

### 電気味覚による炭酸飲料の炭酸感増強

Nomura, Ibuki / 野村, 伊吹

---

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院情報科学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 情報科学研究科編

(巻 / Volume)

17

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

6

(発行年 / Year)

2022-03-24

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00025264>

# 電気味覚による炭酸飲料の炭酸感増強

## The Amplifying Taste Sensation of Carbonation by the Electrical Stimulation on the Human Tongue

野村 伊吹 \*

Ibuki Nomura

法政大学大学院 情報科学研究科 情報科学専攻

Email: ibuki.nomura.3n@stu.hosei.ac.jp

**Abstract**—We show that electrical stimulation on the human tongue amplifies the taste sensation of carbonated beverages. In the electrical tongue stimulation, the human can feel the taste such as electrical or metallic taste. We design a hypothesis on the transmission for amplification of the carbonated sensation by electric stimulation based on the mechanism of the carbonated stimulation. Then, we study experiments to verify the amplification of carbonated sensation with variable electrical stimulus. Even if the taste sensation of carbonated beverage become lightly, we can enjoy close to the taste or the carbonated sensation with carbonated beverage that just after opening. We also proposed two types of electric stimulation systems, one for constant voltage and the other for constant current, and two types of electric taste devices a double-layered device for hygiene and experiments with a large number of people, and a cup-shaped device for daily.

### 1. はじめに

炭酸飲料には、溶存炭酸ガスによる炭酸刺激が存在する。酸味や苦味といった基本味は舌表面の味細胞で受容するが、炭酸刺激は舌や口腔内に存在する三叉神経で受容し、脳に伝達する。炭酸飲料は炭酸が含まれている清涼飲料水やアルコール飲料などが例として挙げられる。炭酸飲料を飲む際に炭酸感を感じることで、同時に清涼感や爽快感を感じることができ、それらは炭酸飲料の魅力である。しかし、炭酸飲料を開封して時間が経過すると、飲料に含まれる炭酸ガスが抜けていくことで炭酸刺激が弱くなり、それに伴い清涼感や爽快感が失われてしまう。

そこで、本研究では電気味覚を利用して炭酸飲料の炭酸感を増強させる。電気味覚とは、味覚器に電気刺激が提示された際に感じられる味覚のことである。電気味覚の提示手法の一つとして、舌へ電気刺激を付加することにより電気味覚を提示する手法がある。我々はすでに、スプーン型やコップ型の電気味覚インターフェースを提案している [1]–[5]。しかし、電気味覚を用いて炭酸飲料の炭酸感を増強させる手法を提案している研究は少ない。

我々は、飲用時に舌に電気刺激を提示することで、炭酸飲料の炭酸感を増強させるシステムに取り組んでいる。提案システムにより、炭酸感が弱くなった炭酸飲料に対して、電気刺激を加えて炭酸感を増強することで時間経過によって失われた清涼感や爽快感を再び感じることができる。また、微炭酸の炭酸飲料に電気刺激を加えることで、炭酸感を自分好みの強さにコントロールできることも期待される。

まず、炭酸刺激の受容機序に基づいた炭酸感増強機序の仮説設定を行う。次に、電気味覚を用いた炭酸感の増強度を評価するために、多様な電氣的刺激パラメータを変化させることのできる電気刺激システムを提案する。また、大人数でのデモや日常生活への実装を考え、準備や使用が容易になるようなインターフェースを提案する。最後に、定電圧および定電流での陽極電気刺激による炭酸感増強を評価する実験を行い、炭酸感増強効果を検証する [6]。

本研究の学術的貢献は以下の3点である。一点目は電気味覚による炭酸飲料の炭酸感増強に関する機序を仮説設定したこと、二点目は大人数デモ向けと日常生活向けのデバイスを提案したこと、三点目は電気味覚による飲料の炭酸感増強を評価したことである。

### 2. 関連研究

#### 2.1. 電気味覚のメカニズム

味を感じる物質は味蕾と呼ばれる舌表面に存在する味覚受容体を活性化させ、味を伝える神経細胞を通して脳に電気信号が送られることで味を認識する。電気味覚は味の強さを増強、抑制することが知られている。味覚の増強において、電気刺激による電場の影響を受けて味を感じるイオンが口腔内を泳動し、味細胞周辺のイオン濃度が変化することで、味覚が増強するという説がある。また、Bujas は電気刺激を付加した際に電流が味細胞や求心性神経線維を刺激し、味覚が増強するという説を唱えている [7]。

青山らは、5種類の基本味（酸味、塩味、苦味、甘味、うま味）を感じる電解質物質において電気刺激による味覚抑制効果を得られたことから、味覚抑制の機序として味を呈するイオンの電気泳動説を提唱した [8]。これは、電気刺激による電場の影響により、イオンが口腔内を泳動し、舌周辺のイオン濃度が変化することで味覚を制御できるという説である。

#### 2.2. 電気味覚の提示

電気味覚の提示手法に関する先行研究には、Ranasinghe らによる電極を舌部に直接当てる手法 [9] や中村らの飲食物を介した手法 [10] が提案されている。Ranasinghe らは、舌を2枚の電極で挟んだ状態で電流量、周波数、温度を変化させ、酸味、苦味、塩味、甘味を再現した。中村らは、フォークやストローといった食器を用いて、電気刺激を提示・停止させた際に味覚が増強、抑制されることを確認した。

我々は、紙やプラスチックなどの非導電性素材のコップやスリーブを用いたコップ型デバイスを提案してい

\* Supervisor: Prof. Takafumi Koike

る。学会や展示会での大人数の体験を可能とするデモ向けのデバイスであるが、電気味覚の提示に関する調査において、多様な電気的パラメータを変化させて実験を行うことができない。そこで、本研究では、我々の既提案デバイスを改良し、可変な刺激パラメータをもつコップ型デバイスを提案する。

### 2.3. 炭酸刺激の受容機序

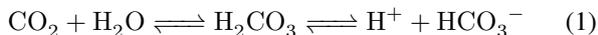
駒井らは、炭酸水の溶存炭酸ガスが舌表面の上皮細胞に存在する炭酸脱水酵素の働きにより、水素イオンと炭酸水素イオンが生じて、刺激を受容するという説を提唱している [11]。また、辛味物質を受容する陽イオンチャンネルの一つである TRPV1 は辛味成分のカプサイシンだけでなく、水素イオンのような酸によっても活性化され、ピリピリとした炭酸感を認識させている [12]。

Chandrashekar らは、炭酸を口腔内にふくむと水素イオンが酸味を感じる味細胞を活性化させることで、酸味を感じることを提唱した [13]。

## 3. 電気刺激による炭酸感増強の機序

### 3.1. 仮説設定

炭酸飲料を飲む際に電気刺激を与え、炭酸飲料の炭酸感を増強させる機序に関して、炭酸刺激の受容機序と電気刺激によるイオン泳動説を用いて仮説を設定する [14]。炭酸水は、二酸化炭素  $\text{CO}_2$ 、炭酸  $\text{H}_2\text{CO}_3$ 、炭酸水素イオン  $\text{HCO}_3^-$  などの炭酸物質を含み、以下の式のような化学平衡の状態に達している。



炭酸水を口腔内に含むと炭酸脱水酵素との化学反応により、炭酸から水素イオンと炭酸水素イオンが生じる。炭酸脱水酵素の働きによって生じた水素イオンが口腔内の三叉神経の終末を介して受容されることで、脳が炭酸感を認識する。炭酸感を増強させるには、三叉神経で受容された後水素イオンの量を増やすことで実現できると考えられる。

電気分解により、図2に示すように水素イオンと電子が結合して水素が生じることや炭酸の受容により水素イオンの量が減少することが予測される。しかし、炭酸水中の水素イオンの量が減少することで平衡状態でなくなっても、化学平衡の性質から平衡状態に戻そうとし、水素イオンを増加させる反応が起こるため、上式の化学平衡が右向きに働き、水素イオンと炭酸水素イオンが生じる。

また、イオン泳動説に着目すると、電気刺激を付加するとイオンは泳動し、飲料中のイオンの濃度勾配が大きくなる。図1のように陰極側の舌部周辺には、上式において陽イオンである水素イオンが集まる。したがって、舌や口腔内の三叉神経で受容される水素イオンの量が増え、細胞内の pH が低下して陽イオンチャンネルの TRPA1 が酸化し、活性化することで炭酸刺激をより感じやすくなると予測される。

### 3.2. ガスボリュームの算出

我々の既存研究では、炭酸飲料に関する実験を行う際にソーダストリームを用いて炭酸水を生成し、ソーダストリームのプッシュ回数によって炭酸水の炭酸の強さを制御していた。しかし、ソーダストリームのプッシュ

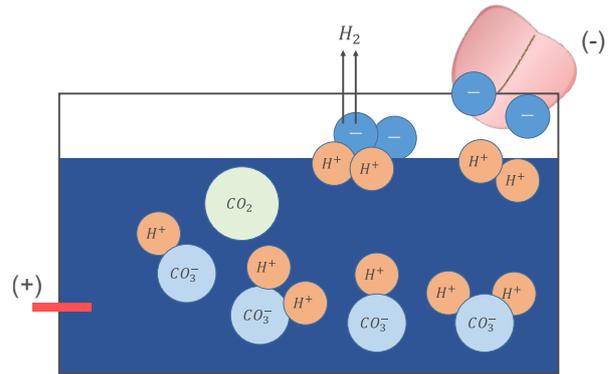


図 1: 電気刺激付加時の炭酸水中のイオンの動き

回数ではすべての実験において同じ炭酸の強さの炭酸水を作ることは困難である。そこで、実験ごとに炭酸水の炭酸の強さが変わらないよう、炭酸の強さを具体的な数値で示すことが必要である。炭酸の強さを示す単位として、ガスボリューム (以下、GV) がある。GV は、飲料中の炭酸ガスの含有量を示す単位であり、標準状態 (1 気圧, 摂氏 20 度) において 1L の液体に 1L の炭酸ガスが溶けている場合を 1GV という。炭酸飲料を用いた実験において炭酸の強さが異なる試料を作成する場合、炭酸の強さの表現に GV を用いることでソーダストリームのプッシュ回数より細かく調節することができる。

まず、二酸化炭素は水に溶けると一部が炭酸となり、以下のような気液平衡の状態に達する。



このときの平衡定数  $K_H$  は次式のように示される。 $K_H$  は摂氏 25 度のときで、 $K_H = 4.0 \times 10^{-7} \text{ molL}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$  [15] とする。

$$K_H = \frac{[\text{H}_2\text{CO}_3]}{p(\text{CO}_2)} \quad (3)$$

次に炭酸水中では、舌で炭酸を受容する際に炭酸脱水酵素によって以下の化学反応が起き、化学平衡の状態が保たれている [11]。



また、空気中では式 (4) 中の  $[\text{H}^+]$  と  $[\text{HCO}_3^-]$  はほぼ等しいことから、式 (4) での炭酸の第一次解離平衡定数  $K_1$  は次式で表される [16]。

$$K_1 = \frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} = \frac{[\text{H}^+]^2}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} \quad (5)$$

$K_1$  は淡水中では水温のみに依存しており、算出手法の一つに Harned と Davis の測定 [17] がある。Harned と Davis の測定では、 $pK_1$  ( $K_1$  の逆数の対数) と水温  $T$  (絶対温度) の関係は次の通りである。

$$pK_1 = 3405/T + 0.0328 T - 14.84. \quad (6)$$

これらの計算式をもとに、まず、測定した炭酸水の pH から二酸化炭素の分圧を算出する。 $K_1$  の逆数の対数が  $pK_1$  なので  $K_1$  は次式のように示される。

$$\begin{aligned} pK_1 &= -\log K_1, \\ K_1 &= 10^{-pK_1}. \end{aligned} \quad (7)$$

式 (3)  $[H_2CO_3] = K_H \times p(CO_2)$  を式 (5) に代入すると、

$$[H^+] = \sqrt{K_H K_1 p(CO_2)}. \quad (8)$$

が得られるので、式変形を行い式 (8) のようにする。pH を水素イオン濃度に変換した値、平衡定数  $K_H$ 、式 (5) と式 (6) で求めた炭酸の第一次解離平衡定数  $K_1$  を式 (8) に代入して二酸化炭素の分圧 [Pa] を求めることができる。

$$p(CO_2) = \frac{[H^+]^2}{K_H K_1}. \quad (9)$$

次に、二酸化炭素の分圧と温度から GV を算出する式はアサヒ飲料株式会社の公開特許公報 [18] から以下の式 (10) を用いる。式 (10) 中の GV は温度が摂氏 20 度のときの GV、 $p$  は二酸化炭素の分圧 [MPa]、 $t$  は温度 (摂氏) を示す。

$$GV(p, t) = (1 + 9.866 p) \times (171300 - 7129 t + 437.8 t^2 - 46.85 t^3 + 3.187 t^4 - 0.1042 t^5 + 0.001286 t^6) \times 10^{-5}. \quad (10)$$

したがって、GV を求める算出式は温度  $t$  (摂氏) と pH を用いて式 (11) のように示すことができる [19]。また、式変形を行うことで GV と  $t$  から pH を算出することもできる。

$$GV = (1 + 2.4665 \times 10^{-2} pH + \frac{3405}{t+273.15} + 0.0328(t+273.15) - 13.84) \times (171300 - 7129 t + 437.8 t^2 - 46.85 t^3 + 3.187 t^4 - 0.1042 t^5 + 0.001286 t^6) \times 10^{-5}. \quad (11)$$

先に述べた計算式を用いて、炭酸水の pH と温度および GV の関係を表すグラフを図 2 と図 3 に示す。図 2 では横軸を pH、縦軸を GV としており、図 3 では横軸を GV、縦軸を pH としている。どちらの図も水温が摂氏 5 度、10 度、15 度、20 度、25 度の 5 段階の場合でのグラフを示している。グラフより、pH が小さいほど GV は大きくなるが pH 5.5~pH 7.0 の間では GV の変化が小さい。また、同じ pH でも温度が低いほど GV は大きくなり、pH が小さいほど温度差による GV の差は大きくなる。したがって、実験においてソーダストリームで炭酸水を作成する際は、水の温度が低いほどより強い炭酸を作ることができるといえる。

## 4. 電気味覚デバイス

電気味覚のデモンストレーションにおいて多くの人に体験してもらうことを想定するため、持ち運びしやすく、安価に製作が容易であり、短時間で準備ができる必要がある。被験者への電気味覚の提示デバイスは、有賀らの提案手法ではスプーンを利用している。しかし炭酸飲料はコップで飲む方がより一般的であると考えられるため、コップを用いた電気味覚デバイスを用いる。

### 4.1. システム

#### 4.1.1. 定電圧電気刺激システム

定電圧電気刺激システムの構成を図 4 に示す [20]。マイコンボードの Arduino、リレーシールド、モータード

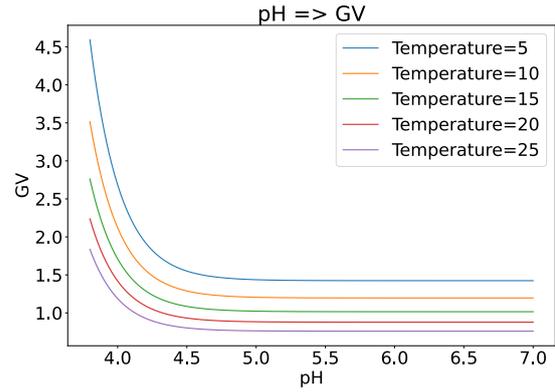


図 2: 炭酸水の pH と温度および GV の関係 (横軸 : pH, 縦軸 : GV)

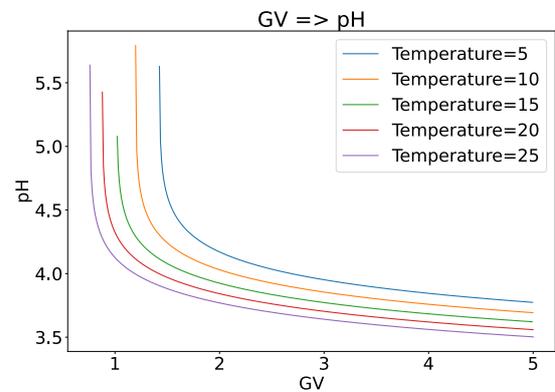


図 3: 炭酸水の pH と温度および GV の関係 (横軸 : GV, 縦軸 : pH)

ライバを用いて、回路のスイッチ制御と印可電圧の大きさを調整することができる。電気刺激の電圧付加は出力電圧が 5V~30V の直流安定化電源を用いる。出力電圧の制御は 0.1V 刻みで調整することが可能で、回路に安定した電圧をかけることができる。付加電圧を一定に保つことで、実験時に被験者ごとの付加電圧の値が変わってしまうことを防ぐ。

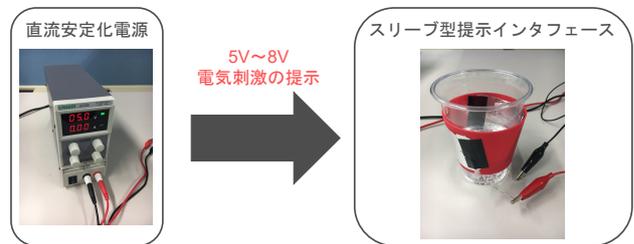


図 4: 定電圧電気刺激システムの構成

#### 4.1.2. 定電流電気刺激システム

人体抵抗は人によって異なるため、定電圧刺激を付加すると体験者ごとに流れる電流値が変わってしまう。そこで、定電流電気刺激システムを提案し、構成を図 5 に示す [21], [22]。

まず、入力信号生成に関しては DA コンバータと DDS (ダイレクト・デジタル・シンセサイザ), スイッチング IC からなる入力信号生成回路を作成する。入力信号生成部では DDS をマイコン (Arduino) よりプログラムで周波数を制御し、正弦波や三角波、矩形波といった入力信号波形を生成することができる。また DA コンバータをマイコンのプログラムより入力信号生成回路への電圧指令を制御し、電気刺激生成回路から出力される電流量を調整することができる。

次に、オペアンプへの電源電圧供給に関しては、定電圧システムでは直流安定化電源を用いていたが、電源電圧供給回路を作成し、オペアンプへの電源供給を行う。本システムの試作段階では昇圧を行うために DCDC コンバータを採用していたが、皮膚への電気刺激と比較して電気味覚では舌に電気刺激を与えるため、皮膚に比べ表面に水分があり、インピーダンスが下がることで必要になる電圧も小さく考えられる。従って、オペアンプへの供給電圧を大きくすることでインピーダンスに対応できると考え、DCDC コンバータによる昇圧は採用しない。以上により、PC とマイコンを USB ケーブルで接続するだけで電気刺激を与えることができ、電流値や周波数、Duty 比といった電気的な刺激パラメータを PC で調整可能となった。

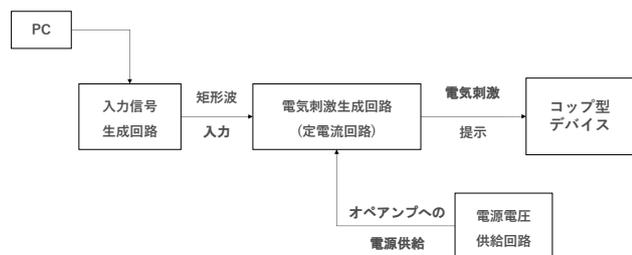


図 5: 定電流電気刺激システム

## 4.2. インタフェース

### 4.2.1. 二層構造型

本節で提案する電気味覚インタフェースは体験者の口に触れる内側の層と持ち手に触れる外側の層の二層構造に分けられる。非導電性素材のコップ1つとスリーブで構成され、スリーブの型は CAD ソフトと 3D プリンターで製作した [20]。素材は ABS 樹脂でできている。スリーブの被験者の手が接触する部位に外部導電部 (アルミホイル) を貼り付け、電気刺激付加装置の陽極側導線を接続する。また、スリーブの内側には、内部導電部 (アルミホイル) を外部導電部の逆側の部位に貼り付け、電気刺激付加装置の陰極側導線と接続する。コップの側面にステープラーの針を刺し、スリーブの内部導電部と針が接触するようにする。

体験時には、図 6 に示すように、スリーブとコップを密着するように重ねる。陽極側導線、内部導電部、ステープラーの針、飲料、舌部、手、外部導電部、陰極側導線の順に電流が流れることで、飲料と舌を含む閉回路を形成する。これにより、ユーザーの口腔内に電気刺激が提示される仕組みとなっている。また、スリーブを非導電性素材のコップに置き換えたコップ 2 つで構成されるインタフェースも提案しており同様の仕組みである [5]。電気刺激を付加するときの人体抵抗は、内部抵抗が  $500\Omega$ 、手の接触抵抗が  $5000\Omega$ 、および舌の接触抵抗が  $300\Omega$  であることから、 $5800\Omega$  とする。

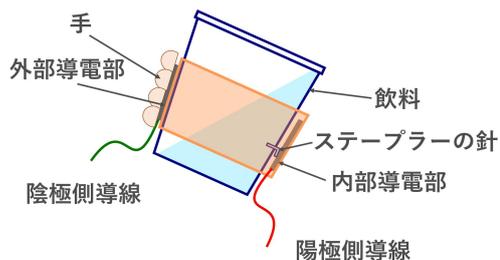


図 6: スリーブ型インタフェースの構成

### 4.2.2. コッパー体型

本節では、日常生活での使用を想定し、図 8 に示すような電気刺激システムとインタフェースを一つにまとめたコッパー体型インタフェースを提案する [22], [23]。スリーブ型インタフェースの素材は ABS 樹脂であり、液体に触れると有害物質が溶け出す恐れがあったため、本インタフェースでは食品用に対応した樹脂を用いて製作を行う。定電流回路のうち、電気刺激生成回路、入力信号生成回路、オペアンプへの電源電圧供給回路のそれぞれの回路に関して、図 7 の赤枠部分をコッパー体型インタフェースに内蔵できるように回路の小型化を意識した設計を行った。コップの持ち手部分に外部導電部を貼付し、電気刺激生成回路の陰極側導線と接続する。コップの上側の空洞の底には、内部導電部を貼付し、電気刺激生成回路の陽極側導線と接続する。体験時にはスリーブ型と同様に、ユーザーの手が外部導電部に触れながら飲料を飲むことで、陽極側導線から内部導電部、飲料、舌部、手、外部導電部、陰極側導線の順に電流が流れる閉回路を形成する。

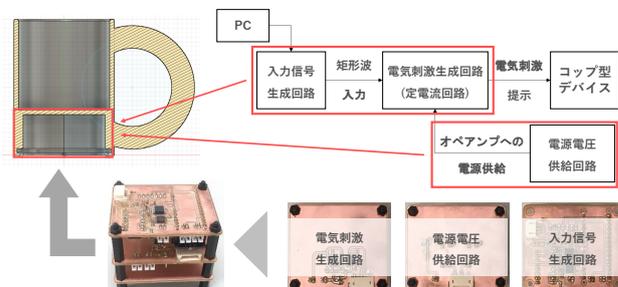


図 7: 電気回路のブロック図

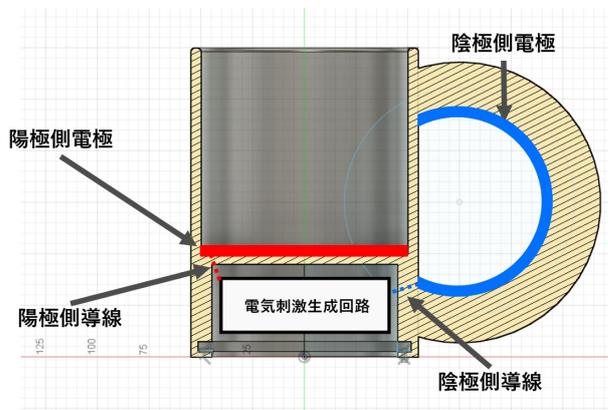


図 8: コッパー体型インタフェース

## 5. 実験

陽極電気刺激による炭酸水の炭酸感の変化度合いを明らかにし、電気味覚による炭酸感増強の効果を検討する。定電圧による電気刺激と定電流による電気刺激の2パターンで刺激付加した。

### 5.1. 定電圧による電気刺激

実験に用いた飲料はソーダストリームで作成した炭酸水である。炭酸の強さはソーダストリームの炭酸注入ボタンのプッシュ回数によって変化させる。プッシュ回数が0~4回の異なる炭酸の強さの飲料を5種類用意し、プッシュ回数が2回の飲料を基準の飲料とする。電気刺激を付加した状態の基準の飲料を飲んだ時に感じる炭酸感が、他の4種類の飲料のうち、どの飲料の炭酸感に近かったのかを比較する。また、飲料の基本味の変化についてのアンケートを行う。

#### 5.1.1. 実験方法

被験者は20代の男女11名(男性6名, 女性5名)を対象として行った。被験者には人体に電気刺激を提示することを事前に伝え、同意の上で実験を行った。実験装置は有賀らが提案した電気味覚装置を、飲食検知を行わず常に電流を流すよう調整したものである。電気刺激提示時の回路の電位差は直流電圧で、最低値は5V、最高値は8Vになるよう調整し、開目状態で舌部への陽極電気刺激を行った。ソーダストリームに用いる水は市販の軟水「南アルプスの天然水」である。ソーダストリームの炭酸注入ボタンは1回1秒程度で押下する。飲料の温度は摂氏10度で行った。

まず、被験者には水を飲んで口内環境を整えてもらった。次に、基準の飲料を味が判別できるまで口に含んでから、飲み込んでもらった。どの基本味を感じたのかを主観的な評価で回答してもらった。また、被験者の炭酸飲料の嗜好および飲用頻度についても調査した。

次に電気刺激を付加しながら炭酸飲料を飲んだ際の、炭酸感の変化を調査した。被験者には、舌部にきちんと電気が流れるように、デバイスの持ち方や飲み方を事前に指導した。また、1回あたりに飲む量は指定していない。

はじめに事前準備として、被験者に水を飲んでもらい、口腔内を整えさせた。その後、基準の飲料を陽極電気刺激を付加しない状態で飲んでもらい炭酸感を記憶させた。本番では、陽極電気刺激を付加しながら基準の飲料を飲んでもらい、炭酸感を記憶してもらう。次に、他の4種類の飲料と基準の飲料の5種類の飲料を、プッシュ回数が0回の飲料から順に飲んでもらい、基準の飲料の炭酸感に近い飲料を1つだけ回答してもらう。そして、電気刺激前と刺激中の飲料の味の変化について、基本味の各味ごとに「味が弱くなった」、「変わらない」、「味が強くなった」の3択から1つだけ回答してもらう。また、付加電圧をさらに上げた状態(最高8Vまで)で、基準の飲料を飲んでもらい、炭酸感や飲料の味にさらに変化があったか回答してもらう。

#### 5.1.2. 実験結果

被験者の炭酸飲料の嗜好についてのアンケートでは、被験者11名のうち9名が炭酸飲料を好んでいる回答した。しかし、炭酸飲料の飲用頻度についてのアンケートでは、月1~2本が6名、週1~2本が5名であったこ

とから、炭酸飲料を好んで飲用しているが頻度は少なく日常的な飲み物ではないと考えられる。

炭酸水を飲んだ時、苦味を感じた被験者が最も多く、次いで甘味を感じる被験者が多かった。そして、基準の飲料に陽極電気刺激を付加したときの基本味の感じ方の変化度合いにおいては、酸味、塩味、うま味は変わらないと回答した被験者が多かった。甘味と苦味は回答にばらつきが出た。また、苦味が弱くなったと回答した被験者において、甘味が強くなったと感じた被験者が多かった。

最後に、電気刺激による炭酸感の変化の回答結果を、図9に示す。横軸は、実験前に用意した5種類の飲料それぞれの炭酸注入ボタンのプッシュ回数であり、炭酸の強さを示す。被験者11名全員が炭酸感に変化があったと回答した。電気刺激付加中の基準の飲料の炭酸感が、プッシュ回数が3回の飲料の炭酸感に近いと回答した被験者が4名、4回プッシュした飲料と回答した被験者は4名であった。基準の飲料に近いと回答した被験者3名においては、全員が炭酸感が若干強くなったと感じたが、3回プッシュした飲料の炭酸感よりは弱いと回答している。このことから、被験者全員が、陽極電気刺激による飲料の炭酸感増強を感じたことがわかった。

また、実験後の自由回答から、電気刺激を付加することで炭酸水の味がまろやかになり飲みやすくなったと感じる場合が多かった。一方で、電気刺激により飲料の味が薄くなった、まろくなったように感じたという回答した被験者もいた。付加電圧を上げると、被験者全員が、炭酸感にはさらに増強したように感じるが、陽極刺激の電気味や苦味を強く感じて飲みづらくなったという意見を示した。

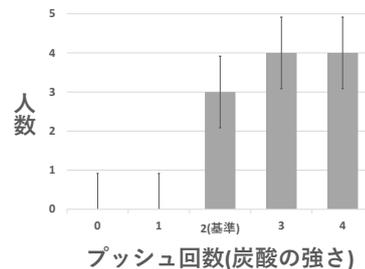


図9: 電気刺激付加中の炭酸感の変化

### 5.2. 定電流による電気刺激

#### 5.2.1. 実験手法

本実験では、電気刺激による炭酸感の増強度と炭酸水の味の変化について調査するために、被験者12名に対して実験を行った。本実験で使用する炭酸水は、市販の軟水にソーダストリームで炭酸ガスを注入して作成した。炭酸水は、電気刺激を与える条件との比較用として、ソーダストリームの炭酸注入回数を基準に3種類(1~3回)用意した。実験環境については、室温は摂氏25度、液温は摂氏3度、1試行の流量は13mL/sで行った。

はじめに事前準備として、被験者には水を飲んでもらい、口腔内を整えさせた。その後、比較対象としてソーダストリーム注入2回の炭酸水を飲ませ、その際に感じた味を基本味から回答させた。またさらに、注入回数の異なる3種類の炭酸水を飲ませ、それぞれの炭酸の強さを記憶させた。本番では、電気刺激を付加した

炭酸水を飲ませ、注入2回の炭酸水を基準として「1：炭酸を弱く感じた」、「2：炭酸を少し弱く感じた（炭酸注入回数1回と同じくらい）」、「3：変化なし」、「4：炭酸を少し強く感じた（炭酸注入回数1回と同じくらい）」、「5：炭酸を強く感じた」の5つの選択肢から評価させた。同時に、炭酸水の味について基本味の変化を回答させた。その後、再度水を飲んでもらい、口腔内を整え、電流値を変更して、電気刺激を付加した炭酸水を飲むといった手順を全10パターンで繰り返し行った。電流値は100 $\mu$ A 間隔、100 $\mu$ A~1000 $\mu$ A の範囲でランダムに設定した。

### 5.2.2. 実験結果

電気刺激による炭酸感の変化の回答結果を、図9に示す。図10より、500 $\mu$ A と1000 $\mu$ A で最も炭酸感増強の評価が大きくなり、500 $\mu$ A, 900 $\mu$ A, 1000 $\mu$ A において有意に炭酸感増強をしていることが示された。また全てのパターンにおいて、評価平均が変化なしを示す3より大きいことから、電気刺激によって炭酸感が増強される傾向がみられる。しかし、被験者間のばらつきが大きかったことに加え、パラメータの設定パターン数が少なかつたため、電流値が大きくなるほど炭酸感が強くなるという傾向は明確には読み取れなかつた。

今後、被験者数を増やしたうえで実験環境や実験手順の精査を行うことでデータの信頼性を高めるとともに、パターン数を増やして実験を行う必要がある。

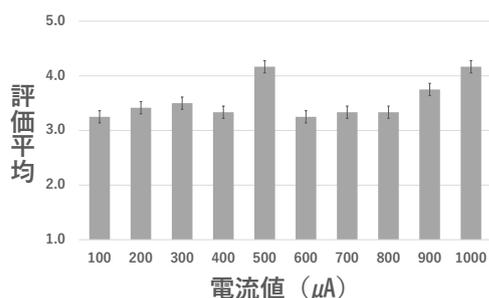


図 10: 電流値ごとの評価平均

また、炭酸水の基本味の変化を感じた被験者はいなかったが、全員が電気的な味を感じたと回答し、実験中痛みを感じた被験者もいた。

## 6. まとめ

本稿では、炭酸刺激の受容機序に基づいて、電気味覚による炭酸感増強の機序の仮説設定を行い、検証実験を通して検討した。定電圧刺激、定電流刺激ともに全ての被験者が電気刺激によって炭酸感増強を感じた。定電流刺激では、電流量500 $\mu$ A, 900 $\mu$ A, 1000 $\mu$ A の電流刺激を付加することで有意に炭酸感の増強効果を示した。しかし、炭酸感の増強効果には個人間のばらつきがみられた。また、電気刺激システムにおいては定電流と定電圧それぞれの刺激生成回路を作成し、インタフェースにおいては大人向けの数人向けの電気味覚デモンストレーション想定したスリブ型インタフェースと日常生活での使用を想定したコップ型インタフェースの提案をした。今後は、炭酸感増強の機序について明確にする。デバイスにおいては、舌以外に電流が流れることで体験者が痛みを感じる恐れがあるため、トラベラーリッドのような舌以外に電流が流れにくいデバイス設計を行う [24]。

## 参考文献

- [1] 有賀ら, “電気刺激を用いた酸味・塩味の再現によるスープの味覚変化”, 日本バーチャルリアリティ学会研究報告, Vol. 20, Issue CS-1, pp. 13-18, 2015.
- [2] Y. Aruga, and T. Koike, “Taste change of soup by the recreating of sourness and saltiness using the electrical stimulation,” AH’15, 2015.
- [3] 岩崎ら, “電気刺激を用いた塩味増幅による旨味強化の基礎検討”, VR学会全国大会, 2019.
- [4] 門田ら, “舌への電気刺激・振動刺激による味の阻害・増幅効果の検討”, 情処全国大会, 2019.
- [5] 野村ら, “飲料の電気味覚のための簡易デバイスに関する基礎検討”, サイバースペースと仮想都市研究会研究報告, 2019
- [6] J. Kanayama, et al., “Basic Evaluation of Carbonate Stimulus Amplification and Taste Change Using AC Electric Stimulation,” SII’21, 2021.
- [7] Z. Bujas, “Electrical Taste,” *Handbook of Sensory Physiology*, Vol.4 Chemical Senses, Pt.2 Tatse, ed. L. M. Beidler (Berlin: Springer-Verlag), pp. 180-199, 1971.
- [8] K. Aoyama, et al., “Galvanic Tongue Stimulation Inhibits Five Basic Tastes Induced by Aqueous Electrolyte Solutions,” *Frontiers in Psychology*, Vol.8, Article No. 2112, 2017.
- [9] N. Ranasinghe, et al., “Tongue Mounted Interface for Digitally Actuating the Sense of Taste,” *ISWC ’12 Proceedings of the 2012 16th Annual International Symposium on Wearable Computers (ISWC)*, pp.80-87, 2012.
- [10] 中村ら, “陰極電気刺激の提示と停止による塩味知覚感度制御”, インタラクシオン2013論文集, 2013.
- [11] 駒井ら, “口腔・鼻腔の三叉神経を介した刺激性物質の受容機序”, におい・かおり環境学会誌, Vol. 37, Issue 6, pp. 408-416, 2006.
- [12] 駒井, “微量栄養素の新規機能の解明に関する研究”, 日本栄養・食糧学会誌, Vol. 68, No. 6, pp. 259-264, 2015.
- [13] J. Chandrashekar, et al., “The Taste of Carbonation”, *Science*, Vol. 326, Issue 5951, pp. 443-445, 2009.
- [14] 野村ら, “電気味覚による飲料の炭酸感増強に関する伝達機序の仮説設定と検証実験の検討”, 日本バーチャルリアリティ学会研究報告, Vol. 26, Issue SBR-1, pp. 31-35, 2021.
- [15] J. アンドリュースら, 地球環境化学入門, シュプリンガーフェアラーク, 1997.
- [16] 猿橋, “天然水中の物質代謝の研究(第2報) 水中の炭酸物質の平衡濃度比について”, 日本化学雑誌, Vol. 76, Issue 11, pp. 1294-1308, 1955.
- [17] H. S. Harned, and R. Davis, “The Ionization Constant of Carbonic Acid in Water and the Solubility of Carbon Dioxide in Water and Aqueous Salt Solutions from 0 to 50°,” *J. Am. Chem. Soc.*, Vol. 65, No. 10, pp. 2030-2037, 1943.
- [18] アサヒ飲料株式会社, 容器入り炭酸飲料のガスボリューム算出方法及び算出装置, 特開 2018-179915, 2018-11-15.
- [19] 野村ら, “電気味覚による炭酸水に含まれる炭酸の変化に関する基礎検討”, VR学会全国大会, 2021.
- [20] 野村ら, “電気味覚による炭酸飲料の刺激増幅に関する基礎検討”, 情処全国大会, 2020.
- [21] 金山ら, “電気味覚を活用した炭酸飲料の刺激増幅機能を有したコップ型デバイスの開発”, VR学会全国大会, 2020.
- [22] 野村ら, “飲料の炭酸感増強を目的とするコップ型デバイスの開発と実験設計”, サイバースペースと仮想都市研究会研究報告, 2020.
- [23] I. Nomura, et al., “Double-Layered Cup-Shaped Device to Amplify Taste Sensation of Carbonation by the Electrical Stimulation on the Human Tongue,” In *Proceedings of the 27th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST ’21)*, Article 62, pp. 1-2, 2021.
- [24] 渡辺ら, “電気味覚による炭酸感増強のためのトラベラーリッド付きコップ型インタフェースの検討”, 情処全国大会, 2022.