

絵付けイメージ構築に関する研究開発

柘植 英明* 臼井 正和** 岩田 靖三*

浅野 良直 棚橋 英樹 小川 行宏

Development of Printing Image for Inkjet System

Hideaki TSUGE* Masakazu USUI* Seizo IWATA
Yoshinao ASANO** Hideki TANAHASHI Yukihiko OGAWA

あらまし 岐阜県の陶磁器産業（美濃焼）は、自動化による量産技術を駆使し、飲食器・タイルを主要製品として国内外に出荷することで発展してきた。しかし、飲食器の市場は、国内需要の大幅な落ち込みに加え、海外製品の輸入攻勢などからピーク時の半減という厳しい状況となっている。そこで、飲食器の市場競争力の強化と美濃焼の活性化を図ることを目的として、見本品の作製や小ロット受注にオンデマンドで対応できるロボットシステムの構築を目指す。印刷解像度100dpi、フルカラー絵付けという高付加価値製品の創出を目標に、デジタル画像を無機顔料インクで絵付けを行う、カップ用および皿用の加飾ロボットシステムを開発する。本研究では、1)飲食器の3次元形状を計測するプログラム、2)ロボット座標系と計測座標系とをマッチングさせるキャリブレーションプログラム、3)3次元形状計測データからモデリングするプログラム、4)モデリングした形状に画像をマッピングし、描画位置と色情報から加飾データを作成するプログラムの開発を行った。

キーワード 陶磁器、インクジェット、キャリブレーション、モデリング、マッピング

1. はじめに

1.1 背景

飲食器の市場は、ライフスタイルの変化や自分志向という価値観の変化から、「百元均一に代表される低価格製品」「高級なブランド品」「自分らしさを表現できるオリジナル製品」「手づくり風製品」等、ますます多様化、個性化している。また、技術面では、中国をはじめとする東南アジア諸国の製造技術が格段に向上し、品質面においても遜色のない製品が市場に供給され、美濃焼メーカーが得意とする量産品の分野で厳しい価格競争を強いられている。そのため、飲食器メーカーにおいては、他の産地や海外製品との差別化による市場拡大を図るために、多品種少量生産・オンデマンド対応等による、高付加価値製品の創出が求められている。特に、飲食器における絵付けは、商品価値を高め、オリジナリティを出す重要なポイントとなっているが、美濃焼メーカーでは、パット印刷やシルクスクリーン印刷による絵付けを行っているため、多品種少量生産向けの新しい加飾技術を模索している。

1.2 研究目的

このような背景から、多品種少量生産・オンデマンド対応等による、高付加価値製品の創出を目的として、飲食器のカップ用および皿用加飾ロボットシステムの開発を行う。これにより、飲食器の市場競争力の強化と美濃焼産業の活性化が期待される。このシステムは、カップおよび皿の素焼き製品に、デジタル画像を、印刷解像度100dpi、フルカラーで絵付けを行うシステムであり、見本品の作製や小ロット受注にオンデマンドで対応することが可能となる。

1.3 研究内容

見本品の作製や小ロット受注にオンデマンドで対応可能な加飾ロボットシステムを構築するためには、デジタルカメラやスキャナー等から得られるデジタル画像を用いて、容易に加飾できるシステムを構築する必要がある。そこで、本研究では、3D計測した形状データを基に、パソコン上に形状モデルを構築し、そのモデル上に画像を貼り付けることで、印刷(加飾)データを作成できるインターフェースを開発する。この3D計測から、加飾データの作成までを行うために、以下のプログラムを開発する。

飲食器の3次元形状を計測するプログラム

ロボット座標系と計測座標系とをマッチングさせる
キャリブレーションプログラム

計測データから、加飾に必要な形状を抽出するプログラム

* 兼セラミックス技術研究所

**セラミックス技術研究所

モデリングした形状の上に画像の貼り付け(マッピング)を行い、形状と画像位置および色情報から加飾データを作成するプログラム

これらのプログラムにより、異なる製品に対しても容易に加飾データを作成することが可能となる。

2. 3D計測およびキャリブレーション

2.1 3D計測の概要

加飾システムでは、飲食器とノズル先端との距離を3mm～5mmの間の任意値に保ちながら、ノズル位置制御とインク噴霧制御を同期させ、指定された飲食器加飾領域に絵付けを行う。そのため、飲食器の形状と設置位置を正確に把握してロボットを制御しなければ、ノズルが飲食器に衝突したり、飲食器とノズル先端との距離の変動により、ぼけた絵柄となる可能性がある。また、ハンドル付のカップにおいては、ハンドルとノズルの衝突が生じるため、計測によりハンドル位置を把握することが必要である。なお、対象とする飲食器のサイズから、カップ用システムでは、TDS-0530A(パルステック工業(株)社製)、皿用システムでは、TDS-1500A(パルステック工業(株)社製)の3D計測器を用いた。

2.2 キャリブレーション

1) カップ用システムのキャリブレーション

カップ用システムでは、スピンドル台表面とスピンドル回転軸との交点が、グローバル座標原点である。そのため、スピンドル台表面を3D計測し、この平面方程式を求める。また回転軸を求めるため、3個の球が異なった高さに設定された3球キャリブレーションキットを作成した。これをスピンドル回転台上に設置し、120度間隔や90度間隔で回転させながら3D計測し、それぞれの位置での球の方程式を求め、それら球の中心位置から回転軌跡を算出し、回転軸を求める。

回転行列を求める手順は、スピンドルを0度の位置へ回転させた後、正方形キャリブレーションキットのエッジ部分(面と面との間の直線)をノズル方向に合わせ、その後3D計測を行い、エッジ両面の平面方程式から、X軸方向を求める。

2) 皿用システムのキャリブレーション

皿用システムでは、シッタ表面と設置する皿の回転中心軸の交点が座標原点である。しかし、シッタ表面の計測ができないため、シッタ上に設置できる円盤キャリブレーションキットを作成した。この円盤表面は、シッタ表面と平行になっているため、円盤の厚みを考慮する事でシッタ表面の平面方程式は求まる。また円盤表面に設ける仮の座標原点より、シッタ表面にある本当の座標原点を求めることができる。円盤キャリブレーションキット上には、グローバル座標のX軸Y軸を線引きしてあり、この交点を円盤キャリブレーションキット上の仮の座標原点とする。(この仮の座標原点より円盤の厚さ分だけ

Z値が低い点が本当の座標原点である。)このX軸、Y軸に別途作成した3角錐キャリブレーションキットを合わせて軸方向を求める。具体的には、3角錐キャリブレーションキットのエッジをそれぞれX軸、Y軸に合わせて1回づつ計測を行い、それぞれ測定された3面の方程式を求める。その後、この内の2面と円盤表面の交点よりX軸上の2点Y軸上の2点を求め、それぞれの点を結ぶ直線の交点(仮の座標原点)と、各点の方向(X軸・Y軸方向)を求める。Z軸はX軸Y軸の外積により求める。座標原点は仮の座標原点より円盤の厚み分Z値が低い位置にある。

2.3 3D計測プログラム

プログラムのフローチャートを図1に示す。測定モード設定では、測定方法(エリア計測・ライン計測)、測定モード(広角・狭角、細かい・荒い測定間隔)、レーザーパワー(1～4)の設定を行う。測定方法は、カップ計測はライン計測、皿計測及びキャリブレーション用計測はエリア計測を用いている。測定モードは、対象飲食器形状にあわせて操作者が変更できるように、操作画面上で設定ができる。3D計測器設定では、計測器電源投入後の最初の計測時のハードウェアリセットや、測定モード変更後のリセット処理を行う。

皿は1回の3D計測(エリア計測)で終了する。一方、カップは、スピンドルを回転・停止させながら3D計測(ライン計測)を角度分割数(360度÷ステップ角度)回行う。スピンドル台の制御は、ロボット制御を行うボードコンピュータSH3で行っているため、SH3とのシリアル通信(RS232C)によるコマンドの送受信により行っている。

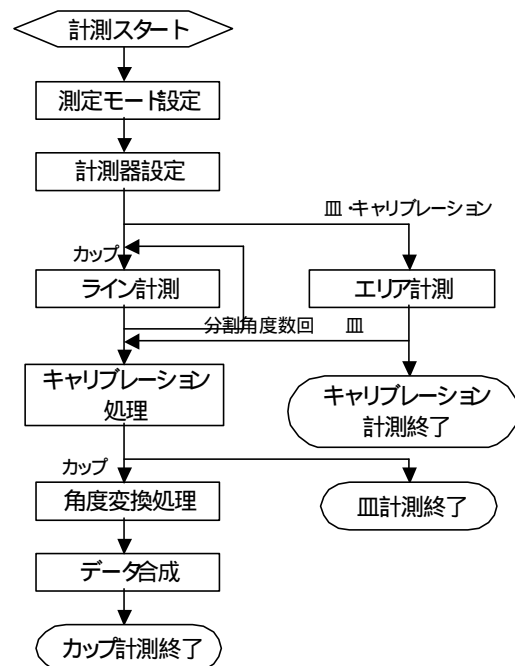
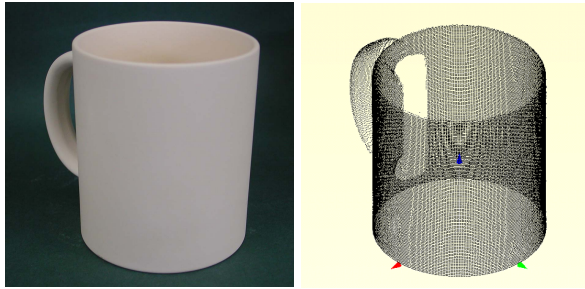


図1 計測プログラムのフローチャート

2.4 3D計測結果

ハンドル付カップおよび八角皿を計測した結果を 図2 および図3に示す。なお、測定器の繰り返し精度を評価するため、測定誤差の大きいTDS-1500Aにおいて円盤キャリブレーションキット表面を10回計測した。その結果、平均誤差は、0.32mmとなり、繰り返し精度が良いことがわかった。



(a)カップの概観 (b)計測結果
図2 ハンドル付カップの計測結果



(a)皿の概観 (b)計測結果
図3 八角皿の計測結果

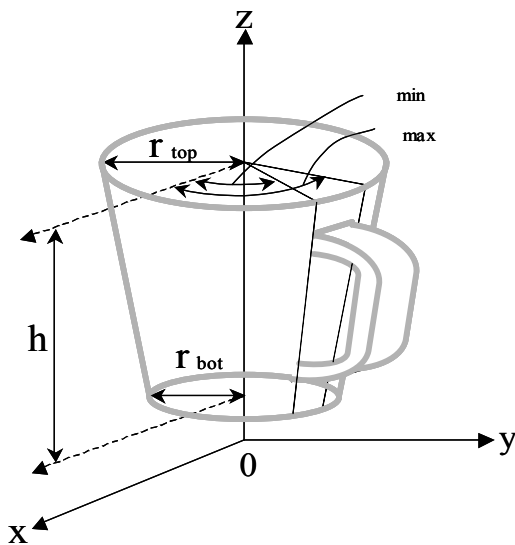


図4 カップ形状の抽出データ

3. 製品形状の抽出

3.1 形状の抽出方法

1) カップ形状の抽出

3D計測によって得られたカップ側面の3次元計測データ(カップ底面の中心を座標原点とした時の円筒座標系)から、カップの上径(r_{top})と下径(r_{bot}),そして高さ(h)を求める。あらかじめ与えるハンドル有無の情報から、ハンドルが存在する場合には、ハンドル角度幅(ハンドル位置開始角度(θ_{min})とハンドル位置終了角度(θ_{max}))を求める。(図4)

2) 皿形状の抽出

3D計測によって得られる点列データから、皿外形(r_{shape}),皿中央の高さ(z_{center}),加飾可能範囲半径(r_{safe}),リムの内径(r_{rim}),皿の高さ(z_{height})の抽出を行う。(図5)

3.2 形状抽出結果

1) カップ形状抽出結果

ハンドル付カップを固定して繰り返し測定を行った場合、ハンドル角度は、計測間隔が小さくなる程精度の高い形状抽出が行なわれた。しかし、粗い測定と細かい測定の間には顕著な差は見受けられなかった。同じカップを毎回置き直して測定した場合には、ハンドル角度幅に最大誤差として3°程のばらつきが見られたが、上径・下径や高さには顕著なばらつきは見受けられなかった。ハンドル角度幅に最大誤差として3°程の誤差が生じたのは、計測間隔が1°であることが大きな要因と言える。

2) 皿形状抽出

測定間隔が荒い場合と細かい場合において、丸皿および八角皿を繰り返し10回測定した結果、計測誤差は最大0.39mmとなり、測定器の計測精度が概ね0.3mmであることを考慮すると、測定間隔にはほとんど影響されていないと言える。形状抽出項目の内、加飾可能範囲半径の誤差が最大0.7mmと大きくなった。これは、形状が急激に変化しているために、精度良く計測できないことが原因と考えられる。加飾可能範囲半径は重要なパラメータなので、装置の稼動をとおして加飾可能範囲半径を補正する必要がある。

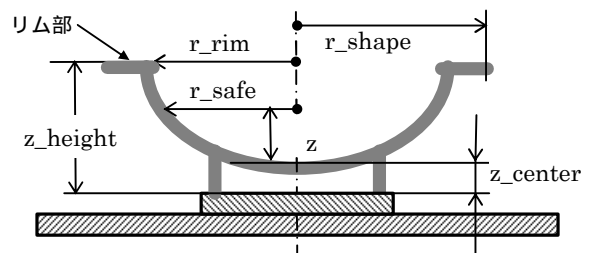


図5 皿形状の抽出データ

4. 画像マッピングインターフェース

4.1 概要

カップおよび皿に画像を加飾するためには、1)画像ファイルの選択、2)加飾画像サイズの指定、3)画像貼り付け位置の指定、4)加飾データの作成、が必要である。マッピングインターフェースは、これらの加飾に必要な情報をパソコン上で簡潔に入力できるインターフェースであり、上述した加飾情報を簡単なキー操作およびマウス操作によって行なうことができる。なお、用いる画像データは、BMP(24ビットマップ)形式である。

4.2 マッピングインターフェース

図6にカップ用の、マッピングインターフェースを示す。画像はキー操作により、加飾範囲内で自由に位置および

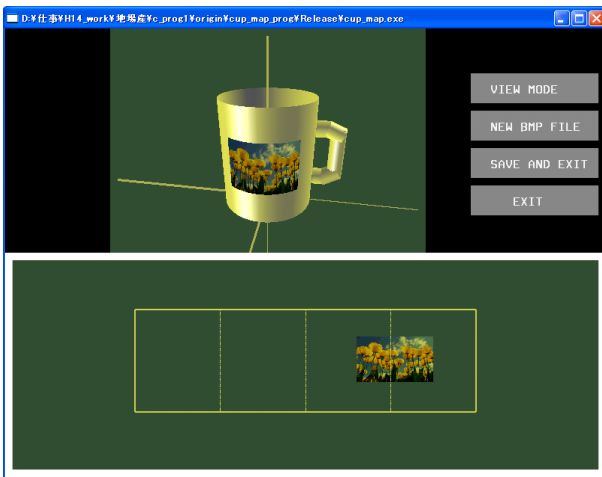


図6 マッピングインターフェース(カップ用)



図7 加飾に用いた画像



図8 加飾後に焼成したカップ

サイズを調整することができる。加飾サイズと位置を決定した後に、加飾データ作成ボタン(SAVE AND EXIT)をマウスによりクリックすることで、加飾データが作成できる。なお、皿用インターフェースは、3D表示ウィンドウは無いが、その他は全て同様な操作ができる。

5. カップ用加飾システムによる加飾実験

カップ用および皿用加飾システムは、上記マッピングインターフェースで作成された加飾データを基に、機械駆動およびノズル制御データを作成しているため、実際のカップ用システムを用いて、加飾実験を行った。加飾条件は、解像度:80dpi、階調:各色10階調、画像サイズ:200×75mmである。加飾に用いたデジタル画像を図7、実際に加飾を行い、焼成したカップを図8に示す。

6. まとめ

デジタル画像を陶磁器製品に加飾するために必要な

- ・3D計測器を用いた3D計測および、キャリブレーションシステムの開発

- ・形状データを抽出するプログラムの開発

- ・パソコン上で画像を容易に貼り付け、加飾データを作成する、マッピングインターフェースの開発

を行った。その結果、

- 1) 計測システムは、測定誤差や繰り返し精度など良好な値であることがわかった。しかし、3D計測器電源投入時間に対する絶対位置の変化など問題も残されている。より精度を出すためには、測定方法など今後更に工夫する必要がある。
- 2) 3D計測による点列データから、モデリングに必要な形状データを抽出するプログラムを開発した。計測実験の結果、カップ用、皿用共に、計測器の精度とほぼ同等の結果を得ることができた。
- 3) パソコン上で画像を貼り付け、加飾データを作成する、マッピングインターフェースの開発を行った。さらに、実機により加飾試験を行った結果、良好な結果を得た。但し、RGBからYMCKへの変換は、用いるインクや素地によって調整が必要であるため、今後実際の加飾を通して調整を行っていく必要がある。

本研究は、平成14年度即効型地域新生コンソーシアム研究開発事業(テーマ名:陶磁器加飾ロボットの開発)のサブテーマとして行なわれた研究成果の一部である。

文献

- [1] デービステンチャップマン, "Visual C++6.0", 日経BP社, 2001.
- [2] OpenGL Architecture Review Board, "OpenGL リファレンスマニュアル(第2版)", (株)アソシエイトエージェンシー, 1999.