

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 11 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26282174

研究課題名(和文)人間型スイマーロボットを用いた水泳研究プラットフォームの確立と展開研究

研究課題名(英文) Establishment of a research platform about human swimming using a humanoid swimmer robot and its developed study

研究代表者

中島 求 (Nakashima, Motomu)

東京工業大学・工学院・教授

研究者番号：20272669

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、人間型スイマーロボットを用いた水泳研究プラットフォームの確立を目的とし、スイマーロボットの性能向上を実現した。まず平泳ぎ泳実現のため、ロボットの下半身に改良を施した。遊泳実験の結果、ストローク周期2.3sで泳速度0.12m/sを達成した。次にバタフライ泳を実現した。実際のスイマーのバタフライの泳動作をロボットに投入し遊泳実験を行った。その結果、ストローク周期3.45sで泳速度0.181m/sを実現した。さらにクロール泳の性能向上を行った。ロボットのリカバリー動作を修正し、遊泳実験を行ったところ、泳速度0.33m/sの安定したクロール泳が実現され、大幅な性能向上が達成された。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to establish the platform for research of swimming using the humanoid swimmer robot. The improvement of swimming performance of the robot was realized in this study. In order to realize the breaststroke swimming, the lower half of the body of the robot was modified. As a result of the swimming experiment, the swimming speed of 0.12 m/s was attained for the stroke cycle of 2.3 s. Next the butterfly stroke was realized. Inputting the swimming motion of the butterfly stroke by an actual swimmer to the robot, the swimming experiment was conducted. As a result of the experiment, the swimming speed of 0.181 m/s at the stroke cycle of 3.45 s was realized. Finally, the swimming performance of the crawl stroke was improved. After the recovery motion of the robot was modified, the swimming experiment was conducted. The stable swimming at the swimming speed 0.33 m/s was realized.

研究分野：スポーツ工学

キーワード：水泳 スポーツバイオメカニクス

1. 研究開始当初の背景

水泳は、アスリートによる競技としても、一般人によるエクササイズとしても広く親しまれており、重要なスポーツである。また生体力学（バイオメカニクス）的な観点からも、現象として非常に複雑であり興味深いため、これまで様々な研究プラットフォームにより研究されてきている。第1の研究プラットフォームは被験者実験である。被験者をハーネスにより回流水槽に取り付け、泳者に作用する抵抗力を測定する試みや、被験者がパドルを押して水中を推進することにより、**active drag** と呼ばれる遊泳時に身体に作用する動的な抵抗力を測定する試みなどがなされている。しかし、被験者のスイマーが必ずしも所望の理想的な動作（例えば一定の同じ泳動作を繰り返すことや、完全に一定の姿勢を保つこと）を行えないことが常に問題となる。第2のプラットフォームは模型実験である。手部・前腕部の模型を水槽や風洞中に設置し、模型に作用する流体力を測定する研究が行われている。しかし、模型の形状や運動状態が人間の泳動作と異なることが常に問題となる。第3のプラットフォームはコンピュータシミュレーションである。スイマーに作用する流体力を何らかの定式化に基づき計算によって求める研究がなされている。しかし、実際の現象ではないため、妥当性検証が必要であることが常に問題となる。

上記の研究状況に対し代表者らは、第2の模型実験に対して、上肢・下肢いずれの泳ぎの動作も実現可能な水中ロボットアームを開発し、従来の実験よりはるかに人間の泳ぎに近い動作時での、四肢に働く非定常流体力特性の測定に世界で初めて成功した（H17～H19 若手研究(A)）。次いで、スイマーの身体形状を1/2スケールで詳細に再現したスイーママネキンロボットを開発し、水泳動作に近い状況での体幹に働く流体力測定を解明している（H20～H22 基盤研究(B)）。さらに近年、スイーママネキンロボットの四肢も動作する1/2スケールの人間型スイマーロボットを世界で初めて開発し、回流水槽での流体力の測定に成功している。また、第3のコンピュータシミュレーションに対しては、独自の流体力のモデル化に基づき、スイマー全身に作用する流体力を計算可能な力学シミュレータを開発し、さまざまな応用研究を行っている。

2. 研究の目的

上記の代表者らの研究の発展状況に基づき、本研究では、かつてない新たな第4の研究プラットフォームを確立することを提案する。上記の人間型スイマーロボットは、回流水槽に取り付けられていたが、自由遊泳（一切取り付け無しでの自由な状態における遊泳）にも試験的ではあるが成功している。そこでもし本スイマーロボットが被験者スイマーと同じように回流水槽やプールなど

で遊泳できるようになり、そのロボットにより実験できるようになれば、これはもはや上記第2の模型の範疇を超え、第1の被験者実験の替わりになり得ると考えられる。さらにロボットであれば同じ泳動作を正確に繰り返すことが可能であるため、上で述べた被験者実験における問題も解消されることとなり、水泳の力学的研究のための有力なプラットフォームとなり得ると考えられる。

3. 研究の方法

- (1) 開発済みの人間型スイマーロボットに対し、ハード・ソフトの両面から改良を施す。
- (2) 被験者スイマーの泳動作を実験により取得し、ロボットに入力し試験的に遊泳実験を行う。
- (3) 様々な被験者スイマーの泳動作をロボットに入力して実験を行う、個々のフォームの違いによる影響を測定する。
- (4) 開発済みの水泳の力学シミュレータを用いて、身体各部に作用する流体力などの実験では測定困難な項目を算出する。

4. 研究成果

本研究で得られた成果は主に

- (1) ロボットによる平泳ぎ泳の実現
- (2) ロボットによるバタフライ泳の実現
- (3) ロボットのクロール泳の性能向上

の三つに大別される。以下にそれぞれの項目の成果を述べる。

(1) ロボットによる平泳ぎ泳の実現

人間型スイマーロボット SWUMANOID は実際の競泳選手の1/2サイズのヒューマノイドロボットである。図1にSWUMANOIDの概要を示す。水をかいた腕を水上から前方に戻すリカバリー動作がスムーズに行えるよう、肩の部分にロール方向の運動を生成する scapular joint が配置されている。また、防水性とメンテナンス性を高めるためにOリングとXリング（クワッドリング）を用いている。ここ

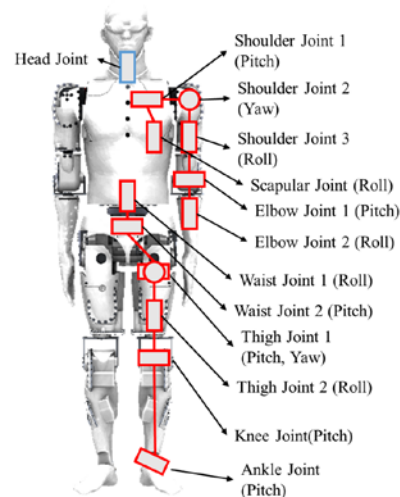


図1 SWUMANOID 概要

で、先行モデルでは下半身の自由度が不十分であり、平泳ぎ動作を生成することが不可能であった。そこで本研究では平泳ぎ動作を生成可能な新たな下半身を開発した。設計手法としては実際の競泳選手から取得した身体形状を基に、新たに股関節の外転、内転、外旋、内旋動作を実現するためのアクチュエータを配置した。その際、図2に示されるように、モデルとしての外観をなるべく損なわないようベルト・プリー機構、および平面4節リンク機構等の動力伝達機構を用いた。また、

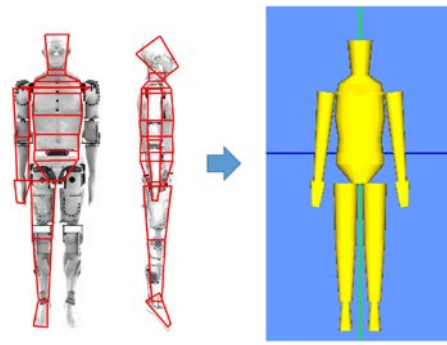


図4 シミュレーションモデル

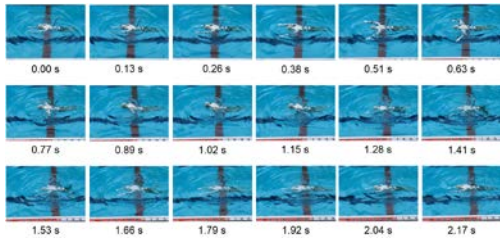


図3 平泳ぎの遊泳実験の様子

足首の回内、回外動作については可動域が比較的狭いことがわかっている。そこで、足首の回内、回外動作と屈曲、伸展動作が同時に実現可能となるようにアクチュエータを配置した。

実際のスイマーの泳動作を SWUMANOID に入力し、遊泳実験を行った。図3に遊泳実験の様子を示す。ストローク周期 2.3 s の場合である。上肢による水のかき動作、下肢によるキック動作ともに実現されていることが確認できる。このときの泳速度は 0.12 m/s であった。

(2) ロボットによるバタフライ泳の実現

ロボットに実際のスイマーのバタフライ泳の泳動作を入力した。また図4に示すロボットのシミュレーションモデルを製作し、シミュレーションによりバタフライ泳に適したストローク周期の検討を行った。検討の結果、比較的長いストローク周期の方が運動が安定することが判明したため、ストローク周期を 3.45 s とした自由遊泳実験を行った。図5に実験映像およびシミュレーション結果との比較を示す。実験の泳動作はシミュレーションとよく一致しており、意図した泳動作が実現されていることが確認された。またこのときの泳速度は 0.181 m/s となり、安定したバタフライ泳が実現された。

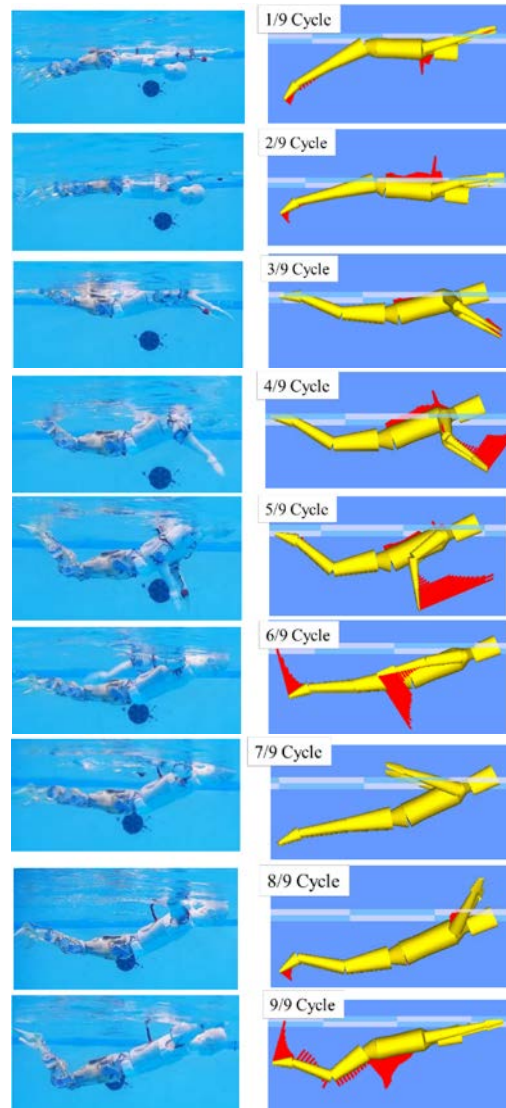


図5 遊泳映像とシミュレーション結果

(3) ロボットのクロール泳の性能向上

これまでのロボットのクロール泳では自由遊泳は試験的には成功していたものの、泳動作が安定しない問題を抱えていた。そこでクロール泳の安定性向上を試みた。これまでの遊泳実験のロボットの関節角度データを詳細に検討した結果、腕を空中から前方に戻すリカバリー動作において、角速度が多過ぎ、モータが追従できていない箇所があるこ

とが判明した。そのため、その泳動作データを修正し、遊泳実験を行った。その結果、安定したクロール泳が実現され、0.33 m/s の平均泳速度が得られた。これはこれまでの 0.23 m/s を大幅に更新するものであり、大幅な性能向上が達成された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

① Motomu Nakashima and Chang-Lung Tsai, Realization and Swimming Performance of the Butterfly Stroke by a Swimming Humanoid Robot, Journal of Aero Aqua Bio-mechanisms, 査読有, Vol. 6, No. 1, pp. 9-15, (2017)
DOI: 10.5226/jabmech.6.9

② Motomu Nakashima and Kosuke Kuwahara, Realization and swimming performance of the breaststroke by a swimming humanoid robot, ROBOMECH Journal, 査読有, Vol. 3, No. 1, pp. 1-10, (2016),
DOI: 10.1186/s40648-016-0049-z

[学会発表] (計 9 件)

① 角田 勇人, 中島 求, 水泳ヒューマノイドロボットにおけるクロール泳時のローリング制御 (実験による検討), 日本機械学会関東支部第 23 期総会・講演会, 2017 年 3 月 17 日, 東京理科大学葛飾キャンパス (東京都)

② 角田 勇人, 中島 求, 水泳ヒューマノイドロボットにおけるクロール泳時のローリング制御, 日本機械学会第 29 回バイオエンジニアリング講演会, 2017 年 1 月 20 日, ウィンクあいち (名古屋市)

③ 角田 勇人, 中島 求, 水泳ヒューマノイドロボットにおけるクロール泳時のローリングに関する研究, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2016 年 6 月 10 日, パシフィコ横浜 (横浜市)

④ 中島 求, Chang-Lung Tsai, 水泳ヒューマノイドロボット SWUMANOID によるバタフライ泳, 日本機械学会第 28 回バイオエンジニアリング講演会, 2016 年 1 月 9 日, 東京工業大学大岡山キャンパス (東京都)

⑤ Motomu Nakashima and Yuto Tsunoda, Improvement of crawl stroke for the swimming humanoid robot to establish an experimental platform for swimming research, 7th Asia-Pacific Congress on Sports Technology (APCST 2015), 2015 年 9 月 23 日, バルセロナ (スペイン)

⑥ Chang-Lung Tsai and Motomu Nakashima, Realization of the butterfly stroke by the swimming humanoid robot, 4th Korea-Japan Joint Symposium on Dynamics and Control, 2015 年 5 月 22 日, 釜山 (韓国)

⑦ 中島 求, 桑原 宏介, 水泳ヒューマノイドロボットによる平泳ぎの自由遊泳, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2015 (ROBOMECH2015), 2015 年 5 月 18 日, 京都市勧業館「みやこめっせ」(京都市)

⑧ 角田 勇人, 中島 求, 水泳ヒューマノイドロボットにおけるクロール泳時の安定性向上, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2015 (ROBOMECH2015), 2015 年 5 月 18 日, 京都市勧業館「みやこめっせ」(京都市)

⑨ 桑原 宏介, 中島 求, 水泳ヒューマノイドロボットによる平泳ぎの実現, 第 27 回バイオエンジニアリング講演会, 2015 年 1 月 10 日, 朱鷺メッセ新潟コンベンションセンター (新潟市)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]

ホームページ等

http://www.hei.sc.e.titech.ac.jp/nakashima_lab/motomu/index.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中島 求 (Motomu Nakashima)
東京工業大学・工学院・教授
研究者番号: 20272669