

# ポリアセタール繊維とポリアセタール編布の機械的性質

鎌田佳伸\*・吉田恭子\*・石川記子\*

亘麻希\*・大川秀俊\*\*

\*実践女子大学 生活環境学科 材料物理研究室、

\*\*ポリプラスチックス株式会社 TOPAS 事業開発部

Mechanical properties of polyacetal fiber and polyacetal knitted cloth

Yoshinobu Kamata \*, Kyoko Yoshida \*, Noriko Ishikawa \*, Maki Watari \*  
and Hidetoshi Okawa \*\*

\*Department of Human Environmental Sciences, Jissen Women's University

\*\* Polyplastics Co.,Ltd., TOPAS Business Development unit

DURACON® is the registered trademark of polyacetal manufactured and sold by Polyplastics Co.,Ltd. It is confirmed that DURACON® fiber (polyacetal fiber) has the properties such as high tensile strength, high elastic recovery, low frictional coefficient, alkalinity-resistance and so on as the fiber has inherited the physical properties of polyacetal. However, as for the details of the mechanical properties, it is not definite. In this research, as compared with polyester and nylon, it was found out that DURACON® fibers have the mechanical properties of high tensile strength, high elastic recovery and low frictional coefficient, and that a DURACON® knitted cloth (polyacetal knitted cloth) has high compression rate and high compressive elastic recovery.

**Key words :** polyacetal ポリアセタール, DURACON ジュラコン, polyester ポリエステル, nylon ナイロン, mechanical property 機械的性質

## 1. はじめに

ジュラコン®は、ポリプラスチックス㈱が製造・販売しているポリアセタールの登録商標である。ジュラコン®は、主として  $(-\text{CH}_2\text{O}-)$  の構造単位からなり、POM (Polyoxymethylene) またはポリアセタールと呼ばれる、高結晶性の熱可塑性樹脂である。ポリアセタールには、ホルムアルデヒドの結合でつくられたポリオキシメチレンの分子鎖からできているホモポリマーと、ホルムアルデヒドの三量体であるトリオキサンにエチレンオキサイドなどを結合してつくられたコポリマーとがあり (図1)、ポリプラスチックス㈱のジュラコン®は、コポリマータイプの代表的な製品として位置づけられる。ジュラコン®は、結晶性の

高さからバランスのとれた機械的特性を有し、また化学的・熱的特性も優れることから、主に射出成形分野において、機械機構部品を中心に電気・電子、自動車及び玩具などの幅広い分野で使用されている<sup>1)</sup>。

一般的なポリアセタールは、そのポリマー特性から、これまで熔融紡糸・延伸加工には不適なポリマーとされ、繊維形態では実用化には至っていない現状にある。ポリプラスチックス㈱では長年の重合及び材料に関する研究により、繊維加工用の特殊グレードを開発し、ポリアセタールの様々な繊維加工に成功した。ジュラコン®繊維はポリアセタールの性質を受け継いでおり、高強度、高伸長弾性、低摩擦係数、耐アルカリなどの性質を持つことはこれまでに確認されているが、詳細は定かではない (表1)。

本研究では、ジュラコン®繊維 (ポリアセタール繊維) の特性について代表的合成繊維の汎用繊維であるポリエステル繊維とナイロン繊維と比較することか

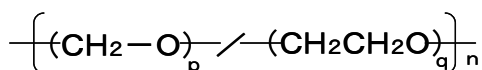


図1 ジュラコン®の構造式<sup>1)</sup>

表 1 ジュラコン® 繊維の特性<sup>1)</sup>

特性	単位	値
強度	cN/dtex	5-10
伸度	%	10-50
比重		1.41
伸長弾性率(20%伸長)	%	82
耐酸性		×
耐アルカリ性		○
耐加水分解性		○
耐熱水性		○

表 2 繊維試料

試料名	繊維	形態	織度	繊維長	クリンプ
			D(dtex)	mm	山/inch
D-F	ジュラコン®	フィラメント	2.8 (3.1)	—	—
D-S		ステープル	2.3 (2.6)	64	18
P-F	ポリエステル	フィラメント	2.1 (2.3)	—	—
P-S		ステープル	2.9 (3.2)	51	12
N-F	ナイロン	フィラメント	2.9 (3.3)	—	—

表 3 編布試料

上段：平均値、 下段：標準偏差

試料名	繊維	フィラメント数	フィラメント系の太さ	糸燃数	厚さ	密度		ループ長
						ウエール	コース	
		本	D (dtex)	t/cm	cm	1/2.54cm		cm
D-F (N)	ジュラコン®	144 (48×3)	403 (446)	2.03	0.171	20.0	24.6	0.48
				0.06	0.003	0.63	0.80	—
P-F (N)	ポリエステル	216 (36×6)	454 (497)	1.99	0.168	17.8	26.6	0.48
				0.05	0.004	0.75	1.02	—
N-F (N)	ナイロン	144 (24×6)	418 (475)	1.59	0.160	21.2	27.8	0.46
				0.02	0.002	0.98	0.75	—

注) 厚さ測定荷重：7.52 g/cm<sup>2</sup>

ら、その機械的性質を明らかにすることを目的とした実験的研究を行った。研究対象とした機械的性質は、繊維に関して伸長特性と摩擦特性、編布に関して圧縮特性、摩擦特性と伸長特性である。

## 2. 方法

### 2.1 繊維試料

実験に用いたジュラコン® 繊維、ポリエステル繊維、ナイロン繊維を表 2 に示す。フィラメントが 3 種類、ステープルが 2 種類である。

### 2.2 編布試料

編布試料に用いた繊維は表 2 の各フィラメントであり、フィラメント数はジュラコン® 繊維が 144 本 (48×3)、ポリエステル繊維が 216 本 (36×6)、ナイロン繊維が 144 本 (48×6) である。これらのマルチフィラメントで撚糸を作成した。撚糸条件は 100℃ (乾熱) で 1 時間、200T/m、S 撚である。編布のウエールとコースの両方向に対する伸縮安定性を考慮して、編布試料は高密度のモックミラノリブ編 (両面編 1 コース + 袋編 1 コース) とした。使用した編機は 12 ゲージの横編機である。なお、編布試料に使用されて

いる加工剤の特定困難により、家庭用合成洗剤を用いた同一条件で洗浄を行って測定用編布試料とした。試作した布試料は、温度 20℃、湿度 65% RH の恒温恒湿室にて保管した。試作編布試料の諸元を表 3 にまとめて示す。

### 2.3 測定方法

20℃、65% RH の恒温恒湿室環境で実験を行った。試料も恒温恒湿室でコンディショニングした。

#### 1) 繊維の強伸度測定法

20℃、65% RH 環境の測定を標準測定と呼び、水に 1 時間浸漬した試料を用いた測定を湿潤測定と呼ぶ。表 2 の繊維試料の全てを対象として、把持間隔は 30mm とし、引張速度を低速 (40mm/min)、高速 (500mm/min) の 2 種とし、所定の初荷重 (0.043gf/D) 下で測定した。定速伸長形引張試験機として、ストログラフ E II (東洋精機) を、記録計としてメモライザ 7G01 (NEC 三栄) を用いた。

#### 2) 繊維の伸長弾性率測定法

1) 項と同じ引張試験機を用い、JIS L 1015 に準拠した測定を行った。繊維試料は表 1 のフィラメントである D-F、P-F、N-F の 3 種を用いた。把持間

隔は 30mm、引張速度は 15mm/min とし、一定伸びは把持間隔の 5%・10%・15%・20%の 4 段階とした。測定方法は、所定の伸びまで伸長した後、直ちに除重する。そして 2 分間の放置後、再び伸長する。当初無負荷であった試料は緊張し、初荷重に達する。その時の伸びを残留伸びとする。伸長弾性率は次式で算出した。

$$\text{伸長弾性率 (\%)} = \left( 1 - \frac{\text{残留伸び}}{\text{一定伸び}} \right) \times 100 \quad (1)$$

### 3) 繊維と編布の摩擦特性測定法

KES - FB 4 を用いて測定した。鉛直荷重 50 g、摩擦速度 1 mm/s、布試料の付加張力を 200g とし、摩擦係数とその平均偏差を測定した。ただし、繊維の測定においては、縦横 200mm の基布に刺繍ミシンを用いて平行かつ密に配列した 50 × 70mm のフィラメント集合体を試料とした。また、編布の測定においては、標準装備されている摩擦子を使用すると布試料の凹凸が顕著に影響してしまうため、10 mm 角の亚克力板 (1 mm 厚) をその摩擦子に両面テープで貼り付けて用いた。繊維試料は 2) 項と同じくフィラメントのみの 3 種を用いた。編布試料は表 3 の 3 種である。

### 4) 編布の圧縮率および圧縮弾性率測定

JIS L 1096 による方法と KES - FB 3 による方法の 2 方法を用いた。JIS による方法の場合は、3.5cm × 3.5cm に裁断した試料を 3 枚 1 組とし、たて方向とよこ方向が交互になるように重ねる。50gf/cm<sup>2</sup> の初荷重の下に厚さを測定する。次いで 300gf/cm<sup>2</sup> の最大荷重を加えた状態で 1 分放置した後、厚さを測定する。さらに 1 分間除重した後、再び初荷重を加えて厚さを測定する。圧縮率および圧縮弾性率は下記により算出した。

$$\text{圧縮率 (\%)} = \frac{T_0 - T_1}{T_0} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{圧縮弾性率 (\%)} = \frac{T_0' - T_1}{T_0 - T_1} \times 100 \quad (3)$$

$T_0$ : 初荷重厚さ  $T_0'$ : 初荷重に戻した時の厚さ  
 $T_1$ : 最大荷重厚さ

KES - FB 3 による方法では、20cm × 20cm の試験片を用いて、上限圧縮荷重は 100g とした。

### 5) 編布伸長特性測定法

KES - FB 1 を用いた。試料の大きさは 20cm × 20cm である。上限荷重は 230g/cm とした。その他は KES - FB 1 の測定方法に準じている。

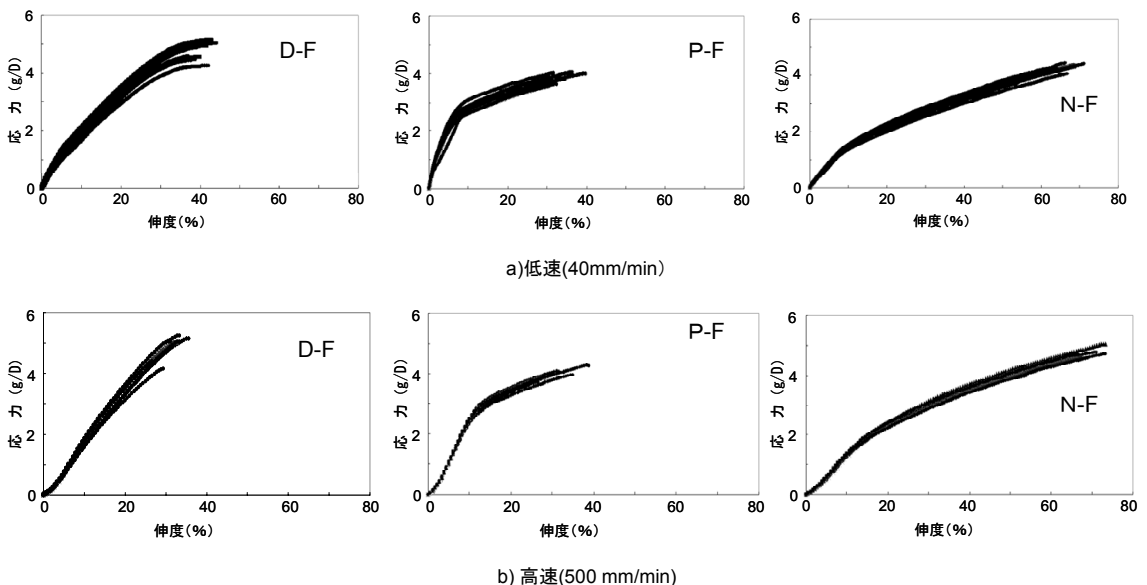


図 2 フィラメントの伸長性 (低速と高速)

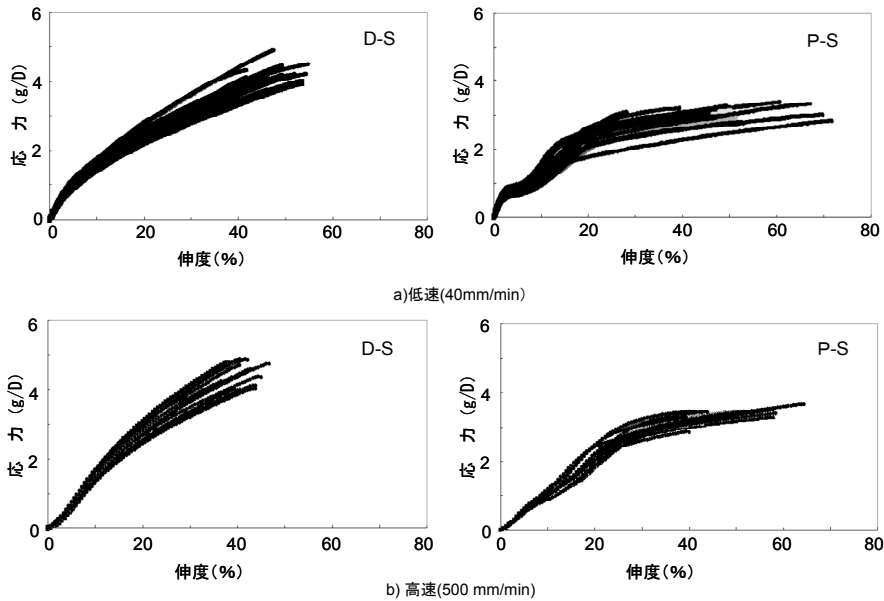


図3 ステープレの伸長性（低速と高速）

### 3. 結果と考察

#### 3.1 繊維の強伸度

測定方法は2.3の1)項に既述した。低速における湿潤測定結果と標準測定結果に差は認められなかった。これは、標準状態においてジュラコン®繊維の吸湿は事実上認められていないので、繊維に水分が影響しないためと思われる。

したがって、強伸度の測定に水分は関係しないと思われるので、以下では、全て標準測定で行った結果について記述する。まずはローダーの重ね合わせを図示する。図2はフィラメントの結果で、図3はステープルの結果である。両図ともに上段が低速で、下段が高速である。図4は、図2と図3のローダーの平均に近いデータを代表曲線として採用して、それらによる強伸度の違いを示したものである。図4から、ポリエステル繊維には降伏挙動的变化（A点）が認められるが、ジュラコン®繊維では認められない。図4の低速と高速のS-Sカーブにおいて、各繊維の破断強度はあまり変わらないが、破断伸度は低速の方が大きい。低速では伸度の増加に伴って強度の増加割合はわずかに減少する形態をとるが、高速では低速と若干異なり引張初期においてわずかにS字カーブを描いてから低速に類似した形態をとる。また、高速の方が伸度にばらつきが少なく、安定している。図3のステープルの測定データにおいては、データのばらつきは図2

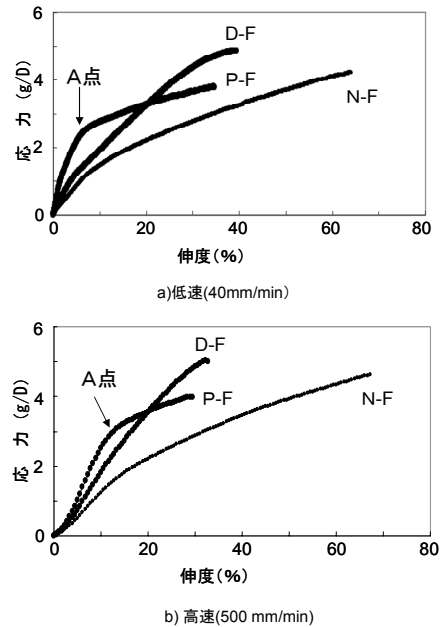


図4 フィラメントの伸長性（低速と高速）

のフィラメントに比して大きく、強度はフィラメントに比して若干小さいが、伸度は若干大きい。ジュラコン®ステープルの顕微鏡観察でネッキングが見られた。ステープルデータのばらつきには、ネッキングやクリンプ付与時の機械作用その他の多くの要因の関与が考えられる。

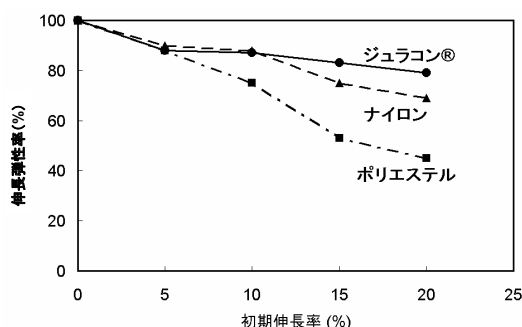


図5 伸長弾性率（フィラメント）

### 3.2 繊維の伸長弾性率

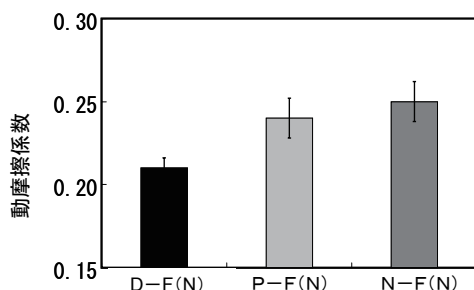
測定方法は2.3の2)項に既述した。ジュラコン®、ポリエステル、ナイロンの各繊維の初期伸長率に対する伸長弾性率の測定結果を図5に示す。5%伸長時の伸長弾性率は3種の繊維で変わらない(88%)。10%伸長時ではジュラコン®とナイロンは同程度の伸長弾性率を維持しているが、ポリエステルは低下している。そして15~20%伸長時には、ナイロンも低下して行くが、ジュラコン®は高弾性回復性(20%伸長で79%、表1では82%)を保っている。この特性はジュラコン®の分子構造(図1)に由来して発現したものと推定される。

以上から、ジュラコン®繊維の加工品・繊維集合体は変形後の形状回復等が期待できるので、応力・変形が加わる用途において形状保持性能が高い繊維集合体として用途展開が期待される。

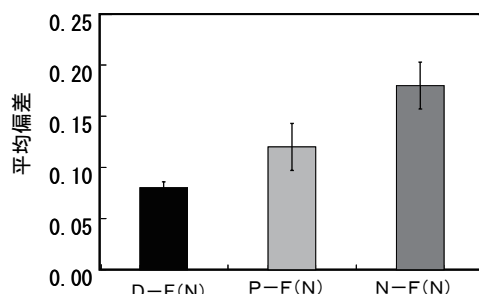
### 3.3 繊維と編布の摩擦特性

測定方法は2.3の3)項に既述した。ジュラコン®は、ポリマー由来の特性として低摩擦係数の樹脂素材として知られ、射出成形部品では、ギヤや摺動部品に幅広く使用されている。そこで、ジュラコン®の繊維形態における摩擦特性を検討した。

まず、図6から明らかなように、ジュラコン®繊維はポリエステルやナイロンに比して摩擦係数は明らかに小さく、また変動も小さい。これからジュラコン®繊維は樹脂の特性を引き継いでいると言える。一方、編布試料を用いた摩擦特性に関しては、図7(ウェール方向摩擦)と図8(コース方向摩擦)から繊維の特性が発現していない。ウェール方向において、ジュラコン®編布の動摩擦係数はポリエステル編布とほ



a) 動摩擦係数



b) 平均偏差

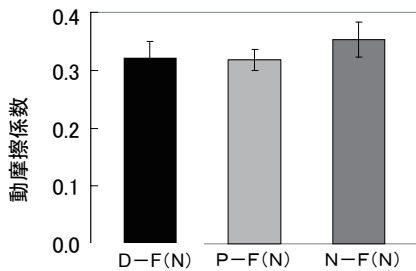
図6 摩擦特性（フィラメント）

ぼ同じであるが、ナイロン編布と比較すると幾分低い。コース方向においては、三者の動摩擦係数は同程度であった。この結果に対しては編布の構造が強く関与していると思われる。図9の試作編布の表面写真により、編布の場合には顕著な凹凸があることが分かる。摩擦理論には凝着説と凹凸説がある。繊維束による動摩擦特性は、繊維材料の特性に依存すると考えられ、これはいわゆる摩擦に関する凝着説が該当する。それに対し、布試料を用いた場合は、素材特性よりも構造が摩擦の支配的要因となっていると理解される。この場合は摩擦に関する凹凸説が該当する。したがって、編布試料の場合にはジュラコン®繊維の摩擦特性よりも編布構造が顕著に動摩擦に寄与していると考えられる。

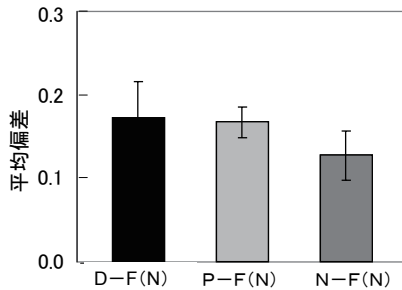
以上から、ジュラコン®繊維は、汎用繊維(ナイロン、ポリエステル)と比較して摩擦係数の低い繊維といえる。この低摩擦特性を活かした繊維集合体として摺動部材等への展開も期待できる。

### 3.4 編布の圧縮率および圧縮弾性率

測定方法は2.3の4)項に既述した。JISによる結果を図10に、KESによる結果を図11に示した。図10から、圧縮率はジュラコン®編布が36.7%、ポリ

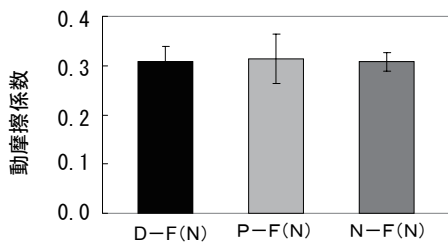


a) 動摩擦係数

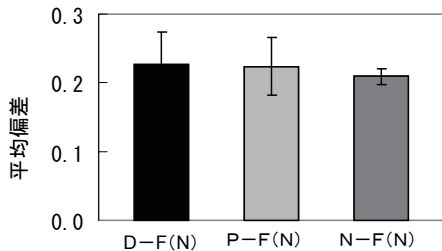


b) 平均偏差

図7 摩擦特性 (ウェール方向)



a) 動摩擦係数



b) 平均偏差

図8 摩擦特性 (コース方向)

エステル編布が23.8%、ナイロン編布が14.9%となり、ジュラコン®編布が一番大きい。また、圧縮弾性率は、ジュラコン®編布が76.0%、ポリエステル編布が66.6%、ナイロン編布が65.2%となり、これもジュラコン®編布が一番高い。図11に示すKESによる

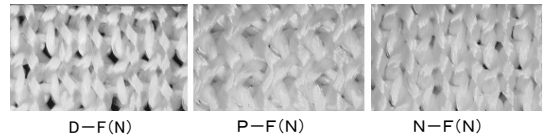
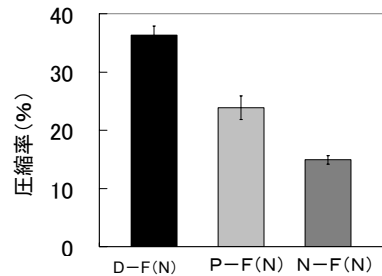
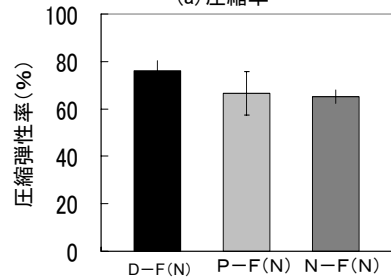


図9 編地試料 (高密度のモックミラノリブ編 (両面編1コース+袋編1コース))



(a) 圧縮率



(b) 圧縮弾性率

図10 JISによる圧縮率と圧縮弾性率

圧縮-圧力曲線も上記と同様な結果となっている。

以上から、ジュラコン®編布は、ポリエステル編布やナイロン編布といった汎用繊維を用いた編布よりも圧縮されやすいが、圧縮弾性率が大きく、圧縮の弾性回復に優れていることが分かる。

### 3.5 編布の伸長特性

測定方法は2.3の5)項に既述した。編布の伸長特性を図12に示す。図a)はウェール方向、図b)はコース方向の測定例である。ウェール方向では、ポリエステル編布が一番伸び、次いでジュラコン®編布、ナイロン編布の順である。図9に編布の表面形状を示しているが、1ループ当たりの3種の編布の形状の違いをモデルで図13に示した。図13から分かるように、ジュラコン®編布とナイロン編布はループの形は同じだがナイロン編布の方が小さいのは、伸長状態で編

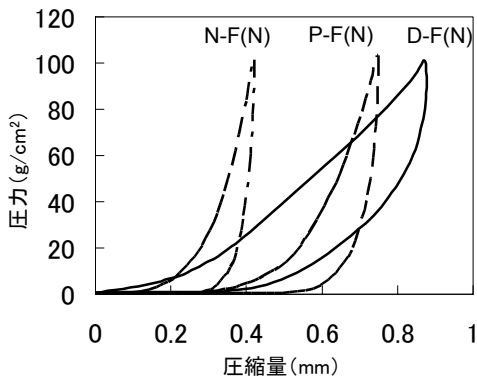


図 11 KES による圧縮試験の例

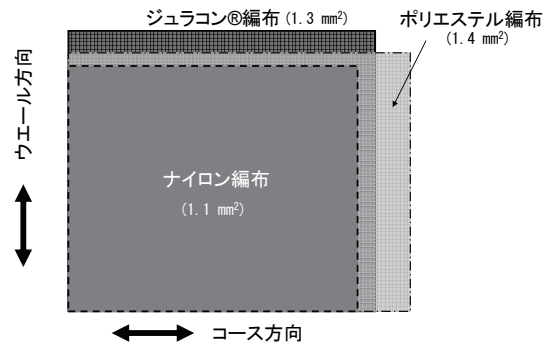
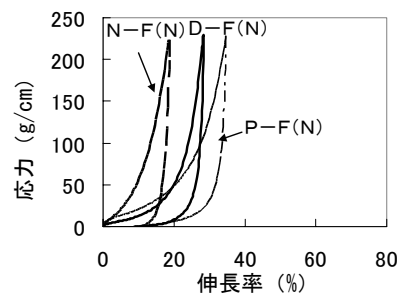
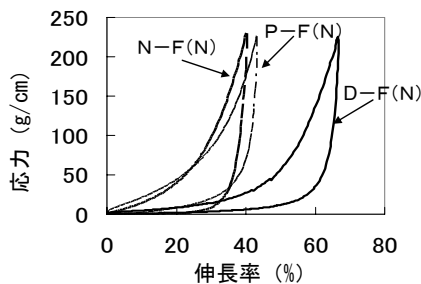


図 13 編布の 1 ループの大きさモデル



a)ウェール方向



b)コース方向

図 12 編布の引張試験の例

み込まれた状態で編成され、その後に収縮したからであると考えられる。

また、ジュラコン®編布とポリエステル編布の比較では、表 3 よりループ長は同じであるが、図 13 を見ればループの形が異なっていることが分かる。ジュラコン®編布に比して、ポリエステル編布はコース方向に大きく横に広いため、ウェール方向に伸びる余地があると考えられる。

コース方向では、ジュラコン®編布が一番伸び、ポリエステル編布とナイロン編布はほぼ同じである。ウェール方向ではよく伸びたポリエステル編布の伸びが悪いのは、ループの形が大きく影響しており、ポリエステル編布はコース方向に伸ばされた状態から引き伸ばされているため、伸びが小さくなる。また、ポリエステル編布は糸が太いため伸びにくくなっている。以上のように、編布の伸長特性には構造の影響が大きいことが分かったが、原糸の太さを一定にすることができていないために、編布の伸長特性の差に及ぼす繊維素材の影響を明確にすることができなかった。

表 4 測定された物性のまとめ

	単位	ジュラコン®	ポリエステル	ナイロン
強度	gf/D	4.9±0.2	3.9±0.1	4.2±0.3
伸度	%	39.3±3.6	32.5±4.1	60.4±6.8
初期引張抵抗	gf/D	31.8±1.9	70±7.1	24.3±1.9
伸長弾性率	5%伸長	%	88±2.2	88±2.5
	10%伸長	%	87±1.5	75±2.9
	15%伸長	%	83±2.1	53±1.8
	20%伸長	%	79±1.8	45±0.1
動摩擦係数		0.21±0.006	0.24±0.012	0.25±0.012



#### 4. まとめ

ジュラコン® 繊維の機械的性質をポリエステル繊維とナイロン繊維と比較して表4にまとめて示した。

- 1) ジュラコン® 繊維はポリエステル繊維に存在する降伏挙動的变化は認められなかった。また、ジュラコン® 繊維は最も破断強度が大きかった。破断伸度は、ポリエステル繊維よりも大きく、ナイロン繊維よりも小さかった。
- 2) ジュラコン® 繊維の圧縮性はきわめて大きかった。伸長弾性率と圧縮弾性率の低下が小さく、伸長と圧縮の弾性回復に優れていることも分かった。
- 3) ジュラコン® 繊維の摩擦特性の低いことが分かった。編布の摩擦の試験結果には構造の影響が大きく反映し、繊維素材の影響が明らかとはならなかった。
- 4) 編布による伸長特性の検討では、繊維の特性よりも編布構造の影響が現れた。編布の構造が繊維の種別により発現するとするならば、編布の摩擦特性の差違は繊維に由来すると考えることができるが、定かではない。
- 5) 以上から、ジュラコン® 繊維はポリエステル繊維とナイロン繊維との比較において、強伸度のバランスが良く、伸長回復性に優れており低摩擦係数の素材である。代表的合成繊維と比較しても劣らない特性を持つことから、種々用途への応用が期待できる。

#### 付記

本報告の一部は文献2で発表した。また、その文献2のデータの一部は文献3においても引用されていることを付記する。

#### 謝辞

編地試料の作製にご協力頂いた東京都立産業技術研究センターに深甚なる感謝を申し上げます。

#### 文献

- 1) 大川秀俊;繊維機械学会誌、Vol.59, N0.12、p.689 (2006)
- 2) 鎌田佳伸、吉田恭子、亘麻希、大川秀俊;平成20年度繊維学会年次大会予稿集 (2008)
- 3) 大川秀俊;SEN' I GAKKAISHI (繊維と工業), Vol.65, N0.4、p-134 (2009)