

高耐食, 高効率, 低コストのボイラー管被膜を実現する 飛行中粉末溶融型レーザクラディング工法の開発

林 良彦

大阪富士工業(株)

1 ボイラー管への表面改質について

石炭火力発電所ではボイラー設備(図1)内部で燃料を燃やして、ボイラー管内の水を蒸気にすることでタービンを回して発電する。その際腐食ガスが発生するためボイラー管には表面改質により様々な耐腐食材料が被覆される。大阪富士工業では1990年代から火力発電設備に対して表面改質を行ってきた。主な方法としては溶射法および肉盛溶接法である。溶射施工は図2aのように金属やセラミックスを溶融し吹き付ける手法である。広面積を短期間で処理することが可能である。肉盛溶接法は金属を厚く被覆することが可能であり密着性が高いことから局所的に耐食性や耐摩耗性を大きく向上させることが得意な手法である。一方溶射法で形成された被膜は気孔が多く、密着性が劣るため、寿命が短い。肉盛溶接法では成膜速度が遅いため工期内の全面施工が難しい。そこでGo-Tech事業を活用し大阪大学接合科学研究所

と耐食性(長寿命)、高効率(施工速度が速い)、低コスト(被覆量が少なく工期が短い)なボイラー管の表面改質方法を検討した。

2 飛行中粉末溶融型レーザクラディングの開発

施工速度向上のためレーザクラディング法を採用した(図3)。肉盛溶接法が一般的に低速度で厚く施工する方法であるのに対し、当方法は密着性を確保しながら

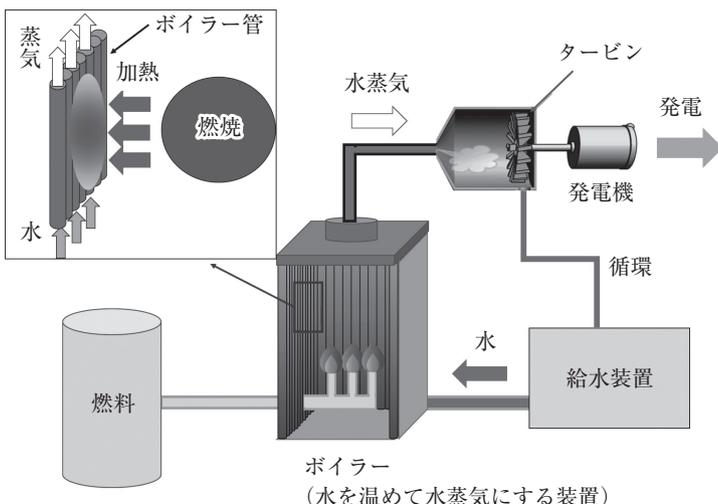


図1 ボイラー設備

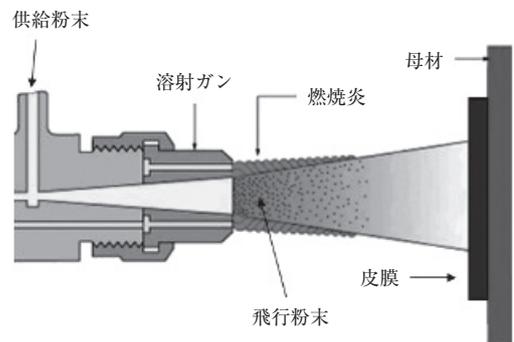


図2a 溶射法

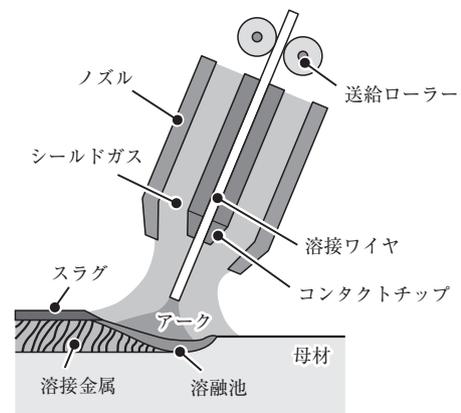


図2b 肉盛溶接法

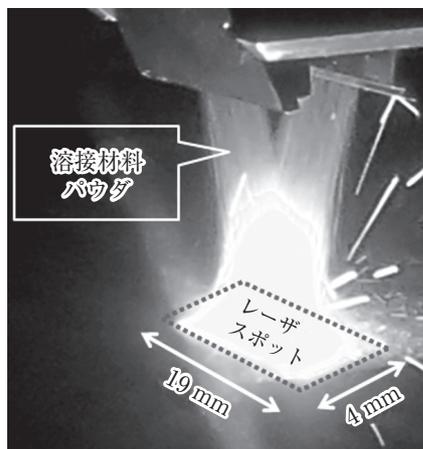


図3 レーザクラディング法

速度を重視する。掃引速度は肉盛溶接法の2倍から3倍であり、薄く早く施工することが可能である。しかし、出力を高めて速度向上を目指すと同盛溶接法のように大きな溶融地ができる。溶融池が大きくなると図4のように溶融金属が曲率に沿って垂れ下がり不均一かつ肉厚の厚い部分が生じる。そこで新たな方法を検討した。従来のレーザークラディングはレーザーで母材を溶融し溶融池を作る。そこに粉末を投入することで成膜する。これに対し新工法(図5)では、レーザー内に粉末を通過させることで飛行中の粉末が過熱されるため、大きな溶融池を作らずに成膜が可能である。また母材の入熱が抑えられ

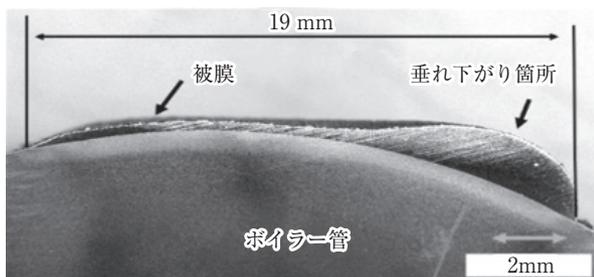


図4 曲率面でのレーザークラディング被膜

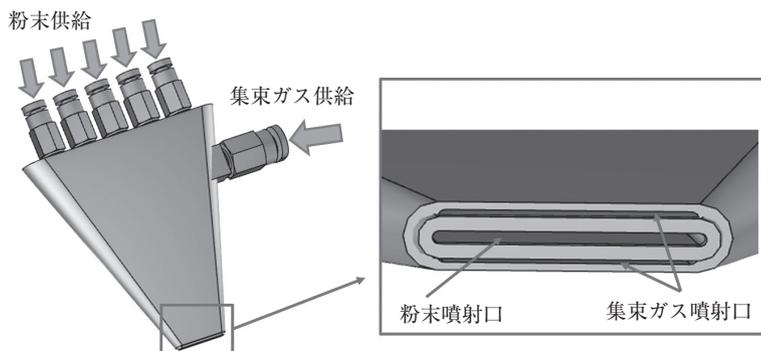


図6a 粉末供給ノズルの形状 (ノズル正面)

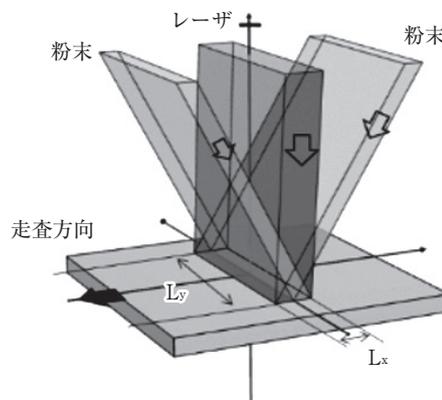


図5 飛行中粉末溶融型レーザークラディング法 (模式図)

る。この方法が飛行粉末溶融型レーザークラディング法である。直径1mmのレーザーを使用したレーザークラディング法では従来から行われている手法であるが、20mm幅の矩形レーザーで行うのは、我々が最初と考えている。

3 問題点

この工法を実現するにあたり、難しい点は粉末供給方法と幅広の矩形レーザーである。前者については粉末をレーザー照射域に投入するのが難しい。目標としては粉末供給ノズルの先端から30mmの位置で20mm×0.5mmの噴射領域まで噴流を収束させることである。

後者は曲率のある面にレーザーを照射すると焦点がずれることである。レーザーが幅広になるほど照射する面形状に影響を受ける。例えばボイラー管の円周方向にレーザー照射すると、管の頂点と両端で温度差が生じる。

よって均一に被膜をつけることができない。それぞれの解決法について後に示す。

4 粉末供給ノズルの開発

図6a、図6bに粉末供給ノズルの模式図を示す。

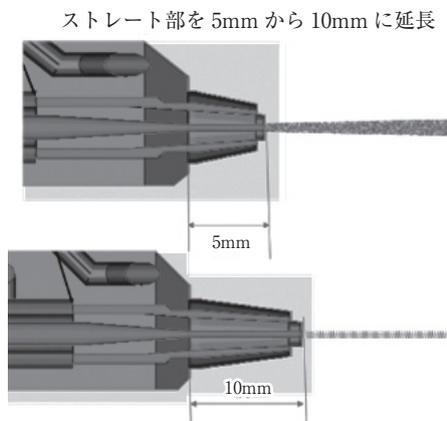


図6b 粉末供給ノズル (横断面 上:改良前, 下:改良後)

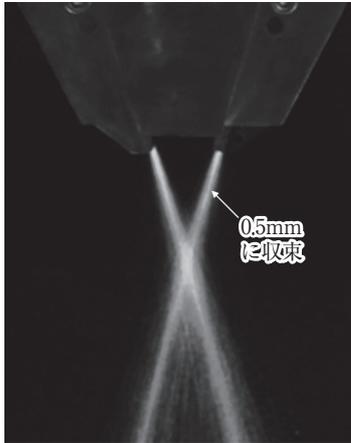


図7 改良したノズルによる噴流（ノズル2個使用）

外側に行くほど、強度が強くなる設計
全部で79行あり、以下の分布となる。

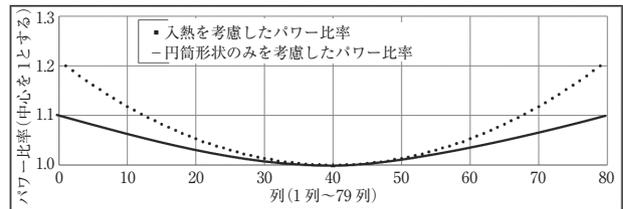
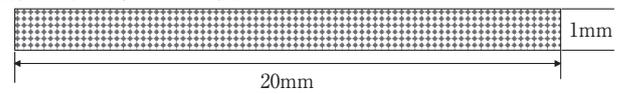


図9 DOEによる円筒対応のパワー密度分布

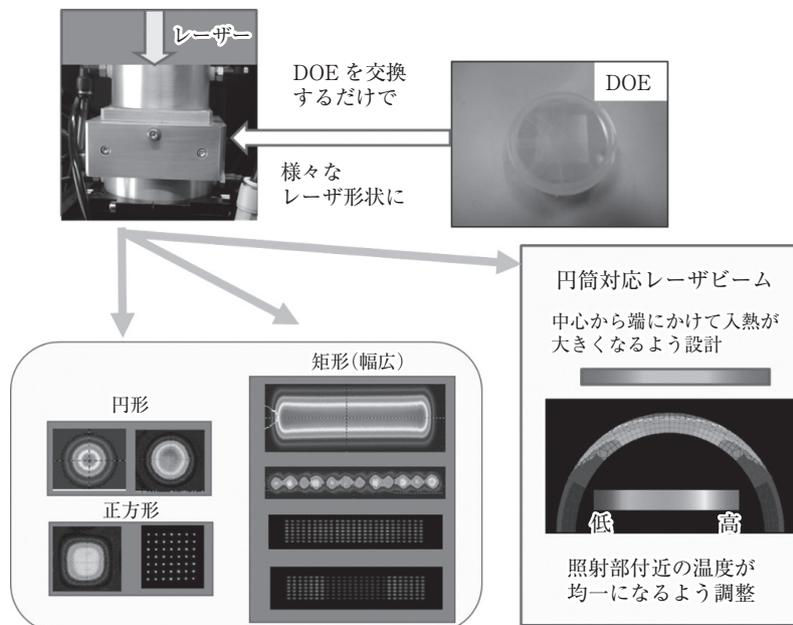


図8 DOE搭載加工ヘッド

20mm×0.5mmのスリットから粉末を噴射すると広がりを生じる。それを緩和するには2通り方法がある。一つがガスを使用して広がりを強制する方法である。図6aのようにノズルの上下に20mm幅のスリットをつけることでガスを使用し、粉末を収束させることができる。

一方、20mm×0.5mmのストレート部（直線部）を延長することでも、噴流の収束性を向上させることができる。粉末出口付近のみを20mm×0.5mmに絞っても、噴流はすぐに拡散する。そこで、出口のストレート部を長くすることで、噴流の収束距離を延伸させることが可能である。改良したノズルを2個使用し、クロス状に噴射した結果が図7である。

5 DOEを使用した矩形ビーム

20mm×1mmのレーザー照射域を確保し、ビームパワー密度に分布を持たせる方法としてDOE（回折光学素子）を使用した。DOEはレーザー光を複数のビームに分岐したり、特定の形状に成形できる素子である。図8は加工ヘッドの改造なしで容易にビーム形状が変更できるDOEを使用したシステムである。図9のように円筒形状に沿ったパワー密度の分布にすることでボイラー管への入熱を均等にできる。

6 被膜形成について

図10aが肉盛溶接、図10bが本工法によるボイラー管被膜である。従来の肉盛溶接法では凹凸が大きく厚い被

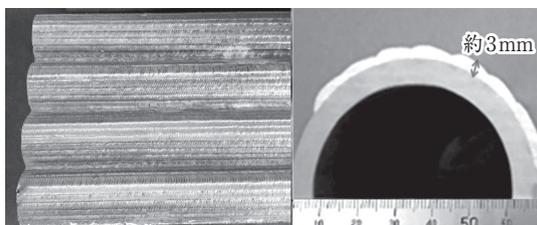


図10a 肉盛溶接法による被膜

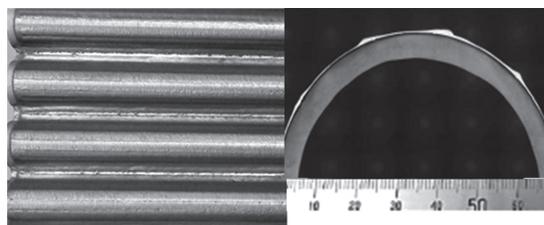


図10b 本工法による被膜

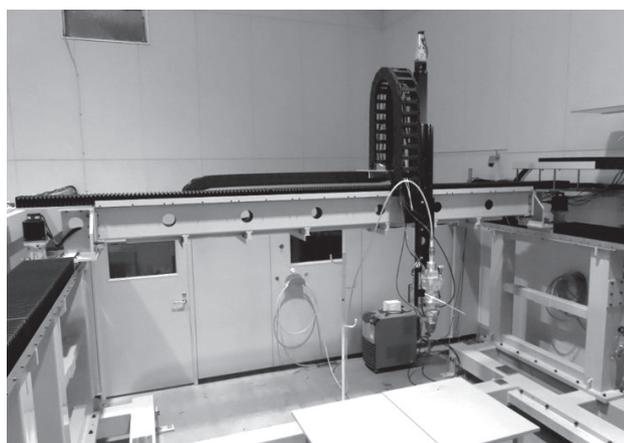


図11 飛行中粉末溶融型レーザーラッピング装置

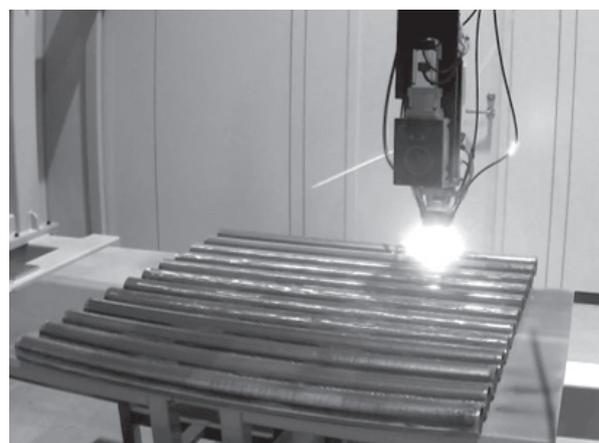


図12 ボイラーパネル（管を繋げてパネルにしたもの）への施工風景

膜ができる。一方で本工法では滑らかで薄く制御できる被膜を形成することができた。被膜厚みは1層で0.2mm～1mmまで可能である。いかに重ねを少なくするかが今後の課題である。

7 今後の展開

図11、図12が本工法の装置である。レーザー加工ヘッ

ドに粉末供給機を組み合わせ、自動機に搭載した。門型ステージで約10m²の面積が施工可能である。

現状20mm幅のレーザーを進めているがさらに成膜速度を高めるために40mm幅、60mm幅のDOEも検討中である。また、適応範囲を広げるために青色レーザーを活用した装置開発についても今回協力いただいた大阪大学接合科学研究所と共に進めていく予定である。