「ファイバレーザー加工の最前線」特集号によせて

塚本 雅裕

大阪大学 接合科学研究所 (〒567-0047 大阪府茨木市美穂ヶ丘11-1)

Preface to Special Issue on Present and Future of Fiber Laser Processing

Masahiro TSUKAMOTO

Joining and Welding Research Institute, Osaka University, 11-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka 567-0047

1. はじめに

— 二つのレーザー加工分野 —

約50年前にレーザー(メーザ)が発明され、出力の増大とともにレーザーを加工に使用しようとする試みが約40年前に始まった。そこで問題となったのが熱伝導である。加工対象物が金属の場合、レーザー光の電界により自由電子が振動し、それが格子振動を引き起こす。次の段階ではレーザー照射領域(レーザー光侵入領域)において溶融・蒸発が生じ加工が成立するはずであった。しかしながら溶融・蒸発は起こらなかった。レーザー照射領域外へと格子振動(熱)が伝わってしまったからである。つまり、熱が周囲に逃げてしまい加工部が融点に達しなかったのである。ここで二つの考え方が登場した。熱は逃げていても良い。逃げる熱よりも大量のエネルギーを投入し、溶融・蒸発現象をもたらし。このためには、レーザーの出力を増加(増幅)させる方法が考えられた。もう一つの考え方は、熱が逃げる前、つまり、非常に短い時間内に大量のエネルギーを投入する。熱が逃げる前に瞬間的に溶融蒸発現象を引き起こす。このためには、レーザー光のエネルギーを短い時間内に注入(圧縮)し、光ピーク出力を増加させる方法が提案された。前者はCW(連続波)レーザー加工分野の誕生であり、後者がパルスレーザー加工分野の誕生である。(ここで言うパルスは、ナノ秒オーダー以下のパルス幅を示す。)Fig. 1に二つのレーザー加工分野の流れについて示した。別の言い方をすれば、前者が高エネルギー密度熱源加工(熱加工)分野であり、後者がアブレーション加工分野である。CWレーザー加工分野は溶接・切断という目的がはっきりとしていたので、産業界がレーザーの大システム化を推進した。いち早く登場したのが、大出力CO₂レーザーであった。次にYAGレーザーが登場した。YAGレーザーの波長が1.06 μmであることからファイバ伝送ができるようになり、レーザーシステム室と加工室を分けることができ、さらにレーザーヘッド(集光光学系)のロボットアームへの装着が容易になった。半導体レーザーはエミッターからの出力が増大するととも

にスタッキング技術が向上し、大出力化へと進んだ。これにともない半導体レーザー励起YAGレーザーと直接加工を目的とした半導体レーザーシステムが登場した。そして、その半導体レーザーを基幹技術としたディスクレーザーおよびファイバレーザーの誕生を迎えることとなる。これらの流れは、前述したように産業界において溶接・切断という明確な目的の下、進められてきた。研究開発の成果については、溶接学会及びレーザー熱加工研究会(現高温学会内レーザー加工学会)で発表されてきた。一方のパルスレーザー加工分野では、アブレーション現象を利用した応用研究が、大学・研究機関を中心に進められた。パルス幅について言うとQスイッチ技術の開発からナノ秒が¹⁾、モードロックおよびチャープドパルス増幅(CPA)技術の開発から^{2,3)} 20世紀末には、パルス幅100 fs、繰り返し1 kHz、平均出力1 Wクラスのパルスレーザーが市販されるまでになった。さらに発振器部及び増幅器部の殆どがファイバから構成されるフェムト秒ファイバレーザーも開発されている。理化学用レーザーとして考えられてきたパルスレーザーではあるが、近年、産業用を目指した開発が進められている。パルスレーザー加工分野の研究成果発表の場は、応用物理学会及びレーザー学会が中心である。CWレーザー加工とパルスレーザー加工の二つの分野(学会)は、殆ど交流のないまま今日を迎えている。

Fig. 1 Two fields of laser materials processing.

2. ものづくり技術分野におけるレーザー開発 — 商品力 —

ここ数年の間に、ものづくり技術分野で、ファイバレーザーが急速に普及した。つまり、「よく売れた」ということである。これは、ファイバレーザーが他の固体レーザーに比べ、高い商品力を有していることを示す。ファイバレーザーの商品力が高い要因は、大出力化と高集光性を同時に満たした点にある。しかしこれだけではない。産業用レーザーに必要な要素(項目)を有していることも大きく寄与している。産業用レーザーに求められる3項目は、フレンドリー(Friendly)、ECO(Ecology-conscious)、アフォーダブル(Affordable)である。Fig. 2に示す。日本の学术界ではあまり議論されない評価項目である。フレンドリーは、ユーザーフレンドリーのことで、高操作性、高安定性、高ロバスト性、コンパクト、そしてメンテナンスフリーである。ECOは、省エネルギーつまり電気から光への変換が高効率であること。さらに高集光性であること。必要なところに必要なエネルギーを投入できる。余分なエネルギーが不要となるとともに飛散物や熱影響部を最小化することができる。コストの低減とともに環境にもやさしい。アフォーダブルは、手ごろな価格という意味である。チープ(cheap)なレーザーという意味ではない。産業界において、レーザーの価格は「高額」である。レーザーによって、新たな加工領域を開拓できる可能性が高いのはわかるが、高額なので挑戦ができないという声をよく聞く。つまりアフォーダブルでないためにチャンスを逃しているのである。Fig. 2に示したようにファイバレーザーは、フレンドリーとECOにおいて高い位置にある。

3. おわりに

短波長化、短パルス化、高ピーク出力化などでトップデータを出すようなレーザー開発は、もちろん重要で必要である。新しいレーザーから新しい応用、市場が生まれる可能性があるからである。ものづくり技術分野においては、別の見方、特に市場からレーザー開発を見ることも大切である。欧米メーカーが開発したファイバレーザーは、出力でCW固体レーザーの新記録を出すとともに

Fig. 2 Important three factors for “MONODUKURI”, materials processing in industry.

ものづくり技術分野において重要なフレンドリーとECOの点で優位性を示した。国内メーカーもファイバレーザー開発に着手し、製品化しているが、商品力をつけるのはこれからである。欧米メーカーに先行された理由はいくつかある。Fig. 1に示した二つのレーザー加工分野が殆ど交流の無かったこともその一つであるし、Fig. 2に示した項目をあまり重要視してこなかった点も原因の一つであろう。それらの原因を明らかにするとともに、日本のものづくり技術分野に貢献するためのレーザー開発、次の一手を提案するために一昨年、溶接学会の研究会制度「アドホック研究会」から活動資金をいただき、40歳前後の研究者を中心に学会横断の研究会「ファイバレーザーSMART加工研究会」を発足した。さらに本年度は、公的資金をいただき調査研究「高品質化した加工用レーザーと開拓される新加工領域に関する調査研究」を推進している。日本のものづくり技術分野発展のための次の一手は、長期的視野を持って考えなければならない。本特集号によって学术界および産業界の皆様のさらなるご協力をいただければ幸いである。

参考文献

- 1) F. J. McClung and R. W. Hellworth: J. Appl. Phys. **33** (1962) 828.
- 2) P. Maine, D. Strickland, and G. Mourou: Opt. Comm **56** (1985) 219.
- 3) C. Chalearb, V. Detalle, S. Kocon, J. L. Lacour, C. Nouvellon, Pmauchien, B. Salle, and A. Semerok: Proc. SPIE Laser Surface Processing **3404** (1998) 432.