

センサを用いた偏咀嚼防止及び咀嚼回数促進の検討

正月 凌介^{1,a)} 寺田 努^{1,2,b)} 塚本 昌彦^{1,c)}

概要：咀嚼は食物の消化以外にも、成長や健康のためにも重要な運動である。咀嚼回数が少ないと、肥満、歯の病気などの身体へ悪影響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でも多く行われてきた。しかし、一般的に人には利き顎と呼ばれる使いやすい側の顎が存在するため、ただ咀嚼回数を増加させるだけでは、左右で噛む回数に大きな差が生じる可能性がある。食事の時に左右どちらかの歯でいつも噛んでいる状態を偏咀嚼といい、顔の歪みや顎関節症などの原因になるといわれている。成長段階の子どもに偏咀嚼があるとその後の発育に影響が出てしまう。したがって、健康を維持するためには適切な咀嚼回数を守るだけでなく、左右バランス良く咀嚼する必要がある。そこで本研究ではユーザに筋電位センサおよびイヤフォンを装着し、咀嚼の左右差を認識する手法を提案し、偏咀嚼防止を検討する。

Consideration to Prevent Bias Chews and Increase Chewing Count with Sensor

SHOGETSU RYOSUKE^{1,a)} TERADA TSUTOMU^{1,2,b)} TSUKAMOTO MASAHIKO^{1,c)}

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、肥満になりやすく、歯の病気にもなり、身体へ悪影響を及ぼす原因になる [2][3]。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 [6]。しかし、咀嚼回数が適切であっても、必ずしも十分とはいえない。食事の時に噛む回数は左と右の歯で異なり、より多く噛む側を利き顎という。この利き顎による咀嚼の癖などにより、左右の歯のどちらか一方でのみ噛むことを偏咀嚼という。偏咀嚼は顔の歪みや顎関節症などの原因になるといわれている。成長段階の子供に偏咀嚼の傾向があるとその後の発育に影響が出てしまう恐れがある。そのため健全な咀嚼とは適切な咀嚼回数を守るだけでなく、左右バランスよく咀嚼を行う必要がある。偏咀嚼を防止するため、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。偏咀嚼を防止するには咀嚼の左右バランスを継続的に整える必要がある。しかし、意識的に左右バランスを整えようとしても談笑や食事に注意を引かれて無意識のうちに忘れることが多い。

そこで本研究では、偏咀嚼を防止したいユーザが食事のたびにセンサを装着することで、偏咀嚼の防止および咀嚼

¹ 神戸大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Kobe University
² 科学技術振興機構さきかけ
PRESTO, Japan Science and Technology Agency
a) r.shoge@stu.kobe-u.ac.jp
b) tsutomu@eedept.kobe-u.ac.jp
c) tuka@kobe-u.ac.jp

回数の促進を目指す。センサを装着したユーザに対し左右バランスを整えるためのフィードバックを行うことで偏咀嚼の防止が期待できると考えており、本稿では咀嚼の左右バランスを整えるための左右認識手法を検討する。本論文は以下のように構成されている。2章で関連研究について述べ、3章で咀嚼の左右認識を行う手法を提案し、議論する。4章で本論文のまとめと今後の課題について述べる。

2. 関連研究

2.1 咀嚼回数の増加を目的とした研究

咀嚼に関する研究は数多く行われている。特に咀嚼回数の増加を目的とした取り組みは多く行われている。片桐ら[8]は実際に食物を食べる行為をゲーム進行のトリガーに設定し、32個の反射光センサを使い顎下の動きをセンシングし、ゲームを楽しむことで咀嚼回数を増やそうとした。同じくゲーム方式で、熊谷ら[9]は咀嚼をコンセプトにしたリズムゲームを作り、ヘッドフォン型の咀嚼認識デバイスを装着し、ゲームに合わせて咀嚼させることで咀嚼回数の増加を狙った。しかし、これらの研究は食卓で行う食事と異なり、実生活の食事で行うことができない。

池上ら[10]は咀嚼回数の増加を促進するデバイスを提案している。咀嚼は半無意識に行うリズムミカルな自動運動であり、その周期運動に対して、周期刺激に同調する引き込み現象を利用して咀嚼回数の増加を目指した。これらの研究は咀嚼回数を増やすために使える効果を利用している。井上ら[11]はヘッドマウントディスプレイおよび骨伝導スピーカーで食品の見た目や咀嚼音を変化させ、摂食者が感じる食品の食感を拡張現実感で変化させた。これは、満腹感は食品の外見に影響されるため実際の食品より大きく見えると少ない摂食量でも満腹に見えるという心理学を利用していた。その結果、視聴覚情報を提示することで咀嚼回数は増え、特に聴覚情報の影響が大きかったことがわかった。これより聴覚情報でのフィードバックを利用して、咀嚼の左右バランスを整えることで咀嚼回数に影響があるのではないかと考えられる。

2.2 咀嚼の及び顔周辺のセンシングの研究

咀嚼回数を増加させるよりも咀嚼をセンシングすることに重きを置いた研究も行われている。新野ら[12]は上唇中央と下顎先端の距離変化を認識し、咀嚼を検知した。上唇の座標はカメラの映像から画像処理でデータを取得し、下顎の座標はエッジ検出により輪郭から抽出した。しかし、カメラが大きく食事の妨げになるという問題点がある。宇野ら[13]は骨伝導マイクロフォンを使用した咀嚼の検出手法を提案した。骨伝導マイクロフォンを左右の耳の後ろに取り付け、咀嚼時の歯の接触振動から咀嚼を取得している。しかし、装着が困難である問題と会話による振動を咀嚼による振動と誤認識する問題があげられている。Farooq

ら[14]はピエゾフィルムセンサを用いて正確に咀嚼回数が推定できる手法を提案した。被験者30名を対象にした実験で咀嚼回数の認識率は約80~90%であり、平均標準誤差が10%程度と低いため、非常に高い精度の認識ができています。この手法は1秒当たりの咀嚼頻度がわかることや、幅広いどんな食べ物でも対応できている。しかし咀嚼回数を検知できるものの左右どちらで噛んだかの認識ができない。また、顔周辺のセンシングにおいてFerreiraら[15]は、中程度から重度の顎関節症状を有する患者46名の咀嚼中の口腔機能及び動物的リズム活動の顔面機能を表面筋電位図を用いて解析することで、顎関節症患者の口や顔の運動制御が健常者と異なることがわかった。このことから顔周辺の表面電位を計測することで顔の筋肉の動きを知れることがわかった。

2.3 偏咀嚼に関する研究

健全な咀嚼は咀嚼回数が多いだけではなく、左右の歯でバランスよく咀嚼する必要がある。Ahlgren[16]は児童の咀嚼パターンの調査を行った結果、咀嚼パターンが個々により異なることを報告した。Goldaracenaら[17]は、利き顎と齲蝕の有無に相関があることを示し、虫歯の存在が咀嚼する歯に影響を与える可能性があると結論づけている。これらの原因により噛み方に癖ができてしまい、片側の歯ばかりで噛むようになることがわかる。

その噛み癖である偏咀嚼を防止するため袴田らは骨伝導マイクロフォンを用いて偏咀嚼を検出する手法を提案している。検出法は被験者がガムを左で咀嚼、右で咀嚼したときの左右の咀嚼の学習データを作成した後、k近傍法を用いて左右の咀嚼を判定した。しかし評価実験では正答率が56%程度と低く、偏咀嚼の検出結果を出すことができなかった。

以上より本研究では偏咀嚼を防止するシステムの構築に向けた左右咀嚼認識の方法について検討する。

3. 左右認識手法の提案

本章では、偏咀嚼を防止するために、左右どちらの歯で噛んだかを認識する必要がある。よって、要件を以下に示す。

- 咀嚼回数を認識できる
- 左右どちらの歯で噛んでいるかを検出できる

以上の要件を満たすセンサとして、気圧センサ、筋電位センサと音声マイクロフォンをあげる。これら3つのセンサが要件を満たすかを調査する。

3.1 気圧センサを用いた圧力認識

気圧センサをイヤフォンに装着し、外耳圧道の気圧変化で左右の咀嚼を認識する手法を用いた。人間は下顎を動か

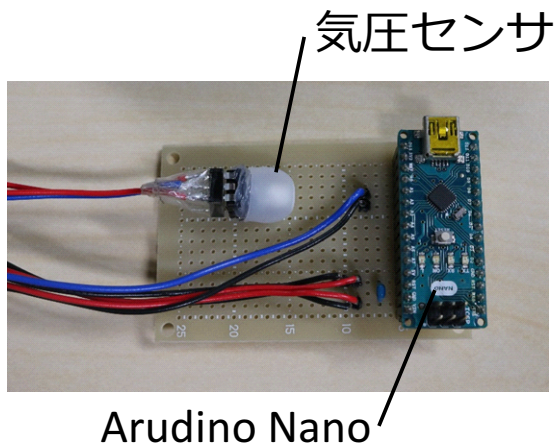


図 1 気圧センサを用いたデバイス

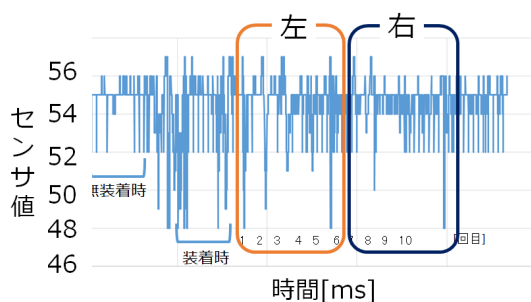


図 2 デバイス装着時の咀嚼によるセンサ値の変化

したときに外耳道の形が変わる．そこに気圧センサにイヤフォンパッドを装着したデバイスで耳を密閉させることで外耳道の形の変化から気圧の変化を検出した．作成したデバイスを図 1 に示す．用いた気圧センサは Metrodyne Microsystem Corp の気圧センサ MIS-2500 シリーズで, Arduino Nano[18] を用いて PC にセンサ値を送信し, それを波形化できるようにした．データ取得環境は外乱のない静かな室内で, 22 歳の男性 1 名でガムを数回咀嚼してもらった．その結果, 図 2 からわかるようにデバイス装着時と無装着時で気圧の変化はあったものの, 装着時の咀嚼による外耳道の気圧の変化は取れなかった．これはイヤフォンパッドで外耳道内をうまく密閉できていなかったからだと考えられる．また, この手法は外耳圧を計測する上で完全に耳を密閉する必要がある, ユーザの耳を傷める上に, 左右で気圧変化の値の違いが見受けられなかったため, 左右どちらの歯で噛んだかを認識できなかった．

3.2 筋電位センサを用いた電位認識

データ取得環境は外乱のない静かな室内で, 22～24 歳の男性 4 名, 女性 1 名の被験者に対して株式会社 METS の電極パッド [19] を図 3 のように咬筋に装着し, 株式会社たけびしの筋電位センサ (ATR-Promotions) [20] を図 4 のように装着する．装着の位置は筋線維の走行方向に沿って設置すると良い [21] とされおり, アース電極は筋のない関節部

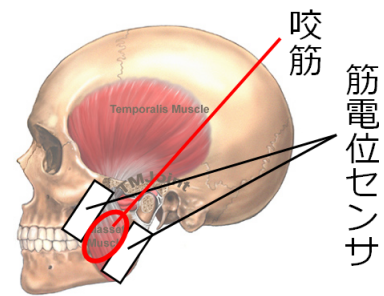


図 3 計測部位 [25]

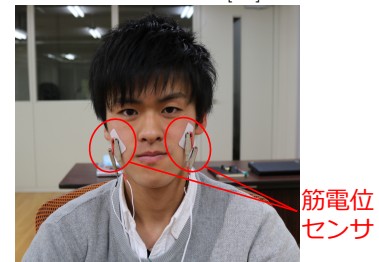


図 4 筋電位センサ装着図

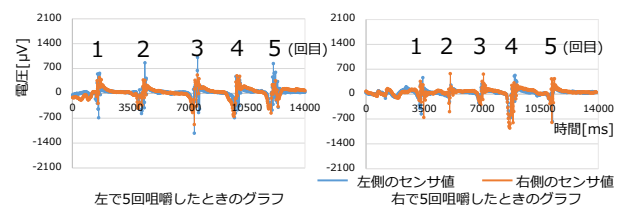


図 5 被験者 A のガムを噛んだときの波形

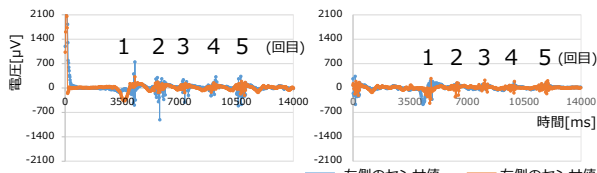
に貼る．咀嚼物はガムおよびチューイングキャンディとし, 左の歯で 5 回, 右の歯で 5 回の計 10 回の咀嚼を行った．この手順を 1 セットとして, 3 セット行う．1 回の咀嚼ごとの波形をわかりやすく見るために被験者に咀嚼し終えてから次の咀嚼までのインターバルを通常の咀嚼より長くしてもらった．また, 同時に普段の咀嚼時のデータを取るために自然な状態での咀嚼 (以下, 自由咀嚼とする) も行う．データの受信および認識処理を行う PC として mouse computer 社の H116KV[22] を使用し, PC 上の認識ソフトウェアの開発は Windows7 上で Microsoft 社の Visual Studio[23] を用いて行う．なお SensorController[24] にてサンプリング周波数を 100Hz として, データは 20[msec] ごとのデータの平均値で送られるように設定する．ここではセンサデータを得た後 PC で一括して計算処理を行い, オフラインで解析する．

3.2.1 咀嚼時の筋電位センサの波形

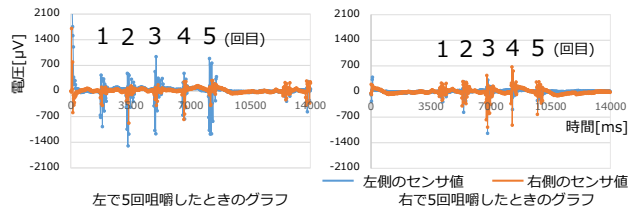
被験者 5 名の左の歯で 5 回, 右の歯で 5 回の計 10 回ガムを咀嚼したときの筋電位の値のグラフを図 5～図 9 に示す．

3.2.2 咀嚼左右認識手法

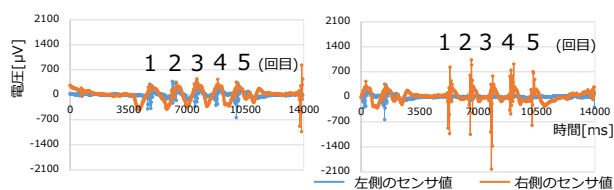
取得データをもとに, 咀嚼左右認識手法を考える．咀嚼左右認識手法について述べる前に筋電位センサのセンサ値の数値処理について説明する．筋電図波形は, 振幅 0 を境に陽性波形と陰性波形で構成されている．このまま振幅を



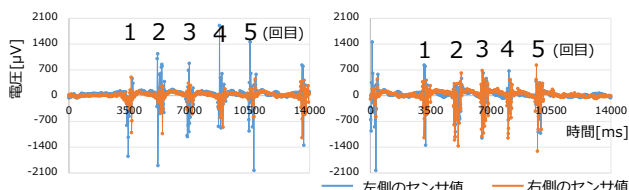
左で5回咀嚼したときのグラフ 右で5回咀嚼したときのグラフ
図 6 被験者 B のガムを 10 回噛んだときの波形



左で5回咀嚼したときのグラフ 右で5回咀嚼したときのグラフ
図 7 被験者 C のガムを 10 回噛んだときの波形



左で5回咀嚼したときのグラフ 右で5回咀嚼したときのグラフ
図 8 被験者 D のガムを 10 回噛んだときの波形



左で5回咀嚼したときのグラフ 右で5回咀嚼したときのグラフ
図 9 被験者 E のガムを 10 回噛んだときの波形

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。健康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 [26]。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人いたため、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が超えた時を咀嚼し始めとし、積分値を比較する区間はその咀嚼し始め

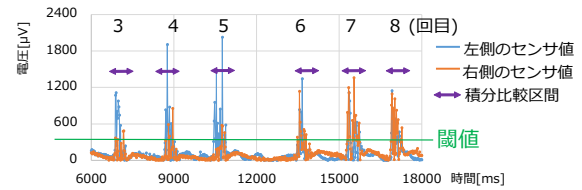


図 10 被験者 E の咀嚼時の筋電位データの絶対値

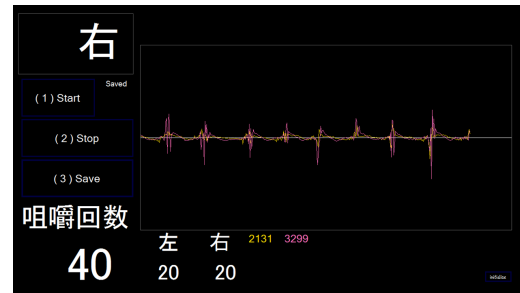


図 11 アプリケーション画面

から咀嚼し終えるまでの間とする。また、前節で咀嚼し終わってから、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 10 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。

3.2.3 咀嚼左右認識手法の評価

左右認識率を調査するため、被験者 8 名に対して行った評価実験について述べる。静かな室内で行い、22～24 歳の男性 7 名、女性 1 名の被験者に対し咀嚼物としてガムを左の歯で 7 回、右の歯で 7 回、左の歯で 8 回、右の歯で 8 回、左の歯で 10 回、右の歯で 10 回の計 50 回咀嚼させて。実験を行う前に普段どおり左の歯で 5 回、右の歯で 5 回咀嚼してもらい、閾値を決定する。次に自由咀嚼を 10 回行い、咀嚼時間を計測し、積分比較区間 $t[\text{ms}]$ を決定する。データの受信および認識処理を行う PC として mouse computer 社の H116KV を使用し、PC 上の認識ソフトウェアの開発は Windows7 上で Microsoft 社の Visual Studio を用いて行った。本論文ではセンサデータを PC で一括して計算処理を行い、図 11 に示すアプリケーションで左右どちらで噛んだかを筆者が確認する。なおアプリケーションは前節で述べた左右認識手法を用いて左右認識が瞬時にできるようにした。

3.2.4 実験結果と考察

被験者 8 名の認識率を表 1 に示す。被験者 A～E は前章のデータ取得の被験者と同一人物である。咀嚼しているにも関わらず認識されなかった割合を余分検知率と定義する。また、逆に咀嚼していないにも関わらず咀嚼したと認識された割合を未検知率とする。設定した閾値、積分区間、1 回の咀嚼あたりにかかる時間を表 2 に示し、余分検知率、未検知率を表 3 に示す。

表 1 各回数ごとの正答率と認識率

	7 回の正答率		8 回の正答率		10 回の正答率		認識率		全体
	左	右	左	右	左	右	左	右	
被験者 A	7 回	4 回	8 回	5 回	10 回	7 回	100 %	64 %	82 %
被験者 B	5 回	2 回	8 回	4 回	10 回	4 回	92 %	40 %	66 %
被験者 C	7 回	7 回	7 回	8 回	10 回	10 回	100 %	96 %	98 %
被験者 D	2 回	5 回	4 回	8 回	7 回	10 回	52 %	92 %	72 %
被験者 E	6 回	7 回	8 回	8 回	9 回	7 回	92 %	88 %	90 %
被験者 F	6 回	6 回	7 回	4 回	9 回	10 回	88 %	80 %	84 %
被験者 G	6 回	5 回	8 回	7 回	10 回	7 回	96 %	76 %	90 %
被験者 H	7 回	7 回	7 回	8 回	10 回	10 回	96 %	100 %	98 %

表 2 学習データの結果

	閾値	積分区間	1 咀嚼あたりにかかる時間
被験者 A	182.5 μ V	0.6s	0.84s
被験者 B	87.6 μ V	0.5s	0.72s
被験者 C	219.0 μ V	0.5s	0.64s
被験者 D	219.0 μ V	0.6s	0.76s
被験者 E	255.5 μ V	0.6s	0.92s
被験者 F	124.1 μ V	0.6s	0.80s
被験者 G	219.0 μ V	0.6s	1.12s
被験者 H	182.5 μ V	0.6s	0.98s

表 3 余分検知率と未検知率

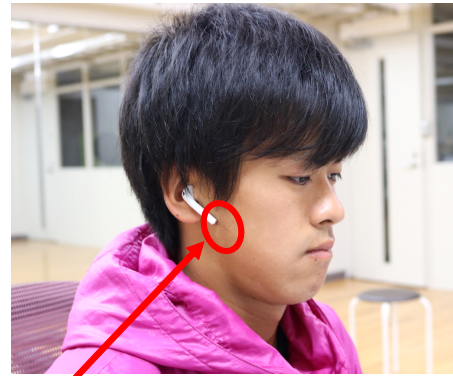
	余分検知率	未検知率
被験者 A	0 %	0 %
被験者 B	0 %	20 %
被験者 C	0 %	0 %
被験者 D	0 %	0 %
被験者 E	0 %	0 %
被験者 F	16 %	0 %
被験者 G	0 %	0 %
被験者 H	0 %	0 %

全体の認識率は 85 %であった。被験者 8 名の中で被験者 C と H が最も認識率が高かった。被験者 C と H を含めた左右どちらの咀嚼の認識率が高かった被験者は口をまっすぐ下ろして噛むことでノイズが入らず、綺麗にデータが取れたため認識率が高くなったと考えられる。

また、左右どちらかの認識率だけが高くもう一方の認識率が低い被験者がいた。これは口による筋肉の発達の仕事が左と右で異なることおよび電極パッドが左右対称に貼れていなかった可能性がある。

さらに被験者 A は前章で取得したデータと同じような正弦波の波形が現れた。被験者 F は大きなノイズが入ったため積分区間が短いにも関わらず余分認識率が生じた。一方で、被験者 D は側頭筋を避けて電極パッドを貼り直したところ、前章で取得したデータと同じような正弦波の波形は出にくくなった。正弦波のノイズが出たときにイプシロンチューブ法などを使ってノイズを除去することおよび電極パッドを貼る位置を変えることで咬筋のみの筋電位を計測し、正弦波のノイズをなくすことができると考えられる。

被験者 B は認識率が低く、さらに未検知率が生じた。これは咀嚼ごとの筋電位の値他の被験者たちに比べて非常に小さく出る傾向があり、設定した閾値を頻繁に超えなかったため、咀嚼を検知できなかったと考えられる。



マイク位置

図 12 音声マイクロフォンの装着図



図 13 音声マイクロフォンの装着図

3.3 マイクロフォンを用いた音認識

音声マイクロフォンを装着し、咀嚼音を録音し音の大きさの左右差から認識する手法を用いた。音声マイクロフォンは Apple 社の AirPods[27] を用いた。このマイクロフォンは図の場所にマイクがあり、ユーザの咀嚼音を取得することができる。取得方法は Apple 社の iPhone のボイスメモのアプリを用いて、咀嚼音を録画し、オフラインで Audacity で波形を出し、分析した。その結果、AirPods はモノラル録音のため同じ音が左右で取れることが分かった。そのため異なる 2 つの AirPods と 2 つの iPhone を用意し、2 つの AirPods のイヤフォンの片側のみを装着し、それぞれ別の iPhone に接続し、左右の咀嚼音を異なるデバイスで取得した。データ取得環境は外乱のない静かな室内で、22～24 歳の男性 1 名でガムを数回噛んでもらった。その録音データを Audacity を用いて波形を比較したものが図 13 である。図から左の咀嚼時に左の録音した波形のほうが大きく出ていることがわかる。このことから、咀嚼音を 2 つの AirPods を用いることで録音でき、左右の録音データを波形にすることで音の大きさに差があり、咀嚼の左右認識ができることがわかった。

4. まとめ

本稿では偏咀嚼を防止するための左右認識手法として、耳内圧センサを用いた左右認識、筋電位センサを用いた左右認識、音声マイクロフォンを用いた左右認識について提案し、議論した。その結果、耳内圧センサを用いた左右認識は完全密閉が難しいうえに、ユーザの耳を傷める可能性があり、左右認識ができないとわかった。筋電位センサを

用いた左右認識は筋電位センサを正確に貼る必要があるが、装着時の学習データを取ることで左右認識が可能だと分かった。次に筋電位センサをでの本研究の左右判定法を用いた左右認識率は85%だとわかった。最後に音声マイクロフォンを用いた左右認識は、左右の咀嚼音を録音し、音声の大きさを比較することで左右認識ができることを確認できた。今後の課題としては、筋電位センサを用いた左右判定法の再検討による左右認識率を向上すること。音声マイクロフォンを用いた具体的な左右認識手法を決めること。またそれぞれのセンサを用いて咀嚼の左右認識を行い左右バランスを整えるためのユーザにフィードバックを行うシステムを作り、ユーザにそのシステムを使ってもらい、実際に偏咀嚼を防止できるのかの評価実験を行うことを考えている。また左右バランスを整えることで整える前と後とで咀嚼回数が増えないかどうかを確かめてみる。

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.
- [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, 入手先 <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] 片桐裕規, 谷中俊介, 二階雅弘, 小坂崇之: 偏食改善および咀嚼増加を目的としたゲームシステムの開発, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2016 論文集, pp. 191–194 (Nov. 2016).
- [9] 熊谷彩華, 谷中俊介, 二階雅弘, 小坂崇之: 咀嚼回数増加のきっかけ作りを目的としたゲームシステムの提案, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2016 論文集, pp. 189–190 (Nov. 2016).
- [10] 池上陽一郎, 酒田信親: 引き込みを利用した咀嚼誘導デバイスの提案, エンタテインメントコンピューティングシステム研究報告, Vol. 36, No. 2, pp. 1–4 (June 2015).
- [11] 井上亮文, 山崎滉峻, 星 徹: 拡張現実感による食品咀嚼回数の増加手法, 研究報告デジタルコンテンツクリエーション (DOC), Vol. 2016–GN-97, No. 35, pp. 1–6 (Jan. 2016).
- [12] 新野 毅, 雨宮寛敏, 芳賀博英, 金田重郎: 動画処理を用いた咀嚼回数指導システムの提案, 第 72 回全国大会講演論文集 (コンピュータと人間社会), pp. 765–766 (Mar. 2010).
- [13] 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式の提案, 人工知能学会第 24 回全国大会論文集, Vol. 24, pp. 1–4 (June 2010).
- [14] M. Farooq and E. Sazonov: Measurement of Chew Count and Chewing Rate during Food Intake, Vol. 5, No. 4, p. 62 (Sep. 2016).
- [15] 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).
- [16] J. Ahlgren: Pattern of Chewing and Malocclusion of Teeth a Clinical Study, *Acta odontologica scandinavica*, Vol 25, Issue 1 (1967).
- [17] P. Goldaraten: Dental Cxrirs and Chewing Side Preference in Maya Indians: *J Dent Res* Vol 63, p. 182 (1984).
- [18] スイッチサイエンス, Arduino Nano, 入手先 <https://www.switch-science.com/catalog/2554/>.
- [19] 株式会社 METS, エールローデ SMP-300, 入手先 <http://www.mets-tokyo.jp/products/electrode/airlode/>.
- [20] 小型無線多機能センサ「TSND1511」, 入手先 <http://www.atr-p.com/products/TSND121.html>.
- [21] 増田 正: 総説・特集 人間工学のための計測手法 第 4 部: 生体電気現象その他の計測と解析 (1), pp. 400–405 (June 2015).
- [22] mouse computer 社, H116KV, 入手先 <http://www.mouse-jp.co.jp/m-book/luvbooks/>.
- [23] Visual Studio, 入手先 <https://www.microsoft.com/ja-jp/dev/default.aspx>.
- [24] 多機能センサ用受信ソフトウェア「SensorController」, 入手先 <http://www.atr-p.com/products/SensorController.html>.
- [25] LIFE ORDER スポーツ科学研究所公式サイト, 入手先 <http://lifeorder-lab.com/archives/898>.
- [26] 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 入手先 <http://www.sakaimed.co.jp/special/kinden/kinden06.html>.
- [27] Apple 社, AirPods, 入手先 <https://www.apple.com/jp/airpods/?afid=p238>.