

ShadoCookies: 視点位置に依存して情報切り替え可能なクッキー製造手法

山本 匠^{1,a)} Biyon Fernando² 雨坂宇宙¹ Anusha Withana² 杉浦裕太¹

概要: 本稿は、クッキー上に視点位置に依存して情報切り替え可能な見た目を作り出す手法を提案する。クッキー生地上に斜めから穴を空けることで、特定の角度からしか見えない影が生じる。これによってユーザの視点位置に応じて異なる見た目を作ることができる。システムはユーザが提示する画像を入力するソフトウェアと、実際にクッキー生地上に物理的に穴を空けるハードウェアから構成される。実験として、焼き時間や穴の深さ、方位角の変化によって調査した。さらに、実際に製作したクッキーとその使用例を示す。

1. はじめに

食は人間にとって必要不可欠なものである。社会的・文化的な慣習と関わりが深く、人間の喜びの一つになっている [1]。HCI 研究領域では食べ物に関する研究が多数行われ、Human Food Interaction(HFI) [2] と呼ばれている。HFI 研究領域の中では電気を用いた味覚提示 [3]、食べ物を通したコミュニケーション [4]、子供の食事のモチベーションを上げるためのゲーム [5] など、様々な側面から研究が行われている。

HFI の中で視覚的な要素を提示する研究は数多く行われており、視覚的な要素の提示により食体験を拡張することができる。例えば、食品の見た目 [6] や形状 [7] を変化させることで味覚に影響を与えることができ、この関係は感覚間相互作用 [8] と呼ばれている。また、食品の見た目を介して印象的な方法でデータを可視化することで、楽しみを与えることもできる [9]。このような研究は、エクササイズや食事のモチベーションの向上 [9], [10]、ユーザの行動変容への応用 [11] などが期待されている。

視覚提示をする手法としては、いくつかのアプローチが提案されている。まず、視覚的な情報を後から CG で足すアプローチである。HMD [10] やプロジェクタ [11] を用いて提示を行い、ユーザに対して効果を与えることができる。しかし、HMD を用いたシステムでは HMD を食事に着用する必要がある。さらにプロジェクタを用いた手法では、食卓におけるプロジェクタの設置が必要があり、家

庭で使用するのは実用的ではない。一方で、CNC [12] や 3D フードプリンタ [13], [14] などで食品自体に加工を施すアプローチも提案されている。このアプローチは、家庭での調理中、または食品の加工フェーズで使用することで、食事中においてはデバイスフリーでの提示が可能である。

本研究では、視点位置に依存して提示する視覚情報の切り替えが可能なクッキー製造手法を提案する。クッキー表面において、斜めに向いた穴を空けることで、穴内部に特定の視点位置のみから見える影が生じる。これにより、視点の方位角位置に応じて選択的に提示情報を切り替えることが可能である。システムは、画像を入力してパターンをデザインするソフトウェアと、クッキー生地上に穴を形成する 2D プロッタをベースとしたハードウェアから構成される。クッキー生地に対して穴を空け、その後焼くことによってクッキーが得られる。本稿ではこのシステムによって得られた結果に加えて、出力したクッキーの使用例 (1) について述べる。

本研究の貢献を以下に示す。

- クッキー上に視点依存の見た目を作り出すクッキー製造手法を提案した。
- クッキー上に表示するパターンをデザインするデザインツールと、クッキー表面に穴を空けるハードウェアを実装した。
- 提案手法を用いた結果と利用例を示した。

2. 関連研究

2.1 デジタルフードファブリケーション

3D プリンタやレーザカッターなどの技術を食品に導入する技術であるフードファブリケーション技術の研究は

¹ 慶應義塾大学

² The University of Sydney

^{a)} imuka06x17@keio.jp

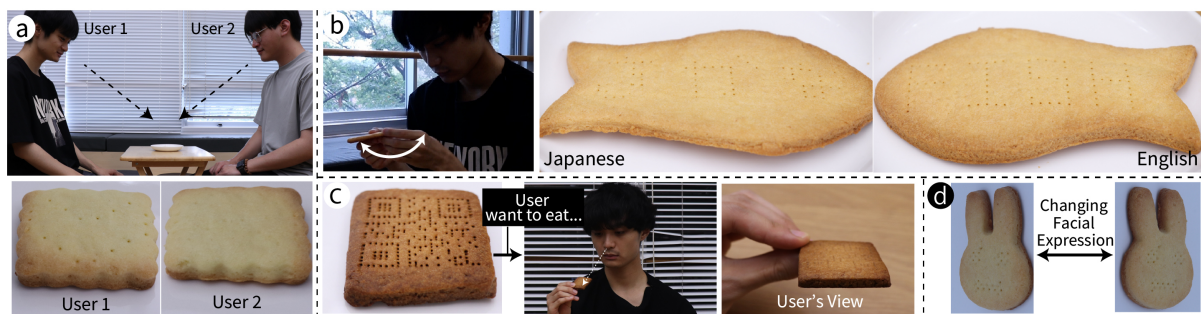


図 1 本研究の応用例. (a) 二人の人がクッキーを左右から見ており、一人の視点だけのみからハートを提示する. (b) ポキャブラリーカード (c) 片側からしか見えない QR コード. (d) 視点によってうさぎの表情を変えることができる.

数多く行われている。まず、近年発展が進む 3D フードプリンタを用いて食品をデザインする研究がある。宮武らは 3D フードプリンタを用いてホイップクリームでケーキをデコレーション [15]、およびフラワーゼリーを出力する技術 [14] を提案した。Foodfab [13] はクッキーの充填率を変化させること満足感を制御する 3D フードプリント技術である。Interiqr [16] は、クッキー内部に目立たないタグを埋め込む技術である。上記のような 3D フードプリント技術を用いて、出力後に形状を変化させるプリント技術である 4D フードプリント技術の研究 [17], [18], [19] も行われている。また、3D フードプリンタだけではなく、レーザーカッター [20], [21] や CNC 工作機 [12] を用いる手法、ユーザが手作業で食品を作ることを支援する手法 [22], [23], [24] も提案されている。

視点に応じて異なる見た目を有する食品を作る手法も提案されている。視点依存の見た目を作り出す原理として有名なレンチキュラレンズの原理を、透過性の高い食品である寒天 [25] やキャンディ [26] に適用する手法が提案されている。これらは視点に応じて選択的に見た目を変更することが可能であるが、透過性の低い食品に適用することは困難である。一方、山田 [27] は回折格子フィルムとレーザーカッターを用いて構造色を有する食品を出力する手法を提案した。この手法は透過性の低い食品への適用が可能であるが、選択的に発色の有無を変化させることはできないため、提示する情報を変更することは困難である。

本研究では、透過性の低いクッキー表面上において視点位置に応じて異なる情報提示が可能な手法を提案する。本手法では、山田らの手法では困難であった、選択的に情報を切り替えて提示することが可能である。

2.2 視点依存性を有する見た目の生成

実世界上に視点依存性を有する物体を出力する手法は古くから行われてきた。最も有名なものは凸レンズを用いることで視点に応じて異なる見た目を出力するレンチキュラレンズを用いる手法である。2D プリント技術の発展 [28], [29] に加え、最近では 3D プリンタを用いてレン

チキュラレンズを有する 3D オブジェクトを出力する手法 [30], [31] も提案されている。一方で、CG 領域ではレンチキュラレンズの原理とは異なる原理で視点位置性を持つ見た目を出力する手法が提案されている。櫻井ら [32] は、UV プリンタを用いた反射板を形成する手法を提案した。Pjanic ら [33] は、ハーフトーン印刷を用いて金属に対して異方性を有する見た目を生成する手法を提案した。Shen ら [34] は、金属に傷をつけることで反射アートを出力する手法を提案している。その他の手法として影を用いる手法も提案されている。SHADOWPIX [35] は、凹凸形状を 3D プリントすることで影を用いて光源位置に依存して提示画像を切り替える手法である。Peng ら [36] は影を用いてディレクショナルライトを点灯させたときに出力される 3D オブジェクトの出力技術を提案した。このようなオブジェクト自身に投影される影を用いてパターンを生成する手法は“self-shadowing”と呼ばれている [37]。

本手法では、クッキー上に視点依存の見た目を出力する手法を提案する。影を用いて切り替えを行う点で“self-shadowing”のアプローチであると考えられるが、上記と比べて食品に対して影を用いて情報を提示するという点が異なる。

2.3 実物体を用いた視覚情報提示

泡 [38], [39], [40] や水 [41], [42]、木の板 [43]、砂 [44]、植物 [45], [46], [47] など、実世界上の物体を用いた情報提示手法が提案されている。このような実世界上の素材の中には、芝生や毛を有する布など、視点や光源に依存して濃淡が変化する異方性を有する素材が存在しており、この性質を用いて情報提示する手法が提案されている [48], [49], [50]。視点に依存した見た目を作る例としては、山本と杉浦 [49] は、カーペットを用いた視点位置や光源位置に応じて提示画像を切り替える手法を提案した。

本研究はクッキー上に視点に依存して異なる情報を提示する手法を提案する。これらの手法とは実世界上の実物体を用いるという点で共通している。

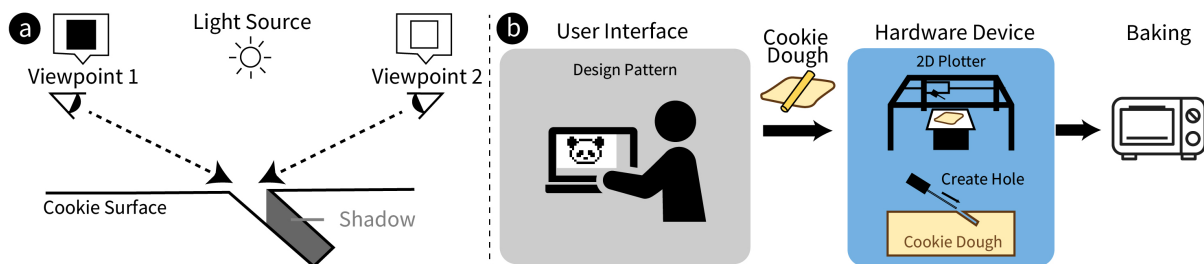


図 2 (a) 視点に依存した見た目を作り出す原理 (b) システムの概要。

3. 提案手法

3.1 原理

本研究では、視点に依存した見た目を作り出すために、クッキー上に穴構造を生成する手法を提案する。この原理について図 2 (a) に示す。クッキー生地表面上に斜めに向いた穴を空ける。視点 1 から見ると穴の中から影が見えるが、視点 2 から見ると影は見えない。こうして視点位置に応じて情報を切り替えることができる。

3.2 食品の種類の設定

本研究では、手始めにクッキー生地だけではなく、ケーキや焼菓子、アイスクリームなど多様な素材へこの技術を適用することを試みた。多様な食品を調査する中で、他の HCI 研究 [13], [16], [51] でよく使用されており比較的簡素な手順で作成可能なクッキーの生地を用いることで、この手法が容易に実施できることが分かった。実世界の食品は素材や粘性などの物理特性が多様であり、食品に対して穴を空けることで情報提示する手法を確立するには、初期の調査としては食品は統一するべきだと考え、本研究で扱う食品としてクッキーに着目する。以下、本研究で用いられるクッキーの生地は、小麦粉 240g、卵 50g、砂糖 80g、バター 100g を混ぜることで作成された。

3.3 システム

本研究で提案するクッキーの製造プロセスを図 2 (b) に示す。システムは見た目をデザインするデザインツールと、生地に対して針を刺し穴を形成するハードウェアデバイスから構成される。クッキー生地はハードウェアデバイス上に設置する前に、事前に厚さ 5mm に均一に広げられている。生地に対して穴を形成した後は、170 度に予熱されたオーブンをを用いて加熱された。以下ではデザインツールとハードウェアデバイスそれぞれについて詳説する。

3.3.1 デザインツール

デザインツール (図 3) は Processing を用いて実装された。はじめにユーザは切り替える画像の数 (1, 2, 4 枚のいずれか) と、それぞれの画像の解像度を入力する (図 3 (a))。次にユーザは指定して枚数のパターンを入力する。

パターンの入力には描画キャンバス上での描画、または既存の画像を入力することによって行う (図 3 (b))。ユーザは入力した画像の修正や確認が可能である。画像を入力した後は図 3 (c) に示すような確認画面が表示される。カメラのアイコンをクリックすることでそれぞれの視点からの見え方が再現できる。最後に送信ボタンをクリックすることで、画像データに応じたプロッタ位置の情報がハードウェアデバイスに送信できる。

本研究の原理では視点に応じて異なる画像を提示するために、クッキー表面上に視点位置に応じた向きの穴を、穴同士の重なりがないように空ける必要がある。クッキー上の穴の配置に関しては、2 枚の画像を提示する際は、1 枚目の画像のピクセルは奇数列、2 枚目の画像のピクセルは偶数列に配置される。アスペクト比を保つために、穴は行方向に対して奇数行のみに配置した。2 枚目の画像に対応する穴は 1 枚目の画像に対応する穴に対して 180 度回転した向きになっている。4 枚の画像を提示する際は、1 枚目の画像は奇数行奇数列、2 枚目の画像は偶数行奇数列、3 枚目の画像は偶数行偶数列、4 枚目の画像は奇数行偶数列に格納される。それぞれの穴は 90 度回転した向きで配置される。

3.3.2 ハードウェアデバイス

図 4 (a) に示す通り、ハードウェアデバイスは 2D プロッタをベースとして構成される。Makeblock XY Plotter robot kit をベースに作成し、Makeblock Orion と呼ばれるマイクロコントローラで制御される。このデバイスは、390 mm × 310 mm の範囲の任意の 2 次元平面上の位置に描画部を制御することができる。図 4 (b) に示す通り、プロッタデバイスの描画部はサーボモータとステッピングモータから構成される機構 (図 4 (c)) が付けられている。ステッピングモータは Z 軸周りにサーボモータと針から構成される機構を回転させる。この機構は、ラックピニオンの構造をしており、サーボモータの回転運動をバーの線形運動に変換させる。バーの先端には 0.6mm の針が付いており、この針をクッキー生地に挿すことで穴を形成する。針の地面に対する角度は 30 度に固定されている。

マイクロコントローラはソフトウェアツールから送信された位置を受け取り、描画部を所望の位置に動かし、サーボモータの回転によって穴を形成する。一枚目の画像に対

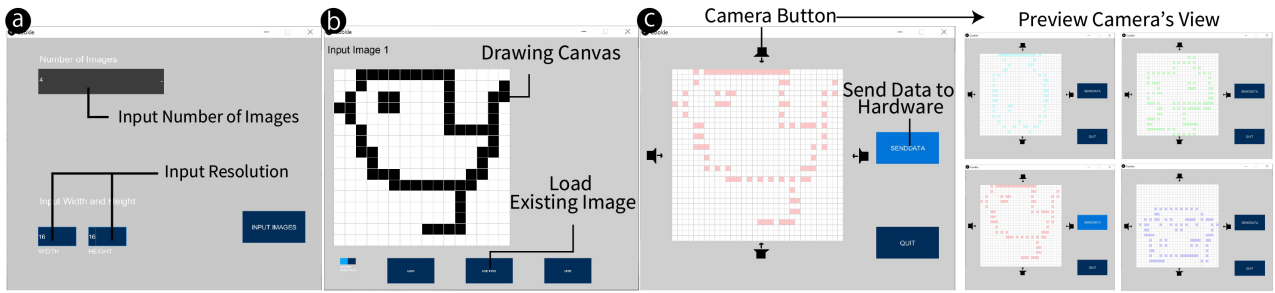


図 3 ソフトウェアツール. (a) 画像の枚数と解像度を入力する画面. (b) 画像を描画ツール, または既存の画像入力によって入力する画面. (c) 確認画面. ボタンを押すことでそれぞれの視点に対応した画像を確認できる.

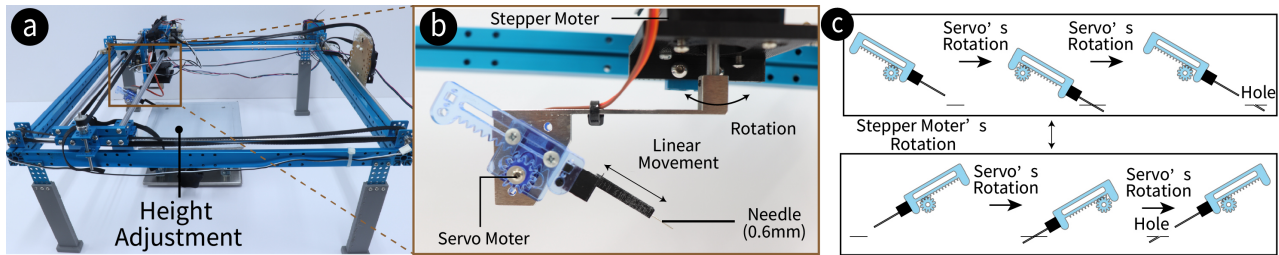


図 4 ハードウェアデバイス. (a) デバイスの外観. (b) 描画部. (c) 穴を形成する機構.

応する穴が形成した後, ステッピングモータを回転させることで針の方向を変えて二枚目の画像に対応する穴を形成する. これによって視点位置に依存した見た目を形成する.

また本システムには食品の高さを調整する機能はない. 針が食品に 90 度で接触するように食品の高さを手動で調整した後にシステムを使用している.

4. 実験

本章では, 見た目に影響を及ぼすパラメータの影響を調査した. これらのパラメータは以下の通りである.

- 穴の構造: 穴の構造を決めるパラメータは, 穴の地面に対する角度, 穴の直径, 形状, 深さである.
- 視点位置と光源位置: 光源位置の方位角と仰角, 視点位置の方位角と仰角の 4 変数である.
- 食べ物の種類: 色や粘度に代表される食べ物の物理的な特性は穴の見え方に影響を与える. 本研究では, 先述の通りクッキー生地に焦点を当てる.
- 焼き時間 (クッキーについて): 本研究では, クッキー生地に穴を空けて食べる前に焼く. 焼くことによってクッキーの生地膨らみ方や色の変化が生じる. 特に焼き時間によってクッキーの生地膨らみ方や色の変化が変わると考えられる.

本研究では以下のパラメータに焦点を当てて 3 種類の実験を行う.

- 穴の深さ: 穴の構造を決めるパラメータの中で穴の地面に対する角度, 形状, 直径はハードウェアデバイスの制約上固定されている. 本研究では穴の深さはサーボモータの角度によって変化させることができた

め, 穴の深さの変化の影響について調査する.

- 視点の方位角: 視点位置と光源位置を決定するパラメータは 4 変数あるが, これらの組み合わせを全て調査することは労力が大きい. 本研究では, 視点の方位角変化によって画像を切り替えるため, 最も重要なパラメータである視点の方位角について調査する.
- 焼き時間: 本研究で対象としたクッキーは焼き時間は見え方に影響を及ぼす. そこで焼き時間の影響について調査する.

4.1 実験環境・手順

以下で示す 3 つの実験は, 写真を撮影し, その写真から穴と穴以外の領域の輝度を計測し, そのコントラスト比を計算することで評価を行う.

4.1.1 撮影

実験を通して, クッキーのサイズは $5\text{cm} \times 5\text{cm}$, 厚みは 5mm に固定した. 撮影は暗室環境 (図 5 (a)) で実施された. 暗室中にはクッキーの真上に LED ライトを設置した. LED 光源が点灯していないときは 0.0lux , 点灯しているときは 64.5lux である. カメラとクッキーとの距離は約 40cm , クッキーと光源との距離は約 70cm に固定した. カメラの仰角は地面に対して 30 度に固定した. カメラとクッキーの穴と光の関係を図 5 (b) に示す. カメラの方位角は 0 度で穴の方を向いている. 実験 1 と 2 ではカメラの方位角は 0 度に固定され, 実験 3 ではカメラの方位角が移動した. 撮影には Canon EOS Kiss X9i を使用した. ハレーション防止のためカメラと LED 光源に PL フィルターを装着した. 撮影パラメータは, シャッタースピード

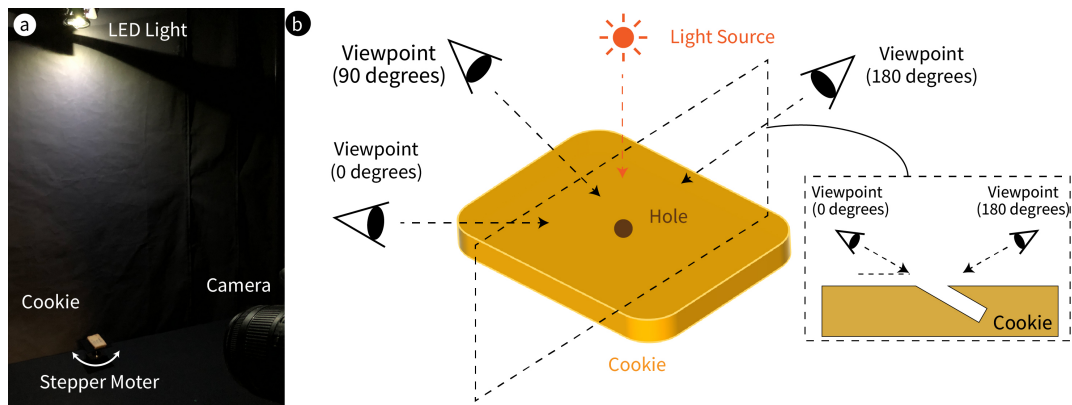


図 5 (a) 撮影環境. (b) 光源位置, カメラ位置, クッキーの穴の方向の座標系

が 2, F8.0, ISO100 に設定し, 画像は RAW データとして記録した.

4.1.2 コントラスト比の抽出

画像撮影後は PhotoShop 2023 に画像を取り込み, 手動で穴領域と, 穴領域以外のクッキー領域をクロップした. 輝度はクロップした領域の輝度を, Photoshop 内蔵の機能によって計測した. それぞれの輝度に対してクッキー上の非穴領域の輝度をクッキー上の穴領域の輝度で除算することでコントラスト比を抽出した.

4.2 実験 1: 焼き時間

実験 1 では焼き時間の影響について調査した. この実験の目的は, 焼き時間が穴のコントラストに対してどのような影響を与えるのかを調査することである.

システムを用いて, 9つの穴をクッキー生地上に形成した. 針が生地に接地した状態から 45度サーボモータを回転させることで穴を形成した. 穴を形成した後, 170度に予熱されたオーブンで焼き時間を 10, 11, 12, 13, 14分と変えて焼いた. 下限を 10分, 上限を 14分としたのは, 我々の予備的な調査ではそれ以上焼くとクッキーが焦げすぎてしまい味に苦味が生じ, それ以下にすると生焼けであったためである. クッキーを焼いた後, 9つの穴領域をそれぞれクロップし, それぞれの輝度を抽出した. 穴領域以外のクッキー領域の輝度を抽出し, それぞれのコントラスト比を抽出した.

結果を図 6 に示す. 図 6 (a) に示す通り, クッキー全体は焼き時間が長いほど, 全体が焦げて暗くなっている. 穴に関しても焼き時間が長いほど, エッジが鮮明になる. 図 6 (b) に計算されたコントラスト比を示す. コントラスト比は焼き時間が長くなれば大きくなる傾向になっている. 二次の多項式でフィッティングを行ったところ, 決定係数は 0.9162 であった.

4.3 実験 2: 穴の深さ

実験 2 では穴の深さの影響について調査した. この実験

の目的は, 穴の深さがコントラスト比にどのような影響を及ぼすのかを調査することである.

ハードウェアデバイスを用いることで, サーボモータの回転によって駆動する線形運動によって針をクッキー生地に入すことができる. そのため, 穴の深さはサーボモータの回転角度に依存する. 最初に生地の高さはサーボモータが 90度の際に針と生地が接触するように事前にキャリブレーションされる. この時の回転角度を 0度として, 0度から 90度の範囲で針を動かした. 穴は 0度, 15度, 30度, 45度, 60度, 75度, 90度にサーボモータを回転させて形成した. 各クッキーで 3つの穴を空けそれぞれのコントラストを導出した. 焼き時間は 12分に固定した.

焼く前の生地に形成された穴を図 7 (a), 焼いた後の生地に形成された穴を図 7 (b) に示す. 穴の深さが大きいほど, 穴が鮮明に見えるのが分かる. 図 7 (c) に導出したコントラスト比を示す. 2次の多項式によるフィッティングを行ったところ, 決定係数は 0.8811 であった. 深さが大きくなるにつれてコントラスト比は大きくなる傾向にあることが分かった.

4.4 実験 3: 視点の方位角依存性

実験 3 では方位角を変化させた際のコントラストへの影響に調査した. この実験では, 0度の際に穴が最も見える角度として 0度, 15度, 30度, 45度, 60度, 75度, 90度, 105度, 120度, 135度, 150度, 165度, 180度の異なる方位角から穴を空けたクッキーを焼き, それぞれの方位角でのコントラスト比を調査した. 穴の見え方には対称性があると考えているため, 180度から 360度の領域は調査せず, 0度から 180度を調査した. 輝度計測の過程で方位角が増えるにつれて, 影は変化し, 穴の位置を目視でクロップすることが困難であった. そこで, 穴領域のクロップの基準を設けるため, 穴領域をペンを用いてマークしこれを参考にしてクロップをした.

コントラスト計測の結果を図 7 (d) に示す. コントラストは 0度から離れていくにつれて小さくなっていった. 線

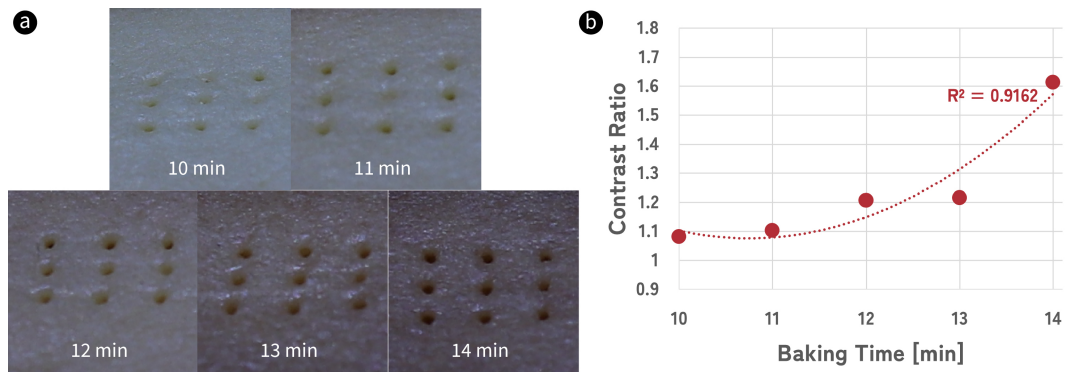


図 6 (a) 焼き時間とクッキーの見た目 (b) 焼き時間とコントラスト比の関係

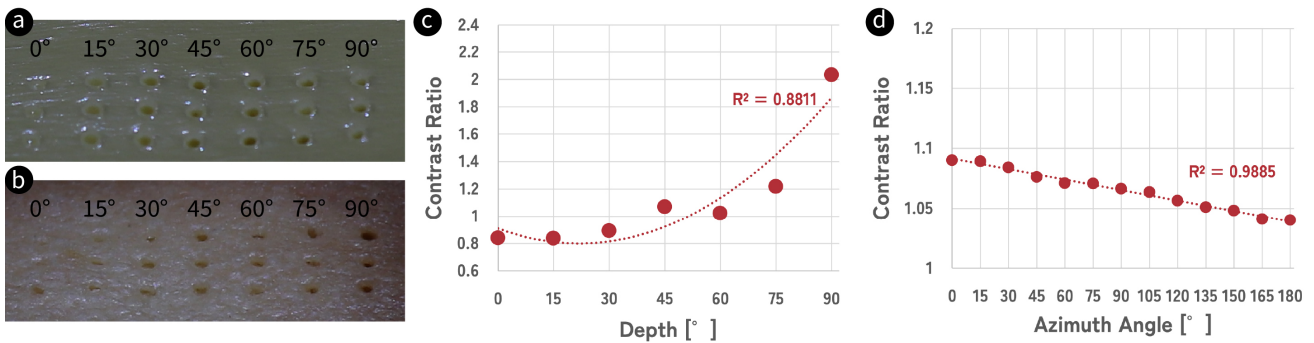


図 7 (a): 穴の深さと焼いた後のクッキーの見た目. (b): 穴の深さと焼いた後のクッキーの見た目. (c) 穴の深さ (サーボモータの角度) とコントラスト比の関係 (d) 方位角とコントラスト比の関係

形フィッティングを行ったところ、決定係数は 0.9885 であった。

5. 結果・利用シナリオ

本章では、実施に作成したクッキーについて示す。穴の深さを決めるサーボモータの回転角度は 45 度に固定した。結果を表す図 8 は、すべて撮影ボックス下で撮影された。

5.1 結果

2 枚の画像を切り替えた結果を図 8(a), (b), (c), (d) に示す。図 8 (a) はエクスクラメーションマークとクエスチョンマークを切り替えた例である。図 8 (b) はハートと星を切り替えた例である。図 8 (c) は晴れマークと雨のマークを切り替えた例である。図 8 (d) はパンダと魚のシルエットを切り替えた例である。提示画像は 180 度クッキーを回転させることで切り替えることができた。

図 8 (e) は 4 枚の画像を切り替えた例である。数字の 1, 2, 3, 4 を入力として切り替えるを試みたが、上手く画像が切り替わらなかった。

5.2 利用シナリオ

利用シナリオを図 1(a), (b), (c), (d) に示す。図 1(a) は、特定の方向からのみハートが見える例である。好意を特定の人間に対してのみ提示できたり、サプライズメッ

セージを伝えることが可能である。図 1(b) は、クッキーを用いたボキャブラリーカードである。片方の方向からは「さかな」と日本語で文字が見えるが、回転すると英語で「FISH」と見える。これによって子供などに対して英単語を楽しませながら覚えさせることができる。図 1 (c) は片方のみから見える QR コードである。食品の見た目は味に対して影響を及ぼす [8] とされ、食品上に QR コードが印字されていた場合は、味に対して良くない影響を及ぼすと考えられる。回転させて QR コードが見えない方向から食べることで、ユーザは味覚に対して影響を及ぼさずにクッキーを食べることを楽しむことができる。また、食べないときは QR コードが見える箇所から、賞味期限などの情報が分かる。図 1 (d) はウサギ型クッキーの顔が視点に依存して笑顔と渋い顔に切り替わる例である。

6. 議論と制約・今後の課題

6.1 原理における解像度の制約と改善策

本研究では、方向の異なる穴を配置することで視点依存の提示を実現している。これによってピクセル同士に間隔が空いてしまう。図 8(a), (b), (c), (d) では同一方向の穴同士の間隔を 3mm に固定、図 8 (e) では 4mm に固定したが、これ以上間隔を小さくすると、穴同士が接触してしまい穴が崩れてしまう。これは本研究の原理の大きな制約の一つである。これを改善するには、針の地面に対する角度

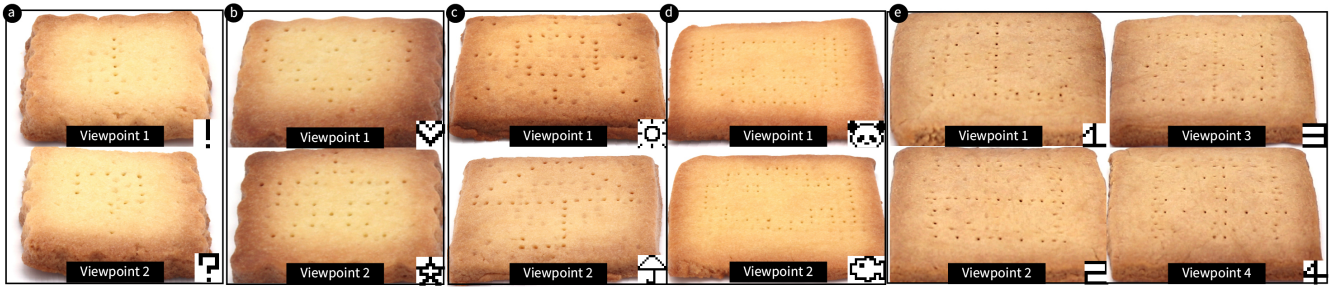


図 8 (a), (b), (c), (d): 2 枚の画像を切り替えた際の結果. (e): 4 枚の画像を切り替えた際の結果

をより大きくすることで改善する可能性がある。本研究のハードウェアデバイスは針の地面に対する角度は 30 度に固定されている。今後はこの角度を変更し、解像度の改善に取り組む。

6.2 食品の素材

本研究では、穴を空けた後でクッキーを焼くプロセスが必要である。本実験では各条件 1 枚のクッキーのみを使用して計測を行ったが、同じ焼き時間でも天板の位置によっては焼きムラが発生し、全てのクッキーを均等な焼き加減にすることが難しい可能性がある。今後は各条件のクッキーの枚数を増やし、より焼きムラを考慮した実験を実施する。

本研究では、食品素材としてクッキーに着目した。本研究で用いた原理に基づく視点依存提示手法は、適切な穴が形成できればクッキー以外の食品素材や食材にも適用できると考えられる。しかし、現在のシステムでは適切な柔らかさの素材にしか穴を開けることができない。他の食材を試してみたところ、図 9(a) に示すようにチーズなどにも穴を開けることができた。一方、豆腐やプリンでも穴を開けようとしたが柔らかすぎて穴が塞がれてしまった。現在のシステムにおいてどれだけ硬いものに対して穴を空けられるかは、サーボモータのトルクに依存している。ドリルのように回転して穴を開ける機構に変えれば、より硬い素材にも穴を開けられる可能性がある。今後は、現在のシステムでどのような素材に穴が開けられるかを調査するとともに、より幅広い素材に適用できる方法を検討していく。

6.3 視点の仰角とハードウェア

本研究では、視点の方位角によって画像を切り替えることができた。この技術は穴の方位角を変えることで実現しているが、方位角だけではなく穴の仰角を変えることで、視点の仰角に依存した画像を切り替えを実現できる可能性がある。本研究では使用したハードウェアデバイスでは穴の仰角方向を変えることはできないが、自由度の高いロボットアームを用いることで方位角方向に加えて仰角方向も穴の方向を変えることができる可能性がある。

6.4 光源位置

本研究で用いた方法は影を利用して情報を切り替えるため結果は照明環境の影響を受ける。今後、多様な照明環境の影響を調査する予定である。

6.5 穴の構造に関するパラメータ

穴の直径や形状、平面に対する角度は本研究で使用したハードウェアデバイスでは固定されている。これらのパラメータは穴の見た目に影響を与える可能性があるが、これらのパラメータは互いに影響し合っており、実世界でそれらの組み合わせを調査するのは手間がかかる。このような問題を解決する一つの方法として、穴の形状を再現するソフトウェアを使用することが考えられる。図 9(b), (c), (d) は Rhinoceros と Grasshopper を用いて実装したツールである。穴の深さ、大きさ、角度、入力画像の数、角度を指定し、画像を入力することで自動的に穴が作成され、その外観を確認することができる。現在は円形の穴形状しか実装できておらず、また、素材表面の色や反射特性を再現することはできていない。今後これらを再現することで、効率的なパラメータの調査が実現する予定である。

6.6 味覚体験への影響

本研究の実験 1 から焼き時間がコントラストに影響することが分かった。しかし焼き時間が長くなるほどクッキーは焦げてしまい、硬くなる。よって焼き時間の変化によってクッキーの味や食感が変化する可能性がある。また穴が開いていると、穴の開いていないクッキーと比べて食感が変化する可能性もある。これらの変化がユーザの味覚に対してどうかを検証するために、ユーザ実験を行う必要がある。

7. 結論

本研究では、穴の形成によりクッキー表面において視点に依存して異なる画像を提示する手法を提案した。画像を入力するソフトウェアと穴を形成するハードウェアから構成されるシステムを提案した。実際にクッキーに対して使用することで、視点に依存して異なる画像が提示できた。

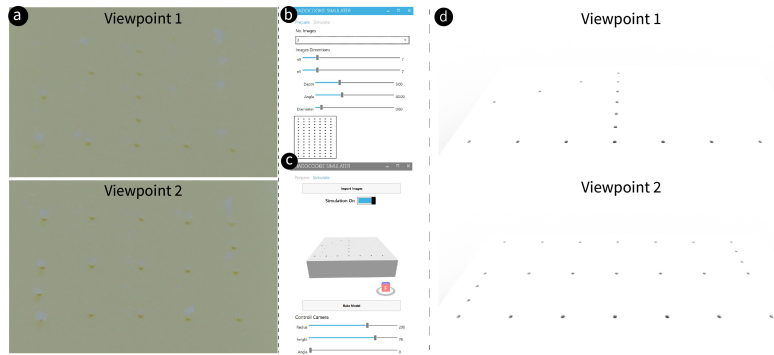


図9 (a): チーズに数字の「1」と「2」(解像度は 5×5)を描画したときの様子。(b), (c), (d): 穴の構造を調査するためのソフトウェアツール。(b) ユーザは画像の枚数と穴の角度などのパラメータを入力し穴の形状をデザインする。(c) 既存の画像を入力し、インタフェース上でシミュレーションした様子。(d) Rhino上で出力されたレイトレーシングの結果。

今後は、他の食品への適用可能性を調査していく。

謝辞 本研究の一部は、JST 次世代研究者挑戦的研究プログラム JPMJSP2123 の支援を受けたものです。

参考文献

- [1] Macht, M., Meiningner, J. and Roth, J.: The pleasures of eating: A qualitative analysis, *Journal of Happiness Studies*, Vol. 6, pp. 137–160 (2005).
- [2] Gayler, T., Sas, C. and Kalnikaitundefined, V.: Exploring the Design Space for Human-Food-Technology Interaction: An Approach from the Lens of Eating Experiences, *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.*, Vol. 29, No. 2 (online), DOI: 10.1145/3484439 (2022).
- [3] Nakamura, H. and Miyashita, H.: Augmented Gustation Using Electricity, *Proceedings of the 2nd Augmented Human International Conference*, AH '11, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, (online), DOI: 10.1145/1959826.1959860 (2011).
- [4] Gayler, T., Sas, C. and Kalnikaite, V.: Taste Your Emotions: An Exploration of the Relationship between Taste and Emotional Experience for HCI, *Proceedings of the 2019 on Designing Interactive Systems Conference*, DIS '19, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 1279–1291 (online), DOI: 10.1145/3322276.3322336 (2019).
- [5] Ganesh, S., Marshall, P., Rogers, Y. and O'Hara, K.: FoodWorks: Tackling Fussy Eating by Digitally Augmenting Children's Meals, *Proceedings of the 8th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Fun, Fast, Foundational*, NordiCHI '14, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 147–156 (online), DOI: 10.1145/2639189.2639225 (2014).
- [6] Nishizawa, M., Jiang, W. and Okajima, K.: Projective-AR System for Customizing the Appearance and Taste of Food, *Proceedings of the 2016 Workshop on Multimodal Virtual and Augmented Reality*, MVAR '16, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, (online), DOI: 10.1145/3001959.3001966 (2016).
- [7] Ogata, K., Gakumi, R., Hashimoto, A., Ushiku, Y. and Yoshida, S.: The influence of Bouba-and Kiki-like shape on perceived taste of chocolate pieces, *Frontiers in Psychology*, Vol. 14, p. 1170674 (2023).
- [8] Spence, C.: Crossmodal correspondences: A tutorial review, *Attention, Perception, & Psychophysics*, Vol. 73, pp. 971–995 (2011).
- [9] Khot, R. A., Aggarwal, D., Pennings, R., Hjorth, L. and Mueller, F. F.: EdiPulse: Investigating a Playful Approach to Self-monitoring through 3D Printed Chocolate Treats, *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '17, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 6593–6607 (online), DOI: 10.1145/3025453.3025980 (2017).
- [10] Narumi, T., Nishizaka, S., Kajinami, T., Tanikawa, T. and Hirose, M.: Augmented Reality Flavors: Gustatory Display Based on Edible Marker and Cross-Modal Interaction, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '11, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 93–102 (online), DOI: 10.1145/1978942.1978957 (2011).
- [11] Suzuki, Y., Narumi, T., Tanikawa, T. and Hirose, M.: Taste in Motion: The Effect of Projection Mapping of a Boiling Effect on Food Expectation, Food Perception, and Purchasing Behavior, *Frontiers in Computer Science*, Vol. 3, p. 662824 (2021).
- [12] Tao, Y., Do, Y., Yang, H., Lee, Y.-C., Wang, G., Mondoa, C., Cui, J., Wang, W. and Yao, L.: Morphlour: Personalized Flour-Based Morphing Food Induced by Dehydration or Hydration Method, *Proceedings of the 32nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '19, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 329–340 (online), DOI: 10.1145/3332165.3347949 (2019).
- [13] Lin, Y.-J., Pumpongsanon, P., Wen, X., Iwai, D., Sato, K., Obrist, M. and Mueller, S.: FoodFab: Creating Food Perception Illusions Using Food 3D Printing, *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '20, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 1–13 (online), DOI: 10.1145/3313831.3376421 (2020).
- [14] Miyatake, M., Narumi, K., Sekiya, Y. and Kawahara, Y.: Flower Jelly Printer: Slit Injection Printing for Parametrically Designed Flower Jelly, *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '21, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, (online), DOI: 10.1145/3411764.3445346 (2021).
- [15] Miyatake, M., Watanabe, A. and Kawahara, Y.: Interactive Cake Decoration with Whipped Cream, *Proceedings*

- of the 12th Workshop on Multimedia for Cooking and Eating Activities, CEA '20, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 7–11 (online), DOI: 10.1145/3379175.3391711 (2020).
- [16] Miyatake, Y., Pumpongson, P., Iwai, D. and Sato, K.: Interiq: Unobtrusive Edible Tags Using Food 3D Printing, *Proceedings of the 35th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '22, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, (online), DOI: 10.1145/3526113.3545669 (2022).
- [17] Patoliya, J., Vala, K., Makwana, M. and Moradiya, P.: Shape deformation/transformation in 4D printed food: A review (2023).
- [18] Wang, W., Yao, L., Zhang, T., Cheng, C.-Y., Levine, D. and Ishii, H.: Transformative Appetite: Shape-Changing Food Transforms from 2D to 3D by Water Interaction through Cooking, *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '17, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 6123–6132 (online), DOI: 10.1145/3025453.3026019 (2017).
- [19] Nishihara, Y. and Kakehi, Y.: Magashi: Fabrication of Shape-Changing Edible Structures by Extrusion-Based Printing and Baking, *Proceedings of the 13th Conference on Creativity and Cognition*, C&C '21, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, (online), DOI: 10.1145/3450741.3465388 (2021).
- [20] Fukuchi, K., Jo, K., Tomiyama, A. and Takao, S.: Laser Cooking: A Novel Culinary Technique for Dry Heating Using a Laser Cutter and Vision Technology, *Proceedings of the ACM Multimedia 2012 Workshop on Multimedia for Cooking and Eating Activities*, CEA '12, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 55–58 (online), DOI: 10.1145/2390776.2390788 (2012).
- [21] Henze, N., Olsson, T., Schneegass, S., Shirazi, A. S. and Väänänen-Vainio-Mattila, K.: Augmenting Food with Information, *Proceedings of the 14th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia*, MUM '15, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 258–266 (online), DOI: 10.1145/2836041.2836068 (2015).
- [22] Lee, B., Hong, J., Surh, J. and Saakes, D.: Ori-Mandu: Korean Dumpling into Whatever Shape You Want, *Proceedings of the 2017 Conference on Designing Interactive Systems*, DIS '17, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 929–941 (online), DOI: 10.1145/3064663.3064790 (2017).
- [23] Wang, H., Kanayama, H., Peng, Y., Yoshida, S., Xie, H., Okada, S. and Miyata, K.: Sketch2bento: Sketch-based arrangement guidance for lunch boxes, *2021 Nicograph International (NicoInt)*, IEEE, pp. 114–114 (2021).
- [24] Funahashi, Y., Omori, W., Yoshida, S., Peng, Y., Xie, H., Okada, S. and Miyata, K.: Sketch2Makizushi: Interactive Guidance System for Decorative Sushi Rolls with User Sketches, *2022 Nicograph International (NicoInt)*, IEEE, pp. 44–47 (2022).
- [25] Nomura, M. and Oku, H.: Edible lens made of agar, *Optical Review*, Vol. 27, No. 1, pp. 9–13 (2020).
- [26] Oku, H., Sato, M. and Funato, Y.: Edible Retroreflector Made of Candy, *IEEE Access*, Vol. 10, pp. 24749–24758 (online), DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3155603 (2022).
- [27] Yamada, W.: M&M: Molding and Melting Method Using a Replica Diffraction Grating Film and a Laser for Decorating Chocolate with Structural Color, *Adjunct Proceedings of the 35th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '22 Adjunct, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, (online), DOI: 10.1145/3526114.3558642 (2022).
- [28] Jonusauskas, L., Žukauskas, A., Danilevicius, P. and Malinauskas, M.: Fabrication, replication, and characterization of microlenses for optofluidic applications, *Advanced Fabrication Technologies for Micro/Nano Optics and Photonics VI* (von Freymann, G., Schoenfeld, W. V. and Rumpf, R. C., eds.), Vol. 8613, International Society for Optics and Photonics, SPIE, pp. 210 – 217 (online), DOI: 10.1117/12.2001061 (2013).
- [29] Alamán, J., Alicante, R., Peña, J. I. and Sánchez-Somolinos, C.: Inkjet Printing of Functional Materials for Optical and Photonic Applications, *Materials*, Vol. 9, No. 11 (online), DOI: 10.3390/ma9110910 (2016).
- [30] Zeng, J., Deng, H., Zhu, Y., Wessely, M., Kilian, A. and Mueller, S.: Lenticular Objects: 3D Printed Objects with Lenticular Lens Surfaces That Can Change Their Appearance Depending on the Viewpoint, *The 34th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '21, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 1184–1196 (online), DOI: 10.1145/3472749.3474815 (2021).
- [31] Brunton, A., Arikan, C. A., Tanksale, T. M. and Urban, P.: 3D Printing Spatially Varying Color and Translucency, *ACM Trans. Graph.*, Vol. 37, No. 4 (online), DOI: 10.1145/3197517.3201349 (2018).
- [32] Sakurai, K., Dobashi, Y., Iwasaki, K. and Nishita, T.: Fabricating Reflectors for Displaying Multiple Images, *ACM Trans. Graph.*, Vol. 37, No. 4 (online), DOI: 10.1145/3197517.3201400 (2018).
- [33] Pjanic, P. and Hersch, R. D.: Color Changing Effects with Anisotropic Halftone Prints on Metal, *ACM Trans. Graph.*, Vol. 34, No. 6 (online), DOI: 10.1145/2816795.2818083 (2015).
- [34] SHEN, P., LI, R., WANG, B. and LIU, L.: Scratch-based Reflection Art via Differentiable Rendering, *ACM Trans. Graph.*, Vol. 42, No. 4 (2023).
- [35] Bermanno, A., Baran, I., Alexa, M. and Matusk, W.: ShadowPix: Multiple Images from Self Shadowing, *Comput. Graph. Forum*, Vol. 31, No. 2pt3, p. 593–602 (online), DOI: 10.1111/j.1467-8659.2012.03038.x (2012).
- [36] Peng, H., Liu, P., Lu, L., Sharf, A., Liu, L., Lischinski, D. and Chen, B.: Fabricable Unobtrusive 3D-QR-Codes with Directional Light, *Computer Graphics Forum*, (online), DOI: 10.1111/cgf.14065 (2020).
- [37] Wu, K., Fu, X.-M., Chen, R. and Liu, L.: Survey on computational 3D visual optical art design, *Visual Computing for Industry, Biomedicine, and Art*, Vol. 5, No. 1, pp. 1–31 (2022).
- [38] Ishii, A. and Siio, I.: BubBowl: Display Vessel Using Electrolysis Bubbles in Drinkable Beverages, *Proceedings of the 32nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '19, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 619–623 (online), DOI: 10.1145/3332165.3347923 (2019).
- [39] Sareen, H., Fu, Y., Boulahcen, N. and Kakehi, Y.: BubbleTex: Designing Heterogenous Wettable Areas for Carbonation Bubble Patterns on Surfaces, *Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '23, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, (online), DOI: 10.1145/3544548.3581030 (2023).
- [40] Ishii, A., Ikematsu, K. and Siio, I.: Electrolysis Ion Display on Wet Surfaces, *Adjunct Proceedings of the 33rd*

Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '20 Adjunct, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 19–21 (online), DOI: 10.1145/3379350.3416172 (2020).

- [41] Tsujimoto, Y., Itoh, Y. and Onoye, T.: Ketsuro-Graffiti: An Interactive Display with Water Condensation, *Proceedings of the 2016 ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces*, ISS '16, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 49–55 (online), DOI: 10.1145/2992154.2992159 (2016).
- [42] Nagafuchi, R., Matoba, Y., Ikematsu, K., Ishii, A., Kawahara, Y. and Siio, I.: Polka: A Water-Jet Printer for Painting on the Grounds, *Proceedings of the International Conference on Advanced Visual Interfaces*, AVI '20, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, (online), DOI: 10.1145/3399715.3399817 (2020).
- [43] Rozin, D.: Wooden Mirror, <https://www.smoothware.com/danny/woodenmirror.html> (1999). (Accessed on 06/27/2023).
- [44] : beachbot.ch, <http://www.beachbot.ch/> (2015). (Accessed on 06/27/2023).
- [45] Kimura, T. and Kakehi, Y.: MOSS-Xels: Slow Changing Pixels Using the Shape of *Racomitrium Canescens*, *ACM SIGGRAPH 2014 Posters*, SIGGRAPH '14, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, (online), DOI: 10.1145/2614217.2630572 (2014).
- [46] Gentile, V., Sorce, S., Elhart, I. and Milazzo, F.: Plantxel: Towards a Plant-Based Controllable Display, *Proceedings of the 7th ACM International Symposium on Pervasive Displays*, PerDis '18, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, (online), DOI: 10.1145/3205873.3205888 (2018).
- [47] Tanaka, K., Kato, Y., Mizuno, A., Mikawa, M. and Fujisawa, M.: Dynamic grass color scale display technique based on grass length for green landscape-friendly animation display, *Scientific Reports*, Vol. 13, No. 1, p. 260 (2023).
- [48] Sugiura, Y., Toda, K., Hoshi, T., Kamiyama, Y., Igarashi, T. and Inami, M.: Graffiti Fur: Turning Your Carpet into a Computer Display, *Proceedings of the 27th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '14, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 149–156 (online), DOI: 10.1145/2642918.2647370 (2014).
- [49] Yamamoto, T. and Sugiura, Y.: Turning carpets into multi-image switchable displays, *Computers & Graphics*, Vol. 111, pp. 190–198 (online), DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cag.2023.02.005> (2023).
- [50] Sugiura, Y., Toda, K., Kikuchi, T., Hoshi, T., Kamiyama, Y., Igarashi, T. and Inami, m.: Grassffiti: Drawing Method to Produce Large-Scale Pictures on Conventional Grass Fields, *Proceedings of the Eleventh International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, TEI '17, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 413–417 (online), DOI: 10.1145/3024969.3025067 (2017).
- [51] Narumi, T., Nishizaka, S., Kajinami, T., Tanikawa, T. and Hirose, M.: Meta cookie+: an illusion-based gustatory display, *Virtual and Mixed Reality-New Trends: International Conference, Virtual and Mixed Reality 2011, Held as Part of HCI International 2011, Orlando, FL, USA, July 9-14, 2011, Proceedings, Part I 4*, Springer, pp. 260–269 (2011).