

圧力布センサを利用した 衣類型デバイスとシーツ型デバイスの比較検討

小野瀬 良佑^{1,a)} 榎堀 優^{1,b)} 間瀬 健二^{1,c)}

概要: ウェアラブルな生体情報計測において衣類や日用品へセンサを組み込む場合、布や糸そのものでセンサ機能を実現する手法が衣類の特徴を損なうことなく、また、既存の製品作成手順から大きく乖離せずにセンサ機能を組み込むことから、発展が期待されている。我々のプロジェクトでは、褥瘡の予防を目的として、圧力分布を計測可能な布を開発し、シーツに応用することで就寝時に身体にかかる圧力を計測できるデバイスを開発してきた。しかし、体圧分散のためのクッションなど利用者とベッドの間に挟むケアなどを実施すると、シーツ型デバイスでは身体にかかる正しい圧力の計測が困難であった。そこで我々は、シャツ型・ズボン型等の衣類型圧力センサを作成し、この問題の解決にあたって先行的な計測実験を行った。計測した圧力を可視化した結果、ベッドと利用者の間にクッションを挟んだ場合に、シーツ型センサでは確認できなかった部位が、衣類型センサでは確認できることがわかった。

Comparison of E-Textile-Based Pressure Sensor Cloth and Sheets

RYOSUKE ONOSE^{1,a)} YU ENOKIBORI^{1,b)} KENJI MASE^{1,c)}

Abstract: E-textile sensors are suitable for integrated into daily necessities including clothes. Such e-textile sensors do not lose good characteristics of clothes, such as flexible, good touch feel, and so on. In our project, we developed an e-textile based pressure sensor and applied it for pressure ulcer protection bed sheets. The bed sheets measure body pressure during sleeping and estimate developing risk. A problem of the sheets is, collision with a care using body pressure dispersion pillow that putting between human body and bed. With the care, the sheets cannot measure correct pressure added for subjects' skin. Therefore, we developed cloth-type sensors (shirt and pants) with the same e-textile pressure sensor. We visualized measured pressure with cloth-type and sheet-type sensors when user sleeps putting pillow between user and bed. In this experiment, the cloth-type sensor succeeded to observe the part of body pressure which could not be observed using sheet-type sensor.

1. はじめに

健常者の場合、無意識に寝返りを打ったり、座る姿勢を変えることで身体の同一箇所には長時間一定以上の圧力がかからないようにしている。身体の同一箇所には長時間一定以上の圧力が加わると、皮膚の細胞に十分な酸素や栄養が行き渡らなくなり、皮膚の一部に炎症が起こる褥瘡を発症することがある。生活介護において

は、褥瘡予防は一つの重点目標に挙げられる。

そこで我々のプロジェクトでは、圧力布センサを用いたベッドシーツによる褥瘡発生リスク低減を試みてきた。我々の圧力布センサは導電性の糸を用いて織られた布で、縦糸と横糸間の静電容量を計測することにより、圧力を計測することができる。センサに使われる布は、一般的な平織りされた布と特性が変わらず、肌に馴染み、通気性があるために、日常的な人体のセンシングに向くものである。一方で、特別養護老人ホームにおける計測実験から発見された課題として、利用者とシーツの間に枕などを挟む体圧分散ケアなどを用いると、利用者の身体に加わる正しい圧力が検知できないことがある。

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

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

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

c) mase@nagoya-u.jp

そこで本研究では、圧力布センサで衣服を作成し、着衣型の圧力センサとすることを試みた。本手法では、シーツに写像された利用者の圧力ではなく、利用者上にかかる圧力を直接計測することで、この問題の解決を図ることができる。

本稿では、まず、関連研究について述べる。次に、実験で用いる圧力布センサについて説明する。作成した衣類型センサと、シーツ型センサについて言及した後、利用者とシーツ間に物体を挟んだ時の計測の状況を観察した経過を報告する。

2. 関連研究

衣類にセンサを組み込むことで人体の状態をセンシングする試みは、以前から行われてきた。[1], [2] では布に組み込むことのできる布伸縮センサを用いて、腕に巻くバンドを制作し、筋活動のセンシングを試みた。また、[3] では、ニット地に布センサを配置することで、モニタリングしたい身体の部位を常時計測できるような衣服を提案した。これらの研究は、センサを衣類に組み込むことで衣類型センサを作成しているが、本研究は、圧力センサとして利用可能な布そのものを衣類として縫製した点で異なる。

人体センシングのうち、睡眠中の姿勢や状態をセンシングするための研究は、次のようなものがある。Weimin らは人が横臥している映像とその時にかかる 60 点の圧力値を使ったマルチモーダルな手法で姿勢を分類している [4]。しかし、映像を使ったセンシングは対象者のプライバシーを侵害するため、被介護者が精神的な負荷を感じる恐れがある。Harada らは、圧力分布図を用いて、横臥している人体の動きを追跡するために、3D の骨格モデルを利用して可視化した [5]。これらの研究では、ベッド以外のセンサが必要であり、計測にかかるコストが増大する。

睡眠中にベッドにかかる圧力分布のみを用いた姿勢分類の研究も行われている。[6] では、 32×64 の計測点を持つ圧力センサを用いて、睡眠中の 5 種類の姿勢を推定した。また、Mineharu らは 34×52 の計測点を持つ圧力センサを用いて、9 種類の姿勢を推定した [7]。西田らは 221 個の圧力センサから寝姿勢を推定する手法を提案している [8]。これらの研究では、ベッドにかかる圧力を利用して睡眠時の状態を計測しているため、1 章で述べた利用者の身体に加わる正しい圧力を検知できないという問題を、我々の前手法と同様に抱えている。

圧力や伸縮を計測するための布についての研究としては、次のものがある。[9] では、導電糸を使って編まれた布の縦糸横糸間の静電容量を計測することで、格子状の圧力を計測できる布を提案した。[10] では、クッション状のスパーサを電極で挟み、静電容量を計測することで圧力を図るセンサを提案した。この研究では、計測時に課題となる履歴効果を、提案計測モデルにより緩衝している。

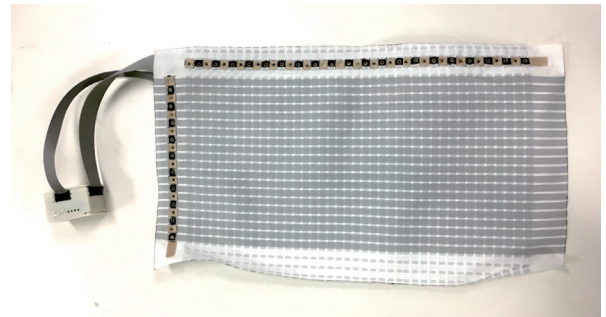


図 1 実験で扱う圧力布センサ

Fig. 1 Textile sensor used in experiments

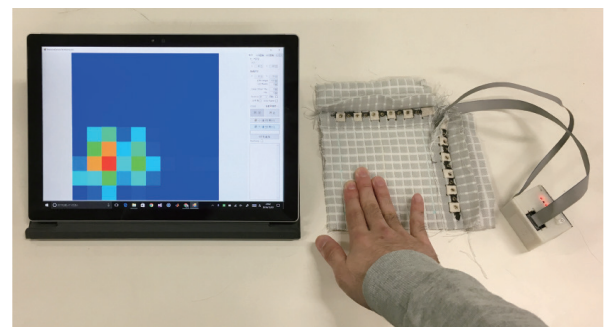


図 2 圧力布センサを用いた計測例

Fig. 2 Measurement example using pressure textile sensor

3. 圧力布センサ

本研究では、文献 [9], [11] で提案された圧力布センサを用いる (図 1)。

図 1 に示すセンサは、一辺が 10mm の 40×20 のマトリクス状の圧力分布を計測できる。このセンサは、導電性繊維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、静電容量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し、それに伴う静電容量の変化を計測して各点の圧力を得る。なお、見かけ上は通常の布と同様であり、一般的な衣類として縫製できる。計測値は読み取り回路から、Bluetooth 通信でノート PC やスマートフォンなどのデバイスへ送信される。

3.1 計測例

10×10 の計測点を持つセンサの計測結果を可視化したものを図 2 に示す。手で布を押下することで圧力をかけている。計測した各点の静電容量値の大きさをヒートマップとして表示することで、圧力分布を視認している。

4. 衣類型センサ

本研究では、シャツ型とズボン型の 2 種類の衣類型センサを作成した。作成した衣類を図 3 に示す。これらの衣類



図 3 作成した衣類型センサ
Fig. 3 The cloth-type sensor we created



図 4 作成したシーツ型センサ
Fig. 4 The sheet-type sensor we created

の素材には、襟、袖、前たて、ポケットを除き、圧力布センサを用いている。電極を設置することで、どの部位でも圧力を計測できるが、本研究では図の破線で示す箇所が計測できるように、配線した。

5. シーツ型センサ

衣類型センサと比較する目的で、関連研究 [12] で示されているシーツ型センサを用いる。計測する条件を衣類型センサと揃えるために、最新の圧力布センサで新たに作成したシーツ型センサを図 4 に示す。79 × 39 のマトリクス状の計測点を持ち、圧力分布を計測可能である。計測可能範囲を図 5 に示す。

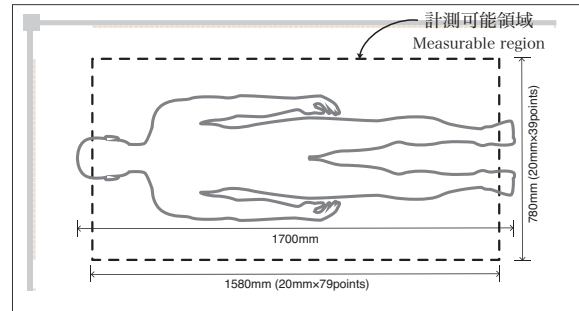


図 5 シーツ型センサの計測可能範囲
Fig. 5 Measurable region of the sheet-type sensor

6. 衣類型センサとシーツ型センサの比較

高齢者介護において、就寝時の褥瘡予防のために、クッションを身体とベッドの間に挿入し、体圧分散を図ることがある。例えば、以下のようなケースがある。

仰臥位における褥瘡対策

就寝中などは、この姿勢で最も長い時間を過ごすため、仙骨部やかかとの圧迫に注意が必要である。仙骨の圧迫を防ぐためには、体圧分散マットを選び、クッションで仙骨を浮かせる。

側臥位における褥瘡の注意

下になった部分に圧迫の強い箇所ができないよう、注意が必要である。

半側臥位による褥瘡対策

仰臥位と側臥位の間での姿勢である。大転子部や仙骨部への圧迫を防止でき、側臥位としては理想的である。クッションを利用し、ベッドに対して 30 度に近い姿勢をとる。

我々の過去の計測結果 [12] では、シーツと利用者とのクッションにより、身体にかかる圧力分布の計測が困難になることが課題であった。そこで本研究では、衣類型センサとシーツ型センサを用いて身体の背面にかかる圧力・比較し、衣類型センサで本課題が解決可能かを検討した。クッションの有無それぞれの状況において、身体にかかる圧力分布を観察した。

6.1 計測手順

まず、被験者は衣類型センサを着用する。衣類型センサは、図 3 に示したシャツ型とズボン型である。着衣例を図 6 に示す。

次に、被験者はシーツ型センサを敷いたマットレス上で、就寝姿勢をとる。被験者は、仰臥位、側臥位の 2 種類の姿勢をとるように教示され、このときシーツおよび衣類にかかる圧力を、被験者の腰とシーツの間にクッションを



図 6 着衣例

Fig. 6 Example of wearing the cloth-type sensors



図 7 被験者に敷くクッション

Fig. 7 The cushion laid on the subject

敷いて行う試行と、何も敷かない試行について、それぞれ計測した。実験で用いたクッションを図 7 に示す。仰臥位では、腰部下にクッションを挿入して仙骨の圧を分散する状態とし、側臥位では背部にクッションを配置して半側臥位の状態として圧の分散を実施した。

6.2 計測結果

被験者 1 名について、実験により得られた圧力を可視化したものを、図 8,9 に示す。図 8,9 の (i) には実験時の風景を、(ii) にはシート型センサで計測した圧力分布を可視化したものを、(iii) には衣類型センサで計測した圧力分布を可視化したものを示す。

図 8 は仰臥位の際の圧力分布を計測している。シート型センサ、衣類型センサの両方において、身体に対して左右均等に圧力が出ており、妥当な結果が出ていると言える。

図 8 の白枠領域 A, B に注目すると、シート型センサではクッションを敷いた箇所の圧力が、敷いていないときの圧力と比べて低くなっていることがわかる。これはクッションにより体圧が分散されているためであり、正常な動作であるが、一方で、形状がクッションの形である長方形となっており、身体にかかる圧力を計測できていないと言いたい。一方、図 8 の黒枠領域 C, D に着目すると、衣類型センサでは、クッションの有無に関わらず、同じような臀部の形状のままに圧力が低減されたことが計測できている。

次に、図 9 は側臥位（上段）および半側臥位（下段）の際の圧力分布を計測している。側臥位では身体が「く」の字を描くが、シート型センサでの計測においても身体の「く」の字の形を計測できている。また、側臥位では身体の右側に圧力がかかるが、衣類型センサの計測においても身体に対して右側を中心に圧力がかかっていることが確認できる。また、衣類型センサにおけるクッションの有無を比較すると、クッションを敷いたときの圧力の方が低い。クッションを敷いた状態である半側臥位の方がベッドに対して身体の角度が浅く、身体の側面にかかる圧力が小さくなるので、この計測結果も妥当であると言える。

図 9 の白枠領域 E に注目すると、シート型センサではクッションを敷いた箇所の圧力がほぼ計測されていない。一方で、図 9 の黒枠領域 F に注目すると、衣類型センサでは、クッションを用いた半側臥位での計測に圧力が見えていくことがわかる。

7. まとめ

過去の研究において、シート型センサで就寝時の姿勢を計測する際に、クッションを利用者とベッドの間に敷くと、身体にかかる圧力の計測が困難になる課題があった。本研究では、衣類型センサを作成し、シート型センサで計測し、その解決を試みた結果と比較した。シート型ではクッションにより計測が妨害されていた身体上の部位が、衣類型センサを用いることで計測できた。このことから、介護の現場において多用されるクッション等を用いた体圧分散ケア中においても、衣類型センサを使うことで被介護者にかかり続ける圧力を正しく計測できる可能性が示唆された。

一方、今回行ったデータの可視化では、ノイズが多く観

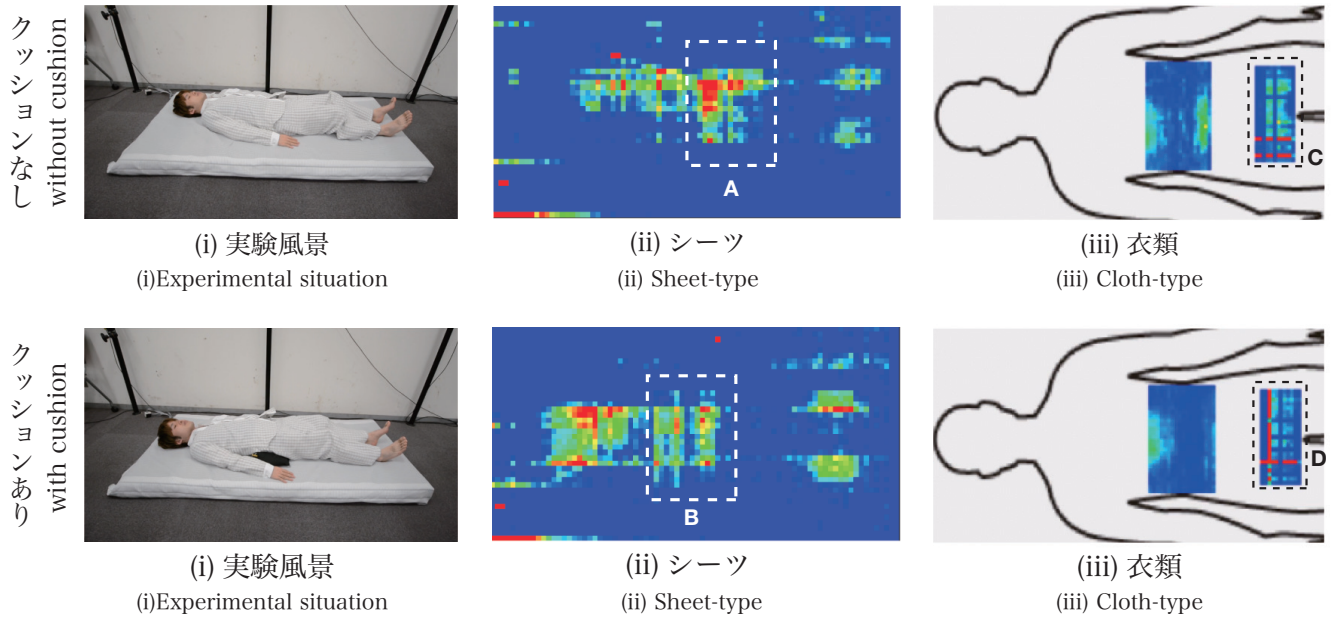


図 8 仰臥位におけるクッションの有無それぞれの圧力分布を可視化した例
 Fig. 8 Visualized sample image of pressure distribution with and without cushion in supine position

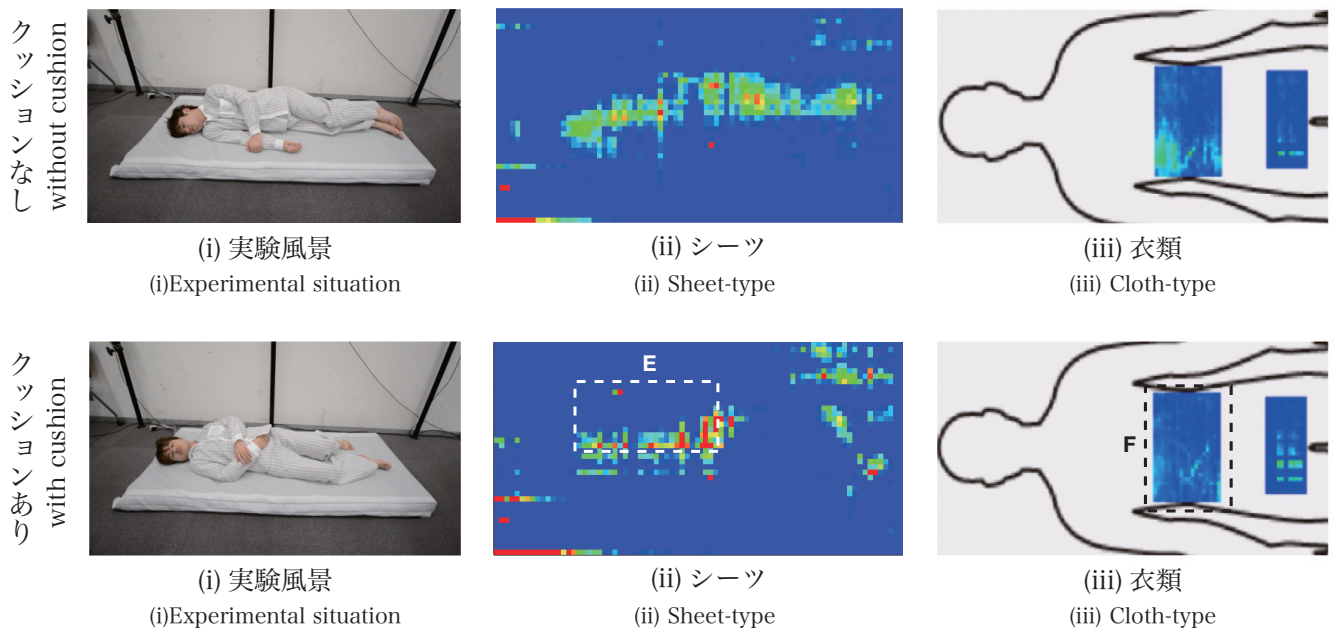


図 9 側臥位におけるクッションの有無それぞれのの圧力分布を可視化した例
 Fig. 9 Visualized sample image of pressure distribution with and without cushion in lateral position

察された。我々のプロジェクトにおける大きな目的は、褥瘡予防のために、同じ場所に一定の圧力がかかり続ける状態を見えるようにすることである。現在のノイズが多く乗っている状況では、機械的に褥瘡リスクを検知すること

が困難である。今後は、適切な信号処理を適用することで、計測時に不必要なノイズを減少させる。また、作成した布センサの接触不良が原因のノイズも散見される。そのために、衣類の機能を損なわないようにしつつ、布と鋼線の接

続箇所の改善する。

謝辞 本研究は、JSPS 科研費 15H02736 の支援を受けたものです。

参考文献

- [1] Oliver Amft, Gerhard Trster, Paul Lukowicz, and Corina Schuster. Sensing muscle activities with body-worn sensors. In *BSN*, pp. 138–141. IEEE Computer Society, 2006.
- [2] Artem Dementyev and Joseph A. Paradiso. Wristflex: low-power gesture input with wrist-worn pressure sensors. In Hrvoje Benko, Mira Dontcheva, and Daniel Wigdor, editors, *UIST*, pp. 161–166. ACM, 2014.
- [3] Rita Paradiso, Giannicola Loriga, and Nicola Taccini. A wearable health care system based on knitted integrated sensors. *IEEE Trans. Information Technology in Biomedicine*, Vol. 9, No. 3, pp. 337–344, 2005.
- [4] Weimin Huang, Aung Aung Phyo Wai, Siang Fook Foo, Jit Biswas, Chi-Chun Hsia, and Koujuch Liou. Multimodal sleeping posture classification. In *Pattern Recognition (ICPR), 2010 20th International Conference on*, pp. 4336–4339. IEEE, 2010.
- [5] Tatsuya Harada, Tomomasa Sato, and Taketoshi Mori. Pressure distribution image based human motion tracking system using skeleton and surface integration model. In *Robotics and Automation, 2001. Proceedings 2001 ICRA. IEEE International Conference on*, Vol. 4, pp. 3201–3207. IEEE, 2001.
- [6] R Yousefi, S Ostadabbas, M Faezipour, M Nourani, L Tamil, and M Pompeo. Posture and limb detection for pressure ulcer prevention. In *Proceedings of the Southern Biomedical Engineering Conference (SBEC)*, 2011.
- [7] Aya Mineharu, Noriaki Kuwahara, and Kazunari Morimoto. A study of automatic classification of sleeping position by a pressure-sensitive sensor. In *Informatics, Electronics & Vision (ICIEV), 2015 International Conference on*, pp. 1–5. IEEE, 2015.
- [8] 西田佳史, 武田正資, 森武俊, 溝口博, 佐藤知正. 圧力センサによる睡眠中に呼吸・体位の無侵襲・無拘束な計測. 日本ロボット学会誌, Vol. 16, No. 5, pp. 705–711, 1998.
- [9] Yu Enokibori, Akihisa Suzuki, Hirotaka Mizuno, Yuuki Shimakami, and Kenji Mase. E-textile pressure sensor based on conductive fiber and its structure. In *Proceedings of the 2013 ACM conference on Pervasive and ubiquitous computing adjunct publication*, pp. 207–210. ACM, 2013.
- [10] Jan Meyer, Paul Lukowicz, and Gerhard Troster. Textile pressure sensor for muscle activity and motion detection. In *2006 10th IEEE International Symposium on Wearable Computers*, pp. 69–72. IEEE, 2006.
- [11] 島上祐樹, 堀場隆広, 田中利幸, 池上大輔, 榎堀優, 間瀬健二, 川部勤, 水野寛隆, 鈴木陽久. 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, pp. 94–97, 2013.
- [12] 林千尋, 原健翔, 榎堀優, 間瀬健二. 布圧力センサを用いた睡眠時の姿勢分類. パターン認識・メディア理解研究会 (PRMU), Vol. 115, No. 414, pp. 41–46, 2015.