テクスチャード ヤーン の 特性 と その 評価* (その 2)

会 員 川 崎 健 太 郎**

(その 1) では、テクスチャード ヤーン の バルクネスの要因である単織条のクリンプ形態と、その集合体としての糸の巨視的な構造についてのべた。ここではその 2, 3 の物理的な特性についてのべる。

4. 糸のかさ高さ

一般に綿状塊のかさ高さは定荷重下の容積とその重量を測定し、比容積で表わすことが多い。ここでは、このようにして得られる比容積(力学的比容積と略称する)と、前章の光学的方法による糸の見かけ太さとその重量から得られる比容積(光学的比容積と略称する)を検討し、かさ高さ、バルクネスについてのべる。

4.1 力学的な比容積の測定法

一般に短繊維の綿状塊の力学的な比容積は、円筒中に一定量の試料塊を静かに充てんし、微圧力(たとえば10~50 g/cm²)下の厚さを測定する方法が用いられている。この方法は試料の調整法によって測定値が変動しやすいので、ここでは、以下の“すだれ法”によって測定を行なった。

(第 22 図) すだれ状試料

¹⁸⁾ 細井は、第 22 図に示すように試料糸を微荷重下に放置した状態のまま、枠にちょうどかさなり合わない程度にならば固定しすだれ状の試料を作り、このすだれを互い

に直交するように数枚(ここでは3枚)かさね合わせ、定荷重下(ここでは5 g/cm²)の厚さを測定し、比容積を算出した。

ここでは、インストロン型圧縮試験機を用い、かつ圧縮面下の糸の本数が一定になるように注意しつつならべた試料について厚さを測定した。また、試料の重量は、別に定荷重下での一定試長の糸の重量を測定し、比容積を算出した。

4.2 各糸の比容積の検討

第 2 表は、光学的方法による繊維分布指数 σ と、糸の重量から算出された、光学的比容積 V_0 (cc/g)、あるいは微荷重下(1 mg/d)での定長糸の重量 G (g) から計算される見かけデニール D_a 、あるいはその増加率などを表にしたものである。第 3 表はそのうちの数種の糸についてすだれ法によって得た力学的な比容積をまとめたものである。

第 2 表によれば、一般のストレッチ ヤーン の比容積は20~40 cc/gの範囲にあり(ナイロン原糸の比重1.14からその比容積を換算して、0.877 cc/g程度とすれば)原糸の20~45倍程度の拡がりを占めることがわかる。なおこの比率を J. W. S. Hearle ¹⁹⁾ らにならってバルキング ファクタと呼ぶことにする。

糸別に比容積を検討すれば、ノンストレッチ ヤーン であるタスラン糸は、ストレッチ ヤーン に比べ相当かさ高性が少なく、原糸の10倍、ストレッチ ヤーン の $\frac{1}{3}$ 程度にすぎない。また、スタッフィング ヤーン であるバンロン糸がとくに大きいのがめだつ。

見かけデニールの増加率は、2~3倍程度で、それから容積増加率を換算しても、バルキング ファクタと完全にオーダが異なり、また、それと直接比例的な関係がないことは注目すべきであろう。

このことは、比容積あるいはバルキング ファクタが糸条内の織条間げきを含む空間的な拡がりを示す指標で

* The Characteristics of Textured Yarns and Their Evaluation. (2)

** K. Kawasaki, Member. 蝶理株式会社

(第2表) 各種テクスチャードヤーンの比容積

試料品種	d (fil)	σ (mm)	R_r (mm)	G (mg)	V_0 (cc/g)	D_a	D_a/d
仮より糸	3 600 tpm	70 (34) /2	0.37	0.59	0.338	32.3	270
	2 740 tpm	"	0.43	0.69	0.417	35.6	375
エッジクリンプ	110 (24) /-	0.28	0.45	0.196	32.2	176	1.6
"	210 (15) /-	0.46	0.74	0.562	30.6	506	2.4
"	840 (96) /-	0.75	1.20	1.97	23.0	1 773	2.2
スタッフィング	210 (34) /-	0.43	0.69	0.462	32.4	416	2.0
"	"	0.42	0.67	0.492	28.6	443	2.1
パンロン	140 (68) /-	0.38	0.61	0.286	40.6	257	1.8
タスラン	210 (34) /-	0.23	0.37	0.35	12.3	315	1.5
仮より糸 (伸長熱処理糸)	70 (34) /2	0.26	0.42	0.169	32.8	152	1.1
備考		光学的 測定による	見かけ半径 ($\approx 1.6\sigma_y$)	1mg/d荷重下 の 10 mm の 重量	比容積	見かけ デニール	デニール 増加率

(第3表) すだれ法による厚さ測定から計算された比容積(cc/g)およびバルキングファクタ
表中()内はバルキングファクタ

	5 g/cm ²	10 g/cm ²
仮より糸	(9.2)	(8.1)
70 d/2 (3 600 tpm)	8.1	7.1
" (2 740 tpm)	(11)	(7.5)
	9.8	6.6
" (2 000 tpm)	(5.2)	(2.5)
	4.5	2.2
パンロン	(9.8)	(5.6)
1 400 d/-	8.6	4.9
エッジクリンプ	(12)	(7.5)
110 d/-	10.8	6.6
仮より糸	(18)	(12)
70 d/2 (伸長熱処理糸)	15.6	10.5

あるのに対し、見かけのデニール増加率から得られる容積増加は、いわば重量から換算される繊維の実質容積に関する指標であるからにはかならない。したがって織物

編物のカバーファクタをデニール増加率から想定することは誤りである。

なお、仮より数によるバルキングファクタの変化について、Hearle らが微荷重下の糸の拡大投影像の直径観察によって得た結果と、筆者の光学的方法による結果を併載したのが第23図である。

両者は、いずれも光学的方法によって得られたもの

(第23図) 仮より数によるバルキネスの変化
(Hearle らの試料, 6・6 ナイロン 70d 仮より糸 45 000 rpm, 215°C セット)

(第4表) 拡大像の直読による糸径の実測(細井らによる)⁹⁾

品 種	ストレッチ ナイロン 70 d/2	ウーリ ナイロン 70 d/2	ストレッチ ナイロン 110 d/2	ウーリ ナイロン 110 d/2	スプリング ナイロン 110 d/2	クリンプト ナイロン 210 d
糸の直径 (mm)						
張力をかけない場合	1.40 (11.1)*	1.73 (17.9)	1.09 (19.9)	1.92 (17.9)	0.44 (9.8)	1.24 (4.1)
張力(50 mg/d)を かけた場合	0.42 (14.7)	0.34 (11.1)	0.43 (14.7)	0.39 (10.2)	0.26 (7.1)	0.52 (15.0)

* () 内の数値は変動率%

で、試料糸の加工条件、加工機の差異などを考えれば、ほぼ同様な成果が得られたといえよう。(Hearle らの測定値中仮より 3 200 tpm 以上でバルキング ファクタが増加するのは、おそらく加ねん限界を越えて 2 重よりが発生していると予想される)

第 4 表は、細井らが市販糸について拡大像の直読により、糸径を実測した一例である。第 2 表の見かけ半径 R_r は多くのストレッチ ヤーンについて 0.4~0.7 mm, したがって見かけ外径は 0.8~1.4 mm であるから、第 4 表の結果とよく一致している。

(第 5 表)
すだれ法によって得られた比容積 (細井らによる)⁹⁾

	比容積 (cc/g)
ストレッチ ナイロン 70 d/2	12.0
ウーリ ナイロン 70 d/2	15.5
ストレッチ ナイロン 110 d/2	13.2
ウーリ ナイロン 110 d/2	14.8

一方第 3 表のすだれ法による比容積は、おおよそ 5~15 cc/g であり糸のタイプにより大幅に異なるが、細井らの比容積は第 5 表のように 12~15 cc/g で、一致したオーダの値が得られている。

このように各糸の光学のおよび力学的比容積は、おのお他の測定結果と同様であることが確かめられたが、両者の測定値は完全にオーダが異なることは注目すべきであろう。

(第 24 図) 力学的、光学的方法によって得られた比容積の相関 (力学的 V は 5 g/cm^2 下の厚さから推算)

第 24 図は、各糸の光学的一力学的比容積の相関性を検討したものである。測定値が少ないので明言はできないが、両者の間にほとんど関連性はなく、わずかに光学

的比容積の増加とともに、力学的比容積の減少する傾向が認められる。このことは、光学的なバルキネスに富む試料糸ほど圧縮されやすい性質の糸が多いことを意味していると考えられる。

5. 伸 長 特 性

本章では、クリンプ単織条の形態伸びと、その集合体としてのストレッチ ヤーンの形態伸び領域下の伸長特性について論ずる。

(第 25 図) ウーリ ナイロン糸の形態伸び領域の荷重—伸度曲線

第 25 図はウーリ ナイロン糸の荷重—伸度曲線 (以下 $S-S$ 曲線と略称) の一例である。後述するようにその曲線はこう配が初期の形態伸び弾性率 E_0 から、糸自身の初期伸長弾性率 E にわたっておおよそ 10^3 程度のこう配変化をともなう曲線で示される。曲線上の小さなジグザグは、糸中のクリンプ ループのもつれによる Stick~Slip motion と考えられるが、その変動幅は形態伸び応力に比べて相当大きい。このことは伸長過程中に大きな織条間摩擦損失のあることを予想させるとともに、このような不安定な測定ではその値が大きくバラつく可能性を示している。

5.1 Wet relaxing

(第 26 図) Wet conditioning されたウーリ ナイロン 70 d/2 の荷重—伸度曲線

前述の不安定な糸中のもつれを解消し、かつ糸の履歴に関係なく安定かつ固有のクリンプ形態を発現するためには、測定にさき立って ^{20,21)}Wet relaxing が必要である。

第26図はウーリ ナイロン糸を各温水中で 30 min 処理し、風乾した試料の S～S 曲線である。60℃、30min 温湯処理することにより、クリンプがもっともよく復元していることがわかる。

(第 6 表)
Wet relax 条件による巻縮伸長率 (%) の変化

温度(°C)	常温	60	80	100	測定法
品 種					
アストラレン (75 d)	109	119	124	124	100 mg/d 定荷重法
パン ロ ン (140 d)	153	160	160	150	
エッジクリンプ (110 d)	144	162	144	153	
ウーリナイロン (70d/2)	115	150	90	65	接 線 法
ウーリバイレン (50d/2)	30	80	60	45	

第6表は温湯処理条件を変えて、巻縮伸長率の変化を調べたもので、多少の差異はあるが、60℃、30min 程度の条件がだ当であることが確められる。

なおこれらの Wet relax 中に起る変化は、繊維中の分子がクリンプの熱処理固定時の安定な座席から、パッケージ状態（ある伸長状態）の時間的経過の間に、若干転移し、そのまま弱い結合で準安定な状態に落ち込み、湿潤によって繊維間の巨視的な拘束がゆるめられるとともに、加熱による disturbance によって、ミクロ的にも元の安定なクリンプ形態が再現される現象と考えられる。

5.2 巻 縮 度

一般に糸の巻縮度は

標準初荷重下の試長: l_0

伸長定荷重下の試長: l

とすれば

$$\frac{l-l_0}{l_0} \times 100 \dots\dots\dots(12)$$

で表わされる。ストレッチ ヤーンの形態伸び領域下の伸度も同様に上式で計算され、一般に巻縮伸長率と呼ばれる。

一方、糸の伸び切った状態を標準とし

$$l_0/l \times 100; \text{巻縮度} \dots\dots\dots(13)$$

$$\frac{l-l_0}{l} \times 100; \text{Crimp rigidity (C.R.)} \dots\dots\dots(14)$$

で表示することも行なわれている。(12) 式による表示は巻縮糸の自然状態を標準として糸の Stretchability

を示すものであり、(13)、(14) 式による表示は、原糸（フィラメント ヤーン）の状態を基準として、Crimp retention、あるいは Crimp contraction を意味している。

わが国では、一般に初荷重を 1～2 mg/d、伸長定荷重を 50～100 mg/d とした伸長率で表示し（たとえば J I S の L1 024, 1 060）、諸外国では主に Crimp rigidity ²²⁾（たとえば H.A.T.R.A. の測定表示法）が用いられている。

なお、測定時の初荷重、伸長荷重の大きさによって、値が大きく変わることはいうまでもない。それらがある程度大きい方が測定値のバラツキは少なくなるが、実用上の見地から離れた値が得られるのもやむをえない。

また上記の指数は相互に関連し、巻縮度を x とすれば

$$\text{巻縮伸長率}(\%) = (1/x - 1) \times 100 \dots\dots\dots(15)$$

$$\text{C. R.}(\%) = (1 - x) \times 100 \dots\dots\dots(16)$$

となる。

以上の方法を定荷重法と呼ぶとすれば、一方では、巻縮伸長率を S～S 曲線の立ち上り部分を延長し、横軸との交点から算出する接線法がある。この方法は、定荷重法に比べ、合理的と思われる。なぜならば、形態伸び応力は、原糸のデニールのみならず、クリンプの形態定数（たとえばスパイラル コイルではコイル数、コイル径など）によって大きく左右されるから、形態伸びを定荷重法のようにデニール当りの応力によって規定することに無理があるからである。

(第 27 図) 接線～定荷重法伸長率の関係

第 27 図は S～S 曲線の接線から求めた伸長率と、50 mg/d、100 mg/d の定荷重下の伸長率との関係を調べたものである。明らかに 100 mg/d 定荷重下の伸長率は接線法に相関し、50 mg/d はあまり合わない。実際の多くのストレッチ ヤーンでは、定荷重法でも伸長荷重など

(第7表) 伸 長 特 性 値

試 料		形態弾性率	巻縮伸長率	形態伸び荷重	Average Stiffness	Average Toughness	仕 事 量
品 種	原 糸	(g/d)	(%)	(g/d)	(g/d)	(g-cm/d)	(g-cm/d)
ウーリ ナイロン (仮より)	ナイロン 70 d/2	0.0050	180	0.17	0.094	0.15	0.24
ウーリ パイレン (仮より)	P.P. 50 d/2	0.013	140	0.28	0.20	0.20	0.19
パ ン ロ ン 〃 パ フ ロ ン	ナイロン 140 d	0.013	73	0.11	0.15	0.041	0.099
	210 d	0.0089	100	0.11	0.11	0.055	0.076
	210 d	0.013	112	0.11	0.10	0.063	0.13
エッジ クリンプ	ナイロン 110 d	0.0083	50	0.096	0.19	0.024	0.026
アストラレン (仮より+改質)	テトロ 75 d	0.11	30	0.31	1.00	0.046	0.068
備 考		伸 長 初 期 弾 性 率	接 線 法 伸 長 率 ①	ク リ ン プ が 伸 び た と き の 荷 重 ②	②/① より 算 計	①×②より 算 計	曲 線 下 の 積 面

(第28図) 形態伸び領域下の応力-伸度曲線

の条件に留意すれば伸長率の測定に充分役立つことがわかる。

5.3 各糸の伸長特性

第28図はそれぞれ各糸のS～S曲線を高感度のゲージにより拡大測定したものである。

第7表は第28図における初期伸長弾性率、接線法によって得られる巻縮伸長率、形態伸びから糸自身の伸びへの転移点を示す荷重、あるいは形態伸び領域下のAverage stiffness, toughness, 伸長仕事量などをまとめたものである。ただし、巻縮伸長率を L 、伸長荷重を W とすれば、普通糸にならって

$$\text{Average stiffness} = w/L \dots\dots\dots (17)$$

$$\text{Average toughness} = \frac{1}{2} (w \times L) \dots\dots\dots (18)$$

と定義する。

この結果から、ストレッチヤーンの形態伸び弾性率は、原糸自身の弾性率の 10^{-3} 程度のオーダーにあること

がうかがわれる。見方を変えていえば、糸条の材料的な定数をはるかに上まわる形態的な因子の所在を確かめることができる。

さて、これらの数値から各糸の伸長、特性を要約すれば

ウーリ ナイロン糸はもっとも大きな形態伸び領域と、広範囲の低い形態伸び弾性率領域を有し、かつ変形仕事量は大きな伸長領域ゆえに大きい。

スタッフィングヤーンは、上記の糸につぐ大きな形態伸び領域を

有し、弾性率は比較的大きく、とくに伸長に応じて急速に大きくなり、それゆえに伸度の大きさに比べ大きな形態伸び仕事量を有する。

エッジ クリンプ ヤーンは、低伸度、低弾性率、したがってまた小さな形態伸び仕事量の糸として典型的である。

改質トルクヤーン(アストラレン)は改質処理によって、人為的に低伸度におさえられた糸であるがゆえにいわばトルクヤーンの立ち上り部分に相当する特性、すなわち低伸度、高弾性の糸として典型的である。

なお第28図でわかるように、各糸の応力～伸度関係は、たとえばはじめに伸びやすく、ある伸度にいたり急激に伸びにくくなる糸(ウーリ ナイロン)、あるいははじめから伸びの増加に応じて応力が漸増する糸(パンロン)など曲線の形状が一率でないから、異なる種類の糸を伸長仕事量のみによって比較検討することはむずかしい。

5.4 伸長過程における繊維間摩擦²⁵⁾

ストレッチヤーンの形態伸び領域下の伸長過程において、クリンプ単繊維間の相互作用が相当顕著であることは、第1章で追求された糸条中のクリンプ単繊維の配向性や、第25図の $S \sim S$ 曲線の測定結果から容易に想像される。

ここで、定伸度域までの伸長～回復サイクル時の $S \sim S$ 曲線の測定結果から、伸長過程における繊維間摩擦についてのやや定量的な解析を試みよう。

(第29図) ウーリ ナイロン 70 d/2の伸長～回復サイクルの荷重-伸度曲線

第29図はウーリ ナイロン糸の伸長～回復サイクル $S \sim S$ 曲線で、第30図は各糸の形態伸び領域における定率伸長サイクル曲線下の面積から、サイクルごとの伸長仕事量の変化を実測したものである。

伸長～回復サイクル間の仕事損失は、繊維構造中の粘性要素による変形応力～伸度間の time lag²⁶⁾に起因するもので、一般に遅延弾性効果 Retarded elasticity と呼ばれ、フィラメント糸の弾性領域内の伸長においても認

(第30図) 損失仕事比の伸長サイクルによる変化

(第31図) ナイロン糸 70 d の 5, 7% 伸長サイクル損失仕事比

められる現象である。

しかし、たとえばフィラメント ナイロン糸の 5～7% 伸度の伸長～回復サイクル間の仕事損失量(第31図)に比べ、ストレッチヤーンの第1サイクル時のそれは異常に大きく、かつ数サイクル後のそれは、フィラメント糸と同程度のオーダーである。

一方数サイクル後放置してふたたび伸長サイクルを画いても第1サイクル時の曲線にもどらないが、Wet relaxすれば、簡単に曲線のはじめの $S \sim S$ 曲線にかさなることが他の実験でわかった。

これらの結果から、ストレッチヤーンの第1～2伸長曲線間の仕事量変化は、主としてクリンプ繊維間の摩擦に起因すると推察される。

そこで第32図に示すように、曲線がほぼ安定化する第3サイクル時の曲線を標準とし、各曲線下の面積、すなわち伸長～回復仕事量について

(第32図) 伸長仕事量のモデル

r_3 : 完全弾性体としてのクリンプ繊維の変形仕事
 $e_1 - e_3$: 繊維間摩擦その他の相互作用による外部仕事損失 (EXL)

$e_3 - r_3$: クリンプ繊維の形態的変形による内部仕事損失 (INL)

と考える。さらに糸の伸長率、あるいは原糸の太さ、品種などが異なる各ストレッチヤーンを相互に比較し

うるように

外部仕事損失比; $EXR = \frac{e_1 - e_3}{r_3}$

内部仕事損失比; $INR = \frac{e_3 - r_3}{r_3}$

} …………… (19)

を定義し、この比の大小により糸の仕事損失を比較してみると第8表のようになる。

(第8表) 各糸のEXR, INRの比較

品 種	EXR	INR
仮よりナイロン糸 70 d/2 (3 600tpm)	3.07	0.94
〃 (2 740tpm)	4.24	1.19
ウーリ ナイロン 70 d/2	3.50	1.21
ア ス ト ラ レ ン 75 d/-	0.79	0.50
ウーリ パイレン 50 d/2	1.29	0.71
バ ン ロ ン 210 d/-	0.77	1.12

明らかにウーリ ナイロン糸および試作の仮よりナイロン糸はEXRが大きく、バンロン、アストラレン糸のそれは小さい。またINRはナイロン糸を原糸とする糸ではみな1前後の値を示している。すなわち、EXRは各糸のクリンプの形態の特長に一致した値を示しており、またINRは材料的性質による値であることが推測される。

6. む す び

テクスチャード ヤーンにおけるクリンプ織条の形態、集合体糸条としての構造、およびそれに関連しての力学的性質の2,3について考察した。テクスチャード ヤーン固有の構造的、力学的特性(たとえば糸条内繊維分布関数、伸長過程における織条間摩擦の問題など)の所在とともに、一方では各タイプの糸の間には、たとえ同一原糸からなる糸でも、その製造法、したがって主としてそのクリンプ形態によりあたかも異なる原糸から作られた糸のような大幅な力学的特性(たとえば形態伸び弾性率、応力~伸度曲線)の変化が起ることを指摘した。さらにこれらの特性を考慮した上での評価法にもとづくならば、その形態伸び領域内のこの糸の形態的、力学的特性を評価することが可能であり、また有用であることをのべた。

文 献

1) 鶴田, 古下; 高分子化学誌, 16, 271 (1959)

〃 〃 274 (〃)

2) 古下, 田川; 繊維学会誌, 17, 916 (1961)

3) 岡村, 藤本; 本誌, 9, 524 (1956)

4) 川崎外; 繊維学会誌投稿中

5) たとえば, 宮脇; 雑音解析, p. 5 (1961)
朝倉書店, 東京

6) J. L. Barach, L. W. Rainard;
Text. Res. J., 20, 301 (1950)
〃 308 (〃)

7) E. Alexander et al; Text. Res. J., 26, 606 (1956)

8) E. Alexander et al; Text. Res. J., 31, 999 (1961)

9) 書上; 本誌, 14, 275 (1961)

10) 渕野外; 繊維学会誌, 12, 887 (1956)

11) 渕野外; 繊維学会誌, 14, 165 (1958)

12) 書上, 渕野; 本誌, 14, 580 (1961)

13) 川崎; 繊維学会誌, 17, 2 (1961)

14) 川崎; 繊維学会誌, 17, 484 (1961)

15) B. E. van Issum, N. H. Chamberlain;
J. Text. Inst., 50, T 599 (1959)

16) 川崎; 繊維学会誌, 18, 636 (1962)

17) たとえば K. S. ミラー (佐藤外訳); 技術者の数学, P 317 (1960) 共立出版, 東京

18) 細井外; 中央検査所彙報, No. 86, 日本化学繊維検査協会, 大阪 (1960-3)

19) M. S. Burnip, J. W. S. Hearle; J. Text. Inst., 52, P 343 (1961)

20) 川崎外; 繊維学会誌, 15, 814 (1959)

21) たとえば, D. L. Munden et al; J. Text. Inst., 52, P 491 (1961)

22) S. Fitton et al; J. Text. Inst., 51, T 435 (1960)

23) たとえば, 樋口外; 本誌, 10, 322 (1957)

24) たとえば, 荒井外; 繊維高分子材料, P 38 (1957) 共立出版, 東京

25) 川崎; 本誌, 15, 745 (1962)

26) たとえば, Alfrey, JR; Mechanical Behavior of High Polymers, P200 (1948)

注 2月号(その1) p. 43, ****
なおテクスチャード ヤーンの総合的な解説としては
日本繊維機械学会編; 新繊維総覧 (1959)
The Chemstrand Corp; "Textured Yarns of Chemstrand Nylon" (1959-5)
"Stretch Woven Fabrics" (1962-3)
川崎; 繊維界, 17, 59 (1958-7), 56 (1958-8)
28 (1958-9)
などがある