

太陽光励起レーザーの高効率化に向けた 数値計算による花瓶型励起キャビティの形状の最適化

Optimization of Vase Shaped Pumping Cavity Geometry using Numerical Simulation for
Improving the Efficiency of Solar Pumped Laser

越地 駿人¹⁾

指導教員 大久保 友雅¹⁾, 研究協力者 佐藤 雄二²⁾, チン 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 光・エネルギー (大久保) 研究室

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：再生可能エネルギー，太陽光変換，固体レーザー，近赤外線レーザー，サステイナブル工学

1. はじめに

昨今様々な場面で取り上げられる SDGs (Sustainable Development Goals)のひとつのゴールである「7. エネルギーをみんなに そしてクリーンに」には、「2030年までに、世界のエネルギーミックスにおける再生可能エネルギーの割合を大幅に増大させる」といったターゲットがある。そこで、本研究では再生可能エネルギーの中でも、地球に無尽蔵に降り注ぐ、身近なエネルギーである太陽光に着目した。

太陽光はインコヒーレントなため、直接、光エネルギーとして利用することが困難であり、太陽光を他の光エネルギーに変換する技術は発展途上である。一方、コヒーレントで指向性が高く、直接の利用が容易な光エネルギーとしてレーザーが挙げられる。そこで本研究では、光エネルギーである太陽光を直接レーザーに変換することで、高効率なエネルギー変換が期待できる太陽光励起レーザーに着目した。

太陽光励起レーザーは1965年にC.G. Youngによって実現された⁽¹⁾。現在は太陽光励起レーザーにより宇宙空間でレーザー発振をし、発振したレーザーを地球上に照射しエネルギーとして利用することを旨とする、宇宙太陽光発電への応用が提案

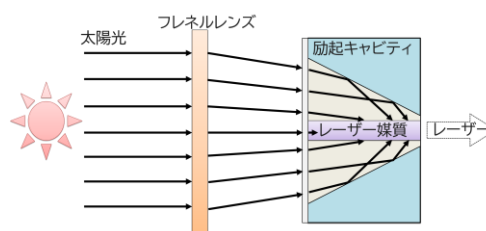


図1 本研究で用いる太陽光励起レーザーの概要

されている⁽²⁾。宇宙空間では天候に左右されないため、安定的な太陽光励起レーザーによるレーザー発振が期待でき、発振したレーザーはその指向性の特徴から、光ファイバー等を介さず、直接地球上に照射できると期待されている。

本研究で用いる太陽光励起レーザーは、太陽光を集光し、集光した太陽光を固体のレーザー媒質に吸収させることで、レーザー発振を実現する。そのため、いかに効率よく太陽光を集光するかが重要となる。本研究で用いる太陽光励起レーザーは、図1に示すように一次集光系であるフレネルレンズで集光した太陽光を、二次集光系である励起キャビティに進入させ、内部の多重反射により、励起キャビティの中心に置かれたレーザー媒質に太陽光を吸収させる。そこで本研究では二次集光系である励起キャビティの形状に着目し、数値計算により適した形状を検討する。

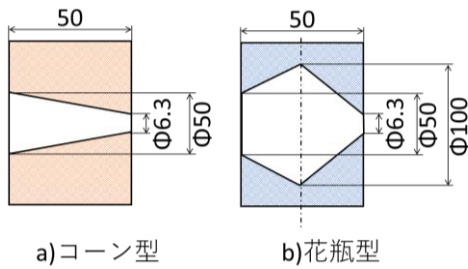


図 2 励起キャビティの形状

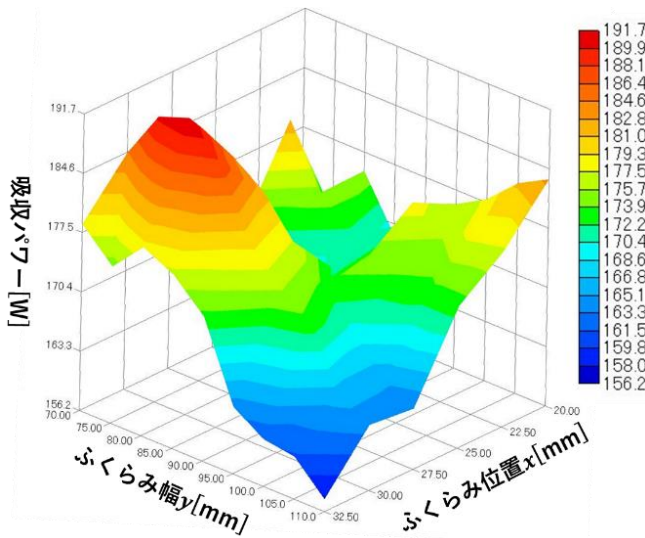


図 3 花瓶型キャビティの膨らみの位置と直径の値とレーザー媒質への吸収パワーの関係

2. 昨年の報告と本研究の目的

昨年の報告⁽³⁾では励起キャビティの形状について、数値計算により、図 2-a)に示すような長さが 50 mm のコーン型の励起キャビティでは図中左側に面した太陽光の入射口の直径を 50 mm としたときに最もレーザー媒質への吸収が大きくなることを発表した。さらに図 2-b)に示すようにコーン型励起キャビティの中央を膨らませた、花瓶型励起キャビティでも同等のレーザー媒質への吸収が実現できることを発表した。しかし、花瓶型励起キャビティについて、膨らみの位置や直径については検討がされていない。

そこで本研究では、花瓶型励起キャビティの膨らみの位置と直径について、数値計算により最適な値を求めることを目的とする。

3. 数値計算モデルと計算結果

数値計算ではフレネルレンズに多数の光線を入射

させた場合の光線追跡を行い、式(1)によりフレネルレンズや入射窓等での屈折、式(2)により励起キャビティの内部での反射、式(3)により太陽光のレーザー媒質への吸収を計算している。

$$\mathbf{e}_{reflect} = \mathbf{e}_i - 2\mathbf{n}(\mathbf{n} \cdot \mathbf{e}_i) \quad (1)$$

$$\mathbf{e}_{refract} = \frac{n_1}{n_2}(\mathbf{e}_i - \mathbf{n}(\mathbf{n} \cdot \mathbf{e}_i))$$

$$\sqrt{1 - \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 (1 - (\mathbf{n} \cdot \mathbf{e}_i)^2)} \quad (2)$$

$$P_{absorb} = P_{in}(1 - \exp(-\alpha L)) \quad (3)$$

花瓶型励起キャビティの形状について、以前の報告⁽³⁾と同じく長さは 50 mm、入射口直径は 50 mm とした。さらに膨らみの位置を入射口から 20 から 32.5 mm の位置まで 2.5 mm ずつ、膨らみの直径を 70 から 110 mm まで 5 mm ずつ変化させた計算を行った。計算結果を図 3 に示す。膨らみの位置を入射口から 30 mm の位置で、直径を 80 mm とするとレーザー媒質が吸収するパワーが 191.7 W と最大となった。これは以前の報告⁽³⁾の花瓶型励起キャビティより約 12% 大きくなる結果となった。

4. まとめ

本研究で用いる太陽光励起レーザーの二次集光系である励起キャビティについて、花瓶型の形状では膨らみの位置を太陽光の入射口から 30 mm の位置で直径を 80 mm とすると最もレーザー媒質への吸収パワーが大きくなることがわかった。これは以前の報告と比較し、吸収パワーの大きさが 12% 向上する結果となった。

謝辞

本研究の一部はトランス・コスモス財団、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。

参考文献

- (1) C. G. Young, Applied Optics (1966).
- (2) 金邊 忠ら, レーザー学会誌 (2010)
- (3) 越地 駿人ら, 第 12 回大学コンソーシアム八王子学生発表会 (2020)