

< 2 > 新規産業開発研究

< 2 - b > 地域産業育成探索 / 実証研究

地域光産業振興に関する研究

小テーマ：加工 高出力半導体レーザーの産業応用に関する研究

研究従事者：浜松工業技術センター 先導基盤技術部 光技術スタッフ 主任研究員 渥美博安

( 1 ) 研究の概要、新規性及び目標

研究の概要

高出力半導体レーザー素子から出る光ビームを直接加工対象に照射して、溶接したり切断したりする産業応用は、まだ実用例は少ない。また、国内においても、どのような応用が最適であるかが模索段階にある。しかしながら、半導体レーザーの小型、堅牢性などの長所は将来的展望から見ても大変期待されているところであり、地域産業、企業に対する半導体レーザー応用についての技術支援を早期に開始することが重要であると考慮される。

そこで、3段階程度出力レベルが異なる半導体レーザーを常設し、半導体レーザーの基本的な性能確認や取扱い方法の習得、被加工材料への照射試験を実施することができる環境を構築すること、これにより技術的な課題を探索するとともに、地域企業の技術者育成を支援することなどを目的として研究事業に取り組むものである。

また、地域の企業が実施する「高出力半導体レーザーを使用した溶接システムの開発研究」にも共同研究者として参画して、システムの機能向上のための直接的な支援や溶接特性評価、システムとしての評価などに協力する。

研究の独自性・新規性

半導体レーザーは通信、計測用に使われることが多かったが、高出力タイプのシングルチップ素子、アレイ型素子、スタック型素子と出力アップが進み、国外では金属を対象とした加工用途に使用できる半導体レーザー（kW級）装置も出現している。現在、国内ではこのような装置のメーカーは、ほとんど皆無であるが、既存のレーザーメーカーでも、YAGレーザーの励起用に半導体レーザーを導入するなど、従来レーザーの次は半導体レーザー直接照射をターゲットとしている状況があり、研究開発の必要な技術分野である。

研究の目標（フェーズ毎に数値目標等をあげ、具体的に）

高出力半導体レーザーを産業応用するための技術的基盤の構築と地域企業が産業応用や研究開発に取り組む際の情報提供や技術支援が充実できること、さらに半導体レーザーを組み込んで省スペース、省エネルギー化をはかりレーザー制御の高機能性を付加した溶接システムの開発に参画して半導体レーザーの実用化に関する技術蓄積ができることを目標とする。

1) 高出力半導体レーザーを使った高能率な溶接システムの開発

目標：高出力半導体レーザー溶接機に搭載する溶接検査システムの開発を行う。

2) 高出力半導体レーザーによる材料加工

目標：直接照射型半導体レーザーにより各種材料加工を行う。

3) ファイバーレーザーによる金属薄板の高速切断

目標：0.1mmのステンレス鋼を秒速1m程度の高速で切断する事を目標とする

(2) 研究の進め方及び進捗状況(目標と対比して)

高出力半導体レーザーを使った高能率な溶接システムの開発

目標：高出力半導体レーザー溶接機に搭載する溶接検査システムの開発を行う。

1) はじめに

半導体レーザー加工機はエネルギー変換効率が高く、省エネルギー、低コスト、高品質な加工が可能であるため、産業への応用が期待されている。エンシュウ(株)は、自動車産業をターゲットとした高出力半導体レーザー溶接機の開発を目的として、平成13年度(補正予算)即効型地域新生コンソーシアム研究開発事業「高出力半導体レーザーを使った高能率な溶接システムの開発」を受託した。浜松工業技術センターは、同事業に参画し、高出力半導体レーザーで加工した溶接試料の試験を行うとともに、溶接システムに搭載する溶接欠陥検出システムの開発を行った。本システムは、溶接加工を最適に制御するため、光センサーにより溶接部の形状を測定した後、段差不良、厚さ不良等の溶接欠陥をリアルタイムで溶接システムへフィードバックする機能を持っている。

2) 方法と結果

写真1に溶接ビードの形状を測定する3D光センサーを装着した状態の溶接ヘッドの外観を示す。3D光センサーは、図1に示すようにレーザースポットを測定対象に走査しながら、三角測量の原理で距離を計測していく。

表1に示す溶接試料の溶接ビードの高さ、段差を計測した結果を図2に示す。全体的に段差は低く抑えられていることが分かる。ビードの高さはマイナスになっており、図3に示す計測位置のビード形状のように、窪み(アンダーフィル)が形成されている。溶接試料の後半部では、図4に示す計測位置のビード形状のように、左右の面に段差が生じていることが分かる。

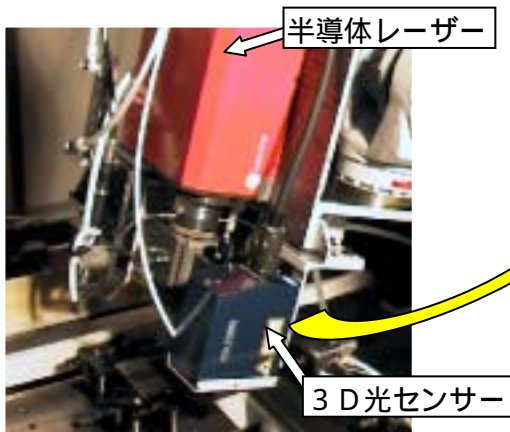


写真1 溶接ヘッド外観

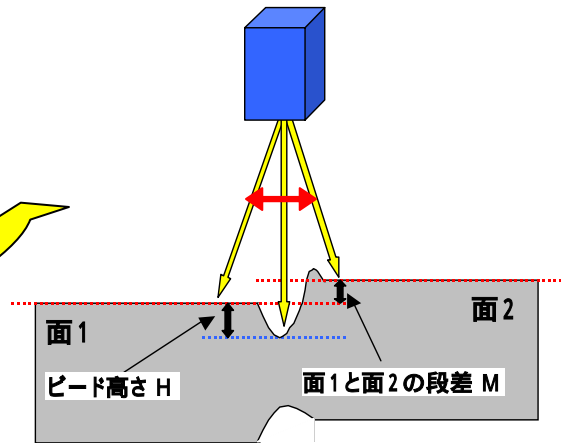


図1 光センサーによる溶接ビード形状の測定

表1 計測した溶接試料

| 試料材質 | 寸法                    | 溶接方法  | 溶接条件                                  |
|------|-----------------------|-------|---------------------------------------|
| SPCC | 35mm × 60mm<br>厚さ 1mm | 突合せ溶接 | レーザー出力 3kW 溶接速度 5m/min<br>突合せ隙間 0.1mm |



写真2 溶接ビード外観

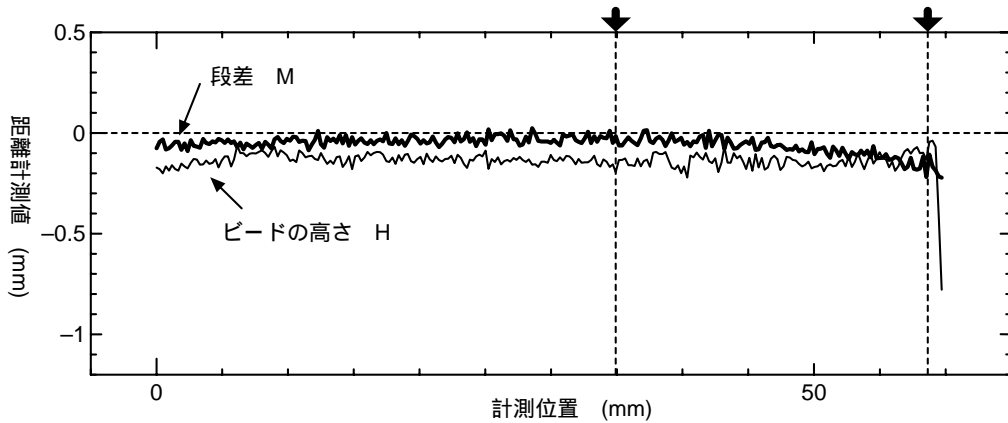


図2 溶接ビードの高さ、段差の計測結果

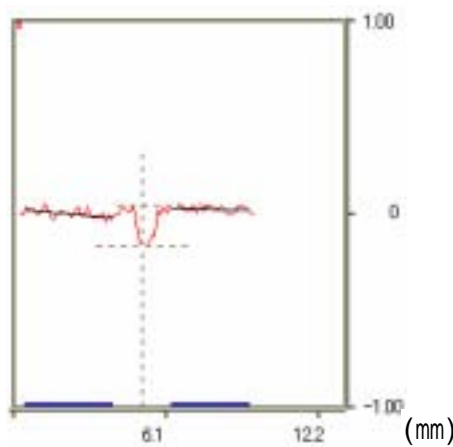


図3 計測位置 のビード形状

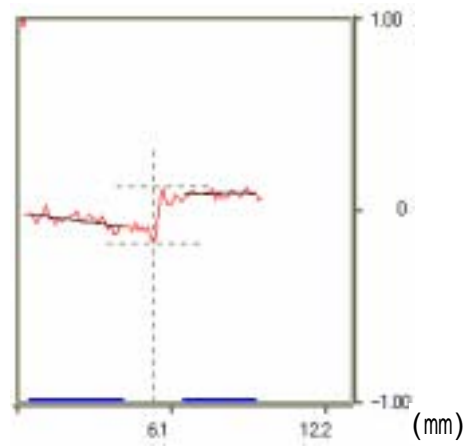


図4 計測位置 のビード形状

## 高出力半導体レーザーによる材料加工

目標： 直接照射型半導体レーザーにより各種材料加工を行う。

### 1) はじめに

近年、半導体レーザーが高出力化するのに従い、キロワットクラスの高出力半導体レーザー加工装置が製品化されるようになってきている。高出力半導体レーザー加工装置は、エネルギー利用効率の高い半導体レーザーの光を加工対象へ直接照射するため、他のレーザー加工装置と比較して、省電力、小型化が可能であり、産業界への普及が期待されている。

高出力半導体レーザー加工装置は、多数の半導体レーザー素子を集積化しているため、光学系で小さな点に集光することが難しく、長方形の集光スポット形状となる。従って、半導体レーザーによる直接加工技術が普及するためには、長方形の集光スポット形状を持つレーザー光で各種材料の加工特性を明らかにしておくことが重要である。

本研究では、出力500Wの高出力半導体レーザー加工装置(株浜松ホトニクス製)を使用して、集光スポット形状を計測するとともに、溶接、クラディング、ろう付け、曲げ加工等の加工試験を行い、適用可能な加工領域を探索した。

### 2) 方法

実験に使用した加工装置の概要を図5に、仕様を表2に示す。集光スポットサイズは、高出力レーザー用のビームプロファイラー装置(Primes社製)を使用して計測した(図6)。

集光レンズは、加工中に発生する煙や金属蒸気からエアーカーテンにより保護されている。また、反射光による機器の破損を防ぐため、レーザーは、加工物に対して約30度に傾けて照射した。

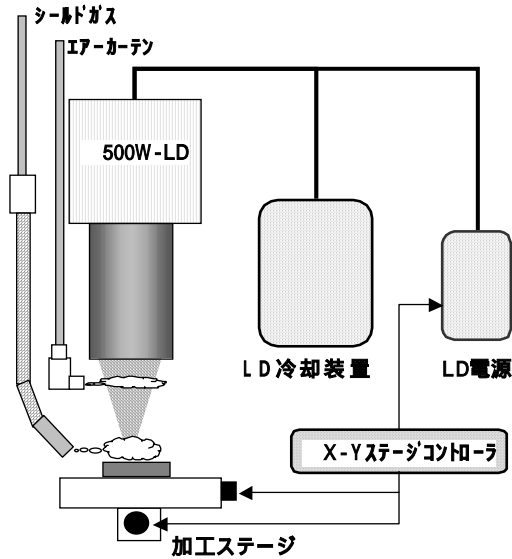


図5 高出力半導体レーザー加工装置の概要

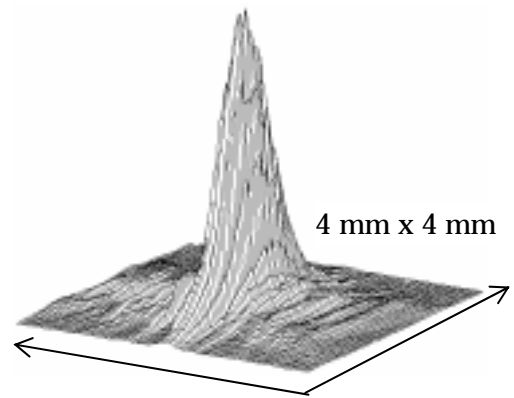


図6 集光スポット形状

|             |                                     |
|-------------|-------------------------------------|
| レーザー出力      | 500W                                |
| 集光スポットサイズ   | 1.59mm x 0.34mm (1/e <sup>2</sup> ) |
| ワーキングディスタンス | 72mm (集光レンズF:100)                   |
| シールドガス      | アルゴン                                |
| 加工ステージ可動範囲  | 200mm x 300mm                       |

表2 高出力半導体レーザー加工装置の仕様

### 3)加工結果

#### 3-1 ビードオン試験結果

厚さ1mmの軟鋼(SPCC鋼板)とステンレス鋼(SUS304)に対してビードオン溶接試験を行った。試料断面を研磨した後、エッチングさせて金属組織を観察した(図7)。レーザーにより溶融した溶込み形状は、幅が広く、深さが浅い半円形であり、典型的な熱伝導溶接であることがわかる。

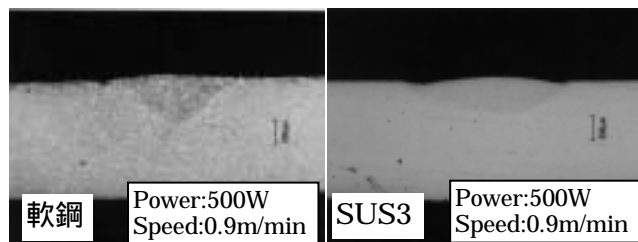


図7 ビードオン溶接試料断面

#### 3-2 突合せ溶接試験結果

厚さ0.6mmの軟鋼とステンレス鋼の薄板を突合せ溶接の試験を行った。図8に示すように、ポロシティ等の溶接欠陥は見られなかった。

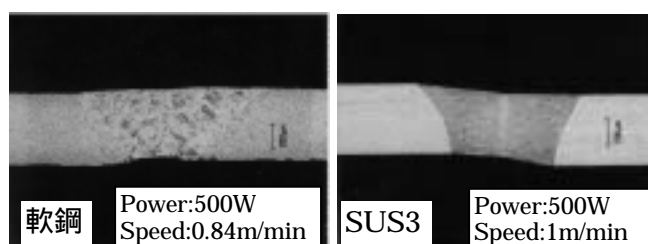


図8 突合せ溶接試料断面

### 3-3 クラディング試験結果

厚さ 2 mm の母材 ( ステンレス鋼板 : SUS 3 0 4 ) の平板上に Ni - Cr 自溶性合金をクラディングした。図 9 に示すように、母材の上にスリット ( 隙間 2 mm × 5 0 mm ) を置き、その隙間を Ni - Cr の粉末で埋める。スリットを取り去った後、母材上の残った粉末をレーザーで溶解させた。図 10 にクラディングした試料の断面形状を示す

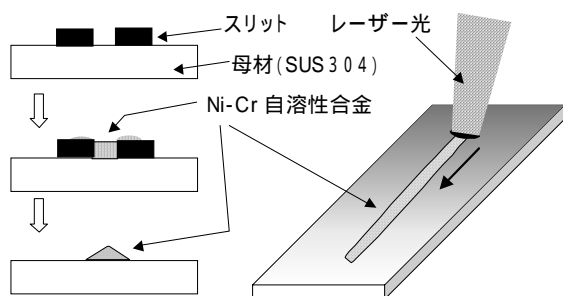


図 9 クラディング加工

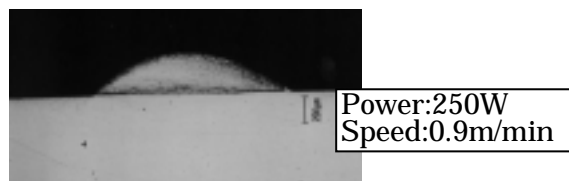


図 10 クラディング試料断面

### 3-4 曲げ加工試験結果

厚さ 2 mm と 3 mm のステンレス鋼の平板の曲げ加工試験を行った。図 11 に示すように、片側を固定した平板の中心をレーザーで走査する。試料は、1 回、走査するたびに、自動ステージにてレーザー距離センサを配置した場所へ移動し、変形した試料の端部の高さを測定することにより角度を算出する。十回、走査して曲げ加工を行った結果を図 9 に示す。

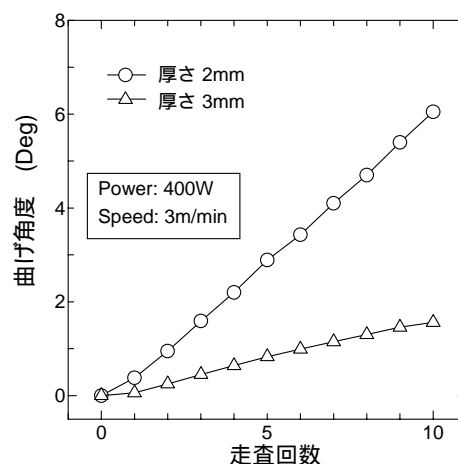


図 11 走査回数と曲げ角度

### ファイバーレーザーによる金属薄板の高速切断

目標： 0.1mm のステンレス鋼を秒速 1 m 程度の高速で切断する事を目標とする。

#### 1) はじめに

近年、光通信分野で光増幅器として開発されたファイバーレーザーの高出力化が進み、微細熱加工用光源としての応用が期待されている。

ファイバーレーザーは、コア径約 10 μm の光ファイバーの中で発振しているため、レーザー光の品質に優れ、適当な光学を用いれば数ミクロンの微小スポットに集光することができる。また、レーザー発振の種光として発熱量の小さい数ワットの半導体レーザーを使用して熱源を分散しているため、冷却装置は、安価で小型な空冷方式を採用できる。従って、ファイバーレーザーは、高出力のレーザー光を微小スポットに集光できると同時に、小型で長寿命等、従来のレーザーに無い優れた特徴を持っている。

本研究では、ファイバーレーザーの金属加工への応用を目的として、出力 100W のファイバーレーザーを使用して、金属薄板の高速切断を試みた。

## 2) 方法

実験に使用した機器の仕様を表3に、システムの構成を図12に示す。レーザー光は、ファイバーレーザーから光ファイバーで導光された後、コリメータレンズで直径約5mmの平行光となり、焦点距離50mmの集光レンズで約20 $\mu\text{m}$ (計算値)の微小スポットに集光される。ノズル先端からは、溶融した金属を除去するために、レーザー光と同軸にアシストガスを高圧で噴射する。

加工する試料は、移動ステージに固定され、最高秒速1mで加工することができる。また、光电センサを使用して、試料の有無を検知することにより、レーザーの照射の制御を行う。本研究で使用した試料は、図13に示すように、100mmx50mmのステンレス鋼(SUS304 厚さ0.1mm, 0.2mm)を使用し、切断幅を計測できるように、試料幅の半分の位置でレーザーの照射を止めた。

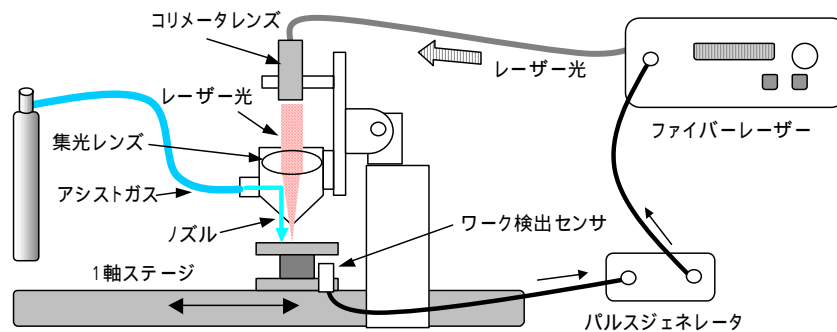


図12 システム構成

|           |  |
|-----------|--|
| 光源        | 100W シングルモードファイバーレーザー<br>YLR-1000 (IPG 社製)<br>波長 1075nm $M^2=1.05$ |
| 集光レンズ     | F=50mm 集光レンズ(シグマ光機製)   |
| パルスジェネレータ | 8116A(HP社製)  |
| 1軸ステージ    | KT45A(THK社製)<br>最高移動速度 1000mm/s<br>移動幅 500mm                       |

表3 機器の仕様

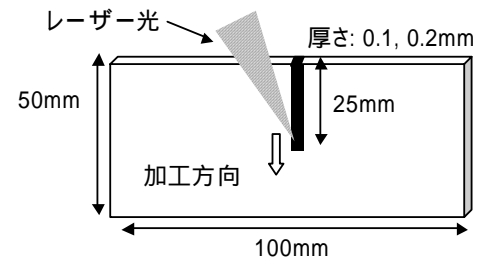


図13 試験試料 (SUS304)

## 3) 実験

### 3-1 切断加工試験

厚さ0.1mmのステンレス鋼板を、圧縮空気をアシストガスとして切断加工を行った結果を図14に示す。図中では、完全に切断することが出来た場合は丸を、完全に切断出来なかった場合は三角を、貫通した穴が無かった場合はバツをプロットしている。

レーザーの出力を上げると、切断することが可能な最高速度も上がり、また、加工速度を上げると切断幅が小さくなる。出力100Wの場合、最高速度900mm/s、最小切断幅40 $\mu\text{m}$ で切断することが可能であった。

### 3-2 切断加工試験

アシストガスの種類が切断加工に及ぼす影響を調べるために、アシストガスを圧縮空気、酸素、窒素の3種類を使用して切断加工試験を行った。レーザー出力を100Wに固定し、加工速度を変化させて切断加工を行った結果を図15に示す。加工試料は、厚さ0.1mmの

ステンレス鋼板では切断結果に明確な差が出なかったため、厚さ 0.2mm の試料を用いた。  
 酸素を使用した場合、酸化反応により加工部が茶色に変色してしまうが、最高 400mm/s の速度で切断することができた。窒素の場合、シールド効果により加工部の外観は良好であるが、切断可能な速度は 200mm/s に留まった。また、最小切断幅は、いずれのアシストガスでも 50  $\mu\text{m}$  であった

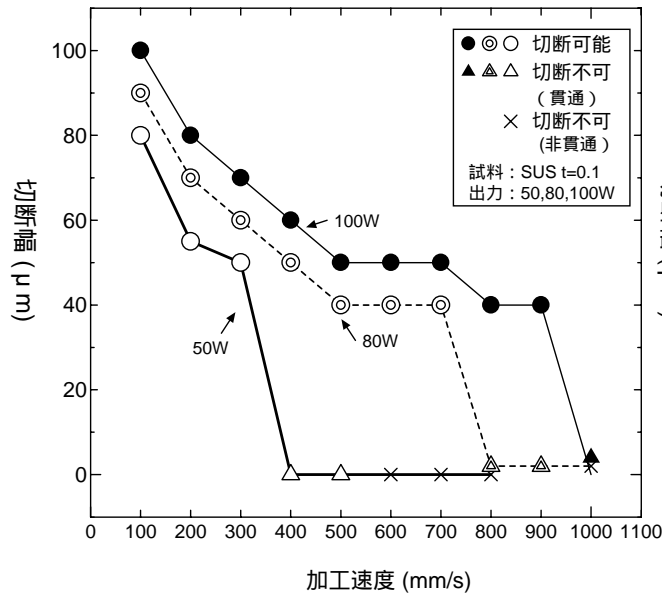


図 14 レーザー出力と切断特性

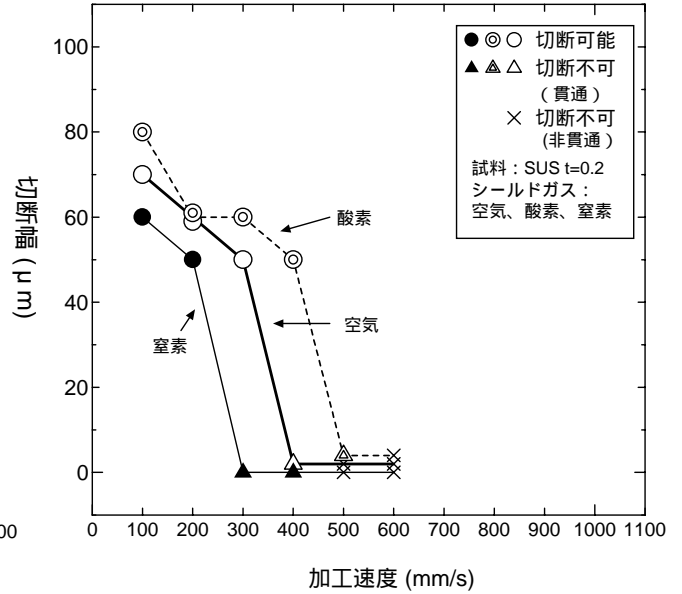


図 15 アシストガスの種類と切断特性

#### 4) まとめ

出力 100W のファイバーレーザーを使用して、厚さ 0.1mm のステンレス鋼板の切断加工を試みた結果、最高速度 900mm/s、最小切断幅 40  $\mu\text{m}$  で切断できた。また、アシストガスの種類を変えて厚さ 0.2mm のステンレス鋼板の切断加工を行った結果、酸素を用いた場合に、最高速度 400mm/s、最小切断幅 50  $\mu\text{m}$  で切断できた。

今後は、レーザー光を集光した時のビーム径や加工ヘッドのノズルの形状が切断特性に与える影響を研究していく予定である。

### (3) 主な成果

具体的な成果内容：

主として半導体レーザー素子 (1W、50W、100W)、駆動電源、ステージなどの部品、500W半導体レーザー、100W ファイバーレーザー照射装置で構築した環境であるが、応用のための基礎的な技術の習得、支援の場が開設できた。

### (4) 研究成果に関する評価

国内外における水準との対比

高出力半導体レーザー装置の製品化状況は、ドイツのレーザーライン社で 6 kW までの装置が製品として販売されている。また、溶接システムについては、研究進行中である。

実用化に向けた波及効果

半導体レーザーの応用技術習得環境の開設には地域の企業ばかりでなく、県外企業からも問合せを受けている。現在、説明会、実習による技術支援を開始しているが、当初の予想を上回る参加者からの申し込みを受け付けている。

(5) 残された課題と対応方針について

半導体レーザーを応用する上で、レーザービームの形状が従来レーザーと比べて特徴的であり、このことを活かした用途が望まれ、従来の応用分野とは異なる新たな領域展開が予想される。従って、応用の探索を積極的に進めていく必要があり、さらに出てきたビームの集光や整形技術、レーザー素子についても、構造面からの開発の余地があると考えられる。