

3D プリンタを用いた圧電センサ校正用補助具の検討

佐藤貴子

Design of the Weight Mount Printed by the 3D Printer for the Calibration of the Force Sensing Resistors

Takako SATO

In this paper I present the design of the weight mount for the calibration of the force sensing resistors (FSR).

The FSR is thin sheet for detecting the pressure. But the accuracy is not high because of the mechanism of FSR. So we need the calibration of FSR with known weight.

This time we would like to use the strip-type FSR. It is difficult to put on the weight only on the detector area because the width of the detector area is only 10mm. So we introduce the weight mount during the calibration. After designing the weight mount, we printed it by the 3D printer and try to calibrate FSR.

Keywords: force sensing resistors, calibration, 3D printer

1. はじめに

近年、センサの小型化・高性能化は目覚ましく、それに伴い様々なセンサを安価に利用できるようになってきた。素子自体が小型化・高性能化したことはもちろんのこと、それらを容易に組み合わせるようになってきている。例えば、人感センサや照度センサ、温度・湿度センサなどをモジュール化し、ユーザがプログラムを組むことでセンサの応答を自由に利用できる製品[1] や、ブロックと組み合わせて光センサや超音波センサをつなげられるようにし、ロボットなどを自由に組み立てられる製品[2] などがある。一方、医療用で用いられる脳波計や表面筋電位計も以前は大型のアンプと接続する必要があったが、現在では小型化・無線化が進み、測定結果を Bluetooth 通信で PC に取り込むことができるようにまでなってきた[3]。

筆者らは、看護・介護での現場において介護者と被介護者双方にとってより良い介助動作はどのようなものかを測定する研究を進めてきた[4]。この際、重要となるのが姿勢データと双方の力のやりとりのデータである。姿勢は、体表面に動作を制限しない範囲でマーカを装着することにより外側から見える範囲の姿勢を取得することができ、加速度センサと組み合わせることにより見えない部分の姿勢もある程度まで推測することが可能となった。介護者と被介護者の相互の力のやりとりの測定には、圧力分布マットを用いてきた。圧力分布マットとは、シート型のセンサの面のどの位置にどれくらいの圧力がかかっているかを測定するセンサであり、椅子の座面にかかる力の測定[5] や寝ている間のベッドにかかる体圧の測定[6] などに使われているものである。ベッドに寝ている被介護者を、介護者が背中に手を回して助け起こす動作では、被介護者の背中のどの位置にどれくらいの力がかかるかを、被介護者の背中につけた圧力分布マットで測定したが、椅子やベッドと比べて柔らかく、曲面で、姿勢の変化する背中においてはマット自身の張力などの影響を受けやすいというデメリットがあった。しかし、小型圧力センサを複数使うこ

とで張力などの影響を軽減できるのではないかと期待できる。

そこで今回は小型圧力センサに着目し、シート型圧力センサを取り扱う上で欠かせない校正(キャリブレーション)の手法を検討する。

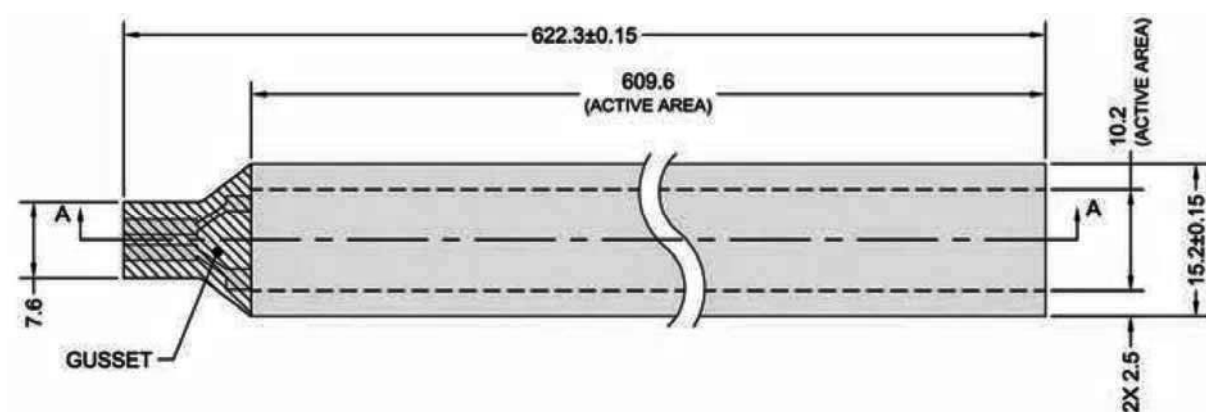
2. 圧力センサの校正

2.1. 使用する圧力センサの特性

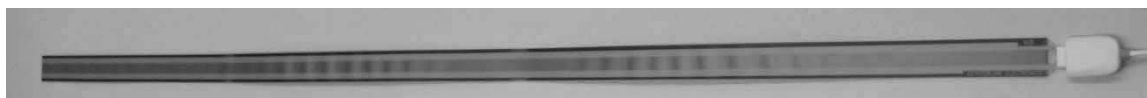
今回対象とする圧力センサは Interlink 社製 FSR408 (図 1, 表 1) である。センサ部の長さ 609.6mm、幅 10.2mm という長尺のセンサで、途中で切断して短いセンサとして使うことも可能である。2 枚の薄い膜を重ねた構造となっており、センサ部に圧力をかけると抵抗値が変わる特性を持つ。抵抗値の変化に応じて出力される電圧値が変化するような回路を組むことにより、どれくらいの大きさの圧力がかかっているかを測定できる仕組みである。

しかし、ストレインゲージ等と異なり、圧力に対する抵抗値の変化が定量的ではない。このセンサでは、仕様上の値の再現性は $\pm 6\%$ である。そこで、本格的な測定の前に、予め様々な決まった圧力をかけて圧力と電圧値の関係を明らかにする手順が必要となる。本論文では、この作業を校正(キャリブレーション)と呼ぶこととする。

小型センサを複数、同時に使うことを考えると、各センサの校正の手順や装置は簡易であることが期待される。



(a) FSR408 各部のサイズ (単位は mm)



(b) FSR408 の外観 (コネクタは Bluetooth 通信のために加工済み)

図 1 圧力センサ FSR408

表 1 FSR408 主な仕様

パラメータ	値
感圧範囲	0.2N (20g 重)～20N(2kg 重)
位置による値の再現性	$\pm 6\%$
同じ部分での値の再現性	$\pm 2\%$

図 1 の通り、FSR408 は細長いセンサであるため、圧力をかけるための部材が十分細くなくてはならない。一方で、較正時に圧力と出力電圧の関係を明らかにするためには、様々な既知の圧力をかける必要がある。今回は較正を簡易に実現させるため、センサ上に重さが既知の物体をセンサの感圧部分に載せる方式を考える。しかし、一般に、小さい圧力をかける場合と比べ、大きい圧力をかけるにはより大きな物体を載せる必要があるため、幅 10.2mm の FSR408 では困難が生じる。そこで、3D プリンタを使い、較正時に圧力をかけるための補助具を作成することとした。

2.2. 較正用補助具の試作

既知の圧力をかけるためには、確実にセンサの感圧部分だけに重力がかかる必要がある。そのため、センサ側の接地面はセンサの感圧部分のみに触れる必要がある。一方、載せる物体側はより幅の広いものでも乗せやすいよう、広がっていることが期待される。そこでまず、図 2 のような較正用補助具を試作してみることにした。

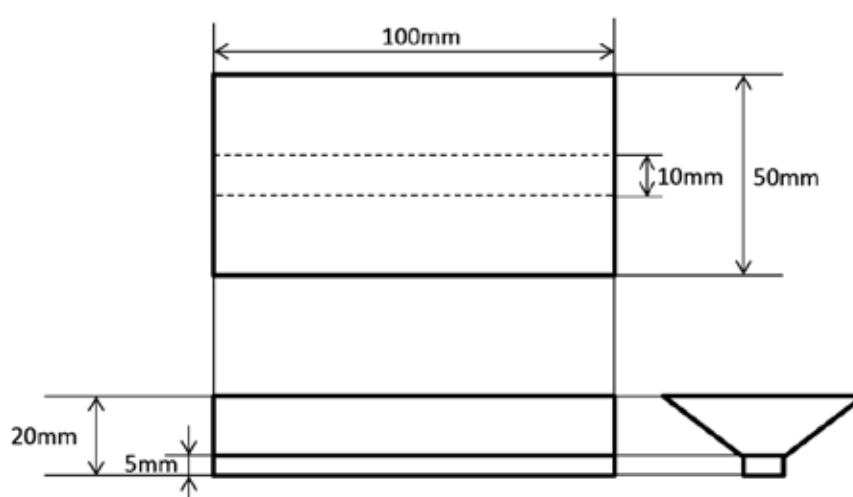


図 2 設計した較正用補助具(1)

較正用補助具の立体化には、出来上がり物体の重量が軽量であること、容易に形状を立体化できることなどから 3D プリンタを用いることとした。利用した 3D プリンタを図 3 に、3D プリンタの仕様と印刷物の材質を表 2 に示す。

表 2 3D プリンタの仕様

項目	値
製品名	ダヴィンチ miniMaker (XYZ プリンティング社製)
印刷方式	熱溶解積層方式
最大造形サイズ	15x15x15cm
フィラメント材質	PLA

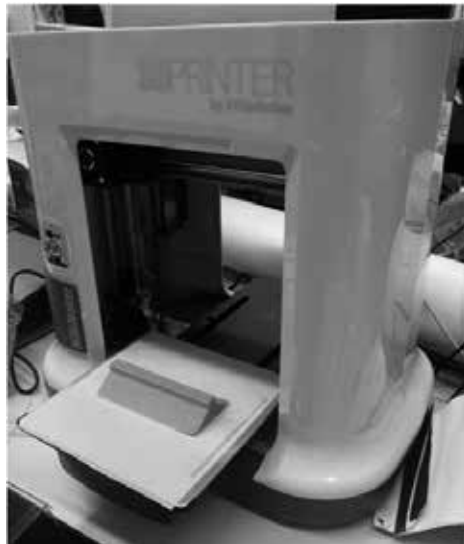


図 3 3D プリンター ダヴィンチ miniMaker

出来上がった補助具の試作品を図 4 に示す。



図 4 3D プリンタで印刷した較正用補助具(1)

3. 圧力センサの較正実験

2.2 で作った補助具を使い、実際に較正ができるか実験を行った。実験に用いた機材を図 5 に、実験時の接続構成を図 6 に示す。

FSR408 を生体信号計測器 Biosignalplux (Plux 社製) に接続する。FSR408 は加えられた圧力に応じ抵抗値を変化させることから、回路中の FSR408 にかかる電圧も変化する。この電圧値の変化を Bluetooth 通信で PC にデータをリアルタイムに送信する。このデータを PC で取得・解析することで較正を行う。

次に、圧力を加える物体を考える。FSR408 の感圧範囲は 100g～10kg だが、今回は補助具の長さが 10cm とセンサ全体の一部分に留まることから、最大感圧範囲に近い領域の較正は控え、100g～500g について 50g おきに測定することとした。重りは、重さの調整の簡便さから、ペットボトルに水を入れ蓋をしたものを利用する。補助具自身の重さ、ペットボトル容器の重さ、水の重さの合計が重りの重さとなる。



図 5 実験に使用した機材



図 6 システム構成

この重りを用いて実験を行った結果が図 7 になる。その結果、複数回試行実験を行ったが、いずれも重りの重さ（加えられたはずの既知の圧力）と測定結果が比例しない結果となった。

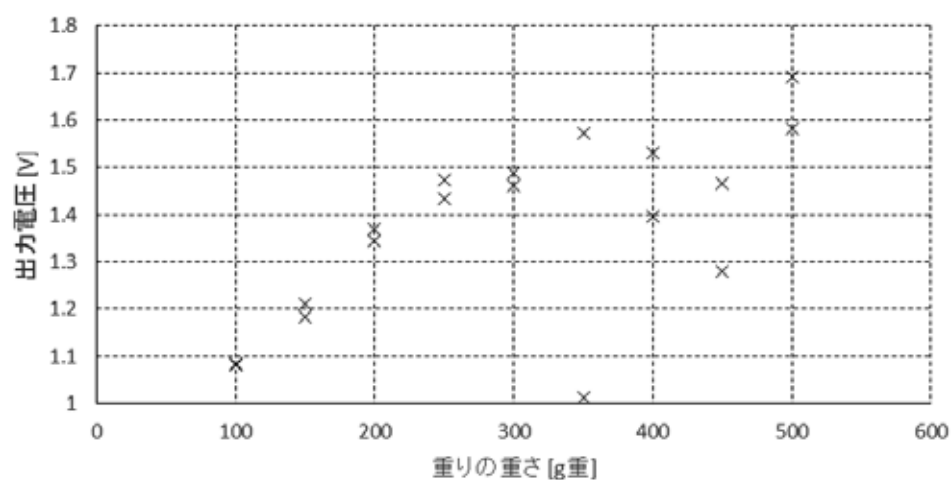


図 7 校正用補助具(1)を使った場合の重さに対する FSR408 の出力電圧

4. 補助具の再検討と再実験

3.の実験が失敗に終わった原因を検討した結果、補助具の PLA 樹脂がセンサ表面に対し滑りやすく、重りの乗せ換え時に微妙に位置ずれてしまうこと、さらに重りの重心がずれた時に補助具のセンサ側の接地面に均等に圧力がかからず、結果的に加えられるべき圧力の大半が感圧部分以外に逃げてしまう場合があることが可能性として考えられた。そこで、多少の位置ずれでは感圧部分から外れないようにするため、センサの感圧部分に対し補助具のセンサ側の接地面の幅を少し狭くすることとし、図 8、図 9 に示す補助具を再度作り直した。なお、センサ側の接地面の幅を狭くしたために物体を載せた時の安定性も下がることから、やむを得ず重りを載せる側の面のサイズを少し小さくすることとした。

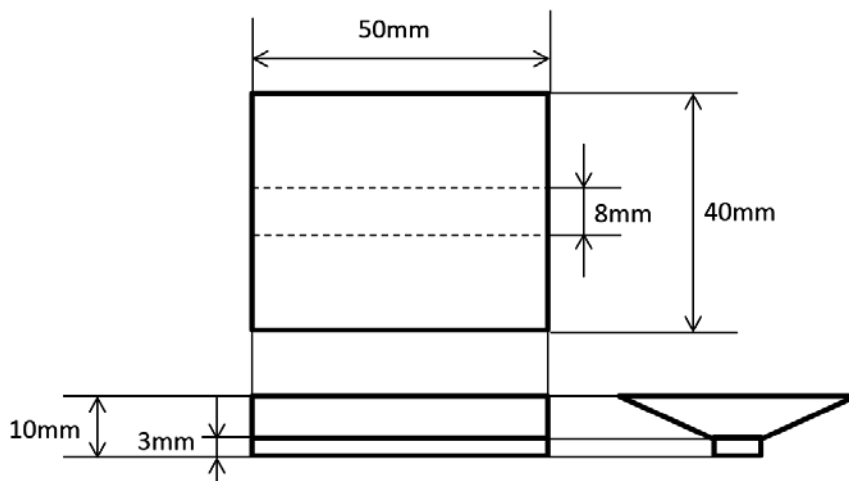


図 8 再設計した校正用補助具(2)



図 9 3D プリンタで印刷した校正用補助具(2)（左は比較のために置いた校正用補助具(1)）

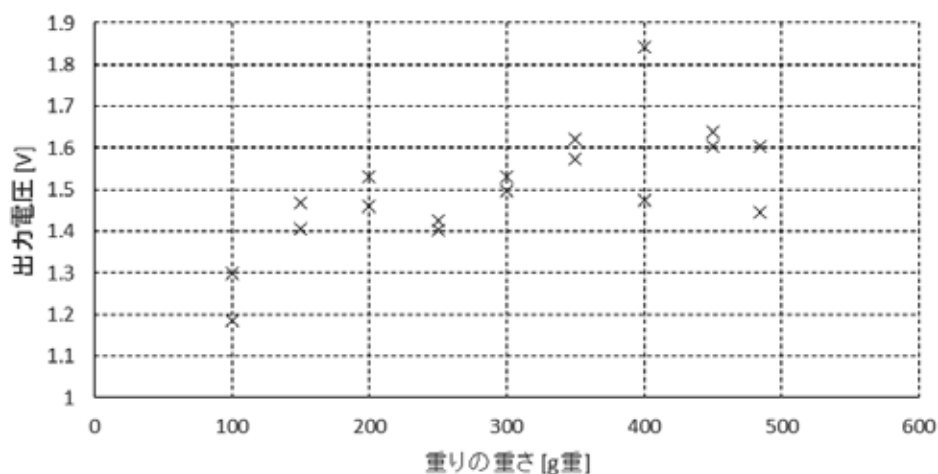


図 10 校正用補助具(2)を使った場合の重さに対する FSR408 の出力電圧

この補助具を用いて実験した結果を図 10 に示す。

結果として接地面の幅を狭めただけでは十分な結果が得られないことが分かった。原因を再検討した結果、補助具の位置ずれの防止や圧力の不均一性の軽減のため、補助具とセンサの間に滑り止めを施すことを考えた。滑り止め用の部材には、厚さ 0.5mm のシリコン樹脂製シートと、厚さ 2.5mm のエラストマー製シート（図 11）を用い、試すこととした。

較正用補助具とセンサの間にシリコン樹脂製シートを挟んで測定した結果を図 12、エラストマー製シートを挟んで測定した結果を図 13 に示す。

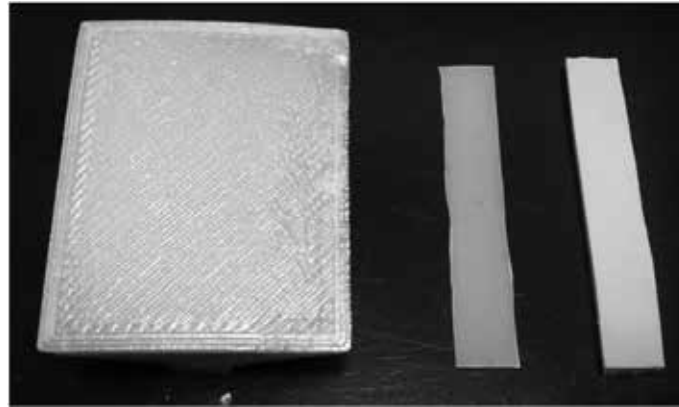
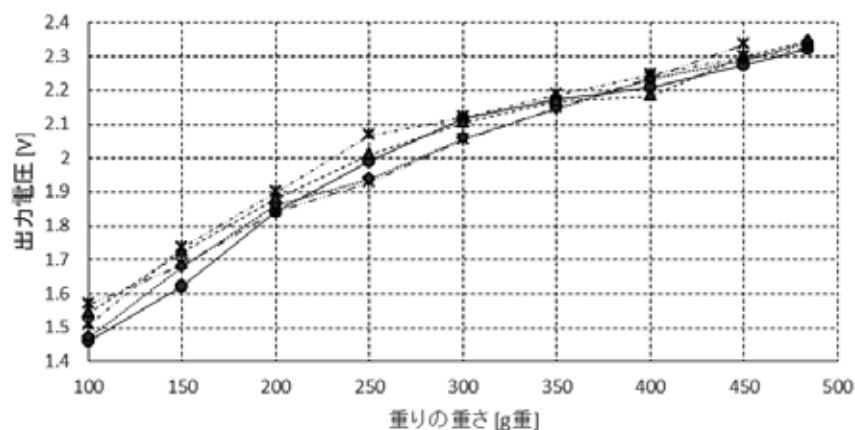
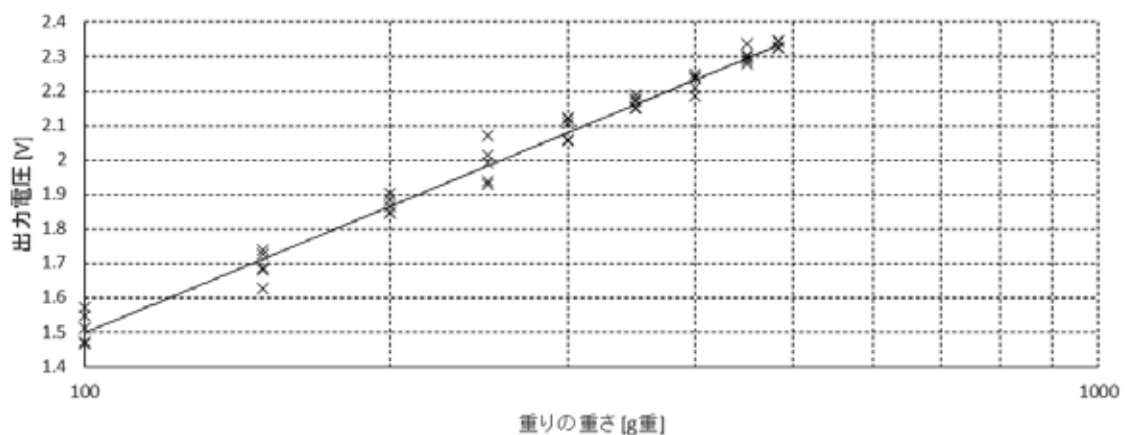


図 11 較正用補助具(2) とシリコン樹脂製シート（中央）、エラストマー製シート（右）

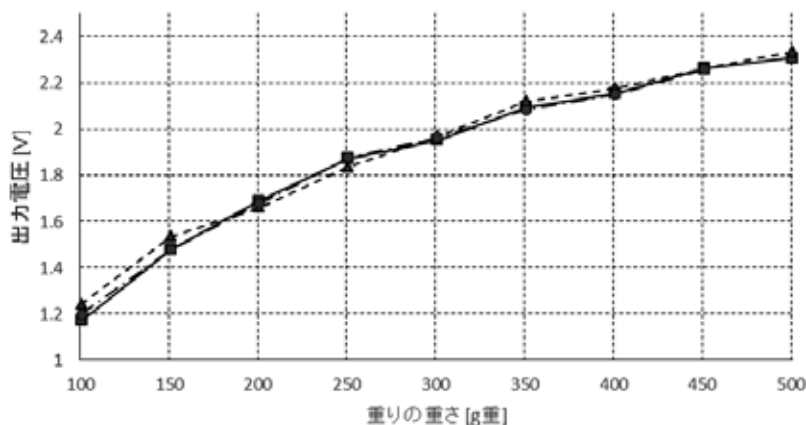


(a) 試行回ごとに折れ線グラフで表したもの

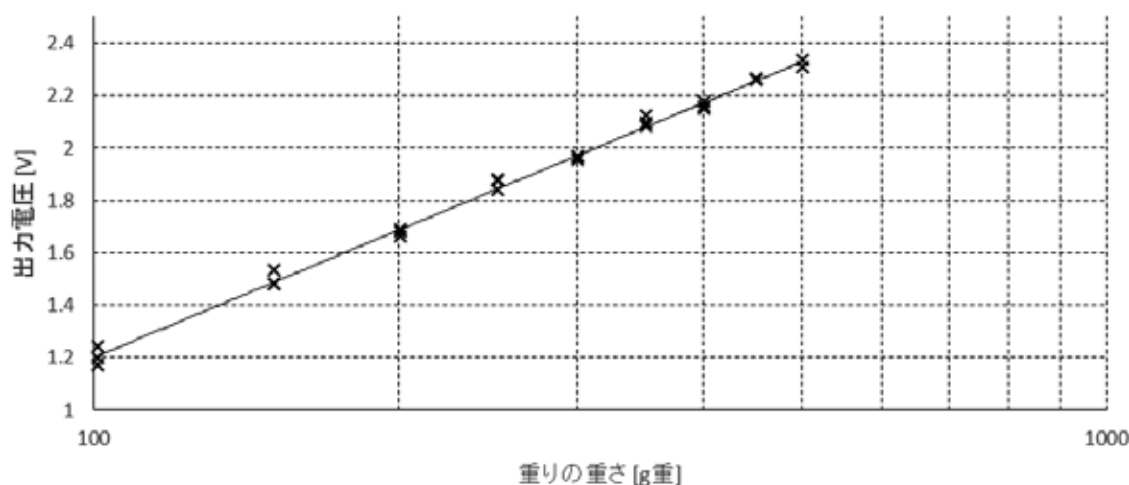


(b) 対数グラフで表し、対数近似の線を示したもの

図 12 較正用補助具(2)とシリコン樹脂製シートを使った場合の重さに対する出力電圧



(a) 試行回ごとに折れ線グラフで表したもの



(b) 対数グラフで表し、対数近似の線を示したもの

図 13 校正用補助具(2)とエラストマー製シートを使った場合の重さに対する出力電圧

その結果、シリコン製シート、エラストマー製シートともに、どの試行回においても重さが重くなるほど FSR408 の出力電圧が高くなる結果が得られ、片対数グラフ上に示すとほぼ直線で近似できることがわかった。

次に、補助具とセンサの接地面の幅よりも補助具の位置ずれや圧力の不均一性が大きな影響を与えていた可能性を考慮し、同様にシリコン製シートを挟むことで当初の 10mm 幅の補助具でも結果が改善されるかについても調べた。この結果が図 14 である。

その結果、8mm 幅の補助具では改善が見られたが、10mm 幅の補助具では改善が見られないことがわかった。よって、接地面 8mm 幅、シリコン製あるいはエラストマー製などの滑り止めを施した補助具を用いて実験することで、校正が行えることが期待できる。

5. まとめ

本稿では、小型圧力センサの校正を行う上での補助具を設計・3D プリントを用いて作成し、校正の試行実験を行ってその実用の可能性を示した。今回は接地面の幅 10mm と 8mm の補助具を用いて実験したが、8mm が最適なのかどうかは検討の余地がある。また今後、500g より大きな重りを用いても校正が行えるか実験を続けていき、最終的には簡便にセンサの校正を行える手

順を確立したい。

さらに、この方式では長尺のセンサの感圧部分全体をカバーするような較正は行えないことから、部分ごとではなく全体の較正方式の検討も並行して行い、看護・介護現場などでの実験で小型圧力センサを実用化できるようにしたい。

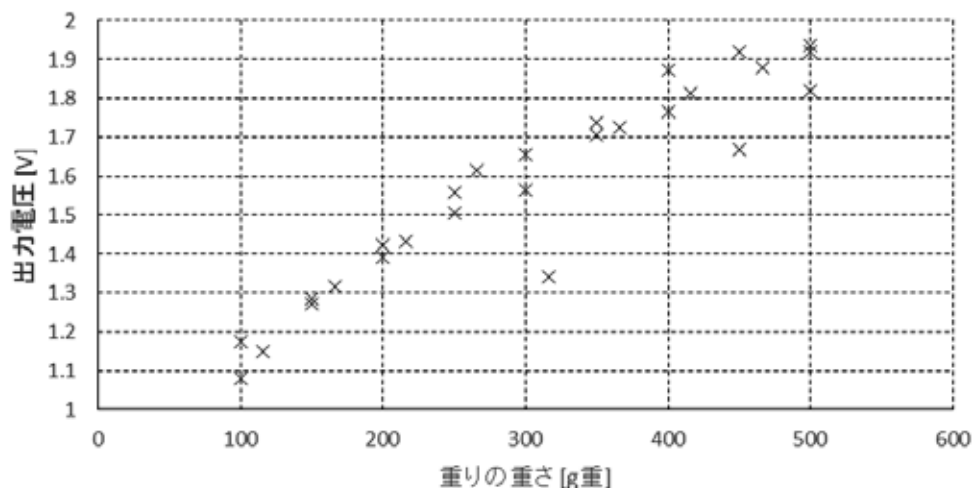


図 14 較正用補助具(1)とシリコン樹脂製シートを使った場合の重さに対する出力電圧

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP15K11475 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] MESH:遊び心を形にできる、アプリとつなげるブロック形状の電子タグ | ソニー <http://meshprj.com/jp/>
- [2] レゴ®マインドストーム LEGO.com <https://www.lego.com/ja-jp/mindstorms>
- [3] biosignalsplux | wearable body sensing platform <http://biosignalsplux.com/index.php/en/>
- [4] Akemi Nomura, Yasuko Ando, Tomohiro Yano, Yosuke Takami, Shoichiro Ito, Takako Sato, Akinobu Nemoto, Hiroshi Arisawa: “Development of a Motion Capturing and Load Analyzing System for Caregivers Aiding a Patient to Sit Upright in Bed”, Signal and Image Analysis for Biomedical and Life Sciences, Springer, pp.127-142, 2015
- [5] 谷本義雄, 難波邦治, 六名泰彦, 山本秀樹: “タクトイルセンサを用いた座面の圧力計測”, 信学技報 MBE96-46(1996-07), pp.7-12, 1996
- [6] 小林真歩, 小泉紫織, 左向敏紀, 松原孝子: “寝たきり状態にある褥瘡発生高齢犬 2 事例の体圧分散の評価”, 動物臨床医学, No.23, vol. 3, pp.124-128, 2014
- [7] Interlink Electronics: “FSR Integration Guide”, Document part number 94-00004 Rev. C

