レクリエーション衣料用素材の開発
—スーパー繊維織物の開発—

服部安紀、鹿野　剛

要　旨

近年の健康志向、自然志向を背景としたレクリエーション産業の活性化に伴い、新しい衣料分野製品が必要となってきている。我々はアウトドアなどによる過酷な運動で岩などから身体を保護することができる耐創傷性に優れる衣料用織物を検討した。その結果、従来、産業用資材用としてしか使用されなかった高強度、高弾性のスーパー繊維を用いてスーパー繊維織物を開発した。スーパー繊維織物は一般の繊維を用いた織物より耐創傷性機能が明らかに高いことがわかった。

1. はじめに

市場を見渡すと自動車に代表されるようにレクリエーションを意識した商品群に消費者の目は注がれている。そこで我々はレクリエーション衣料といった新しい分野の衣料用製品の開発を検討した。レクリエーション衣料に求められる性能はその使用用途により多様であろうが、今回我々は登山などアウトドア時に岩などと接触することにより起こる創傷たとえば切り傷あるいは擦り傷から身体を保護することができる耐創傷性に優れる織物について検討をした。我々は耐創傷性に優れる織物をつくるためにスーパー繊維に注目した。スーパー繊維はアラミド繊維に代表されるように高強度、高弾性の繊維で、産業資材分野での使用は現在活発に進められている。しかしながら、衣料用では一部防弾チョッキや特殊手袋など特定品に限られ、一般衣料品への採用は進んでいない。そこで、我々はスーパー繊維の特性を考慮し、衣料用途への採用を検討した。

本研究は3つの大きな柱に従い進めた。第一に基本的条件の確立である。ここではスーパー繊維糸の製織性評価、次にフィラメント糸、スパン糸あるいは太い糸、細い糸という糸タイプの比較による耐創傷性評価、そして、糸密度による耐創傷性評価を行い、耐創傷性に優れた織物をつくるための各要素の選定を行った。第二に製品化である。製品化では基本的条件の確立を踏まえ、織物の構造や糸配列などの検討をした予備試作と本研究の最終開発品となる本試作を行った。また、第三にこれら試作した織物を評価するための耐創傷性の評価方法について検討した。耐創傷性評価は創傷を切り傷と擦り傷の2つを想定し、この2つに対応する2種の試験室レベルの耐創傷性評価と実用レベルに近い2種の実用性能評価を設定し、試作した織物について評価を行った。また、衣料用途に適するかどうかの目処をつけるため織物の弾性率の測定も行った。

本研究では多種あるスーパー繊維の中で最も市場占有率の高いパラ系アラミド繊維

を使用した。糸に関するデータを表1に示すが、パラ系アラミド繊維には次のような問題点があった。①に紫外線に弱いこと。紫外線により黄変、劣化が発生するので織物表面からパラ系アラミド糸を隠す必要があった。②に高価であること。一般の糸に比べ高価であるのでできるだけ使用量を抑える必要があった。③に伸びないこと。できるだけ伸びやすいタイプの使用や織物構造にて考慮する必要があった。以上の点を考慮し研究を行った。

表1　パラ系アラミド繊維と一般繊維との比較

	パラ系アラミド	ポリエステル	ナイロン	アクリル	木　綿	羊　毛
引張強度 (g/d)	23	5.4	6	4	4	1.4
伸度(%)	3.6	35	43	38	5	30
融点/ 分解点(℃)	500 (炭化)	255 (融点)	215 (融点)	215 (軟化点)	150 (分解)	205 (炭化)
難燃性LOI (%)	29	22	22.5	19.5	18.5	24.5
公定水分率 (%)	7	0.4	4.5	2	8.5	15
比重 (g/cm^3)	1.44	1.38	1.14	1.16	1.55	1.32

参考資料：化繊ハンドブック

2. 実験方法

2.1　基本的条件の確立

(1) 糸の製織性評価

1) 試料

表2に示すパラ系アラミド糸を用い、表3に示す加工条件で試作糸を調製した。なお、本研究で用いた撚係数はすべて共通式番手でのメートル単位とした。

2) 評価

糸の製織性の評価については糸の引張破断強伸度の測定が重要な評価項目であるが本糸は表1のとおり十分な破断強度を有しているのでここでは抱合力を測定することで評価することとした。抱合力は蛭田理研㈱製抱合力試験機を用い、2000／毛番手（gf）の荷重で試験した。

表2　パラ系アラミド糸(フィラメント糸)検討一覧(入荷形態)

	太さ(D) ( )内共通式	フィラメント数(本)	単繊維D	繊度(μ)	撚糸加工
パラ系アラミド糸	200(1/45)	133	1.5	12	無撚
パラ系アラミド糸	400(1/22.5)	266	1.5	12	無撚
パラ系アラミド糸	1000(1/9)	666	1.5	12	無撚
パラ系アラミド糸	1500(1/6)	999	1.5	12	無撚

パラ系アラミド糸(スパン糸)検討一覧(入荷形態)

	太さ(D) ( )内共通式	繊度(μ)	繊維長(mm)	撚糸加工(回/m)
パラ系アラミド糸	20/1(1/33.8)	12	51	528(撚係数91)
パラ系アラミド糸	30/1(1/50.8)	12	51	647(撚係数91)

撚係数は共通式番手でのメートル単位

表3　糸の加工条件（フィラメント糸）

検討項目	検討内容（ ）内は入荷状態
撚加工	（無撚）・撚係数3.3・撚係数91・撚係数152
糊加工（PVA系）	有・（無）
WAX加工	有・（無）

糊は㈱サンマリー製のエスタールP-10
撚係数は共通式番手でのメートル単位

糸の加工条件（スパン糸）

検討項目	検討内容（ ）内は入荷状態
撚加工	（撚係数91）・撚係数152
糊加工（PVA系）	有・（無）
WAX加工	有・（無）

糊は㈱サンマリー製のエスタールP-10
撚係数は共通式番手でのメートル単位

(2) 糸タイプと耐創傷性等評価

1) 試料

糸はパラ系アラミド糸200D、400D、20／1、30／1そして比較用にPET糸200Dとポリエステル・ウール混紡糸2／60を用意し、計6種類の検討糸の比較を行った。評価する試料については糸単体での評価は困難でありまた織物状態での比較が適当であると判断したので表4のとおり経糸にPET・ウール混紡糸2／60、緯糸に検討糸を用いた6種類の織物を調製した。試作を容易にするために緯糸のみに検討糸を用い、前述したとおり紫外線による黄変、劣化を考慮しパラ系アラミド糸を表面から隠すことができる1／3斜紋緯2重織とした。なお、本来表緯糸は表面からパラ系アラミド糸を隠すため他の一般糸を用いる必要があるが本項での目的が糸タイプの比較であるため比較を容易かつ明確にするため表、裏緯糸とも検討糸とした。

表4　各糸タイプの耐創傷性評価用試料（組織：1/3斜紋緯2重織）

NO	経糸	緯糸表・裏	経糸密度（本/in）	経糸密度（本/in）	目付量 1.5m巾(g/m)
サンプル 1	PET・ウール混紡糸2/60	パラ系アラミド糸 30/1	70	122	317
サンプル 2	PET・ウール混紡糸2/60	パラ系アラミド糸 20/1	70	82	302
サンプル 3	PET・ウール混紡糸2/60	パラ系アラミド糸 200D	70	109	317
サンプル 4	PET・ウール混紡糸2/60	パラ系アラミド糸 400D	70	54	323
サンプル 5	PET・ウール混紡糸2/60	PET糸 200D	70	109	305
サンプル 6	PET・ウール混紡糸2/60	PET・ウール混紡糸2/60	70	72	313

2) 評価

耐創傷性評価（評価方法は3章の耐創傷性評価に依る）を行った。また、衣料用途に向くかどうかの判断を得るため弾性率の測定も行った。なお、本研究での弾性率は引張試験から得られる荷重－伸び曲線の所定の接線（接線はJIS L1096の6.7項に依る）の傾きから求め、各織物そのままの伸び易さ（伸びにくさ）を判断するため、一般的にいう応力／歪みではなく荷重／歪みとし単位はkgf・㎜／㎜とした。試験長は200㎜である。

(3) 織物密度における耐創傷性評価

1) 試料

試料はパラ系アラミド糸20／1、30／1を経緯糸に用い、経糸密度をブリアリーの理論値の85％、緯糸密度をブリアリーの理論値の70％、80％、90％の3水準とした計6種類の織物を調製した（表5）。なお、組織は糸密度との関係を明確にするため平織とした。

表5　各緯糸密度の耐創傷性評価用試料（組織：平織）

NO	経糸	緯糸	(経糸密度)プリアリーの理論値(%)	経糸密度(本/in)	(緯糸密度)プリアリーの理論値(%)	緯糸密度(本/in)	目付量1.5m巾(g/m)
サンプル 7	パラ系アラミド糸30/1	パラ系アラミド糸30/1	85	66	70	55	148
サンプル 8	パラ系アラミド糸30/1	パラ系アラミド糸30/1	85	66	80	62	158
サンプル 9	パラ系アラミド糸30/1	パラ系アラミド糸30/1	85	66	90	70	175
サンプル10	パラ系アラミド糸20/1	パラ系アラミド糸20/1	85	54	70	44	171
サンプル11	パラ系アラミド糸20/1	パラ系アラミド糸20/1	85	54	80	50	188
サンプル12	パラ系アラミド糸20/1	パラ系アラミド糸20/1	85	54	90	57	206

プリアリーの理論値：30/1－78本/2.54cm、20/1－63本/2.54cm

2）評価

耐創傷性評価（評価方法は3章の耐創傷性評価に依る）を行った。

2.2　製品化

(1) 予備試作

1）試料

製品化予備試作では試作を容易にするため緯糸にパラ系アラミド糸を用いた緯2重織の織物を調製した。詳細には経糸および表緯糸にPET・ウール混紡糸2／60、裏緯糸にパラ系アラミド糸30／1および200Dの2タイプを用い、組織はパラ系アラミド糸を表面から隠すことができる1／3斜紋緯2重織とした。また、パラ系アラミド糸の使用量の抑制を図るため裏緯糸のパラ系アラミド糸は100％、75％（パラ系アラミド糸：PET・ウール混紡糸＝3：1）、50％（パラ系アラミド糸：PET・ウール混紡糸＝1：1）の3タイプの糸配列として、計6種類の織物を調製した。織物の詳細については表6のとおりである。

2）評価

耐創傷性評価（評価方法は3章の耐創傷性評価に依る）を行った。また、衣料用途に向くかどうかの判断を得るため弾性率の測定も行った。

表6　製品化予備試作の耐創傷性評価用試料（組織：1/3斜紋緯2重織）

NO	経糸および表緯糸	裏緯糸※	経糸密度(本/2.54cm)	経糸密度(本/2.54cm)	目付量1.5m巾(g/m)
サンプル13	PET・ウール混紡糸2/60	パラ系アラミド糸30/1−100%	70	122	372
サンプル14	PET・ウール混紡糸2/60	パラ系アラミド糸30/1−75%	70	122	374
サンプル15	PET・ウール混紡糸2/60	パラ系アラミド糸30/1−50%	70	122	396
サンプル16	PET・ウール混紡糸2/60	パラ系アラミド糸200D−100%	70	119	382
サンプル17	PET・ウール混紡糸2/60	パラ系アラミド糸200D−75%	70	119	386
サンプル18	PET・ウール混紡糸2/60	パラ系アラミド糸200D−50%	70	119	394

※裏緯糸の75%はパラ系アラミド糸：PET・ウール混紡糸 2/60＝3：1の配列
※裏緯糸の50%はパラ系アラミド糸：PET・ウール混紡糸 2/60＝1：1の配列

(2) 本試作

1) 試料

製品化本試作では経緯2重織の織物を調製した。上層の経緯糸にPET・ウール混紡糸2／60を用い、下層の経緯糸にパラ系アラミド糸20／1を用いた2層構造の織物である。詳細には、袋部状の経緯2重織部と表、裏組織を接結する緯2重織部（この部分の経糸はPET・ウール混紡糸2／60）とにより構成されている。組織は袋部が2／2斜紋経緯2重織で接結部が1／3斜紋緯2重織である（図1）。また、裏緯糸のパラ系アラミド糸は100％と50％（パラ系アラミド糸：PET・ウール混紡糸＝1：1）の2タイプの糸配列とした。これら本試作で調製した織物の裏緯糸のパラ系アラミド糸が100％のものをスーパー繊維織物A、50％のものをスーパー繊維織物Bと定めた。そして、比較用にスーパー繊維織物AおよびB（以下スーパー繊維織物と述べる）と同構造ですべてPET・ウール混紡糸2／60の織物も調製した（以下レギュラー織物と述べる）（表7）。また、市販の作業用上着とズボンも用意した。作業用上着およびズボンは1／2斜紋織および2／1斜紋織でともに経緯糸にPET加工糸333D（実測値）を用いた織物である（表8）。

2) 評価

耐創傷性評価（評価方法は3章の耐創傷性評価に依る）を行った。また、衣料用途に向くかどうかの判断を得るため弾性率の測定も行った。

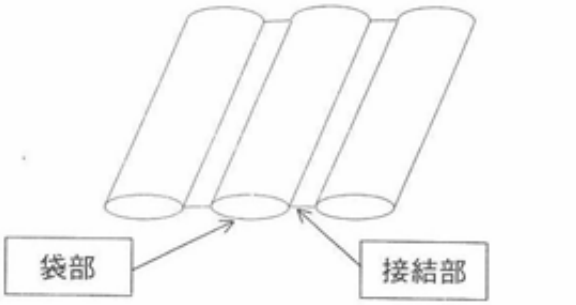


図1　製品化本試作

表7　製品化本試作の耐創傷性評価用試料

	組織（袋部）	表経糸（袋部）	表緯糸（袋部）	裏経糸（袋部）	裏緯糸（袋部）	組織（接結部）	経糸（接結部）	目付量 1.5m巾 (g/m)
サンプル19（スーパー繊維織物A）	2/2斜紋 経緯2重織	PET・ウール 混紡糸2/60	PET・ウール 混紡糸2/60	パラ系アラミド糸20/1	パラ系アラミド糸20/1（100%）	1/3斜紋 緯2重織	PET・ウール 混紡糸2/60	431
サンプル20（スーパー繊維織物B）	2/2斜紋 経緯2重織	PET・ウール 混紡糸2/60	PET・ウール 混紡糸2/60	パラ系アラミド糸20/1	パラ系アラミド糸20/1（50%※）	1/3斜紋 緯2重織	PET・ウール 混紡糸2/60	448
サンプル21（レギュラー繊維織物）	平 経緯2重織	PET・ウール 混紡糸2/60	PET・ウール 混紡糸2/60	PET・ウール 混紡糸2/60	PET・ウール 混紡糸2/60	1/3斜紋 緯2重織	PET・ウール 混紡糸2/60	413

緯糸（接結部）は袋部の表緯糸と裏緯糸と同一
※50%はパラ系アラミド糸 20/1：PET・ウール混紡糸 2/60＝1：1の配列

製品化本試作の織物規格と製織仕上結果

	経糸密度（袋部）(本/in)	経糸密度（接結部）(本/in)	緯糸密度 (本/in)	織下（巾）織縮（%）	織下（長さ）織縮（%）	整理（巾）織縮（%）	整理（長さ）織縮（%）
サンプル19（スーパー繊維織物A）	116	58	105	6	5	1	2
サンプル20（スーパー繊維織物B）	116	58	105	7	8	0	3
サンプル21（レギュラー繊維織物）	116	58	105	10	5	1	4

表8　市販品の耐創傷性評価用試料

	組織	経糸	緯糸	経糸密度（本/in）	緯糸密度（本/in）	目付量 1.5m巾（g/m）
作業服（上着）	1/2斜紋織	PET加工糸 333D（実測値）	同左	81（実測値）	76（実測値）	363
作業服（ズボン）	2/1斜紋織	PET加工糸 333D（実測値）	同左	81（実測値）	61（実測値）	345

3. 耐創傷性評価

3.1　耐創傷性評価方法

耐創傷性の評価方法については、ナイフなどの鋭利なものにより起こる突発的な切り傷と岩などで擦れることにより起こる継続的な摩擦による擦り傷の2つのタイプの創傷を想定し、前者を突発的耐創傷性、後者を耐久的耐創傷性として、それぞれ次の試験方法とした。

突発的耐創傷性評価方法は引張試験機を用い、図2のとおりJIS L1096の破裂強さの定速伸長形法の円筒形の治具に試験片をセットし、上部チャックに所定の刃（オルファ㈱製クラフトナイフ、材質SK－2、刃厚1㎜、18㎜×100㎜）を取り付け、200㎜／minの速度で刃を試料に垂直に押しあて、貫通時の強度（創傷力）を測定する方法とした。なお、刃の交換のタイミングについては図3のとおり同一ナイフでの連続突刺回数の結果より約50回程度までは切れ味の低下が見られなかったのでこの回数内での交換とし、実際には各試料ごとの15回とした。また、突刺速度は図4のとおり300㎜／minまではほぼ同値で500㎜／minで低下することがわかったが実験の安全性を考慮し200㎜／minの速度とした。

耐久的耐創傷性評価方法はJIS L1096の摩耗強さA法（ユニバーサル形法）の折目法とした。紙ヤスリ＃400を用い紙ヤスリの前後方向の運動による試料の穴あきまでの回数（摩耗回数）を測定した。

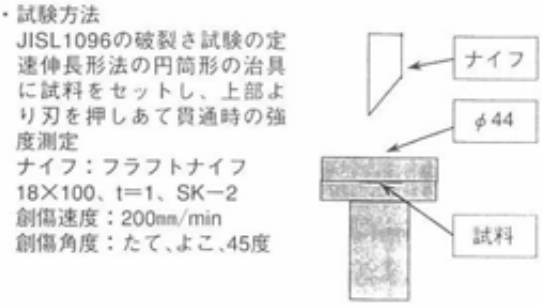


図2　突発的耐創傷性評価概要図

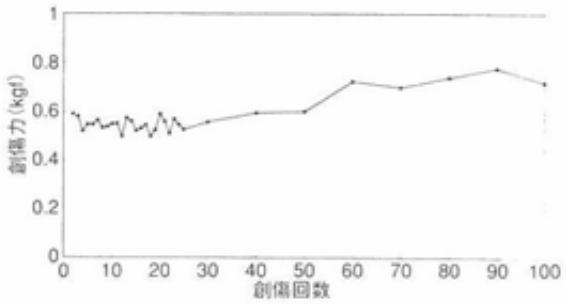


図3　刃の耐久性

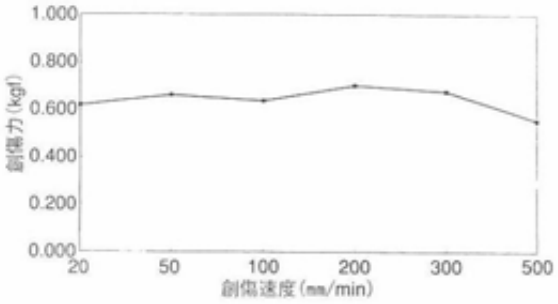


図4　創傷速度と創傷力との関係

3.2　実用性能評価の追加

3.1の2つの耐創傷性評価はあくまで実験室レベルであるため実用面としてどの程度の性能があるのかを見極めるため、次の2つの実用性能評価を本研究の最終品に実施した。1

つは実用性能評価A法としてカッターナイフによる試料への切りつけである。もう1つが実用性能評価B法としてアスファルト路面への試料の擦りつけである。

実用性能評価A法はカッターナイフの円形刃（オルファ㈱製円形刃、直径28㎜、刃厚0.3㎜、材質SKS－7）を用い、切りつける負荷を1kg／枚と設定し、安定的にこの負荷を与えるため　40㎜×80㎜の台車に前方中央1輪、後方左右2輪の3輪車をつくり、設定した負荷が与えられるようにおもりを載せこれにひもを取り付け試料の上を走らせ、試料の損傷度合を観察する方法とした（図5）。なお、負荷1kgはカッターナイフでものを切ろうとする時の実際値が0.5kgから1.0kg程度であったためこの値を基準とした。

実用性能評価B法は擦りつける負荷を500kg／m²と設定し、前述同様安定的にこの負荷を与えるため直径80㎜の円筒の下面に試料を取り付け、所定の負荷が得られるようにおもりを載せこれにひもを取り付け、アスファルトの路面上を50m引きずり、試料の損傷度合を観察する方法とした（図6）。なお、負荷500kg／m²は体重50kgの人のお尻の面積を340㎜×300㎜として計算し得られた値を基準とした。

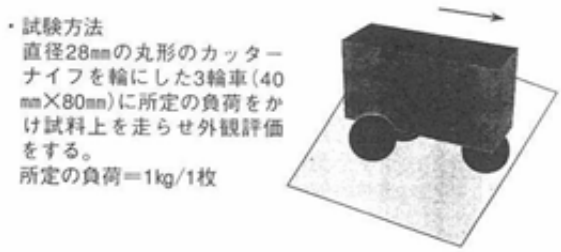


図5　実用性能評価A概要図

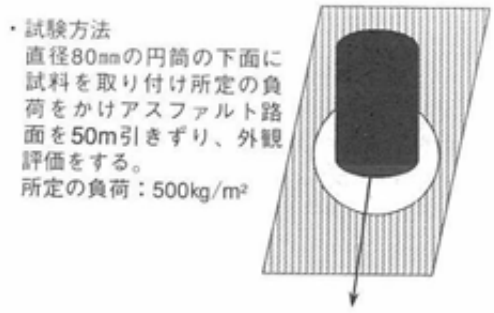


図6　実用性能評価B概要図

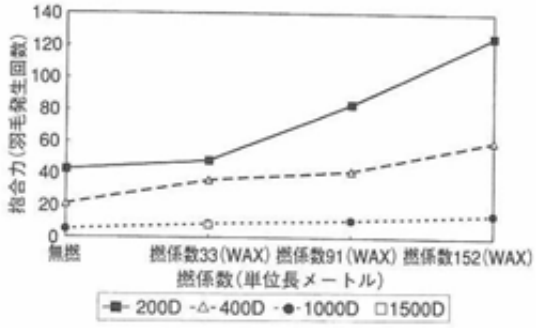


図7　パラ系アラミド糸（フィラメント糸）の撚係数と抱合力との関係
（撚係数は共通式番手でのメートル単位）

4. 結果と考察

4.1　基本的条件の確立

（1）糸の製織性評価

1）フィラメント糸

撚係数と抱合力の関係を図7に示す。フィラメント糸については単繊維切れが発生するいわゆる毛羽発生回数を抱合力の評価基準とした。すべての太さに対して152＞91＞33＞0（無撚）の順に撚係数が高い方が抱合力は高くなった。これは撚係数が高くなるほど糸の拘束性が高まるためによるもので、他の一般糸と同様の傾向であることがわかった。また、糸の太さ比較では200D＞400D＞1000D≧1500Dの順に細い方が抱合力は高くなった。これはどの糸も単繊維の太さが1.5Dと等しく、太くなるとそのままフィラメント数が増えるため、抱合力試験で糸束の幅が広がりやすく糸のばらけが大きくなり単糸切れが発生しやすいものと考えられる。

次にWAXの有無と抱合力の関係を図8に示す。各番手、各撚係数の糸ともWAX有の方が抱合力が高くなる傾向であった。これは

WAXをつけることで糸表面の滑りが良くなるためと考えられる。

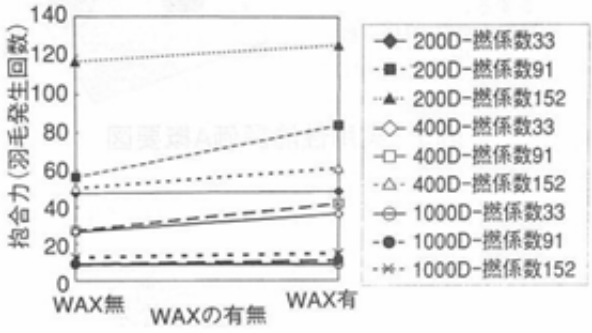


図8　パラ系アラミド糸（フィラメント糸）のWAXの有無と抱合力との関係
（撚係数は共通式番手でのメートル単位）

続いて糊の有無と抱合力の関係を図9に示す。入荷形態の無撚に対してのみの関係であるが無撚に対しては糊の効果はなかった。一見フィラメントの束が糊で固まっているように見えたが実際は抱合力試験機の数回の回転で束が容易にばらけてしまった。追撚した撚係数33以上については糊の効果が予想されるが、糊付は必要がないと思われる。

これらからフィラメント糸の製織条件は入荷形態の無撚に対し撚係数33以上で追撚しWAX有が適当であると考えられる。特に撚係数33[m]は糸メーカーの奨励値で他の機械的性質が最も優れる値であることから最適製織条件は撚係数33、WAX有であると判断した。

2）スパン糸

撚係数と抱合力の関係を図10に示す。スパン糸については通常どおり破断回数で抱合力を評価した。入荷形態の撚係数91は全く抱合力がなかった。本糸に用いられているステープルは長さ51㎜捲縮8山／inで捲縮付与が押込法としているが繊維の性質上あまり強く捲縮がかからないため撚係数91では抱合力が得られなかったと考えられる。しかし、これが撚係数152にまで上げることで極端に高い値を示し、弱い捲縮でも撚係数152まで追撚することで高い抱合力が得られることがわかった。ただ、撚係数152はスナールが激しく撚り止めが必要となるが、表1のとおりパラ系アラミド繊維の融点が非常に高く他の一般糸のような撚り止めができないため抱合力向上のための加工としては適当ではないと考えられる。30／1と20／1の比較では若干太い方が優れるが大きな差はなかった。

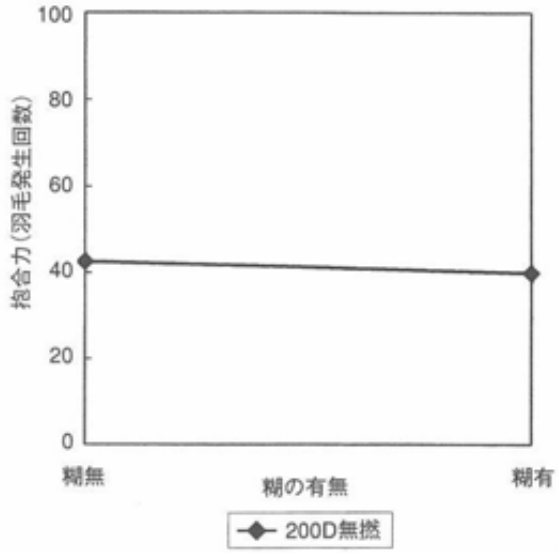


図9　パラ系アラミド糸（フィラメント糸）の糊の有無と抱合力との関係

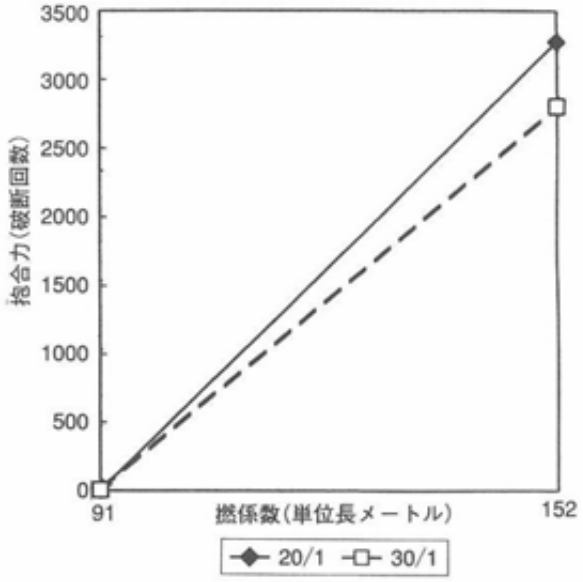


図10　パラ系アラミド糸（スパン糸）の撚係数と抱合力との関係
（撚係数は共通式番手でのメートル単位）

次に糊の有無と抱合力の関係を図11に示す。入荷形態の撚係数91に糊を塗布すると極端に抱合力が上がった。これは糊が単繊維間に入り込み短繊維同士が接着されたためと考えられる。

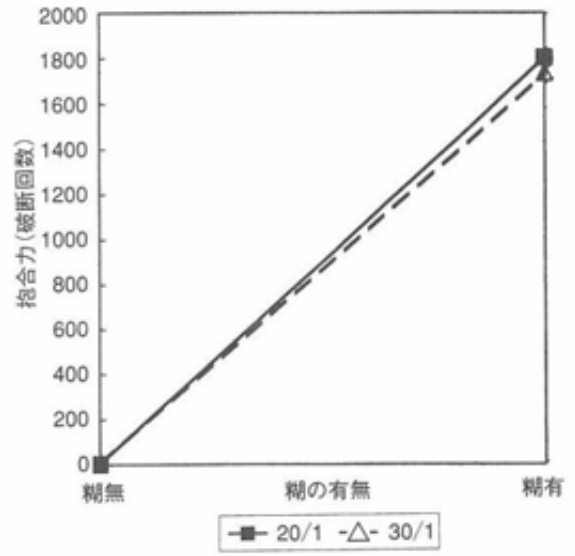


図11　パラ系アラミド糸（スパン糸）の糊の有無と抱合力との関係
（撚係数91は共通式番手でのメートル単位）

また、WAXの有無と抱合力の関係を図12に示す。WAX有がやや悪い傾向にあるがこれは単繊維の滑りが良くなりすり抜けやすくのなるためと考えられる。

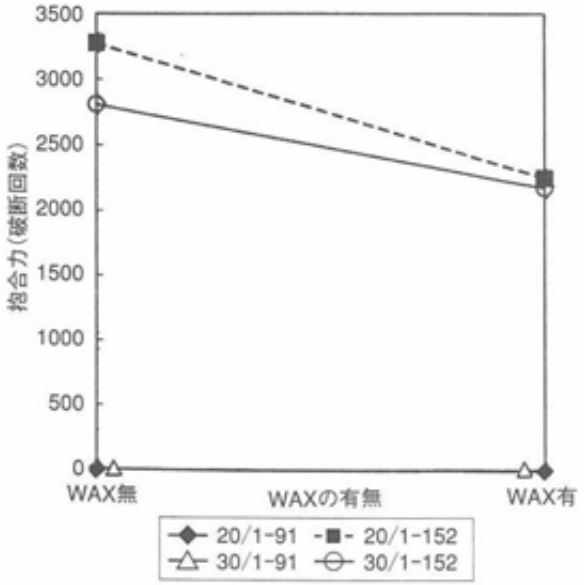


図12　パラ系アラミド糸（スパン糸）のWAXの有無と抱合力との関係
（撚係数91は共通式番手でのメートル単位）

これらからスパン糸の最適製織条件は入荷形態の撚係数91に糊を塗布したものであると判断した。

(2) 糸タイプと耐創傷性等

突発的耐創傷性における各検討糸の比較を図13に示す。たて方向の値は緯糸は関与せずすべて経糸のポリエステル・ウール混紡糸2／60に支配され低い値で、このためよこ方向の値は各検討糸の差がでており、45度方向は経緯糸の両方の影響を受けた値となった。よこ方向の値を中心に比較した。パラ系アラミド糸30／1、20／1、200Dが0.5kgf以上の値を示し、PET糸200Dやポリエステル・ウール混紡糸2／60の0.25kgf程度の2.0倍～2.5倍以上の創傷力があることがわかった。また、パラ系アラミド糸30／1、20／1、200Dの中で30／1が比較的高い値を示したのは各試料の目付量を一定にするために緯糸密度で調整したため30／1が122本／inと一番高いのが影響していたと考えられ、逆に400Dは54本／inと他の半分程度となり、粗密度の織物でナイフが容易に糸間に入り込むため創傷力が低かった。400Dを除く、フィラメント糸とスパン糸の差はなかった。これはナイフがパラ系アラミド糸を切るという状態を詳細に考えるとどの糸タイプで

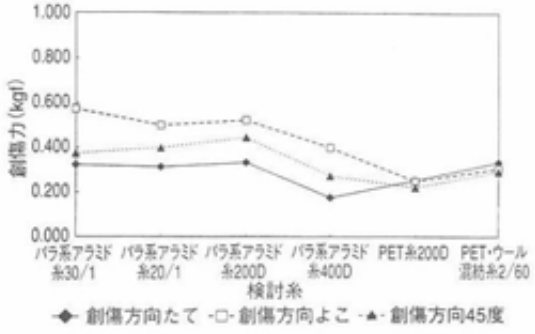


図13　突発的耐創傷性における各検討糸の比較
（組織：1/3斜紋緯2重織、経糸：PET・ウール混紡糸2/60、緯糸表及び裏：検討糸）

も単繊維1.5D直径12μのパラ系アラミド繊維の束を切るという観点では同じであるため差がなかったのではないかと考えられる。

次に耐久的耐創傷性における各糸タイプの比較を図14に示す。前述同様によこ方向の値を中心に比較した。パラ系アラミド糸の30／1、20／1、200DがPET糸200Dやポリエステル・ウール混紡糸2／60に対し優位性があることがわかった。中でもパラ系アラミド糸200Dのフィラメント糸が113回と最も高く、続いてスパン糸の20／1の98回、30／1の91回の順で、PET糸200Dの46回に対し2.0倍～2.5倍程度の摩耗回数であった。また、400Dは、粗密度の織物のため試験直後から糸がよこにずれ、穴があき極端に低い値となった。

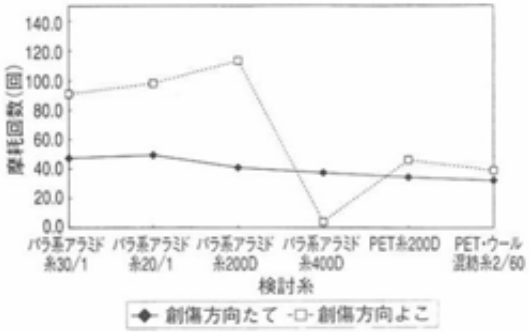


図14　耐久的耐創傷性における各検討糸の比較
（組織：1/3斜紋緯2重織、経糸：PET・ウール混紡糸2/60、緯糸表及び裏：検討糸）

また、弾性率と各検討糸との関係を図15に示す。たて方向はすべて経糸のポリエステル・ウール混紡糸2／60に支配され極めて低い値を示し、よこ方向は各検討糸の差がでており、よこ方向の値を中心に比較した。パラ系アラミド糸の20／1、30／1がPET糸200Dの2.7倍程度、また、パラ系アラミド糸200DではPET糸200Dの6.6倍程度という非常に高い値を示し極めて伸びの少ないことがわかった。

以上より突発的耐創傷性ではスパン糸とフィラメント糸の差はなく、耐久的耐創傷性では若干のフィラメント糸の優位性が見られるが、スパン糸でも充分な高性能が得られることがわかった。また、弾性率ならびにコスト（フィラメント糸のkg単価がスパン糸のkg単価の4倍以上）を考慮するとフィラメント糸の使用は困難とも考えられる。これらを総合的に判断して、製品化にはパラ系アラミド系のスパン糸が適当であると判断した。

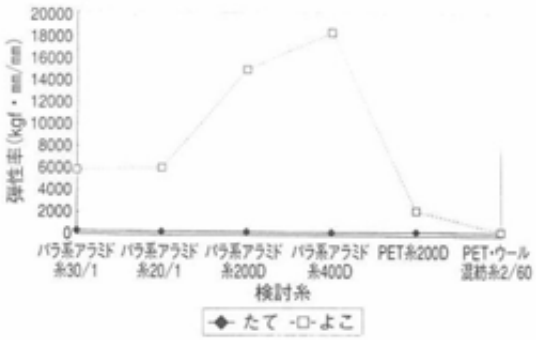


図15　弾性率と各検討糸との関係
（組織：1/3斜紋緯2重織、経糸：PET・ウール混紡糸2/60、緯糸表及び裏：検討糸）

(3) 織物密度と耐創傷性

突発的耐創傷性と緯糸密度との関係を図16に示す。たて方向の創傷力は緯糸密度は関与せず、同じ経糸密度のためほぼ同値で、よこ方向の値は緯糸密度の差がでており、よこ方向を中心に比較した。よこ方向はブリアリーの理論値に対する係数が上がるにつれて創傷

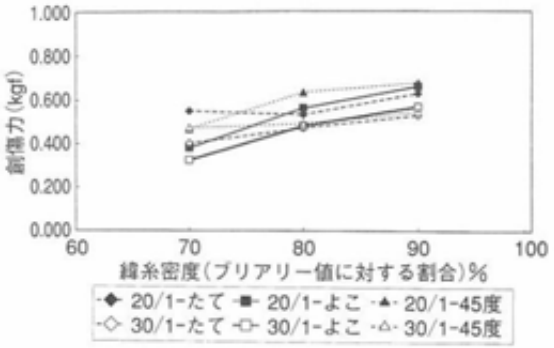


図16　突発的耐創傷性と緯糸密度との関係
（組織：平織、経糸及び緯糸：パラ系アラミド繊維スパン糸、経糸密度85%）

力が上がり、糸密度が高いほど突発的耐創傷性が向上することがわかった。これは糸密度が高いほど糸がナイフに接したとき大きな抵抗となり創傷力の向上につながると考えられる。30／1と20／1の太さの差も顕著にはなかった。図13の結果も踏まえ、突発的耐創傷性は糸タイプより糸密度の影響が大であることがわかった。

次に耐久的耐創傷性と緯糸密度との関係を図17に示す。前述同様によこ方向の値を中心に比較するとブリアリーの理論値に対する係数が上がっても摩耗回数の向上は見られなかった。これは耐久的耐創傷性が一本の糸をペーパーヤスリで削り取るまでの回数に相当するので、織物の粗密は関係なく糸密度を上げても効果がないと考えられる。30／1と20／1の比較では太い方がよく、また、図14の結果からフィラメント糸とスパン糸ではフィラメント糸がよいというように耐久的耐創傷性は糸密度より糸タイプの影響が大であることがわかった。

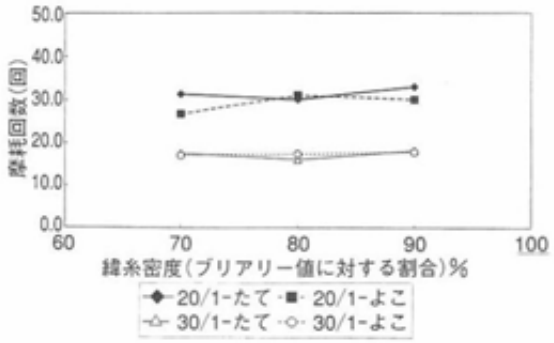


図17　耐久的耐創傷性と緯糸密度との関係
（組織：平織、経糸及び緯糸：パラ系アラミド繊維スパン糸、経糸密度85%）

4.4　製品化

（1）予備試作

突発的耐創傷性における各予備試作品の比較を図18に示す。よこ方向の創傷力はパラ系アラミド糸30／1を用いた織物が0.564kgf、同200Dを用いた織物が0.573kgfとPET糸200Dを用いた織物の0.35kgfに対し1.6倍程度の値を示した。30／1と200Dの差はほとんどなくスパン糸で充分という前項までで確認したことの裏付けがとれた。また、たて方向の値はすべてPET・ウール混紡糸2／60のためともに低い値で、全方向での突発的耐創傷性の優位性を確保するためには経糸にパラ系アラミド糸を使用する必要があることもわかった。なお、グラフ上の記載はないが緯糸配列100%、75%、50%の比較ではナイフの先に当たる糸がパラ系アラミド糸かPET・ウール混紡糸かによりばらついた。

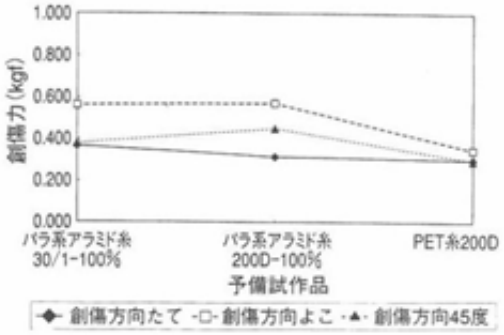


図18　突発的耐創傷性における各予備試作品の比較
（組織：1/3斜紋緯2重織、経糸及び緯糸表：PET・ウール混紡糸2/60、緯糸裏：検討糸）

次に耐久的耐創傷性における各予備試作品の比較を図19に示す。よこ方向の摩耗回数はパラ系アラミド糸30／1を用いた織物が96回でPET糸200Dを用いた織物の42回に対し2.3倍程度の値を、同200Dを用いた織物が114回でPET糸200Dを用いた織物の2.7倍の値を示した。ややフィラメント糸の方がスパン糸より優れるものの、スパン糸でも十分な高性能を示した。また、緯糸配列100%、75%、50%の比較では糸タイプごとにほぼ同じ値を示し、耐久的耐創傷性についてはパラ系アラミド糸100%の使用は必要がないことがわか

り、コストを抑えるための大きな発見となった。たて方向の摩耗回数は前述同様に低く、全方向での耐久的耐創傷性の優位性を確保するためには経糸にパラ系アラミド糸を使用する必要があることもわかった。

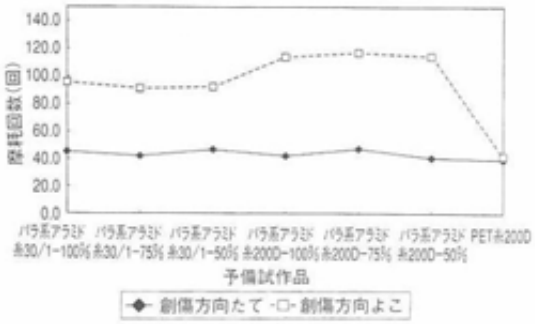


図19　耐久的耐創傷性における各予備試作品の比較
（組織：1/3斜紋緯2重織、経糸及び緯糸表：PET・ウール混紡糸2/60、緯糸裏：検討糸）

弾性率と各予備試作品との関係を図20に示す。たて方向は全てPET／ウール混紡糸のため衣料用途に向く低い弾性率を示したが、よこ方向の値はパラ系アラミド糸30／1を用いた織物がPET糸200Dを用いた織物の2.4倍程度、同200Dを用いた織物が4.5倍程度の高弾性を示した。また、緯糸配列は100%より75%、50%の方が、弾性率が低くなる傾向であることもわかり、パラ系アラミド糸30／1の50%ものでPET糸200Dの1.7倍程度であった。これらよりフィラメント糸よりスパン糸の方が伸びやすく、さらに100%より50%の方が衣料用途に向く傾向であることがわかった。

(2) 本試作

本試作によりできた織物を写真1に示す。表面が経緯糸とも黒糸のPET・ウール混紡糸2／60、裏面が経緯糸ともパラ系アラミド糸本来の持つ黄色のパラ系アラミド糸20／1である。袋部の経緯2重織と接結部の緯2重織が観察でき、表面からパラ系アラミド糸を完全に隠す構造である。

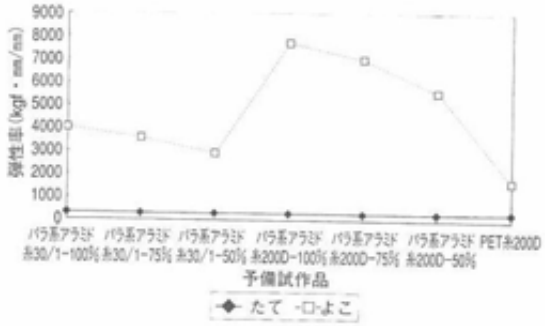
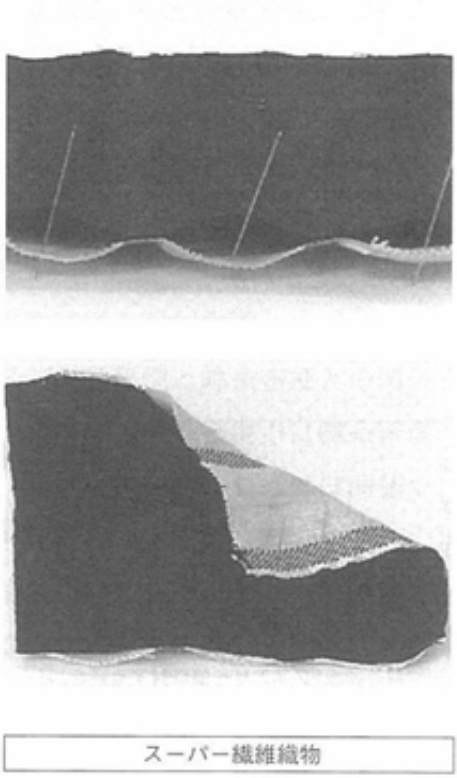


図20　弾性率と各予備試作品との関係
（組織：1/3斜紋緯2重織、経糸及び緯糸表：PET・ウール混紡糸2/60、緯糸裏：検討糸）



スーパー繊維織物

写真1　製品化一本試作品

耐創傷性におけるスーパー繊維織物とレギュラー繊維織物等の比較について数値を表9にグラフを図21に示す。

スーパー繊維織物A（パラ系アラミド糸100%）は突発的耐創傷性がレギュラー繊維織物の1.4倍から1.6倍程度の優位性を示し、

表9　耐創傷性におけるスーパー繊維織物とレギュラー繊維織物等の比較

	突発的耐創傷性(kgf)			耐久的耐創傷性(回)	
	たて	よこ	45度	たて	よこ
スーパー繊維織物A	0.683	0.633	0.666	190	179
スーパー繊維織物B	0.645	0.513	0.635	196	163
レギュラー繊維織物	0.417	0.465	0.444	97	82
作業服(上着)	0.472	0.493	0.407	91	81
作業服(ズボン)	0.429	0.330	0.400	60	76

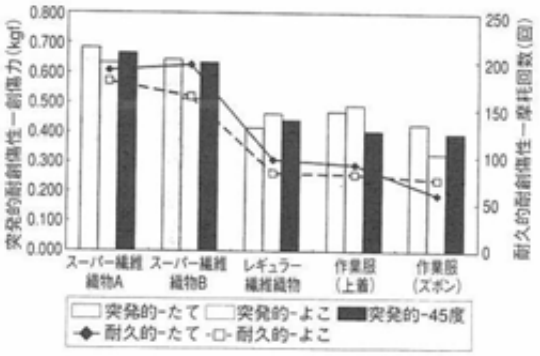


図21　耐創傷性におけるスーパー繊維織物とレギュラー繊維織物等の比較

耐久的耐創傷性が2倍から2.2倍程度の優位性を示した。また、これらの耐創傷性は織物の全方向に対して高性能を示した。

スーパー繊維織物B（パラ系アラミド糸50%）は突発的耐創傷性がよこ方向のみパラ系アラミド糸とPET・ウール混紡糸が1：1のためナイフの当たる位置でばらついた。その他の方向ではスーパー繊維織物Aと同程度の性能を示した。また、耐久的耐創傷性はスーパー繊維織物Aとほぼ同程度の高性能を織物の全方向で示した。市販の作業用上着およびズボンもほぼレギュラー織物と同程度の性能であった。

スーパー繊維織物とレギュラー繊維織物等の弾性率の比較を図22に示す。スーパー繊維織物Aがレギュラー繊維織物のたて方向で2.4倍、よこ方向で3.5倍であり、スーパー繊維織物Bがたて・よこ方向とも2.5倍程度であった。緯糸のパラ系アラミド糸を50%ににすることで伸びがでていることがわかった。

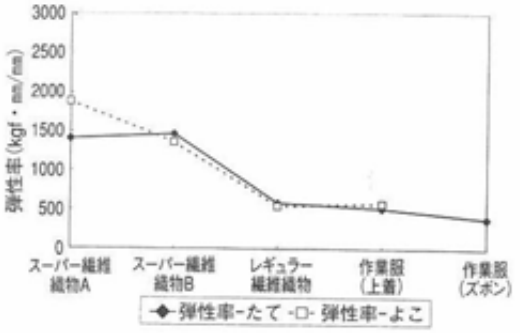


図22　スーパー繊維織物とレギュラー繊維織物等の弾性率の比較

スーパー繊維織物とレギュラー繊維織物等のコストおよび耐創傷性の比較を図23に示す。パラ系アラミド糸20／1のキロ単価を5,000円とし、PET･ウール混紡糸2／60および作業服に用いられPET加工糸333Dのキロ単価を1,500円として計算した材料費である。スーパー繊維織物は耐創傷性の性能向上に伴いコストが上昇しているのがわかった。スーパー織物織物はレギュラー繊維織物の2.0倍程度のコストとなった。

次に実用性能評価Aの結果を写真2に示す。スーパー繊維織物AおよびBは中央でカットして表面と裏面を同時に撮影した。写真2のとおり、レギュラー繊維織物や作業服上着お

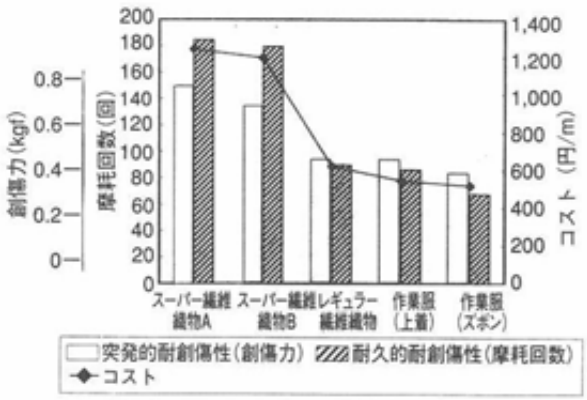
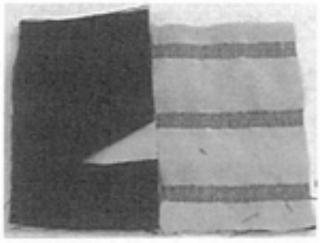
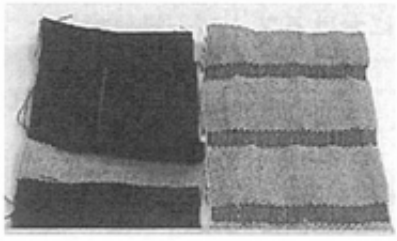


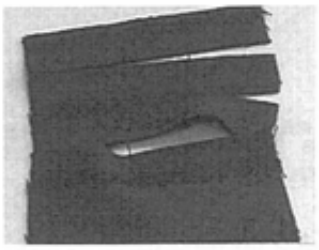
図23　スーパー繊維織物とレギュラー繊維織物等のコストおよび耐創傷性の比較



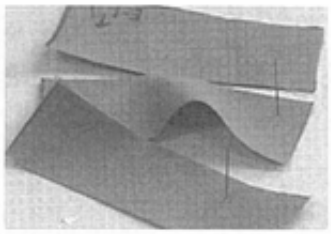
スーパー繊維織物A



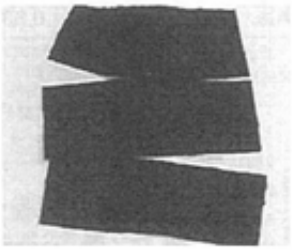
スーパー繊維織物B



レギュラー繊維織物



作業服（上着）



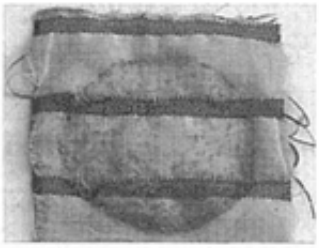
作業服（ズボン）

写真2　実用性能評価Aの結果

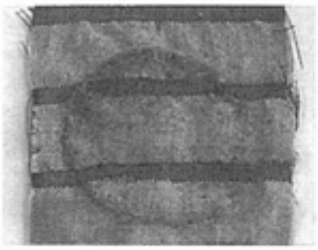
よびズボンがカッターナイフにより鋭利に切れているのが観察できる。スーパー繊維織物AおよびBは表面のPET・ウール混紡糸2／60の面が完全に切れているのに対し、裏面のパラ系アラミド糸20／1の面が切れずに残っているのが観察できる。

また、実用性能評価Bの結果を写真3に示す。写真は擦った裏側の面から撮影した。写真3のとおり、レギュラー繊維織物や作業服上着およびズボンがアスファルト面による擦れで無惨に破れているのが観察できる。スーパー繊維織物AおよびBは写真では観察できないが表面のPET・ウール混紡糸2／60の面が完全に破れているのに対し、写真のように裏面のパラ系アラミド糸20／1の面が破れずに残っているのが観察できる。

これら2つの実用性能評価の結果から、実験室レベルの突発的および耐久的耐創傷性の

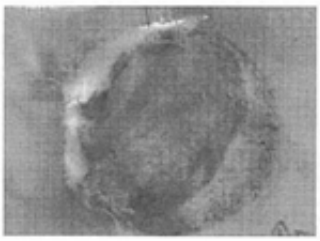


スーパー繊維織物A



スーパー繊維織物B

レギュラー繊維織物



作業服（上着）

作業服（ズボン）

写真3　実用性能評価Bの結果

2つの評価によるスーパー繊維織物の優位性が実用レベルでも裏付けが取れたことになった。スーパー繊維織物が切り傷や擦り傷を防ぐ有効な織物であることが立証できた。

5. まとめ

以上により耐創傷性に優れたスーパー繊維織物を開発することができた。なお、得られた成果をまとめると次のとおりである。

（ア）パラ系アラミド糸の製織可能な抱合力は、フィラメント糸では加撚（撚係数33）とWAX加工で、スパン糸は加撚（撚係数91）と糊付加工（PVA系）により得られ、この条件により製織できることが確認できた。

（イ）切り傷に相当する突発的耐創傷性はパラ系アラミド糸の糸密度の影響が大で、擦り傷に相当する耐久的耐創傷性は糸のタイプ（フィラメント糸＞スパン糸、太＞細）の影響が大であることがわかった。

（ウ）スーパー繊維織物はレギュラー繊維織物に対して突発的耐創傷性で1.4倍～1.6倍程度、耐久的耐創傷性で2.0倍～2.2倍程度の耐創傷性機能の優位性があることがわかった。また、実用面でもスーパー繊維織物はカッターナイフやアスファルト路面などの負荷に対し、高い耐創傷性機能が確認できた。

（エ）耐久的耐創傷性のみを重要視するのであればパラ系アラミド糸の100％の使用の必要がなく、糸配列で1本おきの50％までは性能低下が見られないことがわかった。逆に突発的耐創傷性を重要視するのであれば本糸を100％使用する必要があり、目的に合わせ織物設計を検討する必要がある。

今後の課題としては衣料用途としてはまだ高い弾性率が使用用途を制約する可能性があり、パラ系アラミド糸自体の低弾性化は困難である現状を踏まえ、伸縮付与ができる複合糸を検討する必要があると考えられる。

参考文献

注1　東レ・デュポン㈱ケブラー技術資料