

MEMS3 軸力センサを用いた貼付型フレキシブル 褥瘡予防シートに関する研究

Design of Flexible Triaxial Force Sensor Sheet for Pressure Ulcer Prevention

2031016



研究代表者

静岡県工業技術研究所
沼津工業技術支援センター

研究員

細 野 美奈子

〔研究の目的〕

本研究の目的は、直交する3軸方向の力の計測が可能なセンサチップを貼付可能な緩衝剤に埋め込むことで、褥瘡好発部位にかかる力の分散かつ外力の検出を可能とするフレキシブル褥瘡予防シートを開発することである。

褥瘡とは、血流障害によって生じる創傷のことである。血流障害のおきる要因の一つに、身体に持続的に働く力が挙げられる。特に、安静或不活発のため長時間同じ体勢を保持することで、椅子やベッド等と身体との接触面に働く力が原因となり褥瘡が発生することが多い。褥瘡の発生を予防するため、クッションの導入や一定時間ごとの体位変換の他に、骨突出部を代表とする褥瘡の発生しやすい場所、いわゆる褥瘡の好発部位に対して、シリコンゴムやポリウレタンゴムから成る緩衝剤シートの貼付といった対策が取られている。しかし、各個人の体型や体勢によって好発部位に働く力は大きく異なるため、統一的な予防対策では十分な効果を発揮できない問題点がある。

本研究では、好発部位に用いられる緩衝剤シートに微小な力センサチップを埋め込むことで、貼付部位に働く力のモニタリングが可能な褥瘡予防シートの開発を目指す。力センサチップを埋め込む緩衝剤のサイズは有限要素法による解析結果をもとに設計する。また、シートの厚さを抑えられるよう、埋め込む力センサチッ

プは MEMS 技術によって製作した厚さ数百 μm のものを用いる。この褥瘡予防シートを貼付することによって、各個人の好発部位に働く力が計測可能となり、より効果的な褥瘡予防の実現につながると考えられる。

〔研究の内容、成果〕

埋め込む力センサチップおよび力センサチップを埋め込んだ緩衝剤を図1に示す。図1(a)

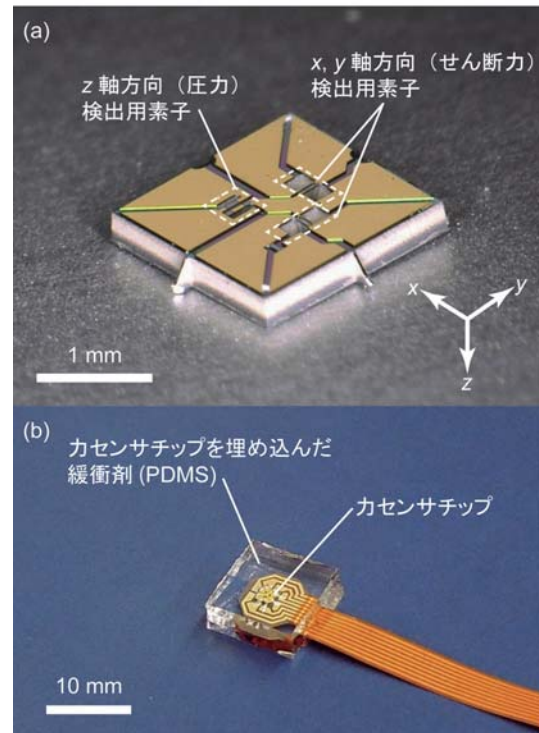


図1 (a) 力センサチップ、(b) 力センサチップを埋め込んだ緩衝剤

に示すように、力センサチップ上には、一対のビームからなる力検出用素子が計3組構成されている。各ビームにはピエゾ抵抗素子が形成されており、ビームに生じるひずみを抵抗値変化として読み取ることができる。力センサチップのサイズは $2.0\text{ mm} \times 2.0\text{ mm} \times 0.3\text{ mm}$ である。この力センサチップを図1(b)に示すように緩衝剤に埋め込むことで、緩衝剤の変形とともにビームにひずみが生じ、緩衝剤の表面にかかる直交3軸方向の力が計測可能となる^[1]。本研究では、緩衝剤の材料として、生体親和性を持つため市販の緩衝剤にも使用されているシリコンゴム (Polydimethylsiloxane, 以下 PDMS) を用いることとした。本研究で用いた PDMS の動的粘弾性解析 (以下, DMA) の結果を図2に示す。図2に示す結果より、0.1 Hz から 10 Hz の範囲内において、PDMS の弾性率に周波数依存性は見られなかった。このことから、想定する褥瘡予防シートの利用環境下において、PDMS の機械的特性は一定値を保つと考えられる。また、 $\tan\delta$ も 0.1 以下であったことから、粘性による影響を無視して本研究では PDMS を弾性体とみなすこととした。

DMA によって得られた PDMS の機械的特性をもとに、力センサチップを埋め込む緩衝剤 (PDMS) のサイズを決定するために有限要素法解析 (使用したソフトウェア: COMSOL Multiphysics) を行った。解析では、PDMS の形は直方体とし、厚さを 0.5 mm から 6 mm まで、底面を正方形としたときの一边の長さを 5

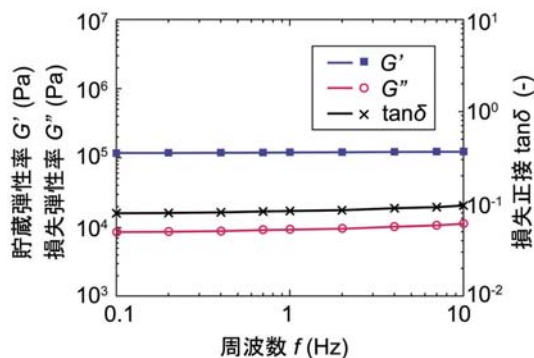


図2 PDMS の動的粘弾性解析

mm から 40 mm まで変化させた。このとき、埋め込んだ力センサチップの各軸方向の力検出用素子に生じるひずみの変化に着目した。

解析結果の例として、厚さ 2 mm、底辺の長さ 10 mm の PDMS 上面に対して、 y 軸方向にせん断応力 1 kPa をかけたとき埋め込んだ力センサチップの各軸方向検出用素子に生じたひずみの様子を図3に、 z 軸方向に圧力 1 kPa をかけたときのひずみの様子を図4に示す。ピエゾ抵抗は、 x, y 軸用素子では各ビームの内側側面に、 z 軸用素子では各ビーム上面に形成されている。図3に示す結果より、 y 軸方向せん断応力に対して、対応する y 軸用素子のピエゾ抵抗に大きくひずみが生じた (図3(c))。一方で、別の2軸用の検出素子ではほとんどひずみが生じなかった (図3(b)(d))。同様に、図4に示す結果より、 z 軸方向圧力に対して、対応する z 軸用素子以外ではほとんどひずみが生じな

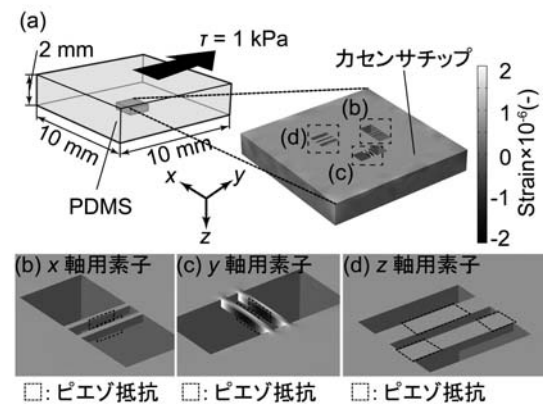


図3 (a) 力センサチップを埋め込んだ PDMS モデル, (b) (c) (d) PDMS 上面にせん断応力 1 kPa 負荷したときに各軸方向素子に生じるひずみ

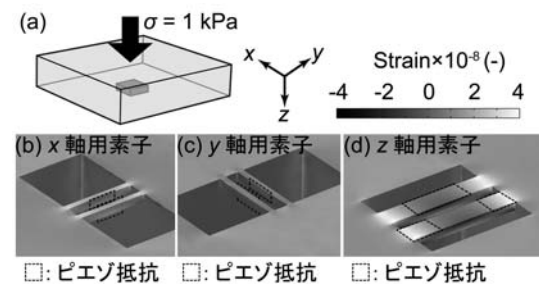


図4 (a) 力センサチップを埋め込んだ PDMS モデル, (b) (c), (d) PDMS 上面に圧力 1 kPa 負荷したときに各軸方向素子に生じるひずみ

かった。また、結果は省略するが、 y 軸用素子と力センサチップ上で対称的な位置に配置されている x 軸用素子は、 x 軸方向せん断応力に対してのみひずみが大きく生じることが分かった。以上の結果から、力センサチップは直交する 3 軸方向の力を分離して計測できることを確認した。

続いて、PDMS の厚さおよび底辺長さを変化させたとき、PDMS 上面に働く y 軸方向せん断応力 1 kPa に対して、 y 軸用検出素子の片側のビームに生じたひずみの比較結果を図 5 に、 z 軸方向圧力 1 kPa に対して z 軸用検出素子の片側のビームに生じたひずみの比較結果を図 6 に示す。図 5 に示す結果より、PDMS 底辺の長さに対して PDMS 厚さが十分に小さいとき、

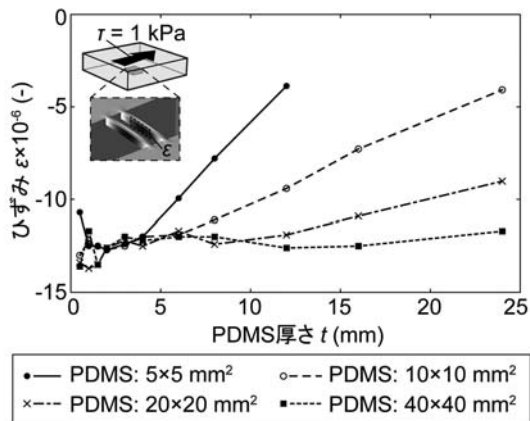


図 5 PDMS サイズによって y 軸用素子に生じるひずみの変化 (せん断応力負荷時)

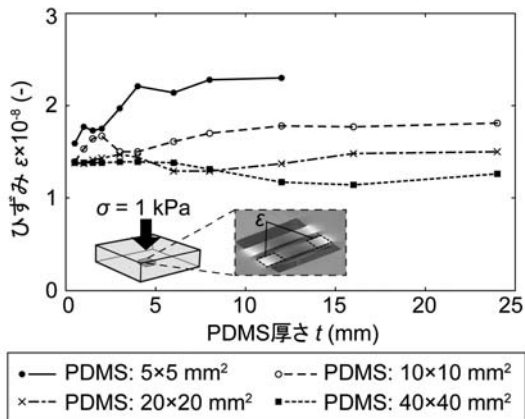


図 6 PDMS サイズによって z 軸用素子に生じるひずみの変化 (圧力負荷時)

y 軸用検出素子の片側のビームに生じたひずみの大きさは底辺長さや厚さに依らずほぼ同じ値をとった。しかし、厚さが底辺長さの 1/2 を超えると、厚くなるにつれてひずみの大きさが小さくなる傾向が見られた。一方、図 6 に示す結果より、圧力に対しては、PDMS 厚さと底辺長さの比が z 軸用検出素子のビームに生じるひずみに与える影響はほぼ見られず、ひずみの値は大きく変化しないことが分かった。以上の結果から、PDMS の厚さが底辺長さの 1/2 を超えないように対象部位に合わせて PDMS のサイズを設計すれば、力センサチップの感度を落とすことなく褥瘡予防センサシートが実現できることが分かった。

有限要素法解析の結果から、PDMS のサイズを 40 mm×40 mm×2 mm として力センサチップを埋め込み、褥瘡予防センサシートを製作した。製作したセンサシートを肩甲骨に貼付し、椅子に座って (i) 背中をずり上げる、(ii) 背中をずり下げる、(iii) 背中を右へ傾ける、(iv) 背中を左へ傾ける、と順番に姿勢を変化させた。このとき、背もたれと肩甲骨の間に働く力をセンサシートによって計測した。センサシートの応答結果を図 7 に示す。センサシートの各軸方向の出力は、あらかじめ 6 軸力センサを用いて行ったキャリブレーション結果をもとに応力値に変換した。図 7 に示す結果より、製作したセンサシートは肩甲骨と背もたれの間に働く直交 3 軸方向の応力を分離して計測可能で

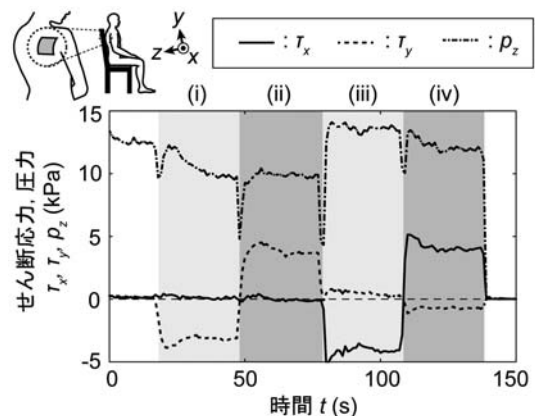


図 7 肩甲骨に貼付した褥瘡予防センサシートの応答

あることが分かった。

[今後の研究の方向, 課題]

本研究では, 貼付部位に働く力のモニタリングが可能な褥瘡予防センサシートの開発を行った。また, 予防センサシートを設計する上で緩衝剤のサイズがセンサ応答に与える影響を有限要素法解析によって示した。今後は, 各褥瘡好発部位に合わせたサイズのセンサシートを製作し, 貼付の有無によって部位に働く力の変化を比較することによって, 開発した褥瘡予防センサシートの有効性を評価する予定である。

[参考文献]

- [1] H. Takahashi, A. Nakai, *et al.* “A triaxial tactile sensor without crosstalk using pairs of piezoresistive beams with sidewall doping.” *Sensors and Actuators A : Physical*, Vol. 199, pp. 43–48, 2013.

[成果の発表, 論文等]

- M. Hosono, K. Noda, *et al.* “Dynamic performance analysis of a micro cantilever embedded in elastomer.” *Journal of Micromechanics and Microengineering*. Vol. 25, No. 7, article no. 075006, 2015.