

令和 4 年 6 月 27 日現在

機関番号：12301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18K04042

研究課題名（和文）シリアスゲームを利用した高齢者のための嚥下体操支援システムの構築

研究課題名（英文）Construction of swallowing gymnastics support system for elderly people using serious games

研究代表者

中沢 信明（Nakazawa, Nobuaki）

群馬大学・大学院理工学府・教授

研究者番号：80312908

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、嚥下体操の計測およびアプリケーションの作成を行った。嚥下体操を首と肩、上肢による運動と口周りの運動に分け、前者はKinectセンサ、後者はカメラ動画像を計測に利用した。ゲームは、流れてくる円をキャラクターが壊して得点を得るものとし、各運動が周期的であることから、往復運動をキャラクターの動きに反映させた。また、咀嚼・嚥下の回数カウントを目的として、喉元の特徴点の動きを調べた結果、咀嚼時は周期的な上下の動きであり、嚥下時は特徴点の動きが乱れることを見出した。これらの特徴をニューラルネットワークによる判別に適用した結果、適切な条件下で咀嚼は100%、嚥下は90%の確率で認識できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

食べ物や水分の摂取は、人間の生命維持の根幹に関わる重要な項目である。しかしながら、加齢とともに口腔感覚や唾液分泌が衰えるため、飲み込むことが困難となり、食べ物が喉につかえて窒息状態に陥る、あるいは肺に入って肺炎を引き起こすなど、高齢者が誤嚥を起こすケースが多く、時として生命の危機に至る場合もある。このような高齢者の誤嚥は、食事前の嚥下体操によって未然に防ぐことができる。そこで本研究課題では、高齢者の誤嚥予防を目的として、食事前の嚥下体操支援システムを構築した。ここではセンサにより非接触で体操の様子を計測し、ゲームを取り入れることで持続的かつ効果的に行えるアプリケーションの開発を目的としている。

研究成果の概要（英文）：In this study, we constructed measurement system for swallowing and created a game application. Swallowing exercises were divided into the movement of neck, shoulder and upper limb and the movement of mouth. For measurement, the former used Kinect sensors and the latter used camera motion images. In the application, the character breaks the flowing circle object to get a score, and since each movement is a periodic movement, the reciprocating movement was reflected in the movement of the character. In addition, as a result of investigating the movement of the feature points in the throat for the purpose of counting the number of times for chewing and swallowing, it was found that the movement of the feature points was periodic up and down during chewing and the movement of the feature points was disturbed during swallowing. As a result of applying the features to the discrimination by Neural Network, chewing was recognized with 100% and swallowing with 90% under appropriate conditions.

研究分野：ヒューマンインタフェース

キーワード：嚥下 計測 ソフトウェア

### 1. 研究開始当初の背景

食べ物や水分の摂取は、人間の生命維持の根幹に関わる重要な項目である。しかしながら、加齢とともに口腔感覚や唾液分泌が衰えるため、飲み込むことが困難となり、食べ物が喉につかえて窒息状態に陥る、あるいは肺に入って肺炎を引き起こすなど、高齢者が“誤嚥(ごえん)”を起こすケースが多く、時として生命の危機に至る場合もある。このような高齢者の誤嚥は、顔や首の筋肉の緊張をほぐしたり、鍛えたりするなど、食事前の準備運動(嚥下体操)によって、未然に防ぐことができる。

そこで本課題では、高齢者の誤嚥予防を目的として、食事前の嚥下体操支援システムの構築を行った。ここでは、ゲームを取り入れることで、嚥下体操が持続的かつ効果的に行えるアプリケーションの開発を行った。

### 2. 研究の目的

高齢者は、加齢によって口腔感覚が鈍くなったり、あるいは唾液分泌が少なくなる傾向があるため、“誤嚥”を引き起こすケースが多く生じていることが報告されている。高齢者の誤嚥は、生命の危機に至る場合があるため、深刻な問題のひとつであると考えられるが、その対策として、食事の前に、顔や首の筋肉の緊張をほぐしたり、鍛えたりするなどの準備運動(嚥下体操)によって、未然に防ぐことができるが知られている。しかしながら、嚥下体操の効果を最大限に発揮させるためには、正しい嚥下体操を覚え、また、持続的に実行する必要がある。少子高齢化が進む中、このようなニーズがあることを知り、シリアスゲームを取り入れた嚥下体操支援システムの構築の着想に至った。

### 3. 研究の方法

本研究課題では、嚥下体操の計測システムの構築ならびにアプリケーションの作成を行った。計測については、嚥下体操を首と肩ならびに上肢による運動と口周りの運動に分け、前者については Kinect センサから得られる骨格座標、後者についてはカメラの動画像から得られる特徴点を利用することとした。解析した結果から、キャラクターの動きをゲームに反映させた。また、咀嚼・嚥下の回数カウントを目的として、喉元の動画像から特徴点の動きを捉え、特徴を抽出し、ニューラルネットワークを利用した状態判別システムを構築した。

### 4. 研究成果

嚥下体操の計測システムの構築ならびにアプリケーションの作成を行った。嚥下体操を首と肩、上肢による運動と口周りの運動に分け、前者については Kinect センサ、後者については USB カメラの動画像を利用した。図 1(a)および(b)に示されるように、Kinect センサにより、嚥下体操中の深呼吸、首の前後左右運動、肩の上げ下げの計測システムを構築した。その結果、実時間でヒトの左右の肩、肘、手首、首、頭部の三次元位置情報を取得し、csv データとして保存することを可能にした。一方、カメラ動画像を利用することで、舌の運動、頬の膨らまし・窄め運動、パタカラ体操など、口周りの運動に焦点を当てて計測システムの構築を行った。ここでは、図 1(c)および(d)に示されるように、Ferneback 法に基づいたオプティカルフローを利用することで、動きのベクトルを捉え、嚥下体操を行っているかの判別に用いた。舌の運動は、舌を出した後に舌の先端を左右上下に動かすものであり、またパタカラ体操は「パパパ、タタタ、カカカ、ラララ」の発声を行うものであるが、いずれもカメラを正面から見上げるように配置することで、オプティカルフローにより、舌の先端および唇の動きを容易に捉えられることができた。それに対して、頬の膨らまし・窄め運動については、動きが立体的であるため、検出が困難であった。そこで、頬の膨らまし・窄め運動が検出しやすくなる条件について検討を行った。ここでは、オプティカルフローによる動きの検出が背景に影響を受けやすいことに着目し、顔の背景を考慮した。その結果、白い無地に比べ、白黒の周期的にラインが入ったストライプ模様を背景とした場合の方が、僅かな動きでもストライプ模様上でベクトルが現れて動きの検出がなされ、効果があることが確認された。

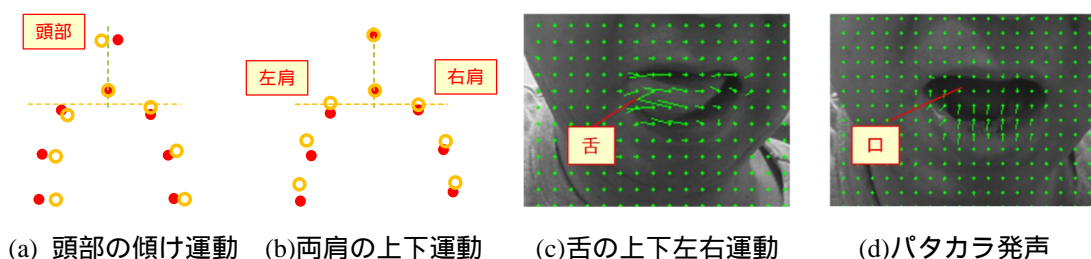


図 1 各運動の計測の様子

次に各運動がいずれも周期的な動作であることに着目し、往復運動を支援するゲームアプリケーションを作成した。本アプリケーションでは、計測モードとゲームモードの2種類を実装した。計測モードは、無理のないペースでの運動を10回行い、動作中のエクササイズ時間、往復運動の各関節座標を取得した。なお、エクササイズ時間は、ゲームモードにおける1セットの表示時間に反映させたものとし、関節座標の最大値はゲームモードにおけるしきい値設定に適用した。ここでは、嚙下体操を上下方向の運動(図2(a))と左右方向の運動(図2(b))に分類し、キャラクターが上下および左右に移動する仕様とした。図3に示されるように、流れてくる円をキャラクターが壊すことで得点が加算され、最終的に100点満点で採点される。また図4のように得点を加算することで達成度の評価を行える仕様とした。検証の結果、周期的に運動を行いながらゲームを操作することが可能であることが確認できた。

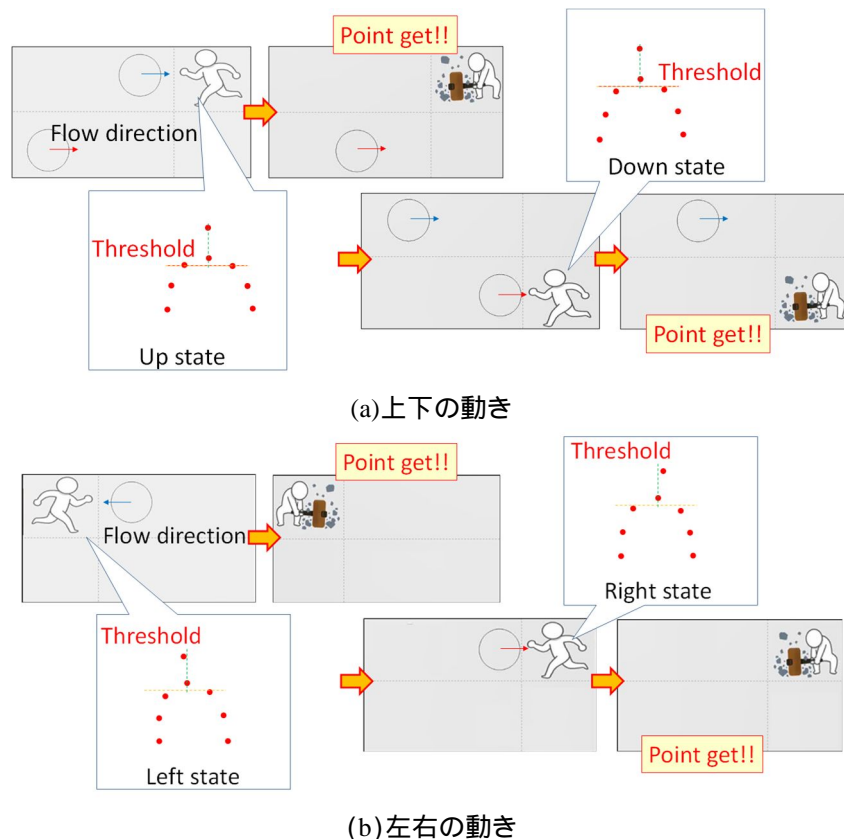


図2 部位の運動方向とキャラクターの動き

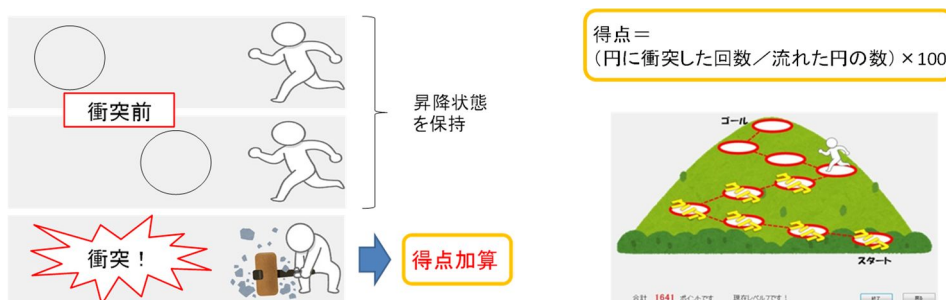


図3 得点の加算

図4 運動の達成表

次に、咀嚼・嚙下の回数カウントを目的として、喉元の動画像を捉え、特徴点のフローについて特性解析を行った。従来は、嚙下の簡易的な判別として、喉頭隆起(喉仏)付近に指先を当て、喉頭隆起の動きを診るのが一般的であったが、本システムでは画像処理によって、非接触での計測・回数判別が可能なものを目指した。図5に示されるように、斜め上方向に向けられたカメラを机上に置き、座位状態の被験者の喉元の画像を取得し、接続されたパソコンにより取り込んだ。取得画像に対して、Shi-Tomasiの手法により喉元皮膚表面上の凸凹、毛穴に対してコーナー検出で特徴点を抽出し、Lucas-Kanade法によりオプティカルフローを算出した。まず、図6に示されるように、顎から喉頭隆起の下側にかけて、口と同じ幅の範囲内に限定してオプティカルフローを求め、さらに縦に4分割し、各領域における特徴点のベクトルを取得した。各領域の特徴点の動きの代表値としては、ベクトル角度のメディアン(中央値)を求めて解析を行った。摂食・嚙下時の動きを解析した結果、咀嚼時はそれぞれの領域で周期的な上下方向の動きが検出されており、いずれも動きが同期している(図7(a))。その一方で、嚙下時は喉頭隆起の動きがあるた

め、喉頭隆起の領域とその上側の領域で動きが異なる（図 7(b)）。なお、嚥下できない状況を想定し、飲み込みを途中で止めた場合には、喉頭隆起の上がり方が小さくなり、その結果、特徴点の動きが嚥下時よりも小さくなった。判別として、4つの領域のうち、一番下側の領域とその1つ上の領域のベクトルのメディアン値の差から閾値以上の動きを嚥下と定義した。また、その状態が観測された回数から、反復唾液嚥下の回数カウントが可能なシステムを構築した。

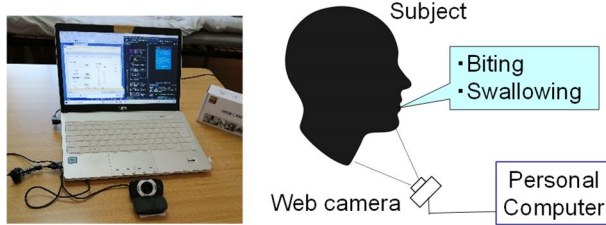
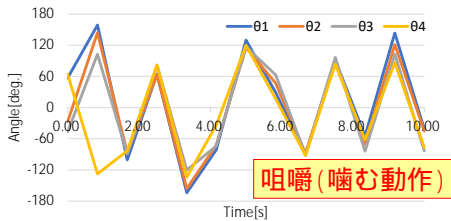


図 5 咀嚼・嚥下動作の解析システム



(a)咀嚼

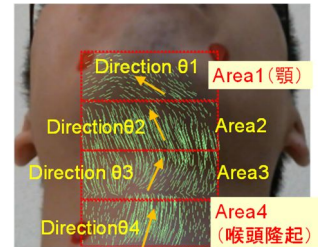
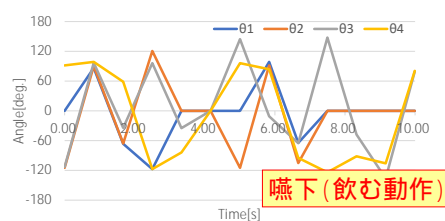


図 6 計測領域の分割



(b)嚥下

図 7 各計測領域でのメディアン値の時系列波形

さらに、詳細に解析するため、図 8 に示されるように、喉元の注目領域における特徴点の移動ベクトルに着目し、 $-180$  度から  $+180$  度まで  $30$  度ごとに分類することで、観測された特徴点の分布量をヒストグラム化して解析を行った。その結果、図 9 に示されるように、咀嚼の場合には特徴点フローの角度分布が特定の方向に集まっており、水平方向を  $0$  度と定めると、 $+90$  度および  $-90$  度の鉛直方向の動きを繰り返していることが確認された。その一方で、嚥下の場合には喉頭隆起の動きによって特徴点フローが乱れ、あらゆる角度方向の動きが観測された。これらの異なる角度分布の特徴を利用して、ニューラルネットワークにより、“動きなし”、“咀嚼”、“嚥下”の 3 つの状態判別が可能な認識システムを構築した。ここでは特徴点フローについて、 $12$  分割された角度分布量を正規化し、昇順に並べ替えを行ったものを入力信号として学習させた。学習させた重みパラメータを利用することで、検証実験を行った結果、注目領域については、顎下側から喉頭隆起下側にかけての範囲を設定することで、より正確に判別されることが分かった。また、顔の向きについては、カメラ正面に対して上を向いた状態として喉元を強調させた方が、判別結果はよくなることが確認できた。図 10 は判定の様子を表しており、最終的には適切な条件下において、“咀嚼”ならびに“動きなし”は  $100\%$ 、そして“嚥下”については  $90\%$  の確率で認識できた。

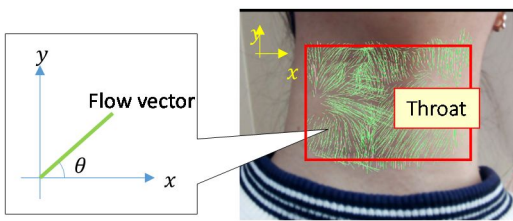


図 8 特徴点の移動ベクトル

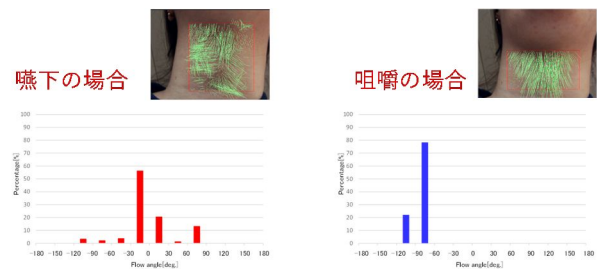


図 9 特徴点の移動ベクトルの角度分布



咀嚼の場合



嚥下の場合

図 10 判別結果の例

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 N. Nakazawa, Y. Takigawa, T. Matsui	4. 巻 Vol.3, No.1
2. 論文標題 Development of Training Software for Elderly Persons Practicing a Squat Exercise	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Mechanical and Electrical Intelligent System	6. 最初と最後の頁 16-21
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 A. Suzuki, N. Nakazawa, Y. Tanaka, F. Wang, T. Matsui	4. 巻 Vol.4, No.1
2. 論文標題 Facial Exercise Support Equipment for Prevention of Pulmonary Aspiration Using Mouth Pressure Fluctuation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Technology and Social Science	6. 最初と最後の頁 48-52
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Nakazawa Nobuaki, Faculty of Science and Technology, GunmaUniversity, 29-1 Ota, Gunma 373-0057, Japan, Matsui Toshikazu, Fujii Yusaku	4. 巻 13
2. 論文標題 Development of an Intuitive Interface for PC Mouse Operation Based on Both Arms Gesture	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Software	6. 最初と最後の頁 453 ~ 459
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.17706/jsw.13.8.453-459	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 2件/うち国際学会 7件）

1. 発表者名 中沢信明
2. 発表標題 スクワット運動における手摺りの効果
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス学術講演会ROBOMECH2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大野佑香
2. 発表標題 色情報を利用した顔の位置検出
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス学術講演会ROBOMECH2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 関口雄紀
2. 発表標題 オプティカルフローを用いた動画像からの小動物の検出
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス学術講演会ROBOMECH2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Nobuaki Nakazawa
2. 発表標題 Human Detection in Restricted Area at Construction Site
3. 学会等名 The 4th International Conference on Technology and Social Science (ICTSS2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 N. Nakazawa
2. 発表標題 Human Interface for Welfare-Support Equipment
3. 学会等名 International Conference on Mechanical, Electrical and Medical Intelligent System 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 N.Nakazawa
2. 発表標題 Recognition of Face Orientations Based on Nostril Feature
3. 学会等名 International Conference on Technology and Social Science 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 N.Nakazawa
2. 発表標題 Recognition of Kinect User Based on Template Matching
3. 学会等名 International Conference on Technology and Social Science 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 阿部雄行
2. 発表標題 色の濃淡を利用した鼻孔位置の検出
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス学術講演会 ROBOMECH2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 増田健太
2. 発表標題 動画像処理による人数計測システムの開発
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス学術講演会 ROBOMECH2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tetsuya Kawashima
2. 発表標題 Study on Candidate Narrowing Down Method for Nostril and Mouth Detection
3. 学会等名 International Conference on Mechanical, Electrical and Medical intelligent System 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nobuaki Nakzawa
2. 発表標題 Development of hands-free interface based on feature value of eye for operation of communication aid
3. 学会等名 International Conference on Mechanical, Electrical and Medical intelligent System 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Feng Wang
2. 発表標題 Development of a Thermal Sensor Imitating Human Tactile Temperature Sensation
3. 学会等名 International Conference on Technology and Social Science 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件



8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------