

令和 6 年 6 月 28 日現在

機関番号：32706

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K11378

研究課題名（和文）サーフィンのターンにおけるサーファアの姿勢とボードの機械的特性の関係

研究課題名（英文）Relationship Between Surfer's Posture and Mechanical Properties of Surfboard During Turn in Surfing

研究代表者

野中 誉子（Nonaka, Takako）

湘南工科大学・工学部・教授

研究者番号：20449549

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、サーファの動きとボードの挙動、機械特性とそれらの関係について検討した。サーファの姿勢評価のため複数カメラで撮影したが、速く大きなターンを行う際にはどの視点の映像でボードや波で膝下が隠れ、動作解析に適した映像の取得は困難であった。ボードの機械的特性としては曲げ・ねじり・振動特性の評価装置を開発し、特にターンに影響するねじり剛性を高精度で評価できた。また、サーフィン中のボードの挙動は自作IMUセンサで姿勢角を計測・再現することも可能となった。しかし、使用中のボードの変形は形状やサーファの位置によって変わるため、海上での測定には小型軽量多チャンネルひずみ計測システムの必要性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

サーファの体型や熟練度、使用環境によって、適したサーフボードの形状や素材は異なることが知られている。本研究で開発したボードの特性評価手法により、長さや厚みの異なるボードの機械的特性を定量的に評価することが可能となった。これにより、サーフボード設計の最適化と安全で高性能なボード開発に寄与することが期待できる。また、ターンにおけるサーファの映像による動作解析は、オンボード・オフボードいずれの映像でも難しく、使用中のボードの変形様相の可視化にも対応した室内型サーフィンシミュレーター開発の重要性が示唆された。

研究成果の概要（英文）：This study explored the movements of surfers, the behavior of their surfboards, the mechanical properties of the surfboards, and their relationship. The multiple cameras were used to evaluate the surfer's motions but revealed a challenge in obtaining suitable video during fast and large turns due to the board or waves obstructing parts of the body from all angles. A mechanical evaluation system of boards for bending, twisting, and vibration properties was developed, and accuracy in evaluating torsional stiffness that affects tricks like turns was improved. Additionally, the board's behavior during surfing activities was monitored and replayed using a customized IMU sensor to capture posture angles. However, measurements in laboratory conditions showed that load and deformation characteristics varied significantly depending on board shape and surfer position. This underscores the need for further research to measure deformities while in use at sea.

研究分野：スポーツIoT, 複合材料

キーワード：機械特性評価 ねじり特性 サーフボード モニタリング

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

サーフィンは、サーファーの体型や技能に合わせて波やボードを選ぶことができ、生涯スポーツとしての可能性を持つ。サーフィン人口は、世界で 3,000 ~ 4,000 万人、日本国内でも 200 万人を超え、2020 東京オリンピックで追加種目として採用されて以降、さらなる競技人口の増加が予想される。サーフィン運動を正確に評価し、各サーファーに適したボードを設計・選択できれば、競技技術の向上だけでなく、サーフィンの安全性向上と愛好家の健康維持促進にも有効だと考えられる。

「板に立って接地面を滑る」動きが類似するスキー[1][2]やスノーボード[3]では、運動時の競技者や道具の挙動や負荷を計測・分析した報告がある。しかし、動的に変化する海面上で、足の位置を自由に変えながらボードをコントロールするサーフィンに対して、板上にビンディングで足を固定するスキーやスノーボード用のシステムを適用するのは難しい。したがって、サーフィン中にボードとともに三次元的に移動・変化するサーファーの姿勢やボードの挙動を計測・評価するためには、ボード上の移動や姿勢変化を妨げず、防水性のある無線計測システムが必要となる。

### 2. 研究の目的

サーフィンでは、沖までボードを持って移動し、波を選び、パドリング(板に腹這いになり腕で漕いで前進)と波の力を利用して加速しながらボードに立って、ターンやウォークなど技の回数と完成度を競う。長時間安定して波に乗り多くの技を決めるためには、ボードの浮力や柔軟性、ボードの速度、サーファーの重心移動によるボードコントロールが重要となる。

本研究では、特にターンにおけるサーフィン運動とボードの挙動、ボードの機械特性をそれぞれ定量的に評価することで、それらの関係を考察することを目的とした。

### 3. 研究の方法

サーフィンのターンに影響を及ぼすボード特性を検討するため、(1) ターン時のサーファーの姿勢分析、(2) ボードの機械特性評価、(2) ボードの挙動モニタリングを行い、それぞれから得られた知見を統合して、サーフィンのパフォーマンスに影響するボード特性について検討した。

#### (1) ターン時のサーファーの姿勢分析

動的に変化する海面上の運動を計測する方法として、オンボード及びオフボードの複数カメラで同時撮像し、映像分析による姿勢評価を試みた。図 1 に測定環境を示す。被験者は、サーフィン暦 10 年以上で大会出場経験を有する上級者 2 名とした。

#### (2) ボードの機械特性評価

ターンに影響する機械特性としてねじり剛性に注目し、ボードの機械特性評価装置を用いて複数ボードのねじり剛性を定量的に評価した。

#### (3) ボードの挙動モニタリング

サーフィン中のボードの姿勢計測：防水処理した 6 軸センサをボードに設置し、姿勢角や速度を計測した。Wi-Fi や Bluetooth でリアルタイムに計算機と通信するセンサの場合、頻繁に水中に潜るボードのデータを安定して取得するのは難しかった。そこで、センサデバイス本体にデータを保存し、実験後にデータを抽出した。

サーフィン中のボードの負荷・変形評価：ボードの機械特性評価装置を拡張して、ターン時のボードのねじれを測定する際の特徴点を調べ、ボードに設置する必要最低限のセンサ数と設置場所を検討した。



図 1 サーフィン運動の計測環境

### 4. 研究成果

#### (1) ターン時のサーファーの姿勢分析

図 2 に陸に設置したオフボードカメラの映像の例を、図 3 にドローンカメラの映像の例を示す。映像による動作解析を想定して、サーファーとの距離や倍率を調整しながら撮影したが、競技で高評価となる大きく速いターンの場合、陸からの映像では波や板、サーファー自身の体で膝や足首が隠れてしまい、映像による姿勢評価はできなかった。ドローンによる撮影は、飛行区域等の規制が強化されたため、実験室内で画角や被験者との距離など撮影条件を検討した上で、実際のサーフィン運動を撮影した。図 3 の様に、ターンの際にサーファーが上半身と下半身がねじれる(ひねる)様子は目視では確認できたが、奥行き方向へのねじれのため、動作分析ソフトでは誤認識が多く、膝や腰の角度評価は困難であった。一方で、ボード上のサーファーの位置の把握には有効な映像が撮影できる可能性が示唆された。



図2 陸からの映像例

ターン時はボードや体で下半身が隠れる



図3 空からの映像例

## (2) ボードの機械特性評価

ボードのねじり剛性と、ねじり及び曲げによる変形量を測定するため、先行開発した機械特性評価装置を改良した。図4に、改良した評価装置を示す。これにより、可動式のレーザ変位計10点により、ボードの任意の位置の変形を測定することが可能となった。また、ボードのねじり負荷の方法や構造を見直し、より精度よくねじり剛性を測定できるようにした。この装置により、ボードのねじり剛性は評価装置のねじり角と荷重Fの関数として次式で得られる。

$$GI_p = \frac{Tl}{\theta} = \frac{FlL}{\theta} = \alpha \frac{F}{\theta} \quad (1)$$

図5に、複数のボードのねじり剛性を比較した結果を示す。従来は困難であった形状の異なるボードの機械特性を比較できるようになった。この成果は、ボードの設計要素が機械特性に及ぼす影響を定量的に評価する上で有効であり、国際会議で優れた成果として表彰された[4]。

## (3) ボードの挙動モニタリング

サーフィン中のボードの姿勢計測：図6にボードの挙動モニタリング実験時のセンサ設置の様子を、図7に取得したデータの一例を示す。取得した姿勢角から、サーフィン中のボードの姿勢をアニメーション表示することができた。ただし、このセンサ出力から算出した速度、移動軌跡をGPSで測定した結果と比較すると誤差が大きかった。オフボードカメラの映像と比較することで、センサによるボードの姿勢評価のさらなる制度向上が期待できる。



図4 改良した機械特性評価装置

レーザ変位計10個で任意位置の変形測定

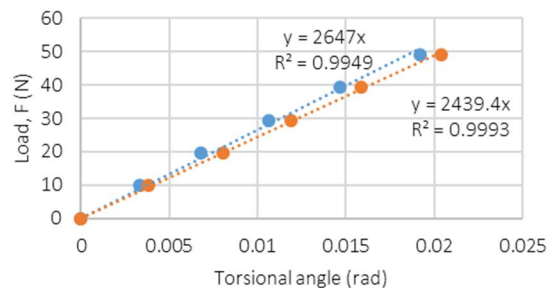


図5 開発装置によるねじり剛性の比較



図6 ボードの挙動モニタリング実験

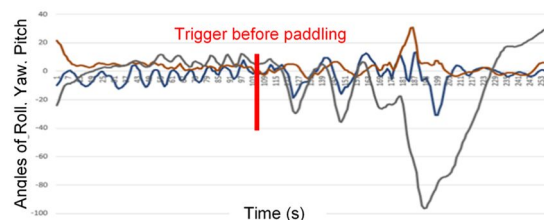


図7 ボードの姿勢角の測定結果

サーフィン中のボードの負荷・変形評価: ターンに近い姿勢を取りやすいように支持したボード上に立ち、ボードコントロールする際の負荷を面圧センサにより測定した。図8に実験の様子を示す。これにより足圧分布の変化を計測可能であることを確認した。しかし、ボードがターンのように動かないため、サーファーもターン時のボードコントロールの姿勢や動きを再現することはできなかった。

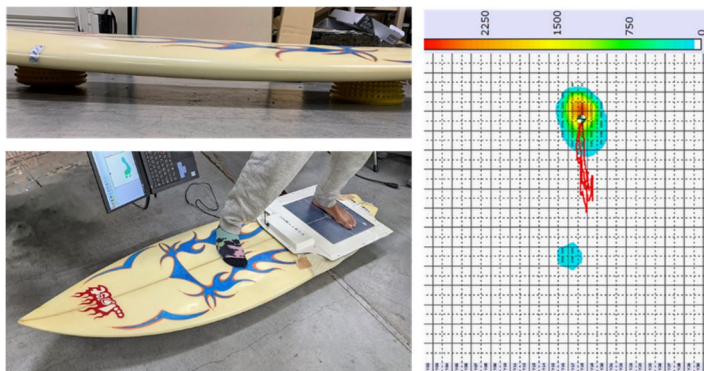


図8 面圧センサによるボードへの負荷測定

次に、図4に示した評価装置を用いて、ひずみゲージを貼ったサーフボードに曲げ荷重、ねじり荷重を与え、ボードの変形様相をひずみゲージとレーザ変位計で調べた。これにより、使用中のボードの変形の評価に適したひずみゲージを選定した。ただし、実際のターンでは、ボードコントロールのためにサーファーによっては頻りに踏む位置を変えるため、ターンの評価に有効なボードの変形の測定点、つまりひずみゲージの設置位置については、より詳細な検討が必要であった。

また、これらの結果から、実験室内でさらなる検討を進めるためには、実際のターンに近いボードの動きを物理的に再現するシミュレータの必要性が示唆された。

#### 参考文献など

- [1] 河合茂博ほか. スキーターンに及ぼすスキー板モデルの影響. 日本機械学会論文集C, Vol.68, 2301-2307 (2002)
- [2] 中里浩介ほか. カービングスキーにおける中回りターンの3次元動作分析. スキー研究, 13(1), 13-21 (2016)
- [3] 廣瀬圭ほか. 雪面反力計測によるスノーボードにおけるカービングターンの運動解析に関する研究. スポーツ産業学研究 26(2), 2\_233-2\_242 (2016)
- [4] Ziqi Meng and Takako Nonaka. "A Basic Study on Influences of Mechanical Properties on Behaviors of Surfboards" IEEE GCCE 2023 Excellent Student Poster Awards.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Meng Ziqi and Nonaka Takako	4. 巻 -
2. 論文標題 A Basic Study on Influences of Mechanical Properties on Behaviors of Surfboards	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proc. 2023 IEEE 12th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE)	6. 最初と最後の頁 252-254
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/GCCE59613.2023.10315572	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 Wang ChenJing and Nonaka Takako	4. 巻 11
2. 論文標題 Monitoring System for Balance Board Simulating Side-riding Board Sports	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of 2021 IEEE 10th Global Conference on Consumer Electronics	6. 最初と最後の頁 415-416
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/GCCE53005.2021.9621865	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 Ikehara Tadaaki and Kojima Kazuyuki	4. 巻 11
2. 論文標題 Development of an e-board for dynamic balance training	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of 2021 IEEE 10th Global Conference on Consumer Electronics	6. 最初と最後の頁 419-420
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/GCCE53005.2021.9621986	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 Kojima Kazuyuki and Li Yiming	4. 巻 -
2. 論文標題 Gas Leak Detection in Collapsed Buildings Using Multiple Micro-drones	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of 2023 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ICCE-Taiwan58799.2023.10227025	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 Kazuyuki KOJIMA and Yiming Li	4. 巻 -
2. 論文標題 Gas Detection and Concentration Distribution Prediction Using Multiple Microdrones	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of the 9th International Conference on Manufacturing, Machine Design and Tribology (ICMDT 2023), KSME and JSME	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Ikehara Tadaaki, Kojima Kazuyuki	4. 巻 -
2. 論文標題 Development of an e-board system for dynamic balance training	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of 2022 IEEE 4th Global Conference on Life Sciences and Technologies (LifeTech), pp. 140-141	6. 最初と最後の頁 140-141
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LifeTech53646.2022.9754824	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 -

[学会発表] 計8件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 Tadaaki Ikehara and Kazuyuki Kojima
2. 発表標題 Development of an e-board system for dynamic balance training
3. 学会等名 2022 IEEE 4th Global Conference on Life Sciences and Technologies (LifeTech) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 池原忠明, 小島一恭
2. 発表標題 ボード系スポーツのトレーニング用e-boardの開発
3. 学会等名 日本機械学会2022年度年次大会予稿集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 ChenJing Wang and Takako Nonaka
2. 発表標題 Monitoring System for Balance Board Simulating Side-riding Board Sports
3. 学会等名 2021 IEEE 10th Global Conference on Consumer Electronics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tadaaki Ikehara and Kazuyuki Kojima
2. 発表標題 Development of an e-board for dynamic balance training
3. 学会等名 2021 IEEE 10th Global Conference on Consumer Electronics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ziqi Meng and Takako Nonaka
2. 発表標題 A Basic Study on Influences of Mechanical Properties on Behaviors of Surfboards
3. 学会等名 2023 IEEE 12th Global Conference on Consumer Electronics (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kazuyuki Kojima and Yiming Li
2. 発表標題 Gas Leak Detection in Collapsed Buildings Using Multiple Micro-drones
3. 学会等名 2023 International Conference on Consumer Electronics - Taiwan (ICCE-Taiwan) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kazuyuki Kojima and Yiming Li
2. 発表標題 CFD Simulation for Gas Detection in Disaster Areas Using Multiple Micro-Drones
3. 学会等名 2023 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kazuyuki KOJIMA and Yiming Li
2. 発表標題 Gas Detection and Concentration Distribution Prediction Using Multiple Microdrones
3. 学会等名 9th International Conference on Manufacturing, Machine Design and Tribology (ICMDT 2023), KSME and JSME (国際学会)
4. 発表年 2023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	小島 一恭  (Kojima Kazuyuki)  (60361391)	湘南工科大学・工学部・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
---------	---------