レーザーによる染色加工：総論

大内 秋比古 OUCHI Akihiko
産業技術総合研究所

1. はじめに

レーザーは通常の光とは異なる特徴を持つ光で、これらの特徴を有効に利用することにより、反応・加工プロセスの効率の向上や従来の光源では不可能なプロセスを実現することができる。

レーザーを繊維の染色加工に応用した例は未だに少ないが、本稿ではレーザーを繊維処理の道具として用いる際の要点を述べるとともに、その染色加工への利用について概説する。詳しくは既出の解説^{1,2)}等をご覧頂きたい。

2. 装置

レーザーには様々なレーザー媒質（気体、液体、固体）と励起方法（放電、光、化学反応、電流等）が有り多種のレーザーが市販されている。既に各種エキシマレーザー、YAGレーザー、アルゴンイオンレーザー、炭酸ガスレーザー、半導体レーザー等多種のレーザーがプロセス用として用いられ、いずれも比較的容易に操作でき、その耐久性も向上している。現在では紫外から赤外に渡る様々な波長のレーザーを容易に利用できるが、波長による反応機構の違いにより可視・紫外光レーザーと赤外光レーザーに分類でき、それぞれに光が連続的に出るもの（CWレーザー）とパルス的に出るもの（パルスレーザー）とがある。

3. レーザー反応¹⁾

レーザーの特徴には (1) 高強度性、(2) 単色性、(3) 指向性および (4) パルス性（パルスレーザーの場合）がある。また、レーザーの波長とその結果起こる反応との間には大きな関係があり、波長が赤外域の場合は反応は通常、振動励起により開始するので反応機構的には熱反応と類似している。波長が紫外域の場合、反応は電子励起により進行するので熱反応とは異なる結果を示すことが多い。赤外光、紫外・可視光のいずれも光強度が極端に大きくなると、後述するアブレーション等の物理的現象

により反応が起こるようになり、これらは通常の光化学反応としては理解できないものである。しかしながら、いずれの反応機構においてもレーザー照射により反応や加工を行う際には化合物や材料に、用いるレーザーを吸収する光吸収帯があることが必要である。

レーザーを用いた反応は、(a) 定常光の場合と同じ結果を与えることも多いが、(b) 定常光による光反応の高効率化が起こる場合と、(c) 定常光では起こらない光反応が起こる場合がある。レーザー光強度が強くなるに従い (a) (b) (c) 順に反応が起こりやすくなる（図1）。(b) と (c) とは明確に区別できない場合も多いが、いずれの場合もレーザーの上記特徴 (1)～(4) を効果的に利用することで起こすことができる。主に、(a) (b) は一光子反応、(c) は多光子反応により反応が進行する。(c) の場合で特に光強度が大きくなるとアブレーションという現象が起こり材料の加工に多用されている。これは高強度パルスレーザーを物質に照射すると光吸収によりエネルギーを受けて分解反応を起こし、それにより生じたフ

図1 レーザー強度とレーザー反応様式

図2 アブレーションの概念図

ラグメントが残っている過剰のエネルギーにより表面から爆発的に飛び出し、物質表面に形態変化を起こす現象である（図2）。

4. 染色加工へのレーザーの利用²⁾

光反応では物質が光を吸収することが必要なので、繊維の場合には、(i) 繊維が直接光を吸収する場合、(ii) 繊維に含まれている物質が光を吸収する場合、(iii) 薬剤が光吸収により活性化して繊維と反応する場合がある。

(i) (ii) により繊維を活性化して薬剤で処理する場合と (iii) の場合は、薬剤が繊維と十分に接触することが必要であるが、一般的に活性化された薬剤や繊維の寿命は非常に短いので薬剤が繊維と反応する前に失活しないように注意する必要がある。

繊維へのレーザー利用の多くは未だに研究開発段階で、繊維の機能化と、生産・加工プロセスへの利用が検討されているが、についてのアブレーションによる繊維表面の微細加工と光化学反応による化学修飾に関する研究が主に報告されている。

ここでは広い意味の繊維の染色加工について具体例を挙げるが、繊維や布帛の切断・穿孔、無機繊維、繊維をベースとした基板やコンポジット等については触れない。

4.1 繊維の結晶構造や形状の改変

赤外線レーザー照射による熱可塑性の合成繊維や布帛のヒートセット等の熱処理が行われている。最近では赤外線レーザーによる各種合成繊維の延伸について多数報告されている。パルス状の炭酸ガスレーザー照射による合成繊維への捫れや太細構造の導入、PTFE繊維の分解が行われている。また、各種合成繊維の結晶性や配向性の向上と低減についても検討されている。

4.2 繊維表面の改変

レーザーアブレーションにより繊維の表面形態を変える研究が多く行われているが、その場合、同時に表面の化学的变化を伴う場合が多い。また、アブレーションによる表面形態変化がない場合でも表面の化学構造変化のみを起こすこともできる。これらの表面を別の化合物で処理し、その化合物を繊維表面に固定化することで繊維の物性や性質を変えることができる。

モルホロジー：パルスレーザー照射によるポリエステル、ポリアミド、アラミド繊維等の各種合成繊維の表面モルホロジー変化が最も多く研究されている。図3はKrFエキシマレーザー照射によるPET繊維の表面形態変化で、合成繊維のアブレーションの典型的な例である。その他の例として、ArFエキシマレーザーによるビスコースレーヨンとテンセルのアブレーションや、アブレーションを行ったポリエステル、ポリアミド、ポリウレタンから成る不織布を用いた白血球除去用血液フィルター

図3 KrFエキシマレーザー照射を行ったPET繊維の表面構造。処理条件、レーザー強度：100mJ/cm²・パルス、10パルス、x2000、マーカー：10μm/レピート

の報告もある。

表面特性：紫外線レーザー照射によるポリエステルやアラミド繊維の水の濡れ性やゴムとの接着性の改善、表面摩擦抵抗低減についての報告がある。また、ポリエステル繊維に対する紫外線パルスレーザー照射による繊維表面への紫外線吸収能の付与、赤外線レーザーを用いたポリエステルやアラミドの表面改質、アクリル繊維に対する炭酸ガスレーザー照射による難燃機能付与についても報告されている。

接着性：レーザーアブレーションにより表面に微細構造を形成し、繊維と他の物質との接着性を高めることができる。アラミド繊維とゴム、ポリエステルとゴムや樹脂等のマトリックス、ポリエステル繊維からなる抄紙用網と親水性樹脂の接着性の改善が報告されている。また、可視光半導体レーザーを用いたプラスチックとポリエステル布との異種素材接合も報告されている³⁾。

薬剤処理：ポリエステル繊維に紫外線パルスレーザー照射を行うと無電解メッキができることが報告されている。

4.3 繊維仕上加工プロセスへの応用

漂白：織物の漂白法として、レーザー照射により織物表面の細かいゴミの除去と着色物質の分解を同時に行う方法およびケラチン繊維中のメラニンの分解について報告されている。また、綿布の省エネルギー型ハロゲンフリー光漂白プロセスの開発期間短縮を目的にエキシマレーザーが利用されている。

染色と染色性の改善：複数の染料で染めた毛羽立った繊維の先端をレーザー照射により特定の染料を分解して異なる色にする方法についても検討されている。可視光半導体レーザーを用いたポリエステルのサーモゾル染色・転写染色およびアラミド繊維布のスレン染料と分散染料による染色が報告されている³⁾。

染色性の改善としては、染色性が悪いポリエステルやポリアミド繊維に対する紫外線レーザー照射により染色性が高まることが報告されている。また、染色したポリ

エステル布帛へのエキシマレーザー照射により濃淡柄を形成する方法や、可視・紫外線レーザー照射により染色後の染料と繊維との密着性を高める試みも行われている。

色合い・風合い：紫外線レーザーや赤外線レーザーを用いたアブレーションによる染色後の繊維の風合いや色合い、深色性の改善が試みられている。また、ポリエステルやポリアミドのモノフィラメント表面へのレーザー照射による人工毛髪製造、レーザー照射によるデニムのストーンウォッシュ効果の発現、エキシマレーザー照射によるレーヨンの風合いの改善、ポリエステル繊維物の吸湿性の向上等についても報告されている。

4.4 その他繊維関連プロセスへの応用

その他には紫外線レーザーを利用した廃液処理や樹脂の重合による捺染プリント用スクリーン・ローラーの作成、レーザーを用いた繊維への熱転写プリント、繊維機械等の清掃についても検討されている。最近、可視光半導体レーザーを用いた布の縫製について報告されている^{3, 4)}。また、特殊顔料を練り込み紡糸した繊維にYAGレーザー照射により文字を書き込むマーキングを行い、この糸を衣料品に縫い込んだ偽物防止対策技術も検討されている³⁾。

5. おわりに

繊維の染色加工へのレーザー利用について概説したが未だにその用途は限定されている。本稿では特許記載の応用例が多数あり、なかにはその信頼性が危ぶまれるものも見られたが論文等信頼性の高い文献には見られない広い応用が検討されているので、染色加工へのレーザーの応用としてどのようなものが検討されているかを知る上で参考になると考え敢えて紹介した。

レーザーや光を反応・加工用エネルギー源として用いる技術は熱エネルギーの場合とかなり異なるが、レーザーや光の特徴を効果的に利用することで様々な新技術の開発がされることを期待したい。

参考文献

- 1) 大内秋比古, 染色工業, 49 (2), 58 (2001)
- 2) 大内秋比古, 加工技術, 37 (4), 219 (2002)
- 3) 磯部賢二, 三浦清, 植田浩安, 金子亜由美, 日本学術振興会 繊維・高分子機能加工第120委員会 第017回講演会要旨集, 15 (2005)
- 4) 金子亜由美, 磯部賢二, 三浦清, 植田浩安, 加工技術, 40 (5), 341 (2005)

大内 秋比古 (おおうち あきひこ)

昭和59年, 東北大学理学研究科博士後期課程化学専攻退学。同年, 通商産業省工業技術院化学技術研究所入所, 機構改革を経て現在, 独立行政法人産業技術総合研究所, 主任研究員。その間, ユェリツブルク大学でフンボルト財団研究員, 筑波大学連携大学院助教授, チェコ科学アカデミー付属研究所客員教授, 通商産業省工業技術院に併任し国の研究開発プロジェクトの運営等にかかわる。レーザー化学, 有機光化学, 光反応性材料, 光化学の産業への利用に関する研究に従事し, 平成17年, 光化学協会賞受賞。

繊維産業に携わる方々は日本繊維機械学会の会員に！

日本繊維機械学会は、繊維産業（繊維製造～アパレル～流通）に携わる研究者・技術者の結集体として昭和23年創立以来、58年にわたって産学連携を基調に絶えず活動が続けております。

また、本学会内に設置された研究会（不織布研究会、テクテキスタイル研究会、繊維リサイクル技術研究会、織機研究委員会、染色加工研究会、生物資源繊維研究会、織構造プロジェクト研究会、企業心理と消費者心理研究会、コンポジット研究会、染織品と染織文化財研究会、テキスタイル科学研究会ほか）にもそれぞれの分野の方々が参加されています。

学会活動の活発化や会員の相互啓発は会員が多数であればあるほど、より高まり深くなります。会員各位におかれましてもお知り合いの方でまだ未入会の方がおられましたら、ぜひご入会をおすすめいたしますようお願い致します。