

# 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改善

石河 竜太<sup>1,a)</sup> 岡崎 翔悟<sup>2</sup> 井上 亮文<sup>2</sup>

**概要:** 我々は、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する食器型デバイス「Okanasal」を開発してきた。Okanasalは先端から香料を噴出できる機構を搭載し、ユーザが摂食物を口に入れた瞬間に直接口腔内に香料を噴出することができる。これにより、実際の食事の場面に適した形で、レトロネイザル嗅覚を刺激し、風味を増強することができる。しかし、噴出される香料の種類の入替えが手動であり、摂食物に応じて噴出する香料の種類を取り替える必要があった。本稿では、香料を自動で切り替えができる機構を実装し、Okanasalをより食事の場面に適したデバイスにすることを目的とし、改善したデバイスを用いた実験結果について述べる。

## Improvement of a Flavor Argumentation System for Intraoral Foods by Stimulating Retronasal Aroma.

RYUTA ISHIKAWA<sup>1,a)</sup> SHOGO OKAZAKI<sup>2</sup> AKIFUMI INOUE<sup>2</sup>

**Abstract:** We have developed Okanasal - a flavor augmentation system for intraoral foods by stimulating retronasal aroma. Okanasal is a kind of cutlery with an olfactory display in its tip. The olfactory display sends a scent inside the mouth when the user brings food to the mouth with Okanasal. It can augment the flavor of intraoral foods with retronasal aroma. The former prototype, however, had a structural problem that the user had to change a scent of the olfactory display to another manually. In this paper, we develop a new prototype that can detect the food and change a scent automatically. We also describe the early evaluation with the prototype.

### 1. はじめに

古来より、人間は食事をおいしく楽しむために、食べ物に対して品種改良を重ね、食べ物自体をよりおいしくする試みをしてきた。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、品種改良は時間がかかり、即効性がない。品種改良の他にも、調理を上手に行なう方法もあるが、スキルが必要となる。食事を早く、誰でも、おいしく食べられる手段の重要性が増している。

我々が感じる風味は、味覚だけでなく、嗅覚が統合されたものである。人間にはオルソネイザル経路とレトロネイ

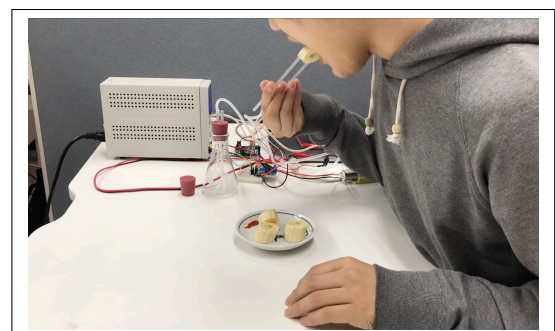


図 1 Okanasal を使用した食事

ザル経路という2つの嗅覚経路がある(図2)。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・呼気に伴う感覚である。人間が想起する風

<sup>1</sup> 東京工科大学大学院

<sup>2</sup> 東京工科大学

<sup>a)</sup> g211800316@edu.teu.ac.jp

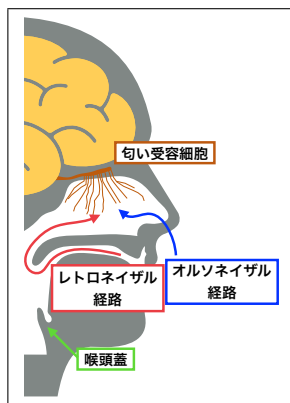


図 2 2つの嗅覚経路

味は、このレトロネイザル嗅覚に大きく影響されることが分っている。

味覚と嗅覚間の相互作用を用いて風味を豊かにする研究が行われている [1][2][3]。しかし、多くの既存研究は嗅覚ディスプレイを鼻の前に設置しているため、風味に大きく影響するはずのレトロネイザル嗅覚ではなく、オルソネイザル嗅覚へ刺激を促している。また、食事時に、鼻前に嗅覚ディスプレイを設置することは摂食者の食事を阻害してしまう。

そこで我々は、レトロネイザル嗅覚を刺激し、風味を増強できるシステム Okanasal を研究してきた (図 1)。Okanasal は食器型デバイスであり、その先端に嗅覚ディスプレイが内蔵され、摂食時に口腔内に直接香料を噴出することができる。これにより、食事の場面に過度に阻害することなく、レトロネイザル嗅覚へ刺激し、より効果的に風味を変えることができる。

これまでの研究 [4] から、Okanasal は摂食中の食べものの風味を変化させることが可能であることが示唆された。一方で、摂食物の種類や Okanasal の噴出強度によって個人差がある、風味を変えるためには手動で香料プールを交換する必要がある、評価実験の評価条件の不足の 3 つが課題として残った。

そこで本研究では、自動で香料プールを交換できる機構を作成し、不足だった評価条件を追加して評価実験を行う。

## 2. 人間の味覚と嗅覚

本章では、Okanasal の風味増強手法の前提となる人間の味覚と嗅覚について述べる。

### 2.1 味と風味

人間は食べ物の特徴を「味」として表現する。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べ物の「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 2つの嗅覚

ペンシルヴァニア大学の心理学者ポール・ロジンは、図 2 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 [5]。

我々が匂いと聞いて普段思い浮かべるのは図 2 の青線のオルソネイザル経路で感じる匂いである。料理をしている最中の美味しそうな匂いや、花のかぐわしさ、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。

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遡るので、人間は風味を感じる。この匂いを図 2 の赤線のレトロネイザル経路の匂いという。人間の味覚は、レトロネイザル経路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、食べ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。

## 3. Okanasal

本章では、我々が開発している Okanasal について述べる。

### 3.1 システム概要

Okanasal はレトロネイザル嗅覚に作用し、摂食物本来の風味を変えることができる食器型デバイスである。Okanasal のシステム概要を図 3 に示す。

- (1) 食器で摂食物を持ち、オルソネイザル経路を通じて摂食物本来の香りを楽しむ
- (2) 口腔内に摂食物を入れ、レトロネイザル経路を通じて摂食物本来の香りを楽しむ
- (3) 摂食時に、食器の先端に内蔵された嗅覚ディスプレイから香料を噴出し、口腔内を香料の香りで充満させる



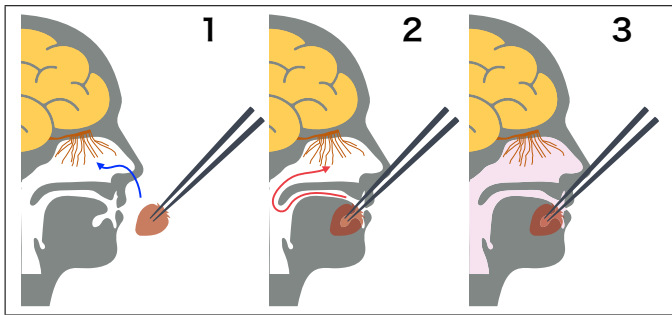


図 3 Okanasal のシステム概要

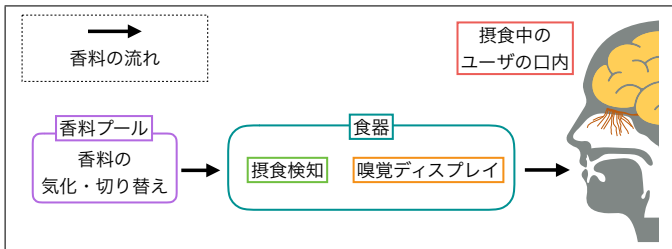


図 4 香料提示の流れ

Okanasal はこの動作により以下の 2 つの可能性を持つと考える。

- 風味の増強 (摂食物と香料が同系統)
  - (1) ユーザがりんごを食べる
  - (2) Okanasal がりんごの香料を噴出する
  - (3) 豊かなりんごの風味が疑似体験できる
- 風味の付与 (摂食物と香料が異系統)
  - (1) ユーザがバナナを食べる
  - (2) Okanasal がチョコレートの香料を噴出する
  - (3) チョコバナナの風味が疑似体験できる

### 3.2 香料提示の流れ

Okanasal の香料をユーザに提示するまでの流れを図 4 に示す。本システムは、気化した香料で充満している香料プール、摂食検知機構と嗅覚ディスプレイが内蔵された食器で構成される。動作の流れを以下に示す。

- (1) 食べ物を食器で持つ
- (2) ユーザが食べ物を口に含んだ瞬間を摂食検知機構が検知する
- (3) 香料ディスプレイから香料プールの香料をユーザの口腔内へ噴出する

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。

### 3.3 Okanasal v1

図 5 に我々が開発した最初のプロトタイプ、Okanasal v1 を示す [4]。ユーザが食べ物を取る時、フォークなどの食器は先端が摂食物に埋没してしまい嗅覚ディスプレイ

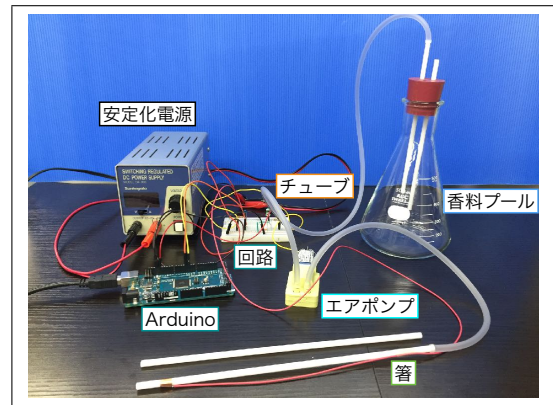


図 5 Okanasal v1 の全体

の噴出口が塞がれてしまうため、今回の提案の機構には向いていない。食べ物を挟んで取る箸は、先端の嗅覚ディスプレイが埋没しないと考え、デバイスは箸型とする。

香料プールと箸の後端とをエアポンプを介してチューブで接続している。エアポンプを動作させることで、香料プール内の香料を箸の先端から噴出される。

箸先に銅箔テープが巻きつけられている。銅箔テープと人体とが摂食したことを検知することができる (摂食検知機構)。

Okanasal v1 を用いた評価実験から、ほとんどの被験者が風味の変化を実感した。しかし、以下の課題が残った。

- (1) 摂食物の種類と Okanasal の噴出強度によってユーザの評価が左右される
- (2) v1 の実装では、風味を変えるために、香料プールを手動で交換する必要があり、実際の食事のシチュエーションには向かない
- (3) 評価実験の条件において、Okanasal から噴出する空気に香料を付与していない条件を行なっていない

3 つ目の課題は、ユーザは口腔内圧の変化で風味の変化を感じた可能性があり、香料を付与した空気と、香料を付与していない空気だけの条件を比較しないと香料付与の有用性を評価できない。

本論文では、上記の課題の内、2 つ目を改善し、3 つ目を踏まえた評価実験を行なう。

## 4. Okanasal v2

### 4.1 v1 との変更点

v1 との変更点は以下の 3 つである。

- (1) 複数の香料プールから好きな香料プールをソフトウェアで制御できる香料コントローラを作成
  - (2) 外部カメラから食べようとしている食材を検出し、その検出した食材を元に香料コントローラを制御
  - (3) 空気の噴出タイミングの制御を、箸先に取り付けた静電容量センサによる摂食検知から押しボタンに変更
- (3) の理由は、評価実験を行うにおいて、静電容量センサを取り付けた箸を量産することはコストがかかるためと、

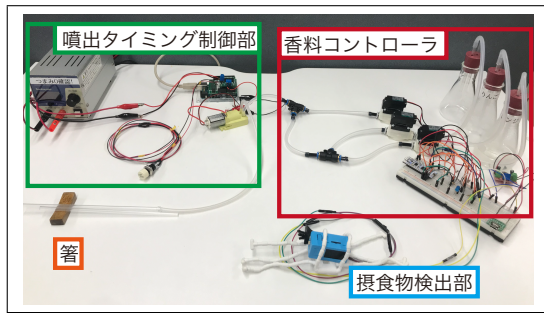


図 6 Okanasal V2 の全体

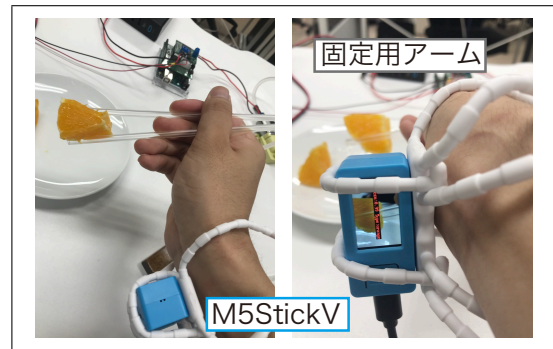


図 8 カメラを手首に装着した様子

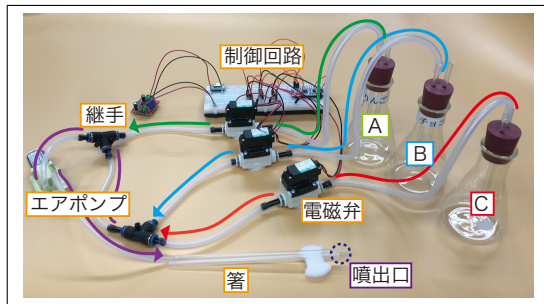


図 7 香料コントローラの経路

v1 で静電容量センサによる摂食検知の実現可能性を十分に示せたと考えた為である。v2 ではローコストで行なえる押しボタンで実装した。

実装した v2 の全体像を図 6 に示す。v2 は香料コントローラ、香料コントローラを制御する摂食物検出部、噴出タイミング制御部、箸で構成される。

#### 4.2 香料コントローラ

図 7 に香料コントローラの経路を示す。香料コントローラは複数の香料プールをチューブと電磁弁 (EXA-C6-02C-3)、エアポンプを介して箸の後端へ接続されている。各電磁弁の開閉は FET を用いたスイッチング回路で制御する。電磁弁の開閉をコントロールすることで、任意の香料プール 1 つだけと箸の噴出口への経路を開通することができる。

今回は香料プールを最大 3 つまで接続することができる。電磁弁と継手の数を増やすことで、香料プールの接続数を増やすことが可能である。

#### 4.3 摂食物検出部

摂食物の検知には、Kendryte K210 を搭載した AI カメラである M5Stack 社の M5StickV を用いた。M5StickV は、表面に LCD スクリーン、裏面にカメラが搭載されている。同社の V-Training<sup>\*1</sup> を用いることで、M5StickV で物体検知ができる学習モデルを生成することができる。V-Training による学習は 10 クラスまででき、各クラスには 35 枚以上の学習データセット (35 枚の内、トレーニングセット 30 枚、バリデーションセット 5 枚) が必要である。

<sup>\*1</sup> [https://docs.m5stack.com/#/en/related\\_documents/v-training](https://docs.m5stack.com/#/en/related_documents/v-training)

今回は、オレンジ、りんご、バナナのそれぞれがカットされた写真を 40 枚ずつを学習データセットとした。学習結果は、Final Loss が 0.00812、Final Accuracy が 0.99714 となった。

M5StickV のカメラは常に、ユーザが何を食べようとしているかを検出する必要がある。そのため、ユーザが箸で何をはさんでいるかを常に監視する為に、図 8 の様に M5StickV を手首に装着する。M5StickV を固定する白い固定用アームは、針金ベースのフレキシブルなアームであり、ユーザごとにカメラの位置・角度が微調整が可能である。

M5StickV が検出した結果を、香料コントローラの制御回路へ送信し、その結果を元に香料コントローラを動作させる。

#### 4.4 噴出タイミング制御部

今回使用しているエアポンプ (CM-15-12) は、最大吐出量が 1.5 L/min、必要電圧が 12 V となっている。エアポンプはモータドライバを介して、安定化電源と接続されている。押しボタンを押すことで、エアポンプを任意の間、動作させることができる。

### 5. 評価実験

本章では、Okanasal v2 を用いた評価実験について述べる。本論文では、3.1 節に示した Okanasal の 2 つの可能性の内、風味の増強についてのみ評価を行なう。

#### 5.1 評価方法

Okanasal を使用してくだものを食べた際、口腔内に香料を噴出することでくだものの風味に変化が生じるかについてユーザアンケートを行ない評価する。アンケートでは Okanasal を使用することで、1) 風味の変化を感じたか、2) 風味の変化に対する好みはようになったかについて行なう。項目 1) は、変化を感じたか、感じなかったかのどちらかを解答してもらう。項目 2) は、1) で変化を感じたと解答した場合、その風味の変化は好きか嫌いかを 7 段階のリッカート尺度で解答してもらう。

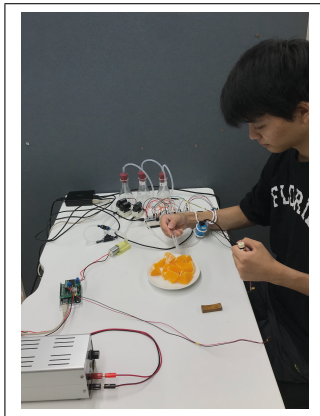


図 9 実験の様子

## 5.2 評価条件

### 5.2.1 固定条件

固定条件は、1) 使用する香料、2) 香料の濃度、3) 空気の噴出時間、4) 食事を行なう環境の 4 つある。

使用する香料はティム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。香料プール A にはりんごの香料、香料プール B にはオレンジの香料を充満させ、香料プール C は空の状態に接続する (図 7)。

香料の濃度は香料 3 ml に対して 50 ml の水で薄めた。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。さらに、香料プールである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に脱脂綿を 5 g 入れ、実験直前に三角フラスコを沸騰したお湯で 5 分程度湯煎した。

空気の噴出時間は 0.5 秒とした。噴出時間は短いと口腔内に香料を充満させることができず、長いと口腔内に空気が入りすぎて摂食者がむせてしまう。この噴出時間は予備実験を行い、主観的に決定した。

図 9 に実際の様子を示す。カメラの物体検出を過度に阻害しない為に、食事は白い机の上で行なった。

### 5.2.2 比較条件

比較条件は、1) なにを食べるか、2) 噴出する空気の強さ、3) 噴出する空気に香料を付与するかどうかの 3 つあり、それぞれの条件の組み合わせにおいて評価実験を行なう。表 1 に実際に行なった実験条件を示す。

噴出する空気の強さは、強条件はエアポンプの duty 比を 100 %、弱条件は duty 比を 66 % とした。

噴出する空気に香料を付与しない場合の条件において、作成した香料コントローラを用いて箸先から噴出を行なうと、各香料プールで共有しているチューブ (図 7 の紫矢印部) に香料の匂いが染み付いてしまっている為に、微か

表 1 実験条件

条件名称	噴出強度	香料
りんご-強	強	りんご
りんご-弱	弱	りんご
りんご-強-香料なし	強	香料なし
りんご-弱-香料なし	弱	香料なし
オレンジ-強	強	オレンジ
オレンジ-弱	弱	オレンジ
オレンジ-強-香料なし	強	香料なし
オレンジ-弱-香料なし	弱	香料なし

に香料が付与された用になってしまう問題があった。その為、香料を付与しない条件においては、香料コントローラを使わずに、いままで香料を 1 度も通していないチューブとエアポンプを使用して行なった。

## 5.3 実験手順

8 人の大学生・大学院生 (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 口飲む
- (3) 嗅覚ディスプレイを動作させずに、くだものを 1 切れ食べる
- (4) 水を 1 口飲む
- (5) 嗅覚ディスプレイを動作させ、いずれかの実験条件でくだものを 1 切れ食べる
- (6) アンケートを解答

1 回のタスク (2 ~ 6) で行う実験条件はカウンターバランスを取った。被験者には、タスクの噴出強度と香料の有無を知らせずに、全てのタスクを行なった。香料ありのタスクが終わるごとに、中身が空である香料プール C に接続された電磁弁のみを開けた状態でエアポンプを動作させ、香料噴出経路に残った香料を取り除く。

実験の説明では以下の点について説明を行なった。

- この実験では先から空気が噴出する箸を使う
- 1 回のタスクで指定したくだものを 2 切れ食べる
- 1 回のタスクが終わるごとにアンケートを解答する
- タスクは計 8 回行なう
- ボタンを押すことで箸先から空気が噴出される
- 箸で口へ食べ物を入れて、口を閉じた瞬間にボタンを押す
- 手首にカメラ (M5StickV) を装着する
- 箸を持った時に、そのカメラの画角に箸先が収まる様にカメラの位置を調節する

## 5.4 実験結果

風味の変化を感じたかどうかのアンケート結果を図 10 に示す。縦軸が風味の変化を感じた人数であり、それぞれの棒グラフは表 1 で示した実験条件である。



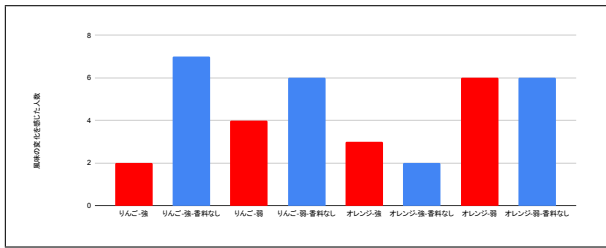


図 10 風味の変化を感じたか

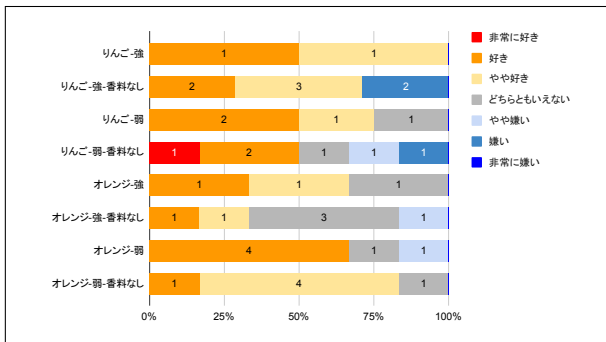


図 11 風味の変化に対する好み

香料付与した条件と香料を付与していない条件とをそれぞれ比較する。りんご-強条件においては、香料を付与していない条件の方が多くの人数が風味の変化を感じた。りんご-弱条件においては、香料を付与していない条件の方が多くの人数が風味の変化を感じた。オレンジ-強条件においては、香料を付与している条件の方が多くの人数が風味の変化を感じた。オレンジ-弱条件においては、同じ人数が風味の変化を感じた。このことから、香料を付与してなくても、ユーザは風味の変化を感じることが分かる。

それぞれの果物の香料ありで、噴出強度とを比較する。りんご-強条件とりんご弱条件間と、オレンジ-強条件とオレンジ-弱条件間の両方とも、噴出強度が弱の方が風味の変化を感じた。

風味の変化に対する好みのアンケート結果を図 11 に示す。このアンケート項目を答えるのは、風味の変化を感じたと答えた被験者のみである。グラフの棒内部の数字は回答人数である。オレンジ-強-香料なし条件以外は、半数以上が肯定的な回答を行なった。

## 6. 関連研究

鳴海らは嗅覚・味覚・視覚間の感覚間相互作用を利用し、味を変化させるシステムであるメタクッキー [1] を提案した。ユーザは嗅覚ディスプレイが搭載されたシースルー HMD を着用し、プレーンのクッキーを食べる。HMD は現実のプレーンのクッキーの上に別のテクスチャーを表示することができる。嗅覚ディスプレイはユーザの鼻の前に噴出口があり、オルソネイザル経路へ匂いを提示することができる。例えばこのシステムを用いて、チョコレートクッキーのテクスチャーを表示し、チョコレートの匂いを提示

することで、ユーザはプレーンのクッキーを食べているはずが、あたかもチョコレートクッキーを食べているように感じることができる。

Lin らは嗅覚ディスプレイを搭載したフォーク型デバイスである TransFork[2] を開発した。ユーザが TransFork のすくいを入れた時に、嗅覚ディスプレイがユーザの鼻の前に来て、オルソネイザル経路へ匂いを提示することができる。

Ranasinghe らは、飲料の色、味、匂いを変更できるカクテルグラス型デバイスの Vocktail[3] を開発した。Vocktail は底に LED、ふちの口が当たる部分に電極、電極の対角の位置に嗅覚ディスプレイが搭載されている。LED で飲料の色を変えることで視覚へ、電極が舌に当てることで味覚へ、嗅覚ディスプレイで嗅覚へ作用し、飲料の風味を変えることができる。

メタクッキーから、風味は味覚以外の感覚へ働きかけることで操作することができそうなことが分かる。TransFork や Vocktail のように、嗅覚ディスプレイをデバイス本体に内蔵させることで、自然な食事の場面を維持したままにできそう。しかし、嗅覚ディスプレイを用いる研究の多くはレトロネイザル経路を意識してしまい、風味において重要なはずのレトロネイザル経路を考慮していない。

## 7. 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文増強システムの改善を行なった。v1 の課題であった、風味を変えるためには手で香料プールを交換する必要がある点を解決する為に、自動で香料プールを交換できる機構を作成した。評価実験において、ユーザは香料の有無にかかわらず、接触時に口腔内に空気を噴出することで、摂食物の風味の変化を感じた。

## 参考文献

- [1] 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).
- [2] Lin, Y.-L., Chou, T.-Y., Lio, Y.-C., Huang, Y.-C. and Han, P.-H.: TransFork: using olfactory device for augmented tasting experience with video see-through head-mounted display, pp. 1-2 (online), DOI: 10.1145/3281505.3281560 (2018).
- [3] Ranasinghe, N., Nguyen, T. N. T., Liangkun, Y., Lin, L.-Y., Tolley, D. and Do, E. Y.-L.: Vocktail: A Virtual Cocktail for Pairing Digital Taste, Smell, and Color Sensations, *Proceedings of the 25th ACM International Conference on Multimedia*, MM '17, New York, NY, USA, ACM, pp. 1139-1147 (online), DOI: 10.1145/3123266.3123440 (2017).
- [4] 翔悟岡崎, 亮文井上, 徹 星: 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, 情報処理学会研究報告 (GN), Vol. 2017, No. 8, pp. 1-6 (2017).
- [5] Rozin, P.: "Taste-smell confusions" and the duality of the



olfactory sense, *Attention, Perception, & Psychophysics*,  
Vol. 31, No. 4, pp. 397–401 (1982).