

高輝度ファイバレーザが導く、 リモートレーザ加工の進歩

リン・シーハン、ダーブ A. V. クライナー、マイケル・アチュリー

高強度ビームによる、熱伝導率の高い金属の切断と溶接

卓越したビーム品質を備える高出力ファイバレーザが登場したことで、リモートレーザ走査(RLS: Remote Laser Scanning)の分野は急速な進歩を遂げた。他の技術と比べてRLSは、さまざまな対象物を加工する際の柔軟性が高く、処理速度が速く、サイクルタイムが短い。

本稿では、高輝度(ビームパラメータ積[BPP: Beam Parameter Product]が1.5mm-mrad未満)のファイバレー

ザで、リモートレーザ加工のための主要な性能上のメリットが得られることについて解説する。高輝度光源はその光学的特性により、加工対象物からのスタンドオフ距離を長くとることができる。システムインテグレーターはそれを活用して、光学部品をより安全な状態で動作させることができる。高い強度(小さなスポット径)と、高速ビームポジショニングを達成するその能力を利用して、アルミニウムや銅といった熱

伝導率の高い金属と、新しい軽量炭素繊維複合材料の切断、アブレーション、溶接を実際に行った結果を紹介する。

高輝度ファイバレーザ

次世代ファイバレーザ「nLIGHT alta」は、スタンドアロンのポンプモジュールにポンプダイオードとドライバを収容し、4kWを超える出力を生成できる構成可能なゲインモジュールにゲインファイバを収容する、新しいアーキテクチャ⁽¹⁾を採用する。ゲインモジュールは、高輝度出力を可能にする新しい主発振器/出力増幅器(MOPA: Master Oscillator/Power Amplifier)設計をベースとしている(図1)。従来のファイバレーザは、多数のレーザの出力を結合するファイバコンバイナ技術を採用し、そのために本質的に輝度が低下するが、この設計は、それとは異なる。このレーザには、堅牢な集積型バックリフレクション(反射戻り光)アイソレータも搭載されており、それによってすべてのモジュールが加工対象物によって生成される反射戻り光から保護され、高反射性材料の加工を中断することなく安定して行うことができる。この2つの進歩がRLSにもたらすメリットを紹介する。

システム設計におけるRLSの主要な項目は、スキャナのスタンドオフ距離、加工箇所におけるスポット径、そして走査範囲である。高輝度ファイバレーザを使用することのメリットの1つは、

a)



b)

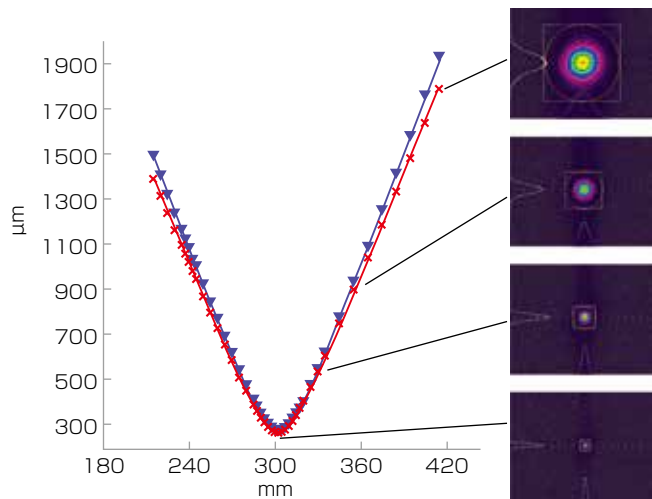


図1 次世代ファイバレーザ「nLIGHT alta」(a)と、その高輝度性能の例(b)。

表 商用提供されている2種類のRLSスキャナ製品における高輝度のメリット。ファイバコア径50 μ mの高輝度ファイバレーザが、それよりも輝度の低いファイバ径100 μ mのものとは比べて、スタンドオフ距離と走査範囲において格段に進化していることを示す例。

INTELLIWELD 3D	ファイバコア径(μ m)	スポット径(μ m)	XY走査範囲(mm)	スキャナスタンドオフ(mm)
コリメータ:135mm 対物レンズ:470mm 倍率:3.5X	100	350	250×250	300
コリメータ:110mm 対物レンズ:660mm 倍率:6X	50	300	370×370	472
INTELLIWELD 2D	ファイバコア径(μ m)	スポット径(μ m)	XY走査範囲(mm)	スキャナスタンドオフ(mm)
コリメータ:132mm 対物レンズ:255mm 倍率:1.9X	100	190	125×125	303
コリメータ:116mm 対物レンズ:460mm 倍率:4X	50	200	235×235	509

スタンドオフ距離と走査範囲を大きくとりつつ、スポット径を小さくして溶接速度を速く、溶接浸透度を深くできることである。高輝度(ファイバコアサイズ:50 μ m)のメリットを示すものとして、商用提供されている2種類のRLSスキャナ製品(独スキャンラボ社[SCANLAB]の「IntelliWELD」と「IntelliSCAN」)の例を表に示した。この例から、14%小さいスポット径を維持しつつ、スタンドオフ距離は50%以上大きくできることが見てとれる。nLIGHTレーザは、最大4kWの出力で高輝度性能を提供する。

リモートレーザ溶接

各用途に合った溶接手段を選択するのは難しい作業である。一般的には、広い面積にわたって均等に分散している小さな溶接部(自動車アSEMBリにおけるドア、座席構造、車体部品など)の密度が高いほど、固定光学系による溶接と比べた場合のリモートレーザ溶接(RLW: Remote Laser Welding)やオンザフライ溶接(WOTF: Welding

On The Fly)のメリットが高くなる。RLWに移行して、サイクルタイムが



図2 自動車アSEMBリでは、一連の管の端を大きな構造に溶接する必要がある(a)。(b)は、大きな(約30×60cm)自動車座席アSEMBリの例。最上面から穴を通して部品の下の層までを溶接する必要がある複数層構造となっている(c)。

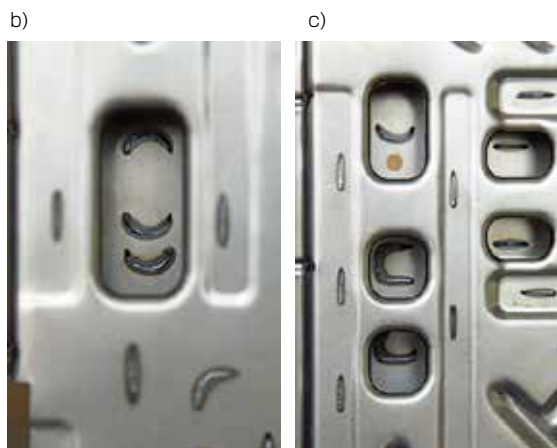




図3 純銅溶接スプラッタの観測。(a)はビーム発振なし、(b)は発振あり、(c)は発振を最適化してスプラッタをなくした様子。(d)～(f)は、同じ処理をアルミニウムに適用してスプラッタを減少させた様子。(提供:独フラウンホーファー IWSとスキャンラボ社)

最大50%短縮した例を当社では確認している。RLW システムのメリットが生かされる溶接要件を持ついくつかの例を図2に示した。これらの例の特徴としては、密度が高く形状が細かい溶接であること(aとb)と、部品全体にわたって複数の溶接形状を持つ大きな構造であることの両方が挙げられる。特に(c)では、この部品に対する一部の溶接が、上のプレートを貫通してその下の層まで溶接するものであることが見てとれる。この種類の構造は、従来の溶接光学系では簡単には達成できない。

加えてRLWは、溶接処理を制御するための高度な機能を備える。たとえば、溶接ゾーンでレーザースポットを振動/ウォブルさせることが必要であったり、複雑な溶接形状(円やC型など)の加工が含まれていたりする場合に、小さな範囲で高速に動作するには、ロボットを使用するよりも走査するほうが、加工速度と精度が格段に高い。従来のロボットの速度が10m/分程度であるのに対し、RLWでは90～180m/

分の速度が達成可能である。

高輝度ファイバレーザを熱伝導率の高い材料に適用する場合、溶接キーホールを維持するためにスポット径を小さくすることが望ましい。しかしこの要件を満たそうとすると、処理が不安定になり、スプラッタが大量に発生する。高輝度に、リモートスキヤナの高速度ポジショニングを組み合わせることにより、スプラッタを大きく減少させることが実証されている。キーホールが安定するようにビームを発振させることによって、この結果が得られる。図3に示した例では、銅とアルミニウムの両方で、ビームパスに発振パターンを加えなかった場合はスプラッタが深刻であることが示されている。高周波発振を適用すると、スプラッタは減少する。この処理には、反射戻り光耐性が高いというnLIGHTレーザに特有のもうひとつの性質も必要である。このファイバレーザには、銅やアルミニウムなどの材料で生じる、反射戻り光に対するレーザの耐性を高める保護デバイスが含まれている。他のレーザは、

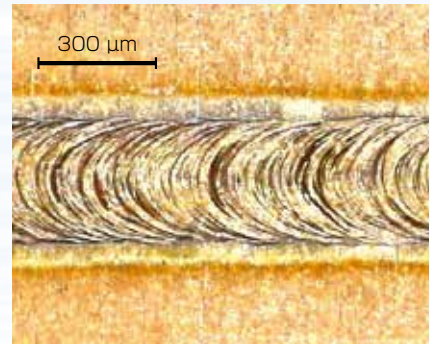


図4 最大42m/分の速度で作成された、銅光ファイバ(銅99.95%)の溶接シーム。

本質的に反射戻り光の影響を受けやすく、加工が不安定になったり、自動的にシャットダウンして処理が中断したり、さらにはレーザの壊滅的な故障にいたる場合もある。

スキヤナの高い速度とレーザ光源の高い輝度の両方を活用することで、銅や銅合金を最大42m/分の速度で溶接し、優れた溶接品質と浸透度が得られることも実証した(図4)。

炭素繊維強化プラスチックの加工

ファイバレーザの高い輝度と高速走査を組み合わせることによって、顕著に加工にメリットが現れるもうひとつの分野が、炭素繊維強化プラスチック(CFRP: Carbon Fiber Reinforced Plastic)の切断、3D造形、穴あけである。炭素繊維(カーボンファイバ)ラミネートとも呼ばれるCFRP複合材料は、自動車の車体を軽量化し、そして燃費と安全性を高くするための次世代の材料である。カーボンラミネートは、ほぼ純粋な炭素繊維を織り込んだ層が、エポキシ樹脂などの強化プラスチックによって互いに結合されているため、強度と硬度に非常に優れている。

航空宇宙や自動車をはじめとするモビリティ業界は、軽量化によってエネルギー消費量とCO₂排出量の削減に大きく貢献することが求められている。

量産市場(自動車など)では、CFRPの成形、接合、トリミングなどの処理に対して、高速で費用対効果の高い製造処理が必要である。長いファイバ複合材料に対して機械的な切断手段を適用すると、工作機械の摩耗が生じ、部品の許容誤差を維持するために頻繁な交換が必要になり、そのためにサイクルタイムと部品コストが増加する。また、機械的な加工には通常、部品を冷却し、加工屑を除去し、塵を減らすための水が必要になる。この水が部品に与える影響を、切断後に部品を乾燥させることによって緩和させる必要があり、それによって製造処理にかかる時間はさらに長くなる。ウォータージェット切断のもう1つの問題は、複雑な水流が求められることである。CFRPのレーザー加工は、摩耗や圧力が生じず、水が不要で、しかも高速で自動化された加工手段であるため、工作機械でCFRPの切断とトリミングを行う場合のすべての問題が解消される。

高輝度連続波(CW:Continuous Wave)ファイバレーザーを使用することで、CFRPの材料加工が高速に行えることを示すさまざまな例を図5に示した。最初のサンプルは、一方向(UD:unidirectional)のCFRPを深くアブレーションした様子を示している。アブレーション方向に対して45°の方向にファイバが埋め込まれている。ここでは、3kWのnLIGHTファイバレーザーを15m/秒の走査速度で適用することによって、30×30mm四方の領域にわたって深さ170μmの層が除去されている。アブレーション領域のエッジが鋭く、表面の仕上がりが熱影響によって損なわれていないことがわかる。この厚さ2mmのサンプルで、アブレーション時の背面温度は、バルク材料を1.1mmアブレーションしている間も

110°C未満に維持された。この結果が得られたのは、レーザー源のスポット径が小さいことと、リモートレーザー走査システムによるポジショニングとパターン生成が高速であることの相乗効果である。類似のUD CFRPを切断する場合にも、最大6m/秒の速度で、熱影響部がほとんどなく、残余繊維もない優れたエッジ品質が得られる(図5b)。CFRP織物の切断とアブレーションについても、同じ結果が得られる(図5c)。この場合は、バルク材料のアブレーションが複数のステップで行われる。複数ステップによるエッジもクリーンで、加工による熱影響は見られない。

まとめ

次世代ファイバレーザーは、キロワットレベルの材料加工に革新をもたらしている。nLIGHT altaは、その独特のアーキテクチャに基づき、業界最高輝度のマルチキロワットレーザー源を提供する。その性能に高速走査システムを組み合わせることで、これまで達成できなかった加工速度が実現され、応用分野が切り拓かれている。反射戻りレーザー光に対する耐性が高いことから、高反射性材料を中断なく加工でき、クリーンで一貫した溶接を確保することができる。高輝度レーザー源と走査システムを組み合わせ、CFRP材料の切断とアブレーションは、熱影響を最

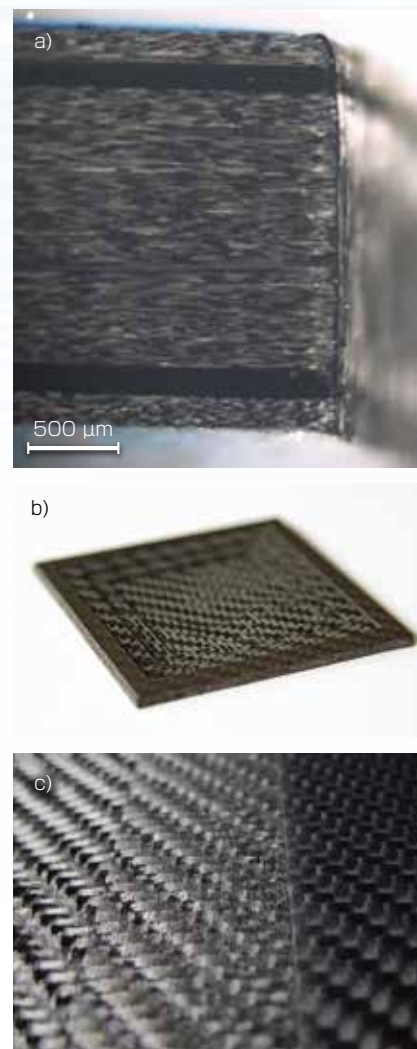


図5 熱影響部(HAZ:Heat Affected Zone)が非常に小さいことを示すUD CFRP切断エッジ品質(a)。織物CFRPのアブレーションと切断例(b)。複数ステップによるアブレーション後の織物CFRPサンプルの拡大図(c)。

小限に抑えた高速で高品質な加工の未来を示している。

謝辞

nLIGHT altaはエヌライト社の商標。
本稿執筆にあたり、貴重な支援をいただいた、独フラウンホーファー IWS (Fraunhofer)、独スキャンラボ社(SCANLAB)、独ブラックバード社(Blackbird Robotersysteme)、独レーザーセンター・ハノーバー(Laser Zentrum Hannover)に謝意を表す。

参考文献

(1) D. A.V. Kliner, "nLIGHT alta: A versatile, next-generation fiber laser platform for kW materials processing," the 84th Laser Materials Processing Conference (Jan. 19-20, 2016)

著者紹介

リン・シーハン(LYNN SHEEHAN)、ダーブ A. V. クライナー(DAHV A.V. KLINER)、マイケル・アチュリー(MICHAEL ATCHLEY)は、ワシントン州バンクーバーの米エヌライト社(nLIGHT Corporation)に所属。email: lynn.sheehan@nlight.net URL: www.nlight.net