

# 56. 耐火被覆吹付けロボット 2号機 システムの開発

(株)フジタ：\*渡部 幸浩・宮本 仁史  
吉武 亮二

## 1. はじめに

昨年から今年にかけて建築工事の需要は急速に冷え込んできているが、好景気時の労務不足に対処するために用いられた鉄骨構造などの建物の乾式工法は現在も盛ん採用されているため、建築工事量に対する耐火被覆吹付け工事量の割合は増えたままの状態である。一方、粉塵を伴う劣悪な作業環境の改善、安定した高品質な施工、材料ロスの低減、労力の軽減そして作業速度の向上といった現場配合の耐火被覆吹付け工事が従来から抱える問題に対する改善はあまり進まず、機械化や新素材などによる大幅な作業改善が望まれているのが現状である。

本開発は、一般製造業で使用されている産業用ロボットの建築現場への適用技術を開発し、建築工事の自動化を推進する試みの一事例として、耐火被覆吹付け工事の大半を占める現場配合の乾式吹付け工法を対象としたロボットシステムを構築し、従来作業を大幅に改善することを目標としている。

## 2. システムの装置概要

本システムは、図-1 に示した一般製造業で使用されている産業用垂直多関節型ロボット、作業床上での任意走行と任意高さ設定を可能にする自律走行台車、建物内での自己位置を認識するためのレーザ式自動位置計測装置、5つの材料供給装置で構成される遠隔制御プラントおよびシステム全体を統括制御する牽引式中央制御盤の各装置により構成される。写真-1 にその作業状況を示す。

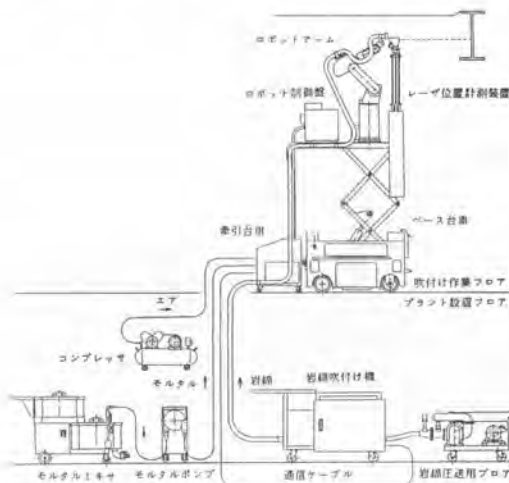


図-1 システムの構成



写真-1 作業状況

## 2-1. 産業用垂直多関節型ロボット

本システムの腕の役割を果たす部分に、市販の産業用垂直多関節型6軸ロボットを使用した。現状作業の運動解析結果に基づき骨格系や動作範囲などの検討を行い、軽量なロボットアームを有し、小型軽量で外部コンピュータとネットワーク構築が可能なロボットコントローラを有する機種を選択した。ロボットアームとロボットコントローラの主な仕様を表-1に、動作範囲を図-2に示す。

表-1 ロボットの主な仕様

ロボットアーム仕様	
自由度・構造	6自由度・垂直多関節形
定格負荷	10kgf
位置誤り返し精度	+0, 1mm
駆動方式	ACサーボモータ
本体重量	180kgf
ロボットコントローラ仕様	
制御軸数	6軸
制御方式	PTP制御及びCP制御
補間機能	関節補間、直線補間、3次元円弧補間
プログラム容量	62KB
本体重量	52kgf
シーケンサ機能	プログラム容量8Kステップ

表-2 自律走行台車仕様

ベース台車仕様	
全長	1,620mm
全幅	850mm
自重	1,100kgf
積載荷重	300kgf以上
リフト高	1,000~2,250mm
走行速度	高速 1.0km/h 低速 0.5km/h
駆動方式	油圧モータ2輪対角駆動方式
昇降方式	2段センサ型油圧昇降方式
操舵方式	4モード油圧ロータリアクチュエータ方式
駆動電源	バッテリー130AH×2及びAC200V併用
運転方式	①無線及び有線操作ボックスによる手動運転 ②シーケンサネットワークによる自動運転
安全装置	①タッチセンサバンパ ②走行-リフティングインタロック ③回転灯

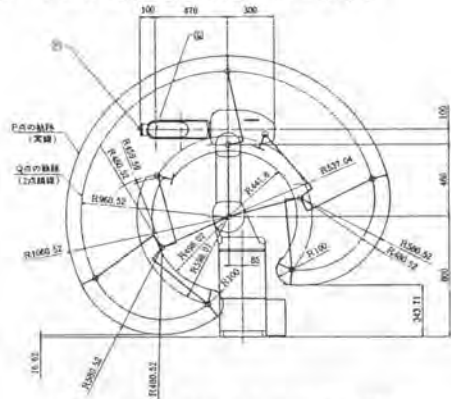


図-2 ロボットアーム動作範囲

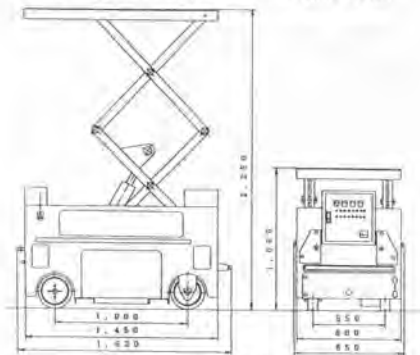


図-3 自律走行台車概要

## 2-2. 自律走行台車

本システムの走行を受け持つ足となる部分には、以下の点を考慮した自律走行台車を新規に開発した。

- ① ロボットを搭載する昇降リフタの高さを自動制御できるようにすることによりロボットの動作範囲の拡大を図った。
- ② 操舵機構にはノンバックラッシュのロータリアクチュエータを採用することにより台車の走行精度の向上を図った。
- ③ 4輪操舵、2輪操舵、90度横行、スピントーンの4モード操舵方式により操作性の向上を図った。
- ④ 車輪にウレタン焼き付けタイヤを採用することにより走行直進性の向上とリフタ上昇時の揺れの減少を図った。
- ⑤ 有線操作方式に加えて、無線操作が行えるようにし操作性の向上を図った。

自律走行台車の主な仕様を表-2に、概要を図-3に示す。

### 2-3. 遠隔制御プラント

耐火被覆吹付け作業に用いるプラント設備（岩綿吹付け機、ブロー、モルタルポンプ）は、ロックウール工業会の認定を必要とするため、既製品についてインバータ制御を行い、ロボットとの連動遠隔制御が可能のようにプラント統括用コンピュータを設置した。

### 2-4. レーザ自動位置計測装置

作業品質を確保するためには、ロボットおよび台車を正確な位置に誘導すること即ち、梁との離れ・正対性を計測することができると共に、梁との平行移動距離を計測する装置の開発が必要である。本システムに設けたこの装置は、レーザ距離計測センサを搭載し、エア駆動によってセンサの昇降・90度旋回・左右首振りが可能のため、2対設置することによって正確な位置計測ができる。使用した計測装置の外観を写真-2に示す。



写真-2 レーザ式自動位置計測装置



写真-3 作業条件入力状況

### 2-5. 牽引式中央制御盤

中央制御盤は、本システムを構成する各装置のコンピュータを統括制御し、各装置を連動させて一連の作業を行わせる役割を担っている。タッチパネルを用いた簡易入力方式を採用したため、使用時の作業条件入力操作は一般作業員でも簡単に行うことが出来る。中央制御盤の移動は、自律走行台車に牽引させる方式とした。作業条件入力状況を写真-3に示す。

## 3. システムの制御・操作概要

### 3-1. システムの制御

システムの制御は、中央制御盤をホストコンピュータとして、産業用垂直多関節型ロボット、自律走行台車、レーザ式自動位置計測装置及び遠隔制御プラントの各々の制御盤をコントロールするようにした。図-4に制御機器の構成を示す。

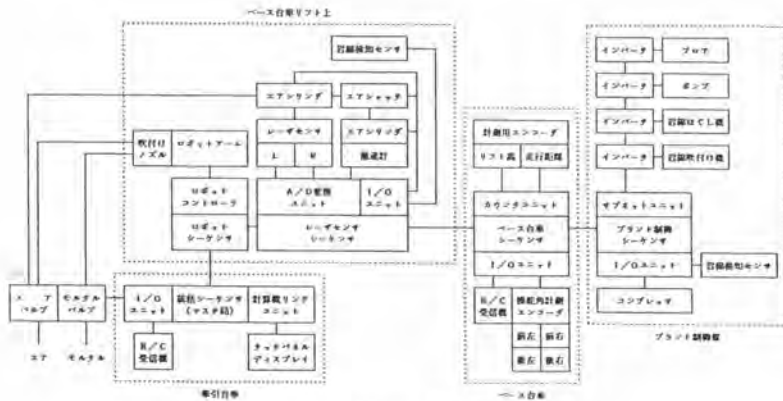


図-4 制御機器の構成

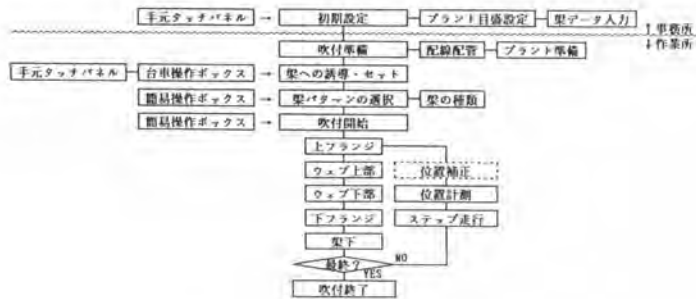


図-5 システムの操作手順

### 3-2. システムの操作手順

システムの操作手順を図-5に示す。操作方法は手動モードと自動モードがあり、作業条件に合わせて任意にモード選択を行うことができる。

### 3-3. ステップ走行時の自己位置補正機能

自律走行台車は、吹付け時にステップ走行を行うが、床の条件により走行にズレが生じるため、自己位置補正機能を必要とする。図-6に自己位置補正順序を示す。



図-6 自律走行台車の自己位置補正

### 3-4. 吹付けサイクル

1サイクル吹付け時の、ロボット、走行台車、岩綿吹付け機およびモルタルポンプの作動タイミングを図-7に示す。

ロボット	演算		上フランジ	ウェブ上部		ウェブ下部	下フランジ		梁下端
台車		梁上部 リフト高 調整			梁下部 リフト高 調整			梁下端 リフト高 調整	
岩綿	OFF		ON	OFF	ON	OFF	ON		
モルタル	OFF		ON	OFF	ON	OFF	ON		

図-7 1サイクル吹付け時の作動タイミング

### 3-5. 吹付け動作順序

吹付け動作順序は、ロボットの動作特性と台車走行に合わせて、吹付けガンを横方向に振りながらロックウールを吹付ける横吹き方法とした。梁への吹付け順序を図-8に、吹付け状況を写真-5に示す。

## 4. システムの主な特長

本システムの主な特長を以下にまとめる。

- ① ロータリアクチュエータ4輪独立操舵方式の自律走行台車とレーザ式自動位置計測装置によりロボットを平面上の任意の位置に移動させることが可能である。
- ② 自律走行台車のリフト台自動昇降機能とロボットアームにより、約4mの高さまでの作業を自動で行うことが可能である。
- ③ プラント設備をロボット動作と連動制御しており、ロボットの動きや配管条件の変化に応じて材料の供給量を変化させることができるため、材料ロスが少なく安定した品質を確保することができる。
- ④ 作業動作をプログラム化しているので、吹付け面積・量等の動作内容の変更が可能であると共に動作のデータベース化が可能である。
- ⑤ 中央制御盤に設けたタッチパネルにより、全ての装置を簡単に制御できる。

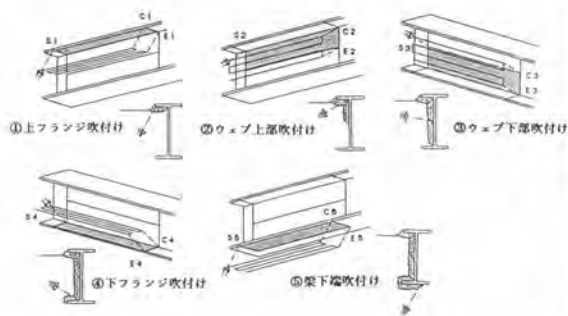


図-8 梁への吹付け動作順序



写真-5 吹付け状況

## 5. 試験施工

耐火被覆吹付けロボット2号機システムの開発は、各装置の性能確認や各プラント設備の相互関連性など種々の基礎実験を行い、実際に作業所で試験施工を実施した。以下に、それらの基礎実験や試験施工によって得られた結果を述べる。

### 5-1. 試験施工の概要

本システムの試験施工は、高層オフィスビルの中間階フロアで実施した。2時間耐火被覆吹付け工事の概要を以下に示す。

- ・構造規模：SRC+S B4F～31F      ・主な鉄骨部材：大梁 H-850X325X12X28
- ・延床面積：44,787m<sup>2</sup>      小梁 H-350X175X7X11
- ・建築面積：約1,270m<sup>2</sup>      小梁 H-396X199X7X11
- ・最高高さ：128.58m
- ・基準階高：3.8m

### 5-2. 施工品質管理

今回の試験施工で実施した品質管理方法および結果以下に示す。

#### ① 比重管理

- ・現場でのテスト吹き結果を基本データとした。
- ・テスト吹き時は、吹付け直後にかさ比重測定用切取機で切取り試験を行い、157g以上の重量（2時間耐火）を確保した。
- ・スラリー比重は水80リットルに対してセメント1袋を調合する割合を確保した。

#### ② 厚さ管理

- ・現場でのテスト吹き結果を基本データとした。
- ・テスト吹き時は常時厚さ管理試験を行った。
- ・押え作業時に長さ50mmのピンで5m<sup>2</sup>毎に1ヶ所以上厚さ管理を行った。

#### ③ その他の主な品質管理

- ・ロックウールとスラリーの混合の均一性はテスト吹き時や押え時にはぐしながら目視確認した。

#### ④ 品質管理結果

- ・2時間耐火に対するロックウール工業会仕様を満たすことができた。
- ・平均かさ比重：0.36 (>0.34) OK!
- ・平均吹付け厚：55mm (>50mm) OK!

## 6. おわりに

今回の試験施工の結果、本システムは耐火被覆吹付け工が一人で操作でき、かつ安定した高品質の施工が可能であることが確認できた。

今後は、ソフト、運用、応用に重点を置いた開発に取組み、より実用性の高いシステムを目指して、本開発を推進して行く所存である。