

キロワットレベルファイバレーザが成熟

ジョン・ウォレス

今日のハイパワー CW ファイバレーザの起源は通信技術であるが、かなり前にその領域を離れて、材料加工においては信頼性と実力のある自然な存在になっている。

ファイバレーザは、アクティブ(レーザ利得)光ファイバと1台あるいはそれ以上の励起レーザ、通常レーザダイオードを組み合わせている。ファイバレーザには、低出力連続波(CW)、低エネルギーおよび高エネルギーパルスを含むタイプが多い。超高速ファイバレーザも含まれる。しかし、多くの人々の頭に浮かぶのは「ビッグガン」、つまりキロワットクラスCWファイバレーザである。これは、切断、溶接、ブレイジング(ロウ付け)、表面処理およびその他のアプリケーションを含む材料加工で主に用いられるが、指向性エネルギー兵器として軍事用にも開発が進められている。

ファイバは本質的に、非常に細く長いロッドである。その構成から、特に体積に対する表面積の比率が大きい2つのタイプのレーザの1つになるので、冷却は一層容易になる(もう一方はディスクレーザで、幅広く、極端に短いロッド)。ファイバレーザは、その作製が比較的簡単であり、保守も容易。コンパクトであり、レーザダイオード励起であるので、堅牢で長寿命である。

幅広い出力と波長

IPG フォトニクス社の市場開発マネージャー、アレクセイ・マルケビッチ氏(Alexei Markevitch)は、キロワットクラスのファイバレーザで利用できる波長とパワーの範囲を説明している。「IPGは、 $1\mu\text{m}$ (イッテルビウム添加フ

ァイバ)と $1.5\mu\text{m}$ (エルビウム添加ファイバ)で標準キロワットクラスCWレーザを製造しており、さらに $2\mu\text{m}$ (ツリウム添加ファイバ)で特注kWクラスレーザも製造している。それとともに、 $1.1\mu\text{m}$ と $1.7\mu\text{m}$ の間のラマンシフト波長のレーザも製造している。「より長い波長は非金属材料の加工や他の新しいアプリケーションを可能にし、アイセーフであると考えられている。目の損傷閾値は $1\mu\text{m}$ レーザよりも何桁も高いからだ」と話している。

マルケビッチ氏の指摘によると、キロワットクラスのファイバレーザシステムはCW動作、または最大5kHzの変調モード動作であり、ダイナミックレンジは10%からフルパワーまで、ビーム広がり、ビームプロファイルに変化はない。

$1\mu\text{m}$ では、同社のシングルモードYLS-SM イッテルビウム添加ファイバレーザの出力範囲は1~10kWまで広がる。このようなシングルモードシステムは、極端な高出力と輝度を必要とする先進的な材料加工アプリケーションで使用される。例えば、リモート処理や指向性エネルギー応用の他に、微細切断、表面構造化、高反射率金属の切断、マイクロ溶接、焼結、彫刻がある。

「IPGのマルチモードYLSイッテルビウム添加CWファイバレーザの出力は1~100kWまでの範囲があり、顧客の要求により数100kWまで特注製

造が可能である。用途としては、切断、穴あけ、ブレイジング、溶接、アニーリング、熱処理、クラディングがある。設計的改善は続いているので、標準的な産業用YLSシステムの電力変換効率(WPE)は、現在40%を超えており、業界記録のYLS-ECOシリーズのWPEは50%を超えている」とマルケビッチ氏は語っている。

同じマルチモードYLSレーザが、溶接、穴あけ、精密切断など高輝度と低輝度アプリケーションの両方で使われており、「前例のない実力」である、と同氏は言う。「高輝度は、長い焦点距離の加工レンズの利用を可能にし、焦点深度が大幅に改善されるので、光コンポーネントへの損傷が最小化される」と同氏は話している。

高輝度マルチモードレーザは材料加工アプリケーションで優位性を示しているが、シングルモードキロワットクラスのCWレーザにも、注目度が高まっている。これによって、非常に小さなスポットサイズのCW高ピークパワー、あるいはまた、リモート加工能力を必要とする新しいアプリケーションが可能になるからである。マルケビッチ氏の言うYLS-SMレーザのアプリケーションには、ふるいやフィルタ用のステンレス金属の高速切断、アノードやカソードバッテリー箔のリモート切断、銅(Cu)やアルミニウム(Al)箔のリモートおよびガスアシスト高速切断、薄い金属の変形を最小化するための高アスペクト比ナ

無料購読 お申込み方法

Laser Focus World Japanは、レーザ/フォトリソ/光学/フォトエレクトロニクス応用技術/製品の開発、研究、マーケティングなどに携わっている方に無料でお届けする雑誌です。ご希望の方はオンラインよりご登録ください。ご登録内容を確認させていただいたうえで読者として正式登録させていただきます。

●オンライン登録
<http://ex-press.jp/lfwj>

登録内容の変更もこちらから可能です。

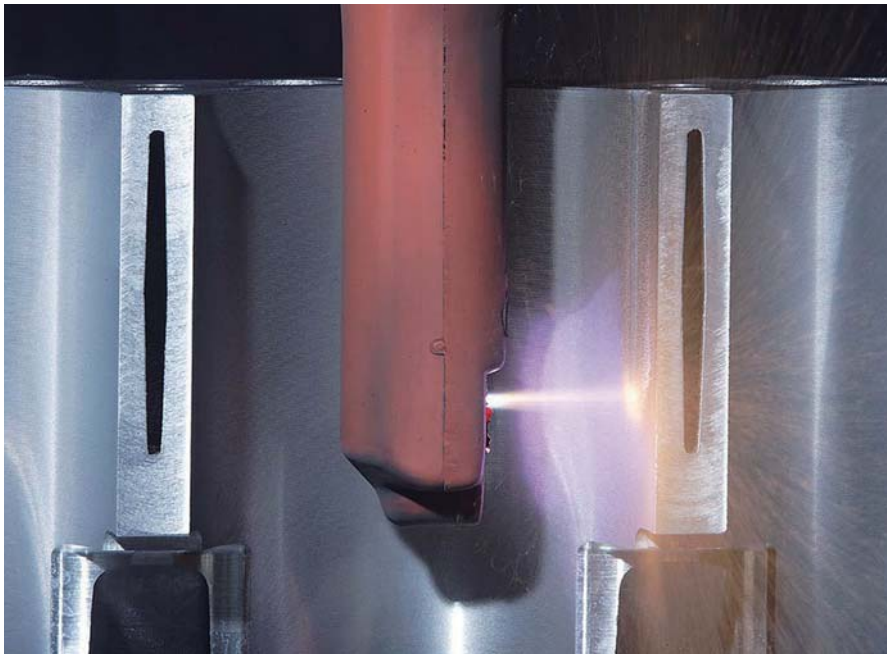


図1 自動車エンジン内径の円筒面は、IPG フォトニクス社の2kWシングルモードファイバレーザを使って微細構造化されており、それに続いてプラズマを吹き付けハードコーティングを行う。これは従来のシリンダーライナーの代替となる。レーザ加工のマイクログループにより、結果として得られるコーティングがシリンダーに固着することになる(IPG フォトニクス社提供)。

ローウエルディング(溶接)が含まれる。

マルケビッチ氏が強調したキロワットクラスCWシングルモードレーザ利用の特殊な一例は、自動車産業における鋳鉄やアルミエンジンの微細構造化である。低エネルギー消費、公害や二酸化炭素排出の抑制を求める環境規制により、薄型化された軽量化エンジンが求められている。肉厚を削ったモーターブロックの新設計は、レーザ材料加工の支援を受けて、シリンダーあたり1kgの重量削減を実現している。

機械抵抗の強化を達成し、熱伝導性を最適化するために、シリンダーは薄いプラズマ被膜が施されている(図1)。クラディング(金属被覆)に先立って、シリンダー面は、一般的に100 μ mもしくはそれ以下の形状の溝で微細構造化されている。

そのような表面構造化は従来、機械加工またはウォータージェット加工で行われてきた。このようなレガシー技術

には様々な欠点がある。例えば、機械加工はスピードが遅く、表面に対して垂直にしか加工できず、加工するパーツや溝のサイズが違えば工具の交換が必要になる。ウォータージェットは消費電力が非常に大きく(ノズルあたり120kW)、水の消費も大きい(しかもアルミのコンタミを含んだもの)。またアルミではスポンジ効果が生じ、真空チャンバでの乾燥が必要になる、そしてアルミパーツの加工しかできない。

マルケビッチ氏は、「通常出力2kWのシングルモードYLS-2000-SMレーザは鉄(Fe)とアルミ(Al)の両方のパーツを扱うことができ、30 μ mまでのいろんなサイズの溝をもつ様々な直径のパーツの取り扱いに容易に適應できる。また、最大消費電力は5.5kWとなっている」と説明している。「種々の開先角度も可能である。従来技術に対して、品質とスループット、両方とも著しく改善されている」。

ご登録の流れ



お申し込み



登録審査

ご登録内容から、お申し込みの方が無料購読対象の方かどうか確認させていただきます。



登録完了/購読開始

登録完了後、約1~2ヶ月後の発行号から無料購読を開始いたします。



ご購読の更新

約1年毎に購読継続の確認をさせていただきます。
*更新の段階で有料購読に切り替わることはありません。

個人情報に関する当社の方針はこちらをご確認ください。

➤ <http://ex-press.jp/lfwj/privacy/>

お問い合わせ: 株式会社イーエクスプレス
Tel: 03-6721-9890
email: lfwj@lfw-japan.jp

モジュラーデザイン

ルメンタム社のレーザ製品と技術担当シニアダイレクター、エリック・ザッカー氏(Erik Zucker)は、同社のCorelightキロワットクラスCWファイバレーザラインのモジュラータイプと内部構造の両方について説明している。「われわれの基本構成要素は、ダブルクラッドファイバ、2kW出力の単一の発振器モジュールである。これらのモジュールのいくつかを結合して、単一ビームから非常に高い出力の供給も可能である。当社のファイバレーザは主に、軟鋼からステンレス鋼、アルミニウム、銅、真鍮までの材料の2Dシート金属切断に用いられる。また、金属溶接、ロウ付け、さらにクラディング(金属被覆)用途でも利用可能である」。

2kWファイバレーザモジュールは、ルメンタムのSTシリーズ高輝度アレイでエンドポンプするシングルファイバ発振器、ファイバ結合レーザダイオードで構成されており、これらは社内で設計、製造されている、とザッカ氏は話している(図2)。

「個々の励起モジュールは、106 μ m径のファイバから、電力変換効率(WPE)50%、出力は140Wである。マルチポ

ンプファイバは、融着接続して単一のファイバとし、これは発振器端に接続されている。ファイバブラッググレーティング(FBG)によって、キャビティと出力カプラが決まる。2kWが単一のモジュールから出るので、ビームパラメータ積(BPP)は非常に低く、ティピカルで0.8mm-mradである。これにより大きな焦点深度のスマールスポット径が、金属切断アプリケーションの加工対象物に焦点を結ぶ。したがって、強度が非常に強くなって、極めて効率的な切断ができる」と同氏は説明している。

ザッカー氏によると、25mm厚の軟鋼はルメンタムの2kW出力のファイバレーザで切断可能であるが、4kW CO₂レーザは22mm厚までのスチールしか切断できない。低BPPにより高速切断ができる。例えば、1mm厚のアルミは、4kWで75m/分であるが、6kWバージョンは1mm厚のステンレスを94m/分で切断する。

アマダ(神奈川、日本)は、ルメンタム社の開発パートナーであり顧客でもあるが、2kWレーザを同社の切断装置に搭載している。2kWレーザの低BPPによって一部実現される特徴は、ENSISである。これは、加工対象物に対するビー

ムスポットサイズを電氣的に即座に調整できる。自動切断作業では、ENSISは、オペレータの介入なしに、薄い金属から厚い金属へ調整できるので、ジョブショップにおける生産性が向上する。

加工対象へのレーザ光の供給

独ロフィン・シナールレーザ社は、出力500~8000WまでのCWハイパワーファイバレーザ(FL Series)を製造しており、レーザから加工対象に光を供給する多くの方法を提供している。同社のレーザは、シングルモードまたはマルチモードビーム品質のダイレクトスプライスか、あるいはファイバとファイバカプラ、またはマルチモードビーム品質をファイバ間で切り替えることによって供給できる。これによってユーザーは、最大4本のファイバを接続して連続ビームあるいはパラレルビームを利用できる、とロフィン社のレーザ光源製品マネージャー、ヴォルフラム・ラス氏(Wolfram Rath)は話している。

スプライスバージョンは、単一キャビネットで、さらにコンパクトになっているが、切替バージョンビーム管理に独立した筐体を持っている。レーザは、切断、溶接、表面処理だけでなく、統合スキャナ処理によってサポートされた様々なスキャナベースのアプリケーションに利用される。

ラス氏によると、FLシリーズファイバレーザは、ラージモードエリア・ダブルクラッドファイバをアクティブメディアとして使用している。「これらは、アクティブシングルモードコアと、ポンプビームが導かれる大口径のクラッドで構成されている。長寿命励起モジュールからの励起光は、ポンプカプラにより、側面からクラッドに供給される。モジュールは、受動冷却され、個別の故障に対する耐性がある。また、必要

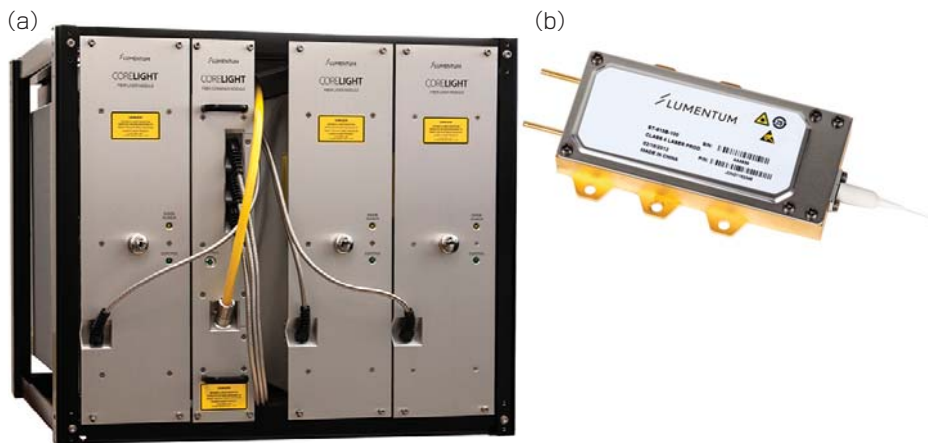


図2 6kWルメンタム社のファイバレーザは、3つの2kWモジュールとファイバコンバイナモジュール(a)で構成されている。レーザは、ルメンタムのSTシリーズ高輝度ファイバ結合レーザダイオード(b)で励起されている(ルメンタム社提供)。

なら、現場で交換も可能である。共振器ミラーは、描き込まれたファイブラッググレーティング (FBG) によって形成されている」。

レーザは、1個のファイバレーザモジュールで出力2.4kWに達するが、名目上は2kW。最大4ファイバレーザユニットをオールファイバパワーコンバイナで結合して、名目総出力8kWが得られる。これは、4本の100 μ mコア径プロセスファイバによって加工セルに供給される。

これらのハイパワーファイバレーザは、ラス氏によると、マクロアプリケーション部門では、金属レーザ切断や溶接の標準ツールになっている (図3)。標準的な切断システムは、一般にコンパクトなファイバレーザを装備している。これらのファイバレーザは、切断システムの出力とシートの厚さの範囲にしたがって、50 μ mまたは100 μ mコアサイズのダイレクトプロセスファイバを利用している。「自動車部品の溶接は、複数台のワークステーションによって高頻度に行われる。ワークステーションは、100m程度の長さの様々なファイバケーブルによってレーザに接続されている。このようなセットアップは、サイクルタイムの最小化、レーザ利用の最適化に寄与する。例えば、部品のアセンブリとクランプは 'A' ステーションで行い、ステーション 'B' でレーザは第2の加工対象を溶接する」と同氏は説明している。

ファイバレーザは、ファイバサイズを選択することによってアプリケーションに適合できるので、同じレーザを種々の作業で使うことができる。例えば、自動車パーツの製造は3種のレーザ加工法を用いて行われる。これらは、連続的に3つのワーキングセルで行われる。被覆剥離 (高いビーム品質と統

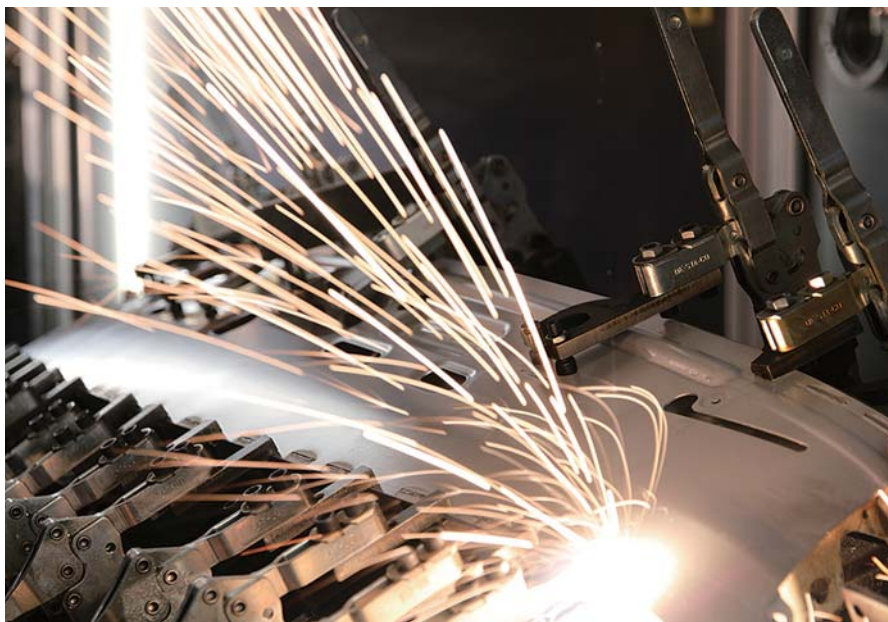


図3 ロフィン社のスカナベースファイバレーザで自動車部品を溶接 (ロフィン・シナール社提供)

合スカナ加工を用いて行われる)、開口部を最適切断、そして溶接がある。

後方反射アイソレーション

高反射材料の加工に使われるキロワットレベルの産業用ファイバレーザは、後方反射という問題に直面している。ここでは、加工対象上のレーザオプティクスの焦点領域から反射された光が後方のレーザシステムに届く。「一般的な後方反射はレーザパワーのほんの一部でしかない。加工対象面は凸凹になっており、表面法線との正確なアライメントが欠如している。プロセスオプティクスの限定的集束角のためである。さらに、多くの場合、後方反射のデューレーションは短い (たとえばピアシング時など)。それにも関わらず、ファイバレーザの設計には、反射材料の加工を難しく、つまり不可能にするものがある」とnLIGHT社のジェネラルマネージャー、ジェイク・ベル氏 (Jake Bell) は話している。

nLIGHT社は、パワーレベルが500W～4kWまでの一連の材料加工用ファイバ

レーザを製造している。中でもnLIGHT社のアルタシリーズは、独自の構造により、後方反射を最小化している。「後方反射による損傷は通常、ポリマ材料に入ってくる光パワーの結果として起こる。これによって加熱したり焼けたりする。nLIGHT社のアルタは、後方反射光を供給ファイバに結合して剥ぎ取り、それを水冷ビームダンプに逃がす。反射光はそこで、ポリマと相互作用することなく、熱に変換される。その結果、主要な損傷メカニズムが除去される。ポリマフリーアイソレータは、500W以上を連続的に取り除くように設計されている (図4)」とベル氏は説明している。

「レーザ切断で最高の後方反射信号が起こるピアシングの場合に、アイソレーションシステムの性能を評価した。テストは、ピアシングの遮断や不成功なしに、銅の4000回連続ピアシングを正常に処理した。当社の後方反射アイソレータが提供するロバストなハードウェアベースの保護と対照的に、後方反射の場合にレーザの動作を停止す

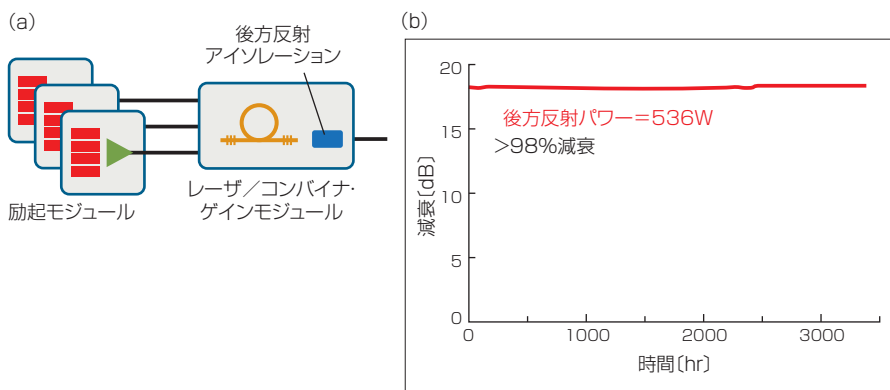


図4 nLIGHT社アルタの設計は、レーザとデリバリファイバとの間に後方反射アイソレータを組み込んでいる(a)。数千時間にわたり、500Wを超える光をレーザに戻す連続的レーザ安定テストは、不安定動作が全くないことを示している(b)。(nLIGHT社提供)

るソフトウェアプロテクションを用いる他のファイバレーザも存在する。このようなアプローチは、レーザを保護するかも知れないが、連続的な材料加工を不可能にする」とベル氏は話している。

同氏によると、アイソレータで取り除かれた後方反射光は、フォトダイオードを使ってモニタされる。このセンサーのリアルタイム出力は、ユーザーに提供され、工程モニタリング、最適化、制御(例えば、ピアス検出)あるいはツールのキャリブレーション(ビーム位置や焦点など)に使用される。

ベル氏が説明したnLIGHTアルタレーザの他の特色には、切断や溶接パフォーマンスの改善が含まれる。ここでは、レーザは、100kHzまでの変調レート、5μs以下の立上り/立下り時間が実現できている。このような特徴により、高速ピアシング、微細な外観の高速加工、最小の熱影響域(HAZ)による加工品質向上が可能になっている。

「ほとんどのマルチkWファイバレーザは、多数の低出力ファイバレーザの出力結合をベースにしたアーキテクチャを採用しており、その結果としてコスト、性能、保守性、アップグレード対応性、技術的進歩に対する順応性に大きな欠点がある。当社は、新しい

キロワットファイバレーザアーキテクチャを導入しており、励起ダイオードとドライバを独立した励起モジュールに、またゲインファイバは設定を替えられる出力4kW超が可能なゲインモジュールに収めることで、このような問題を解決している」。

ビーム品質を調整できるこのようなレーザは、高品質切断や溶接に用いられている。軟鋼、ホウ素入り鋼、ステンレススチール、アルミ、真鍮や銅が対象になる。また、積層造形や表面テクスチャリング、エングレービングを含む新しいアプリケーションでも用いられている。

迅速なコンポーネントの取替/アップグレード

コヒレント社の材料加工担当マーケティングダイレクター、フランク・ゲブラ氏(Frank Gaebler)の説明によると、初代のファイバレーザは、通信プラットフォームが直接的な基盤になっていた。これを多数の独立した励起レーザダイオードを使って大幅に高出力化した。レーザダイオードは、それぞれ独立にファイバに結合され、恒久融着接続されていた。

「高出力化への力づくのアプローチ

には、いくつかの限界がある。特に、すべてのコンポーネントが恒久接合されていることだ。1つのコンポーネントが故障したり、劣化すると、それを取り換える手段がない。例えば、初期のモジュールは、金属加工からの後方反射の影響を受けやすいことが分かっていた。ファイバブライス、励起ダイオード、デリバリファイバ、あるいは他のレーザコンポーネントが、そのような後方反射によって損傷を受けると、レーザは工場で修理するか、交換されなければならないが、これは稼働時間や純生産量にマイナスの影響を与える。

コヒレント社は、柔軟なモジュラーアーキテクチャをベースにした、第2世代のキロワットスケールのファイバプラットフォーム(Highlight FL)を作製している(図5)。同社のエンジニアは、モジュラーアーキテクチャにより、多数のポンプやブライスの複雑性を除去する、大幅に違う設計アプローチを採用した。このアーキテクチャでは、デリバリファイバを含む、様々なコンポーネントを簡単に取り換えたりアップグレードしたりすることができる、とゲブラ氏は説明している。

コヒレント社は、多数の独立したレーザダイオードよりも、ファイバ結合ハイパワーレーザダイオードバーを使用する。「その出力が、フリースペースカプリングによりゲインファイバに結合される。結合モジュールは、ゲインファイバと脱着可能なデリバリファイバとの接続にも用いられている」と同氏は説明している。さらに同氏によると、このアプローチはOEMシステムメーカーにとって取り分け魅力的である。OEMメーカーは、技術レベルまたは統合の規模に応じて完全なレーザか、あるいは独立したモジュールを購入することができるからである。また、

OEMメーカーは、種々のアプリケーションに合うようにデリバリファイバを迅速に変更するか、取り換えるかすることができるからでもある。

仕様に関しては、現在、コヒレント社のHighlight FLファイバレーザは最大パワーの着実な増加を目標にしている。最新のモジュールは3kWであるが、2016年にはいずれ、出力は4kWに増える。「現在、当社のデリバリファイバモジュールは、100 μ mコアで、これは約4mm-mradに対応している。50 μ mコアのデリバリファイバが最近、一部のモデル用に提供できるようになっている。これらのモデルは、最大2倍までBPP削減が可能である。ハイパワーと低BPPの結果として、これらのHighlight FLレーザは、薄箔から数ミリメートルの厚さの金属加工に最適である」とゲーブラ氏は話している。

初期のファイバレーザは、金属によっては切断、穴あけ、溶接で苦勞した。例えば、ファイバレーザの基本波は通常1 μ m付近である。これは、銅や真鍮が非常に高い反射性を示す波長である。あらゆる種類の近赤外レーザのビームデリバリ向けに銅ミラーが広範に使われていることが、証拠になる。逆反射によって、初代のファイバレーザでは、これらの金属の加工が著しく難しかった。

ゲーブラ氏によると、初代のファイバレーザと違い、Highlight FLレーザアーキテクチャは、次の2つの理由で後方反射損傷の影響を受けない。①二色ビームコンバイナの形状と光学特性により、後方反射は励起ダイオードバーに到達できない。②後方反射によって損傷を受けるファイバスプライスが存在しない。その結果、レーザは反射金属に特別な注意を払わなければならないクオリファイアの制約を受けない(図6)。

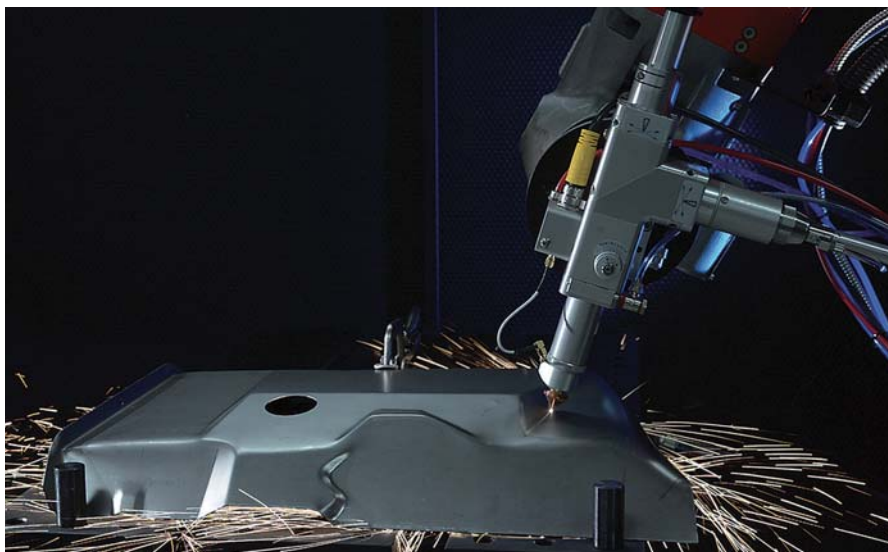


図5 コヒレント社Highlight FLファイバレーザは、ロボット工学を結集して、白物(洗濯機、ガスレンジなど)などの産業向けに高速3Dパーツ切断を可能にしている(コヒレント社提供)。

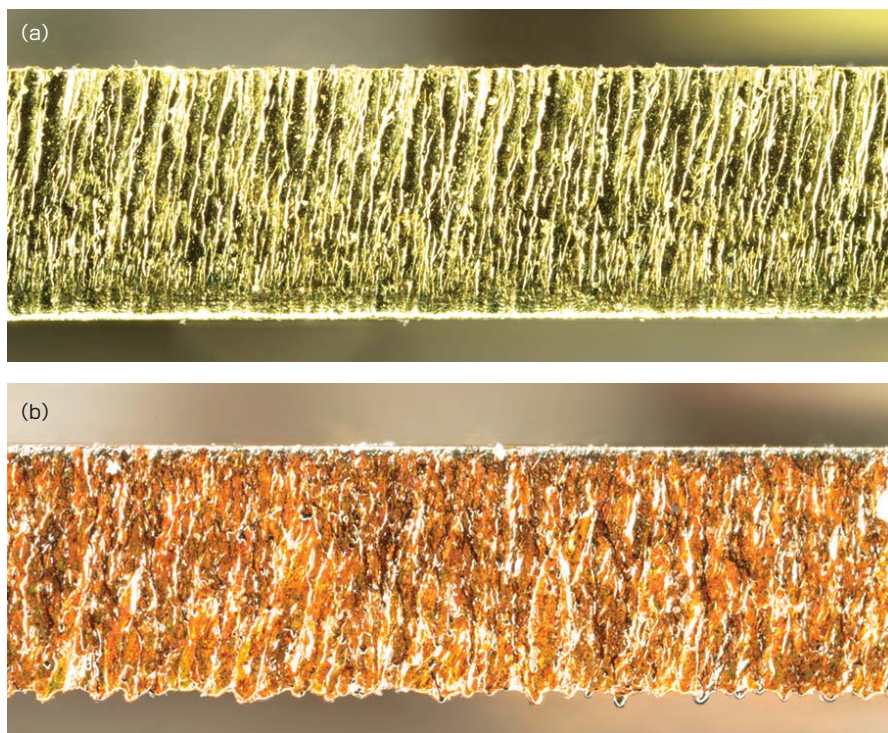


図6 後方反射の影響を受けないことで、初代のファイバレーザの一部で問題になっていた、高反射材料の切断ができるようになる。断面図は、コヒレント社Highlight FLレーザによる、1.25mm厚真鍮(a)と1.2mm銅(b)の切断を示している(コヒレント社提供)。

この記事で取り上げた企業

Coherent	Santa Clara, CA	www.coherent.com
IPG Photonics	Oxford, MA	www.ipgphotonics.com
Lumentum	Bloomfield, CT	www.lumentum.com
nLIGHT	Vancouver, WA	www.nlight.net
Rofin-Sinar	Hamburg, Germany	www.rofin.com

LFWJ