

PTTVX : 風味と食感制御を可能にするゾルフードプリンタ

千田知佳^{†1} 小平乙寧^{†1} 長谷川紗智^{†2} 飯塚奈夏^{†3} 齋藤詞音^{†3} 遠藤雅大^{†3}
堤賢太^{†3} 田崎秀征^{†2} 宮本靖久^{†2} 細田奈央子^{†2} 宮下芳明^{†1}

概要: 本稿では、風味と食感の再現を行うゾルフードプリンタ「PTTVX」を提案する。本システムは、粉末調味料と液体香料を分けて保存し、出力時に混合することにより、高い保存性と風味の柔軟な表現を実現した。また、異なる温度の水との混合により得られるゾル状態を活用し、食感としての粘性等の制御を可能にした。応用例として、動物性原料不使用かつ 50 kcal 以下の豚骨風ラーメンおよび、脂質・糖類ゼロ、かつ低カロリーである吸うカスタードクリーム風スイーツを示し、有用性の検証を行った。

1. はじめに

味覚は食体験を構成する上で重要な要素であり、デジタルで提示できれば、遠隔地での味の共有や、食のエンタテインメントなど様々な応用が期待される。既存研究において噴霧混合式や溶液混合式、粉末混合式等、様々な混合方式を用いた味ディスプレイが開発されてきた。本研究では、従来の味ディスプレイを組み合わせて、さらに発展させた PTTVX (図 1) を提案する。

PTTVX (Powders to Transform Tastes, Textures, and Variations eXperience) は、味の成分となる調味料粉末を複数タンクに搭載しており、各タンクからスクリーコンベア式の吐出口構によって調味料粉末を出力する。ロードセルを用いて吐出量をデータ化し、データをもとにタンク内スクリーの回転速度を変化させることで、ミリグラム精度の混合を可能にしている。また、複数のサーボモータを協調制御して粉末の搬送と計量を行う。

PTTVX の粉末タンクは 5 つのみだが、素材を混合することで、従来の基本五味の組み合わせでは再現が難しかった複雑な風味や、食感の表現を可能にする。例えば、味覚物質に加え、コクや調理由来の風味を付与する酵母エキスや香味成分を組み合わせることで、奥深い味わいを再現することができる。また、加工デンプン等の粉末に、水を混合することで得られるゾル状態を活用し、食感としての粘性等の制御を可能にした。

本研究では、このシステムの有用性を示すため、2 つの試作食品を設計した。1 つ目は「豚骨風ラーメン」である (図 5)。ラーメンは食事満足度が高く、日本全国で愛されている一方で、麺に含まれる小麦由来の炭水化物や、スープ・調味料に含まれている脂質・塩分などが多いことで高カロリー・高塩分・高脂質になりやすいという特徴を持つ。そこで、低塩分、低脂質な粉末原料を PTTVX で混合し、お湯に溶かすことで、豚骨を使用せずに低カロリー、低脂

質、減塩の豚骨スープを再現した。また、低カロリーのこんにゃく麺を用いることで、一杯あたりのカロリーを大幅に抑えながらも満足感のある食体験を実現した。

2 つ目は「吸うカスタードクリーム風スイーツ」である (図 6)。PTTVX により生成したカスタードクリーム風味の疑似スイーツをパウチへ出力し、ユーザがそれを吸って楽しむものである。牛乳や卵を含まず脂質・糖類ゼロ、かつ低カロリーながらも甘味料による甘さと濃厚な舌触りを味わうことが出来る。



図 1 PTTVX : (i) PTTVX 全体図, (ii) 液体出力口, (iii) 粉末出力口

2. 関連研究

2.1 味物質の混合手法

TTTV1[1-6]は、基本五味に対応する味覚溶液を噴霧混合し、食品の味を変化させることが出来る。また、TTTV3[7,8]では 0.02 mL 単位の精密なポンプ制御から、より繊細な味の再現が可能になった。TTTV4[9]ではデバイスをカトラリー型にすることでユーザの嗜好に合わせ、一口ごとに味を制御できることを示唆している。EMO 味[10]は、定量の調味料を出力するためすり切りを利用したマス式計量器、PTTV[11]では、工業用スクリーミキサーを用いた粉末混合方式を提案している。

^{†1} 明治大学 総合数理学部 先端メディアサイエンス学科
Department of Frontier Media Science,
School of Interdisciplinary Mathematical Sciences, Meiji University.
^{†2} アサヒグループジャパン株式会社
Asahi Group Japan, Ltd.

^{†3} アサヒグループ食品株式会社
Asahi Group Foods, Ltd.

2.2 食感の再現手法

Virtual Oil Generator[12]は水溶性食物繊維のイヌリンと低強度寒天を組み合わせ、粘状感を制御することで、脂質を含まずに油の食感再現を行った。Virtual Cream Generator[13]では、カスタードクリームの粘弾性評価をもとにゼラチンとサイリウム（増粘剤）を調合し、食感・くちどけの再現を行っている。また、古川らの研究[14]により、3Dフードプリンタによる層構造・繊維構造の設計によって軟質食品の食感制御が可能であることが示されている。また、同研究室による食用ゲル材料に特化した3Dジェットプリンタの開発[15]は、食感再現技術の基盤として注目される。

3. ゾルフードプリンタ

食品は一般に、液体、ゾル、ゲル、固体といった連続的な物性スペクトラム上に位置づけられる。ゾルとは、液体中に固体粒子が分散したコロイド溶液で、流動性を持つものを指し、ゲルはゾルが流動性を失い弾性や可塑性を持つ状態を指す。それぞれの物性は咀嚼・嚥下・味わいにおいて異なる知覚体験をもたらす。近年のフードプリンティング技術では、出力安定性や造形性の観点から、ゲルから固体といった比較的高粘度・高弾性の材料が中心に扱われてきた。一方で、味覚提示技術、特に溶液混合型の味覚メディアは、主に液体状態での出力に限定されており、食感的側面の再現はほとんど考慮されていない。こうした状況の中で、液体とゲルの中間に位置する「ゾル」状態の食品、すなわち適度な粘性と流動性を併せ持ちつつ、口腔内で特有の感覚を生む形態に対する出力技術は、これまで十分に検討されてこなかった。ゾル状態の活用は、食感再現の幅を広げるだけでなく、味の広がり方や持続時間、さらには咀嚼に伴う知覚変化の再現にも寄与しうる重要な領域であると考えられる。

4. 粉末混合機構

粉末混合機構の設計にあたり、出力機構の構築に加え、粉末の流動性を妨げる要因への対処が重要となる。例えば、粉末が容器内で自重により崩れず、中心部のみが流出し、周囲に残留するラットホール現象や、粒子間または壁面への静電的付着による詰まりは、連続的な混合・供給を阻害する要因となる。

そこで本機構では、これらの現象の抑制を目的に、円形の構造を多く採用した。粉末混合機構の全体図および正面・上面図を図2に示す。角部を極力排除することで、粉末が容器の端部に滞留・固着することを防ぎ、またスクリュウ機構の応用により、粉末を強制的に移動させることで壁面への付着も軽減できると考えた。

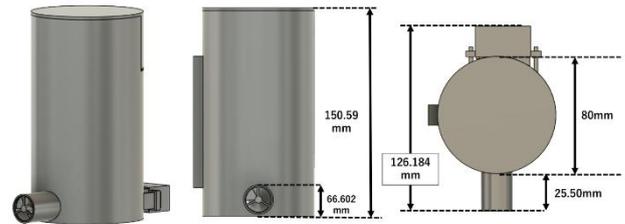


図2 粉末混合機構（左）、正面図（真中）、上面図（右）

さらに、5つの出力口を円形に配置することで、複数の粉末を一点に集中的に出力する構造を実現した。これにより、異なる粉末の供給および混合が効率的に行うことが可能となった。

PTTVXでは、豚骨風ラーメンスープおよび吸うカスタードクリーム風スイーツの再現に適した粉末種類を想定し、5つというタンク数を設定しているが、タンク数や構成は可変であり、今後の応用に応じてスケール調整・増設が可能な設計となっている。

また、試作段階においては、粉末出力口の直径を8mmまで縮小しても、安定した出力が可能であることを確認しており、今後は細径ノズルを用いた繊細な吐出制御への展開も視野に入れている。

4.1 粉末吐出機構

本研究では、出力精度の向上を図るため、スクリュウコンベア式の吐出機構を採用した。従来のPTTVでは、出力口が鉛直下向きに設置されていたため、重力による粉末の落下が生じ、計量誤差の原因となっていた。これに対し、本機構では出力口を地面と水平方向に設置し、スクリュウの回転により粉末を押し出す方式を採用することで、スクリュウ回転停止後の誤差を解消した。また、ロードセルを用いて吐出された粉末量を計測・データ化し、その値に基づいてスクリュウ駆動用サーボモータ（マイクロサーボ 9g SG90）の回転速度をリアルタイムで制御している。これにより、ミリグラム単位での高精度な粉末混合を実現した。

4.2 吐出スクリュウ

スクリュウの断面形状について、初期段階では三角形を採用し、壁面との接地面積を最小限に抑えることで、1回転あたりの粉末吐出量を最大化する構造を設計していた。しかし、接地面積を極端に減少させた結果、ピッチ間に過剰な粉末が充填され、搬送時に粉末の圧力が蓄積し、スクリュウの回転に対する抵抗トルクが増大する現象が観察された。特に、粒子径の小さい粉末において顕著にモーターの駆動トルクを超える負荷が発生し、スクリュウの回転が不能となった。

そこで、断面形状を四角形に変更し、タンクとの接地面積を増加させることでピッチ間に充填される粉末量を減少

させ、抵抗トルクの低減を試みた。図3に断面形状（青）およびタンク壁面との接地面（赤）を示す。断面形状の変更により1回転あたりの最大吐出量は減少したものの、あらゆる粒子径の粉末に対して安定した出力が可能となり、最終的に断面四角形のスクリーが採用された。

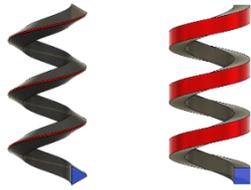


図3 吐出スクリーの形状比較：初期設計（左），最終採用形状（右）

4.3 攪拌スクリー

粉末混合機的设计において、タンク壁面への粉末付着を防止するため、攪拌用スクリー（図4）をタンク内に搭載した。本スクリーは壁面の近傍を回転する構造となっており、粉末の滞留を抑制できる。一方で、その体積が大きく、粉末の貯蔵容量を著しく減少させるという課題が生じた。そこで、攪拌に寄与する主要部分のみを残し、その他の部分を削減することで、貯蔵容量の拡大を図った。

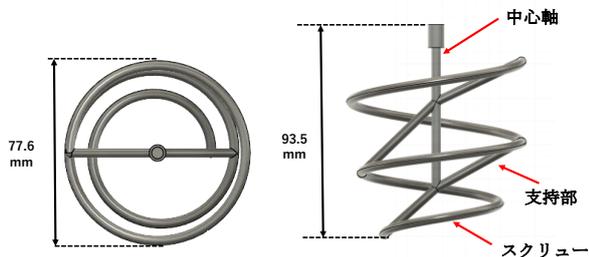


図4 攪拌スクリー上面図（左）、正面図（右）

しかし、この改良により、タンク中心部にスクリーが干渉できず、攪拌ムラが生じるという課題が生じた。これに対し、スクリーと中心軸を接続する支持部の配置および角度を調整することで、スクリーの到達範囲を拡張し、中心部への干渉も可能とした。これにより、粉末の付着防止と貯蔵容量の確保を両立する攪拌機構を実現した。

4.4 造形素材

デバイスの主な部分は Bambu Lab PLA ベーシックを用いて造形し、食品が触れる部分は、食品衛生法を加味し、食品衛生用レジンエキマテを使用した。

5. 液体混合機構

本機構においては、香料の定量吐出に0.02 mL単位での出力が可能なチューブポンプ（RP-QIII1.5S-3Z-DC3V）を用いた。チューブ部分には、食品衛生法に適合したシリコンチューブを採用している。

温水の調合に関しては、保温性能や操作性の課題を考慮し、ミルクメーカーa（Reicop ROM-100 Milk Mate）を流用した。制御部のボタン機構を取り外し、ソレノイド（ZHO-0420S-05A4.5）を用いた外部制御により、1°C単位での温度設定および5 mL単位での出力制御を可能とした。

6. 3種類の豚骨風ラーメン

本研究では、従来のラーメンに対する「高カロリー・高塩分・高脂質であるがゆえの摂取制限」という課題に着目し、健康志向の消費者にも受け入れられる新しい剤型の開発を試みた。カロリーや塩分を抑えつつも満足感を得られるよう、麺およびスープの風味・食感の最適化を通じ、摂取体験の質を高めることを目指した辛みを有する赤豚骨風ラーメン、焦がし黒豚骨風ラーメン、クリーミーな白豚骨風ラーメンの3種類の豚骨風ラーメンを提案する（図5）。



図5 左から白豚骨風ラーメン、赤豚骨風ラーメン、黒豚骨風ラーメン

6.1 味の再現

従来のラーメンスープの塩分濃度としては、通常1%以上、豚骨風味ではおよそ1.5~2%と言われている。塩分の過剰摂取は、高血圧、心臓病、脳卒中、腎臓病、胃がん、骨粗鬆症、尿路結石などのリスクを高めることが指摘されている。また、一般的に豚骨ラーメンは豚骨を長時間煮込むことでスープに多量の油脂が溶け出しており、カロリーが高くなる傾向がある。脂質の過剰摂取は肥満、メタボリックシンドロームのリスクを高める。

そこで、塩分と脂質を減らし、減らしたことで損なわれる塩味や味の旨味を補う材料として酵母エキスを採用した。

a Reicop ROM-100 Milk Mate https://www.raycop.co.jp/pages/product_rom

酵母エキスの添加は食品に旨味と複雑味を付与するだけでなく、塩味をエンハンスする効果がある場合もあるため、様々な食品において味の厚みおよびコクを補完する役割を持つ。本研究においては、ロースト加工した酵母エキスや、コク味物質として知られるグルタチオンを高含有する酵母エキスを使用することにより、粉末を混合するだけで豚骨を長時間煮込んだようなスープの色と香りの再現が可能となった。酵母エキスを採用したことにより、全体の塩分濃度を1%以下、1食分（麺約50g、スープ約100mL）のカロリーを50kcal以下とすることが可能となった。

また、従来の豚骨ラーメンは、スープを長時間煮込むことで豚骨からコラーゲンやゼラチン質が溶け出す。これらが乳化剤の役割を果たすことで油分と水分が細かく混ざり合い、白く濁ったクリーミーなスープとなる。本研究では最低限量の植物性粉末油脂を採用することで、脂質およびカロリーを抑えながら豚骨のクリーミーさの再現を実現した。植物性粉末油脂とは、植物油脂を含んだ油相と水相とを混合して乳化し粉末化したものであるが、溶解時に強い白濁性を付与する為にはより細かく安定した乳化が必要となる。乳化安定のためには一般的には乳たんぱくがよく用いられるが、今回は乳たんぱくの代わりに酵母を用いて細かい乳化の安定を実現した粉末油脂を使用し、動物性原料を使わずとも豚骨のクリーミーさの再現が可能となった。

6.2 食感の再現

豚骨ラーメンは豚骨から溶出したコラーゲンやゼラチン質によって粘度が増し、濃厚なこってりとした味わいおよび食感になると同時に、麺とスープが絡みやすくなる。そこで、熱水に溶解させることで糊化し粘性が増すでん粉素材、および増粘剤としてキサンタンガムを採用することで、濃厚感と麺への絡みやすさの向上を図った。

6.3 カロリーの低減により起こる満腹感の減少

味・食感を再現する中で全体的なカロリー、脂質、塩分を抑えることに成功したが、特にカロリーを抑えることで食後の満足感や腹持ち感は低減してしまう。そこで、難消化性デキストリンを採用した。難消化性デキストリンは、胃や小腸でほとんど吸収・消化されず、体内に長くとどまる。そのため、食後の満足感や腹持ち感が持続しやすく、できるだけカロリーを抑えつつも、濃厚感・満足感のあるラーメンの再現を可能にした。

6.4 麺の選定

豚骨ラーメンが好んで食される九州地方では、一般的に極細でスープによく絡む麺が好まれている。一方で、小麦を使用しない低カロリーの麺は、寒天やこんにやくが主原料である場合が多いため、麺の物性が柔らかくスープとの絡みも悪い。低カロリーの麺をより小麦粉麺の物性に近づ

ける検討を行った結果、こんにやくを主原料とする麺を一度冷凍し、解凍して水分を切ることで、低カロリーのこんにやく麺に歯ごたえを持たせることに成功した。冷凍、解凍のプロセスを経ることで、麺中の水分がより体積の大きい氷結晶となり、こんにやくを構成するグルコマンナンゲル構造を破壊することで硬さを持たせることが可能となった。

6.5 粘性評価

本スープを設計するにあたり、官能評価での「こってり感」「口当たり」、および低カロリー化のために採用したこんにやく麺との絡みやすさを念頭に粘性の調整を行った。これにより、本試作では動物性脂質を使用せずに市販品と遜色ない濃厚さを体験として実現できていると考えている。参考までに、スープの物性について糖度計および粘度計で測定し、市販品と比較した結果を表1に記す。Brixについては糖度計PAL-Jを用いて、サンプル温度約60°Cの条件で測定を行った。また、粘度についてはブルックフィールドB型粘度計DVEを用いて、スピンドルLV-1、回転数100rpm、サンプル温度約55°Cの条件で測定を行い、測定開始～2分経過まで30秒ごとの測定値を平均した。この結果をみると、本試作品は、市販品に比べて計器上はBrixも粘度も高い。この数値の差は、本試作品が難消化性デキストリン等の非糖質固形分を多く含むこと、キサンタンガムのシアシニング特性により口腔内粘度が急減することなどに起因するもので、実際の食体験を損なう要因にはなっていない。

本試作品を希釈してBrix・粘度を市販品に合わせることもできるが、こってり感や口当たりが損なわれ、かつ、スープそのもののコクや麺との絡みやすさが弱まることも問題である。またカロリーを抑える設計の中で今回採用したこんにやく麺は、小麦麺よりも表面が滑らかで吸水性も低いためスープに絡みにくく、同等の満足感を得るにはスープ側でとろみをやや上乘せする設計が不可欠であった。以上から、測定した粘度値が市販品を上回るはその意図的な調整の結果であり、口腔内での減粘挙動まで含めれば体感のバランスは取れていると考えている。

表1 豚骨風ラーメンと市販品との粘度・糖度比較

	粘度 (mPa·s)	Brix
白豚骨	14.8	12.5
黒豚骨	12.3	10.9
赤豚骨	18.5	11.6
市販品①	3.8	3.7
市販品②	3.9	3.4
市販品③	7.2	3.4

7. カスタードクリーム風スイーツ

カスタードクリームは、洋菓子から和菓子に至るまで幅広く用いられる汎用性の高い食品素材である。一般に卵黄、牛乳、砂糖、薄力粉を主原料として構成されており、使用する素材の特性上、脂質およびカロリーが高くなりやすい傾向がある。エネルギー、脂質（特に飽和脂肪酸）の過剰摂取は、肥満や心筋梗塞をはじめとする循環器疾患などの健康リスクを高める要因となる。本研究では、従来用いられる卵黄、牛乳、砂糖、薄力粉を一切使用せず、カスタードクリームらしい風味および摂食時の満足感の再現を試みた。図6に開発したカスタードクリーム風スイーツを示す。



図6 カスタードクリーム風スイーツ

7.1 味の再現

本研究では、脂質・糖類ゼロ、かつ低カロリーを実現するため、動物性原料を使用せずに風味再現を試みた。それゆえ、従来のカスタードクリームが有するコクや味の厚みに乏しい傾向が見られた。そこで、異なる特徴を持つ2種の酵母エキスを組み合わせることで、卵由来の風味の再現を図った。酵母エキスはうまみの増強に優れているが、特にグルタミン酸高含有タイプはカスタードクリームらしい風味やコクに寄与しており、イノシン酸・グアニル酸高含有タイプは後味の強化の効果がある。

また、味の厚みを補強するために、少量の植物性タンパクの添加を検討した。しかし、起源原料によっては製品の色調が灰色味を帯びるなど、カスタードクリーム本来の色味から乖離する傾向がみられたため、官能特性と視覚特性の両面から原料の最適化を行った。

甘味設計においては、カロリーや糖類を低減するため、少量でも満足感のある甘味が付与できる高感度甘味料を採用した。冷蔵状態では甘味が感じにくくなるため、味の立ち上がり（口に入れてから甘味を感じるまでの時間）が速いスクラロースを配合して、トップの甘さを際立たせた。立ち上がりはやや遅めであるが、後味が残るアスパルテームを併用して互いの甘味の質を補う設計とした。

さらに、香味設計では卵や牛乳を使用せずともカスタードクリームらしい風味を呈することを目的とし、バニラ香料を中心とした香料配合によって風味の再現を試みた。

7.2 食感の再現

食感再現にあたっては、主に2点の課題があった。第一

に、粘度の最適化である。従来、カスタードクリームはシュー生地への充填や、ケーキのデコレーションなどで使用されることが多い。しかし本研究では、直感的かつ背德的な食体験の実現を目的とし、「吸う」「飲む」といった摂食行動に着目した。そのため、製品の形態は容量50mLのスバウトパウチを選択した。これに伴い、適度な付着性を保持しつつ、嚥下が容易な低粘度の物性を指向した。第二に、PTTVXへの適応である。通常、カスタードクリームは卵黄および牛乳の加熱によって卵黄タンパク質が凝固し、構造が形成される。しかし本研究では、粉末と液体を混合するPTTVXを用いるため、短時間で粘度を発現させる冷水可溶性原料の選定が求められた。

初期段階では、複数種の増粘多糖類を組み合わせ合わせた調整を試みたが、「吸う」行為に適した低粘度かつ付着性の両立は困難であった。そこで、 α 化デンプンを増粘剤として採用した結果、口腔内での広がりやすさと嚥下のしやすさの両立が可能となり、本研究の目的に適合する物性を得ることができた。

7.3 色調・外観設計

色調設計においては、パーソナライズ化された栄養添加の影響によって、ビタミンB₂由来の蛍光黄色やカルシウム由来の白濁といった個人差のある変化が生じる可能性に配慮した。栄養添加用に応じた色彩の比較を図7に示す。

これらの課題を踏まえ、過度に鮮やかではないレモンイエローを目標とした。単一の着色料ではなく、複数の食用色素を組み合わせることで、自然かつ親しみやすい色合いを再現し、視覚的なバランスを調整した。さらに、微量のバニラシードを配合することで、実際にバニラビーンズを使用したかのような印象を与え、高級感を演出した。



図7 添加栄養素量に応じた色彩の比較

7.4 粘性評価

PTTVXで出力するカスタードクリーム風スイーツは、スバウト容器から直接飲むという新しい食行動を想定し、口腔内せん断に最適化した流動性を持つゲルとして設計した。主として α 化デンプンを用いることで意図的にかたさと付着性を落としている。この物性の違いを計測するため、3つの市販品との物性比較をテクスチャーアナライザーで行った。市販品はいずれもトッピングやシュー等への充填を想定しており、比較的高い保形性を有していた。まず、試料を直径40mmの容器に高さ15mmまで充填し、直径20mm

の樹脂製のプランジャーにより、圧縮速度 10mm/sec で測定した。その後、テクスチャー解析を行った。なお、サンプル温度は約 10°Cであった。結果を表 2 に示す。ここで横軸のかたさ (N/m^2) は、圧縮で得られるテクスチャー曲線の頂点の高さである。また、縦軸の付着性 (J/m^3) は、試料がプランジャーを引っ張るときに現れる面積であり、数値が高いほどべたつきが強いことを示す。測定結果から、本試作品が、設計通りに柔らかく付着性が低いことが分かる。そのうえで、香り、色調、甘味、物性の最適な組み合わせにより、本物のカスタードクリームを飲んでいるかのような満足感を与えられることを確認した。

表 2 カスタードと市販品との粘性比較

	かたさ (N/m^2)	付着性 (J/m^3)
試作品 A	639	357
市販品 B	2304	1129
市販品 C	3669	2177
市販品 D	6597	2653

8. 展望

本稿では、粉末混合方式と液体混合方式を融合することで味・食感の再現を行うゾルフードプリンタについて述べた。ゾルとは、液体中に固体粒子が分散したコロイド溶液で、流動性を持つものを指す。また、既存の味覚提示システムは、基本五味の味覚物質を混合することで味再現を行ってきた。そこに酵母や香料を合わせることで、従来のシステムでは再現が難しかった奥深い味わいの再現の可能性や、水分を含むことで粘性を持つ物質を調味物質に入れ、任意の粘性を提示することで、食感としての粘性の制御の可能性についても述べた。今後は、栄養摂取をデジタルに制御・最適化するシステム NutriSynth[16]との統合による応用が期待される。PTTVX で低カロリー高風味の食品を生成しつつ、NutriSynth によって不足しがちなビタミンやミネラルを付加することで、味覚体験を損なうことなく低カロリー、かつ不足した栄養を摂取できるようになる。これにより、健康増進や医療分野を含めた幅広い分野での活用が見込まれ、味覚提示技術の新たな可能性を切り拓くと考えられる[17]。

参考文献

- Homei Miyashita. TTTV (Taste the TV): Taste Presentation Display for "Licking the Screen" using a Rolling Transparent Sheet and a Mixture of Liquid Sprays. UIST '21 Adjunct, ACM, 2021.
- 宮下芳明. 液体噴霧混合式の味ディスプレイの試作, WISS2021 論文集, pp.121-127, 2021.
- 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ト, EC シンポジウム 2022 論文集, Vol.2022, pp.143-150, 2022.
- Homei 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. VRST '22. ACM, 78, pp.1-2, 2022.
- Homei Miyashita. TTTV2 makes it possible for people with shellfish allergies to still enjoy the taste of crab virtually. VRST '22. ACM, 79, pp.1-2, 2022.
- Homei Miyashita. Virtual eating experience of poisonous mushrooms using TTTV2. VRST '22. ACM, 81, pp.1-2, 2022.
- 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. EC シンポジウム 2023 論文集. Vol.2023, pp.236-243, 2023.
- 村上崇斗, 宮下芳明. ポンプ混合式調味家電 TTTV3 (Transform The Taste and reproduce Varieties)の設計と実装, 第 28 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 2023.
- 笠原暢仁, 深池美玖, 宮下芳明. TTTV4: 一口ごとに味を提示する味覚のパーソナルメディア. 第 32 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 (WISS2024)予稿集, pp.1-6, 2024.
- 佐藤祉大, 上岡玲子. EMO 味:心を味わうインタフェース開発. 情報処理学会インタラクティブ 2020, pp.321-326, 2020.
- 千田知佳, 宮下芳明. PTTV: 粉末混合式の味ディスプレイ. 第 32 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(WISS2024)予稿集, pp.1-3, 2024.
- 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の実現に向けて.EC シンポジウム 2024 論文集, Vol.2024, 2024.
- 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.193-198, 2024.
- 堀内真美, 川上勝, 古川英光, 山本航輝, 加藤彩, 高橋真紀子 : 3D フードプリンターで造形される巨視的な 3 次元構造による介護食品などに適した軟質食品の食感設計とその効果, 日本食品工学会誌, 22(4), pp.119-134 (2021).
- 芹澤遼, 権 今, 山本航輝, 古川英光 : 食用ゲル専用の 3D ジェットプリンタ, 日本機械学会年次大会講演論文集, 2012, J044043.
- 松島陽也, 千田知佳, 小平乙寧, 宮下芳明. NutriSynth: 栄養素を添加する「栄養メディア」の提案とパーソナライズされた補完への応用. 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, 2025.
- 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 (2025).