

## ■ 要旨

繊維産業は、わが国の基幹産業のひとつであった。合成繊維の中でも、ポリエステル繊維は性能とコストのバランスに優れ、世界的規模で急成長を遂げ、現在、天然繊維を含めた各種繊維の中で、最大の生産量を占めるに至っている。また、ポリエステルに限らず、繊維およびその技術は、単に衣料にとどまらず、交通・建設・情報・医療などの多くの産業分野に適用されている。

本稿では、衣料用ポリエステルフィラメントに焦点を絞って、わが国における技術発展の歴史を概観することとした。

合成繊維は、米国DuPont社のCarothersによるナイロンに端を発し、ポリエステルはやや遅れて英国で発明された。わが国では1957年、帝国人造絹絲(株)と東洋レーヨン(株)の2社が共同で技術を導入し、1958年からその生産が始められた。

わが国におけるポリエステル繊維、特に長繊維であるフィラメントは、繊維製造プロセスの合理化や革新にとどまらず、絹を頂点とする天然繊維の巧みな構造特性に学び、高機能繊維の製造技術に取り入れてきた。

プロセス革新の主な課題は、糸切れを生じないよう安定性を確保した上での、工程の連続と省略および高速化にあった。現在では新幹線の走行速度を越える時速400kmに達する速度で、ポリエステル繊維が連続的に巻き取られるに至っている。

高機能化にあっては、天然繊維の形態的模倣に始まり、ポリマ改質技術、複合紡糸技術、混織技術、超極細繊維技術、仮燃加工技術などを駆使して、ついには合成繊維でありながら、1ランク上の「新合織」と称されるまでに至った。

ここに適用されている技術は、精密な微細加工技術を含むものであり、各種の産業分野で広く活用されている。

## ■ Abstract

The textile industry has been one of the most important industries in Japan. Because of their excellent characteristics and low cost, various synthetic and polyester fibers rapidly become popular on all over the world. Nowadays, more polyester fiber is produced than any other natural and synthetic fiber.

Polyester and many other kinds of fiber and the technologies for producing them have been used not only in the apparel industry but also other industries, such as in vehicles, construction and civil engineering, IT and medical devices.

This report focuses on the history of polyester fiber technologies for making textiles in Japan.

The production of synthetic fiber started with nylon. It was discovered by Carothers, who worked for DuPont in the U.S.A. Polyester was invented later in the U.K. In Japan, two companies, Teijin and Toray, introduced polyester in 1957, and started production the next year.

In Japan, there have been several innovations in production technologies used to make polyester filament yarn. For example, there has been rationalization of the manufacturing process steps and also improvement in the production of high performance fibers. Some of these improvements have come from studying the excellent structures and mechanisms of natural fibers, such as silk.

The principal areas of process innovation have been the simplifying of processing steps and speeding up of production, while maintaining production stability without fiber breakage. The winding speed of high-speed spinning machines used to make polyester yarn is now about 400km/hr, which is faster than “Shin-Kansen” .

High-performance fiber technology started with the morphological imitation of natural fibers. Then, various kinds of key technologies, such as polymer modification, conjugate spinning, mixed filament, ultra fine fiber and false-twist texturing were developed. These technologies have been combined with each other and widely used. Finally, high performance polyester fabric is called “Shin-Gosen” . It means an enhanced status of synthetic fibers. This Japanese expression “Shin-Gosen” has become popular on all over the world.

These technologies include precise processing technologies, which are widely used in various industrial fields.

## ■ Profile

**福原 基忠** *Mototada Fukuhara*

国立科学博物館産業技術史資料情報センター主任調査員

昭和40年3月 東京大学工学部 物理工学科 卒業  
昭和40年4月 東洋レーヨン(株) (現: 東レ(株)) 入社  
ポリエステル繊維・炭素繊維の研究技術開発に従事  
平成13年5月 (財)化学技術戦略推進機構 出向  
平成15年6月 東レ(株) 退社  
福原技術士事務所 所長 (技術士 繊維)  
平成17年6月 有限責任中間法人  
日本繊維技術士センター 理事・関東支部長  
平成18年4月 国立科学博物館  
産業技術史資料情報センター 主任調査員

## ■ Contents

1.はじめに.....	125
2.合成繊維製造技術の概要.....	126
3.ポリエステル繊維の導入と定着.....	134
4.絹を目標としたフィラメントの技術開発.....	136
5.プロセスの革新.....	144
6.高染色化技術.....	154
7.注目すべき技術の展開.....	158
8.まとめと考察.....	171
ポリエステル繊維関連年表.....	176
付録 登録候補一覧.....	178

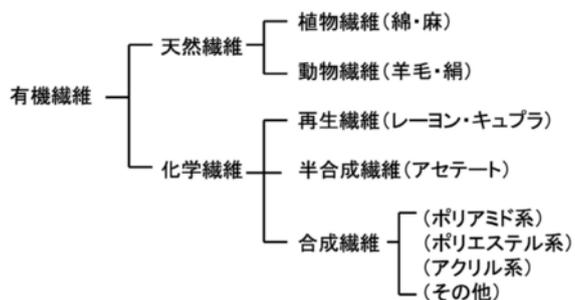
# 1 | はじめに

人間生活の基本を「衣・食・住」で表すことが多い。この中で、「繊維」は衣料の原料であり、また、文字や情報を伝達する「紙」の原料ともなり、「繊維」なくしては人間の生活も文明も成り立たないといっても過言ではない。したがって、人類と繊維とのかかわりはきわめて古く、1万年以上前と考えられている。

太古以来植物や動物から細い繊維状の物質を分離採取し、撚り合わせ（紡ぐ）糸状にして手織りで布を得ていた。

例えば、エジプトのミイラを包んでいる布は麻（亜麻）からなる織物<sup>1)</sup>である。

天然繊維にたよらず、人工的に作りだした繊維を総称して、人造繊維（Man-made Fiber）ないしは化学繊維（Chemical Fiber）と呼び、その歴史は僅か150年あまりである。化学繊維の中で、合成高分子よりなるものを「合成繊維」（Synthetic Fiber）と呼んでいる。このような繊維の分類を図1に示す。本稿では、衣料用のポリエステル繊維をテーマとしたが、これは



無機繊維 — (ガラス・炭素・金属・セラミック繊維など)

図1 繊維の分類

合成繊維の一つとして位置づけられている。

一方、工業用語としての繊維の定義は、「糸、織物などの構成単位で、太さに比べて十分の長さをもつ、細くてたわみやすいもの」（JIS L 0240-3.1.1）となっており、それを構成している素材にはよらず、形状が

規定されているだけといってもよいものである。ここで、十分の長さとは、一般に太さ（直径）の100倍以上の長さ、と解されている。

高分子の概念（Staudinger：1930年頃）が定着し、各種の高分子が合成されるようになると、その利用の一つの形態として繊維が考えられ、（二次元の形態としてはフィルム、三次元としては一般のプラスチック材料）さまざまな合成繊維が製造されるようになった。原料の多様性、形態も含めた物理・化学的特性、柔軟性や加工の容易性などから、合成繊維は衣料用のみならず、産業資材用途など極めて広範囲な用途に応用されている。

それぞれの用途に応じた繊維の構造設計と製造技術が検討、適用されているため、現状での産業としての繊維技術を一まとめに論じることは困難である。

本稿では、本来の繊維の用途である衣料用の合成繊維の中で、世界的にも最も多量に製造されているポリエステル長繊維（フィラメント）に焦点を絞って、その技術の体系化を試みることにする。

第2章では、合成繊維全般について製造技術の概要について述べ、ポリエステル繊維の位置づけについても触れる。第3章では、わが国へのポリエステル繊維の導入とその定着について述べる。

第4章では、絹を目標としたフィラメントの技術開発の歴史と、1980年代後半に「新合繊」として新たな価値観を与えられた状況を述べる。第5章は、基本となるプロセス革新の軌跡を、第6章では衣料用として重要な染色技術について、また、第7章では基盤となる注目すべき要素技術の展開について述べる。

第8章でまとめとして、歴史を振り返り、現在の位置づけと今後への期待について若干の私見を述べることにする。

## <引用文献>

1) たとえば、「世界大百科事典」、平凡社（1981）

## 2 | 合成繊維製造技術の概要

### 2.1 天然繊維から合成繊維へ

前章で述べたように、人類が自らの手で、生活必需品である繊維を作り出すようになってから、まだ150年程度しか経過していない。わが国では約100年の歴史である。天然繊維には1万年以上の歴史があり、4000~5000年前頃には、エジプトやメソポタミヤでは麻が、インドやペルーでは綿が多量に生産されていた。

ヨーロッパでは、麻が繊維の主力であり、麻の1種である亜麻（linenまたはflax）は薄地の織物とされ、下着・シーツ・枕カバー・テーブルクロスなどに用いられた。これらの製品の形態を総称してリネンと呼ぶのもその名残である。わが国でも古代人の衣装は麻であり、ヨーロッパと同様麻が主力であった。木綿製品が輸入されるようになったのは、室町時代で、16世紀後半に庶民にも広まった。羊毛の利用は近世になってからである。工業生産という意味では、明治以降のいわゆるわが国の産業革命に相当する時期で、紡績機械が大量に導入された。

絹の歴史は、いわゆるシルクロードの時代にさかのぼり、ヨーロッパでも憧れの繊維であった。わが国に大陸から伝えられたのは大和朝廷の時代で、以来高級織物として使用された。綿や麻の織物は太物と言って、絹織物とは区別された。絹のように光沢のあるしなやかな繊維を作り出すことは、内外を問わず人類の一つの夢であった。

ドイツの化学者シェーンバイン（Schönbein）は、木綿を硫・硝酸で処理してニトロセルロースを製造する特許を1846年に取得した。<sup>1)</sup> しかしながらこのニトロセルロースは、綿火薬として利用されたほど極めて燃えやすく、また、ラッカーやセルロイド（ショウノウに溶解した固溶体）として応用された。

ニトロセルロースをエーテルとアルコールの混合溶媒に溶かした溶液（コロジオン液）から繊維（人造絹糸）ができることを発見し、1884年に工業化したのは、フランスのシャルドンネ（Chardonnet）であった。その発見は、偶然の産物である。シャルドンネは、たまたま机の上においてあったコロジオン液のフラスコをひっくり返し、そこから流れ出た液が糸を引き、絹糸のような光沢を示したのを見たのがきっかけといわれる。<sup>2)</sup> これは、天然高分子であるセルロースに化学修飾（硝化）をした原料から繊維化されているので、

後の合成繊維と対比して、半合成繊維と呼ばれる。しかしながら前述のとおり、ニトロセルロースは火薬に利用されるほど燃えやすく、衣料用の繊維としては改善が望まれた。

その過程で、セルロースが、銅アンモニア溶液に溶解することが発見され、銅アンモニアレーヨン（キュプラ：cuprammonium rayon）また、木材パルプをアルカリで処理したアルカリセルロースを、二硫化炭素に溶解したセルロースザンテートを用いた、ビスコース法レーヨンが相次いで発明された。<sup>3)</sup> これらは、元のセルロースの化学構造を有する繊維が得られるので、再生繊維と呼ばれ、先のニトロセルロースに比べ、化学的にも安定であるので、人造繊維（レーヨン）として普及した。

わが国に人造絹糸が入ってきたのは1900年前後であるが、米沢に東工業米沢人造絹糸製造所（後の帝人）が設立されたのは、1915年であった。<sup>4)</sup>

一方、1920年代中ごろまで、セルロースや天然ゴム、澱粉などは分子量が大きいらしいことは分かっていたが、その解釈としては、低分子の化合物が、何らかの力で凝集した会合体として考えられていた。これに対して、分子そのものが大きいとして高分子の概念を創出したのがシュタウディング（Staudinger）であった。しかしながら会合説と高分子説は長い間論争となり、1930年代まで続いた。<sup>5)</sup>

アメリカではデュポン社（DuPont）のカロザース（Carothers）が、高分子説を前提として、それを証明するためにも、低分子（モノマ）から高分子（ポリマ）を合成する実験を進め、各種の高分子を合成した。その結果、熔融紡糸により繊維化可能な高分子として、2価の脂肪酸（アジピン酸）とジアミン（ヘキサメチレンジアミン）からなるナイロン6,6を1935年に完成し、1938年に工業化に成功した。<sup>6)</sup> これが天然高分子に代わり、合成高分子を原料とした合成繊維の始まりである。

その後、ポリビニルアルコールよりなるビニロン、ポリエステル、ポリアクリロニトリル繊維などが続々と開発された。その間の年表を表 2.1 に示す。

ナイロンの発明は、生糸の貿易を柱としていたわが国の産・官・学に、大きな衝撃を与えた。その結果、1941（昭和16）年に合成繊維の研究を促進するため、商工省（当時）の主導で、主要大学や公設試験所を含めて、（財）日本合成繊維研究協会（高分子学会の前身）

表2.1 化学繊維発達の歴史

1846	ニトロセルロース(硝化綿)発見	シェーンバイン	繊維化にはいたらず
1884	ニトロセルロース繊維工業化	シャルドンネ	
1892	ビスコース法発明	クロス・ピバン	
1899	銅アンモニア法工業化	グランツシュトゥッフ社	再生セルロース
1920	高分子の概念論文発表	シュタウディンガー	1930年代に定着
1935	ナイロン6,6発明	カローザス	デュポン社工業化
1939	ビニロン発明	櫻田 一郎	
1941	アクリル繊維(シンセン)の繊維化	神原 周	硫酸溶媒 実用化は戦後
1942	ポリエステル繊維発明	ウインフィールド、ディクソン	キャリコプリンターズ/ICI
1942	アクリル繊維化に成功	デュポン社	DMF溶媒 1950工業化

が設立された。<sup>7)</sup>

そうした中で、京都大学の櫻田一郎らがポリビニルアルコールからの繊維化の研究を進め、1939(昭和14)年には共同研究者である李升基によって、繊維製造法の発表が行われ、ビスコース法レーヨンの紡糸装置を用い、芒硝(硫酸ナトリウム)水溶液中に紡糸し、適当な後処理を施せば、高強度の結晶性繊維が得られることが報告された。<sup>8)</sup>

わが国独自の初めての合成繊維であり、櫻田は「合成1号」と命名したが、後にビニロンの呼称が一般化した。特許<sup>9)</sup>は1941(昭和16)年に相次いで3件出願された。

一方、東京工業大学の神原周らはポリアクリロニトリル系合成繊維の研究に着手した。ポリアクリロニトリルは、ポリマとしては早くから知られていたが、適当な溶媒がなく、良好な溶媒を見つけることが開発のポイントであった。神原らは1941(昭和16)年、偶然ポリアクリロニトリルが濃硫酸に溶けることを発見し、水の中に紡糸して繊維化に成功し「シンセン」と名付けた。<sup>10)</sup>

ナイロンについては東レが注目し、三井物産経由で入手したDuPontのサンプルを分析し、これがナイロン6,6であることを確認した。1939(昭和14)年3月には、これと同じものを合成し、紡糸することに成功した。<sup>11)</sup> 1943(昭和18)年には、ナイロン6およびナイロン6,6の繊維について、それぞれ日産5kgの中間工業試験設備(パイロット)を独自技術で建設<sup>12)</sup>し稼動させた。

しかしながら、いずれも間もなく戦争に突入してしまい、時代の流れとはいえ、残念なことに早期の本格的工業化は実現せず、ビニロンについてはクラレ(当時:倉敷レーヨン)などから、また、アクリル繊維に

ついては旭化成から溶媒を硫酸から硝酸に代えて工業化されたのは、1950年代になってからである。ナイロンも東レで戦後再開された。

本稿の主題であるポリエステル繊維の発明は、イギリスの染色加工会社であるキャリコプリンターズ社(Calico Printers Association)のウインフィールド(Whinfield)とディクソン(Dickson)によりなされ、1942年に特許を取得<sup>13)</sup>した。デュポンのカローザスは、ナイロンの発明の前に、ポリエステルの合成を行っていたが、いずれも脂肪族のポリエステルであり、融点が低く実用的な繊維とすることができなかつたので、これを捨てナイロンで成功したのである。

ウインフィールドらは、カローザスの研究内容を解析し、芳香族のジカルボン酸であるテレフタル酸を用い、エチレングリコールとエステル結合により連鎖を形成することで、融点の高い(約260℃)ポリエステルを得ることに成功したものである。これが、ポリエチレンテレフタレート(以下略称PETと表記)である。ポリエステルとは、酸成分とアルコール成分とがエステル結合で、交互に連鎖した構造よりなり、現在ではPETに限らず、異なった酸やアルコール成分から得られる各種のポリエステル系高分子から、合成繊維が製造されている。しかし一般にポリエステル繊維といえばPETからなる繊維を指すように、大部分はこのPET繊維である。

合成繊維は、実用特性において天然繊維に勝るところ(強度、寸法安定、耐久性、防虫・防黴性など)が多くあり、管理された工程より製造される工業製品であるため、品質の安定性も確保されることなどから、石油化学工業の発展に伴い大量に生産されるようになった。

現在の世界の天然繊維を含めた繊維生産量を図2.1に示す。

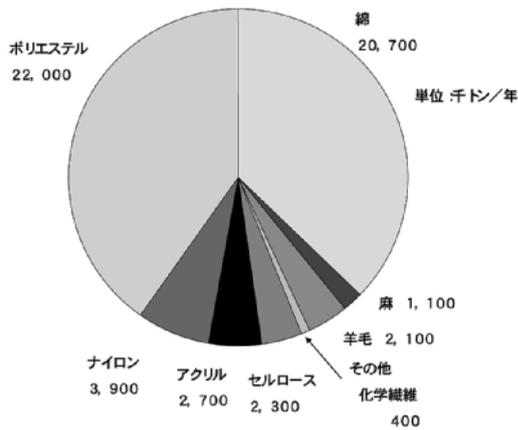


図2.1 世界の繊維生産量 (03年)  
出典：日本化学繊維協会 繊維ハンドブック2006

合成繊維の生産量が、全体の約60%を占め、天然繊維を上回っており、中でもポリエステル繊維の生産量が圧倒的に多いことが分かる。また、図2.2に世界の合成繊維素材別生産量の推移を、図2.3にはわが国のポリエステル繊維生産量の推移を示した。ポリエステル繊維の伸びが顕著であることが分かる。これは、ポリエステル繊維の各種の改質技術開発が進められ、衣料用だけでなく産業資材分野においても、繊維としての性能とコストのバランスの極めて優れた繊維となっているためである。

またわが国では、幾多の不況や貿易摩擦の試練を受けながら、順調に伸びてきたが、1980年頃から生産量が横ばいになっているのはアセアン諸国の台頭によるものであり、1990年以降減少に転じているのは、中

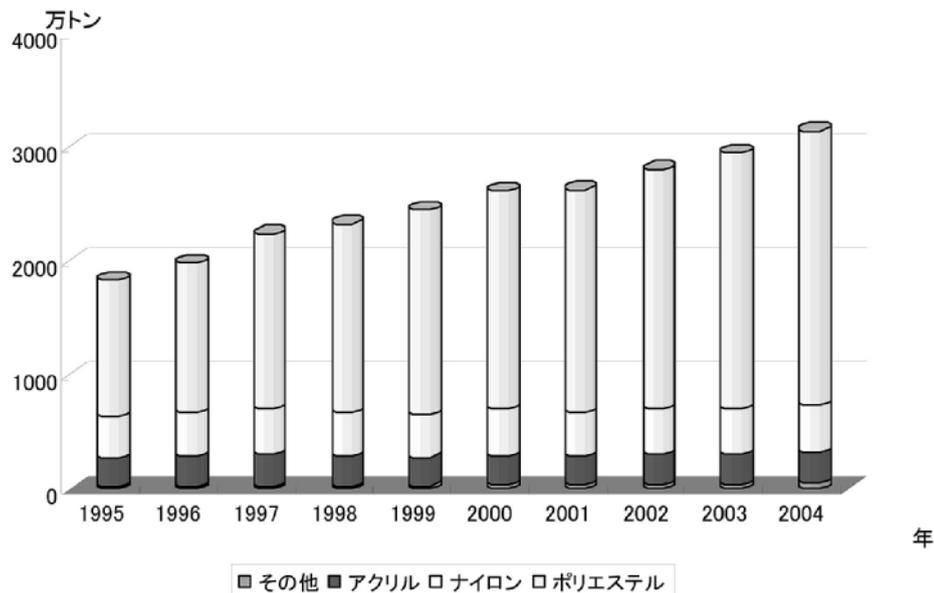


図2.2 世界の合成繊維生産量の推移  
出典：日本化学繊維協会

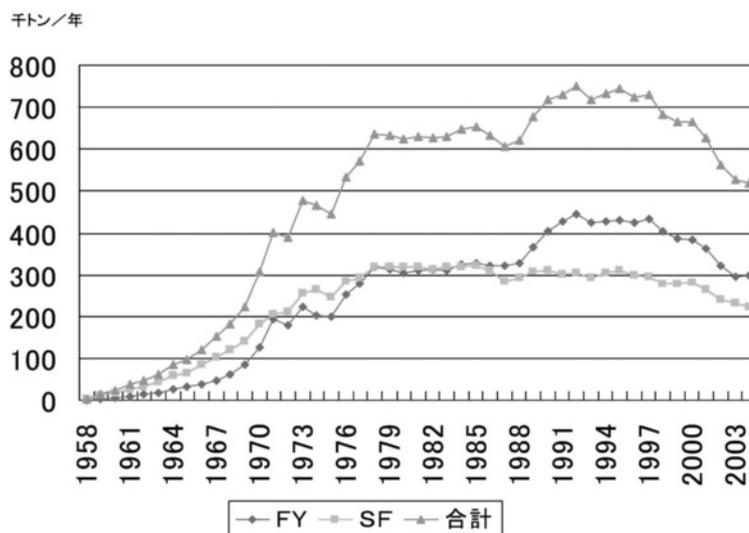


図2.3 日本のポリエステル繊維生産量の推移  
出典：日本化学繊維協会

国における生産拡大のためである。

日本化学繊維協会の調べでは、2004年時点で、ポリエステル繊維の生産量は中国が世界の約46%を占めるにいたり、わが国は僅か2%程度である。

大量生産の標準品では、もはやわが国の国際競争力は、製造原価の面で失われているが、高度な技術を組み合わせ合わせた高機能の差別化品種の生産と、厳格な生産管理・品質管理技術に裏打ちされた良好な品位で、高級品分野でのシェアの確保を図っている。

## 2.2 合成繊維製造技術の概要

第1章でJISによる繊維の定義を述べたが、簡単に言うと「細くて長いもの」ということになる。したがって、合成繊維の製造過程は、合成高分子（一般に繊維用には分岐のない直鎖状の高分子が用いられる）を「細く・長く成形する」ことである。そのためには、何らかの手段で高分子を流体化し、細い孔（口金と呼ばれる金属製の板に、10 $\mu$ mから数10 $\mu$ mの細孔が多数穿孔されている）から押し出し、連続的に巻き取ることが必要となる。

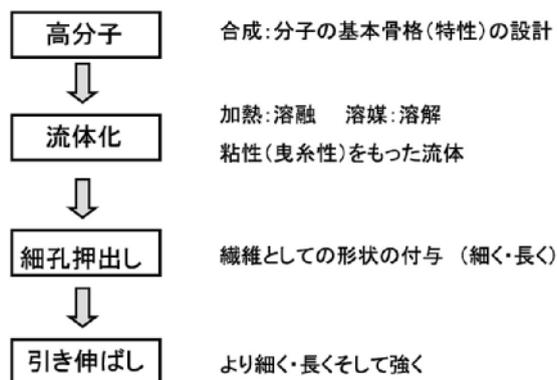


図2.4 繊維化の流れ

繊維化の流れを図2.4に示した。繊維とする高分子を合成する段階で、用いる原料（高分子をポリマというのに対し、モノマという）の化学種から分子の基本骨格が決まり、繊維の特性はそれに大きく依存する。流体化するためには、適当な温度で熔融可能なものは、加熱により熔融し（熔融紡糸）、高温にしても熔融できずに分解してしまうものは、低温で適当な溶媒に溶解（湿式紡糸ないしは乾式紡糸）する。流体が細い繊維を安定して形成できるよう、適度な粘性を有するように溶媒の種類にあわせて温度や濃度を調整する。

細孔（ノズル）より押し出された繊維は、固化（熔融した場合は冷却、溶媒を用いた場合はその溶媒を置換または除去）して巻き取る。通常その後、より細

く・長くするために繊維を引き伸ばし延伸する。この延伸の過程で、繊維軸方向への高分子の配列（分子が繊維軸方向に並んでいる状態を配向という）が制御され、結晶性の高分子では結晶化も生じ、強度や耐熱性が増すなどの繊維特性が付与される。

合成繊維の紡糸では、途中で糸が切れない限り、実質上無限の長さを持った繊維が得られる。

連続的な長い繊維を長繊維（フィラメント：FYと略す場合もある。繊維一本だけの場合はモノフィラメント、複数繊維の束はマルチフィラメント）と呼ぶ。しかしながら、天然繊維は、絹を除くと数cmから数10cm程度の短い繊維であるので、これらの天然繊維の紡績工程にあわせるために、これらと同程度の長さ

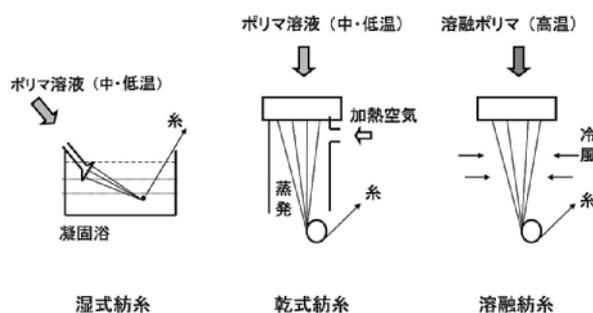


図2.5 紡糸方式の模式図

図2.5には、前記3種の紡糸方式の模式図を示す。固化の方法に特徴のあることが分かるであろう。また表2.2にはその比較を示した。

湿式紡糸では、凝固液の中に紡糸されるので、口金から吐出された繊維の表面は直ちに凝固し、隣接する繊維との接着が回避される。熔融紡糸では、空気の冷却効率はあまりよくないので、冷却固化には時間（紡糸口金からの距離）を要し、そのため、繊維間の融着を防ぐ意味で、湿式紡糸に比べて口金細孔の穿孔密度は小さくなる。乾式紡糸はその中間になる。

したがって、湿式紡糸は多数の繊維束を一挙に紡糸するステープルの製法に適しており、熔融紡糸はどちらかというとフィラメントの紡糸に適している。熔融紡糸でステープルを製造する際には、複数の口金から紡糸された繊維を束ねることによっている。

前記3方式の中で、ポリエステルは、通常熔融紡糸により繊維化されている。熔融紡糸装置の概要を図2.6に示した。

上方のエクストルーダでポリマを熔融し、紡糸装置に供給する。ポリエステルの場合は、水分を含むと、加熱した際加水分解により劣化を生じるので、エク

表2.2 紡糸方式の比較<sup>14)</sup>

区分	熔融紡糸 加熱で溶かして冷却	乾式紡糸 溶媒に溶かし蒸発	湿式紡糸 溶媒に溶かし凝固
原液粘度	高粘度	中粘度	低粘度
固化方式	冷却空気との接触 融点以下へ冷却	加熱空気との接触 脱溶媒(蒸発)	凝固液との接触 脱溶媒(置換)
特徴	熱可塑性(熔融性)ポリマー 熱安定性があること 溶媒回収工程は不要 多孔化度小～中程度 紡糸速度:高い	熱分解性ポリマー 低沸点溶媒の選択 溶媒回収工程が必要 多孔化度中程度 紡糸速度:中程度	熱分解性ポリマー 高重合度でも可能 溶媒回収工程が必要 口金多孔化が可能 紡糸速度:低い
具体例	ポリエステル ナイロン ポリプロピレン	アセテート アクリル(一部)	アクリル ビニロン

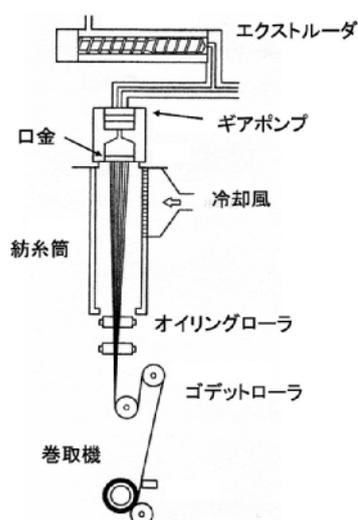


図2.6 熔融紡糸装置の概要<sup>15)</sup>

トルーダに供給するポリマを乾燥し、水分を取り除いておく必要があるが、図ではそれは省略されている。エクストルーダはフィルムやプラスチックの押出成形などに用いられているものと基本的には同じ熔融押出機である。

ポリマを吐出するための細孔（ノズル）を有する口金は、異物を濾過するためのフィルタを内蔵するパックに装填されている。

衣料用フィラメントの場合、口金あたりのノズルの数は、糸の太さにもより、数個～100個程度（ステープルの紡糸では数千個のノズルを有する口金も用いられている）で、1台の紡糸機（エクストルーダ）あたり、数10個の独立した口金・パックを並列して設置する。

各口金には、ギアポンプと呼ばれる歯車の回転により、高温・高圧下で高粘度のポリマを計量するポンプ

が連結されており、吐出量（すなわち繊維の太さ）を厳密に制御しつつポリマを繊維状に吐出する。

吐出された繊維は、紡糸筒内で、冷却・固化される。図では、冷却風を繊維に直交して一方向から吹き付けているが、円周方向から吹き付け、繊維と共に平行に下流に流す方法もある。

冷却され固化した繊維は収束され、油剤で湿潤され、ゴデットローラ（繊維を一定速度で引き取るためのローラ）を介して、巻取機で連続的に巻き取られる。油剤は紡糸工程およびその後の延伸や仮撚加工工程などにおける取り扱い作業の安定性を確保するために重要である。

特に、親水性に乏しい合成高分子は摩擦帯電しやすく、帯電すると単繊維同士が反発して開繊したり、また、周辺の部材に引き付けられたりして、取り扱いを著しく困難にする。そのため油剤として、帯電防止剤の付与は不可欠であるが、その他、収束剤、摩擦を軽減するための平滑剤、油剤を安定化させるための乳化剤なども含み、延伸や仮撚工程などでの高温の熱処理にも耐えるよう耐熱性も考慮されている。上記各成分を調合し、通常、水に乳化分散させて付与される。

図では、表面に油剤の膜をのせて回転するオイリングローラに繊維を接触させて給油する方法が示されているが、糸条のガイドに給油口を設け、計量しつつ油剤を供給付与する方法も用いられている。

紡糸されて巻き取られた糸は、未延伸糸と呼ばれる。これは文字通り「まだ延伸されていない糸」という意味で、延伸工程にまわされる。

合成繊維用の高分子は、長い鎖状の分子で、それ自体が長さ／直径の比が100以上あり、定義上（目には

見えないが) 繊維とみなせる状態である。紡糸に供給される熔融状態では、これら分子は糸鞠状に絡み合っており、熔融流動中や紡糸の引取りの過程で、絡まりがほぐされ、ある程度引き伸ばされるが、通常の紡糸条件ではまだ不十分である。

分子を繊維軸方向に並ばせ(これを配向という)高分子の持っている自身の繊維としての強度を十分に発揮させるために、延伸により配向度を高める必要がある。また、結晶性の高分子においては、延伸(および熱処理)により部分的に結晶化を生じ、結晶による拘束力で、分子間のすべりが抑制され、熱的にも安定化される。延伸工程の概要を図2.7に示した。

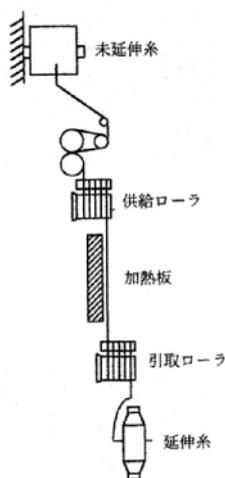


図2.7 延伸装置の概要<sup>16)</sup>

上方に未延伸糸のパッケージが置かれている。糸は供給ローラと引き取り(延伸)ローラとの速度比に相当する倍率で、延伸される。糸が滑らないように、これらのローラには複数回まきつけられるが、付属している小径ローラと延伸ローラの回転軸に角度を持たせ、ローラ上で周回した糸が同じ位置に重ならないよ

うになっている。(これをネルソン方式という。小径ローラは糸の周回をセパレートするので、セパレートローラともいわれる。)

途中に加熱板が設けられているが、これは延伸を助け、また繊維を熱処理して、結晶化を促進し、構造を固定し、収縮率などを調整するためである。最近では、加熱板に代わり、引取ローラに加熱ローラを用いることが多い。

ポリエステルはその用途の多様性から、フィラメント、ステープル共にほぼ同程度に製造されている。ちなみに他の合成繊維で、ナイロンはステープルよりフィラメントの比率が高く、アクリル繊維はもっぱらステープルとして生産されている。

## 2.3 合成繊維改質技術の概要

合成繊維は、そのまま編織物にただけでは、まさにプラスチックの線状物で、ロウ状感のあるものでしかなく、衣料用としては外観・肌触りともに満足できる状態ではない。ステープルは各種の天然繊維と混紡して使用することも可能で、天然繊維の特徴を生かした使い方もなされるが、特にフィラメントでは、何らかの手段で、繊維自体を改質しておく必要があり、そのための技術が数多く開発されてきた。また、原料とする高分子によっては、染色性の十分でないものもあり、染料との親和性を向上させるような改質も行われている。

合成繊維の物理・化学的改質技術の基本的な考え方は、ポリエステルに限らず合成繊維に共通であり、またその目的に応じ非常に多様な技術となっているため、その全体像をまとめてあらわすことは困難である。主な改質技術の例を表2.3に示した。

表2.3 合成繊維改質技術の例示

区分	技術内容	効果・用途 など
ポリマー改質	共重合	染色性、高収縮、低融点、難燃性
	添加・混合(無機・有機)	艶消し・着色、導電・制電性、抗菌・防臭性、表面凹凸
複合紡糸	貼り合わせ、同芯、多芯	捲縮、嵩高性(軽量・保温)、導電性、分割・極細断面形状制御
繊維断面形態	異形断面、中空、極細	光沢、風合い(触感)、軽量・保温、高密度織物吸水性(毛細管現象)
糸加工	撚、捲縮加工、混織	収束性、風合い(触感)、嵩高性、伸縮性トルクによる布帛表面改質
染色・仕上げ	アルカリ減量(PETに特有)機能性薬剤	風合い(ソフト化)、撥水・透湿防水性制電性、難燃性

高分子自体の特性の改質から、繊維となってからの改質などさまざまであり、これらは単独で、またいくつかの技術を組み合わせて適用される。ポリエステルフィラメントにおける具体的な技術内容は、第4章以降で詳述する。

ポリマ改質では、第三成分を共重合することにより、高分子自体の骨格を改質するものと、無機・有機の化合物を問わず、添加ないしは混合するものがある。高分子同士の混合の場合は、異種高分子間の親和性（相溶性）の程度により、異なった分散の状態を示し、このことがまた有効に活用されている。

複合紡糸は、異種成分のポリマを、一本の繊維（単繊維）断面において、配置を決めて口金から押し出し繊維化するもので、代表的なものとして、バイメタル状にサイド・バイ・サイドで貼り合わせ、ラセン（コイル）状の捲縮を発現させたものがある。そのほかにも多くの目的で広く応用展開されており、第7章で詳述する。

単繊維の断面形態も、絹に似せた三角断面に始まり、現在ではさまざまな形態が設計されている。これらを総称して異形断面繊維と呼んでいる。シルクライク繊維については、第4章で詳述する。外形ばかりでなく、中空状のものもあり、異形断面でかつ中空のものなど多種多様である。繊維の曲げやねじりなどの力学特性は、素材が同じであれば、断面形態に依存する。また糸加工は、糸束としての形態制御ともいえるもので、異形断面は、糸束とした時の単繊維間の空隙の形成などにも影響する。中空断面では保温性も向上する。

取り扱い・工程通過性からは撚りなどによる収束加工が、また、嵩高性からは各種の捲縮加工などが行われている。ステープルの混紡に近いものとして、異種のフィラメント同士を引き揃えて混織糸とする技術も

広く普及している。異種の繊維間の優性複合効果や、染色性の差異による異色効果などもあるが、収縮率の差を利用し、織物にふくらみを与える技術として、広く活用されている。

捲縮加工は、表2.4（文献17から一部改定）に示したように各種の加工方法がある。このうち、仮撚加工と収縮差混織は後の章で具体的に述べるので、その他のものについて、若干解説する。

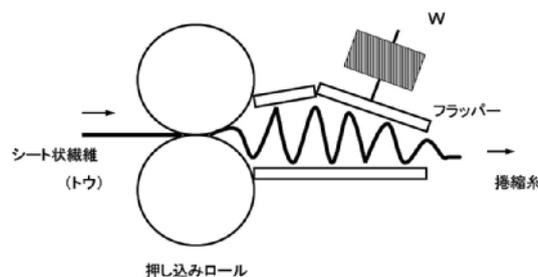


図2.8 押し込み捲縮加工機モデル図

図2.8 は押し込み加工機を模式的に示したものである。フィラメントの加工方法として検討されたこともあるが、もっぱらステープルの捲縮付与方法として実施されている。糸はこの図では、左からシート状のトウの形で供給され、2つのローラに挟まれ、荷重のかけられた押しさえ板（フラッパー）とで形成される狭い空間に押し込められる。そのため糸は挫屈して、鋸歯状のギザギザの捲縮が付与される。

流体押し込み加工はこの変形で、加熱された空気または蒸気で、マルチフィラメントをチューブ内に押し込み、三次元的に糸を挫屈させるもので、高速加工にも適しており、主に太い繊度のカーペット用の捲縮加工方法として用いられている。こうして加工された捲縮糸はBCF（Bulked Continuous Filament）とよばれる。

ニット・デニット（Knit-de-Knit）は、文字通り一

表2.4 捲縮加工の方法<sup>17)</sup>

加工方法	捲縮発現の原理	捲縮形態	主な適用例
機械的押し込み加工 (スタッフィングボックス)	機械的な挫屈		SFへの捲縮付与
仮撚加工	撚の固定と解撚		FYの嵩高加工
流体押し込み加工	三次元の挫屈		カーペット用原糸
ニット・デニット	編地のセットと解編		先染対応可能
空気噴射法	乱流による攪乱 (ループの形成)		スパンライクFY
収縮差混織 (自発伸長糸)	糸長差によるふくらみ		シルキーFY

且編地にしたものを解きほぐすことによる。編地の段階で、熱処理を施しその形態を捲縮として固定する。編目に応じた大きさであるから、捲縮はあまり細かくはなく、嵩高性には乏しいが独特の風合いを有する。また、熱処理と同時に染色を行えば、着色した捲縮糸が得られ、糸で染色された先染糸として用いることができる。

空気噴射法の加工原理図を図2.9に示す。これは古くはDuPontの発明<sup>®</sup>になるもので、“タスラン”加工とも呼ばれている。図中糸は多少のオーバーフィードで、下方からノズルに導入され、圧縮空気の流れて、ノズル内を上方に運ばれる。出口で糸がほぼ直角方向に曲げられるのが特徴である。圧縮空気の作用でマルチフィラメントは攪乱され、ループを形成し、互いに絡み合う。嵩高性、伸縮性はないが、紡績糸様の外観を有する加工糸が得られる。

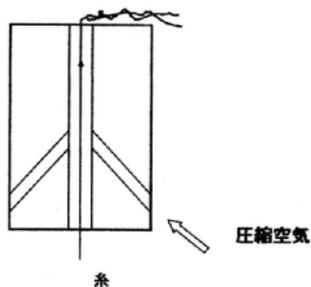


図2.9 空気噴射法

染色・仕上げ加工は、単に色を染めるだけでなく、布帛の風合い調整において重要な役割を占める。後述する「新合繊」においては、繊維特性の設計と染色加工条件の組み合わせにより微妙な風合いが実現されており、原糸メーカーと染色加工技術の総合力の発揮された産物である。各原糸メーカーは早くから染色加工までの一貫した協力体制（一般にプロダクションチームと

呼ばれる）を作っており、欧米とは異なった開発の仕組みが数々の新製品を生み出す原動力となっている。

また、制電性、撥水性、透湿防水性、難燃性、抗菌性など、種々の機能性薬品などの付与処理が行われる。本稿では、一部を除いて染色仕上げ加工における技術内容は省略してある。

#### <引用文献>

- 1) 大西：高分子、Vol.51,No.2,p100、(2002)
- 2) 例えば、上出：高分子、Vol.50,No.6,p405 (2001)
- 3) 梶：「やさしい繊維の基礎技術」、p.11、日刊工業新聞社 (2004)
- 4) 丹沢：高分子、Vol.47増刊、s93、(1998)
- 5) 三枝：高分子、Vol.50,No.5,p329、(2001)
- 6) 梶：「やさしい繊維の基礎技術」、p.16、日刊工業新聞社 (2004)
- 7) 中島：高分子、Vol.47増刊、s61、(1998)
- 8) 北丸：高分子、Vol.51,No.9,p751,(2002)
- 9) 日本特許 159,234号、159,235号、159,236号
- 10) 神原：「爽やかにほどほどに」、p.38、科学新聞社 (1987)
- 11) 星野：化繊月報、1968年10月号、p.64
- 12) 東レ70年史、p.152
- 13) 梶：「やさしい繊維の基礎技術」、p.20、日刊工業新聞社 (2004)
- 14) 福原：「やさしい繊維の基礎技術」、p.28、日刊工業新聞社 (2004)
- 15) 繊維学会編：「繊維便覧」第3版、p.32、丸善 (2004)
- 16) 繊維学会編：「繊維便覧」第3版、p.42、丸善 (2004)
- 17) 福原：繊維機械学会誌、Vol.51,No.6,p.327 (1998)
- 18) 特公昭 35-13168

# 3 | ポリエステル繊維の導入と定着

## 3.1 ICI社からの技術導入

前章で述べたように、PET繊維はキャリコプリンターズ社の発明になるが、その後ICI (Imperial Chemical Industries) 社に引き継がれ、"テリレン" (Terylene) の呼称で開発が進められた。(米国DuPont社もこの特許を導入し、"ダクロン" (Dacron) として開発を進めた)

"テリレン"の情報がわが国に公式に伝えられたのは1948年(昭和23年)に出版された雑誌「化学と工業」によっている。<sup>1)</sup> この中で祖父江は『英国帝国化学工業会社ICIではエチレングリコールとテレフタル酸との重合体よりテリレンなる合成繊維を製造し、その工業生産が初められた。この物は強力が8g/デニール(筆者注:デニールは繊維の太さの単位で、9000mの繊維が1グラムである時、1デニールという。最近ではISO単位で、1000mの繊維が1グラムの時、1texとする)もあり、優秀な合成繊維と伝えられる。ポリマーは融点246℃以上に加熱され溶融した後、濾過し、溶融紡糸が行われる。紡糸の際張力を加へて引延ばし、張力で細い繊維にされる。更に冷伸張により平行に分子を配列せしめるとX線図が明瞭になる。テリレンの特性は高強力の外に、耐熱性の非常に良い事とその高弾性係数(ヤング率)とである。』(旧漢字以外原文にあわせた)と紹介している。

融点が多少低めに記載されており、また、この時点で強力が8g/デニールあったかどうかは不明だが、戦後間もないわが国にとって極めて魅力的な情報であったと思われる。

帝人(当時:帝国人造絹糸)は、レーヨンに代わる合成繊維を探索しており、主にアクリル繊維の研究開発を進めていたが、この情報に刺激されて、いち早くポリエステル繊維の開発に着手した。<sup>2)</sup> 東レ(当時:東洋レーヨン)も情報はキャッチしていたが、その頃はナイロン繊維の開発に注力していたので、具体的な検討着手は遅れた<sup>3)</sup> ようであるが、その後導入に踏み切った。

紆余曲折はあったが、結果的に両社は共同で、特許の専用実施権を1957(昭和32)年にICI社から導入した。工場建設と生産開始は東レの方が早く、1958(昭和33)年4月に同社三島工場(静岡県)で操業を開始した。<sup>3)</sup> 既に東レは溶融紡糸系のナイロンを企業化し

ていたので、その経験が生かされたものと思われる。その後の業界の主な出来事は、巻末の年表にまとめて記載した。

## 3.2 8社体制へ

先行2社に引き続いて、ユニチカ(当時:日本レイヨン)、東洋紡、クラレ(当時:倉敷レイヨン)が1961(昭和36)年頃に相次いでポリエステル繊維の事業化に参入した。この時点では、キャリコプリンターズが日本に出願した基本特許<sup>4), 5)</sup> が有効な期間であり、後述する特許訴訟に至った。一方、カネボウ(当時:鐘淵紡績)、三菱レイヨン、旭化成の3社は、基本特許切れを待って、1968~1969年にかけて相次いで企業化した。こうしてわが国のポリエステル繊維は、大手8社による生産体制が確立した。

## 3.3 特許訴訟

前述したユニチカ、東洋紡、クラレに対し、キャリコプリンターズ社(当然のことながら、帝人・東レの2社が協力した)は、特許侵害訴訟を提訴した。(対クラレの訴訟は早期に和解した)

被告であるユニチカ、東洋紡の主張の要点は、いずれも10%を超える第三成分を共重合したポリエステルであるので、特許には抵触しないというものであった。

大阪地裁における対東洋紡訴訟では、原告の特許明細書には第三成分を用いる旨の記載も、また、これを排除する記載もない。東洋紡が実施しているイソフタル酸共重合体については、別に特許(DuPont出願による)が与えられている状況なので、共重合体が容易とはいえない。さらに、繊維構造の緻密性などに差があり、染色特性なども違うとして、特許には抵触しないとする原告敗訴の判決が出された。

一方、京都地裁における対ユニチカ訴訟では、染色性、耐ピリング性、風合などの比較において、第三成分共重合(ユニチカの場合は、パラオキシ安息香酸)は、原告発明の作用効果を実現し、付加的作用効果を果たすにとどまると判断し、原告特許の利用関係にあるとして、原告勝訴という、相反する裁定が出された。<sup>6), 7)</sup>

結果的にはこの訴訟は、控訴されたものの、いずれもその後の和解が成立したので、両裁判所の見解の相違に対する法律的な結論は得られていない。なお、現

在では（上記訴訟も背景のひとつにあると推察されるが）、JISにおけるポリエステル繊維の定義<sup>9)</sup>は、『テレフタル酸と2価アルコールとのエステル単位を質量比で85%以上含む長鎖状合成高分子からなる繊維』となっており、15%未満の共重合はポリエステルの定義の範囲に含まれることになっている。

この事件は、特許法における解釈上の興味もあるが、訴訟の過程で、共重合ポリエステルの構造や特性が学会を巻き込んで議論され、関係各社はそのために証拠となるデータを提供する検討も進めたので、初期のポリエステル基礎研究を加速したというプラスの面があったことも特筆すべき事柄である。

### 3.4 用途定着

帝人、東レ両社は、ICIの"テリレン"の呼称は使えなかったため、事業化に当たり両社共同で、商標名を新聞紙上を通じて一般から懸賞つきで募集し、1957（昭和32）年6月19日に"テトロン"と決定<sup>9)</sup>した。（ちなみに東洋紡ら後発3社は共通の商標として"エステル"を使用している）

図3.1は、応募作からの当選者決定抽選会の様子<sup>9)</sup>である。



図3.1 "テトロン"商標決定抽選会

"テトロン"の特徴としては、3Wのキャッチフレーズが宣伝として用いられた。<sup>9)</sup> すなわち、WASH & WEAR（洗ってすぐ着られる）、WRINKLE-FREE（しわにならず型くずれせず）、WORK-SAVING（取り扱いが簡単）の3つのWである。（東レでは取り扱いが簡単についてはEASY-CAREとも表現された）

特にポリエステル短繊維（ステープル）は、綿やウールとの混紡に市場展開を図り、特に、綿との混紡のシャツ地は、吸湿性などの点では綿の特徴を備え、なおかつポリエステル繊維の上記3Wの好ましい性質を備えたものとして広く受け入れられ、混紡率にはいろいろ変化があるが、ポリエステル繊維生産の初期の段階から、シャツ地の基本として定着し、現在に至っている。

一方、長繊維であるフィラメントは、初期の段階から絹を目標として技術開発を進め、また加工糸の形態で、編織物全般に普及していった。

#### <引用文献>

- 1) 祖父江：化学と工業、Vol.1, No.3, p20（1948）
- 2) 「帝人のあゆみ」、No.8 帝人（株）
- 3) 東レ（株）70年史
- 4) 特公昭 28-4640
- 5) 特公昭 28-5370
- 6) 判例タイムス、214号, p107（1967）
- 7) 判例タイムス、218号, p153（1968）
- 8) JIS L 0204-2
- 9) 「帝人のあゆみ」、No.9 帝人（株）

# 4 絹を目標としたフィラメントの技術開発

## 4.1 断面形状の模倣

ポリエステルに限らず、人工的に繊維を製造しようとする際の憧れの天然繊維は絹であった。欧米では東洋の優雅な絹に対する憧れが強かったことは容易に想像できるが、事実セルロース系（絹はタンパク質である）のレーヨンでさえも、人造絹糸（artificial silk）と呼称された。特に長繊維であるフィラメントにおいて、天然繊維で唯一の長繊維としての絹が目標とされたのは、自然の成り行きでもある。

羊毛の断面はほぼ円形、綿は生育時には円形であるが、乾燥するとつぶれて扁平な断面形状を示す。一方、絹は図4.1に示すように、ほぼ三角形をした2本のフィブロイン繊維が、水溶性のセリシンで覆われた形態をしている。（通常セリシンは糸または織物の状態で溶解除去され、2本のフィブロイン繊維はバラバラになる。したがって、絹織物の中では繊維はほぼ三角形の断面をしている）

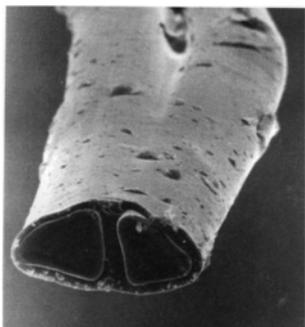


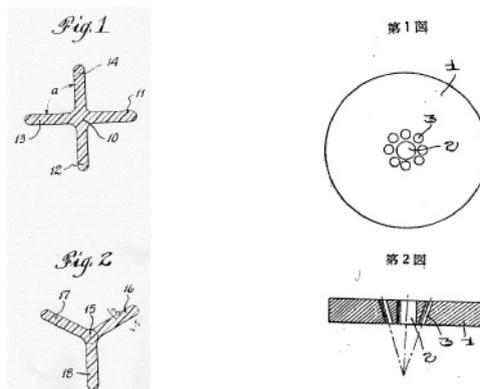
図4.1 絹糸の形態<sup>1)</sup>

この三角断面は、絹の優雅な光沢の理由とも考えられ、このことから合成繊維としても三角断面類似の繊維を得ることが試みられた。

一般にポリエステルのように熔融紡糸で得られる繊維は、第2章で述べたように、熔融高分子が口金の細孔から押し出されるが、液体状態であるため表面張力により断面は丸くなる。三角断面のように円形断面でないものを総称して異形断面繊維と呼称している。

初期の異形断面を目的とした特許の例<sup>2), 3)</sup>を図4.2に示す。

4-2aは1949年3月出願で、異形断面繊維としての糸の断面形状を示すものである。「少なくとも3個の薄い、平らなWebを有する」とあり、ブラシなどの剛毛で、剛性や反発性が向上するとされている。製法における



4-2a USP2,637,893

4-2b 特公昭30-6415

図4.2 異形断面繊維への試み

口金吐出孔形状の説明はない。一方、特公昭 30-6415は出願が1953年で、紡糸における口金吐出孔の形状に関するものである。上が口金の吐出孔側の平面図、下が断面図である。中心の主孔の周辺に小径の副孔を多数設け、吐出後、熔融状態にある間に、副孔から吐出された繊維を主孔の繊維に融着させ、異形断面糸を得ようというものである。

このような試みは多数あったが、スリット状の吐出孔を用いる方法が、1955年出願のDuPontの特許<sup>4)</sup>に見られる。図4.3は特許からの引用図であるが、左側は口金吐出孔の形状、右側は得られる繊維の形状を示す。



図4.3 三角断面用口金と繊維<sup>4)</sup>

この口金では、先端に丸い形状などの副吐出孔が示されている（特許請求範囲にも記載されている）が、実際にはこれは必要ではなく、三角断面であれば、Y型のスリットを用いればよい。

このような口金により、絹を目標とした三角断面繊維の開発に、最も影響を与えたのは、DuPontの2件の特許<sup>5), 6)</sup>であった。出願は1959年の4月と12月であるが、日本で公告になったのはそれぞれ1961（昭和36）年と1962（昭和37）年である。

代表的な繊維形状をUSP 2,939,201から図4.4に引用したが、3個のLobe（耳朶）を有する繊維で、その断面形状における曲率半径などの数値の相互の関係を数式で規定した、いわゆるパラメータ特許の代表的なも

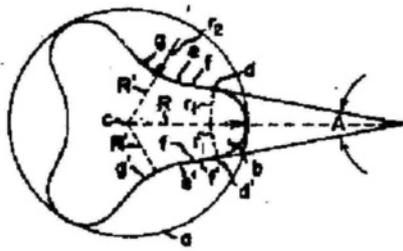


図4.4 DuPontの三角断面繊維<sup>6)</sup>

のである。(注：DuPont はこの後もいろいろな技術領域において、各種のパラメータ特許を出願し、わが国の初期の繊維開発技術者を大いに悩ませた)

ただし、前記2つの特許でDuPont は、発明の目的の背景にはあったと推察されるが、絹様繊維に関する具体的な記述を全く述べておらず、僅かに光沢について効果として言及しているのみである。DuPontは先ずナイロンにこの技術を適用した。

ポリエステル三角断面糸を、特に透明感のある光沢を狙い、艶消し剤を含まないブライト系のポリマで実現したのは、東レ(当時：東洋レーヨン)であった。1962年頃から異形断面繊維の開発を進め、前記DuPontの特許に抵触しない範囲の形状パラメータで1963(昭和38)年にシルクライク繊維ということで、「シルック」の商標を付け生産を開始した。<sup>7)</sup>

その後各社も三角断面を主体としたシルクライクのポリエステル繊維を市場に供給した。口金吐出孔の形状は、「Y」や「T」字型にスリットを穿設したもので、得られる繊維の断面形状が、DuPontの主張する断面パラメータに抵触しないような配慮がなされた。三角断面ポリエステル繊維の例を図4.5に示す。

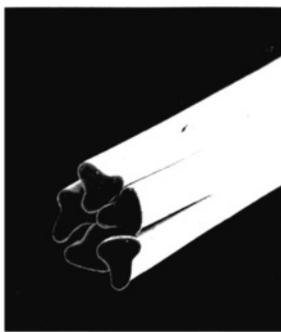


図4.5 三角断面繊維(5本)  
東レ(株)提供

また、一旦三角断面が成功すると、五角や六角、あるいは中空状などの各種の異形断面糸が、その応用として登場した。その例を図4.6に示す。

図4.6で、左側が吐出孔の形状、右側が得られる糸の断面形状である。吐出孔は、スリットを組み合わせたものが多い。スリットの幅は、0.1mm程度である。

吐出孔形状	断面形状

図4.6 異形断面の例<sup>8)</sup>

スリットの間には僅かな隙間のあるものでは、吐出直後の溶融ポリマが融着することによって一体化した断面形状の繊維が得られ、中空状の繊維などとすることもできる。ポリマの粘度が高く、また、冷却を強化すると、得られる繊維の断面形状は、口金形状により近いものとなる。

絹の断面を模倣することによって、形状・光沢などは類似したものとなったが、ポリエステルは絹に比べて弾性率が大きく、すなわち硬い繊維である。そのため絹の柔らかさからは程遠いものであった。これを解決したのが、織物にしてからのアルカリ減量加工であった。

## 4.2 アルカリ減量加工

ポリエステルの骨格構造であるエステル結合は、化学的に加水分解を受けやすい。PET繊維も、加水分解により低分子量化し、繊維は表層から徐々に溶解除去される。そのため、繊維径が減少し、細くなる。

ICIの技術者はこの現象を利用する特許を1948年に出願<sup>9)</sup>した。糸が細くなることで布帛の風合いが改善され、絹に似たソフトなものになるとも記述されている。(当時は細い繊維を直接紡糸することは困難であった)アルカリ減量処理により、細くなった分、繊維の強力は減少するが、断面積当たりの強度は保存されることも記述されている。その後DuPontもアルカリ減量加工に関する特許<sup>10), 11)</sup>を出願しているが、欧米では本格的な生産技術としては展開されなかった。

わが国では伝統的に絹織物を精練(弱アルカリによる処理)し、図4.1に示した外側を被覆しているセリシンを溶解除去(練り絹という)することが行われて

きたので、ポリエステルアルカリ減量加工はそれと類似しており、容易に定着した。ただし、具体的にいつ・どこで・誰が始めたのかはよく分かっていない。絹織物の産地である丹後地区で最初に取り入れられたのではないとも言われている。<sup>12)</sup>

アルカリ減量加工の基礎研究結果としては、橋本が繊維学会誌に2報の論文を発表<sup>13)、14)</sup>している。橋本は各種のアルカリ（カセイソーダ、水酸化カリウム、炭酸ソーダやそれらのアルコール溶液）での実験を行い、溶解速度や溶解機構の検討をしている。工業的には、カセイソーダが用いられている。

このようにして、1960年代の中頃までに、ポリエステルの三角断面繊維を用い、織物にしてからアルカリ減量加工を施すことを組み合わせることにより、絹様光沢を有し、ソフトな風合いの織物とする基本技術がわが国で確立した。

アルカリ減量加工では、織物にしてから処理をするというところに重要な意味がある。単に繊維が細くなるからという理由で織物が柔らかくなるということではなく、織物の経・緯糸の交錯点で、その織物としての構造が固定され、その後、繊維が全体として細くなるので、織物の屈曲点での自由度が増し、ソフトな風合いとドレープ性（織物が自重により垂れ下がる性質。ペーパーライクではない自然な曲線や、動きによる揺れが衣服の外観的美しさに直結する。）を実現することができる。加工における減量率は重量で20-40%<sup>15)</sup>とも言われているが、通常20%前後の減量加工が適用されているようである。

なお、現在ではアルカリ減量加工は単に繊維を細くするというだけでなく、①可溶性の粒子またはブレンドされ分散したポリマを選択的に溶解し、繊維表面構造を制御する（第6章）②複合断面形状において、配置されたアルカリ可溶成分のみを溶解除去することにより、複合繊維を分割したり、特異な断面形状の繊維を得る（第7章）③場合によっては同心円で複合された繊維の中心部分のポリマを溶解所除去して中空繊維とする（第7章）などの目的でも応用されている。

### 4.3 ムラ感の導入

シルクライク繊維が目標とする天然の絹は、蚕が繭を作るために絹糸を吐出する時、∞字型に胸頭部を振る<sup>16)</sup>といわれており、糸の長さ方向に湾曲やねじれ、収縮の斑、形状の変化などがある。これが絹織物に独特のふっくらとした柔らかいふくらみを与える。<sup>16)</sup>

ナイロンやポリエステルなどの熱可塑性合成繊維フ

ィラメントの高加工としては、加撚-熱固定-解撚よりなる仮撚加工が一般的である（仮撚加工については第7章で詳述）が、ウールライクな織物には適しているが、シルクライク織物に仮撚加工糸を用いると嵩張りすぎ好ましくない。<sup>17)</sup>

DuPontは、1968年にパリとニューヨークのオートクチュールで、新規なナイロン系のポリマからなるシルクライク繊維"キアナ"を発表し<sup>18)</sup>好評を博した。（ポリマとして高価な原料であったことも一因と思われるが、生産は長続きしなかった）織物のサンプルを入手した東レは、シルクライクのソフトなふくらみが、織物中のフィラメントに、糸の長さの違うものが織り込まれているためである<sup>19)</sup>ことを見出した。糸長差混織糸（混織糸：異なったフィラメントを引きそろえ混ぜること）の始まりである。

東レでは、この原理を汎用で安価なポリエステルに適用し、収縮率の高い共重合ポリエステルと混織して同時に紡糸する方法<sup>20)</sup>により、織物としてから熱処理を施し、収縮率の差から糸長差を生じる"シルックⅡ"を開発し、1974年に生産技術を確立<sup>7)</sup>した。この技術は、複合紡糸装置（第7章）を利用し、収縮率の異なる2種のポリマを、口金内で合流させることなく、独立にそれぞれの繊維として紡糸する方法である。延伸糸を引きそろえるよりも、均一な混織状態が容易に得られる。

またほぼ同時に、別の手法として、マルチフィラメントにランダムな熱処理を加え、繊維間および長手方向に収縮率の斑を生じさせ、同様の効果を生じる"シルックⅢ"も開発した。<sup>21)、22)</sup>収縮による糸長差の発現と、ふくらみを与える状況のモデルを図4.7に示す。

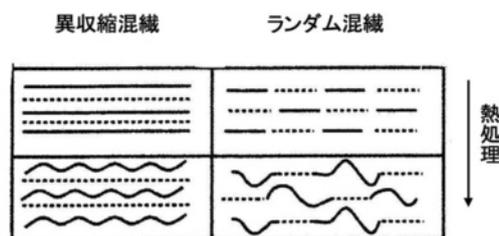


図4.7 収縮差によるふくらみの発現

図中で、実線が高収縮繊維、破線が低収縮繊維である。異収縮混織ではこれが並行に、ランダム混織では長手方向にランダムに存在する。織物にしてから熱処理を施すと、高収縮繊維が縮み、低収縮繊維の長さが余ることになりマルチフィラメントにふくらみを生じる。

このような混織技術は、複合紡糸技術の適用だけでなく、別々に製造した繊維を引き揃えて一本の繊維束とする方法によっても実施されている。ナイロンやア

セテートなど、ポリエステルと異なるポリマからなる繊維を用いることや、織度（太さ）の異なる繊維、断面形状の異なる繊維など種々の組み合わせでも展開されている。着色した繊維と組み合わせると、霜降り効果なども実現できる。

その後、ユニチカの"シルミー5"<sup>23)</sup>、旭化成の"ジュンソワイエ"、"ソロソワイエ"<sup>24)</sup>など、このような糸長差を有する繊維の混織によるシルクライク繊維が相次いで開発され、シルクライク織物の主流の技術となった。

上記"ソロソワイエ"は、中空部を有する三角断面の異収縮混織だけでなく、長さ方向に太細を有し、染色において濃淡を発現するいわゆるシックアンドシン(Thick & Thin) 繊維<sup>25)</sup>でもある。この技術は、延伸時に故意に延伸ムラを生じさせ、太細と同時に染色によって濃淡となる、外観でも斑のある霜降り調の製品が得られる技術で、古くから知られていた<sup>26)</sup> が、旭化成は延伸条件を検討し、従来マルチフィラメント間では太細の位相が揃う傾向にあったものを、延伸条件を設定することにより、太細の位相をランダムとする技術を開発した。<sup>27)</sup>

このようにして、収縮、太細、染色の濃淡など、自然のムラ感を有するシルクライク繊維が開発された。

## 4.4 より深い絹の追求

ユニチカでは、絹の中でもより高価な野蚕糸(Wild Silk: 通常の蚕を家蚕と呼称するのに対する)を想定し、"ミキシイ"を開発<sup>28)</sup>した。家蚕糸は、蚕を永年にわたり品質改良した結果として、断面がほぼ三角形で、均斉がとれ繊維が細いのに比べ、野蚕糸の繊維は太くムラもあり、断面は扁平で、変化に富んでいる。

"ミキシイ"は図4.8に示すように、各フィラメントの断面形状や太さが異なるばかりでなく、伸度や収縮率についてもバラツキがあり、より自然感の強い織物が得られる。

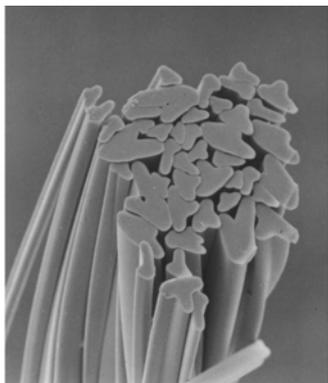


図4.8 "ミキシイ"断面形状  
ユニチカファイバー(株)提供

このように太さや伸度にバラツキのある繊維を安定して製造することは一般には困難であるが、ユニチカではコンピュータシミュレーションを行い、単一の口金から、同時にマルチフィラメントとして製糸する技術を開発した。<sup>29)</sup>

また、東レでは絹の特性のうち「絹鳴り」(絹糸や絹織物をこすった時に、繊維同士がこすれあって発生する振動音。低周波音を含む。「衣ずれ」は、衣服の裾や袂が擦れ合って発する周波数の高い音。)に着目し、絹織物を重ね合わせて擦過させたときの音を解析し、花卉タイプの三角断面繊維のその三角形の頂点に、僅かな窪みを設けることで、図4.9に示すようにほぼ類似の絹鳴りの音が発現できることを見出した。<sup>30)</sup>

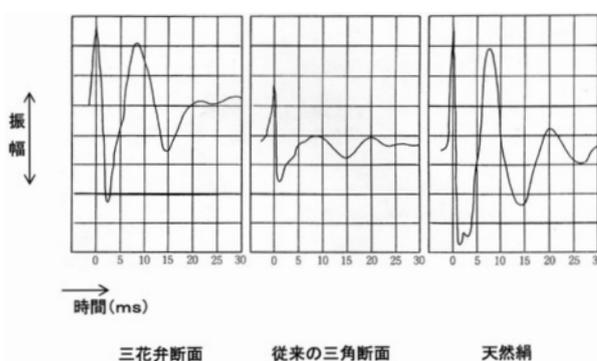


図4.9 絹鳴りの解析<sup>30)</sup>

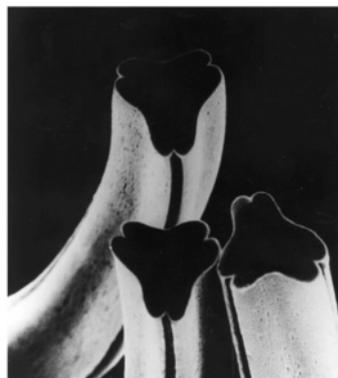


図4.10 三花卉断面繊維  
東レ(株)提供

このようにして設計された繊維の形態を図4.10に示す。三角断面の頂点の窪みはサブミクロン単位の大きさである。擦過された時、窪みがあるために引っかかり、いわゆるスティック・スリップ現象を生じ、キシミ音のような絹鳴りを発するといわれている。<sup>30)</sup>

溶融紡糸において、口金の形状設計だけでこのような微小な窪みを形成することは、溶融ポリマの表面張力のためにできない。東レでは、図4.11に示すように、複合紡糸技術とアルカリ減量加工を組み合わせることによりこれを実現した。<sup>31)</sup> すなわち、三角形の各頂点に、少量のアルカリ易溶性のポリマを配し、繊維(織

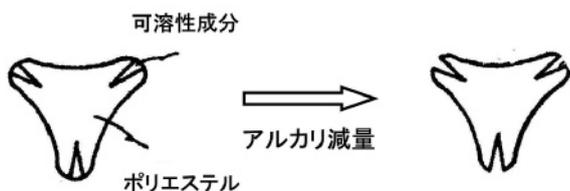


図4.11 複合紡糸による断面制御

物)としてからこれを溶解除去することによるものである。

このように、繊維の断面形状設計技術は、複合紡糸技術を経由した、サブミクロンオーダーでの高分子の超精密な微細加工技術ということもできる。これにより、自然の巧みに一歩近づいたと言える。

この間、深化した各種の要素技術を駆使して、ポリエステル繊維を中心として、各社から一連の新製品が相次いで開発、上市された。これらの製品群は「新合繊」と称された。

## 4.5 新合繊

「新合繊」という呼称の定義や起源ははっきりしていない。織研新聞社編の繊維総合辞典<sup>32)</sup>によれば、『外観、感触など、感性、審美性の面で一段と優れた衣料用ファッション素材、製品全般を指す。』とされている。少なくとも川上の繊維メーカー側から作られた言葉ではなく、ユーザーないし流通・マスコミなど川下側から言われ始めた言葉で、1988年頃から一般的に使われだした。

これは、従来所詮「まがい物」として、天然繊維の格下に位置づけられていた合成繊維(ポリエステルが主体である)に対する評価、その価値観が見直された結果と考えられ、合成繊維のステータスが格上げされた。その象徴的なこととして、1986年からわが国の伝統文化であり、絹織物の使用を主体としていた歌舞伎に、“シルック”をはじめとする合成繊維織物が使われ、1990年には能衣装にも新合繊が採用された。<sup>7)</sup>

新合繊を用いた能衣装の例を図4.12に示す。

「新合繊」はわが国から発し、世界的にもブームともなったので、海外でもそのまま「Shin-gosen」で通用する。「新合繊」の分類は、人によって多少異なるが、ここでは次の4種に分類した。

ニューシルキー(シルクライクからは脱皮した)素材が中心であるが、麻のようなドライタッチ、桃の皮の産毛のような柔らかなタッチ、ウール感覚の紡績糸風合いのフィラメント織物など多種多様である。ポリエステルのフィラメント織物は、既述したように歴史



図4.12 新合繊能衣装  
東レ(株)提供

表4.1 新合繊の分類と特徴

コンセプト	特徴
ニューシルキー	絹よりもふくらみがあり、かつドレープ性に優れる
ドライタッチ	絹・麻・レーヨンのようなドライタッチ
薄起毛調	桃の皮の産毛のような外観とタッチ
ニュー梳毛	フィラメントでありながらスパンタッチウール様の感覚

的には絹を追求してきたのであるが、新合繊の時代を迎え、意識的にニューシルキーと呼ばれるようになった。絹を模倣するという域を脱して、合成繊維ならではの特徴を打ち出し始めた。

代表的なものが、超バルキー(嵩高)とも表現される、絹のふくらみよりはるかに大きいふくらみを実現した一連の製品群である。具体例を図4.13に示す。

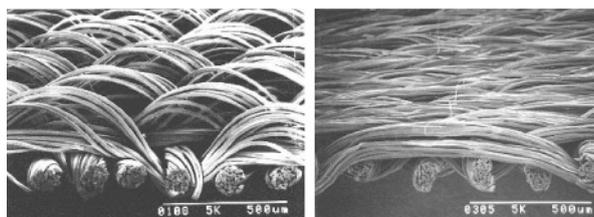


図4.13 ニューシルキー織物  
東レ(株)提供

図4.13は同じ織物組織(朱子織)の絹(右)とポリエステル(左)である。一見して分かるとおり、ポリエステルの方がはるかに糸がふくらんでいる。このような大きなふくらみを有しながら、アルカリ減量加工により、織物としては柔らかく、ドレープ性を示す。技術的には異収縮混織技術を適用しているが、高収縮成分のポリマ設計を行い、100~130℃の湿熱処理と、それに続く高温の乾熱処理で、多段階に収縮させることにより実現している。<sup>17)</sup>

また、低収縮成分として、熱処理により伸長する性質(自発伸長)を有する繊維を用いることも行われる

ようになった。延伸配向したポリエステル繊維は、一般には熱処理により配向が乱れ収縮するが、特定の条件で製造すると、収縮する代わりに伸長する現象を示す。すなわちマイナスの収縮である。

この現象もDuPontが古くから認めていた<sup>33)</sup>が、わが国において、新合繊の異収縮混織糸に応用された。自発伸長糸を用いると、より大きなふくらみを実現することができる。<sup>34)</sup>

新合繊の大部分がシルクライクを目標としているが、中でもドライタッチを強調する一群の製品がある。ポリエステルはプラスチックであり、繊維の表面が平滑であるとその生地は、ぬめり感やワックス感がある。その欠点に対し、絹の持つしめ感やドライ感、麻やレーヨンのような清涼感を追求したものである。

例えば、鋭い縁を有する断面形状やスリット、表面の凹凸は、肌に対する接触面積を減らし、さらりとした肌触りと清涼感を与える。凹凸の形成は微粒子を添加することによるものが多いが、特殊な添加剤により筋状構造を与えるものもある。<sup>35)</sup>

図4.14は、粒子を添加して、アルカリ減量で粒子を除去した後の、凹凸表面を有する繊維の例である。この凹凸や前記した筋状構造をさらに細かく、可視光の波長オーダーにすると、色が鮮やかに、濃く見えるという深色化効果も得られる。(第6章)

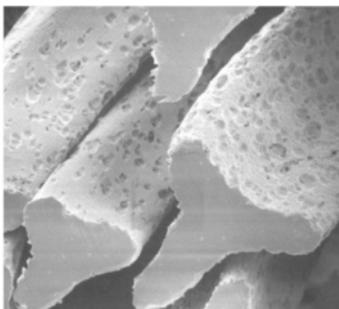


図4.14 凹凸表面繊維  
東レ(株)提供

薄起毛調というのは、極細繊維(第7章)を利用した織物である。従来スエード調の人工皮革に使われていた極細繊維を、肌触りの柔らかな織物に仕上げた。皮を構成しているコラーゲン繊維を除いて、織物に用いられる天然繊維で最も細いのは絹であるが、極細繊維はその1/10程度の細い繊維であるので、まさに合成繊維ならではの製品群である。

図4.15には起毛加工された極細繊維の立毛が、織物表面に密集している様子が示されている。必ずしも起毛加工を施さなくとも、収縮差混織などにより、極細繊維を織物表面にランダムに浮かせて、タッチを起毛調に似せたものもある。

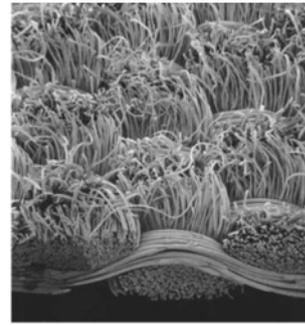


図4.15 薄起毛調織物  
KBセーレン(株)(カネボウ)提供

極細繊維の高密度織物は、撥水性にも優れているという特徴も有するが、染料吸塵率が高い割には、発色性に劣るという欠点もある。各社とも染色には苦勞している。

梳毛(そもう:worsted)は、繊維長の長い羊毛を主体とした紡績糸のことで、ニュー梳毛調は、ウールライクを指向したものと見える。ここでの技術の主流は複合仮撚と流体加工である。(第7章)

代表的な二層構造複合加工糸のモデルを図4.16に示す。

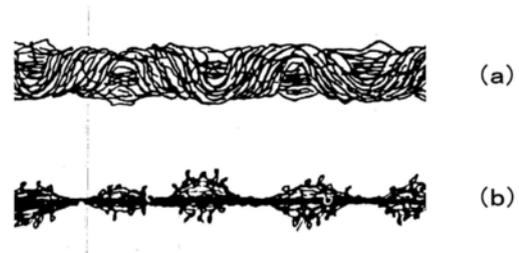


図4.16 複合加工糸の例<sup>36)</sup>

(a)は糸長差や張力差により捲回構造を生じさせたもので、嵩高でかつ紡績糸様の撚のような感覚を有する。(b)は糸長差のある加工糸に流体交絡を施し、ループを形成し、毛羽感とムラ感を有する。

このほかにも、積極的に起毛加工により、フィラメント加工糸に毛羽を付与したものや、紡績工程で、フィラメントを芯にして、短繊維を絡ませたものなど、基本的にはフィラメント加工糸でありながら、嵩高でウールのようなふくらみがあり、毛羽感や撚など紡績糸の特徴を取り入れた各種の加工糸が用いられている。

このように「新合繊」は、これまでの開発された技術の集大成ということができ、かつ、いくつかの要素技術の組み合わせからなるので、極めて複雑である。本章は「絹を目標としたフィラメントの技術開発」としたので、シルクライクに焦点を絞って、要素技術とその効果の関係を図4.17に、技術の変遷を図4.18にまとめてみた。

既述したように、1970年代の後半くらいまで、基本的な要素技術のオリジナルは海外、特にDuPontにそ

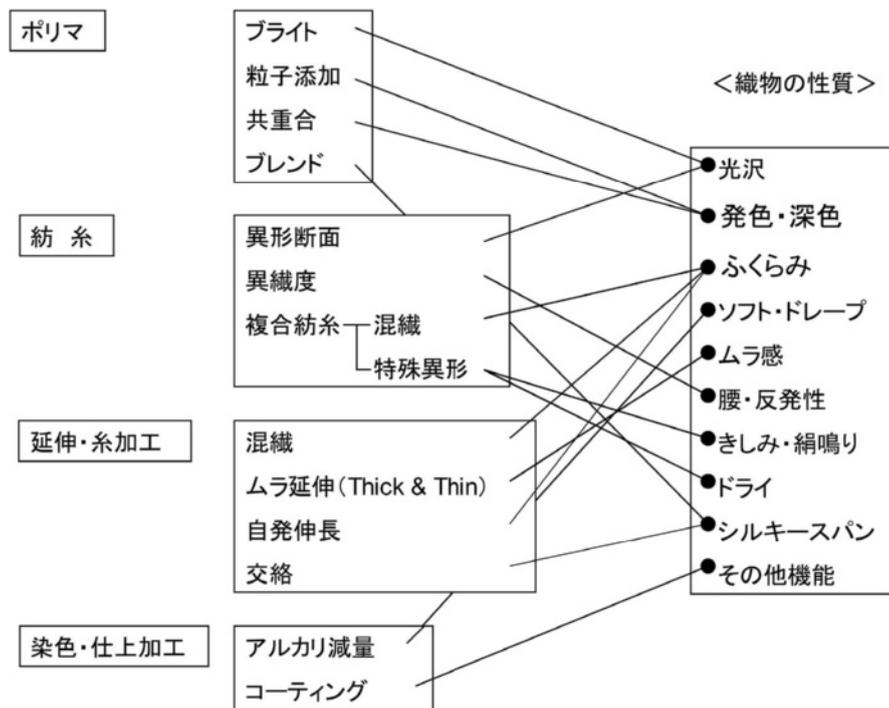


図4.17 新合織要素技術とその効果

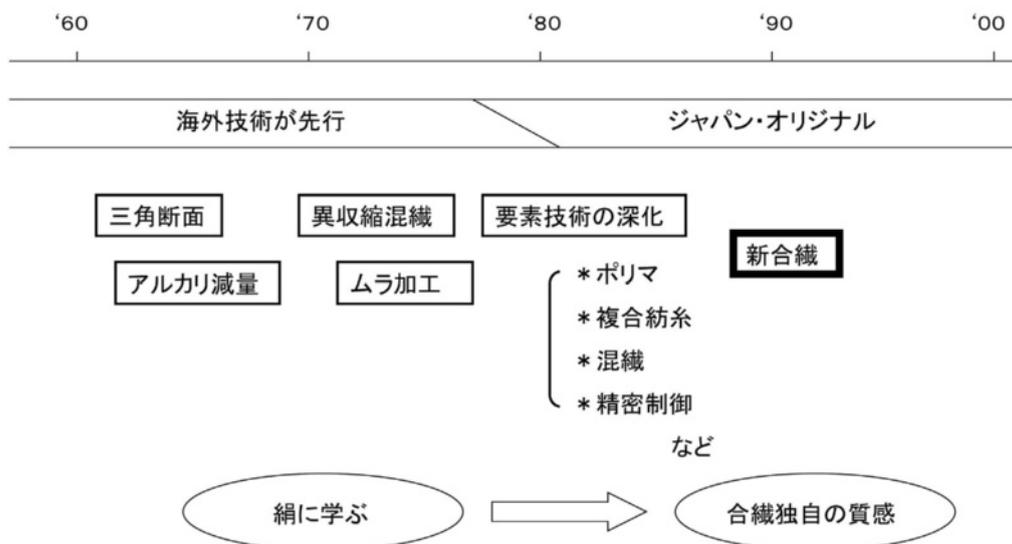


図4.18 シルクライクから新合織へ

の源流があるということが出来る。わが国はこれを積極的に取り入れ、応用展開を図り、高機能・差別化製品を開発してきた。例えば、複合紡糸がこれほど普及しているのはわが国だけである。

また、織物としてその特徴を発揮するためには、織物設計から染色加工に至るまでの、総合的な品質設計が必要である。この点に関して、各社とも原糸から高次加工を一貫したプロダクションチーム体制をとり、微妙な風合いに関する情報を、原糸にフィードバックしながら開発を進めてきた。このような体制も欧米には見られないわが国の特徴であり、その機能が十分に

発揮された結果であるといえる。

さらに付け加えるならば、各社の新製品開発競争が熾烈であったことも背景にある。それぞれ類似の目標の中で、独自性を追求し、要素技術を進化させ製品に結び付けてきた。その意味で、1980年頃からは、ジャパンオリジナルの技術ということができよう。これらの技術を組み合わせ、開花させたのが「新合織」として評価されたといえる。

<引用文献>

- 1) 福原：「やさしい繊維の基礎技術」、第2章、日刊工業新聞社（2004）
- 2) USP 2,637,898
- 3) 特公昭 30-6415
- 4) USP2,945,739
- 5) USP 2,939,201（=特公昭 36-20770）
- 6) USP 2,939,202（=特公昭 37-5268）
- 7) 東レ70年史・年表
- 8) 繊維学会編：「繊維便覧」第3版、p.57、丸善（2004）
- 9) BP 652,948（=USP 2,590,402）
- 10) USP 2,781,242
- 11) USP 2,828,528
- 12) 瓦林：「ジャパンオリジナル」、p.39、日本繊維新聞社（1993）
- 13) 橋本：繊維学会誌、Vol.14,p.510（1958）
- 14) 橋本：繊維学会誌、Vol.15,p.794（1959）
- 15) 繊維学会編：「繊維便覧」第3版、p.384、丸善（2004）
- 16) 「世界大百科事典」、Vol.29,p.184 平凡社（1981）
- 17) 福原、高橋：「快適性新素材の開発と応用」、p.39、シーエムシー（1992）
- 18) 「デュボン ブランディンワイン川のほとりからミラクル・オブ・サイエンスへ」、p.102デュボン(株)（2002）
- 19) 瓦林：「ジャパンオリジナル」、p.35、日本繊維新聞社（1993）
- 20) 特開昭 47-117574
- 21) 特公昭 47-47550
- 22) USP 4,263,368
- 23) ユニチカ百年史
- 24) 旭化成八十年史
- 25) 繊維学会編、「繊維便覧」第3版、p.292、丸善（2004）
- 26) 例えば、特公昭41-6651（=USP3,275,732）、特公昭43-19627など
- 27) 特公昭51-7207
- 28) 松倉、繊維機械学会誌、Vol.41,No.2, p.129,（1988）
- 29) 特公平 2-40773
- 30) 藤本：繊維機械学会誌、Vol.39,No.10, p.371,（1986）
- 31) 特公昭 62-53606
- 32) 織研新聞社編、「繊維総合辞典」（2002）
- 33) 特公昭 37-7919（=USP 2,952,879）
- 34) 特開平 8-158183（=JP 3520937）
- 35) 鈴木：成形加工、Vol.17,No.5,p.306、（2005）
- 36) 橋場：繊維機械学会誌、Vol.34,No.7, P326,（1981）

# 5 | プロセスの革新

ポリエステル繊維の製造プロセスのフローを改めて図5.1に示すが、大きく分けるとポリマを製造する重合工程と、得られたポリマから繊維を製造する工程の2つからなる。前者は化学反応プロセス、後者はプラスチックの成型加工プロセスということもできる。

衣料用繊維の場合には、実際に消費者に届くまでには、この後、捲縮加工を主体とした糸加工、製織・製編、染色・仕上げ、縫製そして流通に至るといった長い工程が必要である。

いずれの工程においても、プロセスの革新は、

- ① 工程の短縮ないしは省略
- ② 工程の連続化
- ③ 生産速度の高速化

によって達成されてきた。計測・制御技術の発達も背景にあるが、プロセスを単純化することにより、管理がしやすくなると同時に、作業要員の削減・エネルギー使用量の削減などを通じてコストダウンに貢献してきた。

各工程におけるプロセス革新の歩みを述べる。

## 5.1 重合工程

### 5-1-1 DMTからTPAへ

ポリエステルの重合は、当初DMT（ジメチルテレフタレート（TPA（テレフタル酸）とメタノールとのエステル））を出発原料としていた。これをDMT法

という。本来の原料はTPAとEG（エチレングリコール）でよいはずであるが、原料精製工程に問題があり、DMT法が採用された。DMTであれば精留、再結晶などの手段で原料の精製が容易であるが、TPAは不溶・不融で極めて精製しにくい化合物であるため、繊維原料としての十分な高純度のTPAが得にくかったことによる。<sup>1)</sup>

そのため、重合の段階では先ずDMTのメタノールをEGと置換する、エステル交換工程を必要とし、副生物としてのメタノールを回収していた。より合理的なTPAを直接原料とする直接重合法への取り組みは、自然の成り行きとして行われた。

東レは三井物産からTPAを購入するルートを確認していたが、帝人では、原料入手の見通しが明確でなかった<sup>2)</sup>ため、早くからTPAを自製する検討を始めた。装置のトラブルなどに苦勞しつつ、1958（昭和33）年10月には、日産5トンの設備で操業をはじめた。<sup>3)</sup> おそらく当初は得られたTPAをDMTに変換して、重合としてはDMT法を採用していたと思われるが、1960（昭和35）年7月には、研究所で直接重合技術を完成した<sup>4)</sup>とされている。ただし、生産に適用されたのは、1963（昭和38）年になってからで、フィラメントではなく、生産管理や品質に厳密性をそれほど要求されない、ステーブルからであった。<sup>4)</sup>

わが国で、フィラメントに直接重合方式が採用されるようになったのは、1970年代になってからである。

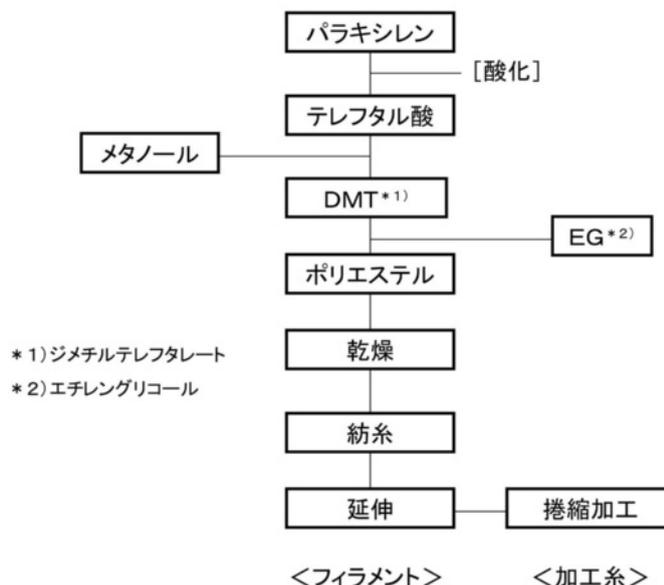


図5.1 ポリエステルの製造工程

DMTであれば融点が140℃程度で、比較的低温で溶融でき、EGに溶解して液体として扱えるが、TPAは結晶性の粉末であり、EGに対する溶解性が低く、スラリー（固体の粉末であるTPAがEG中に懸濁している状態）のため取り扱いにも困難性があった。<sup>5)</sup>

そのような中で、鐘紡はポリエステル繊維の企業化に遅れて参入し、当初からフィラメントを直接重合法で製造することを企図した。丸善石油と共同で、同社のTPA（MTAと称していた）においては、その純度がそれほど高くないにもかかわらず、重合反応条件を適切に設定することにより、色調が良好で、高品質のポリエステルが得られることを見出した。また、このMTAは、通常の精製された高純度TPAに比べ、粒子形状、粒度分布などに特徴があり、EGとの親和性が高く、スラリーの取り扱いが容易であった。さらに純度も改善（HTAと名付けた）し、1972（昭和47）年にHTAを用いたポリエステルフィラメントの生産を開始した。この技術は第22回大河内賞生産賞（1975年）を受賞している。<sup>6)</sup>

現在では、高純度のテレフタル酸（pure TPAからPTAといわれる）が石油化学メーカーから大量に供給されており、一部ではDMT法も行われているが、直接重合法が主流である。

### 5-1-2 連続重合法・紡糸直結重合

当初、重合はバッチ（回分）式で行われていたが、生産量の増大に伴い連続重合法が採用されるようになった。

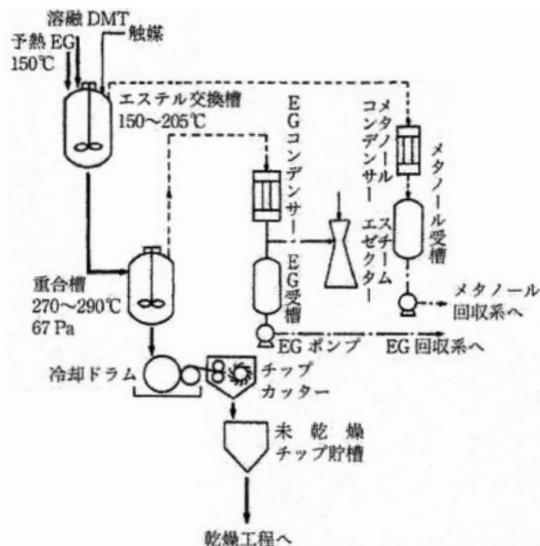


図5.2 バッチ重合プロセス<sup>7)</sup>

図5.2にDMT法によるバッチ重合プロセスのフロー図を示す。エステル交換反応槽と重合槽の2槽よりなる。DMTは溶融して液体として供給され、また、EGへの溶解性も問題なく、プロセスとしては容易であった。図5.3に直接重合法による、連続重合プロセスのフローを示す。<sup>8)</sup>

段階的に温度や真空度を変化させ重合度を高めていくため、反応槽の数が多くなる。図では5槽の反応槽よりなる。このように装置は大掛かりになるが、スケールメリットによりコストダウンが達成されるので、大量生産には適している。ただし特殊な共重合ポリマーなどの多品種・少量生産には、バッチ式が適しており現在でも一部で行われている。

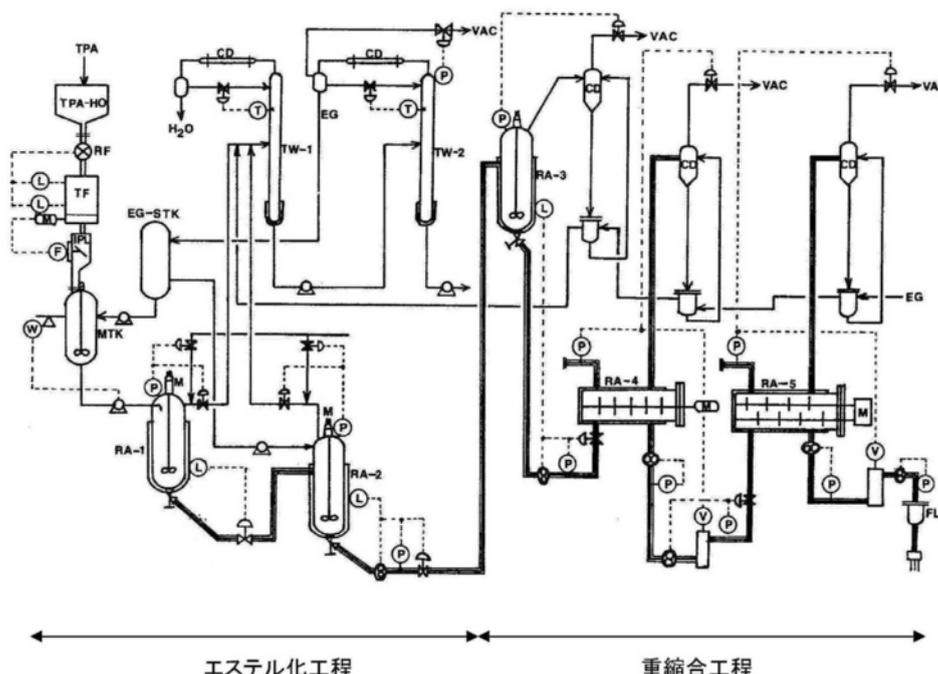


図5.3 連続重合プロセス<sup>8)</sup>

重合工程で得られたポリマは、冷却しつつチップないしはペレットと呼ばれる小片に切断される。紡糸工程では、再びこれを加熱して溶融するのであるが、ポリエステルは加水分解を受けやすいので、乾燥工程を必要とする。重合工程と紡糸工程を直結して連続化することによって、ポリマを冷却して再溶融する必要がなく、また乾燥工程が省略されるのでエネルギーコストも削減できる。

重合工程と紡糸工程では一般に桁が異なるほど1系列あたりの生産能力に差があるので、紡糸工程と直結させると、複数台の紡糸機に同一のポリマを、保温された配管で連結して供給する必要があり、大量生産には紡糸直結法が採用できるが、多品種・少量生産では重合・紡糸は切り離し、重合後一旦チップ化し、改めて紡糸する非連続の従来法が行われている。

このように、連続化による作業人員の削減（計測制御機器の発展にも支えられ、自動化も同時に進められた）と、工程省略による設備・エネルギーコストの削減が進められた。

## 5.2 紡糸直結延伸

第2章で述べたように、溶融紡糸した繊維は、未延伸糸と呼ばれ、配向・結晶化により繊維構造を安定化させ、強度や好ましい伸度を与えるために延伸を施す。当初は未延伸糸を一旦巻取り、改めて延伸工程に移行するいわゆる2工程法が一般的であった。

ポリエステルは熱可塑性の指標でもあるガラス転移温度が高いので、延伸時に加熱を必要とする。図5.4でハッチングを入れたローラが、加熱ローラである。未延伸糸は、まだ分子鎖としては繊維構造が十分形成されていないため、貯蔵安定性にも劣る。このことから延伸工程が必要であるが、これを別工程で行う2工程法では、作業要員を多く必要とする。これを1工程に連結したのが紡糸直結延伸（Spin Drawまたはは

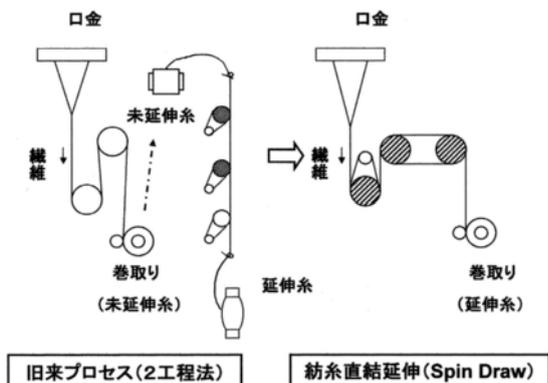


図5.4 紡糸直結延伸

Direct Spin Draw：DSDと略す場合もある）プロセスである。

DSDプロセスでは、紡糸された繊維がそのまま延伸されるので、紡糸時に受けた高分子鎖のひずみが緩和する十分な時間がなく延伸されることになり、従来の2工程法とは若干異なった延伸糸の性質を有するが、実用上には全く問題がない。

明確な工業生産の採用時期は不詳だが、1970年代の前半には、各社それぞれDSDプロセスを採用しているものと思われる。DSDでは、紡糸速度（紡糸された繊維が最初に触れるゴデットローラの速度）に対して、延伸倍率を掛け合わせた高速で巻き取る必要がある。そのため3000m/分ないし4000m/分の巻取速度の高速ワインダーが開発された。

また、従来の2工程法では、延伸機で撚をかけながら巻き取ることが行われ、（延伸撚糸機：draw twister）延伸糸は、撚によって収束性を付与され、次工程での取り扱いが容易となっていた。紡糸直結延伸では、撚をかける工程がないので、撚の機能を代替する収束性を与えるための工夫が必要となった。

この課題の解決法として、1959（昭和34）年に日本に出願されたDuPontの発明<sup>9)</sup>による、ノズル内での乱気流の作用で、マルチフィラメントを開織し絡ませる（交絡といわれる）インターレース（Interlace）と称される技術がある。図5.5にその原理を模式的に示す。

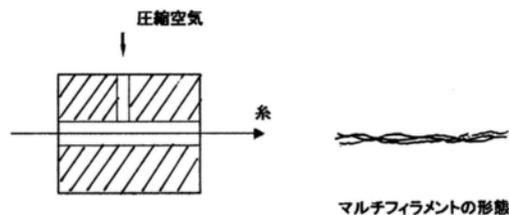


図5.5 インターレースによる交絡

連続して走行するマルチフィラメント糸を、ノズルに通し、圧縮空気を高速で糸に直交して吹き付け、乱気流の作用によりマルチフィラメントを開織・攪乱し、相互に絡み合わせるもので、右の図で糸が絡み合った状態を示す。ノズル内で糸が全体として回転してしまわないよう、ノズルに対する糸の通路を厳密に調整し、またここでの糸の張力を適正に管理することが重要である。

高速走行時の糸掛けを容易にするために、ノズルの糸通路をスリットで形成し、スリットの底の部分で圧縮空気を噴射するタイプが一般的であり、巻取装置の直前にノズルは設置される。

この技術は、絡み合いの程度を強固にすることにより、通常、織物を製織する際に、さらに収束性を高め

るために施す、加撚・糊付けの効果を代替することもできる。また、織り上げた織物に、実際に撚りがかかったような外観と風合いをもある程度与えることができるなど、広く応用されている。

このようにして、紡糸機の巻取装置の速度は高速化され、かつ延伸工程が連続化され、一部では後の工程で必要となる加撚の省略も可能となった。

### 5.3 紡糸の高速化

前記紡糸直結延伸では、巻取速度は速いものの、先の定義による紡糸速度(最初のゴデットローラ)の速度)は1000m/分程度であり、この状態では繊維構造としては、配向度の低い未延伸糸である。(そのため、延伸工程が直結している)

これに対し、高速ワインダーが一般的になったので、従来の紡糸方法で、紡糸速度そのものを上げ、未延伸糸を2500~4000m/分の高速で巻取ることが試みられた。この場合には、結晶化はまだ殆ど生じていないが、配向度の高められた未延伸糸が得られる。しかしながらまだ延伸糸ほどには高度に配向してはいないので、部分配向糸(POY: partially oriented yarn)と呼ばれる。

このPOYは、未延伸糸、延伸糸いずれとも異なる中途半端な性質の糸であり、また、プロセスとしても単に巻取速度を高めただけで、格別の特徴もないが、思わぬ効用のあることが見出された。

ポリエステルフィラメントの生産量の、かなりの部分が仮撚加工された加工糸として消費される。仮撚加工については第7章で詳述するが、走行するマルチフィラメントに加撚された状態で高温の熱処理を施し、そのセットされた撚が解撚された時に、嵩高な捲縮(クリンプ)を生じさせるもので、中・厚地の編織物用原糸として、最も広く用いられている。

1960年代の後半に、工程直結化の一環として、この仮撚加工を、延伸と同時にすることが検討された。従来の未延伸糸は、前述した通り繊維構造が未発達であり、仮撚加工時の高温の熱処理に耐えないことが判明した。そのため、未延伸糸を出発として、延伸と同時に仮撚加工を行うためには、仮撚加工機を改造し、加撚領域の直前に、独立して延伸領域を設ける必要性が生じていた。ところが、POYは部分配向しているため、耐熱性が向上しており、高温で延伸しながら仮撚加工が可能であることが判明した。

代表的な特許がDuPontのUSP3,771,307(出願:1971年)である。(この特許は日本にも出願された

(特開昭50-116717)が、異議申し立てにより成立しなかった)

図5.6に前記特許に示された、延伸仮撚(draw texturing)プロセスのモデル図を示す。(加工された糸はDTY: draw textured yarnと呼ばれる。延伸仮撚加工プロセスをDTYという場合もある)

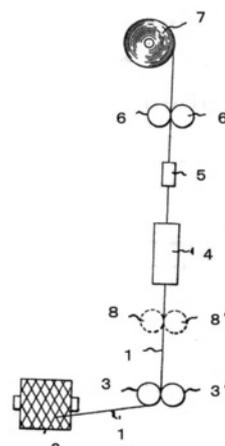


図5.6 延伸仮撚モデル図  
USP 3,771,307

糸(1)は下方のパッケージ(2)から供給され、上方で巻き上げられる(7)。(5)が加撚子であり、撚は加撚子(5)と供給ローラ(3),(3')間に存在し、高温の加熱板(4)でセットされる。加熱温度は200℃を越える融点に近い温度である。

従来の未延伸糸では(8),(8')の破線で示したローラを増設することにより(3),(3')と(8),(8')との間で延伸してから高温の熱板に接触させる必要があるのに対し、POYでは配向度が進んでいるため、結晶化が速やかに進行し、この中間のローラを用いることなく、加撚中に1.5~2倍程度の延伸を行いつつ同時に加工が可能となった。

すなわち、従来の仮撚加工機の改造を必要とせず、ギアの設定を変えるだけで、そのまま使用可能であり、合理化された加工プロセスとして、世界的に急速に広まった。

このプロセスは、工程直結化の意味と同時に、貯蔵安定性のなかった未延伸糸が、より安定なPOYとして、(ある意味で中途半端な)中間製品でありながら、流通するという変化をももたらした。また、原糸製造メーカーが、自ら仮撚加工に乗り出す契機ともなった。

さらに紡糸速度の高速化の検討は続けられた。

実は、DuPont社から1952(昭和27)年に日本に依頼された2件の特許<sup>10), 11)</sup>に高速紡糸が開示されている。(アメリカにおける原出願はいずれも1950年)1件は紡糸速度が3000~5200ヤード(約4000m)/分で、ほぼ

上記したPOYの領域、もう1件は5200ヤード（約4700m）／分以上（実施例における最高紡糸速度は6200ヤード（約5600m）／分である。このような高速領域で紡糸して得られた繊維は、そのまま既に結晶化が生じており、繊維特性としては低収縮であることなど、現在の高速紡糸の特徴が記載されている。

しかしながら、当時は生産装置としての高速の巻取装置はなく、また、実験的に少量のサンプルを採取するくらいで、安定した操業は望むべくもなかったため、工業的には採用されなかった。

具体的に高速紡糸の検討が進められたのは、世界的にも1960年代後半になってからである。

わが国では、同じ熔融紡糸系の合成繊維であるナイロン6については、繊維高分子材料研究所（現：産業技術総合研究所）で、1971年に紡糸速度8000m／分までの検討結果を発表<sup>12)</sup>している。（10,000m／分までの高速巻取試験機を設置し、実験としては紡糸速度として9800m／分まで行っている）その結果、吐出量にもよるが、6000m／分くらいの紡糸速度で、強度がピークを示し、より高速では低下すると報告されている。

ポリエステルも含めて、熔融紡糸における高速紡糸の検討を広範囲に進めたのは、学界では東工大の清水らであった。代表的な報告<sup>13)</sup>は1977年に発表されている。1975年頃には国内外で、企業も含め、高速紡糸の検討が多くの機関で集中的に進められた。

また、1983年には、(社)日本化学繊維協会に、ポリエステル繊維生産企業8社による「高効率合繊技術研究組合」が設立され、国の補助金を得て高速紡糸の共同研究も進められた。

高速紡糸の特徴は、口金から吐出されたポリマが、紡糸線に沿って加速されつつ引き取られる時に、加速に対する慣性力と空気抵抗を主体としたポリマに加わる応力が極めて大きくなり、ついには繊維が降伏し、自動的に延伸され、分子は引き伸ばされて配向し、同時に結晶化を生じるということにある。

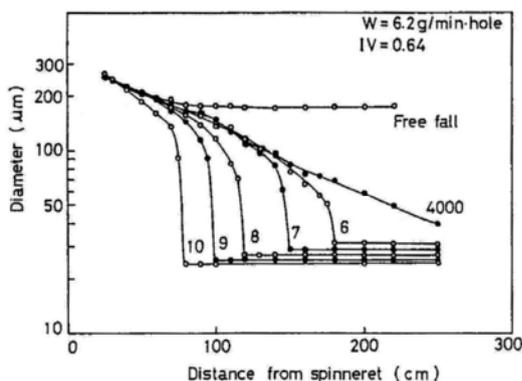


図5.7 高速紡糸における繊維径の変化<sup>14)</sup>

図5.7は紡糸速度を変更した時の繊維径の変化を、紡糸速度をパラメータとして、口金からの距離でプロットしたものである。（繊維径が減少しているということは、連続性の原則から、その位置での繊維の走行速度が速くなっていることを意味する）紡糸速度4000m／分では、徐々に繊維径が細くなっているのに対し、6km／分以上の紡糸速度では、途中で極端に繊維径の減少しているところがあることが認められる。

すなわち、紡糸速度に応じ、口金からある程度下方で急に速度が上昇し、ほぼ最終速度に達している。この位置は、紡糸速度が速くなるに従い、より口金に近づくこともあわせて示されている。前田<sup>15)</sup>はレーザードップラー効果を利用した、非接触の速度計を用いて、繊維速度の測定を行い、このような速度変化が、距離にして1~2cmの範囲内に局在化していることを確かめている。ここでは、繊維はくびれ（ネック）を生じて、延伸されていると考えられている。

また、このようなネッキング状変形における構造形成過程について、清水<sup>16)</sup>は図5.8のようなモデルを示している。

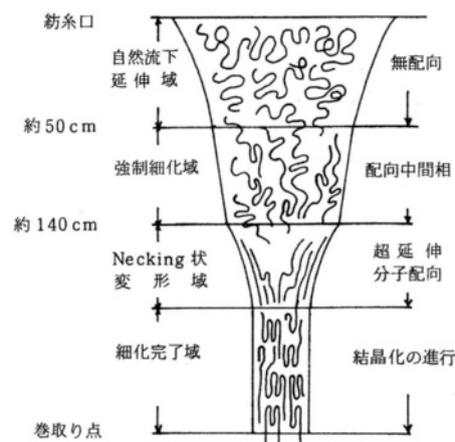


図5.8 ネッキング状変形における構造形成<sup>16)</sup>

すなわち、ネッキング状変形域で、分子は繊維軸方向に沿って引き伸ばされ、分子配向が進み、分子間の相互作用が高まり、その後結晶化が進行し繊維構造が形成される。

紡糸速度を変更して得られた繊維の、応力-伸張曲線（S-S曲線）の例を文献<sup>13)</sup>から図5.9に示したが、4km／分未満の紡糸速度では伸張の途中で応力が低下するという明瞭な降伏を示し、一定の低い応力で伸張する領域（この時に繊維にはネッキングが生じており、ネッキングが移動することにより、応力増加を伴うことなく繊維は伸張される）を有する典型的な未延伸糸の挙動を示しているが、5km／分以上では延伸糸のそれに転化している事がわかる。X線による解析でも、

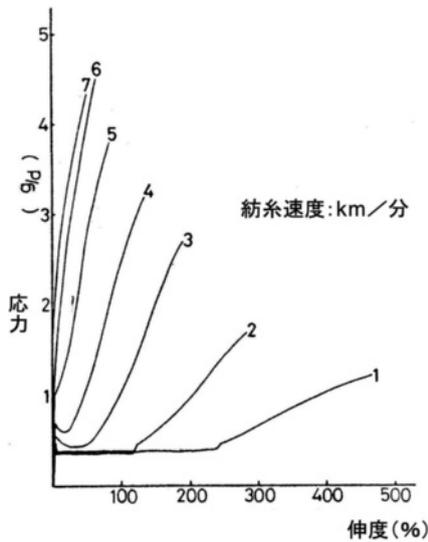


図5.9 紡糸速度とS-S曲線<sup>13)</sup>

ネック延伸を伴うような高速紡糸領域では、明瞭に結晶構造が形成されていることが認められている。

したがってこのプロセスは、高速で引き取るということだけで、先に述べた紡糸線に沿った応力の増加により自動的に延伸が行われ、延伸糸類似の配向・結晶化した繊維が一挙に得られるので、ワン・ステップ・プロセス（one step process：OSP）ともいわれる。このプロセスでは、単に速度が速いということだけではなく、繊維が冷却される過程で、加熱処理を必要とせず、実用的には延伸糸として通用し得る繊維が得られることに大きな意義がある。

また、得られる繊維の特性は、

- ① 強度がやや低い
- ② 弾性率もやや低い（繊維が柔らかいことを意味し、はソフトな風合いを与える）
- ③ 染料吸尽率が高い（易染性）
- ④ 収縮率が低い

などの特徴<sup>17)</sup>も有する。

ただし、紡糸速度をさらに上げると、図5.10に示すように、紡糸速度6km/分～7km/分をピークに、強度が低下する。<sup>18)</sup> 強度ばかりでなく、伸度は大幅に低下し、図5.11および図5.12に示すように配向度の指標である複屈折率、結晶化度の指標である密度なども低下する。<sup>19)</sup>

このような超高速紡糸領域での強度などの低下の原因については、いろいろな説明がなされているが、いずれにしろ高速下での急激な変形に、高分子鎖が追従できず、ある種の構造破壊が生じているものと考えられる。10km/分レベルの超高速紡糸になると、得られる繊維の構造において、結晶はより発達し、完全性の高いものになっているが、非晶はより拘束力の弱い

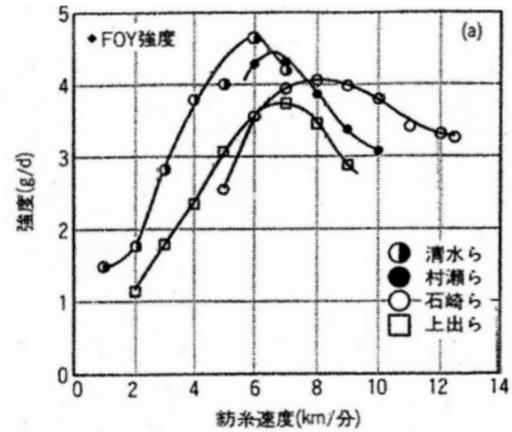


図5.10 紡糸速度と強度<sup>18)</sup>

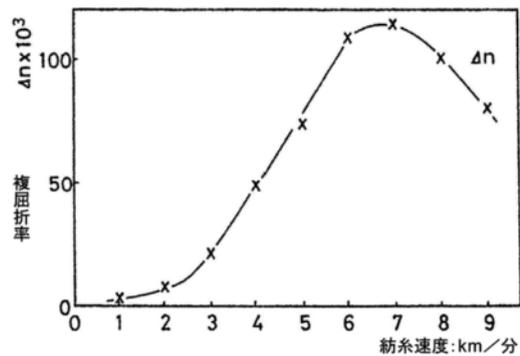


図5.11 紡糸速度と複屈折率<sup>19)</sup>

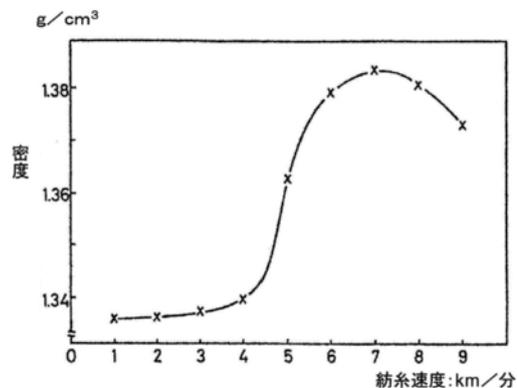


図5.12 紡糸速度と密度<sup>19)</sup>

ルーズな構造になっており、構造の2局分化が進んでいることなども報告されている。<sup>20)</sup>

したがって、繊維特性の点から、また巻取機をはじめとする機械装置や動力エネルギーなどの制約もあり、実用的な高速紡糸の生産速度は6km/分～7km/分となっている。

海外での高速紡糸の生産開始時期は、公式な発表がないので、不詳であるが、1980年代の前半には生産化されていたものと思われる。わが国では1985年に東レが操業を開始<sup>21)</sup>した。

わが国の衣料用ポリエステル繊維紡糸における高速化の歴史を、文献<sup>22)</sup>から若干修正して、図5.13に示した。グラフ中に紡糸速度に対応する速度の輸送機関を

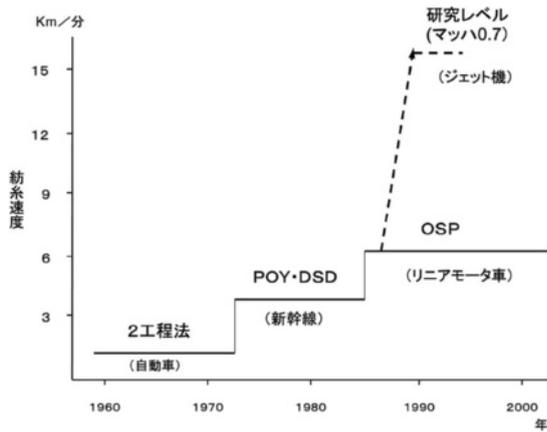


図5.13 高速化の歴史

書き込んであるが、OSPプロセスでは時速に換算すると400km/時を越えており、新幹線よりも速く、リニアモーターカーに匹敵する速度である。また、実験室レベルでは、マッハで表示し得る速度レベルに達している。

東レが生産を開始した1985年当時、生産機の仕様に見合う、多糸糸が同時に巻き上げられる長尺で、自動切替えの可能な巻取機は海外にも市販品はなかった<sup>23)</sup>ので、東レは独自に（東レエンジニアリング製）巻取機を開発した。次いで、旭化成、帝人などが操業を開始した。

旭化成は、紡糸張力を制御し、巻取り装置も開発するなどして、引取り用のゴデットローラを介さず、7km/分の高速で、直接巻取装置で巻き取るプロセスを開発<sup>24)</sup>し生産化した。技術的な発想は、1975年出願の帝人の特許<sup>25)</sup>に見られるが、工業生産として実現したのは旭化成であった。旭化成のプロセス模式図を、同社の特許から引用して図5.14に示した。

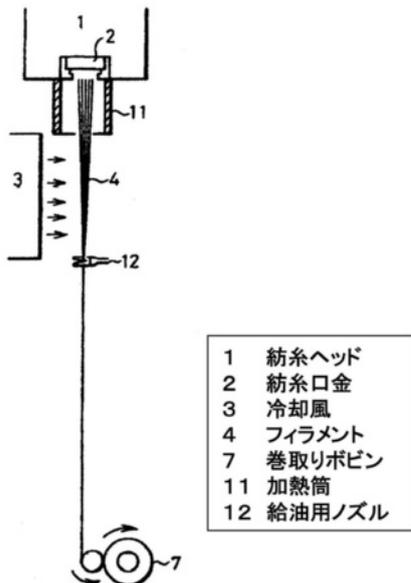


図5.14 ゴデットローラを用いない方法<sup>24)</sup>

図のように極めてシンプルな紡糸方法である。通常の高速紡糸でも、空気抵抗による張力を軽減するためには、固化した繊維の束をなるべく上方で収束させることが必要である。糸束になれば、一体化したものに空気の摩擦抵抗力が作用するが、個々の単繊維に開織していると、それぞれの単繊維の表面積に応じた摩擦が生じるので、張力はきわめて高くなるためである。

ゴデットローラを用いない方式では、紡糸張力=巻取張力となるので、巻取張力が過大になるのを防ぐためにも、上方での収束は一層重要になる。図では(12)の給油用ノズルをガイドとして収束している。それでもこの方式では、良好なパッケージを得るための巻取技術が極めて難しく、一般にはゴデットローラを用いる方式が採用されている。

なお、これまで述べた高速紡糸プロセスでは途中で全く熱処理が施されていないが、図5.15に示すように紡糸線に加熱チューブ（spin line heater：SLHないしは単にホットチューブという）を設け、延伸と熱固定を行い、従来の延伸糸により近い糸質の繊維を得る試み<sup>26)</sup>もされており、一部で生産化されている。

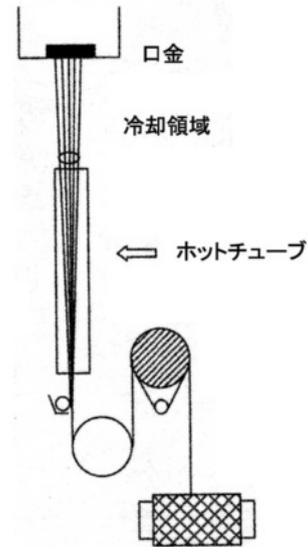


図5.15 ホットチューブプロセス<sup>27)</sup>

ここでは、紡糸された繊維は一旦冷却され、ホットチューブに導かれて、このチューブ内で高速紡糸に起因する高い応力で延伸される。ホットチューブの位置と温度をプロセス条件として設定する必要があるが、加熱下での延伸であり、収縮特性など従来の延伸糸に近い性質の糸が得られる。図では、ハッチングをつけた加熱ローラが示されているが、これは常温のローラとすることもできる。このプロセスもOSPの範疇に含まれるが、紡糸速度としては5km/分～6km/分とやや遅くなる。

合成繊維の製造過程で最も重要なことは、均一な特

性を有する糸を、糸が切れることなく連続して、後の工程に問題のないパッケージに巻き上げられることである。直径10数 $\mu\text{m}$ の、柔軟な高分子からなる繊維が、時速にすると地上で走行するものとしては、新幹線の速度を越え、リニアモーターカーに匹敵する速度(約400km/時)で巻き取られ、大量に生産されている。

これは、ポリマのクリーン化や均質化、紡糸装置内での熱変性の回避、冷却・給油・収束技術、良好なパッケージの形成や高速での自動切替えなど、様々な要素技術の集積により達成されている。

例えば、ポリマ関係では、異物の混入防止を始め、触媒組成やその残滓、添加するつや消し剤の微分散化、高結晶化異物混入の抑制、重合から紡糸工程を含めて、熔融ポリマの異常滞留部(デッドスペースといわれる。熱変性ポリマを生じる原因となる)を極力少なくする装置の設計、紡糸装置内で濾過の強化およびポリマの熱履歴を均一にするための分散、口金から吐出した後の均一冷却技術、油剤付着量の均一化のための1糸条ごとの計量給油、空気交絡による収束付与技術など、多種多様である。

繊維はパッケージに正常に巻き上げられて、製品として出荷される。糸の品質がいかに優れていても、パッケージが崩れ、または糸の引き出しが円滑に行えなければ、製品としての価値はない。高速で安定して巻取ることのできる巻取機はプロセスの死命を制しているともいえる。

製品を巻き上げるドラムを着脱自在に装着して回転するスピンドルは、直径が10cm程度であれば、巻き始めは約20,000rpmで回転する。(製品が巻き上がってくると直径が増大するので、次第に回転速度は低下する)生産性を向上させるために、1つのスピンドルあたり複数個(4~8個、最近では16個のものもある)のドラムを装着するので、長さは1mまたはそれ以上になる。

回転体には、固有振動数に起因する危険速度があるので、それを回避しながら設計する必要がある。そのためにはスピンドルのバランス修正も高度な技術である。しかも、重量は巻き上げが進むに従い増加するので、その増加分も考慮する必要がある。

また、糸が同じ位置で重なって巻かれないよう、ドラム上で糸が進む方向と直角に均等に移動させながら巻きつける必要がある。(この運動を緩振り：トラバースという)糸の速度が速くなれば、それに応じてトラバースの速度も速くする必要がある。

トラバースで最も問題になるのは、ドラムの端部での折り返しである。そこでの動きに乱れがあると、巻き崩れを生じる。従来の低速の巻取機では、マイクロ

チップの往復運動でトラバースするのが一般的であったが、直線的な往復運動では、高速になるに従い端部での加速度の変化が急激になるので、乱れが生じやすい。

そこで、複数の爪が回転しつつ順次に受け渡していくマルチピードと称されるトラバース<sup>27)</sup>が考案された。糸の受け渡しの状況を図5.16に示す。

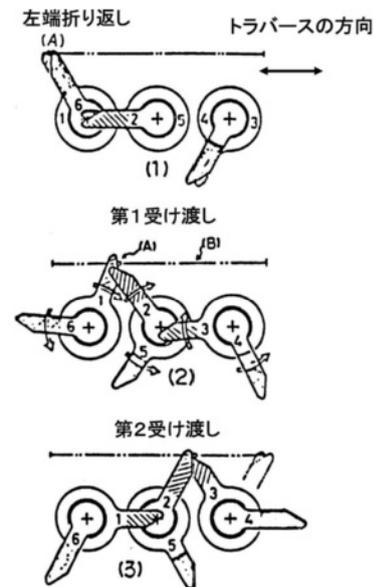


図5.16 トラバースのメカニズム<sup>28)</sup>

図中、糸(A)は上方より紙面に直角に進んで来て、トラバース方向として示された、一点鎖線(B)に沿って左右に振られる。図には3つの回転軸を有する場合が示されている。それぞれの回転軸には2枚のブレードがあり、それが互いに逆回転する。糸がトラバースされるステップは(1)→(2)→(3)と進む。

ステップ(1)では、左端で、ブレード6から1へ糸が渡され、ステップ(2)で隣の軸の2へ、ステップ(3)では2から3へ渡される。3のブレードからは右端で、逆回転してくる4に受け渡されて、糸は折り返される。

このようにトラバースが、回転するブレード間の受け渡しで行われ、直線的な往復運動を含まないので、高速動作に適している。

さらに巻取機では、途中でプロセスを中断することなく、高速で自動的に糸を切り替えるシステムも必要である。その他も含めて、巻取機には極めて高度な技術が要求され、先に述べたように東レが高速紡糸の生産を開始する時点では、市販の巻取機では不十分であったため、上記のような技術を組み入れて巻取機を開発・設置した。

図5.17は当時のものではなく、最近の例であるが、16糸条が同時に巻き取れる巻取機で、6000m/分の高速下で、自動的に糸の切り替えも行う。



<引用文献>

- 1) 湯本編：「飽和ポリエステル樹脂ハンドブック」  
p.63、日刊工業新聞社（1989）
- 2) 帝人の歩み No.9,p.174
- 3) 帝人の歩み No.10,p.143
- 4) 帝人80年史（年表）
- 5) 湯本編：「飽和ポリエステル樹脂ハンドブック」  
p.114、日刊工業新聞社（1989）
- 6) （財）大河内記念会30年史、p.662
- 7) 化学工業会編：「化学プロセス集成」、p.891、  
東京化学同人（1970）
- 8) T.Yamada,Y.Imamura,O.Makimura：  
Polym.Eng.Sci.,Vol.26,No.10（1986）
- 9) 特公昭 36-12230
- 10) 特公昭 31-6768（=USP 2,604,689）
- 11) 特公昭 35-3104（=USP 2,604,667）
- 12) S.Ogawa,H.Kanetuna,T.Kataoka,H.Tuboi,  
Reports on Progress in Polymer Physics in  
Japan,Vol.14,p.247（1971）
- 13) 清水・鳥海・玉井：繊維学会誌、Vol.33,No.5,  
T-209,（1977）
- 14) 藤本・庵原・大脇・村瀬：繊維学会誌、Vol.44  
No.2,p.53,（1988）
- 15) 前田：繊維学会誌、Vol.48,p.534（1992）
- 16) 清水：繊維学会誌、Vol.38,No.11,p.499（1982）
- 17) 繊維学会編：「最新の紡糸技術」、p.32、高分子刊  
行会（1992）
- 18) ibid p.33
- 19) J.Shimizu,T.Kikutani：J.Appl.Polym.Sci.,  
Vol.83,p.539,（2002）
- 20) 越智、前田、福原：繊維学会誌、Vol.51,No.10  
p.493（1995）
- 21) 東レ70年史 年表
- 22) 繊維学会編：「繊維の百科事典」、p.140、丸善  
（2002）
- 23) 長谷川勝美氏 私信
- 24) 特公平 4-208416 など
- 25) 特公昭 58-22565
- 26) H.Brody：The 2nd International Conf. on Man-  
Made Fibers, Beijing, China（1987）
- 27) 繊維学会編：「繊維便覧」第3版、p.42、丸善  
（2004）
- 28) 特公昭 46-16298
- 29) 長谷川：繊維学会誌、Vol.38,No.11,p.521（1982）

# 6 | 高染色化技術

衣料用の繊維製品は、最終的には染色されて消費者に供給される。消費者の選択基準は、使用されている繊維の素材特性そのものもあるが、色・柄・デザインが大きなウエイトを占める。したがって、染色技術は極めて重要である。

## 6.1 キャリア染色から高温・高圧染色へ

PETは、化学的に染料と反応し得る末端基を有していない。そのため通常、分散染料といわれる、水に不溶性の染料を分散させた染液を用い、ポリマ中に拡散（分散）・固定して発色させている。（一部には、ポリマ中に顔料や染料を添加・混合した原液着色繊維もある）ポリエステル繊維は、部分的に結晶化しており、染料は結晶領域には侵入できないので、結晶していない非晶領域に浸透し、いわゆるファンデルワールス力や水素結合力で固着される。

PETに限らず、高分子には「ガラス転移温度」が存在し、この温度以下では非晶領域も含めて、高分子の鎖の動きは固定されていて、染料分子は進入できない。したがって、染色はガラス転移温度以上の高温とし、非晶部の分子鎖が動きやすい状態で、染料を拡散させる必要がある。

PETのガラス転移温度は70℃前後<sup>1)</sup>であり、比較的ガラス転移温度の高いポリマである。その意味ではPETは染色しにくいポリマであるといえる。分散染料をPETの中に拡散させ、染色するためには、染料の拡散速度を高める必要がある。拡散速度は非晶部の動きやすさや温度に依存する。

前述のとおりPETはガラス転移温度が高いので、常温での水の沸点である100℃程度の温度では、まだ十分でない。そのため、当初「キャリア」と呼ばれる染料の拡散促進剤が用いられた。「キャリア」はポリエステルに対する一種の膨潤剤で、非晶部を膨潤させ、ガラス転移温度が低下したのと同等の効果を示し、染料の浸透を助ける。

「キャリア」は、ポリエステル繊維に親和性のある低分子の化合物で、ジフェニル、メチルナフタレン、トリクロロベンゼン、安息香酸誘導体などが用いられている<sup>2)</sup>が、臭気が強くまた若干の毒性を有しており、作業環境、廃液処理の問題などからあまり好ましい薬剤ではない。そのため、キャリアによらず、水の沸点以上で染色可能な密閉染色機による高温・高圧染色が

一般的となった。ただし、現在でも高温を嫌うウールとの混紡製品の染色などには、キャリア染色が一部行われている。

ポリエステル染色は、通常、約130℃（圧力約0.3MPa）で行われる。天然繊維を主体とする染色ではこのような高温・高圧の染色機の必要性はなかったが、わが国でポリエステル繊維が生産される1958年頃には、染色加工機メーカーが高圧染色機を既に製造していた<sup>3)</sup>とのことであり、その後ポリエステル繊維の生産量増大に伴い、一般に普及した。

ポリエステル繊維の染色に用いられている液流染色機の例<sup>4)</sup>を図6.1に示す。

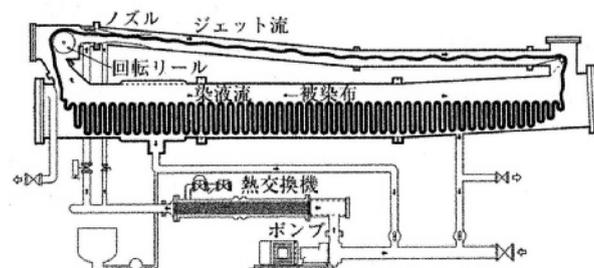


図6.1 高圧仕様の液流染色機<sup>4)</sup>

ロープ状の布を染色液流とともに循環移動を繰り返しながら染色する。布はジェット流や回転リールなどにより送られる。染色時間は20～40分程度である。

## 6.2 ポリマ改質

高染色化を目指して、ポリマ改質も進められた。

既述したように、PETの染色が難しいのはそのガラス転移温度が高いためである。より柔軟な第三成分を共重合すると、ガラス転移温度を低くすることができ、また、結晶性が低下し、染料が拡散していく非晶領域を増大することができる。

分散染料による常圧染色を目的として、ガラス転移温度の低い共重合ポリエステルが検討された。ポリエチレングリコールは、PETの融点をあまり低下させず、ガラス転移点を低下させる効果があるので、よく用いられている。<sup>5)</sup> しかしながら、フィラメントにおいて、常圧で十分な濃色に発色させるには、繊維物性とのバランスにおいて、共重合量にも限界があり、ステーブルへの適用は別にして、フィラメントではあまり普及しなかった。

近年高速紡糸繊維の非晶構造が、従来の延伸糸とは

異なり、染色性が良好であるとして、常圧染色が可能であるとの特許<sup>6)</sup>も見られるが、実施例における常圧染色での平衡染着率は紡糸速度9000m/分で89%、実用的な紡糸速度7000m/分では75%であり、濃色に染色するには十分ではない。

より鮮明な染色を可能とする染料として、アクリル繊維の染色などに用いられているカチオン系(塩基性)の染料がある。これを使用するためには、PETに酸性染料と反応するアニオン性(酸性)の官能基を有する第三成分を共重合しておく必要がある。

この共重合成分に関しては、DuPont社が1957(昭和32)年に出願した古い特許<sup>7)</sup>がある。各社色々な共重合成分を検討したものと思われるが、このDuPont社の共重合成分が最も有効で、たとえば東レは1973(昭和48)年に、特許切れを待たず、その直前にこの特許を導入<sup>8)</sup>している。

図6.2は、PETのテレフタル酸を置換する酸成分として、少量添加する組成物であるスルホイソフタル酸ナトリウム塩の構造式を示す。

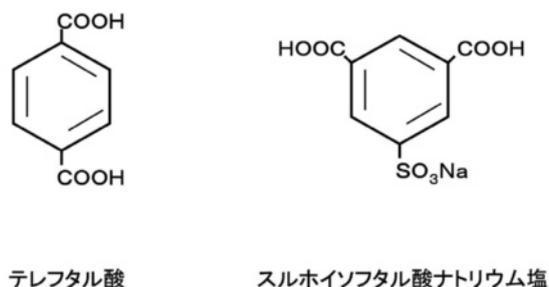


図6.2 カチオン可染用共重合成分

2価の酸であるので、主鎖の中に組み込まれ、スルホン基が染料の塩基性基と反応して、染色される。カチオン可染糸としては、これがわが国で一般的である。

ただし、この共重合ポリマは、分子間の凝集力が強く、溶融したときの粘度が高くなるという性質を示す。したがって、繊維生産に適した粘度とするためには、ポリマの重合度を低めに設定しておく必要がある。そのため、得られる繊維の強度がやや低くなるという欠点を有する。

その改良技術として、上記共重合成分とポリエチレングリコールとを併用することで、染着効率を高め、上記化合物の添加量を減らし、減粘効果も与える技術<sup>9)</sup>や、分子間凝集力の小さいスルホイソフタル酸第4級ホスホニウム塩を添加する<sup>10)</sup>ことで、増粘を抑え強度低下を抑制する技術なども提案されている。

なお、染色性とは別に、上記カチオン可染PETは、アルカリによる加水分解速度が通常のPETより数倍速いという特徴も有する。そのため、このポリマを複合

紡糸の成分として配し、選択的にその部分を溶解除去することにより、特殊な断面形状の繊維を得る目的にも多く用いられている。

一方、羊毛、ナイロンや絹などの染色に用いられる酸性染料に可染となるような共重合成分についても種々の検討が進められたが、PETの耐熱性を満足する第三成分を見出すことには成功しておらず、実現していない。

## 6.3 表面改質による発色性向上

白色光が繊維表面に照射されると、一部は表面で反射され、他の一部は内部に入る。内部からの反射光に、染料による色がついて見える。表面反射が多いと、白色光の成分が多くなり、色は薄く、白っぽく見える。

赤木<sup>11)</sup>は、図6.3に示すモデルを用いて、繊維表面に可視光の波長オーダーの微細な凹凸があると、白色の正反射光量が減少し、内部反射光量が増えるために、染色された繊維の発色性が向上すると説明している。

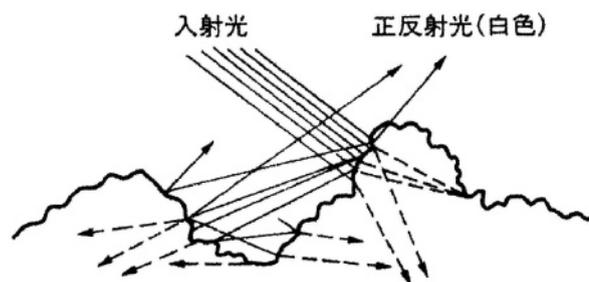


図6.3 表面凹凸と反射特性<sup>11)</sup>

このような繊維表面の微細な凹凸は、アルカリに可溶性の微粒子を添加しておき、アルカリ減量加工時に粒子が除去された後の窪みとして形成することができる。添加する粒子は80nm以下程度のシリカ粒子が選ばれている。<sup>12)</sup>

これとは別に、PETの重合時に含金属リン化合物および酢酸カルシウムなどのアルカリ土類金属化合物を添加し、不溶性の微粒子を重合過程で生成させる技術も提案されている。<sup>13)</sup> 同様にアルカリ減量加工により、微細な凹凸を形成する。

このようにして、微細粒子を含有する繊維のアルカリ減量加工後の表面状態の一例を図6.4に示す。

特に、黒などの濃色で効果が大きいので、深色化ともいわれる。また、微粒子を添加する技術や、重合中に微粒子を生成させる技術は、ポリエステルフィルムの表面制御技術(なるべく平滑で、かつ摩擦抵抗を軽減する)としても応用されている。

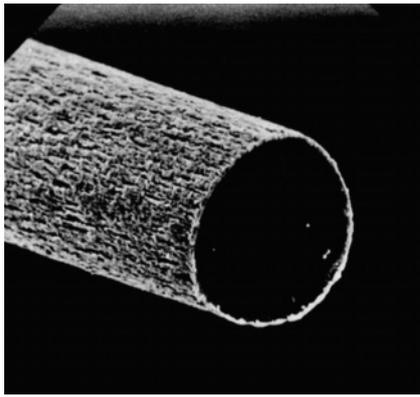


図6.4 高発色性繊維  
帝人ファイバー(株)提供

一方、白っぽく見える原因である表面反射光強度は、

$$R = \frac{(n-1)^2}{(n+1)^2}$$

であらわされる。<sup>14)</sup>

ここで、nは屈折率である。

屈折率が小さいほど、表面反射光強度が低くなり、光は内部に入りこみ、内部反射により発色性が高くなる。ところが、PETは、発色性の良いアセテートやレーヨンと比較すると、表6.1に示すように屈折率の相対的に高いポリマである。

表6.1 屈折率の比較<sup>15)</sup>

	屈折率
アセテート	1.47
レーヨン	1.53
PET	1.62

したがって、発色性が劣るが、深色化のために、フッ素系化合物などの屈折率の低い物質で、繊維の表面を被覆する試み<sup>16)</sup>も行われている。通常、染色加工後に、塗布・固着される。屈折率の低い水に濡れたカラスの羽が、いわゆる「濡れ羽色」で濃く見えるのと同じ原理である。

## 6.4 干渉発色技術

自然界には色素を有しなくとも発色して見えるものがある。光の干渉現象による。水に浮いた薄い油膜もそうであるが、真珠の光沢、玉虫の翅の色<sup>17)</sup>など、積層された薄膜による干渉現象に起因しているといわれている。

ナミに生息するモルフォ蝶は、鮮やかなブルーに輝いているが、色素は有していない。その翅に整然と配列された鱗粉は図6.5に示すような立体構造をしており、干渉発色により色がついて見える。

クラレはこの直立した畝状の構造に着目し、熱収縮

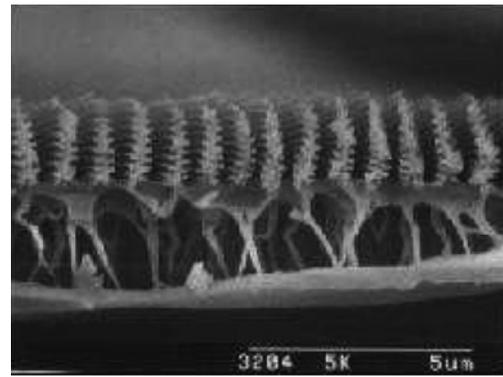


図6.5 モルフォ蝶の鱗粉<sup>18)</sup>

率差のあるポリエステルを、扁平断面状に複合紡糸し、潜在的に捩れを有する繊維を作り、「デフォール」と称している。この織物に熱処理を施すと、図6.6に示すようにねじれた部分が織物表面に垂直に並び、一部は平行になる。

図6.6に示すように、垂直部分では正反射光は少なく、入射光は内部まで深く入り、濃色に見え、平行部分からは反射光が多く、光沢となる。幾何学寸法的に可視光の波長には及ばないので、発色を伴うことは無理であるが、深色効果のある織物が得られている。(繊維の製法は、特開昭 59-59920 など)

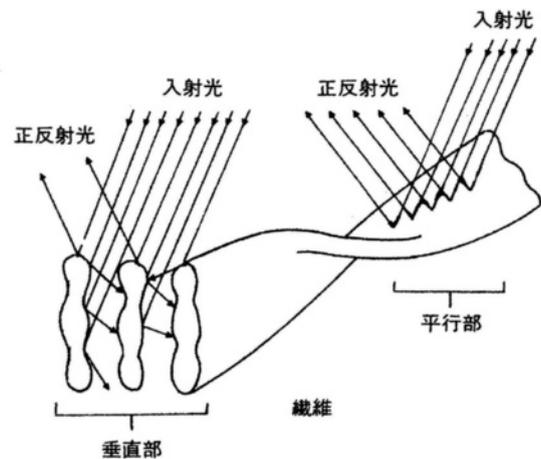


図6.6 深色・光沢効果<sup>19)</sup>

一方、薄膜干渉現象を取り入れ、発色に挑戦した繊維もある。最近帝人ファイバーから「モルフォテックス」の呼称で発売された。

薄膜干渉では、所望の色に相当する干渉条件を満たす膜厚が必要で、また光の強度を高めるためには、積層数を多くすることも必要である。「モルフォテックス」では、図6.7に示すように、目標とする色により異なるが、70~90nmの膜厚で、61層のポリエステルとナイロンが交互に積層する構造の繊維になっている。(非常に薄いので、写真では分かりにくいですが、中央の四角い部分に薄膜の交互積層構造が形成されており、これを透

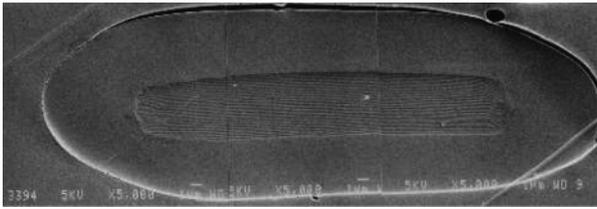


図6.7 薄膜構造繊維<sup>20)</sup>

明なポリエステルで被覆している) このような形状は、精密に設計された複合紡糸技術によっている。<sup>20)</sup>

残念ながら、モルフォ蝶ほど鮮明で、輝く発色効果はないが、染色しなくとも色がついて見え、また角度によって層の厚みの光路長が変化するため、異なった色に見える。ファッション素材として、また、裁断した小片を塗料に混ぜることにより、自動車用車体の趣のある塗装などに利用されている。

このように、高染色化技術には、ポリマ改質技術から、ナノメートルオーダーの粒子や微細加工技術が応用されている。本稿の主題ではないので省略したが、染料の改質技術もまた進められてきたことも付言しておく。

#### <引用文献>

- 1) たとえば、H.Ludewig 「ポリエステル繊維」、p.10,コロナ社 (1967)
- 2) 本宮ら編：「繊維の百科事典」、p.938、丸善 (2002)
- 3) 山本：「織物染色加工設備」、p.213、染織経済新聞 (1998)
- 4) 日本衣料管理協会編：「繊維製品の基礎知識」第1部、p.117、日本衣料管理協会 (2004)
- 5) たとえば、特公昭 57-25646
- 6) 特公昭 64-8086
- 7) 特公昭 34-10497 (=USP 30182272)
- 8) 東レ70年史 年表
- 9) 特公平 2-8046
- 10) 特公平 3-61766
- 11) 赤城：「最新の衣料素材」、p.30、文化出版局 (1993)
- 12) 特公昭 62-28229
- 13) 特公昭 62-44064
- 14) 繊維学会編：「繊維便覧」第3版、p.104、丸善 (2004)
- 15) 坂倉：繊維学会誌、Vol.60,No.4,p.82 (2004)
- 16) 特公昭 58-51557
- 17) 軍司、坪井、仁平：繊維機械学会誌、Vol.34,P259, (1981)
- 18) 吉村、庵原、田畑、清水：繊維学会誌、Vol.56,No.12, P348 (2000)
- 19) 繊維学会編：「最新の衣料素材」、p.177、文化出版局 (1993)
- 20) 田畑、吉村、清水：繊維学会誌、Vol.57,No.9,P248 (2001)

# 7 | 注目すべき技術の展開

## 7.1 複合紡糸技術

溶融紡糸に限らず、合成繊維を含め化学繊維の紡糸は、ポリマを口金の小孔（ノズル）より押し出すことから始まる。この際、複数のポリマを、繊維の断面内で配置を決めて、同時に同一のノズルより押し出すことを総称して複合紡糸と呼んでいる。得られた繊維を複合繊維という。

### 7-1-1 複合紡糸の起源

複合繊維を考案するに至った起源は、羊毛の構造にある。羊毛の構造については詳細なモデルも記述<sup>1)</sup>されているが、ここでは説明に必要な単純なモデルを、図7.1に示す。

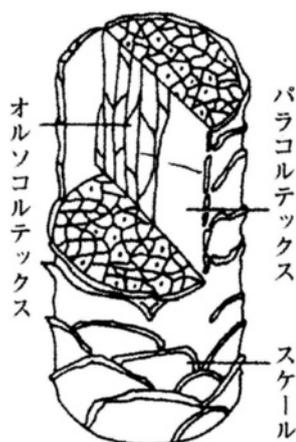


図7.1 羊毛の構造モデル図<sup>2)</sup>

羊毛の断面はほぼ円形に近いが、その内部は、オルソコルテックスとパラコルテックスという2種の異なった構造よりなる。(本論とは関係ないが、表面の鱗のようなスケール(キューティクル)も描かれている。キューティクルは人間の毛髪にも存在している)これは染料により染め分けることもでき、この非対称の2層構造(bilateral structure)が羊毛繊維のらせん状の捲縮発現に寄与している。<sup>3)</sup>

複合紡糸の原理的な図を、羊毛の断面<sup>3)</sup>と共に図7.2に示した。図の左側の羊毛の単繊維は、図7.1の2種のコルテックスが濃淡に染め分けられている様子を表す。DAと表示されたのが、染まりやすい成分で、染まりにくいnon-DA成分がコイルの内側となるような捲縮を発現する。複合紡糸では、A、B2種のポリマを、同一の口金から並列的に沿わせて紡糸する。

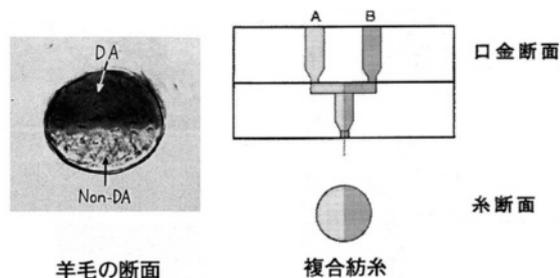


図7.2 羊毛の断面<sup>3)</sup>と複合紡糸

ビスコース(レーヨン)において、貼り合わさった2層構造の繊維を製造する最初の特許は1938(昭和13)年に出願されている。大阪の新興人絹(株)の出願<sup>4)</sup>で、発明者は加美好男とある。発明の目的に、『紡糸孔に隔版を挿入し、第一区画より老熟のビスコース、第二区画より未熟のビスコースを同時に凝固浴中に噴出せしめる』、『縮曲(捲縮のこと:筆者注)ある紡糸を得んとするにあり』と書かれており、図7.3に示す添付図が掲載されている。口金から吐出する直前に、サイド・バイ・サイドに複合する原型が記載されている。

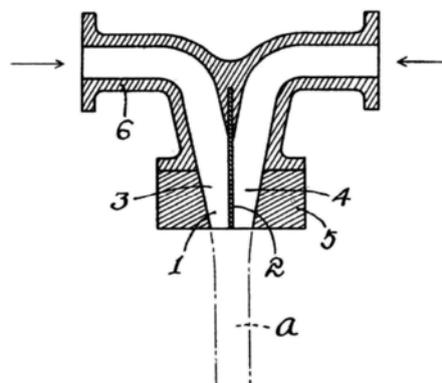


図7.3 ビスコース複合紡糸の図<sup>4)</sup>

捲縮糸を目的としていたことは明らかであるが、工業生産には至らなかったと思われる。ビスコースなどの湿式紡糸では、その凝固条件を制御することにより、凝固時に断面内で非対称のスキン・コア構造を作ることが可能で、複合紡糸によらずとも捲縮糸の製造が可能であった。(溶融紡糸でも、強制的に非対称に冷却を強化すると、同様の効果が得られ、一部で利用されている)

そうした中で、アメリカンビスコース社(American Viscose)のシソン(Sisson)らは、セルロース系の湿式紡糸を主体として、1943年に複合紡糸の口金装置<sup>5)</sup>と捲縮糸<sup>6)</sup>の特許を出願した。ここでは、粘度、分子

量、共重合組成などの異なるものの組み合わせによる捲縮発現の可能性が示唆されている。

先のSissonらの特許<sup>6)</sup>から、複合繊維の捲縮発現の様子を図7.4に示す。

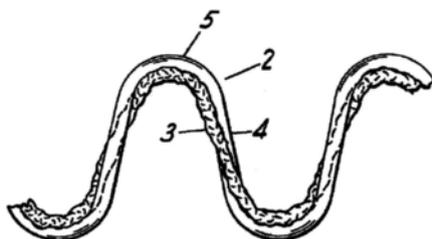


図7.4 複合捲縮糸<sup>6)</sup>

2成分間に収縮率（もしくは弾性回復率）に差があると、収縮の大きい成分（図中黒い成分）を内側にして、コイル状の捲縮を発現する。このような貼り合せタイプを、サイド・バイ・サイドないしはバイメタル型と呼んでいる。

Sissonらはその後1953年に、複合紡糸に関する基本となる文献<sup>7)</sup>を発表し、捲縮発現メカニズムや捲縮のコイルの大きさの算出などを論じている。その中で複合繊維のことをConjugate Filamentと称し、この呼称が現在でも使われている。また、Composite Fiberや、Bi-Component Fiber（または3成分以上の場合もあるので、Multi-Component Fiber）と称されることもある。

DuPontは、1950年代から1960年代にかけて、合成繊維の複合紡糸を精力的に研究開発し、1959年アクリルの複合繊維"Orlon Sayelle"、溶融紡糸では1963年に、ストッキング用ナイロン複合繊維"Cantrece"の商業生産を開始した。これを契機にわが国でも複合繊維の研究開発が精力的に進められた。

わが国では、1964（昭和39）年に同じくストッキング用にナイロン複合捲縮糸として東レが"タピロン"を、鐘紡が"ナイロン22"の商業生産を開始<sup>8)</sup>した。またポリエステルでは、1965（昭和40）年東レが、三次元の立体捲縮を特徴とする高高性能のふとん綿用の原綿を中心としたステープルで生産を開始<sup>9)</sup>した。ポリエステルフィラメントでの生産はやや遅れて、1966（昭和41）年であった。

### 7-1-2 複合繊維の分類

複合繊維は2種以上の多成分のポリマ（実際は装置が複雑になるので、ほとんどが2成分である）を、同一の繊維断面に配したものであるから、使用するポリマの組み合わせと、断面内での幾何学的な配置により多種多様な繊維が得られる。多くは口金における、異

種ポリマの合流のさせ方によって決まる。

各種生産されている複合繊維を大きく分けると表7.1に示す4つのタイプに分類される。<sup>10)</sup>

表7.1 複合繊維の分類<sup>10)</sup>

分類	形態	目的
サイド・バイ・サイド		捲縮付与
同心円		機能性付与
多層・多芯		分割・極細化
分割・溶出		極細化 形態制御

第一のサイド・バイ・サイドは、複合繊維が羊毛をまねた捲縮糸から始まったので、複合繊維の原点でもある。通常、未延伸糸では捲縮の発現はないが、延伸後に弾性回復率に差があると、捲縮を発現する。さらに一般的には沸騰水処理、乾熱処理などで収縮率の差で、捲縮を発現させる。

最近、ポリエステルではないが、アセテート繊維で、熱収縮差ではなく、吸水による膨潤を利用し、乾燥時と湿潤時で、可逆的に捲縮状態の変化する繊維<sup>11)</sup>も開発されている。

第二の同心円タイプは、偏芯させるとサイド・バイ・サイドと類似の捲縮を発現することになるが（捲縮発現を嫌って同心円にする場合、これはしばしば欠点となる）、一般には中心に対して対象であり、捲縮は発現しない。芯の部分に、単独では紡糸し難いポリマあるいは、何らかの機能を発現し得る成分を閉じ込めておくことなどの目的で生産されている場合が多い。

第三のものは、多層に積層された形か、芯を複数有する多芯タイプである。芯の数が多いものは海・島型（鞘が海で、芯が島）ともいわれる。これは、一旦複合繊維として製造し（大部分は、編織物や不織布にしてから）複合の界面で剥離、分割したり、海成分を溶解除去して、独立した島成分のみからなる極細繊維を得るために多く利用されている。なお、極細繊維については、後に詳述する。

第四のものは前者と似ているが、分割ないしは溶解除去した後に得られる（残された）繊維の断面形態に意味を持たせたものである。単独の溶融紡糸では得られない、特殊な断面形状の繊維が得られる。

### 7-1-3 サイド・バイ・サイド型

サイド・バイ・サイドに限らず、複合繊維を紡糸するに当たり、口金の設計上最も重要なことは、異種成分のポリマを合流させる方法である。近接した別々の吐出孔より吐出した後、口金外で合流させる試みもないわけではないが、一般には、口金の吐出孔内で、吐出直前に合流させる。

多数の口金吐出孔全部に対して、また時間的にもポリマを均一に分配することが必要である。そのためには、合流させる前のそれぞれのポリマ成分に、一定の圧力損失のある計量および分配用の内部ノズルを各々の吐出孔に対して設け、全体の均一性を確保することが行われる。

このような例を特許<sup>12)</sup>の添付図から説明する。図7.5は複合紡糸用の口金を組み込んだ装置（通常パックと呼ばれる）である。A、B2成分のポリマが、吐出孔(24)の直前(18)の部分でサイド・バイ・サイドに合流される。○で囲んだ16、17は、圧力損失の大きくなるような小孔径の孔であり、流動抵抗により、各吐出孔に対するポリマの量が等しくなるように分配する。そのためには、厳密な精度の良い部品の機械加工技術が必要なことは論を待たない。

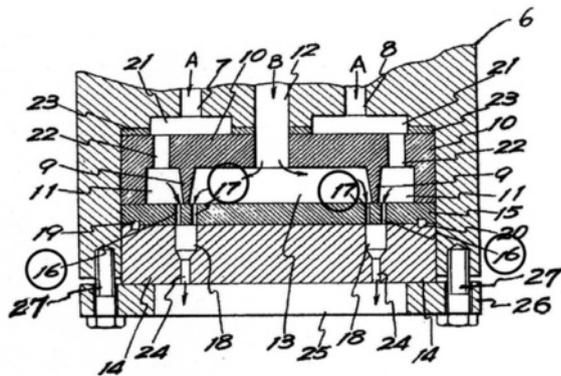


図7.5 複合紡糸におけるポリマ分配<sup>12)</sup>

図7.5には、パックの全体図を示したが、紡糸に際してポリマの圧力は、このパックの中で20MPa程度に達する。したがって、ポリマが漏れ出さないようなシールが重要である。特に複合紡糸のパックは、部品の点数が多くなるので、部品間の僅か隙間もできないよう、多くの工夫が採用されている。隙間ができるとパック内で異種ポリマが混ざり合い、いわゆる複合ムラを生じることになる。

それでも2成分間の熔融粘度差が大きい場合には、口金内で合流した際に、ポリマ流量の偏りが生じやすい。そのような場合に、低粘度の成分を側方からほぼ直交して衝突させるように合流させ、低粘度成分の動圧により高粘度成分とのバランスをとらせる試み<sup>13)</sup>も

ある。図7.5のように、平行流として合流させると低粘度成分が三日月のように扁平になるか、一部の吐出孔に偏ってしまうのを防ぐことができる。

また、サイド・バイ・サイドでは、組み合わせるポリ

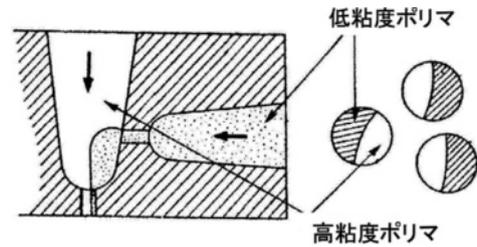


図7.6 直交に合流させる方法<sup>13)</sup>

マの粘度差により、吐出孔出口でポリマ流が曲がるという厄介な問題もある。図7.6に模式的に示したが、平行して流れる高粘度成分の吐出線速度が遅いので、こちらを内側にして出口でポリマ流が曲がる傾向がある。

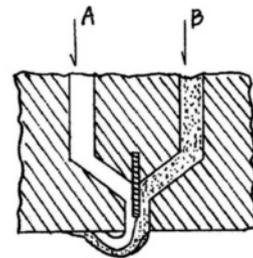


図7.7 吐出孔での曲がり

はなはだしい場合には、図のように口金面についてしまい、紡糸の継続が不能になる。これを避けるために吐出孔を斜めに穿孔し、はじめから斜めに吐出する、曲がる方の口金面を少しえぐっておくなど、各種の提案もなされているが、根本的な対策は成功していない。ポリマの選択時に、紡糸可能な程度の粘度差にとどめる必要がある。

複合紡糸でも、吐出孔の形を適宜設計することにより、通常の紡糸で行われていると同様に、異形断面でかつサイド・バイ・サイド複合形態の繊維を得ることができる。

一般的に合成繊維は生産の安定性を重視し、均一性の確保に努めているが、サイド・バイ・サイドの複合で均一な繊維の束にあっては、その捲縮のコイル径がフィラメント間で同一であり、容易に重なり合ってしまう。高粘性を高めるためには、単繊維をほぐし（開繊）、バラバラにする必要がある。

また、先に述べた「新合繊」時代に向かって、より自然観のあるバラツキを持った繊維を志向する機運が高まってきた。そのような中で、積極的に複合状態にバラツキを与える試みが鐘紡から出願<sup>14)</sup>されている。

図7.8において、A、B両成分のポリマは、口金より

も上方で合流した後、スタティックミキサー（静的混練素子）に導かれる。ここで、流れは分割と合流を繰り返す、素子の段数に応じた混合状態になる。素子内の流れも基本的には層流であるので、時間的には変動は少ないが、流れが細分化され、混合される。（スタティックミキサーはプロペラなどによる（動的）攪拌作用によらないで、流体を混合する素子で、食品工業などでも乳化や混合の目的で使われている。）

図の左側に複合糸断面（この図では六角断面になっている）の一例を示したが、従来であれば複合ムラとして敬遠されていたものを、逆に取り入れた技術である。

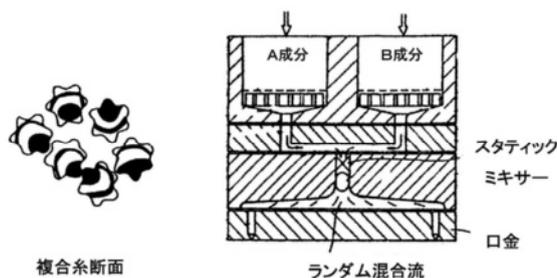


図7.8 ランダム複合の例<sup>14)</sup>

このように断面内で、A、B両成分がランダムに分布すると、収縮差を生じた場合でも、両成分の力学的なバランスで捲縮のコイル径が決まるので、コイル径が揃うことはない。また、一方の成分のアルカリ減量速度が大であれば、アルカリ減量処理においてそれが選択的に先に減量するので、表面にランダムな筋を形成した特異な形状の繊維も得られる。こうしたことを特徴として、1990年頃、鐘紡より"トレビュー"の商標で商品化された。

さらに、長手方向にも複合状態のランダム性を付与しようとする試みもある。しかしながら、熔融紡糸におけるポリマの流れは、パックや口金内などほとんど層流とみなされる範囲であり、繊維の直径に相当する程度の細かいピッチでの変化を与えることは極めて困難であり、実用化には至っていない。

#### 7-1-4 同心円型

同心円型での合流のさせ方は、芯になるポリマを鞘となるポリマで包み込むようにして、吐出孔に導くことからなる。合流方法の典型的な例を、特許<sup>15)</sup>より引用して、図7.9に示す。

図7.9の例では、口金は上下2枚構成で、上部の口金で、芯成分のポリマの絞りを設け、各孔に均等になるように配分し、下部口金の直前で、側方から流入するさや成分ポリマと合流させる。この時、下部口金板に突起部を設け、さや成分の流入部の間隔を狭くしてい

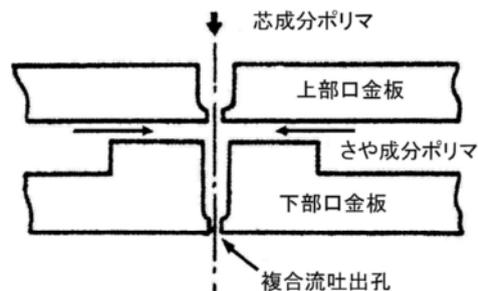


図7.9 同心円型での合流<sup>15)</sup>

るところに特徴がある。この狭い間隙の流動抵抗（圧損）で、さや成分も均等に分配される。

このように、圧損を利用して、複合ムラが生じないような配慮が、多くの場合に用いられている。それでもさや成分の海の中へ、芯成分ポリマを（特に中心の位置へ）うまく注入するためには、芯成分の粘度を高くして、合流点で、横から流入するさや成分の流れに負けないようにすることも重要である。

この同心円複合技術は、衣料用繊維では制電性繊維への応用が最も一般的である。

合成繊維の欠点の一つとして、他のプラスチック類と同様に、摩擦による帯電がある。耐電圧は数千ボルト<sup>17)</sup>におよび、衣服の裾へのまつわりつき、ほこりの付着、衣服着脱時のパチパチする不快感や場合によっては放電時の軽度のショック（衣服ばかりでなく、カーペットや椅子張りなどにも原因がある）などの原因となっている。

布帛や衣服に界面活性剤を付着させることにより帯電を防止する方法も古くから、また現在でもとられているが、繊維自体の帯電性を改善する検討がなされてきた。

はじめに工業化されたのは、ナイロンで制電ポリマとしてブロックポリエーテルアミドを混合して紡糸する方法で、1966（昭和41）年東レから制電性合成繊維の第1号として発表<sup>16)</sup>された。ここでは、制電性ポリマが繊維中で軸方向に筋状に分散していることが、制電防止効果を発揮するのに有効であると説明<sup>17)</sup>されている。

有機系の制電ポリマでは、湿度が低い場合など、静電気の漏洩が起りにくい状態では限界があり、より高い制電性が望まれた。金属繊維や金属メッキ繊維の混用なども検討されていたが、1974（昭和49）年DuPontは、カーボンブラックを含むポリエチレンを芯に配した同心円型のカーペット用ナイロン繊維"Antron III"を開発した。

ここで、制電性の指標である繊維の比抵抗値を表7.2に示した。比抵抗で $10^{10}$ 程度のものを制電性繊維、

表7.2 繊維の比抵抗<sup>18)</sup>

	比抵抗 ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )
通常の合成繊維	$10^{14} \sim 10^{16}$
有機制電剤練りこみ	$10^8 \sim 10^{12}$
カーボンブラック利用	$10^1 \sim 10^5$

$10^5$ 以下程度に低いものを導電性繊維<sup>18)</sup>と呼んでいる。導電性繊維になると半導体の領域である。

"Antron III"の開発後、カーボンブラックを利用する導電繊維がナイロン、ポリエステルを問わず相次いで開発された。

図7.10は、これらの断面形状の例である。(a)はDuPontのAntron型で同心円、(b)はMonsanto社の表面にカーボンブラックが来るように配置したもの、(c)は鐘紡のカーボンの表面への露出を極力少なくするよう板状にしたものなどである。その他 (DuPontの特許<sup>19)</sup>回避の意味もあるが) 芯を小さくして4つ配したものや、3重芯鞘として中間層にのみカーボンブラックを配したものなど、各種のカーボン系導電繊維が開発された。

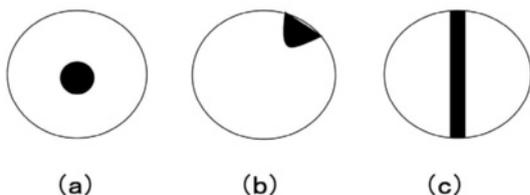


図7.10 制電性複合繊維

カーボンブラックを用いた繊維の欠点は、当然のことながら色が黒くなるということである。表層のポリマに白色の酸化チタンを多量に添加することなどによって、灰色程度にはなるが、それでもそのまま衣料用繊維として用いるには問題がある。ただし、導電性繊維の比抵抗値は十分に低いので、繊維としては全体の1~2%混合して使用すればよい<sup>16)</sup>ので、目立たないような布帛の設計が行われている。フィラメント織物の場合には、経糸に何本かおきに黒い導電性繊維を配し、模様のようにした防塵用ないしは帯電による電気ノイズ防止用の作業衣などに用いられている。

一般のアパレル用としては、制電性繊維レベルでよい場合も多く、高濃度の有機制電剤 (ポリエステルでは、ポリアルキレングリコールが一般的) を練りこんだものや、芯に配置した複合繊維が広く用いられている。制電剤はアルカリ減量を受けやすいので、染色工程でのアルカリ減量加工に耐えるためにも、同心円複合で内部に閉じ込めておくことが有利である。

もちろん繊維の断面形状としては、三角をはじめとして、各種の異形断面繊維に応用可能である。

同心円型複合の具体的応用例で、一般に最も理解しやすいのは光ファイバーであろう。透明性が高くかつ屈折率の異なる物質が同心円状に配置された構造よりなる。実際にプラスチック光ファイバーの中には、このような同心円複合技術を適用して、繊維化されているものもある。

光ファイバーでは、芯および鞘の両ポリマの光学的特性が利用されているが、衣料用繊維では、芯ポリマの機能を利用するものが多い。

図7.11は蓄熱保温素材<sup>20)</sup>としてユニチカが開発したものである。ナイロンやポリエステルの芯に、太陽光集熱装置などに検討されている炭化ジルコニウム (ZrC) を練りこんだポリマを配したものである。保温性に優れ、スキーウェアなどに使われている。

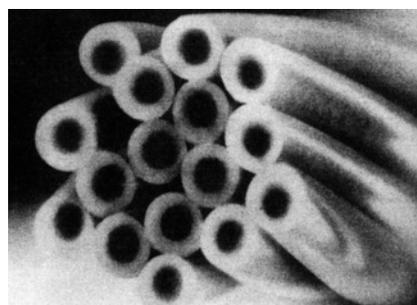


図7.11 蓄熱保温素材<sup>20)</sup>

図7.12は東レが開発した、紫外線遮蔽繊維の例である。芯は星型をしているが、紫外線遮蔽能力のある酸化チタンを多量に含ませている。酸化チタンは通常少量であれば艶消しとして、ポリマ全体に添加されているが、硬い粒子であるため、多量に添加すると製糸工程ならびに織・編工程で走行する糸条が接触する金属などの部材を磨耗し、毛羽立ちや糸切れの原因となる。

そのため、高濃度の酸化チタンを、糸の表面にはほとんど存在させず、糸を透過する紫外線を効率的に遮断できるように、芯をこのような形状にしたものである。紫外線から肌を防御する衣料として、また、防透け性のある水着などへ展開されている。

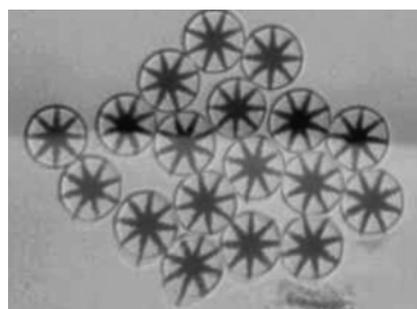


図7.12 紫外線遮蔽繊維  
東レ(株)提供

#### 7-1-4 多層・多芯型

この形は、極細繊維を得る手段として多用されているので、7.3項で詳述する。

ただ、最近極細繊維とは逆に、高成分を溶解除去して、図7.13に模式的に示すレンコンのような多孔中空繊維が開発<sup>21)</sup>されている。クラレは水溶性の熱可塑性PVA系ポリマを用い製品化し、中空率が高く遮熱性が良好であるとしている。

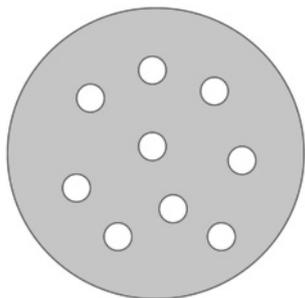


図7.13 レンコン型繊維

水溶性とはいえ、ある程度分子量の高い高分子が、繊維の中から溶けて流れ出すという一見不思議な現象も起こっている。

#### 7-1-5 分割・溶出型

熔融紡糸では一般に、固化するまでの液体状では、その表面張力のため、口金吐出孔の形状をそのまま糸に保存することは困難である。すなわち、矩形の吐出孔を用いても、得られる糸の断面は丸みを帯びたものとなる。

DuPontのブリーン (Breen) は、複合紡糸で接合されたポリマの界面が、鋭い縁を示すことに着目して、これを分割することにより、通常の紡糸では得られない鋭い縁を有する繊維となることを見出し<sup>22)</sup>、特許出願した。

この発明は、せっかく複合で紡糸した繊維を、分割するという概念と、その結果として、通常の熔融紡糸では得られない、鋭い断面の繊維が得られるという2つの概念からなる。図7.14の右のような断面の複合繊維を分割すると、(b)の鋭い縁の十字型断面の繊維が1本と、(a)のような4本の鋭角三角断面の繊維が得られる。

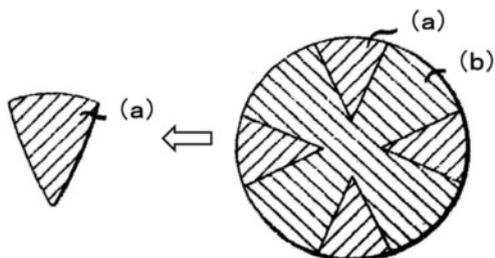


図7.14 複合断面の分割<sup>22)</sup>

分割は1成分を溶解除去するか、または両成分間に親和性がなく、接着力が小さい場合は、衝撃力などによって行われる。(製糸工程中で分割が生じるとトラブルになるが)

図7.15はこの原理で鐘紡が開発した複合分割糸の例で、分割される状況を示している。ナイロンとポリエステルよりなり、8個の三角形の極細ポリエステル繊維と、星型のナイロン繊維が得られる。鐘紡では織物ないしは不織布とした後、両成分の剥離分割を促進するために、ナイロンの膨潤剤による処理を利用<sup>23)</sup>している。

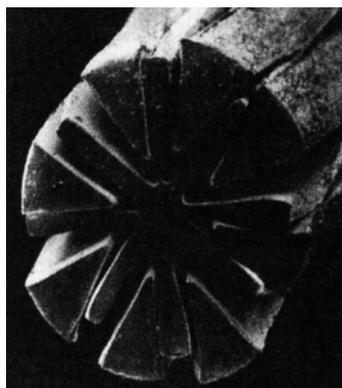


図7.15 複合分割糸の例<sup>23)</sup>

人工皮革用極細繊維や、「ピーチスキン調」といわれる、桃の皮の産毛のような肌触りと外観を有する「新合織」織物の一つとして展開されている。

## 7.2 仮燃加工技術

第2章の捲縮加工技術で、仮燃加工が最も広く行われていると述べたが、ここではその技術展開について紹介する。

### 7-2-1 仮燃加工技術の歴史

仮燃加工とは、マルチフィラメントに撚を掛け、その撚を形態固定して後解撚し、糸にトルクとクリンプを生じさせる技術(加撚-形態固定-解撚の3工程よりなる)であり、その原点はレーヨン時代に「擬毛加工」と呼ばれた日本で発明された技術にさかのぼる。

発明者は京都の常山佐太郎で、『ビスコース人絹の加工方法として、『毛糸に似た触覚と特別な趣味ある編糸又は織糸』を得ることを目的とし、『ビスコース・レーヨンに加撚し、濃硫酸液中を通過させた後、中和・洗浄し、撚戻しを行い、さらに反対撚を付与する』というもので、1926(大正15)年に出願<sup>24)</sup>されている。形態固定が濃硫酸で行われることになっている。

ただし、当時工業化はされなかったようで、スイス

のヘバーライン社 (Heberlein) のビスコースに関する特許<sup>25)</sup> が1932年ドイツへの出願、東レの西村小太郎が発明者とする特許<sup>26)</sup> が1937 (昭和12) 年の出願であり、先の発明より10年ほど後のことであった。東レの特許では、蒸気処理の後解燃し、ホルマリンなどの薬液で形態固定を行うことが記載されている。

1936年にヘバーライン社は"Helanca"の商標で、1938年に東レは"ラナヨン"の商標でレーヨンの加工糸の市販を開始<sup>27)</sup> した。

その後、アセテートなどにも適用されたが、本格的展開は、熱可塑性の合成繊維であるナイロンにおいてであり、形態固定は熱処理となった。東レは1951年頃から、捲縮加工したナイロンストレッチヤーンをソックスなどの用途に展開し始め<sup>28)</sup>、1954 (昭和29) 年4月より、新たに設立された東洋ナイロン撚糸加工 (株) で、ウーリーナイロンとして本格的な量産を開始した。<sup>29)</sup>

当時の加工方法は「イタリー式」と呼ばれ、図7.16に示すように、一旦撚糸機により加撚して巻取り、熱固定、解撚と3工程がそれぞれ分離していた。加撚は数t/mを要するので、生産効率はきわめて低かったが良質の加工糸が得られた。

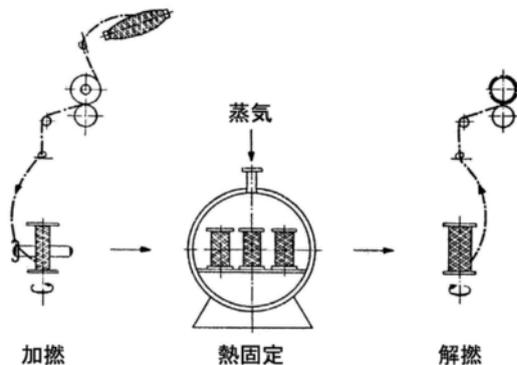


図7.16 イタリー式加工法<sup>30)</sup>

より生産性の良い連続的な仮撚機は、アメリカで生まれ、1957 (昭和32) 年頃にはわが国に急速に広まった。<sup>31)</sup> 仮撚加工の原理を図7.17に示す。

中央に高速で回転可能なスピンドルがあり、これのピンに糸は巻きかけられる。糸が静止していれば、スピンドルが回転すると、上下で逆向きの撚を生じるが、糸は上方から下方へ走行しているため、スピンドルを抜けたところで、上方で掛けられた撚りが打ち消されて、撚のない状態になる。スピンドルの上方にだけ撚が存在するので、仮撚 (false twist) と呼ばれる。

右の図は、加撚時と解撚時の繊維束の状態を示す。加撚時は、らせん状に糸が撚られるので、糸束が太いと撚を多く入れることができない。したがって、太い糸では捲縮が粗くなる。また、糸束の外側のフィラメ

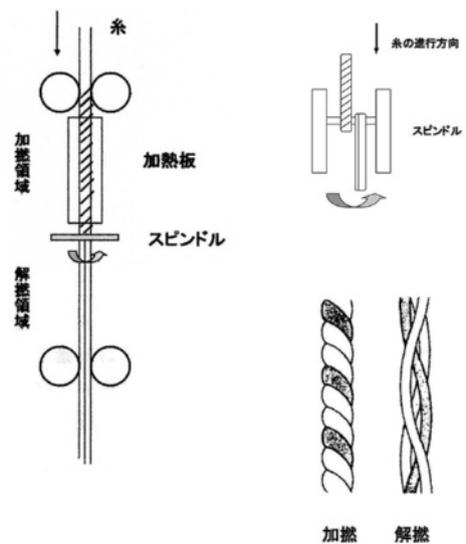


図7.17 仮撚加工の原理

ントは、内側のフィラメントに比べ、長いらせん距離を必要とするので、内外で糸の長さに差が生じ、外側のフィラメントの張力が高くなり、内側に移動して糸は入れ替わる。(これをマイグレーションという) そのため、同一フィラメントの長手方向でらせん形状が異なり、解撚されたときフィラメント同士が重なることなく、高い嵩高性を発現する。

ナイロンが先行した加工糸であったが、1959 (昭和34) 年ポリエステル繊維の生産開始と同時に、ウーリー・テトロン<sup>32)</sup> の生産も開始された。しかしながら、ナイロンと異なり固いポリエステル繊維は、ゴムローラ、ガイド、ヒータ、スピンドルなど糸が接触する面の摩擦が激しく苦勞した<sup>32)</sup> ようである。それでも、図 7.18に1959年から1965年までのポリエステル加工糸生産量の推移を示すように、生産量は急速に拡大した。(1965年の伸びが少ないのは、不況の影響と思われる)

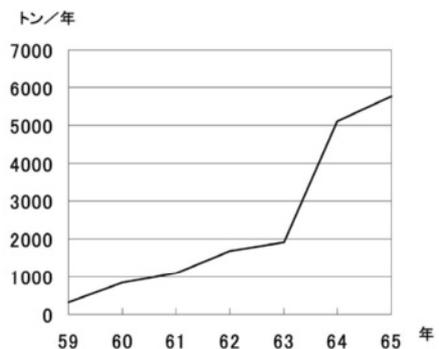


図7.18 ポリエステル加工糸の生産量<sup>32)</sup>

ポリエステル加工糸の生産量の拡大は、加工糸織物が斬新な風合いとすぐれた機能性により爆発的な人気を呼んだことが原因で、これまでニット中心の (ナイロンはソックスなどニットが中心であった) 加工糸需要を織物まで広げたという面からポリエステル加工糸

の功績は大きい<sup>33)</sup>とも言われている。

収縮差混織糸が、薄地のシルクライク分野に主に適用されているのに対し、ウールに相当する高い嵩高性とストレッチ、加熱時の残留トルクにより、布帛表面に凹凸の変化を与える加工糸として、主に中・厚地向けに適用されている。

### 7-2-2 仮燃加工技術の革新

仮燃加工技術の革新は、第5章で述べたPOYの出現と軌を一にしている。一つは加工速度の高速化であり、もう一つは複合仮燃加工である。

従来のスピンドルを回転させることによる方式では、燃はスピンドルの1回転当たり1ターンとなるので、加燃数はスピンドル回転数に制約され、加工速度は100m/分程度と遅かった。一方、通常の延伸速度は数100m/分であり、POY-DTYで延伸と同時に加工することになると、両者の速度はマッチせず、延伸速度を遅くせざるを得ないことになる。

高速での加燃方式が検討され、摩擦方式が一般化された。図7.19に摩擦方式の燃かけ装置のモデルを示す。糸に接触して回転するディスクにはさまれ、燃がかけられるので、燃数は、ディスクの回転数に、糸の太さとディスクの直径の比を掛け合わせた数となる。その結果、飛躍的に燃数を増大させることが可能となり、加工速度は延伸速度に匹敵するようになった。このようにして、延伸仮燃における生産性は確保され、仮燃加工の主流となった。

その他、燃掛け方式としては、弾性のあるベルトでニップする方法なども考案されているが、現在では1200~1500m/分の加工速度にも達しており<sup>35)</sup>、加燃よりも熱処理や解燃時の冷却が加工速度の限界になっている。

また、POYの出現により、仮燃加工に供給する原糸の種類に未延伸糸、POY、延伸糸と幅が広がり、また、延伸倍率という操作因子も増えたことから、新規な加



図7.19 摩擦仮燃モデル図<sup>34)</sup>

工糸が製造されるようになった。代表的なものが複合仮燃である。

複合仮燃では、異なった性質を有する糸を、同時に仮燃加工し、新規な風合いを有する加工糸とする技術である。未延伸糸、POY、延伸糸はそれぞれ伸度が異なり、加工機で延伸された時に発生する延伸張力が大幅に異なる。仮燃加工の原理のところでも述べたように、張力の高い糸はマルチフィラメント束の中で中心に集まる傾向を示す。均一な性質を有するマルチフィラメントであれば、マイグレーションにより繊維は交互に入れ替わるが、このように延伸張力に差のある糸を同時に加工すると、一方を芯とし、他方が鞘となるような2層構造の加工糸が得られる。また、太さ（繊度）に差がある場合は、ねじりモーメントの大きな太い繊維が、芯になる傾向を示す。

図7.20は、このような複合仮燃の各種の方式を示す。<sup>36)</sup> 同一の供給ローラを使う場合、別々に供給ローラを設ける場合などいろいろである。別々に供給ローラを設けた系では、一方をよりオーバーフィードで供給することができ、芯・鞘の2層構造の加工糸を得ることが容易となる。また、交絡装置を組み込んだ例も示されているが、芯・鞘構造の加工糸を、絡み合わせ、長手方向にも変化を与え、ムラ感を増し、より紡績糸に近い風合いとすることもできる。

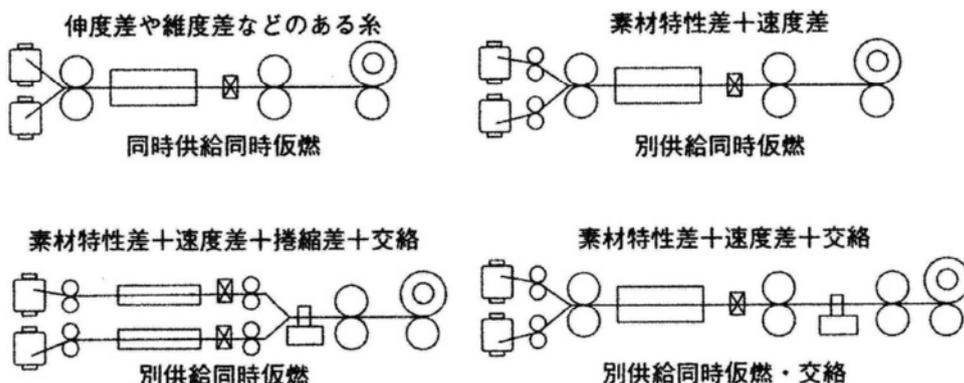


図7.20 複合仮燃の各種方式<sup>36)</sup>

また、加工中に積極的に擦過体を設け、紡績糸様に毛羽を生じさせること<sup>37)</sup>なども行われている。

図7.21にこのようにして得られる2層構造の複合加工糸の1例を示す。下段は加工したままで、上段はこれに弛緩状態で熱処理を施したものである。相対的に細い繊維が鞘となり、絡まっている様子が示されている。

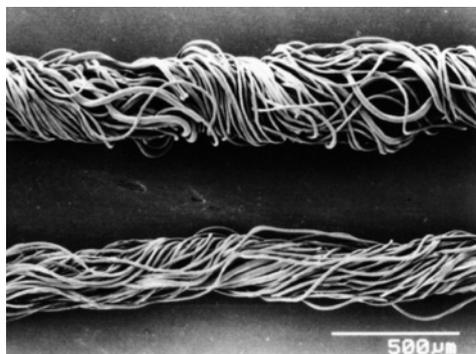


図7.21 2層構造複合仮撚加工糸  
東レ(株)提供

図7.22は、このような加工糸による織物の断面写真である。高刚性も高く、表面に細い繊維があるので感触は柔らかく、芯の太い繊維で腰のある織物が得られる。



図7.22 複合仮撚加工糸織物断面  
東レ(株)提供

以上述べてきた仮撚加工技術の変遷を図7.23としてまとめた。

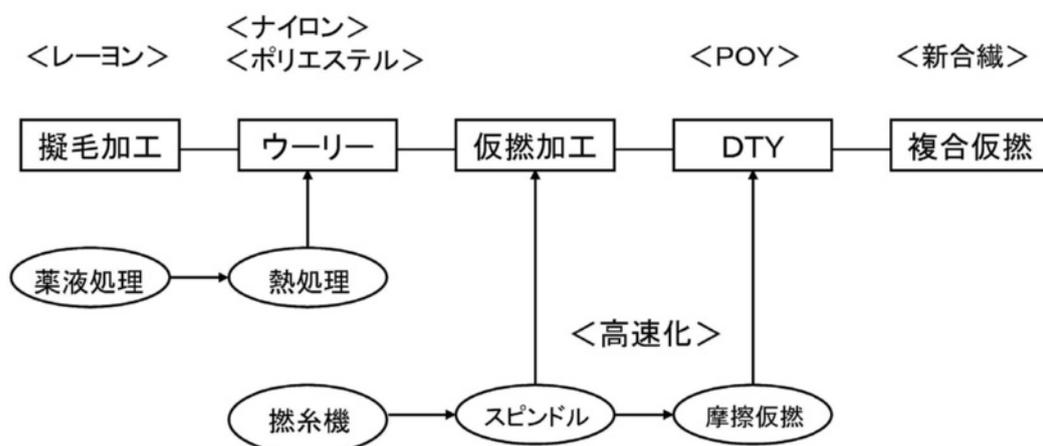


図7.23 仮撚加工技術の変遷

## 7.3 極細繊維

繊維の太さはテックス (tex) という単位で表す。長さ1000mの糸の質量が1grの時、1texと定義されている。慣用的にはこの1/10に相当するデシテックス (dtex) が用いられている。厳密には繊維の密度に依存するわけだが、1dtexは直径にすると約10 $\mu$ mに相当する。

天然繊維では、精練によりセリシンを除去した後の絹のフィブロイン繊維が最も細く、ほぼ1dtex程度に相当し、綿や羊毛は2~4dtex程度とやや太い。衣料用合成繊維は、天然繊維を手本としてきたので、通常、ほぼこの程度の太さの範囲で用いられている。

極細繊維に関して、明確な定義はないが、0.5dtex以下としている場合が多い。(繊維系は10 $\mu$ mを切り、1桁の $\mu$ mオーダーになり、マイクロファイバーと表現されることもある) 最近、さらに細い繊維も登場し、ナノファイバーの世界も開けている。

### 7-3-1 極細繊維の製法

極細繊維のさきがけとなったのは東レの岡本三宜であり<sup>38)</sup>、その製法は1966 (昭和41) 年に出願されている特許<sup>39)</sup> に示された高分子相互配列体 (海島構造) 繊維と称されるものであった。その後各種の製法が試みられ、分類すると図7.24 のようになる。

(a) は最も単純で、紡糸・延伸により極細繊維を直接得ようとするものである。(b) は親和性のない非相溶のポリマブレンドで、一方の成分を細い筋状に分散させる海島構造の一種である。原則的には島は不連続の繊維となるが、相当の長さを有する繊維を得ることが可能である。(c) が上記した高分子相互配列体構造である。(d) は多数の並列して複合された繊維を、分割することによって極細化するものである。

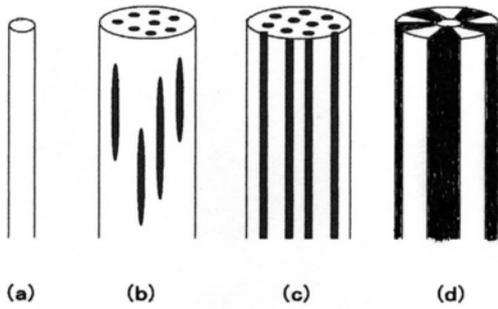


図7.24 極細繊維の製法

(a) は単純な方法であるが、通常の繊維が1dtex程度までであることから、0.5dtex未満の1桁近く細い糸を得ることは、単に一つの吐出孔あたりの吐出量を下げればよいというような簡単なことではない。図7.25に極細繊維を紡糸するプロセスの概要図を、特許の添付図より示す。

吐出量を下げて紡糸することの大きな問題は、糸が切れることなく連続して安定に紡糸できることと、経済性の観点から生産性を確保することである。

吐出量を下げていくと、口金直下で糸切れが生じやすくなり、はなはだしい場合は雨だれ状になる。吐出量に見合って口金孔径を細くすることも、加工精度および異物の詰まりなどの使用上の問題から、孔径としては直径0.1mm程度が限界である。糸切れを回避するために考案されているのが、口金直下での急冷である。図7.25において、(15)で示されているのが、冷却風吹き付けノズルである。

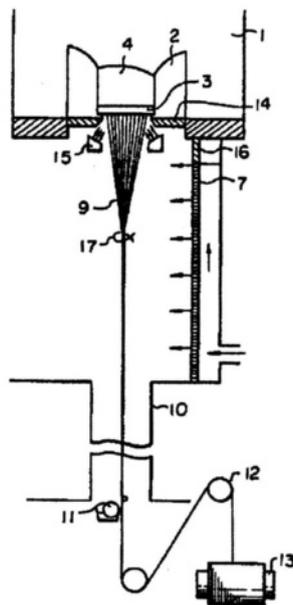
口金を出るまでのポリマはなるべく低粘度とし、均一に吐出させ、口金直下で急冷する。ただし、口金自

体の温度が下がらないように工夫されている。冷却された糸条は、なるべく上方で収束され(図中(17)が収束のためのガイド)、過度な紡糸張力がかからないようにする。

生産性確保のためには、吐出孔の数を増やす必要がある。隣接する繊維同士の干渉を防ぎ、均一に冷却できるように、吐出孔の配列や、冷却条件などが最適化されている。その外にも、熔融粘度を低くするために、紡糸温度を高め、比較的比重度のポリマを用いること、通常の紡糸でも行われているが、異物の濾過を強化し、また、ポリマの均一分散を考慮するなどの総合技術の結果として、旭化成では(延伸糸として)0.11dtexレベルの極細繊維を、複合紡糸などによらず直接繊維化する技術を開発している。<sup>41)</sup>

(b)の方法は、非相溶ポリマにおける層分離構造を利用し、極細繊維に結びつけたものである。非相溶のポリマを熔融状態で分散・混合(ブレンド)すると、一方が海(通常量の多い方)を形成し、他方が島となった海島構造となる。熔融紡糸の過程では、熔融ポリマは口金から吐出されるまでに、流動過程でせん断変形を受け、また、吐出されてから固化するまでの間に、通常の紡糸で数十倍の伸張を受ける。

これらにより、島成分は繊維長手方向に伸張され、海成分を溶解除去すると、完全に連続フィラメントではないが、直径に対して十分な長さを有する極細繊維が得られる。クラレはこのようにして得られた繊維から不織布とする技術を開発した。<sup>42)</sup>



<図の説明>

1. 紡糸頭 2. 口金バック 3. 口金
4. 熔融ポリマ 7. 冷却装置 9. 糸条
10. カラム 11. 油剤付与装置
12. 引取ローラ 13. 巻取機
14. 遮熱板 15. 送風器
16. 非送風領域調節板 17. 収束器具

図7.25 極細繊維の紡糸<sup>40)</sup>

最近、この手法によりポリマの分散を極限的に小さくし、得られる繊維径が数十nmとなる、ナノファイバーの製法も開発されている。<sup>43)</sup>

(c)の方法は、(b)に対して、フィラメントを得る方法である。1964(昭和39)年バイメタル型の複合糸を検討(高なふとん綿用ステーブルとして実用化された)していた岡本は、複合紡糸方式により極細繊維とする発想を得た。<sup>38)</sup>

複複合ともいえる手法で、口金構成のモデル図を図7.26に示す。

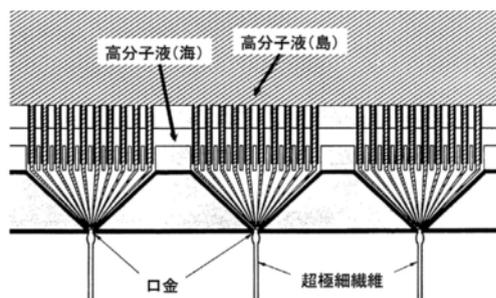


図7.26 極細繊維紡糸口金<sup>44)</sup>

口金の吐出孔上流で、島成分を海成分で取り囲んだ同心円状の複合流を形成し、その多数の流れを集めて合流させ、一つの吐出孔から紡糸するというものである。金太郎飴のように、どこまでも海で囲まれた複数の島が連続しており、高分子相互配列体繊維と称された。海を溶解除去すると、極細のマルチフィラメントが得られる。

原型は1964(昭和39)年出願の特許に見られる<sup>45)</sup>が、そこでは「総合繊維」という表現が使われている。技術が完成したのは1966(昭和41)年に特許出願<sup>46)</sup>した頃と思われ、「高分子相互配列体」と記載されている。

得られる繊維の断面形状の例を、図7.27に示す。島の数を多くすればさらに細い繊維が得られ、現在実験室的には1万分の1dtex程度までの細い繊維が得られている。ポリエステルで直径にすると約0.1 $\mu$ mである。この繊維は約4.16gr、わずかタバコ4本程度の重さで、地球から月までをつなぐことができる。<sup>44)</sup>

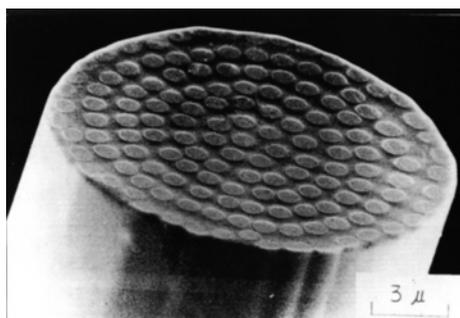


図7.27 高分子相互配列体繊維  
東レ(株)提供

(d)の方法は、7-1-5の複合繊維の分割・溶出型のところで述べた。図7.15にその例を示したが、ここでは他の例を示すにとどめる。

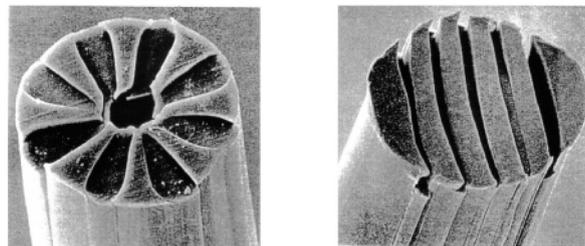


図7.28 分割型複合繊維の例<sup>47)</sup>

### 7-3-2 極細繊維の用途

岡本が高分子相互配列体による極細繊維を発明した当時、社内では酷評を受けた。その欠点として、「7つの非常識」が指摘されたという逸話<sup>38)</sup>が伝わっている。その内の2つをあげると、①装置が複雑で、コストが高くなる、②市場性が全くないということになる。

商品化は、人工スエードへの適用ということで、目の目を見た。当時東レは靴用の表皮つき人工皮革の開発に行き詰っており、それをスエード調の人工皮革に切り替えて立て直しを図ることになった。

スエードは天然皮革の内面のコラーゲン繊維を立毛させたもので、コラーゲン繊維の太さは1~4 $\mu$ mであり、これと同等の極細繊維が利用された。極細繊維の不織布に、ポリウレタンなどの弾性ポリマを含浸し、表面をサンドペーパーなどで起毛加工することによって得られる。<sup>48)</sup>

製品の価値を評価したのは、皮に関する文化の希薄な日本よりも、先ず米国のDuPontであり、また1970(昭和45)年のパリコレクションでも好評<sup>38)</sup>を博した。国内他社も、前述した各種の極細繊維製造技術により、人工皮革分野に乗り出し、衣料用として、また乗用車のシートや、家具などの用途にも次第に広まっていった。

極細繊維の性質は、力学的に曲げや振りのモーメントが小さく、曲げやすく柔らかいというだけでなく、繊維集合体では、繊維間に形成される空隙も微小になる、また、比表面積が大きいなど様々な特徴がある。これらの特徴は、衣料用分野だけでなく、各種のフィルターやメガネ拭きをはじめとするワイピングクロスなどとして実用化されているが、岡本<sup>49)</sup>は図7.29のような広がり期待している。

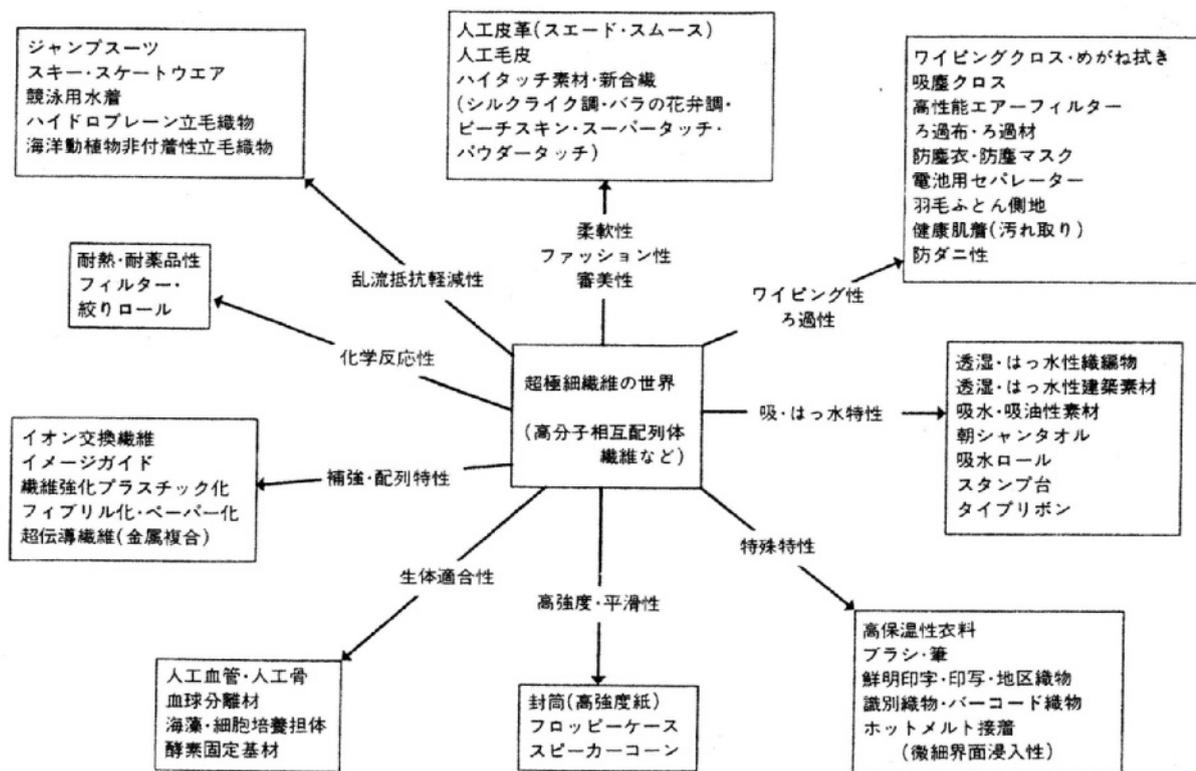


図7.29 超極細繊維の展開<sup>(49)</sup>

<引用文献>

- 1) たとえば、「繊維の百科事典」、p.995、丸善(2002)
- 2) 日本衣料管理協会:「繊維製品の基礎知識」第1部、p.11、(2004)日本衣料管理協会(2004)
- 3) Horio, Kondo: Tex.Res.J., Vol.23, p.373 (1953)
- 4) 特公昭 14-1929
- 5) USP 2,368,173
- 6) USP 2,439,814
- 7) W.Sisson, F.F.Morehead: Tex.Res.J., Vol.23, p.152 (1953)
- 8) 松井: 繊維機械学会誌、Vol.34, No.7, P319(1981)
- 9) 東レ70年史 年表
- 10) 福原: 成形加工、Vol.7, No.1, p.51 (1995)
- 11) 黒田: 「最新の繊維技術レビュー」講演会要旨集、p.21、繊維学会(2005)
- 12) 特公昭 41-16124
- 13) 特公昭 43-20247
- 14) 特公平 2-32366
- 15) 特公昭 44-7872
- 16) 山本: 繊維機械学会誌、Vol.38, No.8, P239 (1985)
- 17) 岡崎: 高分子、Vol.21, No.245, p.403 (1972)
- 18) 山本・永安: 繊維機械学会誌、Vol.41, No.2 P109 (1988)
- 19) 特公昭 52-31450
- 20) 繊維学会編: 「最新の衣料素材」p.201、文化出版局(1993)
- 21) 特開2003-105627
- 22) 特公昭 39-29636 (= USP 3,188,689)
- 23) 特公昭 53-35633
- 24) 日本特許 71,300号
- 25) DE 618,050
- 26) 特公昭 13-5330
- 27) 谷: 繊維学会誌、Vol.43, No.1, p.9 (1987)
- 28) 川崎: 「加工系概論」p.13、日本繊維機械学会(1967)
- 29) 小林: 化繊月報、1971年7月号、p.56
- 30) Ludwig: 「ポリエステル繊維」
- 31) 川崎: 「加工系概論」p.16、日本繊維機械学会(1967)
- 32) 小林: 化繊月報、1971年7月号、p.52
- 33) 中田: 化繊月報、1968年10月号、p.127
- 34) 「21世紀のテキスタイル科学」、p.48 日本繊維機械学会(2003)
- 35) 繊維学会編: 「繊維便覧」第3版、p.288、丸善(2004)
- 36) 村上: 「やさしい繊維の基礎知識」、p.96、日刊工業新聞社(2004)
- 37) たとえば、特公昭 49-38379

- 38) (社)研究産業協会監修：「匠たちの挑戦」(1)、  
p.71、オーム社(2002)
- 39) 特公昭 44-18369
- 40) 特公昭 62-35481
- 41) 松尾：繊維学会誌、Vol.54,No.3,P74, (1998)
- 42) 特公昭 51-6261 など
- 43) 特開 2004-162244
- 44) 中島・筏：「ハイテク高分子材料」、p.74 アグネ  
(1986)
- 45) 特公昭 43-7411
- 46) 特公昭 44-189369
- 47) 松本：繊維学会誌、Vol.48,No.7,P398 (1992)
- 48) 繊維学会編：「繊維便覧」第3版、p.339、丸善  
(2004)
- 49) 繊維学会編：「最新の紡糸技術」、p.226 高分子刊  
行会 (1992)

# 8 | まとめと考察

## 8.1 なぜポリエステルなのか

第2章で、ポリエステルが全繊維の中で、1/3以上を占め、最大であることを示し、その理由として、性能とコストのバランスが極めて優れているためと述べた。実際に、世界で合成繊維の生産量が増大した1970年～2000年において、その進展を比較すると、図8.1のようにポリエステルの伸びが圧倒的に大きいことも分かる。

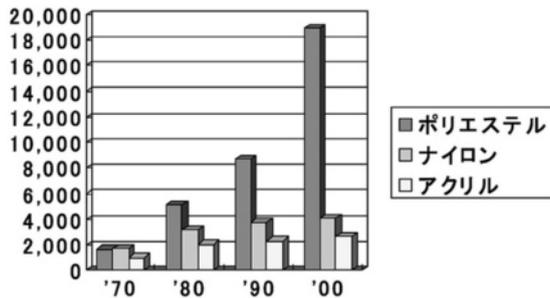


図8.1 世界の合成繊維生産量推移  
出典：日本化学繊維協会

ここで、各種繊維の2005年6月における価格の比較を、日本化学繊維協会の資料<sup>1)</sup>から示すと表8.1のとおりとなる。

表8.1 繊維の価格<sup>1)</sup>

繊維の種類	価格 (円/kg)
綿花	126
羊毛	673
生糸	2,090
ナイロンFY	330
ポリエステルFY	240
ポリエステルSF	145
アクリルSF	210

US\$ = 118円  
Aus\$ = 91円 とした

合成繊維は原料化学物質の価格の影響を強く受けるが、ポリエステルは合成繊維の中で最も安く、そのステープル (SF) は綿花よりやや高いだけである。ただし綿花の価格は、気象条件にも左右され不安定要素があり、また、採取した時の葉や茎その他の狭雑物を含んでいるので、紡績の初期の工程中で取り除く必要もあり、そのような手間の不要な合成繊維としてのポリエステルは最も安い繊維であるということもできる。

繊維の性能に関しては、その強度において、綿や羊毛を補強する混紡として広く使われ、タイヤコードを

はじめとする産業資材用繊維としても定着し、衣料用フィラメントとしては、本稿で述べた各種の改質技術により「新合繊」といわれるまでに開花・発展した。

## 8.2 わが国のポリエステル繊維技術の特徴

定性的な議論であり、筆者の独断でもあるが、わが国におけるポリエステル繊維技術、特に衣料用フィラメント技術の発展の背景としては、次のような特徴をあげることができよう。

まず第一に、欧米と比較した感性の差ともいえるべきものである。彼らはポリエステル繊維からなる布帛を実用的なものに位置づけ、加工糸を大量に生産し、量的拡大を図ってきた。

一方、わが国では高品質・高感性素材として一貫して追求し続けてきた。その典型的な例がシルクライクである。またここで普及したアルカリ減量加工を、加工糸織物にまで適用し、ウールライクな梳毛調フィラメント織物も開発した。手触りひとつで風合いを評価し、わずかな染の欠点も目ざとく指摘するといった評価の敏感性も、常に原糸サイドにフィードバックされ、品質の改善・向上を余儀なくされた。

第二の特徴は、業界におけるプロダクションチーム体制であろう。工業化の初期の段階では、大企業である原糸メーカーにおける基礎的な検討結果を背景に、どちらかといえば中小企業である、織・編・染などの高次加工技術の指導をすることおよび、流通ルートの確保、販売促進といった事業的意義があった。

その後の成長段階では、新製品の技術開発に関してもプロダクションチームが有効に機能した。特に新合繊のような微妙な風合いを実現するためには、原糸と高次加工を一貫した検討が必要で、わが国独特のプロダクションチームによる連携が重要な役割を果たした。

第三の特徴として、8社による競合関係をあげることができよう。ファッションの世界は変化もはなはだしく、常に目先の変わった新しいものが求められている。どこか1社が先行すると、すぐ続くものが現れる。もちろん特許に抵触しない範囲で、独自の技術要素を加味したもので追随することになる。このようにして、新しい要素技術の応用が目ざましく進歩した。かなり短時間で、追随できるということは、それぞれ各社とも技術シーズの豊富な蓄積が日々蓄えられていたことを意味している。

新製品競争だけでなく、毛羽や糸切れ、染めムラなどの製品品位に関しても同様であった。競合他社の状況には敏感に反応し、自社に劣勢の点があればいち早くその差を埋める努力をしてきた。その意味で、ポリエステル繊維技術開発の歴史は、文殊の知恵以上の、8人分の知恵の結晶であるということもできる。

### 8.3 技術開発の系統化

第4章から第7章まで、衣料用のポリエステルフィラメント技術に関して、注目すべき技術ごとにそれぞれその発展の経緯を述べた。

個々の技術分野における発展の流れをそれぞれ図示したが、それらを総合的にまとめて、図8.2に改めて示す。ポリエステル繊維事業化の状況と産業資材用を含むフィラメントの生産量の推移を示した。

全体の流れを一つにまとめることは困難であったので、大きくはプロセス開発、高感性布帛の追求、染色技術の3つに分けることになった。

プロセス開発では、コストダウンを目的とした工程の合理化が主題であり、工程の短縮ないしは省略、連続化と生産速度の高速化が図られた。

重合工程ではバッチ重合から連続重合へ、また紡糸工程と直結させた連続重合紡糸へと展開された。ただし、これらは多品種・少量生産には向いていないので、

国内でのフィラメントの差別化商品の生産には、現在でもバッチ重合が、また連続重合でも紡糸とは切り離され、一旦チップにしてから紡糸する方法が主に採用されている。

一方、紡糸工程の合理化については、次の延伸工程と直結することから始められた。中間製品である未延伸糸の保管や移動に伴う要員やスペースの削減に貢献した。延伸を直結し、生産性を確保するためには、紡糸における引取りローラに続けて、通常3倍程度である延伸倍率に相当する速度で延伸しつつ巻き取る必要がある。高速巻取機が開発されたことにより、直結プロセスが可能となった。

紡糸と延伸が直結されているということは、いずれか一方の工程に異常があり、糸が切れると全プロセスが止まることになるため、一層の工程安定化が必須である。ポリマを製造する重合段階も含めて、異物や欠点の生じにくいプロセス条件、装置の精密化が図られ、工程管理技術も向上した。

高速巻取機の開発は、紡糸自体の高速化につながり、高配向未延伸糸（POY）や格別の延伸工程を設けなくともワンステップで延伸糸相当の繊維が得られる高速紡糸技術が実現した。現在では紡糸速度は新幹線の走行速度を超えるまでに至っている。このような高速でも細い繊維を巻き取ることが可能なのは、上記工程安定化技術の集積の結果であり、その多くはプロセスノ

	'60	'70	'80	'90	2000
事業化の状況	東レ・帝人 東洋紡	旭・鐘紡・三レ			
生産量(千t/年)	20	310	625	720	665
製造プロセス	DMT法	直接重合 (直接連続重合紡糸)			
紡糸速度(m/分)	800~1000	1500~3000	POY/DTY*1	高速紡糸	
感性の追求	異形(三角)断面 アルカリ減量加工 複合紡糸 (擬毛加工)	異収縮混織 極細繊維	ムラ感付与 外観審美性	各種新合繊	*ニューシルキー *ドライタッチ *薄起毛調 *ニュー梳毛調
	ウーリー	スピンドル仮撚	摩擦仮撚	複合仮撚	
染色技術	キャリアー染色 高圧染色	分散染料易染化 カチオン可染	発色性向上		干渉発色

\*1 POY: 高配向未延伸糸  
DTY: 延伸仮撚加工

図8.2 技術の系統化

ウハウとして、各企業に蓄積されている。

ただし、すべての生産プロセスが高速紡糸に集約されたというわけではなく、例えば微妙な風合いを要求される新合繊などのほとんどは、従来の2工程法ないしはPOYを経由する方法で生産されている。その意味で、高速紡糸は一つの極限的なプロセスと位置づけられる。

また、POYは、従来の未延伸糸に比較して、耐熱性が高まっており、延伸と同時に仮撚加工が可能であることが分かり、仮撚加工工程の合理化と高速化に寄与した。

布帛の感性に関しては、ファッションの流れは気まぐれで、また絶対的価値があるわけでもないのので、その製品への指向は極めて発散的であり、ある部分では長い周期で繰り返すといった面もある。従って、系統的な技術開発が進められたとは言い難い。

合成繊維の手本は常に天然繊維におかれていたが、その中であって、絹は合成繊維のあこがれでもあり、第4章で詳述したように絹を目標とした開発が進められ、「新合繊」として集大成されるに至った。

はじめは、絹の外観特性などの模倣であり、三角断面を主体とした異形断面繊維が生産された。これによって得られた織物は、染色工程に先立ちアルカリ減量加工を施すことにより、絹に近いソフトでドレープ性のある布帛が得られるようになった。引張弾性率が比較的高く、どちらかといえば硬いポリエステル繊維から、多様な絹様風合いを有する布帛を生み出したことは、わが国の特徴的な技術である。

異形断面に始まり、複合紡糸技術や混織技術、自然のムラ感を与える各種の技術など、熾烈な新製品開発競争において、各社はそれぞれ特徴のある要素技術を開発し、それらを組み合わせて、天然繊維にはない新たな質感を主張した新合繊が開花した。

仮撚加工と染色技術は、得られる布帛の感性にも大いに関係しているが、一方ではプロセス開発的な意味合いもある。仮撚加工はレーヨンの擬毛加工に始まり、熱可塑性の合成繊維であるナイロンおよびポリエステルの出現により、大きく進展した。

POYの出現により、加工速度の高速化と延伸との直結化が実現し、いわゆるDTYが現在主流となっている。新合繊とのつながりにおいては、異種の原糸を組み合わせ加工する複合仮撚がわが国では普及している。

ポリエステルは染色堅牢度には比較的優れているが、染めにくくまた、発色性が必ずしも良いとはいえない。

染色技術としては、高温加圧染色が普及し、染料や助剤の開発も進み、発色性も向上した。ポリマ改質により易染性やカチオン染料可染性も付与され、また、

表面に微細な凹凸を生じさせることにより、深色効果を与えることも可能となった。

## 8.4 今後の課題

表8.2に、日本化学繊維協会の資料<sup>2)</sup> から、2000年における主要国の一人当たりの年間の繊維消費量を引用した。

表8.2 一人当たり繊維消費量<sup>2)</sup>

国名	消費量 (kg)
アメリカ	33.3
イギリス	22.1
ドイツ	22.0
日本	22.0
フランス	17.5
ロシア	9.0
中国	6.2
インド	3.2

国によって大きな隔りがある。これは一般にほぼ所得に比例し、所得の高い国ほど消費量が多くなっている。全世界的には、まだまだ人口は増大する傾向にあり、発展途上国の生活水準が向上し、所得が増加すると（人数が多いだけに）膨大な繊維の需要増が見込まれることになる。

食糧問題との関連で、天然繊維の生産の増加は困難が予測されるので、合成繊維に期待せざるを得ない。ここで必要になるのは、実用的な汎用繊維であり、第2章で述べたように、わが国の生産は、既に全世界の2%程度であり、わが国の高コストの構造からこの増加を直接分担することはできない。

わが国の衣料用（ポリエステル）繊維としては、さらに着用快適性を追求し、高機能・差別化製品を視点に入れた開発を継続するという方向になろう。そのためには、これまで以上に、天然物の巧みな仕組みをさらに深く解析しそれを取り込むことを考え、また、高齢化社会を前提とした人間工学的なアプローチを進めることにより、開発テーマを設定していくことが必要であろう。

資源・環境問題も重要な課題である。PETは石油資源に依存しているのので、いずれは脱石油化を図らねばならない。サステナブル社会を目指した、バイオマスを原料とした合成繊維の開発が既に行われている。代表的なものが、トウモロコシなどのでんぷんを出発原料として、乳酸発酵により製造されるポリ乳酸繊維である。

ポリ乳酸（PLA）は、化学的にはPETと同様にポリエステルである。生分解性もあるポリマとして知られているが、他の生分解性ポリマに比べて、融点やガラス転移点が高く、衣料用繊維やプラスチック材料として、開発が進められている。物性の比較<sup>3)</sup>を表8.3に示す。

表8.3 ポリ乳酸繊維の特性<sup>3)</sup>

項目	単位	PLA	PET
融点	℃	175	260
ガラス転移点	℃	57	70
強度	cN/dtex	4~5	4~5
伸度	%	30	30
ヤング率	kg/mm <sup>2</sup>	400~600	1200
燃焼熱	cal/g	4500	5500

実用的な特性もそこそこ備わっているが、PETと比べるとやはり融点が低く、耐熱性に難点があり、また染色堅牢度にもやや問題がある。

汎用繊維として用いるためには、耐熱性の改善が望まれる。また、表中に燃焼熱を示したが、PETに比べ20%程度低く、焼却処理などにおいて、炉材の損傷を軽減することができる。焼却の際に生じるCO<sub>2</sub>ガスは、植物が大気中から固定して取り込んだものであるため、CO<sub>2</sub>として循環することになるので、「カーボンニュートラル」という表現もされている。

いまひとつのポリエステル特有の資源問題は、第4章で述べたアルカリ減量加工における廃液の問題であろう。環境問題としては、廃液処理を行っているため、適正に処理されているが、重量にして20%程度のポリ

エステルが、分解され廃棄されている。試算<sup>4)</sup>によると1日当たり約100トンのテレフタル酸が廃液として処理されている。

アルカリ減量廃液からの、テレフタル酸の回収・リサイクルについての検討もなされ、試験プラントでの実証検討も進められたが、結論的には、技術的には可能であるが、コスト競争力がない<sup>4)</sup>ということになっている。将来的にはコストの位置づけは変わる可能性もあるが、減量によらずにソフトな風合いを与える技術の開発が必要であろう。

最後に、今後も極限的な繊維製造技術への挑戦を続けてほしい。本稿でも述べたこれまでの例としては、超極細繊維や超高速紡糸などにその例を見ることがができる。「衣食住」の一翼である繊維を製造する技術は、ともすれば「Low-Tech.」の世界であると思われがちであるが、その技術進歩はめざましく、ナノオーダーの構造や形状制御からマッハの領域までまさに「High-Tech.」の先端技術の世界である。

繊維の製造は、単に物質を細く・長く成形すること（定義）であるが、その技術の展開分野は広く、図8.3に示すように、情報通信、医療・ヘルスケア、スポーツ・生活、土木・建築、宇宙・航空・自動車など、先端産業を含む様々な領域で重要な役割を果たしている。

これらは、本稿では触れなかった強度や耐熱性などの繊維物性も含め、前述した極限技術への挑戦の結果である。技術には、自らあきらめない限り、限界はない。高い目標を設定し、極限へ挑戦することが、繊維

### 化学繊維技術の展開

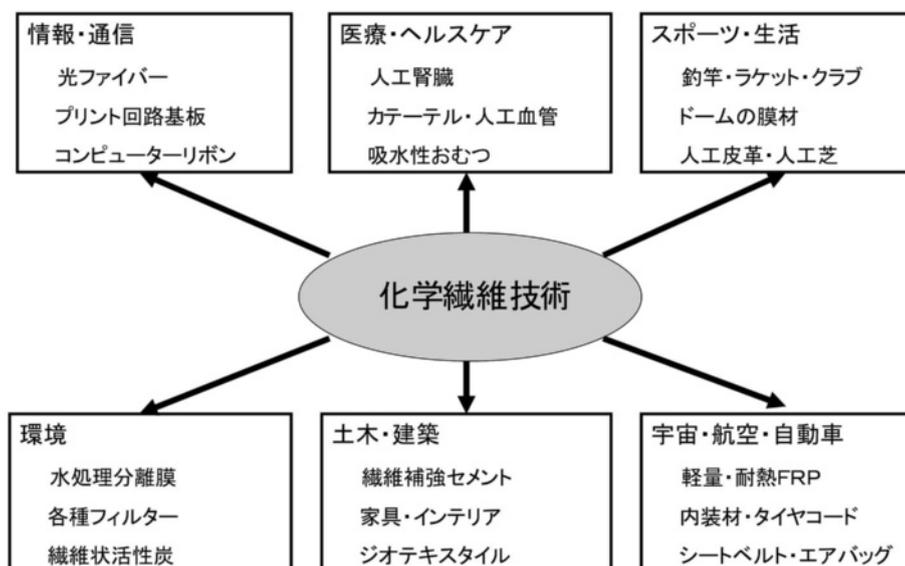


図8.3 繊維用途の広がり<sup>5)</sup>

を通じて多くの産業分野の技術革新に貢献することができる。

例えば、高強度繊維に関して、アラミドや炭素繊維を開発し、宇宙・航空用途などに利用されている。しかしながら、ポリエステルやナイロンなどの汎用の可撓性（柔軟な分子鎖からなる）ポリマの繊維では、分子鎖の理論強度の僅か5%程度しかその強度を利用できていない<sup>6)</sup>のが現状である。

まだまだ強度を向上させる可能性を秘めているし、それに挑戦する研究開発も進められている。このような試みが、各領域で継続的に推進されることを期待したい。

#### <引用文献>

- 1) 「繊維ハンドブック」2006,p69,p70 日本化学繊維協会
- 2) 「繊維ハンドブック」2005,p190 日本化学繊維協会
- 3) 山中：繊維学会誌、Vol.60,No.6,P-237 (2004)
- 4) 「生活産業廃棄物等高度処理・有効利用技術研究開発」成果報告書 V-1 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (平成8年3月)
- 5) 福原：「やさしい繊維の基礎知識」 p.32 日刊工業新聞社 (2004)
- 6) 鞠谷：高分子、Vol.50,No.12,p.830 (2001)

## ポリエステル繊維関連年表

化学繊維産業年表(化繊協会)・各社の社史 から抜粋

1948	3	雑誌「化学と工業」にICIのポリエステル繊維紹介記事掲載
	9	帝人、ポリエステル系繊維の研究に着手(原料PTAの合成に成功)
1954	3	東レ、滋賀工場にポリエステル繊維試験設備完成
1955	8	興人、パルプ廃液利用のポリエステル系繊維研究開始
1957	2	帝人・東レ、ICIと技術導入契約調印
	4	帝人・東レ、新聞紙上にポリエステル繊維商標名の公募広告
	6	帝人・東レ、商標名を“テترون”に決定
1958	3	東レ、三島工場完成。生産開始(5トン/日)
	5	帝人、松山工場のポリエステル重合設備完成。試験運転開始。
	6	帝人、松山工場でポリエステルSFの生産開始(2トン/日)
	9	帝人、松山工場でポリエステルFYの本格生産開始(1トン/日)
1960	7	帝人、繊維製造工程で、直接重合技術完成
1961	9	日レ、Inventa社およびEms社とポリエステル技術導入契約締結
	10	東洋紡、Goodyear社・Chemtex社・DuPont社と技術導入契約締結
	11	東レ、ポリエステル直接重合法試験装置を設置
	12	倉レ、Chemstrand社と技術導入契約締結
	12	ICI、東洋紡・日レ・倉レに対し特許侵害の見解発表
1962	11	倉レ・日レ・東洋紡の3社、共通商標を“エステル”と決定
	12	東レ、マルチ異形断面糸(後の“シルック”)開発
1963	1	東レ、愛媛工場でポリエステルSFの生産開始(12.8トン/日)
	2	帝人、松山工場でSF用に精製テレフタル酸を用いた直接重合法採用
	10	東レ、異形断面糸“シルック”の生産開始
1964	2	東洋紡、岩国工場でポリエステル生産開始(5.5トン/日)
	3	倉レ、玉島工場で“クラレエステル”生産開始
	3	日レ、岡崎工場でポリエステルSF生産開始(5トン/日)
	3	帝人、三角断面糸T-33I“シルバール”生産開始
	11	倉レ、倉敷工場で人工皮革“クラリーノ”生産開始
1965	2	東レ、愛媛工場で複合捲縮SFの生産開始
	2	帝人、ポリエステルSF“スペイシー”(六角断面中空糸)生産開始
	7	東レ、白・黒混織糸“メントーン”の生産開始
	11	対倉レ、ポリエステル特許訴訟和解
1966	4	帝人、ポリエステルFY黒色原着糸生産開始
	9	三菱レ、豊橋工場でポリエステルSF試験生産開始(1.5トン/日)
1967	5	東洋紡、敦賀工場でポリエステル生産開始(2トン/日)
	5	旭化成、Rhodiaceta社(仏)よりポリエステルの技術導入契約調印
	11	東レ、ポリエステルの直接連続重合プロセスを開発
1968	4	帝人、徳山工場操業開始
	5	帝人、徳山工場で、SF用連続重合紡糸機を初採用操業開始
	6	東レ、極細繊維用「高分子配列体」繊維の基本技術を開発
	7	日本エステル、岡崎工場でFYの生産開始
	10	鐘紡、防府工場でポリエステル本格生産開始
	11	三菱レ、AKU社(蘭)、Granzstoff(独)社より技術導入契約締結
1969	4	鐘紡、防府工場でポリエステルFY本格生産開始
	6	旭化成、延岡工場でポリエステル生産開始(10トン/日)
	12	倉レ、西条工場でポリエステルFY生産開始
1970	1	対ユニチカ、東洋紡ポリエステル特許訴訟和解成立
	3	東レ、新タイプスエード調人工皮革開発
	7	東レ、スエード調人工皮革パブリケーションに採用される
	9	東洋紡、敦賀工場ポリエステル重合操業開始
1971	2	東レ、東海工場でLO法TPAの生産開始
	4	東洋紡、敦賀工場でポリエステルSF生産開始
	5	帝人、酸性可染、カチオン可染ポリエステル(T-102)開発
	6	東レ、“エクセーナ”生産開始(3万m/月)

1972	5 帝人、DuPont社よりインターレース・ヤーン技術導入契約締結 6 鐘紡、北陸合織工場でポリエステル生産開始 9 帝人、ポリエステル延伸仮撚系DTY試験生産開始
1973	5 東洋紡、岩国工場で、直接連続重合装置稼動(50トン/月) 10 三菱レ、豊橋工場でポリエステルSF生産開始(10トン/日) 10 東レ・帝人、Du Pont 社とカチオン可染ポリエステル繊維の技術導入契約を締結 11 東レ、三島工場でポリエステルPOYの生産開始 カネボウポリエステル北陸に、直接重合装置を新設
1974	1 帝人、松山工場でポリエステルDTY生産開始 8 東レ、“シルックⅡ”、“シルックⅢ”原系及び製織技術を開発
1975	1 東レ、石川工場でポリエステル系の生産開始(3.5トン/日) 1 帝人、松山工場で仮撚加工用原系POYの生産開始 3 東洋紡、敦賀工場でポリエステルPOY生産開始 10 帝人、高純度テレフタル酸による連続式直接エステル化プラント稼動
1976	1 東レ、東海工場でポリエステル直接連続重合装置操業開始(30トン/日) 1 帝人、愛媛工場の連重紡SF生産工場操業開始 7 帝人、松山工場でポリエステルPOY生産開始 9 東レ、ポリエステル無撚・無糊加工系(FINT)及び同製織技術を開発 鐘紡、カチオン可染型ポリエステル開発 東洋紡、塩基性染料可染型ポリエステル“フェアリー”生産開始
1977	4 東レ、太細系“ワルツ”の生産開始 4 鐘紡、衣料用人工皮革“ベルセイム”開発 5 日レ、異形断面系“シルミー5”発表 6 日レ、岡崎工場でSFの直連重紡稼動 6 日レ、岡崎工場でPOYの生産開始 鐘紡、分割型複合系“ペリーマX”開発
1978	4 東レ、三島工場で直接重合プロセスの創業開始 10 旭化成、異収縮混織系“ジュンソワイエ”生産開始
1979	4 帝人、複合捲縮加工系織物“ミルパ”開発販売 8 旭化成、異形中空太細混織系“ソロソワイエ”生産開始 8 クラレ、超マイクロレーター繊維「SN2000」販売開始
1980	8 旭化成、スエード調人工皮革“ラムース”販売開始 帝人、野蚕絹調シルキー素材“シルドーム”開発
1982	8 帝人、吸汗タイプポリエステルSF“ウエルキー”開発
1983	3 東レ、愛媛工場でSF用の直接連続重合紡糸設備の操業開始 4 東レ、ポリエステルOSPプロセスの基本技術開発 8 帝人、ポリエステルFY極細使い高密度撥水性織物“マイクロフト・レクタス”開発 8 ポリエステル8社、高効率合織技術研究組合設立
1985	6 東レ、石川工場でポリエステルOSPの操業開始
1986	2 東レ、歌舞伎衣装に初めて“シルック”ほか合織素材が採用 3 日レ、野蚕調繊維“ミキシイ”生産開始 11 旭化成、延岡工場で超高速紡糸“テック”生産開始(5.1トン/日)
1987	6 東レ、新合織“シルックシルデュー”を開発
1988	1 日レ、デサントと共同で蓄熱保温繊維“ソーラーα”開発 6 帝人、超高速紡糸(HOY)1号機を松山工場に設置 11 帝人、超多層マイクロウェーブ構造のポリエステルFY“アジェンティ”開発
1989	ハイテク技術を駆使した新合織が人気に
1991	3 帝人、吸汗性ポリエステルFY“ウエルキー”開発 9 旭化成、極細繊維“ビサイロン”販売開始
1992	8 帝人、徳山工場に難燃ポリエステルSF“トレピラCS”設備完成
1994	1 ポリエステル8社、リサイクルの共同研究で化繊協会に作業部会設置
1995	10 旭化成、吸水・速汗織物“テクノファイン”発売
1998	1 カネボウ合織、トウモロコシ原料生分解性繊維“ラクトロン”展開発表 5 旭化成、PPT繊維“ソロ”の開発に成功 8 東洋紡、PETボトルを原料とした、「エコークラブ長繊維」開発・生産・販売 10 ユニチカ、ポリ乳酸原料の生分解性製品郡“テラマック”展開発表
1999	8 旭化成、延岡工場でPTT繊維“ソロ”生産開始

付録 登録候補一覧

番号	名称	資料形態	所在地	製作者	製作年	コメント
1	合成一号製造計画書	文書	京都大学 化学研究所	詳細不明	1942	櫻田教授発明による、わが国初の合成繊維であるビニロンを工業化するための計画書
2	デュポン社との技術提携	文書	東レ総合研修センター	東レ(株)	1951	ナイロンの本格的工業化にあたって、特許を導入した契約書
3	I. C. I. 社のポリエステル技術マニュアル	文書	東レ総合研修センター	I. C. I. 社	1956	I. C. I. 社から提供された技術マニュアル
4	ポリエステル繊維企業化時期決定書	文書	帝人 東京研究センター	帝人(株)	1957	I. C. I. 社からのポリエステル技術導入を検討した時の資料
5	I. C. I. 社との技術提携	文書	東レ総合研修センター	東レ(株)	1957	I. C. I. 社とのポリエステル技術提携交渉の経緯とその契約書
6	第1号ナイロン紡糸機	装置	東レ総合研修センター	東レ(株)	1942	滋賀工場内に、中間工業化試験設備として設置された第1号ナイロン紡糸機
7	工業化初期のナイロン紡糸機	装置	東レ総合研修センター	東レ(株)	1957	1960年代に主力として生産に用いられたナイロン紡糸機(SS-2Aタイプ)
8	“テトロン”生産第1号機	装置	東レ総合研修センター	東レ(株)	1958	三島工場で約20年間生産に用いられた紡糸機の主要部分。
9	“シルック”系用口金	装置	東レ総合研修センター	東レ(株)	1960～1970年頃	シルクライクポリエステル繊維である異形断面の“シルック”を紡糸するための口金
10	超高速紡糸用巻取装置	装置	産業技術総合研究所 つくばセンター	不明	1969	10,000m/分までの超高速紡糸の基礎検討に使用された巻取装置
11	“アミラン”漁網第1号製品	製品	東レ総合研修センター	東レ(株)	1949	ナイロン6よりなる漁網
12	ビニロン トウ	製品	クラレ繊維カンパニー	(株)クラレ	1950	ポリビニルアルコールからなる、国産初の合成繊維。操業当初のサンプル
13	“アミラン”ミン系第1号	製品	東レ総合研修センター	東レ(株)	1950～1955年頃	ナイロン6よりなるミン系
14	初吐出ポリエステルポリマ	製品	帝人 東研事務所	帝人(株)	1958	帝人松山工場で、初めて吐出されたポリマ
15	“シルック”系第1号	製品	東レ総合研修センター	東レ(株)	1962	絹様異形断面ポリエステル繊維として、生産された“シルック”操業開始当初のサンプル
16	“エクセーヌ”初期のサンプル	製品	東レ総合研修センター	東レ(株)	1970	スエード調人工皮革として開発されたもので、研究者が使用していたハサミにつけていたタグ
17	“エクセーヌ”パリコレグション出典サンプル	製品	東レ総合研修センター	東レ(株)	1970	スエード調人工皮革の端緒となったパリコレグションに出展されたサンプル
18	“シノン”高密度織物	製品	東洋紡績(株)広報室	東洋紡績(株)	1980年以前	牛乳タンパクとアクリロニトリルを共重合した半合成繊維。高密度織物サンプル

## 国立科学博物館 技術の系統化調査報告 第7集

---

平成19(2007)年3月30日

- 編集 独立行政法人 国立科学博物館  
産業技術史資料情報センター  
(担当：コーディネイト・エディット 永田 宇征 田里 誠、エディット 久保田稔男)
- 発行 独立行政法人 国立科学博物館  
〒110-8718 東京都台東区上野公園 7-20  
TEL：03-3822-0111
- デザイン・印刷 株式会社ジェイ・スパーク