

令和 3 年 6 月 21 日現在

機関番号：15101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K13089

研究課題名（和文）違和感の少ない舌動作推定手法を利用した嚥下リハビリテーションシステムの構築

研究課題名（英文）Development of the swallowing rehabilitation system using tongue motion estimation by intraoral electromyography.

研究代表者

中谷 真太郎（NAKATANI, Shintaro）

鳥取大学・工学研究科・講師

研究者番号：10781700

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では摂食・嚥下において重要な働きをする舌運動に着目し、舌の運動状態を専用のマウスピースから推定し、リアルタイム提示することで嚥下リハビリテーションを補助するシステムを構築することを目的とした。使用者専用のマウスピースに設置した電極から歯ぐき上の電位変化を計測し、得られた信号から舌の動作状態を推定することができることを確認した。この手法はこれまでの舌動作計測手法と異なり、違和感が少なく、長時間の安定した計測も可能である。加えて、舌の上下運動を行うための新規なロボット装置も製作した。この装置は舌に一定の負荷をかけた状態での俊敏さを評価するものであり、新たな運動評価指標につながる可能性がある。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在、口腔機能低下（オーラルフレイル）の予防やオーラルフレイル状態からの回復を目的とした摂食・嚥下リハビリテーションが提唱され、様々な取り組みが進められている。しかし適切なリハビリテーションのためには医師・看護師・作業療法士など専門家チームのサポートが必要となり、すべての患者に対して行うことは難しい。また、嚥下能力強化のための体操（嚥下体操）なども提案されているが、本人にその効果が見えづらいことから継続のためのモチベーション維持が難しい。本研究の成果は、専門家チームのサポートがなくても嚥下能力を強化し、リハビリテーションの成果を客観的に評価できる手法として利用することが期待できる。

研究成果の概要（英文）：The tongue movement plays an important role in eating and swallowing. In this study, we constructed a system to assist swallowing rehabilitation to show the own motion of the tongue using a cursor on display. We measured the potentials on the gum from the electrodes installed on the mouthpiece. The signals were translated to the frequency domain using Fourier transform and split into specific bands for calculating the feature signals. We used the feature signals to estimate the motion of the tongue. This method is less uncomfortable and can use for long-term stable measurement, unlike conventional methods. Additionally, we developed a novel robotic device for vertical tongue movement. This device evaluates the agility of the tongue under a load, which may lead to a new evaluation index of tongue movement.

研究分野：知能機械・機械システム

キーワード：オーラルフレイル ニューロリハビリテーション インピーダンス制御 筋電位 等張性収縮

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

頭皮上の電位変化から脳活動の推定を行い、考えたことを実現する Brain-Machine Interface をはじめとした生体インタフェースに関する研究を行ってきた。これらの研究分野は運動機能に障害を持った人びとの QOL (Quality of life) 向上に役立つだけでなく、神経活動を可視化することにより、神経生理学の知見に基づいた効果的なリハビリテーションが可能になると期待されている。

人にとって摂食・嚥下は生きる喜びそのものとされることもあるが、これらの能力はあくまで筋の協調によって実現されている。これにより微小重力下であっても健康人は食事を行える一方、高齢や疾病などによる運動能力の低下は摂食・嚥下機能に障害を発生させ、肺炎などの重篤疾患を引き起こすこともある。

現在、図1に示すように口腔機能の低下（オーラルフレイル）状態の予防や回復を目的とした摂食・嚥下リハビリテーションが提唱され、様々な取り組みが進められている。しかし、適切なリハビリテーションのためには医師・看護師・作業療法士など専門家チームのサポートが必要となり、すべての患者に対して行うことは難しい。また、嚥下能力強化のための体操（嚥下体操）なども提案されているが、本人にその効果が見えづらいことから継続のためのモチベーション維持が難しい。そこで、専門家のサポートがなくとも嚥下能力を強化し、成果を客観的に評価できる手法が求められている。

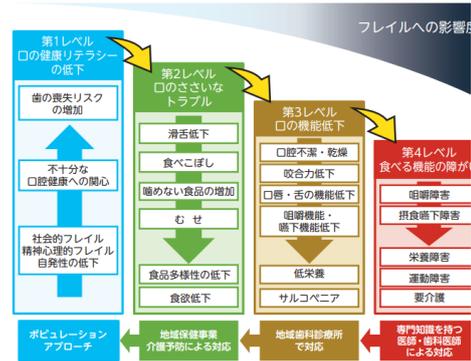


図1：オーラルフレイルの概念（日本医師会、通いの場で活かすオーラルフレイル対応マニュアル、2020）

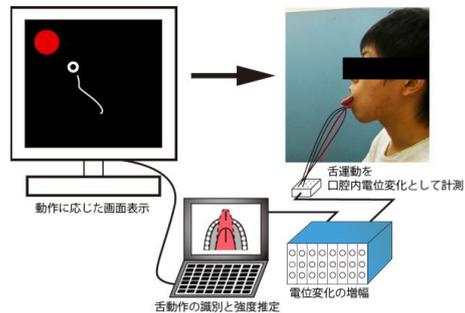


図2：口腔内電位からの舌動作識別にもとづく嚥下リハビリテーション支援システム

2. 研究の目的

本研究において摂食・嚥下において重要な働きをする舌運動に着目し、舌の運動状態を専用のマウスピースから推定し、リアルタイム提示することで嚥下リハビリテーションを補助するシステムを構築することを目的とした(図2)。従来、図3に示すように使用者専用のマウスピースに設置した電極から歯ぐき上の電位変化を計測し、得られた信号から舌の動作状態を推定することができることを確認していた[1]。この手法はこれまでの舌動作計測手法と異なり、違和感が少なく、長時間の安定した計測も可能である。

具体的には、

- リアルタイムに舌動作の状態を識別する手法の確立と、使用者にフィードバックするシステムの構築
- 健常者による舌運動トレーニングの実施

を行った。これらの成果をもとに、患者さんに対する摂食嚥下リハビリテーションの実施や、嚥下体操など既存手法の定量的な評価、舌の運動状態をリアルタイムフィードバックすることの影響についても検討した。

3. 研究の方法

(1) 専用のマウスピースによる歯ぐき上での舌動作の計測

舌動作計測のために歯科用マウスピース作製を行った。従来マウスピースの作製には、鳥取大学医学部付属病院の小谷勇教授と中力直樹歯科技工士の協力を得た。このとき、電極の設置場所や設置数について妥当性を検討した。

(2) 舌のみでマウス操作ができるシステム製作

計測された信号をもとに、舌動作の識別を行う手法について検討した。舌の動作として、主に舌の突き出し動作を担うオトガイ舌筋および舌を上口蓋に押し上げるような動作を担う莖突舌筋の活動を計測した。

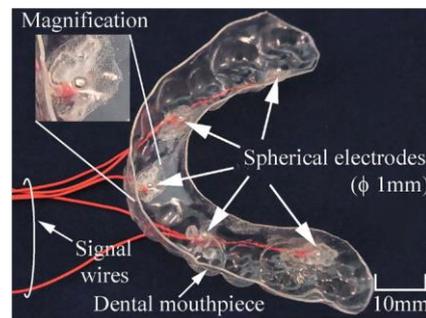


図3：歯ぐき上電位測定装置

得られた信号を周波数帯域ごとに分割し特徴量とすることで舌動作の識別が可能であるというこれまでの結果をもとに舌動作のリアルタイム識別を行い、識別結果に応じてコンピュータのカーソルをマウスのように動かすことができるシステムを構築した。

この時、操作性の評価はマンマシンインタフェースにおける人間の動きのモデルである *fitt's 則* により行った。

(3) 舌運動トレーニング装置の製作

口腔内の舌の動きを計測するための方法として、圧力シートやバルーン型舌圧計による舌圧測定があるが、これらは舌先端にかかる静的な圧力をはかるものであり、俊敏性を評価できない。一定時間内に特定の音節 (/pa/, /ta/, /ka/) を何度発声できたかを評価するオーラルディアドコキネシスは舌動作の俊敏性を示すものの、舌に負荷を与えることはできない。舌に負荷を与えつつ俊敏性の評価・トレーニングが可能な装置を製作した。

(4) 嚙下りハビリテーションに向けた舌運動の評価

健常者に嚙下りハビリテーションに必要な運動(特に舌の運動, 頬の運動, 口の運動)を行わせ, その際の電位変化を記録することで嚙下りハビリテーションにとって有用な指標の抽出を目指した。

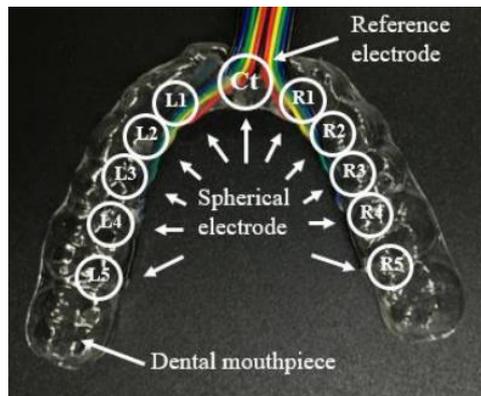


図4：計測 ch 数を倍にした新電極[1]

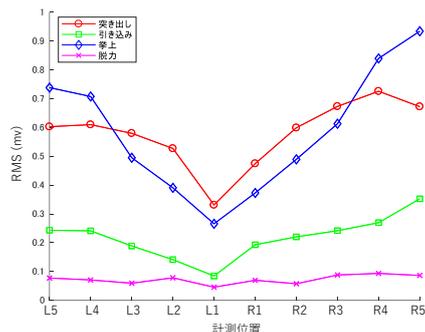


図5：異なる動作を行った際の各位置での電位の実効値[1]

4. 研究成果

(1) 専用のマウスピースによる歯ぐき上での舌動作の計測

舌動作計測のための歯ぐき上の電極設置位置を検討するため, 下あご歯ぐき上の10点に電極を設置し電位計測を行った(図4)。ここで舌の動きとして, 突き出し, 引き込み, 挙上, 脱力の4つの動作を行ったところ, 第1, 第2大臼歯付近の口の奥での信号と犬歯などの口の先での信号で振幅の大小が変化しているものの, 口腔内の位置によらず動きによる信号の変化を測定可能であることが明らかになった[1] (図5)。

(2) 舌のみでマウス操作ができるシステム製作

次に, 計測された信号をもとに, 舌動作の識別を行う手法について検討した。得られた信号を周波数帯域ごとに分割し特徴量とすることで舌動作の識別が可能であるというこれまでの結果をもとに舌動作のリアルタイム識別を行い, 図6に示すように, 識別結果に応じてコンピュータのカーソルをマウスのように動かすことができるシステムを構築した[2]。この時, 操作者は任意の軌道を追従することができ(図7左), 操作性の評価はマンマシンインタフェースにおける人間の動きのモデルである *fitt's 則* により行った[3] (図7右)。また, 舌動作の素早い識別と正確な識別の間のトレードオフを解決するために識別器にフィルタ構造を組み込む手法を提案した[4] (図8)。

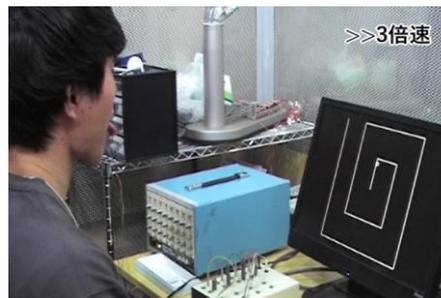


図6：舌の動きに応じて画面上のマウスカーソルを動作させるシステム[2]

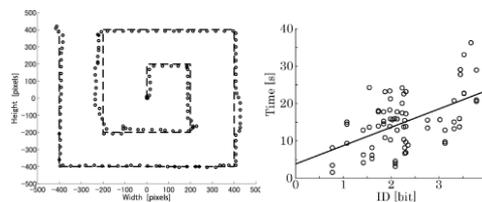


図7：システムを利用した任意の経路追従実験(右)と, 操作難易度と要した時間の関係(左) [3]

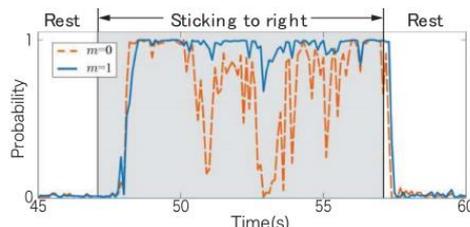


図8：識別性能と時間応答性のトレードオフを考慮した識別器[4]

### (3) 舌運動トレーニング装置の製作

舌の運動機能が低下した際、運動機能の評価やトレーニングに利用できる、舌に任意の負荷を与えながら俊敏性を評価できる装置を製作した[5,6] (図9)。

舌に加える力を一定に保ちながら舌の上下動作を行った。このとき口腔内の電位変化を計測したところ、舌尖の位置に応じて発生する筋活動量が変化することが確認できた[7] (図10)。

本装置の安全性を確保するために、直列弾性要素を利用したアクチュエータの位置制御によるインピーダンス制御を実現している[8] (図11)。

### (4) 嚙下りハビリテーションに向けた舌運動の評価

健常者に嚙下りハビリテーションに必要な運動(特に舌の運動、頬の運動、口の運動)を行わせ、その際の電位変化を記録することで嚙下りハビリテーションにとって有用な指標の抽出を目指した。

本装置を利用して観測された個人の舌運動能力については、健常者の運動機能の向上について評価したところ運動機能向上の可能性が見られた[9]。また、従来の評価指標である押しつけ圧と正の相関を示し、オーラルディアドコキネシス(/ta/の時)と負の相関を示した[10] (図12)。このことは、舌に負荷を与えながら俊敏性を評価することは、従来の指標と関連しているものの新たな評価軸を提供することになる可能性がある。

舌の突き出し動作についても、口腔内の電位変化をもとに舌の突き出し運動を推定するモデルを作成し、口腔内の電位変化から最大押しつけ力の推定を行うことができた[11] (図14)。

#### ●研究当初予想していなかった成果

本研究で製作した口腔内電位でカーソルを操作するシステムを使った実験を進める中で、いかにして被検者の運動能力に応じた調整を行うべきかという問題に取り組んだ。このとき、人間を閉ループ内部に含んだ自動制御のモデルとして捉え、アシストシステムを自動で調整するための手法を提案した[12-16]。この考え方は、舌のリハビリテーションにとどまらず機械と人間が協調動作する様々システムに共通する問題であり、今後も研究を継続する予定である。

#### ●研究当初予定していたが未達成の成果

口腔内電位変化の計測を小型化することを予定していたが、実験の遅れや社会情勢の問題等もあり実装に至らなかった。格安の生体信号計測用無線アンプとしてCyton board (Open BCI)が利用できることは確認済みであり、今後実装を行う。

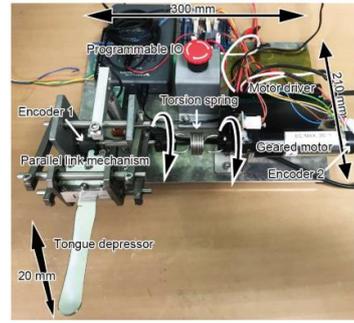
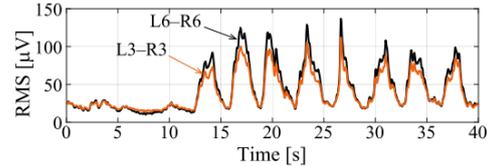


図9：製作したトレーニング装置



(c) RMS signals measured on the gums.

図10：動作中の口腔内電位変化

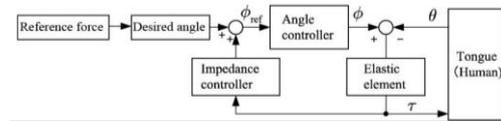
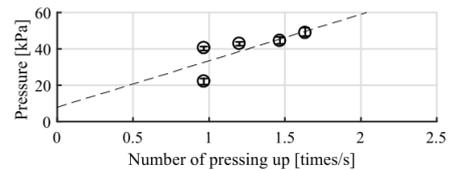
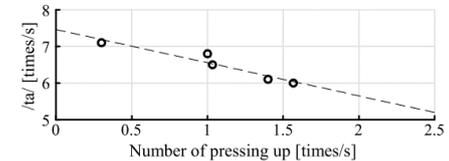


図11：インピーダンス制御による安全性の確保



(a) 舌押しつけ圧と提案手法の正の相関



(b) オーラルディアドコキネシスと提案手法の負の相関

図12：製作した装置を使った実験結果

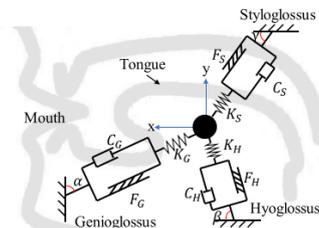


図13：舌の突き出しモデル[11]

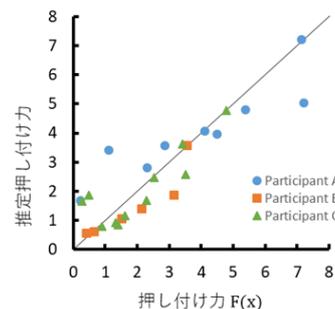


図14：押しつけ力の推定[11]

## 研究成果の公表状況

- [1] 岡本望, 中谷真太郎, 西田信一郎, “舌動作推定のための電極付きマウスピースの製作,” *日本設計工学会 2018 年度秋季研究発表講演会*, 2018.
- [2] S. Nakatani, N. Churiki, I. Kodani, and S. Nishida, “A tongue – computer interface using intraoral electric potentials for tongue muscles rehabilitation,” in *Proceedings of the SICE Annual Conference 2018*, 2018, pp. 1608–1611.
- [3] 中谷真太郎, 荒木望, 西田信一郎, “舌の運動リハビリテーションシステムのための健常者運動能力評価,” *人間工学会関西支部大会*, 2017. (日本人間工学会関西支部 優秀発表賞 受賞)
- [4] 石川智紹, 中谷真太郎, 西田信一郎, “舌の即時動作分類のための多クラス分類法の研究,” *Proceedings of the 2019 IEEE SMC Hiroshima Chapter Young Researcher’s Workshop*, 2019, pp. 83–86.
- [5] 星隈宇, 中谷真太郎, 西田信一郎, “嚥下リハのための舌の上下運動中における運動機能評価,” *日本機械学会 2018 年度年次大会*, 2018, p. 163020.
- [6] 星隈宇, 中谷真太郎, 西田信一郎, “舌の動作中における運動機能評価用デバイス,” *日本設計工学会 2018 年度秋季研究発表講演会*, 2018.
- [7] 中谷真太郎, 星隈宇, 中力直樹, 小谷勇, 西田信一郎, “茎突舌筋の等張性運動を引き起こす舌運動トレーニング装置,” *電気学会論文誌 C*, vol. 138, no. 11, pp. 1453–1454, 2018, doi: 10.1541/ieejieiss.138.1453.
- [8] T. Hoshikuma, S. Nakatani, and S. Nishida, “Tongue elevation training under constant pressure using a tongue training device,” *Proceedings of the SICE Annual Conference 2019*, 2019, pp. 1708–1710.
- [9] 星隈宇, 中谷真太郎, 西田信一郎, “健常者を対象とした舌の等張性運動時の運動能評価,” 第 10 回ニューロリハビリテーション学会学術集会, 2019.
- [10] 中谷真太郎, 星隈宇, 西田信一郎, 中力直樹, 小谷勇, “舌の運動機能評価のための動的抵抗訓練装置,” *日本機械学会論文集*, vol. 86, no. 892, pp. 20-00229–20-00229, 2020, doi: 10.1299/transjsme.20-00229.
- [11] 岡本望, 中谷真太郎, 西田信一郎, “舌の運動モデルを用いた口腔内電位変化による舌運動の推定,” *日本機械学会中国四国支部総会*, 2019, pp. 1–2, doi: 10.1299/jsmeecs.2019.57.1104.
- [12] 中谷真太郎, 西田信一郎, “患者の運動能力に応じた舌運動訓練システムの設定法,” in *制御部門マルチシンポジウム*, 2019.
- [13] 中谷真太郎, 西田信一郎, “舌動作マウスのカーソルダイナミクス,” in *2019 IEEE SMC Hiroshima Chapter Young Researchers’ Workshop*, 2019, pp. 87–91.
- [14] 中谷真太郎, “ヒューマン・イン・ザ・ループシステム内に存在する識別器の出力補償,” *電気学会研究会資料. CT (システム 制御合同研究会 制御工学と機械学習の最新動向)*, 2019, p. ST-19-053/CT-19-131. (電気学会優秀発表賞 A 受賞)
- [15] 中谷真太郎, “リハビリテーションを目的としたマニュアルコントロール,” in *電気学会研究会資料. CT 2020*, 2020, pp. 90–94. (電気学会技術委員会奨励賞受賞)
- [16] 中谷真太郎, 桜間一徳, 西田信一郎, “舌運動リハビリテーションシステムのダイナミクス設計と患者の運動能力に応じた自動調整法,” *計測自動制御学会論文集*, vol. 56, no. 3, pp. 167–175, 2020, doi: 10.9746/sicetr.56.167.

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 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 NAKATANI Shintaro, SAKURAMA Kazunori, NISHIDA Shin-Ichiro	4. 巻 56
2. 論文標題 Dynamics Design and Data-driven Tuning of the Rehabilitation System for Tongue	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Transactions of the Society of Instrument and Control Engineers	6. 最初と最後の頁 167 ~ 175
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.9746/sicetr.56.167	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 -

1. 著者名 Nakatani Shintaro, Hoshikuma Takashi, Churiki Naoki, Kodani Isamu, Nishida Shin-Ichiro	4. 巻 138
2. 論文標題 An Isotonic Training System for Tongue Rehabilitation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems	6. 最初と最後の頁 1453 ~ 1454
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.138.1453	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 HOSHIKUMA Takashi, NAKATANI Shintaro, NISHIDA Shin-Ichiro, CHURIKI Naoki, KODANI Isamu	4. 巻 86
2. 論文標題 Dynamic resistance training device for evaluation of tongue motor function	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Transactions of the JSME (in Japanese)	6. 最初と最後の頁 20-00229
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/transjsme.20-00229	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19件（うち招待講演 1件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 中谷真太郎
2. 発表標題 ヒューマン・イン・ザ・ループシステム内に存在する識別器の出力補償
3. 学会等名 電気学会制御・システム 合同研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石川智紹, 中谷真太郎, 西田信一郎
2. 発表標題 舌の即時動作推定のための多クラス分類法の研究
3. 学会等名 IEEE SMC Hiroshima Chapter Young Researchers ' Workshop
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中谷真太郎, 西田信一郎
2. 発表標題 舌動作マウスのカーソルダイナミクス
3. 学会等名 IEEE SMC Hiroshima Chapter Young Researchers ' Workshop
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 星隈宇, 中谷真太郎, 西田信一郎
2. 発表標題 健常者を対象とした舌の等張性運動時の運動能評価
3. 学会等名 第10回日本ニューロリハビリテーション学会学術集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Hoshikuma, S. Nakatani, and S. Nishida
2. 発表標題 Tongue elevation training under constant pressure using a tongue training device
3. 学会等名 SICE 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shintaro Nakatani, Naoki Churiki, Isamu Kodani and Shin-Ichiro Nishida
2. 発表標題 A tongue-computer interface using intraoral electric potentials for tongue muscles rehabilitation
3. 学会等名 SICE Annual Conference 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡本望, 中谷真太郎, 西田信一郎
2. 発表標題 舌動作推定のための電極付きマウスピースの製作
3. 学会等名 日本設計工学会秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 星隈宇, 中谷真太郎, 西田信一郎
2. 発表標題 舌の動作中における運動機能評価デバイス
3. 学会等名 日本設計工学会秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡本望, 中谷真太郎, 西田信一郎
2. 発表標題 舌の運動モデルを用いた口腔内電位変化による舌運動の推定
3. 学会等名 日本機械学会中国四国支部講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石川智紹, 中谷真太郎, 西田信一郎
2. 発表標題 舌のリアルタイム動作推定のための多クラス分類法の研究
3. 学会等名 日本機械学会中国四国支部卒業研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中谷真太郎, 西田信一郎
2. 発表標題 FRITによる患者の運動能力に応じた舌運動訓練システムの設計
3. 学会等名 第6回制御部門マルチシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 星隈宇, 中谷真太郎, 西田信一郎
2. 発表標題 嚙下りハビリテーションのための舌の上下運動中における運動機能評価
3. 学会等名 日本機械学会 2018年度年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中谷真太郎
2. 発表標題 口腔内電位計測による舌運動状態の推定とリハビリテーションへの展開
3. 学会等名 日本機械学会中国四国支部機素潤滑設計技術研究会(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中谷真太郎, 荒木望, 西田信一郎
2. 発表標題 舌の運動リハビリテーションシステムのための健常者運動能力評価
3. 学会等名 日本人間工学会関西支部
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 星隈宇, 中谷真太郎, 西田信一郎
2. 発表標題 舌のダンベルトレーニング装置
3. 学会等名 日本機械学会中国四国学生会第48回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡本望, 中谷真太郎, 西田信一郎
2. 発表標題 舌の運動モデルを用いた口腔内電位変化による舌運動の推定
3. 学会等名 日本機械学会中国四国支部総会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中谷真太郎, 西田信一郎
2. 発表標題 患者の運動能力に応じた舌運動訓練システムの設計法
3. 学会等名 制御部門マルチシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中谷真太郎
2. 発表標題 リハビリテーションを目的としたマニュアルコントロール
3. 学会等名 電気学会研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中谷真太郎
2. 発表標題 ヒューマン・イン・ザ・ループシステム内に存在する識別器の出力補償
3. 学会等名 電気学会研究会 (システム 制御合同研究会 制御工学と機械学習の最新動向)
4. 発表年 2019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
連携研究者	西田 信一郎  (NISHIDA Shin-Ichiro)  (50358529)	鳥取大学・工学研究科・特任教授   (15101)	
連携研究者	小谷 勇  (KODANI Isamu)  (10294315)	鳥取大学・医学部・教授   (15101)	

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
---------	---------