

反射・透過・屈折の光学的効果を生み出す大型 3D プリンティング に向けたテクスチャ設計

Texture design for large-scale 3D printing to produce optical effects of
reflection, transmission, and refraction.

荒井 将来¹, 田中 浩也¹, 湯浅 亮平¹

Masaki ARAI¹, Hiroya TANAKA¹, Ryohei YUASA¹

¹ 慶應義塾大学

¹ Keio University

【要約】

昨今,大型 3D プリンタによる家具の製造が盛んになってきているなか,3D プリント時に造形物表面にテクスチャを付与することで新たな表現を得る事例が増えてきている.本研究では,バイオマス由来の透明プラスチック材料を使用し,材料の透明性を活かして「反射・透過・屈折」といった光学的な効果をもつテクスチャを9種類設計した.設計したテクスチャは大型 3D プリンティング向けのものであり,大型 3D プリンタを用いて製造される9種類の多面体ベンチに実装された.本稿では,設計したテクスチャのテーマ,大型 3D プリンティングに向けたテクスチャの設計法や,試行錯誤,テクスチャが実装されたベンチについて紹介する.

キーワード: 大型 3D プリンタ, FGF, テクスチャ, デザイン

【Abstract】

Recently, as the production of furniture using large-scale 3D printers has become popular, there have been an increasing number of cases in which new expressions have been created by adding textures to the surfaces of objects during 3D printing. In this study, we designed nine kinds of textures with optical effects such as "reflection, transmission, and refraction" by using biomass-derived transparent plastic and taking advantage of the transparency of the material.

The designed textures are aimed at large-scale 3D printing and were implemented on 9 different polyhedral benches printed by a large-scale 3D printer. This paper introduces the theme of the designed textures, the design method of the textures for large-scale 3D printing, the trial and error process, and the benches on which the textures were implemented.

Keywords : large-scale 3Dprinting, FGF, texture, design

1. 序論

昨今,国内外で大型 3D プリンタを用いてベンチや椅子といった家具を造形する事例が増えてきていることに加えて,特殊なツールパスにより,造形物表面にテクスチャを付与することで加飾する事例[1]も登場してきている.ベンチや椅子といった”家具スケール”の造形物に関しては,Nagami の Mawj[2]のように,曲面を多用したデザインが多く,多面体かつ透明材料を用いて反射・透過・屈折といった光学的な表現を主体としたデザインは殆ど見受けられない.

本研究は,大型 3D プリンティングに向けた,材料の透明性を活かして「反射・透過・屈折」といった光学的な効果をもつテクスチャを 9 種類設計した.設計されたテクスチャは,FGF(Fused Granular Fabrication)方式の大型 3D プリンタとバイオマス由来の透明プラスチック材料を用いて製造する多面体ベンチに実装された.

2. 製造装置と材料

本研究では,エス.ラボ株式会社により開発された 3m 角の造形範囲をもつ FGF 方式 3D プリンタである ArchiFAB Chashitsu[3]を使用し,テクスチャが付与されたベンチを合計 9 脚造形した.



図 1. ArchiFAB Chashitsu (エス.ラボ株式会社)と
3D プリント中の様子

材料には,三菱ケミカル株式会社の Durabio[4]を使用した. Durabio は三菱ケミカル株式会社が開発したバイオエンジニアリングプラスチックで,原料は植物由来ながら非生分解性であり,ポリカーボネート(PC)並の耐熱性と耐衝撃性,アクリル並の透明性と耐光性を併せ持ち,長期間の紫外線曝露による黄変が少ないといった特徴をもつ.

3. 実装先のベンチについて

本研究で設計したテクスチャは,大型 3D プリンタで造

形するベンチの表面(3D プリント時の設置面と座面を除く)に付与された。ベンチは竹中工務店により設計され、一人用・二人用合わせて 9 種類あり、いずれも多面体である。ベンチは外周のみ 3D プリントされ、中空構造になっている。プリント後にベンチ底面に穴を空け、内部に照明を設置することでベンチ全体が発光する。

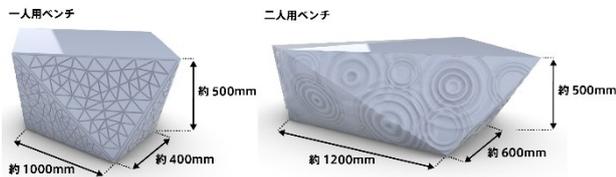


図 2. ベンチの寸法

4. テクスチャについて

本研究で設計したテクスチャは 4 テーマに大別される。

- [1] Mesh : ポリゴンメッシュのように三角形が敷き詰められたパターン。
- [2] Tessellation : 各面に三菱マークがあり、三菱マークの中に更に三角形が敷き詰められたパターン。
- [3] Ripple : 水面に広がりゆく波紋をあしらったパターン。
- [4] Bubble : 大小 2 種類の半球を敷き詰めたパターン。

図 3 に、ベンチに実装されたテクスチャ 9 種類のうち、6 種類を示す。①～⑥は一人用、⑦～⑨は二人用ベンチに実装されたもので、ベンチの座面・底面はテクスチャ無しである。

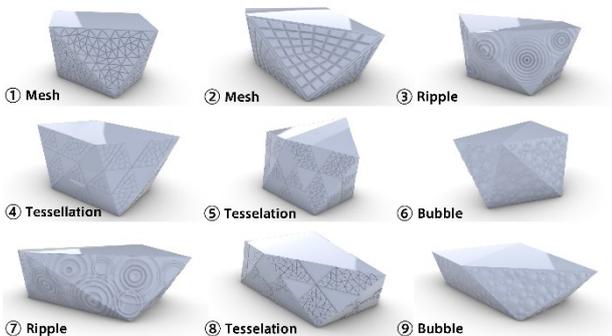


図 3. ベンチに実装されたテクスチャ

5. テクスチャ設計方針

5.1 ベンチへの実装に向けた要件

本研究で設計されるテクスチャはベンチに実装され、3D プリント時にベンチ本体の製造とテクスチャの付与が同じプロセスで起こる。そのため、ベンチの要件を満たしつつテクスチャを付与する必要がある。各要件と対応方針について説明する。

① 強度の確保

ベンチでは、特に荷重や衝撃に対する強度が求められるため、中空構造では壁厚(肉厚)を十分に厚くすることが重要である。一方、3D プリント(積層造形)では、樹脂が積み重なると“積層痕”と呼ばれる表面テクスチャを生み出し、造形物表面にノッチ(V 溝)が現れる。

ここで、実質的な厚み(≒強度)はノッチ同士の距離で

決まることに注目する必要がある。特に大型 3D プリントでは積層ピッチが数ミリ程度になることが多い。筆者の内観では、積層ピッチが大きいことでよりノッチの影響を受けやすくなると考えている。

図 4 に、実際のベンチの一部分のみを造形し、造形物断面のノッチ間の距離をノギスで計測したデータを示す。10mm ノズルで押出幅 10mm 程度を目標とし、シェル(造形物の外周を描くツールパスの数)は 1 シェル、積層ピッチ 3mm で 10 レイヤー分を造形した。ノッチの部分は黒いマーカーで塗っている。

1,2 レイヤー目まではノッチ間の距離が 10mm を超えたが、3 レイヤー目以降はいずれも 10mm を下回る結果となった。また、実験を重ねた結果、オーバーハング(傾斜)が大きくなると押出幅に対して実質的な壁厚が十分に得られない可能性があることが分かり、ベンチの造形は 2 シェルとする方針となった。



図 4. 造形物断面の肉厚計測

② 密閉性の確保

テクスチャが実装されるベンチは中空構造であり、内部に照明が設置されることに加えて、材料が透明のため内部に汚れが溜まると目立つといった理由から、密閉性が求められる。一方、予備実験からテクスチャを付与するとツールパスが蛇行し、わずかな空隙が生じる恐れがあることが明らかとなった。

③ 座面の快適性の確保

ベンチの座面にテクスチャを付与すると、座った際の快適性を損なう恐れがあるため、座面に相当する面はテクスチャを付与せず、プレーンな状態とした。また、3D プリント時にプラットフォームと接する面も同様にテクスチャは付与せず、底面から 4 レイヤーのみをインフィル充填率 100%(ソリッドレイヤー)とした。

5.2 設計方針のまとめ

最終的に、強度や密閉性といった課題に対して、シェルを 2 回とし、二重構造とする方針となった。このとき内側の層はテクスチャを付与せず、密閉性を確保するための層

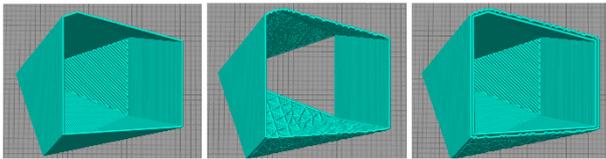
とし、外側の層はテクスチャを入れ、内外の層が適度に接するようなツールパスを設計することで、テクスチャを付与しつつも内外の層が構造的に一体となり、強度が確保されることを狙った。

6. テクスチャ実装に向けたツールパス設計

6.1 GCode の重ね合わせ

本研究では、内外のシェルで異なるツールパスを生成し、最終的に単一の GCode とするために、スライサソフトウェアである Simplify3D[5]の“プロセス”という仕組みを利用した。通常のスライサソフトウェアの機能は、単一の 3D モデルから単一の GCode が生成される。一方、Simplify3D では複数の 3D モデルをそれぞれスライスし、レイヤーごとに重ね合わせることで、複数の GCode を単一の GCode にまとめる機能(プロセス)がある。

本研究では、ベースとなる 3D モデルに対してテクスチャを付与した 3D モデル(外側シェル)と、ベースとなる 3D モデルに対して XY 成分のみ内側にオフセットをかけ、縮小した 3D モデル(内側シェル)を作り、Simplify3D のプロセス機能を用いて単一の GCode を生成した。



内側シェル(構造層) + 外側シェル(テクスチャ層) → 2層構造のツールパス

図 5. 内外の GCode(ツールパス)を重ね合わせる様子

6.2 オフセットモデル(内側シェル)について

テクスチャが付与される外側のシェル(モデル)に対して、いずれのレイヤーにおいても XY 成分に対して均一な距離を空けねば、ある面は内外のシェルの距離が適切でも、他の面では離れすぎる、近すぎるといった問題が起こってしまう。

そこで、3DCAD ソフトウェアである Rhinoceros[6]を用いてベースとなるモデルから内側(縮小方向)にオフセットされた 3D モデルを制作した。このとき、後述するオフセット調整の重要性を鑑みて、1mm 単位でオフセットしたモデルを数種類用意した。

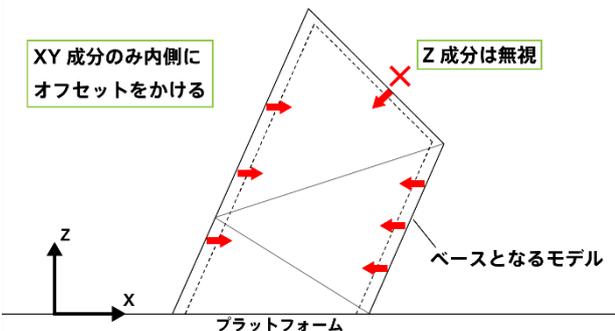


図 6. オフセットモデルの概要

6.3 適切なオフセットの重要性

内外のシェルが適度に接することは、構造強度を得るという点のみならず、造形品質の観点でも重要である。内外のシェルが離れすぎれば構造的な強度に寄与しなくなる一方、近すぎて内外のシェルが過剰にオーバーラップしてしまうと、樹脂の変形、ノズルから出るガスや空気の侵入が原因と思われる樹脂の変色(白色)、ヒゲのように細かな樹脂片が造形物の壁面に発生するなど、造形品質に関する様々な問題が生じるため、内外のオフセット調整は非常に重要である。

6.4 オフセット調整実験

多面体ベンチの座面と底面にはテクスチャを付与せず、テクスチャの有無が混在しているため、はじめに内外でテクスチャ無しのモデルを用いたオフセット調整を行い、適切なオフセット距離を特定した後に、テクスチャが付与されたモデルを用いてオフセット距離の調整を行った。

図 7 に、オフセット距離の違いにより、内外のツールパス間隔が異なる様子を示す。オフセット 1mm では、内側の直線的なツールパスに対して、外側(テクスチャ)の蛇行したツールパスが適度に接しているのに対して、オフセット 4mm では明らかに内外のツールパスが接していないことが分かる。

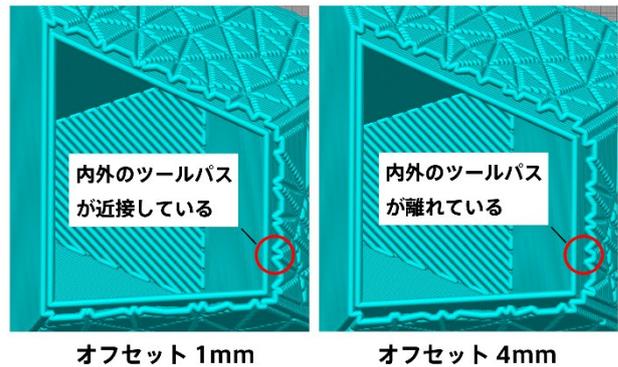


図 7. オフセットによる内外ツールパス間隔の違い

実際には、Simplify3D のスライス結果(プレビュー)と 3D プリントした結果(近接具合)は異なることがあるため、オフセット距離を変えた造形実験の反復や、樹脂の吐出量を調整することで、適切なオフセット距離および造形条件を探っていった。

7. 照明の検討とテスト

オフセット調整やテクスチャ(3D モデリング)の修正、3D プリンタのヒーター温度や送り速度といった造形条件の調整を経てベンチのプロトタイプが完成したタイミングで、照明の検討を行った。

図 8 は、ベンチのプロトタイプを用いて照明のテストを行っている様子である。材料の Durabio は、わずかに青色の着色が施されており、照明条件によって見え方が異なるものの、蛍光灯下(撮影時)は青色を帯びている。一方、

蛍光灯を消して白色のカメラ用スポットライトを当てたところ、白色に発光する様子が見える。

また、蛍光灯下とスポットライトを比較すると、蛍光灯下のほうがテクスチャの輪郭が浮き出ているように見える。照明のテストを通じて、材料の光学的特徴、テクスチャ(凹凸)、そして照明や自然光といった光学条件が組み合わさることで、異なる表情を見せることが明らかとなった。



図 8. 照明テストの様子

画像左：蛍光灯，画像右：スポットライト

最終的に、照明は点光源と面光源の 2 種類となり、時間帯や天候による環境光、見る角度などに応じて様々な表情をみせるものとなった。

造形したベンチは耐久性試験をクリアしたうえで底面の穴あけと照明の設置作業を経て三菱ケミカル株式会社の社屋前(屋外)に設置され、日本庭園における飛び石のごとく2,3脚ずつ分散して配置された。



図 9. 設置されたベンチ(内部照明有)

8. 結論

本研究は、材料の透明性に注目し、「反射・透過・屈折」といった光学的效果をもったテクスチャを 4 テーマ合計 9 種類設計し、大型 3D プリンタを用いて製造される多面体ベンチに実装した。製造されたベンチは耐久性試験をクリアしたうえで三菱ケミカル株式会社の社屋(屋外)に設置され、多面体かつ反射、透過、屈折といった光学的表現を主体とした大型 3D プリンティングの事例を作ることができた。

内外の二重構造とする手法は、内または外側のシェルでテクスチャの影響を分離することができ、内外で異なる役割をもたせるといった方向に繋がる可能性がある。

一方、内外のシェル間に存在する空間に水や汚れが溜まる可能性があることや、設置されたベンチがどの程度の期間使用可能なのかといった点については、設置後も注視していく必要がある。

9. 謝辞

本研究は、慶應義塾大学と三菱ケミカル株式会社、竹中工務店、エス.ラボ株式会社協働のプロジェクトから生まれたものであり、本研究の機会を与えていただいた三菱ケミカル株式会社、多面体ベンチの形状設計や設置に携わった竹中工務店、ベンチの造形を可能とする大型 3D プリンタ(ArchiFAB Chashitsu)を開発したエス.ラボ株式会社に深謝申し上げます。

参考文献

1. tilde, <https://www.tilde-printed.com/>(参照 2022-09-24)
2. Nagami, <https://nagami.design/en/product/mawj-chair/> (参照 2022-09-19)
3. エス. ラボ株式会社, <https://slab.jp/releaces/20210709/> (参照 2022-09-24)
4. 三菱ケミカル株式会社, https://www.m-chemical.co.jp/products/departments/mcc/pc/product/1200363_9344.html (参照 2022-09-19)
5. Simplify3D, <https://www.simplify3d.com/support/articles/different-settings-for-different-regions-of-a-model/> (参照 2022-09-19)
6. Rhinoceros, <https://www.rhino3d.co.jp/> (参照 2022-09-24)