

フォトリフレクタと骨伝導ヘッドホンを用いた 咀嚼音呈示システムの提案

加藤 基記 橋本 渉 佐野 睦夫

概要: 本研究では、咀嚼時に発生する咀嚼音と振動に着目した食感呈示システムを開発する。本システムを3か月間国立民族博物館で展示を行い、食品の食感の分かりやすさについての評価を行った。その結果、咀嚼音と咀嚼動作の同期が不可欠であることがわかった。そこで、本研究ではフォトリフレクタによる外耳道の変形検出により、下顎の動作を検出する方法を導入することを提案する。

Chewing Sound Representation System by Using a Photo-Reflector and Bone-Conduction Headphone

Motoki KATÔ Wataru HASHIMOTO Mutsuo SANO

Abstract: In this study, we developed mouthfeel representation system that focuses on the vibration and chewing sound. Our system were exhibited at the National Folk Museum during three months and then we evaluated the recognition of chewing sound through the exhibition. The result shows that it is essential to synchronize the chewing sound with the motion of mastication. We propose to utilize a photo-reflector for detecting the deformation of the ear canal due to movements of mandible.

1. はじめに

人が物を食べる際、食べ物の味、香り、見た目、噛みごたえ、咀嚼音といった様々な感覚によって知覚された情報を統合された結果、食感を知覚している。食べる行為は生存に関わる本質的な行動であり、錯覚や疑似体験させることが難しい。しかし、バーチャルリアリティの分野では、あえて人間の食感に訴えるような挑戦が行われている。たとえば、てこクラック機構となった装置を実際に噛むことにより物理的な歯ごたえを与え、同時に咀嚼音と味を呈示するシステムがある[1]。また、骨伝導ヘッドホンにより咀嚼時の音や振動を呈示することで咀嚼感を与える研究も提案されている[2]。人間の食感に正しく訴えるには、視覚、味覚、聴覚などを複合的に呈示する必要があり、決定的な呈示方法が存在しないのが現状である。

本稿では、食感呈示の一手法として、骨伝導による咀嚼音呈示のシステムを紹介する。このシステムは、博物館での長期展示に向けて開発されたものである。来館者に容易かつ直観的に咀嚼音を伝えるため、着脱の容易な骨伝導ヘッドホンを用いた。また、数種類の食品の咀嚼音を比較してもらい、咀嚼音における食感の知覚について評価を行った。さらに、咀嚼音と咀嚼動作の同期の必要性を考慮し、フォトリフレクタによる咀嚼検出手法の検証を行い、咀嚼音呈示システムに導入することを試みた。

2. 骨伝導ヘッドホンを用いた咀嚼音呈示

国立民族博物館での展示において、食文化の比較に関連する展示を行う機会を得た。展示では、様々な食品を食べている際の感覚に関するコンテンツを考案する必要があった。展示において、利用者に対して負担を掛けず手軽に体験できる手法が重要であることは言うまでもない。また、3か月の長期にわたる提示のため、耐久性に優れなければならない。そこで本研究では従来研究[2]を参考に、実際に食品を咀嚼した音を骨伝導マイクロフォンで録音し、骨伝導ヘッドホンを用いて咀嚼音を提示することで食感の再現を試みることにした。

制作したコンテンツではシルエット状になった食品の画像ボタンを押すと食品の咀嚼音が骨伝導ヘッドホンとモニタースピーカから流れ、利用者はその咀嚼音を聞き、食品を当てるようなユーザに対して受動的なコンテンツ仕様となっている。提案した咀嚼音呈示について、全体のシステム構成図を図1に示す。

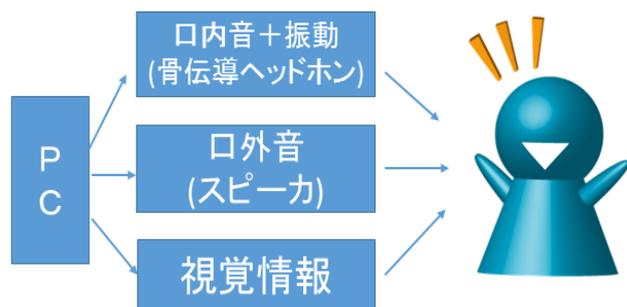


図1 システム構成図

Figure 1 Block diagram of the system

図1より、食感提示をするためにユーザに対して口内音と振動、口外音、視覚情報の3つを呈示する。咀嚼時に発生する口内音および振動は骨伝導ヘッドホンを用いて呈示する。また咀嚼時に発生した音は骨伝導だけでなく口から洩れた音が気導音として人が知覚しているため、口外音を別で呈示する必要がある。今回は、モニタースピーカを用いて口外音の呈示を行う。視覚情報は、食に関する展示コンテンツであるため、食品の選択や各食品の解説などをユーザに対して呈示する。

また、システムを使用中の様子を図2に示す。



図2 システム使用中の様子

Figure 2 Appearance in the system use

図2より、今回のシステムを使用する上でタッチパネルモニターを人の腰ぐらいの高さに固定したテーブルトップ型のインタフェースにした。利用者は立った状態で骨伝導ヘッドホンを装着しタッチパネルモニターで操作するようになっている。これにより利用者は骨伝導ヘッドホンを装着するだけで展示コンテンツを利用することができるため、あまり負担を掛けず気軽に利用することができる。と考える。

3. 国立民族博物館での展示

2015年8月27日～11月10日に国立民族博物館で開催された「韓日食博展」において、2章で制作した食感提示コンテンツを展示した。そこで、本システムでの咀嚼音を用いた食感提示の再現性と収録した食材による食感の分かりやすさの比較について、実際にコンテンツを利用した来場者に対してアンケート調査を行い、評価を行なった。

3.1. アンケート調査

咀嚼音を、骨伝導ヘッドホンを用いて提示することでどの程度の食感を再現出来ているか評価することをアンケートの目的とする。

アンケートの内容について、8種類の食品の咀嚼音を聞き、各食品がどれくらい咀嚼音や食感が分かりやすかったかを4段階で評価を行なった。食品の内容は日本食品4種類と韓国食品4種類となっており、日本食品は、酢蓮、なます、数の子、煎餅、韓国食品は、もやしのナムル、ぜんまいのナムル、カクテキ、韓国海苔となっている。

3.2. アンケート集計結果と考察

被験者31名(10代～60代の男性女性 合計31名)がアンケートに回答した。被験者が回答したアンケート結果を集計し、各食品に対する評価の平均値と標準偏差を表1、表2に示す。

表1 日本食品の評価結果(最良=4 最悪=1)

Table 1 The evaluation results of Japan food
(Best=4, Worst=1)

	酢蓮	なます	数の子	煎餅
平均値	2.77	2.81	3.45	3.84
標準偏差	1.05	0.96	0.76	0.45

表2 韓国食品の評価結果(最良=4 最悪=1)

Table 2 The evaluation results of Korea food
(Best=4, Worst=1)

	もやし ナムル	ぜんまい ナムル	カクテキ	韓国海苔
平均値	2.67	2.23	3.07	2.50
標準偏差	0.94	0.92	0.89	1.12

アンケート集計結果から、各食品を比べて煎餅と数の子について食感が非常に分かりやすかったと評価された。煎餅の場合は他の食品に比べて非常に硬い食品であるため、

咀嚼時の破碎音が非常に大きく特徴的であったので分かりやすかったと思われる。数の子も同様に、卵が潰れるような他の食品と比べ特徴的な咀嚼音であるため感じ取りやすかったと思われる。一方、韓国海苔については特徴的な咀嚼音であったが、咀嚼音自体が非常に小さかったために骨伝導ヘッドホンの振動が非常に小さかったので評価が一番低い結果となった。その他の食品については、食材が野菜類であったため評価結果として近い数値となったと思われる。また、食品の調理方法によって食感や咀嚼音に差が発生するのではないかと考えられる。以上のことから、骨伝導ヘッドホンを用いた食感提示は食品の素材によって正しく感じ取れるものがある。他の食品については咀嚼音の音量調整や咀嚼音の特徴的な部分を強調することで食感を提示することができると考えられる。

3.3. 咀嚼音と咀嚼動作の同期の必要性

アンケート調査において、食感提示の評価とともに展示コンテンツに対する意見も任意で回答してもらった。その意見の一部に咀嚼音を聞くだけでなく咀嚼動作と連動させて音を出力した方が良いという意見があった。人が物を食べる際、噛む動作をした直後に咀嚼音が発生し知覚するという一連の流れになっている。そのため、よりリアルに食感の提示を行うためには咀嚼音と人の咀嚼動作を同期する必要がある。

4. 咀嚼検出に関する先行研究

人の咀嚼動作の検出手法について多数提案されてきた。宇野らは圧力センサをゴムバンドに取り付けて左右の耳後ろ部分に当たるように装着することで咀嚼動作を検出する手法を用いている[3]。田中らは反射型光センサを用いて咀嚼時の下顎の動きを検出する手法が提案されている[2]。一方で、谷口らは光学式距離センサをイヤホンに取り付けて耳に装着することで外耳の動きによって目や舌の動きを検出する研究がある[4]。

本研究では、骨伝導ヘッドホンによる食感提示を阻害しない点でも、外耳道での検出方法が有効な方法であるため、谷口らの研究手法を用いた外耳道の動きによる咀嚼検出が可能か検証を行い、その手法を用いた咀嚼音と咀嚼動作の同期を試みる。

5. フォトリフレクタを用いた咀嚼検出

本研究では、フォトリフレクタを用いて咀嚼時と非咀嚼時の外耳道の形状変化を検出し、咀嚼のタイミングを取得する。そして、取得した咀嚼のタイミングを基に骨伝導ヘッドホンを用いて咀嚼音を提示することで能動的な食感提示を行うシステムの開発を行う。そのために、フォトリフ

レクタを用いた咀嚼検出が正しく行えるか各耳で検証をする。

外耳道の形状変化を検出するために、フォトリフレクタを取り付けたイヤホンを外耳孔部分に装着する。これにより外耳道の変化に対して LED 光の反射率の変化により計測することができる。この反射率の変化を計測するために、フォトリフレクタをアナログ出力ターミナル (CONTEC 社製 AI-1608AY-USB) に繋げることにより電位の変化を数値として計測することが可能となる。今回はノイズの影響を避けるため電池を使用したので、0~5V の電位の変化を計測できる。計測する際は、1kHz のサンプリング周波数で行う。

例として実際に咀嚼時と非咀嚼時を、フォトリフレクタを用いて両耳で計測を行なった結果を図3、図4に示す。

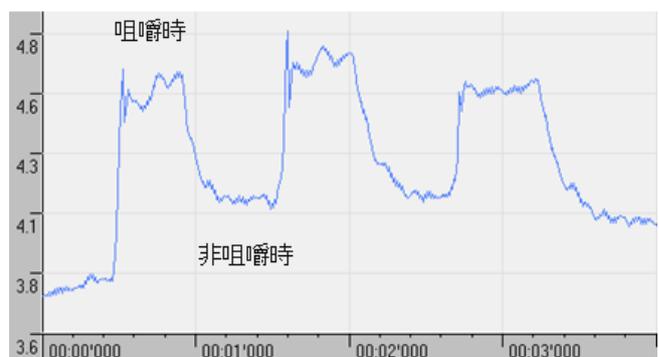


図3 右耳での咀嚼検出の電圧変化

Figure 3 Voltage change of chewing detection in the right ear

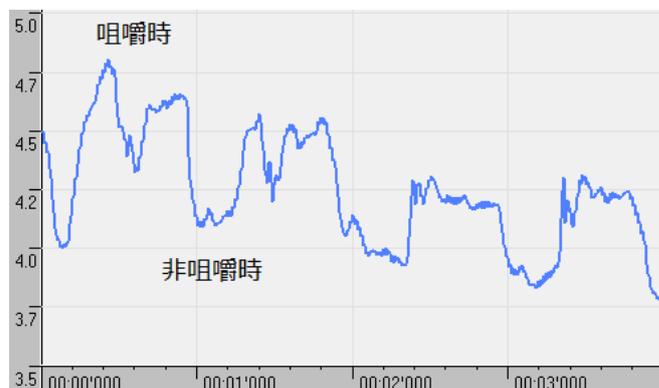


図4 左耳での咀嚼検出の電圧変化

Figure 4 Voltage change of chewing detection in the left ear

図3、図4において、咀嚼時と非咀嚼時で電位差があることが両耳ともに観察することができた。電源が5Vのとき、外耳道の変化により右耳では最大1.1V程度の電位差が生じ、左耳では最大0.7V程度の電位差が生じた。両耳において咀嚼時と非咀嚼時で電位差が存在する。両耳ともに咀嚼検出において明確な電位差が観察することができるため、どちらの耳でも咀嚼検出は可能であると考えられる。

6. おわりに

検証の結果、フォトリフレクタを用いることで咀嚼時と非咀嚼時の電位差を検出することができた。今回の結果を基に人の咀嚼動作の検出を行い、そのタイミングに合わせて咀嚼音を提示することで能動的な食感の提示を行なえるのではないかと考えられる。

本研究では、咀嚼時と非咀嚼時だけを計測したが、咀嚼以外での口の動作に対して計測を行い、咀嚼との判別を正確に行う必要がある。また、食感の提示に関しては、骨伝導の振動だけでは限られた食材でしか再現性の評価が良くないので、フォースリアクタなどの振動子を用いて多種多様な食材の食感呈示に対応する必要がある。

参考文献

- 1) 上村尚弘, 森谷哲朗, 矢野博明, 岩田洋夫; 食感呈示装置の開発; 日本 VR 学会 2003 論文誌, pp. 399-406 (2003)
- 2) 田中秀和, 小泉直也, 上間裕二, 南澤孝太, 稲見昌彦; 咀嚼検出デバイスを用いた食感拡張システムの提案; 日本 VR 学会 2011 大会論文集, pp. 694-697 (2011)
- 3) 宇野修司, 有泉亮, 金田重郎, 芳賀博英; 骨伝導マイクロフォンを用いた咀嚼回数指導方法の提案; 人工知能学会 全国大会 2010 論文集, 24 巻 ROMBUNNO. 1G2-1 (2010)
- 4) 谷口和弘, 西川敦, 小林英津子, 宮崎文夫, 佐久間一郎; みみスイッチ: 外耳の動きを入力情報とする常時装用型入力装置; インタラクション 2010 論文集, pp. 243-246 (2010)