

令和 5 年 6 月 3 日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2021～2022

課題番号：21K19706

研究課題名（和文）未来視により非接触で人の潜在的運動能力を引き出す人 機械システムの創成

研究課題名（英文）Human-Machine System that Transcends Inherent Athletic Ability of Human based on Predictive-Vision System

研究代表者

青山 忠義（Aoyama, Tadayoshi）

名古屋大学・工学研究科・准教授

研究者番号：00569337

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、高速画像計測により少し先の未来を予測する「未来視」を基盤とし、高速画像計測による予測結果を遠隔ロボットの動作修正に使用し、その運動感覚をヒトへ提示するヒューマン-マシン・システムを開発した。また、開発したシステムを通じた運動感覚をヒトへ提示する運動補完がヒトの運動学習に与える影響を調査した。実施した卓球のリフティング動作による被験者実験の結果から、ヒトの学習能力を大幅に超える運動感覚の提示により、運動学習が促進させる可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでにスポーツトレーニング支援の研究開発が行われているが、その多くは、映像提示によるトレーニング支援であり、コーチやインストラクターが手取り足取り指導するような、フィジカルなスポーツコーチング支援には至っていない。また、昨今のコロナ禍により、人の接触がないスポーツ指導への要求は上がっているものと考えられる。本研究は、人の潜在的運動能力を超えた動作を実現する人-機械システムにより、非接触でフィジカルなスポーツトレーニング支援の基盤として意義がある。新しいテクノロジーを駆使し、運動が苦手な子供にも運動の楽しさを教えるなど、本研究はスポーツ教育としての意義も高い。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed a human-machine system based on "Predictive-vision system," which uses high-speed image measurement to predict the future little ahead, and uses the prediction results to correct the movement of a remote robot, and presents the sense of movement to humans. We also investigated the effect of this system, which presents a modified sense of motion to humans, on human motor learning. The results of the experiment using a table tennis lifting motion suggest that motor learning may be facilitated by presenting motor sensations that exceed the learning ability of humans.

研究分野：ヒューマンインターフェース・インタラクション

キーワード：スポーツトレーニング支援 画像計測 運動学習

## 1. 研究開始当初の背景

これまでのスポーツトレーニング支援システムの多くは、映像提示によるトレーニング支援である。例えば、東大 暦本グループの水泳トレーニング支援や東工大 小池グループのゴルフトレーニング支援などが提案されている。申請者らも視覚提示によるピッチング・バッティングのトレーニング支援を提案している。しかし、コーチやインストラクターが手取り足取り指導するような、フィジカルなスポーツコーチング支援には至っていない。また、昨今のコロナ禍により、人の接触がないスポーツ指導への要求は上がっているものと考えられる。本研究は、人の潜在的運動能力を超えた動作を実現する人-機械システムにより、非接触でフィジカルなスポーツトレーニング支援の研究開発に挑戦するものである。

## 2. 研究の目的

本研究では、高速画像計測による少し先の未来を予測する「未来視」を基盤とし、サイバー空間を通して、本来の人の運動機能を超越した動作を遠隔ロボットがフィジカル空間で生成する人-機械システムを提案する。また、提案するシステムが人の運動能力や運動学習記憶に与える影響を行動神経科学に基づき解析し、スポーツ教育・指導への応用展開を検討する。

## 3. 研究の方法

### 3-1. 未来視を基盤とした人-機械システムの構築

申請者の保有する高速視覚フィードバック技術をベースとし、高速画像計測による少し先の未来を予測する未来視アルゴリズムを実装した遠隔ロボットが動作する人-機械システムを整備する。さらに、未来視で推定される少し先の現象に合わせ、遠隔ロボットが動作指令を修正する制御アルゴリズムを開発し、遠隔ロボットが人の動作指令を超越した運動を生成することを可能とする。また、その生成された遠隔ロボットの運動感覚を人へ与える機能も実装する。

### 3-2. 提案する人-機械システムが人の運動能力に与える影響の調査

卓球のリフティングを課題例として、これまでの行動神経科学に基づいた解析を行い、3-1.で開発する提案システムが人の運動能力や運動学習記憶へ与える影響を調査する。

#### A) 評価タスク、評価指標の選定

期間内に研究の完遂を可能とするため、人が短期間で行動学習するタスクを探索する。健常成人群において、提案システムの介入がない状態で、候補となる評価タスク（卓球ラケットを介したボールの跳ね返し課題等を想定）を100試行し、評価指標（跳ね返り到達目標地点までの誤差等を想定）50～70試行で概ね収束するよう選定する。次に、選定したタスクと評価指標を基に、提案システムが介入した場合（システムによるアシストがある場合）、介入しない場合と比較してパフォーマンスの改善があることを確認する。

#### B) システムの運動学習記憶への影響の検証

提案システムを使用しないグループA（システムによるアシストなし、健常成人）と使用するグループB（システムによるアシストあり、健常成人）の2つの被験者群に分ける。グループAに対しては、初日にシステムを介入させずに評価タスクを100試行し、翌日24時間後に同様のタスクを再度実施する。グループBに対しては、初日にシステムを介入させ評価タスクを100試行し、翌日24時間後に同様のタスクをシステムの介なしで再度実施する。注目すべき点は、グループAとBを比較して、翌日24時間後のパフォーマンスに差ができるかということである。

例えば、システム介入ありのグループBでは、グループAよりも、翌日のパフォーマンスが向上するのかが明らかにしたい。もし、それが達成できれば、前日のシステム介入による運動感覚の教示が、運動学習の記憶定着の促進に影響を与えた可能性が高い。申請者はスポーツにおけるコーチング・指導のように、システムが正解の運動へと導いてくれるため、行動学習が促進されるものと予測しており、本実験の結果を踏まえてスポーツトレーニング支援への応用を議論する。

## 4. 研究成果

図1に本研究で提案しているヒューマン-マシン・システムの構成図を示す。提案しているシステムでは、高速ビジョンによる実時間画像処理により、操作対象の少し先の状態量を推定し、操作するロボットの動作を修正する。その際、修正された運動感覚がハプティクスデバイスを介

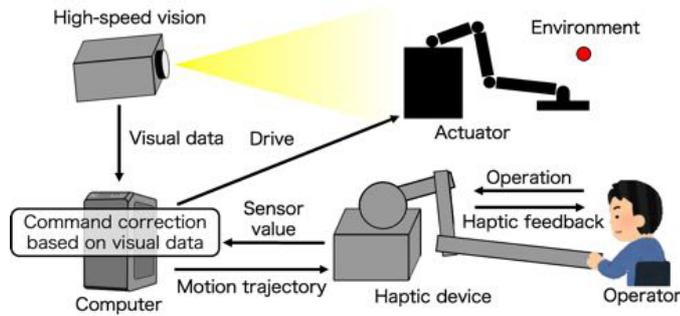


図 1 提案システムの概要

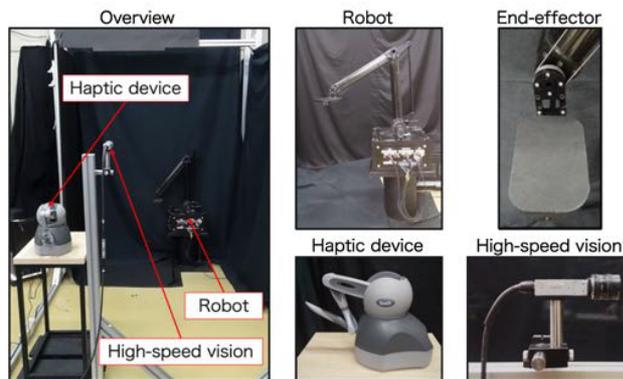


図 2 提案システムの外観

表 1 実験結果 (評価指標の平均値)

Groups	Set numbers		
	1st set	2nd set	3rd set
Group A	0.333	0.283	0.276
Group B	0.362	0.229	0.309

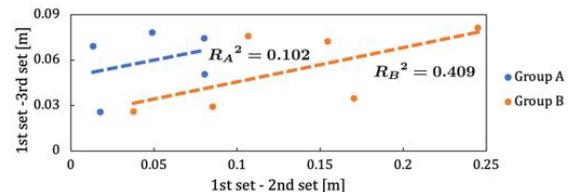


図 3 評価指標の改善量

してヒトへフィードバックされることにより、ヒトの運動学習を促進させることを狙ったものである。図 2 に提案システムの外観を示す。3 自由度ロボットアーム、制御用 PC、高速ビジョンシステム、力覚デバイスから構成されている。ロボットアームはヒトが操作する力覚デバイスの先端位置情報を基に 2 自由度で駆動する。高速ビジョンはロボットアームから 1.25 m 離れた地点に設置している。

未来視による運動補完がヒトの運動学習に与える影響を調査するため、被験者実験を行った。本実験は、名古屋大学工学部倫理部会の承認を経て実施された (21-16)。被験者は自由落下するボールを遠隔ロボットに装着した卓球ラケットにて設定された目標点を目指して打ち返す。打ち返したボールの軌道の最高点と目標点との誤差を評価指標とする。タスクの難易度を調節するため、ボールの落下開始地点を 2 箇所、目標点を 4 箇所設定する。タスク 1 試行ごとに目標点は反時計回りの順番に、落下点は目標点との組み合わせが全て同じ回数になるように適宜変更する。各被験者はこのタスクを 104 回、それを 3 セット繰り返し行う。被験者をグループ A、B に分割し、グループ B の 2 セット目のみに対して力覚教示を行う。それ以外の実験では、力覚教示を行わない。本実験では力覚教示が両グループとも行わない 1 セット目から 3 セット目にかけての評価指標の改善量を導出し、改善量が大きいほどヒトの運動学習が進んだと判断する。改善量に着目し、力覚教示の有無による運動学習の変化について考察を行う。被験者は各グループ本システムの操作経験のない 6 名ずつ、計 12 名で行った。

表 1 に各グループに属する被験者全体における評価指標の平均値をセット毎に示す。このセット毎の結果に対し、要因をタスクの試行回数と各グループとした反復測定分散分析を行った。その結果、力覚教示の条件が等しい 1 セット目の成績に有意な差は生じなかった ( $p > 0.01$ )。しかし、グループ B の被験者に対し力覚教示を行った後に、再び等しい条件に戻す 3 セット目ではグループ A の成績が有意に高くなることが確認された ( $p < 0.01$ )。図 3 に各被験者の 1-2 セット間及び 1-3 セット間の評価指標の改善量を示す。この傾向から、本システムの力覚動作教示により、2 セット目に 1 セット目を大きく超えるアシストを行うことで、運動学習が促進される可能性が示唆される。力覚教示によって自身の成績が大きく向上したことで、動作教示への信頼性が向上し、その結果として教師あり学習が進んだためであると我々は考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 松井諒、青山忠義、加藤健治、竹内大、長谷川泰久
2. 発表標題 高速画像計測による動的な力覚動作教示を通したヒトの運動学習に関する調査
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松井諒、青山忠義、加藤健治、竹内大、長谷川泰久
2. 発表標題 未来視を基盤とした人工筋駆動による卓球のスイング指導システムの開発
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2023
4. 発表年 2023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
研究分担者	加藤 健治  (Kato Kenji)  (30771216)	国立研究開発法人国立長寿医療研究センター・研究所 健康 長寿支援ロボットセンター・室長   (83903)	
研究分担者	田中 良幸  (Tanaka Yoshiyuki)  (40336920)	長崎大学・工学研究科・准教授   (17301)	

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
---------	---------