

# 木材のレーザー切断加工におけるアシストガスの効果 —アシストガス流れが切断加工性状へ及ぼす影響—

北田 良二\* 渡邊 則彦\*\*

## Assist Gas Effects on the Laser Cutting of Woods —Influences of Assist Gas Flow for Cutting Quality—

by

Ryoji KITADA\* and Norihiko WATANABE\*\*

### 要 旨

木材は様々な産業で使用されており、一般的には機械的な加工法が適用されている。近年、炭酸ガスレーザーを用いた木材の切断加工や彫刻加工が注目されており、装飾品などの微細加工技術として注目されている。しかしながら、レーザー加工はパラメータが多く、その条件によって加工品質が大きく左右される。例えば、レーザー光やアシストガスに関する条件を最適化する必要がある。通常、レーザー出力などのレーザー光に関するパラメータは経験的に調整されるが、アシストガスについては考慮されることが少ない。

そこで、本研究では、炭酸ガスレーザーを用いた高品位レーザー切断加工を目指して、実験的および理論的にアシストガスの効果について検討した。圧縮空気によるアシストガスのノズル高さ、ノズル径、流量をパラメータとして、実験的に切断加工性状を評価した。また、流体解析により、切断溝に対するアシストガス流れを理論的に求めて、アシストガスが切断加工性状に及ぼす効果を考察した。その結果、ノズル高さ、ノズル径、アシストガス流量は、レーザー光出口側の切断溝幅に影響を及ぼし、アシストガスは切断加工性状を制御する重要なパラメータであることが明らかとなった。

**Key Words** : CO<sub>2</sub> Laser, Laser Cutting, Wood, Assist Gas, CFD

### 1. はじめに

レーザー加工はパラメータが多岐にわたり、その条件によって加工品質は大きく左右される。例えば、レーザー出力などのレーザー光に関する条件やアシストガスなどの周辺環境に関する条件

を最適化することが重要となる<sup>1)</sup>。

近年、炭酸ガスレーザーを用いた木材の切断加工や装飾品などの彫刻加工が注目されている<sup>2)</sup>、<sup>3)</sup>。しかしながら、木材のレーザー加工について、レーザー加工パラメータの条件を検討した事例は少なく、各加工パラメータと加工特性の相関関係を調査することは重要となる。

そこで、本研究では、炭酸ガスレーザーを用いた高品位レーザー切断加工を目的として、アシス

\*崇城大学工学部機械工学科教授  
\*\*崇城大学工学部機械工学科准教授

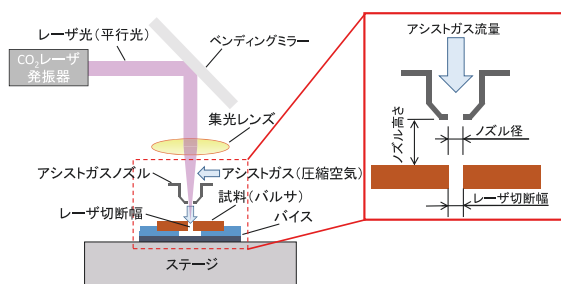


図1 レーザ切断加工の模式図

トガスが切断加工性状に及ぼす影響について検討した。レーザー切断加工実験およびアシストガス流体解析により、レーザー加工プロセスを実験的・理論的に考察することでアシストガスの効果を考察した。試料には、熱影響や切断溝幅などの切断加工性状を評価しやすい木材としてパルサを使用した。レーザー切断加工実験では、アシストガス条件を実験パラメータとして切断加工性状に及ぼす影響について評価した。また、アシストガス流体解析においては、ノズル形状およびレーザー切断加工溝を再現して、切断時のアシストガス流れを解析することで実験結果との比較考察を行った。

## 2. レーザ切断加工

### 2.1 実験方法および試料

本研究では、木材のレーザー加工に適した波長  $10.6 \mu\text{m}$  のレーザー光を発振する炭酸ガスレーザー加工機 (Great Computer Corporation 社製, Spirit GLS, 最大出力 100 W) を使用した。図1にレーザー切断加工の模式図を示す。炭酸ガスレーザー発振器より発振されたパルスレーザー光をベンディングミラーにより垂直に曲げ、集光レンズにより集光して試料表面へ照射する。レーザー光が走査することで、ステージ上に設置された試料をレーザー熱加工により切断加工する。レーザー光の走査回数は1回であり、試料裏面までレーザー光を貫通させることで切断加工を行う。レーザー光の焦点位置は、ステージが試料厚さ方向に昇降することで調整することが可能であり、本実験では試料表面を焦点位置 (0 mm) として固定した。試料はバイスにより固定して、試料裏面はステージより浮いた状態にすることでス

表1 レーザ切断加工の実験条件

分類	パラメータ	水準	固定条件
レーザー光	レンズ焦点距離	38.1 mm (焦点位置スポット径: 0.077 mm)	レーザー光に関する 条件は全て固定
	レーザー焦点位置	0 mm (実験試料表面)	
	平均出力	70 W	
	オーバーラップ率	67.0 %	
	レーザー走査速度	40.6 mm/s	
アシストガス (空気)	ノズル高さ	1.2, 3.8, 5.7, 8.8 mm	$\Phi 3$ mm, 40 L/min
	ノズル径	$\Phi 3$ , $\Phi 4$ , $\Phi 5$ , $\Phi 6$ , $\Phi 7$ mm	8.8 mm, 40 L/min
	アシストガス流量	20, 40, 55, 60, 80, 90, 100 L/min	$\Phi 3$ mm, 8.8 mm

テージからの反射光による影響を受けないようにしている。加工点においては、熱影響の低減と加工屑やアウトガスを除去するために、図中に示すようにレーザー光と同軸方向にアシストガスを噴射している。アシストガスには、ガスボンベからの圧縮空気を使用して、レギュレータにより供給圧力を変化させることで実験パラメータであるアシストガス流量を制御した。また、アシストガスノズルは、3Dプリンター (3Dsystems 社製, Project660pro) により石膏製ノズルを製作して、ノズル径およびノズル高さを実験パラメータとして変化させることで切断加工実験を実施した。

本実験におけるレーザー切断加工条件を表1に示す。レーザー光に関する加工条件は固定して実験を実施した。アシストガスに関する実験パラメータとして、図1に示すノズル高さ、ノズル径、アシストガス流量を、それぞれ表1の実験条件にしたがって変化させ、アシストガスがレーザー切断加工性状に及ぼす影響について評価した。切断加工性状は、マイクロ스코プにて観察して、試料のレーザー光入射側と出口側の切断溝幅をそれぞれ測定した。なお、表1において赤い四角で囲んだアシストガスパラメータの値は本実験の標準条件であり、実験パラメータとしない場合の固定条件となる。

試料であるパルサは、試料サイズを縦横  $80 \times 50$  mm、厚さ 15 mm に統一した。一つの試料に対して同一加工条件にて5本のレーザー切断加工を行い、平均値をその加工条件の切断溝幅とした。さらに、レーザー切断溝に対して直角方向に研磨切断機を用いて試料を切断し、切断溝内部の状態をマイクロ스코プにて観察した。また試料中心部分の溝幅を測定し、それを試料内

表2 バルサの機械的・熱的物性値

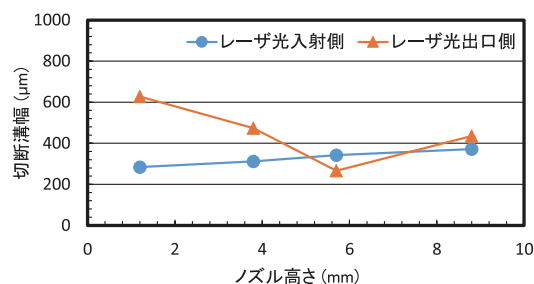
比重	0.16
平均収縮率／板目方向	2
平均収縮率／柃目方向	2
弾性係数（ヤング係数）	3 GPa
ポアソン比	0.29
せん断弾性係数	3 GPa
縦圧縮強さ	9 N/mm <sup>2</sup>
曲げ強さ	15 N/mm <sup>2</sup>
降伏強さ	20 MPa
ブリネル硬さ	1
熱伝導率	5 × 10 <sup>-2</sup> W/(m・K) (0.041 kcal/(m・h・°C))

部における断面溝幅とした。

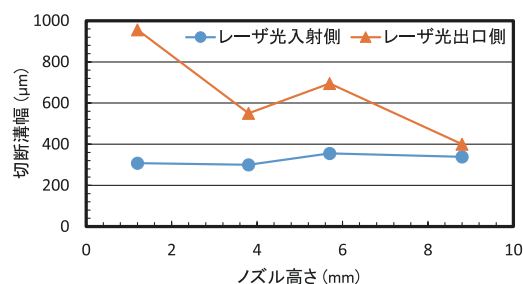
一般的なバルサの物性値を表2に示す。バルサには一定方向に線状の木目が存在しているため（図5および図6参照）、その木目の線に対して平行および直角にレーザー切断加工することで切断性状の違いを確認した。

## 2.2 実験結果

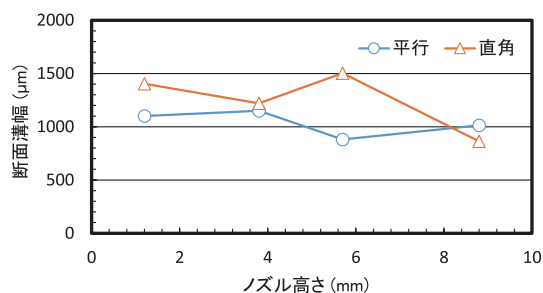
ノズル高さの変化に対する切断加工性状を評価した結果を図2に示す。ここで、切断溝幅の傾向にばらつきがみられるが、木材（バルサ）は自然材料であるため試料によって木目の状態や木目の密度に違いがあり、それらの影響を受けた結果である。図2の切断溝幅の結果より、ノズル高さが低くなるにしたがってレーザー光出口側における切断溝幅が大きくなる傾向があることがわかる。また、木目がレーザー走査方向に対して平行の場合と直角の場合の双方で同様の傾向を示している。一方、レーザー光入射側においてはノズル高さの影響を受けずに、切断溝幅は平行、直角ともにほぼ一定である。さらに、断面溝幅については、木目が平行と直角ともにばらつきはあるもののノズル高さが低くなるにつれて断面溝幅がやや大きくなる傾向が確認される。これらの結果より、ノズル先端と試料表面が近づくとアシストガスの影響を受けて断面溝幅とレーザー光出口側の溝幅が大きくなることが明らかとなった。これは、ノズル先端が試料表面に近づくと切断溝にアシストガスが効果的に流れて、切断時における燃焼反応と除去加工



(a) 木目に対してレーザー光を平行に走査した場合の切断溝幅の変化



(b) 木目に対してレーザー光を直角に走査した場合の切断溝幅の変化



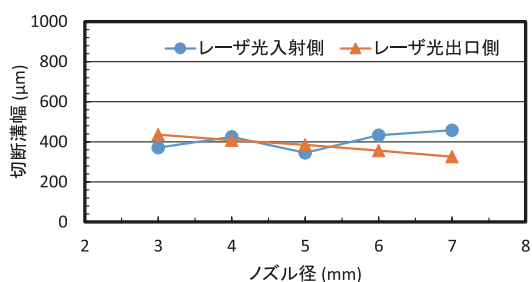
(c) 断面溝幅の変化

ノズル径：Φ 3 mm, ガス流量：40 L/min

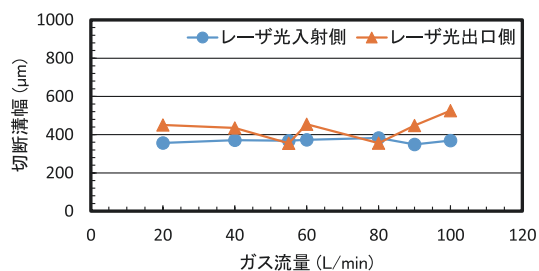
図2 ノズル高さに対する切断溝幅および断面溝幅の変化

の効率が高まった結果であると考えられる。一方、レーザー光入射側においては、ノズル高さによらずアシストガスが試料表面に直接的に作用することから切断溝幅への影響が少なかったと考えられる。

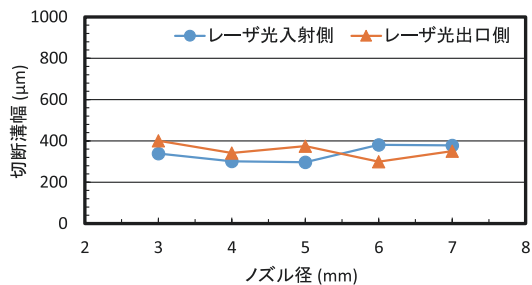
次に、ノズル径の変化に対する切断加工性状を評価した結果を図3に示す。木目が直角、平行の場合ともにレーザー光入射側の切断溝幅に大きな変化はない。これは、ノズル高さの場合と同様にアシストガスの噴射をノズル径によらず試料表面が直接的に受けた結果であると考えられる。一方、レーザー光出口側における切断溝幅、断面溝幅については、ノズル径が小さくなるほど、緩やかに大きくなる傾向がある。木目が平行の場合も直角の場合も同じ傾向である。ノズ



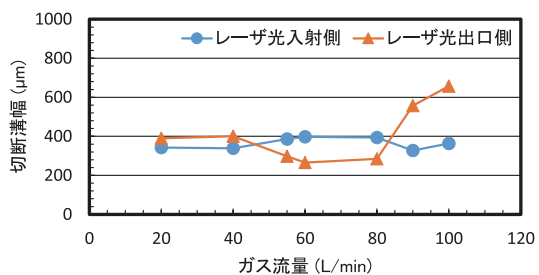
(a) 木目に対してレーザー光を平行に走査した場合の切断溝幅の変化



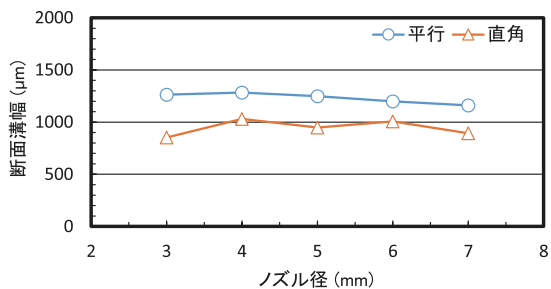
(a) 木目に対してレーザー光を平行に走査した場合の切断溝幅の変化



(b) 木目に対してレーザー光を直角に走査した場合の切断溝幅の変化



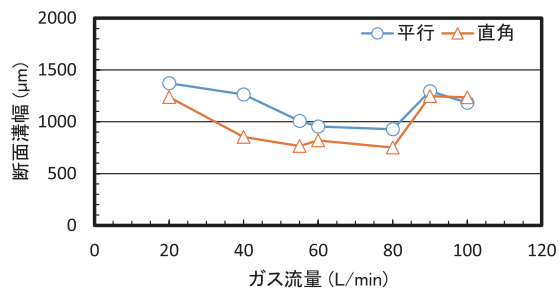
(b) 木目に対してレーザー光を直角に走査した場合の切断溝幅の変化



(c) 断面溝幅の変化

ノズル高さ：8.8 mm, ガス流量：40 L/min

図3 ノズル径に対する切断溝幅および断面溝幅の変化



(c) 断面溝幅の変化

ノズル径：Φ 3 mm, ノズル高さ：8.8 mm

図4 アシストガス流量に対する切断溝幅および断面溝幅の変化

ル径が小さくなるほど、アシストガスの流れが切断溝幅に効果的に流入して、燃焼反応と除去加工の効率が高まった結果であると考えられる。したがって、ノズル径を小さくすることで切断溝に効率的にアシストガスを流入させることができ、アシストガスの効率を高めることが期待できる。

図4はアシストガス流量の変化に対する切断加工性状を評価した結果である。ノズル高さ、ノズル径の場合と同様に、アシストガス流量の変化に対してレーザー光入射側の切断溝幅はほぼ一定となっている。アシストガスを直接的に試料表面が受けることから、アシストガスの変化が及ぼす影響が少なかったと考えられる。一方、アシストガス流量が80 L/min以上となると、

レーザー光出口側の切断溝幅は木目が直角、平行の場合ともに急激に増加する。アシストガスの噴流が極端に大きな場合には、切断溝幅にアシストガスが過剰に流れて燃焼反応と除去加工の効率が極端に高まった結果であると考えられる。断面溝幅も同じ傾向を示しており、溝内部のアシストガスの流れが過剰になった結果を示している。なお、アシストガス流量が40 L/minと少ない場合にも断面溝幅が大きくなっているが、溝内部のアシストガスの流れが十分に得られず、冷却効果が損なわれて熱影響が大きく発生した結果であると考えられる。

図2、図3および図4の結果より、アシストガスは溝内部とレーザー光出口側に及ぼす影響が大きく、レーザー光入射側では、アシストガスが

木目	レーザー光入射側	レーザー光出口側
平行	<p>レーザー切断方向 溝幅 平均溝幅：371 μm 500 μm</p>	<p>レーザー切断方向 溝幅 平均溝幅：435 μm 500 μm</p>
直角	<p>レーザー切断方向 溝幅 平均溝幅：338 μm 500 μm</p>	<p>レーザー切断方向 溝幅 平均溝幅：400 μm 500 μm</p>

ノズル径：Φ 3 mm、ノズル高さ：8.8 mm、アシストガス流量：40 L/min  
(a) 標準条件におけるレーザー切断溝性状

木目	レーザー光入射側	レーザー光出口側
平行	<p>レーザー切断方向 溝幅 平均溝幅：312 μm 500 μm</p>	<p>レーザー切断方向 溝幅 平均溝幅：693 μm 500 μm</p>
直角	<p>レーザー切断方向 溝幅 平均溝幅：300 μm 500 μm</p>	<p>レーザー切断方向 溝幅 平均溝幅：458 μm 500 μm</p>

ノズル径：Φ 3 mm、ノズル高さ：1.2 mm、アシストガス流量：100 L/min  
(b) 抽出条件におけるレーザー切断溝性状

図5 アシストガスの標準条件と抽出条件における切断溝性状の比較

試料表面に直接的に作用するため影響をあまり及ぼさないことが明らかとなった。また、ノズル径は小さいほどアシストガスの効果が高くなり、ノズル高さにおいては、試料表面から一定以内の距離に近づけば十分な効果が得られることがわかった。そこで、アシストガスの効果が十分に得られる条件として、ノズル高さ：1.2 mm、ノズル径：Φ 3 mm、アシストガス流量：100 L/min を抽出して切断加工実験を行い、その切断加工性状を確認した。

図5は、表1におけるアシストガスの標準条件で切断した切断溝性状と本研究でアシストガス効果が高いと考えて抽出した条件における切断溝性状を比較した結果である。同様に断面溝性状を比較した結果を図6に示す。木目が平行、直角の場合ともにレーザー光入射側の溝幅および断面溝幅には、標準条件と抽出条件において大きな変化はないが、レーザー光出口側において抽出条件の方が切断溝幅が大きくなることを確認できる。ノズル高さが低くなり、アシストガス

	木目：平行	木目：直角
標準条件	<p>レーザー光入射 溝幅 1263 μm 5 mm</p>	<p>レーザー光入射 溝幅 852 μm 5 mm</p>
抽出条件	<p>レーザー光入射 溝幅 1165 μm 5 mm</p>	<p>レーザー光入射 溝幅 903 μm 5 mm</p>

標準条件 ノズル径：Φ 3 mm、ノズル高さ：8.8 mm、アシストガス流量：40 L/min  
抽出条件 ノズル径：Φ 3 mm、ノズル高さ：1.2 mm、アシストガス流量：100 L/min

図6 アシストガスの標準条件と抽出条件における断面溝性状の比較

流量が増えることでアシストガスの効果が高くなった結果であると考えられる。ただし、両者において大差はなく、これはノズル径がΦ 3 mm で同じであることが影響した結果であると考えられる。

以上の結果から、アシストガスの効果を得て、燃焼反応と除去加工の効率を高めるには、ノズル径を小さく、アシストガス流量を大きくすればよく、ノズル高さは低く保つことが必要であることが明らかとなった。

### 3. アシストガス流れの流体解析

#### 3.1 解析方法

アシストガスのノズル高さ、ノズル径、アシストガス流量は、レーザー光出口側の切断溝幅に一定の効果を及ぼすことが実験的に明らかとなった。これらの結果は、レーザー切断溝におけるアシストガス（空気）の流れが大きく影響していると考えられる。そこで、アシストガスの流れについて、流体解析を実施して、実験結果に対して理論的に考察した。

レーザー切断加工溝におけるアシストガス流れの解析モデルを図7に示す。2節におけるレーザー切断加工実験（図1）をモデル化したものであり、実際の解析においては、ノズルおよび試料のアシストガスが衝突する付近の流れ、またレーザーの貫通溝の形状はノズル中心軸においてほぼ軸対称とみなし、解析領域を角度90度分

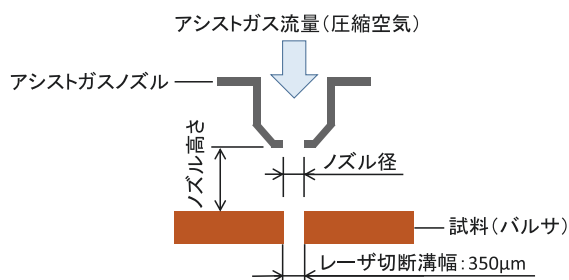
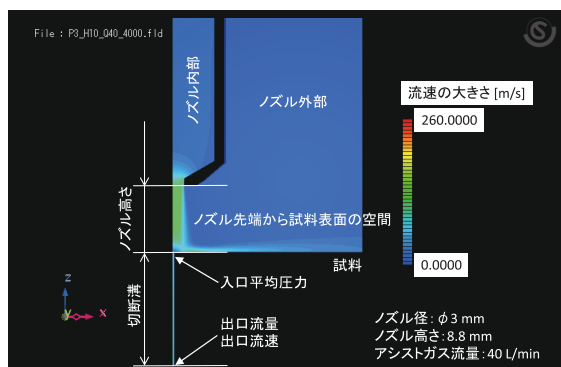
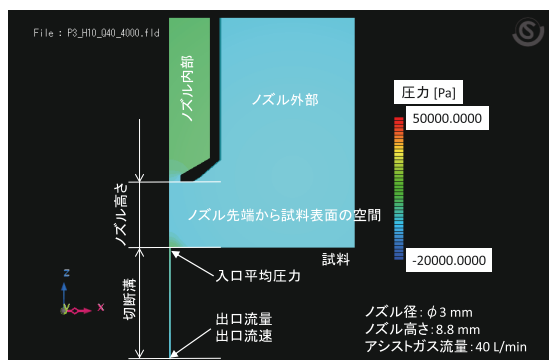


図7 アシストガスの流体解析モデル



(a) 流速分布



(b) 圧力分布

図8 標準条件におけるアシストガス流れの解析結果

の領域 (1/4 領域) としている。流体解析には汎用熱流体解析ソフトウェア SCRYU/Tetra V14 (ソフトウェアクレイドル社製) を用いた<sup>4)</sup>。SCRYU/Tetra は流体運動の基礎式である Navier-Stokes 方程式を有限体積法により離散近似し、時間発展的に Navier-Stokes 方程式の摂動解を求めている。アシストガスは圧縮性を有する空気と仮定した。考慮した物性値を表3に示す。解析条件としてはノズルの空気流量および切断溝のレーザー光出口側の全圧を大気圧と仮定して与えた。

レーザー光入射側の切断溝幅は、実験結果から変化がなく、アシストガスが及ぼす効果は少な

表3 アシストガス流体解析条件

パラメータ	水準	固定条件
ノズル高さ (mm)	1.2, 3.8, 5.7, 8.8	ノズル径: φ3 mm アシストガス流量: 40 L/min
ノズル径 (mm)	φ3, φ4, φ5, φ6, φ7	ノズル高さ: 8.8 mm アシストガス流量: 40 L/min
アシストガス流量 (L/min)	20, 40, 55, 60, 80, 90, 100	ノズル径: φ3 mm アシストノズル高さ: 8.8 mm

アシストガス種: 空気 (圧縮性流体)

流体温度: 20 °C

ガス定数: 287.06 J/(kg·K)

粘性係数:  $1.83 \times 10^{-5}$  Pa·s

定圧比熱: 1007 J/(kg·K)

熱伝導率:  $2.56 \times 10^{-2}$  W/(m·K)

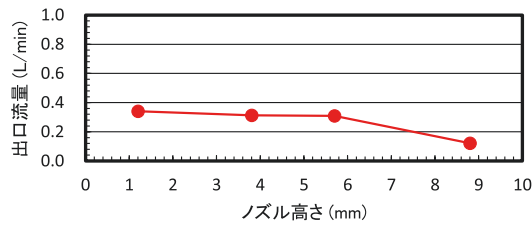
い。そこで、解析モデルのレーザー切断溝幅は、図2から図4の実験結果に基づき、レーザー光入射側の平均的な溝幅である 350 μm 一定とした。

### 3.2 解析結果

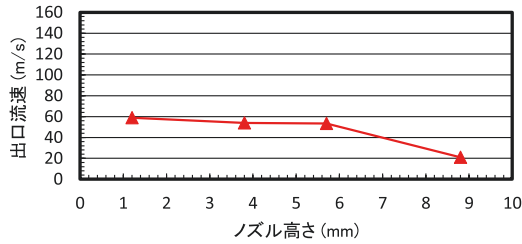
アシストガスノズル先端からアシストガス (空気) をレーザー切断溝 (幅 350 μm) へ噴射した場合におけるノズル先端から試料表面の雰囲気および切断溝内部へ流れるアシストガス (空気) の流れを解析した結果を図8に示す。ノズルから噴射されたアシストガスである空気の流れと速度分布と圧力分布を示しており、流体部分がカラーで示されている (物体は黒色)。なお、図8は表1の標準条件における解析結果を一例として示したものである。

切断加工実験では、アシストガスはレーザー光出口側の切断溝幅に影響を及ぼす結果が得られた。そこで、流体解析では図8に示すレーザー光出口側の切断溝を流れる「出口流量」および「出口流速」、切断溝に流入する溝上端 (レーザー光入射側) から 0.5 mm 位置の切断溝断面での「入口平均圧力」がレーザー切断におけるアシストガス効果と関係があると考えた。

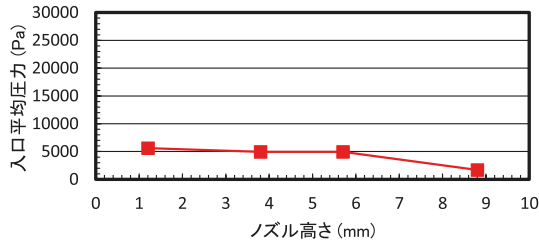
実験条件である表1に基づいた表3の解析条について流体解析を行い、上述の「出口流量」、「出口流速」、「入口平均圧力」を求めた解析結果を図9から図11に示す。これらの解析結果より、ノズル高さ、ノズル径、アシストガス流量のそれぞれにおいて、出口流量、出口流速、入口平均圧力は同じ傾向を示していることがわかる。したがって、出口流量分布は、溝上端付近の圧力の大きさと比例しており、溝内はほぼ非圧縮流のエネルギー保存が成り立つと考えられ



(a) 出口流量の変化



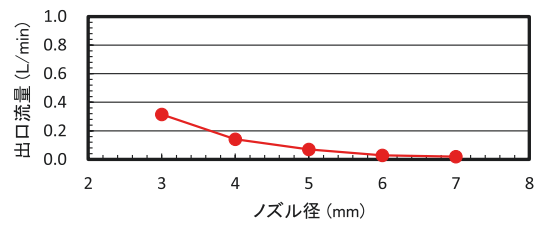
(b) 出口流速の変化



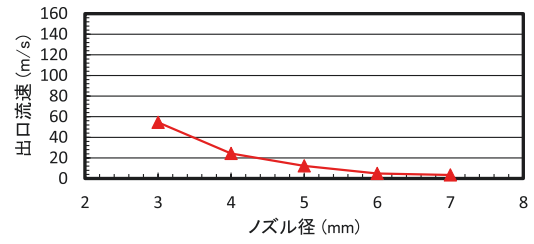
(c) 入口平均圧力の変化

ノズル径：Φ 3 mm, ガス流量：40 L/min

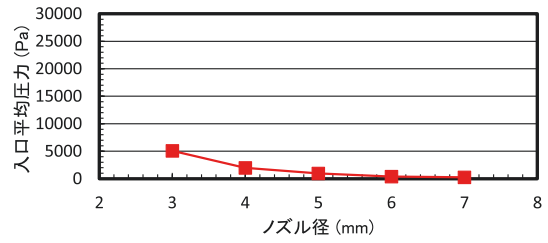
図9 ノズル高さに対するアシストガス流れの解析結果



(a) 出口流量の変化



(b) 出口流速の変化



(c) 入口平均圧力の変化

ノズル高さ：8.8 mm, ガス流量：40 L/min

図10 ノズル径に対するアシストガス流れの解析結果

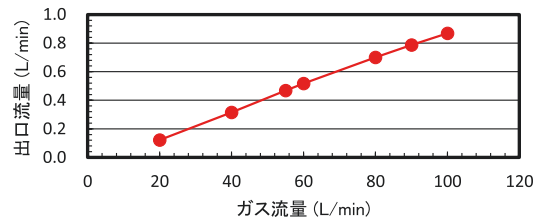
る。また、解析結果から、レーザー切断溝出口部におけるアシストガス流れは、ノズル高さが5.7 mmまではその影響をほとんど受けず、ノズル径が小さくなるほど出口流量が大きくなり、アシストガス流量が増えるにしたがって比例的に出口流量も大きくなることがわかった。これらの解析結果から、アシストガスがレーザー切断溝に及ぼす影響が大きいパラメータは、ノズル径とアシストガス流量であることがわかる。また、ノズル高さにおいては、一定距離以内であればアシストガスがレーザー切断溝に及ぼす影響はほとんど変化しないものと考えられる。

#### 4. アシストガスの効果

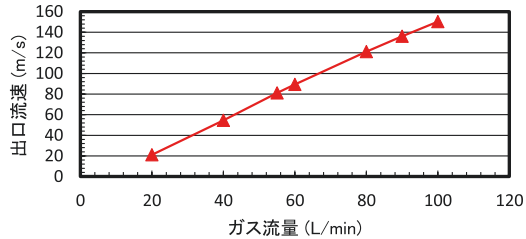
2節の実験結果と3節の解析結果を比較することで、アシストガスが切断加工に及ぼす効果について考察する。

アシストガスのノズル高さについて図2の実験結果と図9の解析結果を比較する。これらの結果から、ノズルを試料に近づけても入射側の溝幅に変化がなかったのは、溝入口におけるアシストガス圧力がほぼ一定であることが影響していると推測される。一方、出口側の溝幅については、アシストガス流量と流速のわずかな上昇でも、アシストガスの効果が変わり溝幅に変化をもたらしたものと推測される。

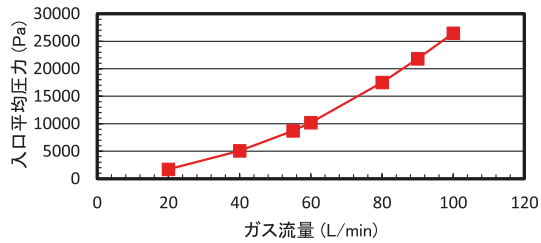
次に、ノズル径について図3の実験結果と図10の解析結果を比較する。ノズル径が小さくなるほど溝内部のアシストガス流量が大きくなり、その結果、燃焼反応と除去効果が促進されて出口側の溝幅が大きくなったものと推測される。しかしながら、実際には出口側溝幅の変化は緩やかであり、解析結果も同様にノズル径φ 3 mmの場合を除きガス流量は緩やかな変化であった。したがって、ノズル径が小さい程、ア



(a) 出口流量の変化



(b) 出口流速の変化



(c) 入口平均圧力の変化

ノズル径:  $\Phi 3$  mm, ノズル高さ: 8.8 mm

図11 アシストガス流量に対するアシストガス流れの解析結果

アシストガスの効果が大きく得られやすく、最小径である $\phi 3$  mmが最も効果的であると考えられる。一方、レーザ光入射側の溝幅に変化がなかったのは、ノズル高さに対してアシストガスの入口部における平均圧力の変化が少ないという図10の解析結果から、その原因が推測される。

次に、アシストガス流量において、図4の実験結果と図11の解析結果を比較する。解析結果では出口流量と出口流速および入口圧力は直線的に大きくなっていることが分かる。実験結果をみると、流量が80 L/minと大きな場合のみ出口溝幅が大きくなっている。したがって、アシストガス効果を十分に得るためには、溝内部に一定以上のアシストガス流量が必要であると考えられる。一方、アシストガスの入口圧力がアシストガス流量に比例して大きくなるにもかかわらず、入射側の溝幅が一定であるのは、

表4 標準条件と抽出条件におけるアシストガス流体解析結果の比較

アシストガス条件	出口流量(L/min)	出口流速(m/s)	溝上端から0.5 mm位置の入口平均圧力(Pa)
標準条件 ノズル高さ: 8.8 mm ノズル径: $\Phi 3$ mm 流量: 40 L/min	0.3147	54.396	5074.12
抽出条件 ノズル高さ: 1.2 mm ノズル径: $\Phi 3$ mm 流量: 100 L/min	0.943	163.237	2611.9

レーザ光入射側の切断性状は主にレーザ光照射条件によって決まり、アシストガスの条件には依存しないことが推測される。なお、断面溝幅の実験結果では、ガス流量が少ない場合にも溝幅が大きくなっているが、これはアシストガスの流量が低すぎるため冷却効果が得られずに燃焼が拡大した結果であると考えられる。

以上の結果より、ノズル高さ、ノズル径、アシストガス流量が木材(バルサ)のレーザ切断加工に及ぼす影響が明らかとなった。ノズル径が小さく、流量が大きいほど溝内部にアシストガス(空気)が流れやすくなることから、アシストガスの効果が増大し、燃焼の促進と除去効果によって出口側の溝幅が大きくなる。また、ノズル高さについては5.7 mmまではアシストガスの流量や入口平均圧力に大きな変化は見られなかったものの、溝内部におけるアシストガス流れはわずかに変化し、出口側の溝幅に大きく影響する。一方で、レーザ光入射側の溝幅については、アシストガスの影響はほとんどなく、溝幅は一定となる。

最後に、標準条件(表1参照)および抽出条件(図5および図6参照)について、実験結果と解析結果を比較する。表4に標準条件と抽出条件における解析結果をまとめる。表4の解析結果より、アシストガスの効果は抽出条件のほうが高いことがわかる。図5および図6の実験結果も同様に、抽出条件のほうが出口溝幅が大きくなる傾向があり、実験結果と解析結果はよく一致している。しかしながら、本報における実験においては溝幅の違いは小さく、アシストガスが及ぼす影響は顕著に見られなかった。したがって、アシストガスの効果を検証するためには、ガスの流動以外の要素も検討する必要



があると考えられる。例えば、レーザー光入射による熱伝導解析とアシストガス流体解析を組み合わせて試料に対する熱伝導解析を行うことが必要となる。

## 5. おわりに

木材（バルサ）の高品位レーザー切断加工の取り組みとして、圧縮空気によるアシストガスが加工性状に及ぼす効果について、レーザー切断加工実験およびアシストガス流体解析により考察した。本研究により得られた結果を以下にまとめる。

- (1) アシストガスはレーザー光入射側の切断溝幅に影響を与えることはほとんどない。
- (2) アシストガスのノズル高さが低くなるにつれて、断面溝幅およびレーザー光出口側の切断溝幅は大きくなる。燃焼による除去加工効果が高まった結果であると考えられる。ノズル高さの変化に対するわずかなガス流量および圧力の変化でも切断溝性状に及ぼす影響は大きい。
- (3) アシストガスのノズル径が小さくなるにしたがって、断面溝幅およびレーザー光出口側の溝幅は大きくなる。ノズル径が小さいほど溝出口におけるガス流量および流速は高くなることから、燃焼による除去加工効果が影響した結果であると考えられる。したがって、ノズル径が小さいほど効果的である。
- (4) アシストガス流量が大きくなるにしたがって、溝出口の流量と流速は比例的に増加する。実際には、流量80 L/min以上から断面溝幅と出口溝幅が急激に増加することから、燃焼および除去効果を得るには一定以上の流量が必要であると考えられる。
- (5) 標準条件と抽出条件を比較すると、抽出条件のほうがレーザー光出口側の切断溝幅が大きくなったが、切断性状は大きく変化しなかった。したがって、アシストガスが及ぼす効果は限定的であると考えら

れる。

以上のように圧縮空気によるアシストガスがレーザー切断加工性状におよぼす効果が明らかとなった。アシストガスノズル高さ、ノズル径、アシストガス流量を適切に選択することで、切断溝性状を制御できる可能性があることがわかった。しかしながら、圧縮空気によるアシストガスが切断加工性状に及ぼす効果は限定的であるため、アシストガスの種類（酸素や炭酸ガスなど）の違いが及ぼす影響やレーザー光照射条件の変化を合わせて総合的に検討する必要がある。

## 謝 辞

本論は2018年度の卒業研究として実施された内容を含む。本研究について、数多くの実験データを収集して評価してくれた坪内直哉君に深く感謝する。

また、アシストガスの流体解析の実施にあたっては、株式会社ソフトウェアクレイドルにご支援を頂いた。ここに感謝の意を表する。

## 参考文献

- 1) 宮崎俊行, 宮沢肇, 村川正夫, 吉岡俊朗: レーザ加工技術, 産業図書, (2000), pp. 22-23.
- 2) 中村寿一, 寺尾剛, 恵原要, 藤田純一, 澤崎ひとみ, 山田淳人: 川辺仏壇の新設計・製造システムに関する研究(Ⅱ) —炭酸ガスレーザー加工機を利用した製造システムの開発—, 鹿児島県工業技術センター研究報告, 第14号(2000), pp. 7-12.
- 3) Nukman Yusoff, Saiful Rizal Ismail, Azuddin Mamat and Aznizar Ahmad-Yazid: Selected Malaysian Wood CO<sub>2</sub>-Laser Cutting Parameters and Cut Quality, American Journal of Applied Sciences, Vol. 5, No. 8 (2008), pp. 990-996.
- 4) Norihiko Watanabe, Shinya Miyamoto, Masayuki Kuba, Junichi Nakanishi: The CFD Application for Efficient Designing in the Automotive Engineering, SAE 2003 World Congress & Exhibition, Technical Paper 2003-01-1335, (2003)

