

TasteFlow Tube: 単一チューブ内の味溶液カプセルによる味の時間変化提示デバイスの提案

清水 聖也* 雨坂 宇宙* 森田 崇文† 岩井 大輔*

概要. 本稿では、単一のチューブ内で複数の味溶液を時系列的に提示することで味の時間変化を再現するデバイスの試作を報告する。従来の味溶液を用いた味覚提示研究では、複数の味溶液をあらかじめ混合して提示する方式と、複数のチューブを用いてそれぞれの味溶液を並列に送る方式が主であった。本デバイスは、複数のポンプから伝搬する各味溶液の出力を単一のチューブ内で統合し味溶液の混合比率や輸送量を制御することで「味のセグメント化」を実現した。さらに、セグメント間に空気層を挟むことで隣接する液体の混合を防ぎ、セグメントの時系列的な伝搬を可能にしている。これらの連続するセグメント群を一つの「味溶液カプセル」として機能させることで、異なる味刺激のシーケンシャルな提示を実現する。味覚体験に時間軸を導入できれば、例えばショートケーキのように複数の素材が重なった食品を口にした際に感じる味の時間変化を再現でき、より豊かな食体験を演出できる可能性がある。また、VR 環境での味覚変化などのインタラクティブな応用も期待される。

1 はじめに

味覚は五感の一つであり、食事を通して人の体験を豊かにする重要な感覚である。味覚を工学的に再現・提示する技術は、VR などの体験型メディアやウェルビーイングの分野での応用が期待されている。しかし、従来の味覚提示インターフェースにおいて、時間的に変化する味の再現は十分に探究されておらず、これは挑戦的な課題である。現実の食事では、例えばショートケーキを食べる際にはクリームの甘さ、イチゴの酸味、スポンジの風味が時間とともに変化し、複雑な味覚体験を生み出す。このような味の時間変化を工学的に再現することは、より豊かな食体験の創出につながると考えられる。

これまでの味覚提示技術は、主に電気刺激方式と、液体等の化学物質を用いる方式に大別される。電気刺激方式は再現できる味覚の種類が限られ [6]、化学物質方式の中でもイオン泳動方式は味の強度変化によってグラデーションを再現できるが [5]、扱える液体が電解質に限定され、デバイス接触領域でのみ知覚できるという制約を持つ。そのため本研究では、より汎用性の高い複数の味溶液を用いた提示手法を対象とする。この手法を用いた既存研究は、複数の味溶液を混合して提示する提案 [4] や、複数のチューブを通して味溶液や味覚変調材を 1 種類ずつ口腔部まで輸送する提案 [1, 7] がある。味の時間変化を再現するには、所望のタイミングで伝搬する味

溶液を切り替える必要があるが、従来の方式では精密な液体制御の難しさから、これまで十分に検討されてこなかったと考えられる。

本研究では、この味覚の時間軸という課題に対し、単一のチューブ内で複数の味溶液を時系列に提示することで味の時間変化を再現するデバイスを提案する。本デバイスは、空気層を介在させる液体輸送の仕組み [3] を味覚提示へ応用し、味溶液間に空気層を挟むことで各液の混合を防ぎつつ液体の輸送量と混合比率を制御できる味のセグメント化を実現する。この連続するセグメント群を一つの「味溶液カプセル」として機能させることで、味の時間変化を可能にする。図 1 に提案デバイスの動作イメージを示す。図中の例では、赤色の甘味溶液と青色の酸味溶液の混合比率を時間的に変化させ、甘味から酸味へと徐々に変化する味覚体験を提示している。

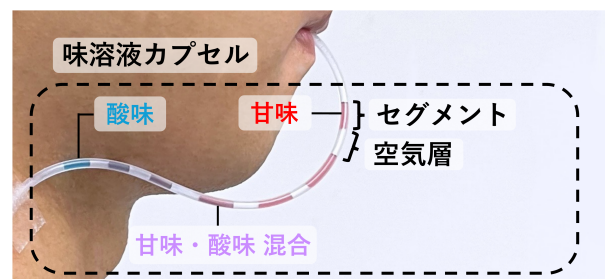


図 1. 提案するデバイスの動作: 甘味 (赤) から酸味 (青) へ時間的に変化する味覚体験を提示する

本稿では、試作したデバイスの基本設計と制御方法を中心に報告する。

2 関連研究

液体味覚提示はこれまでにさまざまな実装例が報告されている。宮下は、味溶液をフィルム上に噴霧するディスプレイ [8] を開発し、噴霧混合では味のグラデーションの再現は難しいとした。Kasahara らは複数のポンプとチューブを用いて五味溶液をスプーン上で混合するデバイス [4] を開発した。また、Chen らは遠隔の味を基本五味の強度で再構成するシステムを提案し、液体提示が味覚伝達へ応用可能であることを示した [2]。Vi らはゲーム体験への味覚の組み込みを報告し [7]、Brooks らの Taste Retargeting は VR における味の変調手法を提示した [1]。これらは味覚提示の応用例と、複数の味溶液をチューブ等で口腔部まで送る設計を示す先行研究である。

液体輸送の仕組みとして参照したものとして、単一チューブ内で着色水と空気を分割して制御することで、柔軟な表示を実現する液体ディスプレイがある [3]。本研究はこの仕組みを味覚提示へ応用するにあたり、複数の味溶液を所望の混合比率で動的に混合するため、各セグメントに対してポンプの駆動時間比を段階的に変化させる制御方式を実装した。

3 試作機の実装

本章では、試作したデバイスの基本設計と制御方法について詳述する。デバイスの構成を図 2 に示す。

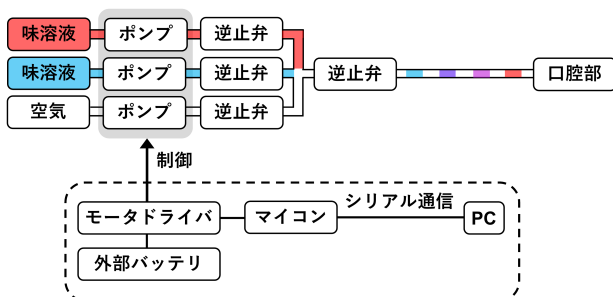


図 2. 提案デバイスの基本設計

本試作機は、2種類の味溶液（甘味：スクロース溶液、酸味：クエン酸溶液）と空気を個別に送液するため、計3台の小型ポンプ（高砂電気工業 RP-QIIX1.5S-2P2Z-DC3V、公称流量 1.8-1.9 ml/min）で構成される。各ポンプは、モータドライバ（DRV8833）を介してマイコン（XIAO ESP32S3）によって駆動され、電源には外部バッテリー（3.7 V、400 mAh）を用いた。制御プログラムでは、1カプセルあたりの合計吐出時間、空気層の生成時間、全セグメント数を指定できる。例えば、合計吐出時間を 450 ms、空気層の生成時間を 350 ms とし、全7セグメントで甘味から酸味へ変化させる場合、1セグメント目では甘味ポンプのみを 450 ms 駆動し、セグメント数を重ねるごとに甘味ポンプの時間を線形に

減らし、酸味ポンプの時間を増やす（例：4セグメント目では各ポンプを 225 ms ずつ駆動）。これにより、混合比率が徐々に変化する味溶液カプセルを自動生成する。なお、本制御回路は Taste Retargeting [1] で用いられた実装を参考に構築した。

流路系の安定性を確保するため、各ポンプの吐出口と統合後のチューブには逆止弁を設置した。配管には、主に内径 1.5 mm/外径 2.5 mm のシリコンチューブを使用している。各ポンプからの3本の流路は Y 字コネクタを用いて単一のチューブに統合され、ポンプから先端までの全長は約 60 cm である。

予備の評価として、着色した2種類の液体（赤・青）を用いて同様の制御を行ったところ、チューブ内を通るセグメントが、意図通りに赤から紫、青へと色が変わる様子を目視で確認した。また、著者による試用において、実際に甘味から酸味へと味が徐々に変化する体験が得られることを確認した。

4 今後の課題

本試作デバイスは異なる味刺激のシーケンシャルな提示の実現可能性を示したが、現状の実装にはハードウェア面と評価面の両面で解決すべき課題が残る。

ハードウェア面では、多味化に向けた拡張や提示の応答性が課題となる。現状の構成では味の種類を増やすとポンプの追加で装置が大型化するため、電磁弁と単一ポンプを組み合わせた省スペースな輸送方式の実装を計画している。また、駆動時間での制御ではなく、より精密な流量フィードバック制御の導入も視野に入れている。さらに、口腔部までの輸送遅延も実用上の課題であり、ポンプやチューブ長の最適化選定によって応答性を高める必要がある。

評価面では、本デバイスの有用性を示すために実際の食体験に与える影響を定量的に評価することが不可欠である。具体的には、味の時間変化が食体験に与える効果、味の提示タイミングやセグメント長が知覚に及ぼす影響、および安全性や衛生管理の面からの評価を行う必要がある。

5 まとめ

本稿では、新しい味覚提示デバイスとして、味溶液間を空気層で区切ることで1本のチューブ内で複数の味溶液を時系列的に提示する試作機を報告した。提案デバイスは、複数ポンプを用いて2つの味溶液の混合比率を動的に変えながら輸送し、味溶液間に空気層を挿入することで各セグメントを形成し、これらのセグメント群を一つの「味溶液カプセル」として機能させる。これにより、従来の味覚提示システムでは困難であった時間的な味変化の設計可能性を拡張することができる。今後は、ハードウェアの改良を進めるとともに、本デバイスがユーザ体験に与える影響を評価する予定である。

参考文献

- [1] J. Brooks, N. Amin, and P. Lopes. Taste Retargeting via Chemical Taste Modulators. In *Proceedings of the 36th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pp. 1–15, 2023.
- [2] S. Chen, Y. Jia, B. Duan, T.-L. Liu, Q. Wang, X. Xiao, P. Nithianandam, X. Tian, C. Yang, C. Wu, Z. Xie, and J. Li. A sensor-actuator-coupled gustatory interface chemically connecting virtual and real environments for remote tasting. In *Science Advances*, p. eadr4797, 2025.
- [3] Y. Inoue, Y. Itoh, and T. Onoye. TuVe: a flexible display with a tube. In *SIGGRAPH Asia 2018 Emerging Technologies*, pp. 1–2, 2018.
- [4] N. Kasahara, M. Fukaike, and H. Miyashita. TTTV4: Cutlery-Type Taste Display Toward Personal Taste Media. pp. 1–3. Association for Computing Machinery, 2025.
- [5] H. Miyashita. Norimaki Synthesizer: Taste Display Using Ion Electrophoresis in Five Gels. In *Extended Abstracts of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems Extended Abstracts (CHI'20)*, pp. 1–6, 2020.
- [6] C. T. Vi, D. Ablart, D. Arthur, and M. Obrist. Gustatory interface: the challenges of ‘how’ to stimulate the sense of taste. In *Proceedings of the 2nd ACM SIGCHI International Workshop on Multisensory Approaches to Human-Food Interaction*, p. 29–33, 2017.
- [7] C. T. Vi, D. Arthur, and M. Obrist. TasteBud: Bring Taste Back into the Game. In *Proceedings of the 3rd International Workshop on Multisensory Approaches to Human-Food Interaction*, p. 1–5, 2018.
- [8] 宮下芳明. 液体噴霧混合式の味ディスプレイの試作. 第 29 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS2021) 論文集, pp. 121–127, 2021.