近赤外分光を用いた布地材質の判別

新田 光善^{*1}・吉村 季織^{**}・高柳 正夫^{**2}

^{*}東京農工大学工学部有機材料化学科 東京都小金井市中町 2-24-16 (〒184-8588)

^{**}東京農工大学大学院共生科学技術研究部 東京都府中市幸町 3-5-8 (〒183-8509)

(2004年 6 月10日 受理)

Identification of Fabrics by Near-Infrared Spectroscopy

Mitsuyoshi NITTA^{*1}, Norio YOSHIMURA^{**}, and Masao TAKAYANAGI^{**2}

^{*}Department of Organic and Polymer Materials Chemistry, Faculty of Technology,
Tokyo University of Agriculture and Technology,
2-24-16, Naka-cho, Koganei, Tokyo 184-8588, Japan

^{**}Institute of Symbiotic Science and Technology, Tokyo University of Agriculture and Technology,
3-5-8, Saiwai-cho, Fuchu, Tokyo 183-8509, Japan

(Received June 10, 2004)

Diffused-reflection near-infrared spectra of 11 kinds of pure fabrics were measured with an AOTF (Acoust-Optic Tunable Filter)-type mobile spectrophotometer. These fabrics could be classified by analyzing spectra systematically to some groups such as the cellulose group, protein group and some groups of different type synthetic fabrics. On the other hand, perfect identification of these fabrics was found to be possible by deriving spectral features through Fourier transforms of observed spectra to power spectra. Spectra were also obtained for blended yarn fabrics of cotton and polyester with various blended ratios. A working curve for the determination of blended ratios is proposed.

Keywords: near-infrared spectroscopy, identification of fabrics, quantitative analysis, AOTF spectrophotometer, Fourier-transform analysis

1. はじめに

環境問題に対する意識の向上や低迷している経済状態を背景として、大量生産・大量消費の社会から循環型あるいはゼロエミッション型の社会への変革が求められている。その中で、天然物・人工物のいずれについても、再利用できるものは最大限再利用しようという考え方が広まってきた。

繊維（ここで主に測定対象とするのは繊維を素材として織られた布地であるが、呼び方としては素材である繊維を用いるものとする）は、現代の生活に不可欠な素材である。衣服として用いられるほかに産業用、医療用、スポー

ツ、レジャー、装飾用などのさまざまな分野で用いられている。これらのうち、衣服として用いられている繊維はリサイクル（およびリユース）が可能であると考えられている。しかしながら再生・再利用されているものはごく一部に過ぎず、大部分（約90%）はゴミとして廃棄されている¹⁾。また、繊維工場から排出される繊維くずの約半分がゴミとして焼却されたり埋め立てられたりして処分されている¹⁾。これらの廃棄されている繊維の再利用を促進させることが是非とも必要である。

ところで再利用のためには、種類を同定する必要がある。種類を正しく同定すること無しには、有効な再利用は不可能である。繊維は、天然繊維、再生繊維、合成繊維、半合成繊維などに大きく類別され、さらにそれぞれの中に多くの種類の繊維がある。またそれらを組み合わせた混紡として用いられることも多い。多種多様な使われ方の中で、簡便正確に種類を判別する手法が必要である。

繊維の材質判定は現在、(1)燃焼実験、(2)化学薬品に対す

¹ 現在の所属：財団法人日本化学繊維検査協会
Present affiliation: Japan Synthetic Textile Inspection Institute Foundation

² Corresponding author.

る溶解性による試験, (3)試薬による呈色や染色の差による試験, (4)比重の測定, (5)顕微鏡観察, (6)赤外吸収スペクトルの測定, などにより行われている^{2,3)}. これらの方法はいずれも手間がかかる上に, (1)から(3)までは破壊分析法である. もっと手間をかけずに, しかも再利用のことを考えると非破壊の分析を行うことが好ましい. そこで, 近赤外分光法の応用を考えた.

近赤外分光法がプラスチック製品の材質判定に有効であることはすでに知られていて, そのための分光光度計も市販されている. しかし繊維材質判定への応用は, 今までには予備的な報告⁴⁻¹¹⁾しか見当たらない.

繊維がプラスチックと異なる点として, 綿と麻 (いずれもセルロースが主成分) のように似通ったものが数多く存在することや, 複数種類の繊維がいろいろな比率で組み合わせられたり混ぜ合わされたりして用いられることがしばしばあることなどが挙げられる. 本研究では, このような特徴をもつ繊維の同定に近赤外分光法が応用可能かどうかを検討した.

近赤外分光法では一般に, 統計的な処理によりスペクトルから試料成分の種類や濃度の情報を得ることが多い¹²⁻¹⁴⁾. しかしここでは, はじめに11種類の単一成分の繊維について, スペクトルの特徴からそれらを判別することを試みた. 次に小野寺^{15,16)}らがプラスチックの分類に用いた「フーリエ変換によるスペクトルのゆらぎ解析」の手法を応用して, これら11種類の繊維の判別を試みた. 最後に, 綿-ポリエステル混紡の混紡率を決定する方法を検討した.

2. 実 験

測定は, AOTF (Acoust-Optic Tunable Filter) 型の近赤外分光光度計 (オプト技研-レオニクス: OptScan) を用いて行った. この分光光度計は, 小型軽量 (15 cm×25 cm×6 cm, 1.6 kg, コンピュータ部を除く) であり, モバイル分光計として分析現場に持ち運ぶことを意図して作られている. また, プラスチックの種類を判別するためのソフトウェアが導入されていて, 代表的な15種類のプラスチックについては, 測定後直ちに判定結果がコンピュータ画面に表示されるようになっている.

測定は, 拡散反射法で行った. この分光光度計には, 測定光の入射窓 (径約40 mm) があり, 試料をその窓に密着させて測定を行う. 窓の中央からは, AOTF を透過して波長選択された光が出射されており, 窓内側の周囲4箇所に取付けた検出器で反射光の強度を測定することによりスペクトルを得ている. 今回は, 衣類や端布などを一切の前処理なしにこの窓板に密着させてスペクトルを測定した. 1.00~2.40 μm の領域を2400点に分割した測定で, 6 掃引の積算を行った.

次の11種類の純成分繊維 (布地) について測定を行っ

た. 綿, ラミー, リネン, キュプラ, レーヨン, ウール, 絹, ポリプロピレン (PP), ポリエステル (PEs), アセテート, アクリル. 試料や部位の違いによる測定結果のバラつきを考慮に入れる必要があると考え, それぞれの種類の繊維について複数の試料を準備し, またそれぞれの試料について部位を変えて複数回の測定を行った.

一方混紡の代表として, 種々の綿-ポリエステルの混紡布地 (綿混紡率100, 80, 65, 55, 40, 35, 30, 15, 5, 0%) についても測定を行った.

3. 解 析 法

3.1 純成分繊維 (布地) の判別

11種の純成分繊維を, 近赤外吸収スペクトルで区別できるかどうかを検討した. はじめに, それぞれの繊維のスペクトルを特徴付ける吸収帯を見出し, それら吸収帯を用いてどこまで区別が可能かを検討した.

観測される吸収帯の位置や強度の違いから試料の種類を判別することが可能である場合も多いが, 必ずしも判別のための絶対的な指標があるわけではなく, 判別に経験や熟練を要する場合も多い. 判別の自動化という観点からは, スペクトルの特徴を数値的に抽出して, その数値を用いて試料の種別を判定できることが望ましい. スペクトルの特徴を抽出する方法として, フーリエ変換による周波数解析を採用した^{15,16)}.

変動する自然現象 (吸収スペクトルもその一種と考えられる) は, 式(1)で示されるようなゆらぎを持つと考えられている^{17,18)}.

$$p = \frac{k}{f^n} \quad (1)$$

ここに p はパワー (各周波数成分の相対的強度), f は周波数, k および n は定数である. 定数 n はパワースペクトル中で各周波数 f のゆらぎが持つ相対的な強度を決定しており, n が大きくなるにつれて, 低周波数成分の相対強度が強くなる. また, k は全体的なスペクトルの強度にかかわっており, n が同じで k が異なる2つのスペクトルは, 相似関係にあるといえる. 繊維の近赤外吸収スペクトルをパワースペクトルに変換することで, それぞれの繊維を k と n により区別することが可能だと考えられる.

式(1)の両対数をとると,

$$\ln p = \ln k - n \cdot \ln f \quad (2)$$

となる. つまり, 得られた近赤外吸収スペクトルをフーリエ変換し, その結果を両対数プロットする. さらに最小二乗法などで線形回帰を行うことにより, 切片 ($= \ln k$) と傾き ($= -n$) をそれぞれの繊維に特有の値として得ることができる.

フーリエ変換 (離散的フーリエ変換) は, Microsoft

Excel 2002のアドインのひとつ、分析ツールの中のフーリエ解析を用いて行った。フーリエ変換を行うためには、2のべき乗個のデータが必要なので、実験で得られた2400のデータポイントから場合に応じて2048ポイントあるいは1024ポイントのデータを取り出して用いた。データポイント数の違いは、解析に用いた波長幅の違いに対応する。2048ポイントによる解析には、観測された2400ポイントのうち短波長側352ポイント（幅約0.2 μm に対応）のデータを除いて解析に用いた。除外した1.00～1.20 μm の領域は、装置の感度が著しく低下しているために測定結果が安定せず、大きな雑音を観測されている。解析から除外することは差し支え無いばかりか、かえって好ましい結果をもたらした。1024ポイントのデータを用いる場合には、注目している試料について特徴的なバンドを観測されている領域を選んで用いた。

フーリエ変換の結果を、両対数表示のパワースペクトルとしてプロットした（元のパワースペクトルも、両対数表示にしたパワースペクトルも、見た目は異なっているが本質的な内容は同じである。ゆえに本稿では、両対数表示にしたパワースペクトルを単にパワースペクトルと呼ぶことにする）。最小二乗法を用いた直線回帰によりパワースペクトルの傾きと縦軸の切片を求めた。直線回帰を行う際に、フーリエ変換で得られた全データを用いる場合のほかに、両端を除外した横軸1.60～4.00の範囲のデータのみを用いる（フィルタリングする）と良い結果が得られる場合が見出された。横軸の1.60以下を除外することは、ゆっくりと変動するベースライン成分を除くことに対応し、4.00以上の部分を除外するのは高振動のノイズ成分を除くことに対応する。

こうして得られた回帰直線の傾きと切片をグラフ上にプロットして、材質ごとにプロットされる位置に特徴があるかどうかを検討した。

3.2 綿・ポリエステル混紡率の決定

観測されたスペクトルそのままでは、バックグラウンドが観測されて全体に下駄を履いたように浮き上がっているものがあつたので、各スペクトルの1.20～1.30 μm 領域の観測値平均をベースラインとみなすこととした。次に、各スペクトルについて式(3)で定義される R を計算した。

$$R = \frac{I_{\text{cotton}} - I_{\text{PEs}}}{I_{\text{cotton}} + I_{\text{PEs}}} \quad (3)$$

ここに、 I_{cotton} は綿による吸収に対応する1.48 μm の吸光度であり、 I_{PEs} はPEsによる吸収に対応する1.65 μm の吸光度である。混紡率を R に対してプロットしたものが検量線として使えるかどうかを検討した。

4. 結果と考察

4.1 純成分繊維（布地）のスペクトルの特徴

11種類の繊維の近赤外吸収スペクトル測定結果を、Fig. 1に示した。図では、比較をしやすいようにそれぞれスペクトルを縦軸方向に少しずつシフトさせて描いてある。また、雑音の大きい1.00～1.20 μm の領域は省いて示した。Fig. 2に、これらのスペクトルを用いて繊維の材質を判別するための手順（フローチャート）を示した。

Fig. 1に示されたスペクトルは、1.4～1.6 μm の領域に幅広いバンドが観測されているかどうかで大きく2つのグループに分けることができる。この位置に観測されている幅広いバンドは、OHあるいはNHの伸縮振動の倍音によるものと考えられる。従って今回測定した繊維の中で

Fig. 1 Near-infrared absorption spectra of 11 fabrics; cotton, ramie, linen, cupra, rayon, wool, silk, PP, PEs, acetate, and acryl.

Fig. 2 Procedure for distinguishing materials of fabrics.

は、OH 基を持つセルロース系の繊維およびアミド結合を持つたんぱく質系の繊維がこの領域に吸収を示す。

セルロース系の繊維とたんぱく質系の繊維は、 $2.0\sim 2.2\ \mu\text{m}$ の領域のバンドを見ることによって区別することができる。セルロース系の繊維（綿、ラミー、リネン、キュプラ、レーヨン）では約 $2.12\ \mu\text{m}$ に 1 本バンドが観測されているのに対して、たんぱく質系の繊維（ウール、絹）では約 $2.08\ \mu\text{m}$ と約 $2.20\ \mu\text{m}$ に 2 本のバンドが観測されている。セルロース系繊維の約 $2.12\ \mu\text{m}$ のバンドは、OH 基由来のものだと考えられる。このことは、この約 $2.12\ \mu\text{m}$ のバンドが $1.4\sim 1.6\ \mu\text{m}$ の幅広いバンドとともに、セルロースの水酸基をアセチル化したアセテート（トリアセテート）ではほぼ消失していることから支持される。たんぱく質系繊維の約 $2.08\ \mu\text{m}$ と約 $2.20\ \mu\text{m}$ のバンドは、アミド結合によるものであると考えられる。

5 種のセルロース系繊維と 2 種のたんぱく質系繊維は、それぞれ多少の差異はあるものお互いに似通ったスペクトルになっている。従って、近赤外スペクトルの目視による比較のみでは、どのスペクトルがどの繊維によるものであるかを判定することは困難である。

$1.4\sim 1.6\ \mu\text{m}$ の領域にバンドが観測されていない残りの 4 種の繊維については、次の手順で判別が可能である。まず、 $1.92\ \mu\text{m}$ にバンドが観測されていないのが、PP である。その他の 3 種の繊維には、強い弱い差はあるものの、 $1.92\ \mu\text{m}$ にバンドが観測されている。次に、 $1.65\ \mu\text{m}$ にバンドが観測されるものを PEs と判別することができ

る。このバンドは、芳香族性の CH 伸縮振動の倍音によるものである。今回の試料の中で芳香環を持った繊維は PEs のみなので、このバンドが観測された試料を PEs によるものと判別できる。

最後に残ったアクリルとアセテートは、お互いかなり似通ったスペクトルを示しているが、 $2.16\ \mu\text{m}$ にバンドが観測されるかどうかで区別することができる。観測されていればアセテートで、観測されなければアクリルである。

このようにして、観測された近赤外スペクトルを詳細に観察することにより、繊維の同定（あるいはグループ分け）が可能であることがわかった。以上に述べた点以外のスペクトルの特徴をまとめて述べる。

(1) $1.92\ \mu\text{m}$ （セルロース系繊維やたんぱく質系繊維では $1.94\ \mu\text{m}$ ）に観測されているバンドは、繊維に吸着されている水によるものである可能性が高い。水を吸着しにくいアクリル、PP、PEs ではこのバンドは弱い、観測されない。

(2) PP は、側鎖にメチル基をもった飽和炭化水素鎖からなる高分子で CC および CH 結合しかないので、約 $1.72\ \mu\text{m}$ に観測される CH_3 基や CH_2 基の CH 伸縮振動の倍音以外には目立ったバンドが観測されていない。

(3) アクリルも PP と似通った分子構造をしているが $\text{C}\equiv\text{N}$ 基があるので、CH 伸縮振動の倍音以外のバンドも観測されている。また少ないとはいえ水を吸着してその水がスペクトルに観測されているように見える。

4.2 フーリエ変換法による純成分繊維（布地）の判別

前節のように、それぞれのスペクトルの特徴を用いて繊維の材質を判定することができる。しかし、バンドの位置と強度のデータのみから試料の材質を判定することは容易ではない。また、セルロース系繊維同士やたんぱく質系繊維同士の判別も困難である。そこで、スペクトルの特徴を数値的に表すことができるフーリエ変換を用いた解析を試みた。

Fig. 3 は、綿の近赤外吸収スペクトルの $1.20\sim 2.40\ \mu\text{m}$ の領域のデータ（2048 データポイント）をフーリエ変換して（両対数プロットして）得られたパワースペクトルである。このパワースペクトルを直線で回帰して得られる傾き（ -0.91 ）と Y 切片（横軸 0 の位置における縦軸の値、Fig. 3 の場合には 4.31 ）の値でスペクトルを特徴づけることとした。同様のデータ処理を他の試料に対しても行い、それぞれ回帰直線の傾きと Y 切片を求めた。得られた結果を Fig. 4 にまとめて示す。

Fig. 4 は、横軸が回帰直線の傾き、縦軸が Y 切片の値を表している。 $1.20\sim 2.40\ \mu\text{m}$ の領域の測定結果を用いて得られた点は、図の比較的狭い範囲に集まってしまった。試料の種類による差が小さいので、この結果から試料の材質を判別することは困難である。

次に、OH 基や CH 基の伸縮振動の倍音が観測されてい

Fig. 3 Power spectrum obtained from a near-infrared spectrum of cotton and its linear regression.

Fig. 4 Slopes vs. cross sections plot. These slopes and intercepts are obtained from linear regressions of power spectra resulting from 11 kinds of fabrics through Fourier transform of the data of 2048 points of 1.20–2.40 μm .

Fig. 5 Slopes vs. cross sections of linear regressions of power spectra obtained for 11 kinds of fabrics through Fourier transform of the data of 1024 points of 1.34–1.94 μm .

Fig. 6 Slopes vs. cross sections of linear regressions of power spectra obtained for 11 kinds of fabrics through Fourier transform of the data of 1024 points of 1.60–2.20 μm .

てスペクトルの様子が試料に大きく依存する1.34～1.94 μm の領域（1024データポイント）に範囲を狭めて同様のデータ処理を行った。Fig. 5に結果を示す。

Fig. 5のプロットはFig. 4と異なり、試料の大部分が種類ごとに異なった場所にプロットされている。従って未知試料に関しても、近赤外吸収スペクトルを測定して同様のデータ処理を行い、得られた結果がFig. 5のどの位置にプロットされるかを見ることにより、材質を判定することができる。

綿、キュプラ、ラミー、レーヨンの4種については、Fig. 5でも非常に近い位置にプロットされていて区別が難しい。これらはいずれも主成分がセルロースなので、同じような挙動を示す。これらについては、以下のようなデータ処理を行うことでより明瞭な区別が可能となった。

1.60～2.20 μm （1024データポイント）の領域の測定結果をフーリエ変換して得られた結果を、Fig. 6に示した。Fig. 5では一ヶ所にかたまってプロットされていた4種の繊維のうちレーヨンのみが少し離れた位置にプロットされるようになった。これだけ離れると、判別に用いることが

可能である。

一方、フーリエ変換した後で直線回帰をするときに、パワースペクトル全領域のデータではなく、その一部のみを用いると良い結果が得られる場合もある。パワースペクトルとは、フーリエ変換対象領域に T 周期の正弦波成分がどれだけ含まれるかを示したものである。 T の値が特に小さいあるいは大きい成分は、試料自体の信号ではなく、それぞれベースライン変動や高周波ノイズに起因している可能性が高い。そこで、この部分を除いたデータのみを用いた直線回帰を試みた。両対数プロットしたパワースペクトルの横軸 $1.60 < \ln T < 4.00$ のデータのみで直線回帰を行った結果を、Fig. 7に示す。Fig. 6では十分に分離されていなかった綿、ラミー、キュプラのプロットについて、分離の程度が改善されて区別が付きやすくなっている。ここで、直線回帰領域の下限（1.60）および上限（4.00）の値は、綿、ラミー、キュプラについて、Fig. 7のような「傾き」対「Y切片」のプロットが最も良く分

Fig. 7 Slopes vs. cross sections of linear regressions of power spectra in the region of 1.60–4.00 obtained for cotton, ramie, and cupra through Fourier transform of the data of 1024 points of 1.34–1.94 μm .

離するように選んだものである。

このように、フーリエ変換を行う波長領域（位置と幅）やパワースペクトルの直線回帰を行う領域（周波数領域）を適当に選択してデータ解析を行うことにより、11種の純成分繊維（布地）の材質の判別を行うことが可能であることが見出された。データ処理条件を吟味することにより、さらに明瞭な判別が可能になるものと期待される。

4.1節で述べた目視によるスペクトルの特徴抽出では種類の判別ができない場合でも、フーリエ変換法を用いた処理を行えば判別が可能となることが明らかとなった。しかしフーリエ変換によるデータ解析は、ある波長領域全体の特徴を数値化することに対応する。従って、混合率が一定しない不純物が混じっているような場合（例えば吸着水が存在してその量が変動するような場合）や、何らかの原因（例えば試料の表面の状況）によりベースラインが湾曲しているような場合には、それらの要因が解析結果に影響を与え、誤った結果を導く可能性もある。今後より多くの試料についてのデータを蓄積することにより、これらの原因による結果変動の大きさを見積もることが必要である。

フーリエ変換を用いる解析での検量線は、データの取得のしかた（例えば、何 μm おきに何点のデータを得るか）によって変化する。従って、分光光度計ごと、測定条件ごとに判別基準のグラフをつくる必要がある。

4.3 混紡率決定

Fig. 8 に、綿と PEs の近赤外スペクトルを重ねて示した。綿と PEs は全く異なったタイプの分子構造をしているために、近赤外スペクトルも大きく異なる。特に、1.4 ~ 1.6 μm の領域に観測されている綿の幅広いバンド（水酸基の OH 伸縮振動の倍音）と、約 1.65 μm に観測されている PEs のバンド（芳香属性の CH 伸縮振動の倍音）は、お互い相手にバンドが観測されていない領域に現れているので、これらのバンドの強度を用いて混紡率を決定できることが期待される。そこで、Fig. 9 に示した混紡率の異な

Fig. 8 Comparison of near-infrared spectra of cotton and polyester (PEs).

Fig. 9 Near-infrared spectra of blended yarn fabrics of cotton and polyester with various blended ratios.

る10種の布地（純綿および純 PEs を含む）の測定結果から、(3)式で求められる R により検量線を作成できるかどうかを検討した。測定された信号強度と R の値を Table I に、 R に対して混紡率をプロットした結果を Fig. 10 に示す。

Fig. 10 のプロットは、ほぼ直線となることが見出された。測定結果を直線回帰すると、

Table I Blended ratios (*B.R.*) of blended yarn fabrics of cotton and polyester

No.	<i>B.R.</i> (indicated %)	I_{cotton}	I_{PEs}	R	<i>B.R.</i> (observed, %)
1	100	0.189	0.067	0.477	96
2	80	0.223	0.125	0.282	82
3	65	0.166	0.190	-0.067	56
4	55	0.151	0.152	-0.003	61
5	40	0.060	0.147	-0.420	30
6	35	0.088	0.189	-0.365	34
7	30	0.133	0.203	-0.208	46
8	15	0.045	0.203	-0.637	14
9	5	0.038	0.251	-0.737	7
10	0	0.012	0.144	-0.846	-1

Fig. 10 Blended ratios plotted against R obtained from observed I_{cotton} and I_{PEs} .

$$B.R. = 73.3 \cdot R + 61.0, \quad (4)$$

相関係数 γ は、 $\gamma = 0.975$ となった。ここに、 $B.R.$ は％で表した混紡率 (blended ratio) である。このように、 R を用いて混紡率に関する検量線を作成することが可能であることがわかった。

もし $1.48 \mu\text{m}$ と $1.65 \mu\text{m}$ における信号強度がそれぞれ純粋に綿と PEs のものであるとすると、Fig. 10 で混紡率 0％と 100％はそれぞれ R の -1 と 1 に対応するはずである。しかし実際には、 R は約 -0.83 から 0.53 の間で変化している。これは、 $1.48 \mu\text{m}$ と $1.66 \mu\text{m}$ の信号にそれぞれ PEs と綿による信号が含まれていることに起因すると考えられる。特に綿のスペクトルは、 $1.3 \mu\text{m}$ 付近から長波長に向かって右上がりのバックグラウンドを持っており、これが綿 100％の R の値を理論値である 1 から大きく異なった 0.53 という値にしているものと考えられる。混紡率と R との関係が直線的であることから、綿については右上がりのバックグラウンド込みの信号強度を考えても良いことがわかる。

混紡率と R の間には、無条件に直線関係が成り立つわ

けではない。綿と PEs の組み合わせのように吸光係数がほぼ等しいバンドを用いて測定を行う場合には、両者の間に直線関係が成り立つことが理論的にも示される。吸光係数が大きく異なるバンドを用いて同様の混紡率の定量測定を行うような場合には、混紡率と R の関係は直線的ではなくなる。そのような場合には、曲線の検量線 (用いるバンドの吸光係数の比から理論的に得ることができる) を用いなければならない。

実験値より算出した R から式 (4) を用いて計算した混紡率を Table I に示した。計算値と実際の混紡率の間には最大 15％の誤差が見られた。しかし、このような簡単な測定と解析で求められた値としては、決して悪い値とは言えない。近赤外分光法による測定結果の解析には、多変量解析や主成分解析が用いられることが多く、今回の測定結果についてもこれらの手法を用いることにより、より正確な混紡率を求めることが可能となるものと期待される。しかし今回の方法も、きわめて簡単な方法で混紡率が求められることから、有効な解析法の一つとなりうるものと考えられる。

謝辞

本研究を進めるにあたって、株式会社レオニクスにはたいへんお世話になりました。この場を借りて感謝いたします。本研究は、「21世紀 COE プログラム」(平成 14 年度採択, E05)「新エネルギー・物質代謝と『生存科学』の構築」の一部として行われたものである。

参考文献

- 1) 繊維製品リサイクル懇談会報告書 (経済産業省製造産業局繊維課), 平成 13 年 9 月。
- 2) 社団法人化学繊維技術改善研究委員会, 繊維素材のデータベース, http://www.kaizenken.jp/db/db_index.html。
- 3) 日本規格協会: JIS ハンドブック 31 繊維 (東京, 2004), L-1030-1 および L-1030-2。
- 4) R. B. Roy and C. Kradjel: J. Polym. Science, Part A: Polymer Chemistry **26**, 1733 (1988)。
- 5) Y. Ghebremeskel and A. Garton: Polymer Preprints **34**, 821 (1993)。
- 6) J. S. Church, J. A. O'Neill, and A. L. Woodhead: Textile Research J. **69**, 676 (1999)。
- 7) H. E. Howell and J. R. Davis: Adv. Chem. Ser. **236**, 263 (1993)。
- 8) W. C. Tincher and A. Luk: Textile Chemist and Colorist **17**, 200 (1985)。
- 9) H. E. Howell and J. R. Davis: Textile Chemist and Colorist **23**, 69 (1991)。
- 10) W. J. Jasper and E. T. Kovacs: Textile Res. J. **64**, 444 (1994)。
- 11) E. Cleve, E. Bach, and E. Schollmeyer: Anal. Chim. Acta **420**, 163 (2000)。
- 12) 宮本久美: 分光研究 **53**, 192 (2004)。
- 13) 尾崎幸洋: 近赤外分光法 (尾崎幸洋, 河田 聡 編, 学会出

- 版センター, 東京, 1996) p. 11.
- 14) 三井利幸: 近赤外分光法 (尾崎幸洋 編, アイピーシー出版部, 1998) p. 34.
- 15) M. Onodera, U. Nagashima, S. Kato, H. Hosoya, N. Goto, T. Amano, K. Tanabe, and H. Uesaka: J. Chem. Software **5**, 93 (1999).
- 16) M. Onodera, U. Nagashima, S. Kato, H. Hosoya, N. Goto, T. Amano, K. Tanabe, and H. Uesaka: J. Chem. Software **5**, 103 (1999).
- 17) 武者利光: ゆらぎの世界—自然界のゆらぎの不思議, 講談社, 東京 (1980).
- 18) 武者利光: ゆらぎの発想—1/f ゆらぎの謎に迫る, NHK 出版, 東京 (1994).