

MEMS 触覚センサによる運動時の靴底にかかる力の計測

河内彪博^{†1,a)} 岡田一志^{†1,b)} 大井翔^{†1,c)}
松村耕平^{†1,d)} 寒川雅之^{†2,e)} 野間春生^{†1,f)}

概要：触覚センサを用いることで人の様々な動作にかかる力の計測が可能になってきている。その上で、人の動作を計測するにはその動作を阻害しない程度の大きさや取り付け方法が望ましい。我々はこれまで動作が加わっても端子部への負担を軽減する MEMS 触覚センサを開発してきた。本稿では開発した MEMS 触覚センサをフレキシブル基板に実装したうえで靴裏に取り付け、運動時の靴裏にかかる力を計測できることを確認した。今後は歩行や走行のフォーム訓練への応用を目指す。

1. はじめに

現在、人の運動を計測するにはカメラやトラッカーなどの映像、画像データを使用するのが主流である。最近では動作を計測する際に使用されるセンサやコンピュータが小型化し人体に取り付けやすくなった。我々はその一手段として、超小形の触覚センサの開発を進めている[1]。人の運動において映像などは外力の作用の結果である。そのため、運動の原因である作用した力自体を計測することが運動を修正するために役立つと考える。本稿では、人が日常で行う一般的な運動である歩行や走行に着目した。人が日常生活で歩いたり走ったりする際には地面との接地面、すなわち靴裏と地面との摩擦力によって移動している。この摩擦力を計測することができれば走行時に足を後ろに蹴る時の力の方向と強さがわかり、より効率的な走行フォームの訓練に反映可能である。

人の移動時の外力の計測において LeMoyné ら[2]は床にフォースプレートを埋め込み歩行の記録を計測している。環境埋め込み型のフォースプレートでは対象に何も装備する必要は無いが、計測が可能な場所が限定されてしまう。そのため日常での歩行を計測するには場所を制限しないウェアラブルなものが適している。ウェアラブルなセンサの使用事例として、中井ら[3]は靴のインソール内に MEMS 触覚センサを固定し歩行やランニング時の足裏にかかる力の計測を行った。その手法に対し、本稿では地面からの摩擦力がより直接的に伝わる靴裏に MEMS 触覚センサを取り付け、歩行または走行時を模した状態の計測を試みる。

本稿では選手のフォーム訓練への応用を目指し、開発した MEMS 触覚センサを用いて靴裏に作用する力の計測を行い、MEMS 触覚センサの信号出力を確認した。

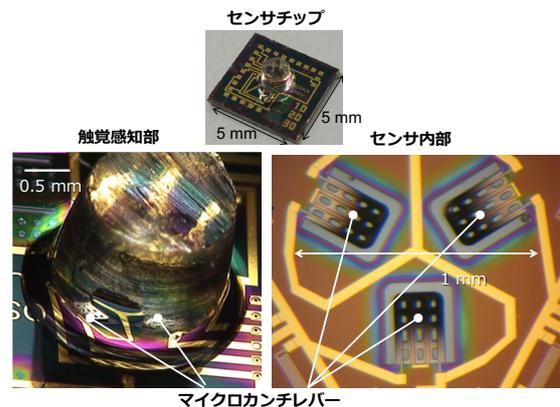


図 1 MEMS 触覚センサチップ

2. 計測システムの概要と方法

本システムでは、薄膜ひずみゲージを搭載し複数のカンチレバーで構築された MEMS 触覚センサ (図 1) を使用する。計測時にはカンチレバーの電気抵抗変化によって外力の印加を確認する。システムの外観を図 2 に示す。靴のつま先側を上部とし、踵側を下部とする。靴底のゴム素材を削り MEMS 触覚センサを取り付けた。取り付け箇所は足の裏側において人が歩行や走行する際の立脚相の最後のタイミングである蹴り上げ時に最大剪断力を発生させる拇趾球が接触する箇所にした。MEMS 触覚センサからは信号送信用のフレキシブルケーブルが靴の表側上部に設置した信号増幅用のアンプまで接続している。

計測は歩行を模擬して、MEMS 触覚センサを取り付けた靴の前後を手で掴み、歩行時の蹴り上げ運動を模擬した。歩行の一回の立脚相を机の上を前から後ろにスライドさせ 1 秒後に靴を持ち上げるものとして行った。サンプリング周波数は 1kHz で計測した。

3. 計測結果

計測結果を図 3 に示す。これは、計測開始から 5 秒後に

†1 立命館大学

†2 新潟大学

a) kawauchi@mxdlab.net

b) kokada@mxdlab.net

c) SHO.OOI@outlook.jp

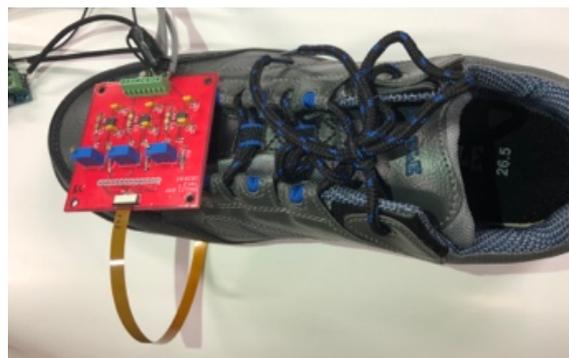
d) matsumur@acm.org

e) sohawa@eng.niigata-u.ac.jp

f) hanoma@fc.ritsumeai.ac.jp, noma@mxdlab.net



(a) 靴の裏側



(b) 靴の表側

図 2 計測システムの外観

机上での歩行を模擬した動作を始めその後 1 秒ごとに同様の動作を行った結果のグラフ中の 5 秒から 16 秒の間を切り出したものである。縦軸は電圧の変化を表した時系列計測である。

靴裏に設置した MEMS 触覚センサはセンサに対して向かってくる方向の圧力を印加された際にカンチレバーが反り上がるように変形し、センサ内の抵抗の値が小さくなり、その結果出力される電圧は降下する。剪断力を含む外力の場合は剪断力の印加方向のカンチレバーが沈むように変形し電圧は上昇する。

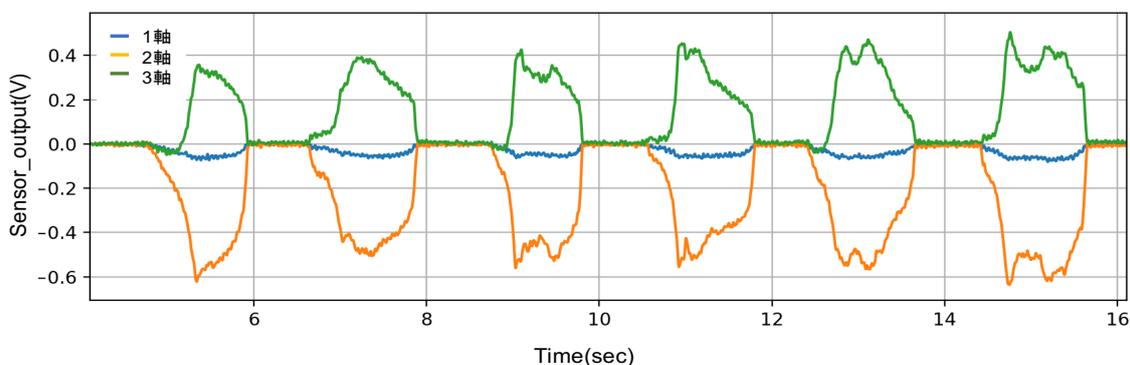


図 3 計測結果

計測結果からセンサ 1, 2 軸の電圧降下が確認できるため外力が印加されていることがわかる。さらに、3 軸目の電圧が上昇していることから、単純な圧力のみが作用したのではなく剪断力も作用したことがこの結果からわかる。

4. まとめ

MEMS 触覚センサを用い人の歩行時に靴の裏側にかかる力の計測を行った。今回は人の歩行を想定した動きを手でセンサを取り付けた靴を動かして行った。計測された出力信号は圧力と剪断力を含んだものとみられる。今後は実際に靴を履いて歩行時の靴裏にかかる力を計測する。さらに、計測された信号を圧力 1 軸、剪断力 2 軸の計 3 軸の力に校正し、より直感的に力の大きさがわかりやすくするとともに検出された力の分析をすすめる。最終的な目標は陸上選手の走行時に計測した剪断力を元に走行フォームを改善することである。

謝辞 本研究の一部は、内閣府が進める COI, 「運動の生活カルチャー化により活力ある未来をつくるアクティブ・フォー・オール拠点」JPMJCE1306, 及び, JSPS 科研費 18H03314 の助成によって実施された。

参考文献

- [1] 岡田一志, 川田智晴, 河内彪博, 大井翔, 松村耕平, 寒川雅之, 野間春生. 端子部への負荷を軽減する FPC を用いた MEMS 触覚センサの実装, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2020, 2020.
- [2] R. LeMoyné, W. Kerr, T. Mastroianni and A. Hessel, "Implementation of Machine Learning for Classifying Hemiplegic Gait Disparity through Use of a Force Plate," 2014 13th International Conference on Machine Learning and Applications, Detroit, MI, pp. 379-382, 2014, doi: 10.1109/ICMLA.2014.67.
- [3] 中井 亮仁, 永野 顕法, 高橋 英俊, 松本 潔, 下山 勲, 2P1-G09 インソールに配置した MEMS3 軸力センサによる足裏応力分布計測(感覚・運動・計測(3)), ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 2013 巻, 2013.