

スポーツにおけるハイテク繊維の応用

京都工芸繊維大学 梶原 莞爾
(共同研究者) 京 都 大 学 宮 本 武 明

Application of High - Technology Fibers in Sports

by

Kanji Kajiwara
Kyoto Institute of Technology
Takeaki Miyamoto
Kyoto University

ABSTRACT

High-technology fibers are developed to cope with the technological requirements in the field of advanced industries. Those fibers may be classified in three categories of high-performance, high-function and high-touch. Since the clothing in sports demands the good physical properties, the various functions and fashionability, high-technology fibers have been instantly applied to the sports goods in order to improve sporting comfort and performance. This report will summarize recent high-technology fibers according to the functions, and demonstrates their applications in sports.

要 旨

ハイテク繊維は先端産業分野に於ける様々な技術的要求に答えるために開発されてきた。ハイテク繊維は高性能、高機能、高感性の3つのカテゴリーに分類される。スポーツ用衣服は優れた物理特性、様々な機能、ファッション性を要求する故、

記録を伸ばすため、また、快適な環境でスポーツを楽しむため、ハイテク繊維はいち早くスポーツ用品に取り入れられてきた。本報告では最近開発されたハイテク繊維を機能に従って分類・総括し、スポーツ用品への応用例を紹介する。

1. ハイテク繊維とは？

歴史的には、ハイテク繊維は産業資材用に開発された高性能あるいは特殊機能繊維に対して付けられた名称である。いずれも先端繊維技術を駆使して作られることから、ハイテク (high-technology) 繊維と呼ばれる¹⁾。衣料用に開発された「新合繊」はシルクライク化技術が基礎になっているが、高度な紡糸技術、テキスタイル化技術が応用されており、新しい感覚のテキスタイル、高感性繊維²⁾が生まれた。ここでは高性能、高機能、高感性繊維を含めてハイテク繊維と総称する。したがって、ハイテク繊維をその物性、機能

表1 ハイテク繊維の分類

タイプ	特 性
高性能	(1) 高弾性率, 低収縮, 耐衝撃 (2) 耐熱, 耐炎 (3) 耐候, 耐光 (4) 耐薬品, 耐腐食 (5) 耐摩耗, 耐疲労
高機能 (特殊機能)	(1) 光伝導, 光感機能 (2) 分離・吸着機能 (3) 高吸水性 (4) イオン交換・吸着機能 (5) 導電, 制電機能 (6) 電磁波シールド, 耐放射線 (7) 光反射, 光吸収, 蓄熱 (8) 自己接着性
高感性	(1) ビーチスキン, 超ソフト素材 (2) ニューシルキー, 超崇高性 (3) ニューспан, ウーステッド調 (4) ドライタッチ, 超ドレープ性

特性に従って分類すると次の表1のようになる。

高性能繊維は高強度・高弾性率のスーパー繊維で代表される。図1に衣料用ナイロン・ポリエステルとスーパー繊維を引っ張り強度で比較した例を示すが、炭素繊維は衣料用ナイロンの10倍以上ある。また、同じナイロンであっても衣料用と産業用では2倍以上の強度の違いがある。繊維の引っ張り強度は繊維の構造、つまりは繊維を構成する高分子鎖の配列状態によることは容易に想像できる。理論的には高分子鎖がすべて同一方向に伸びきって平行に配列すれば、その方向への引っ張り強度は最大となる。高分子鎖は、その分子構造によりストレート型、ジグザグ型、らせん型のいずれかの形態を取る。高分子鎖のヤング率は結合の伸長、結合角の変角、単結合を軸とする内部回転の3つの変形メカニズムで決まるが、力の定数は結合の伸長が最大で、変角、内部回転ではそれぞれ1桁、2桁小さくなる。引っ張り変形に対して、ストレート型は結合の伸長、ジグザグ型は結合角の変角 (+結合の伸長)、らせん型は内部回転 (+結合の伸長、結合角の変角) が主として応じる。したがって、このような形態の引っ張りに対する抵抗 (ヤング率) はストレート型>ジグザグ型>らせん型の順に弱くなる。力の定数が分かっている場合、高分子1次構造から理論的に最大ヤング率を計算することが出来る。表2³⁾に

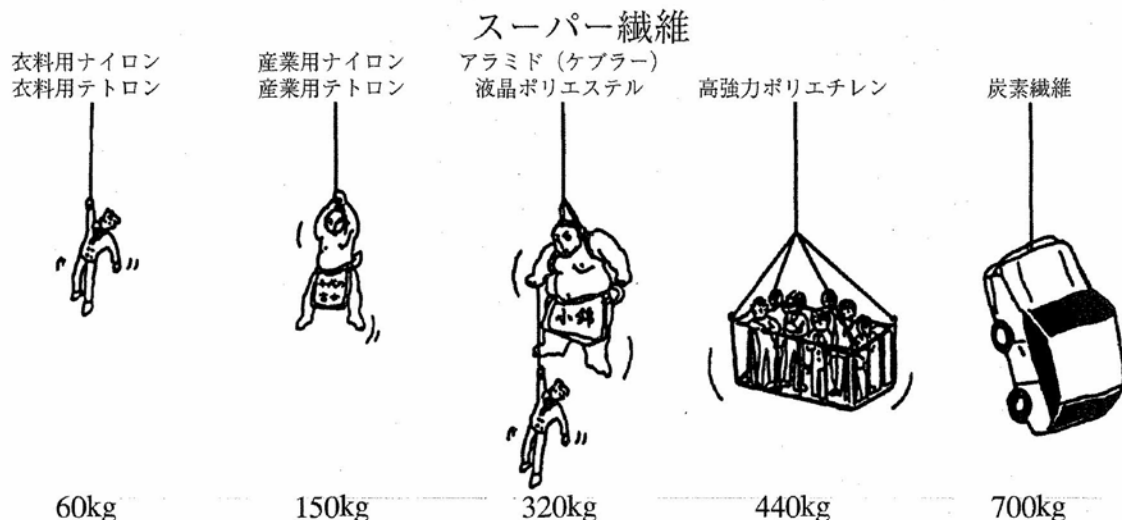


図1 1mm²の断面積の糸でどこまで支えられるか

いくつかの高分子の1次構造と理論計算ヤング率を示す。

分子鎖に垂直方向の結合は、化学結合と違いファンデルワールス力や水素結合のような物理結合で、はなはだ弱い。例えばポリエチレンの分子鎖垂直方向のヤング率は7~9 Gpaであるが、分子鎖平行方向のヤング率は約300 Gpa (表2参照)もある。垂直方向にも架橋反応等により化学結合が導入できれば垂直方向のヤング率も同程度になることが計算機シミュレーションにより示された⁴⁾。高強力・高弾性率のスーパー繊維は一般に耐熱性、耐薬品性に優れ、複合材料として活用されている。

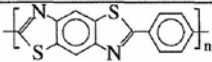
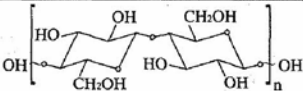
高機能繊維は構成高分子の物性が重要になる。また繊維のマクロな構造(繊維断面の形状、中空、多孔質、等)も機能にとって重要である。繊維の機能化はまた紡糸、紡織、染色加工の各段階で行

うことも出来る。ここ2、3年に開発された繊維(テキスタイルを含む)の内、スポーツに関連あるものを選び、その応用例あるいは応用可能性を総括するのが本稿の目的である。

2. スポーツウェア用繊維の特殊事情

衣服を着る目的には、自然や外敵に対する環境の中で「身を護る」とことと社会の中で「身を飾る」ことの2つあるが、スポーツ環境ではこの2つの衣服機能がより強調される。さらにスポーツウェアの機能としての「身を護る」中には、物理的な身体保護と心理的な身体保護(競技者の動きをより滑らかにする、生理的快適性を向上する)を含み、より積極的な「身を護る」機能が必要である。人とスポーツの関わり方はいろいろある。人がスポーツをする目的も様々である。蔭地⁵⁾による

表2 ポリマーの一次構造とヤング率

タイプ	ポリマー	分子式	ヤング率 (GPa)	
			理論値	実験達成値
ストレート	Poly-yne*	$\text{[-C}\equiv\text{C]}_n$	1273	
	Cumulene*	[-C=C]_n	960	
	Poly- <i>p</i> -phenylene	$\text{[-C}_6\text{H}_4\text{]}_n$	275	
	Poly- <i>p</i> -phenylene-benzo-bis-thiazole		371	320
平面ジグザグ	Polyethylene	$\text{[-CH}_2\text{-CH}_2\text{]}_n$	316	220
	Poly-vinylalcohol	$\text{[-CH}_2\text{-CH(OH)-]}_n$	287	
	Nylon 6	$\text{[-NH(CH}_2\text{)}_5\text{CO]}_n$	312	
	Poly-ethylene-terephthalate	$\text{[-O(CH}_2\text{)}_2\text{OCO-C}_6\text{H}_4\text{-CO]}_n$	95	21
	Poly- <i>p</i> -benzamide	$\text{[-NH-C}_6\text{H}_4\text{-CO]}_n$	163	134
	Poly-paraphenylene-terephthalamide (Kevlar®)	$\text{[-NH-C}_6\text{H}_4\text{-NHCO-C}_6\text{H}_4\text{-CO]}_n$	182	131
	Poly-metaphenylene-isophthalamide (Nomex®)	$\text{[-NH-C}_6\text{H}_3\text{(NHCO)-CO]}_n$	90	10
	Cellulose		173	30**
らせん	Poly-tetrafluoroethylene	$\text{[-CF}_2\text{-CF}_2\text{]}_n$	150	81
	Poly-oxymethylene	$\text{[-CH}_2\text{O]}_n$	150	≈ 100
	Polypropylene	$\text{[-CH}_2\text{-CH(CH}_3\text{)-]}_n$	49	21
	Poly-4-methyl-1-pentene	$\text{[-CH}_2\text{-CH(CH}_2\text{(CH}_3\text{))}_2\text{]}_n$	2.6	

*) 仮想分子 **) 2次元等方試料

とスポーツをする人たちは次の表3のように大きく3つに分類できる。それぞれのクラスの人にとってスポーツをする目的も、スポーツウェアに要求する要素もかなり違うことに気付く。最近ではスポーツウェアの運動性に着目した、着やすく動きやすいという観点からアクティブウェアと言われるジャンルの衣服が注目を集めている。

スポーツウェアの要求性能はその用途により異なる。スポーツをするときに出来るだけ身体の動きを妨げないことがまず第一の条件になるが、競技の種類が増えるに従い、競技によっては衣服を着用することにより身体を保護する必要性が生じた。また記録を伸ばすという観点から、スポーツウェアの素材、形状が積極的な研究の対象となった。スポーツウェアに要求される性能は、(1) 運動機能性、(2) 耐久性、(3) 安全性、(4) 快適性、(5) その他に分類できる⁶⁾。運動機能性は、ウェアが身体の速い動きや大きな動きの妨げとならない消極的機能と、流体抵抗の軽減や身体の保護を目的とした積極的機能がある。スポーツは激しい動き、大量の汗、厳しい環境、激しい接触等、厳しい条件下で行われる。これに付随して洗濯頻度も高く

なる。そのため、引裂、摩耗、破裂、もみ、熱、溶剤に対する強度、光、洗濯、汗、ドライクリーニング摩耗、塩素などに対する染色堅牢度、洗濯、熱（アイロン、乾燥機）に対する形態安定性が要求される。安全性とは、身体の保護（耐熱性、耐衝撃性、耐摩耗性等）、ウェア自体の対身体安全性（皮膚障害、危害を及ぼさない）である。運動機能性や安全性がスポーツウェアとして優先されるのは言うまでもないが、一般スポーツ愛好家にとっては快適性が大きな要求性能となる。快適性は生理的快適性と心理的快適性に区別される。生理的要素には、保温性、吸汗性、通気性、透湿性、防水性、防風性、軽量、風合い、肌触り、衣服圧等があり、心理的要素としては色、柄、デザイン、光沢、ユニークさ、斬新さ、ブランド等が問題になる。スポーツによっては安全性を守るため、あるいは競技に支障をきたさないため、そのウェアにいろいろな規制を設けている。慣習や伝統によりスポーツウェアのスタイルが規制されている場合もある。

以上のような要求性能やその要求優先度はスポーツの種類により異なる。スポーツは「する」、

表3 スポーツをする目的

スポーツをする人達の層	目的	目標	特徴, 他	スポーツウェアに要求される要素
超本格派層	勝つこと 記録への挑戦 厳しい自然への挑戦 職業	目的の達成 国際的な競技大会への出場と活躍 プロになること	スポーツが生活の中で非常に大きなウェイトを占める スポーツの頂点あるいは頂点近くにいる ごく限られた少数派	機能最優先 機能美最優先 プロの場合は舞台衣装であり、華やかさの必要
本格派層	勝つこと 記録への挑戦 自然への挑戦 肉体と精神の鍛錬	目的の達成 国内の競技大会への出場と活躍 超本格派へとレベルアップ	超本格派の予備的存在、将来超本格派を目指す 若い間に自分の肉体や精神を鍛錬することを重視 スポーツに対して本格的に取り組まないといられない人達 高校、大学、実業団のスポーツクラブ	機能重視 機能美重視 機能とウェアの価格のバランス スポーツそれぞれに対する専用性
エンジョイスポーツ派層	趣味 レジャー 健康 社交	目標の達成 精神面・肉体面の健康維持、増進 地域、家族、友人、恋人などとの交流	勝つことや記録にはさほどこだわらない 出来るだけ楽しみながら目標の達成が出来ればよい スポーツ自体、その前後を楽しむ 高校、大学、実業団の同好会	基本的な機能 感性重視 ウェアの価格のバラエティ

「楽しむ」, 「観る, 観せる」ものであるという立場からすると, ウェアは「より機能的に」, 「より快適に」, 「より美しく」なるだろう. 各スポーツのウェアに要求される性能は蔭地によりまとめられているが, 繊維素材の面からみると「軽量」, 「強度」, 「耐衝撃」, 「流体抵抗」, 「耐熱」, 「耐摩耗」は「より機能的な」ウェアの, 「吸汗」, 「保温」, 「防水」, 「透湿」, 「涼感」は「より快適な」ウェアの, 「光沢」, 「ファッション性」は「より美しい」ウェアの属性として分類できる.

3. スポーツウェア用繊維素材の動向

ここ2, 3年, 海外(とくに欧米)のスポーツウェア製造業者は日本の合繊メーカーの開発状況を注意深く観察している. 事実スポーツウェア用のファブリックの輸出は著しく, 1995年以来ほぼ20~30%の伸び率を達成している⁷⁾. 1990年までの高強度, 高弾性率といったスーパー繊維の開発が一段落し, 現在開発の焦点はより快適な繊維素材に向けられている. スーパー繊維は複合材料として多くのスポーツ用具に应用されている. 釣具, ゴルフクラブのシャフト, テニスラケットには炭素繊維, アラミド繊維, ボロン繊維等引張強度, 引張弾性率が大きいスーパー繊維を主体とする複合素材の使用により, 用具性能が著しく向上したことは周知の事実である.

スポーツウェアの開発には新素材の果たす役割がとくに大きい. 新素材は高価格であることが宿命である. しかし, 炭素繊維の消費は航空・宇宙産業以外ではスポーツ・レジャー産業で多いことは, 高価格であっても性能・機能が消費者を満足させればその需要は大きいことを示している. 言い換えれば, 高価格新素材を積極的に取り込めるスポーツウェアは, その衣服機能がより強調された形で要求されることと相まって, 新繊維素材の開発の指針ともなり得る. 前述したように, 最近の合繊各社はスーパー繊維開発が一段落し, 「快

適性」に研究の的を絞りつつある. 次の各項にはここ数年に合繊各社が開発したハイテク繊維素材をまとめる. なお, スポーツに関連した1995年までのハイテク繊維に関しては, 東レ・早川氏の優れた総説⁸⁾があるので, ここではそれ以後市場に現れたハイテク繊維を主として取り上げる.

3. 1 はっ水・防水繊維素材

雨の日も快適な衣服環境でスポーツをしたい. このような夢を実現するために高耐水圧・高透湿の繊維素材がいろいろ開発されている. 透湿防水性は, 雨水(100 μ m以上)より小さく, 水蒸気(0.0004 μ m以下)より大きい孔は, 雨は通さず汗は蒸発させる原理を利用する. 一般に耐水圧と透湿性は反比例の関係にあり, 耐水圧, 透湿性共に高めることは技術的に矛盾する部分がある. その技術課題を解くために, 各社はそれぞれ独自のアイデアで取り組んできた.

防水布はパラ紡(パラフィン防水布)といわれる木綿のオイルコーティング布やナイロンのゴム引き布が主流であったが, 重く, 防水性能はよいものの透湿性がないため, 着用感が悪かった. 現在はより柔軟・軽量・高機能で快適な防水素材が開発されつつある. 多孔質膜を基布織物にコーティングあるいはラミネートするタイプと, 高密度織物にして耐水圧を保持させるタイプがある. 織物構造では透湿性は良いものの耐水圧に劣り, コーティング・ラミネートタイプは耐水圧は良いが透湿性に劣ることは容易に推察できる. 一般に市販されているコーティングタイプでは耐水圧0.05~0.1 kg/cm², 透湿度4000~50000 g/m²·24hrs, ポリウレタンラミネートタイプで耐水圧1~2 kg/cm², 透湿度3500~55000 g/m²·24hrsであった. フッ素膜ラミネート(GoreTex®)が耐水圧1~3 kg/cm², 透湿度7000 g/m²·24hrsを達成して以来, 耐水圧, 透湿度共に向上した新素材の開発が盛んになった.

コーティングタイプで温度により細孔の開閉を

調節する機能を持つ商品も現れた。水蒸気透過機能特性を有する形状記憶樹脂を応用して、低温寒冷着用環境では保温機能を優先し、高温温暖環境では透湿性を優先する素材として「あぜくら」が開発された⁹⁾。「あぜくら」は形状記憶樹脂をナイロンあるいはポリエステル生地裏側に5~15 μ mの膜厚にコーティングしたもので、衣服内温度が樹脂のガラス転移温度以上になると分子運動により分子間隔が開き水蒸気を透過する仕組みになっている(図2)。

ポリマー分子の温度変化による分子-分子間隔の開閉機構



水滴平均径 10,000~200万Å

図2 「あぜくら」の水蒸気透過機構

スポーツのタイプによる要求耐水圧と雨の程度の目安は、通常のアスレチックで0.05 kg/cm² (しとしと雨), ゴルフ0.1~0.3 kg/cm² (並雨), スキー0.5~1 kg/cm² (大雨), マリンスポーツ1~3 kg/cm² (豪雨), 登山3 kg/cm²以上 (暴風雨) である。

製品

* プルーフエース (Prooface®) ユニチカ (株)

コーティングタイプの超高耐水圧、高透湿素材。ユニチカは、ポリウレタン系コーティング膜を超微粒子セラミックス含有ポリウレタン樹脂で調整することにより、5~10 μ mのポリウレタン特有の細孔と、セラミックスによるサブミクロン以下の多数の超微細孔のタイプの異なる細孔をコーティング膜中に形成させることにより、高耐水性と高透湿性の両立を達成した。プルーフエース(2層品)とプルーフエースⅧ(3層品)の2タイプが用意されているが、2層品では耐水圧1kg/cm²以上で透湿度8000g/m²・24hrs, 耐水圧1.5kg/cm²以上で透湿度7000g/m²・24hrs, 耐水圧2kg/cm²以上で透湿度6000g/m²・24hrs, 耐水圧3kg/cm²以上で透湿度6000g/m²・24hrsがあり、防水性と透湿性のバランスにより素材を選択できる。3層品は耐水性向上を目指したもので、プルーフエースⅧ-Zで

は耐水圧4kg/cm²以上(透湿度5500g/m²・24hrs)を達成している。

* タフレックスHR (Tuflex®) ユニチカ (株)

ノンコーティングタイプの耐水圧素材。ポリエステル極細繊維(0.3d, 0.5d)を利用した高密度多層構造織物で、コーティング、ラミネートを施していないので高透湿性を有している。超はっ水加工を施すことによりはっ水性を付与し、ポリエステル極細繊維の高密度多層構造が耐水性を維持する(図3)。高密度多層構造は防風効果もあり、スキーウェア、ゴルフウェア、ウィンドブレーカー等のアウトドアスポーツウェア用に開発された。耐水圧0.25kg/cm²で透湿度8000g/m²・24hrs以上かつ通気度0.07cm³/cm²・sec以下, 耐水圧0.1kg/cm²で透湿度9000g/m²・24hrs以上かつ通気度0.3cm³/cm²・sec以下, 耐水圧0.12kg/cm²で透湿度9000g/m²・24hrs以上かつ通気度0.15cm³/cm²・sec以下の3タイプが用意されている。

* ハステックス (Hastex®) 東洋ポリマー (株)

フッ素樹脂は優れた耐薬品性、耐熱性、非粘着性、はっ水性、低摩擦性、電気絶縁性により家庭用品から電気部品に至るまでいろいろな分野で応用されている。繊維分野ではフッ素樹脂膜コーティングによる超耐水圧、透湿素材GoreTex®が既

に市場化されている。フッ素樹脂は優れた物理特性を持つ反面極めて成形しにくく、とくに繊維化は不可能と考えられていた。ハステックスは新しく開発された純フッ素樹脂繊維で、通常は繊維径 $20\ \mu\text{m}$ (ナイロン3d相当) の製品が標準であるが、技術的には $10\ \mu\text{m}$ (ナイロン0.8d相当) まで可能である。PFA (テトラフルオロエチレン・パーフルオロアルキルビニルエーテル共重合体), FEP (テトラフルオロエチレン・ヘキサフルオロプロピレン共重合体), ETFE (エチレン・テトラフルオロエチレン共重合体) の3タイプのフッ素樹脂が素材で、その繊維は表4のような特徴を持つ。

ハステックス繊維はマルチフィラメントとステープルがあり、羊毛、綿、絹、ナイロン、ポリエステル等との混紡およびフィラメント撚糸が可能である。図4はハステックスと他のベース繊維の混紡織物のはっ水モデルと実際例であるが、フッ素樹脂のはっ水性が混紡織物でも良く保持されて

いる。はっ水性、透湿性が要求されるアウトドアスポーツウェア用素材、はっ水性でかつ低摩擦性であることを活かして競技用水着素材としての用途が考えられる。難燃性、防汚性であることから建築用 (カーペット, 劇場・自動車・電車のシート, 等), 医療用 (病院シーツ, 手術着, 等) への応用, 耐薬品性, 耐候性は漁網, 消防ホース, ろ布といった工業用用途が見込まれている。

* マイクロフト<レクタス> (Microft[®]Rectas[®]) 帝人 (株)

蓮の葉表面には突起があり、その突起の間に空気層を作ることにより水をはじき出す。レクタスは織物表面の極微小捲縮が蓮の葉の突起と同様な働きをし、織物表面に空気層をつくることで超はっ水性を実現した。織物構造によりはっ水性を実現しているの、従来のはっ水加工織物に比べると洗濯堅牢度が高い。極細ポリエステル繊維の茅草構造をとっており、透湿・通気性にも優れてい

雨 (水滴) の大きさ
100 ミクロン (霧雨) ~
3000 ミクロン (雷雨)

機 構 極細繊維を使用した
高密度多層構造

汗 (水蒸気) の大きさ
0.0004 ミクロン

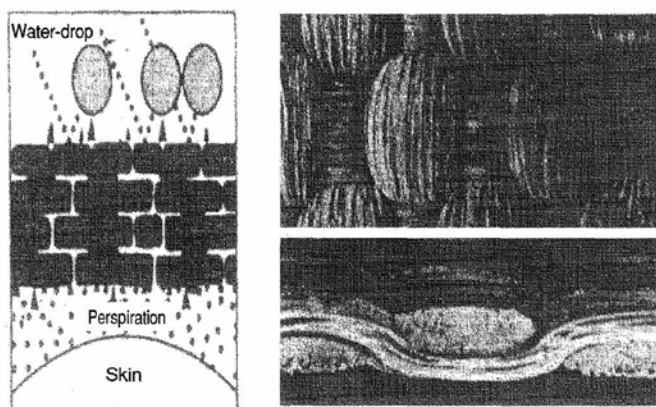


図3 「タフレックスHR」の多層構造

表4 フッ素樹脂繊維の特徴

樹脂の種類	PFA	FEP	ETFE
比重 (g/cm ³)	2.17	2.17	1.70
融点 (°C)	310	260	270
連続使用温度 (°C)	260	200	150
限界酸素指数	>95	>95	30
水接触角 (°)	110	105	90
耐薬品性 (酸, アルカリ, 有機溶剤)	いずれにも◎	いずれにも◎	いずれにも○
標準繊維径 (μm)	10, 15, 20	10, 15, 20	10, 15, 20
強度 (g/mm ²)	1200	1200	1400
強度 (g/d for 20 μmφ)	0.8	0.8	1.2
伸び率 (%)	30	20	20
構造式	$-(\text{CF}_2\text{CF}_2)_m$ $(\text{CF}_2\text{CF}(\text{ORf}))_n-$	$-(\text{CF}_2\text{CF}_2)_m$ $(\text{CF}_2\text{CF}(\text{CF}_2))_n-$	$-(\text{CF}_2\text{CF}_2)_m$ $(\text{CF}_2\text{CF}_2)_n-$

る。耐水圧性を向上する目的で織物裏面にポリウレタンをコーティングしたタイプがマイクロフトで、パラ系アラミド複合糸（テクノーラ）を使った高性能織物に裏面ポリウレタンコーティングを施したテクノーラマイクロフトが登山服等ヘヴィーデューティー用に開発されている。

*テクノセンサー（Technosensor®） 帝人（株）

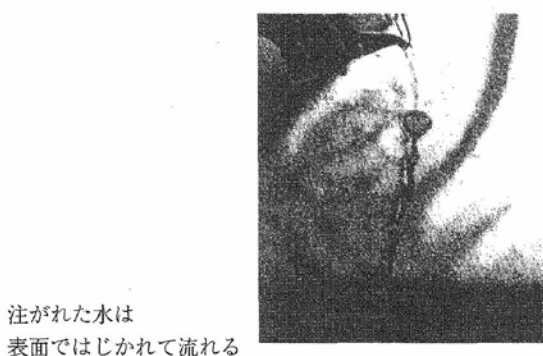
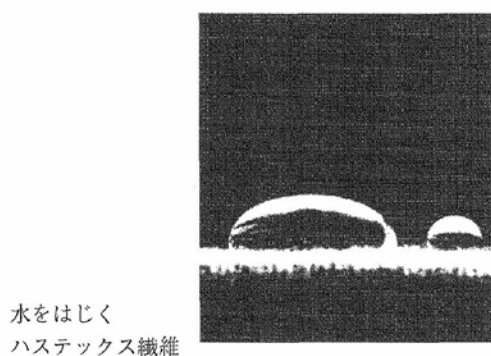
均一な微細多孔質構造を持つポリウレタン系透湿フィルムを湿式製膜技術で基布（高密度織物）表地にラミネートした高透湿防水織物。耐水圧 $2\text{kg}/\text{cm}^2$ 、透湿度 $80000\text{ g}/\text{m}^2\cdot 24\text{hrs}$ と、透湿性を損なうことなく高い耐水圧を保持している。

3. 2 吸汗・速乾素材

日本の夏は高温多湿のため、吸汗・速乾素材の需要は大きい。衣服内気候と快適性の関連は図5¹⁰⁾に示すが、快適な範囲は意外と狭く、衣服内温度 $31\sim 33\text{ }^\circ\text{C}$ 、湿度 $40\sim 60\% \text{RH}$ の範囲を外れると不快になる。運動強度による発汗状態は図6¹¹⁾に示すように環境温度により異なるが、ソフ

トボール程度の運動であっても外気温度 $20\text{ }^\circ\text{C}$ で気相汗領域（蒸し暑く湯気の立つような気体状の汗が発汗している状態）から液相汗領域（液体状の汗が流れる状態）に入る程度の発汗があり、かいた汗が速やかに衣服外へ放出されない限りは衣服内気候としては「全く不快」になる。

「清涼感」や「爽やか感」は、布、糸、繊維と皮膚との間に水の膜がなく、動作時の接触抵抗が少なく、活発な通気熱移動状態を指す。サマーウールのように、強撚糸等の糸形態の集束化により布地空隙率拡大するのが従来の「清涼感」を増す手段であった。また、糸の凹凸が肌触りに好感覚を与えることから、繊維表面にサブミクロンの凹凸を付け接触感を改善する技術も開発された。1/fゆらぎをもつ織構造は見た目にも涼しく、肌触りも良いという報告もある。しかし、体表面から発散する水分が多く、温湿度が高くなると、より積極的に水分を外気へ放散し、衣服と皮膚の間に絶えず乾いた空気相が形成されている状態に



“ハステックス” 繊維のはっ水モデル

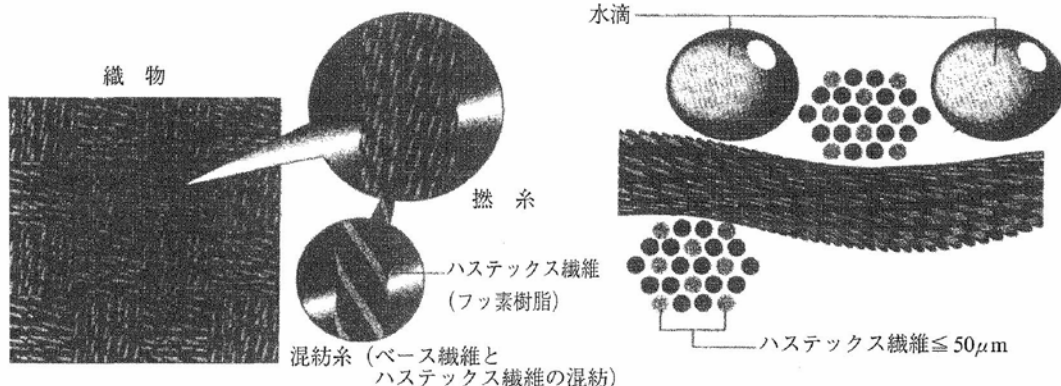


図4 「ハステックス」繊維のはっ水

する必要がある。この目的で各社は吸汗・速乾素材の開発を進めている。開発のポイントは、①体表面から発散する水分を出来るだけ早く布帛表面へ移動し、大気へ発散すること、②皮膚と布帛裏面の間に水の膜がない状態にする、の2点であろう。

吸汗・速乾素材としては2つのタイプがある。吸水性アクリルやナイロン、ポリエステルを改質し繊維自体が水・湿度を吸収する素材と、布帛の組織構造を工夫して吸水、拡散、発散するようにした素材に分類できる。図6の不感蒸泄領域（人間はあまり感じないが、気体状の汗を緩やかに出している状態）では一般に木綿の吸湿性を活かした肌側綿構造のもので十分清涼感が得られる。気相汗領域では、木綿が汗を吸収すると吸収効果が

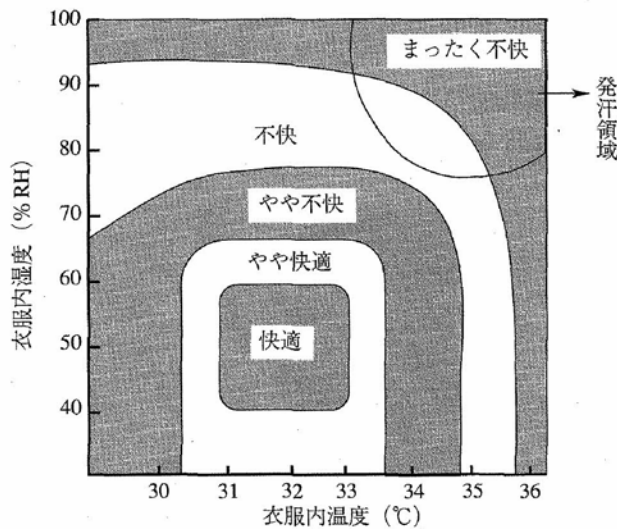


図5 衣服内気候と快適性の関連

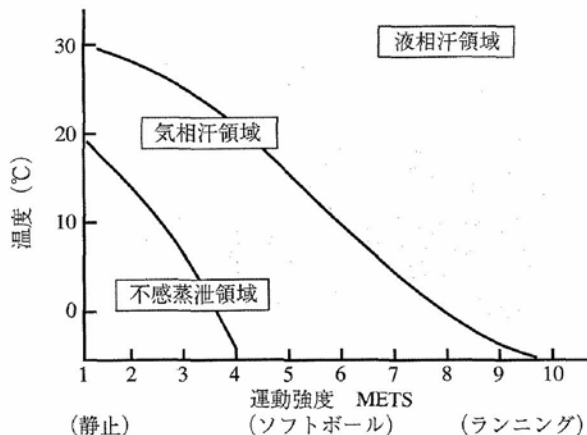


図6 環境温度と運動強度による発汗領域

劣り、生地がべとつき着用者に不快感を与える。濡れた生地が直接肌に触れないよう、非吸湿性の合成繊維を肌側に、吸湿性の綿を外気側にした2相構造の布帛が開発された。スポーツ時には液相汗領域に入るが、この領域では2相構造布帛はもはや有効でない。汗を連続吸収し積極的に外界へ放出する必要がある。このような連続吸収性と速乾性を兼備する布帛も最近開発されている。

製品

* ツインボーン (Twinbone®) 東レ (株)

生地の上表面相が吸湿性のある天然繊維（木綿、ウール、麻）、肌と接触する面（裏面相）が合成繊維で点接触するように設計された2相構造体編み物。布帛構造は図7に示すが、気相状の汗は吸湿性繊維（表面相）で処理し、液状の汗は裏面相の合成繊維の毛細管現象により上層部へ吸い上げ、表面相の吸湿性繊維で吸収、外気中へ蒸散させる。裏面相の合成繊維部分が肌面に点接触するので濡れた布帛が直接肌に触れることがなく、間にある空気相が保温性を高める効果もある。

* P.C.K.®東レ (株)

吸汗・速乾2相構造編み物の最表面相に耐摩耗性に優れたポリエステル加工糸相を加えた3相構造体編み物。裏面相は透水性に優れたポリエステル極細糸を使用、肌と点接触するようになっており、毛細管現象により液状の汗を吸い上げる。中

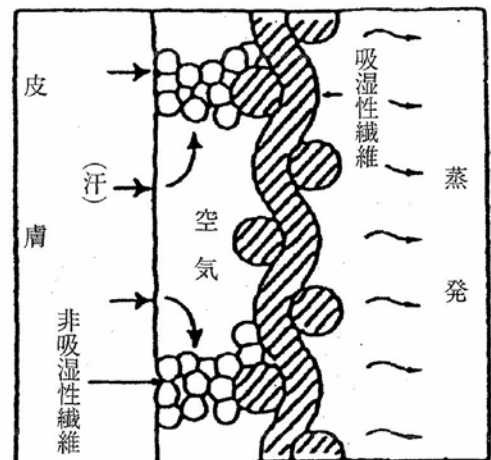
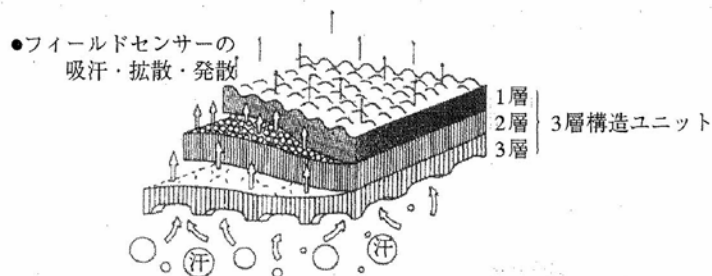
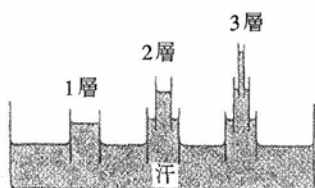


図7 「ツインボーン」の布帛構造



●自然の原理を応用した特殊吸水メカニズム



●東レ・テトロン®100%の太さの異なる糸、繊維（毛細管）を組合せ、2層、3層の組織構造で水分を移動させ逆流させない。独特の吸水機構を持つニット素材

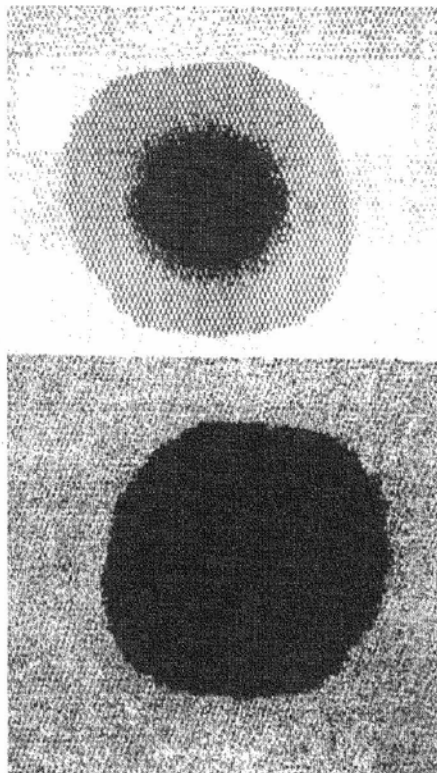


図8 3層構造による吸汗・拡散・発散のメカニズム (a) と、吸汗状態 (b)

間相は吸湿性・吸水性に優れたポリエステル綿混紡糸が使われ、蒸発する汗を吸湿すると同時に、吸い上げた液状汗を拡散し表面相に運び出す。表面相は耐久性に優れたポリエステル加工糸が使用されており、全体として3相構造体を成している。そのため、着用時の皮膚の温度降下が少なく温かく、吸湿性・吸水性に優れ、耐久性・耐摩耗性にも優れている。

* フィールドセンサー (Fieldsensor®) 東レ (株)

樹木は毛細管現象を巧みに利用して木の根から吸った水を20mの高さまで導管を通して移動させている。この場合水を一気に20mまで持ち上げるのは不可能なので、根元付近の導管は直径25mm位、中間では10mm位、先端では1.5mm位と順次に毛細管の径を細くして段階的に水を吸い上げている。フィールドセンサーはこの原理を応用した多層構造のポリエステルニットで、図8に示すように肌面に接している裏面から表面側へ細孔径が異なる3相 (DP構造; Differential Porous Structure)

“LUMIACE”の断面写真

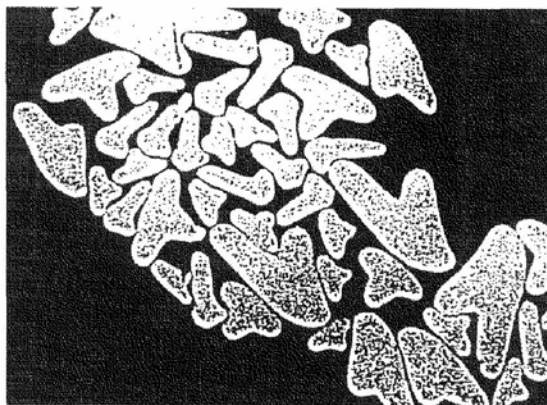
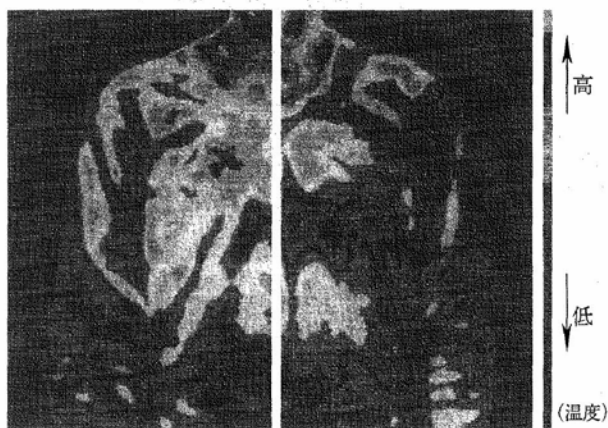
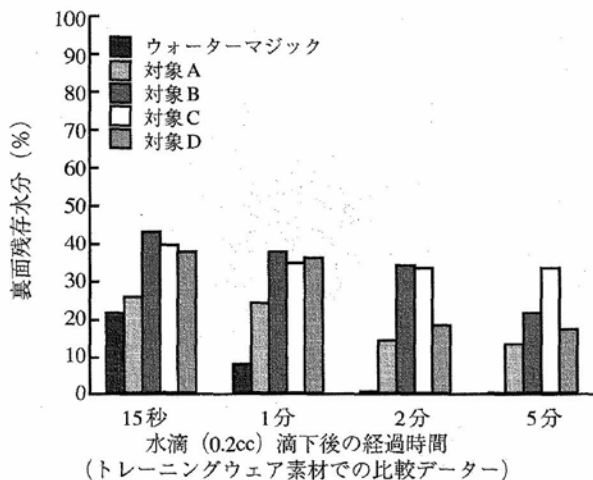


図9 不定型断面による繊維間空隙

で構成されている。素材自体は疎水性で吸水能はなく、繊維間の空隙が毛細管として働くことを利用している。したがって、連続吸水性があり、また、吸収された汗は肌面から生地表面へ一方向透水するため、べとつき感がない (図8)。

* ルミエース (Lumiacce®) ユニチカ (株)

不定型断面を有する異なる織度 (0.5d ~ 2d) のポリエステル繊維の集合体。不定型断面のため、糸の断面には大きな隙間が形成され (図9)、汗



従来品 ウォーターマジック
(25℃ 快晴 6月 40分ランニング後)
図10 布帛裏面の水分残存率と
運動による皮膚温度上昇

蒸気を速やかに通過させる。各繊維が多くの接触点、接触面を有するため、細孔径が異なる毛管の擬多層構造となり、連続吸水性を保持する。各繊維間の隙間が空気を含むため、軽く、熱の放出も早い。ウェア内に熱がこもらない。

* ウォーターマジック (Water Magic®) (株) クラレ

ポリエステル極細繊維による表面相、中間相、裏面相の3相構造ニットファブリック。裏面が肌と点接触するように捲縮のある素材をメッシュ・パイル組織にし、中間相は高レベルの吸汗・拡散相として極細繊維の高密度組織として毛細管現象を活用している。表面相、中間相のプレーティング部と裏面のメッシュ部はタック結節して、中間相、裏面相は完全に隠されている。汗の乾燥速度が速く、汗の蒸発に伴う蒸発潜熱による冷却効果

が運動による皮膚温度上昇を抑える。図10に示すように布帛裏面の水分残存率は時間と共に速やかに減少し、吸水1分後のドライ感は対照品と比較して3~4倍良好であり、2分後では水分残留は認められなくなる。そのため運動による皮膚温度上昇も、運動10分後わずか1.5度であった。

* エクゼ (EXE®) (株) クラレ

体表面の水分を大気へ放出するためには、水分を布帛表面へ輸送する必要がある。吸汗・速乾素材では水分の輸送は主として毛細管現象を利用している。ポリエステルは疎水性であるので接触角が大きく毛細管現象の利用という面からは不利である。しかし、綿のような親水性素材では吸水することにより弾性率が下がり、濡れた布帛が皮膚と密着して空気相をなくすため、不快感を生じる。クラレは、水接触角を下げ毛細管現象による水の輸送効率の向上と、吸水による繊維弾性率の低下の阻止を目指し、表面が親水性ポリマー (エパール; 水酸基を持つエチレン・ビニルアルコール共重合体)、芯部が疎水性ポリマー (ポリエステル) で構成された芯鞘複合繊維構造を持つエクゼを開発した。繊維表面が親水性であるため、合成繊維特有のぬめり感がなく、同組織のポリエステル布

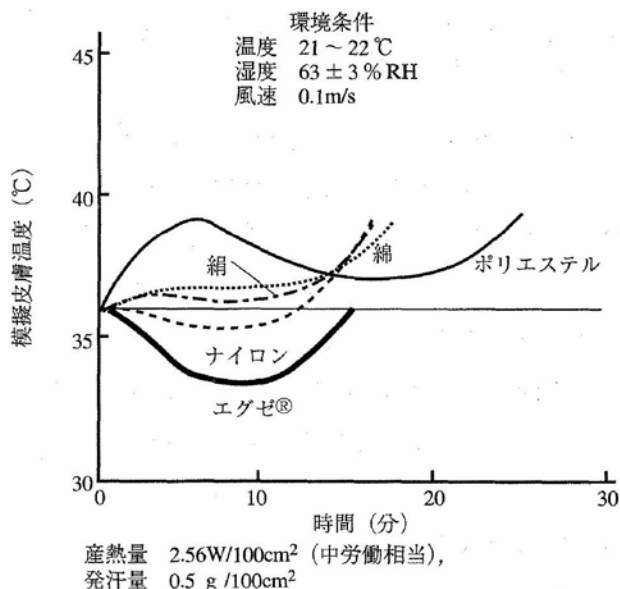


図11 中労働運動時の皮膚温度の上昇

帛に比べて水の乾燥が早い。そのため、少量の発汗を伴う中労働運動時には水の気化熱により皮膚温度の上昇が抑えられる (図11)。防汚性も良好で、ポリエステルと同等である。マラソンシューズの本甲用Wラッセル素材の裏地に使用されているが、着用時のシューズ内温度が最大1.5℃差あり、放熱効果が高いことが分かる。

*サーモメイト (Thermo Mate®) 東洋紡 (株)

速乾性はないが、水の気化熱を利用して積極的に「冷やす」素材が開発された。アクリル系の超吸水性繊維で構成される複合中綿を裏地と表地でサンドウィッチにした構造 (図12) で、中層の吸水繊維が水を吸着膨潤し、保水する。その多量の水が気化する際、気化熱により内部の熱を奪い、皮膚表面の温度上昇を抑える。直接皮膚と接触する裏面には吸汗性素材を使い、べとつきを防いでいる。

水だけで爽快、清涼

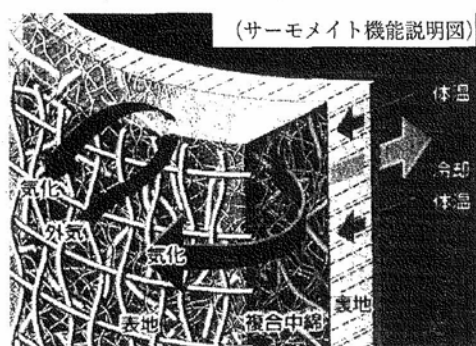


図12 気化熱により冷却する

3.3 超強力繊維素材

「クモの糸より細く、鋼鉄より強く、絹より美しい」というのがナイロンが市場に現れた頃の謳い文句であった。絹の持つ優美で繊細な光沢が衣

料用繊維の理想であった。合成繊維開発の第一目標は絹を人工的に作ることであった。絹の光沢を作るため、断面が円形でなく、鋭いエッジを持つ糸を紡糸する技術 (複合紡糸) が開発され、現在は絹の光沢のみならず絹なりのする合成繊維も作り出されている。クモの糸より細い糸は複合紡糸の技術をさらに発展させることにより完成され、現在では極細繊維として人工皮革や新合繊 (高感性繊維, 表1参照) に応用されている。ちなみに地球から月までの距離は384,400kmあるが、髪の毛を結んで月へ到達するためには854kg, 絹糸は42.7kg必要であるのに、現在市販されている極細ポリエステル繊維では2.2kg, 実験室レベルの極細ポリエステルではわずか0.004kgの量の繊維で十分である。鋼鉄よりも強い繊維はナイロンですでに実現されていた。空気中の自重切断長 (自重で切れる長さ) は鋼鉄の場合37kmであるが、ナイロンでは92km, 超強力繊維といわれる炭素繊維, アラミド繊維は180km程度, 超強力ポリエチレン繊維は実に340kmに達する。図1にはこれらの合成繊維がどの程度の重さのものを釣り下げる事が出来るか比較した。合成繊維のもうひとつの特徴は軽いことである。合成繊維の高強度・弾性率と軽さは複合材料 (強化プラスチック) の素材革命をもたらし、宇宙・航空といった先端産業やスポーツ用具に広く応用されることとなった。スキー板, テニスラケット, ゴルフクラブ, 野球用バット, 釣竿, 等の素材には炭素繊維に代表される超強力繊維構成複合材料が主流になっており、それぞれの素材の物理特性を十分に活かすため用

表5 超強力繊維の基礎物性

項目	p-アラミド	炭素繊維	ゲル紡糸PE	セラミック: アルミナ	PBZT ¹⁾	PBO ²⁾	ポリアリレート
引張強度 (Gpa)	2.6-3.4	1.8-7.0	2.6-3.5	1.4-2.3	4.0-4.6	2.8-5.8	2.4-2.7
弾性率 (Gpa)	54-127	230-540	87-117	154-380	320-340	280-360	500-880
破断伸度 (%)	2-4.6	0.4-2.4	3.5	0.4-1.1	1.0-1.4	1.8-2.5	2.4-3.8
密度 (g/cm ³)	1.39-1.44	1.75-1.95	0.97	2.7-4.2	1.6	1.57	1.37-1.41
分解温度 (℃)	>500		150			650	>400

¹⁾ poly (p-phenylene benzobisthiazole)

²⁾ poly (p-phenylene benzobisoxazole)

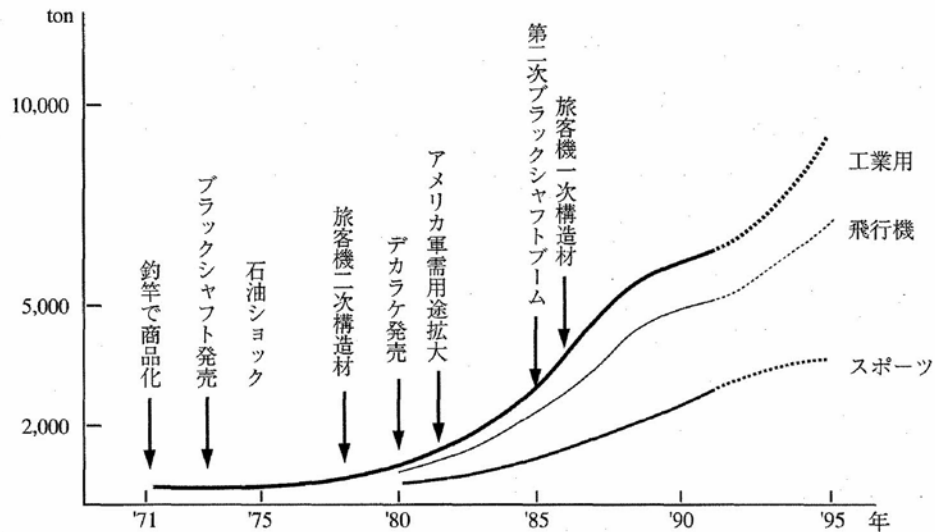


図13 世界の炭素繊維需要の推移

表6 1kgの重量減による経済効果 (円)

品目	節約効果
ロケット・人工衛星	2400万円
ミサイル	18万円
ヘリコプター	4～18万円
航空機	8千～18万円
船舶・工業材料	5千円
自動車	5百円以下

具のデザインまで必然的に変えることとなった¹²⁾。現在市場にある超強力繊維の物性を表5で比較する。それぞれの繊維の詳細は総説¹³⁾を参照していただきたい。

炭素繊維が現在強力繊維の内最も広く応用されている。炭素繊維の需要の推移を図13に示すが、炭素繊維の応用はまずスポーツ分野で始まり、その後航空機構造材として採用された。炭素繊維複合材料は力学特性に優れているのは言うまでもないが、「軽い」ことが輸送関連分野で応用された理由であろう。表6では重量1kg減量による経済効果を示すが、航空・宇宙関連では重量軽減の経済効果が非常に大きいことが分かる。事実航空機への炭素繊維の応用は、1981年には1機(Boeing 767)当たり1トン(炭素繊維強化複合材として総重量の3%)の使用量に過ぎなかったが、1994年には1機(Boeing 777)当たり8.4トン(炭素繊維強化複合材として総重量の15%)に増えている。この傾向はさらに続くものと思われ、次世代

の超音速航空機や戦闘機では、総重量の50%以上が炭素繊維強化複合材になると予想されている。

炭素繊維はその他いろいろな分野で応用されている。自動車・鉄道では炭素繊維強化プラスチック製車体はスポーツカーを中心に普及し始めているし、リニアモーターカーではそのほぼ80%が炭素繊維強化プラスチックになると予想される。環境問題と関連して、天然ガスやアルコールを燃料とする自動車が開発されているが、そのガスタンク補強には炭素繊維が不可欠である。船舶・海洋用途では高速輸送船、土木・建材用途では超高層建造物、大規模建造物(エアドーム、橋、等)、エネルギー用途には電池用電極材に需要が見込まれている。

スポーツ用途としては、まず釣竿に応用された(1971年)。釣竿に要求される性能は、①軽い、②折れない(最大曲げモーメントが大きい)、③所望の調子(適度な曲げ剛性)、④潰れない(庄壊に強い)ことが要求される。炭素繊維強化プラスチックが導入される以前、釣竿の重さは1kg以上あったが、現在は300gを切るものが出てきている。ゴルフのブラックシャフト(炭素繊維強化プラスチック)が現れたのが1973年、テニスのデカラケは1980年に発売された。その後スキー板、野球バット、自転車フレーム、等に応用された。

「軽い」特徴をフルに活かした例はラミネートセールであろう。理想的なヨットの帆は軽く、伸びにくく、頑丈でなければならない。繊維とプラスチックフィルムを重ね合わせたラミネートセールは1970年代に登場したが、帆のデザイン改良と相まってヨットの帆に革命をもたらした¹⁴⁾。ラミネートセールはマイラー（ポリエステルフィルム）、補強繊維、ポリエステル生地で構成される複合材料生地（図14）で、補強繊維としてはゲル紡糸ポリエチレン繊維が用いられている。表5から分かるように、高弾性ポリエチレン繊維の対ポリエステル弾性率は11.8倍、強度は4.5倍あり、かつ密度が小さいため、理想的な帆の条件を

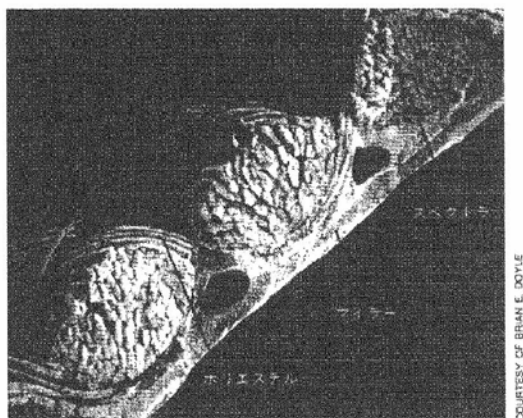


図14 帆に使う複合材料生地

ほぼ満足する。3次元ラミネートと呼ばれる帆では、補強繊維が使用時に掛かる力に沿って配置するよう設計されている。補強繊維としては、*p*-アラミド（ケブラー）（1980年代）に採用され、ついで高弾性ポリエチレン繊維（1980年代中頃より）、炭素繊維（1992年）が採用され現在に至っている。以下に最近市場に現れた超強力繊維を紹介する。

製品

* ザイロン（Zylon®）東洋紡（株）

剛直で極めて直線性の高い分子構造を持つポリパラフェニレンビスオキサゾール（PBO）を液晶紡糸した繊維。基本物性は表5参照のこと。PBO繊維は極めてしなやかで、柔らかい風合いを有し

ており、フィラメント、ステープル、織編物、フェルト、チョップド繊維、パルプ等各種形態に加工できる。スポーツ用には高弾性率、高強度を利用してセールクロスに、高強度、低クリープを応用して和弓弦に（*p*-アラミドの3倍以上の耐久力がある）、高弾性率、高強度、振動減衰性を利用してテニスラケットに（炭素繊維と組み合わせて、球の弾き感を損なわずに振動減衰性を向上し打球感が良くなる）、高強度、耐熱性、耐摩耗性を利用してライダーズーツに使用されている。

* テクノラ（Technora®）帝人（株）

p-アラミド系繊維。基本物性は表5参照のこと。釣り糸、硬式野球ボール用縫糸、ロープ、自転車用ベルト、ゴルフクラブ、テニスラケットに使用されている。*m*-アラミド系繊維も同社よりコネククスという商品名で販売されており、その難燃性を利用してライダーズーツに使用されている。

3.4 軽量繊維素材

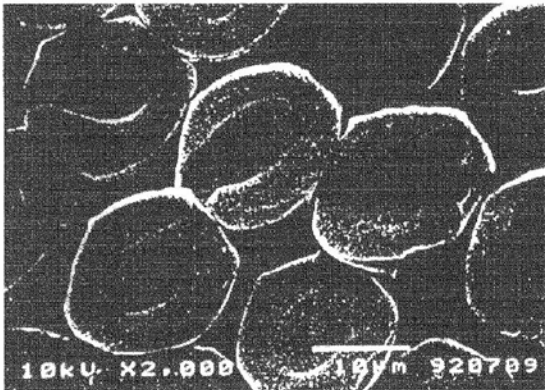
「天の羽衣」は人間の衣服の1つの理想であろう。着ると空を飛ぶような軽い衣服、着ているか着ていないか分からないような軽い衣服。これが「天の羽衣」の原型であろう。繊維の軽量化は繊維の見掛けの密度を減らせばよい。衣料素材の軽量化として「中空繊維」が古くから考えられてきた。繊維を中空化することにより中空部分はデッドスペースとなるため繊維の見掛けの密度は低くなる。同時に中空部分の空気（熱伝導率が小さい）が保温材の役目を担い、結果として中空繊維は軽量保温素材となる。しかし、軽量化を達成するために中空率を上げると、製造の安定性、中空率の安定性が確保しにくく、後次加工工程・着用時に中空形状が潰れ中空でなくなる、あるいは甚だしい場合、繊維が破壊するという欠点があった。

最も比重の小さい繊維はポリプロピレンで0.91であるが、合成繊維として最も普及しているポリエステルは1.38もある。したがって、ポリエステル繊維を水に浮かせるためには中空率を

27.5%以上にする必要があり，ポリプロピレンと同等の見掛け比重にするためには中空率を34.1%にしなければならない．中空率を例えば36%として計算すると，管壁の厚さを1としたときの中空部の直径は3となり¹⁵⁾，感覚的には6割位が中空になっているように見える．つまり断面が単糸3デニールとして計算すると管壁の厚さは $4.38\mu\text{m}$ に過ぎず，これは0.19デニールの丸断面ポリエステルフィラメントに相当することになる．中空糸紡糸技術は極細繊維製造技術以上の高度な技術が必要であり，各社ともその技術開発に工夫を凝らしてきた．

中空糸は軽量保温素材としてだけでなく，中空構造を機能として応用することも可能である．例えば血液透析や人工肺等医療分野では中空糸管壁を分離膜として利用することにより効率のいい過器として実用化されている．また中空部分に芳香剤，脱臭剤や吸熱剤を入れ機能化を図ることも出来る．

※中空化前



製品

*キラット (Kilatt®) カネボウ合繊 (株)

キラットは原織製造時に中空糸にするのではなく，織編物とした後，染色加工工程で中空化することにより，中空糸の仮撚工程で中空部が潰れる欠点をなくした．中空糸化する前の繊維は通常のポリエステルあるいはナイロンとほとんど同じであり，仮撚加工が可能で伸縮性，嵩高性を持った中空糸が得られるのが特徴である．芯鞘型複合紡糸で得られた原織は丸形断面を持つ通常糸と変わらず，染色加工工程で中心部分が溶かし出され，C型の断面を持つ擬中空糸となる (図15)．繊維の縦方向に走るスリットを介した毛管現象による水の移動により，その織編物の吸水性が大きい．

*マイクロアート (Microart®) ユニチカ (株)

マイクロアートは多軸交差中空構造を持つナイロン糸で，特殊#型断面形状によりはっ水性も有する (図16)．また特殊な繊維形状は織物にしたとき繊維間に空隙を生じやすく，繊維自体の空洞

※中空化後

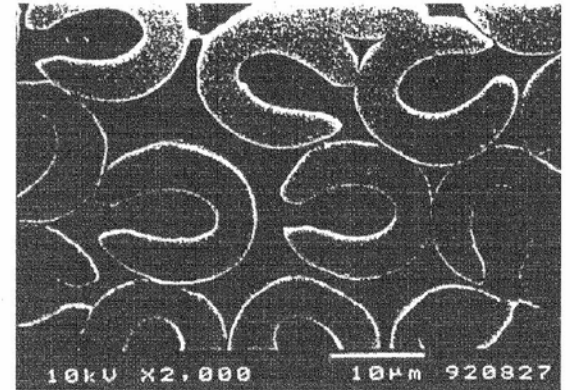
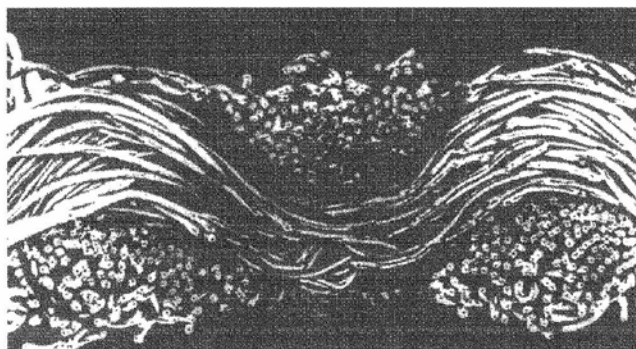


図15 C型断面擬中空糸の断面写真



- LIGHT WEIGHT
- HEAT INSULATION
- WATER REPELLENCY



図16 多軸交差中空構造ナイロン糸

と相まって軽く、嵩高性があり、ぬくもり感がありながらドライタッチであり、独特の光沢を有する。

* ウェルキイ (Welky®) 帝人 (株)

超高速紡糸技術 (HOY) を応用したポリエステル中空糸。HOY 製糸のため、レギュラータイ 0.01 ~ 3 ミクロンの多孔中空断面構造 ウェルキイ® スポーツウェア、カジュアルなどに

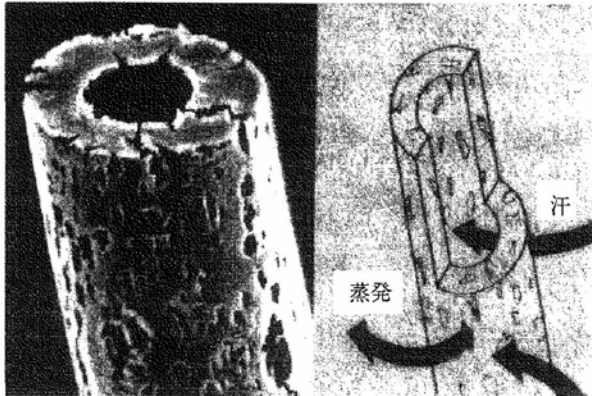


図17 側面に微細孔を有する中空糸

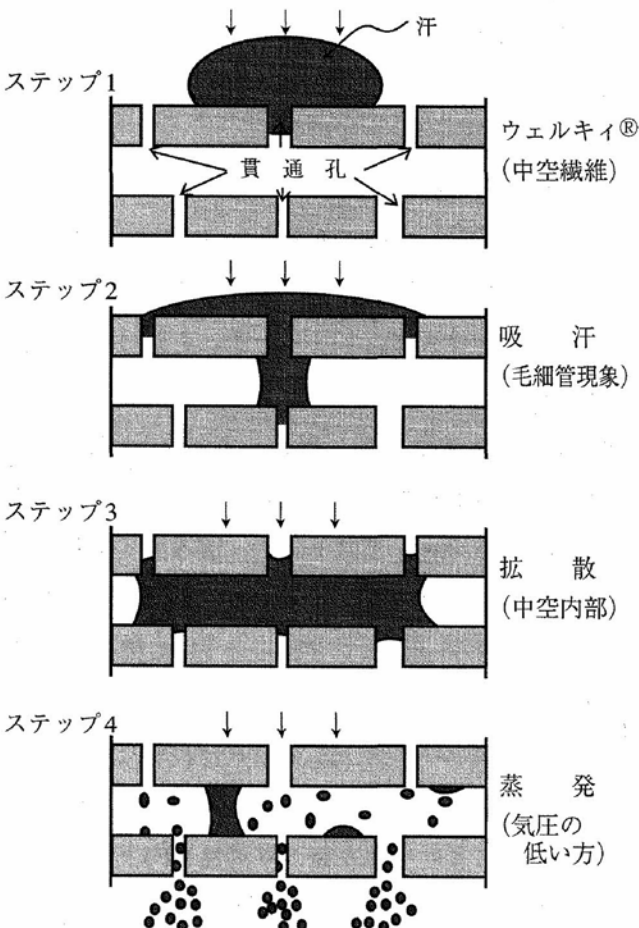


図18 側面に微細孔を有する中空糸の吸汗メカニズム

プに比べて結晶サイズが大きいいためフィブル性が向上し、低モジュラスのため豊かなドレープ性がある。フィラメントの中空側壁に直径0.01 ~ 3μmの微細孔が貫通している (図17)。側面に均一に分布している微細孔が毛細管現象により汗を吸い取るため、サラッとしたドライな肌触り感がある。

側面に細孔を持った中空糸は各社から出されているが、いずれもドライタッチを売り物にしている。その吸汗メカニズムを図18に示すが、側面微細孔の毛細管現象による吸汗、中空部への拡散、微細孔を通しての蒸発の3ステップが想定されている。

* エアロカプセル (Aerocapsule®) 帝人 (株) 15)

中空率を35 ~ 40%に高めた非円形断面中空糸。正方形断面を有するため、中空率が高いにも拘わらず「はり」や「こし」が十分ある。通常の中実糸に比べて同じ目付なら保温性は6 ~ 7割高く、同じ保温性なら6 ~ 7割軽い。中空率の糸間、糸内バラツキが大きく、断面の変化が起こりやすいため、短ピッチの筋状の糸斑が生じる欠点がある。異型断面のためフィブリル化しやすい。「ウェルキイ」と同様に、側面に細孔を付けた吸汗素材「エアロカプセル・ドライ」も開発されている。

3.5 低摩擦素材

人が泳ぐときに生じる全抵抗の内、水着による抵抗は5%程度である。例えば100mを50秒で泳ぐ場合、身体が受ける水抵抗は約10kg/m²になる。生地が少ない方が摩擦は少ないが、水着を着ることにより皮膚が流水で波打つのを抑え、結果として裸で泳ぐよりは水着を着る方が早く泳げる。水着は身体に密着し空気相を含まないことが望ましいし、その表面はなるべく平坦であることが重要である。

競泳用水着は「薄くて、良く伸び縮みする」素材と、「身体に完全にフィットし、泳ぎやすい」デザインの両面が必要である。ポリウレタン弾性糸 (スパンデックス) は伸縮性の面から水着には

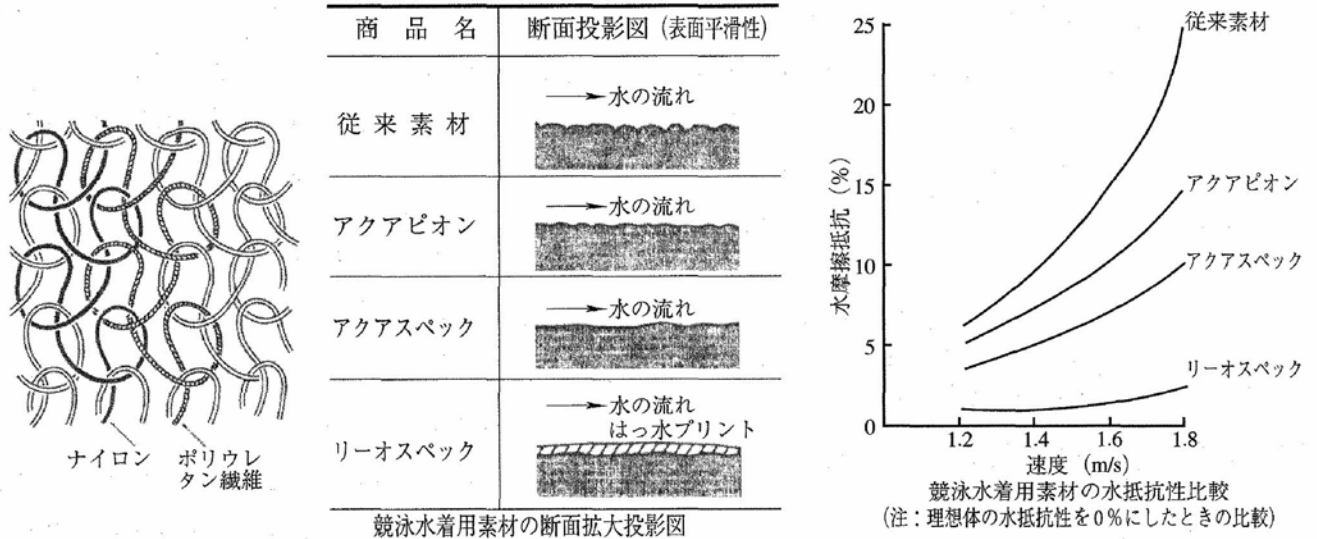


図19 低水抵抗素材

最適の素材である。現在は図19に示すTwo wayトリコットが水着の基本構造になっている。そこで水着表面をいかに平滑にするかが競技用水着の開発のポイントとなる¹⁶⁾。しかし、被膜加工で表面を平滑にすると、水着と身体の間に入った水が抜けにくくなり、かえって水抵抗を増し泳ぎにくくなる。この観点から、直径8.5 μ mの超極細ナイロンとポリウレタン弾性糸を高密度に編み上げた「アクアピオン (東レ, ミズノ)」がソウル五輪に向けて開発された。従来の水着に比べて、伸縮性が2倍あり、水抜け性も良く、表面の凹凸は約1/2にまで平滑化されているため、水との摩擦抵抗は流速1.8m/秒で約10%小さくなる(図19参照)。

バルセロナ五輪(1992年)で採用された「アクアベック (東レ, ミズノ)」では、超極細ポリエステルとポリウレタン弾性糸を高密度に編み上げ、さらに特殊プレス加工により表面平滑化を図っている。表面の凹凸は「アクアピオン」よりさらに1/2平滑化され、水抵抗性は約5%小さくなった。アトランタ五輪用素材「リーオスベック (東レ, ミズノ)」は、表面平滑性のよい低水抵抗性素材の表面に水を弾くはっ水剤を縦縞状にプリント加工して、水抵抗性が「アクアスベック」よりもさらに約8%小さくなった。

水抵抗を減らすには、水着表面で水がいかにスムーズに流れるかによる。魚は体表面からヌルヌルした粘液を出し、水の流れをスムーズにすることにより水との摩擦抵抗を小さくしている。また、ゴルフ球のように表面にディンプルがある方がかえって水の流れがスムーズになる。現在は水着表面にヒドロゲルを塗布したり、水着表面に突起を付けたりして、水着表面での水の流れがどのように変わるかが研究されている。

流体との摩擦抵抗を低減することにより記録が伸びるのは競泳に限ったことではない。スケート競技、スキー競技(ジャンプ, スラローム, ダウンヒル, クロスカントリー)それぞれに表面平滑性に優れた素材が開発されている。スケート競技用「コスモスベック (東レ, ミズノ)」は単糸1デニールのポリエステル長繊維とポリウレタン弾性糸のTwo wayトリコットで、編み立て後熱処理により生地表面を平滑化している。「レクセ3層ボンディング (帝人, デサント)」の構造は、第1層がポリエーテル・エステル系高弾性糸「レクセ」と極細ポリエステルを組み合わせたハイゲージTwo wayトリコットで、極細糸をハイゲージで編むことにより生地表面の平滑性を向上させ空気との抵抗を減らし、第2層が防水透湿フィルムで、防水性、透湿性、防風性を保持し、第3層が「レ

クセ」と「エアロカプセル」(前節参照)を組み合わせ、ダンボールの断面形状によく似た、軽量かつ嵩高なニット組織を持ち、耐衝撃性、軽量性、保温性を向上している。

3.6 その他の機能性素材

現在はいろいろな要素技術を組み合わせて任意の機能を持つ素材を開発することが可能になってきた。図20²⁾にまとめたように複数工程にまたがる要素技術を組み合わせることにより、最終製品にはほぼ希望通りの特性を付与することが出来る。軽量素材の項でも述べたように、軽量素材として開発された中空繊維は、中空部の空気(熱伝導率小)が断熱材の役目をするため、保温素材として

の機能を持つが、その中空部(芯部)に機能性物質を入れることによりまったく新しい機能性素材となる。中空部に炭化ジルコニウムを配置した「ソーラーα(ユニチカ、デサント)」はその草分け的な存在で、炭化ジルコニウムが太陽光を吸収して熱エネルギーに変換し、その熱を衣服内へ放出することにより積極的に保温する太陽光吸収・蓄熱素材である。太陽光吸収・蓄熱素材としてその後開発された素材に「ケルビンサーモ(東レ)」がある。これはコーティングタイプの太陽光吸収・蓄熱素材で、表層がサーモクロミック層(感温変色層)、内層がセラミック層の2層構造になっており、外気温が高いときは表面が白くなって

Combination of Elemental Technologies for Specific Fabric Characteristics

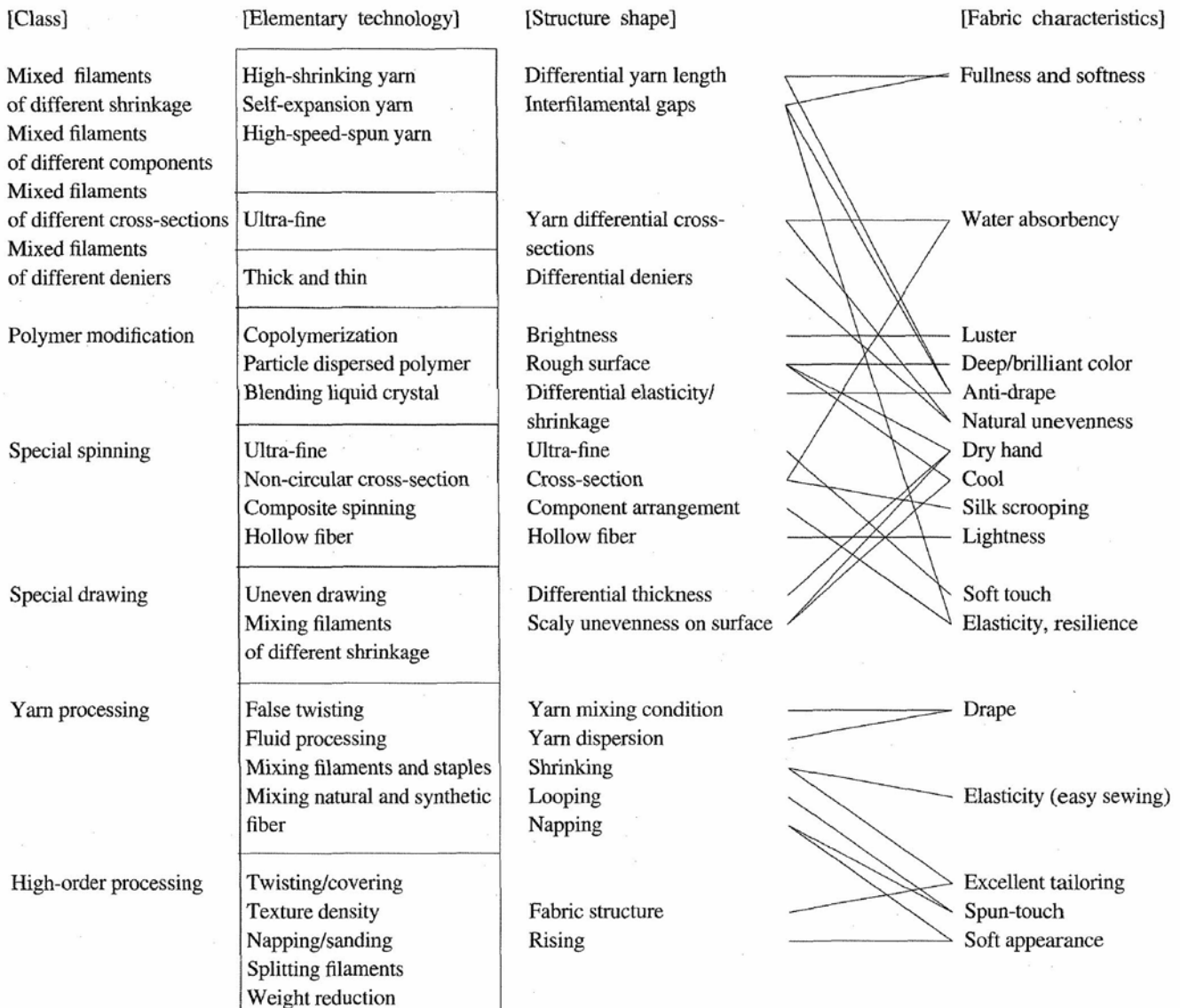


図20 要素技術と繊維物性との関連

太陽光を反射し、外気温が下がると表面が黒くなって太陽光を吸収し、セラミック層にエネルギーを伝播して遠赤外線を放射する。「感温変色」の機構は温感変色素材「スウェイ（東レ）」¹⁷⁾で開発されたものと同じで、色彩成分と発色剤（電子受容体）、消色剤が共存している系では発色剤あるいは色彩成分の一方がある温度で消色剤に溶解することにより色が消えることを利用する。色彩成分、発色剤、消色剤をマイクロカプセルに封じ込め、コーティング層に分散させる。色変化は有色（低温）－無色（高温）、有色（低温）－有色（高温）の2タイプがあり、変色温度は－40～＋80℃の範囲で自由に設定できる。温度差は原理的には±4～5℃で、消色サイド（高温側）の色は白、黄、ピンク、ブルーの4色がある。「着て楽しいウェア」として開発されたが、色の変化を太陽光吸収・反射機能として応用したのが「ケルビンサーモ」である。

「サーモメイト（東洋紡）」（3.2参照）は水の気化熱を利用した「冷やす」素材であるが、ア

クリル系吸水繊維が吸水するときに発生する吸着熱を応用して吸湿発熱素材が開発されている。「プレスサーモ（東洋紡）」はアクリル系吸水繊維を中綿とした3層構造で、ウールの約3倍の吸湿発熱性能がある。例えば25℃、RH80.5%の環境では、ウール、ダウン羽毛の吸湿率がそれぞれ17.3wt%、13.9wt%に過ぎないのに、プレスサーモの原綿は50.8wt%あり、水1g当たりの吸着熱はほとんど変わらないものの乾燥繊維1g当たりの吸着熱は吸湿率に比例して大きくなる。

透けそうなのに透けにくい水着として現れた白い水着「ボディシエル（東レ）」は2年ほど前のヒット商品である。水着の多く使われるナイロンは屈折率が低いため透明性が高く、白や薄い色の場合肌透けてしまう。とくに水に濡れると一層透けやすくなるため、白い水着は市場に出回らなかった。「ボディシエル」で開発された透け防止素材（図21）はナイロンの芯の部分に白色顔料を含む不透明ポリマーを星形に配置して、どの角度から入射した光も乱反射する構造になっている。ポリエステル系の透け防止素材（図21）である「ボディシエルα（東レ）」では、白色顔料による色のくすみを避けるために、不透明ポリエステル（含微粒子）を約0.8μmの透明薄皮（カチオン染料可染型ポリエステル）で包んだ芯鞘構造になっている。

4. まとめ

新合繊開発の過程で、既存の要素技術の組み合わせではほぼ任意の物性を持つハイテク繊維素材を作れることが分かってきた²⁾。繊維への要求機能は多種多様である。現在の技術力でこの多様な要求をある程度満たすことは可能である。要素技術は図20にあるように、複数工程にまたがっている。合繊の高機能化、高性能化は図20の要素技術を各工程においてどのように組み合わせればいいのか、を示す技術マップが図22である。つまり

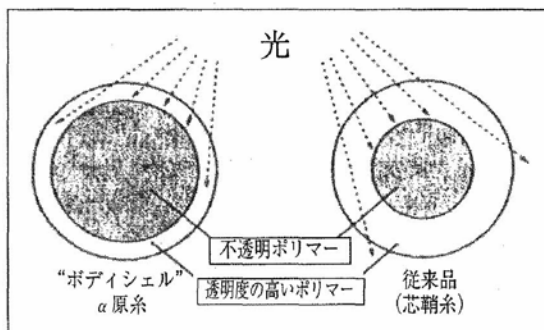
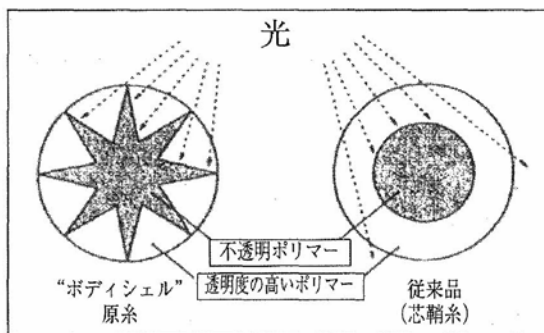


図21 透けにくい繊維の構造

機能・性能		ポリマー樹脂	成形紡糸	延伸熱処理	加工糸紡績糸	織物編物	不織布紙	化学加工	物理加工	縫製	評価技術	商品
汎用合繊	工程革新 省力、省エネ コスト低減	Reg (Br,SD,FD)	高速紡糸 POY・USY STY・SDTY	ダブルツイスター	空気精紡	WJL・レビア AJL ジャカード織編 シンカー編	ニードルパンチ	ラピッド染色 連続染色 アルカリ減量	パフイング カムフィット	コンピューター グレーティング 自動ミシン CADシステム	染色斑 耐久性	工程改革 コストダウン
天然繊維ライク	綿ライク 絹ライク 羊毛ライク 麻ライク	レーヨン アセテート ポリマーブレンド カチオン	湿式紡糸 乾式紡糸 異形化中空化		多層紡績 仮燃・混織・強撚			アンモニア処理 アルカリ減量 制電・吸水 ぬめり加工 樹脂加工	カムフィット 縮絨 起毛・剪毛 ヒートセット		風合い 評価 KES	天然繊維 模倣 商品群
スーパードライ (天然を越えて)	極細糸 スエード 新合繊		海・島分割 ポリマーブレンド ファイナニール 異形断面 コンジュゲート 高速紡糸	スーパードロー		サテン織物	不織布・含浸 ニードルパンチ スライス	分割・溶剤 原著・染色加工	パフイング 起毛・ソフト化			極細織編商品 スーパースエード
機能改善・差別化	制導電 吸水・汗 はっ水・油 通気、透湿 保温、蓄熱 防汚 防炎、耐融 抗菌、防臭 深色、鮮明	制電ポリマー ポリマーブレンド	吸着・コーティング 異型、中空 極細化		セルロース混 グラフト	導電糸複合化 セルロース混 複合多層化		表面改質 PEG・PET被覆 表面重合 F系樹脂 ウレタン コーティング 特殊染料 表面加工、重合 防炎剤吸着 抗菌消臭加工 アルカリ処理 深色加工			耐久性 評価	高機能化 高付加価値化 差別化 商品群 衣料/産資向
高機能	耐熱性 耐光性 耐久性	m-アラミド PPS PBI ポリマーアロイ	液晶 (ポリエステル アラミド)					表面改質 接着改良 複合材			測定法 耐久性	特殊用途 主に産業資材向 ▲高コスト
高性能	高強力 高弾性 高モジュラス	カーボン p-アラミド ポリエチレン エラストマー	液晶 焼成			立体 織物	不織布 製紙	表面改質 (接着) 含浸 表面制御	ラミネート		耐久性	特殊用途 主に産業資材向 ▲高コスト

図22 合織の開発、高機能化、高性能化のための工程別技術マップ

最終の繊維素材が設計出来れば, 出発ポリマーから染色加工, 布帛構造迄含めた各工程の要素技術が一意に決まるだろう. この観点からすれば, スポーツ用として繊維を開発する場合, 最終製品のコンセプトを具体化することが最も重要な鍵となる.

文 献

- 1) 宮本武明, 本宮達也; 新繊維材料入門, 日刊工業新聞社 (1992)
- 2) M. Okamoto, K. Kajiwara ; Singosen : Past, Present and Future, *Textile Progress*, 27, No. 2 (1997)
- 3) 井口正俊; 新材料研究会テキスト (1996)
- 4) 田代孝二, 小林雅通, 矢吹和之; 高分子論文集, 51, 265 (1994)
- 5) 蔭地駿作; Soen Eye (文化学園ファッション情報センター編), No. 11 (1993)
- 6) 蔭地駿作; 繊維便覧 (繊維学会編), p590, 丸善 (1994)
- 7) JTN Monthly, p56, August (1997)
- 8) 早川邦明; 化繊月報, p25, 1996年9月号, p11, 1996年10月号
- 9) 山口宗英; 新材料, p38, 2月号 (1994)
- 10) 原田隆司; 文献8から引用.
- 11) 丹羽氏輝; *PETROTECH*, 19, 868 (1996) ; 早川邦明; 化繊月報, p25, 1996年9月号
- 12) 林敬次郎; 新素材の登場がスポーツ用品開発を促進する, *JETI*, 32, 76 (1984)
- 13) S. K. Mukhopadhyay ; High-Performance Fibres, *Textile Progress*, 25, No. 3/4 (1993)
- 14) B. E. ドイル; 世界一早いヨットの帆, 日経サイエンス, p72, 10月号 (1997)
- 15) 松永明; 繊維機械学会誌, 50, p565 (1997)
- 16) 丹羽氏輝; 化学 (特集「化学は記録をつくる」), 51, 494 (1996)
- 17) 楠藤重次; 繊維機械学会誌, 42, p435 (1989)