

# 廃止措置へのレーザー加工技術開発及び 一般産業への応用

(公財)若狭湾エネルギー研究センター  
研究開発部 レーザー技術開発室  
安藤 静治

原子炉施設の廃止措置において、対象物は放射性物質の汚染を含む前提で解体される。解体物の処分や作業員の被ばくを考慮すると、解体では二次廃棄物の発生を抑えることと、遠隔操作で実施できることが望ましい。

## 【レーザー除染技術】

- ・ブラスト材等の二次廃棄物が発生しないため、除染に伴う放射性廃棄物の発生量が大幅に削減できる。

## 【レーザー切断技術】

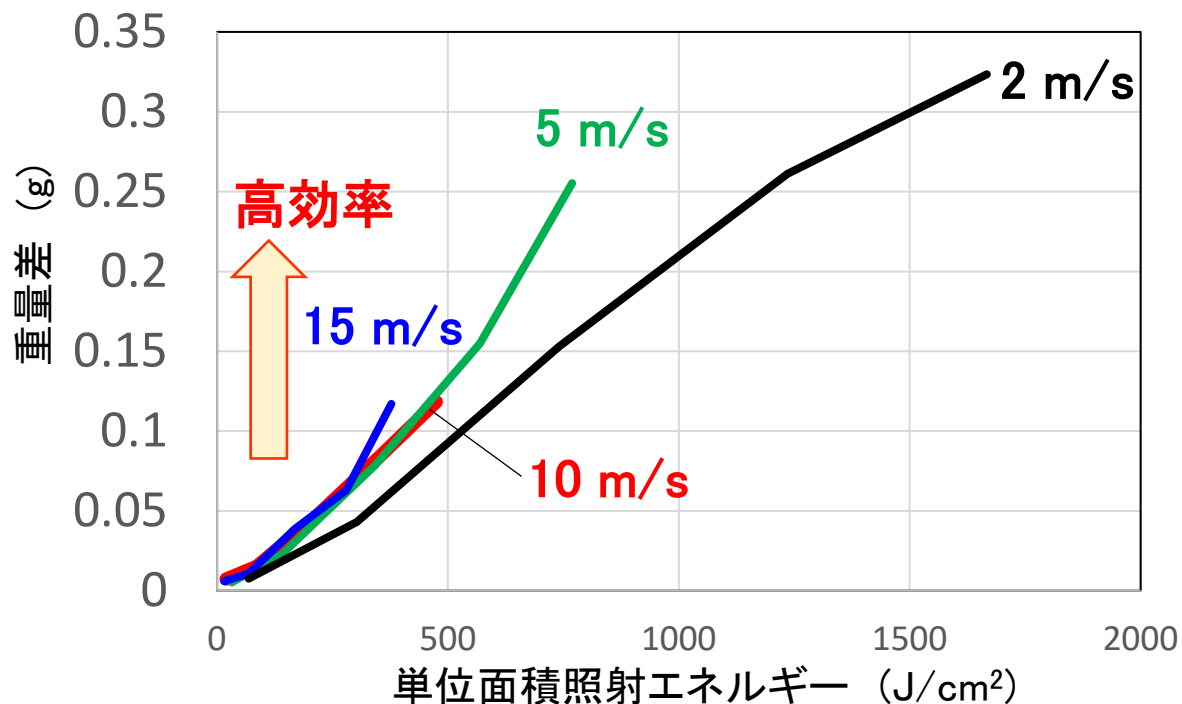
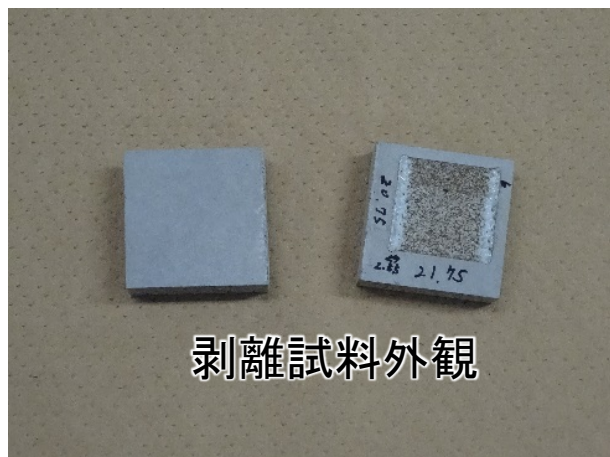
- ・切断溝が小さくドロスや二次廃棄物(ヒューム)の発生が少なくできる。
- ・遠隔操作による切断で解体作業時の作業員の被ばくを低減できる。

このような利点を持つレーザー除染及びレーザー切断技術を実機適用レベルまで向上させることで、原子力施設の廃止措置等に貢献することを目指す。

# レーザー除染技術

# コンクリートに対する照射エネルギーによる剥離効率

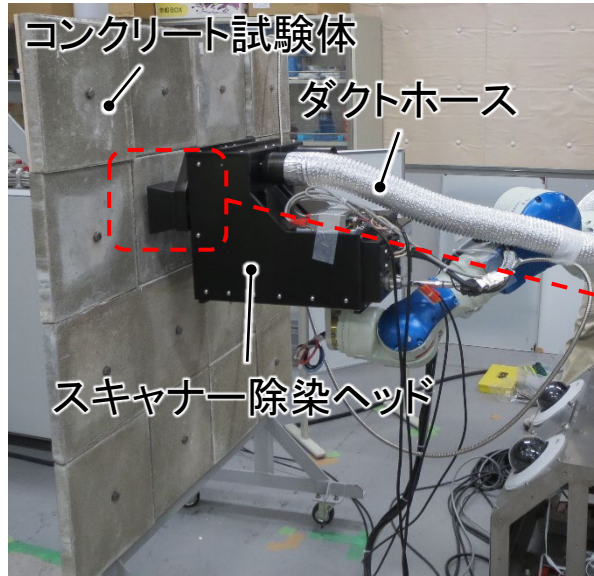
照射エネルギーと剥離量の関係を、重量差を用いて評価した。



- ・照射エネルギーの総量が同じ場合、走査速度が速いほうが剥離量が多い。
- ・走査速度が極端に遅い場合は、剥離効率が低下する領域が現れる。

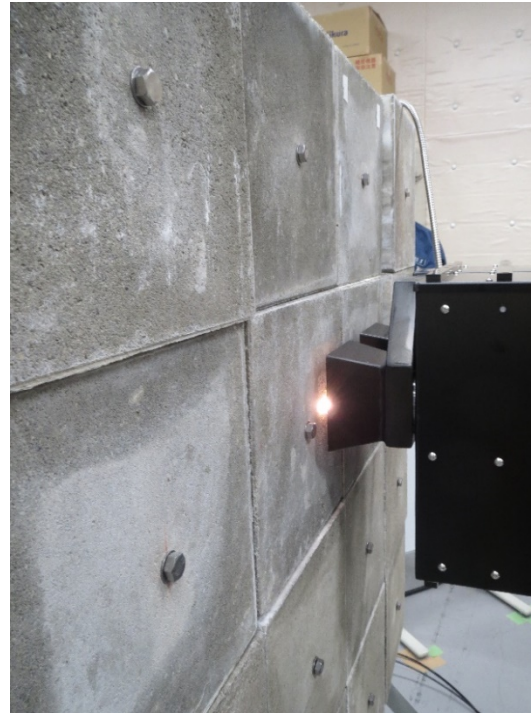
レーザー照射によりコンクリート表面を剥離できることが示された。  
コンクリート表面に付着した汚染を除去できる見通しが得られた。

# コンクリート試料の表面剥離



スキャナー除染ヘッド(集塵機能付き)

- ・ロボットにより、コンクリート試験体の表面とわずかな隙間が出来るようにスキャナ除染ヘッドを設置する。
- ・ダクトホースにより、コンクリート剥離時に発生する粉じんを集塵機に輸送する。



レーザー照射実験の様子

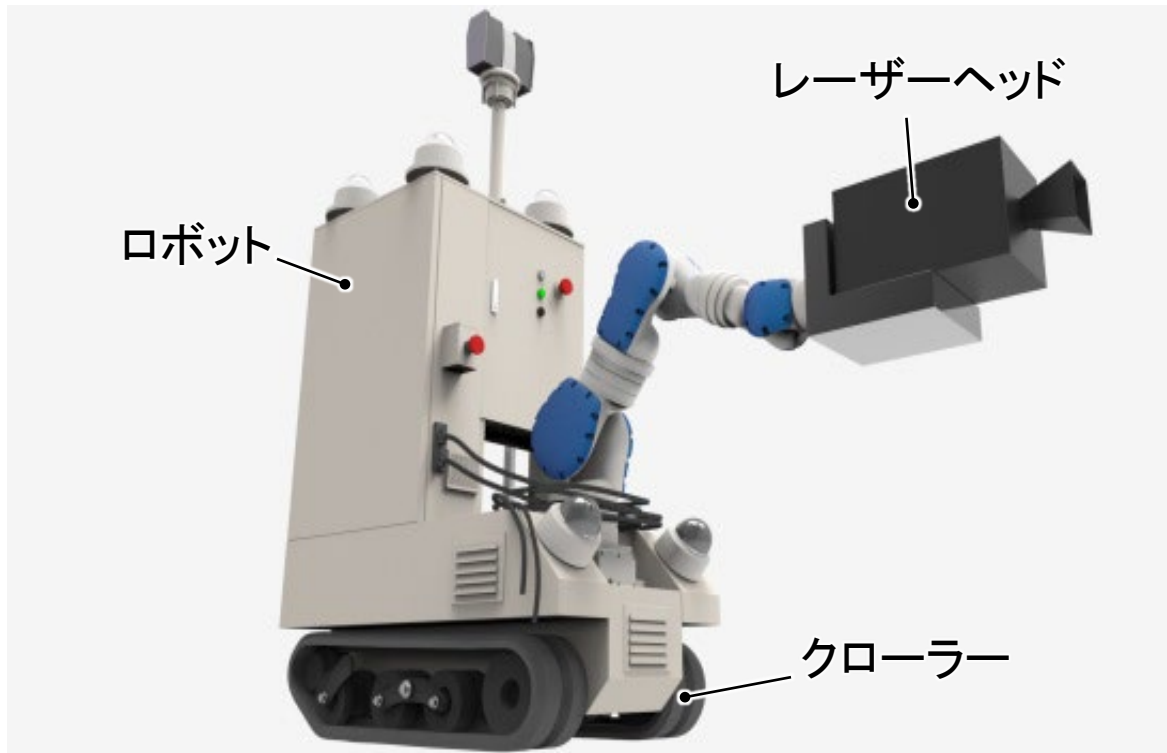


照射後のコンクリート面

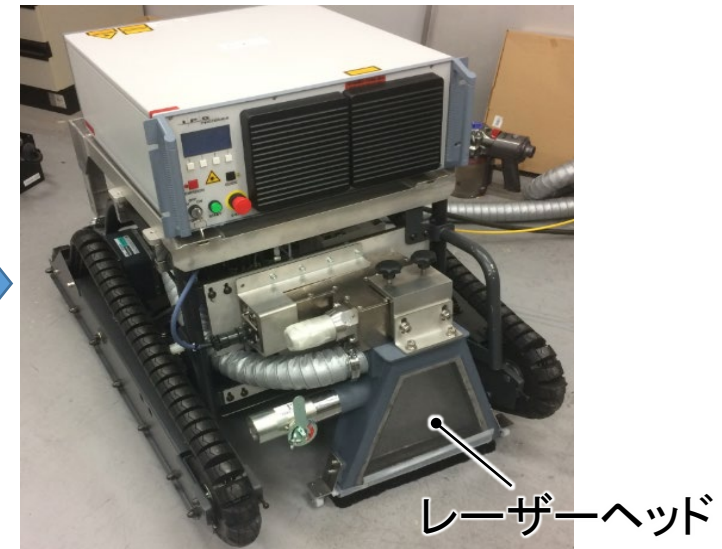
50 mm × 50 mmの範囲を、出力300 Wで約20秒間スキャンした。剥離部の深さは、200  $\mu$ m程度であり、除去物の重量は1 g程度であった。

# 除染機材の開発(自走式)

用途: 建屋の除染(コンクリート)



従来のレーザー除染機材  
寸法: 110 cm × 70 cm × 170 cm

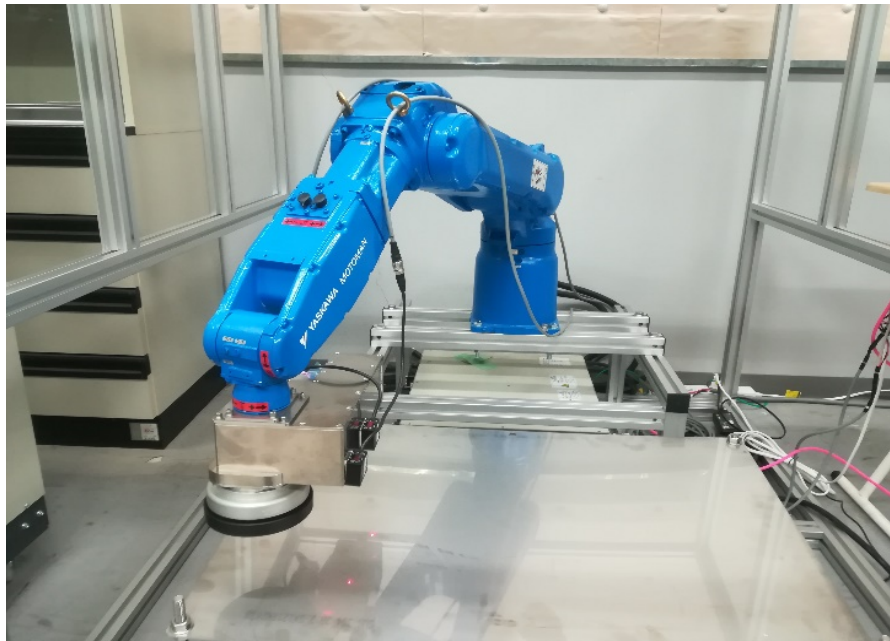


レーザー除染機材(小型化)  
寸法: 100 cm × 70 cm × 80 cm  
300 W、自走式、空冷(ケーブルレス)  
集塵機搭載

除染機材を小型化するノウハウを取得した。

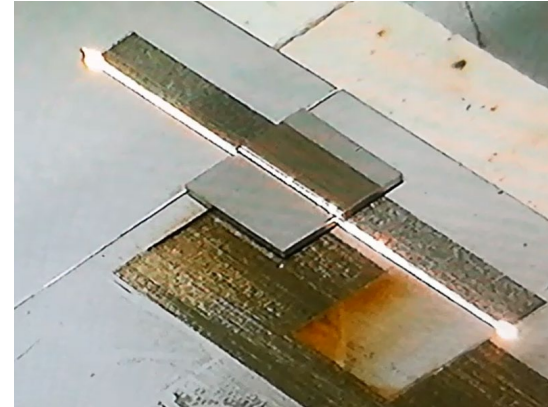
# 照射距離の半自動制御と金属表面の剥離

レーザー除染では、照射距離を正確に合わせることが重要であるため、対象物の傾斜に合わせて照射位置を半自動で設定(教示)するシステムを開発した。



照射ヘッド搭載ロボットアームの半自動教示システム

開発したシステムを用いた金属表面の剥離



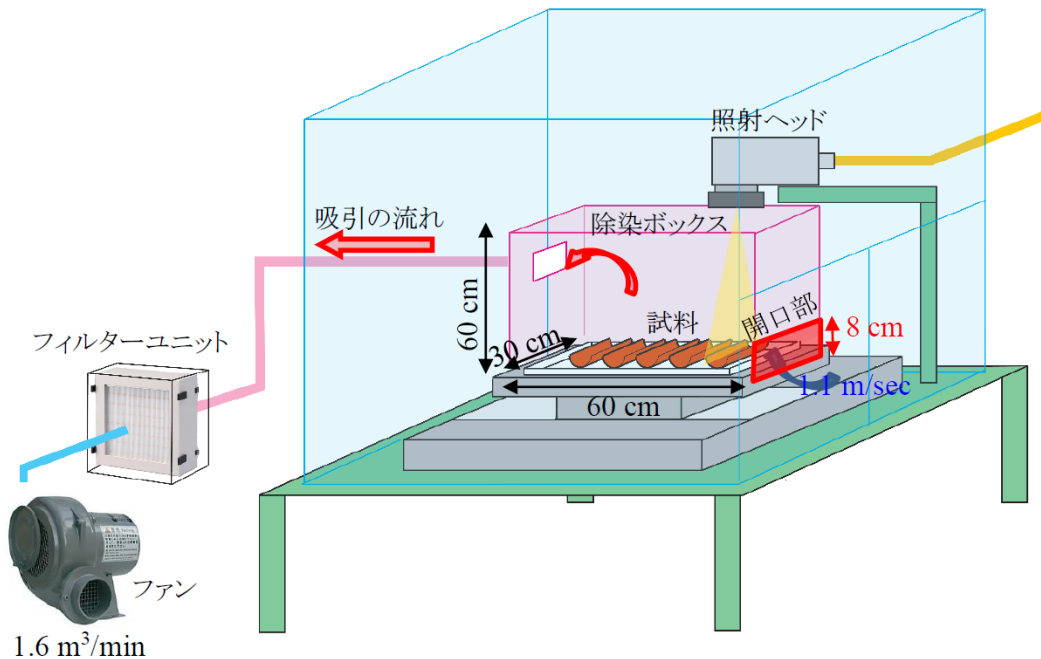
パワー密度 MW/cm <sup>2</sup>	エネルギー密度 J/cm <sup>2</sup>	重量減少量 mg	平均掘り深さ μm
22.65	170	32	5.6
22.65	566	31	5.4

実試料では、表面から深さ0.7~0.8 μmの範囲に汚染の85%程度が存在\*)することから、開発したシステムは、金属の除染に対して有効と考えられる。今後は、除染データ拡充を行う。

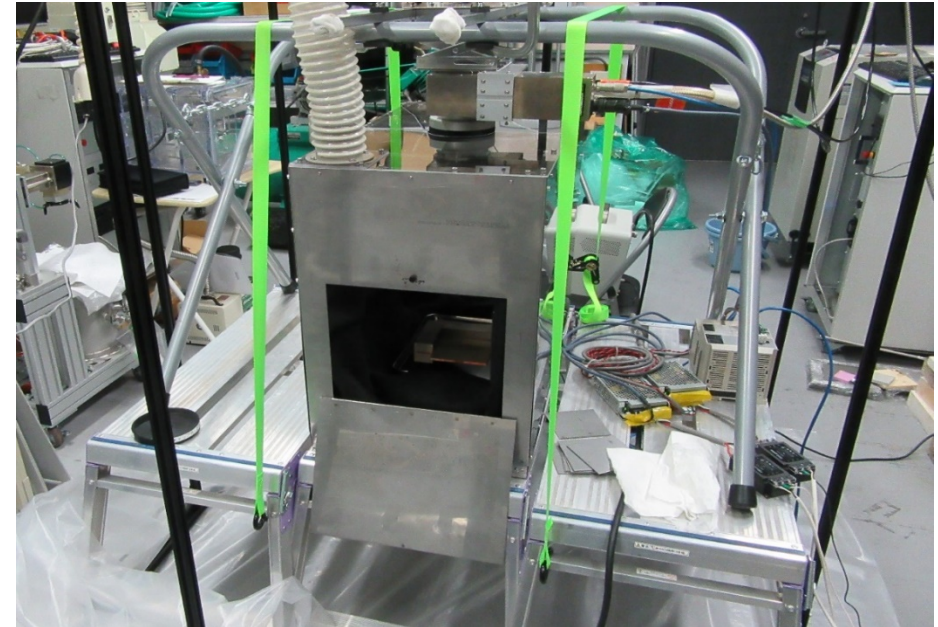
\*) Aniruddha Kumar et al., "Laser assisted removal of fixed radioactive contamination from metallic substrate", Nuclear Engineering and Design, 320 (2017) 183-186.

# レーザー除染システムの開発

レーザー除染で発生する粉じんへの対処として、汚染を有していることを前提に処理空間を狭くし、吸引換気の流れを制御するとともに、レーザーの拡散光の対策として密閉環境を設定した。



レーザー除染システムのレイアウト\*)



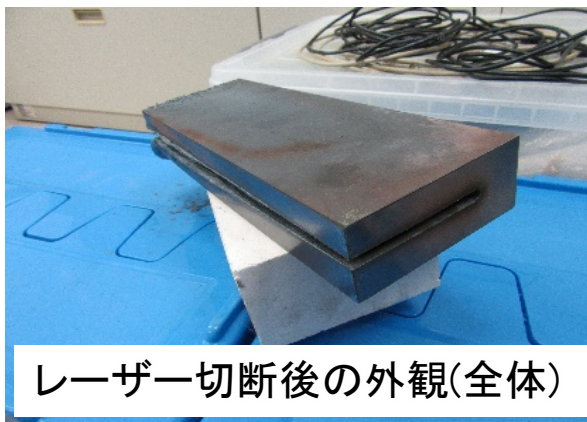
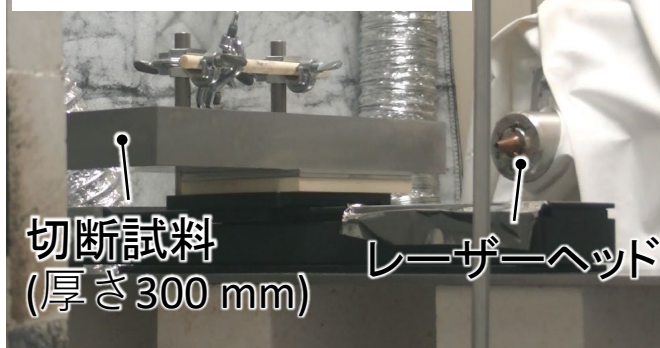
ホット試験で使用したレーザー除染システム



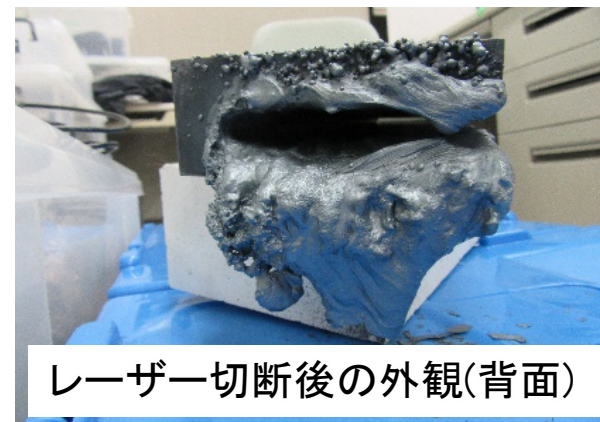
# レーザー切断技術

# 30 kWファイバーレーザーによる低合金鋼の切断

レーザー切断前の様子

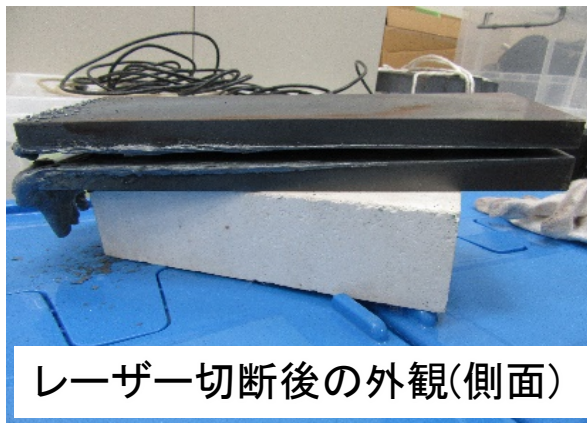
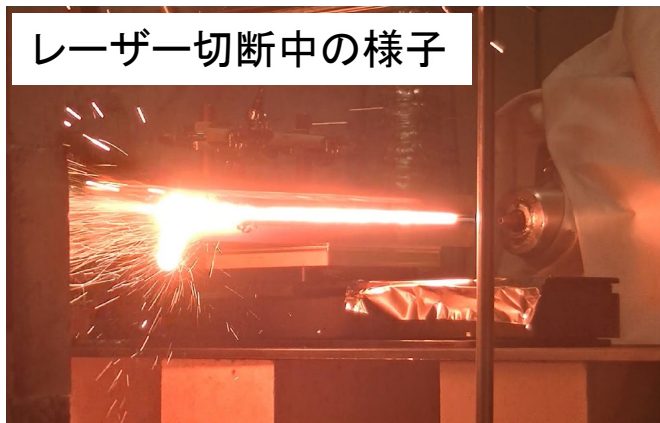


レーザー切断後の外観(全体)

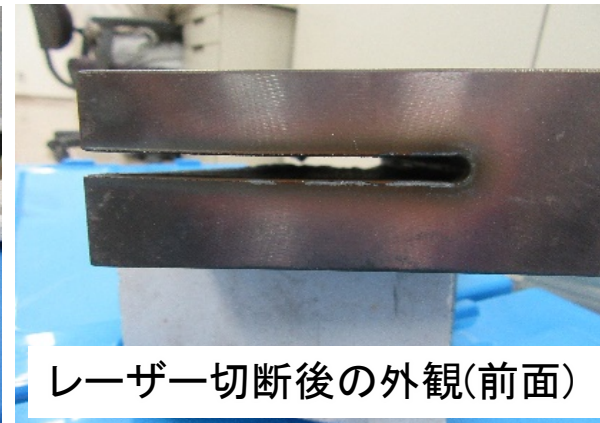


レーザー切断後の外観(背面)

レーザー切断中の様子



レーザー切断後の外観(側面)

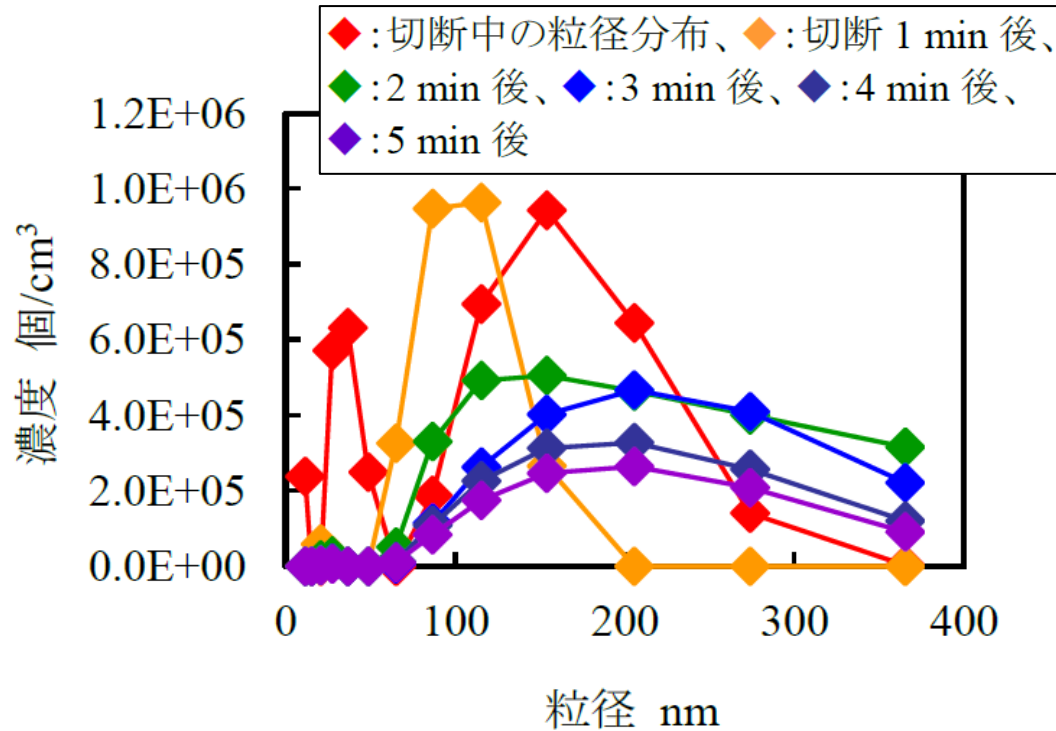


レーザー切断後の外観(前面)

レーザー出力: 30 kW  
アシストガス流量: Air 600 L/min  
スタンドオフ: 50 mm  
切断速度: 10 mm/min  
対象物: 低合金鋼 t300 mm

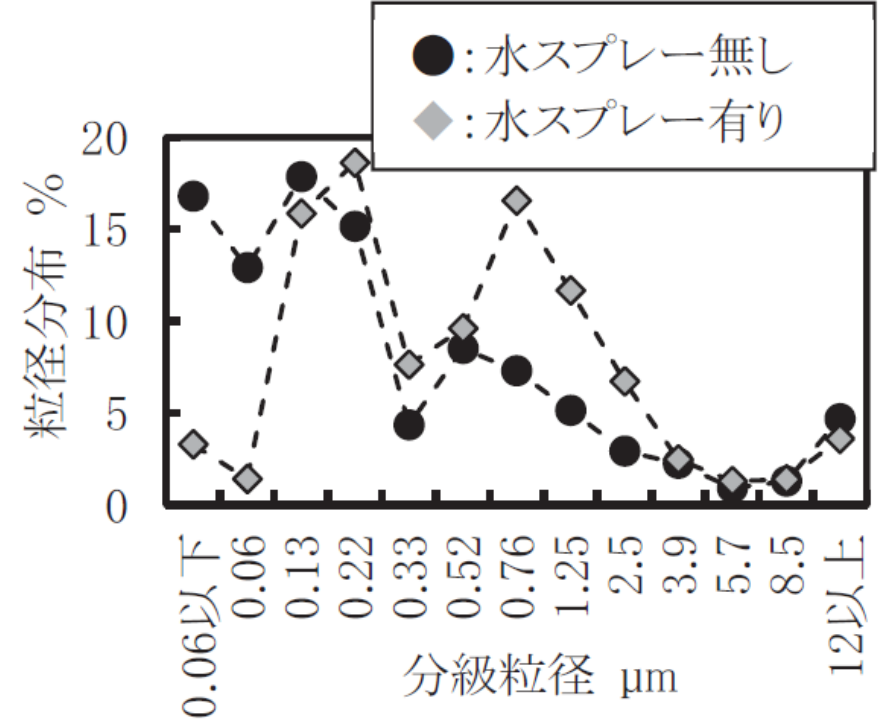
厚さ300 mmの低合金鋼を切断できることを確認した。

# 粉じん粒径分布の評価



出力10 kWで切断した場合の粉じん粒径分布<sup>\*</sup>

- ・切断中は、40 nm付近と155 nm付近を中心とする粉じん濃度ピークが確認された。切断後は、200 nmを中心とするブロードピークとなり、時間とともにピークの高さが低下した。



出力30 kWで切断した場合の粉じん粒径分布<sup>\*\*</sup>

- ・0.06以下～0.22 μmの分布が高いことが確認できた。また、水スプレーを用いることでこの場合、粒径0.06 μm以下の分布が減少することが確認できた。

<sup>\*</sup> 公益財団法人若狭湾エネルギー研究センター研究年報 平成30年度第21号, P.7, 2018

<sup>\*\*</sup> 公益財団法人若狭湾エネルギー研究センター研究年報 平成29年度第20号, P.78, 2017

# 実機海水配管材料の切断試験

## 実機海水配管の周方向切断の様子

切断速度: 1500~3000 mm/min

スタンドオフ: 20 mm

アシストガス流量: 1000 L/min

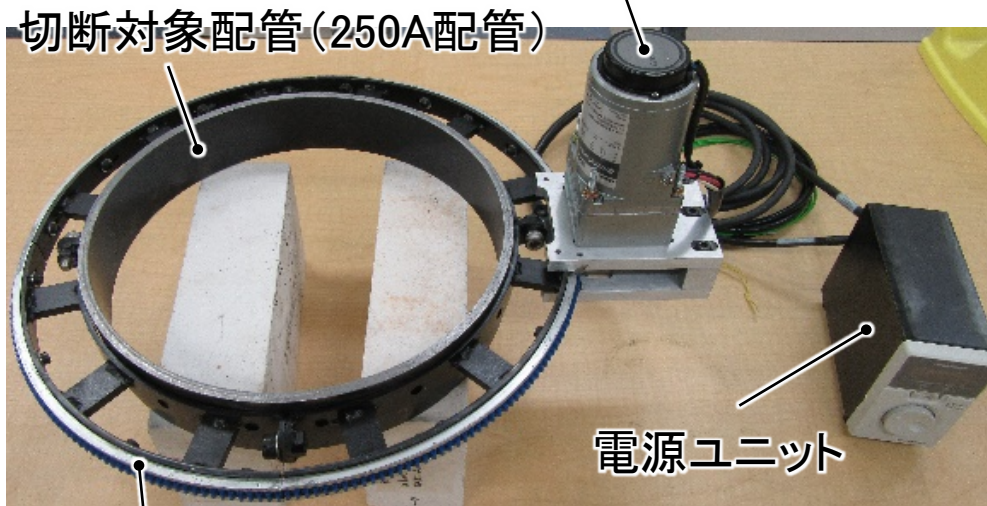


# 自動配管切断装置の試作

狭隘部に設置された直径250 mmの配管(250A配管)を対象としたレーザー切断システムの試作



切断機本体(レーザー切断ヘッド無し)



切断機ガイドレール



試作したレーザー切断システムにより、配管の切断が可能であることを確認した。

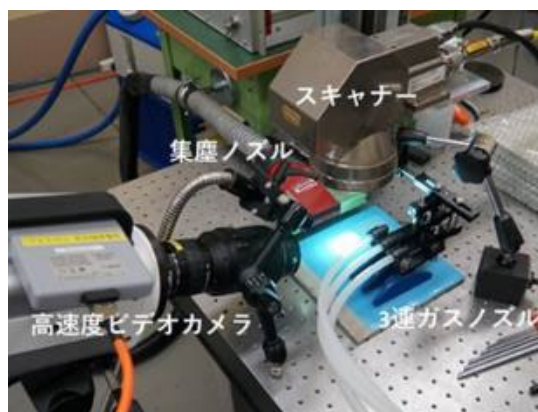
# 一般産業への応用

# レーザー除染技術の土木建築分野への応用・実用化研究\*)

若狭湾エネルギー研究センターが開発を進めているレーザー除染システムの一般産業への展開として、周辺環境にやさしく安全な屋外塗膜剥離施工技術・装置を開発するための研究を実施。

[レーザー剥離加工実験条件最適化]

[加工結果の一例]



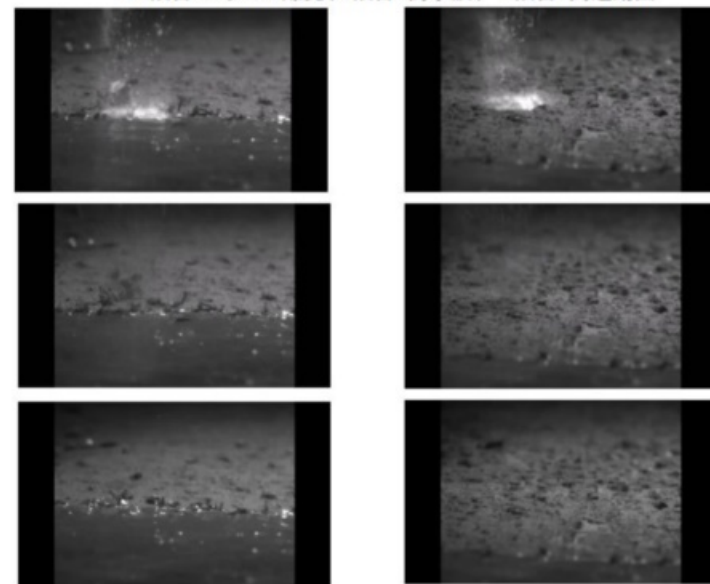
加工実験系の外観写真

60ns, 10kHz, 90mj, 900W  
3m/s, Just, 4pass. Offset:1mm

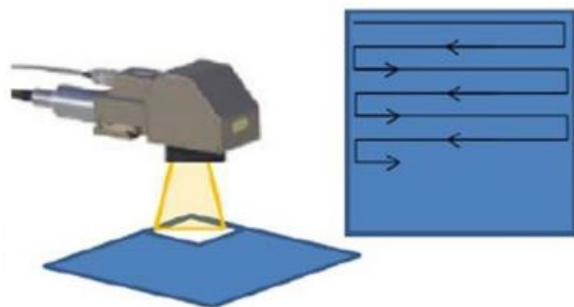


↑  
エア方向

1パス目 3パス目  
\*1段目:プラズマ爆発、2段目:衝撃波、3段目:高速動画



エポキシ系塗膜(ブルー)の剥離



光走査方法の模式図

開発目標(実用化レベル)の2.5 m<sup>2</sup>/hを上回る  
**2.7 m<sup>2</sup>/hの剥離能力達成**

\*) 坪井昭彦,レーザー除染技術の土木建築分野への応用・実用化研究, 2019年度公募型共同研究成果,

[http://www.werc.or.jp/support/kyoken\\_seika/img2019/sangaku01.pdf](http://www.werc.or.jp/support/kyoken_seika/img2019/sangaku01.pdf)

# レーザー加工技術のまとめ

若狭湾エネルギー研究センターでは、原子力施設の廃止措置等への貢献を目指したレーザー技術として、レーザー除染及びレーザー切断技術の開発を行っている。

## 【レーザー除染技術】

- ・コンクリートにレーザー照射を行い照射エネルギーと剥離量の関係性を評価した。
- ・集塵機能付のスキャナー除染ヘッドを試作して、粉じんを捕集しながらコンクリート表面の剥離が行えることを実証した。
- ・レーザー除染機材を開発し、コンクリートや金属に対して表面の汚染が除去可能なことを確認した。
- ・対象物の傾斜に合わせて照射位置を半自動で設定できるシステムを開発した。
- ・粉じん対策を考慮したレーザー除染システムを開発し、管理区域内にてホット試験を実施した。

## 【レーザー切断技術】

- ・出力30 kWのファイバーレーザーを用いることで、厚さ300 mmの低合金鋼の切断に成功した。
- ・切断時に発生する粉じんについては、粒径分布の評価を行った。
- ・実機海水配管の周方向切断を実施し、切断可能なことを確認した。
- ・狹隘部に設置された直径250 mmの配管を対象とした自動配管切断装置を試作した。

## 【一般産業への応用】

- ・屋外塗膜剥離施工技術・装置の開発として、エポキシ系塗膜(ブルー)を対象とし、実用化レベルの2.5 m<sup>2</sup>/h を超える2.7 m<sup>2</sup>/h を達成した。



# 今後の展開

レーザー加工技術の発展は目覚ましく、技術進歩に伴う最新のレーザー技術を取り入れることで、原子力施設の廃炉現場への貢献を目指す。

## 【レーザー除染技術】

- ・パルス照射によるコンクリート表面除染の高効率化及びユーザニーズ調査/実用化の検討。
- ・コンクリート除染中の微粒子の発生挙動を可視化し、HEPAフィルター等により捕集可能か評価。
- ・金属製品のゴムライニング剥離技術として、天然軟質ゴム等を対象としたレーザー剥離技術の開発。

## 【レーザー切断技術】

- ・配管切断装置の自動化技術の適応箇所の調査及び操作性の簡便化。
- ・金属切断中の微粒子の発生挙動を可視化し、HEPAフィルター等により捕集可能か評価。

## 【一般産業への応用】

- ・コンクリート等の表面を高速で薄く削り荒れさせる技術等も有利性があると考えられることから、開発を進める予定。