

石膏3Dプリンタの利活用を目的とした デザイン開発の研究

餘久保優子* 佐々木直哉** 梶井紀孝* 奥谷潤*** 前川満良**** 江頭俊郎*

本研究では、石川県工業試験場に導入した石膏3Dプリンタの利活用を目的に、3Dプリンタをデザイン開発に活用する際に生じる各プロセスの技術課題を抽出し、解決に取り組んだ。その結果、自由曲面の3Dデータ作成の簡易化が図られ、頻出するデータエラーを解消する方法のマニュアルが作成できた。さらに、3Dプリンタ出力時の造形性と色の再現性が向上し、石膏プリンタモデルの強度と防水性を高める表面仕上げ方法が得られた。デザイン事務所や九谷焼等の伝統工芸産地企業、工業製品や医療機器の製造業など15社以上に技術移転を行うことができ、県内企業への利活用が促進された。

キーワード: 3Dプリンタ, 3Dデータ, デザイン, 石膏

Study of Design Development for Utilization of the Gypsum 3D Printer

Yuko YOKUBO, Naoya SASAKI, Noritaka KAJI, Jun OKUTANI, Mitsuyoshi MAEKAWA and Toshiro EGASHIRA

In order to utilize the gypsum 3D printer that was introduced into our institute, we worked to find solutions for technical problems associated with each process involved in the use of a 3D printer for design development. We were able to simplify the method of creating 3D data for free surfaces, and to create a manual of resolution methods for data errors that occur frequently. Furthermore, we improved the modeling performance and reproducibility of color for making models with a 3D printer, and devised a finishing method for creating strength and waterproofness of the gypsum printer model. We could transfer these technologies to more than 15 companies including design offices, traditional craft companies producing goods such as Kutani pottery, manufactures of industrial products, and manufactures of medical equipment, and promoted the use of the gypsum 3D printer to those companies.

Keywords : 3D printer, 3D data, design, gypsum

1. 結 言

近年、3Dプリンタによる積層造形方式が、新たな製造方法として国内外で注目されているが、基本技術は1980年代に実用化されたものであり¹⁾、当场にも、平成10年度に光硬化方式の三次元造型機（現在の3Dプリンタ）が導入された。

県内の製造業の多くが、次世代の開発ニーズに対応すべく、3Dプリンタの活用を検討しているが、知識や経験が不十分なため、各プリンタの特性を理解しノウハウを構築する必要があった。

当场では、平成26年度に石膏、樹脂、金属造形用の各3Dプリンタを導入し、3Dプリンタ研究会を通して、県内企業へ技術普及を行ってきた。

本研究では、デザインの高度化と試作の迅速化を目的に、フルカラー造形が可能な石膏3Dプリンタ(3DSystems・ProJet660Pro)の利活用を促進するため、3Dプリンタのプロセスを、①自由曲面の3Dデータ作成、②石膏3Dプリンタ出力、③石膏プリンタモデルの表面仕上げの3つに大別し、各プロセスに生じる様々な技術課題の解決に取り組んだ。

2. 各プロセスの課題と解決策

2. 1 自由曲面の3Dデータ作成

3Dプリンタは、従来の加工方法では困難な自由曲面形状等の複雑な造形に大変有用であるが、それらのデータ作成には高度な技術と時間を要する。これは石膏3Dプリンタに限らず、全ての機種に共通の課題である。

そこで、複雑な3Dデータ作成の簡易化を目的として、

*繊維生活部 **化学食品部 ***電子情報部 ****機械金属部

当場に導入されている三次元デジタイザ(スタインベーカー・COMET 6-16M)を用い、実物を3Dスキャンすることで3Dデータを収集した。影となる入り組んだ部分や内部のデータ採取が困難であったため、内部が必要な要所のみ、当場に導入されているX線CT検査装置(東芝ITコントロールシステム(株)・TOSCANER-32250μhd)を用いて透過撮影を行い、両者のデータを合体して編集(図1)することで、3Dデータを得ることができた。

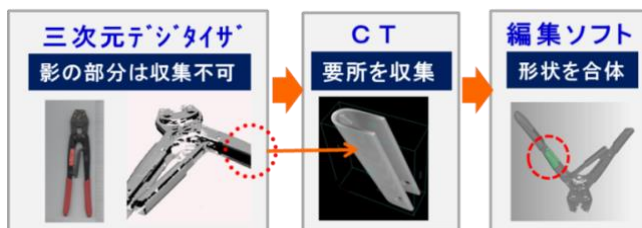


図1 三次元デジタイザとCTによるデータ採取

また、プラスチック等のX線で造影が困難な素材に対しては、造影可能な粉(炭酸カルシウム)や液体(炭酸バリウム+樹脂)により、対象物を覆って撮影(図2)することで、広範囲な素材のデータ収集を可能とした。



図2 造影可能な材料で覆いCTでデータ採取

次に、触感デバイス(3Dsystems・Geomagic Freeform)を活用し、平面画像から立体を作成する手法(図3)を試みた結果、CAD経験者で8工程2時間以上要していた作業が、初心者で1工程約30秒に短縮され、データ作成の簡易化を図ることができた。

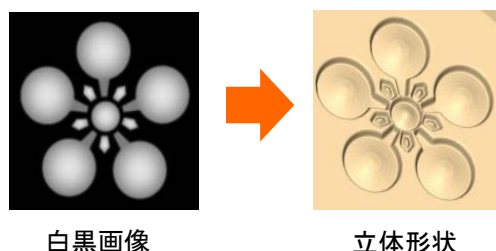


図3 白黒の平面画像から立体の作成

3Dデータを3Dプリンタに入力するには、STL形式など、3Dプリンタ専用のフォーマットに変換する必要があるが²⁾、形状が複雑になるほどデータエラー³⁾が発生しやすい。

そこで、頻出するエラーを13種類に分類(図4)し、各々の解決策を手順化したエラー解消マニュアルを作成した。これらをデータ作成やプリンタ出力時に活用することで、エラーの早期発見や修正が可能となった。

番号	写真	エラー用語	番号	写真	エラー用語
1		ノンマニホールドモデル	8		微小サーフェス
2		オープンエッジ	9		色が消えている
3		面の法線が逆	10		データが消えている
4		シェルの重複	11		寸法設定が不適切
5		ラインの残存	12		ポリゴン数が少なすぎる
6		自己干渉	13		ポリゴン数が多すぎる
7		面の抜け落ち			

図4 データエラー解消マニュアルの13項目

2. 2 石膏3Dプリンタ出力

石膏3Dプリンタ出力時の課題として、造形エラーの問題がある。造形完了後、石膏3Dプリンタモデルは粉に埋まった状態(図5)で、素材が石膏のために材料強度が弱く、粉の中からモデルを取り出す際に破損しやすい。また、3Dプリンタも他の加工機と同様に、入力した3Dデータと出力したモデルには、寸法誤差が生じるため、誤差範囲や造形限界値の把握が必要である。

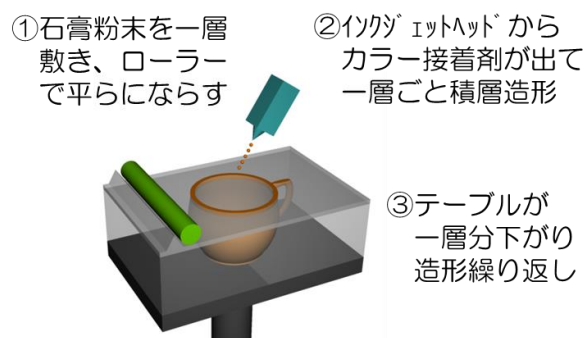


図5 石膏3Dプリンタの造形方法

石膏3Dプリンタで出力したモデルの寸法精度を検証した結果、高さ方向で+1%、縦横方向で+0.3%の誤差が生じたため、設計時に3Dデータの寸法に誤差範囲を見込むことで解決を図った。

また、造形限界値を検証するために、5mm～1mmまでは1mm間隔で、1mmから0.5mmまでは0.1mm間隔で配置した板(図6)と隙間のモデルを作成して、造形性を検証した。板は1mm以下の造形で破損し、隙間は1mm以下で粉が除去困難な状態がみられた。棒は1mm以下で破損し、穴は0.7mm以下で粉が除去困難な状態がみられたため、造形は2mm以上を推奨値とした。

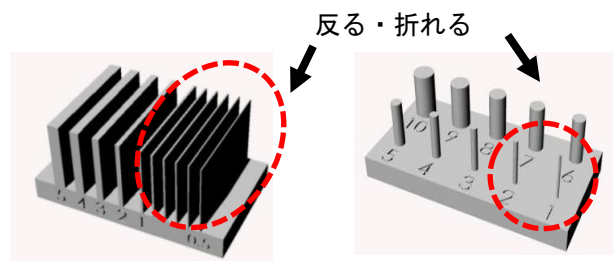


図6 造形限界値の検証

さらに、モデルを造形するテーブルの場所や積層方向を変えて石膏プリンタモデルの強度評価を行ったところ、テーブルの端10～15mm付近に比べ、左手前付近の造形強度が、約2倍高い傾向がみられた。造形方向を横積層と縦や斜め積層(図7)した石膏プリンタモデルで曲げ強度試験を行った結果、縦と斜め積層に対し、横積層の強度が約2倍高いことが分かった。2mm以下の寸法箇所がある精密なモデル出力の際には、これらの結果を参考に、造形テーブルの位置や積層方向を考慮して運用することで造形したモデルの破損を極力減らす事が可能となった。

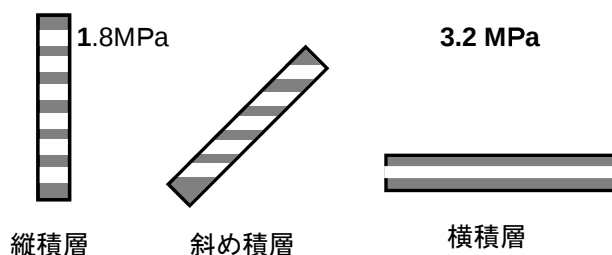


図7 積層方向の違いによる強度検証

石膏3Dプリンタはインクジェット方式により、フルカラー造形が可能であるが、出力時のモデルは白濁した状態で、意図した色の再現が困難である。その対応策として、モニター表示色とプリンタ出力後にメーカー純正の硬化剤で発色処理したプリンタモデル色を分光色差計(日本電色工業(株)・NF333)で測色して、色差を数値化した。その結果、青紫系の誤差($\Delta E=105.6$)が黄色

系の誤差($\Delta E=16.3$)に比較して約6倍大きいなど、誤差範囲を明確化できた。また、設計時にモニター表示されたカラーサンプルと3Dプリンタモデルのカラーサンプルの色の違いを目視で調整しながら着色(図8)を行うことで、作成者が意図した色の再現が容易となった。

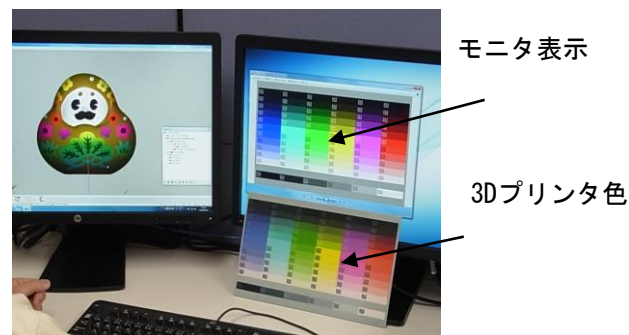


図8 色の違いを目視で調整しながら着色

2. 3 石膏プリンタモデルの表面仕上げ

石膏プリンタモデルは、通常の石膏より水に溶けやすい。そのため、強度と発色性の向上を目的に、表面に接着剤や樹脂を塗布して硬化処理する仕上げ工程が必須となる。しかし、メーカー純正の硬化剤は、瞬間接着剤等に用いられるシアノアクリレート系が主原料で、高価なため、利用者からより安価で高強度な代替品が求められた。

また、当場の石膏3Dプリンタの出力で、最も多かったのが食器の試作であるが、複数の利用者から、量産型を成形する前に、石膏プリンタモデルに実食を盛り付けて評価したいといった要望が寄せられた。さらに、輪島塗の産地企業から、漆器の脱乾漆技法(石膏型に麻布と漆を塗り重ねて成形する技法)の原型に、石膏3Dプリンタモデルを用いた新たな漆器を開発したいとの要望があった。漆は高温多湿な環境で固まる性質があり、産地では蒸し風呂と呼ばれる恒温恒湿器内で長期間の処理を行っている。

石膏プリンタモデルの用途拡大を目的に、これら利用企業からの要望に応じる形で、課題解決に取り組んだ。3Dプリンタモデルに実食を入れて評価するには、防水性と強度を要するため、石膏プリンタモデルにアクリル系の硬化剤を含浸させた後、食品衛生法に対応しているウレタン塗料を塗布した。その結果、防水性と強度が高まり、実食を入れた評価(図9)が可能となった。

次に、3Dプリンタモデルを漆器の脱乾漆技法の原型として活用するには、長期間の高温高湿環境への耐久



図9 実食を入れた石膏プリンタモデル

性が必要であることから、石膏プリンタモデルに、アクリル系、ウレタン系、エポキシ系、ワックス等の8種類の材料を塗布し、サンシャインウェザーメーター(スガ試験機(株)・WEL-SUN-HC)で、屋外3～4ヶ月相当の耐候性試験を行った。エポキシ系、ウレタン系のサンプルは、紫外線による黄変と若干の変形、膨張が生じ、ワックスは折れ、アクリル系は若干の変形がみられた。

また、純正品の代用品へのニーズに対し、上記8種類で曲げ強度評価(図10)を行った結果、純正品より高強度で10分の1以下の価格のエポキシ樹脂(図10エポキシ系1)を抽出できた。

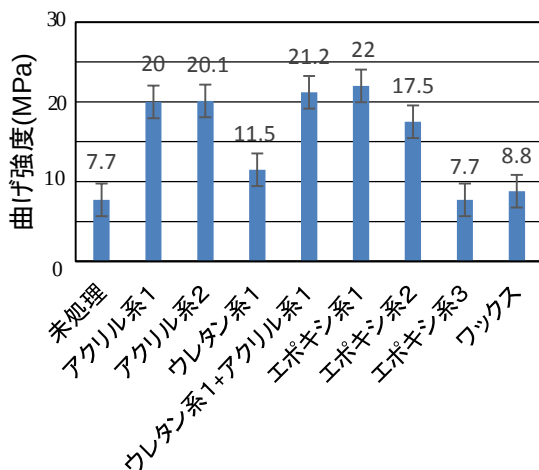


図10 曲げ強度評価

3. 結 言

石膏3Dプリンタの利活用を目的に、各プロセスの技術課題の解決に取り組んだ。得られた結果を以下に記す。

- (1) 3次元デジタル化やCTスキャン、触感デバイス等を活用することで、3Dデータを簡易に作成できた。
- (2) 3Dプリンタ入力時のデータエラーを分類して、エラー解消マニュアルを作成し、エラーの早期発見や修正が可能となった。
- (3) 石膏3Dプリンタの造形性や精度検証を行うことで、造形の限界値を明確にした。造形エリア左側手前が、端より約2倍強度が高く、横積層が縦や斜め方向より約2倍強度が高くなった。
- (4) モニタ表示色とプリンタ出力後に硬化剤で発色処理したプリンタモデル色を測色することで、青紫系の誤差が黄色系の誤差に比較して約6倍大きいなど、誤差範囲を明確化できた。設計時に双方の色の違いを目視で調整しながら着色することで、色の再現性を高めた。
- (5) 石膏プリンタモデルに8種類の表面処理材を塗布し、曲げ強度評価と耐候性評価を行った。食器や漆器の原型等、用途に応じて表面処理材の選択肢が拡充された。また、純正品の10分の1以下の価格でより高強度なエポキシ樹脂を抽出できた。

当初の目標では、技術移転先として新規企業7社以上を想定したが、デザイン事務所や九谷焼等の伝統工芸産地企業、工業製品や医療機器の製造業など15社以上に技術移転を行うことができた。

謝 辞

本研究の遂行に当たり、データエラー解消方法についてご助言を頂いた(株)アプリアフト女井誠司氏に感謝します。また、終始適切なご助言を頂いた(株)ケイズデザインラボの原雄司氏に感謝します。

参考文献

- 1)原雄司. 3Dプリンタ導入&制作完全活用ガイド. 2014, p. 20-23, p. 109.
- 2)(株)アプリアフト. 3Dプリンタ出力前のワンポイントアドバイス. 2014, p. 4-9.
- 3)(株)RE“ものづくりweb.”
<http://d-engineer.com/3Dcad/kernel.html>, (参照 2016-08-01).