

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：53101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26560339

研究課題名（和文）ヒューマノイドロボットを活用したセルフコーチングによるトレーニング支援

研究課題名（英文）Training Support Method by Self-Coaching with Humanoid Robot

研究代表者

外山 茂浩（Toyama, Shigehiro）

長岡工業高等専門学校・電子制御工学科・教授

研究者番号：60342507

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、モーションキャプチャシステムで取得した動作データを基に、ヒューマノイドロボットで動作を再現させてセルフコーチングを行う、新しいトレーニング支援方法を提案した。バレーボールのアンダーハンドパスを対象に、提案手法によるスキル改善評価実験を行った。スキル改善に対する評価の観点、ボールヒットタイミングに対する肩関節トルク、膝関節トルク、足関節トルクの立ち上がり時間とした。提案手法を取り入れてトレーニングを行った場合、各関節トルクが熟練選手と同様にボールヒットタイミングとほぼ同時に立ち上がるようスキルが改善される傾向にあり、提案手法の基本的な有効性を確認した。

研究成果の概要（英文）：This study presents a new sports training support method by self-coaching with humanoid robot, and finds new possibilities of human robot interaction for sports training. The term "self-coaching" means that target player can coach himself or herself by modifying motion of the humanoid robot, which represents the target player's movement, for an ideal movement as a reference. As a result, the target player is expected to get deep recognition of the ideal movement and to acquire the skill swiftly. The forearm pass of volleyball, which is one of difficult sports skills to acquire, is selected as target skill of this study. An experimental result shows that the proposed self-coaching approach seems to have significant effectiveness to recognize the skill.

研究分野：制御工学、メカトロニクス

キーワード：スポーツ科学 運動指導 ヒューマノイドロボット セルフコーチング

1. 研究開始当初の背景

ロボット技術の発達に伴い、人とロボットの関わり合いを扱うヒューマン・ロボット・インタラクションの研究への関心が高まり、様々な日常環境で活動するロボットの開発が多数行われている。その中でも、ロボットを教育分野に利用する取組は世界でも広く行われており、韓国ではすでに700台以上のロボットが教師となって英語教育に利用されている。我が国でも、ロボットが人々の学び合いに介在するヒューマン・ロボット・ラーニングを目的とした新しい学術領域が創成されつつある。しかし、文部科学省がスポーツ立国戦略を策定しスポーツの社会的価値が見直され始めた今日にも関わらず、ロボットをスポーツトレーニングに利用する試みは数少ない。

2. 研究の目的

初心者が運動スキルを身に付けるには、優れたコーチの下、反復練習が必要となることが多い。その際、動作の確認、修正を行う一連のフィードバックプロセスのために鏡やビデオ等を用いることが効果的とされているが、それらのデバイスは視点が固定されているため必ず死角が存在する。

そこで本研究では、小型ヒューマノイドロボットを用いてセルフコーチングを行う新しいスポーツトレーニング支援方法を提案する(図1)。提案手法によって、トレーニングの対象選手の動作データを忠実に再現した対象ロボットと、同様に規範選手の動作を再現した規範ロボットの動作を、対象選手が死角無しに比較することができる。更に、対象選手が対象ロボットにセルフコーチングとして修正プログラミングを施すことで、習得すべき運動スキルへの深い理解とスキル改善感覚の習得を狙いとする。

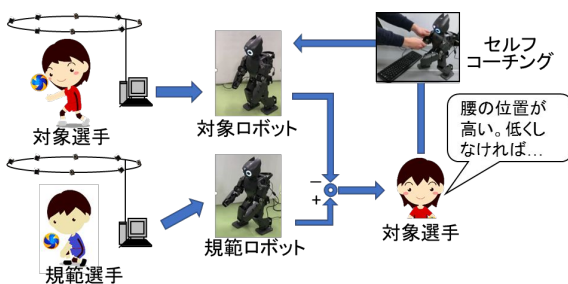


図1 ヒューマノイドロボットを用いたセルフコーチングによるトレーニングの概要

3. 研究の方法

(1) 実験機材

モーションキャプチャーシステム (MAC3D System)

モーションキャプチャーシステムにNAC社のMAC3D Systemを用いる。同社のモーションキャプチャー用カメラOsplayを8台用いて計測対象に貼付したマーカーの三次元位置データを取得する。マーカーを人体に貼り

付けることで、人の運動計測も可能である。取得した動作データに対しては、同社の制御ソフトウェアCortexを用いて、マーカーの対応づけや、位置補正などの処理を行う。

筋骨格解析ソフトウェア (nMotion muscularous)

Cortexで取得したマーカーの位置データを基に、筋骨格解析ソフトウェアとしてNAC社のnMotion muscularousを用いて、各関節のローカル座標系に対して定義される関節角や、関節トルクを求める。被験者の身長、体重、年齢から体格を考慮して、逆運動学および逆動力学から関節角や筋肉の収縮の計算が可能である。本研究では、Helen Hayes Markersetのマーカー位置データより107箇所の関節データを求める。

小型ヒューマノイドロボット (DARwIn-OP)

人の動作を再現させる小型ヒューマノイドロボットにROBOTIS社のDARwIn-OP(図2)を用いる。DARwIn-OPは20個のアクチュエーターを装備している。ハードウェアとソフトウェアがオープンプラットフォームで、小型ヒューマノイドロボットを構成する情報が公開されているため、研究プラットフォームとして適している。また、DARwIn-OP自体にOSとしてLinuxがインストールされており、インターフェースの1つとしてUSB端子にも対応しているためキーボードやマウス等を接続することでDARwIn-OPのみでの開発も可能となっている。本研究では、CYBERBOTICS社のロボットシミュレーターWebotsを開発プラットフォームに用いて、C++のプログラムを作成し動作させる。可動域の大半は人程度であるが、外装との接触を防ぐため狭い可動域の関節がある。例えば、腕が体側面についているため、胸部外装と腕が接触するような、前額面前方で腕を交差させる姿勢をとることはできないことに注意する。

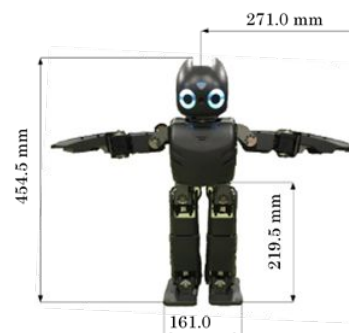


図2 小型ヒューマノイドロボット (ROBOTIS, DARwIn-OP)

(2) セルフコーチングによるスキル改善評価

提案手法の基本的な有効性を検証するため、図3に示すバレーボール・アンダーハンドパスを対象スキルとする。規範選手は4名の経験者、対象選手は14名の初心者とした。対象選手14名は、グループA、グループB、グループCの3グループに分けた。グループAは、鏡やビデオ等無しに練習する。グルー

プは、自身の動作の3DCGをフィードバックプロセスに用いて練習する。そして、グループは本提案手法であるヒューマノイドロボットを用いたセルフコーチングによって練習する。

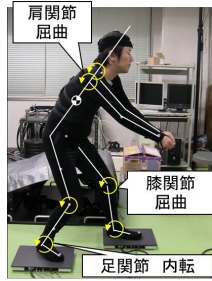


図3 バレーボール・アンダーハンドパス(対象スキルと評価指標)

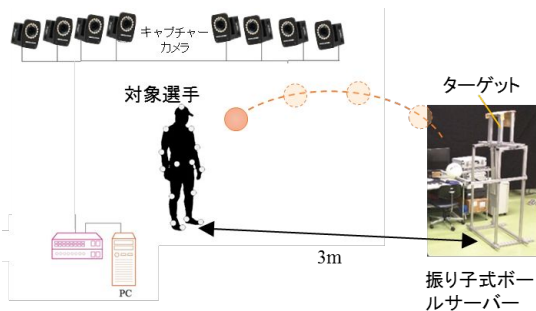


図4 実験環境

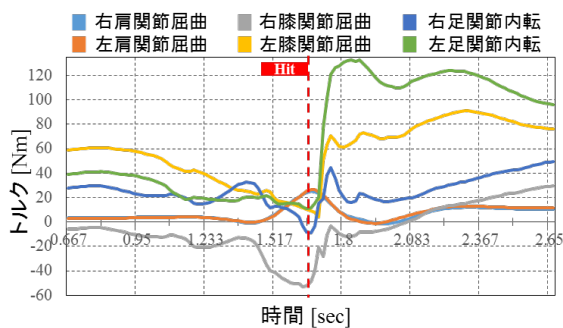


図5 規範選手の関節トルク応答例

図4は実験環境を示している。振り子式ボールサーバーにより3m距離を置いた選手へ一定の軌道を持つボールが打ち出される。選手は振り子式ボールサーバー上部に取り付けたターゲットを的として打ち返す。その時の動作を、選手上部に配置したモーションキャプチャカメラを使って測定し、PCにそのデータを記録する。対象選手は10日間の間毎日15分間の練習を行い、その練習後10回動作測定を行った。評価指標は、ボールヒットタイミングに対する肩関節トルク、膝関節トルク、足関節トルク(図3)の立ち上がり時間とする。図5は規範選手の各関節トルクの応答例を示している。この図からわかるように、左右の肩関節トルク、膝関節トルク、そして足関節トルクが、ボールヒットタイミングでほぼ同時に立ち上がっている。腕の振りに頼ってボールを弾く初心者に対し、経験のある規範選手は、ボールヒットタイミングに合わせて瞬時に全身を連動させることでボールコントロールを向上させている。

4. 研究成果

図6は、10日間練習後のボールコントロールに寄与する脚部関節トルク立ち上がり時間の平均値と標準偏差を、規範選手、各グループ別に示している。図6における規範選手に対するデータから、第3章で述べたようにボールヒットタイミングとほぼ同時に脚部各関節トルクを発生させており、そのばらつきも小さいことがわかる。つまり、腕の振りのみに頼らず全身を連動させてパス動作を実現しており、ボールコントロールの優れたスキルを体得していることがわかる。これに対して、図6におけるグループ(鏡やビデオ等によるフィードバックプロセスの無い練習を実施)のデータは、脚部各関節トルクがボールヒットタイミングから大きくずれて発生する傾向にあることを示している。例えば、図7はグループに属する被験者1名の各関節トルクの時間応答例を示している。この図からわかるように、ボールヒットタイミングを基準に各関節トルクが同時に発生していないことから、全身を連動してパス動作を行っておらず、ボールコントロールのスキル改善が見受けられない。図6におけるグループ(自身の動作の3DCGをフィードバックプロセスに用いて練習を実施)のデータは、グループと比較して脚部各関節トルクの立ち上がり時間に若干の改善が見受けられる。例えば、図8はグループに属する被験者1名の各関節トルクの時間応答例を示している。この図からわかるように、各関節トルクがボールヒットタイミングの前後で発生している。ただし、図5に示した規範選手の時間応答例と比較すると、改善の余地があることがわかる。図6におけるグループ(本研究で提案したセルフコーチングによる練習を実施)のデータは、スキルの改善が見受けられたグループと比較して、更なる改善が見受けられる。例えば、図9はグループに属する被験者1名の各関節トルクの時間応答例を示している。この図からわかるように、各関節トルクの立ち上がりがボールヒットタイミングとほぼ同時であり、全身を連動させたパス動作を実現できていることから、ボールコントロールのスキル改善が大幅に進み定着していることが確認できる。以上の実験結果から、提案手法の基本的な有効性を確認した。

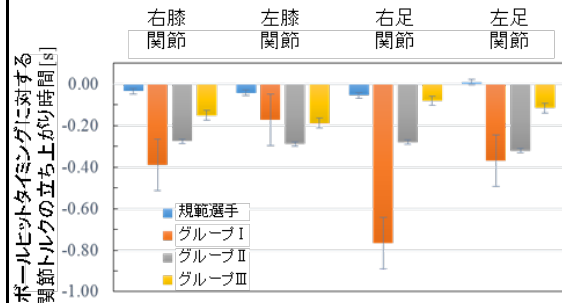


図6 脚部関節トルクの立ち上がり時間(10日間練習後の平均値と標準偏差)

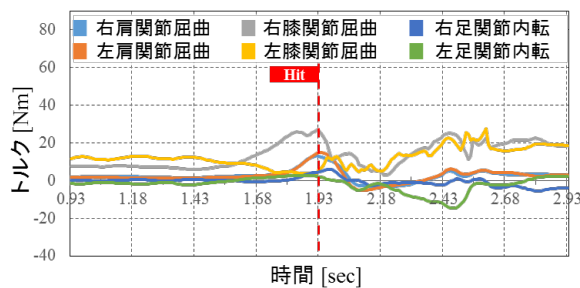


図7 グループ（フィードバックデバイス無し）に属する被験者の関節トルク応答例

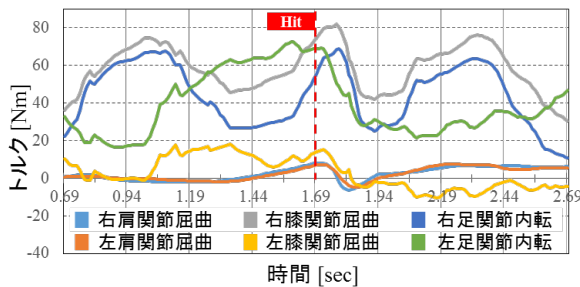


図8 グループ（3DCGによるフィードバック）に属する被験者の関節トルク応答例

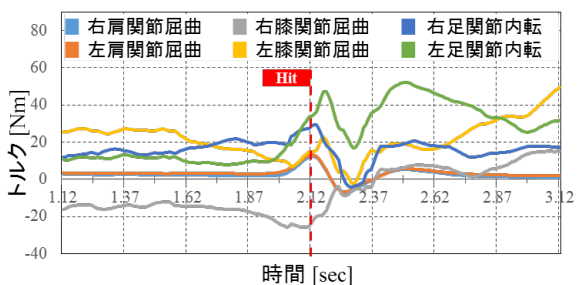


図9 グループ（提案手法）に属する被験者の関節トルク応答例

5. 主な発表論文等
〔学会発表〕(計9件)

(1) Shigehiro Toyama, Ayami Kosaka, Fujio Ikeda and Takeshi Yasaka, Self-Coaching of Forearm Pass with Humanoid Robot, The 2017 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, (2017.3.6~9), Late Breaking Report, Vienna (Austria).

(2) 小坂綾美、外山茂浩、池田富士雄、八坂剛史、小型ヒューマノイドロボット DARwin-OP による人間動作の再現性、第22回高専シンポジウム、(2017.1.28)、鳥羽商船高等専門学校（三重県・鳥羽市）。

(3) 小坂綾美、外山茂浩、池田富士雄、八坂剛史、小型ヒューマノイドロボットによる人間の姿勢再現、平成28年度（第26回）電気学会東京支部新潟支所研究発表会、(2016.11.12)、長岡技術科学大学（新潟県・長岡市）。

(4) 小坂綾美、外山茂浩、池田富士雄、八坂剛史、小型ヒューマノイドロボットによる人

間動作の再現-肩関節自由度の差異に対する補償-、シンポジウム：スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス2016、(2016.11.9~11)、山形テルサ（山形県・山形市）。

(5) Shigehiro Toyama, Fujio Ikeda and Takeshi Yasaka, Sports Training Support Method by Self-Coaching with Humanoid Robot, The 13th International Conference on Motion and Vibration Control, (2016.7.3~6), Southampton (UK).

(6) 宮下歩、外山茂浩、池田富士雄、八坂剛史、ヒューマノイドロボットを活用したアンダーハンドパス・トレーニング、日本機械学会北陸信越支部第53期総会講演会、(2016.3.5) 信州大学（長野県・長野市）。

(7) 清水寛、外山茂浩、池田富士雄、八坂剛史、ヒューマノイドロボットを用いたアンダーハンドパス再現におけるキャプチャデータレートの影響、平成27年度（第25回）電気学会東京支部新潟支所研究発表会、(2015.10.31) 長岡技術科学大学（新潟県・長岡市）。

(8) 小坂綾美、外山茂浩、池田富士雄、八坂剛史、ヒューマノイドロボットによる擬似逆行列を用いた動作再現、平成27年度（第25回）電気学会東京支部新潟支所研究発表会、(2015.10.31) 長岡技術科学大学（新潟県・長岡市）。

(9) 宮下歩、外山茂浩、池田富士雄、八坂剛史、ヒューマノイドロボットを用いたセルフコーチングによるトレーニング支援 - バレーボール・アンダーハンドパスのスキル評価 -、平成27年度（第25回）電気学会東京支部新潟支所研究発表会、(2015.10.31) 長岡技術科学大学（新潟県・長岡市）。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

外山 茂浩 (TOYAMA SHIGEHIRO)
長岡工業高等専門学校・電子制御工学科・教授
研究者番号：60342507

(2) 研究分担者

池田 富士雄 (IKEDA FUJIO)
長岡工業高等専門学校・機械工学科・准教授
研究者番号：30353337

(3) 連携研究者

八坂 剛史 (YASAKA TAKESHI)
新潟大学・教育学部・教授
研究者番号：70191096