

migaco : 子供が楽しく歯みがきが行えるようにするための 歯ブラシ動作計測機能付きアプリケーション

市村 哲^{1,a)}

受付日 2019年3月26日, 採録日 2019年10月3日

概要: 子供のころの歯みがきは, その後の虫歯のなりやすさ, 歯並び, 噛み合わせの良し悪しに大きく影響することが知られている. しかし親が子供に無理やり歯みがきをさせると, 「歯みがきは苦痛な行為である」と刷り込まれてしまう恐れがある. 著者らは, 子供が楽しく歯みがきが行えるようにするための歯ブラシ動作計測機能付きアプリケーションを開発した. 磁石を装着した歯ブラシと, スマートフォンに搭載されている地磁気センサを用いて構築されている. 地磁気センサが磁石に反応し値が変化することに着目し, 地磁気センサの値を解析して磨き箇所の特長が行えるようにした. 磨いた箇所周辺の歯が綺麗になってゆく様子を表示するゲーミフィケーション機能を備えている.

キーワード: スマートフォン, 歯磨き, 機械学習, ゲーミフィケーション

migaco: Tooth Brushing-support Application for Children Based on Toothbrush-motion Detection

SATOSHI ICHIMURA^{1,a)}

Received: March 26, 2019, Accepted: October 3, 2019

Abstract: Tooth brushing in childhood is known to greatly affect subsequent dentition such as tooth decaying, tooth alignment, dental bite. However, if parents force their child to brush teeth, there might be a danger that toothbrushing may be memorized as an unpleasant behavior. Therefore it is necessary to help children make teeth brushing a habit with pleasure. We have developed “migaco”, a system supporting children’s tooth brushing. It is composed of a general toothbrush equipped with a magnet and a smartphone equipped with a geomagnetic sensor (an electronic compass). The output data from the geomagnetic sensor changes corresponding to the movement of the magnet, so that it is possible to identify the brushing point. Migaco has a gamification function that displays the brushing point becoming beautiful.

Keywords: smartphone, tooth brushing, machine learning, gamification

1. はじめに

子供は乳歯が生えそろう3歳ごろから歯みがきをはじめ, 永久歯への生え変わりが進む10歳ごろまで親が磨き方を確認しながら仕上げ磨きを行うことが推奨されている [1]. この時期の歯みがきは, その後の虫歯のなりやすさや, 歯並び, 噛み合わせの良し悪しに大きく影響することが知ら

れている. しかし親が子供に無理やり歯みがきをさせると「歯みがきは苦痛な行為である」と刷り込まれてしまう恐れがある. したがってこの時期の子供が楽しく歯みがきが行えるようにすることが必要である.

また近年, ゲーミフィケーションが注目されている. ゲーミフィケーションは, ゲームの要素や考え方をゲーム以外の分野で応用していこうという取り組みであり, ゲームの持つ人を楽しませ熱中させる要素や仕組みを用いてユーザを引きつけたり, その行動を活性化させたりするものである [2]. ユーザが行った行動が画面上で点数やバッジの獲得などで可視化されることで, 目標に対して今どれだけ前

¹ 大妻女子大学社会情報学部情報デザイン専攻
Information Design Course, School of Social Information
Studies, Otsuma Women’s University, Chiyoda, Tokyo 102-
8357, Japan

^{a)} ichimura@otsuma.ac.jp

進しているかが分かりやすくなり、定期的にやらなければならないようなことを行ううえでのモチベーションになる [3], [4], [5].

Chang ら [6] は、子供を対象とした歯みがき用アプリケーション Playful Toothbrush を提案している。LED マーカが組み込まれたアタッチメントを歯ブラシに取り付け、子供の前方に設置したビデオカメラでそのマーカを撮影することによって歯みがき箇所を推定し、磨いた箇所近辺の歯垢が除去されて歯が白く綺麗になってゆく様子を PC 画面にアニメーション表示した。6–7 歳の子供 13 名に 1 日 5 分間、5 日間連続で使用させた結果、実験開始前に比べて歯ブラシ動作回数、歯みがき時間、歯みがき範囲が大幅に増加し、さらに、実験終了後もこの傾向が維持されたと報告している。また実験観察者のコメントとして子供たちがゲームを楽しみながら歯みがきをしている様子が観察されたと述べられている。この報告に基づけば、子供が磨いている箇所を検出して同様なゲーミフィケーションを実装すれば、子供が楽しく歯みがきが行えるようになるかと推測できる。

しかしながら、Playful Toothbrush は LED マーカを組み込んだアタッチメントを歯ブラシに取り付け、固定ビデオカメラでそのマーカを撮影することによって歯みがき箇所を推定するようになっており、特殊なアタッチメントが必要であったり装置が大がかりになったりするなどの問題がある。また、アタッチメントには電池が必要であったり、歯ブラシに取り付けるにはかさばって重かったりするという問題のほか、子どもが乱雑に扱って壊してしまう懸念がある。そこで、より簡易かつ安価な方法で Playful Toothbrush と同様の効果が得られるようにすることを本研究の目的と定めた。

著者らは、特殊なアタッチメントを必要とせず、子供が楽しく歯みがきが行えるようにするための歯ブラシ動作計測機能付きアプリケーション migaco [7] を開発した。migaco では、磁石を装着した歯ブラシと、スマートフォンに搭載されている地磁気センサを用いて歯ブラシの動作を計測する機能を実現している。磁石に反応して地磁気センサの値が変化した場合に歯ブラシ動作があったと判断している。また、歯みがき箇所の特定を行うために、地磁気センサの値の複雑な変動の分析に機械学習の技術を導入した。これらにより歯みがきをした箇所近辺の歯が綺麗になってゆく様子を表示するゲーミフィケーション機能を実現している。

2. 背景

2.1 ゲーミフィケーションと関連研究

歯みがきや掃除などは、毎日のように繰り返し行わなければならない行為であるが、そのモチベーションを持続させることは多くの人にとって容易なことではない。そこで著者らは、日々遂行しなければならない生活行為を対象と

して、継続するためのモチベーションを向上させることが重要であると考え、ゲーミフィケーションを導入する方法について研究を行ってきた。

ゲーミフィケーションは、ゲームの要素や考え方をゲーム以外の分野で応用しようとする取り組みであり、ゲームの持つ人を楽しませ熱中させる要素や仕組みを用いて、ユーザのモチベーションを向上させ、日常の行動を活性化させようとするものである。ゲーミフィケーションには、ポイント付与、順位の可視化、バッジ、ミッション、レベルシステムを採用するなどしてユーザを引き付ける特徴がある。ゲームの要素を盛り込むことによって、ユーザが楽しみながら意図せず目的の行動にかかわらせるといえることができる [2].

著者らは以前、家事をゲーミフィケーション化する試みの研究の 1 つとして、掃除機に 3 軸加速度センサを取り付けて掃除機の往復運動を分析し、その結果に基づいた掃除の得点を表示するなどのゲーミフィケーションを行うシステムを開発した [12], [13]. 他のユーザと SNS で共有できる機能も備えており、掃除開始時に Twitter にツイートを行い、他のユーザに掃除をしていることを宣言できる機能や、そのツイートが他の人によってリツイートされた場合に応援音を発して掃除の励みとできる機能などを実装した。ゲーミフィケーションを掃除に取り入れることで掃除が楽しくなったというユーザからのフィードバックが得られた。

そのほか、吉野ら [14] は、使用していない電化製品のコンセントプラグを抜くという節電行為にゲーミフィケーションを導入している。コンセントプラグに AR マーカを取り付け、コンセント上に AR でキャラクタを表示し育成するシステムであり、プラグを抜いたときにキャラクタが成長し、また、プラグを抜いたときにだけそのキャラクタが表示される。キャラクタの成長の様子はユーザ間で共有され、楽しみながら電化製品の待機電力を減らすことができるようになっていく。

また根本ら [15] は、課題をかかえる当事者であるユーザ自身が、自発的にやりたい行動をゲーム化できるようにするための方法について提案している。様々な課題をかかえる個人や集団が、自ら参画するワークショップを設計・開催し、そのワークショップにおいて作り出されたアイデアをゲームにして実行に移すことができる Web サービスプラットフォームを提供している。Twitter ヘツイートを入力する行為にポイントを与えると同時に、リツイートしたユーザ、および、リツイートされたユーザにもそれぞれ定められたポイントを与える。また、本プラットフォームでは、ツイートをハッシュタグに基づいて抽出し、ユーザ間のランキングを計算し可視化する機能を備えている。評価実験の結果、自らの課題を解決する行動をゲームにすることで、1 カ月にわたる自発的な行動が見られたと報告している。

2.2 歯みがき支援と関連研究

「子どもの歯みがきに関する調査」[11]によると、子どもの歯みがきが重要と考えている大人は約98%であり、生活習慣のなかでも特に重要であると認識されていることが分かる。また子供のころの歯みがきは、その後の虫歯のなりやすさ、歯並び、噛み合わせの良し悪しに大きく影響することが知られている。しかし、重要性を認識しながらも適切な方法で十分な歯みがきできていないと感じている親が約90%存在する。親が無理やり歯みがきを強制するのではなく、子どもが楽しく正しく歯みがきができる環境を作っていく必要がある。

前述した Playful Toothbrush と migaco とを比較する。migaco の場合、歯ブラシの動きとして取得できるのは方位という1次元データのみであり、LED マーカを組み込んだアタッチメントを歯ブラシに取り付け固定ビデオカメラでそのマーカを撮影する Playful Toothbrush に比べ、歯ブラシ動作を検出するために使える情報量が圧倒的に少ない。Playful Toothbrush と同等の推定性能を得ることは困難であるが、推定性能が劣るとしても、磁石とスマートフォンのみで歯みがき箇所を認識できるようになれば Playful Toothbrush に対する優位性および本アプリケーションの有用性があると考えている。

歯みがき箇所を検出しこれに基づいて歯みがきを支援する従来研究としては、他にサンスター社の GUM PLAY (ガムプレイ) [9] がある。歯ブラシに取り付ける専用アタッチメントとスマートフォンアプリから構成されており、アタッチメントの3軸加速度センサデータが Bluetooth 無線通信によりスマートフォンに送信されるようになっている。歯みがき箇所の特定制として、歯の外側、歯の内側、噛み合わせ面の3カ所を判別するのみであり、migaco が提供しているような歯の左右を判別して行うゲーミフィケーションをすることはできない [8]。3軸加速度センサの値からストロークの大きさ、スピード、磨く時間を分析することが中心となっている。

また、Korpela ら [10] は、スマートフォンのマイクロフォンで歯みがきをしている音を収集し、SVM (Support vector machine) を用いて音を解析して歯みがき箇所を推定する方法を提案している。実験の結果、歯の表側か裏側か、および、強く磨いているか弱く磨いているかを最大68%の精度で区別できたと報告している。しかしながら、migaco が提供しているような歯の左右を判別して行うゲーミフィケーションをすることはできない。Korpela らは、今後深層学習を導入して推定精度を向上させたいと述べている。

3. 提案

本稿では、特殊なアタッチメントを必要とせず、子供が楽しく歯みがきが行えるようにするための歯ブラシ動作計測機能付きアプリケーション migaco [7] を提案する。磁石

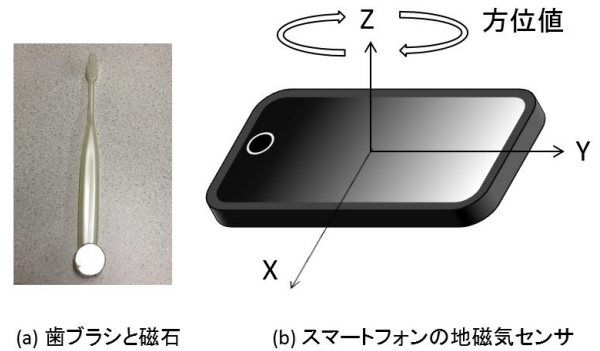


図 1 migaco で用いる磁石と地磁気センサ

Fig. 1 A magnet and geomagnetic sensor used in migaco.

を装着した歯ブラシと、スマートフォンに搭載されている地磁気センサを用いて構築されている。

ユーザは、スマートフォンを吸盤タイプの携帯スタンドに装着してその前で歯みがきを行う。携帯スタンドにスマートフォンを固定しておき、歯ブラシに装着した磁石が動いたときに、スマートフォンに備わっている地磁気センサが磁界の乱れを検出して歯ブラシの動きを検出する。通常の歯ブラシに市販のネオジウム磁石を取り付けるだけであり、かさばらない、子どもが乱雑に扱っても壊れにくい、安価、電池交換が不要などの利点がある。

一般的なスマートフォンには地磁気センサ (電子コンパス) が搭載されており、本体が向いている方位 (0° から 360°) を取得することができる。磁石に反応して地磁気センサの値が変化した場合に歯ブラシ動作があったと判断するようにした。また、歯みがき箇所の特定制を行うために、地磁気センサの値の複雑な変動の分析に機械学習の技術を導入した。これらにより磨いた箇所近辺の歯がきれいになってゆく様子を表示するゲーミフィケーション機能を実現している。

4. 実装

磨いている歯の1本1本を区別することができれば理想的であるが、それは大がかりな装置を必要とする Playful Toothbrush を用いても実現することは困難である。どの程度の歯みがき箇所特定性能が必要か目標を定める必要がある。そこで、本研究においては子供たちが楽しんで歯みがきが行えるアプリケーションを構築することを目的としているため、歯みがき箇所を特定する機能を備えたアプリケーションを子供らに提供し、このアプリケーションによって子供たちが楽しんで歯みがきが行えるようになったことが検証されれば、提供した歯みがき箇所特定機能には有用性があったと判断できると考えた。

まず著者らは、歯の右側、中央、左側を識別できるアプリケーションを提供することができれば、子供たちが楽しんで歯みがきが行えるようになるのではないかという仮説

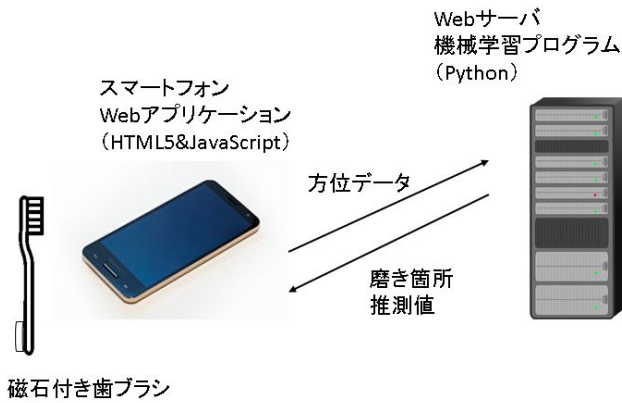


図 2 システム構成

Fig. 2 System architecture.

を立てた（この仮説の検証については後述する）。歯の右側，中央，左側を識別できるアプリケーションを子供らに提供し，このアプリケーションによって子供たちが楽しんで歯みがきが行えるようになったことが検証されれば，提供した歯みがき箇所特定機能には有用性があったと判断できることとなる。

構築したシステムの構成について述べる。PC (Windows) では Web サーバと機械学習プログラムが動作している。スマートフォンで動作する Web アプリケーションは地磁気センサから方位データを 50 ms ごとに連続取得し (50 ms ごとに取得する理由については後述する)，その方位データを一定時間間隔で PC の Web サーバに送信する。PC の Web サーバは，方位データを受け取ると機械学習プログラムを起動して方位データを処理する。スマートフォン上の Web アプリケーションは HTML5 & JavaScript で記述されており，PC 上の機械学習プログラムは Python [18] で記述されている。機械学習のフレームワークとしては Chainer [16] を用い，教師あり学習の分類問題として実装した。

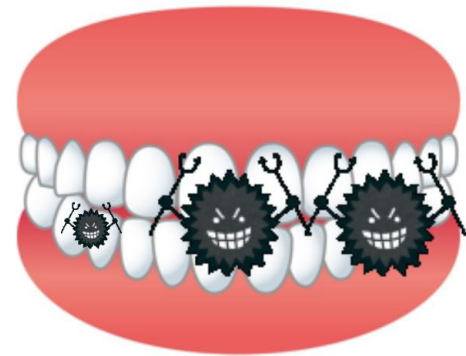
構築したアプリケーションの動作画面を図 3 に示す。自分が磨いた箇所が徐々にきれいになる様子が表示されるようになっている。具体的には，スタート時に歯のうえに表示されているばい菌キャラクターが，その近辺の歯を磨くことで次第に消えてゆく仕様となっている。画面上部の「実行」を選択するとゲームがスタートし，「停止」を選択するとゲームが終了して内部の状態が初期化される。

歯ブラシ動作データを記録する際は，画面下部のドロップダウンリストでどこを磨いているかを選んで「磨き動作を記録」を選択して歯みがきをする。「磨き動作を学習」を押すと記録したデータが CNN に学習され，「磨き動作を削除」を押すと記録および学習した歯ブラシ動作データが削除される仕様となっている。

実装の一環として，大人に対して事前実験を複数回実施した。

被験者 A (女子大学生) に migaco を使って歯の表側の 3

● 停止 ● 実行



● 磨き動作を記録 磨き箇所： 右側 ▼

磨き動作を学習

磨き動作を削除

図 3 アプリケーションの動作画面

Fig. 3 Application screen.

カ所 (右側，中央，左側) を磨いてもらい，50 ms ごとの地磁気センサデータ 1,700 個を得た。スマートフォン本体中央と被験者の目の距離は約 20 cm であり，このときスマートフォン本体下部と口の距離および歯の左右を磨くときのスマートフォン本体下部と磁石の距離はおおむね 10 cm から 15 cm であった。歯の中央部を磨くときは歯ブラシの柄先がスマートフォンから離れるためスマートフォン本体下部と磁石の距離はおおむね 15 cm から 20 cm であった。

機械学習の構成としては CNN (Convolutional Neural Network) を構築して用いた。CNN (畳み込み型ニューラルネットワーク) は画像処理で使用されることの多い手法であるが，GPU (Graphics Processing Unit) を使用した並列計算に適しているなどの理由から近年時系列データを取り扱うためにも多く用いられている。また，ニューラルネットが深層化した際でも過学習を防ぐことに有効であるといわれる Dropout モジュール，および，学習精度を向上させる Batch Normalization モジュールを組み込んだ CNN 構成とした [17]。

方位データの 2 次元グラフ画像 (横軸=時刻，縦軸=方位) を計算機内部に作成し，そのグラフ画像を CNN に入力する構成とした。具体的には，50 ms ごとに連続取得した地磁気センサデータ L 個からデータセット 1 個を作成し，このデータセット 1 個を用いて計算機内部にグラフ画像 1 つを描画する。このグラフ画像を CNN の入力層に入力する構成とした (より詳細には，所定個数のグラフ画像

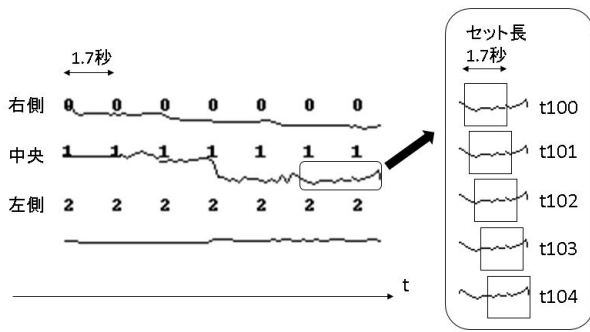


図 4 データセット作成方法 (横軸=時刻, 縦軸=方位).
 左図枠内の時系列データから右図のデータセットの組が作成される. 左図の3段のグラフは時系列上でつながっている
Fig. 4 Created data set (horizontal axis = time, vertical axis = bearing).

をまとめてミニバッチを構成し, このミニバッチ単位で入力層に入力している). 以後, Lをセット長と呼ぶ. たとえばセット長L=10であれば500msのデータをまとめてCNNに入力することとなる.

時系列データからデータセットを作成する際は, 時系列範囲を1個ずつずらすことによって作成するようにした. たとえばL=10のとき, ある時点t0からt9までの10個の連続データをセットとして作成したら, 次は, t1からt10までの10個の連続データを別のセットとして作成する(図4参照).

前記地磁気センサデータ1,700個を対象に, 学習用データとテスト用データを8:2の割合で重複しないように取り出して(5分割交差検証)認識テストを行った. セット長Lを変更しながら繰り返し認識実験を行った結果を図5に示す.

結果から, セット長を長くすると認識率が向上するが, 34より大きくしても認識率が向上する傾向が見られないことが分かった. L=34の条件で認識実験を5回行った結果, 平均認識率は98.3%であった.

L=34と定めた場合は1.7秒(50ms×34)間の地磁気センサデータが貯まってからCNNに入力する必要があることを意味している. アプリケーションの種類によってはこの時間遅れが問題になるケースもあると思われるが, 2秒以内の遅延であれば今回の歯みがきゲーム用途では大きな問題とはならないという仮説を立てた(この仮説の検証については後述する). 仮説が正しい場合, セット長L=34であれば歯ブラシの往復運動の特徴を適切に学習し, かつ, 時間遅れが許容できると判断することとした. なお本稿における認識率の定義は, 任意時点の1.7秒間(L=34の場合)の連続センサデータをCNNに入力し, この入力したデータから歯の右側, 中央, 左側が正しく識別できた回数の割合である.

ここで50msごとに地磁気センサデータを取得するようにした理由について述べる. 被験者Aに対して地磁気セ

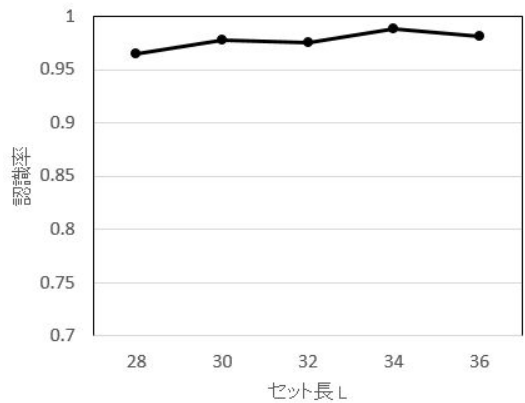


図 5 3カ所(右側, 中央, 左側)の識別実験の結果
Fig. 5 Results of detection of three locations (right, center, left side).

ンサデータを取得する時間間隔を変更して磨き箇所を特定する実験を行った. この実験に際してはmigacoで25msごとの地磁気センサデータ3,400個を得た. このデータを1つ置きに間引いて50msごとのセンサデータ1,700個を作成し, それを1つ置きに間引いて100msごとのセンサデータ850個を作成, さらにそれを1つ置きに間引いて200msごとのセンサデータ425個を作成した. これら25ms, 50ms, 100ms, 200msごとのセンサデータを用いてセット長L=34の条件で認識テストを行った結果, 認識率はそれぞれ97.4%, 97.8%, 88.9%, 81.2%となった. 被験者A以外の複数の大人に同様の実験を実施したが同じ傾向の実験結果が得られた. このことから200msと100msでは認識率が不十分であると判断した. また, 50msと25msとで認識率に有意な差が認められなかったことから, ネットワークに送信するデータが少ない方の50msが適当であると判断した.

また機械学習に別の方法を用いた場合の実験結果について述べる. MLP (Multi Layer Perceptron) 形式のニューラルネットを構成して用いた場合(50msごとに連続取得した地磁気センサデータをL個まとめて1セットとしてMLPの入力層に入力), 被験者Aから取得した前記1,700個センサデータを対象にセット長L=34の条件で認識テストを5回行ったところ, 平均認識率は93.2%であった. このときのMLPは中間層を3層(各層のユニット数は1,024)とした構成であったが, 中間層を4層, 5層に増やしても認識率の改善は見られなかった. さらに, SVM (Support vector machine) を構成して用いた場合(50msごとに連続取得した地磁気センサデータをL次元データとしてSVMに入力), 同じ条件において平均認識率は92.5%であった. これらのことからmigacoにはCNNを採用することとした.

次に被験者B(男子大学生)に対して同様の実験を行い50msごとの地磁気センサデータ1,700個を得た. スマートフォンと磁石がより離れていても実用的な認識率を得ることができるかどうかを検証することが主な目的である.

スマートフォン本体中央と被験者の目の距離は約 35 cm であり、このときスマートフォン本体下部と口の距離および歯の左右を磨くときのスマートフォン本体下部と磁石の距離はおおむね 25 cm から 30 cm であった。歯の中央部を磨くときはスマートフォン本体下部と磁石の距離はおおむね 30 cm から 35 cm であった。L=34 の条件で認識テスト（5 分割交差検証）を行った結果、歯の表側の 3 カ所（右側、中央、左側）の認識率は 98.1% であった。前述した被験者 A の実験と比較してスマートフォンと磁石がかなり離れた条件であったが、ほとんど認識率の低下は認められなかった。なお、被験者 B に対して、スマートフォン本体中央と被験者の目の距離を約 45 cm に離れた状態で同じ実験を行ったところ認識率は 93.8% に低下した。

5. 評価実験

子供を対象とした評価実験では、それぞれの子供の親が横に付き添って行った。家庭で普段使用している歯ブラシを持参してもらい、磁石を両面テープで付けて子供に渡した。口頭により「スマートフォンを正面に見ながら、歯の表側の右側、中央、左側を好きな順序で歯みがきしてください」と伝え、スマートフォンと顔との距離、および、各箇所の歯みがき時間は子供またはその親の自由にさせた。スマートフォンには ASUS Zenfone5 を用いた。

Playful Toothbrush の実験では、磨いた箇所近辺の歯がきれいになってゆく様子を 6, 7 歳の子供に見せた場合、実験開始前に比べて歯ブラシ動作回数、歯みがき時間、歯みがき範囲が増加し、さらに、実験終了後もこの傾向が維持されたことや、子供たちがゲームを楽しみながら歯みがきをしている様子が観察されたことが報告されている。これに基づけば 6, 7 歳以上の子供であれば磨いている箇所が綺麗になる様子を見て楽しめる可能性が高いことが分かる。また永久歯への生え変わりが進む 10 歳ごろまで親が仕上げ磨きを行うことが必要であり、子供が歯みがきの習慣を獲得するために重要な時期であるとされている [1]。これらの知見に基づき、6, 7 歳から 10 歳の子供を評価実験の対象に選ぶこととした。

子供 6 名を対象に実施した実験の結果について以下に記す。なお被験者 C, E, F は兄弟であり、被験者 G, D は姉妹である。大人に対して行った事前実験と同様に 50 ms ごとの地磁気センサデータを取得し、取得したセンサデータから学習用データとテスト用データを 8 : 2 の割合で重複しないように取り出してセット長 L=34 の条件で（5 分割交差検証）認識テストを行った。

被験者 C（男子 10 歳児） スマートフォン本体中央と被験者の目の距離は約 35 cm であり、このときスマートフォン本体下部と口の距離および歯の左右を磨くときのスマートフォン本体下部と磁石の距離はおおむね 25 cm から 30 cm であった。歯の中央部を磨くとき

はスマートフォン本体下部と磁石の距離はおおむね 30 cm から 35 cm であった。実験の結果、3 カ所（右側、中央、左側）の認識率は 98.2% であった。

被験者 D（女子 9 歳児） スマートフォン本体中央と被験者の目の距離は約 30 cm であり、このときスマートフォン本体下部と口の距離および歯の左右を磨くときのスマートフォン本体下部と磁石の距離はおおむね 20 cm から 25 cm であった。歯の中央部を磨くときはスマートフォン本体下部と磁石の距離はおおむね 25 cm から 30 cm であった。実験の結果、3 カ所（右側、中央、左側）の認識率は 96.5% であった。

被験者 E（男子 8 歳児） スマートフォン本体中央と被験者の目の距離は約 35 cm であり、このときスマートフォン本体下部と口の距離および歯の左右を磨くときのスマートフォン本体下部と磁石の距離はおおむね 25 cm から 30 cm であった。歯の中央部を磨くときはスマートフォン本体下部と磁石の距離はおおむね 30 cm から 35 cm であった。実験の結果、3 カ所（右側、中央、左側）の認識率は 88.9% であった。

被験者 F（男子 7 歳児） スマートフォン本体中央と被験者の目の距離は約 35 cm であり、このときスマートフォン本体下部と口の距離および歯の左右を磨くときのスマートフォン本体下部と磁石の距離はおおむね 25 cm から 30 cm であった。歯の中央部を磨くときはスマートフォン本体下部と磁石の距離はおおむね 30 cm から 35 cm であった。実験の結果、3 カ所（右側、中央、左側）の認識率は 90.1% であった。

被験者 G（女子 7 歳児） スマートフォン本体中央と被験者の目の距離は約 30 cm であり、このときスマートフォン本体下部と口の距離および歯の左右を磨くときのスマートフォン本体下部と磁石の距離はおおむね 20 cm から 25 cm であった。歯の中央部を磨くときはスマートフォン本体下部と磁石の距離はおおむね 25 cm から 30 cm であった。実験の結果、3 カ所（右側、中央、左側）の認識率は 89.8% であった。被験者 G の実験参加時の写真を図 6 に示す（歯ブラシの柄の先に小さな磁石が取り付けられている）。

被験者 H（女子 7 歳児） スマートフォン本体中央と被験者の目の距離は約 30 cm であり、このときスマートフォン本体下部と口の距離および歯の左右を磨くときのスマートフォン本体下部と磁石の距離はおおむね 20 cm から 25 cm であった。歯の中央部を磨くときはスマートフォン本体下部と磁石の距離はおおむね 25 cm から 30 cm であった。実験の結果、3 カ所（右側、中央、左側）の認識率は 93.7% であった。

傾向として、年齢が高い被験者 C（男子 10 歳児）、被験者 D（女子 9 歳児）と、年齢が低い被験者 E（男子 8 歳児）、被験者 F（男子 7 歳児）、被験者 G（女子 7 歳児）、被験者 H



図 6 子供を対象とした評価
Fig. 6 Evaluation for children.

(女子 7 歳児) とで認識率に違いが見られることが分かった。年齢が高い被験者 2 名の平均は 97.4%，年齢が低い被験者 4 名の平均は 90.6%であった。

歯みがきの様子を観察していると、年齢が高い被験者 2 名の歯みがきは力強さがあり、かつ、磨き残り箇所が減るように歯みがき箇所を小刻みに上下に移動させるなどの工夫をしており、大人の歯みがきに近いように見受けられた。一方年齢が低い被験者 4 名の歯みがきには概して力強さがなく、たとえば、被験者 G (女子 7 歳児) の歯ブラシ動作は、被験者 D (女子 9 歳児) の歯ブラシ動作に比べて明らかに小さく、単調であることが見てとれた。

次に、子供らおよびその親に対してアンケートを実施した結果について述べる。

前述のとおり著者らは、歯の右側、中央、左側を識別できるアプリケーションを提供することができれば、子供たちが楽しんで歯みがきが行えるようになるのではないかという仮説を立てた。

この仮説を検証するために、migaco に以下の 3 条件で画面表示ができる機能を追加し、子供たちにそれぞれの条件で歯みがきをしてもらう実験を行った。評価は 5 段階評価 (5: とても楽しい, 4: 楽しい, 3: どちらともいえない, 2: つまらない, 1: とてもつまらない) で行った。

条件あ 歯の表面全体が均等に徐々にきれいになる画面を見ながら歯みがきをする。

条件い 自分が磨いた箇所とは無関係にランダムな箇所が徐々にきれいになる画面を見ながら歯みがきをする。

条件う 自分が磨いた箇所が徐々にきれいになる画面を見ながら歯みがきをする (migaco 独自機能)。

年齢が高い被験者 C (男子 10 歳児), 被験者 D (女子 9 歳児) から得られた結果について述べる。条件あ, 条件い, 条件うの結果はそれぞれ平均 3.5, 2.0, 5.0 であった。migaco 独自機能についてインタビューを行ったところ、被験者 D

からは「歯みがきしたところがだんだん綺麗になっていく様子が分かって楽しいです」、被験者 C からは「磨いているところのばい菌とバトルができると思います」というコメントが得られた。また親からは「いつもは結構早く歯みがきを止めてしまうのですが、子供が今日ほど一所懸命に歯みがきをしたことはありませんでした。楽しんでやっていたように思えます」とのコメントが得られた。

次に、年齢が低い被験者 E (男子 8 歳児), 被験者 F (男子 7 歳児), 被験者 G (女子 7 歳児), 被験者 H (女子 7 歳児) から得られた結果について述べる。条件あ, 条件い, 条件うの結果はそれぞれ平均 3.5, 3.5, 3.75 となりほとんど違いは見られなかった。インタビュー時に被験者らからのコメントはなかったが、親からは「自分が歯みがきをしている実感がないのかもしれませんが、いつも親が主に磨いていますので」とのコメントがあった。

以上の結果から、年齢が高い子供を対象とした場合は、歯の右側、中央、左側を識別できるアプリケーションによって子供たちが楽しんで歯みがきが行えるようになったことが確認できた。また年齢が高い子供については、歯の右側、中央、左側を識別できるアプリケーションを提供することができれば、子供たちが楽しんで歯みがきが行えるようになるのではないかという仮説には一定の正当性があることが確認された。年齢が高い子供を migaco の対象年齢とすることも考えられるが、被験者 C から得られたコメントのようにゲーム要素をより強めたアプリケーションにするなどの工夫を施せば年齢が低い子供も含めて楽しめるようになる可能性があると推測する。

続いて同じ被験者らを対象に、migaco の画面表示がランダムに 1-2 秒遅れるように意図的に調整して実験を施し、子供らやその親に「歯みがき箇所が特定され画面表示に反映されるまでに 1 秒から 2 秒の遅延がありましたか？」というアンケートに回答してもらった。結果としては、遅延の存在については誰も認識していなかったことが分かった。親 1 名から「すぐに反応しているように感じたので気になりませんでした」とのコメントがあった。これにより、今回の歯みがきゲーム用途では 1-2 秒の遅延は大きな問題とはならないという仮説には正当性があることが確認できた。

6. 追加実験と考察

前述したとおり、年齢が高い被験者らの歯みがきは力強さがあり、かつ、磨き残り箇所が減るように歯みがき箇所を小刻みに上下に移動させるなどの工夫をしており、大人の歯みがきに近いように見受けられた。一方年齢が低い被験者らの歯みがきには力強さがなく、歯ブラシ動作は小さく、単調であった。そこで、年齢が低い子供については大人とは違う条件で歯ブラシ動作を検出する必要があるのではないかと推測し、改めて適切なセット長 L を探索する追

加実験を実施した。

この実験の結果、年齢が低い被験者4名についてはセット長L=22~27付近で認識率の向上が止まることが分かった。各箇所を磨く際の磨き方がまだ安定しておらず機械学習が歯ブラシ動作パターンをうまく分別できなかった可能性がある。ただし、子供の成長速度の個人差は大きいため、各年齢に応じたセット長を設定するより、子供ひとりひとりの成長に応じたセット長を適宜再検出できるようにすることの方が有用であろうと考察した。

以上のことから、ユーザに適したセット長を自動検出するカスタマイズ機能を migaco に追加実装した。加えて、ユーザにあわせてカスタマイズできるようにする一環として、歯みがき判定箇所をユーザ自身で設定できる機能を追加実装した。

これらの追加実装により、ユーザは歯みがき判定箇所を自分で設定し、セット長自動検出機能を用いて各ユーザに適したセット長を自動設定できるようになった。これによりユーザ自身が上述の歯の表側3カ所以外の箇所（たとえば、歯の裏側の各所）を登録してそれを歯みがきゲームに反映させられるようになった。これら追加機能の評価については今後の課題としたい。

7. まとめ

子供が楽しく歯みがきが行えるようにするための歯ブラシ動作計測機能付きアプリケーション migaco について提案した。

子供に対して行った実験結果からは、年齢が高い被験者と年齢が低い被験者とで歯みがき箇所認識率に違いが見られることが分かった。年齢が高い子供らに歯みがき箇所を特定する機能を備えたアプリケーションを提供した場合は、このアプリケーションによって子供たちが楽しんで歯みがきが行えるようになったことが確認できた。これによって、提供した歯みがき箇所特定機能には一定の有用性があったと判断した。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 16K00506 の助成を受けたものです。

参考文献

[1] 歯みがきは何歳から？, ベネッセ教育情報サイト (2017), 入手先 (<https://benesse.jp/kosodate/201705/20170528-1.html>).

[2] 井上明人: ゲームフィクション, NHK 出版 (2012).

[3] ゲームフィクションとは? SMMLab (ソーシャルメディアマーケティングラボ) (2014), 入手先 (<http://smmlab.aainc.co.jp/?p=19553>).

[4] Yuhas, D.: Three Critical Elements Sustain Motivation, *Scientific American* (2014), available from (<http://www.scientificamerican.com/article/three-critical-elements-sustain-motivation/>).

[5] 久保田大海: なぜゲームフィクションは効果的なのか? (Why Gamification Works?) (2014), 入手先

(<http://hiromikubota.tumblr.com/post/7921791774/why-gamification-works>).

[6] Chang, Y.-C., Lo, J.-L., Huang, C.-J., Hsu, N.-Y., Chu, H.-H., Wang, H.-Y., Chi, P.-Y., Hsieh, Y.-L.: Playful Toothbrush-UbiComp Technology for Teaching Tooth Brushing to Kindergarten Children, *ACM CHI '08*, pp.363-372 (2008).

[7] 小田川保奈美, 篠塚咲良, 市村 哲: migaco: 歯ブラシ動作計測による幼児対象歯みがき支援, 情報処理学会グループウェアとネットワークサービス研究会報告, GN-101 (9), pp.1-8 (2017).

[8] スマホ連携ガムプレイ (2016), 入手先 (<https://style.nikkei.com/article/DGXMZO03109730S6A600C1000000/>).

[9] GUM Play, サンスター (2018), 入手先 (<https://www.gumplay.jp/>).

[10] Korpela, J., Miyaji, R., Maekawa, T., Nozaki, K. and Tamagawa, H.: Toothbrushing Performance Evaluation Using Smartphone Audio Based on Hybrid HMM-recognition/SVM-regression Model, *Journal of Information Processing (IPSJ JIP)*, Vol.24, No.2, pp.302-313 (2016).

[11] 子どもの歯みがきに関する調査, ウィステリア製薬株式会社 (2016), 入手先 (<https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000003.000019240.html>).

[12] 市村 哲, 矢澤崇史, 戸丸慎也, 渡邊宏優: 家事をゲーミフィケーション化する試み—掃除への適用, 情報処理学会 DICOMO 2014, 6A-2, pp.1285-1290 (2014).

[13] Ichimura, S.: Introducing Gamification to Cleaning and Housekeeping Work, *Proc. 9th International Conference on Collaboration Technology (CollabTech'17)*, LNCS10397, pp.182-190, Springer (2017).

[14] 吉野 孝, 森田沙奈: AR を用いたコンセントプラグを抜く習慣付け支援システム「ぶらとん」の開発と評価, 情報処理学会 DICOMO2013, pp.632-640 (2013).

[15] 根本啓一, 高橋正道, 林 直樹, 水谷美由起, 堀田竜土, 井上明人: ゲームフィクションを活用した自発的行動支援プラットフォームの試作と実践, 情報処理学会グループウェアとネットワークサービス研究会報告, Vol.GN-87, No.17, pp.1-8 (2013).

[16] Chainer: A flexible framework for neural networks (2018), available from (<https://chainer.org>).

[17] 斎藤康毅: ゼロから作る Deep Learning—Python で学ぶディープラーニングの理論と実装, オライリー・ジャパン (2017).

[18] Python, available from (<https://www.python.org/>).



市村 哲 (正会員)

1989 慶應義塾大学理工学部計測工学科卒業。1994 同大学大学院理工学研究科博士後期課程修了。博士 (工学)。同年富士ゼロックス (株) 入社。1997~1999 富士ゼロックスパロアルト研究所 (FXPAL) 駐在。2002 東京工科大学助教授。2015 より大妻女子大学教授。グループウェア, 生体情報活用, 人工知能応用等の研究に従事。「IT TEXT 基礎 Web 技術」, 「IT TEXT 応用 Web 技術」(オーム社)。DICOMO 2019 優秀論文賞受賞。