

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 4 月 17 日現在

機関番号：55201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2017

課題番号：25350803

研究課題名(和文) フィジカルコンピューティングを用いたアーチェリー競技力向上への取り組み

研究課題名(英文) The Use of Engineering Technique to Improve Archery Competence by Physical Computing Methods

研究代表者

宮内 肇 (Miyuchi, Hajime)

松江工業高等専門学校・電気情報工学科・准教授

研究者番号：70249837

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：アーチェリーにおいては、射形の変動は得点に大きな影響を及ぼす。このスポーツは、高得点を得るために、同じ射形を繰り返す必要がある。普通はコーチの指導の下で、繰り返しの練習で射形の安定を達成するものである。しかしながら、高校や高専の部活動においては、専門のコーチを置くのは難しい。そこで、我々は、アーチェリーの競技力を工学的な手法で伸ばすことを考えた。この研究においては、フィジカルコンピューティングを用いた様々なトレーニング装置を考案した。この装置によって、射手は、自分の射形の癖などを把握することができる。

研究成果の概要(英文)：Movement of the shooting form in archery can have a big influence on a score. This sport requires continue reproducing the same shooting form to achieve high scores. Stabilization of the shooting form is usually accomplished by repeating practice under the instruction of the coach. However, it is unusual to see a special coach in the club activities of the national colleges of technology. Therefore, we suggested the use of an engineering technique to improve archery competence. We devised an electronic sight device which assisted the form construction and confirmed the effectiveness. From this result, we recognized the importance of keeping a fixed angle of the left arm. In this study, we developed the device which visualized the trace of the left arm by using physical computing. By using this device, an archer can recognize the habit of their form visually.

研究分野：スポーツ科学

キーワード：アーチェリー フィジカルコンピューティング 工学教育 部活動指導 可視化 スポーツトレーニング センサ マイコン

1. 研究開始当初の背景

アーチェリーの競技人口は少ない。経験者は偏在・高齢化している。高専・高校の部活動に専門性のある顧問(コーチ)が就くことは稀である。そのため、初心者がアーチェリー競技力向上を目指しても、経験者からのコーチを受けることは、特に地方においてはほとんど不可能である。また、アーチェリーは危険性があり、安全に競技ができる広大な場所を必要とするなど、設備面からも制約を受ける。このため、課外活動の顧問は、競技力向上の指導に悩んでいる。そこで、本研究では、これら様々な制約を受けるアーチェリー競技の、コーチのいない境遇下において、「ものづくり」を活かした工学的な手法を用いてアーチェリーのスキルアップを図ることができないかと考えた。

2. 研究の目的

(1) 射形の可視化

アーチェリーにおいては、高得点を得るために、矢をできるだけ同じ箇所到的させる必要がある。そのためには、安定した再現性のある射形(射撃フォーム)を構築する必要がある。しかし、射手自身が射形の変動を認識することは難しい。また、稀なスポーツであるアーチェリーにおいて、コーチのいない境遇下では、他の人からの指摘を得ることも困難である。そこで、高専の特色である「ものづくり」を活かして、センサとマイコンを用いたフィジカルコンピューティングを用いて、工学的な手法で射形の変動を可視化する装置の開発を試みる。これにより、射形構築練習の補助とすることを狙う。

(2) 練習の安全化

アーチェリーは、高校の部活動において死亡事故例がある様に危険性を持つスポーツである。そのため、練習環境にも多くの制約を受けて、特に長距離の練習がほとんどできない。また、弓を引くにはかなりの力を必要とするため、実際に矢を放つまでには、基礎的なトレーニングが必要である。地道なウエイトトレーニングで興味を失う初心者も多い。楽しく練習が継続できる工夫が必要である。そこで、これらの問題点を鑑み、フィジカルコンピューティングで、近射とシミュレーションを併用した長距離練習システムの開発及び、特に初心者が楽しく弓を引く練習が継続できる、模型代射装置(弓曳童子)の基礎システムの開発を試みる。

3. 研究の方法

(1) 射形の可視化1(押し手変動可視化装置の開発):アーチェリーにおいて、得点に大きな影響を与える、押し手(弓を持つ側の腕)の変動の様子を客観的に認識することができるシステムを開発する。これにより、射手の射撃時及び射撃後の腕の変動のくせを認識させる。

(2) 射形の可視化2(射形変動可視化装置の

開発):押し手の変動だけではなく、射形全体の変動の様子を客観的に認識することができるシステムを開発する。これにより、射手の射撃時の射形の変動を客観視させ、安定した再現性のある射形を構築するためには、射撃時にどの関節ポイントを意識すれば良いのかを認識させる。

(3) 射形の可視化3(同期現象の応用):アーチェリーの射形の変動は、射手固有の振動現象と仮定する。ハイスピードカメラやモーションキャプチャで射形の変動を撮影して、射形の崩れの要因はどこにあるのかを考察する。

(4) 練習の安全化1(弓曳童子の開発):特に、力不足で弓をまだ十分に引くことのできない初心者を対象と考えて、射形の変動を楽しく認識させ、「ものづくり」にも興味を喚起するための模型代射装置(弓曳童子)の基礎システムを構築する。

(5) 練習の安全化2(長距離練習システムの開発):近射(的をすぐ近くにおいて矢を射ること)とシミュレーションを併用して、これにより室内で安全に長距離(70m)の練習効果を得る基礎システムを開発する。

4. 研究成果

(1) 射形の可視化1(押し手変動可視化装置の開発)

押し手や射形の各関節部位の変動をセンサで計るための角度の定義を図1に示す。的面の法線方向をx軸、地面に対して鉛直方向をz軸とする。鉛直軸に対する押し手の傾き角度を θ [°]、的方向に対する左右の方位角度を ϕ [°]とする。ねじれ角度 τ [°]とする。

押し手の傾き角 θ は、矢の的中の上下に影響を与える。引き手(弦を引く側の腕)側の各関節の θ は射形の崩れの目安となる。

押し手の方位角 ϕ は、的中の左右に影響を与える。射形は両肩の線と矢の線が並行であることが大切であるが、押し手の肩が出すぎたり、引き手の肩が入り過ぎたりして射形が崩れる。 ϕ はその目安となる。

次にねじれ各 τ は、射形を崩し、リリース(弦を離すこと)時の弦の指からの離れに影響を与える。弦を真っ直ぐに保つことは、基準線としてのエイミング(照準)に役立つ。

これらの傾きを射手自身が認識することは難しい。これらを客観視できれば役立つ。

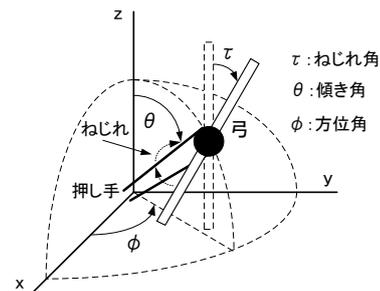


図1 押し手・関節部位の角度の定義

図1で定義した傾き角 θ とねじれ角 τ を3軸加速度センサモジュール (KXM52-1050、カイオニクス社製)、方位角 ϕ をデジタルコンパスモジュール (HMC6352、ハネウエル社製)で検出する。検出したデータはマイコン基板 (Arduino pro Mini328)に取り込んで、予め設定したプログラムで処理を行う。また、これらの角度データは、データロガー (CK40、サンハヤト製)に取り込んで、マイクロSDカード (ソニー製)に記録する。これらを一体化した装置を開発した。

この装置の構成を図2に示す。LEDでSDカードに書き込み可能状態を確認し、計測補助者がスタートボタンを押してから0.1秒ごとに角度データが計測され、10秒間記録できる。装置は押し手手首周辺にマジックバンドで固定する。記録した角度データは、SDカードでパソコンに取り込み、デザイン言語であるProcessingで時系列にグラフ化およびアニメーションで可視化される。このイメージを図3に示す。

リリースの瞬間には、リムの反動で押し手は動きやすい。動く方向は、射手によってくせがある。これによって、リリース前に狙っていた方向と、リリース後に実際に矢が飛んでいく方向がずれているがばらつく。

この装置を用いて、アンカー (矢を射る寸前の弓を固定した状態) からリリース、フォロースルー (矢を放った直後の状態) までの押し手の状態を記録することで、射手自身のくせを認識することに役立つ効果があると考えられる。

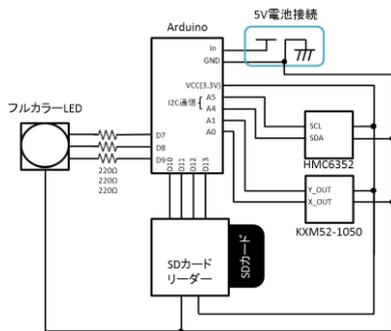


図2 押し手変動可視化装置の構成

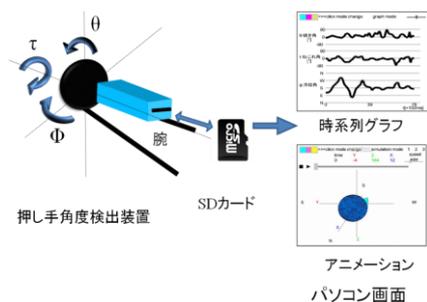


図3 押し手変動可視化装置のイメージ

(2) 射形の可視化2 (射形変動可視化装置の開発)

次に、押し手だけではなく、射形全体の再現性をみるために、センサ検出関節ポイントとして、図4に示す6ポイントを設定した。

これらのポイントの変動を検出してパソコン上でプログラミング処理を行って、変動 (自分のくせ) を見ることができる射形変動可視化装置を開発した。関節ポイントの各角度 (θ 、 τ 、 ϕ) の定義は図1と同じである。しかし、方位角の検出については、センサの傾きによる誤差が無視できなかったため、傾き補償付きのデジタルコンパス・加速度センサモジュール (LSM303DLH、ST マイクロエレクトロニクス社製) を用いた。6箇所のデータは同期して0.1秒ごとに計測される。この装置の構成を図5に示す。この装置をマジックテープ付きの裾止めバンドに装着して、各関節ポイントに固定した。

アーチェリーには、絶対的な射形はないが、高得点を出すためには、毎回安定した同じ射形を再現して (射形を固めるといふ)、矢の的中位置のばらつき (グルーピング) を小さくする必要がある。射形を固めるには、基準となる射形が必要であるが、何回か試射を行い、高得点が出た時の自分のフォーム (バンドを装着した状態で決まる各関節の傾き角度) を目標とする教師角度 (θ_T 、 τ_T 、 ϕ_T) として記憶させておく。次に規定回数 (アーチェリーの基本射数である6射6回の36射) だけフルドローを繰り返して、その都度の各関節角度の教師角度からのずれ ($\Delta\theta$ 、 $\Delta\tau$ 、 $\Delta\phi$) を記録していく。

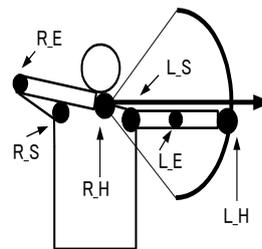


図4 射形変動のセンサ検出関節ポイント

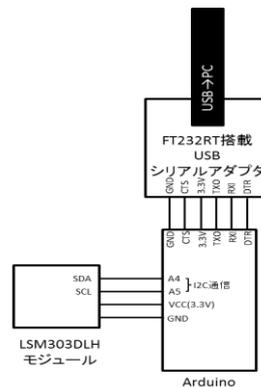


図5 射形変動可視化装置の構成

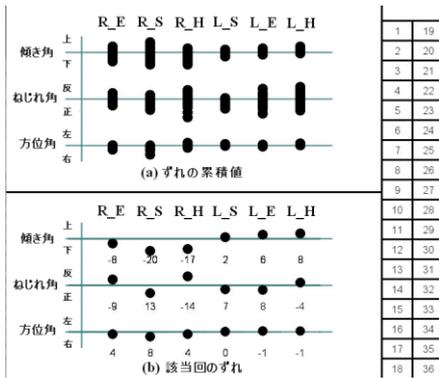


図6 射形変動可視化装置の検出例

最後に Processing 言語でパソコン上に、角度のずれを検出ポイントごとに図形的に重ねて可視化させる。図6に射形変動の検出例を示す。画面構成は、上半分が36射の累積の変動の様子を、下半分は、ある回の行射での変動の様子を示している。右側の1~36の数字をクリックすることで、その行射での変動を下半分の画面に出力できる。教師角度からのずれが累積していくと、プロットがずれて、棒状の形になっていく。射手は、自分の射形の崩れがどこに要因があるのかを視覚的に認識できる。

尚、これらの射形変動装置の開発についての取り組みをまとめた論文(雑誌論文②参照)は、高専機構の論文賞を受賞した。また、国際会議(学会発表④参照)で広く世界に発信した。

(3) 射形の可視化3 (同期現象の応用)

モーションキャプチャカメラ(Prime17W OptiTrack社製)5台を用いて、図7に示す射形を構成する主要な関節ポイント3点の座標値の変動を測定した。図4に示すR_HをA_P(アンカーポイント)、L_HをP_P(ピポットポイント)と表記している。的方向をX座標、天地方向をY座標、腹背方向をZ座標とする。

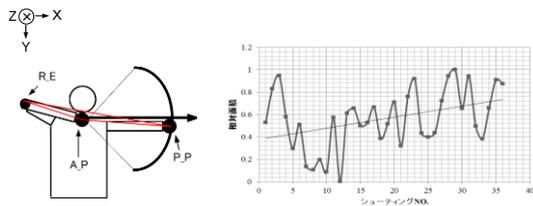


図7 観測ポイントと空間三角形の変動

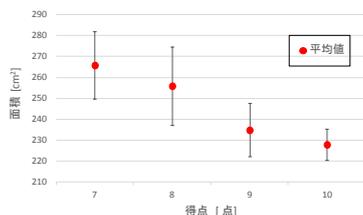


図8 空間三角形面積と得点の関連性

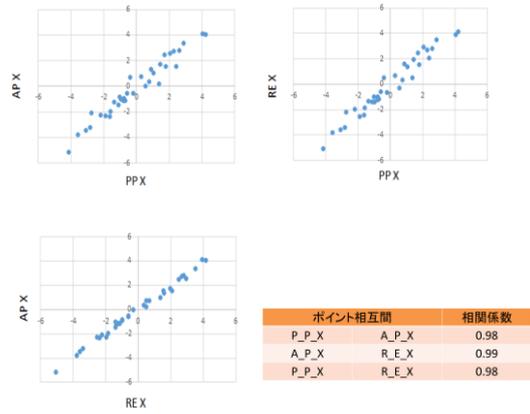


図9 各ポイントのX座標値φの相関

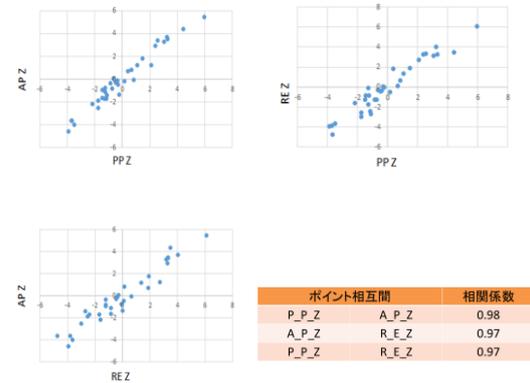


図10 各ポイントのZ座標値φの相関

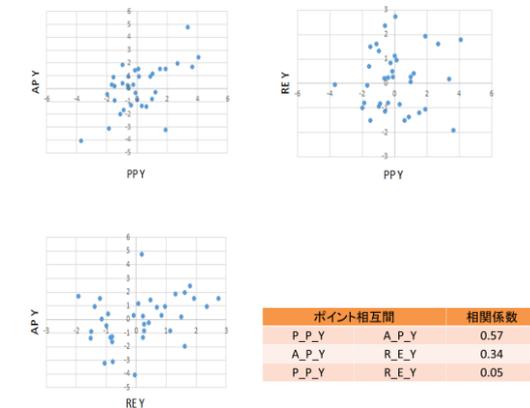


図11 各ポイントのY座標値φの相関

これら3点が成す三次元空間三角形の面積の変動を見ると、図7のグラフのように大きく変動する。この三角形の面積が小さい(3点の直線性が良い)程、得点が高いという関係性がわかった(図8参照)。次に、各座標値の変動は、射手固有の振動現象と仮定して、(1)式により位相φを定義して、各ポイントの相関を調べた(図9~図11参照)。

$$\phi_{ij} = 2\pi L_{ij} / T \quad (1)$$

ここで、 L_{ij} : 順序する射番 ij の座標値の変動幅。 T : 36射間の座標値の最大変動幅。

以上、特に高さ方向(Y座標)を留意して三点の直線性を保つ行射が良いと分かった。

(4) 練習の安全化1 (弓曳童子の開発)

アーチェリーにおいては、射手自身が射形の変動の様子を観測するのは難しい。前述のように、ハイスピードカメラやモーションキャプチャで、射形を撮影して数値的にその変動を分析する方法があるが、これらの装置は高価であり、使いこなすには経験と技量、時間を必要とする。一般的な普及は難しい。

そこで、比較的low費用で製作可能で、初心者に「ものづくり」にも興味を持たせることのできるシステムを考案した。

江戸時代末期を代表する科学技術者、からくり儀衛門こと田中久重の作品の一つに、人形が矢立から矢を取り、弓に矢をつがえて的を射するという高度な動作を繰り返すからくり人形「弓曳童子」がある。

本研究では、これをヒントに、アーチェリーフォームを楽しく客観視するための図 12 に示すシステムを作製することを目指す。人間のシャドウシューティング (弓を持ち弦を引いて実際の負荷をかけるが、矢は撃たない) 時の、前述した射形を構成する 6 関節ポイント (L_H: 左手首、L_E: 左肘、L_S: 左肩、R_H: 右手首、R_S: 右肩、R_E: 右肘) の傾き角度データを 3 軸加速度センサ (KXR94-2030、Kionix 社製) で捉えて、マイコン基板 (Arduino Uno R3) に取り込み、無線モジュール (XBee ZB S2CPCB アンテナ型、DigiInternational 社製) によって模型側に送信する。模型側の各関節ポイントには、サーボモータ (SG-90、TowerPro 社製) を配置して、各角度データをマイコンで処理して動かす。図 13 に示すような基本システムを構築した。現段階では、矢を放つ機構まで進展していないが、今後継続してその開発を目指す (図 14 参照)。比較的システムが構築しやすいアーム型ロボットの利用も考えられる。

また、射形の各関節ポイントの変動を検出することに関連して、安価で高性能なゲーム機センサである Kinect とパソコン上で利用するためのオープンソースライブラリである OpenNI の利用も考案した (図 15 参照)。

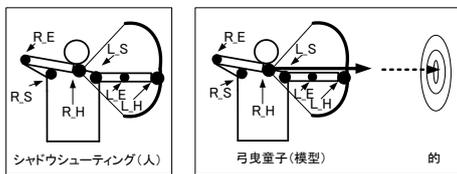


図 12 弓曳童子システムの概要

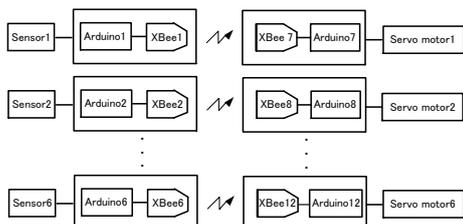


図 13 無線モジュールによるシステム構成

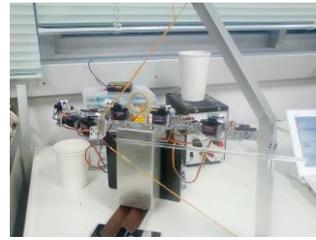


図 14 実際の弓曳童子システムの外観

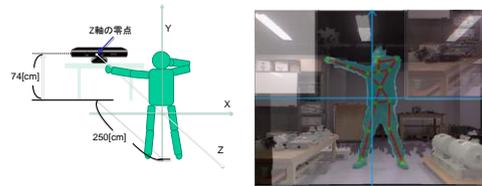


図 15 Kinect 画像による関節ポイント座標取得

尚、この取り組みを学会 (学会発表②参照) で発表したところ、電気学会中国支部奨励賞を受賞した。

(5) 練習の安全化2 (長距離練習システムの開発)

アーチェリーの弓の傾きをセンサデバイスで検出して、矢の飛翔を計算して、安全に練習できる室内での近射による実射と、それ以降の 70m の仮想空間でのシミュレーションを併用した長距離練習システムを考案した。

図 16 にシミュレーションで用いる座標設定と弓の傾き角度の定義を示す。弓のセンターロッド (バランスを取る棒状の器具) の根元にセンサとマイコンを取り付ける。地面に対する弓の傾き角 θ を 3 軸加速度センサ (KXM52-1050、カイオニクス社製) で、z 軸に対する弓の方位角 ϕ を、傾き補償付きデジタルコンパス・加速度センサモジュール (LSM303DLH、ST マイクロエレクトロニクス社製) で検出する。シミュレーションに必要な幾何学的定数と弓具定数等の初期条件をマイコン (Arduino Uno) に設定し、矢の初速度は、予めハイスピードカメラで撮影解析して求めておく。引き手のタブ (弦を握るために指につける革製の補助具) には、曲げセンサ (浅草ギ研製) を付けておく。

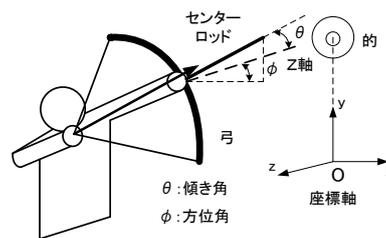


図 16 シミュレーションの座標設定

アーチェリーの弓の弦を引くのに要する力は、30～40 ポンド (14～20 キログラム) 程度である。実際の練習効果を得るために、近射により実際の負荷をかけて、リリースの瞬間を曲げセンサで捉えて、その時の弓の傾きデータ (θ , ϕ) をマイコンに取り込んで、質点と近似した矢の飛翔を 3 次元斜方投射式で計算して、的中位置を計算する。的中位置は、デザイン言語である processing で可視化して、プロジェクタによりスクリーン上に投影する。近射でのエイミングの目安とするために、射手から 70m 先にある的を望む立体角と等価な大きさの的紙を貼っておく。図 17 にシステムの基本構成を、図 18 に実際の様子を示す。シミュレーションは、基本射数の 6 射 6 回の計 36 射を繰り返す。図 19 には、36 射の累積的中位置の結果例を示す。

尚、この長距離練習システム概念と射形変動可視化装置の開発は、JST イノベーションジャパン 2015 に採択されて (その他参照)、東京ビッグサイトで展示して、研究成果を広く世間に発信した。

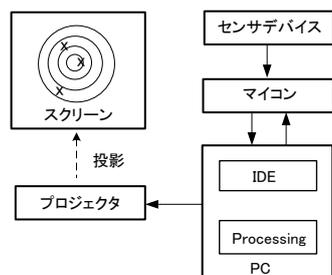


図 17 システムの基本構成

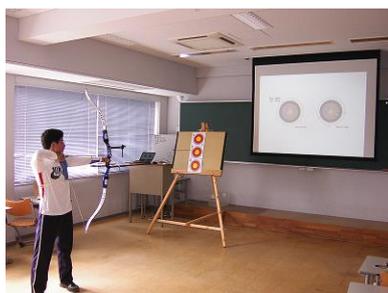


図 18 長距離練習システムの実際の外観



図 19 シミュレーションの的中表示例

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

①宮内 肇、栗山 繁、近射とシミュレーションを併用したアーチェリー長距離練習システムの開発、論文集「高専教育」第 37 号、査読有、2014、563-568

②宮内 肇、角田一平、アーチェリーにおける射形変動可視化装置の開発、論文集「高専教育」第 38 号、査読有、2015、640-645

〔学会発表〕(計 21 件)

①嘉村直隆、宮内 肇、栗山 繁、フィジカルコンピューティングを用いたアーチェリー長距離練習システムの開発、平成 25 年度電気情報関連学会中国支部連合大会、平成 25 年 10 月 19 日、「岡山大学 (岡山県)」

②太田 誠、宮内 肇、栗山 繁、アーチェリーフォームを客観視するための弓曳童子の制作、平成 25 年度電気情報関連学会中国支部連合大会、平成 25 年 10 月 19 日、「岡山大学 (岡山県)」

③安立昌弘、宮内 肇、栗山 繁、位相振動子を用いたアーチェリーフォームの解析、平成 27 年電気学会基礎・材料・共通部門大会、平成 27 年 9 月 17 日、「金沢大学 (石川県)」

④MIYAUCHI Hajime、KURIYAMA Shigeru、The Use of Engineering Technique to Improve Archery Competence、WECC2015、平成 27 年 12 月 2 日、「国立京都国際会館 (京都府)」

⑤宮内 肇、栗山 繁、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、平成 29 年電気学会基礎・材料・共通部門大会、平成 29 年 9 月 19 日、「室蘭工業大学 (北海道)」

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

(1) 「フィジカルコンピューティングを用いたアーチェリー練習装置の開発」、JST イノベーションジャパン 2015 装置デバイス部門採択展示、平成 27 年 8 月 27 日、「東京ビッグサイト (東京都)」

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宮内 肇 (MIYAUCHI, Hajime)

松江高専・電気情報工学科・准教授

研究者番号：70249837

(2) 連携研究者

栗山 繁 (KURIYAMA, Shigeru)

豊橋技術科学大学・情報知能工学系・教授

研究者番号：20264939