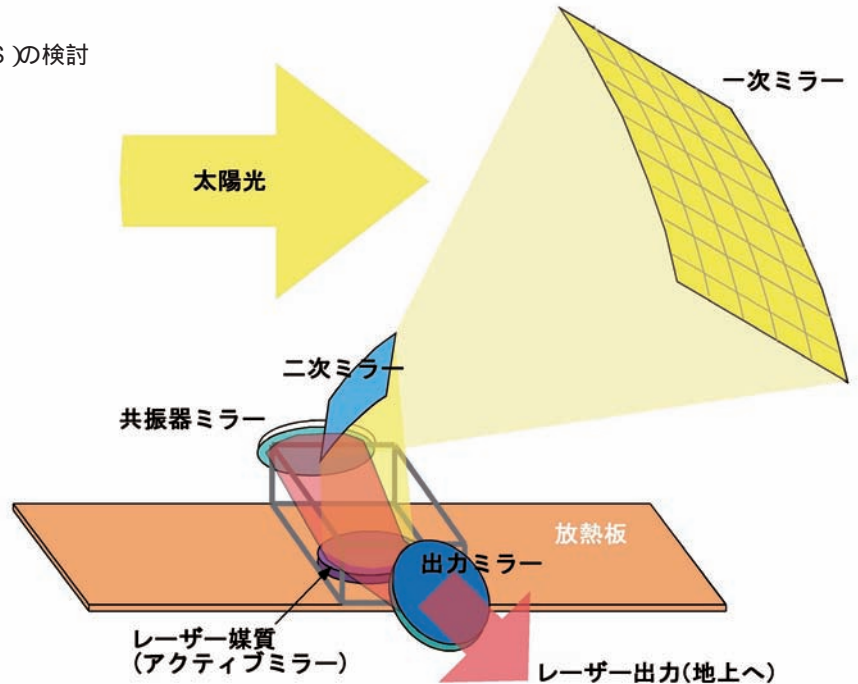


## CONTENTS

- レーザー宇宙エネルギー利用システム(SSPS)の検討
- 技術相談からレーザー技術の普及を
- 『光と蔭』人づくりと物づくり
- 退任ご挨拶
- 理論・シミュレーショングループ 河村徹



【図1】アクティブミラー型のレーザー装置の概念設計

## レーザー宇宙エネルギー利用システム(SSPS)の検討

レーザービーム伝送研究チーム 内田成明

### 太陽光を利用したレーザーシステム

一昨年度から始まったレーザーによる宇宙太陽光利用技術システム検討委員会の進捗状況を紹介する。本委員会は宇宙航空研究開発機構の主催で宇宙発電衛星から地上へ再生可能エネルギーを供給するという目標を設定し、レーザーとマイクロ波をエネルギー伝送媒体としたシステム実現性を調査・検討している。システムはさまざまな要素技術の集積であり、合計15ワーキンググループがそれぞれの技術課題に取り組み検討を行っている。当研究所はこのうちレーザー装置を担当している。基本概念は太陽光直接励起で発生したレーザー光を地上に送り、海水などを利用して水素エネルギーとして利用するものである。初年度は太陽集光鏡、レーザー媒質、パワー伝送システムおよび地上でのエネルギー変換法として水素生成の技術動向などの概要を調査した(レーザークロス184号)。高出力レーザー構築に適した媒質形状は表面積/体積比が大きなファイバーレーザーや薄板レーザーであるが、現在、大出力化が容易と考えられる薄板媒質を取り上げ検討を行っている。

### 励起光とレーザー、排熱の配置を検討

2年目の昨年度は宇宙空間での大きな課題の一つである熱処理の条件および励起光とレーザーおよび排熱の具体的配置を加えてレーザー装置の概念設計を行った。宇宙太陽光励起レーザーは広帯域の太陽スペクトルを可能な限り有効に利用し高平均出力で動作することが求められる。すなわち地上でも実現されたことのない高平均出力レーザーと高密度排熱システムを宇宙空間で構築する非常にチャレンジングな技術開発となる。

高いパワー密度を処理するためには排熱フローと励起光およびレーザー光が互いに干渉せずに配置できる構成が望ましく、現在アクティブミラー型のレーザー装置を想定して概念設計を行っている。アクティブミラー型レーザー媒質は板型のレーザー活性媒質で、表面から入射したレーザー光が、裏面で反射されて再び表面から抜けていく過程で増幅される方式である。励起光はレーザー媒質表面から入り、裏面から排熱を行う。板型媒質であるので必要なパワーに応じてビーム径(媒質面積)が設定できる点が高出力化に向いている。図1に示すように複数

次ページへつづく▶



の媒質を交互に配置し、その間をジグザグにビームを通過させて共振器を形成する。レーザー媒質は広帯域太陽光を効率よくレーザー光に変換できるようにネオジミウムとクロムイオンを共ドープしたセラミックYAG材料を想定している。レーザーシステムの性能を評価するため四準位レーザーのレート方程式の定常解、熱ショックパラメータなどを考慮に入れて励起太陽光強度とレーザー媒質の厚さおよびレーザー効率などの関係性を評価した。システム出力を評価するためにレーザー媒質を複数枚直列に並べたものを単一共振器に収め、その定常出力値を求めるといったモデル解析を行った。

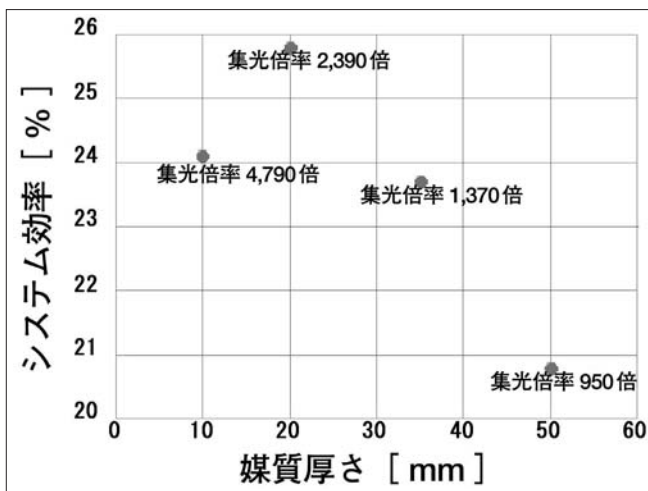
波長選択機能による熱負荷低減

一般に固体レーザー媒質では排熱流(温度勾配)方向の長さにより注入できる励起光パワーの最大値が決まる。すなわち板型の媒質の場合、薄い媒質ほど大きな励起強度で使うことができる。一方、レーザーの効率はシステムに存在する損失レート(共振器ミラーの損失や媒質の散乱・吸収)と励起パワーのバランスで決まるので、高いパワー密度の励起光で効率は向上する。しかし、励起パワーを上げるために媒質の厚さを薄くすると励起光の吸収効率が低下しシステム効率は低下する。つまり媒質の厚さに対してシステム効率を最大にする最適値が存在することになる。今回の検討では媒質厚さを2cmとしたときに励起光密度を自然太陽光密度(太陽定数=1.3 kW/m<sup>2</sup>)の約2,400倍が最適集光倍率となり、システム効率26%が達成可能との結果を得た(図2)。ここでシステム効率は太陽集光鏡に入射する全太陽光パワーに対する発振レーザーパワーの比である。太陽集光鏡ではレーザー媒質に吸収されない紫外域や赤外域の波長を除去する波長選択機能を持たせる予定であるが、システム効率はこのような選択率も含めたものであり、システムの出力を与えると全体の大きさが決まる最も重要な性能である。

レーザーシステムの効率がシステム重量を決める

システム(単一共振器)からの総出力は媒質の面積(ビーム径)と媒質を直列に並べる数により決定される。しかしながらアクティブミラー型レーザーでは媒質枚数を増やすとレーザー光が横切る媒質表面の数が増え損失も増大する。すなわちアクティブミラー型ではロッド型に比べてレーザー光が通過する媒質の長さに対して横切る表面の数が多くなるが、この損失により媒質の増大に伴いシステム効率に影響が出る。したがって、媒質の数は総出力を上げるために任意に増やすことはできず、損失を顕在化させずにシステム効率を高く維持する条件が存在する。媒質表面の透過率と裏面の反射率を現在市場で得られる反射防止膜と高反射率多層膜誘電体コーティング技術で実現されている値(それぞれ99.5%と99.7%)で評価すると60枚程度まではこれらの損失を無視できる(総損失は数%以内)。

例えば媒質直径を現在地球上で製作可能とされる1m程度(厚



【図2】アクティブミラー効率

さ2cmでアスペクト比は50)とすると、60枚のレーザー媒質で実現できるシステムの総出力は約100MWとなる。これはシステムの効率を維持するという観点からみたレーザーシステムの最大の大きさの目安と考えられる。媒質の重量は一枚当たり100kg程度あるので100MWシステムでは6トン程度である。レーザーシステムとしては支持構造や冷却装置が付加されるが、これらは数百mの大きさの構造になると考えられるのでシステム重量に占めるレーザー媒質の割合は小さなものである。

システム効率は太陽集光鏡と排熱ラジエーターの面積を通して衛星の全重量を大きく左右する。100MWのシステムを効率30%程度で運用すると、必要な太陽光集光鏡の大きさは30万m<sup>2</sup>となる。これは約540m四方の面積である。この反射体構造を面密度0.5 kg/m<sup>2</sup>で構築すると150トン程度となる。また、排熱システムも同程度の広さが必要で400トン程度の重量と評価されている。レーザーSSPSではシステム重量は集光鏡と排熱装置がシステム重量の大部分を占めることになり、100MWクラスで1000トン程度になると考えられる。システムにおけるこれらパワーの入出力要素の重量はレーザーシステムの効率とほぼ反比例の関係になる。

システム実現の鍵をにぎる冷却システム

システム効率の高いレーザー衛星を構築するための不可欠要素として挙げられるのが高性能冷却システムである。宇宙の真空、無重量状態において高密度かつ大量の排熱を可能とするシステムを開発しなければならない。特に高密度排熱の技術はレーザー方式SSPS特有の課題である。宇宙空間での排熱は最終的には輻射のみに依存することになり、無重量環境でレーザー媒質から高密度排熱を行い、大きなラジエーターの末端まで数百mにわたって熱を輸送するシステムの構築が必要である。特にレーザー媒質からは太陽定数の数千倍の熱密度を輸送する仕組みが必要であるが、現在、宇宙技術として確立されて

いる性能とは一桁以上の開きがあり、ブレークスルーを伴った開発研究が不可欠である。

さらに大きな出力が必要な場合には上述のシステムをサブシステムとして、例えば、1GW宇宙発電所では10サブシステムを結合して構築する。このような結合システムは重力安定性を考慮に入れたフォーメーションフライトにより実現すると考えられる。

レーザーSSPSは具体的、定量的な概念設計の検討が開始され、解決すべき具体的な課題も抽出されつつある。また、実験室や宇宙空間における太陽光励起レーザー発振実証試験は早急に取り組むべき課題である。これらの課題に対して新たな技術開発研究や現存する技術の宇宙環境へのシステム化などを進めるとともに、レーザーSSPS実用システム設計をさらに詳細に詰める。

## 技術相談からレーザー技術の普及を

技術相談窓口 本越伸二

### 多種多様な技術相談

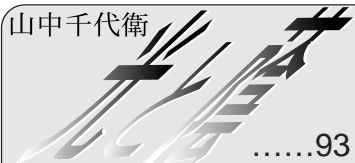
ILTでは、「技術相談窓口」を設け、産業界、大学等からレーザー技術や応用技術についての相談や、試験的なレーザー照射を行っている。レーザー技術への期待と、インターネット等の普及と相まって、その数は年々増え、昨年度は一年間で約30件もの相談を頂くことができた。むろんその相談内容は、レーザーの基礎から、数年先を見据えたような質問まで、多種多様

であるが、ここでは昨年度一年間を総括し、今後の対応や課題についてまとめる。なお守秘義務の観点から具体的内容については述べられないことをご了承頂きたい。

### フェムト秒レーザーへの期待

昨年度一年間にご相談頂いた企業を職種別に分けると大型加工企業からのご相談が最も多かった。もちろん、これらの多くはレーザー加工に関する相談であるが、ILTで積極的に取り組

山中千代衛



.....93

## 人づくりと物づくり

わが国は昔から工のわざに勝れ、昨今優秀な製品が世界を席卷している。一方華僑の人達は無類の商売上手、商いの代表と見なされて久しい。ところが最近では中国が世界の物づくりの工場として評価されるようになり、わが国の最も得意とする分野に翳りが出てきた。元来物づくりは自然が相手で、物理を弁えて、手順を正しく踏めば成果の上がるゲームである。真面目で几帳面な対応が求められる。

人づくりは全く異なったゲームなのである。相手は自然とは異なり、変幻自在な人である。日本の学生の目に光がないと識者は嘆いている。欧米の大学生は授業料を払った対価は身に付けようと頑張るのに、日本では勉強を避ける傾向が見られる。人生を楽しんで過ごそうとする甘えがあるのだろう。

教育の本質は自らが自発的に学ぼうとするインセンティブを生み出す条件を与えることである。自然と違ってまさに非線形な人間を相手にしていかに教育理念に導き、志を持たせるかが問われるのである。手間暇かけてコツコツやれば成功するのは物づくりであって、人づくりではもっと高次の相互作用が求められる。

筆者の経験からしても、大学生に卒業研究のテーマを与え、研究室であれこれ指導を施す最終学年では、教育の成果はまことに見るべきものがあつた。これは日常的に指導者の声咳に接し、自己認識と相互評価がついてまわる環境に置かれるからだろう。

小中高大学の教育において個人の成長に対応し、誉めるべきは誉め、叱るべきは叱るという信賞必罰が大切である。長らく国の教育は不賞不罰が本流であつた。

教育の要諦は自分の長所を自覚させ、短所を認識し、その上で人生における進路を自ら決定する自立心、換言すれば志を確立させることにつきる。言うまでもなく物づくりと人づくりは根本的に異質なのだ。

人づくりこそ国づくりである。

【(財)レーザー技術総合研究所 研究所長】

んでいるフェムト秒レーザー加工に対して、産業界もその可能性に興味を持ち始めてきたことを示すものである。次に精密機器、半導体を含んだ電気・電子関連企業。これらの企業では、微細加工や光学部品など、これまでもさまざまな形でレーザーを利用されてきた企業である。レーザー技術の進歩が他の技術の進歩に大きな影響を与えると見え、さらに優れたレーザー技術への期待が感じられる。これらに続き、建築・交通関連企業からのご相談が多かった。建築、土木では、測距器など一部測定器としてレーザー製品が利用されてきているが、それ以外に新しい取り組みとしてレーザーを取り入れようと積極的に考えて頂いている。これに応えられるような新しい研究提案を進めていく必要がある。

#### 試験照射で新しい応用を

次に、相談内容について検討したい。加工と表面処理で、全体の半分以上を占めている。もちろん、加工分野においてレーザーが多く使用されていることを意味するが、もう一方で、ILTの技術相談の特徴でもある試験照射へ興味を示されているものと考え。さまざまな分野において、レーザーへの期待や、可能性は大いに認められているが、実際に導入するためには、どのようなレーザー装置が必要であるのか、また、その効果は、コストは、と多くの課題が残る。試験照射はその課題解

決の一部を担い、機能し始めているものとする。また、興味ある点は、環境応用に対する相談が増えたことである。ILTでは、白色光による大気観測や、放電による排ガス処理、蛍光によるプラスチック識別、レーザーになる膜剥離、そして、ダイオキシン類の分解など、これまでも多くの環境問題へのアプローチを示してきた。この分野の質問は、今後さらに増えてくるものと考えられる。

#### 技術相談への期待と課題

今後、レーザーの応用、可能性はさらに広がっていくことから、財団法人であるILTの相談窓口はより大きな意味を持ってくると思われる。特に、試験照射を軸とし、必要であれば、共同研究、委託研究をも担い、新しい技術、応用の開発も視野に入れる一連の活動は、レーザー技術の普及の一翼を担うものとして確信している。そのためにも、相談内容に対する的確かつ迅速な対応が求められるであろう。また、さまざまなニーズに応えるためフェムト秒レーザー以外のレーザー装置を整備し、試験照射を充実させている。

最近、特許は企業における戦略の重要な位置を占めている。もちろん、ILTは守秘義務を負うが、互いの権利を保護するための契約等についても整備を進めていきたい。

## 【退所のご挨拶】

# 極端紫外光源開発に従事

理論・シミュレーショングループ 研究員 河村 徹



昨年の3月にドイツの重イオン研究所(Gesellschaft fuer Schwerionenforschung:GSI)からの帰国と同時に、(財)レーザー技術総合研究所の一員として極端紫外光源開発に従事して参りましたが、このたび3月末日をもって退職し、4月1日付けで東京工業大学大学院総合理工学研究科創造エネルギー専攻に講師として赴任することとなりました。在職中は山中千代衛所長をはじめ、研究所の皆様にはこの一年間における研究活動をさまざまな面でご支援いただきました。心から感謝いたしております。特に極端紫外光源開発の現場では、シミュレーションコード開発グループの一員として、古河研究員、砂原研究員のご両名とは、時には激しく、またある時には穏やかに議論を交わしたのも良い思い出です。また同光源開発の実験グループの皆様、内田主任研究員、島田研究員、山浦研究員、橋本研究員との連携した研究展開は、私の今後の研究活動にとっても良い経験となりました。4月以降は新天地にて、これまで培った研究基盤をもとにして新たな研究分野の開拓をしていくこととなります。赴任先での職務内容についての詳細はこれから随時決めていくこととなりますが、当面はこれまでの研究テーマに関連した研究活動を継続しつつ、新たな領域の開拓を行っていく所存です。ほんの一年という短い期間ではありましたが、本当にお世話になりました。最後になりますが、これからの(財)レーザー技術総合研究所のますますの発展と、研究所の皆様のますますのご健勝とご活躍を心よりお祈り申し上げまして、退所のごあいさつとさせていただきます。ありがとうございました。みなさま、お元気で。またお会いできる日を楽しみにいたしております。