

令和 2 年 6 月 8 日現在

機関番号：34412

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K01700

研究課題名(和文) 縮小モデルを用いた簡便なキャリブレーションによる3次元空間再構築方法の確立

研究課題名(英文) Establishment of a three-dimensional space reconstruction method by simple camera calibration using a reduced model

研究代表者

中井 聖 (Nakai, Akira)

大阪電気通信大学・医療福祉工学部・特任教授

研究者番号：80635293

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、競技エリアに含まれる実空間座標値が既知である特徴点をコントロールポイントに用いたDLT(Direct Linear Transformation)による3次元空間の再構築方法では、分析対象点の2次元計測座標を精度良く得ることで、DLTの数学的な解法上必要な最少数である6点のコントロールポイントであっても、非常に高精度で3次元座標が算出されることを、系統誤差および偶然誤差を極力取り除いた物理シミュレーションの結果から明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

競技エリアに含まれる実空間座標値が既知である特徴点をコントロールポイントに用いたDLTによる3次元空間の再構築方法において、これまで知られてこなかった分析空間全体の再現精度の特徴やカメラの設置位置による再現精度の変化などを明らかにすることで、競技スポーツ場面や臨床現場で煩雑なキャリブレーション作業を行うことなく、分析空間全体における偶発的な動作を簡便に精度よく3次元的に分析可能であることを明示した。本研究で得られた知見は、2023年に技術的に実現予定である個人の観察情報をデータ処理技術によって定量化して収集・分析できるシステムにおける映像撮影による動作データの取得に寄与するものとなり得る。

研究成果の概要(英文)：The present study indicated that accurate measurement of the 2D coordinates of analysis target points results in a calculation of the 3D coordinates with extremely high accuracy, even with the minimum six control points required for the mathematical solution of DLT (Direct Linear Transformation), in the method of reconstructing the 3D space by DLT that utilizes the feature points whose real space coordinate values included in the competition area are known as the control points from the results of the physical simulations whose systematic and random errors were minimized.

研究分野：スポーツバイオメカニクス

キーワード：3次元動作分析 特徴点 コントロールポイント キャリブレーション 物理シミュレーション 3次元座標 再現精度 誤差要因

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ヒトが行う動作を撮影して3次元的に分析する際には、DLT(Direct Linear Transformation)がよく用いられる。DLTでは、予め実空間での位置が分かっている計測点(コントロールポイント、以下CPと略す)をカメラで撮影し、カメラ定数を内包したDLTパラメータを求めて3次元空間を再構築する。通常、分析空間内に30から40個のCPを均等に設置してカメラで撮影し、撮影映像上での座標(以下、2次元計測座標値)と実空間での座標(以下、実空間座標値)を対応させるキャリブレーションを行う必要がある。競技スポーツ場面では、競技の実施場所や実施時間の制約により、作業が煩雑なキャリブレーションを行えないこともある。また、競技エリアの一部を分析空間としてキャリブレーションを行ったとしても、分析空間外で対象とする動作が起こる可能性もある。競技中に偶発的に生じるベストパフォーマンスや傷害が生じた際の動作を分析対象とした場合、競技エリア全体を分析空間とすることが求められる。

球技種目では、競技を実施するコートやゴール、支柱などの大きさや高さ、それらの位置がルールで明確に規定されており、競技エリア全体に実空間での座標が既知である特徴点が含まれている。これまでも実際の競技エリアを対象として、特徴点をCPとして用いるキャリブレーションによって3次元空間を再構築することが試みられてきた。しかし、この方法は経験則に基づいて運用されており、競技エリアの特徴点のように大きく偏って配置されたCPが3次元座標値の算出にどのような影響を与えるのか、CPとして用いる特徴点の数や組み合わせ、撮影に使用するカメラの設置位置が変わることによって、算出される3次元座標値がどのように変化するかについてはよく知られていない。これらを検証する際に実際の競技エリアを対象とすると、カメラの設置位置などの制約があり、多様な条件を設定した比較が困難であるため、研究代表者らは、競技エリアの縮小モデルを使用した物理シミュレーションによって実験的にDLTによる3次元座標値の再現精度を検討することを発案し、この方法を競技スポーツや臨床の現場で活用可能な方法として確立することを目指した。

2. 研究の目的

種々の球技種目の競技エリアを模した縮小モデルを使用して多様な計測条件を設定し、実空間での座標が既知である特徴点をCPとして用いる簡便なキャリブレーション方法によって3次元空間を再構築する方法を確立し、競技エリア全体で精度良く3次元的に分析可能とすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 自作の縮小モデルを用いたカメラ設置条件間の比較

ネット型の球技種目であるバレーボールのコートを模した10分の1の縮小モデルを自作し、デジタルカメラ2台(GC-LJ20B, スポーツセンシング社製)を縮小モデルの中心に対する俯角および光軸の交差角を変えて設置し(合計9条件)、特徴点26点(ライン交点20点、アンテナ上の点6点)および3点の計測点を配したボールを分析空間内に等間隔に直立させて規定した基準点84点をフルHD撮影した。3次元動作解析プログラム(FrameDIAS V, DKH社製)を使用し、各条件で得られた撮影映像から、特徴点および基準点の2次元計測座標値を手動取得した。特徴点をCPとして、特徴点の2次元計測座標値と実空間座標値からDLTパラメータを求め、DLTパラメータと基準点の2次元計測座標値から、DLTによって基準点の3次元推定座標値を算出した。そして、各基準点の3次元推定座標値と実空間座標値との誤差を求め、カメラの設置条件間で比較した。

(2) 2次元計測座標計測時のコンピュータビジョンの適用

(1)のカメラ2台の俯角30度、光軸の交差角120度の条件で、縮小モデルの特徴点および基準点を撮影した。手動計測、撮影映像に対して2値化、エッジ検出、一般化Hough変換¹⁾の各処理を行って得られる直線の交点を用いる方法、Zhangのカメラキャリブレーションの方法²⁾を用いて撮影映像のレンズ歪みの影響を除去した後、一般化Hough変換を用いる方法によって、撮影映像上の特徴点の2次元計測座標値をそれぞれ取得した。数値解析ソフト(MATLAB R2016a, MatWorks社製)を使用し、各方法において、特徴点をCPとしたDLTによって算出したCPの3次元推定座標値と実空間座標値との誤差、CPの2次元計測座標値の取得誤差を0と仮定した場合の推定値と実際の計測座標値との誤差(以下、計測誤差)を算出し、各方法間で比較した。

(3) 誤差要因を極力取り除いた物理シミュレーション

(1)および(2)で用いられた測定および分析方法を詳細に検討すると、使用された縮小モデルの作製、撮影に使用するカメラや計測点の設置位置の不確かさ、レンズ歪みなど撮影映像に対する光学的な影響によって計測時に生じた系統誤差、その後の計測点の2次元計測座標値の手動取得の不確かさによって生じた偶然誤差、CPとして使用する特徴点の設定がDLTで想定されているモデルから乖離していることで生じた理論誤差などが誤差が生じた要因と想定された。そこで、計測時の系統誤差や分析時の偶然誤差を極力取り除いて計測するため、基盤および反射マーカが付属した複数のピンで構成されるバレーボールコートを模した25分の1サイズの縮小モデル(OptiTrack社製、図1a)を作製し、反射マーカの重心位置によって特徴点18点および基準点48点の各計測点を規定した。モーションキャプチャ専用カメラ2台(Prime13 OptiTrack

社製)を縮小モデルの中心点からの俯角が30度,光軸の交差角が90度となるように設置し(図1b),カメラ2台で特徴点および基準点として配置した各反射マーカを解像度1280×1024ピクセルで撮影した。モーションキャプチャ計測用ソフト(Motive Tracker 2.01, OptiTrack社製)のAPIで取得されたレンズ歪み補正前の反射マーカの重心位置の2次元座標値,計測用ソフトで算出された3次元座標値を10フレーム分取得し,それぞれの平均を各特徴点および基準点の2次元計測座標値および3次元基準座標値とした。

CPとして使用する特徴点の選択による理論誤差を検討するため,数値解析ソフトを使用し,分析空間の各方向で一番外側に位置する特徴点6点(点1,2,11,12,17および18,図1c)をCPとして,3次元基準座標値を実空間座標値として用い,DLTによって各基準点の3次元推定座標値を算出した。各基準点の3次元推定座標値と対応する実空間座標値との差分を求め,基準点全体として座標ごとに二乗平均平方根誤差(RMSE)を求めた。続いて,先述の6点にCPを2点ずつ追加して,8点(6通り),10点(15通り),12点(20通り),14点(15通り),16点(6通り),18点(1通り)の合計64通りのCPの組み合わせで,同様の手順で基準点全体での座標ごとのRMSEを算出し,各組み合わせ条件間で比較した。

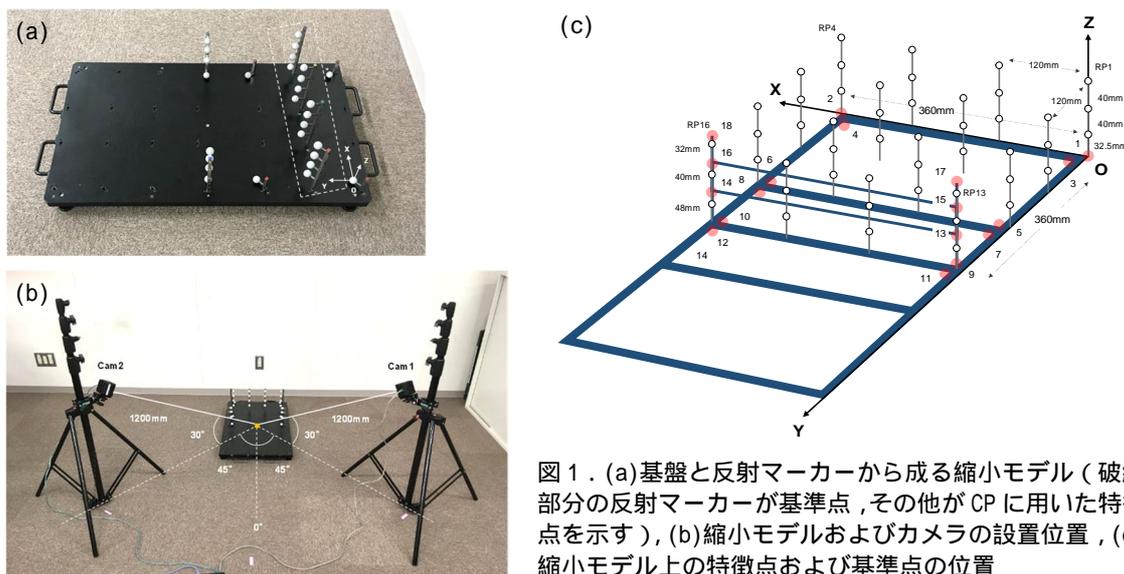


図1. (a)基盤と反射マーカから成る縮小モデル(破線部分の反射マーカが基準点,その他がCPに用いた特徴点を示す), (b)縮小モデルおよびカメラの設置位置, (c)縮小モデル上の特徴点および基準点の位置

4. 研究成果

(1) カメラの設置位置の3次元座標値算出への影響

カメラの俯角および光軸の交差角が異なる各条件における基準点全体での3次元推定座標値の誤差は,X座標が0.83から1.33mm(基準長の0.09から0.15%),Y座標が0.69から1.91mm(0.04から0.11%),Z座標が0.74から1.74mm(0.25から0.58%)であり(表1),実際のバレーボールコート进行分析対象とした場合³⁾と同程度の誤差であった。全ての条件において,分析空間全体にわたって,撮影映像を3次元的に解析する際の許容範囲内の誤差で3次元座標値が算出された。しかし,算出された3次元座標値は分析空間内で一様の誤差ではなく,概して外側に位置する基準点ほど誤差が大きくなる傾向,鉛直位置が上方ほど中央部で誤差が小さく,外側で誤差が大きくなる傾向が見られ,分析対象点とCPとの距離が3次元座標の再現精度に影響を及ぼすと考えられた。加えて,算出された3次元座標の誤差は,カメラの設置位置の変化によって基準点全体で一様に变化するのではなく,基準点ごとあるいは座標ごとに異なった変化を示した。この変化は,カメラの俯角あるいは光軸の交差角の変化に伴う各座標軸方向の空間分解能の変動の影響に起因すると考えられた。

表1. カメラ2台の俯角および光軸の交差角を変化させた場合の基準点全体での誤差

俯角	座標軸	光軸の交差角								
		60°			90°			120°		
		m (SD)	%	最大	m (SD)	%	最大	m (SD)	%	最大
10°	X	1.17 (0.79)	0.13	3.70	1.09 (0.91)	0.12	4.35	1.09 (0.81)	0.12	4.38
	Y	1.05 (0.73)	0.06	2.96	0.88 (0.79)	0.05	3.36	1.91 (1.55)	0.11	6.35
	Z	1.74 (1.05)	0.58	4.49	0.99 (0.81)	0.33	3.43	0.89 (0.64)	0.30	2.80
20°	X	1.24 (1.03)	0.14	5.25	1.00 (0.71)	0.11	3.57	1.15 (0.84)	0.13	3.79
	Y	1.53 (1.18)	0.09	5.36	1.54 (1.28)	0.09	5.70	1.26 (1.13)	0.07	4.64
	Z	0.76 (0.57)	0.25	2.84	0.78 (0.60)	0.26	2.50	0.74 (0.52)	0.25	2.24
30°	X	1.09 (0.71)	0.12	3.06	1.33 (0.90)	0.15	3.76	0.83 (0.84)	0.09	3.92
	Y	1.35 (1.00)	0.07	4.18	1.28 (0.90)	0.07	4.19	0.69 (0.56)	0.04	2.27
	Z	1.10 (0.79)	0.37	3.83	1.08 (0.76)	0.36	2.94	0.98 (0.73)	0.33	2.77

mは平均,SDは標準偏差,最大は誤差の最大値。単位はmm。%は平均誤差の基準長に対する割合を示す。

(2) DLTによる3次元座標値算出に対するコンピュータビジョン適用の効果

求められたCPの3次元推定座標のX座標、Y座標およびZ座標の平均誤差はそれぞれ、手動取得では0.77 mm (基準長の0.09%), 1.05 mm (0.06%), 0.63 mm (0.21%), 一般化Hough変換では0.50 mm (0.06%), 0.73 mm (0.04%), 0.43 mm (0.14%), レンズ歪みを除去した一般化Hough変換では0.58 mm (0.06%), 0.75 mm (0.04%), 0.39 mm (0.13%)であった(図2)。手動取得の場合と比べ、一般化Hough変換ではそれぞれ35.5%, 30.8%, 32.2%, レンズ歪みを除去した一般化Hough変換ではそれぞれ24.0%, 28.9%, 37.8%の改善が見られ、CPの2次元計測座標値の取得に一般化Hough変換を適用することで、CPの3次元座標の再現精度が大きく改善した。一方、撮影映像のレンズ歪みの補正を追加して一般化Hough変換を適用しても、3次元座標の再現精度は一般化Hough変換のみを適用した場合から改善が見られなかった。また、CPの2次元計測座標のX座標およびY座標の平均取得誤差は、手動取得では0.7ピクセル、0.5ピクセル、一般化Hough変換では0.5ピクセル、0.4ピクセル、レンズ歪みを除去した一般化Hough変換では0.6ピクセル、0.4ピクセルであった(表2)。手動取得に対して、一般化Hough変換ではそれぞれ26.6%, 27.7%, レンズ歪みの除去と一般化Hough変換ではそれぞれ24.6%, 26.2%改善しており、一般化Hough変換の適用がCPの2次元計測座標値の取得誤差の改善に貢献した。DLTでは、計測点の2次元計測座標値の取得精度が3次元座標の再現精度に大きく影響するとされており⁴⁾、競技エリアの特徴点をCPとしたDLT法によって3次元座標値を推算する場合、レンズ歪みの補正よりも一般化Hough変換によるCPの2次元計測座標値の取得精度の向上がCPの3次元座標の再現精度の改善に貢献することを確認した。

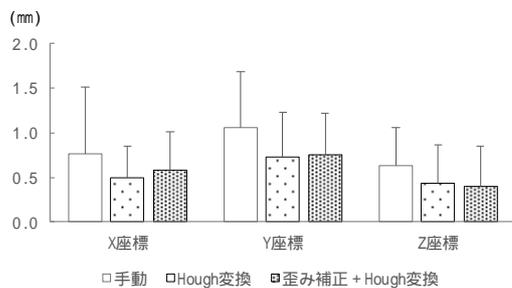


図2. 3種類の方法で算出されたCPの3次元推定座標値の平均誤差

表2. 3種類の方法で得られたCPの2次元座標値の計測誤差

方法	カメラ1		カメラ2	
	X座標	Y座標	X座標	Y座標
手動取得	0.7(0.5)	0.5(0.3)	0.8(0.5)	0.5(0.4)
一般化Hough変換	0.5(0.4)	0.3(0.3)	0.6(0.4)	0.4(0.4)
歪み補正 + 一般化Hough変換	0.5(0.5)	0.3(0.3)	0.6(0.3)	0.5(0.4)

データは平均(標準偏差), 単位はピクセル。

(3) 競技エリアの特徴点をCPに用いたDLTによる3次元座標値算出の特徴

基準点全体でのRMSEは、X座標が0.004から0.020 mm, Y座標が0.015から0.077 mm, Z座標が0.023から0.060 mm, 最大でも基準長の0.053%の誤差であり(表3), 手動計測を用いた結果(本報告の(1))と比較して、基準点全体での誤差は10分の1程度と非常に僅少であった。CPの2次元計測座標値の計測誤差もまた0.077ピクセルと非常に僅少であった。よって、競技エリアの特徴点をCPに用いたDLTによって分析空間を3次元的に再構築する場合、特徴点および分析対象点の2次元計測座標値を精度良く取得することで、3次元基準座標に非常に近似した3次元推定座標が算出されること、競技エリアの特徴点のようにCPが偏向した配置であっても、3次元座標の全体的な再現精度には影響がないことが分かった。そして、計測点の2次元計測座標値の僅かな計測誤差や、真値を知り得ない実空間座標に対して最確値が用いられたことによる影響、3次元座標の算出時に生じた丸め誤差などの累積が、算出された3次元推定座標値に非常に僅少な誤差が生じた要因であると推察された。

基準点全体でのRMSEの平均は、各座標ともCPが最少の6点の場合でも非常に僅少であった(図3)。CP数の増加にしたがってRMSEの平均は有意に増加する傾向であったが、これは先述した累積誤差の増加が一因であると考えられた。CP数が同数であっても、CPの組み合わせによ

表3. 各CP数の基準点全体でのRMSEの平均

CP数	RMSEの平均 (mm)		
	X	Y	Z
6	0.007	0.019	0.030
8	0.008	0.028	0.033
10	0.012	0.043	0.041
12	0.012	0.038	0.037
14	0.013	0.042	0.039
16	0.015	0.045	0.040
18	0.016	0.048	0.041
最大	0.020	0.077	0.060
最小	0.004	0.015	0.023

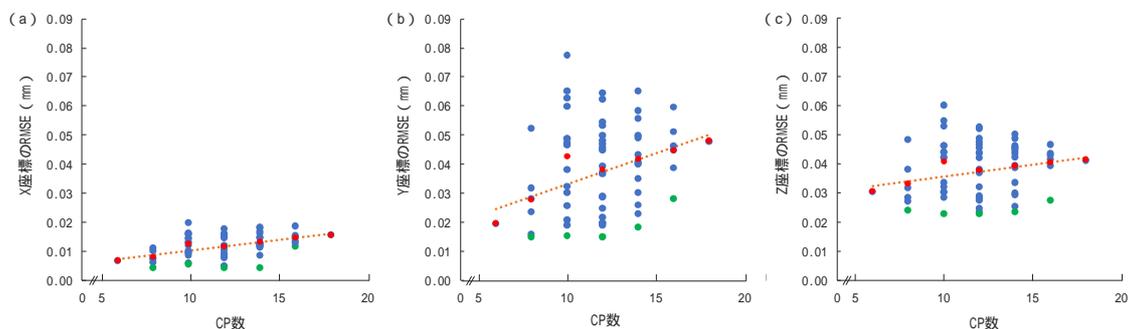


図3. 各CP数での(a)X座標, (b)Y座標および(c)Z座標のRMSEとその平均。は各CP数の平均, はRMSEが最も低値であった組み合わせを示す。

て基準点の RMSE は異なった。各 CP 数において基準点の RMSE が最も低値であった組み合わせを比較すると、CP 数が 6 点から 14 点と増加しても、基準点の RMSE は各座標とも同程度であった。これらのことから、競技エリア内の特徴点を CP に用いた 3 次元座標空間の再構築方法では、分析空間の各方向で一番外側に位置する特徴点 6 点を CP として選択し、それら CP の 2 次元計測座標値を精度良く取得することで、CP が DLT の数学的な解法上必要な最少数である 6 点の場合でも、非常に高い精度で 3 次元座標値が算出されることが分かった。

(4) まとめと今後の展望

本研究では、自作した縮小モデル、従来のカメラおよび動作分析システムを用いた物理シミュレーションによって得られた結果から、競技エリアの特徴点を CP に用いた DLT による 3 次元空間の再構築方法は、分析空間内の 3 次元座標を十分な再現精度で算出可能であるが、分析空間内で再現精度が一様でない、カメラの設置位置によって再現精度が変化するなどの特徴を有することが明らかとなった。これらの特徴を考慮して利用すれば、競技スポーツ場面や臨床現場で煩雑なキャリブレーション作業を行うことなく、分析空間全体における偶発的な動作を簡便に精度よく 3 次元的に分析可能であることが分かった。また、その際には、一般化 Hough 変換のようなコンピュータビジョンを適用した各分析対象点の 2 次元計測座標値の取得が、3 次元座標の再現精度の改善に有効であると考えられた。加えて、分析空間内の各分析対象点を高精度で規定した縮小モデルおよびモーションキャプチャカメラを用いた各分析対象点の 2 次元座標の光学的計測によって、系統誤差および偶然誤差を極力取り除いた物理シミュレーションの結果から、本研究の方法は、分析対象点の 2 次元計測座標が精度良く得られれば、DLT の数学的な解法上必要な最少数である 6 点の CP であっても、非常に高精度で 3 次元座標が算出されることが明らかとなり、各分析対象点の 2 次元計測座標の取得精度向上が今後注力すべき課題となることが示唆された。

当初研究計画では、CP の数が少ない場合やその配置が偏っている場合には 3 次元座標の再現精度が不安定となりやすいという先行研究の結論⁵⁾を基に、撮影に使用するカメラの台数や設置位置から、特徴点の最適な選択数や組み合わせを導き、予めどの程度の精度で 3 次元座標値が再現されるのかを推測できるデータベースを構築する予定であった。しかし、誤差要因を極力取り除いた物理シミュレーションから、CP が DLT の理論上の最少数である 6 点でも高精度で 3 次元座標値が得られることが分かり、理論どおりの結果となることが検証されたため、データベースの作成には至らなかった。また、種々の球技種目の競技エリアを模した縮小モデルを作成して物理シミュレーションを実施する予定であったが、縮小モデルの製作に想定以上の費用を要したため、ネット型球技のバレーボールに注力して研究を進行しており、ゴール型やベースボール型球技などにも対象を拡げて今後検証していくことが求められよう。

< 引用文献 >

- 1) Duda, R. O., Hart, P. E., Use of the Hough transformation to detect lines and curves in pictures, Communications of the ACM, 15(1), 1972
- 2) Zhang, Z., A flexible new technique for camera calibration, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 22(11), 2000, 1330-1334
- 3) 中井聖, 村本名史, 栗田泰成, 高根信吾ほか, バレーボールコート内の既知点を用いた 3 次元座標空間の再構築方法の精度とその特徴, バレーボール研究, 19(1), 2017, 34-42
- 4) Chen, L., Armstrong, C. W., Raftopoulos, D. D., An Investigation on the accuracy of three-dimensional space reconstruction using the direct linear transformation technique, Journal of Biomechanics, 27(4), 1994, 493-500
- 5) 小野徹, バンドル法 第 6 回 精密工業計測におけるバンドル法とカメラキャリブレーション, 写真測量とリモートセンシング, 51(6), 2012, 387-396

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 中井聖	4. 巻 5(1)
2. 論文標題 ビデオカメラでの3次元動作計測における問題点と測定精度向上の取り組み	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 臨床歩行分析研究会誌	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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 中井聖, 新井彩, 村木有也, 市谷浩一郎	4. 巻 53
2. 論文標題 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	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 大阪電気通信大学研究論集（自然科学編）	6. 最初と最後の頁 33-40
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 中井聖, 村本名史, 栗田泰成, 高根信吾, 瀧澤寛路, 塚本博之, 河合学	4. 巻 19(1)
2. 論文標題 バレーボールコート内の既知点を用いた3次元座標空間の再構築方法の精度とその特徴	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 バレーボール研究	6. 最初と最後の頁 34-42
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 1件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 中井聖, 金承革, 村木有也, 市谷浩一郎
2. 発表標題 コントロールポイントの数や組み合わせが3次元座標の再現精度に与える影響
3. 学会等名 日本体育学会第70回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中井聖, 小笠原一生, 金承革
2. 発表標題 バレーボールコートの特徴点を用いたキャリブレーション方法における3次元座標の誤差要因の検討
3. 学会等名 第39回バイオメカニズム学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中井聖, 小笠原一生, 金承革, 市谷浩一郎, 村木有也
2. 発表標題 競技エリア内の特徴点を用いた3次元座標空間再構築方法に対するコンピュータビジョン適用の効果
3. 学会等名 第25回日本バイオメカニクス学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中井聖
2. 発表標題 カメラの光軸の交差角を変化させた際の3次元座標空間再構築の精度の変化: バレーボールコートの縮小モデル上の特徴点を用いた簡便なキャリブレーションによる場合
3. 学会等名 日本体育学会第68回大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中井聖, 金承革, 小笠原一生
2. 発表標題 カメラの俯角を変化させた際の3次元座標空間再構築精度の変化: バレーボールコートの縮小モデル上の特徴点を用いたキャリブレーション方法による場合
3. 学会等名 第38回バイオメカニズム学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中井聖
2. 発表標題 ビデオカメラでの3次元計測における問題点と測定精度向上の取り組み
3. 学会等名 第39回臨床歩行分析研究会定例会（招待講演）
4. 発表年 2017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
研究協力者	金 承革 (Kim Hyek Sung)		
研究協力者	小笠原 一生 (Ogasawara Issei)		