

RhinestonePrinter: カスタマイズ可能な ラインストーン造形手法の試作

島元 諒^{1,a)} 塚田 浩二¹

概要: ラインストーンは、ガラスやアクリル樹脂製の模造宝石の一種であり、接着等で様々な衣服や小物に取り付けて、美しく装飾することができる。しかし、市販のラインストーンから事前に選択／購入する必要があったり、1つ1つのストーンを手作業で張り付ける手間が掛かるといった課題がある。本稿では、カスタマイズ可能なラインストーン造形手法を提案する。UV プリンタを用いてカラーインクで底面パターンを印刷し、その上に透明インクを盛り上げてストーンを印刷することで、ラインストーンを造形する。底面パターンや配色、印刷素材等をカスタマイズすることでラインストーンの外観をデザインすることができる。さらにレイアウトしたラインストーンは UV プリンタで一度にまとめて印刷することが可能である。

RhinestonePrinter: Prototyping of Designing and Printing Method for Customizable Rhinestones

SHIMAMOTO RYO^{1,a)} TSUKADA KOJI¹

1. はじめに

ラインストーンは、ガラスやアクリル樹脂製の模造宝石の一種であり、被服やアクセサリ、日用品への装飾などに使用される。ラインストーンを用いてものづくりを行う際には、ラインストーンを事前に購入しておく必要があり、外観も既製のものから選ばなければならない。さらに、1つ1つのラインストーンを手作業で貼り付ける手間が生じる。また、ラインストーン的设计時のレイアウトを支援する研究 [1] が行われているが、ラインストーン自体の外観をデザインするアプローチはほとんど行われていない。本稿では日本国内の Fab 施設に普及しており利用がしやすい UV プリンタに着目し、カスタマイズ可能なラインストーン造形手法を提案する (図 1)。本手法では、UV プリンタを用いてカラーインクで底面パターンを印刷し、その上に透明インクを盛り上げてストーンを印刷することで、ラインストーンを造形する。底面パターンや配色、印刷素材等をカスタマイズすることでラインストーンの外観をデザイ

ンすることができる。さらにレイアウトしたラインストーンは UV プリンタで一度にまとめて印刷することが可能である。また、アクリルやミラーなど多様な素材に印刷することができ、特にミラー素材を用いることできらめき感を表現することができる。

本稿では、提案手法のコンセプト、造形方法とレイアウト支援システムの実装、及び応用例の構築について議論する。なお、本稿ではラインストーンの石の部分を「ストーン」、底面部分を「底面パターン」、ストーンと底面パターンを合わせたものを「ラインストーン」と呼ぶ。

2. 関連研究

五十嵐 [1] はユーザが描いた図柄からラインストーンのレイアウトを提示するシステムを提案した。この研究ではラインストーン的设计時のレイアウトを支援するが、ラインストーンを手作業で配置する必要がある。これに対し、提案手法では複数のラインストーンを UV プリンタで一度に印刷することができる。さらに、個々のラインストーンの外観もカスタマイズすることができる。

沖ら [2] は、石型のジュエリーパーツの下部に微細なス

¹ 公立はこだて未来大学
Future University Hakodate
^{a)} g2121026@fun.ac.jp



図 1 本手法で制作したラインストーン作品の一例。

リットを施した遮光素材と複数の LED を内蔵することで、ジュエリーパーツ上の光の軌跡を制御し、きらめきを拡張するシステムを提案した。この研究では、LED の点灯位置や明滅、遮光素材によりジュエリーのきらめきを拡張する。これに対し、提案手法では複数のラインストーンを用いたデザインに焦点を当てており、またストーン（レンズ）の下に印刷する画像パターンを用いて、視点に応じた色や輝きをカスタマイズできる。

Papas ら [3] は、PolyJet 方式 3D プリンタを用いて、一見ランダムに見えるパターンの中に隠れた画像を複合化する屈折レンズアレイである The Magic Lens を制作した。藤木 [4] は、フルカラー 3D プリンタを用いて、グラデーション付きの窪みを多数備える 3D モデルを造形した。この窪みにアクリル球を埋め込むことで、見る角度に応じてモデルの色がなめらかに変化する作品を発表した。Zeng ら [5] は、マルチマテリアル 3D プリンタを用いて、曲面の 3D オブジェクトの表面にカラーパターンとレンズを一度に印刷し、視点の位置に応じて異なる外観に見せる手法を提案した。この手法に対し、本研究は UV プリンタの多様な素材に印刷できる点、高精細で光沢感のある表現ができる点を生かして、ラインストーンの造形に注目する点が異なる。

また、J850TMTechStyleTM [6] は、被服に直接印刷が可能なハイエンドのフルカラー 3D プリンタで、被服の表面に光沢／起毛等の多様な質感を印刷した造形例を紹介している。本研究では、日本国内の Fab 施設で普及しており利用しやすい機材として UV プリンタに着目した。また、UV プリンタはノベルティ^{*1}の制作にも広く利用されており、提案手法はこうした用途にも応用できると考える。

島元ら [7] は、UV プリンタで造形したレンズアレイと、円形の画像パターンを表示／印刷したディスプレイ／印刷物を組み合わせることで、視点の位置に応じて異なる情報を提示する多視点情報提示手法を提案した。Sakurai ら [8] は、UV プリンタを用いて CMYK インクの上に衝立状の構造を印刷することで、見る角度によって異なる画像を表

示する手法を提案した。画像パターンや衝立の構造が複雑になるため、一般的な PC では数時間の計算が必要となる。これらは、UV プリンタの印刷精度を活かした手法であるが、本研究はラインストーンの造形に特化している点が異なる。

塚田ら [9] は、UV プリンタを用いて透明な紫外線硬化インクを積層し、後処理が不要なレンズを造形する手法を提案した。専用のツールを用いることで多様な大きさや厚みのレンズを手軽に設計／造形することができる。本研究は、この手法をラインストーンの造形に応用するものである。

3. 提案

本節では、ラインストーン造形手法のコンセプトとカスタマイズ性について述べる。

3.1 コンセプト

ラインストーン造形手法のコンセプトは主に以下の 3 点である。

1 つ目にストーン形状や底面パターンの分割方法や配色などを設計することによって、ラインストーン自体の外観をデザインできることである。2 つ目に UV プリンタを用いることで、高精彩で光沢感のあるラインストーンが造形可能であることである。さらにアクリル板や金属、木材など多様な素材に印刷が可能であり、その中でもミラー素材を用いることでラインストーンのきらめきを表現することができる。3 つ目にレイアウトした複数のラインストーンを一度に印刷できることである。そのため 1 つ 1 つラインストーンを配置して接着する手間がない。

3.2 カスタマイズ性

本手法でカスタマイズ可能な要素を図 2 に示し、各要素について説明する。

ストーン。ストーンは形状と大きさによってその外観が変化する (図 2(a))。形状について、半球や四角錐などの形状が技術的に可能であるが、本稿では基礎的な半球型のストーン形状を中心に述べ、7 章でその他の形状について議論する。

ストーンの大きさについては、直径と厚さを設定できる。現状、最も小さなストーンで直径 1.5mm / 厚さ 0.75mm、最も大きなストーンで直径 10mm / 厚さ 2.0mm のラインストーンの印刷ができることを確認している。

底面パターン。底面パターンはパターンの配色と分割方式によってデザインする (図 2(b))。配色は任意に設計可能であるが、市販のラインストーンの輝きを参考にベースカラーを一つ設定して、その明度を変えた同色系 (ハイライト／シャドー) と色相を変えた補色 (アクセントカラー) から構成することとする。ハイライト／シャドーはラインストーンの光に当たった際の明暗を表現し、アクセントカ

*1 企業ロゴを印刷した文房具やケース等

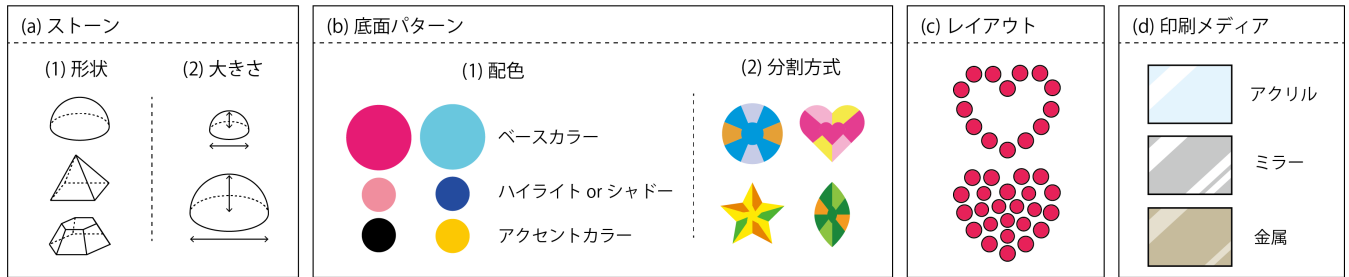


図 2 カスタマイズ可能な要素。

ラーは偏光色のラインストーンの色の変化を参考にした。ラインストーンを正面から見た際にベースカラーが目立ち、斜めから見た際にハイライト／シャドウやアクセントカラーが目立つように分割方式を設計する。分割方式は、まずストーン形状によって外形が決定し、中央の領域とその周りを複数に分割した領域に分ける。ベースカラーは中央とその周辺のいくつかの領域に配置して、面積を最も大きくし、残りの領域にハイライト／シャドウまたはアクセントカラーを配置する。

レイアウト．レイアウトにはラインストーンを輪郭線に沿って並べる配置や、中に敷き詰める配置等がある。異なるラインストーンを組み合わせレイアウトし、一度にまとめて印刷することができる(図 2(c))。

印刷メディア．本手法ではアクリル板やミラー、金属など多様な素材に印刷ができる(図 2(d))．その中でもミラー素材に印刷することで強い輝きを表現することができることを確認している。

3.3 底面パターン

底面パターンの分割方法や配色を設計することで多様な外観のラインストーンを制作することができる。ここでは図 3 のデザイン例をもとに底面パターンについて説明する。

図 3 は 2 種類の異なる底面パターンからなるネコのステッカーの例である。まず全体に、図 3(1) のような底面パターン(中心から放射状に 8 等分し中心を円状に分割)を持つ直径 3mm のラインストーンを敷き詰めた。黒をベースカラーとし、黒の明度を上げたグレーをハイライト、黒と色相が異なる水色をアクセントカラーとした。

次に、目玉には図 3(2) のような底面パターン(同心円状に 2 分割)を持つ直径 10mm のラインストーンを配置した。黒をベースカラー、黄色をアクセントカラーとする 2 色で構成した。

最後に、パターン (1) に着目して視点による変化を紹介する。正面から見るとベースカラーの黒が際立ち(図 3 左)、角度を変えて見るとハイライトのグレーやアクセントカラーの水色が際立って見える(図 3 中央、右)。

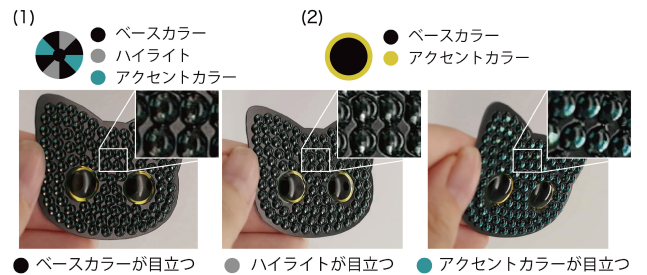


図 3 2 種類の底面パターンと猫型ステッカーの例。視点によって異なる色がきらめいて見える。

4. 実装

本節では、データ作成手順、印刷手順、レイアウト支援システムについて述べる。

4.1 データ作成手順

提案手法では、UV プリンタのデータ作成において広く利用されている Adobe Illustrator を用いてデータを作成する。ストーン部分は、塚田ら [9] のレンズ設計手法を応用して作成する。具体的には、ダイアログからストーンの形状／直径／厚さを入力すると、指定した形状の図形が配置され、レイヤー名としてパラメータが保存される。図形を任意に複製／配置してから、出力時にスクリプトで分割して、一層ずつ積み上げてストーン形状を造形する。データの作成手順は以下のとおりである(図 4)。

- (1) 任意の直径(図 4 の例では 3mm) の底面パターンを作成し、シンボル*2として登録する。なお、シンボルは自動的に保存されるため、既存のシンボルを選択することもできる。
- (2) 印刷メディアに合わせた位置合わせ用の枠のデータを作成する。
- (3) 底面パターンを位置合わせ用の枠内にレイアウトする。
- (4) 入力ダイアログにラインストーンの形状や直径、厚さを入力しストーンのデータを作成する。

*2 シンボルとは繰り返し使用するオブジェクトを管理するための機能である。コピーして配置した複数のシンボルは一括で編集することが可能である。

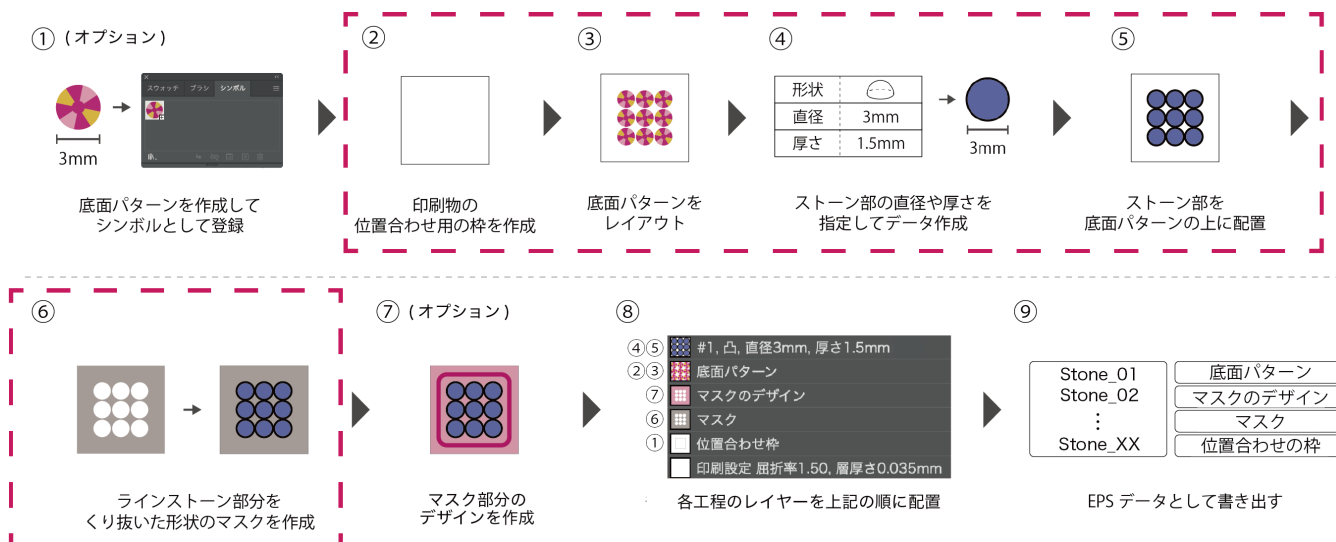


図 4 Illustrator を用いたデータ作成手順。破線で囲った工程 2～6 は後述するレイアウト支援システムでも作成することができる。

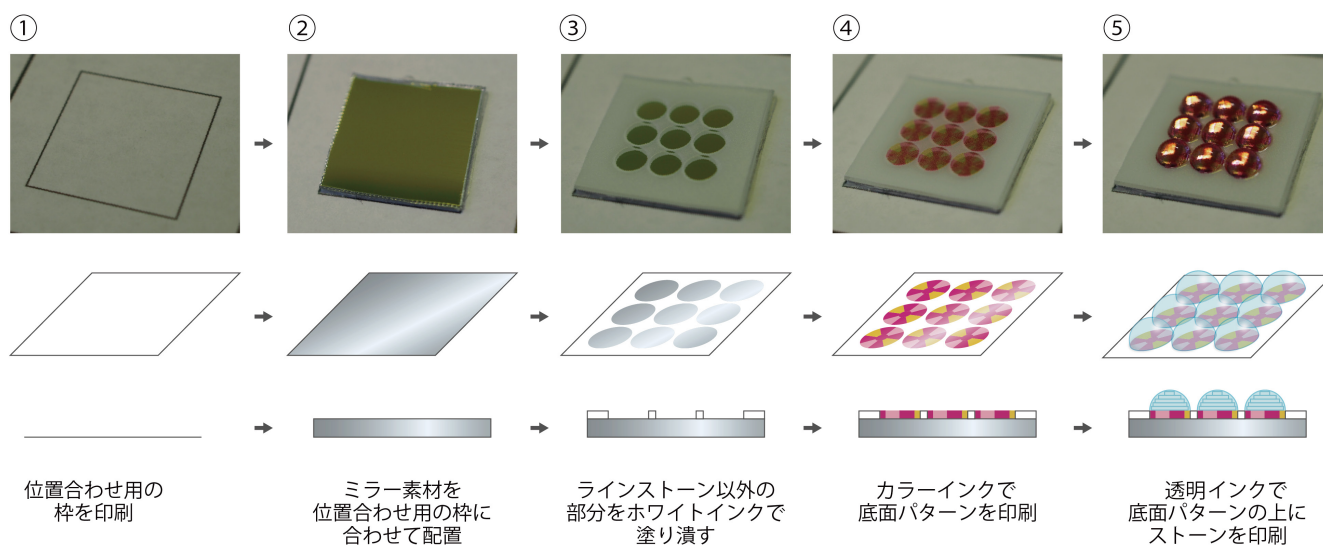


図 5 ミラー素材への印刷手順。工程 3～5 は一度にまとめて印刷できる。

- (5) ストーンのデータを底面パターンの上に配置する。
- (6) ストーンのデータ部分をくり抜いた形状のマスクを作成する。ミラー板等に印刷する場合、未加工状態だとラインストーン部分以外の板全体が反射してしまうが、マスクデータを用いることで、ラインストーン部分にのみ素材の質感を乗せることができる。
- (7) 任意でマスク部分のデザインを作成する。
- (8) 各工程のレイヤーを図 4 の順で並べる。
- (9) スクリプトを用いて印刷用の EPS データとして書き出す。

なお、工程 2～6 は後述するレイアウト支援システムを用いて手軽に行うこともできる。

4.2 印刷手順

本手法では多様なメディアへ印刷が可能であるが、最も特徴的なミラー素材 (ミラーアクリルやミラーシール等) への印刷方法について説明する。UV プリントは、Roland DG 社の VersaUV LEF-12i(以下、VersaUV) を利用した。なお、位置合わせ枠以外の EPS データは一度に UV プリント印刷用のソフトウェアに読み込み、まとめて印刷することができる。印刷手順は以下のとおりである (図 5)。

- (1) 位置合わせ用の枠を印刷する。
- (2) 枠に合わせてミラー素材を配置する。
- (3) 遮蔽性が高いホワイトインクでマスクを印刷する*3。

*3 VersaUV ではカラー印刷用にホワイトインクと CMYK インクが用意されており、ホワイトインクのみ遮蔽性が高いため、素材の質感 (例: ミラー板の反射) を消すことができる。

- (4) CMYK インクを用いて底面パターンを印刷する。
- (5) 底面パターンの上に透明インクを積層してストーンの形状を造形し、最後に光沢印刷で積層跡を埋めて表面を滑らかにする。

4.3 レイアウト支援システム

ここでは、レイアウト支援システムの実装について述べる。前述したデータ作成手順では Illusurator を用いる必要があり、ライトユーザにはやや利用が困難であった。そこで、ラインストーンのレイアウト支援システムを実装した。

レイアウト支援システムは Web アプリとして実装し、PC(Windows, Mac) やスマートフォン等で動作する。本システムはラインストーンをレイアウトする描画部と、ツール群、直径調整バー、底面パターンパレットから構成される(図 6)。ツール群ではラインストーンの移動ツールやラインストーン配置用のペン/消しゴム/バケツツールを備えている。直径調整バーでは 1mm~10mm の間で 0.5mm 間隔で直径を調整できる。底面パターンパレットでは、配色等の異なる底面パターンを選択することができる。現在は操作を容易にするために既定のパターンから選択させているが、今後は独自のパターンの作成・読込機能の実装を予定している。

図 7 にレイアウト支援システムを用いてうさぎのキャラクターを作成する例を示す。まず、ペンツールを用いてフリーハンドでアウトラインを描くとピンクの底面パターンが一定間隔^{*4}で配置される。次に底面パターンと直径を変えてペンツールで目の部分をクリックすることで黒の底面パターンが配置される。最後にバケツツールを用いて、底面パターンで囲まれた領域をクリックすることで領域内に底面パターン(直径 3.0mm) が敷き詰められる。この敷き詰めるアルゴリズムについては、先行研究 [1] を参考に最密充填等を用いた敷き詰め手法を実装した(図 8)。具体的には、クリックした座標を中心として、周囲の 6 方向に対して(他のパターンと重ならない限り)底面パターンを繰り返し配置することで、最密充填となるように敷き詰める。その後、すべてのラインストーンに対してポロノイ図を構築し、敷き詰めた底面パターンをポロノイ領域の中心にくるように移動する処理を繰り返す。

レイアウトしたラインストーンのデータは座標等のテキストデータと画像パターンの画像データとして書き出し、スクリプトを用いて Illusurator に読み込むことができる。

4.4 シミュレータ

ここでは、シミュレータの実装について述べる。シミュレータは、レイアウト支援システムで作成したデータを実際に印刷した際、どのように見えるのかを印刷前に 3D プ

^{*4} 任意に調整可能だが、現在は 0.2mm に設定している。



図 6 レイアウト支援システムの画面構成。



図 7 レイアウト支援システムの利用例。顔のパターンは直径 3mm, 目のパターンは直径 7.5mm とした。

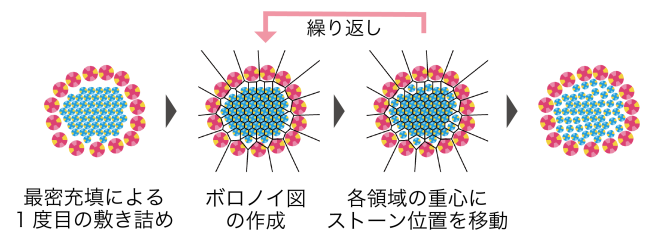


図 8 敷き詰めのアルゴリズム。

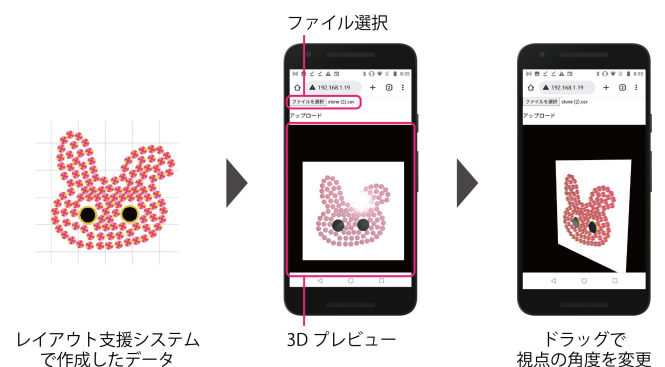


図 9 シミュレータの画面構成。

レビューで確認するためのシステムとして実装した。

シミュレータは Web アプリとして実装し、Web ブラウザ上でリアルタイムレンダリングを行うことができるライブラリ Three.js を使用した。PC(Windows, Mac) やスマートフォン等で動作する。シミュレータでは、ファイル選択によりレイアウト支援システムで書き出したラインストーンの座標と直径のテキストデータ、底面パターンの画像データを読み込み、半球状のストーンと底面パターン

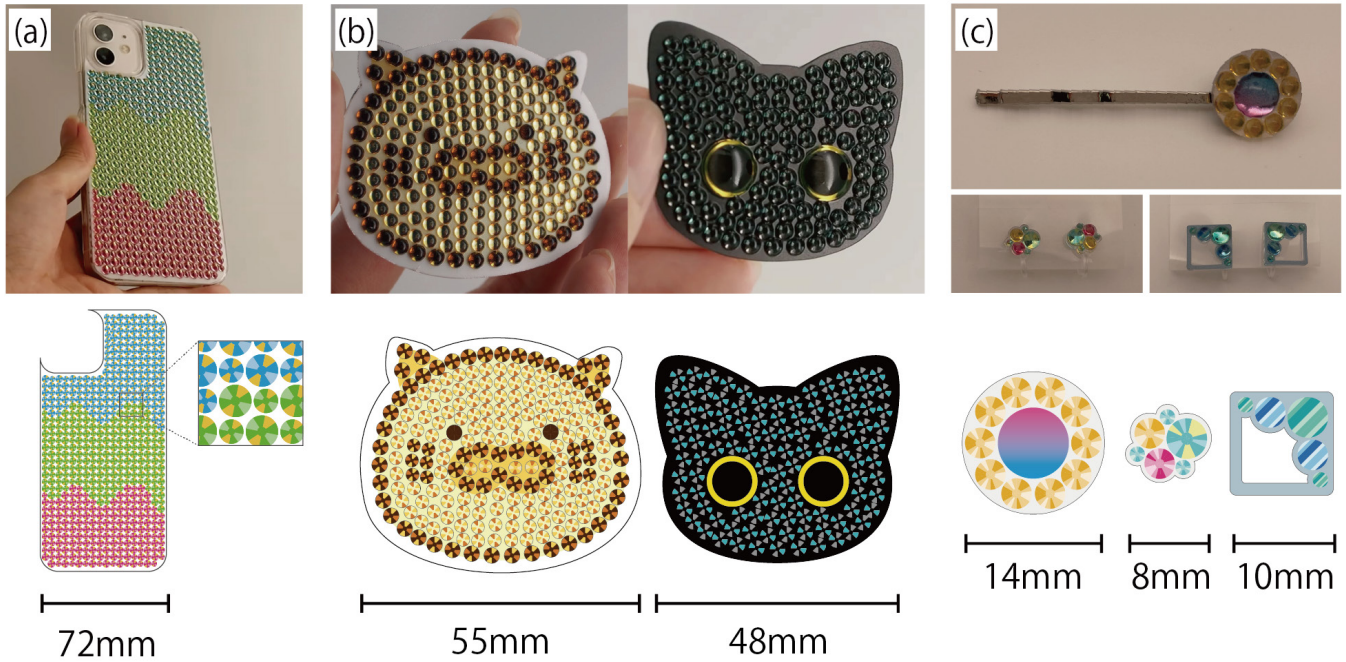


図 10 応用例の外観とデータ。(a) スマートフォンケース。(b) ステッカー。(c) アクセサリー。

の 3D モデルを 3D プレビューで表示する (図 9)。光源は 3D モデルの右斜め上に配置した。3D プレビュー画面をドラッグすることで 3D モデルを中心にカメラ位置を移動させたり、ピンチすることでズームができる。これらの操作によって、視点の位置を変えた際の見え方の変化を確認することができる。

5. 応用例

提案手法を利用した応用例として、スマートフォンケース、ステッカー、アクセサリー等を制作した (図 10)。それぞれの詳細を示す。なお、レイアウト支援システムは直近に開発したため、これらの応用例のデータはすべて Illustrator で作成した。

5.1 スマートフォンケース

図 10(a) はスマートフォンケースの応用例である。ミラーシールをスマートフォンケースに合わせて切断して貼り付け、その上にラインストーンを印刷した。ラインストーンは直径 4mm と 3mm のものを交互に配置している。このように、ミラーシールを用いることで、様々な日用品 (ノートパソコン、手帳、表札等) をラインストーンで装飾することができる。と考える。

5.2 ステッカー

図 10(b) はミラーシールにラインストーンを印刷してキャラクターの顔を表現したステッカーである。左の例は直径 2.5mm と 3mm、右は 3mm と 10mm のラインストーンを印刷している。また、マスク部分にはキャラクターの

輪郭や色を印刷することでデザイン性を高めている。マスク部分への印刷については、6.2 節で議論する。

5.3 アクセサリー

図 10(c) はヘアピンとイヤリングの例である。レーザーカッターで切断したミラーアクリルにラインストーンを印刷して、市販のヘアピンやイヤリングパーツと接着した。ヘアピンは直径 14mm の円形に切断したミラーアクリルに直径 3mm と 7mm のラインストーンを印刷している。イヤリングは左から全長約 8 × 8mm、10 × 10mm で、直径 1.5mm、3mm、4mm のラインストーンを印刷している。このように細かく繊細なアクセサリの表現にも応用できる。

6. 議論

本節では、ストーン形状、印刷メディア、マスク部分への印刷、印刷時間と材料費について議論する。

6.1 ストーン形状

ストーンは図 11 のように透明インクを重ねて印刷することで造形する。重ねる図形によって様々な形状のストーンを造形することができる。図 11 の半球状のストーンは、先行研究 [9] のレンズ造形手法を利用し、ストーンの直径と厚さから重ねる円の直径を計算して印刷したものである。四角形やハート、星のストーンは、市販のラインストーンのカットを参考に上面が平らになるように、一定の比率で図形を縮小して重ねて印刷した。ストーンの印刷は、最後に表面の積層痕を埋めて滑らかにするため光沢印刷を行

う。光沢印刷は一定量の透明インクを噴霧し、しばらく時間を置いてから紫外線を照射してインクを硬化させて、表面に滑らかな光沢を出す印刷方法である。四角形やハートなどの形状では、光沢印刷時に表面張力でストーンの上表面部分が丸くなってしまう傾向があった。一方、星の形状は鋭角のエッジを表現できているように思われた。



図 11 ストーン形状の一例。

6.2 印刷メディア

本手法ではアクリルや金属、ミラーなど多様な素材に印刷することができる。その中でも特にミラー素材のアクリル板やシールなどを用いることで強い輝きのラインストーンを印刷することができる。図 12 は、ミラーアクリルと通常の透明なアクリルにラインストーンを印刷し、LED ライトが搭載された撮影ボックスを用いて右側から光を当てて撮影したものである。これを見ると、ミラーアクリル板ではラインストーンの位置によって光の反射のしかたが異なっており、強く光を反射している。一方で、透明なアクリル板では光の反射が弱く、どのラインストーンも均一に光を反射している。

6.3 マスク部分への印刷

本手法では、ミラー素材に印刷する際、ラインストーン以外の部分はミラーの反射をなくすためにホワイトインクでマスクを印刷する。このとき、ホワイトインクの上にカラーインクで印刷を施すこと多様な表現ができる。図 13

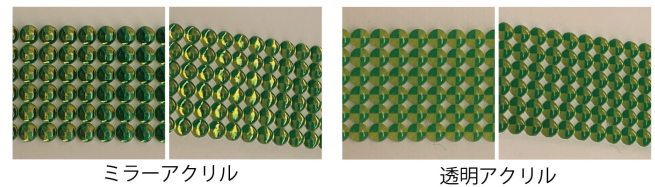


図 12 印刷メディア別のラインストーンの比較。

は 3 つの異なるマスクへの印刷を比較したものである。いずれも猫のキャラクターをラインストーンで表現している。左から順に猫のアウトラインと塗りを印刷した例、塗りのみをマスクに印刷した例、印刷なしの例である。このようにマスクへの印刷の有無やそのデザインによって表現の幅を広げることが可能である。

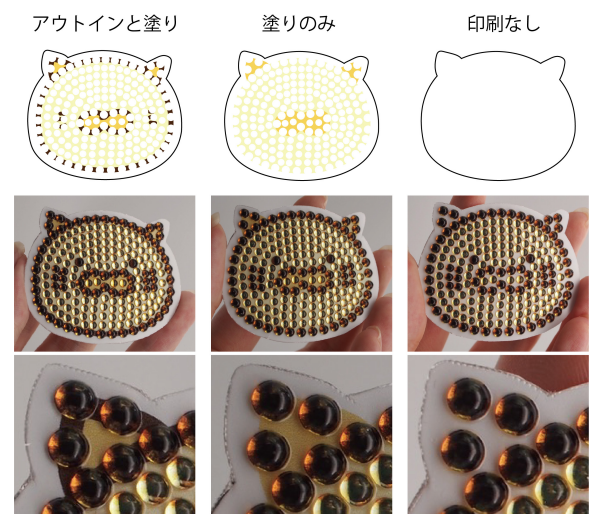


図 13 マスク部分への印刷の比較。

6.4 印刷時間と材料費

ここでは 4.3 節で紹介したスマートフォンケース (図 10(a)) と猫のステッカー (図 10(b) 右) を例に印刷時間と材料費について説明する。スマートフォンケース/ステッカーのサイズはそれぞれ $148 \times 72\text{mm}$ / $41 \times 48\text{mm}$ であり、583 個 / 112 個のストーンを並べている。また、ラインストーンの最大の厚さはそれぞれ 2mm / 1.5mm である。

まず、印刷時間はそれぞれ約 140 分 / 86 分であった。同じ印刷面積であればストーンが厚いほど印刷時間は長くなるため、ストーンの厚さを小さくすることで印刷時間は短縮できると考える。

次に材料費については、結論から述べるとそれぞれ約 551 円 / 91 円となった。材料となるインクと印刷メディアの計算方法について述べる。まず、印刷に使用したインクカートリッジの価格は 220ml で 10,500 円であり、印刷に使用したインク量はそれぞれ約 9.93ml / 1.63ml である。よって、インクの費用は約 474 円 / 77 円となる。次に、印刷メディアとしては、A4 サイズ ($210\text{mm} \times 297\text{mm}$) 1 枚

で462円のミラーシールのうち、それぞれ150×70mm／40×50mmの領域を使用した。よって、印刷メディアの費用は約77円／14円となる。このように、比較的大きなスマートフォンケースへの印刷であっても約551円、シールであれば約91円と低価格で印刷できる。

7. 終わりに

本提案では、UVプリンタを用いてカスタマイズ可能なラインストーン造形手法を提案した。ストーンや底面パターン、印刷素材等をカスタマイズすることで、多様な外観のラインストーンを印刷することができる。本稿ではデータ作成や印刷方法について説明し、レイアウト支援システムやシミュレータの実装、応用例の構築を行った。今後は、システムの改良に取り組み、提案手法で制作したラインストーンの輝きに関する定量評価や印象評価を行う。

謝辞

本研究の一部は、情報処理推進機構 (IPA) の2022年度未踏IT人材発掘・育成事業、及び科研費20H04231の支援を受けた。

参考文献

- [1] Y. Igarashi. DECO: A Designing Editor for Rhinestone Decoration. IEEE Computer Graphics and Applications, 31(5):90–94, 2011.
- [2] Maho Oki and Koji Tsukada, Sparklry: Designing “Sparkle” of Interactive Jewelry, In Proceedings of the Eleventh International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction (TEI ’17), pp.647-651, 2017.
- [3] M. Papas, T. Houit, D. N. ans Markus Gross, and W. Jarosz. The Magic Lens: Refractive Steganography. ACM Transactions on Graphics (TOG), 31(6):186:1–186:10, 2012.
- [4] 藤木 淳. みやざきアートセンター開催の個展についての報告「不可思議の体験展藤木淳個展. 札幌市立大学研究論文集, 12(1):17–28, 2018.
- [5] J. Zeng, H. Deng, Y. Zhu, M. Wessely, A. Kil-ian, and S. Mueller. Lenticular Objects: 3D Printed Objects with Lenticular Lens Surfaces That Can Change their Appearance Depending on the Viewpoint. UIST ’21: The 34th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, pp. 1184–1196, 2021.
- [6] Stratasys. J850T M TechStyleT M . <https://www.stratasys.com/en/3d-printers/printer-catalog/3d-printer-tech-style/>, (参照 2023/2/13).
- [7] 島元 諒, 塚田 浩二. カスタマイズ可能な二次元レンチキュラを用いた多視点情報提示手法の提案. WISS2020 予稿集, pp. 25–30, 2020.
- [8] K. Sakurai, Y. Dobashi, K. Iwasaki, and T. Nishita. Fabricating reflectors for displaying multiple images. ACM Trans. Graph, 37(4):158:1–158:10, Jul 2018.
- [9] K. Tsukada, K. Sugiyama, and M. Oki. Lens Shaping Method and Applications Using UV Printer. Journal of Information Processing, 30:97–106, 2022.