

SITA: 非装着型舌運動計測システムの開発

柳 青 宮内 将斗 木村 堯 野嶋 琢也

Development of the Non-contact Tongue Recognition System and its Application to Tongue Training

Qing Liu Masato Miyauchi Takashi Kimura Takuya Nojima

Abstract --- Tongue and mouth related muscle are essential to keep a person's Quality of Life (QoL). However, those muscles are often declined due to aging and/or a certain kinds of disease such as Down Syndrom. That leads variety of symptoms such as speech and swallowing disorders. To comply with this issue, many kinds of tongue-mouth muscle training methods have been proposed. However, most of them are monotonic and have a problem with the continuity. In this research, we develop SITA (Simple Interface for Tongue motion Acquisition) system, which enables measuring tongue motion without wearing any device. This measuring system also enables to develop interactive training game for tongue and mouth muscle. In this paper, we describe the detail of SITA system and tongue muscle training game.

Keywords: tongue training, myofunctional therapy, depth camera, tongue-computer interface

1 はじめに

舌の運動機能は、嚥下や発話といった日常生活をおくるうえで必要不可欠な活動に深く関わっており、一定の運動機能維持は QoL(Quality of Life:生活の質)の維持に必要不可欠である。しかしながら老化による筋力低下や、あるいはダウン症のような特定の疾患でおこる低緊張という症状により、しばしば舌の運動機能が低下することが知られている。そして舌の運動機能低下は、摂食・嚥下機能低下や、それによる誤嚥性肺炎・誤嚥性気管支炎、構音障害等の様々な問題の発生に繋がる。この問題への対策としては、舌や口の筋力を鍛え、舌の運動機能を維持・向上させることが重要となる。

そのような方法の一つに MFT(Myofunctional Therapy: 口腔筋機能療法) [1] と呼ばれる、口や舌のトレーニングセットがある。MFTは多数の簡単な運動の集合体(例えば唇を舌でなぞる等)であり、誰しもが簡単に実行できる内容で構成されている。ただ簡単であるが故に退屈でもあり、長期間継続してトレーニングをするためには、なんらかのモチベーション向上策が求められる。また、例えば特にダウン症のような疾患を有する患者を対象とする場合には、トレーニングをサポートする人が必要であり、人手の確保やサポート時の衛生環境の確保といった点が問題となりやすい。そのため、高齢者、あるいはダウン症のような疾患を有する患者が、一人で、かつ衛生的な環境で舌のトレーニングを継続的に実施できるような支援システムの開発が重要と考えられる。

この問題に対して我々は、SITA (a Simple Interface for Tongue motion Acquisition)と呼ばれる非接触型の舌運動計測システムの開発を行い[2]、それによるダウン症児童向け口腔運動支援ゲームを開発した。非接触型のシステムであることから、まず利用者には装着の負荷がないという利点がある。そして機材が唾液で汚染される心配がなく、衛生面でもきわめて優れているという特長を有している。また、一般に MFT トレーニングは単調という問題がある。しかし SITA を利用することで、インタラクティブな反応を提示可能となり、トレーニングへのモチベーション向上の効果が期待される。

本論文では、開発した SITA に関する基礎的な評価、ならびに口腔運動支援ゲームとその評価について報告する。

2 関連研究

舌の運動を計測するシステムは、舌や口腔内に一切の装置を装着しない非接触型と、なんらかのデバイスをユーザの口腔内に装着する接触型のシステムに分類することができる。従来の舌運動計測システムの多くは、接触型に分類される。例えば Schönle らが開発した EMA(Electromagnetic articulography という手法[3] では、頭部周囲に複数の発振器を配置し、頭部および舌部に配置された受信コイルからの出力に基づき、特に発話中の舌や口の運動計測を可能としている。また Struijk らが開発したシステムでは、舌先に小型の磁石を、そして口腔内上部に小型のデバイスを設置している[4]。このシステムでは舌先の磁石を口腔内上部のデバイスに近づけると、デバイス内に 18 個並んだコイルに

電磁誘導による電位が生じる。それによってどのコイルに舌が近づいたかが分かり、舌でタイピングのような操作を可能とするものである。一定の動作は検出可能であるが、MFTで想定するような、連続的な運動の検出は困難である。また口腔内に器具を設置することから、衛生面に問題が発生する恐れがあり、誤飲の危険性(特に小型の磁石について)について無視することはできない。一方Huoらは、磁石を利用してより連続的な舌運動の検出を可能にするシステムを提案した[5]。このシステムでは舌先に小型の磁石を装着し、さらに口の外部、その周囲に磁力センサを配置している。装着者左右両側に配置された磁力センサの値から磁力の中心を推定することで舌先の位置を認識している。この手法では舌先の磁石の3次元位置座標を連続的に取得できるため、舌による入力操作の表現の幅は広いと言える。しかしながら口腔内部に磁石をいれる必要があることから、衛生面、誤飲の危険性といった問題については、依然として残っている。

一方Liuらは、RGBカメラを用いた、非接触での舌・口状態認識手法を提案した[6]。この手法ではRGBカメラからの画像を利用して、口の開閉、そして舌を上下左右に出したときの合計6通りの状態の認識が可能となっている。非接触の舌・口状態認識手法であるため、衛生的であり、誤飲の恐れもない。しかしながらこの手法では6種類の舌・口の状態認識に特化しているため、MFTで想定される、唇を舌先でなぞるような連続的動作の検出は困難であるという問題がある。

そこでまず本研究では、口腔内にデバイス装着を必要とせず、口腔外の舌の連続的な運動計測が可能なシステムの開発を目指す。

3 SITA の開発

本章では、我々が開発した非接触型の舌運動計測システム、SITA (a Simple Interface for Tongue motion Acquisition) の、概要と計測アルゴリズムについて述べる。SITAは、非装着かつ衛生的に、口の外に突き出された舌先位置の計測を可能とするシステムである。図1にその基本的なシステム構成を示す。図に示すように、SITAの利用者はRGB/深度カメラの前に着座するのみであり、身体に一切の機材を装着することはない。そして利用者前面のカメラより撮影された人体頭部の画像/深度情報に基づいて、口の外に突き出された舌先位置の計測を行っている。計測時に舌や口が機材に接触することもなく、衛生的な計測が可能となっている。

人間の舌運動を計測するための計測アルゴリズム口腔外の舌運動の非接触かつ連続計測のため、我々は深度情報に着目した。画像認識では一般に、舌のように形状が可変で特徴が少ない対象物の認識は困難である。そこで本手法では、Microsoft Kinect/ASUS Xtion

のような、RGB画像に加えて深度情報取得可能な装置を利用し、口唇部周辺でもっとも突き出した場所を舌先とすることで、舌運動の非接触かつ連続計測を容易に可能とした。本章では提案するアルゴリズムの詳細、運動計測能力に関する評価実験、およびその結果について述べる。

3.1 舌運動計測プロセス

図1にあるように、SITAのユーザはRGB/深度カメラの前に着座する。そしてRGB画像より口唇の存在する領域を確定し、距離画像より口唇領域内部の凹凸情報を取得する。所定の基準深度値よりも突き出した物体があれば、それを舌先として認定し、その位置情報を出力するというプロセスをたどる。この時ユーザは、着座したまま舌を突き出すだけでよく、計測のために器材を装着する必要は無い。また、カメラやディスプレイはユーザから十分離れているため、つきだした舌や口がSITAの機材を含めたいかなる物体にも接触する恐れがなく、衛生的な環境で計測することができる。アルゴリズムの流れは以下の通りである。

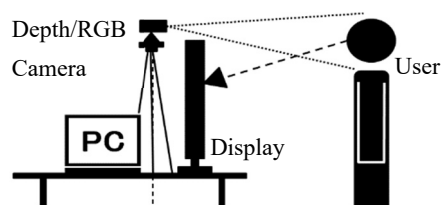


図1 システム構成

Fig.1 Configuration of system

- (1) 口領域決定
舌の探索に先立ち、探索領域を限定するために口唇領域推定を行う。当初は簡単のため、OpenCV 2.3付属のHaar-Like特徴量を用いて顔認識・目認識を行い、顔の一般的幾何情報(目鼻の距離)から、鼻領域を推定し、そして同様の手法にて口領域を推定した。この手法は手軽に実装できる反面、顔の傾きなどの些細な動作で認識が失敗するという問題があった。最終的には顔認識にSaragih[7]らによるFacetrackerを使用することで、より安定した顔認識・口唇領域推定が可能となった。
- (2) 基準深度値取得・舌探索
舌探索手法は以下の2つの手法を提案している。
 - Nearest Point(NP)法
鼻部頂点の深度情報を基準深度値とし、それと口唇領域内の最突出点深度値を比較する。口唇領域内突出点が鼻部頂点よりも突き出ているならば、すなわち舌先が鼻先よりも突き出ているならば、その点を舌先として認定し、尾部頂点に対する舌先位置を出力する。

- Nearest Area(NA)法

推定された口唇領域の平均深度値を基準深度値とする。そして基準深度値よりも一定値(閾値)以上突出している領域を囲む最小矩形を作成し、その中心位置を舌尖位置として認定、口唇領域中の相対位置を出力する。

NP法は手軽に実装可能であり、実験室レベルでは問題なく利用可能である。しかしこの手法の場合、鼻が高い場合や舌が短い場合には舌の露出判定が困難になるという問題があり、一般向けシステムへの採用は難しい。そこで舌運動計測の安定性向上を狙い、NA法を開発した。ただしNA法においても、基準となる口唇領域と舌尖との確実な分離のためには、突き出し可能な舌尖の長さに応じた、適切な閾値設定をする必要がある。本システムではSITAシステムの利用開始時に、閾値を0mm～20mmの範囲で、個人毎に手で調整するものとした。なお、これまでの実験・展示等を踏まえると、多くの場合、閾値はおおよそ7mm～9mm程度の範囲に収まっている。

SITAにおける舌尖位置情報の計測手法は、いずれも、顔の中の特定点/領域に対する相対的な位置関係を記述するものである。そのため頭部の運動、特に並進運動に対して比較的頑健である。一方回転運動に関しては、舌を動かさずとも顔を回転させることで、若干ではあるが舌尖位置を操作することが可能となってしまう。そこでFaceTrackerライブラリを用いて顔の姿勢を出力し、それに応じて舌尖位置を補正することで、より正確な舌尖位置取得が可能となるように工夫されている。

以降では開発した舌運動計測アルゴリズムについて基礎的な評価実験を行い、その結果について報告する。なお、以降の実験では顎台による頭部固定、アクリル板への舌尖接触を行っているが、いずれも実験用の特殊環境であり、通常利用ではいずれも不要である。

3.2 舌運動計測遅延評価

ここではシステムの利用者が実際に舌を突出させたタイミングから、本システムが舌認識を完了するまでに要する時間を、舌運動計測の遅延時間として定義する。測定環境を図2に示す。被験者は顎台に固定され、その前方75cmの場所にRGB/深度カメラ(ASUS社のXtion PRO LIVE, 深度視野角水平58度, 垂直45度, 深度センサ解像度640x480@30fps)を配置、NA法による舌運動計測アルゴリズムを適用する。RGB/深度カメラのフレームレートは30fpsに設定した。この時、被験者の右側面に認識表示用LED、5mm格子入りアクリル板(図4 画像上での舌尖位置のレファレンス用)、高速度カメラ(CASIO社 EX-FC200S)が設置されている。遅延時間測定の流れは以下の通りである。図3のタイムチャート

にあるように、まず舌が口腔外に突出する。するとそこから一定の遅延時間経過後、システムが舌の口腔外突出を検出する。それと同時にLEDが1秒間点灯する。そして実際の舌突出の様子とLED点灯の様子は高速カメラにより記録されており、両者の間のフレーム数をカウントすることで、遅延時間とする。なお本実験では240fpsで撮影が行われた。

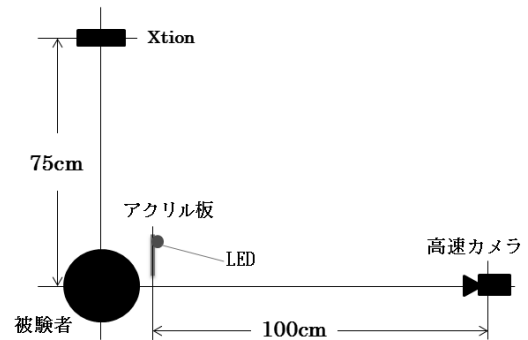


図2 舌運動計測遅延評価環境

Fig.2 Experimental setup for evaluation of latency

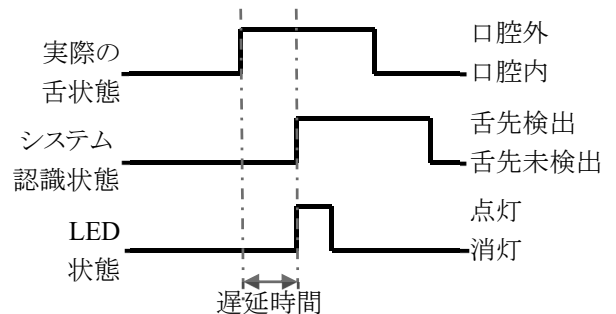


図3 舌突出から検出までのタイミングチャート

Fig.3 Timing chart for measuring latency

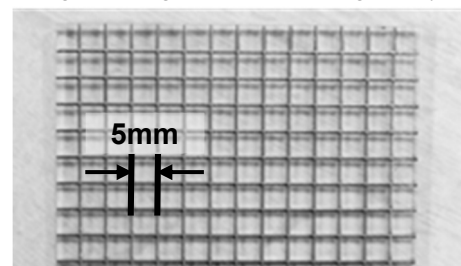


図4 アクリル板上の補助線

Fig.4 Additional lines on acrylic plate

実験は、20代の男性4名、女性1名によって行われた。実験は合計45回行われ、誤認識による2回との結果を除外した、43回分の測定結果を有効データとした。その結果、本システムにおける計測遅延の平均はおおよそ0.11秒となることが判明した。主な遅延の要因としては、深度カメラのフレームレート(30Hz)、認識ソフトウェアのフレームレート(平均16fps)の複合的要因が考えられる。またソフトウェアには、フレームレートが10-20fps程度の間で変動するといった問題もあり、ソフトウェア・ハードウェア両面からの改善が必要と考えられる。続いてこの遅延の影響について考察をする。0.11秒という遅延時間は、

従来型のボタン入力などと比較すると極めて遅いという結果であり、展開の早いアクションゲームなどでの適用は困難であると考えられる。しかしながら、スマートフォンのタッチパネルのタッチ認識遅延が一般に100ms前後であることを考慮するならば、コンテンツを適切に設計することで、ゲームインタフェースとしても充分利用可能であると期待される。

3.3 舌尖位置精度評価

提案アルゴリズムにおいて検出される、舌尖の位置精度について評価を行う。評価の流れは以下の通りである。まず実験参加者に対して、舌尖を既知の位置に移動させるよう指示する。そして提案アルゴリズムによる舌尖位置検出を適用する。アルゴリズムにより検出された位置と、実際の舌尖位置の差を測定することで、位置精度評価を行う。

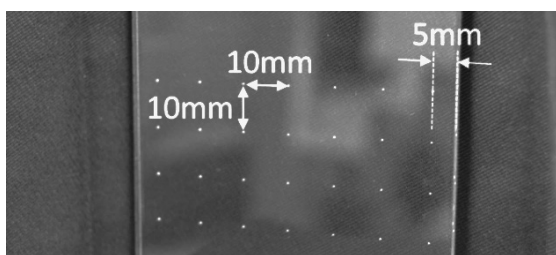


図5 アクリル板上のドットパターン
Fig.5 Dot pattern on the acrylic plate

実験参加者に対する舌尖の移動先指示には、レーザーカッターにより縦4×横7(1cm間隔)にドットが刻まれたアクリル板を利用する(図5)。実験参加者は自身の舌尖の触覚を通じて、ドットの有無を判別することが可能となっている。実験者の指示のもと、実験参加者は舌尖の触覚を頼りに特定のドット上に舌をおく。そしてこの状態で舌運動検出を実施し、舌尖位置を測定する。ここで測定された結果と、実際のドットの位置とを比較することで、舌尖位置検出の精度評価を行う。なおアクリル板は赤外線透過するため、KinectやXtionでの深度測定に対してはほぼ透明な存在として扱うことが可能である。

実験環境の全体概要を図6に示す。実験参加者は顎台により頭部を固定され、その70cm前方にRGB/深度カメラ(Microsoft社 Kinect, 深度視野角水平57度, 垂直43度, 深度センサ解像度640x480@30fps)を設置した。RGB/深度カメラのフレームレートは30fpsに設定した。ドットパターンが刻まれたアクリル板は、実験参加者の眼前に設置されている。本実験では実験参加者の頭部が固定されているため、顔認識については実施せず、口唇領域を手動で設定した。

実験開始前の準備として、アクリル板上の全てのドットについて、RGB画像上のpixel座標を計測し、実験の目標値とする。本実験では画像上のドット位置と、アルゴリズムで検出された舌尖位置の比較が必要である。し

かしアクリル板上のドットは、提案アルゴリズムでの舌尖位置検出を阻害せぬよう小さくなっており、そのままでは画像上のドット位置検出は困難である。そこで図7に示すように、暗室内でアクリル板上部からLED照明を当てて各ドットの明度を強調させ、ドット位置特定用のRGB画像を撮影した。この画像を用いて各ドット付近の輝度値を調べ、その最大値をドットのpixel座標とした。

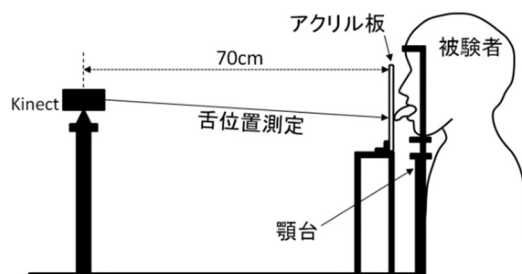


図6 位置精度評価実験環境

Fig.6 Experimental setup for evaluation of position accuracy

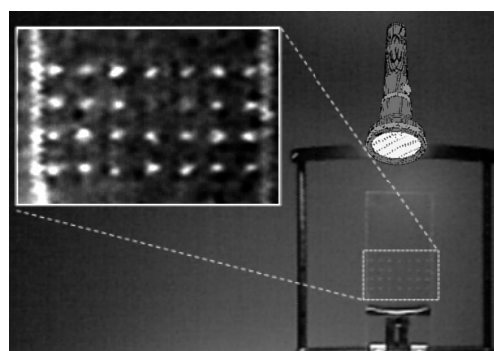


図7 照明によるドットパターン強調

Fig.7 Emphasizing the dots on the acrylic plate

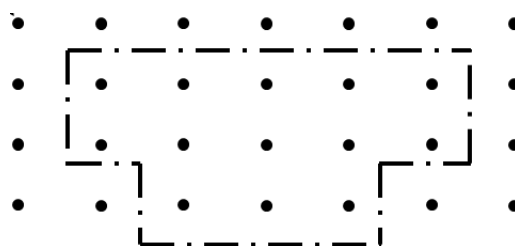


図8 実際の測定対象となるドット領域

Fig.8 Used dots for the experiment

本実験には健康な20代男性4名が参加した。実験手順は以下の通りである。まず顎台を用いて被験者の頭部を固定する。舌尖をアクリル板上のドットに当てて固定し、NP法ならびにNA法それぞれによる舌尖の位置座標(ピクセルデータ)を150フレーム(約5秒間)記録する。これを各ドットにつき3回ずつ実施した。ただし測定対象のドットは、全被験者で舌尖が到達可能な12点に限定している(図8 中点線領域内側)。舌尖を当てる順番はランダムである。結果を図9に示す。なお、実験環境および使用したRGB/深度画像カメラの画角より、1Pixelはおよそ0.11cmとなる。このことと図9の結果を合

わせて考えると、舌尖位置計測精度は、NP法で約0.6cm, NA法で約0.4cmになると考えられる。

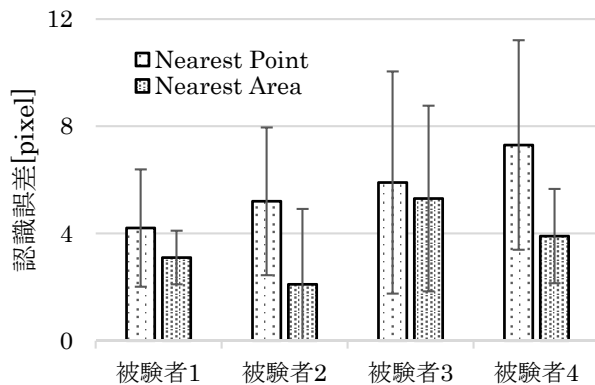


図9 舌尖位置の測定誤差

Fig.9 Accuracy of measured positions

ここでNP法およびNA法それぞれで、誤差発生要因について考察する。SITAシステムでは、舌を口腔外に突出させ、舌尖の移動によりポインタ等の操作を行うことを想定している。そしてNP法では単純に、最突出点を「舌尖」としている。しながら本実験条件の場合、舌尖をアクリル板に押しつけているため、最突出「点」は存在せず、最突出部は有限の広さを持った面となる。すなわち、NP法での位置測定実験結果には、アクリル板に押しつけて広がった舌尖の面積分(およそ1cm四方)の不確か性が存在することになる。つまり、NA法の計測精度評価結果については、実験方法に依存するバイアス成分が混入した結果であり、実験方法の改良により改善しうるものであると期待される。一方NA法では、所定の突出領域の中心を「舌尖」としている。つまり原理上、実際の舌尖位置と、アルゴリズムにより求められた舌尖位置の厳密な一致が保証できない。計測誤差の大きな要因であり、NP法の場合とは異なり、実際の利用環境でも発生しうる本質的な誤差である。よって実験方法の改良で、計測精度評価結果が大きく改善する見込みは薄く、比較的妥当な実験結果であると考えられる。

4 SITA による口腔運動支援ゲーム

本研究で提案する SITA は、一切のデバイス類を装着することなしに、舌の運動を計測することが可能である。これは舌や口腔運動を入力とするゲームインタフェースに利用する上では、適した性質と言える。舌や口腔筋力のトレーニングは、口腔機能の維持・向上に効果的であり、日常生活の質(QoL)の向上に貢献すると期待される。一方、本研究で対象とするダウン症とは、先天性疾患の一種であり、知的障がいや心疾患など、多くの合併症を伴う疾患である。その症状の一つに筋弛緩があり、それによる舌の筋力が弱体化は、摂食障害や構音障害を引き起こす一因と考えられている。この問題の改善にむけて、SITA システムを用いて、ダウン症児童

を対象とする口腔運動支援ゲームを開発した。本章ではゲームの詳細について紹介し、実際に体験してもらった結果について述べる。

4.1 ゲーム概略

ダウン症児童に対して舌・口腔運動を促すゲームコンテンツとしては、子供が親しみを持てること、簡単にプレイ方法がわかることを重視し、図10のような魚とりゲームを考案した。プレイヤーが突き出した舌を上下左右に動かすと、画面内リング状のカーソルも上下左右に動くようになっていく。リング状カーソルが魚に対して一定距離以下に近づいた時、その魚が効果音とともに消滅し、捕まえたというフィードバックが得られるようになっている。この時のリング上カーソルの移動は、提案するSITAシステムを通じて行われる。舌運動計測アルゴリズムの特性より、RGB/深度画像カメラは、プレイヤーの正面に配置されることが望ましい。そこで本ゲームでは、やや大きめのディスプレイDell U2212HM (21.5 inch, IPS液晶)を利用し、RGB/深度カメラ(ASUS社のXtion PRO LIVE)を図11・図12のようにディスプレイの前に配置するものとした。なお、Kinectのサイズがおよそ275x30x60 (mm)であるのに対し、Xtionはサイズが180x35x50 (mm)と小型であり画面を遮蔽する面積が小さいこと、両者のRGB/深度センサの性能にほとんど差がないことから、今回はXtion PRO LIVEを採用した。



図10 ゲーム画面

Fig.10 Captured image of the proposed game

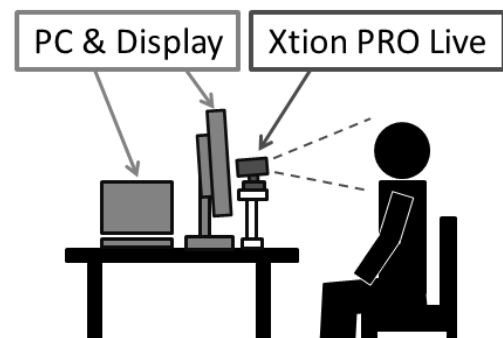


図11 試作ゲームプレイ環境

Fig.11 Setup for playing the prototype game



図12 プレイヤからみるゲーム画面の様子

Fig.12 The view from the player

4.2 ダウン症児童による試作ゲーム評価

都立調布特別支援学校の協力のもと、試作したゲームを実際に4名のダウン症児童に体験してもらった。体験に際しては事前にシステムならびに体験の詳細を文書にて保護者ならびに教員に説明、書面による同意を得た。また、体験に際しては教員ならびに希望に応じて保護者立ち会いのもとで実施した。

まず1分程度試技時間を設け、各児童に試作ゲームの遊び方を理解してもらった。その後3～5分の間自由に試作ゲームをプレイしてもらった。プレイの間、児童担当教諭にその児童のゲームプレイの様子を見てもらい、ゲーム終了後にコメントを求めた。

プレイ時の様子、児童担当教諭からのコメントから、4名の児童全てについて、試作したゲームに対して興味を持ち、プレイ可能であることを確認出来た。しかしながらスムーズにプレイしたとは言い難く、児童によっては舌を出す段階すらいけず、殆どゲームをすることなく終わってしまったものもいた。担当教諭からのコメントを踏まえて、改善すべき点について考察する。

- 児童によってはゲーム操作方法の理解が出来ていない可能性が指摘された。例えば操作法教示のための専用のステージを設けるなど、操作法を適切に伝える工夫が必要である。
- 本ゲームの背景は見た目が綺麗だが、一方で児童のゲームプレイに対する集中を阻害している可能性がある。できるだけシンプルな描写であることが望ましい。
- 各児童によって、舌の突き出し操作の得意・不得意が見受けられる。不得意な子でも楽しめるよう、難易度の低いコンテンツが必要と考えられる。

今後はこれらの点について改善された、新たなダウン症児童のための口腔運動ゲームの開発が必要と考えられる。

5 おわりに

本論文ではまず、非接触で口腔外における舌の運動を計測するシステム、SITAを開発し、その性能について評価を行った。その結果、舌尖位置計測誤差はおよ

そ0.4cm程度、計測遅延時間はおよそ0.11秒であることを確認した。またSITAの応用として、ダウン症児童のための、口腔運動支援ゲームを作成し、特別支援学校において評価を行った。理想的には教諭のサポートなしに、児童が一人で口腔運動支援ゲームをプレイできるようにすることであり、その点にむけて、ゲームのデザインや内容に関するフィードバックを得ることが出来た。今後は指摘された点を改善すると共に、ゲームによるトレーニング効果の評価を行っていく。

謝辞

本研究に協力して下さった、都立調布特別支援学校の児童、保護者の方々、先生方にこの場を借りて御礼申し上げます。

参考文献

- [1] Proffit, W.R. Mason, R.M.: Myofunctional therapy for tongue-thrusting: background and recommendations; The Journal of the American Dental Association, Vol. 90, No.2, 403-411 (1975)
- [2] 木村 堯, 野嶋 琢也: SITA:深度情報を利用した舌運動検出手法; 情報処理学会インタラクション2012 予稿集, 641-646(2012.3)
- [3] Schönle, P.W., Gräbe, K., Wenig, P., Höhne, J., Schrader, J., and Conrad, B. Electromagnetic articulography: Use of alternating magnetic fields for tracking movements of multiple points inside and outside the vocal tract. Brain and Language 31, 1, 26-35, (1987).
- [4] Struijk J.J., Lontis, E.R., Bentsen, B., Christensen, H.V., Caltenco, H.A., Lund, M.E.: Fully integrated wireless inductive tongue computer interface for disabled people; Proceedings of IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 547-550 (2009.9)
- [5] Xueliang Huo, Wang, Jia, Ghovanloo, M.: A Magneto-Inductive Sensor Based Wireless Tongue-Computer Interface; IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, Vol. 16, No.5, 497-504(2008)
- [6] Liu, Li., Niu, S., Ren, J. Zhang, J.: Tongible: a non-contact tongue-based interaction technique; Proceedings of the 14th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility, 233-234 (2012)
- [7] Saragih, J., Lucey, S. and Cohn, J. Deformable Model Fitting by Regularized Landmark Mean-Shift, International Journal of Computer Vision 91, 2 (2011), 200-215. (2015年12月3日受付)

[著者紹介]

柳 青 (学生会員)



2015年電気通信大学大学院情報システム学研究科修士課程修了。エンタテインメントおよびヒューマンインタフェースに関する研究に従事。

宮内 将斗



2014 年電気通信大学大学院情報システム学研究科修士課程修了。エンタテインメントおよびヒューマンインタフェースに関する研究に従事。

木村 堯 (学生会員)



2013 年電気通信大学大学院情報システム学研究科修士課程修了。エンタテインメントおよびヒューマンインタフェースに関する研究に従事。

野嶋 琢也 (正会員)



2003 年東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。博士(工学)。同年航空宇宙技術研究所入所。宇宙航空研究開発機構を経て、2008 年 12 月電気通信大学大学院情報システム学研究科准教授。超人スポーツ協会理事。触覚インタラクション, 超人スポーツ/オーグメンテッドスポーツ, エンタテインメントの研究に従事。バーチャルリアリティ学会, ヒューマンインタフェース学会, ロボット学会, 情報処理学会, IEEE, ACM 会員。博士(工学)