

# レトロネイザル嗅覚の刺激による 摂食物の風味増強システムの開発

岡崎 翔悟<sup>†1,a)</sup> 井上 亮文<sup>†1</sup> 星 徹<sup>†1</sup>

**概要:** 古来, 人間は食べ物に対して品種改良を重ね, 甘味を増強したり, 酸味や苦味を調整してきた. 現代でも野菜やフルーツのブランド化という形で甘味を強めたり, その食べ物らしい風味を増強する試みが盛んである. しかし, 食べ物自体の味を操作する品種改良は時間がかかるため, 即効性がない. 本研究では, 人間が飲食をした際の風味に大きく影響するレトロネイザル嗅覚の刺激を利用して摂食物の風味増強を行なう. ユーザが摂食物を口内に入れた瞬間にだけ, ユーザの口内に即時的に香料を噴射するシステム Okanasal を実装した. 評価実験から, 摂食物と噴射強度に左右されるが, 最高で 100% の被験者に風味を変化させることが可能であることがわかった. しかし, 気化した香料の噴射強度や使用する香料自体の特徴や濃度によって風味の変化の感じ方に差が生まれることが示唆された.

## Development of a Flavor Argumentation System for Intraoral Foods by Stimulating Retronasal Olfaction

OKAZAKI SHOGO<sup>†1,a)</sup> INOUE AKIFUMI<sup>†1</sup> HOSHI TOHRU<sup>†1</sup>

### 1. はじめに

古来, 人間は食べ物に対して品種改良を重ね, 甘味を増強したり, 酸味や苦味を調整してきた. 現代でも野菜やフルーツのブランド化という形で甘味を強めたり, その食べ物らしい風味を増強する試みが盛んである. しかし, 農作物は時期・天候・部位・熟成期間によって糖度が異なるため, いつでも・どの個体でも最高の味を感じることは難しい. また, 食べ物自体の味を操作する品種改良は時間がかかるため, 即効性がない.

風味を即時的に操作する研究として, 味覚器に電気刺激を提示する電気味覚が知られている. しかし, 電気味覚で与えられる味覚は塩味や苦味に関しては効果が高いが, 甘味は難しいとされている.

また, 味覚は他の感覚の影響を多大に受けることが知られている. 特に人間の味覚は嗅覚が重要な役割を果たしている. 図 1 に示すように, 人間にはオルソネイザル経路

(Orthonasal) とレトロネイザル経路 (Retronasal) という 2 つの嗅覚経路がある. オルソネイザル嗅覚は, 鼻から生じる一般的な嗅覚・吸気に伴う感覚である. 一方, レトロネイザル嗅覚は人間が独自に発達させた口中香・呼吸に伴う風味の感覚である. 人間が想起する風味の感覚は, このレトロネイザル嗅覚に大きく影響されることがわかっている [1].

匂いに関する既存研究は, 嗅覚ディスプレイを用いて鼻へと匂い提示を行うことでオルソネイザル嗅覚の刺激をするものが一般的である. しかし, 人間が飲食をした際の風味に大きく影響するのはレトロネイザル嗅覚の刺激である. そこで本研究では, 摂食中の人間の口内に直接匂い提示を行うことで, レトロネイザル嗅覚の刺激を利用した摂食物の風味増強を行うシステムを提案する.

### 2. 関連研究

#### 2.1 味と風味

人間は食べ物の特徴を「味」として表現する. しかし, 厳密な定義によるところの味覚が感知するのは基本味と呼

<sup>†1</sup> 現在, 東京工科大学  
Presently with Tokyo University of Technology  
<sup>a)</sup> c011310016@edu.teu.ac.jp

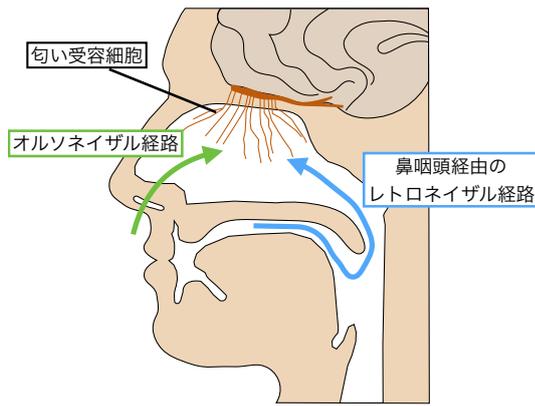


図 1 2つの嗅覚経路

ばれる甘味、塩味、酸味、苦味、うま味のみである。一般的にこれらの単純な基本味を超える感覚も食物の「味」と呼んでしまっている。しかし、実際は「風味」と呼ぶべき感覚である。本研究では、「味」と「風味」を以下のように定義する。

- 味
  - 生得的に備わっている単純な基本五味を感知した際の感覚
- 風味
  - 味覚と嗅覚が統合された感覚

## 2.2 人間の味覚

人間は味蕾と呼ばれる味覚受容細胞によって味を感じている [2]。食物は口内に含まれた際に、唾液と混合し水溶液となる。この水溶液が味蕾に到達すると、味細胞にある受容体が味物質と結合し、味細胞の細胞膜の内外の電位差を変える。人間は、この電気的な変化が味蕾の底部にある神経細胞から脳に伝えられることで味覚を感じている。

味覚は人間が基本味を感じるための感覚である。味は2.1節で述べた通り、人が一般的に食物を飲食した際に表現する「風味」ではない。あくまで味は風味を構成する要素の1つであり、味覚は風味を脳が創り出す際に使われる感覚の1つである。

## 2.3 人間の嗅覚

風味の立役者は嗅覚であることが解明されてきている。今まで嗅覚は人間の感覚の中でも最弱点と認識されることが多かった。しかし、脳科学の発展によって、嗅覚は日常生活において最も重要な役割を担う感覚へと大きく変わりつつある。

口にした食物の風味は、人間が普段、例えばよい香りを嗅ぐ時にするような、鼻から息を吸い込む行為によっては知覚されない。ペンシルヴァニア大学の心理学者ポール・ロジンは、図1に示したように、嗅覚は単独で成る感覚ではなく、オルソネイザル経路（吸気経路）の匂いとレ

トロネイザル経路（呼気経路）の匂いから成る二元性の感覚であると述べている [3]。

### 2.3.1 オルソネイザル経路での匂い (Orthonasal smell)

我々が匂いと聞いて普段思い浮かべるのはオルソネイザル経路で感じる匂い (Orthonasal smell) である。料理をしている最中の美味しそうな匂いや、花のかぐわしき、フェロモン分子などの匂いの伝達はオルソネイザル経路を介して行われる。これらの匂い刺激は普通に呼吸したり、辺りの匂いを嗅いだりする時にはっきり検知することができる。そのため、何世紀にもわたってオルソネイザル経路こそ嗅覚の本体と見なされてきた経緯がある。

### 2.3.2 レトロネイザル経路での匂い (Retronasal smell)

食べ物や飲み物を飲食すると、口の中でふわりと立ち上がる匂いを感じる。それが呼気に乗って口の奥から鼻道を通るので、人間は風味を感じる。この裏手の経路で運ばれる匂いをレトロネイザル経路の匂い (Retronasal smell) という。人間の味覚は、レトロネイザル経路での匂いに大きく影響される。嗅覚器につながるレトロネイザル経路の出発点となるのは、口に含んだ食べ物、飲み物である。食べ物を咀嚼している間も呼吸は続けているので、肺から送り出された呼気は、開いた喉頭蓋を抜けて喉の奥の鼻咽頭に流れ込む。この時、食物の匂いが呼気に移る。口は閉じているため、匂いが移った呼気は鼻腔の奥へと押し戻されて鼻孔から吐き出される。その時、鼻腔内で生じる渦流が嗅覚ニューロンである嗅細胞を刺激する。

## 2.4 感覚間相互作用を利用した味覚操作

鳴海らは嗅覚・味覚だけでなく、視覚も含めた感覚間相互作用を利用して味を変化させるシステムであるメタクッキー [4] を提案した。このシステムは、ユーザがヘッドマウントディスプレイを通してプレーンのクッキーを見ると、チョコレートクッキーに見えるようにテクスチャを重畳させ、クッキーを食べている最中にチョコレートの匂いを提示することで感覚間相互作用を引き起こし、風味を変化させることが可能である。実験から、71.4%の割合でチョコレートクッキーの味を感じたと回答した。しかし、このシステムは鼻腔の外部から匂いを提示している。これではオルソネイザル嗅覚の刺激になってしまい、人間が風味として感じるレトロネイザル嗅覚を考慮していない。また、鼻にチューブを装着するため、気軽な風味の増強が可能であるとはいえない。

## 2.5 食器に着目した食事を支援する研究

食事を支援する研究は数多く存在する。その中でも食器に着目した研究が存在し、特に箸やフォーク・スプーンを利用した研究がある。これらの食器は、ユーザが食物を口に運ぶ際に唇や口内に触れるため、摂食した瞬間のインタラクションに適している。山田らは、口内に直接栄養素

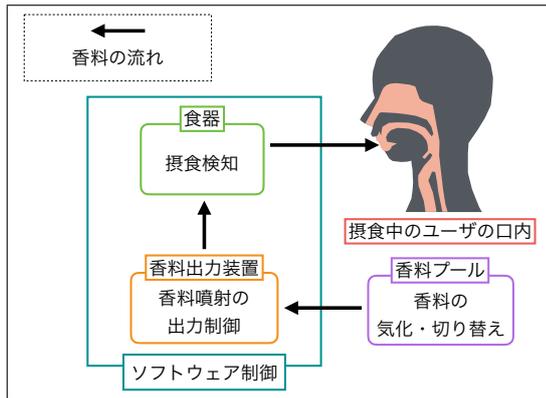


図 2 システム概要

を噴射するフォーク型デバイスである EneFork[5] を開発した。このデバイスは料理が口に入った時を検知し、口内に直接液体のビタミン剤を噴射する。これによって、従来の食行動を変えさせずに不足した栄養素を摂取可能にしている。しかし、液体のビタミン剤によって生じた味や食感の変化を不快に感じるという結果が出ている。

### 3. レトロネイザル嗅覚の刺激による摂食物の風味増強システムの開発

#### 3.1 システム概要

本研究のシステム概要を図 2 に示す。本研究は、香料プール (3.2 節)、香料出力装置 (3.3 節)、食器 (3.4 節) から構成され、以下の順序で動作する。

- (1) 香料を香料プール内で気化させる
- (2) ユーザが食べ物を口に含んだ瞬間を食器によって検知する (摂食検知)
- (3) 香料プール内で気化された香料を香料出力装置によって噴射し、摂食中のユーザの口内へと届ける

飲食時に唇や口内に自然と触れる食器を使って摂食検知を行なうことで食事の動作を極力阻害せずに香料を口内に届け、レトロネイザル嗅覚の刺激による摂食物の風味増強を可能にする。

#### 3.2 香料プール

香料プールは、香料を気化させ、充填させておく部分である。香料プールを食器や香料出力装置と分離し、複数の香料の切り替えを可能にすることで、香料と風味の増強の対象となる食べ物の組み合わせを容易に増やすことができる。

#### 3.3 香料出力装置

香料出力装置は、香料プールに充填させている気化した香料を口内へと送り出すための装置である。香料出力装置は、食器と連携し、摂食検知が行われた瞬間に動作を開始する。噴射量や噴射回数はソフトウェアと連携することでコントロールすることが可能である。

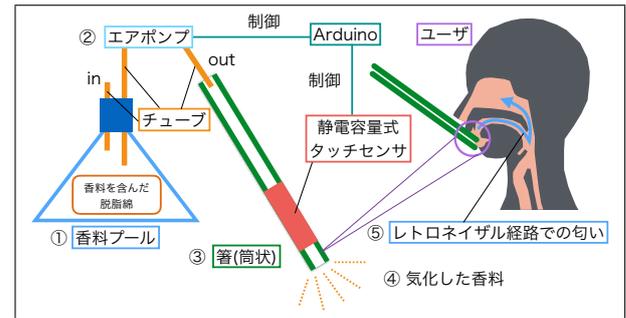


図 3 Okanasal の概要

#### 3.4 食器

本研究において、食器は摂食検知を行う部分である。ユーザが食器を用いて口内に食べ物を運び、口が閉じた瞬間を食器によって摂食検知する。常に香料を噴射し続けるとオルソネイザル嗅覚の刺激になってしまうため、香料の噴射は食器が唇や口内に触れた時のみ行われる。

### 4. 実装

本研究で提案するシステムのプロトタイプである Okanasal を実装した。実装環境はハードウェアとソフトウェアに分けて説明する。ハードウェアでは Okanasal で使用した機材について、ソフトウェアでは処理部について説明する。

#### 4.1 Okanasal のハードウェア

図 3 に Okanasal の概要を示す。Okanasal は食器として筒状の箸を利用する。箸に摂食検知機能を実装し、ユーザが箸で食べ物を口に運び、咀嚼するために口を閉じた瞬間を検知する。摂食が検知された際にエアポンプを動作させることで、香料プールから気化した香料を、筒状の箸の内部を通してユーザの口内へ送り届ける。

図 4 に Okanasal のハードウェア構成を示す。また、表 1 に Okanasal の主な構成要素を示す。Okanasal は、香料、気化した香料を充填させておく香料プールである三角フラスコ、スチロール樹脂パイプに摂食検知を行うための静電容量式タッチセンサを搭載した箸、気化した香料を口内へと送り出す香料出力としてのエアポンプと電源供給のための安定化電源、気化した香料を口内へと届けるための導線としてのチューブ、摂食検知を行う回路と制御のためのマイクロコントローラ (マイコン) として利用する Arduino から構成されている。

##### 4.1.1 香料プール

図 5 に実装した香料プールを示す。香料プールは、三角フラスコとゴム栓を利用して実装した。三角フラスコ内には、香料と香料を気化しやすくするための脱脂綿が入っている。三角フラスコ内で気化した香料はエアポンプによって吸い出され、箸の内部へと噴射される。香料プールは、後述する箸およびエアポンプとはチューブで接続されてい

表 1 Okanasal の構成要素

要素名	仕様	詳細
香料	食品香料 (エッセンス)	リンゴ・オレンジ・メロン
香料プール	三角フラスコ	胴径:φ108 mm 高さ:173 mm
管	スチロール樹脂パイプ	胴径:φ5 mm 穴径:φ3 mm 長さ:230 mm
香料出力装置	直流式エアポンプ CM-15-12	必要電圧:12 V 複本マイクロポンプ製作所製
チューブ	観賞魚水槽用エアチューブ	胴径:φ5 mm 穴径:φ3 mm
マイコン	Arduino UNO	動作電圧:5 V 最大電流:50 mA

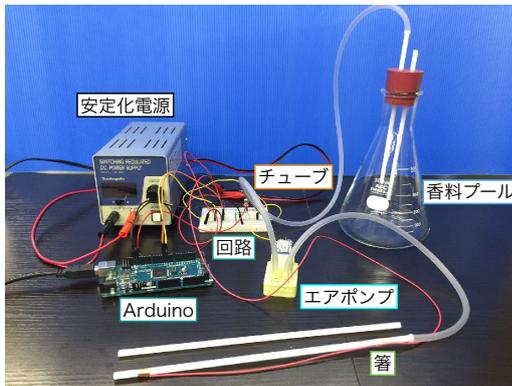


図 4 Okanasal

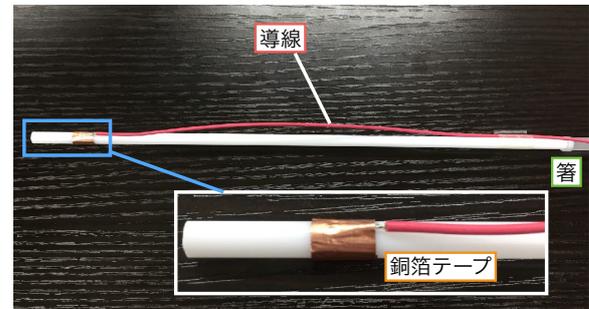


図 6 箸

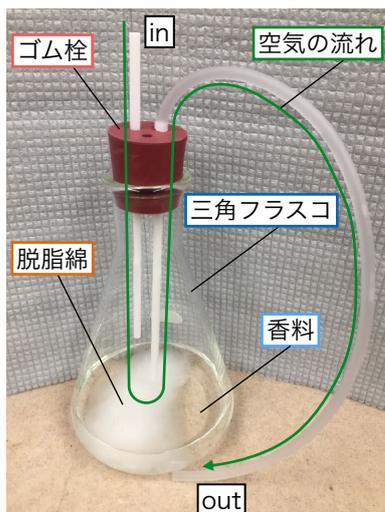


図 5 香料プール

るだけなので、簡単に分離することができる。そのため、3.2 節で述べた通り、容易に複数の香料の切り替えを行い、風味の増強の対象となる香料と食べ物の組み合わせを増やすことができる。

#### 4.1.2 香料

Okanasal では、ティアンドエム株式会社から発売されている食品香料を使用した。香料にはフレーバーや精油・オイルなどの種類が存在するが、Okanasal では水溶性で揮発性の高いエッセンスを使用した。匂いとしてはリンゴ、オレンジ、メロンの 3 種類を利用した。

#### 4.1.3 箸

図 6 に Okanasal の箸を示す。箸は食べ物を摘んで使用するため、先端を食べ物に埋没させてしまうフォークなど

の食器よりも、噴射する機構が実装しやすい。Okanasal の箸は摂食検知を行うための静電容量式タッチセンサが搭載されている。箸の下部から 15 mm の部分に 5 mm 幅の銅箔テープを巻きつけ、センサー部分とした。銅箔テープは回路と導線と接続されている。箸はスチロール樹脂で絶縁体である。また、筒状であるため、気化した香料が箸の内部を通過できる。

#### 4.1.4 エアポンプおよびチューブ

エアポンプは香料プールと箸の上部にチューブを介して接続されている。エアポンプは摂食が検知されると動作を開始し、香料プールから気化した香料を吸い出し、チューブを通して箸へと香料を送り出す。

#### 4.1.5 静電容量式タッチセンサとエアポンプの制御回路

図 7 に静電容量式タッチセンサとエアポンプを制御するための回路図 (Fritzing を利用して作成) を示す。摂食検知をおこなうために、静電容量式タッチセンサを使用した。この方式は電極と対象物の間に発生する静電容量を検出する方式で、人間の指などには反応するが、木・紙・プラスチックなどには反応しない。通常のスイッチと比較した場合、タッチセンサには機械的に動作する部分がないため、摩耗による動作不良が原理的に起こらない。また、表面の形状への制限がないといったメリットがある。4.1.3 項で述べた通り、銅箔テープを箸の下部に貼り付け、センサ部とすることで口を閉じた瞬間の検知 (摂食検知) を行う。

エアポンプは 12 V で動作をするが、Arduino は 5 V で動作する。そのままでは、Arduino によってエアポンプを制御することができないため、トランジスタを利用したスイッチング回路を作成することで Arduino からエアポンプを制御することを可能とした。

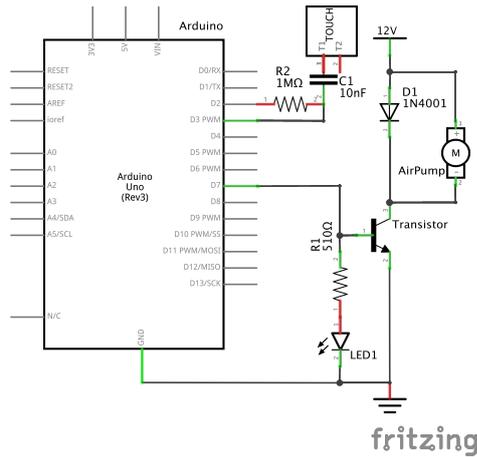


図 7 静電容量式タッチセンサとエアポンプの制御回路

## 4.2 Okanasal のソフトウェア

Okanasal のソフトウェア要素は摂食検知プログラムとエアポンプの制御プログラムの 2 つである。2 つのプログラムを Arduino 上で動作させ、静電容量式タッチセンサを使った摂食検知とエアポンプの動作制御を行なった。静電容量式タッチセンサは Arduino 社が公開しているライブラリである Capacitive Sensing Library を利用してプログラムを作成した。静電容量式タッチセンサの銅箔部分に口内や唇に接触することで、センサが検知している静電容量が変化する。その変化をプログラムによって検知し、エアポンプを動作させるために Arduino からトランジスタに 5V の電圧をかけることでスイッチング回路が作動し、エアポンプが 12V で動作する。

## 5. 評価

本研究で作成した Okanasal について、香料噴射の応答速度に関する精度評価実験を行なった。また、実際に Okanasal を使用して食べ物を食べてもらい、アンケート調査を行なった。

### 5.1 香料噴射の性能評価

#### 5.1.1 実験方法

エアポンプを始動させてから、箸の先から空気が出るまでの時間計測を行なった。箸の先にティッシュペーパーをつけ、空気が噴射されてティッシュペーパーが動くまでの時間を計測した。ティッシュペーパーの動きを OpenCV を利用した動き検出によって検知することでプログラムから時間計測をおこなえるようにした。動き検知プログラムは Python 3 を利用して作成した。時間計測はエアポンプの動作プログラムが開始した瞬間とした。

#### 5.1.2 結果

10 回の計測の結果、0.0005 秒以上かかることはなかった。鳴海らのメタクッキーは 0.05 秒で十分な時間分解能

表 2 実験条件

条件名称	香料	エアポンプの電圧	被験者数
リンゴ強	リンゴ	12 V	10 名
リンゴ弱	リンゴ	8 V	
オレンジ強	オレンジ	12 V	6 名
オレンジ弱	オレンジ	8 V	
メロン強	メロン	12 V	6 名
メロン弱	メロン	8 V	

であると述べているため、レトロネイザル経路を利用する Okanasal も十分な時間分解能であるといえる。

## 5.2 フルーツ香料使用時のアンケート調査

### 5.2.1 実験方法

リンゴ・オレンジ・メロンの 3 種類のフルーツを Okanasal を使用して食べた際、口内に香料を噴射することでフルーツの風味の変化が生じるかについて評価実験を行なった。また、エアポンプにかけられる電圧を下げることで香料の噴射強度を変え、その際に風味の変化がどうなるかを検証した。表 2 にフルーツ香料の実験条件を示す。のべ 22 人の大学生 (20 代) を対象に以下の流れで実験を行なった。

- (1) 実験の説明
- (2) 水を 1 口飲んでもらう
- (3) 箸はシステムのものを使うが、香料は噴射せず、フルーツそのままの風味を味わってもらう
- (4) 水を 1 口飲んでもらう
- (5) エアポンプを 12V で動作させ、食べているフルーツと同じ香料を噴射する (噴射強条件)
- (6) アンケートを行う
- (7) 水を 1 口飲んでもらう
- (8) エアポンプを 8V で動作させ、香料噴射の強さを弱めて噴射する (噴射弱条件)
- (9) アンケートを行う

香料プールに入れる香料は、香料 2ml に対して 50ml の水で薄めて体積を増やしている。この濃度は予備実験を行い、香料が最小限で済み、気化した香料が飽和してこれ以上匂いが強くなることを主観的に評価して決定した。

実験を行うにあたり、Okanasal を使用してもらう前に以下の点について説明を行なった。

- 指定したフルーツを 3 切れ食べてもらう
- この実験では香料が出る箸を使ってもらう
- 1 切れ目はシステムは動作させずに食べてもらう
- 2 切れ目、3 切れ目はシステムが動作する

3 種類の各フルーツに対して、1 切れ目はシステムを動作させずに食べてもらった。2 切れ目は噴射強条件として、エアポンプを 12V で動作させた。3 切れ目は噴射弱条件としてエアポンプを 8V で動作させた。また、リッカート尺度を用いたアンケート調査を行なった。

- (1) 1 切れ目と比べての風味の変化

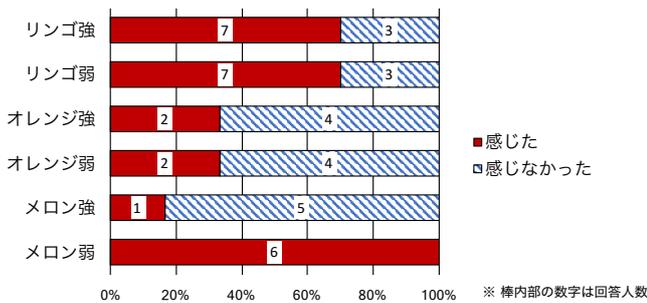


図 8 1 切れ目と比べての風味の変化

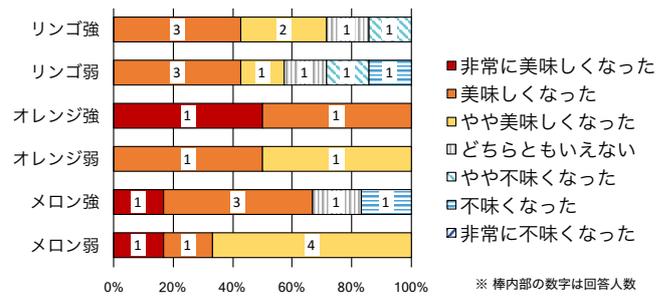


図 10 風味の変化によるフルーツの美味しさの変化

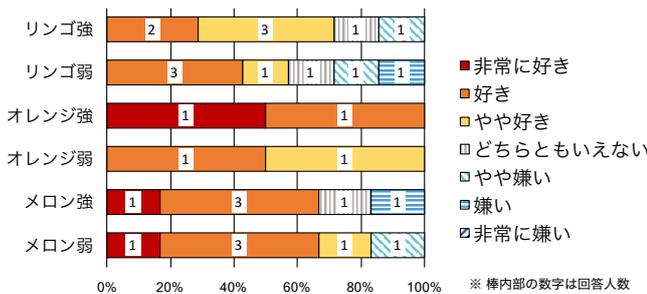


図 9 風味の変化の好き嫌い

(2) 風味の変化の好き嫌い

(3) 風味の変化によるフルーツの美味しさの変化

アンケートは2切れ目を食べた後に1度行い、時間を経過させることで味覚と嗅覚を休ませている。アンケート内容は合計3つで、(1)で風味の変化を感じた被験者のみ(2), (3)の内容も回答した。

5.2.2 結果

結果を図8, 図9, 図10に示す。棒内部の数字は回答人数である。図8から、リンゴでは強・弱両方で70%の被験者が風味の変化を感じた。オレンジでは両条件で20%の被験者のみ風味の変化を感じた。メロンに関しては、強条件では10%の被験者のみ風味の変化を感じた。しかし、弱条件では全ての被験者が風味の変化を感じた。

図9から、各フルーツで、50%以上の被験者が、やや好き以上の回答をした。しかし、風味の変化を嫌う被験者も存在することがわかった。また、噴射の強弱によっても、風味の変化への好き嫌いが変化している。

図10から、各フルーツで、50%のユーザがやや美味しい以上の回答をした。また、メロンにおいて、強条件の方が弱条件より不味くなるという結果が得られた。

6. おわりに

本研究では、レトロネイザル嗅覚の刺激による摂食物の風味増強システムの開発を行なった。プロトタイプであるOkanasalを使用して評価実験を行なった結果、風味を増強もしくは変化させることが可能であることがわかった。アンケートの自由記述より、レトロネイザル経路での匂い提示による食べ物の風味の増強は、「風味が変化する」事自体が好まれるということが示唆された。また、気化した香料

の噴射強度や使用する香料・風味を増強したい食べ物の組み合わせによって風味の変化の感じ方に差があることもわかった。さらに、気化した香料が適切な濃度でないことがユーザが違和感を覚えるということが評価実験から判明した。本研究では、3種類のフルーツを使って評価実験を行なったが、食べ物によっては変化・増強が難しい可能性があったり、香料自体が入手しにくい、もしくは存在しないものがあると推測される。今後は、食べ物に対する適切な香料の濃度の特定や、レトロネイザル嗅覚の刺激で増強しやすい・しにくい食べ物の分類を行なったり、専門家による風味の官能調査を行いたい。また、例えばリンゴを食べている際にオレンジの香料を噴射すると新たな風味の創出に繋がる可能性があるため、様々な食べ物と香料の組み合わせを試したい。さらに、従来のオルソネイザル嗅覚の刺激による嗅覚操作や、視覚、聴覚、触覚での風味増強や食事支援との組み合わせを目指したい。

参考文献

- [1] ゴードン・M・シェファード：美味しさの脳科学:においが味わいを決めている, 合同出版 (2014).
- [2] 内川恵二, 近江政雄 (編)：味覚・嗅覚 (講座“感覚・知覚の科学”), 朝倉書店 (2008).
- [3] Rozin, P.: “Taste-smell confusions” and the duality of the olfactory sense, *Attention, Perception, & Psychophysics*, Vol. 31, No. 4, pp. 397-401 (1982).
- [4] 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 (<特集>香り・人・システム), 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 15, No. 4, pp. 579-588 (2010).
- [5] 山田駿, 野崎大幹, 興野悠太郎, 米澤拓郎, 中澤仁, 高汐一紀, 徳田英幸：EneFork: 食行動を変化させず栄養素を摂取可能なフォーク型デバイス, 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), Vol. 2015, No. 16, pp. 1-8 (2015).