

題 目 データ駆動型スマート塗装システムの構築と実装
(Construction and Implementation of a Data-Driven Smart Painting System)

氏 名 山 本 翔 平

近年の製造業では、少子高齢化の影響により若年就業者の割合が低下傾向であり、その影響により将来的な労働力不足や技能の継承問題が懸念されている。この問題に対し経済産業省は、ものづくりのスマート化の方向性を示したスマートファクトリーロードマップを公表している。これによると、技能の継承による人材不足・育成に対応するために、熟練技術者の技能をデータベースとして蓄積・分析し、体系化した技能・ノウハウをロボットに学習させることで、ヒトを代替できると示されている。

塗装分野では、塗装ロボットの導入により塗装作業自体は自動化されている。しかし、塗装業界では AI (人工知能) の導入がまだ進んでおらず、塗装ロボットを稼働させるための動作条件の調整では、依然として作業者が介在する状況にある。ところが、この動作条件の調整は非常に困難であることから、塗装不具合が発生することが往々にして存在する。塗装不具合の発生を防ぐためには、環境条件と塗装品質に対応して動作条件を適切に調整する必要がある。しかし、塗装品質が良好・不良のような定性的な情報で表される場合、環境条件と塗装品質に対応して適切な動作条件を決定するための手法が確立されていない。この問題を解決するためには、

①環境条件に対応して、動作条件を適応的に決定する機構

②環境条件と動作条件から塗装品質を予測する機構

を構築する必要があると考えられる。

本論文では、塗装ロボットを対象とし、上述の①と②を備えたデータ駆動型スマート塗装システムを構築する。本論文の構成は、以下に示す 5 章から構成される。

第 1 章では、塗装分野の自動化に関する取り組みについて述べる。さらに、本論文の主題であるデータ駆動型スマート塗装システムが備える機能を明確にする。

第 2 章では、不良データを利用した **Just-in-Time** 法に基づく動作条件の決定機構の設計法を提案する。本手法は以下の手順によって構成される。まず、データベースにあらかじめ良好データおよび不良データを格納しておく。次に、クエリ (要求点) 付近の良好データと不良データを用い、サポートベクトルマシンにより良好・不良の 2 クラス分類境界を構築し、クエリに対し有効な良好データを選定する。さらに、そのデータのみを用いて重み付き局所線形平均法を用いて動作条件を決定する。これにより、変化する環境条件に対して、適応的に動作条件を決定することが可能となると考える。数値例を通して、提案法における歩留まりが向上することが確認できた。とくに提案法では、新たな動作条件が不良データの中心から離れた位置に出力されており、効果的に品質が改善される可能性を示した。また、**SVM** による 2 クラス分類境界を構築する際の数値解析法として、線形 **SVM** に特化した **DCDM** 法を用いることで、繰り返し計算の回数や計算時間を抑えることができ、さらに歩留まりが向上することが判明した。

第 3 章では、塗装プロセスと塗装品質の評価の間の時間遅延を低減するため、データベース駆動型

アプローチに基づく塗装品質予測器の設計法について提案する。提案法では、正解率を向上させるために、予測値に対して修正量を導入し、これを学習を通して修正する。これにより、環境条件と動作条件から塗装品質の予測が可能となると考える。さらに、予測値を良好・不良の2値化することで、結果として修正量が2値化のためのしきい値を適応的に変更していることについても言及する。数値例を通して、修正量の学習によりしきい値を適応的に変更することで、誤分類が削減されることを示した。また従来法よりも提案法の正解率が高いことを示した。

第4章では、上述の動作条件決定機構と塗装品質予測器を統合することで、データ駆動型スマート塗装システムを構築する。具体的には、動作条件決定機構により決定された動作条件を基に、塗装品質予測器により出来上がりの塗装品質を予測する。予測値が-1(不良)を示す場合には、近傍データを修正し、再度動作条件決定により動作条件を決定する。数値例を通して、提案法における歩留まりが向上することが確認できた。とくに提案法では、塗装品質予測器の正解率向上により、品質が改善される可能性を示した。また実環境を想定し、オンライン学習の方法やシミュレーションの設定値を変更して数値シミュレーションを実施し、適切なパラメータの値を得ることができた。最後に、実際に量産で使用されている塗装ロボットに提案システムを実装し、その有用性を評価した。実装では、環境条件に応じて動作条件が連続的に変化する様子が再現された。また、その変化は、温度の上昇に応じてベルカップ回転数が下降しており、定性的に熟練者の感覚と一致するものであった。また検証データを初期データベースへ追加することにより、前日では本システムからのベルカップ回転数が基準値からのしきい値を超えたような温度帯でも、ベルカップ回転数が基準値からのしきい値を超えないように修正されることが分かった。

第5章では、本研究の総括と、今後の研究展望について述べられている。