

積層造形物のための表面加飾法の提案

原 涼輔*

A Proposal for a Surface Decoration Method for Additive Manufacturing Products Ryosuke Hara

1. 緒 言

3D プリンターによる積層造形物には、製造工程に起因する特有の痕(積層痕)が生じる。そのため、最終製品として使用する際には、人の感性によって「簡易品」と受け取られる可能性があり、外観上の観点から適切な仕上げ処理が求められることがある¹⁾。これまでに筆者は、積層造形物の表面状態が人の感性に与える影響について調査を行ってきた。その結果、使用対象者の属性や目的に応じて、表面加工の有無や方法を最適化することが有効であることが明らかとなった²⁾。一方で、研磨や塗装などの表面加工には、時間やコストがかかるという課題があり、積層造形物を最終製品として活用するうえでの障壁となっていた。

そこで本研究では、3D プリンターにおける表面加工の工程を省略する一手法として、造形前の 3D モデルに対してシボ状の凹凸形状を付加し、積層痕を目立たなくする方法について検討した。その一環として、既存のサーフェス系 3DCAD ソフトウェア「RhinoCeros」と、そのプラグイン「Grasshopper」を活用した表面加飾手法を紹介する。開発手法による表面加飾が積層痕の印象変化に与える影響については、3D プリンターで造形した評価モデルを用いた評定尺度法による印象評価実験にて分析を行った。その結果についても併せて報告する。

なお、本研究で使用した Grasshopper はビジュアルプログラミング言語(VPL: Visual Programming Language)で、GUI 操作にてコンポーネントと呼ばれる要素をつなぎ合わせることで、3DCAD の機能を拡張するプログラム生成が可能なノーコードツールである。通常の 3DCAD の機能では困難な立体的なパターン形状の大量配置や、複雑な三次元形状の生成機能等を容易に実装することが可能である。例えば、既存の 3D モデルの設計変更を主要な構成寸法の数値データ入力のみで完結させることができ、設計スキルに依存することなく三次元形状の作成や修正が可能である³⁾。

2. プログラムの概要

3DCAD の多くは、曲線及び曲面を生成するための数学モデルとして、NURBS(Non-Uniform Rational B-Spline)を使用している⁴⁾。特に RhinoCeros のようなサーフェスベースでモデリングを行う 3DCAD では、複雑な三次元曲面だけでなく、平面や円筒、球などのプリミティブ形状と呼ばれる単純形状についても、内部の形状情報データの処理では、

この数学モデルを使用している場合が多い。

この数学モデルでは、実空間における $x-y-z$ の三次元座標で表現される曲面を $U-V$ の 2 変数空間として表現する。作成したプログラムではこの点に着目し、サーフェス形状に沿った表面加飾の凹凸形状を生成する機能を実装した。具体的には、表面加飾形状の高さ変化率を対象となるサーフェスの $U-V$ 空間上にグリッド状に配置し、それをモーフィング機能により、実空間の曲面上に変形配置させた。なお、高さ変化率データは、 $U-V$ 空間の各グリッド点における高さ変化を画素の明度変化(0~1)に対応させた画像データとして入力する(図 1)。この明度変化は実空間でのスケール変化に対応しており、生成する凹凸形状の高さのサイズに合わせて、写像の際のグリッド点の移動量を調整可能である。



図 1 加飾形状の高さ変化率を示す画像データ

作成したプログラムの構成を図 2 に示す。本プログラムは①~⑦のデータ処理構成となっている。Grasshopper での操作は、3D モデルの読み込みから表面加飾を施したサーフェスの書き出しまでを行う。この段階では、3D モデルと表面加飾を施したサーフェス(以下、表面加飾サーフェス)は結合していない状態である。3D モデルとの結合によるソリッド化に関しては RhinoCeros の機能を使用して行った。

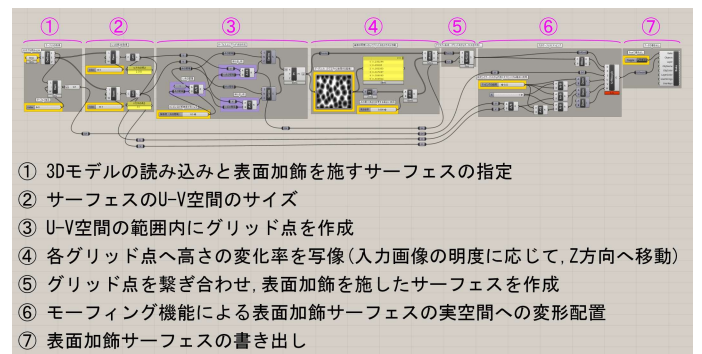


図 2 作成したプログラムの構成

* 技術支援部

3. 本プログラムによる表面加飾の実装

本プログラムの表面加飾機能について、図3に示す曲面形状を有する3Dモデル(以下、3Dサンプル)を用いて説明する。

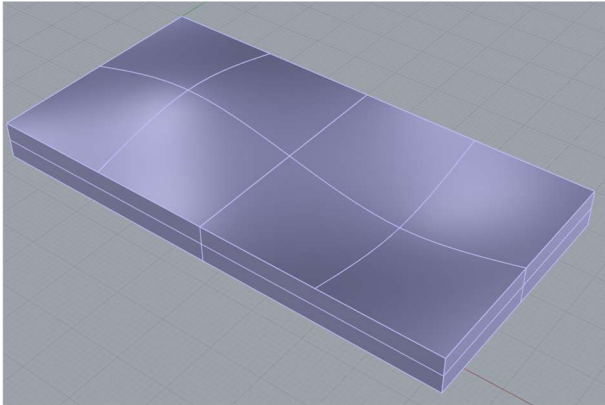


図3 曲面形状を有する3Dモデル(3Dサンプル)

図2の①～⑥の各データ処理において、モデル形状がどのように変化するかを図4に示す。⑦の工程後にRhincerosへ出力されたサーフェス形状を図5に示す。

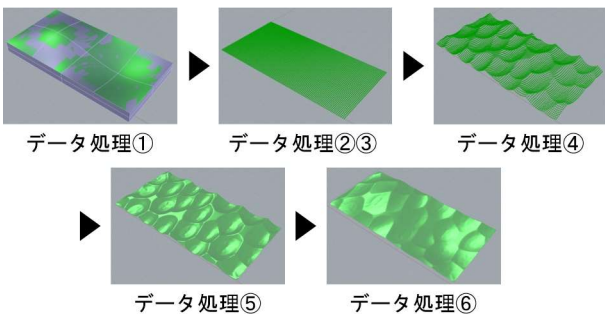


図4 3Dサンプルへの表面加飾サーフェス生成工程

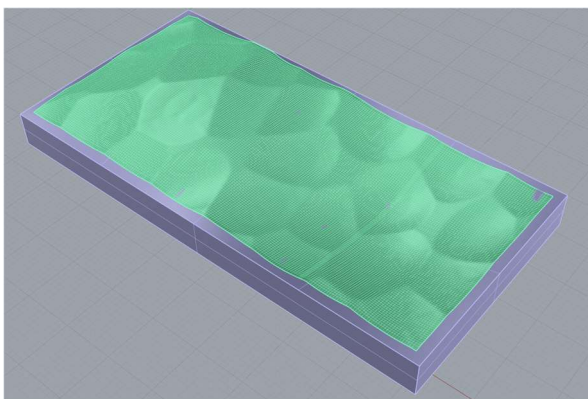


図5 出力したサーフェス

この時点で表面加飾サーフェスは単一のサーフェスとなっており、ソリッド化できていない。そのため、Rhincerosのモデリング機能を使用して、元の3Dモデルとの結合によるソリッド化を行う(図6)。最初に、元の3Dモデルから元サーフェスの分離を行い、元サーフェスを消去(非表示)する。続いて、表面加飾サーフェスと3Dモデルのエッジを結合し、表面加飾3Dモデルとしてソリッド化する。このソ

リッド化された3Dモデルを使用することで、3Dプリンターにて表面加飾された造形品の作製が可能となる。

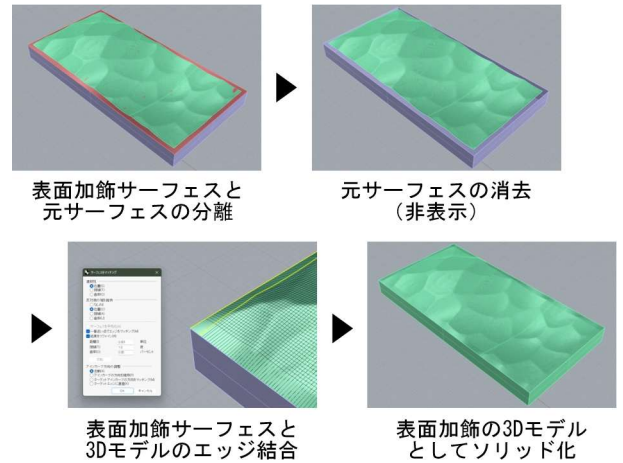


図6 表面加飾サーフェスを含むソリッド化した3Dモデル

4. 表面加飾を施したモデルの印象評価

本手法により作製した評価モデルを用いて、人が受ける印象の変化について調査を行った。

4・1 評価モデル

図7に示す花瓶の3Dモデルを基準とし、表面加飾を施した3Dモデルを4種類作成した。次にMEX方式の3Dプリンターを用いて作製を行い、評価モデルとした。表1に造形の概要、図8に作製した評価モデルを示す。なお、表面加飾で用いた画像データは、アプリケーションのWEBサイトで公開されている触感サンプル⁵⁾から得られた画像データを使用した。

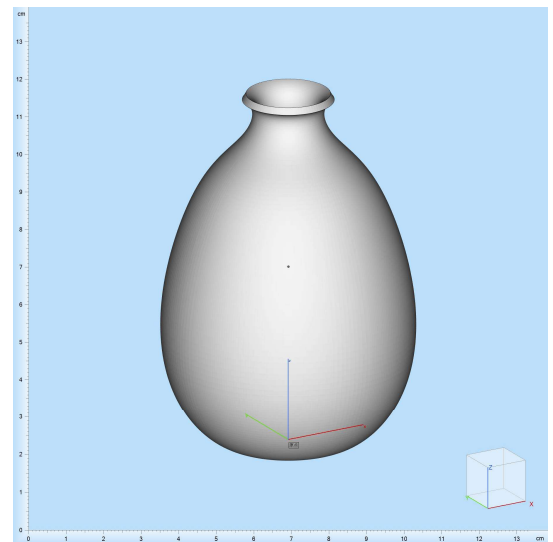


図7 花瓶の3Dモデル

表1 造形の概要

3Dモデル寸法	68.16×68.16×98.23(mm)
使用機器	Stratasys製Fortus 400mc-L
造形材料	ポリカーボネート(PC)
積層ピッチ	0.254(mm)

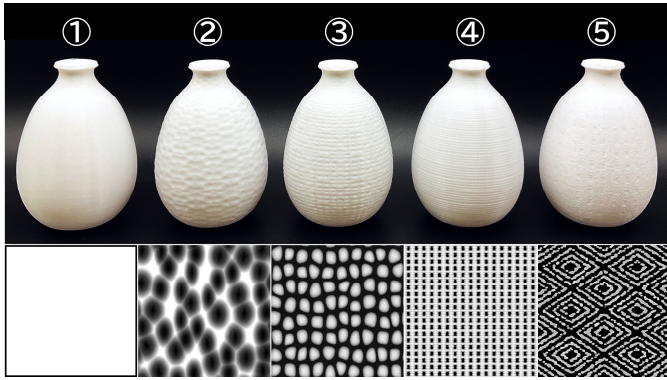


図8 作製した表面加飾モデルと画像データ
(①:加飾なし, ②~⑤:加飾あり)

4・2 評価方法

評価者には、4・1 で作製した各評価モデルを横一列に並べた状態で観察させ、視覚的及び触覚的な刺激を受けた時の印象について、評定尺度法によるアンケート調査を行った。評価軸は5種類の形容詞対を使用し、7段階の評価尺度で評価した。印象評価実験の概要を表2に、評価に使用した形容詞対を表3に示す。

表2 印象評価実験の概要

評価方法	評定尺度法によるアンケート用紙への記入
評価モデル	5種類(①オリジナル, ②~④表面加飾)
評価時期	2022年12月~2023年2月
評価者	山口県産業技術センター職員
評価人数	11名

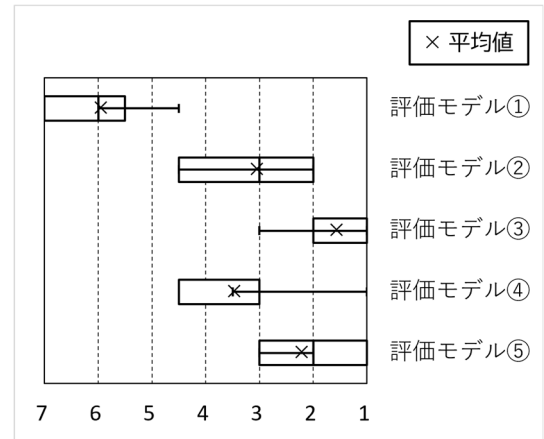
表3 評価に使用した形容詞対

Smooth-Rough (すべすべな-ざらざらな)
Flat-Uneven (たいらな-おうとつな)
Slippery-Sticky (すべりのよい-ひっかかりのある)
Soft-Hard (やわらかい-かたい)
Comfortable-Uncomfortable (こちよいい-ふかいな)

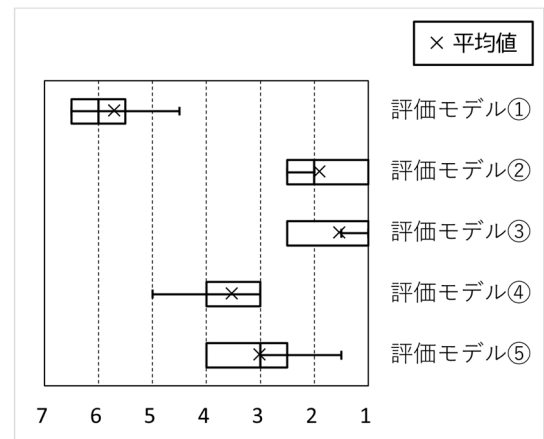
4・3 評価結果

アンケート調査結果を評価軸毎にボックスチャートで示したものを図9に示す。評価軸の内、「Smooth-Rough」「Flat-Uneven」「Slippery-Sticky」はモデル間の差が大きく、「Soft-Hard」「Comfortable-Uncomfortable」はモデル間の差が小さい結果となった。

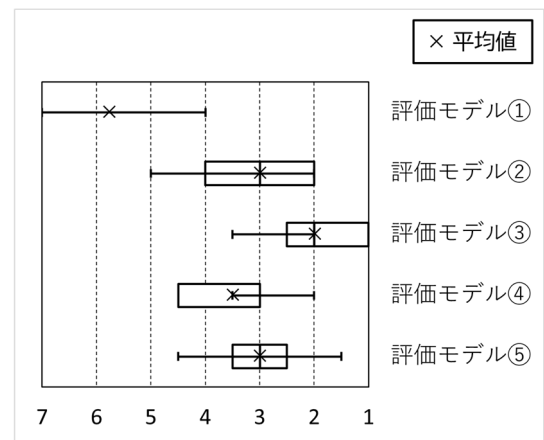
アンケート調査で得られたデータに対し、統計解析ソフトウェア「R」を使用し、主成分分析を行った。主成分分析の結果を表4に示す。また、主成分分析の結果を第1主成分(PC1)と第2主成分(PC2)で軸を取り、主成分負荷量と主成分得点をプロット(biplot)したものを図10に示す。



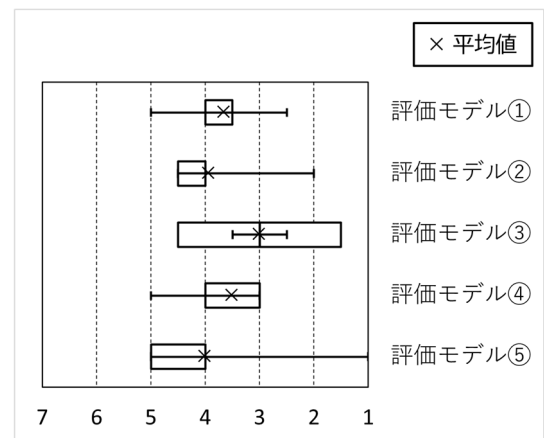
(a) Smooth-Rough



(b) Flat-Uneven



(c) Slippery-Sticky



(d) Soft-Hard

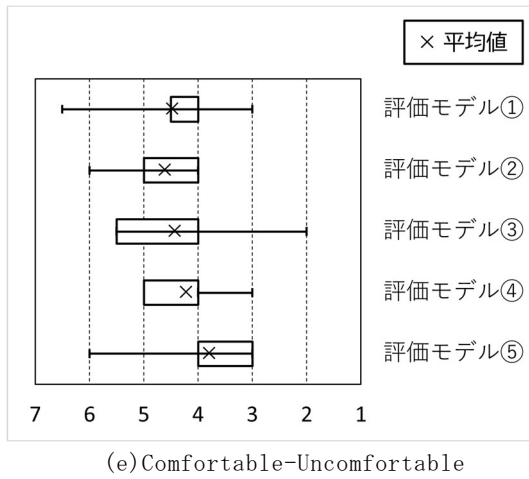


図9 アンケート調査結果

表4 主成分分析結果

(a) 寄与率			
	PC1	PC2	PC3
寄与率	0.613	0.269	0.117
累積寄与率	0.613	0.882	0.999
(b) 主成分負荷量			
	PC1	PC2	PC3
Smooth-Rough	-0.554	-0.205	0.045
Flat-Uneven	-0.545	0.050	-0.377
Slippery-Sticky	-0.568	-0.072	-0.072
Soft-Hard	-0.268	0.573	0.760
Comfortable-Uncomfortable	-0.034	-0.789	0.523
(c) 主成分得点			
	PC1	PC2	PC3
評価モデル①	-2.746	-0.588	-0.279
評価モデル②	0.477	-0.400	1.323
評価モデル③	2.073	-1.050	-0.664
評価モデル④	-0.203	0.099	-0.220
評価モデル⑤	0.400	1.939	-0.160

表4より、累積寄与率はPC1とPC2で0.882となるため、全体の88.2%の情報を集約できている。一般的に累積寄与率が70~80%に達すれば、元データの大部分を代表する主成分が抽出されたとみなされる⁶⁾ことから、今回の実験結果は、PC2までで十分に説明できる内容だと考えられる。

表4及び図10より、PC1は「Smooth-Rough(-0.554)」「Flat-Uneven(-0.545)」「Slippery-Sticky(-0.568)」の寄与度が高いことから、表面の平滑性を表す指標と考えられる。この実験結果では、PC1が負の方向に大きいほど滑らかな印象を示している。次に、PC2は「Comfortable-Uncomfortable(-0.795)」の寄与度が高いことから、快適性を表す指標と考えられる。この実験結果では、PC2が負の方向に大きいほど心地よい印象を示している。

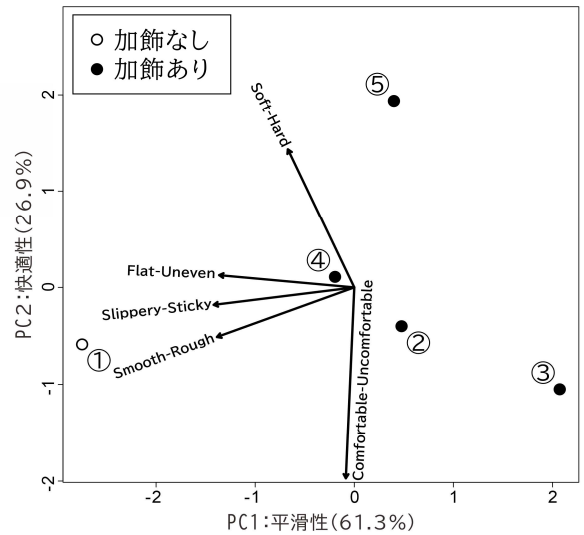


図10 主成分分析結果(biplot)

以上の分析結果から、今回行った評価実験で得られた各評価モデルの印象を表5に示す。

表5 各評価モデルの印象

	PC1 (滑らかさ)	PC2 (心地よさ)	備考
評価モデル①	滑らかな	やや快適	加飾なし (積層痕のみ)
評価モデル②	やや凹凸がある	やや快適	
評価モデル③	凹凸がある	快適	積層痕の印象 が改善
評価モデル④	僅かに滑らか	僅かに不快	
評価モデル⑤	やや凹凸がある	不快	

図10及び表5より、まず、PC1(平滑性)の印象については、評価モデル①に比べて、評価モデル②~⑤は、正の方向もしくは“0”に近い値に位置しており、加飾により積層痕と異なる印象を持った凹凸形状を付与できていることが分かる。次にPC2(快適性)の印象については、評価モデル①に比べて、評価モデル②は同程度の印象、評価モデル④、⑤は不快な印象であり、評価モデル③のみが快適さを示す結果となった。

このことは、評価モデル③の加飾形状が、積層方向に加えて直交方向にも、積層痕より大きな凹凸差を規則的な間隔で感じやすい形状となっているためと推察される。評価モデル②、④、⑤については、3Dプリンターの造形性能による加飾形状の再現度も含めて、積層方向の直交方向への形状変化を感じ難く、積層痕が有する印象を打ち消す効果が十分に得られなかったと考えられる。

以上の結果から、表面加飾を施すことにより積層痕の印象を改善する効果が見込めるものの、加飾形状には、積層方向と直交する方向への変化をより感じる可以选择が必要があると考えられる。

5. 結 言

本研究では, Grasshopper を用いた 3D モデルへの表面加飾を施す方法について紹介するとともに, 加飾による積層痕の印象変化について評価した. その結果について, 以下に示す.

- (1) 本研究で作成したプログラムは, パラメーターによる設計が可能であり, 設計者のスキルに依存することなく表面加飾形状を生成することが可能である.
- (2) 表面加飾を施すことにより, 3D プリンターで造形した際の積層痕を目立たなくするだけでなく, 見た目や触り心地の印象を変化させることが期待できる.
- (3) 本研究で作成したプログラムを活用することで, 製品外装に用いられる革シボ模様や滑り止め加工のような機能性表面の設計が可能であり, 幅広い分野での製品開発に適用できると考えられる.

参考文献

- 1) 高岸賢輔, 梅津信二郎 :3D プリンタ造形物改質処理の画像による評価, 日本画像学会誌, **56**(1), p. 10-15(2017), DOI: <https://doi.org/10.11370/isj.56.10>.
- 2) 原涼輔:階層分析法(AHP)を用いた積層造形物の感性評価, 山口県産業技術センター研究報告, **36**, p. 19-24(2024).
- 3) 印南小冬, 川島圭太, 公益財団法人日本軽種馬協会: 馬の症状に合わせた 3D プリント蹄鉄の設計支援, https://www.hro.or.jp/upload/53570/2025_k.pdf(参照日 2025 年 6 月 27 日).
- 4) 中嶋孝行, 大野敏則 :CAD・CG 技術者のための NURBS 早わかり, 株式会社工業調査会, p. 170-174(1994).
- 5) Grasshopper による高付加価値・触感デジタルデザイン 2022-広島大学大学院先進理工系科学研究科・栗田雄一研究室・株式会社アPLICRAFT 共同プロジェクト-, https://www.applicraft.com/syokkan_sample2022/(参照日 2025 年 7 月 1 日).