

鼻腔経路の異なる香り情報提示デバイスの設計と味覚に与える影響の基礎評価

真弓 大輝^{1,a)} 中村 優吾^{2,3} 松田 裕貴^{1,3} 三崎 慎也¹ 安本 慶一¹

概要: 我々が感じる香りには、鼻先から香る「鼻先香 (Orthonasal smell)」と口の中から鼻を抜ける香り「口中香 (Retronasal smell)」の2種類が存在することが知られている。これまで、様々な嗅覚デバイスの研究開発が活発に行われてきているが、香りを感じる際の鼻腔経路の違いが、知覚する「味」に与える影響については明らかになっていない。本論文では、小型で軽量な嗅覚デバイスの設計を示し、それぞれ鼻先香と口中香を提示可能な嗅覚デバイスとして、コップ型、ストロー型、マスク型という3種類のプロトタイプを提示する。そして、香りを提示する際の鼻腔経路の違いが味覚に及ぼす影響を調査する。実験では、3種類のプロトタイプを用いて、被験者13名を対象に、知覚する香りの評価、デバイスの評価、味覚の評価を行った。実験の結果、香り情報提示の違いで味覚への影響に違いが見られ、鼻先で嗅ぐ香りに比べ、口の中から香る香りによって味覚に影響を及ぼすことが示された。

1. はじめに

香りが人にもたらす効果は非常に大きい。五感の中でも嗅覚は感覚刺激の神経学的処理において例外的な位置付けをしている。香りは脳で処理されるが、進行中の脳のプロセスを簡単には遮断しないため、人間の脳に直接作用しやすく、人間の記憶や行動に直接関わりやすい [1], [2]。また香りが味覚に及ぼす影響も大きい。我々が「味」として認識する大部分は香りが占めていることが知られている [3], [4], [5]。

これまで、研究者たちは、様々な嗅覚デバイスの開発を進めてきた [6], [7], [8], [9], [10]。これらの研究では、首からかけるウェアラブルデバイスやピアスやネックレス型の顔に装着するオンフェイス型の嗅覚デバイスを提案することで、日常生活でも利用可能なデバイスの開発が行われている。しかし、味覚を拡張する嗅覚デバイスの研究開発は十分に行われていない。

現状、味覚を拡張させるデバイスの多くは電気味覚に焦点を当てたものが多い [11], [12], [13]。前述のように人が「味」として認識する大部分は香りが占めているため、嗅覚デバイスを活用することで味覚を拡張できる可能性がある。

しかし、一般的な嗅覚への介入は鼻先のみ留まっておき [14], [15]、味覚の変化を促すには十分な設計ではない可能性がある。嗅覚への介入には、鼻先から香る「鼻先香 (Orthonasal smell)」と口の中に入った食べ物が鼻を抜ける香り「口中香 (Retronasal smell)」の2種類がある。鼻先香と口中香の嗅覚情報は、脳で異なる方法として処理されることが示されている [16], [17], [18]。また食べ物や飲み物の風味に寄与する後鼻嗅覚経路 (口中香) は一般的に味覚と関連していることが知られている [19]。

本論文では、鼻先香と口中香という2種類の嗅覚介入を実現するプロトタイプを設計し、実験を通して味覚に影響を及ぼす嗅覚介入の結果を明らかにする。また小型で軽量な嗅覚デバイスの設計と口中香と鼻先香の2つの鼻腔経路を用いた3種類の香り情報提示を行うプロトタイプのデバイスを評価し、ユーザの味覚に作用を促し、飲料体験を拡張する嗅覚デバイスの実現を目指す。

2. 関連研究

本研究を位置付けるために、はじめに味覚変化を促すデバイスに関する先行研究を調査する。次に嗅覚に介入する嗅覚デバイスに関する先行研究を調査する。これらは、ユーザが知覚する味覚の拡張を実現する新たな嗅覚デバイスの基礎となるものである。

2.1 味覚変化を促すデバイス

これまで人間の五感に作用し、味覚の拡張を促す研究が

¹ 奈良先端科学技術大学院大学
Nara Institute of Science and Technology

² 九州大学
Kyushu University

³ 国立研究開発法人科学技術振興機構 さきがけ
JST PRESTO

a) mayumi.daiki.mb9@is.naist.jp



図 1 異なる香り情報提示の嗅覚インターフェースのプロトタイプ

数多く行われてきた。例えば、電気を通すスプーンでスープの味を変えるデバイスの開発 [11] や、顔に電極を当てて味をコントロールするデバイスの開発 [12], [13] などが行われている。このように電気味覚を用いたデバイスによって薄い塩味の食品の塩味を増幅させ、塩分の過剰摂取を抑えることが期待される。このように味覚の拡張には電気味覚が用いられることが多く、塩味増強を実現している。

また Ranasinghe らの研究 [20] では、電気刺激や香り、視覚効果が味覚へ及ぼす影響を調査している。結果として、異なる感覚相互作用によって味覚の拡張を実現しているが、異なる味覚を表現することに成功しているものの、甘味増幅に関しては実現できていない。

その他に飲料体験を拡張するため、日常生活に溶け込んだ生活用品の一つであるストロー型のデバイスの開発がいくつか行われている。例えば、中村らは電気を通すストローによって飲み物の味を変化させる「Augmented Gustation」を提案している [21]。他にも Ranasinghe らの研究 [22] では、ストローの先端に電気刺激を加える方法と RGBLED によって飲料の色を変えることで味覚の変化を促すインタラクションを提案している。提案システムによって酸味や塩味、苦味などを表現することに成功している。また、橋本ら [23] が提案した Straw User Interface では、システムを通じて仮想的に飲酒を体験することができる。また Wang らの研究 [24] では、ストローで飲料を飲むことでパーソナライズされた音を体験できるデバイスを開発している。このように生活用品の一つであるストローに着目し、飲料体験を拡張する研究は行われているが、電気刺激や視覚刺激では味の甘さを増幅させることはできていない。また味の甘さを増幅させるデバイスの実現は糖分摂取量低減に貢献できる可能性があるため、生活習慣病の発症リスクを抑える効果が見込める。

2.2 嗅覚デバイスに関する研究

近年、様々な種類の嗅覚デバイスとそれを用いたインタラクションが提案されている。例えば、香りをウェアラブルで提供するヘッドマウント・ディスプレイ [6], [25] や、

首からかけるウェアラブルデバイス [7], [8] などが開発されている。

Wang らの研究 [9] では、ピアス型、ネックレス型、顔に装着するオンフェイス型の嗅覚デバイスを提案している。提案システムは日常生活で利用しやすいデザインと小型化を実現している。日常生活に溶け込んだデザインでユーザが日常的に持ち運びが可能な設計である。提案システムの社会的受容性、快適性および装着者と観察者の双方が感じる香りの強さなどを評価している。Amores らの研究 [7] では、スマートフォンから遠隔操作可能で、生体情報や文脈情報に基づいて香りの強さや頻度を変えることができるネックレス型の嗅覚デバイスを提案している。Dobbelstein らの研究 [8] では、日常生活で利用可能なウェアラブル香りデバイスを開発し、個人の香りの通知を受けることが可能である。Choi ら [10] は、フレームの端に香りを放出するための加熱モジュールを埋め込んだ 3D プリントメガネを開発している。このように日常生活に溶け込んだ嗅覚デバイスの開発は行われているが、味覚を拡張する嗅覚デバイスの開発は行われていない。本研究では、3種類の異なる香り情報提示を行うプロトタイプのデバイスを評価し、ユーザの味覚に作用を促し、日常生活に溶け込むことが可能な嗅覚デバイスの実現を模索する。

3. 味覚を拡張する嗅覚インターフェース

はじめに香りを噴射するための機構を示す。次に香り噴射機構を用いて異なる香り情報の提示を実現する3つの嗅覚デバイスのプロトタイプについて示す。

3.1 香りの噴射機構

香りを噴射する機構として空気圧ポンプ（マイクロプロア MZB1001T02）^{*1}を利用した。空気圧ポンプは一方から空気を吸引し、一方から空気を吐出するデバイスとなっている。また本研究で用いた空気圧ポンプは圧電式（ピエゾ）ダイヤフラムポンプの原理を利用しており、超音波振動を応用することで小型かつ薄型でありながら、高い圧力・流

^{*1} <https://www.murata.com/ja-jp/products/mechatronics/fluid/overview/>

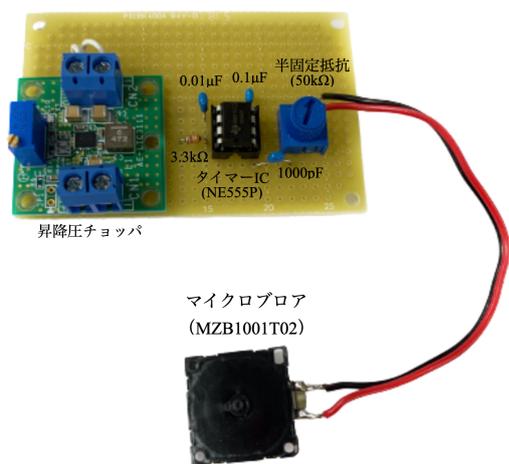


図 2 空気圧ポンプ駆動のための回路

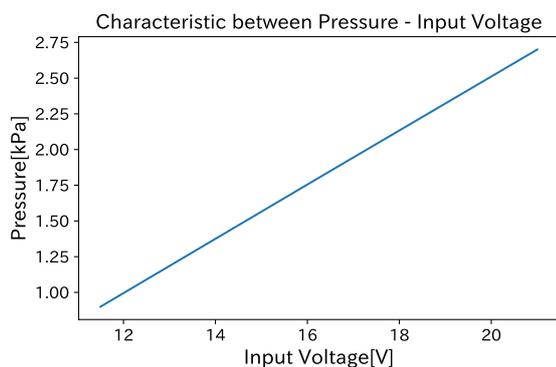


図 3 空気圧ポンプの特性 (入力電圧-圧力)

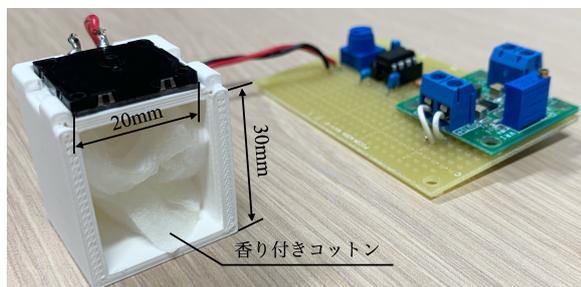


図 4 香りを噴射する機構

量を実現している。図 2 に空気圧ポンプを駆動するための回路を示す。空気圧ポンプを駆動させるために昇降圧チョッパで入力電圧を昇圧している。また空気圧ポンプは入力電圧によって出力する圧力が変化する特性を持っている。本実験で使用した空気圧ポンプの入力電圧と出力される圧力の関係を図 3 に示す。

図 4 に示すように、3D プリンタで香りを収納するコンテナを作成し、その上部に空気圧ポンプを設置している。香りにはアロマオイルを使用し、香りを染み込ませたコットンをコンテナ内に収めている。これによりコンテナに溜まった香りを空気圧ポンプによって噴射する機構となっている。本実験では空気圧ポンプへの入力電圧を 15V に設定し、空気圧は約 1.6kPa で実験を行なった。これはデバイスから 30cm ほど離れた箇所ではほんのり香る程度の空気圧である。

3.2 嗅覚デバイスのプロトタイプ

本研究では、鼻腔経路の異なる香り情報提示が味覚に与える影響を調査することを目的に、口中香と鼻先香の2つの鼻腔経路に作用する香り情報提示デバイスを作成した。図 1 に 3 種類の鼻腔経路の異なる香り情報提示デバイスのプロトタイプを示す。人間の嗅覚への介入は鼻先から香る「鼻先香 (Orthonasal smell)」と口の中に入った食べ物が鼻を抜ける香り「口中香 (Retronasal smell)」の 2 種類がある。図 1(a) に示すコップ型デバイスは、コップ上部に香りを噴射するデバイスを設置し、ユーザの鼻先香に作用を促す (図 5・左)。図 1(b) に示すストロー型デバイスは、ストローの中心部から別口が生えており、別口から香りをストロー内に噴射する機構となる。結果的に、口の中に香りを届けることができ、口中香を実現するデバイスとなる (図 5・中)。図 1(c) に示すマスク型デバイスは、マスクの中心部に穴が開いており、ストローの飲み口となっている。マスク内に香りを溜めるため、ストローを経由し香りをマスク内に噴射する。これにより鼻先香と口中香の双方に作用を促すことを実現する (図 5・右)。

4. 調査実験

4.1 実験概要

本実験では、鼻腔経路の異なる香り情報提示が味覚に及ぼす影響を調査するため、図 1 に示す 3 つのデバイスを用いて実験を行なった。被験者は、所属研究室の学生 13 名が参加し、年齢は 20 代から 30 代であった。実験に使用した香りは、チョコレートの香りのアロマオイルを用いており、飲料は水で行なった。被験者 1 人につき、各デバイス 1 回ずつの試行を行い、計 3 回の試飲を行なった。実験では前の試行による香りのバイアスを軽減するため、各試行の間に 5 分間の休息を入れ、水を飲んでもらった。

実験で用いたアンケートは、7 段階のリッカート尺度を採用し、被験者は各試行後にアンケートに回答した。評価項目は、香りの評価を行う 3 種類、デバイスの利便性や応用性の評価を行う 2 種類、味の評価を行う 3 種類の計 7 つを用いた。香りの評価では、鼻先からの香りの強さ**鼻先香の強さ**、口の中に入った食べ物が鼻を抜ける香りの強さ**口中香の強さ**、鼻先香と口中香の香りの強さを総合的に評価する**香りの強さ**の項目を用いた。デバイスの利便性や応用性の評価では、デバイスを日常生活でも利用可能かを評価する**デバイスの受容性**、そのほかの飲料においても有効性があると考えられるかを評価する**飲料の多様性**の項目を用いた。味の評価では、味覚への影響を評価する**味覚への影響**、味の甘さを評価する**味の甘さ**、味の濃さを評価する**味の濃さ**の項目を用いた。

4.2 実験結果

実験結果を図 6、表 7 に示す。表 7 では、項目の色が濃

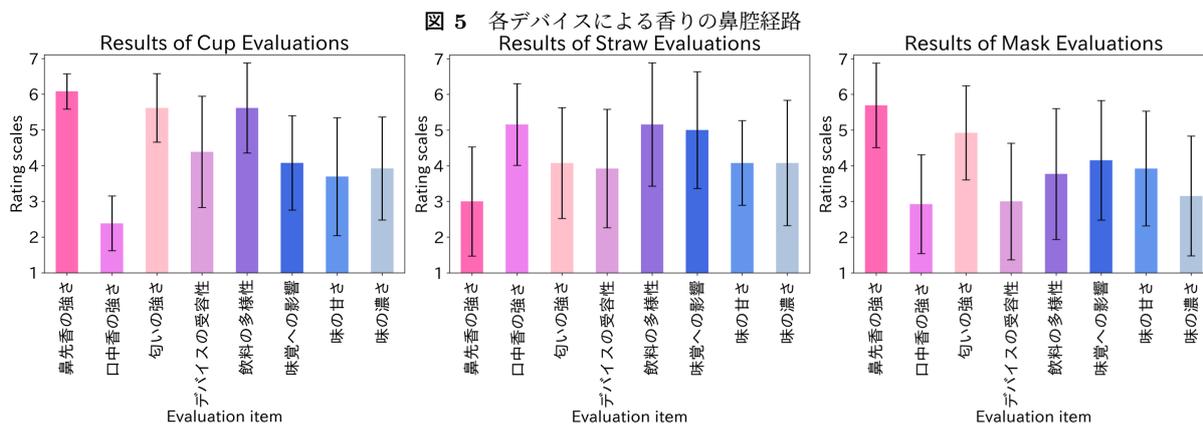
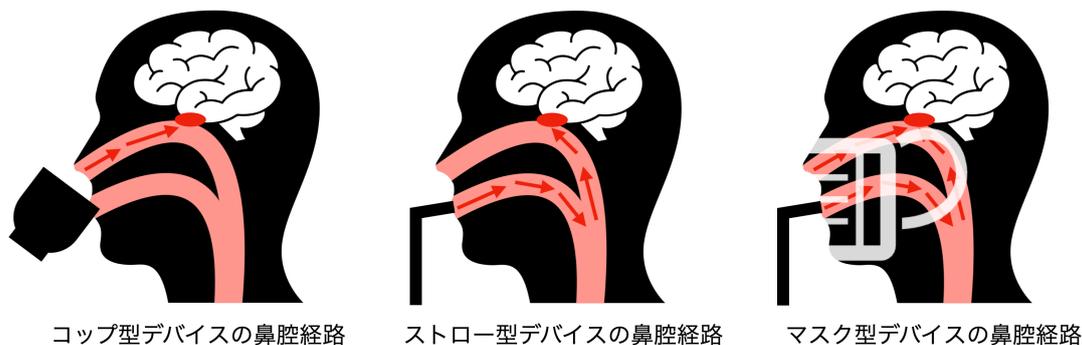


図 6 各実験の実験結果

くなるにつれて評価が高いことを示している。

結果から、コップ型デバイスとマスク型デバイスでは鼻先香の評価が、ストロー型デバイスでは口中香の評価が高い傾向が確認できる。このことから、3.2節で述べたように、コップ型デバイスとストロー型デバイスでは鼻腔経路の異なる香り情報提示を実現できている可能性が伺える。マスク型デバイスに関しては、鼻先香は表現できたものの、口中香の表現はできないことがわかった。

知覚する香りの強さに関しては、鼻先香の結果が強く影響していることがわかる結果となった。デバイスの受容性および飲料の多様性に関しては、コップ型デバイスの評価が最も高く、インタフェースという観点では、ストロー型、マスク型よりも、コップ型のデバイスが最も受け入れられる可能性が高いことが示唆された。

味覚への影響の評価では、ストロー型デバイスの評価が最も高くなった。一方、コップ型とマスク型の評価はほとんど変わらない結果となった。ストロー型デバイスは口中香に作用する香り情報提示であったが、口中香に作用することで味覚に影響を及ぼす可能性が高いことが示唆された。味の甘さに関してもストロー型デバイスの評価が最も高くなった。また、マスク型デバイスでは鼻先香と口中香の香り情報提示を行なったが、鼻先香への介入のみであるコップ型デバイスよりも甘さの評価が高くなった。これらの結果から、口中香の提示が、知覚する甘さの増強に効果的である可能性が示唆された。味の濃さに関しても、同様の傾向が確認できる。

4.3 議論

実験結果より、本研究で提案したプロトタイプは鼻先香や口中香に作用する機構を構築することが確認された。鼻先香は鼻付近で香りを提示することで知覚できるが、口中香を実現するには工夫が必要であった。提案したストロー型デバイスでは、ストローを拡張することで香りを飲料経路に届けることができる。またストロー型デバイスを体験した被験者からのコメントで以下のような意見があった。

「水なのにチョコレートの味がする。すごく不思議な体験でしたが、これは面白い。」

「普段より吸わないと水が昇ってこないで、飲みにくさはあったが、吸っている間にも香りは口の中に入ってくるので面白い設計だった。」

このように、飲料を飲むユーザは通常のストローとは異なり、強く吸わなければいけないことが問題点であったことがコメントより確認された。しかし、飲みにくさが感じられる機構ではあったものの、デバイスの受容性は比較的高い結果が得られた。飲みにくさよりも味覚が拡張されることで受容性が高いと判断したユーザが多い傾向にあったと示唆された。また、今後ストロー型デバイスを長期的に利用する場合、はじめは飲みづらさを感じるかもしれないが、利用頻度が高くなるにつれてデバイスに慣れることが考えられるため、受容性の評価は上がる可能性がある。

一方、デバイスの受容性や飲料の多様性の評価ではコップ型デバイスの評価が高くなる結果となった。普段から

	鼻先香の強さ	口中香の強さ	香りの強さ	デバイスの受容性	飲料の多様性	味覚への影響	味の甘さ	味の濃さ
コップ型デバイス	6.1	2.4	5.6	4.4	5.6	4.0	3.7	3.9
ストロー型デバイス	3.0	5.1	4.1	3.9	5.2	5.0	4.1	4.1
マスク型デバイス	5.7	2.9	4.9	3.0	3.8	4.2	3.9	3.2

図 7 実験結果のまとめ

コップを利用するユーザにとって普段と変わらない試行となったため、評価が高くなったと考えられる。コップ型デバイスは温かい飲み物など普段飲む飲料でも可能なデバイスであることで評価が高くなる傾向が見られた。

またマスク型デバイスを体験した被験者からのコメントで以下のような意見があった。

「香りがマスク内で充満するためチョコレートの香りはすごく強いです、味はチョコレートではなかった。」

マスク型では鼻先香に強く影響を及ぼし、口中香に作用するのは難しいことがわかった。鼻先から香る香りと味とのギャップに味の濃さが増幅されなかったことが示唆された。

異なる香り情報提示によって、味覚への影響の評価が最も高かったのはストロー型デバイスであった。これは口中香の強さの評価でストロー型デバイスの評価が高かったことが影響していると考えられる。また口中香が味覚に影響を与えることを実験によって検証することができたが、これは香りの成分によって味覚への影響が変わる可能性がある。本実験で用いた香りの成分が口中香に作用した可能性があるため、今後は香りの成分を元に実験デザインを考えていく必要がある。また、香りが味覚に影響を及ぼすことで、味の甘さがない水に対してほのかに甘さが知覚される結果が得られた。これは甘い香りを選定したことで、甘さのない水に対してほのかに甘さを付与することができたことを示している。今後は香りの種類や飲料の種類が変化した際の知覚される味覚に関して調査していく必要がある。

5. まとめ

本稿では、鼻先香と口中香を提示可能な嗅覚デバイスとして、コップ型、ストロー型、マスク型という3種類のプロトタイプを提示し、鼻腔経路の異なる香り情報提示が味覚に与える影響を調査した。実験結果より、提案デバイスによって鼻先香や口中香を提示可能であることが確認された。デバイスの受容性に関しては、一般的に利用されるコップ型のデバイスの評価が最も高くなった。一方、甘みの増強など味覚体験の拡張という観点では、口中香を提示可能なストロー型デバイスが有効であることが明らかと

なった。また、マスク型デバイスは受容性が低くことが確認された。今後はさらに味の甘さや味の濃さを高めるデバイスを模索するために香りの成分や飲料の種類を変え、ユーザの味覚を拡張する嗅覚インターフェースの開発に取り組んでいく。

謝辞 本研究は、JST さきがけ (JPMJPR21P7) の助成によって行われた。

参考文献

- [1] Leonard Mlodinow. *Subliminal: How your unconscious mind rules your behavior*. Vintage, 2013.
- [2] Linda Buck and Richard Axel. A novel multigene family may encode odorant receptors: a molecular basis for odor recognition. *Cell*, Vol. 65, No. 1, pp. 175–187, 1991.
- [3] B. Lyman. *A psychology of food: More than a matter of taste*. Springer Science & Business Media, 2012.
- [4] Lawrence D Rosenblum. *See what I'm saying: The extraordinary powers of our five senses*. WW Norton & Company, 2011.
- [5] Barb Stuckey. *Taste what you're missing: the passionate eater's guide to why good food tastes good*. Simon and Schuster, 2012.
- [6] Tomoya Yamada, Satoshi Yokoyama, Tomohiro Tanikawa, Koichi Hirota, and Michitaka Hirose. Wearable olfactory display: Using odor in outdoor environment. In *IEEE Virtual Reality Conference (VR 2006)*, pp. 199–206. IEEE, 2006.
- [7] Judith Amores and Pattie Maes. Essence: Olfactory interfaces for unconscious influence of mood and cognitive performance. In *Proceedings of the 2017 CHI conference on human factors in computing systems*, pp. 28–34, 2017.
- [8] David Dobbstein, Steffen Herrdum, and Enrico Rukzio. inscent: A wearable olfactory display as an amplification for mobile notifications. In *Proceedings of the 2017 ACM International Symposium on Wearable Computers*, pp. 130–137, 2017.
- [9] Yanan Wang, Judith Amores, and Pattie Maes. On-face olfactory interfaces. In *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1–9, 2020.
- [10] Yongsoo Choi, Rahul Parsani, Xavier Roman, Anshul Vikram Pandey, and Adrian David Cheok. Sound perfume: building positive impression during face-to-face communication. In *SIGGRAPH Asia 2012 Emerging Technologies*, pp. 1–3. 2012.
- [11] Yukika Aruga and Takafumi Koike. Taste change of soup by the recreating of sourness and saltiness using the elec-

- trical stimulation. In *Proceedings of the 6th augmented human international conference*, pp. 191–192, 2015.
- [12] Saraha Ueno, Kazuma Aoyama, Hiromi Nakamura, and Homei Miyashita. Controlling temporal change of a beverage’s taste using electrical stimulation. In *Extended Abstracts of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1–6, 2019.
- [13] Kazuma Aoyama, Kenta Sakurai, Akinobu Morishima, Taro Maeda, and Hideyuki Ando. Taste controller: galvanic chin stimulation enhances, inhibits, and creates tastes. In *ACM SIGGRAPH 2018 Emerging Technologies*, pp. 1–2, 2018.
- [14] 真弓大輝, 中村優吾, 松田裕貴, 安本慶一. Aromug: 糖分摂取量低減を補助するスマートマグカップの検討. 情報処理学会 IoT 行動変容学研究グループ キックオフシンポジウム, pp. 1–4, 2022.
- [15] 真弓大輝, 中村優吾, 三崎慎也, 松田裕貴, 安本慶一. Aromug: 糖分摂取量低減を補助するスマートマグカップの設計と基礎評価. マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO 2022) シンポジウム論文集, pp. 981–988, 2022.
- [16] Stefan Heilmann and Thomas Hummel. A new method for comparing orthonasal and retronasal olfaction. *Behavioral neuroscience*, Vol. 118, No. 2, p. 412, 2004.
- [17] Dana M Small, Johannes C Gerber, Y Erica Mak, and Thomas Hummel. Differential neural responses evoked by orthonasal versus retronasal odorant perception in humans. *Neuron*, Vol. 47, No. 4, pp. 593–605, 2005.
- [18] Viola Bojanowski and Thomas Hummel. Retronasal perception of odors. *Physiology & behavior*, Vol. 107, No. 4, pp. 484–487, 2012.
- [19] Paul Rozin. ” taste–smell confusions” and the duality of the olfactory sense. *Perception & psychophysics*, 1982.
- [20] Nimesha Ranasinghe, Meetha Nesam James, Michael Gecawicz, Jonathan Bland, and David Smith. Influence of electric taste, smell, color, and thermal sensory modalities on the liking and mediated emotions of virtual flavor perception. In *Proceedings of the 2020 International Conference on Multimodal Interaction*, pp. 296–304, 2020.
- [21] Hiromi Nakamura and Homei Miyashita. Augmented gustation using electricity. In *Proceedings of the 2nd augmented human international conference*, pp. 1–2, 2011.
- [22] Nimesha Ranasinghe, Kuan-Yi Lee, and Ellen Yi-Luen Do. Funrasa: an interactive drinking platform. In *Proceedings of the 8th international conference on tangible, embedded and embodied interaction*, pp. 133–136, 2014.
- [23] Yuki Hashimoto, Naohisa Nagaya, Minoru Kojima, Satoru Miyajima, Jumichiro Ohtaki, Akio Yamamoto, Tomoyasu Mitani, and Masahiko Inami. Straw-like user interface: virtual experience of the sensation of drinking using a straw. In *Proceedings of the 2006 ACM SIGCHI international conference on Advances in computer entertainment technology*, pp. 50–es, 2006.
- [24] Yan Wang, Zhuying Li, Rohit Ashok Khot, and Florian Floyd Mueller. Sonic straws: A beverage-based playful gustosonic system. In *Adjunct Proceedings of the 2021 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2021 ACM International Symposium on Wearable Computers*, pp. 81–82, 2021.
- [25] Takuji Narumi, Shinya Nishizaka, Takashi Kajinami, Tomohiro Tanikawa, and Michitaka Hirose. Augmented reality flavors: gustatory display based on edible marker and cross-modal interaction. In *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems*, pp. 93–102, 2011.