熱加工にメリットを持つ、高出力ダイレクトダイオードレーザ

久米憲一

高出力ダイレクトダイオードレーザは、コンパクトなサイズと高い効率に加えて、最適な波長とビーム特性を備える

近年、ファイバレーザと高出力ダイレクトダイオードレーザ（Direct Diode Laser：DDL、直接集光型半導体レーザ）の熱加工への適用がますます増加している。どちらの種類のレーザも優れた特性を備え、材料加工において従来のレーザの代わりに使用することができる。エンシュウは、応用技術、加工技術、周辺機器向けの包括的なシステムにおいて、これらのレーザを提供している。

加工用レーザ

表1に示すように、高出力DDLが、炭酸ガス（CO_2）レーザやイットリウムアルミニウムガーネット（YAG）レーザといった従来の種類のものと比べて、省エネ効果に優れていることは明白である。エンシュウは、日本製の高出力DDLに基づく、最大5kW出力のレーザ発振装置を提供している。

エンシュウは当初から、主に金属やプラスチックの溶接を対象に、DDL技術を採用するレーザ加工機を提供してきた。また、ファイバレーザの提供を開始したことで、キーホールタイプの溶接による、高精度な重ね合わせ接合にも対応することができる。**表2**に、エンシュウのレーザ加工機のラインナップを示す。

エンシュウは2002年の創業以来、浜松ホトニクスと協業している。その背景の下で、高出力ダイレクトダイオードレーザを中心としたレーザ加工機の開発と製造を行っている。当社は、ファイバレーザと日本製高出力DDLのメリットの実用的な活用方法を各顧客に提案することにより、日本製DDLの市場シェア拡大に取り組んでいる。当社は現在、それらのレーザを搭載して開発したさまざまな加工システムを主に推進している。

エンシュウは現在、周辺機器を備えるDDLを提供している。**図1**に示すように、DDLは非常に小さい。当社は、電源やチラーの設計と製造も手掛けており、完全なレーザ装置を顧客に提供することができる。このDDLはコンパクトで、4kWの出力で重量はわずか15kgしかなく、従来のロボットや機械に簡単に搭載することができる。直接照射型であるため、光学系に損失はほとんどない。

また、ファイバケーブルは使用されていない。ヘッド周りの配線は、電力線、信号線、冷却水ラインで、モーション駆動装置用の配線や配管は簡素化されている。DDLは、トップハット型のプロファイルを持つ矩形のビームスポットにより、熱伝導溶接が可能で、隙間の許容範囲が広く、溶接スパッタが少ない（**図2**）。

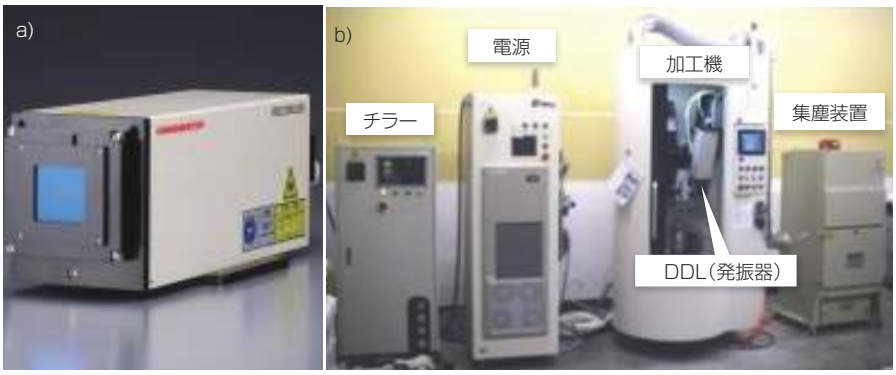

図1　a

溶接事例

自動車排気系の溶接：自動車排気系部品は、板金の重ね溶接によって生成される。重ね溶接には一般的に貫通結合が用いられるが、排気系の場合は、溶接部品をしっかりと結合することが必要である。また、下の鋼板の下側部分にスパッタなどの異物が混入するのを防ぐ必要がある。そこで、ビード幅が広く、伝導溶接が可能なDDLを採用した。**図3**には、広い溶接幅が得られ、下面部分に非貫通溶接が生成されていることが示されている。

産業用リチウムイオン電池の溶接：この電池部品（**図4**）の加工も、DDLを適用することにメリットがある事例である。円筒形の板金部品の上にディスクを配置して突合せ溶接が行われる

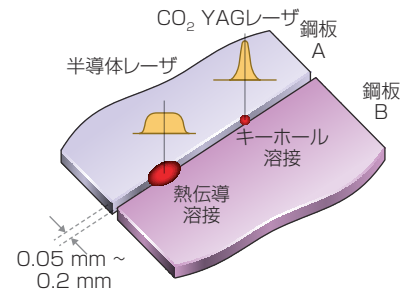

図2　DDLと従　型レーザのレーザビーム特性の　較。

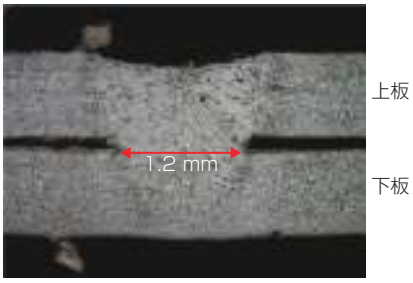

図3　貫通の重ね　接。

表1　レーザ　較

レーザの種類	DDL	CO_2	YAG（ランプ）	YAG（LD）
変換効率（%）	29	6	1	6
設置面積比	1	6	13	6
波長（nm）	0.8～0.94	10.6	1.06	1.06

表2　ラインナップと　準特性

DDL：小型・高輝度タイプ	
出力	2.0kW、4.0kW
集光径（FWHM）	0.5mm×1.6mm
DDL：標準タイプ	
出力	2.0kW、4.0kw、5.5kW
集光径（FWHM）	0.5mm×2.6mm
ファイバレーザ	
出力	0.5kW～2.0kW
直径（1/e^2）	Φ0.4mm

図4　円筒突合せ　接。

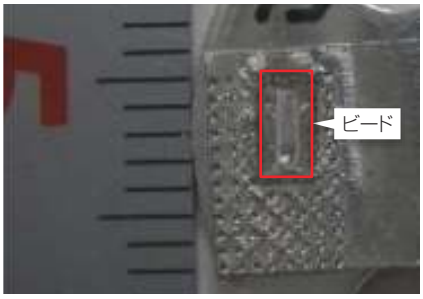

図5　アルミニウム箔の重ねスポット　接。

が、板金部品であるため、接合部には隙間と位置ずれが生じる。高出力DDLを使用すれば、隙間の許容範囲が広く、照射位置を変えることができるため、この問題が解決される。部品上にスパッタが残る心配も軽減される。DDLはビーム幅が広いため、スパッタの少ない熱伝導型溶接が可能で、非貫通溶接において十分な溶接領域を生成することができる。

アルミニウム箔のスポット溶接：この例（**図5**）では、DDLの大きな矩形スポットによる溶接が活用されている。この加工では、アルミニウム箔でラミネートされた部分（10～20枚）とフラットプレートの上面に矩形ビームを照射することにより、それらを接合する。キーホール溶接にファイバレーザとガルボミラーを組み合わせると、溶融部分に突起が生成され、溶融金属が飛び散り、接合部に不具合が生じる。一方、熱伝導型溶接を用いれば、安定した溶融池が形成されるため、突起は生成されにくく、部品は適切に接合される。

焼入れ事例

レーザ焼入れ：DDLは表面焼入れに適用できる。従来のCO_2レーザよりも波長が短いため、エネルギー吸収装置を使用する必要がない。ビームはトップハット型であるため、特殊な光学部品を使用することなく、対象部分に熱を均等に印加することができる。

機械部品の局所焼入れ：ストライプ状に焼入れを行うことにより、大きな鋳物部品の滑り面の摩耗耐性を高める処理である。**図6**に示されているように、焼入れ部分は、硬度の増加によって摩耗が減少し、非焼入れ部分は、摩耗するが油受けとなることで潤滑性が向上する。焼入れする部分が楕円形であっても、トップハット型で矩形のビーム形状により、部品の均一な焼入れが可能である。

エンシュウは、ビームの均一性を改善することによって焼入れ品質を高める、新しい光学レンズユニット（**図7**）を導入し、均一な照射ユニットを備えるDDLを製造した。このシステムは、2.5～25mmの熱処理に必要となる、20種類の異なるビームサイズで提供されている。ビームサイズは、範囲に応じて選択可能である。量産においては、レンズの選択肢を多く取りそろえる必要はないと考えられる。種類を絞れば、初期コストは抑えられ、処理は簡素化される。現行の光学系を用いる場合で

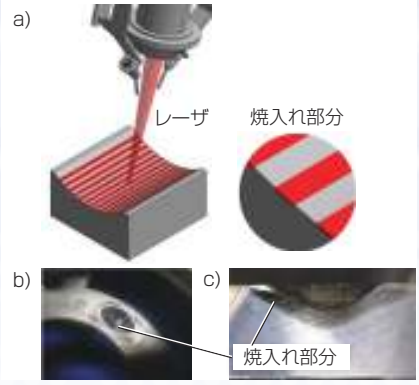

図６　a)は焼入れ　域、b)は加工後の外観、c

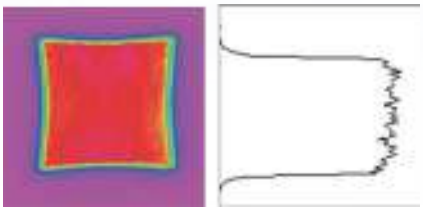

図７　均一照射ユニットのプロファイル　。(提供:　松ホトニクス)

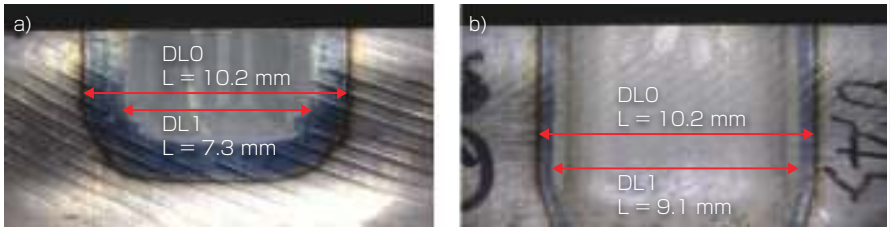

図８　a

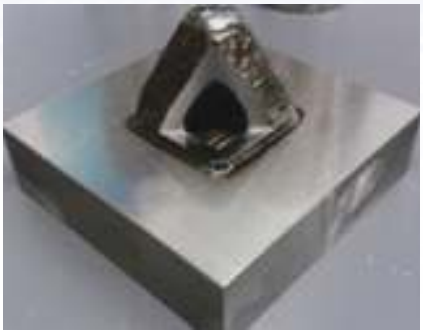

図９　ワイヤ供給肉盛りのサンプル(空洞)。

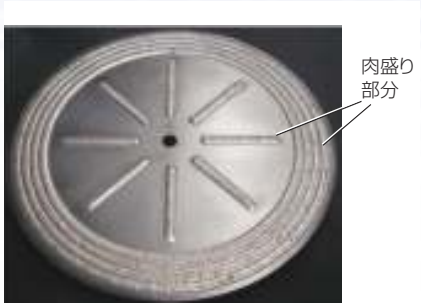

図１０　ブレーキディスクを模倣したサンプル。

も、焼入れ幅と焼入れ深さはそれぞれ11%改善される。

レーザ肉盛りの特性

従来の肉盛り技術はかなりの熱を必要とするため、母材の歪みが大きい。また、残留熱が大きく母材に希釈(浸透)が生じるために、後処理が必要である。レーザ肉盛りの場合は[1]、印加される熱が小さいので、母材への希釈も小さく、後処理は不要となる。また、母材への合金の希釈が小さいため、高品質の肉盛り層が生成される(**図8**)。加えて、肉盛り層と母材の間は金属結合であるため、十分な強度が得られる。

肉盛り事例

ワイヤ供給タイプの肉盛り：DDLビーム肉盛りの例を**図9**に示す。ワイヤ供給タイプの肉盛りを、エンシュウは主に、鋳型修理とラミネートクラッディングに適用している。DDLは熱伝導型であるため、スパッタが少なく、熱伝導は穏やかで、安定した加工が実現できる。

粉末供給タイプの肉盛り：粉末供給タイプの肉盛りを、エンシュウは主に、耐摩耗性部品や鋳型修理加工に適用している。この肉盛り方法を使用することにより、厳選された高価な材料ではなく、安価で軽量な材料から、輸送機器関連部品の母材が生成される。肉盛りは、機能を満たすために必要な部分のみに適用されるため、部品コストが抑えられる。

図10に示したサンプルは、高炭素鋼母材でできたブレーキディスクに似ている。ブレーキディスクには、表面熱処理が施される場合がある。低炭素鋼を使用してディスクを生成してから、ディスク上に高耐摩耗性の材料を肉盛りすると、安価な標準材料が生成される。

粉末供給タイプの肉盛りは、未来の輸送機器関連部品の構造強化に効果的と期待されている。(ワイヤ肉盛りとは異なり)多様な材料が使用でき、熱影響部の体積を抑えることができるためである。エンシュウは、粉末肉盛りに必要な供給装置を開発し、社内で製造している。

DDL技術のメリットのまとめ

DDLの特長をまとめると、まず、波長が従来のCO_2レーザよりも短いため、レーザ出力が母材または肉盛り合金に吸収されやすく、低いレーザ出力で加工が可能である。また、ビームの走査なしで効率的な加工が可能で、ビーム・プロファイルはトップハット型であるため、熱を母材に均等に印加することができる。

参考文献

(1) J. Franks, “High Efficiency Hot Wire Cladding with High Power Diode Laser System,” Industrial Laser Solutions Japan, 1-3.

著者紹介

久米憲一は、エンシュウ新規事業・IoT推進室に所属。e-mail: norikazu_k1@enshu.co.jp
URL: www.enshu.co.jp

ILSJ