

Azure Kinect を用いたバスケットボールの シュート動作中のマーカー式関節角度測定の精度検証 ——ピーク角度と所要時間に着目して——

Precision Verification of the Marker Type Joint Angle Measurement during
Basketball Shot Movement Using Azure Kinect:
Focusing on the peak-angle and peak-to-peak duration

飯田祥明・秋葉俊貴・藤井勝之・奥村康行

Yoshiaki IIDA, Toshiki AKIBA, Katsuyuki FUJII and Yasuyuki OKUMURA

Abstract

In this study, we hypothesized that the accuracy of angular measurement of distal joints in basketball shooting-like motion is improved by Azure Kinect over KINECT v2, and that the temporal parameter accuracy is high level for all measured joints. The accuracy of the parameters was verified by simultaneous measuring with OptiTrack.

The ICC of the peak flexion angle of the wrist joint was 0.604, which was higher than the value of the same condition in the previous study (ICC = 0.340), supporting the hypothesis that the accuracy of angle measurement at the distal joints was improved over KINECT v2. However, the lower 95% limit of the ICC for the peak angles of wrist flexion and elbow flexion and extension was below 0.8. The ICCs for the duration between peak flexion and extension during FE movements were above 0.9 for the shoulder, hip, knee, and ankle joints, but below 0.8 for the wrist and elbow joints. Therefore, the hypothesis of this study that the temporal parameter accuracy was high for all joints was rejected.

These results suggest that although the accuracy of the Azure Kinect of the basketball shooting-like motion measurement was improved in distal joints such as the elbow and wrist compared to the KINECT v2 measurement, it still needs to be interpreted with caution. The temporal parameter accuracy was also not high for the distal joints. It was concluded that it is necessary to develop a sensor with an improved measurement frequency for the depth camera or to use a non-marker type sensor for the development of a motion form feedback system.

I 緒言

近年、スポーツにおける動力学的データを簡易的に取得できるツールが数多く開発されている。走行距離や運動強度を数値化できる端末¹⁾やスウィング動作を分析するデバイス²⁾、シュートの回転数や入射角、動作時間などを計測できるセンサ内蔵バスケットボール³⁾(94fifty : InfoMotion Sports Technologies Inc.) が代表的な例である。

このような簡易計測ツールの測定精度検証は取得データの妥当な解釈のために重要な過程である³⁾。先述した 94fifty の精度を検証した岩見ら (2016) は、高速ビデオカメラを同時に使用し、フリースローおよび 3 ポイントシュート時のボール入射角及び回転数の級内相関係数を算出し、入射角については ICC が比較的低値でデータのフィードバックに使用する際には注意が必要であると述べている³⁾。一方でバックスピン数に関しては非常に高い ICC を示しており、バスケットボールの指導にこのツールを活用できることが示唆されている³⁾。

また身体の運動学データ動作、つまり動作フォームに関するデータもスポーツ指導において有益な情報となることが示唆されている。例えば、バスケットボールにおけるフリースローの成功率は下肢・上肢の関節角度との間に有意な相関関係を示すことや、上肢の姿勢や手首のスナップがシュートの回転数などを高めるための指導に重要な要素であることが報告されている⁴⁾。身体各部位の運動情報を得るためには、複数台の高速度ビデオカメラやモーションキャプチャシステムを用いた測定を行うことが通常である。この方法は、機材が非常に高額で、カメラのセッティング・キャリブレーションなどに多くの時間と人的労力を費やしてしまうといった制約が存在し、指導現場での普及は難しいのが現状である。

近年では各種センサ技術の発展に伴い、モーションキャプチャに準ずる精度で運動学的なデータを取得し、指導に活用できる可能性がある簡易ツールも開発され始めている。例えば、Microsoft 社が開発した Kinect は、赤外線投光による反射所要時間から物体の深度情報を得る方式 (Time of Flight : TOF) が採用されており、1 台での測定でも 3 次元座標データを取得できる。KINECT v2 とモーションキャプチャシステム (VICON) で測定したフリースロー様動作における関節角度測定値を比較した先行研究では、下肢 3 関節や肩などの比較的大きな関節では一致度が高かったものの、関節角速度が大きい肘関節や手関節の角度については KINECT v2 では精度の高い測定は難しいことが示されている⁵⁾。従来のモーションキャプチャシステムよりマーカー認識機能が低い Kinect の場合、角速度が大きい関節では正確に角度を測定できなかったものと推察される。また、この先行研究では、角度そのものの精度しか検証しておらず、角度変化の時間的なパラメータの精度については検証されていない。Kinect の姿勢推定によってパーキンソン病患者の動作精度を検証した先行研究⁶⁾のように、マーカー位置の認識機能が劣っていても、動作局面が変化するタイミングについては高精度で測定できる可能性もある。

そこで、本研究では先行研究の KINECT v2 の精度検証で解決されなかった点を再検証するため、新型の深度センサ (Azure Kinect) をバイオメカニクス分野で普及している光学式モーションキャプチャシステム (OptiTrack) と同時撮影することで撮影精度の検証をおこなった。先行研究と同様にボールを保持しない状態での下肢屈伸・上肢挙上からなるバスケットボールシュート様動作を測定動作として設定した。また、身体末端部位の角度測定精度は Azure Kinect において改善されており、時間的なパラメータ精度については全ての関節において一般的に「信頼性が高い」とされ

る 0.8 を超える高値を示すという仮説を立てた。

Ⅱ 方法

被験者

被験者は健常成人男性 2 名（年齢：22 歳，身長：168cm，体重：61kg），（年齢：22 歳，身長：174cm，体重：72kg）であり，2 人とも大学のバスケットボール部に所属しており，7 年以上のバスケットボール経験があった。

課題動作

本研究では，バスケットボールシュートを模した下肢及び上肢の屈伸動作（以下，Flexion-Extension 動作：FE 動作）を課題動作として採用した。被験者には「フリースローをイメージしてジャンプしないように行う」ことを指示した。各被験者につき計 40 本の FE 動作を実施し，10 本ごとに 1 分程度の休息を挟んだが，被験者から希望がある場合その都度休息時間を設けた。実験設定の様子を図 1 に示す。



図1 実験セッティング

使用機材

図 2 に Azure Kinect（Microsoft 社）を示す。このセンサは本来ゲーム機器として開発されたものであるが，PC と接続するだけで身体各部位の座標データを取得できるという特徴を持つ。Azure Kinect で通常用いられる姿勢計測方法は，骨格モデルによる身体部位の推定をおこなう KINECT SDK という通常反射マーカを用いない手法であるが，素早い動作や小さい身体部位を正確に測定する性能は高くなく，身体正面以外からの撮影は適さないといった制限がある。本研究では Azure Kinect 用撮影ソフトである ICpro（ヒューテック株式会社製）を用い，マーカ認識方式に

て各身体部位の3次元座標データを取得した。また、Azure Kinectの深度カメラの解像度は640 x 576 px 旧式のKINECT v2の512 x 424 pxから改善しているが、撮影周波数は30Hzから変更されていない⁷⁾。

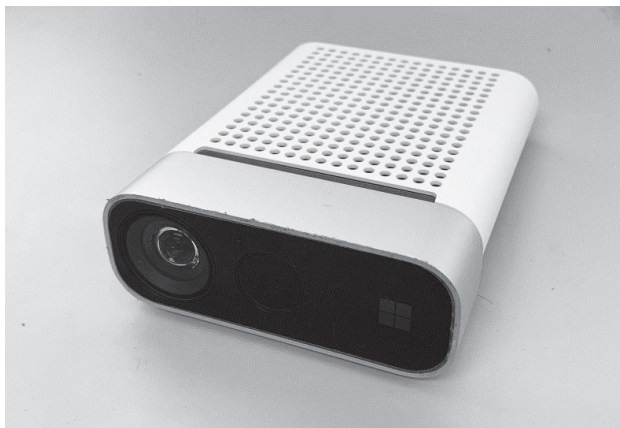


図2 Azure Kinect 本体

OptiTrackは赤外線LEDを搭載したカメラと3次元トラッキングソフトウェアからなる複数の高速度のカメラからなるモーションキャプチャシステムである。図3に使用した高速度カメラ(Flex13:最速120FPS)を示す。



図3 OptiTrack で使用した Flex13

データ取得・処理

反射マーカー（直径 15mm）を側頭部，身体右側の肩峰，上腕骨外側上顆，外側茎状突起，小指 MP 関節外側，大転子，膝窩—膝蓋骨の中心，外果，第 5 中足骨末端の 9 か所に貼付した。マーカーの貼付後，FE 動作を Azure Kinect と OptiTrack にて同時撮影した。それぞれの撮影方法の詳細を以下に示す。

Azure Kinect は 1 台で撮影を実施し，ノート PC（Mouse Computer 社製）1 台を接続して用いた。データ取得の周波数は 30Hz であった。本研究では Azure Kinect センサはレンズの中心を床面から 0.8m，被験者の右足側面から 3m 離れた位置に設定し，被験者の右側方から撮影を行った。得られた座標データはソフトでデフォルト設定となっている 5Hz のローパスフィルタ（Butterworth filter）および補間機能によりノイズの減衰と欠損データの補間をおこなった。OptiTrack については Flex13 を 3 台とトラッキングソフト Motive（SPICE 社）を使用し，120Hz でデータを記録した。

データ分析

FE 動作は 40 回ずつ実施したが，座標位置の欠損が少ない 30 回分を測定データとして採用した。Azure Kinect と OptiTrack から得られた各部位のデータを元に各関節の 2 次元屈曲角度ピーク値および伸展角度ピーク値を算出した。図 4 および図 5 に関節角度の定義およびピーク角度となる各局面の姿勢例を示す。また，それぞれの関節について，屈曲ピークが生じてから伸展ピークが生じるまでの時間（ピーク間所要時間）を算出した。

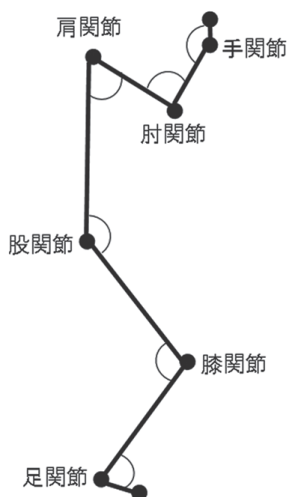


図 4 関節角度の定義

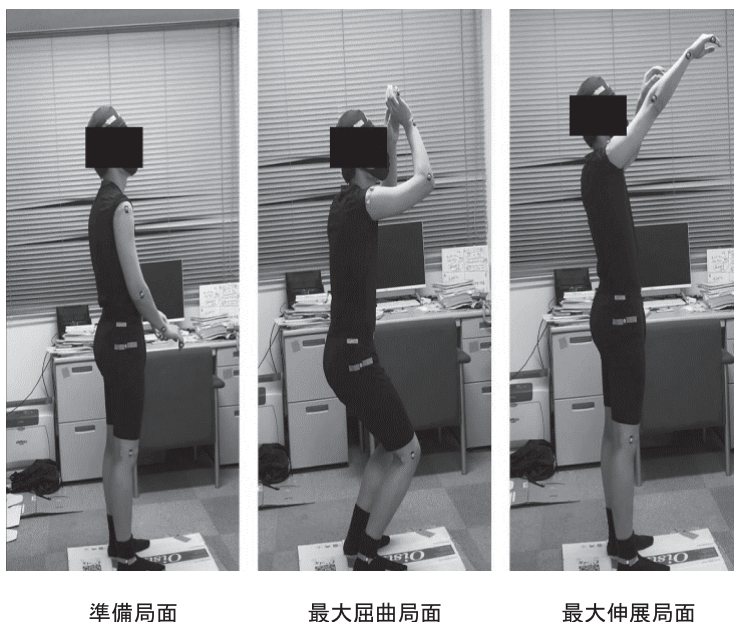


図5 動作局面の典型例

統計処理

測定値の基本統計量は平均値±標準偏差で示した。Azure Kinect と OptiTrack による各関節ピーク角度およびピーク間所要時間の比較には IBM SPSS statistics 24 による級内相関係数 ICC を求め、ICC の 95% 信頼区間も併せて算出した。また、有意水準は $p < 0.01$ とした。

III 結果

Azure Kinect と OptiTrack の空間的データ一致性を意味する各関節の屈曲伸展のピーク角度の ICC を表 1 に ICC の 95% 信頼区間を図 6 に示す。FE 動作中の肘関節、足関節、肩関節、肘関節および股関節の屈曲・伸展ピーク角度、加えて手関節の伸展ピーク角度の ICC は一般的に「信頼性が高い」とされる 0.8 を超える値を示した。一方で手関節の屈曲ピーク角度の ICC は 0.604 と比較的低い値を示した。

表 2 にタイミングデータの一致性を意味するピーク間所要時間の ICC を、ICC の 95% 信頼区間を図 7 に示す。EF 動作中の肘関節、足関節、肩関節および股関節のピーク間所要時間の ICC は 0.9 を超える値を示した。一方で肘関節と手関節のピーク間所要時間の ICC は 0.8 を下回る値を示した。

表1 各関節の屈曲伸展のピーク角度の測定値および級内相関係数 (* : p<0.01)

		Azuke Kinect 測定値 (deg)	OptiTrack 測定値 (deg)	ICC	ICC下限95%	ICC上限95%
手関節	屈曲ピーク角度	131.1 ± 7.2	132.3 ± 5.9	0.604*	0.267	0.783
	伸展ピーク角度	240.7 ± 30.9	244.0 ± 31.6	0.800*	0.805	0.928
肘関節	屈曲ピーク角度	74.7 ± 3.5	74.7 ± 4.1	0.856*	0.781	0.899
	伸展ピーク角度	158.2 ± 15.2	156.9 ± 16.3	0.836*	0.652	0.984
肩関節	屈曲ピーク角度	17.4 ± 4.9	17.5 ± 4.8	0.995*	0.992	0.997
	伸展ピーク角度	126.2 ± 6.7	125.9 ± 6.3	0.986*	0.982	0.997
足関節	屈曲ピーク角度	74.5 ± 5.8	74.5 ± 5.1	0.996*	0.994	0.998
	伸展ピーク角度	98.5 ± 2.1	98.6 ± 2.2	0.984*	0.972	0.990
膝関節	屈曲ピーク角度	107.8 ± 8.8	107.9 ± 6.7	0.991*	0.985	0.995
	伸展ピーク角度	175.8 ± 1.8	175.7 ± 1.7	0.980*	0.965	0.989
股関節	屈曲ピーク角度	130.6 ± 16.8	131.1 ± 17.5	0.990*	0.983	0.994
	伸展ピーク角度	177.8 ± 1.2	177.8 ± 1.5	0.992*	0.986	0.995

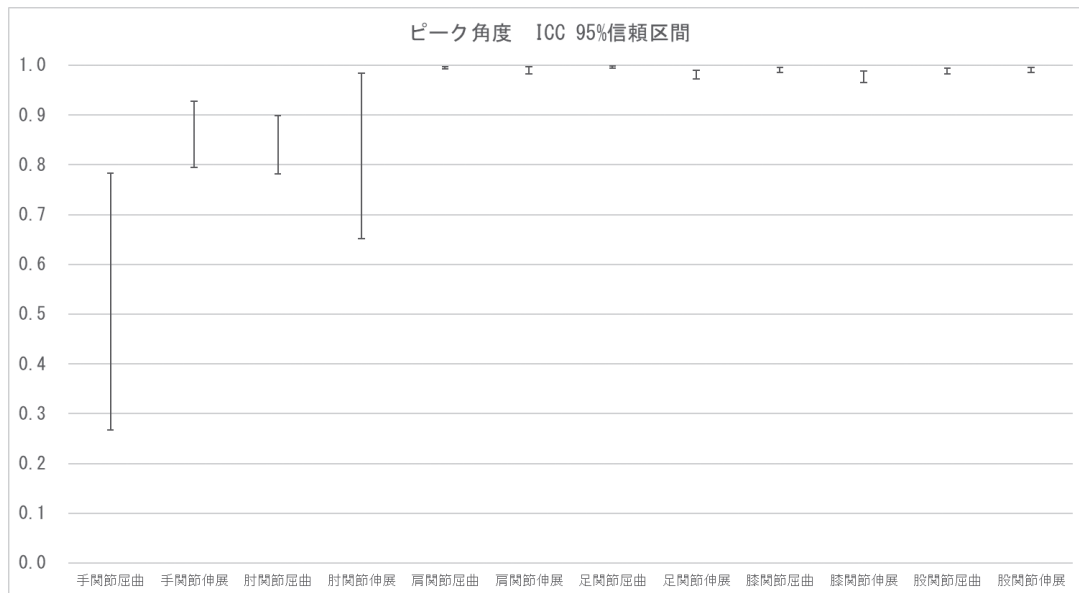


図6 各関節角度の ICC95%信頼区間

表 2 各関節の屈曲伸展のピーク間所要時間の測定値および級内相関係数 (* : p<0.01)

	Azuke Kinect 測定値 (s)	OptiTrack 測定値 (s)	ICC	ICC下限95%	ICC上限95%
手関節ピーク間所要時間	0.45 ± 0.12	0.40 ± 0.19	0.659*	0.486	0.783
肘関節ピーク間所要時間	0.31 ± 0.20	0.25 ± 0.14	0.750*	0.148	0.901
肩関節ピーク間所要時間	1.24 ± 0.54	1.22 ± 0.54	0.982*	0.862	0.991
足関節ピーク間所要時間	0.48 ± 0.09	0.48 ± 0.10	0.991*	0.982	0.996
膝関節ピーク間所要時間	0.50 ± 0.10	0.50 ± 0.10	0.912*	0.908	0.978
股関節ピーク間所要時間	0.53 ± 0.11	0.52 ± 0.11	0.952*	0.903	0.977

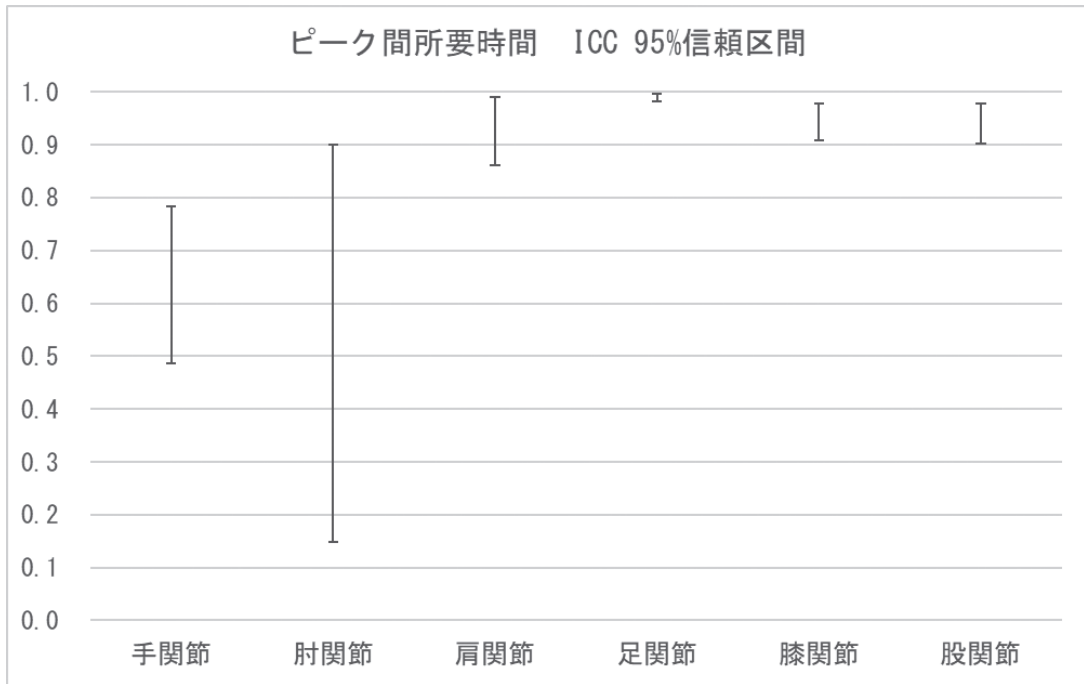


図 7 各関節ピーク間所要時間の ICC95%信頼区間

IV 考察

関節角度ピーク値の ICC について

FE 動作時の屈曲・伸展ピーク角度の ICC は、手関節の屈曲ピーク角度を除き全て 0.8 を超える値を示した。KINECT v2 を用いた先行研究の Natural 条件では、手関節と肘関節の屈曲ピーク角度の ICC が 0.8 を下回っていた。また、手関節の屈曲ピーク角度の ICC も、先行研究の Natural 条

件 (ICC = 0.340) を上回る 0.604 という値であった⁵⁾。これらのことを考慮すると、本研究の仮説の通り Azure Kinect は旧型の KINECT v2 と比較し、マーカー式でのバスケットボールシュート様動作における上半身の遠位関節の角度測定精度が向上したものと解釈できる。しかしながら、95% 信頼区間でみると、手関節の屈曲と肘関節の屈曲および伸展のピーク角度の ICC の下限 95% は 0.8 を下回っており、これらのパラメータを Azure Kinect で測定する場合は、未だ解釈に注意が必要であろう。

ピーク間所要時間の ICC について

FE 動作時の屈曲・伸展ピーク間所要時間の ICC は肩関節、股関節、膝関節、足関節では 0.9 を超える値を示したものの、手関節および肘関節では 0.8 を下回る値であった。このことから、時間的なパラメータ精度については全ての関節において 0.8 を超える高値を示すという本研究の仮説は棄却された。角度の ICC の結果と考え合わせると、本研究では空間的な測定精度とタイミング的な精度が相関する結果となったといえる。一方で、パーキンソン病患者の種々の動作における KINECT の測定精度を検証した Galna et al. (2014) によると、関節角度や位置といった空間的一致度は関節によって大きく異なるがタイミングに関する一致度はどの身体部位であっても高いことを示している⁶⁾。この結果の相違の原因としては、測定方法の違いと動作様式の条件の違いの 2 つが考えられる。Galna らの研究では、マーカー式ではなく Kinect SDK という姿勢推定システムを用いていた。マーカー式測定の場合、角速度が大きい場合は画像上で反射光が残像を含み大きく表示されるため、実際の座標からの誤差が大きくなった可能性がある。また、Galna らの研究では静止立位、リーチング、歩行といった動作が採用されていたのに対し、本研究では末端部の角速度が非常に高くなるバスケットボールのシュート動作であった。この動作速度の違いも、時間的なパラメータ精度の違いの要因の 1 つとして考えられる。

今後の展望・研究の限界

本研究で精度の検証をおこなった Azure Kinect は、KINECT v2 と比較して肘関節や手関節といった遠位部の測定精度は向上していたものの、その数値は未だ解釈に注意が必要な水準であった。加えて、時間的なパラメータ精度も角度データと同様の傾向となった。これらは Azure Kinect は深度画像の解像度は向上していたものの、撮影周波数は変化していなかったことがもたらした結果と考えられる。取得データを即座にフォーム指導のフィードバックに用いるためには、深度カメラの測定周波数が向上したセンサの開発、もしくは非マーカー式のセンサの利用が求められる。

また、OptiTrack での測定値をゴールドスタンダードとした点にも注意を払う必要がある。OptiTrack はバイオメカニクス分野で広く用いられている手法であるものの、真の関節角度やピーク間所要時間を反映したものであるかを本研究から明らかににはできない。この点は本研究の限界として述べておかなければいけないだろう。

V 結論

本研究は、Azure Kinect のバスケットボールシュート様動作における身体末端部位の角度測定精度が KINECT v2 より改善されており、時間的なパラメータ精度については全ての関節において高

値を示すという仮説を立て、OptiTrack と同時撮影することで撮影精度の検証をおこなった。その結果、以下の結果が得られた。

1. 手関節の屈曲ピーク角度の ICC は先行研究の同条件の値 (ICC = 0.340) を上回る 0.604 という値であり、身体末端部位の角度測定精度が KINECT v2 より改善されているという仮説は支持された。しかしながら、95%信頼区間でみると、手関節の屈曲と肘関節の屈曲および伸展のピーク角度の ICC の下限 95% は 0.8 を下回っていた。
2. FE 動作時の屈曲・伸展ピーク間所要時間の ICC は肩関節、股関節、膝関節、足関節では 0.9 を超える値を示したものの、手関節および肘関節では 0.8 を下回る値であった。このことから、時間的なパラメータ精度については全ての関節において高値を示すという本研究の仮説は棄却された。

以上の結果から、Azure Kinect におけるバスケットボールシュート様動作測定は、KINECT v2 によるものと比較して肘関節や手関節といった遠位部の測定精度は向上していたものの、未だ解釈に必要な水準と考えられた。また時間的なパラメータ精度も、遠位関節では高い水準ではないと示唆された。即座的な動作フォームのフィードバックシステムの開発のためには、深度カメラの測定周波数が向上したセンサの開発、もしくは非マーカー式のセンサの利用が必要であると結論付けられた。

VI 謝辞

本研究は JSPS 科研費 19K19960 の助成を受けたものです。本研究は 2021 年度南山大学パッへ研究奨励金 I-A-2 の研究助成を受けています。

引用文献

- 1) Halouani, J., Ghattasi, K., Bouzid, M. A., Rosemann, T., Nikolaidis, P. T., Chtourou, H., & Knechtle, B. Physical and physiological responses during the stop-ball rule during small-sided games in soccer players. *Sports*, 2019; 7 (5), 117.
- 2) 清水雄一. ウエアラブル：“動き”の可視化システムの開発 (野球編). *繊維製品消費科学*. 2016; 57 (10), 734-737.
- 3) 岩見雅人, 藤井慶輔, 伊藤穰. センサバスケットボールを用いたシュートのボックスピン回転数と入射角の計測精度検証. *バスケットボール研究*. 2016; (2), 33-39.
- 4) 元安陽一. バスケットボールのフリースロー成功率に及ぼす関節運動の影響. *上智大学体育*, 2011; (44), 5-12.
- 5) 飯田祥明, 内野翔太, “KINECT V2 センサを用いたフリースロー様動作中のマーカー式関節角度測定の精度検証. *バスケットボール研究*. 2018; (4), 55-63.
- 6) Galna B, Barry G, Jackson D, Mhiripiri D, Olivier P, Rochester L. Accuracy of the Microsoft Kinect sensor for measuring movement in people with Parkinson's disease. *Gait & Posture*. 2014; 39 (4), 1062-1068.
- 7) Microsoft. “Azure Kinect と Kinect Windows v2 の比較”. Microsoft document. 2022/01/25. <https://docs.microsoft.com/ja-jp/azure/kinect-dk/windows-comparison>, (最終アクセス 2022/02/14)