

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 25 日現在

機関番号：82404

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2013～2014

課題番号：25882054

研究課題名(和文) 使用者の姿勢と接触圧力を制御する身体支持手法の研究

研究課題名(英文) The study of the method for controlling contact pressure distribution between human and body support surface

研究代表者

高嶋 淳 (TAKASHIMA, Atsushi)

国立障害者リハビリテーションセンター(研究所)・研究所 福祉機器開発部・研究員

研究者番号：90711284

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：皮膚感覚が乏しく、自力での体位変換が困難な高齢者や障害者は、褥瘡発生リスクが高い。褥瘡は一度発生すると治癒しにくく日常生活にも支障を来す。そこで、本研究は、臨床現場で実用可能な計測手法を用いて、使用者の姿勢を変えず接触圧力を褥瘡発生リスクの低い状態を保つ三次元曲面を生成する手法を提案し、それを三次元加工機により作製した。その結果、プラスチックのように固い素材であっても適切な三次元形状を形成することで介護用マットレスと同等の体圧分散効果が実現できることを示した。これにより、福祉機器に使用する素材の制限を緩和し、人体に侵襲の少ない効果的な機器実現への道を拓いた。

研究成果の概要(英文)：Pressure ulcer is one of the biggest problems for an elderly person and a person with disabilities. In this study, we proposed the method to build three dimensional surface which fits the bumpy body surface. We measured the body pressure distribution between a human body and a contact surface of an assistive device. From the pressure distribution, we calculated suitable three dimensional surface shape. And we demonstrated the surface maintained the body pressure distribution evenly low, even though the material of the surface was hard.

研究分野：福祉工学，制御工学

キーワード：体圧分布制御 3次元曲面生成 褥瘡予防

1. 研究開始当初の背景

我が国では少子高齢化が進み、国策として福祉機器の開発を推進している。増加する介護市場に対し、今まで参入して来なかった企業も福祉機器開発に力を入れ始めている。しかし、その一方で、通常の商品開発と異なり福祉機器開発には、企業の参入を阻む要因がある。それは、福祉機器がオーダーメイドに近い製品である点である。福祉機器は使用者個人の障害の度合い、生活環境、必要とする機能に合わせて選択され、さらに医療専門職員が使用者である個人個人の状態に合わせ、試行錯誤的に工作することで身体に適合させている。そのため企業は個人個人についてより細かに長期間に渡り調査する必要があるが、市場が細分化され過ぎているために費用が掛かる割に市場が小さく、大企業ほど参入するメリットが少なくなる。大きな問題解決能力をもつ大企業の参入が減少することは、国民はもとより社会にとっても望ましくない。そこで、自動的に福祉機器を適合させる技術があれば、単一の福祉機器のカバー範囲が拡張でき、市場の細分化を防ぐことができると考える。また、使用者側の負担、医療専門職員の負担も削減でき、社会にとってメリットは大きいと予想する。

2. 研究の目的

福祉機器の適合は一意ではなく、その機能や目的、使用者の障害度合などによって、満たす要件は異なる。しかしながら、身体形状に関する適合は、「福祉機器を使用者の身体形状に一致させること」を基本条件とし、そこから個々の目的機能を実現するために変更を加えることが一般的である。そこで本研究は、医療福祉現場において実用可能な、使用者の身体形状に福祉機器を一致させる技術および目的形状の導出技術を開発することを目的とした。

3. 研究の方法

この目的の対象として、皮膚感覚が乏しく、自力で体位変換が困難な障害者の褥瘡発生抑止のための適合問題を選定した。褥瘡は、福祉機器と人体との接触面圧力により血流が阻害される状態が長時間持続することにより引き起こされるもので、車椅子などの適合がうまく行われていないと発生しやすい。この問題に対して、現状の姿勢を維持したまま、接触面圧力を均一化

する三次元曲面を作製することで解決を図る。

三次元曲面の作成方法

三次元曲面作製の流れを Fig.1 に示す。

三次元曲面の作製は、

- (a) 作製したい目標部位の体圧分布を計測する
- (b) 体圧分布の計測のばらつきを抑制するフィルタリングする
- (c) 身体や計測時に使用したマットレスのバネ定数などから三次元計測点を算出し、なめらかな曲面で繋ぐ
- (d) 三次元加工機により三次元表面を加工する

の手順で行う。

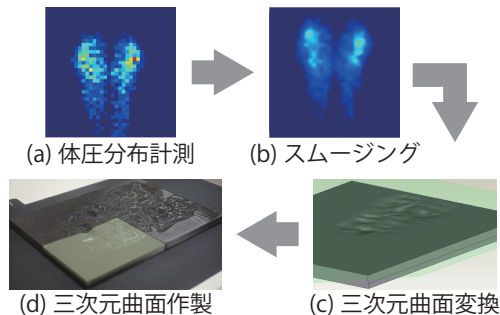


Fig. 1: 三次元曲面作製手順。

体圧分布計測

体圧分布の計測について説明する。まず、三次元曲面を作成したい目標部位を決め、実際の使用を想定した状態にする。前述の理由から、仰臥位における背中の圧力分布を測定した。

図 2 の (a) に示すように、マットレスを敷いた介護用ベッドに仰臥位をとった。(b) 被験者の背中の下に (c) 接触圧センサを引いた。

三次元曲面作製用データ計測時には、(d) 作製部材は置かずに計測を行った。作製部材の評価時には、(c) の下に (d) をおき、(d) の厚さの相当の板を臀部等に入れ、計測時と同じ姿勢になるよう高さ調整を行った。

計測は 1 フレーム/秒で 1 分間の計測を 1 試行とし、全 60 フレームの平均値を実験値として記録した。計測、評価ともに各 10 試行を行った。その 10 試行の平均値を計測値として以下で導出で用いた。

体圧測定センサには、XSENSOR社 X3 PRO シートセンサ（縦 48 列，横 48 列，それぞれ 12.5[mm] 間隔）を用いた。

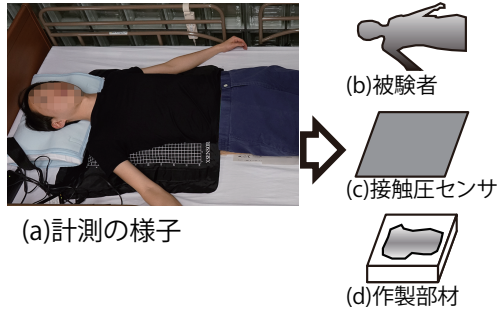


Fig. 2: 体圧分布計測の様子. (a) 実際の計測状況. 被験者 (b) の下に接触圧センサ (c) を引き圧力分布を計測する. 作製した部材 (d) を用いる場合は，接触圧センサの下に敷いて計測を行う。

体圧を分散する三次元形状の導出

接触圧力と身体組織および接触物の変形の間を導出する。本研究では，人体を骨格などの非弾性組織（以下，単純に骨と呼ぶ）とその周囲を覆う皮膚などの弾性組織（以下，皮膚）から成るとし，弾性素材のマットレスおよび非弾性組織の樹脂板などと接触する状況について議論する。

座標系は，ユークリッド座標系を考え，マットレス底面が XY 平面上にある。その上に人体が横たわっているとす。 Z 軸負の方向に重力が働いているとする。ここでは簡単の為，人体は姿勢を変えず運動は重力方向に並進するだけとする。

ある点 (x, y) における骨の突出量 $b(x, y)$ および皮膚の厚さ $s(x, y)$ とすると，その点における接触圧力 $p(x, y)$ によって皮膚の変形量 $\delta s(x, y)$ が計算できる。皮膚の縦弾性係数 ϵ_s とすると，

$$\frac{\delta s(x, y)}{s(x, y)} = \frac{p(x, y)}{\epsilon_s} \quad (1)$$

である。

一方，マットレスの厚さを $m(x, y)$ とすると，マットレスの変形量 $\delta m(x, y)$ もマットレスの縦弾性係数を ϵ_m とすると同様に，

$$\frac{\delta m(x, y)}{m(x, y)} = \frac{p(x, y)}{\epsilon_m} \quad (2)$$

で表せる。

ここで，マットレスの厚さ及び縦弾性係数を計測しておけば，式 (2) より，体圧分布からマットレスの沈み込み量が計算できる。また，マットレス表面が平面であるとする，マットレスとの接触面の形状が $\delta m(x, y)$ として得られる。 $\delta m(x, y)$ に式 (1) の皮膚の変形量 $\delta s(x, y)$ を加えると，圧力が加わる前の身体形状が得られる。

接触圧力が平均化され一定となる平均接触圧力面 $h(x, y)$ は，

$$h(x, y) = m_0 - \{ \delta m(x, y) + \delta s(x, y) \} + \delta s(x, y | p = E(p(x, y))) \quad (3)$$

で表せられる。ただし， m_0 はマットレスの初期厚さ， $E(p(x, y))$ は圧力分布の平均値である。右辺第 2 項はマットレスに埋もれている身体形状を，右辺第 3 項は平均圧力下における皮膚の変形量を表している。

皮膚の厚さ $s(x, y)$ および縦弾性係数が一定であると仮定すると，

$$\begin{aligned} \delta s(x, y | p = E(p(x, y))) &= s_0 * \frac{E(p(x, y))}{\epsilon_s} \\ &= \text{const} \end{aligned}$$

となるので，式 (3) は，圧力が骨とマットレスとの位置関係だけで決まることを考慮して変数部分だけを抜き出すと

$$\begin{aligned} h(x, y) &= a_0 - \{ \delta m(x, y) + \delta s(x, y) \} \\ &= a_1 - b(x, y) \end{aligned}$$

が得られる。ただし， a_0, a_1 は定数である。つまり，皮膚の厚さが一定とみなせる場合，平均接触圧力面は，骨の突出形状を圧力方向に平行移動したものということがわかる。

三次元曲面の作製

三次元曲面の実現方法にはいくつか考えられる。近年低価格化が進む 3 次元プリンタや CNC 加工機などがある。

本研究では，3次元プリンタによる試作 (図 1(d))，CNC 加工機による試作 (図 3) を行ったが，本論文では，図 3 に示す，深く大きく加工できた CNC 加工機による三次元曲面を用いた。

三次元加工機，FNS 社製の 3 軸 CNC (BM532T-ATC) を使い，ポリアセタール樹脂 (0.3[m] × 0.3[m] × 0.05[m]) に加工を行った。



Fig. 3: 三次元加工した樹脂表面.

4. 研究成果

三次元曲面の体圧分散効果

本研究で作製した、三次元曲面の体圧分散効果を調べた。

計測方法は、体圧分布計測手法と同じで、図2(d)を置かないマットレス面、樹脂非加工面、樹脂加工面の三種類で体圧分布を計測した。

その代表的な分布図を図4に示す。(a)のマットレスは表面が柔らかいため、腰のあたりまで接触していることがわかる。一方、(b)非加工面では、肩甲骨のみが接触し高い圧力が発生していることがわかる。(c)の加工面では、背中全体が当たり均一に圧力が発生していることが分かる。その一方で(a)と異なり腰のあたりに圧力が発生していないが、これは、樹脂加工面が腰まで届いていないからと考えられる。

表1に各条件における接触面積と平均圧力、圧力の標準偏差を示す。接触面積はマットレスが一番大きく、加工面、非加工面となっている。加工面はマットレスには及ばないが接触面積を大きくすることに成功していることが分かる。それに伴い、平均圧力も同じ傾向を示している。一方、標準偏差は、加工面が一番小さく、設計目標通り接触圧力の均一化が実現できていることが分かる。

一方で、硬く変形しない樹脂なので、移動して接触部位がずれると望みの性能は発揮されないと思われる。表面に薄い柔軟な素材を用いるなどでこの問題点は回避できると考える。

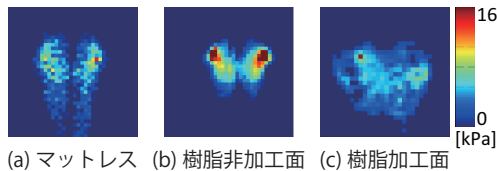


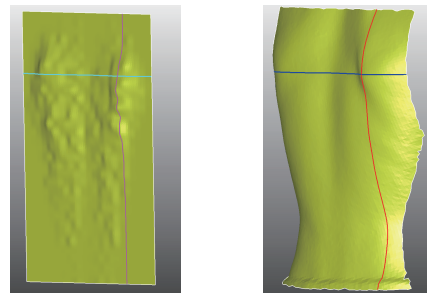
Fig. 4: 背面の接触圧力分布比較。(a) 介護用マットレス、(b) 樹脂非加工面（平面）、(c) 樹脂加工面上での接触圧力分布。

Table 1: 接触面積、平均圧力、圧力の標準偏差の比較.

	マットレス	非加工面	加工面
接触面積 [m ²]	0.212	0.141	0.188
平均圧力 [kPa]	3.20	5.79	3.52
標準偏差 [kPa]	2.16	4.87	1.61

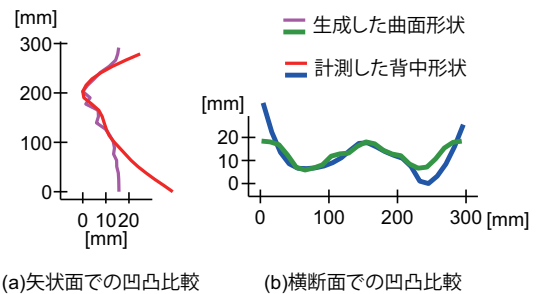
三次元形状とモデルの形状との比較検証

モデルとした背中形状を三次元スキャナにより計測し、体圧分布から生成した三次元形状と比較し、形状の再現度を検証した。Fig.5(a)には、体圧分布から生成した三次元形状、Fig.5(b)には、そのモデルとなった人物の背中を三次元スキャナにより計測したものを示す。Fig.5(a)は凸凹としており、一見Fig.5(b)と異なるように見える。しかし、Fig.6に示すように、Fig.5の線で示す位置における、(a)の矢状面、(b)の横断面での凹凸を比較すると体圧分布計測時にマットレスに沈み込んでいたと思われる部分の形状は良く一致していることがわかる。これにより、接触圧力分布から接触面の三次元形状復元は、簡単かつ接触面形状を良く再現できることを示した。



(a) 体圧分布から生成した三次元曲面 (b) 三次元スキャナで計測した背中形状

Fig. 5: (a) 体圧分布から生成した三次元曲面。(b) 圧力分布計測時と同じ姿勢における背中を三次元スキャンしたモデルの形状。



(a) 矢状面での凹凸比較 (b) 横断面での凹凸比較

Fig. 6: 生成した三次元曲面と体型との比較。(a) 矢状面断面での形状比較。(b) 横断面断面での形状比較。

まとめ

本研究は、福祉機器の人体への適合を自動化するための基礎的技術として、福祉機器と人体との接触面圧力を制御する手法について検討を行い、接触面圧力分布から接触面形状を導出する手法を提案した。また、生成した三次元形状がその物性に関わらず体圧を低く抑えることができることを示し、福祉機器の形状設計に重要な指針を与えた。

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕 (3 件)

- ① 高嶋淳: 身体に適合した機能的曲面作製手法の検証, 第 15 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2014/12/17, 東京ビッグサイト (東京都・江東区) .
- ② 高嶋淳: 体圧を分散する三次元曲面形状の導出, 第 32 回日本ロボット学会学術講演会, 2014/9/5, 九州産業大学 (福岡県・福岡市) .
- ③ 高嶋淳, 中村有志, 硯川潤, 井上剛伸: 接触面圧力低減を目指した体圧分布に基づく三次元曲面造形手法, ロボテックス・メカトロニクス講演会 in Toyama, 2014/5/26, 富山市総合体育館 (富山県・富山市) .

〔産業財産権〕 (1 件)

○出願状況 (計 1 件)

名称: 3次元形状作製方法

発明者: 高嶋淳, 硯川潤, 井上剛伸

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特願 2014-104245

出願年月日: 平成 26 年 5 月 20 日

国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高嶋淳 (TAKASHIMA Atsushi)

国立障害者リハビリテーションセンター
(研究所)・研究所 福祉機器開発部 研究員

研究者番号: 90711284