

レーザー推進用太陽励起レーザーの開発の現状と展望

内田 成明 東京工業大学

佐伯 拓 (財) レーザー技術総合研究所

Abstract: Laser propulsion technology has a potential of producing large thrust with high specific impulse compared to conventional chemical propulsion systems. Solar pumped laser as a power source of thrust is essentially high efficient due to direct photon to photon conversion from incoherent radiation to coherent one. Recent developments on both laser materials and solar concentrator lead to realization of a ground based prototype laser system.

【はじめに】

宇宙推進器の性能には地上打ち上げから惑星間飛行まで様々な応用範囲に対して大きく異なる特性が求められる。これらは噴射ガスの速度(比推力)を指標として比較できる。代表的なものとしては高压ガスや化学燃料を用いる場合の比較的比推力の場合と電気推進のような高比推力の応用がある。これらは推進力の要素であるエネルギーと推進剤質量の利用可能性やミッションの性質により決定される。しかし化学推進では比推力は燃料の化学ポテンシャルにより凡そその値が決定され、電気推進では空間電荷制限により推力の大きさが制限される。推進剤の加熱にレーザー光を用いると左記のような制限を回避でき、宇宙機の飛行プロファイルに適応した制御性の高い推進器の設計が可能となる。地球周辺の太陽光のパワー密度は 1 kW/m^2 であるのに対してこれをレーザー光に変換して得られるパワー密度は 100 万 kW/m^2 以上になる。これにより推進剤を超高温に加熱して高い比推力を発生できる。レーザー推進器を地球軌道周辺で利用する場合には数百キロワット程度の太陽光パワーを宇宙機周辺から捕集して利用することが可能で、太陽光直接励起レーザー技術を用いるとレーザーの高い光-光変換率によりパワー効率の高いシステムが構築可能である。

筆者らはこれまでにパルスレーザーを用いて推進剤をプラズマまたは高温ガスに加熱した場合の比推力を測定し 2000 秒以上の比推力など宇宙推進器に必要なレーザー照射条件や推進剤特性の調査を行ってきた¹⁾。本稿ではパワー変換機である太陽光励起レーザーに着目し、筆者らの行った最近の研究の進展と今後の展開を紹介する。

【太陽励起レーザー用セラミック材料】

太陽光を励起源とする場合、その広い放射スペクトルに適した吸収特性を持つレーザー媒質が有利で

ある。近年セラミック生成技術を発展させた透明セラミックレーザー媒質が利用できるようになった。セラミック媒質は従来の結晶媒質に比べて増感剤(クロムイオン)をドーピングすることが容易になり Cr,Nd:YAG 媒質として研究が始まった。図 1 に示すように Nd のみに比べて Cr を添加することで、より広い太陽光スペクトルが吸収されることが分かる。

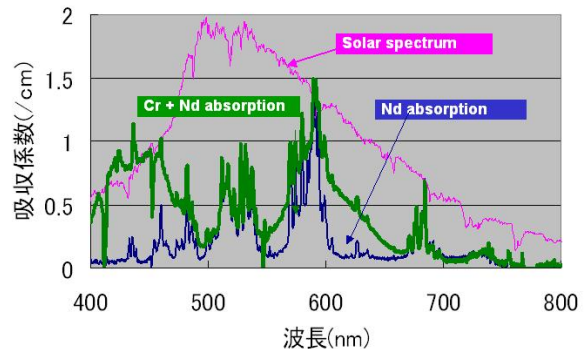


Figure 1 Spectra of solar radiation, Nd:YAG and Cr,Nd:YAG absorption

セラミック技術の利用により従来の結晶育成法に比べて大型のレーザー媒質が大量に生産できるようになり、将来の大出力レーザー推進器の技術課題のひとつが解決された。

【太陽光集光装置】

レーザー装置の役割は前述のように自然太陽光のパワー密度を 100 万倍以上に高めることである。このためにまず数百倍の倍率でレーザー媒質に太陽光を集光することが必要となる。筆者らは集光装置に

軽量で安価に製作可能な PMMA フレネルレンズを採用し、4 平方メートルの太陽光を集光する装置を開発しレーザー発振実験を行った。Figure2 に装置外観を示す。

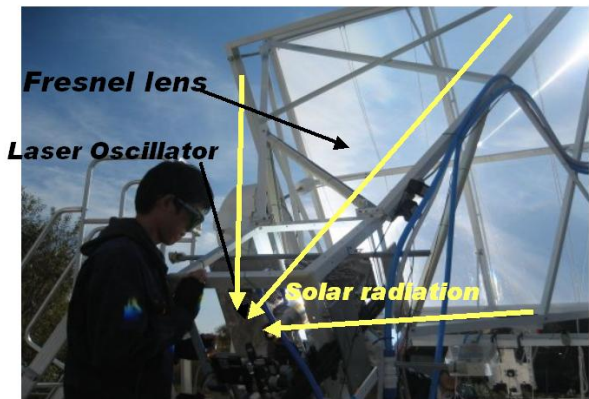


Figure 2 Laser Mounted on A Solar Concentrator

フレネルレンズは 2m 角で焦点距離も 2m である。材料の透過率、フレネル構造の散乱などを含めて太陽像の大きさ (約 4cm) に太陽入射光の 80% が到達している。レーザー媒質は二次集光鏡と呼ばれる内面鏡を備えた容器に冷却水と共に封入されてレーザーヘッドを構成し、入射した太陽光を吸収してレーザー光に変換する。1800W の太陽光に対して 80W のレーザー出力が得られており、レーザーヘッドでの効率は 4.5% である²⁾。現在二次集光鏡の反射率は 60% 程度であり、これを高反射率の鏡面に変更すること、およびレーザー材料の Cr 高濃度化により吸収率を増倍させ変換効率の向上を図っている。

【宇宙用レーザー装置】

宇宙空間での高出力レーザーの運転では媒質の冷却に輻射冷却を最大限に利用する必要があり、小さな媒質から放出される熱を大面積に広げるヒートスプレッダーが必要である。筆者らは運転動力を必要としないヒートパイプの高熱密度環境への適用可能性を検証するためレーザー媒質に取り付けその排熱能力を確認した (Fig. 3)。このレーザー装置は将来の宇宙太陽光を利用したレーザー発振や増幅器に対応できるよう媒質にスラブ形状を採用している。太陽励起光は前述の二次集光鏡を使用せずに媒質の一面から直接媒質に入射して吸収される。励起光入射面を広く取ることにより有限の大きさを持つ太陽像をレーザー媒質に効率よく吸収させることができる。本装置では 50×20×4mm の媒質にレーザー反射鏡で跳ね返したレーザー光を三回ジグザグ状に通過させるように配置した。

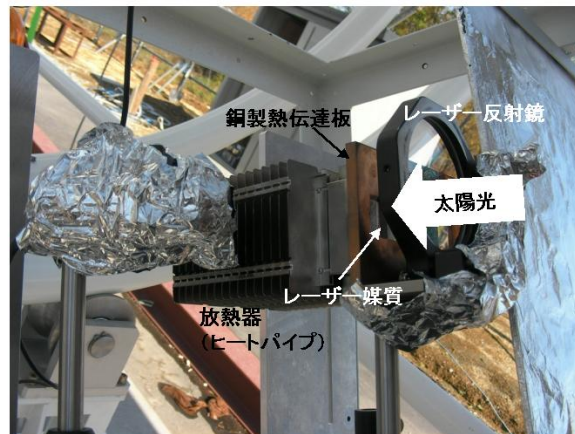


Figure 3 A Slab type Laser Medium mounted on a heat pipe

スラブの表面は太陽励起光とレーザー光が通過する面となり、反対面は光の反射面と排熱の通過を担う構造となっている。この配置によりレーザー光の屈折の原因となる媒質内の温度勾配がレーザー光の進行方向と平行となるため熱レンズ効果など光品質の劣化を防止できる。

これまでにレーザー増幅器の基本的な特性が解明されており³⁾、今後はこの試作機を用いて自然太陽光によるレーザー増幅実験を実施する予定である。

参考文献

1. Laser Ablation and Its Applications, C. Phipps ed., Springer-Verlag (2006).
2. T. Ohkubo, *et al.* “Solar-pumped 80 W laser irradiated by a Fresnel lens”, *Opt. Lett.*, **34**, 175-177, (2009).
3. T. Saiki, *et al.*, “Effective Fluorescence Lifetime and Stimulated Emission Cross-Section of Nd/Cr:YAG Ceramics under CW Lamplight Pumping”, *Japan. J. Appl. Phys.*, **47**, 7896-7902, (2008).