

溶融紡糸が可能な次世代型セルローズ系繊維“フォレッセ”の研究開発

荒西義高、山田博之、鹿野秀和、佐藤瑛久、市川智子、佐々木敏弘、笹本太
東レ株式会社 繊維研究所

1. 緒言

「衣食足りて礼節を知る」の言葉の通り、衣料は人間生活と極めて密接な関係を有しており、無くてはならない材料である。世界の人口増加に伴って繊維の生産量は年々増加しており、年間 6000 万トンを超える繊維が生産され、消費されている。

三大合繊と呼ばれるポリエステル、ナイロンおよびアクリルの各繊維は、強度が高く取扱性に優れることから世界の繊維生産量の過半を占めている。

しかしながら、これらの合成繊維は石油を原料として生産されるものであるため、将来的には原料そのものが枯渇して供給不能の事態に陥ることが懸念される他、廃棄に伴い焼却した場合には、余分な二酸化炭素の排出原因となる問題を有している。

一方、二酸化炭素と水を原料にして植物が光合成によって作り出すセルローズは、地球上でも大量に存在する有機物であり、毎年 1000 億トン以上という莫大な量が新たに産生されている。セルローズは、適正な利用を行う限りにおいて、半永久的に利用可能なバイオマス材料である。

コットンは古くから広く用いられているセルローズ繊維であるが、天然の繊維であるため短繊維しか得ることができず、紡績工程が必須となる。また、繊維の断面形状や細さについて選べない制約があった。

セルローズ系の繊維で長繊維形状の物としては、レーヨンやアセテートが知られている。これらの繊維は吸湿性や発色性が優れており高級繊維として高い質感を有しているが、残念ながら繊維の製造には「溶液紡糸法」を採用せざるをえず、繊維の製造には環境負荷の高い薬剤ある

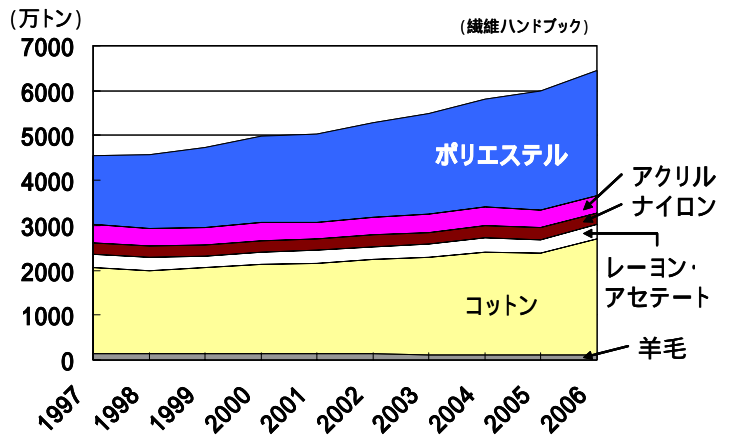


図1 世界の繊維年間生産量

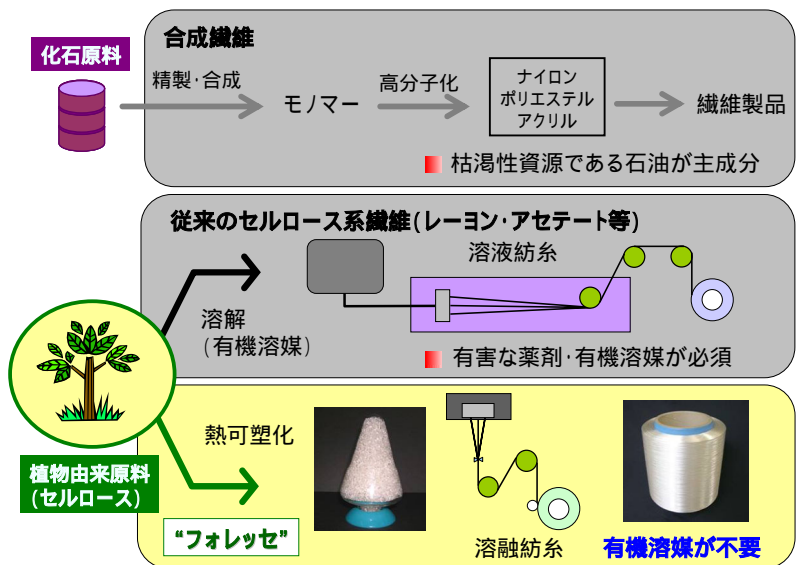


図2 各種繊維の製造方法とその問題点

いは有機溶媒が必須となるものであった。そのため、これらセルローズ系長繊維は必ずしも環境にやさしいと言えないという指摘がされるようになってきており、環境意識の高い欧州などではすでに生産活動を継続することが困難になってきている。繊維製造にあたって薬剤や有機溶媒を用いる必要のない「熔融紡糸法」でセルローズ系ポリマーの製造が可能となれば、原料面においても、製造プロセス面においても真に環境にやさしい繊維材料になると言える。

2. 熔融紡糸法を採用するための必要事項

環境負荷の高い薬剤や有機溶媒を使用する「溶液紡糸」で製造される従来のセルローズ系繊維と異なり、ポリエステルやナイロンなどの合成繊維は「熔融紡糸」で製造することができる。これはポリマーが良好な熱可塑性を有しているため、たとえばポリエステル繊維の原料であるポリエチレンテレフタレートは、その融点以上では容易に熱流動する材料である（図3上）。

一方、セルローズはそのまま熱エネルギーを加えても、熔融可能な温度となる前に熱分解が生じて炭化が進んでしまう（図3下）。そのため、ポリマーの熱可塑性が必要な「熔融紡糸法」でセルローズを繊維化することは不可能ということになる。

セルローズが全く熱可塑性を示さない理由は、その分子構造にある。繰り返し単位であるグルコースあたり極性の高い水酸基が3つも存在しているため、セルローズは分子鎖間の水素結合が極めて強く、熱エネルギーを加えた場合にも自由な分子運動が可能となることはない。

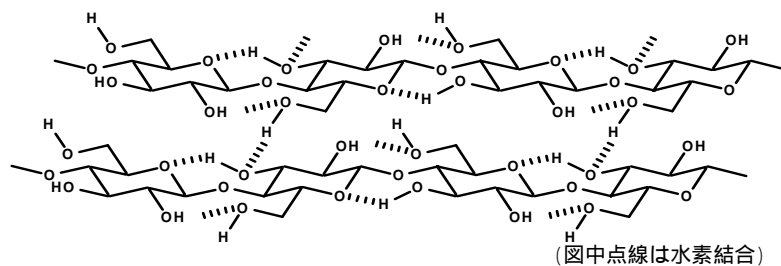


図4 セルローズの分子構造

3. セルローズの熱可塑化

セルローズはその分子構造中に複数の水酸基を有しているため、分子鎖間の水素結合が極めて強く、熱エネルギーを加えても分子鎖は自由に運動することができない。そのため、セルローズに熱可塑性を与えるためには、水酸基の一部に対して化学修飾を行い、その水素結合を抑制することが解決策となりうる。

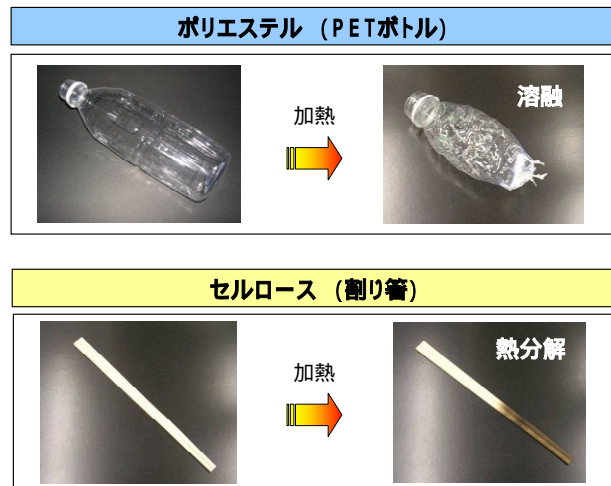


図3 ポリマー組成物の熱可塑性

すなわち、セルローズ系のポリマー組成物を用いて、その熔融紡糸を行うためには、セルローズの熱可塑化を達成し、加熱によって良好な熱流動性を示すポリマー組成物へと変換する必要があるということになる。

幸い、水酸基は反応が容易な官能基であり、エステル化、エーテル化、カーバメート化などの化学修飾を行うことができる。

セルロースの水酸基をエステル化およびエーテル化したセルロース誘導体の熱可塑性を、ポリマーを熱圧することによって調べた結果を図5に示す。側鎖の炭素数が小さい場合、たとえばセルロースアセテートやメチルセルロースでは熱可塑性が不十分であり、溶融しない部分が認められるのに対して、嵩高い側鎖を導入したセルロース誘導体の場合には、熱可塑性が発現して均一で透明なフィルム状となることが分かる。

水酸基に対する化学修飾を行い、水素結合を抑制することによって、ある程度の熱可塑性を示すセルロース誘導体を得られることが分かったので、溶融紡糸に最適な側鎖設計を行った。溶融紡糸においては、用いる組成物の溶融粘度および伸長粘度の双方が十分に低い値であることが必要であると同時に、繊維の物性としては、強度などの機械的特性、耐アイロンのための耐熱性などが良好な数値であることが必要である。

セルロースに対する熱可塑性付与を目的とする化学修飾の検討を各種行った結果、複数種の側鎖を有するセルロース混合エステルで、側鎖の比率についても特定割合とした物のみが、組成物の良好な熱流動性と、繊維の機械的特性とを両立させうることが分かった。製造プロセスの概略を図6に示す。溶融紡糸の安定性を高めるために、セルロース混合エステルと分子オーダーで相溶すること、生分解性を有し環境負荷が小さいものであることを条件に、可塑剤のスクリーニングを行い、少量の水溶性可塑剤を配合した組成物を最終ポリマースペックとした。なお、少量の水溶性可塑剤は精練（染色前の水洗工程）によって完全に除去されるので、最終製品はセルロース系組成物 100%となる。

この組成物を用いた場合には、溶融紡糸プロセスが安定し、連続運転も可能となって、熱可塑性セルロース繊維の生産を工業的に実施することが可能となった。セルロース系組成物の溶融紡糸については、その重要性が認識され、これまで各種の基礎検討が行われてきた。今回、セルロースの化学修飾に関する

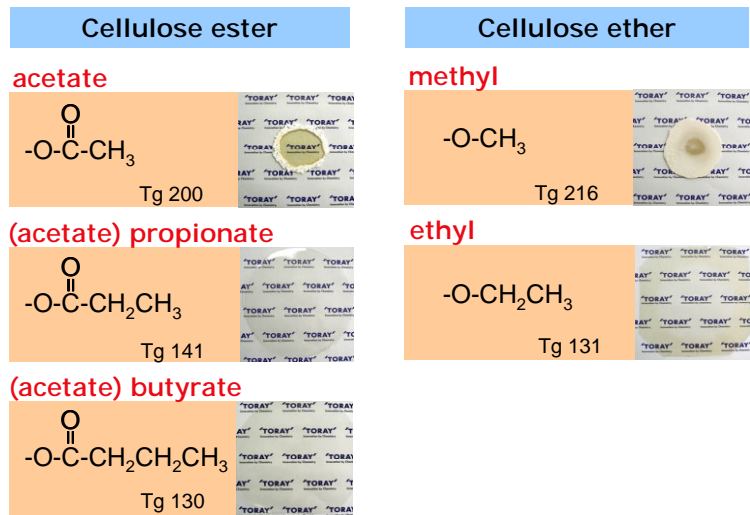


図5 各種側鎖を有するセルロース誘導体の熱可塑性

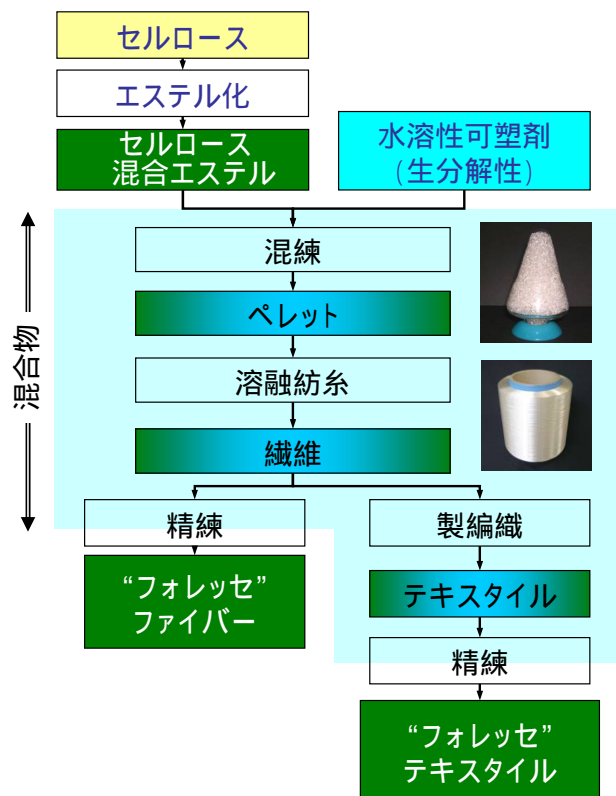


図6 熱可塑性セルロース繊維の製造フロー

高分子精密設計によって、世界で始めてセルロース系組成物の熔融紡糸に成功したものである。

4. 熱可塑性セルロース組成物の熔融紡糸技術

熱可塑性セルロース組成物の熔融紡糸には、既存の熔融紡糸機を用いることができる。具体的には、熱可塑性セルロース組成物のペレットを熔融紡糸機へ供給し、熔融部に設置された熱板で、あるいはエクストルーダーを用いて熔融させ、ギヤポンプで正確に計量したポリマー溶融物をフィルターパックへ送り、口金を通じて紡出する。紡出糸は冷却風で均一に冷却して、高速回転するローラーによって引き取り、ドラムに巻き取りを行う。

セルロース系組成物は、ポリエステルやナイロンと違って伸長粘度の温度依存性が高いために、図7右上に模式的に示したように、口金から紡出された糸条はすぐに固化してしまう傾向がある。このことは、繊維の均一性を維持するために口金下の雰囲気制御が重要であることを意味しており、具体的には気流制御、均一冷却がポイントとなる。

また、熔融紡糸での製造の場合、従来のセルロース系繊維の溶液紡糸と比べて、紡糸速度を2倍以上高速化することが可能である。たとえば2000m/分での安定製糸も可能であるが、この速度は時速に換算すると120km/時にあたり、引き取りローラーは自動車の高速走行に匹敵する線速度で回転していることになる。

紡糸速度の高速化によって、単位時間あたりの生産性が向上するという好ましい影響がある他、分子配向が高くなることにより繊維の強度が向上する効果がある。図8は繊維の強伸度曲線を示したものであるが、強度が1.7cN/dtexと、従来素材に比べて強度が約5割増しになっており、良好な機械特性の繊維となっていることが分かる。

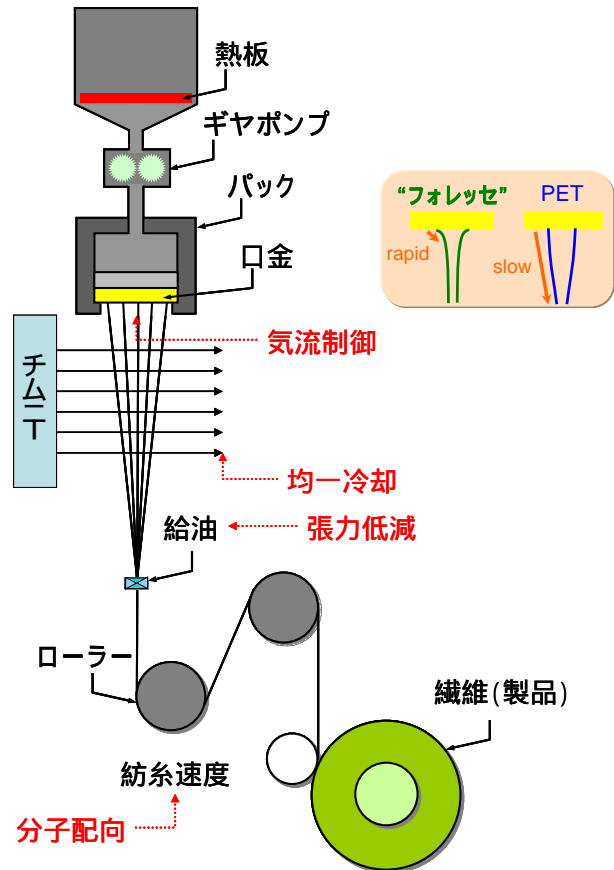


図7 熔融紡糸プロセス

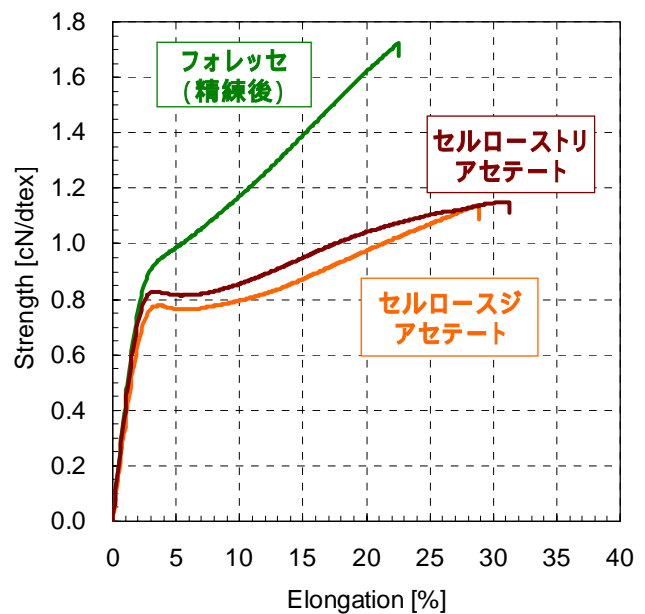


図8 繊維の強伸度特性

5. 次世代型セルロース系繊維 “フォレッセ” の特徴

ここまで述べてきた、熔融紡糸により製造可能な次世代型セルロース系繊維については、その名称を“フォレッセ (Foresse)” とすることとした。この“フォレッセ”は熔融紡糸により製造可能であることにより、従来のセルロース系繊維と違って紡糸の際に有害な薬剤や有機溶媒を用いる必要がないという環境面でのメリットを有しているが、素材としてみた場合にも熔融紡糸によって製造できることにより各種の異形断面繊維、複合繊維が製造できるという利点がある。

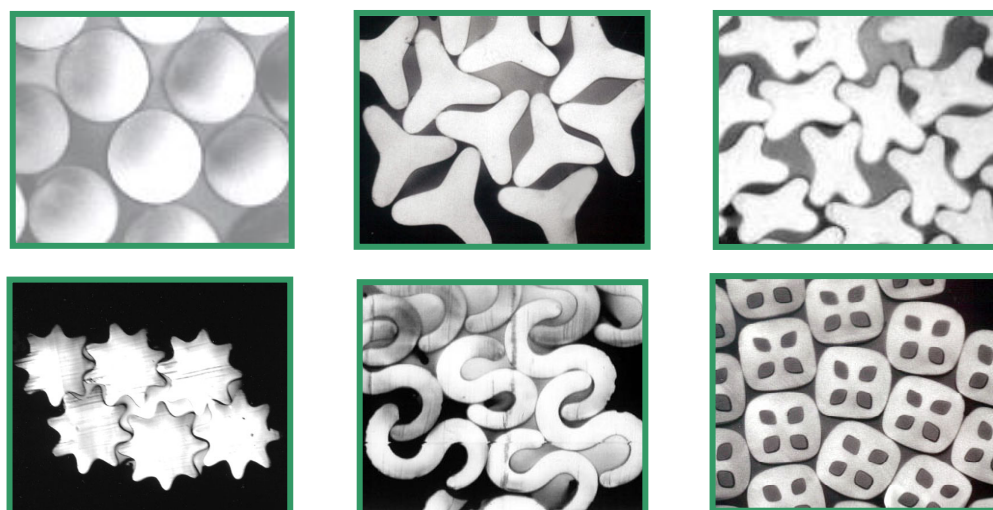


図9 “フォレッセ”繊維断面の一例

図9に示したように、完全な円形の通常断面に加えて、絹の構造に似せた三葉断面など各種の異形断面繊維を製造することができる。異形断面構造の採用によって、毛細管現象による吸水性の向上、反射光の制御による光沢感や発色性の向上、中空部の導入による軽量化など新しい機能付与が可能である。

既存のセルロース繊維であるレーヨンは比重が1.5と重いことが欠点の一つである。“フォレッセ”はそのままで比重は1.3程度とレーヨンに比べ軽量であるが、中空繊維として繊維内部に空隙を設けた場合には、見かけ比重0.8と極めて軽量化にすることができる。この素材は、水にも沈まない超軽量の新規素材となったことが分かった。

また、熔融紡糸の代表的な技術である海島複合紡糸によってセルロース系組成物を島成分、容易に加水分解されるポリマーを海成分として熔融紡糸を行うと、図10右に示したように海島複合繊維が得られる。海成分を溶出することによ

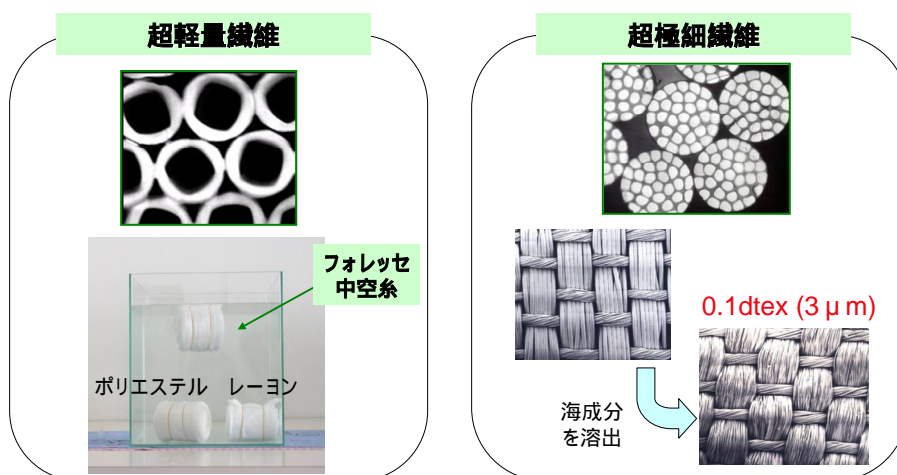


図10 熔融紡糸技術の採用による新規素材の創出

て、繊維直径が $3\mu\text{m}$ とセルロース系としてはこれまで地球上に存在したことのないレベルの超極細繊維を、今回開発の技術により世界で始めて製造できるようになった。

6. 次世代型セルロース系繊維“フォレッセ”の市場展開状況

ここまで述べてきた、溶融紡糸により製造可能な熱可塑性セルロース繊維については、原糸およびテキスタイルの基本技術を確認することができ、本素材の名称を“フォレッセ (Foresse)”として商標登録し、市場展開を進めている。

平成 18 年に開催した東レ先端材料展において、“フォレッセ”テキスタイルの初の展示を行った。マネキンの着用しているオレンジのテキスタイルは“フォレッセ”の熱可塑性を活かしたプリーツ織物であり、その鮮明発色性についても確認することができる。ブルーのテキスタイルはニット構造物であり、テキスタイル表現の多様な可能性を示すものとなっている(図 11)。

婦人テキスタイルとしての事業展開も進めており、各種の展示会においてお客様への求評を開始している。

図 12 はフランスで毎年行われている

プルミエール・ヴィジョンにおいて“フォレッセ”の展示を行った様子である。セルロースならではの柔軟性が表現できており、有機溶媒を全く使わない溶融紡糸で製造されたエコ繊維であることも評価され、大変好評であった。また、図 13 は国内テキスタイル展示会に出展した様子を示したものである。環境対応型の素材であることに加え、ポリエステルでも従来セルロースでもない新しい風合いが高く評価された。今後、次世代を担う真の大型素材とすべく開発をすすめていく。

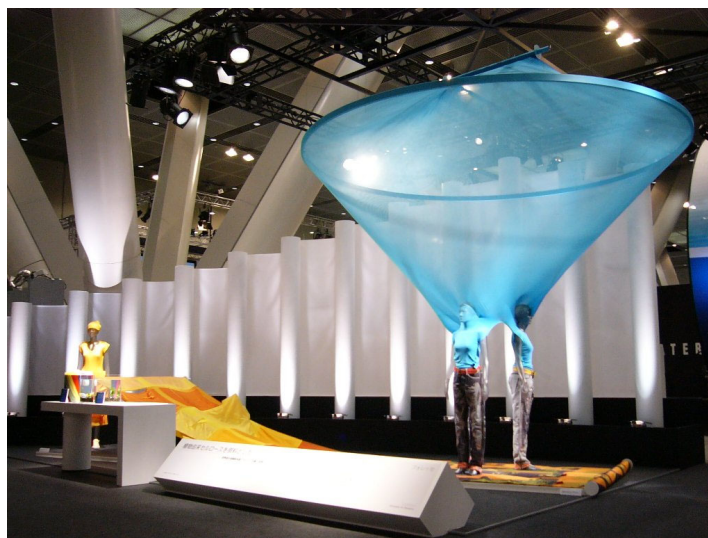


図 11 フォレッセを用いたテキスタイルアートの展示



図 12 プルミエール・ヴィジョン(パリ)



図 13 東レ婦人・紳士部マテリアル展(表参道)

7. 結言

東レ株式会社はセルロース系繊維であるレーヨンを製造、販売する会社として大正 15 年に創立された企業である。その後、時代の変遷に伴いレーヨンの製造を収束して既に 30 年以上が経つが、同じセルロースを原料とする繊維に関して、今回新しく開発した先端技術によって有害な薬剤や有機溶媒を使用しない環境にやさしい溶融紡糸法での製造が可能となった。今後はさらに検討を進め、次世代を担う大型素材とすべく開発を進めていくこととしたい。

謝 辞

本研究の一部は、NEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）基盤技術研究促進事業の委託により実施したものであり、ここに謝意を表します。

また、2007 年度（第 38 回）織研合織賞において、本素材がグランプリおよびテクニカル部門賞を重複受賞し、「ここ数年画期的な技術、素材開発にやや欠ける感があったが今回は東レのフォレッセが輝きを放った」と極めて高い評価を頂きました。ここに謝意を表します。

本素材に関する特許

（１）国内

特許査定済みの 8 件を始め、計 85 件を出願済み

（２）外国

米国、中国、台湾、インドネシアにおいて基本特許成立済み

以上