TTTV4：一口ごとに味を提示する味覚のパーソナルメディア

笠原 暢仁 *　深池 美玖 *　宮下 芳明 *

概要.　本稿は「味覚のパーソナルメディア」を実現することを目的とし，カトラリー型味覚提示デバイス TTTV4 のハードウェアとソフトウェアを試作した．各個人が使用することで，各個人が求める味を楽しむことができ，味覚コンテンツがパーソナライズされる．TTTV4 は単なる小型化の実現だけでなく，対象ユーザを料理を「作る人」から「食べる人」まで拡張した．これに伴い，要求される多様な速度と精度に基づいたハードウェアの議論を行った．また，多様な対象ユーザでも扱えるインタフェースに関する議論を行うため，Direct Manipulation と Interface Agents に基づく 2 つのユーザインタフェースを試作した．本稿における考察から，パーソナルメディアを実現するには，ユーザに合わせてインタフェースもパーソナライズすべきであることが示唆された．

1　はじめに

食には，栄養摂取だけでなく，好きな味を娯楽として楽しむ「味覚コンテンツ」としての側面がある．現状の飲食品産業の多くは，同じ商品・味で多くの人を楽しませるいわばマスメディア的な立ち位置にある．他方，視聴覚コンテンツでは，マスメディアからパーソナルメディアへの移行が進んでいる．各個人が求める視聴覚コンテンツを検索できるようになり，AI によってその人のためだけの視聴覚コンテンツを生成できるようになってきた[1]．

本稿の目的は，味覚におけるパーソナルメディアを実現することである．これは，多くのユーザが同じ商品・味を味わって楽しむのではなく，各個人が求める味を味わえるようにすることで実現される．本稿では，味覚パーソナルメディアの実現に向けたプロトタイプの実装と評価を通して，そのあり方について議論する．

まず，カトラリー型（スプーン）の味覚提示デバイス TTTV4 を試作した（図 1）．TTTV4 は 5 つのタンク，5 つのポンプ，制御コンピュータを搭載している．5 つの基本五味に対応する味溶液を出力し，その組み合わせで一口ごとに調味できる．これを各個人が使用することで，同じ食卓に着席していても各個人が異なる味を楽しめる．本稿では，試作した TTTV4 のハードウェア性能を評価し，有用性を議論する．

本稿の意義は，単なる小型化ではなく，対象ユーザを料理を「作る人」から「食べる人」まで拡張したことにある．料理を「作る」段階においては時間をかけて調味できても，「食べる」段階においては掬ってから口に運ぶまでの短い時間で調味を行わなければならない．そのため，調味の精度を低下させてでも速度を優先しなければならない．本稿では，この調味における速度と精度のトレードオフについて議論する．また対象ユーザの拡張に伴い，多様なユーザが扱えるインタフェースのあり方についても議論する．

図 1. カトラリー型味覚提示デバイス TTTV4．5 つのタンクと 5 つのポンプを搭載し，5 つの味溶液を混合することで，任意の味を出力できる．

2　関連研究

Sutherland が「[The display] should serve as many senses as possible」 [12] と述べているように，ディスプレイは多くの感覚に対応することが重要である．Dan は味覚にフィードバックを与えるエディブルユーザインタフェース（Edible User Interface，EUI）や味覚ディスプレイのコンセプトを提案した [5]．Norimaki Synthesizer は，基本五味に対応するゲルを口に当て，電流によって味を減算方式で調整する味覚ディスプレイである [6]．味覚センサ [13] と組み合わせると，測定値に基づいて基本五味の提示量を制御できる [7]．TTTV は，基本五味に対応する味溶液を噴霧混合する加算方式であり [8, 15]，食品に噴霧して味を変化させられる [9, 16]．さらに，0.02ml 単位というより精密な

Copyright is held by the author(s).
* 明治大学
[1] https://www.showrunner.xyz/

図 2. TTTV4 は，5 つのタンク，5 つのポンプ，1 つの M5StickC Plus 2 を搭載している．5 つのポンプはそれぞれ独立して 5 つの異なる味溶液を出力でき，一口ごとに味溶液を混合できる．

ポンプでの制御により，細やかな味の表現が可能になった [18]．Chalmers らは，味だけでなく嗅覚情報や温度，色，口当たりも提示できる味覚・嗅覚ディスプレイを提案している [2]．味覚物質による味表現だけでなく，味覚修飾物質で人間の味覚知覚を変化させて味を表現するアプローチもある．Brooks らは，味覚修飾物質を用いた VR 向け味覚コンテンツを提案している [1]．食前に味覚修飾物質を口内に送り込むことで，同じ食材でありながら多様な味を提供する VR コンテンツを実現した．TTTV や Chalmers らのデバイスは，一家に一台置く大型の「調味家電」としての味覚提示デバイスといえる．本稿では，一人一台持つことで各個人の味を制御する「調味食器」としての味覚提示デバイスの有用性を調査する．

調味食器のコンセプトは先行研究でも示されている．MIDAS SPOON [4] や，Chronospoon [17] ではスプーン型のデバイスから調味液を提示する．各個人の味を制御する点では，Füpop [11] は口内にジュースなどの飲料が入ったカプセルを配置し，口外から超音波で選択的に破裂させて，一口の中で味を変化させる．しかし，これらのデバイスは味溶液を混合して任意の味を出力するわけではない．

3　TTTV4 の設計・評価

本稿が目指す味覚パーソナルメディアの実現に向けたプロトタイプとして TTTV4 を設計・評価する．ユーザの入力に対して味を出力するためのハードウェアインタフェースと，入力を解釈し出力する味を決定するためのアルゴリズムを含むソフトウェアインタフェースで構成した．

3.1　ハードウェアインタフェース

パーソナルメディアの実現には，各個人が求める味を味わえるようにすることが必要である．そのため，各個人が食行動において使用するカトラリーを味覚提示デバイスとすることで，各個人の味を制御することとした．そこで，カトラリー型味覚提示デバイス TTTV4 を試作した（図 1）．TTTV4 は，味を出力する出力部と，ユーザの入力を受け付ける入力部で構成される．

3.1.1　出力部

TTTV4 は，5 つのタンクと 5 つのポンプを搭載しており，基本五味に対応する味溶液を混合することで，一口ごとにカトラリー上の食べ物を調味できる（図 2）．各タンクの容量は 5ml であり，基本五味に対応する味溶液が入っている．各ポンプは M5StickC Plus でリレー制御され，駆動時間によって各味溶液の出力量を調整する．出力された味溶液がカトラリー上で混合されることで任意の味を出力する．ポンプは圧電マイクロポンプ（SDMP306D）で，1 秒間に約 0.12ml の溶液を出力できる．本稿では，TTTV4 の出力性能である精度と速度を評価する．

3.1.2　出力部の検証と考察

出力精度の検証と考察

TTTV4 の精度を検証するため，目的の味を表現できるかの官能評価実験を行った．先行研究の大型デバイス [18, 2] と比較すると，調味対象が少量なため少しの調味で味が変わり，要求される精度が高くなる．目的の味として，牛乳を調味することでクラムチャウダーとイチゴミルクの味を出力するレシピを試作した（表 1）．これを TTTV4 によって出力し，5 人に試食してもらうことで出力精度を検証した（図 3）．このとき，味覚物質をなるべく短い時間で出力するため，2 つのレシピの最大公約数となるようにタンク内の味溶液の濃度を濃く設定した．例えば，甘味ではクラムチャウダー味において 0.043g，イチゴミルク味において 0.430g の出力が必要である（表 1）．最大公約数である 0.043g の甘味物質が単位あたりの出力となるように濃度を調整することで，できる限り高速に味を出力できる．実験の結果，「同じカップに入った牛乳を掬って味が変わるのが面白い」や「においがないので知らない状態だと何の料理かまではわからないが，料理名を聞けば分かる」などのフィードバックが得られた．このことから，TTTV4 は味を一口ごとに変化させ，ある程度の味再現を行うだけの出力精度があることがわかった．一方で，複雑な食品の風味を再現するために嗅覚情報が必要であることも確認された．これは，口内に嗅覚情報を提示するデバイス [14, 22] との組み合わせによって改善できる可能性がある．

本実験では，タンク内の味溶液の濃度をレシピに合わせて濃く設定したが，より汎用的な味提示には，さらに細かな単位での調味を行う必要がある．例えば，人間の味覚認知閾値 [21] を基に濃度を調整することで，人間に知覚できる範囲での細かな味調整が実現できるかもしれない．一方で，味覚閾値は各個人や食生活状況によって変化する [19] ため，個人の

表 1. クラムチャウダーとイチゴミルクの味を表現するために必要な味覚物質の種類と量.

クラムチャウダー味	g/4 ml
グルタミン酸ナトリウム (うま味)	0.080
パルスイート (甘味)	0.043
塩化ナトリウム (塩味)	0.024
炭酸カリウム (苦味)	0.016
乳酸 (酸味)	0.000
イチゴミルク味	**g/4 ml**
グルタミン酸ナトリウム (うま味)	0.000
パルスイート (甘味)	0.430
塩化ナトリウム (塩味)	0.000
炭酸カリウム (苦味)	0.000
乳酸 (酸味)	0.064

図 3. TTTV4 が味溶液を出力することによって，一口ごとに牛乳の味を変化させられる.

味の感じ方に合わせて，味溶液の濃度をパーソナライズする必要があるのかもしれない.

出力速度の検証と考察

ポンプが動き出すまでの電気的・機械的な遅延は，0.8〜1.1 秒（10 回測定）であった．ポンプの動作時間は，少し甘くするなど味をわずかに変化させる場合では 0.7〜2.1 秒，牛乳の味をクラムチャウダーやイチゴミルクに変えるなど大幅に味を変化させる場合では 1.4〜7.0 秒であった．出力までにかかる時間は合計で 1.5〜8.1 秒であった．[18, 2] のような「調味家電」における皿全体の調味と比較すると，短時間であることは明らかである．一方で，食べながらの調味を想定すると，1.5〜8.1 秒の出力時間は現状の大きな制約である．これは，速く正確に出力できるポンプや，食器 [20]・口腔内 [3] のセンサを利用して出力タイミングを調整することによって改善できる可能性がある.

速度と精度のトレードオフ

TTTV4 での出力における速度と精度のトレードオフは，味溶液の濃度に依存する．濃度を上げれば精度は低いが調味に必要な味物質を速く出力でき，濃度を下げれば細かな単位で調味できるが時間がかかる．先行研究での大型デバイスによる調味 [18, 2] は「飲食開始前の調味」であるため，速度を重視する必要はあまりなかった．一方で，本研究は「飲食時の調味」であるので，料理を掬ってから口に運ぶまでの間に出力しなければならず，要求される速度が全く異なる．このような短い時間での出力では，ポンプの性能に物理的な限界がある以上，速度のために意図的に精度を低下させざるを得ない．例えば，ユーザが急いで食べたい場合には細かな味の表現よりも短い出力時間が優先され，ゆっくり味を楽しみたい場合には速度よりも細かな味の表現が優先される．また，パスタをスプーン上で巻きながら食べる場合には長い出力時間が確保できたり，スープを掬ってすぐ口に運ぶ場合には短い出力時間が要求されたりするので，高速化や高精度化の難易度も異なる．このような，ユーザの状況や料理の種類によって変化する要求性能に対応することは，今後の課題である.

3.1.3 入力部

TTTV4 は，スマートフォンと通信することでタッチパネル，音声，カメラ（画像），温度，傾き，加速度，位置情報，明るさなどの様々なセンサからの入力を利用可能にした．これにより，ユーザごとに求めた味を入力する方法が変化したとしても，なるべく多くの情報を活用できると考えた．本稿ではプロトタイプとして，タッチパネル，音声（言語），カメラ（画像）による入力を実装した．タッチパネルでは，Graphical User Interface（GUI）に入力することによって出力する味を操作できる．音声（言語）では,「少ししょっぱく」や「フルーティに」,「なんとなく違う感じがする」というような曖昧な入力で味を変化させられる．カメラ（画像）では，食べたい味の料理を画像入力したりカメラで撮影したりすることで味を変化させられる．これらの入力と出力を結びつけるためのアルゴリズムや入力インタフェースについては，3.2 章で詳述する.

3.2 ソフトウェアインタフェース

味覚におけるパーソナルメディア実現のためには，多様なユーザが使いこなせるソフトウェアインタフェースを設計する必要がある．ユーザインタフェースに関する先行研究の議論では，Direct Manipulation と Interface Agents という 2 つのインタラクション方法について議論されている [10]．Direct Manipulation は制御感とユーザの操作に対する責任が強く，Interface Agents はユーザの情報整理や不得意な部分を代理できる．TTTV4 が想定する多様なユーザ層には，Direct Manipulation を好む人もいれば，Interface Agents を好む人もいるだろう．そこで本稿では，Direct Manipulation と Interface Agents に基づく 2 つのプロトタイプを試作した.

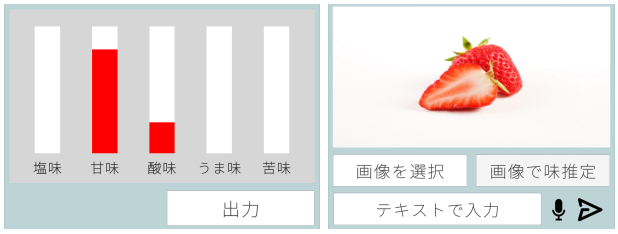

図 4. （左）スライダーで直接的に味を制御するインタフェース.（右）LLM を介して画像やテキストから味を推定・制御するインタフェース.

3.2.1 Direct Manipulation

Direct Manipulation に基づいたインタフェースとして，図 4（左）に示すような基本五味の出力量をスライダーにより直接操作するインタフェースを試作した．これにより，高い制御感で自分が求める味を探索することができる．また，出力される味はユーザの意志によってのみ変化するので，結果に対するユーザの責任が強い．先行研究 [10] では，プロフェッショナルなユーザほど Direct Manipulation を好むことが示唆されている．

3.2.2 Interface Agents

Interface Agents に基づいたインタフェースとして，図 4（右）に示すような LLM（GPT-4o）を介して画像・言語を入力として味を制御するインタラクションシステムを試作した．LLM による味の推定については，TTTV3 で既に実現可能性が示唆されている [18]．本稿では味の推定のみならず，LLM との調味インタラクションを通して自分が求める味を探索・享受するインタフェースとして LLM を利用した．具体的には，画像によって料理の味を推定したり，味による出力に対してユーザが感想や修正を伝えることで，味を調整できるようにした．このように，画像や言語による曖昧な入力をエージェントが解釈することによって，ユーザの不得意な部分（ここでは，味の配合を考える行為）を代理することができる．先行研究 [10] では，専門性の低いユーザほど Interface Agents を好むことが示唆されている．

LLM を用いた調味インタラクションのプロセスを図 5 に示す．システムは画像・言語入力を取得し，その入力に基づいて LLM が味を推定し，TTTV4 によって味を出力することができる．LLM に味を推定させるため，ロールとして以下の文章を入力した．「You are an excellent chef, and you are a professional who expresses the taste of any given dish through the combination of five basic taste (salt, sweetener, lactic acid, ajinomoto (umami), and potassium carbonate (bitterness)). You are a professional who can recreate the taste of a dish by adding the five taste substances listed above to 1000ml of water. Write the number of grams of each substances, separated by commas. You can response by only 5 specific numbers. Do not use any other words.」加えて，テキストが入力された場合，テキストデータとして LLM に送信した．音声が入力された場合，Pyaudio によって保存され，Whisper によってテキストに変換され LLM に送信した．画像が入力された場合，画像とともに「Estimate the taste of the food in this image.」というプロンプトを追加して LLM に送信した．これにより，LLM が推定した基本五味の出力量が，カンマ区切りの 5 つのデータとして生成される．データの生成に失敗した場合，カンマ区切りの 5 つのデータの形式になるまで繰り返される．取得したデータをポンプ駆動時間に変換し，味溶液を出力する．このシステムでは，発話後の音声認識において 0.6〜1.5 秒（100 回測定），LLM の生成時間において 1.1〜1.6 秒（10 回測定）のレイテンシが追加で発生した．

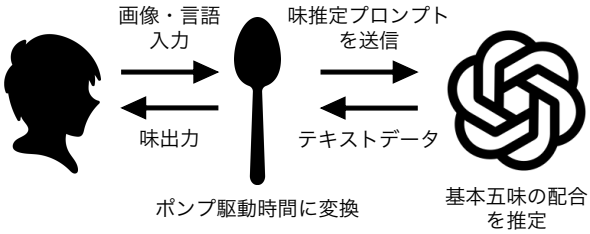

図 5. LLM を用いた調味インタラクションのプロセス．画像・言語入力にプロンプトを加えて LLM に送信する．LLM が推定した基本五味の配合量をポンプ駆動時間に変換し，味を出力する．

LLM を用いた調味インタラクションは，様々な入力に対して，もっともらしい味を提示できた．「よりしょっぱく」,「より甘く」など，一つの味に関連する入力に対しては，対応する味溶液の量を制御できた．また,「よりフルーティーに」には甘味と酸味を増加させ,「よりカニの風味を強くして」にはうま味を増加させるなど，曖昧な言語入力に対しても，もっともらしい味の推定値を得ることができた．一方，同じ入力に対する味覚出力の一貫性は低かった．例えば，クラムチャウダーのレシピでは,「より甘く」という同じ入力に対して，甘味溶液の出力量は 1〜10g とばらつきがあった．しかし,「さらに 10 %甘くする」といった具体的な入力を行うことで，一貫した結果が出力できることも確認された．このことから，システムやプロンプトによっては，様々な入力に対応した一貫性のある味覚インタラクションシステムが実現可能であることが示唆された．

4 議論

本稿では，味覚におけるパーソナルメディアの実現を目的として，カトラリー型味覚提示デバイスTTTV4のハードウェアとソフトウェアの実装を行った．ハードウェアの面では，レイテンシなどの制約はあるものの，一口ごとに味を制御できることが示唆された．このようなハードウェアを各個人が使用することで，ユーザごとに味を調整でき，味覚のパーソナライズが実現できる．また，料理全体ではない一口ごとの調味により，料理全体の調味では不可能だった「リスクの低い調味」が可能になった．つまり，料理全体の味を変えずに調味をするため，味が気に入れば同じ味を出力すれば良いし，気に入らなければ戻したり変えたりできるようになった．これによりユーザは，一度変えたら全体を戻せないというリスクを感じることなく味の探索・享受を行える．

ソフトウェアの面では，Direct Manipulation と Interface Agents に基づく 2 つのインタフェースを実装した．これらのインタフェースは，主体的に味を探索したいユーザや受動的に味を享受したいユーザに好まれると考えられる．一方で，味覚の好みが各個人に依存するように，インタフェースの好みも各個人に依存する可能性がある．例えば，基本的にはエージェントに代理して欲しいが，最後の調整は直接操作したいなどの 2 つの概念の間を求めるユーザがいるかもしれない．さらには，画像や言語による入力すらも煩わしく思うユーザもいるかもしれない．このようなソフトウェアのパーソナライズにより，幅広いユーザに対して味覚のパーソナルメディアを提供できる可能性がある．

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*, UIST '23, New York, NY, USA, 2023. Association for Computing Machinery.

[2] A. Chalmers, D. Zholzhanova, T. Arun, and A. Asadipour. Virtual Flavor: High-Fidelity Simulation of Real Flavor Experiences. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 43(2):23–31, 2023.

[3] Y. Jiang, J. Kleinau, T. M. Eckroth, E. Hoggan, S. Mueller, and M. Wessely. MouthIO: Fabricating Customizable Oral User Interfaces with Integrated Sensing and Actuation. In *Proceedings of the 37th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '24, New York, NY, USA, 2024. Association for Computing Machinery.

[4] Y. Kita and J. Rekimoto. Digitally enhanced utensils: Designing dynamic gustation. In *Distributed, Ambient, and Pervasive Interactions: Second International Conference, DAPI 2014, Held as Part of HCI International 2014, Heraklion, Crete, Greece, June 22-27, 2014. Proceedings 2*, pp. 48–57. Springer, 2014.

[5] D. Maynes-Aminzade. Edible Bits: Seamless Interfaces between People, Data and Food. 2005.

[6] 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*, pp. 1–6, 2020.

[7] H. Miyashita. Taste Display that Reproduces Tastes Measured by a Taste Sensor. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '20, pp. 1085–1093, New York, NY, USA, 2020. Association for Computing Machinery.

[8] H. Miyashita. TTTV (taste the TV): Taste presentation display for "licking the screen" using a rolling transparent sheet and a mixture of liquid sprays. In *Adjunct Proceedings of the 34th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pp. 37–40, 2021.

[9] H. Miyashita. TTTV2 (Transform the Taste and Visual Appearance): Tele-eat virtually with a seasoning home appliance that changes the taste and appearance of food or beverages. In *Proceedings of the 28th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, pp. 1–2, 2022.

[10] B. Shneiderman and P. Maes. Direct manipulation vs. interface agents. *Interactions*, 4(6):42–61, Nov. 1997.

[11] K. W. Song, S. T. Tung, A. Kim, and E. Paulos. Füpop: "Real Food" Flavor Delivery via Focused Ultrasound. In *Proceedings of the 2024 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '24, pp. 1–14, New York, NY, USA, 2024. Association for Computing Machinery.

[12] I. E. Sutherland. The Ultimate Display. In *Proceedings of the IFIP Congress*, Vol. 2, pp. 506–508. New York, 1965.

[13] K. Toko. Taste sensor. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 64(1-3):205–215, 2000.

[14] 岡崎翔悟, 井上亮文, 星徹. レトロネイザル嗅覚の刺激による摂食物の風味増強システムの開発. 研究報告グループウェアとネットワークサービス (GN), 2017(8):1–6, 2017.

[15] 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.

[16] 宮下芳明. TTTV2 (Transform The Taste and Visual appearance): 飲食物の味と見た目を変える調味家電によるテレイート. エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2022 論文集, 2022:143–150, 2022.

[17] 宮下芳明. Chronospoon: 時を操る調味食器. インタラクション, pp. 404–409, 2024.

[18] 宮下芳明, 村上崇斗, 大友千宙, 深池美玖. TTTV3 (Transform The Taste and reproduce Varieties): 産地や品種の違いも再現する調味機構と LLM による味覚表現. エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2023 論文集, 2023:236–243, 2023.

[19] 高澤まき子, 矢島由佳. 食生活状況と味覚感度に関する研究. 一般社団法人日本家政学会研究発表要旨集, 67:24, 2015.

[20] 山田駿, 野崎大幹, 興野悠太郎, 米澤拓郎, 中澤仁, 高汐一紀, 徳田英幸. EneFork: 食行動を変化させず栄養素を摂取可能なフォーク型デバイス. 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), 2015(16):1–8, 2015.

[21] 食品技術士センター編. 『食品加工技術ハンドブック』. 建帛社, 1971.

[22] 深池美玖, 宮下芳明. レトロネーザルアロマ提示システムの試作. 香り・味と生体情報研究会, pp. 7–12, 2024.