

高機能セラミック製品の 3D プリンティング技術開発

研究企画課 依田 慎二
環境・機能材料科 秋月 俊彦

要 約

チューブポンプとスクリーポンプ付プリンタヘッドを組み合わせた新たなセラミックス用の 3D プリントシステムを開発した。本システムでは、天草陶土やアルミナを原料に、セルロースナノファイバーを添加することで、原料スラリーの安定した移送と、成形時の保形性に優れ、プリンタヘッドの吐出口径 1mm 以下でも吐出が安定し、格子構造のセラミックス成形体が造形できることが確認された。その際、3D データ作成には、中空空間をサポートするインフィルの生成機能が備わっているスライサーソフトを利用することで、様々な格子構造を生成可能であった。また、造形した成形体を焼成したところ、変形や切れ等は確認されず、積層した層間には、規則正しい隙間が焼成後も残存することが確認された。

キーワード：セラミックス用 3D プリンタ、スライサーソフト、天草陶土、アルミナ、格子構造、セルロースナノファイバー、チューブポンプ、スクリーポンプ付プリンタヘッド

1. はじめに

近年、3D 技術は、陶磁器製品の新製品開発において、広く実用化されている。当センターにおいても、これまで石膏や樹脂素材の 3D プリンタや、モデリングマシンなど、3D 技術を活用した陶磁器製品や試作品の作製を数多く行い、技術を整備してきた。そのような流れの中、経常研究^{1)~4)}において継続して取り組んでいる 3D プリンタによる造形技術は、石膏型を使わずに製品を直接造形できることから、廃石膏を排出しないサステナブルな成形方法と考えられる。その他、多品種、少量生産、短納期という市場の要望への対応はもとより、従来は成形できなかった新形状・新機能製品の開発、また成形設備の低コスト・省スペース化、労働力や技能の簡素化など多くのメリットが考えられる。

そこで本研究では、押出法で造形できる比較的低価格なセラミックス用 3D プリンタの開発と安定した積層が可能な原料スラリーを開発し、各種格子構造のセラミックス焼結体を試作した

ので報告する。

2. 研究内容

2.1 3D プリンタシステムの構築

これまでの研究^{1)~3)}で、チューブポンプ、スクリーポンプそれぞれ単独での原料移送と吐出成形を検討してきたが、いくつかの問題点が確認された。まず、チューブポンプ単独では、自動的に原料が吸引され、長い樹脂チューブ内を原料移送するには適しているが、吐出成形時の原料の脈動や、回転停止後も数秒間は原料が吐出するといった問題点が確認された。一方、スクリーポンプ単独では、そのような問題はないが、原料を導入するためのコンプレッサーまたは、何らかの加圧装置が必要であることや、長い樹脂チューブ内を原料移送する際、逆流が発生しやすく吐出が困難となることが問題点として確認された。

そこで本研究では、これまでの研究結果を基に、図 1 に示すチューブポンプとスクリーポ



図1 試作した3Dプリンタシステム



図2 原料タンク

ンプ付プリンタヘッドを組み合わせた、セラミックス用の3Dプリンタを試作した。この開発した3Dプリンタを構成する各パーツについて説明する。

2.1.1 原料タンク

原料スラリーをプリンタへ供給するための容器である原料タンクを図2に示す。

原料タンクは、3D CADソフト（Robert McNeel & Associates製 Rhinoceros5）で設計して、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。

原料タンクの形状は、原料スラリーを投入し易いように投入口を広くとり、チューブポンプの吸い込み口に最短の距離で供給できるよう、装置に接する箇所を凹ませた形状に設計した。

2.1.2 チューブポンプ

チューブポンプ外観を図3に示す。

チューブポンプは、ローラーがチューブを押し潰しながら回転することで、原料タンク内の原料スラリーを吸引し、吸引された原料スラリーはローラーの回転により、出口に接続された樹脂製のチューブ内を通して、プリンタヘッドへ連続的に送り込むことができる。



図3 チューブポンプ

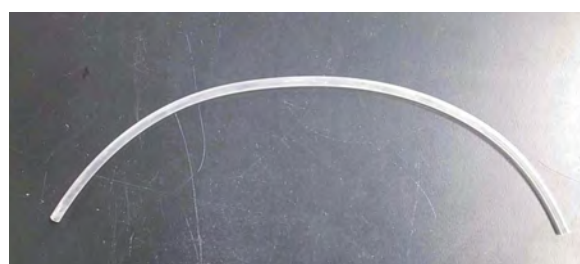


図4 チューブ

原料スラリーの流動性の違いにより、移送される速度が変化するため、ポンプの回転速度を微調整できるようにインバーターを設置した。

2.1.3 チューブ

原料スラリーをチューブポンプ出口からプリンタヘッドに移送するためのチューブを図4に示す。

既報³⁾でチューブの材質が原料スラリーの移送距離に影響を及ぼすことが確認されたことから、使用するチューブには透明フッ素系のアラムフロン（内径3mm）を、3Dプリンタのプリンタヘッド動作範囲を考慮し、長さ330mmに切断したものを使用した。

2.1.4 モーターユニット

モーターユニットはモーターアンプ（図5）とモーター（図6）で構成されている。モーターは、小型で軽量のモーター（オリエンタルモーター株式会社製 PKP223D15A-SG36）を利用し、プリンタヘッド内のスクリーを回転させるため、プリンタヘッド直上に接続した。アンプとの接続ケーブルは、モーターの動作範囲を考慮した長さとした。



図5 モーターアンプ

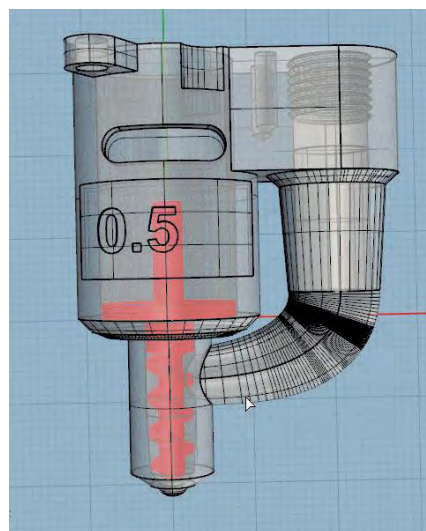


図7 プリンタヘッド設計画像

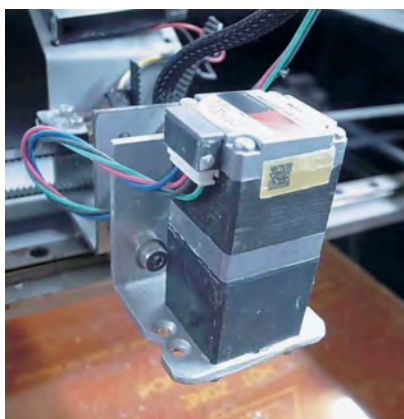


図6 モーター



図8 プリンタヘッドの構成パーツ

また、モーターアンプにも回転速度を調整することが出来るようインバーターを設置した。

2.1.5 プリンタヘッド

プリンタヘッドは、3D CADソフト(Robert McNeel & Associates製 Rhinoceros5)で設計して、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。

プリンタヘッドの設計画像を図7に示し、実際に作製したプリンタヘッドを構成するパーツを図8に示す。スクリューは直径5mm、長さ15mmの小型のものであり、アルミ製のモーターカップリングに取り付けて、プリンタヘッド内に収納した。プリンタヘッドは、先端の原料スラリーを吐出する口径が、1.0mmと0.75mmの2種類のサイズを作製した。

2.1.6 テーブル

原料スラリーを3Dプリンタで造形する際のテーブルを図9に示す。テーブルは、陶磁器型材用の石膏を原料として、3DプリンタのXY軸動作範囲内である150mm×150mm 厚さ5mmのサイズのものを作製した。

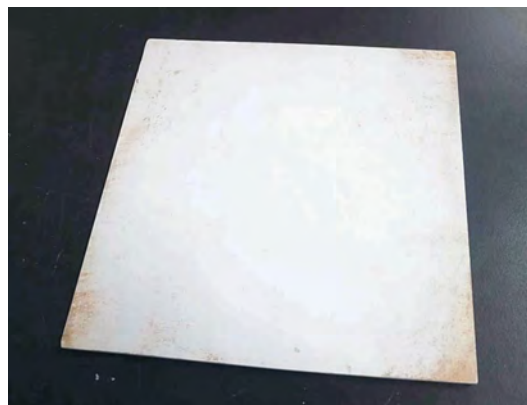


図9 テーブル

2.2 原料の調製

天草陶土とアルミナについて原料スラリーを調製した。

2.2.1 天草陶土の調製

既報²⁾での結果を基に、市販の天草選上陶土に分散剤（珪酸ソーダ）0.2mass%、水分 24mass%と、更にチューブ内移送中の流動性と、吐出後の保形性を得るため、セルロースナノファイバー（日本製紙株式会社製 セレンピア）0.2mass%を添加し、十分に攪拌・混合を行い、スラリー状に調製した。

2.2.2 アルミナの調製

市販のアルミナ粉末（昭和電工製 AL-170）にセルロースナノファイバー（日本製紙株式会社製 セレンピア）1.5mass%と、分散剤（東亜合成製 A-30SL）0.4mass%、水分 14mass% を添加し十分に攪拌・混合を行い、スラリー状に調製したものを使用した。

2.3 3D プリンタによる造形試験

既存のセラミック製品製造技術では作製が困難な形状として、格子構造の積層物の成形体について造形試験を行った。

2.3.1 格子構造の 3Dデータ作成

装置に利用するFFF方式（FDM方式）の3Dプリンタのスライサースoftwareには、中空空間をサポートするためにインフィルの生成機能が備えられている。通常はインフィルの充填密度の選択や造形パターンの選択ができるようになっていことから、構造体であるCADデータを基に様々な格子構造を自動的に生成することができる。

構造体のCADデータの例を図10に、自動生成した格子構造の例を図11に示す。

本研究ではSIMPLIFY3D社のスライサースoftware「SIMPLIFY3D Version3.0.0」を利用して、格子構造の作成と 3D プリンタの動作制御を行った。

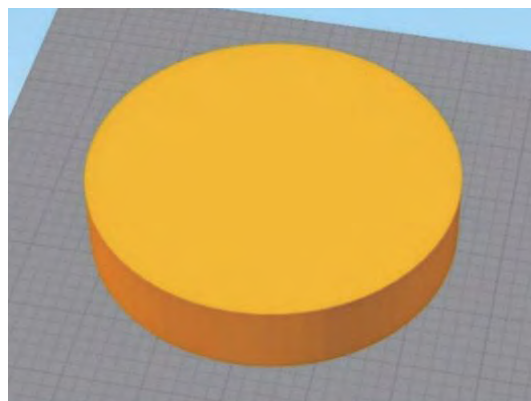


図 10 構造体のCADデータ

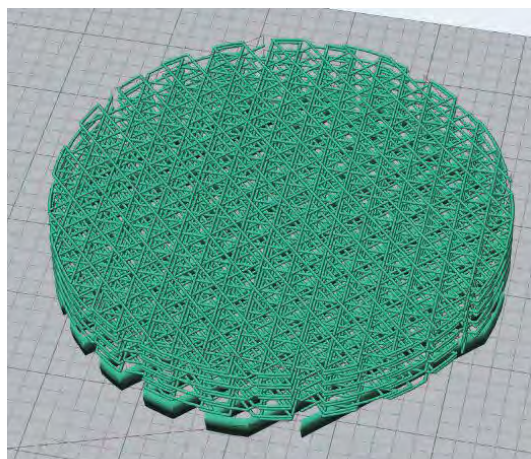


図 11 自動生成した格子構造

2.3.2 造形試験

2.2.1と2.2.2で調製した原料を用いて、3D プリンタで各種格子構造の造形試験を行った。

その際、プリンタヘッドのモーター回転数は最大値に固定し、一方チューブポンプの回転数は、プリンタヘッド先端の吐出口径（1.0mmもしくは0.75mm）ごとに、吐出量が安定する回転数に微調整した。

3. 結果と考察

3.1 3Dプリンタシステムによる造形試験

開発した3D プリンタシステムを使用し、調製したセラミックス原料による造形試験を実施した。

3.1.1 天草陶土での造形試験

原料タンクに入れた天草選上陶土のスラリーをチューブポンプで吸い上げ、接続したチューブを通じてプリンタヘッドへ移送した。その後

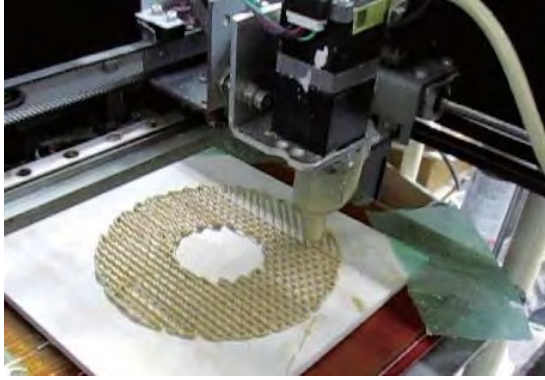


図 12 天草選上陶土での造形状況

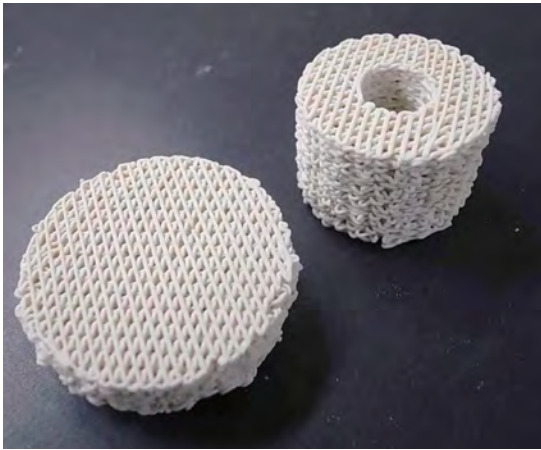


図 13 天草選上陶土の焼結体

プリンタヘッド内に設置したスクリーンで、プリンタヘッド先端の吐出口径 1.0mm 穴から陶土スラリーを吐出した。吐出が安定したことを確認の後、造形テーブル上に格子構造の立体物を造形した。造形中の状況を図12に示す。その際、奇数層と偶数層で積層方向を揃える、あるいは各層ごとにずらす等様々な条件で造形試験を行った。

造形物を乾燥後、電気炉1300℃で焼成したものを図13に示す。図13より、乾燥や焼成時の、変形や切れ等の問題もなく、格子構造の焼結体を得られた。

3.1.2 アルミナでの造形試験

3.1.1 の天草陶土の試験と同様に、原料タンクに入れたアルミナのスラリーをチューブポンプからプリンタヘッドへ移送し、プリンタヘッド先端の吐出口径 0.75mm 穴からアルミナのスラリーを吐出した。吐出が安定したことを確認の後、造形テーブル上に格子構造の立体物を造形した。その際、奇数層と偶数層で積層方向を揃える、

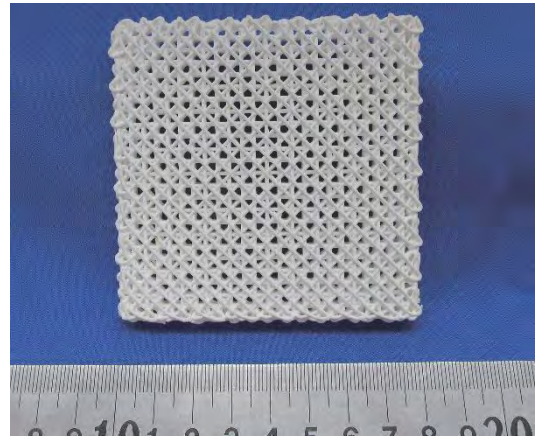


図 14 アルミナ焼結体

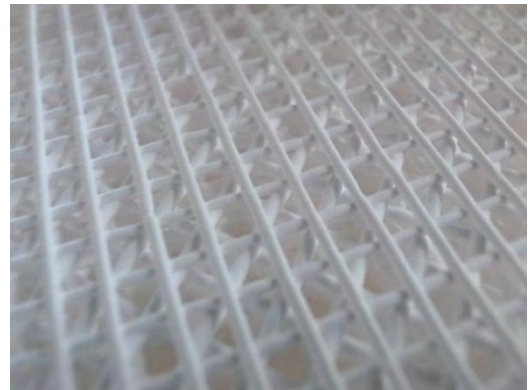


図 15 アルミナ焼結体表面の拡大画像

あるいは各層ごとにずらす等様々な条件で造形試験を行った。

造形物を乾燥後、電気炉 1600℃で焼成した焼結体を図14に示す。また、焼結体の内、各層ごとにずらしながら積層したものについて、表面を拡大した写真を図15に示す。図14、図15より、アルミナにおいても、乾燥や焼成における変形や切れ等の問題もなく、格子構造の焼結体を得られ、また 1 層ごとに積層方向が異なる規則正しい構造物も得られることが確認された。

さらに、規則的に奇数層と偶数層で角度を揃えて積層したものを、焼結後ダイヤモンドカッターで切断し、その断面を観察した結果を図16に示す。図16より、上下の各層間にも規則正しい隙間が、焼成後も残存することが確認された。



図 16 アルミナ焼結体の断面画像

4. まとめ

- (1) チューブポンプとスクリュウポンプ付プリンタヘッドを組み合わせることで、安定した成形を可能とするセラミックス用の 3D プリンタシステムを開発した。
- (2) 天草選上陶土やアルミナを原料に、セルローズナノファイバーを添加することで、原料タンクからプリンタヘッドまでの安定した原料スラリーの移送と、成形体の保形性も良好となることが確認された。
- (3) 積層した層間の隙間は、焼成後も規則正しく残存していることが確認された。
- (4) 各層間の積層方向をずらすことで、3 次元的につながった規則的で複雑な空間を有する、表面積の大きい格子構造のセラミックス焼結体が得られることが判明した。

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製造技術の開発、長崎県窯業技術センター研究報告、No.67 pp.17-18
- 2) 依田慎二、秋月俊彦、3D プリンタを利用した陶磁器生地製造技術の開発、長崎県窯業技術センター研究報告、No.68 pp.19-23
- 3) 依田慎二、秋月俊彦、高機能セラミック製品の 3D プリンティング技術開発、長崎県窯業技術センター研究報告、No.69 pp.17-19
- 4) 依田慎二、秋月俊彦、高機能セラミック製品の 3D プリンティング技術開発、長崎県窯業技術センター研究報告、No.70 pp.3-5