

皮膚表面温度解析によるタオル製品の 吸水性と快適性の評価

Evaluation of Water Absorbency and Comfort of Towels Using Skin Temperature

山本 貴則* 片桐 真子* 宮崎 克彦**
Takanoro Yamamoto Mako Katagiri Kastuhiko Miyazaki

木村 裕和* 松本 陽一***
Hirokazu Kimura Yo-ichi Mastumoto

(2006年8月23日 受理)

To design and develop a novel comfortable towel, we investigated the relationship between water absorbency and the comfort feeling of towels by measuring skin temperature. The skin temperature of a human body was measured after bathing and drying with two bath towels that had different levels of water absorbency. Sensory tests for feelings of warmth/coldness, wetness/dryness, and comfort/discomfort were administered simultaneously. The results indicated that the skin temperature was greatly affected by the towel's water absorbency. To get a comfortable feeling, it was important to maintain the skin temperature at about 31°C when using the highly absorbent towel. We concluded that different levels of water absorbency and the comfort of towels can be measured and analyzed using skin temperature.

キーワード：皮膚表面温度，タオル，吸水性，サーモグラフィ

1. はじめに

暑さ寒さに応じた体温調節は、皮膚にある暑さや寒さを感じる神経（温度受容器）からの信号が視床下部にある体温調節中枢を刺激することで行われる。すなわち、皮膚の温度感覚は体温調節に重要な役目を持っており、皮膚温と温冷感には密接な関係がみられる¹⁾。人体の体温調節機能においては、発汗、不感蒸泄などの水分の移動現象が主要な役割を果たす。したがって、肌着など人体に直接接触する繊維製品の快適性に関する研究は人体からの水分放散量と外界の温熱条件および繊維製品の水分透過特性との組み合わせ結果に着目して展開されてきた²⁾。

さらに、繊維素材の吸水性と湿潤感との関係についても、いくつかの報告が見られる³⁻¹⁰⁾。潮田は、試料布

に含まれる含水量が増加するのに伴い、ぬれ感が増加すること、液体ではなく気相として吸湿している水分率においてもぬれ感が増加すると報告している³⁾。また、緑川らによれば、肌着が吸水した場合、熱の伝導率が増し、肌着素材の吸水性の違いが、熱の伝導率の違いを大きくするといわれている。また、肌着が吸水したことにより、皮膚表面までがぬれたこと、また熱放散量が多かったことなどが不快感を高めたと推測した結果を発表している⁴⁾。

このように、衣服素材による吸水性や湿潤感の違いが、人体生理や温熱快適性に影響を及ぼすと考えられる。しかしながら、繊維製品の吸水性と使用時における快適感との関係、あるいは生体反応や皮膚感覚の変化などについては明らかにされていない。また、繊維製品の吸水性の違いを生体反応から評価した研究例もみられない。

そこで、吸水性が重要な性能の一つとして求められるタオル製品を試料として、快適な使用感をもつタオ

* 情報電子部 信頼性・生活科学系

** 化学環境部 繊維応用系

*** 信州大学 繊維学部 繊維システム工学科

ルの設計と開発を行うために、吸水性能と生体反応の変化について検討した。すなわち、身体に付着した水を拭取ること注目し非接触で人体の皮膚表面温度が計測できるサーモグラフィシステムを用いて、体幹部皮膚表面温度の変化を解析した。さらに拭取り後の温冷感、ぬれ感、および快適感に関する官能評価との関連について考察を加えた。

2. 試料

本実験では、タオルの吸水性と皮膚表面温度の関係について、基礎的な指針を得るために吸水性が大きく異なる2種類のバスタオルを用いた。表1には、試料バスタオルの詳細を示す。地糸およびパイル糸はともに綿100%であり、織密度や組織などの製織条件は同一とした。タオルの最大吸水速度ならびに飽和吸水量の測定は、JIS L 1907の表面吸水法に準拠した¹¹⁾。また、吸水指数は次式 [I] により算出した¹²⁾。

$$Y = 2545 V + 1411 W + 79 \quad [I]$$

ただし、Yは吸水指数、Vは最大吸水速度 (ml/sec)、Wは最大吸水速度時の試料の吸水量 (ml) である。なお、吸水指数はアパレル製品等品質性能対策協議会において定義された指数であり、800以上が高吸水性の目安とされている。したがって、試料タオルTBは高吸水タオルであるのに対して、試料タオルTAは低吸水分タオルである。

3. 実験方法

(1) 入浴・拭取り実験

被験者は36歳～55歳の健康な成人男性8名とした。入浴実験には、浴室内を想定した温度25℃、湿度40%R.H.の恒温恒湿室(以下、環境室①とする)と冬場の脱衣場を想定した温度5℃、湿度45%R.H.の恒温室(以下、環境室②とする)を使用した。

図1は入浴・拭取り実験の手順を示す。すなわち、[I]海水パンツのみを着用した被験者は環境室①に入室し、安静椅座位姿勢で10分間の体温調節を行う。[II]被験者は環境室①内に設置された浴温42℃、深さ65cmの浴槽に全身がつかないように5分間入浴する。[III]入浴終了直後、試料タオルを使って上半身を中心とする水分の拭取り動作を20秒間行う。なお、各被験者における拭取り動作はできる限り統一するように注意し、身体前面部は被験者、後面(背中)部は一人の補助者がそれぞれに行うものとした。[IV]拭取り動作終了と同時に、被験者は環境室②に移動して、安静椅座位姿勢

表1 試料タオル

Details of sample towels

試料		TA: 低吸水分タオル	TB: 高吸水タオル
大きさ (cm)		59×130	
質量 (g/m ²)		333.8	331.1
素材		綿 100%	
密度	縦糸 (本/cm)	28	
	緯糸 (本/cm)	18	
糸番手	縦糸、パイル糸 (tex)	30	
	緯糸 (tex)	37	
パイル倍率		5.8	
平均パイル長 (mm)		3.2	
厚さ (mm)		2.91	3.53
最大吸水速度 (ml/sec)		0.01	0.15
飽和吸水量 (ml/m ²)		100	1300
吸水指数		119	851

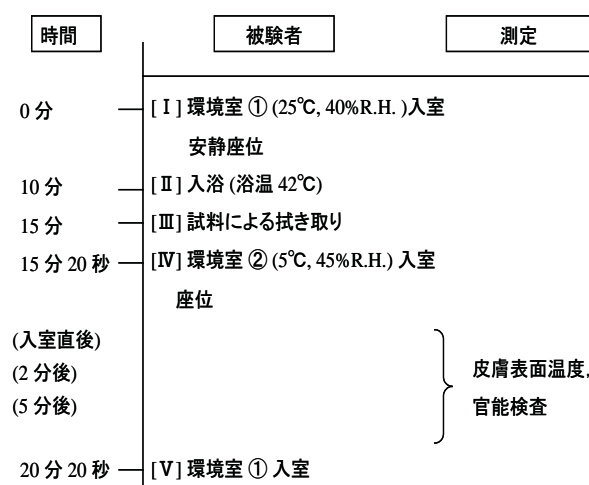


図1 拭取り実験手順

Experimental procedure

を5分間保つ。[V]その後、再び環境室①に戻り、休憩と体温調節を兼ねて10分間の安静椅座位姿勢をとった。手順[I]～[V]を1回の入浴・拭取り実験と定めて、各被験者は3回の入浴・拭取り実験を繰り返して行った。また、第1回入浴・拭取り実験では使用タオルを指定せず、第2、3回目の入浴・拭取り実験では試料タオルTA、あるいはTBを必ず1回使用することに制限した。

(2) 皮膚表面温度の測定

試料タオルによる拭取り直後の皮膚表面温度とその時間変化を比較するために、入浴・拭取り実験の手順[IV]、すなわち環境室②への入室直後と2分後、5分後において体幹部の皮膚表面温度を計測した。測定は、安静椅座位姿勢でサーモグラフィ (THERMO TRACER 6T62 NEC 三栄(株)製)を用いて行った。解析部位は、体幹部前面における胸部から腹部までの領域(以下、胸腹部とする)、および体幹部後面における肩甲骨付近

から腰上部までの領域(以下、背中部とする)として、温度分布から皮膚表面温度を算出し、それぞれの平均値を求めた。

(3) 皮膚表面における残留水分の観察

試料タオル TA と TB を使用して、拭取った直後の皮膚表面をデジタルカメラ (FUJIFILM 製 FinePix F401) を用いて撮影した。まず、被験者 1 名の前腕部に 0.5 ml の蒸留水を流れ落ちないように滴下する。ついで、水滴と接触するように試料タオル TA または TB を 10 秒間被せる。このとき、実際の拭取り動作においては、圧力が加わると考えられることから、ここでは一定の荷重 480 gf を試料タオルに加えた。その後、荷重と試料タオルを取り除いて皮膚表面における残留水分を撮影した。さらに、拭取り時における接触圧力の大きさによる影響を比較するために、一定荷重 480 gf を加えず、試料タオルのみを接触させた場合についても皮膚表面を観察・撮影した。

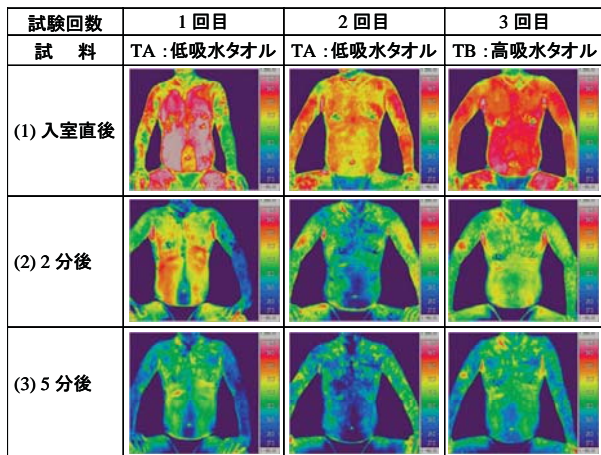


図 2 入浴実験の回数と皮膚温度の変化例
Typical thermograms after drying in each experiment

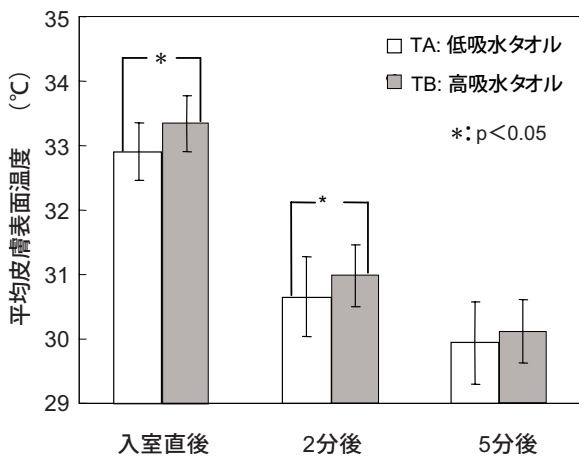


図 4 拭取り後の時間経過と平均皮膚表面温度の変化
The variation of mean skin temperature with time

(4) 官能検査

官能検査は SD 法^{*1)}とし、3(1)で述べた皮膚表面温度の測定終了と同時に、全被験者に対して実施した。また官能評価項目には、温冷感、ぬれ感、ならびに快適感の3つを取り上げ、それぞれに適切な形容詞対(暖かい/寒い、乾いている/ぬれている、快適/不快)を用いて5段階尺度(2~-2)で評価した。

4. 結果および考察

図 2 には、3 回の入浴・拭取り実験で得られる体幹部前面のサーモグラムの一列を示す。なお、サーモグラムでは温度の高い部分を暖色系(赤色系)で、温度の低い部分を寒色系(青色系)の色相でそれぞれ表示されている。入浴実験の回数による皮膚表面温度を比較

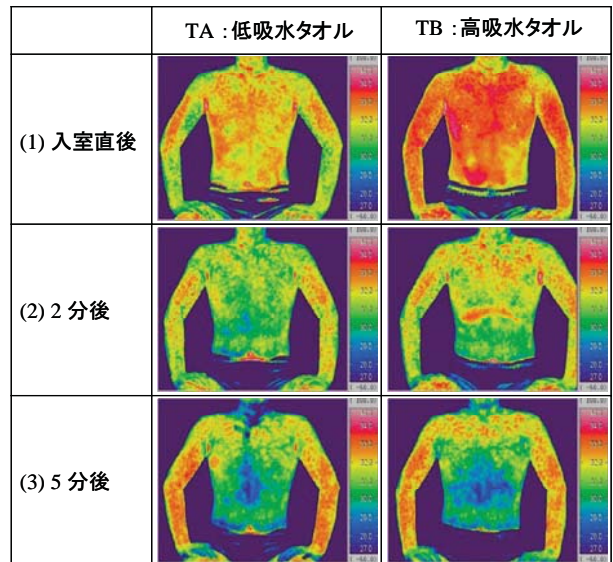


図 3 体幹部前面の皮膚表面温度の変化例
Typical thermograms after drying body (Front view)

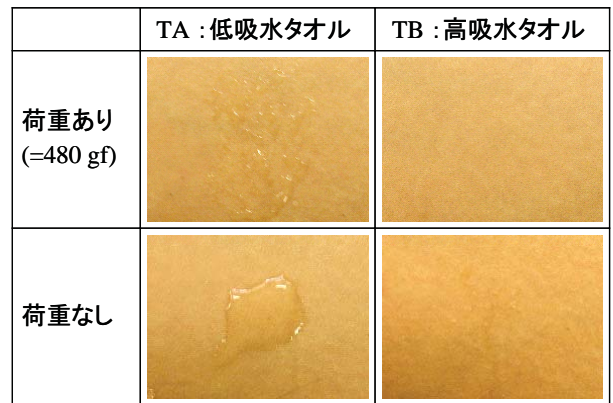


図 5 拭取り後の皮膚表面の観察
Typical photographs of skin surface

*1) SD 法 : Semantic Differential method. 尺度をもった形容詞対を用いて、被験者が抱く印象を測定する方法

したところ、入室直後の皮膚表面温度は多くの被験者で第1回目の入浴・拭取り実験の結果が最も高くなる傾向がみられた。これは、入浴における温熱的な刺激が入浴回数によって異なったためであると考えられる。すなわち、第2回目、第3回目の入浴・拭取り実験では、[IV]までの実験手順を行った後に再度、入浴による温熱的な刺激を加えていることになる。

一方、第1回目の入浴・拭取り実験では、実験手順[1]における10分間の体温調節のみを行った状態で入浴を行っている。すなわち、第2回目、第3回目の入浴実験に比べて第1回目は、人体への熱刺激が大きくなったために、入室直後の皮膚表面温度が高くなる傾向を示したものと推察される。しかし、5分後の皮膚表面温度は、3回の入浴・拭取り実験においてほぼ同じであった。したがって、第1回目の入浴・拭取り実験を体幹部に対する一定熱履歴の付与、またはコンディショニングと考えて、第2回目および第3回目の入浴・拭取り実験で得られた結果について検討を行った。

図3は、試料タオルTAとTBをそれぞれに使用した場合に得られる体幹部前面のサーモグラム結果の一例を示す。低吸水タオルTAと高吸水タオルTBの結果を比較すると、高吸水タオルTBを用いたサーモグラムで暖色系の分布が多くみられた。また、その色相の差は入室直後において最も顕著であった。さらに、高吸水タオルTBを用いた場合、2分後の胸部付近においても、わずかながら高い皮膚表面温度を維持していることがわかる。このような高吸水タオルTBの使用時に高い皮膚表面温度を示す結果は、体幹部後面(背中)においても認められた。これらの結果が有意であるか否かを検討するために、試料タオルTAとTBを使用した場合に得られた体幹部平均皮膚温度の変化を有意差検定の結果とともに図4に示す。なお、平均皮膚温度とは全被験者のサーモグラムから計算によって求めた平均値である。また、図中には平均皮膚温度の標準偏差も示した。低吸水タオルTAと高吸水タオルTBとの比較において、入室直後と2分後の平均皮膚温度には統計的に有意な差が認められた(*:p<0.05)^{*2)}。したがって、体幹部に付着した水分を拭取るために使用したタオルの吸水性は皮膚表面温度に影響を及ぼすものといえる。

図5には、試料タオルTAとTBを用いた拭取り動作後の残留水分について皮膚表面写真を示す。高吸水タオルTBでは、荷重を加えないときの皮膚表面にわずかな水滴が観察された。一方、低吸水タオルTAでは、荷重を加えないときの皮膚表面には水滴が大きく残っている。また、荷重を加えたときでも小さくぬれ広がっ

た状態が観察された。ところで、パイル織物と吸水性の関係においては、接触圧力が増加すると、接触面積が大きくなるために初期の吸水速度が大きくなると報告されている¹³⁾。すなわち、低吸水タオルTAでは、拭取り時に加えた荷重によって接触面積が大きくなったために、皮膚表面に付着した水滴が減少したものと考えられる。一方、高吸水タオルTBを用いた場合は、多くの水滴が拭取られるために、皮膚表面上の残留水分が少なくなるものと推察される。したがって、高吸水タオルTBを用いて体幹部の水分を拭取ったときに平均皮膚表面温度が高いのは、タオルによって拭取られた水分が多く、また、皮膚表面上に残留する水分量やぬれ広がりも少ないためである。

図6～8は、試料タオルTAとTBについて、体幹部の平均皮膚温度とSD法による評定平均値との関係を示す。なお、図6～8の平均皮膚温度は、環境室②に入室する時間の経過とともに変化し、入室直後で約33℃、2分後で約31℃、5分後で約30℃に低下する。図6に示した温冷感では、平均皮膚温度が約33℃～約31℃の温度域では暖かく、平均皮膚温度の低下に伴ってやや暖かいからやや寒いと感じている。また、平均皮膚温度が約30℃ではほぼすべての被験者が寒いと感じることがわかった。試料タオルTAあるいはTB使用時の比較においてはほぼ同じような傾向を示した。しかし、平均皮膚温度に有意差が認められた約33～32℃の温冷感には有意差検定の結果からも有意差は認められなかった。

図7のぬれ感は、平均皮膚温度が高い入室直後には

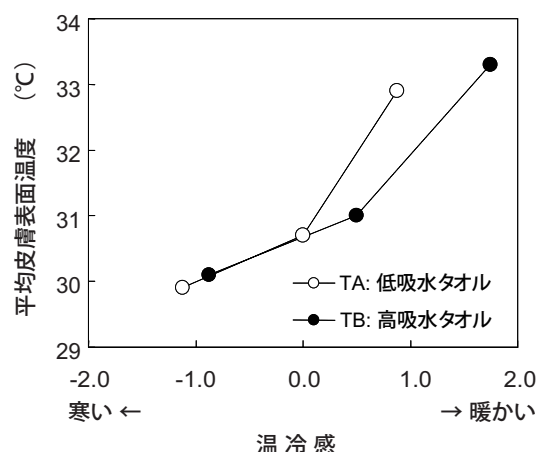


図6 温冷感と平均皮膚温度の関係

Relationship between mean score of thermal feeling and mean skin temperature

*2) *:p<0.05: 2群の有意な違いを表す統計学上の説明記号を示す。2群に差がないという帰無仮説が危険率5%未満で棄却され、有意差があると判断される

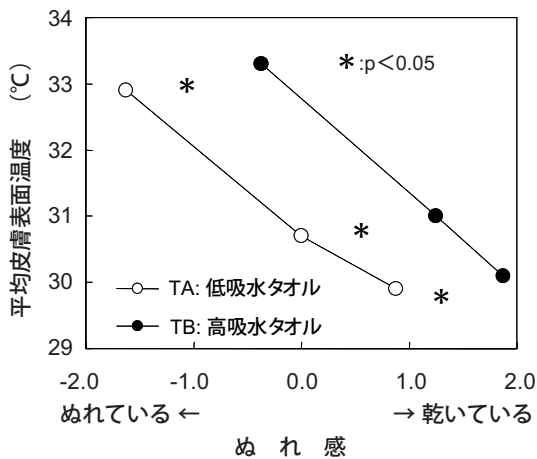


図7 ぬれ感と平均皮膚温度の関係

Relationship between mean score of wet feeling and mean skin temperature

ぬれ感を覚えており、皮膚温度の低下、すなわち時間の経過に伴って乾き感を覚える結果を示した。また、試料タオル TA あるいは TB 使用時比較したところ、低吸水性タオル TA では平均皮膚温度が 33 °C 付近でぬれ感を覚えるのに対して、高吸水性タオル TB ではあまりぬれを感じていない。さらに、時間の経過すなわち皮膚温度が低下した場合でも、低吸水性タオル TA に比べて高吸水性タオル TB のほうが有意に乾き感を覚えることがわかった (*:p<0.05)。

図 8 に示した快適感では、平均皮膚温度が高い場合に快適感を覚える傾向がみられた。使用した試料の比較において、平均皮膚温度が 31 °C 以上保つ場合では低吸水性タオル TA でやや不快と感じているのに対して、高吸水性タオル TB では有意に快適と感じる傾向が認められた (*:p<0.05)。

ところで、Gagge らは、皮膚温度は生体と環境の間で行われる熱交換を支配するだけでなく、熱環境に対する快適感などを表す指数になるとしている。また、皮膚温度が 30 ~ 34 °C のとき休息時や活動時の温度感覚で快適感を覚えるとしている¹⁴⁾。すなわち、入浴後の身体を高吸水性タオル TB で拭取った後の平均皮膚温度が 31 ~ 34 °C を示すとき、被験者が暖かく、乾きを感じ、快適感を覚えるという結果は、Gagge によって示された皮膚温度と感覚および生理学的状態に関する一般的な関係とよく一致している。したがって、拭取り直後の体幹部皮膚温度が 31 °C 以上に保たれる場合に、被験者は暖かさや快適感を覚える傾向にある。さらに、一般的に発汗は、環境温度が約 29 °C を超えて、平均皮膚温度が約 34 °C になると始まるとされている¹⁵⁾。入室直後の平均皮膚温度 33 °C 付近でみられるぬれ感には、熱放散のための発汗の影響も考えられるが、

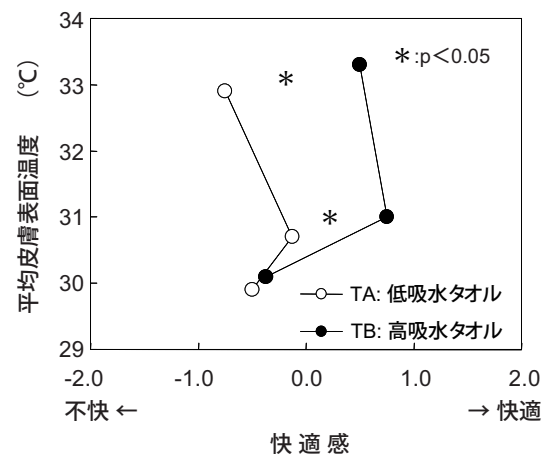


図8 快適感と平均皮膚温度の関係

Relationship between mean score of comfort feeling and mean skin temperature

いずれの被験者においても体幹部の発汗はみられなかった。すなわち、低吸水性タオル TA の使用時における皮膚の「ぬれ」は、皮膚表面上の残留水分に起因するものとする。加えて、残留水分は水の熱伝導率が空気に比べて大きいために、皮膚表面からの熱を伝えやすいことや残留水分が蒸発するときには皮膚から熱が奪われる。よって、低吸水性タオル TA の使用時には、高吸水性タオル TB に比べて、皮膚表面上の残留水分による皮膚からの熱放散量が大きくなり、入室時間の経過とともに、被験者は「寒さ」と「不快感」を覚えるものと考察できる。

したがって、冬場の脱衣場における使用を想定した場合には、入浴終了 2 分後までの時間内で、体幹部平均皮膚温度を 31 °C 付近に保つことができる高吸水性タオルを設計・開発することによって、バスタオルの使用時には「乾き感」と「快適感」が与えられる。また、拭取り後の温冷感やぬれ感ならびに快適感は、皮膚表面上の残留水分量および体幹部の皮膚温度と密接な関係にあることがわかった。

以上の結果より、入浴・拭取り直後の皮膚表面温度を測定・解析することによって、タオル使用時の吸水性の違いや快適感は評価できる。

5. おわりに

身体に付着した水を拭取ること注目し、非接触で人体の皮膚表面温度が計測できるサーモグラフィシステムを用いて、体幹部皮膚表面温度の変化とタオルの吸水性との関係について検討した。さらに温冷感、ぬれ感、および快適感に関する官能評価との関連についても考察を加えた。その結果はつぎのとおりである。

- (1) タオルの吸水性の違いによって、体幹部皮膚表面上に拭き残った水分量（あるいは残留水分量）が変化するために、入浴・拭取り動作直後の皮膚表面温度に大きく影響を及ぼす。
- (2) バスタオル使用時におけるぬれ感や温冷感、ならびに快適感は、体幹部皮膚温度や皮膚表面上の残留水分量とも密接な関係があることが明らかとなった。すなわち、冬場の脱衣場における使用を想定した5℃の環境温度では、入浴終了2分後までの時間内で、体幹部平均皮膚温度を31℃付近に保つことができる高吸水タオルを設計・開発することによって、バスタオルの使用者には「乾き感」と「快適感」が与えられる。
- (3) 入浴・拭取り動作直後における体幹部皮膚表面温度を解析することによって、タオル使用時の吸水性の違いと快適感を評価できる。

謝 辞

本研究を進めるに際し、試料のご提供と実験にご協力をいただいた大阪タオル工業組合所属の企業集団BEST 23グループ、ならびに元大阪府立産業技術総合研究所の坂井芳男氏および井上裕美子氏に対して、こ

こに謝意を表します。

参考文献

- 1) 吉田敬一, 小林茂雄, 柳 許子, 津田欣子, 前島雅子: 衣生活の科学, 弘学出版 (1998) p.6
- 2) 潮田ひとみ, 崔 聖心, 中島利誠: 繊維製品消費科学会誌, 36 (1995) p. 90
- 3) 潮田ひとみ: デサントスポーツ科学, 15 (1994) p.68
- 4) 緑川知子, 登倉尋實: デサントスポーツ科学, 16 (1995) p.73
- 5) 潮田ひとみ, 中島利誠: 日本家政学会誌, 47 (1996) p.579
- 6) 潮田ひとみ: 繊維製品消費科学会誌, 42 (2001) p.317
- 7) 諸岡晴美, 諸岡英雄: 日本家政学会誌, 42 (1991) p.849
- 8) 丹羽雅子, 内野政子, 森下文子: 繊維製品消費科学誌, 8 (1967) p. 249
- 9) 潮田ひとみ, 中島利誠: 繊維製品消費科学誌, 36 (1995) p.44
- 10) 小柴朋子, 田村照子: 繊維製品消費科学誌, 36 (1995) p.119
- 11) JIS L 1907 (2004): 繊維製品の吸水性試験方法
- 12) 知野光伸: 第2版繊維便覧, 社団法人繊維学会編, 丸善株式会社 (1994) p.604
- 13) 塩見 昭, 阿部久美子, 前田直美: 繊維製品消費科学会誌, 31 (1990) p.202
- 14) A.P.Gage and Y.Nishi: Handbook of Physiology. Reactions to Environmental Agents., AmericanPhysiological Society (1977) p. 69
- 15) 宮田 洋, 藤澤 清, 柿木昇治, 山崎勝男: 新生理心理学 1 巻, 北大路書房 (2002) p.225