

パルス動作の高平均パワーレーザー

金邊 忠[†]

High Average Power Laser of the Pulse Operation

Tadashi KANABE[†]

レーザーの出力について少し考えてみたい。レーザー出力の指標として、まず、レーザーエネルギー[J]、レーザーパワー[W]が思いつく。特にレーザーパワーは、パルス動作の場合、レーザーの短いパルス幅に由来する1つのレーザーパルスのピークパワー($[W = J/s]$: エネルギー [J]/パルス幅 [s])と、繰り返し運転のレーザー平均パワーの2つの動作条件での指標パラメータが存在する。そのパラメータが一方向的に記載され、他の分野の人から誤解を招くことをよく経験する。そう、レーザーパルスのピークパワーのメガワット (MW)、ギガワット (GW)、テラワット (TW) が、レーザーの連続波CW動作のパワーや定常繰り返しレーザーの平均パワーとして誤解されるのである。まあその誤解の話は一旦端に置いておくとして、このレーザーの平均パワーが検討の本題である。

レーザー核融合研究用のレーザーは、'70年代から急速に大出力化して、米国LLNLのNIFのブルー光1.875 MJ (1053 nm: 4 MJ)まで開発されている。'70年代は100 JかkJレベルのレーザー出力であったことを考えると 10^4 倍となり、10年で10倍のペースでレーザーエネルギーの大出力化を達成したことになる。一方、ピークパワーは、'80年代中期に開発されたCPA技術によってフェムト秒領域の超短パルスレーザーの発生が可能となり、ギガワット (GW) が、ペッタワット (PW) 級のレーザー開発が急速に進み、エクサワット (EW) 級のレーザーの開発に移行している。'80年代から 10^6 倍から 10^8 倍の高出力化を達成している。産業用主体でのCW動作の平均パワーのレーザーも、半導体レーザー励起DPSSLのファイバレーザーの出現で、100 kW以上の平均パワーを達成して、大躍進を続けている。

一方、パルス動作のレーザー装置の平均パワーの向上はいかにいかなるものであろうか？特に、10 Hzから100 Hz程度の低繰り返しレーザーは、100 WからkW程度で、ここ数十年での顕著なパワー向上は成されていない。この原因として、ロッド型増幅器を主流に用いてきたことによって、口径(開口)の極端な拡大化ができていないことがある。現状のパルス動作のレーザー装置は、レーザー損傷閾値で上限フルエンス J/cm^2 が決まる。主流の増幅器のロッド型の口径は1 cm程度(繰り返し動作対応での条件)が上限で、レーザーの開口面積は $1 cm^2$ 程度である。レーザー損傷閾値は $10 J/cm^2$ (1ns)程度であり、これを考慮すると、レーザーのパルスエネルギーは $10 J/pulse$ 程度が上限となり、平均パワーは、10 Hzで100 W、100 Hzで1 kWとなり、これで平均パワーが頭打ちとなっている。ロッド型増幅器は、歴史が長く、利得分布や、熱光学の設計技術が確立されており、冷却も循環型の水冷装置で容易に対応でき、安定で低コストなので、システムとして利用し易い特長がある。現在は、総合的にロッド型増幅器を上回る増幅器構造が無いために、平均パワーの向上ができていないとも言える。

上記に記した核融合用レーザーのレーザー出力の向上の達成は、主要因として、ロッド型増幅器からディスク型増幅器への転換にあった。ディスク型増幅器によって、制限となるレーザー損傷閾値を極端に向上できずとも、レーザーの大口径化で、レーザーの開口面積を増大させることで、大出力化を達成したのである。現在、ヨーロッパELIプロジェクト(Czech Republic)で、米国LLNLが開発中の5 cm級開口、出力エネルギー200 J、繰り返し10 HzのHAPLS(High Repetition Rate Advanced Petawatt Laser System)装置がある。HAPLSは、米国LLNLとして、NIF後の核融合エネルギー実証炉用のLIFE(MJ, 16 Hz: 数十 MW)のレーザーモジュール(20 cm級開口、kJモジュール)開発としての位置づけがあり、ディスク型増幅器を採用している。このディスク型増幅器は、冷却能力を高めるため、ディスクの厚みを分割化して薄くして、その間に、冷却媒質として高速のヘリウムガスを流す構造である。高価で、漏れやすいヘリウムガスを0.2マッハ程度の高速で、分割化されたディスクガラスに流し冷却する必要がある。光学・工学的にも高度な技術を必要とするが、本年前段階状態で80 J/3.3 Hzの運転を達成している。今後のHAPLSの開発に期待したいものである。

この50年間、特殊な用途以外では、ロッド型増幅器が当たり前の構成で、製造メーカーにそれ以外での設計は無かった。しかし今後のレーザー装置の平均パワーの向上には、レーザー口径が大きくできる増幅器構造が必要不可欠であ

[†] 福井大学 学術研究院 工学系部門 電気・電子工学講座 (〒910-8507 福井市文京3-9-1)

[†] Electrical and Electronics Engineering, Faculty of Engineering, University of Fukui, 3-9-1 Bunkyo, Fukui 910-8507

る。ロッド型増幅器からの脱皮の時代である。しかし現時点で、ディスク型、スラブ型、アクティブミラー型以外の、レーザー増幅器は、思いつかない状況である。新時代のレーザー産業には、構造的に安定で、低コスト、簡便で革新的な新しい励起・冷却構造の増幅器搭載レーザーシステムが望まれているのである。今後、これまでに核融合用に開発された大口径ディスク増幅器、真空スペーシャルフィルタ、像転送方式、大口径ポッケルスセル、大口径ファラデーローテーター等のレーザー技術は、レーザー産業に役に立つのであろうか。