

【本件リリース先】
平成 29 年 4 月 27 日（木）15 : 00

（レク付き資料配付）

文部科学記者会、科学記者会、

福島県政記者クラブ

（資料配付）

原子力規制庁記者会（仮称）、

いわき記者クラブ、いわき記者会、

福井県政記者クラブ、敦賀記者クラブ



HITACHI



SUGINO

平成 29 年 4 月 27 日
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
日立 GE ニュークリア・エネルギー株式会社
株式会社スギノマシン

日本原子力研究開発機構、日立 GE ニュークリア・エネルギー、スギノマシンが 「レーザー光」と「ウォータージェット」の組合せによる 炉内構造物、燃料デブリ等はつり除去技術を開発

- 東京電力 HD 福島第一原子力発電所の燃料デブリ等取り出し技術への適用に期待 -

【発表のポイント】

- 炉内構造物、燃料デブリ等の取り出しを目的とした、「強いレーザー光」と「断続的ウォータージェット」の組合せによる、はつり除去技術を開発しました。
- レーザーはつり除去加工の実証により、金属構造物、燃料デブリ等を想定したはつり除去技術としての有用性を確認しました。
- 一連の試験結果は、燃料デブリ等取り出しに係る技術への適用が期待されます。

【発表概要】

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構^{*1}（以下「原子力機構」という。）、日立GEニュークリア・エネルギー株式会社^{*2}（以下「日立 GE」という。）、株式会社スギノマシン^{*3}（以下「スギノマシン」という。）の共同研究グループは、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」という。）の廃炉作業における「炉内構造物及び燃料デブリ等の取り出し工程」に適用可能なレーザー光とウォータージェット（噴射水）の組合せによる除去技術を開発しました。本技術は、3 機関が 2015 年 7 月から 2017 年 3 月末まで進めてきた共同研究の成果です。

1F の廃炉作業では狭い空間において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、かつ取り出すことができる大きさに加工する必要があります。また、安全の観点から作業員の被ばく低減や放射性ダストの飛散防止が求められています^{*4}。今回こうしたニーズに対応して、装置の小型化と狭い空間への適用が可能なレーザー加工と大気中へのダストの飛散抑制に有効なウォータージェットを組み合わせた技術を開発しました。本技術では、ウォータージェットを断続的に噴射することで熔融と冷却を制御し、水による冷却効果やレーザー光の吸収など、レーザー加工と組み合わせる際の影響を低減することができました。また、炉内構造物や燃料デブリ等を想定したレーザーはつり除去加工の実証試験を行い、本技術の高い有用性を確認しました。

これら一連の試験結果に基づく成果は、1F の廃炉作業における炉内構造物及び燃料デブリ等の取り出しに係る技術への適用が期待されます。

本研究成果の詳細は、平成 29 年 4 月 24～28 日に福井及び京都で行われる 2017 International Congress on Advances in Nuclear Power Plants(ICAPP2017)にて 4 月 28 日に発表されることになっています。

*1 理事長 児玉 敏雄

*2 取締役社長 久米 正

*3 代表取締役社長 杉野 太加良

*4 「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の廃炉のための技術戦略プラン2016」4. 燃料デブリ取り出し分野の戦略プラン(原子力損害賠償・廃炉等支援機構)を参照

【本件に関するお問合せ先】

(研究成果について)

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

福島研究開発部門 福島研究開発拠点 楢葉遠隔技術開発センター

大道 博行 TEL:0240-26-1040, FAX:0240-26-1042

日立GEニュークリア・エナジー株式会社

福島プロジェクト本部 福島技術部

木下 博文 TEL:050-3158-0573, FAX:03-4564-3305

株式会社スギノマシン

プラント機器事業本部 生産統括部

酒井 英明 TEL:076-477-2556, FAX:076-477-2567

(報道機関お問合せ先)

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

福島研究開発部門 福島研究開発拠点 福島事業管理部

益子 忠行 TEL:0246-35-7650, FAX:0246-24-4031

株式会社日立製作所

電力・エネルギー業務統括本部 広報・渉外部

原木 美帆 TEL:03-4564-4517, FAX:03-4564-6032

株式会社スギノマシン

業務管理本部 法務・広報部

成瀬 正保 TEL:0765-24-5071, FAX:0765-24-5031

1. 開発の背景と経緯

1Fの安全で確実な廃炉の実施は国民的課題になっています。このような中、2015年7月、原子力に関する総合的研究開発機関である原子力機構、原子力発電の総合プラントメーカーである日立GE及び、ウォータージェット切断等のトップメーカーであるスギノマシンの3機関が協力して1Fの廃炉作業へのレーザー技術の適用拡大を見据えた基盤的研究を行うことに合意し、2017年3月31日まで共同研究を進めてきました。

1Fの廃炉作業では、放射性物質の放出抑制を行いつつ遠隔操作で炉内構造物、燃料デブリ等の対象物にアクセスし、取り出し可能な大きさに加工し、安全に取り出すことが要求されます。レーザーを使った取り出しに係る技術として、レーザー切断により取り出し可能な大きさに加工することが提案されており、これまでの研究において気中・水中両環境において厚さ数 cm～30 cm の鋼材切断が可能であることが実証されています。この加工法はレーザー光の照射によって対象物を加熱溶融し、その部分をガスジェットで吹き飛ばすことにより切断を行うものです。この方法の利点は、機械的な工法と比較すると切断時にその対象物に与える力が小さいことから、対象物をその土台となる装置に強く固定する構造を必要としないことです。また、同時に照射装置が受ける反力も小さいことから照射装置自体に高い剛性(外からの力によって変形しない性質)を必要としません。そのため、機器・装置の小型化と形状の柔軟性が増し、狭隘部に侵入可能な様々な遠隔装置との結合が容易となります。しかし、加工時に大量のアシストガスを必要とし、放射性ダスト(粉塵)の回収法や粉塵が外部に飛散しないように負圧管理をするなど作業環境の保持が技術的課題となっています。

ウォータージェット切断も廃炉に向けた加工技術として提案されています。この技術はノズルから噴出する超高圧水を対象物に衝突させることで切断を行う方法です。水流による冷却性の高さから対象物への熱影響が小さく、また水が加工に伴う粉塵を取り込む性質により大気へ粉塵が飛び散ることが抑えられるといった利点があります。しかし、硬くて粘りのある材料に対しては加工能力をあげるために水と研磨材を混合させる必要があり、研磨剤が汚染されることにより発生する余分な放射性物質の処理が課題となっています。

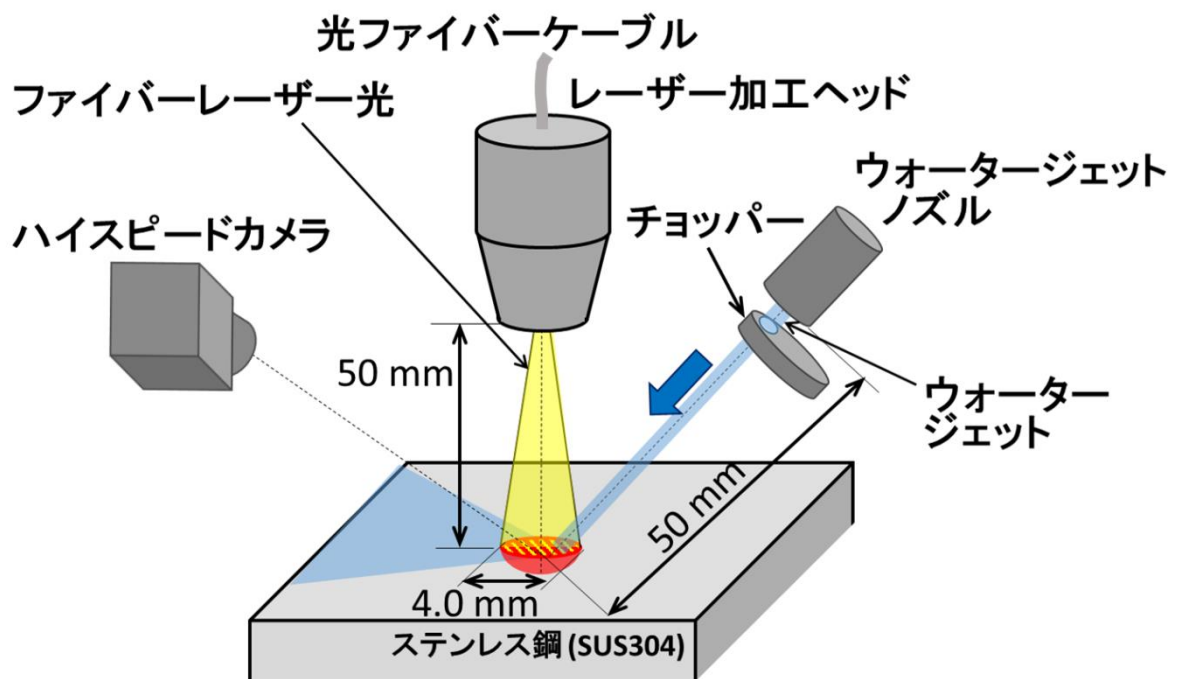
本共同研究では、上述の各技術の強みを活かし弱点を補うために、「レーザー光」と「ウォータージェット」の組合せを提案し、基礎試験を通じて加工性の高い組合せ法を見出しました。また、その結果を受け、はつりによる金属の除去加工試験を行い、炉内構造物や燃料デブリ等の取り出しに対する本除去技術の有用性を実証しました。

2. 研究内容と成果

(1)レーザー光とパルスウォータージェットとの組合せにより加工性向上

本方式による基礎的な加工を確認するために、図1(a)に示すようにステンレス鋼(SUS304)試料表面にファイバーレーザー光(パワー5.5kW, 波長 1070nm)を照射し、同時に斜め上方向からウォータージェット(0.2MPa~3.2MPa)を噴射させた穴あけ試験を実施しました。その際、ハイスピードカメラを用いて、穴あけ時のレーザーにより金属の溶けている部分がある場所から除かれていく様子を観察しました。図2(a)は連続して噴射されるウォータージェットを用いた際の溶融部が除かれてゆく様子を、図3(a)はレーザー照射終了後の試料の表面状態を示したものです。レーザー照射により生じた溶融部が塊となって穴の縁に連続的に堆積し、レーザー照射終了後は穴の縁に再凝固し、その条件では試料に固く付着することが確認されました。これはウォータージェットにより溶融時に冷却効果が働き、溶融が阻害され、付着が起こっているためと考えられます。次に、図2(b)は繰返して断続的に噴射されるウォータージェット(以下、パルスウォータージェット)を用いた際の溶融部が除かれてゆく様子を、図3(b)は照射終了後の試料の表面状態を示したものです。溶融部にパルスウォータージェットが衝突した際、ウォータージェットとともに溶融金属の小塊が吹き飛ばす様子が観測されました。また、パルスウォータージェットを用いることでウォータージェットの冷却効果やレーザー光の水への吸収などによる溶融の阻害が抑制され、照射後に溶融部が試料に付着する状況が観測されなくなりました。なお、パルスウォータージェット使用時の試料金属の除去量は連続ウォータージェット使用時を上回ることもわかりました。以上から、レーザー光とパルスウォータージェットを併用することにより金属の除去性能が高まることが示されました。

図 1(a)



(b)

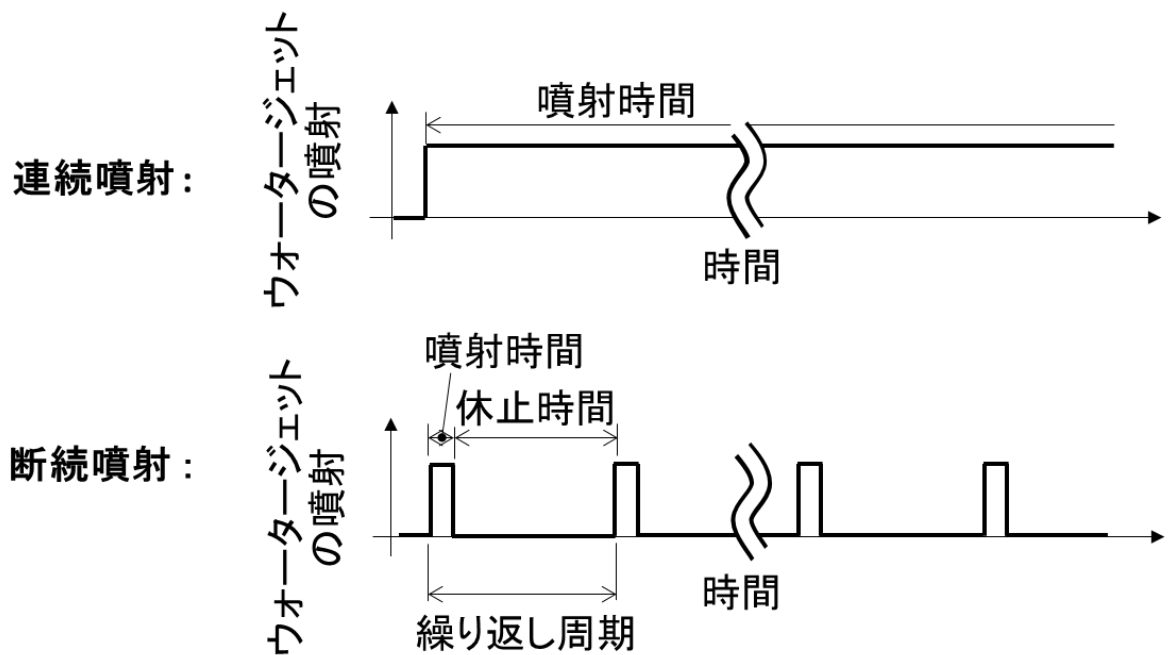


図1(a) レーザー照射による穴あけ試験の模式図。試料であるステンレス鋼(SUS304)表面にファイバーレーザー光を照射し、同時に照射位置にウォータージェットを噴射させ、その様子をハイスピードカメラで観察。(b)ウォータージェットがステンレス鋼にあたるときの時間波形。断続噴射の繰り返し周期と噴射時間はそれぞれ約 19 ms、2 ms。

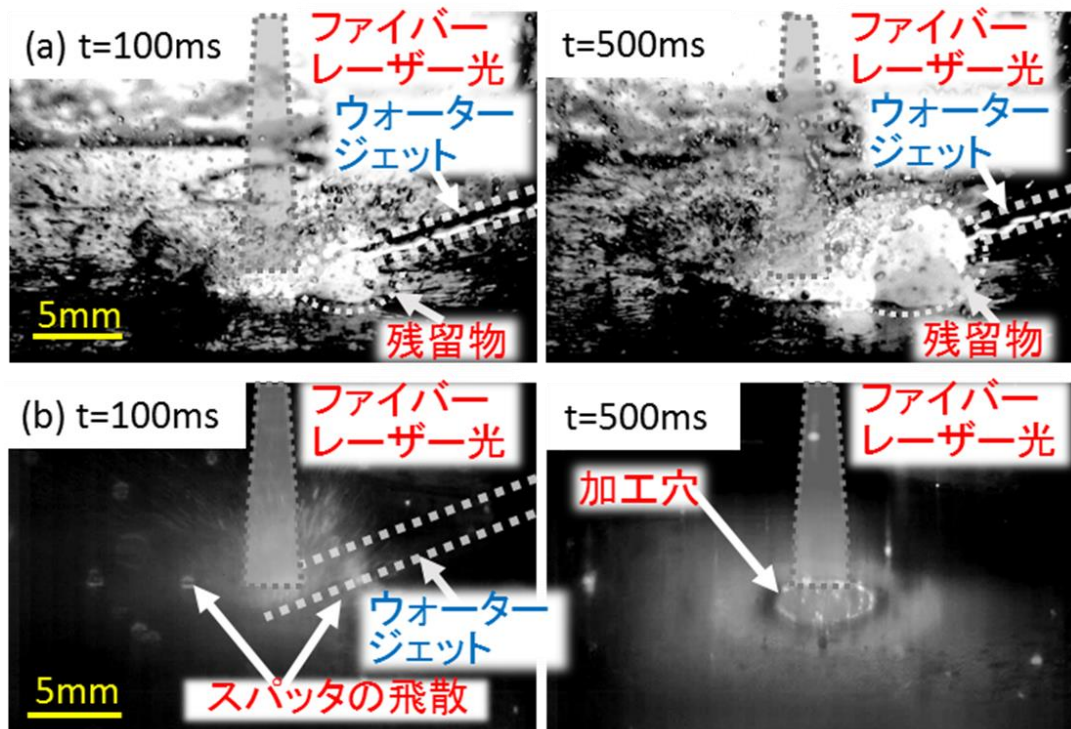


図2 ファイバーレーザー光とウォータージェットを組み合わせた際の溶融部が除かれていく様子をハイスピードカメラで撮影した結果。(a)連続ウォータージェットを使用したとき、(b)パルスウォータージェットを使用したときの加工時の様子。t はレーザー照射開始からの時間。

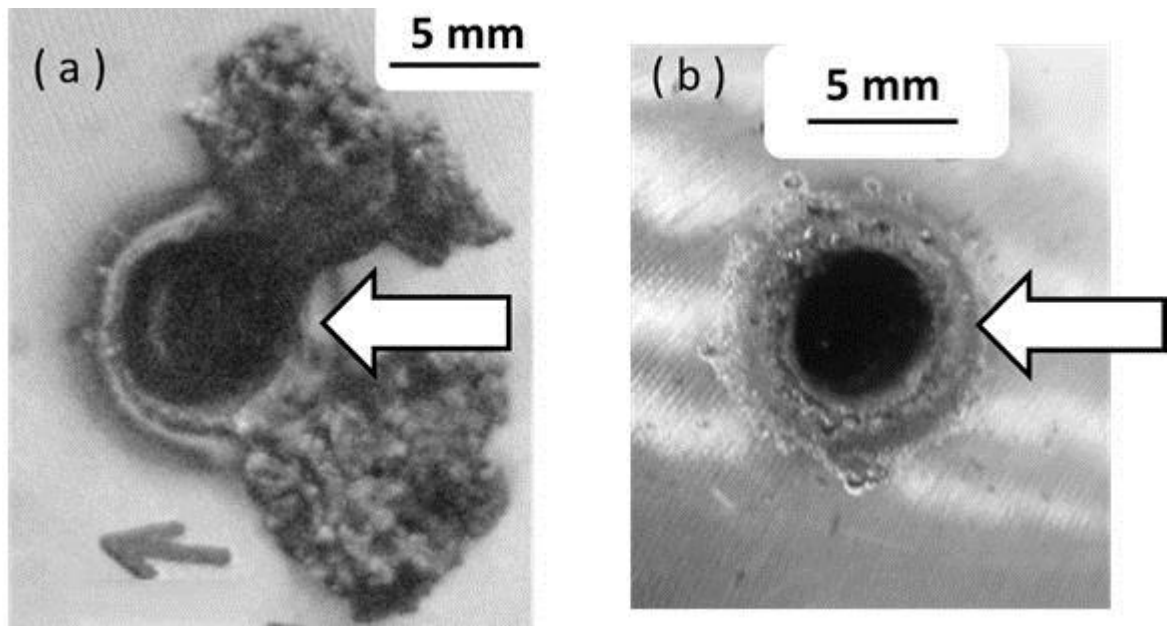


図3 レーザー照射後の試料の表面の状態。(a)通常のウォータージェットを使用したとき、(b)パルスウォータージェットを使用したときの様子。矢印の向きはウォータージェットが試料にあたる向きを表す

(2)レーザーはつり除去加工の実証

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、その厚さが不明であり、加工に伴う粉塵の回収が必要であることから、表面から連続的に削り取っていく除去方法(はつり除去加工)が有力と考えられています。(1)の結果を受けて、レーザー光とパルスウォータージェットを組み合わせた方式を使用し、はつりによる除去を実施しました。まず細かい溝になるようにレーザーとウォータージェットを一緒に図4の右から左に向かって走査し、レーザー照射部の金属の除去を行います。それを図中の上に向かって移動し溝を重ね合せました。図のとおり加工後、溝内外への溶融固化した塊は残っていません。この加工をさらに何度も繰り返すことによって対象物を表面から広さと深さ方向に削り取ることが可能であることが示されました。また、加工の際に削り取られた除去物は適切な回収装置を設けることで、加工に伴う粉塵と併せて回収できます。

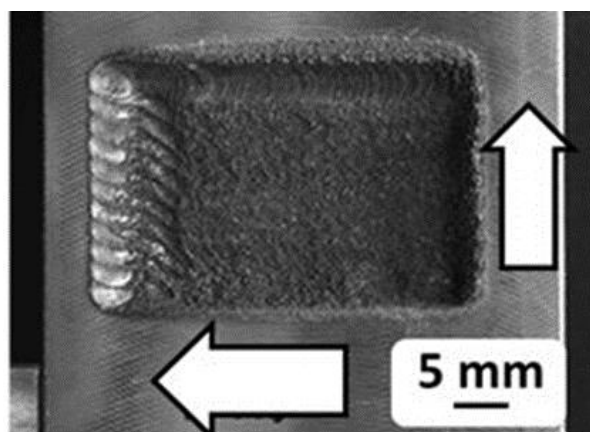


図4 はつり除去加工後の試験体表面の状態。はつりの深さは 3.8 mm。左向きの矢印は加工する際の移動方向、上向きの矢印は、右から左へはつりを行った後、次のはつりを行う際の移動方向。

なお、本共同研究の試験実施にあたって、原子力機構敦賀事業本部内にあるレーザー共同研究所のファイバーレーザー加工設備を利用しました。

3. 今後の展開

これらの結果から、ファイバーレーザー光とパルスウォータージェットとの組合せにより、炉内構造物や燃料デブリ等の除去加工への適用可能性が示されました。さらに本方式はレーザー、ウォータージェットそれぞれを単独に用いることもできるなど、対象物に応じてフレキシブルに対応することが可能です。一方、燃料デブリに含まれる硬くてもろい金属酸化物(セラミックスの一種)に対しては、レーザー光をその表面に集光することで砕くことが可能であることがこれまでの研究において実証されています。この方法も大量のアシストガスを必要としないことからその有用性が示されています。種々の物質の入り交じり合った複雑な形状が予想される燃料デブリを模擬した試験体への適用はこれからの課題ですが、本方式のフレキシビリティが大いに発揮されるものと期待されます。また、本方式の現場適用にあたっては、単位時間あたりの除去量の一層の向上、除去にあたってウォータージェットにより捕捉された粉塵の回収が課題としてあります。現在、前者に対してはレーザーパワーの増強とそれに見合うウォータージェットの選定を、後者に対しては粉塵を閉じ込めて吸引する方法などを検討中です。

4. 用語説明

① 燃料デブリ

原子炉冷却剤の喪失等により核燃料が過熱し、炉内構造物の一部とともに溶融した後、冷えて再度凝固したもの。遠隔操作によりこれらを取り出し可能な大きさに加工し、回収する必要がある。金属酸化物の部分は硬度が高くまた融点が高い等難加工性脆性(一定以上の力が加わると割れやすい)材料となっており従来の機械的取り出し工法の適用には多くの課題があるとされている。一方、燃料デブリの周辺には金属部分も残っており、この部分は韌性(力を加えると物体が延びることにより壊れない性質)が高く、やはり従来の機械加工法の適用には多くの課題がある。これらのことにより、燃料デブリの取り出しには新たな取り出し法の開発が求められている。

② 遠隔操作機器・装置

陸走型ロボットによる調査や建設機械の無人化施工などのように、有線又は無線通信などにより、遠隔地から操作される機器・装置。遠隔操作により、人が容易に立ち入ることができない場所の調査、作業などに用いる。廃炉の現場では制御機構等、通常の性能に加え、高い放射線強度に耐えて動作する性能も要求される。

③ ファ이버レーザー

増幅媒質にレーザー動作を引き起こす物質を添加した光ファイバーを使用し、ブラッグ回折を利用した共振器をファイバー中に埋め込んだレーザーであり、精密な光路調整が不要で振動等に強い特徴を有する。また励起源に電気入力からレーザー出力への変換効率の高い(約 70%)半導体レーザーを用いており、電気入力からレーザー出力への変換効率が約 30%と高い。同じレーザー出力を得るのに小型化が可能で、レーザービームの引き回しにおいてフレキシビリティが高い。以上より、廃炉現場での利用に適している。

④ レーザー切断

レーザー光を熱源として用いることにより、対象物表面を局所的に溶融させ、それを照射面の反対側に排出させることで対象物を切断する加工方法。通常、レーザー光により溶融した部分の排出に大量のガス(圧縮空気、希ガスなど)を用いるため、廃炉に使う場合は、大気中に粉塵が飛散することを抑止することが技術的な課題である。

⑤ レーザーはつり

レーザー光を熱源として材料表面を溶融させ、その部分をガスや水のジェットによって排出させることで表面を削る方法。対象物の厚みに依存しない除去加工が可能であり、また発生した粉塵の回収も容易であるため、燃料デブリの取り出しにおける有用な加工方法の一つと考えられる。

⑥ レーザーセラミックス破砕

レーザー光を対象物に集光させてセラミックス材料を破砕させる方法。局所的な急加熱に起因する材料内部の部分的膨張によって、脆性の高いセラミックスは破砕されやすいことが知られている(あたかもレーザーがハンマーのように振舞う破砕現象)。デブリを構成する種々のサイズ、種々の物質により構成されるセラミックス材料に対し、破砕されやすいレーザー照射条件を選定することで、時間あたりの処理量が大きく、粉塵の発生が少ない燃料デブリ取り出しができるため、技術の発展が期待される。

⑦ ウォータージェット切断

ノズルから噴射する超高压水(吐出圧力 2000 気圧以上)を対象物に衝突させることで切断を行う方法。水流による冷却性により対象物への熱影響が小さく、また水の濡れ性により大気中への加工粉塵の拡散が少ないといった特長がある。強度部材に対しては、加工能力を上げるために水と研磨材を混合させる。廃炉作業に用いると使用した研磨材が二次廃棄物となる問題がある。

⑧ パルスウォータージェット

時間的に連続して噴射されるウォータージェットとは異なり、周期的に断続噴射するウォータージェットのこと。本共同研究ではこれをレーザー光と組み合わせることにより、連続のものと比較してはつり性能の向上が確認された。

⑨ ハイスピードカメラ

高速現象を捉えることを目的として使用されている計測用カメラ。一般のビデオカメラよりも短い時間間隔(60 分の1秒間隔以下)での撮影が可能であり、本共同研究ではレーザー光により溶融した部位がウォータージェットにより除かれてゆく様子を1万分の1秒の時間間隔で観察した。

⑩ 負圧管理

廃炉現場のように放射性物質を取扱う場所では、放射性物質の漏出や拡散を防止するため、施設内が負圧(常に外より低い圧力)になるように空気圧力を管理し、常に外から内部に空気の流れが起こるようにすること。