

車いす上での褥瘡の発生予測への応用を想定したシート型剪断力センサ

A sheet-type shear force sensor, assuming use to predict development of pressure ulcer on wheelchair

○ 外山滋、田中靖紘（国立障害者リハビリテーションセンター研究所）

海野暁央、上原遼、五十嵐洋（東京電機大学工学部）

Shigeru TOYAMA, Yasuhiro TANAKA, Research Institute, National Rehabilitation Center for Persons with Disabilities
Tokio UMINO, Ryo UEHARA, Hiroshi IGARASHI, School of Engineering, Tokyo Denki University

Abstract: A thin shear force sensor has been developed. This sensor comprised of flexible materials such as plastic sheets, silicone rubber, and liquid electrolyte. The sensor was designed to deform its shape by applying shear force, and causing change in the distance between the electrodes fabricated in the inner space of the sensor, and that would increase/decrease the impedance between them because the space was filled with a liquid electrolyte. The thickness of the sensor was about 0.8 mm, which seems sufficiently thin to be attached on human body surface. Furthermore, it exhibited linear response upon application of shear force. The sensor could be used to a prediction system that gives alert risk of development of pressure ulcer on wheelchair by measuring shear stress between human body and chair cushion.

Key Words: assistive technology, sensing devices, shear stress

1. はじめに

脊髄損傷者・頸椎損傷者が車いす上で褥瘡を形成しやすいとの報告がある。一般的に褥瘡のリスクファクターとして圧力による血流阻害が知られているが、圧力のみならずせん断力も血流の阻害がであるとの認識がある（例えば文献1）。また、文献²⁾によれば、せん断力が大きくなるとより小さい圧力下で血流阻害が生じるうことが報告されている。そこで、リアルタイムに座骨結節部付近のせん断力を測定することにより、危険性を事前に検出できる可能性がある。ここで、せん断力を測定するためには、せん断力センサを車いすのクッション側か、障害者の身体側のどちらかに設置することになる。クッション側に設置する場合は、無拘束計測が実現できる反面、センサの取り付け位置が固定されるため、着座位置や体位によって計測ができない可能性がある。一方、障害者の身体側に付ける場合、適切な位置に取り付けることが可能であると思われるが、センサ自身の存在によって身体局所に圧力が加わる可能性が否定できない。そのためは、十分に小型かつ薄く、できれば身体形状に合わせてフレキシブルなセンサが必要である。

ところで、従来よりせん断力 (shear force) センサ、力覚センサ、触覚センサなど名称が異なるが、実質的にせん断力を測定するためのセンサが様々に開発されている。最近では MEMS 技術の応用として小型なものが開発されてきている。しかし、厚みに関してはまだ十分に薄いとは言えない。その理由として、MEMS 型センサは、ベースであるシリコンウェハの厚みでそのまま利用できるわけではなく、耐久性を持たせるためなどの理由でパッケージングをする必要がある。

そこで、我々はポリマー等の柔軟な素材のみを利用してセンサの開発を行ってきた³⁾。また、これまでに厚さが 0.8mm 程度のせん断力センサを試作している（配線を除く核心部分の直径は 16mm 程度⁴⁾。このセンサはプラスチックシートでできているので、若干の形状変化であれば応答特性の若干の変化は否定できないものの形状的には追従できる。今回、このセンサについてより詳細に説明するとともに最新の状況について報告し、さらに応用への展望について述べる。

1-1 センサの構造と測定原理

センサ構造の概略を Fig. 1 に示す。センサは基本的に 2 枚のプラスチック製のフレキシブル電極基板、ゴムリングとから成り立っている。図ではゴムリングの厚みが強調されているが、実際は薄いシート状である。上部電極シートには中心部に 1 個の電極（中心電極）が形成されており、下部電極シートには円上に 4 個の電極（周辺電極）が形成されている。2 枚のシートとゴムリングとの間の空間は液体電解質が充填される。また、上部電極シートの中央にはゴムリングと同じ厚さのプラスチックシート片が接着される。ただし、このシート片は下部電極シートとは接触するだけで固定はされていない。

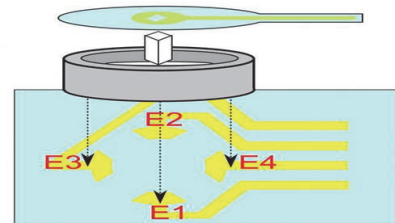


Fig. 1 Overview of the structure of the sensor.

Fig. 2 にはセンサにせん断荷重を加えたときの変形の様子を示す。図はセンサの断面を模式化したものである。センサの表面方向に水平な力（せん断荷重）を加えると、ゴムリングが変形するが、これによって上部シートと下部シートとの間に変位が生じる。これにより、力を加える前は中心電極と 4 つの周辺電極との間は等距離であったが、力を加えることにより、距離が増加するものと減少するものが出てくる。電極間には均一な体積抵抗率を有する電解質で満たされているので導電性があるが、電極間距離が伸びれば電極間抵抗は増大するし、縮まれば電極間抵抗は減少する。従って、せん断荷重と電極間抵抗値との間の関係をあらかじめ調べておけば、電極間抵抗の測定値よりせん断荷重の推測が可能となる。なお、周辺電極は中心電極に対して 4 方向に形成されているので、どの方向からの力であるかも推測が可能である。

なお、中央部のプラスチックシート片があることにより圧力に耐性のある構造となっており、せん断力のみに応答する様に設計されている。

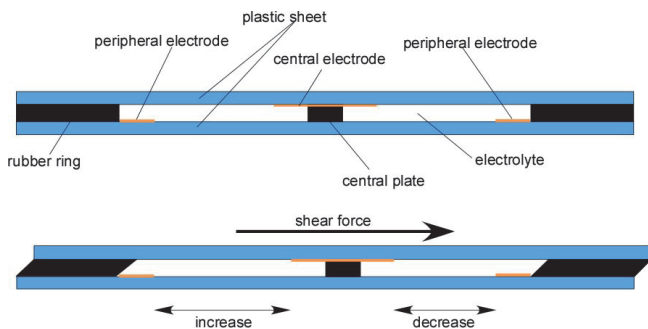


Fig. 2 Deformation of the sensor upon application of shear force.

2. センサと周辺回路の作製方法、およびセンサの評価方法

センサ用の上下のフレキシブル電極シートは既発表論文⁵⁾に準じて準備した。シート本体の材質としては厚さ0.1mmのOHP用シートを用いた。その上に厚さ200nmのAu薄膜を電極として形成し用いた。ゴムリングは厚さ0.5mmの硬度5°のシリコンゴムシートをカットしたものを用いた。各層間はシリコン系接着剤を用いて接着させた。液体電解質は既報³⁾に準じ、LiClを含むエチレングリコール溶液とした。また、中心部のプラスチックシート片にはアクリル材を利用した。Fig. 3にはこうして作製したセンサの写真を示す。

センサの駆動にはマイクロプロセッサをベースとする回路を作製し用いた(Fig. 4)。基本的には交流インピーダンス測定(300mV以下、25kHz)であり、中心電極と各周辺電極間のインピーダンスを出力する。測定結果はパソコンに取り込める様になっている。

センサの応答評価は、センサの上にプラスチック製の板を粘着材と、その上に載せる重りによって固定し、さらに水平方向に力を加え、そのときのインピーダンスの変化をもって行った。

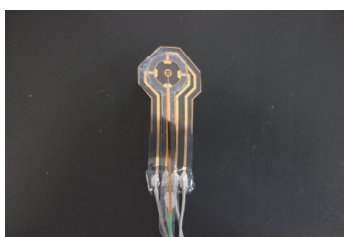


Fig. 3 Photograph of the sensor.

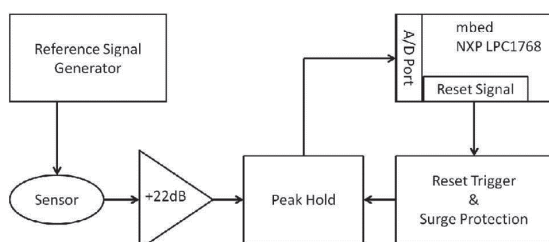


Fig. 4 Schematic block diagram of the measurement circuit.

3. 結果と考察

Fig. 5にセンサ応答をまとめたグラフを示す。せん断荷重はFig. 1のE4からE3に平行な方向に加えた。センサの出力は電極間インピーダンスに比例した値である。この図を見ると、電極E3(と中心電極との間)のインピーダンスはせん断荷重に対して線型に減少している。一方、真反対にある電極E4のインピーダンスはせん断荷重に対して線型に増加している。また、電極E1やE2はせん断荷重に対して僅かしか変化していない。この結果より、本センサは設計時の想定に従った応答を出力することが示された。

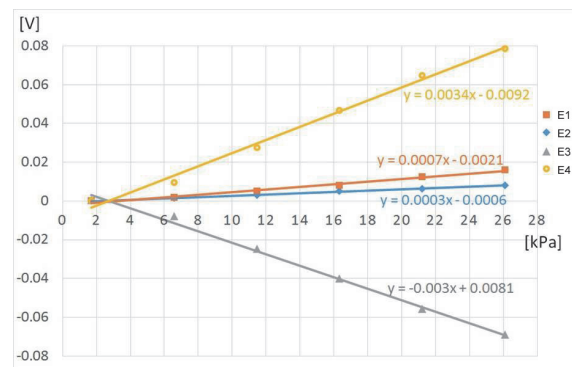


Fig. 5 Sensor output as a function of applied shear force

4. まとめ

本センサはプラスチックシート、ゴム、液体という柔らかな素材のみから構成されており、さらに厚みを1mm以下にできたことで、身体表面近傍に取り付けが視野に入ってきた。今後、これを衣服(ズボン、下着等)に接着させることで障害者の身体側に邪魔にならない形でセンサを取り付けることができるものと思われる。今回、可能であれば、本センサの改良型を用いた応用測定例についても発表したい。

なお、本研究は科学研究費(23560060, 24240083)の助成を受けて行ったものである。

参考文献

- (1) D. M. Brienza, M. J. Geyer, Using support surfaces to manage tissue integrity, *Adv. Skin Wound Care*, **18**(3), 151-157, 2005.
- (2) L. Bennet, D. Kavner, B. K. Lee, Shear vs Pressure as Causative Factors in Skin Blood Flow Occlusion, *Arch. Phys. Med. Rehab.*, **60**, 309-314, 1979.
- (3) S. Toyama, S. Utsumi, T. Nakamura, T. Noguchi, Y. Yoshida, A novel thin shear-stress sensor using electrolyte as a conductive element, *Sens. Lett.*, **11**, 442-445, 2013.
- (4) 上原遼, 海野暁夫, 五十嵐洋, 田中靖紘, 中村隆, 外山滋, シート型せん断力センサの開発, 平成26年電気学会全国大会講演論文集3, p. 188, 2014.
- (5) S. Toyama, K. Aoki, S. Kato, M. Nakamura, R. Usami, Fabrication of electrodes for chemical sensors on overhead-transparency film, *Electrochem.*, **74**, 128-130, 2006.