

# ハイテク繊維とその応用

[松井 亨景](#)

## <はじめに>

繊維は、太古より人類に利用され、現在も衣料、寝具、ロープなど日常生活に欠かせないありふれた材料です。しかし繊維本来の性能・機能は極めて広く、現在、様々なハイテク分野にも活用されていますが、その詳細は一般には知られていません。例えば、「糸とは、繊維とは何ですか?」という素朴な質問に対しても、一瞬、返答に困るでしょう。また、雑誌などで「ナイロンは鋼よりも強い」と表現されたりしますが、その意味は十分には理解されていないようです。

広辞苑によれば「細くて長いもの」とあり、有名な Webster 辞書では、細長い構造で動物や植物など組織を繋ぐものと書かれています。つまり、繊維は、長さ方向には強く、横方向は“へなへな”の性質があります。この横方向にしなやかであることが大切な特徴で、例えば、金属などの衣服は堅くて着られませんが、天然繊維や化学繊維の衣服は快適になる訳です。また、長さ方向には著しく強くできるので、車両、航空、海洋、土木建築分野ではハイテク補強繊維として利用され、高く評価されています。更に、繊維は単位体積あたりの表面積が大きいので、繊維間に隙間があるので、吸着、吸収、放熱、消臭、吸湿、透湿などの機能も優れています。本稿では、これらの優れた繊維の性能、機能、用途について紹介いたします。



TSS文化大学で講演する筆者

## 1. 繊維の歴史

繊維の歴史は大変古く、図1に示すように、現代人が生まれて間もなく獣毛や羊毛が使われ始めました。紀元前3千年前には木綿が使われるようになりました。絹は、紀元前100年ころ中国で製法が発明されました。以降、人類は長期間天然繊維を使ってきました。しかし、19世紀後半、初めて化学繊維が誕生しました。レーヨンの登場です。次いで、20世紀初めにはナイロン、アクリル、ポリエステルの大合成繊維が発明され、開発途上国の産業発展の牽引車となりました。その後、高強度繊維、高耐熱繊維、高機能繊維などが開発され、衣料用途だけでなく様々な産業用途に利用され現在に至っています。

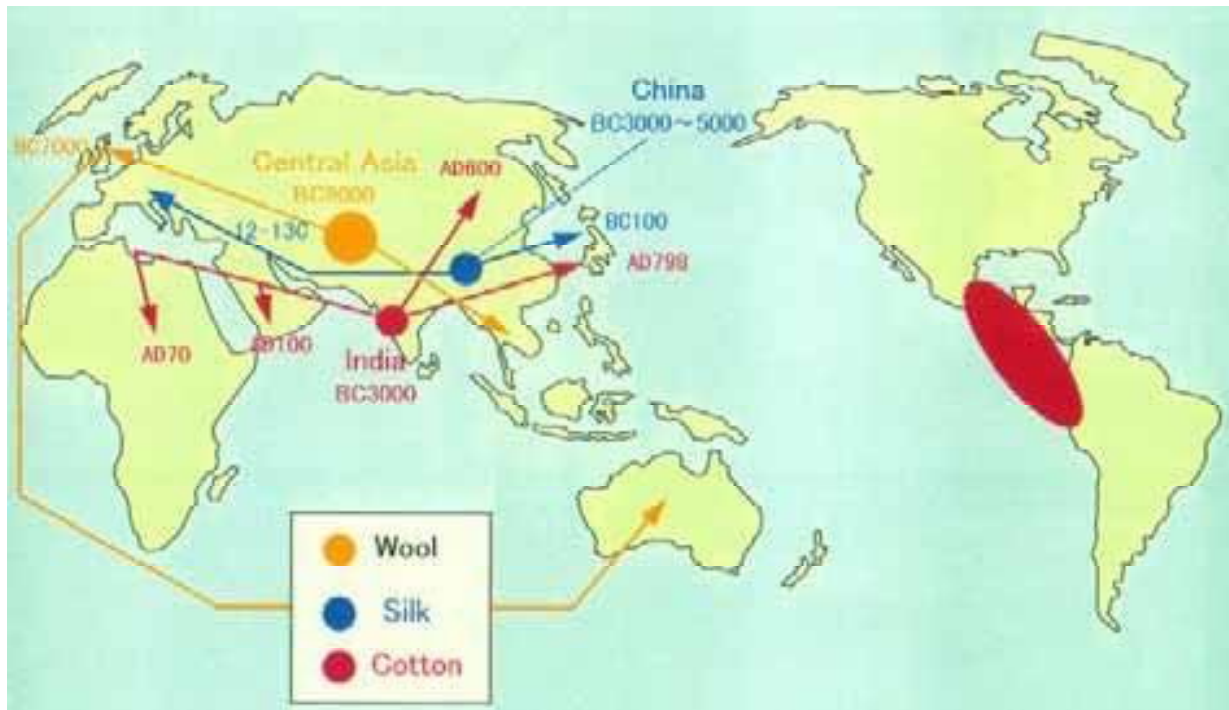


図1.天然繊維の起源

## 2. 繊維の形状：短繊維と長繊維

繊維には、短繊維と長繊維に大別されます。短繊維は、古くから使われてきた綿や羊毛のように単位長さが数センチ以下の素材です。長繊維は一本の繊維が、絹や合成繊維のように、切れ目なく伸びたフィラメントと呼ばれる素材です(図2)。短繊維はその切れ端が毛羽として表面に飛び出しますが、これが、自然な肌触りや膨らみ感の向上に役立ちます。従って、合成繊維も、一端、数センチにカットして綿のように捲縮(カール)を付与して使う方が一般的です。ただし、作業服や無塵服のように毛羽の発生やゴミの付着を嫌う場合は、長繊維のまま使用します。

## 長い天然繊維の歴史 — 繊維素材は天の賜物

有史以来、19世紀後半まで天然繊維しかなかった。  
太古より、短繊維と長繊維が存在した。

### 1. 短繊維：綿、羊毛、獣毛

繊維長=1~数cm, 繊維径=10~数10 $\mu$ m



### 2 長繊維：絹、野蚕(繊維長1000~2000m)、麻 繊維長1~2m)

繊維長= $\infty$ , 繊維径=10~数10 $\mu$ m



図2.短繊維と長繊維

## 3. 化学繊維の作り方

### 3.1 紡糸

#### 3.1.1 熔融紡糸

繊維を成形するためには、まず、原材料を熱で溶かして細い穴(紡糸孔)から押し出し、空気で冷やして固めて、それを巻き取ります。一度に多くの紡糸孔からまとめて糸を引き出すことができます。(図3の左側)

#### 3.1.2 溶液紡糸(湿式紡糸と乾式紡糸)

繊維の原材料が熱で溶けない場合は、これを、溶媒(薬品)に溶かして、同じく細い穴から凝固浴に押し出して溶媒を抜き取ります(湿式紡糸)(図3の右側)。また、凝固液を使用せず空中で溶媒を乾燥抽出する方法もあります(乾式紡糸)。これらの溶液紡糸は熔融紡糸よりもやや複雑です。

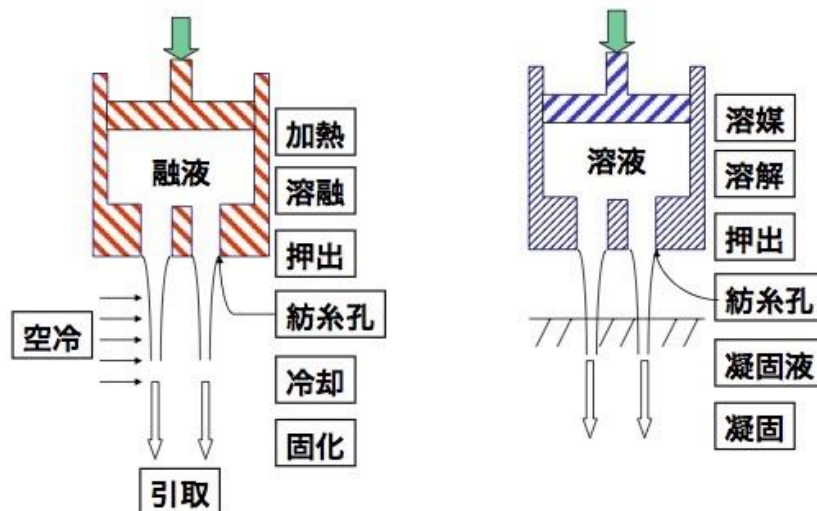


図3.繊維製造の基本原則1

### 3.2 延伸

紡糸工程で得られた繊維は、そのままでは繊維の伸びが多すぎて、一般に実用になりません。従って、これを引っ張って (延伸) 熱で固定し、実用に耐える強い繊維に形成します (図 4)。

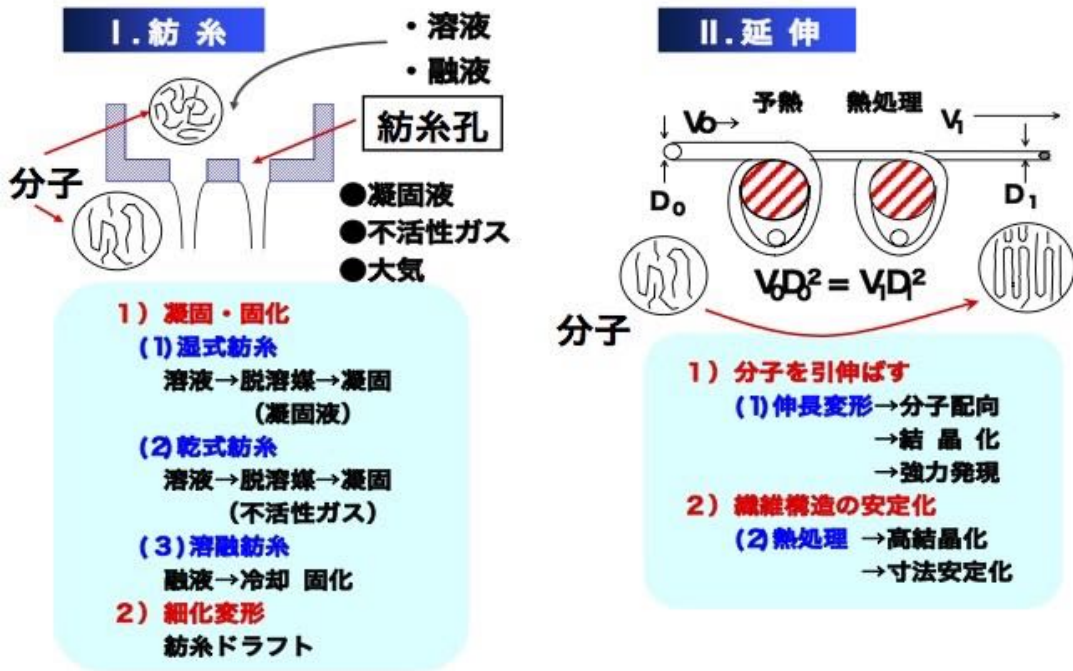


図4.繊維製造基本原理2

図5に、初期の人造繊維ビスコースレーヨンとセルロースジアセテートの作り方を示します。ビスコースレーヨンは原料パルプを苛性ソーダに溶解して硫酸水溶液中に紡糸して、苛性ソーダを溶出させ凝固 (湿式紡糸) させたのち、延伸します。セルロースジアセテートは原料をアセトンに溶解して空気中に紡出しアセトンを蒸発させて、糸条を固めます (乾式紡糸)。



図5.ビスコースレーヨンの湿式紡糸とセルロースジアセテートの乾式紡糸

図 6 には、代表的な合成繊維ポリエステル (PET) の原料作成と製糸方法を図示します。

パラキシレンとエチレングリコールからPETを作り、これを熱で溶かして紡糸し、空气中で固化した後、延伸して最終繊維を得ます。繊維には短繊維と長繊維（フィラメント）があります。現在、衣料用繊維のほとんどがこのポリエステル繊維です。

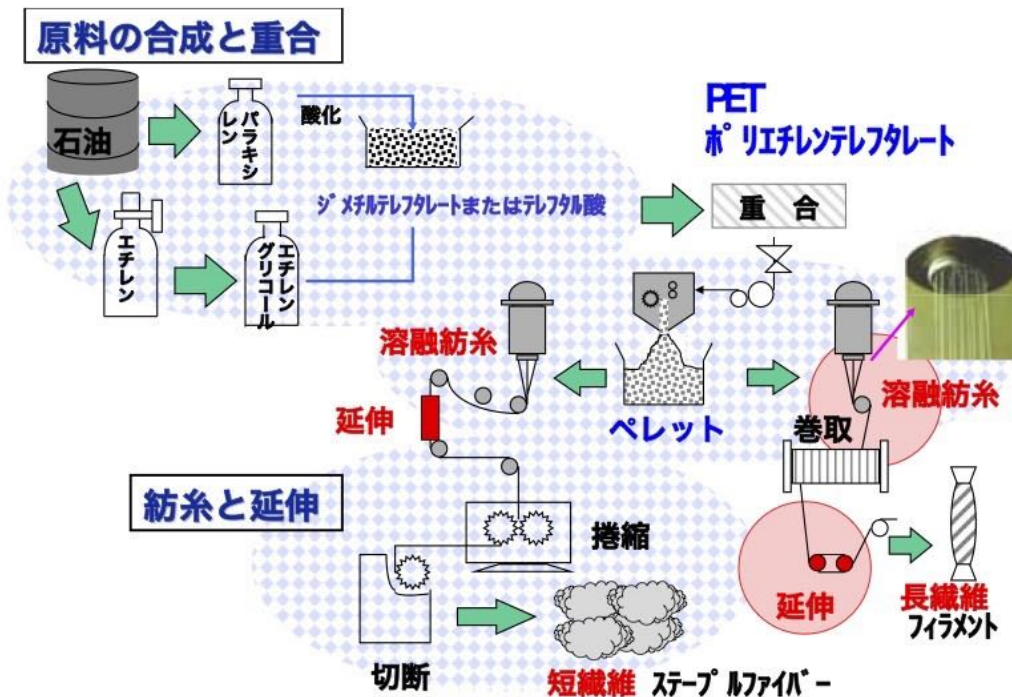


図6.ポリエステル繊維の製造プロセス

#### 4. 初期の合成繊維と天然繊維の違い

科学技術の進歩により、合成繊維が容易に製造できるようになりました、丈夫で、洗濯が容易で、均質な製品を大量にしかも安価に作れます。しかし、初期の合成繊維は、天然繊維と比べると形状が非常に単純で、断面は円形、均一、表面の変化もありませんでした (図 7)。これでは衣服を作っても、絹や羊毛の触感にかないません。合成繊維の風合を改善するために、以下の様々な研究開発がなされました。

	絹	ウール	綿	一般的な合成繊維
側面				
断面				

図7.天然繊維と初期の合成繊維の外観

## 5. シルクライク繊維をつくる

図8をご覧ください。絹は断面が三角形に近く、しかも均一ではありません。また、外皮がセリシン成分で被覆されており、これが製造過程で水中に溶け出すために繊維間の空隙ができて、また、表面に小さなフィブリルがあるため膨らみ感や、柔軟でドレープ性の優れた風合が出ます。

ポリエステル繊維で絹の風合を出すためには、まず、大きさの異なる3角形断面糸をつくります。これを製織したのちアルカリで表面を溶かして、絹のセリシン除去と同様の空隙付与効果を加え、同時に、表面にも凹凸の変化を付与しました。これらの技術改良により、非常に絹に近い風合をもつ合成繊維織物が可能になりました。



図8.シルクライク繊維をつくる

## 6. ウールライク繊維をつくる

図9をご覧ください。ウール(羊毛)には、自然な捲縮(カール)があり、各繊維は不均一で、表

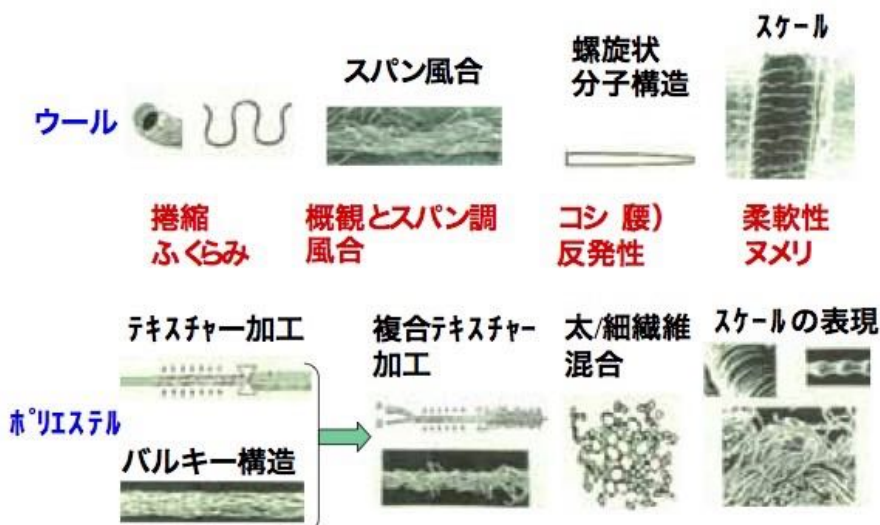


図9.ウールライク繊維を作る

面には多くの毛羽があって嵩が高く、また、表面には鮫肌状のスケールがありヌメリ感があります。

ポリエステル繊維でウールの風合を出すためには、まず、長繊維に捲縮(テキスチャー)加工を付与します。好ましくは、2種類の性質の異なる繊維を使用して嵩高性を改善します。また、表面を毛羽立てたり、表面に凹凸をつけたりして、ウールの効果を発現させます。これらの研究開発により、きわめてウールに近い風合が表現できるようになり、現在、ポリエステル100%やポリエステルと綿を約半々に混合した紳士服などが各デパートで広く販売されています。

## 7. 繊維断面の変形で性能や機能を付与する

シルクライク繊維を作るためには、3角形断面を持つ糸が必要です。これは、図10に示すようにY字型の紡糸孔から溶液を押し出して作ります。液体には表面張力があるため、Y字型の穴から押し出すと丁度3角形断面糸が得られます。また、綿を模倣するために、中空断面糸を用いて嵩高性を改良します。ウールを模倣するためには、6角形断面糸を用いてテカリ(鏡面反射)を防止します。扁平断面糸を用いて柔軟性を改善する方法も採用されています。

また繊維内に機能材を封入したり、織物表面に微細な構造変化を付与したりして、制電防止、吸湿性向上、透湿性向上などの機能向上技術も多く開発されています。

形状	丸	三角	中空			六角	扁平
紡糸口金							
繊維断面							
作用効果	標準	光沢 剛性↑	嵩高性	異方冷却 容易 高空隙	選択 透過性	ハグリナー	剛性↓
用途	一般	シルク ライク 織物	保溫衣料 フトン綿	高捲縮 清涼感 ドライ感	人工腎臓 水浄化	てかり防止	柔軟 織物

図10.紡糸孔断面形状の改変による性能・機能の改良

## 8. 強い繊維を作る

繊維の強度・弾性率を限りなく高めることは、研究者の永遠の課題です。この長く苦しい研究努力は、20世紀の半ばに画期的な技術進歩を実現することとなりました。技術内容は、かなり専門的になるので概要のみ解説します。

### 8.1 屈曲性高分子(ポリエチレン)

ポリエチレン(PE)は、通常、熱で溶かし熔融紡糸にて製糸します。しかし、熔融紡糸の研究を重ねても高い強度は得られませんでした。オランダの科学者が新しい製糸方法を発明して、高強度・

高弾性率ポリエチレンのゲル紡糸・超延伸の技術が完成しました。超高分子量PEをデカリンに溶解し、水中に紡糸して凝固させ、分子の絡み合いの少ないゲル状物を形成し、これを高倍率で延伸することにより高強度・高弾性率繊維が得られます。例としては、東洋紡社のダイニーマ®があり、防護衣料、ロープ、ミシン糸、釣り糸などに展開されています (図11)。



図11.高強力ポリエチレン繊維の用途

## 8.2 剛直性高分子 (アラミド繊維、PBO繊維)

### (1) 溶液液晶高分子

加熱しても熔融しないきわめて剛直な高分子を、高濃度濃硫酸やポリリン酸に溶解して、特殊な液晶溶液により高強度・高弾性率の繊維が得られることは発見されました。画期的な発明です。



図12.アラミド繊維とその用途



アラミド繊維と呼ばれる DuPont 社のケブラー<sup>®</sup>、テイジン社のトワロン<sup>®</sup>や、PBO繊維と呼ばれる東洋紡社のザイロン<sup>®</sup>などが商品化され、強さや靱性を必要とする種々の用途に使用されています。

アラミド繊維はコストパフォーマンスが良く高耐熱性であるため、広く工業用途に展開され成長が期待されています (図12)。

## (2)非液晶高分子 (テイジンテクノ-ラ<sup>®</sup>)

剛直高分子であっても従来の湿式紡糸と延伸により高強度・高弾性率の繊維が得られる技術が発明され、現在、工業生産されています。ゴム資材補強などに使用されています

## 8.3 熔融液晶高分子 (クラレ ベクトラン<sup>®</sup>)

従来の熔融紡糸により、高強度・高弾性率繊維を製造する方法も工業化されました。代表例は、クラレ社のベクトランです。

## 8.4 炭素繊維

炭素繊維は強化繊維の王様です。代表的な製法は、ポリアクリルニトリル繊維 (プレカーサ) を、「炭焼き」のように、1000℃以上の高熱で炭化させます。ポリアクリルニトリルは燃えにくいいため炭素繊維形成に適しています。炭素繊維は、単独使用よりは補強材料として用いられ、スポーツ用途、航空用途、一般成型用途など、この数十年間に、高性能補強材料として著しい市場成長を遂げました。近年、航空機への応用が進展し旅客機にも大量に使用されるようになりました。(図13)。

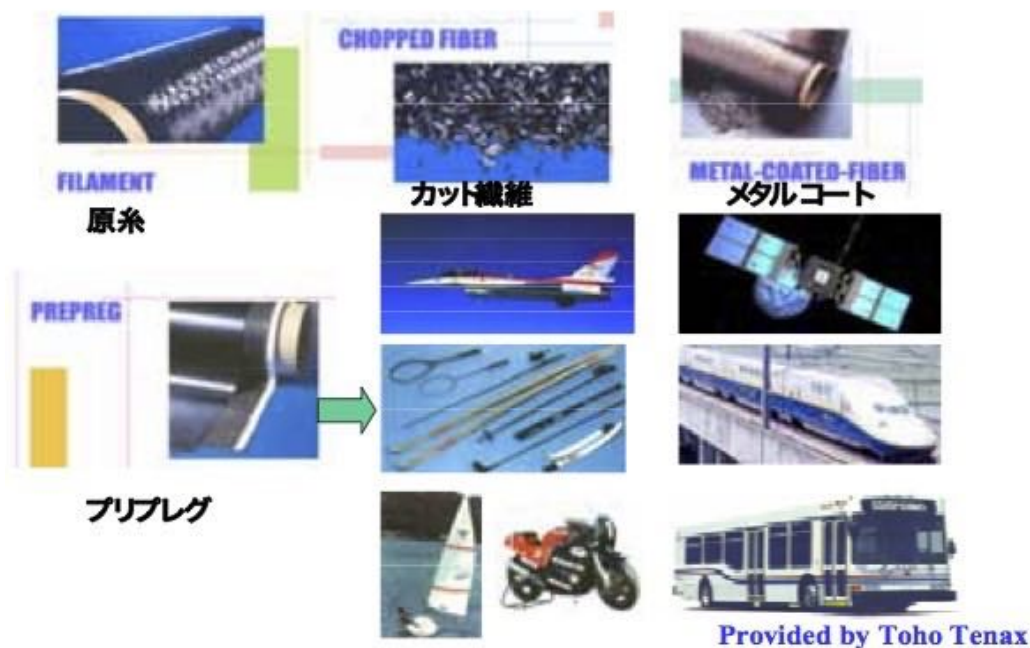


図13.炭素繊維とその用途

## <おわりに>

下表に繊維のいろいろな用途を記しています。繊維は様々な性能や機能を発揮するので、単に衣

料用途だけでなく、工業用、宇宙用途、スポーツ用途、事務用途、一般家庭用途などあらゆる分野で利用されています。高い性能や機能が求められる分野にはハイテク繊維が多く用いられています。

生活・衣料用途	産業用途
<p><b>感性・審美性、触感）快適性繊維</b>            1) 感性指向素材、2) 保温、3) 吸湿・吸水            4) 透湿・防水、5) ストレッチ、6) 制電素材            7) 清潔・衛生</p> <p><b>特殊機能繊維製品</b>            1) 耐寒服、2) 防水耐寒服、3) 防護服            4) 防災耐熱服、5) 宇宙服、6) 防塵服            7) 病院用衣服、8) スポーツ・登山服</p> <p><b>生活関連繊維製品</b>            1) 寝装・寝具、2) 敷物家具、3) カーテン            4) タオル、5) シューズ、6) ファスナー、            7) 化粧品</p> <p><b>医療用繊維</b>            1) 衛生用資材、2) 医療用機能繊維</p> <p><b>食品と繊維</b>            1) 食物繊維、2) 結晶セルロース、3) キトサン            4) ポリデキストロース、5) グルコマンナン</p>	<p><b>航空・宇宙・運輸用繊維</b>            1) 航空・宇宙用、2) 自動車・バイク            3) 列車・船舶、4) 運搬用</p> <p><b>製造・機械・包装用繊維</b>            1) 製造装置、2) 包装材</p> <p><b>電気・電子・情報通信用途</b>            1) 家電用、2) エネルギー産業用            3) 情報・通信、4) 音響用</p> <p><b>農業・林業・水産・海洋用途</b>            1) 農業用、2) 林業用、3) 水産用、4) 海洋用</p> <p><b>土木・建設用繊維</b>            1) 土木用、2) 建設用</p> <p><b>安全・環境用繊維製品</b>            1) 消防用、2) 防衛用、防護用</p> <p><b>スポーツ・レジャー用</b>            1) ボール、2) テニス、3) ゴルフ、4) ヨットセー            ル、5) テント</p>

表 1. 繊維のいろいろな用途

(本稿は 2015 年 10 月 20 日に行われた TSS 文化大学における講演の概要です)