

# 材料加工用ダイレクト・ダイオードレーザシステムのパワーと効率

ジョン・ウォレス

レーザダイオードのすべて利点をダイレクト・ダイオードシステムに当てはめる：  
小型、長寿命、高い電力変換効率

時にはファイバレーザと同じグループに入れられることがあるが、いわゆるダイレクトダイオードレーザは、実際には、まったく違う種類である。ファイバレーザは、エンドポンプあるいはサイドポンプされる利得ファイバで構成されているが、ダイレクトダイオードレーザは、実際上、非利得光ファイバでできている。ファイバに結合された多数のレーザダイオードからの光で満たされているだけである。

ハイパワー領域では、ファイバレーザとダイレクトダイオードレーザの両方も材料加工に利用される。ハイパワーファイバレーザは、シングルモードかマルチモード出力のいずれかが可能であるが、ハイパワーダイレクトダイオードシステムは常にマルチモードである。多数のレーザダイオードからの光を結合するオプティクスのエタンデュが、大幅にシングルモード限界を超えるからである。しかし、ダイレクトダイオードメーカーは、継続して、その製品の輝度を向上させている。加えて、材料加工アプリケーションには、シングルモードビームを必要としないものが多い。全部とは言わないが、ほとんどのダイレクトダイオードレーザは、近赤外(NIR)発光である。

この記事には、今日市場で入手できるダイレクトダイオード製品以上のものは含まれないが、市場にある代表的なサンプルはここに含まれる。

### 柔軟なビーム特性

1 $\mu$ m程度の近赤外では、シングルモードレーザビームは、ビームパラメータ積(BPP)が0.3mm $\cdot$ mradであり、これはダイレクトダイオードレーザでは達成できない。ダイレクトダイオードレーザのBPPは、数mm $\cdot$ mrad～数十mm $\cdot$ mradの範囲だからである。例えば、独ツーシックス社(II-VI)は、パワーレベルが数Wからマルチキロワットまでのシステムでさまざまなダイレクトダイオードレーザ製品を製造しており、また多くの種類のシングルレーザダイオードエミッタとバーを製造している。これらは、同社のダイレクトダイオードレーザ製品に使用可能なものである。「低出力から中出力レベルのすべてのシステムは、ツーシックス社独自のシングルエミッタレーザダイオードをベースにしている」と同社ビジ

ネス開発・技術マネージャー、ハロ・フリッチェ氏(Haro Fritsche)は言う。「マルチモード、ハイパワーシングルエミッタを垂直スタックし、偏波ビーム合成を利用することで、6～15mm $\cdot$ mrad程度のBPPは、パワーレベル300Wまでの小型、伝導冷却アセンブリで実現される。ツーシックス社は、これらのアセンブリをファイバレーザ励起用に広範なファイバピグテールモジュールポートフォリオに統合している。これらのアセンブリは、取り外し可能なファイバを持つ、ターンキーダイレクトダイオードレーザシステムにも組み込まれている。例えば、当社のDirectLight900製品ラインであり、これはハイパワーが達成可能であり、材料加工アプリケーションに最適である」。

同氏によると、DirectLight900では、ハイパワービームがレーザスタックの波長多重と偏波ビーム結合によって達成される。このアプローチにより、DirectLight900は、100Wから1000Wを超



図1 II-VI Direct Process 900 FlexShapeの6mm $\cdot$ mrad freespace長方形BPPでレーザのスポットサイズは0.2mm達成が可能になる。(提供:ツーシックス社)

える幅広いパワーレベルで、約6mm・mradのBPPが達成可能になる。すると、フラットトップビームプロファイルが、フリースペースあるいは、コアサイズ100 $\mu$ mまたは200 $\mu$ mのファイバでワークピースに提供できる。波長多重により、これらのシステムは、900～980nmの範囲の波長で出力する。

さらなるパワー拡張のためにツークス社は、最近DirectLight900製品ラインをハイパワー、波長安定化ベースモジュールで拡大した。特徴は、フラットトップビームプロファイル、5mm・mradのBPPであると、フリッチェ氏は説明している(図1)。ベースモジュールは、25nm以下の帯域、1.5kW出力を達成する。これら基本モジュールは、高エネルギーレーザー励起とともに切断や溶接などのダイレクトアプリケーションに使用可能である。波長多重は、ビーム特性をまったく変えることなく、このプラットフォームのパワーレベルをマルチキロワットに拡大する。同氏によると、冷却システムと駆動エレクトロニクスは、これらの製品向けに間もなく入手可能になる。同社は、ハイパワーファイバオプティックケーブルおよびレーザー加工ヘッドなどのビームデリバリー製品も製造している。

DirectProcess900 FlexShape光エンジンは、フリースペース長方形BPP 6mm・mradであり、リモート制御可変ビームシェイパーを実装している。これにより、即時に0.2mmから50mm超まで、長さや幅が個別に調整できる長方形ビームプロファイルが生成できる。このため、その光エンジンは、フリッチェ氏によると、非常に均一なビーム強度プロファイルを維持しながら、長さや幅を調整できる長方形ビームを必要とするアプリケーションで卓越して

いる。「そのシステムは、微小電子部品のハンダづけに最適である。そこでは、かなり長い作動範囲で、0.2～3mmの比較時小さなスポットサイズを調整する。これらの長い作動範囲は、そのレーザーシステムの低BPPにより可能になっている。ワークピース面積は、フラットトップビームプロファイルにより均一に照射される。フレキシブルスポットサイズを利用することで、顧客は、FlexShapeオプションから、すべてのハンダづけ形状に1つのレーザーシステムを利用することができる」とフリッチェ氏は説明している。

800～1200Wのパワーレベルは、高さ2U、19インチのラックマウントアセンブリで提供される。「そのシステムのもう1つの重要な特徴は、10 $\mu$ s以下という非常に短い立ち上がり、立ち下がり時間である。同時に、ビームでは、極めて均一なパワー分布が維持されているので、このレーザーシステムは、多くの熱処理アプリケーションに最適である」と同氏は話している。Direct Process900は、直線偏波も利用可能であり、これは、偏波結合を波長多重で置き換えることで達成される。レーザービーム偏波と切断方向との整合を維持することにより、切断品質とスピードは大幅に増加する。

「DirectProcess900のようなダイレクトダイオードレーザーシステムのもう1つの利点は、ファイバレーザーなどの励起レーザーシステムと比較すると、一般に900nm～980nmの低い波長、広い帯域で動作可能であり、シリコンやアルミニウムなど、材料によっては吸収率向上が得られることである」とフリッチェ氏は説明している。

## 数十キロワット

ハイパワーダイレクトダイオードレ

ーザーシステムの中には、光出力が、ハイエンドファイバレーザーに匹敵するものがある。ダイレクトダイオードシステムが、高効率レーザーダイオードをベースにしているため、ファイバレーザーよりもはるかに電力変換効率が高いからである。

米レーザーテル社(Lasertel)は、個別材料加工アプリケーション向けに調整されたハイパワーダイレクトダイオードレーザーシステムを製造している。同社販売ディレクター、ジョン・ゴインクス氏(John Goings)によると、光出力は、100Wから50kW以上、またメガワット以上のパルスが可能である。これらのシステムでサポートするアプリケーションに含まれるのは、炭素繊維複合材接合、食品包装、クラッキング、半導体基板加熱である。

「レーザーテル社のT6レーザーダイオードアレイは、最大25kWピークパワー、または2kW平均パワーの構成で、波長760nmから1700nmまで提供可能である。特注コーティング、条件付けマイクロプロテクスを加えることで、光エネルギーは、ライン、長方形、その間の何であれ、アプリケーションに特化した作業範囲を加熱するように成形可能である」とゴインクス氏は話している。

さらに同氏は、T6は自動ファイバ設置(AFP)装置内部の熱源として利用されていると言う。AFPツールは、レーザーダイオード光源の光エネルギーを利用して、炭素繊維複合材接合のために非金属ファイバにしみ込んだ樹脂を加熱する。「従来のAFPツールには、電気コイルが使われていたが、これは非効率であり、スループットに制約がある。レーザーダイオードは、電気光変換効率が60%よりも高く、複合材料の光吸収に一致するように最適化され

た狭線幅である。また、ビーム形状はワークピースを均一加熱するように調整されている。レーザーダイオード源は、選択すべき熱源として、取って代わった。T6のフリースペース設計は、ファイバデリバリレーザーダイオードと比べると大幅に小型形状である。個々のアレイは、オペレータがON/OFFして、材料加工の量とスピードを制御できる」と同氏は説明している。

## キロワットレベルの製品

精密材料加工用に設計された、中国BWT Beijing社のBDL-CWシリーズは、915nmまたは976nmのいずれかの出力波長で、1000、2000、または3000Wを出力するダイレクトダイオードシステムである。米RPMC Lasers社は、BWT社の北米代理店である。RPMC Lasers社長、ディーン・ミッケ氏(Dean Micke)は、「システムの特徴は、簡素なアーキテクチャ、単一波長、適度な輝度のダイレクトダイオード出力である。キロワットダイレクトダイオードレーザーシステムは、標準QBH光ファイバコネクタで提供され、ほとんどの商用加工ヘッドに適合する。レーザーシステムのフラットトップビームにより、均一なエネルギー分布が得られ

る。他のタイプのレーザーと比較して、キロワットダイレクトダイオードレーザーシステムは、電力変換効率が高くよりコンパクトで、競争力のある価格である」と同氏は話している。

BDL-CWシリーズは、溶接、クラッディング、表面処理、リチウムイオンバッテリー製造を含む用途がある。2つの動作モード、連続モードとパルスモードで、熱影響ゾーン(HAZ)は最小化できる、とミッケ氏は言う。そのシステムは、過酷な産業アプリケーション環境で利用可能である。

## 内製チップとオプティクス製造

浜松ホトニクス社のダイレクトダイオードシステムラインも、レーザーベース材料加工で頻繁に必要とされる1kWから数キロワットレベルの出力を達成している。同社のDDL(ダイレクトダイオードレーザー)システムは、940nmで最大出力1kWのスタックされたレーザーダイオードモジュールを基盤にしている。これは、スタックすると、さらに高い出力レベルになる。

「浜松は、レーザーダイオードチップ製造、水冷ヒートシング製造、モジュール化、高品質制御下で社内アセンブリを行っている。これが、当社が高信

頼レーザー応用製品を製造できる理由である。それらの製品は、長期にわたり実際の産業製造ラインで使用されている」と同社海外マネージャー、トシアキ・カケイ氏は話している。また、同氏によると、浜松ホトニクスは、内製オプティクスを使用して同社のダイレクトダイオードユニットで高い均一性のビームを実現している。

用途に含まれるのは表面硬化(図2)、クラッディング、溶接、加熱、固体レーザーの励起である。「当社は、より均質な硬化やクラッディングに焦点を合わせている」とカケイ氏は語る。高い均一性(トップハット)ビームは、中央領域の過熱、加熱不足による周辺領域での硬化不足を原因とする溶融を防ぐ。これは、ガウシアンビーム形状を利用すると生ずる。

## 銅加工用の青色

最近まで、溶接、切断、クラッディングなど材料加工アプリケーション向けでは、十分なパワーは近赤外ダイレクトダイオードレーザーにしかなかった。米ヌブル社(Nuburu)が、青色ダイレクトダイオードシステムを発表して、流れが変わった。同システムは、2次元レーザーダイオードアレイ出力を統合してハイパワーを達成している(図3)。同社共同創始者、主席マーケティングオフィサー、ジャン＝ミシェル・ペラプラ氏(Jean-Michel Pelaprat)は、「結果的に輝度になり、パワー密度になるビーム品質を維持するために、各ダイオードは、専用オプティクスで、個別に環状、コリメートされている。これらの‘ビームレット’は、さらに、空間インターリーブと偏波制御の両方を利用して統合される。統合されたビームレットは、光ファイバに集束される。ベースラインシステムは、ワークピースで440μmスポット、

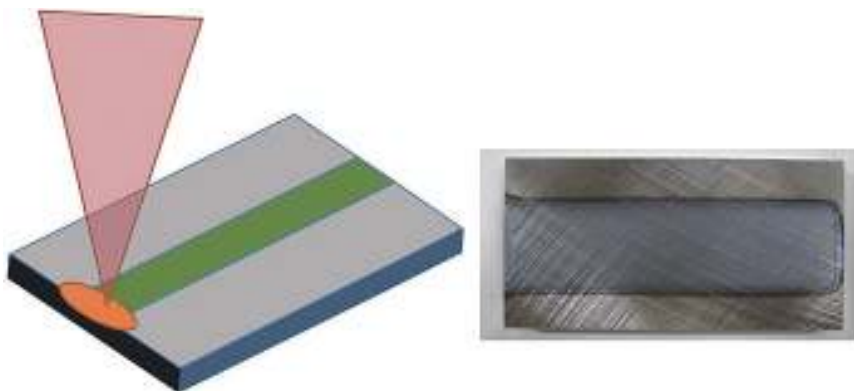


図2 浜松ホトニクスのキロワットレベルダイレクトダイオードレーザーシステムは、スチールの焼き入れに使用されている(概略図、左と写真、右)。焼き入れは、外表面付近に限定される。(提供：浜松ホトニクス)

# 創業50年 日本最大級の レーザー専門商社



レーザー光源



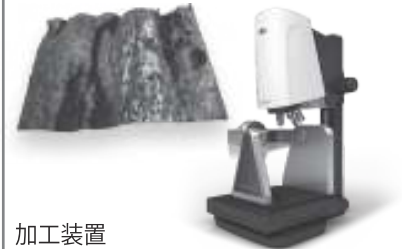
光計測器・測定器



光学関連部品・光周辺機器



検査装置・イメージング機器



加工装置



光技術に関するご相談は

<https://www.japanlaser.co.jp/>

E-mail: [jlc@japanlaser.co.jp](mailto:jlc@japanlaser.co.jp)

JLC 株式会社 日本レーザー

本社 〒169-0051 東京都新宿区西早稲田2-14-1

TEL: 03-5285-0861

大阪支店 TEL: 06-6323-7286

名古屋支店 TEL: 052-205-9711



図3 ヌブル社の青色AO-500ダイレクトダイオードレーザー(挿入図)は、溶接ターゲットに集束される。レーザーは、30mm・mradのBPPである。(提供: ヌブル社)

1kW以上となるように統合可能である」と説明している。

ペラプラ氏によると、青色光は、銅および同様の金属の溶接に最適がある。緑光よりも20%以上吸収率が高いからである。また、効率は赤外放射の10倍以上である。銅溶接は、他の波長よりも青色の光の方が高効率であるが、十分なパワー密度がなければ、効率は意味がない。

「BlueWeld溶接レンズで結合した2台のAO-500sは、約800kW/cm<sup>2</sup>出力であり、欠陥なしの1.5×3mmヘアピン結合溶接に十分である。ヘアピン結合は、バーワインディング電気モーターに必要とされている。高密度、効率的なモーター設計は、電気自動車メーカーに急速に採用されるようになっている。青色レーザーは、他の代替技術よりも、コンパクトな結合を実現する、また現在の出力レベルで、電気モーター製造プロセスに組み込めるだけの力がある」と同氏は話している。

ペラプラ氏は、青色溶接について次のように説明している。高い材料吸収とは、溶接を始めた時と同じパワー密度が溶接を維持するために必要とされる、という意味である。「それは、他の波長には当てはまらない。溶接を始める時に十分なエネルギーを供給し、結合から材料が気化しないようにするには、非常に慎重にならなければならない。そのような気化は、粒子の堆積(つまりスパッタ)、結合部における孔(ボイド)になる。青色レーザーは、基本的にスパッタやボイドのない溶接を実現する。

同社のレーザーを使用すると、極めて高品質に銅あるいはアルミニウムを溶接(金属接合)することができる(高い機械的、電気的性能を意味する)。品質は、結合部にスパッタ、欠陥がない溶接によって定義される。そのレーザーは、リチウムイオンバッテリー製造、銅やアルミニウム電極をバッテリータブに溶接する用途、その工程の後で、タブからバスバーへの溶接に使う。

LFWJ