新しい結束紡績法*

浅野 忠七男**

山形 誠一***

中山 隆****

1. はじめに

今から6 000年以上前の古代エジプトの壁画に糸を紡いでいる人物が描かれている。また、地球上にまだマンモスが歩いていた頃のスイスの石器時代居住人の遺跡から麻や羊毛でつくられた糸や布などが発見されている。紡績の歴史はたどれないほど古く、まさに人類の起源の歴史でもある。

もっとも原始的な紡績はドラフト、加撚、巻取りがそれぞれ不連続に行われていた。まず、スピンドルやディスタフが小道具として使われさらに進んで紡車が使われるようになって、ドラフトと加撚は同時に行われ、次いで巻取りが行われた。1533年に紡車のスピンドルにボビンとフライヤを取付け、足踏みで運転する Saxony Wheel が発明されて、はじめて加撚と巻取りは機械的に同時に行われるようになった。1767年 James Hargreaves はミュールの原形となる加撚・伸長のドラフト機構をもつ Spinning Jenny を完成し、手動ながらも多錘の紡機が出現した。1769年 Richard Arkwright は Saxony Wheel の加撚、巻取りと先に Lewis Paul (1738年) 等が考案したローラ ドラフトを採用し、さらに動力源として水車を利用した水力紡機 (water frame) を発明した。これによって紡績の一連の操作、すなわちドラフト、加撚、巻取りが初めて同時に、しかも連続的に行われるようになった。1779年 Samuel Crompton は Spinning Jenny を改良し、加撚・伸長のドラフト機構

とローラ ドラフトを組込んだハンド ミュールを発明し、200 s の細番手糸の紡出を可能にした。その後、これは動力化されてミュール精紡機として完成し、もっともよく使用されていた。

リング精紡機は1828年 John Thorp がこれまでのフライヤをリングに代える発明をしたのがそのはじまりである。

初期のリング精紡機は不評であり、改良にかなり時間を要したが、19世紀末から次第に使用されるようになり、20世紀に入るとこれまで主流であったミュール精紡機を凌駕して行った。その後も幾多の先人の努力により次第に完成の域に達したリング精紡機を中核として紡績技術は飛躍的な発展を遂げてきた。

しかし、近年までの紡績における大きな技術的成果をふりかえてみると、その大部分は前紡と仕上工程の高速化、自動化、ラージ パッケージ化、工程の短縮化または連続化である。これとても反面、所要電力の増大という点からの反省もないわけではなかった。肝心のリング精紡機についてはスピンドル インサート、ローラのベアリング化、ペンデュラム加圧、オート ドッファなどの高性能化ははかられてきた。しかし、生産性向上の面からは見るべき成果は少ない。リング精紡機の高速化についてはトラベラの発熱・摩耗、バルーン張力増大による糸切れ、動力費の増大などの原因から技術的にも原理的にも限界に達しており、これ以上の生産性向上は望めないということが明確になったのは今世紀半ば過ぎである。もはや紡績の近代化、合理化の大きなネックとなったリング精紡機の原理的欠陥に対する挑戦、すなわち革新紡績法の開発は糸形成の機能と巻取機能を分離しながらもそれらを連続的に行うという困難な課題に直面することになった。

当社においても、ファイバ メーカという紡績に対しては比較的自由度の大きい立場からいくつかの型の革新紡績法の研究に着手した。1967年チェコ綿業研究所が開発したBD-200型オープン エンド精紡機が発表されたが、この年は当社においても独自の技術でMS型オープン エンド精紡機の開発に完成をみた年でもあった。オープン エンド精紡機はこの年を契機として世界的なブームを呼ぶことになった。1974年～1980年の間に新設されたリング精紡機とオープン エンド精紡機の構成比はおよそ87:13にまでなっている¹⁾。この間、20社におよぶ世界的に有力な繊維機械メーカーの入り乱れての技術開発合戦の成果は、ロータ回転数40 000～60 000 rpm の定着、トラッシュ除去装置、ロータ内の自動掃除、自動糸継ぎ、自動玉揚げなどの高性能化技術にみることができる。しかし、次のようないくつかの基本的な障害が存在することも明らかになってきている。

* The New Spinning Technology of Fasciated Yarns.

** T. Asano, 東レ 繊維研究所 繊維加工研究室長

*** S. Yamagata, 東レ 繊維研究所 主任研究員

**** T. Nakayama, 東レ 繊維研究所 研究員

表1 糸構造からみた革新紡績法の分類

糸 構 造		代 表 的 な 技 術
実燃	糸構成繊維は一樣の撚りを有する	(Mule), (Ring)
	糸の内～外層は一樣でない撚りを有する	BD, MS, DREF, PF-1
	糸の表面構成繊維の一部は撚りを有する	Rotofil, Coverspun
無撚	糸の長さ方向に交互撚りを有する	Self-Twist, Selfil, Novacore
	実質的な撚りをもたない	TNO, Twilo, Bobtex

- (1) 糸切れ, 消費電力, 騒音などの制約からロータ速度増大のむずかしさ
- (2) 開織ローラの摩耗 (特に合織の場合) とこれに起因する糸質不良, 繊維の損傷
- (3) 糸を構成する繊維の配列不良, 撚りの不均一性および糸強度不足に起因する用途制約
- (4) 原料, 紡出番手に対する適用範囲の制約

これからの日本の繊維産業の活路が高付加価値, 差別化あるいは多様化された商品の創出にあるとするならば, 前記(3), (4)の問題点は見逃せない欠陥であり, 今後におけるオープン エンド精紡機改善の大きな課題であろう。しかも, この欠陥は今のところロータ方式以外のオープン エンド精紡機にも共通のものと考えられる。

糸構造からみた代表的な革新紡績法の分類を表1に示す。

実燃状の撚りをもたない, いわゆる無撚りタイプの革新紡績法には得られる糸形態によって, 糸の長さ方向に交互撚りを有するものと糸強度を糸構成繊維相互の融着, 接着あるいはインターレースなどに依存してなんらの撚りをもたないものがある。このタイプの糸はリング糸とはかなり異質なものとなる。すなわち, それぞれの技術はかなりの高生産性を期待できるが, それぞれの糸形成手段そのものが得られる糸の特性を決定付けることになり, 極めて個性の強い糸が得られる。この点で実燃タイプの技術と大きく異なっている。このことは, ある限られた用途範囲内においては差別化素材として特長を発揮できる可能性を有するが, その反面, 汎用性の欠如という本質的な欠陥をも持たざるを得ないことを示している。そのため, このタイプの技術の存亡は適切な用途開発次第であるといっても過言ではない。

我々は1965年頃から主として無撚りタイプの革新紡績法のうちいくつかの方式について検討してきた。そして, それらの方式で得られる糸の品質設計や用途開発のためにプロセス自体の開発以上の努力を傾注してきた。それらのうちのあるものはタイミング良く時流に乗って生産にこぎつけ, またあるものは試験生産段階で骨折した。しかし, 研究段階で消滅して行ったアイデアの方が多いに多かった。差別化スパン素材を効率良く生産できるというキャッチ フレーズは, その技術を企業化する

るに際しての一つの良い判断材料にこそなるが, それのみではその後の存続にはなんの効力も持たないというのが実際であり, やはり汎用スパン素材を効率良く生産できる革新紡績でなければならないということが貴重な教訓として残っている。

実燃型と無撚型との境界領域にあるのが結束紡績糸 Rotofil²⁾に代表されるような, 糸の表面構成繊維の一部に撚りを有する構造の紡績糸である。糸構造および糸形成のメカニズムからみて, 我々は分類上これを実燃型として位置付けるのが妥当であると考えている。

Rotofilの特徴³⁾は平均繊維長5～6in, 繊度1～2dで中番手(35s)から特に細番手(80s)の糸を高速生産できること, 得られる糸は芯部は撚りのかからない平行に配列した繊維束であり, 芯部の周りを糸全体からみればごくわずかな割合の別の繊維で束ねるため撚トルクを持たないことである。しかも, 表面結束繊維は芯部に沿って比較的間隔をおいて無秩序に位置し, またその線角度は約10～80°と幅広く分布している。そのため, この結束紡績糸で得られる製品は無撚紡績糸やマルチ フィラメント糸のそれに比較的近い性質を呈するようである。

我々は無撚紡績法検討の過程において, より均質な結束構造を有する結束紡績糸をつくるヒントを得たのである。一般に無撚紡績法のプロセスの構成はドラフト パート, ヒータまたは接着剤付与装置, 仮撚装置, デリベリローラ, ワインダである。このプロセスで得られる糸をよく観察すると不規則な表面の結束繊維が無撚繊維束を結束し, さらに多くの場合交互撚りが残って糸の外観品位を悪くしていた。そのため, この結束繊維の発生を防止してきれいな無撚紡績糸をつくるのが当時の検討課題になっていた。これを積極的に逆利用しようというのが我々の発想であり, 検討開始のきっかけとなった。均質な結束繊維の存在は扁平になりがちな無撚繊維束に丸味を与え, 原料繊維の繊維長にあまり影響されずに変動率の少ない, 十分な糸強度と毛羽の少ない均一な外観を与え, しかも広い可紡範囲と大きな生産性をも可能にすることを確認できるまでにそれほどの時間はかからなかった。

2. 糸形成プロセス

2.1 基本的な原理

結束紡績法の糸形成モデルをリング法、オープン エンド法との対比で図1に示す。リング法ではパッケージ

図1 糸形成法の比較

とリング・トラベラの回転が必須であるため糸形成すなわち加撚と巻取りは分離できない。オープン エンド法では全繊維のオープン エンド化、ロータによる糸形成によって紡績の大きな歴史的課題であった加撚と巻取りの分離が可能となった。結束紡績法では一部の繊維をオープン エンド状にすることによって、仮撚付与のみで糸形成可能となり、糸形成と巻取りを分離するとともに重いパーツの高速回転が不要となった。

結束紡績法ではドラフトされた繊維束の大多数は仮撚りによって加撚され、解撚部へ移行すると解撚されて無撚りの繊維束となる。この場合無撚りとは、まったくの無撚りか、または糸の長さ方向にトータルとしては撚数ゼロである交互撚りを意味している。仮撚りの加撚作用から実質的にフリーである一部繊維、つまりオープン エンド状態にある繊維は仮撚加撚部において前述の加撚された繊維束とともに移送され、仮撚、加撚繊維束に一体化され、その後解撚されることによって、仮撚りの加撚方向とは逆方向の真の撚りを与えられる⁴⁾。

2.2 プロセスの開発

図2(a)に示す方法はスライバまたは粗糸をローラドラフトパートに供給して、ドラフトされた薄いフリースとし、これに仮撚りを付与するプロセスである。我々はこのプロセスの実験において次の2つの現象に注目した。一つはフロントローラアウトで撚りによって捕捉されない耳部繊維のために風綿やフロントローラ巻付きが発生することであり、他の一つは得られる糸状繊維束の表面をよくみると、不完全ながら無撚状の繊維束をしばり付けている結束繊維が散見されることである。図

図2 仮撚を用いた他の糸形成法

2(b)に示す方法はDu Pont社 Rotofil のモデル図であり、フロントローラアウトにアスピレーティングジェットを置くことによって、ローラ巻付きや風綿の発生を防止して、効率的に結束紡績糸 (Fasciated Yarn) を生産することを可能にしたといわれている。Du Pont社の説明によると、残留撚数は主繊維集合体に合流する前の耳部繊維の自由長との関係によって決まるとされている。この方法では、耳部繊維の大部分は両端フリーのオープン エンドではなく、かつそれらの繊維の糸走行方向に対しての先端が主繊維束集合体に合流する位置が一定しないので、得られる結束紡績糸の結束繊維はランダムな巻付角度の糸構造になっているものと、解釈される²³⁾。

図3は我々の結束紡績プロセスの具体的構成の一例であり、上下のフロントローラにコンベヤバンドを取付

図3 結束紡績法の基本構成

けている⁵⁾。このコンベヤバンドは耳部繊維が加撚繊維束と合流するまでは両端部がフリーのオープン エンド状になることが可能な長さを有し、かつ仮撚りの加撚開始点がフロントローラのニップ点近くまで及ぶように下流方向に向かってくさび状に空間を形成している。コンベヤバンドの下流端には、コンベヤバンドで移送されてくる耳部のオープン エンド状繊維をコンベヤバンドから引取り、加撚された繊維束と合流させるための機能を有する吸引気流を利用したコレクタ装置が設けら

図7 空気加熱ノズル

出口側の内径 ϕ_2 が大きく、その境界テーパ部に圧縮空気噴射孔を接線方向に配した段付き型を使用している。これは糸通しの自動化のために、旋回空気流により吸引性能をもたせるためである⁹⁾。これに対し段付き型でない直線糸道型ノズルは加熱性能自体は高いが吸引性能が不良であり、結束紡績には不適当と思われる。

ノズルは紡出番手との関係で適正仕様が有り、 $\phi_1 = 1.2 \text{ mm} \sim 5.5 \text{ mm}$, $\phi_2 = 2.0 \text{ mm} \sim 7.5 \text{ mm}$, $\phi_3 = 0.3 \text{ mm} \sim 0.8 \text{ mm}$ の範囲で太番手化とともに大径化する。圧縮空気噴射角は $35^\circ \sim 80^\circ$ の範囲のものを使用できるが、角度 θ が大きいほど吸引量が減少し、燃数は増加する傾向がある。圧縮空気噴射孔の数は通常4個設けられている。材質は耐摩耗性および加工性に優れたものが望ましい。ノズルの加熱性能、圧縮空気消費量は圧縮空気の圧力に比例する。図8に一例を示す。燃数は圧力または流量の

図8 ノズル性能

増加とともに増加するが、ある値を過ぎると飽和する傾向がある。また、吸引量についても同様の傾向を示す。

使用する流体は圧縮空気のかわりに加熱空気、蒸気、加圧水も可能であり、加熱性能の増大ははかれるが、コスト、操作面からみて圧縮空気が最良である。現在のところ、合繊紡の場合、このノズルにより、 3.0 kg G/cm^2 の圧縮空気で紡速 150 m/min の紡出が、また 6.0 kg G/cm^2 を使用すれば最大 300 m/min での紡出が可能である。

3.3 コンベヤ バンド

コンベヤ バンドは我々のプロセスにおいては空気加熱装置とならび重要である。また、その寸法および材質は糸質、可紡性に大きく影響する。コンベヤ バンドは上下フロント ローラ に取付けられ、ノズルによる加熱がフロント ローラ ニップ点近くにまで及ぶように先端を開口し、バンドにたるみのないよう張力をかけくさび状空間を形成する。その機能は耳部繊維のオープン エンド化および該繊維の安定した移送にある。

コンベヤ バンドの長さは繊維長との関係において、図9のようにすることが望ましい。すなわち、コンベヤ

図9 コンベヤ バンドの寸法

バンドのフロント ローラ ニップ点～先端ローラ 中心距離 l_1 は平均繊維長 L との関係で $L/2 < l_1 < 2L$ の範囲がよく、好ましくは L と同じかやや長くする。

先端の開口量 t は糸質との関係で重要であり、広すぎると強力不足、狭過ぎると仮燃りの伝播が不良となり、やはり強力が不足する。 $L < 64 \text{ mm}$ の場合で $1.5 \sim 3.5 \text{ mm}$, $L > 76 \text{ mm}$ の場合で $3 \sim 6 \text{ mm}$ が適当である。

コンベヤ バンド先端ローラ～ノズル加熱点間の距離 l_2 は糸掛け操作を考慮して平均繊維長 L 以下にすることが好ましい。

コンベヤ バンドの幅は紡出番手との関係で下限があり、ドラフトされたフリースがはみ出さず、耳部繊維の移送を十分にやり得るだけの幅が必要である。幅の上限は制限がない。この幅は紡出番手範囲、ローラ加圧量などから考えて最適値を決定する。

コンベヤ バンドの材質は通常使用されている紡績用エプロン バンドと同様のゴムを主体としたものであるが、巻付防止および耐久性の点から耐摩耗性および制電性が必要である。

3.4 コレクタ装置

コレクタ装置は吸引気流を利用してオープン エンド化された耳部繊維の移送、集束を行う。その形状は図5にその一例を示すとおり、糸条通過孔とそれに直角方向に連結された負圧源に通じる管とから構成される。通常は空気の流れおよび繊維の集束を円滑に行うため入口にファンネルを取付けている。このコレクタ装置の吸引気流は糸切れ時、糸掛け時の糸端や供給繊維の吸引機能を

も兼ねている。

4. 操作機能

4.1 紡出開始

紡出開始時、ドラフト部にスライバを供給すると、ドラフトされたフリースはコンベヤバンドにより前進し、コレクタ装置のニューマ管に吸引される。フロントローラニップ点～ノズル加熱点間の距離が平均繊維長近傍の場合にはニューマ管の吸引作用を一時的に停止すれば、ドラフトされたフリースはノズル内に自動的に吸引され、仮然りがフロントローラニップ点近くまで伝わり糸通しができる。糸が通ったらニューマ管を元の状態に戻せば正常紡出が開始される¹⁰⁾。

一方、フロントローラニップ点～ノズル加熱点間の距離が平均繊維長以上の場合には、仮然りが上流に伝わらない場が多くなり、このままでは糸通しができない。この場合の糸通しは、次の2点を満足させればよい。

- (1) フリースのニップ点～加熱点間の距離を一時的に平均繊維長以下にする。
- (2) ニューマ管の吸引作用を一時的に停止させる。

この操作によりドラフトされたフリースはノズル内に自動的に吸引されるとともに、仮然りがフロントローラニップ点近くまで伝わり、糸通しができる。糸が通ったら装置を元の状態に戻すことにより正常紡出が開始される。

これを実現する装置の構成には図10に示す2つの方法がある。図10(I)の方法はコンベヤバンドの先端ローラおよび糸掛け用中間ローラの両方、または片方を上方に持ち上げフリースのニップ点をノズルに近付けるとともに吸引気流中断装置を取付けたものである¹¹⁾。図10(a)

(a)

(b)

図10 紡出開始方法

の方法はノズル本体をフロントローラ方向に移動させるものであり、この場合は吸引気流中断作用をも兼ねることができる¹²⁾。また、これら(a)、(b)の方法を併用することも紡出する繊維素材の繊維長によって必要な場合がある。

実際の糸掛け機構は1本のレバーの操作で上記作用が運動するように構成されており、リング紡機やオープン

エンド紡機に比較して糸掛け作業は非常に容易であり、熟練を必要としない。

4.2 途中糸切れ処置

紡出途中で糸切れが発生した場合、ドラフトされたフリースをリング紡のようにニューマフィルに吸引させておくこともできるが、紡速がリング紡の5～10倍であるので原料ロスやローラ巻付の危険性が高い。このため、適当な処置が必要である。そのため、各錘のデリベリローラ～ワインダ間に糸切れ検知器を設けて糸切れを検知し、その信号によりスライバカッタでスライバの供給を停止するとともに、ノズルへの圧縮空気供給を停止させる。ローラパートに残ったスライバはコレクタ装置のニューマ管へ吸引させる¹³⁾。紡出を再開する場合は、前記糸掛け操作と同様にして行うことができる。

スライバの供給停止にはニップ式カッタをバックローラの後方に設ける方法、バックローラを各錘ごとに停止させる方法もある¹⁴⁾。

4.3 停止、再始動

このプロセスは糸が掛ったままで停止、再始動を容易に行うことができる。また停止、始動時の紡出糸も正常であり糸切れも生じない。この場合、タイマを使ったシーケンス制御が必要であり、そのタイミングは図11に示すとおりである。

図11 始動・停止のタイミング

すなわち、始動時はスイッチをONするとサクシオンファンが始動し、またノズルへ圧縮空気が供給される。T₁後ドラフト部、ワインダ部が始動して紡出が開始され、T₂後糸切れ検知フィーラが作動する。停止時はスイッチOFFによりドラフト部、ワインダ部、および糸切れ検知フィーラが停止し、T₃後ノズルへの圧縮空気供給、サクシオンファンを停止する¹⁵⁾。

5. プロセスの特徴

5.1 可紡範囲

このプロセスの可紡範囲は図12に示すとおりである。

紡出する糸番手に応じて糸形成部のコンベヤバンドやノズルの仕様を考慮する必要がある。また、原料繊維

の繊維長に応じてドラフト パートの仕様を考慮する必

図12 可紡範囲

要がある。

適用素材は特に限定されず、繊維長に関しては30 mm程度から、たとえばカーペット用ナイロン ステープルの200 mm程度までの可紡性を有する。また、番手については原料素材の単繊維繊度にもよるが、極細番手200 Nmから極太番手1 Nmまでの生産実績を有する。

5.2 消費電力

このプロセスは従来のリング紡に比較して電力原単位が少なく、いわば省エネルギー型の精紡機である。精紡電力原単位を図13に示すが、細番手になるほどリング紡対

図13 消費電力

比電力使用量の差が大きくなることがわかる。これはパッケージを高速回転させる必要がないため精紡機本体の電力消費が極めて少ないこと、圧縮空気用コンプレッサ電力も精紡機本体のその2倍程度であることによる。

また、パッケージは直接チーズ巻取りのためリワインドは必須要件ではなく、用途によってはリワインドなしで出荷できること、ラージ パッケージ巻取りのためドッ

ピング回数が少なくすみ、その分だけ要員が少ないなどからコスト的にもリング紡に比較して有利である。

5.3 紡出速度

このプロセスは空気仮撚りを使用する（必ずしも必須条件ではない）ことによりおよそ20万 rpm（圧縮空気 3.0 kg G/cm^2 ）という超高速回転を実現でき、圧縮空気圧力をさらに上げることににより30万 rpm以上の回転数も可能である。糸と空気との間にはスリップがあるので実際の糸の撚数はやや低くなるが、それでもリング紡績の20倍以上の紡速が原理的に可能である。

実際の生産は糸形成時の繊維の制御、得られる糸の均一性、機械価格などの面から現在のところ紡速100~200 m/minの条件で実施されている。

6. まとめ

均一な結束構造の結束紡績糸をつくるという発想から我々が開発してきた結束紡績法について装置面から述べてきたが、その特長をまとめると次のとおりである。

- (1) 原料繊維素材に対する適応性が大きい
- (2) 極太番手から極細番手まで可紡範囲が大きい
- (3) 生産性が高い。100~200 m/min
- (4) 省エネルギー
- (5) 操作性良好で熟練不要
- (6) 停止・再始動が容易

現在のところ、この結束紡績糸は必ずしもリング糸ほど汎用的なものではない。しかし、リング糸との特性差をよく把握したうえで、製品の要求特性や用途に応じて品質設計を配慮したり、仕上げ加工法などの適正化をはかればこの紡績糸に対してかなりのポテンシャルを期待できると確信している。すなわち、リング糸やオープン エンド糸の弱いところを補完したり、代替できる用途分野が結束紡績糸には多いと考えている。

文 献

- 1) 繊維技術ニュース 532 (1981)
- 2) 特公昭 43-28250
- 3) O. Heuberger; Text. Res. J., 41, 768 (1971)
- 4) 特公昭 53-37932, 55-488
- 5) 特公昭 52-43256
- 6) 特公昭 52-43257
- 7) 特公昭 50-123955
- 8) 特公昭 53-1850
- 9) 特開昭 50-95528
- 10) 特公昭 52-50296
- 11) 特公昭 56-14773
- 12) 特開昭 52-42934
- 13) 特公昭 55-29169
- 14) 特開昭 52-1142
- 15) 特開昭 51-96541