

センサ車椅子による介護者支援システムの構築に向けた 圧力布センサの利用検討

林 千尋^{1,a)} 榎堀 優^{1,b)} 間瀬 健二^{1,c)}

概要: 車椅子を利用しながら生活する高齢者の中には身体機能の低下により椅子上での姿勢の保持・調整ができず褥瘡の発生や椅子からの転落といった危険因子が存在する。これらを防ぐためには介護者による補助が必要であるが、継続的な見守りは負担が大きく、その介護負担の軽減が望まれている。本研究では椅子利用者のモニタリングを実現するセンサ車椅子を開発することでこの問題を解決することを目標としている。本稿では圧力布センサを車椅子に組み込み、プロトタイプを用いた姿勢推定実験を行うことで、センサ車椅子の開発に向けた圧力布センサの利用検討を行った。推定実験では圧力布センサから抽出した特徴が椅子上での姿勢の崩れと高い相関を示すことを確認した。

Suitability Investigation of E-textile Pressure Sensor for Posture Change Support Wheelchair

CHIHIRO HAYASHI^{1,a)} YU ENOKIBORI^{1,b)} KENJI MASE^{1,c)}

Abstract: Some elderly people using a wheelchair have risk factors such as the occurrence of pressure ulcer and fall from a chair because they can not maintain and adjust posture on a chair due to deterioration of physical function. In order to solve these problem, assist of care givers, such as continuous watching and posture adjustment, are necessary. However, load of such cares are too heavy. Thus, we are developing a sensor wheelchair to detect user's posture and assesses occurrence risk of pressure ulcer and fall. In this paper, we installed an e-textile pressure sensor into a prototype wheelchair and checked suitability of the e-textile sensor in this use case. From the experiment, we succeeded to confirm that the features extracted from the e-textile pressure sensor have high correlation, all $\rho > 0.8$, for the correct postures measured with motion capture system.

1. はじめに

車椅子を利用しながら生活する高齢者は加齢や障害などによる身体機能の低下により、姿勢の保持や調整ができなくなり、椅子上で不良姿勢を取ってしまったり、不良姿勢から姿勢を正すことができなかつたりと、褥瘡の発生や椅子からの転落の発生リスクが存在する。こうした車椅子利用における高齢者のリスク軽減には、介護者による継続的な見守りが必要であるがこれは介護者にとって負担が大き

い。特別養護老人ホームなど多対一の介護が必要な現場では目が行き届かない可能性があり、転落などの事故を未然に防げない可能性もある。

この問題に対し、本研究ではセンサを組み込んだ車椅子を利用した介護者支援システムを構築して車椅子を利用する高齢者の状態を介護者にフィードバックすることで、遠隔でのモニタリングや多対一の見守りを実現して介護負担の軽減を図る事を目標としている。本稿では仙骨座りを想定して圧力布センサに組み込んだセンサ車椅子のプロトタイプを用いた車椅子利用者の前方ずれ量の推定を行い、圧力布センサによる見守りが可能かどうか確認する。

本稿の構成は以下のようになっている。第2節では椅子のセンサ化に関する研究について述べる。第3節では本研

¹ 名古屋大学大学院 情報科学研究科
Graduate School of Information Science, Nagoya University

a) chayashi@cmc.ss.is.nagoya-u.ac.jp

b) enokibori@is.nagoya-u.ac.jp

c) mase@nagoya-u.ac.jp

究で使用される圧力布センサと作成したセンサ車椅子のプロトタイプについて述べる。第4節ではプロトタイプを用いた姿勢計測と前方ずれ量の推定実験の結果について述べる。第5節では本研究のまとめと今後の研究の課題について述べる。

2. 関連研究

椅子のセンサ化に関する研究では様々なセンサを椅子に組み込み、椅子利用者の状態をセンシングする研究が盛んに行われている。Martinらはデスクワーク中の姿勢モニタリングの実現に向け、空気圧センサを組み込んだ椅子を開発し姿勢分類によりその性能を評価している。評価実験では50人から計測したデータを使い、性別や体重などの身体的特徴を考慮したシステムにより足を組む姿勢や前にかがむ姿勢など椅子上での12姿勢を分類している[1]。また、Fardらは車椅子生活をする人々を対象としたモニタリングを実現するために圧電素子を用いて椅子上での姿勢を計測して姿勢毎に異なる圧力パターンを確認した[2]。Xuらは椅子への設置が容易で16×16点の圧力計測が可能なクッションを用いて椅子上での7つの姿勢を分類している[3]。Chengらはデスクチェアの4本の支柱の裏にそれぞれに圧力センサを取り付け姿勢の変化に伴う支柱への負荷の分布の偏りから椅子利用者の姿勢や動作を分類している[4]。

これまでに行われてきたイス型センサを用いた研究の多くは日常的に使うイスやオフィス用デスクチェアを対象としており、その評価も椅子上での異なる姿勢の分類に留まっており、詳細な姿勢の状態をモニタリングには至っていない。介護者支援を実現するためには車イスを用いたイス型センサの開発や介護現場で発生する問題に合わせたモニタリングシステムの開発・評価が必要である。また、先行研究で椅子利用時の圧力計測をするために圧電素子を用いている研究もあるが実利用を考慮した際、汚損などの恐れから低コストで使い捨て利用が可能な点を考慮し本研究では圧力布センサを用いたセンサ車椅子の開発を試みる。

3. 圧力布センサを用いたプロトタイプの作成

本研究では島上らが開発した圧力布センサを用いる[5]、[6]。この圧力布センサは図1のように導電性繊維を非導電性繊維でくるんだものを縦糸と横糸の一部に利用しており、それらが交差する各点で、静電回路を構成している。布に圧力が加わると縦横の導電糸間の距離が変化するので、それに伴う静電容量の変化を読み取って各点の圧力に変換する仕組みを用いている。センシング領域が導電糸と非導電糸のみで作られているためクッションの質感を損なわずにセンサ椅子を構成でき、安価なため汚損などによる使い捨てもしやすい。また、導入も容易で材料費のコストが低く大量生産ができるという利点がある。過去の応用例としてベッドシーツサイズの圧力布センサを用いて就寝時の姿勢

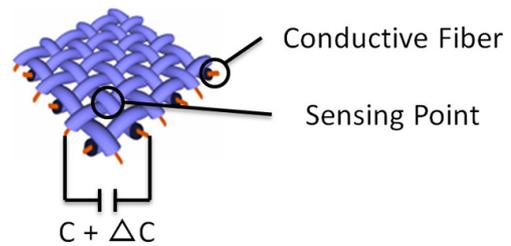


図1 圧力布センサの計測点の構造
Fig. 1 Structure of Sensor



図2 センサ車椅子のプロトタイプ
Fig. 2 Prototype of Sensor Wheelchair

をセンシングし、姿勢特徴を抽出し、組み合わせることで就寝時の姿勢を分類した研究も行われてきた[7]。

本研究では車椅子の座クッション及びバックサポートの部分にサイズを合わせた圧力布センサを作成し、センサ車イスを構成する。図2に本研究で作成したセンサ車椅子のプロトタイプを示す。センサは座クッション、バックサポートの表面の耐水性布地と内部にあるスポンジの間に挟まれており、座クッション、バックサポートに組み込むセンサはそれぞれ20×20の計測点を持つ。また、圧力布センサに接続された銅線ケーブルは椅子利用者の邪魔にならないように車椅子の後方に回り込ませ、計測回路へ接続している。図3に示すように、Bluetooth接続でスマートフォンやタブレット端末にデータ送信し、計測中の圧力布センサへの圧力分布の確認やデータ収集ができる。

4. 圧力布センサを用いた前方ずれ量の推定実験

椅子利用者の姿勢の崩れ方を表す一つの基準として仙骨座りに着目する。仙骨座りは図4に示すように骨盤を後傾させ仙骨で体重を支える座り方である[8]。腰痛や褥瘡の



図 3 姿勢の計測例

Fig. 3 Sample of Measurement Posture



図 4 仙骨座りの例 ([8] より引用)

Fig. 4 Picture of Sacral Sitting

原因ともなるため、できるだけ仙骨座りにならないように適切な椅子を選び、正しい姿勢をとる必要がある。仙骨座りは体が徐々に椅子前方にずれていく姿勢であるため、本研究では圧力布センサから取得した計測値による椅子利用者の前方ずれ量の推定を試みる。前方ずれ量の真値はモーションキャプチャで人体及び車椅子に取り付けたマーカーの動きから生成し、圧力布センサから取得した計測値を用いてその推定を行う。

4.1 計測設定

本実験では成人男性 3 名のデータを用いる。各被験者に車椅子に腰かけた状態から姿勢を崩す動きを指示し、車椅子に組み込まれた圧力布センサで椅子への圧力を計測した。同時に被験者と車椅子に図 5 に示す位置にマーカーを取り付け、モーションキャプチャによる計測も同時に行った。表 1 に各マーカーに割り振った ID と詳細な位置につ

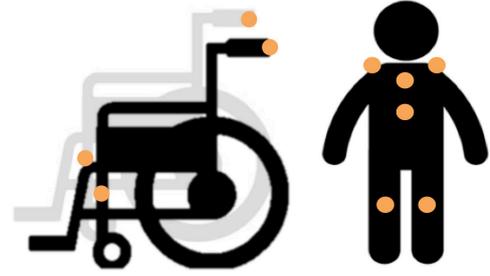


図 5 マーカーの取り付け位置

Fig. 5 Marker Position

表 1 各マーカーの ID と取り付け位置

Table 1 List of Marker ID

No.	ID	装着位置
1	$M_{hnd,r}^{wh}$	車椅子の右手ハンドル
2	$M_{hnd,l}^{wh}$	車椅子の左手ハンドル
3	$M_{pl,r}^{wh}$	車椅子の座面下部の支柱 (右側)
4	$M_{pl,l}^{wh}$	車椅子の座面下部の支柱 (左側)
5	$M_{sh,r}^p$	人体の右肩
6	$M_{sh,l}^p$	人体の左肩
7	$M_{st,u}^p$	人体の胸骨上部
8	$M_{st,b}^p$	人体の胸骨下部
9	$M_{kn,r}^p$	人体の右足の膝
10	$M_{kn,l}^p$	人体の左足の膝

いてまとめる。各マーカー M は式 1 に示すようにそのマーカーの時刻ごとの 3 次元位置をまとめた行列である。

$$M = \begin{bmatrix} x_t & y_t & z_t \end{bmatrix} \quad (1)$$

姿勢を崩す動きは以下のように指示をした。

- 車椅子に深く腰掛け背筋を伸ばした姿勢をとる (基本姿勢)
- バックサポートにもたれかかり体を椅子前方に段階的にずらし、姿勢を崩していく。
- 被験者の判断で、姿勢が崩せなくなる位置まで体をずらしたら、再び基本姿勢に戻る。
- この姿勢を崩す一連の動きを正面方向 10 回、斜め左右各方向 5 回ずつ行う。この時、被験者は各方向ごとに定められた前方の注視点を見ながら動き、斜め左右については動く方向と逆方向についている車椅子の肘掛にもたれかかりながら斜め前にずれる。
- ずれる動きを計測した後、再び基本姿勢に戻り、そのまま体を前方に屈める姿勢を基本姿勢 → (3 秒) → 前屈み姿勢 → (3 秒) → 基本姿勢と計 6 回計測する。

4.2 データセットの作成

120Hz のモーションキャプチャの計測データを圧力布センサと同じ周波数である 8Hz までダウンサンプリング

し、次に目視で圧力布センサのデータと時刻同期を行った。これにより各時刻における圧力布センサとモーションキャプチャのデータが一対一で対応するデータセットを作成した。次に本実験で不要なデータの削除を行った。先の計測では被験者が椅子に腰掛けていない時刻が存在する。これについては車椅子に取り付けた4点のマーカ- $M_{hnd,r}^{wh}, M_{hnd,l}^{wh}, M_{pl,r}^{wh}, M_{pl,l}^{wh}$ の重心位置と被験者の両肩、両膝につけた4点のマーカ- $M_{sh,r}^p, M_{sh,l}^p, M_{kn,r}^p, M_{kn,l}^p$ の重心位置の2点間の距離を計算し、閾値を超える時刻については車椅子と被験者が離れている状態と見なしてデータセットから取り除いた。また、モーションキャプチャのマーカ-の追跡ができていない時刻のデータも削除した。

4.3 前方ずれ量の算出

仙骨座りによる前方ずれ量を取得するため、人体の両肩と両ひざに付けたモーションキャプチャのマーカ- $M_{sh,r}^p, M_{sh,l}^p, M_{kn,r}^p, M_{kn,l}^p$ から姿勢の変化を追跡し、姿勢のずれ量を算出する。

4.3.1 椅子座標系への変換

姿勢特徴の算出をするためにまず前処理として床面に水平な xy 平面の回転処理をかけ、図6のように床面と水平で車椅子のバックサポートからフットレストに向かう方向を x' 軸とし、 x' 軸と直行する床面と水平な方向を y' 軸となるように回転処理を施す。回転処理をするために車椅子につけた4点のマーカ- $M_{hnd,r}^{wh}, M_{hnd,l}^{wh}, M_{pl,r}^{wh}, M_{pl,l}^{wh}$ から世界座標軸での車椅子の向き D^{wh} を式2より算出する。 D^{wh} は各時刻における床面と水平な面での車椅子の向きを持つ。なお式中の関数 cnt は2点のマーカ-の xy 平面での中央位置を求める関数である。

$$D^{wh} = cnt(M_{pl,r}^{wh}, M_{pl,l}^{wh}) - cnt(M_{hnd,r}^{wh}, M_{hnd,l}^{wh}) \quad (2)$$

次に D^{wh} の各時刻 t での車いすの向きと x 軸が成す角度を式3により求め、時刻 t における回転角度 θ を求める。式3における \mathbf{X} は x 軸方向を示す単位ベクトルである。さらに式4により、時刻 t におけるマーカ- \mathbf{M} に回転処理を施す。これにより図6のように各時刻におけるマーカ-の x 軸, y 軸が椅子座標系 x' 軸, y' 軸になるように変換する。

$$\theta_t = \text{Arccos}\left(\frac{D_t^{wh} \cdot \mathbf{X}}{|D_t^{wh}| |\mathbf{X}|}\right) \quad (3)$$

$$\begin{pmatrix} x_t^{M'} \\ y_t^{M'} \\ z_t^{M'} \end{pmatrix}^T = \begin{pmatrix} x_t^M \\ y_t^M \\ z_t^M \end{pmatrix}^T \begin{pmatrix} \cos\theta_t & -\sin\theta_t & 0 \\ \sin\theta_t & \cos\theta_t & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

次に人体に装着したモーションキャプチャから姿勢特徴として、姿勢の崩れ具合を取得する。姿勢特徴は式5より

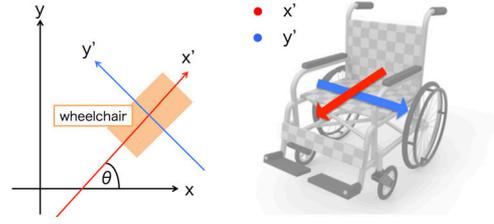


図6 xy 平面の回転処理

Fig. 6 Rotation Processing of $x-y$ Plane

算出する。式中の $M_{kn,r}^{ip}, M_{kn,l}^{ip}, M_{sh,r}^{ip}, M_{sh,l}^{ip}$ は人体の両肩と両膝に取り付けたマーカ-位置を x' 軸, y' 軸に変換したものである。

$$D^p = cnt(M_{kn,r}^{ip}, M_{kn,l}^{ip}) - cnt(M_{sh,r}^{ip}, M_{sh,l}^{ip}) \quad (5)$$

式5より時刻 t における人体の向き及びその大きさが式6に示す2次元のベクトルとして取得できる。回転処理を施しているため式6の x'_t がそのまま車椅子の前方方向に体がずれている量を表している。本実験では時刻 t における x'_t の値を前方ずれ量を示す値とした。

$$D^p = [x'_t, y'_t] \quad (6)$$

4.4 重心特徴の抽出

圧力布センサから抽出する姿勢特徴として椅子上での姿勢の変化に伴い変化する座クッション、バックサポートにかかる圧力の重心位置に着目する。例えば、姿勢が崩れ腰部が前にずれている状態はイスに深く腰掛けている状態に比べ椅子にかかる負荷が椅子の前方に集中している。本研究ではこの負荷の偏りを重心として抽出し、前方ずれ量の推定に利用する。式7で示す圧力布センサから得られた x 行 y 列の圧力分布マトリクス \mathbf{P} に対し、式8により重心特徴 \mathbf{C}_P を求める。式8における P_{sum} は圧力分布マトリクス \mathbf{P} の全要素の和である。これを座クッション、バックサポートそれぞれのマトリクスに適応し重心特徴を生成する。

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} p_{1,1} & p_{1,2} & \cdots & p_{1,y} \\ p_{2,1} & p_{2,2} & \cdots & p_{2,y} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{x,1} & p_{x,2} & \cdots & p_{x,y} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\mathbf{C}_P = \left(\frac{\sum_{i=1}^x i \sum_{j=1}^y p_{i,j}}{P_{sum}}, \frac{\sum_{j=1}^y j \sum_{i=1}^x p_{i,j}}{P_{sum}} \right) \quad (8)$$

重心特徴の例を図7に示す。図7の左側の図はある被験者が椅子に深く腰掛けている時の圧力分布マトリクスであ

り、赤い箇所ほど強い圧力がかかっていることを示している。また黒色の実線の交点が重心位置である。椅子に深く腰掛けているため、座面の重心は椅子のバックサポート側に寄っていることがわかる。

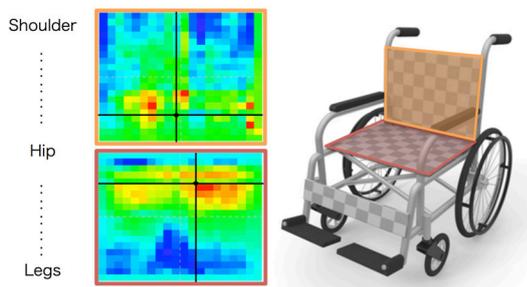


図 7 重心特徴
Fig. 7 Centroid Feature

4.5 前方ずれ量の推定実験

先に算出した前方ずれ量を目的変数、重心特徴を説明変数とした回帰分析を行う。回帰分析で出力された前方ずれ量の推定値とモーションキャプチャのデータから算出した前方ずれ量との相関係数を求め、圧力布センサから前方ずれ量の推定が可能か確かめた。次に2人分のデータで前方ずれ量を推定するモデル式を生成し、残りの1人分のデータで推定を行う1人抜き交差検定を行った。

被験者ごとの回帰分析の出力結果を図8,9,10に示す。推定値と真値の相関係数、及びその時のp値について表2、表3にまとめる。

実験の結果、どの被験者においても相関係数が0.8を超え強い相関を示した。またp値も $p < 0.05$ と姿勢の崩れ具合を表す姿勢特徴と圧力布センサから抽出した重心特徴との間に優位な関係があることが示された。1人抜き交差検定においても、個人ごとに最適化した場合と比べて低い傾向にあるが、二人について0.79、一人について約0.68

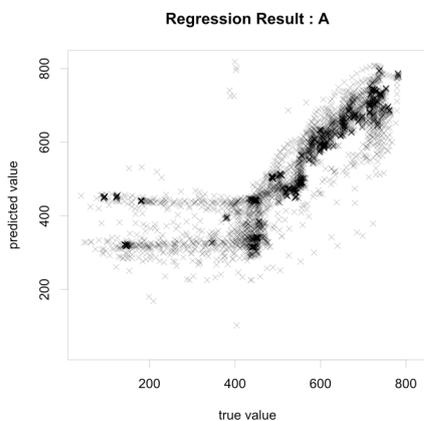


図 8 推定結果:被験者 A
Fig. 8 Regression Result : A

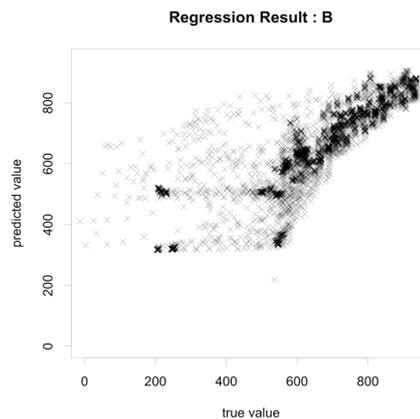


図 9 推定結果:被験者 B
Fig. 9 Regression Result : B

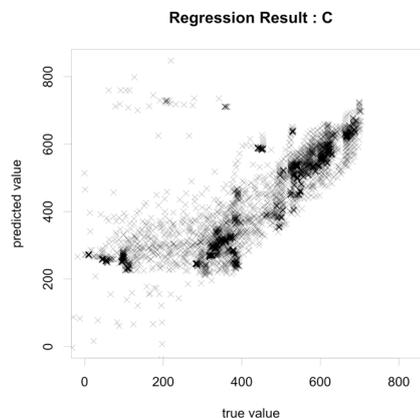


図 10 推定結果:被験者 C
Fig. 10 Regression Result : C

表 2 推定値と真値との相関
Table 2 Correlation between Estimated Value and True Value

被験者	相関係数	p 値
A	0.8990	$p < 0.05$
B	0.8667	$p < 0.05$
C	0.8249	$p < 0.05$

表 3 1人抜き交差検定の結果
Table 3 Cross-Validation Results

学習	テスト	相関係数	p 値
B,C	A	0.7970	$p < 0.05$
A,C	B	0.6801	$p < 0.05$
A,B	C	0.7839	$p < 0.05$

という相関が得られた。また、図8,9,10からどの被験者でも数値化した前方ずれ量が大きいときの推定はできているが、前方ずれ量が小さいときの推定結果が横ばいとなりうまくいっていないことが示された。

4.6 考察

どの被験者においても圧力布センサから抽出した重心特徴と姿勢の崩れ具合を表すモーションキャプチャのマーカーから求めた姿勢特徴に高い相関関係が示され、介護者支援システムの構築に向けたセンサ車椅子の開発において圧力布センサを利用することの有用性を示すことができた。1人抜き交差検定では被験者が自身のデータを使って推定を行った時よりも相関係数が低くなっているのは、今回の前方ずれ量推定モデルでは個人差の影響が残ったままであることが考えられる。姿勢特徴として用いた姿勢の崩れ具合を示すずれ量は被験者の両肩と両膝に取り付けたマーカーより算出しているため、体格の影響を受けやすいと考えられるため、椅子利用者の体格に影響されない特徴の抽出や正規化処理が必要である。

前方ずれ量が小さいときの推定がうまくいっていないのは、仙骨座りによる前ずれとは関係がない前屈み姿勢や椅子に座りなおす動作中の姿勢もデータセットに含まれていたからと考えられる。モニタリングを実現させるためには椅子利用者がどういう姿勢を取っているか大まかに分類してからその姿勢の詳細な状態をするといった段階的な処理が必要である。

5. 結論と今後の課題

本研究では車椅子を対象とした介護者支援システムの構築に向けて、車椅子に圧力布センサを組み込んだプロトタイプを用いて圧力布センサの利用検討を行った。モーションキャプチャから求めた前方ずれ量の真値に対し圧力布センサのから抽出した重心特徴を用いた推定では高い相関を示し、車椅子に組み込んだ圧力布センサが椅子利用者の状態の判定に有用である可能性が示された。

今後の課題は、詳細な姿勢状態の判定の実現である。今回の実験では姿勢状態の一つとして前方ずれ量の推定を行ったが、実際に介護者支援システムとして使っていくためには椅子利用者の状態をより細かく追跡できる必要がある。今後の課題として詳細な姿勢状態を推定するアルゴリズムの実装とその評価実験が挙げられる。

謝辞 本研究は総務省 SCOPE 地域 ITC 振興型の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] Martins, Leonardo, et al. "Optimization of Sitting Posture Classification based on Anthropometric Data." (2016).
- [2] Fard, Farve Daneshvar, Sahar Moghimi, and Reza Lotfi. "Evaluating Pressure Ulcer Development in Wheelchair-Bound Population Using Sitting Posture Identification." *Engineering* 5. 10 (2013): 132.
- [3] Xu, Wenyao, et al. "ecushion: An etextile device for sitting posture monitoring." 2011 International Conference on Body Sensor Networks. IEEE, 2011.

- [4] Cheng, Jingyuan, et al. "Smart Chair: What Can Simple Pressure Sensors under the Chairs' Legs Tell Us about User Activity." *UBICOMM13: The Seventh International Conference on Mobile Ubiquitous Computing, Systems, Services and Technologies*. 2013.
- [5] 島上祐樹, et al. "センサ織物の生体計測分野への応用." *あいち産業科学技術総合センター研究報告 2* (2014): 94-97.
- [6] Enokibori, Yu, et al. "E-textile pressure sensor based on conductive fiber and its structure." *Proceedings of the 2013 ACM conference on Pervasive and ubiquitous computing adjunct publication*. ACM, 2013.
- [7] 林千尋, et al. "布圧力センサを用いた睡眠時の姿勢分類." *研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア (CVIM) 2016*. 7 (2016): 1-6.
- [8] 「高齢者・車椅子の座位で多い仙骨座り(せんこつずわり)のイラスト・図・フリー素材」
<https://otakiyama.com/sozai/illustration/senkotusuwari/>
(2016/12/26 アクセス)