

令和 6 年 5 月 21 日現在

機関番号：30117

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19H04003

研究課題名（和文）スキージャンプ選手の空力特性を個別解析するためのフレームワークの構築

研究課題名（英文）Construction of a framework for individual analysis of aerodynamic characteristics of ski jumpers.

研究代表者

山本 敬三（Yamamoto, Keizo）

北翔大学・生涯スポーツ学部・教授

研究者番号：00405698

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、モーションセンサ、3次元CGアニメーション、数値流体解析を統合し、スキージャンプ選手の動作全般について流体解析のフレームワークを構築した。着衣式モーションセンサと表面形状データを用いて3次元アニメーションを作成し、踏み切りから着地までの動作について数値流体解析を行った。神戸大学と理化学研究所が共同開発した流体解析ソフトウェアCUBEを使用した。2名のスキージャンパーの流体解析に成功し、熟練選手の空力特性の特異性を抽出した。熟練選手は初期フライトとフライト後半に空力的優位性を獲得していた。熟練選手の背面部を流れる気流の乱れが少なく、これが揚力を増加させる因子の一つと考えられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究ではスキージャンプ選手の動作と空力特性を解析するフレームワークを開発した。これにより、熟練選手と非熟練選手の空力特性の違いが明らかになり、学術的意義がある。また、このフレームワークは選手個々の体型や動作の多様性を反映し、詳細なデータを提供できる。社会的意義としては、スキージャンプのパフォーマンス向上に寄与する可能性がある。非熟練選手の訓練指針を提供し、技術向上に貢献することができる。さらに、他のスポーツへの適用も可能で、スポーツ全般のパフォーマンス向上に貢献する可能性がある。これらから、本研究はスポーツ科学だけでなく、スポーツ界全体にとっても重要な意義をもつと言える。

研究成果の概要（英文）：This study integrated motion sensors, 3D CG animation, and numerical fluid analysis to construct a framework for fluid analysis of the entire motion of ski jump athletes. Using wearable motion sensors and surface shape data, a 3D animation was created and numerical fluid analysis was performed on the motions from takeoff to landing. The fluid analysis software CUBE, co-developed by Kobe University and RIKEN, was used and employed a method called IBM to reproduce object shapes. The fluid analysis of two ski jumpers was successful, and the unique aerodynamic characteristics of skilled athletes were extracted. Skilled athletes gained aerodynamic superiority in the initial flight and later half of the flight, while less skilled athletes showed a decrease in lift-to-drag ratio in the latter half of the flight. It was considered that the lesser disturbance of the airflow flowing over the back of skilled athletes was one factor increasing lift.

研究分野：スポーツバイオメカニクス

キーワード：スキージャンプ 数値流体解析 空力特性 姿勢変化 揚抗比

1. 研究開始当初の背景

スキージャンプのバイオメカニクス研究では、動作を6つの局面(助走、踏切、初期飛行、安定飛行、着地準備、着地)に分類し、特に踏切動作に焦点を当てて分析されることが多い。踏切動作は、身体を伸展させて重心を上昇させることと重心に前回りの角運動量を獲得させることが重要である。しかし、これまでの研究では他の局面(助走や飛行、着地)も含めた包括的な解析が不足しており、選手の体格や動作の多様性を考慮した解析手法が求められていた。風洞実験や数値流体解析(CFD)は使用されてきたが、いずれも体格や動作の多様性を十分に考慮したものではなかった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、スキージャンプ選手個々の体型や動作を考慮し、助走から着地までの全ての動作における流体特性を解析するフレームワークを構築することである。このフレームワークは、モーションセンサによる動作計測、3次元CGアニメーション、数値流体解析技術を統合して作成する。これにより、選手個別の空力特性を解析し、競技力向上や装備開発に貴重な資料を提供することを目指す。

3. 研究の方法

研究は以下の4つの作業工程から構成される(図1)

本研究で開発されたシミュレーションフレームワークは、図1に示された4つのステップを含む。ステップ1では、スキージャンパーとスキーの3D形状データの生成を行った。先行研究(Yamamoto et al., 2015, 2016)で作成されたスキージャンパーのデジタルダミーモデルを本研究で採用した。また、スキージャンプ用のスキーの形状データも、3Dレーザースキャナ(C9036; Hamamatsu Photonics K.K.)を使用して取得した。ステップ2では、2人の現役の男性スキージャンパーが本研究に参加した。一人は、2022年北京冬季オリンピックの個人ノーマルヒルで金メダルを獲得したエキスパートジャンパー(173.0 cm、60.0 kg、23歳)であり、もう一人は未熟練のジャンパー(162.5 cm、52.1 kg、18歳)であった。動作計測は2020年に札幌大倉山ジャンプ競技場(HS=137 m)で行った。フルボディの着用可能なモーションキャプチャシステム(240 Hz、MVN-Link; Xsens社製)を使用して、スキージャンパーの実際の動作中の姿勢データを取得した。対象者の助走から着地までの一連の動作データを計測した。スキーの姿勢を測定するために、各スキーにセンサーを追加した。同時に、高精度のグローバルナビゲーション衛星システム(GNSS, 10 Hz, AT-H-02; Aoba Technologia LLC)が被験者に取り付けられ、飛行軌道を取得した(Takeda et al., 2019)。GNSSセンサーはスキージャンパーのヘルメットに取り付けられた。移動方向と飛行速度は、GNSSセンサーの座標データから計算された。この情報は、数値計算のための流入方向と速度を確認するために使用した。ステップ3では、Blenderオープンソース3Dソフトウェアを使用して、表面形状データと姿勢データから3DCGモデルが作成された。関節の屈曲によって、人体のCGモデルが破綻しないよう表面形状データに影響度を与え、各関節に柔軟な可動性を付与した。ステップ4では、数値流体解析(CFD)を用いて空力特性を解析した。3次元CGアニメーションを基に、動作全般(助走から着地まで)の流体解析を行った。選手の周辺の気流状態と選手が受ける空気力(揚力、抗力)を算出した。

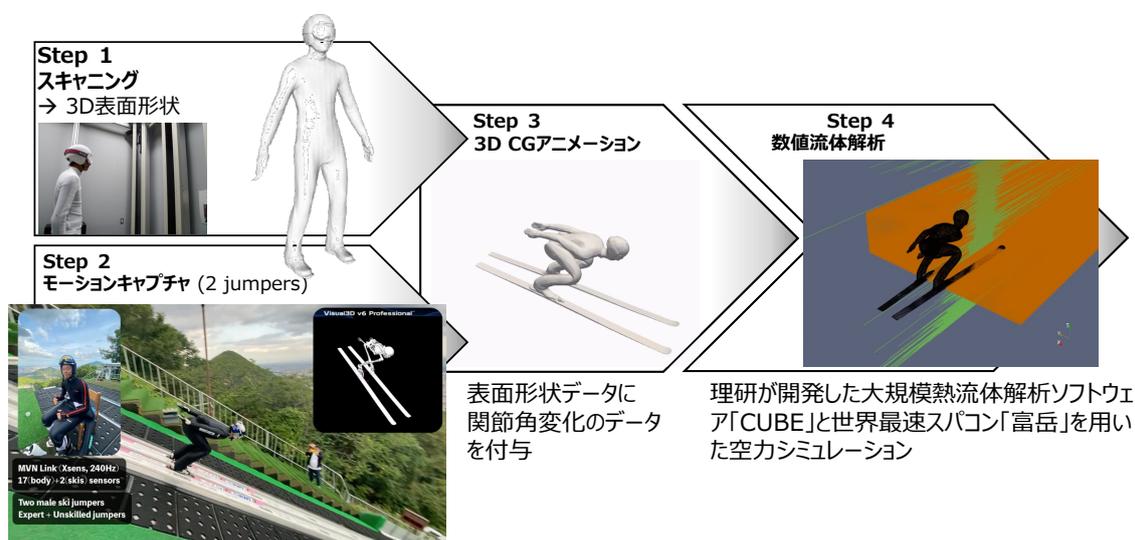


図1 4つの作業工程のワークフロー

4. 研究成果

計算結果から、2名の選手のデータ比較を行ったところ、初期飛行とフライト後半の局面にExpertに顕著な特徴が観察された。まず、初期飛行ではテイクオフ直後(0.25s付近)でExpertの揚力、抗力および揚抗比(=揚力/抗力、飛行性能を表す指標)が急増し、その後、抗力のみが減少していた(0.5-1s)(図2の黄色ハイライト部)。テイクオフ直後ではExpertの身体は伸展されており、背面部の気流に大きな乱れが発生していた(図3)。これが、抗力が急増した原因と考えられた。しかし、その後、身体全体が前傾していったことで、飛行性能に不利な抗力だけが減少し、結果的に高い揚抗比(空力性能)を獲得できたと考えられた。

次に、フライト後半では、Expertでは揚力がさらに増加するものの、抗力の増加は抑制されていた(図2の緑ハイライト部)。Expertはフライト全般において揚抗比が減少せず、飛行性能が維持されていることが分かった。流線を観察するとExpertの流線は乱れが少ないことが分かる(図4)。また、圧力分布でもExpertの背面の低圧力領域が大きく、これらが揚力増加の要因であることが示唆された。この研究によって、動作中の気流状態や空力特性を可視化できる手法を構築することに成功し、Expertの運動戦略が空気力学的に合理的であることが分かった。

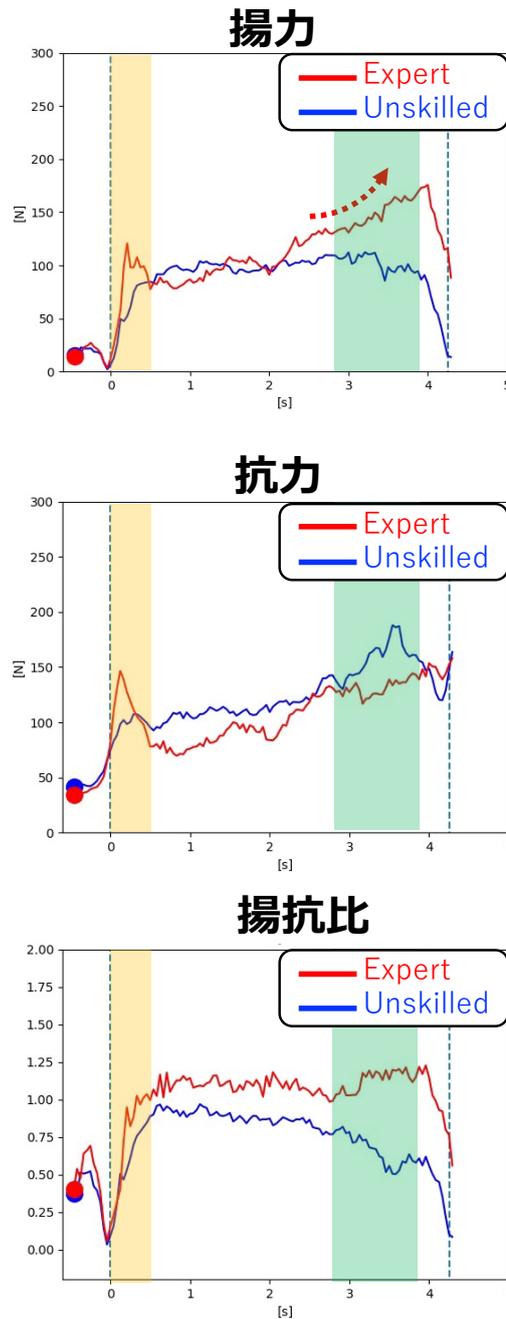


図2 選手が受ける揚力、抗力および揚抗比の経時変化。時間0はテイクオフ(離床)を示す。

初期飛行

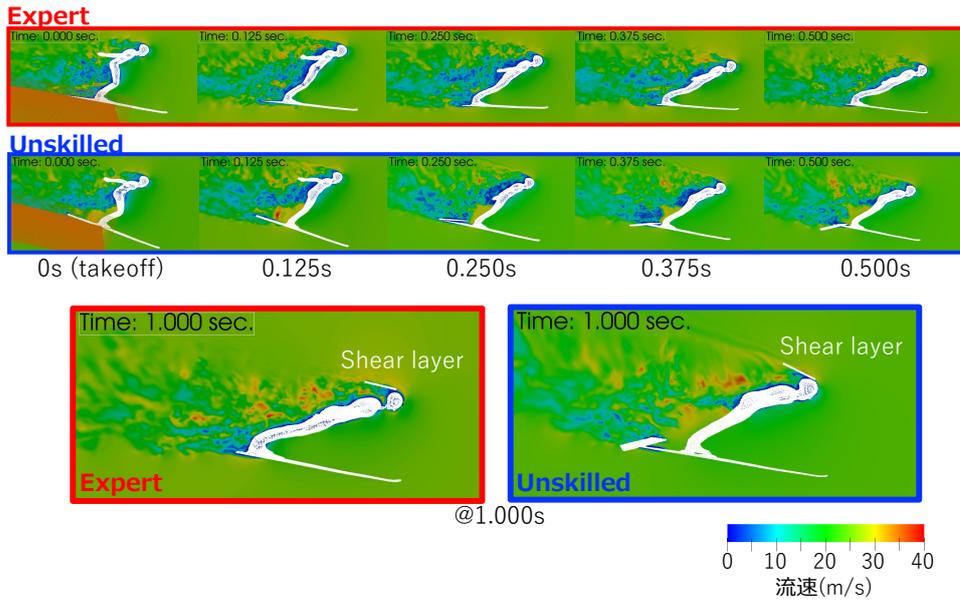


図3 初期飛行局面（テイクオフから1秒後まで）におけるジャンパー周辺の気流状態（流速分布）。赤枠は Expert、青枠は Unskilled。

フライト後半

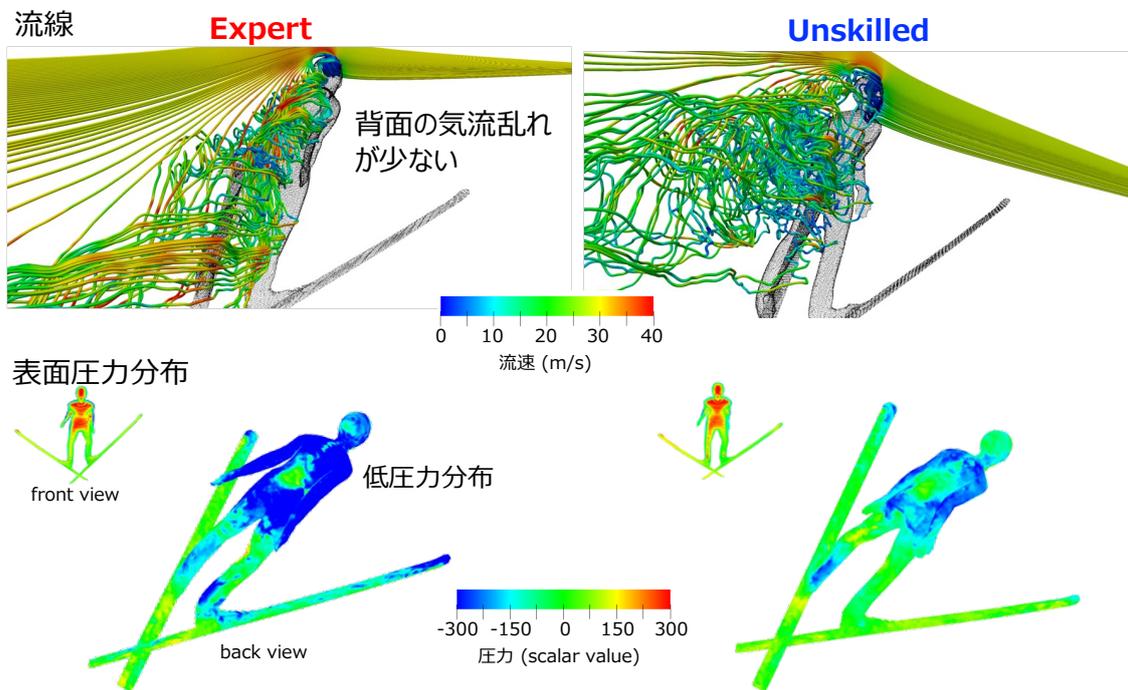


図4 フライト後半（テイクオフ後3.5秒付近）における選手の周辺気流状態（流線）と体表面の圧力分布（左は Expert，右は Unskilled）

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 3件）

| | |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名 Yamamoto Keizo, Nishino Takahiro, Bale Rahul, Shimada Tokimasa, Miyamoto Naoto, Tsubokura Makoto | 4. 巻 1 |
| 2. 論文標題 Numerical study of transient aerodynamic forces acting on a ski jumper considering dynamic posture change from takeoff to landing | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Sports Biomechanics | 6. 最初と最後の頁 1~15 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/14763141.2022.2154256 | 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 該当する |
| 1. 著者名 小谷 征輝、山本 敬三 | 4. 巻 19 |
| 2. 論文標題 マーカベースおよびマーカレスモーションキャプチャを用いたサイドボックスジャンプのキネマティックデータの比較 | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 スキー研究 | 6. 最初と最後の頁 25~33 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14845/jskisciences.19.1_25 | 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 Homan Kentaro, Yamamoto Keizo, Kadoya Ken, Ishida Naoki, Iwasaki Norimasa | 4. 巻 14 |
| 2. 論文標題 Comprehensive validation of a wearable foot sensor system for estimating spatiotemporal gait parameters by simultaneous three-dimensional optical motion analysis | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation | 6. 最初と最後の頁 1-11 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s13102-022-00461-x | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である） | 国際共著 - |
| 1. 著者名 山本敬三、坪倉誠 | 4. 巻 52 |
| 2. 論文標題 スキージャンプと流体解析技術 | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 フルードパワーシステム | 6. 最初と最後の頁 157-161 |
| 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 無 |
| 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 西川直人, 稲川祥史, 吉田昌弘, 山本敬三 | 4. 巻 7 |
| 2. 論文標題 ジャンプ着地時の足部接地の違いが足関節および膝関節の衝撃吸収作用に及ぼす影響 | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 日本アスレティックトレーニング学会誌 | 6. 最初と最後の頁 93-101 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.24692/jsatj.7.1_93 | 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 山本敬三、畝中智志 | 4. 巻 13 |
| 2. 論文標題 バスケットボール競技のドライブ動作時のステップの違いが運動パフォーマンスに及ぼす影響 | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 スポーツパフォーマンス研究 | 6. 最初と最後の頁 562-571 |
| 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 渡部峻、山本敬三 | 4. 巻 12 |
| 2. 論文標題 立位スタンスはゴルフパッティングの構え姿勢の安定性に影響を及ぼすか? | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 北翔大学生涯スポーツ学部研究紀要 | 6. 最初と最後の頁 119-123 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.24794/00003281 | 査読の有無 無 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である) | 国際共著 - |

| | |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名 山本 敬三, 伊藤 佑樹, 新開谷 深 | 4. 巻 12 |
| 2. 論文標題 ヒールパッドが身体回旋動作時の足圧分布に及ぼす影響 | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 北翔大学生涯スポーツ学部研究紀要 | 6. 最初と最後の頁 105-117 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.24794/00003280 | 査読の有無 無 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である) | 国際共著 - |

| | |
|---|---------------------|
| 1. 著者名 山本 敬三, 坪倉 誠, 松澤 衛, 森 敏, 宮本 直人 | 4. 巻 40 |
| 2. 論文標題 スキージャンプにおける情報の可視化とその活用 | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 可視化情報 | 6. 最初と最後の頁 18-21 |
| 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 無 |
| 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 新開谷深, 伊藤佑樹, 山本敬三 | 4. 巻 6 |
| 2. 論文標題 立位時の足部角度は骨盤と体幹の回旋可動域に影響を及ぼすか? | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 日本医療大学紀要 | 6. 最初と最後の頁 71-81 |
| 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 中島 千佳, 吉田 昌弘, 石川 凌, 小宮山 与一, 山本 敬三, 吉田 真 | 4. 巻 6 |
| 2. 論文標題 疲労課題が慢性足関節不安定症に対する Side hop test 中の 足関節バイオメカニクスに及ぼす影響 | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 日本アスレティックトレーニング学会誌 | 6. 最初と最後の頁 1-9 |
| 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 石川凌, 吉田昌弘, 中島千佳, 山本敬三, 吉田真 | 4. 巻 6 |
| 2. 論文標題 慢性足関節不安定症を有する大学生アスリートにおける片脚つま先立ち中の重心動揺および筋活動の特徴 | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 日本アスレティックトレーニング学会誌 | 6. 最初と最後の頁 43-48 |
| 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 KIMIKO, 山本敬三 | 4. 巻 7 |
| 2. 論文標題 ポスチャークォーキングの歩行波形データのバイオメカニクスの特徴 - 股および膝関節の動作に着目して- | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 臨床歩行分析研究会誌 | 6. 最初と最後の頁 1-10 |
| 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 竹田唯史, 近藤雄一郎, 山本敬三, 吉田真, 吉田昌弘, 山本敬美, 細田将太郎, 石田崇征, 松田光史, 渡部峻, 田畑竜平, 伊藤秀吉 | 4. 巻 9 |
| 2. 論文標題 スキー選手を対象とした体力測定とトレーニング指導に関する研究 北方圏生涯スポーツ研究センターにおける平成29年度の取り組みについて | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 北翔大学北方圏生涯スポーツ研究センター年報 | 6. 最初と最後の頁 33-39 |
| 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 無 |
| 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 渡部 峻, 近藤雄一郎, 竹田唯史, 山本 敬三 | 4. 巻 9 |
| 2. 論文標題 平昌2018パラリンピック冬季競技大会のピアスロン競技におけるシットスキーの滑走速度の分析 | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 北翔大学北方圏生涯スポーツ研究センター年報 | 6. 最初と最後の頁 1-6 |
| 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 - |

〔学会発表〕 計17件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 9件)

| |
|---|
| 1. 発表者名 Keizo Yamamoto, Takahiro Nishino, Rahul Bale, Tokimasa Shimada, Makoto Tsubokura |
| 2. 発表標題 Analysis of Aerodynamic Forces Acting on a Ski Jumper from Takeoff to Landing Using Computational Fluid Dynamics |
| 3. 学会等名 The 27th Annual Congress of the European College of Sport Science (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Ueno Tomoya, Keizo Yamamoto |
| 2. 発表標題 Using principal components analysis to extract kinetic features of the throwing upper limb in Ultimate competition forehand throwing motion : Comparison by throwing ability emphasizing disc spin angular velocity |
| 3. 学会等名 The 27th Annual Congress of the European College of Sport Science (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Masaki Kotani, Keizo Yamamoto |
| 2. 発表標題 Comparison of Kinematic Data of Jumping Motion Using Marker-Based and Markerless Motion Capture |
| 3. 学会等名 The 27th Annual Congress of the European College of Sport Science (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 上野智也, 田畑 竜平, 山本敬三 |
| 2. 発表標題 熟練スキージャンパーの踏切動作における バイオメカニクス的特徴の抽出 |
| 3. 学会等名 日本スキー学会2022年度秋季大会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 KIMIKO, Keizo Yamamoto |
| 2. 発表標題 Extracting Biomechanical features of Posture walking using principal component analysis |
| 3. 学会等名 ESMAC (the European Society for Movement Analysis in Adults and Children) (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 KIMIKO, 山本敬三 |
| 2. 発表標題 ポスチャーウォーキング指導者の言葉がけとバイオメカニクスデータの関係性に関する考察 |
| 3. 学会等名 日本ウォーキング学会第26回学会大会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 片山ゆうき, KIMIKO, 山本敬三 |
| 2. 発表標題 小学生を対象に卒業式に向けて実施したポスチャーウォーキング指導の実践報告 |
| 3. 学会等名 日本ウォーキング学会第26回学会大会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 野村勇輝, 戸田創, 才崎和哉, 浅野柊, 山下泰功, 飯田尚哉, 小出所 大樹, 渡部峻, 吉田昌弘, 吉田真, 山本敬三, 片寄正樹 |
| 2. 発表標題 最大等尺性肩屈曲運動時と投球動作時における肩甲骨位置の関連性 |
| 3. 学会等名 第33回 日本臨床スポーツ医学会学術集会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 山本敬三, 坪倉 誠 |
| 2. 発表標題 スキージャンプまると空力シミュレーション |
| 3. 学会等名 シンポジウム：スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス2022 (招待講演) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Shumpei Koyama, Hiromasa Kajimoto, Keizo Yamamoto, Rahul Bale, Makoto Tsubokura |
| 2. 発表標題 Aerodynamics Simulation of Ski- jumping Considering Dynamic Posture Change |
| 3. 学会等名 ECSS 2020 - 25th Annual Congress of the European College of Sports Science (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Ryuhei Tabata, Keizo Yamamoto |
| 2. 発表標題 Analysis of biomechanical characteristics during the takeoff motion of skilled ski jumpers. An application of principal component analysis. |
| 3. 学会等名 The 2020 Yokohama Sport Conference (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Tomoya Ueno, Keizo Yamamoto |
| 2. 発表標題 Analysis of characteristics of upper limb movements of the expert players in Ultimate forehand throw. An application of principal component analysis. |
| 3. 学会等名 The 2020 Yokohama Sport Conference (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Kimiko Suzuki, Keizo Yamamoto |
| 2. 発表標題 Analysis of biomechanical characteristics and exercise effect in posture walking |
| 3. 学会等名 The 2020 Yokohama Sport Conference (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Keizo YAMAMOTO, Hiromasa KAJIMOTO, Shimpei KOYAMA, Rahul BALE, Makoto Tsubokura |
| 2. 発表標題 Aerodynamics simulation of ski-jumping take-off considering dynamic postural change |
| 3. 学会等名 The 2020 Yokohama Sport Conference (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 梶本 裕雅, 小山 峻平, Rahul Bale, 山本 敬三, 坪倉 誠 |
| 2. 発表標題 スキージャンプ テイクオフ動作の空力解析フレームワークの構築と実競技への適用 |
| 3. 学会等名 第33回数値流体力学シンポジウム |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 小山 峻平, 山本 敬三, 梶本 裕雅, Bale Rahul, 池田 隼, 坪倉 誠 |
| 2. 発表標題 スキージャンプ・テイクオフ動作における姿勢変化の違いが 空気力と飛行距離に及ぼす影響についての非定常空力シミュレーション |
| 3. 学会等名 日本機械学会スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス・シンポジウム |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 宮本直人, 山本敬三, 森敏, 森本達郎, 三浦隆治, 畠山望, 宮本明 |
| 2. 発表標題 携帯型キネマティックGNSSを用いたスキージャンプの高精度飛行計測 |
| 3. 学会等名 第30回冬季スポーツ科学フォーラム |
| 4. 発表年 2019年 |

〔図書〕 計1件

| | |
|----------------------------|-----------------|
| 1. 著者名 江原義弘、勝平純司、山本敬三 | 4. 発行年 2020年 |
| 2. 出版社 ナツメ社 | 5. 総ページ数 192 |
| 3. 書名 姿勢と運動の力学がやさしくわかる本 | |

〔産業財産権〕

〔その他〕

| |
|---|
| <p>「富岳」によるまるごと空力シミュレーションの記者勉強会 https://www.hokusho-u.ac.jp/info/?i=2846 富岳によるまるごと空力シミュレーション https://www.youtube.com/watch?v=GB7XYRWnUq4 スキージャンプのバイオメカニクス1：フライト編 https://youtu.be/jkTmhYYZzUo スキージャンプのバイオメカニクス2：テイクオフ編 https://youtu.be/8f9eMRGMFHS スキージャンプのバイオメカニクス3：助走&#12316;テイクオフ編 https://youtu.be/LHczCG-C48Y</p> |
|---|

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 | 森 敏 (Mori Satoshi) (00580846) | 東海大学・国際文化学部・教授 (32644) | |
| 研究分担者 | 松澤 衛 (Matsuzawa Mamoru) (20433469) | 北翔大学・教育文化学部・教授 (30117) | |
| 研究分担者 | 坪倉 誠 (Tsubokura Makoto) (40313366) | 神戸大学・システム情報学研究科・教授 (14501) | |

6. 研究組織（つづき）

| | 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 | 宮本 直人 (Miyamoto Naoto) (60400462) | 東北大学・未来科学技術共同研究センター・特任准教授 (11301) | |

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 |
|---------|---------|
| | |