

令和 2 年 7 月 3 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2019

課題番号：15H02704

研究課題名(和文) 動作トレーニング支援のための熟練動作の特徴解析に基づくコツの可視化

研究課題名(英文) Extraction and visualization of the important features of motions by experts for supporting training of motion forms.

研究代表者

尾下 真樹(Oshita, Masaki)

九州工業大学・大学院情報工学研究院・准教授

研究者番号：20363400

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、スポーツ選手・舞踏家・技能職者などの熟練者の動作の特徴を抽出し、練習者の動作トレーニングに役立てることを目的として、動作データからの運動学的な特徴量の計算、機械学習による重要な特徴量とその条件の抽出、特徴量の範囲や特徴量の関係を表す統計的なモデルの構築、熟練者の動作の空間的な範囲の可視化、練習者の動作の特徴量との差異の可視化、深層学習・最適化問題・動作補間の複数のアプローチによる熟練者の動作の生成・変形、などの手法の開発を行った。また、これらの研究成果にもとづいて、テニスのショット動作のトレーニングシステムのプロトタイプを開発し、評価実験により開発手法の有用性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果により、熟練者の動作データの特徴を抽出して可視化したり、練習者の動作との差異を可視化したりすることで、初心者が熟練者の動作を効率的に習得することができるシステムを実現できた。感覚的なものであり具体的に伝えることが難しいと言われていた熟練者の動作のコツを、情報工学的なアプローチで扱えることを明らかにできた。また、本研究の成果である、深層学習・最適化問題・動作補間の複数のアプローチによる熟練者の動作の生成・変形手法は、一般的なアニメーション制作にも応用が期待できる。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research was to extract the important features of motions by experts such as athletes, dancers, and craftsmen in order to utilize them for novices to learn how to move like experts. We had developed various methods for computation of kinematics motions features, selection of important motion features by applying machine learning, construction of statistical models of motion features and their relationships, visualization of spatial ranges of motions, visualization of the difference between the motion model and an input motion, and generation and deformation of motions of experts by several approaches such as deep learning, optimization, and motion interpolation. Based on these methods, we had developed a prototype of motion training for tennis shot forms and evaluated the effectiveness of our system through a user study.

研究分野：コンピュータアニメーション

キーワード：動作解析・評価 機械学習 可視化

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

テニス・野球・サッカーなどのスポーツ選手、能や歌舞伎などの日本の伝統芸能や西洋のバレエやヒップホップダンスなどの舞踊家、自動車工場や建築現場で働く技能職者など、特殊な技能が要求される分野の熟練者の動作は、素人が容易には真似できない洗練された独特の特徴を備えている。しかしながら、熟練動作の具体的な特徴はほとんど明らかにされておらず、専門家の目から見れば熟練者と素人の動作を区別できても、差異の部分を具体的に説明することは難しい。

また、情報学的な視点から見ても、熟練者と素人の動作の違いを定量的に比較・評価することは困難である。人体の動作データは、多関節体の全関節の回転の時系列データとして表現できるが(図1) 高次元の時系列データとなるため動作データ同士を単純に比較することはできない。例えば、同じ人間による同じ動作においても数値的な揺らぎが生じるため、その特徴を的確に捉える識別や比較手法が必要となる。

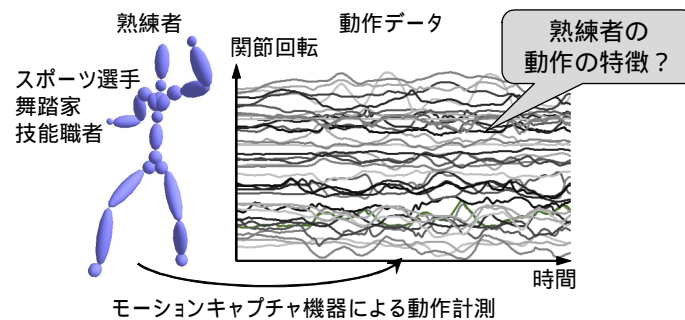


図1 動作データの例

現在は熟練者の動作の特徴が明確でないため、動作を訓練しようとする者は、熟練者の指導を仰ぎながら長時間のトレーニングを経て感覚的・経験的に修得する必要がある。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、先述のようなスポーツ選手・舞踏家・技能職者などの熟練者の動作の特徴(素人の動作との差異)を明らかにし、動作トレーニングのための特徴の可視化や動作評価・比較・生成のための手法を開発することである。熟練者の動作から抽出した特徴を理解しやすい形で可視化することで、動作の「コツ」を伝達できる。また、利用者の動作データを解析して熟練者の動作との差異を提示したり、入力された目標をもとに手本となるような熟練動作を自動的に生成したりすることで、動作トレーニングに役立てることができる。

### 3. 研究の方法

#### (1) 動作データの解析と特徴量の計算

熟練者や練習者の動作を解析・評価するために、動作データから動作特徴量を計算する。まずは、スポーツ(テニス)・ダンス(能、日本舞踊)などの専門分野における、専門家と非専門家による型となる動作の動作データを収集する。動作データの収集には、光学式のモーションキャプチャシステムを使用する。その後、収集した動作データに対して、さまざまな運動学・動力学的な特徴量の計算手法を適用し、有益な特徴量を明らかにする。

#### (2) 機械学習による重要な特徴量の抽出

多数の特徴量の中から、それぞれの動作に応じて、熟練者の運動の本質を表す少数の特徴量やその組み合わせを抽出する技術を開発する。ランダムフォレスト法(決定木)などの変数選択機能を備えた機械学習手法を適用することで、重要な特徴量とその条件を抽出する。

#### (3) 動作の特徴量の評価と可視化

熟練者の動作であっても、同じ種類の動作を複数回行ったときに、その動作や特徴量の値は完全に一致する訳ではなく、一定の範囲を含むものとなる。熟練者の動作を理解できるように提示したり、練習者の動作が与えられたときに熟練者の動作との違いを示したりするためには、熟練者の一定の範囲を含む動作を表す、動作モデルが必要となる。統計的な手法を適用することで、有用な動作モデルを開発する。

また、獲得した熟練者の動作モデルや、練習者の動作と熟練者の動作モデルの差異を、利用者が理解できるように提示するための、可視化手法を開発する。本研究では、多数の特徴量を扱い、3次元空間における向きや時間軸上のタイミングなど、単純に可視化することが難しい特徴量も扱うため、可視化手法には工夫が必要となる。

#### (4) 手本となる動作の生成

熟練者の動作は、人物の体格・目標・条件等の違いによって動きの細部が異なるため、あらゆる動作をあらかじめモーションキャプチャにより取得しておくことは現実的ではなく、熟練者らしい動作を自動的に生成する手法が必要となる。本研究では、熟練者の動作の特徴を学習した機械学習モデルにより、熟練者の動作のバリエーションを生成したり、任意の動作を熟練者の動作に変換したりするための手法を開発する。また、熟練者の動作を、異なる骨格や目標・条件に対する動作に変換するための、動作変形手法を開発する。

### 4. 研究成果

#### (1) 動作データの解析と特徴量の計算

研究に必要な熟練者の動作データの収集を行った。光学式モーションキャプチャシステム Vicon (東海大学) 光学式モーションキャプチャシステム Vicon (九州工業大学) 慣性式モーションキャプチャシステム Perception Neuron (九州工業大学) のセットアップを行い、専門家の協力を得ながらスポーツ (テニス)・ダンス (能、日本舞踊) の動作データの収集を行った。

その後、テニスのショット動作を主な実験データとして使用して、動作中の重要なタイミングを検出する手法を開発した (図 2)。また、複数部位の 3 次元位置・向きや関節回転などの運動学的な特徴量、部位間の速度のタイミングの差異などの時間的な特徴量を計算する手法を実装して、後述するトレーニングシステムのプロトタイプで評価を行い、有用な特徴量であることを確認した。

本研究の成果は、後述する動作の特徴量の評価と可視化と合わせて、国際論文誌や国際会議で発表した。(詳細は後述。)

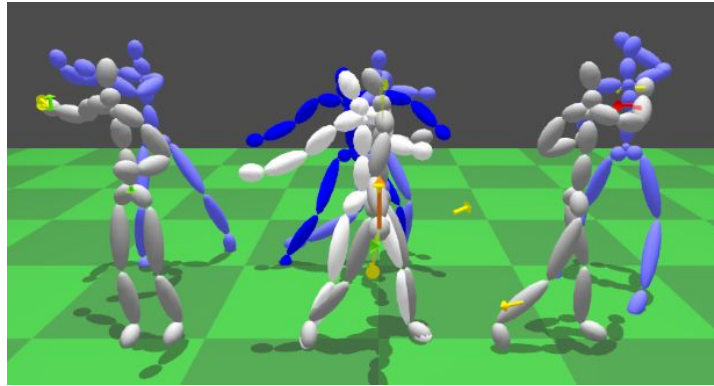


図 2 テニスのショット動作に対するキー姿勢の検出と特徴量の計算

#### (2) 機械学習による重要な特徴量の抽出

多数の動作データから重要な特徴量を識別するための研究の前段階として、比較的情報量が少ない、多数の姿勢データから重要な特徴量やその条件を識別する研究を行った。美術・映像作品に登場する数種類の魅力的な姿勢のデータセットに対して、決定木や重回帰分析を利用した解析手法を適用し、それらの魅力的な姿勢を実現するための特徴量の条件の組み合わせを発見できた (図 3)。本研究の成果を、国際会議 (Computer Graphics International 2017、Arts IT 2017) で発表した。

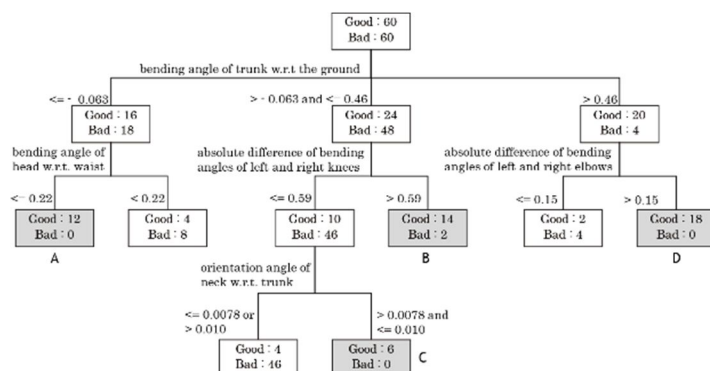
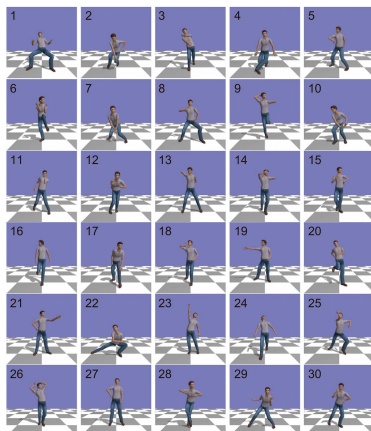


図 3 多数の姿勢データからの重要な特徴量と条件の抽出



同様のアプローチは、熟練者の動作に対しても有効であると考えられるが、後述するトレーニングシステムのプロトタイプにおいて、無理に特徴量の絞り込みを行わなくとも有用なシステムが実現可能であると考えられたため、本研究期間内では、動作データに対する同様のアプローチの適用までは至っておらず、今後の課題となっている。

### (3) 動作の特徴量の評価と可視化

練習者の動作の問題点を的確に指摘するため、多数の熟練者の動作データから計算し各特徴量の範囲を正規分布によりモデル化し、練習者動作の特徴量のうち手本動作モデルとの差異が大きいものを判定できるようにした。また、多数の練習者の動作データから計算した特徴量の相関にもとづいて、練習者が同時に間違えやすい特徴量の組み合わせを検出できるようにした。

また、熟練者の動作の特徴量の統計的なモデルにもとづいて、練習者の動作から計算した特徴量との差分を計算して、練習者の動作をどのように修正すれば熟練者の動作に近づけることができるか、特徴量の修正量を可視化する手法を開発した(図4)。

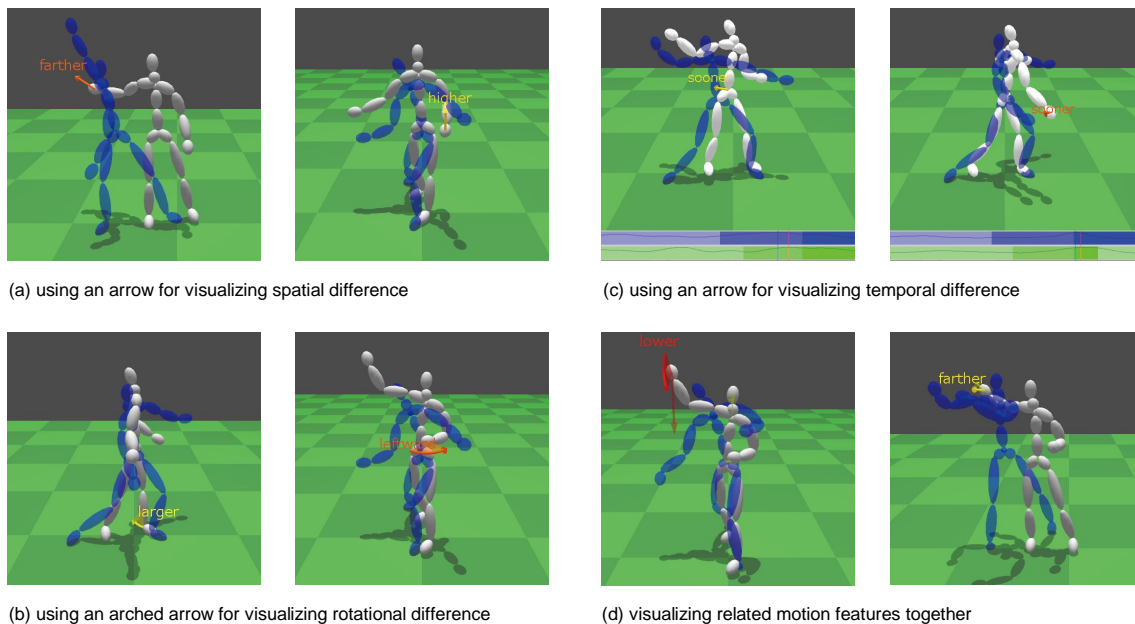


図4 特徴量の修正量の可視化

さらに、熟練者の動作の空間的な範囲を可視化する手法を開発した(図5)。本可視化手法により、熟練者の複数の動作の各部位の位置や向きの軌道の範囲を、視覚的に確認できる。また、熟練者の動作の空間的な範囲と、練習者の動作の軌道を、視覚的に比較できる。本研究の成果を、国際会議(Virtual Reality Continuum and its Applications in Industry 2019)で発表した。

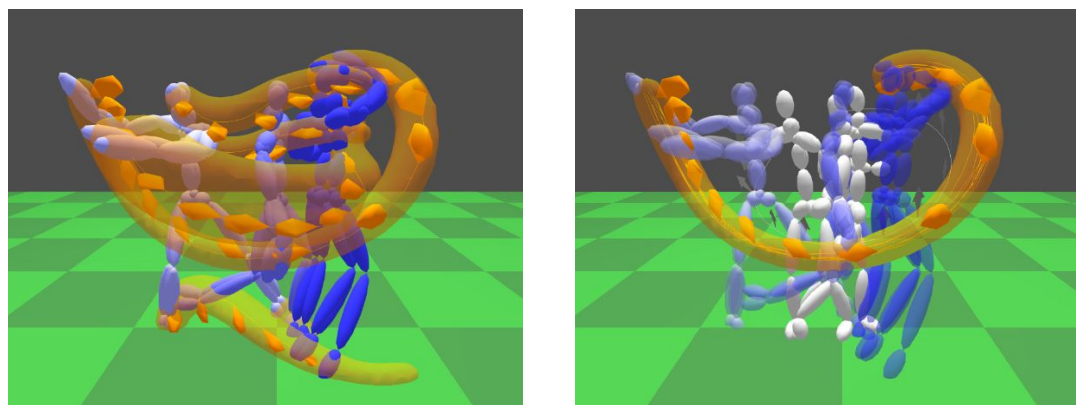


図5 複数動作の部位の位置や向きの軌道の範囲の可視化や別の動作との比較

これらの成果をもとに、テニスのショット動作のフォーム練習システムのプロトタイプを開発した(図6)。本システムでは、モーションキャプチャ機器により練習者の動作を取得して、熟練者との動作との差異を可視化する。練習者は、複数の特徴量を優先度の高い順に切り替えて可視化することで、自分の動作をどのように修正するべきかを把握できる。小規模な評価実験を行い、開発したプロトタイプの有用性を評価した。

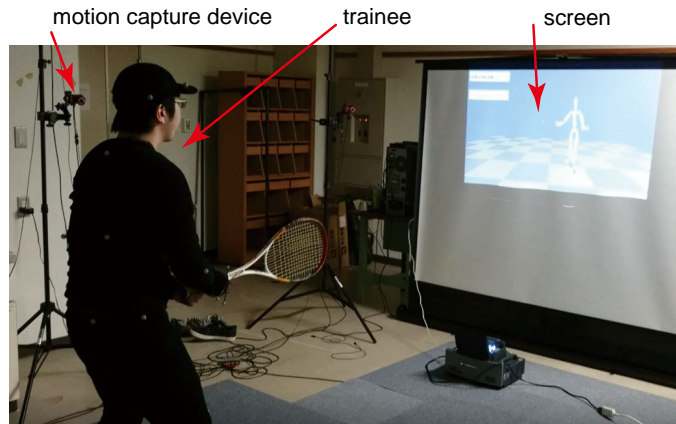


図6 フォーム練習システムのプロトタイプ

以上の研究の過程を、いくつかの国際会議・国内ワークショップで発表した。また、最終的な成果を、コンピュータグラフィックスやバーチャルリアリティの分野で著名な国際論文誌 The Visual Computer で発表した。

#### (4) 手本となる動作の生成

手本となる熟練者の動作のバリエーションを生成するための、いくつかの動作生成・変形手法を開発した。

深層学習を用いた動作生成の手法として、敵対的な生成型のネットワーク (Generative Adversarial Network, GAN) を導入し、任意にサンプリングされた潜在変数から特徴が共通する動作データを生成する機構を開発した。本研究の成果を、国内のCG関連分野では最大規模の学术会议である Visual Computing 2018 で口頭発表した。さらに、Wasserstein Auto Encoderを導入した動作データの自動生成機構を開発し、GANに基づく生成機構との比較を検証した研究成果を、画像電子学会の論文誌で発表した。

言語的な表現 (例えば「もっとゆっくりと」「もっと力を抜いて」など) にもとづいて、熟練者や練習者の動作を変形するために、言語的な表現と動作特徴量の対応付けを行い、動作補間により新たな動作を生成する手法を開発した。本研究の成果を、国際会議 (NICOGRAPH International 2016) や論文誌 (芸術科学会論文誌) で発表した。

格子構造を用いた動作変形として、周囲の空間や障害物に応じて、動作範囲を変化させるように動作変形を行う手法を開発した (図7)。本手法は、熟練者の動作を、骨格が異なる練習者のための手本動作として用いたり、動作の目標位置の変化や周囲の障害物に対応するために変形したりするために、利用できる。本研究の成果を、国際会議 (Motion in Games 2017) で発表した。

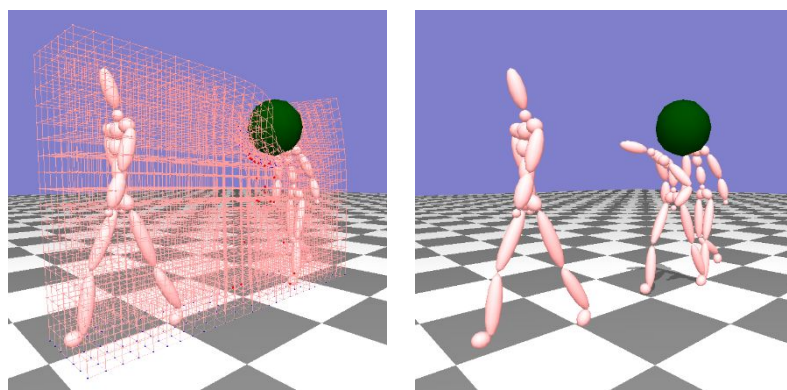


図7 格子構造を用いた動作変形

また、さまざまな条件による動作変形を実現するために、縦続型二次計画法を応用した動作変形法を開発した。本手法では、複数の条件を階層構造により与えることができ、複数の条件の優先度をコントロールできる。本研究の成果を、国際会議 (Motion, Interaction and Games 2019) で発表した。

以上のような手法により、少数の熟練者の動作データをもとに、実際のトレーニングシステムで必要となるさまざまな手本の動作データの生成が可能になると期待されるが、本研究期間内では、実際に練習用の動作データの生成に応用する段階までは至っておらず、今後の課題となっている。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Masaki Oshita, Takumi Inao, Shunsuke Ineno, Tomohiko Mukai, Shigeru Kuriyama	4. 巻 35 (11)
2. 論文標題 Development and Evaluation of a Self-Training System for Tennis Shots with Motion Feature Assessment and Visualization	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Visual Computer	6. 最初と最後の頁 1517-1529
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00371-019-01662-1	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 木佐省吾, 栗山 繁, 向井智彦	4. 巻 47 (4)
2. 論文標題 深層学習に基づく人物モーションの生成と編集	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 画像電子学会誌	6. 最初と最後の頁 440-446
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 Masaki Oshita, Aoi Honda, Maho Katsurada, Yuya Aosaki	4. 巻 16
2. 論文標題 Motion Interpolation Using Adjectives and Motion Features	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Journal of the Society for Art and Science	6. 最初と最後の頁 138-153
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 Tomohiko Mukai and Shigeru Kuriyama	4. 巻 35
2. 論文標題 Efficient Dynamic Skinning with Low-Rank Helper Bone Controllers	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 ACM Transactions on Graphics	6. 最初と最後の頁 36:1-36:11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1145/2897824.2925905	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36件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 16件）

1. 発表者名 Masaki Oshita
2. 発表標題 Motion Volume: Visualization of Human Motion Manifolds
3. 学会等名 17th ACM SIGGRAPH International Conference on Virtual-Reality Continuum and its Applications in Industry (VRCAI 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomohiko Mukai, Shigeru Kuriyama, Masaki Oshita
2. 発表標題 Motion Adaptation with Cascaded Inequality Tasks
3. 学会等名 12th ACM SIGGRAPH Conference on Motion, Interaction and Games (MIG 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masaki Oshita, Takumi Inao, Tomohiko Mukai, Shigeru Kuriyama
2. 発表標題 Self-Training System for Tennis Shots with Motion Feature Assessment and Visualization
3. 学会等名 International Conference on Cyberworlds 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 木佐省吾, 栗山 繁, 向井智彦
2. 発表標題 Deep Compact Motion Manifold に基づくモーションの生成と編集
3. 学会等名 Visual Computing 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masaki Oshita
2. 発表標題 Lattice-Guided Human Motion Deformation for Collision Avoidance
3. 学会等名 International Conference on Motion in Games 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masaki Oshita, Kei Yamamura, Aoi Honda
2. 発表標題 Expressive Human Pose Deformation Based on the Rules of Attractive Poses
3. 学会等名 6th EAI International Conference: ArtsIT, Interactivity & Game Creation (ArtsIT 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masaki Oshita, Kei Yamamura, Aoi Honda
2. 発表標題 Finding Rules of Attractive Human Poses Using Decision Tree and Generating Novel Attractive Poses
3. 学会等名 Computer Graphics International 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 宮内肇, 栗山繁
2. 発表標題 モーションキャプチャによるアーチェリーフォームの分析
3. 学会等名 電気学会 基礎・材料・共通部門大会
4. 発表年 2017年



1. 発表者名 Masaki Oshita, Maho Katsurada, Aoi Honda
2. 発表標題 Motion Interpolation Using Adjectives
3. 学会等名 NICOGRAPH Internaional 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 稲尾 拓海, 尾下 真樹, 向井 智彦, 栗山 繁
2. 発表標題 モーションキャプチャを用いたスポーツフォーム練習のための特徴量・可視化手法の検討
3. 学会等名 情報処理学会研究報告 コンピュータグラフィックスとビジュアル情報学 第165回
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 稲尾 拓海, 尾下 真樹, 向井 智彦, 栗山 繁
2. 発表標題 モーションキャプチャを用いたスポーツフォーム練習のための特徴量・可視化手法の検討
3. 学会等名 ビジュアルコンピューティングワークショップ 2016
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 渡邊 俊綱, 梅澤 俊二, 向井 智彦
2. 発表標題 テニスサーブにおける身体特徴量の実時間可視化システムの検討
3. 学会等名 情報処理学会 コンピュータグラフィックスとビジュアル情報学研究報告
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 田中大地, 宮内肇, 栗山繁
2. 発表標題 アーチェリー射形可視化のための弓曳童子の開発
3. 学会等名 電気・情報関連学会中国支部連合大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 田中大地, 宮内肇, 栗山繁
2. 発表標題 位相振動子適用のためのアーチェリーフォーム三次元分析
3. 学会等名 電気学会基礎・材料・共通部門大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Takumi Inao, Masaki Oshita, Tomohiko Mukai, Shigeru Kuriyama
2. 発表標題 Visualization of Motion Features for Sports Training System Using Kinect
3. 学会等名 14th ACM SIGGRAPH International Conference on Virtual-Reality Continuum and its Applications in Industry (VRCAI 2015) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 桂田 真歩, 本田 あおい, 尾下 真樹
2. 発表標題 モーションデータの合成のための形容詞を用いた直感的なインターフェースの提案
3. 学会等名 画像電子学会 第276回研究会 講演予稿集
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 向井智彦
2. 発表標題 統計解析を用いた熟練運動技能特徴の可視化に向けて
3. 学会等名 情報処理学会人文科学とコンピュータ研究会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 向井智彦
2. 発表標題 身体動作データの統計解析による熟練技能の可視化に向けて
3. 学会等名 「モーションキャプチャ技術と身体動作処理」シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 向井智彦
2. 発表標題 モーションキャプチャを通じた舞踊技能の可視化システム開発
3. 学会等名 秋田大学民俗芸能情報技術研究所シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Issei Fujishiro, Zhigeng Pan, Nadia Magnenat-Thalmann, Masaki Oshita, Xubo Yang, Hyun Seung Yang and Stephen N. Spencer (共同編集)	4. 発行年 2015年
2. 出版社 ACM Digital Library	5. 総ページ数 104
3. 書名 Proceedings of the 14th ACM SIGGRAPH International Conference on Virtual Reality Continuum and its Applications in Industry (VRCAI 2015)	

〔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
研究分担者	栗山 繁  (Kuriyama Shigeru)  (20264939)	豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・教授    (13904)	
研究分担者	向井 智彦  (Mukai Tomohiko)  (10432296)	首都大学東京・システムデザイン研究科・准教授    (22604)	