

Dishplay：シリアルの磁気応答を利用した可食ディスプレイシステム

大津 陽翔* 山本 匠* 杉浦 裕太*

概要. 本稿では、鉄分強化シリアルを用いた可食ディスプレイシステム「Dishplay」を提案する。鉄分強化シリアルは磁気応答性を有しており、磁石に引き付けられる。この性質を利用した情報ディスプレイとして、永久磁石を土台に配置することでパターン表示する静的なディスプレイ、リニアアクチュエータアレイを用いて磁石を上下させることによる動的ディスプレイを実装した。提案手法に関して、シリアル量や液体の種類・量、時間経過などが表示精度に与える影響やパターン遷移に要する時間を調査した。システムの応用例として、祝祭的なメッセージの提示や実用シナリオについて議論した。

1 はじめに

HCI 研究では、食体験をより豊かにすることを目的として、食品をメディアとして活用する研究が行われている [7]。これらの研究は、視覚や聴覚、さらには触覚などの多様なモダリティを活用することで、食体験をインタラクティブな体験へと拡張してきた [6]。中でも、視覚提示は、食品の見た目を変化させることで味覚に影響を与える [22]、データを可視化することでエクササイズなどのモチベーションを向上させる [17] などの例が提案されている。

より多様な視覚情報を食卓に重畳する方法として、プロジェクション技術が注目されている。プロジェクション技術は、食品や食器の表面に映像を付与できるという利点を有し、例えば、子どもの食習慣の改善などに利用されている [5, 31]。しかし、照明条件に制約されるほか、食品自体の動的な視覚的变化を直接的に生じさせるものではない。

食品そのものを情報提示媒体として視覚的变化させる研究も行われている。例えば、レンチキュラ効果を持つ寒天 [29] や、光の当て方によって模様が変化するクッキー [28] などが提案されている。しかし、依然として表現力や制御性に制限がある。

本研究では、鉄分強化シリアルを用いたディスプレイを提案する。市販の鉄分強化シリアルに含まれる金属鉄の磁気応答性に着目し、液体中のシリアル片を磁場により動かすことで、食品自体を動的な視覚ディスプレイとして機能させる (図 1)。本研究ではリニアアクチュエータアレイを用いた動的ディスプレイと永久磁石を手動で配置する静的ディスプレイの 2 つを実装した。加えて、液体の種類などの要素が表示精度に与える影響と、パターン遷移に必要な時間について調査した。

本稿の貢献は、(1) 市販食品に含まれる鉄を活用した動的な可食ディスプレイ手法の提案、(2) 表示

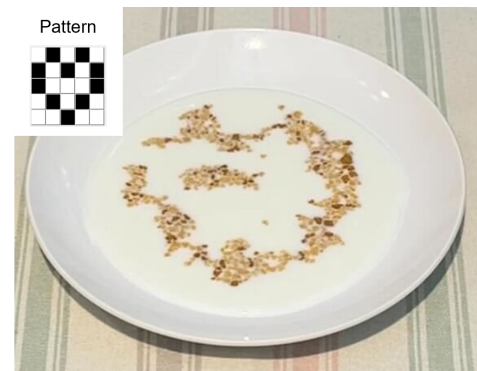


図 1. ターゲットパターン (左) と、Dishplay によって生成された実際のパターン (右)。

品質やパターン遷移に必要な時間に影響を与える要因の知見の報告、(3) 本手法の制御可能性と表現力の観点から整理した今後の課題の提示、となる。

2 関連研究

2.1 Human-Food Interaction (HFI)

近年、食に関するインタラクションを探索する HFI 研究が拡大している。従来、食事は単に消費される対象として扱われてきたが、HFI の文脈では、食を用いたインタラクションの設計が行われている。例えば、3D プリンティングによる食品の構造制御 [12, 19, 20, 23]、動く食品の開発 [25, 4]、音響出力 [3, 26] や振動 [2]、光 [1]、AR・VR [27, 21] を用いた体験拡張、食べられるセンサの提案 [16] など、多様なアプローチで研究が進められている。

2.2 食品への視覚提示

HFI におけるアプローチのひとつに、視覚提示を用いた手法がある。これは大きく「プロジェクションを用いた手法」と「食品自体を利用する手法」に分けられる。

プロジェクタを用いて食事環境や食品表面に映像を重ねる研究は多数存在する [32]. 特に、動きを伴う視覚的な演出によって食体験の拡張を図る研究が進められている. 例えば、食事のプロセスをゲーム化することで子どもの食習慣を改善する研究がある. 例えば、FoodWorks は、野菜が食べられるとお皿の上に報酬のバッジを投影し [5], FunEat は、アニメーションを通じて偏食の改善を促す. [31]. また、味覚の知覚に影響を与えるため、動的な視覚提示を行う研究も行われている. Suzuki らは、カレーに「ぐつぐつと煮える」映像を投影し、食欲や塩味の知覚を増強させる効果を報告した [24]. Huisman らは、ヨーグルトの周囲に投影する映像が、酸味の評価に影響を与えることを見出している [9].

これに対して、食品自体の物理的特性を活かして視覚的变化を実現する研究も存在する. Yoshimoto らは、透明なゼリーをレンチキュラーレンズ状に加工し、視点に応じて始点に応じて異なる情報を提示する手法を提案した [29, 30]. Yamamoto らは、クッキー生地特定の角度で微細な穴をあけ、焼成後の凹凸が作り出す影によって視点依存の像を形成する手法を提案した [28]. さらに、液体そのものを表示媒体とする研究も行われている. Ishii と Shiio は、電気分解を用いて発生する泡の集合体を制御し、ディスプレイとして活用する手法を提案した [15]. 同氏らはこの技術を発展させ、泡による高解像度なグレースケール表示を実現している [13]. 加えて、電気分解で生じるイオンと指示薬の化学反応による発色を利用し、食品表面などに直接カラーパターンを描画する手法も提案している [14].

本稿の提案は、市販化された食品素材そのものを活用した可食ディスプレイとなり、動的にパターンの変更が可能となる.

2.3 食品への鉄分添加に関する動向

食品への鉄分添加（鉄強化）は、世界的な鉄欠乏症対策として重要な役割を担っている. 一般的な食品に含まれる鉄は、動物性食品由来のヘム鉄と、植物性食品や多くの強化食品に用いられる非ヘム鉄に大別される [8, 11]. これらは人の体内で吸収されるが、強い磁気応答性を示さないため、外部磁場による操作には不向きである. 一方、シリアルのような乾燥・長期保存が求められる食品では、金属鉄である還元鉄が利用されている. 還元鉄は、味や色への影響が少なく安定性が高い上に、製造コストが比較的低い利点から、強化成分として使用される [10, 18].

3 Display

3.1 原理

関連研究で述べた還元鉄は、他の鉄化合物と異なり、特有の物理的特性を持つ. 還元鉄は酸化や錯形

成をしていない金属鉄粒子であり、強磁性や常磁性を保持しているため、外部磁場に対して可視的に応答することができる.

本研究では、1 g あたり 0.46 mg の還元鉄を含有する General Mills Multi Grain Cheerios¹ を材料として選択した. 予備実験の結果、シリアルを細かく粉碎することで、金属鉄粒子の表面積が増加し、磁場への応答性が大きく向上することが確認された. さらに、液中での沈降を防ぐため、粉碎後のシリアル粉末をふるいにかけ、極端に微細な粒子を除去して使用した. 粉碎後の粒子の大きさは一辺 1.0 mm から 7.6 mm 程度である. 磁石は、円柱型のネオジウム磁石（直径 12 mm、高さ 3 mm、磁束密度約 89.74 mT）を用いて、静的ディスプレイと動的ディスプレイの2つを実装した. また PET 樹脂素材の皿²を使用し、80 ml, 120 ml, 160 ml の水を入れた時の皿が置かれた面からの高さは 10.6 mm, 12.3 mm, 13.8 mm である.

3.2 静的ディスプレイ

静的ディスプレイシステムは、あらかじめ磁石を固定配置し、鉄分強化シリアルの粉砕片を磁力で吸着させることで、パターンを表示する構造である. 静的システムは小型で複製や準備が容易かつ低コストであるため、簡便な食材ディスプレイとして有用である. 5 × 5 のマトリクスに対応した薄型土台を 3D プリントにより製作し、ネオジウム磁石を任意のセル（一辺 21 mm）に配置可能とした. これにより、磁石の位置にシリアル片が吸着し、任意の静的パターンを形成できる.

3.3 動的ディスプレイ

動的ディスプレイは、25 個のリニアアクチュエータによって各磁石の高さを個別に制御し、液体表面に浮遊するシリアル片を動的に操作する. 本システムは、パターン入力用の GUI（図 2（A））と、ハードウェア機構（図 2（B））から構成されている. ユーザは GUI 上の 5 × 5 のグリッド形式で表示パターンを入力でき、表示状態を切り替えることが可能である. さらに複数のパターンをラベル管理し、選択・編集が可能である. 作成したパターンは「Send to Arduino」ボタンを押すことでシリアル通信でハードウェアへ送信される. これにより、液体の中で鉄分強化シリアルを用いたパターン表示が可能となる（図 2（C））.

制御系は Arduino Uno を用いて実装した. Arduino はシリアル通信でグリッドデータを受信し、I2C プロトコルを介して各モータへ制御信号を送信する. 25 台のサーボアクチュエータは PCA9685 PWM ドライバによって同時に駆動されており、それ

¹ <https://amzn.asia/d/6VZF5A>

² <https://www.nitori-net.jp/ec/product/8961864>

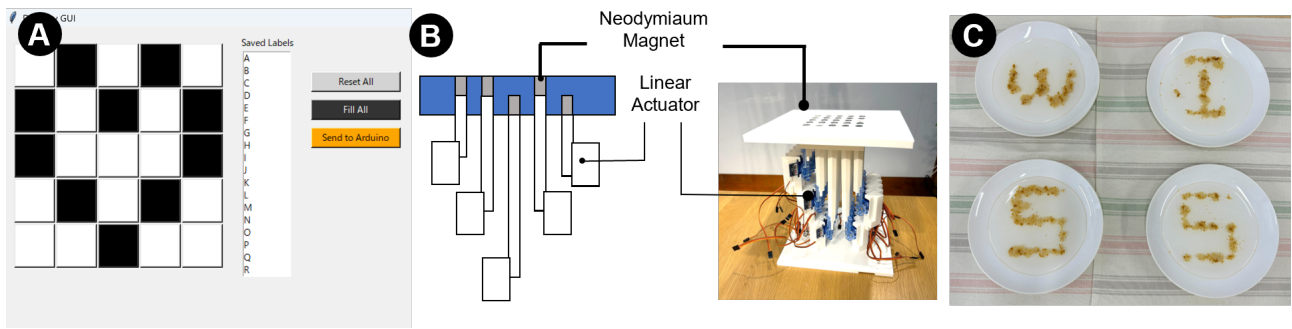


図 2. (A) パターンデザインの GUI, (B) ハードウェア構造, (C) パターン「WISS」

それぞれがグリッドの1セルに対応している。PCA9685は安定化された外部電源（MCH-K3010D）から給電され、Arduino本体はホストPCのUSB給電により動作している。

モーターに関しては、Kitronik Linear Actuator Kitsを利用した。このキットはサーボモータとラック・ピニオン機構が含まれており、サーボモータはラック・ピニオン機構を介してサーボモータの回転運動を直線運動に変換することができる。その先端にはネオジム磁石5つ（高さ $3 \times 5 = 15$ mm）を装着している。25個のKitronik Linear Actuator Kitsを 5×5 の格子状に配置している。この磁石が上下動することで、液体表面に浮かぶ粉碎した鉄分強化シリアル片を磁力で局所的に操作し、動的なパターン形成を実現している。セルの寸法は一辺21 mm、装置全体の高さは約一辺300 mmの卓上設計で実現している。各アクチュエータは3Dプリントで作られた凹凸構造を活かした組み合わせ設計であるフレームで垂直方向に固定されている。

4 表示精度の調査

4.1 手順

水やシリアル量の量などの表現に影響を与える可能性のあるパラメータを変更し、撮影した画像を用いてディスプレイとしての精度を評価した。これにより、各パラメータが表示精度に与える影響を定量的に把握することを目的とした。評価対象として、 5×5 の白いマス目からなるハート形のパターン（図3（C））を作成し、このパターンをDishplayの静的ディスプレイシステムによって再現した。

比較するパラメータには以下の7つを採用し、ベースライン条件から1因子ずつ変更して実験を行い、条件ごとに5回行った。ベースライン条件は以下の因子のうち太字の通り設定した。

- シリアル散布後の撮影までの待機時間（**1分**, 3分, 5分）
- 液体添加量（80 ml, **120 ml**, 160 ml）

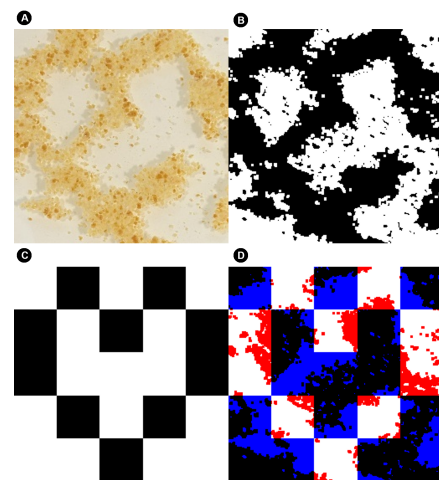


図 3. (A) リサイズされた撮影画像 (B) 前処理後の撮影画像 (C) 比較するターゲット画像 (D) 類似度の視覚化（白：両方白、黒：両方黒、赤：ターゲット黒・撮影白、青：ターゲット白・撮影黒）

- シリアル投入量（0.5 g, **1.0 g**, 1.5 g）
- シリアル散布方法（**均一散布**, イラストに沿った散布）
- 外部振動の有無（**なし**, 指による机への振動操作）
- シリアルの浸漬時間（**0分**, 15分）
- 液体種類（**水**, 牛乳）

ディスプレイ再現後、撮影条件（照明、距離、角度）は全実験で統一し、上方からiPhone14で撮影した。

撮影した画像は比較しやすいように以下の前処理を行った。まず、画像サイズを 500×500 ピクセルに統一した（図3（A））。次に、局所的なコントラスト強調（CLAHE: Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization）を適用した。局所的な明暗差により黒・白の境界が不明瞭になる部分に対し、

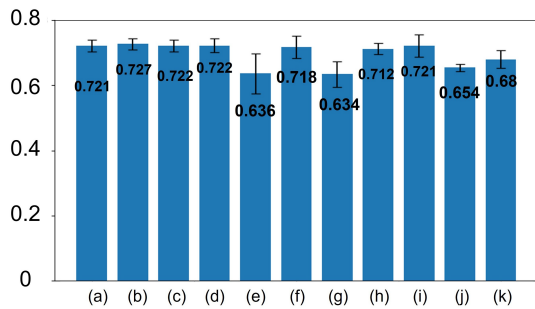


図 4. 各パラメータにおける類似度の平均と標準偏差.
(a) ベースライン, (b) 待機時間 3 分, (c) 待機時間 5 分, (d) 液体量 80ml, (e) 液体量 160ml, (f) シリアル量 0.5g, (g) シリアル量 1.5g, (h) イラストに沿った散布, (i) 指による振動 (j) 浸漬時間 15 分, (k) 牛乳.

暗い領域や明るい領域のディテールが強調され、ターゲットパターンの黒塗り部分と白背景の判別が容易になる。さらに、コントラスト強調後のグレースケール画像に対して、Otsu 法による自動二値化を適用した。Otsu 法は、画像のヒストグラムを基に自動で閾値を算出し、ピクセルを黒 (0) または白 (255) に分類する手法である。最後に、二値化により生じる小さなノイズや点状の誤判定を除去するため、モルフォロジー処理の「開運動態 (opening)」を適用した (図 3 (B))。

撮影画像の再現精度を定量化するために、類似度 (黒・白両方を含む一致率) を指標として用いた (図 3 (D))。類似度は、ターゲットパターンと再現画像の各ピクセルについて一致した場合を 1、不一致の場合を 0 として集計し、全ピクセル数で割った値として定義される。さらに、画像を 5×5 のセルに分割し、セル単位で類似度を算出した。このセル単位類似度をヒートマップとして可視化することで、パターンのどの領域が高精度で再現されているかを直感的に把握することが可能となる。

4.2 結果・考察

各パラメータの全体類似度の平均と標準偏差を図 4 に、セルごとの類似度の平均のヒートマップを図 5 に示す。

4.2.1 ベースライン

類似度の平均は 0.721、標準偏差は 0.018 となった。他の条件と比較しても高くかつ安定した精度が得られており、その結果、本実験におけるパラメータ設定の工夫が有意に反映されていない可能性が示唆される。この結果は、サンプル数の少なさによりベースラインの性能が過大評価されたか、あるいは本手法においては類似度が概ね 0.72 付近で頭打ち

となる傾向があるのか、さらなる検討を要する。

4.2.2 待機時間

シリアルを散布してから撮影までの待機時間を 3 分および 5 分に延長した結果、ベースラインと比較して類似度および標準偏差に顕著な変化は見られなかった。当初は、磁石からの引力を長時間受け続けることでシリアルがよりパターンに沿うと想定していたが、結果は異なった。この要因として、ベースラインの精度が既に高いこと、あるいは本実験における評価手法が適切でなかった可能性が考えられる。なお、類似度指標では差異が確認されなかったものの、実験者による目視観察では、撮影までの待機時間を延長することで再現されるパターンがより精緻化されていく傾向がわずかに感じられた。

4.2.3 液体量

液体量を 80 ml に減少させた場合、ベースラインと比較して類似度および標準偏差に顕著な変化は見られなかった。当初は、液体量が減少することでシリアルと磁石との距離が短縮され、クーロンの法則に基づき磁力が強まると想定され、精度の向上が期待されたが、結果は異なった。この要因については、待機時間の検討で考察した内容と同様の可能性が示唆される。さらに、ヒートマップにおいても類似した傾向が見られたことから、同様の要因が作用したと考えられる。

液体量を 160 ml に増加させた場合は、ベースラインと比較して類似度が低下し、標準偏差が増加した。これは、クーロンの法則に基づきシリアルが磁石から受ける磁力が弱まったためであると推察される。また、標準偏差が大きくなったことから、再現性の低下も確認された。なお、類似度は 0.636 と必ずしも低い値ではなかったが、実験者による目視観察では、多くの場合においてハート形状のパターンは判別困難であった。

4.2.4 シリアル量

シリアル量を 0.5 g に減少させた場合、ベースラインと比較して類似度に顕著な変化は見られなかったが、標準偏差は増加した。ヒートマップからは、磁石が配置されているセルにおける類似度が低く、それ以外のセルでは高い傾向が確認された。このことから、シリアル量が不足しているため必要なセルに十分に集まらず、一方で不要なセルにも集まりにくい状況が生じたと推察される。また、標準偏差が大きくなったことから、シリアルの分布に関して再現性が低下していることが示唆される。さらに、類似度はベースラインと同程度であったものの、セルの欠落が散見されたため、実験者による目視観察では、数値上の類似度よりも再現性が低く判断された。

一方、シリアル量を 1.5 g に増加させた場合、ベー

Dishplay: シリアル磁気応答を利用した可食ディスプレイシステム

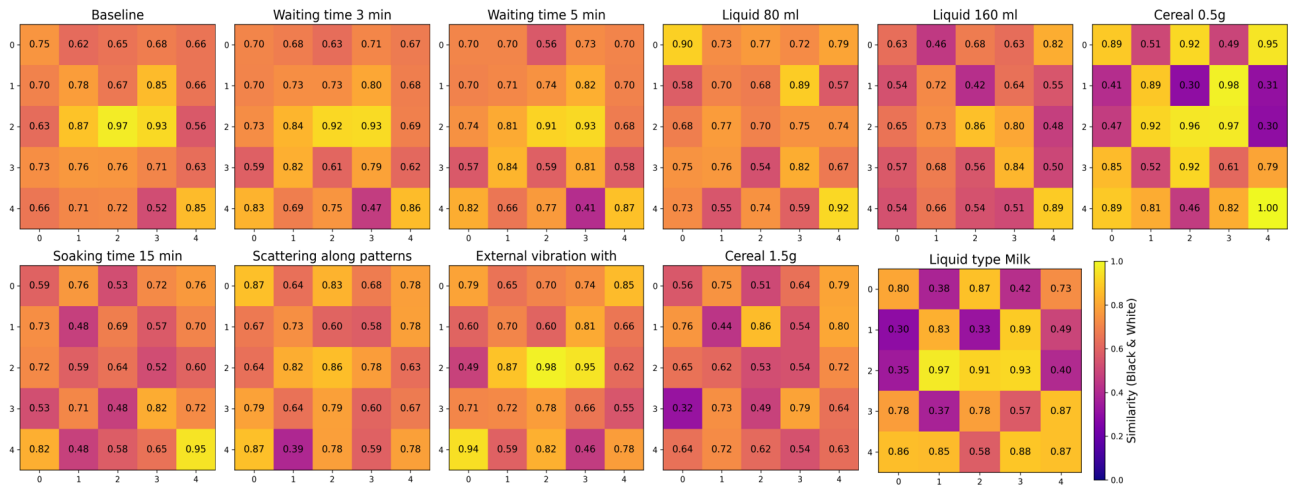


図 5. 各パラメータにおけるセルごとの類似度の平均ヒートマップ。(黄色に近いほど高精度、紫に近いほど低精度)

スラインと比較して類似度は低下し、標準偏差は増加した。ヒートマップの解析では、磁石が配置されているセルにおいて類似度が高く、それ以外のセルにおいて低い傾向が見られた。この現象は、シリアル量が過剰であるために、0.5 g の場合とは逆の挙動を示したと考えられる。また、標準偏差が大きいことから再現性が低く、160 ml の条件と同様に、実験者による目視観察では、数値上の類似度よりも明らかに低い再現度であると認識された。

4.2.5 散布方法

パターンに沿ってシリアルを散布した場合、ベースラインと比較して類似度および標準偏差に顕著な変化は見られなかった。均一散布の場合には、磁石が配置されているセルとシリアルとの距離が遠く磁力が小さいことに加え、シリアルが特定のセルに集中あるいは不足することで、類似度が安定しない傾向が生じる。そのため、イラストに沿って散布することでこれらの問題が軽減され、安定して高い類似度が得られると当初は予想していたが、結果は異なった。これについては、待機時間に関する検討で考察した内容と同様の可能性が示唆される。なお、磁石を配置せずに散布のみでパターンを再現した場合、シリアルは定着せず、意図した形状は形成されなかったことが確認された。

4.2.6 外部振動

実験者が指によって机を叩き外部振動を与えた場合、ベースラインと比較して類似度に顕著な変化は見られなかったものの、標準偏差は増加した。当初は、振動によって動いているシリアルは静止しているシリアルに比べて磁力の影響を受けやすく、精度の向上が期待された。しかし、結果は異なった。この要因としては、待機時間に関する検討で考察した内

容と同様の可能性に加え、一部のサンプルにおいて類似度が低下し、その影響で平均類似度が低下したことが、標準偏差の増加として現れたと考えられる。

4.2.7 浸透時間

ディスプレイ化する前にシリアルを 15 分間水に浸透させた場合、ベースラインと比較して類似度は低下したが、標準偏差に顕著な変化は見られなかった。この要因として、長時間の浸透により液架橋力が作用し、シリアル片同士が凝集した可能性が考えられる。当初は、浸透によってシリアルから鉄成分が分離し、磁力の影響が弱まると予想していた。しかし、実験者による目視観察では、ベースラインと同様にシリアルが磁石に引き付けられる様子が確認された。このことから、外部振動などを加えて凝集したシリアルを分離することで、ベースラインと同等の類似度が得られる可能性が示唆される。

4.2.8 液体種類

液体を牛乳に変更した場合、ベースラインと比較して類似度は低下し、標準偏差は増加した。この要因の一つとして、液体の粘度が影響した可能性が考えられる。一般に水の粘度は約 1 mPas であるのに対し、牛乳は約 2 mPas と水より高く、シリアルの移動が制限されるため、類似度が低下し標準偏差が増加したと推察される。また、牛乳が白濁していることにより、ある程度沈下したシリアルが見えなくなることも、標準偏差増加の一因と考えられる。

5 パターン遷移性能の調査

動的システムのパターン遷移性能を評価するため、開始パターン (図 6 (A)) からの目標パターン (図 6 (B)) への遷移を対象とし、外部振動の有無が与える影響を検証した。各条件下で 5 回の試行を行

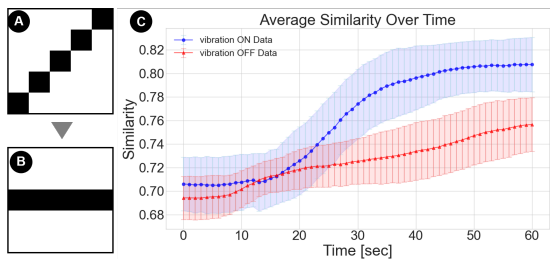


図 6. 遷移実験で用いた (A) 開始パターンと (B) 目標パターン、(C) パターン遷移における類似度の時間変化

い、遷移開始から 60 秒間の類似度の時間変化を 1 秒ごとに記録した。なお、本実験では液体量を 80 ml、シリアル量を 0.5 g に設定した。

各条件における類似度の時間変化の平均と標準偏差を (図 6 (C)) に示す。類似度は緩やかに上昇し、60 秒時点での平均値は 0.757 であった。同時点でも上昇傾向は継続しており、遷移が完了するにはさらに時間を要することが示唆される。対照的に、振動ありの条件では、遷移開始後 20 秒から 30 秒の区間で類似度が急峻に上昇し、50 秒付近で定常状態となった。60 秒時点での平均値は 0.808 であった。これにより、高速なパターン遷移が確認された。また、両条件下で遷移開始直後の数秒間は類似度に大きな変化が見られないが、これはアクチュエータの物理的な移動時間に起因すると考えられる。

これらの結果は、静的表示の場合とは異なり、動的なパターン遷移において外部振動が遷移の速度と精度の両方を向上させる上で極めて有効であることを示している。

6 応用例

本システムの具体的な活用法として、静的・動的それぞれの特性を活かした応用例と、より実践的な食事シーンへの展開を示す。

静的システムは、その準備の容易さを活かして複数連携させることが可能である。本研究では学会名「WISS」を 4 つの皿で表示したように (図 2(C))、誕生日や記念日といったイベントにおいて、テーブル全体で祝祭的なメッセージを提示できる。

動的システムのリアルタイム制御という特徴は、食事に時間的な演出を加えることを可能にする。例えば、GUI からの指示で液面上に「3, 2, 1」といったカウントダウンをシリアルで表示させれば、参加者の期待感を高めるインタラクティブな体験を創出できる (図 7 (A))。

より実践的な応用を目指し、実際の料理であるスープを液体として用いる検証も行った (図 7 (B))。粘度が高いという課題に対し、精度実験で得られた

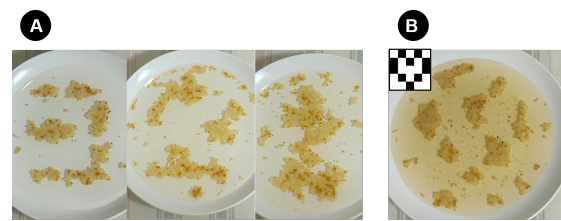


図 7. (A) 動的システムのカウントダウン (B) たまごスープを用いた実践的シナリオ

知見を応用することで表示精度の向上を試みた。この試みは、例えば結婚式で提供されるスープに新郎新婦のイニシャルを描き出すといった、実用シナリオに向けた初期検討である。

7 議論・今後の展望

今後の展望として、第一にシステムのハードウェア改良を通じ、表現力と再現性の両面から性能向上を目指す。より小型なアクチュエータで装置の薄型化を図り、ピクセルを高密度化することで複雑なパターン表現を可能にする。

第二に、類似度評価に加え、体験価値を評価するためのユーザスタディを実施する。アンケートやインタビューを通じて主観的な評価を取り入れ、人間の知覚に即した評価指標の確立を目指す。最終的には、レストランやイベントといった実環境での実証実験を通じて、多様な条件下での実用性を検証し、本システムのさらなる改良と応用可能性を拡大する。

本研究では、情報表示のためにシリアルを砕いた状態で利用している。このプロセスによってシリアル本来の食感が変化してしまう可能性がある。実験者による定性的な評価では、粉碎後のシリアルは、元のシリアルを液体に 5 分程度浸して柔らかくした状態の食感に近いことが確認された。一方で、味覚的な変化は特に感じられず、喫食する上での不快感もなかった。

8 結論

本稿では、鉄分強化シリアルが持つ磁気応答性を活用した可食ディスプレイシステム「Dishplay」を提案した。静的パターンを表示する小型システムと、リニアアクチュエータアレイにより動的表示を可能にするシステムの 2 種類を設計・実装した。さらに、表示品質を定量的に評価するための精度実験を行い、液体量、シリアル量、散布方法といった複数のパラメータが表示精度に与える影響を明らかにした。今後はより小型なアクチュエータを用いて解像度の向上や、主観的な評価を行うことを目指す。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 JP24KJ1957 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] W. Chen, Q. Gao, Z. Hu, K. Minamizawa, and Y. S. Pai. Living Bento: Heartbeat-Driven Noodles for Enriched Dining Dynamics. In *Proceedings of the 2025 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '25, New York, NY, USA, 2025. Association for Computing Machinery.
- [2] W. Chen, Y. Yang, K.-H. Liu, Y. S. Pai, J. Yamaoka, and K. Minamizawa. Cymatics Cup: Shape-Changing Drinks by Leveraging Cymatics. In *Proceedings of the 2024 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '24, New York, NY, USA, 2024. Association for Computing Machinery.
- [3] J. Deng, Y. Li, H. Wang, Z. Fang, Florian 'Floyd' Mueller. Sonic Delights: Exploring the Design of Food as An Auditory-Gustatory Interface. In *Proceedings of the 2025 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '25, New York, NY, USA, 2025. Association for Computing Machinery.
- [4] J. Deng, H. Yang, A. Saini, U. D. Gaudenz, L. Yao, P. Olivier, Florian 'Floyd' Mueller. Dancing Delicacies: Designing Computational Food for Dynamic Dining Trajectories. In *Proceedings of the 2023 ACM Designing Interactive Systems Conference*, DIS '23, p. 244–262, New York, NY, USA, 2023. Association for Computing Machinery.
- [5] S. Ganesh, P. Marshall, Y. Rogers, and K. O'Hara. FoodWorks: tackling fussy eating by digitally augmenting children's meals. In *Proceedings of the 8th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Fun, Fast, Foundational*, NordiCHI '14, p. 147–156, New York, NY, USA, 2014. Association for Computing Machinery.
- [6] T. Gayler, C. Sas, and V. Kalnikaitis. Exploring the Design Space for Human-Food-Technology Interaction: An Approach from the Lens of Eating Experiences. *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.*, 29(2), Jan. 2022.
- [7] A. Grimes and R. Harper. Celebratory technology: new directions for food research in HCI. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '08, p. 467–476, New York, NY, USA, 2008. Association for Computing Machinery.
- [8] Harvard T.H. Chan School of Public Health. Iron—The Nutrition Source. The Nutrition Source, Harvard T.H. Chan School of Public Health. Accessed: 2025-08-12.
- [9] G. Huisman, M. Bruijnes, and D. K. J. Heylen. A Moving Feast: Effects of Color, Shape and Animation on Taste Associations and Taste Perceptions. In *Proceedings of the 13th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, ACE '16, New York, NY, USA, 2016. Association for Computing Machinery.
- [10] R. Hurrell. Iron Fortification Practices and Implications for Iron Addition to Salt. *The Journal of Nutrition*, 151:3S–14S, 02 2021.
- [11] R. Hurrell and I. Egli. Iron bioavailability and dietary reference values. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 91(5):1461S–1467S, 2010.
- [12] A. Ishii. Food Printing with Electrolysis Bubbles for Texture Control. In *Extended Abstracts of the CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '24, New York, NY, USA, 2024. Association for Computing Machinery.
- [13] A. Ishii, M. Fukushima, N. Tanaka, Y. Matoba, K. Ikematsu, and I. Siio. Electrolysis Bubble Display based Art Installations. In *Proceedings of the Fifteenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, TEI '21, New York, NY, USA, 2021. Association for Computing Machinery.
- [14] A. Ishii, K. Ikematsu, and I. Siio. Designing Electrolysis Ion Display on Everyday Open Wet Surfaces. In *Proceedings of the 2022 ACM Designing Interactive Systems Conference*, DIS '22, p. 1020–1034, New York, NY, USA, 2022. Association for Computing Machinery.
- [15] A. Ishii and I. Siio. BubBowl: Display Vessel Using Electrolysis Bubbles in Drinkable Beverages. In *Proceedings of the 32nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '19, p. 619–623, New York, NY, USA, 2019. Association for Computing Machinery.
- [16] K. Kato, K. Ikematsu, H. Nakamura, H. Suzaki, and Y. Igarashi. FoodSkin: Fabricating Edible Gold Leaf Circuits on Food Surfaces. In *Proceedings of the 2024 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '24, New York, NY, USA, 2024. Association for Computing Machinery.
- [17] R. A. Khot, D. Aggarwal, R. Pennings, L. Hjorth, and F. F. Mueller. EdiPulse: Investigating a Playful Approach to Self-monitoring through 3D Printed Chocolate Treats. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '17, p. 6593–6607, New York, NY, USA, 2017. Association for Computing Machinery.
- [18] K&J Magnetics, Inc. Magnetic Cereal: Magnets Reveal Hidden Cereal Ingredient! K&J Magnetics Blog, Jan. 2025. Accessed: 2025-08-12.
- [19] Y.-J. Lin, P. Punpongsanon, X. Wen, D. Iwai, K. Sato, M. Obrist, and S. Mueller. FoodFab: Creating Food Perception Illusions using Food 3D Printing. In *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing*

- Systems*, CHI '20, p. 1–13, New York, NY, USA, 2020. Association for Computing Machinery.
- [20] M. Miyatake, K. Narumi, Y. Sekiya, and Y. Kawahara. Flower Jelly Printer: Slit Injection Printing for Parametrically Designed Flower Jelly. In *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '21, New York, NY, USA, 2021. Association for Computing Machinery.
 - [21] T. Narumi, T. Kajinami, T. Tanikawa, and M. Hirose. Meta cookie. In *ACM SIGGRAPH 2010 Emerging Technologies*, SIGGRAPH '10, New York, NY, USA, 2010. Association for Computing Machinery.
 - [22] M. Nishizawa, W. Jiang, and K. Okajima. Projective-AR system for customizing the appearance and taste of food. In *Proceedings of the 2016 Workshop on Multimodal Virtual and Augmented Reality*, MVAR '16, New York, NY, USA, 2016. Association for Computing Machinery.
 - [23] J. Sun, Z. Peng, W. Zhou, J. Y. H. Fuh, G. S. Hong, and A. Chiu. A Review on 3D Printing for Customized Food Fabrication. *Procedia Manufacturing*, undefined.
 - [24] Y. Suzuki, T. Narumi, T. Tanikawa, and M. Hirose. Taste in Motion: The Effect of Projection Mapping of a Boiling Effect on Food Expectation, Food Perception, and Purchasing Behavior. *Frontiers in Computer Science*, Volume 3 - 2021, 2021.
 - [25] W. Wang, L. Yao, T. Zhang, C.-Y. Cheng, D. Levine, and H. Ishii. Transformative Appetite: Shape-Changing Food Transforms from 2D to 3D by Water Interaction through Cooking. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '17, p. 6123–6132, New York, NY, USA, 2017. Association for Computing Machinery.
 - [26] Y. Wang, H. O. Obie, Z. Li, F. D. Salim, J. Grundy, Florian 'Floyd' Mueller. GustosonicSense: Towards understanding the design of playful gustosonic eating experiences. In *Proceedings of the 2024 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '24, New York, NY, USA, 2024. Association for Computing Machinery.
 - [27] P. Weber, K. Krings, J. Nießner, S. Brodesser, and T. Ludwig. FoodChattAR: Exploring the Design Space of Edible Virtual Agents for Human-Food Interaction. In *Proceedings of the 2021 ACM Designing Interactive Systems Conference*, DIS '21, p. 638–650, New York, NY, USA, 2021. Association for Computing Machinery.
 - [28] T. Yamamoto, T. Amesaka, A. Withana, and Y. Sugiura. ShadoCookies: Creating user viewpoint-dependent information displays on edible cookies. *Computers & Graphics*, 127:104158, 2025.
 - [29] T. Yoshimoto, N. Kasahara, and H. Miyashita. Fabrication of Edible lenticular lens. In *ACM SIGGRAPH 2023 Posters*, SIGGRAPH '23, New York, NY, USA, 2023. Association for Computing Machinery.
 - [30] T. Yoshimoto, Y. Minato, and H. Miyashita. Edible Lens Array: Dishes with lens-shaped jellies that change their appearance depending on the viewpoint. In *Adjunct Proceedings of the 37th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST Adjunct '24, New York, NY, USA, 2024. Association for Computing Machinery.
 - [31] Y. Zhao, C. Yu, J. Nie, M. Dong, Y. Sang, F. Ying, and G. Wang. FunEat: An Interactive Tableware for Improving Eating Habits in Children. In *Extended Abstracts of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '21, New York, NY, USA, 2021. Association for Computing Machinery.
 - [32] 鳴海 拓志. プロジェクションマッピングによる食体験の拡張. *日本画像学会誌*, 61(1):22–32, 2022.