

光計測法を用いたプラズマ溶射過程の解明と溶射皮膜特性に関する研究

川口, 保幸

<https://hdl.handle.net/2324/4060182>

出版情報：九州大学, 2019, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：やむを得ない事由により本文ファイル非公開（3）

氏 名 : 川口 保幸

論 文 名 : 光計測法を用いたプラズマ溶射過程の解明と溶射皮膜特性に関する研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

我が国は多くの資源を海外に依存する環境下で、戦後の復興期から高度経済成長期やバブル経済期などの時期を経て、急激な経済発展を遂げてきた。その成長を支えてきたのは、道路や鉄道、港湾、空港、電力、ガスなどの社会インフラの整備である。近年、これら高度経済成長期に建設された設備が急速に老朽化していくことが懸念され、安全性確保に向け具体的な対策が練られている。

米国の調査会社による資料によると、2005年から2030年の25年間にわたって必要になる世界規模のインフラメンテナンス市場は約41兆USドルにも上るといふ。ここでは、日本を含むアジアオセアニア地区の比率が極めて高いことが示されている。国が示す「未来投資戦略2018」Society 5.0では、インフラメンテナンスにおける新技術の開発や長寿命化について、社会的課題として取り組むべき必要性が強調されている。

このような背景のなか、電力分野では、2011年の東日本大震災に伴う東京電力福島原子力発電所の事故以降、原子力発電所代替とした40年超の老朽化した石炭・LNG・石油などの火力発電所の稼働率が高くなってきている。また、今後計画されている東日本と西日本での連系強化への取り組みや、国内隅々まで電気を送っている送電鉄塔の老朽化対策など、保全費用を上乗せさせる課題も顕在化してきている。この送電鉄塔は、通常は亜鉛メッキが消失する20～30年を目安として、再塗装などの延命処理が行われている。しかし、九州のような腐食環境が厳しい離島を多く含む地区では、そのような延命処理を7年～15年で実施しており、設備維持のための修繕費の増大が懸念されている。

近年、塗装に代わるこれら設備の延命化対策として「溶射」技術が注目されている。溶射は、1920年に我が国に導入され100年近い歴史を有する。適用分野としては、鉄鋼業界や、機械金属、電力、自動車、航空機など多くの設備や製品があり、現代社会において、欠くことのできない技術としても認知されている。そのひとつに、プラズマを熱源とする溶射法があり、耐食性の優れたJIS A5056系アルミニウムマグネシウム合金(以下、Al-5Mgと呼ぶ)を溶融し、高速で吹付けるプラズマワイヤー工法がある。この工法は、JIS H8502に規定される複合サイクル促進試験の結果から塩害に対する耐久性は亜鉛メッキと比較して5～6倍以上を発揮することが示されている。

これらの溶射法で得られる皮膜の品質を左右するのは、下地処理状態の管理と粒子飛翔状態の管理というふたつに分類される。前者には、清浄度(除錆度)、表面粗さ、研削材の種類や粒度管理などが含まれる。また後者には、材料の融点や沸点を基準とした適正な加熱温度と粒子の加速飛翔状態の均一化、基材への衝突凝固状態、扁平化した粒子の緻密な積層状態が重要になる。特に後者の中で、基材衝突直前の飛翔粒子の温度と速度は、溶射プロセス制御のための最重要パラメータとされている。しかし、実在する測定機は高価な海外製の装置のみであり、企業や大学の研究過程でしか使えない。よって、実際に橋梁や鉄塔の架設工事現場でその場測定する手段は無く、熟練工の経験や勘に頼っている現状がある。

そこで本研究の目的は、第一に軽量コンパクトかつ安価で信頼性の高い、光学式「溶射飛翔粒子の測定システム」を考案し、それを誰もが簡単に現場で使える簡易測定法として確立することである。第二に「溶射基材の下地処理粗さ評価法」について、光学的手法により実用化を目指した実験でその精度を明らかにすることである。第三に、これらの測定結果を基に、形成した溶射皮膜の持つ特性などを従来の溶射法と比較評価し、それらの相関についても検討することである。

以上を目的として研究した結果をまとめた本論文は、第 1 章から第 5 章までの 5 章構成とした。

第 1 章は序論として、本研究の背景と社会インフラの長寿命化対策やライフライン設備のうち電力事業の送電鉄塔のメンテナンスの現状や経年劣化対策に関する課題について述べた。また、著者らが本研究で考案した光学式「二点間位相差センサー」を開発するための研究体制とシステムの概要について述べた。

第 2 章では、溶射皮膜と基材の密着強さに大きく影響するといわれている、下地処理粗さ測定法のうち、触針式表面粗さ測定機と光学式の 3D 形状測定機の原理について、試験片を使った測定比較実験で、双方の測定機に関する特徴を述べた。

これらの検討を基に、著者らが考案したレーザや LED を光源とした簡易型の光学式「下地処理粗さ評価法」の原理検証実験を行い、付随するソフトウェア開発に関する考察を示すとともに実用化に向けた課題を述べた。

第 3 章では、熱放射のプランク則を基本原理として、SiPD（シリコンフォトダイオード）と IF（光学フィルタ）を組み合わせた軽量で安価な「二点間位相差センサー」を考案し試作した結果を述べた。また、プラズマ溶射装置の飛翔粒子について同センサーシステムを使い温度と速度の空間分布を測定し、プラズマ溶射装置の標準溶射距離である $z=150\text{mm}$ 付近は良質な皮膜形成に適する粒子流の条件が整っていることを示した。さらに、その $z=150\text{mm}$ の位置における飛翔粒子の温度と速度は、Al-5Mg 合金材料由来の分光放射率の影響を考えない場合、最大で 3,000K と 90m/s であることを明らかにした。

次に、同プラズマ溶射装置の飛翔粒子について、CMOS カメラを用いた飛翔中の粒子撮像画像から、アーベル変換法を使用して速度の空間分布を求めることで「二点間位相差センサー」の測定結果を合理的に説明した。また、温度については同センサーの測定値と分光測定による回帰分析の結果の近似によって、熱放射のプランク則が成立することを示した。

第 4 章では、各種の溶射法の中で汎用性が高いアーク溶射、プラズマ溶射およびガスフレーム溶射法の概要を示し、この三工法について、Al-5Mg 合金を標準溶射条件下で溶射した時の飛翔粒子温度と速度について、「二点間位相差センサー」で測定した結果を示した。

次に、三工法で形成された皮膜について、断面 SEM（走査電子顕微鏡）と EPMA（電子線アナライザ）による組成変化について各々の特徴を明らかにした。さらに、形成された皮膜に関しては、表面硬度、密着力、ならびに気孔率を測定し、各々の皮膜の熱源の違いによる特徴について示した。

最後に、プラズマ溶射について、JIS 規格の下地処理の粗さ程度と溶射皮膜の密着性の相関や、品質工学の観点から SN 比や感度を指標として成膜の機能性についても明らかにした。

第 5 章は、本研究で得られた結論と今後の展望について述べた。