

# パルスナノ秒ファイバレーザ、 多用途に対応する優れた切断ツール

ジャック・ガブジル

レーザマーキングで最もよく知られるパルスナノ秒ファイバレーザは、金属と非金属の両方の材料の切断にも利用できる。

レーザ切断は、レーザマーキングに次いで最も広く採用されているレーザ材料加工だとみなされることが多い。レーザ切断といえば、高出力連続波(Continuous Wave: CW)レーザ(CO<sub>2</sub>とファイバの両方)だが、マーキングは、完全にナノ秒パルスファイバレーザの領域である。一般的にあまり理解されていないのは、これらのナノ秒レーザが切断においても高い能力を発揮することである。

この10年間で、ナノ秒パルスファイバレーザはその多用途性と制御能力に

よって、切断に加えて、エングレービング、アブレーション、スクライビング、穴あけ、テクスチャリングといったさまざまな微細加工に対して、望ましいレーザとなっている。このレーザは、一般的にパルスエネルギーは数mJ未満だが、10kWを超えるピーク出力を高いビーム品質とともに提供することができ、平均出力もここ数年で増加していて(現時点で最大300W)、かなり高い威力を発揮する。パルス制御機能が限られたシンプルなQスイッチ設計のものも提供されているが、独トルン

プ社(TRUMPF)の「TruPulse nano」シリーズに代表されるような、より洗練された主発振器出力増幅器(Master Oscillator Power Amplifier: MOPA)アーキテクチャを採用するものは、優れたパルス制御を備え、パルス幅や繰り返し周波数といったパラメータの制御が可能である。

上述のようにパルスエネルギーは低く、出力も控えめであることから、ナノ秒パルスファイバレーザが、切断に対して一般的に検討されないというのはおそらく意外ではなく、実際、マルチキロワットシステムの優れた板金切断能力には太刀打ちできない。しかし、このレーザは、ますます多くのニッチな用途において、卓越した能力を発揮することが実証されている。

ナノ秒パルスファイバレーザは、スキャナに基づくビームデリバリーと併用するのが最も一般的で、それによって非常に高い処理速度が実現される。基板材料を溶融して気化させるだけの出力密度を確保するために、スポット径は小さくしなければならない。1回のライン走査で、気化と溶融放出によって材料を除去するには、十分なパルス重なりが必要である。走査速度を落としてパルス重なりを増やすことにより、基本的な表面マーキングを、軽い材料除去から、最終的には深いエングレービングにまで変更することができる。材料が十分に薄い場合、加工結果は切



図1 セラミック層付きの陰極用アルミニウム板。

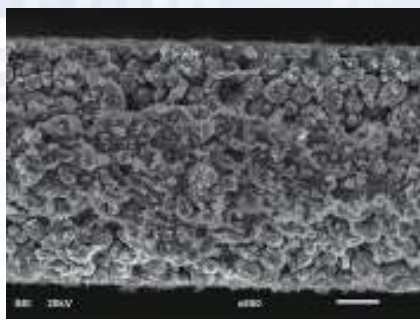
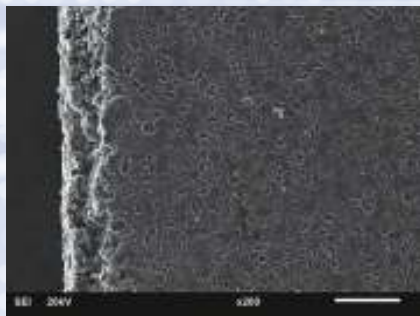


図2 「TruPulse 2020」ナノ秒ファイバレーザで切断したエッジの走査電子顕微鏡画像。ダメージレベルの低さが示されている。

断となり、それ以外の場合は、スクライビングとなる。このシングルパスの切断は、比較的薄い材料にしか適用できないが、今日の電池製造における非常

に特殊な用途に適用することができる。

ナノ秒パルスファイバレーザは、比類ない柔軟性と制御を備えた非接触で摩耗のないプロセスとして、従来の機械によるスリット加工やスタンピング加工に急速に置き換わっている。リチウムイオン電池セルは、薄いアルミニウム／銅箔でできた、コーティングされた陽極／陰極の層で構成されている。すべてのセル設計で採用されているこれらの金属箔は、一般的に非常に薄く、陽極の銅箔で6～10 $\mu\text{m}$ 、陰極のアルミ箔で10～15 $\mu\text{m}$ である。これらの電極は、リチウム金属酸化物やグラファイトなどを含む独自の組成物によって両面がコーティングされている。コーティング材の厚さは最大100 $\mu\text{m}$ で、コーティングされた金属箔の厚さは合計で0.2mm以上にもなる場合がある。シングルモードのCWファイバレーザは、むき出しの金属箔の切断に極めて有効で、非常に高い切断速度と卓越したエッジ品質を達成することができる

が、コーティングされた電極の切断に対しては、最良の選択肢ではない。

基本的なスリット加工で単一の材料を処理するだけの用途もあるが、特殊な形状を切り抜くノッチング加工など、大半の用途では、むき出しの金属箔とコーティングされた材料を同一パスで処理することが求められる。絶縁セラミック層が第3の材料として追加されていて、処理がさらに複雑になる場合もある(図1)。そのような用途に対して、ナノ秒パルスファイバレーザは優れた能力を発揮する。コーティングされた電極を、わずか200Wの平均出力で1m/sを超える速度で切断できるためだ。MOPA設計により、ユーザーはパルス特性を調整して、加工性能を最適化し、多様な材料に対して切断品質と加工速度に関する要件のバランスを図ることができる(図2)。

スクライビングに対しても、これらのレーザが広く利用されている。特にソーラー業界では、シングルモードの

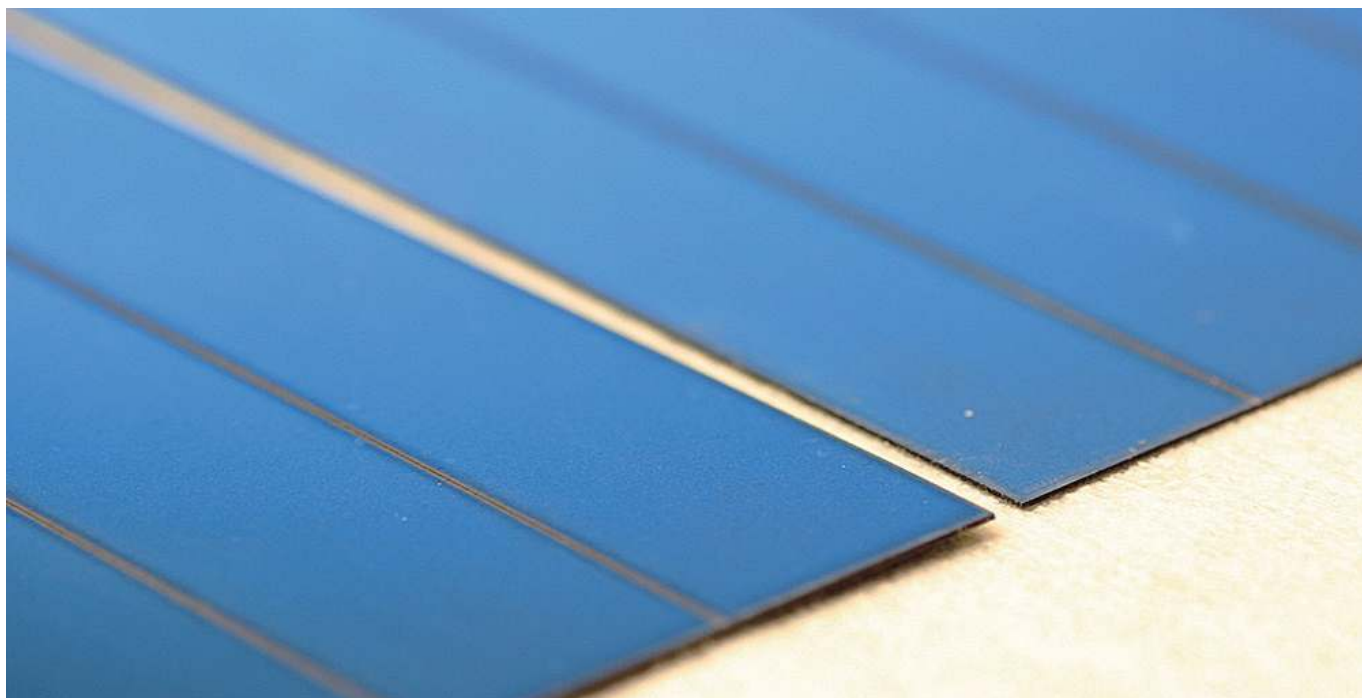


図3 「TruPulse 1005」ナノ秒ファイバレーザで切断したシリコン太陽電池。



図4 細かい切断技術を示す銀装飾品の例。

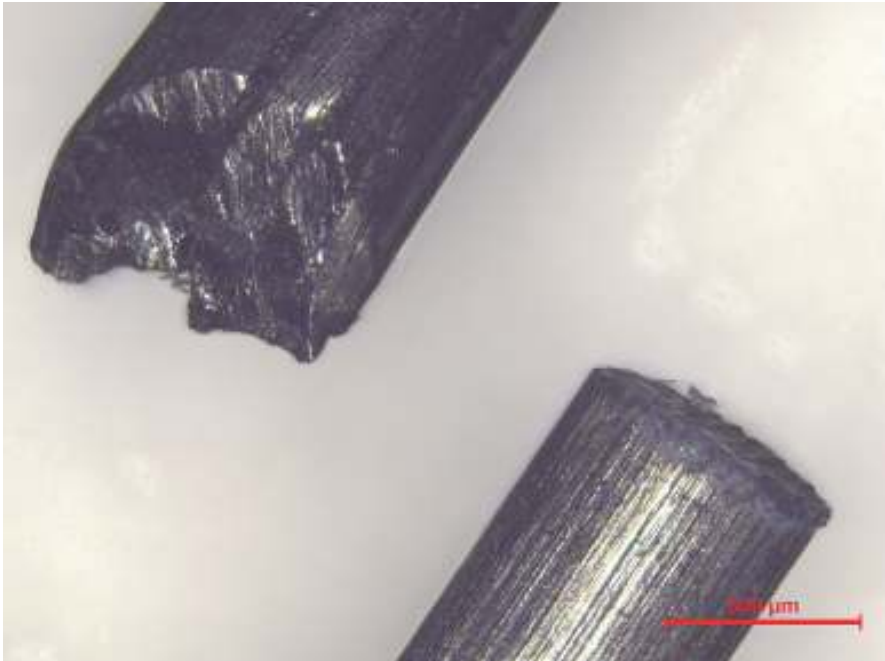


図5 機械とレーザーで切断した0.7mmのタングステンワイヤの比較。

ナノ秒パルスレーザーが、シリコン太陽電池製造の「スコア&ブレイク」(刻み目を入れて割る)処理に使用されている。大きなセルを小さなストリップに切断することにより、抵抗損失を抑え

て製造効率を上げるというのが、現在のトレンドである。そうしたハーフセル設計やシングルセル設計には、これらのレーザーによって達成可能な、高品質で熱ダメージの低いスコアリングが

必須である(図3)。

金属材料に対しては、マルチパス処理(同一ラインを複数回走査することを意味する)によって、達成可能な深さを増加させることができるが、この処理には限界がある。深さ、すなわち切断のアスペクト比が増加するにつれて、有効なエネルギー密度が低下し、最終的にはそれ以上パスを繰り返しても、深さや材料除去量は変わらない。

切断できる深さを増加させるには、有効切断幅(カーフ幅)を増加させる必要がある。カーフ幅は焦点スポット径に依存するが、焦点スポット径を単に大きくするだけでは、その目的は達成できない。焦点スポット径を大きくすると、処理しきい値未満のインシデントエネルギー密度が低下するためである。しかし、いくつかの方法でこれを達成することができる。1つめは、各パスの切断ラインを少しずらすことである。この方法は、X-Yテーブルに基づくシステムに特に適しており、これによって一般的に焦点スポット径は2倍になり、実質的に切断幅は2倍になる。切断部分の厚みが増すにつれて、切断エッジに少しテーパー(傾斜)がつくことになるため、最終部品の寸法が許容範囲内となるように慎重にプログラムする必要がある。2つめは、スキャナに基づくビームデリバリの併用によってさらに効果を発揮する方法で、マーキングソフトウエアの「ウォブル」機能(もともとは、マーキングの線幅を広げるために開発されたもの)を使用して、切断深さを増加させるものである。この機能は実質的に、切断ラインに沿ってあらかじめ定義された振幅のらせん状のビームを生成する。ウォブル幅、UV周波数、切断ライン速度の制御によって、材料除去量が最大になるようにパルス重なりを最適化する



図6 マルチパス処理によって、3mmの炭素繊維強化プラスチックにあけられた穴。

ことができる。

この機能は、宝石業界で広く活用されている。この業界においてナノ秒パルスの高いピーク出力は、銀や金といった反射性金属に効果的に結合する。ファイバレーザは現在、細金細工の金製品や銀製品に対する標準的な加工手段として、切断、マーキング、エングレービング、テクスチャリングなどに使用可能で、設計者やメーカーにさらなる柔軟性をもたらしめている(図4)。多くのファイバレーザが24時間年中無休の環境で使用されており、このレーザ源の信頼性が、この応用分野の力強い成長を支えている。

もう1つの興味深いニッチな用途が、ワイヤの切断である。従来は機械で切断されていたが、変形しやすい軟質金属や、粉々に砕ける恐れのある非常に硬質な金属や脆い材料には特に、レーザが適している。良い例がタングステンワイヤの切断で、機械切断では亀裂やチッピング(小さな欠け)が発生し、仕上がりが不均一になる可能性がある。シンプルな20Wのナノ秒パルスファイバレーザに、マルチパスのウォブル技術を適用することにより、正確で再現可能な切断仕上がりが得られる

(図5)。

スキャナベースの手法による切断は、一般的には厚さ1mmまでの材料に限られるが、材料に対する焦点位置を定期的に調整してエネルギー密度を維持することにより、それ以上の厚みがある材料片を加工することが可能である。それにより、従来の固定ヘッドのレーザ切断よりも、切断エッジのテーパーはやや大きくなる。しかし、ナノ秒ファイバレーザは、標準的な切断ヘッドとノズルとともに使用することも可能で、アシストガスも従来のCWレーザと同じものが使用できる。50Wのナノ秒パルスファイバレーザによって、通常ならば200Wを超えるCW出力レベルが必要となる、銀、真鍮、銅を切断することができる。

ファイバレーザは多用途性に優れているため、一部の用途では同じレーザ源を、切断とマーキング、さらには、例えば医療機器業界における、複雑な微細部品の溶接にも利用することができる。これによって複数の製造工程が不要となり、製造プロセスの能率化を

図ることができる。

ナノ秒パルスファイバレーザによる切断は、金属だけに限定されるものではないことに注意する必要がある。このレーザは、1 $\mu$ mの波長を少なくともある程度は吸収する、幅広い非金属材料に効果的に適用することができる。切断可能なその他の材料としては、シリコン、炭素繊維強化プラスチック(CFRP)、セラミック、ゴムの他、一部のプラスチックやポリマーなどがある(図6)。

ナノ秒パルスファイバレーザ、特にMOPA設計を採用するものは、レーザ切断市場において、硬質で反射性の薄片材料を対象とした、貴重で拡大傾向にあるニッチな用途を開拓している。平均出力の増加に伴い、一部の用途に対しては、従来のCW切断源に対する実行可能な代替策となる可能性がある。設計や製造を担当するエンジニアは、将来の製品に対する革新的な製造ソリューションとなる可能性を秘めた、これらのナノ秒ファイバレーザの多用途性を、心にとめておく必要がある。

#### 著者紹介

ジャック・ガブジル(JACK GABZDYL)は、英トルンプレーザUK社(TRUMPF Laser UK Ltd)のエレクトロニクス担当産業マネージャー。e-mail: jack.gabzdy1@trumpf.com URL: trumpf.com