

スケッチ情報を利用した手書きによる3次元形状制御法

1 E-2-1

松田浩一[†] 近藤邦雄[†] 木村文彦[‡]埼玉大学理工学研究科[†] 東京大学工学系研究科[‡]

1 はじめに

筆者らは、手書きによる3次元形状入力システムとして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スケッチで使われる手法を実装し、試行錯誤の可能な形状入力インタフェースを提案することを目的としている。

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つ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ー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] の研究

は、基本オブジェクトをスケッチ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は、切断のような単純な手段しか用意されておらず、曲面の修正が困難である。

そこで筆者らは、制御点数が少なく曲面を表現できる細分割曲面に注目し、入力されたスケッチからその制御ポリゴンを生成し、立体生成に利用する手法を提案する。形状を制御点で表現し、スケッチから情報を読みとることにより形状を生成し、形状修正にまで生かそうとする試みである。本稿では、条件を限定した試作システムを構築し、実験を行なった結果を示す。

本稿では、まず2節においてスケッチにおける表現手法について述べ、本研究で利用するスケッチの要素について述べる。次に3節において、曲面生成手法として選択した細分割曲面について述べ、4節において、スケッチ要素と細分割曲面を組み合わせた形状生成手法の提案を行ない、最後にその作画実験結果を示す。

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。

Sketch Modeling Approach for Subdivision Surface
Koichi Matsuda[†], Kunio Kondo[†], Fumihiko Kimura[‡]
Graduate School of Science and Engineering, Saitama University[†]
255 Shimo-okubo, Urawa, Saitama, 338-8570, Japan[†]
Graduate School of Engineering, University of Tokyo[‡]
matsuda@ke.ics.saitama-u.ac.jp[†]

- (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。

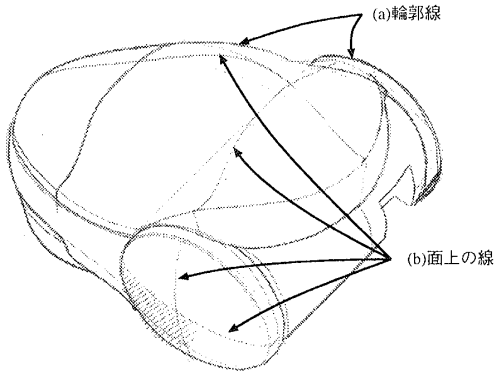
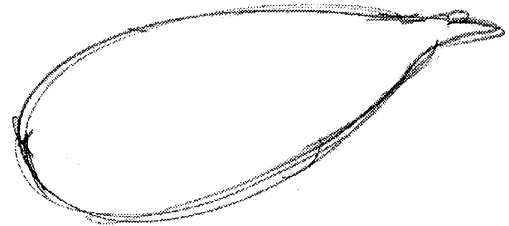
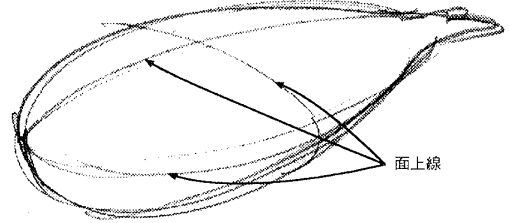


図 1: スケッチにおける曲面表現



(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

上記のうち、(1)、(2)は線による曲面表現、(3)、
 (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))。

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。

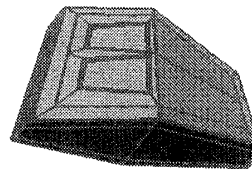
- 直交するように描かれる
- 可視面における断面形状を表す
- 変化のある部分に描かれる

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ができる。

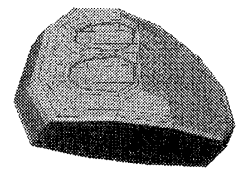
3 細分割曲面による形状生成

ポリゴンによる曲面生成の手法に Doo/Sabin の細分
 割曲面 [10] がある。細分割曲面は制御ポリゴンを用意
 し、ポリゴンを細かく分割することにより立体を滑ら

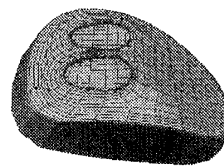
かな形状に変形させる手法である。細分割曲面では制
 御立体を用意することによりさまざまな形状を扱うこ
 とが可能である。図3は細分割曲面によるマウスの生
 成例である。図3(1)が最初に与えた制御ポリゴンで
 あり、全体のポリゴンに対して細分割処理を行なうこ
 とにより、容易に曲面生成を行なうことができる。



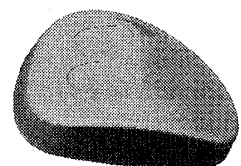
(1) 制御ポリゴン



(2) 細分割1回後の形状



(3) 細分割2回後の形状



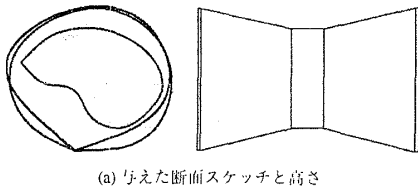
(4) 細分割3回後の形状

図 3: 細分割曲面によるマウスの生成例

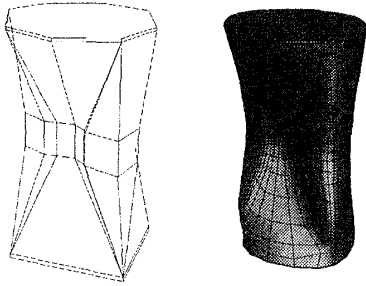
細分割曲面を用いると、容易に曲面を生成するこ
 とが可能となるが、任意の生成立体を得るための制御立
 体を作ることは難しい。そこで筆者らは、手書き閉曲
 線から Doo/Sabin の細分割曲面の制御ポリゴンを生成
 し、立体の断面として利用する手法 [11] を提案してい
 る。

スケッチにより図4(a)のような断面を与えると図

4(b)の制御ポリゴンが自動的に生成され、細分割曲面で3回分割を行なった結果が図4(c)である。



(a) 与えた断面スケッチと高さ



(b) 生成された制御ポリゴン (c) 細分割曲面による曲面生成

図 4: 細分割曲面による空き缶の生成例

本稿では、ここで用いた手法を利用し、立体生成を行なう。

4 面上線を用いた立体生成

面上線を利用して細分割曲面の制御ポリゴンを生成するシステムを試作した。入力できる立体への制限は以下の通り。

- 入力スケッチは輪郭線の他に面上線が3本
- 3本の面上線は3次元空間上で直交している
- 左右対称な形状
- 複数の起伏を持たない

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生成する。

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

まず、描かれた面上線にa~cの番号を付ける(図5)。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軸とのが原点oとなる。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6)。

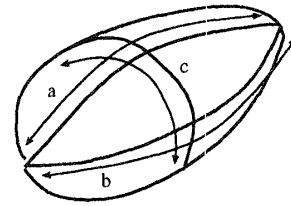


図 5: 面上線の番号付け

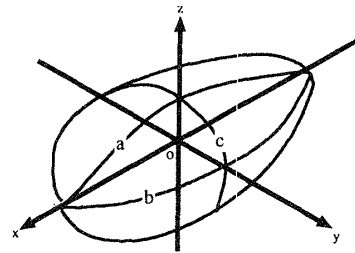
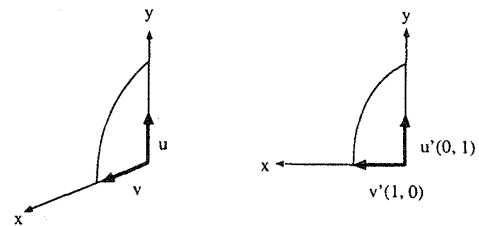


図 6: 座標軸の設定

(2) 3次元空間上での断面を求める(図7)

スケッチ上で求めた座標軸をもとに、断面を求める。図7(a)のスケッチの座標軸上の単位ベクトル \vec{u} , \vec{v} が直交するように、1次変換を行なうと、図7(b)のような断面が得られる。これをスケッチのxy平面, yz平面, xz平面に対して行なう。



(a) スケッチから求めた座標軸

(b) 変換後の座標

図 7: 座標変換

(3) 制御ポリゴンの座標を求める(図8)

(2)で得られた断面から接線を求め、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(図8(1))。図8(1)においては、x軸の+方向と-方向およびy軸の+方向に座標値が得られている。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(図8(2))。

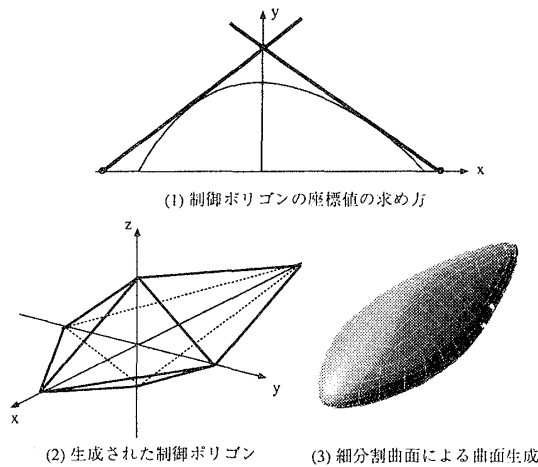


図 8: 制御ポリゴンの決定 1

以上が最も単純な制御ポリゴン生成手法であるが、形状の表現力を上げるために、図 9(1) のように制御点を設定し、前述の手法とともに実験を行なった。図 9(1) において、直線および座標軸との交点となっている 4 点が座標点として採用される。その結果得られた制御ポリゴンは図 9(2) であり、図 9(3) は細分割曲面を用いて生成した形状である。

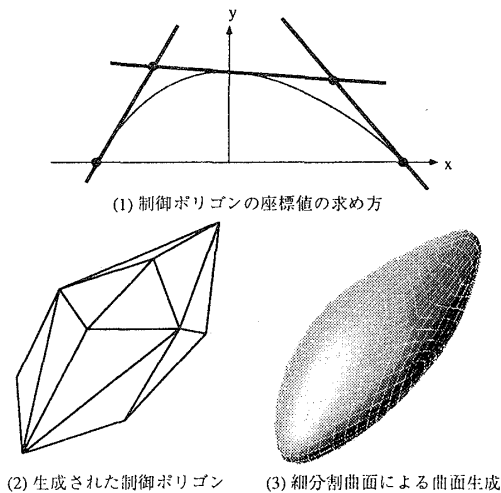


図 9: 制御ポリゴンの決定 2

次節では、作画実験および、以上 2 つの制御ポリゴン定義による比較を行なう。

5 提案手法による形状作成例

作画実験は図 10 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 (画素数 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。

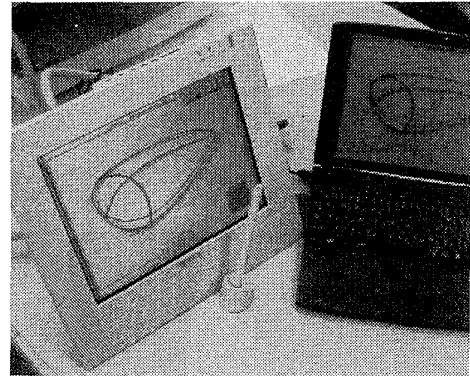


図 10: 実験環境

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した結果を示す。形状生成例図 11~13 の (a) は、最小の頂点で制御ポリゴンを生成した結果、(b) は制御点を増やして制御ポリゴンを生成した結果である。

図 11 を見ると、制御ポリゴンの数の違いによって、細分割曲面の特性による形の違いが出ている。Doo/Sabin の細分割曲面は、制御点の近くでは変化が大きい、制御点から離れると平面に近い形状となる。したがって、最初の頂点数で構成した図 11(a)-2 では菱形に近い形になり、丸みを帯びた形状からは少し離れている。しかし、制御点数を増やした図 11(a)-2 では、丸みを帯びた形状が作られている。

図 12 は、幅が大きく、下方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、(a)、(b) の違いは、前部分の丸みの再現性であり、特に z 軸方向からの視点が分かりやすい。

図 13 は、マウスのような形状を描いたものである。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、(a) では前面部に丸みが足りないという印象を受けるが、(b) では丸みが再現されている。また、スケッチでは横幅の最も大きいところが面上線となっていない。(a) では面上線のあるところを最も幅の大きいところとしているが、(b) では幅情報を (a) より多く読みとっているため、中央部の幅が大きくなっている。

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
断面を利用した制御ポリゴン生成手法では不可視部分まで描く必要があったが、スケッチでは形状

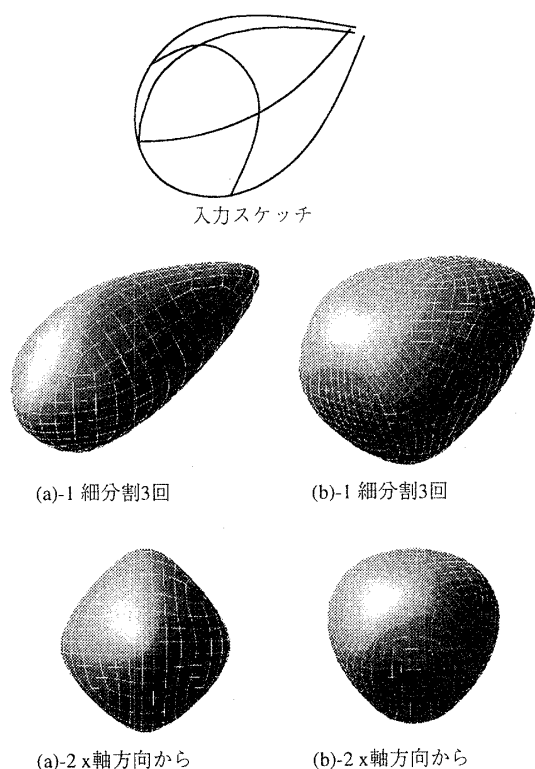


図 11: 形状生成例 1

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. 少ない制御点でも、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、制御点数を増やすと、さらに再現性を上げることが可能であることが確認できた。

上記の特長により、スケッチに似た形状を容易に得ることが可能になることが分かった。また、制御点ポリゴンの作り方により形状特徴を変えることが可能になることから、修正作業への応用が期待できる。

6 おわりに

本稿では、スケッチに描かれる曲面情報を細分割曲面の制御ポリゴン生成に利用する手法を提案した。形状を制御点で表現し、スケッチから情報を読みとるこ

とにより形状を生成し、形状修正にまで生かそうとする試みである。

作画実験を行なった結果、(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、(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、(3)少ない制御点でも、簡易な外形を表すことができる、といった特長が確認できた。

今後の課題は、スケッチを利用した形状修正である。おおまかな形状を生成することが可能になったので、得られた立体形状に対するスケッチによって変形操作を行なうことが目標となる。曲面操作のスケッチによる直接的な変形操作を可能にすることによって、形状の試行錯誤を実現したい。

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

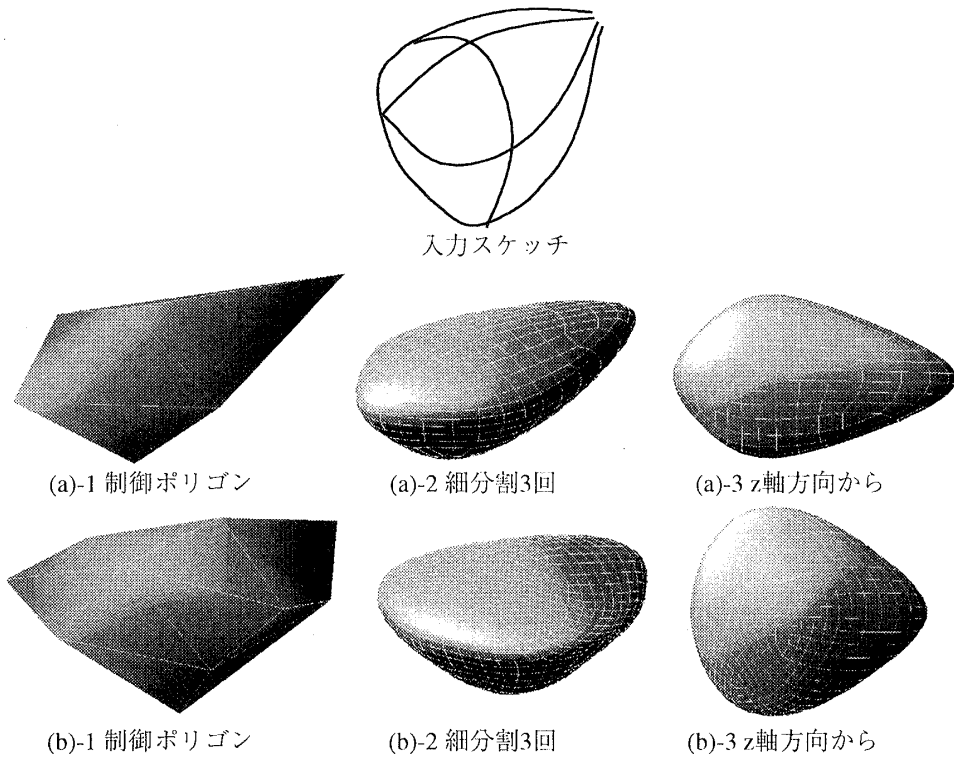


図 12: 形状生成例 2

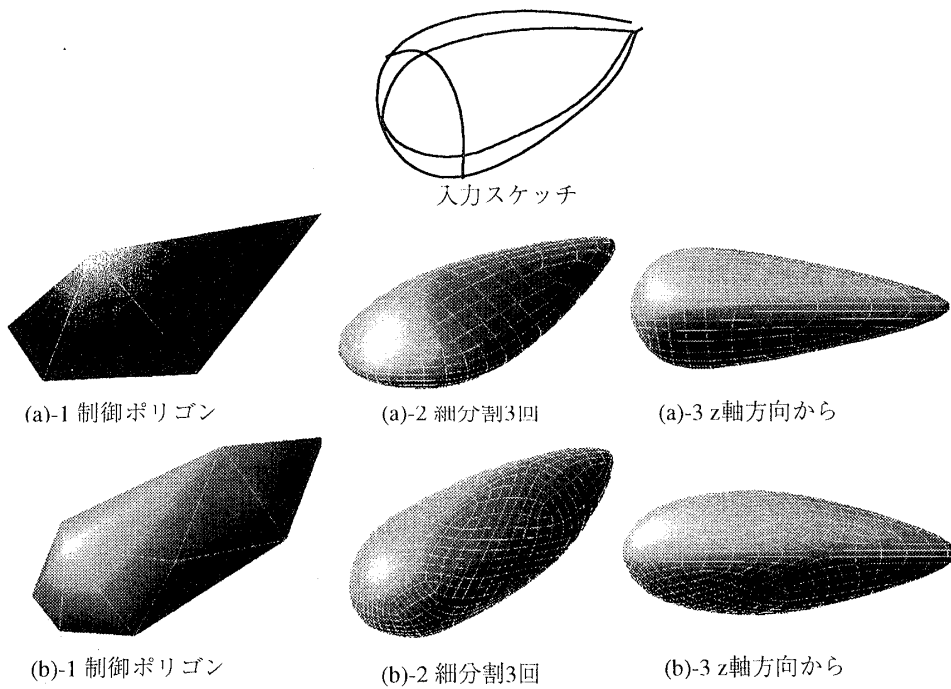


図 13: 形状生成例 3