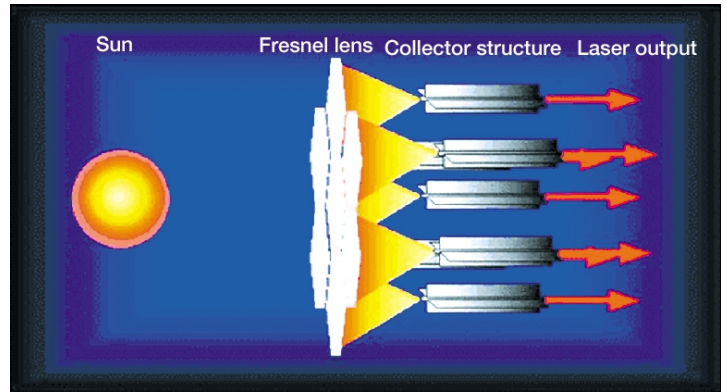


CONTENTS

- 宇宙太陽光レーザー
- 野外におけるレーザービーム伝送
- 『光と蔭』中空的権力構造とリーダーシップ
- CLEO-Europe'05国際会議報告



【表紙図】象徴的な宇宙太陽光レーザー

宇宙太陽光レーザー

宇宙太陽光レーザーの研究

レーザーエネルギー研究チーム **今崎一夫**

■温暖化防止策としての太陽エネルギー利用

地球温暖化の防止策として太陽エネルギーの利用が進められている。この一環として太陽光を電力に変換するいわゆる太陽電池は新しいエネルギー源として注目されている。しかし太陽電池は高価であり太陽光の利用率は、地球の自転、天候の影響がある地上で15%程度であり、そのうえ太陽電池自体の効率も現時点では20%程度である。このため太陽エネルギーは無料でも経済負担が大きい。現在日本での発電コストは100円/kWh程度である。

■宇宙に設置、24時間100%利用可能

これを宇宙に設置すれば、地球の自転、天候の影響を受けず24時間、100%利用できる。約30年前、米国のグレーザーがこのことに気づきこれを特許化し、詳しい検討がNASAで行われた。しかし太陽光を電力に変換し、これを集め、エネルギー輸送のためにマイクロ波に変換し、これを地上に送りこのマイクロ波を電力に変えることは幾度も変換プロセスを経ることになる。このため結局この総合効率は悪く、宇宙に置く利点が出てこない。なおかつこの宇宙に置く衛星重量は1GWの電力を地上で得るためには少なく見積もって20,000t超にも達する。また地上での受信サイズは数kmにおよぶ。電力は蓄積できない。このままでは現実性が極めて悪いことが判明した。そのためこの後、これにいろいろなアイデアが加わり、マイクロ波方式での軽量化、高効率化、小型化の研究が積み重ねられてきている。

この時マイクロ波の代わりにレーザーの利用も考えられたが、当時(～30年前)のレーザー技術ではむしろ効率が悪く全く利点がない。かつレーザーは地上での天候の影響を大きく受ける可能性もあった。

■そのまま光-光の量子遷移

しかし新しい日本独自のアイデアが出てきた。宇宙での太陽光をそのまま、光-光の量子遷移によりレーザー光に変換し地上に送る。この光は地上で電力に変えることも可能であるが水素に変

換すればパワーを積分し蓄積することが可能である。グレーザーのアイデアの全く逆に位置する思想である。この方式はエネルギー変換プロセスが少ないため全体としての効率がよく、そのため宇宙に設置する衛星重量は比較的軽量であると期待できる。この宇宙レーザー水素生成の基本特許は当研究所と宇宙航空研究開発機構(JAXA)および(株)三菱総合研究所で取得し、これに関して当研究所においてJAXA委託で研究が進んでいる。

■実験室レベルで40%のレーザー光エネルギー変換効率

太陽光を集めレーザー媒体を励起しレーザー発振を起こす。このとき吸収外の太陽光は熱としてたまる。宇宙では黒体輻射でこれを逃がす方法しかない。(表紙図)

このシステムは主にレーザーとその伝搬部分が主要要素である。効率よくインコヒーレントの太陽光をレーザーに変換する部分とその光エネルギーの長距離伝送部分である。前者はレーザー材料と形状に依存し、後者はレーザー光学系による。これに加えて、宇宙での熱問題を解決することが必要である。特に熱はレーザーの一様性に大きく影響をおよぼし長距離伝搬はこれに依存する。このため冷却部が大きな要素を占める。

宇宙レーザーの詳しい研究開発状況は次の記事にゆずるが、現在実験室レベルで40%の模擬太陽光からのレーザー光エネルギー変換効率が得られている。

宇宙太陽レーザー開発

理論・シミュレーショングループ **佐伯 拓**

■太陽光増感型Nd/Cr:YAGセラミックの開発に成功

われわれは、初めて太陽光の吸収とレーザーへの変換を比較的高めた太陽光増感型Nd/Cr:YAGセラミックの開発に成功した。励起光の吸収効率を最適化して最大の変換効率を得るため、ロッド型Nd/Cr:YAGセラミックを用いて発振実験を行い、その性能について調べた。

セラミック化により大型レーザー媒質作成が容易となり、可能な活性イオンの濃度消光を押さえ高濃度で添加可能となった。Cr3価のイオンを添加することで、可視領域の吸収が大

次ページへつづく▶

幅に改善される。さらに、阪大の藤岡・中塚らによりNd/Cr:YAGセラミック材料に励起を行った場合にCrがNdの反転分布形成を補助するためにNdの上準位寿命が増加する効果が確認されている[1]。

■セラミック材料で変換効率が飛躍的に改善

従来のGSGG、GGG、GSAG等のNd,Cr添加された結晶と比較して2倍程度誘導放出断面積が高く、また、熱伝導率も2倍ほど高くなる。レーザー小信号利得は誘導放出断面積に比例しており、誘導放出断面積が高ければレーザー小信号利得も比例して大きくなるため、本セラミック材料でレーザーを構成した場合、太陽光からレーザーへの変換効率が飛躍的に改善される。また、熱伝導率が高くなれば、熱の放出能力が高まり、熱破壊限界が改善され、より励起太陽光の高密度集光が可能となり、結局、レーザー媒質が軽量化され、ペイロードの低減へとつながる。Fig.1に計測されたNd/Cr:YAGセラミック材料の吸収スペクトルを示す。

■ロッド型レーザーの試作とランプ光-レーザー光変換効率の確認

今回、Nd/Cr:YAGセラミック材料でロッド型レーザーの試作、ランプ光-レーザー光変換効率の確認を行った。Fig.2に実験に用いたロッドの実物写真を示す。

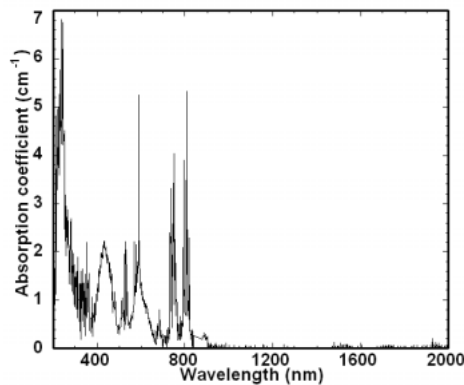


Fig. 1. Absorption spectrum of Nd/Cr:YAG ceramic. Nd=1.0%,Cr=0.2%

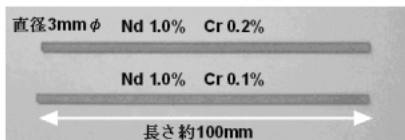


Fig. 2. Schematic diagram of the optical layout.

ロッドの側面を研磨し、内部で励起光とレーザー光を全反射により閉じ込めを行う。ロッドの長さは約100mm、直径は3mmである。片面にレーザー波長での反射率が99%の誘電体多層膜の高反射膜(HRコート)を施した。反対の面には反射防止膜(ARコート)を施した。励起光源には太陽と色温度に近いアークメタルハライドランプを用い、ランプ光を定期的に点灯してロッドの励起を行った。ロッドに注入された励起ランプ光は、レーザー媒質の内部を全反射しながら伝播して吸収される。ロッドの出口には直後1mmに平面の部分反射ミラーが配置された。

■ミラー反射率90%で最大のレーザー出力パワー

Fig.3にランプ光入力に対するレーザー光の出力特性の測定結果を示す。この励起パワー密度の範囲では、出力ミラーの反射率が90%の場合でNd/Cr:YAGセラミックは最大のレーザー出力パワーが得られた。入力パワー640mW(太陽常数の70倍)に対してレーザー出力は240mW、光-光変換効率は38%が得られた。Fig.4にレーザー出力側ミラーの反射率に対する総合変換効率の変化について示す。この実験では、Nd:YAG結晶では、出力ミラーの反射率が98%、Nd/Cr:GSGG結晶では、出力ミラーの反射率が95%、Nd/Cr:YAGセラミックでは出力ミラーの反射率が90%の場合、最大の変換効率を得られた。これは、レーザー利得が励起太陽光吸収量の増加、およびCr添加による上準位寿命の増加により大幅に改善されたためと考えられる。

参考文献 [1] M. Nakatsuka, et al.;APLS 02, Osaka, Japan, 2002.

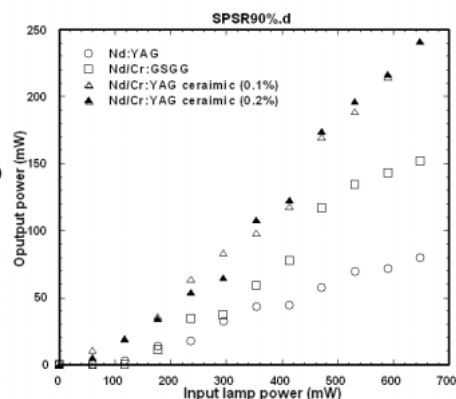


Fig. 3. Input-output property. R=90%.

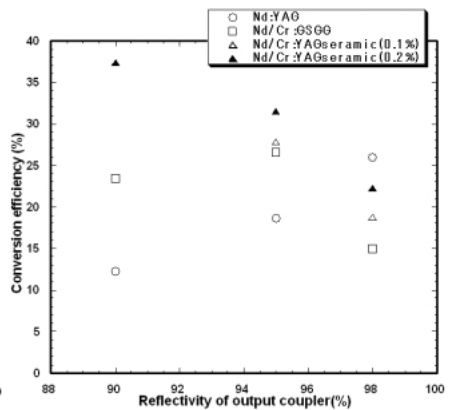


Fig. 4. Conversion efficiency.

野外におけるレーザービーム伝送

レーザービーム伝送研究チーム 橋本和久
東京工業大学 内田成明*

■レーザーの光も気象条件の影響を受ける

天気によって景色の見え方は変わっている。大気がきれいな晴れた日は遠くまできれいに見通すことができるし、雨や霧などの悪天候の場合だと、近くのものもまともに判別できないようなときもある。暖かい日などには陽炎により景色がゆらゆらゆらいで見えていることもあるだろう。われわれはこれらの景色を気象条件により影響を受けた結果の光として捕らえているわけである。もちろんレーザーの光であろうと同じように気象条件の影響を受ける。

■パワーの減衰特性が必要

屋外でレーザーを空間伝播させるようなアプリケーションを検討するうえで、気象による影響の考慮は必要不可欠なことである。重要な特性としては、パワーの減衰やポインティング精度、ビーム品質の変化といったところがあげられる。特にパワーの減衰特性はどのような用途においても必要とされるだろう。どのような特性が重要視されるかについてはそれぞれの用途ごとに判断されることになる。

■野外におけるレーザービーム伝送実験

昨年度、野外におけるレーザービーム伝送実験を(独)宇宙航空研究開発機構と共同で実施した。使用したレーザーは連続発振のNd:YVO₄レーザーで波長は1,064nm、出力は最大5W程度のシングルモード固体レーザーである。ビーム径は約30mmの大きさで送光し、500m先に設置した10inchの集光ミラーで受光した。

■水平方向500mを伝送させる実験場

実験は(独)宇宙航空研究開発機構、角田宇宙推進技術センター敷地内(宮城県角田市)にあるレーザービーム伝送実験場(次ページ写真)で行った。ここは少し山の中といった感じで、イノシシなどの動物もときおり見られるような場所である。レーザーは水平方向に500mの距離を伝送させることができる広さがあり、伝送路の両端にはプレハブ小屋が建てられており、それぞれにレーザー送光用と受光用の設備等が設置されている。屋外伝送での安全性確保のため実験場は地形をうまく利用した場所に設置されており、必要な箇所には遮光幕を設置、立ち入り制限も行って安全に伝送実験を行えるようになっている。

伝送路は未舗装の道、もしくは草地上で地上高2m程度の空間になる。伝送路には気象条件を測定するため、各種気象観測機器が設置されている。測定する項目は温度や湿度、日射量など多岐にわたる。

■伝送効率と視程の関係

各気象条件によるレーザーパワーの伝送効率の測定を行った。レーザーは約1Wの送光出力で、送受光それぞれのパワーをパワーメーターにて測定したもから算出した。晴天・降雪・キリの天候でデータが得られており、(図 次ページ)に示したように伝送効率と視程の関係をプロットした。視程とは気象パラメータの一つで大気の透過状態を表す量として水平方向で

物体を視認できる距離とされており、視程計という測定器が市販されている。晴天時は10km以上、もやで1km-10km、キリなると1km以下といった値になる。晴天時、視程5-50kmの範囲において約80%の伝送効率を得られた。視程に影響するのは大気分子、大気中に浮遊しているエアロゾルや水蒸気、大気擾乱等が考えられるが、この領域での視程の変化はレーザーの伝送効率にまったく影響がないようである。80%という値の妥当性については検討中である。

視程が10kmより短くなるのはほとんど降雨・降雪、キリといった気象状態によるもので、降り注ぐ雨や雪の粒、浮遊している水滴の影響が大きくなるものとなる。レーザーパワーの伝送効率も視程が短くなるにつれ低い値となる傾向が見られている。降水時にはその降水強度との相関が得ることができれば直感的にわかりやすく有用だろう。

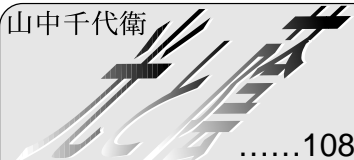
■大気擾乱につれてビーム位置の揺らぎも拡大

話は変わるが、500mレーザーを伝播させるとそのビーム位置が揺らいでいるのを見ることができる。伝播後のビームをCCDカメラで撮影したもからその振幅を求めた結果、大気擾乱が大きくなるにつれてビーム位置の揺らぎが大きくなる傾向が見られた。大気擾乱はシンチロメータという測定器により測定される屈折率変動の大気構造定数 C_n^2 [m^{-2/3}]によりあらわしている。この値が大きくなるほど大気の屈折率の変動が激しく、擾乱が大きい状態といえる。特に日射があるときは空間の熱の分布が乱雑になり、擾乱が大きくなる傾向が見られている。

■一日を通してビーム平均位置がゆっくりと移動

また、一日を通してビームの平均位置がゆっくりと移動していくのが見られた。これは垂直方向において顕著に見られ、伝播路の大気が地面温度の変化により垂直方向に温度勾配を持つ

山中千代衛



中空的権力構造とリーダーシップ

わが国の権力構造は古くから多くの場合中心となる人物は無色透明の存在で、まわりの派閥取り巻きの人達が話し合いで合意を形成し案件を裁いてきた。戦後民主主義をアメリカから押し付けられた時も昔のいわゆる中空的権力構造こそが民主主義の王道だと理解してきた嫌いがある。したがって鳩首協議の上、八方がうまく治まるよう玉虫色の結論を出すのが良しとされてきた。

身近なところでも大学の意志決定がそれであった。筆者の大阪大学工学部での経験、また姫路工業大学の学長時代での体験からしてもこの形は厳として存在し、改めるのは並大抵のことではなかった。当時大学の権力構造で最上位にあるのは評議会、教授会であった。したがって学長とか学部長というのは中空的な存在が期待され、まず司会者の立場であった。

唯一の例外は大阪大学レーザー核融合研究センターの構造であろう。ここでは所帯が小さいこともあり、センター長のリーダーシップが確立していた。勿論研究の目標がはっきり「核融合の実証」と見定められていたから、全部門の組織を最も効率よく、且つ有機的に運営し、しかも構成メンバーの志気を高く保つことに成功したのである。もし構成員の教授、助教授、助手、ポスドク、大学院生、学生がてんでばらばらの目標を立て、各自気ままに研究を展開していたら、決して現在も保っている世界に誇る名声は得られなかったであろう。

姫路工業大学では前後6年にわたって大学の管理運営に心胆を砕いてきたが、ここでも全学の構成員が自ら選んだ学長に対してもリーダーとしての認識は希薄で、評議会、教授会が意志決定の最高機関だという、わが国固有の中空的権力構造が存在していた。この状態では現状維持がやっとなで、大学の活性化、研究・教育の向上にはつながらない。いわゆる玉虫色の妥協策以上のものは生まれないのである。しかし姫路工業大学の場合は若手で構成したファカルティークラブの進言もあり、次第に学長のリーダーシップに関して理解が生まれて来たのは誠に幸いであった。

好ましい有能なリーダーを選び、任期一杯思う存分力を発揮させるといった民主的負託のルールが必要である。もしリーダーが期待に答えられない時は交替させればいいのだ。グローバルな視点に立つと、英国でも米国でも、また、ロシアでもリーダーに自らの力を発揮させる方法で国の運営を進めている。中空的権力構造を良しとする旧態依然とした政治体制では、今日の国際社会に伍していけないのは火を見るより明らかである。

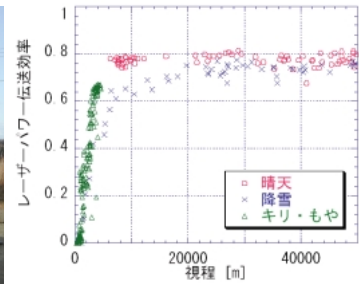
昨今のわが国の政情を眺めてはリーダーを必要とする思いが益々強く湧いてくる。この9月の総選挙では賢明な国民の智恵の発現に期待したいものだ。

【(財)レーザー技術総合研究所 研究所長】

た結果、屈折率勾配ができ、それによるビームの曲がりか時間を追って変化しているのではないかと推測している。

このように伝送路の大気熱分布に起因していると考えられるビーム位置の変動が見られている。ポインティング精度が求められるアプリケーションにおいては注意すべき点であろう。
(*主任研究員)

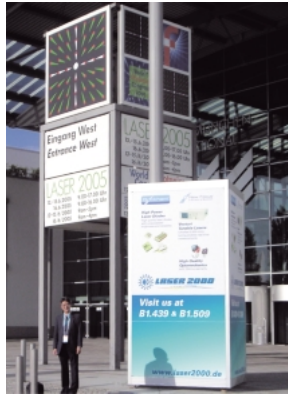
【写真】レーザービーム伝送実験場
【図】伝送効率と視程の関係



REPORT

CLEO-Europe'05国際会議報告

主任研究員 藤田雅之



◆CLEO-Europe '05開催される

去る6月13~17日、ミュンヘンで、フォトンクス関連の国際会議であるCLEO-Europe '05が開催された。米国におけるCLEO国際会議は毎年開催されるが、これとは別に2年おきに、ヨーロッパと環太平洋地域でも地域版CLEOが開催されている。今年は、5月にCLEO本会議、6月にCLEO-Europe、7月にCLEO-Pacific Rimが開催され、まさにCLEOの当たり年である。CLEO-Europeの大きな特徴は、同時に複数会議と展示会を併設し“World of Photonics Congress 2005”という名称の大規模なイベントとして実施されることである。今年は7つの会議が同時開催された。一つの会議に登録することで併設の会議にも参加できる。ただし、この期間中はミュンヘン市内のホテルが軒並み2-3倍に値上がりするのがつらい。

◆ハイパワー固体レーザー：ディスクかファイバーか

近年、産業用のCWハイパワーレーザーとしてディスクレーザーとファイバーレーザーの性能がきつ抗し、ユーザーは選択を迫られている。今回はパネルディスクカッションでの比較・討論が試みられた。当然、講演者は自分のレーザーがいいに決まっているという発表をするのであるが、現状では、ドイツの自動車メーカーが溶接用途に導入しているディスクレーザーに軍配が上がっているように感じられた。これは、レーザー装置の性能そのものよりも、導入前後のサポートなどユーザーに安心感を与える開発体制が奏功していると言える。ファイバーレーザーと言えばIPG社であるが、市場戦略に甘さがあるのであろう。おそらく、日本のメーカーが本気でハイパワーファイバーレーザーを開発すれば市場に受け入れられるのではなかろうか。

◆フェムト秒レーザーもファイバー化

独フリードリッヒ・シラー大学から平均出力131W、パルス幅220fs、パルス繰り返し周波数71MHzのフェムト秒ファイバーレーザーシステムがポストデッドラインで発表された。種光源としてYb:KGW発振器(パルス幅150fs)を採用し、増幅にはフォトリニク結晶ファイバー(コア径40μm)を用いている。繰り返し周波数を上げて平均パワーを稼いでおり、パルスエネルギーは1.8μJと穴開け・切断には小さすぎるが、ファイバーでもここまでできるということが実証された。内部加工や三次元光メモリの読み書きには十分なエネルギーであると言える。

◆フェムト秒加工の動向は？

フェムト秒加工を国家プロジェクトとして推進したドイツであるが、今回は目を見張る加工应用の話が見当たらなかった。すでに産業界に入り込んでしまったのか、ネタ切れなのか、真相は分からない。新しい利用法の開拓という点では日本の方が積極的かつすそ野が広いという印象を受けた。レーザーを用いた微細加工はパラメーター制御によりナノ秒・ピコ秒のパルスで充分であるということが定説となってきたという背景もあるであろう。

◆OPCPAの盛り上がり

今年に入ってOPCPAの発表件数がCLEO本会議やCLEO-Europeで増加の傾向にある。この背景としては、数年前のOPCPAはハイパワーを目指した増幅手法としての位置付けであり限られた研究所でしか実験が行えなかったが、フォトリニクファイバーの普及で極短パルスの増幅手法としての意義が高まり装置への要求のバリエーションが低くなってきたことや物理研究への展開という方向性が加わってきたことが考えられる。パラメトリック過程で発生する光子の位相がロックされていることに着目した研究も増えつつある。

◆文化財へのレーザー応用

ヨーロッパでは考古学や文化財へのレーザー応用が盛んである。文化財のレーザークリーニングはすでに有名であるが、今回はLIBS(Laser Induced Breakdown Spectroscopy)応用が興味をひいた。遺跡からの出土品や絵画の表面の微小部をレーザーでアブレーションしプラズマ発光を分析することにより、土壌の由来や使われていた顔料の由来などが特定できるようである。さらには、絵画の二度塗り、三度塗りの様子も解析可能となる。ここではフェムト秒パルスも使われていた。また、月面探査機(ローバー)への搭載で遠隔LIBSにより月表面の分析を行う計画があることも紹介された。

◆欧州独自の特色、動向を注視

CLEO-Europeは欧州独自の特色が出ており、毎回新鮮味を感じる。地道に息の長い研究が進められていたり、すぐに何の役に立つかわからないが真理探究に根ざした研究が数多く見受けられるのである。また、“World of Photonics Congress”という意味では、学問的領域と産業利用を同時に俯瞰できる貴重なイベントでもある。2年おきの開催ではあるが、継続的に動向を注視したい。