

令和元年6月23日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H01741

研究課題名(和文) 超人スポーツのための個人別環境身体ダイナミクス同定技術と身体能力拡張技術の研究

研究課題名(英文) Individual Environment-Body Dynamics Identification and Human Augmentation Technology for Superhuman Sports

研究代表者

持丸 正明(Masaaki, MOCHIMARU)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・研究センター長

研究者番号：90358169

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 33,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、幅広い身体特性の人が一緒にスポーツ参加できるシステム構築を目標として、環境身体ダイナミクスを解明して運動・感覚能力を拡張する技術を開発した。そして、開発した要素技術を組み合わせ、オーグメンテッド・スポーツ“超人ペナルティキック”、“LunaGBall”を開発、イベント等で発表した。トレーニングなしに経験や技量にかかわらず運動・感覚能力を拡張することで競技を伯仲させ、高齢者を代表とする体力的・技術的弱者の幅広いグループスポーツ参加の促進を実現し、健康な社会の実現に寄与する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

社会的意義として、運動・感覚能力や身体特性の差異にかかわらず多くの人々がスポーツ参加できる枠組みを創出し、スポーツを始める・続ける人の増加を促し、運動習慣の定着、健康な社会への展開が期待される。また学術的意義として、ヒトの運動・認知モデルを提案する。従来の人間工学では環境からの刺激に対する反応を表すSRシステムが多く用いられてきたが、ヒトのモチベーションを考慮するには環境への行動に対する効果の認知を表すAPシステムが必要となる。これは、目標とする社会の実現に向けて、ヒトのモチベーションを軸としてインセンティブを設計しシステム全体をデザインする、新しい社会デザインの枠組みとなる。

研究成果の概要(英文)：This research developed a technology for analyzing an environment-body dynamics and augmenting motor-sensory abilities of human to build a system in which people with wide range of physical characteristics participate in sports together. The developed technologies were combined to the augmented sports “Superhuman Penalty Kick” and “LunaGBall”, which were presented at events. This research competes people by augmenting motor-sensory abilities regardless of experience and skill without training, promotes participation of physically and technically weak people represented by senior citizens to group sports, and contributes to realize healthy society.

研究分野：バイオメカニクス

キーワード：環境身体ダイナミクス 身体能力拡張 超人スポーツ ヒューマンインタフェース

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

スポーツ人口の増加は、健康増進による医療費低減、スポーツ関連産業振興に資する。スポーツ人口の伸び悩みの一因として地道なトレーニングを経なければ他者との伯仲した競技を楽しめず、初心者や体力的・技量的弱者が容易にグループスポーツに参加できないことにある。これに対してバイオメカニクスやスポーツ工学では効果的なトレーニング方法の研究が盛んであるが、トレーニングを経ずにスポーツを楽しむ方法の研究は乏しい。参加者の能力差を埋める方法として、ゴルフのハンディのようにゲームルールで対処する方法、ボールをプロジェクタでコートに投影しボール速度を仮想的に制御する方法等、競技ファシリティの調整がある。また、ロボットスーツによるパワーアシストも期待されている。競技ファシリティによる対処は対応種目に限りがあり、パワーアシストも現時点ではスポーツ競技に適応するほどのパワーが得られていない。何よりも、個人の身体機能を参加者ごとに同定してゲームバランス・システムバランスをマッチングする方法論が確立されていない。提案代表者は、スポーツ参加者の身体機能を実験的に解明し、効果的なトレーニングに繋がるスポーツ用具の開発を行ってきた。しかしながら、開発したスポーツ用具は、地道なトレーニングを嫌うヒトや、高齢者には受け入れられなかった。そこで、ヒトの運動・感覚能力への介入に長けるヒューマンインタフェース研究者と連携し、参加者の身体性に依りて運動・感覚能力を拡張することでトレーニングを経ずに協議を楽しめるようにしたいという着想に至った。

2. 研究の目的

本研究は、幅広い身体特性の人が一緒にスポーツ参加できるシステム構築を目標として、「環境身体ダイナミクス」を解明して運動・感覚能力を拡張する技術の研究である。このために、(1) 参加者個人の身体性の違いを知る、すなわち身体性を感覚刺激を含む環境と身体との相互作用としてモデル化する研究を行う。この環境（刺激） \leftrightarrow {身体（感覚 \leftrightarrow 運動）} の相互作用を環境身体ダイナミクスと呼ぶ。さらに、(2) 個別の環境身体ダイナミクスの差異に応じて、身体・戦術・戦略レベルの3段階で身体・環境を制御する研究を行う。参加者の運動・認識能力を拡張する技術を確立することにより、トレーニングなしに経験や技量に関わらず能力を均一化することで競技を伯仲させ、高齢者を代表とする体力的・技術的弱者の幅広いグループスポーツ参加の促進を目指す。

3. 研究の方法

本研究ではまず、ヒトの環境身体ダイナミクスの同定として、2つのステップを研究する。第一はシステムを同定するためのデータベース構築で、グループスポーツにおいて運動を妨げないヒトの運動計測、感覚刺激のシステムを開発し、ヒトの運動、感覚刺激、およびそれによる運動変容を対応付けた大規模運動・感覚ディープデータベースを構築する。第二はヒトの環境身体ダイナミクス同定の研究で、デジタルアスリートモデルおよび統計学的情報処理により大規模感覚・運動ディープデータベースからヒトの身体における環境（刺激） \leftrightarrow {身体（感覚 \leftrightarrow 運動）} の相互作用をモデル化する。また、運動・感覚能力拡張のため、3つのレベルを設定し、介入技術を開発する。第一は身体レベルの介入で、身体装着型デバイスで振動・電気刺激を与えて適切な運動を誘発する。第二は戦術レベルの介入で、ボールを打つ方向などを透過型ゴーグルで参加者に提示する。第三は戦略レベルの介入で、競技フィールド全体を俯瞰的に把握し、空きスペースなどを視覚提示する。これらを実現するために、競技フィールド上の全参加者の位置、能力拡張対象者の身体情報を計測する技術が不可欠である。本研究では、グループでの身体・戦術・戦略レベルのスキルが必要となる広域オープンフィールド競技を取り上げ、(1) 実験室計測による環境身体ダイナミクスモデルの構築、(2) 実競技フィールドでの計測技術、(3) 参加者の環境身体ダイナミクス同定技術、(4) 身体、戦術、戦略レベルでの能力拡張技術、について研究する。これらの研究の成果として、環境身体ダイナミクスをモデル化する基盤技術を整備し、個別の環境身体ダイナミクスに応じた身体拡張を基盤とするオーグメントド・スポーツを創出する。

4. 研究成果

本研究は、幅広い身体特性の人が一緒にスポーツ参加できるシステム構築を目標として、下記の要素技術を開発した。

超人スポーツ競技実現のための実フィールド環境での運動計測・提示技術開発：

超人スポーツ競技において実フィールドにおいて運動計測・提示するためのデバイスを開発した。運動計測としてボールカメラを開発し、様々な環境下で並進・回転するボールから撮影される映像をスタビライズする技術を開発した。さらに、スポーツにおけるユビキタスな情報提供を目的とし、Droneを利用した移動型ディスプレイを開発した。具体的にはDroneに位置姿勢認識用の光学式マーカを付け、これをモーショントラッカーで追跡し、得られた位置姿勢情報に基づきDroneのプロペラ部分に地上からプロジェクタにより映像を投影した。また、360度全天周カメラを搭載したDroneでスポーツフィールドを空中撮影する技術を研究した。第1には広範囲なスポーツフィールドの矩形領域を動的に認識し、その中に存在するプレイヤーとボールを認識する技術である。具体的にはDroneに軽量のPCを搭載し、最低限の画像処理をDroneで処理することで、実時間性を確保した。第2には得られた全天周カメラ映像を効率的

に提示するディスプレイである。これには半透明な凹型半球ディスプレイを使用することで、進行方向だけでなく前後左右下を同時に閲覧することを可能とした。

超人スポーツ競技実現のための身体運動能力拡張デバイスの開発：

超人スポーツ競技において実フィールドにおいて身体環境ダイナミクスをコントロールするためのデバイスを開発した。感覚刺激として、振動介入システムを開発し、身体上に配置した振動子を様々なパターンで振動させることで情報提示や無意識の運動変化を生じさせる技術を開発した。そしてコントロールシステムとして、ドローンウェアを開発し、高出力ドローンについて、アクチュエータの選定や制御実験を行った。また、環境のコントロールについて、人工筋肉を用いて身体に力フィードバックを実現するシステムの基礎研究を行った。具体的には細型の McKibben 型人工筋肉を用いて上半身用ジャケットを開発し、その応答性能を調査した。

超人スポーツ競技実現のためのプレイおよび応援ルールの開発：

超人スポーツ競技において競技経験者、未経験者がともに同じレベルでプレイできるよう、またモチベーションをコントロールできるよう、ルールを設定するシステムを構築した。ここでは、ルール策定のため、AR ドッジボールおよびスポーツ応援拡張技術の開発を行った。これは様々なレベルのプレイヤーが参加するゲームにおいて同じレベルでプレイできるようにルールの調整を行う枠組みとなり、身体環境ダイナミクスのコントロール則の決定に活用される。またプレイレベルやプレイ内容に応じた応援システムを開発することで、両プレイヤーの同様のモチベーション向上を実現した。

超人スポーツにおけるヒトの運動解析技術：

デジタルアスリートモデルを構築した。ヒトの解剖学的形状にもとづいてポリニューメトリック皮膚・筋骨格モデルを構築し、産総研で開発されるヒト中心設計のためのシミュレーション環境”DhaibaWorks”上でリアルタイムにヒトの運動の計測・解析・可視化を可能とした。またOpenSim との連携により体性感覚情報推定を実現した。これは、運動・感覚能力拡張の際の感覚刺激と運動変容をつなぐモデルとして活用される。

超人スポーツ競技実現のためのデータベース構築：

身体環境ダイナミクスを解明し、同じレベルでプレイできるように制御するモデルを構築するために、身体運動、接触力、デバイスの運動を同時に計測する実験環境を整備した。そして、身体環境ダイナミクスのモデルを構築し、運動・感覚能力の変化による運動パフォーマンスのシミュレーションを実現した。具体的には、ヒトの走行をシンプルな運動表現モデルで表現し、環境が変化した際の関節負荷の変化や、装具が変化した際のパフォーマンスの変化の推定を実現した。

そして、これらの要素技術を組み合わせ、オーグメンテッド・スポーツを開発、イベント等で発表した。開発した実験室／実フィールド環境での情報計測技術・情報提示技術・介入技術を統合し、実際の超人スポーツゲームをデザイン、実施した。ここでは上記情報計測・提示・介入技術に加え、参加者の身体能力・環境身体ダイナミクスにもとづいた戦術・戦略レベルでの能力拡張・ゲームデザインを行うことにより、グループでの広域オープンフィールド競技を実現した。また本技術の応用展開として、参加者のみでなく観覧者への運動・情報提示・介入技術を開発し、観覧者の臨場感の向上と共に観覧者と参加者のインタラクションによるモチベーションの向上を試みた。開発した競技は下記の2つである。

超人ペナルティキック：

ヒトの運動をウェアラブルな IMU センサで計測し、キックのタイミングで人工筋を駆動することによりキック力をサポートする。これにより、プレイヤー自身の身体感覚を拡張する。それと同時に、キックによる風切り音およびボールがゴールに入る際の衝撃音を拡大して、音声によりフィードバック・提示する。これにより、自分が観客を含めた環境に対して行ったアクションの結果が大きく認知され、自分があたかも超人になったかのような感覚を得る。我々はこれを“超人感”と定義した。本デモンストラーションは、Entertainment Computing 2018 (9/14 電通大)にて公開し、その後NHK ニュースチェック 11 や千葉テレビ ウィークリー千葉により取材を受け、放映された。

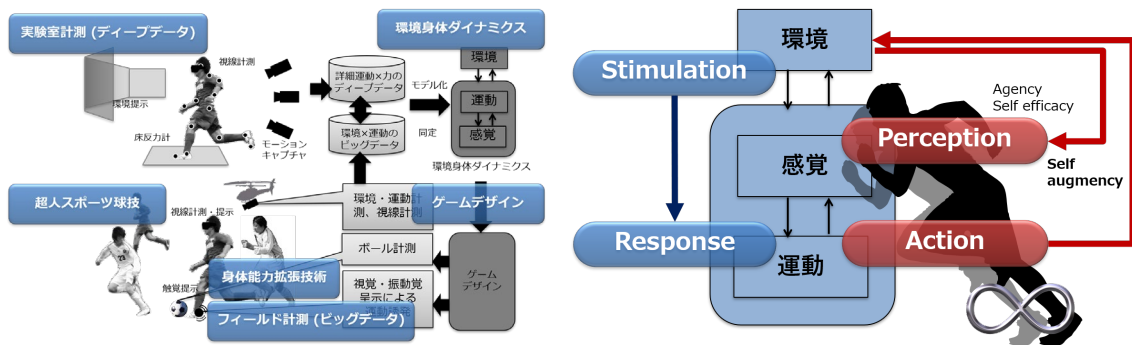


LunaGBall :

通常とは異なる重力環境での身体運動の計測を目指した LunaGBall を開発し, Entertainment Computing 2018 および日本科学未来館, 東京大学先端研公開などで公開・展示を行った。



本研究では上記の通り, ヒトの運動・感覚能力を拡張するための要素技術を開発し, それらを組み合わせることにより幅広い身体特性の人が一緒にスポーツ参加できるシステムが構築できることを実証した。この研究の社会的意義として, 運動・感覚能力や身体特性の差異にかかわらず多くの人々がスポーツ参加できる枠組みを創出し, スポーツを始める・続ける人の増加を促し, 社会における運動習慣の定着, 健康な社会への展開が期待される。また学術的意義として, オープンメントド・スポーツの開発におけるインセンティブの設計から生まれたヒトの運動・認知モデルを提案する。従来の人間工学では環境からの刺激に対する反応を表す S→R システムが多く用いられてきたが, ヒトのモチベーションを考慮するには環境への行動に対する効果の認知を表す A→P システムを用いる必要がある。これは, 目標とする社会の実現に向けて, モチベーションを軸としてインセンティブを設計しシステム全体をデザインする, 新しい社会デザインの枠組みとなる。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 2 件)

1. 菊地 高史, 正井 克俊, 杉本 麻樹, 杉浦 裕太, “EarTouch: 耳の入力インタフェース化”, 日本バーチャルリアリティ学会論文, pp. 477-483, 2017.
2. Murai Akihiko, Hobara Hiroaki, Hashizume Satoru, Kobayashi Yoshiyuki, Tada Mitsunori, “Can forward dynamics simulation with simple model estimate complex phenomena?: Case study on sprinting using running-specific prosthesis”, ROBOMECH Journal, 5, pp. 1-8, 2018.

〔学会発表〕 (計 21 件)

1. 船越稜平, 木谷クリス真実, 小池英樹, “ボールカメラの為の動作に着目した動画の安定化手法”, 第19回画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2016), 2016.
2. Ryohei Funakoshi, Vishnu Naresh Boddeti, Kris Kitani, and Hideki Koike, “Activity-Aware Video Stabilization for BallCam”, In Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '16 Adjunct) (国際学会), 2016.
3. 村井昭彦, 多田充徳, 持丸正明, “ポリュメトリック皮膚・筋骨格モデルの構築と Motion-dress-up Mirror の開発”, 第2回超人スポーツ学術研究会, 2016.
4. 村井昭彦, Kevin F., 多田充徳, “Motion-dress-up Mirror: 運動を変える鏡 リアルタイム運動計測, 解析および介入のための装置の開発”, 第34回日本ロボット学会学術講演会, 2016.
5. Kadri Rebane, Takahiro Kai, Naoki Endo, Tomonari Imai, Takuya Nojima, and Yohei Yanase, “Insights of the augmented dodgeball game design and play test”, In

- Proceedings of the 8th Augmented Human International Conference (AH '17) (国際学会), 2017.
6. Katsutoshi Masai, Yuta Sugiura, and Maki Sugimoto, "ACTUATE racket: designing intervention of user's performance through controlling angle of racket surface", In Proceedings of the 8th Augmented Human International Conference (AH '17) (国際学会), 2017.
 7. Katsutoshi Masai, Yuta Sugiura, Michita Imai, and Maki Sugimoto, "RacketAvatar that Expresses Intention of Avatar and User.", In Proceedings of the Companion of the 2017 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (国際学会), 2017.
 8. Ryohei Funakoshi, Vishnu Naresh Boddeti, Kris M. Kitani and Hideki Koike, "Video Segmentation and Stabilization for BallCam", In Proc of the 8th Augmented Human International Conference (AH'17) (国際学会), 2017.
 9. Soichiro Toyohara, Hideki Koike, "ARial Texture: Dynamic Projection Mapping on Drone Propellers", In proc. of IEEE international symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR2017) (国際学会), 2017.
 10. Nobuhiro Takahashi, Hideki Koike, "A Method for Controlling Characteristics of a Humanoid Robot's Body Using Artificial Muscles and Fats", 26th IEEE International symposium on robot and human interactive communication (RO-MAN2017) (国際学会), 2017.
 11. Koki Yamashita, Takashi Kikuchi, Katsutoshi Masai, Maki Sugimoto, Bruce H. Thomas, and Yuta Sugiura, "CheekInput: Turning Your Cheek into an Input Surface by Embedded Optical Sensors on a Head-mounted Display," , In Proceedings of the 23rd ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST '17) (国際学会), 2017.
 12. Wakaba Kuno, Yuta Sugiura, Nao Asano, Wataru Kawai, and Maki Sugimoto, "3D Reconstruction of Hand Postures by Measuring Skin Deformation on Back Hand", In Proceedings of the International Conference on Artificial Reality and Telexistence & Eurographics Symposium on Virtual Environments (ICAT-EGVE '17) (国際学会), 2017.
 13. Takashi Kikuchi, Yuta Sugiura, Katsutoshi Masai, Maki Sugimoto, and Bruce H. Thomas, "EarTouch: Turning the Ear into an Input Surface", In Proceedings of the 19th International Conference on Human- Computer Interaction with Mobile Devices and Services (MobileHCI '17) (国際学会), 2017.
 14. Murai A., Hobara H., Hoashizume S., Kobayashi Y., Tada M., "Modeling and Analysis of Individual with Lower Extremity Amputation Locomotion Using Prosthetic Feet and Running-specific Prostheses", IEEE EMBC 2017 (国際学会), 2017.
 15. Murai A., Hobara H., Hoashizume S., Kobayashi Y., Tada M., "Can Forward Dynamics Simulation with Simple Model Estimate Complex Phenomena?: Case Study of Sprinting Using Running-Specific Prosthesis", 第23回ロボティクスシンポジウム, 2018.
 16. Shio Miyafuji, Toshiki Sato, Hideki Koike, "DisplayBowl: A Bowl-Shaped Display for Omnidirectional Videos", Proceedings of the 31th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST'18) (国際学会), 2018.
 17. 宮藤詩緒, 豊原宗一郎, 佐藤俊樹, 小池英樹, "ボウルディスプレイ: 半球型全周囲ディスプレイ", 第26回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS2018)論文, 2018.
 18. Sakai S., Yanase Y., Matayoshi Y., Inami M., "D-Ball: Visualized Sports in Diminished Reality", SHS'18 (国際学会), 2018.
 19. 佐々木智也, 伊藤大智, 原口純也, 荻野将拓, Kao-Hua Liu, 檜山敦, 稲見昌彦, "全身運動のためのマルチロータを用いた空中触覚提示デバイス", エンタテインメントコンピューティングシンポジウム2018 (EC2018), 2018.
 20. Murai A., Tada M., "Multilayered Kinodynamics Simulation for Detailed Whole-body Motion Generation and Analysis", IEEE International Conference on Robotics and Automations 2018 (国際学会), 2018.
 21. Murai A., Shioyama C., Ming D., Takamatsu J., Tada M., Ogasawara T., "Estimation of Running Injury Risks Using Wearable Sensors", 36th International Conference on Biomechanics in Sports 2018 (国際学会), 2018.

[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]

6. 研究組織

(1) 研究分担者

- 研究分担者氏名：稲見昌彦
ローマ字氏名：Masahiko INAMI
所属研究機関名：東京大学
部局名：先端科学技術研究センター
職名：教授
研究者番号（8桁）：00345117
- 研究分担者氏名：暦本純一
ローマ字氏名：Junichi REKIMOTO
所属研究機関名：東京大学
部局名：大学院情報学環・学際情報学府
職名：教授
研究者番号（8桁）：20463896
- 研究分担者氏名：小池英樹
ローマ字氏名：Hideki KOIKE
所属研究機関名：東京工業大学
部局名：情報理工学院
職名：教授
研究者番号（8桁）：70234664
- 研究分担者氏名：野嶋琢也
ローマ字氏名：Takuya NOJIMA
所属研究機関名：電気通信大学
部局名：大学院情報理工学研究科
職名：准教授
研究者番号（8桁）：10392870
- 研究分担者氏名：杉浦裕太
ローマ字氏名：Yuta SUGIURA
所属研究機関名：慶応義塾大学
部局名：メディアデザイン研究科
職名：専任講師
研究者番号（8桁）：40725967
- 研究分担者氏名：村井昭彦
ローマ字氏名：Akihiko MURAI
所属研究機関名：国立研究開発法人産業技術総合研究所
部局名：情報・人間工学領域
職名：主任研究員
研究者番号（8桁）：90637274

(2) 研究協力者

該当なし

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。