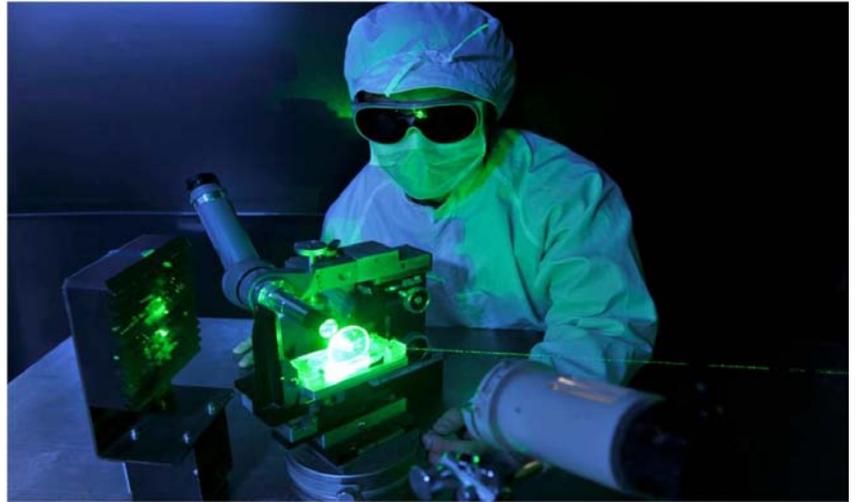


## CONTENTS

- レーザー損傷耐力評価とデータベース化試験
- Photonics West/LASE2014国際会議報告  
～キロワット級パワーレーザーの最新動向～
- 【光と蔭】姫路工業大学の思い出「知天時 尽人事」
- 主な学会等報告予定



【表紙写真】レーザー損傷耐力試験の様子

## レーザー損傷耐力評価とデータベース化試験

レーザー技術開発室 本越伸二

光学素子を高出力レーザー装置に使用する場合、その光学素子がどれくらいのレーザーエネルギーに対してまで使用可能か、を表す「レーザー損傷耐力」は反射率、透過率等と同様に重要なパラメーターである。しかしながら、市販の耐力測定装置はなく、レーザー照射により測定する必要がある。また、レーザー損傷耐力は、光学素子を使用する環境や、レーザー光の条件によっても異なるため、規格化することも難しい。

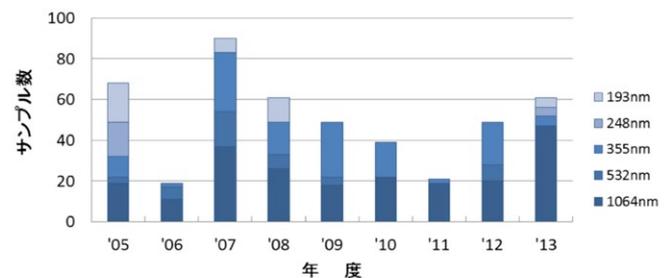
ILTでは、光学素子のレーザー損傷に関する相談や試験の依頼を受けるようになって10年目になる。さらに、光学素子メーカーと協力して始めたデータベース化試験も6年たち、計12回実施した。本稿では、ILTにおけるレーザー損傷耐力試験の現状をまとめるとともに、平成25年度に実施したデータベース化試験結果について述べる。

### ●9年間で450個のレーザー損傷耐力試験

ILTでは、技術相談窓口を設け、レーザー装置やレーザー加工、レーザー計測に関するさまざまな相談に応え、時には「お試し照射」などを実施している。「光学素子にダメージが入って困っている」という相談から、レーザー損傷耐力試験を始めることになった。図1にこれまで依頼を受けて実施したレーザー損傷耐力試験サ

ンプル数の推移を示す。景気の動向や、他の研究との関係で、年により大きく変動しているが、年々新しい企業からの相談、依頼もあり、昨年度は60個を超え、これまで450個を超える試料の評価を実施したことになる（後述のデータベース化試験試料を除く）。近年はユーザーからの問い合わせもあり、さらに増加すると考えられるので、評価体制を整えて対応していきたい。

もう一つの懸案事項は、CW、高繰り返しレーザーに対するレーザー損傷耐力試験である。kW級ファイバーレーザーが普及し始め、CWレーザーでも光学素子の損傷や寿命が課題になり始めている。昨年度も数社からCWレーザーによる試験の相談を頂いたが、現在は、エキシマレーザー装置を除き、すべて単一パルスレー



【図1】レーザー損傷耐力試験実施サンプル数

次ページへつづく▶



## レーザー損傷耐力評価とデータベース化試験

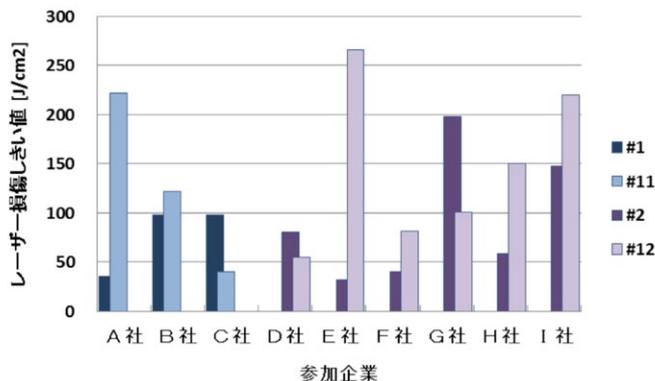
ザーによる試験(1-on-1またはN-on-1)で対応しているため、お断りせざるを得なかった。まずは100W級のCW照射、およびkHz繰り返し照射が可能となるように、設備の整備や準備を進めている。

### ●レーザー損傷耐力の標準化へ

毎回一つの性能仕様を決めて、光学素子メーカーから提供して頂いた光学素子に対して同一レーザー条件で損傷耐力を評価するものが、「データベース化試験」である。参加メーカーには、その試料の結果と、レーザー損傷耐力度数分布を報告している。この度数分布から自社製品の位置づけが可能となる。またユーザーの参考になるように、度数分布についてはホームページ上で公開している。表1に、これまで実施した12回の光学素子の種類と参加企業数、試料数を示す。当初は、初めての試みであったことや無料であったこともあり、約20社の企業が参加していたが、現在は10社程度に落ち着いている。これら10社からは、データベース化試験以外にも個別に損傷耐力試験の依頼があることか

【表1】データベース化試験参加企業数と試料数

回	光学素子種類	企業数	試料数
1	1064nm用ミラー	19	41
2	1064nm用ARコート	22	57
3	532nm用ミラー	25	69
4	532nm用ARコート	18	65
5	355nm用ミラー	17	41
6	355nm用ARコート	14	40
7	248nm用ミラー	11	26
8	248nm用ARコート	11	29
9	1064nm透過/532nm反射コート	7	21
10	1064nm透過/532nm反射コート	7	21
11	1064nm用ミラー	8	18
12	1064nm用ARコート	9	30



【図2】第1回と第11回、第2回と第12回の各社最高損傷しきい値の比較

ら、積極的に高耐力化に取り組んでいることが伺える。昨年度は、もう一度1064nm用素子を行ってほしい、という意見があったので、第1回、2回と同一仕様の光学素子による試験を行った。興味がある点は、この5年で各社が高耐力化をどれほど進めてきたか、である。図2にミラー(第1回、11回)、ARコート(第2回、12回)の各社の最高レーザー損傷しきい値を比較した。両方のデータベース化試験に参加した企業のみを比較であるが、おおむね第11回、12回の方が高い損傷しきい値を示した。特に、A社、E社については、5倍から10倍の耐力向上に成功している。

この結果を受けて、今年度は、第3回、4回と同一の532nm用光学素子のデータベース化試験を実施する予定である。特に、第4回のARコートでは、各社とも思うような耐性が得られていないので、大きく耐力改善が図られるものと期待している。

さらに今後、上述のCWレーザー、繰り返しレーザーパルスに対するデータベース化試験を実施し、メーカー、ユーザーともに有益な情報を提供したい。

最後に、ご協力頂いた多くの光学素子メーカーに感謝の意を表す。



## REPORT

# Photonics West/LASE2014国際会議報告 ～キロワット級パワーレーザーの最新動向～

主席研究員 藤田雅之

### ◆国際会議Photonics West開催される

去る2月2日～6日に米国サンフランシスコのThe Moscone Centerで、フォトニクス関連の国際会議であ

るPhotonics West2014が開催された。例年、参加者は2万人規模で、二つの展示会が併設され出展社は1200社以上といった大規模なイベントとなっている。医療・

バイオ分野のBiOS、レーザーとレーザー応用を扱うLASE、電子光学デバイスや材料をカバーするOPTOといった主要な三つの会議と、幾つかのトピカルミーティングから構成されている。来年からは3Dプリンティングをテーマにした会議も計画されている。以下に、LASEで聴講した情報を元にkW級パワーレーザーの世界的動向を報告する。

#### ◆TRUMP社のディスクレーザー

TRUMP社の薄ディスクレーザーは、一枚のディスクからCWで10kWを出力する性能を有している(ただし、ビーム品質M<sup>2</sup>は110)と報告があった。励起光は44

パスさせており、ドープ量が低いYb:YAGを搭載しているものと思われる。光学的にかなり洗練された設計が施されているようである。製品としては、4kW機と8kW機をカタログ販売している。8kW機のビーム品質M<sup>2</sup>は8であり、75μmファイバーに結合して出力される。2009年にはBoeing社が10枚のディスクを直列に並べて30kWを出していたが、近年の性能向上は著しいものがある。

一方で、パルス増幅器としての性能も向上している。製品としては、数10nsパルスで基本波1.2kW、二倍高調波0.8kWが出されている。実験室レベルでは、基本波

山中千代衛



## 姫路工業大学の思い出 「知天時 尽人事」

兵庫県立大学は神戸商科大学、姫路工業大学、兵庫県立看護大学が統合して開学し、今年10周年を迎え記念事業が行われる。誠に喜ばしいことである。

顧みれば平成2年10月宇山忠男教授を初め多数の方々から招聘され姫路工業大学第10代学長に就任し、二期足掛け6年間大学活性化のため全力を挙げて尽力してきた。着任当初新設の理学部が西播磨テクノポリスの新都市キャンパスに移転したので、書写キャンパス工学部との交流を密にするため、手始めにテレビ会議を開設し理工の協力を進めた。また教養教育を司る一般教育部と専門教育部の乖離も気になり、姫路工大改革のため将来計画委員会を設立し、その下に6つのワーキンググループ、大学改善計画部会、長期構想推進部会、新大学附置研究所検討部会、工学基礎研究所検討部会、附属高校新設計画部会、ヒューマンサイエンス学部計画部会を編成した。

さらに学長の私的諮問機関として学長ワーキンググループを組織し、若手の教員方の英知を結集して頂いた。現学長の清原正義教授もその一人であった。また大学のあり方を客観的に判断するため学外の学識経験者を招聘して賢人会議を開催した。そこでは現代大学のあり方、大学の個性化、大学の国際化など稔りある建議が採択された。その結果大学評議会でも改革への機運が高まり、平成4年には自然・環境科学研究所が三田市に開所し、平成5年には工学基礎研究所が発展的に高度産業科学技術研究所としてSPring-8サイトに開設され、電子リングニュースバルが稼働した。新たに高大一貫を目指して附属高校も設立出来た。初代校長は細川敬延教授である。また姫路短大を合併する環境人間学部の設立が進展した。

平成6年には全学を挙げて創立50周年の記念行事を実施し、3億円の募金が集まり東 孝光阪大教授設計による書写記念館が建設された。また戸谷松司姫路市長の好意により書写中学跡地を譲り受け、書写キャンパスの整備をすすめた。姫路工業クラブを母体にする工大後援記念財団も発足した。姉妹校オーストラリアのカーテン工大に訪問団を派遣し、オリエントビーナス号クルージングによる洋上大学セミナーを開催した。平成7年1月17日の阪神淡路大震災はまことに衝撃的な事象であった。当時構想した三県立大学合併による兵庫県立大学の構想も現実のものとなり慶賀の至りである。

学長在任中協力して頂いた姫路工業大学の先生方、後援会の人達、事務局の人々、貝原俊民知事はじめ県の関係者らの面影は長く記憶に留まり、今日でも懐かしく思い出される。学長退任時に作られた書写記念館の前庭に「明るく 楽しく 未来のために」と刻んだ石碑を設けたが、これにはまさに「知天時 尽人事」が鍵となる。本年創基85年を迎える兵庫県立大学が本格的な総合大学として益々発展することを強く祈念している。

黒田官兵衛ではないがまことに姫路はいい処である。

【名誉所長】

で150mJのパルス出力を達成したとのことであった。これまでディスクを直列に並べて高出力化を図っていたが、今回は一枚のディスクに対してマルチパスで発振させた結果が報告されていた。4パス+Cavity Dumpにより数10nsパルスで基本波4.2kW(180mJ)、二倍高調波1.8kW(100mJ)、三倍高調波0.5kW(25mJ)を達成していた。

#### ◆IPG社のファイバーレーザー

今回、IPG社からの学会講演はほとんどなく、展示会でのカタログ発表だけであった。13種類のファイバーレーザーと1種類のファイバー結合半導体レーザーを”New Product”として発表していた。ファイバー結合半導体レーザーは波長976nmでCW1.5kWを200 $\mu$ mコアから出力するものであった。ファイバーレーザーの高出力化は、IPG社によりとうとう100kWに到達していた。100kWを500 $\mu$ mコアのファイバーで50m伝送する仕様になっている(300 $\mu$ mコアでは伝送距離10m)。これ以外にも、CWで6kW、5kW、QCWで2kW(ピーク20kW)がリリースされていた。

ナノ秒パルス発振での波長変換もラインナップが拡充し、出力/パルス幅/波長/繰り返し周波数で100W/1.5ns/532nm/30MHz、100W/1.3~2ns/532nm/10~30kHz、3W/1.2ns/355nm/10~300kHzが出されていた。超短パルスの分野では、50W/70ps/1060nm/10~1500kHzや5W/400~600fs/515nm/20~2000kHzが製品化されている。ファイバーレーザーはIPG社の独壇場である。

#### ◆ファイバーレーザーの高出力化

その他のファイバーレーザー関連では、NKT Photonics社からコア径400 $\mu$ mのPhotonic Crystal Fiberを用いて4kW励起で990Wを出力していた。2kW励起に対して熱的負荷は60W程度とのことであった。新しいデザインのフォトニック結晶ファイバーは冷却ハウジングと一体化されて展示してあった。

CREOLは反射型Volume Bragg Grating (VBG)に

よる4波長結合で2175Wの出力を実証していた。VBGの厚みは2mm程度であり、90%の光が最初の4分の1の層で反射されているとのこと。結合効率率は98%で各波長の間隔は0.25nmである。

#### ◆ファイバー結合高出力半導体レーザー

ファイバー結合半導体レーザーでは、Laserline社から25kW出力の報告があった。8個のスタックモジュールを偏光結合と4波長結合によりコア径2mmのファイバーにカップリングしていた。2014年4月には40kW機をリリースする予定で、100kWまでスケールアップであるとのことであった。

EUではBRIDLE (Brilliant Industrial Diode Laser)というプロジェクトが進行中である。目標値として、30 $\mu$ mコア(NA=0.22)から120W、3波長結合で100 $\mu$ mコア(NA=0.15)から2kWの出力を目指している。比較的狭いストライプ幅(30 $\mu$ m)のブロードエリアダイオードをベースに、波長結合のために回折格子が一体化されたミニバーを開発中とのことであった。

#### ◆次回の開催予定

今回は2015年2月7日~12日、今回と同じ会場で開催される予定である。



【写真】展示会場(Photonics West Exhibition)にて

### 主な学会等報告予定

- 6月16日(月)~20日(金) The Fifth US-Japan NDT Symposium-Emerging (アメリカ、Hawaii)  
オレグ コチャエフ 「Actual laser based methods of remote inspection of Shinkansen tunnels and highway bridges」
- 6月18日(水)~19日(木) 第53回光波センシング技術研究(東京理科大)  
島田 義則 「レーザーを用いたコンクリート構造物の健全性評価装置の開発」
- 6月24日(火)~25日(水) Stuttgart Laser Technology Forum 2014 (SLT2014, ドイツ Stuttgart)  
藤田 雅之 「Micromachining of DFRP with ultra-short laser pulses」
- 6月30日(月)~7月4日(金) 16th International Conference on Laser Optics (ロシア St. Petersburg)  
ハイク コスロービアン 「Coherent Beam Combining Technique for High Average Power Beams Using Simple Algorithms」