

透明プラスチック COP のレーザー溶着

光科 小松 剛* 鷺坂芳弘 植田浩安
鈴木電機工業株式会社 柳沢 靖 松浦康典

Laser welding of transparent plastic COP

KOMATSU Takeshi, SAGISAKA Yoshihiro, UETA Hiroyasu, YANAGISAWA Yasushi
and MATSUURA Yasunori

Laser welding is one of the methods for joining materials, and near-infrared (NIR) lasers with a wavelength of around 1 μm are widely used for plastics. However, transparent plastics hardly absorb rays with a wavelength of around 1 μm , so that some preprocess to enhance absorption, e.g. NIR absorbing coatings or surface roughening, are required. Recently, a Tm fiber laser with a wavelength of around 2 μm , which many kinds of transparent plastics moderately absorb, has been put to practical use for material processing. We applied the Tm fiber laser to an operation welding together two plates of Cyclo Olefin Polymer (COP), which is classified into a super-engineering-plastic and is hard to glue together, and confirmed the successful joining. In contrast, the welding between a COP plate and other transparent plastic plates (polymethyl methacrylate, polyvinyl chloride and polycarbonate) did not succeed. An analysis of the experimental results showed that faster laser scanning speed could reduce the required heat input per unit area, whereas higher laser power was required. In the case of joining together 3 mm thick COPs, more than 2 J/mm² of heat input is required, so that 5 mm/s of scanning speed and 30 W of laser power are to be standard conditions for stable welding.

Keywords : Transparent plastic, COP, Laser welding, 2 μm
キーワード : 透明プラスチック、COP、レーザー溶着、2 μm

1 はじめに

自動車部品、光学部品、医療用器具等の材料で使われてきたガラスが、透明プラスチックに切り替わってきている。透明プラスチックの透明性・耐熱性・耐薬品性が向上してきたことで、コスト・使いやすさ・軽量性・成形加工性・耐衝撃性のメリットを活かすことができるようになったことが背景にある。

プラスチックの接合方法のひとつにレーザー溶着があり、特に自動車部品の分野において、コストダウンや車両軽量化に役立っている¹⁾。また、化学反応の危険がある接着剤を使用しないこと、プラスチックの表面を傷つけずバリや粉塵の発生が少ないこと等の利点により、医療分野でも広範な普及が期待されている。

しかし、高出力レーザーとして一般的な YAG レーザーや半導体レーザー等の近赤外光(波長1 μm 前後)は、透明プラスチックを透過してしまうため溶着は簡単で

はない。溶着させるためには、接合面に光吸収剤を塗布したり、接合面を機械的に粗したりする等の前処理が必要となっていた²⁾。

近年、実用化された波長2 μm 帯のツリウム (Tm) レーザーの光は、透明プラスチックでも適度な吸収があるため、前処理なしでも透明プラスチック同士の溶着が可能である³⁾。

シクロオレフィンポリマー (COP) は、透明プラスチックの中でも特に、高透明性、低光学歪み、低吸湿変形、耐熱性、成形加工性に優れた材料で、光学部品や医療部品に広く利用されているが、接着剤での接合が難しい材料でもある⁴⁾。

本報では、付加価値の高いスーパーエンジニアリングプラスチックに分類される COP のレーザー溶着の接合条件について報告する。

* 現 工業技術研究所 ユニバーサルデザイン科

2 方法

2.1 透明プラスチックの吸収率測定

COPの光吸収率を調べるために、自記分光光度計(UV-3150 島津製作所)を使用して、波長0.4～2.2 μm の光学特性(透過率と反射率)を測定した。比較用の透明プラスチックとして、同じ非結晶性の熱可塑性プラスチックに分類されるアクリル(PMMA)、塩化ビニール(PVC)、ポリカーボネート(PC)の測定も行った。それぞれ厚さ3mmの板材を使用した。

2.2 溶着(接合適合性)

波長1.94 μm 、最大出力120WのTmファイバーレーザー装置(Lavertex SV-120F:鈴木電機工業製)(写真1)を使用して、透明プラスチック同士の重ね溶着を試みた。レーザー溶着の実験系を写真2に示す。レー



写真1 Tmファイバーレーザー装置

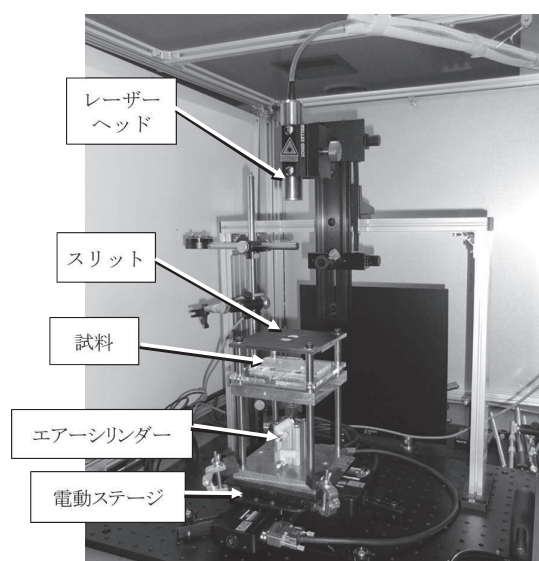


写真2 レーザー溶着の実験系

ザーヘッドを固定して、重ねた試料の板面垂直方向から、平行光のレーザーを照射して、試料を電動ステージで走査することで、直線状に溶着した試験片を作製した。

2枚の試料は、間に隙間ができないように、エアシリンダーにより0.4MPaで加圧して密着させた。スリット(2mm×22mm)に通してレーザー照射することで、照射エリアが一定になるようにした。

走査速度は2～5mm/s、レーザーパワーは10～15Wの範囲で実験を行い、PMMA、PVC、PC、COPの材料で、2種類の組み合わせによるそれぞれの溶着適合性を調査した。

2.3 レーザー照射条件と溶着強度

COP同士の溶着について、1～10mm/sの走査速度において、溶着可能なレーザーパワーを調査した。幅2mmのスリットを透過後のレーザーパワーは、通過前と比較して約44%に減衰したので、実際に入射されるパワーの範囲を2～52Wで1Wずつ可変しながら実験をした。

また、重ね合わせ溶着した試験片を用いて、せん断試験を行い溶着強度を評価した。

3 結果および考察

3.1 透明プラスチックの吸収率測定

各プラスチック(板厚3mm)について、測定した透過率と反射率から算出した吸収率を図1に示す。PMMAとPCの吸収率は、ほぼ同じ特性であり、PVCとCOPはそれらとは違う特性を持っていた。

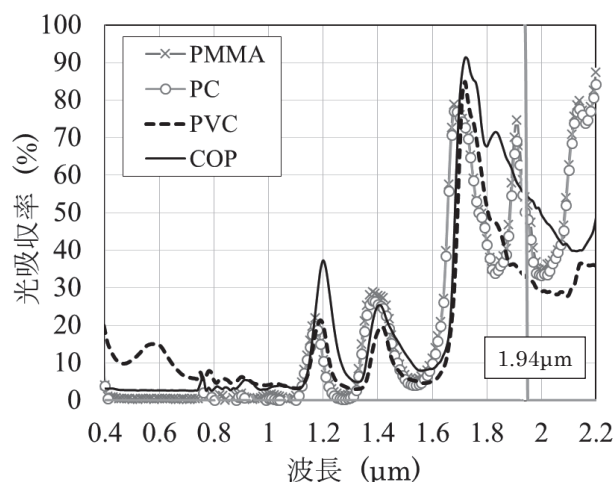


図1 透明プラスチックの光吸収率

波長 1.94 μm の光吸収率を表1に示す。半導体レーザーや YAG レーザーの波長1 μm 帯の光吸収率は、表のすべてのプラスチックで 5%以下であるのに対し、Tm レーザーの波長2 μm 帯の光吸収率は、PMMA 54.3%、PC 50.1%、PVC 33.0%、COP 55.3% であり、透明プラスチック内部でも光エネルギーが吸収されて発熱できることを確認できた。

表1 レーザー光（1 μm 帯と2 μm 帯）の光吸収率

レーザーの種類（波長）	光吸収率（%）			
	PMMA	PVC	PC	COP
半導体レーザー（0.808 μm ）	0.0	4.7	0.0	3.7
半導体レーザー（0.940 μm ）	0.4	4.8	0.0	4.8
YAGレーザー（1.064 μm ）	0.5	4.0	0.0	3.7
Tmレーザー（1.94 μm ）	54.3	33.0	50.1	55.3

3.2 溶着（接合適合性）

試験片の形状を写真3に示す。プラスチック内部での発熱が適切となる条件でレーザーを照射すると、溶着部はきれいな状態で強固に接合できた。2種類の透明プラスチック同士の組み合わせによる溶着適合性を調査した結果を表2に示す。同種材料同士の場合は、接合界面付近で溶融させることができるので比較的溶着しやすいが、異種材料の場合は、溶融しやすさが違

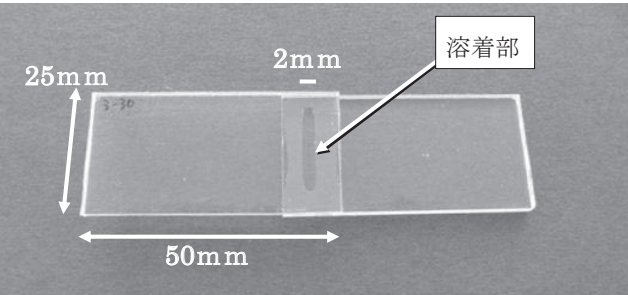


写真3 試験片の形状

表2 透明プラスチック同士の溶着適合性

	PMMA	PVC	PC	COP
PMMA	◎			
PVC	○	◎		
PC	○	○	◎	
COP	×	×	×	◎

◎:最適, ○:適, ×:不可

うため、溶着する組み合わせと、しない組み合わせがあった。PMMA、PVC、PC は、お互いに溶着が可能だが、COP は同一素材同士でないと溶着が難しいことが分かった。

COP の2 μm 帯の光吸収率は 55%以上あり、他の透明プラスチックと比較しても十分な大きさである。溶融温度は、COP が 100 ～ 163℃であるのに対して、PMMA は 90 ～ 105℃、PVC は 75 ～ 105℃、PC は 150℃である^{4,5)}。COP の溶融温度は、PMMA と PVC と比較すると高めだが、同程度の PC が、PMMA と PVC と溶着したことから、結晶化度や化学反応のしやすさの違いが、溶着の可否に関係していると考えられる。

3.3 レーザー照射条件と溶着強度

溶着条件として、走査速度とレーザーパワーの関係で、溶着可能な領域を図2に示す。簡単に剥がれず、気泡が発生していない条件の範囲を溶着可能領域とした。例えば走査速度2mm/s の場合、レーザーパワーが 10W から溶着でき、24W では溶着部分に気泡が発生し始めた（写真4）。レーザーパワーが少ないと試料同士の界面まで加熱することができないため接合せず、多すぎると溶融部に光学歪や気泡が発生して外観を損ねる。また気泡が大量に発生してしまうと、接合強度も低下していく⁶⁾。

同じ走査速度の場合、溶着可領域でも、レーザーパワーは大きい条件のほうが強度は得やすい。ただしレーザーパワーが大きく気泡が発生する直前の条件では、光学歪が発生するため、実際には中間付近のパワーが適していると考えられる。

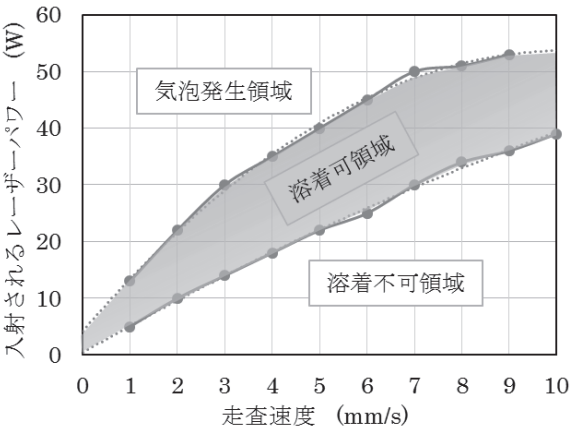


図2 溶着条件（走査速度とレーザーパワー）

レーザーパワーを、溶着速度とスポット径で割ることで、単位面積あたりの入熱量を求めることができる。縦

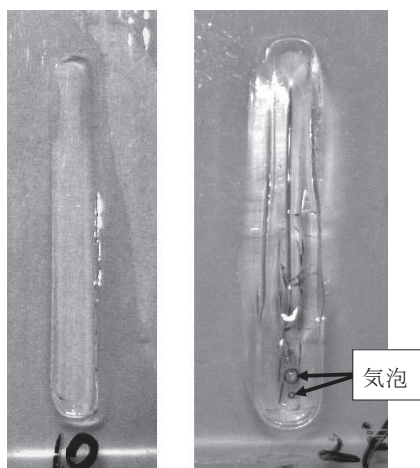


写真4 溶着部の様子 (走査速度：2mm/s)
(レーザーパワー：10Wと24W)

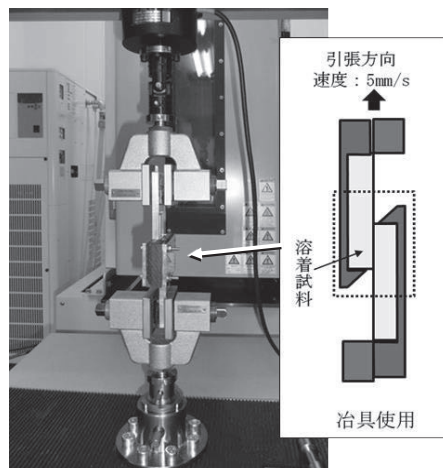


写真5 材料強度試験の様子

軸を、入熱量に変換したグラフを図3に示す。図2と図3から、溶着条件として、走査速度を速くするほど、大きなレーザーパワーが必要になるが、単位面積あたりの入熱量は少なくてよいことが確認できる。板厚3mm 同士の溶着に必要な入熱量は、最低2J/mm² 程度であった。走査速度が遅くなるに従い、溶着以外で消費されているエネルギーが多くなるため、それ以上の入熱量が必要になっている。

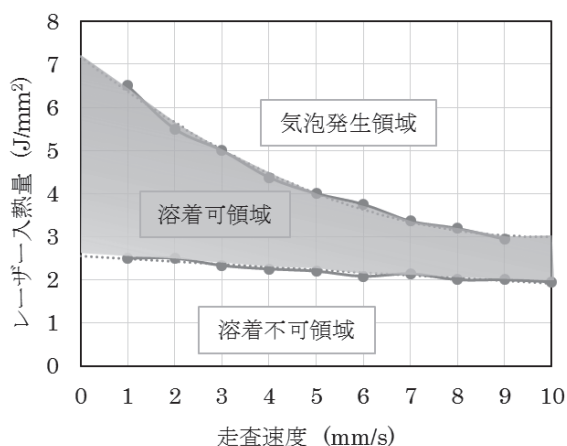


図3 溶着条件 (走査速度と入熱量)

重ね合わせ溶着した試料について、材料強度試験機 AUTOGRAPH AG-XPlus 50kN(島津製作所製) (写真5) を使用して引張試験を行った。破断した試験力と、破断面の光学顕微鏡像から推定した溶着面積から、せん断強度を算出した。

例として、表3の溶着条件①、②、③ (N=5) で作製した試料のせん断強度を評価する。この3条件は、走査速度が3、5、8 mm/s における溶着可能領域で、

表3 せん断強度試験用試料の溶着条件 (N=5)

条件	①	②	③
走査速度 (mm/s)	3	5	8
出力 (W)	20	30	40
入熱量 (J/mm ²)	3.3	3.0	2.5

レーザーパワーの中間付近になる 20、30、40W を選んだ。それぞれ、入熱量としては 3.3、3.0、2.5 J/mm² となる。外観的にはすべて同等に綺麗に溶着できていた。

せん断強さの試験結果を図4に示す。強度試験の平均値はそれぞれ 48、47、66MPa だった。素材強度の測定値 62MPa と比較して、すべて 75% 以上であり十分な接合強度だと言える。条件③の試料は、条件①、②よりも入熱量は少ないにもかかわらず接合強度は強く、素材以上の強度になる溶着もあった。

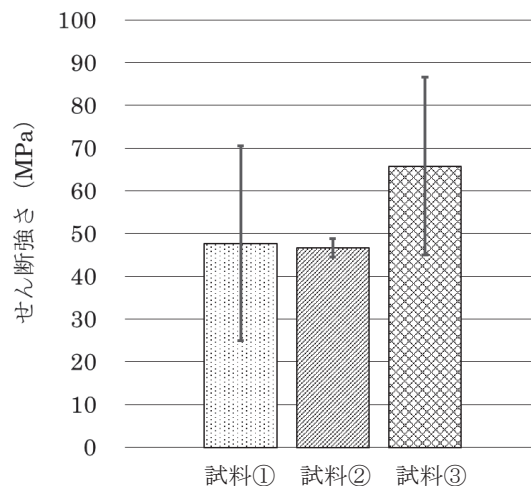


図4 溶着条件とせん断強度

試料によるばらつきを見ると、条件①、③は大きい
が、条件②は小さかった。安定した溶着には、適切な
速度があることが分かった。

4 まとめ

透明プラスチックの COP は、高透明性、低光学歪
み、低吸湿変形、耐熱性、成形加工性において、特
に優れた材料であり、光学部品や医療部品に広く利用
されている。接着剤で接合しにくい材料であるため、
レーザー溶着に期待が大きい。

波長 $2\mu\text{m}$ 帯の光吸収率が適度に高いため、この波
長の T_m レーザーを使用すれば、COP 同士を比較的
簡単に強固な溶着することが可能である。ただし、溶
融温度が高めであり、化学的に安定した材料であるこ
とから、異種の透明プラスチックと溶着することは難しい。

溶着条件として、走査速度を速くするほど、大きな
レーザーパワーが必要になるが、単位面積あたりの入
熱量は少なくてもよく、板厚 3mm 同士の溶着に最低必要
な入熱量は $2\text{J}/\text{mm}^2$ 程度であった。安定した溶着を行
うためには、適切な走査速度とレーザーパワーの組み

合わせが必要であり、走査速度 $5\text{mm}/\text{s}$ 、レーザーパ
ワー 30W の条件がひとつの目安になる。

参考文献

- 1) 山下達人：樹脂と樹脂のレーザー接合技術．精密
工学会誌 84(5)，423-426(2018)．
- 2) 早川伸哉：金属と樹脂のレーザ接合における表面
処理と接合強度．表面技術 67(12)，pp.649-
653(2016)．
- 3) 山下清光： $2\mu\text{m}$ レーザーによる透明プラスチックの
溶着事例．静岡県工業技術研究所研究報告 11，
111-116(2017)．
- 4) 桑嶋健一：光学用透明プラスチックの製品開発プ
ロセスとマネジメント—日本ゼノン「ゼオネックス」—．
赤門マネジメント・レビュー 4，9，459-478(2005)．
- 5) 山口章三郎：新版 プラスチック材料選択のポイント
第2版，pp.437-441(2003)．
- 6) 中野雅晴 他：屈折率分布による透明樹脂製品の
品質評価．静岡県工業技術研究所研究報告 10，69-
70(2018)．