

# レーザー樹脂溶着用の光熱変換効率の高い吸光剤の開発

生活資材開発課 藤牧寛城 ものづくり研究開発センター 山崎茂一、高松周一

## 1. 緒言

レーザー樹脂溶着法は、熱板溶着や超音波溶着と比べて製品へのダメージが低く、製品ごとの型が不必要であり、微細加工が可能であるというメリットを有している。

一般的なレーザー樹脂溶着法はレーザー光を透過する光透過性樹脂と吸光剤を予め練り混ぜた光吸収性樹脂の2種類を重ね合わせて溶着する。光透過性樹脂側からレーザー光を照射し、光吸収性樹脂側で光熱変換が行われ、熔融する。この熱が光透過性樹脂側へ伝播することで両者を熔融させる。その後、樹脂を放熱によって固化させることで樹脂と樹脂を接合させる原理である。

しかし、材料メーカーで添加された吸光剤（主にカーボンブラックが多用される）や配合は様々であるため、樹脂によってレーザー照射条件の検討を行う必要があり、用いる樹脂によって条件が大きく左右されるという問題点がある。そのため、吸光剤を後付けで塗布し、レーザー照射するだけで溶着が可能な手法が望まれている。

そこで本研究では、光熱変換効率が高いことが予想されるアゾ色素を中心骨格とした新たなレーザー溶着用吸光剤を開発することを目的として、樹脂間に塗布したのちにレーザー照射を行うだけで溶着が可能な吸光剤を合成し、吸収波長や塗布条件の最適化を目指した。(Fig. 1)

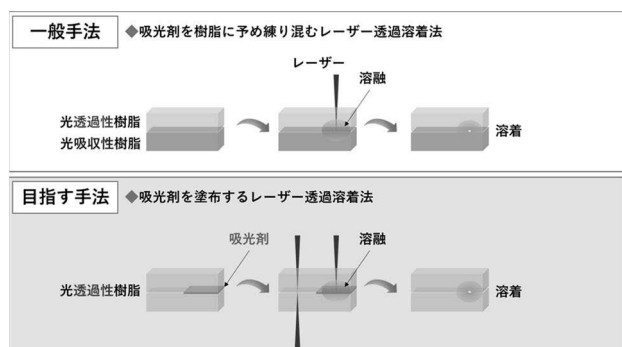


Fig. 1 Laser welding method

## 2. 実験方法

### 2.1 アゾ色素の合成

まず、大気雰囲気下で炭酸カリウム（富士フィルム和光純薬製）を添加した IPA/H<sub>2</sub>O 溶媒中にて *N*-メチルアニリン（東京化成工業社製）に対し、1-ヨードペンタンまたは1-ヨードデカン（東京化成工業社製）を作用させ、炭素鎖の導入を行った。

次に、0°C の DMF 溶媒中で4-アミノ安息香酸（東京化成工業社製）に対し、亜硝酸ナトリウム（東京化成工業社

製）と塩酸を添加し、塩化ベンゼンジアゾニウム塩を生じさせた後、炭素鎖を導入したアニリンを添加し、ジアゾカップリング反応を行った。

最後に、炭酸カリウム（富士フィルム和光純薬製）を添加した DMF 溶媒中で、アゾ体に対して1-ヨードペンタンまたは1-ヨードデカン（東京化成工業社製）を作用させ、エステル化による炭素鎖の導入を行った。

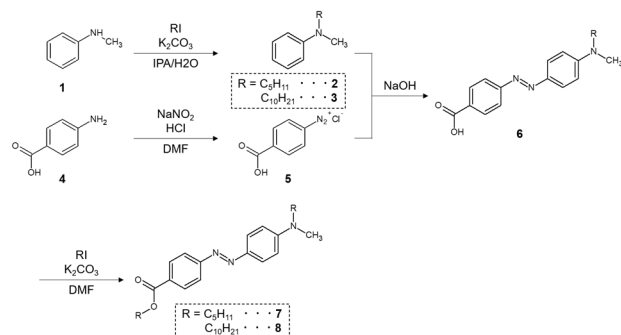
### 2.2 アゾ色素の分析

合成したアゾ色素は核磁気共鳴装置（NMR）（日本電子製、JNM-ECS400）を用いて構造決定し、分光光度計（島津製作所製、UV-2450）を用いて、吸光度の測定を行った。

## 3. 実験結果および考察

アゾ色素は導入する置換基によって、吸収波長が変化することが知られている。本研究では、用いるレーザー加工機のレーザー波長である445 nm に吸収帯を有するように置換基の導入を行った。また、光熱変換効率を比較する目的で、長さの異なる炭素鎖を導入した。(Scheme 1)

*N*-メチルアニリン (1) に対し、塩基性条件下で1-ヨードペンタンおよび1-ヨードデカンを作用させ、化合物2、3を得た。酸性条件下で4-アミノ安息香酸 (4) に亜硝酸ナトリウムを反応させ、ジアゾニウム塩5を生じさせた後、化合物2、3を添加することで、ジアゾカップリング体6を得た。最後に、ジアゾカップリング体6のカルボン酸部位に1-ヨードペンタンおよび1-ヨードデカンを作用させ、炭素鎖を導入し、化合物7および8を得た。



Scheme 1 Synthesis of the azo dye

続いて、合成した色素がレーザー加工機のレーザー波長445 nm に吸収帯を有することを確認する目的で、吸光度測定を行った。さらに、炭素鎖長の違いによる吸光度の変化を調査するため、炭素鎖を導入していない化合物9も合成し、色素7、8と比較した。

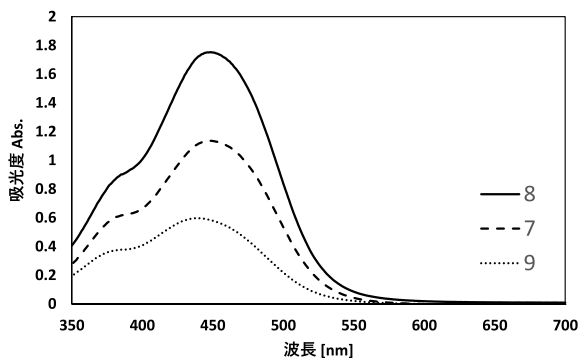


Fig. 2 Absorbance of compounds 7,8,9

合成した化合物はそれぞれ 445 nm 付近に極大吸収波長を有することが確認され、目的のレーザー波長と一致させることができた。また、吸光度に着目すると、炭素鎖が長いほど吸光度が増加していることがわかる。(Fig. 2)

次に、合成した吸光剤 7、8、9 にレーザーを照射した際の温度を測定した。ポリプロピレン樹脂上に吸光剤を塗布し、低出力に設定したレーザーを 1 点に照射し続け、レーザー照射開始から 20 秒後の樹脂表面の温度を赤外線サーモグラフィカメラで撮影した。その結果、化合物 7 が最も高く発熱することが示された。この結果から、炭素鎖長が長いほど光熱変換効率が高いわけではなく、適切な長さが存在することが示唆された。

レーザー溶着時の吸光剤塗布条件の検討を行った。実験には、最も高く発熱することが示唆された化合物 7 を用いた。まず、吸光剤を固体状態で溶着する方法(方法①)と有機溶媒に溶解させた液体状態で溶着する方法(方法②)の 2 種類を試した。しかし、レーザー強度や走査時間を検討しても方法①、②ともに溶着はできなかった。方法①では樹脂間に固体を挟んでいることによって樹脂同士の密着性が低下し、熱伝導が生じにくくなったことが原因だと考えられる。また、方法②では、レーザー照射によって生じた熱により有機溶媒が揮発し、吸光剤が固体に

変化したため、方法①と同様の原因で溶着できなかったと考えられた。(Fig. 3)

そこで、有機溶媒に溶解させるのではなく、流動パラフィンに色素を溶解させて吸光剤とする方法③を思案した。

流動パラフィン沸点 300°C 以上のため、揮発しない。また、有機溶媒と異なり粘性があるため、樹脂上に塗布した際に溶着部位のみに留まらせることができると考えた。

実際に、方法③でレーザー強度や走査時間を検討しつつ溶着を行ったところ、PMMA 樹脂同士の溶着に成功した。同様の方法で、ポリプロピレン樹脂同士でも溶着が可能なが確認できたことから、レーザー光を透過する樹脂であれば本手法が適用可能であると期待される。

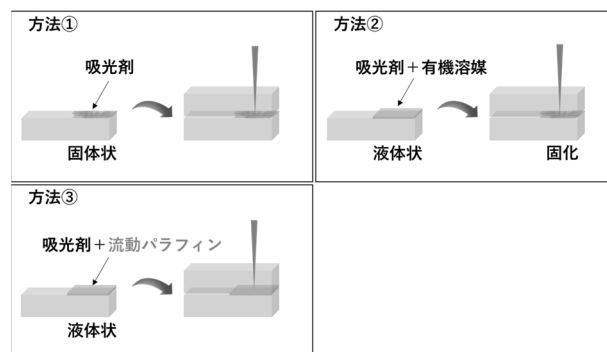


Fig. 3 Method of applying absorber

#### 4. 結言

樹脂間に塗布し、レーザー照射を行うだけで溶着が可能な光熱変換効率の高い吸光剤の開発を目指し、化合物の合成、光吸収特性の測定、レーザー照射時の温度測定、塗布条件の検討を行い、合成した吸光剤でレーザー溶着が可能であることを示した。また、長さの異なる炭素鎖の導入により、高い光熱変換効率を得るためには適切な長さが必要であることが示唆された。

#### 参考文献

- 1) 山下達人:精密工学会誌, **84** (2018) pp. 423-426

キーワード：レーザー樹脂溶着、吸光剤、光熱変換、アゾ色素

### Development of high photothermal conversion efficiency laser-ray absorber designed for resin welding

Life Materials Development Section; Hiroki FUJIMAKI,

Monozukuri Research and Development Center; Shigekazu YAMAZAKI, Shuichi TAKAMATSU

The laser welding method for resin has some problems that the conditions are greatly influenced by the resin used. In this study, we aimed to develop a new laser-ray absorber. The azo compounds which is expected to have high photothermal conversion efficiency were designed, and it was expected that the introduction of carbon chains would improve the photothermal conversion efficiency.