



救急講習で使用する“胸骨圧迫訓練評価システム『しんのすけくん』”

Chest Compression Evaluation System for First Aid Courses
“Shinnosuke-kun”

小久保 陽太*
Youta Kokubo

前田 一之助
Ichinosuke Maeda

日比野 真吾
Shingo Hibino

南 浩一郎
Kouichirou Minami

住友理工(株)では、これまで培ってきた高分子の配合技術を活かし、柔軟な静電容量型の圧力センサである『スマートラバー (SR) センサ』を開発してきた。このSRセンサの技術を応用し、心臓マッサージ (胸骨圧迫) の訓練評価システム『しんのすけくん』を開発した。『しんのすけくん』は、胸骨圧迫の訓練時の、圧迫深さ、テンポ (リズム)、リコイルに加えて圧迫位置も評価できることが特長のリアルタイムオートフィードバック機器である。さらに、SRセンサを用いていることにより、マットレスの上など柔らかい下地でも圧迫深さを評価できることも特長である。『しんのすけくん』が普及することにより、心肺蘇生を行える人材の裾野の拡大に貢献し、救命率の向上につながることを期待している。

Sumitomo Riko Company Limited produces smart rubber (SR) sensors, power flexible capacitive sensors that use the macromolecule compounding technology. Applying the SR sensor technology to the evaluation system of chest compression, “Shinnosuke-kun” has been developed. This machine measures the compression point, depth, rate, and recoil in cardiopulmonary resuscitation training. Thanks to the SR sensor, it can also estimate the compression depth even when the test is conducted on a soft mattress. We expect to increase the number of lives saved through the development and widespread use of this product.

キーワード：圧力センサ、静電容量型センサ、柔軟電極、胸骨圧迫

1. 緒言

医療・健康・介護の分野では、車椅子や床ずれ防止マットレス等のような機器のニーズが高まり、研究や商品開発が行われている。このような製品は人と接触するため、柔軟性があり、接触の位置や形状、接触力を検出できるセンサが重要である。住友理工(株)では、これまで培ってきた高分子の配合技術を活かし、柔軟な静電容量型の圧力センサである『スマートラバー (SR) センサ』を開発してきた。このSRセンサの技術を活かし、これまでに車いすなどの座面の圧力分布を可視化できる製品『SRソフトビジョン (分布版)』や、それを数値化できる『SRソフトビジョン (数値版)』、離床を検知する製品、寝ている際の圧力分布を可視化する製品『SRソフトビジョン (全身版)』、さらに、SRセンサで体圧分布を計測し、凹凸形状を変化させることで床ずれ防止に役立つ『SRアクティブマットレス』などを開発してきた。これらの製品は、柔軟であるため、人に直接触れても痛みや違和感などがなく、安心して使用できる。本論文では、このSRセンサの技術を応用して開発した、心臓マッサージ (胸骨圧迫) の訓練評価システム『しんのすけくん』(図1)について述べる。

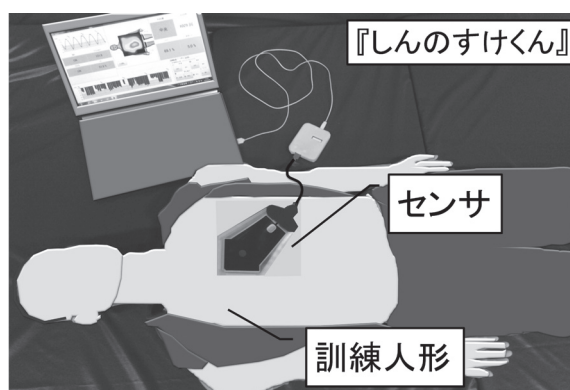


図1 胸骨圧迫訓練評価システム『しんのすけくん』

2. 開発の背景

心臓マッサージ (胸骨圧迫) の重要性について説明する。日本蘇生協議会から、JRC蘇生ガイドライン2015^{*1}が発表されている。その中で心停止や窒息状態、これらが切迫している傷病者を救命し、社会復帰させるためには、「救命の連鎖」が必要であり、以下の4つの要素が重要と提唱されている。

- ①心停止の予防
- ②心停止の早期認識と通報
- ③1次救命処置（心肺蘇生と自動体外式除細動器AED）
- ④2次救命処置と心拍再開後の集中治療

この中で③1次救命処置は、胸骨圧迫と人工呼吸による心肺蘇生（CPR: Cardio Pulmonary Resuscitation）とAEDの使用が含まれ、これらは市民救助者も実施できる数少ない医療行為であるとともに、心停止傷病者の社会復帰において大きな役割を果たす⁽¹⁾。この胸骨圧迫は、心臓をポンプのように動かし、脳に酸素を送ることが目的である。この中で最適な胸骨圧迫は、正しい位置を正しい深さとテンポで圧迫し、圧迫と圧迫の間の解除を完全にして、胸骨圧迫の中断を最小限とすることと定義されている⁽¹⁾。

CPRを的確に行うために、訓練人形を用いた救命訓練が実施されている。特に救急救命士は、様々なシチュエーションで救命活動を行っていることから、それに対応するための訓練が必要と考えられる。そこで、SRセンサ技術を応用し、簡単に使用でき、わかりやすく胸骨圧迫の訓練の評価が行える、胸骨圧迫訓練評価システムを開発した。

3. センサの構造と検出方法

3-1 基本構造

図2にSRセンサの基本構造を示す。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電極層を配置している。この上下に配置された電極層の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。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全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。特に電極材料は、伸長や変形によって抵抗値が変化しにくい独自材料を用いている。このように、SRセンサは伸長や変形しても計測が可能であり非常にユニークな静電容量型の圧力センサである。

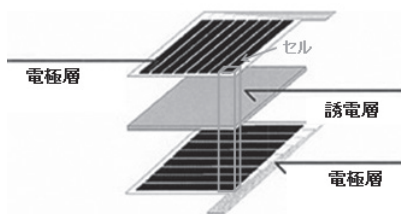


図2 SRセンサの基本構造

3-2 検出方法

図3に静電容量型センサの断面構造を示す。上下に配置

された電極層の電極本数をそれぞれ I 本と J 本とすると、1枚のセンサに $I \times J$ 個のセルが形成される。片面の電極層の i 本目の電極ともう一方の電極層の j 本目の電極が交差してできたセル (i, j) の静電容量 $C(i, j)$ は下式で表すことができる。

$$C(i, j) = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{S(i, j)}{d(i, j)} \quad (i = 1, 2, \dots, I; j = 1, 2, \dots, J)$$

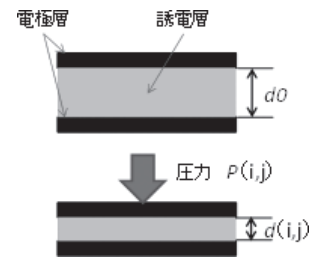


図3 センサの断面構造（イメージ図）

ここで、 ϵ_0 は真空の誘電率、 ϵ_r は誘電層の比誘電率、 $S(i, j)$ はセル (i, j) の電極面積、 $d(i, j)$ はセル (i, j) の電極間距離（誘電層の厚さ）をそれぞれ表している。 $d(i, j)$ はセル (i, j) に作用する圧力 $P(i, j)$ に依存する。両側の電極を順次切り替えながら全てのセルの静電容量 $C(i, j)$ を測定すれば、式(1)より各セルの電極間距離 $d(i, j)$ を求めることができる。一方、変形前の電極間距離（誘電層の厚さ）を d_0 とし、セル (i, j) に圧力 $P(i, j)$ が作用することにより d_0 が $d(i, j)$ に変化したとすると、変形量

$$\Delta d(i, j) = d_0 - d(i, j)$$

は圧力の関数とおくことができる。

$$\Delta d(i, j) = f[P(i, j)]$$

これにより、セル (i, j) に作用する圧力 $P(i, j)$ は下式で求めることができる。

$$P(i, j) = f^{-1}[\Delta d(i, j)] = f^{-1}[d_0 - d(i, j)]$$

圧力が変形量に線形比例すると仮定できる場合は、下式が成り立つ。

$$P(i, j) = Y \frac{d_0 - d(i, j)}{d_0}$$

ここで、 Y は誘電層のヤング率を表している。

上記は圧力を受けるときに測定された静電容量から、セ

ルの厚さ方向の変形及びそれから圧力を求める方法について述べたが、一般的にセルは圧力 $P(i, j)$ を受けると厚さ方向に変形すると同時に、面積 $S(i, j)$ も変化(増大)する。その変化量は材料に依存するが、今回の構造では、誘電層の材料として連続気泡の発泡ウレタンを使用しており、また、電極層の剛性が発泡ウレタンに比べて十分高いために、圧力を受けても厚さ方向の変化に対して面積の変化は非常に小さいため、面積 $S(i, j)$ の変化を考慮していない⁽²⁾。

3-3 『しんのすけくん』に用いるセンサの設計

3-3-1 センサの設計

胸骨圧迫では、胸骨の下半分を押すこととされている⁽¹⁾。胸骨の下半分は、成人で2.5cm~3cm程である。そのため、図4に示すように、『しんのすけくん』のセンサは、1cm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5cm角のセンシングエリアとした。

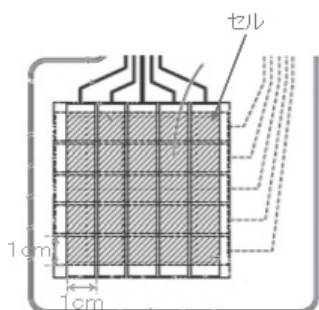


図4 『しんのすけくん』のセンサ部(イメージ)

3-3-2 圧力から圧迫深さへの変換方法

胸骨圧迫時には、約5cm押し込むこととされている⁽¹⁾。胸骨圧迫の訓練では、訓練人形を使用するため、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、

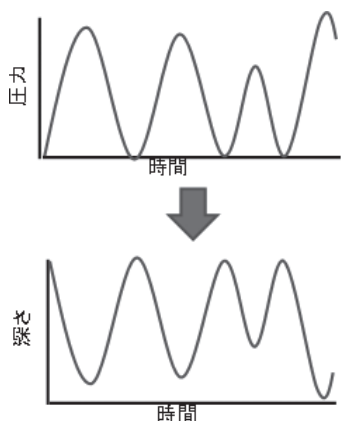


図5 『しんのすけくん』の深さ算出方法

線形比例となる。そのため、『しんのすけくん』では、胸骨圧迫時にセルに入力された圧力値から、圧迫深さを算出する(図5)。

4. 圧迫位置の可視化検討

4-1 目的

圧迫位置は、胸骨圧迫において重要な要素の1つである。胸骨圧迫は、胸骨の下半分を押すことによって、心臓をポンプのように動かし、脳に酸素を送ることが目的である。つまり、押す位置が大きくずれると心臓がポンプのように動かないことによる効果の低下や、適切でない位置に圧力がかかることによる肋骨等の損傷が予測される。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。そこで今回、『しんのすけくん』で用いている圧力分布センサを使用することで圧迫位置についての評価を行った。

4-2 実験

図6に示すように、『しんのすけくん』のセンサを用いて、各セルの圧力値を個々に検出して、圧力分布を表示することによって、圧迫位置を可視化した。この『しんのすけくん』のセンサに、胸骨圧迫するべき位置がわかるように5cm角の中心にマークを付けた(図7)。マークを付けた

	圧迫位置	センサ検出
中央		
右上		

図6 圧迫位置の検出

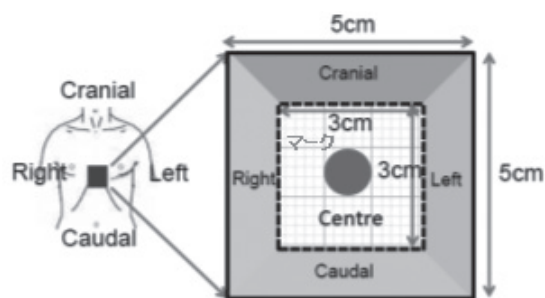


図7 圧迫位置の評価

『しんのすけくん』のセンサを訓練用人形（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。胸骨圧迫された際のセンサのセルの中で最も大きな圧力を受けたセルを圧迫点と定義した。胸骨圧迫の際、圧迫点が図8で示すようにセンサの中央の3cm角の領域内であれば、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、二方向ともを位置ずれとした。評価は、2分間の胸骨圧迫訓練を経験者179名で実施した。評価中、実施者は圧力分布画面を確認せずに行った。

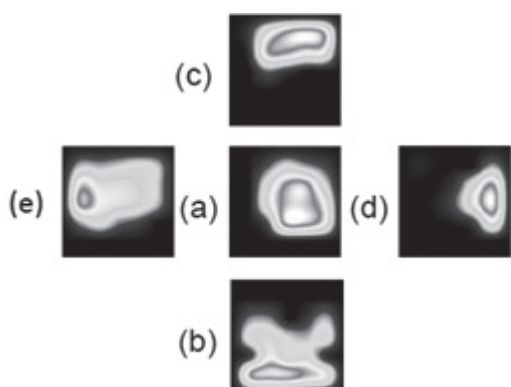


図8 圧迫時の圧力分布表示 (a) 中央 (b) 訓練用人形の右手側、(c) 左手側、(d) 足側、(e) 頭側

4-3 結果と考察

結果を図9に示す。65%の実施者が中央を圧迫できていなかった。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判った。圧迫位置にマークを付け、その点を中心として圧迫するようにアナウンスしたにも関わらず、圧迫位置がずれていた。このことから、人は胸骨圧迫の際、手の形などの個人差がある影響により、どの点に最も圧力がかかっているかが異なっていることが明らかとなった。このように、『しんのすけくん』を使用することで今までは目

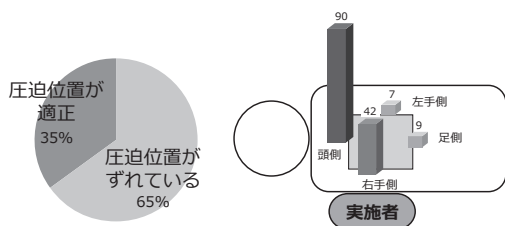


図9 圧迫位置の評価結果

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判った^{(3), (4)}。

5. マットレス上での深さ測定の検証

5-1 目的

救急救命時のCPRは、マットレスの上やストレッチャーの上、また救急車の中など様々な環境で行われる。JRC蘇生ガイドライン2015では、救命活動中の胸骨圧迫を行っている時間の比率を示すCCF (chest compression fraction) を60%以上とすることが提案されている。そのため、救命活動中の胸骨圧迫の中断は最低限になるようにしなければならない。これは、マットレスの上など柔らかい下地でも胸骨圧迫が求められることを意味している。加速度センサや赤外線センサは、マットレスのように下地が変形した際には、原理上、マットレスの変形の影響を受けてしまい、圧迫深さの値が大きく出やすい。それに対して『しんのすけくん』は、胸骨圧迫の際に手が訓練用人形を押し込んだ際の圧力から評価を行っているため下地の変形の影響をほとんど受けないと考えられる。そこで、『しんのすけくん』がマットレス上でも深さを評価できるかを確認するために、床上とマットレス上での試験を比較し、下地の影響についての検証を行った。

5-2 実験

検証方法の模式図を図10に示す。人による差をなくすために、電気式サーボ加振試験機（株式会社鷺宮製作所製 電気式サーボ加振耐久試験機）にて100回/分の速度で人形を5cm押し込むように設定し、押し込み部と人形の間に『しんのすけくん』のセンサを置いて行った。比較として加速度センサも同様の条件にて検証を実施した。評価の際、赤外線カメラにて押し込み量と訓練人形の動きを計測すること（図11）で、『しんのすけくん』および加速度センサで評価した深さの値の検証を行った。

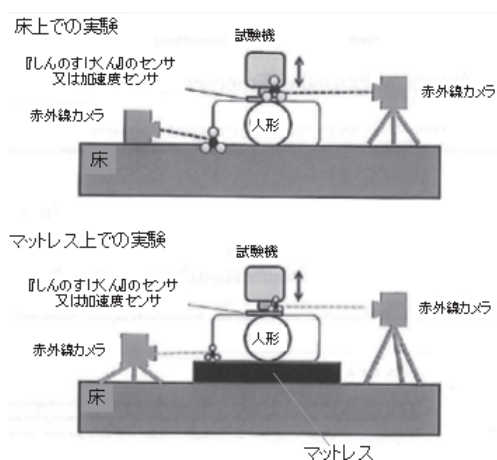


図10 マットレス上での実験模式図

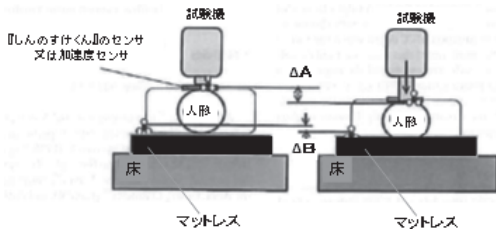


図11 マットレス上での深さ算出

用語集

※1 JRC蘇生ガイドライン2015

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。

・「スマートパー」および「しんのすけくん」は住友理工(株)の登録商標です。

5-3 結果と考察

評価の結果を表1に示す。床上では5cmの押し込み量に対し、5cm訓練人形は押し込まれた。その際の各センサの深さ表示値は5cmであった。次にマットレス上では、マットレスが0.6cm変形したため、訓練人形は4.4cm押し込まれた(表1中の①)。その際の加速度センサの深さの表示値は4.7cmとなり、訓練人形が押し込まれた深さよりも大きな深さ表示値であったのに対し、『しんのすけくん』では4.4cmの深さ表示値であった。この結果から、『しんのすけくん』は、マットレス上でも、マットレスの変形の影響を受けずに、胸骨圧迫の圧迫深さを評価することが可能であることが判った。

このように、『しんのすけくん』はマットレスのように下地が柔らかい状況でも胸骨圧迫の深さを評価できる。『しんのすけくん』を用いた訓練を行うことで、マットレスのような柔らかい下地の上でも胸骨圧迫の質の向上が期待できる⁽⁵⁾。

参考文献

- (1) 一般社団法人日本蘇生協議会、JRC蘇生ガイドライン2015
- (2) 白岡貴久、郭士傑、橋本和信、向井利春、「ポリマー材料を用いた静電容量型面状センサの開発」、日本機械学会論文集(C編)、pp.304-312、79巻、798号 (2013-2)
- (3) K. Minami, Y. Kokubo, I. Maeda, S. Hibino, Real-time feedback of chest compressions using a flexible pressure sensor. Resuscitation. 2016 ; 99 : e11-e12
- (4) K. Minami, Y. Kokubo, I. Maeda, S. Hibino, Analysis of actual pressure point using the power flexible capacitive sensor during chest compression. Japanese Society of Anesthesiologists 2016
- (5) K. Minami, Y. Kokubo, I. Maeda, S. Hibino, A flexible pressure sensor could correctly measure the depth of chest compression on a mattress. American Journal of Emergency Medicine. May 2016 Volume 34, Issue 5, pp.899-902

6. 結 言

今回の開発で、住友理工(株)が培ってきたSRセンサの技術を応用し、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、表示することより、まったく新しい用途の製品を開発することに成功した。これは、SRセンサの技術が、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、これからも社会に貢献できる製品の開発に挑戦していく。

表1 マットレス上での評価結果

人形の置き場所	ΔA 押し込み量 (cm)	ΔB マットレスの変位量 (cm)	① 実際に人形が押し込まれた深さ (cm) ΔA-ΔB	センサ機器の表示値 (cm)		② センサ機器の表示値と実際に押し込まれた深さの差 (cm) 表示値-①	
				加速度センサ	圧力センサ	加速度センサ	圧力センサ
床上(比較)	5	0	5	5	5	0	0
マットレス上	5	0.6	4.4	4.7	4.4	0.3	0

執筆者

小久保陽太* : 住友理工(株) 健康介護事業室



前田一之助 : 住友理工(株) 健康介護事業室



日比野真吾 : 住友理工(株) 新事業開発研究所
新製品開発室 室長代理



南 浩一郎 : 自治医科大学
麻酔科学・集中治療医学講座
兼 救急医学講座 講師



*主執筆者

