

# 多視点からの見た目が変化する料理のための 二次元可食レンチキュラレンズデザインシステム

吉本 健義<sup>1,a)</sup> 湊 祥輝<sup>1</sup> 宮下 芳明<sup>1,b)</sup>

**概要:** 凸レンズを二次元平面上に配置したレンズアレイでは、レンチキュラレンズと比べて視点方向の制約が少なく、自由な視点での絵柄変化が可能である。本論文では 3D プリンタを用いた型成形によって二次元可食レンチキュラレンズを作製するシステムを提案し、その設計・シミュレーションに基づいたゼリー製レンズの作製を実現した。さらに、視点によって見た目が変化する料理の試作を通じてインタラクティブな食体験の可能性を示した。

## 1. はじめに

食材に関する科学的な分析・研究を行う領域として分子ガストロノミーがある。この領域では、物理・化学を横断する科学的な知見を調理に応用することで、先進的な調理手法の開発や表現の拡張が行われている [2]。東京北参道にあるフレンチレストラン「élan vital」では、分子ガストロノミーやプロジェクションマッピング、ファブリケーション技術を活用することで、これまでにはない新たな食の表現が探求されている [8]。著者らは 2022 年より共同で研究を進めており、これまでにない視覚効果をもつ食品として「可食レンチキュラレンズ」を提案し、その技術を利用した料理開発を行ってきた [11]。「可食レンチキュラレンズ」では、視点によって見え方が変化する光学素子であるレンチキュラレンズをゼリー素材として形状を再設計し、3D プリントモールドで成形することで実現している [16]。

しかし、可食レンチキュラレンズは一次元方向のレンズアレイであるため視点移動の方向に制約があり、一方向でしか画像を変化させることができなかった。この制約を解決し、より多様な視点方向・位置での変化を実現することで、特定の視点から演出を発生させるような食体験が可能となる。これにより、可食レンズ料理における体験設計の自由度を向上させる。

そこで、本研究では多視点からの見た目が変化する料理の実現を目的とし、ゼリーをレンズアレイ形状に成形した二次元可食レンチキュラレンズを提案する。レンズアレイとは、微小なレンズエレメントを数多く集積させた光学素



図 1 二次元可食レンチキュラレンズとその料理例。提案システムによって、ユーザは任意のレンズ仕様や形状をデザインできる。

子であり、本稿で提案する構造としては凸レンズを二次元方向に敷き詰めたものとなっている。二次元可食レンチキュラレンズでは、下地の画像パターンと組み合わせることで、視点に応じた二次元方向での画像変化を可能としている。さらに、本稿では想定ユーザであるシェフが任意形状のレンズアレイの設計・作製を行うためのシステムを実装した。ユーザはシステム内の設計ソフトウェアを用いて任意のレンズアレイを設計し、シミュレーションによってその見え方を確認することができる。また、ユーザはシステムによって出力されたモールドのモデルを 3D プリントし、型成形手法を用いてレンズを作製することができる。その後、作製されたレンズの見え方を評価し、本技術を利用したアプリケーションを 2 つ、シェフとの共同開発による料理例を 2 つ紹介した。図 1 にその作例を示す。

<sup>1</sup> 明治大学

<sup>a)</sup> takegiyoshimoto@gmail.com

<sup>b)</sup> homei@homei.com

## 2. 関連研究

### 2.1 フードファブリケーション

料理製作のワークフローにおいて、ファブリケーション技術を応用することで今までにない料理を生み出す研究が行われている。

分子ガストロノミーの領域では、科学の領域から食品の分析を行い調理技術が考案されてきた。Spherification は、アルギン酸塩とカルシウムイオンを反応させて液体を膜で覆う技術であり、ゲル化は、使用する物質によって食感や外観をデザインすることが可能である [2]。これらの技術は、食材に新たな見た目をもたらす料理の表現力を向上させてきたが、見る角度によって見た目を変化させる食材の研究は料理のさらなる可能性を切り拓くものである。

また、これまでになかった形状の食品を作る上で、任意の形状を設計し食品で 3 次元形状を実現する研究が行われている。Yang らはチョコレートをはじめとした流体の可食素材で Support bath-assisted printing を行い、自由な形状の食品を作成した [14]。Flower Jelly Printer では、花の形をパラメータによって調整することで、ゼリーの中へ任意の形状の花を造形することが可能である [3]。我々の研究においても、レンズアレイのピッチサイズや曲率半径、厚みを任意に調整することで、自由な視覚変化の表現を可能にしている。

3D プリンタを用いて食材の造形が行われる中、変形などの時間的変化を含んだものは 4D プリンティングと呼ばれ、様々な研究が行われている [1]。Transformative Appetite では、可食 2D フィルムに特殊なパターンを印刷し、これを水に触れさせることで 3D 形状に変化させる技術が開発された。この技術により、ユーザは自らの好みに合わせて食品の形状をカスタマイズできるようになった [12]。Tao らは小麦粉でできた生地に対して溝をプリントすることで脱水時や吸水時の形状変化を制御する Morphlour を実現した [7]。本研究におけるデザインシステムでは、角度による視覚変化をシミュレーションすることで、視覚表現における最適なレンズアレイの形状を設計することが可能となった。これによって、ユーザが料理における視覚表現を探索できるようになった。

### 2.2 可食光学素子

Uji らは型に寒天溶液を流し込むことによってコーナキューブ型再帰性反射材を作成し、実用的な光学性能を可食素材で実現した [10]。実験の結果、反射率はビーズ型の再帰性反射材と同程度であり、カメラのマーカとして有効であることが実証された。この可食再帰性反射材は、食事の場におけるプロジェクションマッピングや消化器官内壁の検査に用いることが可能である。他にも、Oku らはキャン

ディを使用した再帰性反射材について提案を行っている。シリコン樹脂を用いた型にキャンディを満たすことで製作を行なった [5]。この素材は寒天を用いたものよりも乾燥に強く、光学特性を長時間維持することができた。また、評価実験の結果、キャンディはカメラマーカとして十分な耐久性を持つことが示された。作成された反射材は、パンケーキ上のプロジェクションマッピングやモーションキャプチャに使用された。

Nomura らは可食の光学部品として、寒天を用いた焦点距離 39.5mm の平凸レンズを作成し、7.13LP/mm の解像度を実現した。製作には、平凸レンズを型として寒天を流し込むことで行った [4]。さらに Nomura らは、可食レンチキュラレンズを寒天で試作している。これを液晶ディスプレイの上に配置し光学特性を評価したところ、見る角度によって見え方の変化が確認された。

その後行われた研究として、著者らによる可食レンチキュラレンズがある [15][16]。作製方法として、従来のレンチキュラレンズを用いた型成形手法と 2 本のナイフを用いたナイフカット手法の 2 種類を提案した。実験の結果、ジェランガムによって製作されたレンチキュラレンズが十分な光学特性を示すことが確認できた。また、このレンズを用いて 2 色の均一な絵柄変化や、ゼリー内部にある物体のカモフラージュを実現した。

さらに、光の屈折や反射を利用した可食光学素子の他にも、食品の見栄えを向上させるために構造色が利用されている [13]。レプリカ回折格子フィルム上にチョコレートを成形することで、構造色で装飾されたチョコレートを作成することができる。また、チョコレートの表面をレーザー彫刻機で加工し、構造色模様のデザインを実現した。

前述の通り、可食光学素子の形成方法には主として型成形手法とナイフカット手法の 2 つが存在している。本研究で提案するレンズアレイは 2 次元方向に配置された構造であるため、切断成形手法は使用できない。そこで本研究では、光造形方式の 3D プリンタを用いてレンズアレイ作製の型を作製した。型にゼリーを流し込むことによって可食レンズアレイを成形した。

### 2.3 視点によって外観が変化するファブリケーション

レンチキュラレンズは、下に配置された画像と組み合わせることで、視点によって画像が変化する「チェンジング効果」を持つ。Jiani らは、レンチキュラレンズを物体に配置することで、視点によって見え方の異なる 3D プリントオブジェクトを実現した [17]。これまで平面に限られていたレンチキュラ印刷技術を、マルチマテリアル 3D プリント技術を用いることによって 3次元へと拡張した。提案されたデザインツールは、オブジェクトの 3D モデルを読み込むことで、ユーザが視点とそれに対応する外観を定義できる。さらに、レイトレーシングによるシミュレ

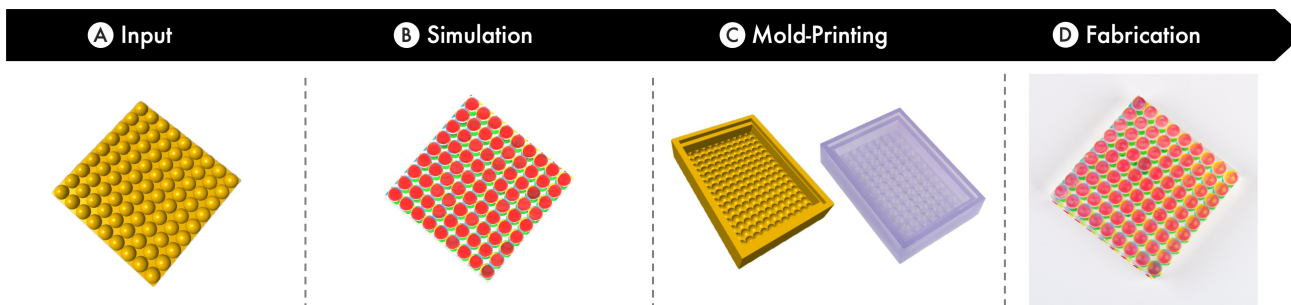


図2 提案システムによるデザインワークフロー. (A) 入力フェーズ, (B) シミュレーションフェーズ (C) モールド印刷フェーズ (D) ファブリケーションフェーズ.

シミュレーションを行うことによって、ユーザが求める外観のレンチキュラオブジェクトを造形することが可能である。応用として、ユーザの姿勢誘導や位置に応じた動的なメッセージなど、視点によって見え方が異なる新しい商品デザインが提案された。

また、ShimamotoらはUVプリンタで作製可能なレンズアレイを用いて2次元レンチキュラを提案している[6]。2次元レンチキュラとは、凸レンズを2次元方向に並べることで視点による像の視覚的变化を実現するアプリケーションであり、本研究で提案するレンズアレイと同様の形状である[9]。UVプリンタで作製したレンズアレイにディスプレイや印刷物を組み合わせることで、視点によって画像が2次元方向に変化する情報を提示できる。用途としては見る角度によって進行方向が変化するメッセージボードや、見る人の目の高さによって漢字とひらがなを切り替えてインタラクティブに情報を提示できる行先案内板などがある。

本研究におけるアプリケーションでは、これらの先行研究と同様に、文字や画像による視覚変化が達成されることを確認した。また、可食素材を用いた光学素子の応用例として視点によってインタラクティブに見た目に変化する料理表現を実現し、美食体験の拡張を行なった。

### 3. システム設計

#### 3.1 ワークフロー

提案システムを用いてユーザが行うワークフローは図2の4つのフェーズから構成される。ユーザは本システムを用いてそれぞれのフェーズを行き来しながら任意の仕様をもつレンズアレイを設計し、型成形手法を利用しながら実際に作製することができる。

##### (1) 入力フェーズ (図2A)

ユーザの目的に応じて、ピッチや曲率半径、レンズ素材の屈折率などのレンズに関する仕様を入力する。これらのパラメータからシステムがレンズアレイの焦点距離を計算し、その3Dモデルを出力する。

##### (2) シミュレーションフェーズ (図2B)

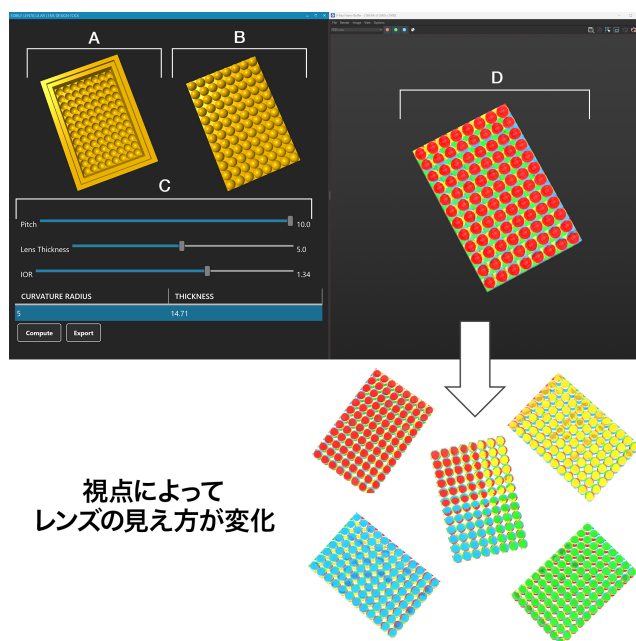


図3 設計ソフトウェアの概要. (A) モールドのプレビュー, (B) レンズアレイのプレビュー, (C) 可変スライダーとボタン, (D) レイトレーシングによるシミュレーションプレビュー.

レイトレーシングによるシミュレーションを用いて、ユーザは設計したレンズアレイの視覚効果を確認する。

##### (3) モールド印刷フェーズ (図2C)

設計したレンズアレイから、システムが逆構造をもつモールドの3Dモデルを出力する。ユーザは光造形方式の3Dプリンタを利用し、モールドを作製する。

##### (4) ファブリケーションフェーズ (図2D)

3Dプリントしたモールドを用いてゼリーを作製することで、ユーザは設計した二次元可食レンチキュラレンズを得ることができる。

#### 3.2 設計ソフトウェア

設計ソフトウェアはRhino/GrasshopperとそのプラグインであるV-ray for Rhino上で実装されている。図3(A-C)のインターフェースを用いてユーザはピッチや曲率半径、屈折率などのパラメータを入力し、任意の仕様をもつ

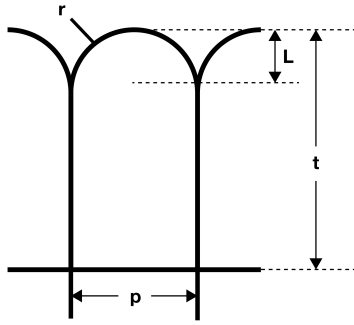


図 4 本提案システムにおけるレンズアレイの模式図。

レンズアレイの 3D モデルを得ることができる。また、図 3(D) のようなレイトレーシングを用いたシミュレーションで視覚効果を確認し、その逆構造をもつモールドのデータを得ることができる。

設計ソフトウェアのインタフェース実装については、Grasshopper 拡張プラグインの Human UI を使用した。ピッチはレンズアレイ内の単レンズの直径  $p$ 、曲率半径はレンズ部分の厚み  $L$  を調整することで制御している（図 4）。設計中の利便性から、レンズアレイの曲率半径と算出された最適な厚さをインタフェース下部に表示している。レンズ部分の厚み  $L$  を小さくすることで曲率半径が大きくなり、レンズアレイを通して見る一画像の視野角が広がる。ユーザは曲率半径を調整しながら、画像の切り替わり方や見え方の変化を設計することができる。また、様々な食材に対応させるため、ピッチや曲率半径などのレンズ形状パラメータに加えて IOR（屈折率）のパラメータを実装した。また、本システムでは、入力パラメータに基づき、レンズメーカーの公式を用いて最適厚さ計算を行っている。図 4 のように曲率半径を  $r$ 、屈折率を  $n$ 、レンズアレイの厚みを  $t$  とすると、レンズメーカーの公式は以下のように表される。

$$t = \frac{r}{n - 1} \quad (1)$$

Compute ボタンを押すことで各パラメータ変更と最適なレンズアレイの厚みの計算が実行され、Export ボタンを押すことで設計したレンズアレイの逆構造をもつモールドの 3D モデルを出力することができる。レイトレーシングシミュレーションには V-ray for Rhino を利用し、描画結果は V-ray Frame Buffer を用いて表示している。Interactive Mode のリアルタイムレンダリングを利用することで、図 3(D) のようにユーザのビューポートから自由な視点でレンズの視覚効果を確認することができる。

### 3.3 レンズアレイ配列と画像パターン設計

レンズアレイの配列方法として、正方形配列と六角形配列の試作を行った。正方形配列は、正方形格子状にレンズを並べた配列方法であり、配列が対称的であるため、設計やシミュレーションの実装コストが比較的低い。一方、六

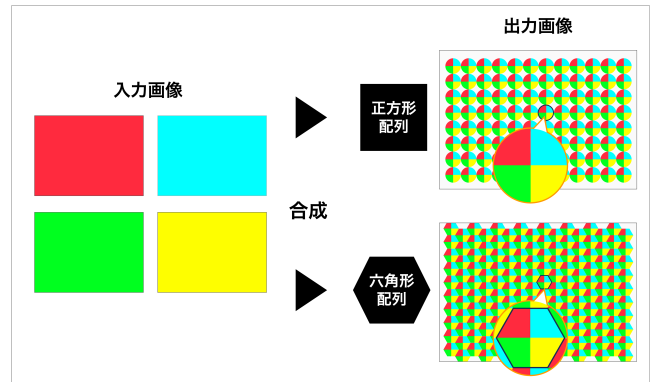


図 5 画像パターン設計の概要。(左) 入力画像、(右) 出力画像、上から正方形配列、六角形配列の合成パターンになっている。

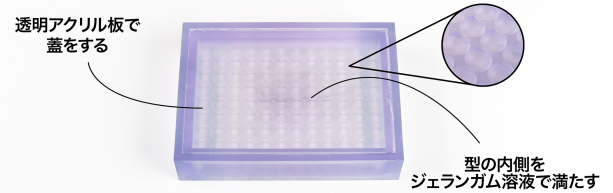


図 6 設計した型を用いてゼリーを固める様子。

角形配列は、蜂の巣のように六角形が敷き詰められた配列方法であり、正方形配列に比べて多くのレンズを同面積に配置できるため、より効率的な情報提示が可能となる。

画像パターンの合成プログラムは Processing を用いて実装した。ユーザは任意の画像と設計ソフトウェアで決定したピッチを入力することで、設計したレンズアレイのための画像パターンを出力できる。レンズアレイの下に配置される画像パターンは、複数の画像を合成する方法で作成している。図 5 に、4 種類の画像変化を行う場合の正方形配列と六角形配列における画像パターン設計の概要を示す。画像パターンの各円や六角形の大きさはレンズアレイのピッチの大きさに対応しており、各レンズユニットに対して入力画像の枚数に応じた分割を行い、それぞれに再配置する形で実装した。本論文では、主に 4 画像を合成した画像パターンを使用しているが、分割方法を工夫することでさらに多くの視点数が実現する可能性がある。

### 3.4 素材とレンズ作製

モールドは光造形方式 3D プリンタ (Form 3B+, Formlabs) を用いて作成した。モールドが食品に直接触れることを考慮し、生体適合性を持つレジン (BioMed Clear Resin, Formlabs) を使用した。提案手法による型成形手法ではシステムから出力されたモデルを 3D プリントするため、造形可能なサイズは利用する 3D プリンタに依存する。造形サイズやプロトタイプを取り回しの観点から、図 6 では、L 判サイズ (127mm × 89mm) の型を用いている。

二次元可食レンチキュラレンズを作製するための基本的



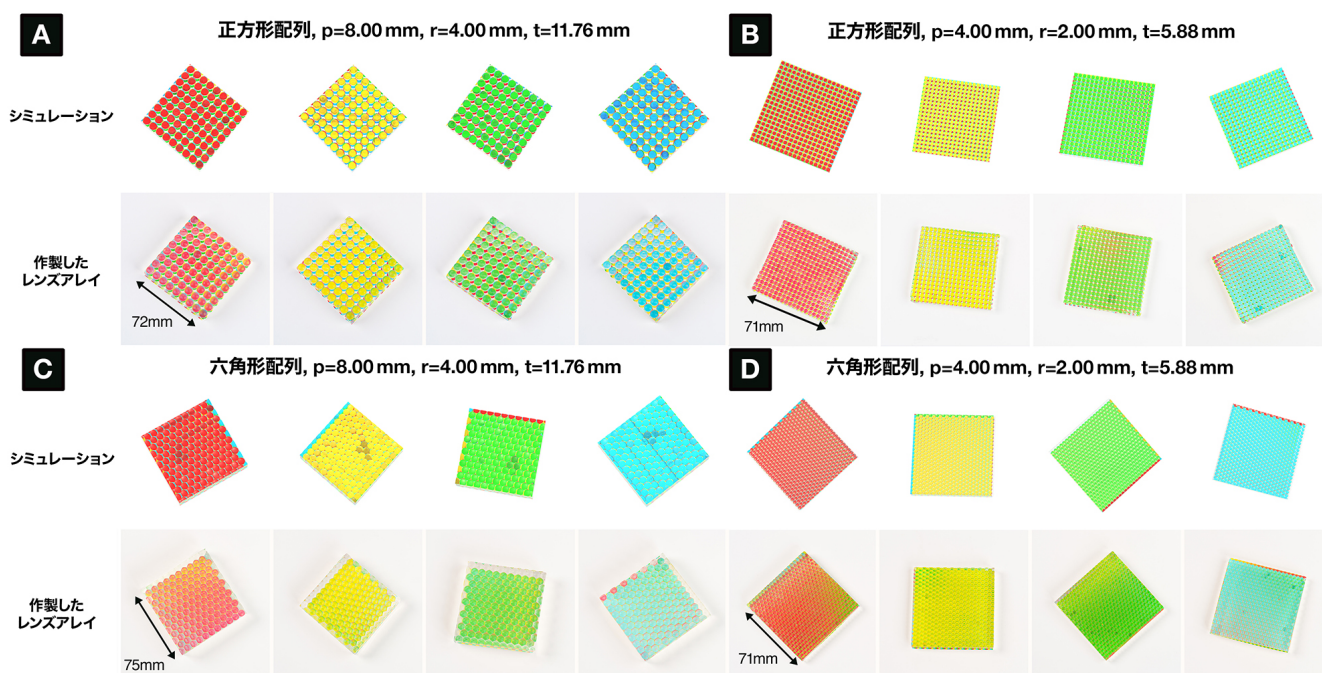


図 7 (A,B,C,D) 4 種類のレンズ仕様について、シミュレーションと作製したレンズアレイの比較。シミュレーション同様に視点によってレンズアレイの色が変化する。

なゼリーレシピとして、溶質にジェランガム (SOSA) を 3g, 溶媒にヨーグリーナ (サントリー) 450g を使用した。このゼリーの屈折率をデジタル屈折計 (HI96801, HANNA) で計測したところ、1.34 であった。ジェランガムとは、発酵によって得られる天然の多糖類であり、寒天やゼラチンのような一般的なゲル化剤に比べて強度や透過率の点で優れている。これらの特性から、ジェランガムを可食光学素子作製に適した素材であると考え、本論文の試作では主にジェランガムを使用している。また、溶媒としては透過率の高さや風味の観点から透明飲料が適していると考え、本論文ではヨーグリーナを使用した。ただし、溶質、溶媒の組み合わせによって作製できるゼリーの屈折率や透過率、硬さ、味などが多様に变化するため、目的に応じて柔軟に調整する必要がある。提案システムでは屈折率パラメータを入力することで視覚効果における素材特性を考慮することができる。そのため、様々な種類の素材を検討した設計が可能である。基本的なゼリーレシピの作成手順を以下に示す。

- (1) ジェランガムとヨーグリーナをハンドブレンダーで混ぜ合わせ、沸騰させる。
- (2) 1 の溶液を 3D プリントしたモールドに注ぎ入れ、アクリル板上から蓋をする。
- (3) 約 20 °C の室温で 1 時間ほど置き、ゼリーを固める。図 6 にその様子を示す。

#### 4. 作製結果

4 種類の異なるレンズ仕様をもつ二次元可食レンチキュ

ラレンズについて試作を行い、その作製結果を評価する。底面に配置する画像パターンはインクジェットプリンタ (SC-PX1VL, Epson) を用いて写真用光沢紙 (Crispia Photo Paper, Epson) に印刷した。図 7 (A,C) にピッチ 8.00 mm, 曲率半径 4.00 mm, 厚さ 11.76 mm, 図 7 (B, D) にピッチ 4.00 mm, 曲率半径 2.00 mm, 厚さ 5.88 mm の仕様をもつレンズアレイについて、シミュレーションと作製したものを比較した図を示す。A と C, B と D はそれぞれ同じ仕様のレンズアレイではあるが、配列が異なるものになっている。図 7 から、視点位置によって色の見え方が変化することや、概ねシミュレーション同様の見え方になっていること、ピッチサイズによる表示品質の違いなどが観察できる。また、レンズアレイの配列方法によっても異なる種類の見え方が生じている。正方形配列ではレンズ部分の隙間から意図した画像パターンではない白色の部分が見えてしまっているが、六角形配列ではレンズ部分がほとんど隙間なく敷き詰められているため、視覚的なノイズの少ない画像表示が実現されている。ただし、レンズのピッチサイズを小さくすることで、正方形配列においても図 7B のようにレンズ間のノイズを低減することができる。さらに、レンズのピッチサイズを小さくした場合の懸念として、二種類以上の画像が同時に見えるクロストークが発生しやすくなってしまふ点がある。だが、この場合は一画像の視野角を大きく確保するために曲率半径を大きく設計することで、クロストークを軽減することができる。図 7(B,D) においてもわずかにクロストークが発生している。

図 7 の写真は焦点距離が約 60mm のレンズを装着した



図 8 レンズアレイサラダ。視点によって皿の中心にある画像が凱風快晴、神奈川沖浪裏、牛乳を注ぐ女、モナリザへと変化する。

カメラ (ILCE-7RM5, Sony) で撮影された。この画角は、実際に座って食事をする人の視点とほとんど同じものとなっている。この画像におけるシミュレーションと作製結果の画像は前述の条件で撮影し、トリミングした画像の中央部分となっている。

## 5. アプリケーション

本章では、視点によって見た目が変化する料理によって開かれる新たな食体験の可能性を示すため、技術事例として2つのアプリケーション例を紹介する。いずれの例も3, 4章で述べた方法でゼリーレンズ作製・画像パターン配置を行った。レンズアレイ底面に配置する画像パターンについては写真用紙で試作を行なっているが、後述する6章のようなポーセラーツによる陶器への画像印刷や可食インクを用いて生地に印刷するフードプリンタを利用することで、食品としての安全性を確保できる。

### 5.1 画像変化を利用したレンズアレイサラダ

画像変化の効果を示すアプリケーションとして、視点によって料理の主題となる絵画が変化する料理を図8に示す。このレンズアレイサラダは額縁をイメージして作られており、周辺にはベビーリーフやナッツ、中心にはレンズアレイ形状に成形されたゼリーが配置されている。視点によって、ゼリーの見た目は凱風快晴、神奈川沖浪裏、ミルクを注ぐ女、モナ・リザの四種類の絵画へと変化する。絵画の画像変化を実現させるためには、より多くの情報量が必要となるため、比較的解像度の高いレンズアレイ (六角形配列,  $p=4.00$  mm,  $r=2.00$  mm,  $t=5.88$  mm) を使用した。各絵画を見るための特定の視点は、食事者がテーブル



図 9 特定の視点からのみ見ることのできるメッセージを利用した料理。視点によってメッセージプレートに表示される文字が「HAPPY」、「BIRTHDAY」に変化し、その他の視点では何も表示されないように設計されている。

に座った際の自然な動き程度で見つけられる。そのため、料理の外観変化に気づいた食事者が視点を動かし、視覚表現を楽しむことで食事そのものをインタラクティブな体験へと変化させることができる。これにより、一つの料理においても「見る」行為によって体験が変化する新たな食体験の可能性が期待できる。

### 5.2 視点によって表示される情報が変化するメッセージプレート

文字変化の効果を示すアプリケーションとして、特定の視点からしか見ることのできないメッセージを表示する料理を作製した (図9)。この料理は誕生日のようなイベントの際に提供されることを想定し、文字情報を伝えるメッセージプレートの部分にゼリー製のレンズアレイを配置している。プレートの周囲にはイチゴやタルトが配置されており、メッセージプレートを引き立てる演出をしている。このプレートは、ある視点では「HAPPY」、また他の視点では「BIRTHDAY」のメッセージを観察ことができ、その他の視点では何も表示されないように設計されている。何も書かれていないように見えるプレートでも、少しの視点移動によってメッセージを見つけ出すことができるこの食体験は、食の場にインタラクティブな驚きを生み出すことができる。文字情報を表現するためにはより高い解像度が必要となる。そのため、このアプリケーション例では、著者らが試作検証を行なったもので最も小さなピッチサイズをもつレンズアレイ (六角形配列,  $p=2.00$  mm,  $r=1.44$  mm,  $t=4.23$  mm) を使用した。





図 10 élan vital と共同開発した料理. 視点によって円形のゼリーの色が変わり, 料理の彩りが変化する.

## 6. 二次元可食レンチキュラレンズを利用した料理デザイン

想定ユーザであるプロのシェフによる料理例として, フレンチレストラン「élan vital」と料理の共同開発を行った. 試作の中では, 設計した逆構造のモールドを 3D プリントするのではなく, 設計したレンズアレイのそのままの構造を 3D プリントし, それをシリコン型で型取りすることでモールドを作製した. これは, モールドに柔軟性を持たせることでゼリーを型から取り外す際の難易度を下げることが目的に行っている. 作業工程としては 1 工程増えてしまうが, 造形精度については従来のシステムワークフローによる 3D プリントモールドと同程度であった. また, 彼らとの試作ではポーセラーツという陶器に画像を印刷する技術を利用し, 陶器への画像パターン印刷を行った. ポーセラーツの手順としては, 転写紙に画像パターンを印刷し, 皿等の陶器に貼り付け焼成するというものになっている. 本論文では, ポーセラーツ印刷用に改造されたプリンタ (Ceramic Decal Printer DIN A4, mz Toner Technologies GmbH & Co. KG) を利用して転写紙 (Pre-lacquered paper with standard flux, 前同社) に印刷した. その後, DAM-03DDS 型の陶芸窯 (DAM-03DDS, Nidec) を用いて 900 °C に昇温させながら 24 時間の焼成を行った.

### 6.1 視点によって異なる彩りを与える円形ゼリー

色が変わる食表現を利用した料理として, 鮭とエビのグリルやサラダなどの鮮やかな色をもつ食材とレンズアレイ形状のゼリーを組み合わせた料理を作製した (図 10). 食材レイアウトのバランスや, 食べごたえなどの観点からこの料理では比較的大きなサイズのレンズアレイ ( $p=8.00\text{mm}$ ,  $r=4.00\text{mm}$ ,  $t=11.76\text{mm}$ ) を使用した. ゼリーの組成としては, 溶質としてイナアガー 35g, 溶媒として白ぶどうの透明飲料 600ml となっている. ゼリー部分の色は視点によって, 赤, 黄, 緑, 水色に変化し, 皿全体の雰囲気や彩りを変化させる.



図 11 élan vital と共同開発した料理. モルフォ蝶をモチーフとする羽の色が視点によって変化する.

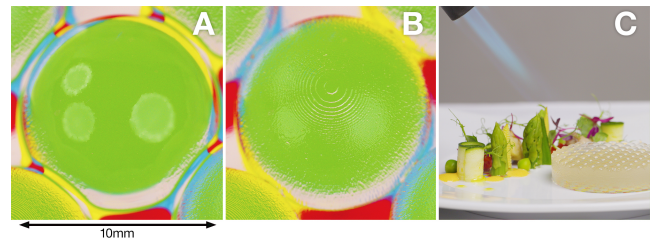


図 12 (A,B) 作製したレンズ表面を拡大した写真の比較. A が滴下後, B が滴下前. (C) ゼリー製レンズアレイの表面を溶かす様子.

### 6.2 変様する蝶のフルーツゼリー

視点によって見え方が変化する「モルフォ蝶」をモチーフとして, 蝶のエンダーフラワーゼリーとフルーツを盛り合わせた料理を作製した (図 11). 中央に配置されている蝶のシルエットを持つゼリーは細やかな色彩を表現するため, 比較的小さいサイズのレンズアレイ (六角形配列,  $p=4.00\text{mm}$ ,  $r=2.00\text{mm}$ ,  $t=5.88\text{mm}$ ) を使用した. ゼリーの組成としては, 溶質としてイナアガー 2g, 溶媒としてエルダーフラワー 100ml となっている. 蝶の羽の色は視点によって紫や濃紺など, モルフォ蝶の構造色を思わせるような色彩へと変化する.

## 7. 制約

本論文においてゼリー成形に用いたモールドは光造形方式の 3D プリンタを利用しているため, 表面の積層痕によって光学素子としての性能が低下してしまう制約がある. ただし, 本論文内で検証した色の変化や低解像度の画像変化においてはこの積層痕の影響は少なく, 図 7 から分かるようにシミュレーションによる結果と実際の作製レンズにおいて大きな見た目の差はみられなかった. より高い解像度と光学性能を求めるとき, 適切な効果を得るためには何らかの方法で積層痕を緩和する必要がある. その一つとして, 我々は少量の液滴で表面をコーティングする方法を提案する. これは, レンズアレイの各レンズ一つ一つにピペットを使用して少量の水を滴下する方法である. 図 12(A,B) に滴下後のレンズ表面と滴下前のレンズ表面を比較した図を示す. この図から, 処理前の物と比べて処理後

のレンズ表面は滑らかになっていることが分かる。しかしこの方法では、効果の持続時間が約1分と短いことや、解像度が高いレンズアレイに正確に水滴を落とすことが困難である。他の方法としては、図12(C)のようなレンズアレイ表面を高温で溶かす方法がある。ゼリー製レンズの表面を炙り溶かすことによって、積層婚を緩和することができる。しかし、この方法においても効果時間は短く、10分ほどでレンズ表面が劣化してしまうことや、処理するたびにレンズ形状が変形してしまう不可逆なものであるという制約がある。実用的な方法として、料理として提供する際は、直前に表面をガスバーナー等で処理することが望ましい。以上のように、可食レンズアレイの表面を研磨する手法についてはこれらの方法以外にも様々な手法を検討していく必要がある。

## 8. 結論

本稿では、多視点からの見た目変化を実現する二次元可食レンチキュラレンズを提案し、その設計・作製を行うためのシステムを実装した。ピッチや曲率半径、屈折率などのレンズパラメータを調整することで、ユーザは任意形状のレンズアレイを得ることができる。また、設計システムを用いて作製されたレンズの検証を行い、そのレンズの外観がシミュレーション結果と概ね一致することを確認した。さらに、2つのアプリケーション例と2つの共同開発による料理例を通して、二次元可食レンチキュラレンズを用いた視覚表現の可能性を示した。

## 参考文献

- [1] Ahmed, A., Arya, S., Gupta, V., Furukawa, H. and Khosla, A.: 4D printing: Fundamentals, materials, applications and challenges, *Polymer*, Vol. 228, p. 123926 (online), DOI: <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2021.123926> (2021).
- [2] Barham, P., Skibsted, L. H., Bredie, W. L. P., Bom Frøst, M., Møller, P., Risbo, J., Snitkjær, P. and Mortensen, L. M.: Molecular Gastronomy: A New Emerging Scientific Discipline, *Chemical Reviews*, Vol. 110, No. 4, pp. 2313–2365 (online), DOI: [10.1021/cr900105w](https://doi.org/10.1021/cr900105w) (2010). PMID: 20170128.
- [3] 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](https://doi.org/10.1145/3411764.3445346) (2021).
- [4] Nomura, M. and Oku, H.: Edible lens made of agar, *Optical Review*, Vol. 27, No. 1, pp. 9–13 (online), DOI: [10.1007/s10043-019-00557-9](https://doi.org/10.1007/s10043-019-00557-9) (2020).
- [5] 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](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3155603) (2022).
- [6] Shimamoto, R. and Tsukada, K.: Research on Multi-viewpoint Information Presentation Using a Customizable 2D-lenticular System, *IPSJ Journal*, Vol. 64, No. 2, pp. 388–399 (online), available from (<http://doi.org/10.20729/00224251>) (2023).
- [7] 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](https://doi.org/10.1145/3332165.3347949) (2019).
- [8] Toshiki, F. and Naoto, H.: élan vital, <http://www.elanvital.co.jp/> (2023).
- [9] Tsukada, K., Sugiyama, K. and Oki, M.: Lens Shaping Method and Applications Using UV Printer, *Journal of Information Processing*, Vol. 30, pp. 97–106 (online), DOI: [10.2197/ipsjip.30.97](https://doi.org/10.2197/ipsjip.30.97) (2022).
- [10] Uji, T., Zhang, Y. and Oku, H.: Edible retroreflector, *Proceedings of the 23rd ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, VRST '17, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, (online), DOI: [10.1145/3139131.3139148](https://doi.org/10.1145/3139131.3139148) (2017).
- [11] University, M.: [Press Release] Does Fine Breezy Day (Gaifu kaisei) transition to The Great Wave Off Kanagawa (Kanagawa oki-nami-ura)? French restaurant élan vital starts offering dishes whose appearance changes depending on the viewing angle developed in collaboration with MIYASHITA Homei Laboratory (2023). <https://www.meiji.ac.jp/cip/english/news/2023/t130js000000cdk.html> [Accessed: (June 28, 2024)].
- [12] 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](https://doi.org/10.1145/3025453.3026019) (2017).
- [13] 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](https://doi.org/10.1145/3526114.3558642) (2022).
- [14] Yang, H., Luo, D., Qian, K. and Yao, L.: Freeform Fabrication of Fluidic Edible Materials, *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '21, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, (online), DOI: [10.1145/3411764.3445097](https://doi.org/10.1145/3411764.3445097) (2021).
- [15] Yoshimoto, T., Kasahara, N. and Miyashita, H.: Fabrication of Edible lenticular lens, In *Special Interest Group on Computer Graphics and Interactive Techniques Conference Posters*, SIGGRAPH '23 Posters, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, (online), DOI: [10.1145/3588028.3603675](https://doi.org/10.1145/3588028.3603675) (2023).
- [16] Yoshimoto, T., Murakami, S. and Miyashita, H.: Edible Lenticular Lens Design System, *Adjunct Proceedings of the 36th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '23 Adjunct, New York, NY, USA, Association for Computing



Machinery, (online), DOI: 10.1145/3586182.3616656 (2023).

- [17] 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).