

令和 6 年 6 月 24 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H03289

研究課題名（和文）フレキシブルシートセンサを用いた複雑な手指機能評価のための3次元感圧センサの開発

研究課題名（英文）Development of 3D touching sensor for the evaluation of finger function

研究代表者

青山 朋樹（Aoyama, Tomoki）

京都大学・医学研究科・教授

研究者番号：90378886

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,300,000円

研究成果の概要（和文）：摘まむ、握るといった機能的動作は粗大な評価は存在するが繊細な定量評価動作は存在しない。産業技術総合研究所において開発したフレキシブルシートセンサを用いて、複雑な形状の3次元感圧センサを開発することで、ヒトの高度な手指の機能評価方法を開発する事を目的とした。ペットボトル（キャップ及びボトルボディ）型の3次元感圧センサ試作を行い、妥当性評価、信頼性評価を行った。ボトルボディの妥当性検証は高い結果を得られたが、キャップの妥当性検証は中程度の相関を認めた。信頼性についてはボトルボディでは高い結果を得たが、キャップでは低い結果であった。今後はキャップ部分のセンサ数を増やすなどの工夫が必要と考えられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

さまざまな疾病によって手指の機能障害が生じるが、リハビリテーション現場においては手指の形態、筋力や可動域などの基本運動機能、感覚機能、握力などの複合運動評価、ペグボードなどの課題遂行能力評価等で行い、これらの評価結果に基づき、リハビリテーションプログラムを立案し、実施している。しかし、生体動作における摘みや握りといった動作については定量評価できる技術がなかった。本研究においては複雑な形状を持つペットボトル型の3次元形状センサを試作し、コンセプトの妥当性を検証した。この結果、高い妥当性、信頼性を得るデータを得ることができたことから、複雑な3次元形状センサを開発する意義を示すことができた。

研究成果の概要（英文）：Functional movements such as pinching and grasping exist for robust assessment, but not for sensitive quantitative evaluation movements. The aim of the project was to develop a method for evaluating advanced human hand functions by developing a 3D pressure-sensitive sensor with a complex shape using a flexible sheet sensor developed at the National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST). Prototype 3D pressure-sensitive sensors in the form of plastic bottles (cap and bottle body) were developed, and validation and reliability evaluations were conducted. High results were obtained for the validation of the bottle body, while a moderate correlation was observed for the validation of the cap. High reliability results were obtained for the bottle body, but low results were obtained for the cap. It was considered necessary to increase the number of sensors in the cap part in the future.

研究分野：リハビリテーション医学

キーワード：手指機能評価 フレキシブルセンサ

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

手には多様な機能があり、日常生活の動作を行う上で必要不可欠なものである。また握力およびピンチ力は簡便で定量的な評価が可能のため、臨床場面における評価として広く使用されている。一方で、従来の握力計やピンチ力計は、接触時の限られた手の範囲で力が測定されていることなどから適切な握力が測定できないといった指摘がある。そのため生活上でよく見られる円筒型のデバイスを作ることで適切な力を測定する試みがされてきた。

### 2. 研究の目的

これまで開発されてきた機器は片手の力を計測するものが主であったが、両手動作の重要性も指摘されている。しかしこれらの握りと手指の力を1つのデバイスで、正確に測定できる機器は未だ開発されていない。よって本研究においては、手の力とつまむ力の両方を同時に測定できる機器であるボトルセンサを開発し、検証する事を目的とした。

### 3. 研究の方法

両手動作を測定するために日常生活でも用いられるペットボトルを模したボトル型センサを開発した。ボトルセンサには、ナイロン樹脂で3Dプリントしたペットボトル(厚さ1mm)を使用した(図1)。キャップの直径は28mm、円周は87mm。シート面積は223×118mm、センサ1個あたりの面積は7×7mm(49mm<sup>2</sup>)、センサ数は429個(キャップ:9個、ボディ:420個)、データはビットレート30Hzでコンピューターに転送した(図2)。

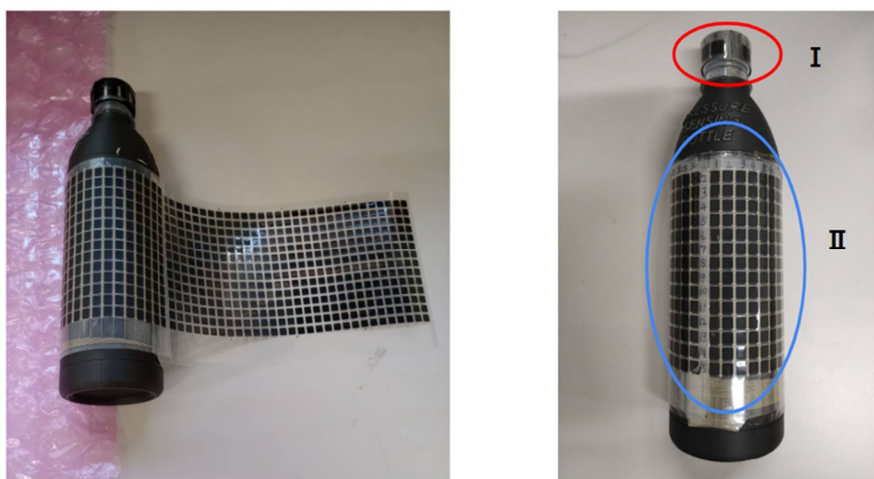


図1 ボトルセンサの構成図

Iはキャップ部分。本研究では、母指と人差し指で趾を挟む力を測定する。IIは胴体部分である。本研究では、円筒状に握ったときの力を測定した。

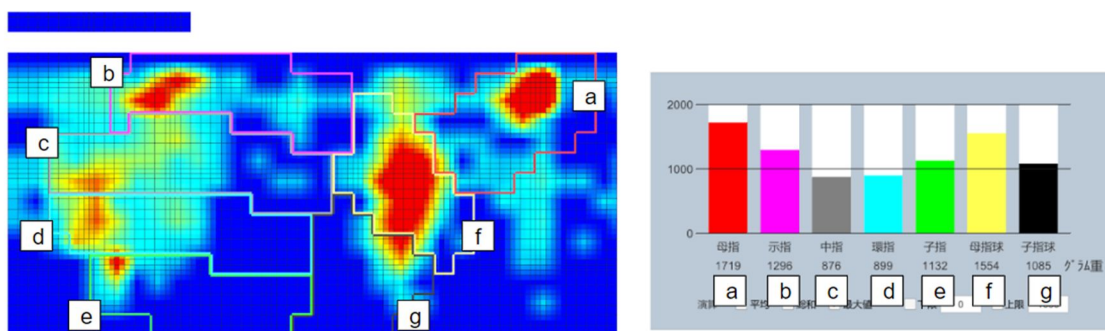


図2 ボトルセンサシステムの荷重分布図

a: 母指、b: 人差し指、c: 中指、d: 薬指、e: 小指、f: 母指球、g: 小指球。

検証する対象は18歳以上の健常者とし、妥当性の検証では21名、信頼性の検証では10名の合計31名を対象とした。

検証および信頼性チェックのために2つのパートに分けて実施した。最適なグリップポジションは、American Hand Therapy Associationの基準<sup>1)</sup>に従い、座位で、肩関節の屈曲と伸展は0°、肘関節の屈曲は90°で行った。検証のため、握力計(Exacta™ Hydraulic Hand Dynamometer: REF

NC70142)とピンチフォースゲージ(Baseline® Hydraulic Pinch Gauge)を用い、利き手と非利き手の最大握力(以下、グリップ)と最大ピンチ力(以下、ピンチ)を測定した。ピンチは片手ずつ測定した。グリップとピンチの測定は、30秒間隔で5秒間行った。ボトルセンサの本体部分とキャップ部分についても同様の手順で、利き手と非利き手の最大出力を片手ずつ測定した。握力計、つまむ力計、胴体部分、キャップ部分の測定順序は、各参加者にランダムに割り当てられた。

統計解析には Pearson の相関係数もしくは Spearman の相関係数を用いて比較した。信頼性の検証では intraclass correlation coefficient (ICC)2-3 を用いて解析を実施した。

#### 4. 研究成果

##### 1) ボトルセンサの妥当性検証

握力計とボディ部分の比較では、利き手で相関係数が  $r = 0.7558$ 、非利き手で  $r = 0.9195$  と中程度から強い相関関係が有意に見られた(図3)。

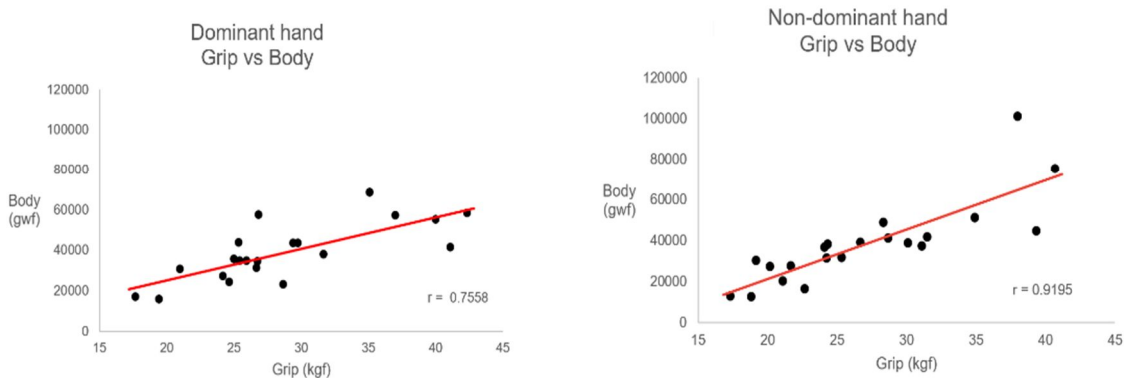


図3 握力とボトルセンサの相関  
左：利き手 右：非利き手

##### 2) キャップセンサの妥当性検証

ピンチ力計とキャップ部分の比較では相関係数が利き手では  $r = 0.6193$ 、非利き手では相関係数  $r = 0.6967$  と中程度の相関関係が有意に見られた(図4)。

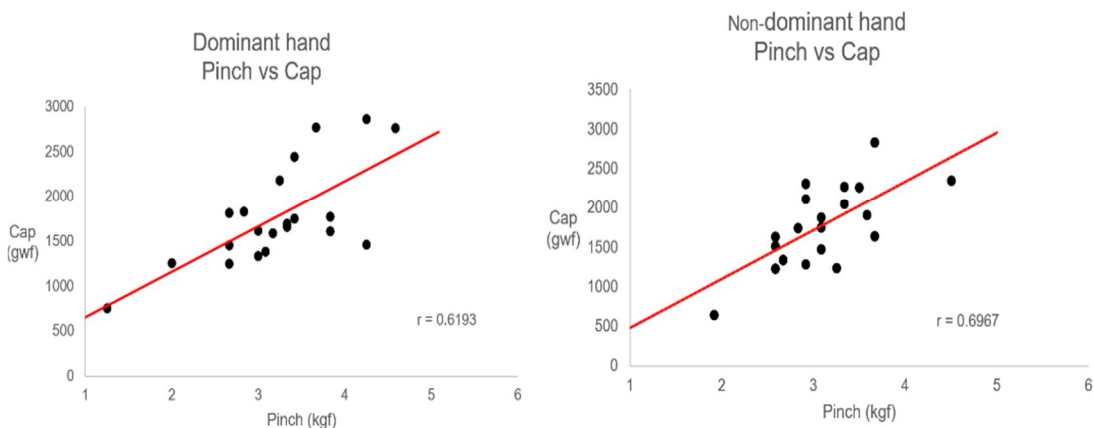


図4 ピンチ強度とキャップセンサの相関  
左：利き手 右：非利き手

##### 3) 信頼性の検証

日間の信頼性に関して、ボトルセンサのボディ部分では利き手で、 $ICC = 0.844$  ( $95\%CI = 0.31 ; 0.97$ )、非利き手で  $ICC = 0.874$  ( $95\%CI = 0.44 ; 0.97$ )と高い信頼性が見られた。しかしボトルセンサのキャップ部分では利き手で  $ICC = 0.463$  ( $95\%CI = -1.38 ; 0.88$ )、非利き手で  $ICC = 0.723$  ( $95\%CI = -0.23 ; 0.93$ )と信頼性は認められなかった。

##### 4) 結果の考察

今回の結果から、妥当性の検証に関して、ボトルセンサは握力計、ピンチ力計、共に相関がみられ妥当性があることが示された。

一方で信頼性の検証に関して、ボディ部分は高い信頼性が見られたのに対して、キャップ部分の信頼性は充分でなかった。これはボディ部分とキャップ部分のセンサの数が違うことが影響していると考えられる。また、今回開発したボトルセンサに関して、センサ面は摩擦力の低い樹

脂シートで覆われていた。これにより指の滑りを感知するために、感覚フィードバックの調整を使い出力を弱めてつまみを行った可能性が考えられ、面積が小さく把持が不安定になりやすいキャップ部分において、最大出力を出すという条件が変動しキャップ部分の信頼性が低くなった可能性がある。今回の試作においては低い信頼性の結果となったが、今後はキャップ部分のセンサ数を増やすなどの工夫が必要と考えられた。

#### 4) 研究結果の総括

本研究の結果を総括するとボトルセンサでは、本体とキャップの間に中程度から非常に強い相関が観察された。胴体部は高～中程度の信頼性を示したが、キャップ部は低い信頼性を示した。これはセンサの数と素材の摩擦によるものと考えられる。キャップのさらなる改良が必要である。しかし、多くのセンサを持つ本体は有効性と信頼性を示し、様々な手の力を経時的に測定できることが示された。今後、キャップ内のセンサ数を増やす、摩擦の大きい素材を使用するなどの改良を加えることで、日常動作、末梢神経障害、脳卒中など、臨床のあらゆる場面での両手運動の評価が可能になると考えられる。

#### 引用文献

1. MacDermid J, Solomon G, Fedorczyk J, Valdes K. Clinical assessment recommendations 3rd edition: Impairment-based conditions. American Society of Hand Therapists; 2015.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Mukaiyama K, Irie K, Takeda M, Yamashita R, Uemura S, Kanazawa S, Nagai-Tanima M, Aoyama T	4. 巻 41
2. 論文標題 Load distribution and forearm muscle activity during cylinder grip at various grip strength values.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Hand Surg Rehabil	6. 最初と最後の頁 176-182
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.hansur.2021.12.010	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Mukaiyama K, Irie K, Takeda M, Yamashita R, Uemura S, Kanazawa S, Nagai-Tanima M, Aoyama T.	4. 巻 22
2. 論文標題 Load distribution and forearm muscle activity during cylinder grip at various grip strength values.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Hand Surg Rehabil	6. 最初と最後の頁 S2468
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.hansur.2021.12.010.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 向山耕平、入江啓輔、山下礼華、竹田将克、下浦佳奈子、谷間桃子、青山朋樹
2. 発表標題 円筒把握時の把握力の大きさによる圧分布と前腕筋活動の特徴
3. 学会等名 第5回日本リハビリテーション医学会秋季学術集会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	植村 聖  (Uemura Sei)  (50392593)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・エレクトロニクス・製造領域・研究チーム長    (82626)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	入江 啓輔  (Irie Keisuke)  (50792264)	京都大学・医学研究科・講師    (14301)	
研究分担者	金澤 周介  (Kanazawa Shunsuke)  (60783925)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・主任研究員    (82626)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関