技 術 解 説

7-8 軸制御塗装ロボットによる塗装

永 井 基 晴*

Painting by 7-8 Axes Painting Robot

Motoharu NAGAI*

1. は じ め に

標準 6 軸でスタートした日立パーカー塗装ロボットも近年、特に顧客ニーズの高度化、周辺利用技術の進歩と相まって、ロボットの制御軸数も 7 軸から 8 軸制御へ、更に 9 軸制御へと、多軸化の傾向を強めている。標準 6 軸に新たに付加された軸数は全て走行軸に関するもので、ここに至って塗装ロボットも、完全に人間の足に相当する機能を取り込んだことになる。

つい数年前までは自動車会社にあっても、中塗り、上塗り等の内外板塗装は、連続ラインをタクトラインに改造する等、多額の改造費用とある種の生産性を犠牲にして、塗装ロボットの採用にふみ切ったものである。

それがここに至って、走行付 7-8 軸塗装ロボットの出現で連続ラインを改造することなく、ライン対応が可能になったことは誠に喜ばしい限りである。

本稿では、

- 1) 最良の塗装品質が得られる塗装条件は何か、また設定された塗装品質を如何にして容易に再現させ得るか。
- 2) 走行付 7-8 軸サーボ制御塗装ロボットについて
- 3) 上記塗装ロボットによる塗装とデータ化について、解説を試みることにした。

2. 塗装品質を得るための塗装条件

2-1 最良の塗装品質を得るための塗装条件

最良の塗装品質が得られる塗装条件は、多年にわたる経験と実験から明確に定義づけられる。その条件は、

- 第 1 に塗装ガンが塗面に対し常に正対していること、
- 第 2 に塗装ガンから塗面（ガン先端から被塗物）までの距離が一定であること、
- 第 3 に塗り始めから塗り終わりまでの塗装スピードが一定であること、

第 4 に吐出条件（塗料等）が一定であること、等の条件が正しく守られるならば、塗面の品質は保証される。これは、塗装ロボットによる塗装でも、職人による塗装でも例外なく適用される条件である。従来、人間の勘と目視による塗装では、品質のバラツキは避けられなかったし、ましてや、職人の個人差や癖等を考えあわせれば、品質の標準化等が、困難であることは容易に理解されるところである。

2-2 設定された塗装品質をいかにして再現させ得るか

塗装作業のような単純な繰り返し動作を上述の 4 条件を守りながら正確に行うには、もはや機械（塗装ロボット）に委ねるしか方法はない。ついては、塗装ロボットに関する一般的な考察を述べて本題のテーマに移りたい。

2-2-1 塗装ロボットの構造的特徴

塗装ロボットの構造的な特徴は、一般にロボット本体に具現され、2 つに大別できる。日立パーカー塗装ロボットによる直立型と、トラルファー社の塗装ロボットを原型とするバランス型である。

(1) 直 立 型

直立型は、アームが全て前倒して動作するため、ロボット本体の足もとから大きく塗装ができ、手前を塗装する場合でもアームが後に張り出すことがないので、バランス型に比べ、設置スペースが 1/3 程度少なく済み、動作領域が 5 割方大きくとれることを特徴とする。しかし機械的負荷がアームの先端にかかるため、その制御には技術を要する。

(2) バランス型

バランス型は、機械的負荷を各アームに分散できるため、コントロールが容易ではあるが、アームが前に張り出す構造となり、前面の塗装を容易とする。また手前を塗装する場合、アームが後退するのでそれだけ余分な設置スペースが必要となり、直立型に比し動作領域も小さい。

いずれにしても、多関節構造の塗装ロボットが、3 次元の空間で死角のない塗装をするためには、本体 3 軸、手首 3 軸、計 6 軸の軸数が必要不可欠である。

* 日本パーカライジング㈱ (〒103 東京都中央区日本橋1-15-1)
Nihon Parkerizing Co. Ltd. (15-1, 1-chome, Nihonbashi, Chūō-ku, Tokyo 103)

2-2-2 塗装ロボットの制御方式

次に制御について述べるが、塗装ロボットの制御方式は、制御ならびに教示方法等考慮に入れ大別すると3つに分けられる。

(1) CP (Continuous Path) 制御

ティーチデータを時々刻々記憶媒体に記憶させ、その連続動作をそのまま再現する制御をいう。その特徴は、ダイレクトティーチングを容易とするが、教示者の癖がそのまま取り込まれること、教示するのに時間的制約があること等があげられる。

(2) PTP (Point to Point) 制御

この方法はティーチデータを点を以て入力していく方法である。従って、それを補完するために教示点を多用する多点ティーチングとならざるを得ず、そのティーチ間隔は数センチ前後と短い。スポット溶接のロボットがこの制御の代表例である。

(3) CP & PTP 制御

塗装ロボットで、日立パーカーが初めて採用した方式で、PTPで教示し、教示点間を直線で補間し、線速制御する方法である。これによると教示点が極めて少数で済むこと、遠隔操作による教示が可能で、教示者の癖を排除できること、塗装のノウハウが教示点ごとにデータとして取れる等多くの利点がある。いずれにしる本体構造と制御との合理的な組み合わせによってのみ、塗装の諸条件が満足され、かつ教示した条件を忠実に再現できてこそ、高品質塗装が可能となるのである。コンベアによって間断なく流れてくる被塗物を塗装ロボットが固定した状態で迎えるものでは、動作時間、動作領域とも

おのずから限界があり、絶対角度（教示した時と全く同じガン角度および姿勢）が保てない。かくて走行付7-8軸制御塗装ロボットの出現は必然である。

3. 自走式7-8軸塗装ロボットについて

3-1 自走式7-8軸ロボット本体

ロボット本体は多関節構造で、胴体旋回装置と2つの関節を持つ腕（上下腕・前後腕）から成り、第二腕先端にフレキシブル手首が取り付けられている。手首は、曲げ・ひねり・パターン変更の3軸で、胴体・腕と合わせて6軸からなり、さらに人間の足の機能に相当する走行2軸が組み合わされ完全8軸（サーボ制御）を構成している。走行X軸は、有効ストローク3M・4M・5Mを標準仕様とし、走行Y軸は任意設定として、設置場所に柔軟に対応できるよう配慮した。

3-2 制御装置

制御装置は16ビット系 MPU (Micro Processig Unit) を複数個使用した CPU (Central Processing Unit) 構成とし、制御装置の小型化、高集積化、高性能化を実現した。本体コンソール面には9インチのCRT (Cathode Ray Tube) を標準装備し、MPU コントロールによるインテリジェント化を図るとともに、ティーチング操作時に必要な機能はすべてティーチングボックスに収納することで、システム全体の操作性を大幅に向上させた。信頼性、安定性に関してもハードウェア、ソフトウェア両面から数々の対策が施された。

図1に制御装置の構成を示す。

注：略語説明

MBM(Magnetic Bubble Memory)
SVP(Servo Control Processor)
SCP(Sequence Control Processor)
UIF(Unit Interface)
CRTC(CRT Controller)

RYIF(Relay Interface)
SVIM-D(Servo Interface Management-Digital)
SVIM-A(Servo Interface Management-Analog)
SVPX(Servo Power Type X)
OPNL(Operation Panel)

MKD(Maintenance Key Board Display)
CRT(Cathode Ray Tube)
CMT(Cassette Magnetic Tape)
T.BOX(Teaching Box)
M/T(Magnetic Tape)

図1 制御装置の構成 (SCP, SVP, CRTC などに CPU を用い、マルチ CPU 構成としている)

3-3 機能としての特長

自走式7-8軸塗装ロボットは、日立パーカー独自の直立型というユニークなロボット本体メカニズムに、最新のエレクトロニクス技術および多彩なソフトウェア技術を駆使し、優れた操作性と高度な制御装置を最大の特長としている。

(1) 人間並みの設置スペース、柔軟な手首で広い動作範囲を持っている(図2、写真1参照)。

(2) 記憶装置に日立磁気バブルメモリーを採用

記憶装置には、磁気バブルメモリーを採用し、記憶容量の増大を図った。これにより標準プログラムポイント数1,000(増設可能)、ジョブステップ数2,000が登録できる。

(3) 制御装置に16ビットマイクロプロセッサーを採用

図2 フレキシブル手首

写真1 フレキシブル手首

制御装置の頭脳部に16ビットマイクロプロセッサーを採用し、高集積化と高機能化を実現した。その結果、重量比、容積比とも1/2(当社比)以下に小型化した。

(4) 制御装置操作面にCRT画面を設置

制御装置の操作面にCRT画面を設け、豊富なデータ表示を可能とした。画面にはティーチデータはもとより稼動時間(プレイバック時間)、塗装オン回数、プログラム実行回数、また誤操作、異状などにそなえた自己診断機能の内容などすべて表示し、診断内容の確認と対応を容易にした。

(5) 制御機能の充実

機能面では、座標変換機能(関節・直交・円筒)、補

写真2 ユーザーメンテ指向の最新横置型塗装ロボットパートⅢ

写真3 ユーザーメンテ指向の最新直立型塗装ロボットパートⅢ

間機能（直線・円弧），平行シフト機能を標準装備した。さらに編集機能（コピー・削除・結合）などによって，周辺装置の制御を含めた高度なプログラミングを可能にした。

（6）安全対策

本ロボットシステムは安全性を重視し，モード切換インターロック，プログラムティーチ時の速度制限およびマシロックを新たに装備した。

（i）モード切換インターロック

プログラムティーチモードから他のモードに切り換える時は，ティーチングボックスの◆ボタンを押しながら，制御装置操作面上の切換ボタンを押さないとモ

ードは変更できないようにした。

（ii）プログラムティーチ時の速度制限

プログラムティーチ時は，ロボットに供給される作動油の流量を，ハードウェアによって制限し，プログラムティーチ時の安全性の向上を図っている。

（iii）マシロック

ロボットを動かさずにプレイバックを行うことができる機能である。本機能によって動作範囲，設定速度のチェックのほかに，ティーチデータの合理性チェックなどが高速で実行できる。写真 2，3 に自走式7-8 軸塗装ロボットの姿図を写し，表 1 にその標準仕様を示す。

表 1 自走式7-8 軸塗装ロボット標準仕様

ロボ ット 本 機 体	構 造		多関節形		教 示 方 式	ティーチングプレイバック	
	動 作 自 由 度		7～8 軸 走行付		経 路 制 御 方 式	ポイントティーチによるCP制御	
	駆 動 方 式		電気・油圧デジタルサーボ		制 御 軸 数	同時6軸 (オプションで走行2軸追加)	
	型 式		SV-6D	SH-6D	順 序 記 憶 方 式	磁気バブルメモリ	
	作 動 範 囲	形	立て形	横置形	位 置 制 御 方 式	ソフトウェアサーボ	
			旋 回	150度	110度	速 度 制 御 方 式	線速一定制御
			上 下	3128mm	1320mm	記 憶 容 量	プログラムポイント数：1000、 増設可（位置および制御条件を含 めて1ポイント） ジョブステップ数：2000
			前 後	1320mm	3128mm		
		腕	ひねり	250度	250度	プ ロ グ ラ ム 分 割 数	最大255
			曲 げ	240度	240度	ジ ョ ブ 分 割 数	最大 99
			パターン	250度	250度	座 標 系 選 択 機 能	直交 円筒 関節
			囲	走行	X 軸	有効ストローク 3M・4M・5M	手 首 補 正 機 能
	Y 軸	任意設定			補 間 機 能	直線補間 円弧補間	
	Z 軸	オプション対応 (9軸制御となる)			外 部 同 期 信 号	入力21点、出力19点	
	瞬 時 最 大 速 度	1750mm/s		装 置	修 正 機 能	ティーチポイントの追加、修正、 削除、位置のみ変更可（制御条件 は不変）条件のみ変更可（位置デ ータは不変）	
	塗 装 最 大 速 度	1000mm/s			コ ン ベ ア 同 期	コンベア位置追従方式／静止教示	
	最 大 許 容 可 搬 重 量	5 kg			各 種 機 能	シフト機能・ジョブ機能 プログラム編集機能	
	可 搬 重 量	3 kg(パターン軸軸端より 100mm の位置)			表 示 手 段	CRT（制御装置盤面）セグメン ト表示器(ティーチングボックス)	
	位 置 繰 返 し 精 度	± 2 mm (パターン軸軸端 位置)			異 常 検 出	有 り	
位 置 検 出 方 式	ポテンシオメータ		故 障 診 断		有 り		
周 囲 温 度 ・ 湿 度	0～40℃、20～90% RH (結露しないこと)		周 囲 温 度 ・ 湿 度		0～40℃、20～90% RH (結露しないこと)		
本 体 重 量	約500kg		構 造		デスク形密閉式		
タ ン ク 容 量	100 L		外 形 寸 法		幅526mm×奥行650mm ×高さ1050mm		
吐 出 量	40L/min 50/60Hz		重 量		150kg		
油 圧 ユ ニ ッ ト	電 源 容 量	12KVA		電 源	1KVA (油圧ユニットから供給)		
	周 囲 温 度 ・ 湿 度	0～40℃、20～90% RH (結露しないこと)					
	重 量	約380kg					

3-4 各種プログラム機能

塗装ロボットを使用して仕上品質を確保するには、ティーチデータが良質なものでなければならない。従来に

1) 変更(位置, 条件) 削除, 追加

3) シフト機能 ティーチされた点を任意の方向へ平行移動する

ロボットの移動経路の変更

1 → 2 → 3 → 4 → 5 → 6
 シフト (3 → 3' 5 → 5')
 (4 → 4' 6 → 6')
 1 → 2 → 3' → 4' → 5' → 6'

6) プログラム削除

4) ジョブ機能 プログラムを組み合わせ、ジョブを作成する

7) プログラムコピー

補助記憶装置を使用せず、ロボット制御盤内で、同一プログラムを指定したプログラムNo.にコピーできる機能

比し、本ロボットに付加された主なプログラム作成機能は次の通りである。本機能によってティーチ時間が大幅に短縮され、併せて品質の確保に大きく貢献した(図3)。

2) 補間機能

5) 編集機能

8) 属性変更

図3 各種プログラム機能略図

4. 本塗装ロボットによる塗装と 塗装のデータ化について

4-1 床裏防錆ワックスコート塗装

本例は、某自動車会社における床裏防錆ワックスコート塗装を自走式7軸制御塗装ロボット2基を使用しての実施例で、図4は本例のシステム概要であり、図5は配置図である。

ラインにおける特長は、

(1) 上位コンピューターと連動させ、ロボット制御装置を端末として使用していること、すなわち上位コンピューターからインターフェイス盤を介して、2基のロボットにプログラムの伝送を行い、プレイバックしていること。

(2) 塗装ゾーンに入る前に、ワークの教示姿勢が正しく再現できるように位置決め装置を設置すると同時にゾーン内においてハンガー規制用ガイドバーを併設したこと。

等である。

4-2 塗装のデータ化

リモートティーチングによる塗装ロボットが出現するまでは、塗装といえば、腕の良い職人の仕事であった。自動塗装機（レンプロ）による塗装技術も相当進んでいるが、それでも微妙な部位や、肝心な所は人による補正にたよらざるを得ないのが実情であった。初期の塗装ロボットは、人の動作をそのままテープにおとすダイレクトティーチの塗装ロボットで、動きは人の作業にかなり肉薄したものであったが、逆に人の癖まで取り込んでしま

う欠点があった。その欠点を排除し、利点だけを残し、動作（塗装）を完成させる方法を検討した結果、考案されたものが、リモートティーチング方式による塗装ロボ

図4 自走式7軸制御塗装ロボットシステムの概要

ットである。これにより今まで、人の感にたよっていた塗装（塗装のノウハウも含めて）が、全てデータに置きかえられ、良質な塗装が記録として保存できるようになったのである。次に示す図6、7は、自動車の床裏に防

図5 配置図

図6 防錆ワックスコート塗装におけるロボットの軌跡図

とができる。

例えば、

- (1) 本ラインにおけるコンベアスピードは3.8 m/分で、ラインに同期して塗装が行われていること。
- (2) 1台を塗布する所要時間は、48秒であること。
- (3) フロント及びリアの各ホイールハウスの塗装スピードは、500 mm/秒と、600 mm/秒で行われていること。
- (4) 教示点の始めと終わりに、緩加減速の機能を使用して教示し塗装されていること。
- (5) 塗装していない場合のガンの移動速度は、600 mm/秒と、1000 mm/秒で行われていること。
- (6) ティーチデータと仕上品質とを対峙することによって塗装された品質の確認が即できること、等である。

5. お わ り に

以上、自走式7-8軸サーボ制御塗装ロボット標準仕様による自動車床裏防錆ワックス塗装例を紹介した。導入に際してはユーザーとも種々実験をくりかえし、品質確認が終わった段階で、塗装の仕方、塗膜品質、塗装時間、塗装条件等がすべて記録され、データとして保存された。

このデータを忠実に再現すれば、後日、同一な品質の再現ができることは大きな成果である。

塗装という分野は、今まで、全て経験の領域にとどまっていたが、塗装ロボットという手段を得て、学術の領域に足をふみ入れたといったら過言であらうか。

ティーチング、データ表 PART2

S. 59. 7. 25
No.1

J. No.72

P. No.72

品名

中装速度 (mm/s)

No. : 速度

54 : 600 : 移動

55 : 1000 : *

73 : 500 : F. W/H

74 : 600 : F. W/H

75 : 500 : フロア前

76 : 450 : フロア中

図7 ティーチング、データ表 (例)

錆ワックスを塗布したときの実験データである。この記録から我々はこの塗装に関する全ての情報を読み取るこ