

体圧分散クッション利用褥瘡ケアの シート型・衣類型体表圧計測デバイスに対する影響比較

小野瀬 良佑¹ 榎堀 優² 間瀬 健二²

概要：身体の同一箇所が長時間圧迫されて血流が悪くなると、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生することがある。そのために、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。我々のプロジェクトでは、圧力布センサを用いたシート型デバイス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から、利用者とシート型デバイスの間に体圧分散クッションを挟むケアにおいて、利用者の体表に加わる正しい圧力が検知できないという課題が判明した。そこで我々は、圧力布センサで衣類型デバイスを作成し、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。基礎検討として、20名の被験者を対象としてシート型・衣類型デバイスに対して体圧分散クッションが及ぼす影響について調査した。その結果、クッションを挿入した時の体表圧の変化計測でき、また、ベッド型センサでは計測が不明瞭であったクッション利用による臀部にかかる圧力の上昇が確認できた。衣類型デバイスは利用者に密着しているため、クッションの有無に関わらず正しい部分の体表圧の計測も可能となった。

A Pilot Study of Impact Comparison of Pressure Dispersion Cushion Use for Sheet- and Cloth-type Pressure Ulcer Prevention Devices

Ryosuke Onose¹ Yu Enokibori² Kenji Mase²

1. はじめに

生活介護では、褥瘡予防は一つの重点目標に挙げられている。褥瘡の原因の一つは、身体の同一箇所に一定以上の圧力が長時間かかることである。高齢者や脊椎損傷患者などは、健常者が無意識に行なっている寝返りや座位姿勢の調整が十分に行えず、発症に至ることがある。そのため、ICTによる危険箇所の発見や各部の褥瘡リスクの推定などの実現が求められている。

我々のプロジェクトでは、圧力布センサを構成したシート型デバイスを用いて褥瘡発生リスクの推定や低減を試みてきた [1]。シート型デバイスを通常のシートと同様に配置し、就寝時にベッド面にかかる被験者の体重による圧（以下、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である。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-

シート型デバイスとの間に体圧分散クッションを挟むケアが実施されるなどと、利用者の体表に加わる正しい圧力が検知できない状況が散見されるという課題が判明した。

そこで、我々は、圧力布センサを用いて作成した衣類型デバイス [2] を用いることで、この問題の解決を試みている。本稿では、20名の被験者を対象とし、シート型・衣類型デバイスに対して体圧分散クッションが及ぼす影響について調査した結果について述べる。

2. 関連研究

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。これらは、同一姿勢の継続時間判定などに利用でき、褥瘡予防にも応用できる。

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 [3]。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

¹ 名古屋大学大学院情報科学研究科

² 名古屋大学大学院情報科学研究科

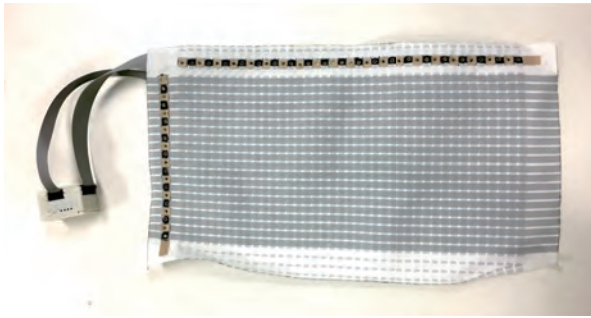


図 1 実験で扱う圧力布センサ

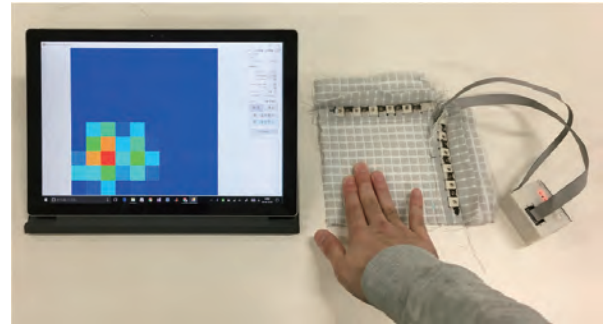


図 2 圧力布センサを用いた計測例

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 [4]。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。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 [5]。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 [6]。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 [7]。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、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。

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。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 [8]。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 [9]。しかし、全身の体表にかかる圧を計測できるデバイスや、また、褥瘡予防に使った場合の効果を検証した研究はない。

3. 圧力布デバイス

3.1 体表圧計測デバイス

本研究では、文献 [1], [10] で提案された圧力布センサを用いる。図 1 に構成例を示す本布センサは、7.5mm 角のセンシング点を格子状に持ち、中心間距離は約 10mm である。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。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。また、見かけ上は通常の布と同様であり、一般的な衣類と



図 3 作成した衣類型センサ

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。

3.1.1 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。

3.2 衣類型センサ

本研究では、図 3 に示す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。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。



図 4 作成したシート型センサ

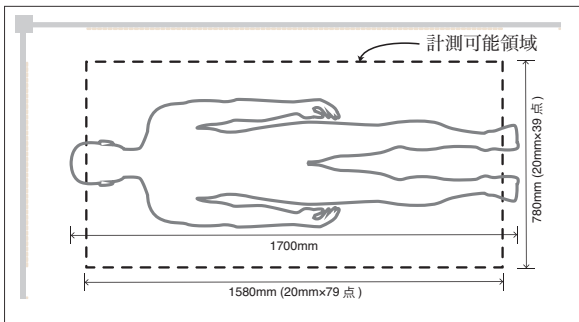


図 5 シーツ型センサの計測可能範囲

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をカバーするため、図の破線で示す箇所が計測できるように配線した。

3.3 シーツ型センサ

計測する条件を衣類型センサと揃えるために、最新の圧力分布センサで新たに作成したシート型センサを図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。計測可能範囲は図5の通りである。

4. 体圧分散クッションがシート型デバイスに与える影響

特別養護老人ホームにおける実験から、利用者とシート型デバイス間に体圧分散クッションを挟むケアにおいて、利用者の体表に加わる正しい圧力が検知できないという課題が判明した。しかし、実際の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、子細に再現できないため、以下では臀部にクッションを敷くことによる仙骨部の褥瘡ケアを想定して発生した問題の例を示す。

4.1 体圧変化が不明

図6(i)は、クッションを用いずに仰臥位姿勢をとった時のベッド上の圧力分布(ii)は長形状のクッション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

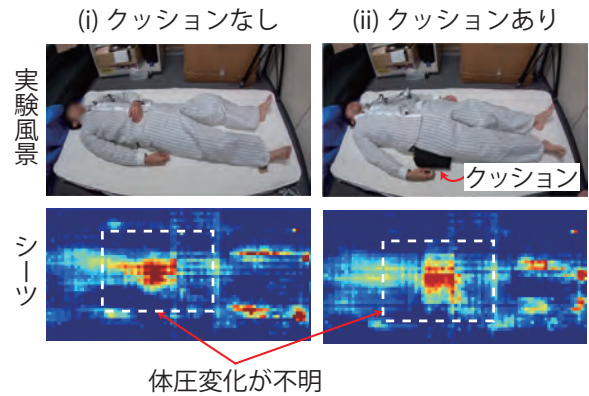


図 6 体圧変化が不明になっている圧力分布の例

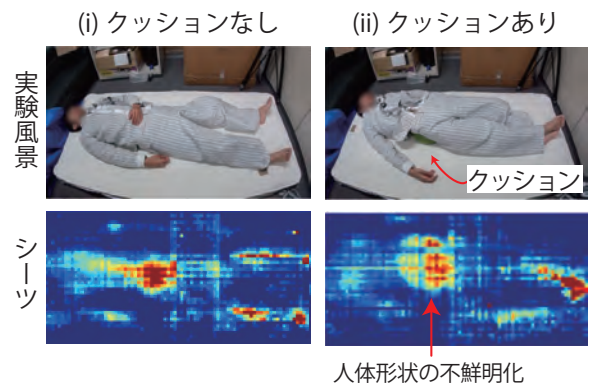


図 7 人体形状が不鮮明になっている圧力分布の例

で除圧がなされているはずである。しかし、シート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。

4.2 人体形状の不鮮明化

図7は図6(ii)で用いたものよりも高さや硬さのある円形のクッションを用いた時の圧力分布である。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。

4.3 部分体表圧の上昇が不明瞭

硬めのクッションを臀部の下に挿入すると、図8に示すように、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9の(i)と(ii)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見える。

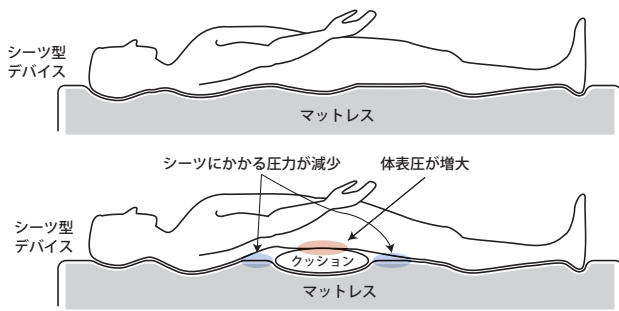


図 8 硬めのクッション挿入時の断面図



図 10 就寝姿勢と褥瘡ケアを想定したクッションの利用方法

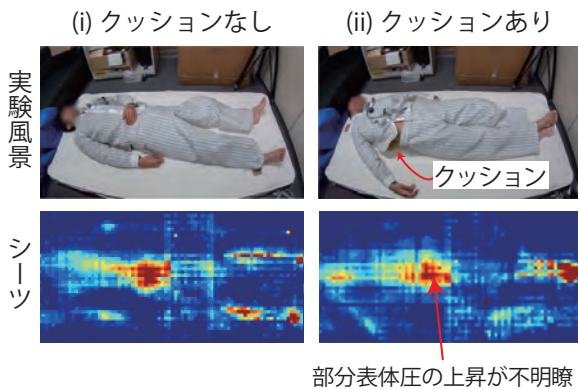


図 9 部分体表圧の上昇が不明瞭になっている圧力分布の例

表 1 実験で用いたクッション

	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

5. 体圧分散クッションがシーツ型・衣類型デバイスに与える影響の比較

前章で挙げた問題が発生した時に、衣類型デバイスでは想定通りの圧力が計測できるかを検証するため、20名の被験者を対象とし、シーツ型・衣類型デバイスに対して体圧分散クッションが及ぼす影響を調査した。被験者は衣類型デバイスを着用可能な体型(身長=162.95 ± 6.57cm, BMI=20.06 ± 1.90)の20名(男4名, 女16名)である。クッションとして、表1に示す3種類を用いた。Aのクッションは、挿入しても影響が見えづら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

硬さによりブリッジ上になり、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。

5.1 計測の手順

各被験者は衣類型デバイスを着用し、シーツ型デバイス敷いたベッド上で以下の手順で体圧を計測した。なお、図10に示す通り、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、半側臥位では背中の下にクッションを敷いてもたれる。

- (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
- (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就寝姿勢をとる
 - (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) 半側臥位姿勢をとる (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。

シーツ型・衣類型デバイスはそれぞれ 6Hz で静電容量値を計測した。また、計測後に 2Hz でリサンプリングし、時系列方向で平滑化を行い、外れ値を除去する目的で値の最小値と最大値を手動で設定した。各体位の開始から5秒後の圧力分布を各体位の圧力分布とした。

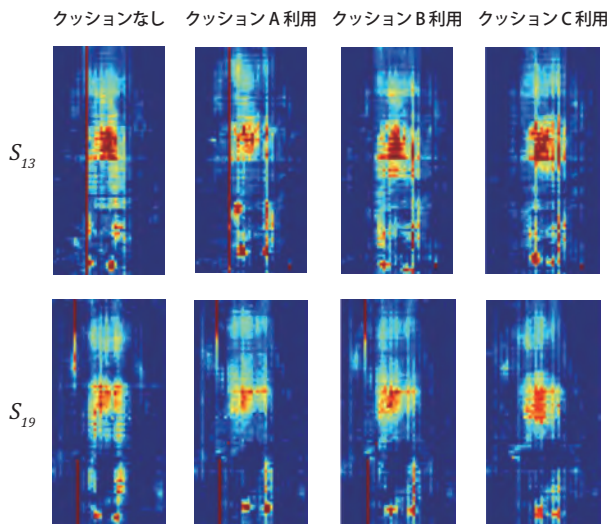


図 11 シーツ型デバイスにかかる圧力分布の例

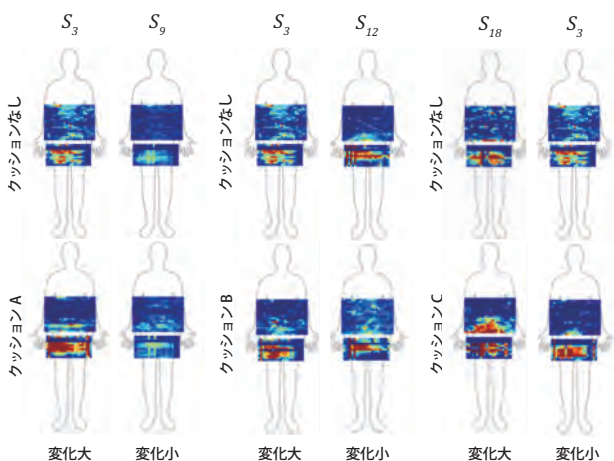


図 12 クッションの有無による衣類型デバイスでの圧力分布例

6. 考察

6.1 クッションがシート型デバイスでの計測に与える影響

図 11 に代表的な結果として被験者 S_{13} , S_{19} の圧力分布を示す。クッション A, B 利用時には、圧力分布の見かけの差はほぼ認められない。同様の傾向は、2 種類 5 回 20 人の計 200 姿勢中の 168 姿勢で見られた。一方、クッション C 利用時には、丸い形状が圧力分布画像に投影されていることが認められる。同様の傾向は、1 種類 5 回 20 人の計 100 姿勢中の 82 姿勢で見られた。以上から、4 節で挙げた問題が再現できていると思われる。

6.2 クッションが衣類型デバイスでの計測に与える影響

6.2.1 クッションによる体圧変化の計測可否

図 12 に計測結果の代表例を示す。3 種類のクッションごとに変化が大きく見えた被験者と、変化が小さく見えた

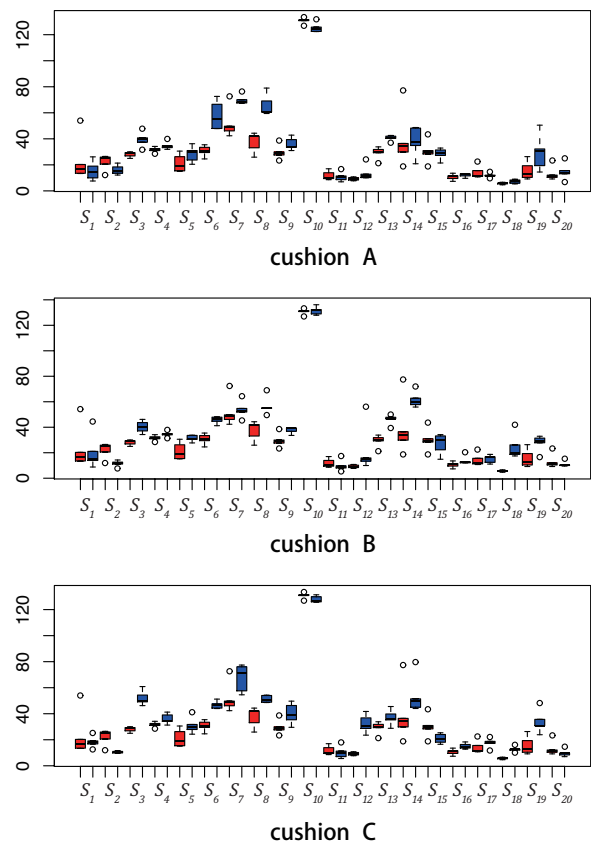


図 13 臀部にかかる圧力の総和
(赤: クッションなし, 青: クッション利用時)

被験者の圧力分布を選んでいる。

クッション A 利用の前後において、被験者 S_3 に代表される見かけの変化が大きい圧力分布と、被験者 S_9 に代表される見かけの変化が小さい圧力分布が見られた。見かけの変化が大きい圧力分布を数え上げた結果、5 回 20 人の計 100 姿勢中の 41 姿勢であった。クッション B 利用の前後においても、被験者 S_3 に代表される見かけの変化が大きい圧力分布と、被験者 S_{12} に代表される見かけの変化が小さい圧力分布が見られた。見かけの変化が大きい圧力分布を数え上げた結果、5 回 20 人の計 100 姿勢中の 55 姿勢であった。クッション C 利用の前後においても同様に、被験者 S_{18} に代表される見かけの変化が大きい圧力分布と、被験者 S_3 に代表される見かけの変化が小さい圧力分布が見られた。見かけの変化が大きい圧力分布を数え上げた結果、5 回 20 人の計 100 姿勢中の 56 姿勢であった。

以上の結果は圧力分布のヒートマップを見た目で判別した結果である。どのクッションの利用時でも、約半数の姿勢において変化を目視可能であった。臀部にかかる圧力の総和を被験者別に箱ひげ図にまとめた結果を図 13 に示す。赤い箱がクッション無しの時、青い箱がクッション有りの時である。図 13 からクッションの有無による圧力値の変化が計測できている事が分かる。ただし、 S_1 など全クッ

ションを通じて変化が少ない被験者もいた。個人差により挿入時の変化がないのか、衣類型デバイスが計測できていないのかは引き続き検証が必要である。

6.2.2 クッションの形状に人体形状の不鮮明化の有無

シート型デバイスでは、クッションの形状によっては人体形状が不鮮明になり、圧力がかかる身体の部位がわかりにくくなる課題があった。衣類型デバイスでは圧力計測部分が身体に密着しているため、本件に相当する問題は構造上発生しない。

6.2.3 クッション起因の部分体表圧の上昇の計測可否

4.3 節で述べたように、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。従って、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。

各クッション利用時の圧力変化の傾向を分析した手順は次の通りである。まず、被験者 S_i がベッド上で仰臥位で寝る時、クッションがない時に臀部にかかる圧力を $P_{i,0}$ 、クッション A, B, C を臀部に敷いた時にかかる圧力をそれぞれ $P_{i,A}, P_{i,B}, P_{i,C}$ とした後に、符号関数を適用した。これにより、圧力が上昇しているときは 1 を変化が無い場合は 0 を下降している時は -1 を示す。従って、クッション利用時の平均値が 1 に近ければ上昇傾向を示すこととなる。

クッション A, B, C 利用時の平均値は、それぞれ $0.50 \pm 0.89, 0.60 \pm 0.82, 0.50 \pm 0.89$ (全て Welch の T 検定により $p < 0.05$) であった。想定どおり、クッション B の利用時において圧力の上昇傾向が出ており、妥当な計測結果が得られていると考えられる。また、体圧が分散されていると想定されていたクッション A および C の利用時においても体圧の上昇傾向が見られた。これは褥瘡予防用のクッションを用いていないことから、十分な体圧分散効果が得られていない可能性がある。褥瘡予防用のクッションでも同様の傾向が得られるようであれば、現状のケアが逆効果である懸念も発生する。本件については、引き続き検討する。

7. まとめ

クッションによる褥瘡ケアにより、シート型デバイスでは、(1) 体圧変化が不明、(2) 人体形状の不鮮明化、(3) 部分体表圧の上昇が不明瞭、という課題があった。臀部と背中にかかる圧力を計測可能な衣類型デバイスを用いることで、クッションを挿入した時の体表圧の変化計測でき、また、ベッド型センサでは計測が不明瞭であったクッション利用による臀部にかかる圧力の上昇が確認できた。衣類型デバイスは利用者に密着しているため、クッションの有無に関わらず正しい部分の体表圧の計測も可能となった。以

上から、体圧分散クッション利用ケアでは、衣類型デバイスの方が好適である可能性が示唆された。

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] 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.
- [2] 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. インタラクション, 2017.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] Joanne Leong, Patrick Parzer, Florian Perteneder, Teo Babic, Christian Rendl, Anita Vogl, Hubert Egger, Alex Olwal, and Michael Haller. procover: Sensory augmentation of prosthetic limbs using smart textile covers. In *Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology*, pp. 335–346. ACM, 2016.
- [10] 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.