

太陽光励起レーザにおけるレーザ媒質と冷却材の熱移動計算

Calculation of Heat Transfer between Laser Medium and Coolant in Solar-Pumped Laser

東京工科大学 工学部 機械工学科 光・エネルギー（大久保）研究室

金井秀太¹⁾

指導教員 大久保 友雅¹⁾

1) 東京工科大学 工学部 機械工学科

キーワード：再生可能エネルギー，太陽光エネルギー，サステイナブル工学，熱伝達計算

1. はじめに

昨今の環境問題の中で大きな議題の1つに、温室効果ガスによる地球温暖化があり、その原因の1つと考えられている CO_2 の排出を抑制する取り組みが世界的に行われている。また、現在主流の化石燃料はいずれ枯渇すると考えられており、それらから脱却する必要がある。

そこで本研究では太陽光励起レーザに注目した。これは無尽蔵なエネルギーである太陽光をエネルギー源としてレーザを発振する技術である。

2. 太陽光励起レーザ

本研究で使用する太陽光励起レーザの構造の概念図を図1に示す。太陽光励起レーザは1次集光系であるフレネルレンズで集光した太陽光を、2次集光系である太陽光キャビティでさらに集光し、キャビティ内部にあるレーザ媒質に吸収することでレーザを発振する。また、太陽光キャビティの内部にはレーザ媒質を冷却するために常温の水を流す。これは、実用化の際の冷却材には、低コストで安易に入手できる海や川などの水を用いる想定をしているためである。

3. レーザ媒質と熱効果

レーザ媒質が吸収したエネルギーは、レーザになるものと熱として蓄積するものがある。例えば CWクリップトンアーカランプによって励起されたNd:YAG レーザの場合、吸収した励起光パワーのう

ち、25%はレーザになり、62.5%は熱として蓄積された⁽¹⁾。この熱により、光弾性変化による誘導放出断面積の低下や再吸収損失の増加等の問題が生じ、レーザ出力に悪影響を与える。

実際にレーザ媒質の熱応力を19%低減させることで、レーザの最高出力が78.9 Wから83.9 Wに増加し、更にこれらの値と定常出力の差が51.8 Wから2.4 Wまで改善したことが報告されている⁽²⁾。

現在のレーザ媒質は円柱状のものを使用しているが、この形状を工夫することでレーザ媒質の冷却効率を向上させることができると考えた。そこで、レーザ媒質の表面積を増やすことでより冷却効率が向上すると考え、レーザ媒質の断面形状を変更する。本研究では、その形状を検討するためには、レーザ媒質と冷却水間の熱伝達計算を行う。

4. OpenFOAMによる熱伝導シミュレーション

100 Wの発熱量を持つ Nd:YAG 結晶と、その周囲を流れる 300 K の水の解析領域を用意し、OpenFOAM の chtMultiRegionFoam を用いて時間に対する温度変化の数値計算を行う。

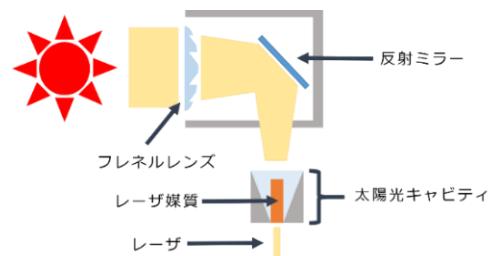


図1 太陽光励起レーザの概念図

生成したメッシュを図 2 に示す。図 2 の立方体が液体領域で、1辺の長さは 200mm である。冷却材は X 軸に沿って流れる。その中心に半径 10mm, 長さ 100mm の円柱状の固体領域がある。メッシュの分割数の上限は 1000000 である。また、領域ごとの物性値は表 1 に示す通りに設定した。

5. 計算結果と今後の予定

現時点での用意した設定を用いて、熱伝達計算を実行できた。図 3 は図 2 の白線、 $X=100$ の地点で $Y-Z$ 平面の断面図を取り、その温度分布を表示した図と、 $Z=0$ における Y 軸上の温度分布グラフである。 $Y=90$ から 110 がレーザ媒質、その外側が冷却水の温度である。固体と液体間で熱伝達が確認でき、レーザ媒質内の温度分布は、理論通りほぼ二次関数で表される分布となった。しかし、系全体ではレーザ媒質の中心に対して軸対称の温度分布となるはずであるが、一部に偏りが確認された。この原因として、境界条件の設定に不具合があると予想している。

また、レーザ媒質の形状を検討する上で、その評価方法を確立する必要がある。形状を変更すれば、冷却効率は上がっても、応力集中により従来のものより破損しやすくなる場合も考えられる。

これらを踏まえ、今後は冷却水の流速や固体領域の直径などを変更した計算を行い、結果から適切な設定を考えると共に、形状の評価方法の検討を行い、具体的な数値計算に取り組んでいく。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 JP22K04973 およびトランス・コ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。

参考文献

- (1). W. Koechner, Solid-State Laser Engineering, 2006, p.393
- (2). T. Ohkubo, et al., J. Adv. Comput. Intell. Intell. Inform. (2016)

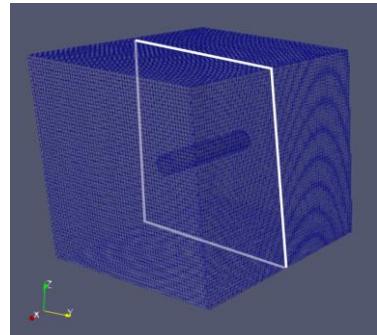


図 2 流れ場と固体領域(レーザ媒質)

表 1 流れ場と固体領域(レーザ媒質)

| | 流体領域 H_2O | 固体領域 Nd:YAG結晶 |
|--------|----------------|------------------|
| 分子量 | 18 | 12 |
| 融解熱 | 0 | 2000 |
| 比熱 | 4186 | 590 |
| 密度 | | 4560 |
| 熱伝導率 | | 10.5 |
| 粘性係数 | 0.00102 | |
| プラントル数 | 0.7 | |

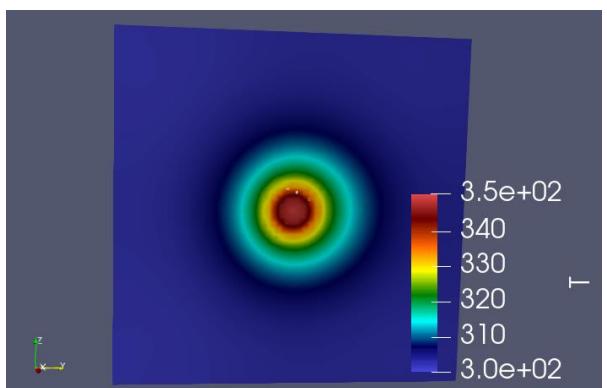
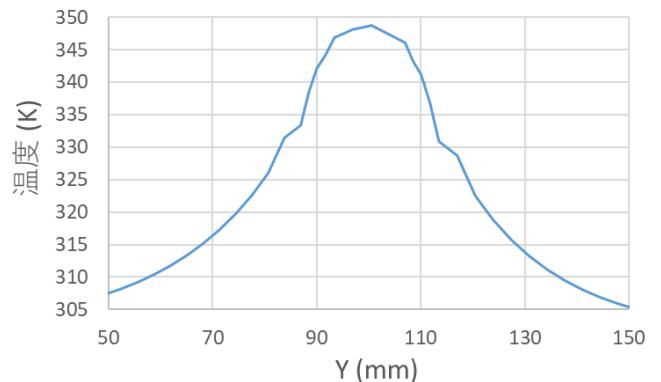


図 3 温度分布の計算結果
(上): $X=100, Z=100$ における Y 軸上の温度分布
(下): $X=100\text{mm}$ 地点での $Y-Z$ 断面