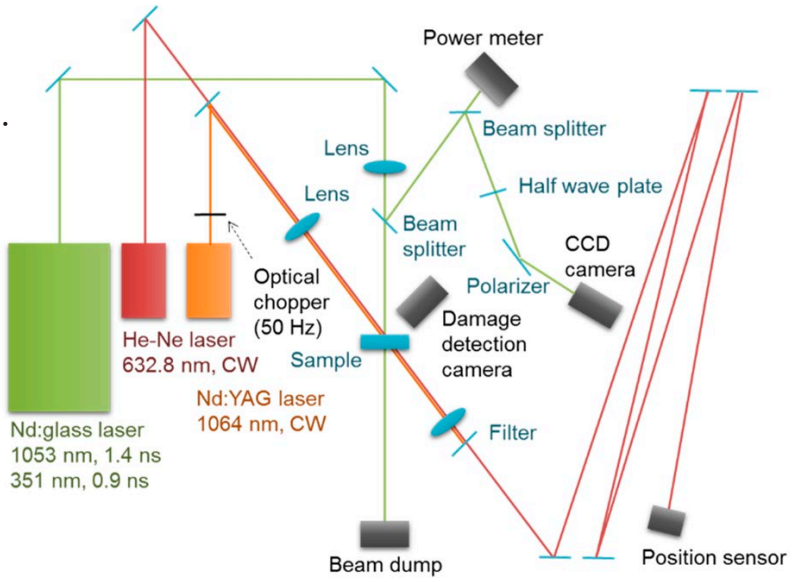
ISSN 0914-9805
Institute for Laser Technology
LASER CROSS レーザー・クロス
2015, Apr.
No. 325

CONTENTS

▌熱偏向法を用いた光学素子のレーザー誘起欠陥評価
▌SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)研究概要
－レーザーを活用した高性能・非破壊劣化インフラ診断・補修技術の研究開発－
▌【光と蔭】大学の使命
▌主な学会等報告予定



【表紙図】熱偏向法による光学素子の微小吸収評価実験配置

熱偏向法を用いた光学素子のレーザー誘起欠陥評価

レーザー技術開発室　三上勝大

筆者は2013年9月～2014年8月の約1年間、米国ニューヨーク州ロチェスター大学にあるLaboratory for Laser Energetics（以下、LLE）で滞在研究員として研究に取り組んだ。本稿ではLLEで取り組んだ研究成果を紹介させていただきたい。なおLLEで在籍したOptical Materials Technology Groupの活動内容については、Laser Cross No.323, 2015 Feb. に掲載の拙文をご覧いただきたい。

●レーザーコンディショニングとレーザー誘起欠陥生成

レーザー損傷が生じるエネルギー密度（以下、損傷しきい値）以下のレーザーパルスであっても、光学素子と相互作用することが知られている。レーザーコンディショニングは損傷しきい値以下のレーザーパルス照射によって光学素子の不純物が除去される現象と理解され、損傷しきい値が向上する。一方で、損傷しきい値以下のレーザーパルス照射によりカラーセンターなどのレーザー誘起欠陥が生成することもあり、この場合は光学素子の透過率減少や損傷しきい値低下が生じる。このレーザーコンディショニングとレーザー誘起欠陥生成は損傷しきい値以下のレーザーパルスにより生じる現象としては同じであるが、損傷しきい値へ与える影響は相反している。レーザー装置の安定した繰返し動作のためには、光学素子と損傷しきい値以下のレーザーパルスの相互作用を詳細に理解することが必要である。筆者は、LLEにおいてレーザーコンディショニングやレーザー誘起欠陥生成を光学素子の微少なレーザー光の吸収（以下、微少吸収）の変化として評価する系を構築し、研究に取り組んだ。

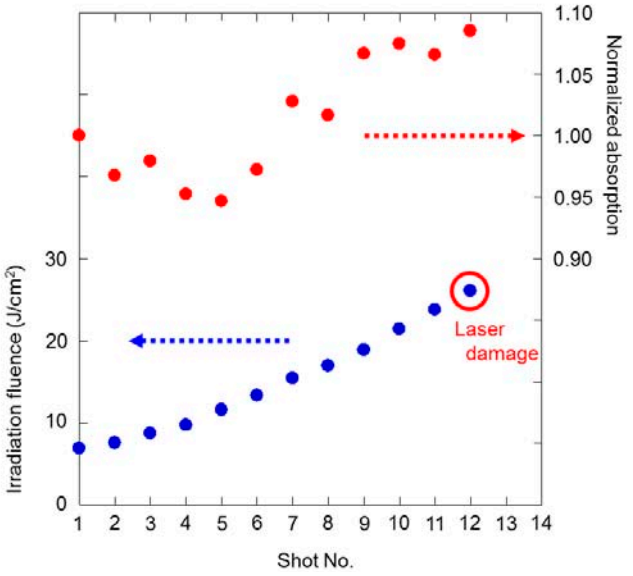
●熱偏向法による微少吸収評価

光学素子の微少吸収の測定を行うには、評価試料にレーザー光を照射した際の微少な温度変化を測定する。

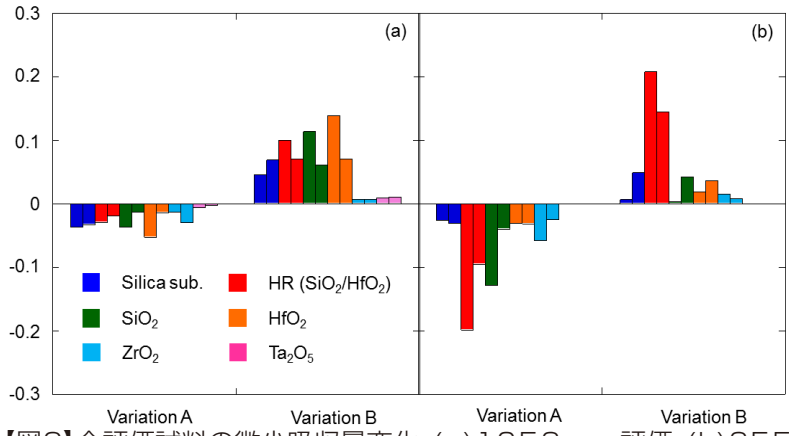
次ページへつづく▶

これは、不純物の光吸収や欠陥準位から生成する自由電子の非輻射緩和を原因とする熱発生によるものである。温度変化の評価方法として、音波として検出する光音響法や、サーモビュワーで直接検出する微少熱量測定法などが用いられている。本研究では、最も低い微少吸収量の測定が報告されている熱偏向法を用いた。熱偏向法とは、ポンプ－プローブ計測の一つである。ポンプ光を用いて評価試料の微少吸収により加熱することで、屈折率分布が生じる。ポンプ光と同軸に通したプローブ光は、その生成した屈折率分布によりポインティングがわずかに偏向する。この偏向量より、微少吸収量や微少吸収係数を評価する手法が熱偏向法である。

本研究では3種類のレーザー装置を用いて評価系を表紙図のように構築した。損傷しきい値評価用としてNd:Glassレーザー、ポンプ光としてNd:YAGレーザー、プローブ光としてHe-Neレーザーを用いた。ポジションセンサーによりプローブ光の偏向量を測定した。ポジションセンサーは2Dラテラルエフェクトダイオードを使用し、得られた信号はポンプ光を50 Hz変調するために用いた光学チョッパと同期したロックインアンプによって信号の増幅を行った。評価試料上における照射位置は損傷しきい値評価用レーザーおよびポンプ光を同軸とし、プローブ光は偏向量が最大となるように調整した。



【図1】HfO_2単層膜のパルスレーザー照射による微少吸収の変化(青：照射レーザーエネルギー密度　赤：微少吸収量（初期値で規格化））



【図2】全評価試料の微少吸収量変化 (a)1053 nm評価 (b)355 nm評価

●レーザー照射による微少吸収の変化

図1に評価例として、石英基板上のHfO_2単層膜試料の結果を示す。評価方法は照射箇所を固定し、レーザー損傷が生じるまで損傷しきい値評価用レーザーのエネルギー密度を徐々に増加させ（図1 青点）、各レーザー照射前に微少吸収を評価（図1 赤点・初期値で規格化）した。レーザー照射により微少吸収は低下し、あるエネルギー密度を境に増加に転じた。ここで図1 の微少吸収における初期値から最低値までの変化量をVariation A、最低値からレーザー損傷が生じたときの値までの変化量をVariation Bとして、6種類の評価試料を各2回評価した結果を図2に示す。図2(a)は波長1053 nm、図2(b)は波長351 nmによる評価結果である。全ての評価波長および評価試料において、微少吸収は減少した後に増加に転じ、レーザー損傷に至ることが分かった。これは、レーザーパルスが低エネルギー密度ではレーザーコンディショニングが生じ、高エネルギー密度では一転してレーザー誘起欠陥が生成したものと推測される。今後、詳細に評価、解析をすることで、損傷しきい値以下のレーザーパルスと光学素子の相互作用の解明を目指す。

●おわりに

本研究では損傷しきい値評価系に熱偏向法による微少吸収評価系を導入し、損傷しきい値以下のレーザーパルスにより光学素子の微少吸収変化の評価に成功した。この研究の応用として、レーザー誘起欠陥は不可逆的な損傷ではなく熱アニール等で修復できることを活用し、従来の不可逆的な破壊試験ではなく可逆的な非破壊による損傷しきい値評価手法の検討に取り組み

SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）研究概要 ーレーザーを活用した高性能・非破壊劣化インフラ診断・補修技術の研究開発ー

レーザー計測研究チーム　島田義則

■ILTがSIPに参画

SIP（Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program、戦略的イノベーション創造プログラム）は、現内閣主導の下、総合的・基本的な科学技術・イノベーション政策の企画立案や調整を行うため新たに設置された「総合科学技術・イノベーション会議」が創設した、府省や研究分野の枠を超えた科学技術イノベーションを実現するためのプログラムであり、予算500億、期間最長5年という大型プロジェクトである。SIPでは、燃焼技術、エネルギーキャリア、海洋資源調査、自動走行システム等、10の課題を設置しており、その一つに「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」がある。この課題は、国内に現存するインフラを高水準で維持・管理するシステムを新技術により実現

山中千代衛 エッセイ ……213

大学の使命

かつて大学は学の蘊蓄を究めるところと定められ、研究と教育がその使命であった。

戦後大学の大衆化が計画され、1000に及ぶ大学らしきものが設立された。かつては専門学校という範疇に属した学校も大学を名乗っている。かくして今日の大学は高等研究の名の下いわゆる職業教育が主体を占めるようになった。腰の重い文部科学省は大学を処理しかねて大学院大学という区分を設け、せめて曽ての研究と教育の場を取り戻したいと思うようになった。

ところで本来の大学では研究と教育の一体化が必須なのである。すばらしい研究テーマが出てきても、これに取り着く研究者がいなければまさに絵に描いた餅である。ここに教育の必然性が生まれてくる。曽ての大学では3年間の教育課程を経た4年の学生はそれぞれ大学教授が主管する講座に配属され、親しく研究のあり方を伝授されたものである。これがいわゆる卒業研究で、テーマを与えられ、その対処の仕方から情報の集取、研究論文のまとめ方に到るまで。こと細やかに指導を受けたのである。

教授の側も毎年参加してくる数名の学生の教育には肝胆を砕いたものである。この人達が成長すれば自らの研究の協力者になる訳だから力が入る。学生にはもまれにもまれ自己主張の強い者、恵まれた環境でおっとりと育った者、地頭のいい者、持久力に富んだ者、まことに各人千差万別である。それを講座のスピリットに合致するよう日頃指導し、激励、賞揚、叱咤することになる。ゼミナールを通じ、直接個人指導により、研究討論によりまさに手中の玉を育てるような努力が求められる。

大学教育の精華の大半はこの卒業研究指導で実を結んだのである。これら4年生は就職する人も大学院に進む人も一視同仁、鍛えに鍛え、磨きに磨いて卒業を迎える。この人達はまさに社会の枢軸を担える人物に育成されて行った。

いかなる人が成長を遂げるか一概には言えないが、ことに当たって決して逃げない、所要のテーマに自らを献身的に集中できる人物は未来が自ずと開けるのである。

たとえ能力があっても自分のことばかり考えている人間は大成しない。　【名誉所長】

し、維持管理システムの新市場の創造や海外展開を行うことを目的としている。当研究所ではこれまで、レーザー計測法を用いてトンネルや橋梁といったインフラの内部構造の診断を非破壊で行う技術の開発を行ってきたが、今回理化学研究所（理研）、原子力研究開発機構（原研）等と共同で本プログラムへ参画することとなった。本稿ではその概要について述べる。

■レーザーの社会インフラ老朽化への活用

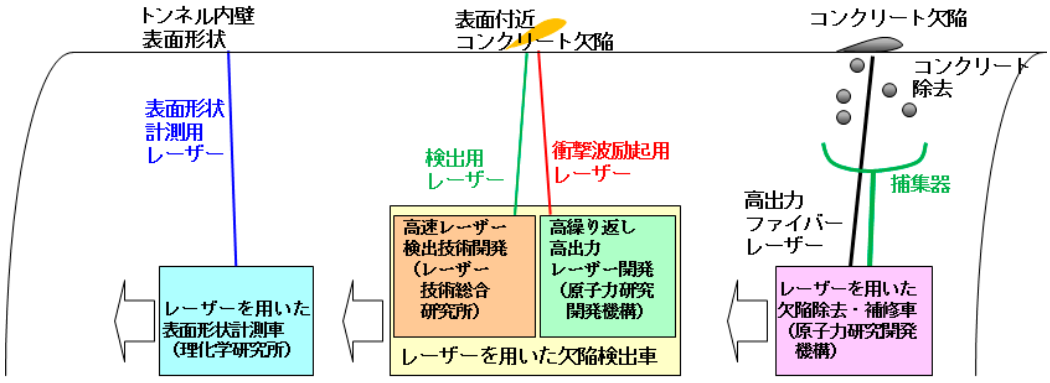
高度経済成長期に建設されたトンネルや橋梁等のインフラのリスクが大きな社会問題となっている。こうしたインフラを点検し適切な処置をすることによって、危険を回避し、さらに長期間に及び運用を行うことは、我が国の今後の成長に重要な要素と位置付けられている。鉄道事業者はコンクリート構造物表面からのコンクリート片剥落事故を未然に防ぐため、打音検査を定期的に実施している。しかし、打音検査は労力がかかることや欠陥の判定に個人差が出ること、定量的な評価が出来ないなどの欠点があるため、打音検査に代わる手法が求められている。当研究所ではJR西日本と共同でトンネル覆工コンクリートの欠陥検出技術開発を行ってきた。本プログラムでは、この技術開発を加速・推進させるため理研、原研という日本の最先端を走る研究所の高速・高出力レーザー技術や計測技術を導入することにより、インフラ維持管理のためのレーザーを用いた高速かつ非接触な診断・補修システムを開発する。

■高性能インフラ診断・補修システムの開発

本プログラムにおける技術開発項目は大きく三つに分類される。第1は、理研が担当するレーザーによる表面計測及び構造体の3次元計測開発（レーザーを用いた表面形状計測）。第2は、当研究所が行ってきたレーザーによって誘起される振動を利用した表層部の欠落寸前のコンクリート診断法の開発（レーザーを用いた欠陥検出）。第3は、原研が担当するレーザーを用いたコンクリートの破砕・補修データベースの構築（レーザーを用いた欠陥除去・補修）である（図1）。上述の3技術を組み合わせて次世代技術を展開する。

当研究所における技術的課題の主なものは診断の高速化で、現状の10倍以上の高速動作が必要となる。このため当研究所では、レーザー干渉技術の高速化、ガルバノミラー等を用いた走査速度の向上、およびデータ処理の高速化等の基礎技術を確立し、原研が開発する高出力レーザーと同期させてコンクリート欠陥を検査する技術を構築する。3年後にはプロトタイプを用いて野外実験を行う予定である。

この技術の成果によりコンクリート検査の更なるスピードアップが期待できる。さらに本技術を港湾設備等他のインフラ構造物にも応用し、汎用性の高い高速遠隔検査システム開発の道を開拓していきたいと考えている。



【図1】レーザーを用いたトンネル覆工コンクリート診断・補修技術開発の概念

主な学会等報告予定

4月22日（水）～24日（金） The 4th "Advanced Lasers and Photon Sources Conference "（パシフィコ横浜）
ハイク コスロービアン 「Coherent Combination of Four High-Power Laser Beams Using Bernoulli Discrete Probability Distribution Based Algorithm 」
藤田　雅之「High Power UV Laser Processing of CFRP with Various ns Pulse Waveforms」

6月22日（月）～25日（木） LiM2015（ミュンヘン国際見本市会場）
藤田　雅之「High Power UV Laser Processing of CFRP with Short ns Pulses and Pulse Splitting」

7月5日（日）～10日（金） 27th International Laser Radar Conference（ニューヨークシティカレッジ）
染川　智弘「RAMAN SPECTROSCOPY MEASUREMENT OF CO_2 DISSOLVED IN SEAWATER FOR LASER REMOTE SENSING IN WATER」

発行／公益財団法人レーザー技術総合研究所 編集者代表／谷口誠治 〒550-0004 大阪市西区靱本町1-8-4 大阪科学技術センタービル4F TEL(06)6443-6311 FAX(06)6443-6313