

光線追跡を用いた太陽光励起レーザ用 MCPC 型キャビティの形状検討

Proposal of MCPC-type Cavity for Solar-Pumped Laser 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 松永 栄一¹⁾, デン タンフン²⁾, 佐藤 雄二³⁾

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) 量子科学研究開発機構 関西科学研究所

3) 大阪大学 接合科学研究所

キーワード：サステイナブル社会, 二次集光系, Nd:YAG, 吸収パワー密度分布

1. はじめに

サステイナブル社会の実現に向けて、昨今では再生可能エネルギーである太陽エネルギーが注目されている。太陽エネルギーは大気汚染や枯渇と言った懸念点がない一方で、エネルギー密度が低いという課題がある。そこで、この太陽エネルギーを励起起源としてエネルギー密度の高いレーザに変換する、太陽光励起レーザ^[1]が注目されている。

本研究では、サステイナブル社会の実現に向けて、太陽光励起レーザの出力および効率の向上を目指す。

2. 太陽光励起レーザ

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により、太陽光をレーザ媒質へと集光する。レーザ媒質は太陽光を吸収し、レーザを発振する。より高いパワーのレーザを得るためには、より多くの太陽をレーザ媒質に吸収させる必要がある。

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で、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

二次集光系である励起キャビティの形状として、

これまでにコーン型、花瓶型、CPC型が提案されている。コーン型キャビティは、レーザ媒質の光軸方向における吸収パワー密度分布の偏りが大きく^[2]、熱破壊やビーム品質の低下などの課題が考えられる。花瓶型キャビティは吸収パワー密度分布の偏りを小さくすることで、安定したレーザ発振が可能となった。しかしながら、花瓶型キャビティは多段反射による吸収損失が課題である^[3]。CPC型キャビティによって反射損失は低減するものの、レーザ媒質の総合吸収効率も減少した^[4]。

そこで、本研究では図1のようにレーザ媒質と垂直な断面に CPC を用いた、新たな MCPC(Multiple Compound Parabolic Concentrator) 型キャビティの検討を行った。ここで、レーザ媒質の長手方向を z 軸、長手方向と垂直な平面を x-y 平面とした。MCPC 型キャビティでは、図3(c)に示すように複数の角度で反射が起こるため、レーザ媒質の z 軸

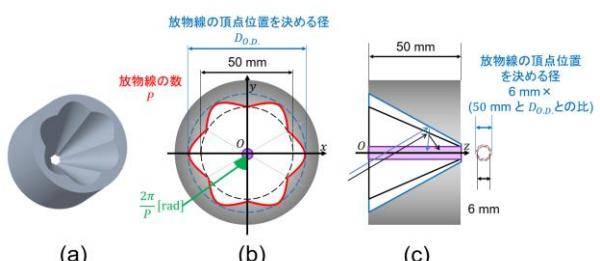


図 1 MCPC 型キャビティの概念図
(a)3D モデル (b)入射口側 (c)長手方向

方向の吸収パワー密度分布の偏りを低減できると考えた。なお、各 MCPC 型キャビティは任意の z 位置における $x-y$ 断面はそれぞれ相似である。

本研究では、反射面に使用する放物線の数と頂点の位置を変化させ、レーザ媒質である Nd:YAG 結晶の総合吸収効率と吸収パワー密度を計算した。

4. 光線追跡による計算結果

レーザ媒質における総合吸収効率と吸収パワー密度を計算するために、先行研究と同様に数値計算による光線追跡を用いた。

本研究で用いる MCPC 型キャビティでは、フレネルレンズにより集光した光を十分に取り込むため、入射口の最小直径は先行研究と同様の 50 mm とした。反射面に用いる放物線の数を P とし、3, 4, 5, 6, 8, 12 と変化させた。また、放物線の頂点の位置を決める円の直径を D とし、50 mm から 60 mm の範囲で 2 mm 毎に変化させた。

P および D をそれぞれ変化させた際の、レーザ媒質の総合吸収効率を図 2 に示す。なお、先行研究のコーン型キャビティにおける総合吸収効率は 51.6% である。また、 $x-y$ 平面における吸収パワー密度分布を図 3 に示す。比較対象として先行研究のコーン型キャビティの計算結果も示す。

図 2 より、 P が多く、 D が小さい場合に、総合吸収効率が高くなることが分かった。 P が多く D が小さい場合、 $x-y$ 平面における反射面の形状は円形に近づく。このことから、高い総合吸収効率を得るために、コーン型キャビティのような単純な軸対称形状が有利であることが示唆された。

図 3 より、 D を大きくすることで、吸収パワー密度の高い位置が外側に移動し、 P と同じ数に分離することが分かった。

5. 先行研究との比較

本研究で得られた MCPC 型キャビティと先行研究のコーン型キャビティにおける総合吸収効率および z 軸方向の吸収パワー密度分布の分散を比較した結果を表 1 に示す。総合吸収効率は 1.6pt 差であったが、一方で $x-y$ 平面における吸収パワー密

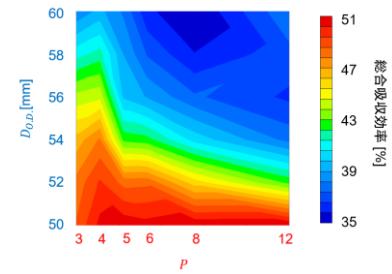


図 2 P および $D_{O,D}$ を変化させた際の総合吸収効率

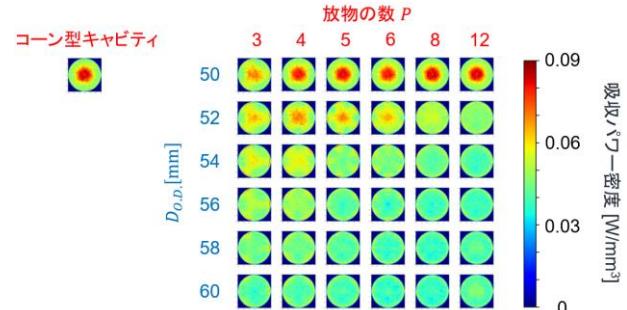


図 3 および $D_{O,D}$ を変化させた際の、レーザ媒質の $x-y$ 平面における吸収パワー密度分布

表 1 コーン型キャビティと MCPC 型キャビティの比較

	コーン型	$P = 6, D_{O,D} = 52$
総合吸収効率[%]	51.6	49.0
$x-y$ 平面における吸収パワー密度分布の分散	2.00×10^{-4}	9.52×10^{-5}

度分布の分散はおよそ半分になることがわかった。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP22K04973、スズキ財団、およびトランスクスモス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.(1966)
- [2] 大久保友雅ら, レーザ学会第 533 回研究会報告 (2019)
- [3] H.Koshiji, et al., J. Adv. Comput. Intell. Intell. Inform (2021)
- [4] 宗像宏純ら, レーザー学会第 553 回研究会報告 (2021)