慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	聴覚触覚間クロスモーダル効果及び咀嚼動作検出を用いた食感知覚操作システムの研究
Sub Title	Food texture perception control system by chewing detection and cross-modal illusion between haptic and hearing
Author	田中, 秀和(Tanaka, Hidekazu) 稲見, 昌彦(Inami, Masahiko)
Publisher	慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科
Publication year	2011
Jtitle	
JaLC DOI	
Abstract	料理をおいしく食べる時, 我々は幸福感を感じる. そして料理をおいしくする方法として調理が挙げられる. 本研究では食物認知の過程での調理が可能であると考え, 知覚操作を調理法として利用することを目指している. 本研究により, 義歯使用等で食事制限がある人にも, 食知覚の修飾による豊かな食経験の実現に寄与できると考えている. 本研究では食感知覚を操作の対象とし, 触覚- 聴覚間のクロスモーダル効果を利用した食感知覚操作システムを開発した. システムは食事者の顎下に設置した反射型光センサによって下顎の動きを計測することで咀嚼を検出し, 咀嚼のタイミングに合わせて聴覚情報提示を行う. 提示する聴覚情報は, 下顎体部に設置したマイクによって取得された咀嚼音を加工したものである. システムの基礎機能評価, 及びVisual Analog Scaleを用いた食感知覚操作評価を行なった. その結果, システムはリアルタイムでの咀嚼検出と, 食品への噛み込みと同時と知覚されるタイミングでの情報提示が可能であり, 口腔内に食品がない場合では平均誤検出率が3.1%となる精度で咀嚼と発話の判別が可能であった. また本システムをポテトチップスに対して使用することで食品をより新鮮に, ビスケットに対して使用することで食品をより分厚く知覚させることが可能であった.
Notes	修士学位論文. 2011年度メディアデザイン学 第176号
Genre	Thesis or Dissertation
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40001001-00002011-0176

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

2011 年度　　修士論文

聴覚触覚間クロスモーダル効果及び咀嚼動作検出を用いた食感知覚操作システムの研究

KEIO MEDIA DESIGN

慶應義塾大学大学院
メディアデザイン研究科

田中　秀和

本論文は慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科に
修士 (メディアデザイン学) 授与の要件として提出した修士論文である。

田中　秀和

指導教員：

稲見 昌彦 教授　　（主指導教員）

奥出 直人 教授　　（副指導教員）

審査委員：

稲見 昌彦 教授　　（主査）

奥出 直人 教授　　（副査）

杉浦 一徳 准教授　（副査）

聴覚触覚間クロスモーダル効果及び咀嚼動作検出を用いた食感知覚操作システムの研究

内容梗概

料理をおいしく食べる時, 我々は幸福感を感じる. そして料理をおいしくする方法として調理が挙げられる. 本研究では食物認知の過程での調理が可能であると考え, 知覚操作を調理法として利用することを目指している. 本研究により, 義歯使用等で食事制限がある人にも, 食知覚の修飾による豊かな食経験の実現に寄与できると考えている.

本研究では食感知覚を操作の対象とし, 触覚-聴覚間のクロスモーダル効果を利用した食感知覚操作システムを開発した. システムは食事者の顎下に設置した反射型光センサによって下顎の動きを計測することで咀嚼を検出し, 咀嚼のタイミングに合わせて聴覚情報提示を行う. 提示する聴覚情報は, 下顎体部に設置したマイクによって取得された咀嚼音を加工したものである.

システムの基礎機能評価, 及び Visual Analog Scale を用いた食感知覚操作評価を行なった. その結果, システムはリアルタイムでの咀嚼検出と, 食品への噛み込みと同時と知覚されるタイミングでの情報提示が可能であり, 口腔内に食品がない場合では平均誤検出率が 3.1%となる精度で咀嚼と発話の判別が可能であった. また本システムをポテトチップスに対して使用することで食品をより新鮮に, ビスケットに対して使用することで食品をより分厚く知覚させることが可能であった.

キーワード

おいしさ, 知覚, 食感, クロスモーダル, 拡張現実感

慶應義塾大学大学院　メディアデザイン研究科

田中　秀和

Food texture perception control system by chewing detection and cross-modal illusion between haptic and hearing

Abstract

When we eat delicious food, we are happy. We think it is possible to make food delicious by augmenting the recognition of food. We aim to use perception control as a cooking. By this research, a man, who has dietary restriction because of their condition, can also enjoy rich food experience by controlling food perception.

In this research, I will control food texture perception. Using cross-modal illusion between haptic and hearing, I developed a system of controlling food texture perception. User's chewing sound is recorded in real time, passed through a filter, and feedback to himself. The sound is feedback only when the user is chewing. Photo reflector which is set up under the jaw detects chewing.

I evaluated experiments of basic function, and controlling food texture according to Visual Analog Scale. As a result, the system could detect chewing in real time, could output the sound at the timing which the user recognized as chewing sound, and could distinguish chewing and talking with an accuracy of 3.1% error rate when he was not eating. Using the system, when the user ate potato chips, he felt it was more fresh, when he ate biscuit he felt it was more bulky.

Keywords:

Deliciousness, Perception, Food texture, Cross-modal, Augmented Reality

Graduate School of Media Design, Keio University

Hidekazu Tanaka

目　　次

第 1 章　序論 **1**
1.1. 背景 1
1.1.1 バーチャルリアリティと拡張現実感 1
1.1.2 おいしさ 2
1.1.3 調理 4
1.1.4 食感 6
1.1.5 菓子 7
1.1.6 咀嚼 10
1.2. 本研究の目的 10
1.3. 本論文の構成 11

第 2 章　関連研究 **12**
2.1. 食感知覚 12
2.2. クロスモーダル効果 13
2.3. 食体験の研究 14
2.4. 食知覚の研究 16
2.5. 関連研究のまとめ 22

第 3 章　提案と設計 **25**
3.1. システムの提案 25
3.2. システムの設計 26
3.2.1 咀嚼検出手法の検討 26
3.2.2 反射型光センサの下顎動作計測による咀嚼検出の原理 . . . 28
3.2.3 反射型光センサの出力値と下顎の動きの関係の調査 29

3.2.4 情報提示方法の検討 32

第 4 章 実装 **34**

4.1. ハードウェアの実装 35

4.1.1 ChewingJockey ver1.0 35

4.1.2 ChewingJockey ver1.1 37

4.1.3 操作盤 39

4.2. ソフトウェアの実装 39

4.2.1 咀嚼検出アルゴリズム 41

4.2.2 不快音低減アルゴリズム 43

4.2.3 咀嚼音の加工アルゴリズム 44

第 5 章 アプリケーション **45**

5.1. 食感知覚操作アプリケーション 45

5.2. 効果音付加アプリケーション 45

第 6 章 評価 **48**

6.1. 咀嚼検出能力の評価実験 49

6.1.1 実験設定 49

6.1.2 実験結果 49

6.1.3 考察 50

6.2. 情報提示タイミングの評価実験 51

6.2.1 実験設定 51

6.2.2 実験結果 53

6.2.3 考察 54

6.3. 咀嚼及び発話の判別能力の評価実験 55

6.3.1 実験設定 55

6.3.2 実験結果 57

6.3.3 考察 57

6.4. 食感知覚操作の評価実験 58

6.4.1 実験設定 59

6.4.2 実験結果 62
6.4.3 考察 64
6.5. 評価のまとめ 71

第 7 章 考察 **74**
7.1. 食感知覚操作アプリケーションに関する考察 74
7.1.1 特徴的な食感を強く知覚する 74
7.1.2 特徴的な食感と反対の食感を知覚する 75
7.1.3 咀嚼動作の誘導 77
7.2. 効果音付加アプリケーションに関する考察 78
7.2.1 体験者のみに効果音提示を行なう場合の行動 78
7.2.2 体験者及び見学者に効果音提示を行なう場合の行動 80
7.2.3 体験者と見学者の行動に関する考察のまとめ 82
7.3. 想定ユーザの使用に関する考察 83
7.3.1 体験者について 83
7.3.2 体験内容について 84
7.3.3 考察 87
7.4. 今後の展望 89
7.4.1 児童に対する咀嚼エンタテイメントの提案 90
7.4.2 肥満症患者に対する健康的な食べ方への誘導 90
7.4.3 食事者の周囲にいる人を楽しませる食事表現 91

第 8 章 結論 **92**

図　目　次

1.1 脳内における食物情報の流れ 3
1.2 知覚操作調理法の概念図 5
1.3 おいしさの構成要素 8

2.1 食感知覚の構成要素 12
2.2 Dinig Presenter 15
2.3 Dinner Ware 15
2.4 食ベテルミン 16
2.5 電気味覚提示装置 17
2.6 いろどりん 18
2.7 Straw-like User Interface 18
2.8 Food Simulator 19
2.9 TagCandy 20
2.10 Meta Cookie 21
2.11 Zampini らの実験の様子 22
2.12 増田らの実験の様子 23

3.1 こめかみスイッチによる咀嚼検出 27
3.2 下顎の動作計測による咀嚼検出の原理 (下顎とセンサの距離が変化する様子) 28
3.3 検出回路 30
3.4 実験に使用した装置 31
3.5 結果 (赤:咀嚼時のセンサ値, 青:朗読時のセンサ値) 32

4.1 実装するシステムの概要 34

4.2 ChewingJockey ver1.0 の外観 35
4.3 デバイスが髪の毛に絡む様子 36
4.4 ChewingJockey ver1.1 の外観 37
4.5 センサ部分の自由度が下がった様子 38
4.6 頭部動作時の誤検出を低減する様子 40
4.7 操作盤の外観 41
4.8 咀嚼検出の様子 (青:センサ値, 赤:咀嚼検出のタイミング) 43

5.1 付加する効果音の選択画面 46

6.1 実験の様子 50
6.2 実験の様子 53
6.3 実験の様子 56
6.4 実験の様子 63
6.5 使用食品 64
6.6 実験結果 (食品別評価点数) 65
6.7 評価の傾向 (食品別, 青:評価が負の回答者数, 赤:評価が 0 の回答者数, 緑:評価が正の回答者数) 66

7.1 デモンストレーションの様子 (左:体験者 右:操作者) 79
7.2 体験者と見学者の様子 (中央:体験者 他:見学者) 79
7.3 体験者の行動 (体験者のみに効果音提示を行なう場合) 80
7.4 見学者の行動 (体験者のみに効果音提示を行なう場合) 81
7.5 体験者の行動 (体験者及び見学者に効果音提示を行なう場合) . . . 81
7.6 見学者の行動 (体験者及び見学者に効果音提示を行なう場合) . . . 82
7.7 体験の様子 (左:孫 右:体験者) 85
7.8 使用食品 86
7.9 音量減衰率調整による改善案 89

表　目　次

1.1　食品の感覚的評価を構成する要素 9
1.2　品質特性に関するものの内訳 9

2.1　関連研究のまとめ 23

6.1　実験結果 50
6.2　実験結果 54
6.3　実験結果 (予備実験) 55
6.4　実験結果 57
6.5　口腔内に食品がない状態での誤検出率 58

第1章
序　　論

1.1. 背景

本研究はおいしさのリアリティをデザインするために食知覚に対する操作を試みる研究である．稲見らはリアリティのデザインを行なうために, バーチャルリアリティや拡張現実感を基として知覚操作の研究を行ってきた [1][2][3]. 本研究ではバーチャルリアリティや拡張現実感を基として Quality of life の向上を目指す. そこで日常生活の中でも人間と強い関係性をもつ「食」をテーマとして取り上げ, おいしさのリアリティをデザインするために食知覚に対する操作を試みる.

1.1.1 バーチャルリアリティと拡張現実感

舘 [4] によると, バーチャルリアリティ (Virtual Reality) とは「みかけや形は原物そのものではないが, 本質的あるいは効果としては現実であり原物であること」と定義され, 端的には「抽出された現実」と述べられている. バーチャルリアリティの特徴は「コンピュータが生成する人工環境が, 人間にとって自然な三次元空間を構成しており, 人間がその中で, 環境との実時間の相互作用をしながら自由に行動でき, その環境と使用している人間と環境とがシームレスになっていて環境に入り込んだ状態がつくられているということ」[4] と述べられている. これらの特徴は「三次元の空間性」「実時間の相互作用」「自己投射性」と呼ばれ, バーチャルリアリティを構成するための要素である. また拡張現実感 (Augmented Reality) についても「『現実空間に情報や映像を VR としてつけ加えた空間』を作る技術」[4] と述べられている.

1.1.2 おいしさ

おいしく食事をしているとき, 我々は幸福感を感じる. そこで私は知覚に対する操作を行なうことで, よりおいしく食事をできる方法について考えることにした.

現在, 料理をおいしく食べるための方法として, 調理をするという方法がとられている. 食物科学概論 [5] によれば調理の目的の 1 つに「おいしい食物に仕上げる」という目的があり, そのために「各種調理法を駆使し, 創意工夫することが大切である」とされている.

では,「おいしい食物に仕上げる」という目的が掲げられているが, 我々はどのようにしておいしさを評価しているのだろうか. おいしさは脳で評価されるが, 脳内における食物情報の流れは図 1.1 のように表すことができ, 以下の段階に整理される [5].

1. 味覚器で受容された情報は, 神経 (味覚神経) を介して脳幹部 (延髄) に送られ, 視床を経て大脳皮質味覚野 (第一次味覚野) に伝達される.

2. 視覚, 嗅覚, 触覚, 聴覚で感知された情報も大脳皮質の各感覚野に送られ, 処理される.

3. 各感覚野で処理された食物の情報は前頭連合野 (第二次味覚野) に運ばれ, 高次の情報処理により統合され, 食物が認知される.

4. 各種感覚情報は扁桃体に集められる. 生理的要求, 生理状態, 心理状態, 観念的な認識など複雑な情報を統合し, 過去の食体験 (記憶情報) との照合によって価値の評価を行い, 快・不快などの判断がくだされる.

したがって, 人間は 3 の段階での「認知された食物」を基においしさの評価を行うことが分かる. そしてその 3 の段階に至るまでには各感覚器による知覚を通す必要があるため,「食物」と「認知された食物」は必ずしも同一ではない. そうすると, 最終的なおいしさの判断となる「認知された食物」が「おいしい食物」であるか否かを考えたとき, 更なる創意工夫として知覚の操作が考えられる. すなわち, 知覚操作を調理法として利用することが考えられる. 私は「認知された食物」

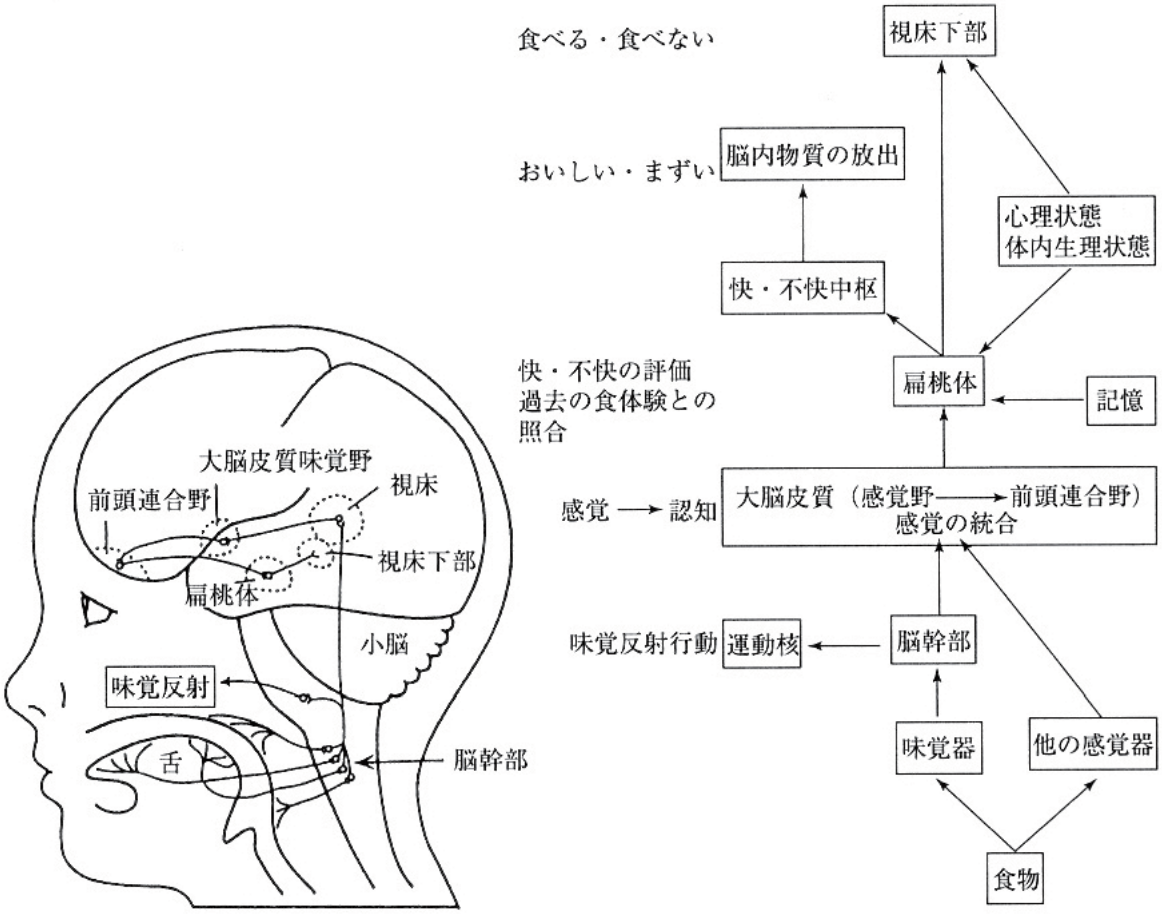


図 1.1: 脳内における食物情報の流れ

(文献 [5] より引用)

をおいしくするように知覚を操作する方法を考えることで, 将来的に知覚操作を新たな調理法として利用することを目指す.

1.1.3 調理

調理とは

調理の主な機能は食物の栄養性と嗜好性を高めることである [5]. 調理科学 [6] によると調理操作は準備段階の機械的操作 (非加熱調理操作) と加熱調理操作と調味操作の 3 つの操作過程があり, これらを経て料理を仕上げるとしている. 非加熱調理操作とは軽量, 洗浄, 浸漬, 切断, 粉砕・磨砕, 混合・撹拌, 圧搾・濾過, 冷却, 冷凍・解凍を指し, 加熱調理操作とは乾式加熱, 湿式加熱, 誘電・誘導加熱, 真空調理法, クックチルシステムを指し, 調味操作とは調味料の使用, 調味料の浸透と拡散を指す. これらの調理操作をみても分かるように, 通常, 調理とは食物に対して行なう操作であるため, 知覚に対する操作は調理には含まれない. しかし本論文では調理の定義の幅を広げ,「認知された食物」に対する操作として調理を定義し, 知覚に対する操作も調理に含まれるものとする.

新しい調理法

調理を科学的に捉えることで, 新しい調理法が生み出された例は過去にもある. 特に有名なのは分子調理法である. これは分子料理学, 分子美食学, 分子ガストロノミーなどと呼ばれる学問分野を基とした調理法である.Yek ら [7] によると分子料理学とは科学者とシェフの協力により料理中に起こるプロセスを物理的化学的に分析解析して何世代にもわたる料理に関する誤解迷信を払拭し, 科学的に正しい知識をもたらすもの, としている. 分子料理学に基づいて調理を行なうことでシェフは独創的な料理をつくることができ, それらは実際に様々なレストラン [8][9][10] で提供されており, 多くの人を楽しませている.

私は料理が認知される過程を人間の知覚の面から分析することで, 将来的に知覚操作を調理法として利用することを考えている. 知覚操作が調理法として利用できれば, 分子調理法と同様にシェフが独創的な料理を生み出す 1 つの手段になりうると考えている.

知覚操作調理法の特徴

私は将来的に知覚操作を調理法として利用することを考えており, これを仮に知覚操作調理法と呼ぶこととする. 知覚操作調理法の概念図を図 1.2 に示す.

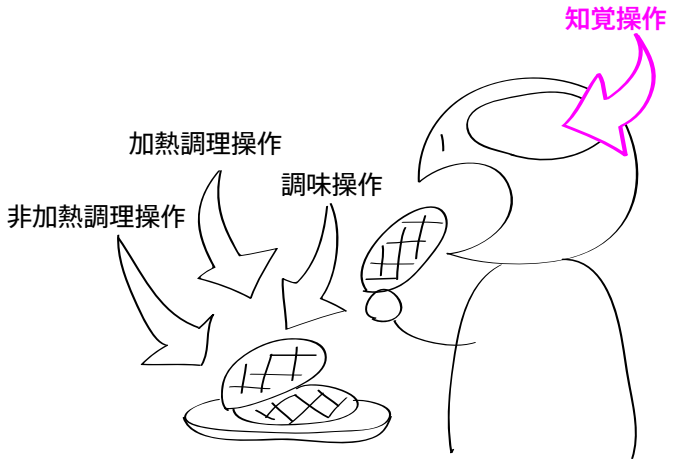


図 1.2: 知覚操作調理法の概念図

知覚操作という特徴を基に, 現時点で考えられる知覚操作調理法の長所と短所について述べる.

長所として, 知覚操作調理法では食物の物理的化学的状態を変化させることなく調理を行なうことが可能となる. すなわち, おいしさの特定の要素を強化するために他の要素を削るといったトレードオフを考慮する必要がなく, 調理者の作りたい料理に合わせて特定の要素のみを強化することが可能となる. また, これは食事者の状態により食べることができる食品の物理的化学的状態が制限されている場合にも有効である. 例えば義歯使用者は硬い食物を噛み砕くことができず, また咀嚼を行なった際の食感を十分に感じることができない [11][12]. そのため調理人が義歯使用者に硬い食感の料理を楽しんでほしいと考えたとしても, 義歯使用者が硬い食物を食べることができず, また食感も感じにくいため, 既存の調理法ではそれを実現することができない. しかし, 知覚操作調理法では食物の物理的状態を変化させることなく調理を行なうことが可能であるため, 食物は柔らかい状態のまま硬い食感知覚を提示することが可能となる. これにより義歯使用者であった

としても硬い食感の料理を楽しむことができる.

また, 食事者が食物を口腔内に入れた後も調理を行なうことが可能となる. 通常の調理は食物を口腔内に入れる前の段階で終了している. その理由は, 食事者の口腔内にある食品に対して調理者が非加熱調理操作や加熱調理操作や調味操作を行なうことが困難であるためだと考えられる. しかし知覚操作は食物そのものに対して操作を行なう訳ではなく知覚を操作の対象とするため, 食物が口腔内にある状態においても調理が可能となる. これにより食事者が料理を食べている最中の反応をみて調理者がリアルタイムに調理を加えるなど, 調理者と食事者の食事を通した新しいコミュニケーションが考えられ, おいしく料理を食べるための更なる創意工夫の余地を生み出せると考えている.

短所として, 知覚操作調理法には食物の栄養性を高める機能がないことが挙げられる. 調理の主な機能は食物の栄養性と嗜好性を高めること [5] であるが, 知覚操作調理法は食物の栄養性を高める機能を有していない. その理由は知覚操作調理法には食品の物理化学的状態を変化させないという特徴があるためである. そこで知覚操作は食物の嗜好性を高めるために用い, 食物の栄養性に関しては非加熱調理操作や加熱調理操作や調味操作により行なうといった使い分けが必要とある.

1.1.4 食感

食感とは

広辞苑第六版 [13] によると, 食感とは「歯ごたえや舌ざわりなど, 食物を口に入れた時の感覚」と記されている. また歯ごたえについては「物をかむとき, かたくて歯に抵抗を感ずること.」と記されており, 舌ざわりについては「食物などが舌にさわった感じ.」と記されている. 食感は口腔内で感じる触覚であり, 食物を飲み込みやすくするために口腔内の皮膚や歯や舌で食品に触れる, 潰す, 砕くなどを行なった際に感じられる表面の質感と抵抗感であると考えられる.

また食物科学概論 [5] によると, 食感とは「食物の物理的性質に由来する属性であり, 口腔内の感覚により知覚されるもの」,「目および口内の皮膚または筋肉感覚で知覚される食品の性質で, 粗さ, なめらかさ, 粒状感などを含む」,「力学的・

触覚的および適切であれば視覚的・聴覚的な方法で感知できる, 食物のレオロジー的構造的 (幾何学的及び表面的) 属性の総体」など研究者や機関により異なっているものの, 要は「食物の組織, 構造あるいは状態に由来する物理的性質に対する感覚応答」とまとめている.

そこで本論文では食感を「口腔内の触覚で知覚される食物の組織, 構造あるいは状態に由来する物理的性質」と定義する. なお, テクスチャーという表現方法もあるが, 本論文ではテクスチャーと食感は同義とする.

食感の位置づけ

まず, おいしさがどのような要素により構成されているかを述べる. 栗原 [14] によるとおいしさは図 1.3 のように構成されている. 我々は甘味, 酸味, 塩味, 苦味, うま味の基本味の他にも多くの要素からおいしさを感じていることがわかる. 本研究で焦点を当てる食感はテクスチャとしておいしさの要素に含まれていることが分かる.

また, その重要性が明らかにされた実験として次のようなものがある. Szczesniak ら [15] は被験者 100 名に対して 74 種類の食品を示し, 連想する言葉を挙げてもらう調査を行った. その結果の要約を表 1.1 及び表 1.2 に示す. 品質特性に関するものの中ではテクスチャーに関するものが 32.1%という最も多くの割合を占めており, 食品においてテクスチャーが重要な位置を占めていることが分かる.

また大橋ら [16] によると, 特に近年日本では食感に対する表現が多様になる傾向があり, 食事の中でも特に注目される要素として認識されていると述べられている. そのため, 本研究では食事に大きな影響を与える要素として食感に注目し, 食感知覚の操作に焦点を当てることとする.

1.1.5 菓子

1.1.3 で述べた通り, 知覚操作調理法は食物の栄養性よりも嗜好性を高めるために用いるのが適している. そこで栄養性に比べて嗜好性の方が重要視される食物が本研究の対象食物として適していると考えられる.

図 1.3: おいしさの構成要素

栄養性に比べて嗜好性の方が重要視される食物として菓子がある.Harold McGee のマギーキッチンサイエンス [17] では,15 世紀にはヨーロッパの富裕層の純粋な楽しみとして, また 18 世紀には万人の楽しみとして菓子が発展してきた様子が記されている. 菓子は生きるために必要な栄養素やエネルギーの摂取を主目的としているわけではなく, 食べる楽しみが主目的となっているといえる.

また食物摂取のみでなく, 食体験としての楽しさを追求している菓子も存在し, 広く知られている. たとえば,「ねるねるねるね」[18] などの知育菓子は粉末素材を混ぜてこねるという過程を楽しむものである. 通常の食事では行なわないような作法であっても, 楽しさを追求する菓子であれば受け入れられやすいという特徴をもっていることが分かる.

表 1.1: 食品の感覚的評価を構成する要素

分類	割合 (%)
料理に関するもの	38.3
品質特性に関するもの	23.7
食品分類に関するもの	7.2
嗜好に関するもの	3.2
栄養に関するもの	2.3
地域に関するもの	1.0
その他	4.4
無反応	19.9

表 1.2: 品質特性に関するものの内訳

分類	割合 (%)
テクスチャー	32.1
風味	26.7
色調	16.0
形・温度	12.5
外観	6.5
香り	2.1
その他	4.0

(文献 [15] より引用)

他の食物に比べ, 生きるための栄養性に重点を置いた調理ではなく楽しむための嗜好性に調理の重点が置かれているという意味で, 菓子は本研究に適した食物であると考えられる. そのため本研究では対象食物として菓子を想定して研究を行う.

1.1.6 咀嚼

食感に関連の深い動作として咀嚼が挙げられる. 咀嚼は歯でものを噛み砕く行為である.

食感の定義は「口腔内の触覚で知覚される食物の組織, 構造あるいは状態に由来する物理的性質」であるが, 咀嚼を行なう際は歯と食物は接した状態になるため食物の表面テクスチャを感じることができ, また歯に抵抗感がかかるため食物の構造などの物理特性を感じることができる. すなわち, 食物に対して咀嚼を行なう際には必ず食感を感じることができ, 本研究において重要な行為として認識する必要がある.

また, 食物に対して咀嚼を行なうと, 食物を物理的に破壊するために音が生じる. この咀嚼によって発生する音を咀嚼音という. 詳細は 2.1 にて述べるが, 食感知覚の要素の 1 つに咀嚼音も含まれていることが示されている [19].

そのため食感知覚を操作する具体的な方法の 1 つとして, 咀嚼音に操作を行なって提示する方法が考えられる.

1.2. 本研究の目的

本研究では人間の食物認知の過程として調理を捉えることで, 将来的に知覚操作を調理法として利用すること目指す. そのために, まずは操作の対象とする知覚の種類や食物を限定して研究を行う.

知覚操作の対象としては, おいしさの要素として重要な位置を占める食感を操作の対象として挙げる. また対象食物としては, 知覚操作調理法の特性に適していると考えられる菓子を想定する.

以上をまとめ, 本研究の目的は「菓子の食感知覚操作システムの開発」とする.

また本研究が想定するユーザとしては, 健康上の理由から食べることのできる食品に制限があるために食べたい食品の食感を楽しめていない人, または義歯使用などの理由により食品の食感を楽しめていない人を挙げる.

1.3. 本論文の構成

第 2 章ではバーチャルリアリティや拡張現実感の視点を中心とした食経験及び食知覚に関する先行研究について述べ, 本研究のアプローチを説明する. 第 3 章ではシステム設計と咀嚼検出手法の検討について述べる. 第 4 章ではハードウェアの実装及びソフトウェアの実装について述べる. 第 5 章では本システムを用いたアプリケーションについて述べる. 第 6 章では機能評価を行なう. 第 7 章で本研究を通じて得られた知見に関する考察を行なう. 第 8 章で結論を述べる.

第2章
関 連 研 究

2.1. 食感知覚

ここでは, 食感がどのような要素により知覚されているかを述べる. 大橋ら [16] によると食感は体性感覚のうちの口腔内の皮膚感覚にあたり, 触覚, 温覚, 冷覚, 痛覚, 圧覚などの感覚が食感知覚に関わっている. また, 後に述べる Zampini らの研究 [19] の知見より, 自身の咀嚼音を聞く聴覚も食感知覚の要素となっていることが分かる. 食物の質感や抵抗感を直接感じることのできない聴覚が食感知覚の構成要素となっている理由としてはクロスモーダル効果 [20] が挙げられる. クロスモーダル効果については 2.2 で述べる. 食感知覚の構成要素をまとめ, 図 2.1 に示す.

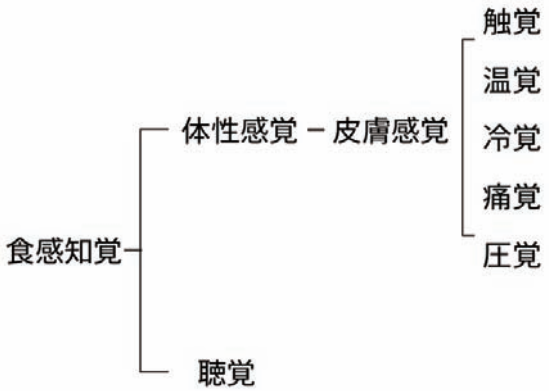


図 2.1: 食感知覚の構成要素

2.2. クロスモーダル効果

クロスモーダル効果とは, 複数の感覚に刺激が与えられた際に生じる感覚間の相互作用である [20].

クロスモーダル効果を説明する例として McGurk ら [21] のマガーク効果が挙げられる.McGurk らはある音韻の発話映像と別の音韻の音声を組み合わせて視聴した時にどちらの音韻とも異なる第三の音韻が知覚されることを示した. 具体的には,「ga」と発声している映像に,「ba」と発声した音声を組み合わせて視聴する時に, どちらの音韻とも異なる「da」という音韻が知覚される. これは音韻知覚が聴覚情報のみではなく, 話者の口元を見るという視覚情報にも影響を受けていることを示している. 視覚情報のみでは音韻を感じることはできないが, 聴覚と視覚という複数感覚に刺激が与えられたことによりクロスモーダル効果が生じ, これにより上記のような錯覚が起こる.

他の例として, 音像の定位方向に視覚が影響を与える現象を腹話術効果 [22][23] と呼ぶ. 具体的には腹話術のを見る場合に, 実際は演者の口元から発せられた音声があたかも人形が話しているように感じられる現象である. 腹話術効果は聴覚モダリティに対する視覚優位の現象である.

聴覚と触覚の間にも相互作用が存在する.Jousmäki ら [24] は両手を擦り合わせている時にその音を変化させて被験者に提示する実験を行なった. その結果, 高音域 (2kHz 以上) を増幅した場合には手の感触が滑らかで乾いた感じになり, 高音域を減衰させた場合には粗く湿った感触になると報告されている. 音の提示レベルも影響し, 音圧レベルが高いほど滑らかで乾いた感触になる. また, 紙やすりの手ざわり [25] や電動歯ブラシの使い心地 [26] に関しても同様の効果が報告されている.

北川ら [27] はダミーヘッドの左耳に挿入したマイクロホンを用いて, ダミーヘッドの耳を筆でくすぐった時の音を録音した. この音を被験者に対してヘッドフォンで提示すると耳にくすぐったさを感じる. しかし 80cm 離れた距離から提示した場合には触覚的な印象はほとんど感じなかった. これにより聴覚触覚間の相互作用が身体近傍の空間で選択的に生じていることが分かる.

2.3. 食体験の研究

食事をより楽しく，より美味しくすることで，我々の食経験はより豊かになる．そのため食事の場にコンピューティングを持ち込み，より豊かな食経験を生み出そうとする研究が多く存在する．

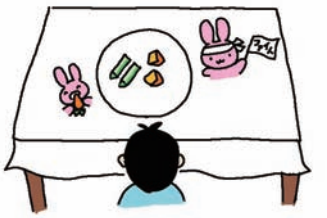
森ら [28] の Dining Presenter では, 食卓の上方にカメラとプロジェクターを設置し, 料理や皿, テーブルに対する情報付加を行なっている. 事前に調理者が提示するコンテンツを複数作成し, 食事の進度によって投影するコンテンツが切り替わる. これにより料理を作る人から食べる人へのメッセージを送ることを可能としている. コンテンツは事前に作成しているが, 食事の進度に合わせた情報提示を行なうことでコンテキストにあったメッセージを送れる点が興味深い. また食品上にコンテンツを投影することで食品そのものに対しても情報を付加できる点が興味深い. 本研究においても, 通常の食品にコンピュータによる情報付加を行なうことで食体験の価値を高めたいと考えている.

Coelho ら [29] の DinnerWare ではユーザと食品とのインタラクションに食卓演出の要素を加える試みが行われている．食器に電極や LED をつけることで，ユーザと食品とのインタラクションを光で演出している．食品を混ぜる, すくう, などの通常の食行為を起点として情報を提示している点が興味深い. しかし LED の出力が食知覚に対して特別な意味を有しているわけではなく, 食事中の行為によって反応が起きることを楽しむシステムとなっている.

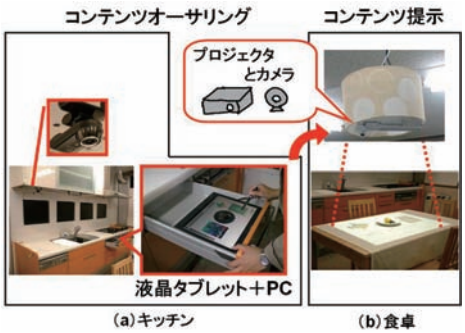
中森ら [30] はかじる行為によって効果音を生成する食ベテルミンを制作した. フォーク型デバイスの柄とフォーク先端の間に食品と人体を介して回路を形成し, その抵抗値の変化により音を出力する構成になっている. 食ベテルミンにはアナログ版とデジタル版があり, アナログ版では食品を口に運んだ際の口の動きによってビープ音が流れ, デジタル版では食品を噛み切った瞬間に効果音を出力する.

Dining Preenter,Dining Ware, 食ベテルミンは食事中の自然な行為によって情報提示を行なっているという点が共通して興味深い. 本研究においても, 特殊な行為でなく食事中の自然な行為に注目したい. また,Dining Preenter,Dining Ware が食品を口内に入れる前の行為に注目しているのに対し食ベテルミンは口内に入れる行為に注目している点が興味深い. しかし, システムの構成上フォークに刺さっ

(a) 入力の様子



(b) 出力の様子



(c) システム構成

(d) 食卓の様子

図 2.2: Dinig Presenter

(`http://orange.siio.jp/~mori/dining.html` より引用)

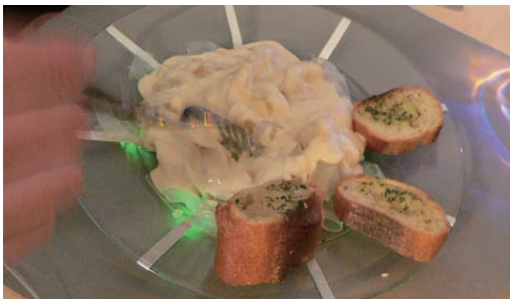
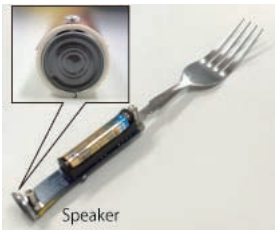


図 2.3: Dinner Ware

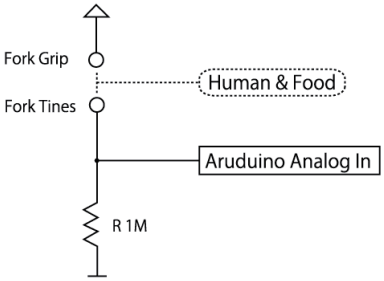
(文献 [29] より引用)

た食品と口が接触している状態でないと音を出力することができないため, 食品を口内に入れた後にフォークを離してしまうと出力を行なうことはできない.

(a) 使用の様子



(b) デバイス (アナログ版)



(c) 基本回路図 (デジタル版)

図 2.4: 食べテルミン

(文献 [30] より引用)

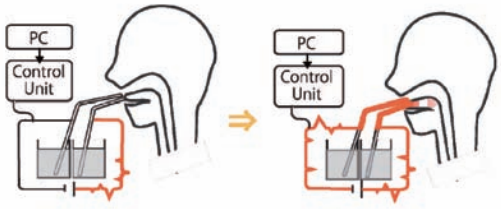
2.4. 食知覚の研究

食物を食べる時, 我々はその食物がどのようなものであるかを知覚している. その食知覚を変化させようと試みた研究が多く存在する.

中村ら [31] の電気味覚提示装置では, ストローで飲料を飲むことにより回路が閉じる仕組みを作ることで飲食物を介在させた電気刺激を与えることを実現した. この電気味覚により飲食物の味を変化させることができる. この研究は味覚の主な感覚器である舌に対して刺激を直接提示しているという点が興味深い.

本研究においては食感を扱うため, 直接的に食感情報を提示するためには口内に装置を入れ, 咀嚼に合わせて圧力や表面質感を提示する等の手法が考えられる. しかし口内に機器を設置した状態で咀嚼や飲食を行なうことは衛生面や安全面でのリスクが大きくなるため, 口内への直接的な情報提示手法は避けたい.

(a) デバイス外観



(b) システム構成

図 2.5: 電気味覚提示装置

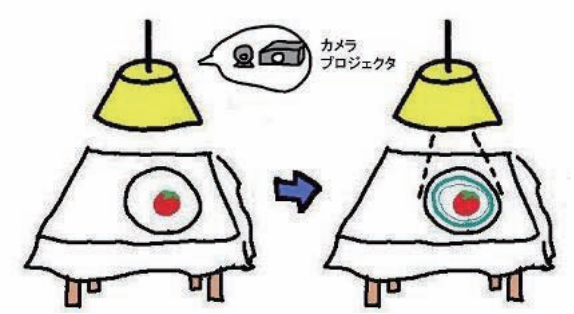
(文献 [31] より引用)

森ら [32] のいろどりんは，Dining Presenter の前段階となる研究である.Dining Presenter と同様, 食卓の上方にカメラとプロジェクターを設置している. カメラが白い皿上の食品の色情報を認識することにより，食品の彩りをよく見せる色 (補色関係となる色) を計算し，プロジェクターにより皿に視覚情報を投影する．これにより食品の彩りを際立たせ, より食欲を促進させることを狙っている. 直接食品に情報を付加しているわけではないが, 人間の知覚の性質を考慮した情報提示を行なうことで食品の彩りを際立たせている点が興味深い. この点は食体験の先行研究において見られなかった点であり, 本研究において利用したい点である.

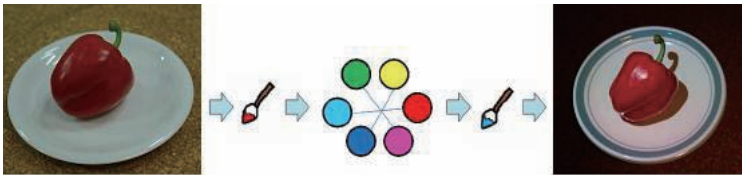
橋本ら [1] はストローの吸引にあわせて吸引の圧力, ストローの振動, 音を提示する Straw-like User Interface を開発した. 事前に飲料や食品を吸引した際の情報を記録しておき, ユーザがストローを吸った際に再現提示するシステムとなっている. 吸引の感覚を提示するために圧力と振動の他に音を提示した点が興味深い. 口内の触覚だけで感じていると考えがちな吸引の感覚が, 聴覚によっても影響を受けていることが伺える.

岩田ら [33] の Food Simulator は食感提示装置である.Straw-like User Interface のように食感を記録, 再生する装置である. 再生時には咬合力, 味, 咀嚼音という複数の感覚への情報提示を行なうことでリアリティを向上させている.

Straw-like User Interface と Food Simulator は, 吸引と咀嚼という行為の違いはあるものの, 食感覚の記録と再生を行なっている点が共通している. また, どちらも食感覚を再生する際の主対象となる吸引の圧力や, 咀嚼の咬合力だけを扱う



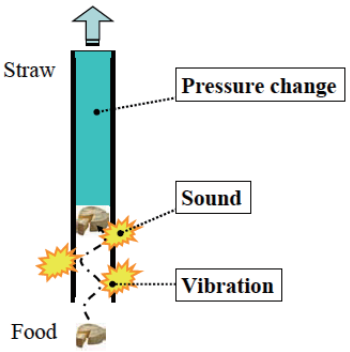
(a) 概念図



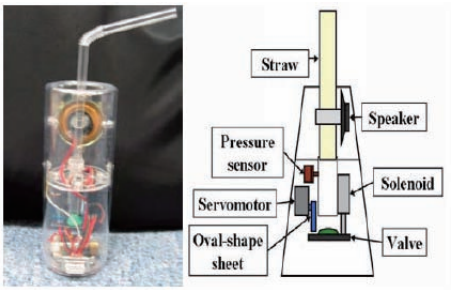
(b) 処理の流れ

図 2.6: いろどりん

(文献 [32] より引用)



(a) 吸引感の要素



(b) 処理の流れ

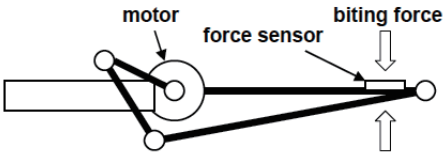
図 2.7: Straw-like User Interface

(文献 [1] より引用)

のではなく, 音や振動や味など, 複数感覚へ情報提示を行なうことによって再生時のリアリティを向上させている点が興味深い. ただし, これらは記録と再生に焦点を当てて設計されているため, 実際に飲食を行なう際には使用することができな

い. 本研究においては実際に飲食を行なう状態でも使用可能なように設計したいと考えている.

(a) Food Simulator



(b) 処理の流れ

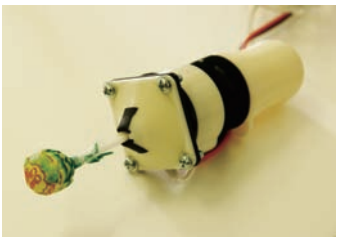
図 2.8: Food Simulator

(文献 [33] より引用)

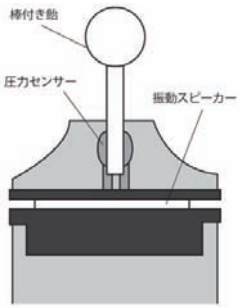
山岡ら [34] の TagCandy は口内に振動と音を出力することにより舌の触覚と骨伝導による聴覚へと情報提示を行なっている. 棒付き飴の構造をうまく利用することで実際に飴を食べながら情報提示を行なえるような構成となっている.Straw-like User Interface や Food Simulator が食行為の情報の記録と再生を主眼としているのに対し,TagCandy は情報の重畳を主眼としている. すなわち, 通常はキャンディーを舐めても感じられないような口内で花火が上がる感覚や, 炭酸飲料を飲んだ感覚の提示を中心に行なっている. ただし, 棒付き飴の構造を利用しているが故に他の食品では使用できない. 本研究では調理としての利用を考えているため, 食品の制限はできるだけなくしたいと考えている.

鳴海ら [35] の Meta Cookie では, クッキーを食べる際に視覚と嗅覚の情報を重畳して提示することにより風味の変化を起こしている. 具体的にはクッキーを食べる際に別の味のクッキーの見た目や匂いを提示することで直接口腔内への刺激を与えることなく風味の変化を起こしている. 扱いにくい化学物質による味覚提示を行なうのではなく, クロスモーダル効果を利用することで扱いやすい物理情報の提示により風味変化を実現している点が興味深い.

TagCandy と Meta Cookie は情報の重畳により, 実際に食事を行ないながら使用することができる.TagCandy では口内で花火が爆発するなど実際の食事において体験できないようなアプリケーションを扱っており, そのエンタテイメント性を



(a) デバイス外観



(b) デバイス構造

図 2.9: TagCandy

(http://web.sfc.keio.ac.jp/~yamajun/works.html 及び http://www.pc-webzine.com/modules/bulletin2/index.php?page=article&storyid=212&is=201012 より引用)

主としている. 一方の Meta Cookie では風味に焦点を当て, プレーン味のクッキーを別の風味として再現することを主としている. 本研究では食感を変えることを主として扱い, 通常の食品の食感をシステムなしでは体験できないような食感へと変えたいと考えている. その際,TagCandy のように食品の食感と全く異なる食感へと変化させるのではなく, 食品のもつ特徴的食感を強調する, もしくは減衰させることにより特有の食感体験をつくりたいと考えている. また Meta Cookie ではクロスモーダル効果を利用し, 口腔内に全く情報提示を行なうことなく風味を変化させている点が興味深い. クロスモーダル効果を利用することで情報提示が困難な感覚器がある場合でも, 容易に情報提示が可能な他の感覚器に対して提示を行なうことで同様の効果を得ることができる.

クロスモーダル効果を使った食感に関わる研究として,Zampini ら [19] の咀嚼音の呈示による食感知覚の変化に関する実験が挙げられる. 実験では椅子に座った被験者の前方にマイクを設置し, 被験者がポテトチップスを一噛みしたときに発生する音を取得し, 計算機でフィルタ処理を施した後に被験者が装着しているヘッドフォンへと音呈示を行った. 実験結果から, 被験者の咀嚼音の高周波成分を増幅, または全周波数の音圧を増幅して聴覚へフィードバック刺激を行うことで, ポテトチップスのクリスプネスが増強されるということが示された. この研究結果よ

(a) 使用の様子　　(b) 見た目と匂いの組み合わせ

図 2.10: Meta Cookie

(文献 [35] より引用)

り音情報の重畳のみによって食感知覚の変化が可能であることが示された.

本研究においても彼らの実験と同様の原理を利用して食感知覚の操作を行なおうと考えている. すなわちその原理とは, 被験者の咀嚼音をリアルタイムに取得し, 加工して聴覚へフィードバックすることにより食感知覚を変化させるという原理である. この原理であれば, 食感を知覚する主な部位である口腔内に機器を設置する必要がなく, 衛生面や安全性のリスクを避けることができるため, 被験者は実際に食品を食べることができる.

しかし Zampini らの実験で使われたシステムは実験を目的としたシステムであり, 実験以外での使用を考えるとマイクが取得した音が常時フィードバックされてしまうという問題をもつ. 実際の食環境において環境音や発話などが常にフィードバックされる状態は不快であり, それを避けるには咀嚼時のみ音をフィードバックする仕組みが必要である.

増田ら [36] は食べている食品の咀嚼音とは全く異なる咀嚼音を呈示した時の食品認知に与える影響を実験で検討した．この実験では咬筋部に装着したマイクが取得する音圧によって咀嚼動作を検出するシステムを開発し，咀嚼のタイミングに合わせた聴覚刺激を実現した．

しかしこのシステムも実験を目的としたシステムであり, マイクが取得した音圧が閾値を越えるとすべて咀嚼として検出されてしまう. そのため, 実験以外での使用を考えると環境音や発話によって音圧が閾値を越えた場合にもそれを咀嚼と

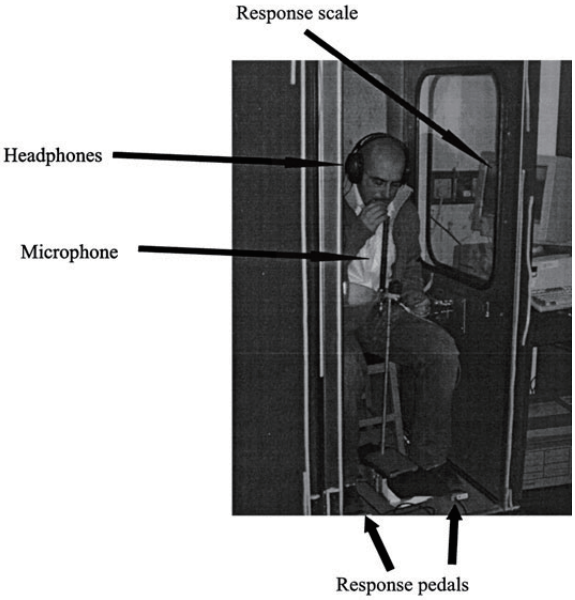


図 2.11: Zampini らの実験の様子

(文献 [19] より引用)

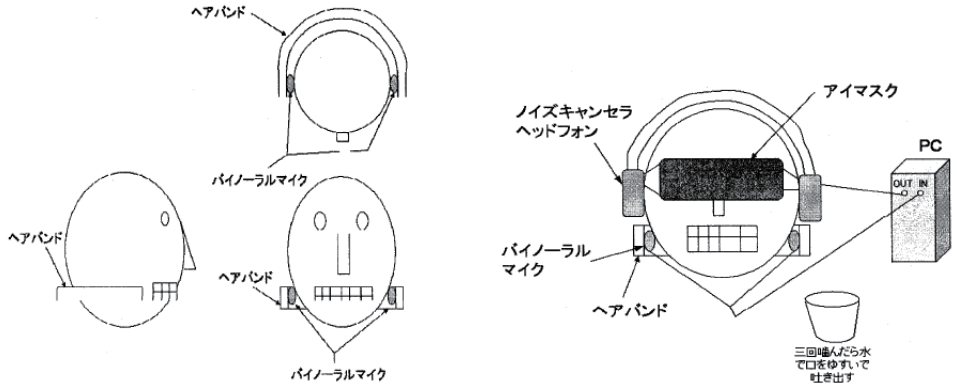
して誤検出してしまう. そこで本研究では, 実験室外での食環境において頻繁に発生することが考えられる環境音や発話などの影響を受けにくい手法を検討し, 咀嚼のみをリアルタイムに検出したいと考えている.

2.5. 関連研究のまとめ

以上の関連研究と比較して本研究の位置づけを表 2.1 に示す.

1.2 にて述べた通り, 本研究では調理法としての知覚操作を考えるため, 摂食の可否, 食事環境での使用, 及び食物の制限が調理としての使用の可否を判断する上で重要な点となる. 電気味覚提示装置及びいろどりんは先に挙げた要素を満たしている.

また, 同じく 1.2 にて述べた通り, 本研究では菓子の食感知覚を操作の対象としている.Straw-like User Interface,Food Simulator は触覚に対して直接情報を提示



(a) マイクの取り付け位置　　(b) 実験器具の構造

図 2.12: 増田らの実験の様子

(文献 [36] より引用)

表 2.1: 関連研究のまとめ

研究	提示情報	操作対象	摂食可否	食事環境での使用	食品制限
電気味覚提示装置	味覚	味覚	○	○	○
いろどりん	視覚	視覚	○	○	○
SUI	触覚, 聴覚	触覚	×	×	×
Food Simulator	触覚	触覚	×	×	×
Tag Candy	触覚, 聴覚	触覚	○	○	×
Meta Cookie	視覚, 嗅覚	風味	○	△	×
Zampini らの実験	聴覚	触覚	○	×	×
増田らの実験	聴覚	触覚	○	×	×
本研究	聴覚	触覚	○	○	△

することにより触覚を操作している. しかし, 口腔内に直接情報提示を行なうために, その機構が邪魔となるため使用と同時に摂食ができない.Tag Candy も同様に口腔内に直接情報提示を行なっているが, 棒付き飴の構造を利用することにより摂食を可能とした. しかし同時に, 棒付き飴でないとシステムを使用できないというリミテーションが生じ, 食物の制限がある.

Meta Cookie,Zampini らの実験, 増田らの実験では提示情報と操作対象の知覚が

異なっている. これはクロスモーダル効果を利用しているためである. クロスモーダル効果を利用することで, 例えば風味のように直接操作することが困難な対象であっても比較的容易に操作が可能となる. また, 口腔内に直接情報提示を行なうわけではないので, その機構によって摂食が妨げられることもない. そのため, 本研究では食感知覚操作の原理として Zampini らと同様のクロスモーダル効果を採用する.

Zampini らの実験及び増田らの実験で使用されたシステムは実験を目的としているため食事環境での使用を想定していない. 本研究では食事環境でも使用可能なようにシステム設計を行なう.

第3章
提案と設計

3.1. システムの提案

2.5 に述べた通り, 本研究ではクロスモーダル効果を利用することで食感知覚操作を行なうこととする. これは, 調理法としての知覚操作を目指しているため, 感覚器への直接情報提示によってデバイスの機構が摂食を妨げることを避けるため, また対象食物の制限を少なくするためである. Zampini ら [19] の実験により, 聴覚への情報提示による食感知覚の変化が実現されている. しかしこれは環境が統制された実験によって示されたことであり, 実験環境外での使用を考えると問題点が多いことは 2.4 にて既に述べた通りである.

1.2 にて述べた通り, 本研究の目的は「菓子の食感知覚操作システムの開発」である. そしてこの目的の達成によって将来的に実現したい事柄は知覚操作を調理法として利用することであると述べた. このことを考慮し, 食感知覚の操作は実験環境外での使用にも耐えられるようにしたいと考えている. 実験環境外というのは, 一般の住宅においてユーザが自由に飲食を行なうような環境を指す. また, 菓子は気軽に食べることができるという側面を持つため, 特殊な環境の構築が必要など, システムの使用に手間がかかることは避けたい. さらに, 友人と会話を楽しみながら菓子を食べるという状況は多々起こるため, システムを使用した状態で発話コミュニケーションを行なえることが望ましい.

以上をまとめ, 次の 3 点を設計指針とする.

1. 食感知覚操作が可能であること

2. 特殊な環境でなくても容易に使用可能であり, また食べ方に制限がないこと

3. 発話コミュニケーションを行えること

これらの指針を基とし,「菓子の食感知覚操作システムの開発」を目指す.

3.2. システムの設計

ハードウェアの設計に際し, 設計指針の 1 つ目である「食感知覚操作が可能であること」を実現するためにクロスモーダル効果を起こす必要があり, そのため特に以下の 4 項目を心がけて設計を行なう必要がある.

1. 食感知覚に影響を与えるタイミングで情報提示を行なう
2. 食感知覚に影響を与える感覚器に対して情報提示を行なう
3. 食感知覚に影響を与える手段で情報提示を行なう
4. 食感知覚に影響を与える情報を提示する

1 については 3.2.1 において,2 から 4 については 3.2.4 において詳細に述べる.

また, 設計指針の 2 つ目である「特殊な環境でなくても容易に使用可能であり, また食べ方に制限がないこと.」を考慮すると, 環境側に大掛かりな機材を設置するような設計は避けたい. そのため, できるだけ小型にまとまった機材をテーブル上に載せる, もしくは装着するという形が考えられる. また同様の理由でノートパソコンの使用も避けたい. 実際にユーザが使用することを考えると接続やプログラムの実行などの手間が必要になるためだ. 開発段階においてはノートパソコンを使用するが, 将来的にノートパソコンなしでも使用できるよう計算量が少なくて済むような設計を心がける.

3.2.1 咀嚼検出手法の検討

食感知覚操作を行なうために「食感知覚に影響を与えるタイミングで情報提示を行なう」必要がある. クロスモーダル効果を起こすためには感覚情報の統合により複数の情報が同一の事象に属すると知覚される必要があり, そのためには

情報間の時間的同時性が必要であることが報告されている [37][38]. 本研究では Zampini らの実験と同様の原理を用いて食感知覚操作を行なおうと考えているため, ユーザが提示音を自身の咀嚼音と同時として知覚するタイミングで情報提示を行なう必要がある. ただし,「発話コミュニケーションを行なえること」を考慮すると,Zampini らの実験と同じようにマイクから取得した音情報を常時耳へ提示するわけにはいかない. これは自らの発話も常時耳へ提示することを意味し, それは不快であり発話コミュニケーションの妨げとなるからである. それを避けるため, 咀嚼動作を行なった時だけ情報提示を行う必要がある. これを実現するための咀嚼検出手法を検討する.

2.4 で述べたが, 増田ら [36] はマイクによる咀嚼検出を行なっている. マイクが取得した音量が閾値を越えると咀嚼として検出している. しかし設計方針の 3 つ目である「発話コミュニケーションを行なえること」を考慮すると, この方法では発話も咀嚼として検出されてしまうため本研究では採用しない. またドップラー効果により咀嚼回数をカウントする手法 [39] もあるが, リアルタイムに咀嚼を検出することはできない.

こめかみスイッチ [40] では, こめかみの動きをセンシングし, ロボットへの入力として使用している. こめかみは咀嚼によって動くため, こめかみスイッチによる咀嚼検出を考え, 試作した. センサには反射型光センサ (浜松ホトニクス製 RPR-220) を使用した. 試作したこめかみスイッチデバイスと, それを使用している様子を図 3.1 に示す.

(a) 試作デバイスの外観

(b) 使用の様子

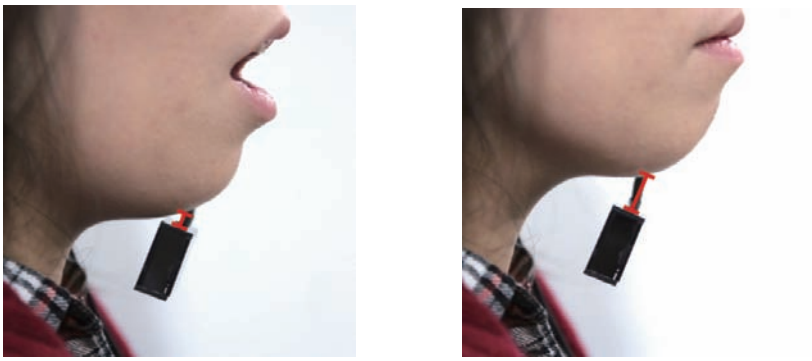
図 3.1: こめかみスイッチによる咀嚼検出

この試作機を使用することで咀嚼を検出することができた. しかし「個人によりこめかみの位置が異なるため, キャリブレーションに時間がかかること」と「こめかみは咬合の瞬間に動くため, 食品を噛むタイミングでは検出できないこと」が欠点として挙げられる.2 点目について簡単に言い換えると, 食品を噛む段階では咀嚼として検出されず, 上下の奥歯が噛み合ったタイミングで検出されるという意味である. 食感知覚操作において, 理想的な情報提示のタイミングは食品に噛み込んだ時となるので, この方法では情報提示のタイミングが遅くなってしまうことが分かった. しかし光量の変化のみで検出を行なうというこの方法は, 少ない計算量で検出が可能であるという利点を有していた.3.2 において述べた通り本システムは少ない計算量での設計を心がけているため, 例えば画像処理による検出アルゴリズムを考案するなどのアプローチと比べて適している. そこで同様に光量の変化により咀嚼を検出できる部位を探した.

その結果, 下顎の動きをセンシングする方法が挙げられた.

3.2.2 反射型光センサの下顎動作計測による咀嚼検出の原理

顎が閉じるタイミングは歯が食品に噛み込むタイミングとほぼ等しくなる. そこで下顎の動きを反射型光センサにより計測することでリアルタイムに咀嚼を検出することができると考えた. 図 3.2 に原理を示す.



(a) 顎が開いている時　　(b) 顎が閉じている時

図 3.2: 下顎の動作計測による咀嚼検出の原理 (下顎とセンサの距離が変化する様子)

顎が開いた状態では反射型光センサと下顎の間の距離が短くなり, センサ値は大きくなる. 一方, 顎が閉じた状態では反射型光センサと下顎の間の距離は長くなり, センサ値は小さくなる. そして顎を閉じる動作によりセンサ値は急激に下降する. このセンサ値の急激な下降を咀嚼検出に利用できると考えた.

3.2.3 反射型光センサの出力値と下顎の動きの関係の調査

目的

反射型光センサと下顎の距離から顎の動作を計測することにより咀嚼を検出できると考えられる. そこで, 反射型光センサの出力値と下顎の動作にどのような関係があるかを実験により明らかにすることで, 実際に咀嚼検出に使用できるか否かを検討する. また, 設計方針の 3 つ目である「発話コミュニケーションを行えること」を考慮し, 発話による顎動作も計測し, 咀嚼時と発話時の特徴的な顎の動きを明らかにすることで, 咀嚼と発話の判別が可能であるかを検討する.

反射型光センサの値の検出回路

反射型光センサの出力値の検出回路を図 3.3 に示す. 電源電圧として 5.0[V] を加えた.Sensor 端子の電圧値を反射型光センサの出力値とする. 反射光の光量が多いほど反射型光センサ内のフォトトランジスタに流れる電流量が増加し, 出力値も大きくなる.

装置

実験に使用した装置の外観を図 3.4 に示す. ヘッドセットに針金を取り付けて顎下まで延ばし, 先端部に反射型光センサ (浜松ホトニクス製 RPR-220) を付けた. 反射型光センサは顎の先端に向けてとり付けた.

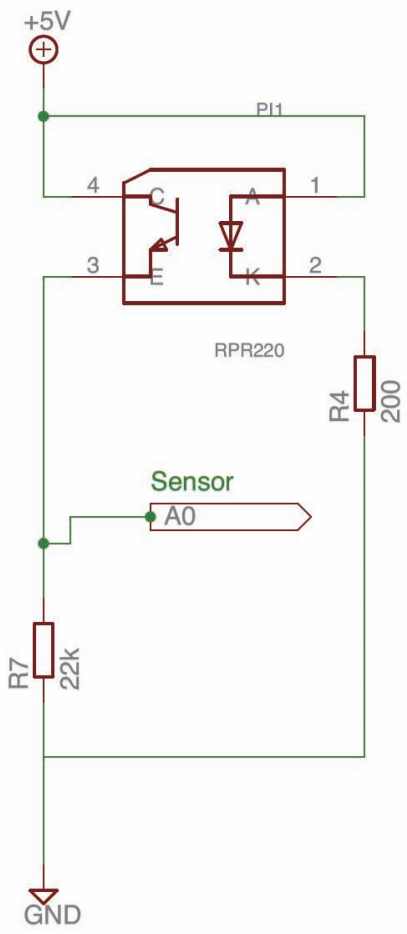


図 3.3: 検出回路

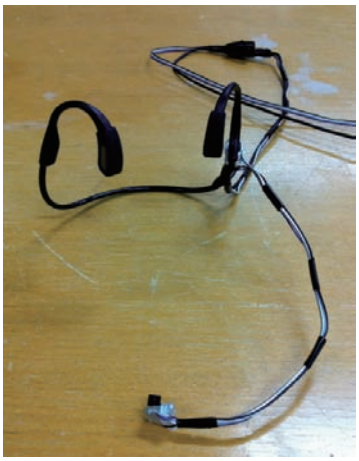
手順

以下に実験手順を示す.

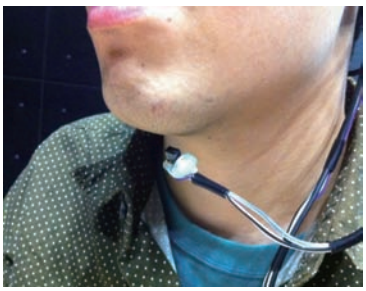
1. 被験者は実験装置を装着し, センサの位置を顎下に定める.

2. センサ値の記録を開始する. 被験者はポテトチップスを食べ,10 回の咀嚼を行なう.10 回の咀嚼が終わった段階でセンサ値の記録をやめる. 被験者はそのまま食品を食べ, 嚥下した後に次の手順へと移る.

3. センサ値の記録を開始する. 被験者は本の朗読を行なう. 朗読開始後約 10 秒



(a) 実験装置の外観



(b) 装着した様子

図 3.4: 実験に使用した装置

でセンサ値の記録を終了し, 朗読も終了する.

結果

実験の結果をグラフ化したものを図 3.5 に示す. 横軸が経過時間, 縦軸が反射型光センサの出力値となっている. なお, 赤線が咀嚼, 青線が朗読を行なった際の結果となっている.

考察

顎を開くと, 顎と反射型光センサの距離が縮まり出力値が大きくなる. そのため出力値の上昇は開口動作, 下降は閉口動作を意味する. 結果から,2 つのことが分かる.1 つ目はポテトチップスの咀嚼動作の結果より, 事前に予想した通り反射型光センサにより開口動作と閉口動作が分かり, 咀嚼動作の様子が分かるということである.2 つ目は朗読の結果との比較から, 咀嚼時は朗読時に比べて下顎動作が約 3 倍大きく, この動作の大きさの違いから咀嚼と朗読の判別が可能であると考えられることである. 朗読の際には発話をしているため, 同様に咀嚼と発話の判別が可能であると考えられる.

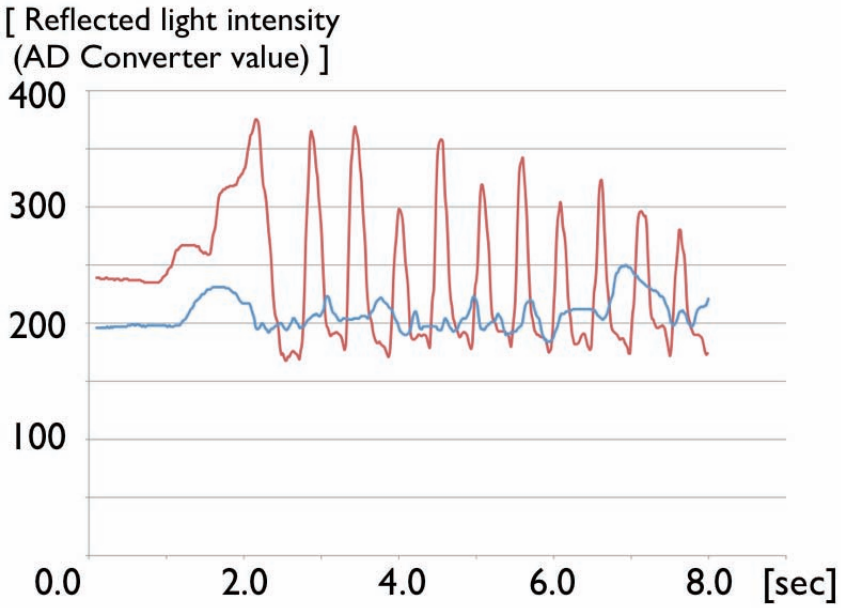


図 3.5: 結果 (赤:咀嚼時のセンサ値, 青:朗読時のセンサ値)

3.2.4 情報提示方法の検討

ここでは「食感知覚に影響を与える感覚器に対して情報提示を行なう」「食感知覚に影響を与える手段で情報提示を行なう」「食感知覚に影響を与える情報を提示する」について検討する.

まず「食感知覚に影響を与える感覚器に対して情報提示を行なう」について検討する.Zampini らの実験から, 咀嚼音を加工し聴覚にフィードバックすることでクロスモーダル効果によりポテトチップスの食感知覚が変化することが示されている. この方法は特徴的な咀嚼音を有する食品に対して同様の効果を期待できると考えられる. そこで本研究では Zampini らの実験と同様の方法を用いて食感知覚の操作を行なう. すなわち, 耳に対して聴覚情報の提示を行なう.

次に「食感知覚に影響を与える手段で情報提示を行なう」について検討する. 聴覚触覚間の相互作用は身体近傍の空間で選択的に生じることが報告されているため [27], 外部のスピーカによる情報提示は避ける. そこでヘッドフォンでの情報提示が考えられるが, 本研究では骨伝導ヘッドフォンを使用する. これには 2 つの

理由がある.1 つ目の理由は, 通常のヘッドフォンを使用すると環境音や声が聞こえなくなり, 設計方針の 3 つ目である「発話コミュニケーションを行えること」に反するためである. 骨伝導ヘッドフォンを用いれば環境音も声も聞くことができ, 発話コミュニケーションも可能となる.2 つ目の理由は, 通常知覚される咀嚼音は骨伝導音が支配的だと考えられるためである. 咀嚼することにより口腔内の食品が破壊され破壊音が生じる. 破壊音は歯から骨伝導音として耳まで伝わる. また口を開けた状態であれば空気伝導音として体外から耳へと伝わるが, 咀嚼時には口を閉じることが一般的であるので, 咀嚼音としては骨伝導音が支配的だと考えられる. そのためシステムによる情報提示も骨伝導によって行なう.

また, 音の提示部位についても検討を行った. 咀嚼音の発生源は口腔内であるため, 顎や頬周辺等に骨伝導ヘッドフォンを設置して咀嚼音の提示を行うことを検討した. 顎や頬周辺の複数の位置での情報提示を試したが, いずれも耳に伝わる音量が小さくなり, 実際に食品を咀嚼しながら提示した場合には, 実際の咀嚼音に提示音がかき消されてしまう状態であった. 音量を大きくすると音質が悪くなるため, 顎や頬周辺への情報提示は採用せず, 耳周辺への情報提示を採用した.

最後に「食感知覚に影響を与える情報を提示する」について検討する.Zampini らの実験ではリアルタイムに咀嚼音をフィルタ加工し, 被験者に提示した. 本研究においても同様にリアルタイムに咀嚼音のフィルタ加工を行なう. フィルタについては容易に加工条件を変えることができるように操作盤を制作することとした. これにより容易に食感知覚を操作することが可能になると考えられる. また咀嚼を繰り返すとクチャクチャという不快音が増加していき, この音をフィードバックするとユーザは不快感を感じると考えられる. そのためクチャクチャという不快音の低減が必要となる. 食品のサイズは咀嚼回数の増加に従い減少していき, 咀嚼音も小さくなっていく [41]. そのため, このことを模して咀嚼回数の増加によって提示音の音量を下げていくことで不快音の提示を低減することとした.

第4章
実　　装

本章では第3章で行なった設計に基づいて実装したシステムについて述べる.実装するシステムの概要を図4.1に示す.

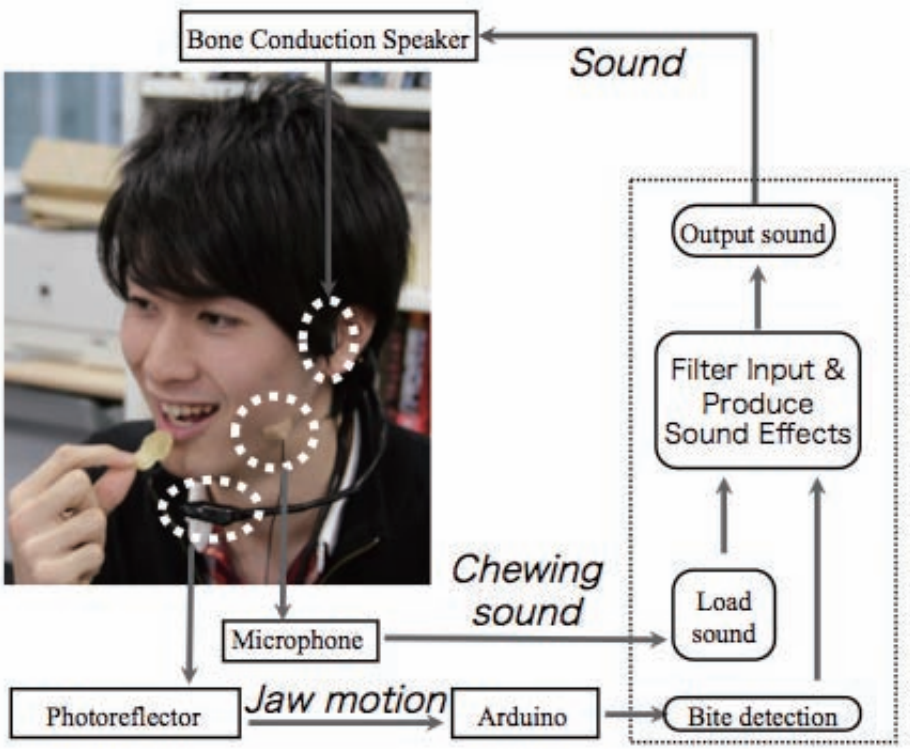


図 4.1: 実装するシステムの概要

4.1. ハードウェアの実装

ハードウェアは初期バージョン (以下,ChewingJockey ver1.0) とそれを改良したバージョン (以下,ChewingJockey ver1.1) の 2 つを試作した. それぞれについての詳細を述べる. なお, どちらのバージョンでも共通する操作盤については 4.1.3 で述べる.

4.1.1 ChewingJockey ver1.0

開発したデバイスの外観を図 4.2 に示す. 骨伝導ヘッドフォンにセンサ付きのアームを取り付けた. センサと下顎の距離を計測する反射型光センサには浜松ホトニクス製 RPR-220 を使用し,Arduino[42] により A/D 変換を行なった. 咀嚼音取得のためのマイクにはソニー製エレクトレットコンデンサーマイクロホン (ECM-TL3) を使用し, 骨伝導ヘッドフォンにはテムコジャパン製パソコン用骨伝導ヘッドセット (HG40SIM-TU 28721) を使用した．なお, マイクはユーザの下顎体部に貼付ける.

図 4.2: ChewingJockey ver1.0 の外観

ChewingJockey ver1.0 にはハード面において次の問題点があった.

1. センサの位置, 向きの調整を毎回行なわないといけない

2. 頭部を動かした際に咀嚼として誤検出されることがある

3. 装着が困難である

4. フィードバックを行なう際に環境音が多く含まれてしまう.

1つ目の問題については, デバイスを装着する際に一旦アーム部分を広げる必要があることが原因であり, そのために毎回装着の際にセンサの位置と向きの調整を行なう必要性が生じてしまう.2つ目の問題については, アーム部分がヘッドフォンの左側としか固定されていないために起こったアームの振動に伴うセンサ値の変動, 及び頭部を動かした際に生じる環境光の変動が原因であると考えられる.3つめの問題については, 特に女性について多く見られた. これは骨伝導ヘッドフォンの形状の問題でもあるが, 後方からの装着は髪が邪魔になりスムーズに行なえない. 特に本デバイスは通常の骨伝導ヘッドフォンに加えてセンサのアーム部分があるため, 髪の毛に絡んでしまう様子が確認できた. その様子を図4.3に示す.4つめの問題については, 咀嚼音をフィードバックする際に環境音も多く含まれた状態でフィードバックされてしまい違和感が生じた. これは使用したマイクが咀嚼音と一緒に環境音も多く取得してしまうためである.

図 4.3: デバイスが髪の毛に絡む様子

4.1.2 ChewingJockey ver1.1

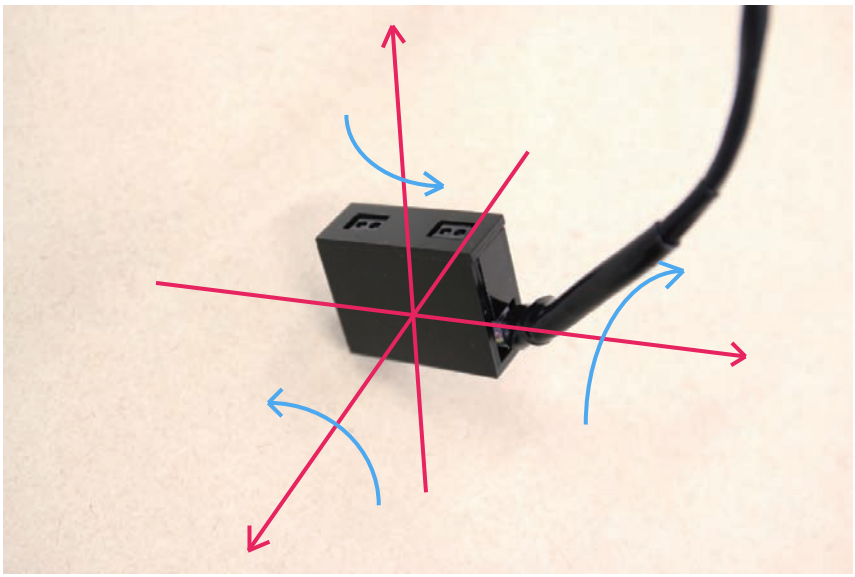
ChewingJockey ver1.0 の問題を改善するために ChewingJockey ver1.1 を作成した. 外観を図 4.4 に示す.ChewingJockey ver1.0 と異なる部分は以下の点である.

1. センサ部分の位置調整の自由度を下げた
2. センサ部を両端支持とし, センサの数を 2 個にした
3. 後頭部にフレームは設けず, 顎下から装着を行なうようにした
4. 指向性マイクを使用した.

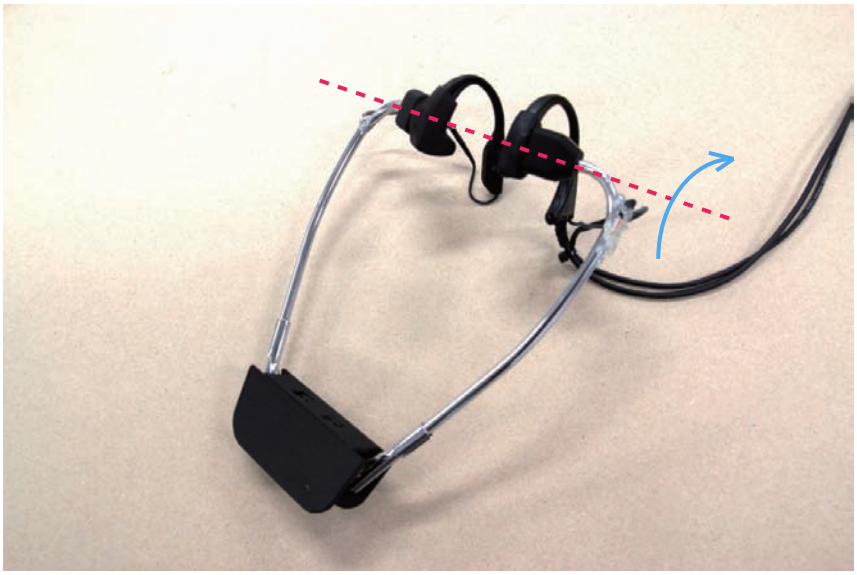
図 4.4: ChewingJockey ver1.1 の外観

問題の 1 つ目を解決するためにセンサ部分の自由度を下げた.ChewingJockey ver1.0 では 3 軸方向及び各軸の回転軸方向の自由度を有していたが,ChewingJocey ver1.1 ではセンサ部分をフレームと固定し, フレームとヘッドフォンの接続部を軸

とした回転方向のみの調整を行なえるようにした. これによりセンサ部分の位置調整が容易になる. 自由度が下がった様子を図 4.5 に示す.



(a) ver1.0 のセンサ部分の自由度



(b) ver1.1 のセンサ部分の自由度

図 4.5: センサ部分の自由度が下がった様子

問題の 2 つ目を解決するためにセンサ部分を両端支持とすることでアームの振動による誤検出を防いた. また, センサの数を 2 つにすることで左右の下顎での反射光を計測し, 片方のセンサ値について環境光の変動が起こっても誤検出をしないようにした. センサ数を 2 個にすることで, 頭部動作による誤検出を低減した様子を図 4.6 に示す. この試行ではデバイス装着者が左右を向く動作, 及び左右に首をかしげる動作を行なった時のセンサ値の変動をグラフ化した. グラフの赤線が誤検出を表す. 多少の誤検出はあるものの, センサ 1 個の場合に比べてセンサ 2 個の方が誤検出を起こす回数が少ないことがわかる.

問題の 3 つ目を解決するために, 顎下から装着を行なえる構造にした.

問題の 4 つ目を解決するために, 指向性マイクを使用した. これにより環境音の取得量が低減され, フィードバックの際の違和感も低減された. なお指向性マイクには OLYMPUS 単一指向性モノラルマイクロホンセット (ME52W) を使用した.

4.1.3 操作盤

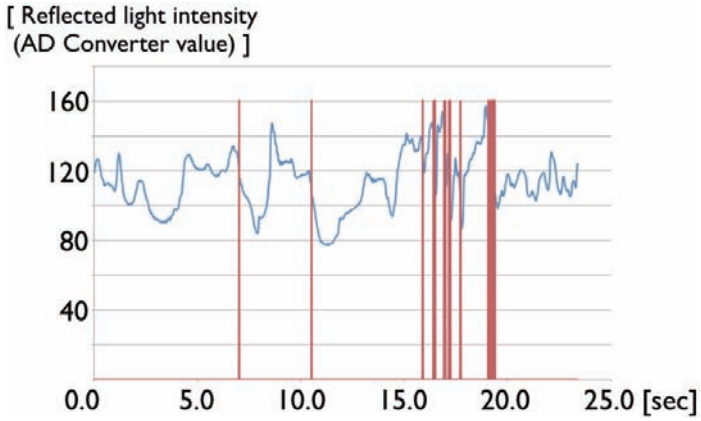
容易に加工条件を変えられるよう操作盤を制作した. その外観を図 4.7 に示す. 操作盤は, 音量調整ボリューム, 咀嚼検出閾値調整スライダ, 咀嚼音加工条件調整スライダにより構成されている. 音量調整ボリュームは提示される音の音量を調整できる. 咀嚼検出閾値調整スライダは咀嚼の検出しやすさを調整できる. この閾値を緩くすると咀嚼を検出しやすくなり, 厳しくすると咀嚼と発話を判別しやすくなる. この調整機能は, 個人によって咀嚼時の顎の動きに差があるため個人に適した設定を行なえるように実装したものである. 閾値の詳細は 4.2.1 にて述べる. 咀嚼音加工条件調整スライダでは咀嚼音の加工条件を調整できる. スライダを使用することでハイパスフィルタ, ローパスフィルタの切り替え, 及びその閾値の設定が可能となっている.

4.2. ソフトウェアの実装

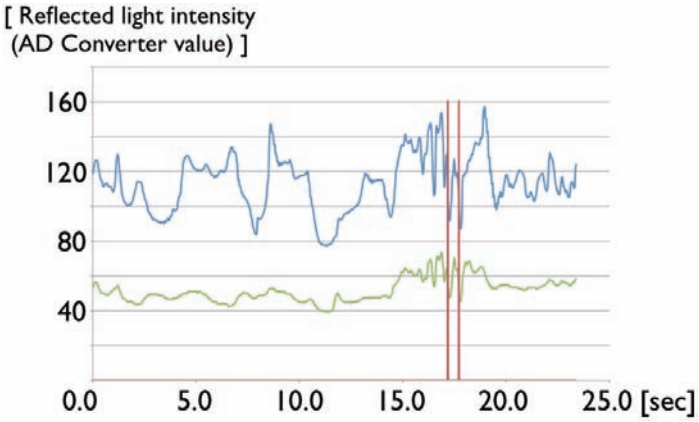
実装すべき要素として，センサ情報を基に咀嚼検出を行うアルゴリズム，咀嚼を繰り返すことにより増加していく不快音の低減を行なうアルゴリズム，マイク

(a) 頭部動作の様子 (左右を向く)

(b) 頭部動作の様子 (左右に首をかしげる)



(c) センサ 1 個で頭部動作を行なった結果 (青:センサ値, 赤:咀嚼検出の有無)



(d) センサ 2 個で頭部動作を行なった結果 (青:右センサ値, 緑:左センサ値, 赤:咀嚼検出の有無)

図 4.6: 頭部動作時の誤検出を低減する様子

図 4.7: 操作盤の外観

から取得された咀嚼音の加工を行なうアルゴリズム，の 3 つが挙げられる. 咀嚼検出アルゴリズム及び不快音低減アルゴリズムは Processing[43] で実装し, 咀嚼音加工アルゴリズムは PureData[44] で実装した.

4.2.1 咀嚼検出アルゴリズム

咀嚼検出アルゴリズムは初期バージョン (以下, 咀嚼検出アルゴリズム ver1.0) とそれを改良したバージョン (以下, 咀嚼検出アルゴリズム ver1.1) の 2 つがあり, それぞれハードウェアの ChewingJockey ver1.0 及び ver1.1 と対応づけられている. なお, 咀嚼検出が行なわれた時に, 同時に骨伝導ヘッドフォンから音が提示されるが, 提示される音についてはアプリケーションによって異なるため,5.1 及び 5.2 にて述べる.

咀嚼検出アルゴリズム ver1.0

3.2.3 にて行なった反射型光センサの出力値と下顎の動きの関係の調査結果を基に, 咀嚼アルゴリズムの検討を行った. 調査結果から, 咀嚼時は発話時に比べて下顎動作が約 3 倍も大きいことが分かっている. そこで本研究ではセンサ値が急激

に下降した時にその行動を咀嚼として検出し, 下降した値について閾値を設けることで発話との判別を行った．具体的には以下のように処理を行った.

1. 16[msec] ごとに反射型光センサの出力値を取得する
2. 前回の出力値と比較し差分を計算する
3. 3 回連続で差分が設定閾値を超えた場合は咀嚼として検出する
4. 咀嚼判定後,48[msec] の間は咀嚼を判定しない

この方法により，食品を噛むタイミングに合わせた聴覚刺激を行うことを可能とした．咀嚼判定の閾値は, 個人によって下顎開閉の大きさが異なるため, 個人に合わせて調整を行なえるようにした. また, 設定閾値は-2 から-30 の間で調整できるようにした. この設定閾値は, 複数人に使用してもらい検討した結果決定した値である.3 の段階において 3 回連続で閾値を越えることを条件としたのは, 体動により細かくセンサ値が変化するため, それを咀嚼として誤検出することを防ぐためである. なお，一度の咀嚼に対して複数回の咀嚼検出が行われてしまうことを防ぐために, 咀嚼検出から少なくとも 48[msec] 経過しないと次の咀嚼を検出できないように設定した．咀嚼検出の様子を図 4.8 に示す.

咀嚼検出アルゴリズム ver1.1

ハードウェアの改良に伴い, ソフトウェアの改良も行った. 具体的には以下のように処理を行なった.

1. 16[msec] ごとに反射型光センサの出力値を取得する
2. 左右センサ個別に前回の出力値と比較し差分を計算する
3. 左右センサ個別に 3 回連続で差分が設定閾値を超えた場合は咀嚼の可能性有りと判定し，左右センサともに咀嚼の可能性有りと判定された場合は咀嚼として検出する
4. 咀嚼判定後,480[msec] の間は咀嚼を判定しない

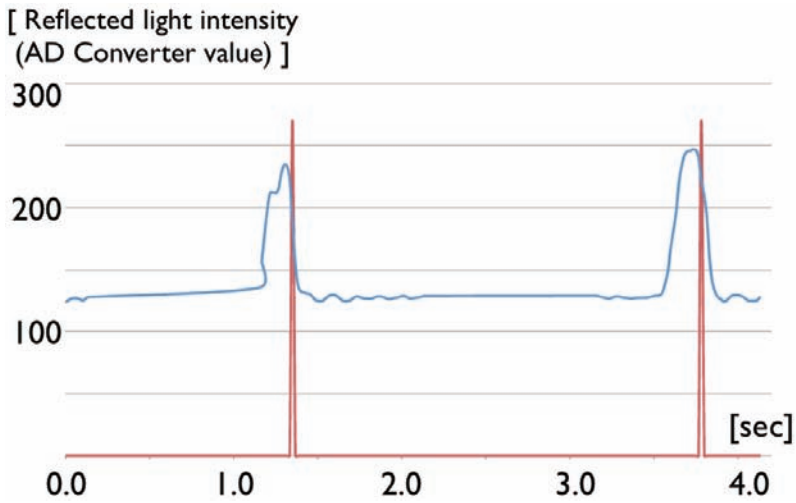


図 4.8: 咀嚼検出の様子 (青:センサ値, 赤:咀嚼検出のタイミング)

ChewingJocey ver1.1 では 2 つのセンサを使用するため左右のセンサ個別に咀嚼の可能性の有無の判定を行い, 両方のセンサで咀嚼の可能性有りと判定された場合のみ咀嚼として検出される. 片方のセンサ値のみ変動が起こった場合は咀嚼検出を行なわないため, これにより頭を左右に動かす動作や首をかしげる動作をしても誤検出することが少なくなった. なお，一度の咀嚼に対して複数回の咀嚼検出が行われてしまうことを防ぐための待機時間を長くした. これは, 咀嚼検出アルゴリズム ver1.0 を複数人に使用してもらった結果から再度適切な待機時間を検討した結果である.

4.2.2 不快音低減アルゴリズム

咀嚼を繰り返すことにより増加していく不快音の低減については, 提示音の音量を操作することにより解決した．咀嚼回数が増えるごとに口腔内の食品サイズが減少して咀嚼音も小さくなっていく [41] ことを模して, 時間経過によって提示音の音量が低下する不快音低減アルゴリズムを実装した. 具体的には咀嚼回数をカウントし，咀嚼回数の増加に比例して提示音の音量を下げることで不快音の提示を避けるようにした.

ただし, 不快音低減アルゴリズムは食品を一口食べて嚥下するだけの場合にはこのまま使用できるが, 二口三口食べる場合には食品を口腔内に入れる度に音量を初期状態にリセットする必要がある. そのための音量リセットボタンを GUI 上に実装した. また食品の大きさは食品毎に異なり, その構造も食品毎に異なるため, 咀嚼音が低減していくスピードも異なる. そのため不快音低減アルゴリズムの音量減衰率も食品毎に適切な値を決定する必要がある. しかし本研究の主題は食感知覚操作であり, この音量減衰率は食感知覚への影響は大きくないと考えられる. そのため本研究においては食品毎の適切な音量減衰率について十分に検討しておらず, その値の決定を行なっていない. 今後検討が必要である.

4.2.3 咀嚼音の加工アルゴリズム

咀嚼音は計算機でリアルタイムに加工を行なった. 具体的には, 下顎体部に貼付けたマイクから取得された音に対し操作盤から入力された条件で加工を行なえるように実装した.

第5章
アプリケーション

実装したシステムを用いて2種類のアプリケーションを制作した.

1. 食感知覚操作アプリケーション
2. 効果音付加アプリケーション

5.1. 食感知覚操作アプリケーション

本研究の目的となっている食感知覚の操作を目指したアプリケーションである. ユーザが食品を食べる際の咀嚼音は下顎体部に設置したマイクから取得され, 計算機で加工した後に骨伝導ヘッドフォンから出力される. 骨伝導ヘッドフォンからの出力は咀嚼を検出してから1秒間行なわれる. これによりクロスモーダル効果を起こし, 食感知覚を変化させる. 出力は, 顎下のセンサによって咀嚼検出がなされたときのみ行なわれるため, ユーザは自由に発話することが可能である. 操作盤の操作によって咀嚼音の加工条件を変えることができるため, 咀嚼を行なっている最中にリアルタイムに食感知覚を操作することも可能である.

本アプリケーションの評価に関しては次章で述べる.

5.2. 効果音付加アプリケーション

本システムの特徴をつかうことで, 効果音の付加による非現実的な食体験の実現を目指したアプリケーションである. 本システムは咀嚼検出をリアルタイムに行い, 咀嚼音とほぼ同じタイミングで音を出力することが可能という特徴を有して

いる. そのため, 咀嚼動作に合わせて非現実的な音を出力することが可能となる. 効果音付加アプリケーションでは食品, 例えばグミの咀嚼に合わせて「ぽにょ」[45] というポップな音を出力したり,「バキッ」という硬いものを砕いているような音を出力することで非現実的な食体験を楽しめる. 効果音の音源としては web サイト [46] で得たフリー素材や, 実際に木材を破壊した際の音を録音した素材を用いた. このアプリケーションでは咀嚼音がほとんど発生しない食品に対しても使えるという利点を持つ. 付加する効果音は図 5.1 に示すように GUI 上で選択できるようにした.

図 5.1: 付加する効果音の選択画面

食品と効果音の組み合わせとして, 食品を食べる際に我々がその食品に対して持っているイメージに関連する効果音であれば受け入れられ, 一方イメージとは

逆の効果音を提示した場合は違和感を感じるという感想を複数の体験者から得ている. グミの例であれば, グミの弾力をイメージさせる「ぽにょ」という効果音を提示した場合は好意的な感想が得られ, 逆にグミにはない硬さをイメージさせる「バキッ」という効果音を提示した場合は混乱や違和感を感じるという感想が多く得られた.

このアプリケーションはエンタテイメント性を重視して制作したため, 食感知覚に変化が生じるか否かの評価は行っていない. 本アプリケーションの評価に関しては, 実際にデモンストレーションにて見られたユーザの反応を通しての考察を 7.2 にて述べる.

第6章
評　　価

本システムの機能評価として,3 つの設計方針を達成できたか否かを検証する. 設計方針を次に再掲する.

1. 食感知覚操作が可能であること
2. 特殊な環境でなくても容易に使用可能であり, また食べ方に制限がないこと
3. 発話コミュニケーションを行えること

検証のために以下の 4 つの評価実験を行なった.

1. 咀嚼検出能力の評価実験
2. 咀嚼及び発話の判別能力の評価実験
3. 情報提示タイミングの評価実験
4. 食感知覚操作の評価実験

「咀嚼検出能力の評価実験」「情報提示タイミングの評価実験」により咀嚼動作に合わせたリアルタイムでの情報提示を行なえているかを確認し,「食感知覚操作の評価実験」により設計方針の「食感知覚操作が可能であること」を達成できたかを評価する.「咀嚼及び発話の判別能力の評価実験」により設計方針の「発話コミュニケーションを行えること」を達成できたかを評価する. 設計方針の「特殊な環境でなくても容易に使用可能であり, また食べ方に制限がないこと」についての評価は 6.5 にて述べる.

ただし 4.2.2 で述べた通り, 不快音低減アルゴリズムについては食品毎に音量減衰率が異なるべきであるが本研究ではその決定に至っていない. そのため実験の際には不快音低減アルゴリズムを解除した状態で行なった.

6.1. 咀嚼検出能力の評価実験

設計指針の 1 つ目である「食感知覚操作が可能であること」を実現するためには咀嚼動作に合わせた情報提示を行なう必要があり, そのためにはシステムが咀嚼検出能力を有していることが必要となる. ここでは, 実装したシステムの咀嚼検出能力の評価を目的とした実験を行なう.

6.1.1 実験設定

被験者はシステムを使用している状態で食品を食べ, 指定回数の咀嚼を行なう. システムがそのうち何回の咀嚼を検出したかにより, その咀嚼検出能力を評価する. 食品にはポテトチップスを用いた. 被験者は男性 7 名, 女性 2 名で, 年齢は 23 歳から 30 歳であった. 実験には ChewingJockey ver1.0 を用いた.

具体的な手順は以下の通りである.

1. 被験者はデバイスを装着し, センサの位置を定め, 咀嚼検出閾値の調整を行なう.
2. 被験者は食品を食べ,10 回の咀嚼を行なう.
3. 10 回の咀嚼が終了したら被験者は挙手し, 実験を終了する.

実験の様子を図 6.1 に示す.

6.1.2 実験結果

9 名の被験者がそれぞれ 10 回の咀嚼を行なった結果, システムによる咀嚼検出回数の平均は 10.8 回, 標準偏差は 2.4 回となった. 結果の詳細を表 6.1 に示す.

図 6.1: 実験の様子

表 6.1: 実験結果

被験者	咀嚼検出回数 (回)
A	13
B	10
C	14
D	12
E	6
F	12
G	11
H	9
I	10
平均	10.8
標準偏差	2.4

6.1.3 考察

正しく 10 回の咀嚼を検出できた被験者 2 名の他に，咀嚼の検出が 11 回以上になる被験者が 5 名と,9 回以下になる被験者が 2 名いた. 咀嚼検出が 11 回以上になる被験者については，1 度の咀嚼に対して複数回の咀嚼検出が行われていること

が分かった. そこで 4.2.1 で述べた通り咀嚼検出アルゴリズム ver1.1 として一度の咀嚼に対して複数回の検出を防ぐアルゴリズムを改善した．具体的には一度の検出が行なわれてからの待機時間を長くすることで改善した. 咀嚼検出が 9 回以下の被験者については，センサの位置調整が不十分であり，そのため咀嚼を検出できなかったということが原因として考えられる．この問題点はセンサの自由度を下げることにより ChewingJockey ver1.1 で修正した.

6.2. 情報提示タイミングの評価実験

設計指針の 1 つ目である「食感知覚操作が可能であること」を実現するためには, クロスモーダル効果を起こす必要があり, そのためには提示音を自身の咀嚼音と同時として知覚するタイミング, すなわち噛み込みと同時として知覚されるタイミングで情報提示を行なう必要がある.

ここでは噛み込みと同時として知覚されるタイミングで情報提示を行なえているかを評価する. また, 咀嚼検出からどの程度遅れて情報を提示しても噛み込みとの遅延が知覚されないかを調べる. この知見は 7.1.3 で述べる咀嚼速度の誘導等のアプリケーションを設計する際の指針にもなる.

6.2.1 実験設定

被験者はシステムを使用している状態でグミを食べる. システムでは 5.2 に示した効果音付加アプリケーションを起動し, グミの咀嚼に対して「ぽにょ」という効果音を付加する. 食品と効果音の組み合わせとして, グミと「ぽにょ」はアプリケーションの中でも混乱や違和感が報告されていない代表的な組み合わせであるため, 実験においてもこれを採用した.

実験者は咀嚼検出と情報提示の間の遅延時間を調整し, どの程度の遅延まで被験者が遅延として感じないのかを極限法により調べる. 被験者は男性 3 名, 女性 2 名で, 年齢は 24 歳から 29 歳であった. 実験には ChewingJockey ver1.1 を用いた.

具体的な手順は以下の通りである.

1. 被験者はデバイスを装着し, センサの位置調整と咀嚼検出閾値調整, 提示される音量の調整を行なう. 音量は自分の咀嚼音よりも提示音の方が少し大きく聞こえる程度に調整してもらう.

2. はじめに下降系列での閾値を調べるため, 被験者に「初めは音が遅れた状態で提示され, 一口毎に徐々に遅れをなくしていくので, 遅れを感じなくなった段階で教えてほしい. また, 初めの段階で遅れを感じなければ教えてほしい.」ということを伝える.

3. 咀嚼検出から情報提示までの遅延を 300[ms] に設定し, 被験者にグミを食べてもらい, 提示タイミングの遅れを感じるか否かを回答してもらう.

4. 被験者が遅れを感じると回答した場合は, 遅延を 20[ms] 少なくし, 手順 3 を行なう. これを被験者が遅れを感じないと回答するまで繰り返す.

5. 次に上昇系列での閾値を調べるため, 被験者に「初めは音の遅れがない状態で提示され, 一口毎に徐々に遅れを増やしていくので, 遅れを感じた段階で教えてほしい. また, 初めの段階で遅れを感じたら教えてほしい.」ということを伝える. なお,「もし提示のタイミングが早いと感じた場合には, タイミングが早いと回答してほしい.」ということも伝える. これは予備実験において情報提示のタイミングが早いと回答した被験者がいたためである.

6. 咀嚼検出から情報提示までの遅延を 0[ms] に設定し, 被験者にグミを食べてもらい, 提示タイミングの遅れを感じるか否かを回答してもらう.

7. 被験者が遅れを感じないと回答した場合は, 遅延を 20[ms] 多くし, 手順 6 を行なう. これを被験者が遅れを感じると回答するまで繰り返す.

8. 手順 6 において, 情報提示のタイミングが早いと回答した被験者については, その結果を情報提示が早く感じる上昇系列での閾値として記録し, 手順 9-11 を行なう. その他の被験者については実験を終了する.

9. 情報提示のタイミングを早く感じることに関して, 下降系列での閾値を調べるため, 被験者に「初めは提示のタイミングが早くない状態で, 一口毎に徐々

に早くしていくので, 提示タイミングが早いと感じた段階で教えてほしい. また, 初めの段階で提示のタイミングが早いと感じたら教えてほしい.」ということを伝える.

10. 咀嚼検出から情報提示までの遅延を 300[ms] に設定し, 被験者にグミを食べてもらい, 提示のタイミングが早く感じるか否かを回答してもらう.

11. タイミングが早いと感じないと回答した場合は, 遅延を 20[ms] 少なくし, 手順 10 を行なう. これをタイミングが早く感じると回答するまで繰り返す.

実験の様子を図 6.2 に示す.

図 6.2: 実験の様子

6.2.2 実験結果

実験の結果, 遅延を感じる閾値の平均は 134[ms], 標準偏差は 74[ms] となった. また,2 名の被験者については手順 6 において情報提示のタイミングが早いという回答を得たため手順 9-11 を行なった. その結果, 提示タイミングを早く感じる閾値の平均は 120[ms], 標準偏差は 28[ms] となった. 結果の詳細を表 6.2 に示す.

表 6.2: 実験結果

被験者	情報提示を遅く感じる閾値 (ms)	情報提示を早く感じる閾値 (ms)
A	180	140
B	200	100
C	150	なし
D	130	なし
E	10	なし
平均	134	120
標準偏差	74	28

6.2.3 考察

感覚情報の統合により複数の情報が同一の事象に属すると知覚されるためには情報間の時間的同時性が必要であることが報告されており [37][38], 聴覚情報の提示により食感知覚操作の実現を目指す本システムにおいても情報間の時間的同時性は必要な要素となる. 本システムにおいては食品への噛み込みの際の触覚情報とシステムによる聴覚情報の間の時間的同時性が焦点となる.

本実験ではシステムの機能評価を行ったが, 予備実験においては人間の知覚としてどの程度の情報提示タイミングの遅延までが噛み込みと同時として知覚されるかを調べた. 被験者はヘッドセットとマイクを付け, ヘッドセットにはマイクから取得された音が常時フィードバックされるようにした. その状態でフィードバックまでの遅延時間を変更し, フィードバック音が遅れたと感じる時間を回答してもらった. 食品にはポテトチップスを用いた. 本実験と同様に被験者 5 人に対して極限法で調べた結果, 遅延を感じる閾値の平均は 162[ms], 標準偏差は 29[ms] となった. 予備実験の結果の詳細を表 6.3 に示す.

本実験の結果を予備実験の結果と比較すると, システムにより効果音を付加して実験を行なった方が遅延を感じる閾値の平均が小さく, 被験者は遅延に対して敏感になっていることが分かる. これは普段聞き慣れない種類の音が提示されたために, 被験者本人が知覚しないレベルでの違和感が生じたためではないかと考

えられる. 分散が大きくなった理由は, 被験者ごとにセンサ位置と咀嚼検出閾値の調整を行うため, 条件を完全に一致させることが困難であったためだと考えられる. また,5 名中 2 名からは情報提示のタイミングが早いという回答を得た. この理由は咀嚼の速度に個人差があり, 顎を閉じる動作が比較的遅い被験者にとっては歯が食品に噛み込む前に情報が提示されてしまった可能性が考えられる.

これらの結果をまとめると. 遅延時間を 120-134[ms] に設定することで, 食品への噛み込みと同時と知覚されるタイミングで情報提示を行うことができる.

表 6.3: 実験結果 (予備実験)

被験者	情報提示を遅く感じる閾値 (ms)
A	170
B	140
C	150
D	210
E	140
平均	162
標準偏差	29

6.3. 咀嚼及び発話の判別能力の評価実験

設計指針の 3 つ目である「発話コミュニケーションを行なえること」を実現するためには, システムが咀嚼と発話を判別する能力を有し, 咀嚼時のみ情報提示を行なう必要がある. ここでは, 実装したシステムの咀嚼及び発話の判別能力の評価を目的とした実験を行なう.

6.3.1 実験設定

被験者はシステムを使用している状態で自由に食品を食べる. その間に実験者がいくつかの質問をし, 被験者に回答してもらう. 評価は誤検出率を基に行なう.

その計算法は, 被験者自身の発話がフィードバックされた時間を計測し, それを被験者の全発話時間で割ることにより発話を咀嚼として誤検出した割合を計算する. 食品にはポテトチップスを用いた. 被験者は男性 7 名, 女性 2 名で, 年齢は 23 歳から 30 歳であった. 実験には ChewingJockey ver1.0 を用いた.

ここで, 食品選定の理由について説明する. 本システムは下顎動作の大きさを基に咀嚼検出を行なっている. そして発話の際には下顎の動作が小さく, 咀嚼の際には動作が大きいことを利用して咀嚼と発話の判別を行なっている. ポテトチップスのような薄い食品では咀嚼動作が小さいと思われるため, ポテトチップスを食べている状態で咀嚼と発話を判別することができれば一般的な食品においても判別が可能と考え, ポテトチップスを実験食品として採用した.

具体的な手順は以下の通りである.

1. 被験者はデバイスを装着し, センサの位置を定め, 咀嚼検出閾値の調整を行なう.

2. 被験者は 10 枚のポテトチップスを自由に食べる. その際に実験者がいくつかの質問を行ない, 被験者に回答してもらう.

3. 10 枚のポテトチップスを食べ終えた時点で実験を終了する.

実験の様子を図 6.3 に示す.

図 6.3: 実験の様子

6.3.2 実験結果

被験者にフィードバックされた発話時間 T_{error} を全発話時間 T_{all} で割ることで発話を咀嚼として誤検出した割合となる誤検出率 R を計算した. 計算式を以下に示す.

$$R = \frac{T_{error}}{T_{all}}$$

その結果, 平均は 19.8%, 標準偏差は 21.6%であった. 結果の詳細を図 6.4 に示す.

表 6.4: 実験結果

被験者	誤検出率 (%)
A	69.4
B	3.5
C	27.9
D	14.6
E	4.5
F	19.1
G	32.4
H	3.4
I	3.4
平均	19.8
標準偏差	21.6

6.3.3 考察

誤検出率について被験者による差が大きかった．誤検出率が最小となった被験者では 3.4 %であり，ほとんどの発話をカットできていることが分かる．一方，誤検出率が最大となった被験者では 69.4 %であった．この被験者は咀嚼と同時に発

話をしていることが多く，本システムでは咀嚼と発話が同時に行われている場合はその判別を行うことが困難であることが分かる．そこで口腔内に食品がない状態での誤検出率を計算した結果，平均は 3.1 %，標準偏差は 4.7 %となった. これにより口腔内に食品がない状態では比較的誤検出率が小さくなることが分かった. 口腔内に食品がない状態での誤検出率を計算した結果を表 6.5 に示す.

表 6.5: 口腔内に食品がない状態での誤検出率

被験者	誤検出率 (%)
A	0
B	1.4
C	14.6
D	0
E	2.0
F	4.5
G	5.3
H	0.5
I	0
平均	3.1
標準偏差	4.7

6.4. 食感知覚操作の評価実験

設計指針の 1 つ目である「食感知覚操作が可能であること」を達成できたかどうかを評価する. 複数の食品に対して本システムの食感知覚操作アプリケーションを使用し, どの食品のどの食感知覚を操作することができるのかを調べることを目的とした実験を行なう.

6.4.1 実験設定

本実験の実験設計は Zampini らの実験 [19] を基に行なった. これにより本実験の実験結果を Zampini らの実験と比較できるようにした. 本実験では 6 種類の食品を扱う. ポテトチップス [47], リッツ [48], 煎餅 [49], アーモンド [50], かりんとう [51], 大福 [52] である. これらの食品は文献 [16] を基に様々な種類の食感に対応する代表的食品を挙げ, それらを予備実験において選別したものである. 被験者は本システムの食感知覚操作アプリケーションを使用した状態でそれぞれの食品を食べ, その食感についての評価を行う. 咀嚼音の加工条件の種類は各食品に対して 3 種類とし, ハイパスフィルタを通した音, ローパスフィルタを通した音, 無加工フィードバックの音である. ハイパスフィルタとローパスフィルタの閾値は食品毎に固有であり, 予備実験の結果から決定した. 評価は 100 段階の Visual Analog Scale(以下 VAS) で行う. 評価の軸となる形容詞対は食品毎に固有であり, 予備実験の結果から決定した.

なお, 本実験では元の食品に比べて食感が変化したか否かを調べることに注目するため,VAS の目盛りは 0 を基準として-50 から 50 までの 100 段階とした. システムを使用していない状態で食品を食べた時の食感の評価を 0 とする. 実験には ChewingJockey ver1.1 を用いた.

ポテトチップスと他の食品は被験者, 試行回数, 実験手順が多少異なるものの評価対象は同一であるため本節内にまとめて記す. ポテトチップスについては被験者は男性 7 名, 女性 3 名で, 年齢は 23 歳から 31 歳であった.1 人に対して各条件を 2 回ずつランダムに行うことで合計 20 回の試行を行なった. リッツ, 煎餅, アーモンド, かりんとう, 大福については被験者は男性 10 名, 女性 10 名で, 年齢は 23 歳から 26 歳であった. 各食品につき合計 10 回の試行を行なった.

以下に食品毎の加工条件, 及び評価の対象とする形容詞対を示す.

- ポテトチップス
  - ハイパスフィルタ: 4.05kHz
  - ローパスフィルタ: 1.1kHz
  - 無加工フィードバック

  - 形容詞対: 新鮮 (Fresh)-湿気ている (Stale)

- リッツ
  - ハイパスフィルタ: 1.35kHz
  - ローパスフィルタ: 7.7kHz
  - 無加工フィードバック
  - 形容詞対: 薄い (Thin)-分厚い (Bulky)

- 煎餅
  - ハイパスフィルタ: 9kHz
  - ローパスフィルタ: 4.9kHz
  - 無加工フィードバック
  - 形容詞対: 新鮮 (Fresh)-湿気ている (Stale)

- アーモンド
  - ハイパスフィルタ: 1.9kHz
  - ローパスフィルタ: 8.1kHz
  - 無加工フィードバック
  - 形容詞対: 密度が低い (Low density)-密度が高い (High density)

- かりんとう
  - ハイパスフィルタ: 1.7kHz
  - ローパスフィルタ: 1.2kHz
  - 無加工フィードバック
  - 形容詞対: 密度が低い (Low density)-密度が高い (High density)

- 大福

- ハイパスフィルタ: 7.2kHz
- ローパスフィルタ: 7.1kHz
- 無加工フィードバック
- 形容詞対: 粘着性がない (No adhesion)-粘着性がある (Adhesion)

ポテトチップスについて, 具体的な実験手順は以下の通りである. ただし 3 種類の加工条件と加工条件 A-F の対応はランダムとした.

1. 被験者はデバイスを装着し, センサの位置を定め, 咀嚼検出閾値及び音量の調整を行なう.
2. 練習のためにシステムを使用した状態でテスト用食品を食べる. テスト用食品は評価する対象外の食品である.
3. VAS をみせ, 評価軸となる形容詞対を説明する.
4. システムを使用しない状態でポテトチップスを食べる. これを基準 (VAS での評価が 0) の食感として覚えてもらう.
5. システムを使用し, 加工条件 A の状態でポテトチップスを食べる. 食べ終えたら食感を VAS で評価してもらう.
6. 被験者は内観報告を行なう.
7. 次に加工条件 B について手順 4-6 を行なう.
8. 次に加工条件 C について手順 4-6 を行なう.
9. 次に加工条件 D について手順 4-6 を行なう.
10. 次に加工条件 E について手順 4-6 を行なう.
11. 次に加工条件 F について手順 4-6 を行なう.

リッツ, 煎餅, アーモンド, かりんとう, 大福について, 具体的な実験手順は以下の通りである. ただし各食品と食品 1-5 の対応, 及び 3 種類の加工条件と加工条件 A-C の対応はランダムとした.

1. 被験者はデバイスを装着し, センサの位置を定め, 咀嚼検出閾値及び音量の調整を行なう.
2. 練習のためにシステムを使用した状態でテスト用食品を食べる. テスト用食品は評価する対象外の食品である.
3. VAS をみせ, 評価軸となる形容詞対を説明する.
4. システムを使用しない状態で食品 1 を食べる. これを基準 (VAS での評価が 0) の食感として覚えてもらう.
5. システムを使用し, 加工条件 A の状態で食品 1 を食べる. 食べ終えたら食感を VAS で評価してもらう.
6. 被験者は内観報告を行なう.
7. 次に加工条件 B について手順 4-6 を行なう.
8. 次に加工条件 C について手順 4-6 を行なう.
9. 食品 2 に対して手順 3-8 を行ない, 食品 5 になるまで同様に繰り返す.

実験の様子を図 6.4 に示す. 実験に使用した食品を図 6.5 に示す.

6.4.2 実験結果

実験の結果を図 6.6 に示す. 各食品の基準の食感と, システムを使用した時の食感評価の有意差を t 検定にて計算したところ以下のような結果となった. いずれも 1%水準の有意差があった. これ以外の食品と加工条件の組み合わせについては有意差は見られなかった.

図 6.4: 実験の様子

- ポテトチップスに対してハイパスフィルタ加工を行なうと, より新鮮に感じる
- ポテトチップスに対して無加工フィードバックを行なうと, より新鮮に感じる
- リッツに対してハイパスフィルタ加工を行なうと, より分厚く感じる

(a) ポテトチップス

(b) リッツ

(c) 煎餅

(d) アーモンド

(e) かりんとう

(f) 大福

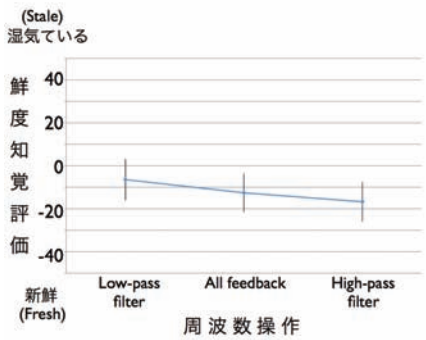
図 6.5: 使用食品

6.4.3 考察

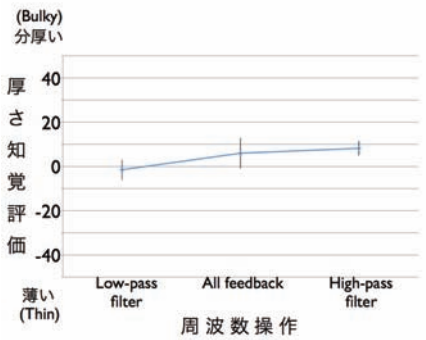
食感知覚変化の傾向及び内観報告からの考察

本実験の結果から, ポテトチップスの咀嚼音に対してハイパスフィルタ加工, 及び無加工フィードバックを行なうことで食品をより新鮮に感じる効果があることが分かり, 本システムが Zampini らの知見 [19] と同様の効果を有することが確認できた. それに加え, リッツの咀嚼音に対してハイパスフィルタ加工を行なうことにより食品の厚さを分厚く感じる効果があることが分かった. 被験者の内観報告からも,「リッツを 2 枚重ねて食べているように感じる.」といった報告が得られた.

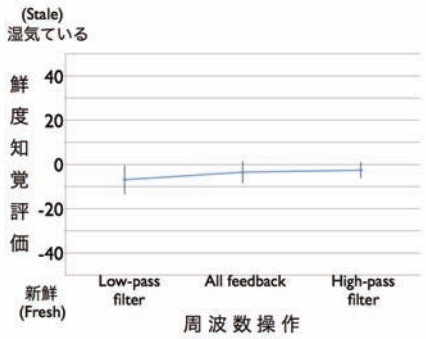
次に, 他の食品と加工条件の組み合わせについての考察を行なう. 本実験の VAS



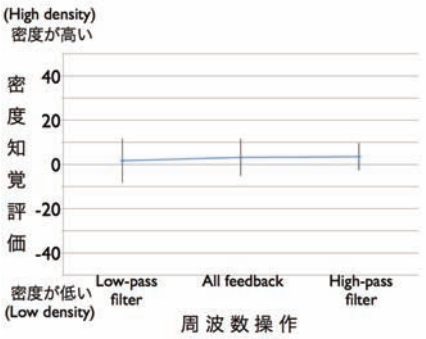
(a) ポテトチップス



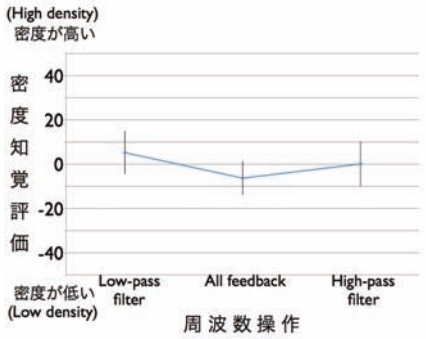
(b) リッツ



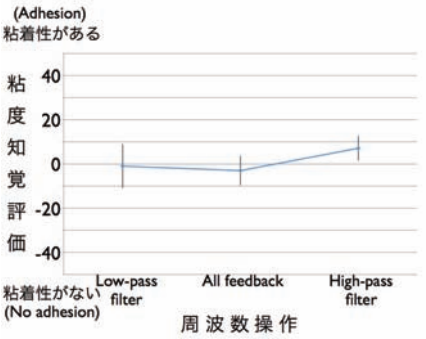
(c) 煎餅



(d) アーモンド



(e) かりんとう

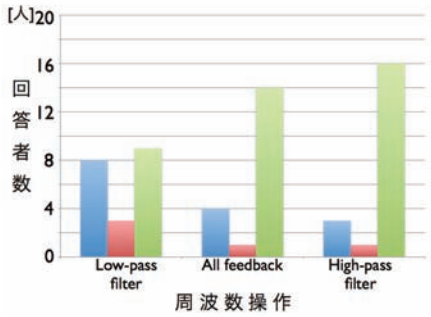


(f) 大福

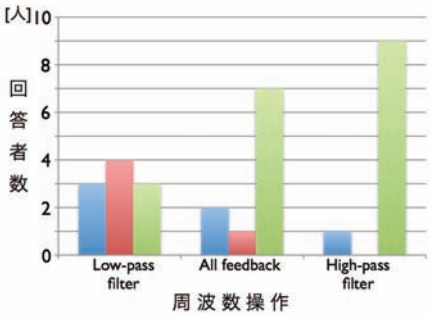
図 6.6: 実験結果 (食品別評価点数)

では被験者の評価は 0 か正か負の評価に分けられる. 基準が 0 であるため, 被験者が 0 か正か負のどの回答を行なったのかという情報は, 本システムによる効果の傾向を考察する上で重要である. そこで各食品各加工条件における評価が 0 の回

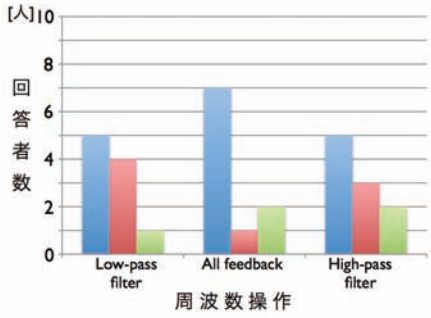
答者数, 正の回答者数, 負の回答者数をまとめた. 図 6.7 に示す. この情報と被験者からの内観報告を照らし合わせることにより考察を深めていくこととする.



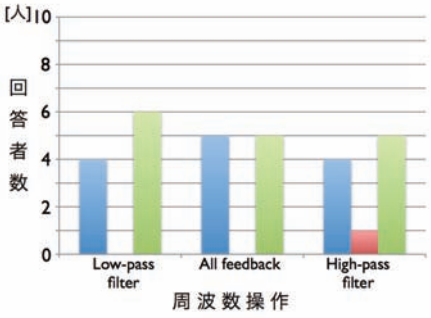
(a) ポテトチップス



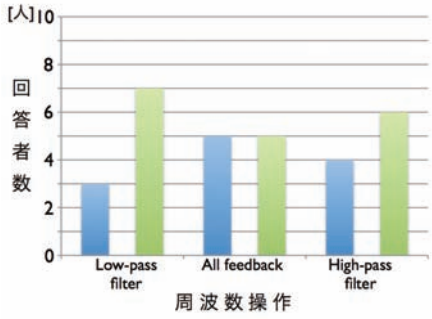
(b) リッツ



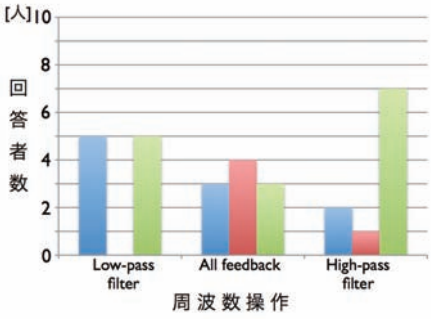
(c) 煎餅



(d) アーモンド



(e) かりんとう



(f) 大福

図 6.7: 評価の傾向 (食品別, 青:評価が負の回答者数, 赤:評価が 0 の回答者数, 緑:評価が正の回答者数)

特徴的な点を以下に挙げる.

- ポテトチップスに対してハイパスフィルタ加工を行なった結果,20 人中 16 人が「新鮮」と回答した
- ポテトチップスに対してハイパスフィルタ加工を行なった結果,20 人中 14 人が「新鮮」と回答した
- リッツに対してハイパスフィルタ加工を行なった結果,10 人中 9 人が「分厚い」と回答した
- リッツに対して無加工フィードバックを行なった結果,10 人中 7 人が「分厚い」と回答した
- 煎餅に対して無加工フィードバックを行なった結果,10 人中 7 人が「新鮮」と回答した
- かりんとうに対してローパスフィルタ加工を行なった結果,10 人中 7 人が「密度が高い」と回答した
- 大福に対してハイパスフィルタ加工を行なった結果,10 人中 7 人が「粘着性がある」と回答した

特徴的な点がみられる食品がある一方で, そうでない食品もある. 特にアーモンドとかりんとうについては食感知覚変化の方向が正と負に分かれる傾向がある. この理由として, 評価の際に使用した VAS の形容詞対が適切でなかった可能性が考えられる.1 つの食品でも複数の食感の表現を有しており, その中でシステムによる効果が得られない評価軸を採用してしまった可能性がある.

また, 加工条件が適切でなかった可能性も考えられる. ポテトチップスに対してローパスフィルタ加工を行なった場合, リッツに対してローパスフィルタ加工を行なった場合, 煎餅に対してハイパスフィルタ加工もしくはローパスフィルタ加工を行なった場合, 大福に対して無加工フィードバックもしくはローパスフィルタ加工を行なった場合については, それぞれ同一食品の他の加工条件に比べて食感知覚変化の傾向が正負に分散している. この理由として, 食品に対して適切な加

工条件をとらなかったために被験者が違和感を感じて有効なクロスモーダル効果が起こらなかった可能性が考えられる.

これらの 4 食品 6 通りの組み合わせについては, 内観報告からも音に違和感を感じたという報告が得られた. 具体的には, ポテトチップスに対してローパスフィルタ加工を行なった場合に「人工的な感じの違和感があった.」, リッツに対してローパスフィルタ加工を行なった場合に「違う種の音に聞こえたので食感の変化は感じられなかった.」, 煎餅に対してハイパスフィルタ加工を行なった場合に「音が浮いているような感じがした. 音と菓子があわないような気がした.」, 大福に対してローパスフィルタ加工を行なった場合に「コツコツした音が聞こえて気が分散されて食感に集中できなかった.」といった報告がなされた. この「コツコツした音」というのは歯と歯が噛み合わさる音だと考えられる. このような違和感の低減については, 食品の咀嚼音に高速フーリエ変換を行い, 内観報告を基にして違和感の原因となる周波数帯を探し, その音圧を低減することで解決できると考えられる.

ところで, 本システムと Zampini らの実験との大きな違いはこのマイクの設置位置である.Zampini らは外部にマイクを設置し主に空気伝導音を取得していたのに対し, 本システムではマイクを下顎体部に貼り付け主に骨伝導音を取得する. そのため口腔内の音をより多く取得することができる. これにより内観報告からは予想していなかった効果が生じていたことを知ることができたので順に述べる.

粘着性を増す効果の可能性

本研究の咀嚼音取得方法だからこそ食感知覚変化の特徴がみられた食品として大福が挙げられる. 大福の咀嚼音をハイパスフィルタで加工することで被験者の 70%が「粘着性がある」と回答している. 大福に対してハイパスフィルタ加工を行なった場合, 複数の被験者から「お餅を食べている最中の, 音が残るような感じがする. ガムを噛んだように, 噛んだ後も歯にくっついてくる感じがする.」「風船ガムのようなクチャッとした, 柔らかいガムを食べている感じがする.」といった報告が得られた.

この理由は 2 つ考えられる.1 つ目は, 口腔内で自分の唾液と食品とが混じり合っ

た音を取得するため, そのクチャクチャという音により粘着性が強調されるためだと考えられる.2 つ目は, システムは顎を閉じて食品を潰した際の破壊音をフィードバックするが, 同様に顎を開いて次の咀嚼に備える際に生じる音もフィードバックする. これはシステムが咀嚼を検出してから 1 秒間は音のフィードバック状態が継続するためである. 顎を開く際には食品が歯からはがれる音が生じるので, 粘着性を感じさせる音は顎を閉じるタイミングよりも開くタイミングの方が多く発生すると考えられ, その音をシステムがフィードバックするために被験者は粘着性を強く感じたのだと考えられる. 内観報告での「音が残る感じ」とはこの顎が開く際の音を指していると考えられる.

一噛み目の食感の維持効果の可能性

本実験では食べ方の指定を設けなかったため, 口腔内で複数回咀嚼を行なった時の食感知覚についての内観報告を得ることができた.

通常, 食品は咀嚼回数の増加に従って口腔内の食品が小さく砕けていき, また唾液と混じることで状態が変化していく. そのため食感も湿ったように変化したり, 歯ごたえが弱くなったりする. しかし内観報告から, 本システムを使うことで咀嚼回数の増加に従う食感変化が少なく, 一噛み目から嚥下まで初期の食感をある程度持続させることができる可能性があることが分かった. 特にポテトチップスに対して無加工でフィードバックを行なった場合, 複数の被験者から「一番最初に口に入れた時の食感が長持ちする.」「何度噛んでも湿気てこない感じがする.」といった報告が得られた. 同様にアーモンドに対して無加工でフィードバックを行なった場合も複数の被験者から「ずっと食べている感じがした. 無くなっていく感じがしなかった.」「(通常のアーモンドのような) 湿気て歯に詰まっていく感じが低減され, 最後まで乾燥して感じられた.」といった報告が得られた. これらの報告から, 本システムは咀嚼を繰り返すことによる食品の食感劣化を防ぐことができる可能性がある.

口腔内での量や動きの変化を強調する効果の可能性

複数回の咀嚼を行なうことで食品が口腔内に分散する. その際に口腔内の広範囲で感じる食品の動きや量に関する内観報告も得られた. アーモンドにハイパスフィルタ加工を行なった場合には「動きを感じた.」, リッツにハイパスフィルタ加工を行なった場合及びローパスフィルタ加工を行なった場合には「口全体に広がるように感じ, 食品の総量が多くなる感じがした.」「このシステムは良いダイエットになる気がする.」といった報告が得られた. この理由は, 食品を砕いた時の歯と食品との直接の接点のみでなく, 破壊された食品が唾液と混ざって口腔内を移動する際に生じる音もシステムがフィードバックするために, 食品の動きを感じやすくなったのだと考えられる. 普段よりも食品の動く音が強調されるために食品の小さな破片の存在感も強調され, その結果総量が多く感じられた可能性があると考えられる. 食品の総量について変化を感じると報告した被験者は多数いたが, その食品と加工条件には傾向がみられない. 本実験では食品の量の知覚に関しては評価の対象としていなかったが, 今後は食品の大きさを厳密に統一した状態で実験を行なうことで効果の有無を評価していきたい. なお, 上に内観報告を掲載した被験者についてはいずれも個体差がない状態の食品を一口で食べていたために基準の食品と評価対象の食品との個体差はない.

本システムに適した食品とその加工条件

以上の考察から, 本システムは複数回の咀嚼により口腔内での状態変化が大きい食品に対して有効である可能性が高いと考えられる.

また各食品に対して適切な加工を行なうことが重要であるため, 本実験では予備実験において適切であると考えられる加工条件を絞った. しかし実際の使用を考えると, 新しい食品を食べる度に適切な加工条件を探すための予備実験を行なうことは時間がかかる. そのため, 今後はより簡単に適切な加工条件を探す方法を検討する必要がある. たとえば, 食品の咀嚼音を録音し, それに対して高速フーリエ変換を行い, その結果を他の食品と比較して特徴的な周波数帯域を見つけるという方法が考えられる. その特徴的な周波数帯域を残すように加工条件を設定することで食品特有の食感を強調することができ, また反対に特徴的な周波数帯域

をカットするように加工条件を設定することで食品特有の食感を減損させることができると考えられる.

さらに, 口腔内での食品の状態変化に伴って加工条件を変えることにより食感知覚操作を行なう方法も考えられる. これは, 咀嚼を行なう毎に食品の状態が口腔内で変化していくため, その過程において食品の特徴的な食感が変化すると考えられるからだ. 本実験においては, 食品の口腔内での状態変化に合わせて加工条件を変えることはしなかったが, 今後検討したい.

6.5. 評価のまとめ

総合的な評価を述べる前に,「特殊な環境でなくても容易に使用可能であり, また食べ方に制限がないこと」という設計方針についての評価を以下のようにまとめる.

- システムは持ち運び可能な大きさであり, 環境に固定することなく容易に使用できる.
- ノートパソコンに繋がれたデバイスとマイクの装着が必要である.
- デバイスとマイクのケーブルの問題から, ユーザは立食パーティのように立ち歩きながら食べることができない.
- ユーザはうつむきながら食べることができない. うつむきながら食べるとセンサと下顎が常に接触した状態になり咀嚼検出を正しく行なうことができないためである.

以上の評価と本章で示した実験をまとめ, 総合的な評価を述べる. 実装したシステムは以下のことが可能であることが示された.

- リアルタイムに咀嚼の検出を行うことができる.
- 食品への噛み込みと同時と知覚されるタイミングで情報提示を行うことができる.

- 口腔内に食品がない場合, 平均誤検出率が 3.1%となる精度で咀嚼と発話の判別が可能である.
- ポテトチップスの咀嚼音に対してハイパスフィルタ加工, 及び無加工フィードバックをした場合, 食品が新鮮になると知覚することができる.
- リッツの咀嚼音に対してハイパスフィルタ加工を行なって提示した場合, 食品が分厚くなると知覚することができる.
- システムは持ち運び可能な大きさであり, 環境に固定することなく容易に使用できる.

一方で, リミテーションとして以下の点が挙げられる.

- どの食品に対しても有効であるわけではない.
- 食品毎に適した加工条件が異なるため, 食品毎に設定が必要である.
- 咀嚼をしながら発話を行なった場合, その発話もフィードバックされてしまう.
- ノートパソコンに繋がれたデバイスとマイクの装着が必要である.
- デバイスとマイクのケーブルの問題から, ユーザは立食パーティのように立ち歩きながら食べることができない.
- ユーザはうつむきながら食べることができない. うつむきながら食べるとセンサと下顎が常に接触した状態になり咀嚼検出を正しく行なうことができないためである.

ただし「ノートパソコンに繋がれたデバイスとマイクの装着が必要である.」と「デバイスとマイクのケーブルの問題から, ユーザは立食パーティのように立ち歩きながら食べることができない.」については, 将来的に解決可能であると考えている. それは, 現在 Processing と PureData で行なっている処理を Arduino などの専用の小型計算機で行なうことによりノートパソコンとデバイス間で通信を行な

うことなく使用できるためである.3.2 で述べた通り, 本システムは将来的にノートパソコンなしでも使用できるよう計算量が少なくて済むように設計している. 咀嚼検出アルゴリズムについても, 光センサを使用することで少ない計算量で実現しており, 小型計算機で行なうことも十分可能である. また, 取得した咀嚼音の加工条件操作についてもソフトウェアでなく電子回路で実装することが可能である. これらから, 将来的にはノートパソコンと通信することなく, デバイス単体での使用が可能であると考えている.

第7章
考　　察

7.1. 食感知覚操作アプリケーションに関する考察

食感知覚操作の評価実験における内観報告から, 今後の取り組みの指針を見いだすことができたので, 次の 3 点をここに記す.

- 特徴的な食感を強く知覚する
- 特徴的な食感と反対の食感を知覚する
- 咀嚼動作の誘導

7.1.1 特徴的な食感を強く知覚する

食感知覚操作の評価実験では, 実験後に「どのような食品の食感をどのように変化させてみたいか？」という質問を口頭で行なった. その結果「良い音で食べたい食品というのがある. 例えばリンゴはハグッと噛んだ時に一番良い音がしてほしい.」「野菜をシャキシャキ食べてみたい.」「頭の中のイメージの音を聞きながら食べてみたい.」といった回答が得られた.

テレビで見られる食品の CM では, 食品をかじった際の音をオーバーに表現することで食感の気持よさを演出する手法がある [53]. 広告対象とする食品の食感として誰もが持っているであろう共通のイメージのうち, 気持よさを感じるイメージをオーバーに表現している.

しかし実際に食品を食べた時にイメージ通りの咀嚼音がでることは少ない.CM で使われるような気持ちの良い音は演出として付加された音であるからだ. そこ

で本システムを使うことにより食品のもつ特徴的な気持ちの良い食感を強調することが考えられる.

実際に, アーモンドの咀嚼音に対してハイパスフィルタ加工を行なった場合には「よくリンゴをシャクっと食べるという表現があるが, ベクトルは違うがそれと同様の気持よさを感じる.」といった内観報告が得られている. 今後更に加工条件の検討を重ねることで, 食品の特徴的食感を強く, 気持ち良く感じることが可能になると考えている.

また, 我々は一度食べたことのある食品の食感はイメージとして記憶している. そのため, 食品を見ればそれがどのような食感であるかを想像することができ, 同時にその咀嚼音もイメージできる. しかし実際にはイメージ通りの音が出る食品は少ない. 例えば, グミは弾力性が強い性質を持っているためにイメージではオノマトペを用いてプニプニ, ポニョポニョなどと表現されるにも関わらず, 実際の咀嚼音はもっと地味である. そこで本研究の効果音付加アプリケーションでは「ぽにょ」という音を付加してイメージに沿うようにした. またグミ以外についても, 本システムを料理に対して使用した場合にほとんどの料理から気持よい咀嚼音を得ることができず, 我々がイメージしている以上に普段地味な咀嚼音を聞きながら食事をしているということを感じた. 本研究では効果音を付加した場合における食感知覚への影響は評価していないが今後はイメージ通りの効果音が付加された場合の食感知覚変化についても評価したい.

7.1.2 特徴的な食感と反対の食感を知覚する

「どのような食品の食感をどのように変化させてみたいか？」という質問に対して得られた他の回答として,「ナスのブヨブヨした食感が苦手なので硬くしたい.」「ヨーグルト等の柔らかい食品が硬い食感になれば食べた感じがして満腹感が得られるはず.」といった回答が得られた. 特にナスの柔らかい食感が苦手であると回答した被験者は複数人おり, 柔らかい食感を硬くしたいという要望があることが分かった. また女性からはヨーグルトやチョコレートを硬くし, 噛み応えをだすことで満腹感を得たいという要望があることが分かった.

本実験においては硬さを評価の軸として採用した食品はないが, 被験者の内観

報告では硬さに関する報告も多く得られた. 特に多くの報告が得られた食品と加工条件の組み合わせを以下に示す.

- アーモンドに対して無加工フィードバックを行なった結果,10 人中 7 人が「硬くなった」と報告した
- アーモンドに対してローパスフィルタ加工を行なった結果,10 人中 7 人が「硬くなった」と報告した
- 大福に対してローパスフィルタ加工を行なった結果,10 人中 6 人「硬くなった」と報告した

反対の食感を知覚するという観点で言うと, 大福に対してローパスフィルタ加工を行なった場合にその傾向が伺える. また, 被験者から「ハンペンを試してはどうか.」という意見も得られた. ハンペンは生地に気泡を多く含んでおり, 柔らかい食品でありながら咀嚼の際に特徴的な音が生じる. その音を適切にフィードバックするように加工条件を設定することで, シャキシャキとフレッシュな野菜を噛むような食感に変化させることができるのではないかと考えている.

予備実験では効果音付加アプリケーションを使って柔らかい食感を硬く知覚させることができるかどうかを調べる試みを行なった. 柔らかい食品としてぬれ煎餅を採用し, 効果音としてラスクを砕いた時の音を用意した. システムを使い, ラスクを砕いた音を聞きながらぬれ煎餅を咀嚼したが, 食感知覚に変化はなかった. これは提示される音がぬれ煎餅の食感のイメージとかけ離れており, 被験者の混乱を招いたためだと思われる. そのため, 被験者が食べる食品の情報を持たない条件で, すなわち食品に対するイメージを持たない条件で食感のみを評価する場合は, 食品の特徴的な食感と反対の食感を知覚する可能性が考えられる. 人は食品を口に入れる前に食品を目で確認して手で持って口に運ぶため, 例えばアイマスクなどで被験者が得る視覚情報を遮断し, 手にゴム手袋をつけるなどして口腔内以外の触覚情報も遮断した状態で実験を行なうことで本来柔らかい食品を硬く知覚する可能性がある.

食品の硬さは食事量や食事速度にも関係する. 藤瀬ら [54] はラットに与える餌の硬さとその摂取量の関係性について研究しており, 柔餌を与えた群に比べて硬

餌を与えた群は一回の食事量が減り, 食事速度も遅くなることを示した. そのため本システムで食品を硬く知覚することが可能であれば, 食事量や食事速度を調整できる可能性があり, 肥満症患者が健康的な食べ方をできるように誘導するツールとして使うことも考えられる.

一方で,「どのような食品の食感をどのように変化させてみたいか？」という質問に対して「安い肉は硬かったり筋張ったりするので, そういう安い肉を高い肉のようにとろけさせたい.」,「コンビニにある安くて硬いチョコレートを高級チョコレートのように柔らかくしたい.」といった硬い食品を柔らかく変化させたいという回答も得られた. これらの回答からは, 高級な食品は柔らかく安い食品は硬いといったイメージがあることが分かり, 安くて硬い食品でも食感を柔らかく知覚することで高級食品を食べているように感じられるのではないかと考えられる. しかし, 食感知覚操作の評価実験では食品を柔らかく感じたという傾向はみられず, 効果音付加アプリケーションにおいても柔らかさを感じさせる効果音は見つかっていない.

7.1.3 咀嚼動作の誘導

食感知覚操作の評価実験の内観報告からは「(システムを使うことで) 噛む時に力がいるように感じた.」といった報告が得られた. また, 情報提示タイミングの評価実験の内観報告からは「提示音によって咀嚼のリズムが誘導されそうになる.」といった報告が得られた. これらから, 本システムによって咬合力と咀嚼のリズムを誘導できる可能性があると考えられる.

「噛む時に力がいるように感じた.」という報告者は, 食品が硬くなったように感じたから噛むのに力が入るように感じたと述べていた. そのため, 咬合力の誘導は先に述べた食品の硬さの知覚と関係性が深いと考えられ, 食品の硬さ知覚を変化させることができれば咬合力を誘導できる可能性も高まる.

また, 故意に遅延を入れて情報提示を行なうことで咀嚼のリズムを誘導できる可能性がある. これが可能であれば咀嚼のリズムを遅くすることによりゆっくりと食事をするように誘導することが考えられる. 坂田 [55] によると粗噛みで早食いの肥満症患者は味をほとんど覚えておらず, また食事そのものが喜びの対象と

なっていないと報告されている. しかし, よく噛みゆっくりと食べることができるようになると満腹感を強く感じられるようになり, また噛んでいるうちに忘れていた味を取り戻しておいしさや心地よさを食事から感じ取れるようになるとも報告されている [55]. そのため本システムによって咬合力と咀嚼リズムを誘導することが可能になれば, 肥満症患者に対してよく噛みゆっくり食べるといった健康的な食べ方を習慣化するように誘導するツールとして使うことも考えられる.

7.2. 効果音付加アプリケーションに関する考察

効果音付加アプリケーションを使用してデモンストレーションを行なったため, その際に見られたユーザの反応を通して考察を行なう. デモンストレーションは SIGGRAPH ASIA 2011[56] において行い,ChewingJockey ver1.1 を使用した.

デモンストレーションのために本システムを 2 つ用意した. 体験者は食べる食品を選んで食べ, 操作者は適切な効果音を選択する. 片方のシステムでは骨伝導ヘッドフォンからのみ効果音を出力し, もう片方ではノートパソコン内蔵スピーカからも効果音を出力した (図 7.1). これにより体験者のみに効果音が提示される状況と, 体験者及び見学者に効果音が提示される状況の 2 つの状況をつくった. デモンストレーションの様子は録画を行い, そのビデオ映像を基にしてそれぞれの状況下での体験者と見学者の間に見られた特徴的な行動についての考察を行なう. ただし, ここでは友人同士で来た人を対象に分析を行なうため, 体験者と見学者の関係性は親しい間柄であると想定する. 体験者と見学者の様子を図 7.2 に示す.

7.2.1 体験者のみに効果音提示を行なう場合の行動

体験者の特徴的行動

体験者は見学者に体験を伝えるために以下の行動をしていた. それぞれの様子を図 7.3 に示す.

1. 体験者は口頭で体験を伝える.

(a) 骨伝導ヘッドフォンからのみ効果音が出力される場合

(b) 骨伝導ヘッドフォン及びノートパソコン内蔵スピーカから効果音が出力される場合

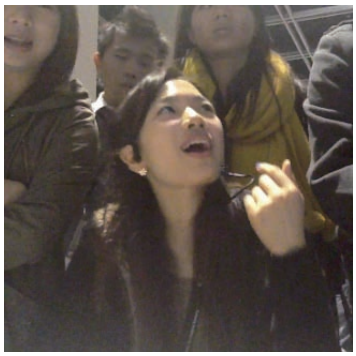
図 7.1: デモンストレーションの様子 (左:体験者 右:操作者)

図 7.2: 体験者と見学者の様子 (中央:体験者 他:見学者)

2. 体験者はジェスチャーを使って体験を伝える.

3. 体験者は噛む動作をオーバーに行なうことで体験を伝える.

4. 体験者はオーバーにリアクションをすることで体験を伝える.



(a) 口頭で伝える

(b) ジェスチャーで伝える

(c) オーバーに噛む

(d) オーバーなリアクション

図 7.3: 体験者の行動 (体験者のみに効果音提示を行なう場合)

見学者の特徴的行動

見学者は体験者と体験を共有するために以下の行動をしていた. それぞれの様子を図 7.4 に示す.

1. 見学者は体験者の反応を見るために表情を覗き込む.
2. 見学者は音を聞くために体験者に顔を近づける.

7.2.2 体験者及び見学者に効果音提示を行なう場合の行動

体験者の特徴的行動

体験者には以下の行動が見られた. その様子を図 7.5 に示す.

(a) 表情を覗き込む

(b) 顔を近づける

図 7.4: 見学者の行動 (体験者のみに効果音提示を行なう場合)

1. 体験者は音が自分の咀嚼動作によって生じていることを見学者に伝えようとする.

(a) 咀嚼によって音が出ていることを伝える

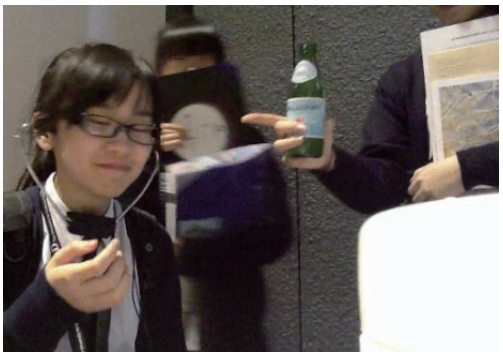
図 7.5: 体験者の行動 (体験者及び見学者に効果音提示を行なう場合)

見学者の特徴的行動

見学者には以下の行動が見られた. それぞれの様子を図 7.6 に示す.

1. 見学者も体験者と同時にリアクションをする.
2. 見学者が音に合わせてジェスチャーをする.

(a) リアクションする



(b) ジェスチャーする

図 7.6: 見学者の行動 (体験者及び見学者に効果音提示を行なう場合)

7.2.3 体験者と見学者の行動に関する考察のまとめ

体験者のみに効果音提示が行なわれる場合には, 体験者は体験を見学者に積極的に伝えようとしている様子が見られた. また, 見学者も体験者の行動に注目し, 積極的に体験を共有しようとしている様子が見られた. 体験者は主に会話やジェスチャーによって体験を伝えようとしていた. この観察から, 体験者と見学者は互いに体験の共有を行ないたいと考えていることが分かる. そのため, 本システムを複数人で同時に使用できるように設計すると, 友人同士でエンタテイメントとしての食体験を共有することができると考えられる. 例えば, アニメや漫画の表現で使われる「ぽにょ」や「バキッ」といったオノマトペの効果音を付加することで漫画の世界での食体験を友人同士で共有することが考えられる.

また, 見学者から注目されていることを意識しているためか, オーバーに噛んだり, オーバーにリアクションをすることで見学者を楽しませるといった行動が見られた. この観察から, 体験者は見学者を楽しませるために本システムを利用していることが分かる. 見学者は体験者の様子を見ることで食品がおいしいのか, システムが楽しいのか, などを判断することができる. そのため, 付加した効果音を外部環境にも出力するようにし, 体験者がパフォーマンスのように食品を食べることによって, 食品がおいしそうであると観察者に思わせ, そして自分も食べたいと思わせることができる可能性がある. またその際は表現手段を増やすために体験者が自分で付加する効果音を選択できる方が良いと考えられる. これらに関する

展望は 7.4.3 にて述べる.

体験者及び見学者に効果音提示が行なわれる場合には, 見学者は体験者と同時にリアクションをしたり, 音に合わせてジェスチャーをすることで体験を盛り上げるといった様子が見られた. この観察から, 見学者は体験者の体験に対して何らかの影響を与えたいと考えていることが分かる. これは見学者が操作者を務めることで実現できる.

以上から, 本システムは複数人の友人同士で食事を食べる際のコミュニケーション手段の一つとして機能する可能性がある. これらに関する展望は 7.4.1 にて述べる.

7.3. 想定ユーザの使用に関する考察

歯の健康状態が良くなく、かつ義歯を使用している人に実際の食事の際に本システムの食感知覚操作アプリケーションを体験してもらう. その様子を観察し, 考察を行なう.

7.3.1 体験者について

体験者は 80 歳の女性で, 総入れ歯ではないが義歯使用歴が 13 年である. 現在は歯の健康状態が良くなく, そのために食べることができる食品が限られている. 体験者に関する詳細な情報を以下に示す.

歯の状態

部分入れ歯を使用しており, 左側下歯が 3 本, 右側下歯 2 本が義歯である. 他の歯については, 上歯のうち 2 本が健康な状態ではない.1 本は 8ヶ月前に硬い食品を食べた際に欠けており, 更に現在はぐらつく状態となっている. もう 1 本は 8ヶ月以上前に急に抜け落ち,6ヶ月以上治療に通っているが, 現在は本人が風邪気味であるという理由から治療を中断しているが, 風邪が完治した後は義歯にする予定である.

食事

歯の状態が健康な状態ではないため, 食べる食品には気を遣っている. 例えば硬い煎餅などは食べることができない.8ヶ月前には硬い食品を食べて歯が欠けたため, それを心配して煎餅を食べる場合でも柔らかい煎餅を選択するようにしている.

好きな菓子は煎餅であり, ほとんど毎日食べている. ただし, 上記の理由から食べることができるのは柔らかい煎餅のみである. 若い頃は草加せんべいなどの硬い煎餅が好きであったが, 現在は歯の状態を気にして食べることができない. 他には甘い菓子も好きであり, うぐいす餅や大福や団子が好物で, 仏壇に供えた後に食べている. 苦手な菓子はどら焼き, ケーキ等であり, 卵やスポンジが好きではない. 今回の体験で使用したポテトチップスやリッツは普段はあまり食べず,「久しぶりに食べた.」と言っていた.

また, お新香も好きだが義歯にする前は噛み切れない状態であった. だが義歯を使用してからはお新香も食べられるようになった. ミカンやリンゴなどの果物についても同様である. そのため早く上歯も義歯にしたいと考えている. 総入れ歯でないため, 味や食感を感じ難くなるといったことは認識していなかった.

7.3.2 体験内容について

概要

体験者は本システムの食感知覚操作アプリケーションを体験する. 体験者にはその孫と一緒に会話をしながら自由に菓子を食べてもらう. ただし, 本システムのリミテーションである「咀嚼をしながら発話を行なった場合, その発話もフィードバックされてしまう.」について説明し, システム使用時は咀嚼と発話は同時に行なわないように心がけてもらった. システムを使用しない状態で 5 分間行ない, その後システムを使用した状態で 10 分間行なった. システムを使用する前には, センサ位置, 咀嚼検出閾値及び音量の調整を行なう. また音量は体験の最中に体験者が自由に変更できることとした. 体験の様子を図 7.7 に示す. また体験後には体験の感想を述べてもらった. 体験には ChewingJockey ver1.1 を使用した.

図 7.7: 体験の様子 (左:孫 右:体験者)

使用食品

6.4 の実験で使用したポテトチップス [47], リッツ [48], 及び体験者が用意した食品の計 4 点を使用した.6.4 の実験で使用した煎餅 [49] も使用する予定であったが, 硬くて食べられないということであったので, 体験者が普段食べているという柔らかい煎餅 [57] を使用した. もう一品, 体験者が普段食べているという餅を使用した. この大福は近所のスーパーで購入したものであった. 使用した食品を図 7.8 に示す. 飲み物は普段菓子を食べる際に飲むという暖かいお茶を用意し, 体験中は自由に飲んでもらった.

加工条件

咀嚼音の加工条件は 6.4 の実験を基に以下の通り決定した. 体験者が用意した煎餅及び餅に対しては,6.4 の実験で使用した煎餅及び大福に相当する加工条件とした. なお, 体験中に食べる食品に合わせて加工条件を変更する必要があるが, 変更操作は操作者が行なった.

- ポテトチップス

(a) ポテトチップス

(b) リッツ

(c) 煎餅

(d) 餅

図 7.8: 使用食品

  - ハイパスフィルタ: 4.05kHz

- リッツ
  - ハイパスフィルタ: 1.35kHz

- 煎餅
  - ローパスフィルタ: 4.9kHz

- 餅
  - ハイパスフィルタ: 7.2kHz

7.3.3 考察

体験の反応に関して

体験者は硬い煎餅は食べられないということであったので, 食べられる食品に制限があることが分かる. また若い頃は硬い煎餅が好きだったということがら, 歯の状態による食品の制限により食べたい硬さの煎餅を食べられない状態である. 食品を準備している際には, 体験者は孫に対して「このお煎餅だと物足りないかもしれないよ, 柔らかいから.」と言っており, 自身も物足りないと感じている可能性が考えられる.

体験後の感想では, システムを使用して煎餅を食べた時には「この煎餅は普通の煎餅より柔らかい物だけど, 音がすごくバリバリと聞こえる感じだった.」「(普段は) 柔らかい煎餅はクシャクシャと食べているけど,(システムを使った場合は) 音を聞くとバリバリとして, すごく硬いものを噛んでいるような音がした. だからおいしく感じた.」「ああ, こういう音もするんだ.」とコメントをしていた. このことからシステムを使用することで煎餅をよりおいしく食べることができたと考えられる.4 食品の中では最も煎餅が気に入ったようで, ほとんどが煎餅の感想であった.

餅を食べる際にはフォークで 4 分割して食べていた. これは, 餅は義歯にくっつきやすく, そのままの大きさで食べると義歯が外れてしまう可能性があるためである. 体験後の感想では, 餅については変化は感じなかったとコメントしていた. ポテトチップス及びリッツについては, どちらについても「音が爽やかな感じだった.」とコメントをしていた. また全体を通しての感想として「年寄りもグチャグチャと食べるよりもこういうシステムで爽やかにおいしく物を食べられたら良いと思う.」とコメントしており, 本システムに肯定的な意見を頂いた.

次にシステムの使用についての反応に関して考察する. システムの使用方法については体験者に一つ一つ説明しながら行なったが, 特に理解できない箇所はなかった。ただしデバイスの装着は一人で行なうことができず, サポートが必要であった。この主な原因は, 自分でヘッドセットを耳に固定することが困難であったためだと考えられる. 今回, 体験者の耳は柔らかく, ヘッドセットの耳固定部分が耳に引っかかり難かった. そのためヘッドセットの耳固定部分については改良の余地があることが分かった. 音量の調整については体験者自身に行なってもらい,

体験の最中も自由に変更して良いということを伝えていた. しかし体験前の調整時に音量調整を行なって以降は, 体験中に音量調整を行なう様子は見られなかった. このことから一度調整を終えてしまえば, 体験中に再度調整を行なう必要性がないことが分かった.

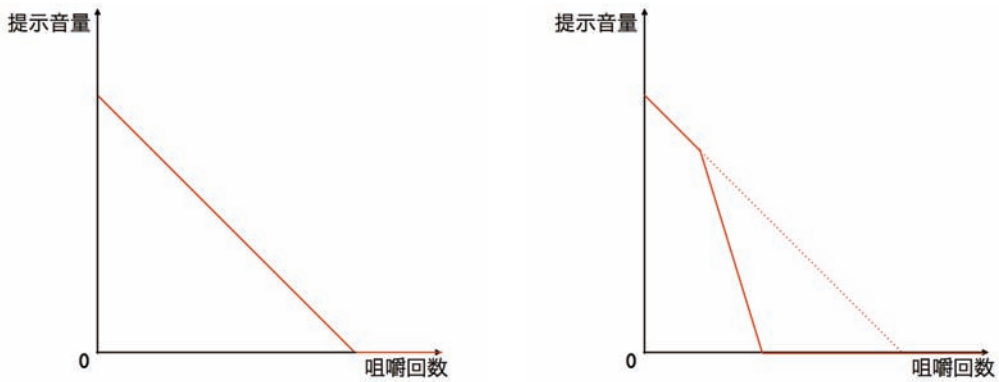
デバイスの改善点に関して

今回の体験により発見された改善点を以下に示す.

1. 咀嚼と発話が同時に行なわれた場合のフォードバックの回避
2. ヘッドセットの耳固定部分の改良
3. デバイスの小型化

まず 1 点目として「咀嚼と発話が同時に行なわれた場合のフォードバックの回避」が挙げられる. 今回は体験者にシステム使用時は咀嚼と発話は同時に行なわないように心がけてもらった. しかしそのため体験者が菓子を食べている際に孫との会話が途切れてしまう状態がみられた. そこで咀嚼と発話が同時に行なわれた場合でもそのフィードバックを回避できるような改良が望まれる. 具体的な案としては, 不快音低減アルゴリズムを利用することが考えられる. 現状では音量減衰率は一定であるが, この音量減衰率を咀嚼回数によって変化させることで, 例えば最初の数噛みは体験者に聞こえる音量で音が提示されそれ以降は急激に聞こえなくなるといった変化のさせ方が可能である. 体験者が咀嚼と発話を同時に行なうことができるのは口腔内の食品が小さくなってからであり, 最初の数噛みの段階では口腔内の食品は十分大きく発話が困難であると考えられる. そのため, 口腔内の食品が十分大きい間, すなわち最初の数噛みの間は十分な音量で音を提示し, それ以降は急激に音量を下げることで, 発話と咀嚼が同時に行なわれた場合でも音のフィードバックを避けることができると考えられる. その時の咀嚼回数と提示音量の関係を図 7.9 に示す.

次に 2 点目として「ヘッドセットの耳固定部分の改良」が挙げられる. 今回, 体験者の耳は柔らかく, ヘッドセットの耳固定部分が耳に引っかかり難かった. その



(a) 現状　　(b) 改善案

図 7.9: 音量減衰率調整による改善案

ため頭を上下に動かすとデバイスが揺れてしまい誤検出を起こしやすかった. 耳のサイズや柔らかさには個人差があるため, 調整機能を加える, もしくは個人用デバイスを制作するといった改良が考えられる. 体験者も「デバイスの大きさを自分にあった大きさの物があれば良いと思う.」とコメントをしていた.

3 点目は「デバイスの小型化」である. 体験者は「もっと気楽に, サッと着けられるようになったら楽しい.」とコメントしており, 骨伝導ヘッドフォン (テムコジャパン製パソコン用骨伝導ヘッドセット (HG40SIM-TU 28721)) 程度の大きさが望ましいと言っていた. 現在はセンサ部分の小型化やフレーム部分の意匠によりある程度の改善が可能であると考えられる.

7.4. 今後の展望

本研究の展望として次のことが挙げられる.

- 児童に対する咀嚼エンタテイメント
- 肥満症患者に対する健康的な食べ方への誘導
- 食事者の周囲にいる人を楽しませる食事表現

7.4.1 児童に対する咀嚼エンタテイメントの提案

児童が複数人で菓子を食べる時に, より楽しく菓子を食べるために本システムを使用できると考えている. まず本システムの食感知覚操作アプリケーションを複数人で使用することが考えられる. 一人がデバイスを装着し, 他の人が操作盤を操作することで相手の食感知覚にイタズラをして遊ぶことができる. 相手の五感に対してイタズラをする遊びとしては目隠し鬼 [58] などいくつか存在するため, 本システムも同様に遊びとして成立すると考えられる. また菓子を食べる際の遊びとしては, 見た目は変わりのない複数のチョコ菓子の中にハズレとなる辛い菓子を混ぜ, 食べることでアタリかハズレかがわかる菓子がある [59]. この菓子の面白さは見た目には違いが分からず, 食べることでしか違いを判定できない点である. 本システムを使用することで, 食べるまでどのような食感か分からない状態をつくりだすことができ, 上記の菓子と同様の効果を作りだすことができると考えている.

また効果音付加アプリケーションを使用することで現実には発生しない効果音の重畳を行なえる. これにより「ぽにょ」や「バキッ」といったアニメや漫画の表現で使用されるオノマトペを実際の咀嚼タイミングに合わせて出力し, アニメや漫画の世界に入り込んだような食体験をすることができる. またタイミングに合わせて音を出すという特徴を考慮すると, 複数人で適切なタイミングで音を出すことによって演奏を行なう音楽ゲームのような使用方法も考えられる.

このように食感知覚操作アプリケーションや効果音付加アプリケーションは遊びに活かせる要素を含んでおり, 児童に対して咀嚼によるエンタテイメントを提案できると考えている.

7.4.2 肥満症患者に対する健康的な食べ方への誘導

本システムを使うことでリッツを分厚く感じさせることができるということが実験結果から示され, 内観報告では「リッツを 2 枚重ねて食べているように感じる.」という報告も得られた. そのため, 本システムを使用することで食事量を実際より多く感じることができるという可能性がある. これが可能となれば, 自分が感

じるよりも少ない食事量で満腹感を得ることができると考えられ, ダイエットに効果を発揮すると考えられる.

また坂田 [55] によると肥満症患者でも良く噛みゆっくりと食べる習慣をつけることで, 満腹感やおいしさ, 心地よさを感じることができるようになる.7.1.2 及び 7.1.3 で述べた通り, 本システムでは食事量, 食事速度, 咬合力, 咀嚼リズムを調整できる可能性がある. これらを調整して肥満症患者に使用してもらうことで, 自然と健康的な食べ方へと誘導し, 習慣化することができると考えている.

7.4.3 食事者の周囲にいる人を楽しませる食事表現

食事の際に口を開いて咀嚼音を立てることはマナーとして良くないが, 食品そのものの新鮮な音を聞くと食欲をそそられる場合もある. 野菜やボイルしたウィンナーなどが例として挙げられる.7.1.1 でも述べたが, テレビの CM でも食品を噛む際の音をオーバーに聞かせることで, 視聴者の購買意欲を刺激する手法がある.

このように聞いている人の食欲をそそらせ, 美味しそうだと思わせる音は聞いていて気持ちが良いものである. 本システムの効果音付加アプリケーションではユーザ本人に対して効果音を提示しているが, これを外部環境に提示することで周囲の人の食欲をそそることができる可能性がある.

第8章
結　　論

知覚操作を調理法として利用することを目指し, 菓子の食感知覚操作を目的として研究を行った. 食感知覚操作の原理には自身の咀嚼音をフィードバックするという原理を用いた. 設計指針を満たすために咀嚼動作のセンシング方法を検討し, システムの設計, 実装及び機能評価を行なった.

その結果, 本システムは以下の点を実現したと評価された.

- リアルタイムに咀嚼の検出を行うことができる.
- 食品への噛み込みと同時と知覚されるタイミングで情報提示を行うことができる.
- 口腔内に食品がない場合, 平均誤検出率が 3.1%となる精度で咀嚼と発話の判別が可能である.
- ポテトチップスの咀嚼音に対してハイパスフィルタ加工, 及び無加工フィードバックをした場合, 食品が新鮮になると知覚することができる.
- リッツの咀嚼音に対してハイパスフィルタ加工を行なって提示した場合, 食品が分厚くなると知覚することができる.
- システムは持ち運び可能な大きさであり, 環境に固定することなく容易に使用できる.

謝　　辞

本論文は田中秀和が慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科修士課程で行なった研究について執筆したものです. 教授方, 先輩方, 友人, 後輩, 家族の理解や協力なくして本論文を執筆することはできませんでした. ここで感謝の意を述べさせて頂きます.

本研究の指導教員である慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の稲見昌彦教授には幅広い知見から的確な御指導と暖かい励ましを頂きました. またデバイス制作やその美観に関しても御教授頂き多くのことを学ぶことができました. 深く感謝致します.

本研究の副査である同研究科の奥出直人教授, 杉浦一徳准教授には異なる視点からの有益な意見を頂きました. 特に奥出直人教授には私が 1 年次の頃から厚い御指導を頂きました. 深く感謝いたします.

私の所属する Computational Reality チームでは同研究科の南澤孝太助教, 古川正紘助教に研究や論文執筆について厚い御指導を頂きました. 深く感謝致します.

また慶應義塾大学理工学部の杉本麻樹講師には発表に関する多くの御指導を頂きました. 深く感謝致します.

私の所属する Reality Media プロジェクトでは博士課程の小泉直也さん, 上間裕二さん, 永谷直久さん, 杉浦裕太さん, 高橋征資さん, 安謙太郎さん,Charith Fernando さん,Anusha Withana さん, 家室証さんには研究を進める上で多くの御指導を頂きました. 深く感謝致します.

特に小泉直也さん, 上間裕二さん, 永谷直久さんには入学当初から同じチームで活動させて頂き, 多くの御指導を頂きました. 少人数でのチームながら沢山のアイデア出しやプロトタイピングを行ない, 自由に楽しく研究をすることができました. ミーティングでのディスカッションでは非常に多くの知識を得ることができ,

また論理的思考力を鍛えることができました. 実装面や実験計画, 論文執筆等においても詳しく御指導頂き, ここで学んだことは私の今後の活動においても大きな原動力になることを確信しております. 深く感謝致します.

同期の黒木帝聡君, 清水啓太郎君,Elsha Yang さん, 川名宏和君, 佐山ウィル明裕君, 渡辺英樹君, 毛利瑠子さん, 今村有希さん, 荒川裕紀君とはディスカッションや発表練習などを通じて互いに切磋琢磨することができました. 深く感謝致します.

Reality Media プロジェクトのメンバーの Chang Shian Wei さん,Calista Lee さん, 泉秀幸さん, 佐脇風里さん, 竹内祐太君, 廣多馨君, 山本翼さん,Kevin Fan さん,Vithaya Kitwatthanachai さんには多くのサポートを頂きました. 深く感謝致します.

稲見系スタッフの佐藤裕子さん, 杉本美央さん, 舘研スタッフの青山瑠美子さん, 児島絵美理さんには研究活動を支えて頂きました. 深く感謝致します.

また私は 1 年次には小林茂さん, 下沖光浩さん, 石川大輔さん, 竹居直哉さん,Gustavo Dore さん, 谷垣隆男君, 他にも Media Furniture プロジェクトの方々から多くの御指導を頂き, また共に活動しながら成長することができました. その時に得たものは本研究のモチベーションにも繋がりました. 特に下沖光浩さんには多くの影響を受け, 私の今後の活動の指針となりました. 深く感謝致します.

本研究は慶應義塾大学博士課程学生研究支援プログラムの援助を受けて行ないました. 深く感謝致します.

最後に, 私の学生生活を支えてくれ, また研究に対して理解と協力をしてくれた父, 母, 弟, 妹, 祖母に深く感謝致します. ありがとうございました.

参 考 文 献

[1] Hashimoto, Y., Nagaya, N., Kojima, M., Miyajima, S., Ohtaki, J., Yamamoto, A., Mitani, T., Inami, M., Straw-like user interface: virtual experience of the sensation of drinking using a straw, Proceedings of the 2006 ACM SIGCHI international conference on Advances in computer entertainment technology, pp.50, 2006.

[2] Ngaya, N., Siang, F.F.C., Furukawa, M., Tokiwa, T., Sugimoto, M., Inami, M., Stop motion goggle, ACM SIGGRAPH 2008 new tech demos, pp.35, 2008.

[3] 小泉直也, 常盤拓司, 杉本麻樹, 稲見昌彦, 光学迷彩 2.0: 透明化する自己像を見る体験の設計, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.16, No.2, pp.149-152, 2011

[4] 舘 ススム, バーチャルリアリティ入門, 筑摩書房,2002.10.

[5] 的場輝佳, 食物科学概論, 朝倉書店, 2003.11.

[6] 村山篤子, 永山スミ, 福田靖子, 藤井恵子, 升井洋至, 大羽和子, 阿久沢さゆり, 名倉秀子, 調理科学, 建帛社, 2002.5.

[7] Yek, G.S., STRAWE, K., Deconstructing Molecular Gastronomy, Food technology, Vol.62, No.6, 2008.

[8] Pierre Gagnaire http://www.pierre-gagnaire.com/index-fr.htm

[9] Le Cristal http://www.futuroscope.com/

[10] L'Aphrodite http://www.restaurant-aphrodite.com/

[11] 新井映子, 義歯装着者の咀嚼運動様式の解明と易咀嚼性食品のデザイン, 平成 9 年度-10 年度科学研究費補助金 研究成果報告書, 1993.3.

[12] 井原由樹子, 義歯による口蓋部の被覆が食品弁別能に及ぼす影響, 卒業研究論文集.

[13] 新村出, 広辞苑第六版, 岩波書店, 2008.

[14] 栗原堅三, 味と香りの話, 岩波書店, 1998.6.

[15] Szczesniak, A.S, Kleyn D.H, Food Technol., 17, 74, 1963.

[16] 大橋正房, 武藤彩加, 山本眞人, 爲国正子, 汲田亜紀子, 渋澤文明, 小川裕子, BMFT 出版部, 「おいしい」感覚と言葉 食感の世代, 2010.3.

[17] Harold McGee, マギー キッチンサイエンス -食材から食卓まで-, 共立出版, 2008.10.

[18] ねるねるねるね クラシエホールディングス株式会社

http://www.nerune.jp/nerune/

[19] Zampini, M., Spence, C., The role of auditory cues in modulating the perceived crispness and staleness of potato chips, Journal of Sensory Studies, Vol.19, No.5, pp.347-363, 2004.

[20] Driver, J., Spence, C., Multisensory perception: Beyond modularity and convergence, Current Biology, vol.10, No.20, pp.731-735, 2000.

[21] McGurk, H., MacDonald, J., Hearing lips and seeing voices, 1976.

[22] CHARLES, E., WILLARD, R. T., Effects of degree of visual association and angle of displacement on the" ventriloquism" effect, Perceptual and Motor Skills, Vol.37, No.3, pp.967-979, 1973.

[23] Bertelson, P., Radeau, M., Cross-modal bias and perceptual fusion with auditory-visual spatial discordance, Perception & Psychophysics, Vol.29, No.6, pp.578-584, 1981.

[24] Jousmäki, V., Hari, R., Parchment-skin illusion: sound-biased touch, Current Biology, Vol.8, No.6, pp.190, 1998.

[25] Guest, S., Catmur, C., Lloyd, D., Spence, C., Audiotactile interactions in roughness perception, Experimental Brain Research, Vol.146, No.2, pp.161-171, 2002.

[26] Zampini, M., Guest, S., Spence, C., The role of auditory cues in modulating the perception of electric toothbrushes, Journal of dental research, Vol.82, No.11, pp.929-932, 2003.

[27] Kitagawa, N., Igarashi, Y., Subjective experience of touch induced by hearing a sound, Poster presented at the meeting of the 4th International Multisensory Research Forum, Hamilton, Canada, 2003, http://www.science.mcmaster.ca/ IMRF/2003/viewabstract.php?id=102

[28] Mori, M., Kurihara, K., Tsukada, K., Siio, I., Dining Presenter: Augmented Reality system for a dining tabletop, Supplemental Proceedings of the 11th Ubicomp 2009, pp.168-169, 2009

[29] Coelho, M., DinnerWare: why playing with food should be encouraged, Proceedings of the 27th international conference extended abstracts on Human factors in computing systems, pp.3505-3506, 2009.

[30] 中森玲奈, 塚田浩二, 椎尾一郎, 食ベテルミン, インタラクション 2011, インタラクティブ発表, 情報処理学会シンポジウムシリーズ, Vol.2011, No.3, pp.367-370, 2011.3.10-12.

[31] Hiromi Nakamura, Homei Miyashita, Communication by Change in Taste, CHI2011 Conference Proceedings and Extended Abstracts, The 29th Annual

CHI Conference on Human Factors in Computing Systems.

[32] 森麻紀, 栗原一貴, 塚田浩二, 椎尾一郎, いろどりん: 食卓の彩りを良くする拡張現実システム, 情報処理学会第70回全国大会講演論文集, No.4, pp.245-246, 2008.

[33] Iwata, H., Yano, H., Uemura, T., Moriya, T., Food simulator: A haptic interface for biting, Virtual Reality, 2004.Proceedings.IEEE, pp.51-57, 2004.

[34] 山岡潤一, 木村孝基, 川鍋徹, 大嶋泰介, 中垣拳, 速水友里, 筧康明, TagCandy: 棒付き飴の食感拡張デバイスの提案, 芸術科学会NICOGRAPH ポスターセッション, 2011.

[35] Narumi, T., Kajinami, T., Tanikawa, T., Hirose, M., Meta cookie, ACM SIGGRAPH 2010 Posters, pp.143, 2010.

[36] 増田真実, 山口泰優, 荒井観, 岡嶋克典, 聴覚情報が食品認識に与える影響, 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.108, No.356, pp.123-126, 2008.

[37] Slutsky, D.A., Recanzone, G.H., Temporal and spatial dependency of the ventriloquism effect, Neuroreport, Vol.12, No.1, pp.7-10, 2001.

[38] Meredith, M.A., On the neuronal basis for multisensory convergence: a brief overview, Cognitive Brain Research, Vol.14, No.1, pp.31-40,2002.

[39] 谷川紗恵子, 野田徹, 芳賀博英, 金田重郎, 二波型マイクロ波ドップラーセンサを用いた咀嚼検出手法の提案, 第23回人工知能学会全国大会, 2009.6.17.

[40] 谷口和弘, 西川敦, 宮崎文夫, こめかみスイッチ–アフォーダンスを考慮した常時装用型コマンド入力装置の設計と実装, 計測自動制御学会論文集, Vol.46, No.1, pp.39-48, 2010.

[41] Lee, WE., Schweitzer, MA., Morgan, GM,. Shepherd, DC., Analysis of food crushing sounds during mastication: Total sound level studies, Journal of texture studies, Vol.21, No.2, pp.165-178, 1990.

[42] Arduino http://www.arduino.cc/

[43] Processing http://processing.org/

[44] PureData http://puredata.info/

[45] 管理 No.100330_xxx096 株式会社こだまプロダクション
http://koukaongen.com/cgi/se_search/sound/bin/bin100401150851001.mp3

[46] 株式会社こだまプロダクション http://koukaongen.com/

[47] chipstar ヤマザキナビスコ株式会社
http://www.yamazaki-nabisco.co.jp/brand_nb/chipstar/index.html

[48] RITZ ヤマザキナビスコ株式会社
http://www.yamazaki-nabisco.co.jp/brand_nb/ritz/index.html

[49] うまい煎餅 丸彦製菓株式会社 http://www.maruhikoseika.co.jp/

[50] アーモンド 共立食品株式会社 http://www.kyoritsu-foods.co.jp/

[51] 蜂蜜かりんとう黒蜂 東京カリント株式会社
http://www.tokyokarinto.co.jp/products01.html

[52] 北海道チーズクリーム大福 株式会社外松 http://tomatsu.co.jp/

[53] シャウエッセン 日本ハム株式会社
http://www.nipponham.co.jp/seq/cm/index.html

[54] Fujise, T., Yoshimatsu, H., Kurokawa, M., Fukagawa, K., Nakata, M., Sakata, T., Food consistency modulates eating volume and speed through brain histamine in rat, Brain research bulletin, Vol.32, No.5, pp.555-559, 1993.

[55] 坂田利家, よく噛み, 健やかに生きる, 日本味と匂学会誌, Vol.10, No.2, pp.223-228, 2003.

[56] SIGGRAPH ASIA 2011 http://www.siggraph.org/asia2011/

[57] スイートバジル 株式会社草加葵
http://www.ecity.ne.jp/syousai/main2.asp?P_SNO=B0015580

[58] 目隠し鬼 http://45web.net/mekakusi_oni.htm

[59] ゲームチョコアヒー チロルチョコ http://mognavi.jp/food/183379