

複雑形状陶磁器成形技術の開発

副島 潔、江口 佳孝
佐賀県窯業技術センター

陶磁器の量産では生地成形に石膏で作られた型を使用する。皿のように上下2分割の型で成形できる形状は圧力鋳込成形で行い、花瓶のような袋状の形状は排泥鋳込成形で行うのが、従来の常識である。しかし、排泥鋳込成形では外側は型に沿った形状が得られるものの、内側はコントロールできない。本研究は、袋状の形状でも圧力鋳込み成形で行うための技術を開発する。袋形状では成形後の乾燥収縮前に内側の型を取り出す必要があり、解決が難しかったが、ワックスによる中子と組み合わせ、溶出させることで実現できた。

Development of technology for molding complex ceramic shapes

SOEJIMA Kiyoshi, EGUCHI Yoshitaka
Saga Ceramics Research Laboratory

In ceramic mass production, plaster molds are used for molding. It is conventional practice to use pressure casting molding for shapes such as plates, which can be formed in a two-part upper and lower mold, and slip casting molding for balloon-shape such as vases. However, in slip casting, the outside of the mold can be formed in accordance with the mold, but the inside cannot be controlled. This research aims to develop a technology to perform pressure casting molding of balloon-shaped. The balloon shape requires removal of the inner mold before drying and shrinkage after molding, which was difficult to solve, but we were able to achieve this by combining with wax cores and elution.

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¹⁾を30年近く続けており、「陶磁器デジタルデザイン技術」として陶磁器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年では非常に多くの新製品が3Dデジタル技術を利用して開発された。本研究は、陶磁器デジタルデザイン技術をさらに発展させ、従来の技法では困難だった複雑な形状の成形技術、特に袋形状の圧力鋳込成形の実現を目指したものである。

2. 3Dプリンターによる複雑形状成形技術の研究

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造形技術に関する研

究が進み、デザイン検討時の形状確認ではなく、実際の製品を作ることが一般的になりつつある。少量の生産であれば、型コストを考慮することなく生産できるため、有効な手段となりうる。しかし、製品に必要な材質で製造できることが前提である。

当センターでは、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。有田焼の主原料である天草陶石の粉末を利用して成形体を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。当初は成形後の強度が弱く、概ね10cm程度を超えると崩れてしまっていた。

本研究では、さらに大きな造形物を得るため、バインダーの配合や造形後の処理法を見直して実験を重ね、プリンターの造形エリア(約290mm×200mm)の

大ききであれば造形物が得られるようになった。(図1)



図1 C3DPO:陶磁器ダイレクトプリントアウト技術による試作品。

3. 石膏型の鑄込み口形状の検討

複雑な形状を石膏型で成形するにあたり、形状が複雑になるほど鑄込み口から端部への泥漿の充填が難しくなることから、一般的な鑄込み口形状と、当センターで近年多用している形状を比較し、充填の度合いについて比較検討した。

図2の4種の形状の断面を用意し、1辺50mmの正方形で厚さ3mmのタイルを圧力鑄込み成形し、焼成後に重量を比較することで、良好に充填できる形状を判定することとした。

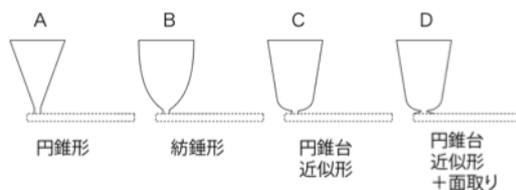


図2 テストを行った鑄込み口の断面図。

Aは最も単純かつ作りやすい形状で、以前は多く見られたが、鑄込み口付近が固まりやすく充填性が悪いことから、近年はあまり用いられない形状である。Bは肥前地区で現在最も一般的に見られる形状である。C・Dは逆円錐台の鋭角部を丸めた形状で、成形時に鑄込み口近辺の湿潤性を長く保持することで、鑄込み口近辺が固まって充填を妨げることを極力回避することを意図し、鑄込み口付近の薄い部分を広くとったものである。当センターでは、近年Cの形状を多用して試作を行なっている。さらに、Dは成形物側から面取り加工を施し、より湿潤性を長く保持すること

を意図した形状である。

焼成したテストピースの重量測定結果一覧が表1である。この表から、B、C、Dは比較的近い数値を示しているが、Dで最も重量が大きく、充填が良好であることが推察される。成形時から焼成後まで、成形品の表面性状を観察したが、鑄込み口の各形状における違いを認めることはできなかった。しかしながら、重量差から推察されるように、D形状が最も良好な形状であろうと考えられる。このほか当センターの試作では、鑄込み口だけではなく、縦方向のパイプ穴から鑄込み口に至る経路で極力鋭角部を作らないよう配慮しており、当産地の事業者にも推奨している。

表1 テストピースの重量測定結果。

	30枚平均値/ g
A	15.6
B	15.9
C	16.0
D	16.2

4. 圧力鑄込みによる袋形状の成形に関する研究

4.1 中子を利用した圧力鑄込み成形の可能性

石膏型を利用した成形では、袋形状は圧力鑄込み成形で成形できないため、排泥鑄込み成形で行うことが常識であった。しかし、排泥鑄込み成形では、成形体の厚さは鑄込み時間によって調整するしかなく、また、基本的に全体が均一の厚さになる。泥漿を排出する際に流れる跡が内側に残り、平滑な面を得ることが難しい、という問題がある。内側の形状は外側を均一にオフセットしたものになる。袋形状を圧力鑄込みで成形できれば、ある程度の範囲で厚さを部分的に変えたり、外側と内側が異なった形状でも作ることが出来るようになる。例えば、ポットでは胴体部と注口の厚さを変えて作ることが出来る。本研究では、ハンドルと注口、胴体が一体となったポットを成形した(図3)。

袋形状を圧力鑄込みで成形する場合、中子が必要となる。成形体は成形後の乾燥時に収縮するため、収縮を起こす前に中子を何らかの方法で取り出す必要がある。以前の研究では、外側と同じく石膏で中子

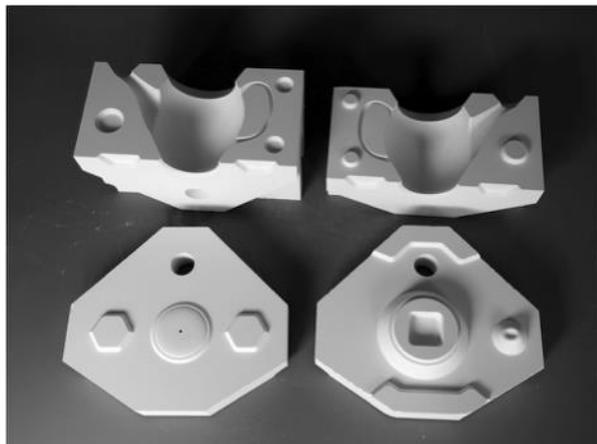


図3 袋形状の圧力鋳込み型、ハンドル一体のポット.

を作り、組み合わせたパズルを分解するように取り出すことで、逆勾配がある袋形状に類似した自動車ボディ形状を圧力鋳込みで成形した²⁾。本研究では、石膏以外の材料で中子を作り、何らかの方法で取り出す方法を模索した。

まず、3D プリンターで中子を作り、成形が可能なことを確認するための実験を行なった。実験で使用した3D プリンターは、特殊な石膏粉末を液体バインダーで固める方式のもので、材質は石膏ではあるが、パラフィンワックスを含浸させる処理により吸水性はほぼ無い状態である(図4)。



図4 3D プリンターにより製作した中子.

この3D プリンター製中子を用いて、成形が可能か実験を行なったところ、成形は良好に行えることが確認できた(図5、6)。また乾燥収縮を起こす前に取り出すことで、ひとまずは良好な成形体を得ることができた。予想通りではあるが、中子を取り出せないままの成形体は、乾燥収縮でヒビ割れを起こしてしまい、以後は

利用できなかった(図7)。

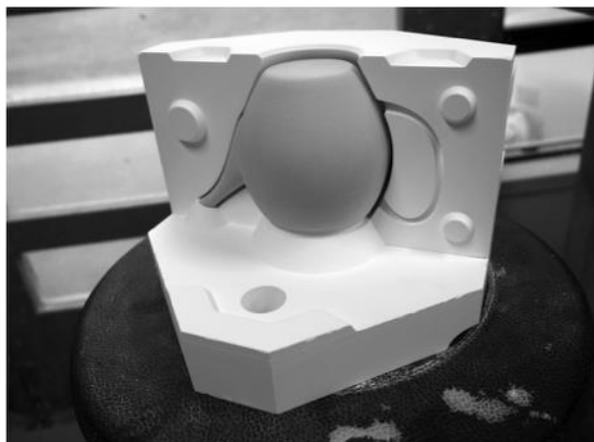


図5 3D プリンター製中子を圧力鋳込型にセットした様子.



図6 プリンター製中子での成形は問題なく可能であった.



図7 成形体が乾燥収縮に耐えられずヒビ割れを起こした様子.

4.2 乾燥収縮前に中子を取り出す材料と工程の研究

事前に想定していたことではあるが、前記のように、成形後、乾燥収縮を起こす前に、何らかの方法で中子を取り出す手段が必要となる。出来るだけ特別な設備を必要とせず、容易に入手でき、コストも低廉な材料と方法を模索した。様々な材料と工程を検討した結果、パラフィンワックスを利用することが良い解決策であると考えた。

中子を成形するために、鑄込み型を用意した。排泥鑄込みに利用する場合と同様のものである(図8)。



図8 中子成形用の型。

この型を利用して、パラフィンワックスによる鑄込み成形を試みた。約60℃で溶解させたパラフィンワックスを型に流し入れ、室温である程度放置し、外側からワックスが固化して数mmの肉厚が得られた時点で溶解したままのワックスを排出するという、泥漿をパラフィンワックスに置換した工程である。パラフィンワックスは冷却・固化する時点での体積収縮が大きいので、収縮を抑える手段が必要であったが、これは溶解したままのワックスを排出した直後、砂を充填させることで解決できた。ワックスの収縮を抑えるためと圧力鑄込み成形時の圧力に中子が耐えるために有効な解決策である(図9)。

このパラフィンワックス製中子を利用して、前記の工程で圧力鑄込み成形を行った。成形体を取り出したのち、成形体が乾燥する前に中子を取り出すための方法であるが、全体をプラスチック製の袋で覆い、恒温器で約60℃に保温したまま放置して溶解・溶出させる方法で解決した(図10)。この際、一部のワックス

が内部に付着、あるいは成形体表面に湿潤した状態で残るなど、全ては溶出できなかったが、このワックス分は通常の素焼成時に焼失させることで、通常の素地を得ることができた(図11)。以降は、通常の工程で、焼成まで行うことができた。

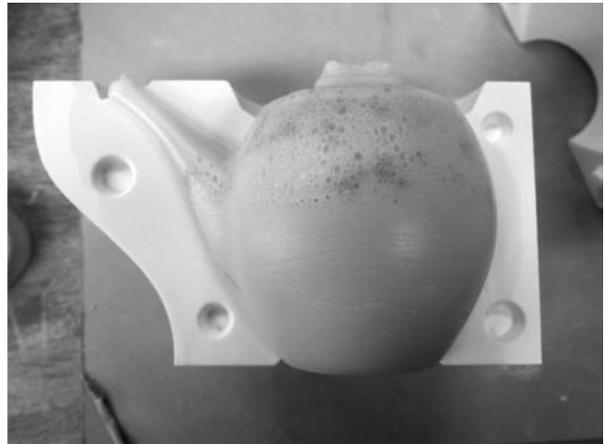


図9 鑄込み成形したパラフィンワックス中子。



図10 恒温器内でワックスを溶出させる様子。



図11 素焼きが終わった素地。

以上のような工程で圧力鋳込みによる袋形状の成形を行うことはできたが、ワックス中子の表面の気泡がそのまま成形体表面に転写される、という問題が残った(図 12)。この気泡は、パラフィンワックスで作られるキャンドルの製造法を参考に、ステアリン酸を 10%程度混入することと、中子の鋳込み時に型を 40℃程度に温めておくこと、型にワックスを注入する際の器具と手順の工夫で気泡の発生を極力低減させるなどの方法で、大幅に軽減させることができた(図 13)。

また、石膏型によるワックスの鋳込み作業で、硬化後の脱型が著しく困難であった。通常の陶土泥漿による鋳込み作業ではさほど問題にならないが、ワックスによる鋳込みでは硬化したワックスが型へ強く貼りつくことが多く、各種の離型法を試した。型表面にベビーパウダーを塗布しておくことで、比較的離型性は改善したものの、さらに良い解決策は見出せなかった。



図 12 成形体内部に転写されたワックス製中子の気泡。



図 13 気泡が低減されたパラフィンワックス製中子。

また、型と硬化したワックスが共に柔軟性に乏しいことも要因であると思われたため、一部をシリコンゴムに置換することで、離型性が大きく向上した(図 14)。焼成まで行った試作品を図 15 に示す。

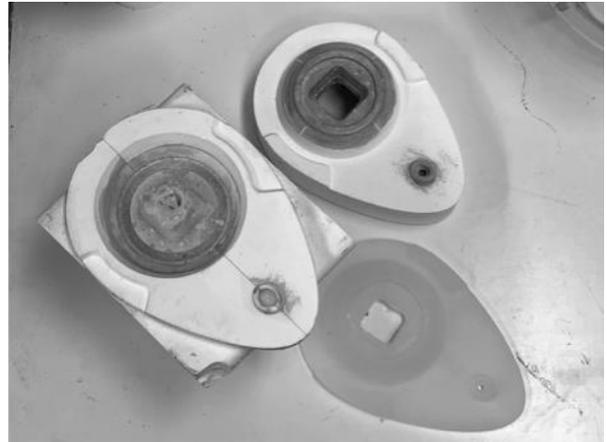


図 14 型の一部をシリコンゴムに置換し離型性が向上。



図 15 型の一部をシリコンゴムに置換し離型性が向上。

5. おわりに

本研究は、当センターが長年取り組んできた、3D デジタルデザイン技術を陶磁器分野に導入し変革するための「陶磁器デジタルデザイン技術」の可能性をさらに拡充するためのものであった。

3D プリンターを使って直接陶磁器生地を造形する「陶磁器 3D ダイレクトプリントアウト技術」は、強度を向上させるには至らなかったが、造形物の大きさと精密さについては向上させることができた。しかしながら、バインダーを噴射して固着させる方式による 3D プリン

ターは市場から消えつつあるのが現状で、現段階の想定では、この方式での今後の発展は困難であろう。

セラミック材料により 3D プリンターで直接造形できる技術は、光造形方式によるものが市場で見られるようになってきたが、非常に高価でエンジニアリングセラミックス分野ではコストに見合うとしても、一般の陶磁器分野では高価すぎて現実的ではないようである。将来の低コスト化に期待したい。

陶磁器デジタルデザイン技術は、圧力鑄込み成形では技術の利点を最も活かすことができ、実際の製品でも数多く利用され実績も豊富であるが、袋形状を成形できる排泥鑄込み成形では 3D データを正確に反映できるのは外形のみであった。また、生地表面に型に施した細かい彫刻を転写したい場合、排泥鑄込み成形では転写する能力が圧力鑄込み成形に比べて大幅に劣る。過去の研究試作²⁾では車のボディ形状など袋形状に類似した場合でも内部の型を複雑に分割して取り出すことで圧力鑄込み成形を行なったが、これはメッシュ部分など型の微細な加工が排泥鑄込みでは転写できなかったことも要因であった。本研究の実験段階で、ワックス中子表面の気泡が生地に転写されてしまったことも、圧力鑄込み成形では型の形状が正確に転写されることを示している。

本研究の結果として得られたワックス中子を用いた圧力鑄込み成形法は図16 に示す工程である。前例のない方法であるが、簡易な設備と安価な材料で実現することができた。単なる 2 分割の型による成形よりも複雑な工程ではあり大量の生産には不向きであろうが、袋形状でも圧力鑄込み成形が可能であることを実証できた意義は大きい。

また、副次的な成果として、型の片面が吸水性の無い素材であっても、圧力鑄込み成形が可能であるという知見が得られた。片側に石膏型では成形できない形状がある場合、例えば部分的に逆勾配がある場合にシリコンゴムの型を用いる、あるいは石膏では微細な表現が摩耗してしまう場合に金属や樹脂の型を使う、などの方法が考えられる。本研究が今後の陶磁器デザイン、また造形技術の一助になれば幸いである。

参考文献

- 1) 副島潔他, 佐賀県窯業技術センター平成 30 年度研究報告書・支援事業報告書, 1-5 (2019).
- 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・支援事業報告書, 5-12 (2017).

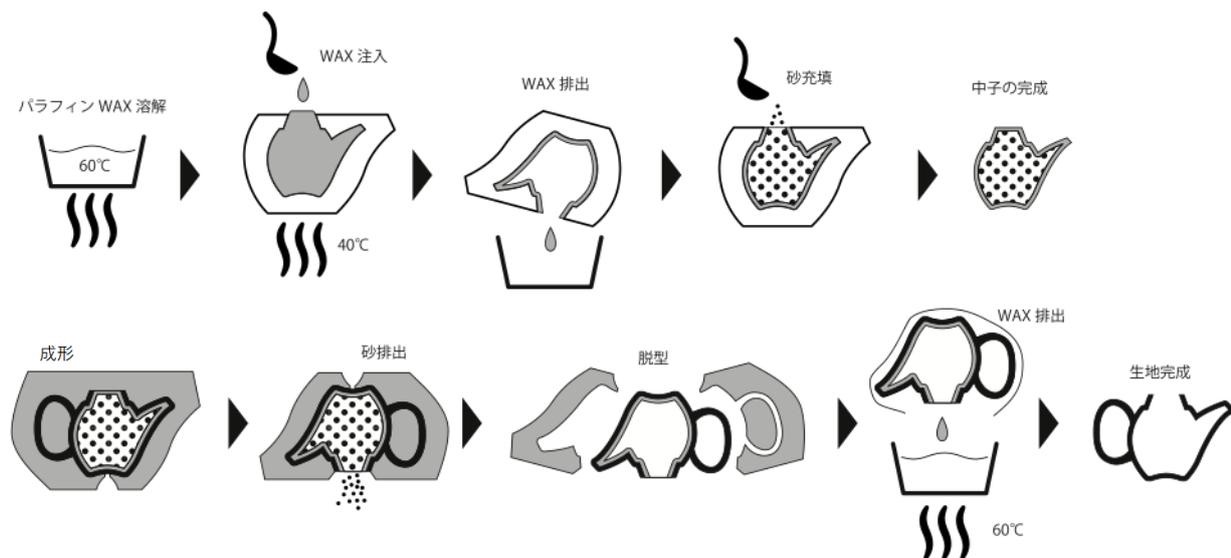


図 16 本研究で成功させたワックス中子による圧力鑄込み成形法。