

研究結果報告書

2016年12月16日

感圧導電性編物による体位計測シートの開発および褥瘡予防効果の検証

代表研究者 石川工業高等専門学校機械工学科 准教授 藤岡 潤
共同研究者 石川工業高等専門学校機械工学科 准教授 堀 純也

【まとめ】

寝たきりの高齢者の褥瘡予防のために、定期的な体位変換や体圧の分散が重要となるが、その頻度や目安の判断は非常に難しい。本研究は、柔軟性・通気性に優れた繊維製のセンサ敷布により寝具接触部の体圧分布や温度、湿度状態を日常的に監視することで在宅での褥瘡予防を容易とする警報システムの開発を目的とする。本研究では導電性編物で作製された測定敷布の開発を行い、これにより、体圧分散、温度、湿度といった褥瘡要因の監視を試みた。

1. 研究の目的

1-1 体圧分布計測敷布の開発

導電性編物とは導電繊維と非導電繊維の混紡糸により構成された編物である。編物の外観を図1に示す。編物への加圧・引っ張りによる変形により紡績糸中の導電繊維同士の接触割合が増加し、編物変形部の総体的な抵抗値が低下する。これにより編物に加えられた圧力や変形を編物により計測することが可能となる。導電性編物生地外観を図1に、編物を構成する紡績糸を図2に示す。図中の黒い繊維は導電繊維であるステンレス、透明な繊維は非導電繊維であるポリエステルを示す。糸が図2左のように緩んだ状態では、導電繊維間の距離が遠く、導電性は低い。一方、図2右のように外力によって糸が伸びた状態では導電繊維が接触しあい、導電性が向上する。本研究では体圧分布計測における感圧部に本編物を用いた体圧分布計測敷布を開発し、就寝者の体圧が日常的計測可能な褥瘡予防を補助するシステムを提唱する。

1-2 計測システムの開発と検証

体圧分布計測敷布の計測および、就寝状態を確認し、危険状態を判別するシステムの開発を敷布開発と並行して行う。敷布およびその計測システムは日常的に使用すること、自宅以外でも利用可能な可搬性、利便性を有することを目的とする。また危険状態の判別は体圧分布状態から、体圧重心と就寝体位の判別を行い、一定時間重心位置や体位に変化が無い場合、警告を行うことで、褥瘡予防ケアのサポートを行うことを目的とする。

2. 研究方法と経過

2-1 敷布の構成と計測システム

今回製作した敷布を図3に示す。これまで導電性編物を用いた圧力計測では、測定セル間に絶縁部が無く、隣接セルの影響を避けるためにセルサイズが大きく、計測点数も不十分であった。本研究では絶縁部と導電性部を交互に編み込んだ敷布を製作し、90度ずらして多層化することで、測定セルの微細化を試みた。図4に本敷布計測セル部の構成を示す。敷布の上層セルは列セル、下層セルは行セルを直列配線し、これを重ねることで、交差した導電性編物部分が測定セルとなる。計測はマトリクススキュンにより、列セル上流の電源を切り替えて行方向の電気抵抗変化を計測する。計測部や導電糸に整流作用はないため、各出力値には回り込み電流が含まれる。よって本研究ではマルチプレクサにより、電源および出力端子をセルごとに切り替えて出力を計測後、各セルの抵抗を変数、



図1 編物生地外観

図2 導電性編物混紡糸(左:緩和状態、右:引張状態)



図3 体圧分布計測敷布

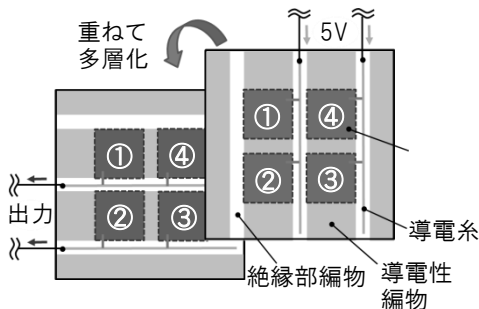


図4 敷布計測部の構成

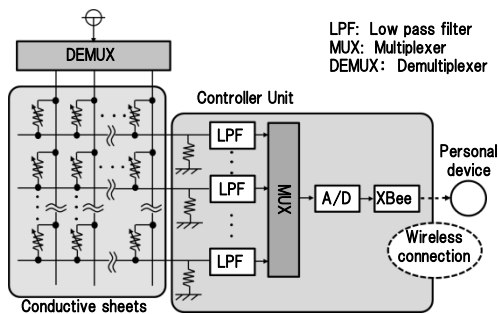


図5 体圧分布計測システム概要

各出力値を右辺とする連立式から各セルの抵抗変化を求める。また測定結果はフィルタを通してコントローラから無線で携帯端末に送信し、ネットワーク経由で別端末へ通知する。敷布計測部を含めた計測装置全体の回路構成と通信システムを図5に示す。

2-2 多層化した敷布の計測特性評価

多層化した敷布のセルごとの圧力測定結果を、圧力計による結果と比較して、計測特性について評価した。

導電性編物の4セル分、絶縁部を含めて200mm×200mm（各セルのサイズ40mm×40mmと絶縁部の幅10mm）を切り出して加圧試験片を作成し、各セルに個別に荷重を加えて、抵抗変化を記録した。編物への加重は卓上試験機(島津製作所：EZTest)を用いた。また先端に厚さ10mmのスポンジを取り付けた圧子直径30mmの加圧子を製作し、これを用いて加圧した。編物はアルミ製のテーブルの上に薄手

の化繊布を下敷きにして直接敷いた。同試験機は卓上であるため加圧レンジは本実験に適しているが、計測結果の出力は自動化されておらず、測定値も目盛りを読み取って値を記録する必要があった。よって今回、計測の自動化とサンプリングレートの高速化のため、加圧子軸にひずみゲージを取り付けて荷重の計測を行い、導電性編物の出力とともに記録した。図6に実験装置の概観を示す。

今回、計測特性評価として、まず次の2つの実験を行った。①0～50Nの荷重を試験機により製作した試験片の各セルに加え圧力に対する感圧部の抵抗の変化を確認した。また②同一のセルに0～30Nの荷重を一定周期で除加重を繰り返し、出力の変化を確認した。試験結果について図7および図8に示す。図7は無負荷状態を1として出力を正規化し、さらに4セルの平均をとった結果である。多層化した敷布により、硬いテーブルの上でも30N程度(Pa)までの荷重に対して抵抗が変化することが確認できた。また、実際には編物を布団やマットの上に敷いて使用するため、負荷による生地の変形によってさらに抵抗は変化する。標準偏差は最大で0.106と大きくばらついたため、今後改善が必要であると考えられる。ただし、先行研究において使用されている圧力測定装置と比較して、今回開発した敷布の測定点数と測定レンジについては、褥瘡予兆の検知装置として十分な性能を示せたものと考えられる。一方、除加重を繰り返した結果、出力の変化(抵抗の変化)幅が徐々に小さくなっていく現象が確認された。このドリフトの原因であるが、加圧を繰り返すことで加圧部の生地が撓み、負荷や歪に対する感度が徐々に低下したためと考えられる。そのため、本敷布の出力から圧力値を厳密に求めるためには、計測前の校正作業が常に必要となる。実際に本節の性能評価等の試験では、値を確認するため校正装置(各セルへの過重負荷装置)



図6 実験装置概観

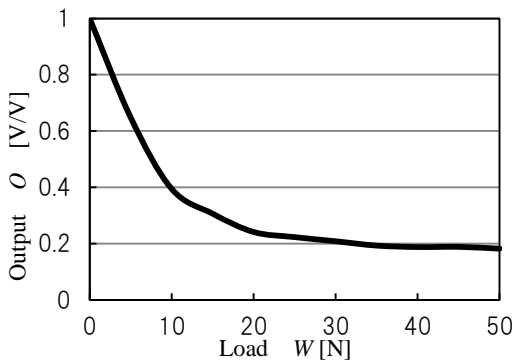


図7 各セルの圧力計測値

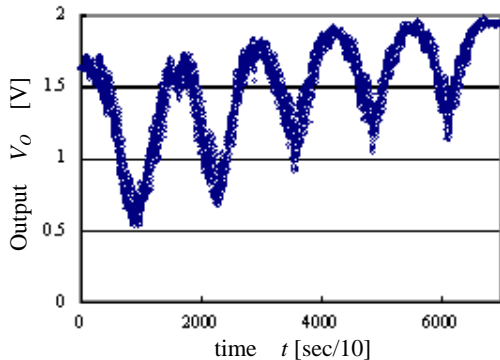


図8 圧力計測値のドリフト

で校正後に実験を行っている。しかし、本研究の目的である褥瘡の検知は、圧力の値そのものよりも、就寝時の体位や重心位置、圧力の変化の様子を知ることが重要となる。また、実際に介護等で使用する際に毎回校正作業を行うことは現実的ではない。そこで次節以降の体圧分布計測では短期的なドリフトについては無視し、計測開始ごとの初期抵抗値の変化に関しては、今回行ったように無負荷時の抵抗値を基準として正規化した変化量を指標とすることで、結果の標準化を試みた。なお計測時のプルアップ抵抗については、デジタルポテンショメータによりシステム起動時に自動調整することで、無負荷時の出力は毎回設定した初期出力値で開始される。

2-3 就寝者の体圧計測と判別

多層化した導電性編物を用いた体圧分布計測敷布を製作して、就寝時の体圧分布を計測した。前節の実験では計測セルのサイズを 40mm × 40mm まで微細化できることが実証できた。また 20mm × 20mm のサイズの編物も製作し、試験中である。一方、今回敷布については試験用として 100mm × 100mm を 1 セルとした 1600 × 800mm のサイズの敷布を製作して、実際に就寝時の体圧分布が計測可能か試みた (計測点数は 128 点)。マルチプレクサは電源側に 8ch、出力側に 16ch をそれぞれ一つづつ使用した。また、敷布は配線後に上下層で 90 度ず

らして縫い合わせ、さらに市販のシーツを重ねて布団の上に敷いて使用した。今回、無線の送信レートの制限から、各セルのサンプリング時間は 100ms としたため、敷布全面の出力分布計測に 13s ほど必要となった。ただし、褥瘡の予防のための体位変換サイクルは 2 時間が基準であるといわれていることから、計測周期として問題ないと考えられる。

体圧分布計測敷布による計測結果を図 9 に示す。被験者は 20 歳の男性で身長 176cm、体重は 80kg で、図は上から被験者の就寝状態、感圧部にかかる圧力の強弱について等高線および色で表示した結果である。肩や腰、ひざなど就寝時に寝具に強く振れている部分が確認できる。身体が触れていない部分についても出力変化が見られたが、これは布団の変形により編物生地が伸びたことによる変化であると考えられる。この結果から、就寝時の正確な圧力地や接触個所の厳密な判定は難しいが、重心位置とその接触強度の高低、体位の状態について本敷布により計測、観察できることが明らかとなった。

本研究では褥瘡の予防のため、重心位置と強度以外に就寝体位の状態を敷布から判別することを試みた。実際に介護者が計測結果を観察することで判別可能だが、常にモニタを監視することが現実的ではないため、体位の判別を自

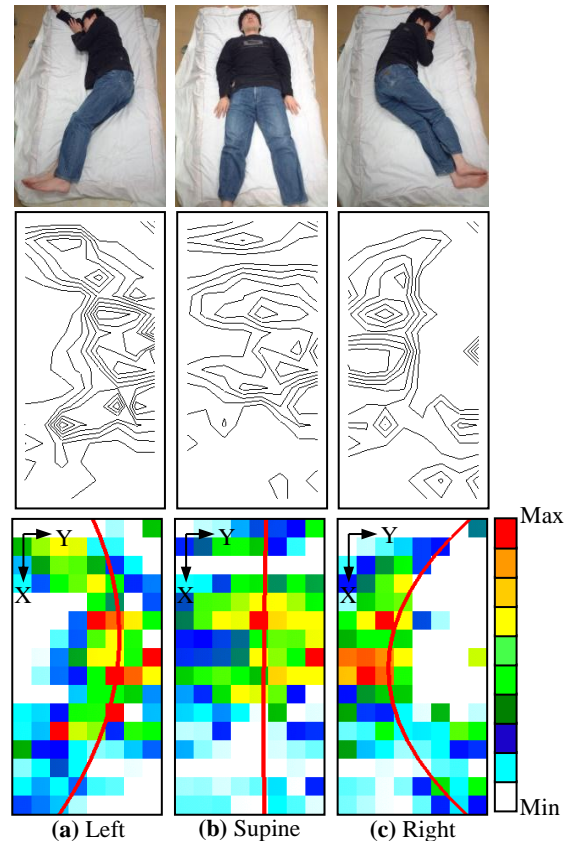


図9 体圧分布計測結果

表 1 体位判別結果

	左向	中央	右向	平均
認識率	76.7%	93.3%	91.7%	87.2%

動で行うシステムが必要となる。そこで本研究では識別器を用いた体位の自動判別を行った。識別器には階層型ニューラルネットワークを用い、敷布から得られた 128 点の出力情報をネットワークの入力値、そのときの就寝体位を教示情報としてネットワークの学習を行った。今回判別する体位は図 9 の左向き、仰向け、右向きの 3 姿勢とした。判別結果を表 1 に示す。表中の認識率は寝て起きてを 30 回繰り返したうち、正しく就寝時の体位を判別できた割合を示す。左向きの認識率がやや悪いが、平均して 87% の認識が可能であった。また体位の変化があったかどうかの判断については、ほぼ 100% 検知が可能であった。

3. 研究の成果

3-1 導電性編物製敷布の製作と性能評価

褥瘡検知に使用可能となるよう、計測セルサイズの微細化とそれによる計測点数の増加を目的とし、絶縁部を挟んで縞状に導電性編物を編みこみ、多層化した敷布を製作した。また敷布にかかるとの荷重を計測セルごとに測定可能であることが確認できた。生地のためにより、抵抗値が測定ごとに変化するため、無負荷起動時の値を 1 として正規化することで、校正なしでも褥瘡予防を目的とした就寝時の体圧分布の観察が可能となることを示した。

3-2 体圧分布計測システム

体圧分布計測のため、敷布の各セルの計測をマトリクスキャンによって行い、さらに計測結果を無線により記録装置(処理装置)まで送信するシステムを構築した。敷布及び同システムにより体圧分布を設計したセルごとに計測可能となった。これによって、褥瘡予防に必要な計測面積と計測点数で体圧分布計測が可能となった。また同システムにより予備試験用に 8×16 点の体圧分布計測敷布を製作し、実際に就寝者の体圧を計測した。これによって、就寝時の負荷の重心位置と就寝状態の観察が可能であることを示した。

3-3 体位識別

体圧分布計測結果から就寝者の体位状態の自動判別を行った。判別のためにパターン認識の識別器であるニューラルネットワークを用いて、左向き、仰向け、右向きの 3 姿勢について判別を試みた結果、87.2% の正答率を達成できた。また体位の変化の検知はほぼ 100% の識別が可能であった。これにより、褥瘡予防の最も重要な介護要素である一定時間体位変換状態について、本システムにより監視、警告が可能となると考えられる。

4. 今後の課題

褥瘡予防の介護補助機器として実現するために、以下のような装置の改良や実験、検証が今後必要であると考えられる。

体圧分布計測のための導電性編物製敷布について今回計測セルサイズを 100mm×100mm で試作したが、40mm×40mm および 20mm×20mm のサイズによる実験中であり、結果の取りまとめを行っている。また負荷重心位置と褥瘡発生箇所との因果関係について、一般的な体圧計測器具の結果などと比較して検証が必要である。今回、3 姿勢を対象とした体位判別を試みたが、より多様な就寝姿勢について、判別可能かどうか検討する。また、今回の実験では 20 代男性を対象としたが、年齢層、性別等の条件を広げて実験を行い、計測結果について比較を行う。最後に負荷重心位置の変動や体位変換頻度をトリガーとした褥瘡警報システムをスマートデバイス等をプラットフォームとして実装し、実地試験による効果の検証が必要であると考えられる。

5. 研究成果の公表方法

成果については代表者 HP (石川高専ドメイン) において web 公開するとともに、本年度 3 月に行われる日本機械学会北信越支部総会、来年度 5 月の日本繊維機械学会年次大会において発表し、順次論文発表を行う予定である。また石川高専の公開講座、企業交流会、石川県の産業技術展 (MEX 金沢) にて地元地域へ広く公開する。

以上