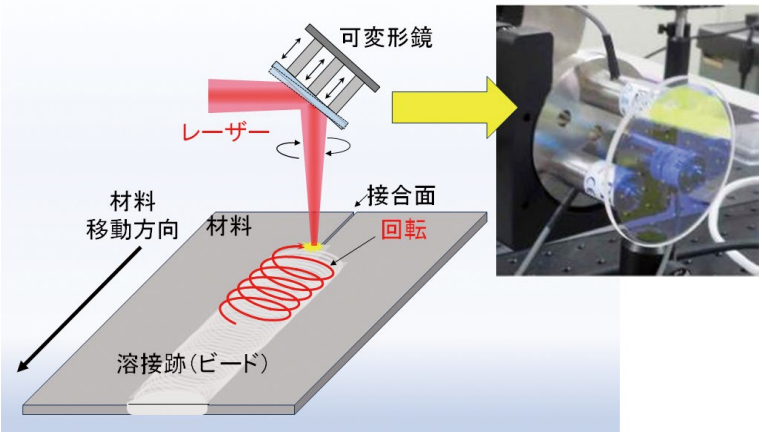
2025
No.420

LASER CROSS

CONTENTS

デフォーマブルミラーのレーザー加工への応用
レーザー学会学術講演会
第45回 年次大会参加報告
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」
～ILT2025 令和6年度研究成果報告会開催案内～

ISSN 0914-9805



【表紙図】(左)レーザーウォブリング溶接の模式図と
(右)可変形鏡(チップチルト鏡)の外観

デフォーマブルミラーのレーザー加工への応用

レーザーバイオ化学研究チーム　谷口誠治

■はじめに

当研究所では、高出力レーザーの大気中遠距離伝送技術を開発するため、大気ゆらぎによるレーザー光の波面の乱れを高速度で補正できる高光耐性デフォーマブルミラー(可変形鏡)の開発を進めてきた。可変形鏡とは、鏡の背面に縦方向に伸縮する駆動素子を複数配置し鏡面形状を変化させる反射鏡のことを指す。これまでに、レーザー光のポインティング(チップチルト成分)、ピント(デフォーカス成分)、および非点収差やコマ収差などさらに高次の波面収差をそれぞれ補正する可変形鏡を3種類開発してきた(Laser Cross No.408、Laser Cross No.412他を参照)。現在我々は、開発した可変形鏡および波面制御技術を産業分野に応用することを指向し検討を始めている。本稿では、レーザーのポインティングを制御する鏡(チップチルト鏡)のレーザー溶接への利用について検討した結果を報告する。

■レーザーウォブリング溶接

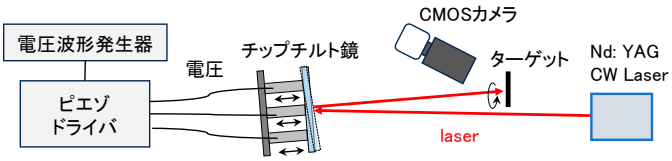
レーザー加工には材料の穴あけや切断、マーキングなど多種あるが、とりわけ大きな需要があるのが溶接である。通常のレーザー溶接は接合したい位置にレーザーを照射し、材料を移動させて溶接を行うが、照射位置が固定されており溶接の横幅が限定されるため、接合面の位置ズレや厚さのわずかな違い(ギャップ)などに対応しにくい、溶接跡(ビード)の幅が狭く見た目が美しくない、などの課題があった。これに対し近年注目されているのが、レーザーウォブリング溶接である(「ウォブル」とは「揺らす」を意味する)。この手法では、レーザーのポインティングを制御し、接合面上で円周運動をさせるなどレーザー光の照射位置を常に移動させながら溶接を行う(表紙図を参照)。これによりビードの幅を広くできるため上記の課題を改善でき、見た目も美しく仕上げることができる。また段差のある接合面の溶接にも対応できることから、適用範囲も広がるものと考えられる。一方、この手法にも課題があるとされている。その一つがポインティングの制御速度である。ファイバーレーザーなどの連続発振(CW)レーザーを溶接に用いた場合、接合面が材料の奥深くまで溶融、液化するため、液化した材料が外部に飛散する現象(スパッタ)が発生し、接合面に窪みができる、周囲に飛散物が固着する、といった不具合が生じる。ウォブリング溶接においても、ポインティングの移動速度が遅い場合にはこの現象を避けられないが、移動を高速化

次ページへつづく▶

することで接合面の温度分布がより均一化し、スパッタの発生を抑制できると考えられている。つまり、レーザーのポインティング制御の高速化がウォブリング溶接の質を向上させる有力な方法の一つとなる。

■可変形鏡によるポインティング制御

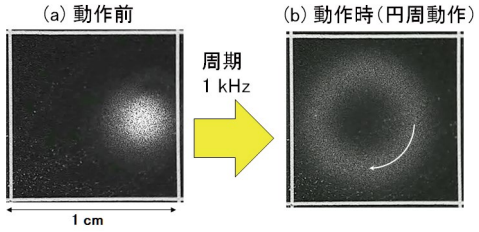
レーザーポインティングの高速制御について検討するため、チップチルト鏡を用いた動作実験を行った。鏡の外観を表紙図(右)に示す。高反射コートを施した50 mmφの円形鏡面の裏面に、鏡面の中心からの距離が等しくなるように3本のピエゾアクチュエータ(以下ピエゾ)を正三角形型に配置した。電圧の印加によりそれぞれのピエゾに縦(Z軸)方向の変位が生じ、鏡の角度が変化して反射したレーザーのポインティングが変化する。図1に実験配置を示す。鏡で反射したレーザー光をターゲットに照射し、鏡を動作させてターゲット上のレーザー光の軌跡をCMOSカメラにより観測した。光源にはNd:YAG CWレーザーを用いた。それぞれのピエゾに2π/3ずつ位相をずらした正弦波電圧を同時に印加することで、反射したレーザーは円周動作を示す。電圧の振幅や周期を変更すれば円周の直径や1周あたりの時間(周期)などを調整することができる。図2に、チップチルト鏡の(a)動作前、(b)時計回り円周動作時(周期1 kHz)のターゲットの画像を示す。動作時のレーザー光の軌跡が円を描いていることがわかる。これにより可変形鏡によるポインティングの高速制御が可能であることが確認できた。



【図1】レーザービームポインティング制御実験配置

■まとめと今後

可変形鏡のレーザーウォブリング溶接への利用について検討するため、チップチルト鏡を動作させ反射レーザーのポインティングの時間変化を観測し、高速(周期1 kHz)の円周動作を制御できることを確認した。同様に直線運動や楕円運動の制御も可能であった。一方で、実際に可変形鏡を導入するためには、動作速度のさらなる高速化や位置精度の向上、可動角度の拡張などが必要である。今後は課題解決のためさらに検討を進めるとともに、チップチルト成分以外の波面(デフォーカス成分や高次項)制御技術のレーザー加工への応用についても検討していく予定である。



【図2】チップチルト鏡(a)動作前、(b)円周動作時のレーザー光の軌跡

レーザー学会学術講演会
第45回 年次大会参加報告

レーザーバイオ化学研究チーム 谷口 誠治

■レーザー学会年次大会が広島で開催

2025年1月21～23日に開催されたレーザー学会学術講演会第45回年次大会(主催：一般社団法人レーザー学会)に参加し、研究報告を行った。本学会はレーザー技術に関する最新の研究報告や学術交流を行うことを目的に、年に一度全国で開催されている。会場は広島平和記念公園の広島国際会議場で、公園には海外からの観光客も多く見られた。意外ともいうべきか年次大会が広島で開催されたのは今回が初めてとのことであった。

本学会では、レーザー装置、高強度・高エネルギーレーザー応用、レーザープロセッシングやレーザー計測、レーザー物理・医学や生物学への応用など、レーザー・光技術に関するさまざまな分野の研究発表が行われた。また今回は「テラヘルツ産業の夜明け」、「誘電体メタオプティクスの最前線」、「自由空間光通信の進化とそれを支える光デバイス・信号処理技術」など最先端の研究に関するシンポジウムも開催され、期間中は500件あまりの研究報告が行われた。筆者は「レーザー装置、新レーザー技術」のカテゴリーで「長距離レーザー伝送への適用に向けた高速動作・高光耐性デフォーマブルミラーの開発」と題し発表(招待講演)を行った(Laser Cross No.412他を参照)。以下に今学会で報告された研究発表について紹介する。

■光渦レーザーを加工技術に応用

核融合科学研究所から、フェムト秒光渦レーザーパルスをレーザー加工技術に適用した結果の報告があった。光渦はらせん状の波面を持つ光で、軌道角運動量を持つという従来の光にはない性質を備えている。彼らは波長512 nm、パルス幅430 fs、繰り返し周波数 100 kHzの偏光渦（偏光特異点を持つ光渦）レーザーを、核融合技術の基幹材料であるタングステン基板に集光照射し、形成されたレーザー誘起微細周期構造（LIPSS）を観測した。その結果、約10 μm 四方の空間内に螺旋型や結び目型といった複雑な構造のLIPSSが形成されることを明らかにした。偏光渦レーザーの持つ偏光（Spiral偏光）はAzimuth 偏光とRadial偏光の混合モードであるが、両者の振幅混合比を調整することにより、LIPPSの構造は変化する。また、このレーザーを用いた水中でのタングステン加工（液中レーザーアブレーション加工）実験の結果、約1 μm四方の空間内にアレイ型構造が形成されることを明らかとした。今後は光渦レーザー加工のメカニズムの解明や、さらなる複雑構造形成に取り組むということである。

■データ駆動型レーザー加工

産業技術総合研究所から「データ駆動型レーザー加工の進展と光源技術への期待」と題した報告があった。彼らは超短パルスレーザー加工を可視化し（プロセスモニタリング）、得られたデータを蓄積・活用（プロセスデータベース）して加工をリアルタイムで制御する「データ駆動型レーザー加工」の開発を進めている。講演では、この手法をガラス表面のナノ構造形成加工に適用した結果が報告された。データ駆動型レーザー加工では、従来のレーザー加工に比べナノ周期構造の欠損率の大幅な低減が確認できたとのことである。今後は産業導入を見据えた加工の高速化や、波長やパルス幅の高速変調が可能な光源開発に取り組むとのことであった。

■トムソン散乱法によるプラズマ電子・温度分布計測

高強度パルスのプローブレーザーをプラズマに入射した際に生じる散乱光を分光計測することより、電子温度および密度分布を非接触で計測できる（レーザートムソン散乱法）。光軸上に発生する散乱光を多点計測することにより、核融合プラズマの性能に直結する電子温度・密度分布を高空間分解能で評価することが可能となる。自然科学研究機構では、繰り返し20 kHz、1.2 Jの高繰り返しナノ秒レーザーを開発している。このレーザーを用いることでこれまで100 Hz程度に制限されていたレーザートムソン散乱計測の周期を二桁以上向上させ、レーザー照射により発生するプラズマの電子温度を高時間分解能で計測した。その結果、プラズマ発生から4 msの間に部分的な温度変化が生じることを明らかとした。この現象はプラズマの部分崩壊に起因するものと考えられ、プラズマの長時間維持など核融合技術開発に必要な知見が得られたとのことである。

■水薄膜ジェットを用いた高次高調波発生

東京大学物性研究所は、高強度中赤外パルスを用いた水薄膜ジェットにおける高次高調波発生について報告した。彼らは1 kHzで動作するTi:sapphireレーザーで励起されたKTA結晶を用いた高強度中赤外光パラメトリック光源を開発し（波長2.8-3.4 μm, 370 μJ、160 fs）、水薄膜ジェット（厚さ 4-8 μm程度）に照射して発生する高次高調波を観測した。中赤外パルスを 20 μJ程度に固定し、低エネルギー(1-5 μJ)のプリパルスで振動励起した結果、励起後 2 ps程度から2次、7次、9次高調波の発生効率が増大し、この効率の増大が20 ps以上持続することを確認した。波長3 μm帯の励起により、水が共鳴励起され高温高密密度となり、光学応答に変化が現れたためと考えられる。この結果は、水の温度制御により高調波発生効率を増大させることが可能であるという点で従来にない手法であると考えられる。

■低温ヘリウムガス冷却高出力固体レーザー

浜松ホトニクスから、開発中の低温ヘリウムガス冷却マルチディスクYb：YAGレーザー増幅器における熱波面歪みの解析に関しての報告があった。彼らは1パルスあたりのエネルギーとして 0.2 Hz では世界最高の 253 J を、10 Hz 動作において106 Jの高い平均出力を達成している。この発表では106 J、10 Hz出力時の増幅特性および増幅器の熱波面歪みの評価を行った結果が報告され、3段増幅10 Hzの条件でも250 J出力が得られる見込みを得た、とのことであった。また１段目の増幅器でのシャックハルトマン波面センサーにより計測した熱による波面歪み量は、peak to valley 値で 3.8 μm であった。熱計算を行ったところ、温度分布はレーザー媒質の外周部のCr:YAGコンポジットの発熱量が顕著になる結果が得られており、これに起因する波面歪みはヘリウムガスの循環量を増大させることで抑制可能、とのことであった。

【写真】会場入口

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」

～ILT2025 令和6年度研究成果報告会開催案内～

令和6年度の研究成果報告会 ILT2025は、光・レーザー・画像計測関連機器の技術展示会「第7回光・レーザー関西2025」の併催イベントとして開催いたします。本報告会では、レーザー加工からインフラ診断まで、多岐にわたる研究テーマについて、昨年度の研究成果をわかりやすく報告します。ポスター発表では、研究員との直接対話により技術的なご相談にも対応いたします。泰山賞贈呈式や受賞者による特別講演もございますので、ぜひご参加ください。

◆プログラム

10:10～10:25	ご挨拶　レーザー技術総合研究所概要	所長　井澤靖和
10:25～10:50	月面環境での3Dプリンティング！そこでは何が起きるのか	主席研究員　藤田雅之
10:50～11:15	レーザー損傷耐性試験を自動化へ！プラズマ発光計測による光学素子の損傷検出	主任研究員　本越伸二
11:15～11:40	レーザーで簡単にできる！ナノ粒子合成手法の開発と応用	主任研究員　谷口誠治
11:40～13:00	休憩	
13:00～13:20	【泰山賞贈呈式】「繰り返し方式レーザー核融合実験の先導的研究」	光産業創成大学院大学　北川米喜 氏、森　芳孝 氏
13:20～14:20	【特別講演】「レーザー核融合エネルギーへの期待：繰り返し方式レーザー核融合実験とエネルギー源へのアプローチ」	光産業創成大学院大学　北川米喜 氏、森　芳孝 氏
14:20～14:35	休憩	
14:35～15:00	レーザーのポインティングを超高精度角度で揃える！画期的ビームアラインメント法	副主任研究員　ハイク コスロービアン
15:00～15:25	測ったその場ですぐわかる！ダブルパルスLIBS法を用いたRC構造物の遠隔塩害評価	研究員　倉橋慎理
15:25～15:50	海洋を利用する脱炭素化や原発の廃炉にレーザーで貢献！！ハイパースペクトルラマンイメージングライダーの開発	主任研究員　染川智弘
15:50～15:55	閉会	常務理事　梅林　徹
15:55～17:00	ポスター発表	

◆開催概要

<日時>　2025年7月16日(水)10:10～17:00

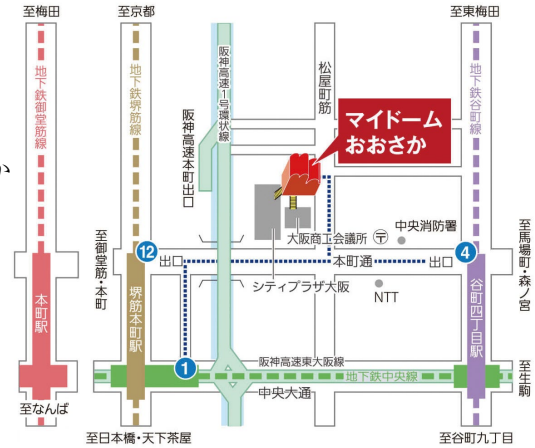
<場所>　マイドームおおさか　8F第3会議室
大阪市中央区本町橋2番5号
アクセス：Osaka Metro 堺筋本町駅から徒歩6分ほか
https://www.mydome.jp/mydomeosaka/access/

<受講料>　無料

<申込方法>　光・レーザー関西
ILT2025開催案内よりお申込み下さい。
https://www.opt-seminar.jp/ilt2025/

<締め切り>　定員(50名)になり次第、締め切らせていただきます。

<問い合わせ>　公益財団法人レーザー技術総合研究所（E-mail:seika@ilt.or.jp）



発行／公益財団法人レーザー技術総合研究所　編集者代表／倉橋慎理　〒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

掲載記事の内容に関するお問い合わせは、編集者代表・倉橋慎理(E-mail:kurahashi-shinri@ilt.or.jp)までお願いいたします。