

多面体細分割による人体曲面の生成

宇田 紀之 木村 文隆 鶴岡 信治 三宅 康二

三重大学 工学部 電子工学科

本研究が扱うのは、全身や上半身など比較のおおまかな人体イメージを生成する場合のモデリング技法についてである。モデリングは、まず、複数の多角形をスキニングして作る多面体（ソリッド）を組み合わせて人体のおおまかな形状を定義して、その多面体に再分割処理を加えることによって、人体曲面を近似する。この曲面形成を制御する技法として、多面体の中間に変形制御プレートを挿入することを提案し、変形制御プレートの形状を決める制御関数を設定して、身体動作における関節部位や筋肉の変形シミュレーションを試みた。

このモデリング技法と変形制御のアルゴリズムについて報告する。

Human Surface Design by Polyhedral Subdivision

Noriyuki UDA Fumitaka KIMURA Shinji TURUOKA, Yasuji MIYAKE

Dep. of Engineering Mie University

1. 序文

はじめて筆を手にしたとき、戸惑いながらも懸命に描き出そうとしたのは、最も身近の人物の姿ではなかったであろうか。コンピュータグラフィックの技術が開発されて以来、人体とその生命感の表現は、多くの研究者が熱意を傾けてきた極めて魅力的で、しかも困難な研究テーマのひとつである。最近では、レーザーやモアレによる3次元形状測定機器を用いて、実測データから人体をディスプレイに再構成することも不可能ではないが、ただし、そこにはリアリティはあっても描画という人間性に根ざした創造のおもしろ味がない。人体は、複雑な骨格構造と動作を制御する筋肉組織からなり、部位ごとに変形の具合が異なる厄介な対象ではあるが、また、特徴をとらえた単純な曲線によって人物のイメージを描き出すことも可能である。

人体形状の認識の仕方は、対人間の距離によってかなり異なることが知られている(1)(2)。データ量を膨張させることが必ずしも画像のリアリティの向上につながらないのではないか。本研究が扱うのは、遠景(全身)から中距離(上半身)におけるおおまかな人体イメージを生成する場合のモデリング技法についてである。モデリングは、まずデッサンで行うように、いくつかの多面体を組み合わせて人体形状を定義して、人体曲面のは多面体の再分割によって近似する。この曲面形成を制御する技法として、変形制御プレートを挿入することを提案し、変形制御プレートの形状を決める制御関数を設定して、身体動作における関節部位や筋肉の変形シミュレーションを試みた。

本論文では、このモデリング技法と変形制御のアルゴリズムについて報告する。

2. 人体形状モデリングに関する研究

人体形状のモデリング技法としては、身体各部位に多面体(3)や回転体(4)などをあてはめるプリミティブ合成法がよく用いられる。この方法で、滑らかな人体曲面まで表現するには、膨大な量のプリミティブが必要となるが、逆に少な

いプリミティブで人体のおおまかな形状を規定する場合には、それなりに有効な方法である。

滑らかな人体曲面や動作変形を扱う方法として、曲面パッチを用いた自由曲面近似(5)や、分布関数を使って楕円体を変形させる方法(6)があり、動作に伴う関節部位の自然な変形や筋肉の収縮などの表現も可能となっている。ただ、自由曲面生成における制御点の配置や分布関数のパラメータ設定は視覚的なイメージ構成の感覚とは異なり、形状設計は必ずしも容易ではない。モデリングには熟練が要求される。

本論文で提案する多面体再分割を用いたモデリング技法は、身体部分に多面体をあてはめて形状定義を行う点でプリミティブ合成法と同じである。しかしこの多面体は固定したものではなく、頂点の周囲に新頂点を発生させ、それらを結ぶエッジからなる面を再定義することによって、およそ4倍の面を持った多面体に変形する。すなわち、この多面体細分割処理を繰り返すことによって、初期設定した多面体は曲面体に近似してゆく。この場合、初期設定した多面体の頂点は自由曲面形成におけるパッチの制御点に相当する。

多面体間の接続には、関節変形を制御するための多面体を挿入して、多面体の滑らかな接続と、関節部位の変形を表現した。また、多面体に筋肉変形を制御する多面体を挿入して、体位による筋肉変形のシミュレートを試みた。おおむね満足のゆく人体形状の表現ができたと考える。

なお、この人体モデリングにおけるデータ操作には、本研究室で開発中のソリッドモデラーを使用している(7)(8)。使用言語はLISPである。

3. 形状表現法

3.1 初期多面体の設定

本モデルにおいて、人体の初期形状を構成する多面体は n 個の頂点もった複数の多角形をスキニングしてできるシリンダ状の多面体(ソリッド)である。この多角形を定義する n 個の頂点と重心の3次元座標リストをプレートと呼ぶ(図1)。プレートは、部位の形状や変形の具合をうまく表現できるものを設定し、頂点数を一定にする必要

はない。

頭部、胸部、腰部、上腕、下腕に相当する多面体を作り、それらをワールド座標空間に配置して、大まかな形状を決める。初期形状には動作を行っていない状態を想定し、多面体の相互の面が接触しないよう間隔をとって配置する。

[オブジェクト座標の設定]

初期形状を構成するすべての多面体には、その重心にオブジェクト座標を属性として設定する。肩-上腕-肘-下腕-手首-手のように、体幹部位から末端部位にいたる結節関係は、オブジェクト座標の依存構造によって定義し、体幹部位の動作に末端部位が連動するようにしておく。動作は初期設定座標を原点として、そこからの相対的な角度の変化によって表す。

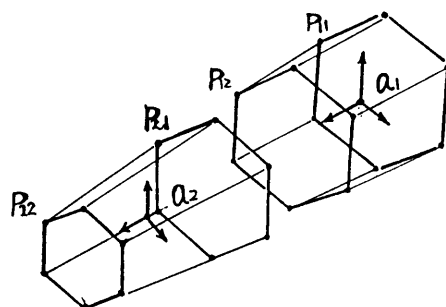
[接続処理]

多面体を接続する接続面の中間に、関節部の変形を操作するための多面体（関節ソリッド）を挿入する。この多面体は、多角形を2枚貼り合わせた、厚みのない多面体（ヌルソリッド）として定義し、隣接する多面体の接続面の各頂点間を連結するエッジを発生して（グルー）、多面体を接合していく（図2 a）。これは、屈伸動作における関節部の変形は、比較的変形の少ない関節骨格の回転運動と、それに伴う筋肉や皮膚の収縮であるという仮定に基づいてものである。

なお、接触面の頂点数 n が一致しない場合には、体幹部位に近い方の多面体の接続面（S1）のエッジ上に新頂点を設定、あるいは削除して、接続しようとする多面体の接続面（S2）と頂点数が一致するよう再定義して接続を行う（図2 b）。肩部における腕の接続、手や足に指の接続には、この処理が必要である。

3.2 多面体細分割による曲面形成

本モデルで用いる多面体細分割は、基本的に次の処理を行う。まず、多面体の各面に対してその頂点数に等しい新頂点を面上に発生させた後、新頂点を用いて図3に示す3種類の面を発生させて多面体を再構成する。新頂点を以下のように計算すると(9)、多面体細分割を反復して得られる多面体は、双二次スプライン曲面に近似してゆく。



P_{ij} : 初期多面体を定義するプレート
 a_i : 初期多面体のオブジェクト座標
 (i =初期多面体の識別, j =プレートの順番)

図1: 初期多面体の設定

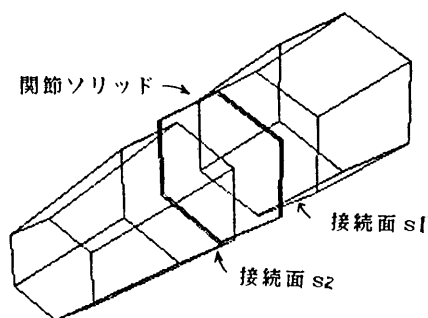


図2 a: 多面体の接続

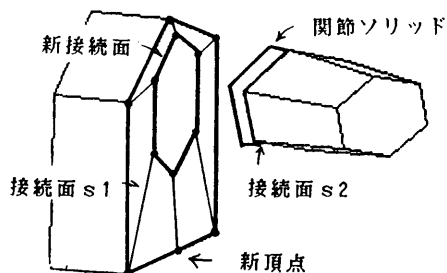


図2 b: 頂点数の異なる多面体の接続

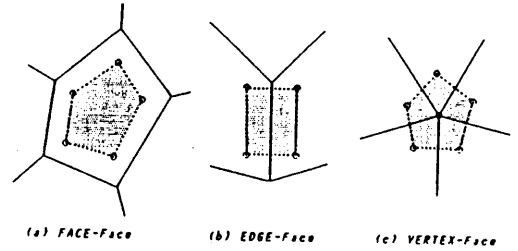
細分割多面体のすべての頂点は、それぞれたった一つのFACE-faceに隣接しているので、FACE-faceの頂点座標を計算すれば、すべての頂点座標が計算できる。細分割多面体のあるFACE-faceの頂点座標を V_i' 、そのFACE-faceに対応する制御多面体の面の頂点座標を V_j とすると、 V_i' は次式で求められる。

$$V_i' = \sum_{j=1}^n W_{ij} \cdot V_j$$

$$W_{ij} = (n+5)/4n \quad (i=j)$$

$$W_{ij} = [3+2\cos(2\pi(i-j)/n)]/4n \quad (i \neq j) \quad (1)$$

ただし、 i, j は対応する頂点から出発し面の境界を同じ向きに追跡したときに会おう順に与えてあるものとする。



3.2 多面体の変形制御

この多面体細分割による曲面形成では、プレートの間隔が広く、エッジを挟んで隣接する面の面積が大きくなるほど収束が速くなる。そこで初期形状を保持しながら、収束のスピードを制御する方法として、2枚のプレートの中間にもう一枚プレートを挿入して面の大きさを調節する。

動作変形は関節ソリッドの回転運動として定義するが、この回転角を条件にしてプレートの重心間を移動したり、拡大縮小するプレートを変形制御プレートと呼ぶ。変形制御プレートは筋肉変形の著しい部位に設定する。

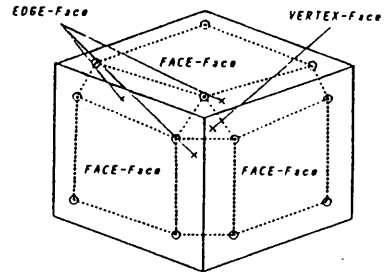


図3：新頂点と3種類の面

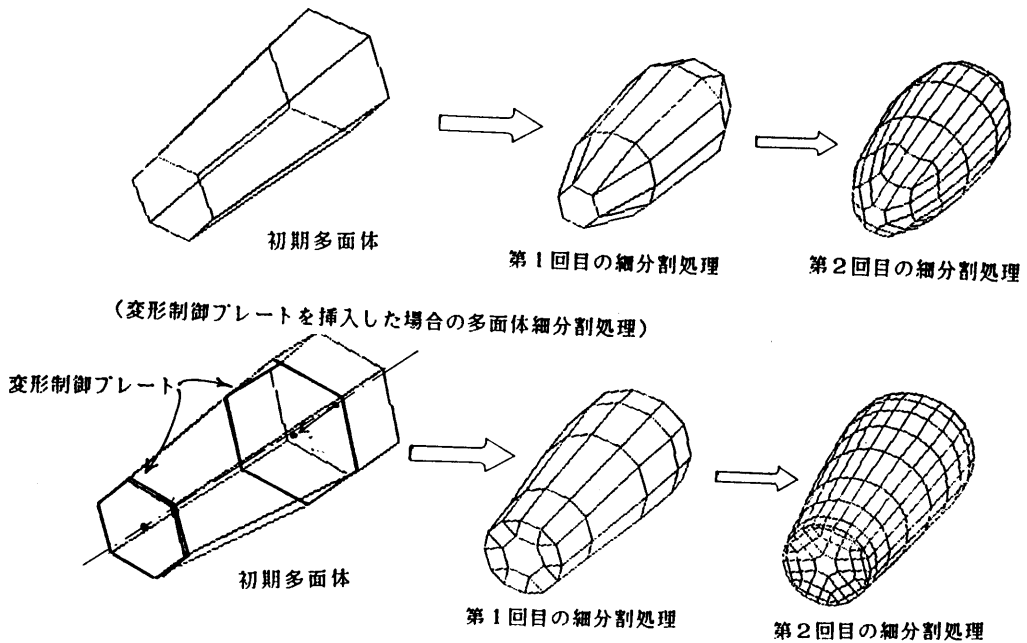


図4：多面体細分割による曲面形成

4 形状のデザイン

4.1 初期形状の設定

人体形状のデザインでは、まず身体の主要な部分に、面数の少ない単純な多面体をあてはめておおまかな形状を決める。そのあと多面体の面やエッジに修正を加えて人体表面の起伏や細かい形状を決めてゆく。細分割による曲面化の効果を考慮してできる限り面数の少ない多面体を使うのがデザインの要領である。

図5・図6に例示した体幹部位のデザインでは、ファッションドローイングで使用する人体モデルの正面図と側面図に起伏の特徴点を通過する縦断

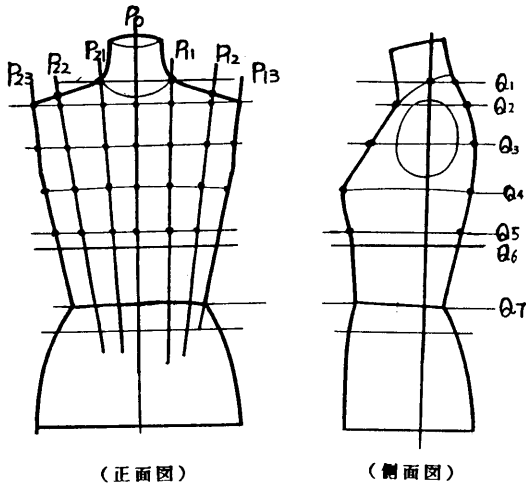


図5：体幹部位の形状デザイン

面Pと横断面Qを入れて、各交点を3次元座標値を入力した。上部7個の座標を連結した縦断面（七角形）7枚をプレートとして、スキニングして胸部の初期多面体とする。

断面Q6は腹部の変形制御プレート、断面Q0は頭部との接続面、断面Q7は腰部との接触面である。（制御多面体の組み立て）

胸部接続面-腹部変形プレート-腰部接続面のように接続する面の頂点数が一致する場合は、そのままグルーできる。首や腕との接続面では、接続面の頂点数が一致するように胸部多面体の頂点やエッジを削除して接続面を再定義から接続する。

各部位を1個の多面体に構成してから細分割処理を加えて形状を確認する。異常な面があれば、ディスプレイ上で周辺の頂点をピックし移動させて形状を整える。

4.2 動作変形の表現

身体動作は、関節部位の回転運動とそれともなう周辺筋肉の変形であると考えられる。また、回転する関節部位に接続する末端部位はその相対座標を移動するものでなければならない。すなわち、動作は、初期設定した多面体の頂点座標を原点として、そこからの角度の変化として考え、筋肉変形は回転角度を条件とした接続面、及び変形制御プレートの拡大縮小によって表現する。

動作変形のシミュレートは次の手続きによる。

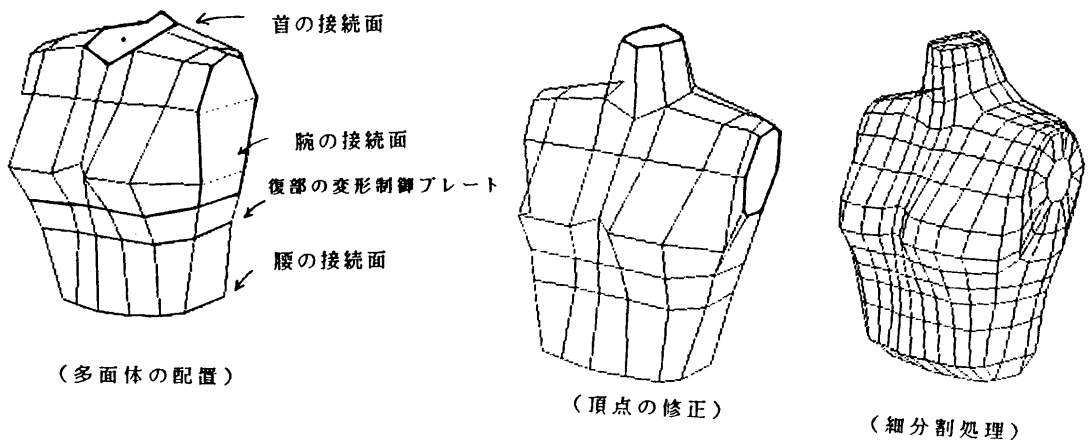


図6：制御多面体の組立

1. すべての関節ソリッドについて、回転運動の原点となる位置にオブジェクト座標 (ax) を設定する。図7aに例示した肘関節の場合では、肘頭位置にオブジェクト座標を置いた。肘関節ソリッドを挟んで、上腕部多面体S1のプレート群と下腕部多面体S2のプレート群を配置する。
2. 関節部位の動作に依存して回転移動する末端部位プレートと全頂点と関節ソリッドのオブジェクト座標からなるリストを、体幹部位のオブジェクト座標の属性に積み重ねてゆく。腰部のオブジェクト座標に下半身の全頂点、胸部のオブジェクト座標に上半身の全頂点を集中させておく。
3. 動作の発生は、関節のオブジェクト座標と回転軸、そして回転角度 θ を指定する。関節に依存する部位は、オブジェクト座標の回転軸yについて θ 回転する。関節ソリッド自体は、回転角度に0.5以下の係数を掛けた角度 θ' だけ回転する。この係数を関節回転係数と呼ぶ。肘関節の回転係数は0.5である。

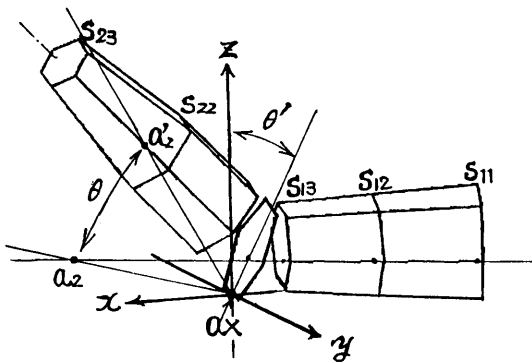


図7a：関節プレートにおける回転運動

4. 関節ソリッドに接続する多面体の接続面プレート (s13, s21) は、関節の回転軸と回転角度に応じてそれぞれもう一方接続面 (s11, s23) のプレートとの重心間を結ぶ線上を移動して関節プレートに接近、あるいは離反する。肘のy軸回転では、上腕部接続面s12はm1離反し、下腕部接続面s21はm2だけ接近する (図7b)。
5. 4の操作で初期多面体の体積は、増加または減少するが、この変化した体積分は中間に挿入し

た変形制御プレートが拡大縮小することによって初期多面体の体積を一定に保持する。なお、回転軸と回転角を条件にして接続面の移動量を定める関数は筋肉変形関数と呼ぶ。

関節部位の動作変形の具合は、関節ごとに異なる。関節オブジェクトの設定位置、関節回転係数、筋肉変形関数の設定は、ディスプレイで動作を確認しながらひとつずつ決めていく。

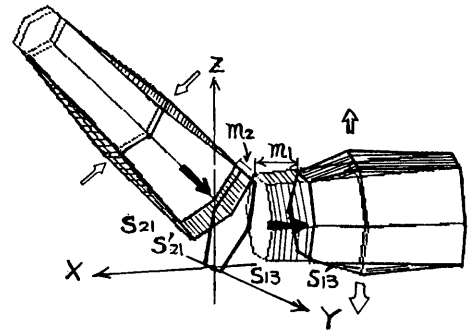


図7b：多面体の変形

5. 表示例

まず、システム構成について説明しておく。モデリングシステムにはソニー製news-1750を使用している。ここで作成したデータは一度ポリゴン形式に変換し、パソコンPC9801に転送してレンダリングを加えるというものである。通常、初期多面体を1回ないし2回の細分割し、法線補補間によるスムーズシェディングを加えれば十分滑らかな曲面を得ることができる。

(体幹部分の表示)

初期多面体の面の数は147枚、一回の細分割処理でレンダリングを加えた。エッジを集中させ面の面積を抑制した部分で面の反転が生じ、接続部のリアリティを出すことができた。

(腕の表示)

六角形の組み合わせで腕の部分を定義し、「肩をy軸について30度下げ、さらに肘をy軸について65度上げた」ときの形状を表現してみた。肘の屈曲線は、肘ソリッドに下腕部の接触面が乗ったときにできる面の効果である。

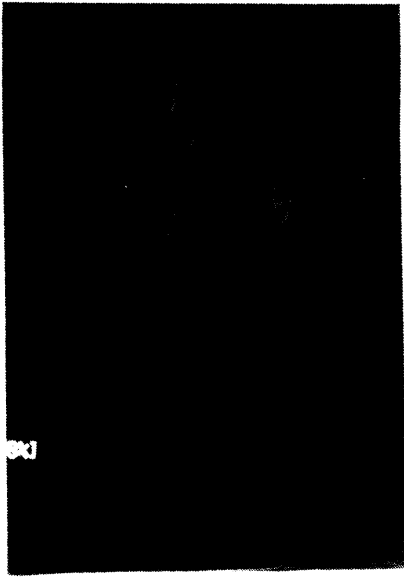


図8：体幹部位の表現

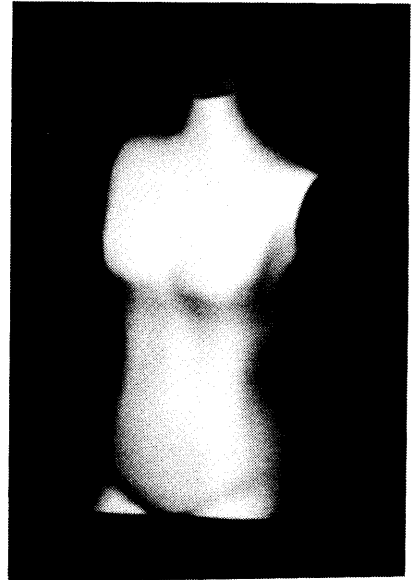


図9：スムーズシェーディング

6. 結語

本報告では、多面体を組み合わせるといった比較的馴染みやすい感覚での人体モデリング技法、細分割処理による曲面形成、そしてプレート操作による動作変形シミュレーションの試みを紹介した。精密さを欠く部分も少なくないが、遠方から眺めた全身像や上半身像のモデリングでは、この方法でも十分と考えている。今後、アニメーションの可能性を検討していきたいと思っている。

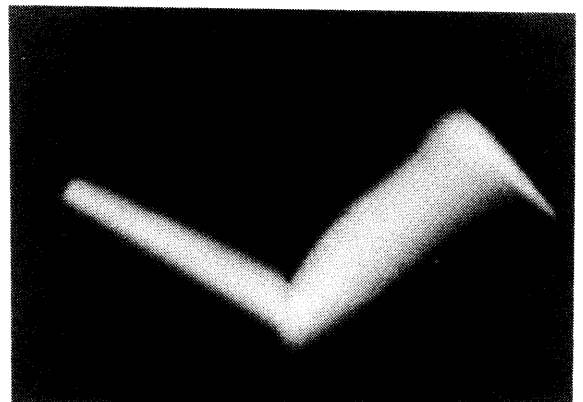


図10：関節部位の変形表現

(文献)

1. Hall, E. T: "The Hidden Dimension", New York Doubleday, 1976.
2. 宇田紀之: "対人間距離認知に関する一実験的研究" 昭和53年早稲田大学文学部卒業論文, 1978
3. Potter, T. E and Willmart, K. D: "Three dimensional Human Display Model", Computer Graphics, vol. 9 pp. 102-110, 1975
4. Tholemann, N. M and Tholemann, D: "Creation of Systematic the HUMAN FACTORY system", PIXEL, no. 6 pp. 106-110, 1987
5. 小松功児: "キャラクタアニメーションのための人体曲面モデル", 情報処理学会誌, vol25, pp7-19, 1988
7. 木村文隆: "LISPによるソリッドモデラーの開発" PIXEL, no72, 図形処理センター, 1988
8. 木村文隆: "AI技法とコンピュータグラフィックス" 図形処理センター, 1988
9. Doo, D and Sabin, M: "Behavior of recursive division surfaces near extraordinary points", CAD, vol10, no6, 1987