生産ツールとして普及する、フェムト秒レーザ加工

ローランド・ウェルツライン、トーマス・シュライナー

フェムト秒レーザによる切断技術の進歩に伴い、需要は急増している。

フェムト秒レーザの性能向上とコスト改善に加えて、医療器具などの精密部品において卓越した切断品質に対する需要が高まっていることに後押しされて、他にはないメリットを備えるフェムト秒レーザ加工は、有望な手法から最前線の生産ツールへと進化を遂げた。

フェムト秒レーザとファイバレーザ

フェムト秒レーザ切断は、さまざまな生産現場において貴重なツールとして急速に普及している。それを示す証拠が、**図1**の販売データである。このグラフには、2019年と2020年の間に、より広く利用されているファイバレーザと比べて、フェムト秒レーザが大きく増加していることが示されている。なぜか。何が変わったのだろうか。

より長パルスのレーザ（ファイバレーザなど）からフェムト秒レーザへのこの最近の移行を促した主な要因は、次の4つである。すなわち、フェムト秒レーザ加工によるエッジ品質が卓越していること、そのコストが全般的に改善されて経済的な転換点に達したこと、フェムト秒レーザでしか切断できないか、フェムト秒レーザを使えばより適切に切断できる機器の需要が増加していること、直感的でユーザーフレンドリーなGUIを備えた、使いやすいターンキー式のフェムト秒システムが登場したことである。

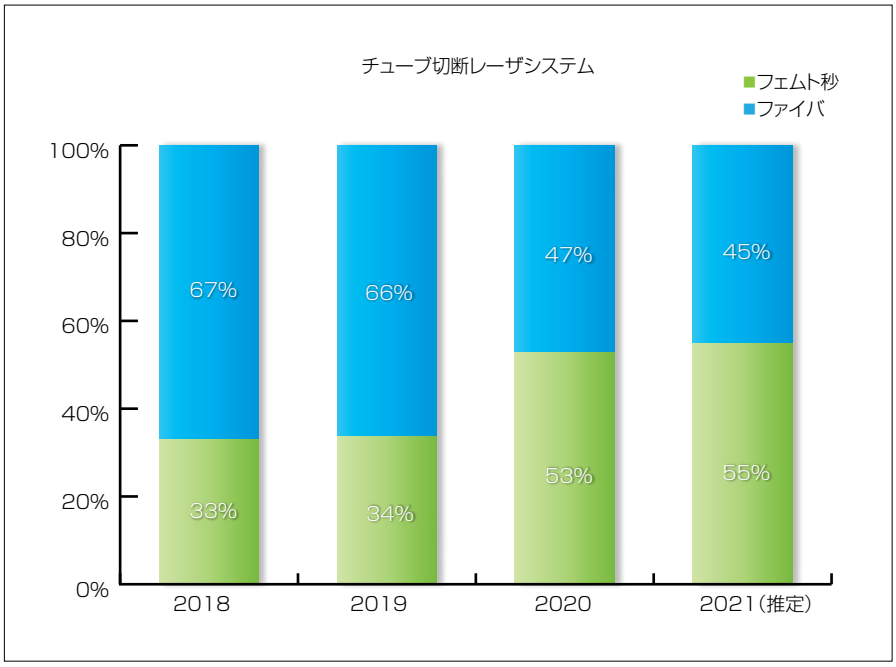

図1　コヒレント社のチューブ切断レーザシステムの売上高における、ファイバレーザ搭載機とフェムト秒レーザ搭載機の相対比率。

フェムト秒レーザを材料加工に使用する場合の他では得られないさまざまなメリットについては、古くから知られている。マイクロ秒やナノ秒レーザを使用した従来の材料加工では、レーザと物質の主な相互作用は光熱的で、熱影響部（HAZ）が生成される。精密加工ではこれによって、溶融することなくクリーンに加工できる最小フィーチャサイズが制限される。また、これが原因で、周辺材料に許容できない機能的または外観的損傷が生じる可能性もあり、通常は機械的な後処理が必要である（バリ取り、手作業による研磨、リーミングなど）。

一方、フェムト秒レーザは、数ケタ短いパルスをはるかに高いピーク電力で出力し、熱が部品に伝導する前に材料を瞬時に気化する。また、このパルス特性によって、任意の材料の加工が可能である上に、ポリマー／金属層などの混合材料部品の加工も可能である。フェムト秒レーザパルスは、デブリを再付着させることもないため、切断後の研削／研磨は不要である。

同等に重要な点として、フェムト秒レーザは、性能、経済性、信頼性の面で新たな成熟レベルに達している。その一例が、米コヒレント社（Coherent）の「Monaco」シリーズである。同シリーズの最大出力は、図1に示した期間の間に、20W未満から60W以上にま

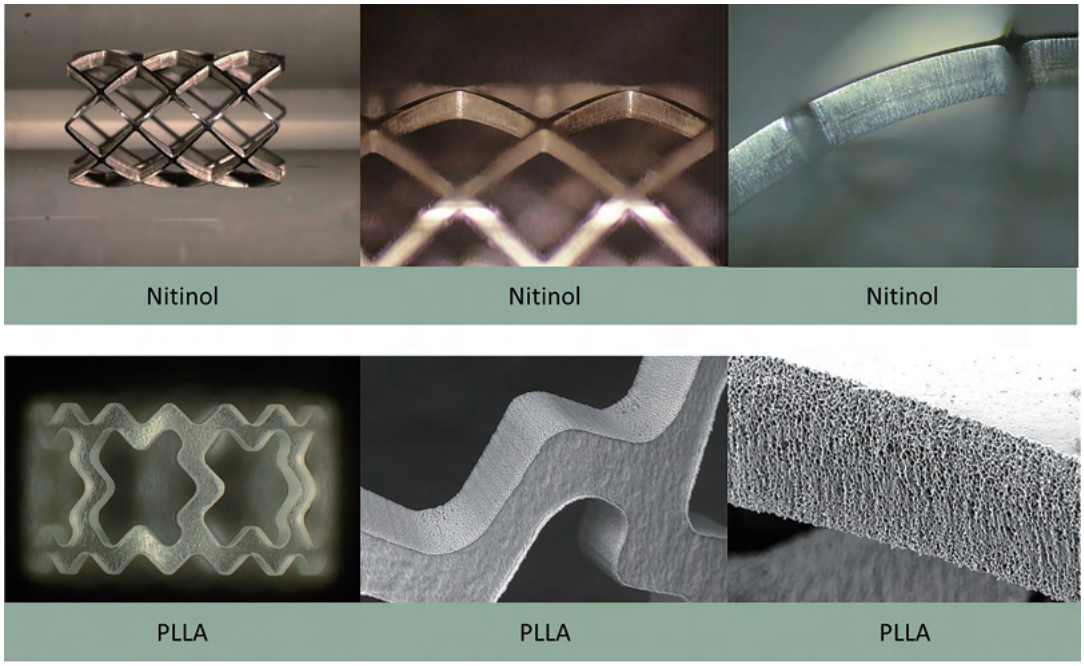

図2　フェムト秒レーザはほぼすべての材料の切断が可能で、卓越したエッジ品質を実現し、熱影響部（HAZ）を生成しない。

で継続的に増加している。

多くのフェムト秒レーザにおいて、ワットあたりコストも最近低下しているため、これらのレーザは、より低い部品あたりコストで、より高いスループットを提供することができる。Monacoは、要件の厳しい生産環境で長年にわたって24時間年中無休稼働を続けており、これは、フェムト秒レーザの信頼性が高くなったことで、全体的な所有コストはさらに低下することを表している。機械的な後処理工程が不要になることによるコスト削減効果を合わせて、フェムト秒レーザは複数の精密切断加工に対して、経済的な転換点に達することとなった。

レーザ加工の多くの市場において、小型化が推進されている。その目的は、全体サイズを大きくすることなく機能を増やすことか、あるいは、全く新しい用途に対応することにある。医療器具（末梢ステントや最小侵襲ツールなど）は、ますます小型化と薄肉化が進み、細かい切断を必要とする箇所が増加しており、最近のフェムト秒レーザ加工の利用増加を促進する大きな要因であることは間違いない。このことは、チューブ切断用に構成された装置の需要が増加していることに、特に顕著に表れているが、他の業界においてもこの技術への移行が進んでいる。実際、電子機器／ディスプレイの分野には現在、ウエハダイシングや有機ELパネル切断など、その例が多数存在する。フェムト秒レーザは、スイス時計などの一部の高級品にも利用されている。そうした製品は、繊細さと精密さを兼ね備えたパーツを使用することによって、機能と美観の両方を高めることができる。

もう1つの主要要因は、一般的な処理に対して最適化された、ターンキー式の産業用切断及び加工システムが登場したことである。電子機器や医療器具などの精密部品を製造するメーカーに必要なのは、スタンドアロンのレーザではなく完全なソリューションである。柔軟で使いやすいソフトウエアと、装置の機敏性や多用途性が、多くの医療器具製造において重要になる。医療器具は、契約製造業者によってさまざまな種類のカスタムデバイスが少量単位で製造されることが一般的だからである。この市場では、同一部品に対して数千個単位の注文があれば、大量生産とみなされる。従って、大がかりなトレーニングや特殊な専門知識を必要とすることなく、装置を簡単かつ迅速にプログラムして、全体的なスループットを最大限に高められることが、非常に重要である。そのための基礎となるのは、用途と製造プロセスに合わせたフェムト秒レーザの最適化に関する知識と理解である。

より高度な医療器具の製造

医療器具は、フェムト秒レーザ加工の最近の利用増加を促進している主要要因の1つだが、それは、フェムト秒レーザの全般的な市場進化を適切に表す縮図でもある。以前は、フェムト秒レーザ加工はコストが高く、他の手段で

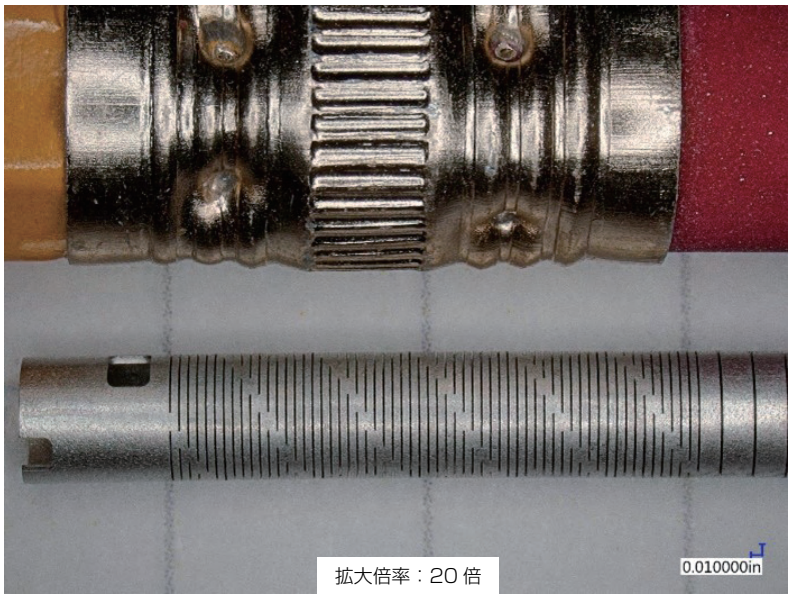

図3　可撓性を持つこのステンレス鋼製導管（横にあるのは消しゴム付き鉛筆）は、Monacoのフェムト秒レーザで切断されている。（提供：モーションダイナミクス社）

は切断できないデバイスに対してのみ利用されていた。また、当初は出力が低かったために、妥当なスループットレートで加工できるのは極薄部品だけだった。現在は、出力が高くなり、より魅力的なコストで提供されるようになったことで、長パルス（ファイバ）レーザでこれまで切断されていた、さらに幅広い種類のデバイスに対して、フェムト秒レーザの利用が増加している。

フェムト秒レーザ技術のメリットの1つは、ほぼすべての材料が加工できることである（**図2**）。これらのレーザの初期の用途が、生体吸収性ステントだった。ステントを入れた箇所にプラークや血管閉塞が生じて、再狭窄が起こる場合があるが、時間が経つと人体に吸収されるステントは、この再狭窄の問題を解決する。最初の例は、ポリ-L-乳酸（Poly-L-Lactic Acid：PLLA）で作成されていた。当初は、グリーンピコ秒レーザが使用されていたが、その結果は最適ではなく、その後すぐにフェムト秒レーザが、事実上の標準として使用されるようになった。その後、生体吸収性の金属（マグネシウム）ステントが開発された。ファイバレーザでそれらのステントを加工すると、小さな金属液滴ができてリームの洗浄が必要になるが、それによって繊細なステントが破損する確率が高く、歩留まりは50%にとどまっていた。そこでここでも、フェムト秒レーザが標準的に用いられるようになった。フェムト秒レーザの初期の用途としてはその他に、プラチナやインジウムなどの、貴金属でできた薄肉チューブ（約40μm）から、薄いX線マーカーバンドを切り取る処理があった。

現在、フェムト秒レーザ装置は、ますます利用が増加しているニチノール（伸縮性に非常に優れた金属）でできた、ステントや人工弁用のスキャホールドなど、あらゆる種類の医療器具材料に対して使われている。かなりの労力を要するバリ取りや電気研磨の作業が減り、それに伴って、歩留まりが向上して廃棄ニチノールが減ったことにより、全体的なコストが低下したことが、その直接的な要因である。フェムト秒レーザでは、ファイバレーザにおいてHAZを制御するために適用される湿式切断も不要である。最新式のフェムト秒レーザは、出力が高いため、より厚みのあるデバイスの加工が可能である。その例としては、動脈ステントよりも厚みが必要な末梢静脈ステントや、人工心臓弁フレーム（壁の厚みは500 ～ 700μm）がある。

医療器具の受託製造：ファイバレーザかフェムト秒レーザか、その両方か

フェムト秒レーザ切断は、医療器具市場において急速に成長しており、新しい装置の導入を現在検討しているすべてのユーザーにとっての最大の疑問はおそらく、フェムト秒レーザとファイバレーザのどちらを選択するかである。ファイバレーザに軍配が上がる主要なメリットとして残っているのは、出力が高いために、より高速な切断と、より厚みのある部品の切断が可能なことである。しかし、薄型部品に対しては、繰り返し周波数を引き下げて熱ダメージの蓄積を防ぐことが必要になることから、出力と速度のメリットは低くなる場合が多い。つまり、どの種類のレーザが最適であるかは、具体的な用途に依存するということになる。また、単一のデバイスにおいても、ファイバレーザのほうがフェムト秒レーザよりも経済的に切断できる箇所と、その逆の箇所が存在する可能性がある。

医療器具切断に対して現在提供されている最新レーザ装置が、フェムト秒レーザかファイバレーザかで選択できたり、両者のハイブリッドオプションとして提供されていたりするのは、そのためである。そのような装置の一例が、コヒレント社の「StarCut Tube」シリーズである。この製品は、単一デバイスの切断中でも、ユーザーがソフ

トウエアによってレーザタイプを切り替えることが可能で、生産の費用対効果を最大限に高められるようになっている。

システム事例

米モーションダイナミクス社（Motion Dynamics）は、カスタムマイクロスプリング、医療用コイル、医療器具用ワイヤコンポーネントを専門とする受託製造企業である。神経血管内治療用の複雑なアセンブリに特に力を入れており、ステアラブルカテーテルデバイスなどの用途を対象とした、高品質ワイヤ（特に「プルワイヤ」アセンブリ）の設計、製造、アセンブリを手掛けている。

同社は数年前から、レーザ切断技術（**図3**）と、フェムト秒レーザを搭載した装置（コヒレント社のStarCut Tube）を使用している。ここ数年で顧客需要が高まったことを受けて、2台目の装置を購入することになり、同社の社長を務めるクリス・ウィザム氏（Chris Witham）によると、「最大限の多用途性と実用性を求めて」、フェムト秒レーザとファイバレーザの両方を搭載するハイブリッドモデルを選択したという。

これらの装置は、ステンレス鋼、純金、プラチナ、ニチノールなど、あらゆる種類の金属に対して、同等に高い性能を示すと、同氏は述べている。

フェムト秒レーザ加工のメリットを現在享受している、その他の重要な用途は、ウエハダイシングと有機ELパネル切断である。興味深い用途としては、高級スイス時計の微小部品の製作がある。医療器具は一般的に、管状の材料から作成されるが、これらの時計部品の多くは、この用途向けに最適化された装置を使って、平板から切り出されるという。

図4　グレードAのマーキング品質を必要とする医療分野の用途を対象に、銅基材上にオンザフライでマーキングされた800μmのマイクロコード。

スイスのテクノカット社（TechnoCut）は、かなり早期にフェムト秒レーザ技術を導入した企業である。同社は2005年に、同国を象徴する時計業界向けの微小部品の受託製造に、レーザ技術を採用することを目的として設立され、主にレーザ切断とエングレービングを手掛けている（**図4**）。同社の共同創設者で技術ディレクターのジュリアン・モンタヴォン氏（Julien Montavon）は、同氏のチームがフェムト秒レーザを選択した理由は、その多用途性にあったとしている。同氏によると、「時計業界では、非常に幅広い種類の材料が使用」されており、例えば内部部品は、真ちゅう、銅合金、鋼鉄などで製造されている。時計の文字盤と針には、「美的魅力と、消費者が認識するブランドの価値と独自性を高めるために、あらゆる種類の金属や『特殊な』非金属」が使われる可能性があるという。同氏はその例として、セラミック、カーボンファイバ、マザーオブパール、その他さまざまな貴金属を挙げた。

そのすべてがフェムト秒レーザで簡単に切断可能で、タンブラー研磨などの後処理工程は通常不要である。モンタヴォン氏によると、テクノカット社は現在、4台のフェムト秒レーザ切断装置を業務に利用しているという。

フェムト秒レーザ加工は現在、産業用レーザ市場におけるシェアを急速に伸ばしている。独特の特長を備えたこれらのレーザのメリットは、古くから知られているが、最近になって全体的なコストが改善されたことと、出力が高くなったことにより、数多くの重要で多様な切断及び加工用途のレーザとして、フェムト秒レーザが選択されるようになっている。

著者紹介
ローランド・ウェルツライン（Roland Woelzlein）とトーマス・シュライナー（Thomas Schreiner）は、独コヒレント社（Coherent Munich GmbH & Co. KG）の製品ラインマネージャー。
e-mails: roland.woelzlein@coherent.com, thomas.schreiner@coherent.com
URL: www.coherent.com

LFWJ