

令和 4 年 6 月 7 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2021

課題番号：18K18087

研究課題名（和文）人の予測機能を引き出す球技スポーツの練習パートナーロボットに関する研究

研究課題名（英文）Ball sport partner robot using human anticipation skill

研究代表者

西川 鋭（Nishikawa, Satoshi）

九州大学・工学研究院・准教授

研究者番号：50761144

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では人の練習相手として競技に介入できる人型の球技スポーツロボットの実現を目指して研究を行った。ハードウェアとしては、空電ハイブリッドアクチュエータを構築し、構造一体型にして組み込んだ球技スポーツロボットとして肩から先7自由度のバドミントンロボットアームを開発した。ソフトウェアとしては、対戦型の対人インタラクションの実現に向けて動力学シミュレータ上で強化学習を用いて2体のエージェントにより対戦型インタラクションの運動を生成した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ロボットが人の生活環境に進出する際には周囲の人の状況に応じた素早い行動決定が求められる。球技スポーツは相手の運動の予測やフェイントが重要であることから、人相手に相互に予測的にやり取りする方法を導くための良い題材である。本研究で開発したロボットはこうした研究を進める上でのプラットフォームとしての活用が期待できる。さらに、スポーツの練習パートナーとして使用できるように発展させていくことで、これまでの補助機械ではできなかったより実戦的な練習を行えることでスポーツの練習法についても影響を与えることが期待できる。

研究成果の概要（英文）：This research aims to realize a humanoid ball-sports robot that can interact with humans as a practice partner. On a hardware side, we developed a badminton robot arm with seven degrees of freedom using structure integrated pneumatic-electric hybrid actuators. On a software side, we generated a competitive physical interaction by two reinforcement learning agents in a dynamics simulator.

研究分野：知能機械情報学

キーワード：知能機械 ヒューマンロボットインタラクション 予測 スポーツ

1. 研究開始当初の背景

ロボットが人の生活環境で活躍するためには、周囲の人の状況に応じて素早く自分の行動を決定していくことが求められる。人が他人の運動に応じて適応的に自分の運動を調整する一例として球技スポーツが挙げられる。実際、スポーツにおける相手の人の動作からの先読みによる動き出しやフェイントに対する対応などの重要性は示唆されている [Mann *et al.*, 2007]。そのため、人の運動の予測については様々な研究がなされてきた。視線や画像処理により、人がいつどこを見て予測しているのか、といったことが調べられてきた [Rosaile & Muller, 2014] [Loffing & Hagemann, 2014]。しかし、人同士のやり取りにおいては自由に運動のパラメータを変えられないため、統制をとるのが困難であり、ケーススタディか実際の状況を簡略化した実験設定での実験になる場合が多い。そのため、実際の競技中に統制をとって介入できるシステム、つまり、対戦相手型のロボットの導入が有効と考えられる。

スポーツの補助マシンとしては、野球の投手の代わりにを務めるピッチングマシンが存在し、テニスや卓球など他の球技でも球出し機がある。これらは一方的に球を出すのみであるが、インタラクティブなマシンとしてラリーを実現する対人スポーツロボットも開発されてきた [Omron, 2013-]。こうしたマシンを用いると、飛んできた球に対する対応の練習や反復練習が容易になる。従来の対人スポーツロボットでは高性能化のために機能特化した機構を用いることが多いが、手先位置のみが合い他の関節が人と異なる構成である場合やロボット特有の最適化をした場合は、人対戦相手の場合と大きく異なる運動特徴となるため、人相手の動きの予測とは異なると考えられる。人と似た運動特徴を備え、人の動きの予測の練習にも使えるロボット(図1)ができることは、実際のスポーツ中に介入する形で人の予測の研究に使い、さらに、実戦的な練習を容易化しスポーツの上達にも役立てられることが期待できる。



図1 球技練習パートナー人型ロボットのイメージ

2. 研究の目的

本研究では、人対人同様に人の予測機能を引き出す、形状や運動特徴が人に似た対人球技スポーツの練習パートナーロボットの実現を目指す。

3. 研究の方法

目的を達成するために、高い運動性能を持つ人型ロボットの開発、球技スポーツにおける運動スキルの解明、インタラクションの中での運動生成が求められる。ロボット開発に関しては、研究代表者らがこれまで開発してきた空気圧駆動のダイナミックロボットをベースに球技スポーツへの導入に向けハードウェア、ソフトウェア両面からの性能向上を図る。運動スキルに関しては人のスポーツの計測からの解析を通して明らかにする。インタラクションの中での運動生成に関してはロボット実機に先立って動力学シミュレーションで検討する。

4. 研究成果

(1) 研究代表者らはこれまでに球技スポーツロボットとしてバドミントンロボットアームの開発をしてきた [Mori *et al.*, 2018]。このロボットは構造一体型空気圧ケーブルシリンダを用いて肘から先の4自由度で構成されており、飛来するシャトルの打撃を実現した。しかしながら空気圧駆動の誤差の大きさもあり、成功率は67%に留まっていた。そこで、より正確に打撃ができるように空気圧に加えて電磁アクチュエータも用いることを考え、空電ハイブリッドのアクチュエータを開発した。空気圧ケーブルシリンダとダイレクトドライブの直動モータを並列の形で組み合わせた構成であり、空気圧のコンプライアンスを保ったまま電磁アクチュエータの制御性を加えることができている。空気圧で大まかな動作を決めた上で電磁アクチュエータで修正することで動作

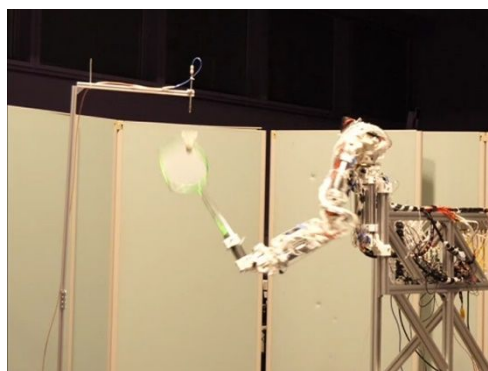


図2 バドミントンロボットアーム

を生成した。空電ハイブリッドアクチュエータを肩から先の 7 自由度のロボットアームに構造一体型の形で組み込むことで新たなバドミントンロボットアームを開発した(図 2)。このロボットでは、シャトル打ちの正確性が空気圧のみの時よりも電磁アクチュエータも使用した場合の方が向上することを示した。

(2) 球技スポーツロボットのスイング動作の生成法として、あらかじめ行ったスイングから適切なスイングを選択という形でシャトルを打ち返すことは 4 自由度のプロトタイプアームで成功していた。ただし、これでは事前に行いうる全てのパターンを用意する必要があるという問題があった。そこで、あらかじめ全てを用意することなく多様なスイングを行えるように、ダイナミクスの学習に基づく最適制御での運動生成法を提案した。エアシリンダを特定時間の位置・速度を合わせるように動かすことで提案手法により空気圧システムの運動生成を行えることを確認した。

(3) バドミントンロボットアームの運動生成に関して適切な初期姿勢を調査した。初期姿勢としては多様な軌道から飛来するシャトルに対して短時間で対応可能な姿勢が適切と考えられるため、ここでは様々な軌道に対して打撃位置への到達時間を調べ、それが小さくなるような姿勢がどのような姿勢になるか調べ、必ずしも運動学的に打撃点に近い姿勢が良いとは限らないことが分かった。

(4) 卓球ロボットでラリーを続けるために重要と考えられる異なる回転のボールを返球するためのスイングの方法について調査した。スイング動作の速度の効果について 1 自由度スイングアーム(図 3)を用いて調査し、高速なスイングが回転の効果を緩和することを確認した。

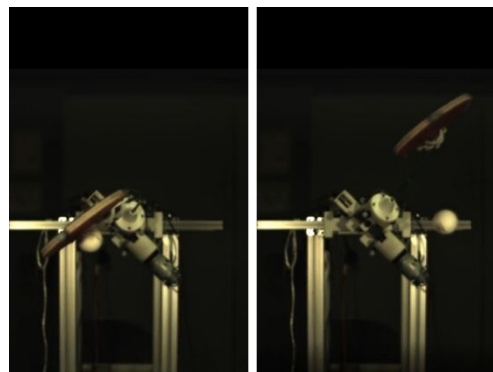


図 3 卓球スイングアーム

(5) 球技スポーツを行う上で重要なポイントを明らかにするために、人の競技スキルに着目して研究を行った。卓球のスキルとして、ラケットによるボールへの触れ方であるボールタッチに着目して、その計測と解析に取り組んだ。ボールタッチはごく短時間で起こる現象のため高周波成分が重要と考え、ピエゾマイクにより振動を計測し、スキルのレベルによる違いを調査した。機械学習により計測データを潜在空間に落とし込み、その中での識別問題を考えた。その結果、スキルの種類、動作を行った人の識別において振動データが有効なことがわかり、振動データに情報が多く含まれることが確認できた。

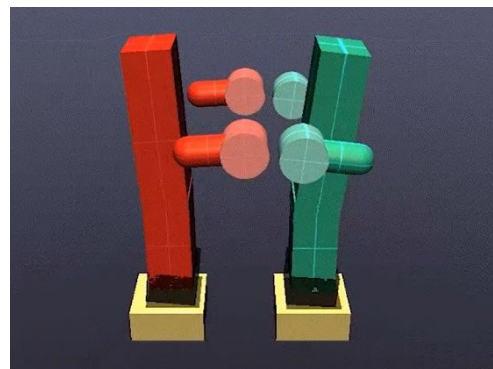


図 4 手押し相撲エージェント

(6) 対戦型の対人インタラクションの実現に向けて動力学シミュレータ上での 2 体のエージェントによる対戦型インタラクションの運動生成に取り組んだ。自分の方策、相手の方策を共通の潜在空間上で表し、相手の方策の予測に基づいて自分の行動を決定する強化学習モデルを提案した。球技ではボールを打つ難しさがあるため、その実現に先立ちここではインタラクション部分に集中してより容易に扱えるタスクとして、お互いに手を押し合い相手のバランスを崩す手押し相撲(図 4)にまず着目し、さらに球技型のインタラクションとしてはエアホッケー(図 5)に適用した。提案モデルにおいては方策の潜在空間での位置を変化させることによって動作の傾向が変化し、潜在空間が方策情報に対して適切に機能することが確認できた。

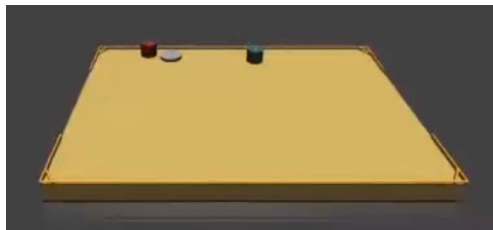


図 5 エアホッケーエージェント

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Hiroki Noda, Satoshi Nishikawa, Ryuma Niiyama and Yasuo Kuniyoshi	4. 巻 1
2. 論文標題 Competitive physical interaction by reinforcement learning agents using intention estimation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 In Proceedings of 30th International Conference on Robot & Human Interactive Communication (RO-MAN 2021)	6. 最初と最後の頁 649-656
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/RO-MAN50785.2021.9515411	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 Kazutoshi Tanaka, Satoshi Nishikawa, Ryuma Niiyama and Yasuo Kuniyoshi	4. 巻 6
2. 論文標題 Immediate Generation of Jump-and-Hit Motions by a Pneumatic Humanoid Robot Using a Lookup Table of Learned Dynamics	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 5557-5564
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/LRA.2021.3076959	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 Yuki Nakamura, Izumi Karino, Shotaro Mori, Kazutoshi Tanaka, Satoshi Nishikawa, Ryuma Niiyama and Yasuo Kuniyoshi.	4. 巻 1
2. 論文標題 Control of Pneumatic Cylinders using Iterative Linear Quadratic Regulator with Deep Local Linear Dynamics for Explosive Motions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 In Proceedings of the 22nd International Conference on Climbing and Walking Robots and Support Technologies for Mobile Machines (CLAWAR 2019)	6. 最初と最後の頁 125-132
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.13180/clawar.2019.26-28.08.13	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 Shotaro Mori, Kazutoshi Tanaka, Satoshi Nishikawa, Ryuma Niiyama and Yasuo Kuniyoshi.	4. 巻 4
2. 論文標題 High-Speed Humanoid Robot Arm for Badminton Using Pneumatic-Electric Hybrid Actuators	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 3601-3608
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/LRA.2019.2928778	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 Mitsuru Takeda, Satoshi Nishikawa, Ryuma Niiyama and Yasuo Kuniyoshi	4. 巻 1
2. 論文標題 High-speed flexible arm to reduce the effect of spinning ball in table tennis	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 In Proceedings of the International Symposium on Micro-Nano Mechatronics and Human Science (MHS)	6. 最初と最後の頁 127-131
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/MHS48134.2019.9249276	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 Satoshi Nishikawa, Fumiya Iida and Yasuo Kuniyoshi.	4. 巻 1
2. 論文標題 Ready Posture for Rapid Reaction of Badminton Robot Arm	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 In Proceedings of International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO 2019)	6. 最初と最後の頁 569-574
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ROBIO49542.2019.8961788	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 Shotaro Mori, Kazutoshi Tanaka, Satoshi Nishikawa, Ryuma Niiyama and Yasuo Kuniyoshi	4. 巻 3
2. 論文標題 High-Speed and Lightweight Humanoid Robot Arm for a Skillful Badminton Robot	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 1727-1734
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LRA.2018.2803207	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3件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 野田裕貴, 西川鋭, 新山龍馬, 國吉康夫.
2. 発表標題 予測を利用した強化学習エージェントによる競技型接触インタラクション
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2020 (Robomech2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 竹田恭, 西川鋭, 新山龍馬, 國吉康夫.
2. 発表標題 しなりを活用した高速な卓球スイングアームによるボールの回転の影響の低減
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2019 (Robomech2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西川鋭, 國吉康夫.
2. 発表標題 ダイナミックな脚式ロボットののための吸着機構活用法の検討
3. 学会等名 第37回 日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2019)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔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

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