

# Shadow Haptics Generator: AIを用いた疑似触覚コンテンツの生成

西郷 利基<sup>1,a)</sup> 森本 浩輔<sup>2</sup> 渡邊 恵太<sup>1</sup>

**概要:** 物理的なアクチュエータを用いずに視覚的な情報のみで質感を提示する手法として、タッチペンシルのバーチャルな影を変形させる Pen Shadow Haptics がある。しかし、この手法はオブジェクトの画像とオブジェクトの高さ情報 (Height Map) を事前に手動で作成する必要があり、疑似触覚コンテンツの制作に多大な時間と専門的なスキルが必要だった。そこで本研究では、生成 AI を用いて任意のテキストから疑似触覚コンテンツを自動生成するシステム Shadow Haptics Generator を提案する。本システムは、体験者が入力したテキストに基づき、生成 AI がオブジェクトの画像とその形状に対応した Height Map 画像を生成する。生成した 2 つの画像から、自動的に疑似触覚デザインを行なうため、体験者は入力したテキストに対応する疑似的な触覚をその場で体験できる。本手法では疑似触覚デザインの制作コストを大幅に削減し、あらゆる質感をその場ですぐに体験することができる。

## 1. はじめに

本研究は疑似触覚提示システムである Pen Shadow Haptics を応用した研究である [1]。疑似触覚とは視覚的な情報によって体験者に疑似的な触覚を与える錯覚現象である。Pen Shadow Haptics は、iPad などのタブレット使用時にタッチペンシルのバーチャルな影をディスプレイに表示する。図 2 に示すように、このバーチャルな影が凹凸に合わせて変形することで、実際に凹凸に触ったような疑似的な触覚を提示する。Pen Shadow Haptics は筆記媒体の質感を提示することを目的としている。

Pen Shadow Haptics はディスプレイに表示する表示画像と、表示画像のオブジェクトの高さ情報を記録する Height Map 画像を手動で作成する必要があり、制作に時間がかかる課題がある (図 3)。Height Map 画像とは画像の輝度値が高さ情報に対応するグレースケール画像である。Height Map 画像が必要な理由は、オブジェクトの表面の凹凸に沿うようにタッチペンシルのバーチャルな影の形を計算しているからである。表示画像と Height Map 画像を作成するには、自作するか、Blender などの 3D ソフトでオブジェクトを作成し、オブジェクトの表面の見た目とグレースケール化された高さ情報を画像で出力する必要があった。

そこで、体験者が触れたいオブジェクトをテキストで入



図 1 Shadow Haptics Generator: 体験者が触れたいオブジェクトをテキストで入力することで、生成 AI が表示画像と Height Map 画像を作成し、タッチペンシルのバーチャルな影を用いてそのオブジェクトの凹凸に触れたような疑似触覚を提示するシステム。

<sup>1</sup> 明治大学 総合数理学部 先端メディアサイエンス学科

<sup>2</sup> 明治大学大学院 先端数理科学研究科  
先端メディアサイエンス専攻

a) ev220563@meiji.ac.jp

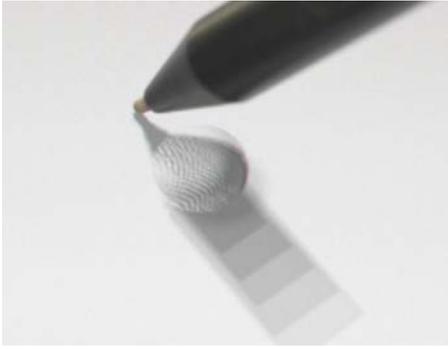


図 2 Pen Shadow Haptics: タッチペンのバーチャルな影が、凹凸に合わせて変形することで、疑似触覚を提示するシステム。

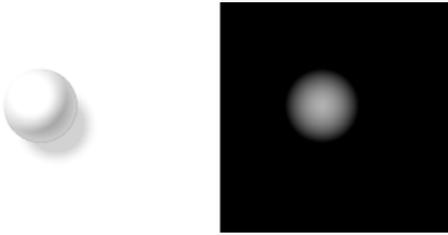


図 3 Pen Shadow Haptics における表示画像 (左) と Height Map 画像 (右)。3D ソフトで手動で生成したり、自作する必要があった。

力するだけで、生成 AI が表示画像と Height Map 画像を作成し、オブジェクトに触れたような疑似触覚を自動で提示するシステム Shadow Haptics Generator を提案する (図 1)。本研究は、生成 AI を活用することで疑似触覚コンテンツ制作のコストを削減し、筆記媒体の質感にとどまらず任意のオブジェクトの質感を提示可能にすることを目指す。図 4 は Shadow Haptics Generator によって生成されたコンテンツの一例である。Shadow Haptics Generator は特殊なディスプレイやアクチュエータを必要とせず、触覚の生成から体験までを一般的なタブレットや液晶タブレットで完結できる。

## 2. 関連研究

### 2.1 生成 AI を用いた物理的な触覚生成

静電振動ディスプレイやアクチュエータを用いた、物理的な触覚提示手法において、生成 AI によって触覚を作成する研究がされてきた。Cao らは、与えられた画像の「高さ」を示す Height Map と「滑りやすさ」を示す摩擦係数のスペクトログラムを生成し、これらを統合することで、ハプティックディスプレイ上でリアルな触感を提示するフレームワークを提案した [2]。Naeem らは、Stable Diffusion を用いて生成した画像から触覚属性 (粗さ・柔らかさ) を推定し、振動触覚信号を生成することで、テキスト入力に基づいたテクスチャ生成を実現した [3]。体験者はタッチペンシルに追加アクチュエータを取り付けて体験する。

これらの研究はリアリティのある触覚生成の効率化に大



図 4 Shadow Haptics Generator で作成した疑似触覚コンテンツの一例。

きく寄与しているが、高性能なハプティックディスプレイやアクチュエータを追加したタッチペンシルでの体験を前提としている。現在、普及している振動デバイスはスマートフォンやゲームコントローラーに搭載されているシンプルで簡易的なものであり、細かい振動表現は困難である。一方で、提案手法は視覚効果のみで触覚を提示するため、市販のタブレットとタッチペンシルのみで完結し、広く普及したデバイスで体験可能である。

### 2.2 疑似触覚を用いた質感表現

疑似触覚 (Pseudo-Haptics) とは、視覚的なフィードバックを操作することで、体験者に疑似的な力覚や触覚を知覚させる錯覚現象である [4]。疑似触覚の代表的な手法として、C/D 比 (Control/Display Ratio) の操作が挙げられる。C/D 比とは、物理的な入力デバイスの移動量 (Control) に対する、画面上のカーソルなどの操作対象の移動量 (Display) の比率を指す。例えば、マウスを一定速度で動かしているにもかかわらず画面上のカーソルが減速した場合 (C/D 比 < 1.0)、体験者は操作対象に「重さ」や「抵抗」を感じる。

疑似触覚は単なる重さの表現にとどまらず、対象物の表面形状や質感の表現へと応用されている。Watanabe らは、マウスカーソルが画像上の特定の領域を通過する際、カーソルの形を変形させたり、動きに振動を加えたりすることで、ザラザラとした粗さや摩擦感を提示する Visual Haptics を提案した [5]。さらに、Saigo らはタッチペンシルの影を変形させることで、疑似触覚を提示する Pen Shadow Haptics を提案した [1]。

これらの疑似触覚を実現するためには、表現したい触覚に応じてカーソルやバーチャルな影などの形や C/D 比をデザインする必要があり、実装に時間がかかる。一方で、

提案手法は生成 AI が作成した Height Map 画像をもとに自動的に疑似触覚デザインを行なっているため、人間が触覚をデザインする必要がない。これによって、体験者が求めた触覚をその場で実装し、体験することができる。

### 3. Shadow Haptics Generator

図 5 は Shadow Haptics Generator の処理の流れを示している。体験者は「Phase 1: インプット」で触りたいオブジェクトを入力し、生成 AI が「Phase 2: 画像生成」で表示画像と Height Map 画像を生成する。そして、体験者は「Phase 3: 疑似触覚提示」で、入力したオブジェクトの凹凸に触れたような疑似触覚を体験できる。

#### 3.1 Phase 1: インプット

体験者は表示されるテキストボックスに、触覚を得たい対象（例：「しわくちやの紙」「ごつごつの岩肌」など）を入力する。また、既存の画像をアップロードすることで、それに対する疑似触覚を生成することも可能である。

#### 3.2 Phase 2: 画像生成

体験者が入力したテキストに基づいて、2 枚の画像を生成する。まず体験者の入力に基づいたオブジェクトの画像（表示画像）を生成し、次にその画像に対応する高さ情報（Height Map）の生成を行う。画像生成には、Google の提供する Gemini API (gemini-3-pro-image-preview) を採用している。表示画像と Height Map 画像の生成時間の合計は平均 50.2 秒 (std=12.0, n=20) であった。

##### 3.2.1 表示画像の生成

体験者が「Phase 1: インプット」にて入力したオブジェクトの画像を生成する。例えば、体験者が「しわくちやの紙」と入力したら、図 6 左のような「しわくちやの紙」の画像を生成する。画像を生成するための具体的な指示を、入力されたテキストと合わせて API に送信する。具体的な指示にはパースによる歪みを防ぎ、Height Map 画像を生成しやすくするため、「80mm レンズの使用（歪みの少ない焦点距離）」「全体にピントを合わせる」「対象を正面から平行に捉える」といった条件を追加している。実際にシステム内部で使用したプロンプトを図 7 に示す。ただし、(prompt) には体験者が入力したテキストが代入され、(screenWidth) と (screenHeight) には、使用するタブレットのスクリーンの幅と高さの大きさが代入される。

```
1 (prompt) の画像を出力してください。
2 作成にあたっては、以下の条件を厳守してください。
3 ・(screenWidth)x(screenHeight) のサイズで出力してください。
4 ・フルサイズ一眼レフで、80mm のレンズを使用した写真にしてください。
5 ・ボケがなく全体にピントが合った画像にしてください。
6 ・オブジェクトが面の場合、面を正面から平行にとらえた画像にし、オブジェクトが面ではない場合、そのオブジェクトを画面の中央に配置してください。
7 ・オブジェクトは画面いっぱいに配置し、背景は映らないようにしてください。
```

図 7 表示画像の生成に使用したプロンプト

##### 3.2.2 Height Map 画像の生成

表示画像の生成が完了した後、その画像を再度 Gemini API に入力し、対応する Height Map 画像を生成する。Height Map 画像とは画像の輝度値が高さ情報に対応するグレースケール画像である。オブジェクトのそれぞれの位置に対し、高さが高いと白に近づき、低いと黒に近づき。例えば「しわくちやの紙」の表示画像に対しては、図 6 右のようなグレースケール画像が得られる。疑似触覚コンテンツの生成には表示画像と Height Map 画像のピクセルレベルでの整合性が不可欠であるため、プロンプトでは入力画像との位置合わせを厳密に行うよう強調している。実際にシステム内部で使用したプロンプトを図 8 に示す。

```
1 添付画像の Height Map 画像を作成してください。
2 作成にあたっては、以下の条件を厳守してください。
3 ・(screenWidth)x(screenHeight) のサイズで出力してください。
4 ・Height Map 画像とは、対象物の「高さ（隆起）」をグレースケールで表現した画像のことで。
5 ・輝度の定義：「黒」は最も低い位置（基準面・底面）を表し、「白」は最も高い位置（突起部・頂点）を表すようにマッピングしてください。
6 ・添付画像と Height Map 画像は、ピクセルレベルで座標・形状を完全に一致させてください。
```

図 8 Height Map 画像の生成に使用したプロンプト

#### 3.3 Phase 3: 疑似触覚提示

生成された 2 枚の画像をもとにタッチペンシルのバーチャルな影を変形させ、疑似触覚を提示する。スクリーンにはカーソルの代わりに、タッチペンシルのバーチャルな影が描画される。システムはタッチペンシルの「位置座標」「傾き」「傾きの方向」を取得し、バーチャルな影の大きさや角度を計算する。図 9 のように、自然な影と同じように、体験者がタッチペンシルを傾けたら、バーチャルな影も向

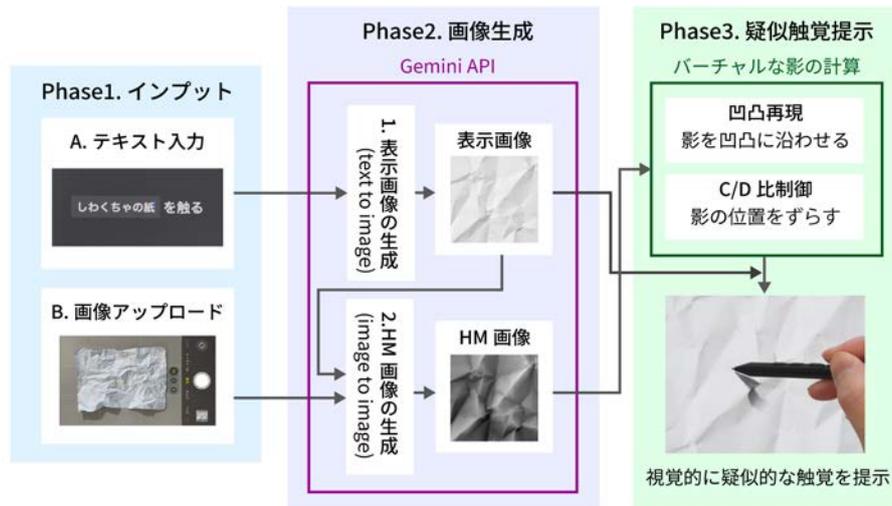


図 5 システム概要図。「インプット」「画像生成」「疑似触覚提示」の3つのフェーズで処理が行われる。HM 画像は Height Map 画像を意味する。

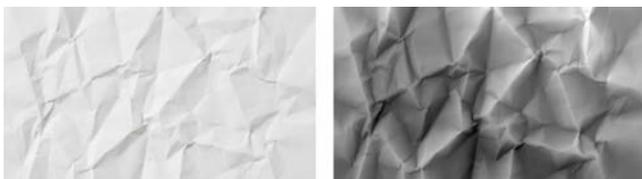


図 6 生成 AI によって作成された表示画像と Height Map の一例



図 9 自然な影と同じように、タッチペンシルの傾きに応じて、向きや大きさが変わるバーチャルな影。

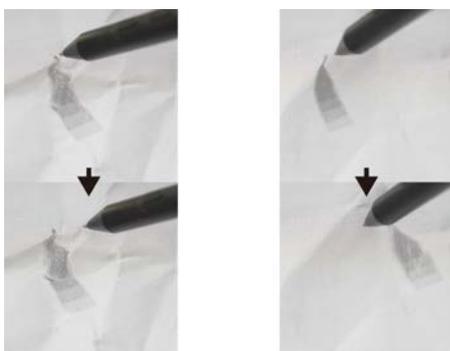


図 10 左：タッチペンシルの位置に急な上り坂があるためバーチャルな影は進行方向逆向きに移動している。右：タッチペンシルの位置に急な下り坂があるためバーチャルな影は加速しタッチペンシルを追い抜かしている。

きや大きさが変わる。このバーチャルな影を「凹凸再現」と「C/D 比」によって変形、移動させ、体験者に疑似触覚

を提示している。従来の Pen Shadow Haptics は凹凸再現のみだったが、提案手法は C/D 比制御も行うことで、より疑似触覚をより感じやすくなっている。

### 3.3.1 凹凸再現

生成したバーチャルな影を、オブジェクトの凹凸に沿うように変形させる。現実世界の影は、投影面に凹凸がある場合その凹凸に応じて変形して見える。この影の性質をタブレットで再現することで、タッチペンシルで凹凸をなぞる疑似触覚を体験者に提供している。具体的には、バーチャルな影を構成するそれぞれのピクセルの描画位置を、Height Map 画像の対応する高さ情報に基づいてずらしている。それぞれのピクセルに対し、Height Map の位置が高ければ変位量は多くなり、位置が低ければ変位量は少なくなる。

### 3.3.2 C/D 比

タッチペンシルの位置の Height Map の起伏が激しいとき、バーチャルな影の位置計算に C/D 比を適用している。つまり、急な上り坂や急な下り坂がある場合、体験者がその勾配を疑似的に知覚できるようにしている。C/D 比とは、物理的な入力デバイスの移動量 (Control) に対する、画面上のカーソルなどの操作対象の移動量 (Display) の比率を指す。今回は、タッチペンシルの移動量に対する、バーチャルな影の移動量の比率である。タッチペンシルの進行方向に急な上り坂があれば、バーチャルな影は進行方向逆に変位し (C/D 比 = -0.3, 図 10 左)、急な下り坂があればバーチャルな影は加速する (C/D 比 = 2.0, 図 10 右)。一般的に C/D 比が小さいと体験者に重さを知覚させ、C/D 比が大きいと軽さを知覚させることが分かっている [6]。また、C/D 比が小さいと上り坂を、C/D 比が大きくと下り坂を知覚させることもわかっている [7]。よって、体験者はオ

プロジェクト画像の勾配を疑似的に知覚することができる。

#### 4. おわりに

本論文では、生成 AI を用いた質感生成システム、Shadow Haptics Generator を提案した。Shadow Haptics Generator は生成 AI が疑似的な質感を作成し、一般的なタブレットなどで疑似触覚の体験ができるシステムである。本手法は触覚デザインの制作コストを大幅に削減し、あらゆる質感を疑似的に体験することができる。提案手法を EC サイトに導入すると、ユーザーは購入前に商品の質感を疑似体験でき、UX が向上する可能性がある。また、Height Map 画像の生成がリアルタイムでできれば、遠隔映像に対して、疑似触覚体験をすることが可能になり、没入感が向上する可能性がある。

今後は提示できる質感の幅を広げ、カーソルやバーチャルハンドでの疑似触覚へ応用していきたい。現時点では凹凸感の提示にとどまっているが、バーチャルな影や表示画像の変形を行うことで、やわらかさなども提示できる可能性がある。また、タッチペンシルの影ではなくカーソルやバーチャルハンドへ応用することで、より広いデバイスで疑似触覚を提示できる可能性がある。

#### 参考文献

- [1] 西郷利基, 森本浩輔, 渡邊恵太. Pen shadow haptics: ペンの影による疑似触覚提示システム. 情報処理学会インタラクシオン 2025. 情報処理学会, 2025.
- [2] Guanqun Cao, Jiaqi Jiang, Ningtao Mao, Danushka Bollegala, Min Li, and Shan Luo. Vis2hap: Vision-based haptic rendering by cross-modal generation, 2023.
- [3] Myrah Naeem, Mudassir Ibrahim Awan, and Seokhee Jeon. Text-driven generative framework for multi-modal visual and haptic texture synthesis. In *2025 IEEE World Haptics Conference (WHC)*, pp. 140–146, 2025.
- [4] Anatole Lécuyer, Sabine Coquillart, Abderrahmane Kheddar, Paul Richard, and Philippe Coiffet. Pseudo-haptic feedback: can isometric input devices simulate force feedback? *Proceedings IEEE Virtual Reality 2000 (Cat. No.00CB37048)*, pp. 83–90, 2000.
- [5] Keita Watanabe and Michiaki Yasumura. Visual-haptics: generating haptic sensation using only visual cues. In *Proceedings of the 2008 International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology, ACE '08*, p. 405, New York, NY, USA, 2008. Association for Computing Machinery.
- [6] Majed Samad, Elia Gatti, Anne Hermes, Hrvoje

Benko, and Cesare Parise. Pseudo-haptic weight: Changing the perceived weight of virtual objects by manipulating control-display ratio. In *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '19*, p. 1–13, New York, NY, USA, 2019. Association for Computing Machinery.

- [7] Anatole Lécuyer, Jean-Marie Burkhardt, and Laurent Etienne. Feeling bumps and holes without a haptic interface: the perception of pseudo-haptic textures. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '04*, p. 239–246, New York, NY, USA, 2004. Association for Computing Machinery.