

K-044

粘土細工感覚で3次元形状モデルの制作を行う技法の研究

Research of modeling technique of 3D-shaped CG model with Constructive Clay craft Geometry

河野孝幸

新藤義昭

c1045202@cstu.nit.ac.jp

1. はじめに

現在、3D-CG アニメーション技術は、CAD、各種シミュレーション、映像制作、医療や家庭用ゲーム機等、様々な分野に応用されている。その映像表現技法（レンダリング技法）やアニメーションの制作技法の研究は、様々な研究成果が報告されているが、その映像の中で使用する舞台や仮想俳優、小道具などの3次元形状モデルの制作技法（モデリング技法）の効率化の研究はあまり進んでいない。3次元形状モデルの記述法は、用途によって大きく Solid Model と Surface Model の2種類に分類できる。(表1) Solid Model は、主に CAD や医療用画像診断に用いられ、Surface Model はシミュレーションや映像制作、TV ゲームなどのCG アニメーションに用いられている。

表1 3次元形状モデルのモデリング技法

Table 1 The Modeling Method of 3D Shaped Model

Model	Description	Modeling Method
Surface Model	Polygon Model	Hand-Coded
		3D-Scanner
	Polyhedron Model	Modeling Tool(Lightwave, Maya, etc)
		Programming Language
Solid Model	Parametric Surface	Bezier Surface
		NURBS Surface
	3-Dimensional Array	CT, MRI
	Voxel	CSG(Constructive Solid Geometry)
	Octree	

本研究では、Surface Model を対象としたモデリング技法について考察する。最も精密で美的な形状モデルを作る事ができるのは、多角形モデル(Polygon Model)であろう。しかし、多角形の頂点座標を全て手入力で作る作業は、膨大なコストを必要とする。映画の特撮や TV ゲーム制作等の特殊な用途に限られると思われる。この手間を簡略化して、対話型のモデリング操作で3次元形状モデルを作る技法が開発されている^{[1][2]}。これは、主に多面体モデル(Polyhedron Model)やパラメトリック曲面(Parametric Surface)を変形しながら組み合わせて3次元形状モデルを作る技法であ

る。この技法は、アフィン変換やベクトル演算を基本操作として用いているので、曲面の法線ベクトルの算出が容易なため、美しいシェーディングが出来るという長所がある。特に、パラメトリック曲面である Bezier Surface や NURBS Surface (Non-Uniform Rational B-Spline) は滑らかな曲面を表現することができる^[3]。しかし、凹凸の激しいモデルを精密に作り上げるためには、モデリングツールの操作に熟練した専門家(いわゆる CG クリエイターやデザイナー)の根気長い長時間の作業を必要とする。樹木などの複雑な形状モデルを、フラクタル理論等を応用してプログラミングで作出す技法も研究されているが^[4]、いずれも初心者の手軽に3次元形状モデルを制作できる技法とはいえない。一方で、Sunny3D^[5]に代表されるような、平面図形から立体図形を半自動的に作り出す研究も報告されており、学生等の初心者でも3次元形状モデルを制作し、プレゼンテーションやインターネットの WEB ページ内で利用できる制作技法の開発が求められている。

2. 研究の目的

本研究では、初心者でも3次元形状モデルを制作できる技法を開発することを目的とする。粘土細工型のモデリング技法^{[11][12]}や関連製品^{[13][14]}はいくつか報告されているが、本研究では以下のような特徴をもった方式を提案する。

- (1) 多角形の頂点座標値などの、3次元座標系や頂点の座標を意識させないこと。
- (2) アフィン変換のような難しい変形操作を意識しないですむこと。
- (3) パラメトリック曲面のような制御点という概念を導入しないですむこと。

そこで、注目したのは、Solid Model で CAD 用開発された CSG(Constructive Solid Geometry)である^[6]。CSG は、Voxel 等で定義された直方体などを、仮想彫刻のような感覚で削っていく操作で、3次元形状モデルを制作する技法である。この感覚を Surface Model でも応用できないかと着想して考え出したのが、粘土細工型モデリング技法である。

3. 研究内容

† 日本工業大学 大学院 工学研究科 情報工学専攻
Graduate School of Computer and Information Major,
Nippon Institute of Technology

CSGは、関数カッターというツールを用意して、集合論演算を用いて形状を作っていく技法である。操作感覚は仮想彫刻であるが、OR演算によって突起を付加することもできる。しかし、目的がCAD等のSolid Modelであるため、表面を覆う多角形のパッチデータを簡単には生成できないことや、曲面の法線ベクトルを計算するのが困難であることから、美的芸術性を要求されるCGアニメーションには用いられてこなかった。

3.1 粘土細工型モデリング技法

CSGの仮想彫刻型の操作感覚を手本として、仮想粘土細工の操作感覚で、3次元形状モデルをモデリングする技法の設計を行うこととした。その操作感覚の概要を以下に述べる。

- (1) 元となる素材(球や直方体)に**粘度係数**を持たせる。これは、素材の硬さを表す係数で、後述する伝播計算で用いる。
- (2) モデリングの基本操作を、「つぶす」「部分的に押す」「部分的に引っ張る」といった粘度細工のような操作感覚とする。
- (3) 部分的に押すための「**加工ツールボックス**」を用意する。これは、CSGの関数カッターに類似した機能であるが、削るのではなく、押す道具として使用する。加工ツールには、**歯切れ係数**(食い込み率)を定義する。
- (4) 素材の粘度係数と加工ツールの歯切れ係数によって、加工ツールで押した際の素材の変形度合いを調整する。
- (5) 素材と素材の合体(粘着)という操作も考慮する。これは、人形の首と胴体を別々に作って、くっつけるといった操作を実現するためである。

加工ツールによって素材を部分的に押す操作の感覚を図1に示す。

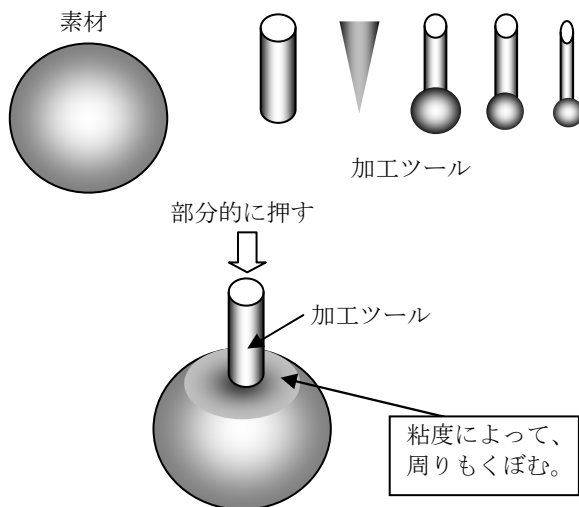


Figure 1. Modeling like Clay Working

図1 粘度細工操作

3次元形状モデルのモデリングに、素材の固さを

導入した研究例は報告されていない。元となる素材に、「硬さ」を導入することにより、素材の変形(くぼみ)の形を制御しようとする技法が、本研究の特徴のひとつである。

3.2 素材と加工ツールの接触判定

加工ツールは、マウスとキー操作の組み合わせまたは**3Dマウス**を用いて操作する。この際、加工ツールと素材の接触や押し込みの判定を行う必要がある。本研究では、山地、新藤らが開発した衝突判定技法である**Cyber Radar**^[7]を用いる。

Cyber Radarの衝突判定の方法を以下に簡単に述べる。衝突する加工ツールから衝突される素材に向かって視野カメラを設定し、並行投影法で一回描画する。このときの**距離画像情報**を画素ごとに**Zバッファ**より取得する。(距離画像は最近点を0.0、最遠点を1.0とする)同様の操作を素材から加工ツールに向かって行い、互いの距離の和を計算する。この値によって、加工ツールと素材の距離、接触、衝突の有無の判定を行うことができる。(図2)

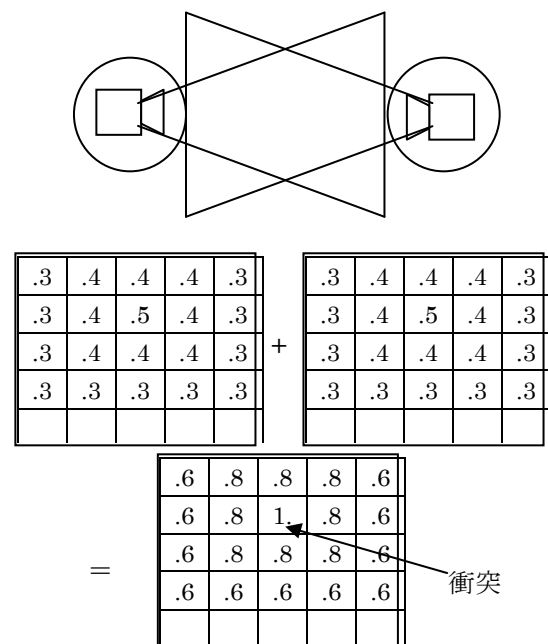


Figure 2 Cyber Radar

図2 サイバーレーダーの衝突判定方法

Cyber Radarは、衝突した素材を構成している三角形を識別することができる。このため、並行投影法で描画する際に、三角形の色符号として三角形番号を与えておく。衝突判定の際、距離画像から衝突画素を特定し、カラー画像から対応する三角形を特定することができる。

3.3 素材モデルの表現方法

素材モデルは三角形の網状パッチ形式で定義する。このため、多面体の再起分割技法を用いて素材モデルを構築する。このとき、素材モデルのある一つの頂点座標はその周囲の面すべてに共有されるように、面の頂点配列を設定する。その頂点データ構造を図3に示す。この頂点座標はオブジェクト座標系で定義されている。

加工ツールは通常の多面体モデルで構成する。

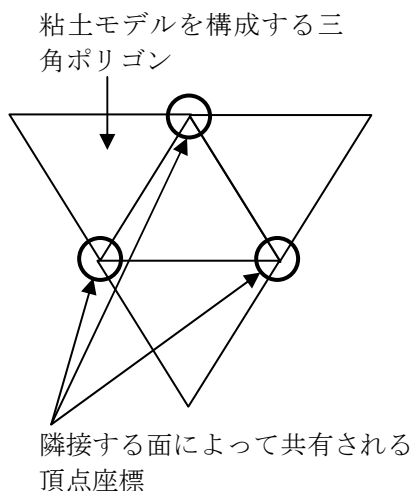


図3 素材モデルの頂点データ構造

3.4 素材モデルの変形技法

素材は、加工ツールの衝突に伴って以下の動作を行う。

- ① 加工ツールの押し込み方向のベクトルを求める。
- ② ベクトルの方向に、衝突している三角形の頂点座標を平行移動する。
- ③ 衝突によって移動した三角形の周辺の三角形の頂点座標を、加工ツールの歯切れ係数と、素材の粘度係数に応じて周辺に伝播させ、周辺三角形の頂点座標を平行移動する。
- ④ 周辺への伝播は、粘度係数の減衰率を用いたバランシンググループで収束させる。

移動量の伝播は衝突面に含まれる頂点座標から以下の式によって伝播させる。移動量伝播の様子を図4、伝播の式を図5のそれぞれ示す。

◎: 衝突点

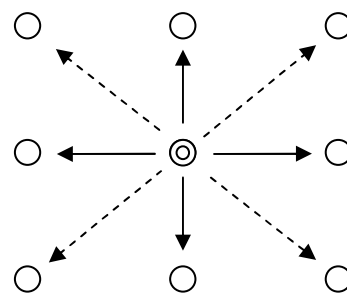


図4 伝播の様子

L_0 = 衝突点の移動量

l_n = n 個目の頂点にかかる移動量

K = 歯切れ係数

S = 粘度係数

$$l_n = L_0 K f(S, n)$$

図5 伝播の式

4. 開発したソフトウェア

以上の機能を搭載したモデリングソフトウェアを、OpenGL を用いて開発した。開発したソフトウェアの動作画面を図5、衝突中の様子を図6、衝突して変形した素材モデルのワイヤーフレーム画面を図7に、それぞれ示す。

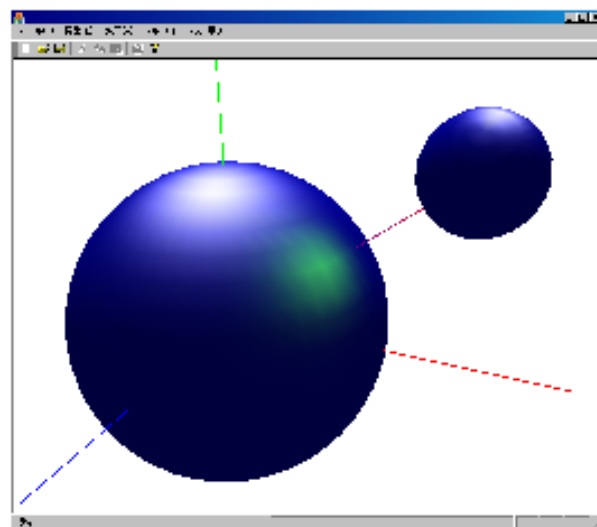


図5 開発したソフトウェアの動作画面

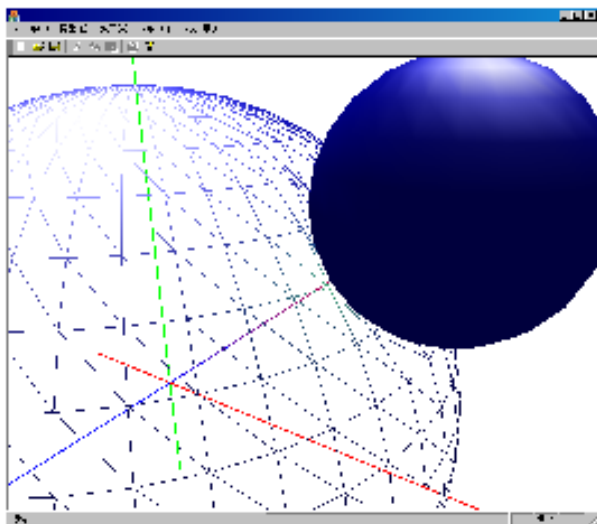


図6 加工ツールが素材モデルを押し込む様子

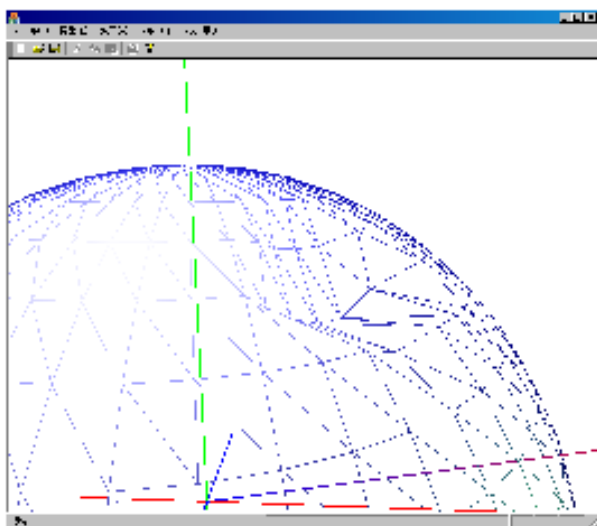


図7 変形した素材モデルのワイヤーフレーム

大きな球体が素材モデル、小さな球体が加工ツールである。素材モデルから伸びている3本の線はX,Y,Z軸をそれぞれ表している。加工ツールを動かして素材モデルに衝突させると、素材モデルの衝突した部分が押されてくぼむ。

5. まとめと今後の課題

粘度細工感覚で3次元形状モデルのモデリングを行う技法を開発した。今後実験を行い、有効性の検証などを行っていく予定である。また、素材に硬さの係数を与えている点を利用して、加工ツールを動かす際の力学的フィードバックを与える方法も検討している。このため、入力装置として、ゲームパッドやペンタブレットなどの利用も検討している。最終的には、3次元立体メガネを用いた立体映像システムとし、仮想現実感をもったモデ

リングシステムを目指して開発を行う予定である。

また、制作過程を記録し、モデリング作業自体をアニメーション表示する学習教材システム（粘度細工アニメーター）も検討中である。

6. 参考文献

- [1] 福島則昭：ムービーでらくらく学べる LightWava3DVer6.5 アニメーション for Windows,毎日コミュニケーションズ,2001年
- [2] Maya Documentation : <http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/index.html>
- [3] The official Guide to Learning OpenGL, Version 2.1, OpenGL Architecture Review Board, Addison-Wesley Publishers.
- [4] 今井翔太,梅原伸洋：衝突判定と植物の育成シミュレーションに関する研究,日本工業大学卒業論文,2008
- [5] Sunny3D : SmoothTeddy, Quick 3D Modeling and Painting, <http://www-ui.is.s.u-tokyo.ac.jp/~takeo/java/smoothteddy/index-j.html>
- [6] CSG : Constructive Solid Geometry, http://www.nikonet.or.jp/spring/sanae/inf_box/csg/csg.htm
- [7] 山地 秀美, 新藤 義昭：Zバッファ法を利用したオブジェクトおよび衝突検出, 情報処理学会論文誌, Vol.43, No.6, pp.1899-1909, 2002
- [8] Randima Fernando, Mark J, Kilgard: The Cg Tutorial, Addison-Wesley Publishers.
- [9] 河野孝幸,劉 恒緯：衝突判定技法を用いた折り紙ナビゲータの開発, 日本工業大学卒業論文,2007
- [10] 須藤敦史:対話型3DCG技術とスクリプト言語を用いた折り紙ナビゲーションの研究, 日本工業大学修士論文,2007
- [11] 前野輝, 岡田稔, 鳥脇純一郎：粘土細工モデリングにおける物体変形操作に関する基礎検討 <http://ci.nii.ac.jp/naid/110002781297/>
- [12] 松宮雅俊, 竹村治雄, 横矢直和：自由形状モデリングのための陰関数曲面を用いた仮想粘土細工システム <http://ci.nii.ac.jp/naid/110002725812/>
- [13] CB MODEL PRO : DASSAULT SYSTEMS 社 <http://www.cbmodelpro.com/>
- [14] ClayTools : Sens Able 社 <http://www.sensable.com/index.htm>