

LDF

レーザー教室読本
シリーズ

炭酸ガスレーザー彫刻機

レーザー加工の秘訣

Ver.4

LDF

Laser Design Forum

目次

レーザーの歴史	3
レーザー発振の原理	3
レーザー加工の原理	4
加工可能素材	6
加工パラメータの設定	8
素材別加工の秘訣	11
アクリル板	11
鏡面アクリル	13
樹脂2層板	15
ガラス・クリスタル	17
革	18
大理石	18
木	19
コルク	21
カッティングシート	21
塗装真鍮板	23
アルマイト	24
マットボード（厚紙）	26

レーザーの歴史

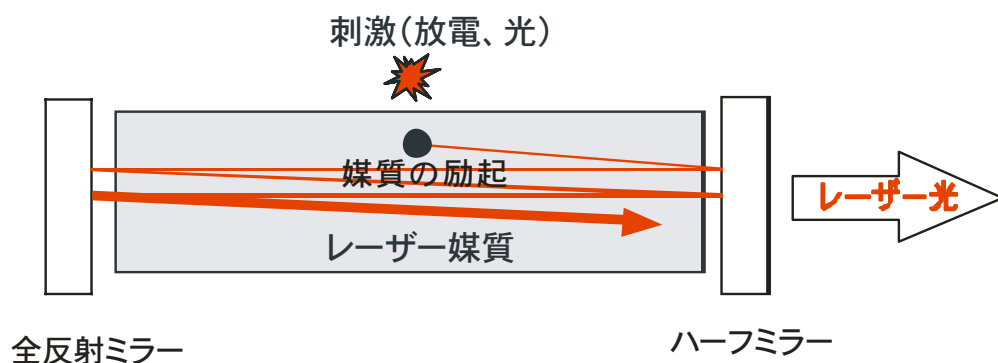
「LASER」とは、Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation(放射の誘導放出による光増幅)からとった造語で、太陽光が自然光であるのに対して、レーザー光はハイテク光と言えます。

レーザーは、かのアインシュタインが光の性質を理論付け、この理論を基にして1960年(まだ半世紀！)にメイマンがルビーを励起させて発振した赤色レーザー光でカミソリの刃に穴を開けて以来、次々と様々な発振波長のレーザーが開発されるようになりました。

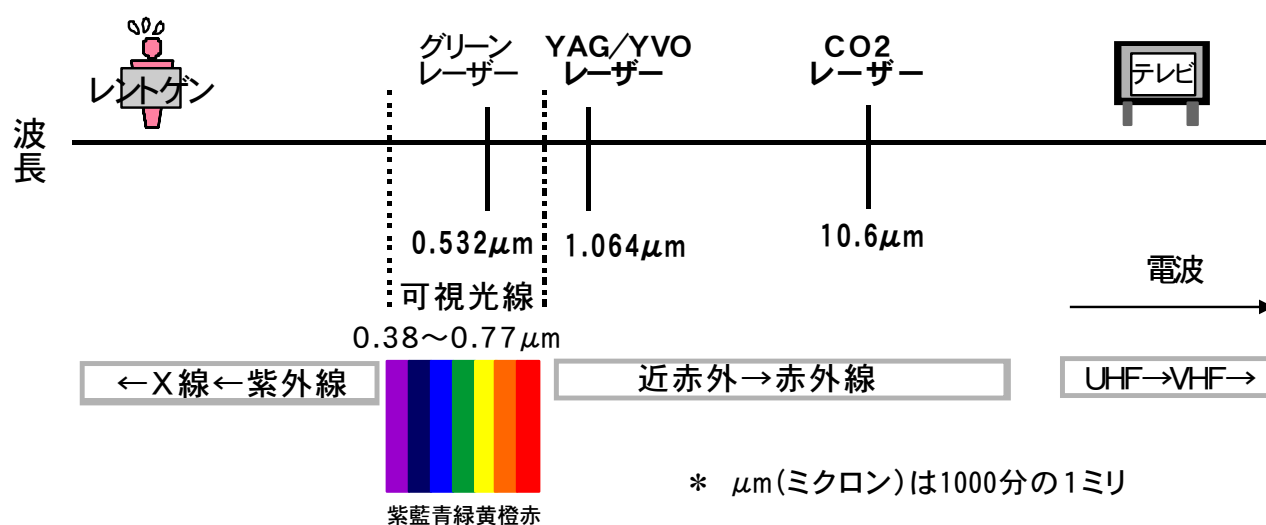
レーザーは比較的新しい技術と言えますが、今日では、加工用のみならず、医療、計測、民生、分析科学等様々な分野で使用されるようになりました。

レーザー発振の原理

ごく簡単に言えば、「ある物質(レーザー媒質)に光や放電で強い刺激を与えるとその物質の分子や原子が微量の単色光を発生させます。その光は両端にミラー(光の出射側はハーフミラー)を配した共振器の中で往復しながら次々と発生する光とぶつかりながら増幅され、しきい値に達するとハーフミラーを通じでレーザー光として出射される」ということになります。



レーザー媒質は50種類以上あり、その中でも加工用として多く利用されているのは、CO₂ (炭酸ガス) レーザーと 1,064nm 基本波であるYAGレーザー及びYVOレーザーです。これらのレーザーの発振波長をわかりやすく図示してみます。



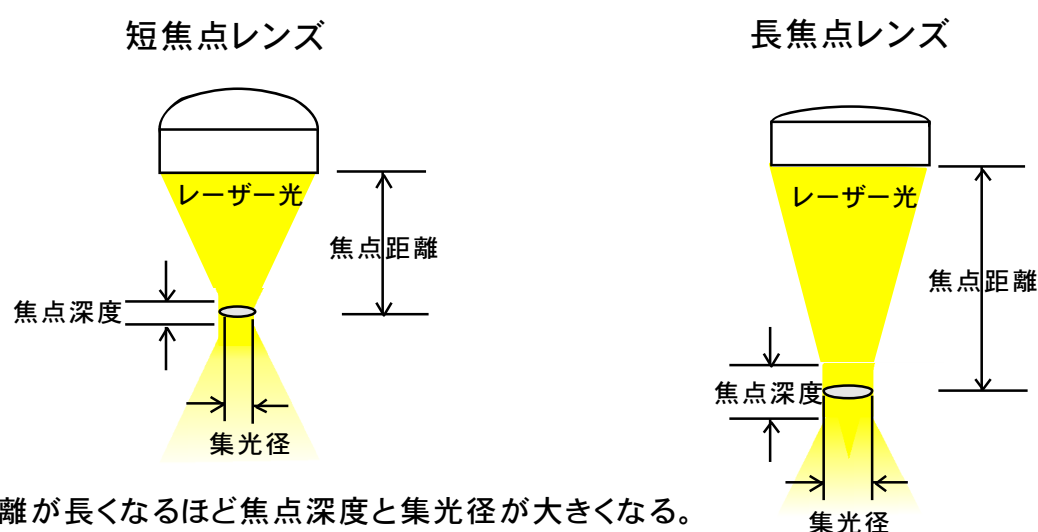
レーザー加工の原理

レーザー発振器から発振されたレーザー光はどのように物を加工するのであろうか？小学生の頃に、理科の時間に校庭で、黒く色を

塗った紙に虫メガネで焦点を合わせて太陽光を集光させて文字を書いたりしたことがありますね。

レーザー加工といっても原理はこれと同じである。太陽光の代わりに、ハイテク光であるレーザー光を、文字を書くのに手を動かすのではなくXYプロッタやガルバノスキャナーをコンピュータで制御・指示しておこなうということです。

レーザー加工機の場合は、レーザー発振器から出射されたレーザー光を光学系の最後に配されている集光レンズで絞り込んで加工物表面位置でのビームのエネルギーを高めて加工します。ビームの絞り込みの最大値は、ビームスポット径又は集光径と呼ばれ、理論的にはレーザー光の波長(炭酸ガスレーザーの場合は 10.6 ミクロン)まで、絞り込むことができますが現実的には、光学設計にもよりますが、炭酸ガスレーザーの場合は 40 ミクロン程度が限度でしょう。その集光レンズのスポット径は概ね焦点距離に比例しているので、加工の目的に合わせて集光レンズを選定することもできます。



- ・焦点距離が長くなるほど焦点深度と集光径が大きくなる。
- ・焦点距離が短くなるほど焦点深度と集光径が小さくなる。

加工可能素材

レーザーで加工できるかどうか、また、どの程度加工できるのかは、概ね次の条件で決まります。

- ・素材の硬度
- ・素材加工点でのレーザー光の単位当たりエネルギー密度
- ・素材に対するレーザー光の吸収率
- ・レーザー照射時間
- ・素材の融点

ただ、物理的に加工できたとしても、その加工品質が加工目的に合うかどうかは別問題になります。たとえば、CO₂ レーザー加工機で塩化ビニールシートをカットすると、カットはできるが、塩ビに含有されているダイオキシン等の影響でカット断面周辺が茶色になってしまい使用できる域に達しないことが多くあります。

次に、25W～100W程度のCO₂ レーザーで加工できる主な素材を挙げてみましょう。

◎良く加工できる ○加工できる △なんとか加工できる ×加工できない

素材名	彫刻・マーキング	カット
木	◎	◎

アクリル	◎	◎
紙	◎	◎
天然・合成ゴム	◎	◎
MDF	◎	○
革	◎	○
天然石(大理石、御影石、めのう他)	○	×
ABS 樹脂	○	△
ガラス、クリスタル	○	×
ポリカーボネート、PET、ポリアミド	△	△
シリコンゴム	○	△
塩化ビニール	△	△
セラミックス	△	△
*ステンレス、鉄(ただし、高出力機)	△	×
アルマイト	○	×
布	○	○
コルク	○	○

＊ステンレス、鉄等は出力が高ければ高いほど、深く彫刻・マーキングできるが、50W～100W程度のレーザー出力でも、焦点距離が短い(1.5インチ程度)集光レンズを使用して走査スピードを落とすことにより、深度は浅いがマーキングできる素材も多い(鏡面仕上げの金属は、レーザー光が反射してしまい、レーザーの光学系を損傷させる恐れがあるので加工不可能)。

加工パラメータの設定

レーザー彫刻機を使用してどのように材料を加工するかは、パソコンにインストールしてあるレーザーのプリンタドライバースピード、出力、dpi及びppiの設定値によって決まります。これらの設定値は相関的に加工に影響します。

パワー設定

- ・出力を上げる ⇒ 深く彫れる／厚いものが切れる

出力を上げても加工時間は変わらない。

- ・パワーを下げると上げた場合の逆になります。

スピード設定

スピードを上げる ⇒ 加工時間が早くなる

スピードを上げると加工時間は早くなりますが、加工スポットにレーザーが照射される時間が短くなるので浅くしか彫れない又は薄いものしか切れなくなります（上げ過ぎるとレンズヘッドの重量慣性でカット軌跡がぶれやすくなります）。

d p i 設定

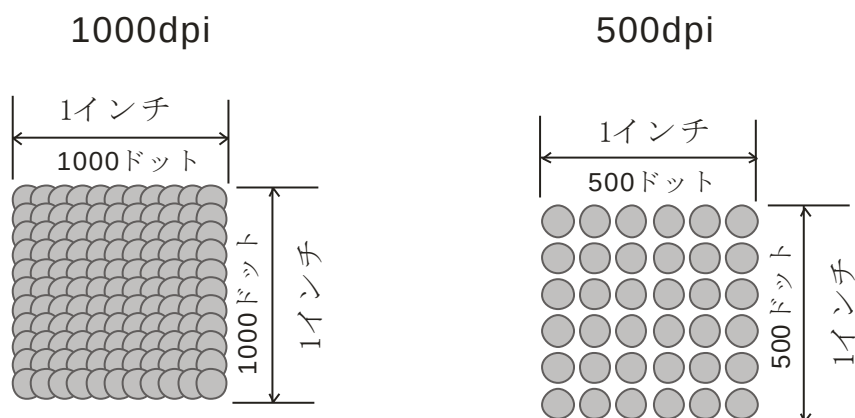
d p i : 1 インチ（25.4mm）当り何回レーザー光をパルス発振させるかの値

d p i はラスター彫刻の時に有効になります。

・ **d p i 値を上げる ⇒ レーザーのドットとドットの間隔が狭まる。**

間隔が狭まれば狭まるほど、ドットとドットがより重なるようになるので彫りが深くなりますが、ドットの数が多いだけ彫刻時間がかかります。

・ d p i を下げると上げた時の逆になります。



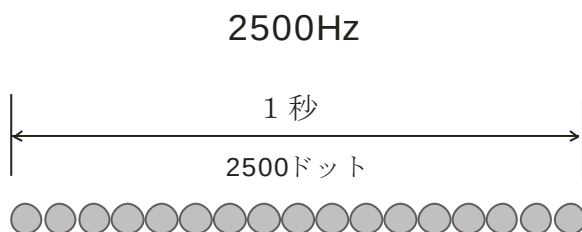
H z 設定

H z : 1 秒当り何回レーザー光をパルス発光させるかの値

H z はベクターカットの時に有効になります。

・ H z 値を上げる ⇒ レーザーのパルスとパルスの間隔が狭まる。

間隔が狭まれば狭まるほど、パルスとパルスの間隔が狭まるので単位面積当たりエネルギーの値は大きくなり、木であれば焦げやすくなり、アクリルであれば溶けやすくなります。



素材別加工の秘訣

アクリル板

アクリルにはキャスト材と押し出し材の2種類があります。キャストは彫刻すると彫刻部分が白っぽくなりますが押し出しは白っぽくなりません。彫刻部分に後から色入れをする場合は押し出し材を使用し、色入れをしない場合はキャスト材を使用します。

キャスト材を彫刻する場合はマスキングをしない方がきれいに仕上がりますが、深く彫刻したいときにはマスキングをした方がアクリルの表面にスモークが付かないでしょう。

ただ、深く彫刻しようとするとうとうしても熱の影響で彫刻輪郭部がきれいに仕上がりにくくなります。マスキングをしないで浅めに彫刻することがきれいに仕上げコツです。

カットだけをするのであれば、押し出し材が適しており、また材料価格も安くなります。押し出し材のレーザーカット断面はキャスト板に比較して研磨をしたようにピカピカで、より透明になります。押し出しアクリル板をカットする場合に炎が出るようでしたら、カットをする前に保護用シートを剥がしマスキングテープを貼っておいた方が良いでしょう。

厚いアクリル板（5mm程度以上）をカットする場合には、両面にマスキングテープを施しておいてからその上から両面

を霧吹きで湿らせてください。アクリル板を加工テーブルから1cm～1.5cm浮かしてカットをしてください。材料を浮かせることにより、レーザー光がアクリルを貫通した時に発生する、スモークや熱を下の隙間から逃がします。アクリル板を加工テーブルの上に直接置いてカットすると熱が逃げられないのでカット裏面がきれいに仕上がりにません。霧吹きで湿らせる場合には、水溜りができないように注意してください。水溜りにレーザー光があたるとその部分だけ浅く彫れてしまいます。一つの材料に彫刻とカット両方を上手におこなう秘訣は次の順序でおこなうことです。

- ①マスキングしないで浅めに彫刻
- ②両面に透明マスキングテープを施す
- ③両面を霧吹きで湿らせる
- ④材料を浮かせる
- ⑤材料表面に焦点を合わせる
- ⑥カットする。

彫刻部に後から色入れをする場合は、アクリル板にマスキングをしてから（保護用マスキングのままでもいいでしょう）彫刻してください。彫刻後、マスキングを剥がす前に彫刻部全体に筆またはスプレーでアクリル系または水性の塗料を施してください。塗料が乾く前にマスキングテープを剥がすと彫刻部

分に色がついてしまいます。色入れをする場合は必ず押し出し材を使用し、彫刻だけの場合はキャスト材を使用するということは忘れないで下さい。

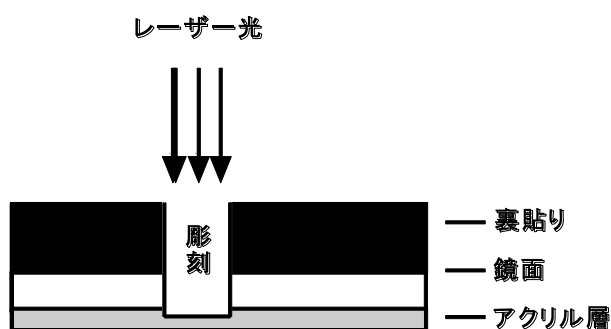
アクリルをカットする場合は、できるだけスピードを落とし、パワーを上げた方が、エッジが適度に溶けてきれいに仕上がります。



アクリルをカットすると発火することがあります。レーザー加工時はレーザー装置から離れないで下さい。

鏡面アクリル

鏡面アクリルの彫刻は普通のアクリルと似ています。考え方としては、下図のように鏡面の裏貼りを通じて前面のアクリル層に彫刻をすることです。



鏡面アクリルの彫刻断面

深く彫ると非鏡面アクリルの彫刻の場合と同じで彫刻部がガサガサしてしまいます。アクリル層を彫刻すると彫刻したものが二重に見えます。鏡面には裏貼りがしてありアクリルに直接スモークがつくことがないので彫刻する場合は裏面をマスキングする必要はありません。鏡面アクリルをカットする場合には、先ず保護シートを剥がし、マスキングテープを貼り霧吹きで湿らします。次に、鏡面を上にして材料を加工テーブルから1.5 cmほど浮かせて置きます（レーザー光は先ずアクリル層に吸収されるので鏡面で反射することはありません）。裏貼りを上にしてカットするとレーザー光の熱により裏貼りが歪んだりひびが入ったりすることがあるので注意してください。彫刻とカット両方をおこなうときは、次の順序でおこなってください。

1. マスキングしないで裏側から彫刻する。
2. 両面をマスキングする。
3. 材料をひっくり返す。
4. 霧吹きで湿らせる。
5. 材料を浮かして置く。
6. 焦点を合わせ直す。
7. 鏡面を上にしてカットする。

彫刻部に色入れをする場合はアクリル系塗料かアセトンやアルコールを含んでいない塗料を使用してください(アセトンやアルコールが入っているとアクリルにひびが入ります)。裏張りがマスキングの代わりになって彫刻前に裏側をマスキングする必要がないので水性塗料もお奨めできます。



鏡面アクリルを彫刻・カットすると発火することがあります。レーザー加工時はレーザー装置から離れないで下さい。

樹脂 2 層板

レーザーで加工できる樹脂 2 層板は様々な色、厚み、コーティングがあります。広い面積で深く彫刻しようとするとう樹脂 2 層板は反ってしまうので、彫刻中に反らないようにテープで素材を押さえておく必要があります。樹脂 2 層板は融点が高いので溶けにくくするため d p i 値及び H z 値を低く抑えた方が良いでしょう。

厚い樹脂 2 層板をカットする場合は、スピードを下げても無理やり 1 回で切ろうとせずに、2 度切りするくらいの方が良いでしょう。

マスキングして霧吹きで湿らせると溶けにくくなるしスモークも付着しません。素材に貼ってある保護シートはレーザー

加工のためには良くないので加工前に必ず剥がしておいてください。

表面が厚くトップコートされている樹脂 2 層板はトップコート層をレーザーで除去するのに出力を要し、又スモークが多く出て材料表面を汚してしまうのでお奨めできません。特に、スピンドル彫刻機用の樹脂 2 層板は表面のトップコート層が厚く製造されていますので、レーザー専用の樹脂 2 層板のご使用をお奨めします。また、同じメーカーで同シリーズの樹脂 2 層板でも、トップコート層のカラーによって加工パラメータが違ふことがありますので要注意です。

彫刻しようとするプラスチックに合ったスピードとパワーを設定した後、フォーカス位置よりも 1.5 mm ほどフォーカスをずらすと（加工テーブルを下げる）と適度に溶融し、プラスチックを彫刻するときに見られる細い線を出づらくすることができます。



プラスチックを彫刻・カットすると発火することがあります。レーザー加工時はレーザー装置から離れないで下さい。

ガラス・クリスタル

ガラスの彫刻は他の素材の彫刻とは異なります。炭酸ガスレーザーはガラスやクリスタルを彫り込んだり切断したりできません。レーザー光を照射するとすりガラス状になります。きれいに仕上げるには、加工したい部分に湿らした新聞紙をあてがったり、マスキングテープをガラスにあてがい、霧吹きで湿らしたりする方法があります（新聞紙等のしわは伸ばしてください）。湿らした透明テープはレーザー照射時のガラスからの熱を逃がす役目をし、ガラスが欠けたり、ひびが入ったりするのを防ぎます。

鉛クリスタルを彫刻する場合は特に注意が必要です。クリスタルに含まれている鉛はレーザー照射をすると熱を発生させるので、クリスタルが欠けたり、ひびが入りやすくなります。これを避けるためにはレーザー出力を低く設定します。特に今までクリスタルを加工したことがないユーザーは試し彫りをおこなった方が良いでしょう。



ガラスやクリスタルを彫刻すると研磨剤が発生します。レーザー装置の駆動部品や光学部品の磨耗を早めるのを防ぐために装置のクリーニングをまめにおこなってください。

革

革はレーザー彫刻には非常に多く使用される素材です。合成革も彫刻できますが、仕上がりは本革の方がきれいです。革を彫刻するとこげ茶色になり、彫刻していない部分との濃淡コントラストが得られます。初めての革を彫刻する場合には少し低めの出力でレーザー照射し、彫刻の深さを確認してから必要に応じてもう一度同じ場所を適度な出力でレーザー照射をすることをお奨めします。

革のカットも可能ですが、カットをする時に特有の強い加工臭が発生しますので、あまり厚い素材のカットはお奨めできません。

大理石

ほとんどの大理石や研磨天然石はレーザー彫刻部分が白っぽくなります。大理石への加工は「彫る」ことが目的ではなく、レーザー照射された部分を白濁化させ非彫刻部との濃淡コントラストを出すことにあります。あまり出力を上げ過ぎると焼けたような茶色に変色してしまいきれいに仕上がりにません。

写真を濃い色の大理石に彫刻すると彫刻部分が白く浮き上がり、非常にきれいに仕上がります。

同じ大理石でも表面の色が均一な大理石等が良いでしょう。縞模様があったりするとレーザー彫刻によるディテールが

表現しづらくなります。大理石は油脂塗料を使用して色入れをすることも出来ます。彫刻部に指で塗料をすり込んでから、乾かし、その後柔らかい布で余分な塗料を除去します。

木

レーザー加工でよく使われる木は、サクラ、カエデ、オーク、アルダー等があります。コクタンは固く、3mm程度の厚みでも60W以上の出力のレーザーでないとカットできません。

サクラは彫刻した後に年輪もほとんど出ないので、彫刻に非常に向いています。

木をレーザーで加工するとヤニが出ますが、出力やパワーの設定値を変えてもヤニが出るのを防ぐことはできません。深く彫刻したりスピードを下げたりするとヤニが多く出ます。ヤニは水を含ませたスポンジで拭くと除去できます。（キッチン用のナイロンメッシュで包んであるスポンジやセーム革をお奨めします。）ペーパータオルや通常のスポンジを使用するとヤニを拭き取るときに彫刻部分にペーパータオル等のちぎれかすが入り込んでしまっていてきれいに取り除けません。ヤニを材料表面に付着させないためには、マスキングテープを貼り、彫刻した後で剥がしてください。彫刻後に色入れをする場合は、マスキングテープを貼って彫刻した後、塗料が彫刻部の際に染み出さないように、カシュー等の透明の目止め塗料を塗布して

ください。充分に目止め塗料が乾いてから、アクリル塗料（チューに入ったものが良いでしょう）で色入れをし、充分に塗料が乾いてからマスキングを剥がします。

彫刻部分の模様が細かく、マスキングを剥がしづらい場合は、水でビショビショに濡らすとテープの接着力が落ちるので剥がしやすくなります。

木を切り抜くときは、煙と熱を逃がしやすくするため、材料を加工テーブルから浮かした方が良いでしょう。浮かす場合は、材料裏面が燃えたり炭化したりするのを防ぐためマスキングをしたり裏面を軽く水で湿らせてください。また、材料を浮かせると、木が完全に切り抜かれているかどうかを確認できます（浮かせる場合は、データを作成するときに、内側のデータから先にカットするようにしてください。さもないと、外側のデータが切り抜かれた後に、内側のデータをカットするようになってしまいます）。

木の仕上げ方法には色々あるので木を注文するときにはレーザー加工に向いているかどうか確認した方が良いでしょう。仕上げによってはレーザー加工をするとあぶくが出たり白っぽくなったりします。松やバルサ等の柔らかい木は出力を低くした方が良く、木の種類によって出力値はまちまちです。レーザー彫刻には仕上げされている木（ポリエチレンやラッカーで表面処理されている）を使用するのが良いでしょう。仕上げさ

れていない木をマスキングしないで彫刻するとスモークが付着しやすく、一度付着するとサンドペーパーをかけない限り除去することができません。仕上げしていない木にレーザー彫刻するときには必ずマスキングしてからおこなってください。



木を彫刻・カットすると発火することがあります。レーザー加工時はレーザー装置から離れないで下さい。

コルク

コルクは非常にきれいに彫刻できますが、厚いコルクをカットしようとするするとカット面が炭化しやすいので注意が必要です。コルクのカットはガスケットの製作に使用されたりします。



コルクを彫刻・カットすると発火することがあります。レーザー加工時はレーザー装置からはなれないでください。

カッティングシート

カッティングシートには様々な色、模様、厚み、仕上げがあります。レーザーでの加工の仕方として2つほど挙げてみます。

一つ目の方法は、表面のビニールだけをカットし、裏紙を残す方法です。（カッティングマシンと同じ）

- ① ビニールをカット
- ② 余分なビニールを取り除く
- ③ トランスファーテープをビニールに当てがい、スクイージを使って空気泡を取り除く

（カットされたビニールの文字や絵柄は正しい位置でトランスファーテープに貼り付いています。）
- ④ ビニールを下にしてトランスファーテープを貼りたい場所に合わせ、強く押しつけながら貼っていきます。
- ⑤ ビニールの上のトランスファーテープを取り除いて完了です。

二つ目の方法は

- ① ビニールの裏紙を剥がす。
- ② ビニールを貼りたい素材に貼る。
- ③ スクイージで空気穴を取り除く。
- ④ トランスファーテープ（マスキングテープ）を上から貼る（スモークが付着するのを防ぐため）。
- ⑤ 素材を傷つけずにビニールだけをレーザーカットできるように出力値を設定。

⑥ レーザーカット

⑦ 余分なマスキング及びビニールを取り除いて完了です。



ほとんどのカッティングシートは PVC です。PVC ビニールを使用しないでください。PVC はダイオキシンを発生させ、環境、健康、レーザー装置に有害です。

塗装真鍮板

塗装真鍮板には研磨してから塗装してあるものと研磨をせずに塗装してあるものがあります。この程度の出力の炭酸ガスレーザー彫刻機では塗装の下真鍮まで彫刻できないので、研磨済の塗装真鍮板を使用します（そうでないと真鍮の色がくすんでいてピカピカ光りません）。機械彫刻機では真鍮に彫刻しただけでピカピカ光るので研磨していない塗装真鍮板を使用します。レーザー彫刻用の塗装真鍮板は研磨した後でクリアコーティングをし、その上から塗装をしているので、使用する場合には、レーザー光が塗装面だけを除去し、その下のクリアコーティング層は除去しない程度にレーザーの出力設定してください。そうすれば彫刻後磨く必要はありません。レーザー出力が強すぎるとクリアコート層も除去され真鍮の地肌が出てしまうので彫刻した文字や図形がくすんでしまいます。もしレーザー用塗装層真鍮版を彫刻してから磨くときは、研磨剤を含

んでいない柔らかい布や紙（ペーパータオルはだめ）と高品質真鍮磨きを使用してください。



塗装真鍮板を高出力、低スピードで彫刻やカットしようとしないでください。レーザー光が真鍮板で反射し、レーザー装置を損傷させたり、健康に障害を与えたりすることがあります。

アルマイト

アルマイトにマーキングするには次の2通りの方法があります。

（１）アルマイトに直接彫刻

最近は様々なカラーのアルマイトがありますが、CO₂レーザーで簡単に彫刻することができます。特に、ブラックアルマイトは、彫刻をするときれいに白くなります。レッドアルマイトの場合は、彫刻すると少し赤みがかかってしまい、くっきりとした白にはなりません（2度程度彫刻すると赤みは少しくなりませんが、充分ではありません）。

加工パラメータは、スピードは速めで、パワーは低めがいいでしょう。

（２）アルマイトに色入れ

アルマイトに色入れをするには次の方法でおこないます。

- ① アクリルクリアを筆塗りまたはスプレーする。
- ② アクリルクリアが完全に乾いてからアルマイト材料にレーザー彫刻をする（彫刻部分だけ白っぽくなる）。
- ③ 文具店や画材店で売っている市販の水性マーカーで彫刻部分を塗りつぶす。

ー レーザー彫刻されたところだけマーカーのインクが染み込みます。

レーザー彫刻した部分が白っぽくなっている影響で染み込んだインクは実際より明るく見えます。すこし濃い色合いのマーカーを使用してください。

- ④ 余分なインクを拭い取ってください。
- ⑤ アクリルクリアでトップコート。



アルマイトを高出力、低スピードで彫刻やカットしようとしな
いでください。レーザー光がアルマイトで反射し、レーザー装
置を損傷させたり、健康に障害を与えたりすることがありま
す。アルマイトを彫刻すると研磨剤が発生します。レー

ザー装置の駆動部品や光学部品の磨耗を早めるのを防ぐために装置のクリーニン
グをまめにおこなってください。

マットボード（厚紙）

マットボードは建築模型やピクチャーフレーム用としてレーザー加工に適しており、きれいに彫刻したりカットしたりできます。マットボードを彫刻する場合は、レーザー光で表面層だけ文字や模様をハッチングして下部層の色を出します。下部層の色がレーザーで変色してしまわないように p p i は低めに設定します。彫刻の場合は表面にマスキングは不要ですが、カットの場合は両面をマスキングし、少し浮かせてカットした方が良いでしょう。

第 4 版 2011 年 12 月 1 日

レーザー・デザインフォーラム

東京都八王子市館町 815-1

拓殖大学 産学連携研究センター207

info@ldf.jp

©無断で本書の全部又は一部を複写することを禁ず。