

コンピュータグラフィクスを利用した ガラス容器デザインシステム

西尾吉男^{†,*} 横井茂樹^{††} 林敏夫^{†††}

ガラス容器のデザイン作業には、2次元 CAD を中心としたシステムが主として用いられており、出来上がりのイメージがつかみにくく、実際に必要となる細かな機能に対応していないのが現状である。本論文では、光線追跡法に基づき製品の概観を表示して評価するための、ガラス容器デザインシステムを開発したので、その機能、内容について述べる。本システムでは、形状データの定義、ラベルの張付け、内部の液体の表示、特殊な表面仕上げなど、実際のデザインプロセスで重要な表示機能を多く開発している。

A Glass Containers Designing System using Computer Graphics

YOSHIO NISHIO,^{†,*} SHIGEKI YOKOI^{††} and TOSHIO HAYASHI^{†††}

In design work of glass containers, two dimensional CAD systems are mainly used. It is difficult to understand the precise image of the resulting objects based on 2-D drawings. The existing CG software don't provide enough functions to be used for design of actual glass containers. We developed a glass containers designing system which has many important functions. The main functions are the definition of shape dates, the pasting of labels, the expression of internal liquid, the particular surface finishing, and so on.

1. はじめに

ガラス容器は、透明素材でできているため、デザイナーが外観のスケッチ図を描くのが難しく、これまでは主として2次元側面形状に基づき、設計の評価が行われてきた。これに対して、コンピュータグラフィクスにおける光線追跡法の開発は、ガラス容器の外観をリアリスティックに表現できる可能性をもたらし、いくつかの報告が行われている。例えば、堀内ら¹⁾は、3次のB-スプライン曲線が回転体として形状を定義するか、あるいは、曲線を線分近似し、スムーズシェーディング技法を利用して、光線追跡法を適用して表示している。また、常包ら²⁾は市販のソフトウェア・パッケージを用いてガラスボトルの表示を行っている。

しかしながら、実際のガラス容器には、様々な形状を持つものが存在し、ラベルやキャップ、表面仕上げ、内容物の存在等、実際のデザインの評価、検討には考慮すべき多くの項目が存在するが、従来そのような効果を表現できるCGソフトウェアは開発されていない。そこで、筆者らは、実際のガラス容器の設計評価に応用できるシステムの開発を行った。本論文では、これまでに開発したデザインのための諸機能について報告する。

2. ガラス容器デザインシステムの概要

現在開発中のシステムは、実際に用いられている2次元CADから生成した断面データをもとに、3次元形状データに変換し、この形状に基づき光線追跡法によりガラス瓶等のガラス容器をシミュレーションするものである。実際の製品を表示し、デザインを検討するためには、以下の諸機能を開発した。

(1) 多様な形状への対応

丸ビン(回転体)や角ビン(線対称図形)を表示可能とする。

(2) ビンに張り付けられたラベルやキャップを表示する。

[†] 名古屋大学経済学部情報処理室
Information Processing Room, Faculty of
Economics, Nagoya University

^{††} 名古屋大学情報文化部自然情報学科
School of Informatics and Science, Nagoya
University

^{†††} 石塚ガラス株式会社
Ishizuka Glass Inc.

* 現在、四日市大学経済学部経済学科
Presently with Faculty of Economics, Yokkaichi
University

(3) ビン内の液体(内容物)の表示をする。

(4) ビンの表面に存在する特殊な表面仕上げを表示可能とする。

本研究では、上記の諸機能を有するソフトウェアを開発した。

以下に開発した機能の概要について述べる。

(1) 丸ビン形状と限定された形状の角ビンについて表示を可能とした。ここでは、基本的に光線追跡法を利用して表示を行っているが、光線追跡法における膨大な計算時間を削減するため、次のような高速化を行っている。①直方体のバウンディングボックスによる高速化、②フェラーリの公式によりトーラス等に必要な4次方程式の解析的解法¹²⁾を用いた高速化、③減衰率の積を用いた高速化、等である。

(2) 複数のラベル、キャップの表示を行うための機能を開発した。この機能については、ラベル、キャップをスキャナより画像データとして取り込み、画像強調などの前処理を行い光線追跡計算の際に用いることにより、後で張り付けたような性質の不自然さを除いている。また、様々なラベル(半透明、金文字などの装飾、凹凸による模様、両面ラベル)の張り付けが可能である。そのほか、ラベル部分のマスク情報を用いた、ラベル、キャップの高速な張り替え機能も、実現した。このマスク情報とは、生成画像の中で、光線追跡の際にラベル、キャップ部分と交点が生じた場合、その時の木の階層構造レベルを各ピクセルごとに記録したものであり、ラベル、キャップのみの張り替えを行う場合に、再計算を行うべきピクセルであるかを判定するために用いるものである。

(3) 光線追跡法^{7),8)}における赤緑青の内部吸収による減衰を考慮する改良光線追跡法を利用して、着色液体の表示を可能とし、さらに、液体と容器面や空気との境界における計算条件を明確化した。

(4) モール、ネジ切り、ナーリングの表現を、代表的なパターンをの用意し、タイリングを行うことにより、実現した。また、タイリングの繰り返しては表現できない凹凸を持った模様については、スキャナから原画を入力し、凹凸のある模様に変換する機能を付加することにより表現を可能とした。この、機能により、凹凸による模様だけではなく、凹凸によるロゴマーク、未登録のタイリングパターンの表現をも可能とした。

3. ガラス容器設計システムのフロー

ガラス容器の設計システムの手順は、図1のような流れで行われる。

4. ガラス容器デザインシステムの機能

ここでは、システムの各機能の内容について述べる。

4.1 形状データの生成

2次元CADによるビンの設計では、横断面、縦断面により形状が定義される。丸ビンの場合は、1種類の縦断面を与え、その回転体として定義されるのに対し、角ビンでは、2種類以上の縦断面を与える。これらは、例えば、最短部分、最長部分の断面形状を表している。この横断面、複数の縦断面から、形状データを作成する。断面形状は、線分、円弧、楕円弧を連結した曲線として表現される(図2)。

形状定義は縦断面形状が線分と円弧(楕円弧)の接

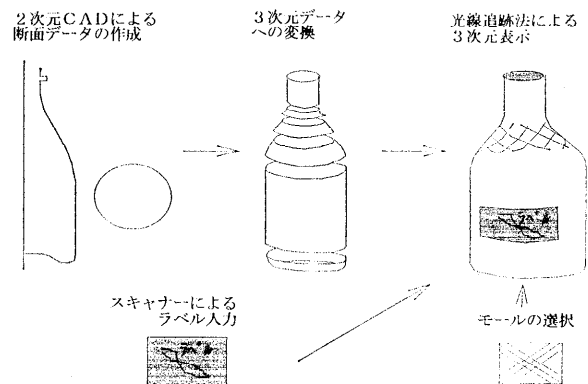


図1 ガラス容器デザインシステムのフロー
Fig. 1 A flow diagram of a glass container design system.

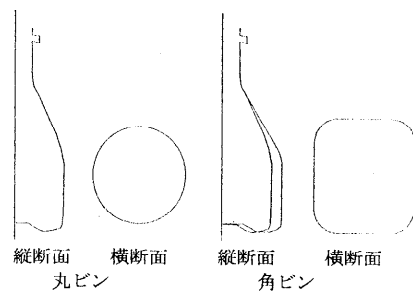


図2 断面形状による立体の形状定義
Fig. 2 A shape definition of solids by using cross sections.

続として与えられるので、これをセグメント（線分または円弧、楕円弧のセグメント）ごとに分割する。それぞれのセグメントにおいて、横断面形状の性質に応じて断面方向の形状の連続性を保つ曲面パッチを求め、（輪切りの）部分形状を求め、これを積み上げる形で形状を定義する。具体的な形状定義はビンの形状により異なるため以降で述べる。この結果の形状は、丸ビンのパッチ間や角ビンのほとんどのパッチ間の接続は C^1 接続である。ただし、角ビンのパッチの中で、縦断面の短径、長径に円弧、楕円弧をとるパッチの場合は C^0 接続であるが、接続点でスムーズシェーディング法を用いることにより、滑らかな表示を得ている。

定義される立体の形状データは、高次方程式で表現される曲面として表される。高次式の曲面を光線追跡すると、計算時間がかかりすぎるため、方程式の次数を下げるため、横方向にスライスした形状の縦方向の積み重ねとして扱い、法線の補間によるスムーズシェーディングを利用した光線追跡法を行っている。

4.1.1 縦断面と横断面からの立体形状の生成

(1) 丸ビン

丸ビンの形状は、縦断面1つと横断面1つから定義

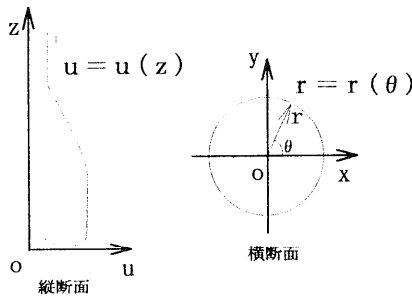


図3 丸ビンの形状定義

Fig. 3 A shape definition of a round bottle.

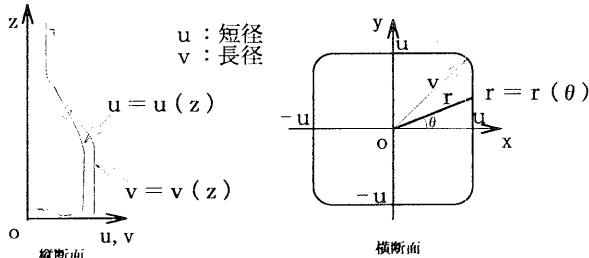


図4 角ビンの形状定義

Fig. 4 A shape definition of a square bottle.

される。縦断面を uz 平面上で考え、横断面を xy 平面上で考えることとする (図3)。

縦断面は z の関数 $u(z)$ を使い

$$u = u(z)$$

と表せる。また、横断面について、半径 u の円を考え

$$r(\theta) = u$$

となる。円の場合、 $r(\theta)$ は θ に依存せず

$$r = u$$

と表せる。

よって、丸ビンは、円筒座標系の方程式

$$u(z) = r$$

により、表される。

(2) 角ビン

角ビンの形状は、縦断面2つ以上と横断面1つから定義される。縦断面を uz 平面上で考え、横断面を xy 平面上で考えることとする (図4)。

縦断面は2本あり、 z の関数 $u(z)$ と $v(z)$ を使い

$$u = u(z) \quad \text{短径 (最短部分)}$$

$$v = v(z) \quad \text{長径 (最長部分)}$$

と表せる。また、横断面について、 $\theta=0$ のとき短径をとり、 $\theta=\pi/4$ のとき長径をとるとすると

$$r(0) = u$$

$$r(\pi/4) = v$$

となる。

ここで、ある z_c に対し

$$u_c = u(z_c), \quad v_c = v(z_c)$$

なる u_c, v_c が与えられたとする。

図5のように $v=v_c$ のところを円弧が通り、 $u=u_c$ は直線が通る。これらが滑らかに接続する円弧と直線のパラメータを求める。

4.1.2 横断面と縦断面の分類

(1) 縦断面の分類

縦断面の要素は、線分と円弧（楕円弧）であるが、円弧（楕円弧）の場合、 z 軸に対して外側に膨らんで

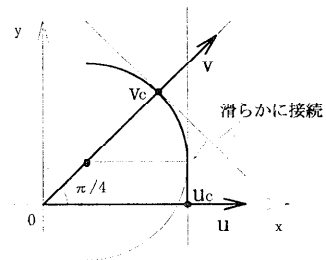


図5 角ビンの形状定義方法

Fig. 5 A shape definition method of a square bottle.

いる場合と内側に膨らんでいる場合とがある。丸ピンと角ピンについて、この分類を表にまとめる。丸ピンの場合は、縦断面は1つであるから、表1のようになる。角ピンの場合は、縦断面は2つ以上であり、例えば2つの場合では表2のようになり、9種類の場合分けが必要となる。また、表3の角丸長方形の場合には3つの縦断面を生じ、27種類の場合分けが必要となる。

表1 縦断面が1つの場合の分類

Table 1 A classification in case of one vertical section.

縦分	円弧 (楕円弧)	
	外に膨らんでいる	内に膨らんでいる

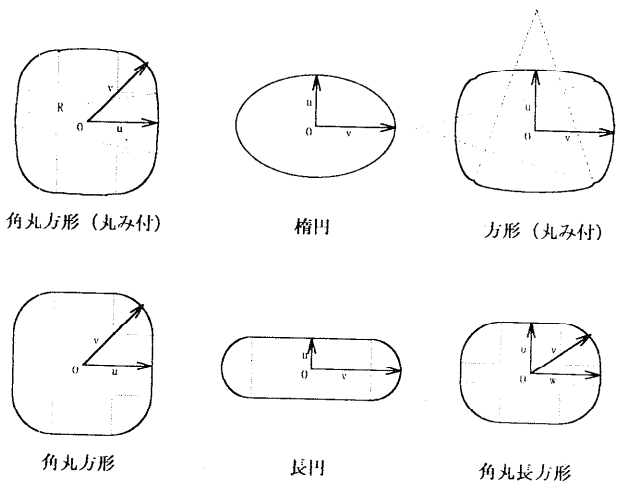
表2 縦断面が2つの場合の分類

Table 2 A classification in case of two vertical sections.

短径	長径	縦分	円弧・楕円弧	
			外に膨らんでいる	内に膨らんでいる
縦分	縦分	縦分	外に膨らんでいる	内に膨らんでいる
			外に膨らんでいる	内に膨らんでいる

表3 横断面の分類

Table 3 A classification of horizontal sections.



角丸方形 (丸み付)

楕円

方形 (丸み付)

角丸方形

長円

角丸長方形

縦断面が2つの場合 (u, v は r 方向のパラメータ)

線分: $u = a_u \cdot x + b_u$

(a_u, b_u は定数)

円弧 (外に膨らむ場合):

$$(u - r_u)^2 + (z - z_u)^2 = R_u^2$$

($u > r_u$) (中心 (r_u, z_u) , 半径 R_u)

円弧 (内に膨らむ場合):

$$(u - r_u)^2 + (z - z_u)^2 = R_u^2$$

($u < r_u$) (中心 (r_u, z_u) , 半径 R_u)

線分: $v = a_v \cdot x + b_v$ (a_v, b_v は定数)

円弧 (外に膨らむ場合):

$$(v - r_v)^2 + (z - z_v)^2 = R_v^2$$

($v > r_v$) (中心 (r_v, z_v) , 半径 R_v)

円弧 (内に膨らむ場合):

$$(v - r_v)^2 + (z - z_v)^2 = R_v^2$$

($v < r_v$) (中心 (r_v, z_v) , 半径 R_v)

(2) 横断面の分類

丸ピンの横断面は、円であり、表1で挙げた3種類の縦断面形状に従い、スイープを施した回転体となる。つまり、3種類の立体形状に分類されることとなる。

角ピンの横断面には様々なものがあるが、実際の製品から、代表的な形状を整理し、分類すると、表3のようになる。これらの横断面について、各々その形状に対する3次元形状を表示する関数表現を導いた。

各々の横断面形状と縦断面形状の任意の組合せによる3次元形状が存在する。

4.1.3 角ピンの定義例 (図6)

ここで、一例として、角丸ピンの曲面について、定義式を示す。

〈角丸ピンの定義式〉

縦断面:

短径: 外に膨らんだ円弧

中心 (r_u, z_u) , 半径 R_u

長径: 外に膨らんだ円弧

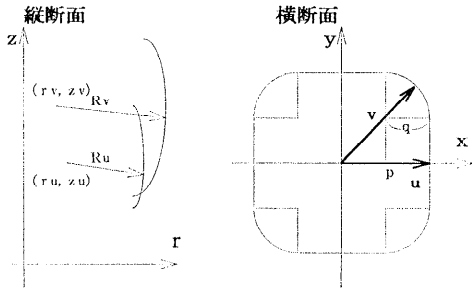


図 6 角ビンの形状定義例

Fig. 6 An example of a shape definition of a square bottle.

中心 (r_v, z_v) , 半径 R_v

横断面:

線分: $x = \pm u \quad (-p \leq y \leq p)$

$y = \pm u \quad (-p \leq x \leq p)$

円弧: $(x-p)^2 + (y-p)^2 = q^2 \quad (x > p, y > p)$

$(x+p)^2 + (y-p)^2 = q^2 \quad (x < -p, y > p)$

$(x+p)^2 + (y+p)^2 = q^2 \quad (x < -p, y < -p)$

$(x-p)^2 + (y+p)^2 = q^2 \quad (x > p, y < -p)$

ただし $p = (\sqrt{2} + 1)(-u + v)$

$q = (\sqrt{2} + 1)(\sqrt{2}u - v)$

$(u = p + q, v = \sqrt{2}p + q \text{ により})$

曲面パッチの形状は、次のように定められる。z の値が与えられると、この z の値に対して縦断面の定義から u, v を求め、その u, v に対して、横断面の定義式から x, y の値が定められ、曲面が定まる。

横断面形状は、縦断面形状の短径と長径から構成しているが、このとき横断面の円弧部分は接点の連続性を保つように構成されるため、断面形状に応じて円弧中心、半径とも変化する。従って、高次（4次以上）の断面が生じ得る。

4.1.4 角ビンの形状表現における問題点

角ビンには、表3で示したように、様々な形状が存在する。角ビンの特徴として、ビンの胴の部分では、表3のような横断面であるのに対し、ビンの首の部分では横断面は円形であり、ビンの胴と首の間で徐々に横断面の形状が変化していることがあげられる。この部分では、交点計算の際に4次以上の高次方程式が発生し、非常に計算時間がかかるといった問題点がある。特に、この傾向は、表3に示した角丸方形（丸み付）などに見られ、こうした場合は、角丸方形に丸みのパンプマッピング¹³⁾を施したものに、置き換えることにより、計算時間を短縮するといった方法を取り用

いた。

4.2 ラベルの張り付け表現

ラベルは、スキャナから原画を入力することにより、入力することとした。ラベルをビンに張り付けた形で表示するためには、張り付け位置を表す座標値とサイズのパラメータが必要であるとともに、ラベルのレンダリングのため、拡散係数、反射係数、透過係数といった属性や、ラベルの絵柄が表のみ、裏のみ、両面にあるというタイプ指定の属性も必要となるため、属性定義の機能を付加した。また、ラベルには、ビニールシールのように一部が透けてみえるもの、金色の文字が入ったものなどがあり、これらに対して、テレビのクロマキーの手法を利用して、指定した一部の色領域に関してのみ、別属性を指定することを可能とした。ビンの形状を決定したのち、ラベルを実際にビンに張り付けた場合の評価を行う必要があり、いろいろなラベルを張り替えて評価を下し、ラベルのデザインを検討しなくてはならない。この場合、時間のかかる光線追跡法の計算を、画像全体に行うには、デザイナーの使いやすさを著しく疎外することになる。そこで、マスク情報用の配列を用意しておき、画像全体を計算した際に、ラベルの値を一度でも参照したピクセルに対応するマスク配列上の点に、その木の階層レベルを入れておき、ファイルにマスク情報を保存する方法を用いた。この結果、二度目からの計算には、このマスク情報により、ラベルの値を参照する可能性のあるピクセルにのみ、再計算を行うことにより、ラベルの高速な張り替えが実現できる。また、複数ラベルの張り付けにも対応できる。

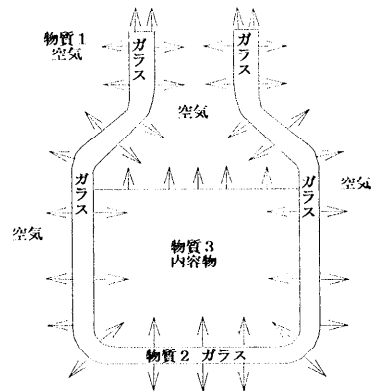


図 7 複数の物質と境界面

Fig. 7 Plural matters and boundary surfaces.

4.3 ビン内の液体の表示

存在する物質を、空気とガラスの2種類とした場合、基本図形の内部、外部の物質の定義は自明な方法で行える。しかし、ビンの中に液体が入っている場合を表示するには、工夫を要する。このように存在する物質の種類が、空気、ガラス、内容物の液体といったように、3種類以上になった場合、形状を表すデータに対し、その境界部分の両側に、どの物質が存在するかを示す情報を付加する必要がある(図7)。本システムでは、各々の物質に、番号、屈折率、RGBそれぞれの透過減衰率を、定義しておき、その物質番号を複数もしくは単数の曲面パッチからなる形状データに付加している。

4.4 特殊な表面仕上げの表現

特殊な表面仕上げとして、モール、凹凸による模様、凹凸によるロゴマーク、ナーリング、ネジ切りなどがある。ビン表面の凹凸模様の表現については、ラベル表現を拡張することにより対応している。凹凸情報を法線の方向により表しており、バンブマッピングを用いることにより凹凸表現を行っている。この機能を利用することにより、社名のロゴマーク、製造番号、模様などの凹凸表現を可能とした。具体的には、ラベルの法線方向を定義する簡易的な方法として、RGBの値により表現している。これは、スキャナから読み取った画像のRGB値に読み替える方法である。横方向の法線の偏位を、GとBの値の比により表し、縦方向の法線の偏位を、Rの値により表すものである。この方法は、上と左右から光線をあてたと仮定し、それぞれの光線を凹凸形状にあてたとき生ずる影の部分を、Rの値、および、GBの値により表現することにより、凹凸形状を影で表現して入力でき、直感的に入力しやすい。

コンピュータグラフィクスを利用しない従来の方法は、手作業により、立体モデルを制作し、彫刻を施し、デザインの評価をするといった方法がとられているが、本文のような簡略的な方法でも、その効果は十分表現される。

切り子細工のようなモールを施したガラス食器があるが、表面模様が規則的に繰り返すパターンが多く見られ、典型的なパターンを種類別に分類することができる。そこで、典型的なパターンを凹凸のあるタイルとして数種類用意して使用し、簡易に切り模様を表現できるようにした(図8)。社名、製造番号については、文字に対応したタイルを登録すればよく、ナーリ

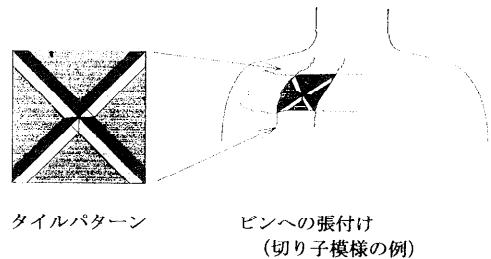


図8 タイリング機能による切り子模様の張り付け
Fig. 8 Pasting of cut patterns by a tiling method.

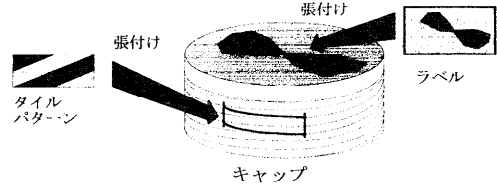


図9 キャップの作成
Fig. 9 Making of a cap.

ング(ビンの底部に設ける滑り止めの溝の集まり)の表現、よく表面加工に用いられる梨地(表面をざらつかせる表面加工)の表現、ネジ切り(キャップ装着部)の表現も、この方法を用いて実現した。

ラベル張り付け機能による凹凸表現と、タイリング機能による凹凸表現は以下のような違いがある。ラベル張り付け機能の場合、凹凸情報をビットマップで持っており、表現の自由度は高いが、メモリを多く必要とし、張り付け枚数の制限がある。それに対しタイリング機能の場合、凹凸情報を模様定義式から計算により求めているため、拡大して張り付けた場合の模様のエイリアジングが発生しない。

4.5 キャップの表示(図9)

キャップの形状は、数種類の典型的なパターンに分類できるため、表示にはタイリング機能による凹凸表現を利用している。メタリックな材質でできており、鏡面反射成分を強調して表示している。また、キャップへの印刷は、ラベルの張り付け表現を用いている。最近では、キャップ形状、表面仕上げについて、多様化の要望があるが、表面属性の属性設定が自由に行うことができるため、対応が容易である。

4.6 高速化手法

計算の高速化をはかるため、以下のような高速化を行った。

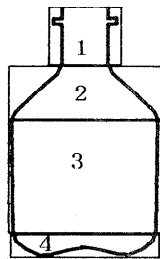


図 10 直方体のバウンディングボックス
Fig. 10 Bounding boxes of rectangles.

4.6.1 直方体のバウンディングボックスによる高速化

3次元基本図形の増加に従い、交点計算回数が増加し、計算時間が極めて増加する。これを防ぐため近接する基本図形を組み合わせるグループを作る。このグループに外接する直方体を考え、グループ内の基本図形の交点計算の代わりに、外接直方体との交点計算を行うことにより、交点計算の計算量を減少させた(図10)。

4.6.2 フェラーリの公式による4次方程式の解析的解法の使用

丸ビンにおいて、縦断面形状がその中心が z 軸上にない円(楕円)の場合、トーラス形状などの4次方程式により表現される図形が発生する。また、角ビンの肩や底部で、4次以上の高次方程式により表現される図形が発生する。このため、4次方程式の解を如何に速く求めるかが重要となる。このため、フェラーリの公式による4次方程式の解析的解法を使用した。

4.6.3 減衰率の積を用いた高速化

光線追跡法では、反射、透過を繰り返すたびに、2分木状に広がる輝度計算を行い、どのレベルで計算を打ち切るかが問題となる。そこで、反射、透過を繰り返すたびに減衰する輝度の減衰率を積算し、この減衰率の積の値が、決められたスレッシュールド値以下になった場合、計算を打ち切る。この方法により、2分木が大きくなることを防ぎ、計算時間を減少させる。

5. 結 果

システムは、Sun スパークステーション 2 上に構築した。ソフトウェアは、C言語、ステップ数約 8000 である。図 11-図 18 に結果を示す。

なお、図のピクセル数はいずれも 512×512 である。

図 11 は内容物無しの丸ビン、図 12 は着色した内容物有りの丸ビン、図 13 はモールを施した丸ビン(計

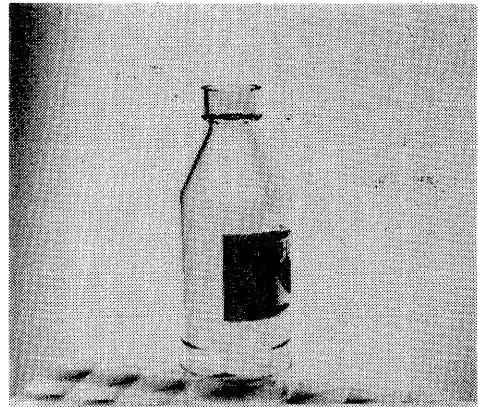


図 11 内容物無し
Fig. 11 Without contents.

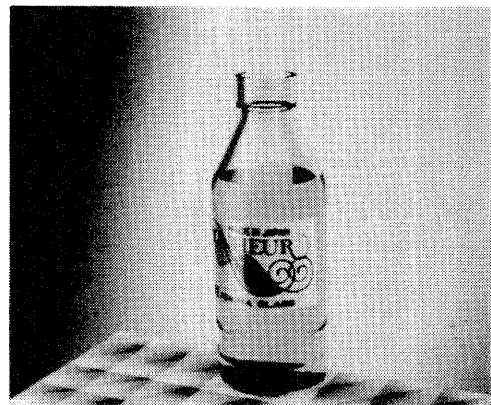


図 12 内容物有り
Fig. 12 With contents.

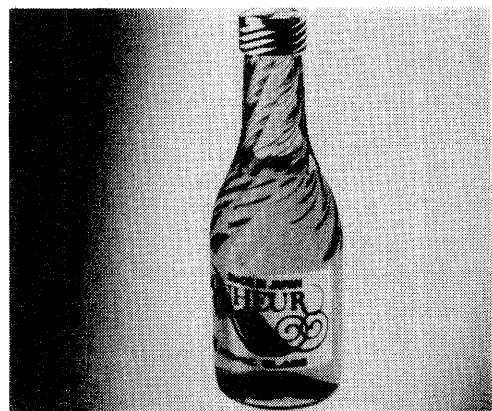


図 13 モール
Fig. 13 Ornaments.

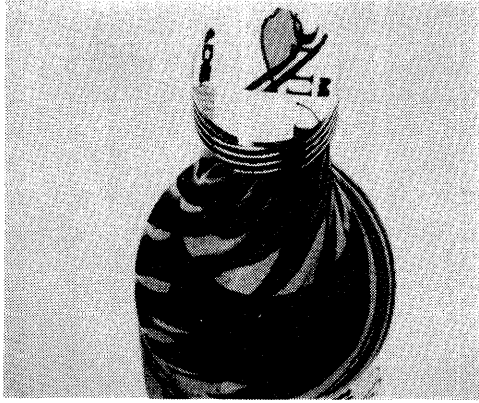


図 14 キャップ
Fig. 14 A cap.

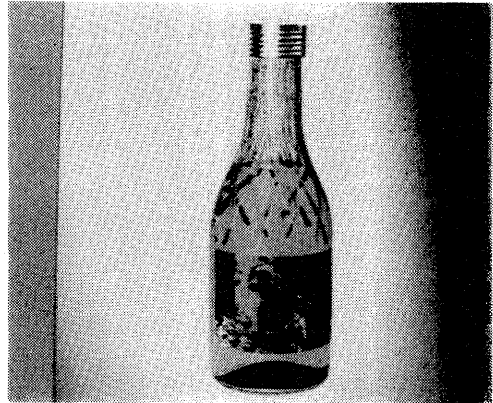


図 17 凹凸ラベル
Fig. 17 A bumpy label.



図 15 ラベル機能 (原画)
Fig. 15 Functions about labels (An original picture).

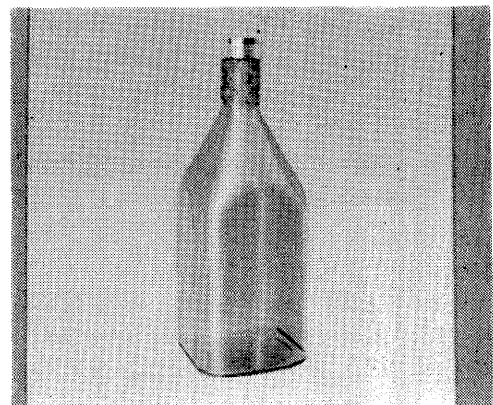


図 18 角ビン
Fig. 18 A square bottle.

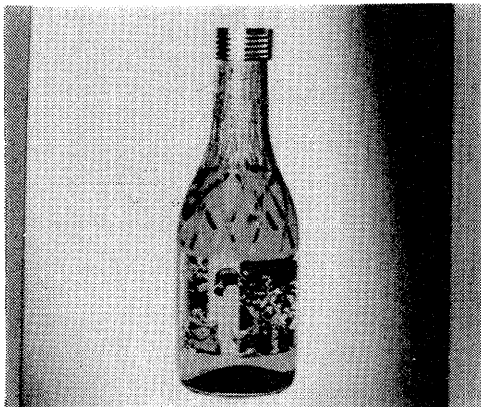


図 16 金ラベル
Fig. 16 A gold label.

算時間1時間4分), 図14はキャップを施した丸ビンである。図15, 16, 17はラベル機能を示したものでラベルマスクを使用した高速ラベル張り替え機能を用いた, 図15は原画, 図16はラベルの白領域を金文字化したもの, 図17はラベルを凹凸のあるガラス化したもので, 図15から図16へは2分, 図15から図17へは8分で, 高速に張り替えが行え, デザイナのラベルの検討に用いることができる。図18は角ビンであり, 計算時間は11時間である。これらの表示の結果は, ビンの外観設計において, 十分に役に立つものであると評価される。

6. ま と め

本論文では, ガラス容器の外観設計の諸機能を開発

した。その内容をまとめると、以下のとおりである。

(1) 実際の設計に用いられている2次元CADの実データを使用し、丸ビン(回転体)、代表的な角ビン(線対称図形)の表示を実現した。

(2) ラベル、キャップの張り付けを行った。凹凸模様、金文字、透明なシール、両面ラベルなどのラベル機能を実現した。

(3) 表面形状(モール、ネジ切り、ナーリング)の表示を行い、簡便な定義方法を提案し、実現した。

(4) 実用化のために必要な機能を考案し、実現した。

この結果、ガラス容器の設計にほぼ十分役に立つシステムが開発された。しかしながら、多様なガラス容器を自由に行うシステムの開発という点から見ると、まだ今後の課題も多い。ガラス容器の設計時必要となる3次元形状定義の簡単な定義手段を与えることが重要であるが、現在のシステムでは、丸ビンと代表的な形状の角ビンに関しては表示機能を開発したが、そのほかに、特殊な角ビン、より一般的な特殊形状ビンについては、まだ確立しておらず、定義手法を確立することから始める必要がある。表面仕上げにおいても、主要機能は開発したが、まだ多様な仕上げ方法が存在し、これらに対応する機能の開発が望まれる。

内容物がどこまで入るかを示す入りみ線、内容量の表示、ガラスビンの各部のガラスの容積の算出など、設計実務に必要な機能の開発要求もあり、これらの諸機能を取り入れることにより、実際のデザインの現場で使えるシステムを作っていくことが重要な課題である。

謝辞 最後に、本研究に対し御指導および有益な討論を頂いた鳥脇研究室の皆様へ感謝いたします。

参考文献

- 堀内, 横井, 鳥脇: 光線追跡法とスムーズシェーディングを用いた透明な回転体の表示について, 情報処理学会論文誌, Vol. 28, No. 8, pp. 870-877 (1987).
- 常包, 奥平, 渡辺: 凸版印刷におけるパッケージング・プリプレス, *PIXEL*, pp. 117-121 (1991. 2).
- 西尾, 横井, 林: コンピュータグラフィックスを利用したガラス製品デザインシステム, 平成5年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. 153-159 (1993. 9).
- 西尾, 横井, 林: 光線追跡法に基づくガラス製品の表示と設計, 1993年電子情報通信学会秋季大会講演論文集, 6-274 (1993. 9).
- 西尾, 横井, 林: コンピュータグラフィックスを利用したガラス製品デザインシステム, 平成4年

度電気関係学会東海支部連合人会講演論文集, p. 371 (1992. 10).

- Whitted, T.: An Improved Illumination Model for Shaded Display, *Comm. ACM*, Vol. 23, No. 6, pp. 343-349 (1980).
- 安田, 横井, 鳥脇, 鶴岡, 三宅: 透明物体表示のための改良光線追跡法, 情報処理学会論文誌, Vol. 25, No. 6, pp. 953-959 (1984).
- 安田, 横井, 鶴岡, 三宅: 透明物体表示のための改良光線追跡法(2), 情報処理学会論文誌, Vol. 26, No. 4, pp. 591-599 (1985).
- Phong, B. T.: Illumination for Computer Generated Images, *Comm. ACM*, Vol. 18, No. 6, pp. 311-317 (1975).
- 横井: 物体の質感表現のためのシェーディング技法, *PIXEL*, No. 15, pp. 87-93 (1983).
- Blinn, J. F.: Models of Light Reflection for Computer Synthesized Pictures, *Proc. SIG-GRAPH '77*, pp. 192-198 (1977).
- Glassner, A. S.: *Graphics GEMS*, p. 404, Academic Press.
- Blinn, J. F.: Simulation of Wrinkled Surfaces, *Comput. Graph.*, Vol. 12, No. 3, pp. 286-292 (1978).

(平成5年12月16日受付)

(平成6年10月13日採録)



西尾 吉男 (正会員)

四日市大学経済学部経済学科講師。昭和33年生まれ。昭和60年名古屋大学大学院工学研究科修士課程修了。名古屋大学経済学部助手を経て、平成6年より現職。CG, VR関連の研究を行っている。電子情報通信学会会員。



横井 茂樹 (正会員)

名古屋大学情報文化学部自然情報学科教授。昭和24年生まれ。昭和52年名古屋大学大学院工学研究科博士課程修了。昭和52年名古屋大学工学部助手。三重大学工学部助教授。名古屋大学工学部助教授。教授を経て平成5年より現職。コンピュータグラフィックス、バーチャルリアリティなどの映像メディアの研究を行っている。



林 敏夫 (正会員)

石塚硝子株式会社技術部課長。昭和20年生まれ。昭和43年岐阜大学工学部精密工学科卒業。同年、石塚硝子(株)入社。金型設計CAD/CAE/CGアプリケーションの開発業務を担当。現在、技術部CADチームリーダー(課長)。