

最新陶磁器デジタルデザイン技術の開発

副島 潔、古田祥知子、江口佳孝
佐賀県窯業技術センター

本研究は、従来取組んできた陶磁器デジタルデザイン技術の高度化を目的として取組んでいる。粉末積層増形式3Dプリンターを利用した、有田焼と同じ天草陶石粉末による陶磁器生地への直接造形技術について研究した。NC 切削による型制作技術の高度化にも取組み、工業製品としての高精度が要求される時計文字板の製作に協力した。デジタルデザイン技術の利点を生かした精密な表面彫刻を施した製品が数多く企画され、これらの実現に協力した。原型製作においても、3D プリンターを利用した方法と、NC 切削による方法の双方について研究した。

Development of Advanced Ceramics Digital Design Method

Kiyoshi SOEJIMA, Sachiko FURUTA, Yoshitaka EGUCHI
Saga Ceramics Research Laboratory

The purpose of this research is the advancement of the ceramics digital design method, which we worked on conventionally. We succeeded in direct molding of the ceramics body utilizing powdery laminating 3D printer. Utilizing ceramics powder the same with Arita-ware. We started the study of the molding by the Material Extruding method. We worked on the advancement of the model production technology by the CNC milling, and cooperated with a watch dial plate which required high accuracy as industrial production. Also we cooperated many of development of products with high-detailed surface texture. Additionally, we researched about master-model making method utilizing 3D printing and CNC milling.

1. はじめに

当センターでは、陶磁器のデザインから製造に至るプロセスに 3D デジタル技術を応用する研究を 30 年近く続けており、「陶磁器デジタルデザイン技術」として業界への普及を図ってきた。業界への認知も進み、2016 年の有田焼創業 400 年には非常に多くの新製品がデジタルデザイン技術を利用して開発された。本研究は、従来の陶磁器デジタルデザイン関連技術をさらに高度に発展させるために取組んだものである。



図 1 C3DPO:陶磁器ダイレクトプリントアウト技術の試作品。

2. 3D プリンターによる陶磁器製作技術の研究

2.1 粉末固着式 3D プリンターによる直接成形技術

3D プリンターにより製品を直接製造する手法は、Additive Manufacturing (AM:付加製造技術)として、金属とプラスチックを材料とした製品では、ここ数年で急速に研究が進んだ。

当センターは陶磁器素材による 3D プリンティング技術に関する研究の成果を、陶磁器 3D ダイレクトプリントアウト

技術(C3DPO: Ceramic 3D-Direct Print-Out)として、2016 年 3 月に発表した(図 1)。

当センターが取組んでいるのは、薄い層に伸展させた粉末に液体バインダーを噴霧して固着させる粉末固着方式の 3D プリンターを利用したものである。2015 年に発表した時点では、成形体を有田焼の主原料である天草陶石の粉末により 3D プリンターで造形し、焼成して陶磁器を

得るものであった。これ以降、天草陶土粉末や素焼粉末、釉薬粉末等を利用した研究を続けていたが、残念ながら本報告時点では磁器化したものが得られていない。しかしながら磁器ほどの強度を必要としないのであれば、食器としての利用も可能である。

当センターが実験に利用している 3D プリンターは米 Z Corporation 社(現在は 3D Systems 社に吸収されている) Z310 である。この機種は既に製造中止であり、修理サポートも終了している。

開発した 3D プリンティング技術の研究を続け、業界への普及へ繋げるには、バインダー固着型粉末積層造形装置が必要である。

現在使用しているプリンターの開発元である 3D Systems 社は、2014 年上半期までに、陶磁器成形体をプリントアウトできる 3D プリンター「CeraJet」を 10,000 ドルで発売すると発表したものの、その後現在まで、実際に発売されることはなかった。

当センターは 3D プリンターそのものの開発を行っていないため、CeraJet が計画通り安価に販売されれば、当センターが開発した材料粉末と周辺技術により支援を行うことで、普及が進むと目論んでいたが、残念ながらその通りにはならなかった。

3D Systems 社は粉末式積層造形機の後継機種の開発を行っていない模様である。XYZ プリンティング社(台湾)が同方式の 3D プリンターを発表したほか、KWAMBIO 社(ウクライナ)もセラミックスの造形に特化した、同方式の 3D プリンターを販売している。

KWAMBIO 社のプリンターは比較的安価なこともあり、最も有望であるが、残念ながら現時点では日本で販売しておらず、今後の進展に期待したい。

その他、工業・医療系セラミックスの分野では、内閣府が主導した SIP (戦略的イノベーション創造プログラム)において、TOTO、リタケを含む森村グループがセラミックスの 3D プリンティング研究に取組み、SLS(Selective Laser Sintering)方式で構造用セラミックスを直接で造形できる技術を開発した。

FormLabs 社(米)は光造形方式で安価で高性能な 3D プリンター Form2 を販売していたが、2019 年にセラミック造形材料の販売をアメリカ国内で開始した。

また当センターと同様の方式である粉末固着法により、陶磁器造形を可能とする材料を、リタケが 2017 年 6 月にテスト販売した。(これは市販も見据えたものであったが、その後市販には至っていない模様である。)

愛知県窯業技術センターや長崎県窯業技術センターも 3D プリンターを利用した陶磁器生地製造技術の研究に取組み始めた。

このように、セラミック系材料による 3D プリンティング技術は少しずつ広がりを見せている。当センターも継続して材料をはじめ周辺技術の熟成を続けているほか、技術を活用できる成型機を検討している。

2.2 3D プリンターの原型利用

陶磁器デジタルデザイン技術は、3D プリンターによる造形品を原型として利用できないか、という研究からスタートした。3D プリンター造形品は等高線状の段差が残り、原型として使用するためには、この段差を消すために研磨作業を行わなければならない、原型として利用することは推奨できない、という結論に至り、NC 切削により鑄込成型用の型(主に捨て型)を直接加工する技法を研究し、迅速かつ高精度な型製作が行えるようになった。現在最も利用されているのは、鑄込型の NC 切削による制作である。

一方で、NC 切削は加工に利用する刃物の長さに制限があり、垂直に近く高さが高い加工は難しい。例えばコップなどの型加工は制約があり、場合によっては一体で作ることが出来ず、高さ方向で複数分割する必要があることがある。また形状が複雑で分割した型加工を行わなければならない場合は、データ製作や型加工ともに非常に時間がかかることもあり、原型を作り、型加工は手作業で行った方が時間とコストの面で有利な場合もある。原型製作は手加工では難しい場合が多いものの、原型からの型加工は手作業で行うことはそれほど難しくなく、型加工専門業者の利用により、細分化された産地の業者を保全する意味からも、デジタルデザイン技術で原型を加工できないかという要求が絶えない。

3D プリンター造形品特有の段差は、造形したい形状をプリンターが造形できる加工高さで分割することにより生じるもので、理論的には加工高さが低くなれば段差が目立たなくなる。従来はこの高さが 0.1 mm 程度の機種が多

数であったが、現在では0.015 mm程度の機種も市販されている。このような高精度の 3D プリンター造形品であれば、原型としての利用も現実的なものになると考え、平成 29 年度に KEYENCE 製 AGILISTA3200 を導入した。

本機はインクジェット方式であり、UV 硬化型樹脂をインクジェットノズルから噴霧し、直後に UV 光を照射して硬化させる方式のもので、高精細な造形が可能である。当センターが導入した機種は、通常のアクリル系プラスチックのほか、シリコンゴム系材料でも造形が可能である。サポート材は水溶性で、大まかに除去した後、水槽に数時間浸けておくことで除去できるため、容易に行える。

ここ数年、デジタルデザイン技術を利用した新製品開発が一般化したことも関係し、表面に微細な彫刻を施したものが多数企画されるようになった。皿や碗類であれば、NC 切削による型製作のメリットを最大限に活かすことができるが、コップの側面にも同様に彫刻を施したいという要望も多くなった。

新規導入した 3D プリンターの高精細さを活かして、陶磁器型製作の原型に利用することを検討した。大きさは機械の造形可能領域に制限されるものの、高さ方向の制約が無いため、コップなど高さが高いものでは利点がある。厳密には NC 切削による原型製作のほうが、精度や表面の平滑さで優れているが、前記のように NC 加工が難しい、高さが高く垂直に近い造形品の場合には、有力な代替案となりうる。このような背景から、実際の製品化で利用された。オランダ人デザイナー Tijmen Smeulders による「UTSUÀ(うつわ)」を一例に挙げる(図 2)。

またコップ等の成型は、排泥鑄込により行われる場合も多い。表面に彫刻が施されている場合には、従来からも

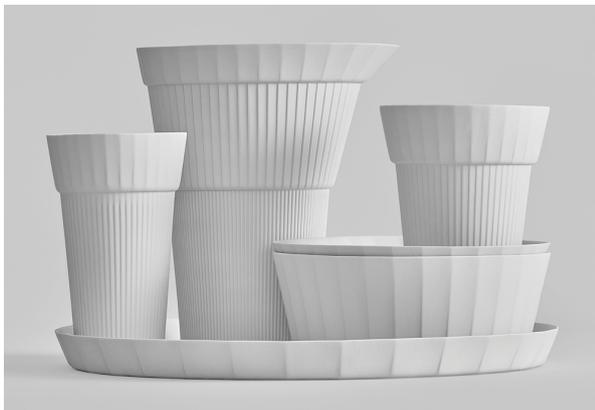


図 2 UTSUÀ(うつわ) Tijmen Smeulders.

シリコンゴムを型の複製に使うことがあった。排泥鑄込では、鑄込後の乾燥収縮を利用して、直径方向の 1%程度の高さであれば、逆勾配がある形状でも一体で成型が可能である。このような場合に、シリコンゴムで造形した原型を用意できれば、スムーズに型取りから成型まで行える。前記の AGILISTA3200 はシリコンゴム系材料による造形が可能であり、データから同材料で原型を出力し、鑄込用の型を作ることで、製品化に繋がった事例が数件ある。図 3 は、やま平窯による「Egg Shell」シリーズの一つで利用された例である。



図 3 インクジェット式 3D プリンターによる原型(左)と試作品(右)。

3. NC 切削による型製作の高度化

NC 切削における原型・型製作においても高度化に取り組んだ。以下に主な事例を紹介する。

3.1.5 軸制御モデリングマシンによる切削加工技術

平成 27 年度に 5 軸制御モデリングマシン(マシニングセンタ)DMG 森精機製 DMU60monoBlock を導入し、型製作高度化の研究に取り組んだ。これまで NC 切削による型製作技術の研究に利用してきたモデリングマシン(マシニングセンタ)は左右(X軸)前後(Y軸)上下(Z軸)の 3 軸制御であり、刃物を保持して回転させる主軸は切削対象に対して上下方向に動き、逆勾配(アンダーカット)部の加工は行えない。5 軸制御加工機は、種々の方式があるが、当センターが導入した DMU60 は上記 XYZ 軸に加え、テーブルの回転(C軸)と主軸のチルト(B軸)が加わったもので、傾斜ヘッド回転テーブル型と呼ばれる。加工領域

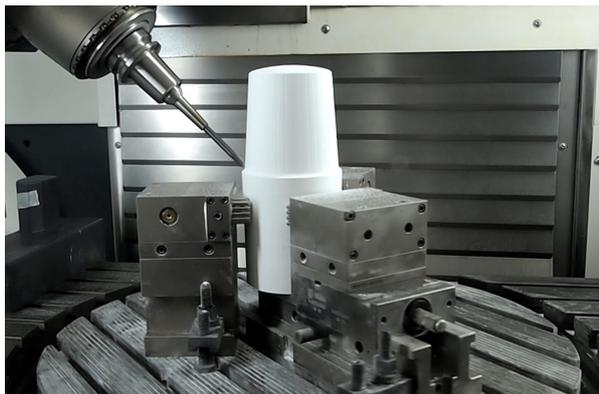


図 4 5 軸制御モデリングマシンによる切削加工の様子。

はφ560 mm、高さ560 mmで24本のATCを備える。テーブルは回転するものの水平状態を保つため、テーブルが傾斜するトナオン型と比べ、材料の固定は相対的に弱い力でも可能である。固定には MATRIX 社(独) XCLAMP を使用している。想定以上に習熟に時間を要し、コップ原型の試作を行ったものの、現時点では特記できる成果を得るには至らなかった。前述のようにコップなど3軸加工機が苦手とする高さが高いものでメリットが発揮できるはずであり、今後も継続して研究を続け、高度化に取り組む計画である。

3.2 高精度な型製作

デジタルデザイン技術の普及により、表面に微細な彫刻を施した製品が数多く企画されるようになってきたほか、製品の寸法精度が向上したことで、異素材と組み合わせる製品も企画されるようになり、相応に要求も高度になってきている。

当センターが開発した世界最高強度磁器素材¹⁾を文字盤に使った腕時計が企画された。当素材の特許実施許諾



図 5 SEIKO プレサージュ プレステージライン 有田焼モデル (提供: セイコーウォッチ株式会社)。

を受けた「しん窯」が大手時計メーカーであるセイコーウォッチ株式会社の委託を受け文字盤を製造するものである。デジタルデザイン技術を利用した型製作は、従来の手作業によるものにくらべ、遥かに高精度で行えることが大きなメリットの一つであるが、通常の陶磁器は寸法精度の要求はそれほど大きくなく、要求が厳しいものでも ±0.2 mm 程度であった。これに対し時計文字盤は、従来の製品を遥かに超える 0.01 mm 単位の精度が求められた。また製作された 2 つのモデルのうちクロノグラは文字盤内に部分的に凹面があるが、このような凹面は珪瑯や漆などの伝統工芸要素による文字盤では実現が困難であり、磁器素材の独自性が感じられるものである。従来のデジタルデザイン技術ではこの精度の実現は困難だったが、切削加工材料の固定方法、粗取りから中仕上げ・仕上げに至るまでの切削加工条件の最適化、材料調整、型による成型回数上限の設定、焼成条件の最適化等、様々な条件を高度に管理することにより、要求された精度を達成できた。この腕時計は 2019 年 3 月にプレスリリースが行われ、同年 9 月から販売開始予定である。

3.3 NC 切削による原型製作の新技法

従来の手作業では製品形状と同一で乾燥・焼成収縮分を拡大した「原型」が不可欠だった。この原型を元に型取りし、テスト成型を行い量産型の原型となる「捨て型」を作り、量産型を反復生産するための「ケース型」を作るのが基本的な型製作のプロセスである。NC 切削では原型をスキップして捨て型を作ることで最も効率化が図れるため、捨て型を加工することが多いが、原型に手加工を加えたいなど、後工程の都合により原型を加工する場合もある。原型を NC 加工するためには、片面を加工した後に反転させて、残る片面を加工する必要があるが、位置合わせを正確に行うため、原型を囲う枠を用意し、部分的に原型と繋いでおき、加工後に繋いだ部分を切断し、切断面を手加工で仕上げる、という工程で行っていた。この切断面を手加工で仕上げる際の不正確さ、切削加工面と手作業仕上げ面の違和感が問題であった。

この問題を回避するため、枠と原型部分を独立させて

おき、片面加工後に枠と原型の隙間を他の材料で仮固定しておき、両面を加工後、枠と仮固定部を取り外すことで、手加工を極力省き、きれいな原型を得る技法が、他の工業分野での試作加工で行われている。これを参考に、陶磁器への応用を試みた。

具体的には、石膏を加工する場合、石膏の強度や 60 °C 以上の温度で分解してしまう特性に配慮し、仮固定に使える適切な素材を探した。

結論として、50 °C 以下で熔融する低融点パラフィンワックスを使用することで、満足な結果が得られた。(図 6)



図 6 両面切削による原型の試作.

3.4 デジタルデザイン技術の高度化具体例～

NSX 磁器模型

株式会社本田技術研究所から同社の新型スポーツカー NSX の実車外装データの提供を受け、2016 年 3 月から有田焼模型の実現に取り組んだプロジェクトである。2016 年末時点では白磁の完成品を発表していたが²⁾、実車に準じた彩色を施した模型(図 7)を製作した。2016 年時点では細いホイール部が通常の成型では困難で、前述の C3DPO 技術で製作したものを使っていたが、実車のシャープな印象にそぐわないものであったため、圧力鋳込成型による生地製作を成功させ、最終的には置き換えることが出来た。ボディ色は赤・濃青の 3 色で製作した。彩色は、赤・濃青は上絵によるもので、マスキングによる塗分けを行ったほか、転写技術も利用し、5～10 回の焼成を行った。赤色のものは 2019 年 3 月現在、佐賀県庁 1 階県民ホールで展示している。



図 7 ホンダ NSX 有田焼磁器模型(彩色版).

4. おわりに

本研究は、平成 26 年度～30 年度の 5 年間取組んだものである。この間、平成 28 年(西暦 2016 年)は、当センターが所在する佐賀県有田町で焼かれる有田焼が、日本で磁器を最初に焼いてから 400 周年を迎える記念すべき年であり、佐賀県も多くのプロジェクトを実施したが、プロジェクトに関連して開発された多くの商品で陶磁器デジタルデザイン技術が利用された。当センターは従来の技術に加え、研究途上の最新技術も投入して支援を行った。本技術を利用しなければ実現できなかった製品も数多くある。

陶磁器デジタルデザイン技術の有効性は業界に広く浸透し、有田焼創業 400 年を過ぎてもなお、多くの製品開発に利用されている。平成 30 年末には、新たに 2 社がモデリングマシンを導入した。

本技術の発展と業界への普及は一定の成果を挙げていると考えており、従来の技術とさらに高度化した技術を組み合わせ、今後もさらなる普及が見込まれる。当センターは本研究終了後も、この技術の高度化に関する研究と、業界への技術普及・啓蒙活動を継続していく予定である。

参考文献

- 1) 蒲地伸明他, 佐賀県窯業技術センター平成 28 年度研究報告書, 1-4 (2017)
- 2) 副島 潔他, 佐賀県窯業技術センター平成 28 年度研究報告書, 5-12 (2017)