

# スピードクライミングにおける 力覚センサ内蔵型ホールド負荷計測システム

○新谷 拓海（九州大学），河村 晃宏（九州大学，国立スポーツ科学センター），  
相原 伸平（国立スポーツ科学センター），倉爪 亮（九州大学）

## Instrumented climbing hold for Speed Climbing

○ Takumi SHINTANI (Kyushu University), Akihiro KAWAMURA (Kyushu University, JISS),  
Shimpei AIHARA (JISS) and Ryo KURAZUME (Kyushu University)

Abstract: We propose a new 6-axis force measurement system in speed climbing. The force sensor, microcomputer, and battery are all built into the hold. It is easy to install compared with conventional systems due to no need to modify climbing walls. In this paper, we verify force measurement accuracy of the proposed system.

### 1. 緒言

スポーツクライミングとは，ホールドと呼ばれる様々な形状の突起物を掴む，踏むなどしながら，多様な傾斜の壁を登る競技である．本競技にはボルダー，リード，スピードの3種目がある．このうちスピード種目とは，Fig. 1に示すホールド2種のみを用いて，予めホールドの配置が定められたFig. 2のような15[m]の壁を登る時間を競う種目である．

ホールドにかかる力やモーメントの情報は本種目の動作解析において重要であり，これらの計測システムがこれまでも提案されている<sup>1)~3)</sup>．これらの研究では，ホールドや壁を加工し，壁内部あるいは裏側に力覚センサを取り付けることで力を計測している．しかし，これらのシステムは設置環境が限定的であり，既存のスピードクライミングの壁での利用は困難である．

そこで本研究では，既存のスピードクライミング用の壁への設置が可能な，力覚センサ内蔵型ホールド負荷計測システムを提案する．本システムは2種類のホールドのうちFig. 1中のホールドAを対象とし，3軸の力およびモーメントの計測を行う．センサやマイコン，バッテリーなどの機器が全てホールドに内蔵されており，壁に手を加えることなく設置が可能である．本稿では，力の計測精度の検証および，システム設置の際に生じるホールドと壁との隙間の変化の調査を行う．

### 2. 力覚センサ内蔵型ホールド負荷計測システム

#### 2.1 システム構成

力覚センサ内蔵型ホールド負荷計測システムの構成をFig. 3に示す．ホールドの内側を切削加工し，6軸力覚センサ（レプトリノ社製），Raspberry Pi Zero，拡張基盤および拡張バッテリーPi Sugarを埋め込んでいる．ホールドの側面には，有線接続用LANコネクタ，およびバッテリー充電用USB Type-Cコネクタを埋め込んでいる．コネクタの位置は，関連研究<sup>4)</sup>および競技動画から，競技者の最も接触の少ない位置に設定した．

本システムでは，ホールド内部に埋め込んだRaspberry Pi Zeroおよび拡張バッテリーを用いて6軸力覚センサに電源供給を行い，外部PCから無線接続により制御プログラムを実行する．計測データはRaspberry



Fig. 1 Two types of holds used in speed climbing

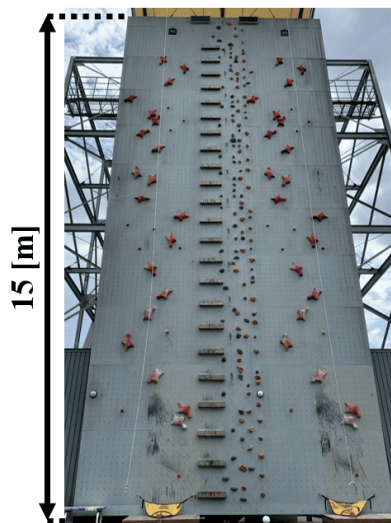


Fig. 2 Speed climbing wall

Pi Zeroに保存され，任意のタイミングで無線または有線接続で外部PCへ取り出すことが可能である．

#### 2.2 システム設置手順

本システムを壁に設置する際の手順をFig. 4に示す．またそれぞれの詳細を以下に示す．

1. 壁に下部アタッチメントを取り付ける．
2. 下部アタッチメントの上に6軸力覚センサを接続する．
3. 6軸力覚センサの上にRaspberry Pi Zeroなどを固定したアタッチメントおよび上部アタッチメントを接続する．

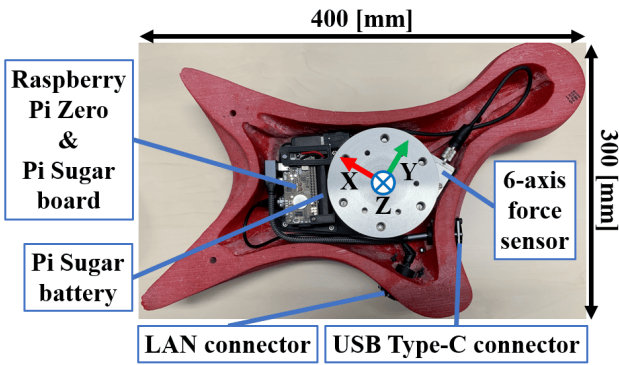


Fig. 3 Configuration of the proposed system

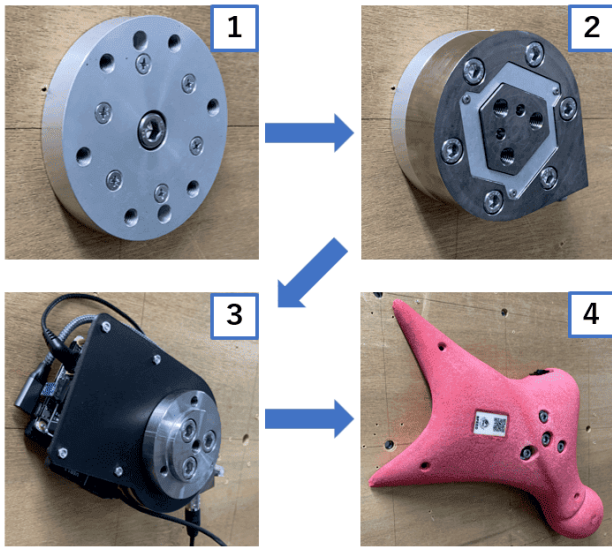


Fig. 4 Installation procedure of the proposed system

4. 側面のコネクタにケーブルを接続しながら，上部アタッチメントの上にホルドを接続する。

### 3. 実験

#### 3.1 3D CAD による剛性の検証

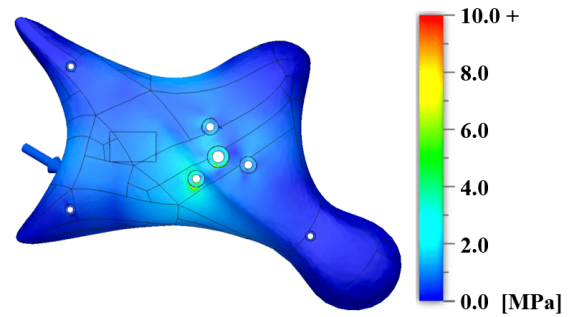
本システムの剛性について確認するため，3D CAD ソフトを用いて静的応力解析を行う。このとき，スタートポジションにおいて競技者がホルドに加える力を模擬し，Fig. 5 に示す矢印の向きに 700 [N] の力を設定した。

シミュレーション結果を Fig. 5 に示す。Fig. 5(a) に示すホルド表側においては，ホルドと 6 軸力覚センサをつなぐボルトによって負荷が分散できており，ホルドの材質から十分な剛性があると判断できる。Fig. 5(b) に示すホルド裏側においては，アタッチメントとの接続部で局所的に高い応力が発生している。しかし，接触部の形状から局所的な破損は考えづらい。以上のことから，ホルドの破損に繋がるような応力は確認できず，剛性が十分であることが確認できた。

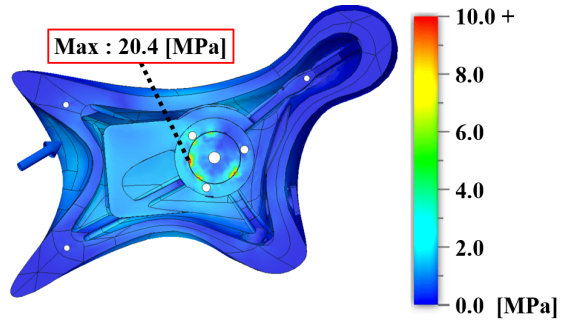
#### 3.2 計測精度および動作時間の検証

Fig. 4 のように設置したホルドに対して外部から力を加え，計測精度を検証する。加える力はデジタルフォースゲージによって計測する。

ホルドの様々な位置から力を加える際に得られた，6 軸力覚センサの出力  $F_x$ ， $F_y$ ， $F_z$  およびそれらの合力



(a) Front side



(b) Back side

Fig. 5 Simulation results

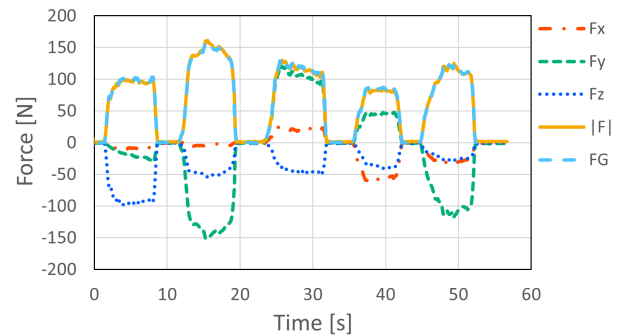


Fig. 6 Output of 6-axis force sensor and digital force gauge

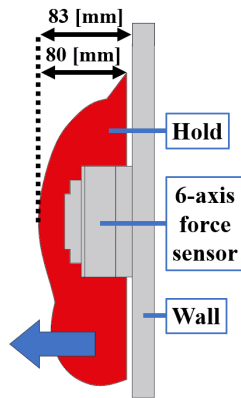
の大きさ  $|F|$  と，デジタルフォースゲージの出力  $F_G$  を Fig. 6 に示す。ただし， $F_x$ ， $F_y$ ， $F_z$  の向きは Fig. 3 に示す座標系の通りである。加えた力の向きや大きさに関わらず， $|F|$  と  $F_G$  が一致していることが確認できる。これより，ホルド外部から加えられた力を，ホルド内部の 6 軸力覚センサで適切に計測できていることがわかる。

また，制御プログラムを実行している状態で満充電から充電切れとなるまでの動作時間は 1 時間から 1 時間 10 分，充電切れから満充電までの充電時間は 15 分から 20 分程度であった。1 回の競技時間が 5 秒から 15 秒程度と非常に短い本種目においては，十分な動作時間である。

#### 3.3 ホールドと壁の距離と力の関係

Fig. 4 のように設置したホルドに対して外部から力を加えた際の，ホルドと壁の距離の変化について考察する。

本システムの断面図を Fig. 7 に示す。力を加えた際にホルドが壁に触れてしまうと，計測精度が低下してしまう。一方，ホルドと壁の距離を広げると実際



**Fig. 7** Cross-sectional view of instrumented climbing hold

の競技環境との差異が大きくなり、計測時の力と競技時の力に大きな違いが生じてしまう可能性がある。よって、両者のバランスがとれた適切な距離に設定する必要がある。

このため、ホールドに対して外部から力を加え、距離の変化量を確認する実験を行った。このとき、実際の競技中にかかる力を考慮し、Fig. 7 に示す矢印の向きに 300 [N] の力を設定した。実験結果から、変化量は 1.5 ~ 2.0 [mm] であったため、ホールドと壁との距離を 3.0 [mm] に設定した。今後実験を行う中で、ホールドが壁に触れていないか、ホールドを掴んだ際に違和感がないかなどを確認し、適宜調整を行う。

#### 4. 結言

本稿では、スピードクライミングのための、力覚センサ内蔵型ホールド負荷計測システムを提案した。本システムを用いることで、既存のスピードクライミング用の壁において高精度な力計測が実現可能である。今後は実際の競技環境で計測を行い、競技者の動作解析を行うことを目指す。

#### 謝辞

本研究は、スポーツ庁委託事業「先端技術を活用した H P S C 基盤強化事業」および JSPS 科研費 JP24K14531 の助成を受けたものです。

#### 参考文献

- [1] P.Wolf, F.Wittmann, P.Scheuber and P.Legreneur, "Performance analysis in speed climbing: first insights into accelerating forces during starting phase", Proceedings of the 5th international rock climbing research congress, pp.69-72, 2021.
- [2] F.K.Fuss and G.Niegl, "Instrumented climbing holds and dynamics of sport climbing", The Engineering of Sport 6: Volume 1: Developments for Sports, pp.57-62, 2010.
- [3] X.Hugues, V.Cahouet, A.Thepault and F.Quaine, "Innovative Rock-climbing wall: enhancing biomechanics analysis of climbing performance", 48ème congrès de la Société de Biomécanique, 2023.
- [4] S.Askari Hosseini and P.Wolf, "Performance indicators in speed climbing: insights from the literature supplemented by a video analysis and expert interviews", Frontiers in Sports and Active Living, Vol.5, p.1304403, 2023.