

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 (第3報)

高尾 清利・山田 博之・岩間 貴司・古川 保典^{*1}・森田 正隆^{*1}
福井 達雄^{*1}・廣橋 淳二^{*1}・時田 宏典^{*1}・志村 努^{*2}

Research and Development of Cutting Processing Technology by Laser Processing Machine with Shape Changeable Mirror (3rd Report)

Kiyotoshi TAKAO, Hiroyuki YAMADA, Takashi IWAMA, Yasunori FURUKAWA^{*1}, Masataka MORITA^{*1},
Tatsuo FUKUI^{*1}, Junji HIROHASHI^{*1}, hironori TOKITA^{*1} and Tsutomu SHIMURA^{*2}

要 約

形状可変ミラーを搭載したレーザー加工機を製作し、加工実験を行った。開発概要は以下のとおりである。

- (1) 高出力レーザー加工機に利用可能な形状可変ミラーコーティングの高性能化・高信頼性化を図った。
 - ・波長1064nm帯、平均出力50Wにおいて、ダメージ耐圧 2 GW/cm²以上を達成
 - ・波長355nm帯、平均出力1Wにおいて、ダメージ耐力500MW/cm²以上を達成
- (2) 加工実験用に、可搬型ビーム整形装置、ファイバーレーザー及び精密加工ステージを搭載した可搬型レーザー加工機を試作した。ビーム整形部分はコンパクト化を図り、目標であるB4サイズを実現した。
- (3) 整形したTophat形状のビームにより加工実験を行った。加工条件は、材料SS400、出力10W、繰返し周波数20kHz、加工速度10mm/sで、加工の状態もTophatでは5～7μm程度と浅く、Gaussianでは10μm程度とより深く加工された。
- (4) 実用化を目指し、ビーム整形プログラムの高度化及び整形アルゴリズムのソフトウェア化を実現した。

1. 緒 言

携帯電話やノートパソコンに代表されるモバイル機器分野において、主に用いられている穴あけ加工は、炭酸ガスレーザーのガウシアンビーム形状による穴径100μm以上の加工である。一方、近年、電子部品の微細化ニーズが急速に高まっており、例えば次世代の携帯電話などにおいては30μm以下の微細加工技術が必要とされ、今後、この微細化に対するニーズは益々高まっていくものと予測される。しかしながら、30μm以下の微細加工に対するアプローチとして、紫外線レーザー加工機なども検討されているが、現状では高い技術的ハードルや高価な設備導入コストのため、現場での実用化に至っていない。

一般的に、レーザー加工で使用されるビーム形状は、ガウシアンビームが採用されている。これは、ガウシアンビームがエネルギーの空間分布的には優れないものの、レーザー光の伝播状態を制御しやすい利点を持つためである。

しかし、従来のレーザー加工（例えば穴あけ加工）においては、ガウシアンビーム形状を微小スポット径に絞り込んでいるため、レーザービームは被加工物の面上でエネルギーの空間分布を生ずる。そのため、従来のレーザー加工機で実現する場合、加工形状は深さ方向に対して不均一となり、加工状況が変化する毎にレーザー光源と加工光学系の複雑な光軸調整を必要とし、ビーム形状を制御したうえで加工条件等の最適化を行わなければならない。また、被加工物や材料等が変更される場合、光学部品等の調整はその都度手作業で行うという煩わしさがあった。その光学系は、収差の小さい高精度な固定レンズ及び固定ミラーの選別と組合せによって行われるため、結果的にシステム、加工コストともに高価になるという課題があった。

本研究では、こうした課題を解決するため、任意に形状を変化できる形状可変ミラーを開発し、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ことを目的とし、ビーム形状を自在に制御できる形状可変ミラーを搭載したレーザー加工機を開発する。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自動制御機構を併せて開

*1 株式会社オキサイド

*2 国立大学法人東京大学生産技術研究所

発する。今年度は、昨年度までに開発した形状可変ミラーを搭載したレーザ加工機を試作し、加工実験を実施した。

2. 形状可変ミラー搭載レーザ加工機の製作

昨年度製作した実験用試作機をより小型化するため、光学系のコンパクト化を図った。また、整形性能を向上させるため制御アルゴリズムを高度化するとともに、加工物の移動ステージを付帯させ、新たに形状可変ミラー搭載レーザ加工機を製作した。

製作したレーザ加工機の外観を図1に示す。加工機は、上段のビーム整形装置と下段の移動ステージを搭載した加工室に分かれている。



図1 形状可変ミラー搭載レーザ加工機

2-1 ビーム整形装置

形状可変ミラーを搭載したビーム整形装置を図2、光学系の模式図を図3に示す。また、ビーム整形制御系を図4に示す。

ビーム整形装置は、ガウシアンビーム形状を有するファイバーレーザ発振器、レーザ装置の直後に設置したビームエキスパンダ光学系(×2)、形状可変ミラーとビーム検出器を組み込んだビーム整形装置部、ビーム広がり補正用光学系、加工光学系、および制御コンピュータにより構成されている。トップハットビーム形状、リングビーム形状およびラインビーム形状へのビーム整形ができ、コンピュータによる遠隔操作で自動制御が可能である。また、B4サイズ(300×400mm)以下に縮小設計し、堅牢な実験用架台上にファイバーレーザと同一面上に搭載できるようにした。これにより、既設のレーザ加工機の光学系に組み込み、B4サイズ程度の後付け型コン

パクトビーム整形装置としても可能であることを実証できた。

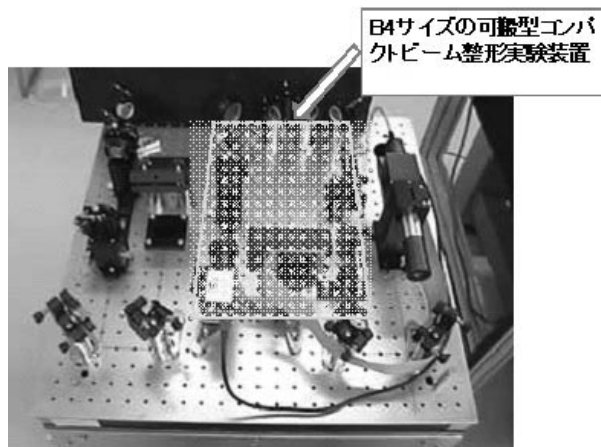


図2 コンパクトビーム整形装置

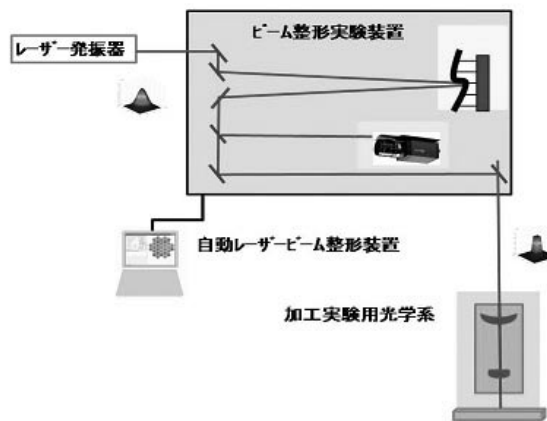


図3 光学系

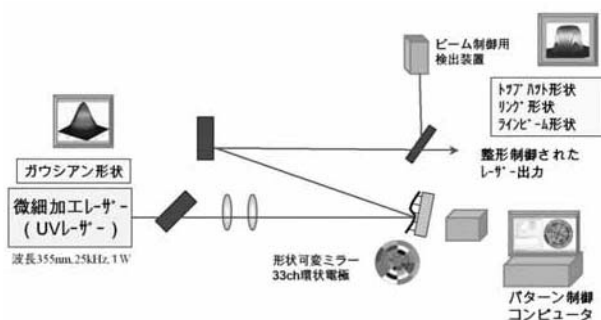


図4 ビーム整形制御系

形状可変ミラーは、昨年と同様に33ch型である。形状可変ミラーでビーム整形制御を行う場合、ビーム整形性能には以下の2点が重要な要素である。①入射ビーム形状に対し、適切な形状可変ミラー面の制御を行える電極配置がされていること。②反射面であるポリマー薄膜の面張力が中心から放射状に均質な張力を有していることである。コンピュータシミュレーションによるInfluence Function実験等により検討した結果、レーザ加工機のビ

ーム形状が円形山形である gaussian ビーム形状を有している場合、トップハットビーム形状やリング形状、ラインビーム形状にビーム整形を行う場合、中心からリング状に配置され、且つ放射方向に8分割された構造が最適であることが実験結果から得られている。その結果により精密な制御を行うことを考慮して、図5に示すように中心点の外側に4列のリングを配し、33の電極を有する構造とした。

新型形状可変ミラー-33ch電極構造

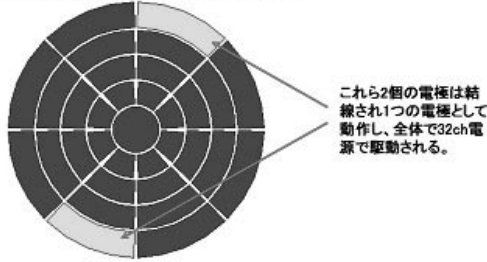


図5 33ch電極構造

2-2 制御アルゴリズムのソフトウェア化

一昨年度に検証をした2種類のアプローチのうち、一方は大局的なビーム整形制御に適し、もう一方はビーム形状ライブラリーから選択したビーム形状の安定化制御に適切であるという結果が得られている。これらの制御アルゴリズムを実際に形状可変ミラーの駆動装置の制御系に組込んだ。本プロジェクトで目標とする自動ビーム整形制御は、入力レーザーのビーム形状の計測、目標のビーム形状と入力レーザービーム形状の差異を比較計算して、制御アルゴリズムによる形状可変ミラー電極のパターン制御の作業を繰り返すことによって、ビーム形状と目的のビーム形状との差異が最小になるようにする。この制御アルゴリズムによって目標のビーム形状が得られる。図6にビーム整形制御用自動化ソフトウェアのコンピュータスクリーンの一例を示した。本年度は自動制御

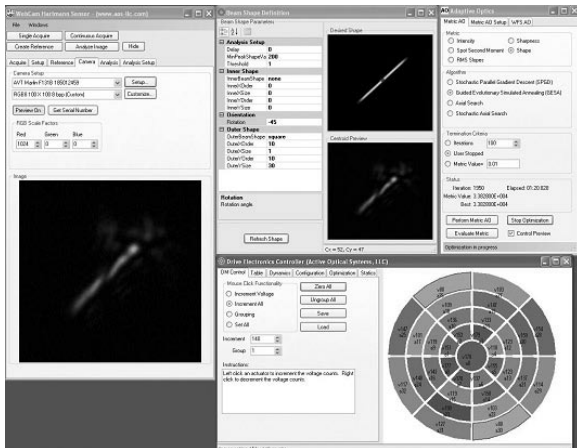


図6 ビーム整形制御ソフトウェアスクリーン

をさらに効率的に行う制御アルゴリズムとして検討を行ったGESAおよびSPGDを波面解析ソフトウェア上に組み込み、形状可変ミラー駆動ソフトウェアと統合し、ビーム整形の自動化を可能にする制御ソフトウェアを完成した。

2-3 レーザ加工機

ビーム整形装置と移動ステージを一体化し、レーザー加工機を製作した。

移動ステージは、ステッピングモータによるボールネジ駆動型で、最大移動速度は50mm/sである。ステージ面積は100×100mm、加工室は400×400mmである。

本装置は、電子部品など微細切削穴あけ加工を低価格で実現するコンパクトなビーム整形型レーザー加工機として実用化を視野に今後も高精度化を進める。

3. レーザ加工

3-1 実験方法

形状可変ミラーを組込んだコンパクトビーム整形装置と移動ステージを用いて加工実験を行った。被加工物はレーザー顕微鏡を用いて加工状態を観察し、ファイバーレーザーの gaussian ビーム形状による加工とビーム整形を行ったトップハットビーム形状の加工形状を比較し、ビーム整形技術を加工に応用する可能性を検証した。

ビーム整形されたレーザー加工機による基礎的な加工状態を確認するため、試作したIPGフォトリクス社製ファイバーレーザーを光源としたコンパクトビーム整形装置を使用して、各種材料にレーザー加工を行い、加工形状をレーザーテック社製のレーザー顕微鏡により観察・評価を実施した。レーザー加工実験条件は次のとおりである。

<加工条件>

加工素材：SS400

発振器波長：1064nm

加工面出力：10W

発振周波数およびパルス幅：20kHz・100ns

レーザービーム径：50μm

被加工物送り速度：約10~50mm/sec

アシストガス：なし

3-2 実験結果

図7に、SS400材への加工状態をレーザー顕微鏡により評価した結果を示す。

整形したTophat形状(図8)のビームにより加工実験を行った。ビームのエネルギー分布は図9のようになると考えられ、加工の状態もTophatでは5~7μm程度と浅く、Gaussianでは10μm程度でより深く加工された。

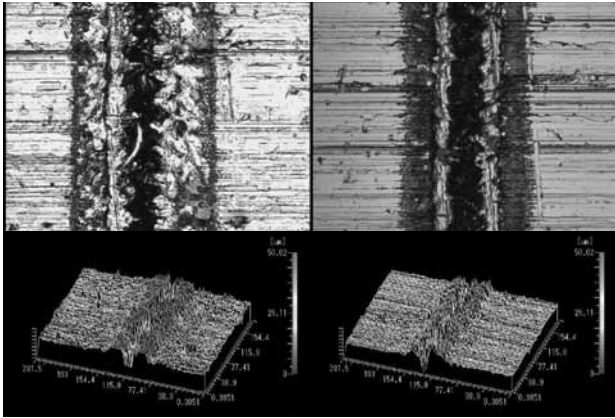


図7 エネルギー分布による加工の状態
(左：Tophat 右：Gaussian)

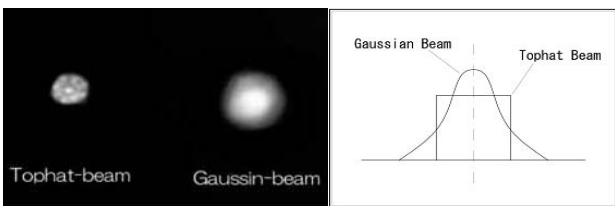


図8 Tophat beam形状

図9 エネルギー分布

4. 結 言

本年度は、昨年度開発したビーム整形装置と加工ステージを一体化した可搬型レーザー加工機を製作し、また自動制御を可能にするビーム整形制御ソフトウェアを高度化するとともに、レーザー加工実験を行い自動制御によるビーム整形を実証した。概要は以下のとおりである。

- (1) 高出力レーザー加工機に利用可能な形状可変ミラーコーティングの高性能化・高信頼性化を図った。
 - ・波長1064nm帯，平均出力50Wにおいて，ダメージ耐圧2GW/cm²以上を達成
 - ・波長355nm帯，平均出力1Wにおいて，ダメージ耐圧500MW/cm²以上を達成
- (2) 加工実験用に，可搬型ビーム整形装置，ファイバーレーザー及び精密加工ステージを搭載した可搬型レーザー加工機を試作した。ビーム整形部分はコンパクト化を図り，目標であるB4サイズを実現した。
- (3) 整形したTophat形状のビームにより加工実験を行った。加工条件は，材料SS400，出力10W，繰返し周波数20kHz，加工速度10mm/sである。加工の状態はTophatでは5～7μm程度と浅く，Gaussianでは10μm程度とより深く加工された。
- (4) 実用化を目指し，ビーム整形プログラムの高度化及び整形アルゴリズムのソフトウェア化を実現した。

参考文献

- 1) 宮崎 俊行編：レーザー加工技術，産業図書，p.18