

戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 革新的設計生産技術 高付加価値設計・製造を実現するレーザーコーティング技術の研究開発



特 集

大阪大学 接合科学研究所 レーザプロセス学分野
教授 塚本雅裕氏

1. はじめに

現在、内閣府主導のプロジェクトである戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) の革新的設計生産技術において「高付加価値設計・製造を実現するレーザーコーティング技術の研究開発 (2014年度～2018年度)」を進めている。以下、SIP レーザーコーティングPJと略す。日本が提唱する Society 5.0では、IoT (Internet of Things) がベースにあり、製造装置もインターネットにつながり、さまざまな高付加価値ものづくりを集中管理の下、加工条件・方法の最適化を自動的に実行する。次世代の工作機械においては、従来の切削加工だけでは不十分で、溶接、機能性付加技術 (高機能金属材料のコーティング) 等の付加加工・付加製造機能を搭載することが必須となる。高機能金属材料の高品質コーティングを実現するためには、レーザークラディング (肉盛溶接) の高度化を進める必要がある。

SIP レーザーコーティングPJの研究開発体制を図1に示す。①レーザー入熱制御技術開発、②モルテンプール型レーザーコーティング技術開発、③非モルテンプール型レーザーコーティング技術開発に取り組んでいる。④は、イノベーションスタイルである。これは、開発途中の装置をユーザー候補

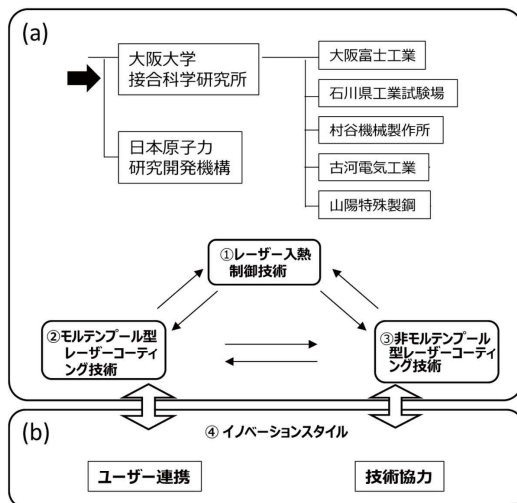


図1 SIP レーザーコーティングPJの研究開発体制

者実際に使用・評価していただき、その評価を開発にフィードバックする (役立つ) 仕組みである。

2. 非モルテンプール型レーザーコーティング技術の開発

2.1 原料粉末をレーザー光で直接加熱溶融することによって母材表面の溶融を必要最小限に留め、熱変形や皮膜成分の変質がほとんどないコーティング技術開発を進めている。本PJにて直噴型レーザーコーティングシステムを構築するために新方式のマルチビーム加工ヘッドを開発した。図2にマルチビーム加工ヘッドの概略図を示す。中央に粉末流、周囲に6本のレーザービームを配置している。レーザーには波長が900nm帯の半導体レーザー (近赤外線半導体レーザー) を用いている。新方式と従来方式の粉末流とレーザーの配置イメージを図3(a)および(b)にそれぞれ示した。従来方式では、実線で示した粉末が基板 (母材) に到達する際に基板表面の位置に対し粉末の温度分布が生じる。このために、コーティング (溶接) 条件をどの位置でも満たすことが困難となる。これに対し、新方式では、粉末が基板 (母材) に到達する際に基板表面の位置に対し温度分布 (実線) が生じず、均一となる。これは、粉末流を軸として対称にもう一本のレーザーが入射

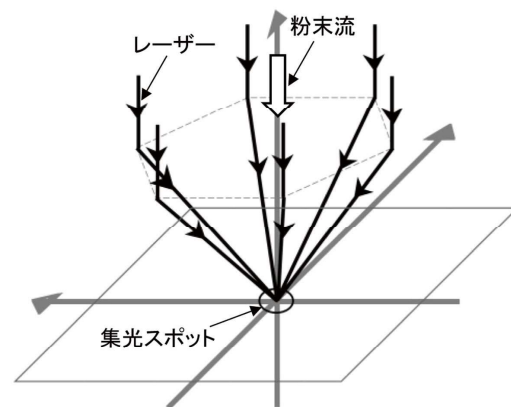


図2 マルチビーム加工ヘッドの概略図

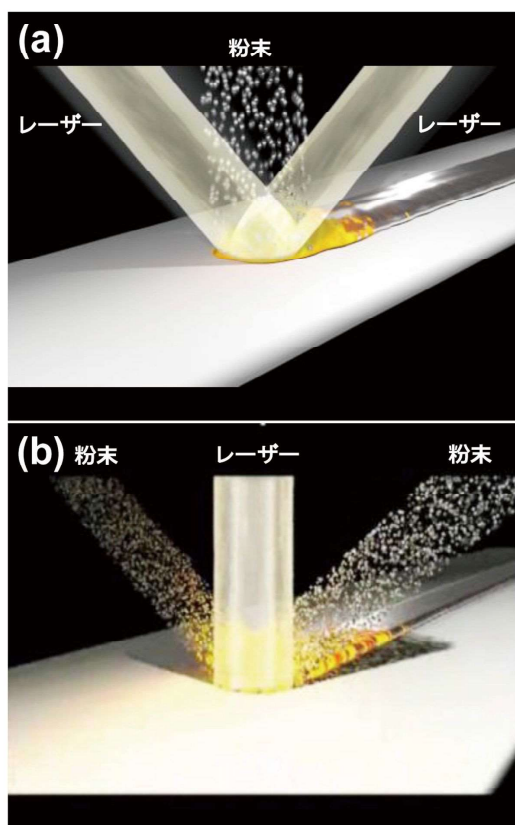


図3 粉末流とレーザーの配置イメージ
(a) 新方式 (b) 従来方式

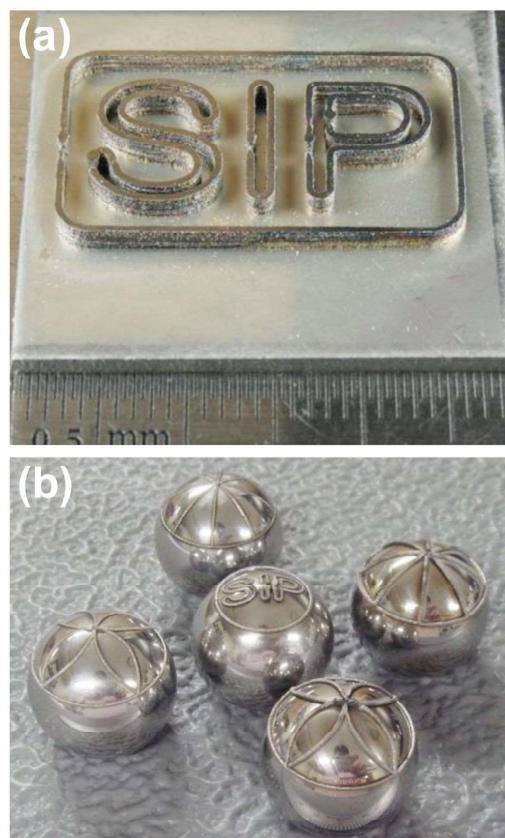


図4 コーティングされたサンプル例
(a) 基板表面に対するコーティング
(b) 球体 (3次元) 表面に対するコーティング

され、基板上のどの位置に到達する粉末も実質的なレーザーの受光時間が同じになるためである。よって、ある位置で粉末と基板との溶接条件が満たされればコーティングが生じ、他の位置でも溶接条件が満たされ、粉末材料が基板にコーティングされることになる。新方式の加工ヘッドでコーティングされたサンプル例を図4(a) および (b) に示す。図4(a) および (b) は、基板表面に対するコーティングおよび球体 (3次元) 表面に対するコーティングをそれぞれ示している。使用した粉末材料はCo 基合金である。

2.2 青色半導体レーザー

上述した近赤外線半導体レーザーを用いた新方式のマルチビーム加工ヘッドによって、Ni 基合金やCo 基合金などの耐摩耗性、耐熱性合金などのコーティングが行われている。しかしながら、銅などの高反射材料を用いた皮膜形成時には吸収率の点で課題が残る。通常加工に使われている近赤外線レーザーの波長領域 (900nm 付近) では銅への吸収率が

10%であり、90%が反射してしまうことがわかる。一方500nm以下になると吸収率が増加し、450nm (青色半導体レーザー) では60%程度と近赤外線レーザーの約6倍の吸収率が得られる。青色半導体レーザーを用いれば、近赤外線レーザーに比べて皮膜形成等の材料加工が効率的に実現できると考える。また吸収率が高い分、低出力のレーザー入熱で良いため、基板がコーティング層に溶け込む希釈を低減し、高品質な純銅の皮膜形成が期待できる。そこで本PJでは、波長450nmを有する青色半導体レーザー (島津製作所、日亜化学工業) を搭載したマルチビーム加工ヘッドを開発し、レーザーコーティングシステムを構築した。その結果、純銅のコーティングが容易に実行することが可能となった。

波長450nmの出力20Wの青色半導体レーザーモジュールを6台用いて、基板上でそれぞれのレーザー光が重畳され総出力100Wを得ることが出来るマルチビーム加工ヘッドを開発した。青色半導体レーザーモジュールからのレーザー光は、光ファイバ

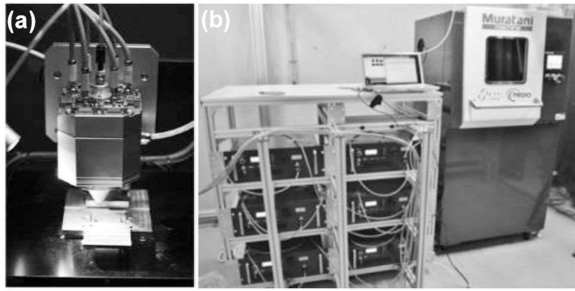


図5 レーザーコーティング加工装置
(a) 加工ヘッド (b) 加工ヘッドを搭載したレーザーコーティング装置

ーを通じて出力され、マルチビーム加工ヘッドに装着される。本加工ヘッドと本加工ヘッドを搭載したレーザーコーティング装置を図5(a) および (b) にそれぞれ示した。焦点（基板表面）での空間プロファイルを測定したところ、ビーム径は $430\ \mu\text{m}$ であることがわかった。

2.3 純銅コーティング

レーザーコーティングの材料粉末の供給には、加工ヘッドの中心より材料粉末を供給する直噴型の方式を採用した。粉末材料には、平均粒径 $30\ \mu\text{m}$ の純銅粉末を使用し、純銅粉末はパウダーフィーダーを用いて加工ヘッドに搬送される。先述した重畳型青色半導体レーザーを照射すると同時に純銅粉末を供給ノズルでレーザー集光点にむけて供給すると、銅粉末が熔融凝固し純銅皮膜が形成される。本実験では、レーザー出力 50W 、レーザー掃引速度 0.5mm/s に設定し、ステンレス基板上 ($50\text{mm} \times 50\text{mm} \times 3\text{mm}$) に純銅コーティング実験を行った。

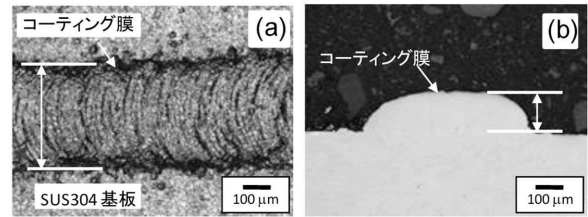


図6 純銅コーティング膜
(a) 表面写真 (b) 断面写真

このとき純銅粉末の供給量は 1.5mg/s に設定し、酸化防止のためにシールドガスとして Ar ガスを使用した。本システムを用いて形成した純銅コーティング膜の表面写真を図6(a) に、断面写真を図6(b) に示す。両図からわかるように形成された皮膜の膜厚が $100\ \mu\text{m}$ 、膜幅が $393\ \mu\text{m}$ であった。またステンレス基板と皮膜間の境界部に溶け込みが少なく、膜に空孔などは現れず、緻密な皮膜が形成されている事が明らかになった。

3. おわりに

青色半導体レーザーについては、さらなる高出力化が望まれている。2016年度にスタートしたNEDOプロジェクト「高輝度・高効率次世代レーザー技術開発」では、筆者らのグループが中心となり、一本の光ファイバーからの出力が数百Wの青色半導体レーザーモジュールの技術開発を推進している。開発・高出力化された青色半導体レーザーは、本講演で紹介したコーティング装置だけでなく、溶接装置および金属の3Dプリンタにも搭載されている。

