

< 1 > 超高密度フォトン利用実証レーザーシステムの開発

< 1 - 1 > LD を用いた高強度フェムト秒レーザーの開発

サブテーマリーダー：光科学技術研究振興財団 コア研究室 研究リーダー 岡田康光

サブテーマ：< 1 - 1 - c > 高性能化の研究

小テーマ：高機能 LD 電源の開発

研究従事者：光科学技術研究振興財団 コア研究室 研究員 瀧口義浩、柳沢 靖

1. はじめに

超高密度フォトンの産業化において、半導体レーザー（LD）を用いることは、レーザー装置の高効率化、小型化、そして高機能化には不可欠である。特に、産業用テラワットレーザーでは、装置全体が堅牢、小型で軽量であり、かつ環境への負荷の少ないシステムが要求される。その際の投入電力の高効率でのレーザー光への変換には、まずは電源が高い変換効率を有することが不可欠である。投入する電力に対して熱として放出される損失が大きくなるとは環境への負荷が大きくなるため、LDの駆動用に変換効率が90%以上にしないといけない。さらに、電源としての操作性を高めるために、コンピュータから制御が可能になることも必要である。本サブテーマでは、LD駆動電源を小型・高性能化・高効率化するために、電源配線機構や電源冷却機構の再検討、さらには、そのコンピュータ接続における制御性の向上などを目指して研究を行なった。

2. 電源の熱損失の低減

電源の性能を向上させる方法としては、いくつかの重要なファクターがある。まずは、電源内での配線における抵抗を極力下げることがあげられる。電源内の配線における損失はそのまま変換効率に影響を与える。次に、このような抵抗によって発生する熱は、より電気抵抗を高める働きをするため、発生した熱をより早く排気する必要がある。この2つの大きなファクターをどうやって改善するかが電源における高効率化への挑戦といえる。フェーズIでは、伝送抵抗を低減させるために、まずは、空中配線を減らし、銅版を伝送用配線に用いた基板内配線を行い、変換効率を90%以上とすることができた。



図1 小型化した電源内部の構成

図1には、このようにして開発した電源の内部を示している。電源の内部は、トランスとコンデンサーの塊であり、その間をいかに短く、太い配線材料で結ぶかがよい電源の設計になるかどうかを決める。図で示したように、コンデンサーやトランスやインダクター

を近接して配置し、その置き場所を最適化することで、配線の簡素化を行なった。さらに、基板内部に銅の厚板配線を用いることで、伝送損失を低減することに成功した。

次に、フェーズIIでは、これらの電源で発生した熱の除去特性を向上させるために、新規冷却技術、あるいは熱分散のための技術を導入し、熱による電力損失の増大を押さえ、高効率で大電流の流せる電源システムを組み上げた。

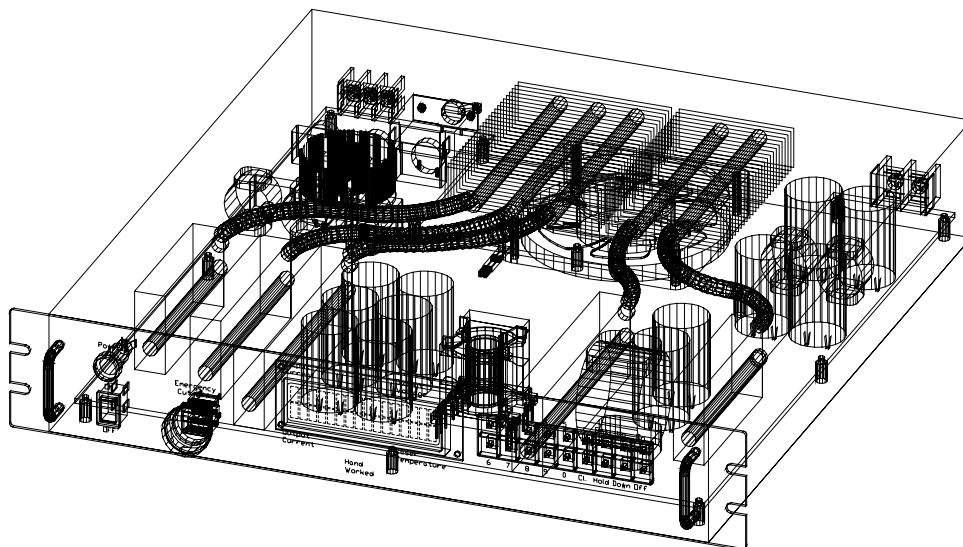


図2 高廃熱特性を目指した電源の基本設計

ここでは、本プロジェクトで並列して検討を行なったヒートパイプ技術を電源の熱除去ならびに、熱輸送に導入することで、電源内の廃熱効率を向上させることに成功し、最終的に変換効率を92%とすることに成功した。図2には、その設計過程で描いた構造設計図の例である。トランスや抵抗部における発熱を円筒状のヒートパイプで除熱し、これを後部に配置した放熱フィンと大型ファンで冷却し、廃熱を行なう方式を取っている。難しいのは、これらの構造と、上述の素子の配置を最適化しなくてはならない点である。さらに、電源において最も重要なのは、これらの素子の配置を行なった上で、雑音試験を行い、過剰な周波数雑音を発生しないシステムにすることが必要である。雑音の発生は、素子の配置を少し変えるだけで、大きく変化するものであり、設計・試作・評価を何度も繰り返して始めて、安定な電源を得ることになる。

また、<1-1-a>あるいは<1-1-b>で用いられている各種LDのインピーダンス特性を評価し、電源の最適化を検討していかねばならず、電源単独の設計を終えたあとは、LDを接続しての評価となる。LDは、光を発生するとはいうものの、抵抗とコンデンサーあるいはインダクタンスを等価回路とする電子回路である。よって、電源を接続した結果、雑音が増大する可能性もあり、電源の最適化には、多くの努力が必要であった。

3. コンピュータ・インターフェースの検討

USBやFire Wireと呼ばれる最近のコンピュータインターフェースの導入を検討し、より制御性の高い電源を開発することとした。フェーズIでは、まずは、高効率の電源の開発に主眼を置き、コンピュータ・インターフェースは、電源効率の向上を見ながら進めることとした。USB, Fire Wire, RS232C, GP-1Bなどの各種インターフェースを検討したが、その

なかで、USBが簡単なモジュール化されており、電源の相性が善く我々の目的にも対応すると考え、USB接続を選択した。フェーズIIでは、上記のように、ヒートパイプを用いた小型電源化の達成に基づき、このコンピュータ制御のためのUSB接続を可能とした。簡単なコマンド送信によって、電源電流の制御、電圧の上下などの操作を行なえるようにしたため、テラワットレーザーの立ち上げ時のLDの昇温状態などに合わせた駆動が可能となった。

4. 小型化

フェーズIで開発した電源は、電圧が40Vで電流が60Aの直流電源であり、その際、交流/直流変換効率が90%以上を達成した。この際の電源のサイズは50cm×60cm×20cm程度で、重量は40kgと重い。そこで、より軽量化を図るために、フェーズIIでは、直流出力80V、60Aを流せる小型電源で、効率が90%を越え93%のものを開発した。すなわち、開発した電源は、スイッチング方式の連続安定化電源で、変換効率と放熱効率の向上を図り、従来のLD専用電源に対し、体積で63%、重量で57%削減し、幅430mm、奥行き500mm、高さ140mm、質量25kgと19インチラックに収まる小型な筐体を実現したものである。図3には、フロントパネルの調整ボタンや緊急停止ボタンの配列の様子を示した。図4は、この電源内部の素子の最終配列を示した図であり、ヒートパイプとその冷却機構などの素子が、非常にコンパクトにまとめられた様子が示されている。



図3 小型化された安定化直流電源のフロントパネルの概観



図4 開発が終了した高機能高出力安定化直流電源の内部構造

5. まとめ

超高密度フォトン産業化において、半導体レーザー（LD）を用いることは、系の高効率化、小型化、そして高機能化には不可欠である。そのLDの駆動電源も、LDの有する特性を十分に生かすためには最適化が最も重要な課題である。本研究では、LD駆動電源を小型・高性能化するために、電源配線機構や電源冷却機構の再検討、さらには、その制御性の向上などを目指した。ヒートパイプ方式による電源内部の除熱特性の向上、銅板配線による電力損失の低減、電子部品の高密度配置、高機能コンピュータインターフェースの導入を行ない、新規構造の電源を提案し、これを実現させた。電源の交流 直流変換効率を92%以上とすることを達成し、テラワットレーザー装置全体のバランスのとれた電力供給を可能とした。

6. 今後の課題と実用化に向けた展開

LD駆動用の電源として海外では米国とドイツの各社から販売されている電源がコンパクトで、比較的大きな出力を発生している。また、日本でも数社が特殊な電源として開発を進めている。しかしながら、本事業にて作製する実証レーザーシステムは、LDを大量にかつ同時に使用するため、このような大容量の出力を安定して発生できる電源はまだない、また、DC動作と同時にパルス電流も必要とされており、大容量のDC電源とパルス電源が同時に要求されることも特異である。このような要求に対し、直流電源としての高い性能を達成し、小型化にも成功し、さらには、コンピューターから直接制御可能な電源を開発できたことは、今後の高輝度レーザーの産業化には重要である。



図5 変換効率 93%の安定化電源でタッチパネルを利用したコンパクトシステムの例

今後は、本研究によって得られた成果をもとに、協力企業である鈴木電機工業において、このような高性能電源の市販化を進めることになった。図5では、現在も改良の進んでいる新たな電源で、タッチパネル方式による電源制御を可能とした構成となっており、より機能の高い電源になってきている。