

陶器CADの開発

小堀研一
シャープ (株)

長江貞彦
近畿大学

小島哲郎
伊万里情報センター

森田哲朗
関西航測 (株)

本稿では陶磁器専用のCADシステムについて報告する。システムは現在、大きく分けると3つのソフトウェアから構成されている。陶磁器の形状を定義する対話型のサーフェスマデラ、陶磁器の表面によくみられる絵柄を貼り付けたイメージを表現するテクスチャマッピングを含んだシェーディングモジュールと二次元の絵柄を作成するペイントソフトウェアである。システムは24ビットのフレームバッファを持ったディスプレイを装備した低価格なパソコン上で稼働している。

陶磁器形状は対話型のサーフェスマデラを使って入力し、形状の表面の材質、色などを指定すれば、ディスプレイ上にリアリティのある画像が生成され、デザイナーはその画像を見て陶磁器のデザインが評価できる。

Development of a three dimensional CAD system for chinawares

Ken-ichi KOBORI Sadahiko NAGAE Tetsuro KOJIMA Tetsuro MORITA
SHARP Corporation Kinki University
IMARI INFORMATION CENTER CO.,LTD KANSAI KOUSOKU CO.,LTD

This paper presents an overview of a 3D CAD system for chinaware design. The present implementation of the system consists of three modules, an interactive surface modeller, a shading image generation module and a 2-D paint software. The system operates on a personal computer coupled with a color display which has 24 bit-planes per pixel, and can present realistic images of chinawares.

A chinaware object is created using by the interactive surface modeller during the design stage. A designer inputs several surface detail parameters of the object, such as material, color, etc. As a result, he can get a sophisticated shaded image on a display.

1. はじめに

歴史を持つ伊万里焼などの窯業の伝統技法の継承はきわめて重要なことである。しかし、今日において、窯業の産地間競争の激化は強まるばかりであり、伝統産業として窯業の振興発展を目指すためには消費者のニーズの変化を的確にとらえながら、少量多品種生産や若者向けの新しいデザインの開発を行なって新たな需要を喚起することがより重要となる。そのため、伝統を受け継ぐ陶工技術と先端技術の融合¹⁾による窯業の近代化を図り、需要に即応した商品開発を進める必要がある。このような状況のなかで佐賀県の伊万里市では地場産業を活性化させる目的で第3セクター方式で昭和62年に伊万里情報センター株式会社を発足させ、陶磁器専用のCADシステムを導入して地域の窯元に展開する計画を推進している。そこで本研究ではこのニーズに合った陶磁器専用のCADシステムを開発したので、その内容について報告する。

2. システムの概要

開発したシステムは窯業の窯元を対象としているため、コンピュータのことをまったく知らない職人であり、導入する窯元は数人から数十人程度の小規模なところが多いので、全体のシステムは低価格なパソコンをベースにしたスタンドアロン型として構築し、MMIなどのメニューも窯業業界で用いられている用語を採用してコンピュータを知らない職人でも使えることを前提条件としている。

ユーザーはパソコン上で稼働する三次元サーフェスマデラを用いて陶磁器の形状を対話的に定義し、Phongのシェーディングモデル²⁾を用いて陶磁器の材質感を表現する。陶磁器にはいろいろな絵柄が表面に描かれているので、テクスチャマッピングの手法³⁾を用いて、リアリティのある画像を自動生成して陶磁器の形、色の善し悪しなどデザイン評価を行なう。現状のシステムで適用されるのは陶磁器形状のデザイン評価であるが、将来的にはこの評価されたサーフェスマデラを使って陶磁器の製造に用いる石膏型を自動加工できるようにシステムに拡張性を持たせている。

3. システムによる陶磁器設計アプローチ

本システムを用いたときの陶磁器設計方法を手順に沿って述べる。

1) 陶磁器の外形を陶磁器形状モデラを使って定

義する。陶磁器形状の多くは後述する軸対象型モデル、面対象型モデル、自由断面型モデルの三種類に分類されるので、それぞれのモデルに合った入力方法で定義する。

2) 陶磁器の表面にみられるような絵柄を二次元のペイントシステムで描く、もしくはあらかじめ紙などに描いてシステムに接続されたスキャナで読み取る。

3) 陶磁器形状の表面の色、材質等の属性パラメータを設定した後、システム内に読み取った絵柄データを計算機内に定義された陶磁器形状の表面にテクスチャマッピング手法により貼り付け、シェーディングによりリアリティのある画像を表示してデザイン検討をCRT上で行なう。評価後、修正があれば1)にもどり、形状や絵柄を変更して上記の処理を繰り返す。

4. ハードウェア構成

ハードウェアは数人レベルの窯元でも導入できるようにEWSではなく低価格なパソコンを用いている。しかし、本システムの特徴のひとつでもあるリアリティのあるシェーディング処理を実用的な速度で実現するために32ビットのAXパソコンを採用した。実体感のあるシェーディング画像を表現するために図1に示したような24ビットのフルカラーフレームバッファを有した640×480の解像度を持ったディスプレイを装備している。

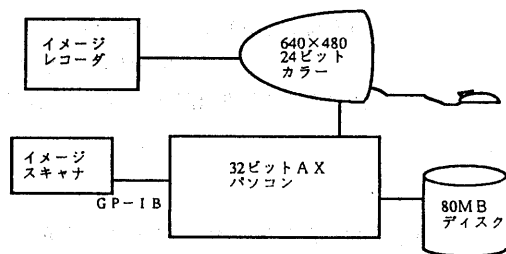


図1 ハードウェア構成

本システムでは完成した画像データをファイル管理する必要があるため、80MBのハードディスクを内蔵している。GPIBインタフェースで接続されたイメージスキャナは職人が紙に書いた絵柄やデザイン評価のさいにシェーディングイメージの背景画像を二次元の画像データとして取り込むための装置である。また、出力としては画面に表示されたフルカラーイメージを写真方式でコピーするイメー

ジレコーダを接続する。

5. データ構造

システムのデータファイルは図2に示されるように、陶磁器の形状を格納する形状定義ファイル、シェーディングされたイメージデータ用および絵柄や背景用のピクチャファイル、陶磁器の表面の色を定義しておくパレットファイルがある。

形状定義ファイルは図3に示すように6つの部分から構成されており、基本的にはサーフェスモデルである。

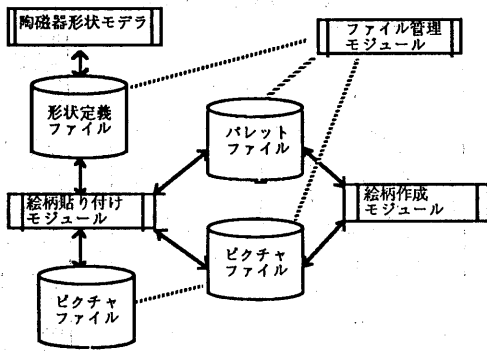


図2 ソフトウェア構成

陶磁器形状1個につき形状定義ファイルが1つ存在する。HEAD部は三種類の形状タイプ、断面曲線の数(例えば、軸対象型モデルの場合は陶磁器の側面を表す曲線と高台の2本)、各断面のポイント数、曲面のu方向、v方向のポイント数などが格納

HEAD部
ビュー部
モデル部
SHADE部 (1), (2), (3)
断面データ部
曲面データ部

図3 データ構造

される。ビュー部はウィンドウ・ビューポート変換に用いる変換マトリックスが入っており、モデル部は本システムのパラメータが設定されている部分である。形状の幾何データは断面データ部と曲面データ部に格納されている。断面部は最初に入力する各断面曲線を規定するポイント

の座標、接線ベクトルを、曲面部は各ポイントの座標、u,v方向の接線ベクトルが格納されている。三種類のモデリングのどの方法を使っても曲面部は図4の太い線で示した陶磁器の腹部と高台の部分の2枚の曲面だけを保持する。シェーディング時に厚みのある立体として図4に示す腹、呑み口、底、高台の4枚の曲面を自動生成して多面体に分割して処理を行なう。

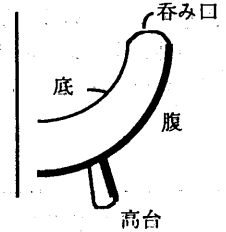


図4 陶磁器の構成部分

SHADE部は三種類の情報からなっており、(1)光源の位置、方向、強さの情報、(2)4枚の曲面表面の色、各種反射係数、(3)絵柄を貼り付ける位置、絵柄用、背景名などのテクスチャマッピング用情報が格納されている。

ピクチャファイルは二つの目的に用いられる。ひとつはスキャナで読み取った画像あるいはペイントソフトウェアで作成した二次元の画像を保存するためのものである。二つ目は形状定義ファイルにあるサーフェスモデルを使ってグラフィックディスプレイの画面に表示された陰影を施した画像を保存するためのものである。どちらも画像を画素のイメージで保存しておき、必要なときに表示できるようにしている。基本的には画素単位にR、G、Bの値で持っている。

6. ソフトウェア構成

ソフトウェアは図2に示すような構成になっており、陶磁器形状を定義する陶磁器形状モデラ、絵柄を貼り付けて陰影を施した画像を生成する絵柄貼り付けモジュール、絵柄を作成するモジュールおよび形状定義ファイル、ピクチャファイルを管理するモジュールの4つのモジュールからなっている。

6.1 陶磁器形状モデラ (MODEL)

一般に機械系CADでは扱う形状が複雑多岐にわたるため三次元形状の入力が難しくなっており、CADの普及のネックとなっていた⁴⁾が、本研究で扱う形状は比較的簡単な陶磁器形状に限られる。そこで陶磁器形状を軸対象型モデル、面対象型モデル、自由断面型モデルの三種類のタイプに分類し、それ

それぞれのタイプの形状が容易に定義できる入力方法を開発した。また、適用業務としては陶磁器のデザイン評価、およびその後の型設計を対象とするため、パソコンでも比較的負荷の軽いサーフェスモデルを採用した。

形状定義は初期形状を入力する段階と入力された立体形状を変形させる段階から構成される。最初に上記三種類のモデリングの一つを選択し、初期形状を決定する。その後、形状の一部を変更させたり、厚みの情報を与えて所望の形状を得る。このモデリングフローを図5に示す。

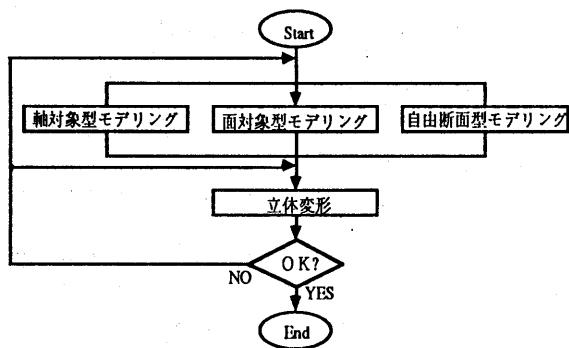


図5 モデリングフロー

A) 軸対象型モデル

これは陶磁器形状に最もよく見られるもので、陶磁器の断面形状を任意の中心軸に対して回転させて、立体形状を定義するいわゆる回転体といわれるタイプである。三種類のモデルのなかで最も簡単に定義できる立体形状である。図6に示すように回転すべく輪郭線と高台を入力する。輪郭線は直線もしくは三次式スプラインで構成される。輪郭線を修正する場合は曲線上の一点を指示し、その点を目的の位置に移動する。輪郭形状を決定した後、軸に対して回転させることにより立体形状が得られる。

B) 面対象型モデル

このモデルは陶磁器形状の中心を通る縦方向の面(以下対象面)に対して対象な形をしているものである。定義方法は対象面に垂直に陶磁器形状の開口部から底部へ形状の断面曲線を入力する、すなわち入力するデータは陶磁器形状の各々の高さでの断面曲線の半分である。その断面曲線はA)の軸対象型モデルで述べた輪郭線と同じエンティティが扱える。

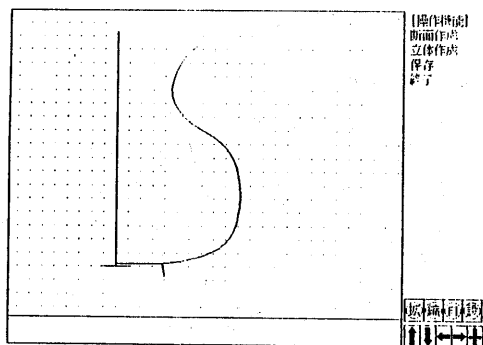


図6 軸対象型モデル

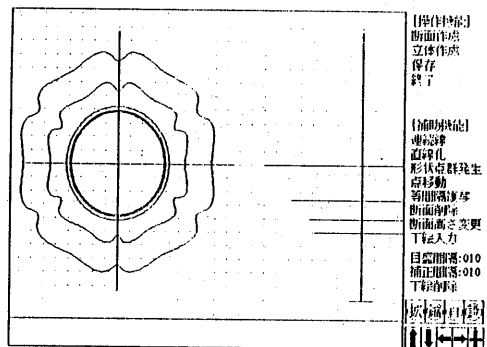


図7 自由断面型モデル

C) 自由断面型モデル

定義する陶磁器形状が対象面に対して対象な形をしていない場合に用いるモデルで、定義方法はB)の面対象型モデルとまったく同様である(図7)。異なっているのは自由断面型モデルが、陶磁器の外周一周分(0~360°)の断面曲線を入力するのに対して面対象型モデルは半分(0~180°)の断面曲線を入力するという点である。また、陶磁器形状の断面によくみられるN角形、円、楕円、木甲、桔梗、星形、木甲四角など陶磁器専用の形状が簡単に定義できるよう専用のメニューを設けている。

上記三種類のモデリングで作成された立体形状に対して部分変形を行なうことができる。立体形状の変形処理は立体を構成する縦、横の断面線の交点を指示して、その点を移動させて変形させる(写真1-a、b)。その時に変形の影響の及ぶ範囲を指定する。ちょうど粘土細工に手で適当な力を与えて凹凸をつけるようなものである。このとき、形状に及ぼす変形の範囲が、陶磁器形状をデザインする上で重要である。種々の形が得られるように本システムでは三通りの変形パターンを用意した。

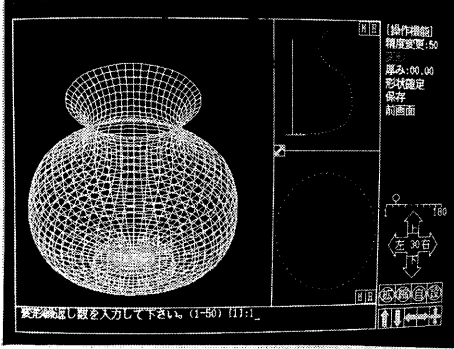


写真1-a 立体形状

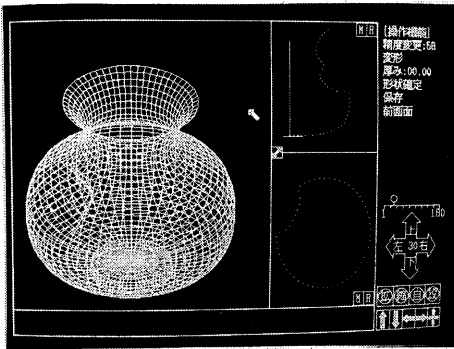


写真1-b 変形後

6. 2 絵柄作成モジュール

これは陶磁器の表面に貼り付ける絵柄の作成、もしくはデザイン評価を行なうときの陶磁器のイメージの背景を作成するための二次元の画像処理ソフトウェアである。

また、急須の形状のように6. 1で述べたモデラでは定義が複雑な形状については陶磁器形状を複数の部分形状に分けて上記三種類のモデラで作成して、個々にシェーディングしたイメージを生成する。その後、本モジュールを使ってそれらのデータをラスターイメージで合成する方式をとってモデリングの煩雑さを回避している(写真2)。

6. 3 絵柄貼り付けモジュール

ここではモデラで定義された三次元形状の表面の色、性質、光源の位置、視点の位置の指定により、シェーディングと二次元テクスチャマッピングを使って陶磁器の質感を表現する。特に表面の性質は素

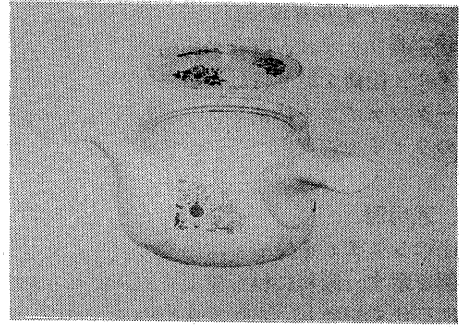


写真2 急須のイメージ

材感表現で重要な要素であり、拡散、反射輝度の度合いが表面の素材に対応して自由に操作できる必要がある。本システムでは陶磁器の素焼きのイメージに近いGouraudの輝度補間法⁵⁾と下式のPhongのモデルを使った法線ベクトル補間法を導入した。

Phongのモデルによれば、物体表面上の1点における輝度Iは

$$I = I_a + K_d \cdot \sum (N \cdot L) + K_s \cdot \sum (N \cdot L')^n$$

ここで、第1項の I_a は周囲環境の拡散輝度、 N は物体表面の単位法線ベクトル、 L は光源の単位ベクトル、 L' は視線方向ベクトルと L との2等分方向の単位ベクトル、式中の第2項は入射光による拡散輝度であり、 K_d は拡散係数。第3項は入射光の正反射による輝度であり、 K_s は鏡面反射係数である。 n はハイライトの強さを制御する変数で n を大きくするにつれてより強い光沢感が得られるが、一般的な陶磁器の表現の場合、 $n=2$ であることが実験から得られたので、標準値としてはこの値を設定している。

本システムの陶磁器形状モデラで作成されたサーフェスモデルの底の部分では曲面のパッチが中心軸に縮退しているため、軸の中心に近い部分ほどテクスチャマッピングは歪むという問題が発生する⁶⁾。壺、湯飲みのような場合は、形状の腹に絵柄が貼り付けられることが多いのであまり問題にならないが、皿のような形状は底に絵柄を配することが多いためこの現象は顕著となる。ここではあらかじめ平板に目的の絵柄を貼り付け、シェーディングされたイメージデータと合成することによって最終的な陶磁器のイメージを得る。

6. 4 ファイル管理モジュール

形状定義ファイル、既存の陶磁器の絵柄イメージファイル、絵柄を貼り付けた結果の陶磁器のイメージデータファイルを格納したり、呼び出したりするためのファイル管理用のモジュールである。

7. 適用例

以上のシステムを使って陶磁器のデザインを行なった例を示す。最初に軸対象型モデルにより陶磁器の初期形状を定義し、立体形状を得る。ここで必要に応じて写真3で表現されている素焼きイメージを生成して形を評価する。これに絵柄を貼り付ける場合は、絵柄を選択して絵柄貼り付けモジュールを実行させる。最終的なシェーディングイメージを生成したものが写真4である。この例の場合、素焼きイメージを生成するための処理時間は146秒、テクスチャマッピングを含んだPhongシェーディングイメージは275秒であった。写真5は軸対象型モデルで定義した形状に変形処理を行なったもの、写真6は自由断面型モデルで入力した形状の陶磁器イメージである。

8. おわりに

本研究では伝統工芸である陶磁器のデザインにCADを適用するための実用システムを開発した。三次元CADではモデリングのしやすさがシステムの性能を左右するが、陶磁器専用とすることで三種類の入力方法に限定して窯元の職人でも容易に入力できるモデラを実現した。また、メニューについても「輝度補間によるシェーディング」は「素焼き表示」などの表現にして陶磁器で使われている用語を使ってユーザーに違和感の少ないインタフェースとした。

この種のシステムはコンピュータ内に定義された形状を実時間で実感のある画像を生成することが実用化において重要となるため、高速に陰影イメージが得られるGouraudの手法とリアリティを実現するPhongの手法の両方を取り入れて、必要に応じて利用できるようにした。

本システムは今年より伊万里市の数社の窯元に導入して利用技術の確立を図るとともに、今後はデザイン評価の結果のコンピュータ内の陶磁器形状を利用して陶磁器を作成するための石膏型を切削するCAMシステムを開発し、より効果の上がるシステムとしていきたい。

参考文献

- 1) 長江:"アーティスト支援CGシステム構築への試行", 近畿大学文学部論集,第1巻 第1号,pp.63-88, 1990.
- 2) Phong Bui-Tuong:"Illumination for Computer Generated Images",Comm. ACM., Vol.18,No.6, pp.311-317, 1975.
- 3) J.F.Blinn and M.E.Newell:"Texture and Reflection in computer Generated Images",Comm. ACM., Vol.19,No.10,pp.542-547,1976.
- 4) N.Futagami, et al:"Development of a Multi Modeller,Proc. of CG international'89,pp.439-449,1989.
- 5) H.Gouraud:"Continuous Shading of Curved Surfaces,IEEE Trans. on Comput.,c-20,No.6,pp.623-629,June 1971.
- 6) 小笠原、小堀:"曲面の平面展開によるパラメータ空間の実空間への写像", 設計工学会 設計・製図第25巻 第7号、pp.26-30,1990.

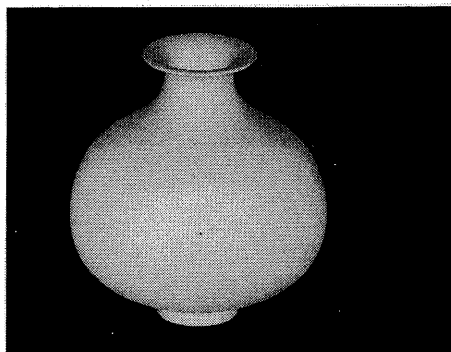


写真3 素焼きのイメージ

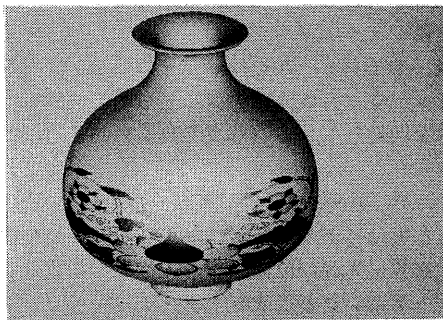


写真4 陶磁器のイメージ

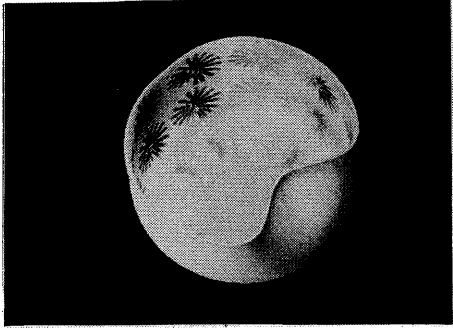


写真5 変形処理例

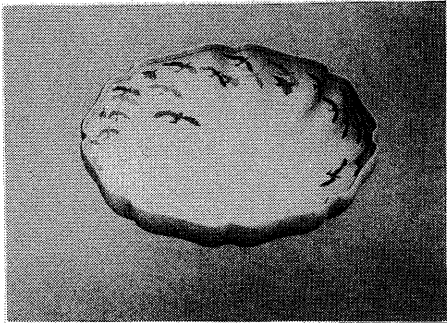


写真6 自由断面型モデル例