総説

仮燃機構を応用した繊維加工技術

穴 原 明 司

1. ま え が き

繊維を取扱う上で、あるいは繊維にある形態を与える上で、撚りが極めて重要な役割を担うことは周知の通りである。加撚機構上、撚りは実撚りと仮撚りとに大別され、前者は原則としてパッケージの回転によって得られるのに対し、後者は繊維束の回転によって得られるため高速化に適した形式であり、フィラメント、ステープルいずれの分野でも広く用いられ、近年生産性向上の要請の高まりと共にその重要性を増しつつある。ここに仮撚機構を応用した繊維加工技術について概観し、その主なものに触れてみたい。

2. 仮撚機構の理論

2組のローラに把持されて走行する糸は、その中間点で糸軸中心に回転されると、上流側と下流側に互いに逆方向同数の撚りと、それに伴う撚り縮みとを発生する。発生した撚りは糸の走行と共に下流側へ移動し、定常状態に達して安定する。この過程は次の仮定の下に、図1を用いて次のごとく説明される。

- 仮定 1. 加撚子上流には、糸の回転を妨げる抵抗体、加熱体などはない。
2. 糸は完全弾性体で、各領域の撚りは均等に分布する。

速度 v_1 で供給される糸に速度 ω の回転が加えられると、微小時間 dt の撚り数変化は、次式で示される。

図1 仮撚機構の原理図

Yarn Processing Through False-Twist Mechanism
MEIJI ANAHARA
TOYODA AUTOMATIC LOOM WORKS, LTD.
(株)豊田自動織機製作所繊維機械事業部
研究部部長代理 (工博)

1) 加撚子上流域

$$dN_1(t) = \omega dt - v_R \frac{N_1(t)}{l_1} dt \quad (1)$$

ここで $N_1(t)$: 時刻 t における総撚り数, v_R : 撚り縮み R をもった糸速度 ($v_R = (1-R)v_1$), l_1 : 上流域の長さとする。初期条件: $t=0$, $N_1(0)=0$ とすると、式(1)は、

$$N_1(t) = \frac{l_1 \omega}{v_R} [1 - \exp(-\frac{v_R}{l_1} t)] \quad (2)$$

$$n_1(t) = \frac{N_1(t)}{l_1} = \frac{1}{(1-R)} \frac{\omega}{v_1} [1 - \exp(-\frac{(1-R)v_1}{l_1} t)] \quad (3)$$

2) 加撚子の下流域

$$dN_2(t) = -\{\omega dt - v_2 \frac{N_2(t)}{l_2} dt\} + v_R \frac{N_1(t)}{l_1} dt \quad (4)$$

初期条件: $t=0$, $N_2(0)=0$ とすると、式(4)は、

$$n_2(t) = \frac{N_2(t)}{l_2} = \frac{-l_1 \omega}{l_1 v_2 - (1-R) l_2 v_1} \cdot [\exp(-\frac{(1-R)v_1}{l_1} t) - \exp(-\frac{v_2}{l_2} t)] \quad (5)$$

3) 定常状態 ($t \rightarrow \infty$) における上流域の撚り数は、式(3), (5)より、

$$n_1(\infty) = \frac{1}{1-R} \frac{\omega}{v_1} \quad (6)$$

$$n_2(\infty) = 0 \quad (7)$$

定常状態に達するまでに糸と共に糸外へ流出する総撚り数は、

$$\int_0^\infty v_2 n_2(t) dt = \frac{-l_1 \omega}{(1-R) v_1} = -N_1(\infty) \quad (8)$$

すなわち加撚子上流域には一定撚り数が滞留するが下流域には撚りは無く、滞留撚り数に等しい逆方向の撚りが、実撚りとして糸外へ流出する。この模様を図2に示す。以後上流域を加撚域、下撚域を解撚域と呼ぶことにする。

図2 仮燃機構の過渡的捻り数変化
* 注) 滞留捻り数; 縦軸単位(×5)

3. 仮燃機構を応用した加工技術

上述の仮燃機構によって起る捻りの現象は、種々の繊維束の加工に利用される。まとめて表1に示す。

3.1 フィラメント分野

3.1.1 仮燃加工：合成繊維フィラメント糸の熱可塑性を利用して、加燃時の変形を熱固定後解燃し、巻縮を付与してフィラメント糸に高刚性、伸縮性、旋回性などの物性を与える加工法。フィラメント糸の加工には表2に示す諸種の加工法が実用化されているが、仮燃加工法はその90%以上(日本の設置台数比、昭和56年度)¹⁾を占める重要な技術である。

1) 仮燃加工法の特長

利点

- ①加工条件の厳密設定可
- ②緊張熱処理
- ③加工と同時に延伸処理可

欠点

- ①生産性小
- ②設備大(ヒータ長大)
- ③繊維断面形状多角形化

表2 テクスチャード加工法

2) 加燃域の捻り数の挙動

仮燃加工では加燃域にヒータを設け、走行糸を加熱する。仮燃りスピンドルによって糸に加えられた加燃域の捻りは、図3に示すようにヒータ上の糸温度の変化に追従してヒータ入口に向かって低下する。この現象は昇温によるフィラメント糸の弾性率の低下、ヒータとの接触による回転の抵抗のためと考えられる。かかる捻り数分布を変化させる要因を挙げると²⁾、

- ①ヒータ温度が高い程、糸の弾性率低下も激しくなり、捻り勾配は大きくなる。
- ②糸速が速いと昇温が遅くなるため捻り勾配はなだらかになる。
- ③糸張力が低下すると見かけの捻り数が増し、勾配も増大する。
- ④ヒータ前後での糸の屈曲が増すと見かけの捻り数は

図3 仮燃加工時の捻り数分布と糸温度変化

表1 仮燃機構を応用した繊維加工技術

利用する現象	フィラメント	ステープル
一時的加燃形態による変形・集束	仮燃加工	接着紡績 ドラフト時の斑制御
糸の平衡破壊による逆方向捻りの連続流出	特殊仮燃加工	セルフツイスト セルフィール 交互ラップ紡績
繊維束の積層により上燃りで集束	コーンテクスチャリング	—
繊維束の不連続化による捻りの流出	—	オープンエンド紡績
繊維束の一部不連続化による包絡	—	結束紡績

低下し勾配も増大する。

3) 走行系の昇温挙動

加燃域の糸は加燃され高速度で糸軸を中心に回転しながらヒータ上を走行するため、単純な非回転走行の場合に比べると昇温挙動が異なる⁸⁾。

- ① 緊密に集束されているため、無燃糸の場合より昇温が著しく遅い。
- ② 糸の回転は若干昇温を早める。
- ③ ヒータ上の燃り分布に伴う燃り縮みが糸の熱伝達率に及ぼす影響は2%以下と小さい。
- ④ 糸の昇温に要する時間は、ヒータ温度を高めることにより短縮可能で、得られる糸物性もほぼ同等である。

4) 加燃域のフィラメントマイグレーション(層転移)

加燃された糸内の構成繊維は、らせん長差によるひずみを相互に均等化しよう糸軸からの距離を転じる。マイグレーションと呼ばれるこの現象は種々の要因によって影響されるが^{4,6)}、現実の加燃糸は、二つの理想的な加燃糸構造

完全マイグレーション構造(繊維は完全に層転移し、ひずみは一定値 x_{fM} となる)

完全非マイグレーション構造(層転移が起らず、繊維ひずみは燃角度 θ に依存し $x_{fN\theta}$)の中間構造をとり、構成繊維はマイグレーション比を k (≤ 1)として、両者のひずみを糸内の全層にわたって $k:(1-k)$ の比率で分担すると仮定する。燃角度 θ の繊維ひずみ $x_{f\theta}$ は、

$$x_{f\theta} = kx_{fM} + (1-k)x_{fN\theta} \quad (9)$$

で表され、仮燃加工の場合ポリエステルフィラメントについて下記の傾向が認められた⁶⁾。

- ① k は0.6~0.9の範囲にあり、不完全ではあるが高度に層転移する(図4参照)。
- ② 仮燃加工条件では、オーバフィードの大きい程、加工温度が高い程、燃り数が低い程、 k は低下し、マイグレーションしにくくなる。
- ③ 不完全なマイグレーションのため外周繊維程大なる伸長変形を受け、この傾向は仮燃数と共に顕著に激しくなる(図5参照)。

5) 走行系の降温挙動

加燃域の糸はヒータ通過後空冷され、スピンドルに至って解燃される。降温挙動の特長は⁷⁾、

- ① 燃りによる集束は糸の冷却を妨げ、仮燃りによる糸の回転は冷却を早める。
- ② 冷却時の熱伝達率は糸速度と共に増大する。
- ③ スピンドルにおける糸の不十分な冷却は、加工糸の物性に対し仮燃数の減少と等価な効果をもつ。

図4 仮燃加工張力の計算値と実測値

図5 仮燃加工時の加燃糸内繊維の伸長率

6) 高配向未延伸糸(POY)

POYのインドロ仮燃加工は、完成糸(FDY)の加工に比べて次の特長をもつ。

- ① POYの密度はヒータ入口でFDYより急速に増大する⁹⁾。
- ② 熱処理糸のセット性は、燃りの加わらない単純延伸では差は無いが、仮燃加工ではPOYの方が良い⁸⁾。
- ③ POYは伸長変形に対する緩和応力の変化に之しく、

加燃域で層転移が起りにくい⁶⁾。

3.1.2 特殊仮燃加工：仮燃加工の普及、成熟と共に種々のバリエーションが試みられ、スパンライク加工系をはじめとする高付加価値商品群を提供している。しかし撚りの面から見れば、連続体という制約のために基本的にSZ交互撚糸の枠を越えることはできない。

交互撚糸を得る手段としては、

- ①加燃速度の変更(加燃子の変速回転あるいは正逆転。糸と加燃子との間欠接触)
- ②加燃域長の変更(フィードローラまたは撚り止めガイドの移動あるいは間欠保持)
- ③撚り分布の変化(ヒータとの間欠接触。ヒータ位置の移動。糸路屈曲点の移動)
- ④別の糸の絡合(加燃中の糸に別の糸を供給する際、供給速度⁹⁾または絡合点¹⁰⁾を変更)
- ⑤糸速度の変更(ローラ速度変更)
- ⑥糸張力の変更(供給糸張力の変更。二組のニップローラの速度比の変更)
- ⑦撚り密度の変更(別種繊維塊の間欠供給¹¹⁾)

およびそれらの組合せが用いられる。中でも④の手段により1ないし2種の別の糸を絡合して得られる強撚糸調の糸、スラブ糸などが広く実用化されている¹²⁾。

3.1.3 コーンテクスチャリング：連続体であるフィラメント糸に仮燃機構で実撚りを与えることはできないが、多数の積層を行うことにより、見かけ上一方向の撚りで集束した加燃糸が得られる¹³⁾。その原理は図6に示すように、多層に堆積する供給フィラメントに加えられた下撚りと堆積フィラメントを束ねる上撚りとがバランスするが、得られた糸の外観上、上撚りのみが糸に加えられた撚りと認められることにある¹⁴⁾。この方法に関する知見を挙げると、

- ①図7に示すようなマルチフィラメント糸を開織させ

図6 仮燃機構による実撚り発生原理の説明図

図7 コーンテクスチャリング装置の概念図

つつ小径スピンドルの周囲にまきつける方法を用いると供給糸の堆積の程度を約7倍にまで下げ得る。

- ②本方法で得られた糸の旋回性は、通常の加燃糸に比べはるかに低い。

- ③本方法で得られた糸の強力は小さいため、実用上芯糸を補強する必要がある。

- ④フィラメント開織方法としては、静電気力によるよりもジェットエアによる方が適用範囲が広い。

得られる糸は表層に多数のループの突出した強撚糸調で、ベルクロ現象による取扱い難さはあるが、スパンライク糸の一種として今後の展開が期待されるものであり、仮燃機構の応用例として注目すべきものと言えよう。

3.2 ステープル分野

3.2.1 接着紡績：水溶性 PVA 繊維の混入されたスライバを、精紡工程で水に浸漬して湿润後ドラフトし、スチームジェットにより仮撚りをかけ繊維束を集束しつつ、PVA 繊維を糊化接着し、乾燥後巻取る。糸には撚りが残留しないため、実質的に無撚糸であり、製布後

PVAを溶解除去する。紡速は 300 m/min と大きく中番糸系も可紡であるが、一種の湿式プロセスであり、PVA のロス、排水処理、乾燥エネルギーなど問題も多い¹⁵⁾。

3.2.2 ドラフト時の斑制御：ドラフト時の浮遊繊維の挙動を制御するため、フロントローラ近傍で仮撚を加えて繊維束を一時的に集束する。特に紡毛原料の場合のように繊維長が極度に短い場合に用いられ、不正ドラフトの防止に役立っている^{16~19)}。

3.2.3 交互撚り紡績：交互撚りの派生手段については 1.3.2 項に記した

が、紡績方法として用いるには撚り方向の変換点の処理が問題となる。その上糸形態が長手方向に不均斉となるため、まだ汎用化されるには至っていない。

1) セルフツイスト 前記手段①により交互撚りされた単糸を直ちに2本ひきそろえ残留トルクを利用して上撚りを発生させ双糸とする³⁰⁾。梳毛糸などの長繊維分野で一時活用された。

2) セルフィーユ 繊維束の周囲に2本の細いフィラメントを交互撚りの位相を90°ずらせてまきつけ、相互に無撚の部分で補完させる。300m/minと高速で羊毛細番手糸を紡績できるが、フィラメントのまきつけによりバルキー性に欠け、タッチは粗硬となる。

3) 交互ラップ紡績 セルフィーユと同様2本のフィラメントを仮撚りによりまきつけるが、絡合点と自然の動きに任せて揺動させる点が異なる。フィラメントの長手方向の絡合むらにより意匠的な特長をもつ³¹⁾。

3.2.4 オープンエンド紡績(OES): OESを仮撚機構の応用技術とするにはやや異論もあるが、原料の供給流れの断絶、再集積技術との組合せにより実撚りの流出に成功したものと考え、敢えて含めることにした。OESにはロータ式、摩擦式、静電式、渦流式など多種類の方式が検討され、現在実用化されているのは前二者のみであるが、それらを含めて現在もお活発な研究開発が続けられている。

1) ロータ式 OES コーミングローラによる繊維束の分離、開繊、遠心力によるロータ周縁への繊維の配向堆積およびロータ回転による実撚りの付与とによって、紡績技術の革新化に成功した。繊維の配向がリング精紡法に及ばず、品質的に太番手糸分野に限定されているが、生産性、工程短縮、省人化効果によって自由圏諸国ではアメリカ、西独、日本などの先進諸国を中心として着実な浸透が続けられ、新設短繊維精紡設備の約1割がロータ式OESで占められ²⁹⁾今後伸びが予測される²⁸⁾。

2) 摩擦式 OES 分離供給された繊維を、平行に近接配置された同方向に回転する一対の多孔ドラムの間隙に送りこみ、多孔ドラム内部へのサクシオン気流によって繊維をドラム表面に圧着させつつ、両ドラムの摩擦力によって加撚する紡績法。糸そのものの直接的な摩擦による加撚であるため、加撚速度を上げることは容易で生産性の高い特長の反面、繊維配向の低さ、摩擦特性の不安定性に基づくばらつきの発生などの問題点も含んでいる。しかし原理的にリング糸に近い糸形態の得られる革新精紡法として、最近特に大きな注目を集めている。

3) 静電式 OES 帯電繊維が負の高電圧体に吸引される現象を利用して、-3万ボルトに帯電した仮撚スピンドル中を通過するフィラメントに短繊維を飛びつか

せ、スピンドル通過後の解撚作用で固くまきこむ。コアーヤーンに限定されるうえ、撚り効率が低く、スピンドルの高速回転の割りに紡速が低いなどの欠点のため開発は停滞していたが、最近回転針状電極を利用した別の静電紡績方法が発表され^{24), 26)}新たな展開が始められようとしている。

3.2.5 結束紡績: ドラフトローラより送り出された繊維束をエアノズルに導き渦流の作用によって仮撚りを加えると、両端の耳部の繊維は中心部に撚りこまれずに一端がオープンエンド化され、解撚域で中心部繊維束の周囲にまきつけられ紡績糸となる。この過程を図8に模式的に示した。

図8 結束紡績の原理説明図

この原理からも明らかなように、結束紡績ではOESに比べて繊維配向の乱れは極めて少なく、細番手糸をも高速度で紡出し得る特長をもっている。結束繊維を安定して発生させ、糸品質を確保するエアノズルの性能が重要な鍵を握っている。ノズルの性能は加撚力と吸引力とに大別され²⁴⁾、それらをバランスよくノズル構造に組みこむことが技術のポイントになる。結束紡績の特長を挙げると、

- ① 10万rpm以上で高速仮撚りするため紡績速度がリングの10倍以上と速い。
- ② 他の革新精紡法に比べて細番手糸を紡出でき紡速も番手にほとんど影響されない。
- ③ 糸形態はほぼ平行な繊維束に少量のステープルが高撚り角度でまきつけられ、リング糸よりも光沢強く、毛羽が少ない。
- ④ 糸は繊維間隙が小さく、強力はリング糸の8~9割、低伸度、曲げ硬さが大きい。
- ⑤ 主速が無撚であるため、旋回性が小さい。
- ⑥ 糸形成原理からも繊維長が長く、曲げ剛性の低い素材が好ましく、合繊中心に限定される。綿100%を紡出可能にすることが本技術の今後の最大の課題であり、見通しは明るいと想像される。
- ⑦ 織物中では糸が偏平化して高いカバーファクタを示し、手触りはやや粗硬である。

⑨編地では編目のよろけが起り易く、編面はリング糸より悪くなる。ピリングはよい。

このように結束紡績にはOESには見られない幾多の特長があり、今後の研究開発を通じて、真の革新技術として定着して行くものと期待される。

4. ま と め

繊維産業が今日の隆盛を見るに至った基幹技術の一つとして、撚りの果して来た役割は計り知れない。実撚りと仮撚りの2種の加撚技術は、これまでそれぞれの適性を生かして使われられて来たが、技術革新の大きな時代の流れの中で品質と生産性とを同時に満足させるため、今後は仮撚り技術の重要性がますます高まって行くものと思われる。本文は昭和59年度繊維学会年次大会でテーマ講演として発表したものをまとめたものである。

参 考 文 献

- 1) 日本化学繊維協会; 化繊ハンドブック, P22, 日本化学繊維協会化繊月報刊行会(1984)
- 2) 佐々木, 黒田, 角倉; 繊維誌, **23**, T77 (1970)
- 3) 穴原, 北洞, 藤田, 国分; 繊維誌, **33**, T53 (1980)
- 4) 書上; 繊維誌, **14**, 273 (1961)
- 5) G. H. Tattersal; *J. Text. Inst.*, **49**, T295 (1958)
- 6) 穴原, 北洞, 藤田; 繊維誌, **34**, T120 (1981)
- 7) 穴原, 北洞, 藤田; 繊維誌, **35**, T38 (1982)
- 8) 穴原, 北洞, 藤田; 繊維誌, **33**, T127 (1980)
- 9) 特公昭 35-3922 (帝人), 特公昭 47-49459 (三菱)
- レ) ほか
- 10) 特公昭 50-35147 (帝人), USP4010601 (東洋紡績 1977) ほか
- 11) USP2997,837 (Du Pont)
- 12) 繊維学会編; 繊維の形態, P204-207 (1982, 11 朝倉書店)
- 13) C. G. Cannon, B. L. Davis, A. Selwood and R. A. Williams; *J. Text. Inst.*, **62**, 622 (1971)
- 14) Meiji Anahara, Takayoshi Fujita, Yukio Kawasaki, and Shuh Sengoku; *Sen-i Gakkaishi*, **36**, T506 (1980)
- 15) J. Gayler; *Textil Praxis International*, **35**, 891 (1979)
- 16) 大住吾八; 紡績汎論, p. 503, 丸善出版株式会社 (1950)
- 17) 黒崎, 近田; 繊維誌, **21**, 405, 471, 475 (1965), **22**, 125, 155 (1966)
- 18) 黒崎, 近田, 高橋; 繊維誌, **23**, 144, 120 (1967)
- 19) 黒崎, 近田, 岡村; 繊維誌, **22**, 552 (1966), **24**, 573 (1968), **25**, 77 (1969)
- 20) 酒井, 大北, 菅田; 繊維誌, **26**, p. 283 (1973)
- 21) USP 4,069,656 (東洋紡績, 1978)
- 22) International Textile Manufacturers Federation; vol. 6 (1983)
- 23) 穴原; 繊維誌, **37**, p. 231 (1984)
- 24) USP 4,468,922 (Battelle Development Corporation)
- 25) Textile Month, P7 (1984, 8)
- 26) 川端, 新美, 穴原, 鈴木, 大森; 豊田繊維機技報, No.10, P2 (1984, 10)

(昭和59年11月21日受理)