

Oral Mirage：口内送気で飲食物の存在感を幻出させる試み

薄井 夏陽^{1,a)} 宮下 芳明^{1,b)}

概要：本研究では、複数の送気口から提示する空気の強度、位置、タイミングを制御し、実物を伴わずに飲食物の触覚的な存在感を口腔内へ提示するデバイス Oral Mirage を提案する。本稿では、Oral Mirage の設計方針、システム構成、口内提示部、および空気刺激パターンを示し、2 名の参加者を対象とした予備的な知覚評価を行った。その結果、全点同時提示パターンでは、面状の広がりに近い印象が得られた。また、開口径 2 mm の条件では、開口径 4 mm の条件と比較して各刺激位置が点として知覚されやすいとの報告が得られた一方、出力を強くすると面状の刺激として知覚される傾向がみられた。ランダムパルス、周辺強調および周辺交互提示は、いずれの開口径でも明確には知覚されにくかった。本研究は、口内送気による飲食物の触覚的な存在感提示の可能性と、その実現に向けた課題を示す。

1. はじめに

近年 XR やエンタテインメントにおいて、食体験を仮想的に提示・拡張する試みが進められている。食体験は、食品の見た目や味だけでなく、口腔内で生じる多様な触覚によって支えられている。例えば、舌上に飲食物が乗る感覚、液体が広がる感覚、粒が当たる感覚などは、飲食物が口内に存在しているという印象を形成する。したがって食体験を拡張するためには、口腔内における触覚的な存在感を提示する手法が重要である。

既存研究では、咀嚼音を変化させることで食感を拡張する手法 [1]、咬合力を提示することで食品の硬さを再現する手法 [2]、ストロー内の圧力や振動を制御して飲用感を提示する手法 [3] などが提案されてきた。口周辺や舌を対象とした触覚提示として、超音波、電気刺激、振動などを用いる手法も検討されている [4], [5], [6]。これらの研究は、食体験や口内の触覚の拡張に重要な知見を与えている。

一方、空気ジェットは、刺激対象となる舌面に電極や振動子を接触させることなく、食品や液体を用いずに局所的な圧力や空気流を提示できる。しかし、口腔内の複数位置へ空気を局所的に提示し、飲食物の接触、移動、広がり、粒感、流れといった触覚的印象を生じさせるシステムは、十分に検討されていない。

そこで本研究では、複数の空気ジェットを用いた口内送気によって、実物を伴わずに飲食物の触覚的な存在感を生じさせることを試みる。この試みを行うための実験システ

ムとして、口内触覚提示デバイス Oral Mirage を構築した。Oral Mirage は、口内に配置した複数の送気口を個別に制御し、空気の強度、提示位置、提示時間、提示順序を変化させることで、口腔内に局所的な圧力や流れを生成する。本デバイスは、実際の飲食物を直接口に入れずに、口内に何かが存在するような触覚的な印象を作ることを目指す。

本稿では、Oral Mirage の設計方針、システム構成、口内提示部、制御方法、および空気刺激パターンについて述べる。さらに、先端の開口径が異なる 2 種類の口内提示部を用いた予備評価を行い、6 種類の固定刺激パターンおよびマウスカーソル追従提示によって生じる知覚を、先端の開口径が 4 mm と 2 mm の条件で探索的に確認する。これらを通じて、口内送気によって飲食物の触覚的な存在感を生成する可能性を探るとともに、現行システムにおいて知覚されやすい刺激の特徴と、今後改善すべき設計上の課題を整理する。

2. 関連研究

本研究は、空気・流体による触覚提示、口内への触覚提示、および食感の知覚と食体験の拡張に関連する。

2.1 空気・流体による触覚提示

空気流を用いた触覚提示は、実物の液体や物体を用いずに、圧力による流れ、衝突感を提示できる手法である。FlowHaptics は、複数の空気ジェットを用いて、指に流れる水の圧力分布を提示するミッドエア触覚システムである [7]。同研究では、実際の水を用いずに、空気流の時空間的な制御によって流体感を提示できることを示している。

¹ 明治大学

^{a)} ev240588@meiji.ac.jp

^{b)} homei@homei.com

口腔内への空気刺激は、嚥下研究においても用いられてきた。Theurerらは、歯科用スプリントに埋め込んだチューブを介して、口腔咽頭領域のうち扁桃周囲領域に空気パルス列を提示し、嚥下頻度が増加することを示した [8], [9]。これらの研究では、口腔咽頭領域へ空気刺激を提示する装置構成と、空気パルスが嚥下反応に与える影響が検討されている。

2.2 口腔内への触覚提示

口や舌、歯、口蓋は高い触覚感度を持つため、触覚を提示する面として利用する研究が行われている。Mouth Hapticsは、VRヘッドセットに搭載した超音波フェーズドアレイにより、唇、歯、舌へ非接触の触覚刺激を提示するシステムである [4]。同研究では、点状インパルス、インパルス列、スワイプ、持続振動などの刺激パターンを設計し、VR体験における口周辺の触覚の有効性を示している。

舌を対象とした触覚提示として、TactTongueが提案されている [5]。TactTongueは、舌上に配置可能な電極アレイを用いて、電気触覚刺激による時空間的な触覚提示を行うプロトタイピング基盤である。また、Palatal Electrotactile Displayは、歯科用リテーナに電極アレイを配置し、舌の接触の検出と電気触覚提示を行う口腔内に装着するデバイスである [6]。これらの研究は、口腔内を、触覚を提示する面として扱う有用性を示した。

2.3 食感の知覚と食体験の拡張

食感や口内の感覚は、食品の受容や嗜好に関わる重要な要素である。口腔内の触覚感度に関するレビューでは、二点弁別、圧力に対する感度の測定、特定の食感の属性の弁別課題などが整理されており、食感は厚み、粗さ、粒感、粘性、硬さなどの複数の属性から構成されることが指摘されている [10]。また、液状食品の厚みの知覚については、舌と口蓋の間で食品を押し広げる際の流動や応力が重要であることが示されている [11]。これらの知見は、飲食物の存在感を提示する上で、口内の圧力、流れ、広がりが必要な手がかりとなることを示唆している。

食体験を拡張するインタフェースとしては、咀嚼音、咬合力、圧力、振動などを利用した手法が提案されてきた。Chewing JOCKEYは、咀嚼動作を検出し、その動作に同期して咀嚼音や効果音を加工・提示することで、クロスモーダル効果により食感を拡張するシステムである [1]。Food Simulatorは、実食品を噛んだ際の咬合力プロファイルを取得し、それに基づく反力を口腔内インタフェースで再現することで、食品の硬さや破断感を提示するシステムである [2]。また、Straw-like User Interfaceは、ストロー内の圧力、振動、音を制御することで、飲用感覚を提示する [3]。他にも、顔面装着型の空気圧インタフェースにより、VR内で咀嚼時の力覚フィードバックを提示する研究も行われ

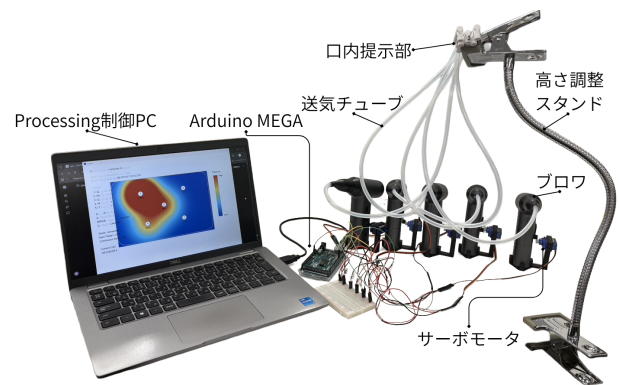


図 1 Oral Mirage の全体像。Processing で設定した 5 台のブロウに対応する制御値を Arduino MEGA へ送信し、サーボモータを介して各ブロウの風量調整スライダを操作する。各ブロウから送られた空気はチューブを通して口内提示部へ送られる。

ている [12]。

2.4 本研究の位置づけ

飲食物は口内の一点に静止して知覚されるだけでなく、舌上を移動したり、複数の位置へ広がったり、粒が異なる位置に接触したりする。したがって、飲食物の移動感、広がり、粒感および流れを表現するには、一点への刺激だけでなく、口腔内の複数位置へ局所的な刺激を提示し、その位置関係や時間変化を制御することが重要と考えられる。前述した研究に対し、本研究では、舌面に刺激子を接触させずに局所的な圧力や空気流を提示できるという空気ジェットの特徴に着目する。FlowHapticsは空気ジェットによる流体感が検討されているが、提示対象は指である [7]。また、口腔内への空気提示は嚥下研究で用いられているものの、その目的は嚥下反応の誘発や促進であり、刺激部位も主に口腔咽頭領域である [8], [9]。そこで本研究は、口内送気による触覚的な存在感提示の可能性を探索し、その実現に向けた設計上の課題を整理する初期的な試みとして位置づけられる。

3. Oral Mirage の設計と実装

本研究では、空気ジェットを用いて口腔内に飲食物の存在感を提示するデバイス Oral Mirage を構築し、実物を伴わずに飲食物の触覚的な存在感を口腔内に生じさせることを試みる。Oral Mirageは、5つの送気口から口内へ個別に空気を提示し、送気位置、強度、タイミングを制御することで、接触感、移動感、広がり、粒感、流れといった触覚的な印象を生成する。本章では、Oral Mirageのシステム構成、口内提示部、制御ソフトウェア、および実装した刺激パターンについて述べる。

3.1 システム構成

提案システム全体の構成を図 1 に示す。本システムは、制

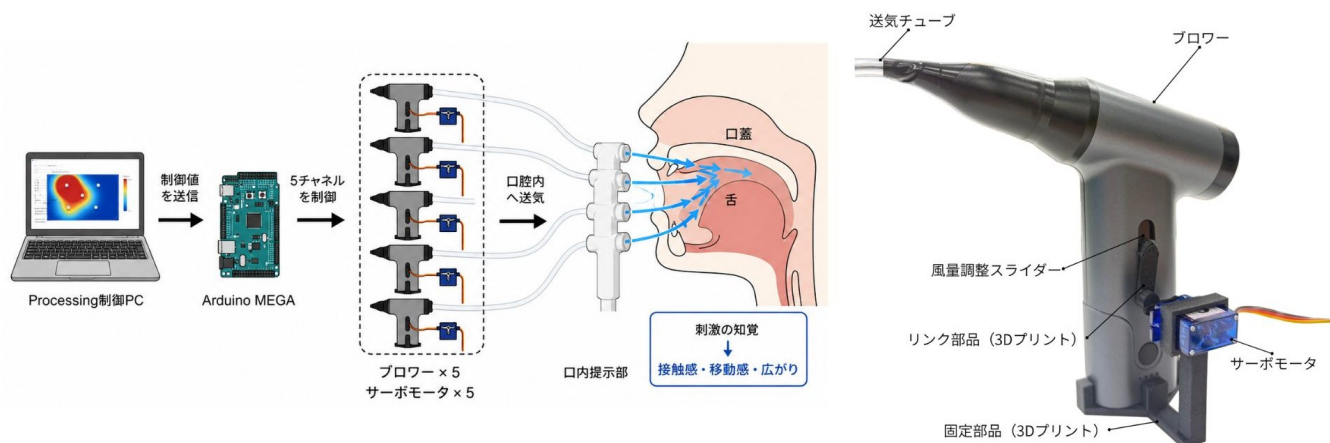


図 2 送気モジュールの実装。左はシステム構成，右はブロウの詳細を示す。

御用 PC, 5 台の小型電動ブロウ (J02-GR, BTIHCEUOT), 5 個のマイクロサーボモータ (SG90, Tower Pro Pte Ltd), Arduino MEGA 2560 Rev3 (Arduino), 送気用チューブ, および 3D プリントした固定部品と口内提示用アタッチメントから構成されている。各ブロウは 1 本のチューブに接続され, 対応する送気口へ独立して空気を送る。チューブの内径は, 4 mm, 外径は 6 mm である。使用した小型電動ブロウは, 公称最大風速 150 m/s, 最大回転数 300,000 rpm のブラシレスモータ式ブロウである。なお, これらはブロウ単体の公称値であり, チューブおよび口内提示部を通過した後の風速を示すものではない。

サーボモータと風量調整スライダを接続するリンク部品, およびサーボモータをブロウ本体へ固定する保持部分は 3D プリンタで作成した。

送気モジュールの実装を図 2 に示す。

3.2 口内提示部

口内提示部は, 5 本の送気チューブを保持する 3D プリントアタッチメントによって構成される。評価では, 送気口の先端の開口径を 4 mm および 2 mm とした 2 種類の口内提示部を用いた。送気口の配置は両条件で共通とし, 送気位置や送気口数を変化させずに, 先端の開口径による知覚傾向の違いを比較できるようにした。各チューブの先端を送気口とし, 空気ジェットが舌前方の複数位置に当たるように配置した。図 3 に, 制御インタフェース上の 5 点と, 舌上の対応位置を示す。

制御インタフェース上では, 5 つの送気口を左上, 右上, 中央, 左下, 右下の 5 点として配置している。後述する刺激パターンでは, この対応に基づき, 単一位置への提示, 複数位置への同時提示, および時間差提示を組み合わせることで空気刺激を生成する。

なお, 扁桃周囲領域への空気パルス刺激によって嚥下頻度が増加することが示されているため [8], [9], 本実装では

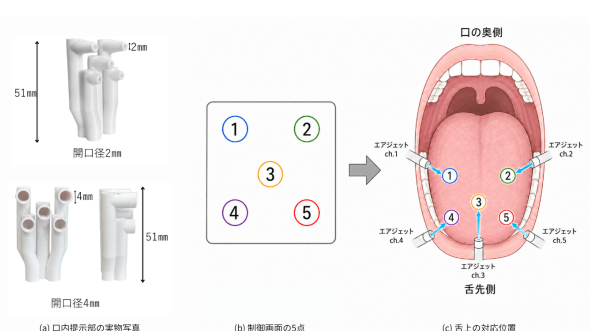


図 3 口内提示部と口内提示部における 5 つの送気口の配置

刺激が咽頭側へおよばないように, 提示対象を舌前方に限定した。

3.3 制御ソフトウェア

制御ソフトウェアは, Processing で作成した制御インタフェースと, Arduino MEGA 上で動作するサーボ制御プログラムから構成される。Processing 側では, 各送気口に対応する指令値を 0–100 % の範囲で保持し, それらを CSV 形式で Arduino へ送信する。この値は実測した風速の割合ではなく, ブロウの風量調整スライダの可動範囲に対応する値である。例えば送信値が [0, 25, 50, 75, 100] の場合, 送気口 1–5 に対応する 5 台のブロウには, それぞれ異なる制御値が指定される。通信速度は 115200 bps とした。

Arduino 側では, 受信した 0–100 % の値を 0–90 度の範囲のサーボ角度へ変換する。サーボモータは, 現在角度から目標角度へ段階的に近づくように制御される。本実装では, 10 ms ごとに最大 3 度ずつ角度を更新することで, 急激な動作を抑えながら風量調整スライダを操作する。

制御インタフェースには, 現在の刺激パターン, 連続送信の状態, シリアル接続の状態, 送信中の CSV 値, Arduino からの応答を表示する。キー入力により刺激パターンを切り替えられるほか, 全ての送気口に対応する指令値を 0 % にする機能, 現在値を 1 回送信する機能, 連続送信の有効・

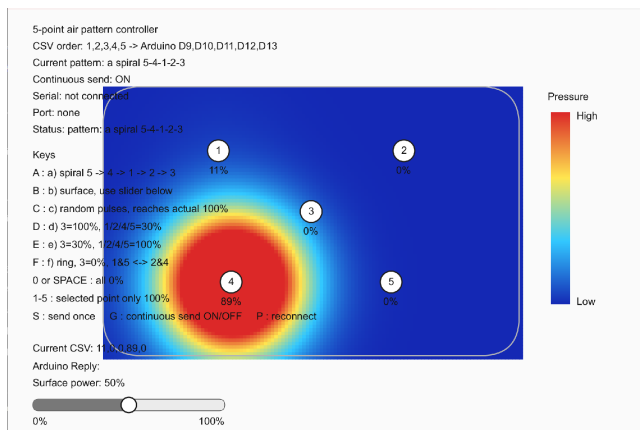


図 4 Processing で作成した制御インターフェース。現在の刺激パターン、送信状態、CSV 値を表示し、5つの送気口に対応する出力設定をヒートマップとして可視化する。

無効を切り替える機能を実装した。

さらに、5つの送気口に対応する指令値を、送気口の配置に対応したヒートマップとして表示し、現在の出力分布を確認できるようにした。この表示は実測された口腔内圧力や風速を表すものではなく、現在のブロワ出力設定を確認するための補助表示である。

図 4 に、Processing で作成した制御インターフェースの実行画面を示す。

3.4 刺激パターン

本実装では、5つの送気口に対応する指令値を時間的に変化させることで、複数の刺激パターンを生成した。以下ではこれらを P1-P6 とする。P1, P3 および P6 では指令値を時間的に変化させ、P2, P4 および P5 では、各送気口に対応する指令値を一定とする。

3.4.1 P1：螺旋状移動パターン

送気口 5, 4, 1, 2, 3 の順に出力の中心を移動させる。各ステップでは、現在の送気口に対応する出力を下げながら、次の送気口に対応する出力を上げる。指令値は、余弦関数に基づいて滑らかに変化させ、刺激が舌上を移動するような印象の生成を試みる。

3.4.2 P2：全点同時提示パターン

5つの送気口に対応する指令値を全て同一値に設定し、舌上の複数の位置へ同時に空気刺激を提示する。指令値は、制御インターフェース上のスライダによって 0-100% の範囲で調整し、刺激が面として広がるような印象の生成を試みる。

3.4.3 P3：ランダムパルスパターン

5つの送気口のうち、ランダムに選択した 1 つから短時間パルスを提示する。刺激の提示時間を 140 ms、刺激間の無出力時間を 120 ms、指令値を 100% とし、舌上の異なる位置に粒が断続的に当たるような感覚の生成を試みる。

3.4.4 P4：中央強調パターン

中央の送気口 3 に対応する指令値を 100%，周辺の送気口 1, 2, 4, 5 に対応する指令値を 30% に設定し、中央が周辺より強く知覚される刺激分布を生成する。

3.4.5 P5：周辺強調パターン

中央の送気口 3 に対応する指令値を 30%，周辺の送気口 1, 2, 4, 5 に対応する指令値を 100% に設定し、周辺が中央より強く知覚される刺激分布を生成する。

3.4.6 P6：周辺交互提示パターン

中央の送気口 3 に対応する指令値を 0% とし、周辺の送気口 1 と 5、送気口 2 と 4 をそれぞれ対にして交互に提示する。本実装では、周期を 1400 ms とし、余弦関数に基づいて 2 組の出力を滑らかに入れ替えることで、刺激が中央を避けながら周辺部を移動するような印象の生成を試みる。

4. 空気刺激の予備的な知覚評価

本評価は、提案システムによる空気刺激が舌上でどのように知覚されるかを確認するため、先端の開口径が 4 mm と 2 mm の条件において、6 種類の刺激パターンおよびマウスカーソル追従提示を用いた予備的な知覚評価を行った。評価結果は、参加者の自由記述に基づいて定性的に整理した。

4.1 評価手法

参加者は 20 歳女性 2 名であった。本評価では、ブロワから口内提示部までの送気チューブの長さを 40 cm とした。口内提示部には、先端の開口径が 4 mm の条件と 2 mm の条件を用いた。先端の開口径が 4 mm と 2 mm の両条件において、3.4 節で定義した P1-P6 の 6 種類の刺激パターンおよびマウスカーソル追従提示を用いた。参加者は口内提示部を装着し、舌前方に空気刺激が当たる状態で、固定パターン提示とマウスカーソル追従提示を体験した。評価に際しては、疼痛や強い不快感が生じた場合には直ちに提示を中止するよう参加者に伝えた。本評価では、参加者から疼痛や強い不快感の報告はなかった。

固定パターン提示では、3.4 節で定義した P1-P6 の 6 種類の刺激パターンを提示した。P1 では、1 ステップの時間を 700 ms と 1400 ms の 2 条件とした。

マウスカーソル追従提示では、制御インターフェース上のマウスカーソルの位置に応じて、近傍の送気口の指令値を変化させた。この条件では、提示位置の移動が舌上で知覚されるか、また移動方向や操作方法によって知覚しやすさに差が出るかを確認した。

4.2 評価結果

4.2.1 P1：螺旋状移動パターン

開口径 4 mm の条件では、1 ステップ 700 ms の条件では刺激位置の変化が速く、参加者は移動を明確には知覚し

にくかった。1 ステップを 1400 ms にした場合には、刺激位置が移動している可能性は感じられたが、螺旋状の軌跡としては知覚されにくかった。また、参加者の 1 名は、奥行き方向の変化が分かりにくいと報告した。

開口径 2 mm の条件では、1 ステップ 1400 ms の場合に刺激位置の移動が知覚されやすくなった。一方、700 ms の場合には移動を明確には知覚できず、螺旋状の移動も判別されなかった。

4.2.2 P2：全点同時提示パターン

開口径 4 mm の条件では、複数の送気点が同時に提示されることで、面状の広がりに近い印象が得られた。5 つの送気口に対応する指令値を同一値にした場合、各送気点が独立した点刺激としては目立ちにくくなった。

開口径 2 mm の条件では、開口径 4 mm と比較して、各刺激位置が点として知覚されやすくなった。ただし、出力を強くすると点として知覚される感覚が弱まり、面状の刺激として知覚される傾向がみられた。

4.2.3 P3：ランダムパルスパターン

開口径 4 mm の条件では、両参加者とも刺激が弱いと報告し、粒感を明確には知覚できなかった。

開口径 2 mm の条件でも、刺激を断続的に感じる場合はあったものの、刺激位置の変化や粒感を安定して知覚することはできなかった。

4.2.4 P4：中央強調パターン

中央強調パターンでは、中央の送気口 3 に対応する指令値を 100 %、周辺の送気口に対応する指令値を 30 % に設定した。

開口径 4 mm の条件では、周辺強調パターンと交互に提示した場合にも、両参加者とも中央が強調されている印象を明確には知覚できなかった。

開口径 2 mm の条件では、中央部分の刺激が強いことを知覚できる場合があった。

4.2.5 P5：周辺強調パターン

周辺強調パターンでは、中央の送気口 3 に対応する指令値を 30 %、周辺の送気口に対応する指令値を 100 % に設定した。

開口径 4 mm の条件では、中央強調パターンと交互に提示した場合でも、両参加者とも周辺が強調されている印象を明確には知覚できなかった。

開口径 2 mm の条件でも、周辺部分が強調されていることは明確には知覚されなかった。

4.2.6 P6：周辺交互提示パターン

開口径 4 mm の条件では、中央を 0 % とし、周辺の送気口から空気刺激を交互に提示する条件であっても、現行の提示設定では周辺部を移動するような印象は十分には得られなかった。

開口径 2 mm の条件でも、周辺の刺激が交互に提示されていることや、刺激位置の移動は明確には知覚されな

かった。

4.2.7 マウスカーソル追従提示

開口径 4 mm と開口径 2 mm の条件どちらでも、固定パターン提示と比較して、刺激位置の移動が知覚しやすい傾向がみられた。舌上の横方向の移動は比較的知覚しやすい一方で、縦方向の移動は横方向に比べて知覚しにくいという報告が得られた。

他者がマウスを操作した条件では、参加者の 1 名は、送気口 4 および 5 に対応する舌尖寄りの左右位置は判別しやすい一方で、送気口 1, 2, 3 に対応する位置の違いは判別しにくいと報告した。一方、参加者自身がマウスを操作した場合には、他者が操作した場合よりも位置の違いを知覚しやすいとの報告が得られた。

また、両参加者とも、ブロワの音の大小によって印象は大きく変化しなかったとの報告が得られた。ただし、本評価では聴覚条件を厳密には統制していないため、この点は参考的な観察に留める。

5. 議論・今後の課題

全点同時提示では、開口径 2 mm の方が 4 mm より各位置への刺激を点として知覚しやすかった一方、指令値を高くすると面状に知覚される傾向がみられた。このことから、点状感と面状感、先端の開口径と指令値の組合せに影響される可能性がある。

螺旋状移動パターンでは、刺激位置が移動している印象は一部で得られたものの、螺旋状の軌跡としては知覚されにくかった。一方、マウスカーソル追従提示では位置の移動が比較的知覚されやすく、横方向の移動が縦方向より知覚されやすい傾向がみられた。また、参加者自身がマウスを操作した場合には、操作の意図に基づく予測によって刺激位置を知覚しやすくなった可能性がある。今後は、送気口の配置、移動方向および操作の有無が位置の知覚に与える影響を検討する必要がある。

ランダムパルスパターンによる粒感と、中央強調、周辺強調および周辺交互提示の違いは、現行の条件では明確には知覚されなかった。ランダムパルスでは、サーボモータの動作速度と 40 cm の送気チューブによる応答遅れが影響したと考えられる。粒感や刺激分布の違いを提示するためには、送気経路の短縮や電磁弁の導入、送気口の間隔、チューブ先端の形状、指令値の差を調整する必要がある。

本評価では、空気刺激が特定の飲食物として知覚されるかについては直接評価していない。一方、全点同時提示による面状の広がり、開口径 2 mm の条件で得られた点状感、およびマウスカーソル追従提示による移動感、それぞれ液体の広がり、粒状物の接触、飲食物が舌上を移動する感覚を構成する触覚的要素として利用できる可能性がある。ただし、本評価は 2 名の参加者による自由記述に基づく定性的な確認であり、統計的な検証を行ったものではな

い。今後は、参加者数を増やし、提示位置、移動方向、指令値、提示速度、送気チューブの長さを統制するとともに、これらの知見に基づく刺激パターンを視覚情報、味覚情報および咀嚼音と組み合わせ、特定の飲食物が口内に存在するような感覚を提示できるかを検討する。

6. おわりに

本稿では、飲食物の触覚的な存在感を口腔内に生じさせることを目的として Oral Mirage を構築し、そのシステム構成、口内提示部、制御ソフトウェアおよび6種類の刺激パターンについて述べた。

2名を対象とした評価では、開口径4mmの条件において、全点同時提示パターンにより面状の広がりに近い印象が得られた。開口径2mmの条件では、開口径4mmと比較して各刺激位置が点として知覚されやすいとの報告が得られた。一方、出力を強くすると面状の刺激として知覚される傾向がみられたが、ランダムパルスによる粒感や、周辺強調、周辺交互提示の差は明確には知覚されにくかった。また、マウスカーソル追従提示では、刺激位置の移動が比較的知覚されやすく、横方向の移動が縦方向より知覚されやすい傾向がみられた。今後は、送気機構の応答速度、送気口の配置、送気チューブの長さを改善し、空気刺激の提示位置、移動方向、強度、時間変化が飲食物の存在感に与える影響を評価する。

第2著者らは、食の再構築[13]を目指し味覚メディア[14]を推進しており、脂質ゼロで油らしい液体[15]、脂質・糖類ゼロでクリームの食感のゾルを生成する試み[16]を行ってきた。気体混合を利用した嗅覚メディアも開発している[17]。今後は、飲食物を用いずに口内触覚を提示する技術として他の味覚メディア・嗅覚メディアと組み合わせ、本手法を食感提示手法のひとつへと発展させたい。

参考文献

- [1] 小泉直也, 田中秀和, 上間裕二, 稲見昌彦: Chewing JOCKEY: 咀嚼音提示を利用した食感拡張装置の検討, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 18, No. 2, pp. 141–150 (2013).
- [2] Iwata, H., Yano, H., Uemura, T. and Moriya, T.: Food Simulator, *Proceedings of the International Conference on Artificial Reality and Telexistence*, ICAT 2003 (2003).
- [3] Hashimoto, Y., Nagaya, N., Kojima, M., Miyajima, S., Ohtaki, J., Yamamoto, A., Mitani, T. and Inami, M.: Straw-like User Interface: Virtual Experience of the Sensation of Drinking Using a Straw, *Proceedings of the 2006 ACM SIGCHI International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, ACE '06, ACM, (online), DOI: 10.1145/1178823.1178873 (2006).
- [4] Shen, V., Shultz, C. and Harrison, C.: Mouth Haptics in VR using a Headset Ultrasound Phased Array, *Proceedings of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '22, ACM, (online), DOI:

- 10.1145/3491102.3501960 (2022).
- [5] Mukashev, D., Ranasinghe, N. and Nittala, A. S.: Tact-Tongue: Prototyping ElectroTactile Stimulations on the Tongue, *Proceedings of the 36th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '23, ACM, (online), DOI: 10.1145/3586183.3606829 (2023).
- [6] Jiang, B., Kim, J. and Park, H.: Palatal Electrotactile Display Outperforms Visual Display in Tongue Motor Learning, *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, Vol. 30, pp. 529–539 (online), DOI: 10.1109/TNSRE.2022.3156398 (2022).
- [7] Ratsamee, P., Orita, Y., Kuroda, Y. and Takemura, H.: FlowHaptics: Mid-Air Haptic Representation of Liquid Flow, *Applied Sciences*, Vol. 11, No. 18, p. 8447 (online), DOI: 10.3390/app11188447 (2021).
- [8] Theurer, J. A., Bihari, F., Barr, A. M. and Martin, R. E.: Oropharyngeal Stimulation with Air-Pulse Trains Increases Swallowing Frequency in Healthy Adults, *Dysphagia*, Vol. 20, pp. 254–260 (online), DOI: 10.1007/s00455-005-0021-1 (2005).
- [9] Theurer, J. A., Czachorowski, K. A., Martin, L. P. and Martin, R. E.: Effects of Oropharyngeal Air-Pulse Stimulation on Swallowing in Healthy Older Adults, *Dysphagia*, Vol. 24, pp. 302–313 (online), DOI: 10.1007/s00455-009-9207-2 (2009).
- [10] Liu, J., Cattaneo, C., Papavasileiou, M., Methven, L. and Bredie, W. L. P.: A Review on Oral Tactile Sensitivity: Measurement Techniques, Influencing Factors and Its Relation to Food Perception and Preference, *Food Quality and Preference*, Vol. 100, p. 104624 (online), DOI: 10.1016/j.foodqual.2022.104624 (2022).
- [11] Deblais, A., den Hollander, E., Boucon, C., Blok, A. E., Veltkamp, B., Voudouris, P., Versluis, P., Kim, H.-J., Mellema, M., Stieger, M., Bonn, D. and Velikov, K. P.: Predicting Thickness Perception of Liquid Food Products from Their Non-Newtonian Rheology, *Nature Communications*, Vol. 12, p. 6328 (online), DOI: 10.1038/s41467-021-26687-w (2021).
- [12] Liu, Q., Fang, Z., Wu, J., Cai, S., Yan, J., Mo, T., Chan, S. C. and Zhu, K.: VirCHEW Reality: On-Face Kinesthetic Feedback for Enhancing Food-Intake Experience in Virtual Reality, *SIGGRAPH Conference Papers*, ACM, (online), DOI: 10.1145/3721238.3730694 (2025).
- [13] 宮下芳明: 味覚・嗅覚・栄養のメディア化による食の再構築, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2025 論文集, Vol. 2025, pp. 143–148 (2025).
- [14] Miyashita, H.: Taste Media: Innovative Technology Transforms the Eating Experience, *Modeling Decisions for Artificial Intelligence*, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 14986, Springer, pp. 8–16 (2024).
- [15] 小平乙寧, 宮下芳明: Virtual Oil Generator: 多様な油を脂質ゼロで生成する装置実現に向けて, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2024 論文集, Vol. 2024, pp. 483–487 (2024).
- [16] 宮下芳明, 千田知佳, 奥野達也: Virtual Cream Generator: 多様なクリームを脂質・糖類ゼロで生成する装置に向けて, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2024 論文集, Vol. 2024, pp. 229–232 (2024).
- [17] 大岩千夏, 宮下芳明: TTTVape: 気体混合方式のシーシャ型嗅覚メディア, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2026 論文集, Vol. 2026 (2026).