

太陽光励起レーザーの出力向上に向けた新しい太陽光キャビティ形状の検討

New Design of Solar Cavity Shape for Solar-Pumped Laser

東京工科大学 工学部機械工学科 大久保研究室

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⁾

1) 東京工科大学 工学部 機械工学科 大久保研究室

キーワード：レーザー発振, 複合放物面集光器, サステイナブル社会, 自然エネルギー

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。これ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、その排出量抑制が求められている。本研究では、サステイナブル社会の実現に向けて、再生可能エネルギーである太陽光エネルギーの新しい利用方法である太陽光励起レーザー^[1]に着目し、より効率的なシステムを目指して研究・開発を行う。

太陽光励起レーザーとはインコヒーレントな太陽光をコヒーレントな光であるレーザーへと変換するものである。

応用としては、例えば宇宙太陽光発電^[2]が提案されている。これは、太陽光集光装置を宇宙空間に設置し、そこから地上の発電施設へ向けてレーザーを照射する。これにより、周辺環境への影響が少ないほか、天候などの地球環境に影響されことなく発電を行うことが出来るというメリットがある。

2. 太陽光励起レーザーの概要

太陽光励起レーザーは図 1 に示すように主に 4 つの部品から構成されている。太陽光を広い面積で集光するフレネルレンズ、フレネルレンズからの光を内部で多重反射させレーザー媒質へと集光させる太陽光キャビティ、吸収した太陽光の波長を変化させるレーザー媒質、そしてその光をレ

ザーとして外に発する出力ミラーである。

以上のように、太陽光励起レーザーはフレネルレンズだけでなく太陽光キャビティも用いて 2 段階での集光を行う。これはフレネルレンズにより集光された光の焦点の大きさがレーザー媒質径より大きいため、フレネルレンズでの集光のみではレーザー媒質が太陽光を効率的に吸収できないためである。そこで太陽光キャビティを用い、かつその取り入れ口を焦点と同じ大きさにすることで、レーザー媒質の光の総吸収量を向上させることが可能となる。また、太陽光キャビティ内部で冷却水を循環させることにより、レーザー媒質の熱破壊を防止している。

3. レーザー媒質について

レーザー媒質に励起光を照射することで、励起光のエネルギーを媒質内の電子が吸収し、より高いエネルギー軌道へと遷移し励起状態となる。励起状態の原子は不安定なため、電子はエネルギーを放出することで安定な状態へ遷移しようとする。

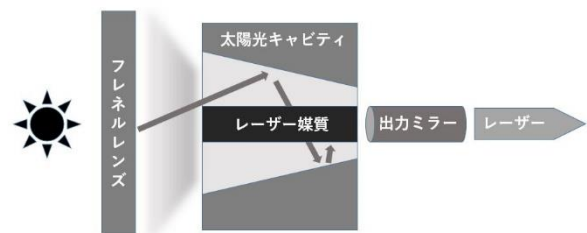


図 1 太陽光励起レーザー装置概念図

この際にエネルギーが光や熱として放出される。これを自然放出という。自然放出された光が励起状態にある原子に照射されることで位相とベクトルが同じ光を放出し、照射時は1つだった光子が2つになって放出される。この現象を誘導放出という。誘導放出により得た光はベクトルと位相が一樣であるため、コヒーレントな光となる。

太陽光励起レーザーでは図2に示すように、レーザー媒質の長手方向にレーザー媒質を挟むように二つのミラーを設置し、誘導放出された光を鏡面間で多重反射させることで誘導放出を繰り返し、レーザー光を得る構造である。

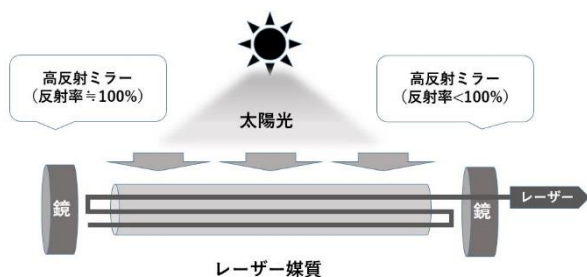


図2 レーザー媒質概念図

4. 新しいキャビティ形状の提案

高いレーザー出力を実現するためにはレーザー媒質の光の総吸収量を向上させる、すなわちより多くの光をレーザー媒質に吸収させる必要がある。よって、今後はより多くの太陽光をレーザー媒質に集光できるキャビティ形状を検討し、太陽光励起レーザーの高効率化を目指す。

従来の太陽光キャビティは図1に示した内部が円錐台のミラーであり、先述の通りその内部で光を多重反射させることでレーザー媒質への集光を実現している。しかし、多重反射による集光では、反射面の反射率が低い程、また反射回数が多い程エネルギー損失が大きいのではないかと考えられる。そこで、少ない反射回数で集光する形状としてパラボリアンテナの形状（二次曲線を対称軸周りに回転させた形状）に着目した。

この二次曲線の特性を応用した集熱・集光器として、CPC (Compound Parabolic Concentrator, 複合放物面集光器) というものがある。これは

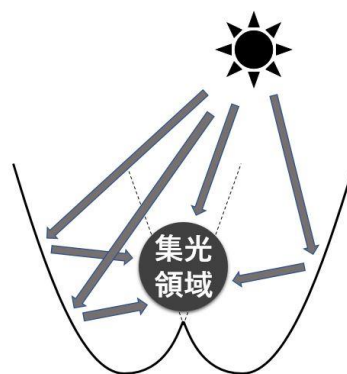


図3 CPCの概念図

図3に示すような二次曲線を二つ合わせた形状であり、CPCの軸が光源の方向を向いていれば、一定の範囲内の光の集光が可能であるというものである。フレネルレンズで集光された光を少ない反射回数でレーザー媒質へと二次集光することで、キャビティ内でのエネルギー損失が減りより高いパワーを持ったレーザーを出力できると考える。今後はこのCPCを参考に、シミュレーションを用いてキャビティ形状の検討・改善を行う。

5. まとめ

サステナブル社会の実現に向けて、再生可能エネルギーの新しい利用方法である太陽光励起レーザーの研究を行う。

太陽光励起レーザーは主にフレネルレンズ、太陽光キャビティ、レーザー媒質、出力ミラーで構成されている。フレネルレンズ、太陽光キャビティで集光した光はレーザー媒質へ吸収される。レーザー媒質では誘導放出が起こり、出力ミラーによってコヒーレントなレーザー光が発生する。

今後はレーザー媒質の光の総吸収量を向上させるための太陽光キャビティ形状を検討する。この際、CPCに着目してシミュレーションを行う。

[1] C. G. Young, "A Sun-Pumped cw One-Watt Laser", Appl. Opt. 5, 6, pp.993-997 (1966).

[2] 金邊忠, "レーザー宇宙太陽光発電システム", 光学, 40, 7, pp.308-316 (2011)