

AI を活用した協働ロボットによる塗装作業省力化の研究

Research to save labor in painting work by a collaborative robot with AI

電子・機械技術部 ロボット・制御科 根本大輝 吉田英一 松本聖可

ものづくり現場のAIやロボット導入によるスマート工場化支援として、塗装作業の省力化に取り組んだ。協働ロボットによる塗装作業は、ロボットハンドで塗装対象物を把持し、固定したスプレーガンにより塗装した。また、塗装対象ワークに対し、画像処理と協働ロボットの連携によるピッキング動作を実現した。更に、AIによる塗装ムラを判別し、良品・不良品を判定するシステムを構築した。以上により、AIを活用した人とロボットとの協働による塗装作業省力化システムを実現した。

Key words: スマート工場、協働ロボット、塗装、AI

1. 緒言

近年、少子高齢化や生産年齢人口の減少に伴う人手不足が進行しており、本県においても、生産年齢人口は減少傾向にある。このような課題の解決策として、生産現場へのロボット導入及びAI等による作業の自動化・省力化を進める動きが活発になっている。

本研究は一例として、協働ロボットによる塗装作業の省力化に取り組んだ。塗装作業は作業員により色ムラが出ることやタクトタイムが均一でなく、また、熟練までに時間がかかることから、作業の一部を協働ロボットに置き換えたいというニーズがある。そこで、本研究では、協働ロボットを用いた塗装、画像処理と協働ロボットの連携によるピッキング動作及びAIによる塗装ムラを判定するシステムを構築した。

2. 塗装作業の省力化

本研究では、図1に示すような塗装作業の省力化と、図2に示すAIによる塗装良否判定システムの開発に取り組んだ。

省力化を進めるに当たり、ロボットによる塗装条件が不明であること、良否判定を行うための塗装ムラの評価基準が不明確といった課題があった。これらの課題に対応するため、以下の2つの目標を設定し取り組んだ。

- (1) 協働ロボットによる塗装に適したアーム動作や条件を決定する。
- (2) AIを用いて塗装ムラを認識し、良否判定を行う。

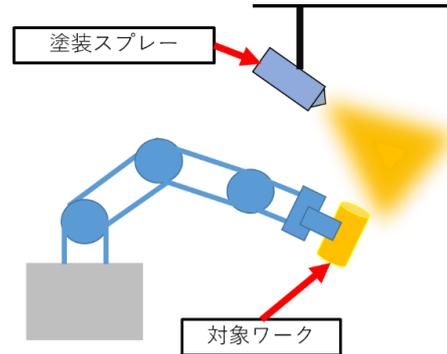


図1 協働ロボットによる塗装作業の省力化

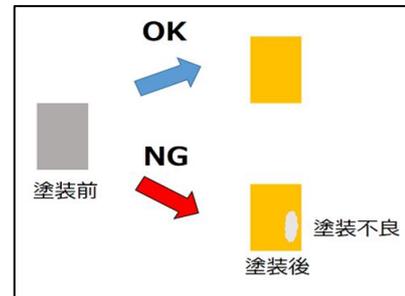


図2 AIによる塗装良否判定

3. 実験

3. 1. 塗装作業の環境構築

実験では、協働ロボット (UR10e, ユニバーサルロボット製)、塗装用ブース、作業台を図3のように配置した。塗装用ブースでは、フィルターを設け、送風機によりフィルターを通して塗料を排出した。作業台は、画像処理によるワークの認識を可能にするために、作業台上部にカメラ及び照明を設置した。

本実験は、次の(1)～(4)の作業工程で行った。

- (1) 作業台上の対象ワークをカメラで形状認識し、協働ロボットでピッキング。
- (2) ピッキングしたワークを塗装ノズル近くまで移動。

(3) スプレーガン近くでワークを移動して吹き付け塗装。

(4) 塗装したワークを作業者へ渡す。

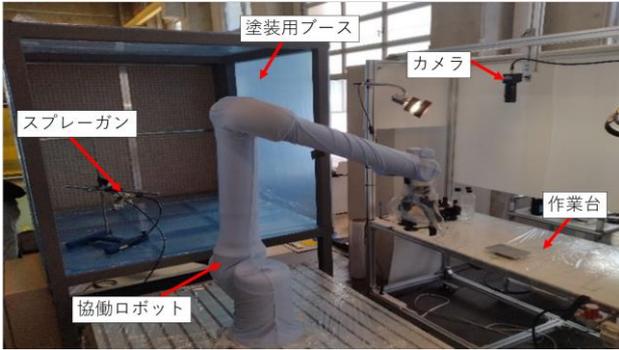


図3 協働ロボットによる塗装環境

3. 2. ロボットによる塗装実験

3. 2. 1. 画像処理と協働ロボットの連携

画像処理と協働ロボットの連携によるワークのピックアップを行った。図4に塗装対象ワークを示す。ワークは、100[mm]×150[mm]の金属板を使用した。画像処理には、(株)キーエンス製2100万画素2次元白黒カメラ(CA-H2100M)、25[mm]焦点レンズ(CA-LHE25)、画像処理装置(XG-X2700)を使用した。作業台上部に取り付け付けたカメラから、あらかじめ登録した対象ワークの輪郭情報を基に、撮像した画像の中からもっとも相似した場所を探し、ワークの位置や傾き角度を計測した。



図4 塗装対象ワーク

3. 2. 2. 塗装方法とロボット制御方法

塗料は水性塗料の水性スーパーコートを使用し、スプレーガンによる吹き付け塗装を行った。

図5に協働ロボットによる塗装状況を示す。ロボット本体及びロボットハンドへの塗料付着を防ぐために、防水ロボットカバー及びビニール袋を被せた。

スプレーガンは塗装用ブース内に固定した。図6に塗装時のスプレーガンの経路を示す。スプレーガンと塗装対象ワークの距離は100[mm]とし、スプレーガンがワーク上にて、図6中の線を描くようロボットを位

置制御により動かした。

塗装後は、ロボットが所定の位置に移動し、作業者からセンサーの信号が送られるまで待機する。ロボットが信号を受け取った後、対象ワークの把持を解除し、作業者がワークを受け取る制御を構築した。

ロボットによる塗装面の比較を行うために、塗装時のロボットの速度を10[mm/s]または100[mm/s]にし、塗装した。

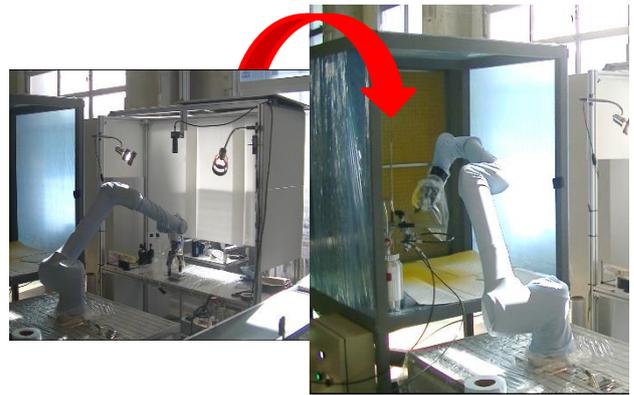


図5 協働ロボットによる塗装状況

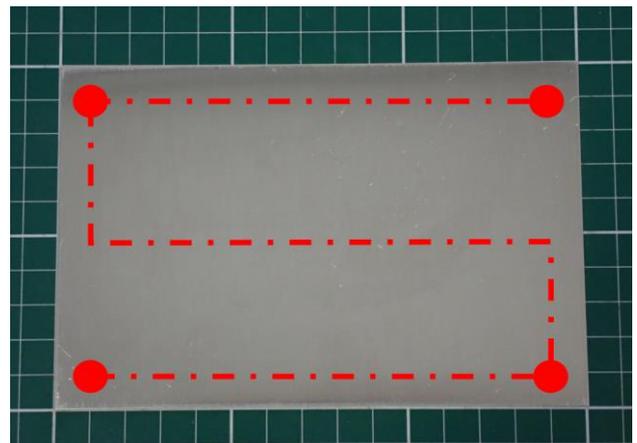


図6 スプレーガンの経路

3. 3. AIによる塗装面の良否判定

ロボットで塗装する際、塗料切れ及び異物の付着等により品質不良が発生するリスクがある。また、塗装の良し悪しや塗装ムラが無いかの判別は人の目視に頼るところが多く、人による不良品判定のばらつきがある。そこで、AIを活用し塗装ムラ等の品質不良を判定するシステムを構築した。表1にAIによる判定に使用したコンピュータの仕様を示す。AIツールはYOLO v3を用いた。良否判定用の学習として、良品画像を480枚、不良品画像を260枚準備し、学習用に80%、評価用に20%使用した。

表 1 コンピュータ仕様

OS	CPU	GPU	メモリ
Ubuntu 20.04.4 (64bit)	Intel Core i7- 12700H	GeForce RTX™ 3060	32GB

4. 結果

4. 1. ロボットによる塗装実験

4. 1. 1. 画像処理と協働ロボットの連携

図7に画像処理の結果を示す。二次元カメラを使用したため、画像処理では高さ情報は得られない。そのため、画像処理から得られる位置情報と予めティーチングした高さ情報からなるワークの中心座標に、ロボットのツール中心座標が一致する位置にアームを移動させ、ハンドを閉じてワークを把持するようにした。本実験では、画像処理装置で設定した検出範囲内であれば、金属板の位置や角度に依存せず、ピッキングが可能であった。

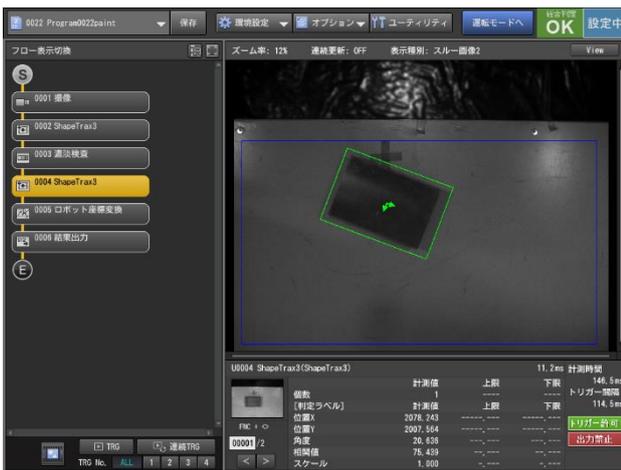


図 7 画像処理結果

4. 1. 2. 塗装結果

図8にロボットによる塗装結果を示す。スプレーガンによる塗装は、ロボットの速度が10[mm/s]と100[mm/s]において、1回塗りで塗装ムラが無く、均一な塗装を実現した。

図9にツール速度による塗装結果の比較を示す。ロボットの速度が10[mm/s]と100[mm/s]を比較すると、塗膜厚さにより色の濃さに違いがみられた。

図10にロボットと作業者の作業状況を示す。赤外線センサーを用いて、対象ワークを作業者に渡す動作を実現した。ロボットが所定の位置で待機中の時、作業者が任意のタイミングでセンサーを反応させることで対象ワークの把持を解除し、作業者へ渡す制御を実現した。

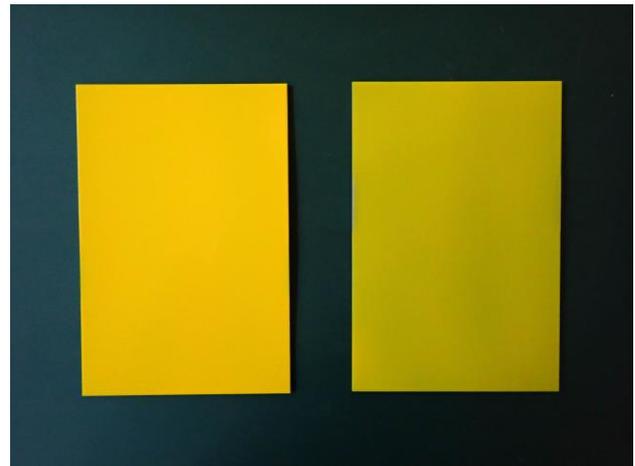


(a) 塗装前



(b) 塗装後

図 8 ロボット塗装結果



(a) 10 [mm/s]

(b) 100 [mm/s]

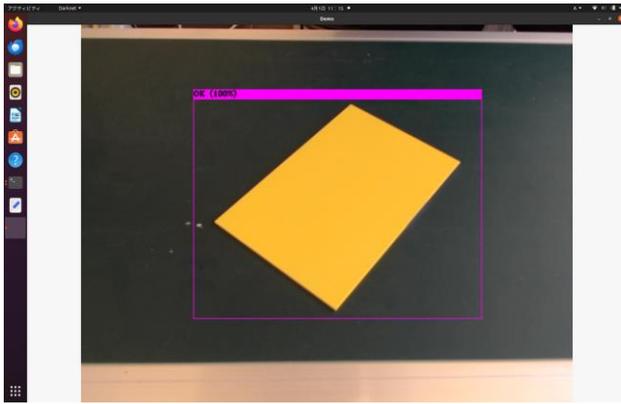
図 9 ツール速度別の塗装結果



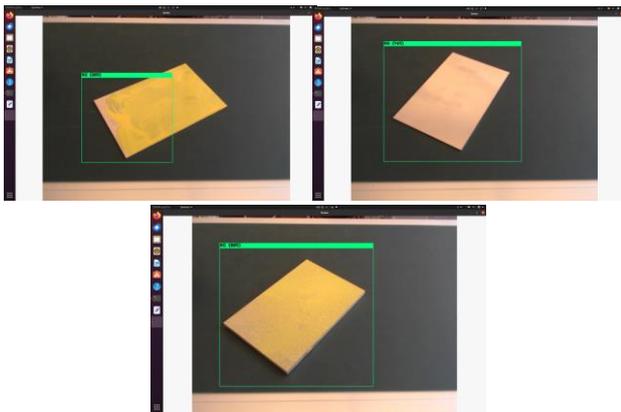
図 10 協働ロボットと作業者の作業状況

4. 2. AIによる塗装面の良否判定

図11にAIによる判定結果を示す。塗装されている金属板を検出した時は、良品と判定し、”OK”と表示した。塗装ムラ及び塗装されていない場合は不良品と判定し、”NG”と表示した。この結果からAIによる塗装面の良否判定システムを実現した。しかし、100[m/s]で塗装されたワークは10枚中5枚が、完全に塗装されていた塗装面であっても”NG”と表示し、良品を不良品として誤判定することがあった。



(a) 良品判定結果



(b) 不良品判定結果

図 1 1 AI による塗装面の判定結果

るワークであっても不良品とし判定されていた。また、本システムは YOLO を用いた AI 判定であり、YOLO 以外の AI 技術を用いることで判定精度が向上することも考えられる。判定精度の向上は今後の課題である。

6. 結言

本研究により以下の項目を実施した。

- ・協働ロボットによる塗装環境を構築した。
- ・画像処理と協働ロボットによる連携動作を実現し、塗装対象物のピッキング及び位置制御による塗装を実現した。
- ・AI を活用して、塗装面の良否判定システムを構築した。

5. 考察

協働ロボットによる塗装システムを実現したが、作業環境によってロボットの制御方法は異なることが考えられる。本研究では、塗装用ブースの中で塗装を行う必要があったことから、ティーチングによる位置制御により塗装した。しかし、ロボットが大きく動ける環境や対象ワークの大きさ等によっては、ロボットにスプレーガンを把持させた塗装が最適な可能性もある。また、制御方法についてもティーチングによる位置制御ではなく画像処理を用いた位置制御による連携動作が最適な可能性もある。今回は、当所の環境下における塗装システムを構築することで協働ロボットによる塗装を実現することができたため、今後は各作業環境の違いによる塗装条件及びロボット制御に対応していくことが課題である。

AI による塗装面の良否判定は可能であるが、誤判定することもあることから、学習枚数及び学習方法を見直す必要がある。本研究では、数百枚のデータを用いてシステム構築を行ったが、判定精度を向上させるためには学習枚数が不十分であったと考える。特に、塗膜が薄い場合は誤判定が多く、ムラ無く塗装されてい