

# 拡張現実感による食品咀嚼回数の増加手法

井上 亮文<sup>1</sup> 山崎 滉峻<sup>1</sup> 星 徹<sup>1</sup>

**概要:** 肥満は糖尿病や痛風といった多くの疾患の要因となるため、早期の解消や防止が望まれている。本研究では、摂食者が感じる食品の食感を拡張現実感で変化させ、咀嚼回数を増加させる手法を提案する。提案手法はヘッドマウントディスプレイで食品の見た目を、骨伝導スピーカーで食品の咀嚼音を上書きし、食品の主観的な硬さを向上させる。咀嚼回数の増加は摂食者の満腹中枢を刺激し、少ない食品摂取量での満足感向上につながり、肥満の解消が期待される。プロトタイプを用いた実験では、視覚を上書きするCG表示の質感と精度に改善の余地があるものの、摂食者の主観的な食感を操作し咀嚼回数を増加させる可能性が確認された。

## Increasing the Number of Mastication by Augmented Reality

AKIFUMI INOUE<sup>1</sup> KOKI YAMASAKI<sup>1</sup> TOHRU HOSHI<sup>1</sup>

**Abstract:** Obesity is causing many diseases such as diabetes, gout, and high-blood pressure. Some studies and services have support to decrease obesity using by suppressing food intake. In this paper, we propose a method to increase the number of mastication by controlling the subjective hardness of food based on augmented reality. The satiety center will be stimulated by the increased mastication and suppress the eating behavior. In the comparative experiments, we confirmed that our prototype could control the subjective hardness of a rice ball and increase the number of mastication despite a low-quality visual texture.

### 1. はじめに

流通網の発展や食文化の変化に伴い、肥満が世界規模の社会問題になっている。肥満は糖尿病や痛風といった多くの疾患の原因となるため、早期解決が望まれている。肥満の解消や防止には、食事のバランスと量を適切にコントロールすることが効果的であることから、情報通信技術を用いて食事の改善を目的とした研究や Web サービスが提案されている。

特に注目されているのは、拡張現実感を利用した手法である。この手法では、ヘッドマウントディスプレイ（以降、HMD）上でユーザから見た実質的な（主観的な）食品の見た目をリアルタイムに変化させる [1]。満腹感には食品の外見などにも影響されるため、実際よりも大きく見せた食品を食べると少ない摂取量でも満足してしまうという心理学的見地から摂取量をコントロールしようというアプローチ

である。

一方、人間には満腹中枢という摂取量を抑制する器官が存在することが知られている。過去の研究で考慮されていないこの部位を ICT で効率的に刺激することができれば、生理学的な見地から摂取量抑制が期待できる。また、この手法は先述の心理学的アプローチと排他的な関係ではないため、併用されることでさらなる効果も期待できる。

本研究では、HMD と骨伝導スピーカーを用いて摂食時における食品の外観と咀嚼音を上書きする手法を提案する。視覚及び聴覚情報が食感を妨害する感覚刺激となり、ユーザの感じる主観的な食感が実際の食品よりも歯応えのあるものへと変化し、咀嚼回数の増加が期待できる。咀嚼回数の増加は満腹中枢を刺激することが知られており、満腹感の向上と摂取量の抑制につながる。

以下に、本論文のアウトラインと主な貢献を示す。

- 我々の提案手法の理論的側面を示し、それを実現するプロトタイプ CrARnchy について紹介する (2, 3章)。
- CrARnchy を用いて白米のおにぎりを摂食する比較実

<sup>1</sup> 東京工科大学  
Tokyo University of Technology

験を通して、咀嚼回数増減の有無を調査する(4章)。

- 実験結果の分析から、提案手法のうち何が効果があり、何に効果が無かったのかを議論する。また、関連研究との比較を通して本研究の位置づけを明確にする。(5章)。

## 2. 拡張現実を用いた食感操作による咀嚼回数の増加手法

本章ではまず、前提理論となる満腹中枢とクロスモーダル知覚について解説する。次に、これら知見を基にした提案手法について説明する。

### 2.1 満腹中枢

満腹中枢とは、自律機能の調節を行う視床下部の腹内側野のことである。満腹中枢が刺激を受けると摂食行動が抑制される。満腹中枢を刺激する物質は、腸管から分泌されるインクレチン、脳から分泌されるセロトニンやレプチン、ヒスタミンなど複数存在する。この内、ヒスタミンは咀嚼を行うことで分泌されるため、咀嚼回数が増えると満腹中枢が刺激され易くなり満腹感が向上する。

### 2.2 クロスモーダル知覚

人間が普段知覚している情報は、視覚・聴覚・触覚・味覚・嗅覚といった複数の感覚情報が相互作用して統合されたものである。これをクロスモーダル知覚という。

この事実は、ある感覚情報を刺激することにより、別の感覚情報の認知に影響を受けることを示している。例えば、マガーク効果では、「ガ」と発音している人の映像と「バ」と発音している音声を同時に提示すると、提示された側は提示された音声で「ダ」と誤認することが知られている [2]。つまり、視覚情報が聴覚の認知に影響を与えている。

### 2.3 視聴覚情報の上書きによる主観的食感操作

提案手法は、この感覚情報の相互作用を利用して食品の食感を主観的に変化させることで咀嚼回数の増加を目指すものである。その結果として満腹中枢が刺激され、食事摂取量の抑制につながることを期待している。

図 1 左は通常の摂食の様子を表している。ユーザの目の前のテーブルには曲線的な輪郭を持った白い食品が置かれている。ユーザはその食品の見た目から「柔らかそう」という印象を持ち、口に運んで咀嚼すると「モチモチ」とした食感を味わうことができる。

図 1 右は提案手法による摂食の様子を表している。ユーザの目の前には同じ食品が置かれているが、ユーザはビデオスルー型の HMD を装着している。目の前の食品の見た目(資格情報)は HMD によって鋭角的な輪郭を持った濃色のものに変更される。また、口に運んで咀嚼すると

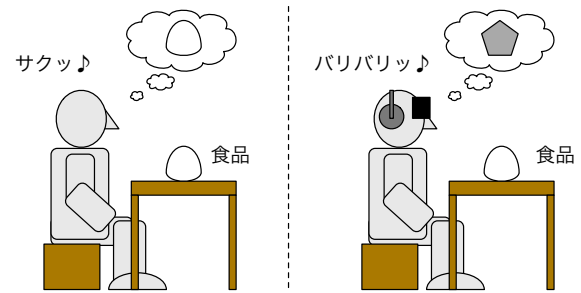


図 1 摂食時の視聴覚情報上書き。見た目と咀嚼音から硬い食品と感じたユーザは無意識に咀嚼回数を増加させる。この咀嚼が満腹中枢を刺激し摂食量の抑制につながる。

Fig. 1 Controlling the subjective texture of food by overriding audio/visual information. The user increases the number of mastication involuntarily. This stimulates the satiety center.

きの咀嚼音(聴覚情報)はヘッドフォンによって「バリバリ」という硬い食品特有の咀嚼音に変更される。

食品そのものは何も変わっていないが、ユーザは拡張現実感で置き換えられた視覚情報と聴覚情報から、その食品が「硬そう」という印象を持つ。増田らによれば、食品の咀嚼音によってユーザが感じる食感が変化することが報告されている [3]。この視聴覚情報の印象が食感(触覚情報)の認知に影響を与え、硬いものを食べているような感覚になり、よく噛んで食べようと咀嚼回数を増加させる。

## 3. 実装

本章では提案コンセプトを実現するプロトタイプシステム CrARnchy について述べる。

### 3.1 システム構成

CrARnchy の構成と主観的食感操作の流れを図 2 に示す。本システムは食品の 3D モデルを表示する HMD、食卓の画像を取得する Web カメラ、咀嚼を認識する筋電計、任意の咀嚼音を提示する骨伝導スピーカーからなるユニット、及び、HMD に表示する映像と骨伝導スピーカーより提示する咀嚼音の生成と出力を行う PC から構成される。処理の流れを以下に示す。

- (1) ユーザはユニットを装着した状態で摂食行動をとり、同時にユニットの Web カメラは食卓の画像を取得する。
- (2) PC は処理 (1) で取得した食卓の映像を HMD に出力する。その際、映像から食品の位置を認識し、硬質感を感じさせるテクスチャを持つ食品の 3D モデルを実世界の食品に重畳表示する。
- (3) 筋電計は常にユーザの顎の筋電位を取得している。咀嚼を認識した際は、顎を閉じるタイミングに合わせて歯ごたえのある食品を連想させる咀嚼音を骨伝導スピーカーより出力する。

HMD を装着したユーザから見れば、食品の見た目だけ

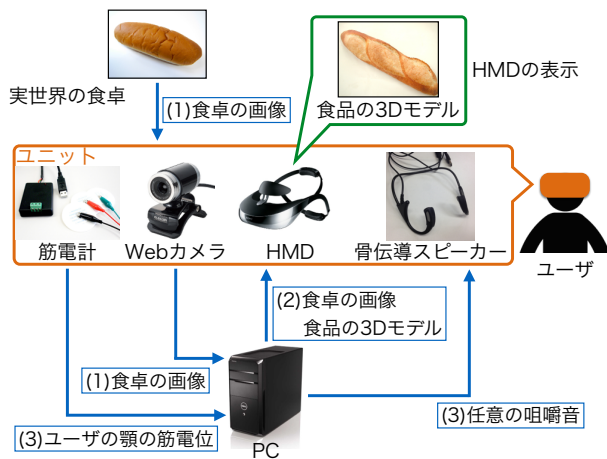


図 2 CrARnchy における食感操作の流れ

Fig. 2 The procedure of how crARnchy changes the texture of food.

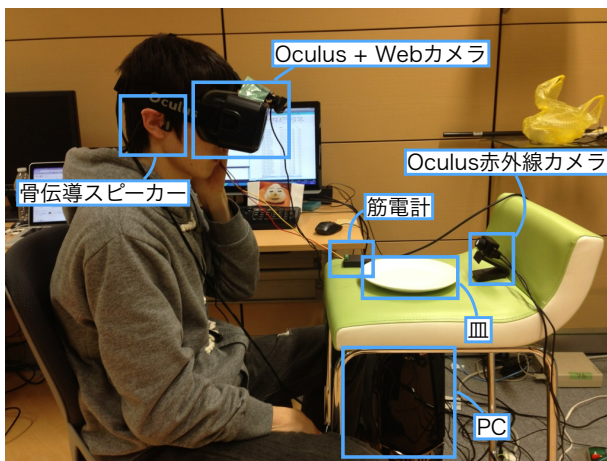


図 3 CrARnchy 外観。ユーザーは椅子に座り、食品は目の前にある皿の上に置かれる。

Fig. 3 The appearance of CrARnchy. The user takes a seat and eats food arranged on a dish.

が仮想世界の情報で書き換えられ、それ以外の皿や卓上の見た目は変化がない。

### 3.2 プロトタイプ

CrARnchy の利用しているユーザーの様子を図 3 に示す。HMD には Oculus Rift DK2 を、筋電計には東京デバイセズのマッスル・リンクを、骨伝導スピーカーにはテムコ HG40SIM-TU を用いた。咀嚼のための筋電位測定電極は図 4 のように咬筋に沿って貼り付けた。Oculus Rift の上部には、HMD 外の映像を撮影するための Web カメラ (Logicool HD Pro WebCam C910) を設置した。

本システムで外観を変化可能な食品は図 5 左のようなゴルフボール大のおにぎりに限定している。このおにぎりに海苔を適切な位置に貼り付けてマーカーとし、PC 上で動作する画像処理プログラムでその位置を絶えず認識している。画像処理プログラムは Windows 8 上で OpenCV を

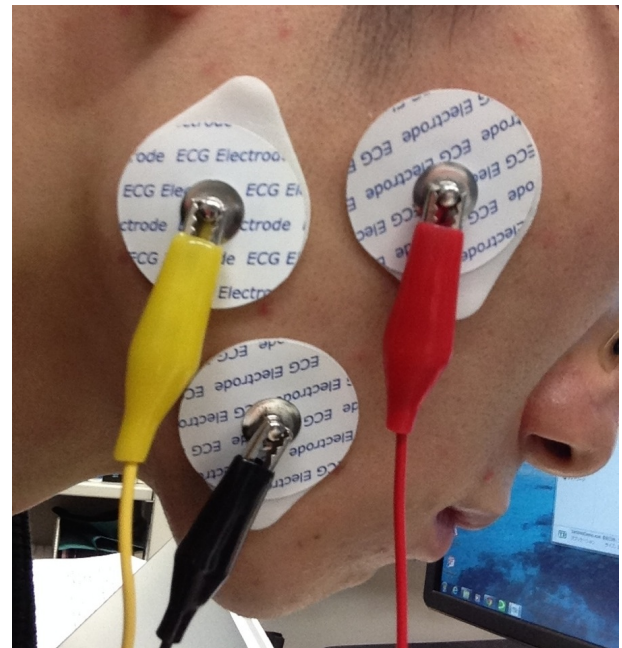


図 4 筋電位測定電極の設置位置。咀嚼活動検出のため、使い捨て電極を咬筋に沿って貼り付けた。赤と黄が測定電極であり、黒は不関電極である。

Fig. 4 Disposal electrodes should be attached along the masseter muscle in order to detect the masticatory activity. Red and yellow cables are the measuring electrodes. Black one is the indifferent electrode.

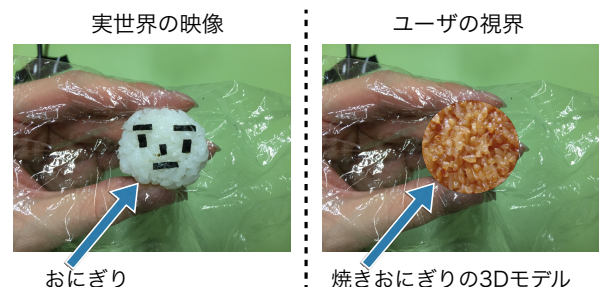


図 5 HMD を通してみた食品外観の変化。柔らかい白米のおにぎりの外観を認識し、その上にカリカリ食感の焼きおにぎりのテクスチャを貼り付けている。

Fig. 5 CrARnchy renders a roasted rice ball texture on a soft rice ball. Its appearance looks very crunchy.

用いて開発した。

このおにぎりを HMD を通して見ると図 5 右のような焼きおにぎりのテクスチャが重畳表示される。テクスチャの重畳は Unity 4.2 を用いた。一般に、焼きおにぎりは普通のおにぎりより硬質な食感と認識されている。また、咀嚼時の音もカリカリといった硬質感を与えることから、本研究の目的達成には最適と考えられる。

## 4. 評価

本研究では視覚と聴覚に対する拡張現実の提示より、食



表 1 各被験者の咬筋付近筋電位の平均値

Table 1 The mean value of the myoelectric potential from the muscles around the mouth.

| 被験者 | 平均値 (V) | 被験者 | 平均値 (V) |
|-----|---------|-----|---------|
| A   | 3.9     | F   | 4.5     |
| B   | 2.0     | G   | 3.8     |
| C   | 3.0     | H   | 2.8     |
| D   | 6.0     | I   | 3.5     |
| E   | 3.2     | J   | 4.5     |

品の食感を実際よりも硬質に感じるかどうかを検証する必要がある。はじめに、予備実験として、被験者の顎の筋電位を測定し、咀嚼時の電位に個人差があるかどうかを調べた。次に、システムを利用して食品を咀嚼した際の咀嚼回数の増減を測定した。被験者は 20 代の男性 9 人、女性 1 人の計 10 人である。

#### 4.1 予備実験

CrARnchy は咬筋の収縮時と弛緩時に発生する筋電位で咀嚼行動を判定する。そこで、各被験者に図 4 の位置に電極を設置して一定時間咀嚼運動をさせ、顎を噛みあわせた際に発生した電位の平均値を求めた。

各被験者の筋電位の平均値を表 1 に示す。咀嚼時の咬筋電位は個人差が大きいため、被験者ごとに咀嚼判定の閾値を設定することとした。

#### 4.2 咀嚼回数増減の測定実験

##### 4.2.1 方法

次に、CrARnchy を用いて咀嚼回数の増減を調べる実験を実施した。

被験者は CrARnchy のユニットを装着した状態でおにぎりを摂食してもらい、これをすべて飲み込むまでの咀嚼回数を測定した。このとき、HMD でおにぎりに重畳表示する映像と、骨伝導スピーカーで咀嚼に合わせて提示する音声の組み合わせを変更し、合計 6 種類の実験を実施した (表 2)。

各被験者は合計 6 回おにぎりを摂食する。また、CrARnchy は海苔をマーカーとするため、食べかけのおにぎりを認識することが難しい。そこで、実験に用いたおにぎりは直径 3 cm、厚さ 0.5 cm、重量 7 g とし、被験者が一口で食べられ、かつ、摂食過剰にならないように工夫した。摂食の際は、カメラによる認識を妨げないように 2 本の指で挟むように持って食べるよう指示した。

##### 4.2.2 結果

各条件における被験者間の平均咀嚼回数を図 6 に示す。なんらかの映像と音声を提示した実験 2 ~ 実験 6 の咀嚼回数は、何も提示をしなかった実験 1 とくらべて増加している。最も咀嚼回数が多かったのは、焼きおにぎりのモデルと咀嚼音 1 を同時に提示した実験 5 となった。

表 2 咀嚼回数測定実験の各条件。提示音声はいずれも白米より硬質感を伴う煎餅の咀嚼音であり、咀嚼音 1 は咀嚼音 2 に比べて低周波成分が強い。

Table 2 Experimental conditions for counting mastication.

Both audio clips were the mastication sound of Japanese rice cookies. Clip #1 has more low-frequency content than clip #2.

| 実験名  | 映像 | 音声    |
|------|----|-------|
| 実験 1 | 無し | 無し    |
| 実験 2 | あり | 無し    |
| 実験 3 | 無し | 咀嚼音 1 |
| 実験 4 | 無し | 咀嚼音 2 |
| 実験 5 | あり | 咀嚼音 1 |
| 実験 6 | あり | 咀嚼音 2 |

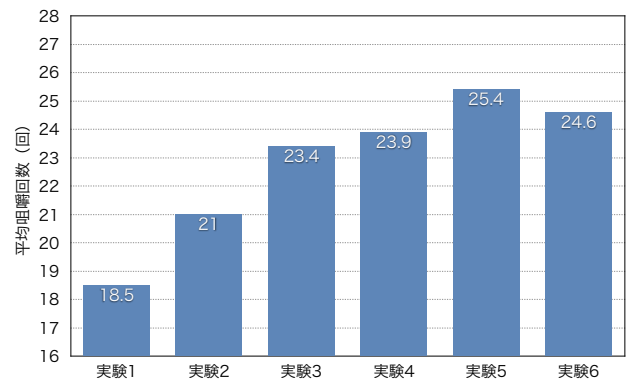


図 6 各条件における平均咀嚼回数

Fig. 6 The mean value of mastication count.

有意水準を 5% とした相互比較の結果、実験 1 と実験 3~6 の間には有意差がみられた。しかし、それ以外の間には有意差はみられなかった。この結果より、視聴覚情報を提示することにより主観的な食感が変わり咀嚼回数は増加するが、特に聴覚情報の影響が大きいことがわかった。また、咀嚼音による差も見られなかった。

#### 4.3 アンケート

咀嚼回数増減の実験後、各被験者に、食感が最も硬質だと感じた条件を 1 つ回答してもらった。表 3 に実験条件ごとの回答人数を示す。結果より、主観的な硬質感は実験 5 (焼きおにぎりテクスチャと咀嚼音 1) が高かったが、咀嚼音の提示がある他の実験 3, 4, 6 と差は無かった。咀嚼回数増減の実験と同様に、咀嚼音の影響の大きさを示す結果となった。

自由記入欄を記述した 8 人の被験者の中で、咀嚼音について記述したのは 4 人、モデルについて記述したのは 2 人であった。「モデルと比較して咀嚼音のほうが咀嚼回数に影響を与える気がする」という記述もあり、自由記入の意

表 3 食感に関するアンケート結果

Table 3 The results of a questionnaire survey on masticatory texture.

| 実験条件 | 人数 (名) |
|------|--------|
| 実験 1 | 1      |
| 実験 2 | 0      |
| 実験 3 | 2      |
| 実験 4 | 2      |
| 実験 5 | 3      |
| 実験 6 | 2      |

見や感想からも咀嚼音が主観的な食感に与えた影響が大き  
いと考えられる。

## 5. 議論

### 5.1 実験結果に対する考察

実験の結果, CrARnchy を利用することで, 食品の咀嚼  
回数を増加できることがわかった。今回の実験では少量の  
食品摂取で実験をしたが, より多くの量を摂取すれば, 増  
加した咀嚼回数によって満腹中枢が刺激されて過剰な摂食  
を抑制できる可能性がある。

咀嚼回数の増加には, 硬質食品テクスチャの重畳表示よ  
りも, 硬質食品の咀嚼音同期再生の影響が大きかった。

プロトタイプのおにぎりテクスチャは, 薄い円盤形  
状のおにぎり表面に平面的に貼り付けた。この見た目は視  
覚的な立体感に乏しく, クロスモーダル知覚に与える影響  
が小さくなった可能性がある。視覚による効果を検証する  
にはリアリティのあるテクスチャ表示が必要であるが, そ  
のためには食品の立体形状認識や高精細テクスチャ重畳技  
術が必須となり, 技術的ハードルは高いと言える。

これに対し, 煎餅の咀嚼音提示は被験者の咀嚼運動に完  
全に同期していた。さらに, 骨伝導スピーカーで聴覚神経  
を直接刺激したため, 被験者が実際に煎餅を食べている感  
覚に近かったと考えられる。食品に合わせた咀嚼音を事前  
準備できれば, CrARnchy で用いた手法は他の食品でも有  
用である可能性が高い。

### 5.2 関連研究

ここではクロスモーダル知覚を利用して食品に関する感  
覚を変化させる研究しつつ, 本研究との違いについて述  
べる。

森谷らは, チーズや林檍といった食品の食感を提示可能  
な装置を開発した [4]。この装置を噛むことで, 実際に食品  
を摂食することなく, 対象となる食品の食感をユーザへ提  
示できる。また, 装置を噛む際に・味・匂い・咀嚼音とい  
った複数の感覚刺激を同時に提示することで, ユーザが感じ  
る食感の再現度を向上させた。提示する感覚刺激が多いほ  
ど再現度向上することも明らかにした。これに対し我々の  
研究では, ユーザが実際に食品を摂食した際に感じる食感

を操作し, 咀嚼回数を増加させて満腹感の向上に繋げる。  
食べるという行為を我慢するのではなく, 食べる量を自然  
に減らそうというアプローチである。

廣瀬らは, 調味料を振りかける動作に伴い, ユーザが感  
じる食品の重さを増加させることで食感を変化させるシス  
テムを提案した [5]。開発したフォーク型デバイスで食品  
を取得し調味料を振りかける動作をした際, デバイス内部  
のおもりを先端に移動させることで食品の位置におもりの  
モーメントを提示する。これにより, ユーザは調味料をか  
けたことで食品が重くなったと錯覚し, 「食品が大きくな  
った」「ずっしりとした食感に変化した」といった感覚を覚え  
る。この研究が触覚・力覚を利用して食品の分量を操作し  
ているのに対し, 我々の研究では視覚と聴覚を利用して食  
感を変化させている。

Narumi らは, 拡張現実感を用いて食品の色・大きさ・  
見た目・匂いを変化させることで食品の味を変化させる方  
法を提案した [1], [6]。このシステムは, ユーザが実世界の  
クッキーを摂食する際に, HMD へ見かけ上の大きさを変  
更した仮想的なクッキーの画像や匂いを提示し, ユーザが  
実際に摂食したクッキーの大きさ(量)や味を誤認させて  
いる。これに対し我々の研究では味覚の変化は目的とし  
ていない。聴覚情報から誘発される咀嚼行動で満腹中枢を刺  
激することで, 食品の味そのものを味わいつつ食品摂取量  
の抑制を目指している。

## 6. おわりに

本論文では, 拡張現実感を用いて摂食時の視聴覚情報を  
変化させることで食品の主観的な食感を変化させ, 咀嚼回  
数を増加させる手法を提案した。プロトタイプシステム  
CrARnchy を用いた比較実験により, 提案手法は咀嚼回  
数を増加させることができたが, 特に咀嚼音を同期再生する  
効果が高いことがわかった。

今後の課題として, 本手法を適用可能な食品の種類を増  
やすことが挙げられる。食品の認識の関係で, 現状は一口  
サイズのおにぎりに限定されているが, 特に肥満を誘発す  
るような糖類・脂質が多い食品への適用を検討する必要が  
ある。視覚面では, 肉・魚などの種類は変更せず, 調理法  
によって硬質感を出すようなテクスチャを作成する必要  
がある。聴覚面では, 食品別の硬質感を感じさせる咀嚼音  
の作成の他, まったく逆の咀嚼音提示効果も検証してみ  
たい。例えば, 柔らかさを感じさせる音や, 関連の無い効果  
音を重畳させた場合に摂食行動に出る影響も調べる必要が  
ある。

## 参考文献

- [1] Narumi, T., Ban, Y., Kajinami, T., Tanikawa, T. and Hi  
rose, M.: Augmented Perception of Satiety: Controlling  
Food Consumption by Changing Apparent Size of Food

- with Augmented Reality, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '12, New York, NY, USA, ACM, pp. 109–118 (online), DOI: 10.1145/2207676.2207693 (2012).
- [2] McGurk, H. and MacDonald, J.: Hearing lips and seeing voices, *Nature*, Vol. 264, pp. 746–748 (1976).
- [3] 増田真実, 岡嶋克典: 咀嚼音が食感と快・不快度に与える効果 (マルチモーダル, 感性情報処理, 視知覚とその応用, 一般), 電子情報通信学会技術研究報告. HIP, ヒューマン情報処理, Vol. 111, No. 283, pp. 57–62 (オンライン), 入手先 (<http://ci.nii.ac.jp/naid/110009466618/>) (2011).
- [4] 森谷哲朗, 矢野博明, 岩田洋夫: 食味における感覚統合に関する研究, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 9, No. 3, pp. 259–264 (オンライン), 入手先 (<http://ci.nii.ac.jp/naid/110008746941/>) (2004).
- [5] 廣瀬雅治, 岩崎花梨, 野尻 梢, 武田 港, 杉浦裕太, 稲見昌彦: おもみ調味料グラビトミン酸: 食品の重さのインタラクティブな変化を利用したエンターテインメントシステム, 情報処理学会研究報告. GN, [グループウェアとネットワークサービス], Vol. 2014, No. 71, pp. 1–5 (オンライン), 入手先 (<http://ci.nii.ac.jp/naid/110009676886/>) (2014).
- [6] Narumi, T., Nishizaka, S., Kajinami, T., Tanikawa, T. and Hirose, M.: Augmented Reality Flavors: Gustatory Display Based on Edible Marker and Cross-modal Interaction, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '11, New York, NY, USA, ACM, pp. 93–102 (online), DOI: 10.1145/1978942.1978957 (2011).