

21. 自走式耐火被覆吹付けロボットの開発

清水建設㈱*山崎 忍・小池清貴

1 まえがき

オフィスビル等の鉄骨構造物では、火災時の温度上昇に伴う鉄骨の強度低下を防ぐため、鉄骨に耐火被覆を施すことが義務づけられており、その工法としては半湿式ロックウール工法がコスト、作業性の面から現在主流となつている。この工法は、地上階に設置されたプラントからロックウール（岩綿）とセメントスラリーを作業階まで個々に圧送し、吹付け作業者が持つノズル部分で一体化させ、吹付けることで鉄骨に耐火被覆を形成させる方法であるが、吹付け時に飛散するロックウール粉塵で喉を痛めたり、皮膚に搔痒感を起こす等、その作業環境は極めて悪い。また、作業員の慢性的不足、技能格差による吹付け厚さのバラツキが大きいという問題も生じており、作業の機械化、ロボット化への要望が多く現場から出されていた。

これを受け当社では昭和57年10月、在来工法の吹付け作業を代行する耐火被覆吹付けロボットSSR-1（SHIMIZU Sive Robo-1）を開発し、現場での実作業に適用した。その結果、ほぼ従来と同じ品質を確保できたと同時に作業者をロックウール粉塵下から解放することができた。しかし、従来と同じ品質とはいうものの、熟練作業者の技量との間にはまだ差があり、また作業能率、ロボットの機動性、操作性の上でも多くの課題が残された。当プロジェクトではこの実績と反省をふまえ、このSSR-1に大巾な改良を加え、自己位置の検出から補正までを自動で行なう判断機能をもつた自走式耐火被覆吹付けロボット、SSR-2を開発した。本稿では一連の開発経緯とSSR-2の概要について紹介する。

2 SSR-1の概要と問題点

2-1 SSR-1の概要

SSR-1のロボットシステムは在来工法の人間によるノズル操作を代行し、自走機能により連続かつ自動的に耐火被覆吹付けを行なうもので、吹付けを代行するロボット本体、自走式けん引車、ロボット本体を制御するCRC制御盤、ロボットの動力源となる油圧ユニット、そして、吹付け、走行、停止の一連の動作を制御する付帯制御盤で構成される。

ロボット本体には熟練作業者がノズルの操作を直接教え込むダイレクトテイーチング方式の塗装用プレイバックロボットを利用している。このロボットは電気・油圧サーボによる6軸制御で、動作範囲は、垂直方向に約2m、水平方向に約3mである。ロボットを制御するCRC制御盤には2台のフロッピーディスクが備えられており、テイーチング時のノズルの動作情報、材料のON/OFFタイミングがすべてこれらに記録される。制御方式としてはCP/PTPの双方が使用できる。

このSSR-1で特筆すべき項目は走行システムであり、500kg近いロボットを床面に飛散・堆積するロックウールに左右されずに移動させ、所定の停止位置を検出して精度よく止まらせるため

にはどう制御すべきか、この2点が開発の焦点であつた。ロボットの走行形態はロボットをアルミ製の台車に搭載し、それをけん引させる方式とし、けん引車にはバッテリーにより駆動する電磁誘導方式の自走けん引車を利用し、作業床に敷設した誘導ワイヤ（3.5 K H Zの交流使用）に沿つて走行させ、あらかじめ停止位置に設置した金属板を近接センサで検知して止まる方式とした。その結果、ロボットの位置決め精度は±20mmを得た。

またロボット本体およびけん引車の動作命令を制御する付帯制御盤にはプログラマブルコントローラーを使い、走行、停止、吹付けの動作をシーケンシャルに制御することで、自動かつ連続的な吹付けを可能にした。

2-2 適用の結果と問題点

SSR-1を現場工事に適用した結果、ロボットは人間に代わり吹付け作業を連続かつ自動で行なうことができ、作業者は完全にロックウール粉塵下から解放されたが、下記のような問題があらたに出てきた。

- (1) 位置決め精度の不足と材料（ロックウール）供給の不均一性のために、テーチングしたものとプレイバックしたものとで品質（厚さのパラッキ）に差が生じる。
- (2) ロボットの位置決めはすべて床に出されたスミがもとになつてゐるため、スミ出し誤差や作業床のロックウールの堆積状態によりロボットの停止位置がずれ、品質に影響する。
- (3) ロボットの位置決め段取り（スミ出し、誘導線、停止用金属板の設置）に時間がかかる。
- (4) 走行形態がけん引式のため、機動性に欠ける。

3 SSR-2の概要

3-1 SSR-2に付加された機能

前述諸問題を解決するためSSR-1に大巾な改良を加え、更に実用度の高いロボットとして生れ変わったのが、自走式耐火被覆吹付けロボット SSR-2である。

SSR-2は基本的にはSSR-1と同様のシステム（図-2）をもち、ロボット本体、CRC制御盤、油圧ユニットは部分的な改良を施こしているが外観上は転用した形となつてゐる。本機の最大の特徴は自走機能と自己位置の検出、認識から補正までを行なう判断機能にある。

(1) 自走機能

ロボット本体自重を約100kg軽減させ、本体下部に走行装置を組込んだ。後輪油圧駆動、前輪固定でロボット本体用油圧ユニットを駆動源としている。

また走行架台の四隅に油圧のアウトリガーを備えており、これらを伸張し、車輪を浮かし、その場でロボットの走行方向を90°換えられる機能を付加した。

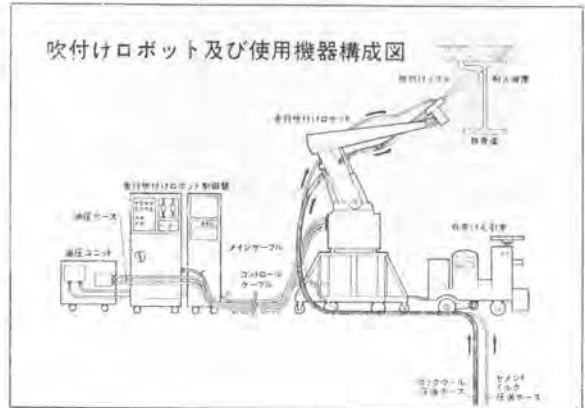


図-1 SSR-1の構成機器



写真-1 SSR-2の外観

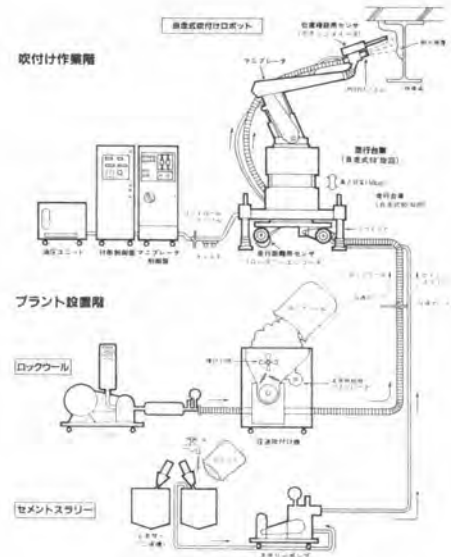


図-2 自走式吹付けロボット (SSR-2) と使用機器

ロボットの移動は、新規に製作された付帯制御盤にて制御される。制御方法は、走行距離を入力し走行距離をロボットが自動計測し、入力データと一致した時点で止まる数値制御方式で、停止精度はSSR-1にくらべ大巾に向上し±2mmとなつた。

(2) 判断機能

ロボットは吹付け前に自己位置の確認を行なう。これはロボットアーム先端に取付けられた位置確認装置のロッドを吹付け対象である梁に押しあて、その時のロッドスロークを検出するもので、検出はロボット中心から等振分けのウェブ部分2ヶ所と、梁フランジ下面の計3ヶ所で行なう。この動作によりロボットは対象物を基準に自己位置のズレ(梁に対する前後・上下方向の距離および角度)を認識、そのデータを付帯制御盤で演算処理して、位置の自動補正を行なう。

(3) その他

材料(ロックウール)の供給機にパイプレータと攪拌羽根を取付ける事により、材料の安定供給をはかると共に、ロボットアームシリンダの軽動化をはかりテーチング時のアーム操作を円滑にして、吹付け品質を向上させている。



写真-2 駆動系を旋回させるSSR-2

3-2 S S R - 2 の特長

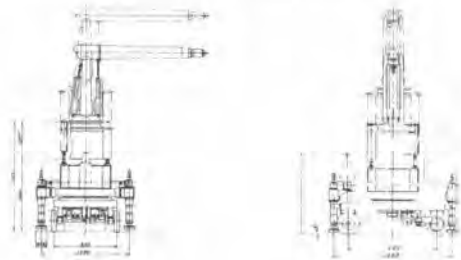
- (1) 吹付け対象から自己位置を認識し、自動補正する機能により、高い精度で位置決めが行なえる。
- (2) 走行、停止、位置決めの一連の動作は付帯制御盤へ入力データで数値制御されるため、段取りが短時間で行なえる。
- (3) 材料の安定な供給と高い位置決め精度により、熟練工と同等の吹付け品質が得られる。
- (4) けん引式から自走式になり、直角移動が可能となり機動性が向上した。

表-1 S S R - 2 の仕様

走行装置	駆動方式	油圧
	走行速度	低速 1.2m/min、高速 6m/min
	停止精度	±5mm
	駆動方式	油圧
	旋回角度	±102.5°(手動) ±90°(自動)
	旋回速度	低速 0.4rpm、高速 2rpm
	旋回精度	±0.5°
駆動方式	油圧	
昇降速度	200mm/min	
昇降精度	±1mm	
可 変 高 さ	最大 500mm	
新 旧 方 法	走行距離と位置位置をプログラムし行うことによる自動走行方式	
位置補正機能	位置補正精度	精度 ±5mm
	位置補正方法	ロボットアームの先端に取付けた位置補正センサ(ストローク200mm)によりロボット自身の位置を検出し、補正する自動位置補正方式
自 由 度	5(旋回の旋回、前後、上下、手置の上下、左右、回転)	
マニピュレータ	繰 り 上 げ 精 度	±5mm
	駆 動 方 式	電気・油圧サーボによるCPおよびPTP制御
	総 操 縦 重	CP(4-1)28分 PTP:3800ポイント
その他	重 量	805kg(マニピュレータ335kg、走行装置470kg)
	寸 法	全長:1750mm 全幅:1350mm 全高:2800~3000mm
	安 全 装 置	チーフスイッチによる緊急停止装置 光学式障害物検出装置 回転灯による警告装置

表-2 吹付けロボット主要変更部分

		SSR-1	SSR-2
走 行	走行方式	牽引車により牽引	自走方式
	誘導方式	電磁誘導方式	自己補正方式 (コンピュータによるプログラム制御)
	速 度	最高 60m/min	高速 6m/min 低速 1.2m/min
	旋 回 力	最小回転半径 1.2m 鉛蓄電池	同一位置で 90° 旋回 油圧 (ロボット本体の油圧ユニット使用)
精 度	停止精度	±20mm	±5mm
	直 線 性		$\frac{5}{1,000} \times \text{走行距離 mm}$
大 小	自 由 度	1自由度	3自由度(X-Y+昇降)
	重 量	1,025kg ロボット 450kg 走行台車 250kg 牽引車 325kg	805kg — ロボット 335kg 走行台車 470kg
大 小	長 さ	5.60m	長さ 1.750m
	幅	ロボット 2.08m 牽引車 1.72m	幅 1.350m
位 置	幅	1.84m	高さ 可変 2.50 ~ 2.00m
	高 さ	2.40m	
位 置	乗 車 からの距離	すみ出しして誘導ケーブルを貼るの上を移動、停止、修正なし	アームの先端につけた位置補正用センサーで壁をタッチし自己補正
	停止位置	誘導ケーブルの上に鉄板を置き接近センサーで制御	コンピュータによるプログラム制御
走 行 距 離			走行センサーとコンピュータで制御



4 あとがき

SSR-1という過程を経て開発された耐火被覆吹付けロボットSSR-2は、建築業界でもまれな、移動する足と判断する頭を合せもつたロボットである。58年8月でその実績は2現場となったが、建物の形状、構造部材の形状は多岐にわたり、ロボットの能力を十分発揮できる対象はまだまだ少ないのが現状である。ロボットには一層の柔軟性と多機能性が求められており、今後更に改善、改良をかさね作業所ニーズに合致したものに仕上げていく予定である。