

2009年 5月 25日現在

研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19560196  
 研究課題名（和文） 固体ヒートシンクの伝熱制御支援による難接合樹脂のCOレーザー溶着の研究  
 研究課題名（英文） A Study on CO Laser Welding of Hard-to-joint Plastics Assisted by a New Heat Transfer Technique using a Transparent Solid Heat Sink  
 研究代表者  
 黒崎 晏夫（KUROSAKI YASUO）  
 電気通信大学・共同研究センター・客員教授  
 研究者番号：70016442

## 研究成果の概要：

レーザー透過放熱体利用の樹脂溶着技術において、COレーザーにより0.5mm厚のPFAフィルムが、熔融一体化されることを確認した。部材最表面から熔融深さを確認した結果0.75mmであったのでこの肉厚までの重ね合せ溶着は可能である。さらに、PFAとPTFEとの溶着、および、その他のエンプラ素材(PC, PET, POM, PBT)についてもCOレーザーの適用性を検討し、それぞれ溶着が可能であることを確認した。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

## 研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・熱工学

キーワード：ふく射、熱伝導、ヒートシンク、フッ素樹脂、COレーザー

## 1. 研究開始当初の背景

プラスチック材同士の接合は、マイクロデバイス、MEMS、バイオチップなどの精密加工において重要な技術として注目を浴びている。特に、透明と不透明の樹脂を利用した重ね合わせたプラスチック材同士の溶着は、現在、半導体レーザーを用いた溶着法が主流であり、ある程度の成果が出ている。しかしながら、半導体製造装置、化学プラントなどで使用されているフッ素系樹脂（例えば、テフロン（商品名）など）は難溶着プラスチック

であり、溶着に困難を極めている。

報告者は、以前にヒートシンク利用伝熱制御によるCO<sub>2</sub>レーザー溶着の新技術を開発した（特許成立済み）。従来、溶着が不可能とされていたオレフィン系樹脂同士の溶着が可能になり溶着分野では高い評価を受けている。

一方、フッ素系プラスチックはCO<sub>2</sub>レーザーを強く吸収するために、レーザー照射面が高温となり熱損傷が起り、溶着が困難な事実がある。また、COレーザーの波長領域では、

フッ素系樹脂の吸収はCO<sub>2</sub>レーザーより吸収が少ないことが測定されている。

## 2. 研究の目的

レーザー吸収体の重ね合わせ溶着における、照射表面の過熱損傷への対策として、レーザー照射面上にレーザー光を透過する放熱体を設置し、樹脂表面の温度上昇を伝熱的に制御し、表面の熱損傷を防止する溶着方法を本研究でも踏襲する。ただし、吸収率の高い肉厚の部材に対しては、赤外線透過放熱体の効果に限りがある。そこで、本研究では、CO<sub>2</sub>レーザーとは異なる特性を与えるCOレーザーを適用し、上記の課題を解決する検討を試みる。

これにより、CO<sub>2</sub>レーザーでは材料の吸収率が高すぎて0.3mm以上の肉厚の重ね合わせ溶着が不可能であったフッ素樹脂のPFAについて、溶着可能肉厚の増加を実現する。これにより、フッ素樹脂の溶着についての最適化を図り、フッ素樹脂での異種材溶着も行う。さらには、COレーザーの適用対象をエンブラ素材に広げべく、実験検討を行う。

## 3. 研究の方法

COレーザーを用いたフッ素系樹脂の溶着法において、ヒートシンク無い場合と、有る場合の溶着状況の概念図を図1に示す。

(a)ヒートシンクが無い場合(図1(a))：樹脂表面がレーザー光を強く吸収して表面部だけに溶融が発生し熱損傷を発生させて、熱エネルギーが内部に浸透せず、溶着部の溶着が十分に出来ない。金属では熱伝導が良いので重ね合わせ部の溶接が可能であるが、樹脂は熱伝導率が非常に小さいので表面から外れた部分は溶着が不可能となる。また、表面の熱損傷により高温により樹脂の分解ガスが発生し、有害であるために作業環境を悪化する健康面からの問題がある。

(b)ヒートシンクを設置した場合(図1(b))：ヒートシンク材は熱伝導が非常に良好で、樹脂表面を冷却し温度上昇を抑制することが出来る。また、ある深度以上に浸透したレーザー光のエネルギーは樹脂内部に蓄積され温度が上昇する。そのときの樹脂内の温度分布が図中に示されている。温度ピークは、レーザーの照射時間に依存し、時間が長くなればピーク温度も高くなる。

重ね合わせ溶着で問題となるのは、溶着部の大きさがどのような要因の影響を受けるかということである。溶融部の大きさが、溶着の性能(接着強度、熱損傷程度など)に関係する。重ね合わせ溶着の場合は、強度を合えるためには例えばレーザー幅を広げるなど制御が必要である。しかし、フッ素系樹脂に関しては、COレーザーに関しての溶着実験

の報告はない。

本研究でも対象材料は、フッ素樹脂のPFAである。この材料の重ね合わせ溶着において、部材肉厚がどれだけ増すことができるかを、レーザー照射時間、ヒートシンク材料などの条件設定で検討する。さらに、異種材料の溶着として、共にフッ素樹脂材料のPFAとPTFEの溶着可能性も検討する。

さらに、COレーザーが適用可能な材料の展開を見極めるために、各種のエンジニアリングプラスチック材についても、溶着試験を行う。

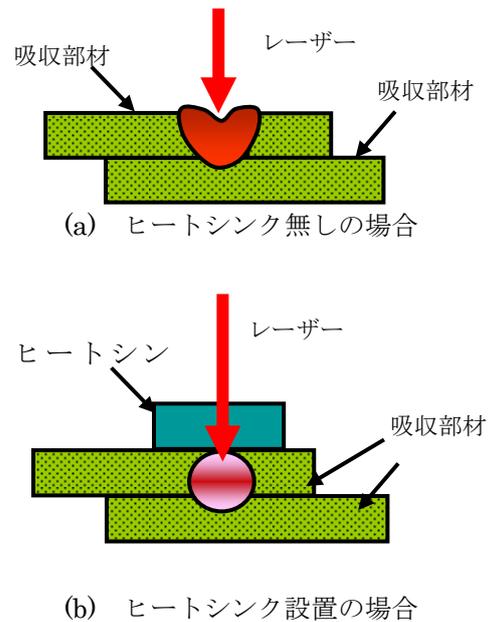


図1 ヒートシンク式レーザー樹脂溶着の原理

## 4. 研究成果

### (1) PFA どうしの溶着

本研究では、溶着材料に四フッ化エチレン・パーフロロアルキルビニルエーテル共重合体樹脂(PFA)を対象としている。図2の赤外透過スペクトルに示されるように、PFAは遠赤外線域での透過が非常に少なく、発振波長が10.6μmのCO<sub>2</sub>レーザーを照射した場合、0.5mm厚で約95%の吸収率(透過率0.01%以下)を示し、照射表面の溶融に限られ、肉厚部材の溶着を可能にする深部への光浸透は期待できない。一方、発振波長が5.5μmとなるCOレーザーの透過率は21%であり、適度な透過と十分な吸収とを両立している。

一方、5μm帯で使用可能なヒートシンク材料の一つに酸化マグネシウム(MgO)がある。同じ図2において透過スペクトルが示されているが、この波長において十分な透過性

を有している。

前述の、透過と吸収の両立について、熱的に検証した。10.6 $\mu\text{m}$ 、5.5 $\mu\text{m}$  の場合の特性の違いの影響を数値解析により温度分布を計算した。図3のように、透過率が増した分、CO レーザーの方が深部加熱が可能であるとわかる。

PFA フィルム (厚さ 0.5mm) の重ね合わせ溶着について、実験条件をレーザー出力：5.4W、送り速度：0.5~2.0mm/s として溶着を行った。それぞれ溶着後の試験片の断面拡大写真を図4に示す。その結果、通常 CO<sub>2</sub> レーザーでは重ね合わせ溶着が不可能だった0.5mm厚のフィルムが、部材界面の熔融一体化も確認されると同時に、レーザー照射表面に何らの損傷も起きていない。観察の結果、最表面からの溶け込み深さが約 0.75mm となっており、この肉厚程度のフィルムまで本溶着法は対応可能と推察される結果となった。

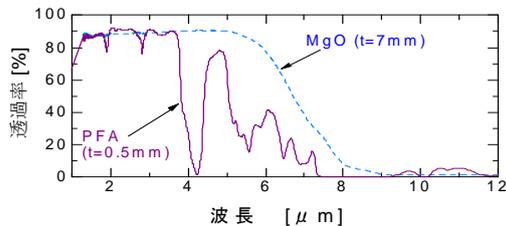


図2 PFA と MgO の透過スペクトル

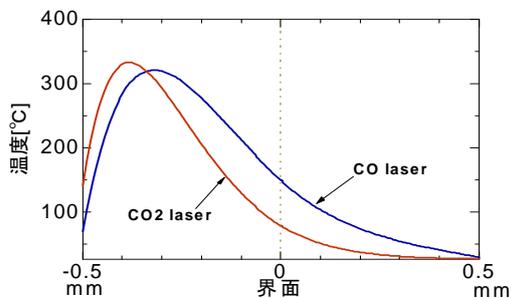
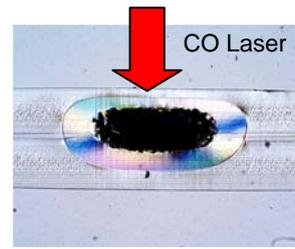


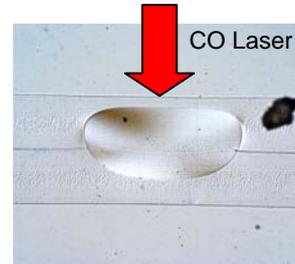
図3 数値解析による樹脂内温度分布

## (2) 異種材 (PFA-PTFE) 溶着

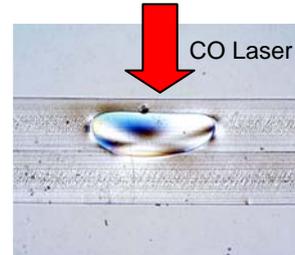
フッ素樹脂の中で異種材となる PFA と PTFE の溶着を行った (肉厚共に 0.5mm)。両者の融点が PFA:300°C、PTFE:332°C と差があるため、バランスよく熔融させることが重要である。これについて、重ね合わせの順番が結果に影響することが想定されるため、PFA と PTFE のどちら側からレーザー照射を行うべきかの検証を行った。溶着部材の断面観察写真を図5に示す。その結果、[上:PFA + 下:PTFE] の



(a) 走査速度 0.5mm/s



(b) 走査速度 1.0mm/s

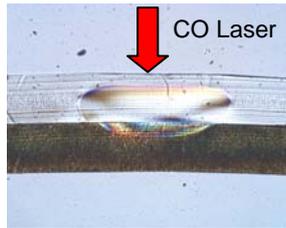


(c) 走査速度 2.0mm/s

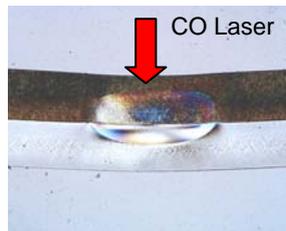
図4 溶着後の PFA フィルムの断面写真

組合せでは、PFA 側の熔融幅が広く、PTFE 側では前者の半分程度となった。一方、[上:PTFE + 下:PFA] の組合せでは、界面を挟んで両者の熔融幅はほぼ同じとなった。このとき、下部 PFA 側の熔融深さも 0.2mm 以上あって、下側 PTFE の場合より約 50% 深く十分な溶着が達成されている。以上の結果から、融点の高い PTFE を上面に重ね合わせる方法の方が、下部の PFA での熔融深さが深くなることを確認した。この結果は、事前の数値計算による温度分布予測のデータとほぼ一致する結果であった。

さらに、PTFE どうしを溶着するべく、母材 PTFE (肉厚 0.5mm) に PFA 薄フィルム (肉厚 0.1、0.025mm) を挟んでの重ね合わせ溶着実験を行った。その結果、2 種の PFA フィルムを用いて、ともに溶着できた。PTFE 単体での溶着は難しいが、このように中間に PFA 薄片を介在させることで溶着が可能であることを確認した。



(a) PFA on PTFE



(b) PTFE on PFA

図5 PFAとPTFEの溶着の断面写真

(3) その他エンプラの溶着

フッ素樹脂以外に、エンプラ素材 (PC, PET, POM, PBT) についても CO レーザーの適用性を検討した (断面写真は図 6)。それぞれの材料の CO レーザー発振波長近辺における透過率は、4 者 4 様で、かつ、波長によって大きく変動している。それぞれ、5 ミクロン帯での透過率は  $1\%/t=1\text{mm}$  以下程度で、十分な透過が保証されておらず、肉厚 1mm の溶着は各材料とも困難であった。そのうち、PC、PET、POM については、これより薄い 0.5mm での溶着は可能であることを確認した。



(a) PC (t=1.0)



(b) PET (t=1.0)



(a) POM (t=1.0)



(b) PBT (t=1.0)

図6 各種エンプラ素材溶着の断面写真

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 1 件)

"CO Laser Welding of Polyolefin and Fluorocarbon Polymers without Surface Thermal Damage Assisted by a Transparent Solid Heat Sink", Yasuo Kurosaki and Naoki Shimizu, Polymer Processing Society Americas Regional Meeting 2008, Charleston, South Carolina, USA (2008年10月27日).

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

「熱可塑性樹脂部材の溶着方法」発明者：黒崎晏夫、佐藤公俊、清水直紀、出願人：株式会社キャンパスクリエイト、産業財産権の種類：特許、番号：特願 2007-274636、出願年月日：平成 19 年 10 月 23 日、日本国内。

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

6. 研究組織

(1) 研究代表者

黒崎 晏夫 (KUROSAKI YASUO)  
電気通信大学・共同研究センター・客員教授  
研究者番号：70016442

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

佐藤 公俊 (SATO KIMITOSHI)  
株式会社キャンパスクリエイト (電気通信大学 TLO)・技術開発部・ゼネラルマネージャ  
研究者番号：80313419