

# エネルギー変換効率から見た レーザー技術動向

株式会社アマダエンジニアリング 技術研究所 所長 迫 宏

板金加工におけるレーザーの応用——特に切断技術は、1980年前後に当社を含む日本企業に導入された。その光源にはCO<sub>2</sub>レーザーが使用され、当社もCO<sub>2</sub>レーザー発振器をNC加工機に組み込み、板金レーザー切断加工機として市場に投入した。初号機発売から30年以上が経過した現在、お客さまへの累計納入台数は1万2,000台を超えた。

CO<sub>2</sub>レーザー発振器およびその加工技術は、すでに成熟期を迎えている。このような環境の中で、当社のその後のファイバーレーザー発振器およびそれに続くDDL (Direct Diode Laser) 発振器の開発への取り組みを紹介する。

## 1. 省エネ型の固体レーザー技術を自社開発

よく知られたファイバーレーザーの長所としては、高い電気光変換効率、高ビーム品質、長寿命、簡単操作、アルミ・銅などの高反射材加工が可能になることが挙げられる。高

ビーム品質であるがゆえに従来のCO<sub>2</sub>レーザーよりも小さなスポットに集光できると同時に、短波長であるため、金属材料に対して高い吸収特性があり、薄板材の高速切断が得られる。その一方、高ビーム品質であるがゆえに、厚板材では切断幅が狭すぎるため、発生する溶融物を排出しにくく、安定切断が得られないという技術的な課題もあった。

当社は、技術的・コスト的な差別化を実現するため、2008年から自社製ファイバーレーザー発振器の開発に着手。安定した量産化には苦労も多かったが、2010年には4kWファイバーレーザー発振器の開発に成功し、ドイツ・ハノーバー見本市会場で開催された「EuroBLECH 2010」に当社初のファイバーレーザーマシン「FOL-3015A」を出展し、MM賞<sup>ユーロフレッヒ</sup>を受賞した。

その後も当社は、2年ごとに開催される同展示会にはファイバーレーザーを採用した新商品を続けて出展していった。

### 1 各種レーザーの原理と特徴

基本構成	光品質 (mm·mrad)	エネルギー 変換効率
<b>CO<sub>2</sub>レーザー</b> 	8~9	10%
<b>ディスクレーザー</b> 	2~4	20~25%
<b>ファイバーレーザー</b> 	0.8~2	30~35%
<b>DDL</b> 	8~9	40%

「ものづくり技術戦略ロードマップ検討委員会報告」2008年8月18日の資料より一部引用



「EuroBLECH」でMM賞を受賞したアマダのファイバーレーザーマシン。  
2014年受賞の「ENSIS-3015 AJ」（左）と2010年受賞の「FOL-3015 AJ」（右）

2012年には1台でB to B (Blank to Bend)を実現するシートセンター「LASBEND-AJ」を出展。2014年にはビーム可変ユニットを搭載し、ファイバーレーザーの課題だった厚板の加工に対応するとともにレンズ交換なしで薄板から厚板までのフルレンジ自動連続加工を実現した「ENSIS-3015AJ」を出展し、いずれもMM賞を受賞している。

ファイバーレーザーの市場浸透が進む中で、グローバルな潮流としてエコ・省エネ型のレーザー技術開発はさらに進んでいった。このような市場環境の中で、当社は金属加工用レーザーの新技術として高輝度DDL開発プログラムを立ち上げ、開発に着手。「EuroBLECH 2014」では2kWのDDL発振器「ExC」<sup>エグザック</sup>を搭載した世界初の板金用レーザー切断加工機のプロトタイプを出展した。

## 2. エネルギー変換効率から見たガスレーザー、固体レーザーの特性と加工特性比較

### ■ レーザ原理の特性比較

図1に①CO<sub>2</sub>レーザー、②ディスクレーザー、③ファイバーレーザー、④DDL——の4種類のレーザー発振器の基本構成を示し、そのレーザー原理と特徴を解説する。

第1に、ガスレーザーの代表格であるCO<sub>2</sub>レーザーは、レーザーガスを真空中で放電電極で励起してレーザー発振するが、外部の光学系はミラー伝送で、電気光変換効率が10%と低いのが欠点である。しかしアルミ・真鍮・銅などの高反射材を除いて、ほとんどの材料が良好に切断でき、加工技術も確立している。

第2に、ディスクレーザーを説明する。YAGレーザー（図はなし）と同様に、YAG結晶をロッド型ではなく、数百μmのディスク状の結晶にYb<sup>イッテルビウム</sup>をドーピングさせ、冷却効率を上げるために放熱用のヒートシンクを裏面に配置していることが特徴で、励起源はレーザーダイオードである。ディスクレーザーの利点は、CO<sub>2</sub>レーザーに比べて光品質（BPP）が向上し、かつ電気光効率がCO<sub>2</sub>レーザーに比べて2～2.5倍に向上する点である。しかし、光学部品が多く、定期的なメンテナンスが必要となる。また、誤解を避けるために認識しておきた

いのは、このレーザーは、構造的にファイバーレーザーとはまったく異なる点である。

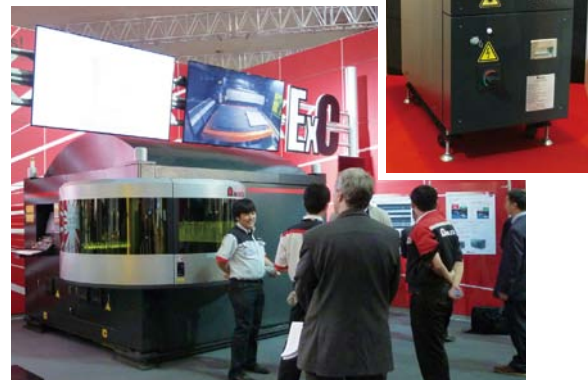
第3のファイバーレーザーは、CO<sub>2</sub>レーザーやディスクレーザーのようなミラーを基本とする空間共振器ではなく、励起源であるレーザーダイオード、ミラーの役割をするFBG、レーザー発振部分のアクティブファイバーからレーザー出射端までがモノリシック（一体）な構造であるため、光のロスが少なく、冷却効率も良く、光品質がディスクレーザーよりもさらに優れており、かつ電気光効率がCO<sub>2</sub>レーザーに比べて3～3.5倍と向上する。

第4にDDLについて説明するが、電気光効率が40%となるのが最大の特徴である。一方、ファイバーレーザーのように光品質を矯正するアクティブファイバーが存在しないため、波長の異なる数種類のレーザーダイオードを空間的にグレーティング（回折格子）することにより、空間的に光線を重ね合わせる技術がキーとなる。光品質は、CO<sub>2</sub>レーザーと同等のレベルで、BPP=8～9mm・mradとしている。

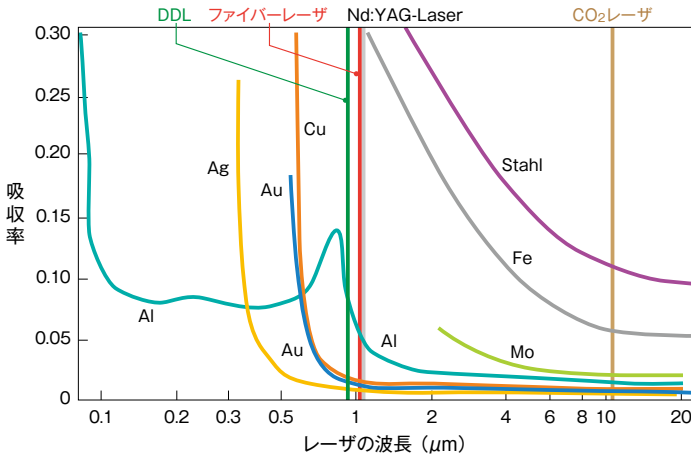
### ※MM賞

ドイツで最も権威のある機械業界誌「Maschinen Markt」(MM)が先進性や革新的な製品に対して表彰するもので、毎回世界40カ国以上から1,500社を超える企業が参加する「EuroBLECH」の出展製品の中から審査・選出される。

2kWのDDL発振器「ExC」<sup>エグザック</sup>（右上）を搭載した世界初の板金用レーザー切断加工機のプロトタイプ（下）／「EuroBLECH 2014」より



## 2 金属材料に対するレーザーの波長と吸収率の関係



### ■ レーザの加工特性の比較

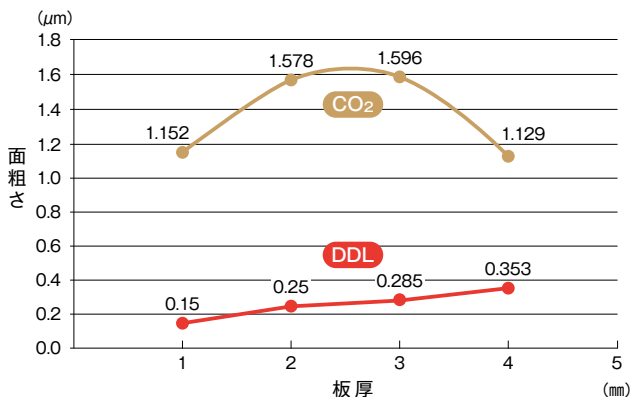
各レーザーの加工特性について比較する前に、光の波長に対する金属材料の吸収率の関係を調べてみる。

図2に種々の金属材料に対する波長と吸収率の関係を示す。波長10μm帯のCO<sub>2</sub>レーザーは、鉄系、アルミおよび銅に対して、短波長のレーザーよりも吸収率が低いことがわかる。

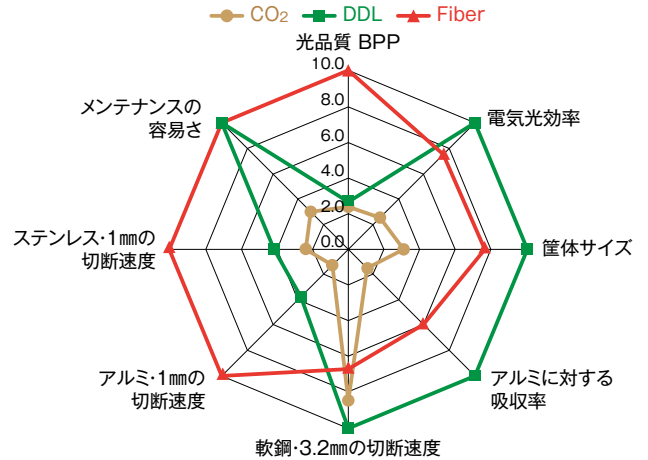
一方、波長1μm帯のファイバーレーザーについては、10μm帯のCO<sub>2</sub>レーザーに比べて、鉄系材料で3倍以上、アルミでも5倍程度、吸収率が增大する。また、さらに短波長のDDL (平均波長0.930μm) では、アルミに対する吸収率が10μm帯に比べて約10倍となる。

これらの特性を踏まえて、軟鋼・板厚3.2mm、ステンレス・板厚1mmおよびアルミ・板厚1mmの切断速度と光品質(BPP)、電気光効率、筐体サイズ、アルミに対する吸収率、メンテナンスの容易さなどの要素を加味したレーダーグラフを作成し、性能の総合評価を試みた(図3)。ただし、レー

## 4 CO<sub>2</sub>レーザーとDDLの軟鋼切断面粗さ比較



## 3 2kWレーザーのパフォーマンス比較



ザ出力は2kWで比較した。

ステンレスやアルミの板厚1mmの切断速度を見ると、ファイバーレーザー>DDL>CO<sub>2</sub>レーザーの順である。ファイバーレーザーは図1に示したように、光品質(BPP)が最も小さく、集光性が良いためである。また、DDLがCO<sub>2</sub>レーザーよりも速く切断できる理由は、同じ光品質(集光性は同等)であっても吸収率が高いことに起因する。

次に、軟鋼切断板厚1~4mmに対する、CO<sub>2</sub>レーザーとDDLの切断面粗さを比較した場合を図4に整理した。数値は算術平均粗さRaで比較したものであるが、DDLの場合、Ra<0.4μm以下と優れた切断面が得られた。これは、DDLの場合、固体レーザーであるため、CO<sub>2</sub>レーザーのようなガスレーザーの光の短時間での揺らぎ(脈動)がまったくないためと考えられる。

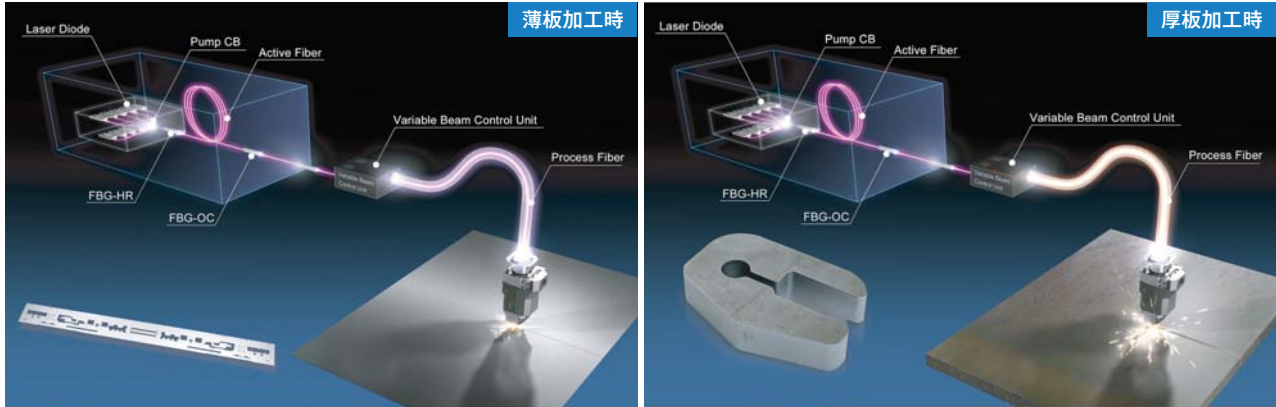
## 3. 自社開発ならではのENSIS-AJの特徴

ファイバーレーザーは薄板の高速切断が得意で、厚板の切断に関してはCO<sub>2</sub>レーザーに見劣りするという認識が一般的だった。これは前記したとおり、ファイバーレーザーは高ビーム品質であるがゆえに、厚板材では切断幅が狭すぎるため、発生する溶融物を排出しにくく、安定切断が得られないという技術的課題によるものである。そこでファイバーレーザーに対しては、薄板から厚板までのフルレンジ加工——「加工領域拡大」(PRE: Process Range Expantion)というニーズが生まれた。

当社はこのポイントに着目し、自社開発ならではの取り組みとして、機械・制御・発振器・光学機器・ソフト・周辺などの要素技術を結集し、板金加工に最適なビームコントロール技術を開発、「ビーム可変ユニット」として「ENSIS-3015AJ」で採用した。

これにより、2kW発振器でありながら4kW相当の加工

5 「ENSIS-3015AJ」が搭載する「ビーム可変ユニット」のイメージ



が可能となり、レンズ交換などの段取りなしに薄板から厚板までのフルレンジで自動連続加工が可能となった(図5)。また、もともと電気光変換効率が高いファイバーレーザーであることに加え、2kW発振器の消費電力で4kW相当の加工ができることから、さらなる省エネルギー効果が期待される。

さらに、光モジュールを1モジュールあたり2kWとすることで、高出力・高品質なレーザービームを実現するとともに、発振器を約50%サイズダウンすることに成功。これにより、マシン本体にモジュールとして発振器をビルトインすることが可能になり、面積生産性を大幅に向上することに成功した。

4. 将来のレーザー開発動向

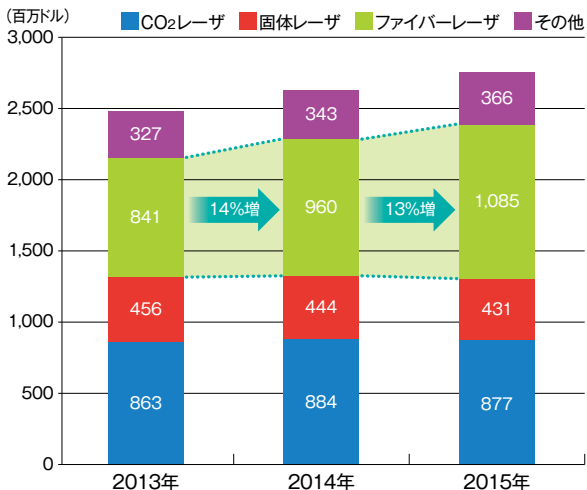
CO<sub>2</sub>レーザーからファイバーレーザーへと移行する流れは、数字にもよく表れている。図6は、米国の専門誌『Industrial Laser Solutions for Manufacturing』の

2015年1-2月号に掲載された産業用レーザーの売上推移を示している。2014年の売上はファイバーレーザーが9億6,000万ドル(1,152億円、1ドル=120円換算)でCO<sub>2</sub>レーザーが8億8,400万ドル(1,061億円)となり、ファイバーレーザーが上回った。この差は今後も拡大する傾向にある。

また、図7には「NEDO省エネルギー技術フォーラム2011」から引用した各種レーザーに対する集光性と発振効率の関係を示す。この資料によると、2011年当時の予想として、2016~2020年の間で、DDL切断が可能と予測していた。当社は2014年10月の「EuroBLECH 2014」で「ExC」を出展したので、上記予想よりも技術的な進歩は速まっていることになる。

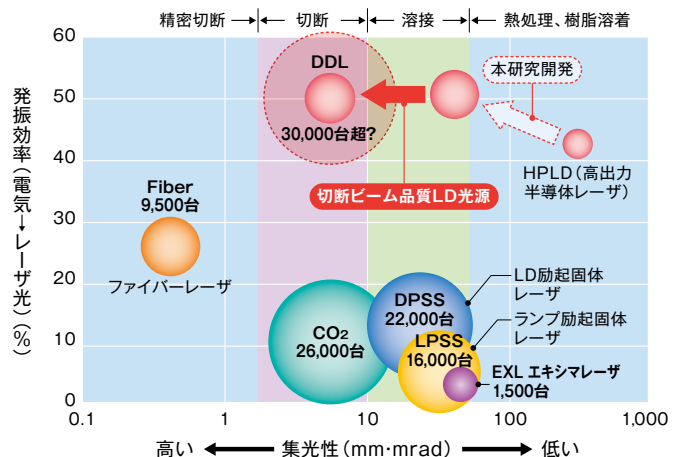
今後、レーザー開発が進展して、レーザーダイオードの高輝度化がさらに進歩すれば、5~10年先には、金属加工におけるDDL活用の可能性が高まっていくことが期待される。

6 産業用レーザーの売上推移



出所:『Industrial Laser Solutions for Manufacturing』2015年1-2月号

7 各種レーザーに対する集光性と発振効率の関係



出所:「NEDO省エネルギー技術フォーラム2011」の「省エネルギーレーザー加工のための高効率ファイバ結合型レーザー光源の研究開発」