



しゅわっとしソーダ：電気刺激と空中像による クロスモーダル炭酸増強装置の実装

Fizzical-Soda: Implementation of Cross-modal Carbonic Sensation System
Using Electric Stimuli and Mid-air Images

秋山凜太郎¹⁾, 山口彩歩²⁾, 小池崇文²⁾

Rintaro AKIYAMA, Saho YAMAGUCHI, and Takafumi KOIKE

- 1) 法政大学 大学院情報科学研究科 (〒 184-8584 東京都小金井市梶野町 3-7-2, rintaro.akiyama.3i@stu.hosei.ac.jp)
2) 法政大学 情報科学部 (〒 184-8584 東京都小金井市梶野町 3-7-2, saho.yamaguchi.4c@stu.hosei.ac.jp, takafumi@hosei.ac.jp)

概要: 我々は、炭酸感を電気増強するコップと空中像提示技術とを組み合わせ、口腔内への刺激および視覚刺激という複数の感覚刺激によって炭酸感を増強する装置を実装した。飲料の味の評価には視覚情報も影響することが示唆されているが、電気味覚により炭酸感を増強する既存研究においては、視覚情報の提示はなされていない。本研究では、泡の空中像をコップ内に表示することで、炭酸飲料の刺激感やおいしさを高める手法を提案する。

キーワード: 炭酸感, 電気味覚, 空中像, クロスモーダル

1. はじめに

炭酸飲料の始まりは、滋養強壮飲料と医療用飲料であった。地面から泡を立て湧き出していた天然の炭酸泉に傷や病の治療効果があると信じられており、薬剤師らが販売するようになったと言われている。海外においては、古代ローマ時代にローマ人が飲用した記録が残っている [1]。日本においても、7 世紀後半に近江国益須郡 (滋賀県守山) の都賀山で湧出した「醴泉」を飲んだ多くの人の病が治ったという記載が「日本書紀」に残っている [2]。

18 世紀後期には炭酸水の人造化に成功し、19 世紀初頭からは、嗜好飲料としても愛飲されるようになる [3]。この頃の炭酸飲料は、主に薬局で、薬の苦味を消すために混ぜ合わせて提供されていたが、次第にカフェやキャンディショップに欠かせないものとなる。ソーダ・ファウンテンと名付けた店ができたり、アイスクリームショップに設置されたりするなど、炭酸飲料に砂糖や香料を加えた清涼飲料が人気を博す。アメリカで最も古い炭酸飲料「ドクターペッパー」は、薬剤師の発明品である。日本においては 1853 年にペリーがフレーバー入りの炭酸水を持ち込んでいる [4]。諸説あるが、江戸幕府の役人が開栓時の音に驚き、「さては新式銃か!」と腰の刀に手をかけたという逸話が伝えられている。

こうした歴史を経て、炭酸飲料は日本においても海外においても多くの人に愛飲されており、炭酸飲料ならではの泡立ちや口当たりを楽しんでいる [5]。炭酸飲料を飲んだ時に口腔内で感じる味覚や刺激などの感覚を、本稿ではまとめて「炭酸感」とする。口腔内の刺激の機序はさまざまな

観点から研究されており、電気刺激により炭酸感を増強する手法も提案されている。しかし、視覚情報が炭酸感に及ぼす影響については明らかになっていない。

我々は、視覚情報と電気刺激を組み合わせることで炭酸感を増強する装置を提案している [6]。視覚情報として、炭酸の泡の空中像を飲料容器内に投影する。電気刺激の提示には、ストロー型のデバイスを用いる。本稿では、透過率が低い空中像光学素子やプラスチック製コップによって空中像が暗くなることを防ぐため、液晶のバックライトにパワー LED を用いる。本研究の学術的貢献は、まず、炭酸感における視覚情報の影響を実験的に調査するためのデバイスを実装したことである。もう 1 点は、日常的な飲用動作を妨げずに、視覚刺激と電気刺激の多感覚統合により炭酸感を増強できる手法を提案したことである。

2. 関連研究

2.1 電気刺激により味覚を操作する手法

電気刺激により生じる味を、電気味覚という。Volta が電池を発明するよりも前に、Sulzer が舌に 2 種類の金属板を載せて味覚を感じたことが始まりだと言われている [7]。極性ごとに味質が異なることがわかっており、陽極刺激は味の濃さや塩味を増強するが、陰極刺激は塩味を抑制したり、苦味に近いアルカリのような味を生じさせる [8][9]。これを利用し、電極を直接舌に当てることで塩味を提示したり [10]、食器に電気味覚の提示機能を組み込むことで、飲食時に塩味を増強できる [11]。

電気刺激で増強できる味わいは、塩味のような基本五味にとどまらない。舌部を電極で挟み込み、温度提示と嗅覚提示を電気刺激と併せて行うことで、Spicy や Minty な辛味の風味を増強できる [12]。さらに、食器を通して舌に陽極刺激を提示することで、唐辛子の辛さやワサビの辛さも増強させられる [13]。また、炭酸感を増強する手法もいくつか存在する。炭酸飲料の飲用時に、コップ型のデバイスを用いて舌に陽極刺激を提示することで、炭酸感を増強できる [14][15]。これらの手法は、食品を直接加工せずに味わいを変容させる効果が期待されている。

2.2 視覚情報が味覚に及ぼす影響

視覚情報が味覚にクロスモーダル作用を及ぼすことは、様々な事例が示している。果汁が含まれていないかき氷のシロップは、色と香料が違うだけで味は全て同じだという話は有名な例である。清涼飲料水の色において、赤色の場合には甘みをより強く感じさせ、青色や緑色の場合には苦味や清涼感を強調するということがわかっている [16]。また、食材そのものの見た目だけでなく、食器の色も味覚に影響する。フローズンストロベリームースは、白い皿に盛り付けた時の方が黒い皿の時よりも甘く感じられることがわかっている [17]。これらは、味を直接変化させず、画像や色の重量等により、味を疑似的に変えられることを示している。

視覚と味覚のクロスモーダル作用を利用した味覚ディスプレイも、いくつか存在する。MetaCookie+というデバイスは、HMD と嗅覚ディスプレイを用いて視覚情報と嗅覚情報を同時に提示する [18]。視覚・嗅覚・味覚の感覚間相互作用により、同じクッキーから感じる味を別の味に変化させることができる。また、AR ヘッドセットを使い、食品の外観を変化させることで、塩味を変調させ減塩を実現するアプローチも提案されている [19]。しかし、こうしたヘッドセットの使用は、他者の表情を見ながら食事をすることができず、食事の社会的な側面が損なわれるという課題もある [20]。このことから、普段から食事ですぐに食器を用いて視覚刺激を提示する手法が求められている。

2.3 炭酸感に影響を及ぼす知覚

炭酸飲料を飲んだ時に口腔内で感じる刺激は、水に溶けた炭酸ガスによる化学的な刺激である。基本五味は味蕾で知覚されるが、炭酸の刺激は、辛味成分や冷刺激、炎症に関わる物質などによって活性化される TRPA1 という受容体で知覚される [21]。炭酸水から生じた水素イオンが、三叉神経の TRPA1 チャネルを酸性化させることで、刺激を感じると考えられている。

炭酸感は聴覚や視覚、さらには容器の形状といった他感覚の影響を受けることがいくつかの研究で明らかになっている。例えば、炭酸水が入っているグラスを手を持っている状態で、ヘッドフォンから炭酸音を聞かせると、音が高くなり、大きくなると、炭酸が強く感じられることがわかっている [22]。一方で、口に含んだ状態で音を提示しても効果はないことも示されており、口に含んだ状態では炭酸感の主要な要因は口腔内の刺激に基づいていると考えられる。また、容

器の形状が、コーラを飲んだ時の嗅覚と味覚の評価に影響することも明らかになっている [23]。コークグラスと通常のグラス、ペットボトルでコーラを飲んで比較したところ、コークグラスが最も味覚や嗅覚の評価が高かった。添加物のない炭酸水においても、容器の形状が炭酸刺激の知覚部位に影響を与えることがわかっている [24]。ペットボトルで炭酸水を飲用した場合は、多くの人が舌背や喉で炭酸刺激を強く感じる一方で、缶の場合は、舌尖や舌背、喉など口腔内の広い範囲で炭酸刺激を感じる。これらの先行研究から、炭酸感は様々な知覚が複雑に影響し合っていることが示されている。

2.4 空中像を表示する光学系

空中像を実現するデバイスは、AIP (Aerial Imaging Plate) [25], DCRA (Dihedral Corner Reflector Array) [26], AIRR (Aero Imaging by Retro-Reflection) [27], RMA (Retro-reflective Mirror Array) [28] 等が提案されている。いずれも特殊な構造を持つミラーを用いた再帰反射型光学系であり、入射光を特定位置に集光して空中像を結像する。

空中像の提示は、さまざまな場面での応用が考えられている。例えば、空中像を物体に追従させ、物体の位置によってコンテンツが変化するもの [29] や、水面に表示した空中像をすくい上げる体験を可能にしたもの [30] などがある。しかし、先行研究の多くは空中像の操作性に主眼を置いており、空中像がユーザの感覚的認知に与える影響について検討したものはあまりない。とりわけ、視覚と味覚のクロスモーダル効果について検証した例は限られている。

3. しゅわっとしソーダ

3.1 構成の概要

しゅわっとしソーダは、視覚と味覚のクロスモーダル効果によって炭酸感を増強するデバイスである。本稿では、提案システムを、「電気刺激提示」と「空中像提示」に分けて説明する。

図 1 に、構成を示す。(a) と (b) はそれぞれストローとコップで、これらは電気刺激を提示する部分である。口腔内で感じる炭酸感を増強する役割をもつ。(c),(d),(e),(f) は空中像を提示する部分であり、視覚的に炭酸感を増強する役割をもつ。(d) は空中像光学素子、(e) と (f) は光源となる部分であり、それぞれ液晶とバックライトである。

3.2 電気刺激提示

飲料を介して電気刺激を提示することで、炭酸感を増強可能な装置を設計する。陽極刺激で炭酸感を増強する先行研究 [14][15] をもとに、飲料を介して口腔内に電気刺激を提示するシステムを構成する。

システムの構成図を、図 2 に示す。ストロー型デバイスの下部に取り付けた電極が陽極電極であり、コップの側面に取り付けた電極が陰極である。飲料の飲用時にコップに手を添えることで、ストローの陽極電極からコップの陰極電極まで、飲料、舌、手を介した閉回路ができる。これにより、飲む人に電気刺激が提示される。ストローは 3D プリン

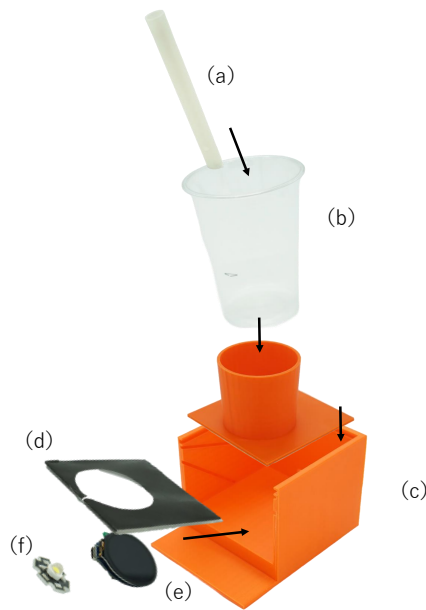


図 1: 提案装置「しゅわっとしソーダ」の構成図。

タで造形し、酸やアルカリによる劣化を起こしにくく、AS樹脂よりも耐衝撃性に優れる ABS 樹脂を用いる。

電流出力部は定電流回路であり、電流値は直流で $500\mu\text{A}$ である。電気刺激の安全基準には、経頭蓋直流刺激 (tDCS) のガイドライン [31] に従う。tDCS では、 4mA を 40 分まで印加しても重大な有害事象は報告されていない。本研究では $500\mu\text{A}$ を飲用中のみ提示するため、電流値・刺激時間ともにガイドラインより十分に低く、安全と言える。

3.3 空中像提示

ユーザが炭酸飲料を飲用するとき、コップの中に泡の空中像を提示できる装置を設計する。日常的な飲用動作を妨げないためにも、視覚情報の提示装置はコップと一体になったデバイスである必要がある。この要件を満たす実装を可能にする空中像光学素子として、DCRA を使用する。DCRA は透過性を有するため、他の再帰反射型光学素子と比較して光源と光学素子を近接した位置に配置できる。この特性により、光学系の厚みを抑え、省スペース化および装置の小型化が可能となる。また、光軸がなく、固有焦点距離をもたないため、歪みがない空中像を結像できる。

空中像提示部の構成を図 3 に示す。システムは液晶ディ

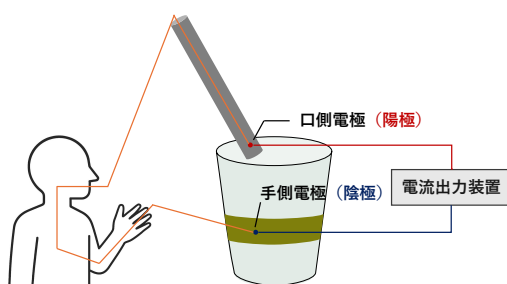


図 2: 電気刺激部の構成図。

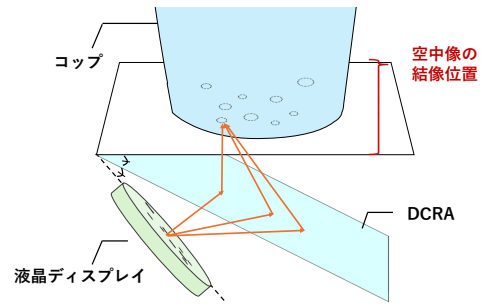


図 3: 空中像提示部の構成図。

スプレイ、DCRA、プラスチックコップから構成される。液晶ディスプレイから出た光線は、DCRA によって空中像を結像する。結像する位置は、DCRA に対して光源と面对称の位置であり、像の大きさは等倍である。映像は、飲料を飲む時にユーザがコップの斜め上方向から覗き込む視点を想定している。液晶ディスプレイは、TouchLCD 1.28inch (Waveshare 製) を用いる。ディスプレイにはマイコンが内蔵されており、PC から送信した画像を表示できる。解像度は $240 \times 240[\text{px}]$ である。DCRA として、パリティミラー (パリティ・イノベーションズ製) を用いる。サイズは $8 \times 8[\text{cm}]$ である。

空中像の明るさは光源の輝度及び光の経路における減衰量によって決まる。光源から出射した光は、液晶、DCRA、プラスチックコップなど複数の媒質を通過する際、それぞれの透過率に応じて輝度が減衰する。本システムにおいては、液晶の透過率は約 5%、DCRA は約 10% であり、空中像は元の光源の 0.5% ほどの輝度となる。空中像を明るく表示するために、本稿では、放熱基板付 3W 白色パワー LED (OptoSupply 製) を液晶のバックライトとして用いる。空中像として表示する泡の映像のうち、2 フレームを図 4 に示す。差分を 10 枚用意し、0.1 秒ごとに画像を切り替える。

4. 空中像輝度の評価

空中像の輝度を評価するため、ディスプレイモジュールに内蔵されたバックライトを用いた場合と、パワー LED を用いた場合とを比較する。パワー LED は、動作確認のために、5V の電圧および 20mA の電流で点灯する。パワー LED の前方には、拡散板として半透明のフィルム付箋を 2 枚重ねて配置している。比較した結果を、図 5 に示す。

ディスプレイモジュールに内蔵されたバックライトを用いた場合、バックライト単体の輝度は $7.0\text{kcd}/\text{m}^2$ であった。



図 4: 液晶ディスプレイに表示する映像のうち 2 フレーム。

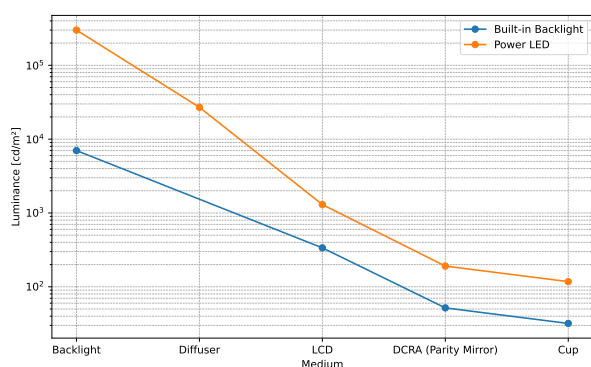


図 5: 空中像輝度の評価。青色の線が液晶ディスプレイ内蔵のバックライトを用いた場合、オレンジ色の線がパワーLEDを用いた場合の輝度を示す。縦軸は輝度、横軸が媒質である。

これに液晶を通すと輝度は 336.9cd/m^2 に低下し、さらにDCRA を通過すると 51.8cd/m^2 となり、最終的にプラスチックコップを通過した後の輝度は 31.9cd/m^2 であった。

一方、パワーLEDをバックライトとして用いた場合、バックライト単体の輝度は 300.0cd/m^2 であった。パワーLEDの光を拡散板を介して拡散させたところ、輝度は 27.0cd/m^2 に減衰した。さらに、液晶を通過した後の輝度は 1.3cd/m^2 となり、さらにDCRAを通過すると 190.8cd/m^2 に低下し、最終的にプラスチックコップを通過した後の輝度は 117.5cd/m^2 であった。 $150\text{--}250\text{cd/m}^2$ 程度の空中像は、一般的な室内環境である 500lx で視認可能とする先行研究 [32] もあることから、パワーLEDの最大定格電流である 700mA で駆動すれば、空中像の視認性に問題ないと考えられる。

5. まとめ

本稿では、炭酸飲料の炭酸感を増強することを目的として、電気刺激と空中像提示を組み合わせたクロスモーダル装置「しゅわとしソーダ」を実装した。電気刺激提示部にはストロー型デバイスを用い、陽極刺激により口腔内の炭酸感を増強できるよう構成した。また、空中像提示部にはDCRAを用いて、泡の空中像をコップ内に表示することで視覚的に炭酸感を増強できるよう構成した。空中像輝度の評価の結果、ディスプレイモジュール内蔵のバックライトに比べ、パワーLEDを用いることで明るい空中像を表示できることを確認した。今後は、被験者実験を行い、電気刺激と視覚刺激による炭酸感の増強効果を定量的に評価する。

参考文献

- [1] 森永 ほか: 炭酸泉浴の歴史, 日本温泉気候物理医学会雑誌, Vol.48, No.4, pp.190–192, 1985.
- [2] 木暮: 飲泉の歴史と現状, 日本温泉気候物理医学会雑誌, Vol.50, No.1, pp.20–24, 1986.
- [3] J. Levin: Soda and Fizzy Drinks: A Global History, Reaktion Books, 2021.
- [4] M. C. Perry et al.: Narrative of the Expedition of an American Squadron to the China Seas and Japan, Washington: Beverley Tucker, 1856.
- [5] S. Barker et al.: Carbonated Emotions: Consumers' Sensory Perception and Emotional Response to Carbonated and Still Fruit Juices. Food Research International, Vol.147, pp.1–9, 2021.

- [6] 秋山 ほか: しゅわとしソーダ: 電気刺激と空中像によるクロスモーダル炭酸増強装置. VR 学研報, Vol.29, No.CS-4, pp.6–8, 2024.
- [7] M. D. Sanders: Handbook of Sensory Physiology. The British Journal of Ophthalmology, Vol.59, No.2, 1975.
- [8] D. A. Stevens et al.: A Direct Comparison of the Taste of Electrical and Chemical Stimuli. Chemical Senses, Vol.33, No.5, pp.405–413, 2008.
- [9] K. Aoyama et al.: Galvanic Tongue Stimulation Inhibits Five Basic Tastes Induced by Aqueous Electrolyte Solutions. Frontiers in Psychology, Vol.8, pp.1–7, 2017.
- [10] N. Ranasinghe et al.: Tongue Mounted Interface for Digitally Actuating the Sense of Taste. IEEE ISWC'12, pp.80–87, 2012.
- [11] 中村 ほか: 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.
- [12] N. Ranasinghe et al.: Digital Flavor: Towards Digitally Simulating Virtual Flavors. ACM ICMF'15, pp.139–146, 2015.
- [13] M. Ohno et al.: Anodal Electrical Stimulation Enhances the Perceived Piquancy Induced by Chili Peppers and Wasabi. IEEE Access, Vol.10, pp.134647–134654, 2022.
- [14] I. Nomura et al.: Double-Layered Cup-Shaped Device to Amplify Taste Sensation of Carbonation by the Electrical Stimulation on the Human Tongue. ACM VRST'21, pp.1–2, 2021.
- [15] J. Kanayama et al.: Basic Evaluation of Carbonate Stimulus Amplification and Taste Change Using AC Electric Stimulation. IEEE / SICE SII, pp.819–820, 2021.
- [16] 奥田 ほか: 清涼飲料水の予想されるおいしさや味覚に対する色と香りの複合効果. 日本官能評価学会誌, Vol.19, pp.99–105, 2015.
- [17] C. Strugnell: Color and Its Role in Sweetness Perception. Appetite, Vol.28, No.1, p.85, 1997.
- [18] T. Narumi, et al: Meta cookie+: An Illusion-based Gustatory Display. VMR'11, pp.260–269, 2011.
- [19] 岡嶋: 視覚のクロスモーダル効果の可視化 食品の見た目が食感・味覚に与える影響の定量化. オレオサイエンス, Vol.20, No.11, pp.493–498, 2020.
- [20] C. Spence: GASTROPHYSICS: The New Science of Eating. Viking, 2017.
- [21] Y. Y. Wang et al.: TRPA1 is a Component of the Nociceptive Response to CO₂. Journal of Neuroscience. Vol.30, No.39, pp.12958–12963, 2010.
- [22] M. Zampini, and C. Spence: Modifying the Multisensory Perception of a Carbonated Beverage Using Auditory Cues. Food Quality and Preference, Vol.16, pp.632–641, 2005.
- [23] A. Cavazzana et al.: The Vessel's Shape Influences the Smell and Taste of Cola. Food Quality and Preference, Vol.59, pp.8–13, 2017.
- [24] 秋山 ほか: 炭酸感の知覚に対し容器の形状が与える影響の調査. VR 学研報, Vol.30, No.CS-2, pp.1–6, 2025.
- [25] M. Otsubo: Optical Imaging Apparatus and Optical Imaging Method Using the Same. U.S. Patent No.8702252, U.S. Patent and Trademark Office, 2014.
- [26] D. Miyazaki et al.: Floating Volumetric Image Formation Using a Dihedral Corner Reflector Array Device. Applied Optics, Vol.52, Issue 1, pp.281–289, 2013.
- [27] H. Yamamoto et al.: Floating Aerial LED Signage Based on Aerial Imaging by Retro-reflection (AIRR). Optics Express, Vol.22, Issue 22, pp.26919–26924, 2014.
- [28] T. Koike, and Y. Onishi: Aerial 3D Imaging by Retroreflective Mirror Array. ACM ISS'18, pp.25–29, 2018.
- [29] H. Kajita, et al.: SkyAnchor: Optical Design for Anchoring Mid-air Images onto Physical Objects. ACM UIST'16, pp.415–423, 2016.
- [30] Y. Matsuura, and N. Koizumi: Scoopirit: A Method of Scooping Mid-air Images on Water Surface. ACM ISS'18, pp.227–235, 2018.
- [31] M. Bikson, et al.: Safety of Transcranial Direct Current Stimulation: Evidence Based Update 2016. Brain Stimulation Vol.9, Issue 5, pp.641–661, 2016.
- [32] Y. Osato, and N. Koizumi: Compact Optical System Displaying Mid-air Images Movable in Depth by Rotating Light Source and Mirror. Computers & Graphics, Vol.91, pp.290–300, 2020.