

## レーザー加工による意匠製作の現状

高松 良平  
菊川工業(株)

### 1 はじめに

レーザー加工技術は、1980年代に国産炭酸ガスレーザー加工機が誕生して以降、様々な産業分野に適用されてきた。とくに金属の溶接・切断加工においては、レーザー発振器の高出力化やレーザー種類の多様化にともない、多種多様な金属・板厚の切断加工を高品質に行うことができるようになってきており、要求される製品品質に応じたレーザー加工方法を自由に採用する事ができる。

当社は1933年の創業以来87年にわたり、建築業界における建築物の金属製内装・外装製品(写真1)やオブジェ類の設計・製作・施工を行っている。その中で、レーザー加工技術は金属板の切断および溶接作業に適用しており、従来の切断加工機・溶接機のメリット・デメリットを比較しながら最適な加工方法を都度選択し製品の製作を行っている。

本項では、建築業界の中でも内装・外装用として用い

られる薄板金属の加工に適用されているレーザー加工技術について、その適用状況や製品事例を紹介する。

### 2 建築業界におけるレーザーの適用状況

建築物の内装・外装製品に用いられる金属の種類は、主にオーステナイト系ステンレスのSUS304(板厚1.5mm~5.0mm)、アルミニウム合金のA1100およびA3003(板厚2.0mm~4.0mm)、純銅および銅-亜鉛系合金のC1100、C2200、C2801(板厚1.5mm~3.0mm)、メッキ鋼板(1.6mm~3.2mm)である。これらの金属材料は、入荷後に切断工程⇒曲げ工程⇒溶接・組立工程⇒表面仕上げ工程を経て工場から出荷され、最終的に建築物へ施工される。特殊な金属材料ではチタン合金やニッケル合金、マグネシウム合金なども取り扱うことがある。この中で、切断工程および溶接工程において当社での適用状況を紹介する。

はじめに切断工程では、6.1mシャーリング1台、4mシャーリング1台、3mシャーリング1台、2mシャーリング1台の計4台によるシャーリング切断、2×6.5mタレットパンチプレス、1.2×7.5mタレットパンチプレス1台、1.6×6mタレットパンチプレス1台の計3台によるタレットパンチプレス切断加工法、6kW CO<sub>2</sub>-2Dレーザー切断機1台、4kW CO<sub>2</sub>-2Dレーザー切断機1台、3kW シングルモードファイバーレーザー-3D切断機1台の計3台によるレーザー切断加工法を採用している。

建築物の内装・外装製品用の金属材料の切断加工として主に使用する機械はCO<sub>2</sub>レーザー切断機である。薄板の金属材料切断後の寸法精度が非常に良好で、切断面も綺麗で後加工でのバリ取りが不要となるためである。タ



写真1 金属製内装製品の例

レットパンチプレスやシャーリングによる切断は、せん断加工であるため切断面に鋭利なバリが残ってしまう。このバリが残ったままになっていると、後工程で製品を触った際に怪我を負う恐れが出てしまうのでバリ取りという追加作業が発生してしまう。また、複雑な加工線の切断に対しても高速で加工する事が可能である（写真2）。

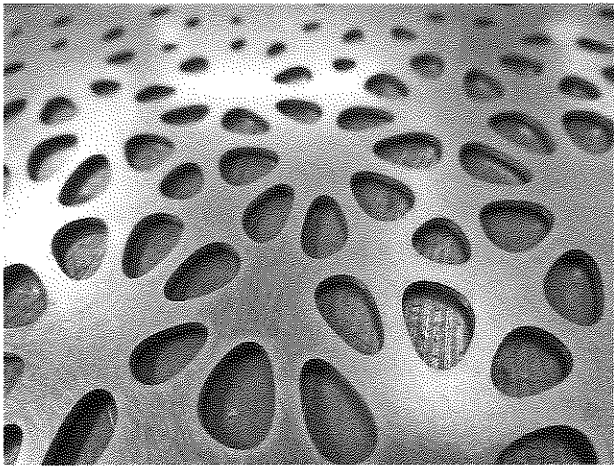


写真2 複雑なレーザー切断

一方、CO<sub>2</sub> レーザ切断機では、アルミニウム合金や銅合金といった高反射材料の切断を行うことができない。これはCO<sub>2</sub> レーザは波長が10.6μmと長いので、高反射材料に対してレーザー光が吸収されにくく反射されやすくなり、材料を溶かす（切断する）ためには非常に大きな出力が必要になってしまうからである。またこの時のレーザー光の反射（戻り光）も問題であり、万が一戻り光がレーザー共振器に到達してしまうとレーザー切断機にとっては故障に繋がる可能性がある。

しかしながら、建築用の内装・外装製品にはアルミニウム合金や銅合金が採用されることが多く、これらの高反射材料のレーザー切断技術が求められている。そのためにはより短波長で高出力なレーザーが必要となるが、ディスクレーザーや、現在普及しつつあるファイバーレーザーによる切断技術はこれらの高反射材料の切断に対して従来のCO<sub>2</sub> レーザよりも有効な手段である。弊社ではA1100やC1100、C2200といった高反射材料の切断には主にレットパンチプレスを適用しているが、後工程でレーザー溶接を予定している場合は開先加工精度の問題で切断面をそのまま適用できない。これは、レットパンチプレスによるせん断加工面にダレが出来てしまうため（写真3）で、この面同士をI継手で溶接し平滑に仕上げをしたい場合に、レットパンチプレス加工面をレー

ザ溶接によるフィラー添加で埋めきれず、アンダーカット状に残ってしまうので注意が必要である。

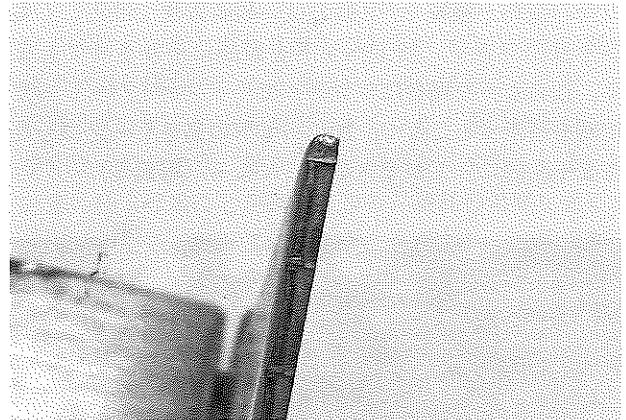


写真3 レットパンチプレスによる切断面

ファイバーレーザー切断技術においては、当社では3kW シングルモードファイバーレーザー切断ヘッドをロボットに載せた切断装置を用いて加工を行っている（写真4）。

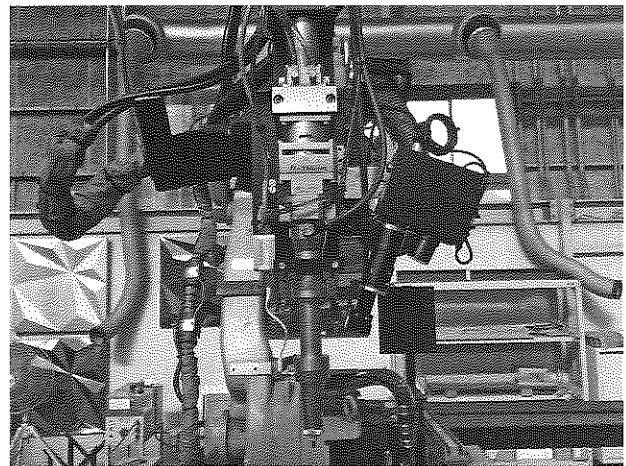


写真4 シングルモードファイバーレーザー切断機

一般的なレーザー切断機が図面データを元に平面的な加工を高精度に行うのに対し、ロボットを走行台車に載せることで、すでにでき上がっている製品に対して自由に追加加工を行えることを目的として設計している。シングルモードファイバーレーザーは他のレーザーと比較しBPP（Beam Parameter Products）が優れているという特性を利用して、レーザー切断加工中に製品が動いてしまうことで焦点距離が離れてしまっても切断を継続させることができる。これにより拘束が難しい立体的な複雑形状の製品に対してもレーザー切断が可能である。この特性

を生かして弊社では、主にエキスパンドメタルをはじめとしたメッシュ状の製品のレーザ切断や、グレーチングの切断に適用している。とくにメッシュ状の製品は高さ方向の変化が複雑で、z軸の微い制御装置では正しく高さを検出できず、加工ヘッドを製品に干渉させてしまう。このような場合にシングルモードファイバーレーザ切断を適用することで、加工ヘッドの高さを一定にしたまま平面的に加工ができるようになる（写真5）。

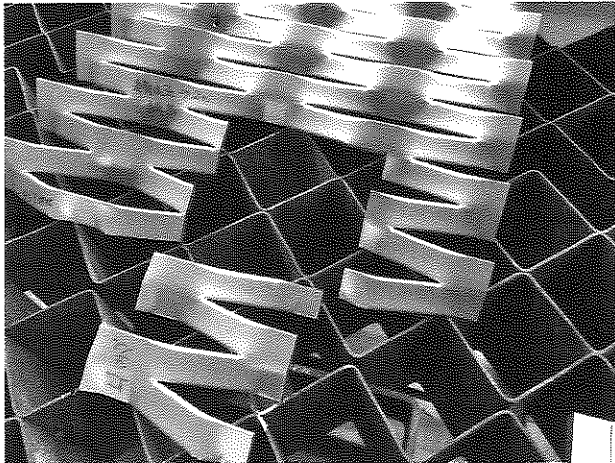


写真5 メッシュ状製品のSMファイバーレーザ切断

また、波長が $1.07\mu\text{m}$ のファイバーレーザであるため、従来 $\text{CO}_2$ レーザ切断で対応しにくかった金属材料のうち、アルミニウム合金と銅合金に対してはバリが残るものの対応可能である。純銅に関しては反射が大きく戻り光によってモジュールを損傷する可能性が高いため反射防止材の塗布等が必要となり、通常生産に適用できる状態にはなっていない。

次に溶接工程では、ティグ溶接機32台、半自動溶接機4台、被覆アーク溶接機6台、6kWマルチモードファイバーレーザ溶接機1台を採用し、ほぼ組立作業員1名に対してティグ溶接機1台を割り当てて製作を行っている。建築物の内装・外装製品用の金属材料は、前述のようにそのほとんどが板厚 $1.5\text{mm}\sim 3.0\text{mm}$ のSUS304, A1100, A3003, C2200, C2801であり、溶接箇所はパネルのコーナーの立ち上がり部分等短距離溶接がメインであったため、従来はティグ溶接機で対応していた。しかし近年の建築業界の傾向としては、曲線や長距離溶接を必要とする特殊な形をしたものが多く見られるようになってきており、それにともなって『曲線を溶接変形させずに溶接をしなければならない』というニーズが高まってきている。これを実現するには、従来のティグ溶接で蓄積してきた技術を活用するだけでなく、

溶接変形の低減を実現可能な新しい溶接技術が求められていた。

当社では、2013年に6kWマルチモードファイバーレーザ溶接機を導入し、建築用内装・外装製品の製作に適用している。マルチモードファイバーレーザによる溶接ビードはビード幅が狭く深い溶込みが得られるため、ティグ溶接と比較して溶接変形が小さくなる結果が得られている。図1は材質SUS304、板厚2.0mm、寸法 $125\text{mm}\times 250\text{mm}$ の試験片2枚の突合せ継手に対し、ティグ溶接とマルチモードファイバーレーザ溶接でそれぞれ溶接し、その際に発生した溶接変形量をレーザ変位計にて測定した結果である。グラフにおいて奥行きが溶接方向であり、溶接線方向の反り・角変形共にマルチモードファイバーレーザ溶接による溶接変形量がティグ溶接による溶接変形量を下回っている結果が得られた。

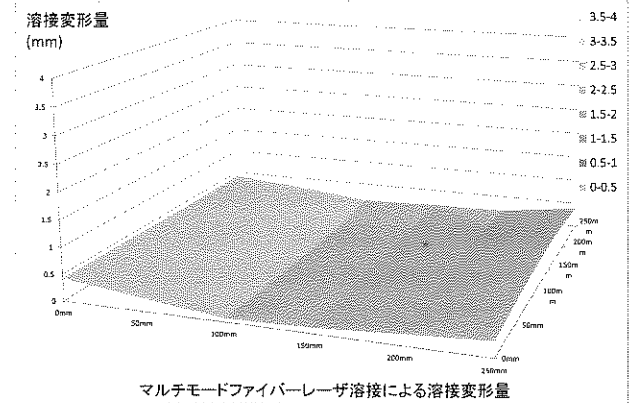
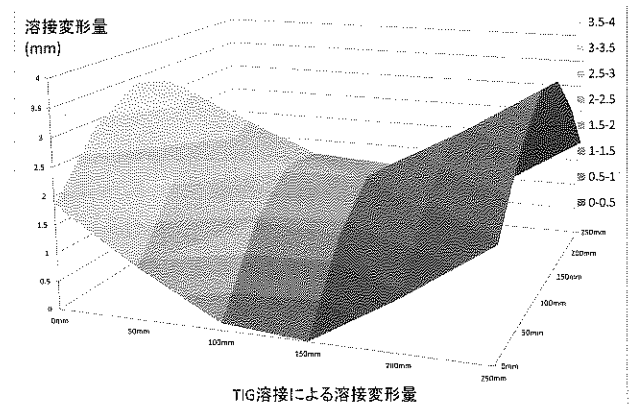


図1 溶接変形量の比較

### 3 建築用内外装へのレーザ適用事例

建築用の内装・外装製品の製作において、レーザ加工技術が重要な役割を担っており、レーザ加工技術の進歩により、これまで品質上の問題から実現が不可能とされていた製品が提供できるようになってきた。ここで

は、実際にレーザ加工技術を製品に適用し施工を行った事例を紹介する。

1例目は冒頭の写真1に示した、Bloomberg社のヨーロッパ本部新社屋の銅合金パネル工事である。この工事では板厚2.0mmの銅合金約700tを用いて内装・外装のパネルを製作した。幅2,800mmという市場には存在しないサイズの板材をFSWにて接合したものを素材とし、素材からタレットパンチプレスにて抜き出した部材を、マルチモードファイバーレーザ溶接にて組み合わせたうえで、古風な表面仕上げを施して製品とした。マルチモードファイバーレーザ溶接の主な適用箇所は内装・螺旋階段パネルの図1中の矢印で示した部分であり、螺旋階段パネルだけで約3,800m（1辺約2m×4ライン×2左右×2上下×17枚×7フロア）の溶接長がある。従来、銅合金の溶接はすべてティグ溶接で行ってきたが、これだけの溶接長をティグ溶接でこなし、余盛をグラインダーで削って平滑にする作業を決まった期間内に行うためには、人員計画が困難になってしまう。また、銅合金の溶接部は、溶接時の入熱によって赤く変色する。ティグ溶接ではビード幅が大きいため、この変色が目立ってしまうという問題もあった。マルチモードファイバーレーザ溶接を適用することで、マルチモードファイバーレーザ溶接装置オペレータ（溶接工）は2名で済むようになり、溶接部の変色も抑えることができた。また、2.0mやそれ以上の溶接長を有する製品の溶接変形を小さくできたことで、溶接変形の矯正時間も大幅に短縮できる効果もあった。写真6に螺旋階段パネルの溶接部を示す。

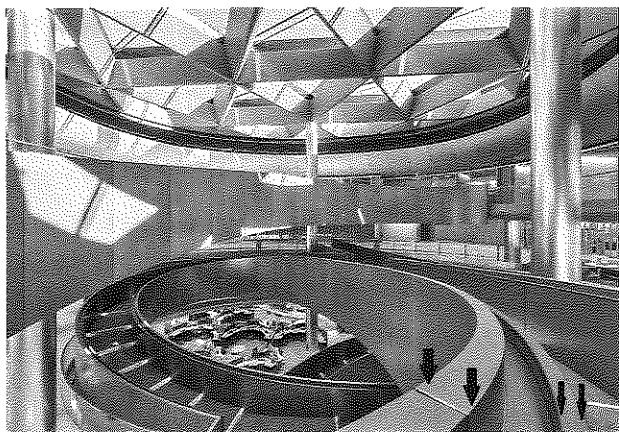


写真6 螺旋階段パネルの溶接部

ここで紹介した螺旋階段パネルの溶接部の継手形状はすべて90°の角継手であるが、その他の内装パネル・外装パネルの溶接部継手形状には、鋭角・鈍角の角継手、

突合せ継手、T継手、さらにそれらの継手が曲線になった継手形状にも適用されている（写真7）。このような、とくに角度の付いた継手形状のマルチモードファイバーレーザ溶接にあたっては、一般的に開先面に沿ったレーザの照射をすると思われがちであるが、左右の板で開先角度が違う場合、この方法でレーザを照射するとビード両側のアンダーカットが出やすくなり平滑に仕上げられなくなってしまう。また、溶接部が丸く溶けてしまいピン角に仕上げることが難しくなり、製品の外観を悪くする原因となる。写真7に鈍角かつ曲線のレーザ溶接製品を示す。

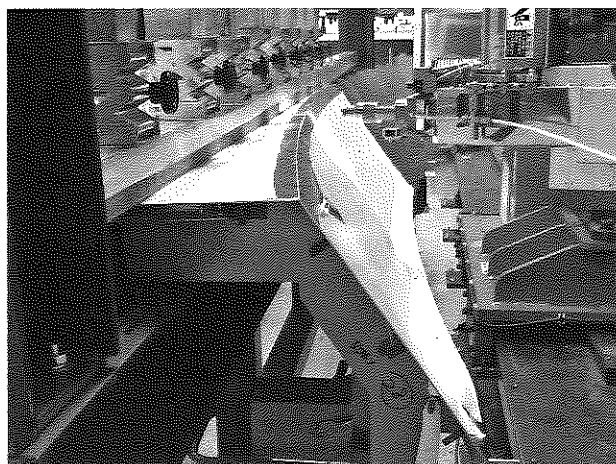


写真7 鈍角かつ曲線のレーザ溶接製品

したがって製品へのマルチモードファイバーレーザ溶接適用時には、溶接条件の選定に加えてレーザの照射角度による平滑仕上がりへの影響をよく検討する必要がある。

2例目は、世界遺産・薬師寺の食堂（じきどう）復興工事の、アルミ天井パネル製品である（写真8）。製品はアルミニウム合金であるA5110APの板厚3.0mmを素材とし、CO<sub>2</sub>レーザ切断機にて切断後、金色に輝く表面仕上げを施し、フレーム下地を組付けて現地に施工した。壁からの照明を天井パネルに反射させ、淡い光の広がり表現している。総枚数300枚以上にのぼる天井パネルは全て違う形状・模様である為、CADデータを用いたCO<sub>2</sub>レーザ切断加工を採用した。CO<sub>2</sub>レーザ切断により、写真3のようなタレットパンチプレスによる打ち抜き加工で発生した問題点である切断面のダレを無くし、CO<sub>2</sub>レーザ切断面をそのまま化粧面として利用した。

3例目は、東京ミッドタウンの斜向かいにある、Mercedes me Tokyoに隣接しているEQ Houseである（写真9）。これも薬師寺と同様の加工方法の施工例であ

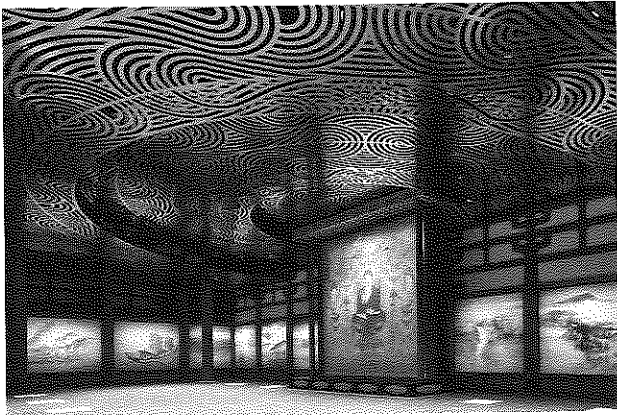


写真8 薬師寺 食堂

り、A3003Pの3.0mm材を素材とし、CO<sub>2</sub>レーザ切断にて加工を行っている。薬師寺が照明の反射光を利用する設計であったのに対し、EQ Houseでは自然光による陰影を利用した空間が表現されている。

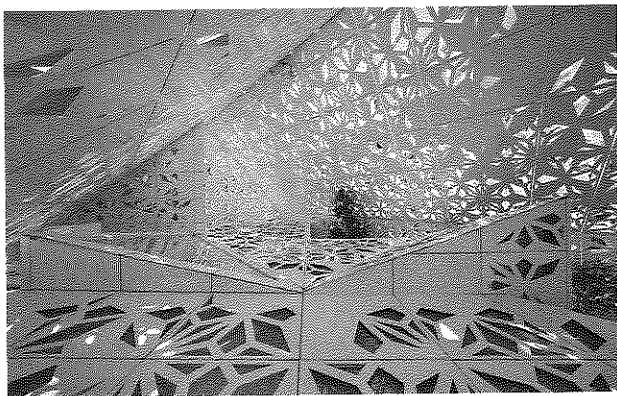


写真9 EQ House

また、2019年10月～2020年1月にかけては、アルミニウム合金A3003PをCO<sub>2</sub>レーザ切断にて切りぬき、マルチモードファイバーレーザ溶接にて角パイプ状にまとめた製品の製作も行った。直線形状であれば角パイプを押し出し成形にて製作も可能であったが、写真10のように曲線のパイプ形状で、かつ、同じ形状が1つも無い製品が求められていたため、4の切り板を溶接する手法を取った。製作した溶接角パイプは、総長さ1,260m、溶接長は5,040mであった。

#### 4 おわりに

本稿で挙げた課題は「C1100、C2200といった純銅・銅合金のレーザ切断技術の確立」と、「銅合金溶接部の色変化」であるが、これらについては解決しつつある。

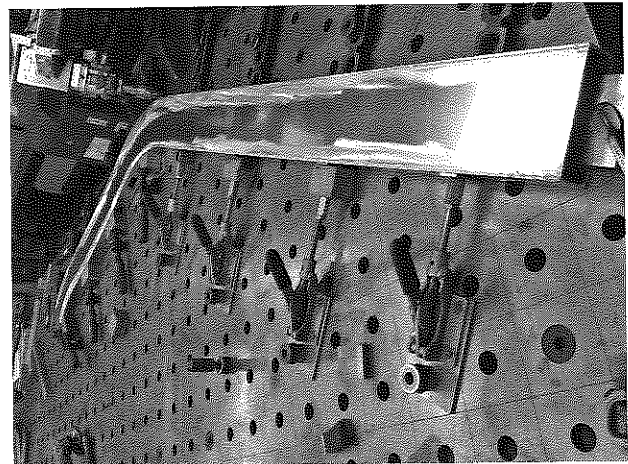
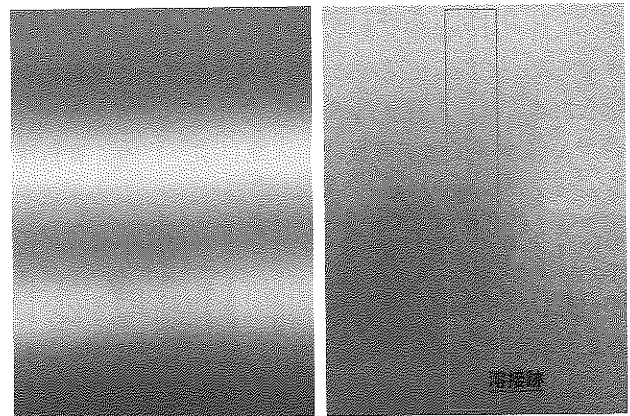


写真10 曲線の溶接パイプ製品



新開発の丹銅レーザ溶接

従来の丹銅レーザ溶接

写真11 色変化の少ない銅合金レーザ溶接技術

前者は、高出力のファイバーレーザによる切断加工が可能であるし、より短波長のグリーンレーザやブルーレーザを用いることで、さらに高品質な加工が期待できる。後者は、社内で開発を進めた結果、限られた溶接条件の範囲内において、銅合金における溶接部の色変化が非常に少ないマルチモードファイバーレーザ溶接技術を確立することができた(写真11)。

これまで紹介してきたように、建築用の内装・外装製品の製作において、レーザ切断技術とレーザ溶接技術というレーザ加工技術は、意匠性の向上という建築業界の要求に合わせて需要が増えており、また必要不可欠な技術となってきた。

レーザ加工の分野は日々新しい技術が確立されているが、本誌を通していち早くこれらの技術情報を入手し、導入・事業化につなげていき、業界の発展に貢献していきたい。