

光線追跡を用いた太陽光励起レーザ用 CPC 型キャビティの形状検討

Solar-Pumped Laser with New Solar Cavity of Two-Dimensional CPC by Raytracing

光・エネルギー研究室

宗像 宏純¹⁾

指導教員 大久保 友雅¹⁾, 研究協力者 佐藤 雄二²⁾, デン タンフン³⁾

1) 東京工科大学大学院 工学研究科サステイナブル工学専攻

2) 大阪大学 接合科学研究所

3) 量子科学技術研究開発機構 関西光科学研究所

キーワード：サステイナブル社会, 自然エネルギー, 放物面, サイドポンプ

1. はじめに

昨今の環境問題の一つとして、地球温暖化問題が挙げられる。温暖化の要因は火力発電による二酸化炭素等の温室効果ガスの排出が原因であると考えられており、サステイナブル社会の実現には再生可能エネルギーの利用が必要である。そこで、自然エネルギーである太陽光を励起起源とする「太陽光励起レーザ^[1]」が近年では注目されている。

サステイナブル社会を実現するためには、太陽光励起レーザの出力及び効率を向上させる必要がある。本研究では、集光系の形状を変化させることで、太陽光励起レーザの高効率化を目指す。

2. 太陽光励起レーザの概要

太陽光励起レーザは、一次集光系であるフレネルレンズと二次集光系である励起キャビティを用いて、太陽光をレーザ媒質へと集光する。レーザ媒質は集光された太陽光を吸収し、レーザを発振する。レーザ媒質が吸収するパワーが多いほど、発振されるレーザの出力は向上する。

本研究では、二次集光系である励起キャビティの形状を変更することにより、レーザ媒質の吸収効率の向上を目指す。

3. 励起キャビティの形状

二次集光系である励起キャビティの形状として、コーン型と花瓶型が先行研究により提案されている^[2]。しかしながらこれらの励起キャビティ形状は反射を繰り返すことにより集光を実現しているため、反射による損失が問題である。そこで、少ない反射回数で集光できる形状として放物面に着目した。放物面による集光はしばしば完全平行光の集光に用いられるが、本研究では一次集光系としてフレネルレンズを用いているため、励起キャビティへの入射光は完全平行光ではない。そこで、一定の拡がり角を持つ光を集光できる形状として CPC (Compound Parabolic Concentrator)^[3]に着目した。

また、本研究ではこれまでレーザ媒質と励起キャビティの入射面が垂直となるエンドポンプによる集光を行っていたが、これでは焦点ができるという CPC の特徴を活かせない。そこで、これらが平行となるサイドポンプと呼ばれる励起方式により検討を行った。

本研究では、二次元的な CPC の形状を変化させた際の焦点の吸収パワー密度について、光の反射・屈折を計算する光線追跡により検討を行った。

4. 光線追跡による CPC の形状検討

本研究で用いる CPC の二次曲線パラメータを式

(1)に示す。

$$z = -\frac{d}{(L/2) - l} (y \mp l)^2 + d \quad (1)$$

式(1)から得られる CPC の形状を図 2 に示す。

入射口の一辺の長さ L により、励起キャビティへの入射率は変化する。光線追跡によるシミュレーションの結果、入射率が 98%以上となる $L = 30$ mm を選定した。

次に、二次曲線の深さ d と二次曲線間の距離 l について検討を行った。ここで、レーザ媒質の配置候補領域として軸に沿った直方体領域を想定した。 d を 10~50 mm の範囲で 5 mm 毎に、 l を 0~5 mm の範囲で 1 mm 毎にそれぞれ変化させた際、レーザ媒質の配置候補領域における吸収パワー密度分布を図 3 に示す。図 3 より、二次曲線間の距離 l を 4 mm 以上とした場合に吸収パワー密度が大きく低下していることから、 l は一定の値以下にする必要があることが分かった。

図 3 より、各二次曲線間の距離 l において吸収パワー密度のピークが最大となる二次曲線の深さ d を選定し、その最大ピーク位置をそのキャビティの焦点として定義した。焦点から z 軸のマイナス方向 4 mm の範囲で 1 mm 毎にレーザ媒質を配置した際の総合吸収効率を算出した結果を図 4 に示す。図 4 より、 $l = 0$ mm すなわち単一の放物面とした場合に、総合吸収効率が最も高くなるという結果を得た。

5. 先行研究との比較

本研究で得られた励起キャビティ形状と先行研究の花瓶型キャビティを比較したところ、吸収損

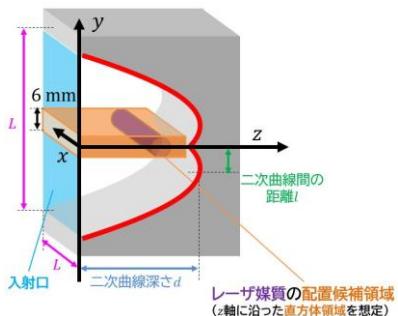


図 3 CPC を用いたキャビティ形状

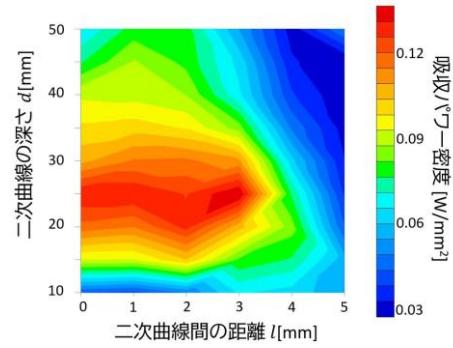


図 1 各二次曲線形状における吸収パワー密度分布

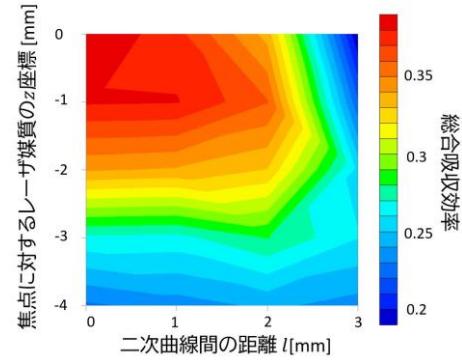


図 2 各二次曲線形状の焦点付近に媒質を配置した場合の総合吸収効率

失率は 3pt 低下することが分かった。しかしながら総合吸収効率の向上は達成されず、逆に 23.1pt 低下した。この原因として、外に逃げた光の損失率が 37.5pt と大幅に増加していることが考えられる。そのため、今後は光が逃げにくい励起キャビティの構造を考える必要がある。

謝辞

本研究の一部はトランス・コスマス財団、およびスズキ財団の研究助成を受けて実施されました。ここに感謝の意を表します。

- [1] C. G. Young, Appl. Opt. 5, 993 (1996)
- [2] H. Koshiji, T. Ohkubo, S. Shimoyama, N. Nagai, E. Matunaga, Y. Sato, T. Dinh, JACIII, 25, 242 (2021)
- [3] 中原 信生, 青木良英, 伊藤裕啓, 空気調和・衛生工学論文集, 29, 37 (1985)