

令和 3 年 5 月 20 日現在

機関番号：51303

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2020

課題番号：17K01708

研究課題名（和文）画像・音声認識による剣道競技者追跡と有効打突判定条件の定量化

研究課題名（英文）Tracking of Kendo Athletes and Quantification for Effective Striking Judgment by Image and Voice Recognition

研究代表者

渡邊 隆（Watanabe, Takashi）

仙台高等専門学校・総合工学科・准教授

研究者番号：30634620

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,700,000円

研究成果の概要（和文）：剣道競技者を上方および側方から撮像した画像解析により、2名の競技者間距離測定、競技者の打突開始の瞬間（初動）の検出、4種の打突動作の判別、打突部位への竹刀の接触有無判定を可能とする独自の手法を提案し、それぞれが有効打突を判定するための要素技術となることを確認した。また、有効打突時の充実した気勢評価のために、スペクトルエントロピーの時間変化を分析し、音声から有効打突に関する時間箇所抽出方法を考案した。様々な打突箇所の音声の経過を分析したところ提案手法が有効であることがわかった。これらの画像・音声認識手法を同期させることで有効打突判定条件の定量化の可能性を示せた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

平成24年度より中学校の体育授業において「武道」が必修となった。「剣道」の授業やクラブ活動では、担当教員が剣道経験者とは限らないため、剣道経験の有無に関わらず客観的に有効打突の判定を可能とするシステムとしての普及が予想できる。

また、競技会における有効打突の判定は3名の熟練審判員の主観に委ねられており、競技数が多くなると審判員の心身に大きな負担がかかるが、客観的に評価するシステムが現時点では存在しない。本システムの判定アルゴリズムに熟練審判員の判定情報を学習させることにより精度が向上し、将来、審判員の負担低減に繋がる技術となる。

研究成果の概要（英文）：We analyzed the capture image a kendo athletes from the upper part and the side, and we enabled the measurement of the distance between two athletes, the detection at a moment (first action) of the striking start, distinction of the striking movement, the contact judgment of the bamboo sword to the striking part. We confirmed that it became the elemental technology for them to judge effective striking.

In addition, for a substantial spirit evaluation at the time of the effective striking, we analyzed a change at time of the spectrum entropy and devised the extracting method of the point at time to be related to effective striking from a sound. After analyzing the progress of the sound of various striking points, suggestion technique was found to be effective.

We were able to show possibility of the quantification of the striking judgment condition effective in synchronizing these images and voice recognition technique.

研究分野：画像計測・解析

キーワード：モーションキャプチャー 運動解析・評価 音声認識・理解

1. 研究開始当初の背景

近年のスポーツ競技会では、ビデオ判定の導入が進められており、武道の分野も例外ではない。柔道競技では2010年より2台のビデオカメラで2方向から撮影するCARE(Computer Aided Replay)システムを採用し、審判員の判定を補助している。剣道競技においては、審判員の誤審と公平性を確保することを目的として、韓国実業剣道連盟が第15回全国実業剣道大会(2011年4月)にてカメラ3台を競技会場に設置し、審判員の判定を補助する試みがなされた(加藤, 武道学研究 45(1), 1-21, 2012-09)。カメラで撮影した画像評価のための判読委員を6~10名で構成していることから、判定精度向上を目的とした導入であることがわかる。しかし、「機器の不備・撮影角度により判読不能の場合には審判員の判定に従う」ルールが付加されており、固定カメラ3台の撮像画像では競技者同士の重なりによる隠蔽現象が発生し、全ての動作を判定できるものではない。剣道の有効打突判定のための動作解析は、これまで有線マグネットセンサーを用いた打突部位への接触を検出する手法(竹内他, 武道学研究 8(2), 90-91, 1976)、有効打突と判定された部位の傾向と頻度を調査する報告(巽他, 茨城大学教養部紀要(18): 247-252, 1986)などが報告されており、古くから評価への取り組みが試みられていたが、有効打突の条件を総合的に判断するものではない。さらに近年、打突の基本動作を判別し、中学校における「武道」の授業の教育支援システムとしての役割を果たすために、マイクロソフト社の人間の動作・音声によって操作が可能なデバイス(Kinect)を用いた剣道の基本動作自動判別システム(飯田他, 福井大学大学院工学研究科研究報告 63, 5-13, 2014)などが提案されており、教育支援、技術向上に関する注目度が増してきている。研究代表者は、剣道部顧問として練習、競技会の様子を観察する機会が多く、学生の技術向上のために有効打突の有無を定量的に解析・判断する必要性を強く感じている。長年、画像処理を用いた計測検査システム開発(渡邊他, 電気学会論文誌 C, Vol.127-C, No.4, pp.652-658)およびモーションキャプチャーによる走運動解析(斉藤, 渡邊, 日本機械学会東北学生会第45回卒業研究発表講演会講演論文集, pp.253-254)の研究を行ってきた知見と既存設備を用いた予備実験の結果より、有効打突の有無を定量的に解析・判断することを試みる構想に至った。

2. 研究の目的

剣道の有効打突は、全日本剣道連盟の試合・審判規則第12条より「充実した氣勢、適正な姿勢をもって、竹刀の打突部で打突部位を刃筋正しく打突し、残心あるものとする」と定義されており、競技者が打突を試み、有効と判定される打突部位は「面」「籠手」「胴」「突き」の4箇所である。これら有効打突判定のための条件を満たすか否かは審判員の主観に委ねられるが、この条件は定量化が困難であるため、客観的に評価するシステムが現時点では存在しない。本研究では、ハイスピードカメラの撮像画像と指向性マイクロホンにて取得した打突音から打突動作の有効性を評価するためのシステム開発を試みるものであり、競技者の技術向上、指導補助の役割を果たすことを目的とする。

3. 研究の方法

2名の競技者を上方または側方から同時に観察できるように設置したハイスピードカメラが取得した画像から、打突動作を解析し打突位置・強さを定量化する。さらにマイクロホンが取得した音声情報から氣勢の充実度を定量化し、競技者の打突の有効性を判定(実験1)する。競技場内を動きながら打突動作を行う競技者解析のための画像・音声情報の取得条件を維持するため、撮像機器をサーボモータにて動作し競技者に追従(実験2)させる。さらに、打突の強さ・氣勢の音域は年齢および性別によって変化するため、競技者年齢、男女別傾向に追従(実験3)するための被験者を拡張した実験を実施する。

(1) 実験1 打突の有効性判定

(1)-1 「充実した氣勢」の評価

測定用指向性マイクロホン4台にて取得した竹刀の打突音、競技者の発声音、その他の発声音(竹刀の打突音、競技者の足が床を移動するときの擦れる音)から競技者の発声音を分離し(本郷他, 日本音響学会 2016年春季研究発表会予稿集, 2016)、発声音の有無および発声音解析結果から、氣勢の「充実度」を評価する。また、測定用指向性マイクロホンの最適な設置数および設置位置を実験にて決定する。

(1)-2 「竹刀の打突部で打突部位を刃筋正しく打突」の評価

ハイスピードカメラ(Photron社製 SA-4)による撮像画像からフレーム間差分法により竹刀の動作を認識・追跡し、有効打突部位への接触による竹刀の変形状態から、打突の「有効度(画)」、競技者が打突動作時に発生させる数種の音源から分離した竹刀の打突音を解析することにより、打突の「有効度(音)」を4箇所の有効打突部位(「面」「籠手」「胴」「突き」)ごとに評価する。

(2) 実験2 競技者への追従

競技者は9~11m四方の競技場内を移動しながら打突動作を行うため、「競技者に対する撮像機器の位置」の条件を常時維持することはできない。改善のため小型ハイスピードカメラ(ディテクト社製 HAS-L1 等)および照明装置(以下、小型撮像機器)をサーボモータ等にて回転動作させ、競技者情報が常時取得可能となる状態を確保する。競技者の動作方向に小型撮像機器を移動させるための手段として、画像のフレーム間差分法にて移動方向を推定し、剣道防具(面)に貼付した矩形のマークを利用したテンプレートマッチングによる追跡を行う。また、レンズの特性上、小型撮像機器から競技者間の距離に応じて追跡する竹刀の大きさが変化することから「有効度(画)」判定のためのキャリブレーションが必要になるため、面に貼付した矩形の大きさを評価することで対応する。しかし、小型撮像機器の回転動作のみでは競技者の移動位置の場合に竹刀の隠蔽が発生するため、将来的に小型撮像機器の追加設置が必要になる。

(3) 実験3 競技者年齢、男女別傾向への追従

実験の作業手順が確立した段階で、被験者の年齢・性別を拡張し実験1~2を繰り返すことにより有効打突判定のための閾値を調整する。

4. 研究成果

(1) 実験1 打突の有効性判定

競技者の打突動作を「有効度(画)」、「有効度(音)」にて評価するための手法をいくつか提案し、実験を繰り返しながら、それらの有効性を検証していく中で技術を蓄積することができたが、具体的な数値化には至らなかった。今後、本研究の成果を基に実用化研究(科研費 基盤研究(C) 課題名: 剣道競技における打突動作の可視化と有効性評価システムの実利用化, 課題番号: 21K11436)を進める中で継続していく。

(1)-1 「充実した気勢」の評価

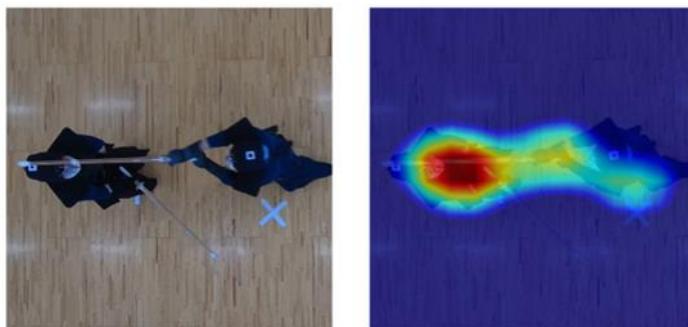
「充実した気勢」の評価として、スペクトルエントロピーの時間変化をとらえて、競技者の音声から有効打突に関係する時間箇所を切り出す方法を考案し、様々な打突箇所の音声経過を分析する手法が極めて有効であることが実験にて明らかになったため^[1]、打突に要する時間を検出し、その時間から逆算した音声を切り出し、評価することが必要である。そこで、竹刀の打突部と打突部位(面, 小手, 胴, 突き)に振動センサ, デジタル無線装置, 信号処理用マイコンを有する超小型デバイスを取り付けたシステムを構築することでその有効性を評価したところ、1ms程度の精度で打突に要する時間を検知することができた^{[2][3]}。また、競技者の発声(打突時の掛け声)と竹刀の打突音の判別については、ビデオカメラにて撮影した剣道の試合風景から、判別対象である「発声」、「打突音」、「拍手」の音声を切り出し学習用データとしたディープラーニングによる判別実験を試みた結果、3種の音声の再現率は76%~98%、適合率は80%~100%であった^[4]。

(1)-2 「竹刀の打突部で打突部位を刃筋正しく打突」の評価

① 打突部位の判別について

「竹刀の打突部で打突部位を刃筋正しく打突」の評価として、2名の競技者が打突を試みたときの竹刀の位置座標から打突部位(面, 籠手, 胴, 突き)を判定するために、背景差分法とテンプレートマッチングを適用した手法を提案し、競技者毎の打突部位追跡を試みた。実験の結果、面, 籠手, 突きの打突部位については約80%、胴は約50%の確率で正確に追跡・判定ができた^[5]。胴の追跡については、隠蔽抑制の撮像環境および手法を今後検討する必要があるため、以下に示す2種の新たな手法を提案し、その精度を評価した。

2名の競技者の打突動作を判別するために、60fpsのカメラを剣道場の天井に設置し、4種の打突部位の打突の瞬間を直上から捉えた画像計4,000枚を学習用データとした機械学習を適用し(図1), 80%~100%の確率で判別が可能であることを確認した^[6]。さらに、学習用データを利用しない手法として、2名の競技者の頭頂部間を繋いだ直線と打突を試みる競技者の腕と頭頂部を繋ぐ直線が成す角度 θ を時間軸で解析した手法を提案し(図2), 初動(競技者の動き始め)の検知精度の影響は受けるが、高い信頼性で評価できる可能性を示せた^[7]。



(a)入力画像(「面」の打突)

(b)特徴マップ

図1 「面」打突解析

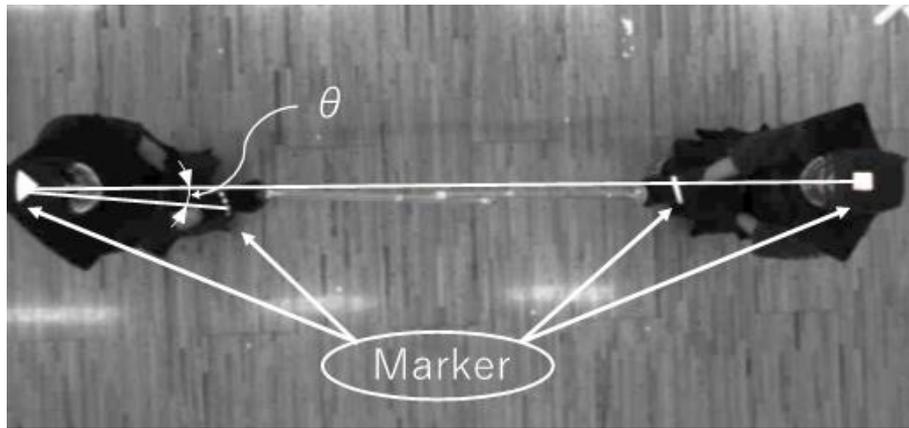


図2 打突動作中の姿勢に注目した解析

② 竹刀の打突部の追跡について

2名の競技者の打突動作時の竹刀先端部の追跡を目的として、フレーム間差分法と2本の竹刀が交差することによる隠蔽を抑制するための独自のアルゴリズムにて、95%以上の確率で追跡に成功した(図3)^{[8]-[10]}。

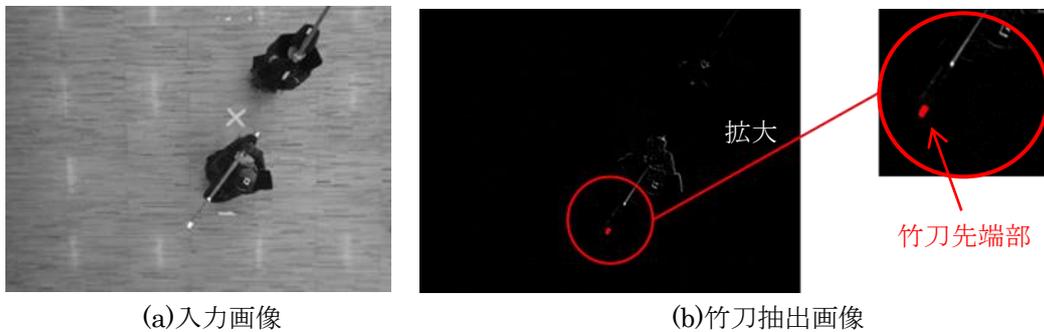


図3 竹刀の判別と追跡

(2) 実験2 競技者への追従

審判員の役割を務めるロボットの位置取りについて着目し、競技の妨げにならず、かつ判定可能な距離を維持するような追従系の実現を目指し、旋回・直進ができるイメージセンサを搭載した小型移動ロボットキットを用いて検証した。その結果、P制御だけの場合に対し、微分動作を追加したPD制御を用いることで移動ロボットの反応速度が向上し、対象物の急な動作に対しても、見失うことや衝突などのリスクを減少させられることがわかった。

また、歯車減速機構を用いた車輪駆動系を組込んだ小型モビリティの簡易的制御手法として、速度ループの低次元機電連成モデルを用いるモデルベースト振動制御とスリップ抑制制御を適用した直進および旋回走行時のスリップ抑制に関するシミュレーションを行い、走行安定効果が得られた^[11]。

さらには、動力循環構造系のモデリングを行い、振動抑制手法の検討およびセンサベースト制御の有効性をシミュレーションにて検証した。この取り組みは、本テーマに用いるロボット系の駆動系が歯車減速機構を有する場合に発生する振動の抑制手法として活用できる^[12]。

審判員の役割を務めるロボットに競技者の位置情報を提供するために、2名の競技者を上方のカメラで撮像した画像を解析することで、情報提供が可能であることを実験にて確認した。

(3) 実験3 競技者年齢、男女別傾向への追従

本研究において、年齢および男女別傾向の調査解析をするには至らなかった。今後、本研究の成果を基に実用化研究(科研費 基盤研究(C) 課題名: 剣道競技における打突動作の可視化と有効性評価システムの実用化, 課題番号: 21K11436)を進める中で継続していく。

<引用文献>

- [1] 下重大地, 本郷哲, 渡辺隆, “剣道競技における有効打突判定システムの検討-音響信号を用いた打突と氣勢の分離-”, 電気関係学会東北支部連合大会, 2G14(2017)
- [2] 本郷哲, 下重大地, 田中ゆみ, 渡邊隆, “剣道の有効打突判定システムにおけるタイムスタンプ法の開発”, 2018年電子情報通信学会ソサイエティ大会, A-9-9(2018)
- [3] 下重大地, 本郷哲, “TWELITEを用いた剣道競技における打突判定システムの製作”, 第24回高専シンポジウム in 小山(2019)
- [4] 岩間悠平, 大久裕輝, 本郷哲, “剣道打突音を用いたディープラーニングによる剣道競技シーンの分類”, 令和2年度東北地区高等専門学校専攻科産学連携シンポジウム, T20-8-09(2020)
- [5] 桂島僚一, 渡邊隆, 大町方子, “画像処理を用いた剣道の打突部位追跡”, 日本機械学会東北学生会第48回卒業研究発表講演会講演論文集, pp.118-119(2018)
- [6] 横山頼希, 渡邊隆, 大町方子, “機械学習を用いた剣道打突判定システムの開発”, 日本機械学会東北学生会第50回卒業研究発表講演会講演論文集, No.501(2020)
- [7] 速水伸幸, 渡邊隆, 大町方子, “打突動作中の姿勢に注目した剣道競技者の打突部位判定手法の提案”, 日本機械学会東北学生会第51回卒業研究発表講演会講演論文集, No.412(2021)
- [8] 横山亮, 渡邊隆, 大町方子, “剣道競技における有効打突自動判定のための交差する竹刀の追跡”, 日本設計工学会東北支部平成30年度研究発表講演会, 2-1 (2018)
- [9] 横山亮, 渡邊隆, 大町方子, “剣道競技における有効打突自動判定のための交差する竹刀の追跡”, 日本機械学会東北学生会第49回卒業研究発表講演会講演論文集, No.1001(2019)
- [10] 菅井太樹, 渡邊隆, 大町方子, “剣道競技における有効打突自動判定のための竹刀の追跡精度の向上”, 日本機械学会東北学生会第50回卒業研究発表講演会講演論文集, No.502(2020)
- [11] Masahiko ITOH, “Simulation Study on a Slip Control Technique Combined with a Vibration Suppression Control for a Geared Wheel Drive System Applied to a Small EV”, Proceedings of the 2019 International Conference on Advanced Mechatronic Systems (ICAMechS 2019) [Jointly sponsored by IEEE, Ritsumeikan, etc.] (Kusatsu, Shiga, Japan) pp.261-266(2019)
- [12] 阿部光成, 伊藤昌彦, “歯車減速機構を用いた動力循環型機械装置系の振動抑制制御に関する研究”, 日本機械学会東北学生会第51回卒業研究発表講演会講演論文集, No.413(2021)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計31件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 速水 伸幸, 渡邊 隆, 大町 方子
2. 発表標題 打突動作中の姿勢に注目した剣道競技者の打突部位判定手法の提案
3. 学会等名 日本機械学会東北学生会 第51回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 阿部 光成, 伊藤 昌彦
2. 発表標題 歯車減速機構を用いた動力循環型機械装置系の振動抑制制御に関する研究
3. 学会等名 日本機械学会東北学生会第51回卒業研究発表講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩間 悠平, 大久 裕輝, 本郷 哲
2. 発表標題 剣道打突音を用いたディープラーニングによる剣道競技シーンの分類
3. 学会等名 令和 2 年度東北地区高等専門学校専攻科産学連携シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 横山 頼希, 渡邊 隆, 大町 方子
2. 発表標題 機械学習を用いた剣道打突判定システムの開発
3. 学会等名 日本機械学会東北学生会 第50回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 菅井 太樹, 渡邊 隆, 大町 方子
2. 発表標題 剣道競技における有効打突自動判定のための竹刀の追跡精度の向上
3. 学会等名 日本機械学会東北学生会 第50回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 玉上 颯太, 本郷 哲
2. 発表標題 電波強度と加速度の融合型即位手法の検討
3. 学会等名 第25回高専シンポジウム in Kurume
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 井上 真幸, 本郷 哲
2. 発表標題 動員数を加味した音響効果補正システムの実証実験
3. 学会等名 第25回高専シンポジウム in Kurume
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shinji Hamanishi, Namkeun Kim, Seongho Mo, Takashi Watanabe, Yoshihiro Aoki
2. 発表標題 Effects of Excessive Impact on Bone Conduction in Contact Sports
3. 学会等名 Summer Biomechanics, Bioengineering, and Biotransport Conference (SB3C2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masahiko Itoh
2. 発表標題 Simulation Study on a Slip Control Technique Combined with a Vibration Suppression Control for a Geared Wheel Drive System Applied to a Small EV
3. 学会等名 Proceedings of the 2019 International Conference on Advanced Mechatronic Systems (ICAMechS 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 下重 大地, 本郷 哲
2. 発表標題 TWELITEを用いた剣道競技における打突判定システムの製作
3. 学会等名 第24回高専シンポジウム in 小山
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 横山 亮, 渡邊 隆, 大町 方子
2. 発表標題 剣道競技における有効打突自動判定のため交差する竹刀の追跡
3. 学会等名 日本機械学会東北学生会第49回卒業研究発表講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 本郷 哲, 下重 大地, 田中 ゆみ, 渡邊 隆
2. 発表標題 剣道の有効打突判定システムにおけるタイムスタンプ法の開発
3. 学会等名 2018年電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 横山 亮, 渡邊 隆, 大町 方子
2. 発表標題 剣道競技における有効打突自動判定のための交差する竹刀の追跡
3. 学会等名 日本設計工学会東北支部平成30年度研究発表講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 桂島 僚一, 渡邊 隆, 大町 方子
2. 発表標題 画像処理を用いた剣道の打突部位追跡
3. 学会等名 日本機械学会東北学生会第48回卒業研究発表講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 下重 大地, 本郷 哲
2. 発表標題 剣道競技における有効打突判定システムの開発
3. 学会等名 第23回高専シンポジウムin 神戸
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 相原 喬永, 本郷 哲
2. 発表標題 高性能防音床の構造に関する研究
3. 学会等名 第23回高専シンポジウムin 神戸
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鈴木 祐, 本郷 哲
2. 発表標題 低コスト簡易防音室の作製と評価実験
3. 学会等名 第23回高専シンポジウムin 神戸
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 後藤 淳治, 本郷 哲
2. 発表標題 音楽信号からの和音認識システムに関する研究
3. 学会等名 第23回高専シンポジウムin 神戸
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小林 奏, 本郷 哲
2. 発表標題 非12平均率探索のためのヒトの和声認知に関する研究
3. 学会等名 第23回高専シンポジウムin 神戸
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 下重 大地, 本郷 哲, 渡辺 隆
2. 発表標題 剣道競技における有効打突判定システムの検討-音響信号を用いた打突と氣勢の分離-
3. 学会等名 電気関係学会 東北支部連合大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 後藤 淳治, 本郷 哲
2. 発表標題 クロマベクトルと音楽要素を用いた和音認識法の提案
3. 学会等名 電気関係学会 東北支部連合大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 横山 亮, 渡邊 隆
2. 発表標題 剣道競技における有効打突自動判定のための交差する竹刀の追跡
3. 学会等名 平成29年度東北地区高等専門学校専攻科産学連携シンポジウム
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 フープ材の自動接続装置	発明者 渡邊隆 他3名	権利者 独立行政法人国立高等専門学校機構 他1名
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-011839	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 フープ材の自動接続装置	発明者 渡邊隆 他3名	権利者 独立行政法人国立高等専門学校機構 他1名
産業財産権の種類、番号 特許、6322776	取得年 2018年	国内・外国の別 国内

〔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	本郷 哲 (Hongo Satoshi) (80271881)	仙台高等専門学校・総合工学科・教授 (51303)	

6. 研究組織（つづき）

	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	興水 大和 (Koshimizu Hiroyasu)		
研究協力者	伊藤 昌彦 (Itoh Masahiko)		
研究協力者	濱西 伸治 (Hamanishi Shinji)		

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