

第 1 章

加工現象の基礎

レーザ切断の技術的な内容を知るためには、まず加工に関する専門的な用語と基本的な加工の現象を理解しておく必要があります。レーザ光によって金属が溶融すること、酸素ガスで鉄が燃焼すること、アシストガスが溶融した金属を切断溝から排出することなど、レーザ切断現象をよく把握しておくことが大切です。

1.1 ● レーザ加工性能に 影響を及ぼす要因

ファイバ

CO₂

加工性能の向上には、**図 1.1 ①**と**図 1.1 ②**の各種要因の最適化が必要です。

(1) レーザ光に関する要因

出力形態には、レーザー光を連続して出力するCW発振とパルス発振とがあります。レーザーの発振媒質によって決まる波長は、加工対象のビーム吸収特性に影響します。出力はエネルギーの大小、デューティはパルス出力における1パルス時間当たりのビームオン時間の比率、周波数は1秒間に発振する回数、ビームモードはエネルギーの強度分布を示します。

(2) 加工レンズに関する要因

焦点距離は、レンズ位置から焦点位置までの距離を示し、焦点位置でのスポット径と焦点深度に影響します。加工レンズのタイプには収差の発生を抑えるメニスカスレンズと、一般的な平凸レンズとがあります。

(3) 焦点スポットに関する要因

スポット径はレンズ仕様によって決まり、短焦点レンズほど径は小さくなります。焦点位置は、焦点スポットの被加工物表面に対する相対位置を示し、上方をプラス、下方をマイナスと定義しています。焦点深度は、焦点近傍にてほぼスポット径に近い直径が得られる範囲を示します。

(4) ノズルに関する要因

ノズル径は、溶融や燃焼範囲の制限や、加工部におけるアシストガスの流量を決定します。ノズル先端形状は、あらゆる方向に加工するため円形であり、ノズルと被加工物表面との位置関係はできるだけ狭く設定することが求められています。

(5) アシストガスに関する要因

アシストガス圧は、レーザー光で溶融した金属の切断溝内からの排出作用に影響します。ガスの種類は加工品質や加工能力に影響し、切断では酸素ガスの燃焼作用、溶接や熱処理では加工部のシールド性が求められており、使用するノズルに最適なガス流量が存在します。

(6) 被加工物の要因

光エネルギーの消費に影響する材質や板厚と、安定したビーム吸収のための表面状態、熱集中の影響を受けやすい加工形状が要因です。

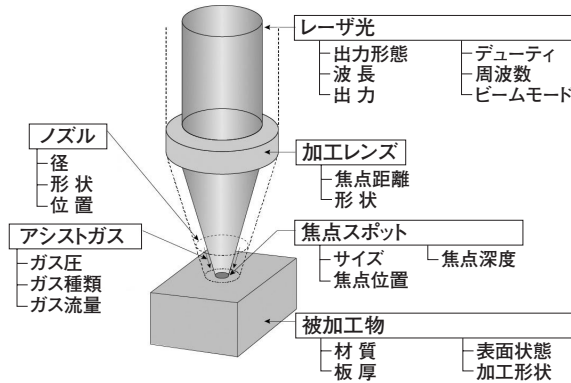


図 1.1 ① レーザ加工性能に影響を及ぼす要因

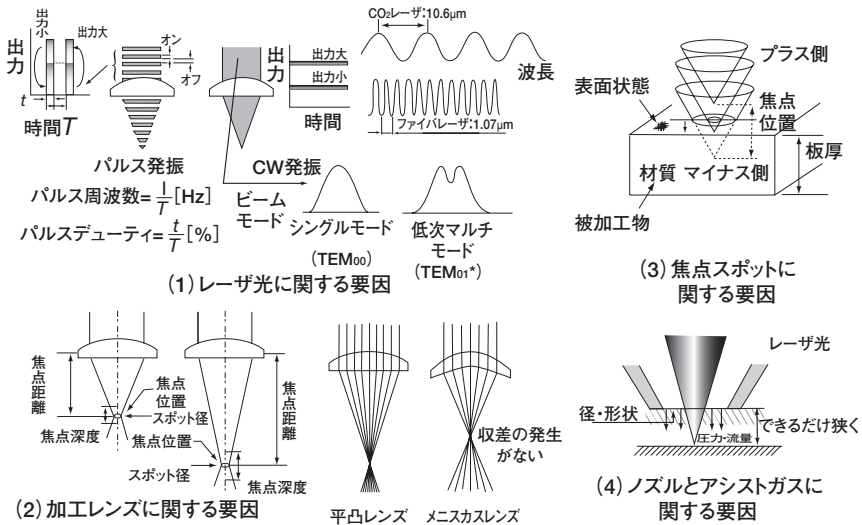


図 1.1 ② 要因の詳細

1.2●酸化反応による燃焼作用とは

現象と原理

レーザ切断を理解するうえで、鉄の酸化反応に関して知る必要があります。鉄を燃焼させたときの燃焼によって生成される酸化鉄の形態には3つあり、それぞれの燃焼方程式は以下のとおりです。

- ・ $\text{Fe} + \frac{1}{2}\text{O}_2 = \text{FeO} + 64 \text{ kcal}$
- ・ $2\text{Fe} + \frac{1}{2}\text{O}_2 = \text{Fe}_2\text{O}_3 + 190.7 \text{ kcal}$
- ・ $3\text{Fe} + 2\text{O}_3 = \text{Fe}_3\text{O}_4 + 266.9 \text{ kcal}$

これを鉄1gとして換算すると、発熱量は表1.2①のようになります。すなわち、図1.2①のように鉄は燃焼によって熱を発生させます。

レーザ切断において、これらの酸化鉄の発生割合をFeO：20%、Fe₂O₃：45%、Fe₃O₄：35%と仮定すると、1g当たりの発熱量は1.538 kcalになります。この発熱量は、鉄1gを溶融させるために必要な熱量（約0.23 kcal）の約5倍に相当します。この発生する熱量のある部分は熱伝導で逃げますが、大部分は切断に使われます。

図1.2②は、軟鋼材料に対して1kWの同一出力のCO₂レーザを用いて加工できる切断能力と溶接能力の比較を示します¹⁾。溶接用アシストガスのアルゴンガスは、圧力条件を0.01MPa以下に設定しているため、溶接ビード表面の酸化防止にのみ作用しており、加工能力（溶融深さ）を高めるためには使われていません。酸素ガスを使用する切断では、約5倍の燃焼発熱量に相当する加工能力が得られています。

例えば、1m/minの加工速度で、溶接の溶け込み深さは1.5mmが得られるのに対して、切断では約7mmの板厚を加工できます。また、溶け込み深さ1.5mmの溶接速度は1m/minですが、板厚1.5mmの切断では切断速度5m/minと5倍になっています。これらの溶接に対する切断での加工能力の拡大する量は、酸素ガスによる燃焼の約5倍の熱量に相当することと、ほぼ一致しています。

表 1.2① 鉄の発熱量

	1g当たりの発熱量 (kcal)
FeO	1.14
Fe ₂ O ₃	1.69
Fe ₃ O ₄	1.57

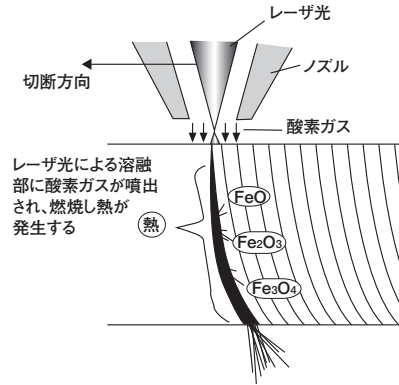


図 1.2① 鉄の燃焼

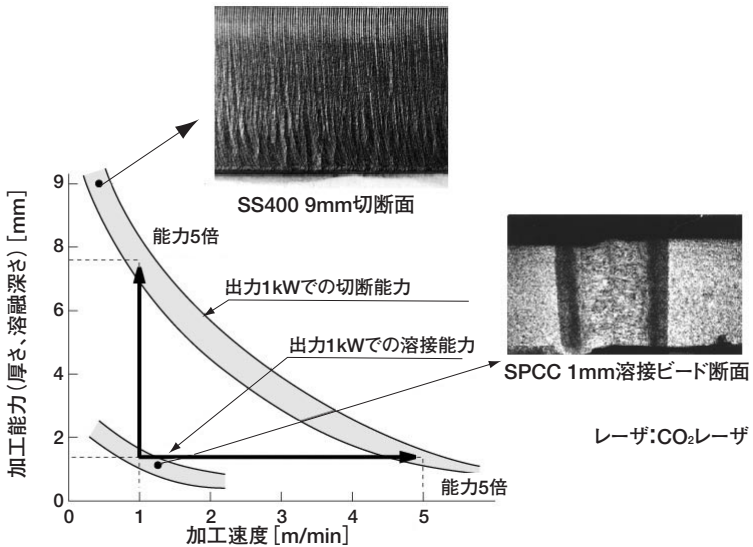


図 1.2② 軟鋼材料に対するレーザ溶接と切断の加工能力比較

1.3 ● 酸化反応熱の進行と 切断速度との関係

ファイバ

CO₂

現象

出力4kWクラスの発振器を用いて、アシストガスに酸素ガスを使用する薄板の高速切断では、切断速度は10m/min以上に設定することが可能です。しかし、板厚が大きいほど速度は低下し、19mmを超える厚板では1m/min以下の速度まで低下します。切断する形状にエッジ部がある場合、その先端は図1.3①のように加工中に溶損が起きやすくなり、その角度が小さいほど先端温度は上昇して溶損は増えます。

原理

溶損の発生は、図1.3②のようにエッジ部をレーザー光が通過する際に、既にエッジ部が高温状態のため、その部分で異常燃焼が起きるためです。この対策には、熱の進行速度よりもレーザー切断速度を大きくして、エッジ部を切断するときに冷えた状態で加工できるようにします。

(1) 高速切断

私たちの加工実験では、レーザー切断速度を2m/min以上の条件設定にすると、エッジ先端の溶損は減少しました。図1.3③は板厚6mmに角度60度のエッジを切断した写真です。切断条件は出力3kW、切断速度3m/minであり、この条件ではエッジ先端の溶損は発生していません。軟鋼材料に関して板厚ごとに2m/min以上の切断速度を設定できるCO₂レーザーの発振器出力を表1.3①に示します。板厚が大きくなると、かなりの高出力発振器を必要としますので、ランニングコストなどの効果を見極めて選定してください。

(2) パルス切断

低出力発振器のため、高速の切断速度を設定できない場合は、パルス条件設定で溶損を防止します。図1.3④は、低速条件におけるパルス条件のパラメータとエッジ先端の溶損との関係を示します。一定の平均出力では、パルスピーク出力を大きくし、パルス周波数を低く設定するほど、1パルス当たりのビームオフ時間の割合が増えて冷却時間が長くなり、エッジ先端の溶損は少なくなります。切断速度とバランスをとりながら、パルスピーク出力とパルス周波数の最適値を決定してください。