

3次元データを活用した陶磁器の試作開発に関する調査

林 茂雄*, 新島聖治*

Survey on Development of Ceramic Ware by using Three-dimensional Data

Shigeo HAYASHI and Seiji NIJIMA

1. はじめに

消費者の多様化により陶磁器市場でも商品の多品種化が進んでいる。それゆえ、陶磁器産業はかつての大量生産から多品種少量生産に変化してきている。このような状況において他産地との競争力を高めるためには、多品種製品の試作開発の短期化とコストダウンが必要である。現状の四日市萬古焼における試作開発では、デザイン開発・設計から原型制作までに多大な時間を要しており、高コストとなっている。さらに、原型制作ができる石膏型製造業者が廃業等で減少しており、試作開発時間短縮の阻害要因となっている。

これらの課題を解決する有効な技術として、ものづくり産業で近年多く利用されている3次元データの活用がある。すでに他産地では、3次元CADによる設計^{1,2)}、3Dプリンターによる原型製作^{3,4)}、および切削加工機による石膏型の製作等⁵⁻¹⁰⁾が行われている。本調査事業では、3次元CADを活用した設計と3次元データを活用した原型製作による試作開発の効率化・低コスト化について調査を行ったので報告する。

2. 3次元CADに関する調査

3次元のモデリングは、サーフェスマデラー、ソリッドモデラー、ポリゴンモデラー、およびボクセルモデラーの4種類のソフトウェアのいずれかを用いることになる。このうち、前二者は3次元CADの方式であり、後二者は3次元CGの方式である。

陶磁器のような曲面が多い製品では、3次元CADはサーフェスマデラーの方がモデリングを行いや

すいことと導入・維持コストが低廉なことからRhinceros6を選定して、急須のモデリングを行った。モデリングの手順は次の通りである。最初に急須本体(胴体)部分の断面線を作成して、Y軸方向を中心にして回転させることで面を作成する。次に、急須の注ぎ口や持ち手の外形(線)を作成して、それら線から面を作成して接合することで面を張り合わせる。その次に、急須の胴体と注ぎ口等を接続して、それぞれに厚みをつけることで立体化(ソリッドデータ)する。以上のモデリングの概要を図1、図2に示す。なお、サーフェスマデラーは曲面形状の作成が比較的容易なことから曲面で構成される急須をモデリングするのに適している。しかし、作成した面と面を結合する際に接合が不完全になる場合が起こりやすく、その場合は完全な3次元データにならないので注意が必要である。

3. 3次元データを活用した陶磁器用原型製作に関する調査

3次元スキャナで計測した3次元データや3次元CADで作成した3次元データを用いて、3Dプリンターや切削加工機による試作がものづくり企業等で行われている。一般的に3次元スキャナで計測したデータは、不完全な場合が多く、そのまま3Dプリンター等で出力することは困難であり、データを加工するためのリバースエンジニアリング用ソフトウェアが必要となる。陶磁器業界においても3Dプリンター^{3,4)}や切削加工機による原型、石膏型の制作⁵⁻¹⁰⁾や直接陶磁器を成形する¹¹⁻¹²⁾ことが行われている。ここでは、陶磁器用原型作成に関して、3Dプリンターによる方法と切削加工機による方法を調査した結果を載せる。

* 窯業研究室

表 1 3次元 CAD の種類と特徴

方式	モデリング方法	特徴	ソフトウェア名称
サーフェスマデラー	滑らかな曲線 4 辺と断面線で定義されたサーフェスを作成し、それらサーフェスを結合して箱型の状態にしてソリッドデータにする方法	<ul style="list-style-type: none"> 自由曲線, 3 次元曲面形状の作成ができる サーフェスを結合する際に折り目が出ないように調整が必要 ソリッドモデルの調整を行う場合, 骨組みの線から作成し直しサーフェスを張り直す 	<ul style="list-style-type: none"> Rhinoceros (アプリアフト社): ローエンドクラス
ソリッドモデラー	輪郭を描いて(2 次元スケッチ)押し出すことで立体形状を作成し, カット, フィレットや穴あけ操作にてソリッドデータにする方法	<ul style="list-style-type: none"> 作業履歴を編集することで寸法や形状の変更が容易である (フィーチャーパラメトリックモデラー) 部品をモデリングした後にそれらを組み合わせて製品を図面化する設計作業で用いる 自由曲面, 3 次元曲面形状の作成は困難 	<ul style="list-style-type: none"> SOLIDWORKS (ダッソー・システムズ社): ミッドレンジクラス Fusion360 (オートデスク社): ローエンドクラス

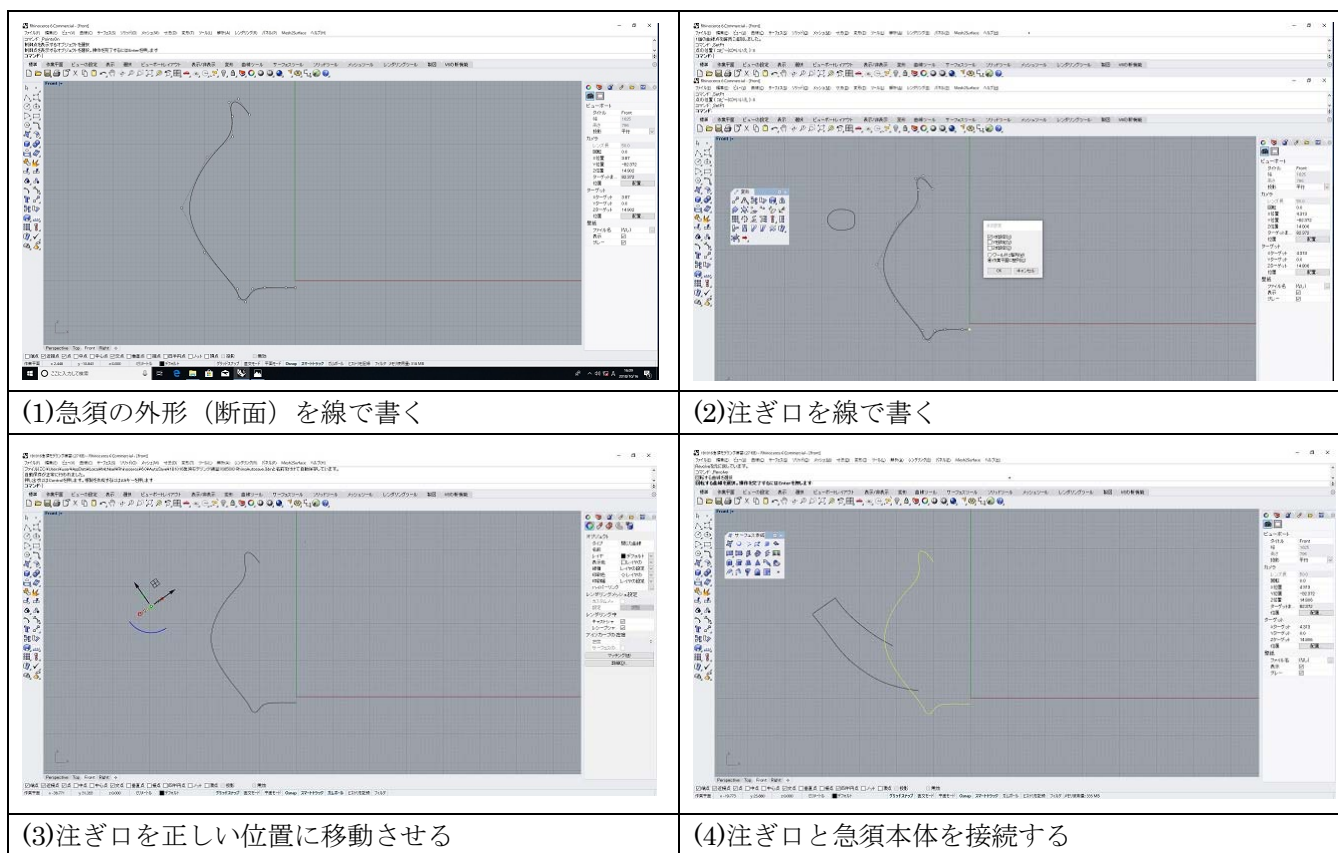


図 1 Rhinoceros6 での急須のモデリングの概要 (その 1)

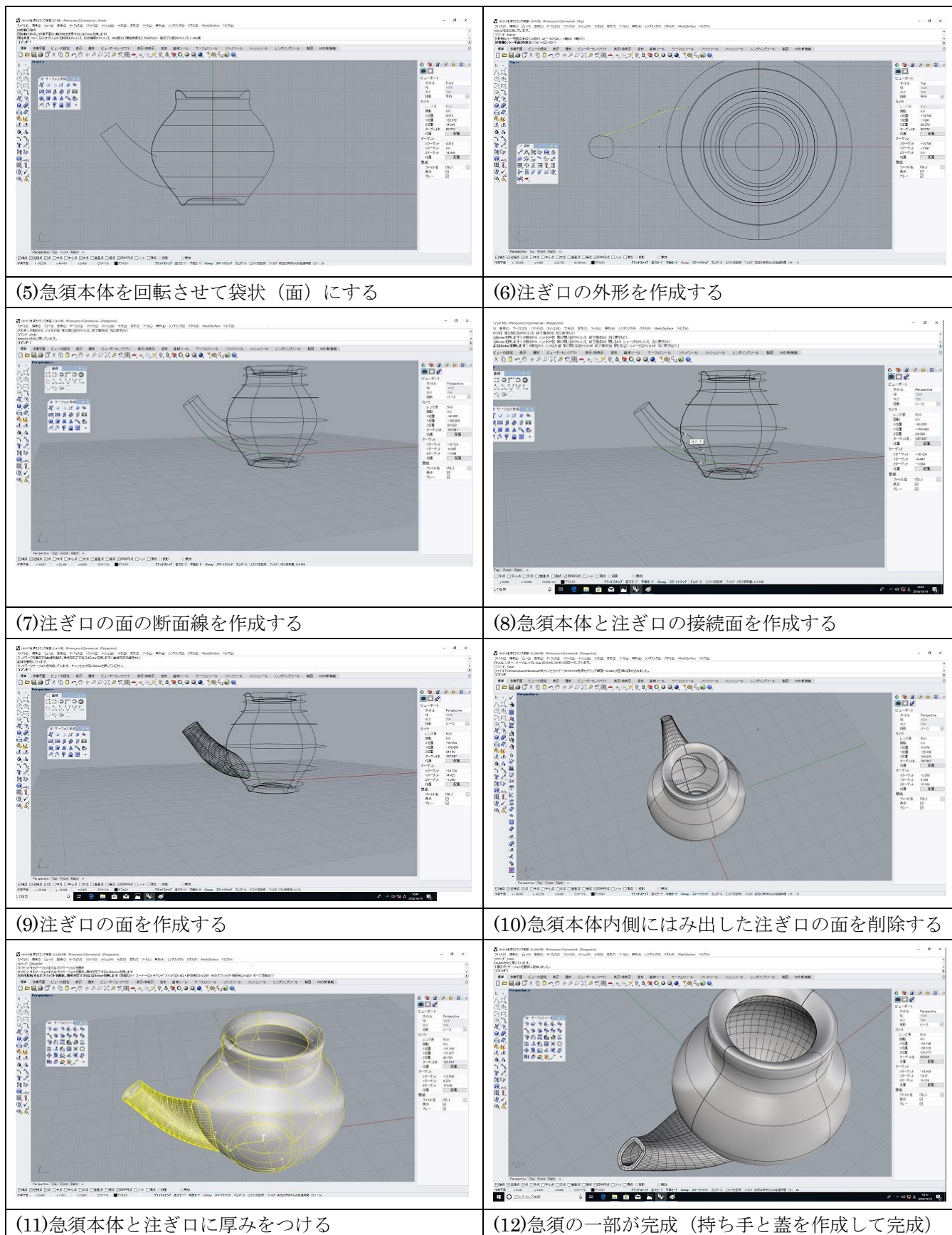


図2 Rhinoceros6での急須のモデリングの概要(その2)

3. 1 3D プリンターによる方法

陶磁器用原型制作に用いられている装置は、造形物の表面が滑らかであるインクジェット型であり、材料には樹脂素材（積層ピッチ 15～20 μm ）かシリコンゴム素材（積層ピッチ 30 μm ）が用いられている。造形に必要なサポート材が水溶性の場合、後処理であるサポート材の除去が比較的容易であり、造形物表面の加工も不要という特徴がある。それゆえ、後処理のための特別な設備を準備する必要がないことも導入コストの低減となる。ただし、原材料が比較的高額であり、A4 用紙（297mm×210mm）×200mm の直方体を造形すると約 40 万円になることから、大きい寸法のもの造形にはコスト的に適さない。

なお、石膏積層方式の 3D プリンターは、表面の仕上がりが粗いことからそのままでは原型に使用できず、樹脂で含浸して吸水性を小さくする必要があり、強度も弱いことから直接石膏原型を造形するには適さない。ただし、原材料は安価である。

また、樹脂造形プリンターは、ナイロン粉末の熱硬化方式であるが、ナイロンの異方性収縮があるので、設計 CAD データを補正する必要がある。高精度型の樹脂造形プリンターでもインクジェット型と比較して造形物の表面は粗く、陶磁器用原型の造形には適さない。さらに、後処理として余分な原料を取り除くためにビードブラスト（要ドラフト）と振動篩等が必要となる。ただし、原材料費が安価なので大きなものを造形するのによく用いられる。

3. 2 切削加工機による方法

陶磁器用原型や石膏型の製作に 3～5 軸の NC 切削加工機が用いられている。原型製作では、3D プリンターで造形するには寸法が大きくなり高コストになる場合に切削加工機が用いられることになる。一般的に NC 切削加工機は、金属製型の製作に用いられていることから、片側の面だけ加工できればよいが、陶磁器用原型の場合、上半分を加工した後に下半分を加工することになるので、上下の位置合わせが課題となる。このため、片側の加工でよい石膏型の製作に用いられる事例が多い。陶磁器用原型や圧力鋳込み成形用の石膏型の製作には、粘土や石膏の塊を使用することから比較的安価な装置（木材やアルミニウム用）でも加工が可能である。NC 切削加工機での加工における他の課題は、CAM データの作成であり、加工物の変形や歪が起らないような切削

パスを考案するための経験（試行錯誤）とノウハウが必要となる。なお、CAM ソフトウェアと NC 切削加工機との相性も重要な点であるが、比較的安価な 5 軸 NC 切削加工機に付属する CAM で使用上問題がない事例もある。

謝辞

本調査の遂行にあたり、協力をいただきました地方独立行政法人東京都立産業技術研究センターの山内友貴氏、小林隆一氏、独立行政法人大阪産業技術研究所の朴忠植氏、佐賀県窯業技術センターの江口佳孝氏と多治見市陶磁器意匠研究所の石塚慎一氏に感謝します。

参考文献

- 1) 副島 潔：“陶磁器用陶磁器の研究”。佐賀県窯業技術センター業務報告，p57-59 (2001)
- 2) 副島 潔：“CAD/CAM システムを利用した陶磁器製品開発”。佐賀県窯業技術センター業務報告，p87-89 (2002)
- 3) 副島 潔：“陶磁器用型製作プロセスの自動化”。佐賀県窯業技術センター業務報告，p104-108 (2001)
- 4) 副島 潔：“CAD/CAM システムを利用した陶磁器製品開発”。佐賀県窯業技術センター業務報告，p52-64 (2003)
- 5) 副島 潔：“CAD/CAM 技術を利用した型製作の自動化”。佐賀県窯業技術センター業務報告，p97-100 (2004)
- 6) 副島 潔：“CAD/CAM 技術を利用した型製作の自動化”。佐賀県窯業技術センター業務報告，p86-88 (2005)
- 7) 副島 潔：“CAD/CAM 技術を利用した型製作の自動化”。佐賀県窯業技術センター業務報告，p42-44 (2007)
- 8) 副島 潔：“陶磁器におけるデジタルデザインプロセスの導入に関する研究”。佐賀県窯業技術センター研究報告，p44-45 (2009)
- 9) 副島 潔：“陶磁器におけるデジタルデザインプロセスの導入に関する研究”。佐賀県窯業技術センター研究報告，p60-61 (2010)
- 10) 亘保秀一ほか：“デジタルデザイン技術による陶器の設計・生産技術の開発”。沖縄県工業技術センター研究報告書，15, p47-52 (2013)

11) 永石雅基ほか:“3D データを活用した精密な陶磁器製品製造技術の開発”. 長崎県窯業技術センター研究報告, 63,, p35-37 (2016)

12) 依田慎二ほか:“3D データを活用した精密な陶磁器製品製造技術の開発”. 長崎県窯業技術センター研究報告, 65, p3-6 (2018)