Clothing Design Method for Realizing Comfortable Clothing Pressure by Using Finite Element Method

— Method for Obtaining Appropriate Clothing Pressure for Girdle —

ISHIMARU Sonoko^a, ISOGAI Yumiko^a, MATSUI Mariko^a, FURUICHI Kenji^a
NONOMURA Chisato^a, YOKOYAMA Atsushi^b

^a Research Center TOYOBBO CO., LTD, Otsu, Shiga, 520-0292, Japan,

^b Division of Advanced Fibro-Science, Graduate School, Kyoto Institute of Technology, Sakyo-ku, Kyoto, 606-8585, Japan

Received 18 November 2010; accepted for publication 24 March 2011

Abstract

Clothing pressure is evaluated by wearing clothes on a human body or a dummy and measuring the pressure using pressure sensors. We have developed a technique for predicting clothing pressure by the finite element method using the experimentally obtained tensile properties of knitted fabrics. Our technique does not involve making actual clothes. In this study, we succeeded in wearing the pattern of the girdle on a human body model by utilizing data that represent the pattern of the girdle and the bending of the girdle along the side of the model. After determining the comfortable pressure, the appropriate knitted fabrics that produce the target clothing pressure were chosen according to the predicted clothing pressure. A girdle was sewn using the chosen knitted fabric, and subjects wore this girdle; thus, it was verified that the girdle can provide a comfortable sensation because it produces the appropriate pressure. In addition, when wearing the girdle, the high-frequency component (HF) of the electrocardiogram (parasympathetic nervous system index) was high, and this is indicative of physiological relaxation. However, there were difference between the numerical clothing pressure using rigid body and the experimental clothing pressure measured by elastic Human body. Thus, depending on how to usage, the technique for predicting clothing pressure can be applied to the clothing design for the comfortable clothing pressure.

Key Words: Clothing Pressure, Finite Element Method, Girdle, Knitting Fabric, Comfort

有限要素法を用いた快適な衣服圧を示す衣服の設計手法について — ガードルの衣服圧設計手法 —

石丸園子^{a,*}, 磯貝悠美子^a, 松井まり子^a, 古市謙次^a, 野々村千里^a, 横山敦士^b

^a 東洋紡績株式会社総合研究所, ^b 京都工芸繊維大学大学院

1. 緒 言

衣服の快適性の主要因には、熱・水分特性に関する衣服内温湿度、衣服が皮膚を押し付ける衣服圧、および肌触りがあると言われている [1]。そのうち、衣服圧については、適切な圧力を身体に付与することで、運動機能性の向上、体型補正効果、自律神経系の反応制御、静脈瘤の予防など、さまざま

な機能を発現させることができる。また、適当な圧力分布を実現することで、快適感を高めることもできる。これらの機能は、日常着用するアンダーウェアから、ファンデーション、スポーツウェア、メディカル用途など、幅広い用途で要求されている。

ところで、適切な衣服圧を示す衣服設計を行うためには、縫製した衣服を用いて、身体にかかる圧力を測定しなければ

* 連絡先：東洋紡績株式会社総合研究所 520-0292 滋賀県大津市堅田 2-1-1
E-mail: sonoko_ishimaru@toyobo.jp, Tel: +81-77-571-0049, Fax: +81-77-571-0121

ならない。目標の衣服圧レベルに合致するよう衣服圧を変更するためには、衣服を縫製し直さなければならず、変更のたびに縫製工程が入り効率が良い開発とは言えない。また、衣服圧計測は、人体と衣服の間にエアパックなどの受圧部を挿入し接触圧を測定する方法が一般的であるが、計測点が数箇所に限られるため、衣服圧の分布状態を正確に把握できず、精度の高い衣服設計は困難である。そこで、適切な衣服圧分布を示す衣服設計を効率的・効果的に行うために、縫製工程を経なくても、生地と型紙から衣服圧および衣服圧分布を予測・計算する技術が望まれている。

生地の伸長変形挙動のモデル化、および、衣服圧の計算手法として、今岡ら [2]、庭屋ら [3]、井上ら [4,5]、Zhang ら [6,7]、Hu [8]、Breen ら [9]、Yeung ら [10]、Volino ら [11]、三ツ井ら [12] の研究例がある。しかし、生地伸長変形挙動の特徴である、異方性、非線形性の両特性をモデル化する方法において、編物のように伸長率が高く大変形を示すケースのモデル化は十分できていなかった。また、ゆとりがなく人体に密着する衣服、かつ、単純な筒状の衣服ではなく袖と身頃を縫製するような複雑な形状の衣服を着付ける計算技術は構築されていなかった。

筆者らは、衣服圧を予測・計算するために必要な生地変形挙動のモデル化について、「有限要素法を用いた衣服圧分布の予測計算—スパッツの衣服圧計算—」において報告した [13]。また、衣服を人体に着用させる過程について「有限要素法を用いた衣服圧分布の予測計算—アンダーウェア—」において報告した [14]。[13] では、身体に密着させて着用する編物からなる衣服を対象とし、大変形にも適用できる、異方性、非線形性を考慮した編物伸長変形モデルを考案した。この編物モデルは、等方性の成分と異方性の成分を分離したモデルとし、その両方に非線形性を与え、最終的に両成分を重ね合わすモデルである。具体的には、有限要素法を用いて、非線形性は超弾性体のシェル要素を用い、異方性は補強材的なトラス要素を用い、両者を組み合わせた計算モデルとした。衣服を人体に着衣させる過程においては、実際の着衣過程とは異なり、型紙形状編物を縫合しながら着衣させる過程をとり、かつ、型紙形状編物を直接人体モデルに着付けるのではなく、人体モデルと型紙形状編物との間に中間体を配置し2段階の着衣過程をとることにより、袖のある複雑な衣服であっても人体に密着して着衣させることを可能にした。本研究では、上記の編物モデル、着付け方法による衣服圧の計算手法を活用することにより、適度な衣服圧を付与することで快適に感じるガードルを設計・提案し、縫製工程を経ないで快適な衣服を設計する方法を提案することを目的とする。

快適に感じる衣服圧については、伊藤 [15]、間壁ら [16] によるガードル、ブラジャーなどの製品により検討した研究例と、綿貫ら [17]、[18]、中村ら [19]、筆者ら [20]、[21] による、加圧レベルと快適性について基礎検討した研究例がある。

本報では、筆者らの快適に感じる圧力の基礎検討結果に基づいて、上述の衣服圧の計算手法を応用して快適に感じる衣

服圧を示すガードルを設計し、かつ、設計したガードルを実際に作製し、その着用感等から製品設計手法の妥当性を検証する。

2. ガードルの衣服圧設計指針

2.1 方法

26℃ 60% RH 環境下で、女性7名の被験者により、ゆとりのある半袖Tシャツ、ショーツ、半ジャージの着装状態で、立位姿勢で実験した。身体を締め付けるブラジャーなどは装着しなかった。被験者は20～40歳代の健康な女性で、身長と体重から求められるBMI値は平均20.0（標準偏差1.3）、大腿部周長は平均45.6 cm（標準偏差2.7 cm）、腰骨周長は平均83.0 cm（標準偏差4.8 cm）を示した。なお、衣服圧計算に用いた20歳代の日本人女性の平均的モデルであるマネキンWD-20（七彩製）の同部位の周長は、大腿部周長52.0 cm、腰部周長82.5 cmであった。加圧方法は、表がポリエステル100%、裏がスポンジゴムで構成され、マジックテープで長さが調節できる伊達締めを用い、加圧レベルを調節した。伊達締めの幅は9 cmである。最大加圧レベルを4 kPaとし、0.3 kPa、0.5 kPa、0.7 kPa、1.0 kPa、1.5 kPa、2.0 kPa、2.5 kPa、3.0 kPa、3.5 kPa、4.0 kPaの10段階とした。加圧部位は、腰部、腹部、胸部、大腿部、下腿部、上腕、前腕の7箇所を加圧したが、本報では、ガードルで覆われる部位として、大腿、腰部、腹部の3箇所についてのみ取り上げて以下、説明する。大腿は、長さ方向のほぼ中央部分を左右ともに加圧し、腰部は腰骨のある周囲を加圧し、腹部はウェストラインを加圧した。Fig. 1に、加圧部位、および、圧力計測位置を示す。圧力は、人体の弾力性、人体の曲率の影響を受けるため、比較的安定した測定値が得られると考えられる身体外側の脂肪が少ない部分である位置を定め、同じ加圧部位内の変動を調査した。具体的には、腹部は①、腰部は⑤、大腿部は⑨の位置とした。①、⑤、⑨の圧力計測位置の加圧レベルが2.7～3.3 kPaの範囲になるように調整したときの、各部位

Fig. 1 Pressure region and pressure measurement position.

Fig. 2 Pressure distribution in each pressure body region.

の圧力計測位置①～⑫の全被験者の圧力平均値と標準偏差を Fig. 2 に示す。大腿では、⑨、⑩、⑪、⑫の位置は、ほぼ周囲を等分した位置としたが、腹部、腰部の背部中央部分は窪んでおり衣服圧が検出されないため、外側の比較的高い圧力が検出される位置で測定した。圧力計測位置①、⑤、⑨の圧力の標準偏差は、腹部①～④、腰部⑤～⑧、大腿部⑨～⑫のそれぞれの部位内において比較的小さく、かつ、加圧部位内で最も高い圧力を示す。圧力計測位置①、⑤、⑨の圧力が、それぞれ腹部、腰部、大腿部の平均圧力値を示すわけではないが、安定した計測ができることを確認し、計測位置①、⑤、⑨の圧力を各部位の代表値として採用した。なお、圧力は、エアパック式の接触圧測定器 AMI 3037-10（エイエムアイ・テクノ製）を用いて計測した。

感覚は、圧感覚と快適感覚の2つについて調査した。表1に示すように、圧感覚は、1：非常にゆい、2：ゆい、3：ややゆい、4：どちらでもない、5：ややきつい、6：きつい、7：非常にきつい、の7段階、快適感覚は、1：非常に心地よい、2心地よい、3：やや心地よい、4：どちらでもない、5：やや心地悪い、6：心地悪い、7：非常に心地悪い、の7段階で調査した。

加圧部位3箇所の実験順序は、被験者により変更し、順序効果が出ないように配慮した。加圧レベル10条件については、最も低い0.3 kPaから順に圧力を高くする方法とした。徐々に圧力を高めることにより圧感覚の変化、快適感覚の変化を自覚しやすくなると考えて、加圧順序はランダムにしない

Table 1 Questionnaire.

	Pressure sensation	Comfortable sensation
7	Very tight	Very uncomfortable
6	Tight	Uncomfortable
5	Slightly tight	Slightly uncomfortable
4	Normal	Normal
3	Slightly loose	Slightly comfortable
2	Loose	Comfortable
1	Very loose	Very comfortable

かった。加圧時間は、1条件30秒以内とし、加圧初期の感覚を調査した。実験の手順は、伊達締めにより加圧し、エアパック式接触圧測定器により計測位置の圧力が目標値 $\pm 10\%$ を示すよう伊達締めの締め方を調整したのち、圧感覚、および、快適感覚を調査した。そして、順次、加圧レベル、加圧部位を変更して、圧感覚、および、快適感覚を調査する方法とした。

2.2 結果

大腿部、腰部、腹部の加圧レベルと圧感覚との関係を Fig. 3、加圧レベルと快適感覚との関係を Fig. 4 に示す。被験者7名の平均値と標準偏差を示す。Fig. 3、Fig. 4の結果から、圧感覚、および、快適感覚を加圧値から算出する回帰式を求めた。加圧値から圧感覚を求める回帰式を Table 2 に、加圧値から快適感覚を求める回帰式を Table 3 に示す。Table 1 の y は圧感覚値、x は加圧値である。圧感覚値は、加圧値が高くなると圧感覚値も高くなる関係にあり、実質的に連続量として扱って問題ないと判断して回帰式を求めた。多直線近似も可能であるが、ここでは Weber-Fechner の法則を考慮して対数近似を採用した。Table 2 の y は快適感覚値、x は加圧値である。加圧値から快適感覚を求める回帰式は直線近似を採用した。この回帰式より、大腿部の圧感覚が評点4（どちら

Fig. 3 Relation between pressure level and pressure sensation.

Fig. 4 Relation between pressure level and comfortable sensation.

Table 2 Regression equation calc ulated pressure sensation from pressure level.

Pressure region	Regression equation	Correlation coefficient
Thigh	$y = 1.73\text{Ln}(x) + 4.04$	1.00
Hips	$y = 1.19\text{Ln}(x) + 3.74$	0.98
Abdomen	$y = 1.65\text{Ln}(x) + 4.61$	0.99

Table 3 Regression equation calc ulated comfortable sensation from pressure level.

Pressure region	Regression equation	Correlation coefficient
Thigh	$y = 0.83x + 2.95$	0.97
Hips	$y = 0.19x + 3.30$	0.72
Abdomen	$y = 0.97x + 3.15$	0.99

でもない)となる加圧値は 0.97 kPa, 評点 5 (ややきつい)となる加圧値は 1.74 kPa, 腰部の圧感覚が評点 4 (どちらでもない)となる加圧値は 1.24 kPa, 評点 5 (ややきつい)となる加圧値は 2.89 kPa, 腹部の圧感覚が評点 4 (どちらでもない)となる加圧値は 0.69 kPa, 評点 5 (ややきつい)となる加圧値は 1.27 kPa を求めた。同時に、そのときの快適感覚を回帰式より計算し、大腿部の圧感覚が評点 4 となる加圧値 0.97 kPa, 評点 5 となる加圧値 1.74 kPa の場合の快適感覚値は、それぞれ評点 3.8, 評点 4.4 を示し、腰部の圧感覚が評点 4 となる加圧値 1.24 kPa, 評点 5 となる加圧値 2.89 kPa の場合の快適感覚値は、それぞれ評点 3.5, 評点 3.8 を示し、腹部の圧感覚が評点 4 となる加圧値 0.69 kPa, 評点 5 となる加圧値 1.27 kPa の場合の快適感覚値は、それぞれ評点 3.8, 評点 4.1 という計算結果を得た。腰部は、圧感覚値が評点 5 でややきつく感じて快適感覚値は評点 4 に達しなく快適に感じる傾向がみられ、4 kPa まで衣服圧が高くなっても不快に感じるレベルにならないことが分かる。一方、大腿部、腹部は、圧が高くなると顕著に不快感が高まる傾向が見られた。

適度にしめつけて快適に感じる圧力設計値として、上述の加圧値と圧感覚値、加圧値と快適感覚値との関係の回帰式より、腰部は“ややきつい”と感じる評点 5 となる圧力計算値 2.89 kPa (快適感覚値 3.8) 以上、大腿部は“どちらでもない”と感じる評点 4 となる圧力計算値 0.97 kPa (快適感覚値 3.8) 以下、腹部も“どちらでもない”と感じる評点 4 の圧力計算値 0.69 kPa (快適感覚 3.8) 以下、という衣服圧が 1 つの目標レベルであると考えた。腰部は 4 kPa まで圧力を高くしても不快に感じないので、2.89 kPa よりも高めの衣服圧を付与してもよいが、大腿部、腹部は圧力が高くなると不快感が顕著に増大するため、それぞれ 0.97 kPa, 0.69 kPa は上限値と考えるのが妥当だと考える。

3. ガードルの衣服圧計算

3.1 試料

大腿部、腰部、腹部を適度にしめつけて、快適に感じるガードルを設計するための衣服圧設計提案値を実現するため、一般的にガードルに使用する伸長特性の異なる A, B, C の 3 種類の編物を用いて、適切な編物を選定することを検討した。試料 A は、ナイロン 44 dT, ウレタン 235 dT の糸からなり、ナイロン 79%, ウレタン 21% の混率で、目付 154 g/㎡である編み組織サテンニットの経編サンプル、試料 B は、ナイロン 44 d, ウレタン 78 dT, ウレタン 44 dT の糸からなり、ナイロン 72%, ウレタン 28% の混率で、目付 209 g/㎡である編み組織サテンニットの経編サンプル、試料 C は、ナイロン Ny44dT, ウレタン 235 dT, 綿 100/2 の糸を用い、ナイロン 55%, ウレタン 19%, 綿 26% の混率で、目付 167 g/㎡である編み組織サテンニットの経編サンプルである。

3.2 実験方法

試料サイズ 25 mm × 50 mm の短冊状の編物を単軸引張試験により、50%伸長させたときの荷重—伸長率曲線を求めた。長さ 50 mm の一片を固定し、もう一方の一片を把持して伸長した。このとき、把持部の幅は変化しないように両端とも 25 mm の幅を固定する方法とした。試料 A, 試料 B, 試料 C の荷重—伸長率曲線を、それぞれ Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7 に示す。

3.3 単軸引張り試験の計算方法

試料サイズは単軸引張試験サンプルと同様に 25 mm × 50 mm の短冊状とし、10 分割 × 20 分割で構成した。その要素分解図を Fig. 8 に示す。厚みは 1 mm と仮定し、初期断面積は 25 mm²とした。単軸引張り試験による荷重—伸長率曲線では試料幅に対する力が求められるが、応力に換算するため

Fig. 5 Load-extension curves for all direction (Sample A).

Fig. 6 Load-extension curves for all direction (Sample B).

Fig. 7 Load-extension curves for all direction (Sample C).

Fig. 8 Finite element division and boundary conditions.

には断面積の概念が必要であり、計算上、厚みを設定しなければならないため、仮の厚みとして厚みを 1 mm と仮定した。実際の厚みは試料によって異なり、1 mm に固定されているわけではないが、最終的に求める衣服圧は、応力を力に

戻して接触面積で割るので、実質上、厚みは衣服圧計算結果には影響しない。

実際の引張り試験と同様に、長さ 50 mm の一片を固定し、もう一方の一片を把持し、50%の伸長率、すなわちサンプル長が 50 mm から 75 mm になるまでの計算を実施した。このとき、把持部の幅は変化しないように両端とも 25 mm で固定させ、実際の引張り試験と同様にした。

3.4 編物モデルによる編物伸長変形計算

編み物の伸長変形モデルは、等方性の成分と異方性の成分を分離したモデルとし、その両方の成分に非線形性を付与する編物モデルを考えた。ベース部分が非線形等方性を示し、そこに異方性成分が重なるモデルを考えた。編物の伸長変形は、巨視的にはウェール方向とコース方向に材料主軸が存在し、その両材料主軸のなす角度は編物の変形により変化し、斜交異方性の特徴を示すと考えられる。そのため、異方性成分の材料主軸は相互に影響し合わないで、ベース部分に追従して主軸角度は変化するとした。このような考え方にしたがって、ベース部分は、非線形性の等方性成分とし、バイアス方向の剛性を適用し、そこに異方性成分を重ね合わせる次式のモデルを考えた。次式の D は、応力 σ とひずみ ε の関係において、見掛けの剛性 $D = \Delta\sigma / \Delta\varepsilon$ と定義した。ウェール方向の (1) 式は Fig. 9 のように表すことができる。

$$D_{\text{wale}} = D_{\text{aniso, wale}} + D_{\text{iso}} \quad (1)$$

$$D_{\text{course}} = D_{\text{aniso, course}} + D_{\text{iso}} \quad (2)$$

$$D_{\text{bias}} = D_{\text{iso}} \quad (3)$$

D_{wale} ; ウェール方向の見掛けの剛性

$D_{\text{aniso, wale}}$; ウェール方向の異方性成分の見掛けの剛性

D_{iso} ; 等方性成分の見掛けの剛性

D_{course} ; コース方向の見掛けの剛性

$D_{\text{course, aniso}}$; コース方向の異方性成分の見掛けの剛性

D_{bias} ; バイアス方向の見掛けの剛性

具体的には、ベース部分（母材）は等方性成分とし、その

Fig. 9 Expression for anisotropy and non-linearity.

成分に非線形性を持たせるため、超弾性体モデルの Neo-Hookean モデルを適用し、バイアス方向の応力-ひずみ曲線の弾性率を材料定数とした。そして、ウェール方向、コース方向の実測の応力-ひずみ曲線の剛性から、Neo-Hookean モデルを適用して求めたバイアス方向の等方性成分の剛性を減算した値を、ウェール方向、コース方向の異方性成分の剛性とした。この編物モデルを、汎用の有限要素法ソフトウェア

Fig. 10 Stress-strain curves for all direction (Sample A).

Fig. 11 Stress-strain curves for all direction (Sample B).

Fig. 12 Stress-strain curves for all direction (Sample C).

ABAQUS (Ver. 6.7) を用いて実現した。等方性成分にはシェル要素を適用し、ウェール方向、コース方向の異方性成分にはトラス要素を適用した。

実測値から求めた公称応力-公称ひずみ曲線と、上記の方法で計算した結果を Fig. 10, Fig. 11, Fig. 12 に示す。Fig. 10 は試料 A, Fig. 11 は試料 B, Fig. 12 は試料 C の結果である。公称応力とは、荷重を変形前の断面積で割った値、公称ひずみとは、変形前の長さで変形長さを割った値である。計算値は実測値とほぼ同値を示すことを確認した。

3.5 着付け計算方法

人体データは、20 歳代の日本女性の平均的モデルである マネキン WD-20 (七彩製) から三次元計測により表面形状のデータを取得し、その人体の三次元データを 18,370 の三角形要素に分割し、剛体の人体モデルを作成した。型紙データはアパレル CAD データを利用し、Fig. 10 に示すように、要素分割して作成した。Fig. 13 の型紙データは 2 枚を左右に配置してガードルの形状になるが、左右対称であるので左右一方の型紙データを人体に着付けることができれば、技術的にガードル全体の着付けが可能になるので、本報では、片側の型紙データを半身に着付ける方法とした。筆者らは [13] において、スパッツの着付け計算を実施したが、そこでは前身頃と後身頃から、前後を縫合する方法をとっており、一般的な下肢用の衣服のように、左右の身頃を縫合する方法での計算はできていなかった。

型紙形状編物の人体モデルへの着衣方法を具体的に示す。以下の着付け計算は、汎用の有限要素法ソフトウェア ABAQUS (Ver. 6.7) を用いた。まず、Fig. 14 に示すように、人体モデルの周辺に、中間体、および、型紙形状編物を配置する。中間体は、脚部に配置する円筒状の中間体 1 と、腰部に配置する笠を上下逆にした形状の中間体 2 を配置した。中間体に必要な条件は、凹凸がないこと、人体モデルと型紙形状編物との間に配置されること、型紙形状編物の長さよりも長いことである。型紙形状編物を、縫合しながら一旦中間体に着付け、その後、中間体を取り除き人体モデルに着付ける、という 2 段階の過程をとることで、型紙形状編物を人体モデルに密着させて着衣させることを可能にした。着付けの具体

Fig. 13 Pattern data for Calculation.

Fig. 14 Position of pattern and temporary body for human body model.

Fig. 15 Wearing process.

的な過程を Fig. 15 に示す。STEP 1 から STEP 7 にかけて着付けを進める。まず、STEP 1 では、人体モデルと型紙形状編物を配置し、その間に中間体を配置する。STEP 2 では、型紙形状編物と中間体 1 との間で接触判定をし、型紙形状編物が中間体を通り抜けないようにし、型紙形状編物を人体の周方向に曲げながら伸長させる。次に、STEP 3 では、型紙形状編物を中間体 1 に接触させ、人体の丈方向、および、周方向にさらに曲げながら伸長させる。このとき人体の曲面に沿うように、型紙形状編物を曲げるようにして伸長させる。STEP 4 では、中間体 1 に型紙形状編物を接触させながら、股下部を縫合していく。STEP 5 では、型紙形状編物を伸長させ、前中心、後ろ中心を人体前後の中央ラインに揃え、中間体 1、および、中間体 2 に接触させる。STEP 6 では、中間体 1 と中間体 2 を取り除き、接触判定を型紙形状編物と人体モデルとの間に変更して、人体モデルに型紙形状編物を密着させる。STEP 7 では、裾部分の拘束を解除すると同時に、ウェストラインまで型紙形状編物を引き上げて、着衣過程を終了する。

Fig. 16 Clothing pressure distribution of each sample.

Fig. 17 Calculation line of clothing pressure.

以上のように、型紙形状編物を曲げながら人体モデルに沿うように接触させる過程をとることで、1 枚の型紙形状編物内に、腹部・腰部の外側のように曲率の高い部分と、腹部・腰部の前面のように曲率の比較的低い部分が構成される場合でも、人体モデルに着付けることを可能にした。

3.6 着付け計算結果

3 種類の編物 A, B, C を用い、ウェール方向をガードルの丈方向と周方向に配置した計 6 水準の衣服圧計算を実施した。着付け計算後の、人体前面の衣服圧コンターを Fig. 16 に示す。青色から、緑色、赤色になるにつれて、衣服圧が高くなることを意味する。衣服圧の小さい試料から、試料 B, 試料 A, 試料 C であり、かつ、ウェール方向をガードルの周方向に配置する水準に対し、ウェール方向をガードルの丈方向に配置する水準の衣服圧が高くなる傾向がみられた。ガードルの周方向に配置される編物方向の伸長荷重が高いほど、言い換えると、Fig. 10, Fig. 11, Fig. 12 に示される公称応力-公称ひずみ曲線の応力が高い方向をガードルの周方向

Fig. 18 Comparison of clothing pressure at thigh line between each sample.

Fig. 19 Comparison of clothing pressure at hip line between each sample.

Fig. 20 Comparison of clothing pressure at hip line between each sample.

に配置すると、衣服圧が高い傾向がみられており、衣服圧に対してガードルの周方向に配置される編物の伸長荷重の寄与が高いことが示唆される。

Fig. 17 に示す大腿部、腰部、腹部の周方向ラインの衣服

圧を計算した。要素分割の並びに従って、大腿部、腰部、腹部ともに、3ラインの衣服圧を平均し、大腿部周方向ラインの衣服圧計算結果を Fig. 18 に、腰部周方向ラインの衣服圧計算結果 Fig. 19 に、腹部周方向ラインの衣服圧計算結果を Fig. 20 に示す。腰部、腹部は、前中心部を 0mm 地点とし、大腿部は中心から 87 mm 離れた要素分割の切り替え部分を 0 mm 地点としている。腰部は、前中心から腰骨周辺までの間に、衣服圧がほぼ 0 kPa の部分があり、腰骨部周辺と思われる部分の衣服圧が最も高い計算値を示す。大腿部は腰部ほど衣服圧の変化が少ない。腹部は約 0.5 kPa 以下の衣服圧であり、大腿部、腰部に対し、顕著に低い値を示す。

大腿部、腰部、腹部の衣服圧計算結果の Fig. 18, Fig. 19, Fig. 20 において、衣服圧が高い位置を、それぞれの図中に (T), (H), (A) で示し、人体モデル図の Fig. 17 にその位置 (T), (H), (A) を記入した。腹部、腰部、大腿部の衣服圧設計値を検討した位置は、Fig. 1 の圧力計測位置①～④、⑤～⑧、⑨～⑫の4箇所のうち、ばらつきが比較的小さく圧力が高い値を示した位置①、⑤、⑨である (Fig. 2 参照)。衣服圧計算で周方向の衣服圧を求めると、腰部では腰骨周辺 (H) の衣服圧が最も高く、人体での圧力計測位置⑤とはほぼ同じであることが分かった。また、大腿部では、Fig. 1 における側面の⑨よりも前面の⑩の近傍に最も高い衣服圧計算値を示す位置 (T) がある。腹部でも、Fig. 1 における背面の①ではなく、前面の②の近傍に最も高い衣服圧計算値を示す位置 (A) がある。各部位の衣服圧設計値を検討した位置①、⑤、⑨、および②、⑥、⑩の位置を Fig. 18, Fig. 19, Fig. 20 に示す。大腿部、腹部については、衣服圧設計値を求めた人体での圧力値が高かった位置と、衣服圧計算により高い衣服圧を示した位置が異なる。その理由として、衣服圧設計値を検討した人体は弾性体であり、衣服圧計算を検討したマネキンは剛体であることが影響していると考えられる。腹部、大腿部において、マネキンで最大衣服圧を示す位置に近い、人体の圧力計測位置②、⑩は、Fig. 2 の結果より、圧力の標準偏差が大きいことから、②、⑩の部分は筋肉あるいは脂肪が多く存在し、硬さの個人差も大きい箇所であると考えられる。筋肉、脂肪が多く存在する箇所は、皮膚のすぐ下に骨が存在する箇所に対して、衣服圧が低くなると考えられる。したがって、衣服圧計算では、大腿部の場合、圧力計測位置⑩の近傍の圧力が最も高かったが、人体では高い値を示さず、⑨と⑩はほぼ同じ圧力値を示したと考えられる。腹部の場合、圧力計測位置の②が非常に柔らかい部分であり、人体では衣服圧計算のように②が高い値を示さなかったと考えられる。

衣服圧計算では、実際とは異なる位置で高い衣服圧が得られたが、これらの部位は柔らかく、衣服圧の大きさに個人差が見られることから、衣服圧設計を検討した位置の衣服圧計算値が、人体での衣服圧設計範囲に入る生地を選定することにした。

4. 製品設計

4.1 編物の選定

上記 2. 項において、適度にしめつけて快適に感じる圧力設計値として、腰部が 2.89 kPa 以上、大腿部が 0.97 kPa 以下、腹部が 0.69 kPa 以下という衣服圧設計値を提案した。上記 3. 項の 6 水準の衣服圧計算結果より、腰部では、Fig. 19 に示す位置⑤の衣服圧計算値が 2.89 kPa よりも高い値を示す試料として、試料 C のウェール方向をガードルの丈方向に配置する水準が得られた。3 kPa を超えているが、腰部は 4 kPa まで加圧しても不快に感じにくいことから、試料 C のウェール方向をガードルの丈方向に配置する設計が望ましいと考える。大腿部では、Fig. 18 に示す位置⑨の衣服圧計算値が 0.97 kPa 以下になる試料として、試料 B のウェール方向をガードルの丈方向、周方向に配置する水準、試料 A のウェール方向をガードルの周方向に配置する水準、試料 C のウェール方向をガードルの周方向に配置する水準が得られた。大腿部は加圧に対する感覚が鋭いため、3 水準のうち、衣服圧が最も低くなると考えられる試料 B のウェール方向をガードルの周方向に配置する設計が望ましいと考える。また、腹部では、Fig. 20 に示す位置①の衣服圧が 0.69 kPa 以下になるのは、6 水準全てであったため、腹部についてはどの生地でもよく、腰部と同様の生地を用いることができると考えた。

4.2 衣服圧計算による製品設計結果

適度にしめつけて快適に感じるガードル案として、腰部、腹部は試料 C のウェール方向をガードルの丈方向に配置し、大腿部は試料 B のウェール方向をガードルの周方向に配置する設計が考えられたので、その考え方を実現するため Fig. 21 に示す型紙データを作成した。外寸は、3. 項で検討した Fig. 13 の型紙データと同じとし、腰部下部で試料 B と試料 C を接合する型紙データを作成した。型紙データの上部には

Fig. 21 Pattern data for FEM using sample B and sample C.

試料 C の生地伸長特性、下部には試料 B の生地伸長特性から求めた編物モデルを適用した。

上記 3. 項と同様の方法で、試料 B と試料 C からなる複合ガードルの型紙形状編物を人体モデルに着付け計算して求めた衣服圧コンターを Fig. 22 に示す。また、試料 B と試料 C からなる複合ガードルを試料 B、試料 C のみで構成されるガードルと比較して、Fig. 14 に示す大腿部、腰部、腹部の周方向ラインの衣服圧計算結果を、Fig. 23, Fig. 24, Fig. 25 にそれぞれ示す。異なる生地を縫合したガードルでも、単一生地の衣服圧に近い結果を示した。試料 B と試料 C からなる複合ガードルの腰部の衣服圧は、腰骨周辺で約 3 kPa の高い値を示し、大腿部の衣服圧は、1 kPa 以下の低い値を示し、ウエストラインの腹部は 0 kPa に近い非常に低い衣服圧を示しており、腰部 2.8 kPa 以上、大腿部 0.97 kPa 以下、腹部 0.69 kPa 以下の衣服圧設計どおりの衣服圧を得られることが計算から導かれた。

Fig. 22 Clothing pressure distribution of combined sample (sample B and sample C).

Fig. 23 Comparison of clothing pressure at thigh line between combined sample (B&C), sample B, and sample C.

Fig. 24 Comparison of clothing pressure at hip line between combined sample (B&C), sample B, and sample C.

Fig. 25 Comparison of clothing pressure at waist line between combined sample (B & C), sample B, and sample C.

5. 着用評価による検証

5.1 方法

上記の計算結果より設計した試料Bと試料Cの複合ガードル、試料Cのみで縫製したガードル、および、ガードルを着用しない、という3つの試験水準で着用テストをした。

設計した複合ガードルが快適かどうかアンケート調査により主観評価し、生理的にも心地よいと評価されるか心電図を計測値して、副交感神経系活動と交感神経系活動について解析した。また、衣服圧が覚醒度合いに影響するかどうかを評価するため、中枢神経系の評価として脳波を計測した。さらには、衣服圧の違いが作業性に影響するか評価するため、オドボール課題によるパフォーマンステストを実施した。

環境は26℃ 60% RH、女性被験者7名、着装状態は、ゆとりのある半袖Tシャツとフレアスカートとし、評価サンプルのガードル以外では身体をしめつけない着装とした。7名の女性被験者は、20～40歳代の健康な女性であり、身

長と体重から求められるBMI値が平均20.0（標準偏差1.3）、大腿部周長は平均45.6 cm（標準偏差2.7 cm）、腰骨周長は平均83.0 cm（標準偏差4.8 cm）、腹部周長は平均62.3 cm（標準偏差2.0 cm）を示した。なお、計算に用いた20歳代の日本人女性の平均的モデルであるマネキンWD-20（七彩製）の同部位の周長は、大腿部周長52.0 cm、腰部周長82.5 cm、腹部周長63.5 cmであった。プロトコルは、椅座位安静7分の後、立位5分、パフォーマンステスト5分、アンケート調査2分、パフォーマンステスト5分、アンケート調査2分の後、次の試験水準に変更し、椅座位安静から同様のプロトコルをとった。立位5分以降は、立位姿勢で通した。座位姿勢であると、対象とする部分以外に圧力がかかるため、立位姿勢により、大腿部、腰部、腹部に、評価ガードル以外から圧力が人体にかからない条件とした。被験者7名において、3つの実験水準の順序はランダムにして、順序効果を小さくするように配慮した。また、実験による疲労を考慮して、椅座位安静の時間は7分と比較的短く設定した。なお、被験者は、上述の衣服圧を設計する実験、その他の加圧実験や心電図実験等、多数の実験を経験している女性であり、着用実験に十分に慣れていると判断した。アンケート調査時期に、圧感覚、快適感覚を評価した。圧感覚は、“大腿部がゆるい—大腿部がきつい”、“腰部がゆるい—腰部がきつい”を、それぞれ、非常にゆるい-2、ややゆるい-1、どちらでもない0、ややきつい+1、非常にきつい+2の5段階で評価し、快適感覚は、“全体的にしめつけ感が心地よい—全体的にしめつけ感が心地悪い”を、非常に心地よい-2、やや心地よい-1、どちらでもない0、やや心地悪い+1、非常に心地悪い+2の5段階評価で調査した。RASは、“積極的な気分だ”、“活力がみなぎっている”、“緊張している”、“どきどきしている”、“眠い”、“まぶたが重いとを感じる”、“くつろいだ気分だ”、“ゆったりした気分だ”の用語を用い1～7の7段階評価で調査した。圧感覚、快適感覚については、ガードルを着用していない水準では、調査しなかった。圧感覚、快適感覚については、ガードル着用の2水準でのみ調査をしたので、試料比較の有意差検定は対応のあるt検定を実施した。

パフォーマンステストとして、オドボール課題を実施した。多目的刺激コントローラー Multi Stim for Windows（有メディカルトライシステムズ製）を用い、高音の聴覚刺激の後、ディスプレイ上に緑色の丸が表示されるとボタンを押し、低音の聴覚刺激の後、ディスプレイ上に赤色の丸が表示されるとボタンを押し、それ以外の、高音の聴覚刺激後に赤色の丸表示、低音の聴覚刺激後に緑色の丸表示ではボタンを押さない、という弁別反応課題とした。緑色と赤色の丸の視覚刺激の提示からボタンを押すまでの時間を反応時間として測定した。音圧は110 dBである。聴覚刺激2種、視覚刺激2種の組み合わせ4種類であり、提示確率は各25%とした。聴覚刺激提示から視覚刺激提示までの時間は1秒、聴覚刺激から次の聴覚刺激までの時間は2秒とした。聴覚刺激、視覚刺激ともに0.5秒提示した。反応速度、反応速度の標準偏差、正反応数、誤反応数を測定した。パフォーマンステストは、事前に慣れるまで練習をした。

心電図は、生体信号収録装置 Polymate (ティアック製) を用い、胸部双極誘導で測定した。時定数 0.30, サンプリング周波数 1 kHz で A/D 変換し、RR 間隔を求めた。実験全体を通して心電図を測定した。なお、呼吸統制は実施せず、自然呼吸での実験とした。解析は、心電図の R 波が、目視により正しく検出できていることを確認した上で、その後の処理を実施した。RR 間隔時系列データに FFT 処理を行い、周波数解析をした。0.1 Hz 周辺の成分は、血圧性変動成分、または、Mayer-Wave 関連成分とされ、交感神経活動と副交感神経活動の双方に関連していると考えられている。0.3 Hz 周辺の成分は、呼吸性不整脈を反映しており、副交感神経活動に関連していると考えられている。具体的処理としては、低周波成分パワースペクトル積分値 LF (0.04~0.15 Hz) と、高周波成分パワースペクトル積分値 HF (0.15~0.4 Hz) を求め、LF/HF を求めた。HF は副交感神経活動の指標の 1 つとして、LF/HF は交感神経系活動指標の 1 つとして用いた。解析は、椅座位安静後の立位時の 5 分間のうち 1 分目から 3 分間、パフォーマンステストの 5 分間のうち、1 分目から 3 分間の RR 間隔を用いた。RR 間隔は、3 分間の RR 間隔の平均値を用いた。脳波も生体信号収録装置 Polymate で計測し、国際 10-20 法の Fz の位置で計測した。単極導出により耳朶との電位差を検出した。時定数 0.30, サンプリング周波数 1 kHz で A/D 変換し、ハイカットフィルター 30 Hz を入れて測定した。8~13Hz の α 波パワースペクトルを、実験を通して測定した。開眼時の α 波パワースペクトルが高いと覚醒度が低いという報告があり [22], 開眼時の α 波パワースペクトルを求め、覚醒度の違いがみられるか調査した。椅座位安静後の立位時の 5 分間のうち 1 分目から 3 分間のデータを用い、15 秒毎にパワースペクトルの積分値を求め 3 分間のデータを平均した。目視でノイズとわかる部分は外して解析をした。パフォーマンステストの 5 分間においても、同様にして、1 分目から 3 分間のパワースペクトル積分値を求めた。

また、立位時に腹部、腰部、大腿部の衣服圧を、エアパックス式の接触圧測定器 AMI 3037-10 (エイエムアイ・テクノ製) を用いて計測した。上記 2. 項の Fig. 1 に示す衣服圧計測位置①, ⑤, ⑨で測定した。

心電図、脳波、パフォーマンステスト、衣服圧の結果の解析方法は、Lavene 検定により等分散性であることを確認した後、乱塊法による分散分析を実施し、3 つの試験水準の平均値に差があるかどうかを調査したのち、多重比較により具体的に有意差のある試験水準を調査した。

5.2 結果および考察

腹部、腰部、大腿部の 7 名の被験者の平均衣服圧、標準偏差、および、4. 項で設計した試料 B と試料 C の複合ガードルの Fig. 1 の圧力計測位置①, ⑤, ⑨付近の衣服圧計算値を Fig. 26 に示す。衣服圧計測値は、大腿部、腰部、腹部の部位間で有意差が確認され、大腿部は、試料間でも有意差が確認された。2. 項で示した衣服圧設計値である腰部 2.89 kPa 以

Fig. 26 Clothing pressure at each pressure region.

Fig. 27 Pressure sensation at thigh and hips.

上、大腿部 0.97 kPa 以下、腹部 0.69 kPa 以下に対して、試料 C のガードルでは腹部はこの範囲に入るが、腰部と大腿部は外れた。一方、設計した試料 B と試料 C の複合ガードルでは、腹部と大腿部は、設計衣服圧の範囲に入ることを確認したが、腰部は、衣服圧が低く設計値に達しなかった。設計した試料 B と試料 C の複合ガードルの腰部の衣服圧が設計値に対し低かった理由として、衣服圧計算に用いたマネキンは剛体であるのに対し、人体は弾性体であるため、剛体での衣服圧よりも弾性体での衣服圧が低くなった可能性が考えられる。

圧感覚の結果を Fig. 27 に示す。大腿部では、試料 C ガードルは圧感覚値が 0.71 を示すのに対し、試料 B と試料 C の複合ガードルは圧感覚値が -0.21 を示し、試料 C に対し複合ガードルの圧感覚の評点が有意に低いことを示した。すなわち、試料 C は“ややきつい”と解釈される圧感覚値を示すのに対し、複合ガードルは“どちらでもない”と解釈される圧感覚値を示した。複合ガードルは、大腿部の圧感覚が“どちらでもない”レベルの衣服圧を実現する目的で衣服圧設計をし、それに対して妥当な結果を得た。腰部では、試料 B と試料 C の複合ガードルは、試料 C とともに、圧感覚値の評点は 0 点付近の値を示し、“どちらでもない”と解釈さ

れる感覚を示した。腰部の圧感覚は“ややきつい”感覚を示す衣服圧設計をしたが、実着用では“どちらでもない”と解釈される感覚を示し、狙いとする圧感覚を実現することはできなかった。これは、衣服圧が衣服圧計算による設計値に達しなく、低い値であったことが影響していると考ええる。

次に、快適感覚の結果を Fig. 28 に示す。快適感覚値は、試料 C のガードルが 0.6 を示すのに対し、試料 B と試料 C の複合ガードルは -1.1 を示し、複合ガードルは“全体的なしめつけ感がやや心地よい”と感じている。腰部の衣服圧が目標よりも低い値であったが、相対的に腰部の衣服圧を高くし、大腿部、腹部の衣服圧を低くする衣服設計を実現した結果、試料 C に対して、心地よいしめつけ感が得られたと考える。

心電図による自律神経系の生理反応において、副交感神経指標とされる HF 成分の結果を Fig. 29 に示す。安静時、および、パフォーマンステストの 2 回目において、試料 B と試料 C の複合ガードルは、試料 C ガードル、およびガードルを着用しない水準に対し、HF 成分が有意に高かった。副交感神経活動が充進するとリラックスする傾向にあるとされており [23] [24] [25] [26]、試料 B と試料 C の複合ガードルは、生理的にリラックスしやすいと考えられる結果を得

た。この結果は、主観評価において、試料 C ガードルに対し、試料 B と試料 C の複合ガードルが心地よいと感じている結果と対応がとれていると解釈する。交感神経指標とされる LF/HF 成分の結果を Fig. 30 に、RR 間隔の結果を Fig. 31 に示すが、これらの指標については、実験水準間に有意差はみられなかった。

開眼時の α 波パワースペクトル積分値を、Fig. 32 に示すが、試験水準間に有意差は認められなかった。すなわち、本実験においては、衣服圧の違いは覚醒度を表すと考えられる脳波の指標に影響を及ぼす結果は得られなかった。

また、人体を加圧することでパフォーマンスに違いがみられるかオドボール課題により調査したが、Fig. 33 に示すように、試料 B と試料 C の複合ガードル、試料 C のガードルにより加圧することにより反応速度が速くなる傾向は確認されず、実験水準間に有意差はみられなかった。なお、反応速度の標準偏差、誤反応などの指標にも差は確認されなかった。

Fig. 28 Comfortable sensation at thigh and hips.

Fig. 30 RR interval at each subject situation.

Fig. 29 HF at each subject situation.

Fig. 31 LF/HF at each subject situation.

Fig. 32 α -wave power spectrum at each subject situation.

Fig. 33 Mean response time at each sample.

6. 結 言

衣服圧の計算手法において、型紙形状編物を曲げながら人体モデルに沿うように接触させる過程をとることで、1枚の型紙形状編物内に、腹部・腰部の外側のように曲率の高い部分と、腹部・腰部の前面のように曲率の比較的低い部分が構成される場合でも、着付けることを可能にした。

また、適度にしめつけて、快適に感じるガードルの衣服圧設計値として、人体に対する加圧基礎評価より、腰部は“ややきつい”と感じる圧感覚値5を示す加圧計算値2.89 kPa（快適感覚3.8）以上、大腿部は“どちらでもない”と感じる圧感覚値4を示す加圧計算値0.97 kPa（快適感覚3.8）以下、腹部も“どちらでもない”と感じる圧感覚値4を示す加圧計算値0.69 kPa（快適感覚3.8）以下を提案した。この衣服圧を実現するために、衣服圧計算手法を用い、適切な伸長特性を示す編物を選定し、2種類の編物からなるガードルを設計した。

そして、その設計に従って実際に縫製したガードルを着用評価し、大腿部、腹部は衣服圧設計範囲の値を示したが、腰部衣服圧は2.5 kPaと衣服圧設計値に達しないやや低い値を示すことが分かった。この原因は、衣服圧計算に用いたマネキンは剛体であるのに対し、人体は弾性体であるため、剛体での衣服圧よりも弾性体での衣服圧が低くなった可能性が考

えられる。

設計したガードルの圧感覚は、大腿部、腰部ともに、“どちらでもない”と解釈される評点を示した。大腿部では、狙いとする圧感覚が得られたが、腰部では狙いとする“ややきつい”という圧感覚を得ることができなかった。これは、衣服圧が衣服圧設計値よりも低かったことが影響していると考ええる。快適感覚は、“全体的なしめつけ感がやや心地よい”と解釈される評点を示した。腰部の衣服圧が目標よりも低い値であったが、相対的に腰部の衣服圧が高く、大腿部、腹部の衣服圧を低くする衣服設計を実現した結果、“全体的なしめつけ感がやや心地よい”と感じられたと考える。

主観評価により、“全体的にしめつけ感がやや心地よい”と感じられたことが、生理反応に反映されているか心電図による自律神経活動の評価をした。その結果、副交感神経活動指標を表すHF成分が高い値を示し、副交感神経系活動が亢進されリラックスすると考えられる結果を得た。

本研究では、衣服圧の計算手法を活用することにより、適度な衣服圧を付与して快適に感じるガードルを設計・提案し、縫製工程を経ないで快適な衣服を設計する方法を提案することを目的とした。身体の部位により異なる衣服圧を適切に付与することに対して、身体の部位により相対的に衣服圧の大小を実現することは可能となったが、絶対値を設計値どおりに実現することはできなかった。これは、剛体の人体ダミーで衣服圧を計算するのに対し、人体は弾性体であることが影響していると考えられる。今後、衣服圧の計算値と実測値との関係を補完する、あるいは、人体に近い弾性体で衣服圧計算をすることが課題であると考えられる。

〈謝 辞〉

本研究において、数値解析を行うにあたり、(株)メカニカルデザイン小林卓哉様、大井秀哉様の多分のご協力を得ましたことを、ここでお礼申し上げます。また、本研究は、経済産業省のエネルギー使用合理化技術開発費補助金（エネルギー使用合理化繊維関連次世代技術開発（心理生理快適性素材の開発））の成果であることを記載いたします。

References

- [1] Harada T (1983), J Text Mach Soc Japan (predecessor journal of J Text Eng), **36**, 212-217
- [2] Imaoka H, Okabe H, Akami H, Shibuya A, Aisaka N, Matsuda R (1988) Sen'i Gakkaishi, **44**, 229-237
- [3] Niwaya H, Imaoka H, Shibuya A (1996) Sen'i Gakkaishi, **52**, 99-104
- [4] Inoue M, Sukigara S, Niwa M (1992) Jpn Res Assn Text End-Uses, **33**, 254-260
- [5] M. Kageyama, S. Kawabata, M. Niwa (1988) J. Text. Inst., **4**, 543-567
- [6] X. Zhang, K. W. Yeung, Y. Li (2002) Text Res. J., **72**, 245-252
- [7] K. W. Yeung, Y. Li, X. Zhang (2004) J. Text. Inst., **95**,

59-79

- [8] Jinlian Hu (1995) *Textile Asia*, November, 77-80
- [9] D. E. Been., D. H. House, M. J. Wozny (1994) *Text Res. J.*, **64**, 663-685
- [10] K. W. Yeung, Y. Li, X. Zhang (2004) *J. Text. Inst.*, **5**, 59-79
- [11] P. Volino, N. M. Thalman (2000) *Theory and Practice*, Springer, 174-183
- [12] Mitsui S, Komai T, Tai G, Furukawa T, Takaqdera M, Shimizu Y, Hashimoto M (2000) *ITE Journal*, **52**, 1762-770
- [13] Ishimaru S, Isogai Y, Matsui M, Negishi K, Nonomura C, Yokoyama A (2009) *J. Text Eng*, **55**, 179-186
- [14] Ishimaru S, Isogai Y, Matsui M, Negishi K, Nonomura C, Yokoyama A (2010) *J. Text Eng*, **56**, 77-85
- [15] Ito N, Nakagawa H, Tsutsumi N (1991) *Descente Sports Sciece*, **15**, 286-296
- [16] Makabe H, Momota Y, Mitsuno T, Ueda K (1991) *Jpn Res Assn Text End-Uses*, **32**, 416-423
- [17] Watanuki S, Mihira K (1987) *Ann. Physiol. Anthropol.*, **6**, 247-254
- [18] Watanuki S, Mihira K (1987) *Ann. Physiol. Anthropol.*, **6**, 55-59
- [19] Nakamura T, Morooka H, Morooka H (2004) *Sen' i Gakkaishi*, **60**, 386-391
- [20] Ishimaru S, Nakamura M, Nonomura C, Yokoyama A (2010) *The Japanese Journal of Ergonomics*, **46**, 325-335
- [21] Ishimaru S, Nakamura M, Nonomura C, Yokoyama A (2010) *Jpn Res Assn Text End-Uses*, **52**, 197-207
- [22] Ishimaru S (2006) *Jpn Res Assn Text End-Uses*, **47**, 772-784
- [23] Yamada S., Imabeppu S (2008) *Journal of School of Nursing Chiba University*, **30**, 11-17
- [24] Oohira M, Saito S, Muramoto J (2007) *Japanese Journal of Physiological Anthropology*, **12**, 11-17
- [25] Kato C, Terada N, Toyabe T, Saito Y (2008) *The Visualization Society of Japan*, **28**, 143-146
- [26] Sato T (2006) *Yamanashi Nursing Journal*, 425-32