異形断面と複合紡糸技術による高機能原糸

木下直之 KINOSHITA Naoyuki
東レ株式会社

1. はじめに

ナイロン、ポリエステルに代表される合成繊維は、ファッション性・イージーケア性・耐久性など優れた特性から衣料用途を始めとして幅広い分野に使われてきた。2007年の主要全繊維の生産量は年67百万tであるが、そのうち合成繊維の生産量は37百万tを突破し、さらにポリエステルを中心に量的な拡大が続いている¹⁾。一方、産業構造は中国の台頭に伴い大きく変化し、国内の合成繊維の生産量は縮小・均衡に向かっており、今後は、精緻な技術力を生かして消費者の感性に働きかける高付加価値素材の開発・生産化が、国内繊維産業の生き残りに必要不可欠な要素の一つと思われる。そこで本稿ではナイロン、ポリエステルに高付加価値を付与する基幹技術の一つである異形断面と複合紡糸技術による高機能性原糸の開発について、高次加工との関連を含めて紹介する。

2. 歴史

合成繊維における異形断面糸あるいは複合紡糸と高次加工技術を組み合わせた付加価値素材の歴史は古く、絹様光沢を目標とした三角断面糸は、1959年には特許出願されている(USP2939201 特公昭36-20770など)。また、高次加工との組み合わせでは、ポリエステルのアルカリ減量加工が1948年には出願されている(BP652948)。これらの組み合わせ技術として、1960年代には三角断面ポリエステルのアルカリ減量加工することで、絹様光沢感とソフトな風合いを有するシルクライク織物がポリエステルの主要特品として大きく広がった。また、複合紡糸技術については、例えば特公昭39-29636号公報には「鋭い縁の形態を有するフィラメントの製造方法」として、複合紡糸により得た原糸を高次加工により分割する技術が提示されている。

3. 異形断面による高機能原糸

1) 高吸汗・速乾素材“エアファイン”^{2,3)}

異形断面繊維と布帛設計による機能性発現の例とし

て、“フィールドセンサーXX”を紹介する。本素材は、多量の汗をかくスポーツシーンでもべとつかず、着用快適性を維持する高吸汗快適素材である。原糸設計と布帛設計の融合により高度な吸水性の発現に成功した。

本質的に疎水性であるポリエステルへの吸水性付与は、親水性ポリマを繊維表面に被覆することによる水との親和性付与など主に後加工によるものが主流であったが、洗濯耐久性の問題があった。

素材に吸水性を付与する原糸設計としては、①繊維表面改質(マイクロボイド化による比表面積の増加)、②ポリマ改質(親水ポリマによる水との親和性向上)、③細繊維化や異形断面化による毛細管現象利用などがあるが、ポリエステルの基本性能を生かしながら、吸水性を付与できる③に着目し、各種異形断面形状を評価した結果、毛細管現象が充分発現でき、かつ強度や耐久性などポリエステルの基本性能を損なうことのない原糸設計を進め、高異形X型断面糸“エアファイン”(図1)の開発に到達した。原糸の吸水性能は、通常の丸断面糸の約2倍、三角断面糸に対しても1.5倍以上、さらには綿を上回る吸水性が認められた(パイレック法)。また、異形断面化による原糸の比表面積の増加は水の拡散を促進

図1 “エアファイン”断面

し、乾燥速度を向上させる。

一方、吸水性を付与する布帛設計として、当社独自のDP構造 (Differential Porous Structure) 布帛 “フィールドセンサー” がある。DP構造とは、樹木がポンプもないのに重力に逆らって地下の水分を枝や葉に上昇させる現象にヒントを得て開発したもので、布帛の断面に太さの異なる毛細管を層状に配し、これを多層化することにより、肌に接している裏面から表面へ、水分を連続的に移動させると同時に布帛表面に拡散することですばやく放散させるものである (図2)。

従来、“フィールドセンサー” は丸断面糸、または三角断面糸で構成されていたが、“エアファイン” の採用により、従来対比吸水性を2倍に向上させることに成功し、“フィールドセンサーXX” として上市している。

2) 清涼感素材 “セオα” ^{4,5)}

ポリエステルには吸湿・吸水性がなく、繊維表面が平滑であるため、布帛にした際のワキシー (蠟状) 感が強いことから、さらとしたドライ感や清涼感などを付与することが課題であった。強撚やセラミックスなどの粒子添加によるドライタッチによって清涼感を付与する技術はあったが、布帛の堅さや表面感、不透明感など他の特性に影響を与える点が問題であった。それらに対し、異形断面による原糸設計により総合的なバランスから本来の布帛の特性を損なうことなく、清涼感と吸水・速乾性を達成した高性能ポリエステル原糸が“セオα” (図3) である。

“セオα” は、従来の丸断面糸と、多葉断面糸を紡糸段階でミックスした一発紡糸混織糸であり、その技術ポイントは、①丸断面/多葉断面糸を紡糸一発で混織、②多葉断面のミクロンレベルでのマイクロスリット構造、である。

紡糸一発混織とすることで、表面積や繊維の異なる単糸間に配向構造差が発生し、単糸間に収縮差が発現し、更に仮撚加工において糸長差や撚縮位相差が生じることで、「さざ波構造」を得ることができる。この「さざ波構造」によって、従来の清涼感素材対比、追撚数を大幅

図2 “フィールドセンサー” DP構造模式図

に低減できるとともに、単糸間の繊維間空隙により、これまでになくソフトでしなやかな「さらさらしたドライ感」を得ることができる。

同時に「さざ波構造」により形成される繊維間空隙と、多葉断面糸の繊維軸方向のマイクロスリットの空隙の複合作用により、毛細管現象が向上し、吸水効果、水分拡散効果による吸汗速乾性能も得られる。

3) 新規光沢・感性素材 “シルック・ラフル” ⁶⁾

“シルック・ラフル” は、繊維1本1本の表面に対する光の反射角を光学分析することで開発した当社独自の新しい断面形状である (図4)。楕円形状に、丸味を帯びた凹凸を与えることで、丸断面よりも光沢感を出しながら、三角断面などのように一面集中反射によるギラつき感がなくなる。

この原糸を使用すると、楕円形状の曲げ方向異方性のため、織物や編み物の中で繊維1本1本の曲げ方向がそろろう。この布帛構造により、布帛表面に丸味を帯びた凹凸部が均一に表出し、どの角度から見ても光を均一に反射することで、上品で優しい光沢感を実現する。さらに、楕円形状によって折り曲げ剛性が小さくなることから、従来のポリエステルにない、しなやかでソフトな風合いの表現が可能となる。その上、肌との接触面積が増える

図3 “セオα” 断面

図4 “シルック・ラフル” 断面

ことによる接触冷感性とともに、凹凸による繊維間空隙での毛細管現象で優れた吸水・速乾性も発揮する。これらの総合的に優れた原糸特性と高次加工とを組み合わせることにより、“シルック・ラフル”は多くの感性素材や機能素材に展開することができる。

4) ニューシルキー “シルック・シルデュー”²⁾

絹をターゲットとした長年のポリエステル原糸開発の中で培われた収縮差混織技術、異形断面化技術を複合・高度化することによって得られた、ニューシルキー新合織の先駆け素材である。

一般に織物の製造においては、製織工程以降にアルカリ処理、染色、仕上げなどの工程で、沸水および乾熱による熱処理が行われる。異収縮混織糸は、熱収縮性能の異なる複数種の繊維を混織したものであり、製織工程以降の熱履歴により、収縮差による糸長差が発現する。これにより布帛にふくらみ感が付与され、現在の高質感素材の開発には必須の要素技術である。

これまでの異収縮混織糸には、湿熱収縮型と乾熱収縮型の2つのタイプがあるが、いずれの場合も一旦熱処理をうけることで中間セット以降の工程において収縮率が低下してしまう。このためその後の加工張力に対して収縮応力が低く、逆に張力によって引き伸ばされてしまい、ふくらみ感を表現することができないということが課題であった。

このような従来の異収縮混織糸の課題に対し、よりふくらみ感を実現するために、潜在多段高収縮ポリマを開発した。この潜在多段高収縮ポリマは、従来の高収縮ポリマーとは異なり、中間セット後の工程においても収縮と高い糸長差を発現するように設計された特殊な共重合ポリマーである。

潜在多段高収縮ポリマを高収縮糸とすることにより、“シルック・シルデュー”は絹を越える大きなふくらみ感を実現した。同時に高収縮糸の繊維構造から、発色性の向上、反発感とドレープ性をも付与することができ、シルキー光沢の三角断面形状との相乗効果により、上市された1988年から今日においても、シルキー分野の代表素材として広く展開されている。

5) 高感性素材 “シルック・デュエット”^{7,8)}

“シルック・デュエット”は、“シルック・シルデュー”の技術をベースとし、さらに高度化した高感性素材である。

一般的な異収縮混織糸は、収縮の異なる原糸を引きそろえ、延伸や仮然り、エア交絡などの後工程で混織されるのが一般的である。一方、1つの口金から、高収縮糸と低収縮糸を同時に紡糸する「紡糸混織」とすると、生産の合理化は可能であるが、布帛の性能であるふくらみ感は不十分なものになる。一発紡糸で布帛のふくらみ感に直結する高度な収縮差を持った混織糸を得るためには、①高収縮糸側の収縮率を上げる、②低収縮糸側の収

縮率を下げるという2つのアプローチがあるが、前者では織物の風合いが硬くなるため、後者のアプローチに技術課題を絞って検討した。

これを解決するために用いられたのが、ポリマの伸長粘度特性を利用した革新的な繊維構造制御技術である。この技術は、元々は、紡糸速度10000m/分の超高速紡糸研究の過程で生み出されたものであり、特殊ポリマーとの複合紡糸により、超高速でも、より低速で紡糸したときと同等の繊維物性が得られるというものである。この技術を用いて得られた繊維を異収縮差混織糸の鞘糸として配し、低収縮化することにより、従来にないふくらみ感を得ることができる。

さらに、染色加工の段階で、多段の高次加工処理により繊維の間空隙を極大化させる「高空隙加工技術」を開発し、織物構造内部に微細な空隙を付与するとともに、繊維1本1本の中にミクロレベルの空気を包み込んだエアトラップ構造（図5）を形成させ、優しいふくらみ感と上質な光沢感の表現を可能にした。

4. ブレンド、複合紡糸による高機能原糸

原糸改質と後加工との組み合わせにより機能性を発現させる手法として、原糸の製造段階において易分解・易溶解ポリマー成分をブレンドあるいは複合し、布帛化した後の加工工程においてそのポリマー成分を溶出除去する手法が挙げられる。ポリマー成分としては、主に水溶性ポリマー、アルカリ易溶出性ポリマー等がいくつか実用化されているが、ポリエステルやナイロン等の汎用ポリマーとの熔融紡糸時に耐え得る耐熱性を有すること、溶出工程において速やかに溶出除去できるよう良好な溶解・分解性を有することが要求される。古くは改質PET、ポリエーテル系ポリマー等が多く用いられていたが、近年では耐熱性やアルカリ易溶出性の観点に加えて環境配慮の面からも加水分解性が高いポリ乳酸が注目を

図5 “シルックデュエット”織物のエアトラップ構造

集めており、盛んに研究・開発が行われている。以下にいくつかの素材について解説する。

1) 高質感光沢素材 “クリスロン”⁹⁾

“クリスロン”は、ナイロン66中に微分散させた水溶性ポリマーを後加工工程において溶出処理することにより、繊維の内部と表面に、光の波長レベルにコントロールされたマイクロボイドを持つことが特徴である。このマイクロボイドによる内部散乱反射により、図6に示すとおり、高い反射強度を持ちながら、三角断面糸のように特定角度での強い反射光がなく上品な光沢感がある。また、絹と同様に光沢がありながら、ダル感のない不透明感（低透過率）を達成している（図7）。このように“クリスロン”布帛は、優雅な肌触りや光沢といった絹様の質感を発揮しつつ、ナイロン固有の長所も併せ持つ素材として開発され、上市後20年以上を経た現在もお、婦人インナーウェアの最高級素材として位置付けられている。

技術的にはこの高度なマイクロボイドの形成がポイントであるが、具体的には①ナイロンに親和性はあるが溶解しない水溶性のポリエーテル系改質剤の発見と合成によって改質剤の相分離を抑制しつつ、微小分散を可能としたこと、②改質剤を加えた均一なナイロンモノマー系からポリマーへの重合の過程で、改質剤を析出させる方法の発明によって安定な微粒子の形成を可能としたこと、③溶融紡糸にあたり、ナイロンと改質剤双方に親和性がある分散剤の発見によって原料ポリマー中の改質微粒子をさらに微粒化し、その波長レベルにコントロールされた特徴を有し、繊維軸方向に伸びた「すじ」を形成させることに成功したこと、④従来困難とされてきた低融点ポリマーと高融点ポリマーの非相溶系のブレンドポリマーの溶融紡糸性を飛躍的に向上させ、安定した工業生産を可能としたこと、⑤すじ状に微小分散した改質剤を繊維内部から均一に溶出除去する高次加工技術によって

マイクロボイドの形成を行い、目的の風合い、物性を得ることを可能としたことなどが挙げられる。

2) きしみ感素材 “フェミノス”²⁾

長年、ポリエステル原糸開発のターゲットとされてきた絹の基本的な特徴は、高級感のある美しい外観と、さわやかな手触りであり、さらには衣服に仕立てたときの仕立て映えの良さと快適な着用感である。ポリエステルは「新合繊」によって、ふくらみ感については絹を超えたといわれている。しかしながら、上記した絹の数多くの特徴をポリエステルで表現することに関しては依然としてまだ不十分であった。

“フェミノス”は、絹の持つ上質感として＜上品な光沢＞と＜繊細なきしみ感＞を達成し、新合繊で培ってきた技術を融合することで＜洋服の着用快適性・仕立て映えの良さ＞を実現することを目標に開発を進めてきた。

“フェミノス”では、ポリエステルの絹のようなきしみ感、ドライ感を付与するため、繊維表面に繊維軸方向に配向した微細凹凸を形成させ、かつフィブリル化を起こさせないような新規ポリマー技術を開発し、且つブレンド技術と高次加工技術を活用することで繊維表面にフィブリンサーフェス構造と呼んでいるサブミクロンオーダーの微細な凹凸を形成させており、この微細な凹凸形状の幅、長さおよび深さを制御することで絹のようなきしみ感・ドライ感を実現している。また同時に着心地の良いふくらみ感に加え、ソフトタッチ、優れた発色性を実現している。

3) 後溶出型中空ナイロン “エアリーサムロン”^{10,11)}

“エアリーサムロン”は芯成分にポリ乳酸、鞘成分にナイロンを配した芯鞘複合糸であり、布帛とした後にアルカリ溶出処理により芯成分を溶出させ、中空化することを特徴としている。軽量・保温性を特徴とした中空糸はポリエステル、ナイロンにおいて古くより工業化されており、主に円形スリット状の吐出孔口を用いて製糸

図6 “クリスロン”の反射光沢強度（点線）

図7 “クリスロン”の反射率と透過率

図8 “エアリーサムロン” 織物断面

段階において中空部分を得る方法により製造されている。ただしこの紡糸口金による方法では、仮撚加工などの外力が多く加わる加工工程により容易に中空潰れが発生すること、あるいは得られる中空率としては30～35%程度が限界であることなどの課題があるのも事実であった。

そこでこれらを改善する手法として、紡糸段階では芯鞘複合糸を製造し、後加工工程で芯成分を溶出除去することにより中空部分を得る、いわゆる後溶出型中空糸の研究開発が近年進められ、いくつかの製品上市が行われてきた。後溶出型中空糸は仮撚加工等の糸加工および布帛化の後に溶出処理をおこなうため中空潰れがなく、また高中空率を得ることも可能である。

ここで紹介する“エアリーサムロン”については、芯成分にポリ乳酸を用いていることが最大の特徴である。ポリ乳酸は通常のPETと比べてもアルカリ溶出速度が速く、また熔融紡糸可能な耐熱性もあるため、溶出ポリマーとして適合するばかりでなく、カーボンニュートラ

ル素材であるということ、高速曳糸性に優れ生産性が高い、すなわちエネルギー効率的に優れた高速製糸プロセスにも適用できるといった環境配慮面でも優れた特徴を持っている。“エアリーサムロン”は生産性、布帛の耐久性などを考慮した上で中空率45%の設計としており、軽量・保温素材としてスポーツ織物をはじめとする各種用途へ展開されている。

5. おわりに

優れた特性を持つ合成繊維は、今後とも生活に必要な不可欠な素材として高度化が図られていくであろう。しかし、グローバルな競争にさらされる国内繊維産業にとっては、さらなる新しい価値の創造が必須であり、そのためには高感性・高機能商品開発とそれを支える精緻な技術開発の不断の努力が必要である。

参考文献

- 1) 「内外の化学繊維生産動向2007年」, 日本化学繊維協会
- 2) 佐藤;「新感覚・新機能性繊維」, (株)東レリサーチセンター, P 9-37(2001)
- 3) 丹羽;PETROTECH,19(10),P-868(1996)
- 4) 鍋島;繊維学会誌,51,P-290(1995)
- 5) 東レ(株);ポリエステル長繊維のインナー用途向け販売強化について"セオα",プレリリース(2003.7.23)
- 6) 東レ(株);新感性ポリエステル長繊維"シルックラフル"の本格発売について,プレリリース(2004.11.5)
- 7) 越智,清水,佐藤;繊維学会誌,61,P316(2005)
- 8) 東レ(株);タッチコンシャス・シルキー新素材"シルックデュエット"の発売について,プレリリース(2003.3.6)
- 9) 加藤;繊維学会誌,50(5),P-A33(1994)
- 10) 永安;「新感覚・新機能性繊維」, (株)東レリサーチセンター, P38-52(2001)
- 11) 東レ(株);軽量・保温性に優れた高中空ナイロン長繊維テキスタイル"エアリーサムロン"の発売について,プレリリース(2004.11.4)

木下直之 (きのした なおゆき)

1984年、東京工業大学大学院総合理工学研究科電子化学専攻修士課程修了。同年、東レ(株)入社。繊維研究所、ナイロンフィラメント技術部、石川工場製造部にてポリエステル・ナイロンフィラメントの新製品開発、技術開発、生産管理に従事。2006年より生産本部フィラメント技術部部長。