

# 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

中村 裕美<sup>1,2,a)</sup> 宮下 芳明<sup>1,3</sup>

受付日 2012年6月27日, 採録日 2013年1月11日

**概要:** 著者らはこれまで電気味覚を飲食物に付加する装置として, 両極を口内に提示する両極型装置を開発してきた. 本論文では新たに人体を回路に用い, 一極のみ口内に提示する一極型装置について提案を行う. また, 一極型装置の動作の安定性を調査するとともに, 一極型装置によって新たに可能となった極性ごとの味質提示において評価を行った. その結果, 飲食物を介した場合も先行研究と同様の味質の差異を感じられることが確認されただけでなく, 食材が有する風味の増強や減損が起こる可能性が示唆された.

**キーワード:** 電気味覚, 極性変化

## Proposition of Single-pole Electric Taste Apparatuses for Drink and Food and Evaluation of Changing Taste Quality of Polarity Change

HIROMI NAKAMURA<sup>1,2,a)</sup> HOMEI MIYASHITA<sup>1,3</sup>

Received: June 27, 2012, Accepted: January 11, 2013

**Abstract:** We have already proposed and demonstrated electric taste apparatuses for eating and drinking. We developed polar opposite apparatuses; outputting anodal and cathodal stimulation in the mouth through foods and drinks. In this thesis, we newly proposed single-pole apparatuses; outputting monopolar stimulation in the mouth and another stimulation to the skin surface to make circuit and add electric taste. We investigated the performance of single-pole apparatuses and conducted experiments on humans whether we can perceive the difference of taste quality by changing polarity.

**Keywords:** electric taste, change in polarization

### 1. はじめに

電気味覚とは, 電気刺激を味覚器に提示した際に感じられる味質のことである. 電気味覚の発見は1752年と古く [1], 感じられる味質や閾値についても調査されている [2], [3]. 現在では電気味覚計の開発によって主に簡易味覚検査手法の1つとして活用されている [4], [5], [6].

これまでの電気味覚活用技術は, そのほとんどが電極を直接味覚器に触れさせる手法をとっていた. それに対し著者らは, 飲食物を介して電気刺激を出力し, 味覚器に提示する手法を提案している [7]. そして提案装置として陽極・陰極双方を飲食物と接触させ, 電気味覚を付加する電気味覚付加装置 (以後両極型装置とする) を開発している.

著者らは両極型装置を国際会議・国内会議などでデモンストレーションし, 延べ700名以上がこれを体験した. 体験者のほとんどは電気味覚の付加による味質の変化を感じることができた. また, 電気味覚が付加されたと感じる場合と, 飲食物の味が変化した, 強くなったと感じられる場合があることも確認された. このことから両極型装置が電気味覚の出力・提示装置として動作することは明らかとなったが, 操作性やユーザビリティの側面からは口内に双

<sup>1</sup> 明治大学大学院理工学研究科新領域創造専攻  
Program in Frontier Science and Innovation, Graduate  
School of Science and Technology, Meiji University, Nakano,  
Tokyo 164-0001, Japan

<sup>2</sup> 日本学術振興会  
JSPS, Chiyoda, Tokyo 102-8472, Japan

<sup>3</sup> 独立行政法人科学技術振興機構, CREST  
JST, CREST, Kawasaki, Kanagawa 214-8571, Japan

a) hirominakamura.b@gmail.com

方の電極を含むことによる使いにくさが指摘された。

そこで著者らは、電気味覚付加装置の飲食利用におけるユーザビリティ向上を図るため、新たに一極のみ口内に提示する電気味覚付加装置（以後一極型装置とする）を開発した。一極型装置は口内および飲食物側に片方の電極、皮膚表面にもう片方の電極を設けたもので、人体を回路として電気味覚を口内に提示する。このような回路構成は、電気味覚計 [4], [5], [6] や中森らの食ベテルミン [8] などでも用いられている。しかし、この回路構成を飲食物に味質を付加する用途で用いる点、著者らがこれまでに提案してきた電気味覚付加装置の活用用途を考えると、一極型装置は電気味覚の活用に対して新たな方向性を開くのではないかと考えた。

その理由として、極性による味質の違いがあげられる。先行研究では陽極刺激、陰極刺激それぞれの味質における調査も行われている [9]。電極を直接舌面に提示し味質の変化を調査した研究では、陽極刺激は金属味、酸味を強く感じ、陰極刺激は苦味に近い味を感じると報告されている。また、電気味覚検査などで用いられるのは陽極刺激のみとなっているが、その理由として陰極刺激より陽極刺激のほうが知覚しやすい点があげられている [10]。

これまでの二極型装置では、両極が飲食物に接触するため、飲食物と電極の間ですでに電気回路が完成されている。そのため電源部で極性を切り替えても、舌面に当たるときに極性の変化が明示的に提示されない。それに対し一極型装置は、一方の電極を口内に、もう片方の電極を人体の皮膚表面に提示する。そのため極性を入れ替えた場合は人体を通過する電流の向きが変わり、舌面に提示される極性も変化する。このことから、もし飲食物を介した場合でも極性による味質の差異を感じることができれば、一極型装置は二極型装置より多くのバリエーションの味を提示することが可能となる。

味覚器の機能を確認する検査の観点でいえば、知覚しやすい陽極刺激のみが用いられるのは妥当と考えられる。しかし電気味覚を味質の付加のために利用する場合には、味質のバリエーションを増加させる用途での陰極刺激を活用できる。また、飲食物に付加しても上記のような味質の差異が感じられれば、飲食物により多くの味質変化を与えられるほか、飲食物の元の味を考慮した味質の付加も行いやすくなると考えられる。

また著者らは電気味覚付加装置の活用法を複数提案してきた [11], [12], [13], [14], [15]。一例として、本来味質の出力装置として作成した電気味覚付加装置を入力装置として用いる提案がある。これは装置を用いた飲食で起こる回路の電気的変化によって、飲食行動の有無を検知するものである。しかしこれらの提案で対象としてきたのは単方向の電気出力である。そのため一極型装置が極性を変化させても動作し、さらに味質の違いとして感じる事が確認され

れば、極性と味質の変化を活用した新たな機能を付加できると考えられる。

そこで著者らは、一極型装置の提案にともない、飲食物へ付加しても極性ごとに味質の差異を感じるかについて評価するために実験を行った。

2章では関連研究として電気味覚に関連する研究や応用手法、諸感覚器への電気刺激の提示、これまで著者らが提案した電気味覚の飲食物への付加手法や活用法について述べる。3章では一極型装置の構造について説明し、4章で一極型装置を用いた動作の確認と、極性による味質の変化を調査する実験および結果について述べる。5章で考察を述べ、6章では著者らの試行から得られる知見とその考察について議論する。7章で本装置および電気味覚による味質変化の展望について述べる。

## 2. 関連研究

### 2.1 電気味覚の発見と活用

電気味覚は1754年にSulzerが2種の金属を舌面にのせた際に発見された。その後1792年にVoltaが発生原因の仮説として、一方の金属から他方へ舌組織を通り電流が流れることで発生すると述べた [1]。味質に対しても多くの実験調査が行われており、日本人を対象にした実験でも、主に金属味、酸味や苦味、塩味を感じる事が確認されている。また感知できる刺激強度の閾値は加齢により上昇することが発見されている。味質に対する記述は実験者によって表現が異なるほか、個人ごとにも差異がある [9]。ただしその差異は舌面提示位置の左右差や性別、喫煙の有無、歯科治療による金属冠の有無の影響を受けない事が確認されている [2]。また、極性ごとの味質として陽極刺激は酸っぱいような味、陰極刺激は苦味に近いアルカリのような味と報告され、以降の実験でも類似した評価となっているが、実験者により味質の表現に差異が見受けられる [9]。

電気味覚の発現機序としては複数の説があげられ、各種実験により実証が行われつつある。まず初期には電気刺激そのものが舌細胞を刺激するという説に加え、電気刺激により舌面上のイオンが移動することにより起こるとされる説が提唱された [16]。しかしその後の研究で、膜表面の陽イオン濃度が膜表面から遠いところより低いことから電気味覚が受容膜表面での塩の累積によるものでないことが明らかになっている。また、電位依存性Ca<sup>2+</sup>チャネルの阻害剤によりシナプスでの味細胞と味神経の情報伝達の遮断で電気味覚が抑制されることから、味細胞の直接刺激のみでなく、味細胞が刺激され、その情報伝達に味細胞の電位依存性Ca<sup>2+</sup>チャネルが関与していることが示されている [17]。

電気味覚は主に簡易味覚検査の用途で用いられている。電気味覚による調査は溶液を用いた調査で問題となる唾液による希釈や口内拡散による味質の違いに対する考慮を必要としない。加えて検査時間も短縮できるが、単一の

味覚のみでの調査となり、甘味などが受容されているか否かなどの計測はできない。そのためがんや糖尿病などの特有の疾病患者や、細胞の応答を調べる目的で用いられている [18]。検査のために作成された電気味覚計は各種あるが [4], [5], [6]、一般的に陽極からの刺激を口内に提示し、陰極側を皮膚表面に配置する形をとっている。その理由として、実験調査により陰極刺激より陽極刺激のほうが知覚しやすいことが根拠にあげられている [10]。

電気味覚の検査以外の用途としては、視覚情報の代替提示としての活用 [19]、味情報の伝達用途としての活用 [20] が行われている。視覚情報の代替提示としての活用では、マトリックス状に配置した電極を直接舌面に当て、その電極にカメラからの映像を処理し電気刺激に変換したものを提示している。この装置で提示される各電極からの電気刺激を知覚することで、視覚情報を代替的に舌面で知覚できることが実験により示されている。この装置における実験報告の中では出力電流が 0.4~2.0 mA であることが述べられている。また、医療分野など両手作業時の情報提示機器として用いた例も存在する [21]。電気味覚を味情報の伝達として用いたものとしては、Ranasinghe らによる Digital Taste Interface [20] があげられる。この研究では電気味覚を用いた味体験の遠隔共有やそれを用いたコミュニケーションについても言及している。また装置は陽極側を舌表面、陰極側を舌裏面に直接接触させ、電気味覚を提示する形のものである。

## 2.2 電気刺激を用いた諸感覚への情報提示と感覚操作

電気刺激や電気の性質は、他感覚においてはこれまで感覚提示や操作手法として多く活用されている。視覚情報提示としては小型電極の装着により人工視覚を提示する手法が開発されている [22]。触覚分野においても、Kajimoto らが電気触覚ディスプレイによって電気刺激による触覚提示を可能にするるとともに、触覚における触原色の存在を定義している [23]。そのほかに、Biri-Biri [24] などのようにタッチインタフェースにおける触覚フィードバック手法の 1 つとして電気刺激を活用する例が見受けられる。

そのほかにも、前庭刺激へ電気刺激を提示することによる体性感覚の操作については、安藤らが提案と評価を行っている [25]。装置は耳後方に電極を装着する形をとっており、電極からの電気刺激の提示により、体性感覚を変化させ歩行などに影響を与えられることが明らかとなっている。そのほか、長嶋らの電気刺激フィードバック装置の開発および音楽パフォーマンスへの活用 [26]、Stelarc による人体への電気刺激提示による反応図およびそれらを活用したパフォーマンス [27] や顔面への電気刺激による表情筋の操作 [28] など、これまで人体の多くの箇所への電気刺激の提示および感覚の操作が行われている。また、2.1 節で取り上げている視覚情報を舌面に代替提示する装置も電気刺

激を用いて提示を行っている。

中森らによる食べテルミン [8] では、フォーク型のデバイスをを用いた飲食による音響生成、制御システムが構築されている。このデバイスでは本提案と同じく人体を回路として用いている。回路はフォーク把持部に装着された皮膚面提示用電極と、フォークおよびフォークに刺した食材により構成され、飲食による抵抗値の変化を音響的制御に活用している。著者らが提案する一極型装置もこの装置を参考に構成している。ただし、中森らの装置は音響的制御のために通電させており、出力刺激は味質の変化を感じるほどの強度ではない。そのため、3.2 節で著者らが構築しているような出力強度の任意調整を行うスライダなどは付加されていない。

## 2.3 電気味覚の飲食物への付加

著者らはこれまでに電気味覚を飲食物に付加して提示する手法を提案している。提示装置として最初に作成した両極型装置は陽極・陰極ともに口内に提示する構造であり [7]、コップ型の飲料用装置、フォーク型の食料用装置を用いて飲食を行うことで飲食物に電気味覚を付加していた。著者らはこの装置の活用法についても提案を行っている。たとえば、両極型装置を複数人で利用し、他人への接触や食べさせ合いを回路生成に用いる共同飲食手法 [11], [12]、各種センサからの外部情報を電気味覚の ON/OFF パターンなどに置き換え、味覚器を味覚情報以外の情報の知覚に用いる手法 [13], [14]、出力装置として作成した電気味覚付加装置を、飲食行動の入力装置として用いる手法 [15] などである。

## 3. 一極型装置の提案

一極型装置は片方の電極を口内に、他方の電極を皮膚表面に提示し、人体を用いて回路を生成する。本章では、飲料用一極型装置、食料用一極型装置について述べる。

### 3.1 飲料用一極型装置

飲料用一極型装置の口内提示側電極は安全面を考慮し、先行研究で推奨されている金、銀、白金のうち銀素材の棒（ニラコ社製 AG-402541 [29]）を用いた。また皮膚表面側電極は、容器の把手や表面部に貼った銅箔テープに接続している。銀素材の棒をストローに刺し銅箔部を把持して飲料を飲むと、ストロー内を流れる飲料、口内、そして腕を通して電気回路が生成され、電気味覚が付加される。また、回路内に可変抵抗器を設けているため、体験者は出力の ON/OFF や強度を任意に変更できる（図 1）。

容器は皮膚表面電極となる銅箔や可変抵抗器を設置する外側容器と、飲料を注ぐ内側容器に分割した。これは、装置配線と飲料の接触を避けるためと、体験者ごとの飲料交換を簡易にするためである。外側容器は市販の塩化ビニル製コップを用い、内側容器は市販の紙製コップを用いてい



図 1 飲料用一極型装置の外観

Fig. 1 Single-pole type apparatuses for drinking.

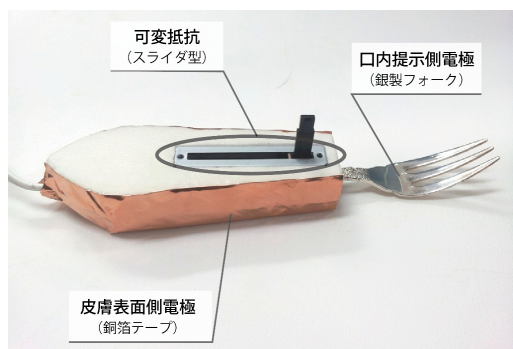


図 2 食料用一極型装置の外観

Fig. 2 Single-pole type apparatuses for eating.

る。外側容器は内側容器より大きいサイズのものをを用いているので、外側容器に内側容器をはめ込んで使用できる。そのため体験者は1つの飲料容器を持って飲料を飲むのとはほぼ変わらない環境で飲むことができる。

### 3.2 食料用一極型装置

食料用一極型装置の口内提示側電極はフォークを用い、フォークで食料を刺し、舌面に乗せる形で回路を生成している。2.2節でも述べたとおり、本装置の構成は中森らの食ベテルミン [8] と類似した構造となっている。

電極は飲料用装置と同様に安全面を考慮し、銀素材のフォーク (森銀器製, 20B-18 [30]) を使用した。また、皮膚表面側電極は、フォークの把持部に貼り付けた銅箔テープに接続している。食料用装置も飲料用装置と同じく銅箔部を把持することで皮膚表面との接触を確保している。

本装置も回路に可変抵抗器 (スライダ型) を設け、出力を任意に変更できるようにしている。把持部は口内提示側電極となるフォークおよび可変抵抗部が収納でき、さらに皮膚表面側電極と口内提示側電極を絶縁させる必要がある。そのためスチレンボードを把持部型に切断したものを3層に重ねて構築した (図 2)。

1層目には出力変更のための可変抵抗器 (スライダ型) をはめ込むため上部に2mmほどの余白を残し、長方形にくりぬき加工を施している。2層目は可変抵抗器 (スライダ

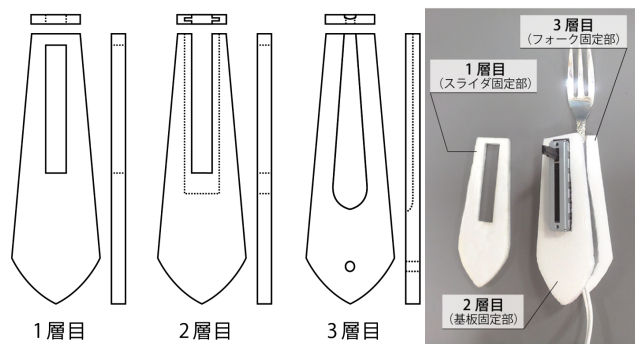


図 3 食料用一極型装置把持部の構造

Fig. 3 Gripper of single-pole type apparatuses for eating.

型) と接続される配線を半田付けした基板を固定するため、上部からスライダとほぼ同じサイズに切り抜き、切り抜いた断面に基板を差し込むための溝を設けている。最下層である3層目は、フォークを収納するために内側表面をボードの半分まで削るとともに、皮膚表面側の銅線を把持部となる外側表面に配置するための穴を開けている (図 3)。

フォークには口内提示側電極を貼り付けたうえで、接触によるショートを防ぐために柄の部分絶縁している。フォークおよび可変抵抗器 (スライダ型) を3層のスチレンボードにはめ込み3層を重ね合わせた後、3層目の外側表面と各層の側面部に銅箔テープを貼り付けている。このとき、3層目の外側表面が皮膚表面側の銅線と接触していることを確認する。本装置を用いて食料を食べた際には、フォークに刺した食料、口内、そして腕を介して電気回路が生成され、電気味覚が付加された食料が口内に提示される。

## 4. 実験

本章では一極型装置の極性切替えに対する動作確認と、飲食物へ付加した場合も極性ごとの味質の差異を感じるかを調査するために行った実験について述べる。

実験は飲料を対象とし、事前に実験者による試行で味の差異が感じられた健康飲料 (カゴメ株式会社, 野菜生活 Refresh! 瀬戸内レモン&ホワイトグレープ) を用い、陽極刺激を2回、陰極刺激を2回提示した。被験者は17名 (21~25歳, 男性12名, 女性5名) で、人体に電気刺激を提示することは事前に伝え、同意のうえで実験を開始した。

実験装置は本論文で提案している飲料用一極型装置である。ただし、皮膚表面電極部は被験者の持ち方による通電状態の差異を取り除くため、リストバンド型の電極を作成し、事前に被験者の右腕に固定させた (図 4)。また本装置は可変抵抗を有しているが、本実験では一定出力を提示して実験を行うため、事前に実験者が調整を行った。実験中は被験者には操作しないように教示したうえで、実験者が監視を行った。

提示刺激の出力は直流刺激 (9V 電池 2個) を用い、可変抵抗で回路の電位差が陽極刺激提示時、陰極刺激提示時



図 4 リストバンド型電極と装着時の状態  
Fig. 4 Electrode wristband.

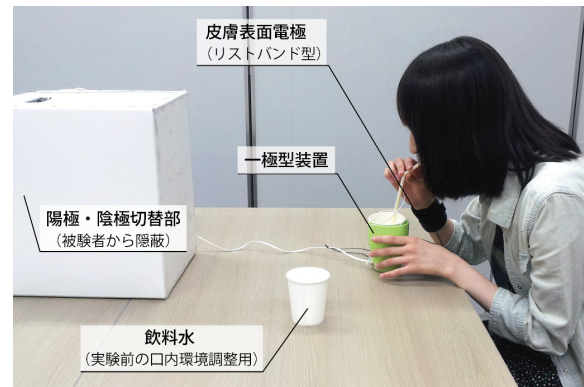


図 5 実験環境

Fig. 5 Experiment environment.

ともに 0.3~0.5 V 程度になるように調節した。またこの際人体に提示される電流は 150  $\mu$ A 程度となる。本来人体へ電気刺激提示を行う調査の場合、装置内部に人体の負荷抵抗を無視できる容量の内部抵抗を設け、個人間の人体負荷抵抗の影響を受けないようにする必要がある。しかし本実験および装置は厳密な出力強度の確保を必要としないので、既存の提示手法のように電極を直接舌面へと接触させず、飲料を介して提示する。そのため提示面積を一定にすることができず、たとえ内部抵抗で個人間の人体負荷抵抗の影響を排除しても提示面積による刺激強度の違いの影響を受ける。そのため本実験では味質の変化を感じられるとされる一定出力を対象に、味質の差異を感じられるかを評価し、極性変化時の動作確認を行った。

#### 4.1 実験手法

被験者には陽極刺激、陰極刺激をそれぞれ付加した試料を飲むよう指示した。提示回数は陽極刺激、陰極刺激ともに 2 回である。実験前には、口内を基準の状態に維持するために水を飲ませている。

被験者には事前に試料を 4 回飲むこと、すべての試料を飲んだ後にそれら 4 つの飲料をグルーピングするタスクを与えることを教示した。被験者が口頭でグルーピング結果を回答した後、グループごとの特徴についてヒアリングを行った。ここでは語群は用いず、自由回答とした。また、最後に非通電状態の飲料を飲ませ、先にグルーピングした飲料との比較について質問し、提示刺激が電気味覚付加によるものであることを確認した。実験は開目状態でを行い、陽極刺激と陰極刺激の切替え部が被験者から見えないうに隠蔽した (図 5)。

#### 4.2 実験結果

被験者ごとのグルーピング結果および通電時と非通電時の味質の差異についての結果は表 1 のとおりである。

実験の結果、17 名中 16 名の被験者が正しくグルーピングすることができた。通電状態と非通電状態の差異は 9 名の被験者が明確に区別できた。しかし 7 名の被験者からは差異を感じるものの陰極刺激と類似しているという回答を

表 1 被験者ごとのグルーピング結果

Table 1 Results of grouping per subjects.

被験者	グルーピング結果 (正答=○)	通電-非通電間の 味質の差異
A	○	陰極刺激に近い
B	○	区別できる
C	○	区別できる
D	×	同じ
E	○	区別できる
F	○	区別できる
G	○	陰極刺激に近い
H	○	区別できる
I	○	陰極刺激に近い
J	○	区別できる
K	○	陰極刺激に近い
L	○	区別できる
M	○	陰極刺激に近い
N	○	陰極刺激に近い
O	○	陰極刺激に近い
P	○	区別できる
Q	○	区別できる

得た。また、被験者への実験後のヒアリングから、本実験での出力強度の場合、陽極刺激は酸っぱい味、トマトのような味、金属味とともにピリピリとした刺激を感じる場合が多く、陰極刺激は苦味を感じる、元の飲料の味がまろやかに感じられるという意見が示された (表 2)。

### 5. 考察

被験者 17 名中 16 名が極性による味質の変化を正しく分類できたことから、一極型装置が極性を変化させた場合でも正しく動作すること、極性変化による味質の差異が飲料を介した際にも感じられることが明らかとなった。このことから、一極型装置では極性ごとに異なる味を提示することができ、二極型装置より多くの味を提示できることが確認されたといえる。

表 2 各極刺激の感想

Table 2 List of impression about anodal and cathodal stimulation.

陽極刺激	陰極刺激
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ツンとした味</li> <li>・ 金属味を強く感じる</li> <li>・ ピリピリとした刺激がある</li> <li>・ トマトのような酸っぱさ</li> <li>・ これまで体験した電気味覚の味質と同じ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 元の飲料の味質に近い</li> <li>・ 苦味を感じる</li> <li>・ 弱い金属味を感じる</li> <li>・ まるやかに感じる</li> <li>・ 体験した電気味覚の中では新しい味</li> </ul>

また、味質に対するヒアリングからも、陽極刺激では酸っぱい味や金属味を多くの被験者が感じ、陰極刺激では苦味に似た味が感じられたことから、先行研究の知見と同様の変化が感じられることが示唆された。加えて、陽極刺激でトマトのような味がしたという回答があったこと、陰極刺激で味がまるやかになったという回答があったことから、飲料への味質の付加が、飲料の味の変化のように感じられる可能性が示唆された。

これまでに著者らは電気味覚の出力強度や ON/OFF のパターン変化による味質の違いについて調査をしてきたが、これに極性による変化を加えることで、単一の味の飲食物に対し多様な味を付加できることが考えられる。出力強度などをより詳細に調整することで、極性変化による味質の差異のみで飲食物の味を多様に変化させられるのではないかと考えられる。

本実験は一極型装置の極性変化に対する動作確認と、飲料への付加に対しても味質の差異を感じるかについて調査した基礎調査となっている。そのため人体の負荷抵抗や個人の味覚感度は考慮しておらず、陽極刺激、陰極刺激ともに電位差は一定に保たれている。そのため実験後のヒアリングから得られた「陽極刺激より陰極刺激のほうが非通電状態と類似した味質に感じる」という意見は、先行研究における陽極刺激のほうが陰極刺激よりも味の差異を明確に感じるという知見に沿っていると考えられる。

そのため、極性ごとに出力強度を調整する、人体への負荷抵抗を考慮した回路を用いるといった改良で、さらに弁別精度は向上すると考えられる。とはいえ、本実験ではほぼすべての被験者が味質の差異を感じられたことから、現行の一極型装置を用いて、極性変化による味質の差異を提示することは可能だと考えられる。

## 6. 提案装置を用いた試行とその考察

### 6.1 フォーク型の装置を用いた食料での試行とカップ型装置を用いた飲料での試行

著者らは日常的に一極型装置を用いた試行を続けている。これらの試行の中でも極性による味質の差異が確認さ

れたうえで、飲食物に付加した場合特有といえる風味の変化が生じている。

試行で用いているのは著者らの提案する一極型装置の食料用、飲料用両方である。ここでは、フォーク型の食料用一極型装置で試行した塩味を含む食料での極性変化による味質の差異と、カップ型の飲料用一極型装置で試行した酸味を含む飲料、苦味を含む飲料での試行について述べる。

試行では、著者らが用意した陽極提示用電源と陰極提示用電源(9V電池2個)を利用者に渡し、任意に切り替えて飲食物に付加させている。また、出力強度は、実験では一定出力としているが、本試行では利用者に様々な強度で試すよう教示したうえで、利用者による変更を認めている。

### 6.2 試行から得られる飲食物への付加で生じる効果についての知見

上記の試行から、フォーク型装置を用いた塩味を含む食料、カップ型装置を用いた酸味を含む飲料、苦味を含む飲料において、次のような知見が得られた。

まず、塩味を含む食料に、フォーク型の食料用一極型装置を用い、陽極、陰極ともに最大出力またはそれに近い出力を飲食物に付加した際には、先行研究で述べられているような極性ごとの味質の差異を感じるほか、刺激や電気的な味、痛みを感じる場合があることが述べられた。

それに加え、比較的弱い出力(最大出力の50%以下程度)を行った場合には、陽極刺激の付加では「食料がもともと有している塩味や魚の風味が強く感じられる」というような、元の食料の風味が増強される知見が得られた。またこの出力を止めた後は、複数の利用者が「食料の味が淡泊になった」と感じられると述べ、陽極刺激提示による味質との違いを感じられることが確認された。

さらに、陰極刺激を比較的弱い出力で提示した場合には、複数の利用者から付加中には「食料の風味が減ったように感じられる」「塩味が薄くなった」というような、元の食料の風味、特に塩味が減損されるという知見が得られた。また陰極刺激は、出力を止めた後は「食料の味が付加前より強く感じられる」と述べる利用者も見受けられた。

酸味を含む飲料、苦味を含む飲料においても、極性による味質の制御を示唆する知見が得られた。酸味を含む飲料で行った場合は、陽極刺激により酸味が増し、陰極刺激により元の酸味を含む飲料が有している酸味が感じられなくなったという知見を得ている。逆に苦味を含む飲料では、陽極刺激は苦味を含む飲料と乖離した味と感じられるほか、苦味を含む飲料の刺激感を増強させ、陰極刺激では苦味を含む飲料の苦味が増したという意見が得られている。

### 6.3 食品や飲料を介した直接的な電気刺激とは異なる要素についての検討

このように、電気味覚によって付加される味質の差異や、

実験での陽極刺激による「トマトのような風味」や陰極刺激による「まろやかな味になった」という風味の変化だけでなく、食材が有する風味の増強や減損が起こることが確認された。これらの変化は電極を直接舌面に当てて電気刺激を提示する手法からは得られないものである。このことから、本論文における飲食物を介した場合の極性による味質の差異は、直接舌面に電気刺激を提示する以上の効果が得られることが示された。

これらの知見のうち、特に塩味を含む食料における味質の変化や増強・減損効果については、その効果を裏付ける可能性のある論文が確認されている。Hettingerらの研究では、塩溶液に陰極刺激を付加した際に塩味が阻害される可能性があることが示されている [31]。この中では塩味を提示する単純な溶液での知見のみが記されているが、著者らの試行の中で飲食物のように複雑な味を持つものの場合でも、塩味の阻害が見受けられることが確認された。

また、著者らの試行ではHettingerらの論文では未着手である酸味や苦味に対する増強や減損の可能性が見出されている。このことから、電気味覚の極性変化で感じられる味質の差異は、飲食物に付加された場合には、単なる味の付加による差異以上の味質制御ができることが示唆されたと考えられる。

## 7. おわりに

本論文で著者らは電気味覚を飲食物に付加する装置として、新たに人体を回路に用いる一極型装置を提案した。一極型装置は両極型装置のデモンストレーションから得られた知見をもとに、ユーザビリティを考慮して作成した。そして一極型装置の作成によって、両極からの電気味覚出力を口内に提示する両極型装置では不可能である各極からの異なる味質提示が可能となった。

本論文では、一極型装置が極性を変化させても動作するかを確認するとともに、陽極刺激と陰極刺激で味質の差異があるという先行研究の知見に基づき、飲食物を介した際にも同様の味質の差異を感じられるかについて調査した。実験の結果、ほぼすべての被験者が極性による味質の差異を感じる事ができた。また、先行研究と同じく、同じ強度で出力した場合、陽極刺激のほうが明確に味の差異を感じられることが明らかとなった。このことから、一極型装置では極性ごとに異なる味の提示が可能で、二極型装置より提示できる味のバリエーションが広がることが確認されたといえる。

さらに、実験や試行の中から、電気味覚を飲食物に付加した場合の極性変化は単に付加される味の差異を生み出すだけでなく、食材が有する風味を増強または減損させられることが示唆された。この知見は、舌面への直接提示による評価のみから得ることは難しいと考えられる。そのため本論文は、実験や試行を通して、飲食物を介しても極性の

差異による効果があることを確認したうえで、新たに直接舌面に電気刺激を提示する以上の効果を示唆しているものであるといえる。

これまで著者らは電気味覚を飲食物に付加する装置を開発し、その装置の活用による食および料理分野への新たな活用の可能性について提案や議論を行ってきた。本論文で対象とした一極型装置と、一極型装置によって可能となる極性変化の差異による味質の変化、そして味質の増強・減損制御は、より豊かな味質提示の可能性を示唆するほか、その効果で食習慣を改善する可能性も秘めているといえる。

また、著者らは提案装置で飲食した際に起こる回路内の電気的变化を活用し、提案装置を味質の出力装置だけでなく入力装置として用いる手法を構築してきた。この手法に対しても、今後は極性の変化による回路内の電気的变化を活用した入力装置として展開することができると考えられる。さらに、外部情報のセンシングを電気味覚に置き換え出力する味覚の拡張手法においては、外部からの情報にあわせ、極性も変化させることで、人体に安全な環境の場合とそうでない場合の明確な提示なども行えると考えられる。

今後人体の負荷抵抗を考慮した装置の改良や、出力強度の調整を行ったより詳細な実験により、一極型装置を用いた極性変化による電気味覚の味質提示の可能性と制限について調査を行う予定である。そしてこれまで提案した各種活用法への応用用途として展開することで、電気味覚の提示とそれによる味質変化の食や料理分野へのさらなる貢献を行っていきたいと考えている。

## 参考文献

- [1] Volta, A.: On the electricity excited by the mere contact of conducting substances of different kinds, *Philosophical Trans. Royal Society of London*, Vol.90, pp.403-431 (1800).
- [2] 富山紘彦, 富田 寛, 奥田雪雄: 電気味覚の正常値, 日本耳鼻咽喉科学会会報, Vol.74, pp.58-65 (1971).
- [3] Lawless, H.T., Stevens, D.A., Chapman, K.W. and Kurtz, A.: Metallic taste from electrical and chemical stimulation, *Chem. Senses*, Vol.30, pp.185-194 (2005).
- [4] リオン株式会社電気味覚計 TR-06, 入手先 (<http://www.rion.co.jp/asp/product/me/ProB.asp?pos=B16>).
- [5] Kramp, B.: Electro-Gustometry: A Method for Clinical Taste Examinations, *Acta Oto-laryngologica*, Vol.49, No.1, pp.294-305 (1958).
- [6] Harbert, F., Wagner, S. and Young, I.M.: The quantitative measurement of taste function, *Archives of Otolaryngology*, Vol.75, pp.138-143 (1962).
- [7] 中村裕美, 宮下芳明: 飲食物+電気味覚, 第18回エンタテインメントシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS2010), pp.204-206 (2010).
- [8] 中森玲奈, 塚田浩二, 椎尾一郎: 食ベテルミン, インタラクシオン 2011 論文集, Vol.2011, No.3, pp.367-370 (2011).
- [9] 佐藤昌彦: 味覚の科学, pp.183-189, 朝倉書店 (1997).
- [10] 富田 寛, 少名子正彬, 山田 登, 都川紀正: 電気味覚計 (Elgustometer): 2, 3 の基礎的問題, 日本耳鼻咽喉科学会会報, Vol.72, No.4, pp.868-875 (1969).

[11] Nakamura, H. and Miyashita, H.: Communication by change in taste, *Proc. 2011 Annual Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pp.1999-2004 (2011).

[12] 中村裕美, 宮下芳明: 電気味覚を活用した飲食コミュニケーションの可能性, 情報処理学会研究報告, Vol.2011-HCI-142, No.11 (2011).

[13] 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, インタラクシオン 2011 論文集, Vol.2011, pp.461-464 (2011).

[14] Nakamura, H. and Miyashita, H.: Augmented Gustation using Electricity, *Proc. 2nd Augmented Human International Conference (AH2011)*, pp.34:1-34:2 (2011).

[15] 中村裕美, 宮下芳明: 電気味覚による味覚変化と視覚コンテンツの連動, 情報処理学会論文誌, Vol.53, No.3, pp.1092-1100 (2012).

[16] Bujas, Z.: Sensory effects of continuous and repetitive electrical stimulation of the tongue, *Proc. 6th International Symposium on Olfaction and Taste*, pp.265-271 (1977).

[17] Kashiwayanagi, M., Yoshii, K., Kobatake, Y., et al.: Taste transduction mechanism: Similar effects of various modifications of gustatory receptors on neuronal responses to chemical and electrical stimulation, *J. Gen. Physiol.*, Vol.78, pp.259-275 (1981).

[18] 富田 寛, 富山紘彦, 奥田雪雄: 電気味覚計, 耳鼻咽喉科展望, Vol.12, No.1, pp.53-56 (1969).

[19] Arnoldussen, A. and Fletcher, D.C.: Visual Perception for the Blind: The BrainPort Vision Device, *Retinal Physician*, Vol.9, No.1, pp.32-34 (2012).

[20] Ranasinghe, N., Cheok, A.D., Fernando, N.N.O., Nii, H. and Ponnampalam, G.: Electronic taste stimulation, *Proc. 13th International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp '11)*, pp.561-562 (2011).

[21] Vazquez-Buenos Aires, J., Payan, Y. and Demongeot, J.: Electro-stimulation of the tongue as a passive surgical guiding system, *Proc. IEEE ICAR '03*, Coimbra, Piscataway, de Almeida, A.T. and Nunes, U. (Eds.), pp.638-643 (2003).

[22] Tanaka, T., Sato, K., Komiya, K., Kobayashi, T., Watanabe, T., Fukushima, T., Tomita, H., Kurino, H., Tamai, M. and Koyanagi, M.: Fully Implantable Retinal Prosthesis Chip with Photodetector and Stimulus Current Generator, *IEEE IEDM 2007*, pp.1015-1018 (2007).

[23] Kajimoto, H., Inami, M., Kawakami, N. and Tachi, S.: SmartTouch: A New Skin Layer to Touch the Non-Touchable, *Proc. ACM SIGGRAPH 2003*, Vol.30 (2003).

[24] Matoba, Y., Eto, H., Sato, T., Fukuchi, K. and Koike, H.: Biri-Biri: Pressure-sensitive touch interface with electrical stimulation, *13th Virtual Reality International Conference* (2011).

[25] 安藤英由樹, 渡邊淳司, 杉本麻樹, 前田太郎: 前庭感覚インタフェース技術の理論と応用 (バーチャルリアリティ, <特集>インタラクシオン技術の原理と応用), 情報処理学会論文誌, Vol.48, No.3, pp.1326-1335 (2007).

[26] 長嶋洋一, 赤松正行, 照岡正樹: 電気刺激フィードバック装置の開発と音楽パフォーマンスへの応用, 情報処理学会研究報告, Vol.2002, No.40, pp.27-32 (2002).

[27] Stelarc: Prosthetics, Robotics and Remote Existence Postrevolutionary Strategies, *Leonardo*, Vol.24, No.5, pp.591-595 (1991).

[28] Duchenne, B.A.G.: Mécanisme de la Physionomie Humaine, ou Analyse Électro-Physiologique de l'Expression

des Passions (1862).

[29] ニラコ社 AG-402541, 入手先 (<http://nilaco.jp/jp/order/?DIR=PURE&MENU=15&CODE=&FROM=14&ITEM1=Silver&ITEM2=Rod>).

[30] 森銀器 20B-18, 入手先 (<https://www.0-web.jp/moriginki/item.php?id=191>).

[31] Hettinger, T.P. and Frank, M.E.: Salt taste inhibition by cathodal current, *Brain Res. Bul.*, Vol.80, No.3, pp.107-115 (2009).



中村 裕美 (学生会員)

2009年日本大学芸術学部音楽学科情報音楽コース卒業, 2011年明治大学大学院理工学研究科新領域創造専攻修士課程修了, 現在, 同大学院博士後期課程在学中. 2011年度同大学理工学部助手. 2012年度より日本学術振興会特別研究員 (DC2), 現在に至る. IPA 独立行政法人情報処理推進機構未踏 IT 人材発掘・育成事業 2010年度未踏ユース採択, スーパークリエイター認定. 電子情報通信学会学生会員, ACM 学生会員.



宮下 芳明 (正会員)

1976年生まれ. 2006年北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科博士後期課程修了. 同大学科学技術開発戦略センター研究員を経て, 2007年より明治大学理工学部情報科学科専任講師, 2009年同准教授. 2008年より明治大学大学院理工学研究科新領域創造専攻デジタルコンテンツ系にも所属, 現在に至る. 博士 (知識科学). ソフトウェア科学会, ACM 各会員.