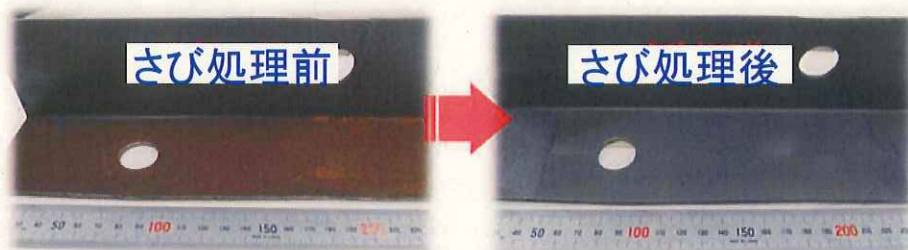


# レーザー除染条件の明確化と 粉塵飛散防止機構の研究



光産業創成大学院大学

○藤田和久、沖原伸一郎

 toyokoh (株)トヨコー豊澤一晃、前橋伸光、高原和弘  
秋吉徹明、鈴木猛、黒柳昭博静岡県防災・原子力学術会議・第9回原子力経済性等検証専門部会・平成26年度第4回原子力分科会合同会議  
平成27年3月25日(水)

## 内容

# レーザー除染条件の明確化と 粉塵飛散防止機構の研究

- 背景(人、技術、ニーズ)
- 廃止措置で発生する廃棄物の表面除染
- 背景(除染法比較、レーザー除染の進歩)
- 研究成果
  - ① 除染条件の明確化
  - ② 粉塵飛散防止機構
- 今後の開発

## 登場人物の背景

### 自己紹介/ 光産業創成大学院大学

- 藤田和久
- 藤枝市出身
- 大阪大学レーザー核融合研究センター
- 宇宙航空研究開発機構(宮城県角田)
- 光産業創成大学院大学(開学時より)
- 2005年開学
- 博士課程10名/年  
71名/10年
- 起業/新事業開発
- 起業数29博士数23
- 起業家、新プロ立ち上げ、第二創業など

3

## 登場人物の背景

### (株)トヨコー 会社概要

本社	静岡県富士市青島町39番地
資本金	6,000万円
創業	1996年3月
事業所	本社・浜松研究所
営業品目	蘇生事業・光事業・塗装防水工事

■ **蘇生®事業** ～スプレーカバー工法による屋根の防水、断熱、補強～

■ **光事業** ～レーザー塗膜除去 CoolLaser クーレーザー～

H20年度：光産業創成大学院大学共同研究開発開始

H21年度：産学官連携研究開発助成事業採択(静岡県)

H22年度：産学官連携研究開発助成事業採択(静岡県)

H24年度：異分野連携新事業分野開拓計画認定  
共同研究契約

道路・鉄道分野(橋梁)試験施工開始

H26年度：中部電力(株)原子力安全技術研究所  
共同研究契約

4



技術の背景

CoolLaser® クーレーザー®  
ポータブルレーザー塗膜除去装置



- ◆光(電磁波)による対象物質の瞬時の高温化・溶融・蒸発飛散
- ◆構造物の塗膜除去を目的にポータブルレーザー塗膜除去装置を開発
- ◆実際のサンプルを用いた除去の実証や橋梁等の現場施工を実施
- ◆処理時間の短縮等の装置改良が進行中

5

技術の背景

CoolLaser® クーレーザー®

大型  
構造物



(38秒動画)

(動画38秒)

6



# レーザー除染条件の明確化と粉塵飛散防止機構の研究

- 背景(人、技術、ニーズ)
- 廃止措置で発生する廃棄物の表面除染
- 背景(除染法比較、レーザー除染の進歩)
- 研究成果
  - ① 除染条件の明確化
  - ② 粉塵飛散防止機構
- 今後の開発

7

## 目的 原子カプランドの除染への適用可能性の調査

構造物の塗膜除去用に開発されたポータブルレーザー塗膜除去装置の原子カプランドの廃止措置等における除染技術への適用可能性について基礎的な検討を行う

表 除染法の比較

項目	レーザー	ブラスト	化学除染
二次廃棄物	なし	廃ブラスト材	廃液
処理速度	⇒ 検討①	○	△
粉塵飛散防止	⇒ 検討②	△	○
遠隔除染の可能性	反力無、伝送容易		

- 検討項目 ① 除染条件の明確化(処理速度の推定)  
 ② 粉塵飛散防止機構

8

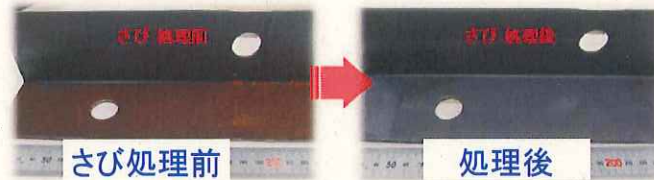
## 予備実験 鋼材表面のさびの除去

### ◆ 除染対象

ステンレス、炭素鋼等の配管内表面に形成した放射性物質を含む酸化被膜層を除去

### ◆ 予備実験

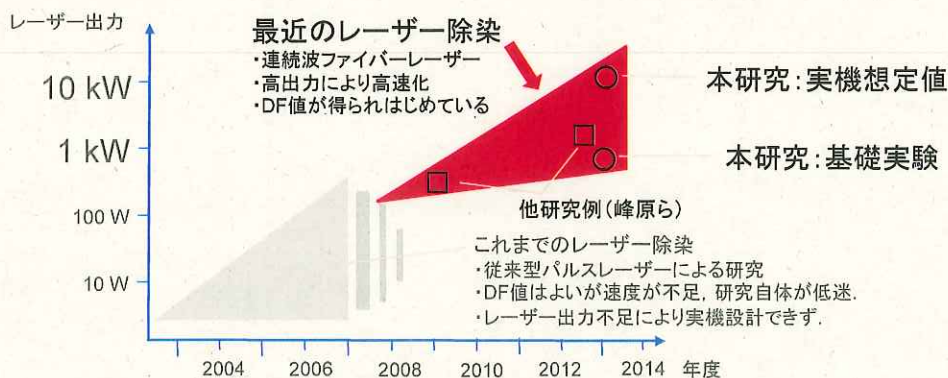
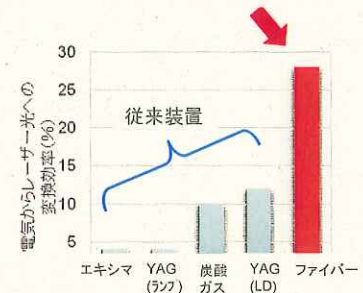
- ・ 炭素鋼表面に自然発生したさび
- ・ ポータブルレーザー塗膜除去装置でさびを除去



9

## レーザー除染技術の進歩

- ・ 産業用レーザーを応用した研究がベース
- ・ 従来はレーザー装置の出力・効率が低く高価で、低い除染性能。
- ・ 1990年以降の年平均12%成長の加工用レーザー装置市場
- ・ 2000年代半ばからのイノベーション  
高出力・高効率の**ファイバーレーザー**が急速に普及し低価格化。
- ・ レーザー除染では、出力が低いパルスレーザー利用から、出力が大きい**連続波のファイバーレーザー**を利用する新発想が登場。



レーザー除染研究におけるレーザー出力の進展イメージ

10



# レーザー除染条件の明確化と 粉塵飛散防止機構の研究

- 背景(人、技術、ニーズ)
- 廃止措置で発生する廃棄物の表面除染
- 背景(除染法比較、レーザー除染の進歩)
- **研究成果**
  - ① 除染条件の明確化
  - ② 粉塵飛散防止機構
- 今後の開発

11

## 検討項目① 処理速度の推定

### ◆ 概要

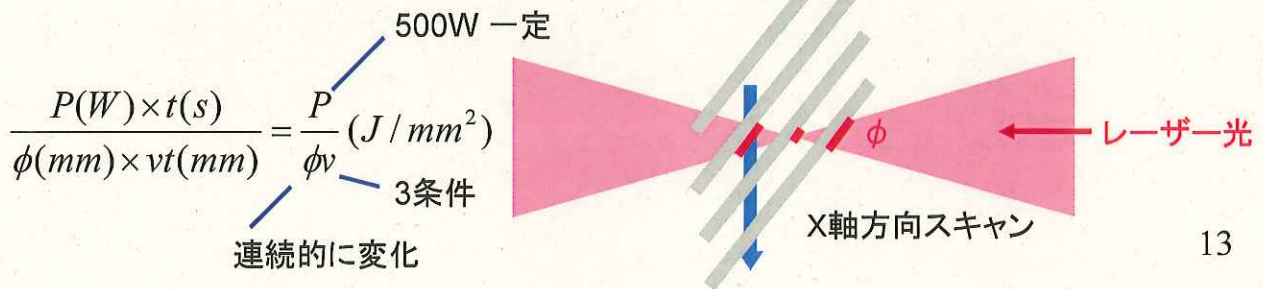
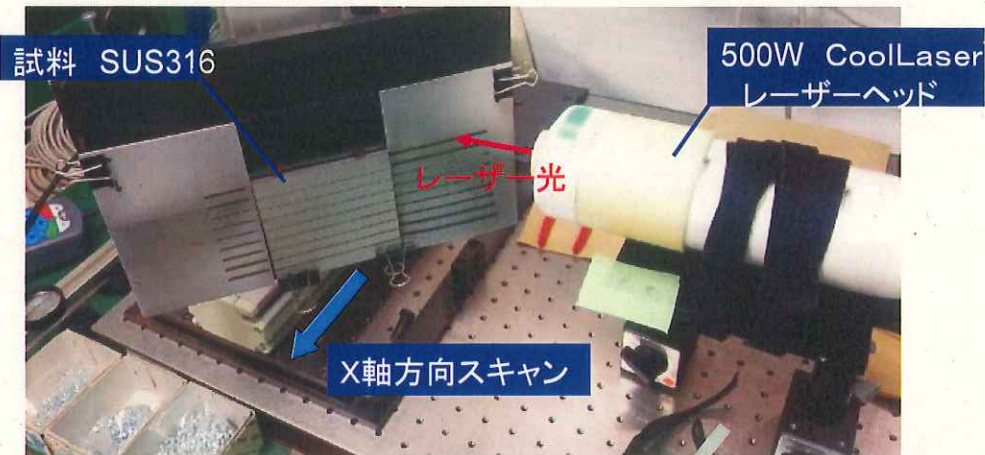
レーザー除染の実用化に向けた検討に必要な基本的な仕様である除染速度を推定するため、鋼材表面にレーザーを照射して除去量を測定する。

### ◆ 実験

- 試験片 無垢のステンレス316
- パラメータ レーザーフルエンス
- 除去量測定 3次元顕微鏡で試験片表面の削り取られた部分の体積を測定

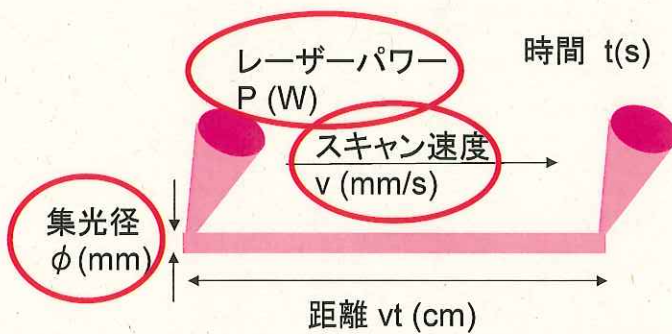
12

# 実験装置のレイアウト



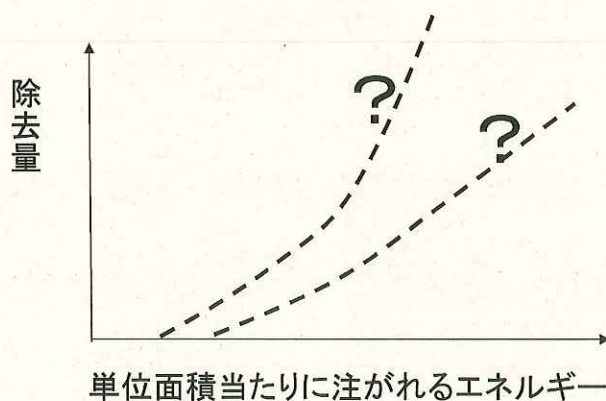
13

# 照射条件 (レーザーフルエンス)



単位面積あたりに注がれるエネルギー(フルエンス)は、

$$\frac{P(W) \times t(s)}{\phi(mm) \times vt(mm)} = \frac{P}{\phi v} \quad (J/mm^2)$$



レーザー出力 P  
スキャン速度 v  
集光径 phi

レーザー出力 500 [W]  
スキャン速度 25,50,100[mm/s]  
集光径 (集光径が異なる部位で同時に測定)

14



## 表面除去量のレーザーフルエンス依存性

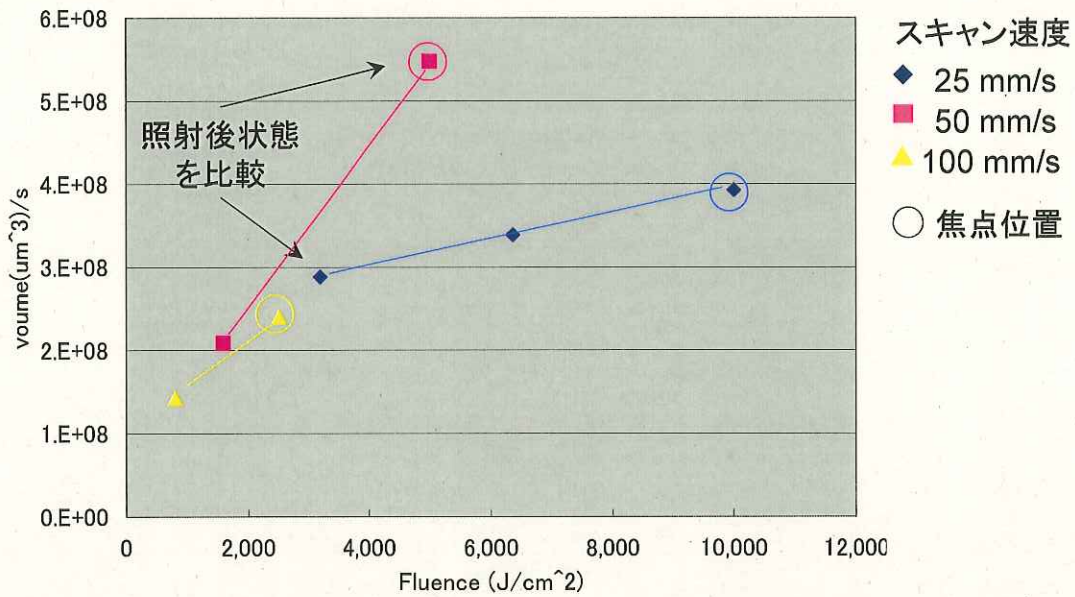
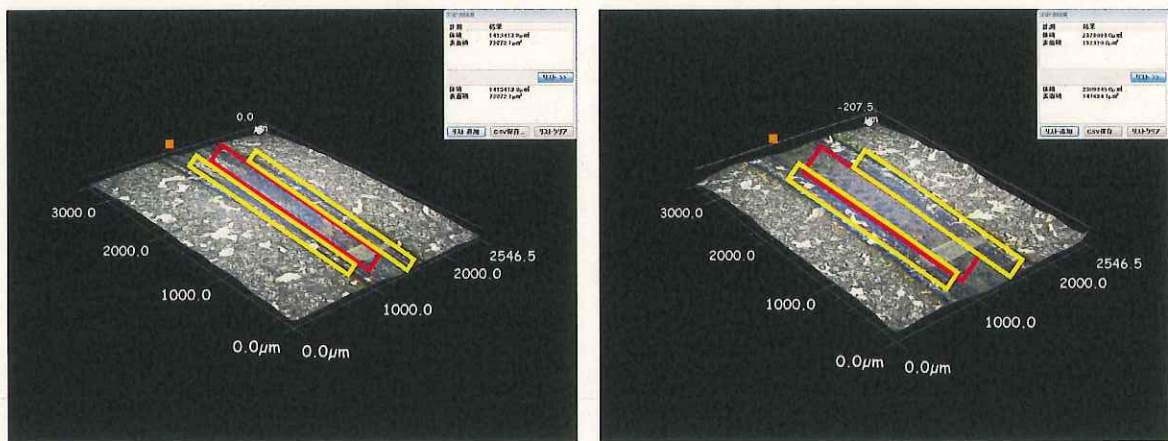


図 SUS316の単位時間当たりの除去量のフルエンス依存性(スキャン速度別)

特異的に除去量が大きくなるフルエンス(最適照射条件)が存在する。

## 照射後の鋼材表面の状態



(a) フルエンス 5,000 J/cm<sup>2</sup> (50mm/s)

(最適照射条件)

(b) フルエンス 3,175 J/cm<sup>2</sup> (25mm/s)

(最適条件より低スキャン速度)

図 レーザー除去箇所の3次元形状(表面写真と合成)

最適条件以外では、除去以外の反応にエネルギーが消費されている。



## 処理速度の推定

- i. 最適照射条件における単位除去体積あたりの投入エネルギー  
 $500[\text{W}] \div 5.5 \times 10^8 [\mu\text{m}^3/\text{s}] = 9.1 \times 10^{-7} [\text{J}/\mu\text{m}^3]$
- ii.  $1\text{m}^2$ 対象、除去深さ  $D[\mu\text{m}]$  あたりに投入すべきエネルギー  
 $D \times 10^{12}[\mu\text{m}^3] \times 9.1 \times 10^{-7} [\text{J}/\mu\text{m}^3] = 9.1 \times 10^5 D [\text{J}]$
- iii. 本装置(500W)を用いて上記エネルギーの投入に必要な時間  
 $9.1 \times 10^5 D[\text{J}] \div (5 \times 10^2)[\text{J}/\text{s}] \div 60[\text{s}/\text{min}] = 300D[\text{min}]$

⇒  $1\text{m}^2$ あたりの処理時間(≒処理速度)  
 除去深さ  $10\mu\text{m}$  : 5時間  $100\mu\text{m}$  : 50時間

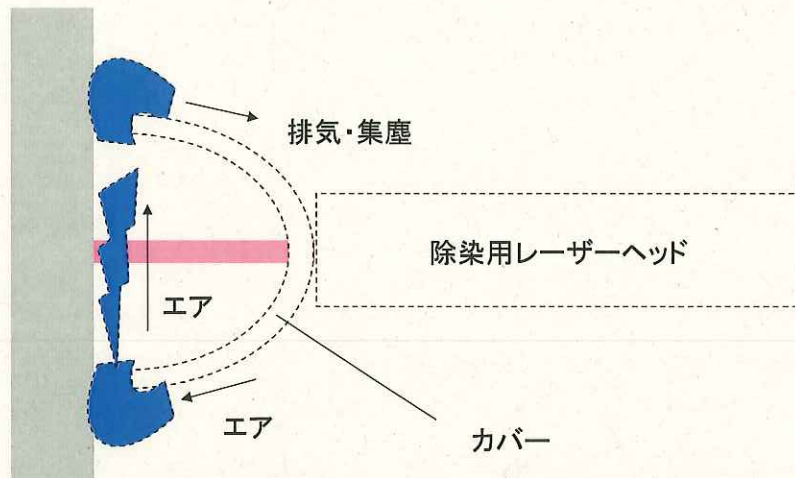
iii. レーザー出力 10kWの装置を導入した場合

⇒  $1\text{m}^2$ あたりの処理時間(≒処理速度)  
 除去深さ  $10\mu\text{m}$  : 15分  $100\mu\text{m}$  : 150分



17

## 検討項目② 粉塵飛散防止機構の検討



◆検討すべきポイント:

- ①漏れの抑制(流れ)
- ②レーザーが通る光学窓の透過率維持

18



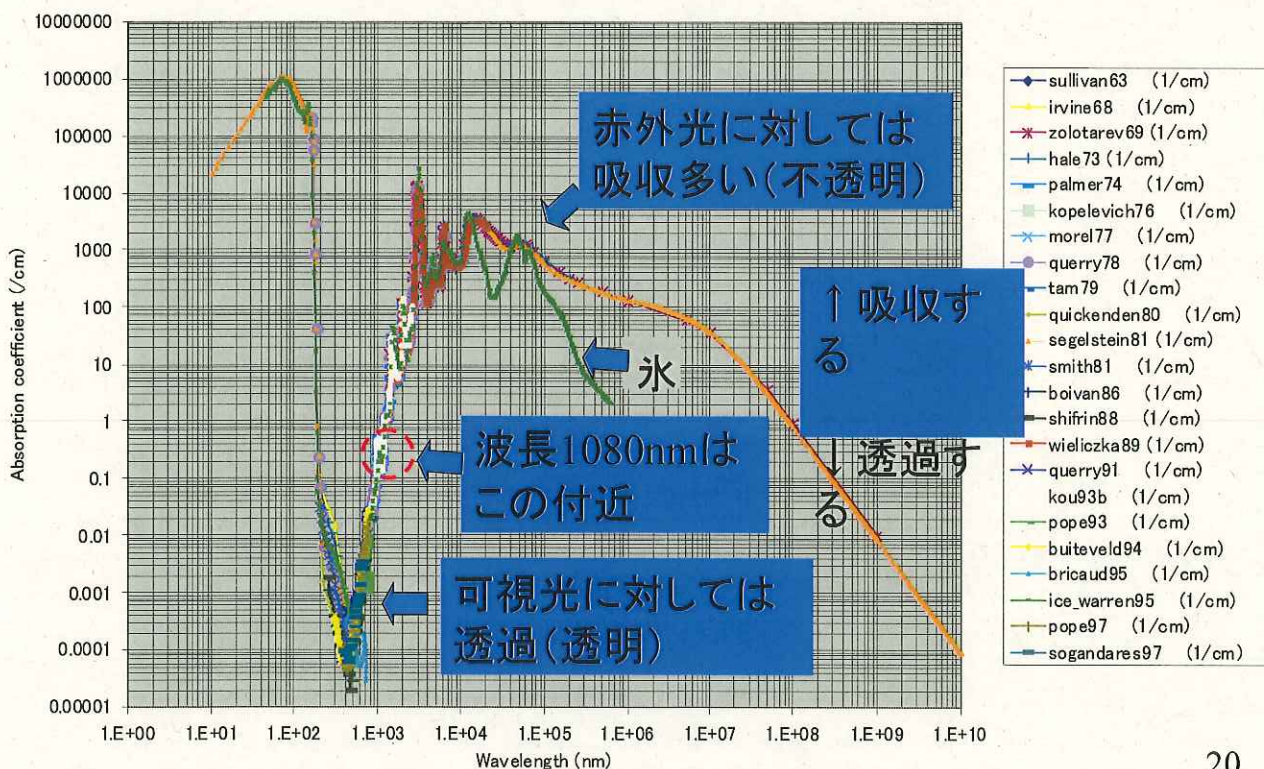
# 粉塵飛散防止の研究の位置づけ

- 新たな仮説:  
粉塵を完全に閉じ込める水中レーザー除染
- 大気中の工法よりも、より安全でより安心できる工法を提案し、ニーズを掘り起こす

(背景: 建設業界における3Kを払拭すべく、作業性が容易な装置開発を進めてきた経験と考え方を発展させたもの)

19

## 液体の水の吸収係数(文献調査)



20



## 水上からのレーザー照射試験(1)



水中side30秒

21

---

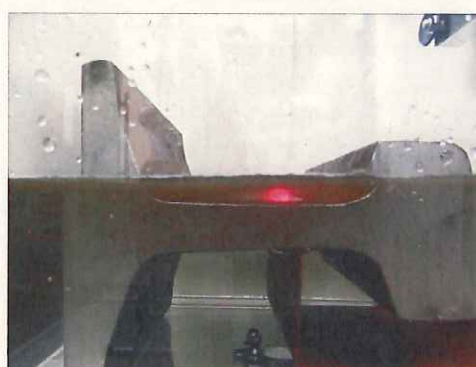
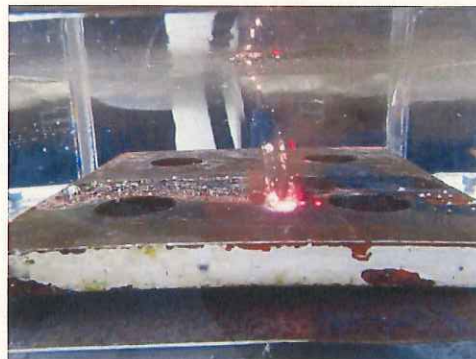
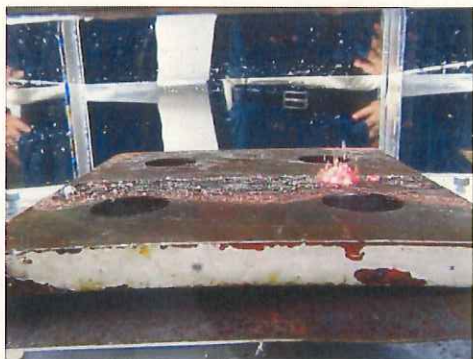
## 水上からのレーザー照射試験(2)



レール水没28秒

22

## 水上からのレーザー照射試験



23

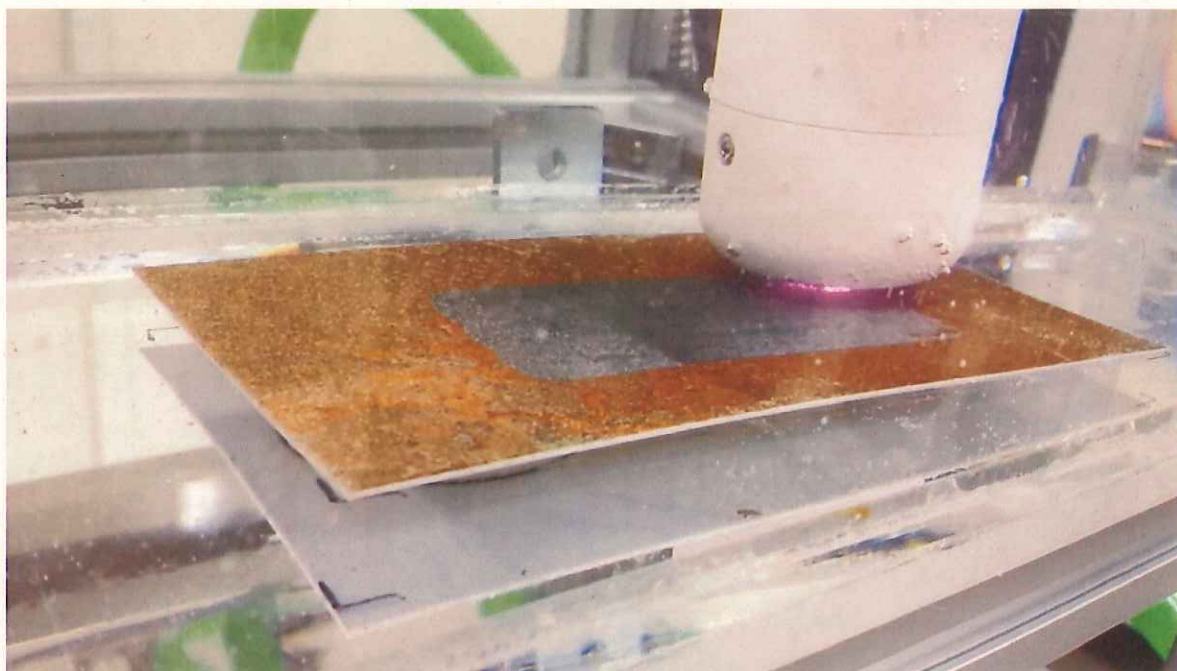
## 簡易試作機によるレーザー照射試験



24



# 試作機1号による水中試験



33秒

25

## 内容

### レーザー除染条件の明確化と 粉塵飛散防止機構の研究

- 背景(人、技術、ニーズ)
- 廃止措置で発生する廃棄物の表面除染
- 背景(除染法比較、レーザー除染の進歩)
- 研究成果
  - ① 除染条件の明確化
  - ② 粉塵飛散防止機構
- 今後の開発

26

## 公募研究の成果

橋梁等の塗膜除去用に開発した小型レーザー塗膜除去装置の原子力発電所の廃止措置への適用可能性を探るべく基礎的な検討を行った。

### ① 処理速度

理想的な条件ではあるが、実験の結果、10kW装置で1m<sup>2</sup>当たり15~150分の処理速度が期待できる。

⇒ レーザーの高出力化  
(処理コストの低減)

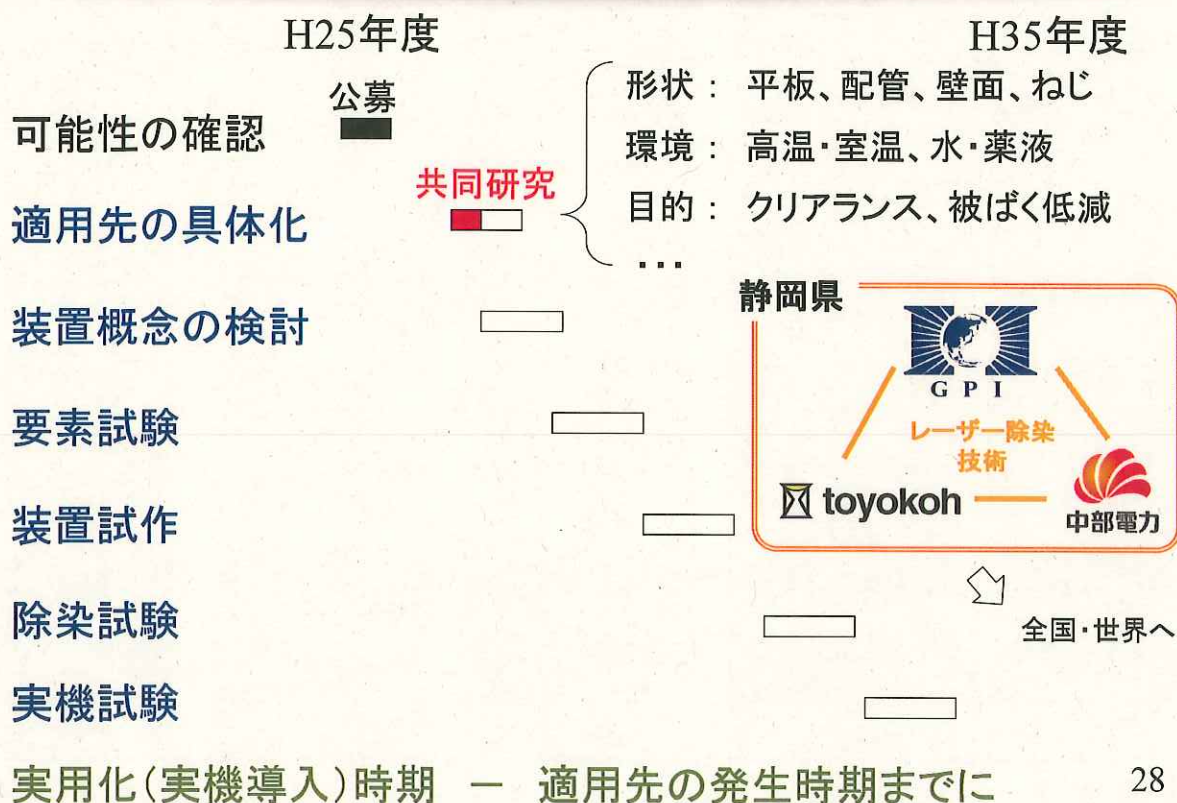
### ② 粉塵飛散防止機構

アイディアの一つとして、水中除染に取り組み、連続使用可能な水中除染機構を考案し、実験を行った。

⇒ 除染対象の具体化  
(対象に応じた機器開発)

27

## 今後の開発



28