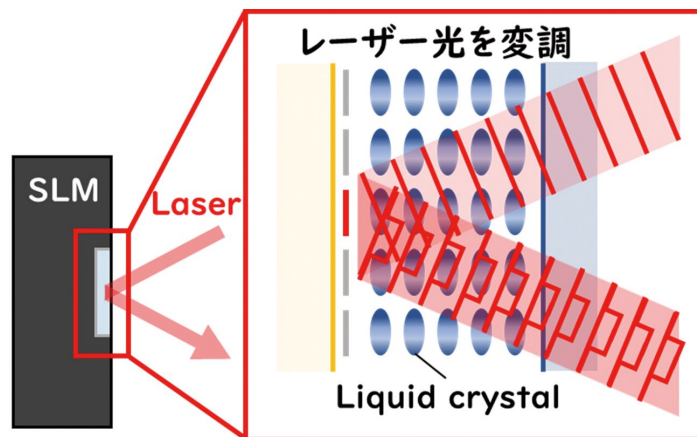


CONTENTS

- レーザー材料加工におけるLCOS-SLMへの期待
- LCOS-SLMの耐光性の評価
- レーザー総研オープンセミナー「レーザー加工からインフラ診断まで」～ILT2024 令和5年度研究成果報告会～を開催
- 新入研究員2名

LASER CROSS

ISSN 0914-9805



【表紙図】LCOS-SLMの模式図

レーザー材料加工におけるLCOS-SLMへの期待

岡山大学 岡本康寛

◆空間位相変調器をレーザー加工へ

一般財団法人光産業技術振興協会の光技術動向調査委員会における加工・計測分科会(主査：岡本康寛)では、空間光位相変調器SLM(Spatial Light Modulator)のレーザー材料加工への適応に注目してきた。近年、SLMの開発が進みkW級連続発振レーザーへの適用が期待できることから、同分科会を中心に一般社団法人機械システム振興協会の令和5年度イノベーション戦略策定事業に提案を行ったところ、「レーザー加工用光位相制御システムの市場開拓に関する戦略策定」事業が採択された。そこでは、岡山大学が「非対称レーザー強度分布」、レーザー技術総合研究所が「SLM のレーザー耐光性」に関する調査研究を行った。

◆レーザー材料加工におけるビームモードに対する要望

レーザー材料加工では、レーザー光を照射する領域へ光エネルギーが投入されることとなるが、ガウスモード(ガウス型空間強度分布)ではどうしてもレー

ザースポットの中心に大きなエネルギーが集中する。微細穴あけ加工や非線形現象を生じさせるためにはガウスモードが必要であるが、これがすべてのアプリケーションで受け入れられるとは限らず、均一に除去するためにトップハットモードが良いなどの要望が徐々に広がってきた。そして、1つの材料加工システムでビームモード(レーザー光の空間強度分布)を用途に応じて変更したいという要望が生じてきたのは必然の流れであろう。

◆ビームモードを好きに創ることができたら

レーザー光が発明された数年後からレーザー光は材料加工に利用されてきたが、そのビームモードはレーザー発振器によって制限されるところがあった。それでもレーザー材料加工は魅力的であり、ガウスモード、マルチモード、ドーナツモード、トップハットモード等を用いてレーザー材料加工は発展してきた。そしてさらなる多彩なプロセス開発に対する要望が高まり、出射後の光学系を用いたビームモード変換技術がレー



レーザー材料加工の魅力を向上させてきた。近年では複数のコアを有する光ファイバーや駆動光学系を用いて同一光学系で複数のビームモードを活用できるようになってきた。さらに今日ではイスラエルのCIVAN社が製品化したコヒーレント合波技術によって動的ビーム変換技術が出力kW級のCWレーザー材料加工分野でも利用できるようになってきた。ビームモードはレーザー材料加工特性を決定する大きな因子であり、プロセスに合ったビームモードを好きに創ることができたという要望は、レーザー材料加工分野に関係する人であれば常に誰もが持っているものであり、それが身近なものになりつつある。

◆LCOS-SLMのレーザー加工分野への適応

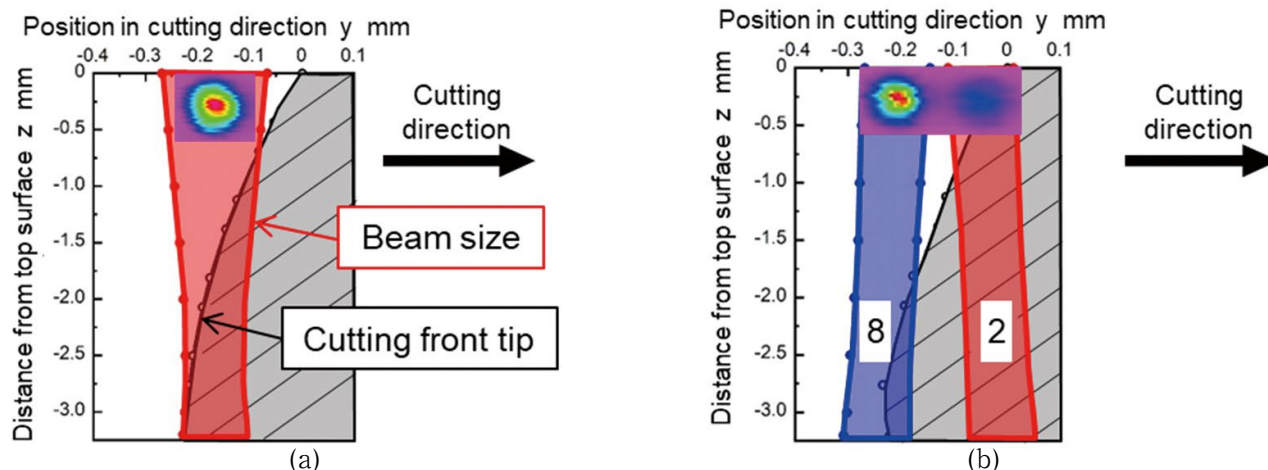
液晶技術の1つであるLCOS(Liquid Crystal on Silicon)を用いた空間光位相変調器SLM(Spatial Light Modulator)はLCOS-SLMと称され、画像処理などでは従来から活用されてきた。表紙図に示すように、アレイ状に配置された液晶素子を制御することで屈折角を管理し、レーザー光の波面を制御することが可能となる。このLCOS-SLMを超短パルスレーザーの材料加工プロセスに適用し、多点同時加工など魅力的な取り組みが行われてきたが、当初は平均出力が数W程度までしか利用できなかった。これが近年数百Wを超え、1kWに近づくレベルまで耐光性が向上してきたことから、LCOS-SLMを高出力レーザーによる各種アプリケーションへ適用する期待が高まってきたわけである。特に、ビームの形状とその強度分布を任意に作り出す可能性は、他の光学系にはない特徴であり、注目が集まっている。

◆2スポットビームを用いたレーザー切断特性¹⁾

ビームモードを制御した例としてレーザー切断加工における例を紹介する。図1は3kWの連続発振ファイバーレーザーを用いた切断加工における実験結果であり、切断フロントとビーム位置の関係を示している。レーザー光を2点に分岐して後方と前方の出力比を80:20に制御する2-spotを用いることで図1(b)に示すようなビーム位置関係を作り出すことができる。それによって、裏面に付着するドロス高さはシングルスポットが26 μm であるのに対して、2-spotでは18 μm まで低減できる。切断フロントにおけるレーザー光の吸収率を光線解析にて検討したところ、切断フロントの上部で48%であったものが下部では11%となり、後方と前方の出力比を掛け合わせた吸収パワー密度は同等の値となり、材料厚さ方向により均一性の高いレーザー光エネルギーの投入が可能となっていた。このようにシンプルに2-spotとして出力比を制御することであっても目的に応じて必要とする場所にレーザー光エネルギーを投入できることはプロセス特性向上にも大きく貢献できる可能性を有する。

◆kW級LCOS-SLMへの期待²⁾

LCOS-SLMを用いたレーザー材料加工の可能性を議論した一例を図2に示す。これは粉末床焼成法(PBF: Powder Bed Fusion)方式の3Dプリンタ積層造形に関するものであり、図に示す緑色で示す形状を造形するためには、(a)の従来法ではピンク色の丸で示す照射スポットを緑色の形状に沿って塗りつぶすようなレーザー光走査が必要である。一方、(b)に示すLCOS-SLMは点ではなく、任意形状領域を時間的に変化させることができるので面での造形が期待でき、造形時間の短

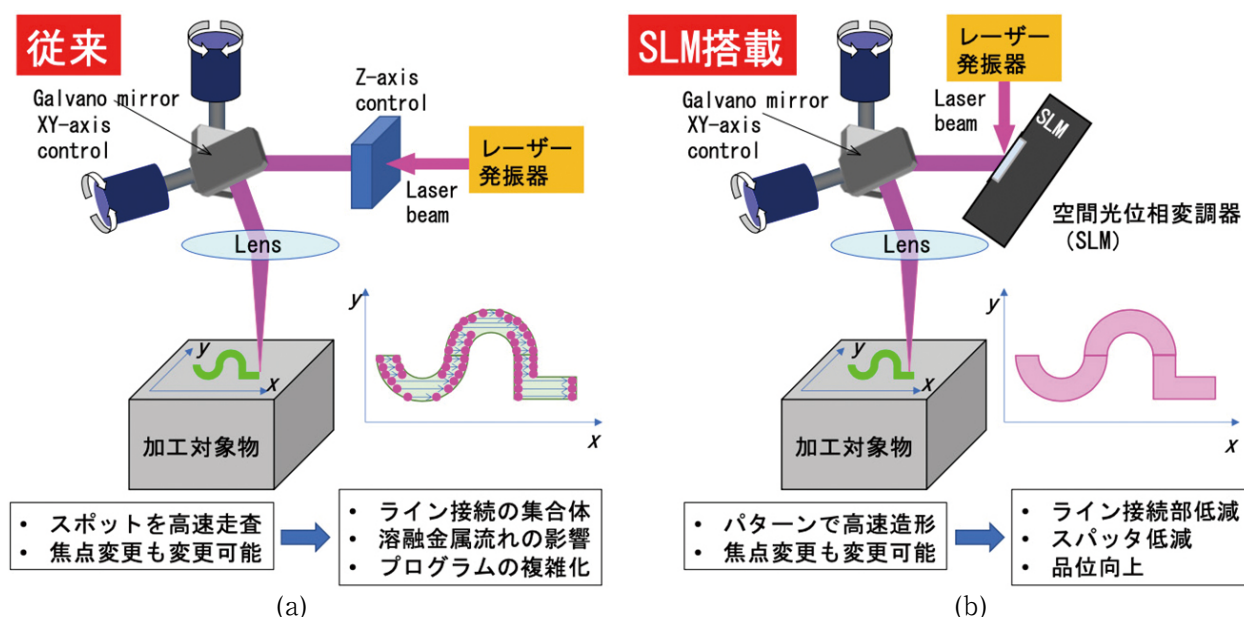


【図1】3kW連続発振レーザーを用いた切断加工における切断フロント形状とビーム位置の関係、(a) Single spot (ドロス高さ26 μm)、(b) 前方80%後方20%とした2-spot (ドロス高さ18 μm)

縮や造形自由度の向上など3Dプリンタのポテンシャルを飛躍的に向上できる可能性を秘めている。ただ、LCOS-SLMを有効に利用するためにはコンピュータ生成ホログラム(CGH: Computer Generated Hologram)技術の理解と作成手法、ならびにLCOS-SLMを含めた光学系の適正化など、開発すべき項目が残っているが、耐光性がkW級を超えることとなれば、LCOS-SLMはレーザー材料加工分野において欠かすことができない相棒となっていくことであろう。

* 令和5年度一般財団法人機械システム振興協会委託事業「レーザー加工用光位相制御システムの市場開拓に関する戦略策定」の研究内容の一部であり、深謝します。

- 1) Y. Okamoto et al., Journal of Laser Application, 35(4), (2023) 42049:1-11.
- 2) 機械システム振興協会, レーザー加工用光位相制御システムの市場開拓に関する戦略策定報告書, 機械システム調査開発5-D-3, (2024).



【図2】3Dプリンタ積層造形における任意形状パターン形成手法、(a)ガルバノスキャナーによるプロセス、(b)ガルバノスキャナーとSLMの併用プロセス

TOPICS

LCOS-SLMの耐光性の評価

レーザープロセス研究チーム 藤田雅之

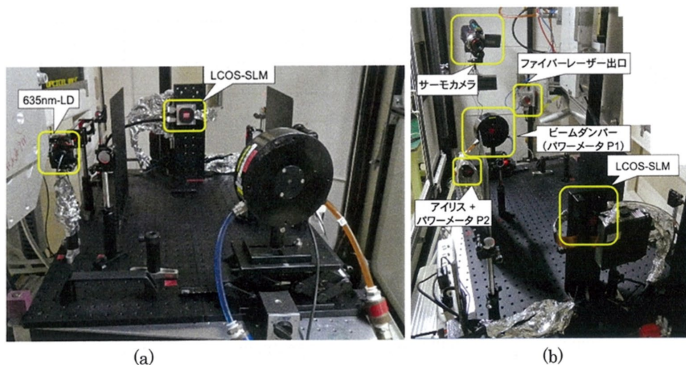
◆LCOS-SLMの熱特性の評価

前稿にあるように、レーザー総研は機械システム振興協会の「レーザー加工用光位相制御システムの市場開拓に関する戦略策定」事業において、kW級連続発振(CW)レーザーに対する「SLMのレーザー耐光性」に関する調査研究を担当した。対象としたのは、高出力レーザー向けに開発された水冷式の液晶空間位相変調器LCOS-SLM(Liquid Crystal on Silicon - Spatial Light Modulator)である。パワーレーザーをLCOS-SLMに照射した際に、ピークパワーが高いパルスレーザーであれば電界の影響で損傷が生じる可能性があるが、CWレーザーの場合は熱的影響が支配的になると

考えられる。そこで、kW級のCWレーザーをSLM素子に照射して時間的な安定性を測定することにした。

◆加熱用レーザーとプローブレーザーを用意

LCOS-SLMはパソコン制御により任意の空間強度分布をレーザー光に与えることができる。理想的に言えば、kW級CWレーザーをSLMに照射し続けて、生成されたパターンが安定的に維持できるのか測定したいところである。しかし、kW照射に耐えるCCDカメラは手元にない。そこで、kW級CWレーザーはSLMの加熱に用いて、別途プローブレーザーを用意して低パワーの光で生成したパターンの安定性を観測することにした。



【図1】kW級高出力レーザー光照射試験の実験装置写真
(a) と (b) はそれぞれ逆方向から撮影

◆軸外し集光パターンをフォトダイオードで観測

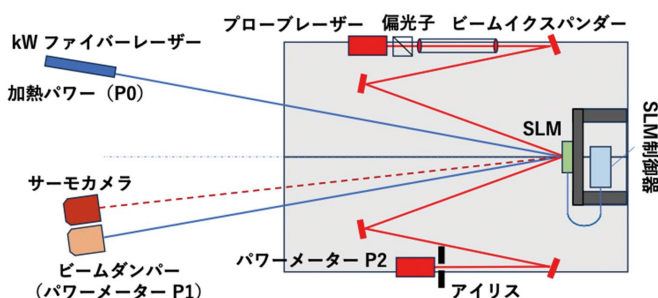
kW級レーザーはあくまで加熱に使うだけであるが、その散乱光や反射光が測定結果に与える影響が危惧された。高レベルの迷光がある環境で精度良く生成パターンの変化が観測できるのか？ また、生成された回折パターンの0次光の影響も避けたい。たどりついたのは、軸外し集光パターンの集光点を像転送しアイリスで迷光をカットして、その強度をフォトダイオードで観測する手法であった。(軸外し集光パターンでは、1次光である集光点は0次光から空間的に分離できる)

◆表面温度と回折パターンの安定性を測定

図1に実験装置写真を、図2に実験配置図を示す。LCOS-SLMにkWファイバーレーザーを照射すると共に、赤色プローブレザー光を照射し回折パターンを生成した。プローブレザー光の1次回折光をアイリスで切り出してパワーの変化を観測すると共に、SLM素子の表面温度を放射温度計(サーモカメラ)で測定した。放射率は0.9と仮定したため、相対的な温度を測定したことになる。加熱レーザー光のパワー及び照射スポット径を変化させて、プローブ光パワー及びSLM表面の相対温度を観測した。加熱レーザー光の照射時間は約2分間であった。

◆表面の温度変化は

図3に放射温度計による測定値の時間変化の一例を示す。SLM上の中心付近やハウジング等の5点(Point



【図2】kW級高出力レーザー光照射試験の実験配置図

a~d、液晶面中心部分の領域をBOX Aとして表示)を計測した。いずれの箇所も約20秒で平衡値に達し、照射終了後約10秒で室温まで低下した。図4に加熱レーザー出力に対するSLM表面(中心付近)の相対温度依存性を示す。集光径を17 mm、8 mmと変えて同様の測定を行ったが、顕著な差は見られなかった。集光径が17 mmと8 mmでは、照射強度は約4倍異なるが、SLM表面温度は照射強度に関わらず照射平均パワーにほぼ比例して変化することが確認された。

◆回折パターンの変化は

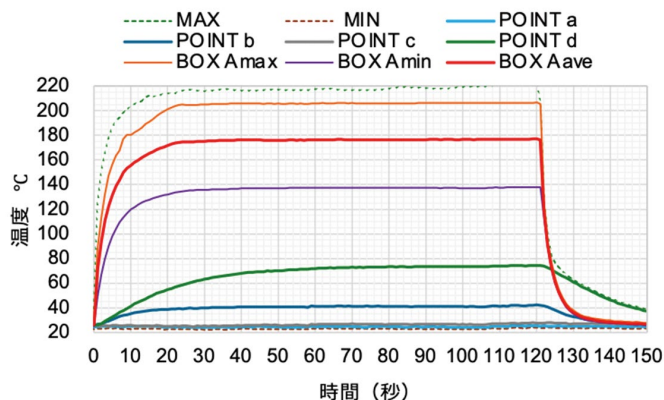
図5に加熱レーザー出力に対するプローブ光の回折1次光パワーの依存性を示す。回折1次光は微弱であるため、加熱直前のパワーの値を基準値(P_{BG})とし、回折1次光(P2)を基準値で割ることにより比($P2/P_{BG}$)として表している。従って、加熱レーザーの影響がない場合は、その比は1となる。図より、加熱レーザー光の照射出力が400 W以上で回折1次光パワーが徐々に低下している。図4から、出力400 W照射時のSLM表面温度は約70℃であるため、出力400 W以上または70℃以上で回折パターンが不安定化し始めることが分かった。

◆素子の損傷は見られない

ただし、温度が室温に戻ると回折1次光パワーは元の値に復帰した。実験では最大15分間、出力1 kWでSLMへ照射したが、照射終了後には回折1次光の出力は基準値近傍値が得られ、SLMは元の状態に戻っていることが確認されている。このことから、SLMの回折パターンは70℃以上で不安定化するが、素子の損傷は見られないと考えられる。また、集光径に対する顕著な差が回折1次光パワーでも確認できなかった。CWファイバーレーザーをLCOS-SLMに照射した際には、レーザーの電界効果ではなく、熱効果で挙動が支配されているといえる。

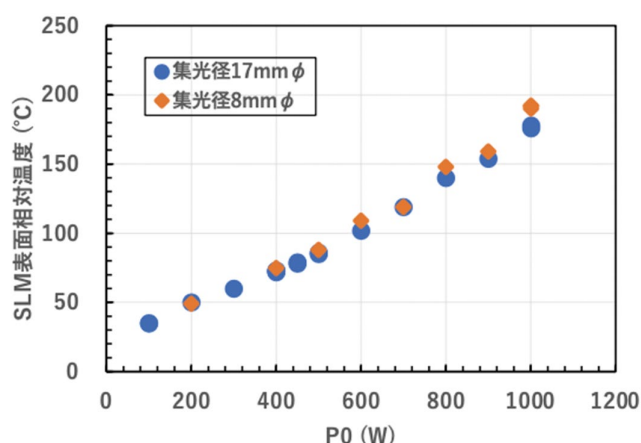
◆今後に期待

現状では出力400 W程度まで安定動作が確認された



【図3】放射温度計による測定値の時間変化の一例

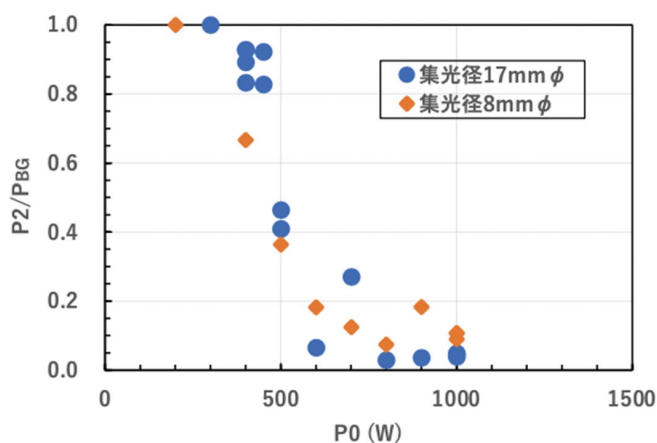
が、SLM素子の1 μm 光に対する吸収の抑制、排熱の高効率化により、出力1 kWレベルのレーザー光照射にも適用できる可能性が見いだされたといえる。もちろん、SLMの受光面積を大きくすることで耐光性は向上するが、製造コストの上昇をとまなう。新たな液晶材料の探索や排熱構造の改良による耐光性能の向上に期待したい。



【図4】加熱レーザー出力に対するSLM表面の相対温度依存性

実験は(株)フジクラの佐倉事業所にて行いました。関係者の方々のご支援に感謝申し上げます。

* 令和5年度一般財団法人機械システム振興協会委託事業「レーザー加工用光位相制御システムの市場開拓に関する戦略策定」の研究内容の一部であり、感謝します。



【図5】加熱レーザー出力に対するプローブ光の回折1次光パワーの依存性

NEWS

レーザー総研オープンセミナー

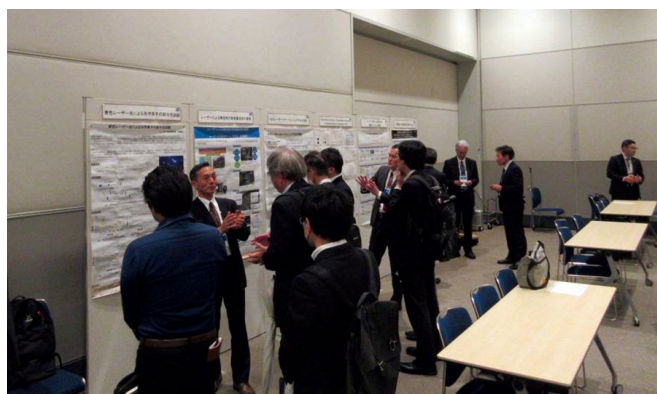
「レーザー加工からインフラ診断まで」

～ILT2024 令和5年度研究成果報告会～を開催

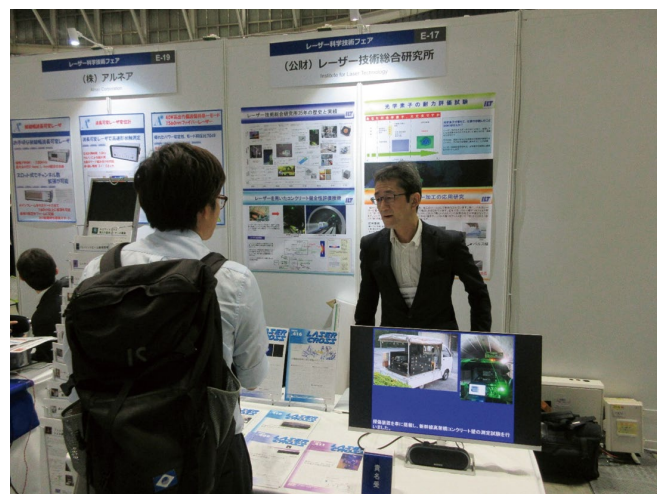
■ILTオープンセミナーを大阪で開催

令和6年10月29日、パシフィコ横浜(横浜市西区)にてレーザー総研オープンセミナー「レーザー加工からインフラ診断まで」～ILT2024令和5年度研究成果報告会～を開催いたしました。セミナーでは、レーザー加熱3Dプリンターを用いて月面模擬砂を3次元造形し建材へと適用する技術、高出力レーザーの大気中長距離伝

送を可能にする高速動作可変形鏡の開発、ライダー計測の感度・空間分解能の向上を目指した誘導ブルリアン散乱(SBS)によるパルス圧縮技術の開発、「海洋プラスチックごみ」の効率的・効果的なモニタリング手法の確立を目指したラマンライダーによるプラスチックの



【写真1】ポスター発表の様子



【写真2】展示会の様子

遠隔識別手法の開発、配管や密閉容器などから漏洩した気体を検知する技術の開発、青色半導体レーザーの高出力化に伴い使用する光学素子の耐光性に関する研究など、レーザー応用に関するさまざまな技術の基礎と現状について解説し、当研究所の最新の研究成果を報告いたしました。またセミナーの最後には研究員がポスター発表を行い、活発な意見交換をいたしました。

■「インターオプト2024 -光とレーザーの科学技術フェア-」に出展

令和6年10月29-31日にパシフィコ横浜にて光・レー

ザー、画像計測関連機器が一堂に介する技術展示会「インターオプト2024 -光とレーザーの科学技術フェア-」(共同主催：一般財団法人光産業技術振興協会、株式会社オプトロニクス社)が開催されました。弊所は、併催イベントとしてオープンセミナーの開催、ならびに技術紹介の展示を行いました。展示ブースでは技術紹介ビデオの上映のほか、パネル展示や本誌のバックナンバーの配布、技術相談を行いました。当日は多くの方にご来訪いただき、貴重なご意見をいただきました。

新入研究員

計測研究チーム いのぐち かずひこ 猪口和彦



2024年10月1日付けで、レーザー技術総合研究所・計測研究チームに加入致しました猪口和彦です。

福井大学大学院応用物理学専攻では、IV-VI属化合物半導体(SnTe)薄膜の物性研究を行いました。

その後、シャープ株式会社に入社し、光通信用パッシブデバイス(LiNbO₃導波路型や光ファイバー型・光分岐結合器など)の研究開発をはじめ、光磁気ディスク用ピックアップの開発、CD/MD用半導体レーザーの研究開発や、MOCVD装置による赤色半導体レーザーの量産化技術開発、LED素子の応用技術開発(鉄道車両用室内照明など)や液晶テレビ・ディスプレイ関連の特にLEDバックライト技術やフィールドシーケンシャル駆動・表示技術の開発に携わりました。

計測研究チームでは、LIBS開発関連のテーマを担当させていただきます。レーザー応用技術の発展に少しでも貢献できるよう努めて参りますので、何とぞよろしくお願い申し上げます。

新入研究員

レーザー技術開発室 はたけやま あつし 畑山 淳



2024年10月1日付けで、レーザー技術総合研究所・レーザー技術開発室に配属になりました畑山淳と申します。

前職はパナソニック株式会社(当時の名称)で、主に液晶プロジェクターやDMD(デジタルミラーデバイス)を使ったDLPプロジェクターの光学系基礎開発から商品化開発を担当しておりました。今回は、レーザー増幅システムの開発ということで、プロジェクター開発で培った知見を多少なりとも活かせる研究に参画させていただくことになりました。

光学アプリケーションを使ったシミュレーションを得意としており、レーザー増幅システムの精度、効率向上等に少しでも貢献できるよう努めて参ります。何とぞよろしくお願い申し上げます。