2018年秋の大会

総合講演・報告3

レーザーの特長を利用した研究開発 II

Research developments using excellent properties of Lasers II

(2) レーザー・ウォータージェットによるはつり除去技術の開発

(2) Development of a laser processing technique combined with water jet technique *石塚 一平¹, 武部 俊彦², 山田 知典³, 大森 信哉¹, 黒澤 孝一¹, 佐々木 豪², 中田 正宏², 酒井 英明², 柴田 卓弥³
¹日立 GE ニュークリア・エナジー株式会社、²株式会社スギノマシン、 ³国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

1. 開発の背景および経緯

東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所(以下 1F)の安全で確実な廃炉の実施は、国民 の関心の高い課題になっている。1Fの廃炉作業では、遠隔操作技術により炉内構造物や燃料デブリ等を切 断し、取り出しが可能な大きさに加工する必要がある。また、公衆被ばくの低減や汚染拡大防止等の観点 から、放射性ダストの飛散防止が求められている。

これまでに機械加工をはじめ様々な加工法が提案されている中で、レーザー技術は加工に伴う反力が少ないことや加工ヘッドがコンパクトであり遠隔操作機器とのマッチングが良い等の優れた特長を有していることから、廃炉作業における切断技術の一つとして期待されている。しかし、従来のレーザー切断技術はレーザー照射によって対象物を溶かし、その溶融物に大量のガスを吹きつけることで除去する加工原理である。そのため、1Fの廃炉作業に適用する場合、放射性物質を含有するダストがガスとともに気相中へ飛散することが大きな課題である。

そこで、ガスの代わりに、ダストの飛散抑制に有効なウォータージェットをレーザーと組み合わせた切 断技術を、日立GEニュークリア・エナジー株式会社、株式会社スギノマシン、および、国立研究開発法 人日本原子力研究開発機構の3機関による共同研究で開発している[1][2]。本稿では、これまでに共同研究 で取り組んできた開発内容と成果を報告する。

2. 開発内容と成果

2-1. はつり除去技術の加工原理

溶融等で変形した炉内構造物、燃料デブリ等の取り出しにおいては、その切断対象の厚さが不定であり、 また加工に伴うダストの回収が必要であることから、対象物を表面から少しずつ削り取る、はつり除去技 術が有効であると考えている。図1にレーザーとウォータージェットによる、はつり除去技術の加工原理 を示す。レーザーを照射することで対象物を溶かし、その溶融物にウォータージェットを噴射することで 除去する。ウォータージェットは溶融物の除去と冷却の両方の効果を持つため、ウォータージェットによ り除去された溶融物は急速に冷却されることで固化し、ドロスとして対象物表面に固着することなく回収 可能な状態となる。





-3F_PL02-

2-2. ウォータージェットによる溶融物の除去効果の確認

まず、ウォータージェットによる溶融物の除去と冷却の 効果を確認するために、図2に示すような装置構成で炉内 構造物の代表的な構成材料である金属(SUS304)の試験体 表面にレーザーを照射し、同時に照射位置にウォーター ジェットを噴射する定点加工試験を実施した。なお加工中 の様子はハイスピードカメラを用いて観察した。レーザー 照射条件(レーザー出力、照射角度等)は固定条件とし、 ウォータージェット噴射条件(噴射流量、噴射角度等)を変 化させて試験を実施した。また、ノズル前方にチョッパー



を設けることで連続噴射と断続噴射の2種類のウォータージェット噴射条件で試験を実施した。

図3に、レーザー照射中の様子とレーザー照射後の試験体表面の状態を示す。連続噴射と断続噴射、い ずれの条件も試験体表面のレーザー照射部に非貫通の穴が形成されており、ガスの代わりにウォーター ジェットを用いる場合も加工が可能であることを確認した。ウォータージェットを連続噴射した場合、レー ザー照射によって生じた溶融物が穴から噴き出し、穴の淵に固く付着することを確認した(図3(a))。これ はウォータージェットにより溶融物がすみやかに冷却され、試験体表面で固化したことで、付着したと考 えられる。このように、ウォータージェットは溶融物の除去と冷却の両方の効果を持つため、そのバラン スが重要となる。一方、ウォータージェットを断続噴射した場合、ウォータージェットの噴射とともに溶 融物の小塊が吹き飛ぶ様子が観察でき、レーザー照射後の試験体表面に溶融物の固着は見られなかった(図 3(b))。これはウォータージェットを断続噴射することで、冷却効果が抑制されたためと考えられる。さ らに、断続噴射の条件は連続噴射の条件と比較して溶融物の除去量(穴断面積)が大きいことがわかった。

以上の結果を踏まえ、本研究ではウォータージェットの断続噴射方式を採用し、レーザーと組み合わせ たはつり除去試験を実施することとした。



(a) ウォータージェット連続噴射



(b) ウォータージェット断続噴射

図3 レーザー照射中の様子と、レーザー照射後の試験体表面の状態

2-3. はつり除去試験

図4に、はつり除去の様子を示す。まずレーザー加工ヘッドとウォータージェットノズルを前述の定点 加工の位置関係のまま同時に動かし、1ラインの走査を行う。これにより試験体表面のレーザー照射部を除 去し、非貫通の細い溝を形成する。次に、加工後の溝が少し重なるようにレーザー加工ヘッドとウォーター ジェットノズルをスライドさせ、2ライン目、3ライン目と複数回走査を行う。11ライン加工した後の試験 体表面の状態を図5に示す。試験体表面が削り取られており、加工面やその周囲への溶融物の固着も見ら れなかった。この加工をさらに何度も繰り返すことによって、金属試験体を表面から所定の広さにわたり 深さ方向に向かって順に削り取ることが可能であることを見出した。



図4 はつり除去の様子



図5 金属試験体に対する加工結果

2-4. 燃料デブリ取り出しへの適用可否の確認

ここまでは金属試験体(SUS304)に対する加工性を示した。しかし、燃料デブリは金属と燃料の溶融混合物であり、スリーマイル島原子力発電所事故の知見から、硬くて脆い金属酸化物(セラミックスの一種)の層と粘り気のある金属の層が存在することが知られている。そこで、セラミックス試験体や金属とセラミックスを交互に配置して燃料デブリに見立てた試験体に対して加工性を確認した。加工後の試験体表面の状態を図6および図7に示す。金属試験体と同様、表面を削り取ることが可能であり、また、溶融物の固着も見られなかった。この結果から、レーザーとウォータージェットを組み合わせたはつり除去技術は、炉内構造物等の金属だけでなく燃料デブリの加工にも適用可能である見通しを得た。



図6 セラミックス試験体に対する加工結果



図7金属・セラミックス混合試験体に対する加工結果



2018年秋の大会

各試験体に対する加工効率比較結果を図8に示す。 図8 各試験体の加工効率の比較 加工条件は、レーザー出力:8kW、ウォータージェット噴射流量:約1.6 L/min、ライン間の重なり率:約 56 %である。なお、加工効率は加工前後の試験体重量変化をレーザー照射時間で除すことで算出した。金 属試験体の加工効率(約120 g/min)と比較すると、セラミックス試験体の加工効率(約50 g/min)は低く、金 属セラミックス混合試験体は中間程度の加工効率(約90 g/min)となった。セラミックスはレーザーを集光 することで破砕可能であることが、既往の研究で実証されている[3]。また、本技術は対象物に応じてレー ザー出力やウォータージェット流量を独立して制御することが可能である。そのため、例えば、燃料デブ リを加工する際にセラミックスの多い層に対しては、レーザーをその表面に集光することで砕き、粘り気 のある金属の層に対してはレーザー照射部にウォータージェットを噴射して、はつり除去するといった運 用をすることで、より高効率な加工が期待される。

3. まとめと今後の展開

本共同研究で開発を進めているレーザーとウォータージェットを組み合わせたはつり除去技術について、 ウォータージェットの断続噴射方式を採用することで、炉内構造物や燃料デブリ等の加工に適用可能とな る見通しを得た。今後は実機適用に向け、加工の際に削り取られた溶融物の性状評価を実施し、それらを 回収する装置を開発する予定である。さらに本加工技術の実機適用可能性を補完するために大型計算機を 利用して、より高出力のレーザーを用いた場合の入熱に対する水と物質の相互作用や、溶融量等の解析を 進める。これらの課題を解決し、技術の確立に向け、引き続き研究を進めていく。

参考文献

- [1] 武部俊彦,他,日本原子力学会2016年秋の大会予稿集2C13 (2016)
- [2] 羽成敏秀,他,日本原子力学会 2016 年秋の大会予稿集 2C14 (2016)
- [3] 村松壽晴, 他, JAEA-Research, 2013-024, 1-47 (2013)

^{*}Ippei Ishizuka¹, Toshihiko Takebe², Tomonori Yamada³, Shinya Ohmori¹, Kouichi Kurosawa¹, Go Sasaki², Masahiro Nakada², Hideaki Sakai², Takuya Shibata³

¹Hitachi-GE Nuclear Energy, Ltd., ²SUGINO MACHINE, Ltd., ³Japan Atomic Energy Agency