

電気味覚による味覚変化と視覚コンテンツの連動

中村 裕美^{1,a)} 宮下 芳明^{1,2}

受付日 2011年6月20日, 採録日 2011年12月16日

概要: 本論文では映像やゲームと味覚変化を連動させるシステムを提案する. 電気味覚の可逆性と即時性を生かすことで, 飲食を行いながら映像を鑑賞しているユーザの飲食物の味を特定のタイミングで変化させることができる. 電気味覚についての生理学的実験では, 提示面の大きさなどが厳密に定められている. 本研究で用いている装置は口内に電気を提示するのに飲食物を介するため, 提示面を一定に保てない構造となっており, 生理学的な知見に単純に依拠することはできないため, 提案システムにおけるレイテンシを確認する実験も行った.

キーワード: 電気味覚, 複合感覚提示, エンタテインメント

A System Combining Change of Taste and Visual Contents

HIROMI NAKAMURA^{1,a)} HOMEI MIYASHITA^{1,2}

Received: June 20, 2011, Accepted: December 16, 2011

Abstract: In this thesis, we propose a system that combines video contents and taste by making use of the reversibility and instantaneity of electric taste. In order to do so it is necessary to determine the timing of presentation based on the different latency before perception of each sense. In this thesis the latency from presentations of electric taste and visual stimuli to their perceptions were measured as basic evaluations for a contents presentation system in which electric taste and video programs are synchronized.

Keywords: electric taste, multimodal information system, entertainment

1. はじめに

われわれは外界の知覚を行う際に感覚器からの情報を用いる. これらの情報は生存や行動の判断に影響を与えるだけでなく, 殊に人間においては各種感情を誘起させる. そのため, 感覚提示技術はこれまで情報提示だけでなく, 高臨場感を与える技術やエンタテインメント技術として数多く提案されてきた.

感覚提示技術の中でも特に視覚や聴覚に関するものはこれまで数多くの研究や提案が行われてきた. 視聴覚刺激は

物理的特性によるものであり, これまでに基準となる要素も数多く発見されている. そのため提示や制御による効果が比較的予測しやすく, システムの構築も行いやすい. それに続き, 近年では触覚提示研究も進み, 汎用化されつつあるタッチパネル入力へのフィードバックなどで活用されている.

しかし, 味覚や嗅覚を対象としたものは上記の感覚と比べ少ない. 生理学分野では刺激に対する応答や刺激物質の解明に向け研究が行われているが, 現在汎用的な技術として応用できるものは多くはない.

また, 味覚提示を対象とした場合, 加工や制御のうえで不可逆性が問題となる場合も多い. 基本的に味質を変化させる物質は1度添加すると取り除くことは難しい. よって意図した提示を行うには味質を変化させるごとに摂取する飲食物を取り替える, 提示面を洗い流すなどの動作が必要である. そのため味質の変化を可逆かつ即時に行う手法と

¹ 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

Program in Digital Contents Studies, Program in Frontier Science and Innovation, Graduate School of Science and Technology, Meiji University, Kawasaki, Kanagawa 214-8571, Japan

² 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

して、他感覚や食環境への刺激による擬似的な味質の変化を提示する手法が提案されている(2章参照)。提示手法だけでなく、味覚変化の検出も特殊な装置が必要であり、味覚変化を用いたエンタテインメントシステムの提案を困難にしている。

本研究では味覚提示に電気味覚を用いる手法を提案している。電気味覚は電氣的刺激が舌に与えられた際に感じられる味覚である。電気味覚は発見から250年以上が経過しており、これまで生理学の実験によりその特性が解明されている。電気味覚計が味覚検査に活用されることも一般的である。検査用途以外にも、視覚情報の代替提示メディアとして電気味覚を活用した事例も多い(2章参照)。

提案システムを用いると、通電時かつ閾値以上の電気刺激であるときに味質の変化を感じられるため、飲食物の味質を可逆かつ即時に変化させることができる。そして通電状態の検知を用いることで、味覚として感じられる電圧の場合は味質変化の検知を、閾値以下の電圧の場合は使用者が飲食していることを検知できる。そのため飲食行為をトリガとしたエンタテインメントシステムの提案も従来よりも簡便に行うことができるだけでなく、視聴覚などのメディアと組み合わせることで映画やゲームなどのエンタテインメントコンテンツの臨場感増加にもつながる。

そこで本論文では電気味覚の可逆性と即時性を生かした映像コンテンツと連動するエンタテインメントシステムの提案を行う。コンテンツ制作にあたっては感覚ごとの知覚までの遅延時間(レイテンシ)の差をふまえ提示タイミングを調整することも考えられるため、提案システムを用い、電気味覚と視覚刺激それぞれの提示から知覚までのレイテンシも計測した。

味覚および電気味覚における提示から知覚までのレイテンシはすでに調査事例がある(2章参照)。通常の味覚刺激、電気味覚刺激ともにレイテンシは数百msから1秒程度である。ここで報告されている実験は生理学的要素の解明のために行われているため、提示面の大きさによって刺激強度に影響が出ないよう厳密に統制がとられている。本論文で提案している装置は飲食物を介在させた提示を行っているため提示面は一定ではない。そのため生理学の実験装置としては適切でないものの、飲食物に介在させる手法を提案すること、そしてそれを他感覚と連動させて用いることは、エンタテインメント分野の発展に寄与すると考えられる。

現実世界を模倣した提示では特別にレイテンシを考慮した調整を行わなくても現実世界と同一なので問題ないが、非現実的なエンタテインメント表現の際には、レイテンシを考慮することで意図した提示を安定して行うことができるはずである。

提案システムの活用例については、たとえば以下のような使い方ができると考えている。まず、映画などの映像コ

ンテンツ鑑賞時である。映像の中に登場する人物が飲食するのにあわせて、当システムで電気味覚を提示することで、鑑賞者は登場人物の味覚を擬似的に体験することができる。提示できる味は現段階で限られるものの、作品への没入や登場人物への感情移入を助けるはずである。

次に、ゲームなどのインタラクティブ性の増強が考えられる。たとえば、ゲーム内のキャラクタが殴られたときに電気味覚を提示し口内の流血を想起させる、操作している吸血鬼などのキャラクタが血を吸ったときにその味を提示する、または暗闇の中での移動など視覚情報が希薄な状況で操作キャラクタに何らかの異変が起こったことを伝えるなどの場合に活用できる。こうした表現はこれまで聴覚情報や振動などで行われてきたが、そこに味覚での提示を加えることで、ゲームのインタラクティブ性を増強させ、新たな表現を開拓できると考えている。

非現実的な提示や、操作者の心理面に応じた提示の場合、レイテンシを考慮する場面もあると考えられる。たとえば、吸血に対する味覚提示の場合、強い刺激として提示するのは映像上で操作キャラクタが吸血を行ったときに提示すればよいが、その直前に操作キャラクタの心理の中で血の味を想起する演出を行う場合、視覚刺激が与えられる直前に提示する必要がある。このときには、電気味覚刺激の当システム利用時のレイテンシを考慮することで、確実に視覚刺激より先に提示することが可能となる。

ゲームなどのエンタテインメントコンテンツでは、非現実的な提示や心理面を反映させた提示も作品の表現を豊かにする1つの手法である。そのような提示にも対応できるよう、本研究では提案システムを用いた場合の電気味覚刺激のレイテンシについて調査を行った。

2章では、本研究に関連する研究について紹介する。3章で電気味覚を飲食物に付加するインタフェースについて述べたのち、4章で基礎評価である視覚・電気味覚それぞれの情報提示から知覚までのレイテンシ計測とその結果について述べ、5章で考察を行うとともに本提案を用いた視覚・味覚同時提示システムおよびエンタテインメントシステムについて議論を行い、本研究の課題と展望について述べる。

2. 関連研究

2.1 味覚および電気味覚とその活用

味覚の構造および受容・応答については、主に生理学分野で古くから研究されている。味覚器はヒトの場合主に口内、特に舌面上に多く存在する味細胞によって受容と伝達が行われる。細胞の口腔側が飲食物に含まれる化学的物質を受容し、それらによる脱分極で発生する電位が、活動電位として基底側から味神経に伝達される。この反応は

- イオンが直接細胞内に流入して起こる脱分極
- 舌面上に存在するタンパク質などと味物質とが反応を起こし、レセプタに結合しておこる脱分極

● 味物質と舌面との界面電位による脱分極があるとされている。

味覚は現在基本味となるものが甘味・塩味・酸味・苦味・うま味に定められている。これら基本味の受容と応答についてはすべてが明らかにはなっていないものの、多くの化学物質と味細胞の応答がこれまで発見されている。これらを活用し都甲は生体膜を模倣した脂質高分子膜を用い味覚を計測する味覚センサを開発している [1]。

味覚刺激を与えてから味覚が生じたことを押しボタンを押すなどの方法で表現するまでの時間を味覚反応時間という [2]。味覚反応時間は単純反応時間（何らかの味覚が生じるまでの時間）と複雑（あるいは味質）反応時間（ある特定の味質を感じるまでの時間）があり、同一の味刺激で比較した場合前者のほうが約 150 ms 短いとされている [3]。一般的に味覚反応時間は前者の単純反応時間を指すことが多い。

また反応時間は刺激濃度、刺激強度および刺激面積が大きくなると減少するとされている。山本らはうま味以外の 4 基本味において、反応時間 (T)、刺激強度 (C) の間に $T = a + b/C$ (a, b は定数) で示される直角双曲線の関係が成立すると報告している [4]。彼らの報告によると先端直径 4 mm のピペットで各溶液を 3 ml 舌面に注いだとき、酒石酸は 430 ± 59 ms、食塩は 433 ± 86 ms、シヨ酸で 652 ± 98 ms、塩酸キニーネの場合 750 ± 158 ms となっている。

山本らの電気味覚計を用いた味識別反応時間の報告では、 $4.2 \sim 406 \mu\text{A}$ の直流通電を 1.5 s 与えたときの反応時間 (T) は電流の大きさ (I) を刺激の大きさとしたときに、化学刺激の場合と同じく $T = a + b/I$ となるという見解を述べている [5]。

電気味覚は、1754 年に Sulzer が 2 種の金属を舌面上に載せたことから発見され、その後 1792 年に Volta が一方の金属から他方へ舌組織を通り電流が流れることから起こる味覚という仮説を立てた [6]。味について、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、その後の同様の実験でも類似した感想が得られているものの、実験者により味質の表現には差異がある [7]。陰極側に比べ陽極側のほうが強く味を感じられるとされており、直流陽極刺激では触覚とは明らかに異なる金属味や酸味などが感じられるとされている [6]。

その後、単一乳頭を電氣的に刺激した際、それぞれの乳頭に固有の 1 種類の味が感じられると報告されたこともあったが、これらはその後の追試で同じ結論を得られてはいない。電気刺激による味覚を伝達する鼓索神経の応答は、陽極刺激が与えられた際および陰極刺激を切る際に大きな応答が現れるとされている。またそのダイナミック応答においては急こう配の電流変化に対して大きく、ゆっくりとした電流変化に対しては小さい [7]。

50 年ほど前から、電気味覚は検査用途として用いられることが多くなり [8]、電気味覚計も開発された [9]。味溶液を利用した味覚検査に比べ定量的に計測でき、検査時間も短縮できるが、単一の味覚のみでの調査になるため（甘味が受容されているかなどは計測不可）がんや糖尿病などの特有の疾患の場合か、細胞の応答を調べる用途での簡易検査として普及している。これらの背景を受けてこれまで電気味覚の味質や閾値について調査が行われてきたが、日本人を対象とした富山らの調査によると、年齢上昇による閾値の上昇、左右差・性別差・喫煙歴・義歯・金属冠による閾値変化に有意差がないこと、味質として基本味すべてを感じるものの金属味が最も多く、ついで塩味が多いことなどが明らかとなった [10]。

また電気味覚の活用例では、Bach-y-Rita らの Tongue Display [11] やその技術を改良して作られた Wicab 社の BrainPort [12] での視覚刺激を電気刺激に変換し舌面に提示する機構に用いられている。前者の Tongue Display についての報告の中では電気刺激として $0.4 \sim 2.0$ mA の電流を用いていること、簡単な形状の把握が可能であることが述べられており、医療分野での情報提示用途に向けた提案も行われている [13]。

情報科学やその他の分野でも、これまでにさまざまな味物質やその複合物を用いて味を提示する研究はいくつか行われてきた。Aminzade による Edible Bit [14] では、数種類の用意された化学物質を提示し、味によってネットワークの状態を伝えるアプリケーションなどを開発している。大和田はゼリーの中に粒子を出力し三次元形状を提示できるゼリープリンター [15] を開発し、橋田らはドライフルーツを画素とした食べられるディスプレイシステム [16] を提案している。他にも、摂取可能な紙とインクを用いて印刷した食材画像の上に味覚を感じさせる化学物質を塗布した食品の味がする印刷物を制作するシステム [17] や、砂糖を材料とした 3D モデル出力システム [18] など提案されている。

2.2 味に影響を与える他感覚や環境について

広義での味が味覚のみから形成されるものではないことは以前からいわれており、都甲らはおいしさを形成する構造を提唱している [19]。味により強く影響を与えるのは嗅覚や食感などだが、視覚や聴覚も影響を与える。それだけでなく、飲食する環境や食文化も、広義での味には影響を与えるとされている。このような味を構成する他感覚を用いた研究は、情報科学分野でも行われている。

視覚や嗅覚など他感覚を用いて擬似的に味を変化させるものでは鳴海らによる Meta cookie [20] や LED 光源による色の変化を用いた味の擬似的変化 [21] などがあげられる。これらは直接的に味を変化させず、画像や色の重畳、香料の放散などを行うことにより、味を擬似的に変えられるも

のである．同じく味に影響を与える食感を提示するものでは，Hashimoto らによる Straw-like user interface [22] や山岡らによる Tag candy [23] などがある．これらは振動刺激と音を用いた食感を再現させる機構を有している．そのほか，飲食を行う環境に対してアプローチを行ったものでは，Mori らによる DiningPresenter [24] や，Chung らによる Lover's Cup [25] などがある．DiningPresenter では食器やテーブルに情報を重畳させることができ，飲食物がよりおいしく見える色を食器のふちに投影したり，食事に関する情報を投影したりすることで，食べ物をおいしく食べさせるとともに食環境を豊かにしている．Lover's Cup では飲む行為を光などにより遠隔地に伝えることで，離れていても同じタイミングで飲んでいることなどが伝えられ，飲食による親密さの向上を助ける役目を持っている．

2.3 電気の性質を活用した感覚提示・情報の操作

電気刺激や電気の性質を活用した感覚提示や操作は，他感覚では多く行われている．たとえば視覚では，小型電極の装着により人工視覚を提示することを可能としている [26]．触覚分野でも，電気刺激を活用した感覚提示は数多く行われている．Kajimoto らは電気触覚ディスプレイ [27] を提案するとともに，触覚における触原色の存在を定義している．そのほかにも TeslaTouch [28] や Biri-Biri [29] など，タッチインタフェースへの触覚フィードバックとして電気刺激は活用されている．また長嶋らは，電気刺激フィードバック装置を開発し，音楽パフォーマンスへの応用を図っている [30]．前庭感覚への電気刺激による体性感覚操作 [31] においても，安藤らが提案を行っている．これは耳後方に装着した電極から電気刺激を提示することにより，体性感覚を変化させることができるものである．また，2.1 節で取り上げた Tongue Display [11] および Brainport [12] も視覚情報を舌面に代替提示させるために電気刺激を用いている．

人体や皮膚表面の導電性を活用した提案もある．Baba らによる Freqtrix drums [32] は，電氣的機構を用いて触れることにより音が鳴る楽器として提案している．そのほかにも，中森らによる食べテルミン [33] は食事の際の食べ物の抵抗値に着目し，抵抗値の変化によりさまざまな音を生産するシステムとして提案されている．

2.4 口内および舌を用いた情報入力

舌の可動性を活用し，口内または口付近に装置を設置し情報入力を行う提案がこれまでされてきた．たとえば口内に入力キーを設置する Tongue Touch Keypad [34]，Trackpoint を活用した入力装置 [35] などが提案されている．そのほかにも舌に装着した磁石による磁気を口付近に設置した磁気センサで検出する手法 [36] も存在する．そのほかにも，ウェブカメラ画像を用いたテキスト入力も提案されている [37]．これは舌を左または右に動かす動作をモールス

信号にマッピングしたうえで，視覚的フィードバックを加えてテキストを入力させるものである．これらは基本的に車椅子操作など身体に障害があり手による入力が不便な利用者を対象に提案されている．

3. 電気味覚を飲食物に付加するインタフェース

われわれはこれまでに電気味覚を飲食物に付加するインタフェース [38] を提案してきた．本章ではその構造について電気を飲むインタフェース，食べるインタフェース [39], [40] に分けて述べたうえで，提案インタフェースの各種利用方法 [41], [42] について説明する．

3.1 電気を飲むインタフェース

電気を飲むインタフェースは，飲料を入れる容器と電気刺激生成回路，そして電気刺激を飲料に付加するストローで構成される．両極からの刺激を口内に提示する場合，2 つに分割した飲料容器と，陽極，陰極それぞれに接続された 2 本のストローを用いて回路を構成する（図 1）．各極に接続されたストローは分割した容器のそれぞれに挿入される．使用者がその 2 本のストローから両容器内部の飲料を飲むことによって，電気味覚の付加された飲料を味わうことができる．このとき電気刺激は飲料を介し口内に提示される．現在この回路にはスイッチが付加されており，飲みながらスイッチを押すと通電が行われる．

3.2 電気を食べるインタフェース

電気を食べるインタフェースは，食料に電気を提示する金属食器と電気刺激生成回路で構成される．両極からの刺激を口内に提示する際には，提示用の金属食器（フォークや楊枝など）2 本にそれぞれ陽極，陰極を接続し，それを食料に刺して食べる．このとき両極が食料に挿入されるため，電気刺激が出力された時点で通電が起こる（図 2）．舌は唾液により通電が起こりやすい状態になっているため，食料のみで回路が構成されていても舌が触れた際には電気刺激が双方に伝達される．

3.3 複数人での使用手法

上記のインタフェースは基本的に 1 人で使用することを

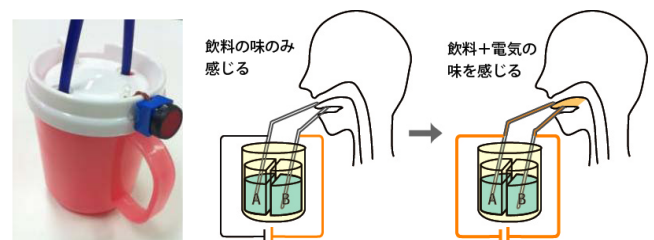


図 1 電気を飲むインタフェースと回路構成（両極版）（左：装置概観，右：通常時と飲食時の回路構成）

Fig. 1 Apparatuses and circuit to change the taste of drink.

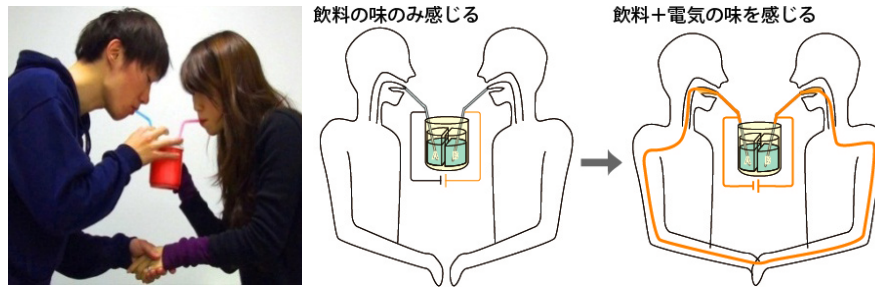


図 3 2人使用時の飲料の味覚変化と回路構成 (左: 利用手法, 右: 利用時の回路構成)

Fig. 3 Using straw type of apparatus by two users.

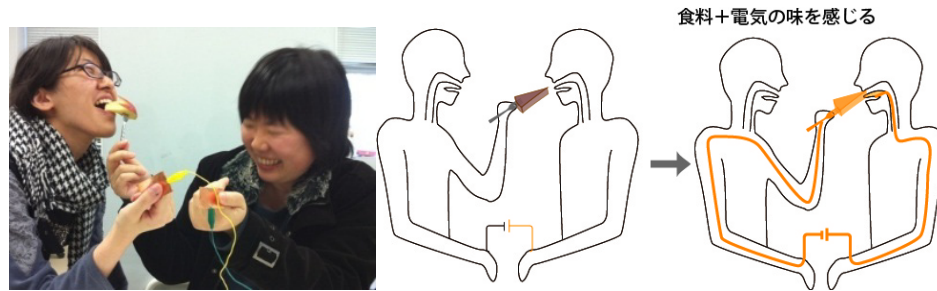


図 4 2人使用時の食料の味覚変化と回路構成 (左: 利用手法, 右: 利用時の回路)

Fig. 4 Using fork type of apparatus by two users.

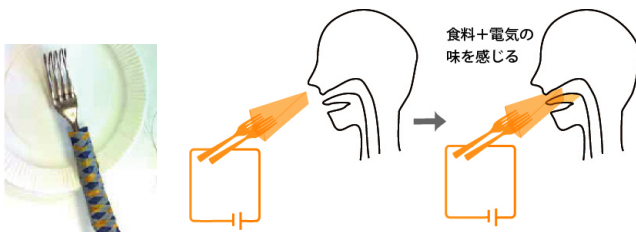


図 2 電気を食べるインタフェースと回路構成 (両極版) (左: 装置概観, 右: 通常時と飲食時の回路構成)

Fig. 2 Apparatuses and circuit to change the taste of food.

前提とした構成になっているが、2人で電気味覚の味覚変化を体験することもできる。相手に触れる、食べさせるなどの動作によって通電が起るため、1人での使用とは異なった活用用途を見出すことも可能である。ここでは、両極を口内に提示する飲料用インタフェースの2人での使用手法と食料用インタフェースを用いない食料用の使用手法について述べる。両極を口内に提示する飲料用インタフェースを2人で用いる場合、2人がそれぞれ1本のストローから飲料を飲み、その間に手をつなぐ、相手の皮膚に触れる動作を行うことで回路が構成される。このとき回路には両者の体も含まれる。そして両者が同時に電気味覚の付加された飲料を飲むことができる (図 3)。

食料の場合、提案した装置を用いずに味質の変化を与えることができる。2人がそれぞれ異なる電極を持った状態で片方が金属食器を持ち、他方に食べさせる。この動作で回路が構成され、食べさせられた側は電気味覚の付加された食料を味わうことができる。電極を皿などの食器や食卓

に付属させることでさまざまな食事環境に合わせた使用ができるものと考えられる (図 4)。

4. 実験

複数の感覚を組み合わせると、感覚どうしの一体感を増幅させることがある。一体感の増幅は提示したコンテンツ (ゲームや映像コンテンツなど) をより高い臨場感で体験することにもつながる。しかし、変化を提示したタイミングを同一に設定しても、それらが知覚されるタイミングは感覚によって異なる。そのため複数の感覚提示を構築する際には、各感覚の提示から知覚までにかかるレイテンシを計測し、タイミング調整の必要があるか否かを考える必要がある。これまでの複合感覚提示に関する研究でも、各感覚の知覚までのレイテンシは計測されてきた。たとえば、王らの機能性高分子を用いた嗅覚ディスプレイ [43] でも、嗅覚刺激の放散から知覚までのレイテンシ、停止から知覚されなくなるまでのレイテンシを計測している。

味覚および電気味覚の提示から知覚までのレイテンシ、いわゆる味覚反応時間はこれまでに報告されており、閾値近辺の弱い刺激で行わない限りレイテンシは1s以下になるとされており [2]、味覚および電気味覚でさほど差はない [4], [5]。現実世界を模倣する場合には視覚と味覚にレイテンシ差があったとしてもそれは実世界でも同様なので、通常レイテンシを考慮した調節は必要ない。しかし前述のようにエンタテインメント分野が得意とする非現実的な表現や心理描写表現などであえてタイミングをずらして提示する場合は、レイテンシの値を参考に調整を行う必要があ

るだろう。

これまで電気味覚の生理的解明のために行われてきた前述の実験では、提示面の大きさなどが厳密に定められている。一方、本研究で用いている装置は口内に電気を提示するのに飲食物を介するため、提示面を一定に保てない。そこで、生理学的な知見に単純に依拠することはできないため、提案システムにおけるレイテンシを再確認する必要がある。

本研究では飲食物を介在させて電気味覚を与えた場合にも先行研究と比較して異常な値とならないかを確認する実験を行った。また、これらの実験を踏襲する場合、異なる電流量の刺激を提示し比較実験を行う必要性も示唆されるほか、個人の閾値に合わせて調整を行う必要がある。本研究では確実に体験者全員が知覚できる電気刺激で提示したときに駆動可能かを調査するとともに、被験者全員が感知できる一定の電気刺激で先行研究と比較して同等の範囲内に収まる反応が見込めるかを対象としている。そのため、電気刺激の強さは1段階のみで行った。また、比較対象として視覚刺激の提示から知覚までのレイテンシも計測した。

4.1 実験手法

本実験では視覚刺激に矩形の色変化（黒から赤へ変化する）、電気味覚刺激に直流刺激による味質変化を用いた。視覚刺激の提示には液晶ディスプレイを、電気味覚刺激提示には3.1節で提案した両極を口内に提示する飲料用インタフェースを用いた。被験者には実験前に変化の概要を伝え、視覚刺激、電気味覚刺激ともに変化を感じたタイミングでスイッチを押すように指示した。実験前には実験装置を用いて数回の練習を行わせ、変化後の状態を学習させた。飲料用インタフェースは飲料を飲んでいる間に提示を行う必要があるため、各提示前に飲料を飲むように教示し、飲料が飲まれていることを確認したうえで電気味覚の提示を行った。視覚刺激は被験者の前方におかれたディスプレイに表示されている矩形の色に変化が起きたときスイッチを押すように指示した。視覚刺激の提示およびレイテンシ計測プログラムはCycling社のMax/MSPで作成した。

本実験では飲料にスポーツドリンクの一種であるポカリスエット（大塚製薬）を用いている。スポーツドリンクは電解質を多く含むため、電気味覚の提示に適している。被験者が確実に電気味覚刺激を感知できるようにスポーツドリンクを選出したものの、われわれのこれまでの調査で、提示する電気刺激の強度を増せば、他の飲料でも電気味覚を感じられることが明らかとなっている。

実験は視覚刺激の変化、電気味覚の変化それぞれ別に行った。試行回数はそれぞれ14回であるが、電気味覚刺激の場合被験者の飲料の飲み方などから味質の変化を感じられないことが稀にあったため、それらは試行回数に含めず

に行った。また、実験による被験者の慣れを考慮し、視覚刺激の変化と電気味覚刺激の変化の試行順は被験者ごとにランダムとした。被験者は9名（男性7名、女性2名）である。舌面に提示される電圧は0.3~0.5 V、電流は1.8 mA以下であり、すべての被験者がこの刺激を味覚として感知可能であることは実験前に確認している。

4.2 実験に際しての安全性について

本研究は人体に電気刺激を提示するものであるため、その安全面に対しては考慮が必要である。そのため、われわれは口内提示に使用する金属や提示電気刺激の強さについても配慮を行っている。そのうえで、「明治大学理工学部遺伝子組み換え実験に関する安全及びヒトを対象とした実験研究に関する倫理委員会」へ本研究内の実験に対する申請を行い、承認を得ている。以下に、本研究における安全面への対策を述べる。

まず口内提示に使用する金属においては、先行研究ではステンレス製や銅製のものが用いられているものの、これまでの報告の中で金、銀、白金が有害物質発生を防止するのに有効であるという知見が得られているため、銀製の提示電極で行った。飲料型、食料型ともに銀素材の棒を用いて製作している。

また、電気刺激においては、先行研究であるTongue Display [11] では0.4~2.0 mA程度が好ましいと記述されている。電気味覚計では4~400 μ Aの出力がなされているが、これは味覚刺激の感知の有無を閾値の境界域で計測するものであるため、体験者が確実に感知するためには0.4~2.0 mA程度が必要であると考えられる。また、人体に与える電流量として、5 mA以下であれば、痙攣などの危険な状態を引き起こすことはないとされている[44]。本研究では人体に提示される電流量は1.8 mA以下となっており、提示電流としては安全な値の中に収まっているほか、先行の研究で提示されている範囲内にも収まっている。もちろん本研究で提示している電流量は被験者全員が確実に感知できるように設定しているため、提示される電流量を本実験以下に設定することも可能であると考えられる。

被験者においては事前に何らかの疾患、特に心臓に疾患がないかや妊娠の有無などを調査したうえで、疾患が見受けられず、妊娠の可能性のない被験者に対して実験を行っている。

4.3 実験結果

14回の試行のうち、視覚・電気味覚ともに計測結果の大きいものから2回、小さいものから2回を除いて、被験者ごとに視覚・電気味覚の情報変化の提示から知覚までのレイテンシを求めた（図5）。

すべての被験者で提示から知覚までの電気味覚のレイテンシは最短197 ms、最長1,149 msで被験者Aの1名を除

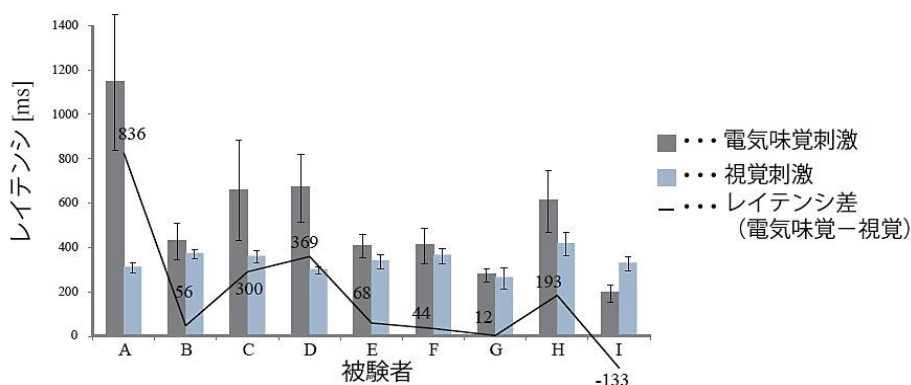


図5 視覚・味覚情報変化の提示から知覚までのレイテンシ平均

Fig. 5 Average of latency time during perceive stimulus change.

きすべて1s以内であった。またほとんどの被験者が、電気味覚刺激変化のほうが視覚よりもレイテンシが大きく、その差は最短13ms、最長837msであった。しかし被験者Iのみ電気味覚刺激変化のレイテンシが視覚よりも小さく、電気味覚のほうが134ms早く感じられるという結果になった。他の被験者と比べても被験者Iの視覚刺激変化のレイテンシは平均程度であり、視覚刺激変化が極端に遅いことによる逆転ではないと考えられる。

5. 考察

5.1 視覚と電気味覚におけるレイテンシについての考察

前実験から、本論文で提案している装置を用いた場合でも、電気味覚刺激の提示から知覚までのレイテンシはこれまでの研究と大きな差がないことが示唆された。加えて視覚刺激と電気味覚刺激の変化を同時に提示した場合ほとんどの被験者で電気味覚刺激の方が後に知覚されることがうかがえた。しかし被験者B, E, F, Gの場合、電気味覚と視覚のレイテンシ差はわずかであり、レイテンシを考慮した提示タイミングの制御を行わなくても同時に感じられることが示唆されている。

また、前述したようにレイテンシがある場合必ず補正を行わなければならないというわけではない。特に現実世界を模倣するような場合リアリティを迫及する場合、補正を行ってしまうと逆に不自然に感じられることもあると考えられる。実際本実験で得られたレイテンシは視覚刺激の差でいえば通常味覚提示の反応時間との差は見受けられず、また、電気味覚刺激そのもので比較しても、被験者1名のみが通常味覚提示の反応時間より若干遅く感じているものの、補正を考慮するまでには至らないと考えられる。

しかし非現実的な提示、たとえば電気味覚刺激を視覚刺激よりわずかに前に提示したいときなどは、レイテンシの差を活用する必要があると考えられる。エンタテインメント分野への応用を考えると、非現実的な提示は表現の幅を広げる一要因となるため、考慮が必要と考えられる。そのため、本実験での確認はエンタテインメント分野への活用に

おいては一定の価値があると考えている。

もし本論文の実験が電気味覚の生理的解明のためのものであるならば、電流量を増減させたときのレイテンシ、また交流パルスを用いた比較評価などを行う必要があると思われる。しかし本論文の主旨は電気味覚の生理学的要素の解明ではなく、そもそもそれはすでにほとんど解明済みの事象である。電気味覚は1752年に発見されてからこれまで多くの実験によりその要素や反応が調査され、電気味覚享受の閾値や反応速度などは解明されてきた。そうした研究では、提示面が閾値および刺激の反応時間に影響を与えることが示唆されている。今回提案している装置、特に飲料型の装置においては、提示面を一定に保てず生理学的な知見に単純に依拠することはできないため、提案システムにおけるレイテンシの再確認を行った次第である。もっとも、現実世界を模倣した提示では特別にレイテンシを考慮した調整を行わなくても現実世界と同一なので問題ないはずで、通常のコンテンツにおいてはこの実験はそれほど重要なものではない。

なお、飲食物を介在させて電気味覚を提示する手法は、生理学的実験装置としては適切ではないが、エンタテインメント用途として、飲食行為および飲食環境を活用した新たなコンテンツ開拓につながるとわれわれは考えている。そのため本研究は今まで得られている知見を活用し、新たにエンタテインメント分野で活用するためのシステムの提案を主としている。他の電気刺激との比較調査においては、今後の調査課題として行いたいと考えている。

本研究では電気味覚を活用した連動コンテンツの提案として視覚刺激を対象に構築と評価を行った。しかし、視覚情報も味覚に影響を与えるものの、聴覚情報や触覚情報などのほうがより強い影響を与えることが考えられる。実際、SUI [22] や Tag candy [23] などの提示機構では振動や音などを用いて飲食感覚を提示している。また近年は視覚刺激の応用による飲食環境へのアプローチも行われている。Dining Presenter [24] では視覚情報を重畳することで飲食物にまつわる情報を提示し、食事に対する理解を深め

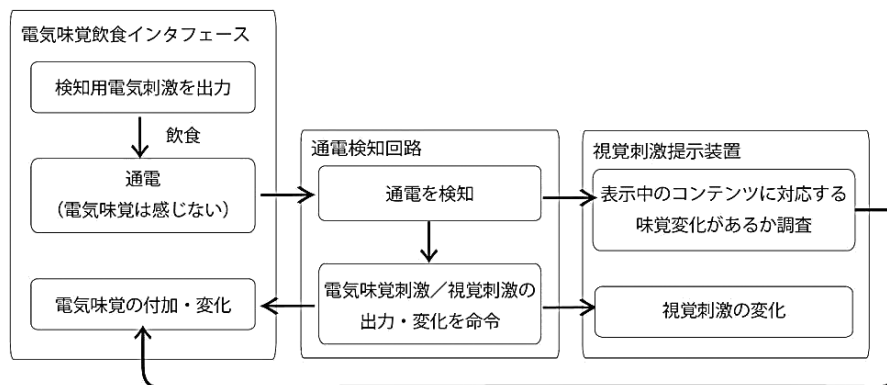


図 6 通電検知システム

Fig. 6 Conducting detection system.

たり作り手と食べ手のコミュニケーションを可能としている。本研究では、そういった側面からの視覚情報の新たな応用として、電気味覚享受とともに視覚情報を提示するためのシステムを提案し、その可能性を実証するための基礎実験を行った。それに付随させて聴覚刺激や触覚刺激を提示することでさらに豊かな情報提示が行えと考えられるため、この点についてもさらに実験を行い、充実させていきたいと考えている。

5.2 実用的なシステムに向けて

本実験で行った電気味覚情報変化の手法では、変化を提示する前から飲料を飲んでいることが必須とされた。しかしこの手法では飲料を飲み続けるという通常の視覚コンテンツの楽しみ方では考えにくい行動を強いてしまい、汎用的な利用や長時間のコンテンツには向かないものとなる。そのためわれわれは飲料を飲んだときに生じる通電を検知するシステムを構築した。

検知システムでは、電圧変化を計測可能な機器を回路に加え、飲料を飲んだ際の通電を検知する。そして飲食用インタフェースに知覚の閾値以下の微弱な電気刺激を与え続ける。この機構により利用者が電気刺激を知覚することなく通電を検知することができる（図 6）。

この通電検知システムによって先に述べた常時飲み続ける不都合は解消されるだけでなく、飲食行為をトリガとして他感覚情報の変化を制御するアプリケーションも構築可能である。

本研究では電気味覚提示と他感覚提示の連動については視覚を対象に実験を行ったが、聴覚や触覚、嗅覚においても同様の計測を行うことで、複合感覚提示のトリガに味覚を用いるシステムを提案していく予定である。特に聴覚や触覚は味覚の波形提示との相関性が高いことが予期され、嗅覚も味覚との親和性が高いことから、早急の計測とシステム提案を考慮している。

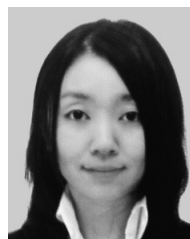
謝辞 本研究の一部は、IPA 独立行政法人情報処理推進機構未踏 IT 人材発掘・育成事業 2010 年度未踏ユースによ

るものである。ここに記し謹んで感謝の意を表する。

参考文献

- [1] 都甲 潔：味覚センサ，pp.43-49，朝倉書店（1993）。
- [2] 齊藤幸子，山口静子：感覚知覚ハンドブック第 VII 部味覚，pp.1490-1492，誠信書房（1994）。
- [3] Yamamoto, T. and Kawamura, Y.: Gustatory reaction time in human adults, *Physiology and Behaviour*, Vol.26, pp.715-719 (1981)。
- [4] 山本 隆，河村洋二郎：味覚反応時間について，第 10 回味と匂のシンポジウム論文集，pp.68-71 (1976)。
- [5] 山本 隆，小林秀子，松尾龍二，河村洋二郎：電気味覚計を用いての味覚反応時間測定について，第 12 回味と匂のシンポジウム論文集，pp.45-48 (1978)。
- [6] 佐藤昌彦：味覚の科学，pp.183-189，朝倉書店（1997）。
- [7] 栗原堅三：味覚，pp.105-107，東京大学出版会（1978）。
- [8] 富田 寛，感覚知覚ハンドブック第 VII 部味覚，p.1521，誠信書房（1994）。
- [9] 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>）。
- [10] 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)。
- [11] Bach-y-Rita, P., Kaczmarek, K.A., Tyler, M.E. and Garcia-Lara, J.: Form perception with a 49-point electro-tactile stimulus array on the tongue, *J. Rehabilitation Research Development*, Vol.35, pp.427-430 (1998)。
- [12] Arnoldussen, A., Nemke, C., Hogle, A.R. and Skinner, K.: BrainPort plasticity, balance and vision applications, *Proc. 9th International Conference on Low Vision* (2008)。
- [13] 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)。
- [14] Aminzade, D.M.: Edible Bits: Seamless Interfaces between People, Data and Food, *Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'05) - Extended Abstracts*, pp.2207-2210, ACM (2005)。
- [15] 大和田茂：ゼリープリンター，コンピュータソフトウェア，Vol.23, No.4, pp.47-50 (2006)。
- [16] 橋田朋子，上岡玲子，大谷智子，キムジョンヒョン，久保友香，ソンヨンア，中島佐和子：Fruit Plotter：ドライフルーツ画素を用いた食べられるディスプレイシステム，インタラクシオン 2011 予稿集，pp.163-164 (2011)。
- [17] Cvetkovic, P.A.: Eat a bit, available from

- (http://www.aec.at/bilderclient_detail_en.php?id=67196&iAreaID=514).
- [18] The CandyFab Project, available from (<http://candyfab.org/>).
- [19] 都甲 潔：味覚センサ, pp.12-13, 朝倉書店 (1993).
- [20] 鳴海拓志, 谷川智洋, 梶波 崇, 廣瀬通孝：メタクッキー：感覚間相互作用を用いた味覚ディスプレイの検討, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.15, No.4 (2010).
- [21] 鳴海拓志, 佐藤宗彦, 谷川智洋, 廣瀬通孝：味覚ディスプレイに関する研究第二報—飲料への色の重畳を用いたクロスモーダルな味提示手法の評価, 第30回複合現実感研究会 (2010).
- [22] Hashimoto, Y., Kojima, M., Mitani, T., Miyajima, S., Nagaya, N., Ohtaki, J., Yamamoto, A. and Inami, M.: Straw-like User Interface, *SIGGRAPH2005 Emerging technologies* (2005).
- [23] 山岡潤一, 木村孝基, 川鍋 徹, 大嶋泰介, 中垣 拳, 速水友里 (チーム・キメラ). Tag Candy, 国際学生対抗バーチャルリアリティコンテスト (IVRC), 日本科学未来館 (2010).
- [24] Mori, M., Kurihara, K., Tsukada, K. and Siio, I.: Dining Presenter: Augmented Reality system for a dining tabletop, Supplemental, *Proc. 11th Ubicomp2009*, pp.168-169 (2009).
- [25] Chung, H., Lee, C.J. and Selker, T.: Lover's Cups: Drinking interfaces as new communication channels, *Ext. Abstracts CHI 2006*, pp.375-480, ACM Press (2006).
- [26] 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).
- [27] 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).
- [28] Bau, O., Poupyrev, I., Israr, A. and Harrison, C.: TeslaTouch: Electrovibration for Touch Surfaces, *Proc. UIST'10* (2010).
- [29] 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).
- [30] 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).
- [31] 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>インタラクショ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).
- [32] Baba, T., Ushiyama, T. and Tomimatsu, K.: Freqtrix drums: A musical instrument that uses skin contact as an interface, *Proc. 7th International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, pp.386-387 (2007).
- [33] 中森玲奈, 塚田浩二, 椎尾一郎：食べテルミン, インタラクション 2011 予稿集, pp.367-370 (2011).
- [34] Tongue Touch Keypad, available from (<http://www.newabilities.com/>).
- [35] Salem, C. and Zhai, S.: An isometric tongue pointing device, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.538-539 (1997).
- [36] Huo, X. and Ghovanloo, M.: Using unconstrained tongue motion as an alternative control mechanism for wheeled mobility, *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, Vol.56, No.6, pp.1719-1726 (2009).
- [37] Sapaico, L.R., Nakajima, M. and Sato, M.: Morse code-based Text Entry using Tongue Gestures, *Proc. NICOGAPH International Conference 2011* (2011).
- [38] 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).
- [39] 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, インタラクション 2011 予稿集, pp.461-464 (2011).
- [40] Nakamura, H. and Miyashita, H.: Augmented Gustation using Electricity, *Proc. 2nd Augmented Human International Conference (AH2011)*, pp.34:1-34:2 (2011).
- [41] 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).
- [42] 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).
- [43] Kim, D.W., 三浦元喜, Lee, D.W., Ryu, J.K., 西本一志, 川上雄資, 國藤 進：機能性高分子を用いた嗅覚ディスプレイの開発およびビデオへの応用, 情報処理学会論文誌, Vol.49, No.1, pp.160-175 (2008).
- [44] 大川美彦：感電災害の防止対策, 電気技術解説講座, 日本電気技術者協会, 入手先 (<http://www.jeea.or.jp/course/contents/10102/>).



中村 裕美 (学生会員)

1986年生まれ。現在, 明治大学大学院理工学研究科新領域創造専攻在学中。2011年より同大学理工学部助手, 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 年度未踏ユーススーパークリ

エータ。



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)。