



【表紙図】ELI-NPに併設される光学センター外観図
全長70m、奥行30m、高さ13mの2階構造で大型光学素子製造設備は1階、製造した素子の形状、光学特性の評価装置は2階に配置される

SPIE Laser Damage 国際会議報告

共同研究員 實野孝久

(ELI-NP/IFIN HH Romania/大阪大学レーザー科学研究所)

2024年10月7～10日にカリフォルニア州San Ramonで行われたSPIE(国際光学技術協会)のLaser Damage会議(SPIE Laser Damage 2024)に出席した。この会議は光学素子のレーザー損傷に関する唯一の専門国際会議で、米国・欧州の主だったレーザー損傷の研究機関の関係者により運営されている。長年、コロラド州ボルダーで行われていたため、「ボルダーダメージシンポジウム」と呼ばれていたが、最近は米国内で持ち回りとなっている。

今年の会議はSan RamonのMarriotホテルが会場で、落ち着いた環境で報告を聞くことができた。会議に先立ってローレンスリバモア研究所(LLNL)のNIF(国家点火施設)の見学会が行われた。筆者も同施設を訪問するのは約十年ぶりであった。施設内に入る際のバッジオフィスで30年前の写真の付いたバッジが出てきて驚いた。NIFでの最近の核融合利得の実現により核融合関係の話題が広がっているが、施設としては以前と変わらず、地道な努力が積み上げられていることが感



じられた。今回の見学ではこれまでは公開されなかった光学素子を整備するクリーンルームを初めて見ることができた。また、光学素子の損傷部分をCO₂レーザーでコーン状に掘り込み、システム後段での損傷発生を防止する手法の詳細が説明された。

●ナノラミネートコートが注目

会議ではCEA(フランス原子力省)における損傷研究のチュートリアルその他、招待講演8件と口頭発表37件、ポスター報告26件が行われた。参加者は136名であった。会議の分野は下記の領域に分けられており、領域の後ろの()内はproceedings数を表す。会議の様子を写真に示す。以下文章内[]は講演番号。

Thin Films I & II (5)

Fundamental Mechanisms (1)

Materials and Measurement I - III (7)

Laser Damage Competition (1)

Mini-Symposium on Polarization Control I & II (2)

Surface, Mirrors and Contamination I & II (4)

Poster Session (6)

Digital Posters (1)

LLNLによるダメージコンペティション(同一条件で光学素子メーカーに素子を提供してもらい、同一条件下で損傷閾値を測定する恒例のブラインドテスト)ではYb:KGWレーザー(波長1030 nm、パルス幅200fs)

を使った比較が行われ、多重ショット時の評価も報告された [13190-22]。今回の会議ではナノラミネート(厚さ数nmの誘電体コート)と混合成膜について多くの報告があり、関心が微細構造に向いていることが示された。また最近注目を集めているIBS(イオンビームスパッタリグ)装置による誘電体膜について、ショット数を重ねると耐力が低下する

ことが複数の報告で述べられていた。ロチェスター大学から3倍波用のポリマーコートの報告があり、損傷耐力は高くないがKDPの防湿コートが可能であると述べられた[13190-27]。また別のロチェスター大学からの講演では、通常の誘電体コートは蛍光顕微鏡や原子間力顕微鏡で多くの欠陥が顕出されることが報告された[13190-55]。

●ELI-NPで光学センターを建設

筆者が所属するELI-NPからは筆者とDr. G. Bleotuが参加し、真空中の誘電体ミラーの汚染を反射光の分散測定から評価する手法[13190-43]と、これらの汚染をミラーから除去する方法[13190-47]について報告を行った。ELI-NPでは共同研究機関として外部ユーザーの実験が行われており、連続した照射実験が続いているため、多数の誘電体ミラーが炭化するという問題が生じている。この炭化は、大気中の有機物(油分)が真空チャンバーに侵入して誘電体ミラーの膜内に吸着され、超短パルスレーザー光で光分解されて炭素になると推定されている。この膜内の炭化はプラズマクリーナーでは除去が困難であることが判明している。これまで損傷耐力で評価していた汚染の有無を、分散測定で非破壊で読み取れ、コート条件を変えれば汚染が軽減できることを報告した。

新たにELI-NPに設置される光学センター(表紙図)



【写真】会場の様子

の概要を報告した[13190-47]。この光学センターではELI-NPレーザー装置に使用する超大型(88×65 cm)の広帯域ミラーを製造する予定であり、日本のオカモトオプティクス社と阪大レーザー研が協力している。実績のあるイオンアシスト蒸着(IAD)に加えて、これまでレーザー光学素子に使用されてこなかった新規技術を導入することにより、さらに大きな光学素子製造への布石を打つことを目指している。この報告に対して会場からは「なぜ最新のIBS装置を用いないのか」という質問があった。これに対して「IBSでは超大型の素子を生産できる装置が入手できない」と答えた。会議後、ドイツのハノーバーレーザーセンターから派生した

CEC(Cutting Edge Coatings)社で2mサイズの基板に成膜ができる装置が開発中であることが判明した。

●次回はロチェスターで

今回の会議には、ビザの関係で中国からの参加者が非常に少なく、筆者が推薦し採択されていた中国人研究者の招待講演もビザが取れず取り止めとなった。また日本からの参加者も少なく、光学機器メーカー2社のみの参加であった。

2025年は10月19～22日にロチェスターで開催され、ダメージコンペティションは波長1900nm用ミラーの予定である。

REPORT

Laser Korea Congress 国際会議報告

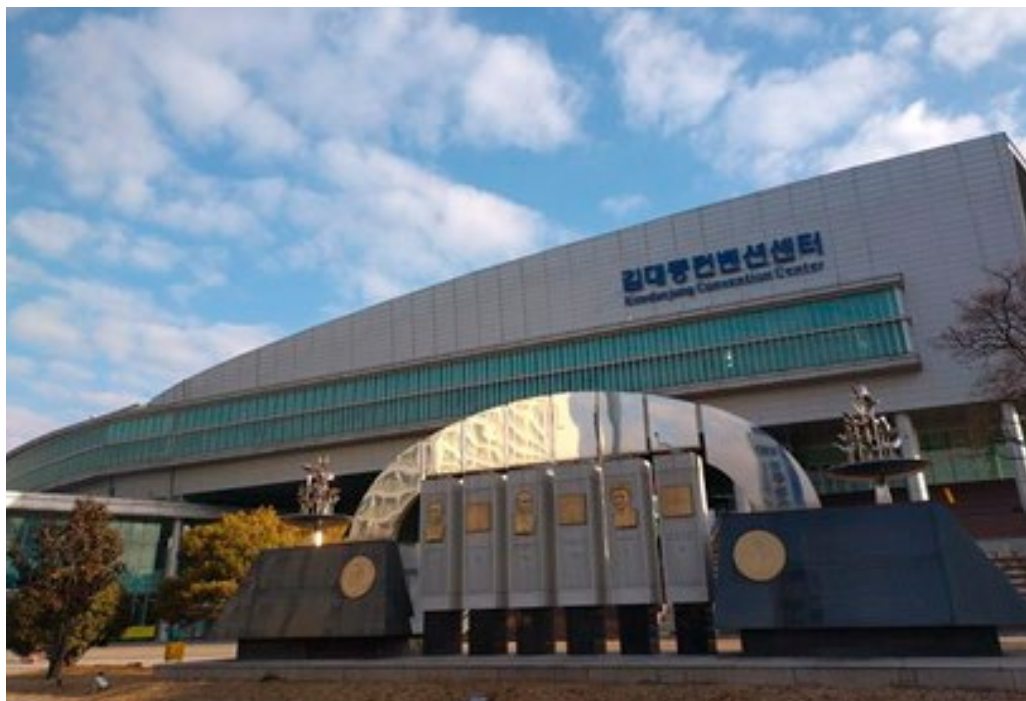
2025年1月15～17日、韓国、光州市で、「Laser Korea Congress 2025」(主催：韓国レーザー加工学会、ナノテクノロジー技術組合)が開催され、参加し交流を行ってきた。ご存じのように、大統領による戒厳令、務安空港での済州航空機事故など、昨年末から騒がしい韓国。光州は務安空港から車で約40分と便利であったが、事故で閉鎖。結局、釜山空港から高速バスで3時間の移動になってしまった。

会場は、金大中コンベンションセンター(写真1)。地元出身の元大統領の名前を冠していることから想像できるように光州市で最も大きなイベントホールである。センター玄関前には、ノーベル平和賞を受賞したゴルバチョフ元大統領、シーリーン・エバーディー女史と並んで元大統領のレリーフが飾られていた。

会議は単独セッションで進められ、計21件の講演

レーザー技術開発室 本越伸二

があった。今回は、レーザー加工以外に、レーザー安全、レーザー宇宙応用のセッションも設けられ、筆者はILTで長年研究開発を進めてきた太陽光励起レーザーについて講演を行った(写真2)。参加者は300名を超え、併催の展示会では出展企業も30社と、盛況な国際会議であった。以下、いくつかの講演内容を紹介する。



【写真1】会場の金大中コンベンションセンター

●宇宙デブリの観測

ドイツ航空宇宙センター(DLR)から宇宙デブリの探知測距装置について紹介があった。ロケットや衛星の残骸など、宇宙に取り残されている宇宙デブリは、1~10 mmサイズのものが1億3千万個、1~10 cmサイズで100万個、さらに10 cm以上のサイズで36000個もあるといわれている。日本でもJAXAを中心に、宇宙デブリの観測探知および除去方法の研究開発が行われている。DLRでは、ジェファーソン・ケプラー観測所に、主鏡175 cmのカセグレン望遠鏡を設置。高度2000 km以下の領域で、サイズ10 cmのデブリについて高度、材質の解析を行う。一方で、波長1064 nmのピコ秒レーザーを用いてデブリのトラッキングを行っている。現在、波長1645 nmのアイセーフレーザーを開発中と紹介された。

●三次元造形では“円環”パターン

米国nLIGHT社から、レーザー三次元造形における照射ビームパターンの効果について紹介。スカルマロイ合金粉末を使用した時、ガウス分布ビームに比べて円環パターンビームを用いる方が造形レイトが4~8倍速い(照射レーザーの出力や掃引速度を変えることによりガウス分布ビームでも造形レイトを上げることは可能だが、造形物に強い応力が発生する)。また、粉末溶融時のキーホールが安定し、蒸発圧力が低く、スパッタ粒子も軽減できるため、造形後の表面がきれいであることが報告された。



【写真2】Laser Korea Congress会場の様子(筆者講演中)

●ガラスの高アスペクト比加工

レーザー光を用いてガラスの穴開け加工をすると、クラックが生じたり、加工形状が真円ではなく、加工面の精度が良くないなど、多くの欠点を抱えている。その課題をレーザー照射と液相エッチングを用いて解決する方法が2件紹介された。一つ目は、ドイツ、LPKF Laser & Electronics社のレーザー誘起ディープエッチング技術と称する方法。ガラス基板にフェムト秒パルスを集光照射すると、自己収束と多光子吸収により光軸に沿って線状の損傷(フィラメント)または改質が起こる。その状態でウェットエッチングを行うとレーザー照射箇所が選択的にエッチングされ、高アスペクト比の穴加工が可能となる。レーザー光を掃引したり、エッチング時間を制御することにより、溝加工も可能。穴径も最小50 μm まで可能で、穴加工側面の粗さも0.1 μm 程度まで抑えることができるので、これまで難しかった微細ガラス加工を可能にしている。もう一つがリトアニアのWorkshop of Photonics社の選択的レーザーエッチングと称する技術。こちらも超短パルスレーザー光をガラスに照射し、その後液相エッチングを行うもの。講演を聞いても両社の技術の違いは判らなかった。穴径70 μm ならば厚さ700 μm 、穴径50 μm ならば厚さ500 μm まで、きれいな穴あけ加工を紹介していた。

●最後に

2年ぶりの韓国訪問であったが、若い研究者、技術者が元気である印象を受けた。日本と同様に経済格差、人手不足など課題の多い中でも、レーザー加工の分野に多くの人材が集まっているのは心強い。次回(第16回)は、来年2026年1月14~16日に開催される予定である。