

センサ及びマイクを用いた偏咀嚼防止システムのフィードバック手法の検討

正月 凌介^{1,a)} 塚本 昌彦^{1,b)} 寺田 努^{1,c)}

概要: 片側ばかりで噛んでしまう「偏咀嚼」を防止するシステムを構築するため、偏咀嚼防止システムのフィードバック手法として食事中に最適であるものを検討する。主に音フィードバック、音声フィードバック、視覚フィードバックの3つの手法でシステムを設計しユーザに評価実験を行い、偏咀嚼防止を期待できるフィードバック手法であったかを確認したのち、ユーザからの意見調査を行った。その意見をもとに偏咀嚼防止システムを多くのユーザに使われるようにシステムを改善していく。

1. はじめに

咀嚼は食物の消化以外に、成長や健康のためにも重要な運動である。しかし近年、食事の軟食化により咀嚼回数が減少傾向にある [1]。戦前では一度の食事に 1400 回咀嚼していたのに対し、近年では 600 回に減少している。咀嚼回数が少ないと、肥満 [2] になりやすく、歯の病気にもなり、身体へ悪影響 [3] を及ぼす原因になる。そのため、咀嚼回数の増加を目的とした取り組みはこれまでも多く行われてきた。例えば、松田ら [4] はユーザの咀嚼回数に対して適切な咀嚼回数をディスプレイに提示するシステムを開発した。これによりユーザの意識を咀嚼回数に向けさせて、咀嚼回数を増加させようとした。他にも、咀嚼回数を測定するデバイスとして「かみかみセンサー」 [5] が開発され、子供の咀嚼回数の向上のために使われている。適切な咀嚼回数で食事を摂取することは脳 [6] や、顎骨の発達を促進させ、咀嚼物を効率的に消化させる助けとなるため、重要視されている。このように咀嚼に関する研究は数多くされている。しかし咀嚼側のバランスに着目した研究は数少ない。人は左右いずれかの咀嚼側が好んで用いられ、その作業側を習慣性咀嚼側といい、習慣性咀嚼側ばかりで噛むことを偏咀嚼という。偏咀嚼は顎関節症、歯の虫歯化、顔の骨格の歪みの原因になるといわれているため、偏咀嚼を防止することで、これらの病気や症状の予防に繋がると考えられる。袴田ら [7] は、骨伝導マイクロフォンを用いて偏咀嚼を検出するシステムを提案している。しかし、偏咀嚼

か否かを食後に判定するだけで偏咀嚼を改善するための具体的な解決策を提案していない。実際の食事では日々の考え事や美味しい食べ物に意識が向いてしまうため咀嚼側に注意して食事をとることは難しい。そこでセンシング技術を用いて左右の咀嚼回数をカウントし、ユーザにその咀嚼状況を提示することで、咀嚼側を継続的に意識させることができると考えた。そこで筆者らはまず咀嚼を認識することができ、且つ食事中に適したセンサを選定する予備調査を行った。その調査結果を図 1 に示す。この調査結果から筋電位センサを用いた食事における咀嚼認識率は約 85 % であることがわかり、筆者らは先行研究でこれまでに咀嚼筋に取り付けた筋電位センサの値から咀嚼側を認識しユーザに偏咀嚼を知らせるシステムを構築している。このシステムではユーザに偏咀嚼を知らせる方法として、食事中にユーザが左右どちらの歯で噛んでいるかを認識し、左右の咀嚼回数の差が一定以上になると、「ピピッ」と警告音を咀嚼時に鳴らす音フィードバック手法を用いている。しかし、この音フィードバック手法では左右差がなくなるまで咀嚼のタイミングに合わせて鳴り続ける警告音が食事の妨げになるという意見が多かった。そこで、ユーザの食事の妨げにならないように偏咀嚼を防止するためのフィードバック手法を再検討する必要がある。本稿では、ユーザの食事中に不快感を与えることなく偏咀嚼を防止できる適切なフィードバック手法について再検討し、評価実験を行うことでフィードバック手法を改善し、ユーザに好まれる偏咀嚼防止システムを目指す。

2. 偏咀嚼防止システム

本章では偏咀嚼防止システムについて述べる。システム

¹ 神戸大学大学院工学研究科

a) r.shoge@stu.kobe-u.ac.jp

b) tuka@kobe-u.ac.jp

c) tsutomu@eedept.kobe-u.ac.jp

I 気圧センサ II 音声マイク III 筋電位センサ



	気圧センサ	音声マイク	筋電位センサ
食事に使えるか	×	○	○
咀嚼回数がわかる	○	○	○
左右認識ができる	—	○	○
リアルタイムで解析	—	検討中	○

図 1 予備調査結果

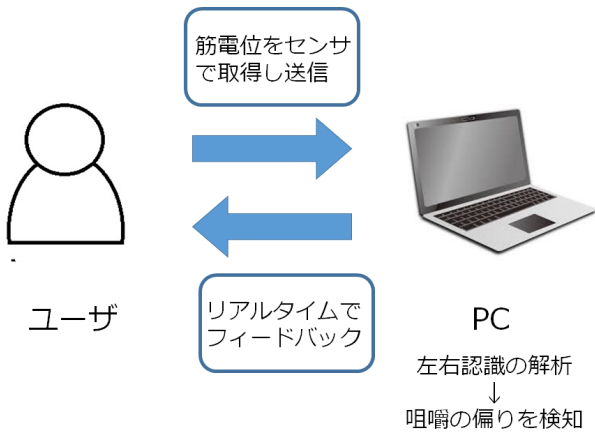


図 2 システムの構成

構成を図 2 に示す。まず、ユーザに筋電位センサを咀嚼筋に装着してもらい、ユーザの咀嚼筋の筋電位の変化を筋電位センサで取得し、そのセンサ値をすぐに PC に送る。そして送られてきたセンサ値から左右の咀嚼認識の解析を PC で行い [9]、咀嚼回数にある一定回数以上の偏りがあると検知すれば、ユーザにフィードバックを行う。

3. 咀嚼左右認識手法

取得データをもとに、咀嚼左右認識手法を考える。咀嚼左右認識手法について述べる前に筋電位センサのセンサ値の数値処理について説明する。筋電図波形は、振幅 0 を境に陽性波形と陰性波形で構成されている。そのまま振幅を計算するとほぼ 0 となるため、整流処理を先に行う。筋電図は被験筋が異なる場合、正規化が必要となる。健常者の解析は最大筋力発揮時の振幅で割ることにより正規化を行う [10]。しかし、今回のデータ取得では、左右の咬筋の最大筋力発揮時に振幅が振り切る被験者が複数いたため、正規化は行わずに解析をする。整流で処理した後、最大振幅、平均振幅、積分値の 3 つの数値で定量化することが多い。最大振幅は、振幅の最も大きい箇所を検出して比較する方法であるが、筋電図は筋力の大小にかかわらず、大きな振幅と小さな振幅の波形の繰り返しで構成されているので、どの箇所の振幅値を用いるかが難しい。また、平均

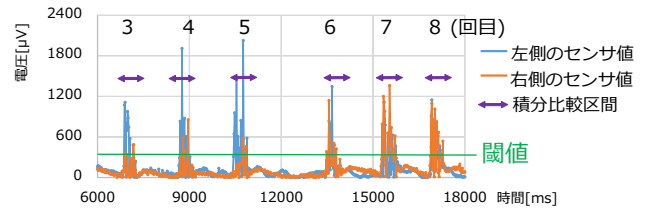


図 3 咀嚼時の筋電位データの絶対値

振幅はある区間の振幅を平均して比較する方法である。通常、ある区間の平均振幅を持って最大活動と評価することが多い。一方、積分値は任意の区間の面積を求めて比較する方法である。積分値を比較する場合、解析に用いる時間が必要であるが、同じ咀嚼物において一定の時間で噛むため、1 回の咀嚼毎の時間を決めやすく、変動しにくい。今回の研究では積分値で比較する方法をとる。これより、咀嚼左右認識手法では一定時間における左右のセンサ値の積分値の大小比較で行い、設定した閾値を振幅を超えた時を咀嚼し始めとし、積分値を比較する区間は咀嚼し始めから咀嚼し終わるまでの間とする。また、前節で咀嚼し終わりから、次の咀嚼し始めまでのインターバルが人によって異なることがわかったので、積分区間をユーザごとに設定する必要がある。図 3 はある被験者のガムの咀嚼時の筋電位の取得データを絶対値に変換したグラフである。この被験者の場合、積分区間を 400[ms] 程度となる。

一般化すると左右認識の判定方法は、閾値を超えることでどちらか一方の歯の咀嚼し始めを検知してから t [ms] 間のセンサ値の積分比較で左右どちらかで噛んだかを判定する。よって以下の判定式を用いる。左右の筋電位センサのデータをそれぞれ L_i, R_i ($i=1,2,\dots,n$)、判定値を J としたとき、

$$J = \sum_{i=1}^n (|L_i| - |R_i|) \quad (1)$$

$J > 0$ であれば左で噛んだと判定し、 $J < 0$ のときは右で噛んだと判定する。

閾値と積分区間はセンサ値を計測する前に学習データを計測することで決める。学習データの計測には左の歯で 5 回、右の歯で 5 回の自由咀嚼を用いた。閾値は 10 回の咀嚼の最大振幅の中から最小値を選び、その最小値の半分とした。積分区間は咀嚼し始めから次の咀嚼し始めのまで区間を包括できる必要がある。そこで、10 回の咀嚼時間の平均咀嚼時間を積分区間とした。

4. フィードバック手法の検討

本章では偏咀嚼防止システムのフィードバック手法について検討する。ユーザに咀嚼状況を食事中または食後に知らせる方法としてはイヤフォンでの聴覚フィードバックやスマートフォンを用いた視覚フィードバックが挙げられるが、複数人での食事中においてはマナーの面からこれらの

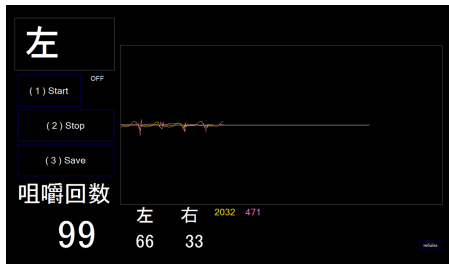


図 4 食事中にユーザがみるアプリケーション画面

機器はあまり使用されない傾向にあるため、システムの想定環境としては一人だけの食事中とする。想定環境内で考えられるフィードバック手法として

- 音声フィードバック
- 音フィードバック
- 視覚フィードバック

が挙げられる。音声フィードバックでは、音声で 20 回ごとに咀嚼状況を知らせるようにした。左側の咀嚼回数が顕著に多いと「左の咀嚼状況が多いです」と音声流れ、右側の咀嚼回数が顕著に多いと「右の咀嚼状況が多いです」と音声流れ、左右の咀嚼回数の割合が同じくらいだと「左右同じ割合です」と音声流れる手法を用いた。この方法でユーザにどちらの歯で噛むべきか知らせ、左右均等に咀嚼させるよう誘導する。次に音フィードバックでは 20 回以上の左右差を検知すると、左右の咀嚼回数と同じになるまで正しい咀嚼側のときだけ、軽快な音を鳴らし続ける手法を用いた。先行研究では警告音を鳴らす手法を用いたが、その警告音が人にストレスを与える要因であると考え、不快感を与えない軽快な音を試してみた。この手法によってユーザが無意識的に噛んでいない側の咀嚼回数を増やし、左右の咀嚼回数の差を減らすことができると期待できる。最後に視覚フィードバックでは、スマートフォンでの自身の咀嚼状況を提示することを想定し、食事中の咀嚼状況がわかるアプリケーション画面を作成し、食事における左右の咀嚼回数を提示する手法を用いた。図 4 はユーザに見せるアプリケーション画面である。この手法のメリットはリアルタイムで咀嚼状況がみることができ、最も意識付けができると期待できる。

5. 実験

本実験では先述した 3 つのフィードバック手法を用いた評価実験を行った。20 代男性 4 名を対象に大学内の学生居室にてフィードバックなし、音声フィードバック、音フィードバック、視覚フィードバック手法でそれぞれえびせんべい 1 枚を完食し、左右の咀嚼回数を計測し、偏咀嚼を防止できるフィードバックであったかを確認、実験後に被験者から 3 つの評価軸でそれぞれのフィードバック手法を評価するアンケートを行い、さらにシステムの改良点やフィードバック手法の問題点などの意見を調査した。な

表 1 評価実験の結果

	被験者A		被験者B	
	左	右	左	右
なし	91	40	140	101
①音声	80	78	117	120
②音	75	72	113	114
③視覚	68	69	134	135

	被験者C		被験者D	
	左	右	左	右
なし	101	150	57	123
①音声	130	123	105	108
②音	127	130	118	121
③視覚	132	133	110	110

真ん中

● 左の咀嚼回数
● 右の咀嚼回数

表 2 アンケート調査結果

○...問題なし △...やや問題あり ×...問題あり

項目	わかりやすさ	食事の妨げ	ストレス
音声フィードバック	○	○	△
音フィードバック	○	×	×
視覚フィードバック	○	○	△

お実験対象者は事前に左右の咀嚼回数に偏りが見られた者を選んだ。その実験結果を表 1 に示す。この表ではフィードバックなしでの左右差と 3 つのフィードバック手法を用いた場合の左右差を比較した。表 1 から全てのフィードバック手法において左右の咀嚼回数の差が小さくなったことから、3 つのフィードバック手法は偏咀嚼を防止できる可能性があることがわかった。さらにアンケート調査を行った結果が表 2 である。音声フィードバックについての評価は、音声がやや違和感を覚える意見が多く、ややストレスに感じるという意見があった。そのため今後ユーザの好みに合わせた音声を選択できる機能をつけるといった改善策が考えられる。またフィードバックの頻度が適度であるという意見があり、引き続き 20 回ごとにフィードバックを行うのが好ましいことがわかった。次に音フィードバックについての評価は、音が気になり食事に没頭できないという意見が多く、軽快な音であっても、音が鳴り続けることが自体が食事の妨げになっていると考えられる。そのため食事における音フィードバックは好ましくないことがわかった。最後に視覚フィードバックの評価について、これは食事の妨げにもならずストレスも感じない意見が多く、食事における最も適したフィードバック手法であると考えられる。今後改善された音声フィードバックと視覚フィードバックを食事の前に選択できる機能をつけることでユーザに好まれる偏咀嚼防止システムが構築できると考える。

6. まとめ

本研究では、偏咀嚼防止システムのためのフィードバック手法について提案し、3 つのフィードバック手法を用いて実際に偏咀嚼を防止できたかを調べる実験を行い、ユー

ザにより好まれるフィードバック手法をアンケート調査した。その結果一人での食事中において、視覚によるフィードバックが最も適したフィードバック手法であることがわかった。今後さらにユーザに好まれるシステムであるために改良を進め、実生活の食事に使えるシステムを目指す。

参考文献

- [1] 東京都福祉保険局: 東京都福祉保健局の食育サポートブック, p. 62.
http://www.fukushihoken.metro.tokyo.jp/iryo/iryo_hoken/shikahoken/pamphlet/shokuiku.html.
- [2] H. Fukuda, T. Saito, M. Mizuta, S. Moromugi, T. Ishimatsu, S. Nishikado, H. Takagi, Y. Konomi: Chewing Number is Related to Incremental Increases in Body Weight From 20 Years of Age in Japanese Middle-Aged Adults, *Gerodontology*, Vol. 30, No. 3, pp. 214–219(2013).
- [3] 小林義典: 咬合・咀嚼が創る健康長寿, 日本補綴歯科学会誌, Vol. 3, No. 3, pp. 189–219(2011).
- [4] 松田健次: 咀嚼回数検出装置, 特開 2002-172103 (2002).
- [5] 日陶科学株式会社, お口の万歩計 かみかみセンサ, <https://www.nittokagaku.com/Search/detail/149/1>.
- [6] T. Momose, J. Nishikawa, T. Watanabe, Y. Sasaki, M. Senda, K. Kubota, Y. Sato, M. Funakoshi and S.Minakuchi: Effect of Mastication on Regional Cerebral Blood Flow in Humans Examined by Positron-Emission Tomography with ¹⁵O-Labelled Water and Magnetic Resonance Imaging, *Archives of Oral Biology*, Vol. 42, No. 1, pp. 57–61(1997).
- [7] 袴田 類, 有泉 亮, 金田重郎: 骨伝導マイクロフォンを用いた偏咀嚼の検出手法の検討, 同志社大学理工学研究報告, Vol. 51, No. 3, pp. 143–151 (Oct. 2010).
- [8] M. Farooq and E. Sazonov: Measurement of Chew Count and Chewing Rate during Food Intake, Vol. 5, No. 4, p. 62 (Sep. 2016).
- [9] C. Ferreira, B. Machado, C. Borges, M. Silva, C. Sforza and C. Felício: Impaired Orofacial Motor Functions on Chronic Temporomandibular Disorders, *Journal of Electromyography and Kinesiology*, Vol 24, Issue 4, pp. 565–571 (Aug. 2014).
- [10] 酒井医療株式会社, 表面筋電図の計測と解析 (3) 筋電図による量的因子の解析 <http://www.sakaimed.co.jp/special/kinden/kinden06.html>.