2 層糸断面の計測と画像処理

名古屋工業大学 金 雄 二 (会員)
 " 華 東 平 (会員)
 " 原 川 和 久 (会員)
 (株)ノリタケカンパニーリミテッド 佐 藤 誠*

Measurement and Image Processing of Cross-Section of Two Layered Spun Yarn

Yuhji Kon, Dongping Hua,

Kazuhisa Harakawa and Makoto Satoh*

Department of Materials Science & Engineering

Nagoya Institute of Technology

Kokiso-cho, Showa-ku, Nagoya

**Noritake Co., Ltd.,*

Noritake-shinmati, Nishi-ku, Nagoya

Abstract

The purpose of this paper is to establish an image processing method which can be applied to the two layered spun yarns. The cross-section of the two layered spun yarn consists of N-fiber (I, dark), P-fiber (II, middle brightness) and the background (III, bright). In the usual image processing method, the boundary region between I and III components is identified to be II component by mistake. The new method, which has been proposed in this paper, consists of; (a) a method which distinguish the I/III boundary region from the II component region, and (b) a threshold by which the I/III boundary region is divided into I and III components. It has been shown that: (1) By the use of this new method, the cross-section of the two layered spun yarn can be divided into three components accurately. (2) The threshold brightness can be rapidly determined by referring to the average difference distribution and to the intensity histogram.

(Received May 30, 1990)

摘 要

目的：2層糸を用いた紡績糸の構造研究において必要な断面パターンの計測に際し、画像計測・処理装置を用いる時に生ずる問題を指摘し、3成分の境界判断としきい値設定に関する新しい方法を提案する。

成果：写真から求めた2層糸の成分分率を基準とし、これと提案する画像処理で得られた成分分率との回帰分析を行い、新しい処理方法の精度に検討を加えた。新しい処理方法では、従来、測定精度上問題であった境界部分の誤判断がなくなり、断面パターンを精度良く計測できることが分かった。又、しきい値決定においては、平均差分値の分布と輝度ヒストグラムとから決定する方法が迅速かつ正確であり、実用上最適であることが分かった。

(平成2年5月30日受理)

1. 緒言

糸構造形成のメカニズムの解明と糸構造調整技術の検討を目的として、原川ら¹⁻³⁾は、色の異なる繊維からなる2層フリースを紡績して糸を作製し、この糸の断面に観測される繊維の分布から糸の構造を解析する方法を提案している。この方法で糸構造を解析するためには、多数の糸断面を計測する必要がある、断面パターン計測の迅速化と精度の向上は重要な課題である。

断面計測を迅速に処理する方法として、フレームメモリー方式による画像入力法がある。この方法では、TVカメラのビデオ信号を、1画面分をセットとして高速A/D変換してフレームメモリーに蓄積し、その後、順次処理装置（パソコン等）に転送する⁴⁾。計測の対象となる2層フリース糸の断面は、2種類の繊維と糸試料固定材（不透明プラスチック）の3成分で構成されている。従って、フレームメモリーに取り込んだ各々の画素がどの成分に対応するかの判定をせねばならないが、この時、2.1節で後述するような理由で困難が生じる。本研究においては、3成分の境界判断、並びに、しきい値設定に関して新しい方法を提案し、この方法の精度の検討を行ったところ、かなり良い結果を得たので報告する。

2. 画像処理方法

2.1 2層糸断面における成分領域抽出処理の問題点

2成分からなる画像の処理においては、各画素の輝度（明るさ）を一定輝度（しきい値）と比較し、この値よりも高いか低いかを判断し、画素をそれぞれの成分領域に分離するのが一般的である。

本研究が計測の対象としている糸断面の顕微鏡像は、N繊維（低輝度、成分Ⅰ）・P繊維（中輝度、成分Ⅱ）・糸固定材（高輝度、成分Ⅲ）の3成分より成り立っている。又、この顕微鏡像を、フレームメモリーで取り込んだ時の画像（原画像：図1a）で、X～Y線上の各画素の輝度は、図1bに示したように分布し、光の散乱等のために、成分Ⅰ、Ⅱ、Ⅲそれぞれの各境界付近の輝度がトランジェントな値を示す。本実験では、試料に用いた繊維1本は、断面積約84画素、直径約10画素分に相当し、又、計測されたトランジェントな領域は幅約6画素分であった。

Fig. 1 (a) Original image taken into the frame memory. (b) Intensity distribution along the line X-Y in Fig. a. (c) The processed image by the usual method.

いま、一般方法に従って、輝度のしきい値 a , b (図1b 参照) を定め、X～Y間の各画素を、輝度の順に3成分Ⅰ・Ⅱ・Ⅲに分離すると、X～A間とD～Y間の画素は成分Ⅲに、A～B間の画素は成分Ⅱ

に、又、 $B \sim C$ 間の画素は成分Ⅰに、それぞれ分離される。一方、 $C \sim D$ 間(約6画素)に成分Ⅱは存在しないが、境界の輝度がトランジェントな値を示すため、この間の画素は成分Ⅱに分類されることになる。この誤判断は糸断面の処理画像の精度を著しく低下させる。図1cはこのような状態で処理された処理画像であるが、これを原画像(図1a)と比較すると、成分Ⅰと成分Ⅲとの境界付近を成分Ⅱと誤判断していることが明らかである。この3成分画像の処理における誤判断を回避するために、次に述べる3成分画像のための新しい処理方法を提案する。

2.2 3成分画像の新しい処理方法

新しい画像処理法は、「成分Ⅱ領域とⅠ/Ⅲ境界領域との判断」と、「Ⅰ/Ⅲ境界領域を成分ⅠとⅢに分けるためのしきい値の導入」とからなる。新しい画像処理法の手順は図2のフローチャートにまとめることができ、次のように要約できる。

画素 (i, j) の輝度 $g(i, j)$ が

- ①しきい値 a より低いならば、その画素は成分Ⅰに属す。
- ②しきい値 b より高いならば、その画素は成分Ⅲ

に属す。

- ③ $a < g(i, j) \leq b$ の輝度を持つ画素について、その画素が、成分Ⅰ/Ⅲの境界領域にあるかどうか判断する。その結果、

境界領域になれば、その画素は成分Ⅱに属す。

- ④境界領域にあれば、しきい値 c と比較する。その結果、

しきい値 c より低いならば、その画素は成分Ⅰに属す。

しきい値 c より高いならば、その画素は成分Ⅲに属す。

以上の手順で処理した画像には1～5画素程度の大きさの孤立雑音が多くみられる。理想的な画像を構成する最小の面積領域は繊維断面である。これからトランジェント領域分を除いた画素数21の疑似円マスク(図3参照)をノイズ除去フィルタとし、 c の領域の半分以上(11画素以上)を占める成分があればそれを中心画素の成分にすることで、孤立雑音を除いた。

ここで、③～④が本報で提案する新しい方法である。以後、この処理を「境界判断処理」と呼ぶこと

Fig. 2 Flow chart to distinguish the three components; I, II and III.

Fig. 3 The mask to eliminate the isolated irregularity. From the periphery of the cross-section of a fiber (10 meshes in diameter), the half width of the transient region (3 meshes) is removed. The remaining central part (21 meshes hatched) constitutes the mask to eliminate the isolated irregularity. If more than 11 meshes within the mask are occupied by one component, the picture element at the center is identified to be the same component irrespective of its intensity.

にする。以下に、これらの手続きについて詳述する。

2.2.1. 境界部位の判別 (前述, ステップ③)

画素が成分 I/Ⅲの境界領域にあるかどうかの判断は、以下の方法で行った。画素 (i, j) が I/Ⅲの境界領域にある場合、中心からトランジェント領域以上離れた周囲には成分 I と成分Ⅲに属する画素が同時に存在する。これに対し、画素 (i, j) が実際にⅡの部分にある場合、この周囲に成分 I と成分Ⅲに属する画素が同時に存在することはほとんどない。そこで、図 4 に斜線で示した疑似円周マスク 36 画素の輝度を①②の方法で調べる。図中の円の直径は 6 画素で、I/Ⅲの境界で輝度がトランジェントな値を取る幅に相当する。成分 I と成分Ⅲに属する画素の数が、ともに 3 を越えた場合には画素 (i, j) は I/Ⅲの境界領域にあると判断し、それ以外の場合には成分Ⅱに属すると判断した。判断の画素数が小さすぎるとⅡの領域を境界に誤判断する割合が増え、

Fig. 4 The mask designed to discriminate the I/Ⅲ boundary region from theⅡ component. The quasicircular circumference mask (hatched) which is employed to discriminate the boundary region. The circle in Figure denotes the size of the I/Ⅲ transient region in which the intensity of light exhibits the transient value. (See the interval CD in Fig. 1b).

逆に大きすぎると境界をⅡの領域に誤判断する割合が増える。図 4 から、疑似円にトランジェントサイズの円がほぼ 3 画素かかることが分かる。又、判断条件を 3 画素として処理した画像では境界が正しく判断されており、最終的に求まる成分率も良好な値を示したためこの値を用いた。図 5 に従来の方法で処理した画像と、今回提案した境界判断処理方法で処理した画像を比較して示す。従来、成分 I と成分Ⅲとの境界付近を成分Ⅱと誤判断していたもの(図 a)が、正しく成分 I と成分Ⅲに判断されている(図 5 b) ことが分かる。

2.2.2. しきい値決定の 3 つの方法

(1) A 法

しきい値を決定するために、1 画素当たりの輝度に関する平均差分値の分布を求めた(図 6 a)。これは、輝度 g に対し、この輝度を持つ全ての画素 (i, j) について差分値を求め、その平均値を求めたものである。この時の差分値は次式で求めた。

輝度ヒストグラムを、2つのしきい値 t_1 、 t_2 で3つのグループに分けた時の、次式で与えられるグループ間の分散 σ^2 が最小になるように、 t_1 、 t_2 を定めるものである。

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{j=1}^3 w_j (m_j - m_T)^2}{\sum_{j=1}^3 w_j}$$

ここで、 w_1 、 w_2 、 w_3 と m_1 、 m_2 、 m_3 は、それぞれ、各グループの画素数と平均輝度、 m_T は全体の平均輝度を示す。ここで定めた t_1 、 t_2 は、しきい値 a 、 b 、に当たるが、しきい値 c に相当する値はこの方法では決定されない。そこで、 a 、 b の算術平均値をしきい値 c として用いた。

3. 実験

3.1 試料の作製

試作特殊精紡機^{7,8)}を用い、2 d、51 mm のポリエステル繊維を原料として、P、N 2 成分の繊維からなる2層フリース糸 (65 tbx、493 T/m) を紡出した。この糸を固定材 (水性塗料+酢酸ビニル系樹脂) で固め、0.5 mm ごとに切断し、300個の断面試料を作製した。精紡条件から算出した P 繊維成分の分率は 50.7% であった。

3.2 写真撮影による成分分率の測定

得られた断面試料を写真撮影して焼き付けた印画紙を、P 繊維、N 繊維成分別に切り取って、各成分の重さを天秤で測定し、重さの比から P 繊維成分の分率を求めた。便宜上この方法を写真法と呼ぶ。この方法で得られた成分分率を実際の成分分率とし、画像処理による糸断面の計測精度を確認するための基準とした。

3.3 画像処理による成分分率の測定

3.3.1 画像計測・処理システム

実験に用いた画像計測・処理システムは、図 8 に示したように、実体顕微鏡 (オリンパス製、SZH-151、接眼6.7倍、対物64倍)、TV カメラ (池上通信機製 CTC-6200)、フレームメモリ (池上通信機製 IM-1182 P) とパソコン (日本電気製 PC-9801 VM 21) で構成されている。

反射光で計測するため、直接反射光が計測されないように、照明を斜めに、左右両側から当てた。顕微鏡画像を TV カメラで電気信号化し、高速 A/D 変換器で 726×512 のメッシュに分け、各画素につい

Fig. 8 Illustration of the measuring and image processing system employed in this paper.

て256階調の輝度データとしてフレームメモリに保存する。保存した画素のうち、必要な220×220画素をパソコンに取り込み、以下に述べる処理を行った。

3.3.2 画像処理

計測画像を2.2節で提案した境界判断処理を用いて、3成分 (N 繊維・P 繊維・糸固定材) に分離し、N 繊維と P 繊維の画素数から P 繊維成分の分率を求めた。

2.2.2 で述べたしきい値決定法を比較、検討するために、A 法、B 法、C 法それぞれにより決定したしきい値を用いて、境界判断処理により成分分率を求めた。この他に、境界判断処理の効果と有効性を検討する意味から、B 法のしきい値を用いて境界判断処理を行わずに (これを便宜的に B*法と呼ぶ) 成分分率を求めた。次いで、画像処理で得られた成分分率と、写真法で求めた成分分率 (3.2 節参照) とを比較検討し、画像処理による糸断面の計測精度を確認した。

4. 結果及び考察

表 1 に、写真法で求めた成分分率と、画像処理で求めた成分分率の、平均値と標準偏差を示した。

写真法の結果に対し、B 法が最も近い値を示したが、A 法も十分に近い値を示した。B 法でも、今回提案した境界判断処理を行わない場合 (B*法) には、2.1 で指摘した誤判断のために、最も悪い値を示した。

4.1 境界判断処理の効果

図 9 に、境界判断処理を行わないで求めた (B*法) P 成分の分率 (図 9 a) と境界判断処理を行って

Table 1 Observed volume fraction of P-component.

By Photograph	By Image Processing			
	A	B	B*	C
Average	52.0	52.8	54.8	54.2
S.D.	6.6	7.0	6.6	7.3

* : usual method
S.D. : Standard Deviation

求めた (B 法) P 成分の分率 (図 9 b) を, それぞれ写真法で得た成分分率に対して示した. 各図には, 平均値, 相関係数 r , 標準推定誤差 σ_e も示した. 図 9 a から, 境界判断処理を行わない画像処理 (B*法)

では, P 成分の分率を多く見積る傾向があり, この傾向は P 成分の分率が高くなるほど強くなることが分かる. それが, 図 9 b に示すように, 境界判断処理を行うことで, それまで成分 II (中輝度成分, P 繊維) と誤判断されていたものが, 正しく成分 I・III に判断されるため, 成分 II の分率は減少し, 境界判断処理を行わない場合の欠点は除去されることが分かった. 又, 精度の点でも, 相関係数 r , 標準推定誤差 σ_e が, それぞれ, $r = 0.86$, $\sigma_e = 2.79$ から $r = 0.95$, $\sigma_e = 2.05$ に向上した.

4.2 しきい値決定法の検討

図 10 は, A, B, C 法で得られた P 成分の分率を,

Fig. 9 The effect of the discrimination method of the boundary region on the correlation between the volume fractions of P-component measured by the photograph technique and by the image processing technique. The image processing techniques; (a) usual (without) and (b) new (with the discrimination method of the boundary region).

Fig. 10 The effect of the determination method of the threshold intensity on the correlation between the volume fractions of P-component measured by the photograph technique and by the image processing techniques; A, B and C.

それぞれ、写真法で得られた分率に対してプロットしたものである。各図には、平均値、相関係数 r 、標準推定誤差 σ も示した。図から分かるように、A、B法の場合はともによい相関を示した。しかし、C法(判別分析法によるしきい値決定)は不適當であると判断した。

B法は、A法で決めたしきい値を、更に原画像と処理画像を比較して試行錯誤で修正したものであり、最も良い結果を示した反面、A法に比べ非常に多くの時間を要した。又、しきい値の修正による精度の大きな向上は期待できず(標準推定誤差で2.75から2.05)測定精度と処理時間を考慮すると、A法が十分に実用的であると考えられる。

5. 結 言

2層糸を用いた紡績糸の構造研究において、多数の糸断面パターンの計測を迅速、かつ精度良く行うために、画像計測・処理装置を用いる方法について検討を加えた。計測の対象となる糸断面試料が2種類の繊維と糸試料固定材の3成分で構成されているため、画像処理によって輝度の順に成分I、II、IIIにそれぞれ分離するとき、通常の方法ではI/III境界付近を成分IIと誤判断し、測定精度が低下するという欠点を生じる。

本研究では、成分II領域とI/III境界領域との判

別と、I/III境界領域を成分IとIIIに分離するとき用いる新しいしきい値の導入とからなる3成分の境界判断方法(境界判断処理)並びに、しきい値設定に関する新しい方法を提案した。

その結果、境界判断処理を行うことで、I/III境界領域を成分IIとする誤判断が減少し、断面パターンを精度良く計測できることが分かった。又、しきい値の決定方法については、1画素当たりの平均差分値の分布と輝度ヒストグラムとを同時に参照し、前者の山部と後者の谷部から、しきい値を決定する方法が実用上優れていることが分かった。

謝辞

本研究を実施するに当たり、画像処理装置を貸与頂いた、豊和工業㈱に深く感謝します。

参考文献

- 1) 原川, 安藤; 繊維誌, 36, T 30 (1983)
- 2) 原川, 森, 安藤; 繊維誌, 37, T 93 (1984)
- 3) 坂本, 安藤, 原川; 繊維誌, 43, T 39 (1987)
- 4) 「画像処理ハンドブック」, P 66, 昭晃堂, (1988)
- 5) 大津; 電子通信学会論文誌 (D), J 63-D, P 349
- 6) 田村, 他; 「コンピュー画像処理入門」, 総研出版, P 67 (1985)
- 7) 原川; 繊維誌, T 163 (1981)
- 8) 原川; 特公昭, 57-29615 (1982)