

加工と溶着を可能とするハイブリッド・レーザ加工機の開発

小河 廣茂、田中 等幸、今井 智彦

Development of the hybrid laser beam machine which enables cutting and welding

Hiroshige Ogawa, Tomoyuki Tanaka, Tomohiko Imai

難削材である炭素繊維複合材料（以下 CFRP という）を高精度に加工する方法としてレーザ加工が注目を浴びている。レーザ加工には主に切断加工と接着する加工（溶着加工）があるが、それぞれの加工に用いるレーザの特性が異なるため、それぞれ専用の加工機械が必要であり、設備投資コストの問題がある。

本研究では、切断用のシングルモードファイバーレーザ加工機をベースに、レーザヘッドを回転・摺動することによりレーザ溶着が可能となるレーザ加工機を構築した。具体的には、トレパニング加工において、熱影響層（HAZ: Heat affected Zone）を小さくすることができ、溶着加工においては、素材表面に熱影響を及ぼさない溶着条件を探索し、CFRP+PET 及び CFRP+PC の溶着試験を実施したところ、引張試験において接合部で破断すること無く、引張剪断荷重約 80kgf を得た。

1. はじめに

通常レーザで切断加工するには、レーザビームが高品質で、レーザ集光性の良いガウスビーム形状のシングルモードが使われる。一方溶着加工を行うには、フラットトップビーム形状のマルチモードが使われる。

本研究においては、レーザヘッド駆動方法を変えることにより、切断と接合（溶着）の両方の加工が1台で可能となる加工機を開発し、その加工条件を究明する。具体的には、切断用のシングルモードファイバーレーザ加工機をベースに、レーザ溶着が可能となるレーザ加工機を構築する。これを用いて航空機・次世代自動車産業で期待される CFRP の加工への応用を図る。

2. ハイブリッド・レーザ加工機と予備実験

2. 1 レーザ照射方法及び発振器仕様

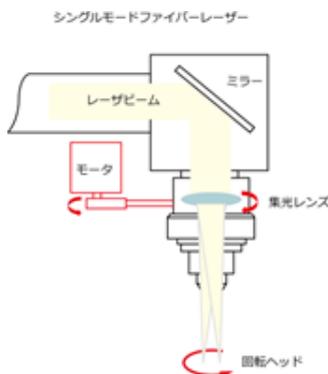


図1 ハイブリッド・レーザ加工機

ハイブリッド・レーザ加工機は、図1に示す様に、集光レンズを回転させることでレーザビームが円運動し、さらに掃引させることで（図7参照）、レーザ照射面積を大きくし、マルチモードに近い加工を実現するものである。発振器仕様については表1に示すとおり。

表1 レーザ発振器仕様

Model	Rofin-Baasel FLO10S
Excitation	Laser diodes
Nominal power	1000W
Power range	10 - 100%
Laser beam quality	≦ 0.4mm mrad
Wavelength	1080±10nm
Laser diameter	20μ m / 回転ヘッド40μ m
Focal length	160mm / 回転ヘッド320mm

2. 2 従来ヘッドと回転ヘッドの切断比較

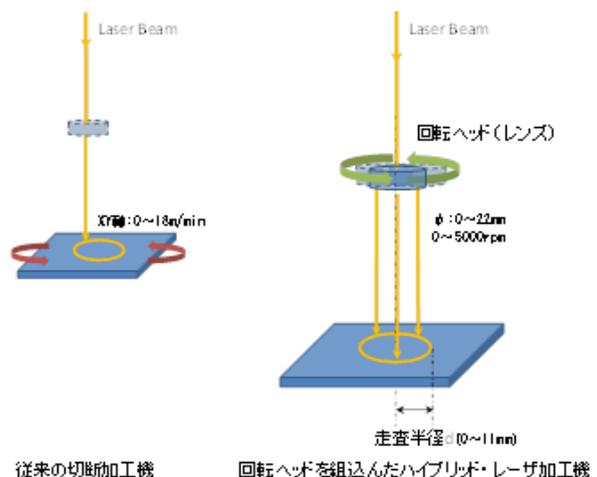


図2 トレパニング加工方法の違い

最初に、ハイブリッド・レーザ加工機と従来ヘッドについて、機械的動作精度、回転径、位置精度、回転速度等の検証を行い、使用上の問題点及び切断加工性能の違いを把握するため、切断比較試験を行った（図3～6）。



図3 回転ヘッドによる切断



図4 従来ヘッドによる切断



図5 回転ヘッドによるトレパニング加工

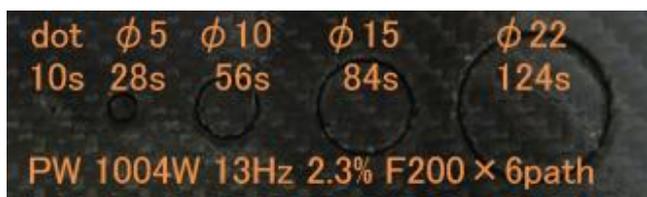


図6 従来ヘッドによるトレパニング加工

CFRP 材は、Carbon45%綾織、マトリックス TPU、厚み 1mm を使用。

結果としては、CFRP の切断に関しては大きな HAZ は見られるが、直線切断は双方とも同程度、トレパニ

ング加工は回転ヘッドの方が優位であることが確認できた。トレパニング加工については、図2に示すように加工方法に違いがあり、φ22 穴の場合、回転ヘッド：従来ヘッド=1000path：6path が切断結果に出ている。

3. 実験

3.1 レーザ溶着加工方法

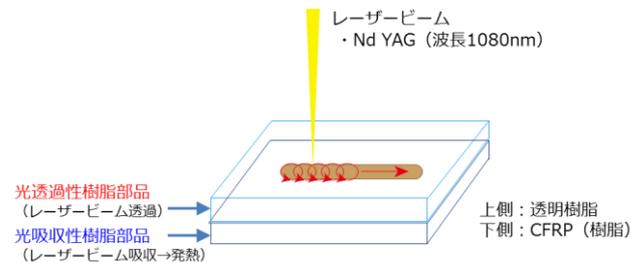


図7 レーザ透過溶着法による加工

本装置を用いて、異種材料の溶着についてレーザ加工法での基礎研究データを収集する。この結果を基に、接合面の欠陥及び強度向上の改善点を明らかにし、高品質な加工ができる条件を究明する。

加工条件として、レーザの出力、周波数、摺動速度、回転速度、回転径及び焦点距離について、最適な組合せを探索する。

CFRP と各種樹脂の溶着については、図7に示すレーザ透過溶着法（ファイバーレーザ 1080nm の吸収の無い材料は透過し、吸収の有る材料表面で熔融発熱することで溶着する）による手法を用いて行う。

表2 実験条件

CFRPマトリックス	TPU,PA66/vol55%
被溶着材	PET,PMMA,PC,SUS430
モード	CW
回転数	800rpm
回転径	φ 2mm
出力	30~60W
移動速度	3~40mm/min
焦点	0~40mm

3.1.1 CFRP と樹脂の溶着

2種類の材料で、上側にはレーザを透過する材料、下側にはレーザを吸収する材料を重ねて上からレーザを照射し、CFRP の樹脂分を熔融させ溶着させる。

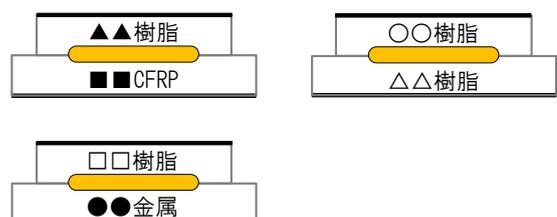


図8 各種材料の溶着試験

3. 1. 2CFRP と金属の溶着

金属とCFRPについては、双方ともレーザを透過すること無く吸収する材料なので、透過溶着法ではできない。そのため、金属側を直接レーザ照射により暖め、その熱で近接するCFRPの樹脂分を溶融させ溶着させる方法による。



図9 金属とCFRPの溶着試験

3. 2引張試験

引張試験片は図10に示すように、レーザ溶着した試験片を作成し、図11にて評価する。

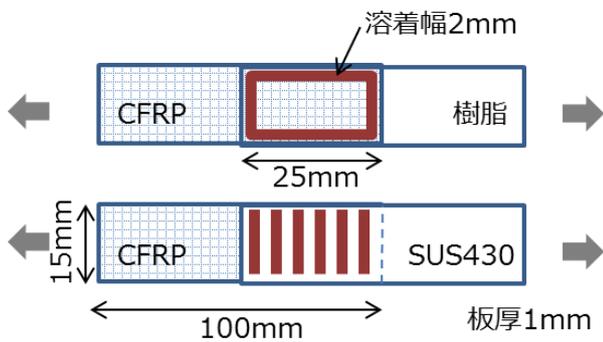


図10 引張試験片と溶着箇所



図11 引張試験

4. 結果及び考察

4. 1透過率測定

レーザ透過溶着法を用いるため、材料の吸収率を測定したので図12～13に示す。それによると1080nmの透過率は、透明のポリスチレン、ポリカーボレートが89.0%で、次に乳白色のABS17.0%、ポリエチレン1.11%で、CFRPは0.0%と全く透過しないという結果であった。

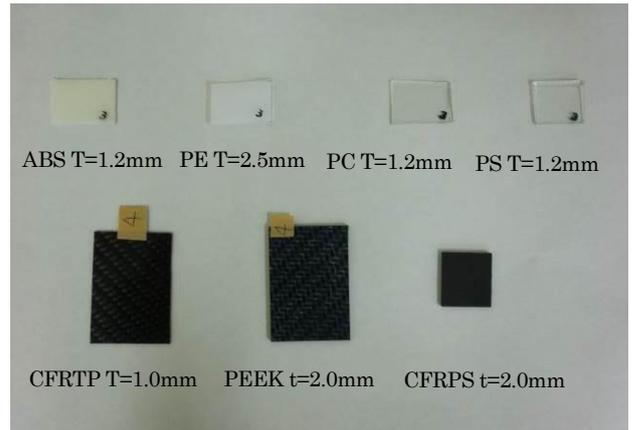


図12 透過率測定に用いた材料

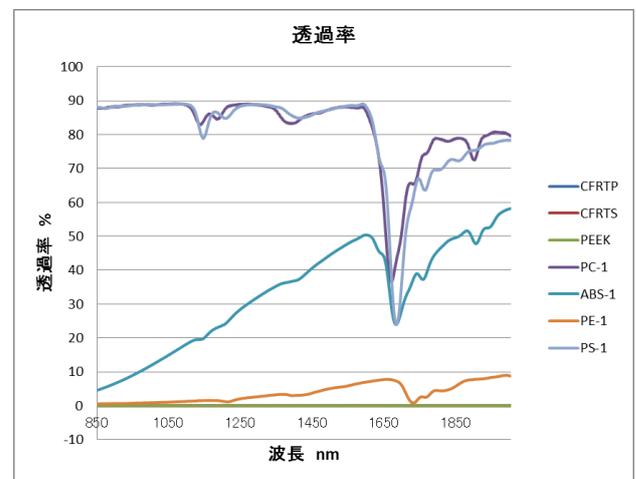


図13 近赤外吸光度特性

4. 2溶着試験と引張試験結果

CFRPと樹脂及びCFRPと金属のレーザ溶着加工を行った結果を表3及び図14～15に示す。

通常レーザ切断では、ワーク表面に焦点を結んで加工するが、溶着加工においては、オフフォーカス状態でレーザ照射させた方が溶着強度を向上させることが基礎実験の結果判明し、この点も考慮に入れて実験した。

引張試験の結果、No.1,2,3,4,6,7の条件下では、レーザ接合部は剥離していない。図14～15で引張試験後もCFRP上に樹脂が残っていることが確認できる。

また、No.5,8,9,10(表3の塗り潰し部分)の条件下では、レーザ接合部で剥離しているのが確認できる。

剥離したCFRPのマトリックス樹脂はPA66でTPUより成形温度が高いため、レーザ照射条件が同じであると十分な熔融温度に達していなかったものと思われる。

また、No.8,9,10については、SUS430表面にレーザ照射しており、樹脂素材に比べて熱伝導が良いため、長時間のレーザ照射の影響により熱変形や部分的に焦げなどが発生している。

表3 各種材料の溶着条件と引張強度試験結果

No	CFRP	被溶着材	mode	回転数	回転径	出力	速度	焦点	引張強度	破断状態
1	TPU	PET	CW	800rpm	φ 2mm	30W	20	0	80.7kgf	PET部で破断
2	TPU	PMMA	CW	800rpm	φ 2mm	30W	20	0	48.3kgf	一部接合部で剥離
3	TPU	PMMA	CW	800rpm	φ 2mm	30W	10	0	70.7kgf	PMMA部で破断
4	TPU	PET	CW	800rpm	φ 2mm	33W	40	+40	73.1kgf	PET部で破断
5	PA66	PET	CW	800rpm	φ 2mm	33W	40	+40	36.1kgf	接合部で剥離
6	TPU	PMMA	CW	800rpm	φ 2mm	33W	40	+40	63.7kgf	PMMA部で破断
7	TPU	PC	CW	800rpm	φ 2mm	33W	40	+40	82.4kgf	PC部で破断
8	PA66	SUS430	CW	800rpm	φ 2mm	60W	10	+30	49.5kgf	接合部で剥離
9	TPU	SUS430	CW	800rpm	φ 2mm	50W	3	+30	82.0kgf	接合部で剥離
10	TPU	SUS430	CW	800rpm	φ 2mm	50W	5	+30	10.01kgf	接合部で剥離

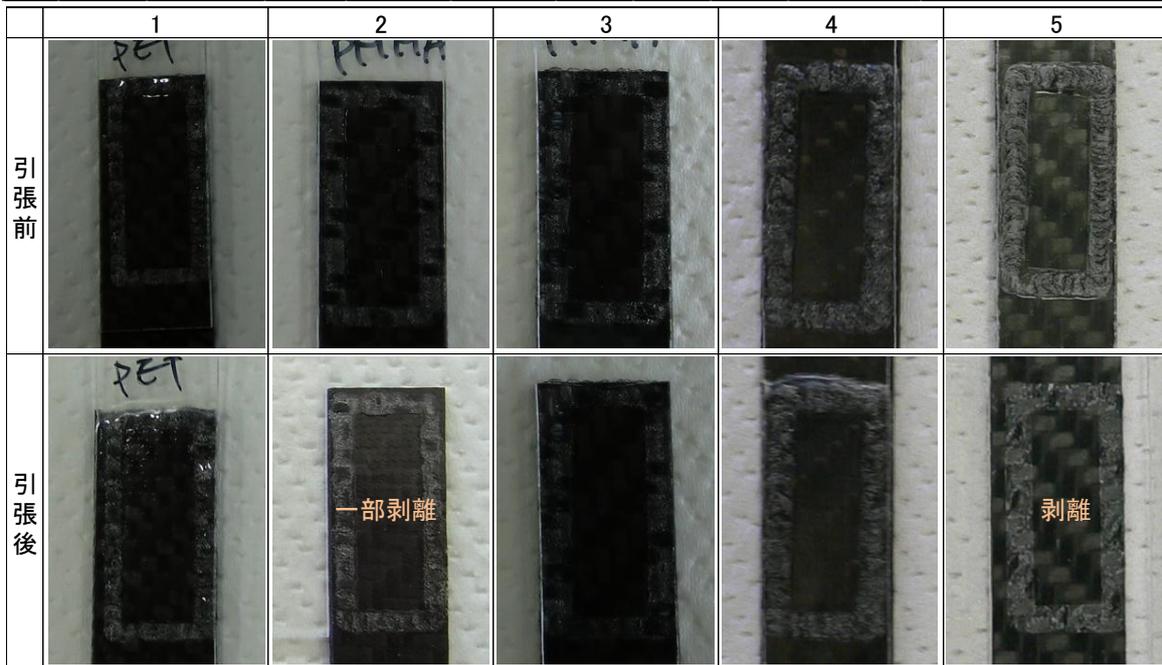


図14 条件1～5の溶着試験及び引張試験結果

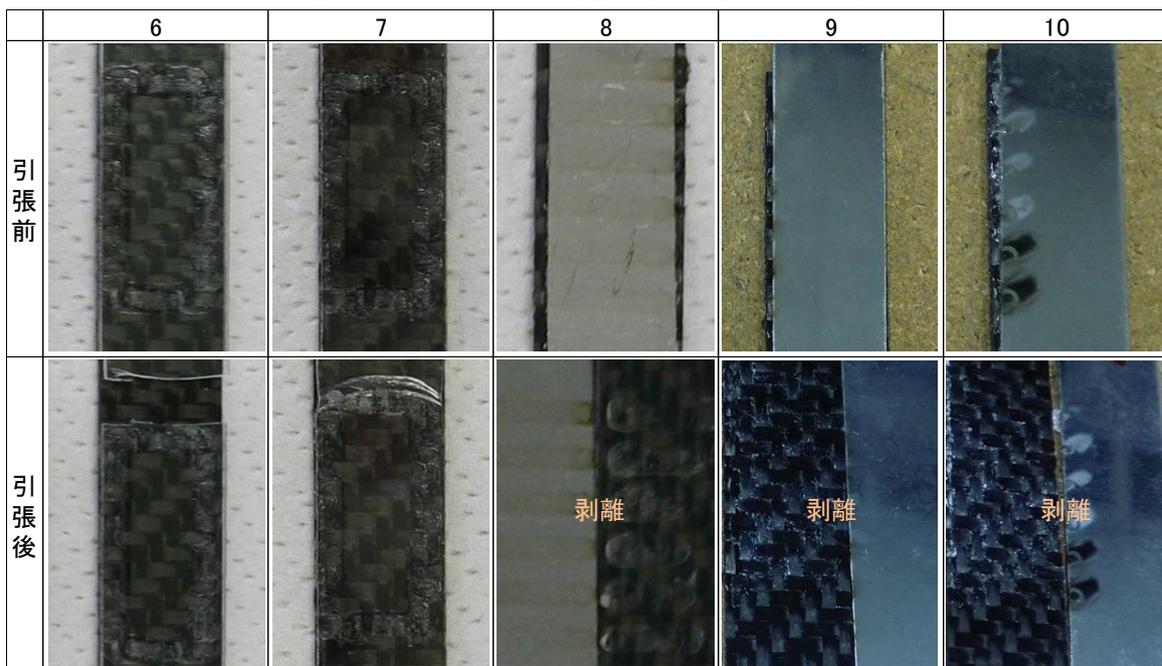


図15 条件6～10の溶着試験及び引張試験結果

5. まとめ

シングルモードファイバーレーザー加工機に、回転ヘッド機構を設けたハイブリッド・レーザー加工機で CFRP の切断が可能であり、特にトレパニング加工については、回転ヘッドによる加工の方が、熱影響も少なく、高速に加工できるなど優位性を示す結果を得た。この理由として、回転ヘッドの方が、高速回転しているため、短時間でのレーザー照射距離が長く、且つ繰り返し回数も大きいため、熱影響の少ない間にレーザー破壊が進むものと推測される。結論として、本装置による切断加工は、実用上問題ないと考えられる。

CFRP のレーザー溶着については、透明樹脂部材との溶着に関しては、レーザー透過溶着法が利用可能であり、レーザー照射条件について把握することができた。それによる引張強度は、CFRP+PET で約 80kgf、CFRP+PMMA で約 70kgf、CFRP+PC で約 80kgf で、接合部で剥離しない条件を得た。

接合（接着）強度から言うと、レーザー接合部で剥離することは、接着力<素材の関係にあり、逆にレーザー接合部で剥離していないことは接着力>素材の関係にあることを意味しており、後者であれば接合強度は充分であると言え無くないが、今後は、使用

環境、耐久性等も含め評価して行きたい。

また、CFRP と金属部材との溶着については、上述の手法が使えないため、金属部材側をレーザー照射し熱することで、近接する CFRP 表面の樹脂部材を熱溶解させて接合する方法を用いる。しかし、金属表面は熱伝導が良く高温に達するが、局所的に熱変形を引き起こし圧着部分に隙間を生じてしまい、溶着を妨げる力が働き、十分な溶着強度を得るための加工条件の把握まで至っていない。今後は試料の圧着方法を改善し、さらなる加工条件等の解明について検討する方向である。

【謝 辞】

本研究は、平成 24 年度独立行政法人科学技術振興機構研究成果最適展開支援プログラム A-STEP[FS] ステージ探索タイプにて研究助成金をいただきました。ここに感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 小河ら,岐阜県工業技術研究所研究報告 No.2,Vol.1, 2014