

細分割曲面の輪郭線抽出描画手法

望月 義典[†] 近藤 邦雄[†]

細分割曲面の輪郭線を自動的に抽出し描画する手法について述べる。対象物の形状を分かりやすく表現する手法として、さまざまな強調を施した画像がよく用いられる。特に、輪郭線強調は、形状認識上重要な手法である。また、対象物を構成するモデルとして、細分割曲面モデルが多く用いられるようになってきている。しかし、細分割曲面モデルに対し強調を施した画像を生成するには、多大な労力と時間を必要としてきた。そこで、本研究では、細分割曲面に対し、輪郭線を自動的に抽出し、特徴にあわせて描画する手法を提案する。本手法は、レンダリングアルゴリズムであるZバッファ法を基本とし、輪郭線描画処理をレンダリングに組み込むことで、隠面消去と隠線消去を同時に行うことができる。本手法により、細分割曲面モデルに対して輪郭線を強調描画するという処理が、短時間で容易に実現可能となった。

Edge Rendering Method for Subdivision Surfaces

YOSHINORI MOCHIZUKI[†] and KUNIO KONDO[†]

We introduce the method that extracts and draws a contour line of subdivision curved surface automatically. A form of an object the portrait that performed various emphases, as the method that expresses comprehensibly is used well. Especially, contour line emphasis is an important method on form recognition. Also, subdivision curved surface model is to be used a lot, as the model that composes an object. However, great labor and time have been required, to generate the portrait that performed emphasis to subdivision curved surface model. Thereupon, we propose the method that draws according to the characteristic and extracts a contour line automatically, to subdivision curved surface. This method makes Z buffer method that is rendering algorithm a basis and can carry out hidden surface deletion and hidden line deletion simultaneously, by incorporating contour line drawing processing to rendering. The processing, that emphasizes and draws a contour line to subdivision curved surface model by this method, became possible and materialized easily in a short time.

1. はじめに

対象物の形状や特徴、陰影などを、誇張、削減するというようなさまざまな強調表現を施した画像によって、従来の正確で写実的な画像に比べ、対象物の形状や質感などの情報を、より認識しやすく表現することが可能となる^{2),3)}。特にエッジ強調は、対象物の形状認識を行ううえで非常に重要な分野であり、数々の研究例がある。

G バッファ法⁴⁾では、輝度画像でなく、視点からの距離に応じて生成した距離画像に対しフィルタリングを行っている。しかし、フィルタリングであるため、線の任意加工が困難である。ワイヤフレームにより、隠線消去法を基本とした方法^{9),10)}では、かなりの計算

時間を必要とする。エッジ部分を曲面パッチやポリゴン近似したデータとして持つ場合は、隠面消去法と同じアプローチで描くことができる^{7),8)}が、近似が行われていないデータも多く、その場合には新たにデータを追加しなければならない。

さらに近年の傾向として、対象物が自動車や家電製品などの場合、その形状はさまざまな種類の曲面によって非常に複雑に入り組んで形成されているものが多く、これらの表現に細分割曲面モデルを用いることが主流となってきている。しかし現在のところ、この細分割曲面モデルに対する強調画像の生成は、その作業に豊富な経験と高度な技術、感性に加え、膨大な時間を必要とするため、その多方面にわたる需要に対する供給の割合は低い。

筆者らは、ポリゴンモデルを対象としたエッジ描画手法¹⁾を提案したが、細分割曲面モデルに適應する場合、輪郭線が一部消える不都合があった。そこで本研

[†] 埼玉大学工学部情報システム工学科
Department of Information and Computer Sciences,
Saitama University

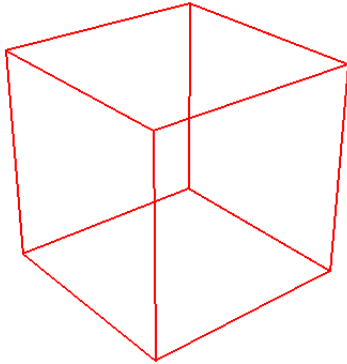


図1 元図形
Fig. 1 The origin model.

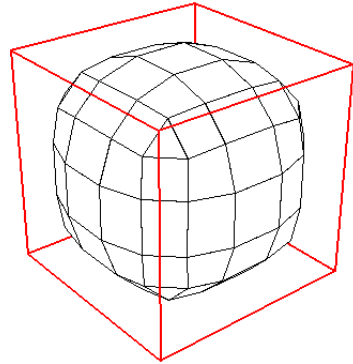


図3 分割回数 2
Fig. 3 Two times divided model.

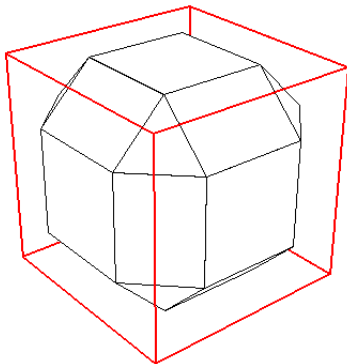


図2 分割回数 1
Fig. 2 One time divided model.

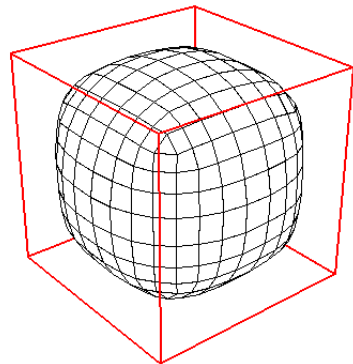


図4 分割回数 3
Fig. 4 Three times divided model.

究では、この手法をもとに、細分割曲面モデルについて、対象物の形状や特徴を明確に表現できる画像を生成する、輪郭線強調描画手法について述べる。

2. 細分割曲面

細分割曲面とは、Subdivision 分割法とも呼ばれ、平面で形成された物体(ポリゴン)から、なめらかな曲面を生成する手法である。生成手法としては、Doo-Sabin 曲面⁶⁾、Catmull 曲面⁵⁾などがある。

本研究では、Doo-Sabin 曲面を用いている。ポリゴンの各面を一定の割合で縮小し、その縮小された各面の頂点どうしをつなぎ合わせるといって過程を何度も繰り返すことにより、平面を曲面に近づけていく。図1のような立方体を例にとると、分割を繰り返すことによって、図2、図3、図4のような図形を得ることができる。

3. 輪郭線強調アルゴリズム

3.1 輪郭線強調の重要性

輪郭線とは、面と面の境界、あるいは面と背景の境界を形成する線のうち、不可視面と可視面によって構成される線である。人の視覚は、明るさや色彩の変化に対して特に敏感である。形状把握のうえでは、輪郭線のような境界部分が重要な情報となる。したがって、境界部分に明るさや色彩の変化がないと、境界部分が正しく認識できず、形状認識にも悪影響を及ぼすことになる。このため、形状を認識するうえで、輪郭線強調は重要な手法である。

3.2 輪郭線描画アルゴリズム

本手法では、基本レンダリングアルゴリズムに Z バッファ法¹²⁾を用いている。従来の Z バッファ法では、各ポリゴンのスキャンラインでの断面部分を求め、画像として表示している。本手法ではこの際、輪郭線となる部分もポリゴンの一部であると想定し、輪郭線

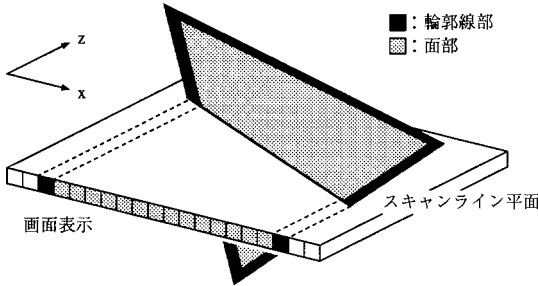


図5 Zバッファ組み込みによる輪郭線描画
Fig. 5 Contour line drawing with Z buffer method.

となる部分についても従来のZバッファ法をそのまま適用することによって、輪郭線の描画をレンダリングと同時に実現させた(図5)。この方法により、指定した輪郭線の幅、色などの情報を反映した輪郭線を描画することが可能になった。

提案手法の輪郭線描画アルゴリズムの概要を示す。

- ステップ1: 輪郭線の幅および色を指定する。
- ステップ2: 輪郭線の描画残しを防ぐため、輪郭線のスキャンを縦、横2度行う。
- ステップ3: 各スキャンにおいて、輪郭線として描かれる部分の、スキャンライン方向の幅を算出する。
- ステップ4: 輪郭線部分のz値を算出し、通常のZバッファ法を適用して、輪郭線を描画する。

以下、各ステップについて解説する。

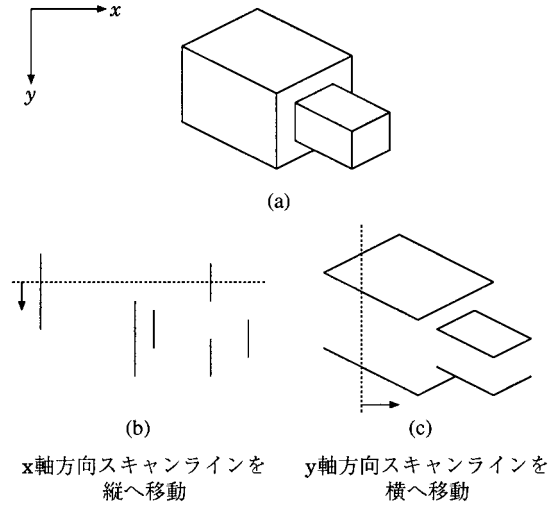
3.2.1 ステップ1: 輪郭線情報の指定

まず、描画する輪郭線について、その色や描画幅などを指定する。各ポリゴン境界のうち、可視面と不可視面によって構成される線が、輪郭線となる。これは、線を構成する両面の法線ベクトルと視線ベクトルの内積をそれぞれ求め、それらの符号が違うことから定義できる。

3.2.2 ステップ2: 両方向スキャン

輪郭線がスキャンラインに対して平行になっているとき、輪郭線がスキャンラインを横切らないため、輪郭線の検出ができない。そこで、1度x軸方向のスキャンラインを縦へ移動させるスキャンを行った後、2度目にy軸方向のスキャンラインを横へ移動させるスキャンを行う。このとき、投影面上で、輪郭線のスキャンラインに対する角度が小さい場合には、輪郭線を描画しないようにする。図6に例を示す。(a)の形状に対しては、各スキャンによって、(b)と(c)のように輪郭線が描画される。

具体的には、輪郭線とスキャンラインの正接が1より小さい場合に、輪郭線描画の処理を通過させること



.....: スキャンライン

図6 両方向スキャン

Fig. 6 Two way scanning.

により実現する。正接1以下という条件にすると、計算誤差によって2度目のスキャン両方で描画されない輪郭線が出てくるおそれがあるので、正接0.9以下程度の条件にしておく。

また、スキャンを2度行くと、2度目のスキャン時に上書きが生じ、1度目のスキャンで描かれた輪郭線の部分が消えてしまう。このため、1度目のスキャン時に輪郭線として抽出された画素を登録しておき、2度目のスキャンのときには、すでに登録された画素に対しては何も処理を行わない。

3.2.3 ステップ3: 輪郭線描画長の算出

輪郭線の幅を設定してZバッファ法を適用するために、輪郭線としてスキャンされる部分の縦横各スキャンライン方向の幅lを求める方法を図7を用いて述べる。なお、以下ではx軸方向のスキャンラインに対する求め方を示す。y軸方向についても同様である。

図7で、輪郭線上の2点P(x_p, y_p), Q(x_q, y_q)が与えられたとき、dx, dyはそれぞれP, Q間のx方向, y方向の幅、wは設定する輪郭線の幅、lは求める輪郭線のスキャンライン方向の幅を表す。A, Bはlの両端、CはBから輪郭線の幅方向へ下ろした垂線の足である。このとき、△ABC ≡ △PQRであるから、

$$\frac{AB}{BC} = \frac{PQ}{QR} \tag{1}$$

すなわち

$$\frac{l}{w} = \frac{\sqrt{dx^2 + dy^2}}{dy} \tag{2}$$

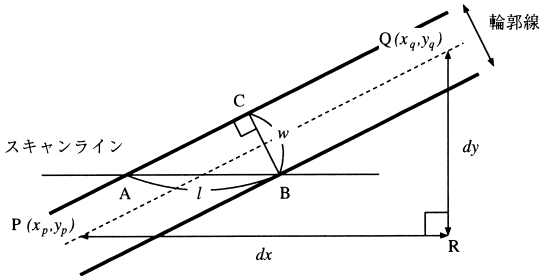


図 7 輪郭線長の算出
Fig. 7 Calculation of contour line width.

$$l = \frac{\sqrt{dx^2 + dy^2}}{dy} w \quad (3)$$

と表すことができる。式 (3) により、 l が求められる。

3.2.4 ステップ 4: 輪郭線の描画

従来の手法¹⁾では、輪郭線は描画すべき場所の面につねに平行に描画されるように設定していた。すなわち、実際に三次元空間上で対象物の表面に指定した幅の線が張り付けられている状態である。

これは一見、最も正確に対象物に輪郭線を描画できるように思われるが、本研究のように、対象物を構成する面が輪郭線と同等かそれより小さく分割された場合、描画すべき場所の周囲にある面によって干渉を受けてしまい、描画される輪郭線が隠れるなどして歪んでしまう (図 8)。

そこで本手法では、図 9 のように、描画すべき場所の面に平行にではなく、二次元に展開したときの面、すなわちスクリーンに対して平行に、視点に対してつねに垂直に描画するように設定した。

こうすることによって、周囲にあるポリゴンによる干渉を受けることなく、細分割曲面に対しても求める一定の幅の輪郭線を描画することができる。

スキャンライン上の輪郭線中心上の点 $P_0(x_0, z_0)$ に対して、スキャンライン上の輪郭線の左端、右端の点をそれぞれ $P_1(x_1, z_1)$, $P_2(x_2, z_2)$ とする。

輪郭線の描きははじめ位置 x_1 および描き終わり位置 x_2 , またその奥行き値は、前述の l を用いると、それぞれ

$$x_1 = x_0 - \frac{l}{2} \quad (4)$$

$$x_2 = x_0 + \frac{l}{2} \quad (5)$$

$$z_1 = z_2 = z_0 \quad (6)$$

となる (図 10)。輪郭線上各点の奥行き値は、この x_1, x_2, z_1, z_2 を用いることにより、通常の Z バッファでの奥行きと同じ方法で求めることができる。

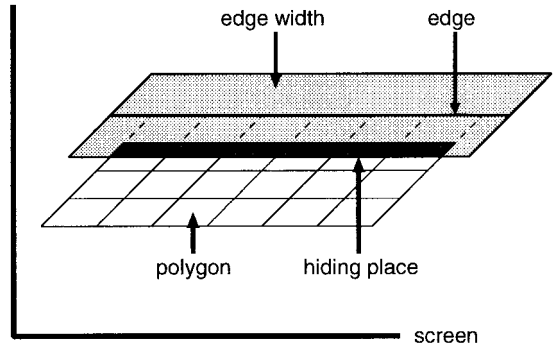


図 8 従来の輪郭線設定
Fig. 8 Contour line setting in traditional method.

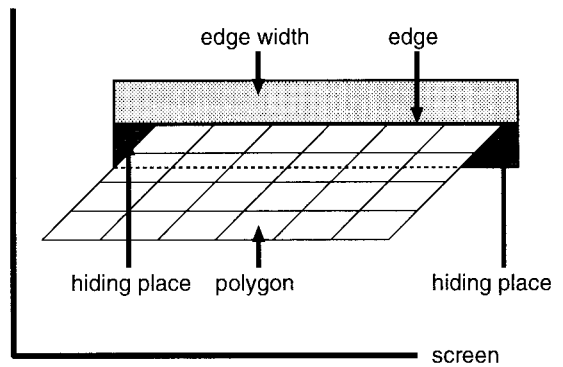


図 9 本手法の輪郭線設定
Fig. 9 Contour line setting in proposed method.

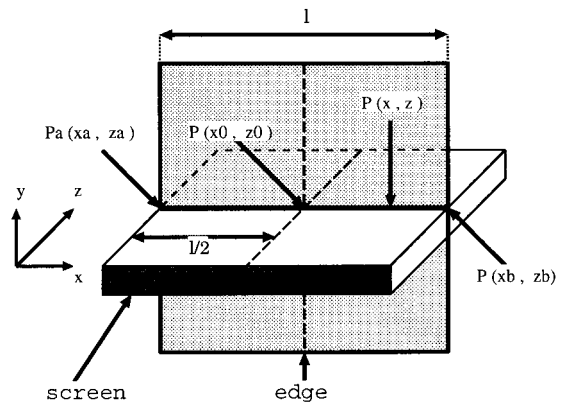
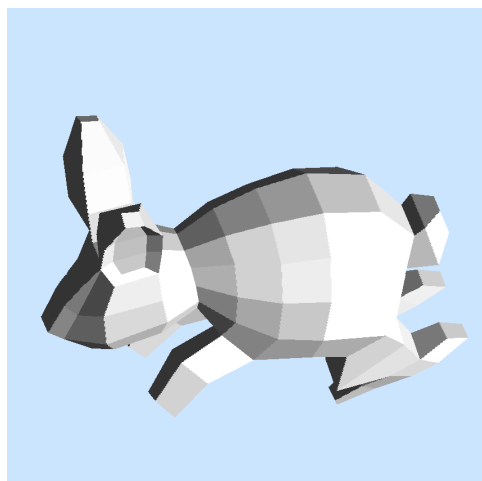


図 10 輪郭線の左端、右端
Fig. 10 Left side and right side of contour line.

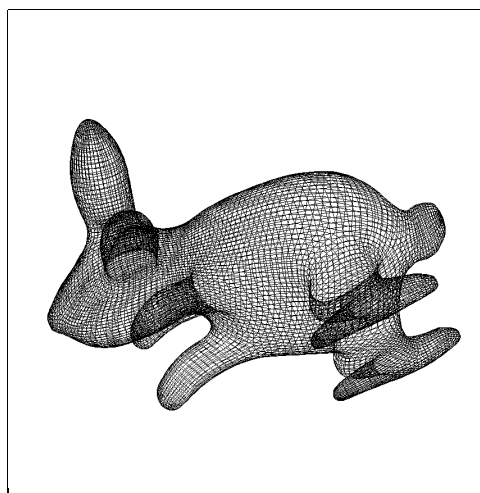
以上の各ステップによって、細分割曲面に対して輪郭線描画が可能となる。

4. 作画実験例

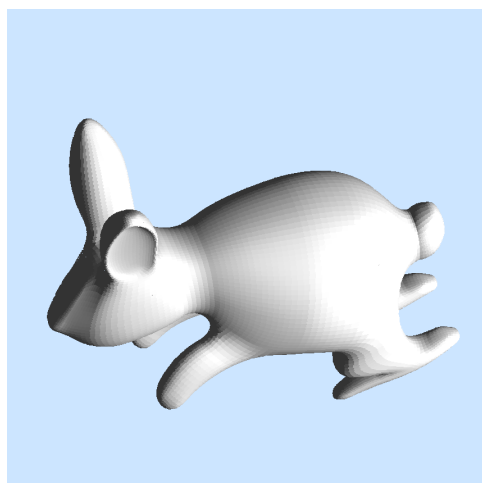
図 12 (a), (b) で示されるモデルに対して、本手法による輪郭線描画処理のプロセスを解説する。



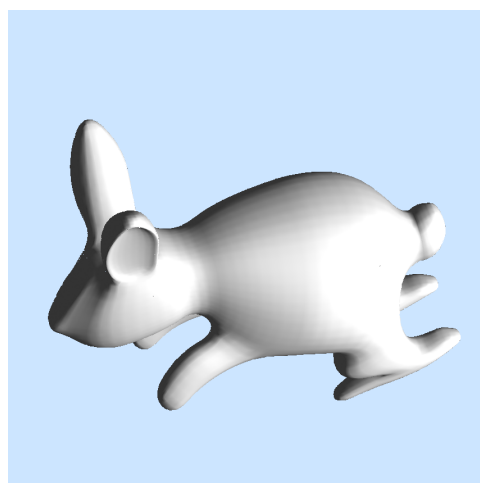
(a) 初期状態 (208)



(a) ワイヤフレーム



(b) 三回分割後 (13314)



(b) シェーディング後

図 11 Subdivision 分割法による細分割曲面生成

Fig. 11 Generation of curved surface by Subdivision method.

図 12 三回分割後の対象モデル (13314)

Fig. 12 Three times divided model.

まず、図 11 (a) のモデルを Subdivision 分割法により細分割化する。モデルを構成する面の総数が 208 であったものを、3 回分割することによって総数 13314 (図 11 (b)) になる。面数は増加したが、シェーディングをかけなくてもかなり滑らかな曲面を生成することができているのが分かる。この細分曲面モデルに、本手法により輪郭線描画を行う。

前述のように、描画残しを防ぐため本手法では縦、横と 2 度にわたりスキャン処理を行う。図 13 (a) がスキャンラインを縦に、図 13 (b) が横に移動させたものである。

これらを組み合わせることにより図 14 (a) のように描画残しのない正確な輪郭線を描画することができ

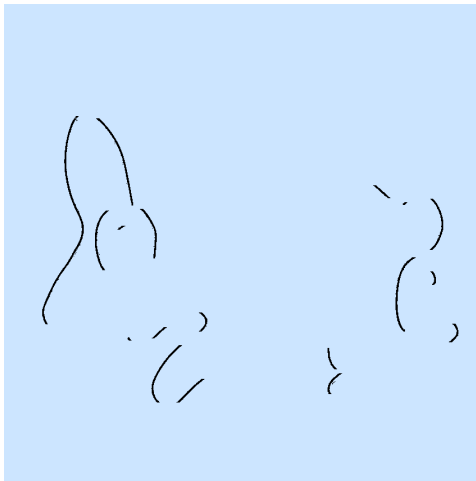
る。対象物の面と同時にレンダリングを行うことにより、図 14 (b) となる。

シェーディングのみの画像 (図 12) に比べ、本手法により輪郭線を描画した (図 14) の方が、境界部分がはっきりと区別されていることが分かる。

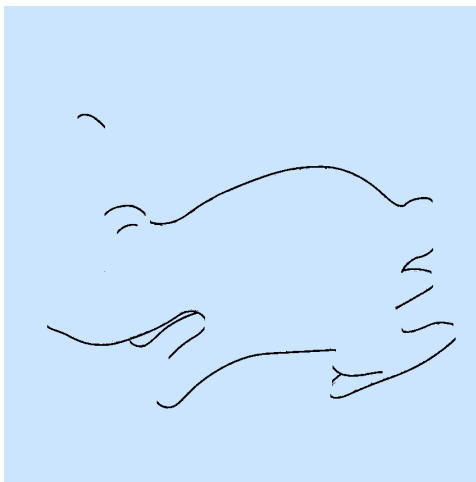
また、幅を太くし、色を白く設定すると、図 15 のような画像を得られる。このように、幅や色を設定することも可能である。

5. 結 論

本研究では、情報伝達手段としての画像の役割に注目し、形状の特徴を強調するようなレンダリング手法として、細分割曲面に対して輪郭線の幅や色などの幾



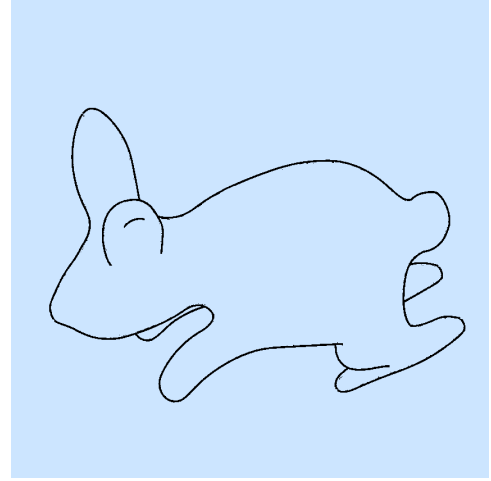
(a) 縦方向スキャン



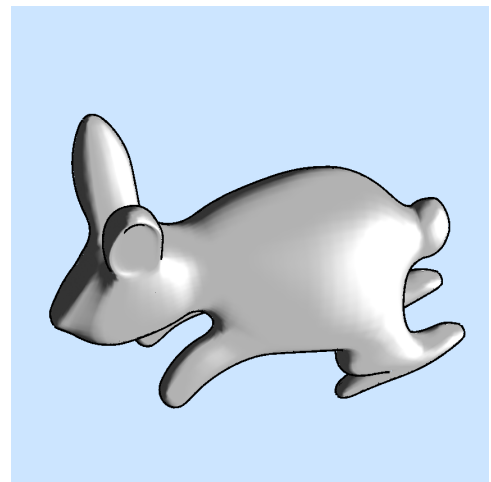
(b) 横方向スキャン

図 13 両方向スキャン

Fig. 13 Two way scanning.



(a) 輪郭線のみ



(b) レンダリング後

図 14 輪郭線描画処理結果

Fig. 14 Result of contour line drawing.

何情報を指定して描画する手法を提案した。

本手法は、輪郭線を面としてとらえ、エッジ描画処理を Zバッファ法に組み込むことによって実現している。これにより、以下のような成果を得た。

- (1) 細分割曲面に対する輪郭線描画画像を効率的に得ることができる。
- (2) 隠線消去と隠面消去の同時処理を容易に実現することができる。
- (3) 輪郭線の幅や色を指定した描画を、Zバッファ法を2度行うだけで実現可能である。

参 考 文 献

- 1) 望月義典, 近藤邦雄, 佐藤 尚: 形状特徴表現のためのエッジ強調描画手法, 情報処理, Vol.40,

No.3, pp.1148-1155 (1999).

- 2) 近藤邦雄, 木村文彦, 田嶋太郎: インタラクティブレンダリングシステムによる3次元形状の表現, 情報処理, Vol.26, No.11, pp.1401-1408 (1985).
- 3) 大野義夫: フォトリアルでないCG画像の生成について, 情報処理学会研究報告, 95-CG-76, pp.1-7 (1995).
- 4) Saito, T. and Takahashi, T.: Comprehensible Rendering of 3-D Shapes, *Computer Graphics, Proc.SIGGRAPH '90*, Vol.24, No.4, pp.197-206 (1990).
- 5) Catmull, E.E. and Clark, J.H.: Recursively generated B-spline surfaces on arbitrary topological meshes, *Computer Aided Design*, Vol.10, No.6, pp.350-355 (1978).
- 6) Doo, D. and Sabin, M.: Behaviour of recursive

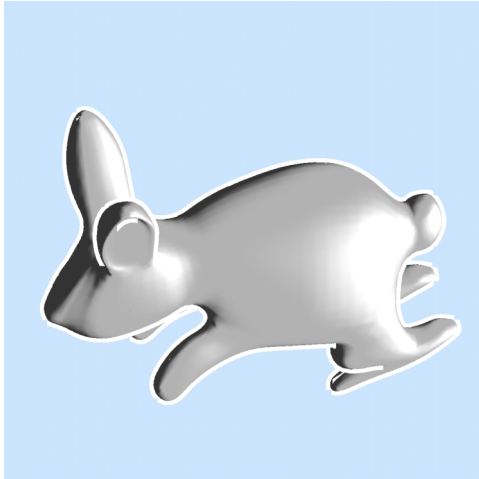


図 15 幅, 色の設定変更

Fig. 15 Change of width and color.

division surfaces near extraordinary points, *Computer Aided Design*, Vol.10, No.6, pp.356-360 (1978).

- 7) 斉藤隆文, 新谷幹夫, 高橋時市郎: 稜線のハイライト表示とその拡張, 情報処理学会グラフィックスとCADシンポジウム論文集, pp.9-16 (1988).
- 8) 田中敏光, 高橋時市郎: 精密レンダリング法とそのハイライト生成への応用, 情報処理学会論文誌, Vol.33, No.4, pp.471-480 (1992).
- 9) Roberts, L.G.: Machine Perception of Three Dimensional Solids, *MIT Lincoln Lab. Rep.*, TR 315 (1963).
- 10) Petty, J.S. and Mach, K.D.: Contouring and

Hidden-line Algorithms for Vector Graphic Display, *Air Force Applied Physics Lab. Rep.*, AFAPL-TR-77-3 (1977).

- 11) 斉藤隆文: Comprehensible Rendering—これからの課題, 情報処理学会研究報告, 95-CG-76, pp.89-94 (1995).
- 12) Catmull, E.: Computer Display of Curved Surfaces, *Proc. IEEE Conf. Comput. Graphics Pattern Recognition Data Struct.*, p.11 (1975).

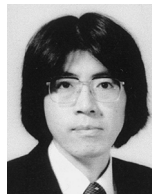
(平成 11 年 9 月 9 日受付)

(平成 12 年 2 月 4 日採録)



望月 義典 (学生会員)

1995 年埼玉大学工学部情報工学科卒業. 1997 年同大学院理工学研究科博士前期課程修了. 現在, 同大学院博士後期課程在学中. コンピュータグラフィックスの研究に従事.



近藤 邦雄 (正会員)

1979 年名古屋工業大学第 2 部機械工学科卒業. 名古屋大学教養部工学教室, 1988 年東京工芸大学電子工学科講師を経て, 1989 年埼玉大学工学部情報工学科助教授. コンピュータグラフィックス, ユーザインタフェース, 形状モデリング, 感性と知識をもとにした画像処理の研究に従事. 工学博士. 日本図学会等会員.