

擬似咀嚼音提示による食感改善技術の開発 — 咀嚼音生成方法の検討 —

遠藤 博史^{*1} 金子 秀和^{*1} 井野 秀一^{*1} 藤崎 和香^{*1}

Improving the Perceived Texture of Foods by Providing a Pseudo-chewing Sound — A Study on Pseudo-chewing Sound Generation Method —

Hiroshi Endo^{*1}, Hidekazu Kaneko^{*1}, Shuichi Ino^{*1} and Waka Fujisaki^{*1}

Abstract - Food texture has been reported to vary by changing chewing sounds. We used EMG to generate pseudo-chewing sounds and developed a system to vary the perceived food texture of nursing care foods by feeding back the EMG chewing sound. However, this method could not provide various kinds of pseudo-chewing sounds, because it directly fed back the EMG signal as a sound. This research aims to improve the pseudo-chewing sound presentation method to be able to provide various kinds of chewing sounds. The developed device uses an envelope of EMG signal. Pseudo-chewing sounds are stored in an MP3 player. The volume of the played sound is adjusted according to an amplitude of envelope of EMG signal. Using this device, sound/food congruence was examined with two kinds of softened Japanese pickles. Six kinds of pseudo-chewing sounds were tested (white noise, EMG, and four kinds of actual chewing sounds: rice cracker, cookie and two kinds of Japanese pickles). As a result, participants felt the sound/food combination unnatural for the white noise and EMG chewing sounds. When the pseudo-chewing sounds of Japanese pickles were presented, they did not feel the sound/food combination unnatural. We concluded that the newly developed device was effective to improve mismatched sound/food combination.

Keywords: Chewing sound, Food texture, Electromyography, Elderly person and Mastication

1. はじめに

加齢に伴い咀嚼嚥下機能が低下すると、誤嚥のリスクが高まり、食品の物性値が調整された食感の乏しい介護食しか食することができなくなってしまう。食の楽しみは、味や見た目だけでなく、食感も重要な要素であるため、食感のない食事は食への興味を低下させ、食事量が減少する。食事量の減少は、栄養状態の低下を引き起こすため、誤嚥のリスクを上げずに食感を感じさせることができれば、食への興味が回復し、食べる楽しみだけでなく、栄養状態の改善にも貢献できるのではないかと考えた。

食感は口腔内の感覚だけでなく、咀嚼音によっても形成される複合的な感覚であり、これまでに咀嚼音が食感に影響を及ぼすことが報告されている^[1-5]。このような音の錯覚で介護食に食感を与えるため、我々はこれまでに咬筋の筋電を音としてフィードバックし、筋電信号を擬似咀嚼音として提示する技術を開発してきた^[5]。本方式は筋電を音として聞くため、咀嚼動作（咀嚼時間や咀嚼強度）との同期性が確保されるメリットがある。本方式で提示できる擬似咀嚼音は、ザクザクという音であり、硬さ感やざらざら感を増す効果があることが確認されて

いる^[5]。

しかし一方で、筋電波形を音として聞くという性質上、提示できる擬似咀嚼音の種類に限られるという問題があった。さらに擬似咀嚼音と食品との間に違和感がある場合には音をうるさく感じることも問題となった。そのため、筋電方式のメリットを維持しつつ、音の違和感を少なくすることが必要である。本報告では任意の咀嚼音を提示可能なように改良を行った装置の概要とその効果について発表する。

2. 実験方法

2.1 装置構成

咀嚼に同期して任意の咀嚼音を提示させるため、様々な咀嚼音をデータベースとして保持し、データベースの音を筋電の活動強度を使った振幅変調によって提示することとした。具体的には、筋電のエンベロープ信号に応じて提示する咀嚼音のボリュームを調整することで実現する。

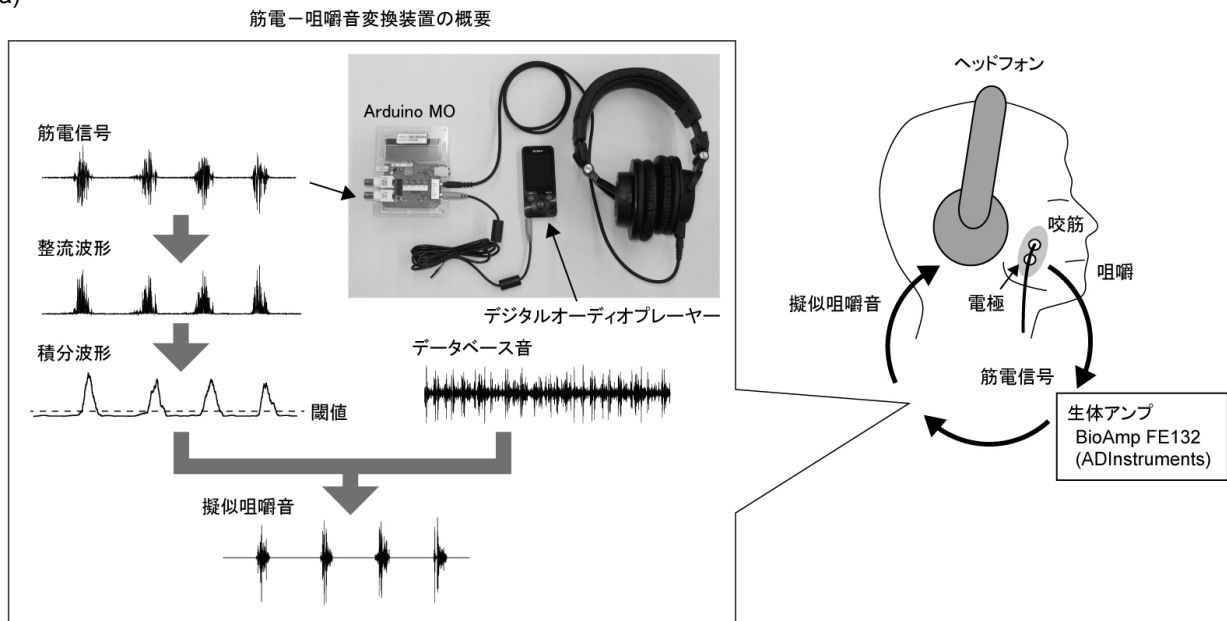
筋電のエンベロープ信号の抽出は、アナログ積分回路で実現した。まずハイパスフィルターで筋電信号の低周波ノイズ成分を除去した後、波形を整流し、整流した波形を積分する。フィルターのカットオフ周波数と積分回路の時定数は可変とした。

咀嚼音の振幅変調は、マイコン（Arduino MO）と電子ボリュームで実現した。筋電の積分波形をマイコンに取

*1: 産業技術総合研究所 人間情報研究部門

*1: Human Informatics Research Institute, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

(a)



(b)

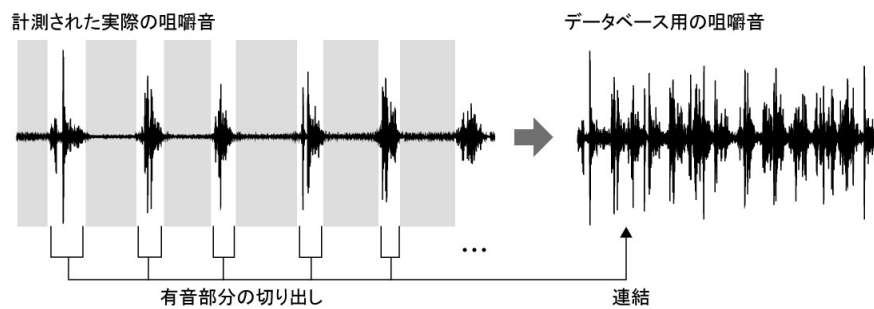


図1 実験系の構成 (a) 筋電-咀嚼音変換装置の概要 (b) データベース用咀嚼音の作成方法

Fig. 1 Experimental setup. (a) Overview of pseudo-chewing sound presentation device and signal processing. (b) Preparation for chewing sound.

り込み、最低活動強度としての閾値検出を行い、閾値以上の筋電信号が検出された場合には、筋電の振幅情報に応じて電子ボリュームを調整し、咀嚼音を再生する。閾値以下の場合には電子ボリュームの値をゼロにした。閾値は可変とし、Arduinoのサンプリング周波数は1 msとした。筋電の計測は、市販の生体アンプ (PowerLab8/35とBioAmp, ADInstruments 社) を用いて行った (図1 (a))。

咀嚼音のデータベースは、WAV ファイルとしてデジタルオーディオプレーヤーに保持され、再生された音が電子ボリュームで調整され、擬似咀嚼音として提示される。そのためデータベースの音は連続音として作成しておく必要がある。そこで本物の食品の咀嚼音をパイノーラル録音 (CS-10EM、ローランド) し、咀嚼音が連続音になるように加工した (図1 (b))。計測した咀嚼音の無音部分を削除し、有音部分を連結してデータベース音とした。音の加工は、Audacity と LabVIEW を用いて行った。

2.2 擬似咀嚼音実験

食品に合った咀嚼音を提示することで、擬似咀嚼音の違和感が改善されたかどうかを確認するため、主観評価実験を行った。

2.2.1 実験協力者

咀嚼嚥下機能や味覚・聴覚機能に異常のない実験協力者10名 (男性4名、女性6名、年齢 47 ± 10 才) が実験に参加した。実験は、産業技術総合研究所人間工学実験倫理委員会の承認のもとに行った。

2.2.2 サンプル食品

実験には2種類の漬物 (ツボ漬けと柴漬け) を用いた。それぞれ普通食用に販売されているものと咀嚼困難者用介護食として販売されているもの (フジッコソフトデリ ツボ漬け、赤しば漬け) を用意した。

2.2.3 擬似咀嚼音

実験には6種類の擬似咀嚼音 (筋電音、ノイズ音、4種類の咀嚼音) を使用した。筋電音は、噛みしめ時の咬筋の筋電を計測し、先行研究に従い^[5]筋電信号の250~1k Hz成分のみを増幅したものを擬似咀嚼音として準備した。この筋電音が、我々が先行研究で用いていた擬似咀嚼音に対応する。ノイズ音は、ホワイトノイズから同様の理由で250~1k Hz成分のみを抽出したものを音として準備した。本物の食品から抽出した咀嚼音 (4種類) は、サンプル食品に対応したものとして、ツボ漬けと柴

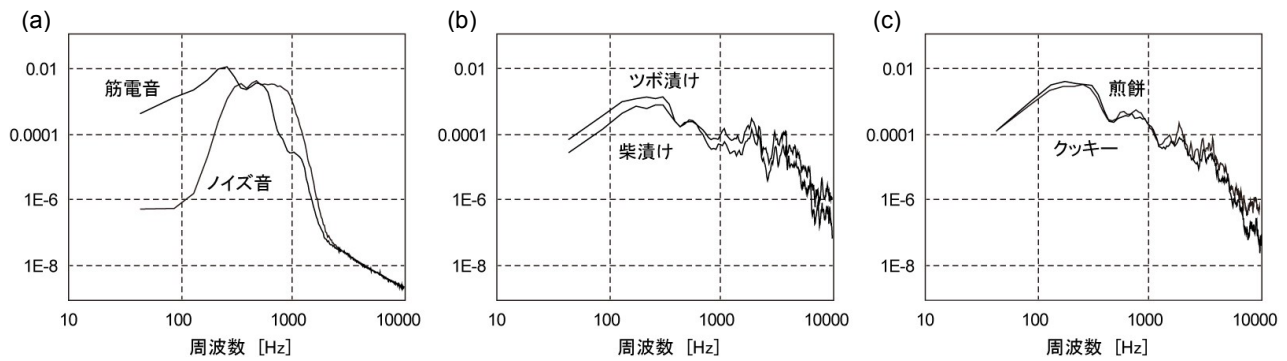


図2 擬似咀嚼音(WAV ファイル、16bit、44.1kHz)の周波数特性 (a) 筋電音とノイズ音の周波数特性 (b) ツボ漬けと柴漬け音の周波数特性 (c) 煎餅とクッキー音の周波数特性
Fig. 2 Frequency profiles of pseudo-chewing sounds. (a) EMG sound and noise sound. (b) Tsubo-zuke and Shiba-zuke. (c) rice cracker and cookie.

漬けの咀嚼時の音を用意した。また比較食品として水分の少ない食品（煎餅とクッキー）の咀嚼時の音を用意した。本物の食品から抽出した咀嚼音のデータベース音は、前述の方法で作成した。図2に擬似咀嚼音の周波数特性を示す。ツボ漬けと柴漬け、煎餅とクッキーは、それぞれ似た周波数特性を示したが、ノイズ音や筋電音は特性が大きく異なる音であることが分かる。

2.2.4 計測項目

提示された擬似咀嚼音により、食品との違和感がどのように変化するかを主観評価アンケートにて計測した。評価は、擬似咀嚼音が実際の咀嚼音と似ているかどうかではなく、対象食品を食べているとした場合に咀嚼音としてどの程度の違和感があるかについて行った。アンケートへの回答は7件法で行った。

さらに擬似咀嚼音がどのような音として聞こえるかについての評価も行った。「ツボ漬け」「柴漬け」「煎餅」「クッキー」「どれでもない」の5つの選択肢への擬似咀嚼音の当てはまり度合い（類似性）を、5つの選択肢への合計が100%になるように評価を行った。主観評価アンケートを図3に示す。

2.2.5 実験手順

実験は簡易の防音室の中で行い、擬似咀嚼音はヘッドフォンから聞かせた。筋電は、右頰の咬筋筋腹上に電極を装着し、計測した。

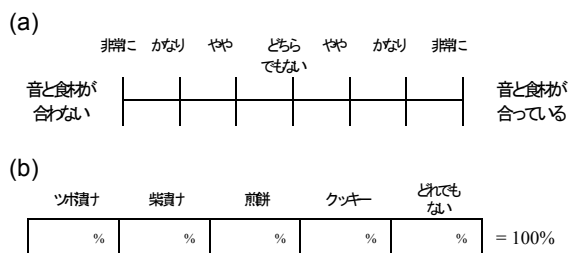


図3 主観評価アンケート (a) 違和感の評価 (b) 当てはまり度の評価
Fig. 3 Questionnaires. (a) Evaluation of sound/food congruity. (b) Evaluation of sound similarity.

実験協力者は、まず最初に普通食のサンプル食品を食べ、実際の咀嚼音と食感を確認した後に、介護食のサンプル食品を6種類の擬似咀嚼音を聞きながら食べた。サンプル食品と擬似咀嚼音の順番は、ランダムになるように設定した。擬似咀嚼音ごとに違和感の主観評価を行い、これを2種類の介護食のサンプル食品に対して行った。違和感の評価終了後に6種類の擬似咀嚼音に対する当てはまり度合いの評価を行った。当てはまり度合いの評価では、食品の咀嚼は行わずに、噛みしめ動作だけで筋電を発生し、擬似咀嚼音の評価を行った。

2.2.6 統計

音の違和感の評価に対して、反復測定による2要因分散分析とTukey HSDの多重比較を行った。

3. 実験結果

3.1 音の違和感

擬似咀嚼音と食品との違和感の結果を図4に示す。筋電音やノイズ音は、サンプル食品に関係なく違和感があると評価された。サンプル食品に対応した音として提示された2種類の漬物音では、柴漬け咀嚼時の柴漬け音が最も違和感がないと評価された。ツボ漬けと煎餅の擬似咀嚼音に関しては、違和感に関して大きな差は見られなかった。

食品×擬似咀嚼音の2要因分散分析の結果、食品 $F(1,99) = 0.014$, n.s.、擬似咀嚼音 $F(5,99) = 7.97$, $p < 0.001$ 、交互作用 $F(5,99) = 0.803$, n.s.で、擬似咀嚼音の主効果のみが有意であった。多重比較の結果、漬物の擬似咀嚼音の提示は、ノイズ音や筋電音よりも有意に違和感が減少した ($p < 0.01$)。また煎餅音もノイズ音や筋電音よりも有意に違和感が減少した ($p < 0.01$)。

3.2 音の当てはまり度

擬似咀嚼音の当てはまり度の結果を図5に示す。当てはまり度の評価では、筋電音やノイズ音は、4つのどの食品にも当てはまらない音として評価されたが、筋電音は少しくッキー音に似ているという傾向が見られた。ツ

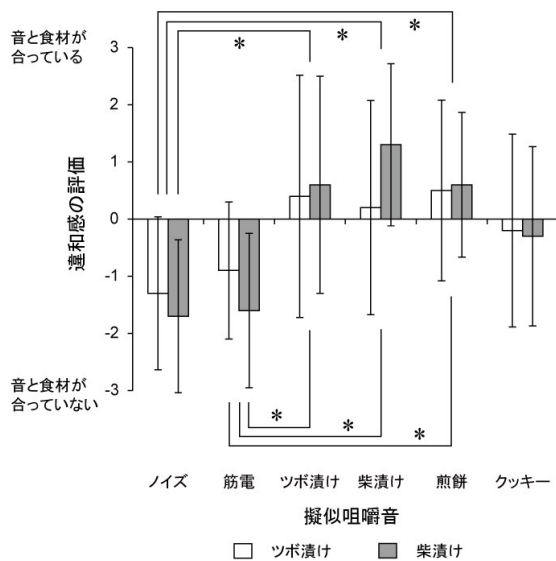


図4 擬似咀嚼音と食品との違和感 * $p < 0.01$
Fig. 4 Subjective evaluation of sound/food congruity.

ポテチやポテチの擬似咀嚼音は、ポテチ、ポテチと煎餅の3種類の咀嚼音に似ているという結果であった。煎餅の擬似咀嚼音は、煎餅に良く当てはまると評価され、クッキーの擬似咀嚼音は、クッキーかどれにも当てはまらないという評価が高くなった。

4. 考察

4.1 違和感の低減効果について

ノイズ音やこれまでの筋電音では、漬物に対して違和感が高いという結果であったが、漬物の咀嚼音から作成した擬似咀嚼音を使用することで、違和感を減少させることができた。また音の当てはまり度を見ると、今回使用したポテチとポテチの擬似咀嚼音は、区別が難しい音であったが、ともに漬物音として認識されていた。そのため、実際の食品の咀嚼音に似た音を出すことにより違和感の低減効果が得られたと考えられる。

図6は、ポテチとポテチの当てはまり度と違和感との関係である。横軸は図5で示された個々の擬似咀嚼音がポテチ／ポテチ音にどの程度似ていたかの評価であり、縦軸は図4で示されたポテチ／ポテチに対する違

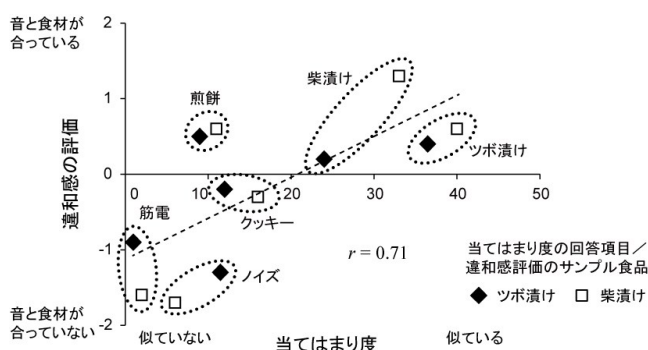


図6 当てはまり度と違和感との関係
Fig. 6 Relationship between sound similarity and sound/food congruity.

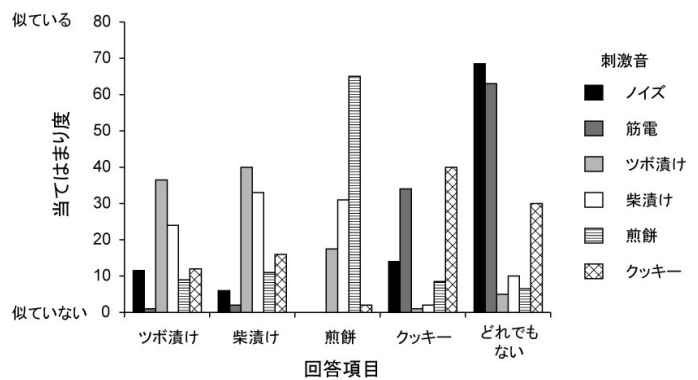


図5 擬似咀嚼音の当てはまり度
Fig. 5 Subjective evaluation of sound similarity.

和感の評価である。似ていると感じる音では違和感が小さく、似ていない音では違和感が大きくなる傾向があることから、より似ていると感じさせることで違和感をより下げることができる可能性がある。

また一方で、音の違和感の減少は、サンプル食品とは異なる煎餅の咀嚼音でも見られた。音の当てはまり度を見てみると、今回使用した漬物の咀嚼音は、当該食品だけでなく煎餅の咀嚼音とも似ていると評価されたことから、この3つの擬似咀嚼音には食品の崩壊に関する共通の音要素が含まれており、そのことが違和感の減少に寄与したのではないかと考えられる。

4.2 今後について

本実験では、本当の咀嚼音から擬似咀嚼音を作成したが、漬物の咀嚼音の当てはまり度は30～40%程度であった。煎餅の擬似咀嚼音ではより高い当てはまり度が得られていることから、作成した漬物の擬似咀嚼音の質が十分ではなかった可能性がある。咀嚼音の分析と作成が今後の課題である。

参考文献

- [1] 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, pp. 347-363 (2004).
- [2] 増田, 岡嶋 : 咀嚼音が食感と快・不快感に与える効果; 電子情報通信学会技術研究報告; HIP2011-51, pp. 57-62 (2011).
- [3] 小泉, 田中, 上間, 稲見 : Chewing JOCKEY -咀嚼音提示を利用した食感拡張装置の検討-; VR 学会誌; Vol. 18, No. 2, pp. 141-150 (2013).
- [4] 飯島, 小池 : 食品の視覚情報と咀嚼音の重畳を用いたクロスモーダル効果による食感変化; 電子情報通信学会技術研究報告; IMQ2013-40, pp. 83-86 (2014).
- [5] 遠藤, 井野, 藤崎 : 咀嚼音フィードバックによる食感改善の試み; ヒューマンインターフェースシンポジウム 2015 講演予稿集, 2501P (2015).