

発電所改修のための レーザー洗浄法の実証

レーザー洗浄は、特に、従来の洗浄法の採用が安全面、経済面で制約を受けている場合には、既存の洗浄法に代わる魅力ある方法となる。

ドワイト・ホステッター (Dwight Hostetter)
グレッグ・フレデリック (Greg Frederick)

電力研究所 (EPRI) 補修・交換部品センター (Repair and Replacement Applications Center) および原子力発電会社は、原子力発電所の重要な構成部品の表面を洗浄するために、最新のレーザー処理法を検討している。表面汚染をレーザーで取り除くことにより、重要な構成部品を保守・点検または改修に向けて備えることができるとともに、望ましい材料特性 (熱伝導や表面処理など) を取り戻すことができる。多くの場合、許容することができない一定の線量を示す材料の表面汚染を除去することで、保守員による立ち入りをより容易にするとともに、場合によっては構成部品が自然放出基準を満たすことができるようになり、貯蔵・処分コストが削減できる。

レーザー洗浄法は、特に、従来洗浄法の採用が安全面、経済面で制限される場合には、現在使われている洗浄法に代わる魅力的な方法となる。現在使われている各洗浄法では、ブラスト材 (例えばサンドブラスト研磨)、研磨剤、有害な化学洗浄液のいずれかを必要とする。これらの方法では、極めて大量の二次廃棄物が発生し、多様な用途・材料向けの応用は制限されている。また、二次洗浄を行うことで、残留物や遊離した洗浄剤を除去しなければならない。さらに、従来の洗浄法は、スケール、腐食生成物、被覆などの特定の表面付着物を取り除くには効果が上がらないことが多いことが明らかとなっている。これらの洗浄法に対し、レーザー洗浄法を用い

ると二次廃棄物を一切発生させることなく、その後の利用が可能な表面汚染のない状態に回復できる。

レーザー洗浄法

レーザー洗浄プロセスは、レーザー装置 (ビーム発生器)、ビーム伝達系、ワークヘッドまたはエンドエフェクタで構成される。産業用として一般に使用されるのは、波長 $10.06\ \mu\text{m}$ の CO_2 レーザーと波長 1064nm ($1.064\ \mu\text{m}$) の Nd:YAG レーザーであるが、レーザー洗浄に適用できる波長はこれらに限られる訳ではない。Nd:YAG レーザー固有の波長でビームが光ファイバ経由で照射、伝達される。光ファイバ経由のレーザー光線の照射により、自動および手動洗浄操作を行うエンドエフェクタの操作機能が高まり、安全性が向上する。エンドエフェクタは、光ファイバケーブルの出力側に接続されており、汚染された構成部品の表面またはその周辺にレーザー光線を繰り返し集光させるために使われる。また、エンドエフェクタにより、洗浄対象の形状や表面積に応じてスキャンまたはラスタパターンでレーザー光を制御する。真空回収装置を装備し、手動または自動洗浄操作の何れにも用いることもできる。

被覆除去のメカニズム (すなわち、洗浄速度とその効果) は、パルス持続時間やピーク電力に左右される。QスイッチNd:YAGレーザー装置が発生するナノ秒単位の短パルスレーザー光により衝撃波が発

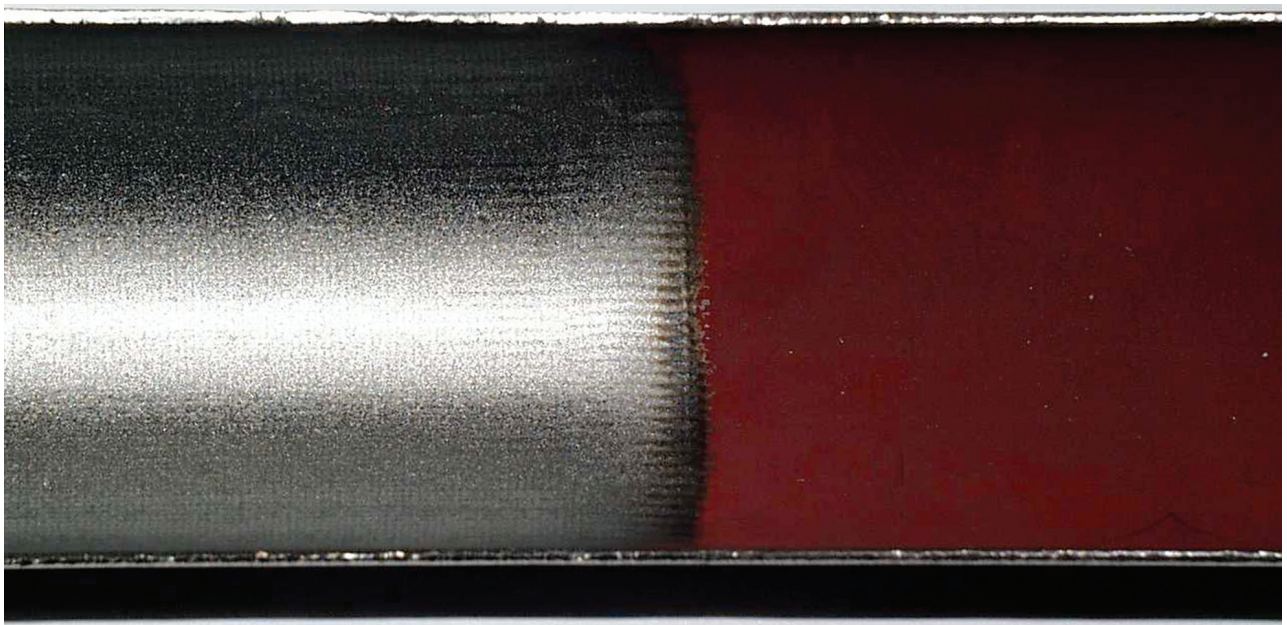


図1：304型配管表面の50%に付着している酸化被膜が除去されている（QスイッチNd:YAGレーザー装置を使用）

生し、これが被覆表面の境界面に反射して表面汚染を機械的作用により削り取る。表面部では熱を生じることなく、逆に表面汚染が気化（剥離）される際に熱が奪われる。多くの場合、構成部品は洗浄過程全般にわたり比較的低温を維持しており、歪みが少ないことから母材の冶金学的特性（耐食性、硬度、表面処理等）の変化を生じさせない。ミリ秒単位の連続波・長パルスレーザー装置は、除去の一過程として表面汚染の熱分解または融解を起こす。母材の健全性が一般に懸念されていることから、「長時間」に及ぶレーザー光の相互作用により発生する熱が母材を損傷しないように注意しなければならない。微小領域の熱発生を制限することで局所的な健全性の実現を求める場合には、非常に持続時間の短いパルスレーザー光を用いる。

フィージビリティ試験

レーザー洗浄技術の性能を証明するために、連続評価を行い、一般の発電所の構成部品における表面汚染の除去について評価した。このプログラムに基づき、パルス持続時間、ピーク電力、ビーム伝送（すなわち、光ファイバおよび光学部品）、波長など様々な特性を有する商用レーザー装置を評価した。これらの評価には、各レーザー装置を使って制御しながら一連の試験片をスキャンすることも含まれている。試験片は、一般の発電所の材料や現場から外された構成部品を対象にしている（表を参照）。

目的は、除染プロセスに対する各レーザーシステムの有効性を確認することにある。洗浄効果は、目視による評価、および洗浄速度の最適化を行わない

条件下で、母材への損傷を与えずに表面汚染物を総合的に除去する性能が基本となる。図1に304ステンレス製熱交換器細管に対してレーザー洗浄プロセスを適用した場合の代表的な試験結果を示す。

発電所での応用

連続評価によると、商用レーザー装置はすべて、発電所で通常使われている構造合金から酸化物や被覆を

レーザー洗浄フィージビリティ調査用試験クーポン	
構成部品	表面汚染
アロイ600SG管 外径0.875", 厚さ0.04"	1400° F (摂氏760°) で酸化
304型SSHX管 外径1.0", 厚さ0.030"	発電所発生物の管外面W/黒色酸化物
304型SSHX管 外径1.0", 厚さ0.030"	発電所発生物の管内面W/赤色酸化物
口径1.0"型 316SSナット	1400° F (摂氏760°) で酸化
316型SSボルト 長さ1.0"×8"	1400° F (摂氏760°) で酸化
410型SSタービンブレード	発電所発生物（二層酸化物）

除去するのにある程度効果があった。一方、QスイッチNd:YAGレーザーは、光ファイバの伝送機能を有することや母材への損傷が軽微であるため、遠隔洗浄用の重要な構成部品への適用が可能となる良好な伝導性を示した。これらの結果を踏まえ、光ファイバの伝送機能を備えたQスイッチNd:YAGレーザー装置に関する各原寸模型を用いた新たな研究を開始した。各原寸模型のうち図2と3に示される2つは、このプログラムの参加電力会社が認定した一般的な発電所機器や構造物である。図2は、コンクリート母材からエポキシ塗料をレーザーで剥ぎ取ったものである。

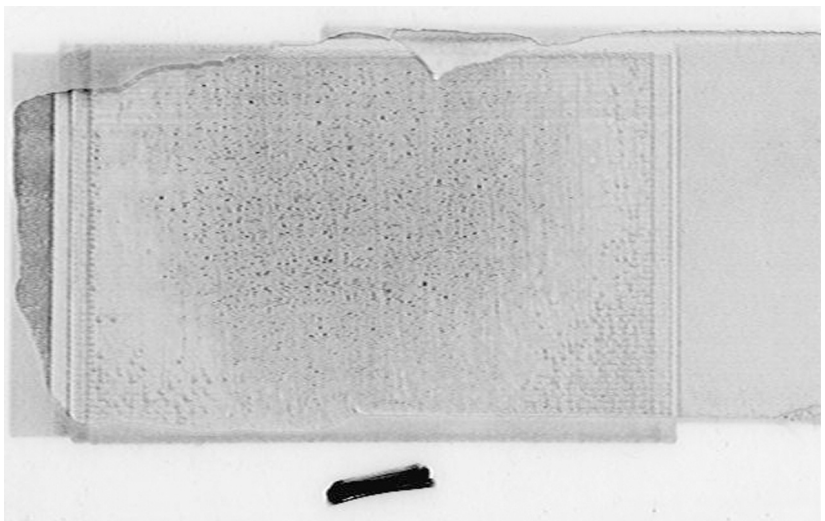


図2：コンクリート基母材から多層エポキシ塗料を剥ぎ取ったもの

図3は、モーター固定子の一部から除去した樹脂と腐食物を示している。

浄化過程をさらに詳細に評価するため、アラバマ州マスルショールズにあるTVA電力サービスショップ（Power Service Shop）に特定の発電所部品の試験施設を設置した。この試験施設には、現在、ゼネラル・レーザーエレクトロニクス社が提供するQスイッチNd:YAGレーザー装置、クリーニングヘッド、部品洗浄用グローブボックスが装備されている。クリーニングヘッドは、自動操作可能とするとともに、表面積が広い部分では手持ち式の手動操作もできるように設計されている。

最近、レーザー洗浄の実証がEPRI/テネシー溪谷開発公社（TVA）の施設で行われ、参加電力会社が提供した被覆物（エポキシ、樹脂、腐食物）に対して有効であることが示された。レーザー洗浄を適

用に関する新たな実証試験も進行中であり、原子炉容器の除染過程や一定量の放射性物質で汚染された部品（タービン部品、モーター固定子、ポンプ部品や弁類）について原寸模型による評価も行っている。

EPRIは、発電所の改修、点検、除染の対象となる特定の発電所部品に対するレーザー洗浄技術の開発を継続する計画である。本プログラムでは、特殊部品向けのエンドエフェクタ新技術を完成させるとともに、エンドユーザの機器仕様および発電所での実施や訓練のガイドラインを提示する予定である。

ドワイト・ホステッター（Dwight Hostetter）氏は、サザン・ニュークリア社の保健物理担当監督者である。グレッグ・フレデリック（Greg Frederick）氏は、ノースカロライナ州シャーロットにあるEPRI補修・交換部品センターのプロジェクト担当責任者である。本文は、コロラド州コロラドスプリングズで6月19～21日に開かれた2002年EPRI低レベル放射性廃棄物国際会議で発表された論文に基づくものである。

詳細は、グレッグ・フレデリック氏（電話：704/547-6071またはe-mail: gfrederi@epri.com）まで。

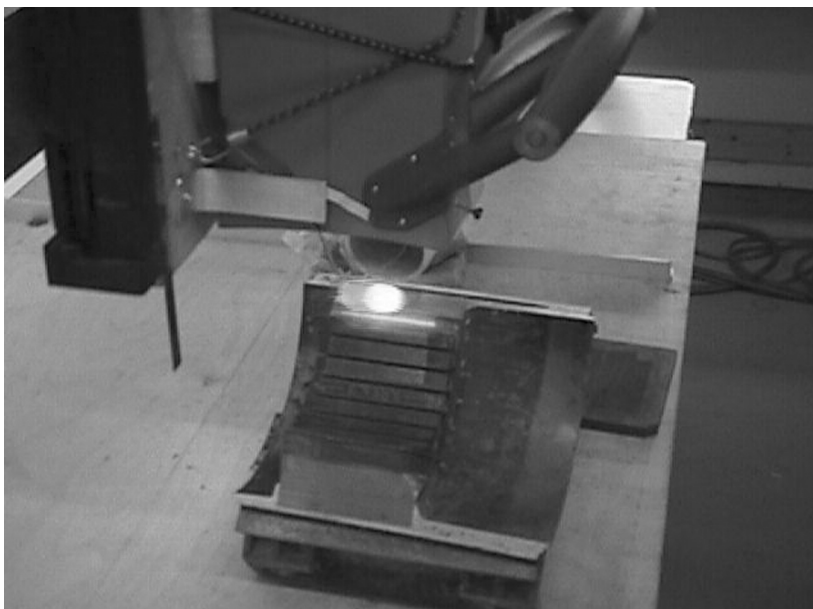


図3：モーター固定子の一部で樹脂と腐食物をレーザー洗浄により剥ぎ取っているところ