Effects of Weave Structure on the Mechanical Properties and Handle of Fabric

MORINO Hitomi*, YAMAOKA Akiyoshi*,
FURUTANI Minoru**

* Graduate school of Home Economics, Kobe Women's University, Aoyama, Higashisuma, Suma-ku, Kobe, 654-8585, Japan

** Hyogo Prefectural Institute of Industrial Research, Uenodan, Nomura-cho, Nishiwaki, 677-0054, Japan

Received 1 October 2002 ; accepted for publication 27 May 2003

Abstract

In this study we investigated the effect of textile structure on mechanical properties and hand values of textile fabrics. Samples used were single cloth in which only textile structure was changed, and having the same yarn and the same density. We investigated correlation between mechanical parameters, hand values and textile structure result by using statistical method. Moreover, we derived estimation equation of mechanical parameters and hand values from the textile structure. It was found that there were effects of textile structure on both mechanical parameters and hand values. Those parameters could be estimated from the textile structure, using multiple regression equation. As a result of principal component analysis, 1st and 2nd component were obtained which mean fabric softness and surface feeling, respectively. Further, it was found that fabrics were classified into three groups such as hard plain weave, soft satin weave, and other weaves. Correlation between textile structure and those parameters was studied.

Key Words: Crossing – over Firmness Factor (C.F.F.), Average Floating Length (A.F.L.), Mechanical Parameter, Hand Values

織物の力学的性質と風合いに及ぼす織物組織の影響

森野ひとみ* 山岡昭美* 古谷 稔**

1. 緒 言

最近、川端・丹羽らの開発した「KES-FB システム」[1][2][3]を用いて織物の力学的性質、風合いに関する研究が行われ、多数の報告がみられる。すなわち、松平・埴生らは、布の力学的特性および風合いに及ぼす洗濯[4]、繰り返し着用[5]の影響について、日本産業皮膚衛生協会は、布の力学的特性および風合いに及ぼす樹脂加工の影響、さらにそれらの皮膚刺激への影響[6]について、松平は、布の力学的特性および風合いに及ぼす最終仕上げ処理の影響[7]についてなどがあ[8][9][10]。しかし、いずれも加工布および素材についての研究であり、織物組織の構造自体による影響についての研究は、まだ少ない。

そこで、本研究では、同一糸使い、同一密度で、織物組織のみ変化した一重織物を用いて、それらの織物組織が、力学的性質、風合いにどのような影響を及ぼすかについて検討した。また、それらの結果の相関性を統計的手法により検討し、さらに、織物の設計に役立てるために力学的特性値、基本風合い値の予測式を算出した。その結果、基礎的知見を得たので報告する。

2. 試料および実験

2. 1 試 料

用いた布は、たて糸綿 100 番手双糸、よこ糸ポリエステルフィラメントで、フィラメント数の異なる 2 種類の引き揃え糸 (75d/24f・75d/48f) である。それぞれの布に異なる織物組織布 10 種類 (平織・2/2 斜文織・5 枚朱子織・砂子織・ハック織・特別蜂巢織・スポンジ織・花崗織・昼夜斜文織・10 枚朱子織) を用い、供試試料とした。ただし、試料は、全で一重組織であり、密度は、たて 120 本/inch、よこ 85 本/inch と同一糸使い、同一密度である。それらの組織図を Table 1 に示す。三原組織である平織は、丈夫な織物であり、2/2 斜文織は、布面に畝が表われ、5 枚朱子織は、たて糸とよこ糸の交錯する箇所が少なく、糸の浮きが長いので、柔軟な組織であるという特徴がある [11]。その他の織物は、変化組織に属する。すなわち、砂子織、ハック織、特別蜂巢織は平織の変化組織に属し、スポンジ織は平織と斜文織を混合させた変化組織に、花崗織、昼夜織は斜文織の変化組織に、10 枚朱子織は、朱子織の変化組織に属する。そのため、それぞれ誘導された三原組織の特徴が混合されている。

* 連絡先 :

(現在、金沢大学大学院自然科学研究科博士後期課程在学中)

2. 2 実験方法

2. 2. 1 織物の組織構成の算出法

(1) 交錯堅確度 (Crossing-over Firmness Factor = C.F.F.)の算出法

織物組織において、組織中間点、すなわち織目空間を中心としたたて糸2本、よこ糸2本の計4本の糸の交錯状態を調べ、交錯点の型を決め、各型にそれぞれウェイトをつけた表を Table 2 に示す[12]。これらを元に交錯堅確度[12]を求めた。その算出の詳細過程と結果を Table 3 に示す。ただし、完全組織は各織物により本数が異なるため同一本数で比較する必要があるため、③では、まず各織物の完全組織内の本数の最小公倍数を求めた。すなわち、たて糸は 1680 本、よこ糸は 240 本である。

(2) 平均浮き長(Average Floating Length = A.F.L.)の算出法

まず、浮きの型を決め、各型にそれぞれウェイトをつけた表を Table 4 に示す。Table 4 を用いて、各織物の完全組織内の浮きの型および浮き数を求め、次に、各型の浮きの長さは、織物表面を KEYENCE 製の高精細デジタルマイクロスコブ VH-6300 で観察した写真より各型について 100 ヶ所の浮きの長さを実測した値の平均値である。ここで、完全組織は各織物により本数が異なるため、同一本数で比較する必要があるため各織物の完全組織内の本数の最小公倍数を求めた。すなわち、たて糸は 1680 本、よこ糸は 240 本である。たて糸、よこ糸それぞれの平均浮き長は、以下に示す(1)式(2)式より算出し、それらの平均値を平均浮き長とした。その結

Table 1 Various Design of Textile Weaves.

Textile weave	Perfect design	Textile weave	Perfect design
Plain weave
2/2 twill weave		Sponge weave
5 harness satin weave		Cranite weave
Crape weave
Huck a back weave		Dice weave
Special honey-comb weave		10 harness satin weave

Table 2 Crossing-over Conditions of Textile Weaves.

Crossing-over design	Type	Weight
I	4
II	3
III	2
IV	1

果をTable5に一括して示す。ここで、たて糸よこ糸それぞれの平均浮き長を①、②に示し、平均浮き長を③に示す。

$$d_{1 \sim R} \times (1680 / e) \times (240 / f) = g \quad (1)$$

d : 完全組織内の浮き数

e : 完全組織内のたて糸本数

f : 完全組織内のよこ糸本数

g : 最小公倍数の浮き数の合計

$$(h \times g \times \text{Weight}) / g = i \quad (2)$$

h : 各型における浮きの長さの実測平均値

i : たて糸または、よこ糸の平均浮き長

2. 2. 2 織物の力学的特性値の測定法

客観的評価法すなわち、「KES-FBシステム」を用いて高感度条件によって織物の基本力学的特性すなわち、引張り特性、曲げ特性、せん断特性、圧縮特性、表面特性を測定した。ただし、測定温度は、 $20 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 、湿度は、 $65 \pm 5\% \text{RH}$ である。

2. 2. 3 織物の基本風合い値の算出法

基本風合い値すなわち、KOSHI・HARI・SHARI・FUKURAMI・SHINAYAKASA・KISHIMIを力学量—基本風合い値評価式により算出した。ただし、評価式は、KN-202-LDY[13]である。

3. 実験結果および考察

織物の組織構成を示す特性値として、交錯堅確度と平均浮き長をとり上げることにした。

3. 1 交錯堅確度と平均浮き長

交錯堅確度は、値が大きいくほどたて糸とよこ糸の交錯する回数が多い[12]。従って、今回の試料のように各織物のたて、よこ密度が同一の場合の平織は、糸の交錯が多く、10枚朱子織は、糸の交錯が少ない。

平均浮き長は、値が大きいくほど糸の浮きが長い。従って、今回の試料のようにたてよこ密度が同一の場合の10枚朱子織は、最も浮きが長く、平織は、最も浮きが短い。交錯堅確度の値が大きくなるに従って、平均浮き長の値は、小さくなる。すなわち、糸の交錯が増えると、浮きが短くなる。

次に、その特性値間の関係を調べた結果をFig.1に示す。交錯堅確度と平均浮き長の間には負の相関がみられ、交錯堅確度の値が大きくなるに従って、平均浮き長の値は、小さくなる。すなわち、糸の交錯が増えると、浮きが短くなることが分かった。

Table 3 Calculations of C.F.F.

Textile weave	①				②	③	④
	I × 4	II × 3	III × 2	IV × 1	The number of C.F.F. in the perfect design	The number of C.F.F.	C.F.F
Plain weave	16	0	0	0	16	1612800	100.0
2/2 twill weave	0	48	0	0	48	1209600	75.0
5 harness satin weave	0	60	0	5	65	1048320	65.0
Crape weave	104	60	32	2	198	1247400	77.3
Hack a back weave	432	420	16	0	868	1367100	84.8
Special honey-comb weave	256	72	116	78	522	939600	58.3
Sponge weave	376	384	0	34	794	1250500	77.5
Cranite weave	140	72	96	37	345	966000	59.9
Dice weave	260	138	90	100	588	926100	57.4
10 harness satin weave	0	120	0	60	180	725760	45.0

① … $a_{1 \sim N} \times \text{Weight}$ a : 各織物、各型ごとの完全組織内の交錯点の数

② … Sum of ① 【完全組織内の交錯堅確度】

③ … ② × $(1680 / b) \times (240 / c)$ b : 完全組織のたて糸本数 c : 完全組織のよこ糸本数

④ … 平織の値を100とした比較数【C.F.F.】

Fig. 1 Relationship between C.F.F and A.F.L..

Table 4 Floating Conditions of Textile Weaves.

Floating design	
Type	I II III IV V VI VII VIII IX
Weight	0.1 1 2 3 4 5 6 7 8

Table 5 Calculations of A.F.L..

Textile weave	① ② ③		
	Warp	Weft	A.F.L.
Plain weave	0.029	0.029	0.029
2/2 twill weave	0.344	0.344	0.344
5 harness satin weave	0.880	0.880	0.880
Grape weave	0.327	0.303	0.315
Huck a back weave	0.687	0.831	0.759
Sponge weave	0.597	0.597	0.597
Special Honey-comb weave	0.714	0.654	0.684
Cranite weave	0.686	0.686	0.686
Dice weave	1.866	1.866	1.866
10 harness satin weave	4.577	4.577	4.577

3. 2 各種織物の基本力学的特性と組織構成との関係について

まず、各種織物の基本力学的特性すなわち、引張り特性、曲げ特性、せん断特性、圧縮特性、表面特性と組織構成すなわち、交錯堅確度、平均浮き長との間の相関係数を求めた。ただし、対数をとった値を用いた。その結果を Table 6 に示す。ここで、*印は 5% 有意であることを示している。交錯堅確度、平均浮き長の両者が影響する力学的特性、両者のうちいずれか一方が影響する力学的特性、いずれにも影響されない力学的特性の 4 通りがあることが分かる。

両者がいずれにも影響する力学的特性は、両試料ともに曲げ剛性 B、せん断剛性 G、せん断ヒステリシス 2HG、同大変形 2HG5、布の重量 W である。それに加え、75d/48f では、引張り直線性 LT、曲げヒステリシス 2HB、表面摩擦係数 MIU も影響する。

一例として曲げ剛性 B について述べる。曲げ剛性 B と交錯堅確度との関係を検討した結果を Fig. 2 に示す。正の相関がみられ、交錯堅確度が大きくなるに従って、曲げ剛性 B の値が、大きくなり、曲げに対して、硬くなる傾向のようである。

Table 6 Correlation Coefficients
between Mechanical Parameters and
Textile Structure Parameters (log) .

		75d/24f		75d/48f	
Mech. Para.		C. F. F	A. F. L.	C. F. F	A. F. L.
TENS.	LT	0.396	-0.242	0.706*	-0.814*
	WT	-0.242	0.106	0.097	-0.368
	RT	-0.476	0.477	-0.398	0.248
BEND.	B	0.759*	-0.924*	0.831*	-0.893*
	2HB	0.614	-0.819*	0.706*	-0.853*
SHEAR.	G	0.704*	-0.941*	0.719*	-0.946*
	2HG	0.728*	-0.935*	0.758*	-0.946*
	2HG5	0.732*	-0.938*	0.751*	-0.936*
COMP.	LC	0.214	-0.413	0.432	-0.491
	WC	-0.230	-0.416	0.508	-0.649*
	RC	-0.275	0.364	-0.307	0.381
	T	-0.078	0.345	0.750*	-0.482
SURFACE.	MIU	-0.552	0.807*	-0.637	0.849*
	MMD	0.301	-0.131	0.376	-0.217
	SMD	0.264	-0.033	0.114	0.069
WEIGHT	W	0.670*	-0.889*	0.759*	-0.947*

* $r(8, 0.05) = 0.631$

一方、曲げ剛性Bと平均浮き長との関係を検討した結果をFig. 3に示す。その結果、強い負の相関がみられ、平均浮き長の値が大きくなるに従って、曲げ剛性Bの値が、小さくなり、曲げに対して、柔らかくなる傾向のようである。これらの結果から、曲げ剛性Bには、交錯堅硬度と平均浮き長の両者が関係すると思われるので、交錯堅硬度 (X_1)、平均浮き長 (X_2) を説明変数として、SPSS 11.0J for Windowsを用いて重回帰分析を行い、重回帰式を求めた。ただし、生データのままだの変数では、各変量の単位や桁数が異なるものが多いので、その影響を排除するために標準化した値を用いた(以下同様) [14]。その結果、得られた重回帰式は、

75 d / 24 f の場合、 $B = +0.861X_1 + 0.125X_2$ であり、75 d / 48 f の場合、 $B = +0.881X_1 + 0.055X_2$ である。ここで、標準偏回帰係数の値を比較すると、両試料とも交錯堅硬度の値の方が、平均浮き長の値より大であり、交錯堅硬度の方が曲げ剛性Bへの影響は大であることが分かった。さらに交錯堅硬度および平均浮き長の値が分かれば、求めた重回帰式を用いて、曲げ剛性Bの値を推定することが可能である。

例えば、75 d / 24 f の 2/2 斜文織の曲げ剛性Bの値を推定する場合、前述した重回帰式を用いて、 X_1 に、2/2 斜文織の交錯堅硬度の標準化値 0.192 を、 X_2 に 2/2 斜文織の平均浮き長の標準化値 -0.563 を代入すると、曲げ剛性Bの値を求めることができる。次に、実測値に戻す必要があるため、

(3) 式を用いて変換した。ここで求まる値が実測値の予測値 X である。これらの式の回帰精度を調べた結果をFig. 4、Fig. 5に示す。その結果、どちらも重相関係数が高く、「KES-FB システム」で測定した実測値とほぼ一致することが分かった(両者とも 5% 有意水準)。その他の力学的特性値を予測する重回帰式の有用性を検討した結果、75d/48f の表面摩擦係数 MIU の重回帰式すなわち、 $MIU = -0.085X_1 + 0.732X_2$ 【5% 有意水準】と布の重量 W の重回帰式すなわち、 $W = +0.687X_1 - 0.138X_2$ 【5% 有意水準】である。重相関も高く、 F_0 の値が F の限界値より大であり、有用性が認められた。

$$\sigma Z + \mu = X \quad (3)$$

σ : 母標準偏差値

Z : y 値 (標準化した値)

μ : 母平均値

X : 実測値の予測値

次に、両者のうちいずれか一方が影響する場合、交錯堅硬度のみが影響する力学的特性は、75d/48f の布の厚さ T のみであり、平均浮き長のみが影響する力学的特性は、75d/24f の曲げヒステリシス 2HB、表面摩擦係数 MIU と、75d/48f の圧縮回復性 WC である。これらの場合は、散布図を作成して、回帰分析を行い、回帰式を求めれば良い。この回帰式を用いて力学的特性の推定が可能である。得られた単回帰式の x に

Fig. 2 Relationship between Bending Rigidity (B) and C.F.F..

Fig. 3 Relationship between Bending Rigidity (B) and A.F.L..

Fig. 4 Agreement of B (75d/24f).

Fig. 5 Agreement of B (75d/48f).

交錯堅確度の値、または平均浮き長の値を代入すると、 y の値の対数値を求めることができる。次に、実測値に戻す必要があるため、(4)式を用いて変換した。

$$10^x = y \quad (4)$$

ここで求まる値が実測値の予測値 y である。求めた単回帰式の有用性を検討するため、F検定を行った結果を一括してTable 7に示す(5%有意水準)。Table 7に示す全ての単回帰式の有用性が認められた。

いずれにも影響されない力学的特性は、両試料ともに引張り仕事量WC、引張り弾性回復性RT、圧縮直線性LC、圧縮弾性回復性RC、表面摩擦係数の変動MMD、表面粗さSMDである。それに加え、75d/24fの引張り直線性LT、圧縮仕事量WCも影響されないことが分かった。

3. 3 各種織物の基本風合いと組織構成との関係について

まず、各種織物の基本風合い値すなわち、KOSHI・HARI・SHINAYAKASA・FUKURAMI・SHARI・KISHIMIと組織構成との間の相関係数を求めた。その結果をTable 8に示す。ここで、*印は5%有意であることを示している。交錯堅確度、平均浮き長の両者が影響する基本風合い、両者のうち一方が影響する基本風合い、いずれにも影響されない基本風合いの3通りがあることが分かる。両者がいずれにも影響する基本風合いは、両試料ともにHARI、SHINAYAKASAである。それに加え、75d/48fではFUKURAMIも影響する。

一例としてHARIについて述べる。HARIと交錯堅確度との関係を検討した結果をFig. 6に示す。強い正の相関がみられ、

Table 7 Simple-regression Equation and F-values.

Yarn filament	Simple-regression equation (log)	F_0
75d/24f	2HB = $-0.157x_{A.F.L.} - 1.502$	27.178*
75d/24f	MIU = $+0.079x_{A.F.L.} - 0.729$	104.777*
75d/48f	WC = $-0.050x_{A.F.L.} - 1.390$	168.110*
75d/48f	T = $-0.025x_{C.F.F.} - 0.799$	11.117*

* $F(2, 7; 0.05) = 4.74$

Table 8 Correlation Coefficients between Hand Values and Textile Structure Parameters (log).

Hand value	75d/24f		75d/48f	
	C.F.F	A.F.L.	C.F.F	A.F.L.
KOSHI	0.564	-0.601	0.568	-0.653*
HARI	0.763*	-0.882*	0.883*	-0.894*
SHINAYAKASA	-0.692*	0.837*	-0.807*	0.843*
FUKURAMI	-0.068	0.008	-0.777*	0.717*
SHARI	-0.208	0.479	-0.191	0.465
KISHIMI	-0.351	0.319	-0.525	0.553

* $r(8, 0.05) = 0.631$

Fig. 6 Relationship between HARI and C.F.F..

Fig. 7 Relationship between HARI and A.F.L..

交錯堅硬度が大きくなるに従って、HARIの値が、大きくなり、HARIの感覚が強くなる傾向のようである。一方、Fig. 7に、HARIと平均浮き長との関係を検討した結果を示す。その結果、強い負の相関がみられ、平均浮き長の値が小さくなるに従って、HARIの値が、小さくなり、HARIの感覚が弱くなる傾向のようである。これらの結果から、HARIには、交錯堅硬度と平均浮き長の両者が関係すると思われるので、交錯堅硬度 (X_1)、平均浮き長 (X_2) を説明変数として、重回帰分析を行い、重回帰式を求めた。ただし、標準化した値を用いた。その結果、得られた重回帰式は、75d/24fの場合、 $HARI = +0.630X_1 - 0.207X_2$ 【5%有意水準】であり、75d/48fの場合、 $HARI = +0.797X_1 - 0.126X_2$ 【5%有意水準】である。ここで、標準偏回帰係数を比較すると、両試料とも交錯堅硬度の値の方が、平均浮き長の値より大であり、交錯堅硬度の方がHARIへの影響は大であることが分かった。さらに交錯堅硬度および平均浮き長の値が分かれば、求めた重回帰式を用いて、前述した方法で、HARIの値を推定することが可能である。また「KES-FBシステム」で測定した実測値とほぼ一致することが分かった（両者とも5%有意水準）。

次に、両者のうち一方が影響する場合、交錯堅硬度のみが影響する基本風合いは全くなく、平均浮き長のみが影響する基本風合いは、75d/48fのKOSHIである。この場合も前述した方法で散布図を作成して、回帰分析を行い、回帰式を求めれば良い。この回帰式を用いて基本風合い値の推定が可能である。求めた単回帰式の有用性を検討するため、F検定を行った結果、単回帰式の有用性が認められた（5%有意）。

3. 4 力学的特性値および基本風合い値の規格化による考察

Fig. 8、Fig. 9に各種織物の力学的特性値および基本風合い値を規格化して、婦人用薄手布の母集団と対比して検討した結果を示す。

Fig. 8 Mechanical Parameters and Hand Values of Textile Weaves (75d/24f).

Fig. 9 Mechanical Parameters and Hand Values of Textile Weaves (75d/48f).

まず、力学的特性値について考察する。いずれの織物も、その力学的特性値は、2、3をのぞき、ほとんど婦人用薄手布の母集団に入っていることが分かった。母集団からの外れの大きいものは、75d/24fの圧縮直線性LCと75d/48fの引張り直線性LTである。しかし、どちらも柔らかくなる方向であるので、それほど大きな問題ではない。

基本風合い値について考察する。いずれの織物も婦人用薄手布の母集団に入っていることが分かった。

全体的にみて、平織は、KOSHI、HARIの感覚が強く、SHINAYAKASAの感覚が弱いことが分かった。一方、10枚朱子織は、平織と反対の結果であった。

3. 5 主成分分析による考察

各種織物の力学的特性値、基本風合い値および組織構成の値を用いて、主成分分析により解析した[15][16][17]。まず、相関行列から求めた固有値をTable 9に示す。第1主成分の固有値 λ_1 は4.685、第2主成分の λ_2 は1.973である。ここで、第2主成分までの累積寄与率は、約70%であり、固有値が分散の基準である1.0を超えているので、第2主成分までを考えることにした。次に、主成分の因子負荷量を求め、これらの値を散布図にプロットした結果をFig. 9に示す。ただし、標準化した値を用いた。この散布図で接近している変数同士は、関係が深く、原点に対して反対側にある変数同士は、負の相関がある。また、原点に

Table 9 Eigenvalue.

Principal Component	Eigenvalue	Contribution ratio	Cumulative Contribution ratio
1	4.685	0.520	0.520
2	1.973	0.219	0.739
3	0.878	0.097	0.837
4	0.442	0.049	0.886
5	0.337	0.037	0.923
6	0.278	0.031	0.954
7	0.135	0.015	0.969

Fig. 10 Factor Loading Plot.
(Standardized values were used.)

Fig. 11 Component Score Plot.
(Standardized values were used.)

対して直角の位置にある変数同士は、無関係であることを示す。第1主成分 a^* の軸は、布のソフトさを示す指標といえ、第2主成分 b^* の軸は、表面状態の感覚を示す指標といえる。さらに、各試料の特徴を調べるために、主成分得点を求めた。横軸に第1主成分 f^* をとり、縦軸に第2主成分 g^* をとりプロットした結果をFig. 10に示す。ただし、標準化した値を用いた。その結果、堅確な組織である平織、柔軟で表面状態の感覚がやや弱い組織である10枚朱子織、ほぼ中間に位置するその他の織物の3つのパターンに分類できるように思われる。この結果は、クラスター分析を行った結果とも、ほぼ一致した。

4. 結 論

各種織物の力学的性質、風合いに及ぼす織物組織の影響を調べるため、「KES-FBシステム」を用い検討した結果、以下の結論を得た。

①織物の組織構成のうち主として交錯堅確度、平均浮き長と織物の力学的特性値、基本風合い値との間の関係を調べた結果、織物組織は特に曲げ特性、せん断特性、HARI、SHINAYAKASAIに影響する。関係のあるものについては、重回帰分析を行い、重回帰式を求めた。両者の標準偏重回帰係数の比較から交錯堅確度の影響の方が、大であることも分かった。これらの重回帰式を用いて織物の設計が可能と思われる。

②主成分分析の結果、布のソフトさ、表面状態の感覚、伸び柔らかさが、各種織物の力学的特性、風合いに影響を及ぼすことが、さらに、織物は、堅確な組織である平織、柔軟で表面状態の感覚がやや弱い組織である10枚朱子織、ほぼ中間に位置するその他の織物の3つのパターンに分類できることが分かった。

5. 参考文献

- [1] 川端季雄；織機誌, 26, 721(1973)
- [2] Kawabata, Suelo; "HESC Standard of Hand Evaluation" Vol. 2 (H. V. Standard for women's Thin-Dress Fabric), HESC, The Textile Machinery Society of Japan, Osaka, Japan (1980)
- [3] 丹羽雅子；アパレル科学 美しく快適な被服を科学する, 朝倉書店(1997)
- [4] S. Kawabata, K. Ito and M. Niwa ; J. Text. Inst., 83, 361 (1992)
- [5] 松平光男, 埴生千賀子；織消誌, 36, 348(1995)
- [6] 松平光男, 埴生千賀子；織消誌, 36, 588(1995)
- [7] 日本産業皮膚衛生協会技術委員会第1分科分；織消誌, 6, 443(1998)
- [8] Mitsuo Matsudaira ; J. Text. Inst., 85, 158(1994)
- [9] R. H. Gong and S. K. Mukhopadhyay ; J. Text. Inst., 84, 192 (1993)
- [10] Mitsuo. Matsudaira and Masao Matsui ; J. Text. Inst., 83, 144 (1994)
- [11] 渡辺綱夫；改訂被服材料学, 高陵社(1991)
- [12] 小川安朗；応用被服材料学—消費性能を主として—, 光生館, P. 65(1967)
- [13] 川端季雄, 丹羽雅子；織機誌, 37, 113(1984)
- [14] 長谷川勝也；これならわかる多変量解析, 技術討論社, P. 42(2002)
- [15] 福井三郎, 山岡昭美, 岡田文夫, 折井正規；推計学入門演習, 産業図書(1996)
- [16] 日本科学技術研修所；JUSE-MAによる多変量解析, 日科技連出版社(1997)
- [17] 内田 治；すぐわかる EXCEL による多変量解析, 東京図書(1998)