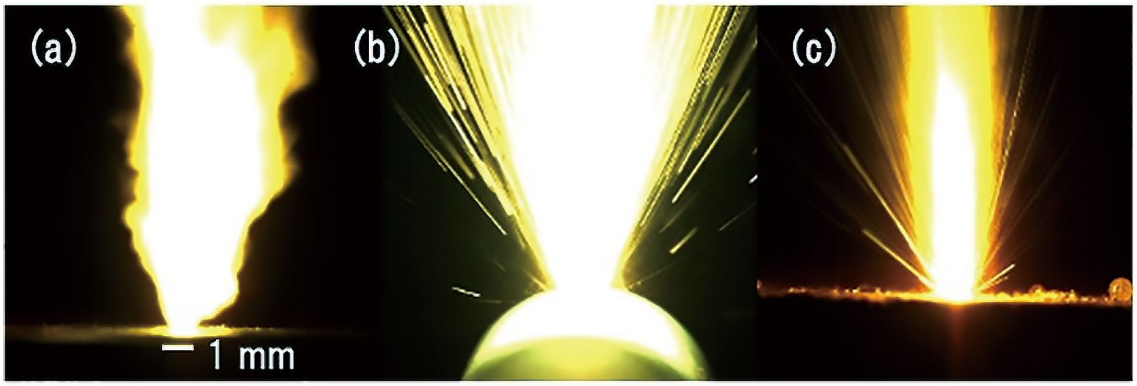
2020, Feb.
No. 383

LASER CROSS

ISSN 0914-9805

CONTENTS

レーザー加工における微粒子発生過程
ー福島第一原子力発電所廃炉に向けた
基礎研究ー
レーザー学会学術講演会第40回年次大会
参加報告
新入研究員



【表紙図】準連続(長パルス)ファイバーレーザー照射時の(a) ステンレス鋼、(b) アルミナ、
(c) 重コンクリートサンプルの発光像(撮影速度：2000フレーム/秒、露光時間：0.5 ミリ秒)

レーザー加工における微粒子発生過程 ー福島第一原子力発電所廃炉に向けた基礎研究ー

特別研究員　大道博行

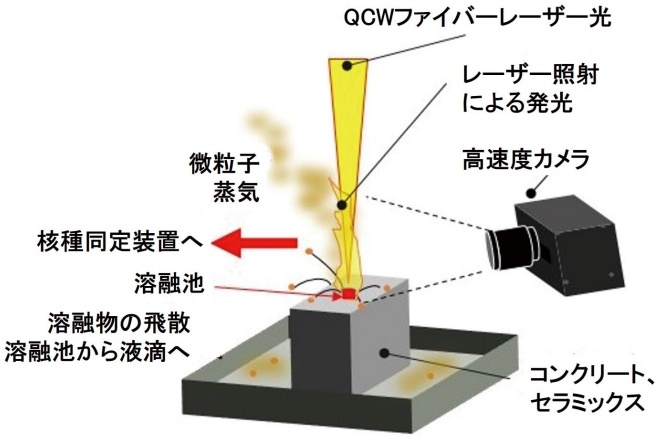
◆はじめに

2011年3月11日の東日本大震災に引き続き起った東京電力福島第一原子力発電所(福島第一)の過酷事故により地震、津波に加えて原子力事故が加わり福島県は浜通り地区(太平洋岸)を中心に未曾有の大災害に見舞われた。本年3月で9年めとなり、被災地域は課題を抱えながらも復興しつつある。一方、福島第一の廃炉現場では溶け落ちた核燃料と構造物との混合物である燃料デブリの調査が行われており、その取り出しに着手する手前に至っている。今後40年程度と想定される廃炉工程では多くの困難な作業が待ち受けている。このような中、遠隔制御装置との相性の良いレーザー加工技術に対し、新しい廃炉技術の一つとして関心が高まりつつある[1-3]。そのような中、文部科学省が原子力機構に委託する競争的資金、英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業に東大、原子力機構、レーザー総研が連携して応募した“レーザー加工により発生する微粒子の解析と核種同定手法の開発”が2018年度に採択された。東大大学院原子力専攻の長谷川秀一教授代表の下、3年間のプロジェクトを実施することになっている。図1にレーザー総研が原子力機構と連携して進めている実験の概略図を示す。

レーザー切断工法は照射部に高いパワーを集中できることから、切断幅の狭い切断が可能であり、それに伴う廃棄物の量はその分小さくなる[4]。図2に金属切断の一例を示す。一方、高い照射パワーにより、図1に示すように溶融を通り越して蒸気が発生し、それに由来する微粒子が発生する[5]。図3に示す0.1μm以下

次ページへつづく▶

レーザー加工における微粒子発生過程ー福島第一原子力発電所廃炉に向けた基礎研究ー



【図1】レーザーによる微粒子発生過程観察の部分を中心にした実験配置図

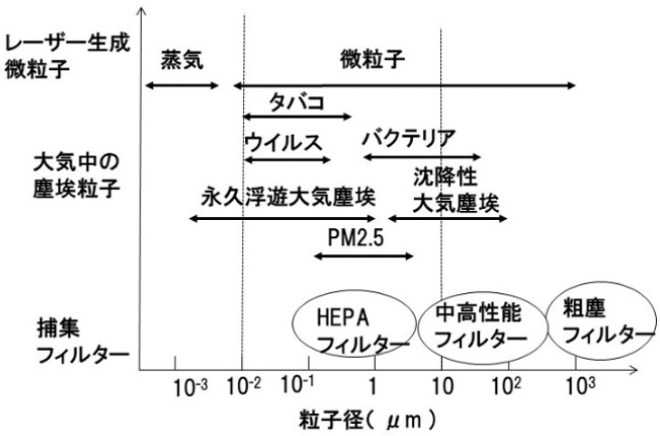
のサイズの微粒子[6]は人体に取りこまれやすく[1]、アルファ線を放出する核物質を含む微粒子の飛散、移行過程の研究は福島第一の廃炉にとって特に重要である。この課題は原子力損害賠償・廃炉支援機構の重点研究開発課題の一つにも挙げられている。本プロジェクトではこれらを含む種々の微粒子発生を基礎に立ち戻って検討するとともに、図1左向きの矢印で示すように、微粒子を捕集し、その大きさ等を測定し、さらに微粒子を構成する核種をレーザー分光技術によりオンライン計測するための原理実証装置の開発を行うことを目的としている。本小論では、筆者の担当している微粒子発生過程の観察を中心に紹介する。

◆実験研究の現状

原子力機構・楢葉遠隔技術開発センターに設置されている準連続(長パルス)ファイバーレーザーを用い各種サンプルへのレーザー照射実験を行った。同センターに設置されている高速度カメラを用いレーザー照射によるステンレス鋼、アルミナ、重コンクリートサンプルから噴き出したプルーム(レーザー照射部の発光領域)の観察・記録を行った。レーザーパワー数キロワットで照射したときの結果の一例を表紙図に示す。

ステンレス鋼は靭性が高い。これに対し、レーザーを用いた溶融切断では材料の機械的性質にとらわれないという利点がある。またレーザーの照射部幅を1mm程度に細くして掃引照射することにより、溶融部の体積を他の工法に比べ小さくすることも可能である。一方、アルミナは室温では熱伝導がよく、ステンレスと同等である。しかし温度特性が金属と逆であり、摂氏1000度になるとステンレス鋼の約1/6になる。このことから照射部で溶融が起こりつつも、同時に温度勾配により発生する応力により破砕も起こる。他方、重コンクリートは約400℃近辺で化学変化が起こるなどして機械的性質が変化する。レーザー照射により重コンクリートを構成するシリコンが溶融することや液滴状粒子の噴出物が確認されている [7]。それぞれのサンプルで発生する微粒子に着目すると、煙状の微粒子群が観察される。このメカニズムは、レーザー照射部から断熱膨張する蒸気が急冷、凝集され微粒子発生に至ったものと考えることができる。次に溶融部の圧力勾配による液滴の飛散が起源と考えられえるやや大きいサイズの粒子がどのサンプルでも観察できる。ここで紹介した発光像に加え、現在では単色のインコヒーレント光およびコヒーレント光照明によるシャ

【図2】4 kW連続波ファイバーレーザー(紙面下向き照射)による厚さ3 cmの炭素鋼切断



【図3】レーザー生成微粒子と大気中の代表的な微粒子等の大きさと捕集フィルター

ドーグラフを高速度カメラにより観察している。その結果さらに詳細な微粒子発生過程の観察が可能になっている。さらにこれら観察と捕集した種々の微粒子や照射痕等の顕微鏡観察とを合わせて粒子生成過程の物理的検討を行っている。これらは学会、論文等で順次発表してゆくことになっている[8]。

◆まとめ

本小論では福島第一の廃炉に向けたレーザー加工技術の課題の一つである微粒子発生過程の高速度カメラによる観察を紹介した。発生する種々のサイズの微粒子の観察と発生メカニズムを整理することは廃炉技術のみでなく、広範囲のレーザー加工技術の高度化やレーザーと物質の相互作用の研究に貢献する重要な課題であると考えている[9,10]。

謝辞：本小論に紹介した研究の一部は、日本原子力研究開発機構「英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業」の中の課題名「レーザー加工により発生する微粒子の解析と核種同定手法の開発」のサポートにより実施された。

参考文献

[1] E. Porcheron et al. Proc. 26th Int. Conf. Nucl. Eng. ICONE26-81531 (2018).
[2] 東電プレス発表、東電福島第一原子力発電所における新技術「レーザー除染によるフランジタンク解体時のダスト抑制対策について」2019年7月1日
[3] 原子力機構プレス発表2017年4月27日；T. Yamada et al., J. Nucl. Sci. Technol., **56**, No. 12, 1171 (2019).
[4] 中村保之他、JAEA-Technology, 2015-045.
[5] B. S. Luk`yanchuk et al., Phys., **8**, No. 1 (1998).
[6] 例えば　日本エアロゾル学会編 エアロゾル学の基礎、森北出版、2003年
[7] N. P. Long et al., J. Laser Appl., **29**, 041501 (2017).
[8] H. Daido et al., to be presented at Laser Solution of Space and the Earth 2020 as an invited talk on April 2020 at Pacifico-Yokohama.
[9] 山根國秀、溶接学会誌 **75**, 7-13 (2005).
[10] 堀 澤 秀 之、FORM TECH REVIEW 2001, **11**, No.1, 26-31 (2001).

REPORT

レーザー学会学術講演会第40回年次大会参加報告

レーザー計測研究チーム　倉橋慎理

■第40回レーザー学会学術講演会が仙台で開催

2020年1月20～22日、仙台国際センターにおいてレーザー学会学術講演会第40回年次大会(主催：一般社団法人レーザー学会)が開催された。レーザー学会はその名が示すように「レーザー」に特化した日本で唯一かつ世界的にもユニークな学会である。毎年開催されている学術講演会年次大会では、レーザー物理・化学、高強度・高エネルギーレーザー応用、レーザー計測など10部門に分かれた一般講演のほか、一般にも公開される特別講演、主に産業応用を睨んで展開されている最新の光技術について議論するシンポジウムが設置されており、近年ではポスター発表も行われている。本稿では、報告者が参加したレーザー計測部門、大気環境計測・イメージングセッションで行われた講演の概要を報告する。

■大気環境計測としてのライダー技術

情報通信研究機構の石井昌憲主任研究員より、エアロゾルに代表される微小粒子を対象とした大気環境計測技術の一つであるライダー(LiDAR)技術の紹介があった(招待公演)。ライダーは、レーザー光を応用した能動型リモートセンシング技術である。レーザー光を遠方に存在する散乱体に照射し、散乱された光を測定・解析することで、散乱体までの距離、量や光学的特性に関する情報が得られる。観測対象によってレイリー散乱、ミー散乱、ラマン散乱など散乱過程が異なり、得られたデータを用いてライダー方程式を解くことで消散係数や後方散乱係数など、対象粒子の光学特性を求めることができる。濃度や温度、風速などを遠隔で計測できる特長を活かし、製品化や実現場への適用が多くなされていると紹介された。

■可視光半導体レーザーを用いたカラー LiDAR

大阪大学レーザー科学研究所山本和久教授の研究グループから、三原色LDを用いた可視光ライダーに関する報告があった。自動運転などの領域においてライ

ダー技術が活用されており、位置情報に加えて、色情報を扱うことのできる技術として期待される。赤、緑、青色波長のLDを色票に照射し、反射光強度と色の相関から対象の色を特定したとのことであった。

■一光束プローブ光を用いた光熱変換分光計測

東海大学山口滋教授の研究グループから、レーザー分光技術を利用した微量ガス計測に関する報告があった。光熱変換によりガス中に生じた音響波を検出することでガスの存在を検知する技術である。パルスレーザーをガス中に照射すると、吸収に伴いガス中に音響波が発生する。このときプローブレーザーがガス中に照射されると、音響波による密度分布に応じてプローブレーザーは偏向されるため、これを検出することでガス検知を行う。半導体レーザーのパルスデューティーと熱緩和時間によって、偏向の度合いが異なることが報告された。

■コンクリート内部欠陥検出手法の高度化

量子科学技術研究開発機構の北村俊幸氏より、レーザー打音法により得られたデータを、機械学習によって判定する技術の報告があった。人工的な欠陥が配置された供試体を用いてデータを取得し、機械学習法の一つであるMT(Mahalanobis-Taguchi)法を用いて正常部、欠陥部の判定を行った。正常部の振動波形のスペクトルを学習し、閾値を適切に設定することで欠陥部の検出が可能となった、とのことである。

■シングルショット2次元バーストイメージング

慶応大学神成文彦教授の研究グループより、フェムト秒パルスレーザーを用いた超高速イメージング技術の報告があった。中心波長の異なる遅延パルス列を、マイクロレンズアレイと回折格子を用いて空間的にスペクトル分解してカメラに結像させることで、シングルショットでサブナノ秒領域の高時間分解能イメージングを可能とした。講演では、この技術を用いてガラス表面のアブレーションダイナミクスを観測した結果が報告された。

【写真】講演会会場(仙台国際センター)

新入研究員

電子ビーム蒸着薄膜の開発･製作

レーザー技術開発室　坂本高保(さかもと　たかやす)

2019年1月1日より、(公財)レーザー技術総合研究所 レーザー技術開発室に所属させて頂きました坂本高保と申します。これまで私はレーザー科学研究所の大型レーザー実験装置 激光XII号、激光MII号、PW-M、HIPER、LFEXレーザー等の建設(組立)に携わった後に増幅器等のコンポーネントクリーニング、光学素子(石英基板、非線形光学結晶)の高レーザー耐力化の研究支援、HIPERの第三高調波化、同上装置の光学素子に用いるためにSol-gelを用いた無反射(AR)薄膜(テフロン、金属アルコキシド系のTMOS(SiO_2)やAl_2O_3を用いたソフト薄膜)製作を行ってきました。当研究所でのレーザー技術開発室では電子ビーム蒸着による薄膜の開発・製作を行っております。蒸着薄膜製作は、未だに一喜一憂している次第です。

当研究所におきましては、電子ビーム蒸着による薄膜の開発・製作を行い高損傷閾値試料の及び高品質・品位試料製作を行い、当研究所並びにレーザー光学素子分野の発展に寄与できるよう努めて参る所存です。皆様方のご指導、ご鞭撻を賜りますようよろしくお願い申し上げます。

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