

早い吸水速度をもつ布同士の 吸水速度の比較について

山梨大学 勢田二郎

A Comparison of the Water Absorbency among the Clothes Having Quick Rate of Water Uptake

by

Jiro Seta

Faculty of Education, Yamanashi University

ABSTRACT

Water absorbency of various towels were studied by modified Larose Method, which consists of a vertical glass cell in order to observe the position of meniscus by the use of the laser scanning micrometer. Profile of the water uptake could be roughly expressed by the equation similar to that of diffusion by cylindrical coordinates. It is

$$\partial u / \partial t = \alpha (\partial^2 u / \partial r^2 + 1/r \cdot \partial u / \partial r) + \beta \partial^2 u / \partial z^2,$$

where u is absorbed ratio to the equilibrium uptake, t is time, and r and z are the space coordinates measured along parallel and perpendicular directions to the plane of towel, respectively.

The magnitude of coefficients, α and β determined by the simulation, is a measure of water absorbency and we can discuss the comparative merits of the towels from these terms. The value of β is smaller than that of α for every sample. These coefficients could not be related with the towel constructions, but β was certainly connected with the area of towel in contact with glass filter, estimated by the image scanner method.

要 旨

早い吸水速度をもつ数種のタオルの吸水性について、垂直に保持したガラスセル中の液面変化を、レーザー走査マイクロメーターで測定する改良ラローズ法を用いて検討した。タオルの吸水プロフィールは、円柱座標系で表した2次元の拡散方程式と同型のつぎの微分方程式により、大略表現することができた。

$$\partial u / \partial t = \alpha (\partial^2 u / \partial r^2 + 1/r \cdot \partial u / \partial r) + \beta \partial^2 u / \partial z^2$$

ここに、 u は平衡吸水量に対する吸水量の比であり、 t は時間、 r 、 z は布面の平行および垂直方向の座標軸である。シミュレーションから得た α 、 β により、タオルの吸水性を比較できる。どの試料についても、 $\alpha > \beta$ の結果が得られたが、この吸水係数とタオルの構造との間に明確な関係は見い出せなかった。しかしながら、ガラスフィルターとタオルの接触面積と、 β との間には良好な相関性が存在した。

緒 言

綿タオルやスポーツウェア等のような高吸水性繊維製品が、水や汗等の水滴を吸水する時間は、滴下法 (JIS L 1096) によれば1秒以内に完了するので、このような早い吸水速度をもつ布同士の吸水速度を比較することは容易ではなく、このために、高速吸水性繊維製品についても定量的に取り扱えるバイレック法が従来より採用されてきた。この方法は、布面に平行方向の“水の吸い上げ高さ”を尺度とするために、吸水速度を厳密に表現するものではなく、この評価結果を用いた「朝シャンタオル」の社会問題¹⁾が発生した。

これに対して、布面に垂直方向の吸水速度測定法として、いわゆる“ラローズ法²⁾”による吸水測定が注目され³⁾、通産省による高吸水性繊維製品分科会報告 (平成3年2月)⁴⁾ においても改良ラ

ローズ法による評価方法が推奨されている。この方法は実際の衣服による汗等の吸水現象に近く、布面に垂直と平行の両方向の寄与を含んでいる。

これらの方法を高速吸水性繊維製品に適用する場合には、目視による水位変化の測定では吸水開始時刻や数秒以内の初期の挙動を捉えることはできず、さらに特定の試験条件下での比較しかできない。そこで、著者はラローズ法による測定を、レーザー走査マイクロメーターを用い自動化し⁵⁾、さらに、改良ラローズ法を用い、布と水との接触面積を変えて測定した結果と、2次元拡散方程式と類似の微分方程式を用いたシミュレーション結果とを比較することにより、布面に垂直と平行の2方向の吸水係数を用いて、吸水挙動が表現できることを提案した⁶⁾。

本報告では、吸水量および吸水速度の大きな市販の数種のタオルについて、上述の吸水係数を求め吸水性を比較した結果について述べる。

1. 方 法

既報⁵⁾に従い、図1に示したガラスフィルター (G2, JIS) のろ過板の表面まで水を満たし、その上に円形 (直径4 cm) の試験布と所定荷重 (17 gf/cm²) を置き、測定開始時に5 cm 下方に調整した測定管の水面の低下度合いを、レーザー走査マイクロメーターとパーソナルコンピュータにより自動的に記録した。図2は一例として、表1のNo. 3試料について、改良ラローズ法による吸水実験結果を0.5秒ごとに示したものである。図から平衡吸水量 (E) とその1/2を吸水するのに要する時間 $t_{1/2}$ を得ることができる。Eは測定開始後100秒後の値を用いた。また、 $t_{1/2}$ は吸水速度の尺度となる。本報では既報⁵⁾と異なり、測定管を垂直に保持している。このことによる既報との差については次節で考察する。

使用したタオルは、市販のパイル地の中から素材が同じ (綿) である織パイル6種、および素材

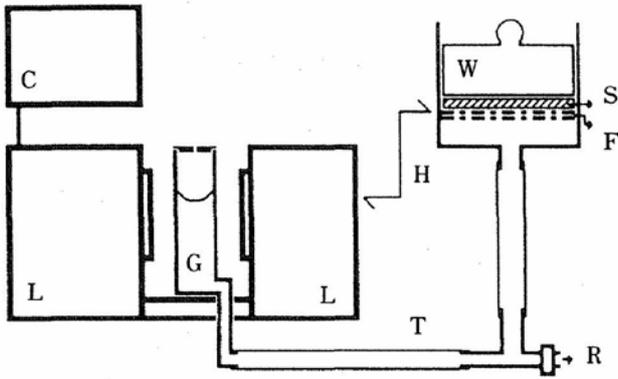


図1 Experimental apparatus

Water level of glass cell (G) was set to under 5 cm from the glass filter (F) at first. The position of meniscus was observed by the use of laser scanning micrometer (L)

C : personal computer, R : water reservoir, S : sample towel, T : flexible tubing, W : weight

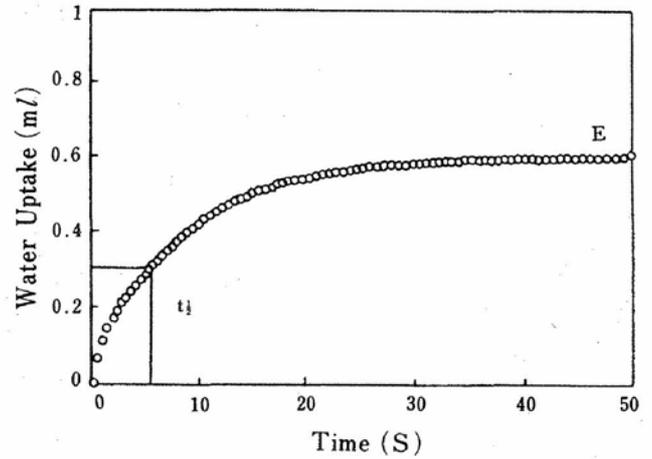


図2 Water absorbency of the sample (No.3) measured by modified Larose method
Water is absorbed through PET disk with a hole, 2 cm in diameter
E : equilibrium uptake (M_0), $t_{1/2}$: time required for the water uptake to be absorbed to $0.5 M_0$

表1 Towel constructions

No.	Sample	Ground weave				Pile			Thickness under 17gf/cm ² (mm)	Weight (g/m ²)
		counts		density		counts (tex)	density (cm ⁻²)	length (d/do)		
		warp (tex)	weft (tex)	warp (cm ⁻¹)	weft (cm ⁻¹)					
1	A : 100%	20/2	20/2	11	17	20/2	35	3.4	2.7	289
2	C : 100%	30	35	11	14	30	20	4.4	1.5	218
3	〃	29	37	12	15	15/2	30	2.9	2.0	197
4	〃	20	28	25	21	28	49	9.2	3.0	421
5	〃	30	30	13	18	28	42	5.8	2.6	308
6	C/R	28	30	13	19	17/2 43/2*	42	4.5 3.8*	1.9	294
7	C : 100%	29	28	14	19	29	54(30)	4.4	1.9	270

C/R : Cotton and Rayon are alternately used as pile yarn and the ground weave are all cotton
A : Acrylic, C : Cotton, * : Rayon Pile, () : back pile, d/do : referred to the text

の異なる (アクリル) 織パイル1種である。これらは家庭洗濯機により、塩見ら⁷⁾に従い洗濯後、標準条件下で調湿し使用した。表1に洗濯処理後の試料の概略を示す。なお、表中の荷重厚さは、吸

水実験と同じ荷重 (17 gf/cm²) 下での厚さであり、また、パイル長さとは、タオル表面においてパイル方向に間隔 d_0 で刻印した後、パイル糸をほぐして初荷重 (JIS L 1096) 下に刻印間隔 d を

得, d/d_0 として求めたものである。また, 吸水実験にはイオン交換蒸留水を用いた。

2. 結果と考察

2.1 垂直測定管によるラローズ法

本報告においては, 吸水量の大きいタオルを対象とするので, 既報^{5,6)}に述べたラローズ法における測定管を水平に保持する方法(以降, 水平法と呼ぶ)では, 太い測定管が使えず, レーザー走査マイクロメーター (LSM) の測定範囲の制約から, タオルの平衡吸水量を得るまで測定できない場合が生じた。そこで本報では, 図1のように測定管(断面1 cm×1 cm, 高さ10 cm, パイレックスガラス製光学セル)を垂直に設置することにした。この方法(以降, 垂直法と呼ぶ)は, 水平法と比較すると, 吸水実験中に布と測定管中の液面とのヘッド差(H)が変化し, 式(1)に示す吸水力が測定中に変わるという欠点があるが, 測定管の大きさの制限がなく, 吸水量の多い試料を平衡値まで測定できる長所がある。まず欠点であるHの変化の影響を見積った。すなわち, Millerら⁸⁾に従い, 吸水速度を式(1)で表現する。

$$dV/dt = (2\gamma \cos\theta/R - Hg\delta) \pi R^4 / (8\eta x) \quad (1)$$

ここに, dV/dt は体積速度, γ , δ , η は流体の表面張力, 密度および粘度であり, θ は接触角さらに R , x は毛細管の半径および長さであり, また g は重力加速度である。式(1)からヘッド差Hが増加すると, 吸水力は減少することがわかる。この吸水力の低下度合いを, 吸水開始時の吸水力($H=5$ cm)に対する比として, $R=1, 5$ (μm) と $\theta=0, 60^\circ$ の場合について計算した。結果を図3に示す。

図に明らかなように, 計算に使用した条件下では, 吸水力の低下は5%以下である。さらに, ぬれ性のよい綿の場合には $\theta=0$ に近く, 米田ら⁹⁾の最近の結果によれば水分移動を支配するのが1

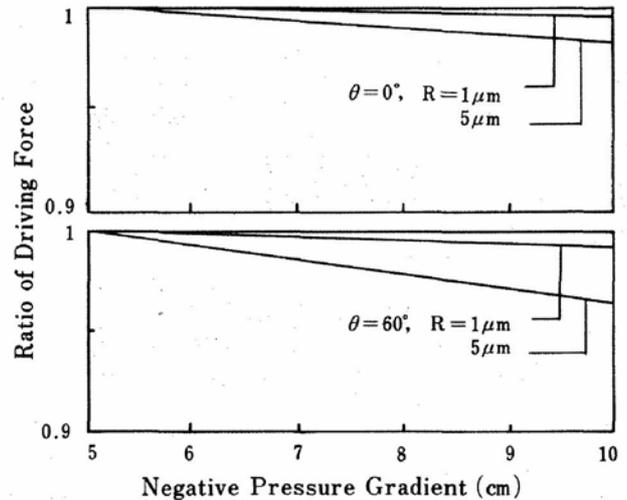


図3 Effect of negative pressure head, H cm, on the driving force $(2\gamma \cos\theta/R - Hg\delta)$ in the equation (1)

μm 程度の布中のすきまにあるとすれば, 図から吸水力の低下はより小さく見積れる。また, 本報の場合, 試料の大きさ(直径4 cm)から吸水量は1 ml以下であり, 水面の低下長は約1 cm以下である。したがって, 吸水力変化が実験結果に大きく影響することはないと考えられる。

さらに, 測定管の断面積を大きくすれば, Hの変化量をより小さくすることも可能である。表2は, 3種の試料について水平法(A)と垂直法(B)による吸水実験結果を比較したものである。平衡値はほぼ一致するが, $t_{1/2}$ は一致していない。これは, 既報⁵⁾に述べたように, 吸水実験における荷重操作に依存する実験誤差内であり, 両者に大きな差異は認められない。したがって, 垂直法は水平

表2 Comparison of water absorbency

Sample cloth	Equilibrium uptake (ml/g)		Rate of uptake $t_{1/2}$ (s)	
	(A)	(B)	(A)	(B)
Kanakin	1.7	1.7	1.4	0.5
Cotton towel	2.8	2.8	1.1	0.6
Acrylic towel	3.2	3.0	1.2	1.9

(A) : Conventional Larose method
(B) : Glass cell was held vertically

法と同等とみなすことができる。しかしながら、本報告のように早い吸水速度をもつ試料同士の速度比較を $t_{1/2}$ により行うことは、上述の理由から注意を要する。

2.2 吸水性測定結果

図4の○印は0.5秒ごとの吸水量/平衡吸水量 (M_t/M_0) の実測結果の一例である。Aはガラスフィルター上に遮蔽板を置かない場合で、水は布面に垂直に吸水され、数秒の間にはほぼ平衡に達する。既報⁵⁾に指摘したように、レーザー走査マイクロメーターを使用することにより、このような高速吸水挙動を評価することができる。BおよびCは、孔の直径がそれぞれ2cmおよび1cmの遮蔽板を、試験布とガラスフィルターの間に挿入する方法(改良ラローズ法)による結果である。この場合には、水は布面に垂直と平行の両方向に移動し、実際の衣服の吸水現象に近い。孔の大きさが小さいCでは、50秒後においても平衡値に届いていない。

このように同一試料においても、遮蔽板を用いた場合には、孔の大きさにより吸水速度が異なり、個々の実験条件を併記する必要がある。さら

にAでは、布面に垂直方向だけの吸水を考えればよいが、B、Cでは垂直と平行の両方向の効果を考えなければならず、単純に水との接触面積の効果だけで吸水速度を議論することはできず、遮蔽板の孔の大きさの影響を統一的に取り扱いにく

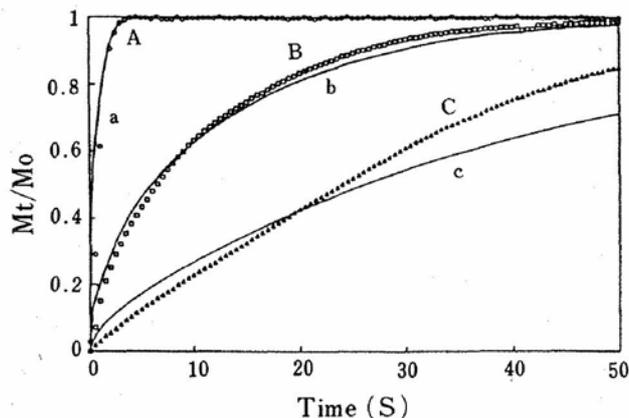


図4 Water absorbency of the sample (No.5) M_t/M_0 is the ratio of water uptake to the equilibrium. A, B and C are experimental results and a, b and c are numerically calculated, respectively

A : conventional Larose Method,
B and C : water is absorbed through PET disk with a hole, 2 cm and 1 cm in diameter, respectively

表3 Water absorbency of various towels by modified Larose method

No.	Apparent density (g/cm ²)	Equil. uptake (ml/g)	Rate of uptake			Contact area (dots/cm ²)
			$t_{1/2}$ ^{a)} (s)	α	β (cm ² /s)	
1	0.107	3.0	5.6	0.3	0.007	86
2	0.145	2.8	5.3	0.1	0.0074	119
3	0.099	2.5	5.4	0.1	0.011	197
4	0.140	2.6	7.6	0.06	0.017	317
5	0.120	2.4	6.9	0.05	0.013	259
6	0.155	2.0	7.9	0.06	0.0057	30
7	0.141	2.4	6.0	0.07	0.0072	—

^{a)}Water is absorbed through PET disk with a hole, 2 cm in diameter

い。一方、異なったタオル同士の吸水性を評価するには、厚さや密度が異なるので、平衡吸水量が異なり、 $t_{1/2}$ による速度比較は危険である。得られた結果を表3に示したが、実験誤差や上述の諸因子を考慮すれば、 $t_{1/2}$ からタオルの吸水速度の優劣を決定することはできない。

2.3 シミュレーション

タオル素材の吸水速度を、厚さや遮蔽板の孔径に依存なく評価するために、ラローズ法による吸水挙動を、拡散方程式と同型の式(2)を用いて解析した⁶⁾。

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \alpha \left(\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial u}{\partial r} \right) + \beta \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (2)$$

ここに、 u は吸水濃度(布の単位体積中における平衡吸水量に対する吸水量の比)、 α および β は、それぞれ布の半径(r)方向および厚さ(z)方向の吸水速度の寄与を表す係数であり、拡散係数に相当するもので、一定と仮定する。また、 t は時間である。シミュレーションは、適当な α および β の値を与え、式(2)を差分展開し、陽解法で行った。

シミュレーション結果を図4の実線で示す。遮蔽板を使用しない場合には、 r 方向の寄与は考えなくてよいので、実測結果Aにもっともよく一致する計算曲線aを試行錯誤により求め、 β の値を先に決定した。つぎに、この β の値を固定して、遮蔽板を用いた実測結果Bとよく一致する計算曲線bを示す α の値を同様に求めた。得られた α および β を用い、遮蔽板の孔の直径を1cmにした時の実測結果Cと計算曲線cもあわせて示した。図から式(2)は、ラローズ法による吸水挙動を正確に表現するとは言えないが、大略使用できると考えられる。得られた結果を表3に示した。

まず、いずれの試料についても $\alpha > \beta$ の結果が得られ、水は平行方向に動きやすいことがわかる。この結果は、塩見ら⁷⁾や米田ら¹⁰⁾の結果ともよ

く一致する。つぎに、吸水係数 α と β を用い、素材同士の吸水速度の比較を行うと、布面に垂直方向の吸水については、試料No.4の厚手綿タオルがもっとも大きく、試料No.6のパイル糸として綿とレーヨン糸を交互に用いているタオルが小さい。

布面に平行方向の吸水については、試料No.1の吸水アクリル糸を用いたアクリルタオルがもっとも大きく、厚手綿タオル(No.4, No.5)は小さい値である。これらの結果は、表1に示したタオル構造との関係において議論されなければならない。塩見ら⁷⁾は、初期吸水速度と、厚さやパイル高さ等の間に相関関係を認めているが、その相関係数は一般に低い。本報告では、表1の構造因子と $t_{1/2}$ も含め α 、 β の間に相関性は認められなかった。

2.4 接触面積の影響

ラローズ法による測定では、荷重下での吸水現象であるが、表1のようにパイル糸密度が異なり、加えて糸の硬軟度も影響すると考えられるので、ガラスフィルターとの接触面積は試料により異なることが考えられる。塩見ら⁷⁾は、荷重と接触面積との関係をSUMP法で検討し、荷重の増加にともなう初期吸水速度の増加を、接触面積の増加から説明しているが、接触面積とタオル間の吸水速度の関係については言及していない。

そこで、式(1)から η が増加すれば吸水速度は減少するので、実際のラローズ法の測定系を用い、接触面積を可視化するために、水の代わりに着色高粘度液体(アルギン酸ソーダ 300 cps-2.5%, C. I. Reactive Black 5-0.5%水溶液)を5秒間吸収させ、加熱乾燥(150°C-30 min)後、つぎのように接触面積の評価を行った。すなわち、スキャナー(EPSON Color Image Scanner GT-6000, ズーム100%, 100 DPI)により接触部を画像として入力し、単位面積当たりのドット数(dots/cm²)を数えるプログラムを作成

した。図5は、スキャナー入力画像の一例である。測定結果を表3に示した。表3の値は異なる部位の平均値であり、着色液体と接触していないブランク試料においても、図5のように若干のドット数を数えたので、接触面積の評価にはこのブランクの結果を減じた。

図6は、布面に垂直方向の吸水係数 β と接触面積との関係である。図中のエラーバーは得られた面積測定値の範囲であり、明確な相関関係を示す。この場合の相関係数は0.98が得られている。このように、ガラスフィルターとの接触面積が大きいタオルほど、早い吸水速度をもつことは合理的な結果であり、試験方法としてラローズ法を用

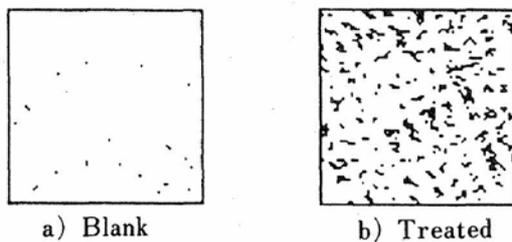


図5 An example of contact area read by scanner Contact area was measured by counting the number of dots in the square

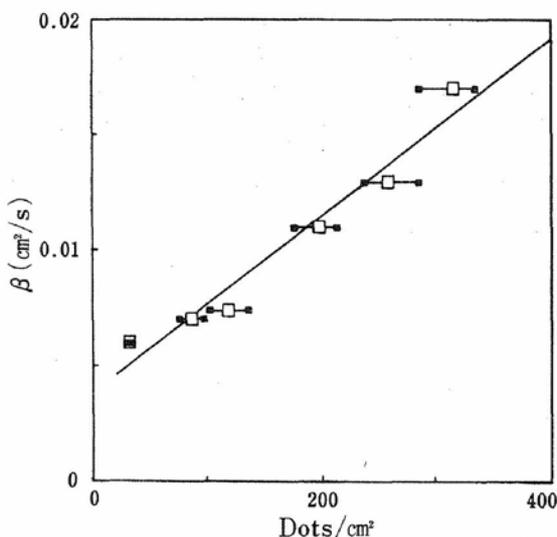


図6 Relationship between β and contact area represented by the number of dots

いる場合には、接触面積が大きくなるような製品設計を行えばよいことは明瞭である。

一方、布面に平行方向の吸水係数 α については、接触面積とも相関性は認められない。平行方向の水の通路は、パイル糸と地糸であるから、吸水アクリルを使用したNo. 1試料を除き綿試料だけで比較すれば、パイル糸の長さと同関することが考えられる⁷⁾が、試験数も少なく、本研究では明確な結論を得られなかった。一方、アクリルタオルの α がもっとも大きく得られたことは、興味深いことであり今後検討する必要がある。

3. 結 論

タオルのように早い吸水速度をもつ布同士の吸水速度の比較を、ラローズ法を用い、吸水量の検出法とデータの解析法を工夫して、つぎの知見を得た。

(1) ラローズ法においては、水位変化がないように、水の入った測定管は水平に保持されるが、これを垂直に置いても、水位変化が数cm程度であれば結果に大きな差がないことを実証し、検出器としてレーザー走査マイクロメーターを用いるラローズ法を確立した。この方法により、0.05sごとに測定が可能であり、高速で多量の吸水挙動を精度よく測定することができた。

(2) ラローズ法による測定結果は、PET板の有無や孔の大きさ、および試料の厚さなどに大きく影響され、異なる試料同士の速度比較が危険であることを示し、これを解決するために、吸水挙動を2次元拡散方程式と同型の微分方程式を用いて表現した。シミュレーションから、布面に垂直と平行の2方向における拡散係数と同等の吸水係数を求め、これを用いることにより異なった布同士の吸水性を比較した。また、使用したいずれのタオルにおいても平行方向の吸水係数は、垂直方向のそれより大きい結果が得られた。

(3) タオルの織り構造と上述の吸水係数との

間には、相関関係は見いだせなかったが、タオルの水面との接触面積を新たに評価する方法を提案し、垂直方向の吸水係数とこの接触面積との間に明確な相関性を初めて見い出した。しかしながら、平行方向の結果については明確な結論が得られず、今後の課題とした。

以上のように、改良ラローズ法をラローズ法とあわせて使用し、その結果を微分方程式を用いて解析することにより、布の吸水特性を一般化することができた。しかしながら、測定結果と数値計算結果が十分一致するとは言えず、 α と β の決定方法についてもさらに検討を要すると考えられる。

謝 辞

タオル試料の収集ならびに数値計算にご助力いただいた京都工芸繊維大学地域共同研究センター

助教授 西村太良先生に深謝いたします。

文 献

- 1) 例えば、朝日新聞、1990年6月6日、1991年2月26日
- 2) Larose, P.; *Am. Dyestuff. Rept.*, **5**, 105-108, 123-124 (1942)
- 3) 大口正勝; 繊維学会誌, **42**, T 704-T 710 (1986)
- 4) 通商産業省通商産業検査所; アパレル製品等品質性能対策協議会高吸水性繊維製品分科会報告概要 (1991)
- 5) 勢田二郎; 日本家政学会誌, **44**, 499-503 (1993)
- 6) 勢田二郎, 西村太良; 日本家政学会誌, **44**, 567-571 (1993)
- 7) 塩見 昭, 阿部久美子, 前田直美; 繊維製品消費科学誌, **31**, 48-56 (1990)
- 8) Miller, B., Tyomkin, I.; *Text. Res. J.*, **54**, 706-712 (1984)
- 9) 米田守宏, 丹羽雅子; 繊維学会誌, **48**, 288-298 (1992)
- 10) 米田守宏, 丹羽雅子; 繊維学会誌, **49**, 243-253 (1993)