

光エネルギーを利用した環境適応型染色システムの開発

沢野井康成* 森大介* 守田啓輔* 神谷淳* 黒堀利夫**

ポリエステル布における環境負荷の少ない発色技術を開発するため、クリーンな光エネルギーであるレーザーとスキャニング機構からなる発色方法を考案した。この方法を検証するため、連続発振の半導体励起固体レーザー(DPSSL)とガルバノミラー方式によるスキャニング装置を組み合わせた発色試験装置を試作し、スキャニング速度など照射条件を変えて実験したところ、発色されている結果が得られた。これにより、考案した方法でポリエステル布を連続的に発色することは可能であることを確認できた。

キーワード：染色(発色)、インクジェットプリント、レーザー光、ポリエステル、分散染料、環境適応

Development of a New Eco-Friendly Dyeing Method for Ink-jet Print in Textiles Using a Visible Laser

Yasunari SAWANOI, Daisuke MORI, Keisuke MORITA, Jun KAMITANI and Toshio KUROBORI

We devised a new eco-friendly dyeing method for polyester (PET) fabric printed by means of an ink-jet printer using disperse dye. This method combines laser, which is pollution-free optical energy, and a scanning mechanism. The study was carried out to verify the dyeing method. First, a dyeing test apparatus, which incorporates a galvanometer mirror and a visible CW (continuous wave) laser (DPSSL; Diode-pumped Solid-state Laser), was constructed. Secondly, a laser beam was applied to the test fabrics to investigate the relationship between the dyeing properties of PET fabrics and test conditions such as scanning speed, laser power density and fabric feeding speed. This test confirmed that the proposed eco-friendly method was effective for continuous dyeing of PET fabrics printed by ink-jet printers.

Keywords : dyeing, ink-jet print, laser beam, polyester (PET), disperse dye, eco-friendly

1. 緒言

下請受注型の企業から企画提案型企業への転換が急務となっている繊維製造業(捺染業界)では、小ロット・短納期生産に優れ、且つデジタルデータが利用できるインクジェットプリントは不可欠な染色技術の一つとなっている。しかしながら、プリント工程を簡略化できるインクジェットプリントにおいても、プリント後に、発色・水洗・熱セットというような後処理を行う必要がある。後処理工程は一般的に従来の染色仕上げ加工場で行われており、特にポリエステルを発色させる場合、専用の湿熱あるいは乾熱装置を用いた高温での熱処理が行われている。このため、水や熱エネルギーを大量に消費するとともに、染色廃液の環境対策も必要となる。

一方、クリーンな光エネルギーの一つであるレーザー光の染色加工への応用については、紫外線レーザーによ

る昇華性芳香族分子の高分子フィルムへの移動(レーザー注入)に関する基礎研究¹⁾、赤外線レーザー加熱による染色²⁾、光吸収剤併用下での近赤外半導体レーザーによる転写プリント³⁾、サーモゾル染色⁴⁾の報告例等がある。これらのレーザー光による発色法は、図1に示すように、従来の湿熱あるいは乾熱による熱エネルギーに代わり、レーザー光による光エネルギーを利用して染料を繊維の内部に拡散させる方法である。このように発色工程に光エネルギーを用いることで、環境負荷の低減と省エネルギー化が期待できると考える。

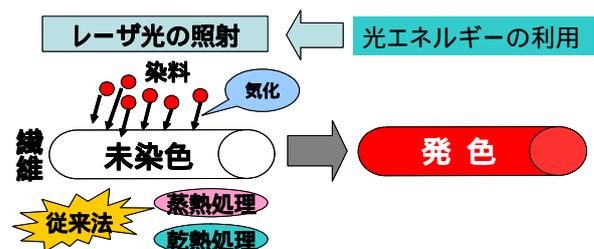


図1 レーザ光による発色法

*繊維生活部 **金沢大学

しかしながら、これまでの研究はまだ実用化段階にないため、筆者らはこれまでレーザー光を用いるインクジェットプリントしたポリエステル布の発色技術に関する基礎研究に取り組み、連続発振の可視光レーザーが発色に適する知見を得るとともに連続発色方法の考案を行った^{5,6)}。

本研究では、考案した連続発色方法の実用化を目的に、レーザーと走査機構の組み合わせからなる簡易型の発色試験装置を試作し、この発色方法の検証を行った。

2. 実験方法

2.1 簡易型発色試験装置の試作

試作した装置(以下、簡易型発色試験装置)の概略と

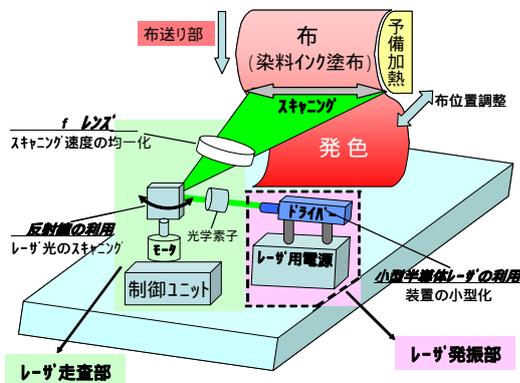


図2 簡易型発色試験装置の概略

表1 簡易型発色試験装置の主な仕様

区分	項目	値
本体	大きさ	600mm×600mm
レーザー発振部	レーザー	半導体励起固体レーザー(DPSSL)
	レーザー光の種類	100mWタイプ
	使用波長	連続光
	ビーム径	473nm
	光学素子	1mm
レーザー走査部	ビームエキスパンダー使用	ガルバノミラー
	スキヤナー装置	ガルバノミラー
	スキヤニング速度	< 4.8m/s
	スキヤニング巾	80mm
布送り部	fθレンズ(焦点距離)	専用品(150mm)
	送り出し方式	X-Y微動装置使用
	布の位置調整機構	有り(前後方向)
	布の加熱	アルミ板(カートリッジヒータ内蔵)

その主な仕様を図2及び表1にそれぞれ示す。

レーザーには、装置の小型化が可能な半導体励起固体レーザー(DPSSL; 使用波長 473nm)を用い、さらにレーザー光をより小さなスポットに集光することが可能となる光学素子を使用した。スキヤナー装置には、鏡を回転させてレーザー光を走査するガルバノミラーと、スキヤニング速度が一定になるよう補正する fθ レンズを

用いた。布送り部には、X-Y 微動装置を使用して布を一定速度で送り出した。試料の布は、X-Y 微動装置に設置した予備加熱(プリントの反対面より布を暖める)用ヒータ内蔵のアルミ板上に貼り付けた。なおこの試験装置の初期設定は、fθ レンズの焦点距離を 150mm、スキヤニング幅を 80mm とした。光学素子の変更により、ビーム径を保ったまま焦点距離を稼ぐことでスキヤニング幅の拡大も可能となる。

2.2 試験試料の作製

試験布には前処理加工済みのポリエステルデシン(コニカミノルタII(株)製)を用い、同社製テキスタイルインクジェットプリンターNassenger KS-1600IIを使用し、附属の分散染料インク(シアン(C)、マゼンダ(M)、イエロー(Y)、ブラック(K))の4色を各色幅1cmのストライプ状にプリントしたものを試験試料とした。

2.3 発色性の評価

試験試料の発色性は、レーザー光を照射した試験試料を水洗および湯洗して前処理剤を除去したものを、分光測色計(マクベス社製、MS-2020PL)によってD65光源・10度視野で測色し、得られた分光反射率から式(1)より表面染色濃度(K/S値)を算出し評価した。

$$(K/S)_\lambda = (1 - R_\lambda)^2 / 2R_\lambda \text{-----(1)}$$

R: 反射率

λ: 最大吸収波長

2.4 照射試料の観察

レーザー光照射が繊維に与える影響については、発色した試験試料の表面状態を走査型電子顕微鏡(日立製作所(株)、S-3000N形)で観察して調べた。

3. 結果及び考察

3.1 スキヤニング速度と発色性

レーザー光のパワー密度 52W/mm²(スポット径:約100μm)、布送り速度 18mm/min、スキヤニング巾 80mm としたときのスキヤニング速度(3.2 ~ 20.8 × 10mm/s)と発色性(K/S 値)について調べた結果を図3に示す。これによりスキヤニング速度が遅いほど発色性は良い結果となった。詳細な発色メカニズムは解明されていないが、光エネルギーは染料分子に吸収されることで、熱に変換されていると考えられる。すなわち、単位面積当たりのレーザー光の照射時間が長いほど熱エ

エネルギーが蓄積するので、染料分子の昇華は起きやすくなり発色性も向上するものと思われる。

3.2 レーザ光のパワー密度と発色性

布送り速度とスキャニング巾を 3.1 と同様、スキャニング速度 $3.2 \times 10 \text{ mm/s}$ としたときのレーザー光のパワー密度 ($5 \sim 52 \text{ W/mm}^2$) と K/S 値について調べた結果を図 4 に示す。これよりパワー密度は高いほど発色性は良くなった。これは 3.1 の結果とも関連し、パワー密度が大きいほど発生する熱エネルギー量も大きくなり、それにもない昇華する染料も多くなるためと考えられる。

3.3 布送り速度と発色性

レーザー光のパワー密度とスキャニング巾を 3.1 と同様、スキャニング速度 $3.2 \times 10^2 \text{ mm/s}$ としたときの布送り速度 ($18 \sim 50 \text{ mm/min}$) と K/S 値について調べた結果を図 5 に示す。これより布送り速度が 25 mm/min 以

上になる場合、発色度合いは低くなった。これは布送り速度が上がるほど、単位面積当たりのレーザー光照射面積が減少することによるものと考えられる。したがって、同一のパワー密度でスポット径を大きくすれば、布送り速度をさらに上げて発色することは可能になると考える。

3.4 予備加熱と発色性

スキャニング速度 $3.2 \times 10 \text{ mm/s}$ 、レーザー光のパワー密度 52 W/mm^2 、布送り速度 18 mm/min 、スキャニング巾 80 mm としたときの予備加熱 ($22 \sim 70$) と K/S 値について調べた結果を図 6 に示す。これより予備加熱は高いほど発色性は良くなった。この理由として、レーザー光照射により昇華した染料分子が気相を経て繊維中に拡散する際、予備加熱温度(布温度)が高いほど繊維表面付近の染料濃度も高くなるためと考えられる。

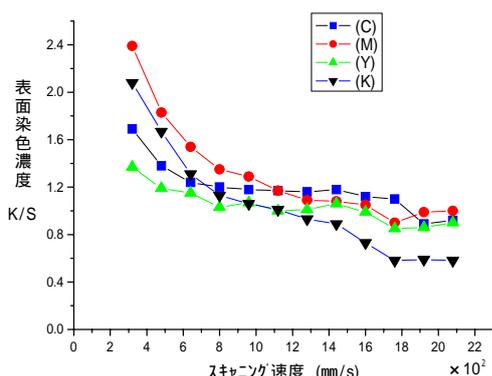


図 3 スキャニング速度と発色性

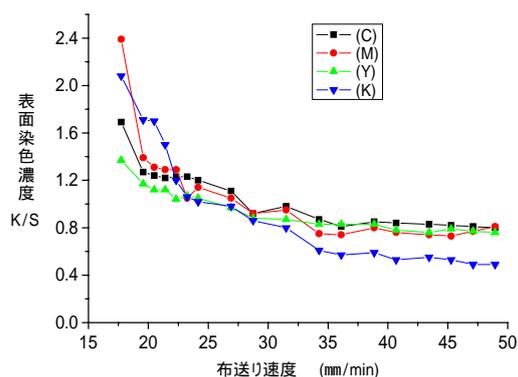


図 5 布送り速度と発色性

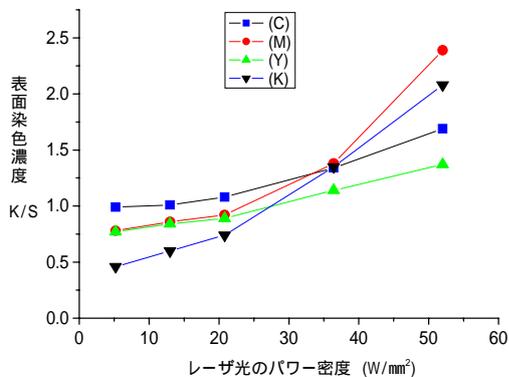


図 4 レーザ光のパワー密度と発色性

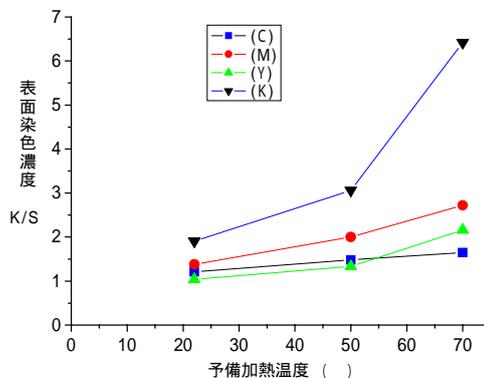


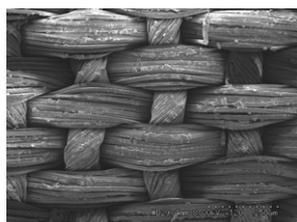
図 6 予備加熱と発色性

3.5 レーザ光による繊維への影響

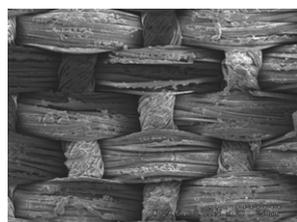
スキャン速度 $3.2 \times 10 \text{mm/s}$, レーザ光のパワー密度 52W/mm^2 , 布送り速度 18mm/min , スキャン巾 80mm , 予備加熱 70°C としたときの試験試料の繊維表面について SEM 観察した結果を図 7(a)~(d)に示す。これより, ブラックの染料インク(図 7(d))では繊維表面に凹凸状が多く観察された。これについては, レーザ光照射時に発生した熱エネルギーによる, 固化した前処理剤の残留や繊維の一部損傷等の可能性が考えられる。一方, パワー密度を 36W/mm^2 と低くしたブラックの場合を図 7(e)に示すが, 凹凸状はかなり少なくなっていることが確認された。この理由として, 瞬間的に発生する熱エネルギー量が減少して発生温度も低下することで, 前処理剤の焦げ付きや繊維が熔融する可能性は低くなることが推測される。これら連続発色実験の結果については前報⁵⁾と同様なものであり, レーザ光による照射の影響を少なくすることは可能であると考えられる。



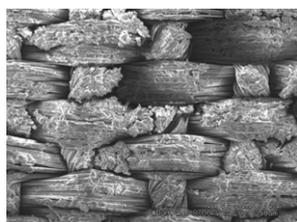
(a)シアン



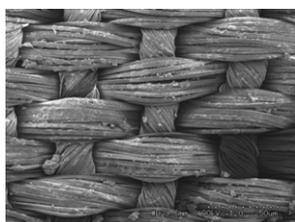
(b)イエロー



(c)マゼンダ



(d)ブラック



(e)ブラック

図7 レーザ光を照射した試験試料のSEM観察の一例
レーザーパワー密度; (a)~(d) : 52W/mm^2 , (e) : 36W/mm^2

4. 結 言

環境負荷の少ない連続発色技術の開発を目的に, 考案したレーザーとスキャン機構からなる発色試験装置を試作し, ポリエステル布の発色性について検討した。その結果, 以下の知見を得た。

- (1) 半導体励起固体レーザーとガルバノミラー・fθ レンズからなるスキャン装置を組み合わせたシステムでレーザー光を照射することにより, ポリエステル布が連続的に発色することが確認された。
- (2) 上記システムにおいて, スキャン速度, 布送り速度, レーザ光のパワー密度及び予備加熱温度をそれぞれ調節することにより, 照射による繊維への影響を少なくしつつ発色性を向上させることは可能である結果が得られた。
- (3) 連続発色実験の結果から, 同一のレーザー光パワー密度でスポット径を大きくする工夫により発色速度の向上が期待される等, 実用化の可能性を見出すことが出来た。

謝 辞

本研究を遂行するに当たり, ご助言を頂いた福井大学大学院工学研究科教授堀照夫氏に感謝します。また, レーザ光による照射実験にこれまでにご協力頂いた, 金沢大学・黒堀研究室学生各氏に感謝します。

参考文献

- 1) 福村裕史. パルスレーザー照射による芳香族分子の高分子固体内移動. レーザ研究, 1996, vol. 24, no. 7, p. 773-779.
- 2) 江守商事(株), ウラセ合同染工(株), 川口英雄. レーザ照射による染色加工法. 特開昭 59-106589. 1984-06-20.
- 3) 静岡県. 三浦清 他. ポリエステル布帛の染色方法. 特開 2005-273122. 2005-10-06.
- 4) 三浦清 他. 半導体レーザーによるメタ型アラミドのレーザーサーモゾル染色. 繊維学会誌, 2007, vol. 63, no. 1, p. 18-21.
- 5) 沢野井康成 他. インクジェット捺染用発色技術の開発. 石川県工業試験場研究報告, 2006, No.55, p.43-46.
- 6) 国立大学法人金沢大学, 石川県. 黒堀利夫, 沢野井康成. レーザ光を用いた発色方法及び発色装置. 特開 2006-249597. 2006-09-21.