

機関番号：12608
 研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2008～2010
 課題番号：20300208
 研究課題名（和文） スイーママネキンロボットを用いた水泳時の体幹に働く非定常流体力特性の解明
 研究課題名（英文） Clarification of unsteady characteristics of fluid force acting on trunk during swimming using a swimmer mannequin robot
 研究代表者
 中島 求 (NAKASHIMA MOTOMU)
 東京工業大学・大学院理工学研究科・准教授
 研究者番号：20272669

研究成果の概要（和文）：本研究ではまず、スイーママネキンと水中物体3自由度駆動装置からなる、スイーママネキンロボットを開発した。次に本ロボットに実際のスイマーの泳動作を入力し、非定常流体力の測定実験を行った。そしてスイーママネキンを表現するシミュレーションモデルを作成し、実験再現シミュレーションを行い、シミュレーションモデル中のパラメータを調整することにより、高精度で実験を再現することができる、流体力モデルを実現した。

研究成果の概要（英文）：The swimmer mannequin robot, which consists of the swimmer mannequin and the underwater body three degrees-of-freedom driving machine, was developed. Inputting the actual swimming motion to the robot, an experiment for the unsteady fluid force was carried out. The simulation model which can represent the swimmer mannequin was constructed, and the simulation which reproduces the experiment was conducted. By adjusting the parameters in the simulation model, the fluid force model which can reproduce the experiment with high accuracy was realized.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	10,700,000	3,210,000	13,910,000
2009年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2010年度	2,400,000	720,000	3,120,000
年度			
年度			
総計	15,200,000	4,560,000	19,760,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学・スポーツ科学

キーワード：スポーツバイオメカニクス、水泳、非定常流体力、スイーママネキンロボット、モデリング、シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

(1) 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。しかし水泳における力学、特に水から受ける反力である流体力の特徴についてはいまだ不明な点が多い。そのため、実験による測定研究が従来から多くなされている。1970年代頃からは、推進力の主な発生源である手部（も

しくは前腕部までを含む）の模型を作成し、その模型を水槽や風洞中に置き、一定の流れ（定常流）中での流体力の特徴を測定する研究が行われている。一方、推進力と釣り合う抵抗力を発生する体幹についても、1970年代頃より、実際のスイマーや人体マネキンにけのび姿勢を取らせ、やはり定常流の水槽中で牽引し、体幹を含む身体全体の定常抵抗力特性を測定する研究が行われている。

しかし上記の手部および体幹部の実験いづれについても、測定は実際の人間の遊泳の状況からほど遠い定常流中での静的な特性であり、これをそのまま遊泳中の流体力として考えてよいかは疑問である。この疑問は1980年代ごろから指摘されており、より実際の水泳の状況に近い、動的な非定常流体力を測定する試みがいくつかなされている。まず手部については、手部模型を2自由度回転運動させた実験などの試みがなされている。しかし、なお実際の泳ぎの動作からはほど遠く、また従来研究は上肢についてがほとんどであり、下肢に働く流体力についての研究は皆無に近い状況であった。そこで研究代表者らは、H17~H19年度において、若手研究(A)「水中ロボットアームによる水泳時の四肢に働く非定常流体力の解明と高精度モデルの開発」として、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。本測定により、四肢に働く非定常流体力特性は申請者らによって解明されつつある。

(2) 一方、四肢以外の部位、すなわち体幹に働く非定常流体力特性の解明はいまだ不十分である。体幹における非定常運動としては、クロールや背泳ぎではローリング運動、平泳ぎやバタフライではピッチング・上下運動が顕著である。このうちクロールについては従来研究において、人間がクロールと似た動作で水中の取っ手を手で押し、その取っ手に作用する推進力を測定することにより間接的に体幹に働く抵抗力を測定する試みや、スイマーを回流水槽中でハーネスで固定しクロール動作を行わせハーネスに働く力を測定する試みなどがなされている。しかし、これらの測定方法では実際のスイマーを用いているため、四肢が発生する推進力と体幹に働く抵抗力を本質的に分離できず、測定が間接的になるか、実際の泳ぎの動作から離れるかの無視できないデメリットを被らざるをえない。またクロール以外の泳法についてはほとんど手つかずの状況である。以上から、従来の測定方法とは異なり、四肢についての研究代表者らのアプローチと同様に、非定常運動する体幹部をロボット(スイマーマネキンロボット)により実現し、ロボットを用いて流体力測定を行い、体幹における非定常流体力特性を解明することが必要であると考えられる。

2. 研究の目的

(1) 回流水槽中での非定常多自由度運動が可能なスイマーマネキンロボットを開発し、本ロボットを用いて、非定常運動中にマネキ

ン部に作用する流体力特性を実験的に解明する。

(2) 測定結果に基づき、研究代表者らが開発済みの、水泳の力学シミュレーションモデルを用いて、体幹に働く流体力を高い精度で推定可能なシミュレーションモデルを構築する。

(3) マネキン部まわりの流れの可視化を行い、非定常流体力特性の発生メカニズムを解明する。

3. 研究の方法

(1) 回流水槽中での非定常多自由度運動が可能なスイマーマネキンロボットを設計製作する。

(2) 製作したスイマーマネキンロボットを用いて、非定常運動中にマネキン部に作用する流体力特性を測定する。測定結果を整理することにより、非定常流体力特性を明らかにする。

(3) 申請者らが開発した水泳の力学シミュレーションモデルを用いて、スイマーマネキンロボットのモデルを作成し、実験で行った非定常運動をモデルに入力し、シミュレーションにより求まる流体力を2の測定結果と比較する。そして、測定結果と十分一致するようモデルに改良を施す。以上により、体幹に働く流体力を高い精度で推定可能なシミュレーションモデルを構築する。

(4) マネキン部周りの流れの可視化を行えるよう、表面タフトおよびトレーサ注入口を備えた可視化用マネキンを製作する。そして非定常運動実験を行ない、流れ構造を明らかにする。以上により、非定常流体力特性の発生メカニズムを解明する。

4. 研究成果

(1) 図1に本研究で開発したスイマーマネキンロボットの実験時の写真を示す。本ロボットは、図2に示すスイマーマネキン部と、図3に外形図を示す水中物体3自由度駆動装置とからなる。スイマーマネキン製作にあたっては、競泳オリンピック選手の三次元身体形状を3Dボディスキャナー装置を用いて測定し、得られた測定データを三次元造形装置に入力することにより、詳細な身体形状の再現に成功した。また水中物体3自由度駆動装置は、水中の物体をヒープ、ロール、ピッチの3自由度、任意の時間波形で駆動することが可能であり、さらに物体に作用する進行方向(x方向)および鉛直方向(z方向)の力成分を測定することが可能である。本装置はス

イマーマネキンのみならず、取り付けられる任意の物体を駆動することが可能であり、今後、本装置を用いた様々な展開が期待できる。駆動装置とスイーママネキンを合わせたスイーママネキンロボットとしては、これまでこのような水泳研究用のロボットが開発された例はなく、水泳の研究分野において与えたインパクトは大きい。

(2) 開発したスイーママネキンロボットを用いて、非定常流体力の測定実験を行うため、まず実際のスイマーの映像に基づいて、スイーママネキンの動作波形を作成した。動作としては、クロール・背泳ぎ時にはロール、平泳ぎ・バタフライ時にはヒープ・ピッチを行わせた。図4に、作成した背泳ぎ時のロール角度波形を示す。そして作成した動作波形を用いてスイーママネキンを駆動させ、非定常流体力の測定実験を行った。

(3) 測定した実験結果を用いて、非定常流体力のモデル化を行った。そのため、研究代表者らが開発した水泳人体シミュレーションモデル SWUM を用いて、実験再現シミュレ

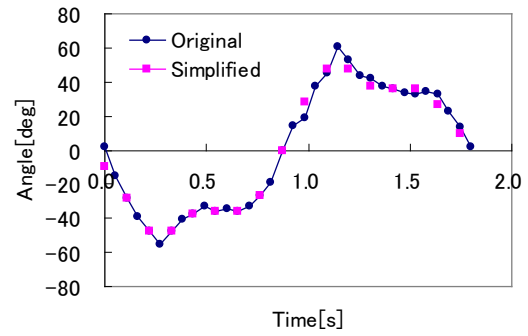


図4 背泳ぎ時のロール角度

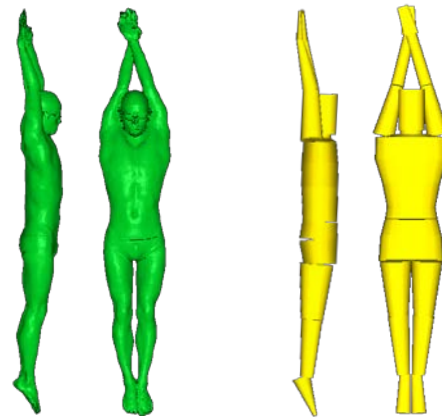


図5 モデル化されたスイーママネキン

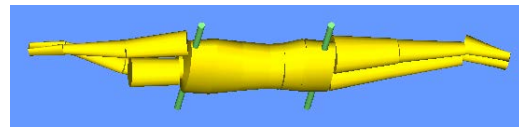


図6 実験再現シミュレーション

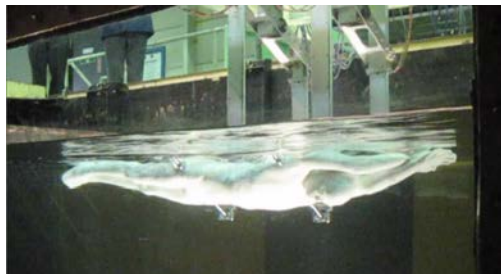


図1 スイーママネキンロボット写真

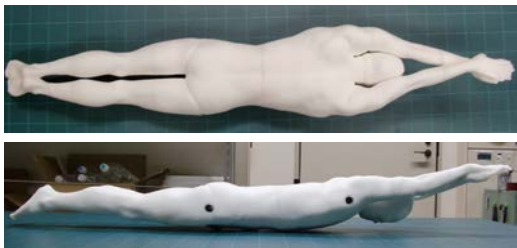


図2 スイーママネキン

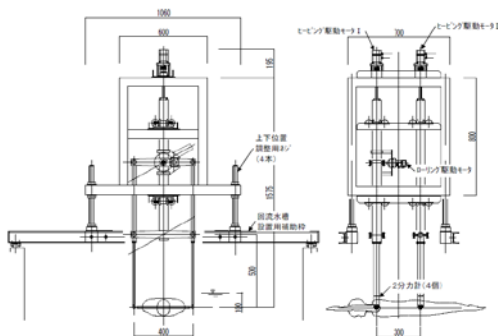


図3 水中物体駆動装置外形図

ーションのモデルを作成した。上で再現する、実験の表現した。図5にモデル化されたスイーママネキンを示す。スイマーの身体形状を21個の楕円錐台により表現している。さらに、スイーママネキンを支持しているシャフトもモデルに加え、図6に示すように、動作も表現して実験再現シミュレーションを行った。そして、スイーママネキンに作用する非定常流体力について、シミュレーション値が実験値と可能な限り一致するように、SWUMの流体力モデルにおける流体力係数を調整することにより流体力のモデル化を行った。なお本調整には非線形最適化手法である滑降シンプレックス法を用いた。図7にシミュレーションと実験の比較結果の一例を示す。シミュレーションは実験の時間変化波形を非常によく再現できていることがわかる。他の泳法についても同様に良好な結果を得た。最終的に誤差の検証を行った結果、シミュレーションと実験の誤差は平均で10%程度に収まることがわかり、高精度モデルの実現に成功した。本成果により、水泳や水中ウォーキングなどの水中運動時の流体力が高精度で推

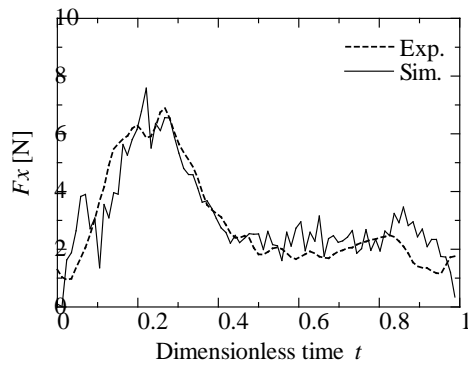


図7 非定常流体力のシミュレーションと実験の比較結果（平泳ぎにおける進行方向抵抗力）

定できることになり、競泳時や水中リハビリなど、さまざまな場面における身体負荷の計算が可能となった。このようなモデルは世界的にも例がなく、そのインパクトは極めて大きいと考えられる。

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1件）

Motomu Nakashima, Modeling and Simulation of Human Swimming, Journal of Aero Aqua Bio-mechanisms, Vol. 1, No. 1, 11-17, (2010), 査読無し

〔学会発表〕（計3件）

① 中島 求, 江尻 祐介, 水中物体3自由度駆動装置の開発とスイマーマネキンに作用する非定常流体力の測定, 日本水泳・水中運動学会 2010年次大会, 2010年11月21日, 新潟医療福祉大学

② 江尻 祐介, 中島 求, スイマーマネキンを用いた水泳時の人体に働く非定常流体力の測定, 日本機械学会 2010年度年次大会, 2010年9月6日, 名古屋工業大学

③ 中島 求, 水中物体3自由度駆動装置の開発, 日本機械学会 2009年度年次大会, 2009年9月14日, 岩手大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中島 求 (NAKASHIMA MOTOMU)
東京工業大学・大学院理工学研究科・准教授
研究者番号：20272669

(2) 研究分担者

高木 英樹 (TAKAGI HIDEKI)
筑波大学・大学院人間総合科学研究科・准教授
研究者番号：80226753

(3) 連携研究者 ()

研究者番号：