

高い精度とスループットを実現する 可変マルチビームツール

ホルガー・シュルター、ステファン・アイフェル

スキャナに、それと同期するメカニカルステージを統合したマルチビーム光学エンジンは、大きな走査領域を処理するための新しいレベルの精度とスループットを実現する。

業界では小型化が急速に進行している。電子部品やディスプレイの製造において求められる、さらなる構造の微細化に伴って、フィーチャ密度が増加する一方で、穴あけなどの製造工程における、1秒あたりの移動距離という意味でのスループット目標を達成するために、レーザ走査速度の増加も必要になる。

その一方で、超短パルスレーザの平均出力とパルスエネルギーは、継続的な技術的進歩に支えられて、ますます高まっている。その高い出力を産業プロセスで最大限に活用することを妨げる最大の障害は、一般的に走査技術である。加工対象物への熱蓄積効果を防ぐには、十分に高いパルス分離が必要

になるためである。

利用可能な出力レベルを増加させるために適用できる有望な方法として、ポリゴンスキャニングとプロセス並列化の2つがある。

3つのマルチビーム 走査コンセプト

独スキャンラボ社 (SCANLAB) と、マルチビーム走査を専門とする独パルサーフォトニクス社 (Pulsar Photonics) の共同開発プロジェクトは、1つのメインスキャナ上で複数のビームを使用することによる、並列化に着目したものである。このいわゆる「マルチビームレーザスキャニング」構成により、多

数の同一構造を高い構造密度で加工する必要がある用途における、レーザプロセスを高速化することができる。そうした用途としては、高密度のプリント回路基板 (PCB) やマイクロLEDディスプレイの製造などが挙げられる。

産業用レーザ加工のスループットを上げることを目的とした、複数の異なるコンセプトが存在する。1つめは、1つのレーザと1つのスキャンヘッドで所望のスループットが得られない場合に、レーザやスキャナを含む機器をもう1台用意することによって、プロセスを拡大するというものである。しかし、この方法はコストが高く、効率が低い場合が多い。また、高エネルギーの超短パルスレーザの最新の進歩が考慮されず、例えば、利用可能な最大レーザ出力が効率的に活用されない可能性がある。

2つめの方法は、1つのレーザにビームスプリッタを組み合わせて、複数のスキャナにビームを供給するものである。しかしこの方法には、加工対象物へのアクセス性に関する問題が生じる場合が多い。各スキャナによって、加工対象物のそれぞれ異なる領域を処理する必要があるためである。加工対象物が小さい場合は、各スキャナによって異なる加工対象物を処理しなければならないため、ハンドリングシステムに追加のコストが発生する。

3つめのコンセプトは、1つのメインスキャナで複数のビームの走査を可能とする、新しい方法を採用するものである。最大限の柔軟性を持たせるために、個々のビームは個別にオン/オフ

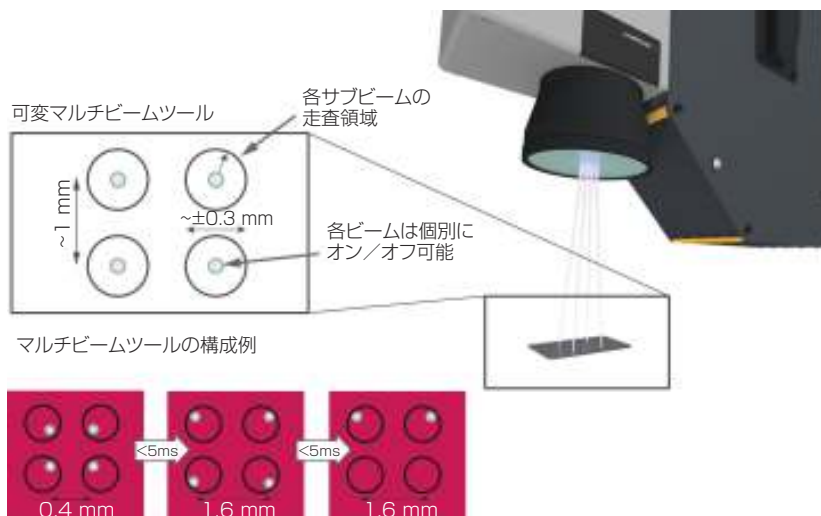


図1 マルチビームツールのマルチビームパラメータと構成例。4本の個別ビームが加工対象物上に、約1mmの公称距離間隔で位置決めされている。個々のビームは、半径0.3mmの範囲内で操作可能で、個別にオン/オフ可能である。焦点距離は100mmである。

可能であるとともに、限られた領域にステアリング可能である(図1)。

マルチビームエンジンのパラメータ

この動的なマルチビーム走査システムを、エレクトロニクス業界の用途に有効な形で開発するには、以下の要件を満たすことによって、スキャナベースのマルチビームプロセスにおける、高い生産性を達成する必要がある。

- ・レーザービーム数が柔軟に変更可能
- ・マルチビームのスポット構成が柔軟に変更可能
- ・異なるスポット構成の間を高速に切り替え可能
- ・各レーザーサブビームが個別に走査/位置決め可能

図1には、このマルチビーム光学エンジンのコンセプトの主要パラメータが示されている。このデモ機には、スキャンラボ社の関連企業であるイスラエルのホロオア社(Holo/Or)が開発した回折光学素子(Diffractive Optical Element:DOE)が採用されている。このDOEによって、レーザーのメインビームが4つの同一のサブビームに分割される。その結果、このマルチビームスキャナは、垂直スポット間隔が0.4~1.6mmの間で変更可能な4本のサブビームを照射する。

各サブビームが個別にオン/オフできるだけでなく、すべてのサブビームを半径0.3mmの円の範囲内に個別かつ動的に位置決めすることができる。その位置決め範囲の例が図1に示されている。加工対象物のすべての領域を網羅するために、メインスキャナと個々のビームを組み合わせることで動かすことが可能である。このプロジェクトの次の段階では、個別ビームの数を増やすことが可能になる予定である。

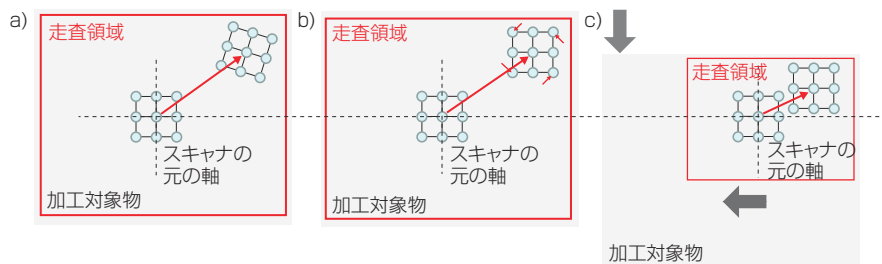


図2 (a)は従来型のスキャンヘッド設定、(b)はサブビームが個々にステアリング可能な可変マルチビーム設定、(c)はスキャンヘッドに同期するメカニカルステージ(XL SCAN)を組み合わせた設定における、マルチビームの位置誤差を示している。従来型設定(a)では、走査領域の隅でマルチビームパターンがねじれてゆがんでおり、大きな位置誤差が生じている。このゆがみは、サブビームを個別にステアリングすることによって補正可能で、(b)に示すように位置誤差を抑えることができる。スキャンヘッドに同期するメカニカルステージを統合すれば、スキャンヘッドの偏向角を抑えることによって、(c)のようにサブビームのゆがみとねじれを低減することができる。その結果、位置誤差は低くなる。(a)と(b)の設定では、 $f\theta$ レンズの走査領域の80%~100%が使用可能だが、(c)の設定では10%~20%が使用可能である。

マルチビームの課題

従来型のマルチビーム方式では、2つのスキャナミラーの分離によって生じるゆがみと、 $f\theta$ レンズによって生じるゆがみにより、スキャナの視野の端のマルチスポットパターンにゆがみが生じる(図2a)。可変マルチビーム設定では、スポット領域のゆがみのアクティブな補正が可能になるため、大きな走査角度でもマルチスポット動作が可能となる(図2b)。あるいは、スキャナに同期するメカニカルステージを

統合することにより(図2c)、スキャナの視野を縮小して、マルチビームパターンのゆがみを抑えることができる。

同期するメカニカルステージの統合

スキャンラボ社とイスラエルのACSモーションコントロール社(ACS Motion Control)は、スキャナにそれと同期するメカニカルステージを統合することによって、大きな領域を処理するための新しいレベルの精度が達成されるこ

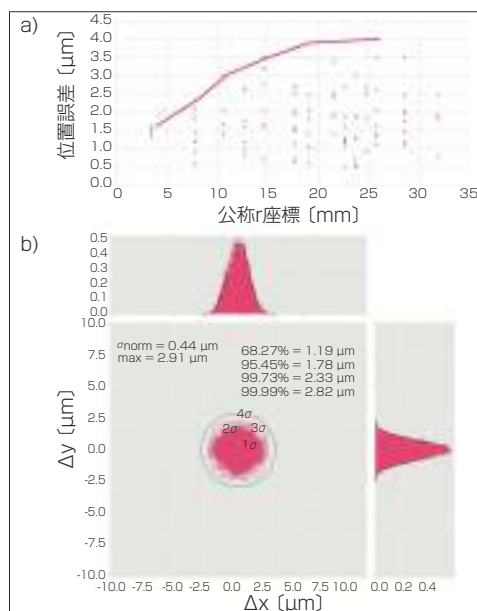


図3 焦点距離100mm、同期ステージなしの標準的なスキャンヘッドについて、設定された半径方向位置に対する絶対誤差をプロットした(a)。ガルバノミラーがそれぞれの位置にセッティングできるように、ショット間の時間を十分にとってスポットの位置決めを行った。これは、準静的な手法である。位置誤差は、CMMによって測定され、半径方向に約2 μm ~4 μm まで増加する。同期するメカニカルステージ(XL SCAN)を統合した、焦点距離100mmのスキャンヘッドについても、絶対位置誤差を密度プロットの形式でプロットした。位置決めは、2600Hzの処理速度で行われるため、非常に動的である。加工対象物に照射された1万ショットの位置誤差の99.99%(4 σ)は3 μm 未満だった。これは、同期するメカニカルステージを統合することによって、処理面積が拡大できるだけでなく、位置精度も高まることを示している。

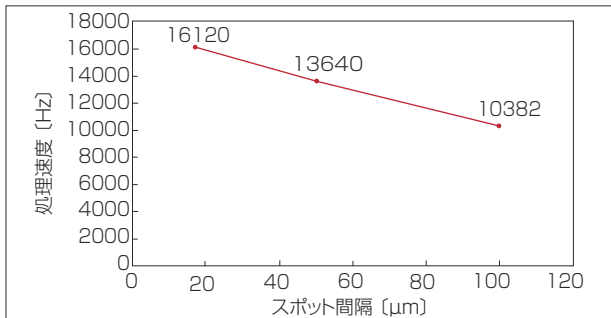


図4 シングルビームシステムによって達成された結果に基づく、4本のビームを照射するマルチビームシステムの処理速度。処理速度は、ジャンプ遅延を40μs、処理時間を150μsとして算出した。この設定により、3μm(4σ)未満の絶対位置誤差が達成可能である。

とを実証する、XL SCANコンセプトを発表した。画期的な制御によって、スキャナレンズの視野よりも大きな走査領域を処理することができる。ビームの動きは、スキャナに引き渡される高周波成分と、メカニカルステージに引き渡される低周波成分に分割される。

この方式を可変マルチビームのコンセプトと組み合わせることにより、大きな加工対象物に対する位置精度とスループットをさらに向上させることができる。具体的には、マルチビームレーザ走査によって、小さな走査領域で高い位置精度を達成するか、精度を落として大きな視野で大きな加工対象物を処理するかというトレードオフがなくなる。この新しい方式により、マルチビームレーザ加工は、レーザ穴あけやレーザ誘起前方転写(Laser-Induced Forward Transfer : LIFT)といった高速加工において特に魅力的なものとなる。

図3は、単体のスキャンヘッドで、固定の加工対象物を処理した場合の位置精度と、XL SCANを統合したスキャンヘッドで、移動する加工対象物を処理した場合の位置精度を比較したものである。図3aは、3次元測定機(Coordinate Measurement Machine : CMM)を使用して評価した、同期するメカニカルステージなしのスキャンヘッドの絶対位置誤差結果を示している。走査角度が大きい場合は、サンプルの各点を処理するごとに位置誤差は大き

くなっていき、ガルバノスキャナが最終位置にセトリングするまでに十分な時間が設けられる。この準静的な手法により、設定位置からの最大偏差を4.0μmに抑えることができる。

スキャンヘッドに同期するメカニカルステージを組み合わせることにより、端よりも偏差が小さい対象領域の中央にスキャナを維持したまま、それと同じかそれよりも大きな領域を処理することが可能になる。処理速度と、ジャンプ時間、可変のジャンプ遅延、処理時間(ここでは150μs)には、以下の式の関係がある。

$$\frac{1}{\text{処理速度}} = \text{ジャンプ時間} + \text{可変のジャンプ遅延} + \text{処理時間}(150\mu\text{s})$$

図3bから、ジャンプ遅延が40μs、処理速度が2600Hz、ジャンプ距離(ピッチ)が100μmの場合、3μmという位置誤差の4σが容易に達成できることがわかる。これは、図3aに示した準静的なキャリブレーションで報告された誤差よりもさらに小さい。

同期ステージとインテリジェントな制御を組み合わせたこのマルチスキャンエンジンは、シングルビーム処理と比べて、高い位置精度における処理速度がはるかに高い。従って、今回テストしたマルチビーム光学エンジンコンセプトは、高密度の穴あけ用途に対す

る強力なソリューションであり、高密度PCBの穴あけやマイクロLEDディスプレイの製造といったエレクトロニクス用途における、生産性の高いスキャンヘッドという将来の需要に応えるものである。

図4は、可変マルチビーム設定に対するシミュレーション結果である。この方式により、スポット間隔(ピッチ)が100μm以下の構造に対して、1秒あたり1万ショットを優に超える処理速度を達成することができる。達成可能な精度は、図3bの結果と同等と考えられる。

今後の展望

高エネルギーの超短パルスレーザと、マイクロエレクトロニクスやディスプレイ製造におけるフィーチャサイズの縮小により、新しいビーム走査技術の開発が求められている。本稿で紹介した新しいコンセプトは、マルチビームアレイの個々のビームを個別にステアリング可能とし、マルチビーム処理における柔軟性と精度を高めるものである。インテリジェントな制御技術と組み合わせることにより、XL SCANは、最大限の精度、スループット、加工対象物サイズを必要とする、新しい用途に対応することができる。

謝辞.....
本稿に尽力いただいたパルサーフォトンクス社のパトリック・グレッツキ氏(Patrick Gretzki)及びオルガ・チェメレンコ氏(Olga Chemerenko)と、スキャンラボ社のフェリックス・ランゲ博士(Dr. Felix Lange)に感謝の意を表する。

著者紹介
ホルガー・シュルター博士(Dr. Holger Schlüter)は、独スキャンラボ社(SCANLAB)のビジネス開発責任者、ステファン・アイフェル博士(Dr. Stephan Eifel)は、独パルサーフォトンクス社(Pulsar Photonics)の経営パートナー。e-mail: info@scanlab.de
URL: scanlab.de, pulsar-photonics.de