

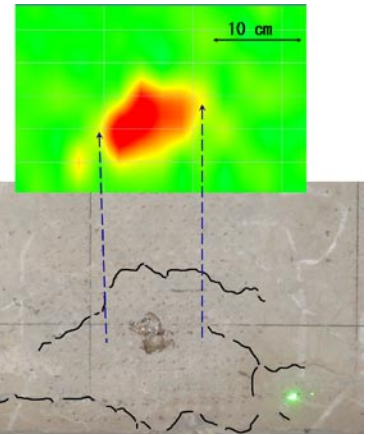


2008, Dec.

No. 249

CONTENTS

- レーザー超音波リモートセンシング装置による橋梁コンクリート探傷実験
- 太陽光直接励起パルスレーザーの開発
- 【光と蔭】研究テーマの発掘と成果の追求
- 国際会議報告
- Boulder Damage Symposium 2008に参加して
- 主な学会報告予定



【表紙図】コンクリート欠陥と探傷結果

レーザー超音波リモートセンシング装置による橋梁コンクリート探傷実験

レーザー加工計測研究チーム 島田義則

■プロトタイプシステム

当研究チームはレーザー超音波リモートセンシング装置の開発を進め、検出感度の向上や振動安定化装置、およびスキャン装置を開発して、当初の目的であったプロトタイプシステムを完成させた。平成20年10月中旬から2週間に亘って、この装置を山陽新幹線の第2滝が谷橋梁(兵庫県神戸市西区)へ持ち込み、実コンクリート欠陥探傷実験を行った。実験場写真を図1に示す。探傷箇所は橋梁の天井部分に入ったコンクリート剥がれとした。完成させた探傷装置は距離5 mの遠方からでも計測できる検出感度を有し、スキャン装置により欠陥の2次元画像を得ることができる。

■振動安定化装置

トンネルコンクリートや探傷装置はそれぞれ自由振動で揺らいでいる。自然揺らぎはおおよそ20Hz程度である。この揺らぎはダイナミックホログラム結晶内に書き込まれるイメージのコントラストを低下させ、欠

陥検出効率を低下させる。このため、トンネルコンクリートと探傷置換の相対揺らぎを取り除くことが検出効率向上に繋がる。野外実験では、振動安定化装置を開発して探傷装置に組み込んだ。振動安定化装置はコンクリート表面から反射して戻ってくるプローブ光と参照光との波面の位相ずれを検出し、ずれを補償して相対揺らぎを停止させるものである。事前の実験では、振動安定化装置を用いた場合の信号強度は、用いない場合と比べて平均で3倍向上する結果を得た。さらに、この装置はレーザーをスキャンした場合に生じるミラーの振れや、橋梁に新幹線が走行する際に生じる振動をキャンセルさせることができるため野外実験では大いに活躍した。

■欠陥検出アルゴリズム

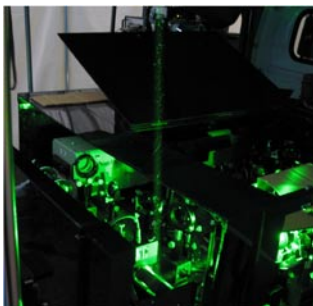
欠陥検出アルゴリズムは(財)鉄道総合技術研究所が主となり開発したものでコンクリートから帰ってくる振動波形から健全部か或いは欠陥部分かを判定する重要な役目を持つ。今回の装置には4種類のアルゴリズムを組み込んだ。アルゴリズムには大きく分けてフーリエ変換を用いるものとウェーブレット変換を用いるものに分かれる。フーリエ変換法では振動数の低い結果ほど欠陥である確率を高くする。また、ウェーブレット法では周波数が低く、振動が長く続くほど欠陥である確率を高くするアルゴリズムを用いた。

■探傷結果

表紙図に探傷箇所の写真と約20×30cmを25cm間隔でスキャンして得られた探傷結果を



【図1】第2滝が谷橋梁での実験。丸印が探傷エリア



【図2】レーザー超音波リモートセンシング装置

次ページへつづく▶

レーザー超音波リモートセンシング装置による橋梁コンクリート探傷実験

示す。クラックで囲まれた中央部分にコンクリートの浮きがあり、それを探傷結果は捕らえることができた。この欠陥の他にも探傷を行い、同じような結果を得た。この様に探傷装置は欠陥を見事に検出できることを示した。また、10月31日には(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構の評価委員3名をお招きし、実験をご覧いただいた。評価は着実に研究が進められていると

のことであった。

■新幹線トンネルでのコンクリート実験に挑戦

11月より山陽新幹線新神戸トンネルでの実験を開始する。冬季のトンネル内の湿度は100%となり、眼鏡はすぐに曇ってしまう環境下での実験となる。湿度、気温或いは振動などの対策を行い実用化に向けた装置開発を進めていく所存である。

TOPICS

太陽光直接励起パルスレーザーの開発

レーザーエネルギー研究チーム 佐伯 拓

■レーザー推進方式に関する研究

宇宙空間での推進システムの開発は、将来の宇宙開発において大変重要である。様々な方式の推進システムが提案されているが、現在は電力効率の高い電気推進方式が主流となっている。それに代わる方法として、レーザーを物質に当てて発生するプラズマアブレーションの反作用を推進に用いるレーザー推進方式に関する研究が注目され、米国、ロシア、ドイツ、フランス、中国、日本等各国でこの研究が進められている。米国ミラボールはすでに10kW出力のCO₂レーザーを用い推進機の地上から71mの打ち上げに成功している。実際の地上打ち上げに必要なレーザー出力は、MW以上と膨大となるが、宇宙空間では重力に逆らう必要がないため、上記の高平均出力レーザーを必要としない。

■課題はレーザー装置の効率

レーザー推進のメリットとして、

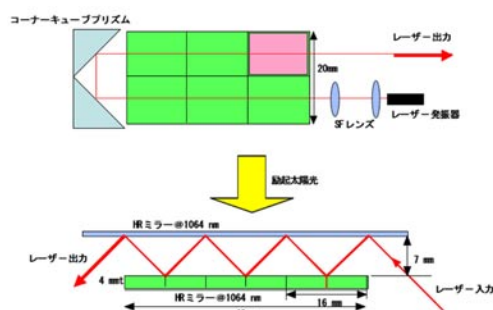
- 1) エネルギー源が外部にあり、そこからエネルギーを供給するため、本体の重量が軽くできる。
- 2) 比推力が1000秒以上と大きく、イオンエンジンを用いた小惑星探査機「はやぶさ」と同レベルである。軽分子材料を推進剤に使用することで、放出運動量を大きくし、かつ燃料の節約が可能である。
- 3) システムが単純でコストの低下につながる、などが挙げられる。

レーザー推進における開発課題は、レーザー装置の効率にある。従来の考えでは、宇宙ではレーザーを発生

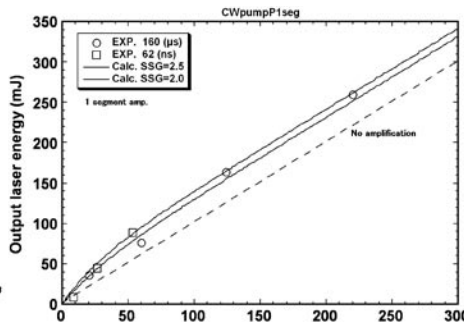
させるために太陽電池、燃料電池、原子力電池等の電源が必要であった。しかも、電気エネルギーからレーザーへの総合変換効率は5%未満であるため、衛星に大型電源が必要となり、ペイロードが非常に大きくなる。

■太陽光を直接レーザーに変換

レーザー総研、阪大グループは、太陽光直接励起レーザーの開発を行っている。太陽光から高効率なコヒーレントレーザーへの変換が、透明セラミック製造技術の進展により可能となった。CWレーザーの開発を行っており、光-光変換効率で40%をすでに達成している[1,2]。本レーザーは、パルスレーザー光生成も可能である。このレーザー供給システムは、他の装置と比較して単純で低コストであると考えられる。太陽光はレンズ等で集光してもその光強度は高々1kW/cm²であり、集光して物体に当たったときに発生する温度は通常数1000度である。太陽光表面温度が6000Kであるのでエントロピー増大の法則によりそれ以上の高温発生は不可能である。太陽光をレーザーへ変換する場合、太陽光エネルギーを一度レーザー媒質に蓄積した後、コヒーレントな光、つまり、エントロピーの低いエネルギーに変換して放出する。パルスレーザーはCWレーザーよりもさらに瞬間強度が高く、ナノ秒パルスレーザーを物体に当たった際、物質の熱拡散時間よりパルスの時間幅が短いので、熱の蓄積が生じて物質表面に5万度以上の高温を発生することが容易となる。また、宇宙太陽光を直接レーザーに変換すれば、エネルギー供給源のペ



【図1】擬似太陽光励起パルスレーザー装置 (神島化学Nd/Cr:YAGセラミックを使用)



【図2】レーザーパルス増幅特性(1段階増幅、シングルショット)



【図3】室内アブレーション実験の様子(10Hz x 100mJ)

イロードを大幅に抑えることが可能となる。太陽光をレーザーに変換することで、このようなメリットが生まれる。

■疑似太陽光を用いた実験

ここでは、レーザー総研と東工大が日本宇宙フォーラム(JSF)からの委託研究として行った疑似太陽光を用いた低繰返しレーザーパルス増幅実験結果について紹介する[3]。図1に示す装置を用い、160 μ sおよび60nsのパルスレーザー増幅実験を行い、増幅に成功した。図2に増幅実験の結果を示す。レーザーの繰返しは最大で10Hz(用いた発振器による制限)であった。そのレーザー出力を用いてカーボン、金属などのアブレーションの観測も行った。カーボンターゲットのアブレーション写真を図3に示す。JSFの事後研究評価では、A+の最高評価を得た。室内の実験結果をここでは示しているが、屋外の太陽光を用いた実験も並行して行っている。

■今後の応用への期待

この太陽光励起パルスレーザーの応用は、高軌道物

資輸送船(HTV)の推進力などが考えられる。それ以外に高温発生を利用した応用はレーザー推進、デブリ除去、加工、金属還元など多く存在する。更なる将来の研究の進展と、国際宇宙ステーションでの実験が期待されている。

本研究の一部は「(財)日本宇宙フォーラムの宇宙環境利用に関する公募地上研究」による成果である。

参考文献

1. T. Saiki, S. Motokoshi, K. Imasaki, H. Fujita, M. Nakatsuka and C. Yamanaka, "Nd/Cr:YAG Ceramic Rod Laser pumped by arc-metal-halide-lamp", Jpn. J. Appl. Phys., Jpn. J. Appl. Phys., 46 (2007) 156.
2. T. Saiki, S. Motokoshi, K. Imasaki, K. Fujioka, H. Fujita, M. Nakatsuka, Y. Izawa and C. Yamanaka, "Effective Fluorescence Lifetime and Stimulated Emission Cross-section of Nd/Cr:YAG ceramics under CW Lamplight pumping", Jpn. J. Appl. Phys., 47 (2008) 7896.
3. 佐伯 拓、その他、"太陽光直接励起Nd/Cr:YAGセラミックパルスレーザーの開発", レーザー学会第375回研究会報告 高機能固体レーザーとその応用 No.RTM-08-14, 2008、7月、pp.7-11.

REPORT

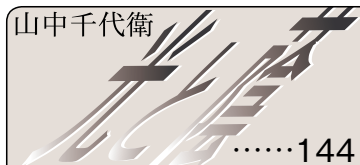
国際会議報告

Boulder Damage Symposium 2008に参加して

レーザー技術開発室 本越伸二

9月22~24日に亘り、標記国際会議が米国コロラド州ボルダーで開催され、参加講演を行ってきた。この会議はこれまで、"Annual Symposium on Optical Materials for High Power Lasers"と題して年1回開催

されてきた光学素子のレーザー損傷に関する国際会議である。今年は、第40回の記念大会であり、これまでのレーザー損傷に関する研究の推移なども紹介された。筆者らは、低温冷却条件下における光学素子のレーザー



研究テーマの発掘と成果の追求

研究においてすぐれた筋脈を掘り当てるには勘が必要であると昔からよく言われたものである。来る日も来る日も研究に没頭して掘れども掘れども一向に筋のいい結果が出ない。ところがある日一條の光が差し込んで理解が

すすみすぐれた成果に到着できることがある。このための条件として必要なのは不断の研鑽努力である。寝ても覚めても一つのテーマに集中することが出来ればいずれ筋脈に到達する可能性はある。

研究のテーマ選定は研究者にとってきわめて重大な仕事である。筋のよいテーマを発掘すれば、それだけで研究は半ば成功したも同然であると言う。しかしこれが中々むずかしい課題で、一見手頃なテーマを見計らって着手しても望ましい成果にやがて到着するというわけには行かない。

研究テーマ選びにつとめ、見込のありそうなテーマを案出したとしても確率的にはその1割位しか評価に耐える結果に立ち至らないのが普通である。得てして可もなく不可もなしという結果に終わる。

研究テーマ選びの次に大切なことは研究の展開力と持続力である。研究遂行に当たってあらゆる条件を考慮し、最も適切な手法を選択し、綿密に研究を推進する能力が求められる。

最適の研究計画の手法としてはまず研究テーマの発掘が鍵であり、次はその研究推進方策のあり方となる。この場合研究を一人で抱え込んで四苦八苦するより能力のあるメンバーとタグマッチすることが有効とされている。チームを組むことが要諦となってきた。

最近では研究もチームにより互いの専門を共用して強力に推進する方式が推奨されている。世の中は分業の時代になってきたのである。そのために戦略的な組織力のあるリーダーシップが求められる。何はともあれコミュニケーション能力が必要なのだ。

【(財)レーザー技術総合研究所 研究所長】



【図1】第40回記念加工ガラス 【図2】会議参加者

損傷について講演を行ったが、その内容については別稿に譲り、ここでは他の講演内容について紹介する。

● パルス圧縮用回折格子

日米欧がそれぞれ進めている超短パルス(0.5~10ps)高強度レーザー装置では、チャープパルス増幅法が採用され、最終的に大型の回折格子を用いてパルス圧縮される。各国ともこの回折格子の精度、レーザー損傷耐力が、出力エネルギーを制限する要因となるため、その開発は重要である。この会議では、米国Plymouth Grating Laboratoryと仏国原子力研究所の2件の講演があった。前者は、日本の(有)岡本光学との共同で大阪大学に設置されたもので本紙No.247で紹介したものである。後者は、同じく誘電体多層膜回折格子を採用するが、誘電体層の下に金属膜を施し、誘電体層数を少なくしても回折効率を維持できるように設計。しかし、高いレーザー損傷耐力を持つためには、最表面の格子構造の設計と金属膜へ強いレーザー光が届かないようにすることが重要となる。現状では400psのパルス幅においては、5J/cm²の高い損傷閾値が得られていると報告された。

● 小さな損傷の検出

米国Livermore研究所からシステム内の光学素子の微小な損傷をどのように検出するかが報告された。

米国で建設されているNational Ignition Facilityでは、最終の光学素子へ入射されるエネルギー密度は損傷閾値に達している。そのため、入った損傷を正確に早く検出する技術が必要である。本講演では、450×450mm²の石英材料内の1μm以下の損傷を検出するために、波長

532nmの低出力レーザー光を全面に掃引し、側面からその散乱光を検出する手法を紹介。現状では、5μm程度の損傷を1時間以内に検出することが可能である。

● 高耐力競争の結果報告

同一光学素子のレーザー損傷耐力の比較を一斉に行う試みがあり、その結果が報告された。今回は、波長1064nm用高反射膜(入射角0°)で、35ヶ所の企業、研究所から試料が出された。使用された高屈折率材料はHfO₂が最も多く、また約半数は電子ビーム蒸着によるミラーであった。最も高い損傷閾値を示した試料は、プラズマエッチング後に電子ビーム蒸着されたミラーであった。近年、イオンビームを使用したアシスト、スパッタリングの膜でも高耐力の報告がなされているが、今回の一斉の評価では、電子ビーム蒸着の半分程度の閾値であり、高出力レーザー用としてはまだしばらくは電子ビーム蒸着に頼らざるを得ないのが実状のようである。

● 今後の高耐力化への流れは

この他、高繰返しパルスによるレーザー損傷のモデルや、研磨材による損傷閾値の違いなどの報告があった。次に繋がると思われる新しい技術については報告がなかった。高耐力光学素子開発の現状は、横並びであり、新しいアイデア、新しい技術により努力すれば世界をリードできると感じた。

主な学会報告予定

- 1月10日(土)~12日(月) レーザー学会 第29回年次大会(徳島大学)
 李 大治 「レーザーコンプトン散乱ガンマ線による粒子源開発」
 染川 智弘「白色光偏光ライターの開発」
 藤田 雅之「積層MEMSのためのパルスレーザー支援低ストレスダイシング技術の開発」
 砂原 淳 「極端紫外光源開発のための放射流体シミュレーション」
 島田 義則「レーザープラズマ放射マイクロ波を利用した埋設物探査技術」
 「レーザー超音波リモートセンシングを用いたコンクリート内部欠陥探傷実験」
 佐伯 拓 「CW白色光励起光源を用いたNd/Cr:YAGセラミックレーザー増幅器のパルス飽和増幅特性」
 「太陽光直接励起Nd/Cr:YAGセラミックパルスレーザーの開発」
 本越 伸二「石英材料内部損傷閾値の温度依存性」
 「大口径マルチモードファイバを用いた高出力パルスレーザーの伝送特性(2)」
 「Ce:YAG材料の励起状態吸収の評価」
 古瀬 裕章「高出力全反射アクティブミラー型低温冷却Yb:YAGレーザー」
- 1月24日(土)~29日(木) SPIE Photonics West (San Jose, CA, USA)
 藤田 雅之「Low-stress dicing assisted by pulsed laser for multilayer MEMS」
- 1月29日(木)~30日(金) 溶接学会 Mate2009「エレクトロニクスにおけるマイクロ接合・実装技術」シンポジウム(パシフィコ横浜)
 藤田 雅之「積層MEMSのためのパルスレーザー支援低ストレスダイシング技術の開発」