

< 2 > 新規産業開発研究

< 2 - b > 地域産業育成探索 / 実証研究

テーマリーダー：静岡県浜松工業技術センター 磯部賢二

半導体レーザーを応用した繊維加工技術の開発

小テーマ：加工 レーザーミシン縫製技術の開発

研究従事者：静岡県浜松工業技術センター 金子亜由美 磯部賢二 三浦清 植田浩安

(1) 研究の概要

本研究は小テーマ「レーザー染色加工技術の開発」と同じく地域の伝統産業である繊維産業の活性化のために、レーザーを応用した縫製技術を開発することを目標に進められた。プラスチックのレーザー溶着技術をベースに、幅 1mm のシート状接着剤を 2 枚の綿布の間に挟み、布の上からレーザーを照射して接着剤を溶融し接着縫製する方式で実験した。最適接着剤およびレーザー吸収剤を選定し、レーザー出力、加圧力等、照射条件の最適化を検討した。

その結果、接着強度は超音波ミシンを使用した場合よりも大きい強度が得られた。糸縫いと比べると 2/3 の強度であった。

次に、糸では縫製が困難なプラスチック材料と布の接合実験を実施した。加圧しながらレーザーを照射させる実験装置を試作して検討した結果、布とプラスチックを接合させることが可能となった。

(2) 研究の進め方

① 吸収剤の選定

①-1. 装置および試料調製

接着剤は近赤外領域の吸収が低く、レーザーでの加工が困難である。ホットメルト接着剤に近赤外吸収剤（以下吸収剤）を塗布して、レーザーで溶融可能な接着剤を調製した。接合試験にはファイバ型半導体レーザー（808nm、100W、ファイバ径 600 μ m）を用い、綿布はかなきん 3 号を使用した。

接着剤はバイロン GM-900（東洋紡製）を厚さ 170 μ m シートに加工して利用した。吸収剤は CY-10、CY-17、CY-20B、CY-30B、CY-30T（日本化薬製）を検討した。吸収剤を 100、250、500、800、1000mg/l のエタノール溶液に調整し、接着剤に吸収剤溶液を片面 50ml/m² ずつ両面に塗布して、10、25、50、80、100mg/m² の吸収剤を添加した接着剤（以下接着剤シート）を作製した。

①-2. 接着試験及び強度試験

接着剤シート（吸収剤塗布量 25mg/m²）を幅 1mm のテープ状に裁断し、綿接着用接着剤とした。綿布に接着剤をはさみ、レーザーを照射して、綿布を接着した。レンズから接着剤シートまでの距離は約 50mm、レーザー出力は 20-100W の 9 段階で、布の移動速度は 75mm/秒とした。押さえはレーザー照射部から 90mm の位置にローラーを設置し、その自重で加圧される機構とした。圧力は 0.35MPa となった。また、超音波ミシンにより吸収剤無添加の接着剤で綿布を接着し、強度試験の比較試料とした。

接着品を 10mm 幅に切断し、つかみ具間距離 40mm、初荷重をかけず引張速度 300mm/分ではく離させ、最大荷重を測定した。

接着剤シートの 810nm での吸光度を図 1 に示す。吸収剤を塗布しない状態では吸光度は 0.2 と低いが、吸収剤を塗布することでレーザーの波長付近での吸光度が大きくなった。元の接着剤は白色であったが、吸収剤を塗布することで緑になった。

接着剤シートにレーザーを照射した結果、接着剤が溶融し、接着剤シートの色が緑から赤へ変化した。CY-10 を塗布した接着剤のレーザー照射前後の吸収スペクトルを図 2 に示す。808nm 付近での吸収が減少して吸収剤が分解していることがわかる。しかし、レーザー照射後の接着剤シートと元の接着剤との差スペクトル（図 3）では、どの吸収剤も分解後に可視領域での吸収が残り、吸収剤分解物が接着剤シート着色の原因となっている。

レーザー照射後に接着剤シートが着色していると綿布を接着した場合、布を通して接着剤シートの色が見えてしまう。接着剤シートのレーザー照射後の吸収は吸収剤添加量が少ないほど小さくなると予想されるため、レーザー照射前には 810nm 付近での吸光度がより大きい吸収剤が望ましい。また同

じ添加量であっても、照射後の可視域での吸光度が小さい吸収剤を選ぶ必要がある。

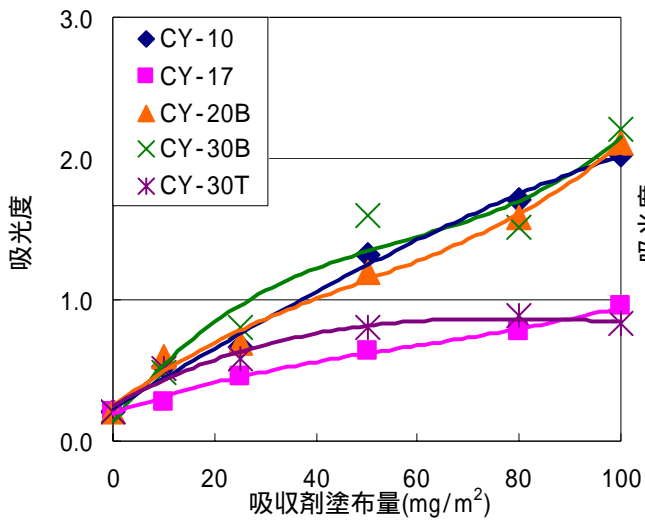


図1 吸収剤を塗布した接着剤の810nmでの吸光度

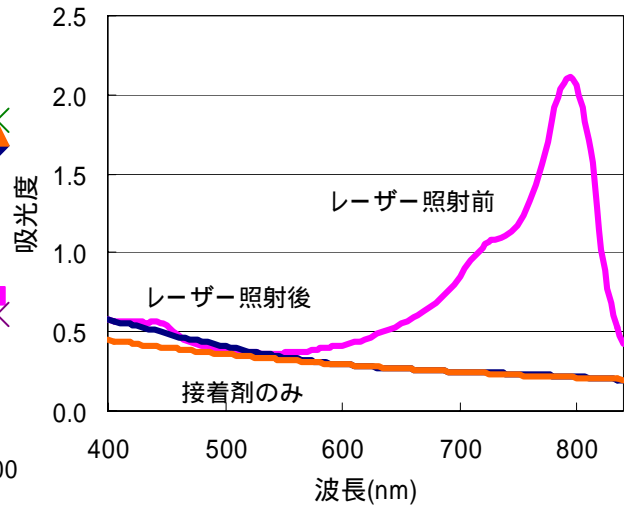


図2 CY-10を塗布した接着剤の吸光度

①-3. 接着品の強度試験

接着品のはく離試験の結果を図4に示す。レーザー出力の増加に従って強度が増す傾向が見られた。接着品の強度は最大で5N/cmとなり、超音波マシンでの接着品の3分の1となった。

超音波マシンでは接着時の締付け圧は10MPa以上あるが、レーザーでの接着時は0.35MPaで圧力不足と思われた。また、超音波マシンでは加熱部分と加圧部分は同位置であるのに対し、レーザーでの接着では90mmのずれがあり、加熱から加圧までに1.2秒の時間差があった。この間に接着剤の温度が低下するため接着不良の一因と考えられる。また、接着剤の温度上昇にはレーザー出力だけでなく吸収剤の添加量も関係する。実際の接着剤温度を測定することは困難なため、押さえ位置の改良や吸収剤の種類や添加量の検討により、接着強度を改善する課題が残された。

②接着試験

前の取り組みで課題であった接着強度を改善するため、加圧機構を改良し、レーザー照射条件や吸収剤の種類や量を最適化することで接着強度の向上を目指した。

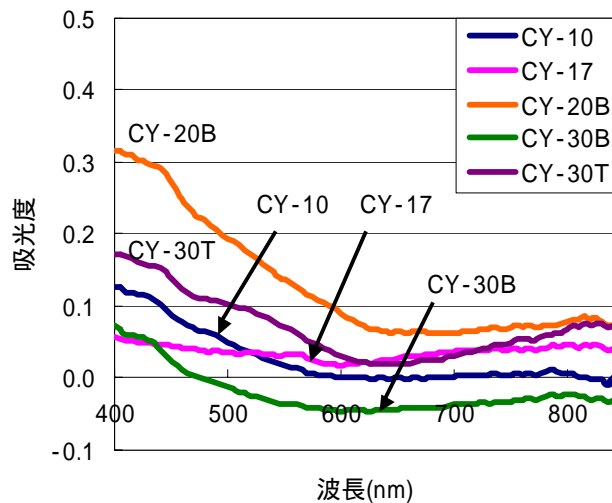


図3 レーザー照射後と接着剤との差スペクトル

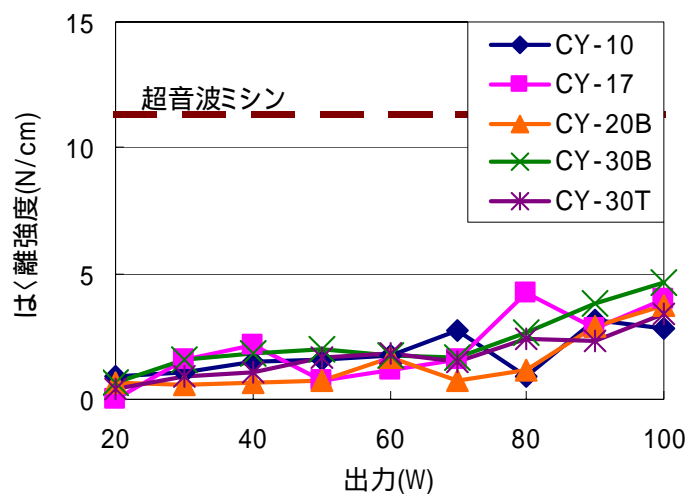


図4 接着試料の強度 (吸収剤25mg/m²)

②-1. 実験方法

超音波ミシンの加圧機構を参考として、ローラーをバネで加圧する加圧装置（図5）を作製した。ローラーを小型にして2つ設置し、レーザー照射部に、より近く2段階で加圧できる構成とし、圧力は装置上部のねじでばねの圧縮量を変えることにより可変とした。この加圧装置とレーザー照射部とを枠に固定して、XY ステージに組み込み接着機構（図6）とした。

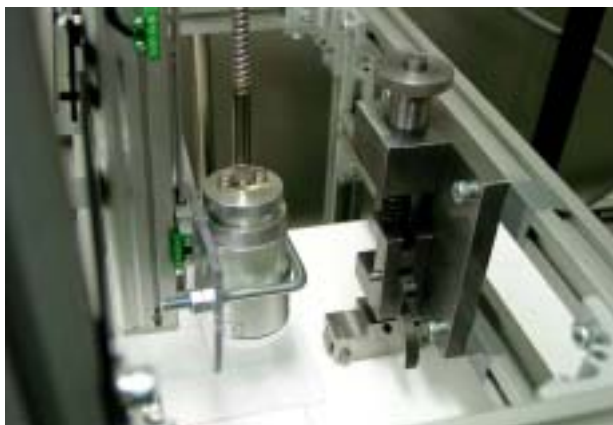


図5 加圧装置とレーザー照射部



図6 接着機構

②-2. 接着剤の調製

吸収剤（表1）はエタノールに溶かし、250、500、1000mg/Lの溶液とした。今回は新たにフタロシアン系も検討した。接着剤シートの調整法は前回と同様である。

表1 接着に使用した近赤外吸収剤

種類	名前	製造者
シアニン	KAYASORB CY-10	日本化薬(株)
シアニン	KAYASORB CY-17	日本化薬(株)
シアニン	KAYASORB CY-20B	日本化薬(株)
シアニン	KAYASORB CY-30B	日本化薬(株)
シアニン	KAYASORB CY-30T	日本化薬(株)
フタロシアン	EXcolor MX-EX-851S	日本触媒(株)
フタロシアン	EXcolor MX-EX-851SS	日本触媒(株)
フタロシアン	EXcolor MX-EX-852S	日本触媒(株)
フタロシアン	EXcolor MX-EX-852SS	日本触媒(株)

接着剤シートのレーザー光の吸収性能を調べるため、使用するレーザーの波長である 808nm での、接着剤シートの反射率と透過率を紫外可視近赤外分光光度計（株島津製作所：UV-3150）で測定し、以下の式から接着剤の吸収率を算出した。

$$(\text{吸収率}) = 100 - (\text{反射率}) - (\text{透過率})$$

②-3. 接着試験

接着試験の概要を図7に示す。縦 50mm、横 80mm の綿布で接着剤シートを布の中央、布の横方向に平行になるようにはさみ、ステージを動かした時のレーザー照射位置を接着剤シート上に合わせて、

布をXYステージ上に固定した。レーザーの焦点は接着剤に合わせた。レーザーを照射しながらステージを移動させて綿布を接着した。レーザー出力は40、60、80Wとし、布の移動速度は75mm/秒に固定した。加圧は加圧機構の上部ねじで調整し、図5の加圧調節ねじを5、8、10mmに調整することで、3段階に変化させた。

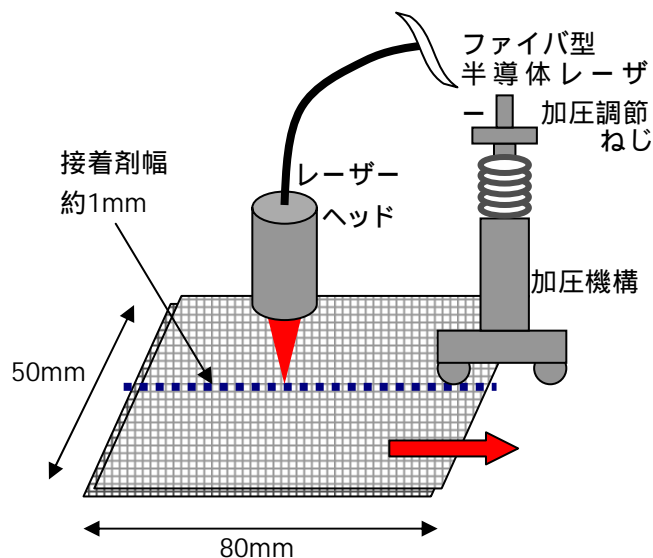


図7 接着試験概要図

②-4. 強度試験

接着した綿布を10mm幅に裁断し、強度試験の試料とした。強度試験は万能材料試験機(株島津製作所: AUTOGRAPH)ではく離、せん断の引張りを行い、破断するまでの最大荷重を測定し、3回の測定の平均を実験値とした。

②-5. 実験結果

・加圧機構の改良

レーザー照射部(加熱部)と2つのローラーの距離はそれぞれ45、85mmで、布の移動速度が75mm/秒なので、レーザーで加熱された接着剤は溶融してから0.6秒後と1.1秒後に加圧されることになった。また、圧力を感圧紙で測定したところ、ローラーの圧力はバネの調整によって0.75MPaから4.5MPa程度まで変えることができた。

・接着剤の作製

吸収剤を塗布した接着剤はシアニン系では緑色に、フタロシアニン系では紫色に着色した。溶液濃度が濃くなると乾燥時に塗布むらができやすくなった。

各接着剤シートの808nmでの吸収率を図8に示す。いずれの接着剤も吸収剤塗布量が多くなると、吸収率が高くなった。シアニン系吸収剤を塗布した接着剤のほうが、フタロシアニン系の吸収剤のものよりも吸収率が高かった。接着試料は、接着部分がシアニン系では橙から赤、フタロシアニン系では紫に着色していた。フタロシアニン系吸収剤を使用したときには、上の布が茶色に変色する試料があった。

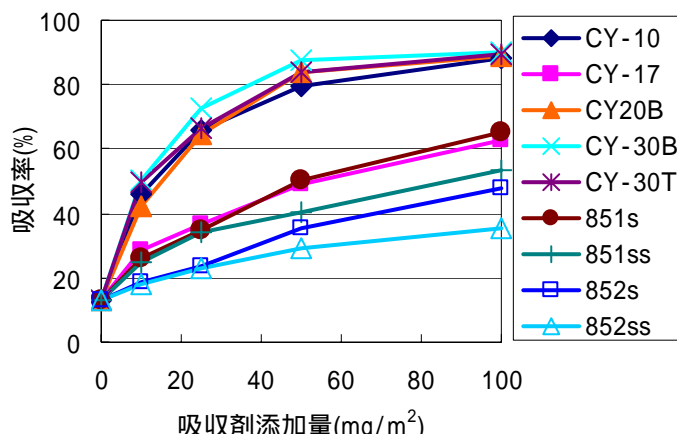


図8 吸収剤を塗布した接着剤の吸収率

・強度試験

接着した布をはく離させた時の最大荷重と接着剤シートの吸収率の関係を図9に示す。加圧は加圧調節ねじの押し込み量を10mmに調整して、一定の加圧条件とした。レーザー出力40Wでは、吸収率が大きくなるほど強度が増す傾向が見られ、60Wでは吸収率が30%までは強度が高くなるが、それ以上の吸収率では約25N/10mmとなった。80Wでは60Wと同等の強度があったが、吸収率が高い接着剤では強度の低下も見られた。せん断引張での強度とレーザー出力、接着剤の吸収率との関係は、はく離と同様の傾向を示し、レーザー出力60W、接着剤の吸収率30%以上での強度は約60N/10mmとなった。

レーザー出力を60Wで固定し、加圧力を変化させたときの強度の変化を図10に示す。加圧力による強度の変化はほとんど見られなかった。

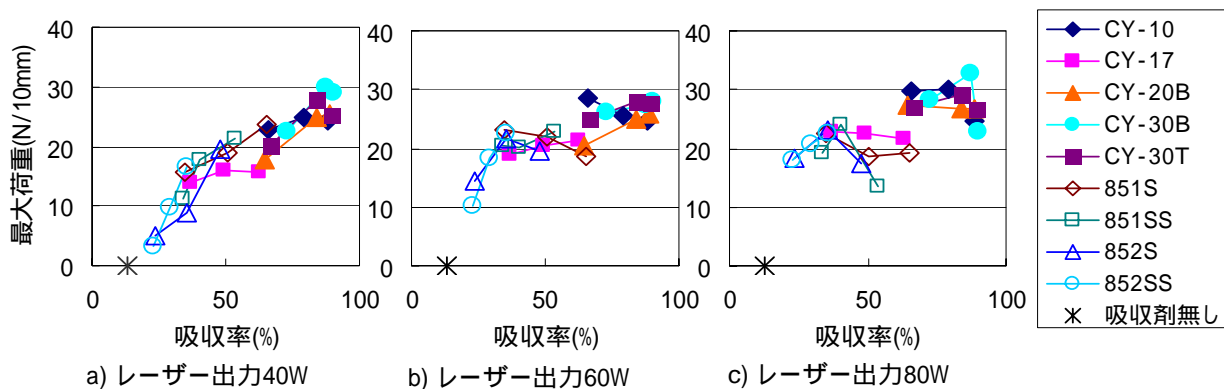


図9 接着剤の吸収率と最大荷重

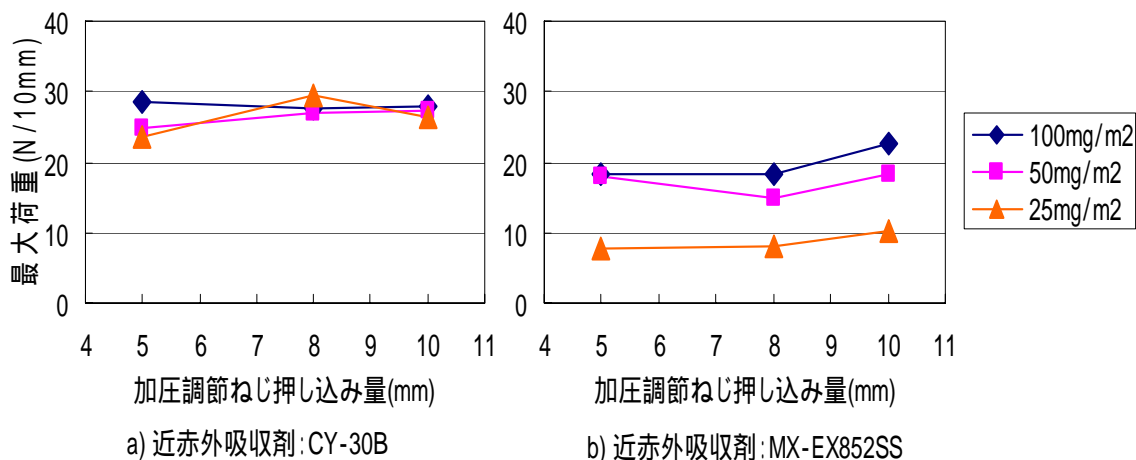


図10 加圧と最大荷重

③布とプラスチックの接合

自動車産業を中心に樹脂レーザー溶着法の実用化が進められている。樹脂レーザー溶着法では針を使用しないことから、従来のマシンでは接合の難しい布とプラスチックの接合に利用できるか検討した。レーザー光でプラスチックを熔融させて接合するため、接着剤を使用することがなく、製品の耐熱性の向上やVOC（揮発性有機化合物）の軽減が図られることが期待される。

③-1. 実験方法

集光レンズを組み込んだ加圧治具をシリンダーで昇降させることで、レーザー照射と同時に加圧できる装置(図11)を作製した。レーザーには、ファイバ出力型半導体レーザー)を使用し、加圧部でのビーム径は約4.5mmに設定した。加圧部は直径5.5mmの石英ガラスで、加圧力は3kgfとした。プラスチック板にポリエステル標準白布を重ねて、加圧しながら3mm間隔で4点にレーザーを照射した。

プラスチック板として幅20mm、厚さ2mmのポリプロピレン(以下PP)とABS樹脂(以下ABS)を使用した。プラスチック板の吸光係数を表2に示す。

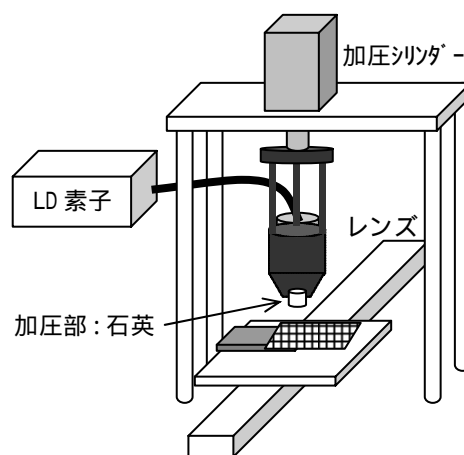


図11 試験装置概要図

表2 プラスチック板の吸光係数

材質	吸光係数(mm ⁻¹)
PP	4、5、9
ABS	4、9

プラスチック（吸光係数 4mm⁻¹）とポリエステル布の接合試験を行い、レーザーの出力と照射時間が接合強度に与える影響を調べた。また、吸光係数と接合強度の関係を調べるため、レーザー照射時間 0.4 秒として、吸光係数の異なるプラスチック板について接合試験を行った。

強度試験は、同一条件で接合した3つの接合試料について 300mm/min で引張り、そのときの最大荷重の平均値を接合強度とした。

③-2. 結果

PP または ABS とポリエステル布との接合強度に及ぼすレーザー照射時間の影響を図 12 に示す。PP ではポリエステル布が溶融し始める出力で最も接合強度が高くなり、それ以上の出力では低下した。ABS ではポリエステル布の溶融につれて接合強度の上昇は緩やかになったが、低下は見られなかった。PP、ABS ともに、0.1 秒の照射時間でもレーザー出力が 20W あれば接合できることが確認できた。

PP、ABS の各吸光係数での強度試験結果を図 13 に示す。いずれのプラスチックについても、吸光係数が大きいほど同じレーザー出力でも強度が上がる傾向にあり、光の吸収効率がプラスチックの表面温度の上昇に影響していると推察される。PP では吸光係数が低いほど接合強度の最大値が大きくなった。一方、ABS では吸光係数による接合強度の最大値の違いはなかった。

ABS とポリエステル布の溶着では、吸収係数や照射時間によって接合強度の最大値が変わることはなく、吸収係数を大きくすることで加工効率を上げることができる。一方、PP とポリエステル布の溶着では、吸光係数が低いと接合強度の最大値が大きくなること、布が溶融すると強度が低下することから、プラスチックの吸光係数を低く調整したほうがレーザー出力の範囲を広くなり、加工しやすくなると思われる。

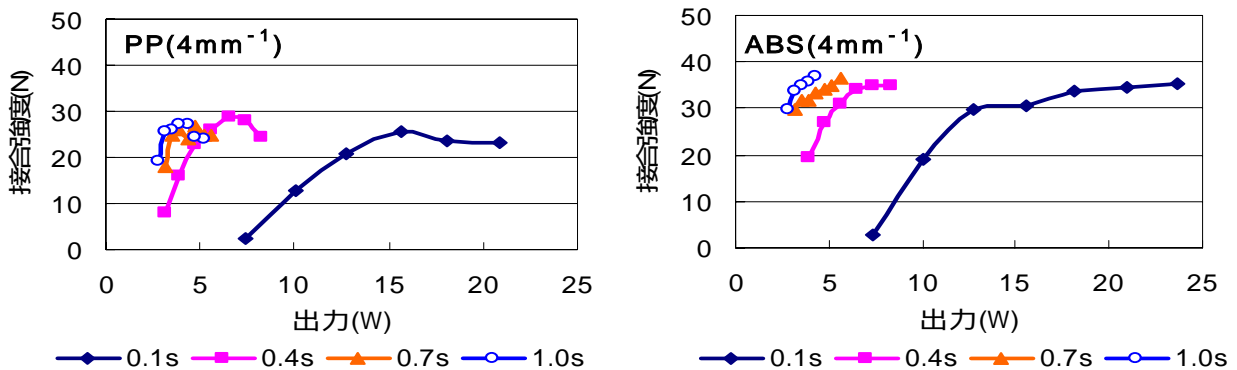


図 12 レーザー照射時間と接合強度

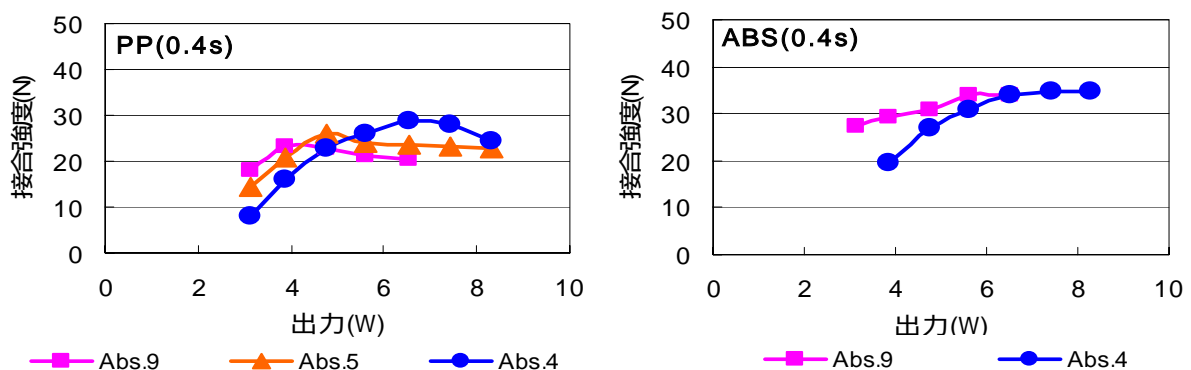


図 13 プラスチックの吸光係数と接合強度

(3) 主な成果

- ① 近赤外線半導体レーザーを使い、レーザー透過法により、2枚の綿布の間に挟んだ接着剤を溶融して接合させる技術を開発した。
- ② 糸ミシンでは縫製が困難なプラスチックと布をレーザー透過法により接合することが可能であった。

研究成果に関する評価

1. 国内外における水準との対比

国内でこのような研究事例は見あたらない。従来の縫製技術の代替手段として優位性を示すのは困難であるが、これまでできなかった製品の開発につながると期待できる。

2. 実用化に向けた波及効果

レーザーを使えば、局所溶融が可能となるので、プラスチックや化学繊維素材であれば、接着剤を使用せずに接合できる。布状素材、シート材の接合技術として展開できる

残された課題と対応方針について

- ・異種接合対象を拡げるとともに、シーズ技術として広く公開し、実用化対象を探索する。