

除染作業の被ばくを低減

高放射線環境下での遠隔操作による二次廃棄物の少ない 遠隔レーザー除染装置

レーザーを利用した除染技術は、ウォータージェットやブラストなどの既存除染技術に比べ二次廃棄物の少ない技術である。また、はつり装置などの機械式除染技術に比べ作業時の反力が少なく、ロボットなどを用いた遠隔操作に有利である。レーザーの特長を活かした遠隔操作によるレーザー除染作業を行うことで除染・廃炉作業時の作業員の被ばく低減を実現する。

株式会社 IHI
資源・エネルギー・環境事業領域
原子力 SBU システム設計部 府金 央



遠隔レーザー除染装置



レーザー照射ヘッド



レーザー除染

レーザー除染技術の利点

人が容易に立ち入ることができない高放射線環境での各種作業では、一般に遠隔操作により実施することで作業員の被ばく低減を図っている。高放射線環境下において、作業環境の空間線量率（対象空間の単位時間当たりの放射線量）を低減させるための除染作業も例外でなく、遠隔操作により実施することが望ま

しい。現在、さまざまな除染技術がこのような環境下での除染作業に適用されているが、そのなかでレーザーを用いた除染作業は、主に以下の点でほかの除染技術と比べ優位性をもつ。

【二次廃棄物の抑制】

除染作業で生じる放射性廃棄物は、保管場所の不足やそのものの危険性から、発生量の低減が事業者および社会から強く要請されている。ウォータージェット

やブラストによる除染は、水や研磨材などを必要とするため、除染作業により多量の二次廃棄物が生じる。一方、レーザーによる除染は、水や研磨材などを必要とせず、二次廃棄物の発生を大幅に抑制することができる。

【容易な遠隔操作】

コンクリートブレーカなど、打撃により対象物表面をはつるような機械式除染の場合、これを操るマニピュレータなどの遠隔操作機器は、除染時の作業反力に耐え得る構造とする必要がある。そのため、概して装置全体は頑強で大型となり、遠隔操作において必須となる視野の確保や、狭い範囲へのアクセスが困難となる場合が多い。一方、レーザーによる除染は対象物表面を非接触で除染することとなるため、除染作業そのものによる反力は発生しない。そのため、遠隔操作機器を小型・軽量化することが可能である。加えて先端ツールにおいても、レーザー照射ヘッドは機械式ツール類と比較して一般に小型・軽量であり、小回りの利く柔軟な遠隔操作を容易に行うことが可能となる。

遠隔レーザー除染装置の開発

上述のようなレーザーを用いた遠隔除染技術の優位性に着目し、株式会社 IHI 検査計測が開発した既存のレーザークリーニング装置「レーザークリア®」を利用した「遠隔レーザー除染装置」の開発を行った。

レーザークリアは、幅広い産業向けに開発された、主に金属表面をクリーニングする装置であり、塗装剥離やさびの除去などの用途に適用されている。類似装置



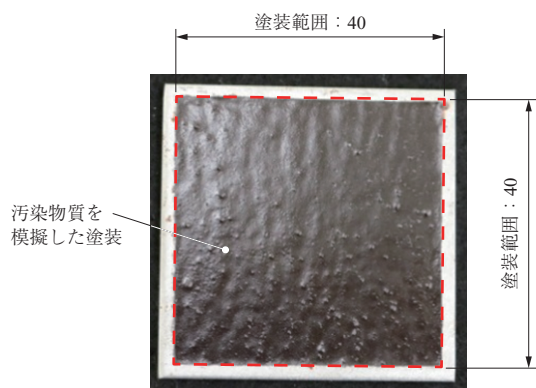
レーザークリア®

と比べ、小型・軽量で持ち運びや操作が容易という利点を有しており、遠隔作業での利用にも適している。

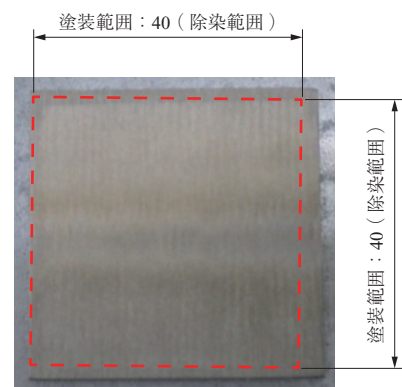
【光学系仕様の最適化】

装置の開発に先立ち、最初にレーザークリアを基に、レーザー出力などの光学系仕様について以下の最適化を図った。レーザーを用いた除染では、一般に高出力のレーザーを用いることで高い作業効率で実施することが可能となる。一方で、高出力のレーザーは水冷が必要となるなど、場合によって装置は大型・複雑化し、遠隔作業に不利な構造となる。そのため、水冷が不要な空冷方式で小型・軽量を実現でき、かつ可能な限り高出力での除染作業を提供できる仕様として、最大出力 75 W のレーザークリアを選定した。そのほか、焦点距離やスキャン幅を遠隔作業に適した値に調整（選定）し、光学系仕様を本用途に適したものとした。

次に、上記にて定めた光学系仕様のレーザークリアを用いて、このレーザークリアのもつ除染性能（除染前放射能濃度／除染後放射能濃度）が十分なものであるかを確認すべく除染係数の計測を行った。除染性能の要求は、各環境、条件により異なるが、遠隔除染作



レーザー除染前の供試体（単位：mm）



レーザー除染後の供試体（単位：mm）

業であることや代表的な福島第一原子力発電所での環境条件などを考慮し、除染係数 100 以上を目標値とした。

本計測では、除染の指標として非放射性セシウムを用い、それを含有させた塗料を炭素鋼板に塗付したものを供試体とした。この塗料を上述のレーザクリアで除去し、塗料中に含まれる非放射性セシウムの除去効率を確認した。計測の結果、このレーザクリアにより 260 以上の除染係数が得られ、本仕様のレーザ除染によって十分な除染効果が期待できることを確認した。

【遠隔レーザ除染装置の設計】

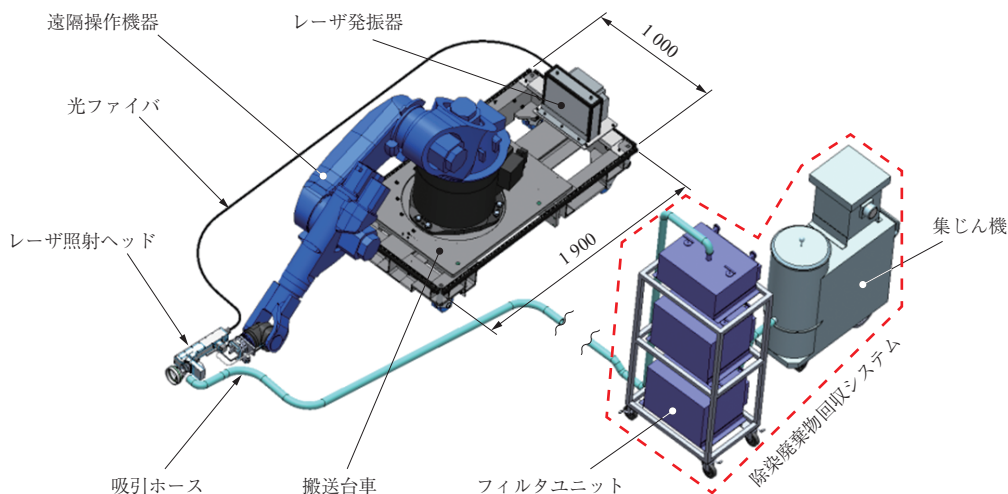
上述のレーザクリアを遠隔除染作業に適した仕様とすべく、遠隔レーザ除染装置のシステム設計およびレーザ照射ヘッドなどの設計を行った。本設計では、「可能な限り小型・軽量」のコンセプトのもと、核燃料再処理施設や福島第一原子力発電所などの遠隔システム設計・製作にて培った知見・ノウハウを活用し、システムおよび構成要素の最適化を図った。

本装置の全体システム構成を下図に示す。本装置は、主に①レーザ照射ヘッド、②レーザ発振器、③除染廃棄物回収システム、により構成される。各構成要素の概要を以下に示す。

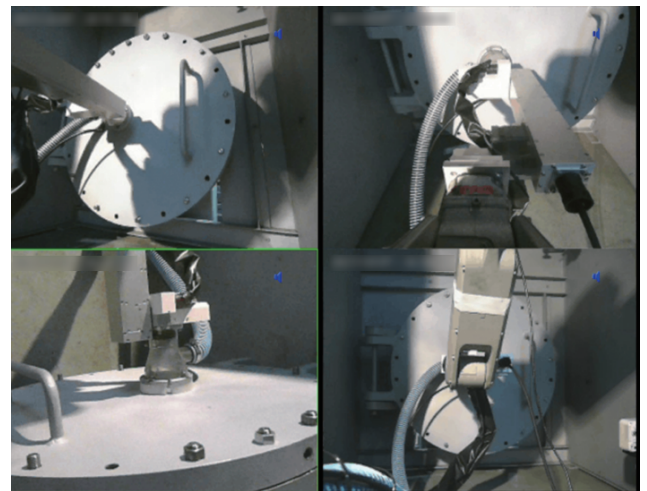
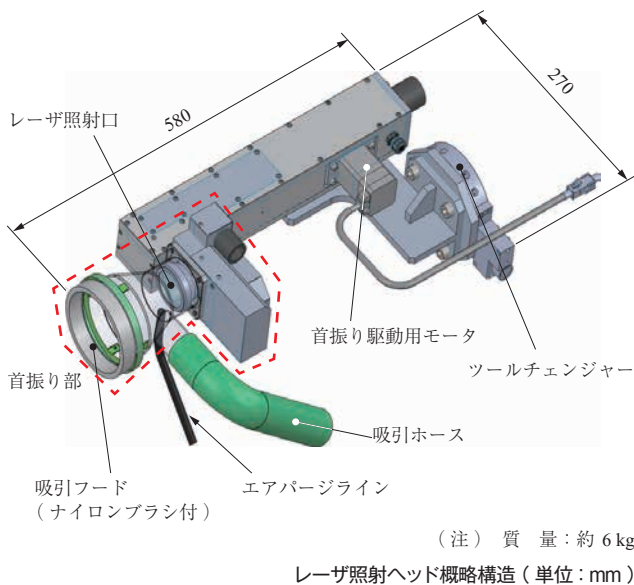
① レーザ照射ヘッド

レーザ照射ヘッドは、レーザクリーニングを行うレーザ照射機構（レーザクリア）、吸引フードおよび各種センサーなどにより構成される。以下に本レーザ照射ヘッドの仕様概要を示す。

- ・ 主要材質
装置の軽量化を図るため、主要材質をアルミニウム合金とした。
- ・ 荷重検知センサー・角度センサー
遠隔操作にて、吸引フードの対象物への押し付け力と角度を認識するため、首振り部に荷重検知センサーおよび角度センサーを設けた。
- ・ 首振り機構
ロボットアームなどの遠隔操作機器の姿勢によらず、柔軟にレーザ照射ヘッド先端部を対象物表面に当てられるよう、0～90°の可動範囲を有する首振り機構を設けた。
- ・ 吸引フード
主要材質をアクリル製とし、吸引フード内部の除染状態を視認できる構造とした。また、フード内の吸引圧を適切な状態に保持し、除染物の拡散を防止する構造とすべく、吸引フード先端部にはナイロンブラシを設置し、除染作業時は本ブラシを対象物表面に当てる構造とした。
- ・ エアパーズライン
レーザ照射機構のレンズカバーへのヒューム（固体物質の蒸気が凝集した微細な粒子）付着を防止し、レーザ照射の性能を維持するため、吸引フードにエアパーズラインを設け、当該カバーへエアを吹き付ける構造とした。
- ・ ツールチェンジャー
代表的なロボットアームとの取り合い部として、市販のツールチェンジャーを採用した。ただ



遠隔レーザ除染装置全体システム構成（単位：mm）



遠隔操作時のカメラ映像

し使用するロボットアームに応じて、本取り付け部は変更が可能である。

② レーザ発振器

前述のとおり、最大出力 75 W のレーザー発振器を採用した。本発振器のサイズは W 230 × D 320 × H 150 mm、概算質量約 8.5 kg と小型・軽量であり、遠隔操作を行うロボットアームとともに搬送台車上に搭載することが可能な大きさである。これによって、発振器と照射ヘッドに接続される光ファイバケーブル長を最短とし、容易なケーブル敷設・引き回しを可能とした。

③ 除染廃棄物回収システム

除染作業で発生する対象物質の表面から剥離された除染廃棄物を回収し、汚染物質拡散防止を図るために設けられたシステムであり、市販の集じん機、フィルタユニットと回収ホースにて構成される。本回収システムは、複数の除染廃棄物回収試験結果をもって各構成要素を最適化したものであり、99.3% 以上の除染廃棄物回収効率を有する。

【遠隔操作性の検証】

最後に、開発した遠隔レーザー除染装置をロボットアームに搭載し、除染対象として想定される代表的な試験体を用いた遠隔操作性の検証を実施した。

本検証では、さまざまな角度、位置から平面・曲面の対象表面に対する除染作業を模した遠隔操作を行った。これにより、各センサーが遠隔操作において有用な指標となることや、ロボットアームのさまざまな姿

勢にも柔軟にレーザー除染ヘッドやケーブル・ホース類が追従し、スムーズな遠隔除染作業が行えることを確認した。

今後の展開

今回開発した遠隔レーザー除染装置は、二次廃棄物の発生を抑制し、かつ優れた遠隔作業性を提供可能という点で、高放射線環境下における遠隔除染作業の効率化に寄与できるものである。

今後も、日進月歩のレーザー技術の発展とともに継続的に改善を重ね、さらなる作業効率の向上や適用範囲の拡大を図り、福島第一原子力発電所をはじめとする廃炉事業へ貢献していく。

問い合わせ先

株式会社 IHI

資源・エネルギー・環境事業領域

原子力 SBU システム設計部

遠隔ハンドリング設計 Gr.

電話 (045) 759-2664

<https://www.ihi.co.jp/>