

令和元年6月5日現在

機関番号：37102

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2017～2018

課題番号：17H07297

研究課題名(和文)磁器生地を直接造形する3Dプリンタの研究

研究課題名(英文)Research of 3D Printer which directly fabricates porcelain bodies.

研究代表者

濱川 和洋 (HAMAKAWA, Kazuhiro)

九州産業大学・伝統みらい研究センター・助教

研究者番号：50802518

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、3Dプリンティングに適する磁土ペーストの粘度及び解膠剤の添加量を明らかにすることを目的に、磁土ペーストのテストプリントとレオメーターによる粘度測定を行った。その結果、乾燥磁土粉末に対する比率(外割)で水分量を40%とした場合に、各解膠剤の適切な添加量は水ガラス0.15%、ディープ0.05%、1:1混合液0.075%であり、粘度が $2.58\text{Pa}\cdot\text{s}$ ～ $3.26\text{Pa}\cdot\text{s}$ のときに積層が安定するということが明らかになった。今後は、3Dプリンタの構造と部品を見直し、より粘度が高い磁土ペーストをプリントできるようになることが課題である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究にて製作している3Dプリンタは、特殊な装置やベースとなる高価な3Dプリンタが不要であり、構造がシンプルで安く自作できるレベルのもの(キット化)を目指している。本研究によって「複雑な形状を造形できる条件」が明らかになれば、磁器の石膏型を用いない製造により、製作プロセスの短縮化及び低コスト化が可能になり、インターネットを活用した受注生産など、これまでの陶磁器の製造及び流通に変革をもたらす可能性が考えられる。

研究成果の概要(英文)：In this study, in order to find the best viscosity and the proper amount of peptizing agent required to create a porcelain body suitable for 3D printing, a test print of multiple porcelain bodies and viscosity measurements using a rheometer were performed. As a result, when the water content is set to 40% to the ratio (external ratio) of dry porcelain powder, the appropriate addition amount of each peptizing agent is as follows:
Sodium metasilicate 0.15%, Deflocculant 0.05%, 1:1 mixed solution 0.075%

It became clear that the 3D printing was stable when the viscosity was between 2.58Pas and 3.26Pas . The next challenge to work on is to create new parts for a 3D printer in order to utilize an even more viscous porcelain body.

研究分野：工学

キーワード：3Dプリンティング 粘度測定 泥漿 解膠剤 積層造形

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

有田焼産地における量産型磁器の生産には、石膏型を用いた生地製造方法が一般的であるが、この石膏型の製作を担う型屋（型製造業）と、そこに従事する高度な技術を持った職人の減少に伴い、石膏型の製作に 3DCAD/CAM を活用する事例が増えつつある。報告者は、これまでコンピュータ上で 3D データを作成し、CNC による切削加工で石膏型や原型を製作するなど、磁器製造技術のデジタル化を目指し支援してきた（濱川, 2014）。しかし、企業における製品開発初期段階での試作では、石膏型を使った「生地制作」から「本焼（焼成）」までの工程を一通り行い、重量やバランスなどを検討する必要があるが、デザインを修正する場合には、修正前の型は不要となり、新たな型を製作し直さなければならず効率が悪い。さらに有田焼産地の大半を占める小ロットでの生産を主とする小規模な企業にとって“型を使用しなければならない”ということが、時間とコストの関係から製品開発を抑制させる一因にもなっており、新たなデジタル

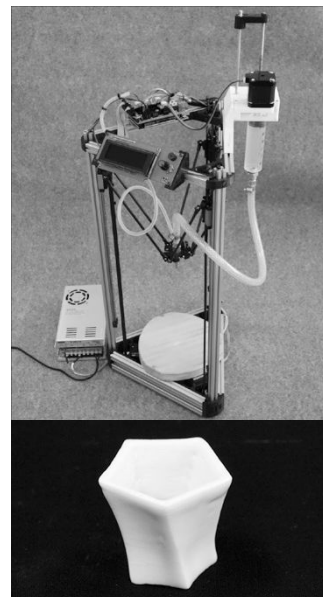


図1 試作機と白磁サンプル

デザイン技術が重要な研究課題となりつつある。このような状況を踏まえ、報告者は、3D プリンタを活用した磁器生地の造形に着目し、オープンソースの FDM（熱溶解積層方式）3D プリンタ「RepRap（Replicating Rapid prototype）」をベースに磁器生地を直接造形することができる 3D プリンタの試作機を製作した（濱川, 2015）。テストプリントでは、乾燥磁土粉末に対し水 50%を加えた磁土ペーストを使用し、器様の生地を造形した後、本焼までの行程を経て白磁サンプルを完成させた（図 1）。プリント時間と造形物の精度はトレードオフの関係にあり、積層ピッチを小さくするほどプリントにかかる時間が増大する。そのため、磁土ペーストを乾燥しにくくさせることを目的に、水ガラスをごく少量添加したテストプリントおよび乾燥実験を行った。その結果、水 40～45%、水ガラス 0.1～0.2%の添加量で磁土ペーストの保水力と粘性が向上し、プリントがより安定することが明らかになった（濱川, 2016）。今後は、試作機の構造と磁器材料のさらなる研究展開により、従来の磁器製造方法では不可能とされてきた、より複雑な形状を造形できる 3D プリンタを製作し、実用化を目指したい。

2. 研究の目的

FDM 方式 3D プリンタをはじめとする材料押出法を採用する 3D プリンタは、構成部品による精度や剛性等の違いはあるものの、基本的な構造はシンプルで大差ないものが多い。そのため、一般的な樹脂材料に加えて木材系から金属系、シリコンなど様々な特性を持つプリント材料が開発されており、材料の品質によってモデルの完成度が左右されるほど 3D プリンティングにおいて重要な要素となっている。そこで本研究では、3D プリンタを使って立体を造形できる磁土ペーストの「水」と「水ガラス」の分量及び粘度について定量的に明らかにすることを目的に、テストプリントとレオメーターによる粘度測定を行った。また、磁土ペーストに添加する水ガラス以外の解膠剤についても検討を行った。本研究において 3D プリンティングに適する磁土ペーストの条件を明らかにすることによって、異素材でも近似したレオロジー特性を持つペースト材料であれば応用できる可能性が考えられる。

3. 研究の方法

(1) テストプリント

乾燥磁土粉末に対する外割の比率で水分量 35% から 5% 刻みの 5 段階（内割換算 26%～35%）、水

ガラスは0.05%刻みの6段階に分けた組み合わせで磁土ペーストを作製した。テストプリントについては、これまでの研究を踏まえた上で造形が可能と考えられる添加量から順に行うことにし、磁土ペーストを材料貯蔵部からノズル先端まで充填させ、ノズルから10ml程度磁土ペーストを排出してからプリントを行った。プリント条件は積層ピッチ1mm、プリントスピード20mm/sとして器様のモデルをそれぞれ出力した。

(2) レオメーターによる粘度測定

粘度測定する磁土ペーストについては、水と水ガラスを所定量加えて混合した後24時間静置し、室温21.0度、恒温槽23.0度に設定したレオメーター（粘度粘弾性測定装置：Thermo Elemental HAAKE RS6000）で粘度測定を行った。なお、測定開始から3分後の粘度を磁土ペーストの粘度とした。

(3) 水ガラス以外の解膠剤の検討

テストプリント及び粘度計測の結果より、磁土ペーストの水分量を40%として「ディーフ」及び水ガラスとディーフの混合量を1:1とした「1:1混合液」をそれぞれ0.05%ずつ添加したときの解膠曲線を作成し、それぞれの磁土ペーストを使ってテストプリントを行った。

4. 研究成果

本研究において立体を積層造形できる磁土ペーストの条件として、乾燥磁土粉末に対する比率（外割）で水分量を40%とした場合に、各解膠剤の適切な添加量は水ガラス0.15%、ディーフ0.05%、水ガラスとディーフの1:1混合液0.075%であり、粘度が2.58Pa・s~3.26Pa・sのときに積層が安定することが明らかになった。また、ディーフを使用することにより、天草陶土以外の硫化鉄等を含む陶土も磁土ペーストとして利用できる可能性が広がった。

磁土ペーストの水分量と解膠剤の添加量について、その関係を粘度のみでみると、単純に解膠剤を多く添加することによって水分量を抑え、粘度を小さくできると考えられたが実際には、粘度は小さくできるが流動性が高く泥漿状となり、造形物の形状が保持できなくなるということが明らかになった。つまり、解膠剤を多く添加することで磁土ペースト内の粒子の分散が進み、形を維持するための凝集した粒子が少なくなったことから流れやすくなり、保形性が低下したと考えられる。すなわち泥漿では、解膠剤を加え含水率を抑えつつ流動性が高いものが求められるが、3Dプリンティングに用いる磁土ペーストには、ある程度の凝集した粒子を残す必要があるため、一定量の解膠剤を添加した上で、水を使って粘度を微調整する方法が適切であると考えられる。

なお、今回得られた結果は、本研究で使用した3Dプリンタに限って言えることであり、構成部品が異なるどのような形態の3Dプリンタを使っても立体を造形できる条件であるかということについては別途検証していく必要がある。今回のテストプリントで出力した器様のモデルは、外寸で50×40mm程度の大きさであるが、造形物の寸法が大きくなるに従って、磁土ペーストは粘度が高く乾燥しにくいものが必要となり、それに応じて3Dプリンタには硬い磁土ペーストを押し出せるパワーと部品の強度が必要になる。つまり、本研究で得られた立体を積層造形できる粘度と水分量及び解膠剤の添加量の値は、造形物の寸法と3Dプリンタの性能によって変動するものと考えられる。本研究で使用した3Dプリンタは、本来プラスチックを材料とするFDM方式3Dプリンタを改造したものであり、ホームセンターなどにある身近な素材と3Dプリントしたプラスチックパーツ、ごく一般的に用いられるステッピングモーターを使用している。従って、機械的剛性や部品の強度、モーターのパワーなどは最低限のものであり改善の余地が残されている。今回テストプリントを行う中で、部品の強度が足りず磁土ペーストを押し出す力に負けてギヤボックスが破損したことがあり、部品強度が高ければ今回得られた粘度の最適値より高い粘度の磁土ペーストが出力できた可能性が高い。より粘度が高い磁土ペーストを出

力できるようになることで、造形物の寸法や形状のバリエーションが増え、3Dプリンタの汎用性を高めることができると考えられる。そのために今後、3Dプリンタの構造や部品を改良する必要がある。以下に現在の3Dプリンタの問題点または改善すべき点について記す。

【ホースを除去する】

ホースにはノズルに合わせて動くフレキシブルさが必要であるが、ホースが動き変形することによって磁土ペーストを押し出す圧力が変化すると考えられ、特に流動性が高い磁土ペーストを用いた際にその影響が顕著に現れた。「s」の造形物を真横から見たものを図2に示すが、左右の形状が違うということがわかる。また、材料貯蔵部からノズルが離れているため、プリント毎にホースに磁土ペーストを充填する必要があり手間がかかる上、空気の混入を完全に防ぐことが極めて困難である。更に磁土ペーストの排出時にホースが内部からの圧力によって膨張するため、磁土ペーストの排出量をコントロールできない一因となっている(図3)。そもそも磁土ペーストは、剪断応力が一定の値以上に達しなければ流動が起こらない塑性流体であるため、排出を出したり止めたりする動きをモーターのみで制御することが難しい。従って、一筆書きのように連続する造形法をとることが現実的と考えられるが、より複雑な形状の出力を目指すならば、磁土ペーストには一定の圧力を加え続けながら、コックのようなもので排出をコントロールする手法を考える必要がある。



図2 形状の偏り



図3 ホースの変形による排出量への影響

【ギヤボックスの強化及びモーターの高出力化】

構造部品やモーターを強化することによって、より粘度が高い磁土ペーストを排出できるため、積層の荷重に対する強度が増し、寸法の大きなものが造形できるようになると考えられる。更に、外部からの圧力に対する抵抗も増すことから、流動性が高い磁土ペーストで発生した排出量のバラツキによる積層の乱れも抑制され、より安定したプリントが可能になると考えられる。

【取り替えが容易なプリントベッドへの変更】

3Dプリンティングにおける磁土ペーストへの解膠剤の添加は、緩やかに時間をかけて乾燥させることで、磁器生素地の急激な乾燥収縮を防ぎ造形物のひび割れや剥がれを防いでいるが、視点を変えると乾燥するまで造形に時間をかけられるということでもあり、積層ピッチやノズル径をさらに小さくすることで、より繊細な形状を造形できる可能性が考えられる。しかし一方で、造形物が十分に乾燥するまで触れることができないということでもあり、効率面を考えるとプリントベッドを容易に取り外せるタイプのものに交換する必要がある。

以上の項目について今後取り組んでいきたい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

濱川和洋(2019)「3Dプリンティングに適する解膠剤と磁土ペーストの粘度について」九州産業大学伝統みらい研究センター論集第2号, 査読有, pp.57-66, 九州産業大学伝統みらい研究センター

〔学会発表〕(計1件)

濱川和洋「3Dプリンティングに適する解膠剤と磁土ペーストの粘度について」平成30年度

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年：

国内外の別：

取得状況(計 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号(8桁)：

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。