

令和 4 年 6 月 27 日現在

機関番号：32706

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18K10977

研究課題名（和文）熟練者の視線を繰り返し体感できるVR型サーフィン・トレーニングシステムの実現

研究課題名（英文）Development of a VR-type surfing training system that allows you to repeatedly experience the eyes of an expert

研究代表者

堀越 力（TSUTOMU, HORIKOSHI）

湘南工科大学・工学部・教授

研究者番号：00739782

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,900,000円

研究成果の概要（和文）：サーフィンの初心者と熟練者では筋肉の使い方が大きく異なる。初心者と熟練者で下肢の筋電センサの値を解析した結果、似たような姿勢であっても筋肉の弛緩状態が異なり、力を入れるタイミングや動作時間も大きく異なることがわかった。また、再帰型ニューラルネットワークを利用し、EMGセンサのみの情報から足の動きを推定できることを示し、サーフィン時の力の入れ具合を可視化可能であることを示した。また、熟練度に応じて、足下が不安定な状態でも体勢を維持できる、或いは戻せる能力に有意な差があることもわかった。一方、サーファーに多い腰痛は、背骨の彎曲具合を確認することで腰痛を事前に予防できる可能性も見えてきた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

サーフィンは幅広い世代に親しまれ、健康維持にも効果的なスポーツである。しかしながら、サーフィンは他のスポーツに比べ、科学的検証を踏まえた指導方法が確立していない。現状は、熟練者の動きを見様見真似で各自が独自の方法で練習を繰り返している。また、海が凪いでいるときや荒れている時に練習が出来ない。このようなスポーツであるからこそ、VRを利用することで、場所・時間を選ばずに、熟練者との違いを比較しながらのトレーニングが効率的に出来るようになる。従来、科学的根拠に基づいた指導が出来なかったスポーツとしては、非常に有用な技術になると期待できる。

研究成果の概要（英文）：Beginners and experts in surfing differ greatly in how they use their muscles. As a result of analyzing the values of the EMG sensors of the lower limbs between beginners and experts, it was found that the relaxed state of the muscles was different even in similar postures, and the timing of applying force and the operation time were also significantly different. We also showed that it is possible to estimate the movement of the foot from the information of only the EMG sensor using a recurrent neural network, and that it is possible to visualize the degree of force applied during surfing. It was also found that there was a significant difference in the ability to maintain or return to a posture even when the feet were unstable, depending on the skill level. On the other hand, for low back pain, which is common among surfers, it has become possible to prevent low back pain in advance by checking the degree of bending of the spine.

研究分野：バーチャルリアリティ

キーワード：バーチャルリアリティ サーフィン スポーツトレーニング 再帰型ニューラルネットワーク EMGセンサ

### 1. 研究開始当初の背景

(1) サーフィンは年齢にかかわらず楽しめるとともに、健康維持に非常に適したスポーツとして、近年注目されているスポーツである。しかし、科学的検証をふまえた指導方法が確立しておらず、熟練者の動きを見様見真似で学習していることがほとんどであり、指導に関する科学的研究の報告例はほとんどない。

(2) 自然を相手にしたサーフィンやウィンドサーフィンなどのマリンスポーツは、全く同じ波や風等の状態を再現した繰り返し練習ができない。しかし、バーチャルリアリティ (VR) 技術の進歩に伴い、様々なスポーツを疑似的に体験することが可能となった。

### 2. 研究の目的

(1) 初級者と熟練者に関して、サーフィンの一連の動作にどのような違いがあるかを、筋電センサの情報から定量的に判断可能かどうかを検証することを第一の目的とする。

(2) 計測データに基づいて、体験者の動きを視覚的に再現し、熟練者との違いを視覚的に提示するシステムの実現を第二の目的とする。

### 3. 研究の方法

最初に、研究の環境構築として、ヘッドマウントディスプレイ (HMD) 視聴によるサーフィン疑似体験システムを構築した。HMD の提示映像は、プロのサーファーによるサーフィンの 360 度映像を繰り返し再生している。

#### (1) サーフィン時の一連の動作中における筋肉弛緩状態の計測

サーフィンを行う際の筋肉の使い方に関して、初心者と熟練者でその違いを比較評価した。サーフィンのパドリング時 (サーフボードに横たわり、手で水をかきながら前進する状態) から、サーフボードの上に立ち上がり、数秒間サーフィンをしている体制を維持するという一連の動作 (約 15 秒) をしてもらい、その間の筋電を計測した。筋電の計測位置は、大腿四頭筋 (Quad)、ハムストリングス (H)、下腿三頭筋 (TS)、長趾伸筋 (TA) を計測対象とし、各足 4 力所ずつ、並びに、背骨を挟んで左右の腹筋 (Abs)、背筋 (Lat) の 4 力所、以上計 12 箇所とした。

サーファーと初心者のグループに分け、同一動作に関しての計測を実施した。

#### (2) 筋電情報による動き推定

通常、スポーツのトレーニングでは、身体の動かし方に着目する。そのため、モーションセンサーを用いて動きを再現する方法が一般的である。一方、初心者と熟練者の違いとして、姿勢は同じであっても筋肉の使い方が全く異なることが想定される。筋電センサとモーションセンサの二つを取り付けなくても、筋電センサのみで動きを解析できないかどうかの検証を行った。まず、トレーニング時の筋肉の動きを EMG センサで計測し、筋電信号のみから運動時の 3 次元の動きを再現する手法を考案した。

#### (3) サーファーの運動機能等の検証

トレーニングに於いて、運動機能の障害がないかを確認することも重要である。実際、サーファーは、腰痛が大きな課題となっている。サーフィンに限らずアスリートは、慢性的な障害では、病院に行くことも少なく、かなり悪化してから病院で診察をし、致命的な障害に至ることも少なくない。そこで、サーファーに多い腰痛に関して腰椎前弯の度合いを調査した。

### 4. 研究成果

#### (1) サーフィン体験時の筋電計測

サーフィン時の筋肉の弛緩状態を計測するために、筋電信号 (EMG) を計測した。筋電信号 (EMG 信号) はノイズが多いため、平滑化処理 (Average Rectified Value : ARV) によるノイズ除去を行っている。

動作シーケンスの特徴的な傾向として見られた点として、熟練者と初心者では、ハムストリングや長趾伸筋等に、初心者と熟練者の違いが見られる。

図 1(a) は、ハムストリング (H) の計測結果、図 1(b) は脛の部分の筋肉 (長趾伸筋) の計測結果である。共に、上段が初心者、下段が熟練者のデータである。熟練者は、瞬時に立ち上がり、その後安定した状

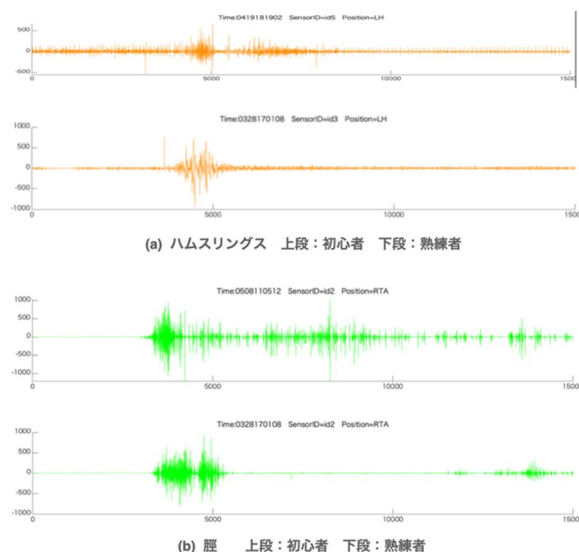


図1 筋電 (EMG) センサデータ

態で立ち続けている。一方、初心者は、立ち上がる動作自体にばらつきがあり、ボードに静止している状態であっても、筋肉に緊張状態が継続している傾向が見られる。

立ち上がり動作の筋電計測に当たっては、動作のタイミングのズレを調整しなければならない。合図に合わせて動作を開始したとしても、計測毎に動作開始のタイミングや動作シーケンスの長さが異なるため、これらを整合させる必要がある。今回の研究では、有効な対策は打つことが出来なかった。しかし、腹筋等の特徴的な動作に関しては、初心者や熟練者共に同じような波形を有する。そのため、腹筋等の筋電信号を基準に、動作タイミングを合わせる事が可能になると期待できる。以上のように、サーフボードに立ち上がる際に、どのタイミングで、どの筋が主導で動いているかを解析した結果、熟練者と未経験者では、筋肉の使い方に違いがあることがわかった。

また、前傾姿勢になるか、後傾姿勢になるかだけではなく、立ち上がる時の時間幅、つまり、ジャンプするように一気に立ち上がるのか、ゆっくりと足場を確認しながら立ち上がるのか等、立ち上がる動作も大きく異なる事が明らかとなり、これらの比較手段も今後の検討課題である。

現状では、データ量が十分ではないため、熟練者と初心者の筋肉の使い方の違いに関して、統計的に有意な差は得られていない。これは個人差があり、更に多くの被験者での検証が必要である。

## (2) 筋電情報による動き推定

筋電信号(EMGデータ)のみから3Dモーションの動きを推定できるかどうかを検討した結果、深層学習により学習したデータセットを利用し、EMGセンサのみから、骨格モデルの3Dモーションを再生可能であることを示した。

深層学習ツールは、MATLAB Deep-Learning Toolboxを使用している。筋肉の動き、足の動きは、連続した時系列データであるため、時系列に沿った過去の影響が強く含まれると想定する。そこで、時系列データの時間軸に沿った前後のデータの依存関係を学習できる長期短期記憶(LSTM)ネットワークを使った再帰型ニューラルネットワークを利用した。出力側のデータは、センサ装着位置の動きを4次元ベクトルのクォータニオン(x,y,z,w)で表現する。3次元空間での姿勢を表現するためには、従来オイラー角が使われているが、ジンバルロックという現象を回避できない。つまり、異なる軸の回転で、同じ姿勢(回転)を表現できてしまう現象である。4次元ベクトルのクォータニオンを用いることで回転・姿勢を一意に表すことが可能となる。本提案では、クォータニオンを出力値とすることで、EMG信号から動きを推定することを実現した。

今回は、異なる屈伸動作のシーケンスを4パターン用意し、大腿部、下腿部それぞれに2箇所、EMGセンサのデータを計測した。今回、LSTMによる深層学習に用いた隠れユニット層数は100、学習回数100回である。

学習ネットワークにより推定したモーションデータの精度検証として、EMGデータと、同時計測したモーションセンサの値を図2に示す。図2(a)は、モーションセンサの座標系、(b)は、屈伸運動を4回繰り返したときの計測データであり、上段はEMGセンサの計測結果であり、下段のグラフは、同時計測したモーションセンサによるクォータニオン(x,y,z,w)である。

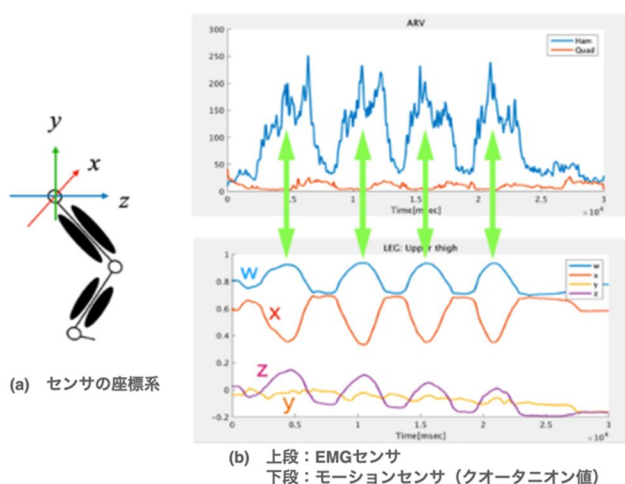
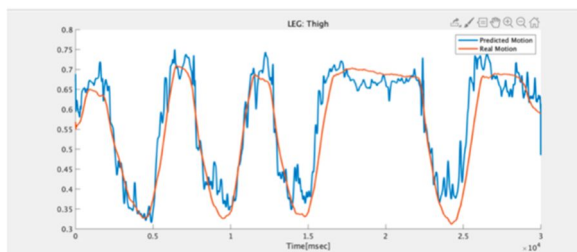
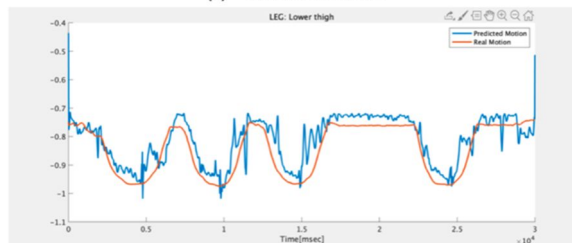


図2 筋電(EMG)センサ及びモーションセンサのデータ

図3が学習データに基づいて、大腿部の動きを予測したデータと実測に計測したモーションセンサによるクオータニオン値である。大腿部、下腿部の予測と実データを重畳表示している。実測のモーションデータは滑らかで、予測データはノイズが多いが、モーションセンサに近い動きを再現できていることから、筋電信号のみから動きを高精度に推定可能であることが確認出来た。



(a) 大腿部の動き推定



(b) 下腿部の動き推定

図3 筋電 (EMG)センサによる動き推定結果  
青線：予測結果、赤線：実際のモーションセンサ値

次に、筋肉の弛緩状態を可視化するアプリケーションを製作した。ゲーム統合開発環境のUnityを利用し、下肢8カ所に筋肉を配置した下肢骨格モデルを作成した。足の動きは筋電センサから推定した動きを用いて3Dアニメーションを生成する。また、足の運動に連動させて、筋電信号の値が大きい場合は、筋肉のモデルの色(赤色)を濃くすることで、運動時の筋肉の弛緩状態も確認できる3Dアニメーションを実現した。図4は、右足のみ筋電データの値を反映している状態を示している。

各部位の筋電の値がわかるため、筋肉モデルの色を変えることで、足の動きに合わせて、筋肉の弛緩状態をわかりやすく可視化することができるようになった。

### (3) サーファーズの運動機能等の検証

今回の計測にあわせて、サーファーズの身体能力等の調査を行った。熟練者と未経験者の静的平衡機能及び足趾筋力は有意な違いは認められなかったが、動的平衡能力(安定して立っていられる能力並びに体勢を崩したときに体勢を戻せる能力)は優位な差が見られた。

また、サーフィン歴に比例して、腰椎前弯値が低値となる傾向が明らかとなった。つまり、腰痛を知覚しなくとも、腰椎前弯の度合いを見ることで、腰痛障害の早期発見に繋がるということが可能であることが示唆された。

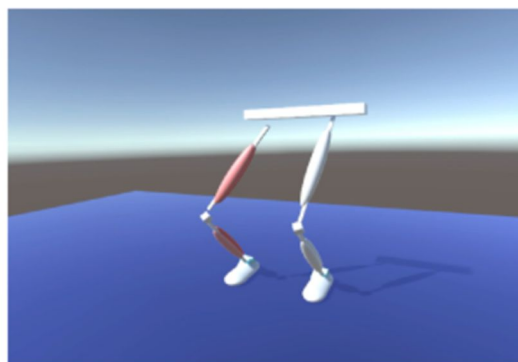


図4 筋電可視化アプリの実行画面  
右足のみ筋電の値が反映されている

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Yoshie NOGAMI, Tsutomu HORIKOSHI
2. 発表標題 Assessment of Lumbar Deformation in Surfer
3. 学会等名 European College of Sports Sceinece (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 堀越 力, 野上 佳恵
2. 発表標題 筋電信号を使った人体骨格モデルの 3Dアニメーション再生
3. 学会等名 映像情報メディア学会 立体映像技術研究会
4. 発表年 2020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
研究分担者	野上 佳恵  (Nogami Yoshie)  (90584441)	湘南工科大学・工学部・准教授    (32706)	

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