

3Dプリンタを利用した陶磁器生地造形技術の開発

戦略・デザイン科 依田 慎二
環境・機能材料科 秋月 俊彦

要約

陶土を原料として、3Dプリンタで陶磁器生地を直接造形することを目的に開発を行った。

陶土で立体物を造形する3Dプリンタを開発するために必要な、3Dプリンタの動作を制御するソフトウェアの開発、陶土をプリンタノズル先端に安定して移送する装置の開発、3Dプリンタによる造形に適した陶土の開発について検討を行った。

ソフトウェアの開発では、造形する順に①ラフト②ラフトガイド③サポート④製品ガイド⑤製品、に対応する造形条件の設定が可能なものを開発した。また、陶土を移送する装置については、チューブポンプでプリンタヘッドまで陶土を移送し、ノズル直径1mm以上、オフセット長1mm以上で安定した吐出と積層が可能となった。さらに、陶土については、添加剤にセルロースナノファイバーを0.1wt%添加することで構造物を安定して積層できることが分かった。開発した3Dプリンタ試作機によって造形条件を適正化した結果、幅5cm、奥行き5cm、高さ3cm程度の製品の造形が可能となった。

キーワード：3Dプリンタ、天草陶土、少量製造、オーダーメイド対応

1. はじめに

近年、3D技術は、陶磁器製品の開発において広く実用化されている。当センターにおいても、これまで3D技術を活用して陶磁器製品や試作品の作製を数多く行い、その技術を整備してきた。また、県内陶磁器企業の中にも3Dデータの作成技術を習得した人材が年々増加しており、それに伴い、当センターに持ち込まれる3Dデータによるデザイン提案も増加傾向にある。

そのような流れの中、今回取り組んだ3Dプリンタによる造形技術は、①石膏型を使わずに製品を直接造形できること、②従来の方法では成形できない形状にも対応できること、③一台数十万円程度の比較的低価格な3Dプリンタで成形できることなどが大きな特長である。そのため、多品種、少量生産、短納期という市場の要望への対応はもちろん、従来は成形できなかった新形状製品の開発、また成形設

備の低コスト・省スペース化、更には廃石膏を排出しないことから、環境負荷低減においても重要な技術となる。

そこで本研究では、陶土を原料に3Dプリンタで陶磁器製品を直接造形する基盤技術の確立を目的に検討を行った。

2. 実験方法

本研究では、3Dプリンタの動作を制御するGコードを作成するソフトウェアの開発、陶土移送装置の開発、3Dプリンタ用陶土の開発について検討を行った。

2.1 ソフトウェアの開発

2.1.1 構造物の造形方法

構造物は、図1に示すとおり、造形する順に①ラフト②ラフトガイド③サポート④製品ガイド⑤製品

の5種類で構成する。

①ラフト

構造物の土台となるラフトは、陶土をプリンタノズルから押し出して造形した。

構造物をテーブル上に、ラフトを介して固定することで、造形後の乾燥・収縮による亀裂の発生を抑制し、さらに造形後にテーブル上から取り外しやすくすることを目的として、製品を積層する前に造形を行う。ラフトの造形は、3Dプリンタのガラステーブル上に、製品サイズの最大幅を考慮し、陶土を中心から外側に向かって左回りに渦巻き状の四角形を造形した。

②ラフトガイド

ラフトと製品は同じ陶土で造形するため、連続して造形すると接着することから、ラフトと製品の間、ラフトと同サイズのラフトガイドを熱で溶かした市販の3Dプリンタ用繊維強化プラスチック製フィラメント（以下、FRP樹脂）で造形した。

ラフトガイドの造形は、ラフトの軌跡に対し45度の傾斜をつけた走査線とすることで、材料の埋没を防止する構造とした。

③サポート

製品のオーバーハング部分を支えることを目的として、プリンタノズルから押し出した陶土をサポートする形状に積層する仕様とした。

④製品ガイド

製品とサポートは同じ陶土で造形するため、接着防止を目的に、製品とサポートの間に熱で溶かしたFRP樹脂で製品ガイドを造形した。

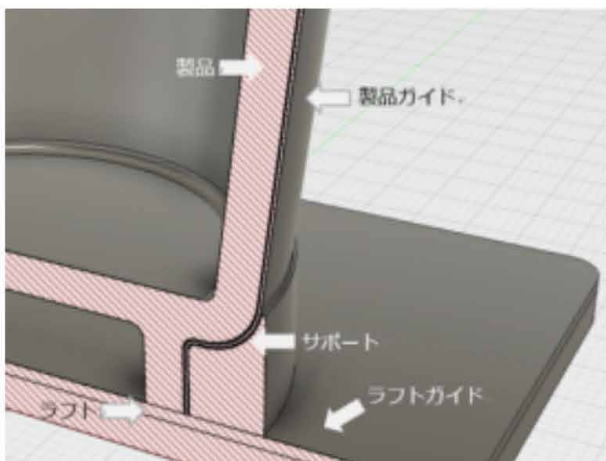


図1 3Dプリンタで造形する構造物

また、造形中に変形が起こりやすい形状の製品を造形する場合、製品全体をFRP樹脂で覆うことで変形を抑えることも可能とした。

⑤製品

陶土をプリンタノズルから押し出して積層する際に、中心側から造形を始め、輪郭を1周したのちに外へノズルを移動し、さらに輪郭を1周するという手法を繰り返して製品の造形を行った。

2.1.2 構造物を造形する造形条件の設定

(1) ノズル移動速度の調整

製品、サポート、ガイドの材料が造形される幅（太さ）はノズルの移動速度が遅ければ太く、速ければ細くなるため、材料の状態によってノズルの移動速度を調整できるように設定した。

(2) 材料の設定

陶土は、含まれる水分の量など条件の変化が造形される高さや幅に影響する。そのため、積層する高さ方向(Z)と刻み幅(X,Y)の調整ができるよう設定した。

FRP樹脂についても、多くの製品ガイドを必要とする複雑形状の場合に、その密度を高める必要があることから、積層する高さ方向(Z)と刻み幅(X,Y)の調整ができるよう設定した。

(3) サポートの設定

サポート材料が製品の形状に悪影響を与える場合、サポートを生成しないという選択肢も必要になるため、サポートを生成しない設定や生成する最小角度を指定できるように設定した。

(4) 製品ガイドの設定

製品ガイドは製品に密着するため、造形の品質に直接的に影響を及ぼす。

このため、造形する製品の形状に製品ガイドが必要でない場合、ガイドを生成しない設定を行うようにした。

2.2 陶土移送装置の開発

2.2.1 ポンプ装置の開発

陶土は乾燥を防ぐため密閉された容器に収納しており、隙間から差し込まれたチューブを利用してポンプで吸い上げ、プリンタヘッドへ移送する。

陶土の水分量等の違いにより移送する速度も変化するため、移送する速度を一定に保持するためには、ポンプの回転速度を調整する必要がある。

このため、ポンプの回転速度を調節する機能を付けた。また、ポンプからプリンタヘッドへの陶土移送はチューブ内部に高い圧力がかかるため、高圧力に対応するシリコン製チューブを採用した。

2.2.2 プリンタヘッドの開発

プリンタヘッドは、3Dプリンタ（ストラタシス社製 Object Eden260V）を利用してUV硬化アクリル硬質樹脂で作製した。

ノズル直径は0.5mm、1mm、1.5mmの3サイズについて、ノズル内での陶土の詰まりや、吐出直後の縮れなどを起こさない最小ノズル直径を検討した。

また、陶土で造形する際にプリンタヘッド先端が造形物に触れることで、造形物が変形してしまうことから、ノズルを原点から高くする必要がある。そのため、Z原点からのオフセット長0.5mm、1mm、1.5mm、2mmの4サイズについて、造形物に接触しないZ原点からの最短オフセット長を検討した。

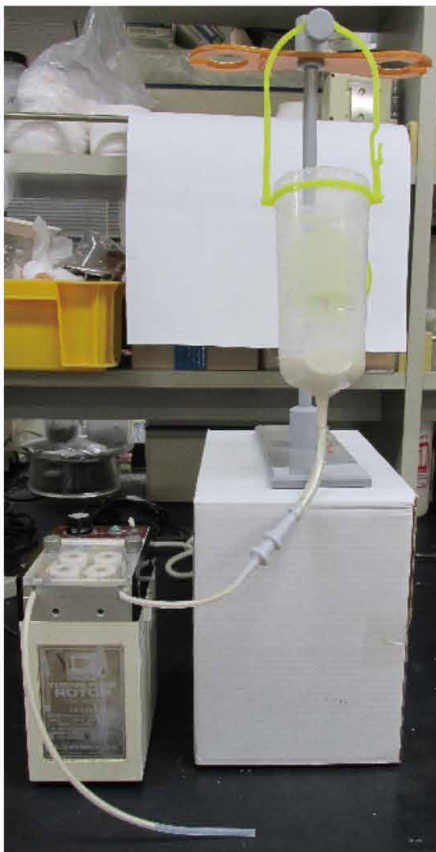


図2 陶土の積層試験装置

2.3 3Dプリンタ用陶土の開発

市販の天草陶土を原料に、プリンタヘッドへの安定供給と構造物の安定した積層を可能とする水分量や添加剤について検討を行った。

水分量は22%から27%とし、添加剤には無添加とセルロースナノファイバー（第一工業製薬(株)製レオクリスタ）を0.1wt%添加したものについて検討を行った。

試験には図2の装置を作製し、右上の容器に天草陶土と水分、添加剤を混合した原料を投入し、容器の下部からホースを通じ、チューブポンプへ送り、内径3mmのホース先端から吐出量25ml/minで吐出させ手動で積層した。

3. 結果と考察

3.1 ソフトウェアの開発

構造物の造形方法を、造形する順に①ラフト②ラフトガイド③サポート④製品ガイド⑤製品の5種類の構成とするソフトウェアを開発した。また、構造物を造形するための造形条件の設定についても、図3に示すようにノズル移動速度や、積層する高さや刻み幅など、各種条件を調整できるように設定した。また、図4に示すとおり、シミュレーションにより造形状態の確認ができるようにした。



図3 ソフトウェアのプリンタ設定画面

3.2 陶土移送装置の開発

開発した陶土移送装置及びプリンタヘッド試作品を図5、6に示す。

プリンタヘッドのノズル直径について、問題なく吐出可能な最小ノズル直径を検討した結果、直径1mm以上であれば安定して陶土を供給できることが分かった。また、陶土で造形する際のプリンタヘッド先端のZ原点からの最短オフセット長についても、1mm以上あれば造形物に接触しないことが分かった。3Dプリンタ試作機の全景を図7に示す。

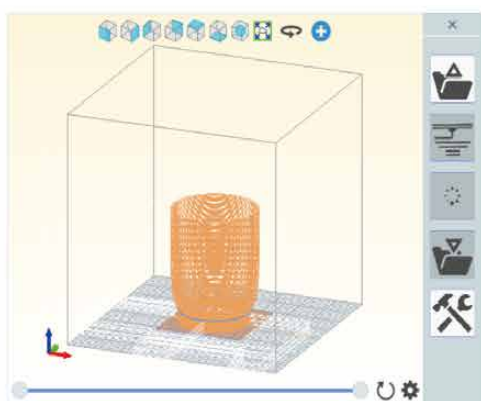


図4 造形条件を設定したシミュレーション画面



図5 陶土移送装置



図6 プリンタヘッド試作品

3.3 3Dプリンタ用陶土の開発

天草陶土に添加した水分量と添加剤の有無による積層状態を図8に示す。

これより、水分量24%、セルロースナノファイバーの添加で、構造物が安定し、水分添加だけのものより、高くまで積層が可能となることが分かった。

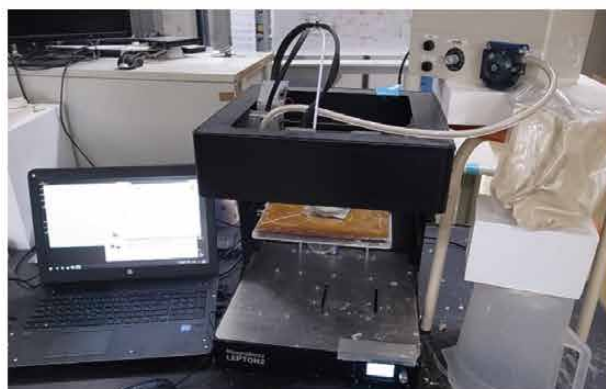


図7 3Dプリンタ試作機の全景





	天草陶土	天草陶土 + セルロースナノファイバー0.1wt%
水分量		
22%	詰まり	詰まり
24%		
>24%		

図8 水分と添加剤による積層状態



図9 3Dプリンタで積層した造形物

この最適化された条件で造形した結果、図9に示すとおり、幅5cm、奥行き5cm、高さ3cm程度の製品の造形が可能となった。

4. まとめ

陶土を原料として、陶磁器生地を直接造形することを目的に3Dプリンタの開発を行った結果、

- (1) ソフトウェアの開発では、安定した造形に必要な要素（ラフト、ラフトガイド、サポート、製品ガイド、製品）及び造形条件の細かな設定を可能にするとともに、各種設定に基づく造形状態をシミュレーションで確認できるようにした。
- (2) 陶土移送装置の開発では、チューブポンプを利用してプリンタヘッドまで陶土を安定して移送できることが確認でき、ノズル直径1mm以上、オフセット長1mm以上で安定した吐出と積層が可能となった。
- (3) 専用陶土の開発では、添加剤にセルロースナノファイバーを0.1wt%添加することで構造物を安定して積層できることが分かった。

本研究では、円筒形状の造形には成功したが、3Dデータで設計されたすべてのデータに対応するという最終目標には到達することができなかった。

しかし、3Dプリンタでの陶土造形の基礎技術を確立することができたので、この基礎技術を活用して最終目標を達成するために継続して研究を行う予定である。

文 献

- 1) 依田慎二、秋月俊彦「3Dプリンタを利用した陶磁器生地造形技術の開発」、平成31年度長崎県窯業技術センター研究報告、67、17-18(2019).