商用化されている超短パルスレーザ技術：パート2－光学部品、システム、契約製造

ロナルド・D・シェーファー

超短パルスレーザの光学部品メーカー、システムメーカー、米国の契約製造業者について解説する。

本稿では、USP加工のレーザ以外の要素を取り上げる。特に、光学部品とビームデリバリシステム（BDS）は、ビームを対象物まで伝送し、その間のビームの成形と調整を行い、オペレータの安全を確保する。適切な光学部品とビームデリバリがなければ、レーザはただの「電球」となってしまうため、これはUSPレーザ加工の重要な要素である。

しかし、光学部品以外にも、システム統合には、モーション、ビジョン、ロボット、ソフトウエア、安全性など、他にも数多くの検討事項がある。USPレーザによる高精度加工では、そうしたすべての要素のハイエンドな統合も必要になる。ほんの数年前まで、多くの確立されたシステムインテグレータがUSPレーザシステムを構築したいと思わないか、構築した経験を持っていなかった。現在では、汎用的な用途または非常に特化した用途に向けて、レーザを統合する企業が多数存在する。最後に、レーザシステムを実際に使用することが、技術の推進と新規用途の開拓に不可欠である。そうした状況を包括的にとらえるために、USPレーザ加工サービスを提供する複数の米国契約製造業者についても解説する。

光学部品

USPレーザのみを対象としているか、少なくともUSPレーザ市場を自社事業の大きな要素としてとらえている光学部品メーカーはほとんど存在しない。多くの「標準的な」光学部品メーカーがこの市場に従事していると主張しているが、そうした企業のウェブサイトにその事例を示す記載はなかった。要件が特に厳しい用途でなければ、「標準的な」光学部品で200fs以上のパルス幅に対応できるため（パルス幅が非常に短い場合は、光の広帯域特性の考察が必要になる）、マーケティング担当者はそれをUSP事業に従事している証拠と見なすのだろうと思う。本稿に示すのは、最近のカンファレンス／展示会または出版物で、この市場に従事していることを宣伝していた企業で、表の11の企業のうちの7社が筆者のアンケートに回答してくれた。USPレーザに特化した光学部品のほとんどが、ビームを非常に高速に動かすことによってレーザの利用可能な繰り返し周波数を上げるか、ビームを分割することによってより効率的に高いパルスエネルギーを使用するかのいずれかの方法を採用している。

表1は、USPレーザ用の光学部品を供給する代表的なメーカーを示したものである。この表からわかるように、USPレーザを事業の主要要素とするビジネスモデルを有する企業は存在しないが、表に掲載されているすべての企業が、この分野に良好な成長機会があると考えている。パートIのレーザのセクションと同様に、この表とそれ以降の表からいくつかの企業を取り上げて、詳しく解説していく。いくつかの企業は、複数の表に掲載されている。

パートIの原稿を提出してから、超短パルス（USP）レーザ分野に新たに参入した複数の企業に気づいた。展示会SPIE Photonics Westが開催される前の本稿執筆時点で、USP業界のいずれかの領域に関与する新しい企業を、今後間違いなく見つけることになると確信している。その新しいデータの一部は、将来の記事で必ず共有するつもりだが、今回のところは、ここで記述する情報をもって同業界の概観を示したいと思う。筆者が気づいていないという主な理由で、本稿では取り上げていない企業が存在することは承知しており、筆者のデータベースを更新できるように、情報提供はいつでも歓迎する。

光学部品の分野において、独リモ社（LIMO）は、効率の高いウエハベースの製造技術を有することから、ガラスシリンダーレンズの世界的な主要サプライヤーの1社である。同社は、あらゆるダイオードタイプと出力クラスを網羅する、高精度光学部品を専門としている。最大300mmのウエハサイズによって、ハイグレードガラスやクリスタルから数万枚ものレンズを、単一ステップの工程で、一貫した高い品質で製造することができる。同社は、ハ

表1　2019年USP光学部品メーカー

企業	パルス幅範囲	ターゲット業界	繰り返し周波数	製品	USPが事業に占める割合(%)	強み	今後の計画
仏カイラブズ社(Cailabs)	全範囲	すべて	最大2MHz	MPLCと反射性アキシコンレンズに基づくビームシェイパー	?	幅広い光学部品を開発/製造するディープテック企業	?
米ケンブリッジテクノロジー社(Cambridge、米ノヴァンタ社[Novanta]傘下)	全範囲	すべて?	すべて?	ガルバノスキャナ(CambridgeとArges)、ポリゴンスキャナ(Lincoln)	小さい?	ミラー、世界規模での事業展開、買収による多数の選択肢?	さらなる買収?
米ファロー社(Faro)	ほとんどのレーザに対応	すべて	すべて	ガルバノシステム、集光レンズ、ミラー、ベクトル制御	小さい?	3D計測で有名、新製品への事業拡大、顧客との密接な連携	2019年にBLINK搭載3D輪郭スキャンヘッドをリリースし、さらなる製品を近日発表予定
仏GLOフォトニクス社(GLO photonics)	全範囲を網羅するが主にUSPに注力	すべて	すべて	中空フォトニック結晶ファイバ(HC-PCF)など	かなり大きい?	HC-PCFに専念、USP業界において中空ファイバデリバリで有名	?
米IPGフォトニクス社(IPG Photonics)	全範囲	すべて	最大数十MHz	光スイッチ、ヘッド、ファイバ	小さいが増加中	垂直統合、世界規模、ファイバ技術と光学設計の多くの分野における明確な主導力	差別化を図ったファイバベース製品の製造を続行
独イエナオプティック社(Jenoptik)	連続波～フェムト秒	自動車、エレクトロニクス、医療、産業、半導体	すべて	レーザ、光学部品、光学システム、オプトエレクトロニクス	小さい	グローバルなワンストップのフォトニクスソリューション	?
独リモ社(LIMO)	ガウス以外を採用するものすべて	自動車、情報、ヘルス、先進製造、R&D	UV、SHG(最大10kHz)、IR(最大100MHz)	ウエハレベルROE、ダイオード用マイクロレンズ、光学システム	10%	特定用途/特定材料向けに調整されたビームプロファイルとレーザシステム、卓越した研磨技術	USP用ガラス微細光学部品、高機能ラインビームシステム、マルチチャンネルBDSの量産
独フォトニック・ツールズ社(Photonic Tools)	全範囲	先進製造	すべて	光ファイバBDS、光ケーブル、加工ヘッド	20%(将来的には50%)	先進製造用のBDSと加工ヘッドの設計	USPファイバビームデリバリの世界販売の推進
独レイレーズ社(Raylase)	全範囲	すべて	最大1MHz?	2/3軸ガルバノシステム、ポリゴンスキャナ、ハードウエア	小さい	20年以上にわたる事業経験、製品の社内開発	?
独スキャンラボ社(Scanlab)	全範囲	すべて	同期動作で800kHz、ポリゴンで1MHz	ガルバノシステムとポリゴンスキャナ(Next Scan)	10%未満	技術リソースと堅実に設計された製品、高速かつ高精度なビーム操作と制御	より高速で高精度なシステム
米スペクトラフィジックス社(Spectra-Physics)	DUV、ナノ秒、広帯域	すべて	1～10MHz	球面/非球面/シリンダー/平面ミラー、プリズム、偏光板、レンズ、BDS	小さい?	複雑な製造問題に対する光学部品、アセンブリ、システムのシングルソース	上階層への事業拡大—さらに高性能な光学部品とアセンブリ

イエンドな用途向けのカスタム光学部品を製造しており、USPレーザ用のマルチチャンネルビームデリバリシステムの開発に主に関心を寄せている。

独フォトニック・ツールズ社(Photonic Tools)は、物理学者、エンジニア、そして、レーザとビームデリバリの分野に携わり、これまでに企業を創設して運営してきた経験を持つ経営者で構成されている。同社は、市場と技術の課題を理解し、USPレーザ用のカスタム製品を提供している。同社の主力製品は超高速光ファイバケーブルだが、一連の新製品を開発中である。USP市場は、同社の今後の計画における主要な要素である。

独スキャンラボ社(Scanlab)は、約20年前に創業した企業で、現在は高速ビームモーションにおいて世界的に卓越した地位を確立している。幅広い波長、パルス幅、及び出力を網羅するスキャニングソリューションを提供している。同社のベルギーを拠点とするネクスト・スキャン・テクノロジー部門(Next Scan Technology)は、USPレーザ用の高速ポリゴンスキャニングに主に注力している。実際、ポリゴンスキャナとガルバノスキャナの両方を搭載する統合パッケージが、標準製品またはカスタム製品として購入可能だ。標準的

なガルバノスキャナは2Dと3Dで提供されている。実は、表に掲載されている独レイレーズ社（Raylase）も、同社と同じ母体の傘下にある。ただし両社は基本的に、それぞれ独立して運営されている。一般的に、ガルバノスキャナは、標準構成で100～150rad/s、カスタム構成で数百kHzに相当する1000～4000rad/sのビーム操作が可能である。ポリゴンスキャナのビーム操作は一般的に100ns程度で、約1～3MHzに相当する。ハイブリッド構成によって利用可能な繰り返し周波数を、最大10MHzまで引き上げることができる。

システム

表2は、USPシステムインテグレータ約20社のリストである。ほとんどが国際的なビジネスモデルを運用しつつ、米国でも事業を展開している。このうち12社がアンケートに回答してくれた。独3Dマイクロマック社（3D-Micromac）、米フォトマシーニング社（PhotoMachining）、蘭フォトンエナジー社（Photon Energy）など、ほぼすべての用途を網羅するUSPレーザシステムを取り扱っているが、レーザを製造していない企業も含まれている。レーザは、パートIに示したレーザメーカーから購入している。システムメーカーがどのレーザを選択するかは、レーザベンダーとの関係、コスト、性能、サポートなど、多数の要因に依存するが、おそらく最も重要なコンポーネントはレーザであり、それに基づいてアプリケーションが開発される。エンドユーザーは、製造する装置に可能であれば既知のレーザを搭載してリスクを最小限に抑えたいと考える。後で**表3**のところで触れるが、表に掲載されている複数のUSPレーザシステム供給メ

表2　2019年USPシステムインテグレータ

企業	パルス幅範囲	波長範囲	ビームデリバリ
独3Dマイクロマック社（3D-Micromac）	ナノ秒～フェムト秒	IR～UV	すべて
Altea	ナノ秒～フェムト秒（ほとんどがフェムト秒	IR～UV	社内開発のビームモジュール
米BOLDレーザオートメーション社（BOLD Laser Automation）	すべて	すべて	社内でカスタム開発
米クラークMXR社（Clark-MXR）	フェムト秒	IRと高調波	すべて
DMG森精機	ナノ秒～フェムト秒	IR？	5軸加工
リトアニアのイーレーザ社（e-Laser）	ナノ秒～フェムト秒	IR	ガルバノスキャナ、DOE、LIP
仏ESI社	ナノ秒～フェムト秒（？）	IRと高調波	ガルバノスキャナとテーブルの同期（GT同期）
スイスのエワーグ社（EWAG）	USP	IR？	ガルバノスキャナ
独GFH社	フェムト秒とピコ秒	IR？	5軸加工
スイスのGFマシニングソリューションズ社（GF Machining Solutions）と米マイクロルーション社（Microlution）	IRフェムト秒：300fs～10ps	IR	2D/3Dガルバノスキャナ
中国ハンズレーザ社（Han's Laser）	IRピコ秒	？	固定ビーム、ガルバノスキャナ
米IPGフォトニクス社	全範囲	IR	ファイバ、ガルバノスキャナ、固定
ベルギーのラセア社（Lasea）	ナノ秒～フェムト秒（ほとんどがフェムト秒）	IR+高調波	社内開発モジュール、スキャナなど
独ライトファブ社（LightFab）	250fs～10ps	IRと一部の緑色域	カスタム開発のガルバノスキャナ
独ムント社（Mundt）	全範囲	遠赤外～UV	固定ビームとガルバノスキャナ
ベルギーのオプテックレーザシステムズ社（Optec）	ナノ秒～フェムト秒	遠赤外～UV	マスク投影と焦点BDU
独オプテック社（Optek）	ナノ秒～フェムト秒	ほとんどIR？	多数の標準プラットフォーム
米フォトマシーニング社（PhotoMachining）	すべて（フェムト秒とピコ秒を含む）	遠赤外～UV	固定ビーム、ガルバノスキャナ
蘭フォトンエナジー社（Photon Energy）	ナノ秒とピコ秒	IR	ガルバノスキャナとステージモーション
独シェーパース社（Schepers）	すべて（フェムト秒とピコ秒を含む）	IRと高調波	8倍までのビーム分割
独トルンプ社（TRUMPF）	すべて（フェムト秒とピコ秒を含む）	遠赤外～UV	すべて（用途による）

制御プラットフォーム、ソフトウエア	ターゲット業界	USPが事業に占める割合(%)	強み	材料	今後の計画
Aerotech、Galil、社内開発ソフトウエア	半導体、太陽電池、医療機器、マイクロエレクトロニクス、ディスプレイなど	50～60%	UVエキシマ、USP、R2Rレーザソリューション	半導体、金属、ポリマー、ガラス、セラミック、複合材料	?
Aerotech、社内開発ソフトウエア	医療機器、航空宇宙、マイクロエレクトロニクスなど	高い	フェムト秒に関する20年の経験、長期にわたる顧客関係	すべて	100Wのfsレーザツール、並列処理、R2R、ポリゴンスキャナ、R&D
社内開発ソフトウエア	主にガラス加工	50%未満?	レーザ業界で著名な創業者	すべて(主にガラス加工)	?
?	すべて	100%	フェムト秒に関する30年以上にわたる経験	すべて	?
DMG	工作機械	小さい	グローバルな事業展開、経験年数、事業規模	PCD、CVD-D、CBN、タングステンカーバイド	付加製造
Aerotech、その他、社内開発ソフトウエア	医療機器、マイクロ流体工学、光学部品、LED	80%	リトアニアの光学部品メーカーとの緊密な関係	70%の透明材料(ガラス、石英、サファイア)	加工領域の拡大
社内開発ソフトウエア	PCB、半導体、SMT、材料加工	?	高精度、世界規模、堅牢性、高いROI	すべて?	?
?	工具製造、シャープニング	小さい	業界リーダー、ゼロから最終部品まで	カーバイドとPCD	スループットと分解能の向上?
?	自動車、医療、エレクトロニクス、繊維	小さいが成長中?	グローバルリーダー、USP装置のパイオニア	すべて(切断、穴あけ、ターニング、エングレービング)	?
Beckhoff製5軸CNC、社内開発ソフトウエア	自動車やエレクトロニクス向けなどの金型およびダイ	小さい?	工具、金型、ダイ市場における大きなシェア、多数の技術	金型やダイ関連のすべての金属。その他にはフェムト秒で対応	?
?、社内開発ソフトウエア	すべて	小さい?	ウェブ上のピコ秒マーキング、UVナノ秒切断、その他多数のプラットフォーム	ガラス、サファイア、セラミック、金属	英語のウェブサイトには記載がないが、間違いなくUSPに投資している
複数	すべて(特に医療機器とマイクロエレクトロニクス)	小さい	垂直統合、世界規模での事業展開、ファイバの業界リーダー	すべて	差別化を図ったファイバベース製品の製造
社内開発の装置とソフトウエア	すべて(高級品と製薬業界を含む)	80%	20年以上の経験に基づくUSPの知識、装置の製造	有毒でないものすべて	高出力フェムト秒の統合、R2R、ポリゴンスキャナ
Aerotech、社内開発ソフトウエア	透明材料を使用するすべての業界	100%	SLE加工というユニークでニッチな分野に専念	溶融シリカ、一部のサファイア。その他は調査中	より多くの材料への対応、加工の高速化など
?	すべて	小さい	多くのレーザタイプに対する標準プラットフォーム	すべて	?
Aerotech、社内開発ソフトウエア	医療機器とマイクロエレクトロニクス	50%	非熱レーザ加工における25年以上にわたる経験、社内専門技術	ポリマー、金属セラミック、薄膜、ガラス、半導体、金属	?
?	すべて(特に光ファイバ)	小さい	非上場、完全独立体制、顧客重視	すべて	?
Galil、社内開発ソフトウエア	すべて(医療機器と航空宇宙を含む)	90%	ジョブショップにおける概念実証、20年以上にわたる経験	すべて	2019年にソフトウエアにおける無限視野を実現
Aerotech、社内開発ソフトウエア	医療機器、自動車、ディスプレイ、マイクロエレクトロニクス	?	カスタマイズと、特定のニッチ分野への注力	すべて(特にステンレス鋼とガラス)	スループットの向上
?	プリントとエングレービング業界	小さい?	1991年からレーザを使用する業界リーダー	プリント業界向けのエングレービング装置	分解能と速度の向上?
社内開発	すべて(特にマルチシステム販売に関心)	小さい	世界規模の大企業、優れたエンジニアリング力	製造環境におけるすべての材料	新しい製造領域へとレーザの適用範囲を拡大する取り組みを続行

表3　2019年米国のUSP契約製造業者

企業	パルス幅範囲	波長範囲	ビームデリバリ	制御プラットフォーム、ソフトウエア	ターゲット業界
クラークMXR社	150～250fs	IRと高調波	処理による	?	フェムト秒を使用するすべての業界
*英ジョンソン・マッセイ社（Johnson Matthey）	USP	IR～UV	固定ビームとガルバノスキャナ	複数?	医療機器とコンポーネント
ラセア社	ナノ秒～フェムト秒（ほとんどがフェムト秒）	IR	LS-Scanのガルバノスキャナ	社内開発の装置とソフトウエア	すべて（高級品と製薬業界を含む）
米レーザライト社（Laser Light）	ナノ秒～ピコ秒	1μm～248nm	固定ビームとガルバノスキャナ	?	医療、ライフサイエンス、マイクロエレクトロニクス
米レーザロッド社（Laserrod）	ナノ秒～フェムト秒	IR～UV	2/3軸ガルバノスキャナ、固定／フライングビーム	Delta Tau（過去には他のものも試用）	すべて
*米ノーマン・ノーブル社（Norman Noble）	ナノ秒～フェムト秒	IR～UV	固定ビームとガルバノスキャナ	複数?	医療機器、航空宇宙、その他
*米オーケー・インダストリーズ社（OKAY Industries）	ピコ秒	IR	ガルバノスキャナ	TRUMPF	医療用マーキングのみ
フォトマシーニング社	マイクロ秒～フェムト秒	10μm～248nm	固定ビームとガルバノスキャナ	Galil、社内開発	すべて
*米パルス・テクノロジー社（Pulse Technology）	USP	IR ?	4軸加工	複数?	医療機器、レーザ表面再構成
*米スペクトラリティクス社（Spectralytics）	ナノ秒～フェムト秒	1μm～248nm	固定ビーム、ガルバノスキャナ、ファイバ	Aerotech、社内開発	医療
*米レゾネティクス社（Resonetics）	マイクロ秒～フェムト秒	IR～UV	固定とガルバノスキャナ	?	医療

ーカーが、契約製造も行っているか、少なくとも自社のジョブショップやアプリケーションラボでプロセス開発を行っている。そうしたラボテストに使用されたレーザが、他のものを使用する正当な理由がない限り、おそらくは採用されることになる。

米クラークMXR社（Clark-MXR）、米IPGフォトニクス社（IPG Photonics）、独トルンプ社（TRUMPF）などの企業は、スタンドアロンのレーザとすべてが統合されたレーザシステムを提供している。表に掲載されている企業の中には、常に「レーザ」メーカーだった企業もあるが、トルンプ社、スイスのGFマシニングソリューションズ社（GF Machining Solutions）、DMG森精機など、レーザ以外の事業に古くから従事し、かなりの地位を確立している企業もある。ほとんどのUSPシステム供給メーカーが、数多くの用途や材料に対応するが、かなり対象を絞っている企業もわずかながら存在する。ガラス（または、熱膨張率が低く、硬くて壊れやすい任意の材料）は、加工するには非常に硬く、それほど多くの材料除去を必要としない微細デバイス上では特に、USPレーザによる加工に非常に適した材料である。独ライトファブ社（LightFab）、リトアニアのイーレーザ社（e-Laser）、米BOLDレーザオートメーション社（BOLD Laser Automatio）はすべて、主にこの材料に専念している。

いくつかの企業を特に取り上げていこう。トルンプ社はドイツを拠点に数十億ドルの売上高を誇る企業で、数十年間にわたって工作機械事業に携わってきた。レーザ部門だけで売上高は10億ドルを超える。同社はレーザ供給の他（社内開発のもの以外に、独アンフォス社[Amphos]の買収による製品が存在する）、システム構築も行っている。トルンプ社の最大の関心は、1種類のシステム、または何らかの標準構

USPが事業に占める割合(%)	強み	材料	今後の計画
100%	フェムト秒に取り組んできた30年以上にわたる経験	すべて	?
小さい	大規模企業の傘下にある	原則としてすべて、(主に医療)	よりクリーンで健康的な世界
80%	20年以上の経験に基づくUSPの知識、装置の製造	有毒でないものすべて	高出力フェムト秒の統合、R2R、ポリゴンスキャナ
10%未満	30年以上にわたる業務経験、98%の顧客納期遵守率	すべて	?
40%で増加中	長年にわたる経験、幅広いレーザの選択肢	すべて	アプリケーションに特化したUSPレーザの追加
小さい	世界最大規模の医療機器契約製造業者	原則としてすべて、(主に医療と航空宇宙)	顧客の目標を理解し、成功へ導く
小さい	さらなる付加価値を提供可能	90%以上が304ステンレス鋼	USPの取り扱いを始めたばかり、マーキングを増やす
90%	ラボで顧客とともにプロセス開発を行うサービスを提供	厚さ1mm未満のすべての材料	より高いパルスエネルギーのフェムト秒レーザーを使用
小さい	25年以上にわたる経験、医療機器に注力	医療用刺激電極(表面)	?
20%未満?	多くの波長とプラットフォーム、品質	医療機器製造用のすべての材料	より多くのシステムとテーパーフリー切断
20%未満?	30年以上にわたる業務経験、拠点が多い	医療機器製造用のすべての材料	更なる買収と付加価値の拡大

成のシステムを大量に販売可能な、システム販売にある。大規模企業によるカスタマイズは、一般的に望ましくなく、コストがかかる。トルンプ社は広範囲に及ぶアプリケーション知識を持つが、レーザ部門の中だけで見ても、USPレーザが占める割合はまだかなり小さい。トルンプ社のシステムとレーザは、非常に信頼性が高く、スループットが高い傾向にあるが、価格的にも高額である。GFマシニングソリューションズ社も、長い歴史を持つ大規模企業で、スイスを拠点に工作機械業界に古くから携わっている。同社のターゲット業界は、自動車やエレクトロニクス向けの工具、金型、ダイで、これらの分野に関する幅広いアプリケーション知識を有する。USPレーザツールは社内で開発している他、米マイクロルーション社(Microlution)の買収によって拡充されてもいる。現在は、ほとんど金属を対象としているが、他の材料にも対応可能だ。同社の加工機は、5軸加工に対応し、多軸高精度ヘッドを搭載する。

3Dマイクロマック社は、高精度レーザシステム事業で非常に高い競争力を保持する企業で、任意のパルス幅と波長に対応するレーザツールを製造している。同社は、半導体、太陽電池、医療機器、マイクロエレクトロニクス、ディスプレイ業界向けの多数の「標準」プラットフォームを保有している。部品処理を含むカスタムシステムも製造している。レーザツールにおいて、部品の頻繁な位置決めは、実際の加工よりも時間と労力を要する処理であるため、部品処理は重要な要素となる場合もある。3Dマイクロマック社は世界規模で事業を展開しており、現時点で事業全体の50%以上をUSP加工が占めている。ライトファブ社は、ガラスとガラスに似た材料の選択レーザエッチング(Selective Laser Etching:SLE)のみにほぼ専念する企業である。SLE加工は、レーザエッチング後の工程が必要であるという点において、「純粋な」レーザ加工ではないが、他のどの方法でも達成できない形状を実現することが可能だ。その加工は、3Dプリントを逆にしたような処理で、他の方法では壊れやすい透明材料(溶融シリカ、サファイア)と、パルス幅が約500fs～10psの間で可変で、各用途に合わせて正しく設定可能なレーザを必要とする。

ジョブショップ

表3には、約10社のジョブショップ(契約製造業者と呼んでもよい)が示されている。いずれの企業も米国を拠点とするか、少なくともそう主張しており、USPレーザ加工に従事している。アンケートに回答してくれたのはこのうちの7社で、情報を提供できないと回答した企業がそれ以外に2社あった。4つのカテゴリーでアンケートを求めたすべての企業の中で、何も回答してくれなかった企業は多数存在したが、情報を提供できないと返信してくれた企業は、このカテゴリーのこの2社だけだった。しかしこの2社についても、

回答が得られなかった企業とともにそのウェブサイトに基づいて、情報を表に掲載した。この表に掲載されている企業のうち、USPのみを専門に扱っているのはクラークMXR社のみである。ベルギーのラセア社（Lasea）、米レーザライト・テクノロジーズ社（Laser Light Technologies）、フォトマシーニング社、米レーザロッド・テクノロジーズ社（Laserrod Technologies）の4社は、主に「レーザ」ショップである。英ジョンソン・マッセイ社（Johnson Matthey）、米ノーマン・ノーブル社（Norman Noble）、米オーケー・インダストリーズ社（OKAY Industries）、米パルス・テクノロジー社（Pulse Technology）の4社は、レーザを扱ってはいるが、レーザが事業に占める割合は小さく、ましてやUSPレーザの割合はさらに小さい。米レゾネティクス社（Resonetics）と米スペクトラリティクス社（Spectralytics）の2社は主にレーザショップだが、はるかに大きな母体の傘下にある。より大きな母体の傘下にある企業と、レーザ加工が事業全体の小さな割合しか占めない企業には、アスタリスク（*）を付けた。筆者が興味深く思ったのは、すべての企業が医療機器業界に従事しており、中にはそれだけを専門に扱う企業もあることだ。米国には現在、USP分野への参入を検討しているか、USPレーザを既に保有しているが業務は始めたばかりというジョブショップが他にも多数存在し、ほぼ毎月のように新規ショップがこのリストに追加されるため、この表は現時点の代表的なサンプルにしかすぎない。

筆者は、20年以上にわたってフォトマシーニング社のパートナーを務めていたため、同社を熟知している。同社はレーザ加工とシステム統合に完全に専念しており、紫外（UV）域の248nmから赤外域の10μmまでの波長範囲で、マイクロ秒からフェムト秒のパルス幅のレーザを、ジョブショップに取り揃えている。従来はUVや高分解能の加工を多数手掛けていたが、この5年間でほぼUSPに移行を果たした。同社は、アプリケーションラボで顧客とともにプロセス開発を行うサービスを提供している。スペクトラリティクス社は、主にレーザ加工を行う企業として創業したが、数年前に米クレテックス社（Cretex）の傘下に入った。クレテックス社は、数十年間にわたってコンクリート事業に従事してきたが、数年前に医療分野への多角化を決断した。スペクトラリティクス社は、「姉妹」企業から多数の業務を受注し、複数の拠点を構えるが、同社自体は基本的にレーザ企業である。同社施設の一部は訪問者に公開されているが、大部分は非公開となっている。

オーケー・インダストリーズ社は、社内で多くの加工に対応し、そのほとんどが医療用金属を対象としている。実際、同社の業務の約90%が、SUS304のステンレス鋼に対するものである。同社は、ステントなどに対してフェムト秒レーザを検討したこともあったが、適切に扱えば、ファイバレーザによってほぼ同等の結果が、より低コストではるかに高速に得られることを発見した。そこで同社は、ステンレス鋼のブラックマーキングをほぼ専門的に行っているが、USPレーザの取り扱いに慣れていくに従い、それを他の用途にも適用できる可能性がある。レーザは同社事業の大きな割合を占めるが、同社は基本的にはレーザショップではない。

ノーマン・ノーブル社も基本的にはレーザショップではないが、レーザは同社事業の大きな割合を占める。多数のレーザとその他の製造技術を保有し、主に医療機器のラピッドプロトタイピング、プロセス開発、技術評価、検証、製造を行っている。同社は、デバイス全体、コンポーネント、サブコンポーネントの量産も手掛けている。

結論

本稿の表のデータからわかるように、USPレーザ市場は、活気に満ちた成長中の業界部門である。この技術を適切に適用するには素晴らしいレーザが必要だが、それだけでは十分ではない。ピーク性能のカギを握るのは、最適化された光学部品の使用を含むシステム統合であり、同業界を実際に推進するのは、アプリケーション開発である。本稿で紹介した企業の中には、USPレーザ、光学部品、システム、またはアプリケーションをほぼ専門的に扱う企業もあれば、レーザ（特にUSPレーザ）が現時点では事業のほんの一部にしかすぎない企業もある。しかし、それらの大規模企業が、USP分野に素晴らしい未来があると考えているのは間違いない。そうでなければ投資するはずがないからだ。

レーザ市場全般については、レーザの価格が低下し、製造数が増加するにつれて、多くの現行用途において、ピコ秒レーザがナノ秒レーザに置き換わるのはほぼ間違いない。市場全体に対する影響はそれほど大きくないかもしれないが、それでも、コストの低下とアプリケーション知識の増加は、幅広い新規市場分野を切り拓くことになるだろう。

著者紹介
ロナルド・D・シェーファー博士（RONALD D. SCHAEFFER, Ph.D.）は、Industrial Laser Solutions誌編集顧問で、米HHフォトニクス社（HH Photonics）の最高経営責任者（CEO）。
e-mail: rschaeffer072657@gmail.com

ILSJ