金属切断を改善するファイバレーザ技術

ダーブ・クライナー、ブライアン・ヴィクター

チューナブルなビーム品質によって、薄板と厚板の両方に対して最適化された切断を実現

板金切断市場では、ファイバレーザが主に使われている。生産性、精度、費用対効果の組み合わせにおいて、比類ない利点を備えるためである。2～6kWの範囲のファイバレーザは、多くの製造工場で大いに活用されており、CO_2レーザやプラズマトーチといった従来の切断技術よりも高速かつ高精度に薄い金属を切断することができる。しかし、多くのファイバレーザシステムは、限られた厚さ範囲の金属の切断用に設計されている。具体的に説明すると、集光性の高い小さなレーザビームは、薄いゲージに対して最も高い速度を達成するが、厚い金属板に対しては、エッジ品質と最大厚さが著しく制約される。逆に、大きなビームはカーフ幅が広いので、厚板に対するエッジ品質を改善することができるが、薄板を切断する場合は、速度が大幅に低下してしまう。

大規模な製造工場ならば、複数のファイバレーザ工作機を導入することができる。薄板用に小ビームシステム、厚板用に大ビームシステムというように、特定の厚さ範囲に対して、それぞれ専用の切断機を用意することができる。一方、1台の工作機であらゆる厚さの金属の切断を行う小規模な製造工場は、特に多様な加工作業に対応しなければならない場合は、スポット径が1つに限られると生産性が低下してしまう。こうした製造工場では一般的に、切断ヘッド内の集光レンズを変えることによって、対象作業に合わせてレーザスポット径を最適化する。しかし、レンズを交換するたびに、レーザが切断を行わない時間が発生するので生産性は低下する。また、レンズと切断ヘッドに異物が混入して壊滅的な故障に至り、多大な修理費用とダウンタイムが発生する恐れもある。

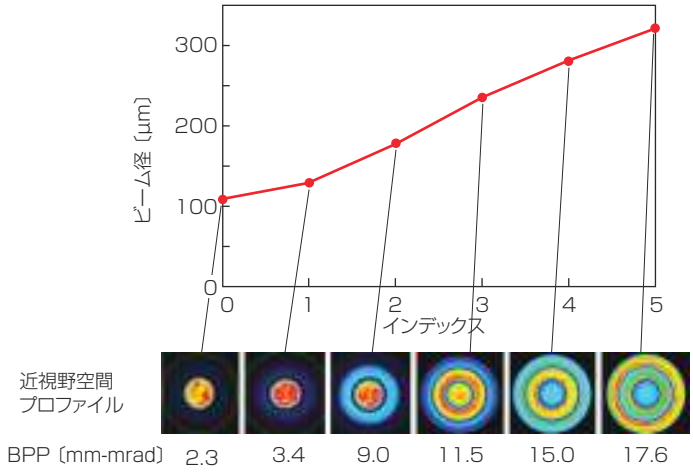

図1　6つのインデックス設定に対する4kWのCoronaファイバレーザのビーム径。下の画像は、対応する近視野空間プロファイル（切断ヘッドの下の焦点近傍のビーム形状）を、CMOSカメラで撮影したものである。ビーム画像の下には、BPP値が示されている。

レーザのスポット径を自動的に調整できれば、ファイバレーザの適用性、生産性、プロセスウィンドウは大いに拡大される。ほとんどの既存方法が、モーター駆動のフリースペースオプティクスを使用するものである。その例としては、ズーム切断ヘッド、ファイバ同士またはフリースペースとファイバの間を結合してファイバへの励振状態を調整する方法、ファイバ間スイッチによって2～4個の出力を独立したプロセスファイバに結合する方法などがある。このようなフリースペース光学手法は、かなり複雑でコストがかかり、工作機の性能と信頼性の低下につながる恐れもある。位置ずれ、異物混入、環境条件（温度や振動）の影響を受けやすく、出力依存性（熱レンズ効果）と光損失が生じ、スイッチング速度も低い。ズーム切断ヘッドは、モーター駆動のレンズをヘッド内に組み込むものだが、標準的な切断ヘッドよりもサイズと重量が増すため、加速度が低下し、ガントリーやモーターに追加の設計要件が課されることになる。こうした方法を採用して工作機を設計する場合は、コスト、性能、信頼性の面で、顧客（エンドユーザー）に負担を与えることになる。

つまり、既存レーザ源のスポット径を調整できないことが原因で、工作機のインテグレーターや製造工場は、多様な加工作業に対応する柔軟性と、工

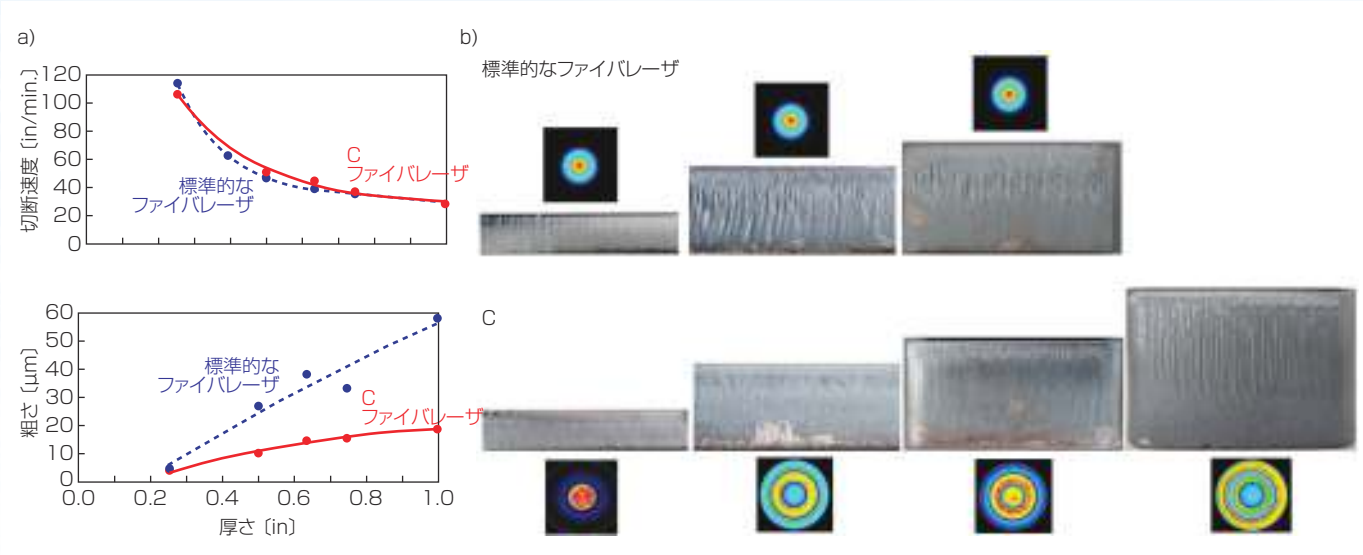

図2　標準的な4
(a)の上のグラフには切断速度、下のグラフにはエッジ粗さの測定値が示されている。(b)の写真はエッジ品質を示している。各写真の上または下に、ビーム画像も示した。

作機の性能および信頼性の間で、妥協せざるを得ない状況に陥っている。この妥協が、コストの増加と生産性の棚上げにつながっている。

画期的なファイバレーザ

米エヌライト社(nLIGHT)は、画期的なオールファイバ技術(Corona)を開発した。3倍以上の範囲でファイバレーザスポット径の高速チューニングが可能で、フリースペース型手法の欠点はすべて取り払われている。また、Coronaファイバレーザは、フラットトップ型や環状(ドーナツ型)など、多様な金属に対して優れた切断品質が実証されているビーム形状に対応する。出力レベルが4kWのCoronaファイバレーザは、厚さ最大1インチの軟鋼、ステンレス鋼、アルミニウム、銅の板金切断に対して、従来のファイバレーザよりもはるかに優れた性能を達成するため、広い金属厚さ範囲に対して最適化された切断を行う、汎用的な工作機の開発が可能となる。

Coronaファイバレーザの出力ビームは、約100μm～約300μmの間で連続的にチューニング可能である。プロセスの最適化を容易にするために、固定設定(インデックス値)が用意されている。**図1**に、6つのインデックス設定に対するCoronaファイバレーザの出力ビーム径、ビームパラメータ積(BPP: Beam Parameter Product)の値、ビーム形状を示す。

図1のビーム画像からわかるように、供給ファイバはレーザビームを誘導するゾーンに分割される。広範な用途に合わせて、多数の異なる構造でCoronaファイバを設計することができる。図1の供給ファイバは、100μmの中心コアの周囲を、直径200μmと300μmの2つの環状誘導領域が囲む構造となっている。これら3つの誘導領域の間のレーザ出力のパーティショニングを変えることにより、ビーム径とビーム形状のチューニングが行われる。前例のないCoronaの重要な特長は、ビーム形状のこのチューニングが、すべてファイバ内で行われ、フリースペースオプティクスが不要という点である。これによって、ファイバレーザの性能、安定性、効率、信頼性といったすべてのメリットが維持される。各インデックス設定で、最大レーザ出力が利用できる。

Coronaのさらなるメリットは、ビームチューニングが非常に高速だということである。最小直径から最大直径への遷移時間は30ms未満である。インデックス変更中も、ファイバレーザはフルパワーで動作を続行し、ビーム形状変更時に、レーザを停止(またはブランク)する必要はない。高速チューニングにより、異なる材料や厚さの切断だけでなく、切断処理の各工程でも最適なビーム特性が利用できる。例えば、穴あけシーケンスと切断、直線切断とコーナリングで、異なるインデックス設定を適用することができる。

金属切断性能

レーザ切断を含む金属切断市場全般で、大きな割合を占めるのが、軟鋼(MS:Mild Steel)厚板である。Coronaファイバレーザは、軟鋼厚板の切断に

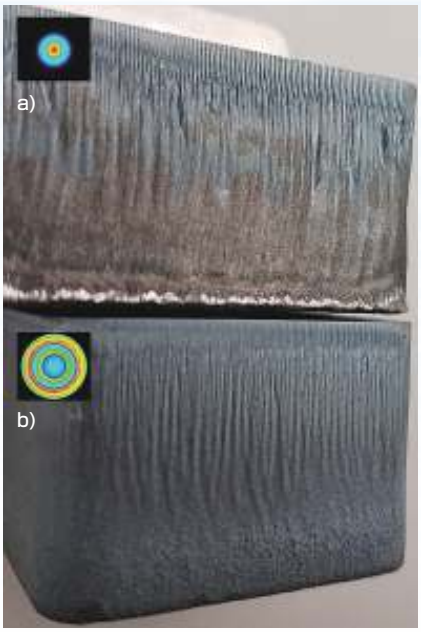

図3　標準的な4kWのファイバレーザ（a）と4kWのCoronaファイバレーザ(b)による、酸素をアシストガスとした、1インチの軟鋼の切断面の比較。Coronaファイバレーザでは、粗さが3分の1に低減し、エッジははるかにまっすぐで、直角度が大幅に改善されている。また、Coronaファイバレーザは一貫したドロップ性能を示すのに対し、従来のファイバレーザでは、パーツの下端のスラグとくぼんだエッジ形状が原因で、その性能は得られない。

対し、エッジ品質と最大厚さの面で、他のレーザシステムにはない独自のメリットを備える。**図2**に、標準的な4kWファイバレーザ（供給ファイバ：100μm）と4kWのCoronaファイバレーザによる、軟鋼切断面の写真を示す。すべてのテストで、倍率1.5倍の固定光学切断ヘッドを使用し、アシストガスとしては酸素を使用した。各ケースに対するCoronaの最適なビーム形状が示されている。また、切断速度と表面粗さの測定値をグラフに示した。

主要な観測結果は以下のとおり。

- **最も薄いサンプル（0.25インチ）に対し、Coronaの最適なビーム径は100μmである。切断速度とエッジ品質は、2つのファイバレーザで同等だった。Coronaのこの設定では、スポット径とBPPが2つのレーザで同等になるため、これは予想どおりの結果である。**
- **それよりも厚いサンプルに対し、Coronaファイバレーザははるかに優れたエッジ品質を示し、粗さは最大で3分の1に低下した。これらのサンプルに対するCoronaの最適なビーム径は100μm以上だった。**
- **標準的なファイバレーザでは、一貫したドロップ性能が得られるのは、最大で0.75インチの厚さまでである。Coronaファイバレーザでは、優れたエッジ品質によって、この範囲が1インチまで大きく拡大される。**
- **Coronaファイバレーザで切断したパーツの粗さは、標準的なファイバレーザで切断したパーツと比べて、厚さに対する依存性がはるかに低かった。Coronaで切断した1インチの軟鋼の粗さ測定値は、標準的なファイバレーザで切断した0.5インチの軟鋼の粗さ測定値よりも小さい。この高いエッジ品質により、コストと時間のかかる後処理工程が一部または完全に不要になる。**
- **Coronaファイバレーザの切断速度は、標準的なファイバレーザと同等か、やや高速（約5%）だった。**

図3は、標準的なファイバレーザとCoronaファイバレーザによる、1インチの軟鋼切断面の拡大写真である。標準的なファイバレーザによる金属切断では、スラグによって、パーツのスケルトンからの連続的なドロップが妨げられるのに対し、Coronaファイバレーザは、一貫したドロップ性能を示す。この劇的な改善は、製造コストの削減に向けた主要な新しいトレンドである、ファクトリーオートメーションや停電時稼働を可能にするために不可欠である。粗さの低下に加えて、図3に示されているようにエッジがまっすぐで直角であることも、溶接などの用途に対して重要なことである。

Coronaファイバレーザは、エッジ品質と厚さ範囲のメリットと引き換えに速度が低下するわけではないことを指摘しておかなければならない（図2）。また、切断には、標準的な固定光学切断ヘッドが採用されている。妥協のないこの性能は、他の技術では得られないものであり、Corona独自のオールファイバ設計に基づいている。

Coronaファイバレーザによる切断加工の安定性を示すために、細かく複雑な形状を生成した。**図4**は、極細のウェブ部（幅0.110インチ）を持つ1インチの軟鋼部品である。この細かい形状においても、優れたエッジ粗さと直角度が得られ、反対側に溶け落ちることはなかった。Coronaファイバレーザは、チューナブルなビームサイズとビーム形状によって、このような極細で高アスペクト比の形状のほか、軟鋼厚板上の小さな穴や精密な角を一貫して生成することができる。

4kWのCoronaファイバレーザを使用して、窒素をアシストガスとした、軟鋼、ステンレス鋼、アルミニウム、銅の切断も行った。ほとんどのケースにおいて、最小のインデックス設定で最良の性能が得られ、切断速度とエッジ品質は、標準的な4kWファイバレーザと同等だった。この結果は予想どおりである。インデックス0の場合に、加工対象物上のパワー密度は最大になるためである。しかし、窒素を用いた一部の厚い材料の切断では、高いインデックス設定のほうが、高いエッジ品質が得られる場合がある。ただし、パワー密度は低くなるので速度は低下する。このようなケースでは、最適なインデックス設定は用途によって異なる

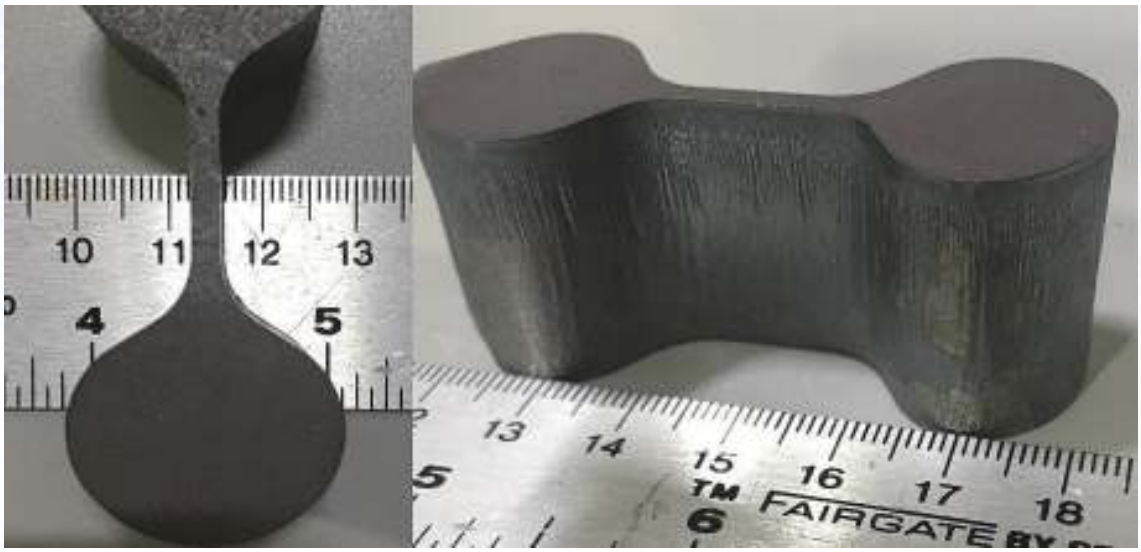

図4　4kWのCoronaファイバレーザで軟鋼板を切断して作成した、極細で高アスペクト比の部品。細いウェブ部の幅は0.110インチ、厚さは1インチである。

が、Coronaを使用すれば、工作機のインテグレーターやエンドユーザーは、用途に合わせてエッジ特性を調整することができる。

信頼性

エヌライト社のファイバレーザはすべて、加工対象からの後方反射（戻り光）に対するハードウエアベースの堅牢な保護機能を備えており、高反射性材料を中断することなく加工することができる。Coronaもこの後方反射耐性を備えており、Coronaファイバレーザは、銅などの高反射性材料の切断や溶接に用いられている。

加速寿命試験（ALT：Accelerated Life Test）によって、Coronaの寿命の特性評価を行った。Coronaファイバレーザのインデックス設定を100msの周期で切り替えることを繰り返し、ビーム径を定期的に測定して、性能の揺らぎや低下を観測した。1340万回のインデックス変更の間、すべてのインデックス設定におけるビーム径は4%の範囲内に維持され、システム上の変化や揺らぎは見られなかった。これにより、Coronaファイバレーザは長い寿命を備え、メンテナンス不要で高い性能を発揮することが実証された。

Coronaファイバレーザは、ビーム品質がチューニング可能という点で、標準的なファイバレーザやこれまでの技術から大きく進歩している。それには、以下のようなメリットがある。

- **画期的なオールファイバ設計により、フリースペースオプティクスに伴う性能や信頼性の欠点がすべて取り払われている。**
- **Coronaファイバレーザを使用すれば、外付けのファイバ間の結合器やスイッチ、モーター駆動の光学部品、ズーム加工ヘッドは不要となる。**
- **切り替えは非常に高速（30ms未満）で、ビーム形状変更時も、フルパワーの動作を維持できる。**
- **インデックスを1000万回以上変更した後でも、メンテナンスやキャリブレーションが不要で、ファイバレーザの長寿命が維持されている。**
- **Coronaを追加しても消費電力は増加せず、効率は低下せず、ファイバレーザのサイズ・重量・設置要件が増すことはない。**
- **Coronaファイバレーザのプラットフォームは汎用性が高い。他の多数のビームサイズ、形状、広がりに加え、他のレーザ出力レベルにも対応する。**

Coronaのチューナブルなビーム品質により、幅広い種類と厚さの金属に対して最適化された切断を行う、汎用的な工作機の開発が可能となる。ジョブショップや工場で、性能面で妥協するか、複数の工作機を調達するか、それとも複雑で高額で脆弱なフリースペース光学技術を利用するかといった選択を迫られることはもうない。

注記

nLIGHTはエヌライト社の登録商標、Coronaは商標である。

著者紹介

ダーブ・クライナー（DAHV KLINER）は、米エヌライト社（nLIGHT）のファイバレーザ技術担当副社長。ブライアン・ヴィクター（BRIAN VICTOR）は、同社産業アプリケーション担当ディレクター。e-mai：dahv.kliner@gmail.com　URL：www.nlight.net

ILSJ