

## 脱着可能な簡易ハンドセンサによる作業者の把持力推定

○吉田 裕亮\*

\* 地方独立行政法人鳥取県産業技術センター

### Prediction of Grasping Force of Workers by Removable Simple Hand Sensor

○Yusuke Yoshida\*

\*Tottori Institute of Industrial Technology

**Abstract:** We develop a low-cost and removable hand sensor to measure the grasping force of workers. By the load value obtained by effectively arranging the palm tilt and the pressure-sensitive conductive elastomer, to predict the gripping force in the worker at the minimum number of sensors.

#### 1. はじめに

高齢化や世代交代による技術の伝承は、多くの産業分野で重要な課題とされている。技能や技術を把握するためには、言葉や目に見える動作のみならず、状況に応じて細かく変動する荷重量を計測する必要がある。特に技術の伝承に必要な一つとして、技能者や熟練技術者の手作業の指標化が求められている。指標化が可能となれば、熟練作業者と経験の浅い若手作業者の定量的な比較が可能となる。

作業者の動作を把握するツールとしては、モーションキャプチャやセンサグローブ等の数多くの製品が販売されており、要求仕様に基づいて購入することが可能である。また、これらのツールを用いた応用研究も盛んに行われている。

作業状況に応じて細かく変動する荷重量を計測するセンサとしては、Saito<sup>1)</sup>が感圧センサを靴底に配置して荷重分布を計測し、歩行状態の把握を行っている例がある。さらに、手先の荷重量を把握するセンサは、関ら<sup>2)</sup>により感圧センサを手のひら全体に多数配置したグローブが提案されている。関節部分避けて感圧センサが配置されているものの、手を握りしめた時の湾曲により配線に負荷がかかり製品寿命が短いという問題があった。さらに、大村ら<sup>3,4)</sup>は触覚センサにより手のひら全体の荷重量が把握可能なグローブを提案している。手の柔軟な動きにも追従し、優れた応答性も得られている。しかしながら、手のひら全体の荷重量を計測するグローブであるため、片手に1,000個以上のセンサが配置されており高価であることやその構造から容易に脱着することが難しいという問題がある。また、松尾ら<sup>5)</sup>により効果的なセンサ配置について提案されているものの十分なコストダウンには至っていない。これらの課題があることから、手先の荷重量を把握できるセンサは現在のところ製品化されていない。

そこで、本研究では、作業者の把持力を計測するため、低コストかつ容易に脱着可能なハンドセンサを開発する。手のひらの傾きと効果的に配置した感圧導電性エラストマーから得られる荷重量を計測し、最小限のセンサ数で作業者の把持力を推定する手法を提案する。今回は、第一報として、より正確に把持力を推定するため、手のひらの硬度と感圧導電性エラストマーの感度に関する関係性を明らかにし、補正係数を求めることを試みたので報告する。

## 2. センサの基本特性

### 2.1 感圧導電性エラストマー

今回の実験に使用した感圧導電性エラストマーの概要をTable 1に示す。また、センサの外観をFig.1に示す。

Table 1 Sensor overview

メーカー	イナバゴム株式会社
製品名	イナストマー
型式	SF-5-LT
サイズ	5mm×5mm×0.9mm
最大許容負荷	50N



Fig.1 Sensor appearance

### 2.2 手のひらの硬度測定

手のひらの硬度は部位により様々である。硬度の違いによりセンサ感度も異なることが予測され、Fig.2に示す手のひらの各部位について、硬度を測定した。測定箇所は、センサの配置位置を考慮し、手を強く握りしめた場合でも屈曲しない指の腹、指尖球(しせんきゅう)、母指球の三箇所とした。硬度測定には、Fig.3のアスカーゴム硬度計C型(高分子計器株式会社製)を用いて実施した。測定結果をTable 2に示す。

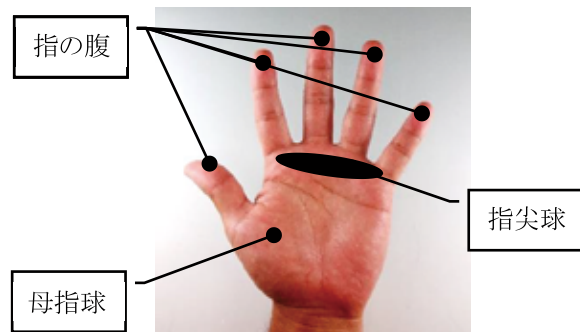


Fig.2 Measuring point



Fig.3 durometer

Table 2 Result of hardness test

部位	アスカーC型硬度 [度]
指の腹	5
指尖球	15
母指球	5

### 2.3 センサの感度評価

センサの感度評価は、オートグラフ(株式会社島津製作所製)を用いた圧縮試験により、荷重量とセンサの抵抗値を計測することにより実施した。手のひらにセンサを取り付けた状態を模擬するため、圧縮試験

機の圧子とセンサの間に硬度が異なる(4, 15, 20, 30 度)厚さ 5 mmの緩衝材を配置した. 試験条件として, 圧子の降下速度は, 1.6mm/minとし, 各測定を 2 回行った. 装置外観をFig.4 に示す.

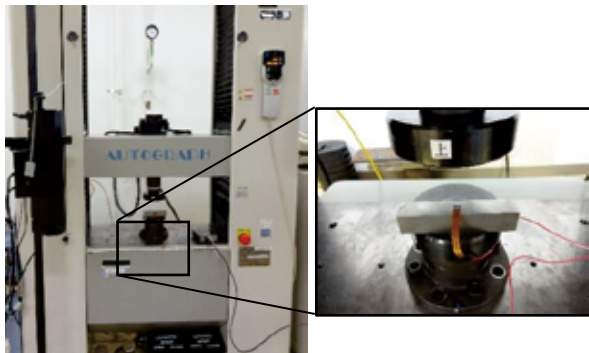


Fig.4 Appearance of equipment

測定結果をFig.5 に示す. 横軸に圧縮荷重量, 縦軸にセンサから出力される抵抗値を示している. これより, 緩衝材の硬度が低くなるにつれ感度が低下し, 同荷重時の抵抗値が高くなっていることがわかる. ただし, 硬度 20 以上になると感度にほとんど変化がなく, 硬度の影響が無いことがわかった. また, ヒステリシスは, すべての硬度で荷重を抜いていく時に荷重量に対する抵抗値が大きくなる傾向にあった. 2 回の測定結果にばらつきはなかった.

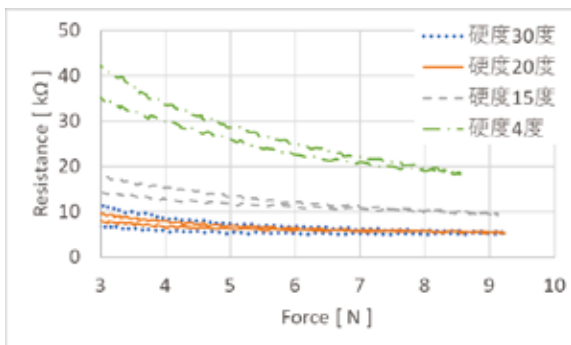


Fig.5 Measurement result

感度が低下した硬度 15 度と 4 度の抵抗値を硬度 20 度の抵抗値に補正することを試みた. 補正係数を求めるため, 各硬度の緩衝材のばね定数とセンサの抵抗値に比例する圧縮試験時の圧子の移動量(以下, ストローク)の関係を調べた. 横軸をばね定数, 縦軸をストロークとした時の結果をFig.6 に示す.

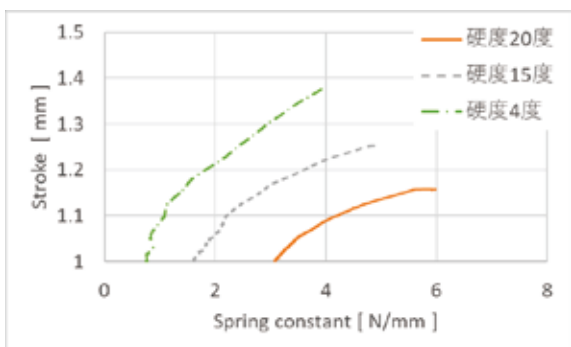


Fig.6 Spring constant vs. Stroke

これより, ストローク量は, 緩衝材のばね定数の 2 乗に比例することがわかった. よって, センサ出力の抵抗値をR, 荷重量が無限大時における抵抗値の漸近値を $R_{\infty}$ , 緩衝材の硬度をHとしたとき, 補正後の抵抗値CRは式(1) で表すことができる. ただし,  $H \leq 20$  とする.

$$CR = (R - R_{\infty}) \times \left(\frac{H}{20}\right)^2 + 5 \quad (1)$$

補正後の結果をFig.7 に示す. これより, すべての硬度で良好な一致を示した.

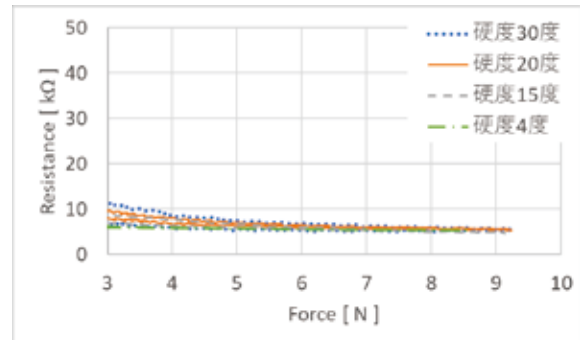


Fig.7 After correction

### 3. おわりに

本実験では, 手のひらの硬度と感圧導電性エラストマーの感度に関する関係性を明らかにするとともに, 提案した方法により良好な補正を行うことができた. 今回は, 水平面上の計測を実施したが, 今後, 傾斜角度との関係性を明確にし, 感圧導電性エラストマーの基本特性を把握した上で, 手袋型にセンサを配置し補正係数を求める必要がある. さらに, 把持力推定の精度と応答性について計測を行い, 製品化の可否について検討する.

### 参考文献

- 1) M. Saito, K. Nakajima, C. Takano, Y. Ohta, C. Sugimoto, R. Ezoe, K. Sasaki, H. Hosaka, T. Ifukube, S. Ino, K. Yamashita: An in-shoe device to measure plantar pressure during daily human activity, *Medical Engineering & Physics* 33 pp.638-645 (2011)
- 2) 関喜一, 下条誠, 佐藤滋, 高橋昭彦: 高柔軟性をもつ把持圧力分布センサの開発, 計測自動制御学会論文集, Vol.31, No9, pp1528-1530 (1995)
- 3) 大村吉幸, 鷺阪隆志, 長久保晶彦, 國吉康夫, 尾崎和行: フレキシブル基板に埋め込まれた小型・柔軟触覚センサ, 第 29 回日本ロボット学会学術講演会 (2011)
- 4) 鷺阪隆志, 大村吉幸, 長久保晶彦, 國吉康夫, 尾崎和行: 皮膚の変形に追従する高密度触覚センサグローブ, *日本ロボット学会誌*, Vol.30, No.7, pp.711-717 (2012)
- 5) 松尾一矢: 触覚と力覚を用いた手作業の認識に関する研究, 九州大学博士論文 (2010)