

陶器デザインのための CG シミュレーションシステムと商品開発への応用

野上雅彦 † 大谷哲也 † 八村広三郎 ††

陶器産業における商品開発の支援を目的に、簡便な操作性と分散処理機能による陶器デザイン CG シミュレーションシステムを開発した。本システムでは、対象陶器の形状を回転体で定義できるものに限定することによって操作性を向上させ、ロクロ目などの凹凸形状や釉薬を選択することによって、リアルな CG 画像の生成を実現した。また、デザインした CG モデルに基づき、ラピッドプロトタイピング装置により陶器の石膏型を作成することも試みている。

A computer graphics system for design and production of ceramics

MASAHIKO NOGAMI, † TETSUYA OHTANI † and KOZABURO HACHIMURA ††

We have developed a computer graphics system for ceramics, which shall be used as a supporting tool for product design in ceramics industry. Being restricted to solids of revolution, the 3D shape of ceramics can be defined by just specifying the vertical cross section. After defining global shape model of ceramics, local unevenness and glaze pattern are added to the model by a user interaction, and eventually, realistically rendered CG image can be produced. Actual plaster models can also be produced from the CG model by using a rapid prototyping system.

1. はじめに

信楽陶器産業では、長年増加傾向にあった総生産額が平成5年度から減少に転じてしまっている。産地では、消費者ニーズにあった商品開発力の強化を重点課題として取り上げているが、従業員10人未満の業者の占める割合が80%と、商品開発を自社で行うことが難しい家内工業的な中小企業がほとんどであり、効率的な商品開発の支援ツールが求められている。

多様化した消費者ニーズに対応した商品開発を進めていくためには、数多くの設計・試作をふまえた商品開発を行う必要がある。しかし、陶器製品の試作には1ヵ月という長い期間を必要とし、中小企業がほとんどを占める信楽産地

では、これをこなすことは難しく、多様なニーズにはどうしても対応しきれなくなっている。コンピュータグラフィクス (CG) によるデザインシミュレーションを導入することで、これらの作業を効率的に行うことが可能となり、人手の少ない事業所でも商品開発を効果的に行うことができる。しかし、その中小企業への導入には、操作の習得の難しさと機器の高価さという問題点があり、このため産地への普及には至っていないのが実情である。

本研究では、これらの問題点を解決すること目的に、陶器にターゲットを絞ることで、簡単な操作でリアルな陶器のCG画像を得ることができ、また安価なコンピュータシステムで利用可能な「陶器CGシミュレーションシステム」の開発を行なった。

† 滋賀県工業技術総合センター
Industrial Research Center of Shiga Prefecture
†† 立命館大学理工学部情報学科
Department of Computer Science, Ritsumeikan
University

2. 陶器 CG シミュレーションシステムの構成

2.1 基本仕様

開発を進めるプログラムの基本仕様を以下のように決定した。

2.1.1 成形（モデリング）

陶器では回転体の比率が非常に高く、回転体以外でも基本形状は回転体であり、それに部品を付加したり、変形させただけのもが多い。このことから、本システムでは形状を回転体に絞り込む事にする。

またここで、リアルに三次元形状を確認出来る機能をもたせることで、スムーズなモデリング作業を可能にする。

2.1.2 仕上げ（加工）

表面加工を、ロクロ目や櫛目をつけるなどの表面加工と、穴あけの二つに分けて考える。ロクロ目・櫛目などの表面加工は、選択式でディスプレイマッピングを付加させることで、簡単に利用出来る形態で組み込むこととする。しかし穴あけは、自由な形状の入力が必要になり、操作が複雑になると考えられ、穴あけ機能は組み込まないこととした。

2.1.3 施釉（色・質感表現）

CGにおいてリアルな色・質感の表現には、色・バンプ表現のためのイメージデータ、照明や反射係数等の様々なパラメータの設定が必要であ

り、試行錯誤が必要な非常に困難な部分である。これらをユーザが設定するにはかなりのノウハウが必要となる。本システムでは、信楽焼の代表的なテクスチャをピックアップし、あらかじめテクスチャデータを用意しておき、そのなかから選択する形式をとることとする。ただし、色の調整機能を付加している。

2.1.4 焼成（釉薬情報検索）

釉薬に関する情報データベースは、本研究と並行に進めている「ノウハウ情報提供システム」^[1]側で開発を行ない、本システムとの連携機能を検討する。

2.2 システム構成

安価なパソコンで高度なCGを実現するために、クライアントサーバシステムによる分散処理を採用することとした。プログラムの開発には、豊富な標準ライブラリ、ネットワーク機能の充実、プラットフォームに依存しない実行環境などの理由から、Java言語を選択した。また簡易三次元形状確認機能には、汎用性と既存ツールの使用が可能なVRML (Virtual Reality Modeling Language) を利用することとした。

プログラムにおけるシステムの流れは図1のとおりである。

まず、クライアント部で形状のモデリングを行なう。形状は回転体を基本とし、回転のパラメータによりバリエーションの生成を可能にする。色やテクスチャは、あらかじめ用意したメニューから選択することとする。そして、クラ

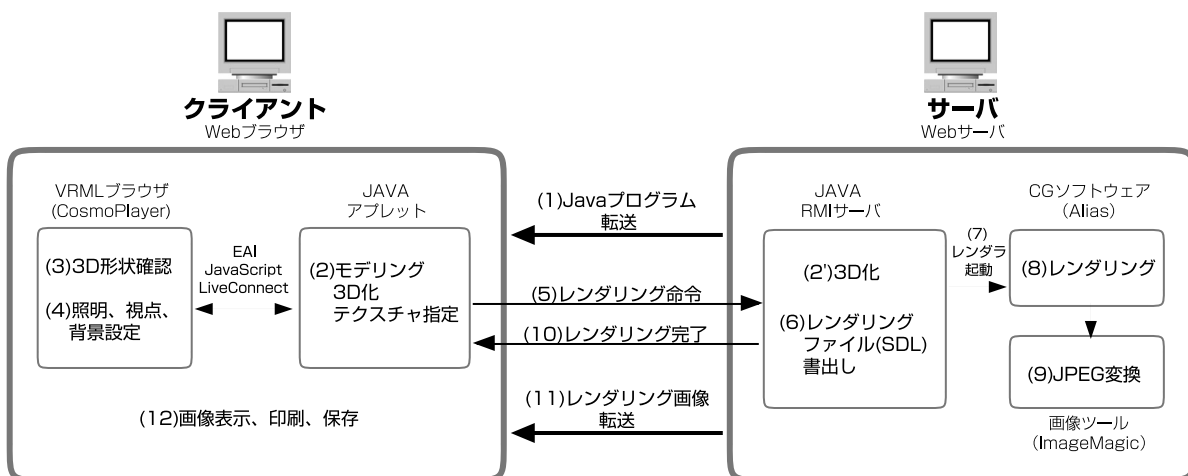


図1 システムの流れ

クライアント側で作成したモデルデータをサーバに転送し、指定されたテクスチャに適応したレンダリングを行い、結果の高精細な画像をクライアント側に転送する。

クライアントサーバシステムの実現には、Java 言語 の RMI (Remote Method Invocation) を、VRML ビュアとの連携には、EAI (External Authoring Interface) を利用する。

システム開発に当たって、その構成を以下のとおりとした。

- (1) クライアント端末
パーソナルコンピュータ
(Windows95 以降, Macintosh)
Web ブラウザ (Netscape)
VRML ビュア (CosmoPlayer)
- (2) CG サーバ
グラフィックワークステーション
(SGI Octane SI)
Web サーバ + CG ソフトウェア
(Alias Studio)
- (3) 開発環境
Apple PowerMacintosh G3
Symantec VisualCafe (JDK1.1)

クライアント端末のパーソナルコンピュータは、VRML ビュアでの三次元表示が必要なため、Windows では MMX Pentium、Macintosh では PowerPC 603e クラス以上を想定してい

る。また、本システムは Java アプレットとし、Web ブラウザからアクセスし利用する形態とする。

CG サーバはグラフィクス分野で定評のある SGI 社のワークステーションを選択。CG ソフトウェアには、様々な分野での実績があり、レンダリングエンジンが単体で利用可能な Alias 社の Studio システムを選択した。

2.3 画面設計

画面構成を、機能に合わせて三つの部分に分けて設定を行なった。また、最終的なレンダリング画像の表示画面は、別ウインドウで表示する。(図 2)

2.3.1 曲線編集画面

システム画面 (図 2 (a)) の左側半分を大きく占めているのが曲線編集画面である。この画面で回転体の断面線となる曲線を描画するだけで、自動的に回転体が生成される。曲線は BSpline だけで十分に自由な線の描画が可能と判断し、直線や円弧等の描画機能は一切省いている。また描画出来る曲線は 1 本のみとすることで、操作の単純化を実現している。

回転体断面線の入力補助機能として、回転軸に対称な鏡像を表示する機能を持たせている。これにより、回転体に展開した時の全体のプロポーシオンを、断面線だけである程度把握することが容易となっている。

基本的な編集は、すべて簡単なマウス操作とポップアップメニューで可能とした。ポップ

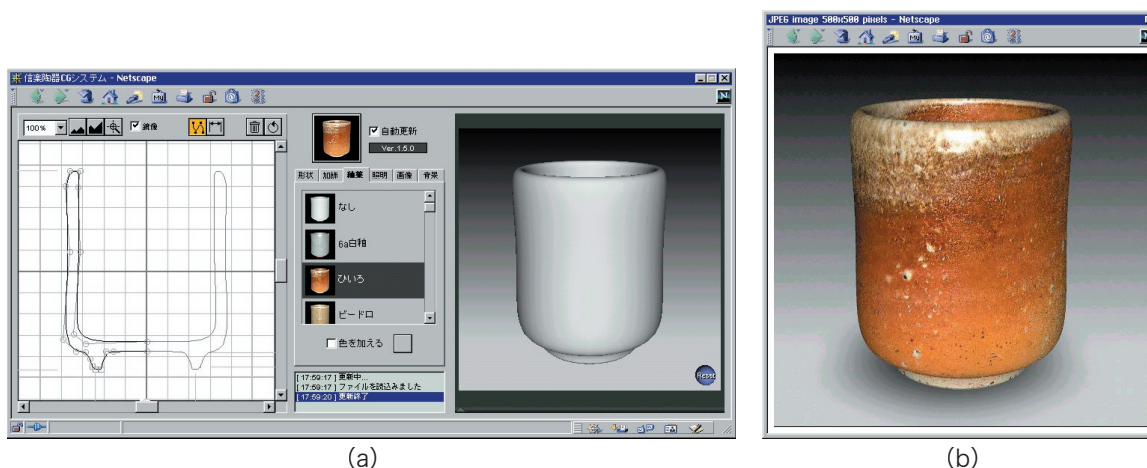


図 2 システム画面 (a) とレンダリング画像表示画面 (b)



図3 回転体で作成可能な形状のバリエーション

アップメニューとは、Windows では右クリックメニュー、Macintosh ではコンテキストメニューとして OS レベルでサポートされている機能である。このメニューの特徴は、操作したいオブジェクトの上で表示させると、その時に必要な項目だけをメニュー項目として表示させることにより、ユーザが必要な項目をすぐに見つけ出すことが可能な点で優れている。

2.3.2 設定画面

パラメータ設定や釉薬の指定等、各種の設定はすべて画面中央の設定画面で行なう。表示スペース節約のため、タブパネルになっているが、各タブ名はその機能を端的に表わす漢字でわかりやすく表現している。また、各パラメータの設定は簡単なマウスクリックだけで可能にしている。

回転体のパラメータ設定では、多角形状に角を付ける機能と、回転を楕円状に変形させる機能を持たせ、角皿のモデリングも可能である(図3)。

2.3.3 三次元形状表示画面

図2 (a) のシステム画面の右側半分を大きく占めているのが三次元形状表示画面である。この画面は、VRML ビュアを利用しており、マウスやキーボードの操作でモデルを回転させて見ることが可能である。照明の効果もリアルに確認することが出来、モデルに色を適用することも可能である。

また、最終的なレンダリング画像の視点は、ここでの視点がそのまま適用される。

2.3.4 レンダリング画像表示画面

最終的なレンダリング画像は、JPEG 画像でサーバから返って来るが、その表示をこの画面で行なう(図2 (b))。この画面は単に Web ブラウザに画像を表示させているだけであり、これにより Web ブラウザの機能で、画像の印刷、保存等を行なうことが可能である。

3. 質感表現

陶器の微妙な風合いやロクロ目などを CG で表現するのは難しく、様々なノウハウが必要である。本システムでは選択するだけで利用可能

表1 テクスチャの要素

質感	要素	テクスチャ	
		分類	要素
土の質感	色、凸凹、つや	釉薬テクスチャ	色 (カラーマッピング) 凸凹 (バンプマッピング) つや (反射マッピング)
釉薬の質感	色、凸凹、つや		
表面の状態 (ロクロ目等)	大きな凸凹	加飾テクスチャ	凸凹 (ディスプレイメントマッピング)

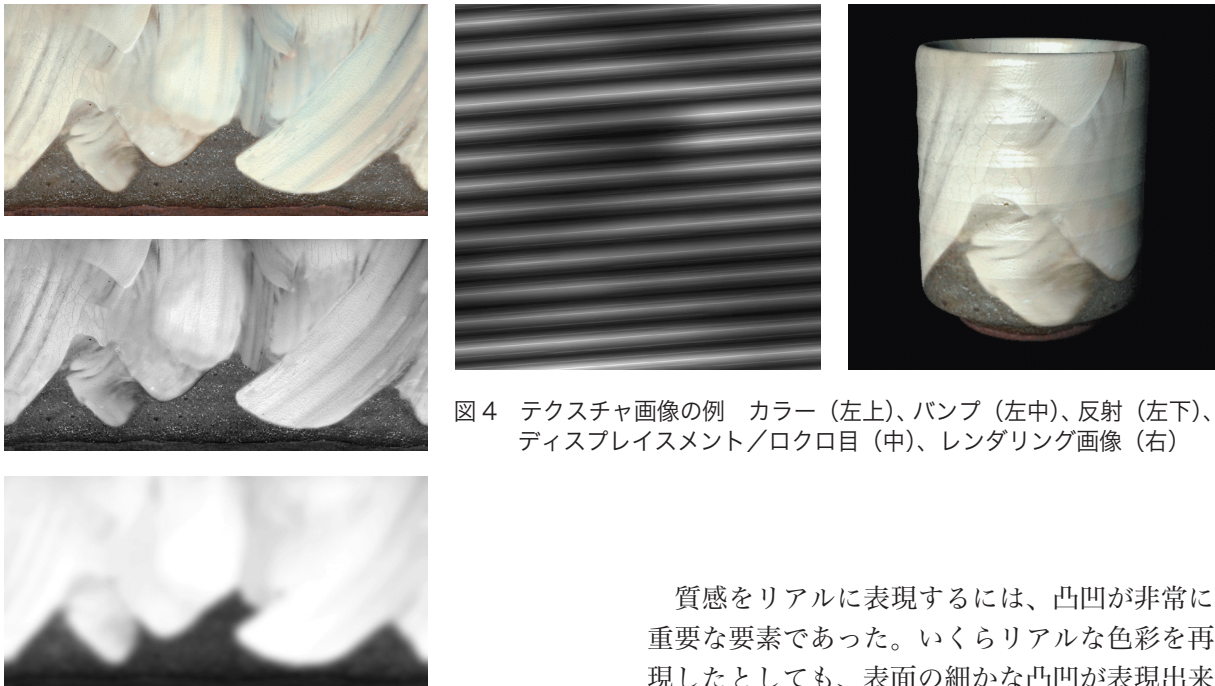


図4 テクスチャ画像の例 カラー (左上)、バンプ (左中)、反射 (左下)、ディスプレイメント/ロクロ目 (中)、レンダリング画像 (右)

な釉薬テクスチャを30種以上開発した。さらにロクロ目等の表面装飾を釉薬とは別途に付加して指定出来るようにし、単純な形状でも本物のようにリアル画像が簡単に生成することが可能となっている。

3.1 テクスチャの要素

テクスチャの開発にあたって、まず陶器の質感の要素を分類した(表1)。原料の粘土、および焼き上がった状態の釉薬それぞれに、「色」「凸凹」「つや」の三つの要素を取り上げ、釉薬テクスチャとした。また、陶器製品ではロクロを引いた時に表面に出来る筋目の模様(ロクロ目)を意図的に残したり、櫛で表面をなぞって縞模様を付けたりする手法が多く用いられる。この表面の凸凹状態をテクスチャとして別に取り上げて、加飾テクスチャとした。釉薬テクスチャの凸凹は比較的小さなものであるため、陰影だけを発生させるバンプマップを適用し、加飾テクスチャの凸凹は比較的大きく、形状を変形させるディスプレイメントマップを適用することとした。

二つのテクスチャは個別に指定できるようにすることで、組み合わせにより様々な質感を容易に表現することが可能となる。

質感をリアルに表現するには、凸凹が非常に重要な要素であった。いくらリアルな色彩を再現したとしても、表面の細かな凸凹が表現出来ていなければ、プリント合板のような質感にしかない。バンプ用の画像データは、色の画像データを基本に、グレースケール画像で作成することができる。必要に応じ、反射用の画像も同様に作成することでリアルなテクスチャ表現が可能になる(図4)。

本システムでは、利用企業が独自のテクスチャを登録利用することも可能にしている。この場合、色・凸凹・つやの三つの画像ファイルを作成するだけでよく、複雑なパラメータの設定の必要は一切不要にしている。

3.2 投影方法

色やバンプなどのテクスチャデータは、二次元の画像ファイルを利用している。二次元の画像ファイルを三次元の物体に対応させるために、多様な投影方法があるが、本システムではソリッドマッピングと呼ばれる方法の中から、三平面状、円柱状、球状の三つの投影方法を採用した。それぞれの方法には長所・短所があり、形状や色の変化の特徴によって最適な投影方法を選択することができるようにしている(表2)。

3.2.1 三平面状

この投影方法では、三次元空間のXYZ軸の三方向からテクスチャー画像の投影を行う。このため歪みや収束点は生じない。ただし、テク

表2 投影方法の特徴

投影方法	向いている形状	向いているテクスチャ	長所	短所
三平面状	オールラウンド	ムラ等の変化の少ないもの、方向性のないもの	ゆがみや収束点が発生しない	継ぎ目が発生する（バンブを効かせることで継ぎ目を目立たせなくすることは可能）
円柱状	湯飲み、つぼなど（底が見えないもの）	上部（口）や下部（底付近）に部分的に変化があるもの	モデルの上下とテクスチャの上下が一致する	水平な面で引き伸ばされ、収束点が発生する
球状	皿、椀など	渦巻き状に変化のあるもの	皿から簡単にテクスチャ画像が作成可能	形状によりテクスチャ画像の適用位置が変化する。面の角度によっては引き伸ばされる場合がある

スチャ画像の継ぎ目が数ヶ所発生する。バンブの効果により法線方向を乱すことで、継ぎ目を目立たせなくすることが可能である。

3.2.2 円柱状

この投影方法は主に湯呑みや傘立てなどの円柱形状の造形物に適している。マッピングの継ぎ目は一ヶ所にしかあられず、その継ぎ目もテクスチャ画像を横方向へのくり返しパターンにすることで解決できる。ただし、収束点が必要現れ、湯呑みの場合では底に発現する。しかし、湯呑みの場合は、底まで覗き込むようなアングルからのレンダリングは特殊な場合を除いて考えられないので、これを適用すると最適な画像が得られると考えられる。この方法の一番の利点は、テクスチャ画像の上下とモデルの上下が一致することで、容器の口の付近だけが色が変わっているような質感の表現が可能である。ただし、皿のように底の水平面が大きく見えるような場合は、テクスチャが引き伸ばされるとともに、収束点が見えるため、良好なレンダリング画像は得られない。

3.2.3 球状

円柱状に似ているが、球状に三次元的に変形させて投影する方法である。円柱状に対するメリットとして、水平面でテクスチャが引き伸ばされることがなく、皿にも適用可能である。ただし円柱状のメリットである上下位置の一致は望めない。特に、ロクロ目など、渦巻き状に変化している場合に最適である。

3.3 エッジの処理

面に角をつける場合、計算上は完全な角をつけることが可能であるが、完全な角をレンダリングした場合、発生するはずのエッジのハイライトラインが描画されず、リアリティに欠ける画像になる。このため、角の処理にはあえてわずかにアールが生じるようにしている（図5）。

4. その他の機能

本システムは、陶器専用のCGシミュレーションシステムとして開発し、陶器の設計時に特に有用と考えられる以下の機能もそなえている。

4.1 図面出力

簡単に寸法を記入できる機能と、PDFを利用した図面の出力機能を備えている。

4.2 容量計算

湯飲みや酒器など、容量計算が必要な製品が多く、容量の自動計算機能を備えている。容量を指定してモデルを拡大縮小することも可能である。

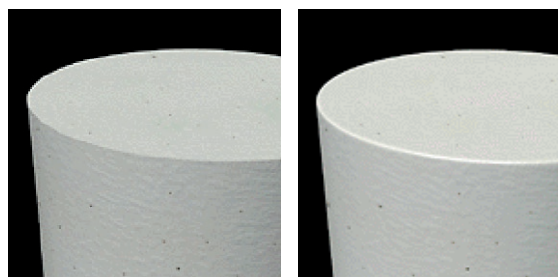


図5 完全な角（左）とアールのついた角（右）

4.3 背景シミュレーション

出来上がったモデルを様々なシチュエーションに置いた状況をシミュレートすることが可能な背景シミュレーションの機能を備えている。

5. ラピッドプロトタイピング装置によるケース型の作成

これまで述べてきた機能は、陶器製品の開発プロセスを支援する機能であったが、そこから一歩進めて生産プロセスを支援する機能の開発も進めている。

5.1 陶器製品の型について

陶磁器の生産には一般的に石膏型が使われている。粘土を型で成形してから取り外すまでには乾燥時間が必要なため、使用型は同じものを複数作成し、量産に対応している。この使用型を作るための型をケース型と呼び、これも石膏で作るのが一般的である。石膏はやわらかく加工が容易であるが、そのため強度が弱く、重量もあるため取り扱いには注意を要する。

5.2 ラピッドプロトタイピング装置について

ラピッドプロトタイピング装置（以下 RP 装置）と呼ばれる、三次元のモデルデータから、実際のモデルを積層して作り出す装置がある。本システムでこれまで作り上げたモデルデータから、RP 装置を利用してケース型を出力すれば、石膏型に比べて重量や強度に優れたケース型が短時間に作成できる。

5.3 型の試作

実際に RP 装置でケース型の試作を行った(図 6)。試作に使用した装置の仕様は表 3 に示すとおりである。

表 3 RP 装置の仕様

メーカー	米ストラタシス社
型式	FDM TITAN
方式	熱溶解積層方式
最大モデルサイズ	355(W) × 406(D) × 406(H)mm
造形材料	ポリカーボネート、ABS
積層ピッチ	0.25mm

外側の型には切れ目を入れることで、脱型を容易にしている。RP 装置で作成したモデルの表面には、細かな積層の筋目が発生するが、陶器の型として利用するには、そのままでも問題にならないレベルであった。

型のサイズは、直径 17cm、高さ 12cm 程度で、出力時間は約 40 時間であった。石膏型に比べて厚さを薄くできるため、重量は約 10 分の 1、直径は 5cm ～ 7cm 小さくなっている。

現在、本システムの機能を拡張し、CG シミュレーションからケース型の作成までシームレスなシステム化を進めているところである。

6. 評価

6.1 曲線の編集機能

本システムでは曲線は Bspline のみとしたため、操作性は非常に明快となった。これまで BSpline に触れたことの無いユーザであっても、数十分も操作すればすべての機能を把握することが可能であり、思い通りの線の描画が可

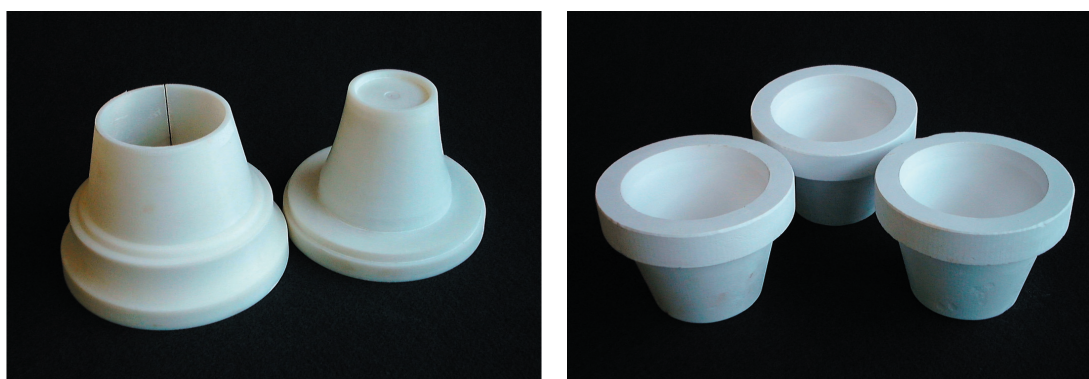


図 6 試作したケース型（左）と使用型（右）



図7 レンダリング画像例

能となった。また、当初厚みを付けるための補助機能が必要となるのではと思われたが、外側と内側の面の制御点をセットで作ることで、簡単に厚みをもつモデルを作ることが可能であり、その必要はないと判断した。

6.2 3D 表示の速度

3D 表示は VRML モデルを書き出すことで行っている。20 の制御点で描画した断面線から 3D モデル化した場合、データ量は約 160KByte である。これに色を適用した場合はさらに 440KByte + 100KByte (画像ファイル) まで増加する。このデータ量で、Celeron 800MHz のマシンでローカルに計算させた場合、形状だけの表示で 1 秒以内、色を付けた表示で約 3 秒程度であり、ほぼリアルに更新することが可能で、十分使用に耐えうる速度であると考えられる。

6.3 レンダリング速度

上記モデルに「ひいろ」のテクスチャーを設定してレンダリングを行なった場合、計算時間は約 40 秒である。制御点の数やテクスチャーの種類によって差はあるが、ほとんどのモデルが 1 分程度でレンダリング可能であり、十分な速度を達成することが出来た。ただし、複数のクライアントから同時にレンダリング命令を行なった場合、クライアント数の乗数分時間が増加する。このような場合に処理時間を短縮す

るには、サーバ側のマシンを処理能力の高いマシンに変更することで対応することが可能である。

6.4 テクスチャ

色、バンプ、ツヤのマッピングデータと、ロクロ目や櫛目等の表面状態を、それぞれ指定することにより、たとえモデルが単純な形状であっても、簡単な操作で、非常にリアリティのある陶器の CG 画像を生成することが可能になった (図 7)。テクスチャデータ作成のノウハウも数多く蓄積することが出来た。講習会などで産地への技術普及を行っている。

7. まとめ

簡単な操作でリアルな CG シミュレーションという目的は十分に達成できたと考えられる。特に陶器の微妙な質感を CG で表現する技術を蓄積出来たことは、大きな成果である。

RP 装置によるケース型の出力も、産地からは期待されている機能であり、その開発と実装が今後の課題である。

参考文献

- [1] 河村安太郎, 小川栄司, 野上雅彦, 高井隆三, 中島孝, 大谷哲也: 信楽陶器産業における商品開発支援システムの開発, 滋賀県工業技術総合センター研究報告 (1998)