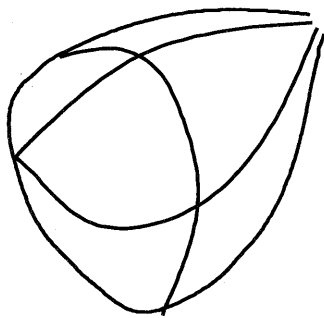
提案手法では、スケッチの曲面表現において形状を表す補助線として面の上に描かれる曲線に注目した。面上線の利用により曲面形状を明示的に指定することが可能となり、おおまかなスケッチをもとに、それに近い3次元形状を生成することが可能になった。また、細分割曲面の制御ポリゴンの自動生成と組み合わせることにより、より少ない情報で形状を表すことが可能となった。少ない情報で形状を表せるため、手書き情報を利用した

修正作業との関係を容易にすることが期待できる。

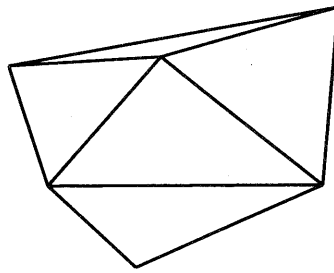
今後の課題は形状の直接的な変形操作である。形状修正を行なう場合には制御ポリゴンを変形することにより行なうが、修正のために入力した線分情報を自動的に制御ポリゴンに反映させるようにすることにより、ユーザは制御点を操作することなく、直接的に形状を変形することが可能となる。

参 考 文 献

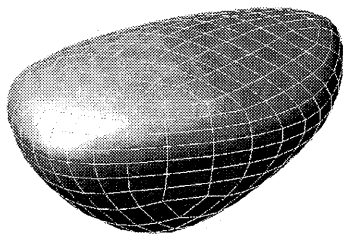
- 1) K.Matsuda, et al. : Freehand Sketch System for 3D Geometric Modeling, Shape Modeling International '97, (1997), pp.55-62
- 2) 松田浩一, 近藤邦雄, “3次元形状入力のためのスケッチインタプリタシステム”, 第14回 NICOGRAPH / MULTIMEDIA 論文コンテスト, (1998), pp.17-26,
- 3) マルチメディアコンテンツ振興協会, “高付加価値意匠デザインのための3次元形状モデリングに関する調査研究報告書”, (1998)
- 4) 鳥谷浩志, 千代倉弘明 編著, “3次元CADの基礎と応用”, 共立出版, (1991), pp.119-130
- 5) 日本図学会 シンセティックCAD編集委員会, “シンセティックCAD”, 培風館, (1997)
- 6) 塩谷景一, “3次元CAD/CAMにおける形状処理技術”, 日刊工業新聞社, (1989), pp.115-127
- 7) Pobert C. Zeleznik, Kenneth P. Herndon, John F. Hughes, “SKETCH : An Interface for Sketching 3D Scenes”, SIGGRAPH 96, Computer Graphics Proceedings, (1996), pp.163-170
- 8) 五十嵐健夫, 松岡聡, 田中英彦, “手書きスケッチによる3次元オブジェクトのモデリング”, 第14回 NICOGRAPH / MULTIMEDIA 論文コンテスト, (1998), pp.43-53
- 9) 五十嵐健夫, 中嶋孝行, 小寺敏正, 田中英彦, “手書きスケッチによる自動車のボディ形状デザイン”, Visual Computing グラフィックスとCAD合同シンポジウム'99 予稿集, (1999), pp.75-80
- 10) D.Doo, M.Sabin : A behaviour of recursive subdivision surfaces near extraordinary points, CAD 10, (1978), pp.356-360
- 11) 松田浩一, 近藤邦雄, 木村文彦, “手書き入力インタフェースを用いた3次元形状の直接制御法”, 1999年度大会(東京) 学術講演論文集, 日本図学会, (1999), pp.145-150



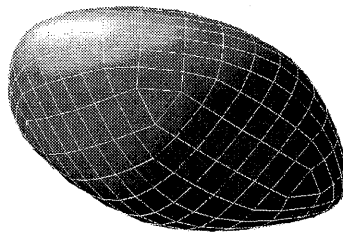
(1) 入力スケッチ



(2) 生成された制御ポリゴン

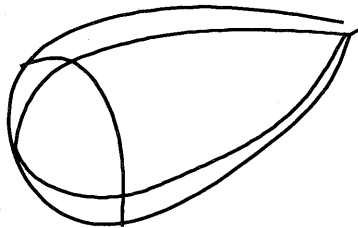


(3) 細分割曲面(分割回数3)

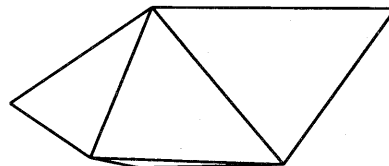


(4) 下の視点から

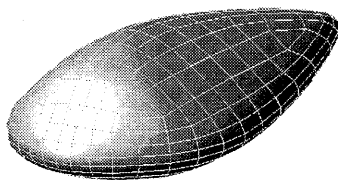
図11 例2



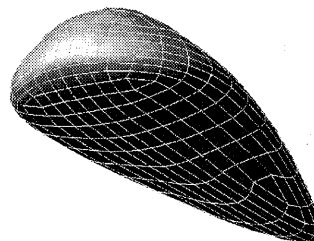
(1) 入力スケッチ



(2) 生成された制御ポリゴン



(3) 細分割曲面(分割回数3)



(4) 下の視点から

図12 例3