

スラブ型CO₂レーザーを用いたレーザープラスチック着色法

櫻田 典世, 石井 良夫, 久保田 譲, 渡辺 一弘

創価大学 工学部情報システム工学科 (〒192-8577 東京都八王子市丹木町1-236)

Laser Plastic Coloring Method Using a Slab CO₂ Laser

Noriyo SAKURADA, Yoshio ISHII, Yuzuru KUBOTA, and Kazuhiro WATANABE

Department of Information Systems Science, Faculty of Engineering, Soka University,

1-236 Tangi-cho, Hachioji, Tokyo 192-8577

(Received October 17, 2003)

A laser plastic coloring (LPC) method has been newly developed as an innovative coloring method for plastic materials using a CO₂ laser system. Irradiating laser beam to water diluted dye, the dye solution is heated and a material can be dyed at a laser exposed local area. A laser color marking, a multi-color pallet, and image expression have been attempted by using this LPC method. Four colors of cyan, magenta, yellow, and black (CMYK) logos and characters have been colorfully printed on a plastics bulk material using a laser color marking based on LPC method. A multi-color pallet which consist of 18 steps of hues and 8 tones of brightness expressions have been also created by using LPC dot coloring. From digital image which includes color information, a 30 × 30 pixel colorful image has been successfully displayed with a pointillism taste.

Key Words: Laser plastic coloring method, Slab RF excited CO₂ laser, Artistic laser processing, Plastic material, Segmented pixel drawing method.

1. はじめに

レーザーを用いた着色法は、代表的な用途として製品に対するロット番号などの書き込みや、図形描画による観賞物作成への利用があり、着色対象材料、着色原理は多岐にわたっている。材料別にみても、金属材料では、金属板表面にYAGレーザー光を照射し、照射レーザー光の波長と同程度の回折格子を形成し虹色パターンを加工する方法がある¹⁾。この方法はレインボーレーザーカラー加工とも呼ばれ、マーキング描画やデジタル情報の記録などに応用されている。ガラス材料では、X線や紫外光レーザーを照射することにより、カラーセンターの生成、銀超微粒子生成、イオン化数の変化による着色がある²⁾。特にカラーセンターの生成に関する研究は1960年代から行なわれており、カラーセンターレーザーや記憶素子などとして応用されている絶縁体材料の基本的知識となっている。さらに、この方法は、高熱により脱色が可能であるという特長を有しており、着脱色は何回も繰り返すことが可能である。そのため、リサイクル用途への応用が期待されている。プラスチックなどの樹脂材料では、多層成型し、表層を切除し下層を浮き出させる方法や、表面の溶融や発泡により視覚的差異を生じさせる方法などが挙げられる³⁾。さらにセメント系材料に対してレーザーを照射し着色ガラス層を形成する方法⁴⁾や、感熱紙に対するレーザー印字も着色加工としてあげることができる。このようなレーザー着色には、着色結果の耐性

が高い、着色速度が速い、着色点の形状の自由度が高い、非接触に着色可能である、といった特長を挙げることができる。そのため、刃物による彫刻やインクによる印刷もしくは押印によって行なわれてきたロット番号などの書き込みが、レーザー着色マーキングによって行なわれてきている⁵⁾。しかしながら、これら従来のレーザー着色方法は、いずれも単色での着色か、あるいは材料の成分に依存した色相の着色であるため、自由度の高い色彩豊富な着色を行なうことが困難である。一方、レーザープリンターもレーザーを利用した着色技術の一つである^{6,7)}。レーザープリンターの場合は、自由度の高い色彩豊富な着色が可能であるが、レーザーによって直接着色を行なうわけではなく、静帯電している光導電体ドラムの帯電を印刷パターンにあわせて除去するためにレーザーを使っている。また、着色対象としては主にシート形状の物に限られる。

本研究では、プラスチックバルク材料に対して、より多色相による着色を可能とするために、レーザーを用いた新しい着色法であるレーザープラスチック着色(Laser Plastic Coloring; LPC)法を開発した^{8,9)}。本方法では、樹脂用染料を用いるため、着色の色相は染料の色種類に依存し、多色相着色が可能となっている。また、CO₂レーザーを染料の加熱を行なう熱源として用いることにより、レーザー照射部を局部的に着色することが可能である。本研究の着色実験では、マーキング走査による染料各色の文字とロゴマークの描画を試みた。また、本LPC法に対

し、筆者らによって考案された小片分割加工(Segmented Pixel Drawing; SPD)法¹⁰⁾における、小片をドットの集合によって構成する概念を適用することにより、ドット照射着色を行ない、小片単位での多色相・色彩表現を試み、18色相・8色彩を実現した。さらにカラー情報を有するデジタル画像をプラスチックバルク材料に表現することを試み、その着色結果について検討を行なった。

2. LPC法の着色表現と着色原理

2.1 着色表現

LPC法は、着色対象としてプラスチック材料全般、熱源としてCW-CO₂レーザー(高周波励起スラブ型)、着色媒体として樹脂用染料を用いた新しい着色法である。樹脂用染料は水で希釈し、加熱することによってプラスチック材料全般を染色することができる染料である。通常、この染料は材料全体を染料に浸し、表面全体を均一に染色するために用いられている。本方法では、レーザーを熱源として利用することによって、レーザー照射部の染料を局所的に加熱し、加熱された染料の接しているプラスチック材料を比較的短時間で局所的に着色する。LPC法によってプラスチックバルク上に多色相・色彩表現を行ない、デジタル画像を元にカラー画像表現を行なうための一手法として、SPD法による表現を用いた。

デジタル画像を表現するために用いたSPD法とは、元画像と加工対象面をそれぞれ小片単位に分割し、解析・加工を行なうことによって、元画像のグレースケール階調と質感をプラスチック加工材料表面に表現可能な芸術的加工の一手法である。本実験では、このSPD法における画像情報を加工表面へ小片単位のドット加工により表現する概念をLPC法へ応用する。LPC法で用いる染料はCMYK(シアン、マゼンタ、イエロ、ブラック)の4色である。この4色によるドット着色を行ない、複数色の着色ドットを組合せて小片を構成し、色の組合せの割合を変化させることにより小片の色相表現を試みた。また、小片内の着色ドットの密度を変化させることによって色彩表現を試みた。この着色ドットを元画像の各画素が持つ色情報に応じて小片内に配置することにより、デジタル画像からプラスチック材料表面へカラー着色表現を試み、新しい多色着色法としての可能性を検討した。

2.2 着色原理

本研究に用いた樹脂用染料は、分散染料に分類される。分散染料とは、水に難溶性であるため、通常、水に分散した状態から染色することを特徴としており、親水性の天然繊維には染まらない反面、アクリルなどの疎水性合成繊維に対して染着が可能な染料である^{11,12)}。種々の合成繊維の出現に伴い、多種多様の分散染料が市販されてきたが、従来の染色方法では染料の拡散が困難である緻密な結晶構造を持つ難染色性繊維への染着には高温染色法、キャリアー染色法、サーモゾール染色法の3つの手法が採用されている。本レーザープラスチック着色法にて用いた染料はキャリアー染色法に当てはまる。キャリ

ヤーとは染色速度を速くするために用いる染色助剤の一種である。小分子であるキャリアーは比較的早く繊維内部に拡散し、ファンデルワールス力や水素結合によって繊維と結合する。このため繊維間結合力は弱まり、染料の拡散に必要な孔の発生確率が大きくなる。その結果、染料の樹脂表面への拡散速度が増大し、染色促進効果が得られると考えられている。一方、染色を行なうためには熱が必要とされる。熱が必要とされる理由はガラス転移点に関係する。ガラス転移点とは、無定形物質が砕けやすいガラス状態から、可塑性の柔軟な状態へ変わる温度を指す。つまり、この温度を超えることにより染料が樹脂に吸着されやすい状態となる。キャリアーによって素早く樹脂表面に拡散した染料は熱によって繊維基質に吸着され、繊維内部に染料が拡散することで(浸透距離: 数 μm)対象への着色が行われる。本実験にて用いる染料は、最も効率よく染色できる希釈濃度が15%、染色温度が約80℃であることが予め実験的に求められている。

3. 実験装置

3.1 実験装置

Fig. 1にLPC加工システムの構成図を示す。Fig. 1 (a)に示す基本的な構成はSPD加工システムと同様である。ここで用いるレーザーは、筆者らが開発した最大平均出力200 Wの高周波励起スラブ型CO₂レーザーである¹³⁾。本実験では、平均出力を25 Wとし、繰り返し周波数を0.1~1 kHz、デューティ比を10~30%に制御することによってドット照射時におけるパルス幅の制御を行なった。CO₂レーザーは水の吸収率が大きく局所的加熱に適している。また、用いたレーザー装置は電子装置による制御性が高く、出力レベルも十分であるため、着色用熱源として適している。着色制御系は、高周波電源とX-Y-Z軸ガルバノメータ(General Scanning社製)から構成されており、スキャニングコントローラを介してパーソナルコンピュータによって制御される。高周波電源は、周波数100 MHz、最高出力2 kWであり、スキャニングコントローラから送られるレーザーのパルス幅と繰り返し周波数の情報を

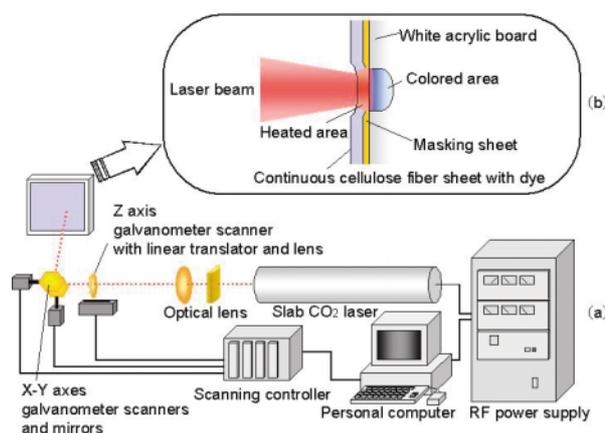


Fig. 1 Experimental configuration of the LPC system with a slab RF excited CO₂ laser (a) and a detailed cross section at a laser exposed area (b).

持ったTTL信号によってレーザー本体へ印加する電力の制御を行なった。光学制御系では、X-Y軸走査ミラーとZ軸集光レンズを制御している。X-Y軸はガルバノメータにより、Z軸レンズはリニヤトランスレータにより駆動した。Z軸レンズによって加工点におけるビーム径や焦点位置の制御を、X-Y軸ミラーによって加工平面における照射位置の制御を行なった。レーザービームは、ビーム整形のための複数のシリンドリカルレンズや集光レンズから構成される光学系を経て、走査光学制御系を通過し着色対象物へ走査・照射される。本実験では、ビームスポットサイズを300~700 μm に制御して着色を行なった。微細な着色を行なうためには、ビームをより細く集光する必要がある。しかし、単位面積あたりの照射エネルギーがアクリル部材の加工しきい値を超えないよう注意する必要があるため、ビームのスポットサイズの制御を行なった。レーザー照射により着色を行なうための構成をFig. 1 (b)に示す。本実験では、着色対象として白色アクリル部材を用いた。水で希釈した染料を長繊維セルローズシートに浸透させ、着色対象表面に配し、その表面にレーザー照射を行ない局所的な温度上昇によりアクリル部材への着色を行なう。長繊維セルローズシートを用いることにより、染料を表面張力によって着色対象表面に直接塗布した場合よりも、染料の厚み、つまり供給される染料の量が全体に均一になるため安定した着色結果を得ることが可能である。長繊維セルローズシートと着色対象の間には、マスキング素材を挿入している。着色済みの部分に定着している染料は、加熱しない場合でも他色の染料と吸着しやすくなる。そのため、多色着色を行なう場合には、混色するのを防ぐためにマスキング素材を挿入する必要がある。このマスキングシートは、厚さ80 μm 、基材は平面紙、粘着材はアクリル系の平面紙マスキングテープ(3M社製：#244)を用いた。レーザー照射によって染料の加熱と共にマスキング素材に穴を開け、染料の表面張力により長繊維セルローズシートが着色対象表面へ吸着し、レーザー照射部の染料シートが着色対象に接触するようにした。本実験では、マスキングシート並びに染料シートは、着色する色毎に手作業にて新しいシートに交換を行ない、着色実験を行なった。

3.2 画像からの着色データ作成手順

Fig. 2にデジタル元画像から着色データを作成する手順を示す。デジタル画像データは一般にRGBの輝度データにより構成されているが、LPC法では、印刷や製版に利用する場合に基本となるCMYKデータに画像データを変換する必要がある。本研究では、一般に使用されている画像変換ソフトを用い、変換後の画像についてCMYK情報の抽出をおこなった。ここで、CMYKはシアン(C)、マゼンタ(M)、イエロ(Y)、ブラック(K)のことで、抽出されるCMYKデータは、画像の各画素において色毎に濃度によって0~255の値を持っている。着色時の一小片内の全ドット数はあらかじめ決めておき、Kが0以外の場合には、Kの値に応じてKの着色ドット数を算出する。この時の計算は、Kの値を濃度の最大値255で割り、小片内の全

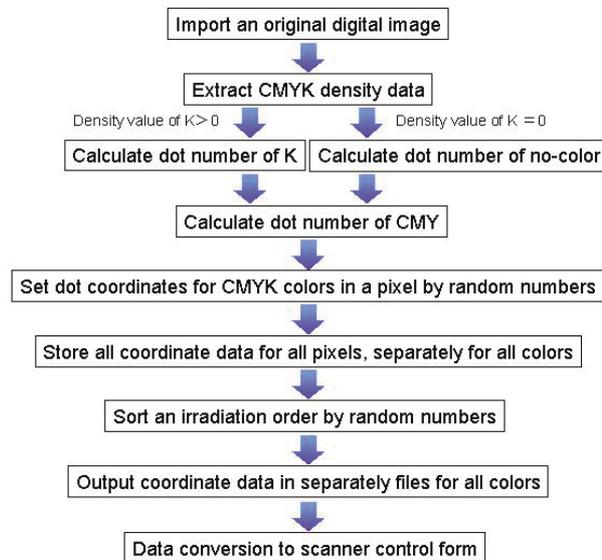


Fig. 2 Procedure of making a laser coloring data from a full-color digital image.

ドット数をかけた数がKの着色ドット数となる。本実験では、小片のサイズを2×2 mmとし、一小片内に49~100個のドットを平方配列している。小片内のドット数は着色を行なう前に配色シミュレーションを行ない最適なドット数を決定する。Kの値が0の時はCMYの値より、非着色部分(背景色である白い部分)のドット数を算出する。CMYの内、上位二色の値の合計が最大値512に満たない時は、その満たない分を白色として、非着色ドット数とする。Kと非着色部のドット数を決定した後、CMYの内、上位の二色によって、残りのドット数を値の割合に応じて分割する。上位二色を用いるのは、CMYK表現の場合、CMYは二色の場合と三色の場合で、それほど大きな違いは無く、逆に、二色でおこなった場合のほうが、色のコントラストも明確になるため、この方法を用いた。CMYKと非着色部のドット位置をそれぞれのドット数に応じて、小片内に乱数を用いてランダムに配置する。乱数を用いることによって、小片内に満遍なく均等に各色が分布し、元画像の色に近い色を表現することができる。次に、画像全体にある全ての小片の座標データを各別々にまとめ保管する。このデータを乱数を用いランダムに並べ替える。この作業により、隣接したドットに連続的にレーザーを照射することがなくなり、ドット間の熱影響を防ぐことができる。熱影響があると、色がぼやけたり、実際の色とは異なった色相になる等の問題が発生してしまう。各色ごとの並べ替えられたデータは各色ごとに個々のファイルに保存され、最後にスキヤナ制御用のデータ形式に変換され保存される。また、この時、生成される各色ごとの座標データは、実際の着色実験に先立ち、PC上での配色シミュレーションを行なう時にも使われる。

4. 実験結果

Fig. 3にマーキング実験の結果を示す。シアン、マゼン

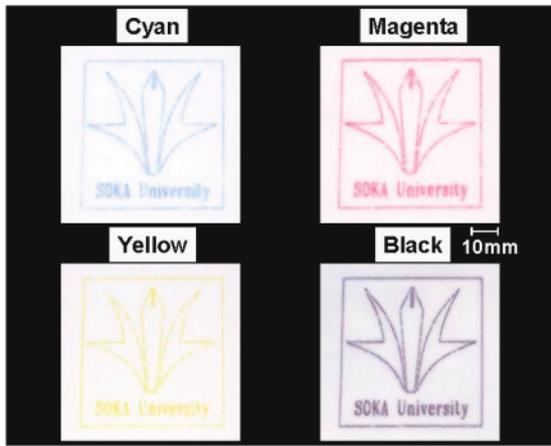


Fig. 3 Coloring results of characters and logo marks for CMYK colors using the LPC method with a laser marking method.

タ、イエロ、ブラックの4色について着色を試みた。加工パラメータとして、走査速度は約9 mm/s、走査回数は5回、レーザー平均出力を2.2 Wとした。通常のマーキング法と同等の文字やロゴマークなどを、レーザーのON/OFF・走査により、レーザーを照射した部分のみに着色することに成功した。背景が白色であるため、イエロの着色結果が薄く見えるが、実際の着色濃度としてはカラー表現に十分なレベルでの着色が行なわれている。走査回数を増やすことによって、着色濃度を濃くすることができるため、本実験結果では5回走査することにより、十分な着色濃度を実現した。着色に若干の斑が見受けられるが、これは染料を供給する際に長繊維セルロースを用いたため、その繊維質が着色結果に影響を及ぼしたことによるものである。前述のとおり、全体的に均等な着色濃度を実現するためには色素を吸着したシートを用いる必要があるが、ミクロに見るとシートの繊維質が着色濃度の均一性に結果に影響を及ぼしてしまうことが問題となっている。この局所的な斑の問題は、繊維質が細かく均一なシートや繊維質の無いシートを用いるか、または染料をシート状に固体化する手法があれば解決が可能であると考えている。

Fig. 4にカラーパレット実験結果を示す。この実験ではSPD法の概念であるドット照射による小片構成を応用し、2色のドット着色によって小片を構成し、小片単位によって多色相・多色彩を実現した。色相は小片内における2色のドット着色占有率の変化によって、色彩はCMY色のドット占有密度、K色のドット数の変化、そして背景の白色によって表現した。例として、シアンとマゼンタを均等に配置することによって最下段中央のパープルを表現することが可能であり、シアンとマゼンタの着色ドット数を減少させると最下段左側のライトパープルの小片になり、ブラックのドットを増やすと最下段右側のダークパープルの小片となる。加工パラメータとしては、シアン、マゼンタ、イエロ、ブラックについて1ドットあたりの照射エネルギーはそれぞれ5.3、5.0、5.6、4.7 mJ/dotとなり、光に対する吸収率の高い色が少ない照射エネルギー

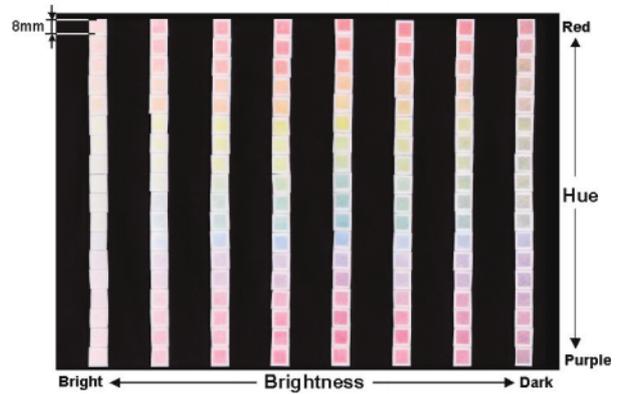


Fig. 4 Coloring results of LPC color pallet of 8-tones and 18-hues.

によって着色可能であることがわかる。

前述の着色データ作成方法を用い、デジタルカラー画像を元にした画像表現を試みた。元画像をFig. 5 (a)、シミュレーション結果を(b)、LPC着色結果を(c)にそれぞれ示す。元画像の解像度は60×60ピクセルであるが、スキャナによってレーザービームを走査できる範囲が40×40着色小片程度に範囲制限されるため、実際の着色時には画像解像度を30×30ピクセルに低下させている。Fig. 5 (b)は、実際の着色に先立ち行なった、描画シミュレーションの結果を示している。前述の制御データ作成中に生成される各色の座標データにもとづき、各色毎にドット配置を行ない、PC上で着色結果の描画シミュレーションを行なっている。これにより、小片内の最適な最大ドット数などの加工パラメータを事前に決定することが可能となる。Fig. 5 (c)に示すLPC着色実験結果では、CMYKの4色の染料および背景の白により元画像の色情報を表現できていることがわかる。また、単に色を表現するだけでなく、点描画のような趣を有した独特の絵画表現になっている。若干ではあるが、全体的な濃度、特に黄色の濃度が不足しているように見受けられる。また、色斑や解像度不足が問題点として挙げることができる。濃度不足は、着色濃度が照射回数にほぼ比例して増加する傾向にあるため、複数回照射することによって着色濃度を向上させることが可能であり、色ごとに最適な照射回数を決定することにより解決できると考えられる。また、斑に関しては、前述のとおり染料を染み込ませる繊維を改善

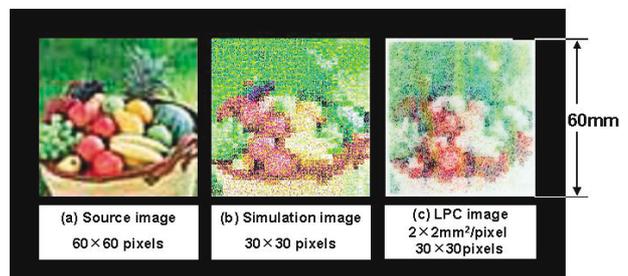


Fig. 5 LPC example (c) based on a source image (a), and PC simulation image (b).

することにより解決可能である。解像度に関しては、本実験装置ではビームスポットサイズが約300 μm 程度であり、限界があったが、着色ドットサイズを小さくし、それに伴い小片サイズを小さくすれば、より高い解像度が可能である。あるいは、すでにSPD法において用いているX-Yステージを導入し、着色対象を移動させながら着色することにより、より大きな着色物を作成し、相対的に解像度を向上させることも可能である。

5. おわりに

本研究では、CW-CO₂レーザーを用いたプラスチック材料への新しい着色法であるレーザープラスチック着色(LPC)法を提案し着色実験を行なった。マーキング走査によりシアン、マゼンタ、イエロ、ブラックの4色の文字とロゴマークの描画に成功した。また、LPC法に対してSPD法のドットによって小片を構成する概念を組み合わせることにより、ドット照射着色によって構成される小片に対して多色相・色彩表現を試み、18色相・8色彩のカラーパレットの作成を行なった。さらにカラー情報を有するデジタル画像を元に、プラスチックバルク材料に点描画のような色彩豊かな絵画表現を行ない、プラスチックバルク材料に対するレーザーを用いた多色相・色彩着色を行なう技術について実験的検討を行なった。

実用的な着色装置実現への今後の問題点として、着色斑の生じない染料シートの開発、着色解像度の向上、手作業によって行なわれている染料シートの交換の自動化が挙げられる。シート供給の自動化は、着色作業自体の簡便化にともない作業時間短縮が可能となり、着色面積が6×6 cm²の場合には、現状の15分程度から8分程度への作業時間短縮が可能である。

本着色方式は、解像度、コントラストという点におい

ては、現状ではカラーレーザープリンタには及ばないが、プラスチックバルク材料への多色相・色彩の着色方式としては、従来に無い新しい方式といえる。本着色の用途は、コピー機に求められている写実性、高解像度といった目的とは異なり、レーザー着色独特なカラー表現を利用した、ものづくりへの応用が考えられる。

謝 辞

本研究を進めるうえで、実験に協力をいただいた、工学研究科情報システム学専攻博士前期課程の戎谷 一氏、河原崎 勝氏に感謝致します。

参考文献

- 1) 永田 伍雄：大阪府立産業技術総合研究所平成13年度研究報告書 (2001) No.15.
- 2) S. Chen, T. Akai, K. Kadono, and T. Yazawa: Appl. Phys. Lett. **79** (2001) 3687.
- 3) 宮崎 俊行, 宮沢 肇, 村上 正夫, 吉岡 俊郎共著：レーザー加工技術：産業図書 (1991).
- 4) 市原 英樹, 永井 香織, ウィグナラージャ シバクマラン：レーザー研究 **22** (1994) 917.
- 5) レーザー学会編：レーザーハンドブック：オーム社 (1989).
- 6) 高橋 恭介, 入江 正浩監修：プリンター材料とケミカルズ：(株)シーエムシー (1995).
- 7) 岩本 明人, 小寺 宏暉：デジタルハードコピー技術：共立出版(株) (2000).
- 8) 特許出願, 着色方法および着色システム, 特願2001-230525, 平成13年7月30日.
- 9) M. Kawarazaki, N. Sakurada, Y. Ishii, K. Watanabe, and Y. Kubota: Digital color printing on plastics using a slab, RF excited CO₂ laser: Proceedings of SPIE, Vol. **5120** (2003) 735.
- 10) 櫻田 典世, 石井 良夫, 久保田 譲, 渡辺 一弘：レーザー研究 **30** (2002) 396.
- 11) 日本学術振興会染色加工第120委員会：染色加工の事典：朝倉書店 (1999).
- 12) 越後谷 悦郎：実用化学辞典：朝倉書店 (1986).
- 13) 渡辺 一弘：レーザー研究 **21** (1993) 1245.