

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

○伊熊 瞳 (九州大学), 河村 晃宏 (九州大学), 倉爪 亮 (九州大学)

3D Motion and Force Measurement System using Multiple Force Sensors for Sport Climbing

○Hitomi IGUMA (Kyushu University), Akihiro KAWAMURA (Kyushu University),
and Ryo KURAZUME (Kyushu University)

Abstract : Sport climbing is one of the sports increasing attention all over the world. Motion measurement and analysis system for sport climbing have been required to improve the performance of players and instruct them. This paper proposes a new 3D motion and force measurement system for sport climbing that can measure the movement and the force on multiple holds simultaneously.

1. 緒言

スポーツクライミングとは、ホールドと呼ばれる壁に取り付けられた突起物を掴んで、人工的に作られた壁を登る競技である。競技中の動作は、壁やホールドの形状が多種多様なため、多点接触を伴う複雑なものとなる。これまでに、このスポーツクライミングに関する運動計測・解析の研究が多く行われており、その多くは、モーションキャプチャ等のカメラを用いた計測手法によるものである。[1][2]。これらの計測によって得られる、全身の挙動、重心軌道などの解析は、運動計測において重要な要素の一つである。しかし、壁やホールドとの接触により発生する力は考慮されていない。一方で、これまでにスポーツクライミングにおける力の計測も行われている [3]。しかし、対応するホールドの種類が限定されており、多種多様なホールドの利用は困難である。また、より詳細な動作解析を行うためには、動作情報と力情報を同時に得られるシステムが必要となる。

そこで本論文では、スポーツクライミングの動作と複数のホールドにかかる力の同時計測が可能なシステムを提案する。本システムは、三次元動作計測システムとホールド負荷計測システムで構成される。三次元動作計測システムでは、スポーツクライミング用に改良したマーカーセットモデルを使用し、光学式モーションキャプチャを行う。ホールド負荷計測システムでは、壁とホールドの間に 6 軸力センサを搭載し、多種多様なホールドにかかる力・モーメントを計測する。最後に、これら二つのシステムを用いたクライミング動作の同時計測を行い、同期の確認およびシステムの有効性を確認する。

2. 運動計測システム

本システムは、三次元動作計測システムとホールド負荷計測システムで構成される。両システムを組み合わせるこ

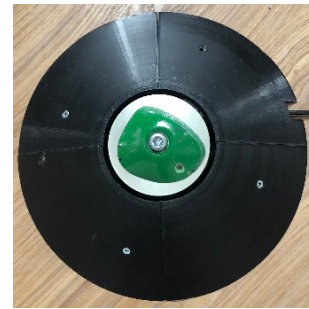


Fig. 1: Hold force measurement system

とで、幾何学的および力学的な観点からのクライミングの動作計測を実現する。各システムによって得られた動作情報と力情報の同期には、タイムスタンプを用いる。

2.1 三次元動作計測システム

三次元動作計測システムでは、光学式モーションキャプチャを用いる。使用するカメラは、Vero v1.3 (Vicon 社製) 6 台と Bonita3 (Vicon 社製) 1 台の計 7 台である。マーカーセットモデルは、三次元動作解析ソフトウェア Nexus2.7.1 (Vicon 社製) に搭載されている Plug-In-Gait モデルをクライミング用に改良したモデルを用いる。背面にマーカーを追加することで、前面のマーカーを補完する。

2.2 ホールド負荷計測システム

スポーツクライミングでは、競技者とホールドとの間で多点接触が発生する。複数の力センサを用いることで、動作にかかわる全ての接触点での力およびモーメントを計測する。本研究のホールド負荷計測システムでは、壁とホールドの間に 6 軸の力センサを搭載することで、3 軸方向の力と各軸まわりのモーメントを検出し、ホールドにかかる負荷を計測する。ホールド負荷計測システムの外観を Fig.1 に示す。このシステムを複数設置することで、すべての接触点での力計測を可能にする。

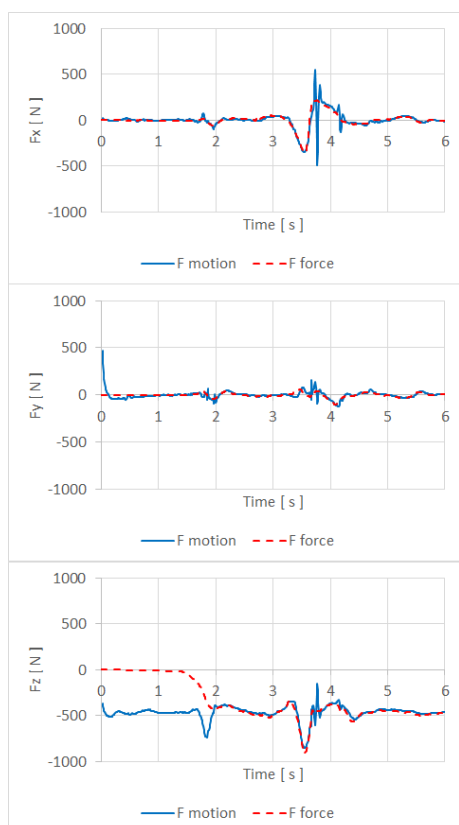


Fig. 2: Transient responses of force from motion capturing F_{force} and force from force sensors F_{motion}

3. 実験

構築したシステムを用いて、研究室に設置した壁と実際のクライミングジムの壁にてクライミング運動計測実験を行った。研究室の壁では、モーションキャプチャによって得られた動作情報と、ホールド負荷計測システムによって得られた力情報の同期の確認を行う。実際のクライミングジムでは、初級者と上級者のクライミング動作計測を行い、比較することで本システムの有効性を確認する。

3.1 データ同期確認実験

研究室に設置したクライミング壁を Fig.3 に示す。本実験では、5 台の負荷計測システムを搭載した壁を用いて、モーションキャプチャによる動作情報とホールド負荷計測システムによる力情報の同期の確認を行う。それぞれの情報はタイムスタンプによって同期を取っている。実際に学生にこの壁を登ってもらい、クライミング動作の計測を行った。Fig.2 に、動作情報から得られる重心加速度を用いて計算した、重心にかかる力の総和 F_{motion} と、力情報から得られる力の総和 F_{force} を示す。この図から、二つのシステムで得られた情報の同期が取れていることがわかる。ただし、2.0 秒後まで Z 方向の F_{motion} と F_{force} が一致していないのは、左足が床についていたためである。

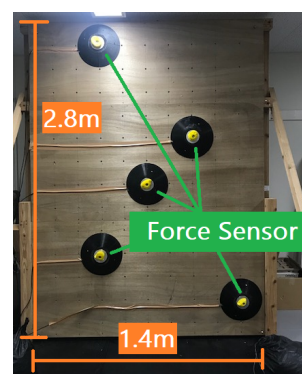


Fig. 3: Wall in our laboratory



Fig. 4: Wall in a climbing gym

3.2 クライミング運動計測実験

クライミングジムでの実験に使用した壁を Fig.4 に示す。三次元動作計測システム用のカメラを 7 台配置し、ホールド負荷計測システムを 5 台使用する。本実験の被験者は、クライミングの初級者と国民体育大会県代表経験のある上級者である。被験者のクライミング動作を Fig.5 に示す。この動作では、左足を乗せた SensorA のホールドに重心を移動し、立ち上がることで、高い位置の SensorE のホールドを掴みにいく。その際、SensorA の薄いホールドにどれだけ体重を預けられるかが問題となる。

Fig.6 に、X 方向の被験者の身体重心軌道と SensorA のホールド位置を示す。上級者の重心移動の方が、初級者よりも素早くスムーズであることが分かる。また、重心移動距離も上級者の方が大きい。左足に設定しているホールドは薄く、初級者にとっては、体重を預けることが難しいが、上級者はしっかりとホールドの上に乗れていることが分かる。Fig.7 に、被験者の体重に対する、SensorA で検出された Z 方向の力の割合を示す。初級者が最大で体重の 73% の力しか加えていないのに対し、上級者は体重の 93% もの力を加えている。この結果は重心軌道の解析結果を裏付けるものである。本実験により、提案システムによってクライミング動作および力の計測が可能であることを確認した。また、初級者と上級者の比較によって、上級者のクライミング技術の一端を明らかにした。



Fig. 5: Snapshots of movements

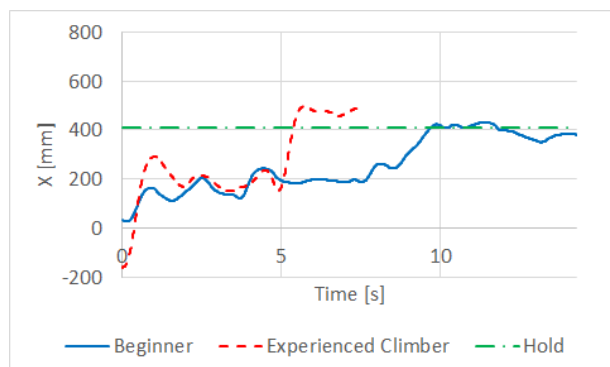


Fig. 6: Trajectory of the center of mass

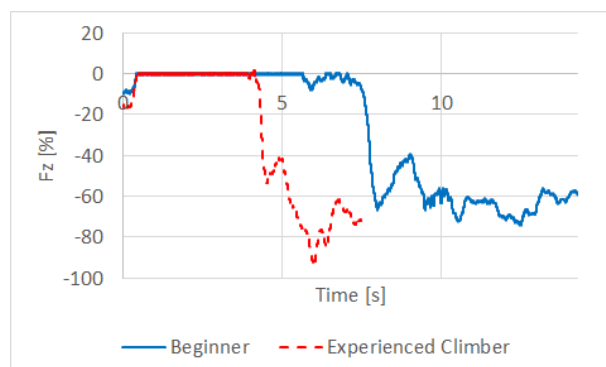


Fig. 7: Percentage of the force detected in sensorA to subject's weight

4. 結言

本研究では、スポーツクライミングのための新たな運動計測システムを提案した。このシステムは、三次元動作計測システムと複数のホールド負荷計測システムで構成される。本システムを用いることで、スポーツクライミング中の身体の動きと複数のホールドに加わる力の同時計測を実現した。提案システムを用いて、研究室とクライミングジムにて実験を行い、動作情報と力情報の同期の正確性及びシステムの有効性を確認した。

今後は、被験者の数を増やすことで、これまでに明らかになっていない、クライミング技術の解明を目指す。また、動作情報・力情報を用いて、接触点間に発生する内力や、ホールドの接触点といった、新たな情報の獲得を行う。

謝辞

本研究は、文部科学省科学研究費補助金若手研究（課題番号 JP18K17824）の支援を受けたものである。

参考文献

- [1] Asakawa, D. and Sakamoto, M. : "Characteristics of counter-movements in sport climbing: a comparison between experienced climbers and beginners", *The journal of Physical Therapy Science*, Vol.31, No.4, pp.349-353(2019)
- [2] Reveret, L., Chapelle, S., Quaine, F. and Legreneur, P. : "3D MOTION ANALYSIS OF SPEED CLIMBING PERFORMANCE", *4th International Rock Climbing Research Congress*, Chamonix, France(2018)
- [3] Lechner, B., Filzwieser, I., Lieschnegg, M. and Sammer, P. : "A Climbing Hold With an Integrated Three Dimensional Force Measurement and Wireless Data Acquisition", *International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems*, Vol.6, No.5, pp.2296-2307(2013)