

形状可変ミラーを用いた複合化レーザー加工機による 切削加工技術の研究開発

藤原 和徳*¹・佐野 正明*¹・宮川 和幸*¹・岩間 貴司*¹・古川 保典*²
森田 正隆*²・福井 達雄*²・廣橋 淳二*²・時田 宏典*²・志村 努*³

Research and Development of Cutting Processing Technology by Laser Processing Machine with Shape Changeable Mirror

Kazunori FUJIHARA*¹, Masaaki SANO*¹, Wako MIYAGAWA*¹, Takashi IWAMA*¹, Yasunori FURUKAWA*²,
Masataka MORITA*², Tatsuso FUKUI*², Junji HIROHASHI*², hironori TOKITA*² and Tsutomu SHIMURA*³

要 約

本年度はレーザー加工機に適応する形状可変ミラーの構造部品の設計・試作を行った。試作した形状可変ミラーのコーティング性能の評価を行ない目的とした損傷強度を得た。形状可変ミラー電極については数種類の試作を行い、目的のビーム形状を整形するために必要な電極パターンの特性を確認した。さらに、ビーム整形性能の評価として微細加工用レーザー光を形状可変ミラーに入射、形状可変ミラー駆動電源を用いて個々の電極を制御することでビーム整形性能の評価実験を実施した。また、レーザー加工技術の基礎的な加工状態を確認するため、YAGレーザー加工機およびエキシマレーザー加工機を使用して、各種材料にレーザー加工を行い、加工形状を走査型電子顕微鏡および非接触表面形状測定機により評価し、形状可変ミラーを使用したレーザー加工機用データベースとした。

1. 緒 言

次世代加工技術で要求される高速高精度レーザー加工を達成する為、自動制御された形状可変ミラーを搭載したレーザー加工機を開発し、ビーム形状が自在に制御可能なレーザー加工技術を開発する。このために、形状可変ミラーの駆動電極形状とミラーコーティングの最適化を図るとともに、ビーム形状の計測と制御機構を開発する。これら要素技術をレーザー加工機と統合し、高度な加工技術を構築する。本開発では形状可変ミラーを用いて加工用レーザーの強度分布を制御し、被加工物の加工面に照射するエネルギー分布を最適化することにより、高精度な微細形状加工を実現し、レーザー加工機の加工ビーム形状の最適化を可能にする形状可変ミラーとその制御アルゴリズムを開発する。

本年度はレーザー加工技術の基礎的な加工状態を確認するため、山梨県工業技術センターに設置されているYAGレーザー加工機およびエキシマレーザー加工機を使用して、各種材料にレーザー加工を行い、加工形状を走査型電子顕微鏡および非接触表面形状測定機により観察・評価を実施した。

2. 実験方法

本年度は、レーザー加工における基礎的な加工状態を確認するため、山梨県工業技術センターに設置されているランプ励起QスイッチYAGレーザー加工機（Lee Laser社製）及びエキシマレーザー加工機（Exitech社製：PS2000、発振器：LAMBADA PHYSIK社製LPX200i）を使用して、各種材料にレーザー加工を行い、加工形状を走査型電子顕微鏡（日本電子(株)社製：JSM-5310）及び非接触表面形状測定機（ZYGO社製：NEW VIEW6300）により観察・評価を実施した。

2-1 YAGレーザー加工条件

図1に加工機の光学系を示す。発振器の波長は1064 [nm]、パルス幅180 [nsec]、スキャン方式としては固定光学系とXYステージを使用した。またアシストガスは使用せず加工を行った。加工物を表1に示す。



*1 山梨県工業技術センター

*2 株式会社 オキサイド

*3 国立大学法人 東京大学生産技術研究所

表1に示すNo.1～No.4は樹脂材料, No.5～No.8は硬脆材料, No.9～No.16は金属材料で各材料の厚さは1mm以上である。

レーザー加工条件は樹脂材料に対してはランプ出力が2.2 [kW], 発振周波数10 [kHz]で, 硬脆材料及び金属材料についてはランプ出力が3.0 [kW], 発振周波数10 [kHz]でそれぞれ加工を行った。加工形状はすべての材料において直線形状(長さ2mm)で, 加工速度は60 [mm/min]である。

表1 被加工物

	材 質	厚さ [mm]
No. 1	ポリイミド樹脂	5
2	熱可塑性樹脂	5
3	アクリル樹脂	2
4	スチロール樹脂	2
5	単結晶シリコン	1
6	窒化硅素	5
7	ジルコニア	5
8	アルミナ	3
9	フェライト	3
10	チタン合金	3
11	アルミニウム (A5052)	3
12	ステンレス (SUS304)	1
13	冷間金型鋼 (SKD11)	7
14	ハステロイ	7
15	インコネル	7
16	純チタン	12

2-2 エキシマレーザー加工条件

図2にエキシマレーザー加工機の光学系及びポリイミド樹脂の加工条件をそれぞれ示す。

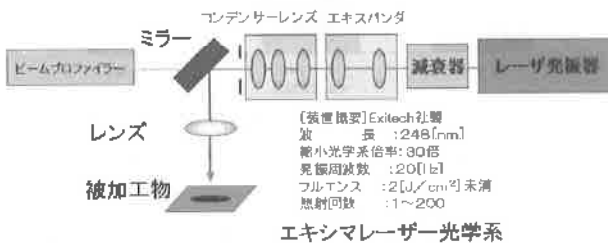


図2 エキシマレーザー加工機の加工光学系

3. 結果及び考察

3-1 各種材料へのYAGレーザー加工

表1に示す各種材料のYAGレーザーによる加工状態を走査型電子顕微鏡により観察した結果を図3及び図4に示す。また、各種材料の加工痕の幅と深さの寸法

を図5に示す。加工寸法は測定顕微鏡(ミットヨ社製: MF-510/TH)で測定した。

深さ方向の寸法は焦点深度を変化させ加工表面と底面の差により測定した。YAGレーザー加工においては、図3及び図4に示す様に、各種材料に対して同一の加工条件にて行ったが材料の違いにより異なった加工状態を示した。

図5の結果から明らかなように硬脆材料の中ではアルミナ(No.8)のみが加工されなかった。樹脂材料は、ほとんどの材料で金属材料と比べ2~3倍の幅に加工され、熱的プロセスの影響が顕れていた。金属材料では、アルミニウム(No.11)が加工による除去量が少なく、ビーム吸収率¹⁾の低さが影響しているものと考えられる。YAGレーザー波長1064 [nm]におけるビーム吸収率は炭素鋼では約0.4, アルミニウムは0.2を示し、加工の難易度に反映されている。

ビーム吸収率は材料の表面状態(格子欠陥, 酸化膜厚さ, 表面粗さ, 形状等)により変化するため、今後、本研究の目的とするビーム形状の最適化により、レーザー光を効率的に集光することが可能となれば、細部にまでビーム吸収の増加が実現されると推察されるため、加工性の向上が図られるものと考えられる。



図3 樹脂材料・硬脆材料へのレーザー加工状態 (加工条件: 2.2 [kW], 10 [kHz])

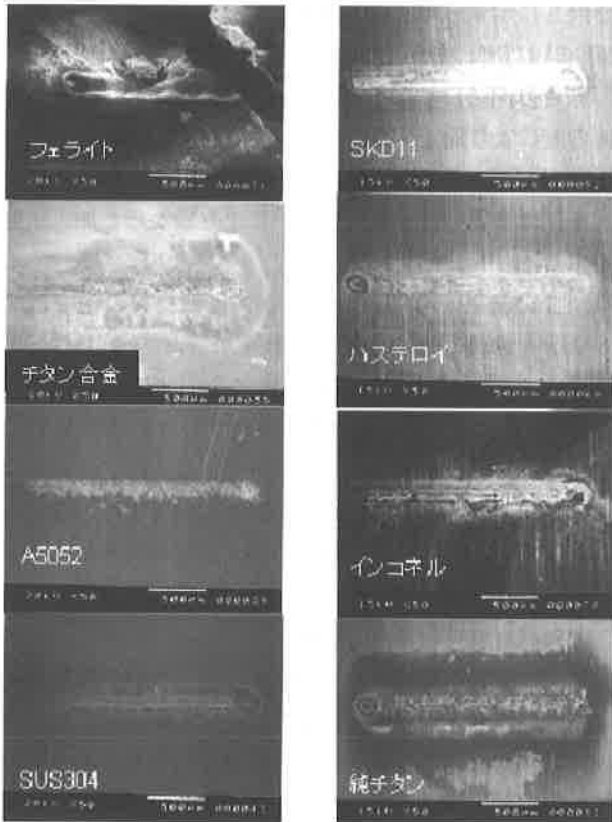


図4 金属材料へのレーザー加工状態
(加工条件: 3.0 [kW], 10 [kHz])

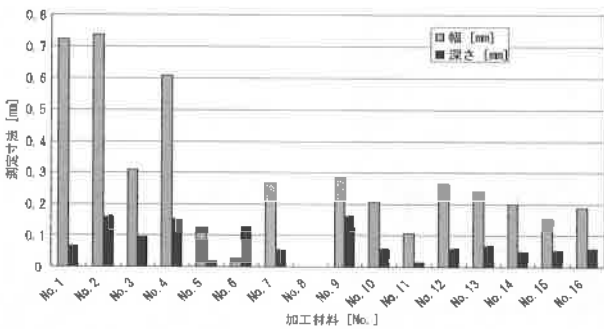


図5 加工形状測定結果

次に、同一材料において加工条件を変化させた例を図6～図8に示す。図6ではポリイミド樹脂へのレーザー照射出力を変化させた時の寸法測定結果を示す。加工面の観察結果から、熱による割れ等も発生しており、ポリイミド樹脂に関しては、レーザー照射出力の増加は加工状態の改善にならないことが分かる。また、図7にステロール樹脂へのレーザー加工結果を示す。図6に示すポリイミド樹脂の結果と同様にレーザー照射出力の増加は加工状態の改善に寄与せず溶融域の拡大が寸法測定結果から明らかとなった。

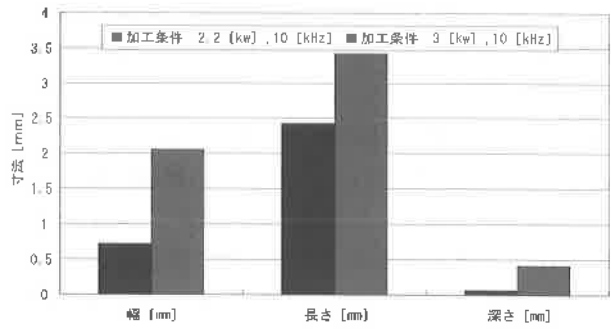


図6 レーザー照射出力の違いによる加工形状の変化
(加工材料: ポリイミド樹脂)

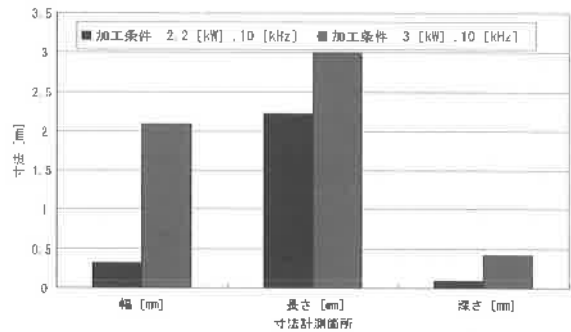


図7 レーザー照射出力の違いによる加工形状の変化
(加工材料: ステロール樹脂)

次に、樹脂材料と比べ、比較的良好な加工状態が観察されたステンレス (SUS304) の加工速度の変更による加工形状の変化を図8に示す。

加工寸法の比較から、加工速度の違いにより加工形状に大きな変化は見られなかった。

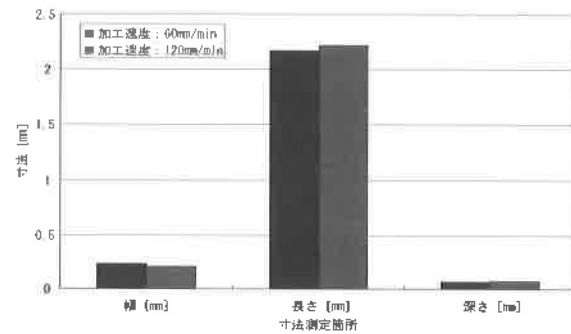


図8 加工速度の違いによる加工形状の変化
(加工材料: ステンレス (SUS304))

次に、走査型電子顕微鏡による加工形状の観察結果から加工状態が比較的良好なステンレス (SUS304) と単結晶シリコンの加工状態を観察した結果を図9及び図10に示す。また、非接触表面形状測定機により測定した結果を図11及び図12にそれぞれ示す。

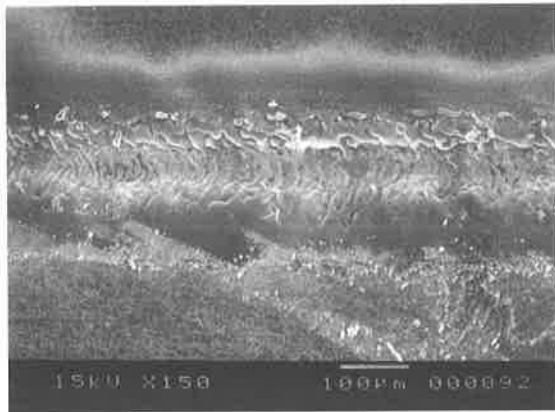


図9 ステンレス (SUS304) の加工表面観察結果

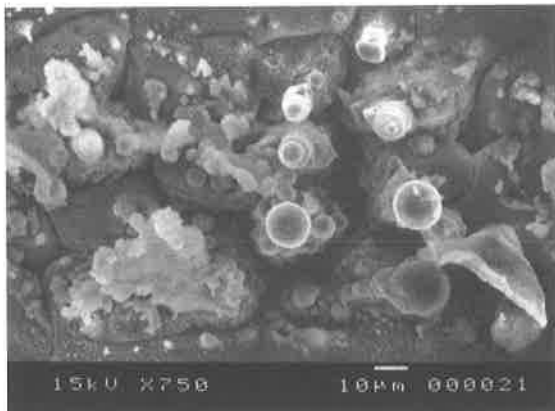


図10 単結晶シリコンの加工表面観察結果

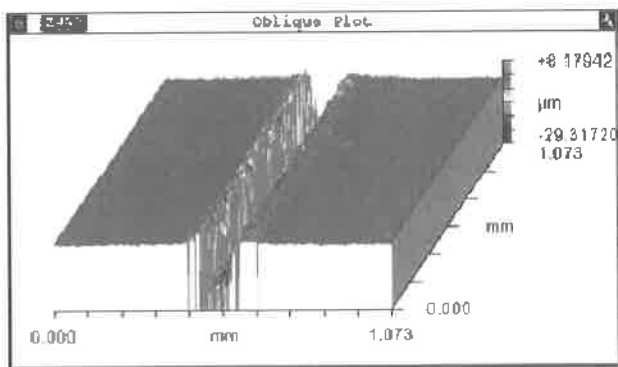


図11 非接触表面形状測定機による測定結果
(加工材料: ステンレス (SUS304))

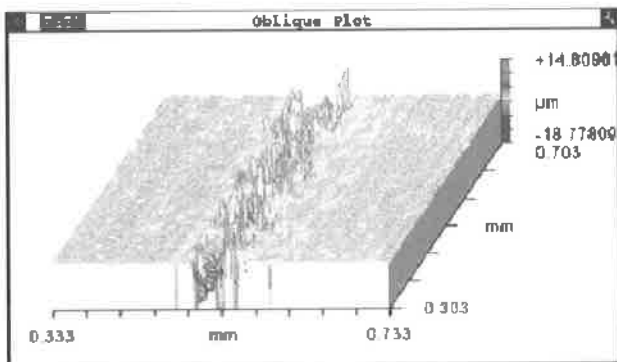


図12 非接触表面形状測定機による測定結果
(加工材料: 単結晶シリコン)

ステンレス (SUS304) の加工状態においては図9及び図11から加工端面付近が突起形状を有していることわかる。さらに図11に示す非接触表面形状測定結果から突起形状や溝深さの形状を定量的に測定が可能である。また、単結晶シリコンの加工においては図10及び図12から加工中央部分にデブリが多く発生しており球状の堆積物が付着していることが確認できた。

以上の結果から、YAGレーザー加工においては材料毎に加工状態が大きく異なるため、評価方法として走査型電子顕微鏡による観察と非接触表面形状測定機による定量的な測定の両方を用いることが細部の加工形状の評価に有効であることが確認できた。

3-2 ポリイミド樹脂へのエキシマレーザー加工結果

図13にエキシマレーザー加工機でのビームプロファイラーによるビーム形状強度の測定結果を示す。また、ポリイミド樹脂にフルエンス: $2 \text{ [J/cm}^2\text{]}$ 、発振周波数: 20 [Hz] 、照射回数: 10パルスにて加工し、加工状態の走査型電子顕微鏡による観察結果を図14に示す。さらに、図15に非接触表面形状測定機による測定結果をそれぞれ示す。

図13に示すビーム形状は全体的にガウシアン形状を有し、そのプロファイル中にはさらに、細かな強度分布

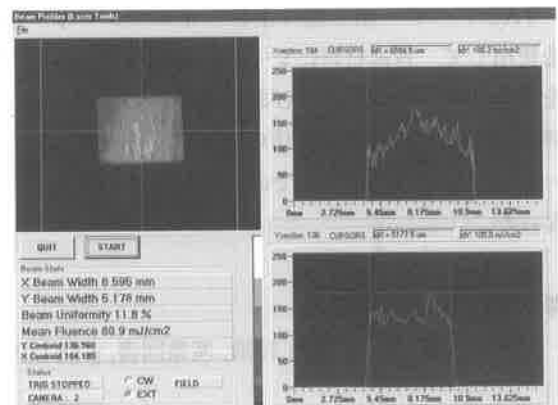


図13 ビームプロファイラーによるビーム強度測定結果

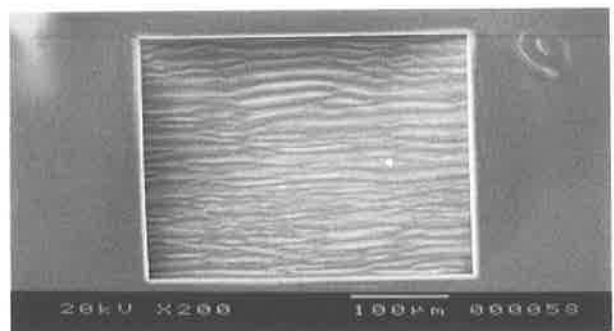


図14 走査型電子顕微鏡による表面観察結果
(加工材料: ポリイミド樹脂)

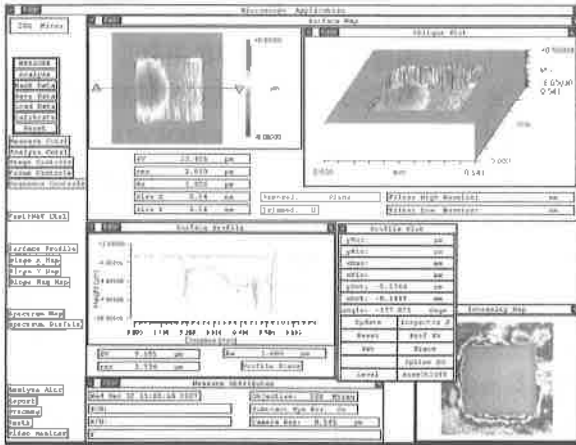


図15 非接触表面形状測定機による表面形状測定結果

が存在していることがわかる。図14に示すポリイミド樹脂加工面の走査型電子顕微鏡観察結果と図15の非接触表面形状測定機による表面形状測定結果を比較すると図13のビーム形状（強度）に related 加工形状が形成されていることがわかる。

これらの結果からエキシマレーザー加工機による加工状態評価では、ビームプロファイラ測定結果と非接触表面形状測定結果を比較することで有効な評価を行うことができた。

4. 結 言

レーザー加工技術の基本的な加工状態を確認するため、YAGレーザー加工機およびエキシマレーザー加工機を使用して、各種材料にレーザー加工を行い、加工状態を走査型電子顕微鏡および非接触表面形状測定機により評価した。その結果、形状可変ミラーを使用したレーザー加工機の評価を行う上での基礎データの構築が可能となった。

参考文献

- 1) 宮崎俊行編：レーザー加工技術，産業図書，p.18 (1994)