

# プリズムローテータを用いた 高速高品質レーザ穴あけ加工技術の研究

High Speed & Quality Laser Drilling Technology by Using Prism Rotator



呉屋 真之\*<sup>1</sup>  
Goya Saneyuki

渡辺 俊哉\*<sup>2</sup>  
Watanabe Toshiya

山口 純平\*<sup>3</sup>  
Yamaguchi Junpei

山下 貢丸\*<sup>4</sup>  
Yamashita Tsugumaru

鈴木 竜\*<sup>5</sup>  
Suzuki Ryu

従来のレーザ穴あけ加工方法は、加工用レーザヘッド、もしくは加工ステーを機械的に回転させることにより加工を行うため、質量や剛性の制限を受けるこれら構造物の加減速が律速となり、加工速度の向上には限界があった。また、加工速度に限界があることにより、加工品質に関わるレーザによる熱影響の抑制にも限界があった。以上の課題に対し、レーザヘッドや加工ステーなどの構造物に比べて、わずかな質量で構成されるレーザ光学系を高速で回転させることにより、従来のレーザ加工に対し同等以上の加工品質を保持しつつ、大幅な加工速度の向上を実現した。

## 1. はじめに

レーザ加工は、高速加工技術として広く普及している。レーザは指向性、集光性に優れ、微小領域にエネルギーを集中することで、効率的に加工対象物を熔融、蒸発させることができ、その結果、加工速度を増大させることができるためである。一方で、その高いエネルギー密度が故に、十分な加工品質が得られないケースがある。それは、レーザ照射による加工対象物への過度な入熱により、加工部位に熱影響による変質層の生成をもたらす、材料強度等、その熱影響層が被加工物に必要な仕様を満たせなくなるためである。そのため、レーザ加工分野では、熱影響を与えない、いわゆる非熱加工技術の開発が活発に進められている。

穴あけ加工においては、加工速度増大のため、ガルバノミラーの高速移動等を利用した高速レーザ移動により、レーザヘッドの機械的回転に比較し高速加工が可能であり、切断ガス不要時の加工においては非常に強力なツールである<sup>(1)-(4)</sup>。ただし、多くのレーザ切断では、現状は切断ガスの供給が必要となるため、ガルバノミラー等による高速加工技術は適用範囲が限定されることがある。

これに対し、本研究では、レーザの高速移動かつ切断ガス供給をできる方法として、レーザヘッドを固定のままレーザの光路をプリズムにより偏光し、プリズムを高速回転させることで、加工速度、加工品質の向上を試みた。

本稿では、偏光プリズムを高速回転させることで、加工速度、品質向上を検証した結果を報告する。

\*1 技術統括本部 横浜研究所

\*2 技術統括本部 横浜研究所 主席 工博

\*3 機設ドメイン 工作機械事業部 技術部

\*4 機設ドメイン 工作機械事業部 ソリューション技術センター 主席

\*5 三菱重工航空エンジン(株) 技術部

## 2. 加工原理

図1にレーザーによる通常の穴あけ加工方法を示す。通常のレーザーによる穴あけ加工の際は、レーザーヘッド一式を回転させる(もしくは被加工物をレーザーヘッドの位置に対して円運動させる)ことで加工しているため、レーザーヘッド(もしくはステージ)の機械的な移動速度が律速となり、直径がサブ mm オーダの小さな穴の加工に対しても、秒単位の加工時間からの時間短縮は困難である。

そこで、ガルバノミラー光学系に匹敵する加工速度を得ることを目的に、図2に示すとおり、本開発ではレーザーヘッドを固定のまま、レーザー光を対向する一対のプリズムのみを回転させることで、高速回転可能な光学系の実現を試みた。

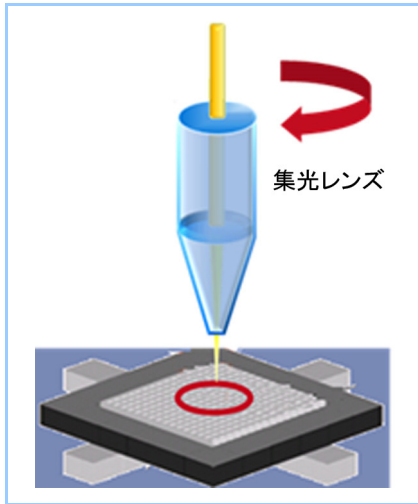


図1 通常の加工方法

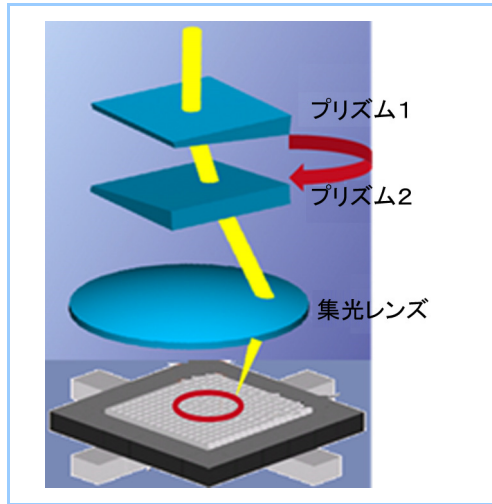


図2 高速加工用ヘッドの概念図

これは、加工径は光軸に対するプリズムでの偏向角にて調整し、プリズムを含めた偏向光学系を高速に回転させることで、ガルバノミラー光学系に近い高速運動を実現させるものである。また、プリズム回転径をノズル出口内径以内に収めることにより、加工軸に対し常に垂直の方向からアシストガスを供給することを可能とし、ガルバノミラー光学系による高速加工の欠点のひとつを補うことを可能とした。

図3に、プリズムによる偏光原理を示す。図3(a)のように、同一形状のプリズムを互いに反対向きに設置した場合は、それぞれのプリズムでの偏向角が相殺され、プリズムを介さない場合と同様、レーザーは集光レンズの中心を直進しそのままワーク上に集光される。一方、図3(b)のように、プリズムを互いに反対方向に回転させると、水平方向の偏向角は相殺されるものの、垂直方向の偏向角が揃い射出光は図の上の方向に曲がり、その結果、ワーク上の集光点も中心から上部に移動する。このプリズムの偏向角状態を保持したままプリズムを回転させることにより、集光点の中心からの移動長さを半径とした円の軌跡に沿って加工が行われる。

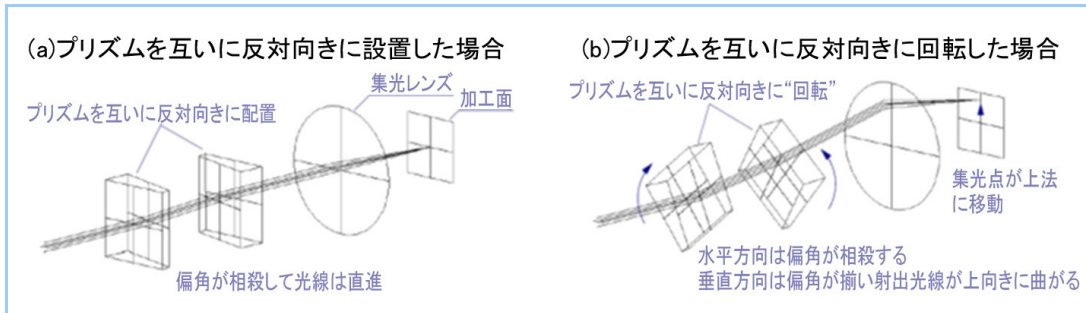


図3 プリズムによる偏光原理

図4に、プリズムの偏向角を変化させた際の光学追跡シミュレーションにより得られた結像部のレーザー強度分布を示す。プリズムによりワーク上の結像位置を変化させた際においても、レーザーの強度分布は変化しないことがわかる。

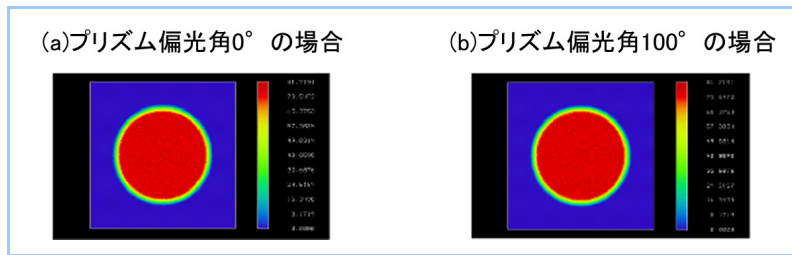


図4 結像シミュレーション結果

### 3. 加工検証

レーザーにファイバレーザーを用い、金属の穴あけ加工(材質;インコネル, 板厚:1mm, 穴径; 0.7mm)に対し, 加工品質と加工速度の両立を目指し, 加工条件の適正化を行った。

図5に適正化したレーザー加工条件で穴あけを行った加工穴の表面写真を, 図6に断面写真を示す。また, 表1に, 従来の加工方法に対する本加工方法の加工時間, 加工品質の相対比較結果を示す。図5, 6及び表1に示すとおり, 従来法においても加工品質は仕様を満足していたもののさらに加工品質が向上し, かつ加工時間を $\sim 1/9$ に短縮することが可能であることを実証した。

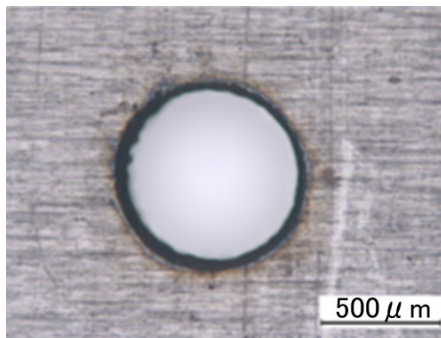


図5 適正化後の加工面表面

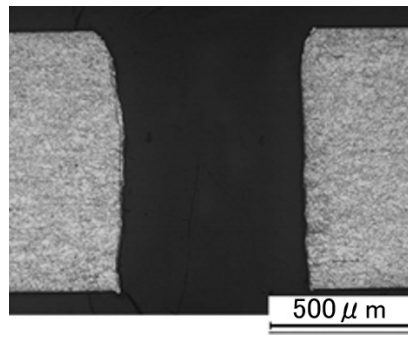


図6 適正化後の加工面断面

表1 従来工法に対する加工時間, 品質の比較

	穴あけ時間	加工品質
従来法	1	○
本開発	$\sim 1/9$	◎

### 4. 装置構成

今回の実証で用いた装置構成は次のとおりである(図7参照)。まず, 任意の加工径に対応させさらに高速穴あけ加工を実現させるために, 対向する2つのプリズムを高速で回転させ無段階で位相を変更する必要があった。そこで2つのプリズム(プリズム1, プリズム2)を, それぞれ独立したダイレクトドライブ式サーボモータ(モータ1, モータ2)によりそれぞれ制御した。これら2つのプリズムを同期して連続回転させ続けることで, 同一穴径加工時はプリズム回転の加減速時間をゼロにすることが可能であり, さらなる加工時間短縮が可能となる。また, 焦点位置を精度よく計測するために, レーザ干渉式測長センサを, ノズルの中心位置の段取り時間短縮のために, 加工点確認カメラを同一光学系に組み込んだ。

さらに, ノズルを傾斜する傾斜軸モータ及び, ワーク側に旋回テーブルを搭載することにより, 3次元形状に対するレーザー穴あけ加工に対応可能とした。

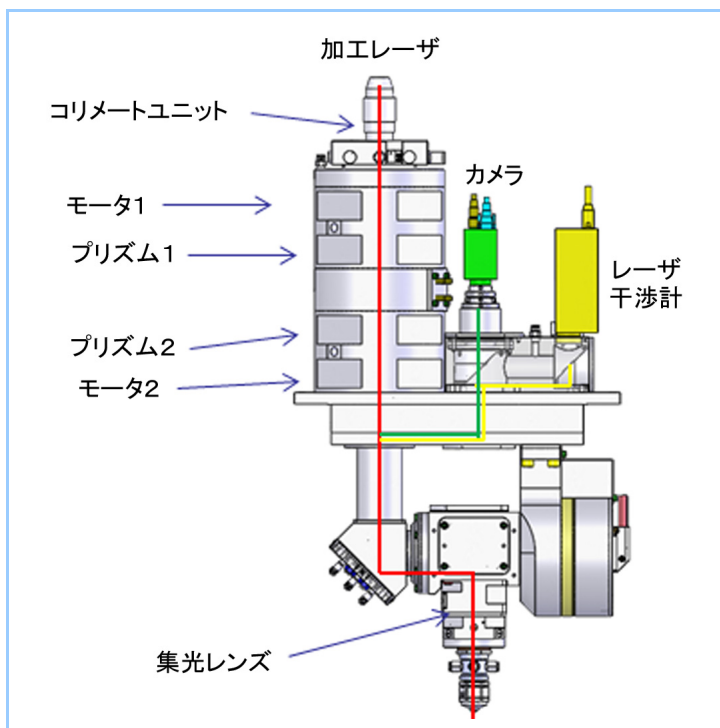


図7 加工ヘッドの構成

## 5. まとめ

レーザーヘッドを固定し、レーザー光を偏光するプリズムユニットのみを回転させることで、高速回転可能な光学系を開発し、従来法と比較し加工品質が向上し、かつ加工速度を $\sim 1/9$ に短縮することが可能であることを実証した。

## 参考文献

- (1) 宮本勇, “レーザー加工”, 精密工学会誌, Vol75, No.1 (2009) p.66.
- (2) 荒谷雄, “ファイバレーザーとその加工の最前線”, 高温学会誌, Vol35, No.4 (2009) p.176
- (3) 久世修, “次世代プリント配線板用レーザー加工技術”, エレクトロニクス実装学会誌, Vol.13, No.5, (2010). p.405.
- (4) T.Lutke et. al, “Remote-cutting - A smart solution using the advantages of high brightness lasers”, Proc. ICALEO2008 (2008) p.695