

Kinect™ for Windows を用いた垂直跳の跳躍高の即時的計測システムの特徴

Characteristics of the Instantaneous Measuring System
for Estimating Vertical Jump Height Using Kinect™ for Windows

中井 聖*, 新井 彩**, 村木 有也***, 市谷 浩一郎*

Akira Nakai*, Aya Arai**, Yuya Muraki***, & Koichiro Ichitani*

Abstract

The aims of the present investigation were (a) to build a system measuring vertical jump height using Kinect™ for Windows (Kn) and (b) to understand the characteristics of the system comparing to a measuring method using video motion analysis (Vid). Jump heights were simultaneously measured by the above methods in 134 female university students who performed a maximal squat jump. The jump heights measured using Kn and Vid were 33.1 ± 4.3 cm and 33.3 ± 4.1 cm, respectively. There was no significant difference in the jump heights between two measuring methods. The jump height from Kn had strong positive correlation with that from Vid ($r = 0.909$, $p < .001$). These findings indicate that Kn is characterized by acquisition of an approximate jump height to Vid and is a valid method measuring vertical jump height. In conclusion, Kinect™ for Windows may have the potential to be utilized to measure spatiotemporal parameters during a quick and dynamic motion like a vertical jump.

1. はじめに

Kinect™ for Windows (Microsoft 社製; 以下, Kinect) は, 赤外線プロジェクタと CMOS センサから成る赤外線深度センサ, および CMOS カラーセンサで構成され (図 1(a)), 対象とする物体の奥行き情報 (以下, 深度データ) を取得することで, 対象物の 3 次元形状を計測したり, 人の動きやジェスチャー, 顔の表情などをマーカーレスで検出したりすることが可能な機器である.

Kinect の深度データの取得には, Light coding というセンシング方法が用いられる[1]. Zhang[2]

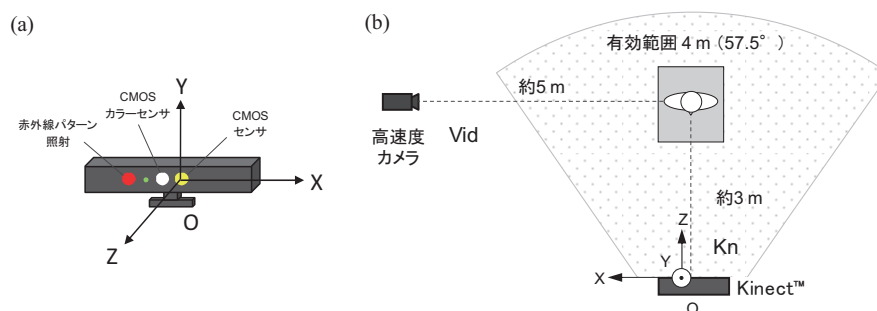


図 1. (a)Kinect におけるグローバル座標系と(b)各測定機器の設置条件.

* 大阪電気通信大学 医療福祉工学部 健康スポーツ科学科

** 武庫川女子大学 健康・スポーツ科学部

*** 大阪電気通信大学 共通教育機構 人間科学教育研究センター

によると、その原理は以下のとおりである。ランダム・ドット・パターンと呼ばれる特殊なパターンの赤外線レーザ光を赤外線プロジェクタから照射し、計測する対象物に当たった反射光を CMOS センサで 30 fps（解像度 640×480 pixels）で読み取る。照射された当初のパターンは、対象物に当たるとパターンに歪みが生じ、その状態が CMOS センサによって記録される。また、CMOS センサから対象物の距離が近いほど、元のパターンから大きな歪みが生じる。これらのことを利用し、パターンの歪みの量から、三角測量法を用いてピクセル毎に深度データを算出する。それと同時に、CMOS カラーセンサによって、RGB データが 30 fps（解像度 640×480 pixels）で取得される。

人を対象として計測を行った場合、Kinect 内部では、リアルタイムで得られる深度データから身体各セグメントを分別し、Mean shift 法と呼ばれる、密度分布関数の極大値を検出する手法[3]を用いて推定した各セグメントの重心から、各関節中心の 3 次元位置を推定する。そして、予め取得された大量のデータを機械学習させて得られたアルゴリズムによって、各関節中心の 3 次元位置を特定し、骨格モデルのフィッティングを行う[2]。得られた各関節中心の 3 次元座標を使用し、CMOS カラーセンサで取得された RGB データによるカラー映像上に、リアルタイムでスティックピクチャーを描画することも可能である。

近年になって、Kinect のこれらの機能をバイオメカニクス分野に応用し、動作解析に利用しようという試みが提案されている[4-6]。Kinect の動作分析機器としての妥当性については、その発売以来、これまで多くの研究が行われてきた[7]。しかしながら、それらは、単一動作平面上の上下肢動作[8, 9]、両脚あるいは片脚での立位バランス[8, 10]、スクワット運動[11]、歩行[12, 13]など、比較的ゆっくりとした単純な動作を検証対象としており、素早くダイナミックな動きを対象とした報告は見られない。そこで、本研究では、ごく短時間でダイナミックに動作される垂直跳を対象動作として取り上げ、Kinect を用いて跳躍高を即時的に計測するシステムを構築して測定を行い、得られた跳躍高を従来の測定方法で得られる値と比較することで、Kinect を用いたマーカーレスでの跳躍高の計測システムの特徴を知り、その妥当性を検証することを目的とした。

2. 方法

2.1 被験者

本研究では、M 大学の健康やスポーツに関わる学部所属する女子大学生 134 名を被験者とした。被験者の年齢は 19.9 ± 0.5 歳、身体的特徴は、身長が 160.6 ± 5.4 cm、体重が 55.1 ± 5.6 kg、体脂肪率が $22.4 \pm 3.7\%$ であった。

なお、本研究は、武庫川女子大学研究倫理委員会の審査、承認の上、実施された（承認番号:15-82）。予め被験者には、研究の目的や方法、予測される影響、得られた情報の取り扱いについて十分に説明し、同意を得た上で実験を実施した。

2.2 実験プロトコル

本研究における全ての実験は、M 大学体育館のフロアで実施した。被験者に十分なウォームアップを行わせた後、静止立位姿勢を取らせ、被験者の右大転子にマーカーを貼付した。そして、静止立位から沈み込んだ後、最大努力で上方に跳躍して着地し、再び静止立位に戻るという手順で、スクワットジャンプを実施させた（図 2 参照）。その際、左右の手掌はそれぞれ同側の腸骨稜付近に当てさせ、上肢による反動動作を使わずに跳躍するよう指示した。試技は、被験者が最大努力で実



図2. スクワットジャンプの試行例. 丸印はマーカークの貼付位置を示す.

施できたと判断するまで繰り返し行わせた. 被験者に試技の繰り返しによる疲労が及ばないように, 試技間では十分な休息を取らせた.

2.3 Kinect を用いた跳躍高の計測システムの構築

Kinect および数値解析ソフト (MATLAB R2015a, MatWorks 社製) を用い, 試行時の跳躍高を即時的に計測できるシステムを構築した. まず, 数値解析ソフトに Image Processing Toolbox, Image Acquisition Toolbox および Kinect for Windows Support Package を組み込み, PC と Kinect とを USB 2.0 によって接続し, CMOS カラーセンサおよび CMOS センサからのデータ取得を可能にした. その後, 以下の手続きにしたがって, 跳躍高を求めるプログラムを作成した (図3 参照).

- (1) videoinput (MATLAB に入力される映像) を設定し, skeleton (Kinect 内部で CMOS センサによって計測される深度データを基に推定される骨格モデル) を検出して 1 frame ごとにデータ取得するよう設定する.
- (2) ColorVid (CMOS カラーセンサからの RGB データ) を 30 fps で取得し, figure (画像やグラフを表示するウィンドウ) にカラー映像として表示させる.
- (3) DepthVid (CMOS センサによって計測される深度データ) の取得を開始し, 30 fps で静止立位から最大沈み込み, 最高点到達, 着地を経て再び静止立位に戻るまでの動作が完結すると想定される 90 frame (3 sec) 分取得する.
- (4) DepthMetaData (DepthVid から Kinect 内部で算出される skeleton 上の全てのランドマークの位置データ) が取得できていれば○印, 取得できていなければ×印を figure に表示する (図3(b)の1).
- (5) DepthMetaData に格納されるデータから, HipCenter (skelton における左右股関節中心の中点) の Y 座標を取り出して, figure の Ref の項目にリアルタイムで表示し (図3(b)の2), figure に散布図を描画する (図3(b)の3).
- (6) DepthMetaData から HipCenter の Y 座標を全 frame 分取り出し, HipCenterAll に格納する.
- (7) HipCenterAll から最大値 (HipCenterMax) を検索し, figure の Max の項目に表示する (図3(d)の5).
- (8) 静止立位となる試行の終末の 10 frame (81 から 90 frame) の HipCenter の Y 座標を DepthMetaData から取り出し, その平均 (HipCenterRef) を求め, figure の Ref の項目に表示する (図3(d)の4).
- (9) HipCenterMax から HipCenterRef を減じて VerticalJumpHeight (跳躍高) を求め, figure の Height の項目に表示する (図3(d)の6).

Kinect から得られる DepthMetaData などの位置データは, 深度データを取得する CMOS センサの中心を原点とした右手系のグローバル座標系で示される (図1(a)参照). Kinect 内でのキャリブレ

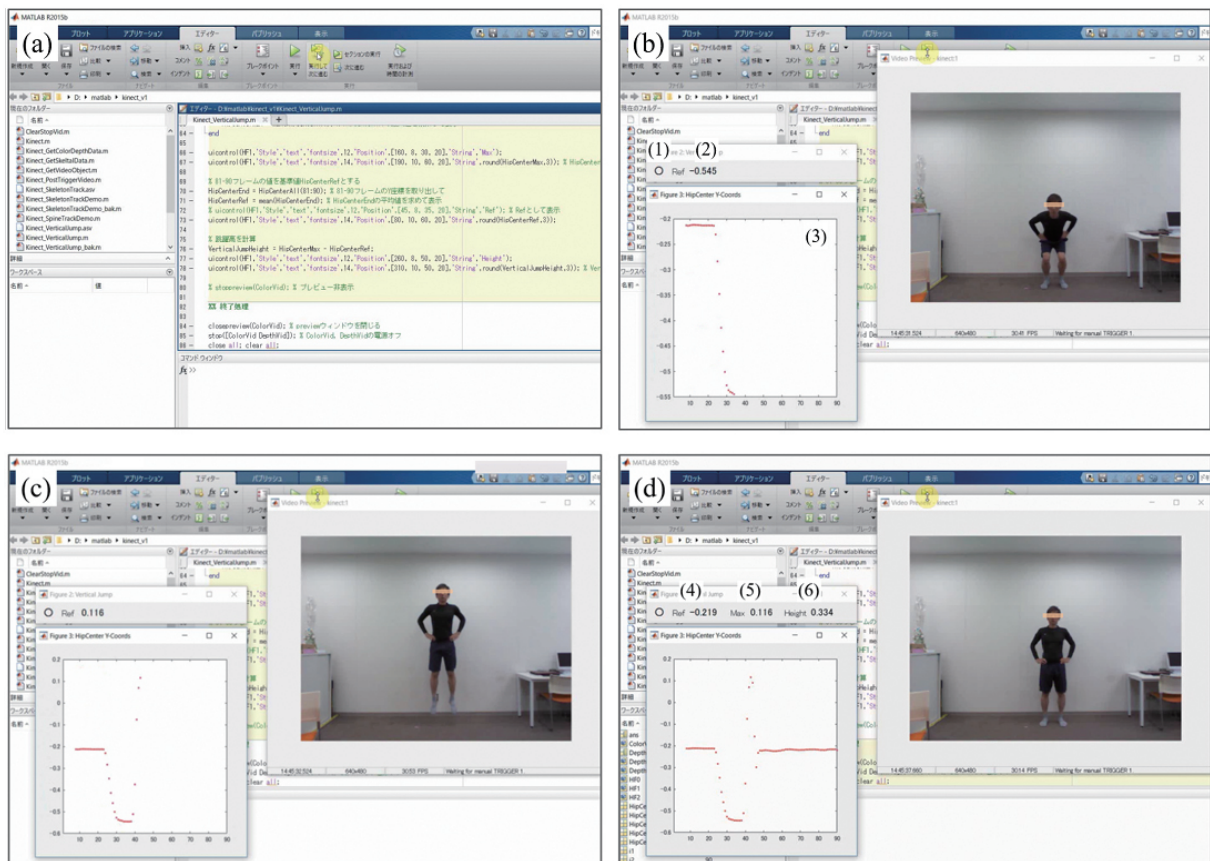


図3. 本研究で作成したプログラムの実行例. (a)はプログラム開始時点, (b)はHipCenterのY座標のグラフとColorVidの映像を表示し, 沈み込みが最大となった時点, (c)は跳躍動作中の滞空している時点, (d)はHipCenterRef, HipCenterMax, VerticalJumpHeightが表示され, プログラムが終了する時点の画面の表示例. (1)はHipCenterのY座標が取得できているか否か, (2)はHipCenterのY座標, (3)はHipCenterのY座標の軌跡, (4)は静止立位時のHipCenterのY座標, (5)は最高点到達時のHipCenterのY座標, (6)は跳躍高を示す.

ーションは製品生産時に完了されており, 使用する際にはキャリブレーションは不要とされている[4]. 図3に示したとおり, 測定対象者の概ね正面にKinectを設置し, 本研究で作成したプログラムを実行することによって, キャリブレーションを行うことなく, マーカーレスでskeltonを検出し取得したデータから, 即時的に跳躍高が得られたことが分かる.

2.4 測定方法および分析方法

本研究では, 前述のプロトコルに基づく試技のうち, 各被験者が最大努力で実施できたと判断した試技を分析対象とすることとした. その際の跳躍動作を, 以下の2種類の測定方法によって同時に計測した.

Kinectがskeltonを認識可能な範囲内である, 被験者の正面前方から約3 mの距離, 床面から約1.1 mの高さに, 概ねCMOSカラーセンサの中心が位置するように設置した(図1(b)参照). Kinectによって被験者の跳躍動作を前方から撮影し, 先述したプログラムにより算出されたVerticalJumpHeightを跳躍高(以下, Knによる跳躍高)とした. 加えて, 被験者の右側方に約5 m

離して設置した高速度高精度撮影カメラ（GC-LJ20B，スポーツセンシング社製）によって，被験者の跳躍動作を撮影速度 120 fps（解像度 640×360 pixels），シャッター速度 1/1000 sec で撮影した．全ての計測が終了した後に，動作解析システム（FrameDIAS V，DKH 社製）を用いて，撮影映像上のマーカーを貼付した右大転子の 2 次元座標値を，手動によって分析周波数 120 Hz で取得した．分析平面の水平方向を X 軸，鉛直上方向を Y 軸として静止座標系を設定し，2 次元 4 点実長換算法を用いて右大転子の実空間座標値を算出した．そして，右大転子の Y 座標の最大値と静止立位時の Y 座標との差分を跳躍高（以下，Vid による跳躍高）とした．

2.5 統計処理

Kn および Vid による跳躍高の全被験者における平均および標準偏差を算出した．Kn による跳躍高と Vid による跳躍高の間の差を対応のある t 検定を用いて検定した．Kn による跳躍高と Vid による跳躍高の間の関連を Pearson の積率相関係数を用いて検討し，Kn による跳躍高を従属変数，Vid による跳躍高を独立変数とした単回帰分析により回帰式を算出した．全ての統計処理は，統計解析ソフト（IBM SPSS Statics 23，IBM 社製）を使用して行い，統計的有意水準は 5% に設定した．

3. 結果および考察

図 4 に，跳躍動作中の静止立位から最大沈み込み，最高点到達，着地を経て，再び静止立位に至る間の Kn で計測された HipCenter の Y 座標および Vid によって得られた右大転子の Y 座標の軌跡を示した．着地直後および着地後の静止立位時を除いた全ての区間において，両者の軌跡は一致した．よって，跳躍動作中，Kn によるマーカーレスでの HipCenter の取得は概ね良好に行われていたと判断される．Schmitz et al.[11]は，ゆっくりとしたスクワット動作を対象として，Kinect と光学的

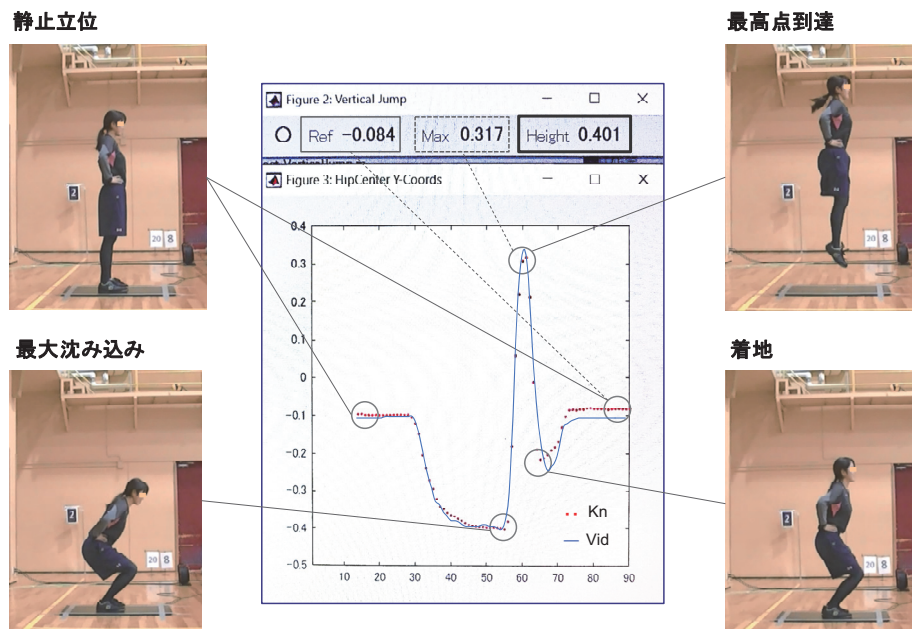


図 4. Kinect で計測した HipCenter の Y 座標（プロット）と高速度カメラで取得した右大転子の Y 座標（実線）の時系列変化の一例．

モーションキャプチャシステムで取得したデータを比較し、両者で動作パターンがよく一致したことを報告している。本研究の跳躍動作に先行研究の対象動作と類似した下肢動作が含まれていたことが一因となり、その動作パターンが Kn によってうまく認識されたと推察される。

被験者全体として、Kn による跳躍高は 33.1 ± 4.3 cm (19.7 から 43.3 cm)、Vid による跳躍高は 33.3 ± 4.1 cm (21.0 から 42.7 cm) であった (図 5)。対応のある t 検定の結果、Kn による跳躍高と Vid による跳躍高の間に有意差は認められなかった ($t(133) = -1.462, p = .15$)。金高[14]は、チョークジャンプ法、ベルトジャンプ法、マットスイッチで測定した滞空時間を用いた方法という 3 種類の測定方法による垂直跳の跳躍高の特徴を比較し、測定方法によって跳躍高は幾分異なる値を示すことを指摘している。これに対して、本研究で得られた Kn および Vid による跳躍高は同等の値であった。Kn はマーカーレスで取得した HipCenter、Vid はマーカーを貼付した右大転子を計測点としており、これらの計測点は非常に近接していた。Kn および Vid は、非常に近接した計測点の静止立位からの最大上昇高を跳躍高とする同様の方法であったことから、得られた跳躍高は同等の値を示す結果となった。

川端と金子[15]は、ベルトジャンプ法とチョークジャンプ法によって測定された跳躍高の間の高い関連、得られた回帰直線と等量線 (45 度線) との高い一致度、データの等量線からの乖離度の低さから、2 種類の方法で得られた跳躍高は近似しており、双方とも垂直跳の跳躍高の測定方法として妥当であると論じている。本研究の Kn による跳躍高と Vid による跳躍高の間には、非常に高い有意な相関が認められた ($r = .909, p < .001$; 図 6)。得られた回帰式は、 $y = 0.949x + 1.493$ (x: Vid による跳躍高 (cm), y: Kn による跳躍高 (cm)) であった。回帰直線の傾きは 1 に非常に近く、図 6 に示したとおり、回帰直線と等量線はほぼ一致した。データの大部分は等量線から $\pm 10\%$ までの範囲に分布し、 $\pm 20\%$ までの範囲に全てのデータが含まれており、データの等量線からの乖離度は低かった。これらのことから、本研究の Kn は先行研究と同様、垂直跳の跳躍高の計測方法としての妥当性を有することが示唆される。Springer and Seligmann[16]は、Kinect を用いた歩行に関する複数

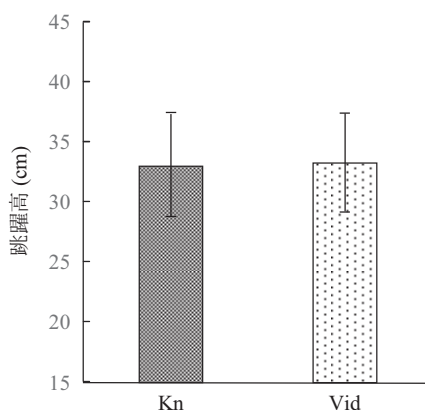


図 5. Kinect および高速度カメラで計測した跳躍高。図中の Kn は Kinect, Vid は高速度カメラ、誤差範囲は標準偏差を表す。

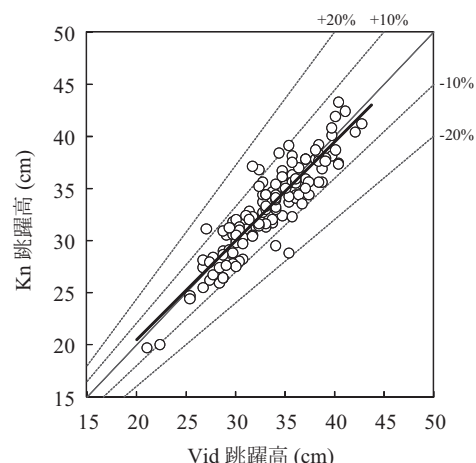


図 6. Kinect および高速度カメラで計測した跳躍高の関係。Kn は Kinect, Vid は高速度カメラ、図中の細線はそれぞれ等量線、等量線から $\pm 10\%$ または $\pm 20\%$ の範囲を示す。

の研究をレビューし、Kinectによって取得される歩行時のパラメータのうち、歩行速度、ステップ長、ステップ幅、ピッチ、接地および離地時間のような時間的空間的パラメータは妥当性が高いと結論付けている。Knの跳躍高はHipCenterの静止立位からの最大上昇高という時間空間的パラメータから得られており、妥当に計測されたと考えられる。

サンプリング定理[17]によると、アナログ信号を全て正確にデジタルデータとしてサンプリングするためには、原信号に含まれる最高周波数成分の2倍以上の周波数でのサンプリングが必要とされる。Kinectの撮影速度は30 fpsであり、15 Hz以下の周波数成分に対して有効なサンプリングが可能である。図4の典型例のVidで取得した右大転子のY座標の時系列データを高速フーリエ変換[18]によって周波数解析すると、主として2 Hz以下の低周波数成分という信号特性であったことから、Knは本研究の試技の鉛直方向の変位に対して必要十分な時間分解能を有すると考えられる。各測定方法の撮影映像から求められた鉛直方向の空間分解能は、Knでは0.74 cm/pixel、Vidでは0.70 cm/pixelであり、僅かながら差異が見られた。また、沈み込み前の静止立位時と着地後の静止立位時の値を比較すると、図4の典型例では、Vidは同等であったのに対し、Knは沈み込み前の静止立位時よりも着地後の静止立位時の方がやや高い値を示した。以上のことから、先述した各被験者におけるデータの等量線からの乖離、すなわちKnとVidによる跳躍高の差異は、鉛直方向の空間分解能の差異、あるいは静止立位時のKnによるHipCenterの取得誤差に起因したと推察される。

4. まとめ

本研究で構築したKinectを用いた跳躍高の即時的な計測システムによる測定は、高速度カメラの撮影映像を用いた測定方法による跳躍高に非常に近似した値が得られるという特徴を有し、垂直跳の跳躍高の計測方法として妥当な方法であることが明らかとなった。また、時間空間的パラメータの測定に限れば、垂直跳のような素早くダイナミックな動作を対象とした計測に、Kinectの適用が可能であることが示唆された。

参考文献

- [1] 中村薫, 杉浦司, 高田智弘, 上田智章, Kinect for Windows SDK プログラミング: Kinect for Windows v2 センサ対応版, 東京, 秀和システム, pp. 2-6 (2015).
- [2] Z. Zhang, "Microsoft Kinect sensor and its effect", IEEE MultiMedia, vol. 19, no. 2, pp. 4-10 (2012).
- [3] D. Comaniciu and P. Meer, "Mean shift: a robust approach toward feature space analysis", IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., vol. 24, no. 5, pp. 603-619 (2002).
- [4] 長野明紀, "Kinect for Windows v1 を MATLAB で使用するためのセットアップ", バイオメカニクス研究, vol. 20, no. 2, pp. 117-120 (2016).
- [5] 長野明紀, "Kinect for Windows v1 を用いたモーションキャプチャー", バイオメカニクス研究, vol. 20, no. 3, pp. 157-161 (2016).
- [6] 赤熊亮祐, 長野明紀, "Kinect for Windows v2 を MATLAB で使用するためのセットアップ及びモーションキャプチャーの実施", バイオメカニクス研究, vol. 20, no. 4, pp. 212-217 (2016).
- [7] X. Xu and R. W. McGorry, "The validity of the first and second generation Microsoft Kinect™ for identifying joint center locations during static postures", Appl. Ergon., vol. 49, pp. 47-54 (2015).
- [8] B. Bonnechère, B. Jansen, P. Salvia, H. Bouzahouene, L. Omelina, F. Moiseev, V. Sholukha, J. Cornelis, M.

- Rooze, and S. Van Sint Jan, “Validity and reliability of the Kinect within functional assessment activities: Comparison with standard stereophotogrammetry”, *Gait & Posture*, vol. 39, no. 1, pp. 593-598 (2014).
- [9] R. A. Clark, Y. H. Pua, K. Fortin, C. Ritchie, K. E. Webster, L. Denehy, and A. L. Bryant, “Validity of the Microsoft Kinect for assessment of postural control”, *Gait & Posture*, vol. 36, no. 3, pp. 372-377 (2012).
- [10] Y. Yang, F. Pu, Y. Li, S. Li, Y. Fan, and D. Li, “Reliability and validity of Kinect RGB-D sensor for assessing standing balance”, *IEEE Sensors J.*, vol. 14, no. 5, pp. 1633-1638 (2014).
- [11] A. Schmitz, M. Ye, G. Boggess, R. Shapiro, R. Yang, and B. Noehren, “The measurement of in vivo joint angles during a squat using a single camera markerless motion capture system as compared to a marker based system”, *Gait & Posture*, vol. 41, no. 2, pp. 694-698 (2015).
- [12] R. A. Clark, K. J. Bower, B. F. Mentiplay, K. Paterson, and Y. H. Pua, “Concurrent validity of the Microsoft Kinect for assessment of spatiotemporal gait variables”, *J. Biomech.*, vol. 46, no. 15, pp. 2722-2725 (2013).
- [13] A. Pfister, A. M. West, S. Bronner, and J. A. Noah, “Comparative abilities of Microsoft Kinect and Vicon 3D motion capture for gait analysis”, *J. Med. Eng. Technol.*, vol. 38, no. 5, pp. 274-280 (2014).
- [14] 金高宏文, “ジャンプ力を測る”, 鹿屋体育大学スポーツトレーニング教育研究センター編, スポーツ選手と指導者のための体力・運動能力測定法: トレーニング科学の活用テクニック, 東京, 大修館書店, pp. 82-89 (2004).
- [15] 川端浩一, 金子公有, “垂直跳びテストのチョークジャンプ法とベルトジャンプ法によるパフォーマンスの比較”, *大阪体育学研究*, vol. 48, pp. 181-186 (2010).
- [16] S. Springer and G. Y. Seligmann, “Validity of the Kinect for gait assessment: a focused review”, *Sensors*, vol. 16, no. 2, p. 194 (2016).
- [17] C. E. Shannon, “Communication in the Presence of Noise”, *Proc. IRE*, vol. 37, no. 1, pp. 10-21 (1949).
- [18] J. W. Cooley and J. W. Tukey, “An algorithm for the machine calculation of complex Fourier series”, *Math. Comput.*, vol. 19, no. 90, pp. 297-301 (1965).