

産業用青色レーザ、 金属加工の課題解決に向けた マイルストーンを達成

マシュー・フィルポット

第2世代の青色レーザシステムは、新しい製造手法を採用することにより、よりコンパクトで、信頼性が高く、処理に応じてスケラブルな、ガルバノスキャナ対応のレーザシステムとなっている。

半導体レーザダイオード技術に基づく第1世代の産業用青色レーザが初めて発表されたのは、2017年である。これらのレーザはその後、主に銅とアルミニウムの溶接や3Dプリントなどの用途に対して、赤外(IR)レーザよりも吸収率が高いというメリットを発揮し、確立されることとなった。しかし、多くの材料加工ソリューションに用いられる産業用2Dガルバノスキャナシステムで使用するには、輝度が足りなかった。米ヌブル社(NUBURU)が発表した第2世代の産業用青色レーザは、これらのレーザの設計と製造における飛躍的進歩を達成しており、産業用

D2ガルバノスキャナシステムでの使用が可能である(図1)。

この飛躍的進歩は、はるかに小さなスポット径と発散角を持つレーザビームを生成する、高度な製造プロセスに基づいている。溶接や3Dプリントといった反射性金属の加工において、レーザビームは一般的に、その輝度、すなわちビームパラメータ積(Beam Parameter Product: BPP)で特徴づけられる。BPPは、(ビームウエストで測定された)ビーム半径とビーム発散半角の積として定義される。第2世代の450nmの青色レーザモジュールは現在、125または250Wの出力と5mm*mrاد未満の



図2 第2世代レーザモジュール(モデルBL)

BPPで提供されており、第1世代のレーザモジュールと比べて出力はほぼ2倍、BPPは3倍に向上している。第2世代はさらに、よりコンパクトで信頼性が高く、出力がスケラブルになるように設計されている。

最も重要な点は、産業用スキャンシステムへの組み込みに十分なレベルの輝度が達成されていて、さまざまな用途において同技術をさらに広範に利用するための扉が開かれたことである。

画期的な製造手法

ヌブル社の第1世代のレーザシステムでは、モジュールのバックプレーン上に手作業で組み立てられてプレパッケージされた、半導体レーザダイオードのリニアアレイが使用されていた。個々のレーザダイオードの光は、高速軸と低



図1 ヌブル社の第2世代レーザの自動製造が行われるクリーンルーム

表 第1世代/第2世代の製造技術と性能の比較

モジュール世代	1	2(自由空間)	2(ファイバデリバリ)
発表年	2017	2023	2023
レーザダイオードパッケージ	マルチレーザパッケージ	チップオンサブマウント(COS)	チップオンサブマウント(COS)
モジュール駆動方式	シリアル/パラレル	個別	個別
レーザダイオードのポジショニング	プレパッケージ状態で提供	自動	自動
レーザダイオードの光学部品配置方法	ピックアンドプレースの半手動	自動	自動
モジュールおよびレーザ出力	150W	125または250W	125または250W
デリバリ方法	ファイバ	自由空間	ファイバ
ビームパラメータ積(BPP)	15mm*mrاد	<5mm*mrاد	<5mm*mrاد
モジュール体積	6950cc	732cc	732cc
スキャナ互換性	なし	あり	あり
スキャナ接続	N/A	直接	QBHコネクタを介してファイバ端に

速軸のレンズによって、コリメートされる。このプロセスによって、150Wの出力と15mm*mrادのBPPを持つレーザモジュールが製造されていた。

第2世代の製造プロセスは、製造、性能、サイズ、信頼性を著しく改善する。その概要は表のとおりである。

第1世代とは、レーザデバイスレベルで既に異なっている。第1世代システムでは、プレパッケージのレーザダイオードリニアアレイが使用されていたのに対し、第2世代システムには、個別のレーザデバイスがチップオンサブマウント(COS)構成で搭載されている。個別のレーザデバイスを採用することには、リニアレーザアレイを駆動する代わりに、個々のレーザを個別に



図3 BLレーザと、産業用スキャナとの自由空間結合用のビームエキスパンダー

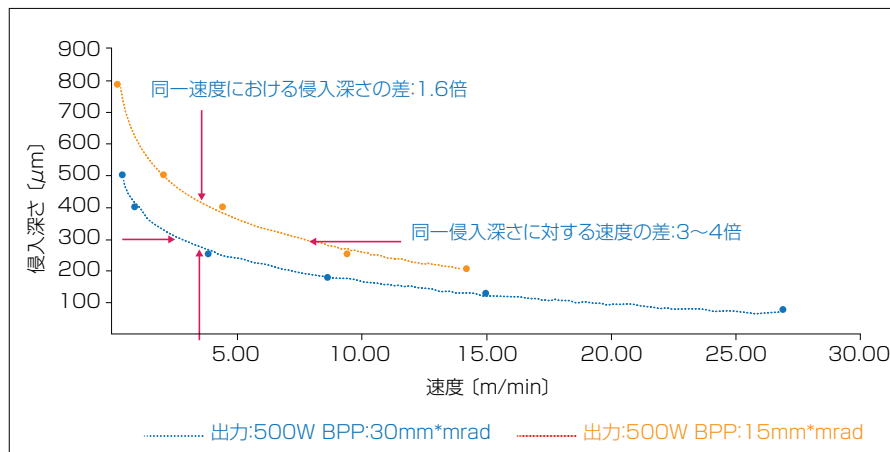


図4 純銅の溶接速度と侵入深さに対するBPPの影響

駆動できるというメリットがある。リニアアレイの場合は、1つのダイオードが故障するとアレイ全体が機能を停止し、レーザ出力が顕著に低下する恐れがある。一方、新設計では、1つのレーザが故障しても光出力の低下は最小限となる。これは、システム全体の信頼性に対してもメリットとなる。

第1世代のレーザアレイでは、ポジショニングとパッケージングはあらかじめ定められており、アレイは駆動バックプレーン上に手作業で配置されていた。第2世代モジュールでは、自動

ピックアンドプレース装置を使って各デバイスがよりタイトな構成で配置される。このより精密な位置合わせが、合計輝度の維持に役立つ。

次のステップは、マイクロレンズを各レーザダイオードに取り付けることである。これらのレンズは、非常に非対称のレーザ出力プロファイルを受け取って、コリメートされたビームプロファイルを生成する。第1世代モジュールでは、その配置と固定が半手動で行われていた。第2世代モジュールでは、ロボットによって動的に配置と固定が行

われる。つまり、光出力をアクティブに監視して、各レンズの位置と回転が、合計ビーム性能に対して最適化される。この自動アシストのポジショニングとレンズ配置が、第2世代モジュールのBPPが向上した主要要因である。

メリット

新しいCOSベース設計は、大幅な改善をもたらす。おそらく最も印象的なのは、その輝度、すなわち、BPP性能である。溶接や3Dプリントの用途では、出力を加工対象物におけるビーム面積で割った値で定義される、出力密度を最適化することが重要である。加工対象物におけるビーム径は、その発散（BPP）に直接的に関係するが、ビーム発散の最適化には、その労力を上回る価値がある。なぜなら出力密度は、出力に比例して増加するが、BPPに対しては2のべき乗で増加するためである。従って、第1世代に対する第2世代の出力の増加は著しいが（150Wから250W）、BPPの改善はそれ以上に素晴らしい（15から5mm*mrاد）。

第2世代の製造プロセスにより、レーザモジュールのサイズもはるかにコンパクトになる。これを可能にするのは、レーザダイオードの高密度な配置と集光マイクロレンズのタイトな統合における柔軟性である。第2世代レーザモジュールの体積は、第1世代モジュールの約10分の1である。

新しいプロセスには、レーザの信頼性を高める効果もある。クラス1000のクリーンルームにおけるサブコンポーネントの前処理と取り扱いの個々のステップを制御することにより、一貫した汚染制御が適用される。ロボットによるアセンブリは、人為的なミスの可能性を減らし、より一貫した製造プロセスにつながる。最も重要な点は、

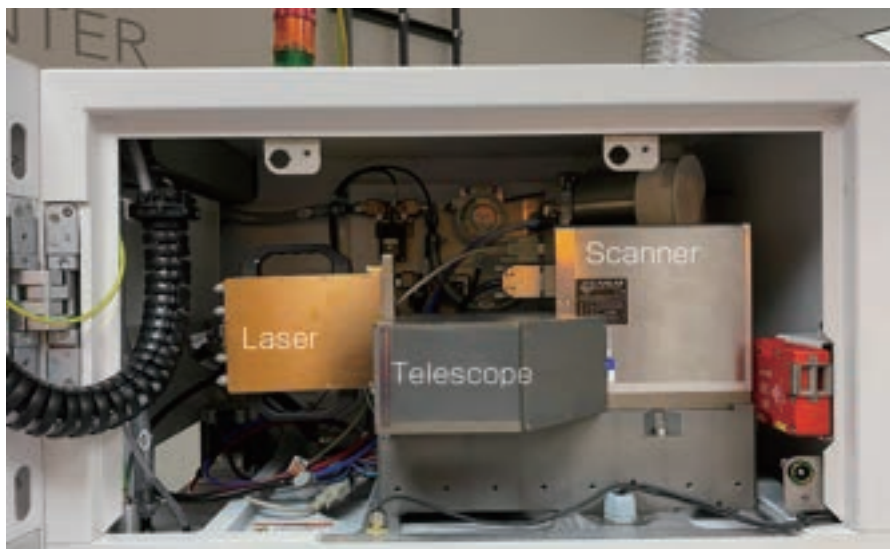


図5 商用粉末床3Dプリンター内部に統合されたレーザモジュール、ビームエキスパンダー、スキャナ

ロボティクスによって、スケラブルで再現可能なプロセスが実現されて、生産能力が高まることである。

自由空間構成

青色レーザーを使ったさまざまな材料加工製品がこれまでに開発されているが、そのすべてに溶接レンズとその他のビームデリバリーが搭載されている。産業用2Dスキャンシステムに結合できる青色レーザーシステムは存在しなかった。新しい第2世代モジュールは、これを可能にするレベルの輝度を達成している。また、サイズがコンパクトであるため、最大250Wのスクナに直接結合することが可能である(図2)。

図3は、これを行う方法を示している。産業用スクナに求められるスポット径は最大30mmである。これは、レーザーモジュールのスポット径よりもはるかに大きいため、所望のスポット径を生成するために、ビームエキスパンダーアセンブリが提供されている。このモジュール/エキスパンダーアセンブリが今回初めて、スキャンシステムに直接接続可能となった。

BPPが小さくなったことで、スキャンシステムが使用できるようになっただけでなく、溶接性能も大幅に向上する。図4は、BPP値が異なる、2つの500Wのファイバ結合青色レーザーを比較したものである。青色のデータはBPP値が30mm*mradの場合、赤色のデータは15mm*mradの場合を示している。このデータから、BPP値が2倍になると、さまざまな固定速度における材料への浸透深さは1.6倍になり、同じ浸透深さが得られる速度は3~4倍になることがわかる。金属の溶融とフローをより正確に制御するには、浸透深さが深い方が望ましく、コストを削減するには、速度が高いほうが望ま

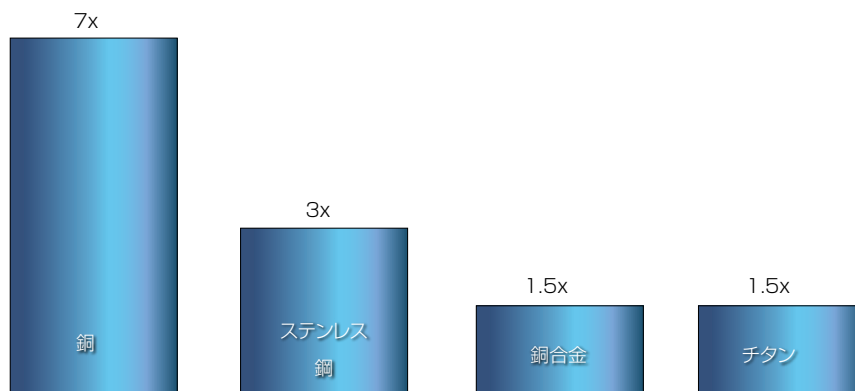


図6 向性エネルギー堆積法(DED)試験で測定された成形速度(単位:cc/hr)

しい可能性がある。ここで重要なのは、BPPによって溶接の速度と浸透深さが決まることである。BPPが小さいほど、溶接の速度は高く、浸透深さは深くなる。BPPが5mm*mradの自由空間結合スクナシステムについても、同様のデータを現在作成中である。

3Dプリント

3Dプリントは、青色レーザーが商用利用されているもう1つの分野である。金属の3Dプリントは、粉末床溶融結合法(Powder Bed Fusion:PBF)、指向性エネルギー堆積法(Direct Energy Deposition:DED)、ワイヤ供給溶融結合法(Wire Fed Fusion:WFF)など、複数の方法で行うことができる。これらの方法は、細部はそれぞれ異なるものの、金属が溶ける(溶融するほど軟らかくなる)まで加熱する必要があるのはすべて同じである。溶接の場合と同様に、その目的は、ビームから金属にエネルギーを転送することである。そのプロセスの効率が高いほど、速度

は速くなり、完成品の品質は高くなる。図5は、商用3Dプリンター(粉末床)の中で、レーザーモジュールがビームエキスパンダーを介してスクナに統合されている様子を示している。

IRレーザーもこの用途に対して以前から使われているが、青色レーザーは、溶接と同じメリットを、レーザーアシストの積層造形にも提供する。ヌブル社は最近、DEDに対してIRファイバレーザーをBLシリーズの青色レーザーに置き換え、2つの技術による結果を同一条件で比較した。最も重要な指標である成形速度(単位:cc/hour)で、その結果を定量化した(図6)。成形速度はIRレーザーと比べて、銅の場合で7倍、ステンレス鋼で3倍、チタンで1.5倍高速だった。

第1世代と比べて、輝度は3倍、出力は2倍になったことで、性能は大幅に向上している。その結果として、レーザー溶接とレーザーアシスト積層造形を対象とした産業用スキャンシステムとの新たな統合が可能になっている。

著者紹介

マシュー・フィルポット(Matthew Philpott)は、米ヌブル社(NUBURU)の最高マーケティングおよびセールス責任者。e-mail: matthew.philpott@nuburu.net URL: www.nuburu.net