

令和 5 年 6 月 16 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H00599

研究課題名（和文）パーソナル・デジタルツインの獲得・記述・認証

研究課題名（英文）Acquisition, Description and Authentication of Personal Digital Twin

研究代表者

中村 仁彦（NAKAMURA, Yoshihiko）

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・特任研究員

研究者番号：20159073

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 35,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、だれもが簡単に安価に自分自身の運動のデジタルツインを利用できるようにするための基盤技術を開発した。ビデオモーションキャプチャを構成する計算要素をフィードバック形式でつないで信頼性を高め、計算を一気通貫で行えるようにした。これをクラウド上に実現してモーションキャプチャから運動解析までが完全自動で行なえるようになった。計算結果を直ちに時系列データベースに投入して検索によって可視化できる。パーソナル・デジタルツインによって個人の身体運動の特徴を客観的に科学的に記録して確認することができ、個人のスポーツの習熟や年齢に伴う動作の変化、人工統計的な運動の様態をとらえる基盤が確立できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的には、映像によるニューラルネットワークによるポーズ推定から運動解析と結果の検索までをクラウドシステムで信頼性高く構成したことは世界に先駆けた成果である。フィールドの複数人の運動の三次元再構成、体形までも計測するボルメトリック・モーションキャプチャも重要な成果である。自治体の体育館への常設カメラの設置や、大学のラグビーグラウンドへの常設カメラの設置は、社会実装実験としての成果が期待される。モーションキャプチャがだれもが利用できるようになることの社会的インパクトは大きい。だれもが自分自身のパーソナル・デジタルツインを持つことができる運動解析の民主主義の時代の到来をもたらすものである。

研究成果の概要（英文）：The technical foundation has been established so that anyone can make and use one's personal digital twin at ease and low-cost. The computational elements were concatenated in a feedback structure to increase their reliability, which made a single computational flow. The system has been implemented in cloud computing that made a fully automatic sequence from motion capturing to motion analysis. The result of computation immediately enters the time-series database and is looked up by query language for visualization. The personal digital-twin technology objectively and scientifically describes the features of movement of individuals. It will make the foundation for individuals to grasp the learning-curve of sports and aging-curve of behavior, for society to understand the demographic view of movements.

研究分野：Robotics and Biomechanics

キーワード：Personal Digital Twin Video Motion Capture IMU Motion Capturing Musculoskeletal Analysis Risk Analysis of Sports Cloud Computing Motion Database Visualization

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、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

研究開始当初までに研究代表者らは、人間の運動をモーションキャプチャで計測した情報をロボットの情報学に基づいて計算し、人体の動的運動学、神経筋骨格シミュレーション、スポーツ科学、リハビリテーションなど応用する研究を展開してきた。2018年にコンピュータビジョンの当時の最新の成果を応用してビデオモーションキャプチャ技術を開発した。それ以来カメラがあれば「だれもが、いつでも、どこでも」身体運動の科学的情報を利用できる情報インフラストラクチャを作ることを目指してきた。この研究の方向性の中で、コンピュータビジョンとAIの最新技術が照らし出す先に、個人の高次情報を抽出し扱う学術分野があることが明らかになりつつあった。

個人のデジタルツインという考え方は、人の個性的な運動や行動の情報表現としてのコンピュータモデルという意味である。コンピュータビジョンやAIの最新の技術の展開によって、コンピュータが人間の運動や行動の視覚的観察だけから人間の個性を抽出して情報表現とするための学理と技術を探求することが求められるようになって考えていた。研究代表者らは、複数台の同期カメラの画像から人間の骨格の運動を3次元再構成し筋活動推定までを行うビデオモーションキャプチャ技術を開発した。骨格に皮膚と着衣を与えることで体格を表現したボルメトリックモデルを作り、ボルメトリックモデルの時空間運動から人間の個性を抽出して情報表現する。これらをもって社会課題の解決に結びつけたさまざまな応用分野を切り開く可能性が見えてきていた。

人間の運動の情報化については、それまでも多くの研究がなされていた。研究代表者らは、人間の歩行データをモーションキャプチャを利用して取得し、人間からロボットにリターゲットングしてロボット用の歩行パターンを自動生成する研究[1]を行った。モーションキャプチャデータを独自に開発した人間の詳細な筋骨格モデルに適用し、逆運動学計算によって骨格に働く力や筋張力を推定する研究[2]を行った。さらに、モーションキャプチャデータと床反力計測値から、全身の身体各部位の質量、重心位置、慣性モーメントを推定する研究[3]を実施した。これらは人間の運動の情報化に関して世界に先駆ける研究であった。また、運動の時系列データを分節化・分類することで記号化を行い、記号列として運動の時空間データを表現する研究[4]や、運動記号列と言語との連想モデルの研究[5]でも先駆的な成果を上げてきた。時空間運動の言語連想モデルでは深層学習のLSTMを用いた言語表現に、環境や物体情報をとり入れることで記述力が向上することも示した[6]。マーカを身体に付けてカメラでその3次元位置を計測するモーションキャプチャ技術は、リアルタイムで人間や機械の運動を計測する技術として信頼されており、広く利用されている[7]。これに類するものとして、小型のIMUをいくつか身体に取り付けることで人間の運動を計測する技術も使われていた[8]。

一方で、近年の深層学習のコンピュータビジョンへの応用として、人間の関節や目、耳、鼻などの画像上の位置を推論し簡単な骨格の運動に変換する技術の研究が進化した[9][10]。研究代表者らは2017-2019年度科学研究費 基盤研究(A)の研究の一環で、この技術と上述した詳細な筋骨格モデルを用いて、複数台の同期カメラの画像から人間の骨格の運動を3次元再構成し筋活動推定までを行う技術を開発した[11]。ビデオモーションキャプチャ技術により身体に何も装着せず、完全に非拘束で人間の運動情報を取得できるようになった。これまでにフットサルの試合、体育館での体操選手の練習、バレーボールの女子日本代表の国際親善試合などを記録し再構成の実証試験を行っている。この技術の特長も課題も深層学習による特徴点の推論にある。課題は、学習データが十分でないような特殊な身体のポーズの精度、精度を上げるための時空間解像度と計算量のトレードオフなどである。それにもかかわらず、完全非拘束で運動解析が行える特長は、モーションキャプチャを特殊な身体技能の記録や研究用の運動解析技術から解放し、学校スポーツやヘルスケアや老人介護などの日常の現場でだれもが科学的な運動解析結果を利用できる道を切り開いた。

- [1] K. Yamane and Y. Nakamura: Dynamics Filter-Concept and Implementation of On-line Motion Generator for Human Figures, IEEE Trans. on Robotics and Automation, vol.19, no.3, pp.421-432, 2003.
- [2] Y. Nakamura, K. Yamane, Y. Fujita, and I. Suzuki: "Somatosensory Computation for Man-Machine Interface from Motion Capture Data and Musculoskeletal Human Model," IEEE Transactions on Robotics, vol.21, no.1, pp.58-66, 2005.
- [3] Ko Ayusawa, Gentianee Venture, Yoshihiko Nakamura, "Identifiability and Identification of Inertial Parameters Using the Underactuated Base-Link Dynamics for Legged Multibody Systems," International Journal of Robotics Research, Vol.33, No.3, pp.446-468,

2014.

- [4] T. Inamura, I. Toshima, H. Tanie and Y. Nakamura : Embodied Symbol Emergence Based on Mimesis Theory, International Journal of Robotics Research, Vol.23, No.4/5, pp.363-378, 2004.
- [5] Wataru Takano and Yoshihiko Nakamura, Statistical mutual conversion between whole body motion primitives and linguistic sentences for human motions, International Journal of Robotics Research, vol. 34: pp. 1314-1328, September 2015.
- [6] 都築敬, 高野渉, 中村仁彦, ” 記号化された運動と大規模言語データベースを用いた人間の運動の言語的理解, ” ロボティクス・メカトロニクス講演会 2018, 2P2-B18, 2018.
- [7] Motion analysis: <https://www.motionanalysis.com/>
- [8] Xsense: <https://www.xsens.com/>
- [9] S.-E. Wei, V. Ramakrishna, T. Kanade, and Y. Sheikh. Convolutional pose machines. In CVPR, 2016.
- [10] Zhe Cao, Tomas Simon, Shih-En Wei, Yaser Sheikh. Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields. In CVPR, 2017.
- [11] Takuya Ohashi, Yosuke Ikegami, Kazuki Yamamoto, Wataru Takano and Yoshihiko Nakamura, Video Motion Capture from the Part Confidence Maps of Multi-Camera Images by Spatiotemporal Filtering Using the Human Skeletal Model, IEEE/RSJ IROS, Madrid, Spain, pp. 4226–4231, October 1-5, 2018. (Best Paper Finalist Award)

## 2. 研究の目的

本研究では、ビデオモーションキャプチャによる運動解析を骨格運動と筋活動の再現からさらに発展させ、人間の個性を抽出して情報表現することを目指す。そのために骨格だけではなく、骨格に皮膚と着衣を与えることで体格を体積で表現したボルメトリックモデル (図5.概念図) を作り、ボルメトリックモデルの時空間運動をコンピュータビジョンや AI を用いて計算する。個人の身体の表面形状を動きと合わせて再現する技術を、本研究では、ボルメトリック・モーションキャプチャと呼ぶ。この技術の萌芽は見えてきているが技術として確立されていない。

ビデオ映像に基づくボルメトリック・モーションキャプチャ技術を確立し、個人の特徴を表す高次情報を抽出することによって、人間の解剖学、運動情報学、統計情報学、運動機能学、運動制御理論、情動心理学を架橋して人間の個性の情報表現を与える学理を解明し、その知見を応用する技術を開発すること (これを「個人デジタルツインの表象学」と呼ぶ) が、本研究の独創性と目的である。

## 3. 研究の方法

本研究では、人間の運動や行動の映像だけから骨格運動だけでなく全身の人間の個性を抽出して情報表現とするための情報学基盤を構築する。このために以下の研究方法で研究を実施した。

### ① ビデオモーションキャプチャ

ビデオ映像だけからモーションキャプチャを行い運動情報を取得する。いくつかの異なる実現方法がある。一つは、カメラからストリーミング映像をネットワークでクラウド計算機に送信し、計算結果を必要に応じて送り返す形式。もう一つは、エッジコンピューティングで映像を送信することなく個性の計算結果を利用する。後者は個人情報の管理上都合の良い方法であるが、画像圧縮や低フレームレート条件などで精度を特に求めない応用に向いている。本研究では、条件に左右されず精度を落とすことが特に必要とされない前者のクラウド計算機を利用する方法で、一般に利用しやすいビデオモーションキャプチャの実現に取り組んだ。

### ② ボルメトリック・モーションキャプチャ

ビデオモーションキャプチャによる運動解析を発展させ、さらに高次な情報の抽出により人間の個性を情報表現する。骨格運動を再現する従来のモーションキャプチャから、骨格に皮膚と着衣を与えることで身体を体積で表現したボルメトリックモデルを作り、ボルメトリックモデルの時空間運動をコンピュータビジョンや AI 技術を駆使して再現する。この技術をボルメトリック・モーションキャプチャ技術の開発に取り組んだ。

### ③ 記号表象学

これまでに骨格運動に基づいて運動を分節化して集めそれらを分類することで記号を行う研究を行ってきた。ボルメトリック・モーションキャプチャで身体表面の形状の動的な変化をとらえられる場合に、運動をどのように数学表現して、分類や記号化に結び付けるかについて、皮膚形状の形状記述子(Shape Descriptor) 表現を用いた方法などに基づいて、理論と実現方法の研究に取り組んだ。

#### ④ 統計的表象学

皮膚形状はデータとしては大規模な運動する多面体のノード情報となる。これらの点の空間的な分布を扱う関数を定義して形状記述子とすることができる。形状記述子の候補は様々なものがあるがこれらを調査して、個人の特徴を捉えているかどうか、動作の切れ目を見つけやすいかどうか、動作の類別化のために分類に向いているかどうか等を検討することとした。

#### ⑤ 運動制御表象学

人間の運動は神経系によるフィードバックによって状況と環境に応じた運動が生まれる。視野の確保やアイコンタクトのための頭部の運動、運動する物体を追いかける眼球と首の動作、筋の拮抗を利用した体幹や股・膝関節の剛性の制御、など感覚系と神経系がなす運動制御系に現れる個人の特徴に着目した取り組みを行う。これによって個人の運動の中に見える個性を身体運動制御系の特徴として捉えることを目指した。

#### ⑥ 個人認証

人間の運動の高次運動情報から個人を比較して特定する技術の開発を行う。全身が見えるカメラ画像から取得するボルメトリック・モーションデータ、これに基づく統計情報学データ、運動制御情報学データを利用することにした。全身運動をボルメトリック・モーションデータに基づいて個人認証が実現できれば、これまでの顔画像だけに頼る個人認証技術をより自然な条件の下で利用でき、より高精度に認証できる技術へと高度化することができる。

### 4. 研究成果

2020年度は、「①ビデオモーションキャプチャ」を発展させ、グラウンドのような広い空間で複数の人間が運動する様子を複数のカメラ映像から同時に3次元再構成する基礎技術を開発した。一人の人間を囲む最小のバウンディングボックスを使うことで複数の人間の間のオクルージョン問題を解決できることを実証した。「②ボルメトリック・モーションキャプチャ」では体型と運動を同時に3次元再構成するビデオモーションキャプチャの基礎技術を開発した。体型と運動の時系列データから個人の特徴の抽出に応用する提案を行った。これは「⑥個人認証」のための基礎になると考えている。「③記号表象学」ではチームスポーツの各選手の運動情報に基づく連携動作の言語化に取り組んだ。「⑤運動制御表象学」へのアプローチとして体操選手の運動と筋活動の関係の表現に取り組んだ。スポーツ選手の身体技能の違いを筋張力データから抽出することも検討を始めた。これはスポーツ外傷のリスクを客観的に提示する方法につながる可能性がある。

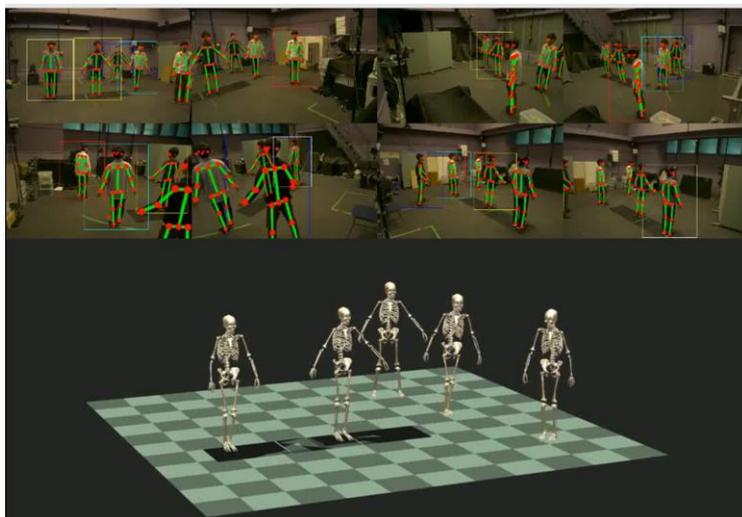
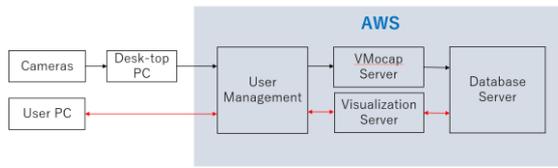


図1.  
複数人の運動を同時に3次元再構成する方法を提案した。一人をできるだけ小さな長方形で囲うバウンディングボックスを作り、あるフレームの3次元再構成結果から次のフレームのバウンディングボックスの位置を推定する方法で各人をトラッキングする。これによってオクルージョンがあっても比較的ロバストに各人を区別して3次元再構成できることを示した。

2021年度は、ビデオモーションキャプチャのクラウド利用をスタートさせることができた。カメラによる撮影スタートから、全ての処理を自動化で行い解析結果がグラフ化・3D映像化されるまでを一気通貫で行うシステムをAWS上に実現した。2022年3月にプレス発表を行った。撮りためたスポーツやテスト運動の映像を自動処理して大規模データ化を図り「④統計的表象学」の研究が進化した。データを大規模化するだけでなく時系列データベース化することが重要との知見に至った。これによってクエリーを用いて必要な情報を見つけて比較することが容易に行えるようになった。時系列データベース化、クエリーによるグラフ化を実装して統計的な利用が可能になった。「②ボルメトリック・モーションキャプチャ」の計算時間の検討を行いクラウド出の実現を検討した。「⑤運動制御表象学」ではアスリートのデータを基に運動制御系のモデルの定式化を行い、実証計算を行った。

2022.03.03

## Mocap as a Service



### ビデオ映像のクラウド計算で全自動運動解析

2022年度は、本研究の最終年度として各研究項目で成果を上げることができた。中でも「①ビデオモーションキャプチャ」、「③記号表象学」、「④統計的表象学」、さらに社会実装に関して特筆すべき結果が得られた。ビデオモーションキャプチャを設定や容易で信頼性の高いものとするために電源以外をワイヤレスで繋いだ同期分散型カメラシステムを開発した。モーションキャプチャではカメラ以外にPCを必要とせずWifi環境だけで撮影した映像をクラウドにアップロードすることができるようにした。統計表象学の基幹的な要素であるデータベースについて、2021年10月から特任研究員として雇用した Cesar Hernandez-Reyes 博士がクラウド上に時系列データベースを完成させた。クエリーによるデータ検索を行うシステムとグラフ可視化ソフトウェアを結んだシステムの実現は大きな成果である。記号表象学では、ビデオモーションキャプチャで取得したデータベースを用いて運動外傷の潜在リスクを抽出するニューラルネットワークの研究、投球動作において内側側副靭帯の負荷となる動作の特徴量を重回帰分析を用いて探索することができた。社会実装としては、青森県むつ市と連携して同市が運営する施設のサブアリーナに12台のカメラを常設設置して利用者の運動計測を行う基盤を構築した。また東京大学柏フュージョンフィールドのラグビーグラウンド全体を計測する常設ビデオモーションキャプチャシステムを開発した。

図 2.

クラウド計算機システムを用いた完全自動のビデオモーションキャプチャ/運動解析統合システムを開発した。従来は、テクニシャンやアナリストが関わって時間をかけた連携で行っていたものが、自動的に計算され約 10 分で結果が送られてくるようになった。2022年3月3日にプレス発表を行った。

目的変数：肘内反トルク

説明変数名	標準偏回帰係数	有意確率
前足接地時の胸部回旋角度	0.43	0.001
肩外旋最大時の胸部前後傾斜角度	-0.42	0.002
内反トルク最大時の肘屈曲角度	-0.30	0.014
ストライド長	-0.44	0.001

目的変数：AMCLの張力

説明変数名	標準偏回帰係数	有意確率
肩外旋最大時の胸部回旋角度	0.42	0.002
肩外旋最大時の胸部前後傾斜角度	-0.45	0.002
内反トルク最大時の肘屈曲角度	-0.46	0.000
ストライド長	-0.38	0.005

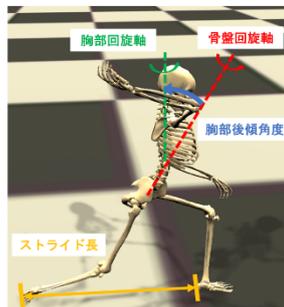


図 3.

少年野球の 20 名の投手の投球をビデオモーションキャプチャで計測した結果を使って、振側腕の肘内反トルクと投球フォームとの関係を重回帰分析により明らかにした。2023年3月、東京大学情報理工学系研究科修士論文 小林幹也（指導教員：山本江）



図 4.

東京大学柏キャンパス内のラグビーグラウンド一面を計測できるビデオモーションキャプチャシステムを開発、設置した。40台の同期カメラシステムの映像から選手の動きを解析して、科学的トレーニングの利用する予定である。赤い円の中には、2台のカメラボックス（各々カメラ5台を内蔵）がある。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 16件／うち国際共著 3件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Yu Nakahira, Shuji Taketomi, Kohei Kawaguchi, Yuri Mizutani, Masato Hasegawa, Chie Ito, Emiko Uchiyama, Yosuke Ikegami, Ko Yamamoto, Yoshihiko Nakamura, Sakae Tanaka, and Toru Ogata	4. 巻 50-10
2. 論文標題 Kinematic Differences Between the Dominant and Nondominant Legs During a Single-Leg Drop Vertical Jump in Female Soccer Players	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The American Journal of Sports Medicine	6. 最初と最後の頁 2817-2823
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1177/03635465221107388	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 Ko Yamamoto, Taiki Ishigaki and Yoshihiko Nakamura	4. 巻 38-3
2. 論文標題 Humanoid Motion Control by Compliance Optimization Explicitly Considering its Positive Definiteness	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Robotics	6. 最初と最後の頁 1973-1989
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ TRO.2021.3119934	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 Keisuke Hagiwara, Ko Yamamoto, Yoshihisa Shibata, Mitsuo Komagata and Yoshihiko Nakamura	4. 巻 36-19
2. 論文標題 On High Stiffness of Soft Robots for Compatibility of Deformation and Function	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advanced Robotics	6. 最初と最後の頁 995-1010
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/ 01691864.2022.2117574	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 Ko Yamamoto, Kazuya Murotani, Tianyi Ko and Yoshihiko Nakamura	4. 巻 157
2. 論文標題 Resolved Viscoelasticity Control for Robust Walking of a Humanoid with Knee-stretched Posture Considering Singularity	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Robotics and Autonomous Systems	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.robot.2022.104218	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 Mitsuo Komagata, Ko Yamamoto and Yoshihiko Nakamura	4. 巻 36-19
2. 論文標題 Compact, backdrivable, and efficient design of linear electro-hydrostatic actuator module	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advanced Robotics	6. 最初と最後の頁 1030-1047
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/01691864.2022.2119884	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 Natsu Ooke, Yosuke Ikegami, Ko Yamamoto, and Yoshihiko Nakamura	4. 巻 Proceedings of 2022
2. 論文標題 Transfer Learning of Deep Neural Network Human Pose Estimator by Domain-Specific Data for Video Motion Capturing	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE International Conference on Advanced Robotics and its Social Impacts	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) 10.1109/ARSO54254.2022.9802965	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 Kazuya Tomabechi, Yosuke Ikegami, Ko Yamamoto, and Yoshihiko Nakamura	4. 巻 Proceedings of the 9th
2. 論文標題 Learning Whole-body Effects for Biomechanics Analysis from Partial IMU Sensing	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE RAS/EMBS International Conference on Biomedical Robotics & Biomechatronics	6. 最初と最後の頁 734-739
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/BioRob52689.2022.9925310	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 Mitsuo Komagata, Yutaro Imashiro, Ryoya Suzuki, Kento Oishi, Ko Yamamoto and Yoshihiko Nakamura	4. 巻 Proceedings of 2022
2. 論文標題 Experimental Study on Impact Resistance of Multi-DOF Electro-Hydrostatic Robot Systems Using Hydracer, a 6DOF Arm	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems	6. 最初と最後の頁 7352-7358
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/IRoS47612.2022.9981130	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 Sakurai Akihiro, Ikegami Yosuke, Nikolic Milutin, Nakamura Yoshihiko, Yamamoto Ko	4. 巻 Proceedings of the 9th
2. 論文標題 Visualization of Human Motion via Virtual Reality Interface and Interaction based on It	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Conference on Sport Sciences Research and Technology Support	6. 最初と最後の頁 130-137
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5220/0010688800003059	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 Kawaguchi Kohei, Taketomi Shuji, Mizutani Yuri, Uchiyama Emiko, Ikegami Yosuke, Tanaka Sakae, Haga Nobuhiko, Nakamura Yoshihiko	4. 巻 9
2. 論文標題 Sex-Based Differences in the Drop Vertical Jump as Revealed by Video Motion Capture Analysis Using Artificial Intelligence	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Orthopaedic Journal of Sports Medicine	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1177/23259671211048188	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 Suzuki Hinako, Murai Akihiko, Ikegami Yosuke, Uchiyama Emiko, Yamamoto Ko, Yamada Ayaka, Mizutani Yuri, Kawaguchi Kohei, Taketomi Shuji, Nakamura Yoshihiko	4. 巻 Proc. of the 43rd
2. 論文標題 Muscle Activity Estimation at Drop Vertical Jump Landing Using Passive Muscle Mechanical Model	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society	6. 最初と最後の頁 4722-4727
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/EMBC46164.2021.9630537	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 V. Samy, K. Ayusawa, E. Yoshida	4. 巻 Proceedings of
2. 論文標題 Generalized Comprehensive Motion Theory for High-Order Differential Dynamics	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Robotics: Science and Systems	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 該当する

1. 著者名 Ohashi Takuya, Ikegami Yosuke, Nakamura Yoshihiko	4. 巻 104
2. 論文標題 Synergetic reconstruction from 2D pose and 3D motion for wide-space multi-person video motion capture in the wild	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Image and Vision Computing	6. 最初と最後の頁 104028 ~ 104028
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.imavis.2020.104028	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 Nawa Motoyuki, Yamada Ayaka, Nishiwaki Kazuie, Yamawaki Kyoji, Ikegami Yosuke, Nakamura Yoshihiko, Yamasaki Taiga	4. 巻 Proceedings of the 13th
2. 論文標題 Motion and Muscle Activity of Synchronized Rolling-Type Double-Leg Circles on a Pommel Horse	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Conference of International Sports Engineering Association	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) 10.3390/proceedings2020049031	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 Zhang Tianwei, Zhang Huayan, Li Yang, Nakamura Yoshihiko, Zhang Lei	4. 巻 Proceedings of
2. 論文標題 FlowFusion: Dynamic Dense RGB-D SLAM Based on Optical Flow	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE International Conference on Robotics and Automation	6. 最初と最後の頁 7322-7328
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICRA40945.2020.9197349	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 Uchiyama Emiko, Suzuki Hinako, Ikegami Yosuke, Nakamura Yoshihiko, Taketomi Shuji, Kawaguchi Kohei, Mizutani Yuri, Doi Tokuhide	4. 巻 Proceedings of the 42nd
2. 論文標題 Muscles Cooperation Analysis Using Akaike Information Criteria for Anterior Cruciate Ligament Injury Prevention	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society	6. 最初と最後の頁 4799-4802
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/EMBC44109.2020.9175811	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34件（うち招待講演 14件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 大桶夏津, 池上洋介, 山本 江, 中村仁彦
2. 発表標題 スポーツ動作の三次元再構成と解析のための画像ポーズ推定器の転移学習とそれを用いたビデオモーションキャプチャ
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 林 恭佑, 山本 江, 中村 仁彦, 池上 洋介, Cesar Hernandez-Reyes, 武富 修治, 川口 航平, 水谷 有里
2. 発表標題 オートエンコーダに既傷者バイアスを用いた身体測定データからのスポーツ外傷潜在リスクの抽出
3. 学会等名 第28回ロボティクスシンポジア
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 駒形光夫, 山本江, 中村仁彦
2. 発表標題 油圧アクチュエータ用外接歯車ポンプの低摩擦化のための可動ケーシングの提案
3. 学会等名 第40回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hernandez-Reyes Cesar, Ikegami Yosuke, Nakamura Yoshihiko
2. 発表標題 Open Architecture between Database and Visualization for Democratized Scientific Sports Training
3. 学会等名 第40回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中村仁彦
2. 発表標題 人間の運動のデジタルツイン
3. 学会等名 立石賞 功績賞受賞講演（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yoshihiko Nakamura
2. 発表標題 Toward Human-Motion Data Science
3. 学会等名 IEEE Advanced Robotics and its Social Impacts 2022（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中村仁彦
2. 発表標題 人間の運動のデジタルツインについて
3. 学会等名 日本機械学会SHD部門 体操競技のダイナミクス解析および指導方法に関する研究会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中村仁彦
2. 発表標題 VMocapによるスタジアム / アリーナDX～動作解析技術の最前線～
3. 学会等名 SPORTEC2022（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yoshihiko Nakamura
2. 発表標題 Human Movements and Data Science
3. 学会等名 Gordon Research Conference on Robotics, From Basic Science to Robot Systems (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 櫻井彬光, 池上洋介, 山本江, Milutin Nikolic, 中村仁彦
2. 発表標題 高速でインタラクティブな筋骨格情報の描画法とスポーツトレーニングに向けたVR実装
3. 学会等名 日本IFTtoMM会議シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小林幹也, 池上洋介, 山本江, 中村仁彦
2. 発表標題 末端関節点推定器と二次元姿勢推定器の統合によるスポーツ選手の三次元姿勢推定
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 苔米地和也, 池上洋介, 山本江, 中村仁彦
2. 発表標題 ランニング動作における上半身Centroidal dynamicsに基づく下肢の筋張力推定
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 櫻井彬光, 池上洋介, 山本江
2. 発表標題 VR空間における筋骨格アパタとのインタラクションの評価
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大桶夏津, 池上洋介, 山本江, 中村仁彦
2. 発表標題 人間の3次元運動推定に用いる画像ポーズ推定器のデータセットと学習効果
3. 学会等名 第39回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 苔米地和也, 池上洋介, 山本江, 中村仁彦
2. 発表標題 ランニング時の下半身運動計測情報による上半身Centroidal Dynamicsの推定
3. 学会等名 第39回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 櫻井彬光, 池上洋介, 山本江
2. 発表標題 モーションマッチングによる3次元歩行者流のリアルタイムVRシミュレーションとそれを用いた歩行者流の誘導効果の検証
3. 学会等名 第27回ロボティクスシンポジア
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 苔米地和也, 池上洋介, 山本江, 中村仁彦
2. 発表標題 バイオメカニズム解析のための運動計測のミニマリズム
3. 学会等名 第27回ロボティクスシンポジア
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yoshihiko Nakamura
2. 発表標題 Personal Digital Twin and Human Motion Data Science
3. 学会等名 Automatica 2021, munic_i Hightech Summit (on-line) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中村仁彦
2. 発表標題 運動における冗長性と最適化
3. 学会等名 Motor Control 15 (on-line) (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yoshihiko Nakamura
2. 発表標題 Personal Digital-Twin and Data Science
3. 学会等名 The Human in the Center of Learning Systems, KIT Science Week 2021 (on-line) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中村仁彦
2. 発表標題 ヒューマンデジタルツインとデータサイエンスのある生活
3. 学会等名 日本IFTToMM会議学術講演会 (on-line) (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 櫻井彬光, 池上洋介, 山本江, Milutin Nikolic, 中村仁彦
2. 発表標題 高速でインタラクティブな筋骨格情報の描画法とスポーツトレーニングに向けたV R 実装
3. 学会等名 日本IFTToMM会議シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大桶夏津, 池上洋介, 山本江, 高野渉, 山田文香, Milutin Nikolic, 櫻井彬光, 中村仁彦
2. 発表標題 チームスポーツの各選手の運動情報に基づく連携動作の言語化
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 赤瀬稔尚, 張添威, 池上洋介, 山本江, 中村仁彦
2. 発表標題 体型と運動を同時に三次元再構成するビデオモーキャップとそれを用いた個人認証
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西川晃平, 池上洋介, 山崎康平, 山本江, 中村仁彦
2. 発表標題 ハイスピードカメラとビデオカメラを同期させた打撃系スポーツの運動解析
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 内山瑛美子, 鈴木比奈子, 池上洋介, 中村仁彦, 武富修治, 川口航平, 水谷有里
2. 発表標題 スポーツ外傷予防のための筋張力時系列データ解析手法の検討
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西田知生, 萩原啓介, 山本江, 中村仁彦
2. 発表標題 敵対的生成法を用いた単眼カメラ映像からの人間のモーションキャプチャ
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 名和 基之, 西脇 一字, 山脇 恭二, 山田 文香, 池上 洋介, 中村 仁彦, 山崎 大河
2. 発表標題 あん馬旋回演技の様々な技術に対するリサージュ評価の汎用化
3. 学会等名 日本機械学会 シンポジウム：スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 櫻井彬光, 池上洋介, 山本江, Milutin Nikolic, 中村仁彦
2. 発表標題 高速でインタラクティブな筋骨格情報の描画法とスポーツトレーニングに向けたV R実装
3. 学会等名 日本IFTtoMM会議シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中村仁彦
2. 発表標題 During the Voyages of H.M.S. Beagle Round the Robotics
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中村仁彦
2. 発表標題 ヒューマンモーション・データサイエンス
3. 学会等名 日本学術会議公開シンポジウム「こころ・からだ・細胞を運動でつなぐアプローチ」(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中村仁彦
2. 発表標題 VMocapとバイオメカニクスが開く科学的トレーニング
3. 学会等名 スポーツビジネスジャパン2020(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yoshihiko Nakamura
2. 発表標題 What we talk when we talk about society and robots
3. 学会等名 IFRR Colloquium Society and Robots, International Foundation of Robotics Research (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yoshihiko Nakamura
2. 発表標題 Robotics and Human-Motion Data Science
3. 学会等名 2nd Japan-Mexco Colloquium on Mexican and Japanese Studies, UTokyo Latin American and Iberian Network for Academic Collaboration (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計5件

産業財産権の名称 皮膚情報を用いた運動特徴量の取得方法及び装置	発明者 中村仁彦, 池上洋介, 張添威, 赤瀬稔尚	権利者 東京大学
産業財産権の種類、番号 特許、2020090047	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 モーションキャプチャ・カメラシステム、及び、当該カメラシステムを用いた動画データ取得方法	発明者 中村仁彦, 池上洋介, 赤瀬稔尚, 西川晃平, 山寄康平	権利者 東京大学、株式 会社ナックイ メージテクノロ
産業財産権の種類、番号 特許、2020089257	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 カメラのキャリブレーション方法	発明者 中村仁彦, 池上洋介, 赤瀬稔尚, 西川晃平, 山寄康平	権利者 東京大学、株式 会社ナックイ メージテクノロ
産業財産権の種類、番号 特許、2020141297	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 情報解析装置および情報解析方法	発明者 中村仁彦, 高野涉, 牧 敦, 小松佑人, 佐野健 太郎, 網野梓, 姚卓男	権利者 東京大学、株式 会社日立製作所
産業財産権の種類、番号 特許、2020116163	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 3D位置取得方法及び装置	発明者 中村仁彦, 池上洋介, 大橋拓也	権利者 東京大学、株式 会社NTTドコモ
産業財産権の種類、番号 特許、2021036594	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

Human Motion Data Science Laboratory <a href="https://roboticsynl.com/hmds/">https://roboticsynl.com/hmds/</a> Yoshihiko Nakamura Laboratory <a href="https://roboticsynl.com/nakamura/">https://roboticsynl.com/nakamura/</a>
---

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	高野 渉  (Takano Wataru)  (30512090)	大阪大学・数理・データ科学教育研究センター・特任教授 (常勤)  (14401)	
研究分担者	鮎澤 光  (Ayusawa Ko)  (60649086)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・主任研究員  (82626)	
研究分担者	池上 洋介  (Ikegami Yosuke)  (90774414)	東京大学・大学院情報理工学系研究科・助教  (12601)	
研究分担者	張 添威  (Zhang Tianwei)  (10870181)	東京大学・大学院情報理工学系研究科・特任助教  (12601)	削除：2021年3月24日

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			
セルビア	University of Novi Sad			