

Fizzraw: 炭酸飲料への超音波振動提示による味覚及び飲料体験の変化の実現

土屋 彩音^{1,a)} 上堀 まい^{2,3,b)} 伊藤 雄一^{1,c)}

概要: 食事は単なる栄養補給にとどまらず、楽しい体験を通じて私たちの生活を豊かにする重要な要素である。一方で、食生活の改善は生活習慣病や肥満の一次予防と重症化予防につながると報告されている。多くの場合、塩分や糖分を控えた飲料を摂取したり、好きな食品を我慢する必要がある。そこで我々は、食品や飲料品摂取に温度覚といった様々な感覚を与え、新たな食体験を創出しようと試みてきた。本研究では、特に飲料の摂取において、超音波処理をすることによって、「のど越し」「炭酸の強さ」「なめらかさ」「爽快感」「味の濃さ」「後味」「おいしさ」「口中香」「心地よさ」といった“飲料体験”や味覚に影響を与える方法として、Fizzraw を提案する。Fizzraw では、飲用時に炭酸飲料への超音波振動処理を実現するため、ストロー内部に超音波振動子を配置した。Fizzraw を用いて飲用直前に飲料へ超音波処理をし、飲料体験や味覚の変化を調査した。評価実験の結果、飲用直前に飲料へ超音波処理をすることで、「なめらかさ」が増加する傾向があり、また、超音波振動子を中心部に内蔵した細い Fizzraw では、常温炭酸水において「甘味」が強まる可能性があることが明らかになった。

1. はじめに

食事は単なる栄養補給にとどまらず、楽しい体験を通じて私たちの生活を豊かにする重要な要素である [1, 2]。一方で、食生活の改善は生活習慣病や肥満の一次予防と重症化予防につながると報告されており、塩分の過剰摂取の抑制は高血圧の予防につながるように、健康的な生活を送るために食事の管理は欠かせない [3]。また、食事は肌の健康にも非常に重要である [4]。しかし、多くの場合は塩分や糖分を控えた食事を摂取する必要がある、好きな食品や飲料を我慢しなければならない。そこで、健康的な生活を支援するために、人工的な味覚刺激を提示する研究が進んでいる。

人工的に味覚を再現するために化学物質を組み合わせる方法があるが [5, 6]、化学物質は取り扱いが難しいため日常的な利用が困難である。そこで近年では、化学物質を使わない様々な味覚提示手法の研究がなされている。例えば、口腔内や身体に電気刺激を与え、「味覚」として基本五味を提示する研究が存在する [7, 8]。口腔内に対する電気刺激では、味覚提示は可能であるが、口中香や味の濃さ、の

ど越し、おいしさ、心地よさといった「飲料体験」を変化させることは困難である。そこで、視覚刺激や聴覚刺激を提示することによって、食体験を変化させる情報プロジェクション技術や、これらの感覚を組み合わせ提示することで、感覚相互作用を生み、その感覚知覚を強調するクロスモーダル技術が注目されている [9, 10]。他にも、超音波や可聴音波による処理が味覚及び食品のテクスチャに与える影響についての調査が進んでいる。食品への超音波処理によって、食感や味覚が変化することが明らかになっている [11]。また、乳性品に超音波処理をすることで、脂肪分画と乳化の速度が向上することを示しており [12]、特にチーズについては超音波処理をすることで外観や色、食感、風味の評価が向上することが確認されている [13]。飲料においては、スピーカを用いて炭酸飲料の入ったペットボトルに可聴音波を照射することで気泡サイズを操作し、気泡サイズと好感度、気泡数と幸せな表情との間に正の相関があることを明らかにしている [14]。しかし、飲用直前に飲料へ超音波処理をすることが飲料体験と味覚に与える影響についての調査はされていない。例えば、あらかじめ飲料に超音波処理をする場合、超音波処理の効果が持続する時間を評価して処理するタイミングを定義しなければならないが、飲用の直前といったタイミングについて検討している研究はない。超音波振動は液体中でキャピテーションを引き起こし、その過程で気泡サイズを小さくする。特に炭

¹ 青山学院大学 理工学部

² 青山学院大学 大学院理工学研究科

³ 日本学術振興会 特別研究員

a) a5822082@aoyama.jp

b) mai.kamihori@x-lab.team

c) itoh@it.aoyama.ac.jp

酸飲料では、キャビテーションが炭酸ガスの気泡形成を促進し、「炭酸の強さ」や「のど越し」に影響を与える可能性がある。そのため、飲料を口に含んだ瞬間に、気泡の変化が味覚や飲料体験に変化を与えると考えられる。

そこで我々は、飲用直前に飲料への超音波処理をすることで、飲料体験や味覚に及ぼす影響を解明することを目指し、検討を進めている。本稿では、超音波振動子を内蔵したストローの型デバイス「Fizzraw」を提案し、プロトタイプを実装する。Fizzrawでは、飲料への超音波処理を実現するため、ストロー内部に超音波振動子を配置し、飲用直前に飲料へ変化をもたらす仕組みを開発する。そして、Fizzrawのプロトタイプを用いて飲用直前に、短時間の超音波処理が飲料体験と味覚に及ぼす効果を検証する。なお本稿では、ユーザが知覚する基本五味のことを「味覚」、飲料の後味やのど越しのような、味覚以外の感覚を「飲料体験」として扱う。

2. 関連研究

2.1 クロスモーダル技術

視覚、聴覚、味覚の間の感覚相互作用を用いて、味覚を変化させる手法として、鳴海らは、“MetaCookie”を提案している [9]。“Meta Cookie”では、プレーンクッキーの見た目と匂いを変化させることで、異なる味覚を知覚できる。

Lineらの研究では、容器の色が炭酸の知覚に大きく影響し、苦味強い飲料の場合、重い容器で提供された飲料の方が、軽い容器で提供された場合よりも炭酸を強く感じることを報告している。この結果は、飲料の風味や口当たりの知覚や好みにおいて、容器や製品の内的要因と外的要因が複雑に影響し合うことを示している [15]。一方で、聴覚刺激を他の感覚刺激と組み合わせた研究では、Wangらが“iScream!”を提案している。アイスクリームを食べる際にコーン機構部から4種類の音を再生することで、食べる動作と音が連動し、次にどのような音が鳴るのかという好奇心や驚きを引き起こし、遊び心のある体験を促進することが示されている [16]。“Chewing JOCKEY”では、骨伝導ヘッドフォンにセンサ付きのアームを取り付け、咀嚼活動に合わせて咀嚼音を加工した聴覚刺激を提示している [17]。さらに、聴覚刺激と触覚刺激を組み合わせる研究も行われている。“TagCandy”では棒付き飴の棒に振動を加えることで、舌への触覚提示と骨伝導技術を使用して、聴覚刺激を提示し、飴に炭酸感や咀嚼時の触感などを付与している [18]。他にも、温度覚を提示する手法である“ThermoTumbler”では、飲料の温度を変えずに、飲み口の温度を制御することによって、飲料体験と味覚が変化することが明らかになっている [19]。このように、クロスモーダル技術を用いることで、飲料体験や味覚を変化させられることが明らかになっている。

他にも、様々な体験を可能にするストロー型デバイスが

提案されている。口や唇などの口腔内はセンサとして非常に感度が高いため、飲用時の感覚を疑似的に体験できる新しいインタフェースシステムとして、吸い込み時の圧力、振動、音などを提示可能なストロー型インタフェースを提案している [20]。伊賀らは、息を吸ったり吐いたりすることでコンピュータシステムを動かす機能を備えた“Kirifuki”と呼ばれる新しいインタラクティブシステムを提案している [21]。また、奥野らは仮想オブジェクトと対話する新しいMRエンタテインメントシステムである“Jellyfish Party”を提案しており、吐き出された空気の色と速度に応じて仮想のシャボン玉を生成する [22]。このように、ストロー型デバイスは様々なものが提案されているが、実際の飲料体験や味覚に影響を与えるストロー型デバイスの開発は進んでいない。

2.2 食品と飲料のテクスチャや化学成分が飲料体験及び身体に与える影響

食品や飲料のテクスチャや気泡の特性、化学成分が味覚や体験に与える影響についても、多くの研究が行われている。Keriらの研究では、食感とクリーミーな風味の調整により、エネルギー含有量に関係なく、フルーツヨーグルトドリンクの満腹感を高めることが示されている [23]。Slocombeらの研究では、食品自体の表面の粗さ/滑らかさについて、表面が粗い食品は、滑らかなものに比べて酸味が強く評価されることを報告している [24]。炭酸飲料に関連する研究では、Claudiaらが、炭酸飲料の気泡がアロマの放出や口当たり、味覚や香りの知覚に影響を与え、消費者が主に気泡特性を基に品質を評価することを示している [25]。また、Jayaramらの研究により、炭酸が味覚ニューロンを活性化し、しびれや刺激感といった体性感覚と酸味の化学感覚の両方の反応を引き起こすことが確認されている [26]。藤井らは、強炭酸水を摂取すると、中大脳動脈の平均血流速度と平均動脈圧が高くなり、眠気の低減が非炭酸水よりも強く、動機や高揚感が増加すると示している [27]。さらに、炭酸飲料の摂取により放出された二酸化炭素は、食道を膨張させ下部食道括約筋を弛緩させる。これにより、機能的消化不良や便秘を訴える患者が炭酸水を摂取すると、満腹感が軽減され、消化不良、便秘、胆嚢の排出を改善することが明らかになっている [28,29]。気泡の大きさに関しては、ビールやスパークリングワインなどの炭酸飲料では、気泡が小さい方が気泡の安定性が長いため、消費者に好まれることが報告されている [30,31]。他にも、炭酸水でも消費者は同様に小さな気泡を好むことが示されている [32]。さらに、超音波処理をすることで飲料に様々な変化をもたらすことができることが分かっている。完成品に対する超音波処理の手法として、スピーカから出る可聴音波を1分間、炭酸飲料の入ったペットボトルに照射することで気泡サイズを操作できると報告しており、気泡サ

イズと好感度、気泡数と幸せな表情との間に正の相関があると明らかになっている [14]. また, Paniwnyk は乳性飲料に超音波処理をすることで, 脂肪分画と乳化の速度が向上することを示している [12]. この現象は, 音波が液体を通過する際に生成される圧縮波と希薄化波によってキャビテーションが発生し, そのキャビテーションの崩壊により強いせん断力, 高温, および高圧が生じるためである. このように, 飲用前に超音波処理をする場合, 超音波処理の効果が持続する時間を評価して処理するタイミングを定義する必要がある. 超音波振動は液体中でキャビテーションを引き起こし, その過程で気泡サイズを小さくする. 特に炭酸飲料では, キャビテーションが炭酸ガスの気泡形成を促進し, 結果として飲み手が感じる「炭酸の強さ」や「のど越し」に影響を与える可能性がある. そのため, 飲用直前の飲料へ超音波処理をすることによるテクスチャの変化が, 味覚や飲料体験に変化を与えられられる. そこで我々は, 超音波振動子を内蔵したストローを使用し, 炭酸飲料が口腔内に運ばれる直前に超音波処理をすることで得られる効果について調査する.

3. Fizzraw

3.1 デバイス構成

図 1 に Fizzraw の構成を示す. Fizzraw はストロー部と飲料に超音波処理をするための超音波提示部から構成される. 全体の長さおよび飲用部の太さは e-cafe supply の Cafe バイオマスストローのフレックス (商品コード:211727) 及び Cafe バイオマスストローのタピオカストロー・ストレート (商品コード:211730) を参考にし, 長さは 210 mm, 太さは口径 6 mm の細い Fizzraw と口径 12 mm の太い Fizzraw の 2 種類を作成した. そして各口径に対して, 超音波振動子を内蔵していないストロー (以下「基準」とす

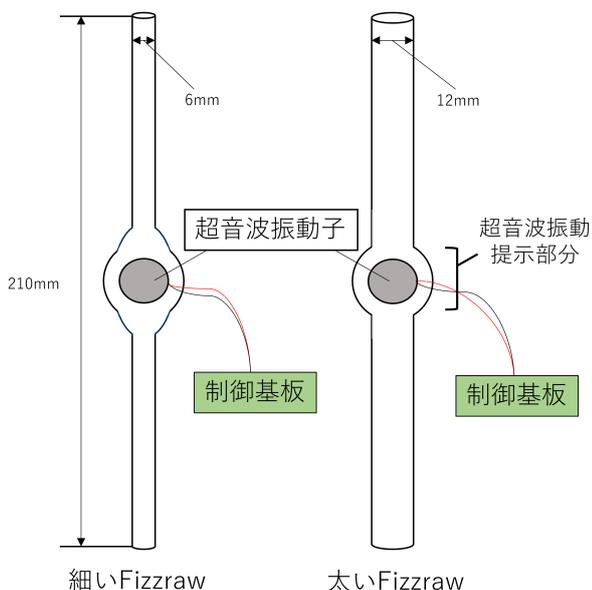


図 1 Fizzraw のプロトタイプの実験構成

る), 超音波振動子の位置を上部 (超音波振動子の中心位置がストローの上端から 52.5 mm), 中心部 (超音波振動子の中心位置がストローの上端から 105 mm), 下部 (超音波振動子の中心位置がストローの上端から 157.5 mm) に配置した Fizzraw の計 4 種類を作製した. 図 2 に Fizzraw における超音波提示部の断面図を示す. 口径 6 mm の細いストローでは, 超音波振動子を内蔵した部分とストロー部分の境界で飲料の流れが滞らないよう, 境界部分を膨らませる

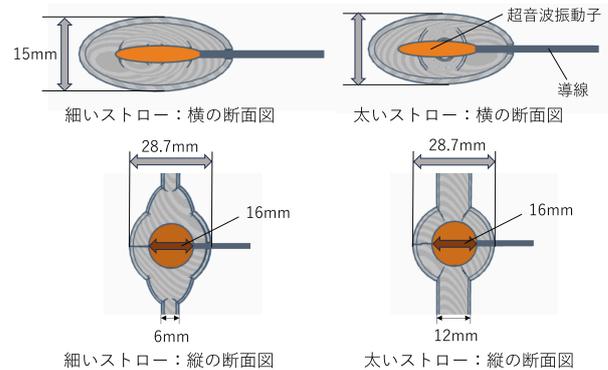


図 2 Fizzraw における超音波提示部の断面図

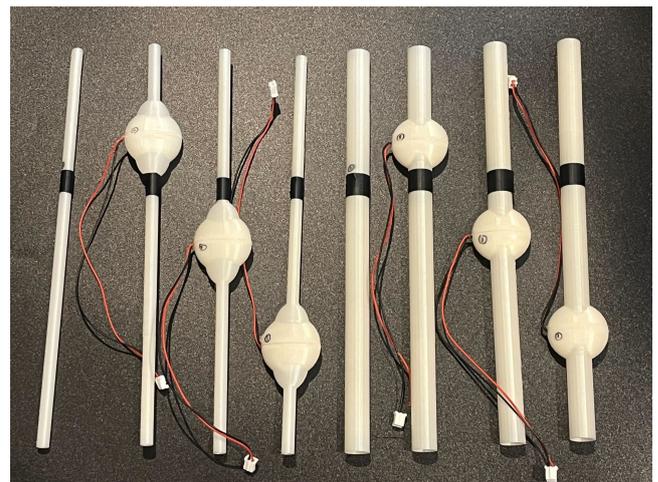


図 3 実装したプロトタイプ

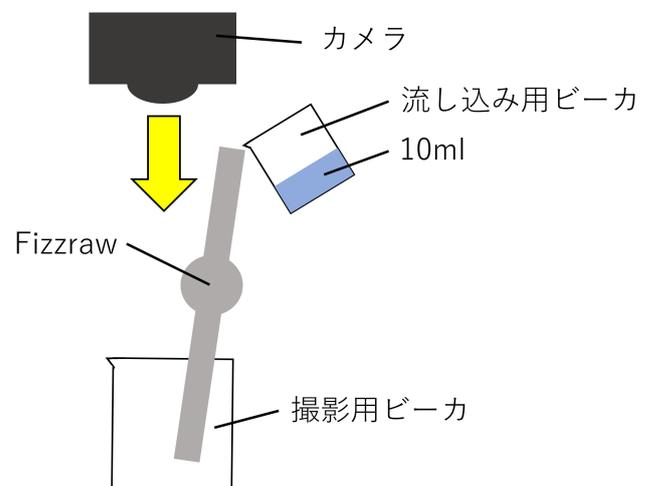


図 4 性能調査の実験環境

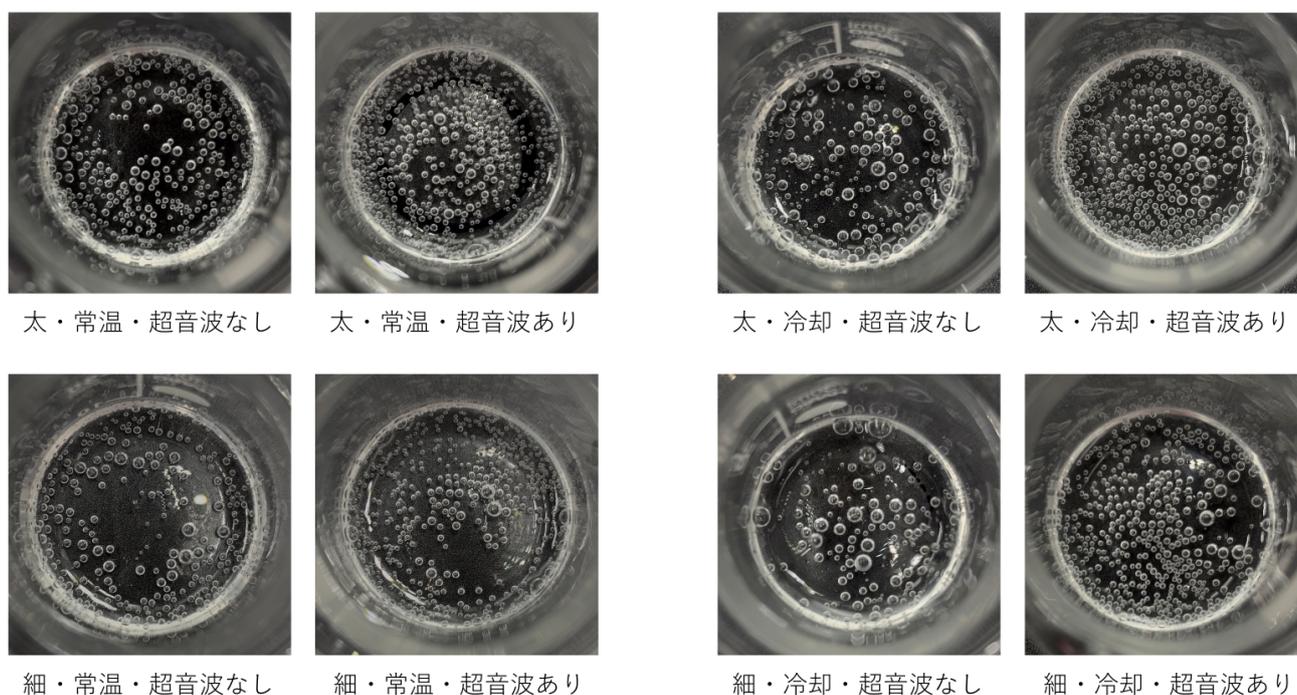


図 5 Fizzraw に炭酸を流し入れた際の気泡の変化

ことで対策を施した。

図 3 に、図 1 に示した構成をもとに実装した Fizzraw のプロトタイプシステムを示す。実験参加者のストローを持つ位置を固定するために、黒いテープを同位置 (ストローの上端から 75 mm) に巻き付けた。Fizzraw に内蔵している超音波振動子は、共振周波数として 108 kHz を採用しており、専用の制御基板^{*1}の電源スイッチを手動でオン、オフすることで制御した。超音波振動子を内蔵する際には、図 2 に示す通り、横から差し込む導線のみを、食品衛生法適合の瞬間接着剤 (アルテコ社製) で筐体に固定した。これにより、超音波振動子自体は筐体やストロー部に直接触れず、中空に浮いた状態となる。このようにして、超音波振動がストローを介して口腔内に伝わらないように配慮した。ストロー部は市販のプラスチックストローに使用されているポリ乳酸 (PLA) を用い、3D プリンタで作製した。

3.2 基礎的な性能調査

Fizzraw の性能を調べるために、性能調査を実施した。本実験では、基準と、中心部に超音波振動子を搭載した太い・細いの 2 条件の Fizzraw を比較した。図 4 に性能調査の実験環境を示す。実験では、10 g の冷却炭酸水と常温炭酸水を Fizzraw に流し込み、Fizzraw を介して先端から出た炭酸水の気泡の様子を、ビーカー内の液体を上方から撮影して観察した。なお、写真は 10 g の炭酸水を注ぎ入れた

表 1 各条件の気泡の数とサイズの結果

Fizzraw の条件	飲料の条件	気泡の数	気泡のサイズ
細い・超音波あり	常温	390	8.5 ± 3.0
太い・超音波あり	常温	422	8.8 ± 2.5
細い・超音波あり	冷却	343	11.5 ± 3.3
太い・超音波あり	冷却	353	9.8 ± 3.4
細い・超音波なし	常温	158	13.4 ± 4.3
太い・超音波なし	常温	227	10.6 ± 3.2
細い・超音波なし	冷却	96	13.1 ± 6.8
太い・超音波なし	冷却	144	12.9 ± 5.9

直後に撮影した。

飲料の温度については、5 °C、16 °C、22 °C、38 °C の水温のうち、16 °C がより高い快適度を示しており、22 °C の水は感覚的にも快適度的にも中立的だと判断されることが報告されている [33]。そのため、本実験では冷却飲料を 16 °C に設定し、常温飲料は 22 °C に設定した。未開封の炭酸水を使用し、計量した直後に Fizzraw に注いだ。

図 5 に実験結果を示す。図 5 の画像を二値化し、ImageJ を用いて気泡の数とサイズを算出した結果を表 1 に示す。なお、気泡のサイズは、気泡の直径の平均ピクセル数とその標準偏差で表す。気泡の数とサイズのデータに対して、Shapiro-Wilk 検定を実施したところ、正規分布ではなかったため、ノンパラメトリック検定である Mann-Whitney の U 検定を実施した。その結果、超音波処理の有無によって気泡の数 ($p = 0.0286$) と気泡サイズ ($p = 1.9E - 34$) に有意な差があった。このことから、超音波処理することで、適用しない場合に比べて、気泡の数が増加し、サイズ

*1 Amazon 公式サイト: <https://www.amazon.co.jp/dp/B099N5XTND>

が小さくなることが明らかになった。これらの結果から、Fizzrawには炭酸飲料のテクスチャを変える効果があることが示された。

4. 超音波振動子を内蔵したストローが炭酸飲料に与える影響の調査

本実験では、超音波振動子を内蔵したストローを使用し、炭酸飲料が口腔内に運ばれる直前に超音波処理を適用することで得られる効果について調査する。本研究の目的は、超音波処理が基本五味である味覚や、飲料体験に与える影響を明らかにすることである。

4.1 実験条件

先行研究から超音波処理により、飲料のテクスチャ及び味覚が飲料によって変わることが明らかになっている [12,14]。そこで、これらの研究を参考に、本実験では炭酸飲料として、無糖炭酸水(アサヒ飲料社製)、乳性炭酸飲料(アサヒ飲料社製)に加え、酸味を持つレモン風味の炭酸飲料(サントリー社製)を使用した。また、気体の液体への溶解度は温度が低いほど大きいので、炭酸飲料のテクスチャは温度により変化する。そのため、3種類すべての飲料で常温と冷却条件を設けた。設定温度は性能調査と同様に、冷却飲料を16℃に設定し、常温飲料は22℃に設定した。

評価はマグニチュード推定法で行った。Fizzrawと同じ太さのストローを用いた同じ温度の飲料の試飲を基準として、その後の試飲(比較刺激)の「炭酸の強さ」「なめらかさ」「爽快感」「口中香」「後味」「味の濃さ」「のど越し」「おいしさ」「心地よさ」という“飲料体験”に関する強さ、さらに「甘味」「塩味」「酸味」「苦味」「うま味」という“基本五味”に関する強さを、基準を1として対比で回答してもらった。ここで「炭酸の強さ」「なめらかさ」は、炭酸の気泡が細かくなり量が増えることで、そのテクスチャの感じ方にどのような変化がみられるかを調査するために設けた。また、客観的な飲料体験の評価をしてもらうために、「口中香」「後味」「味の濃さ」「のど越し」の4項目を、実験参加者の個人的な好みを評価してもらうために「おいしさ」「心地よさ」の2項目を設けた。これら飲料体験に関する6項目に加え、基本五味を評価する5項目を設定した。また、各比較刺激について自由回答で印象を尋ねた。

4.2 実験手順

実験参加者は、青山学院大学及び大学院生の男女計20名(男性10名、女性10名、平均年齢20.9±1.0歳)であり、実験前に本実験の説明をし、同意書に署名をもらった。実験参加者にはあらかじめ飲料を試飲し評価する実験であること、実験はいつでも中止できることを伝えた。その際、提示する飲料が嫌いでないこと、アレルギーがないことを確認した。また、のどの渇きや実験前に口に含んだものが



図6 実験の様子

飲料体験の評価に影響を与えることを避けるため、実験を始める前に水を飲んでもらい、口内環境を整えた。

図6に実験の様子を示す。本実験では、視覚による手掛かりを遮断する目的で、実験参加者にはアイマスクをしてもらった。アイマスクをした状態で、実験管理者が飲料を入れたコップを渡し、ストローの持つ位置を図3に示す黒いテープの位置に固定した。

最初に基準(超音波振動子を内蔵していないストロー)での試飲を提示する。その後、比較刺激として同じ太さのFizzrawを基準と比較して試飲・評価してもらった。これを1セットとし、1種類の飲料に対して6セット実施した。飲料の温度は、提示直前に赤外線放射温度計を用いて測定した。それぞれの飲料は紙コップに注ぎ、細いFizzrawでは30g、太いFizzrawでは50g注いだ。順序効果を考慮し、Fizzrawの太さと超音波振動子の位置の組み合わせはランダムに提示した。なお、試飲は何度でもできること、紙コップに入っている飲料はすべて飲まなくてもいいこと、紙コップとストローを渡したらできるだけ早めに口に運ぶことを伝えた。また、口内に残った味をなくすため、炭酸水、乳性炭酸飲料、レモン風味の炭酸飲料において、違う条件の提示前には、水を1口飲むよう指示した。なお、本実験は青山学院大学の倫理審査委員の承認を受けて実施した(承認番号: H22-032)。

実験時の部屋の気温は平均24.9±1.3℃、湿度は平均54±4%であった。なお、冷却飲料は平均16.2±0.4℃、常温飲料は平均21.9±0.3℃であった。

4.3 実験結果

4.3.1 評価項目に対する実験結果

炭酸飲料が口腔内に運ばれる直前に超音波処理をすることによる、飲料体験と味覚の変化を調査した。マグニチュード推定法で得られたデータは個人間で尺度のスケールが違うため、対数変換した後に、実験参加者ごとの値を平均が0、標準偏差が1となるように標準化した。標準化は、実験参加者のすべてのデータの平均値と標準偏差を求め、各評価値から平均値を減算し、さらに標準偏差で除算

表 2 各評価項目における実験結果 (飲料 1: 炭酸水, 飲料 2: レモン風味の炭酸飲料, 飲料 3: 乳性炭酸飲料, †: $p < 0.1$, *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$)

飲料	温度	太さ	位置	炭酸の強さ	なめらかさ	爽快感	口中香	後味	味の濃さ	のど越し	おいしさ	心地よさ	甘味	塩味	酸味	苦味	うま味
1	常温	細い	上	-1.1(3.0)	0(1.3)	0(0.3)	0(0.2)	0(0.5)	0	0(0.8)	0	0	0(0.2)	0	0(0.9)	0(0.9)	0
1	常温	細い	中	-0.4(2.1)	0(0.7)†	0(0.6)	0(0.3)	0	0	-0.1(1.3)	0	0(0.1)	0(0.8)†	0	0(1.0)	0(1.0)	0(0.3)
1	常温	細い	下	-0.7(3.4)	0(1.1)	0(0.9)	0	0(0.4)	0	0(0.4)	0(0.5)	0	0	0	0(0.8)	0(0.8)	0(0.1)
1	常温	太い	上	0(2.4)	0(1.0)	0	0	0	0	0(0.1)	0	0	0	0	0(1.1)	0(1.1)	0
1	常温	太い	中	-1.1(2.6)	0(1.0)	0(0.8)	0	0	0	0(0.3)	0	0(0.9)	0	0	0(1.1)	0(1.1)	0
1	常温	太い	下	0(2.8)	0(0.2)	0(0.9)	0	0	0	0(1.0)	0	0	0	0	0	0	0
1	冷却	細い	上	1.1(2.6)	0(0.5)	0(0.9)	0	0(0.2)	0	0(1.2)	0	0	0	0	0	0(1.1)	0
1	冷却	細い	中	0.3(2.0)	0(0.8)	0(1.0)	0(0.7)	0(1.0)	0	0(0.1)	0	0(0.2)	0(0.4)	0	0(1.2)	0(0.3)	0(0.9)
1	冷却	細い	下	0.8(4.2)	0(0.9)	0(0.8)	0(0.2)	0(0.7)	0	0(1.0)	0	0(0.1)	0	0	0	0	0
1	冷却	太い	上	0.8(2.6)	0(0.8)	0(0.1)	0	0	0	0(0.2)	0	0	0	0	0	0(1.5)	0
1	冷却	太い	中	0(3.3)	0	0(0.7)	0(0.2)	0(0.1)	0	0(2.4)	0	0(0.1)	0	0	0(0.7)	0(0.2)	0
1	冷却	太い	下	0.2(2.4)	0(0.6)	0(1.2)	0(0.3)	0	0	0.3(1.5)	0	0(0.3)	0	0	0(0.1)	0(1.2)	0
2	常温	細い	上	-0.6(2.4)	0.8(1.5)**	0(0.8)	0(0.2)	0(0.9)	0	-0.3(1.3)	0(1.1)	0(0.1)	0(0.5)	0(0.6)	0(0.8)	0(0.2)	0
2	常温	細い	中	0(1.7)	0.6(1.1)*	-0.3(1.1)	0(0.7)	0(0.8)	0	0(0.5)	0(1.0)	0	0(0.3)	0(0.1)	0(1.6)	0(0.8)	0
2	常温	細い	下	-0.8(2.9)	0.3(1.6)	0(0.7)	0(0.1)	0(0.1)	0	0(0.9)	0(0.6)	0(0.6)	0(1.5)	0(0.2)	0(0.3)	0(0.1)	0(0.6)
2	常温	太い	上	0(2.2)	0.9(1.6)*	0(0.3)	0(0.1)	0(1.0)	0	0(0.3)	0(0.8)	0(0.8)	0(0.5)	0	0(0.3)	0	0(0.6)
2	常温	太い	中	-0.5(1.9)	0.4(1.0)	0(0.5)	0(0.1)	0(0.5)	0	0(0.6)	-0.2(1.1)	0(0.1)	0(1.2)	0	0(1.3)	0	0
2	常温	太い	下	0(2.0)	0.3(1.2)†	0(0.6)	0(0.3)	0(0.5)	0	0(0.1)	0(0.5)	0(0.1)	0(0.5)	0	0(0.8)	0(0.3)	0(0.1)
2	冷却	細い	上	-0.4(2.4)	0.6(2.0)*	0(0.9)	0(0.4)	0(0.6)	0(0.2)	0(0.5)	0(0.8)	0(0.5)	0(0.6)	0	0(0.7)	0(0.2)	0(0.4)
2	冷却	細い	中	-0.8(2.8)	0.5(1.4)	0(1.5)	0(0.7)	0(1.0)	0	0.1(1.8)	0(0.6)	0	0.1(0.9)	0	0(0.8)	0(0.6)	0(0.4)
2	冷却	細い	下	-0.2(2.6)	1.3(1.7)**	0(0.9)	0(0.3)	0(0.7)	0	0(1.4)	0(0.7)	0(0.5)	0(1.0)	0	0(0.9)	0(1.3)	0
2	冷却	太い	上	0(2.3)	0(1.1)	0(0.2)	0(0.4)	0(0.7)	0.3(0.8)	0(0.6)	0	0(0.4)	0(1.0)	0	0(0.6)	0(0.1)	0(0.7)
2	冷却	太い	中	-1.1(2.3)	1.1(2.0)*	0(0.8)	0	0(0.2)	0(0.1)	0(1.0)	0(0.4)	0(0.1)	0.7(1.1)	0	0(0.9)	0(0.9)	0(0.9)
2	冷却	太い	下	0(1.9)	0.8(1.3)*	0(1.3)	0(0.1)	0(1.1)	0(0.1)	0(1.1)	0(0.5)	0(0.2)	0(1.6)	0	0(0.7)	0	0(0.6)
3	常温	細い	上	-0.5(2.3)	0.8(1.4)	0(1.2)	0(0.8)	0(0.8)	0	0(1.3)	0(0.2)	0	0(0.7)	0	0	0	0(0.1)
3	常温	細い	中	-0.3(2.3)	0(2.0)	0(0.4)	0(0.8)	0(0.5)	0	-0.2(1.0)	0	0	0	0	0(0.1)	0(0.1)	0
3	常温	細い	下	-1.2(1.9)	1.1(2.2)*	0(1.0)†	0(0.2)	0(1.1)	0	-0.1(1.5)	0(0.2)	0	0(1.4)	0	0(0.8)	0(0.6)	0(0.7)
3	常温	太い	上	-0.2(1.9)	1.1(1.6)**	0(0.7)	0(0.3)	0(0.8)	0	0(0.8)	0	0(0.1)	0(0.4)	0	0(0.6)	0(0.1)	0(0.1)
3	常温	太い	中	-0.8(1.5)	1(1.9)*	0(1.0)	0(0.2)	0(0.4)	0(0.1)	0(0.9)	0	0(0.6)	0.5(1.3)	0	0(0.1)	0	0(0.7)
3	常温	太い	下	-0.7(2.0)	0.8(1.8)*	0(1.0)	0	0(1.1)	0	0(2.0)	0	0(0.7)	0(1.3)	0	0(0.6)	0(0.1)	0
3	冷却	細い	上	-0.9(1.7)	0.7(1.7)	0(0.2)†	0(0.5)	0(2.0)	0	0(0.1)	0	0	0(0.9)	0	0(0.7)	0(0.7)	0
3	冷却	細い	中	-1(2.9)	1.9(3.4)*	0(0.7)	0(1.2)	0(1.4)	0	0(1.1)	0	0(0.7)	0.4(1.4)	0	0(0.1)	0	0
3	冷却	細い	下	-1.3(1.6)*	1.2(1.5)**	0(0.5)	0(0.5)	0(1.3)	0	0(0.3)	0.8	0	0(1.0)	0	0(0.7)	0(0.1)	0
3	冷却	太い	上	-0.9(1.6)†	1(1.6)†	0(1.0)	0(0.5)	0(1.1)	0	0(0.5)	0	0	0(0.7)	0	0(0.2)	0	0(0.1)
3	冷却	太い	中	-1.1(2.3)*	1.1(1.6)*	0(0.9)	0(0.2)	0(0.9)	0	-0.2(1.7)	0.2	0	0(0.9)	0	0(0.1)	0(0.6)	0(0.7)
3	冷却	太い	下	-0.9(2.3)†	0.9(2.0)†	0(0.8)	0(0.2)	0(0.9)	0	0(1.5)	0	0(0.6)	0.1(1.0)	0	0(0.1)	0	0

した。表 2 に、各評価項目について、各実験参加者の基準と Fizzraw の評価値の差分の中央値、括弧内に四分位範囲を示す。なお、すべての実験参加者が基準と同じ評価をした評価項目については「0」と記載している。

標準化した評価データに対し Shapiro-Wilk 検定を実施したところ、すべての評価項目で正規分布ではなかったため、ノンパラメトリック検定である Friedman 検定を実施した。そして、Bonferroni 法で多重比較を行い、各評価データとの有意差を調査した。

実験の結果、「炭酸の強さ」「なめらかさ」「爽快感」「甘味」の項目について有意差及び傾向があった。

「炭酸の強さ」について、冷却乳性炭酸飲料では、細型-振動子下 ($p = 0.014$) と太型-振動子中心 ($p = 0.042$) にお

いて基準よりも有意に「炭酸の強さ」が弱くなった。また、細型-振動子上 ($p = 0.095$)、細型-振動子下 ($p = 0.083$) では有意な差はなかったが、基準よりも「炭酸の強さ」が弱まる傾向にあった。これらの結果から、冷却乳性炭酸飲料では、飲料に超音波処理をすることによって、「炭酸の強さ」が弱まる傾向にあることが明らかになった。

「爽快感」について、常温乳性炭酸飲料&細型-振動子下 (平均値: -0.670, $p = 0.065$) 及び冷却乳性炭酸飲料&細型-振動子上 (平均値: -0.509, $p = 0.065$) では有意な差はなかったが、基準よりも「爽快感」が弱まる傾向にあった。

最も多くの傾向及び有意差があった「なめらかさ」について評価する。まず、中央値に注目すると多くの条件で正の値を示しており、飲料に超音波処理をすることで「なめ

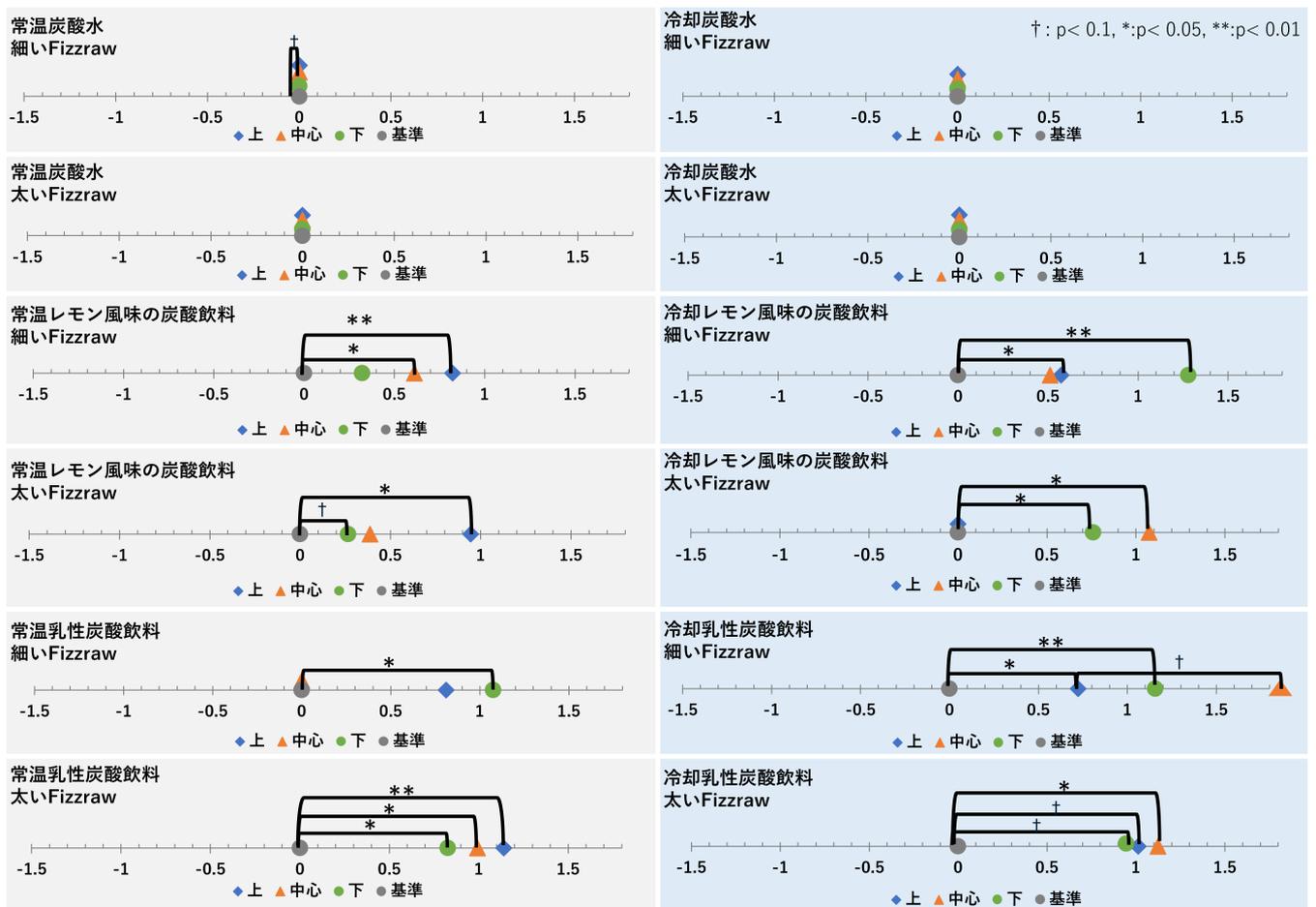


図 7 なめらかさの評価結果

らかさ」を強める可能性があることが分かった。さらに、各条件について詳細に結果を調査するため、図 7 に各飲料の「なめらかさ」について各実験参加者の基準と Fizzraw の評価値の差分の中央値を示す。各数直線の凡例では、超音波振動子の位置を示す。基準を灰色の丸、超音波振動子の位置が上部の場合は青色のひし形、中心部の場合はオレンジ色の三角、下部の場合は緑色の丸で表す。

まず、常温炭酸水において、基準と比較すると細型-振動子中央では「なめらかさ」が強まる傾向にあった ($p = 0.077$)。次に、常温レモン風味炭酸飲料に対して、基準と比較し有意に「なめらかさ」が強まった条件は、細型-振動子上 ($p = 0.007$)、細型-振動子中央 ($p = 0.010$)、太型-振動子上 ($p = 0.042$) であった。また、太型-振動子下は基準と比較すると「なめらかさ」が強まる傾向にあった ($p = 0.065$)。

冷却レモン風味炭酸飲料に対して、基準と比較し有意に「なめらかさ」が強まった条件は、細型-振動子下 ($p = 0.004$)、細型-振動子上 ($p = 0.023$)、太型-振動子中央 ($p = 0.021$)、太型-振動子下 ($p = 0.016$) であった。

常温乳性炭酸飲料に対して、基準と比較し有意に「なめらかさ」が強まった条件は、細型-振動子下 ($p = 0.029$)、太型-振動子下 ($p = 0.019$)、太型-振動子上 ($p = 0.042$)、太型-振動子中央 ($p = 0.034$) であった。

冷却乳性炭酸飲料に対して、基準と比較し有意に「なめらかさ」が強まった条件は、細型-振動子下 ($p = 0.006$)、細型-振動子中央 ($p = 0.010$)、太型-振動子中央 ($p = 0.029$) であった。また、基準と比較して「なめらかさ」が強まる傾向にあった条件は太型-振動子上 ($p = 0.086$)、太型-振動子下 ($p = 0.054$) であった。さらに、細型-振動子中央は細型-振動子上と比較すると「なめらかさ」が強まる傾向があった ($p = 0.0606$)。

これらの結果から、冷却・常温レモン風味の炭酸飲料/乳性炭酸飲料では、飲料に超音波処理をするによって、「なめらかさ」が強くなることが明らかになった。

さらに、基本五味の一つである「甘味」について、常温炭酸水&細型-振動子中央は基準よりも「甘味」が強まる傾向があった (平均値: 0.532, $p = 0.086$)。

4.3.2 自由回答

全ての飲料において、「超音波振動子を介して飲料が紙コップに戻る際、炭酸の音が強まり、爽快感につながった」「炭酸というより滑らかさを感じた」などが報告された。さらに、炭酸水及びレモン風味の炭酸飲料には「炭酸が苦手な人には飲みやすそう」といった意見、乳性炭酸飲料には「泡立ちによるムース感が新感覚でおいしかった」という意見が挙げられた。

5. 考察

本稿では、飲用直前に飲料へ超音波処理をすることで飲料体験や味覚の変化を評価することを目的とし、実験を実施した。評価実験の結果から、Fizzraw を用いて飲用時に超音波処理をすることにより、ユーザの知覚する飲料体験を変化させることができ、味覚を変化できる可能性があることが分かった。以下の節では、飲料体験と味覚の評価項目ごとに考察を述べる。

5.1 飲料体験

冷却炭酸水以外のすべての飲料において、炭酸飲料に超音波処理をすることによって、「なめらかさ」が強くなる傾向があった。この理由として、炭酸の気泡が細かく、その数が増えたことが作用し、飲料のテクスチャが変化したことが要因であると考えられる。特に、気泡サイズについては、ペットボトルを介して可聴音波による処理をする先行研究 [14] と結果が一致しており、Fizzraw による飲料への飲用直前に超音波処理をすることでも同じ効果が得られることが分かった。

また、冷却乳性炭酸飲料の条件において、細型-振動子下及び太型-振動子(すべての位置)で試飲した際、有意に「炭酸の強さ」が弱くなり「なめらかさ」が強くなった。この理由として、先行研究 [12] と同様に、超音波処理による乳性炭酸飲料の乳化が関係していると考えられる。また、炭酸飲料の気泡が小さくなったことで飲料の表面が滑らかになり、口に運ばれたとも考えられる。このような結果から、「炭酸の強さ」と「なめらかさ」には関係があると考えられる。

5.2 味覚

常温炭酸水以外の条件では、基本五味に対して有意差及び有意傾向はなかった。しかし、常温炭酸水では、細型-振動子中央において有意差はなかったが、基準に比べて「甘味」が強まる傾向があった。炭酸水以外の飲料には甘味成分が含まれているため、超音波処理による「甘味」の変化が目立ちにくい。一方で、無糖の炭酸水には甘味成分が含まれていないため、わずかな「甘味」の変化がより感じやすい可能性がある。さらに、冷却飲料よりも加温飲料の方が「甘味」を強く知覚されることから [34]、常温炭酸水において「甘味」が変化する傾向があったと考えられる。しかし、常温炭酸水のみで「甘味」が強まる傾向があった要因については、今後さらなる検討が必要である。

5.3 応用

「甘味」が強化される傾向は、炭酸飲料に含まれる砂糖含有量を減らすことに繋がり、肥満等の生活習慣病の予防に役立つ可能性がある。また、「なめらかさ」というテクス

チャの変化は炭酸飲料が苦手な人に有効であると考えられる。炭酸を痛いと感じている人に対し、Fizzraw を提示することで、痛みが軽減され、炭酸飲料を好む人たちと同じ飲料を楽しむことができると考えられる。

6. まとめ

本研究では、超音波振動子による飲料への超音波処理の適用により、飲料体験の向上や、基本五味である味覚の変化の実現を目指し、Fizzraw を提案した。Fizzraw を用いて、飲料を口にする際に、飲料に超音波処理をすることで、飲料体験や味覚が変化するかを評価した。実験では、炭酸水、乳性炭酸飲料、レモン風味の炭酸飲料を使用した。飲料は冷却・常温の2条件を提示し、Fizzraw は太い・細いの2条件について、それぞれ超音波振動子の位置を上部・中心部・下部・内蔵なしと設定した計8条件を提示した。実験の結果から、以下のことが明らかになった。

- 炭酸飲料に超音波処理をすることによって、「なめらかさ」が増加する傾向がある
- 超音波振動子を中心部に内蔵した細い Fizzraw では、常温炭酸水において「甘味」が強まる可能性がある

本実験では、「自由回答」の結果により、多くの実験参加者間で Fizzraw の太さや超音波振動子の位置の好みについて意見が割れていることが判明した。そのため、個人の体調及び好み、生活習慣等を事前に調査し、嗜好や生活習慣が飲料体験に与える影響を調査する。他にも、本実験では冷却の飲料を 16°C、常温の飲料を 22°C で設定した。今後は、飲料の温度をより広範囲に設定し、飲料の温度と超音波処理による影響を検証する予定である。加えて、実験参加者数と飲料の種類、超音波振動子の周波数の条件を増やし、Fizzraw による飲料体験と味覚の関係を明らかにする。さらに、超音波振動子を内蔵した食器を実装し、非炭酸飲料や液体食品への提案手法の適応を目指す。これらを使用することで、「なめらかさ」を強化した食品を摂取することができ、苦手な食品でもおいしく食べることができるような効果が期待できる。また、食品の砂糖含有量を減らし甘味を錯覚させ、肥満等の生活習慣病の予防としての活用も期待できる。

謝辞 本研究の一部は、JSPS 科研費 JP22K18424 と JP24KJ1917 の助成を受けた。

参考文献

- [1] Macht, M., Meining, J. and Roth, J.: The pleasures of eating: a qualitative analysis, *Journal of Happiness Studies*, Vol. 6, pp. 137–160 (online), DOI: 10.1007/s10902-005-0287-x (2005).
- [2] U.S. Department of Agriculture Staff and United States and Department of Agriculture and United States and Department of Health & Human Services: *Nutrition and Your Health: Dietary Guidelines for Americans*, Home and garden bulletin, U.S. Department of Agricul-

- ture (2000).
- [3] 文部科学省, 厚生労働省, 農林水産省: 食生活指針の解説要領 1. 食生活指針改定の趣旨, 文部科学省 and 厚生労働省 and 農林水産省 (オンライン), 入手先 (<https://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-10900000-Kenkoukyoku/0000132167.pdf>) (参照 2024-10-15).
 - [4] 農林水産省: みんなの食育, 農林水産省 (オンライン), 入手先 (<https://onl.la/dVGMxvg>) (参照 2024-10-15).
 - [5] Maynes-aminzade, D.: Edible Bits : Seamless interfaces between people, data and food, *ACM CHI 2005 Extended Abstracts*, pp. 2207–2210 (online), available from (<https://cir.nii.ac.jp/crid/1573105976065793920>) (2005).
 - [6] Boudreau, J. C.: Taste and the taste of foods, *Naturwissenschaften*, Vol. 67, p. 14–20 (online), DOI: 10.1007/BF00424498 (1980).
 - [7] 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*, CHI EA '20, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 1–6 (online), DOI: 10.1145/3334480.3382984 (2020).
 - [8] 中村 裕美 宮下 芳明 上野 新葉: 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, *WISS*, (オンライン), 入手先 (<https://www.wiss.org/WISS2018Proceedings/demo/1-A08.pdf>) (2018).
 - [9] Narumi, T., Nishizaka, S., Kajinami, T., Tanikawa, T. and Hirose, M.: Augmented reality flavors: gustatory display based on edible marker and cross-modal interaction, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '11, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 93–102 (online), DOI: 10.1145/1978942.1978957 (2011).
 - [10] Narumi, T., Ban, Y., Kajinami, T., Tanikawa, T. and Hirose, M.: Augmented perception of satiety: controlling food consumption by changing apparent size of food with augmented reality, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '12, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 109–118 (online), DOI: 10.1145/2207676.2207693 (2012).
 - [11] Bhargava, N., Mor, R. S., Kumar, K. and Sharanagat, V. S.: Advances in application of ultrasound in food processing: A review, *Ultrasonics Sonochemistry*, Vol. 70, p. 105293 (online), DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105293> (2021).
 - [12] Paniwnyk, L.: Applications of ultrasound in processing of liquid foods: A review, *Ultrasonics Sonochemistry*, Vol. 38, pp. 794–806 (online), DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.12.025> (2017).
 - [13] Scudino, H., Guimarães, J. T., Ramos, G. L., Santillo, A., Pimentel, T. C., Cruz, A. G. and Albenzio, M.: High-intensity ultrasound in cheese processing, *Current Opinion in Food Science*, Vol. 50, p. 101004 (online), DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2023.101004> (2023).
 - [14] Viejo, C. G., D.Torrico1, D., Dunshea, F. R. and Fuentes, S.: The Effect of Sonication on Bubble Size and Sensory Perception of Carbonated Water to Improve Quality and Consumer Acceptability, (online), DOI: 10.1145/1401615.1401632 (2019).
 - [15] Mielby, L. A., Wang, Q. J., Jensen, S., Bertelsen, A. S., Kidmose, U., Spence, C. and Byrne, D. V.: See, Feel, Taste: The Influence of Receptacle Colour and Weight on the Evaluation of Flavoured Carbonated Beverages, *Foods*, Vol. 7, No. 8 (online), available from (<https://www.mdpi.com/2304-8158/7/8/119>) (2018).
 - [16] Wang, Y., Li, Z., Jarvis, R. S., Russo, A., Khot, R. A. and Mueller, F. F.: Towards Understanding the Design of Playful Gustosonic Experiences with Ice Cream, *Proceedings of the Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play*, CHI PLAY '19, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 239–251 (online), DOI: 10.1145/3311350.3347194 (2019).
 - [17] Koizumi, N., Tanaka, H., Uema, Y. and Inami, M.: Chewing jockey: augmented food texture by using sound based on the cross-modal effect, *Proceedings of the 8th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, ACE '11, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, (online), DOI: 10.1145/2071423.2071449 (2011).
 - [18] 山岡潤一: TagCandy, YouTube (online), available from (<https://www.youtube.com/watch?v=jHhkBD30o54>)
 - [19] Kamihori, M., Ito, K. and Itoh, Y.: ThermoTumbler: A Tumbler-type Device that Changes Flavor Perception by Controlling Temperature to the Lower Lip, *Extended Abstracts of the 2024 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '24, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, (online), DOI: 10.1145/3613905.3651072 (2024).
 - [20] Hashimoto, Y., Nagaya, N., Kojima, M., Miyajima, S., Ohtaki, J., Yamamoto, A., Mitani, T. and Inami, M.: Straw-like user interface: virtual experience of the sensation of drinking using a straw, *Proceedings of the 2006 ACM SIGCHI International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, ACE '06, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 50–es (online), DOI: 10.1145/1178823.1178882 (2006).
 - [21] Iga, S. and Higuchi, F.: Kirifuki: Inhaling and Exhaling Interaction with Visual Objects, (online), available from (<https://www.researchgate.net/publication/220851132>) (2002).
 - [22] Okuno, Y., Kakuta, H., Takayama, T. and Asai, K.: Jellyfish party: blowing soap bubbles in mixed reality space, *The Second IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2003. Proceedings.*, pp. 358–359 (online), DOI: 10.1109/ISMAR.2003.1240759 (2003).
 - [23] McCrickerd, K., Chambers, L., Brunstrom, J., Norton, J., Mills, T. and Yeomans, M.: Subtle changes in the flavour and texture of a drink enhance expectations of satiety, *Appetite*, Vol. 59, No. 2, p. 632 (online), DOI: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2012.05.087> (2012). The 36th annual meeting of the British Feeding and Drinking Group, March 29th and 30th 2012, Brighton, UK.
 - [24] Slocombe, B., Carmichael, D. and Simner, J.: Cross-modal tactile–taste interactions in food evaluations, *Neuropsychologia*, Vol. 88, pp. 58–64 (online), DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2015.07.011> (2016). Special Issue: Synaesthesia and Multisensory Processes.
 - [25] Gonzalez Viejo, C., Torrico, D. D., Dunshea, F. R. and Fuentes, S.: Bubbles, Foam Formation, Stability and Consumer Perception of Carbonated Drinks: A Review of Current, New and Emerging Technologies for Rapid Assessment and Control, Vol. 8, No. 12 (online), DOI: 10.3390/foods8120596 (2019).
 - [26] Chandrashekar, J., Yarmolinsky, D., von Buchholtz, L., Oka, Y., Sly, W., Ryba, N. J. P. and Zuker, C. S.: The Taste of Carbonation, (online), available from

- (<https://www.science.org/doi/full/10.1126/science.1174601>) (2009).
- [27] Fujii, N., Kataoka, Y., Lai, Y.-F., Shirai, N., Hashimoto, H. and Nishiyasu, T.: Ingestion of carbonated water increases middle cerebral artery blood velocity and improves mood states in resting humans exposed to ambient heat stress, *Physiology & Behavior*, Vol. 255, p. 113942 (online), DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2022.113942> (2022).
- [28] Cuomo, R., Grasso, R., Sarnelli, G., Capuano, G., Nicolai, E., Nardone, G., Pomponi, D., Budillon, G. and Ierardi, E.: Effects of carbonated water on functional dyspepsia and constipation, (online), available from (<https://journals.lww.com/eurojgh/abstract/2002/09000/>) (2002).
- [29] Mohammed, S. and Hegedüs, V.: Dislodgement of impacted oesophageal foreign bodies with carbonated beverages, (online), available from (<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0009926086800344>) (1986).
- [30] Liger-Belair, G.: The Physics and Chemistry behind the Bubbling Properties of Champagne and Sparkling Wines: A State-of-the-Art Review, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol. 53, No. 8, pp. 2788–2802 (online), DOI: 10.1021/jf048259e (2005). PMID: 15826021.
- [31] Evans, D. E. and Bamforth, C. W.: 1 - Beer foam: achieving a suitable head, *Beer* (Bamforth, C. W., ed.), Handbook of Alcoholic Beverages, Academic Press, San Diego, pp. 1–60 (online), DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-669201-3.00001-4> (2009).
- [32] Hewson, L.; Hollowood, T. C. S. H. J.: Gustatory, Olfactory and Trigeminal Interactions in a Model Carbonated Beverage, (online), available from (<https://www.mdpi.com/2306-5710/5/3/58>) (2009).
- [33] Sandick, B., Engell, D. and Maller, O.: Perception of drinking water temperature and effects for humans after exercise, *Physiology & Behavior*, Vol. 32, No. 5, pp. 851–855 (online), DOI: [https://doi.org/10.1016/0031-9384\(84\)90205-1](https://doi.org/10.1016/0031-9384(84)90205-1) (1984).
- [34] Calviño, A. M.: Perception of sweetness: The effects of concentration and temperature, *Physiology Behavior*, Vol. 36, No. 6, pp. 1021–1028 (online), DOI: [https://doi.org/10.1016/0031-9384\(86\)90474-9](https://doi.org/10.1016/0031-9384(86)90474-9) (1986).