

# 褥瘡予防静止型マットレスの圧縮特性

## *Compression Characteristics of Mattress for Prevention of Pressure Ulcer*

木村 裕和\* 山本 貴則\* 片桐 真子\*  
*Hirokazu Kimura Takanori Yamamoto Mako Katagiri*  
平井 学\* 北野 美代子\*  
*Manabu Hirai Miyoko Kitano*

(2009年6月19日 受理)

A novel non-destructive measurement apparatus was designed to determine compression characteristics of mattresses for pressure ulcer prevention. Experiments were conducted using samples—a blank mattress and mattresses of six types—to determine characteristics that are favorable for pressure ulcer prevention. The compressibility and compressive elastic modulus of each sample were calculated. Contact pressure and tissue blood flow in the sacral skin of the human body were measured using a laser-Doppler tissue blood flowmeter equipped with an air-pack sensor to measure contact pressure. Mean values of contact pressure and tissue blood flow in the sacral skin of the human body obtained from blank mattress were, respectively, ca. 15 kPa and ca. 0.5 mL/100 mL/min. The contact pressures and tissue blood flows measured from the six mattress samples were 4.18–6.32 kPa and 2.2 – 4.5 mL/100 mL/min. From the relation between compression characteristics of mattresses and tissue blood flow obtained from the sacral region skin of the human body, it was inferred that using mattresses with characteristics of less than 1% compressibility and less than 90% as the modulus of elasticity for compression was effective for pressure ulcer prevention.

**Key words:** mattress, mattress for prevention of pressure ulcer, compressibility, compressive elasticity modulus, contact pressure, tissue blood flow

### 1. はじめに

褥瘡は、一般に「床ずれ」と呼ばれる病態である。医学的には、人体局所の持続的圧迫による虚血性皮膚壊死と定義されている<sup>1)</sup>。したがって、褥瘡は寝たきりの患者や高齢者、車いす生活者、新生児や小児などに発症するケースが多い<sup>2-4)</sup>。寝たきりやそれに近い状態の患者や高齢者の場合、特に仙骨部での発症率が高く<sup>5)</sup>、壊死性筋膜炎や壊疽などの重篤な疾病を引き起こすことも報告されている<sup>6,7)</sup>。車いす生活者においては坐骨結節部、新生児や小児乳児では後頭部などに頻繁に発症する<sup>8-11)</sup>。これらはいずれも体重が集中し

やすく、かつ皮下脂肪などの軟部組織が少ない人体部位であり、骨の形状も比較的突起しているなどの共通点がみられる<sup>12)</sup>。いずれにしても褥瘡発症のリスクを軽減するためには人体と寝具あるいは人体と座面とに生じる応力を分散させ、接触圧を緩和させることが重要となる<sup>13)</sup>。寝具については、褥瘡予防を目的とした様々な体圧分散マットレスや減圧クッション、圧力切替型のエアーマットレスなどが考案され、実用化している<sup>14)</sup>。なお、褥瘡予防マットレスは静止型と圧力切替型に大別されている<sup>15)</sup>。一方、車いす用の座具としては、数種の体圧分散クッションやシープスキンなどの利用が提案されている<sup>16)</sup>。

中でも最も汎用的、廉価で、加工性やメンテナンス性の良好なものが静止型の体圧分散マットレスであ

\* 情報電子部 信頼性・生活科学系

る。これら静止型マットレスの体圧分散性や減圧効果に関するデータはカタログなどに散見されるが、マットレスそのものの物理的・機械的性質に関する特性、特に寝具としては最も重要な性質である圧縮特性に関する検討例は、ほとんど見当たらない。

そこで、今回、非破壊で褥瘡予防静止型マットレスの圧縮特性を計測できる測定器を考案し、マットレスの圧縮率ならびに圧縮弾性率を調べた。そして、これらの圧縮特性と被験者による実験から得られた接触圧ならびに組織血流量との関連性について検討を加えた。

## 2. 実験

### 2.1 試料

試料として6種類の褥瘡予防静止型マットレスを用いた。なお、比較のため市販の介護用ベッドに付属のマットレス(パラマウントベッド社製プレグラーマットレス KE-553。以下ブランクマットレスという)も実験に供した。各試料の外観写真を Fig. 1 に示した。Blank で示したものがブランクマットレスで、材質はポリエステルである。記号 A から記号 F で示した試料が静止型の褥瘡予防マットレスである。材質はいずれもポリウレタンである。なお、ブランクマットレスは単層体であるが、試料 A, B, C は2層構造であり、試料 D, E, F は3層構造体である。それぞれ硬度の異なるポリウレタンマットを積層し、作製されている。また、試料 B および C の端部には、被介護者が端座姿勢をとりやすいように高硬度の材料を利用して

### 2.2 非破壊圧縮特性計測器

考案した非破壊圧縮特性計測器の写真を Fig.2 に示した。マットレスの厚さを測定するためのシックネスゲージを保持する支柱(Leg)は530 mmの長さとし、シックネスゲージを支柱から145 mmの距離にアーム(Support)で固定する構造とした。シックネスゲージの先端には、直径25 mmの厚さ測定用円形平滑平

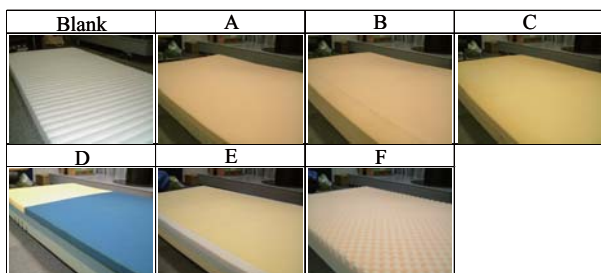


Fig. 1 Appearance of samples.

面加圧子(以下、厚さ測定用加圧子という。)を取り付けている。なお、厚さ測定時の初荷重は JIS L 1021-3(繊維製床敷物試験方法—第3部:厚さの測定方法)の規定に準拠し  $2.0 \pm 0.2$  kPa とした。圧縮特性を調べる際の圧力は、静的荷重によって印加する方式を採用した。すなわち、厚さ測定用加圧子から60 mm 上部に荷重(重り)を乗せる円形平滑平面板を設置し、この上に所定の荷重を乗せ、試料に応力を与える方法を採った。今回、実験に用いた応力は、被験者実験から得られた接触圧を参考にして、4.2 kPa とした。Fig. 3 には試料の厚さ測定時と圧縮試験中の写真を示した。

圧縮特性は JIS L 1021-6(繊維製床敷物試験方法—第6部:静的荷重による厚さ減少試験方法)の附属書1で定義されている圧縮率および圧縮弾性率で評価した。圧縮率および圧縮弾性率の定義式を式(1)および式(2)に示した。

$$\text{圧縮率 (\%)} = [(t_0 - t_1) / t_0] \times 100 \quad (1)$$

$$\text{圧縮弾性率 (\%)} = [(t_2 - t_1) / (t_0 - t_1)] \times 100 \quad (2)$$

ここに、 $t_0$  は初荷重印加時の厚さ (mm),  $t_1$  は所定荷重印加時の厚さ (mm),  $t_2$  は除重後の回復厚さ (mm) である。圧縮および除重時間はそれぞれ5分間とした。なお、測定は実験室の平らな床面上に試料を直接置き、

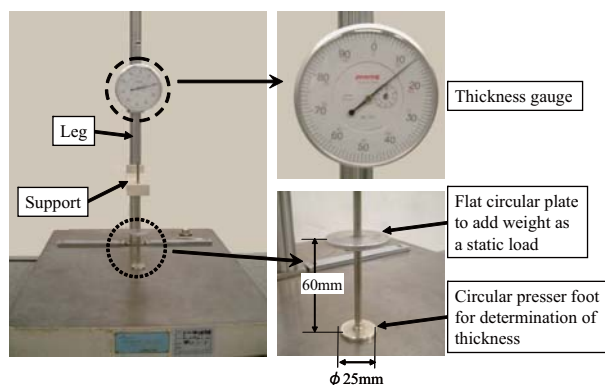


Fig. 2 Non-destructive measurement apparatus of compression characteristics for mattress.

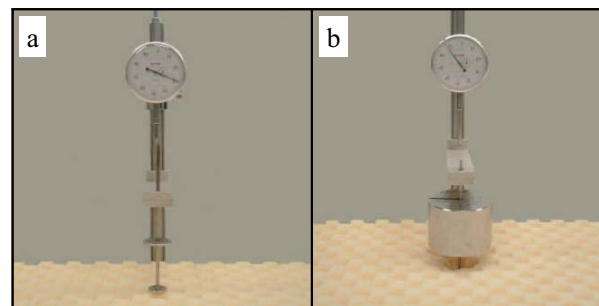
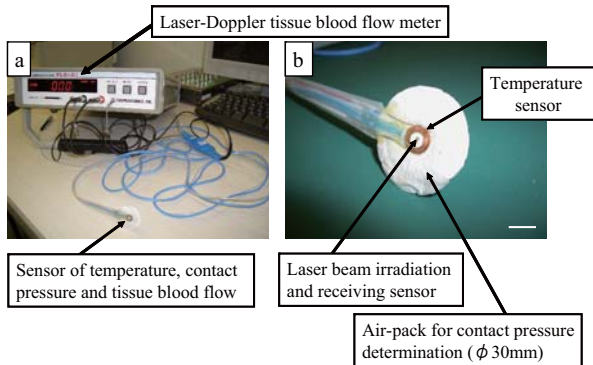


Fig. 3 Photographs of determination of thickness (a) and compression testing (b).



**Fig. 4** Photographs of Laser-Doppler tissue blood flow meter (a) and sensor of temperature, contact pressure and tissue blood flow (b). Scale bar = 10mm.

実施した。また、初荷重時の厚さおよび所定荷重印加時の厚さ測定は、1つの試料について異なる6箇所で行い、その平均値を求めた。

**2.3 被験者による実験**

接触圧と組織血流量の測定は、褥瘡の最好発部位である人体仙骨部で行った。測定には接触圧・血流・皮膚表面温度センサーを用いた。センサーは、Fig. 4(b)に示したように、直径30mmのエアーパックの中心部にレーザードップラー組織血流量測定計のレーザー照射・受光センサーおよび熱電対を備えている。これにより人体局所に加わる接触圧、組織血流量ならびに皮膚表面温度を同時に測定できる。今回の実験では、各試料から得られるデータを相対的に比較するため、被験者1名を選定し、実験を行った。選定した被験者は身長170cm、体重60kgf、年齢48歳の平均的体格を有する成人男性である<sup>17)</sup>。被験者は仙骨部にセンサーを貼付した後、所定の寝衣を着用し、試料上で仰臥姿勢をとり、所定の掛け布団を被った。その後、直ちに計測を開始したが、被験者は計測中、静止仰臥姿勢を維持し続けた。計測時間は60分間としたが、入床直後からの10分間と体動が発生しやすい測定終了前の10分間のデータを除く、40分間の計測値をデータとして採用した。なお、接触圧および組織血流量は

1秒単位で計測し、組織血流量は300秒単位で加算平均したものをデータとして採用した。寝台には一般的な介護用ベッドを利用した。実験測定室の環境は温度 $23 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度 $50 \pm 5\% \text{RH}$ である。

なお、被験者には実験前に十分なインフォームドコンセントを行い、了承を得て実験を実施した。

**3. 結果と考察**

Table 1に圧縮率と圧縮弾性率の測定結果を示した。ブランクマットレスを除く、褥瘡予防静止型マットレス試料を比較する。試料AおよびBの圧縮率は1%未満であり、この試料は応力による凹み量、すなわち人体の沈み込みが少ない材質といえる。一方、試料C、EおよびFは3%以上の圧縮率を示しており、柔らかく沈み込みやすいマットレスといえる。圧縮弾性率は、式(2)に示した定義式から数値の大きい試料ほど弾性的な圧縮回復挙動を示すが、数値の小さな試料では粘性的な圧縮回復挙動を示すと考えられる。今回、実験に用いた褥瘡予防静止型マットレスでは、弾性的な圧縮回復挙動を示すものの順に、試料C、F、D、B、E、Aとなる。

Table 2には被験者を用いた実験の結果を示した。40分間の計測から得られた接触圧および組織血流量の平均値とともに最大値、最小値および範囲も記載した。ブランクマットレスから得られた接触圧の平均値は14.63kPaであった。これに対して6種類の褥瘡予防静止型マットレスから得られた平均接触圧は4.18kPaから6.32kPaに分布しており、ブランクマットレスに比べ明らかに小さく、減圧効果が認められる。ブランクマットレスに対する褥瘡予防静止型マットレスの平均接触圧の比は、試料Aで36.0%、Bで39.7%、Cが43.2%、Dが29.5%、Eが33.4%、Fが28.5%である。6点の試料の平均接触圧は、ブランクマットレスの約35%である。したがって、褥瘡予防静止型マットレスは、一般的なマットレスの接触圧を65%程度は低減できるといえる。なお、ブランクマットレスを

**Table 1** Compression characteristics of mattress samples.

Sample	Compressibility (%)	Elastic modulus for compression (%)
Blank	1.12	97.35
A	0.80	84.32
B	0.51	87.56
C	6.12	97.56
D	1.52	88.95
E	3.02	87.03
F	4.09	96.41

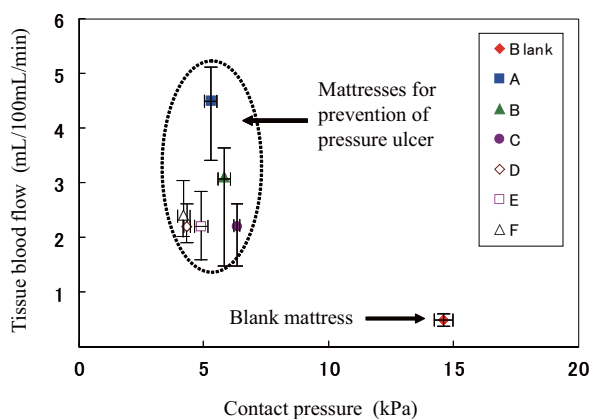
**Table 2** Contact pressure and tissue blood flow obtained from sacral region for each sample.

Sample	Contact pressure (kPa)				Tissue blood flow (mL/100mL/min)			
	Mean	Max.	Min.	Range	Mean	Max.	Min.	Range
Blank	14.63	15.09	14.32	0.77	0.5	0.6	0.4	0.2
A	5.27	5.43	5.00	0.43	4.5	5.1	3.3	1.8
B	5.82	6.21	5.58	0.63	3.1	3.7	1.6	2.1
C	6.32	6.41	6.16	0.25	2.2	2.6	1.5	1.1
D	4.31	4.24	4.41	0.17	2.2	1.8	2.6	0.8
E	4.89	4.70	5.06	0.36	2.2	2.8	1.6	1.2
F	4.18	4.40	3.98	0.42	2.4	3.1	2.0	1.1

含むいずれの試料とも、接触圧のデータの範囲は小さい。計測中のデータにほとんど変動のないことがわかる。

次に、組織血流量のデータをみる。Blank と試料 A から F を比較すると、blank マットレス上で静止仰臥姿勢を維持した被験者の仙骨部平均組織血流量は  $0.5 \text{ mL}/100\text{mL}/\text{min}$  であり、褥瘡予防静止型マットレスに比べて少ない。また、組織血流量のデータの範囲も  $0.2 \text{ mL}/100\text{mL}/\text{min}$  と、褥瘡予防静止型マットレスに比べて小さく、組織血流量に変動が少ないことがわかる。blank マットレス上で静止仰臥姿勢が持続された場合、微小循環の低下が危惧される。このような状態が長時間にわたれば虚血状態に陥る危険性がある<sup>18)</sup>。一方、6 種類の褥瘡予防静止型マットレスからは  $2.2 \text{ mL}/100\text{mL}/\text{min}$  から  $4.5 \text{ mL}/100\text{mL}/\text{min}$  の平均組織血流量が検出されている。これは、blank マットレスの平均組織血流量の 4 倍から 9 倍の値である。また、各試料のデータの範囲も 0.8 から 2.1 であり、blank マットレスに比べて大きく、測定中に組織血流量が変動していることがわかる。なお、blank マットレスに対する褥瘡予防静止型マットレスの平均組織血流量の増加について検定を行ったところ、統計的に有意な差が確認された ( $p < 0.01$ )。

Fig. 5 には被験者の仙骨部から得られた接触圧と組織血流量との関係を示した。接触圧の平均値と平均組織血流量のデータをプロットし、データの範囲をエラーバーで表示した。Fig. 5 に示したように blank マットレスの接触圧が極端に大きく、組織血流量も少ないことがわかる。また、接触圧の変動はすべての試料においてほとんど認められないが、組織血流量の変動は blank マットレスだけが極端に小さい。一方、

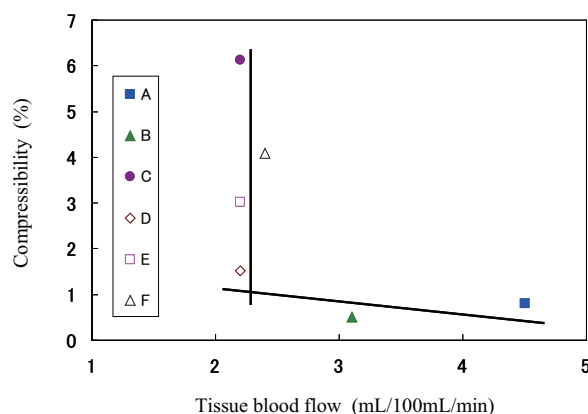


**Fig. 5** Relationship between contact pressure and tissue blood flow in sacral skin obtained from blank mattress and mattresses for prevention of pressure ulcer.

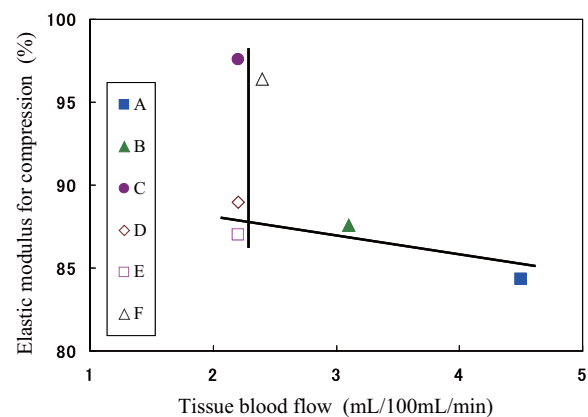
図中に点線の楕円で囲んだように褥瘡予防静止型マットレス試料は一定の範囲内に集中しており、組織血流量の平均値はblank マットレスに比べて大きく、変動も大きいことが明確に現れている。この傾向は、シープスキン系寝具類などから得られた結果と極めてよく一致している<sup>18, 19)</sup>。

Fig. 6 には、よこ軸に平均組織血流量、たて軸に圧縮率をとり、褥瘡予防静止型マットレス試料から得られたデータをプロットした結果を示した。グラフに 2 本の直線を記入し、データの傾向を強調したが、平均組織血流量の最も大きな試料 (試料 A) の圧縮率が小さい。しかし、圧縮率が 1.5% 程度以上の試料から得られた平均組織血流量には大差がないため、データは急激にたて軸方向に分布することになる。

Fig. 7 には平均組織血流量と圧縮弾性率の関係を示した。Fig. 6 と同様に平均組織血流量の大きな試料は、小さな圧縮弾性率を示している。また、平均組織血流



**Fig. 6** Relationship between tissue blood flow in sacral skin and compressibility obtained from mattress for prevention of pressure ulcer.



**Fig. 7** Relationship between tissue blood flow in sacral skin and elastic modulus for compression obtained from mattress for prevention of pressure ulcer.

量が 2.0 mL/100mL/min を少し超える付近の試料群の圧縮弾性率も、たて軸方向に広く分布している。

平均組織血流量の最も大きな試料 A は、圧縮率および圧縮弾性率ともに小さな値を示したので、よこ軸に圧縮率、たて軸に圧縮弾性率をとり、各試料をプロットした (Fig. 8)。Fig. 8 には回帰直線を記入し、圧縮率と圧縮弾性率との相関係数を示した。両者間には強い正の相関が認められる ( $r = 0.88$ )。ここで、グラフ内に圧縮率 1%、圧縮弾性率 90% の数値を破線で記入したところ、圧縮率が 1% 未満かつ圧縮弾性率が 90% 未満の領域に 2 つの試料が存在することがわかった。この 2 種類の試料は、平均組織血流量が 4.5 mL/100mL/min および 3.1 mL/100mL/min と大きな数値を示した試料 A および B である。したがって、今回の実験結果から、圧縮率および圧縮弾性率の小さいマットレスを選択することが組織血流量の確保の点からは有効であると考えられる。すなわち、荷重印加時に凹みにくい、すなわち身体が沈み込みにくいが、圧縮回復性や反発性は粘性的な特性を有する褥瘡予防静止型マットレスを用いることが、人体局所の微小循環確保の観点からは適切であると思われる。ただし、今回の実験は、被験者を平均的体格の壮年男性 1 名を選定して行っている。被験者を用いる実験の性質上、本論文における考察は一つの可能性を示唆したものであると考えている。本実験結果を確認するために、今後、さらに多くの被験者を用いてデータを収集する予定である。

#### 4. まとめ

非破壊で、褥瘡予防静止型マットレスの圧縮特性を計測できる測定器を考案した。この測定器を用いて複数の褥瘡予防静止型マットレスの圧縮率と圧縮弾性率を調べた。一方、被験者を用いて、褥瘡の最好発部位である人体仙骨部の接触圧と組織血流量を同時に測定し、褥瘡予防静止型マットレスの圧縮特性と被験者から得られたデータを比較検討した。その結果、褥瘡予防静止型マットレスの圧縮率および圧縮弾性率の数値から、虚血状態に陥るリスクを判断できる可能性が見出された。その境界域として、圧縮率 1% 未満、圧縮弾性率 90% 未満と推定した。今後、さらに多くのデータを収集し、今回見出した境界値の妥当性について検討を加える予定である。

本研究の一部は、御器谷科学技術財団の国際交流・研究助成金で行った。御器谷科学技術財団に対しまして

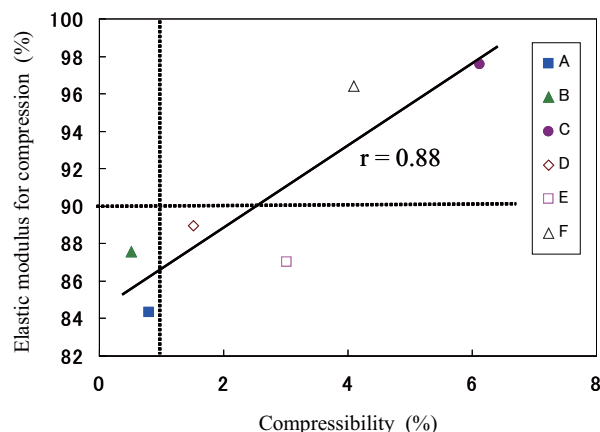


Fig. 8 Compressibility and elastic modulus for compression obtained from each mattress sample for prevention of pressure ulcer.

て深甚の謝意を表します。

#### 参考文献

- 宮地良樹監修, 石川治著: 実地医家のための褥瘡ケアハンドブック, 医薬ジャーナル社 (2001) 6.
- 日本褥瘡学会編: 褥瘡予防・管理ガイドライン, 日本褥瘡学会 (2009) 14.
- 田中 愛, 中谷壽男, 真田弘美, 紺谷千津子, 山崎真代, 田端恵子, 川上重彦: 日本褥瘡学会誌, **6**, 1 (2004) 51.
- 染野由美子, 菅浪昌子, 砂川真名美, 山名敏子, 山南差貞夫, 中新英之: 日本褥瘡学会誌, **9**, 1 (2007) 64.
- 村木良一編著: 改訂第2版在宅褥瘡対応マニュアル, 日本医事新報社 (2003) 13.
- 大石正雄, 梶 彰吾, 梶ひろみ, 津田雅由, 草竹兼司: 日本褥瘡学会誌, **7**, 1 (2005) 124.
- 橋田絵里香, 佐野和史, 清水伸峰, 百束比古: 日本褥瘡学会誌, **8**, 4 (2006) 600.
- 三川信之, 保阪善明: 日本褥瘡学会誌, **9**, 2 (2007) 199.
- 牧口貴哉, 野口まどか, 寺師浩人, 橋川和信, 武川 力, 田原真也: 日本褥瘡学会誌, **10**, 2 (2008) 136.
- 木村中, 舟山恵美: 日本褥瘡学会誌, **6**, 4 (2004) 616.
- 大山知樹, 西本 聡, 武田匡弘, 對川智絵, 清水史明, 鎌田直子: 日本褥瘡学会誌, **6**, 1 (2004) 35.
- 日野原重明, 関 泰志, 阿部正和: 系統看護学講座 2 解剖学・生理学, 医学書院 (1989) 57.
- 野島雄亮, 中野邦彦, 高橋 誠, 岩崎徹治, 縄田 厚, 福島丈晴: 日本褥瘡学会誌, **7**, 4 (2005) 785.
- 木村裕和, 井上裕美子, 片桐真子, 山本貴則: 大阪府立産業技術総合研究所報告, No.19 (2003) 33.
- 大浦武彦: 褥瘡のトータルケア, メディカルトリビューン社 (2003) 33.
- 株式会社ウィズ: With2008 ウィズ福祉用具 (2008)
- JIS L 4004 (2001) 解説 4.
- 山本洋志郎, 土井佑介, 泉 佳伸, 木村裕和, 西嶋茂宏: 生体医工学, **46**, 5 (2008) 489.
- 木村裕和, 山本貴則, 片桐真子, 平井 学, 松岡敏生, 松本陽一, 西嶋茂宏: Journal of Textile Engineering, **55**, 2 (2009) 61.