スマートラバー技術を用いたセンサー “胸骨圧迫訓練評価システム『しんのすけくん』”

小 久 保 陽 太

Sensor Development Using Smart Rubber Technology. The Chest Compression Practice Evaluation System "shinnosukekun".

Kokubo YOUTA (Health and Nursing Care Products Business Unit, Sumitomo Riko Co., Ltd. 1 Higashi 3-chome, Komaki, Aichi 485-8550 Japan) yota.kokubo@jp.sumitomoriko.com

Rubber is widely used in automotive and consumer fields. We are investigating the application to electrostatic capacitive sensors and electrostrictive polymer actuators by making rubber conductive. The conductive rubber sandwiches the dielectric layer (foamed urethane) so that it detects the capacitance change of the layer due to the load stress on the sensor. By using conductive rubber, we have succeeded in developing highly reliable capacitive sensor. We are promoting sensor development that can be used in medical, nursing care and automotive fields. In addition, it can also apply to an electrostrictive polymer actuator by laminating a rubber electrode and a dielectric layer with high insulating property.

(Received on February 28, 2018)

Key Words : Electrostatic Capacitive Sensor, Conductive Rubber, Polymer Actuator

1. は じ め に

ゴム製品は、タイヤ、自動車・産業用防振ゴムやホース、住宅用制振ダンパーなど身近なところで商品化されている。一般的にはゴム製品はゴムの最大の特徴である伸ばした後の復元性や粘弾性特性を活用した製品が多数である。しかし、ゴムの持つ特徴に新たな機能を付与することで新たな製品の創出につながる可能性を秘めた材料でもある。

本総説では、ゴム特性を活かし、新たな機能として導電性を付与することで新商品を開発した事例について紹介する。

近年、IoTの発達とともに取得したデータを送信し、即座に解析した結果を利用者にフィードバックする取り組みが増えつつある。こうした取り組みは、個人の健康管理や工場における生産設備の異常診断や生産効率向上だけでなく医療の遠隔診断へとつながる重要な技術となっていくで

あろう。

個人の健康管理や医療・健康・介護の分野では、センサーを非装着状態で必要なデータを取得できるセンサーが必要になる。人とセンサーが触れる状態でセンシングするため、人に違和感を与えない柔軟性の高いセンサーが望まれる。今回、車椅子や床ずれ防止マットレスにおける人の体重がどのように分散しているか可視化するための静電容量式センサー（SRセンサー）が開発された。このセンサーはゴム電極間に挟んだ誘電層（発泡ウレタン）の厚みがセ

小久保陽太；住友理工㈱健康介護事業室（〒485-8550 愛知県小牧市東三丁目1番地）。平成21年、京都工芸繊維大学大学院物質工学科卒業。同年、東海ゴム工業㈱（現、住友理工㈱）入社、現在に至る。専門は、製品開発。

ンサーへの負荷応力により減少することで変化する静電容量をセンシングすることで面圧センサーとして利用できるものである。

さらに、柔軟電極と絶縁性の高い誘電材料を積層化することで高分子アクチュエータへの可能性について述べていきたい。

2. センサー構造と応用性

2.1 基本構造

図1に本センサーの基本構造を示す。発泡ウレタンなどの柔軟な材料を誘電層とし、その誘電層の上下にゴム電極層を配置している。この上下に配置されたゴム電極はそれぞれ直角になるように交差している。この交差部分をセルと呼び、コンデンサを形成している。セルに圧力が加わった際のコンデンサの静電容量値を計測している。ゴム電極の本数や幅、セルの数などは用途に応じて設計することができる。電極層を形成する材料もすべて柔軟な材料もしくは柔軟性を損なわない材料を使用している。本センサーは人が着座した時に変形しても計測が可能な静電容量型の圧力センサーである。このようにすべてが柔軟な材料で構成されたセンサーにすることで、人が触れた際の違和感がなく、負担の少ない製品を製造することができる。

2.2 柔軟電極材料

本センサーは人に接する部位で使用するため人が押したり座ったりした状況において電極の導電性が損なわれてしまうと製品として機能しない。このため、センサーに大きな力が加わった際の変形にも対応できるように、センサーの電極材料には、伸長変形によって抵抗値が変化しにくい材料が必要である。一般的に、高い導電性を得ようとする導電フィラーを多量に充填するため柔軟性を損なってしまう。このため、分散手法まで踏み込み配合の最適化を行うことでゴムの柔軟性を失わず導電性の両立を可能にした(図2)。また、センサーとしての信頼性を確保するため湿熱環境下での通電試験を行い性能の確認を行った。湿熱環境下においても安定して通電性が確保されていることがわかる(図3)。

図1 SRセンサー基本構造

2.3 ゴム電極の応用性

センサーに用いているゴム電極は先に述べたように①伸ばしても導電性を失わないこと②湿熱環境下においても電極としての性能を維持できることから応用性が高い。このため、ゴム電極と絶縁性の高い誘電材料と積層化することで電歪型高分子アクチュエータとしても応用できる。

ゴム電極へ電圧を印加することにより誘電層の上下面に異符号の電荷が蓄積され、クーロン力によって引き合うことで厚み方向に縮み、面方向に伸びる。作動イメージ図を図4に示す。

電歪型高分子アクチュエータとして利用する場合、柔軟

図2 導電材の弾性率と電気抵抗

図3 導電材の耐湿熱性評価結果

図4 電歪型アクチュエータ作動イメージ

電極同様誘電材料もゴム弾性を有しかつ高誘電高抵抗特性を兼ね備えていなければならない。この理由としては、電圧印加時に誘電層の抵抗が低いとジュール熱により熱破壊を起こすので高抵抗化が必要になる。さらに、高変位のアクチュエータを作製するためには材料の誘電率を高め電圧印加時の誘電分極を高め、誘電層の上下面に多くの電荷蓄積を行うことが重要である。しかし、図5に示すように、抵抗が高い汎用ゴム材料は、分子構造内部に極性基を有していないことから比誘電率は低く、電歪型高分子アクチュエータの誘電層素材としては不向きな部分がある。

誘電層自体が電圧印加に対して繰り返し変形することで機能を発現することから高い信頼性が必要になる。このため、ゴムの架橋形態・充填剤の選定や分散の均質性に配慮した配合設計が重要である。

アクチュエータをコンデンサとして考えた場合、コンデンサ内の静電容量 C とすると印加電圧 V と電極間に蓄積される電荷 Q との間には、以下の関係が成り立つ。

$$Q = CV$$

$$C = \varepsilon(S/d)$$

ε : 比誘電率, S : 電極面積, d : 電極間距離 (= 誘電層厚み)

また、コンデンサに蓄えられるエネルギー W は、

$$W = (1/2) \varepsilon(S/d) V^2 = 0.5 \varepsilon(S \cdot d) E^2$$

E : 電界強度 (V/d)

で表すことができる。

このことから、アクチュエータの力を高めるためにはゴムの高比誘電率化ならびに高い耐電圧性が望まれることになる¹⁾。

3. センサー開発

3.1 センサーの構成

静電容量式センサーを胸骨圧迫訓練用センサーへの適用を検討した。心臓マッサージ(骨圧迫)の重要性について

図5 汎用ゴム材料の抵抗値と比誘電率の関係

は、日本蘇生協議会から、JRC 蘇生ガイドライン2015²⁾ が発表されている。

胸骨圧迫では、胸の真ん中(胸骨の下半分)を、手根部で押すこととされている²⁾。胸骨の下半分は、成人で幅3 cm, 長さ2.5 cm ~ 3 cm 程である。そのため、図6に示すように、胸骨圧迫訓練評価システムのセンサーは、1 cm 角のセルを縦と横に5つずつ並べた25マスのセルで構成された約5 cm 角のセンシングエリアを有する。

胸骨圧迫の訓練では、訓練人形を使用する。その際、圧迫時に訓練人形にかかる圧力と訓練人形が押し込まれる深さは、線形比例となることから、圧力値から圧迫深さを算出することで訓練時に圧迫が適正に実施されているかの確認に役立っている(図7)。

3.2 圧迫位置の可視化

圧迫位置は、これまで目視による評価が多く、詳細な検討はされてこなかった。そこで圧力分布センサーを用いた胸骨圧迫訓練評価システムを活用し圧迫位置についての評価を行った。

図8に示すように、胸骨圧迫訓練評価システムのセンサーは、25マスの各セルの圧力値を個々に検出しているため、圧力分布を表示することによって、圧迫位置を可視化することができる。この胸骨圧迫訓練評価システムのセンサーに、胸骨圧迫するべき位置がわかるように5 cm 角の

図6 胸骨圧迫訓練評価システムのセンサー部(イメージ)

図7 胸骨圧迫訓練評価システムの深さ算出方法

中心に直径1 cmのマークを付けた(図9)。マークを付けたセンサーを訓練用人形(高研社製セーブマン)の胸骨の下半分の位置に両面テープで貼りつけた。胸骨圧迫の実施者には、中心につけたマークを狙って胸骨圧迫を行うようにアナウンスして実施した。胸骨圧迫の際、圧力分布画面は確認せずに行った。胸骨圧迫時、最も大きな圧力を受けたセルを圧迫点と定義した。図10で示すように、圧迫点がセンサーの中央の3 cm角の領域内にあれば、圧迫位置が適正とし、圧迫位置がずれた際には、それぞれ人形の右手側、左手側、足側、頭側のグループに分類した。同時に

図8 圧迫位置の検出

図9 圧迫位置の評価

図10 圧迫時の圧力分布表示 (a) 中央, (b) 訓練用人形の右手側, (c) 左手側, (d) 足側, (e) 頭側

図11 圧迫位置の評価結果

二方向にずれていた場合(例えば、頭側にずれ、かつ、右手側にずれている場合)は、二方向ともに位置ずれとした。

圧迫位置の評価結果を図11に示す。65%の実施者の圧迫位置がずれていた。圧迫位置がずれた方向は、人形の右手側(胸骨圧迫実施者に近い側)と人形の頭側にずれることが多い傾向があることが今回のセンサーを用いることでわかった。このように、胸骨圧迫訓練評価システムを使用することで今までは目視にて確認していた圧迫位置を可視化でき、さらには人の手の形まで考慮した評価ができることがわかった^{3,4)}。このため、本センサーを用いて訓練することで正しい救命措置が実施されることが期待される。

4. ま と め

柔軟で繰り返し伸長しても導電性を維持できるゴム電極を活用した柔軟圧力分布センサーは、圧力の情報をリアルタイムで胸骨圧迫時の深さに換算し、表示することが可能であることから、胸骨圧迫訓練評価システムに応用されている。これは、柔軟圧力分布センサーの技術が圧力分布を計測する製品だけでなく、医療・健康・介護の分野でさまざまな用途に応用展開できる可能性を示しており、これからもこの技術が社会に貢献できる製品に応用されることを期待する。

一方、ゴム電極とゴム誘電材料の積層化することで電歪型高分子アクチュエータへの応用を進めている。この技術はモーターと異なり十数ミクロン単位で成形されたゴム膜を多層化することでアクチュエータを作製できるため狭小スペースや曲面に配置できることから、新しい発想での商品開発に役立てるものと期待している。

謝辞

胸骨圧迫訓練システム開発にあたり、多大なご協力をいただきました自治医科大学麻醉科学・集中治療医学講座兼 救急医学講座の南浩一郎講師に深く感謝の意を表します。また、本総説執筆に当たり助言を賜りました住友理工(株)高松成亮氏にお礼申し上げます。

用語集

参考文献

※1 日本蘇生協議会（JRC）の会員である学会員から構成するガイドライン作成委員会が、国際蘇生連絡委員会（ILCOR）による2015 Consensus on Science with Treatment Recommendations（CoSTR）に基づいて作成した救急蘇生のためのガイドライン

- 1) 高松成亮 日本ゴム協会第52回夏期講座要旨集, 2017; P.47.
- 2) 日本蘇生協議会ガイドライン作成委員会 第1章 一次救命処置 3 アルゴリズムの科学的背景. In JRC 蘇生ガイドライン2015; 医学書院: 東京, 2016; pp22.
- 3) Minami K, Kokubo Y, Maeda I, Hibino S. Real-time feedback of chest compressions using a flexible pressure sensor. Resuscitation. 2016, 99, e11-e12.
- 4) Minami K, Kokubo Y, Maeda I, Hibino S. Analysis of actual pressure point using the power flexible capacitive sensor during chest compression. Journal of Anesthesia, 2017, 31 (1):152-155.

*

*

*

*

*