Review

糸品質管理のためのオフライン計測技術

山 崎 親 康

1. ま え が き

合成繊維製造プロセスにおける高速化、自動化、高品質化の技術と相まって、製品糸の品質管理システムをより高度化、自動化したいとするニーズが一段と高まっている。

品質管理システムにおける中核技術は、計測技術と情報処理技術である。情報処理技術は、近年コンピュータをはじめとする情報処理デバイスの急激な発達によって、容易に高度な利用が可能になってきた。しかし一方で情報処理技術の高度化、自動化が進んでも、情報処理デバイスへの入力情報をえるための計測技術が伴わなくては、品質管理システムは本質的に高度化、自動化されたとはいえない。したがって計測技術のレベルの如何がシステムのレベルを決めるといっても過言でない。

糸品質に関する計測技術はその利用形態により二つに分けられる。一つは製造プロセス内に各種センサを配置して糸の特性やプロセス条件の変動を常時測定するためのオンライン計測技術である。他は製造プロセス以降の製品パッケージから糸の特性を測定するためのオフライン計測技術である。

高度な品質管理システムの考え方では、オンラインおよびオフライン計測でえられた情報は従来のように単独で利用するのではなく、総合的に情報処理することによって製品検査、工程管理さらには工程解析など広汎に利用しうるものである。したがって新しい計測技術は自ら質的にも量的にも従来とは異った情報がえられるものが必要とされている。

本稿では合成繊維プロセスにおける繊維計測技術のうち、特に品質管理システムの高度化、自動化に役立つと考えられる糸の品質特性の新しいオフライン計測技術に

ついて概説する。

2. 品質特性とオフライン計測

糸の品質を表わす特性やその計測法は、JISやASTMなどで規格化されているものをはじめ数多くの文献など¹⁾に示されている。

表1は糸品質の代表的な特性について、その計測法が本質的に糸質に対して破壊的か非破壊的であるかによって分類したものである。製品糸で破壊的計測法を用いる場合は、必然的に製品パッケージから糸の一部をサンプリングして行なうオフライン計測によらなくてはならない。一方非破壊的計測法による特性は、本来オンライン計測が可能でありオフライン計測による必要がない。しかし現実のオンライン計測では対象特性がプロセス条件の影響を受けて測定が不可能である場合、計測法自体の未発達によって正しい測定ができない場合などがある。オフライン計測によればこうした問題も回避することができるから、大部分の品質特性がオフライン計測によっているのが現状である。

表1 糸品質の代表特性とその計測法による分類

糸品質を表わす 代 表 特 性	{	破 壊 的 計 測 法	{	熱収縮特性
				伸 張 特 性
	{	非破壊的計測法	{	染色特性
				形状特性
				光沢特性
				そ の 他

オフライン計測の特長は好条件で測定ができる点にあるが、試料のサンプリングから測定結果をえるまで殆ど人手によっていること、長時間を要することなどが大きな欠点である。

図1は或る原糸メーカーと加工糸メーカーのオフライン計測による特性項目とサンプル数量を比較したものである。原糸メーカーは特に染色特性を、加工糸メーカーは熱収縮特性を重点的に行なっているが、他の多くの特性についても測定されていることが判る。

新しいオフライン計測技術の開発目的は、これら特性

Off-Line Measurement for Yarn Quality Control
CHIKAYASU YAMAZAKI
Engineering Research Laboratories,
Toray Industries, Inc.
Senior Research Associate
東レ株式会社エンジニアリング研究所 主席研究員

図1 オフライン計測による特性項目と全サンプル量に対する各サンプル量の割合

の測定を自動化し迅速化することにある。そのためには糸条のままで連続的に各特性を高精度に測定する技術が必要である。またこの結果としてえられる糸の長手方向の“むら”は、製糸・加工工程の時間的な変動を意味するから、各特性間の“むら”の相関性や周期性などから変動要因の解析ができ、適切な工程管理に結びつけることができる。

3. 新しいオフライン計測技術

3.1 熱収縮特性

合成繊維の熱収縮特性は製糸工程や加工工程における熱や機械的な歪によって決まる特性で、最終製品の品質や性質にとって重要な要因である。また逆に糸の熱収縮特性を知ることによってプロセスでの熱および歪履歴を推定できるので、工程管理上も重要な指標となる。

熱収縮特性は力一定下での長さの変化を表す熱収縮率と、長さ一定下での力の挙動を表す熱収縮応力とからなる。

熱収縮率の計測法は従来から JIS-L 1073, ASTM-D 2259 などに熱水および乾熱総収縮率として詳細に規定されている。測定法は単純明快であるが、測定操作に人

手と時間を要し、また総収縮率であるために短周期の“むら”は測定できない欠点があった。熱収縮応力の計測法に規格化されたものはないが、乾熱下での熱収縮応力を連続測定する方法²⁾が既に開発され利用されている。

最近、熱収縮特性のうち熱水収縮率・乾熱収縮率・熱水収縮応力・乾熱収縮応力の4項目について糸の長手方向に自動連続測定できる熱収縮むら測定システム FTA-500³⁾が開発された。

図2にその測定原理を示す。収縮率測定の場合は、試料をフィードローラによって一定速度 v_0 で熱処理部に供給する。熱処理部は試料の種類に応じて100℃までの熱水浴か250℃までの乾熱炉のいずれかを選択して用いる。熱処理部で試料は設定温度に応じて収縮し糸軸方向に収縮応力を生ずる。収縮応力はフィードローラとドローローラ間の張力計で検出し、この応力があらかじめ設定した張力になるようにドローローラの引取速度 v_1 を制御する。設定張力は収縮率測定時の静荷重に相当するから、試料の種類や繊度によって定める。

収縮率はこの時のフィードローラとドローローラの間速度 v_0 とドローローラの間速度 v_1 とから次のように定義する。

$$\text{収縮率}(\%) = \frac{v_0 - v_1}{v_0} \times 100$$

収縮応力の測定も同一の構成で行なえる。この場合はフィードローラとドローローラの各速度 v_0 , v_1 を一定の比率にして試料を走行させながら熱処理部に供給する。ローラ間の速度比率、熱処理部の選定や設定温度などは試料の種類によって決めるが、通常速度比率は POY、延伸糸など原糸では $v_0/v_1 \leq 1$ 、加工糸では $v_0/v_1 > 1$ の条件で測定する。収縮応力はこの状態で張力計によって測定される張力 T をもって表す。

図3は装置の構成図で、サンプルスタンド、測定部本体、むら曲線記録部、データ処理部から成る。試料は付属のサンプリング装置を用いて順次結糸して巻取ったサンプルチーズとして準備し、サンプルスタンドで解舒しながら測定する。

図2 熱収縮むら測定法の原理図

図3 FTA-500の構成図

図4 ポリエステルPOYの熱水収縮率
むらの比較

測定部本体の性能上のポイントとなる張力計には新しい原理の張力計⁴⁾が用いられて高感度、高精度な張力測定を実現している。また張力制御技術、温度制御技術などにも新規な工夫がなされている。データ処理部はマイコンで構成され、試料の結糸部を自動検出した信号を受けて各試料毎の平均値、分散値を演算印字する。

図4はポリエステルPOYの正常系と異常系を熱水収縮率むら曲線で比較した一例である。異常系に見られる周期的な“むら”はパッケージの端面部に相当している。原因は巻取機のトラバース折返し時の張力変動によって巻太り、局部的にドライブローラの面圧を受けて結晶化

図5 ポリエステル加工系の仮燃温度と
乾熱収縮率の関係

したためであると推定できる。

図5はポリエステル加工系の加工工程における仮燃温度・加工速度と乾熱収縮率との関係を求めたものである。

3.2 伸張特性

糸の機械的性質を表わす実用上重要な特性であるとともに、糸の内部構造、特に結晶性・配向性などの物性を表わす基本的な特性である。

計測法には定速緊張形、定速荷重形および定速伸長形があるが、定速伸長形が最も一般化している。定速伸長形引張試験機の応力-歪曲線は間欠測定でしかえられないから、試料を連続的に走行させて測定し自動化する方法は考えられない。

しかし最近の自動化技術によって引張試験機への試料の装着から測定操作、応力-歪曲線の記録、強度・伸度などのデータ処理など従来人手によっていた一連の操作が自動化されるようになった。

図6に強伸度自動測定装置の構成の一例を示す。自動給糸切替装置は72本のパッケージから試料を切替時間3.5秒で順次切替えて自動装着装置に給糸する。自動装

図6 強伸度自動測定装置⁵⁾の構成図

着装置は補助チャックを持つ回転アームによって試料を引張試験機のチャックに装着し、残糸は熱線で切断し装着を完了する。装着に要する時間は12秒で直ちに測定が開始される。

引張試験機には伸びを測定する伸びパルス発生器、応力を測定するロードセル、測定終了を検出する破断検出器、0.5mgを計量できるデニール測定用デジタル天秤などを装備し、これらの情報はデータ処理装置に入力される。マイコンで構成されるデータ処理装置はこれらの入力情報から強度・伸度などの平均値、分散値を演算し印字記録する。

こうした装置の利用によって多量の試料が迅速に測定でき、単に自動化の効果のみならず測定精度の向上に役立つと考えられる。

3.3 染色特性

原料工程や製糸・加工工程の僅かな条件変動によって生ずる構造物性の微小な不均一性が、染色によって顕在化して染むらになることは良く知られている。このため従来から製品糸の一端を靴下状に編立てし長時間染色・乾燥したのち、目視又は汎用の色差計によって染色性を測定する計測法が行われてきた。この計測法は最終製品に近い形状で評価するという実用上の利点があるが、編地の不均一性、測定者の熟練度などによって測定精度が左右され、しかも染むらは官能値としてしか認識できず要因解析にまで結びつけることは殆ど不可能であった。

こうした欠点を本質的に解消した計測法が染むら測定システム FYL-500 S⁶⁾として開発された。

図7は染むら測定の原理図である。

図7 染むら測定法の原理図

試料は糸条のまま一定の撚りを付与しながら走行させる。入射光は試料の糸軸の垂直方向から照射し、反射光は糸軸に垂直でかつ入射光となす角度を45°とする。ここで撚りを加えるのは単繊維の撚り角を規定し、単繊維と入射光・反射光となす角度を一定に保つためである。反射光は次いで可視光成分と近赤外光成分に分離し各々の光強度を検出する。

可視光成分の検出値を I_m 、近赤外光成分の検出値を I_r とした時、糸の明度を表わす量を FYL 値と称し次のように定義する。ここで K は装置定数として定める。

$$\text{FYL 値}(\%) = K \sqrt{\frac{I_m}{I_r}}$$

FYL 値は糸の可視光成分の反射光に加わる糸の太さや反射率変動、光源変動、検出部の光量分布などの影響を補正し、糸の染色濃度のみに依存する計測値であるとしている。

図8は装置の構成図である。サンプルスタンド、連続染色装置、染むら測定装置およびデータ処理装置とから成る。連続染色装置は試料を槽内のネルソンローラに沿

図8 FYL-500 Sの構成図

って移動させながら、糸条のままで染色・水洗・脱水と短時間に連続処理する。染色は微粒子化した分散染料および pH緩衝剤を添加した酸性染料を高濃度溶液で使用するにより、染液濃度に対する依存性が低く長時間安定で、しかも短時間に工業染色との相関性の高い試験染色が行なえる。

染色後の試料は直ちに染むら測定装置によって測定され染むら曲線として記録される。データ処理装置は試料ごとの FYL 値の平均値、分散値を演算印字するほか、試料ロットの全測定値の度数分布グラフなどの自動作成も行なう。

図 9 はポリエステル・スピンドロー糸の染むら測定例である。サーフェスドライブ型ワインダの面圧値によってパッケージ端面部の染むらが微妙に変化していることが判る。

図 10 は POY と同一 POY を用いた DTY との間の染色性の相関を測定した結果である。POY の染むらが DTY 加工後の染むらにも強く影響していることが推定できる。

FYL-500S は染むら原因の要因解析に有力な手段で

あるばかりでなく、付属する試料サンプリング装置との併用によって品質検査の省力化、検査精度の向上および製品のコストダウンなどに大いに普及し役立っている。

3.4 形状特性

3.4.1 織度むら

紡糸工程におけるプロセス条件の変動や紡糸機械の異常、ドラフト欠陥などは、糸の単位長さ当り重量即ち織度の変化となって現れる。織度むらは後工程、例えば加工、製布などの工程で問題を起す原因になり易い。

織度むらの計測法は、振動法・空気マイクロ法・光電法など種々の原理があるが、オフライン計測法としては電気容量法が古くから普及している。電気容量法による織度むら測定装置の代表的なものにウスターイブネスタがある。測定原理は一組の金属板を対向させて電極とし、この電極を高周波発振器の発振回路の一部として構成する。電極間に試料糸を挿入すると発振器の発振周波数は試料の電気容量に応じて変化する。糸の誘電率や密度を一定であると見なすと、発振周波数は糸の織度に対応することになる。織度むらはこの周波数変化の平均偏差係数 $U\%$ 又は変動係数 $CV\%$ として定義している。

ウスタースタは当初のマニユアル操作主体の試験機に比して、現在は全自動に近い試験機⁷⁾に改良されており、試料パッケージの自動切替、ゼロ調整や平均値などの設定操作の自動化、測定結果の印字、むら曲線やスペクトログラムの自動記録などが行なえるようになった。この結果試験機 1 台当りの測定者の作業時間が従来に比べて 20% に低減された。

図 11 にナイロン DT 糸の織度むら測定例を示す。上図はむら曲線、下図はそのスペクトログラムである。スペクトログラム上の A 点は巻取パッケージの偏心による糸長約 4.5 m の周期変動、B 点は延伸機におけるドラフトローラの偏心による約 35 cm の周期変動、C 点はスピニングチューブ中の冷却空気の流れによって糸が不規則に振動したために生じたむらであると推定されている。

3.4.2 形態むら

近年、合成繊維の差別化素材として合成繊維の機能性に天然繊維の審美性を付加した複合構造を有する糸が開発されている。加工法としては空気交絡、捲回、異繊維混合、異形断面など様々であるが、いずれも天然繊維のもつ均一な不均一形態の糸をコントロールして製造する

図 9 ポリエステル・スピンドロー糸のワインダ条件による染むらの比較

図 10 POY と DTY との染色性の関係

図11 ナイロンDT系の織度むらとその周期性解析

図12 形態むら測定法の原理図

ことがポイントである。

従来こうした特殊形態系や一般加工系の形態特性の計測法は一旦編地をつくり視覚によって官能検査する定性的な方法しかなかった。最近新しい計測法として、糸の長手方向の形態特性を連続測定できる形態むら測定装置 FPD-500⁸⁾が開発された。

図12はその測定原理図である。試料の後方からランプによって照明してできる糸の影像を、前方のレンズにより拡大し一次元半導体イメージセンサ上に結像する。通常糸の投影像はその外縁部において複数の単糸がループ状になって中心の収束部から分離しているが、その最大外径に相当する見掛け外径をイメージセンサのビデオ信

号から測定する。つまり糸の投影像の見掛け外径を糸の形態としている。

糸の見掛け外径は測定時に加わる張力によって変動するから、フィードローラとドローローラ間の張力計と張力コントローラによってドローローラの回転数を制御し測定張力を一定にする。なお糸のもつ潜在的な内部トルクに対し、適当なねじりトルクを外力として加えながら形態を測定する特殊な測定法のために、加熱機構を設けている。

図13は軸調特殊加工系の形態むら測定例である。糸の構造は芯部のフィラメントの周囲に、他のフィラメントを一重スパイラル部と三重スパイラル部を交互に形成

図13 細調特殊加工糸の形態むら

ループの少ない糸

ループの多い糸

図14 スパンライク糸の形態むらの比較

しながら巻付けた複合構造を有している。図の細い部分が一重スパイラル部、太い部分が三重スパイラル部に相当する。

図14はスパンライク糸のループの多少を比較したもので、加撚条件で測定した。

4. おわりに

糸の品質管理のためのオフライン計測にとって困難な課題は、“極微量の試料”の特性値から製品糸の品質を保証する点にある。製品パッケージのほんの一端を試料にして、少なくともその数万倍に相当する製品パッケージの品質を直接推定することは、品質が余程均一でない限り統計学的に不可能である。繊細な糸は、工程条件や機械の僅かな不調によって特性が変化する。従来の大部分の計測法のように、試料を縋・布状にしてその平均的な特性値をもって品質を云々することは、あたかも「群盲象をなでる」の比喻になりかねない。

本稿において述べた新しいオフライン計測技術、特に各特性の“むら”計測法の開発は、“極微量の試料”の特性値によって製造プロセスを安定化し、品質保証された製品糸を生産するというアプローチを可能にしたといえよう。この場合、試料は各種プロセス変数の記録媒体と見做し、試料数は工程数に対応させる。試料の長手方向の“むら”や試料間の特性差から、工程毎の変動要因を解析・除去することは、プロセスノウハウの蓄積によって比較的容易に実現することができる。

今後、合成繊維の多様化・複合化が進むにつれて、製糸・加工工程において管理すべき品質特性は益々増加すると考えられる。これに伴って、新鮮なアイデアとセンサ技術・エレクトロニクス技術および自動化技術などの先端技術による革新的な計測技術の開発が大いに推進されることを期待したい。

参考資料

- 1) 繊維計測便覧など
- 2) W. Stein et al: *Melliand Textilber.* 57, 97 (1976)
- 3) 東レ: FTA-500 資料
- 4) 特公昭 51-44668, 54-28106 など
- 5) 東レ・東洋ボールドウィン: 強伸度自動測定装置資料
- 6) 山崎親康他: 繊維学会誌, **33**, 9(1977) など
- 7) ツエルベガー: ウスターテストII型資料
- 8) 東レ: FPD-500 資料

(昭和58年1月13日受理)