

# ロボットによる塗装作業の智能化

中部大学 竹内芳美, 旭サナック 甘利昌彦, 宮地計二

塗装作業は、長い歴史があるにもかかわらず、今もって厳しい作業環境で実施されている。さらに、製品の良否を左右するのが塗膜厚さであり、均一に塗り上げるには熟練度が必要になる。このような塗装作業の自動化を進め、厳しい環境下に置かれている作業員に対して智能化された塗装作業の自動システムを開発し、作業環境を改善しようとするものである。そのため、塗装対象物の形状を3次元CADで定義し、そのデータをもとに塗装ロボットを制御する。そのために必要となる塗装経路は、塗装対象面の形状情報に基づいて自動的に生成するシステムを開発するとともに、さらに熟練者の塗装に関するノウハウを取り込み、より高品質の塗装を自動的に実施できるための研究を行う。

## 1. はじめに

塗装作業はスプレーガンから出る塗料を均一にむらなく塗ることが課題である。塗膜を一定厚さにするには、スプレーガンと塗装対象面までの距離、スプレーガンの移動速度、供給する塗料の量、吐出される塗料の形状と分布など様々なパラメータを適切に設定することが必要になる。このとき、塗装対象物の姿勢も重要で、水平に置かれた場合と垂直では重力による塗料の垂れも考慮することが重要になる。

このような塗装作業は、手吹きによる塗装と塗装ロボットによる塗装に大別できる。手吹き塗装は、職人による高度な塗装技術が必要であるが、複雑形状をもつ塗装対象物にも臨機応変に対応した塗装が可能である。しかし、手作業のために大量生産には不向きである。また、手作業ではスプレーの吐出量や塗装速度などばらつきがあり、一定の品質保持は難しい。一方、塗装ロボットでの塗装は、複雑形状の対象物には不向きであるが、吐出量や塗装スピードにばらつきがなく、手吹きによる塗装に比べて一定の品質を保持できる<sup>1)</sup>。

塗装ロボットが塗装対象物に塗装するため、塗装経路をなぞるように座標を順に登録していく方法である「教示」ですることが多い。しかし、この作成方法は手動で塗装ロボットを動かすために時間がかかる。さらに、教示作業員による塗装経路では、塗装作業に余計な時間を要する場合がある。

本研究は、教示作業時間と塗装時間の短縮化を図るとともに一定の品質の保持を目指すため、3次元CADで目標形状を定義し、上記の課題を解決する塗装経路生成システムを開発するものである。

## 2. 塗装ロボットと周辺機器

図1に示すように、本研究で使用する塗装ロボットは、川崎重工業(株)製KF194(垂直多関節型)である。この塗装ロボットは6軸制御(X, Y, Z, O, A, T)で動作し、最大で縦1000mm, 横1000mm, 高さ700mm, の塗装対象面を塗装することができる。ロボットの動作は、防爆ティーチングペンダントでロボットに命令を送る。また、本研究で使用するスプレーガンは、図2に示す旭サナック(株)

製 ASG200（回転霧化自動ガン式）である。塗装を終えた対象物の膜厚は、膜厚計（株式会社メジャー製 LZ-200C デュアルタイプ）で測定して評価する。

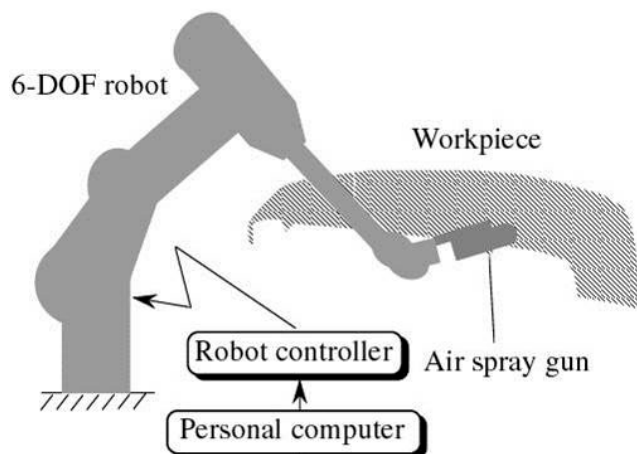
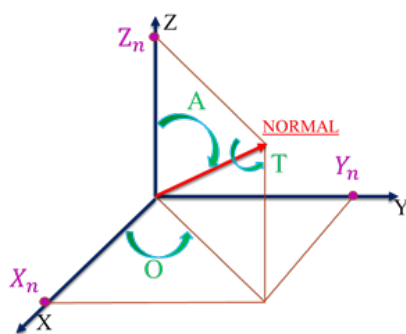


図1 塗装ロボットシステム

図2に示すようにロボットの制御軸である  $O$  軸は、 $Z$  軸上の時計回り方向がプラスであり、 $A$  軸は、 $Y$  軸上の時計回り方向がプラス値である。 $T$  軸は、 $Z$  軸上の時計回り方向がプラスであるが、他軸とは違い、スプレーガンの形状に左右される形状の場合には、塗装ロボットのアームの稼形形状のときだけこの  $T$  軸を



形状が楕円形など  $T$  軸の回転角使用することが多い。本研究で動域の関係から、塗装領域が円使用する。

図2 塗装ロボットの座標系システム

### 3. 塗装経路生成プログラム

塗装経路の作成には、プログラム言語である PYTHON を利用する。3次元 CAD システムである Solidworks で塗装対象物形状を定義し、塗装対象面を指定する。面上の点から法線ベクトルを立て、スプレーガンとの距離だけ離れた場所がスプレーガンの位置になり、面上の点を移動させた軌跡が塗装経路となる。システムの生成した例を図3に示す。(a)は車のバンパーであり、(b)はその3次元モデル、(c)は塗装経路を生成した例である。

出力した塗装経路データは、塗装ロボットが認識できる塗装用データに変換される必要がある。まず、PYTHON に塗装対象の3次元 CAD データを読み込む。次に、法線ベクトルおよび塗装面からのオフセットを算出し、工具経路を生成する。続いて、塗布先端速度やエアカット先端速度などの塗装に関する必要な数値を入力する。最後に塗装パスデータを出力すれば塗装経路データが表示される。しかし、このままでは塗装ロボット用塗装経路データに一致しないため、塗装ロボットに合わせた経路データになるように作成した変換プログラムでデータ変換をする。

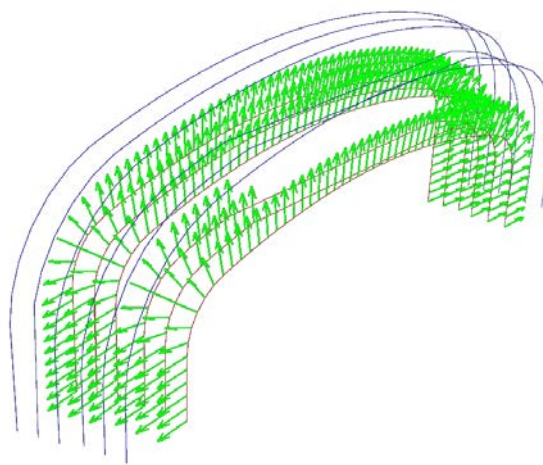
#### 4. 塗装の適正条件の選定

ロボットによる塗装の適正な条件を求めするために、直角をなす平面と円筒面に対して塗装実験を行



(a) 車のバンパー

(b) バンパーの3次元モデル

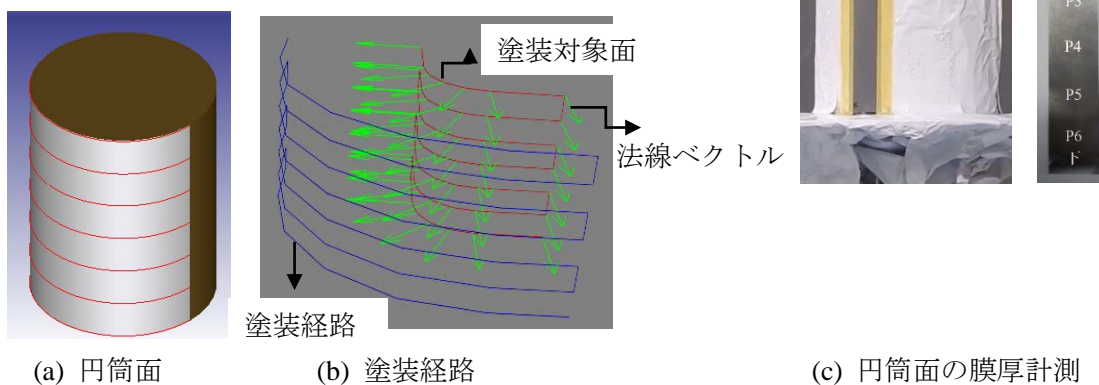


(c) 作成された塗装経路

図3 3次元モデルに基づき作成された塗装経路

った。円筒面の場合を図4に示す。(a)に示す円筒面形状において、塗装したい面を選択し、Pythonの関数 (linspace) などにより指定した面に経路を作成する。次に、指定した面に対して法線ベクトルを立て、オフセットした位置で塗装経路を生成したものが(b)である。

品質保持のために塗装の適正条件を探す。ここではカップ回転数、シェービングエア条件、オフセット量などの条件を固定し、塗装ピッチを 150, 75, 50, 37.5, 30mm の5水準で膜厚のばらつきを評価する。また、塗装ピッチに合わせて塗装速度も変更する。膜厚は目撃表1は塗装ロボットへ与える塗装経路データである。



(a) 円筒面

(b) 塗装経路

(c) 円筒面の膜厚計測

図4 円筒面に対する塗装適正条件の選定

表1 円筒面のロボット塗装用データ

```

spraymig1 - メモ帳
ファイル(F) 編集(E) 書式(O) 表示(V) ヘルプ(H)
.PROGRAM pg101()@2015/10/30 9:58#0
原点移動 (各軸) 1
塗布先端速度 600mm/s
エアカット先端速度 1000mm/s
エアカット各軸速度 100%
吐出量 1
パターンエア 1
霧化エア 1
なめらか範囲 30mm
スプレー 1番を ON
直線直1 0000 -314.589 1397.565 -268.602 0.000 180.000 225 0 0 0 0 0 0
直線直1 0000 -214.589 1397.565 -268.602 0.000 180.000 225 0 0 0 0 0 0
直線直1 0000 -183.051 1397.565 -268.602 0.000 180.000 225 0 0 0 0 0 0
直線直1 0000 -151.512 1397.565 -268.602 0.000 180.000 225 0 0 0 0 0 0
直線直1 0000 -119.974 1397.565 -268.602 0.000 180.000 225 0 0 0 0 0 0
直線直1 0000 -88.435 1397.565 -268.602 0.000 180.000 225 0 0 0 0 0 0
直線直1 0000 -56.897 1397.565 -268.602 0.000 180.000 225 0 0 0 0 0 0
直線直1 0000 -25.358 1397.565 -268.602 0.000 180.000 225 0 0 0 0 0 0
直線直1 0000 6.180 1397.565 -268.602 0.000 180.000 225 0 0 0 0 0 0
直線直1 0000 37.719 1397.565 -268.602 0.000 180.000 225 0 0 0 0 0 0
直線直1 0000 69.257 1397.565 -268.602 0.000 180.000 225 0 0 0 0 0 0
直線直1 0000 100.796 1397.565 -268.602 0.000 180.000 225 0 0 0 0 0 0
直線直1 0000 132.334 1397.565 -268.602 0.000 180.000 225 0 0 0 0 0 0
    
```

図5は、スプレーガンの間隔であるピッチと移動速度を変え、図4(c)に示す円筒の長手方向6カ所で計測した膜厚である。

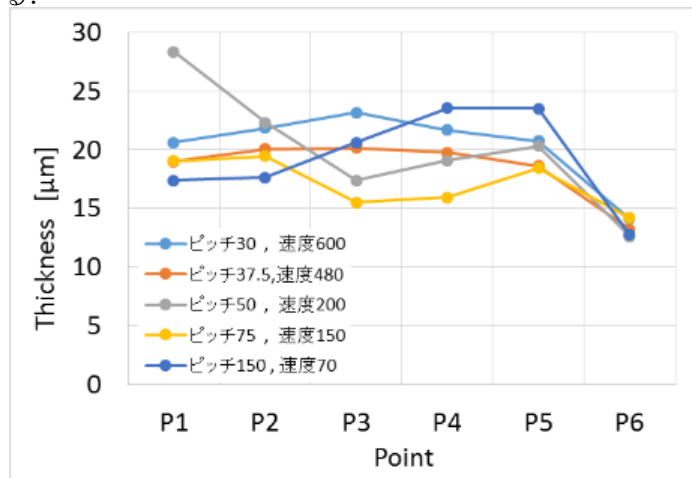


図5 円筒面の位置ごとの膜厚

実験から、ピッチを2倍、3倍に広げ、速度を1/2、1/3に縮めると膜厚は徐々に薄くなる。これはパターン幅を固定した状況ではスプレーガンの速度より塗り重ねによる膜厚への影響が大いためと考えられる。また塗装ピッチが小さい30、37.5mmは塗装膜厚にムラが少なく、それ以外はムラが目立っている。これはガンの移動速度が遅いため、ガンから射出される塗料のムラの影響を受けたのだと考える。まとめると、適正条件はピッチ37.5mm、速度480mm/secであった。

## 5. おわりに

塗装対象物の3次元CADデータから塗装経路データを作成でき、塗装条件を変えた膜厚の違いからムラの少ない塗装条件を設定することができた。

## 参考文献

- 1) 浅川直紀、竹内芳美：ロボットを用いた塗装作業の自動化（自由曲面の場合）、日本機械学会  
論文集（C編）、63-610（1997）2167-2172