

## 介護補助用高機能マットの開発

### Development of a High Performance Mat for Care Assistance

○ 光崎将人 (奈良高専)      早川恭弘 (奈良高専)      上治卓也 (奈良高専)

Masato KOZAKI, Nara National College of Technology  
Yasuhiro HAYAKAWA, Nara National College of Technology  
Takuya UEJI, Nara National College of Technology

**Abstract:** When the bedridden elderly people evacuate to shelter like a gymnasiums by a earthquake disaster, sleeping environment is a very problem because they cannot use a high performance bed used electricity. Therefore, in this study, we improve a pneumatic mat system with cloth actuators. In addition, we produce a mobile pneumatic mat system to use at a place of refuge. Then, in order to support the care to prevent pressure ulcer like bedridden elderly people, we clarify basic properties, for example, posture displacements, humidity change, pressure distribution effect. Finally, we clarify effectiveness of the prototype mat through some experimental results.

**Key Words:** Congestion, Pressure Ulcer, Pneumatic, Cloth Actuator

#### 1. 緒言

近年の日本では、高齢者を介護する若者の減少から、少子高齢化問題が深刻になっている。そして、介護における身体的負担が大きいことから、被介護者の自立支援機器を開発することは急務となっている。特に、四肢に障害がある者は、自らの体位変換が困難であり、長時間の圧迫が身体に集中してしまうと、鬱血や褥瘡といった問題が生じる。また、寝たきりの高齢者が震災により体育館等の避難所に避難した時、高機能な電動ベッド等が使用できないことから、睡眠環境が非常に問題となる。

このため、本研究では、布アクチュエータを用いた空気圧による介護補助用高機能マットシステムを改良し、避難先においても使用可能な携帯用空気圧式マットを製作する。そして、寝たきり高齢者の褥瘡防止介護をサポートするために、姿勢変化、湿度変化、圧力分散効果などの基礎特性を明らかにし、試作マットの有用性を明らかにする。

#### 2. 空気圧マットシステム

開発したマットシステムの概略図を図1に示す。本システムは、マット部、ポンプ、タンク、バルブ、回路部、およびバッテリーから構成されている。本章では、マットシステムで使用する構成要素それぞれについて述べる。

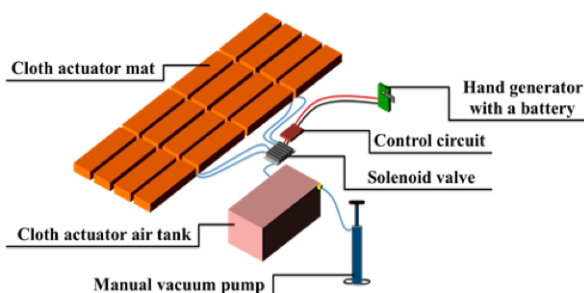
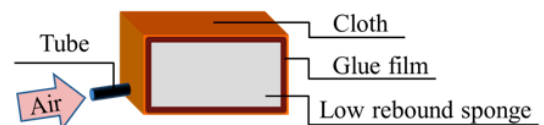


Fig.1 Out view of mat system

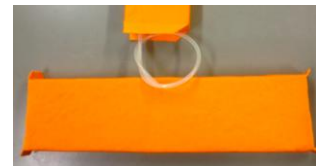
##### 2-1 マット部

本研究で開発した布アクチュエータを図2に示す。このアクチュエータは、スポンジに高气密接着フィルムを用いて布をコーティングしたものである。スポンジには柔らかく体圧分散効果が高い低反発スポンジを使用している。また、布の生地には吸汗性と速乾性を兼ねもつジャージ素材のものを使用している。これらの結果、布アクチュエータ

はチューブを取り付けることにより、内部の空気の加減圧調整が可能となっている。よって、布アクチュエータを密閉することで、大きな反発力を得ることができ、身体の底付き防止効果も有する。さらに、無加圧状態においても、スポンジ自体の形状保持能力があり柔軟性が保たれることや、空気の過大注入によって起こる破裂事故の恐れもないことから、安全性が高い点が大きな特徴として挙げられる。



(a) Construction of actuator



(b) Appearance

Fig.2 Cloth actuator

##### 2-2 ポンプ

タンクへの空気の減圧は、手動式の減圧ポンプ(HS-KP2)を用いる。これはパナソニック社製の小型・軽量の減圧ポンプであり、ピストンを押したときも引いたときも減圧が可能である。また、手動式の減圧ポンプを用いることで、電源が不要である。そして、排気側にサイレンサーが取り付けられていることから、騒音が小さいという特徴が挙げられる。さらに、スポンジアクチュエータに接続した際の真空到達度は-84[kPa]となっている。この手動式減圧ポンプを図3に示す。

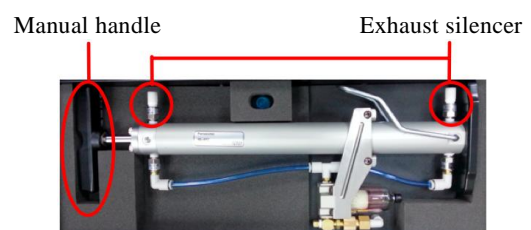


Fig.3 Manual decompression pump

2-3 タンク

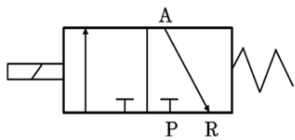
マットの空気を減圧させるためにスポンジタンクを開発した。スポンジタンクのスポンジには、高弾性のスポンジを使用している。これは、低反発スポンジに比べて高弾性スポンジは圧縮時の復元力及び、反発力に富んでいるからである。また、この構造は布アクチュエータと同じ構造をしている。開発されたスポンジタンクの特徴としては、従来のタンクに比べて軽量であり、柔軟性に富んでいることが挙げられる。図4にスポンジタンクのミニモデルを示す。



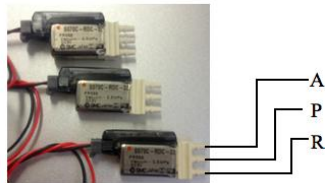
Fig.4 Sponge tank

2-4 バルブ

バルブは、SMC社製の小型・省電力な3ポート電磁弁「S070C-RDC-32」を使用する。回路部からの信号によりバルブのON/OFFを切り替えることにより、接続されたアクチュエータを減圧するか大気解放するかを決定する。本システムで使用したアクチュエータはOFF時にA-R間が接続され、Pが独立する。そして、電流を流しONにするとP-A間が接続され、Rが独立する。図5にバルブの外観図を示す。



(a) Symbol of Valve



(b) Appearance

Fig.5 Solenoid valve

2-5 回路部

バルブのON/OFF切り替え制御は、マイコンボード「Arduino Uno」からの命令により行う。このマイコンボード上にシールド回路を作成し、デジタルポート0~5にそれぞれバルブを接続する。シールド回路を製作することにより、回路部を小型化している。そして、プログラム上でそれぞれのポートを「0」か「1」を出力するかにより、バルブのON/OFFを切り替えることが可能となる。製作したシールド回路の回路図を図6に示し、弁制御装置を図7に示す。

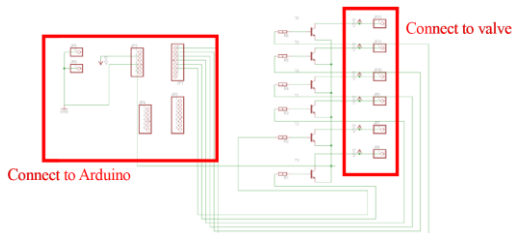


Fig.6 Arduino shield Circuit

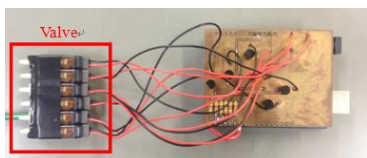


Fig.7 Shield circuit and valves

2-6 バッテリー

バルブと制御回路の動作には電源が必要である。独立した電源を実現するために、本マットシステムではソニー社製の蓄電池付き手回し発電機(CP-A2LAKS)を使用している。これにより、無電力下においても電力を生み出すことができる。この手回し発電機により蓄えられた電力をUSBポートからArduinoに給電する。この手回し発電機は2つのユニットから構成されており、手回し入力部は、幅58[mm]×高さ92.1[mm]×奥行48.2[mm]且つ質量が126[g]である。そして、USB出力部は幅58[mm]×高さ84.5[mm]×奥行26.4[mm]且つ質量が145[g]である。これら2つのユニットを接続することにより、蓄電池への充電を可能にしている。手回し発電機の外観図を図8に示す。

また、本マットシステムは蓄電池付き手回し発電機の補助としてGOAL ZERO社製のソーラー充電器(Guide 10 PLUS Mobile Kit)を用いる。これは、最大出力3.5[W]で、幅228[mm]×高さ480[mm]×奥行5.5[mm]且つ質量が220[g]である。このソーラー充電器を用いることで、太陽光を受けながら制御回路とバルブの動作も可能となっている。このソーラー充電器を図9に示す。



Fig.8 Hand generator with a battery



Fig.9 Solar charger

3. 寝返りにおける負荷測定実験

本研究の目的の一つとして、睡眠障害の改善があるが、睡眠障害は快適な睡眠を得ることによって軽減される。快適な睡眠は寝返りのし易さによって決まることから、力を入れずに楽に寝返りができることが重要である<sup>(1),(2)</sup>。本実験では、既製品の防災マットと開発したマットそれぞれの寝返り時の負荷を筋電位の計測結果から比較し、開発したマットの有効性を検証する。

本実験に使用した既存の防災マットを図10に、開発したマットを図11に示す。防災マットは、厚さ18[mm]×幅700[mm]×長さ1800[mm]でありウレタンフォームが中材として使用されている。そして、ポリエステル100[%]のカバーが取り付けられている。開発したマットの要素1つは、厚さ40[mm]×幅100[mm]×長さ400[mm]であり、低反発スポンジが中材として使用されている。本実験では静止型マットとしての性能比較を行うために、バルブや制御回路の動作はさせていない。

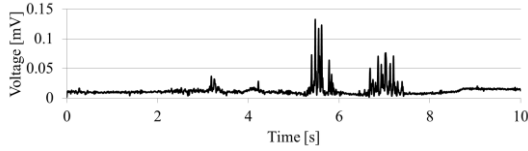


Fig.10 Existing mat

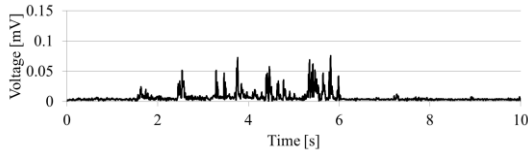


Fig.11 Developed mat

本実験では、仰臥位から側臥位まで90度回転する一連の動作を寝返り動作として計測し、被験者は皮下脂肪の少ない成人男性(171[cm]/62[kg])とする。測定箇所は全身の7箇所の筋肉であり、具体的には、首(僧帽筋)、胸(大胸筋)、腹(腹直筋)、背中(広背筋)、表太腿(大腿四頭筋)、裏太腿(大腿二頭筋)、脛脛(下腿三頭筋)について計測する。計測時間は、マット上で十分に静止した状態から寝返りが完了するまでの10[s]とした。計測結果の一例を図12~図14に示す。

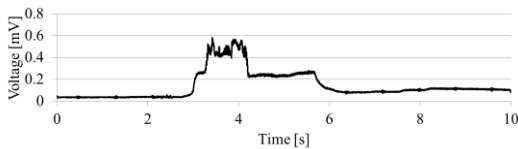


(a) Existing mat

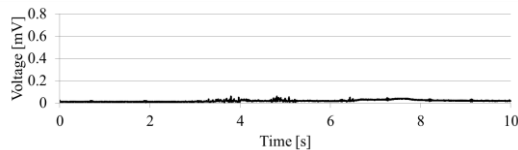


(b) Developed mat

Fig.12 Experimental results of neck

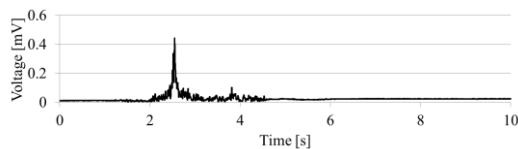


(a) Existing mat

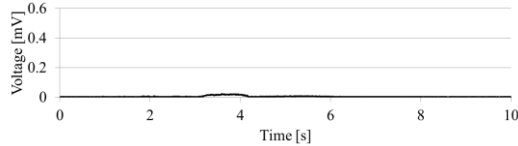


(b) Developed mat

Fig.13 Experimental results of abdomen



(a) Existing mat



(b) Developed mat

Fig.14 Experimental results of front thigh

図12~図14の計測結果より、開発したマットは既存の防災マットよりも全箇所筋電位変化が小さい。よって、寝返り時の身体の負荷が小さくなることから、開発したマットは楽な寝返りが可能である。その結果として、開発したマットは既存の防災マットよりも快適な睡眠が得られる<sup>(3)</sup>ことが明らかとなった。ここで、開発したマットの筋電位の値が小さくなった理由としては、開発したマットは外部への空気のもれを防ぎ、内部で空気を保持することが可能であるため、寝返り時により大きな反発力を得ることができたと考える。

次に、既存のマットと開発したマットにそれぞれ19.8[N]、19.6[N]、29.4[N]、39.2[N]の負荷をマット上部から加えた場合における沈み変位を調べる。ただし、無加圧時はマットの変位量はないものとする。

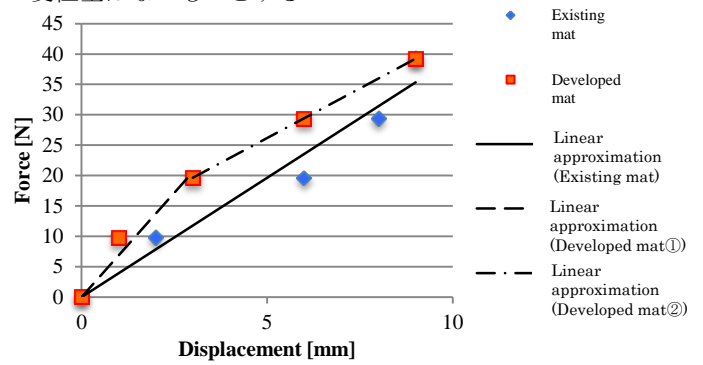


Fig.15 Result of mat measuring

図15より、既存のマットは線形近似の特性を示すのに対し、開発したマットは非線形近似の特性を示すことが明らかとなった。ここで、開発したマットの特性変化の解析を容易にするため非線形近似曲線をマット変位量の領域により線形近似すると、特性①、特性②の2つの特性に分かれることが確認できた。特性①では、加圧量に対してマットの沈み変位量が小さい。特性②では、加圧量に対してマットの沈み変位量大きい。また、加圧量を一定とした場合、いずれの計測結果においても開発したマットは既存の防災マットに比べて沈み変位量が小さいことから、開発したマットはより大きな反発力を有することが明らかとなった。

#### 4. 無加減圧時における接触圧測定実験

本研究の目的の一つとして、鬱血や褥瘡の防止があるが、鬱血や褥瘡の主な原因としては、長時間の圧迫による臀部の蒸れや、蒸れた状態での接触面のずれが考えられる。そこで、本研究ではマットの内圧を変化させることにより、マットを変形させて鬱血や褥瘡の抑制を目指す。しかし、人体はその独特の形状から、効率よく鬱血や褥瘡を抑制するためには、マットに寝転んだ際に、局部的に大きな圧力がかかる部分を把握しておくことが重要である。

本実験では、既製品の防災マットと開発したマットそれぞれにおいて、仰臥位における臀部負荷を接触圧の計測結果から比較し、大きな接触圧がかかる部分を見つけ出すと同時に、開発したマットの有効性を検証する。本実験においても、寝返りにおける負荷測定実験と同様に、上記の仕様のマットを使用した。また、静止型マットとしての性能比較を行うために、バルブや制御回路の動作はさせていない。

被験者は皮下脂肪の少ない成人男性(181[cm]/60[kg])とする。測定箇所は全身の6箇所であり、具体的には、頭(頭骨部)、背中(肩甲骨部)、臀部(仙骨部肘)、右肘(肘関節部)、左肘(肘関節部)、かかと(踵部)について計測する。また、計測はマット上で十分に静止した状態から開始した。計測結果の一例を図16~18に示す。



(a) Existing mat

(b) Developed mat

Fig.16 Experimental results of Skull

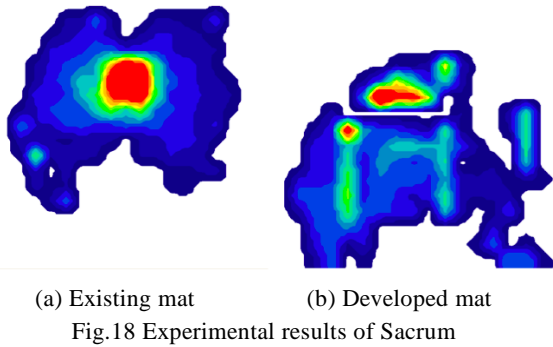
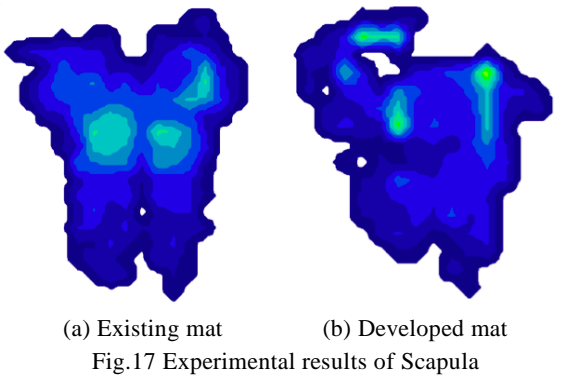


図 16～図 18 の実験結果より、外側から内側に向けて色相が寒色から暖色に変化していることから、内側の方がより大きな接触圧を有することが明らかとなった。また、Fig.16～18における(a)と(b)の比較を行う。Fig.16は頭骨部の計測結果であり、開発したマットは既存のマットよりも暖色の割合が小さいことが確認できる。Fig.17は肩甲骨部の計測結果であり、開発したマットと既存のマットでは測定結果に大きな差がないことが確認できる。Fig.18は仙骨部の計測結果であり、開発したマットは既存のマットよりも暖色の割合が小さいことが確認できる。つまり、頭骨部や仙骨部は体圧分散効果が高いのに対し、肩甲骨部は体圧分散効果が小さいことが明らかになった。ここで、開発したマットの計測結果において干渉縞のような模様が見られるのは、布アクチュエータの側部が高気密接着フィルムと布のコーティングにより固い性質を持ったためだと考察する。ここで、全測定箇所における各色相が占める割合を、それぞれのマットについて 100%積み上げ式の縦線棒グラフにまとめたものを図 19 に示す。また、各色相が占める割合を数値換算したものを表 1 に示す。

Table1 Contact pressure distribution

Contact pressure [mmHg]	Distribution [%]	
	Developed mat	Existing mat
0～12	23.3	28.1
13～24	21.0	25.4
25～37	16.9	18.4
38～49	17.3	11.5
50～61	8.88	5.56
62～74	5.56	4.08
75～99	2.99	2.29
100～124	2.57	1.69
125～148	0.97	1.55
149～	0.53	1.53

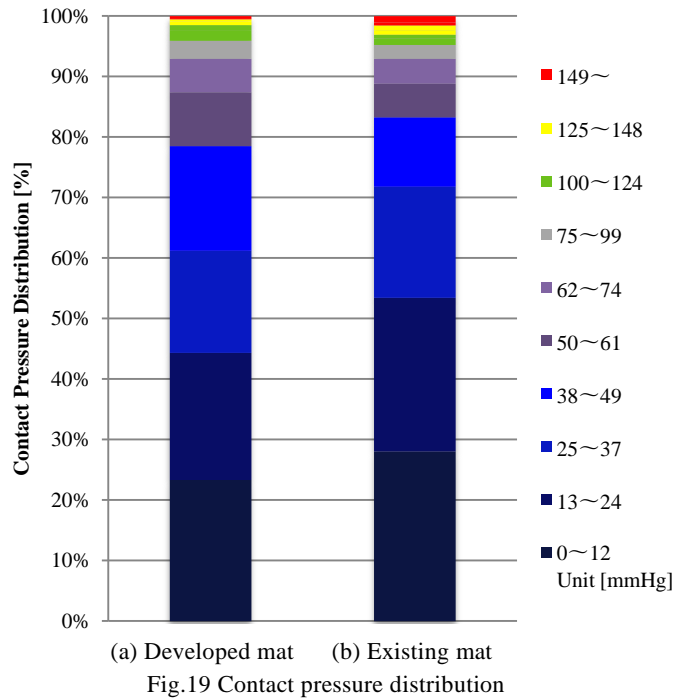


Fig.19 及び表 1 より、開発したマットは既存の防災マットに比べ、接触圧が小さい寒色の部分の割合が高く、接触圧が大きい暖色の部分の割合が低くなっていることが確認できる。このような結果が得られた理由としては、寝返りにおける負荷測定実験から明らかになったように、開発したマットは既存の防災マットに比べて反発力が大きいため、体圧が分散されたと考察する。

5. 結言

布アクチュエータを用いた避難所で使用可能な空気圧マットシステムを開発した。そして、寝返り時の筋電位の計測と無加減圧時における接触圧の測定を行った。その結果、筋電圧の実験からは、開発したマットの方が既製品よりも寝返り時の負荷が少ないことから、既製品よりも快適な睡眠を得ることができると明らかとなった。また接触圧の実験からは、開発したマットの方が既製品よりも暖色の割合が小さく寒色の割合が大きいことから、既製品よりも体圧分散効果が大きいことが明らかとなった。以上のことから、本研究で開発された布アクチュエータはマットとして有効であることが明らかとなった。

謝辞

本研究は JST 復興促進プログラム(A-STEP)探索番号 241FT0068 により行われている。また、本研究の実験装置の一部を提供して頂いた SMC 株式会社に感謝いたします。

参考文献

- (1) “マットレスの寝返りのしやすさと寝心地が睡眠に及ぼす影響”, 木暮貴政, 久保田富夫, 村山綾子, 新村洋未, 日生理人学会誌, Vol.16, No.4 2011,11 171-176
- (2) “寝具と睡眠”, 小倉貴政, バイオメカニズム学会誌, Vol129, No.4(2005)
- (3) Landis EM: Microinjection studies of capillary blood pressure in human skin, Heart.15, pp209-228, 1930.