

TasteSynth：電気味覚のための刺激波形デザインシステム

鍛治 慶亘¹ 宮下 芳明¹

概要：舌やその周辺、あるいは飲食物へ電気を流すことで、味細胞の刺激や、飲食物内のイオン泳動を引き起こし、味覚を変化させる手法を総称して電気味覚という。これまで、電気味覚の研究では多様な刺激波形が用いられており、その種類やパラメータによって味覚変化の効果が異なる。本稿では、先行研究約 30 本で利用された刺激波形を再現し、さらにそれらを編集した新規の刺激波形による効果を検証可能なシステム「TasteSynth」を提案する。本システムを用いることで、既知の刺激波形の追検証や未知の刺激波形の探索が容易になると考える。

1. はじめに

舌やその周辺、あるいは飲食物へ電気を流すことで、舌にある味細胞の刺激や、飲食物内のイオン泳動を引き起こし、味覚を変化させる手法を総称して電気味覚という。その例として、Ranasinghe らは舌へ矩形パルス波の電気刺激を与え、酸味や塩味などの味覚を提示する手法を提案した [1]。Aoyama らは、舌へ陰極刺激を与えることで電解質の呈する味を抑制可能であることを示した [2]。これまでの電気味覚研究では、この他にも様々な刺激波形が用いられており、その種類やパラメータによって味覚変化の効果が異なる。

本研究の目的は、多様になりつつある電気味覚の刺激波形について、既知の刺激波形の追検証や未知の刺激波形の探索を容易にすることである。そこで本稿では、先行研究で利用された刺激波形の再現や、さらにそれらを編集した新規の刺激波形による効果を検証するためのシステム「TasteSynth」を提案する。このシステムでは、インタフェース上で電気味覚の刺激波形をデザインでき、さらにそれらを再生し効果を検証できる (図 1)。

本稿では、提案システムの構成や機能について述べたのちに、提案システムを利用してデザインされた刺激波形の作例を紹介する。

2. 関連研究

本章では、これまでの研究で用いられた電気味覚の提示方法、及び刺激波形とその効果について述べる。

はじめに、電気味覚の提示方法について述べる。電気味覚の提示方法は大きく分ると 2 種類ある (図 2)。1 つ目は、

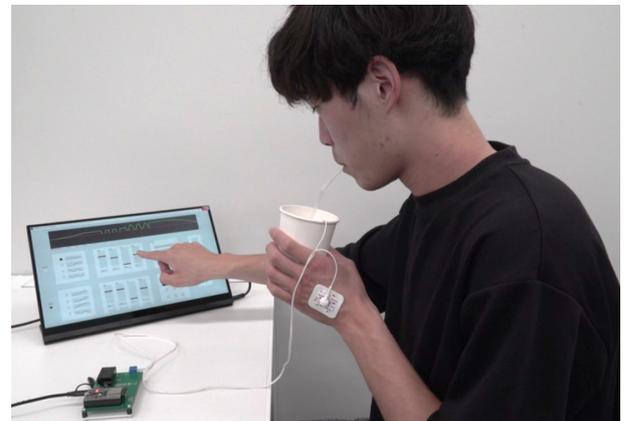


図 1 提案システム利用時の様子

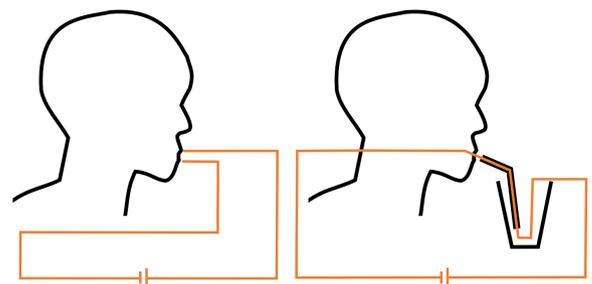


図 2 両極型装置を用いた提示方法 (左) と一極型装置を用いた提示方法 (右)

舌へ陽極と陰極の両電極をあてて電気刺激を提示する、両極型装置を用いた方法である。2 つ目は、一方の電極を首の後ろなどの人体へ、もう一方の電極を舌付近へ配置し、人体を回路の一部へ組み込み電気刺激を提示する、一極型装置を用いた方法である。以下、それぞれの方法について、関連研究で用いられた刺激波形とその効果を述べる。

¹ 明治大学

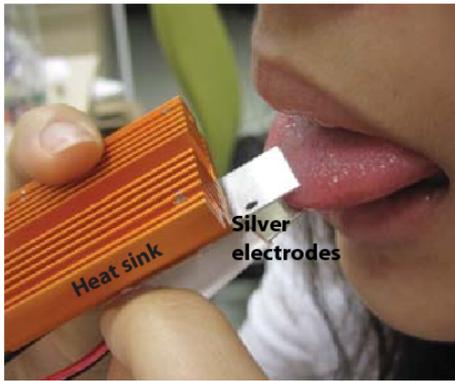


図 3 銀電極 2 枚で舌を挟み込む形状の両極型装置 ([1] から引用)

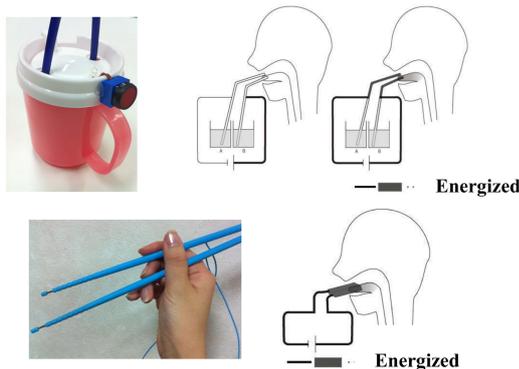


図 4 飲食物の摂取時に電気味覚を提示可能な食器型の両極型装置 ([3] から引用)

2.1 両極型装置を用いた方法

両極型装置を用いた方法では、酸味や塩味、苦味の提示が可能である。Ranasinghe らは、両極型装置 (図 3) を用いて、矩形パルス波を与えることで酸味、塩味及び苦味を提示できることを示した [1][4]。その際の刺激波形は、電流値 (20~200 μ A の範囲を 20 μ A 刻み) と周波数を変化させた矩形パルス波であり、電流値が大きいほど酸味、塩味及び苦味を強く感じる傾向がみられた。また、多感覚の刺激によって味覚を操作するグラス型デバイス「Vocktail」にも、同様の刺激を提示する機能が搭載されている [5]。ここでは、酸味、塩味、苦味をそれぞれ、180 μ A かつデューティ比 67%、40 μ A かつデューティ比 20%、80 μ A かつデューティ比 43% の矩形パルス波によって表現している。他にも「Digital Lollipop」では、両極型装置で発生させる酸味の強度を 3 段階でコントロール可能としている [6]。具体的にはおよそ 40 μ A、90 μ A、140 μ A の矩形パルス波を用いることで、酸味の強度を切り替えて提示することができる。

中村らは、飲食物の摂取時に電気味覚を提示可能な両極型装置 (図 4) を提案した [3][7]。そして、この装置を使用し、刺激波形の出力パターンを変化させることで、味覚へ様々な情報を入力する手法を提案した [8]。Ranasinghe らは、おわん型や箸型の両極型装置を用いて、矩形パルス波

の刺激を与えることで、食べ物の味を増強する手法を提案した [9]。具体的には、酸味、塩味をそれぞれ、180 μ A かつデューティ比 70%、40 μ A かつデューティ比 20% の矩形パルス波で表現し、それらをみそ汁やマッシュポテトの摂取時に印加することで、酸味や塩味の増強が可能であることを示した。

2.2 一極型装置を用いた方法

一極型装置を用いた方法では、舌付近に配置した電極の極性によって、味覚への効果が異なる [10][11][12]。その際、舌付近の電極が陽極であるものを陽極刺激、陰極であるものを陰極刺激と呼ぶ。

2.2.1 陽極刺激

陽極刺激を用いることで、金属的な味の提示効果や味の濃さの増幅効果を与えられる。中村らは、約 150 μ A の陽極刺激を提示した際の、飲料の味質変化を調査した [10]。その結果、酸味及び金属味を知覚したという意見が得られた。Aruga らは、9V 電池 2 個を用いた陽極刺激の提示による、スープの味質変化を調査した [11]。その結果、酸味、塩味、そして味の濃さがそれぞれ増幅されることが分かった。青山らは、顎及び首の後ろへ電極を配置し、陽極刺激を提示することでの、味覚惹起について調査した [12]。このとき提示した刺激波形は、最大電流値 2.5mA かつ刺激の持続時間が 5000ms の方形波の陽極刺激であり、電気味が惹起する効果がみられた。

野村らは、炭酸飲料摂取時に陽極刺激を提示することでの、炭酸感の増幅効果について調査した [13]。調査の際には、電圧 5~8V の陽極刺激が提示された。その効果として、炭酸刺激の増幅や味質の変化が起こることが示された。

2.2.2 陰極刺激

陰極刺激を用いることで、飲食物内のイオン泳動を引き起こし、電解質の呈する味を制御できる。具体的には、陰極刺激の提示によって電解質の呈する味を抑制でき、陰極刺激の停止によって電解質の呈する味を増強できる [2][14]。

hettinger らは、40、80 μ A の陰極刺激を提示したのちに停止することでの、塩化ナトリウム溶液の味質変化を調べた [15]。その結果、電流を印加している間は塩味が抑制され、切った瞬間には塩味が増強されることがそれぞれ示された。

中村らは、魚肉ソーセージを食べるタイミングで、陰極刺激の提示と停止を行うことによる塩味の変化を調査した [16]。このとき、刺激波形は 250 μ A の陰極刺激であり、フォーク型のデバイス (図 5) を用いて提示された。その結果、陰極刺激の提示と停止によって塩味の抑制効果と増強効果がそれぞれ確認された。加えて、同様の調査を塩味だけでなく他の基本味も含めて行っており、その結果、陰極刺激の停止によって、塩味、酸味が増強される効果がみられた [17][18]。

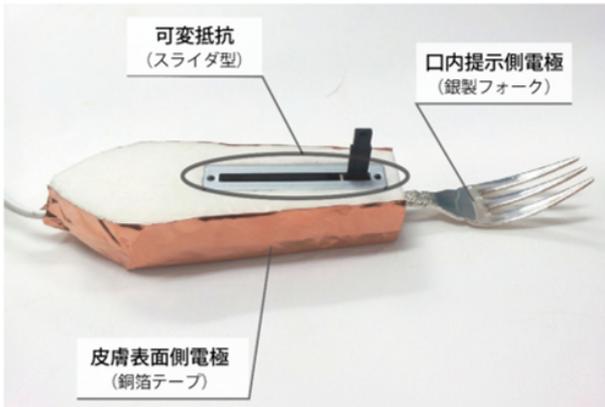


図 5 陰極刺激を提示可能なフォーク型の装置 ([16] から引用)

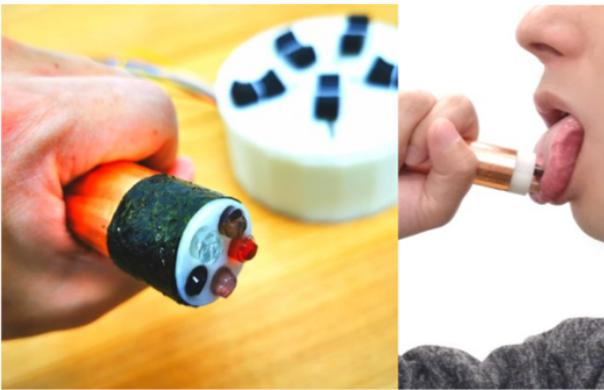


図 6 Norimaki Synthesizer ([20] から引用)

原らは、方形波の陰極刺激のデューティ比を変化させることで、塩味と苦味の味物質が混合した溶液を摂取する際に、特定の味質のみを提示できる可能性を示した [19]。このとき実験で利用した溶液は、塩味を呈する塩化ナトリウムと苦味を呈する塩化マグネシウムの混合溶液であった。そして、この溶液を摂取する際に、電流値 0.5mA、周波数 15Hz の方形波の陰極刺激を印加し、デューティ比を変化させることで、無味、塩味、塩味と苦味の混合味の 3 つの味質を切り替えて提示できる可能性が確認された。

2.2.3 陰極刺激を用いた電解質の呈する味の抑制

櫻井らは、陰極刺激の提示によって、塩味や旨味を呈する塩類の味覚抑制ができることを示した [21]。また、Aoyama らは、陰極刺激の提示によって、電解質の味物質であれば基本五味全てにおいて味の抑制ができることを示した [2]。その際、調査には 0~2.5mA の陰極刺激を用いており、味の抑制量は電流の強度と強い相関関係があることを示した。

Miyashita は、基本五味それぞれを呈する電解質を溶かした各ゲルへ、陰極刺激を提示して各味の強さを独立に操作することで、任意の味を再現可能な味ディスプレイ「Norimaki Synthesizer」(図 6) を提案した [20]。そして、このディスプレイを用いた味表現の際に、個人の味の好みに合わせて刺激波形を調整可能なエフェクタやイコライザ機能を提案した [22][23]。

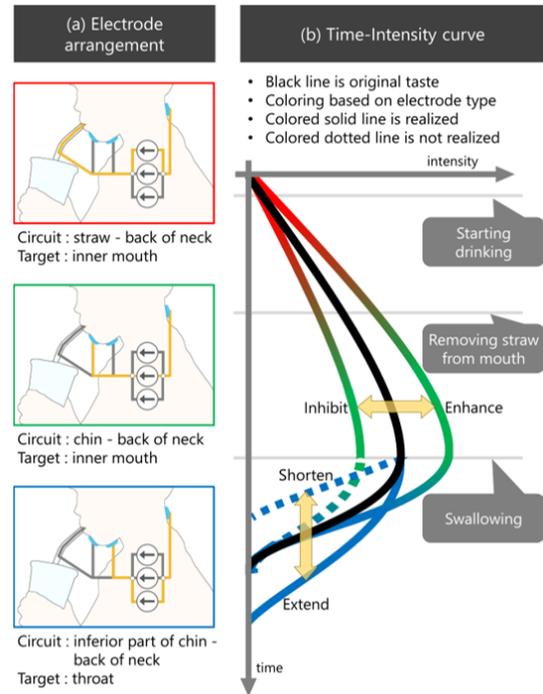


図 7 飲料を口に含んでから嚥下後までの味を時系列的に制御する手法 ([26] から引用)

2.2.4 陰極刺激を用いた電解質の呈する味の増強

大塚らは、陰極刺激の停止による塩味の増強効果について、増強量の定量化を試みた [24]。実験では、塩化ナトリウム溶液の摂取時に、電流値 (0.125, 0.250, 0.500, 1.00mA) の異なる陰極刺激を提示し、刺激を切った瞬間に感じる塩味を調査した。その結果、陰極刺激の提示時の電流値が大きいほど、陰極刺激の停止時の塩味増強量が大きくなることが示された。

原らは、電解質の味物質であれば基本五味全てにおいて、矩形波の陰極刺激を用いて継続的に味の増強ができることを示した [25]。具体的には、1.0mA (酸味のみ 0.5mA)、周波数 1~15Hz ほどの矩形波の陰極刺激を用いた際に、最も長い時間、味の増強効果を得られた。

2.3 時系列的な味変化のデザイン

青山らは、下顎部に陽極電極を、首の後ろ側に陰極電極をそれぞれ配置することで、咽頭部への局所的な味覚提示を行う手法を提案した [27]。実験では、約 3mA、3000ms の方形波刺激を提示することで、喉に電氣的または金属的な味が誘発されることを示した。

上野らは、同様の電極配置を用いて、咽頭部で感じられる後味の増強及び持続時間の延長を行う方法を提案した [28]。実験では、飲料の摂取時に約 3mA の直流電流を提示した。その結果、甘味や酸味のある市販飲料の後味の増強及び持続時間の延長効果が確認された。そして、上野らは、この効果を陰極刺激による味の抑制及び増強効果と組み合わせることで、飲料を口に含んでから嚥下後までの

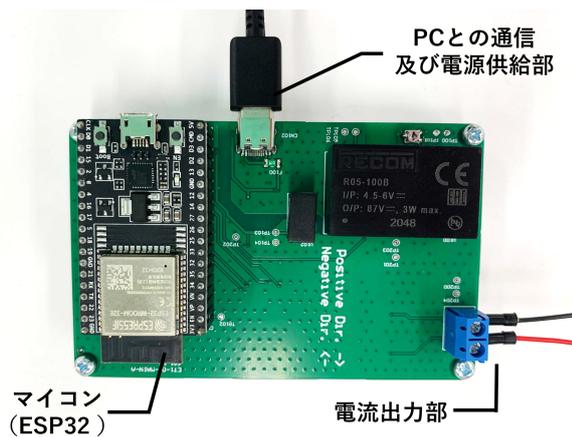


図 8 電流出力装置

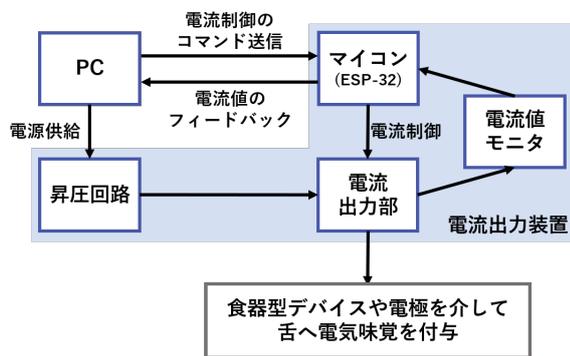


図 9 提案システムの構成

味を時系列的に制御する手法 (図 7) を提案した [26][29].

3. 提案システム

本章では、先行研究で利用された刺激波形の再現や、さらにそれらを編集した新規の刺激波形による効果を検証するためのシステム、TasteSynth の構成や機能について述べる。

3.1 システムの構成

TasteSynth は、PC 上のソフトウェア、及び PC と接続された電流出力装置 (図 8) で構成される。その構成について、概要を図 9 に示す。ソフトウェアは Processing で実装しており、windows で動作する。そのため、タッチパネルを用いたインタフェース操作も可能である。電流出力装置は主に、マイコン (ESP32)、電流出力部、昇圧回路、電気味覚の提示回路に流れている電流値のモニタからなる。電流出力部は定電流回路であり、提示できる電流値は $-3\sim 3\text{mA}$ とした。

ソフトウェアと電流出力装置はシリアル通信で接続される。その際、ソフトウェアからは電流制御のコマンドが、電流出力装置側からは電気味覚の提示回路に流れている電流値のフィードバックがそれぞれ送信される。このとき、電流制御のコマンドでは、電流の出力と停止、電流値や極

性の変更ができる。現在の仕様では、電流制御のコマンドを毎秒約 50 回の頻度で送信できる。

電流出力装置から刺激波形を提示するために、舌や人体へ設置する電極は、その配置を変えることで様々な電気味覚の提示手法を再現できる。例えば、両極を舌にあてることで両極型装置による刺激を、一方の電極を舌付近に、もう一方の電極を首の後ろなどの人体へ貼りつけることで一極型装置による刺激を、それぞれ出力できる。

3.2 基本機能

TasteSynth のインタフェースについて、図 10 に示す。

TasteSynth では、刺激波形をデザインし再生することができ、その手順は 3 段階に分けられる。1 段階目は刺激波形の選択である。ここでは主に先行研究で使用された刺激波形を選択し、そのパラメータを設定できる。2 段階目は刺激波形の編集である。ここでは選択された刺激波形についてアレンジを行える。3 段階目は刺激波形の再生である。ここでは作成した刺激波形を電流出力装置から再生し、その効果を確認できる。以下、それぞれの段階についての詳細を述べる。

3.2.1 刺激波形の選択

刺激波形の選択では、主に先行研究で使用された刺激波形とそのパラメータを設定可能とした。その際、選択可能な刺激波形の一覧を図 11 に示す。利用できる刺激波形は大きく分けて、直流電流、直流電流の提示と停止、矩形パルス波、その他の刺激波形の 4 つである。また、刺激波形の選択後にインタフェース上のスライダを操作することで、各刺激波形のパラメータを設定できる。以下、それぞれの刺激波形の詳細について述べる。

直流電流は、陽極刺激の提示 [10][11][12][13] や陰極刺激による電解質の呈する味の抑制 [2][20][21][22][23]、咽頭部への味覚提示 [26][27][28][29] などに用いられる。また、パラメータとして電流値 ($-3\sim 3\text{mA}$) を設定可能とした。

直流電流の提示と停止は、陰極刺激の提示と停止による、電解質の呈する味の抑制・増強 [15][16][17][18][24] に用いられる。また、パラメータとして直流電流の提示時の電流値 ($-3\sim 3\text{mA}$) を設定可能とした。

矩形パルス波は、両極型装置を用いた味覚提示 [1][4][5][6][9] や、矩形波の陰極刺激による電解質の呈する味の継続的増強 [25] に用いられる。また、そのパラメータとして矩形パルス波の上限及び下限の電流値 ($-3\sim 3\text{mA}$)、周波数 ($0\sim 25\text{Hz}$)、デューティ比 ($0\sim 100\%$) を設定可能とした。

その他の刺激波形では、先行研究では用いられていないが一般的な波形として、正弦波、三角波、のこぎり波を選択可能とした。また、そのパラメータとして上限及び下限の電流値 ($-3\sim 3\text{mA}$)、周波数 ($0\sim 25\text{Hz}$) を設定可能とした。

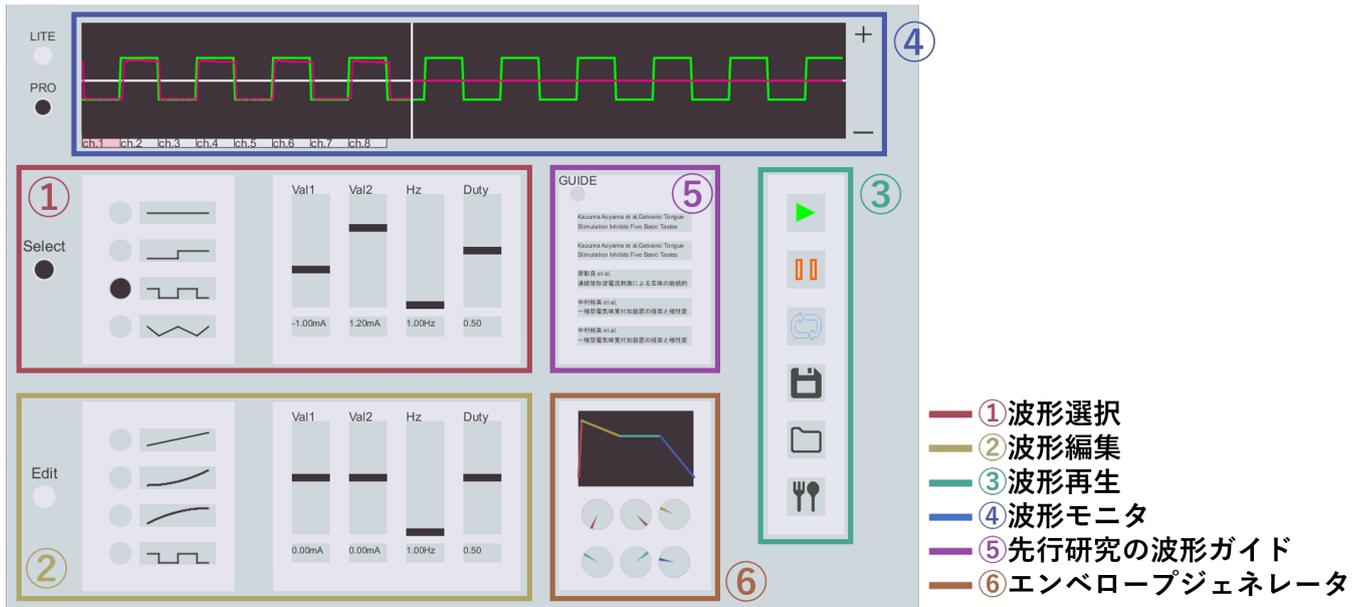


図 10 TasteSynth のインターフェースと各部の名称

名称	波形
直流電流	
直流電流の提示と停止	
矩形パルス波	
正弦波	
三角波	
のこぎり波	

図 11 刺激波形の選択段階において、選択可能な刺激波形の一覧

3.2.2 刺激波形の編集

刺激波形の編集では、3.2.1 項で選択された刺激波形について、部分的な編集を行うことでアレンジできる。その概要を図 12 に示す。刺激波形の編集は、編集したい範囲を選択した上で、その範囲を加工するという流れである。

はじめに、編集したい範囲は、波形モニタに表示されている刺激波形の上で、ドラッグすることで選択できる。その際、選択された範囲はオレンジの四角形で示される。

次に、選択された範囲の加工では、選択された範囲の前後の電流値の変更 (-3~3 mA) 及びその範囲の電流変化

の変更（イーズイン、イーズアウト、刺激波形の選択で使用可能な波形の挿入）ができる。

また、刺激波形の編集を複数回行う例を図 13 に示す。ここで、編集後の刺激波形において、編集範囲はオレンジの四角形で示している。このように、範囲の選択や加工は何度でも繰り返し行うことが可能なため、ユーザの意図した刺激波形を手作業で作り出すことも可能である。

3.2.3 刺激波形の再生

刺激波形の再生では、これまでの段階でデザインされた刺激波形を再生し、その効果を確認できる。その際には、実際に再生された刺激波形を確認可能である。再生時の様子を図 10 の波形モニタ部に示す。ここでは、緑色で示した線が作成した波形であり、ピンク色で示した線が実際に出力された波形である。また、現在の再生位置は白色のバーで示される。

3.3 再生された刺激波形の検証

本節では、提案システムから再生された刺激波形が正しく出力可能であることを確認するために、オシロスコープを用いて行った出力波形の検証について記す。このとき利用した回路を図 14 に示す。ここで、回路に挟む抵抗器は、一極型装置を用いた刺激の際の人体抵抗に近い値である 10kΩ とした。また、回路に入れた抵抗器の抵抗値とオシロスコープで観察する電圧波形から、電流値を算出できる。

3.3.1 検証に利用する刺激波形

検証に利用する刺激波形は、条件 1：陽極の矩形パルス波（最大電流値：1mA、最小電流値：0mA、周波数：1Hz、デューティ比 50%）、条件 2：陽極の正弦波（最大電流値：2mA、最小電流値：0mA、周波数：2Hz）、及び条件

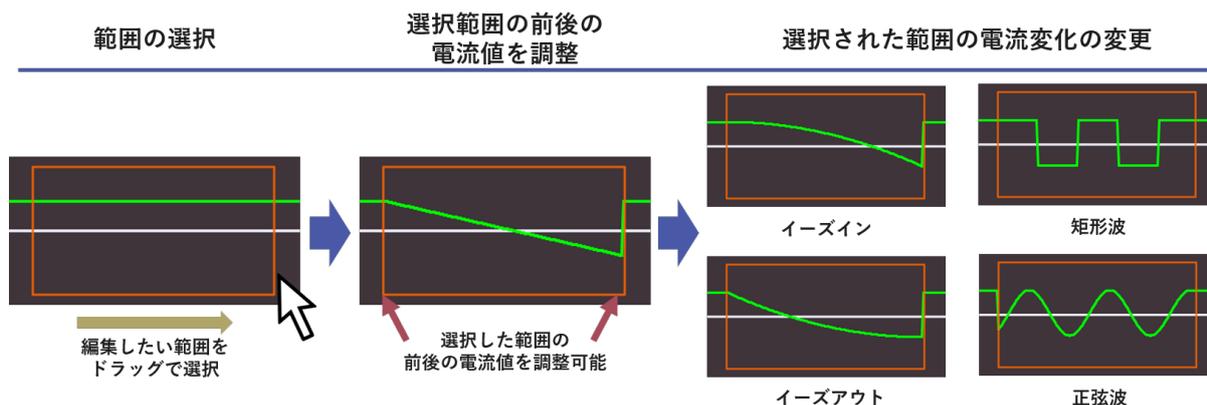


図 12 刺激波形の編集の概要

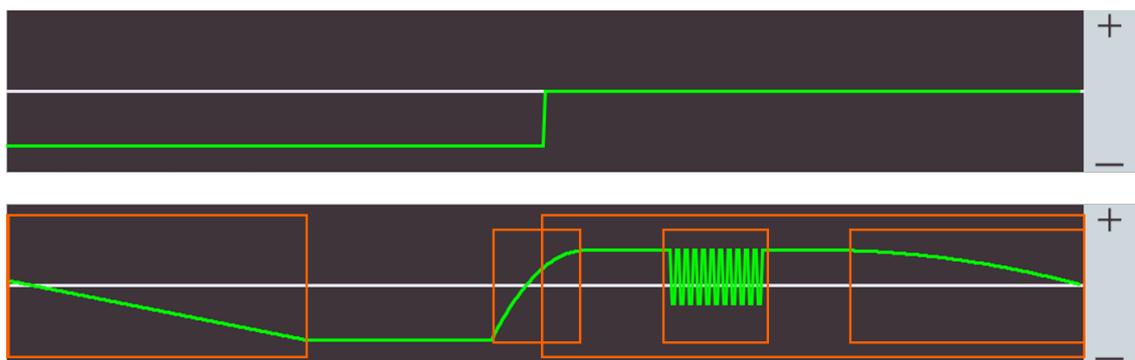


図 13 刺激波形の編集を複数回行う例
編集前の刺激波形（上），及び編集後の刺激波形とその編集範囲（下）

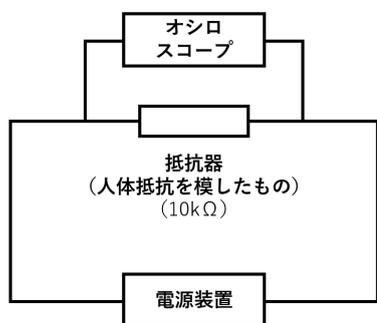


図 14 再生された刺激波形の形状を検証するために利用した回路



図 15 複数の波形の組合せやイーズイン・イーズアウト処理が施された刺激波形

3: 図 15 に示す様々な編集を加えた刺激波形, の計 3 つとした. 条件 1, 2 では, 3.2.1 項において選択できる刺激波形とそのパラメータが正しく出力可能であるかを確認する. 条件 3 では, 3.2.2 項において, いくつかの波形を組み合わせるなどのアレンジを行った波形が正しく出力可能であるかを確認する. このとき, 各刺激波形の提示時間はそれぞれ 10 秒とした. これらの刺激波形を再生し, オシ

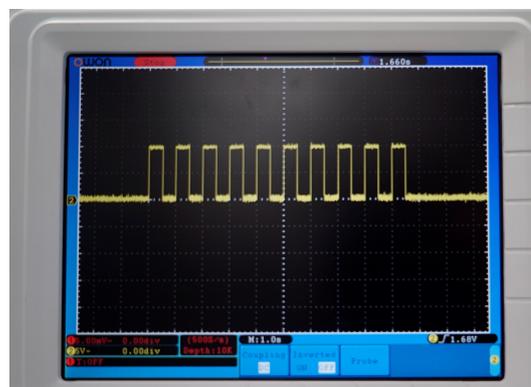


図 16 条件 1: 陽極の矩形パルス波の出力波形
縦軸は電圧 (1 目盛は 5V), 横軸は時間 (1 目盛は 1 秒)

ロスコープでその出力波形を観察した.

3.3.2 結果

各刺激波形を再生したときに, オシロスコープで観察した電圧波形を図 16, 図 17, 図 18 にそれぞれ示す.

条件 1, 2 より, 矩形パルス波と正弦波ともに形状と周波数が正しく出力できていることが分かる. 加えて, 計測された電圧波形と使用した抵抗値から, 最大電流値と最小電流値が正しく出力可能であると分かる. これらの結果より, 3.2.1 項において選択できる刺激波形とそのパラメータが正しく出力可能であることが確認できた.

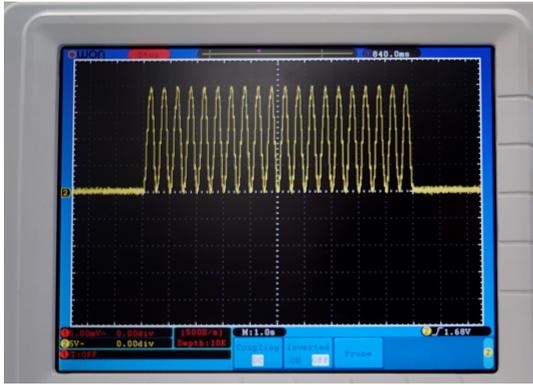


図 17 条件 2：陽極の正弦波の出力波形
縦軸は電圧（1 目盛は 5V），横軸は時間（1 目盛は 1 秒）

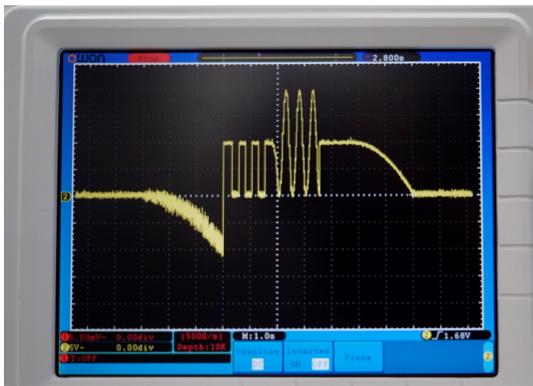


図 18 条件 3：複数の波形の組合せやイーズイン・イーズアウト処理が施された刺激波形の出力波形
縦軸は電圧（1 目盛は 5V），横軸は時間（1 目盛は 1 秒）

また、条件 3 より、複数の波形の組合せやイーズイン・イーズアウト処理が施された刺激波形についても、入力波形とおよそ同等な波形が出力可能であることを確認できた。

3.4 付加機能

3.2 節で述べた基本機能に加えて、システムの利便性を向上させるために実装した付加機能について記す。

3.4.1 ライトモードとプロモードの切り替え

初心者が簡単に波形を作成できるよう、先行研究で用いられた刺激波形のみを入力・再生可能なライトモードを実装した。具体的には、ライトモードへ切り替えることで、先行研究で用いられた刺激波形の入力と再生のみができ、その他の機能を利用不可にする。これにより手続きの煩雑さがなくなり、初心者が簡単に既存の刺激波形による電気味覚体験をできる。

3.4.2 先行研究で用いられた刺激波形のガイド表示

本機能では、先行研究で利用された刺激波形を記録し、その刺激波形を波形モニターにガイドとして表示できる。刺激波形のガイドとして、陽極刺激の提示 [10]、電解質の呈する味の抑制で用いられる陰極刺激の提示 [2] や、電解質の呈する味の継続的増強で用いられる矩形波の陰極刺激 [25]

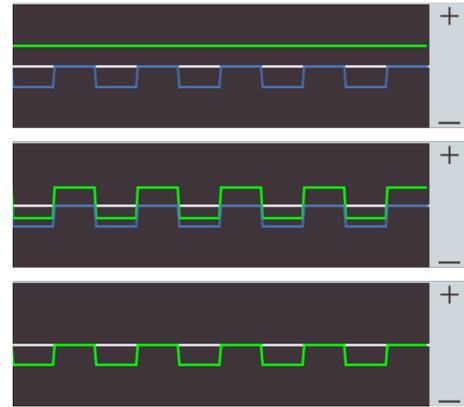


図 19 先行研究で用いられた刺激波形 [25] のガイドの例

などを表示可能とした。

図 19 は先行研究で用いられた刺激波形 [25] のガイドの例を示している。このとき、刺激波形のガイドは青色の線、作成中の刺激波形は緑色で示される。ここで、図の中段及び下段で示すように、刺激波形のガイドに合わせて波形を作成することで、先行研究で利用された刺激波形の追検証ができる。そして、それに編集を加えることで、既存の刺激波形の応用も容易になると考える。

3.4.3 エンベロープジェネレータの試作

電流値の時間変化をデザイン可能なエンベロープジェネレータを実装した。エンベロープジェネレータは、主にシンセサイザでの音作りにおいて音量の時間的な変化をデザインする際に用いられる。本システムではこれを模倣し、電流値の時間的な変化を編集可能なツールを作成した。その概要を図 20 に示す。設定可能なパラメータは、アタック（刺激波形が再生されてから最大の電流値へ達するまでの時間）、ディケイ（サステインの電流値へ達するまでの時間）、サステイン（減衰後の電流値と持続時間）、リリース（サステイン後に電流値が 0 になるまでの時間）とした。

3.4.4 飲食行動に合わせた刺激波形の再生機能

提案システムを実際の飲食へ応用するために、ユーザの飲食行動に合わせた刺激波形の再生を可能とした。本機能は、以下の仕組みで動作する。まず、あらかじめユーザが感知できないほど微弱な電流を電流出力部へ流しておく。そして、飲食行動により図 2 で示した回路が作成されることで通電を確認し、そのタイミングで刺激波形の再生を開始する。これにより、ユーザが飲食物を口にした瞬間に合わせて刺激波形を再生できる。本機能と、前項で述べたエンベロープジェネレータ機能を組み合わせることで、飲食行動にあわせた刺激波形の時間的な変化もデザイン可能である。

また、本機能にあわせて、箸型の電気味覚提示デバイスを作成した。作成した箸型デバイスとその構造について、図 21 及び図 22 にそれぞれ示す。箸型デバイスは、口側電極となるチタン製の箸をベースに、手側電極となる部分

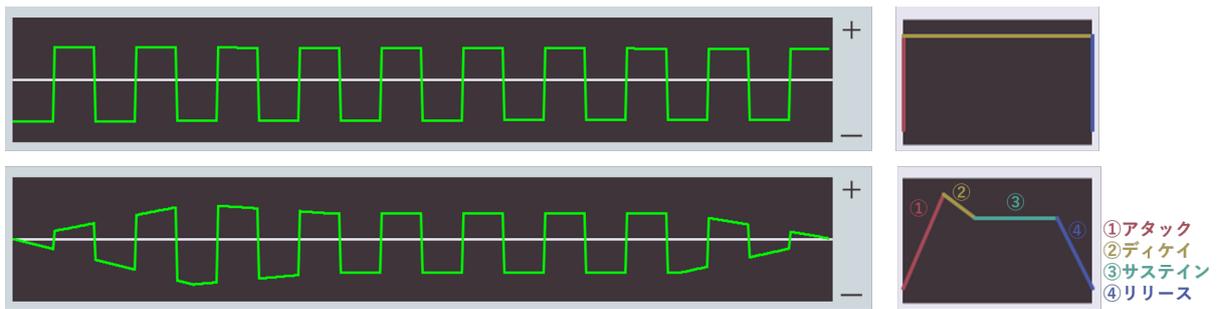


図 20 エンベロープジェネレータの利用例
加工前の矩形波の刺激波形（左上）とそのときのエンベロープジェネレータ（右上）
加工後の矩形波の刺激波形（左下）とそのときのエンベロープジェネレータ（右下）

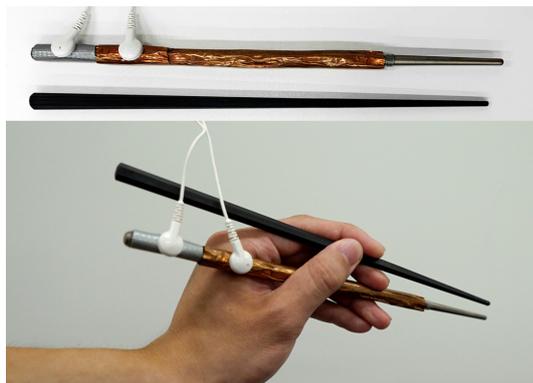


図 21 作成した箸型デバイス

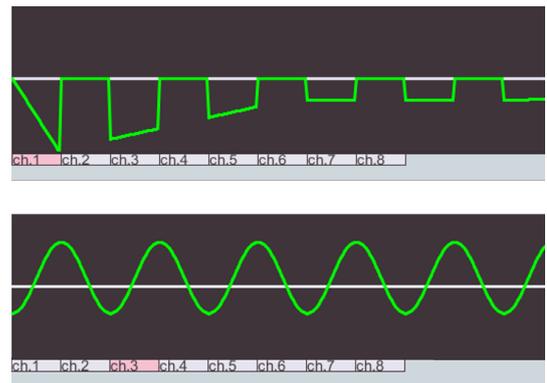


図 23 刺激波形のチャンネル切替機能

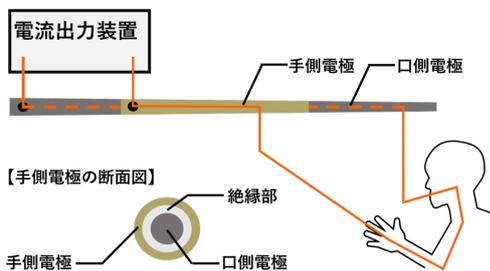


図 22 箸型デバイスの構造

へ銅箔テープを巻き、その間を絶縁した構造である。そして、それぞれの電極と電流出力装置を接続することで、陽極刺激や陰極刺激を舌へ提示できる。こうした食器型のデバイスと、本機能を組み合わせることで、ユーザの飲食行動に合わせた刺激波形の再生が可能である。

3.4.5 刺激波形の記録・共有

中村らは、刺激波形データの配信や共有についての提案をした [30]。そこで、本システムにおいても、作成した刺激波形について csv 形式での記録を可能とした。これを利用することで簡単に刺激波形の共有ができ、遠隔地でのデモンストレーションを容易にしたり、飲食物に合わせた刺激波形のレシピを呼び出したりなどの応用ができる。

3.4.6 複数の刺激波形の作成と再生

3.2 節で述べた提案システムは、1つの刺激波形を1対

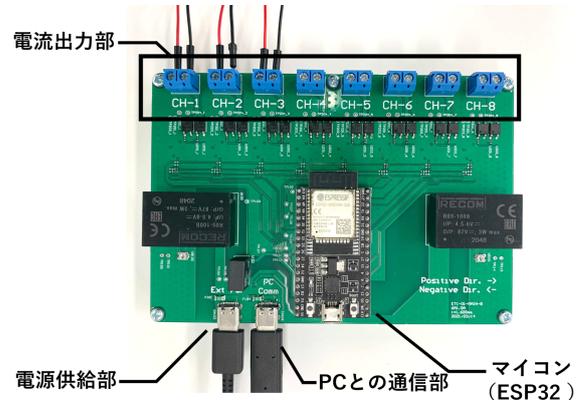


図 24 複数の刺激波形の同時出力が可能な電流出力装置

の電極から出力するものであった。しかし、味ディスプレイ [20] や電気味覚による時系列的な味変化のデザイン [29] のように、複数の電極から異なる刺激波形を同時に提示する研究も存在する。そこで本システムにおいても、複数の刺激波形をデザインし、同時に出力できる機能を実装した。

具体的には、チャンネル切替機能を搭載し (図 23)、複数の刺激波形をチャンネルごとにデザインし出力可能とした。ここで、複数の刺激波形を同時に出力可能な電流出力装置を図 24 に示す。この装置を用いることで、デザインした刺激波形を各チャンネルごとに同時に出力できる。これにより、先行研究の味ディスプレイや時系列的な味変化



図 25 イーズイン処理を追加した刺激波形の例
陰極刺激の提示と停止の刺激波形（上）
上の刺激波形に対してイーズイン処理を追加（下）

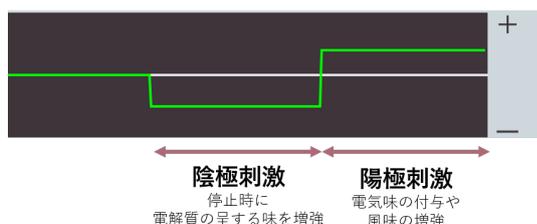


図 26 「陰極刺激の提示と停止」と「陽極刺激の提示」
を組み合わせた波形の例

のデザインをはじめ、複数人への刺激波形の同時出力などの応用も可能である。

4. 作例

本章では、本システムを用いることで作成された刺激波形の例を提示する。

4.1 イーズイン処理により痛みを軽減する波形

イーズイン処理を用いた刺激波形について、編集前後の波形を図 25 に示す。電気味覚を提示する際、急激な電流値の変化によって、痛覚刺激が生じる場合がある。そこでイーズイン・イーズアウトなどの処理を用いて、刺激波形の立ち上がりを緩やかにすることで、痛覚刺激を軽減した刺激波形が出力可能であると考えられる。

4.2 陰極刺激から陽極刺激へスイッチする刺激波形

陰極刺激の提示と停止及び陽極刺激を組み合わせた刺激波形の例を図 26 に示す。この刺激波形では、陰極刺激の提示により、電解質の呈する味が抑制され、陰極刺激の停止時にその味が増強される。そのうえで、陰極刺激の停止時に風味の増強が可能な陽極刺激を提示することで、増強された味がさらに強まって感じられる可能性が考えられる。このように、既存の電気味覚手法を組み合わせたり、それらのパラメータを調整したりすることで、新たな刺激波形を探索できる。

5. 展望

今後の展望として、ソフトウェアシンセサイザの機能を

模倣し、より多様な刺激波形を出力可能にすることを考えている。具体的には、LFO の追加、VST プラグインとの互換性を持たせることなどが挙げられる。LFO を追加することで、刺激波形の電流値の周期的な変化をデザインすることができ、例えば味が揺れるような表現などが可能になると考える。また、VST プラグインとの互換性を持たせることで、従来音作りで使われるエフェクト効果などを、電気味覚の刺激波形に適用することができ、作成できる刺激波形の幅をさらに広げることができる。このように、表現可能な刺激波形の幅を広げていくことで、未知の刺激波形の探索がさらに自在かつ活発に行えるのではないかと考えている。

6. おわりに

本稿では、電気味覚の刺激波形のデザインとその効果の確認によって、既知の刺激波形の追検証や未知の刺激波形の探索が可能なシステム、TasteSynth を提案した。また、提案システムを用いて作成した刺激波形の作例を示した。今後は提案システムについて、ユーザスタディを実施し、得られた意見をもとにシステムの改良を行う。

参考文献

- [1] Ranasinghe, N., Nakatsu, R., Nii, H. and Gopalakrishnakone, P.: Tongue mounted interface for digitally actuating the sense of taste, *2012 16th International Symposium on Wearable Computers*, pp. 80–87 (2012).
- [2] Aoyama, K., Sakurai, K., Sakurai, S., Mizukami, M., Maeda, T. and Ando, H.: Galvanic Tongue Stimulation Inhibits Five Basic Tastes Induced by Aqueous Electrolyte Solutions, *Frontiers in psychology*, Vol. 8, p. 2112 (2017).
- [3] Nakamura, H. and Miyashita, H.: Augmented gustation using electricity, *Proceedings of the 2nd augmented human international conference*, pp. 1–2 (2011).
- [4] Ranasinghe, N., Cheok, A. D., Fernando, O. N. N., Nii, H. and Ponnampalam, G.: Electronic taste stimulation, *Proceedings of the 13th international conference on Ubiquitous computing*, pp. 561–562 (2011).
- [5] Ranasinghe, N., Nguyen, T. N. T., Liangkun, Y., Lin, L.-Y., Tolley, D. and Do, E. Y.-L.: Vocktail: A Virtual Cocktail for Pairing Digital Taste, Smell, and Color Sensations, *Proceedings of the 25th ACM International Conference on Multimedia*, pp. 1139–1147 (2017).
- [6] Ranasinghe, N. and Do, E. Y.-L.: Digital lollipop: Studying electrical stimulation on the human tongue to simulate taste sensations, *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications (TOMM)*, Vol. 13, No. 1, pp. 1–22 (2016).
- [7] 中村裕美, 宮下芳明: 飲食物+電気味覚, 第 18 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 (WISS2010) 論文集, pp. 204–206 (2010).
- [8] 中村裕美, 宮下芳明: 電気味覚を活用した味覚の増幅と拡張, *インタラクション*, pp. 461–464 (2011).
- [9] Ranasinghe, N., Tolley, D., Nguyen, T. N. T., Yan, L., Chew, B. and Do, E. Y.-L.: Augmented flavours: Modulation of flavour experiences through

- electric taste augmentation, *Food Research International*, Vol. 117, pp. 60–68 (2019).
- [10] 中村裕美, 宮下芳明: 一極型電気味覚付加装置の提案と極性変化による味質変化の検討, *情報処理学会論文誌*, Vol. 54, No. 4, pp. 1442–1449 (2013).
- [11] Aruga, Y. and Koike, T.: Taste change of soup by the recreating of sourness and saltiness using the electrical stimulation, *Proceedings of the 6th Augmented Human International Conference*, pp. 191–192 (2015).
- [12] 青山一真, 櫻井健太, 古川正紘, 前田太郎, 安藤英由樹: 顎部電気刺激による味覚提示・抑制・増強手法, *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol. 22, No. 2, pp. 137–143 (2017).
- [13] 野村伊吹, 小池崇文: 電気味覚による炭酸飲料の刺激増幅に関する基礎検討, 第 82 回全国大会講演論文集, pp. 567–568 (2020).
- [14] 櫻井健太, 青山一真, 古川正紘, 前田太郎, 安藤英由樹: 連続矩形波陰極電流刺激による塩味および旨味の持続的増強効果, *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol. 22, No. 2, pp. 149–156 (2017).
- [15] Hettinger, T. P. and Frank, M. E.: Salt taste inhibition by cathodal current, *Brain research bulletin*, Vol. 80, No. 3, pp. 107–115 (2009).
- [16] 中村裕美, 宮下芳明: 陰極刺激の提示と停止による塩味味覚感度制御, *インタラクシオン*, pp. 103–110 (2013).
- [17] 中村裕美, 宮下芳明: 塩分を用いない塩味味覚感度制御—陰極刺激の提示と停止による飲食物の味質変化における評価, *情報処理学会論文誌*, Vol. 55, No. 4, pp. 1316–1324 (2014).
- [18] Nakamura, H. and Miyashita, H.: Controlling saltiness without salt: evaluation of taste change by applying and releasing cathodal current, *Proceedings of the 5th international workshop on Multimedia for cooking & eating activities*, pp. 9–14 (2013).
- [19] 原 直弥, 原 彰良, 古川正紘, 前田太郎: 味物質選択性を持つ電気刺激手法, 第 25 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, pp. 3D1–5 (2020).
- [20] Miyashita, H.: Norimaki Synthesizer: Taste Display Using Ion Electrophoresis in Five Gels, *Extended Abstracts of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1–6 (2020).
- [21] 櫻井 悟, 青山一真, 宮本靖久, 古川正紘, 前田太郎, 安藤英由樹: 電気刺激による塩味および旨味を呈する塩類の味覚抑制, *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol. 20, No. 3, pp. 239–242 (2015).
- [22] 宮下芳明: 画面に映っている食品の味を再現して味わえる味ディスプレイの開発, 第 28 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 (WISS2020) 論文集 (2020).
- [23] Miyashita, H.: Taste display that reproduces tastes measured by a taste sensor, *Proceedings of the 33rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pp. 1085–1093 (2020).
- [24] 大塚勇人, 青山一真, 宮下芳明: 陰極刺激による塩味増強効果の定量化, 第 2 回神経刺激インタフェース研究会 (2020).
- [25] 原 彰良, 安藤英由樹, 櫻井健太, 前田太郎, 青山一真: 連続矩形波電流刺激による五味の継続的増強, *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol. 24, No. 1, pp. 13–21 (2019).
- [26] 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*, pp. 1–6 (2019).
- [27] 青山一真, 櫻井健太, 前田太郎, 安藤英由樹: 下顎部電気刺激による咽頭への局所的な味覚提示, *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol. 22, No. 2, pp. 145–148 (2017).
- [28] 上野新葉, 青山一真, 中村裕美, 宮下芳明: 下顎部電気刺激を用いた咽頭での後味の増強・持続時間延長, 第 26 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 (WISS2018) 論文集 (2018).
- [29] 上野新葉, 青山一真, 中村裕美, 宮下芳明: 飲料の時系列的な味変化をデザインするシステムの提案, 第 1 回神経刺激インタフェース研究会 (2019).
- [30] 中村裕美, 宮下芳明: 電気味覚の応用による食メディア開発, *信学技報*, Vol. 111, No. 479, pp. 49–54 (2012).