

令和 3 年 6 月 7 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K17824

研究課題名（和文）スポーツクライミングにおける人体の運動知能の獲得と最適化

研究課題名（英文）Measurement and Analysis of Sport Climbing

研究代表者

河村 晃宏（Kawamura, Akihiro）

九州大学・システム情報科学研究院・助教

研究者番号：60706555

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、スポーツクライミングの動作計測および解析を行った。モーションキャプチャシステムと力覚センサシステムを組み合わせることにより、人体の姿勢と四肢にかかる力の計測を行った。モーションキャプチャでは、壁によって隠蔽されるマーカーを補完可能なモデルを提案している。力の計測では、ホールドと呼ばれる突起物にかかる力をすべて計測可能であり、一般のクライミングジムの壁、ホールドに取り付けが可能な構造を実現している。また、これらの提案システムを用いて、実際のクライミングジムにおいて、クライミング動作運動計測実験を実施した。この結果、国体県代表以上の上級者のクライミング技術の一端を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、スポーツクライミングの動作と力を同時計測可能なシステムを提案した。これまでのクライミングの動作計測では、動作と力は同時に計測されておらず、力については、一つのホールドにかかる力計測にとどまっていた。また、動作のみの幾何的な情報では、内力や四肢の力の配分などの情報は獲得できない。提案システムでは、両者を同時に計測するのみならず、四肢を支持するすべてのホールドにセンサを搭載している。これにより、クライミング動作に寄与するすべての幾何的、力学的な情報の高精度な計測が可能である。このシステムを用いて運動計測、解析を行うことで、新たなクライミング技術を解明が可能となる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we proposed a new motion and force measurement system for sport climbing. By combining a motion capture system and force sensor systems, the postures of climbers and the force applied to the limbs are simultaneously measured. In the motion capture system, we proposed a model that compensates the markers hidden by the wall. In the force measurement system, the forces applied to holds can be measured. Additionally, the system is designed to be applied to general climbing walls and holds. Using these proposed systems, we conducted climbing motion measurement in an actual climbing gym. As a result, we clarified a part of the climbing technique of advanced-level climbers.

研究分野：ロボット工学

キーワード：運動計測 運動解析 スポーツクライミング モーションキャプチャ 力センサ

1. 研究開始当初の背景

近年、競技人口の急激な増加が見られるスポーツクライミングは、自然の岩や崖を、道具を使わず登るフリークライミングの一種で、図1に示すような人工壁を登攀する競技である。2021年のオリンピックの公式種目にも採用されるなど、全世界的に普及しており、子供から大人まで、幅広い年代の競技者がいることも特徴として挙げられる。しかし、その一方で、熟練した指導者の不足が問題となっている。クライミングでは、体格や筋量等の違いによって、最適な動作が人によって大きく異なる。また、壁に取り付けられているホールドと呼ばれる突起物の形状・大きさは多種多様であり、課題によって、ホールドの配置、壁の形状が異なり、必要な筋肉や動作が異なる。そのため、統一的なトレーニング・コーチング方法が確立されていない。クライミングの運動計測に関する研究も行われているが、単純なモーションキャプチャによる運動計測がほとんどであり、手先・足先にかかる接触力等、力やモーメントに関する情報の計測は数少ない。力計測が行われている計測についても、一つのホールドについての計測であり、四肢すべてにかかる力、配分などに関する計測はこれまでに行われていない。しかし、全身の動作、筋内力を正しく計測するためには、四肢すべてに関する力の計測が不可欠である。



図1 人口壁

2. 研究の目的

本研究の目的は、クライミング競技者の運動計測・解析およびそれらの情報をフィードバックすることにより、動作の改善、最適化を行うことである。本目的達成のため、まず、①3次元的な多点接触を伴う人の全身運動の計測システムを構築し、次に②計測データをもとにした、幾何学・力学的な情報の提示インターフェースを開発する。

3. 研究の方法

①の計測システムでは、光学式モーションキャプチャシステムに加え、6軸の力覚センサを導入する。手先、足先に設置するホールドにかかる力およびモーメントを実時間で計測し、全身の幾何情報と四肢の力覚情報を組み合わせることで、内力を含めた運動の解析を行う。

光学式モーションキャプチャシステムでは、Vero v1.3 (Vicon社)を6台とBonita3 (Vicon社)を1台の、計7台のカメラを使用し、計測を行う。その際、被験者には複数の反射マーカを取り付け、計測を行うが、全身の運動計測における一般的なマーカセットでは、クライミング特有の壁やホールドなどの遮蔽物によってすべてのマーカの追跡が困難である。そこで、本研究では既存のマーカセットに図2、図3のような複数のマーカを追加することで、遮蔽されたマーカの補完を行う。

ホールドにかかる力・モーメントの計測では、6軸力覚センサを搭載したホールド負荷計測システムを新たに提案している。本システムを図4に示す。図4の黒の部分にはセンサ本体に外力がかからないための保護カバーである。このシステムを用いることで、クライミング動作中の各ホールドにかかる力およびモーメントの計測が可能となる。

モーションキャプチャシステムとホールド負荷計測システムによって計測されたデータは、タイムスタンプによる同期処理が施される。

次に②の情報提示インターフェース開発では、壁の3Dモデル、人の全身モデルに加え、直観的な力情報の提示手法を開発する。



図2 追加マーカ



図3 追加アタッチメント

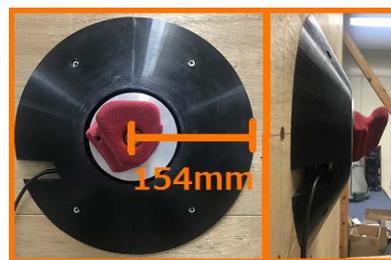


図4 ホールド負荷計測システム

4. 研究成果

上述した提案システムを開発し、実際のクライミングジムにおいて、クライミング動作の計測実験を行った。図5に実験の様子を示す。赤い丸で囲っている部分がモーションキャプチャシステムのカメラである。また、図6に壁を正面から見た際の外観を示す。青丸で囲っている5台の負荷計測システムによってホールドにかかる力とモーメントを計測する。被験者は上級者8名と中級者8名であり、上級者は、国民体育大会県代表または日本代表の経験者である。図7に上級者1名の実際のクライミング動作およびモーションキャプチャシステムによって得られたスティックピクチャの様子を示す。この動作は、左足と右足を SensorA のホールドと SensorB のホールドに置き、右手と左手で SensorC と SensorD のホールドを掴んだ四点支持の状態が始まる。この四点支持の状態から、両手でホールドを引く力と左足でホールドを蹴る力を利用して、右足を乗せたホールド上に立ち上がることで、高い位置の SensorE のホールドを掴みに行く。右足を乗せたホールドに乗り込むために、左足でホールドを強く蹴ること、および両手でホールドを強く引くことが重要である。また、力任せな動きにならないために、重心移動を利用して勢いを付けることも重要である。

図8にモーションキャプチャデータから得られた重心軌道およびホールドにかかる負荷の一例を示す。このようなデータをすべての被験者について計測し、比較・解析を行った。その結果、上級者は中級者に比べ、壁における平面的な動きだけでなく、3次元的な動きを行っていることや、大きな予備動作によって勢いをつけ、慣性力を利用して動作を起こしていることなど、クライミング技術の一端を解明することができた。

さらに、これらの提案システムによって得られたデータを図9に示すような情報提示インターフェースを用いて競技者にフィードバックを行い、競技者にとって有益な情報であることを確認した。

これらの成果は、複数の国内会議および国際会議において発表を行った。



図5 実験環境



図6 壁の外観

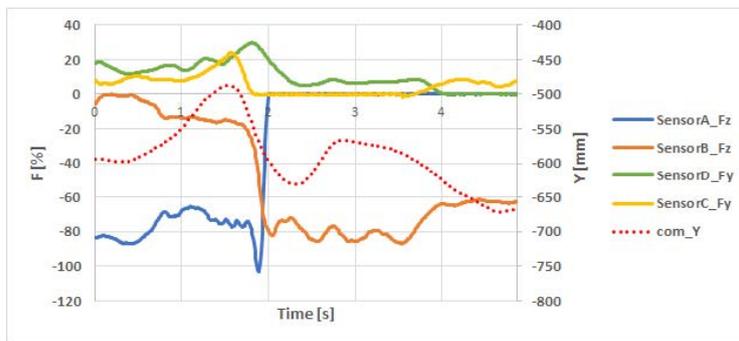


図8 重心軌道およびホールドにかかる負荷

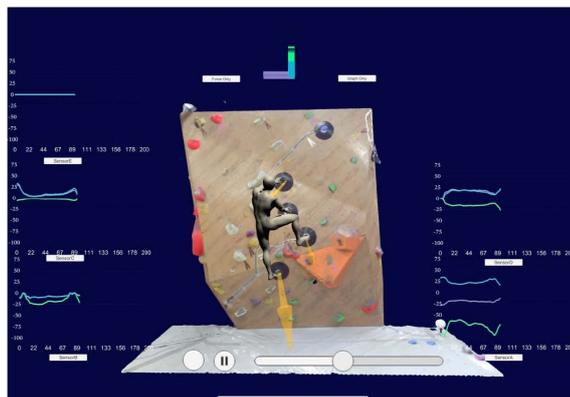


図9 情報提示インターフェース

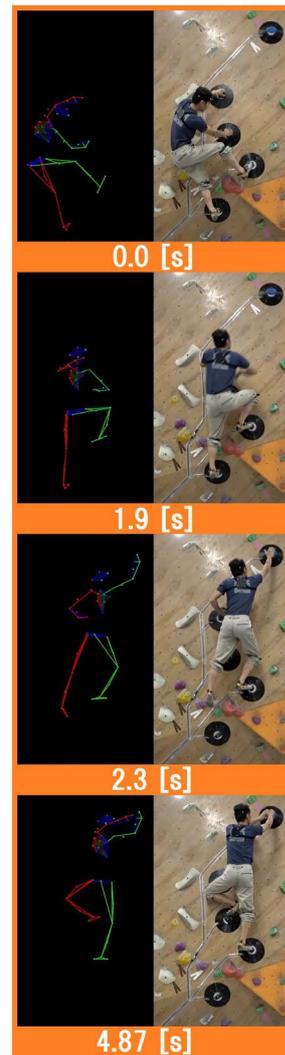


図7 クライミング動作

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 佐渡島 悠樹, 伊熊 瞳, 河村 晃宏, 倉爪 亮
2. 発表標題 スポーツクライミングの動作・力情報可視化インターフェースの開発
3. 学会等名 第21回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊熊 瞳, 佐渡島 悠樹, 河村 晃宏, 倉爪 亮
2. 発表標題 三次元動作および力の同時計測によるクライミングの乗り込み動作の運動解析
3. 学会等名 第21回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hitomi Iguma, Akihiro Kawamura, Ryo Kurazume
2. 発表標題 A New 3D Motion and Force Measurement System for Sport Climbing
3. 学会等名 2020 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊熊 瞳, 河村 晃宏, 倉爪 亮
2. 発表標題 多点接触を考慮したスポーツクライミングのための運動計測システムの開発
3. 学会等名 第20回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊熊 瞳, 河村 晃宏, 倉爪 亮
2. 発表標題 スポーツライミングのための運動計測システムの開発
3. 学会等名 日本機械学会 シンポジウム：スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス 2019
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