

## SITA:深度情報を利用した舌運動検出手法

木村 堯<sup>†</sup> 野嶋 琢也<sup>†</sup>

嚥下や発話といった日常的な行動において、舌は必要不可欠な存在である。しかし老化や疾患など様々な要因が舌の運動機能に悪影響を及ぼし、嚥下・発話行動に問題が発生することがあることが知られている。この症状の改善には舌を含めた口腔筋のトレーニングが効果的であると考えられており、多くのトレーニング手法が提案されてきた。しかし口腔形状や舌運動の計測は困難であるため、そのほとんどはインタラクティブ性に乏しいものとなっている。本研究ではこれまで、特に口腔外における舌運動の衛生的な検出手法 SITA (a Simple Interface for Tongue motion Acquisition) を提案してきた。本発表では、提案手法における舌先位置の検出精度の評価結果について報告すると共に、舌運動のために試作したアプリケーションについて紹介する。

## SITA: “a Simple Interface for Tongue motion Acquisition” using depth information

TAKASHI KIMURA<sup>†</sup> TAKUYA NOJIMA<sup>†</sup>

A tongue is necessary organ for our common behavior such as swallowing, talking. Therefore disturbance of motility of tongue can harm those behaviors. To solve this problem, oral training is thought to be effective to improve functionality of tongue motion. Then many tongue and oral training methods have been proposed. However, many of those methods are not interactive because few systems can acquire shape and motion of tongue and oral. Then in this research, we proposed a Simple Interface for Tongue motion Acquisition named “SITA”. SITA can acquire tongue motion outside of the mouth in sanitary way. In this paper, we report an accuracy of tongue detection using SITA, and introduce the prototype application for one of the tongue training method.

### 1. はじめに

舌の運動機能は、嚥下や発話といった、日常生活をおくる上で必要不可欠な活動に深く関わっている。例えば食物の摂食時の場合、まず歯によって咀嚼された食物を舌で収集し、咽頭へ送る。その後咀嚼物を舌の強力な筋力で押し出すことで食道へ送り込んでいる 1)。また、例えば母音の/i/の発声に際しては、舌尖付近を硬口蓋に近接して狭窄部を形成することで、発音を行っている 2)。さらにはアイスクリームを舐める場合など、外部の食物を口腔内へ運ぶ動作にも用いられている。この舌の運動機能は、老化や疾患といった各種の要因により低下する場合があることが知られている。そして舌の運動機能が低下してしまうと、嚥下障害や発音障害を引き起こす恐れがある。このような問題に対して、舌の運動機能を含めた口腔全体のリハビリのため、口腔筋機能療法(Myofunctional Therapy : MFT)が提案されている 3)。MFT とは口を大きく開け

る、舌を左右に動かす等の各種口腔関連筋肉訓練法の集合体であり、これにより高齢者の嚥下頻度の増加や、嚥下時間の短縮といった効果があることが報告されている 4)。

この MFT における問題の一つとして、他の一般的なリハビリ手法と同様、インタラクティブ性に乏しいという点が挙げられる。インタラクティブ性の有無はリハビリ活動への積極性や継続性に影響する要素の一つとして考えられており、この改善は積極性・継続性に効果があると期待されている 5)。しかしながら MFT にインタラクティブ性を付与するためには、舌運動及び口腔運動の検出を行わねばならない。また、舌および口腔内は清潔であることが求められることから、舌運動および口腔運動の検出に際しても、衛生的な手法であることが望ましいと考えられる。本研究ではまず口腔外の舌運動に着目し、非装着で口腔外の舌先運動を計測するための技術、SITA(a Simple Interface for Tongue motion Acquisition)を開発した 6)。SITAでは利用者の口腔内ばかりでなく、身体に一切のデバイスを装着することなしに、画像と深度情報のみから舌先の運動の計測を行っている。非装着であるために、他の装着型の舌運動検出システム 9) 10)と比較して、

<sup>†</sup> 電気通信大学大学院情報システム学研究科  
Graduate School of Information Systems, University of Electro-Communications

機器の洗浄と言った作業が必要とされず、いつでも衛生的に利用可能となっている。本発表では、SITA の舌先位置検出精度について評価を行ったので、その結果について報告する。また、MFT の一つ想定した、舌運動のためのインタラクティブなアプリケーションを試作したので、それについて紹介する。

## 2. 関連研究

本章では、MFT に関連する研究、及び舌運動計測に関連する研究について紹介する。

MFT に関連する研究としては、MFT の指導手法についての研究がいくつか行われてきている。例えば関口らはプログラム教材を用いて MFT を遠隔指導する手法を提案し、その効果を検討している 7)。これは被験者が自宅にいながら単独で MFT を行うことを目的としており、口腔機能向上トレーニングのビデオを被験者の自宅に送付し、教材の内容に従って訓練を行わせる手法となっている。この手法によって嚥下・構音・咀嚼機能、口腔衛生について有意な改善が見られることがわかっている。また株式会社パタカラは、口腔周囲の筋を鍛え、口唇閉鎖力を向上させる訓練支援器具『パタカラ』を開発・販売している 8)。このように、様々な観点から MFT の導入を試みた研究が行われているが、いずれの手法もインタラクティブ性を持ちあわせておらず、訓練持続を動機付ける支援システムは開発されていない。

舌の運動計測に関連する研究については、主に福祉分野において古くから研究が行われてきた。例えば新川らは上肢障害者を対象とした、舌運動による押下式スイッチと下顎運動による変異入力を組み合わせた入力デバイスを開発している 9)。このデバイスでは下顎の上下運動で x 軸あるいは y 軸方向のポインタを変位させ、舌によるスイッチ操作でポインタの位置を決定させるものとなっている。このデバイスによって、口腔運動によって日本語文字入力が可能となっているが、口腔内外にマウスピースや下顎入力を検出するデバイスを装着する必要がある。また Xueliang らは磁気センサを用いた 3 次元舌入力インタフェースの開発を行なっている 10)。Xueliang らのシステムの利用者は、まず口腔周辺に 3 次元磁気センサを配置する。そして舌先に小さな磁石を接着することで、磁石の位置、すなわち舌先の位置の測定を行っている。当該システムではこのシステムを用いることで舌の運動のみでマウス操作の標準的な入力機能(移動やクリック)を舌がデバイスに接触することなく実現しているが、これもデバイスの装着が必須である。

このように、舌の運動計測手法は様々開発されてきたが、いずれも口腔内になんらかのデバイスの装着が必要になるという課題があった。口腔内への再使用型デバイスの装着は、装着そのものの手間に加えて、入れ歯などと同様に衛生管理が必須になるという問題がある。そこで本研究では、口腔内にデバイス装着を必要としない、舌運動計測手法の開発を目指す。

## 3. システム概要

本章では口腔外における舌先運動に着目した、非装着かつ非接触で口腔外舌先運動検出が可能なシステム、SITA の概要について説明する。

### 3.1 システム構成

図 1 に開発した SITA の構成を示す。本システムは Kinect(Microsoft 社)およびノート型パソコン(SONY 社、VAIO VPCZ21, Windows 7 Home Premium, Intel® Core i5 CPU 2.60GHz, 4GB RAM)、液晶ディスプレイにより構成されている。本システムでは Kinect をディスプレイの上部に設置し、ユーザは自身の顔が Kinect と正対するようにディスプレイに向かう。舌先検出は Kinect の深度処理及び RGB 画像による顔認識で行なっており、Kinect とユーザとの距離は、両者の処理能力を考慮しておよそ 70cm とした。

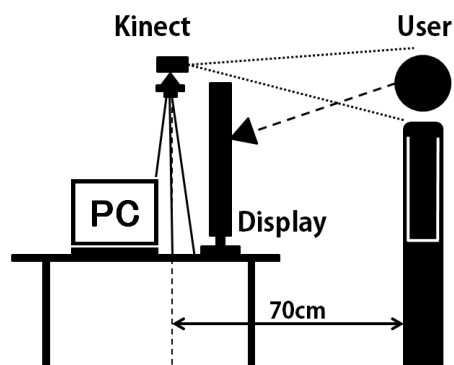


図 1 システム概要図

### 3.2 舌運動検出アルゴリズム

本システムでは、顔の物理的構造の特徴を利用し、口腔外に露出した舌先の位置を測定する。処理の流れとしては、図 2 にあるように Kinect から得られる RGB 画像を利用して顔・目認識を行い、得られた両目領域から鼻のエリアを推定する。顔認識は目認識の際の誤認識などによる精度低下を防ぐために行なっている。続いて深度画像を利用して、推定した鼻領域内の全ての pixel の深度値を測定し、深度値が最も小さい座標、すなわち鼻の頂点座標を決定する。この後、鼻の頂点座標を基準としてその 20pixel 下方に 70×

60pixel の矩形領域を口唇領域として作成する。口唇領域内でも同様に最小深度値を測定し、領域内で最も突出している座標を舌尖の位置として暫定的に決定する。この時点では舌が出ていない状況でも口唇領域内の最小深度値座標を舌尖の位置として返してしまうため、舌の露出判定を行う。

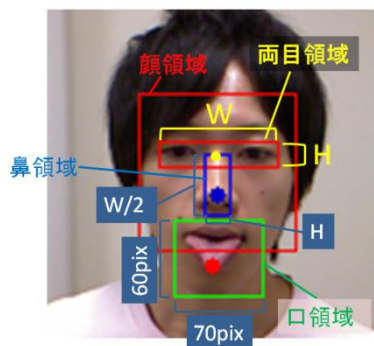


図 2 各領域作成

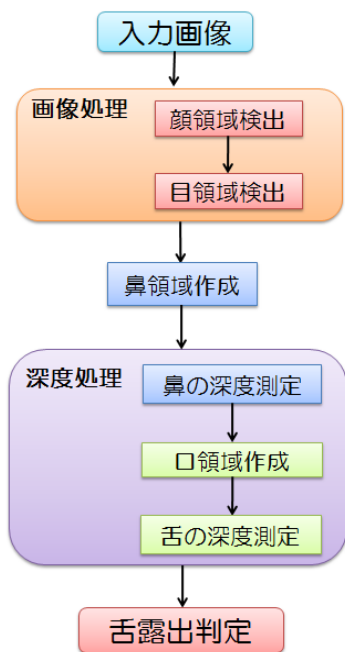


図 3 システムアルゴリズム

### 3.3 舌露出判定

本システムでは図 4 に示すように、顔を横から見た時に自身の舌が鼻よりも全面に突出している場合に「舌が出ている」状態とし、そうでない場合を舌が出ていない状態とみなすこととした。舌が鼻より出ているかどうかの判定については、3.2 節で得られた鼻及び口唇領域の代表点の深度値を比較し、口唇領域の代表点の深度値が鼻の値よりも小さい場合に「舌が出ている」とみなすものとした。

なお、舌の露出範囲は個人差があり、鼻が高い場合や舌が短い場合には舌の露出判定が困難である。従ってこのような状況の場合は、ユーザに舌を出してもらい、この時の鼻の深度値と口唇領域の深度値との差分を閾値として利用することとした。

以上のアルゴリズムをシステムとして実装すると、図 5 に示すような舌露出判定及び舌尖位置の検出・追従が可能となる。なお、図 5 中の口唇領域内におけるポイントは、舌が出ていない判定の時は緑色の小円で示されており、舌が出ている判定の時は赤色の大円で表示される。

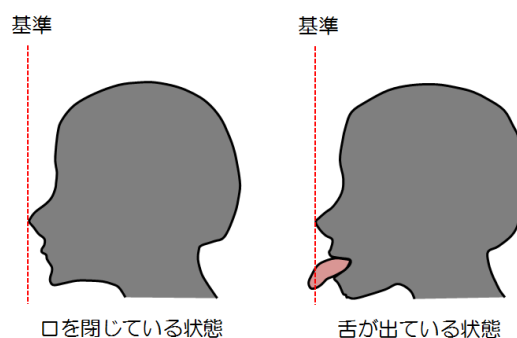


図 4 舌露出判定条件

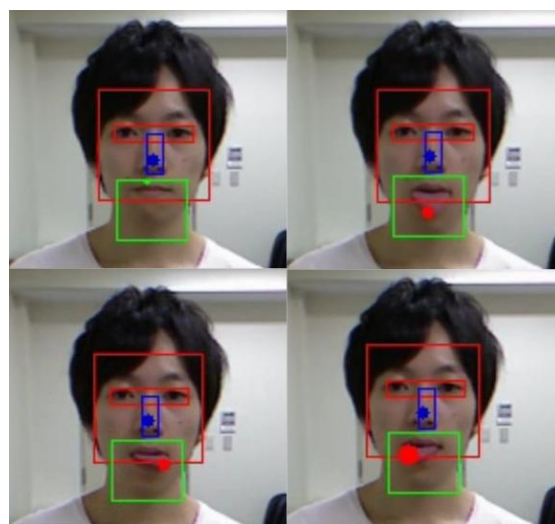


図 5 舌露出判定及び舌尖追従

## 4. 実験

本章では、Kinect による舌尖位置の検出精度について、アクリル板に当てた舌尖の位置を測定することで評価する。

### 4.1 実験環境

実験にあたって、図 6 に示す実験装置を作成した。

実験装置は Kinect, アクリル板, 顎台で構成されており, Kinect とアクリル板間の距離は 70cm で固定している. 図 7 に示すように, アクリル板には縦 4×横 7 にドットが刻まれており, ユーザはこのドット上に舌先を当てて位置を測定する. なお各ドットの間隔は 10mm であり, アクリル板の縁とそれに隣接するドットとの間隔は 5mm である. なおアクリル板は赤外線透過するため, Kinect 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.

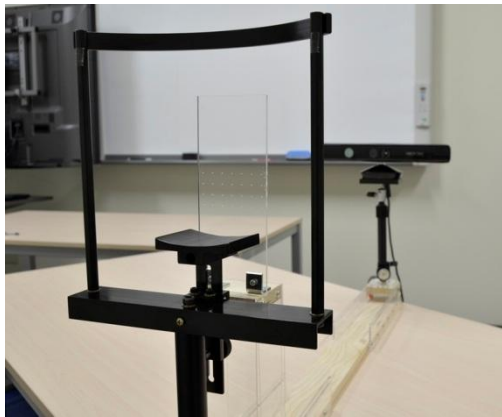


図 6 実験装置

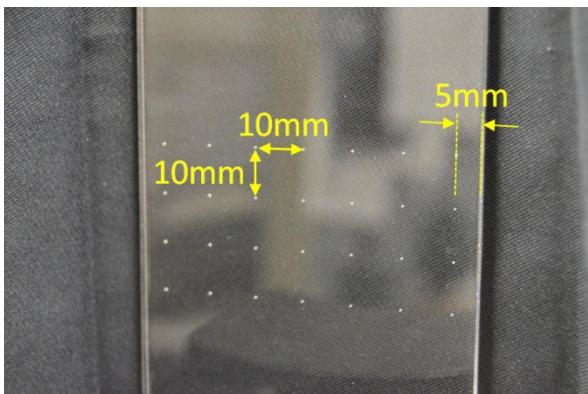


図 7 アクリル板上のドットパターン

#### 4.2 実験方法

実験は以下の方法で行う. なお, 実験の概要図を 図 8 に示す.

1. 顎台を用いて被験者の頭部を固定する.
2. 舌先をアクリル板上のドットに当てて固定する.
3. Kinect で舌先の位置座標(ピクセルデータ)を 150 フレーム(約 5 秒間)分記録する.
4. 2~3 の操作をアクリル板上の全てのドットにおいて行う. なお, 舌先を当てる順番はラン

ダムである. また被験者の舌がアクリル板に到達しないドットは測定を行わないこととした.

5. アクリルのドットパターンを, Kinect の RGB 画像にて記録する.

なお測定に関して, 顔及び目の認識を省略し, 目領域を手動で設定している. 目領域の手動設定以降は, 本システムに準拠した処理で測定を行なっている. これは, 顎台やアクリル板等の影響で顔及び目認識が困難になることと, 頭部が完全に固定されていることを踏まえた上で決定した.

計測精度は, Kinect で得られた舌の座標と理論値との誤差を cm 単位で求めることで評価する. 具体的には, まず図 9 に示すように, ドットパターンの左上を原点に置く. 次にアクリル上の各ドットの実際の空間座標(単位:cm)を

$$M_{ij} = \begin{pmatrix} M_{xij} \\ M_{yij} \\ 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

とする. 次に, RGB カメラで得られる各ドットの pixel 座標(単位:pixel)を

$$A_{ij} = \begin{pmatrix} A_{xij} \\ A_{yij} \\ 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

とする. このとき, pixel 座標を cm 座標へ変換する行列  $T$  を考えると, 以下の式が成り立つ.

$$M_{ij} = T \cdot A_{ij} \quad (3)$$

ここで  $(i, j)$  番目の要素が  $A_{ij}$  であるような行列  $A$  を考える. そしてこの行列  $A$  の擬似行列より変換行列  $T$  が得られることとなる. この変換行列  $T$  を用いて Kinect が得る舌先の pixel 座標  $P_{ij}$  を空間座標  $S_{ij}$  に変換し,  $S_{ij}$  と  $M_{ij}$  を比較する.

$$S_{ij} = T \cdot P_{ij} \quad (4)$$

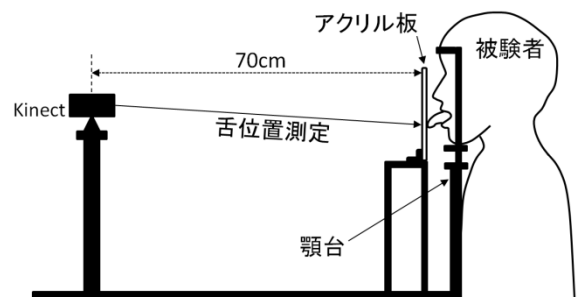


図 8 実験環境概要

$$(M_{x_{11}}, M_{y_{11}}) = (0, 0)$$

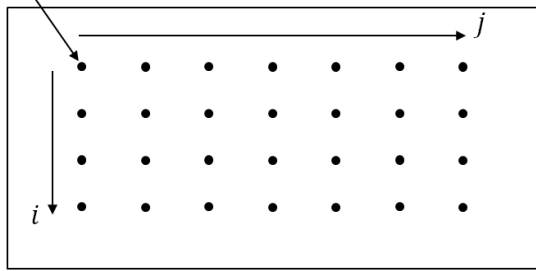


図 9 アクリル上の各ドットの行列表記

### 4.3 実験結果

#### 4.3.1 ドットパターンの位置計測

変換行列を導出するために、ドットパターンの全てのドットについて、RGB 画像上の pixel 座標を計測する。RGB 画像の撮影は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た上でを行った。実際に記録された画像を図 10 に示す。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。この時の分布を図 11 に示す。アクリル上の実際の空間座標は既知であるので、これらの値から変換行列  $T$  を得ることができる。

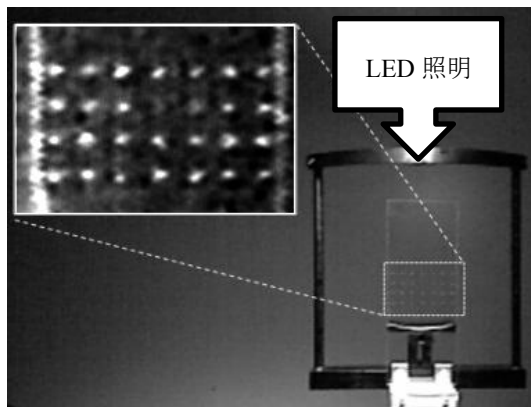


図 10 Kinect で記録した画像

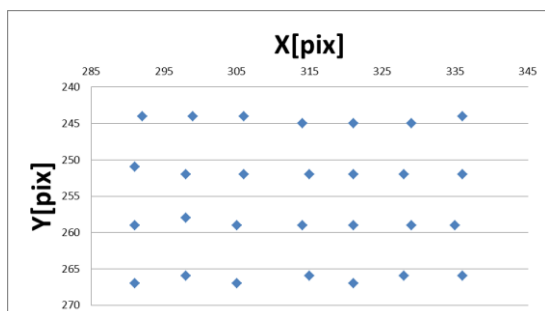


図 11 輝度値計測によるドットパターン

#### 4.3.2 舌先座標の計測

舌先座標の計測は 5 人の 20 代男性によって実験した。なお、顎台とアクリルとの距離は被験者によって 1~3cm の範囲で調整した。これは舌の物理的長さに個人差があることを考慮したためである。ただし Kinect とアクリル板の間の距離は固定している。また、ノイズなどの影響により測定が安定しない可能性を考慮し、1 点につき 3 回の測定を行った。最終的な舌先座標の決定は、得られた 3 つの測定データ群において最も安定しているデータ群を採用した。4.2 節の実験手順に示しているように、図 9 に示した  $i$  行  $j$  列目のドットの 1 回の測定について、150 フレーム分の  $(x, y)$  座標、計 150 個分が記録される。この 150 個の  $(x, y)$  座標の分散が最も小さいデータ群を最も安定なデータとした。次いで、この安定なデータ群について、記録されている 150 個の座標の平均値を舌先の pixel 座標  $P_{ij}$  とした。これを測定した全てのドットについて行い、得られた変換行列  $T$  によって舌先の空間座標  $S_{ij}$  を求めた。図 12 にアクリル上の目標地点(実際のドットの座標)と、空間座標に変換した舌先座標を示す。なお、舌先の各位置は全被験者の空間座標  $S_{ij}$  の平均値を用いた。また、被験者によって舌の到達範囲に個人差が生じており、図 12 は全被験者が到達できたドットの範囲のみの結果である。

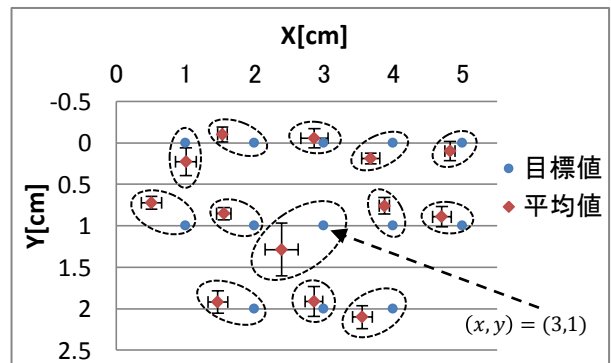


図 12 目標地点に対する実際の舌先位置

### 4.4 考察

図 12 の結果から、全体的に 0.5cm 程度の精度で舌先の計測ができていることがわかった。舌の運動を捉えるという観点において、十分な位置精度が実現できているものと考えられる。また、図 12 中の  $(x, y) = (3, 1)$  [cm] 付近が今回の実験環境で最も容易に舌を到達させることができる点であったが、この点において大きな分散が生じているのがわかる。これは、舌を最も到達させ易いために、舌とアクリル板との接触面積が大きくなってしまったと考えられる。さらに、

舌をアクリルに接触させている際に、その温度差により接触点付近が微小ながらも曇ってしまう現象が見られた。従ってこの現象が Kinect の計測誤差に悪影響を及ぼした可能性も考えられる。

## 5. 試作アプリケーション

本章では、試作アプリケーションとして本システムを用いた簡単な舌運動入力によるシューティングゲームを試作した。このゲームは MFT における舌の訓練の一部である『舌を左右に動かす』及び『舌を前方に出す』という動きが必要になっている。図 13 に示すように、砲台から発射される敵を避けながら砲台を破壊し、全ての砲台が破壊された場合クリアとなっている。ゲーム画面下部に表示されている三角形の自機を顔の平行移動で操作し、舌を出すことによって自機から弾を射出して攻撃する。弾道は舌を前方に出すと自機に対して垂直線上に射出され、左あるいは右方向に出すと、出した舌の方向に弾が射出されるように設定した。

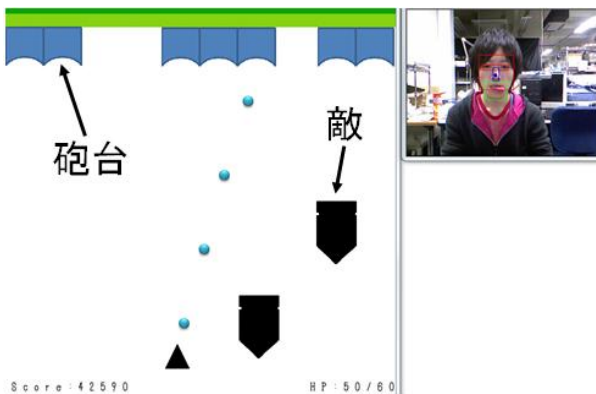


図 13 舌の方向による弾道変化

## 6. おわりに

本論文では日常的な舌運動訓練の支援システムの開発を目指し、その基礎として Kinect による口腔外における舌位置の検出精度を評価した。実験の結果、本システムを用いると 0.5cm 程度の精度で舌尖位置を測定できることがわかった。この計測精度は、本研究の目指すシステムにおいては充分であると思われる。今後の課題としては顔の傾きの考慮やコンテンツの開発等が挙げられる。

## 参考文献

- 1) 井出 吉信：いつまでもおいしく食べよう：摂食・嚥下のメカニズム，歯科学報，vol.111，no.3，pp.307-312，2011
- 2) 高橋 宏明，苦瓜 安彦：口の構えと舌の形が日本語母音明瞭度に及ぼす影響について，音声科学研究，vol.2，pp.71-82，1962
- 3) わかば出版株式会社，山口 秀晴，大野 肅英，嘉ノ海 龍三：MFT 入門—初歩から学ぶ口腔筋機能療法，第1版，2007
- 4) 大岡 貴史，拝野 俊之，弘中 祥司，向井 美恵：日常的に行う口腔機能訓練による高齢者の口腔機能向上への効果，口腔衛生学会雑誌，vol.58，no.2，pp.88-94，2008
- 5) 村井 秀聡，菅井 健太，大倉 典子，網本 さつき，水間 正澄：子供のリハビリを支援するインタラクティブシステムの開発，電子情報学会技術研究報告，vol109，no.28，pp.205-208，2009
- 6) 木村 堯，野嶋 琢也：深度センサを用いた舌運動検出機構の開発，情報処理学会研究報告，EC，エンタテインメントコンピューティング，2011
- 7) 関口晴子，大淵 修一，小島 成実，新井 武志，平野 浩彦，小島 基永：遠隔型口腔機能向上プログラムの効果の検討，日本老年医学会雑誌，Vol.47，No.3，pp.226-234，2010
- 8) 株式会社パタカラ：<http://mpatakara.com/> (最終アクセス:2011.12.04)
- 9) 新川拓也，河内了輔：下顎運動と舌運動を併用したヒューマンインターフェース，生体医工学，vol. 44，no.1，pp.94-100，2006.
- 10) Xueliang Huo, Jia Wang, Ghovanloo, M. : A Magnetic Wireless Tongue Computer Interface, a proceeding of Neural Engineering, pp. 322-326, 2007.