

陶磁器のマスキング手法に向けたデジタル 3D 技術の開発

下田 華与、江口 佳孝
佐賀県窯業技術センター

陶磁器製造工程の中でマスキングを要する工程において、万能液、鉛板製吹き型に代わるマスキング技法をデジタル 3D 技術によって開発した。これにより、反復生産での万能液を塗る作業の短縮と鉛板製では量産できなかつた吹き型の量産が可能となる。

キーワード: 陶磁器、加飾技術、マスキング、デジタル 3D 技術

Application of Digital 3D Technology to Ceramic Masking Techniques

SHIMODA Kayo, EGUCHI Yoshitaka
Saga Ceramics Research Laboratory

For ceramic manufacturing processes that require masking, we have developed a masking technique using digital 3D technology to replace latex masking fluid and lead sheet stencils. This innovation reduces the time required to apply universal masking solutions in repetitive production and enables the mass production of molds that could not previously be produced using lead sheet stencils.

Key Words: Ceramics, Decorating Techniques, masking, digital 3D technology

1. はじめに

有田の製造工程でマスキングを要する箇所があり、現在では主に「万能液」と呼ばれるゴム液を器物に塗ってマスキングを行っている。万能液を塗る作業は筆で 1 つずつ器物面を塗っており、就労者不足のなか手間がかかり負担となっている。就労者不足以外にも、コストの面から有田焼らしい加飾が減少しシンプルな器が増えてきているため、現在絵具の消費量も減少してしまっている。絵の具消費を増やすためにはコストがかからず加飾効率の良いマスキング方法が必要である。そこで注目したのが有田の伝統技術吹き型である(図1)。吹き型は器物に被せてスプレーで吹付を行うと加飾ができる。そのため作業効率が非常に高い。しかし従来使用されていた吹き型は加工の容易さから鉛板を素材としており、現在では加工できる職人も少なくなったため、一つひとつ手作りする鉛型は量産が困難である。そして鉛の使用も有害性の問題から現実的ではない。そこで今回着目したのが、デジタル技術を活用したマスキングの方法である。スキャナーと 3D プリンターを使用すれば鉛板製の吹き型の代替品を作製できると考える。さらに 3D 技術を活用できれば量産も細や

かな出力もできるためマスキングによる加飾の幅も広げることができ新製品開発の糸口にもなる。



図1 鉛板製吹き型

2. 実験方法

2.1 吹き型の 3D データの作成

3D プリンターで吹き型を作成するために、加飾する器物をスキャナーにより 3D データ化した。スキャンすることで器物に添った吹き型を容易に作成することができる。当センターが所有するスキャナー(アメテック(株)製:

HandySCAN700)を使用し、テストピース用に作成したそば猪口、ボール、皿をそれぞれスキャンした。スキャンデータの修正は VXelements 9.0.1.2934(Creaform 社製)と Design X 2020.0.4.15((株)データ・デザイン社)を使用し、吹き型のデータ作成は Rhinoceros 7 (Robert McNeel & Associates 社製)を使用した。

2.2 吹き型の出力

Rhinoceros で作成したデータを STL データに変換し、熱溶解積層方式(通称 FDM 方式)の 3D プリンター(日本 3D プリンター製:Raise3D E2(図 2))と Raise3D 専用スライスソフトウェア(ideaMaker)を使用して出力を行った。フィラメント材料は比較的安価で加工も容易な PLA 樹脂を使用した。



図2 日本3D プリンターRaise3D E2.

2.3 器物への吹付工程

吹き作業は3Dプリンターで作成した吹き型をかぶせた素焼きに対し重力式スプレーガン((株)明治機械製作所製:FS)と多色吹き用に重力式エアブラシ(iwata 製:TP-TH)を用いて行った。含水率 90~98%に調整した絵具をエア圧(0.1~0.3MPa)で吹き付け作業性を確認した。

2.4 サンドブラスト加工

型吹き技法同様のマスキングによる加飾技法であるサンドブラスト加工への適用を検証した。3D プリンターで作成した吹き型をかぶせた素焼きに対しサンドブラスト加工機(三共理化学株式会社製:ブロウブラスト AB-1)を用いサンド(ホワイトアルミナ 220 番)をエア圧 0.016~0.02MPa

で吹き付け、彫の状態を確認した。

3. 結果と考察

3.1 吹き型の 3D データの作成

3.1.1 図柄の曲面変形による吹き型データ作成

データの作成は主に吹き型のベースのデータから、図柄のデータを抜き取るイメージで作成した。主にそば猪口の吹き型の作成は Rhinoceros の FlowAlongSrf という曲面(サーフェス)に沿って図柄を変形させるコマンドを使用した。このコマンドを使うことでそば猪口の面に沿った形状で図柄を変形配置することができる(図 3)。まずは七宝文様と青海波の文様を配置して吹き型の作成を行った。この FlowAlongSrf という変形コマンドは面の一部に図柄がある場合は問題ないが、繰り返しの配列により全面に図柄を配置したデザインを作成した際に図柄のデザインの崩れと間隔のずれが生じることが分かった。全面に図柄を配置する場合、FlowAlongSrf のコマンドでは、Rhinoceros 側でサーフェスに合わせるため、全体の図柄を作成してから合わせるのではなく、1 部分を確実に合わせてから全面に展開した方が図柄のデザインの崩れと間隔のずれを極力抑制できることが確認できた。

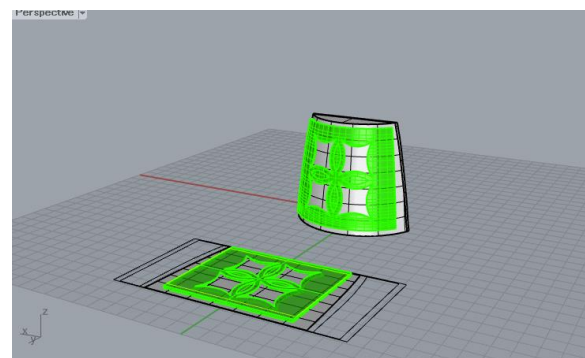


図3 平らなピースを FlowAlongSrf を使って変形。

3.1.2 回転体への図柄配列の展開

回転体への図柄の幾何配列を行う場合には絵付けの際に文様デザインを考えると同時に縦に割線を意識して、吹き型のデータを作成した。ボウル形状では縦で割った場合の一部分のデータをだまかに作成して FlowAlongSrf を使用し曲面(サーフェス)に沿って変形、次いで図柄の調整を行った(図 4)。

その後 ArrayPolar という、選択したデータを、環状配

列するコマンドを使用し割った数分の配置をすれば図柄のデザインの崩れと間隔のずれもなく配置することができた(図5)。RhinoCeros のコマンドの履歴記録を使用することで、変形させたものでもデザインの修正が行える。

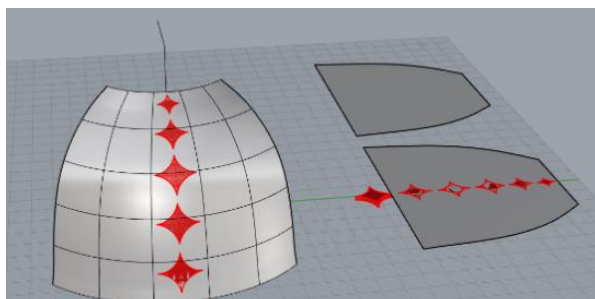


図4 FlowAlongSrfを使用して器物の曲面に沿って変形。

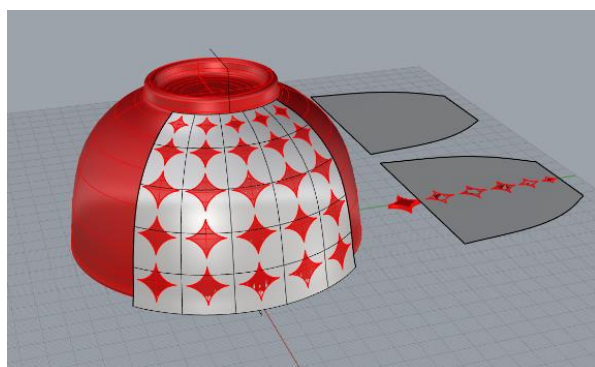


図5 ArrayPolarを使用して環状に配置。

3.1.3 図柄の曲面投影によるデータ作成

前記のコマンド以外で Project というコマンドがある。線を曲面(サーフェス)に投影できるコマンドで、使用例としてはタイルやプレート等の平らなものでは使用しやすいと感じた。投影する角度によっては線を投影する場所が変わり、図柄のデザインが変形してしまうが、デザインが小さいものであればそば猪口等にも使用できると感じた。

3.2 吹き型の出力

3.2.1 出力テスト

器はオーバーハングとなる形状が多いため、サポートが付く形状でテスト用のぐい呑みを作成し、ideaMaker の出力のテンプレート(高精度、標準、速度重視)を比較した(表1、図6)。高精度のものは比較的サポートの付く部分がきれいに出力されているが、他の2つに比べ造形時間がかなり長くなっていた。

表1 テンプレートでの出力。

	高精度	標準	速度重視
レイヤーの厚み	0.10mm	0.20mm	0.25mm
材料の使用量	27.2g	32.4g	32.5g
造形時間	6時間58分	3時間50分	2時間51分



図6 テンプレートの比較(左から高精度、標準、速度重視)。

3.2.2 サポートについて

サポートが付く部分は、造形の表面が荒れやすいため、吹き型の器物面に接する部分にサポートを生成すると、荒れた面に絵具が伝って付着してしまう。そのため、吹きつけ時に影響のない部分にサポートを作成する必要がある。ideaMaker 内でデータの向きを変え、吹付で影響が出ないように調整を行った。

図柄と器形状によっては、サポートでの支えだけでは穴となる図柄形状を正確に出力できない場合があったため、サポートの代わりとなるパーツを作成した。データ内で図柄パターンを0.2mm オフセットしたパーツを作成し、一体で出力を行った(図7)後、パーツを切り離すことで吹き型を作製した。



図7 オフセットしたパーツを一体で出力。

その結果パターンがきれいに出力できていることが確認できた。(図8)

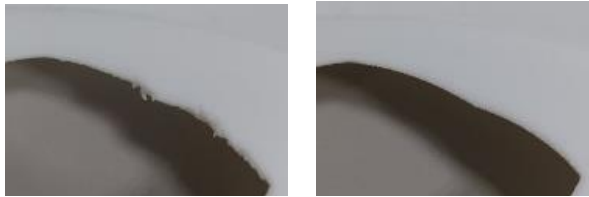


図8 出力の比較
(左が通常サポーターでの出力、右が切り離しパーツ作成)

3.3 器物への吹付工程

3.3.1 吹き型の液だまり軽減のための検証

FDM方式の吹き型の場合、吹き付けた絵具を弾いて水滴が全面に付着するため、液だまりができやすい。液だまりは垂れていくと連鎖的に流れてしまうため、器物を汚してしまう場合がある。さらに3Dプリンターの吹き型は出力する際には厚みを必要とするため、エッジの部分にも溜まりができてしまいそのまま裏面まで伝ってしまう。それらを軽減するためには吹き型表面に絵具が溜まる、または器物のほうに流れないように工夫するか、若しくは流れても汚れないようにする必要がある。そのため吹き型の表面の加工とエッジの形状、器物との隙間の調整と加飾雰囲気の確認を行った。

吹き型の表面の水はじきを軽減させるため、表面をわざと荒いやすりで擦り、毛羽立たせることで吹き付けた絵具の弾きをなくした(図9)。図9の吹き型の左側が加工有り、右側は加工無しとなっている。加工無しは溜まりができてすぐに流れていくが、加工有りは弾かず全体的に絵具が付着することが確認できた。網やすりは荒いものでも毛羽立たせるまでにはいかないので、金ブラシを使って傷をつけるようにした方が効果的であった。

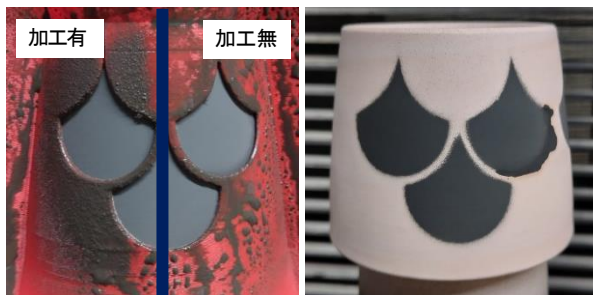


図9 吹き型表面加工の効果
(左 吹き型の液だまりの様子 右 吹付結果)

表面を加工しなくても吹き付ける絵具が溜まりにくく、削ったものと同様に表面に付着できれば加工の手間を削減できると考え検証を行った。水滴として留まるのは、表面張力の影響があると考え、表面活性剤の役割がある洗剤とドライウェルを使用した。スプレーで水を吹きかけるテストのため、吹き付けた後の状態がわかりやすいように着色した水にそれぞれを添加した。添加無しのは液だまりが全面にできてしまっているが、残り2つは液だまりができることなく吹き型の表面を流れており、少量の吹きかけでも溜まりはできなかった(図10)。水に添加物を入れることで液だまりが防げることを確認できた。



図10 左から水、水+食器用洗剤、水+ドライウェル

吹き型のエッジ形状を直角、テーパ、楕円、逆テーパの4種類作成しそれぞれ吹きかけを行った。それぞれの図中の左上に素焼きと吹き型の断面を示す。

1) 直角

吹き型の厚みがあるほど、端や角に吹き残しができやすい。角に溜まりすぐ流れる。(図11)



図11 エッジ直角の吹き型の吹付結果

2) テーパー

比較的にかけやすい、角のほうに溜まりができるが場所によっては流れにくい。(図 12)



図 12 エッジテーパの吹き型の吹付結果

3) 楕円

器物からエッジを浮かせているため、溜まりからの流れによる汚れは少ない。浮いたところに絵具が薄くかかる。(図 13)



図 13 エッジ楕円の吹き型の吹付結果

4) 逆テーパ

器物から斜め上にむけてのエッジを作成、角に溜まりはできるが丸と同じで、浮かせているため溜まりから流れによる汚れは少なかった(図 14)。



図 14 エッジ逆テーパの吹き型の吹付結果

楕円や逆テーパは他のエッジに比べて吹き垂れによる失敗が軽減できた。この2種類のエッジは器物から浮いた形状のため、回り込んだとしても付着しにくいと考えられる。そのため吹き垂れによる汚れの軽減策として吹き型を器物から少し浮かせることが有効だと分かった。

次にテストピース(タイル)と簡易な吹き型を用いて、0~3.0mm まで隙間を広げ、白抜き具合の変化を確認した(図 15)。0~0.75mm までは白抜きははっきりと見えるが1.0mm 以降になると全体的にぼやけていき、隙間が 3.0mm 近くなると白抜きの部分も薄く青色になってしまうが模様としては認識できる。隙間の調整を行うことで加飾の雰囲気を変えられることが分かった。

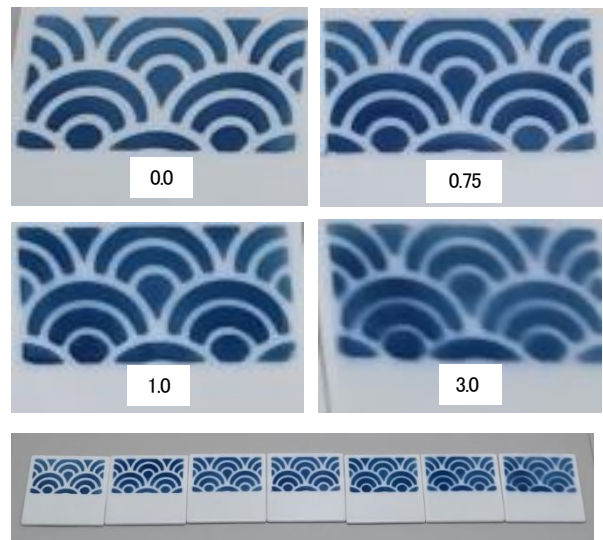


図 15 隙間検証 (左から 0.0、0.25、0.5、0.75、1.0、2.0、3.0)。

3.3.2 感温性フィラメントを用いた吹き型の作製

繊細部パーツまたは細長いパーツのついた吹き型を 3D プリンターで出力する場合、サポート材の支えがあってもきれいに出力することは難しい。そこで造形後に温めると変形することができる UNITIKA 社の感温性フィラメント「TRF」を使って出力を試みた(図 16)。

最初から器に沿った形状を出力するのではなく、板状に出力したものを造形後に変形させ、吹き型として使用した。造形後に吹き型を変形させるため、サポートのない細い部分は変形が生じる可能性がある。変形後の歪みの確認を行うために、厚みは吹き型に合わせて 1.5mm に固定、幅は 1.0mm から 0.5mm ずつ広くした半円と直線のデザイ

ンを作成し歪みを確認した。吹き型の変形後の歪みは曲線とストライプの幅1.0mm以下では顕著で、形状を保つことができなかった(図17)。形状や長さによっては1.0mm以下でも歪みが起きないことが分かった。細かい表現をするには一体での出力より、平らに出力した後で加工できるフィラメントのほうがきれいな仕上がりになることが分かった。しかし昨年度末に研究で主に使用していたフィラメントが廃盤となってしまったため、類似仕様のフィラメントで再度検証する必要がある。

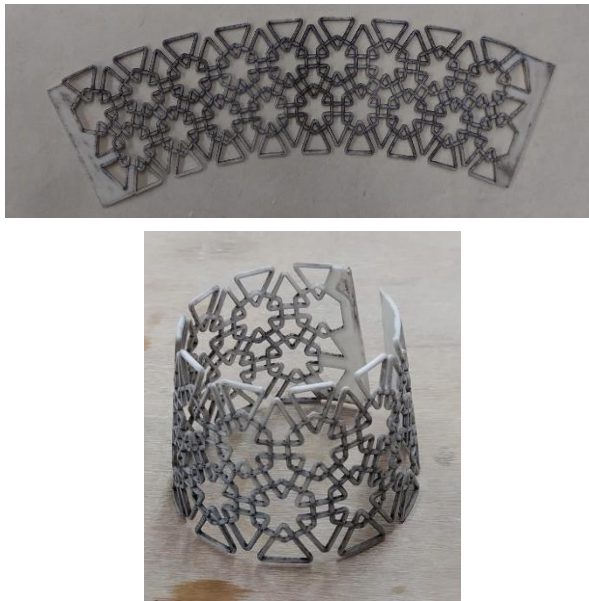


図16 上が変形前、下が変形後。

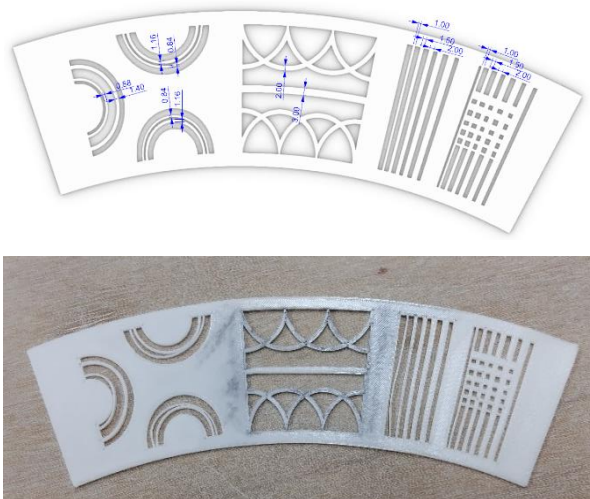


図17 感温性フィラメントの検証。

3.3.3 白ヌキ用マスキング手法の検証

図柄を白ヌキする部分のマスキングは固定する場所がないため万能液でのマスキングが主であるが、型を固定できれば絵柄の幅が広がり、万能液を塗る手間も省けるため効率もよくなる。作業時に簡易に取り外しができ固定ができる方法として磁石での固定の検証を行った。

直径5mm×2mm、表面磁束密度は0.32Tの粒磁石を吹き型裏面に固定し、器物側にも粒磁石を設置することでちゃんと固定することができた(図18)。



図18 粒磁石使用の吹き型

器内側に仕込む粒磁石の固定にはホームセンターでも販売しているマグネットペイントを使用した。マグネットペイントを素地内側に仕込む型に塗ることで、内側に仕込む粒磁石を任意の位置に固定することができる。マグネットペイントはあくまで粒磁石を付けるためのものでペンキ事態が磁石ということではない。粒磁石のN極とS極をわざとそろえずに吹き型と内側の型に配置することで、任意の場所に固定ができることを確認した。磁石同士のマスキングでは細工の部分が分かりにくいため、目印となるものを配置し、作業性を向上させた。

3.3.4 型の細工

器の形状によっては、吹き型を取り外す際に絵付けした面に型を擦ってしまい絵が掠れる現象が起きる。このため、器物表面を擦らずに吹き型を取り外すための細工を試行した。吹き型を制作するときは産地で使われていた鉛の型を見本として作成しているが、保有している数が少ないため、現在も型吹きが実施されている株式会社香蘭社にご協力をいただき、吹き型の視察を行った。数点を

見本としてお借りし、似た形状を3Dプリンターで作成する場合の形状調整や治具の作成を行った。また、型形状の製作と合わせて多色吹き吹き型の位置合わせについての検証も行った。複数の色をパーツ毎に分けて吹付を行うことで多色吹きをすることができる。しかし吹き型の位置がずれてしまうと印刷ミスのように模様がずれてしまうため、簡単に吹き型の位置合わせができる方法を検証した。

1) ストライプ(図 19)

中央の持ち手を押すことでアームのように開くことができる。



図 19 ストライプ

2) +と×(図 20)

マスクングのマスクング用の型を作成。高台部のパーツに差し込む位置を変えることで片絵柄ずつの吹付を行えるため、それぞれの色を変えることができる。



図 20 +と×

3) 椿の多色吹き型(図 21)

感温性フィラメントを使ったパーツを使用したもの。パーツを着け替えることで模様を変えることができる。



図 21 椿の多色吹き型

4) 二つ割り立涌(図 22)

ストライプの応用で、逆に開くようにデータを作成した。器物の中に吹き型をつけるためのパーツを作成。湿台(シッター)若しくは陶枕に被せて使用する。器物は動かさずにパーツ部分を付け替えるだけで模様を変えられるため、位置合わせも簡単に行える。



図 22 立涌の多色吹き型

細工を施した吹き型を作成し、吹き型の細工はアイデア次第でいろいろと改良可能であると感じた。位置合わせが必要なものは主に高台を基準としたが、実際に吹き付けるものの向きや形状によって基準となる部分が変わるためそれに合わせた基準パーツの作成が必要となる。

3.3.5 吹き型を用いた釉薬掛け分け

有田の加飾には釉薬を数種類使用して、加飾を行う掛け分けと呼ばれる技法がある。地の色を青磁、花の部分に石灰釉で白く加飾したものなどがある。掛け分けは最初に吹き付ける方に撥水剤を混ぜて加飾することで、地の色の釉薬をかける際にその部分が撥水されて色分けをすることができる。掛け分けする際もマスクングを施して加

飾を行う。掛け分けについて飴釉と石灰釉、青磁釉と石灰釉について加飾雰囲気を検証を行った。

吹き型を使用して掛け分けの加飾を行ったところ、掛け分けの境目に太めの境界線が入ってしまった(図23)。

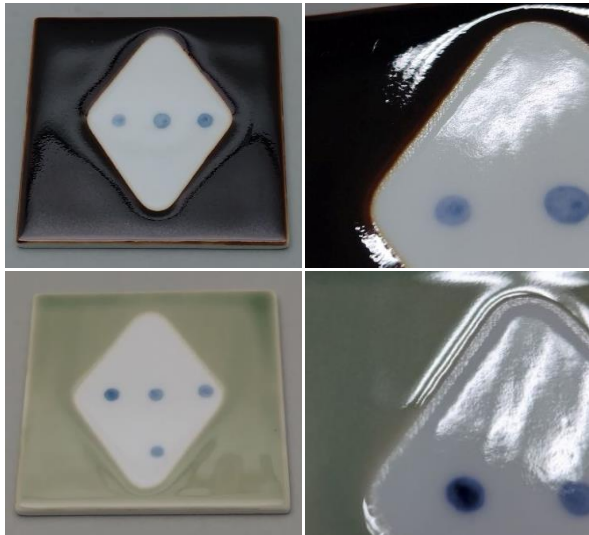


図23 飴釉と石灰釉(上段)、青磁釉と石灰釉(下段)。

これは吹き型と器物の隙間の部分に薄く撥水入り釉薬が付着したことが原因である。そのため吹き型と器物の隙間を無くすべく、エッジの形状を直角とし器物と吹き型の隙間を無くした吹き型で検証を行った。直角の吹き型では太めの境目がなくなっていることを確認した(図24)。

多少の釉溜まりは焼成で溶けてしまうため、さほど問題とはならなかった。しかし撥水剤が入っている釉薬が少量でも素地につくと、その部分を撥水してしまう。そのため掛け分けの場合は、吹き型の隙間を開けずに作成する必

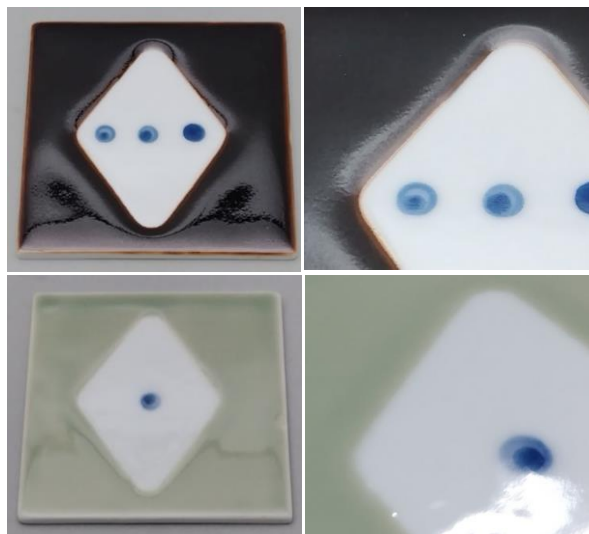


図24 飴釉と石灰釉(上段)、青磁釉と石灰釉(下段)。

要がある。器物と吹き型が接しているため、釉薬が垂れる前に適宜スポンジ等で吹き型の表面の釉薬を吸い取る必要がある。

3.4 吹き型を用いたサンドブラスト加工

熱溶解積層方式のメジャーな材料であるPLAはサンドブラスト加工で使用しても摩耗が少なくマスキングとして有効であると考え、検証を行った。通常サンドブラストを使用する場合は、ゴム素材のカッティングシートを必要な形状にカッティングプロッターを使用して切り抜き器物に貼り付けて加工を行う。ゴム液を使用した絵付けと同様に加工する器物の数だけ加工したシートが必要となる。3Dプリンターでの吹き型が使用できれば、効率よくサンドブラスト加工ができ、なおかつ加飾の幅も広がると考える。

3.4.1 +と×の吹き型

まず初めに型の細工で使用した「+」と「×」の吹き型を使用してサンドブラスト加工を行った。サンドブラスト加工を行う際に器物を回しながら全体的に加工を行っていくのだが、途中で吹き型がずれてしまった(図25)。



図25 +と×の吹き型での加工。

吹き型と器物の少しのサイズ差が原因で回す際にずれてしまうと考えられる。外れやすい吹き型はサンドブラストで使用するとずれやすく、ずれないように加工するのは難しいと感じた。回しても動かないように固定する必要がある。

3.4.2 二つ割り立涌の吹き型

二つ割り立涌の吹き型は内側と外側から固定されているため、素地とのずれが少ないと考え加工を行ったところ、ずれることなく加工することができた(図26)。



図26 立涌吹き型での加工.

「+」と「×」の吹き型の場合は微妙なサイズ差もあったが、ブラスト加工の際に吹き型と器物の縁を掴んで回すため、外側の吹き型と内側の器物の回るタイミングの差で図柄がずれていたと考えられる。二つ割り立涌の吹き型の場合はしっかりと固定されており、型の部分にしか触れることがないため、外側の吹き型と内側の器物との回転のずれも起きない。そのため、きれいに図柄を掘ることができた。

4. まとめ

今回の研究で素焼きから吹き型のデータの作成方法、3D プリンター製吹き型の調整と性能調査を行い、デジタル3D技術を使って吹き型を使用したマスキング技術を開発した。この技術によってマスキング工程のコストを抑えつつ、効率よく加飾を行えるようになる。

今後は吹き型を組み合わせた加飾についても実験を行いつつ、今回の加飾技法の勉強会や普及事業等を行い、産地普及を目指す。

5. 謝辞

本研究の実施にあたり、多大な協力を賜りました株式会社香蘭社の皆様に深く感謝いたします。