

令和元年6月24日現在

機関番号：12102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K16510

研究課題名（和文）人の水泳技能向上を支援する着用型トレーニング機器の開発

研究課題名（英文）Development of a wearable training device for facilitating swimming skills improvement

研究代表者

廣川 暢一（Hirokawa, Masakazu）

筑波大学・システム情報系・助教

研究者番号：60746303

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：水泳運動中の人の全身運動を簡便かつ広範な領域で計測するための着用型センサスーツを開発するとともに、着用者の水泳フォームを人工知能技術によりリアルタイムに分析・フィードバックするシステムを開発した。これにより、従来の目視や言語といった主観的な情報に基づく水泳指導の場面において、定量的なデータに基づく評価や指導を実現することで水泳学習者の水泳技量向上を支援するための手法を構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

開発した着用型センサスーツにより水泳訓練を効率化することで、水泳の習熟にかかる期間やコストが削減できるようになるとともに、着用型で簡便に使える計測機器としてプラットフォーム化することで、従来限られた設備でしか取得できなかった水泳に関する定量的なデータを大規模かつ多様に収集することができるようになると考えられる。これにより、水泳のバイオメカニクスに関する研究分野の促進に繋がるだけでなく、水中リハビリテーションなど水泳以外のアクティビティを対象とした定量データ計測のニーズにも対応することができる。

研究成果の概要（英文）：In this project, a wearable sensor suit which is capable of sensing the wearer's whole body movement during swimming has been developed. It also enables a real-time swimming form analysis and information feedback to the wearer by means of artificial intelligent technology, in order to achieve a quantitative evidence-based swimming training.

研究分野：ロボット工学，機械学習，スポーツ工学

キーワード：運動学習 水泳 ウェアラブル

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

水泳は水中で全身を協動的に運動させることで推進力を生み出すことでその速さを競う競技であり、推進力の生成や水の抵抗を減らすためには個々の手足における動作の正確さや力強さだけでなく四肢の間の協調性 (Inter-limb coordination, ILC) も重要な要素である。しかしながら、従来の水泳指導は目視での観察や言語による指導など人の主観的な情報に基づいて行われており、水中における人の運動状態を定量的かつ簡便に計測する方法や、それに基づく情報フィードバックにより全身の複雑な協調運動の学習を支援・促進するための手法は確立されていない。

2. 研究の目的

- (1) 着用者の運動を阻害せず、かつ大規模な設備を必要とせず水中での人の全身運動および ILC を定量的に計測することのできる、着用型センサスーツの開発。
- (2) (1)に基づき、着用者の水中における自身の運動状態の知覚 (自己運動知覚) を促進する実時間情報提示手法の開発。
- (3) 全身の協調運動の効果的な学習を支援するための基盤的理論や技術の確立。

3. 研究の方法

- (1) 着用者の運動を阻害せず水中での頑健な運動計測を実現する方法として、軽量で柔軟なプラスチック光ファイバーを曲げセンサとして用いる着用型センサスーツを開発する。また、ビデオ映像に基づく従来の分析手法や光学式モーションキャプチャとの比較により、その計測性能の評価を行う。
- (2) 計測した四肢の運動状態に基づき、左右や上下半身の協調度合いを評価するとともに、着用者に音情報としてフィードバックする。ここでは、左右の運動の対称性や位相差を音のリズムや高低といった音響情報に変換し、実時間で着用者にフィードバックすることで、水中における自己運動知覚の促進を図る。
- (3) 開発した実時間音響フィードバックによる水泳技量への影響を調査するための実験を行う。ここでは、提案手法によるトレーニングによる着用者の自己運動知覚が促進されることを確かめるための実験を行う。

4. 研究成果

- (1) 図 1 に開発した着用型センサスーツの概要を示す。水中での運動計測は、プラスチック製の光ファイバ (Plastic Optical Fiber, POF) を用いた曲げセンサをスーツに組み込むことで実現した。これは、POF 中を進む光が POF が曲がることで散乱することを利用し、POF の一端から LED で光を照射し反対側に取り付けた鏡に反射してきた光の強度を光電素子により電気信号に変換することで、シンプルな構造の曲げセンサとして機能する。今回使用した POF の直径は 1[mm] で少しの力で容易に曲がるため、水着に編み込んで本来的な水泳動作への影響は少ない。また、ファイバ部および末端部は全て受動的な光学部品で構成されているため防水の必要がなく、破損した際にも容易にできることから本研究の用途として適切であると言える。ここでは、計測対象として肩関節及び股関節の運動を計測するとともに、腰部にセンサの情報を集約しデータ処理や情報フィードバックのためのコントロールユニットを取り付けたプロトタイプを製作した。はじめに光ファイバの適切な取り付け位置を決定するために、光学式モーションキャプチャを用いて人が水泳動作を行なっている時の肩及び股関節付近の体表面の運動・変形を記録し、分析を行なった。それにより、対象としている水泳動作による変形が大きくなるような位置を明らかにするとともに、光ファイバを取り付けるための取り付け具を配置した。

また、このスーツを用いて実際に着用者の水中運動を計測した結果を図 2 に示す。こ

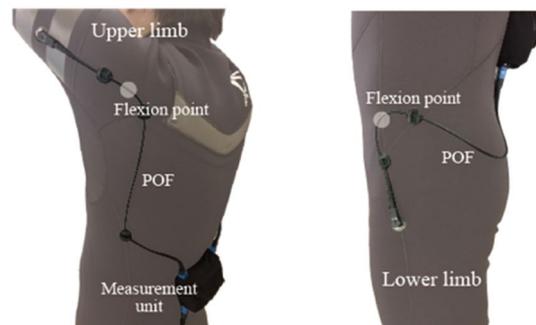


図 1 着用型センサスーツ

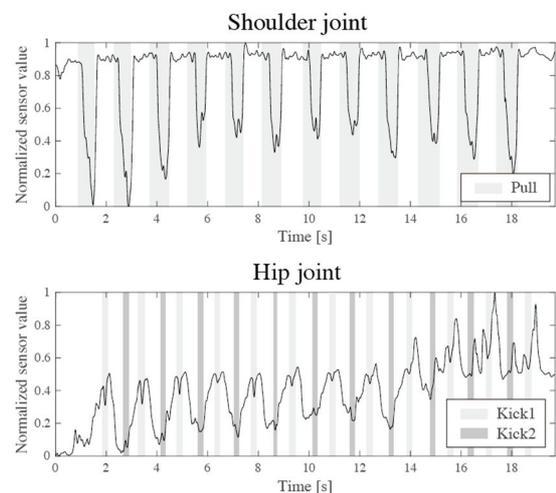


図 2 運動計測結果

ここでは、撮影したビデオ映像に基づく人の目視による判定結果との比較を行った。図2の上段/下段は肩関節/股関節の運動を開発したセンサにより計測した結果(実線)及び、目視でのストローク分析の結果(灰色で示した区間)を示している。その結果、開発したセンサにより四肢の運動を十分な時間的・空間的分解能で計測できていることが明らかになった。また本実験は3名の参加者により実施したが、全被験者において計測データと目視による判定結果に十分な一致が見られた。

- (2) (1)で開発した着用型センサスーツを用いて計測した四肢の運動情報から、手足のストロークの位相を推定する手法としてRecurrent Neural Network(RNN)に基づく推定手法を構築した。これにより、非線形な関節運動の時系列パターンから任意の時点でのストロークの位相を数パーセントの誤差で推定することが可能となり、これらの情報を音の大きさや高さに対応させる音響変換の手法を構築した。ここでは、計測した各関節の角度情報を直接的に音量や音の高さに変換する方法や、手足のストロークの対称性や位相差を異なる音響パラメータに変換して提示する手法を考案した。また、センサスーツの回路部には2chの音響生成用の回路及び一般的なイヤホンを接続できるコネクタを組み込み、センサスーツのみで外的なシステムを用いることなく全身運動の計測と分析、及び水中用イヤホンなどを通じた実時間フィードバックを行うことができる。

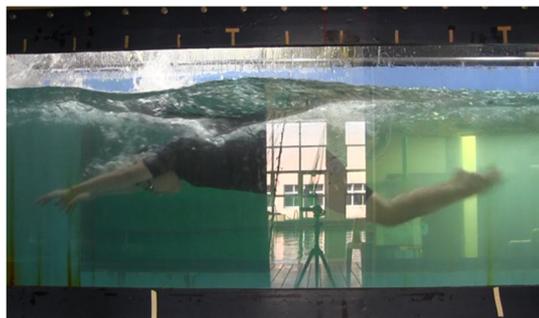


図3 フィードバック実験の様子

- (3) 開発した実時間音響フィードバック手法による、着用者の自己運動知覚への影響を検証するためのパイロット実験を実施した(図3)。ここでは、筑波大学の回流水槽を用いて1名の実験参加者にバタフライを泳いでもらい、手足の運動状態を音量及びインターバル音に変換してフィードバックを行うとともに、それぞれの場合における音響フィードバックの効果について聞き取り調査を行った。その結果、上半身の運動状態を音量情報に変換することで腕部の水泳フォームの全体的なイメージが掴み易くなることや、キックの動作に関してはインターバル音に変換して提示することで腕の動作に対するタイミングが把握し易くなるとのコメントが得られた。この結果から、泳者に自身の動作に起因する音響情報を実時間でフィードバックすることで、水泳技量の向上に資する新しい水泳トレーニング手法を考案するための重要な示唆が得られた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

- ・ Hirokawa, M. "Developing intelligent technologies to empower human capabilities of learning," Impact, 2019(4), 64-66, 2019.

〔学会発表〕(計3件)

- ・ 廣川 暢一, 言上 智洋, 高木 英樹, 鈴木健嗣, 「水泳における四肢の協働状態を計測する着用型センサスーツの開発: 第2報」, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 北九州, 2018.
- ・ 廣川 暢一, 高木 英樹, 鈴木健嗣, 「水泳における四肢の協働状態を計測する着用型センサスーツの開発」, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 福島, 2017.
- ・ 廣川 暢一, 鈴木 健嗣, 「人の水泳技能向上を支援する着用型トレーニング機器の開発」, 日本運動・スポーツ科学学会第23回大会, 2016年7月.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計1件)

名称: 評価装置、評価システム、評価方法及びプログラム

発明者: 廣川暢一

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特願 2017- 93006

出願年：2017
国内外の別： 国内

取得状況（計 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(2)研究協力者

研究協力者氏名：鈴木 健嗣

ローマ字氏名：(SUZUKI, kenji)

研究協力者氏名：高木 英樹

ローマ字氏名：(TAKAGI, hideki)

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。