

S.A.K.E. (Sake Amakuchi-Karakuchi Editor) : 日本酒の甘口・辛口の印象を 1本のスライダーで制御するデバイス

岸本 詩乃¹ 宮下 芳明¹

概要: 本稿では、日本酒の甘口・辛口の印象を、1本のスライダーで調整できるシステムを提案する。日本酒の甘口・辛口は一見わかりやすい表現であるが、実際には日本酒度、酸度、アミノ酸度といった複数のパラメータが関係している。本研究では、これらの専門的な値をユーザが直接操作するのではなく、デバイス筐体前面に配置した1本の物理スライダーで甘口・辛口方向を指定し、その値に応じて糖、酸、アミノ酸の添加量を算出して、ベースとなる日本酒と配合する。

1. はじめに

日本酒には、「甘口」や「辛口」といった味覚印象に関する表現が広く用いられている。これらの表現は、飲用者にとって日本酒を選ぶ際の重要な指標となっている。たとえば、甘口の日本酒は飲みやすい、辛口の日本酒はすっきりしている、といった印象をもとに、ユーザは自身の嗜好に合った日本酒を選択する。

しかし、日本酒の甘口・辛口は単純な味覚表現ではない。一般に、日本酒度は甘辛を表す指標として知られているが、実際の飲用時の印象には、酸度、アミノ酸度、アルコール感、香り、温度、口当たりなど、複数の要素が関与する。そのため、ユーザが「もう少し甘口にしたい」「もう少し辛口にしたい」と感じた場合であっても、どの日本酒を選ぶべきかを判断することは容易ではない。

一方で、日常的な飲食体験において、ユーザが自身の好みに合わせて味を調整する場面は多く存在する。たとえば、コーヒーに砂糖やミルクを加えたり、料理に塩や調味料を加えたりする行為は、ユーザによる味覚のパーソナライズである。しかし、日本酒においては、購入後の味をユーザが調整する方法は一般的ではない。

そこで本研究では、日本酒の甘口・辛口印象を、筐体上に配置した1本の物理スライダーで操作できるデバイス「S.A.K.E.」を提案する(図1)。本システムでは、ユーザが日本酒度や酸度、アミノ酸度といった専門的な指標を理



図1 S.A.K.E.の外観。徳利型の筐体前面に甘口・辛口印象を指定する物理スライダーを配置し、スライダー値に応じた味覚溶液を、下部に設置したおちょこ内の日本酒へ滴下する。

解していなくても、甘口から辛口までの印象を容易に指定できる。システムは、指定されたスライダー値に応じて糖、酸、アミノ酸の添加量を算出し、ベース日本酒に配合することで、甘口・辛口印象を制御する。

2. 関連研究

2.1 味覚メディア

本稿第二著者らが推進し、食の再構築 [1] を目指している味覚メディア [2] に関する研究では、電気味覚を応用して [3]、あるいは味溶液の添加によって飲食物の味覚印象を変化させる試みを行ってきた。後者では、異なる物質を

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

添加しても感覚が類似すれば良いことを利用し、甲殻類アレルギーでも安全にカニクリームコロッケの味を体験できたり [4], 毒キノコの味も体験できるエンタテインメント性も実現した [5], [6]. さらに、複数の味覚溶液をポンプによって微量に混合し、品種や産地の味の違いを再現する調味機構 TTTV3 が提案された [7]. これにより、チョコレートドリンクの品種の違いも表現する試み [8] が行われた。さらに、ワインの味変化の試み [9], ボトル装着型のポンプ混合式調味家電としての TTTVin が提案されている [10]. ボトルからワインを注ぐ動作を維持しながら味覚溶液を混合することで、ベースとなるワインをターゲットとなるワインの味に近づけている。

TTTV4 ではスプーン型のカトラリーに複数のタンクとポンプを搭載し、一口ごとに味を提示する味覚パーソナルメディアが提案されている [11], [12]. 本稿の提案システムは TTTV4 と同様のポンプ・構造によって構成されている。TTTV4 は基本味溶液の混合を行うシステムだが、ひとつの基本味であっても、どの味物質を用いるかによって、先味・後味の味強度や風味、さらには栄養価も異なる。こうしたことに着目し、たとえば Sweet Synthesizer では複数の甘味料を混合してユーザの嗜好に合った甘味を探索している [13]. 探索手法もゲーミフィケーション [14] や選好ベイズ最適化 [15] の事例がある。本稿における提案は、このようにユーザの嗜好に合った味を探索することを目的としており、味の表現においては、1 基本味に 1 溶液と対応させず糖・酸・アミノ酸を組み合わせた表現を行っている。探索手法としては 1 本のみのスライダーで単純化するアプローチをとった。

なお、飲食物には食感、香りや栄養といった側面もある。食感については油 [16] やクリーム [17], とんこつスープなど [18] を表現する事例があり、食感デザインのシステム [19] もある。香りについても飲料に香料を添加して安価なコーヒーを高級なコーヒーに近づける AromaSynth [20] がある。また、栄養についても、ユーザがその日に不足すると推測される栄養を自動添加する NutriSynth [21] がある。日本酒においても例外ではなく、これらの側面を考慮すべきであるが、本稿ではそれらを今後の展望として、あくまで味覚のみの表現にとどめている。

2.2 酒類の味覚メディア研究

酒類に関する味覚メディア研究としては、ワインに関しては上述の研究 [9], [10], ウイスキーに関しては Taste Time Machine [22], ビールに関してはコクとキレの制御に着目した日塔らの「うつろいドリンク」 [23], また日本酒においては、振動提示によって日本酒の味わいを変化させる小西らの試み [24] がある。これらは、特定の酒の味の再現や、振動などの外部刺激による味わいの変化を目的としている。これらに対し、本研究は対象を日本酒とし、甘

口・辛口という単一の味覚印象軸を 1 本の物理スライダーで連続的に指定し、その入力を複数の味覚溶液の配合量へ変換する点に特徴がある。

3. 提案システム

本稿が目指す、日本酒の甘口・辛口印象を調整する体験の実現に向けたプロトタイプとして、S.A.K.E. (Sake Amakuchi-Karakuchi Editor) を設計・実装する。ユーザが筐体上の物理スライダーで甘口・辛口方向を指定すると、S.A.K.E. はスライダー値に応じて各味覚溶液の添加量を算出し、おちょこ内のベース日本酒へ滴下する。本章では、まず味覚設計の方針と添加成分について述べ、次にシステム全体の構成を示したうえで、入力部、添加量算出、出力部、外観設計の順に説明する。

3.1 味覚設計方針と添加成分

日本酒の味わいを示す指標には、日本酒度、酸度、アミノ酸度、甘辛度などがある。日本酒度は甘口・辛口を判断する際の目安として用いられ、一般にプラスであれば辛口、マイナスであれば甘口であることが多い。しかし、日本酒の甘口・辛口印象は日本酒度のみで決まるものではなく、酸度やアミノ酸度なども関係する [25]. 酸度は味の濃淡やキレに関係し、酸が多い酒は引き締まった印象になりやすい。また、アミノ酸度は旨味やコクに関係し、味の厚みに影響する [25]. さらに、清酒には糖類、有機酸、アミノ酸、アルコール類など多様な成分が含まれており、これらが日本酒の味わいを構成している [26].

このように、日本酒の甘口・辛口印象は複数の指標や成分が関係する複合的な味覚印象である。そこで本研究では、ユーザが指定した甘口・辛口方向に応じて、ベースとなる日本酒に味覚溶液を添加することで、飲用前の味覚印象を調整する。添加対象は、日本酒の甘口・辛口印象に関係すると考えられる糖、酸、アミノ酸とし、添加対象は、日本酒の甘口・辛口印象に関係すると考えられる糖、酸、アミノ酸とした。具体的な味覚物質、溶液濃度、および添加量の設定については 3.4 で述べる。

甘口方向では、主にグルコース溶液を添加することで甘味を強める。また、アラニン溶液を用いることで、甘味を伴うアミノ酸由来の印象を補助する。一方、辛口方向では、コハク酸溶液およびアルギニン溶液を添加することで、酸味や喉への刺激を強め、すっきりした印象や引き締まった印象を与えることを狙う。ただし、本システムはベース日本酒に成分を添加する加算方式であるため、もともと日本酒に含まれている糖やアミノ酸を除去することはできない。そのため、辛口方向の調整では、糖を減少させるのではなく、酸およびアミノ酸の添加によって甘味以外の要素を相対的に強める設計とする。

3.2 システム構成

S.A.K.E. は、甘口・辛口方向を指定する物理スライダー、味覚溶液を格納する5つのタンク、5つの圧電マイクロポンプ、チューブ、滴下ノズル、制御用マイコンボード (M5StickC Plus2 および Arduino Mega 2560)、MOSFET 駆動回路、ならびにおちょこを設置する筐体から構成される。

本研究では、TTTV4のハードウェア構成を参考にし、5つのタンクと5つのポンプによって味覚溶液を出力する構成を採用する。ただし、TTTV4がスプーン上の食物に味溶液を出力するのに対し、S.A.K.E. では出力先をおちょこ内の日本酒に変更する。

処理は、入力、添加量算出、出力の順に進む。M5StickC Plus2 は、物理スライダーのアナログ入力値をスライダー値 s へ変換し (3.3)、 s に応じた各溶液の添加量を算出したうえで (3.4)、各ポンプの駆動時間へ変換する。駆動時間はシリアル通信によって Arduino Mega 2560 へ送信され、Arduino Mega 2560 は MOSFET 駆動回路を介して対応するポンプを指定時間だけ駆動する (3.5)。

3.3 入力部

入力インタフェースには、筐体前面に配置した1本の物理スライダーを用いる。スライダーの中央をベース日本酒の状態とし、一方を甘口方向、もう一方を辛口方向とする。本稿では、日本酒度の慣例にならい、甘口方向を負、辛口方向を正とする。中央を0とし、スライダー値は-3から+3までの連続値をとる。M5StickC Plus2 は、物理スライダーのアナログ入力値を取得し、事前に設定した最小値および最大値に基づいて-3から+3のスライダー値 s へ変換する。これによりユーザは、デバイス本体上の操作のみで甘口・辛口方向を指定できる。

スライダー値のうち、代表的な7点 (-3, -2, -1, 0, +1, +2, +3) を基準点として設定する。各基準点が表す印象は、-3を甘味が支配的となる甘口方向の限界、-2を甘口、-1をやや甘口、0を添加前のベース、+1をやや辛口、+2を辛口、+3を酸味が過剰となる辛口方向の限界とする。両端の-3および+3は、日本酒として一般的な味の範囲を逸脱する境界に対応させる。基準点間のスライダー値に対する添加量の算出方法については、3.4で述べる。

3.4 添加量算出

3.4.1 添加量モデル

スライダー値に応じた添加量は、あらかじめ濃度を定めた各味覚溶液を用いて算出する。本システムでは、グルコース溶液 (30% w/v)、アラニン溶液 (10% w/v)、コハク酸溶液 (5% w/v)、アルギニン溶液 (8% w/v) の4種類の味覚溶液を用いる。甘口方向ではグルコース溶液およびアラニン溶液の添加量を増やし、辛口方向ではコハク酸

溶液、アルギニン溶液、およびベース日本酒の添加量を増やす。ベースであるスライダー値0の状態では、味覚溶液の添加を行わない。

各味覚物質の種類および溶液濃度は、清酒に含まれる成分量 [26] を参考に設定した。また、各基準点における添加量は、著者らによる事前試飲で、甘口・辛口方向への変化が知覚可能であり、かつ飲用可能な範囲となるように設定した。

スライダー値は連続値であるため、全域にわたって添加量を個別に設計することは現実的でない。そこでまず、7つの基準点における添加量を定め、その間を連続関数によって補間する方針をとる。甘口方向では、 $s = -1$ でグルコース溶液 0.50 mL とアラニン溶液 0.30 mL、 $s = -2$ でそれぞれ 0.70 mL と 0.50 mL、 $s = -3$ でそれぞれ 1.50 mL と 1.00 mL を添加する。辛口方向では、コハク酸溶液、アルギニン溶液、およびベース日本酒の添加量が常に 0.10 : 0.075 : 0.15 の一定比となるように設計し、 $s = +1$ でそれぞれ 0.10 mL, 0.075 mL, 0.15 mL、 $s = +2$ でその2倍、 $s = +3$ でその4倍を添加する。いずれの方向においても、添加対象とならない溶液の添加量は 0 mL とする。

ウェーバー・フェヒナーの法則は、ヒトが知覚する感覚量が刺激量の対数に比例することを示す。本システムのスライダーは、甘口・辛口という感覚量を等間隔の目盛りで指定する。そのため、スライダーの1目盛りごとに知覚される印象の変化を均等に近づけるには、刺激量に相当する添加量を等比的に、すなわちスライダー値に対して指数関数的に増加させる必要がある。そこで、任意のスライダー値 s に対する各溶液の添加量 $V(s)$ を、式 (1) に示す指数関数モデルによって算出する。

$$V(s) = \begin{cases} \alpha \{ \exp(\beta|s|) - 1 \}, & \text{添加となる場合,} \\ 0, & \text{それ以外の場合.} \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 V は添加量 [mL]、 s はスライダー値、 α および β は溶液ごとに定まる係数である。式 (1) では、 $s = 0$ のとき常に $V = 0$ となるため、ベース日本酒に何も添加しない状態と一致する。グルコース溶液およびアラニン溶液は甘口方向である $s < 0$ の範囲でのみ、コハク酸溶液、アルギニン溶液、およびベース日本酒は辛口方向である $s > 0$ の範囲でのみ式 (1) を適用し、添加対象とならない方向では $V = 0$ とする。これにより、離散的な7段階では得られない中間的な甘口・辛口印象を連続的に指定できる。

各溶液の係数 α および β は、当該溶液が添加対象となる方向の3つの基準点に対し、式 (1) による予測値との残差平方和が最小となるように、非線形最小二乗法によって求めた。甘口方向の溶液では $s = -1, -2, -3$ を、辛口方向の溶液では $s = +1, +2, +3$ を係数推定に用い、式 (2) に

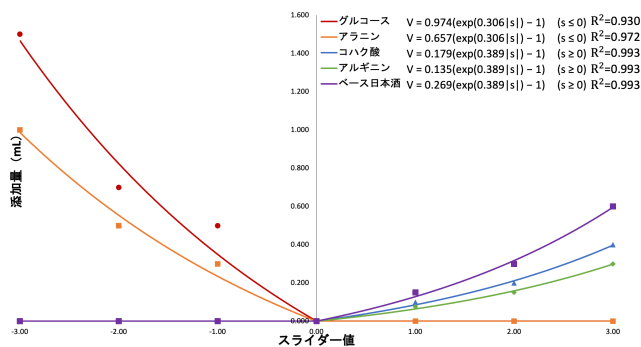


図 2 スライダー値に対する各溶液の添加量曲線。曲線は指数関数モデルによる算出値を、点は基準点における設定値を示す

示す目的関数を最小化した。

$$E = \sum_{k=1}^n \left\{ V_k - \hat{V}(s_k) \right\}^2 \quad (2)$$

ここで、 $n = 3$ であり、 V_k は基準点 s_k における設定値、 $\hat{V}(s_k)$ は式 (1) による予測値である。添加対象とならない方向の基準点は、式 (1) が定義により $V = 0$ を返し、設定値とも一致するため、係数推定から除外した。係数の推定には、Microsoft Excel のソルバーに実装された GRG 非線形法を用いた。

3.4.2 算出結果

各溶液について、式 (1) により算出した添加量曲線を、基準点における設定値とともに図 2 に示す。各溶液の近似式および決定係数 R^2 は図中に併記する。

辛口方向では、3 種類の液体を各基準点で一定比となるように設計したため、式 (1) の β は 3 溶液で共通となり、 α が溶液ごとの添加量の比を表す。すなわち、辛口方向では、3 本のポンプの出力量を単一の増加率と溶液ごとの比率によって記述できる。算出値は各基準点の設定値とよく一致した。

一方、甘口方向に添加するグルコース溶液とアラニン溶液の添加量の比は、 $s = -1, -2, -3$ においてそれぞれ約 1.7, 1.4, 1.5 であり、基準点ごとの添加量も等比的ではない。そのため、甘口方向では算出値と設定値との差が辛口方向より大きく、最も差が大きい $s = -1$ のグルコース溶液では、設定値 0.50 mL に対して算出値は約 0.35 mL となった。甘口方向の基準点を等比的な値に設計し直すことで、モデルとの一致度をさらに高められると考えられる。

3.5 出力部

3.5.1 出力機構

5 つのタンクには、それぞれコハク酸溶液、グルコース溶液、アラニン溶液、アルギニン溶液、ベース日本酒を入れる。各タンクの容量は 5 mL とする。各タンクには圧電マイクロポンプ (SDMP306D) を接続し、ポンプの駆動時間によって各液体の出力量を制御する。

ポンプによってタンクから吸い上げられた液体はチューブを通り、おちょこ上部に配置したノズルから日本酒へ滴下される。おちょこ内には、あらかじめ 20.00 mL の日本酒を注いでおく。その日本酒に対して味覚溶液を滴下することで、飲用前に甘口・辛口印象を調整する。

3.5.2 ポンプ制御

M5StickC Plus2 は、式 (1) に基づいて算出した各タンクの目標出力量を、それぞれのポンプ駆動時間に変換し、シリアル通信によって Arduino Mega 2560 へ送信する。Arduino Mega 2560 は、受信した駆動時間に基づいて MOSFET 駆動回路を制御し、ポンプへの電源供給を切り替える。本実装では、圧電マイクロポンプに対して 5 V を供給することで送液を行い、各ポンプの GND 側を N チャンネル MOSFET によってスイッチングする。これにより、5 つのポンプを独立に制御し、スライダー値に応じて各液体の添加量を変化させる。

各ポンプの吐出量には個体差が生じる可能性があるため、実装時には各ポンプの吐出量を実測し、目標出力量から駆動時間への変換に反映した。

なお、各基準点における添加量は 0.075 mL から 1.50 mL の範囲にある。本システムは TTTV4[11] と同一の圧電マイクロポンプを用いており、その出力単位は 0.06 mL である。そのため、実際の出力量は、目標出力量に最も近い 0.06 mL の整数倍となる。添加量の大きい甘口方向では設定値をおおむね再現できる一方、添加量が最小となる $s = +1$ 付近では、ポンプの出力単位が目標添加量と同程度となる。この点については第 5 章で述べる。

3.6 外観設計

S.A.K.E. の外観は、日本酒の徳利を想起させる筐体とする。筐体前面には物理スライダーを配置し、内部には 5 つのタンク、5 つのポンプ、チューブ、M5StickC Plus2, Arduino Mega 2560, および MOSFET 駆動回路を収める。筐体下部にはおちょこを置くための空間を設け、その上部に滴下ノズルを配置する。

4. 動作確認

本章では、S.A.K.E. によって生成される日本酒の味覚印象を把握するため、7 点の基準点に対応する日本酒サンプルを作成し、著者らが試飲した結果について述べる。

4.1 サンプル作成方法

ベース日本酒には、市販の日本酒である白鶴「サケパック まる」[27] を用いた。本日本酒の基本情報は、アルコール分 13% 以上 14% 未満、日本酒度 +1, 酸度 1.2, アミノ酸度 1.1 であり、味わいは中口、やや淡麗とされている。

タンクに格納する液体は、グルコース溶液 (30% w/v), アラニン溶液 (10% w/v), コハク酸溶液 (5% w/v), ア

表 1 各基準点における試飲所見

スライダー値	意味	主な所見
-3	甘口方向の限界	ほぼ砂糖水に近い印象であったが、わずかな苦味、日本酒由来の後味、および喉を通る際の刺激が残り、日本酒であることは知覚できた。
-2	甘口	一口目の刺激が明確に減少した。一方で後味が短く、一般的な甘口日本酒のイメージとは異なる印象であった。
-1	やや甘口	単体では変化を感じにくかったが、ベースとの比較では相対的にまろやかであると知覚された。
0	ベース	一口目に酸味があり、後味も持続する基準の印象であった。
+1	やや辛口	一口目の酸味が増強され、後味が長くなった印象であった。
+2	辛口	一口目の酸味が強く、飲み込む際に喉への刺激を知覚した。
+3	辛口方向の限界	酸味および喉への刺激が過剰となり、日本酒として一般的な味の範囲を逸脱する印象であった。

ルギニン溶液 (8% w/v)、およびベース日本酒の 5 種類を用いた。味覚溶液 4 種は、粉末状のグルコース、L-アラニン、コハク酸（無水、食品添加物グレード）、L-アルギニン（遊離塩基、食品添加物グレード）を水に溶解して調製した。コハク酸は常温では溶解しにくいため、加温して溶解させたのち常温まで冷却して用いた。

サンプルは、連続スライダー上の代表的な 7 点 (-3, -2, -1, 0, +1, +2, +3) に対応する 7 種類とした。各サンプルにおける味覚溶液の添加量は、3.4.1 に示した各基準点の設定値に基づいて決定した。ベース日本酒をおちょこに注ぎ、各基準点に応じた味覚溶液を滴下してサンプルを作成した。

4.2 試飲結果

著者ら 2 名による試飲で得られた、各基準点における主な所見を表 1 に示す。辛口方向である +1 から +3 では、コハク酸溶液およびアルギニン溶液の添加量が増加するにつれて、酸味および喉への刺激が段階的に強まった。

一方、甘口方向では、 $s = -1$ のサンプルは単体では変化を知覚しにくかった。 $s = -2$ 以降では一口目の刺激が緩和されたものの、後味が短くなるなど、一般的な甘口日本酒の印象とは異なる変化が生じた。また、 $s = -3$ では甘味が支配的となり、日本酒としての印象が弱まった。したがって、辛口方向では意図した方向への段階的な変化が観察された一方、甘口方向の味覚設計には改善の余地がある。

5. 議論

本稿では、日本酒の甘口・辛口印象を 1 本のスライダーで調整するシステム「S.A.K.E.」について述べた。本システムでは、ユーザが日本酒度、酸度、アミノ酸度といった専門的な指標を直接操作するのではなく、甘口から辛口までの印象を 1 本の物理スライダーによって指定する。スライダー値に応じた糖、アミノ酸、酸の各溶液の添加量は、ウェーバー・フェヒナーの法則を参考にした指数関数モデ

ルによって算出する。

著者らによる試飲では、辛口方向について、スライダー値の増加に伴って酸味および喉への刺激が段階的に強まることを確認した。甘口方向については、 $s = -2$ 以降で一口目の刺激が緩和される一方、後味が短くなるなど、一般的な甘口日本酒とは異なる印象が得られた。甘口方向の基準点は現在等比的ではないため、これを等比的な値に再設計したうえで試飲を行い、スライダーの 1 目盛りごとの印象変化をより均等に近づける必要がある。

添加量の分解能についても改善の余地がある。本実装は TTTV4[11] と同一のポンプを用いている。一方、TTTV3[7] で用いられているポンプは 0.02 mL 単位での出力が可能であり、これを採用することで、スライダー値に対する添加量をより細かく制御できる。特に、添加量が最小となる $s = +1$ 付近において、設定値と実際の出力量との差を小さくできると考えられる。

また、本稿で用いた 4 種類の味覚溶液はいずれも水溶液である。甘口方向では、 $s = -3$ において最大 2.50 mL の味覚溶液を添加するため、ベース日本酒 20.00 mL に含まれる成分の濃度は約 11% 低下する。ベース日本酒のアルコール分を 13.5% と仮定すると、添加後のアルコール分は約 12.0% となる。今後は、各味覚物質を日本酒に溶解した「酒溶液」を用いることを検討する。酒溶液を用いることで、水溶液の添加に伴うアルコール分の低下を抑えられるため、試飲で観察された一口目の刺激の緩和が、味覚物質の添加によるものか、希釈によるものかを切り分けやすくなる。

さらに、希釈の影響を抑えることで、各溶液の濃度を現在より低く設定できる可能性がある。溶液濃度を低くすれば、同じポンプの出力単位であっても、1 回の出力によって添加される味覚物質の量を少なくできる。これにより、味覚物質の添加量をより細かく調整し、甘口・辛口印象の制御分解能を高められると考えられる。

今後は、20 歳以上の参加者を対象として、各スライダー

値における甘口・辛口印象, 酸味, 甘味, 喉への刺激, および日本酒らしさを評価する. これにより, スライダー値に応じて意図した方向へ印象が変化するか, また, その変化が知覚的に等間隔となるかを検証する. あわせて, 料理との組み合わせ, 自然言語入力による要望の反映, 香料を用いた香りの付与などへの拡張も検討する.

参考文献

- [1] 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).
- [2] 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).
- [3] Ueno, S., Aoyama, K., Nakamura, H. and Miyashita, H.: Controlling Temporal Change of a Beverage's Taste Using Electrical Stimulation, *Extended Abstracts of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '19, Association for Computing Machinery, pp. 1–6 (online), DOI: 10.1145/3290607.3312981 (2019).
- [4] Miyashita, H.: TTTV2 Makes It Possible for People with Shellfish Allergies to Still Enjoy the Taste of Crab Virtually, *Proceedings of the 28th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, VRST '22, Association for Computing Machinery, pp. 1–2 (online), DOI: 10.1145/3562939.3565669 (2022).
- [5] Miyashita, H.: Virtual Eating Experience of Poisonous Mushrooms Using TTTV2, *Proceedings of the 28th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, VRST '22, Association for Computing Machinery, pp. 1–2 (online), DOI: 10.1145/3562939.3565668 (2022).
- [6] 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, 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, Vol. 2022, pp. 143–150 (2022).
- [7] 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, Vol. 2023, pp. 236–243 (2023).
- [8] 彭雪儿, 深池美玖, 笠原暢仁, 村上崇斗, 吉本健義, 湊祥輝, 富張瑠斗, 宮下藏太, 川田健晴, 宮下芳明: 産地の異なるカカオの味の違いを定量化し純物質で再現する手法, 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, Vol. 2023, pp. 390–393 (2023).
- [9] 金 珉志, 村上崇斗, 宮下芳明: TTTV3 を用いたワインの味表現, 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, Vol. 2023, pp. 298–301 (2023).
- [10] 金 珉志, 村上崇斗, 宮下芳明: ボトル装着型調味家電 TTTVin を用いたワインの味再現, 第 31 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 (WISS 2023) 予稿集, pp. 1–3 (2023).
- [11] 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 (WISS 2024) 予稿集, pp. 1–6 (2024).
- [12] Kasahara, N., Fukaike, M. and Miyashita, H.: TTTV4: Cutlery-Type Taste Display Toward Personal Taste Media, *Adjunct Proceedings of the 38th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST Adjunct '25, Association for Computing Machinery, pp. 1–3 (online), DOI: 10.1145/3746058.3758452 (2025).
- [13] 安地遥, 千田知佳, 宮下芳明: Sweet Synthesizer: 甘味をパーソナライズする味覚メディア, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2025 論文集, Vol. 2025, pp. 404–407 (2025).
- [14] 藤澤秀彦, 小平乙寧, 森口敬介, 宮下芳明: 受動的最適化から能動的探索へゲーミファイされたフレーバー探索, 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. 362–366 (2025).
- [15] 本間大一優, 奥野達也, 宮下芳明: 選好ベイズ最適化を用いた対比較 UI による味生成パラメータの探索, 第 33 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 (WISS 2025) 予稿集, pp. 1–3 (2025).
- [16] 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).
- [17] 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).
- [18] 千田知佳, 小平乙寧, 長谷川紗智, 飯塚奈夏, 齋藤詞音, 遠藤雅大, 堤賢太, 田崎秀征, 宮本靖久, 細田奈央子, 宮下芳明: PTTVX: 風味と食感制御を可能にするゾルフードプリンタ, 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. 458–463 (2025).
- [19] 小平乙寧, 千田知佳, 宮下芳明: 食感デザインのための物性・感性を目的とした物質配合の設計支援, 第 33 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 (WISS 2025) 予稿集, pp. 1–3 (2025).
- [20] 小平乙寧, 千田知佳, 笠原暢仁, 藤澤秀彦, 長谷川紗智, 森口敬介, 木添博仁, 田崎秀征, 宮本靖久, 細田奈央子, 宮下芳明: AromaSynth: 飲料に多様な香りを付与する嗅覚メディア, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2025 論文集, Vol. 2025, pp. 367–371 (2025).
- [21] 松島陽也, 千田知佳, 小平乙寧, 長谷川紗智, 飯塚奈夏, 齋藤詞音, 遠藤雅大, 堤賢太, 田崎秀征, 宮本靖久, 細田奈央子, 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, pp. 434–439 (2025).
- [22] 宮下芳明: Taste Time Machine: 飲食物を過去や未来の味に変える装置の実現に向けて, 第 31 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 (WISS 2023) 予稿集, pp. 55–61 (2023).
- [23] 日塔諒太, 小宮晨一, 割澤伸一, 伴祐樹: うつろいドリンク: コクとキレを両立するための連続的な飲料混合率変化ガラスの提案, 情報処理学会インタラクション 2026 論文集, pp. 392–395 (2026).
- [24] 小西優多郎, 畑田裕二, 韓燦教, 苗村健: 日本酒の味わい変化を誘発する振動提示の提案, 第 33 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 (WISS 2025) 予稿集, pp. 1–3 (2025).
- [25] 木村克己 (監修): 日本酒の基礎知識: 知りたいことが初歩から学べるハンドブック, 新星出版社 (2015).
- [26] 日本醸造協会 (編): 醸造物の成分, 日本醸造協会 (1999).
- [27] 白鶴酒造株式会社: 白鶴 サケパック まる, <https://www.hakutsuru.co.jp/product/sake/maru/03682.html>. 2026 年 7 月 17 日閲覧.