

褥瘡看護ケア支援に向けた体表圧を計測可能な衣類型圧力センサの研究

小野瀬 良佑^{1,a)} 榎堀 優¹ 間瀬 健二¹

受付日 2017年12月22日, 採録日 2018年7月10日

概要: 生活介護では、褥瘡予防は1つの重点目標にあげられている。我々のプロジェクトでは、圧力布センサを用いたシーツ型圧力センサを用いて褥瘡発生リスクの推定や低減を試みてきたが、特別養護老人ホームにおける実験では、利用者とシーツ型圧力センサ間に体圧分散クッションを挟むケアにおいて、利用者にかかる体圧を正しく計測できないという課題が散見された。そこで我々は、圧力布センサを縫製して衣類型圧力センサを作成し、体表にかかる圧力を直接計測することで本課題の解決を試みている。本研究では20名の被験者を対象としてシーツ型・衣類型圧力センサに対して体圧分散クッション利用時のシーツ型・衣類型圧力センサを利用した睡眠時姿勢分類を用いて、体表に加わる圧力検出の有効性を比較した。結果、衣類型圧力センサの方が分類精度が高い傾向があるという結果が得られ、体表に加わる圧力検出の有効性に優れていることが示唆された。

キーワード: e-ガーメント, 圧力布センサ, 睡眠時姿勢推定, 褥瘡予防

A Garment-type Pressure Sensor for Pressure-ulcer Care Use: To Measure Pressures on Human Skin

RYOSUKE ONOSE^{1,a)} YU ENOKIBORI¹ KENJI MASE¹

Received: December 22, 2017, Accepted: July 10, 2018

Abstract: Preventing pressure ulcer is one of important issues in nursing cure. Our project has tried to estimate and reduce the risk of pressure ulcer using a sheet-type pressure sensor. However, we found that body-pressure dispersion cushions that were inserted between bed and patient interfere with accurate sensing through preliminary experiments in an elderly care facility. To solve this issue, we are implementing a garment-type pressure sensor that measures directly the pressures that are applied onto the human skin. We compared the detection performance of pressure value put on body surface by evaluating accuracies of posture classification using bed-sheet and garment-type pressure sensors with 20 users. The garment-type sensor could succeeded to classify more accurately than the ones of the bed-sheet-type sensor in the classification task of postures using both of sensors. We confirmed that the garment-type pressure sensor has higher detectionability than the bed-sheet-type sensor when dispersion cushions are inserted.

Keywords: e-garment, textile pressure sensor, sleeping posture estimation, pressure ulcer prevention

1. はじめに

生活介護では、褥瘡予防は1つの重点目標にあげられている。一般社団法人褥瘡学会発行の褥瘡ガイドブック第2

版 [1] によると、褥瘡の原因の1つは、身体の同一箇所において一定以上の圧力やずれ力が長時間かかることである。特に、高齢者や脊椎損傷患者などは、健常者が無意識に行っている寝返りや座位姿勢の調整が十分に行えず、発症に至ることが多い。同ガイドブックでは、介護老人福祉施設においては、ベッド上で寝返りを打てず褥瘡発症のリスクを持つ被介護者が75%にのぼると報告されている。また、褥瘡発生リスクの高い被介護者は、2時間以内の間隔で体位を変

¹ 名古屋大学大学院情報学研究科
Graduate School of Informatics, Nagoya University, Nagoya,
Aichi 464-8601, Japan

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

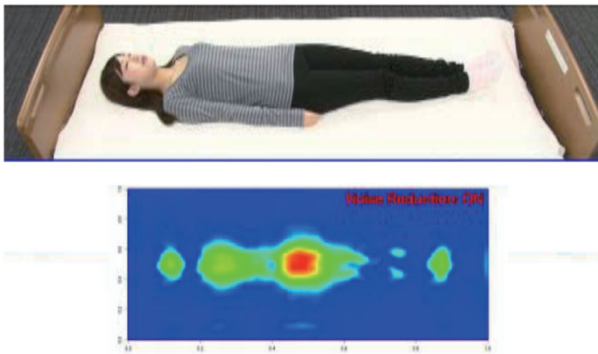


図 1 シーツ型圧力センサ利用例

Fig. 1 Measurement example using bed-sheet-type pressure sensor.

換する看護が推奨されている。この2時間に1回の体位変換は深夜であっても継続的に実施する必要がある、人体という重量物を移動させることとあわせ、労働負荷の高い看護となっている。そのためか、介護老人福祉施設では2時間以内の体位変換が行われている割合は25.3%と低い。一方で、実際の褥瘡発生リスクの上昇具合は被験者ごとに異なり、リスクの上昇量をセンサなどで取得できれば、体位変換の間隔を最適化して看護負荷を低減できる可能性があり、ひいては実施率の上昇にもつながると考えられる。

我々は、圧力布センサを構成したシート型圧力センサを用いて褥瘡発生リスクの推定や低減を試みてきた[2]。図1に利用例を示す。シート型圧力センサを通常のシートと同様に配置し、睡眠時にベッド面にかかる体圧を計測することで、同じ部位に長時間高い圧がかかっていないかなどのモニタリングが可能となり、褥瘡発生リスクが推定可能となる。しかし、特別養護老人ホームにおける実験から、利用者とシート型圧力センサの間に体圧分散クッションを挟むケアが実施されたり、手足や背骨の拘縮によってシート面への当たり方が個人で異なったりするなど、利用者の体表に加わる正しい圧力を直接計測できない状況が散見された[3]。そのために、高圧部位の特定が困難となったり、褥瘡発生リスクの推定が正しく行えなくなったりする状況があることが判明した。

そこで我々は、圧力布センサを用いて作成した衣類型圧力センサ[4]を用いることで、体表に加わる圧力を直接計測することを試みた。本稿では、その構成および特徴について述べる。また、20名の被験者を対象とし、シート型と衣類型圧力センサを比較した結果についても述べる。両センサを利用した睡眠時姿勢分類を用いて、体表に加わる圧力検出の有効性を比較した結果、衣類型圧力センサの方が、分類精度が高い傾向があった。このことから、我々の提案している衣類型圧力センサの方が、体表に加わる圧力値の変化をより明確に検出できていることが示唆された。

以下、本稿では、2章で、関連研究について議論し、3章で、利用した圧力計測デバイスの概要を述べる。4章で、

体圧分散クッションによる計測の阻害例を示す。5章で、データの収集方法について言及した後、6章で、評価に用いる特徴量と検定方法の選択について述べる。7章で、シート型圧力センサと衣類型圧力センサを利用した睡眠時姿勢分類を用いて、体表に加わる圧力検出の有効性を比較した結果の報告とその考察について述べ、8章では本稿の結論を述べる。

2. 関連研究

Berlowitzら[5]によると、褥瘡発生の要因は、阻血性障害、再灌流障害、リンパ系機能障害、細胞・組織の機械的変形が複合的に関与すると指摘している。また、褥瘡の分類を示した最新のものとして、米国褥瘡諮問委員会、ヨーロッパ褥瘡諮問委員会により制定されたガイドライン[6]が、病態の理解に役立てられている。

同一姿勢の継続時間判定などに利用できる睡眠中の姿勢や状態をセンシングする研究は、褥瘡予防にも応用できる。Huangらは人が横臥している映像とそのときにかかる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[7]。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。

睡眠中にベッドにかかる圧力分布のみを用いた姿勢推定の研究も行われている。Yousefiらは、 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[8]。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[9]。西田らは221個の圧力センサから睡眠時姿勢を推定する手法を提案している[10]。一方、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[11]。これらの研究では、ベッドにかかる圧力を利用しているため、圧力分散クッション利用による利用者の身体に加わる正しい圧力を検出できないという前述の問題を、我々と同様にかかえている。

衣類にデバイス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。文献[12]、[13]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。Paradisoらは、ニット地に伸縮布デバイスを配置することで、身体の部位を常時計測できるような衣服を提案した[14]。体表に加わる圧力を計測するものとしては、Leongらの研究がある。3層からなる圧力布靴下を利用し、義足ユーザへのフィードバックを試みた[15]。また、Fooらは、パンツに導電糸を配線し、抵抗値を計測することで、漏れの位置と時間の検出を試みた[16]。しかし、全身の体表にかかる圧を計測できるデバイスの提案や、また、褥瘡予防に使った場合の効果を検証は十分になされていない。

3. 利用した圧力計測デバイスの概要

3.1 圧力布センサ

本研究で用いた布センサと構成例を図 2 に示す。本センサは、文献 [2], [17] で提案された圧力布センサである。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、それにほぼ応じて縦横の導電糸間の距離が変化し、それにともなう静電容量の変化を計測して各点の圧力を得る。一般的な平織りの布と同様に、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好適である。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。

本センサで用いている導電性繊維はサンダーロンであり、その周囲をポリエステルでカバーするように撚糸して絶縁してから織り上げている。サンダーロンは、水洗いによっては抵抗値が大きく変化せず、中性洗剤を用いた洗濯では 40 回の洗濯で 1 cm あたり 0.1 Ω の素材に対して 0.9 Ω 程度の抵抗増加、ドライクリーニングでは同条件で 0.2 Ω 程度の抵抗増加にとどまる*1。そのため、相当回数の洗濯を経ても導電性を損なうことはなく、数十回の洗濯ごとにキャリブレーションを実施するなどの対策で機能を維持できるものと考えられる。

縦横の導電糸間の静電容量値は、導電ペースト、ハトメ、アメリカンホックなどを用いて接続した信号線を介して布センサに接続された静電容量計測デバイス (図 2(b)) により計測される。アメリカンホックなどを使って布部分とデバイスを接続すると、布部分のみの洗濯が可能である。静電容量計測デバイスのサイズは 113 × 50 × 17 mm である。リチウムポリマーバッテリーを電源としており、完全充電からの連続動作時間は 5~6 時間である。計測値は Bluetooth 通信でノート PC やスマートフォンなどへ送信できる。

計測開始後、無加圧状態を最小値、手で強く押下した状態を最大値とし、相対的な静電容量値の高低をヒートマップ

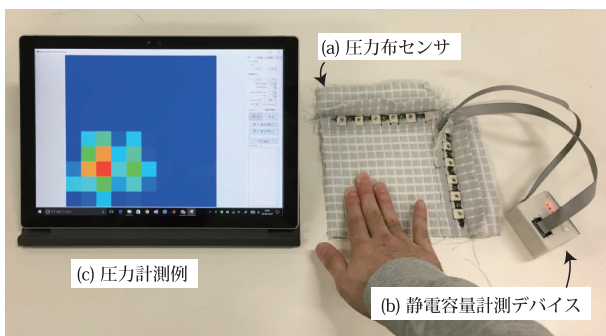


図 2 圧力布センサの構成例

Fig. 2 Composition example of textile pressure sensor.

*1 サンダーロンの物性・比抵抗と他繊維との比較: <http://www.sanmo.co.jp/technology/Function/thunderon3.html> (最終アクセス: 2018 年 5 月 1 日)

プとして圧力分布を可視化した例を図 2(c) に示す。本実験でシート型圧力センサの実装に用いた布センサは、図 3 に示すように、感圧部が 7.5 mm 角の正方形であり、感圧部間隔は 2.5 mm、中心点間距離は約 10.0 mm である。衣類型圧力センサの実装に用いた布センサは感圧部の設計が異なり、感圧部が 10 mm 角の正方形であり、感圧部間隔は 10 mm、中心点間距離は約 20 mm である。

3.2 シーツ型圧力センサ

本研究で用いたシート型圧力センサを図 4(a) に示す。本センサは、79 × 39 個のマトリクス状の計測点を持つ。シート型圧力センサの計測面積と計測可能な点数の制約から、導線接続部の隣接している 2 つの点を短絡し、感圧部が 17.5 mm 角の正方形となり、感圧部間隔は 2.5 mm、

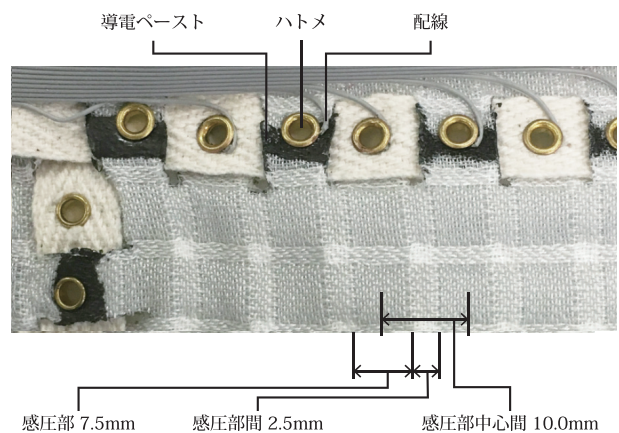
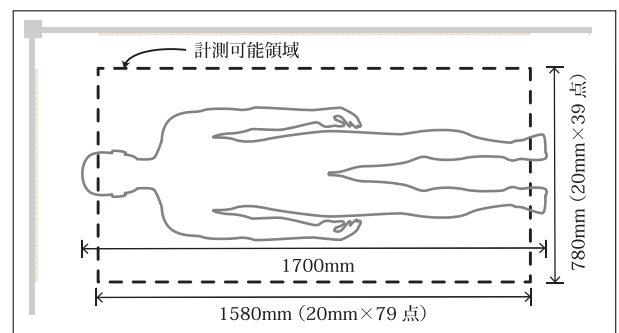


図 3 圧力布センサの設計

Fig. 3 Design of textile pressure sensor.



(a)



(b)

図 4 作成したシート型圧力センサ

Fig. 4 The sheet-type pressure sensor.

中心点間距離は約 20.0 mm となった。したがって、計測可能範囲は図 4 (b) に示すように、1,580 mm × 780 mm である。余剰部をマットレスの下に巻き込むようにして、通常のシートと同様に配置して計測を実施する。

3.3 衣類型圧力センサ

本研究で用いた衣類型センサを図 5 に示す。本センサは、シャツとズボンの 2 部位からなる。各部位のサイズを表 1 に示す。端的に言えば、一般的な男性用着衣の M サイズとほぼ同じである。これらの衣類の素材には、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。本研究では褥瘡好発部位である仙骨付近や脇腹を覆うため、図の破線で示す箇所が計測できるように配線した。なお、衣類型圧力センサのシャツ、ズボンはそれぞれ 18 × 31, 12 × 23 個のマトリクス状の計測点を持つ。感圧部間の距離が約 10 mm の圧力布を用いているため、感圧部中心間の距離は 20 mm である。したがって、計測可能範囲は図 5 (b), (d) に示すように、それぞれ 360 × 520 mm, 240 × 460 mm

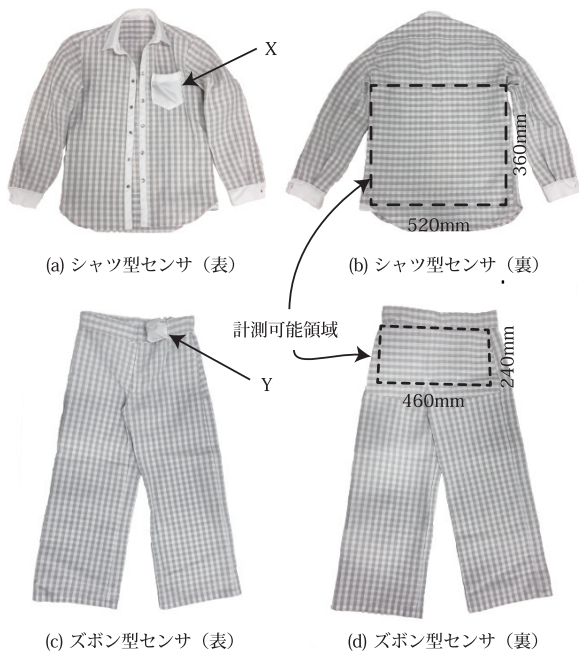


図 5 作成した衣類型圧力センサ

Fig. 5 The garment-type pressure sensor.

表 1 衣類型センササイズ詳細

Table 1 Sizing details of the garment-type pressure sensor.

シャツ部		パンツ部	
着丈	61.0 cm	ウエスト	41.0 cm
肩幅	41.5 cm	股上	30.0 cm
身幅	52.5 cm	股下	70.0 cm
そで丈	58.0 cm	裾まわり	29.0 cm
		もも周り	29.0 cm
		ヒップ	49.0 cm

である。通常の着衣と同様に装着し、静電容量計測デバイスは、それぞれ胸部ポケット (図 5 (a) の X)、腰部の収納ボックス (図 5 (c) の Y) へ格納する。

4. 体圧分散クッションによる計測阻害例

特別養護老人ホームにおける実験から、利用者とシート型圧力センサの間に体圧分散クッションを挟むケアが実施されたり、手足や背骨の拘縮によってシート面への当たり方が個人で異なったりするなど、利用者の体表に加わる正しい圧力を直接計測できないという課題が判明した。しかし、クッションの選択や挿入方法は被験者の体型などにより多岐にわたり、また、手足の拘縮具合なども個人で異なるため、事例をすべて網羅することは困難である。したがって本稿では、クッションとして、表 2 に示す性質の異なる 3 種類を用いて、性質の影響についてもあわせて調査した。A のクッションは、挿入しても影響が見えにくいクッションであり、柔らかく薄い長方形型である。B のクッションは、高さや硬さによりブリッジ状になり、本来はクッション直上部位の圧力が上がるはずなのに下がったように見えやすい低反発で硬めな正方形型である。C のクッションは、人体形状が不鮮明化しやすい、中にビーズが入っている形が変形しにくい丸型である。

図 6 は、体圧分散クッションにより表 2 に示すクッション A, B, C を敷くことによる仙骨部の褥瘡ケアを想定して行った、圧力分布の測定例である。圧力分布は、シート型と衣類型圧力センサを用いて同時に取得されている。以下では、圧力分布からみたシート型圧力センサの問題例を示す。体圧変化が不明

図 6 (i-b) は、クッションを用いずに仰臥位姿勢をとったときのベッド上の圧力分布、図 6 (ii-b) は、長方形形状のクッション A を臀部の下に敷いたときのベッド上の圧力分布である。クッションが挿入されており、目論見どおりならクッション周辺部で除圧がなされているはずである。しかし、シート型圧力センサでは一見変化がないように見え、褥瘡ケア状態が不明である。

表 2 実験で用いたクッション

Table 2 Cushions we used in experiments.

	A	B	C
外観			
形	長方形	正方形	正円
素材	スポンジ	ウレタン (低反発)	ビーズ
高さ	約 10cm	約 15cm	約 11cm
長さ	約 54 × 22cm	約 44 × 44cm	直径約 33cm

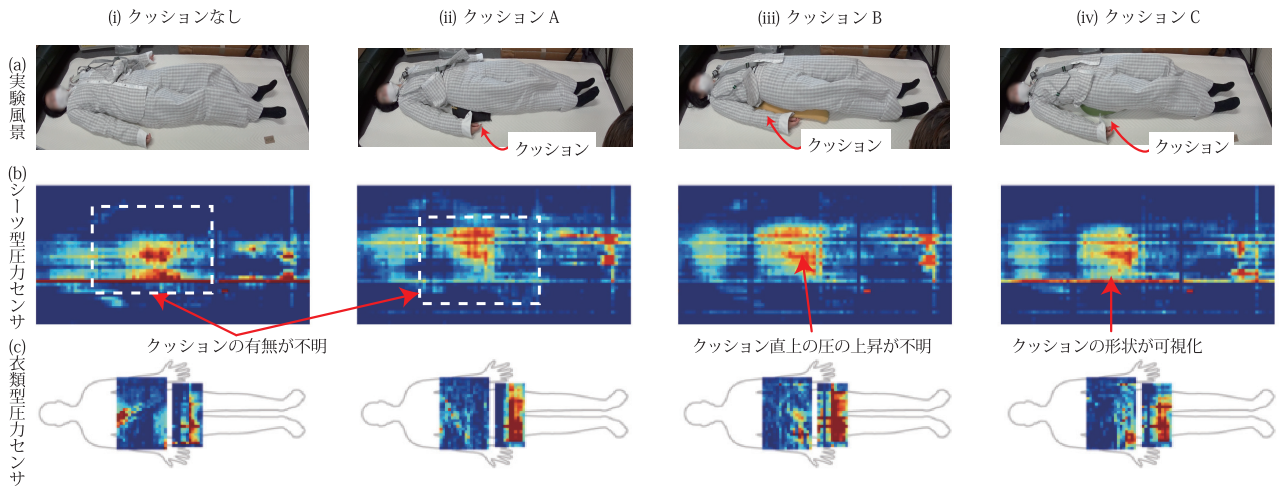


図 6 体圧分散クッションにより計測が阻害される例と衣類型圧力センサから取得した圧力分布
Fig. 6 Examples of occlusions caused by pressure dispersion cushions and pressure distribution acquired from the garment-type pressure sensor.

部分体表圧の上昇が不明瞭

硬めのクッション B を臀部の下に挿入すると、臀部の位置が上がるためにクッション直上の体表圧が増大すると考えられる。しかし、図 6 の (i-b) と (iii-b) の圧力分布を比較すると、本来は臀部の位置の圧力が上がっているものと考えられるが、画像からは減少しているようにも見える。

人体形状の不鮮明化

図 6 (iv-b) は、図 6 (ii-b) で用いたものよりも高さや硬さのある円状のクッション C を用いたときの圧力分布である。その形状がシートに可視化されているために、人体形状が不鮮明となり、高圧のかかっている部位の特定ができない。

一方、衣類型圧力センサから取得された圧力分布に着目すると、体表圧の変化をとらえられている様子が観察される。たとえば、図 6 (i-c) と (ii-c) を比較すると、臀部へかかる高圧部位の面積が広がり、圧力を分散できていることが確認できる。また、図 6 (iii-c)、(iv-c) でも同様の顕著な高圧部位の面積増大が見られる。したがって、衣類型圧力センサが体表にかかる圧力をとらえられている可能性が視覚的に示唆されている。

5. 圧力分布データの収集

被験者は衣類型圧力センサを着用可能な体型（身長 = 163.0 ± 6.6 cm, BMI = 20.1 ± 1.9 ）の 20 名（男 4 名, 女 16 名, 年齢 = 34.7 ± 7.2 ）である。被験者は本来ターゲットとしている高齢者と異なり、中年層である。年齢差による圧力分布の差は、シート型圧力センサを用いた健全な高齢者と中年層の圧力分布について報告されている [18]。それによると、高齢者では他の年齢層に比して、高圧部位の面積が小さい傾向が見られる。したがって、今後、年齢層による影響や効果の違いの分析は重要な課題と

なるが、本研究においては、シート型圧力センサと衣類型圧力センサの圧力値検出力を評価することが目的であるため、被験者層は高齢層に限定しなかった。

5.1 計測姿勢の選定

本研究は衣類型圧力センサによる圧力検出の有効性評価を目的としており、睡眠時のすべての姿勢で評価する必要は必ずしもないものと考えられる。加えて、今回作成した衣類型圧力センサの検知部が背面に設置されていることから、圧力が取得できる体位として、仰臥位と側臥位についてのみデータを収集して評価に用いた。なお、褥瘡好発部位は左右対称であることから、側臥位の左右は同値であると考え、そのため、右側臥位のみを調査対象とした。クッションで身体を支えて半身の姿勢を作る半側臥位は、クッションなしでは姿勢が作れないため、7 章の「クッションの有無による精度の違い」を比較できないことから、今回は検討対象から除外した。

また、腹臥位については、図 5 に示した検知部では圧力値が取得できない体位であること、および、高齢者介護の現場でごくまれにしか実施されないことから、検討対象から除外した。

5.2 計測の手順

各被験者は衣類型圧力センサを着用し、シート型圧力センサを敷いたベッド上で以下の手順で体圧を計測した。なお、クッション利用時は、仰臥位では臀部の下にクッションを敷き（図 7 (ii)）、クッション利用時側臥位では背中の下にクッションを敷いてもたれる（図 7 (iv)）。シート型・衣類型圧力センサはそれぞれ 6 Hz で静電容量値を計測した。計測手順は以下のとおりである。

- (1) 無加圧状態の静電容量値を得るため、5 秒間ベッド・衣服ともに無加圧状態にする。

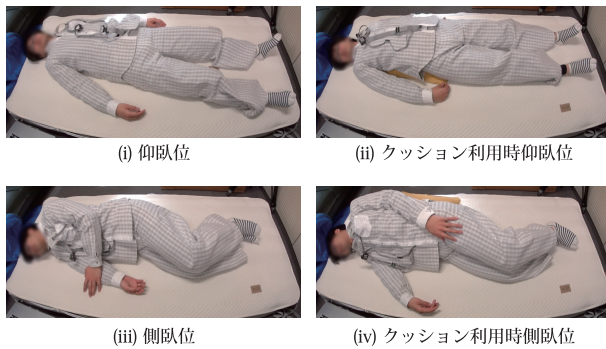


図 7 各睡眠時姿勢における褥瘡ケアを想定したクッションの利用方法

Fig. 7 Cushion-use for pressure ulcer care in each sleeping-posture.

- (2) シーツ上にかかる圧力の最大値を得るため、ベッド上で直立する。
- (3) 衣類上にかかる圧力の最大値を得るため、ベッド上で体育座りの姿勢をとる。
- (4) クッションを用いない睡眠時姿勢をとる。
 - (a) 仰臥位姿勢をとる (10 秒)。
 - (b) 側臥位姿勢をとる (10 秒)。
 - (c) (a)~(b) を 5 回繰り返す。
- (5) クッション A を用いる。
 - (a) 仰臥位姿勢をとる (10 秒)。
 - (b) 側臥位姿勢をとる (10 秒)。
 - (c) (a)~(b) を 5 回繰り返す。
- (6) クッション B を用いて (5) と同様の手順を行う。
- (7) クッション C を用いて (5) と同様の手順を行う。

計測値は 1 秒を移動窓とした移動平均による、時間方向平滑化ノイズ除去を行った。また、姿勢変化から動きが安定するのを待つため各姿勢を 10 秒ずつとった。10 秒間に含まれるフレームのうち、体動がない場合には、含まれるデータはほぼ同一である。そのため、中間となるフレームが最も動きが安静であると判断し、各姿勢の平滑化後の中間フレームを 1 姿勢分のデータとした。

6. 評価に用いる特徴量と検定方法の選択

本研究では、シーツ型圧力センサと衣類型圧力センサを用いて、クッション利用時の各睡眠時姿勢のデータを収集し、その睡眠時姿勢分類の精度をもとに、体表に加わる圧力検出の有効性を比較した。圧力センサ値は 2 次元画像ととらえられるため、そこからの睡眠時姿勢分類には一般的な人体検出・姿勢分類で高い精度を示している HOG [19] や SIFT [20] を用いた特徴量が適当だと期待された。一方で、圧力センサの解像度は、大面積を有するシーツ型であってもたかだか 79×39 であり、上記特徴量が有効に働かない可能性も示唆された。そこで、本研究では、詳細な比較に先立ち、どのような特徴量が本比較に適するかを検

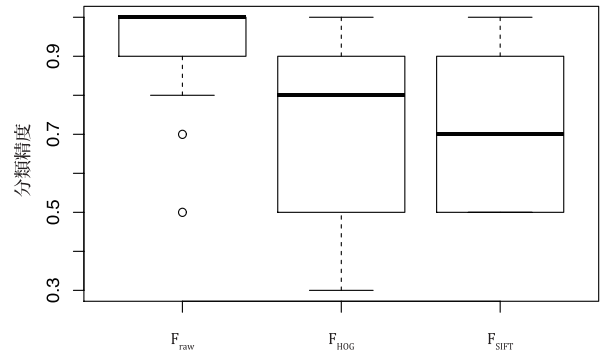


図 8 各候補特徴量を用いた睡眠時姿勢分類の精度の結果

Fig. 8 The result of accuracies of sleeping-posture classification using candidate features.

討した。本件は 6.1 節で詳しく述べる。

また、上記特徴量を用いた分類は、精度がおおよそ 0.9 以上となり、その結果の群が正規性や等分散性を示さないことも予想された。そのため、分類結果の違いを判断するための検定に Welch の T 検定 [21] やマン・ホイットニーの U 検定 [22] を用いることも不適切であると考えられた。最終的には Brunner-Munzel 検定 [23] を用いるという結論を得た。その検討過程については、6.2 節で詳しく述べる。

6.1 特徴量の選択

体表に加わる圧力検出の有効性を評価するための、仰臥位・側臥位の二値分類にあたり、クッション非利用時のシーツ型圧力センサから得られる圧力分布に対して画像分類タスクで一般的な手法を適用することで、最適な特徴量を検討した。計測値をそのまま用いた特徴量 F_{raw} 、主に人体検出に用いられる HOG 特徴量 F_{HOG} 、画像中のキーポイント検出に用いられる SIFT 特徴量から Bag of Visual Words アルゴリズム [24] により語彙を作成しヒストグラムとした特徴量 F_{SIFT} の 3 つを候補とした。分類には RBF カーネルを持つ SVM を用いた。ガンマ値 1×10^{-3} , 1×10^{-4} 、自動 (特徴量の次元数の逆数が設定される)、C 値 1, 10, 100, 1,000 から Grid Search により、最適なパラメータを決定した分類モデルを用いた。

図 8 に示すように、 F_{HOG} , F_{SIFT} と比較して、 F_{raw} が最も分類精度が高かった。このことから、候補特徴量の中で、 F_{raw} のときに最も高い精度で分類可能であることが分かった。そのため、以後の実験でも同様に、計測値をそのまま用いた特徴量を睡眠時姿勢分類に用いることとした。

6.2 検定方法の選定

シーツ型圧力センサの圧力分布を用いて仰臥位・側臥位の二値分類を、計測値をそのまま特徴量として用いる SVM で学習し、一人抜け交差検証により 20 回試行した際の分類精度の分布を図 9 に示す。本ヒストグラムのように、本実験における分類精度の分布は、最頻値が片側に寄る正規性

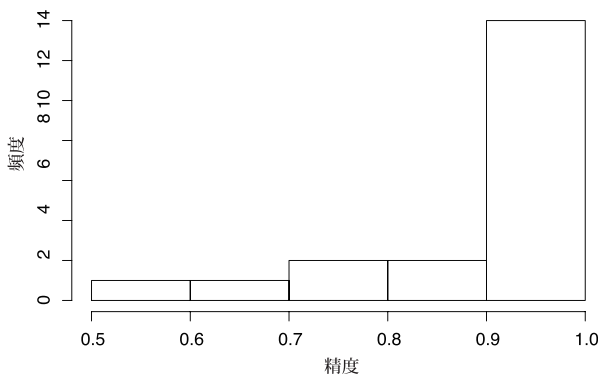


図 9 シーツ型圧力センサの圧力分布を用いて一人抜け交差検証により 20 回睡眠時姿勢分類を試行した際の精度の分布

Fig. 9 Distribution of 20 accuracies of sleeping-posture classification using pressure-matrix with leave-one-subject-out cross validation.

のない分布となる。また、1.0 以上の値は存在しないこと、最頻値が 1.0 に近い値になることから、等分散性も期待できない。そこで、正規性と等分散性を前提としない検定として Brunner-Munzel 検定を用いた。Brunner-Munzel 検定は両群から 1 つずつ値を取り出したとき、どちらが大きい確率も等しいという帰無仮説を検定する。また、両側検定のみを行う。正規性や等分散性がある場合においても、Welch の T 検定と同等の精度を示し、代替として用いても問題はない。

7. 睡眠時姿勢分類精度から見た圧力検出の有効性評価

本章では、シーツ型圧力センサと衣類型圧力センサを用いたとき、体表に加わる圧力値変化の各センサの圧力検出の有効性を調査した結果について述べる。両センサを用いて同時に計測されたデータをセンサ別に検討した。

7.1 クッションの有無から見た圧力検出の有効性の比較

7.1.1 調査手順

本研究では、体表に加わる圧力をより正しく計測できることを目標として、衣類型圧力センサを構築した。しかし、体表に加わる圧力の真値を計測することは困難である。なぜなら、リファレンスとなるセンサを挟み込むことによる影響や、クッションやベッドなどへの圧力の抜け具合が定常的ではなく平面上でのキャリブレーションがそれほど有用でないなどの問題があるためである。そのため、「より正しく計測できているなら、クッションなどの阻害要素がある場合でも姿勢識別精度が高くなるはず」という視点から、姿勢識別の精度をもって、評価に変える。したがって、本研究ではクッションを利用していないときのデータを用いて、仰臥位・側臥位を分類するモデルを作成し、3 種類のクッション A, B, C を挿入したときの分類精度を比較することで、各センサの圧力検出の有効性を比較した。

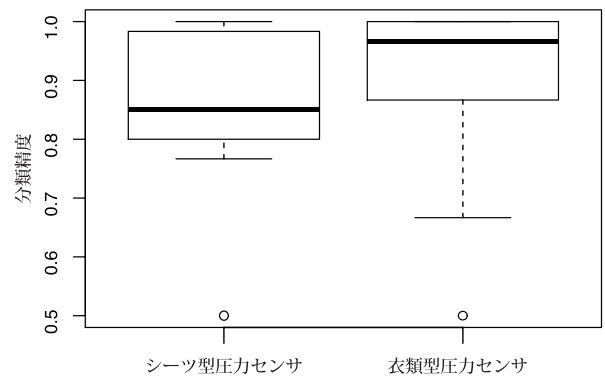


図 10 シーツ型・衣類型圧力センサを用いて睡眠時姿勢分類を行った結果

Fig. 10 The result of accuracies of sleeping-posture classification using bed-sheet-type and garment-type sensors.

分類には RBF カーネルの SVM を用い、そのパラメータは試行ごとに Grid Search で最適化した。調査においては、6.1 節の検討と同様に、2次元の圧力分布を 1次元ベクトルに変換した特徴量を利用した。なお、分類精度は、一人抜け交差検証で導出した。

7.1.2 結果

シーツ型・衣類型圧力センサから得られた圧力分布を仰臥位・側臥位の二値分類し、分類精度を一人抜け交差検証により導出した結果を図 10 に示す。本結果は、3 種のクッションの結果を統合したものである。衣類型圧力センサにおいて、中央値、第 1 四分位点、第 3 四分位点がシーツ型圧力センサよりも高い精度を示した。また、Brunner-Munzel 検定によれば、15% で第一種の過誤が起きる確率を含むが、衣類型圧力センサの方が分類精度の中央値が高いという結果が得られた。

この結果から、シーツ型圧力センサよりも衣類型圧力センサの方が、クッションの影響を受けずに体表に加わる圧力値をとらえられていることが示唆された。

7.2 各クッション別の圧力検出の有効性の比較

7.2.1 調査手順

本節では、クッション別に圧力検出の有効性を評価する。7.1 節の手法と同様に、睡眠時姿勢の分類には RBF カーネルの SVM を用い、そのパラメータは試行ごとに Grid Search で最適化した。調査においては、6.1 節の検討と同様に、2次元の圧力分布を 1次元ベクトルに変換した特徴量を利用した。分類精度は、一人抜け交差検証で導出した。

7.2.2 結果

シーツ型・衣類型圧力センサから得られた圧力分布を仰臥位・側臥位で二値分類し、分類精度を一人抜け交差検証により導出した結果を図 11 に示す。クッションを利用していないとき、両センサそれぞれの分類精度が他の条件よりも高い傾向を示した。クッションを利用することにより、睡眠時姿勢分類の精度が低下することが確認された。クッ

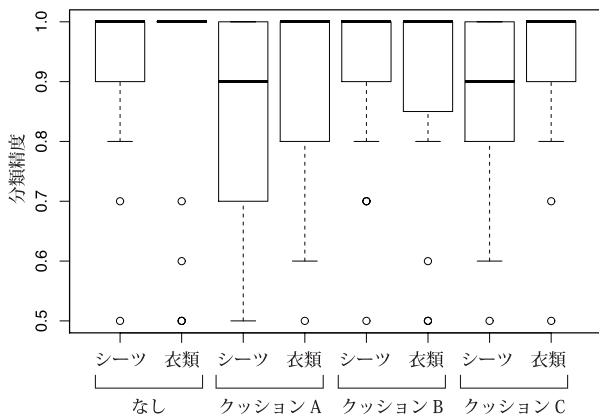


図 11 各クッション利用時にシーツ型・衣類型圧力センサを用いて睡眠時姿勢分類を行った結果

Fig. 11 The result of accuracies of sleeping-posture classification using both type of sensors with cushions A, B, and C.

クッション A 利用時においては、Brunner-Munzel 検定によれば、40%で第一種の過誤が起きる確率を含むが、シーツ型圧力センサと比較し、衣類型圧力センサの方が精度の中央値が高かった。他のクッションを挿入したときと比べ、両センサともに第3四分位点が最小値であり、精度が低い傾向が認められた。クッション B 利用時において、シーツ型圧力センサと衣類型圧力センサの精度の差が大きい傾向は認められなかった。クッション C 利用時においては、Brunner-Munzel 検定によれば、5%で第一種の過誤が起きる確率を含むが、シーツ型圧力センサと比較し、衣類型圧力センサの方が精度の中央値が高いという結果が得られた。

7.2.3 考察

柔らかく凹みややすいクッションを利用すると、目論見どおりならクッション周辺部で除圧がなされているはずである。しかし、シーツ型デバイスでは一見変化がないように見え、褥瘡ケア状態が不明である。このような状況の発生が期待されるクッション A 利用時において、衣類型圧力センサの方が分類精度が高い傾向が見られたことから、本センサはより体表に加わる圧力値をとらえられていることが示唆された。ただし、クッション B, C 利用時よりも両センサともに精度が低い傾向が見られたことから、柔らかいクッション A が体表圧の正確な検知に悪影響をもたらすことが示唆された。

硬めのクッションを臀部の下に敷くと、腰がベッドから浮いた状態になり、ベッドやクッションが身体に接地する面積が減少する。したがって、同じ重さがかかっており、重さがかかる面積が減少することから、クッション直上の体表に加わる圧は増大するものと考えられる。本実験においてはクッション B の利用時に、同傾向が見られるものと想定された。クッション B 利用時において、両センサ間の精度の差が大きい傾向が認められなかったことから、硬めのクッションを利用したときの圧力検出の有効性は両セン

サ間で同程度であることが示唆された。

クッションの形状によっては人体形状が不鮮明になり、シーツ型デバイスでは圧力がかかる身体の部位が分りにくくなる課題があった。このような状況の発生が期待されるクッション C の利用時においては、両センサ間の分類精度の差が最も大きい傾向が見られたことから、クッション C の丸い形状がシーツ上の圧力分布に確かに強く出ていることがシーツ型圧力センサの分類精度低下につながったと考えられる。一方で、衣類型圧力センサでは、丸型のクッションの影響を受けず、分類精度が高い傾向が見られた。

8. まとめ

本研究では、褥瘡発症リスクの検知を目的とした体表を直接計測するために衣類型圧力センサを提案した。体圧分散クッション利用時の圧力検出の有効性を既存のシーツ型圧力センサと比較するために、20名の被験者を対象として、姿勢分類を用いた評価を行った。その結果、第一種過誤の危険度15%を含むものの、衣類型圧力センサの方が分類精度の平均値と中央値が高いという結果が得られ、体表に加わる圧力検出の有効性に優れていることが示唆された。本研究では、中年層を対象とした圧力を用いて評価した。そのため、骨突出がより大きいために褥瘡をより発症しやすい、高齢者を対象とした調査を今後の課題とする。

謝辞 本研究は、JSPS 科研費 15H02736、および、総務省が進める戦略的情報通信研究開発推進事業 (SCOPE) による支援を受けました。研究の遂行にあたり、高齢者看護学専門の立場からご助言をいただいた名古屋市立大学看護学部の原沢優子准教授、臨床看護師の立場からご助言をいただいた名古屋市立大学病院の中尾敦子様、高齢者介護施設でのセンサデバイス導入にあたり、現場の立場からご助言をいただいた社会福祉法人あいち特別養護老人ホームメリーホーム大喜のスタッフの皆さまに感謝いたします。また、織物・繊維技術専門の立場からご助言をいただいた尾張繊維技術センター島上祐樹様、田中利幸様、ならびに、株式会社植屋技術開発本部新製品開発センター水野寛隆様、鈴木陽久様に感謝いたします。

参考文献

- [1] 一般社団法人日本褥瘡学会：褥瘡ガイドブック 第2版 褥瘡予防・管理ガイドライン (第4版) 準拠, 照林社 (2015).
- [2] Enokibori, Y., Suzuki, A., Mizuno, H., Shimakami, Y. and Mase, K.: E-textile pressure sensor based on conductive fiber and its structure, *Proc. 2013 ACM Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing Adjunct Publication, UbiComp '13 Adjunct*, New York, NY, USA, pp.207-210, ACM (2013).
- [3] Enokibori, Y. and Mase, K.: Are they effective in actual workspace? - Case of pressure ulcer prevention features, *Internal Workshop on Informatics 2016 (IWIN 2016)*, Riga, Latvia, pp.13-18 (2016).
- [4] 小野瀬良佑, 榎堀 優, 間瀬健二: 圧力布センサを利用

- した衣類型デバイスとシート型デバイスの比較検討, インタラクシオン (2017).
- [5] Berlowitz, D.R. and Brienza, D.M.: Are all pressure ulcers the result of deep tissue injury? A review of the literature, *Ostomy Wound Management*, Vol.53, No.10, pp.34-38 (2007).
- [6] Haesler, E.: European Pressure Ulcer Advisory Panel National Pressure Ulcer Advisory Panel and Pan Pacific Pressure Injury Alliance, *Prevention and Treatment of Pressure Ulcers: Quick Reference Guide*, Cambridge Media (2014).
- [7] Huang, W., Wai, A.A.P., Foo, S.F., Biswas, J., Hsia, C.-C. and Liou, K.: Multimodal sleeping posture classification, *2010 20th International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*, pp.4336-4339, IEEE (2010).
- [8] Yousefi, R., Ostadabbas, S., Faezipour, M., Nourani, M., Tamil, L. and Pompeo, M.: Posture and limb detection for pressure ulcer prevention, *Proc. Southern Biomedical Engineering Conference (SBEC)* (2011).
- [9] Mineharu, A., Kuwahara, N. and Morimoto, K.: A study of automatic classification of sleeping position by a pressure-sensitive sensor, *2015 International Conference on Informatics, Electronics & Vision (ICIEV)*, pp.1-5, IEEE (2015).
- [10] 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).
- [11] Harada, T., Sato, T. and Mori, T.: Pressure distribution image based human motion tracking system using skeleton and surface integration model, *Proc. 2001 ICRA, IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Vol.4, pp.3201-3207, IEEE (2001).
- [12] Amft, O., Tröster, G., Lukowicz, P. and Schuster, C.: Sensing muscle activities with body-worn sensors, *BSN*, pp.138-141, IEEE Computer Society (2006).
- [13] Dementyev, A. and Paradiso, J.A.: Wristflex: Low-power gesture input with wrist-worn pressure sensors, *Proc. 27th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '14*, New York, NY, USA, pp.161-166, ACM (2014).
- [14] Paradiso, R., Loriga, G. and Taccini, N.: A wearable health care system based on knitted integrated sensors, *IEEE Trans. Information Technology in Biomedicine*, Vol.9, No.3, pp.337-344 (2005).
- [15] Leong, J., Parzer, P., Perteneder, F., Babic, T., Rendl, C., Vogl, A., Egger, H., Olwal, A. and Haller, M.: pro-cover: Sensory augmentation of prosthetic limbs using smart textile covers, *Proc. 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology*, pp.335-346, ACM (2016).
- [16] Foo, E.W., Pettys-Baker, R.M., Sullivan, S. and Dunne, L.E.: Garment-integrated wetness sensing for leak detection, *Proc. 2017 ACM International Symposium on Wearable Computers, ISWC '17*, New York, NY, USA, pp.26-33, ACM (2017).
- [17] 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).
- [18] 榎堀 優, 柳澤理子, 米田雅彦, 小松万喜子, 間瀬健二, 原沢優子: 布圧力センサシートを用いた臥床時姿勢のモニタリング—高齢者と若者との体動数と体圧形状の比較, *日本看護科学学会学術集会講演集*, P2-5-22 (2014).
- [19] Freeman, W.T. and Roth, M.: Orientation histograms

for hand gesture recognition, *International Workshop on Automatic Face and Gesture Recognition*, Vol.12, pp.296-301 (1995).

- [20] Lowe, D.G.: Object recognition from local scale-invariant features, *Proc. 7th IEEE International Conference on Computer Vision* (1999).
- [21] Welch, B.L.: The significance of the difference between two means when the population variances are unequal, *Biometrika*, Vol.29, No.3-4, pp.350-362 (1938).
- [22] Mann, H.B. and Whitney, D.R.: On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other, *Ann. Math. Statist.*, Vol.18, No.1, pp.50-60 (1947).
- [23] Brunner, E. and Munzel, U.: The nonparametric Behrens-Fisher problem: Asymptotic theory and a small-sample approximation, *Biometrical Journal*, Vol.42, No.1, pp.17-25 (2000).
- [24] Fei-Fei, L. and Perona, P.: A Bayesian hierarchical model for learning natural scene categories, *2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR '05)* (2005).



小野瀬 良佑 (学生会員)

2016年3月名古屋大学工学部電気電子・情報工学科卒業。2018年3月同大学大学院情報科学研究科社会システム情報学専攻博士前期課程修了。2016年4月同博士課程教育リーディングプログラム実世界データ循環学リーダー人材養成プログラム履修生。現在、名古屋大学大学院情報科学研究科知能システム学専攻博士後期課程在籍。大学院の研究では、ウェアラブルコンピュータ・ユビキタスシステムを用いた介護支援システムの研究に従事。



榎堀 優 (正会員)

2005年立命館大学理工学部情報学科卒業。2007年同大学大学院理工学研究科博士前期課程情報システム学専攻修了。2010年同大学院同研究科博士後期課程総合理工学専攻修了とともに博士(工学)を取得。2010年に同大学助手を務めた後、2011年より名古屋大学におけるポストドク、特任助教等を経て、2015年より同大学大学院情報科学研究科で助手に着任。現在、同大学院情報科学研究科所属。ユビキタスコンピューティング、ウェアラブルコンピューティング、インビジブルコンピューティング、ヘルスケア・看護・医療の研究を推進。人工知能学会、バイオメカニクス学会、日本看護科学学会、ACM各会員。博士(工学)。



間瀬 健二 (正会員)

1979年名古屋大学工学部電気学科卒業。1981年同大学大学院工学研究科前期課程情報工学専攻修了。1992年博士(工学)号取得(名古屋大学)。1981年日本電信電話公社(現, NTT)入社。以来, コンピュータグラフィックスおよび画像処理, そのヒューマンインタフェースへの応用の研究に従事。1988~1989年米国MITメディア研究所客員研究員。1995~2002年(株)国際電気通信基礎技術研究所(ATR)研究室室長。2002年より名古屋大学教授。現在, 同大学大学院情報学研究科所属。現在は, 画像処理・ウェアラブルコンピュータ・ユビキタスシステムによる, ライフログとコミュニケーション支援の研究を推進している。人工知能学会1999年度論文賞, 同2013年功労賞等。2017年4月よりJST CREST「共生インタラクション」研究総括。第24期日本学術会議連携会員。IEEE, ACM, 人工知能学会, 電子情報通信学会(フェロー), ヒューマンインタフェース学会, VR学会, 画像電子学会各会員。博士(工学)。