

耐火被覆吹付けロボットの開発(その1)

—ロボットシステム—

吉田 哲二
(技術研究所)庄川 選男
(建築本部技術部)上野 高敏
(技術研究所)山崎 忍
(機材部)野中 稔
(技術研究所)熊谷 敏男
(技術研究所)

§ 1. はじめに

1980年代に入って、にわかには活気づいてきた製造業におけるロボット化の進展は、建設業に対して大きなインパクトを与えつつある。建設業の最近10年間における労働生産性の推移を見ると、ほとんど上昇していない。このような状況の中で、現場作業の労働生産性の向上をもたらすものと期待されているのがロボットである。

筆者らは、昭和53年頃から建設作業ロボット化の研究に着手し、産業用ロボットの現状調査、建設作業用ロボットの調査研究を進めるとともに、研究所内でロボットを試作し、ロボット技術の習得とその応用の可能性を検討してきた。このような中から生まれてきたものが耐火被覆吹付けロボットである。

鉄骨構造の建物では、火災時に鉄骨の機械的強度が急速に低下しないように耐火被覆を施すことが基準で定められている。この耐火被覆を施す工法としては、耐火材成形板を張り付ける工法と耐火材をセメントとともに吹付ける工法がある。吹付け工法には乾式工法、湿式工法、半湿式工法の3種類の工法があるが、コスト等の問題で半湿式工法が主流となっている。半湿式工法では、セメントスラリーと耐火材であるロックウールを別々にホースで圧送し、ノズルの先端で一体化させて鉄骨に吹付ける。足場としてローリングタワーを使用し、作業者がその上に乗ってノズルを振り回しながら作業を行なっている。しかし、本作業は吹付け材料が跳ね返るとともにロックウールの微細な浮遊粉塵が発生し、喉を痛めたり皮膚に搔痒感を与えるなど作業環境は非常に悪い。

本開発の目的は、このような悪環境作業から作業者を解放することと、作業能率を向上させることにある。本報では、1号機として開発したSSR-1の概要と第43森ビルにおける施工結果、およびそこで明らかにされた問題点について述べ、さらにこの反省から改良を施して開発した2号機のSSR-2の概要、実施工の結果について報告する。

§ 2. SSR-1 の概要

2.1 システム設計条件

SSR-1 (Shimizu Site Robot-1) 開発の発端は、耐火被覆吹付け工事の劣悪な作業環境から作業者を解放したいという現場からのニーズであった。開発に当ってはプロジェクトを編成し、ロボットシステムの開発を研究所と機材部が、現場への適用を建築一部と建築技術部が主として担当した。

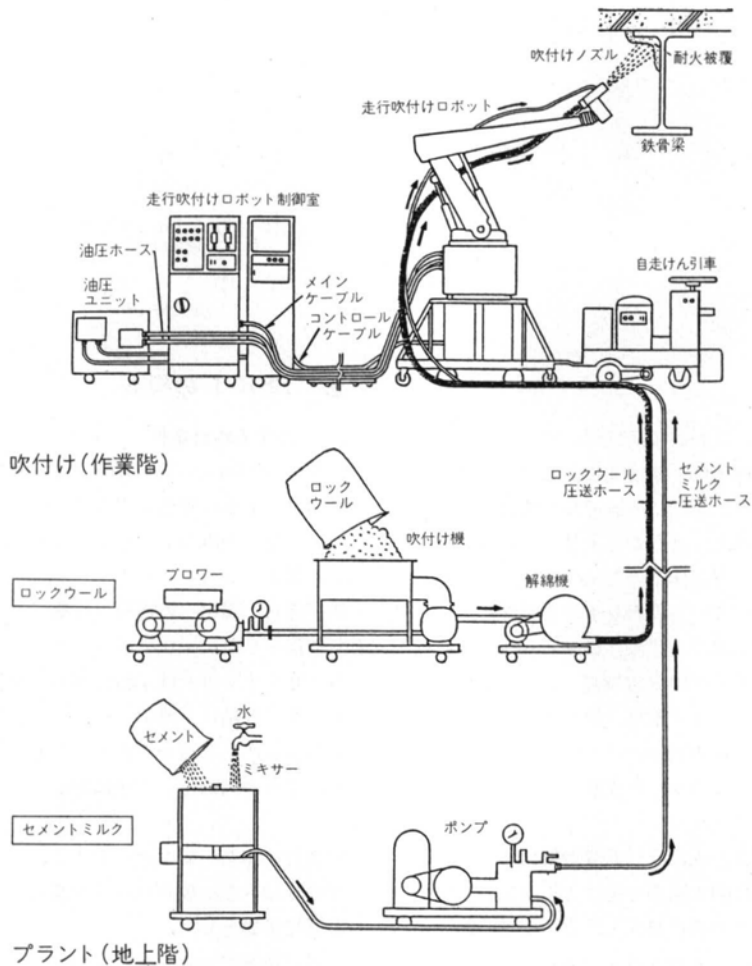
当プロジェクトでは、耐火被覆吹付け工事の改善項目として次の3項目を設定した。

- (a)劣悪な作業環境から作業者を解放する。
- (b)作業者の高齢化と不足に対応するために省人化する。
- (c)吹付け作業の能率を向上する。

この3項目を、現状の品質を維持しながら実現することを開発目標とした。

吹付け作業のような自由度の大きい作業は、従来の機械による自動化は困難であり、製造業で急速に普及しつつある産業用ロボットの利用を中心としてシステム設計を進めた。このシステム設計に当っては作業性、安全性の観点から以下のような条件を設定した。

- (1)在来工法のノズルをそのままロボットに持たせる形をとり、人手によらず従来と同等の品質を維持した吹付けができること。
- (2)作業能率を向上させるため、ロボットは自走できる機能をもち、自動かつ連続的な吹付けができること。
- (3)ロボットの自走および位置決めはロックウールが飛散堆積する状況下でも正確に行なえる方式であること。
- (4)ロボットの重量は中・高層オフィスビルの床の許容積載荷重 300kg/m² 以下であること。
- (5)吹付け作業階への移動は現場仮設のリフトを利用することを前提に、ロボットの大きさを設定すること。
- (6)安全に関しては作業者、建物、設備に対する事故防止と、ロボット機械装置保護の両面から十分な措置がと



図一1 ロボット吹付けシステム構成図 (SSR-1)

られていること。

以上の設計条件から様々な案を検討し、塗装用のプレイバックロボットを台車の上に乗せてけん引する方式を採用した。塗装用ロボットの機種選定に際しては以下の点を考慮した。

(1)一般用途と異なり吹付け対象物が大きく、吹付けパターンの種類が多くなるためプログラムの記憶容量が大きいこと。

(2)吹付けノズル、ホースの重量の面からロボットの可搬重量が大きいこと。

(3)吹付け動作が複雑になるため、CP 制御（連続軌跡制御）方式によるティーチング（教示）ができること。

以上の観点から比較検討を行なった結果、神戸製鋼所製の KOBELCO-TRALLFA 塗装ロボット KTA 3000 F を使用することにした。

2.2 耐火被覆吹付けロボットシステムと構成機器

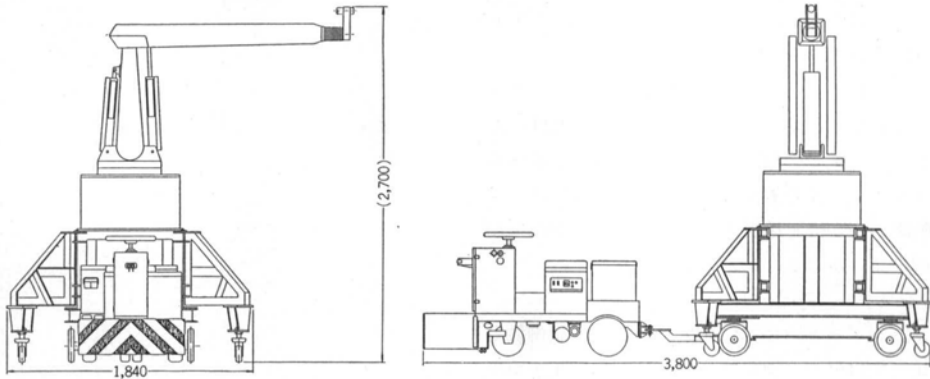
耐火被覆吹付けロボットシステムの構成を図一1に示す。地上階に吹付け材料用のプラントを設置し、セメントミルクはポンプで、ロックウールはブローを用いて作業階へ圧送する。作業階では吹付けノズルを人間の代わりにロボットが操作して、耐火被覆の吹付けを行なうシステムとなっている。

本ロボットの最大の特徴は、従来の産業用ロボットには見られない走行という機能を持っていることである。ロボットはあらかじめ教え込まれた吹付けプログラムに従い、吹付け工のノズル動作を忠実に再現することにより自動吹付けを行なう。さらに、けん引車によりロボットの自動走行・停止を行なうことによって、自動かつ連続的な耐火被覆吹付け作業を行なうことができる。

吹付けロボットの仕様を表一1に、外観を図一2、写真一1に示す。基本構成は吹付けロボット、走行台車、

		ロボット本体	走行装置
走行 ロボ ット	1	腕 旋 回	100°
	2	腕 前 後	75°
	3	腕 上 下	72°
	4	手 首 上 下	176°
	5	手 首 左 右	176°
	6	手 首 回 転	210°
	7	走 行	前進・後退 (最小回転半径 1.2m)
速 度		腕の先端で最大 1.7m/s	走行速度 最大 2.5km/h
繰り返し精度		±5mm	±20mm
作 動 源		油 圧 (70kg/cm ²)	鉛蓄電池 (DC24V)
重 量		ロボット本体700kg, けん引車325kg, 油圧ユニット270kg, 制御装置200kg	
制 御 装 置	制 御 方 法	吹付けパターンへのティーチングと走行パターンのプログラミングによる自動走行・自動吹付け	
	制 御 方 式	電気油圧サーボによる CP/PTP 制御	電磁誘導方式および 工程歩進型ストアードプログラム方式
	記 憶 容 量	CP: 4~128分, PTP: 38000ポイント	最大36ステップ
安 全 装 置	非常停止装置	光学式障害物検知装置 接触型非常停止バンパー コースアウト時自動停止装置 誘導電流遮断時自動停止装置	

表一 1 吹付けロボット (SSR-1) の仕様

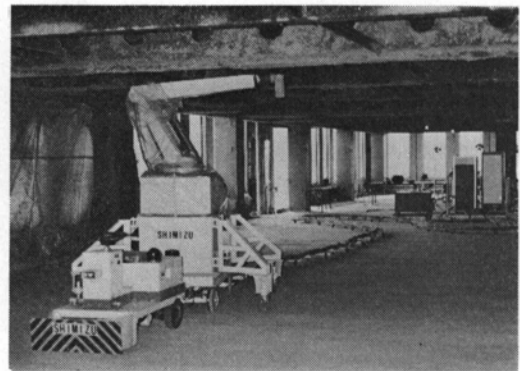


図一 2 耐火被覆吹付けロボット (SSR-1)

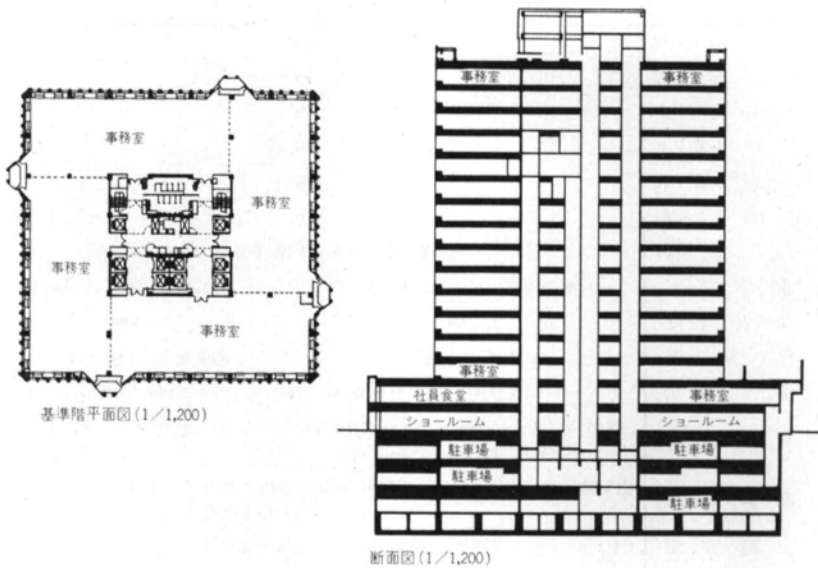
自走けん引車, 制御盤, 油圧ユニットから成る。以下に
主な構成機器の概要を述べる。

(1)吹付けロボット

ロボット本体に利用した塗装用プレイバックロボット
は, 人間がロボットのアームを持って作業動作を教える
ことのできるダイレクトティーチング方式のロボットで
ある。このロボットは, ベース, 垂直・水平の各アーム
および水平アーム先端の手首で構成され, 自由度は6で
ある。作動は別置き油圧ユニットと, ベースおよびア
ーム内部に装着された6個の電気・油圧サーボアクチュ
エータにより行なわれ, 動作範囲は垂直方向に約2m,
水平方向に約3mである。手首はフレキシブルタイプ



写真一 1 SSR-1の外観



図一3 第43森ビル概略図

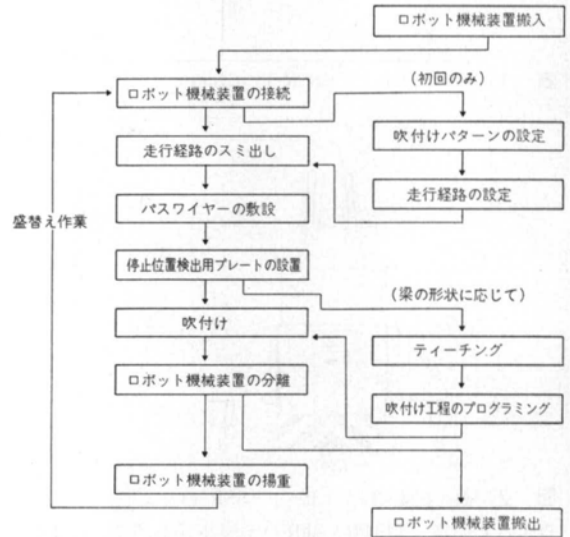
で、ティーチング姿勢が悪くても楽に角度を変えられる特長を持っている。ロボット本体には、制御ケーブル、油圧ホース、材料供給ホース等が継がれるので、ロボットの走行を容易にするため、これらには一定間隔でキャスターが付けられている。

ロボットを搭載する台車は、軽量化を図るためにアルミで作られており(重量220kg)、ステアリング部はけん引時の追従性を考慮し2軸テーブル方式を用い、各車輪にはディスクブレーキを取り付けた。台車外側には、ロボット作動時の安定性を確保するために脱着可能なアウトリガを設けている。

(2)制御盤

制御盤は、ロボット本体に付随するロボット制御盤と移動・停止・吹付けの一連の動作をコントロールする工程制御盤の2台から成る。

ロボット制御盤は吹付け動作の記録・再生を行なうもので、制御方式はCP制御、PTP制御の両方が使え、必要に応じて選ぶことができる。記録装置としてフロッピーディスクを2台装備し、プログラムは最大64種、記録時間で128分の内容を記憶させることができる。また、フロッピーディスクを2台装備しているため、簡単にプログラムの倍速編集を行なえ、ティーチング時の動作速度の4倍までプレイバック速度を上げることができる。さらに、ロボット制御盤はファンクション信号用として5つの送受信回線を備えており、吹付けの材料供給スイッチのON/OFFタイミング、吹付けプログラムの終了信号などをティーチング時に記憶させることができる。



図一4 ロボット吹付け工事の作業工程

この制御盤は、防塵、防爆型になっているため冷却は水冷で行なっている。

工程制御盤には、工程進型ストアードプログラム方式のプログラマブルコントローラを使用した。これによりけん引車の走行・停止・吹付けの各動作を逐次制御し連続吹付けを行なわせる。入力にはキー入力方式で、最大63ステップまでの入力が可能である。工程制御盤には、この他にけん引車誘導用発振器などが組込まれている。

(3)自走けん引車

自走けん引車はバッテリーを動力源とし、電磁誘導方式

により自走する。この誘導は、走路に沿って誘導ワイヤを敷設し、そこに低周波電流(3.5 KHz)を流すことによって生じる誘導磁場を検出し、ステアリングを制御する方式である。磁場の検出は、けん引車前輪部に取り付けられた一対のコイルで行なっている。停止は、コイル前方に取り付けた近接センサにより、所定の位置にあらかじめ設置された鋼板(80×80×1t)を検出し、けん引車を制御している。また、このけん引車はマニュアル運転も可能なデュアルモードタイプである。

(4)安全装置

安全装置として表一5に示すものの他に、ロボットの作業エリア内への不用意な立ち入りを防止するため、ロボットとけん引車には警告灯(赤色点滅)を付けるとともに、音声テープにより注意をうながす装置を付けた。

§ 3. SSR-1 による施工結果と問題点

3.1 施工概要

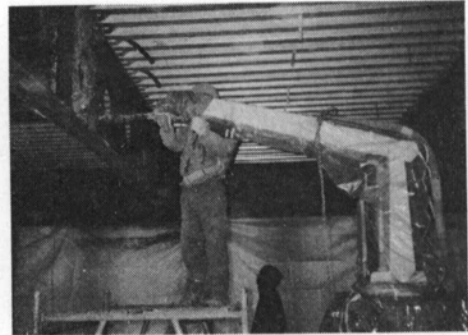
本ロボットは第43森ビル新築工事に適用した。第43森ビルはセンターコア方式の事務所ビルで、梁間隔、設備ラインとも3.1mのモジュールになっている。したがって、吹付け作業の対象とした梁は、そのスパン、形状およびスリーブの位置・形が標準化されており、繰り返し作業を得意とするロボットには適した建物であった。ロボットによる吹付け工事の作業工程を図一4に示す。この中で、右側に示したものは一時的に行なわれる作業であり、左側に示したものは繰り返し行なわれる作業である。

ロボット機械装置の搬入は仮設リフトを使用した。搬出時は、仮設リフトが解体されたために装置を分解してエレベータで搬出した。

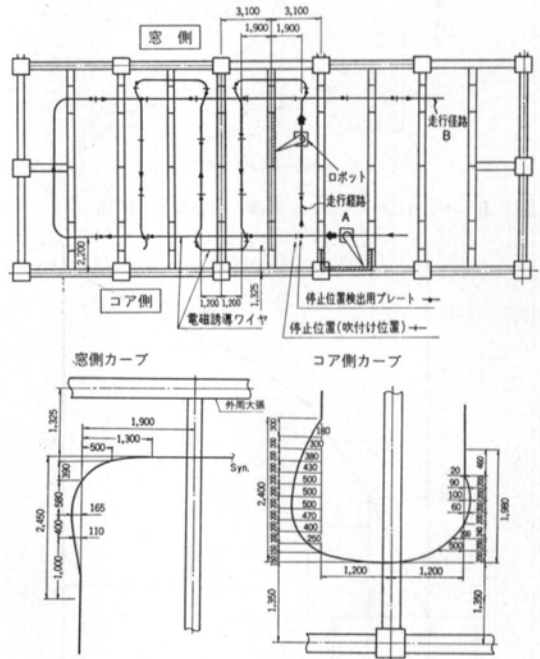
ロボットによる吹付けでは、できる限り少ないティーチング回数で全体の梁の吹付けが行なえるように、梁をいくつかのパターンに分けてティーチングした。

ロボットの走行経路は図一5に示すように大梁、小梁を吹付ける内部吹付け経路と外周大梁用の外部吹付け経路とがある。この経路は、梁の両面を連続して吹付けるための多くのカーブを必要とした。カーブの形状はロボットがけん引されて移動するために複雑であり、走行試験を繰返して決定した。

ティーチング作業は、ノズルの位置、角度、動作速度およびロックウール、セメントミルク供給用のスイッチON/OFF タイミング、吹付け終了信号をフロピーディスクに記憶させ、各パターンごとのプログラムを作成



写真一2 ティーチング作業



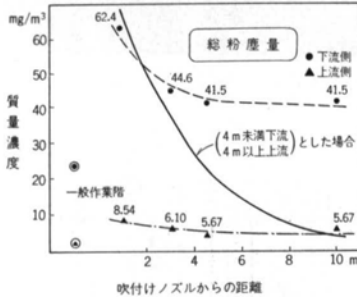
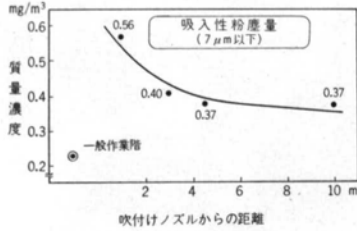
図一5 走行経路レイアウトとカーブ形状

する作業である。すなわち、足場に乗った吹付け工がロボットにノズルを取付けた状態で実際の吹付けを行ない、ノズルの動作情報を入力するという方法である。ロボットの走行・停止・吹付けの各動作を制御し連続的な吹付けを行なわせるために、プログラマブルコントローラを用いて吹付け工程のプログラミングを行なった。

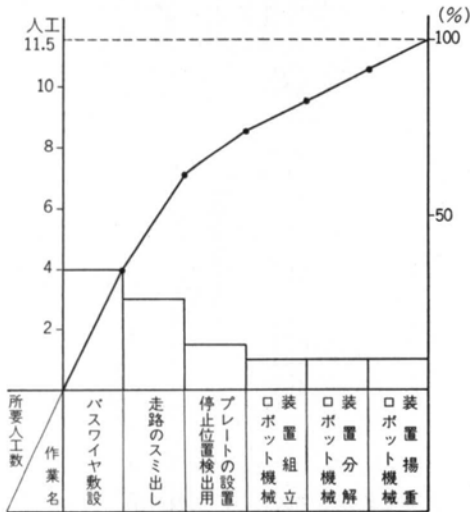
3.2 施工結果

3.2.1 作業環境

作業環境の指標として、ロボットによる吹付け時の粉塵量の測定を行なった。測定方法はデジタル粉塵計を主として使用し、基準となる質量濃度の測定をローボリュームエアースAMPLラ法によって行なった。デジタル粉塵



図一六 吹付けノズルからの距離と粉塵量との関係



図一七 ロボット施工時段取り作業における作業別人工パレート図

計による光散乱濃度 $C(\text{cpm})$ とローボリュームエアサンプリング法との比較で求めた質量濃度換算係数 $K(\text{mg}/\text{m}^3)$ から、次式により粉塵の質量濃度 $M(\text{mg}/\text{m}^3)$ を求めた。

$$M = K \cdot C$$

測定結果を図一六に示す。ノズル近くでは吸入性、総粉塵濃度とも一般作業階の約2.5倍あり、作業環境の悪いことを裏付けている。しかし、粉塵はノズルから離れると急激に低下しており、ロボットによる作業では遠隔位置(最大30m)から操作するため、大幅に作業環境を



写真一三 吹付け厚さの測定

向上させることができた。

3.2.2 作業能率

作業能率は、単位面積の吹付けに必要とする時間とそれを何人の組作業で行なっているかで評価することができる。施工時間のデータは見学者が多く正確なものでは得られなかったが、標準部分の単純な比較で梁1本当り人間吹きでは約2時間、ロボットで1時間であり、ロボットの方が約2倍の速さであった。ロボットはティーミング時の4倍の速度まで動作させることが可能であり、材料の供給を増せばさらに能率を上げる可能性がある。

ノズル1本当りに必要な作業者は在来工法で3人1組であったが、ロボットの場合2人1組での施工が可能となった。

一方、在来工法にはなかった作業も発生している。それは、誘導ケーブルの設置作業と停止位置決め用の鉄板の設置作業、それから他の階への段取り替えのためのロボットの揚重作業である。第43森ビルでの施工におけるこれらの段取り作業のパレート図を図一七に示す。

3.2.3 品質

耐火被覆の半湿式吹付工法では、その耐火性能はカサ比重と被覆の厚さで規定されている。カサ比重は0.3以上となっており、被覆厚さは第43森ビルで用いた材料では1時間耐火で30mm、2時間耐火で45mm、3時間耐火で60mmとなっており各階ごとにその値が定められている。カサ比重は、吹付け材料の調合や吹付け後のコテ押えによって影響されるが、ロボットによる工法でも人間によるコテ押えが必要であり、在来工法と同等に考えることができる。

問題は被覆厚さの管理であり、様々な点について検討を加えた。人間による吹付け作業では吹付け状況を監視しながらノズルを操作し、所定の厚さに仕上げている。しかし、SSR-1にはこのような吹付け厚さのセンサ機

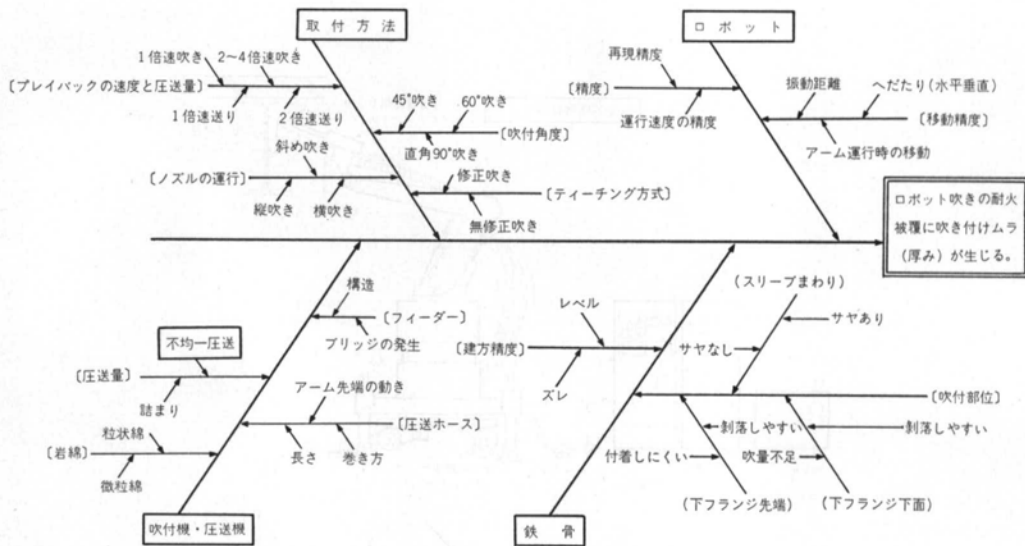


図-8 厚さムラの特的要因図

能はなく、吹付け材料の吐出にムラが生じると被覆厚さにムラを生じてしまう。また、ロボットの位置決め精度も被覆厚さのムラに影響を与える。これらの関係を特的要因図にまとめたものを図-8に示す。この中で最も大きな要因は、圧送機の不均一圧送と考えられる。

当作業所では定常圧送性を向上させるために、通常使用している粒状綿より細かい微粒綿を用いた。さらに、吹付け方法ではティーチング時の2倍の速度で2度吹きする方法を採用し吹付け時のムラを減らした。しかし、吹付け厚さの均一性という点ではロボットは人間にや劣るという結果となった。

3.3 問題点

SSR-1は、建築工事現場に世界で初めて登場したロボットとなったが、約6カ月という短期間にまとめ上げたものであるために不十分な点も多く、以下に述べるようにいくつかの問題が残された。

- (1)ロボットの停止精度が悪い。そのために吹付け品質に影響を与えている。
- (2)走行はけん引方式のために、小回りがきかない。そのためにロボットで吹けない部分が生じている。
- (3)位置決め用の誘導ケーブルの設置等の段取りに時間がかかる。
- (4)圧送されるロックウールの吐出にムラがあり、吹付け厚さのばらつきの原因となっている。

§ 4. SSR-2 の概要

SSR-1による実施の結果から、耐火被覆吹付け作業のロボット化について一応の目安が得られた。また、問題点も明らかになった。そこで、SSR-1で得られたデータをもとに検討した結果、以下に示すような改良項目を設定した。

- (1)ロボットの停止位置決め精度を向上させるために吹付け対象物(梁)から位置決めできるシステムとする。
- (2)ロボットの走行はけん引方式をやめて自走式とし、小回りをきかせるためにその場で方向変換の可能な方式とする。
- (3)ロボットの位置決めは、誘導ケーブルの設置等の付帯作業を伴わない方式とする。
- (4)材料の定常圧送性を高めたシステムとする。

以上のような設計条件をもとに、SSR-1を改良したSSR-2のシステム構成を図-9に示す。また、SSR-2の仕様を表-2に、SSR-2の仕様の主な変更点をSSR-1との比較で表わしたものを表-3に、外観を図-10、写真-4に示す。

SSR-2で改良された機器について以下に述べる。

4.1 主な構成機器と改良点

(1)マニプレータ

吹付けノズルを直接動かすマニプレータは、基本的にはSSR-1のものと同じものである。ただし、SSR-1ではティーチング作業を連続して長時間行なうと、ロボットの操作が重いために作業者が疲れるということがあつ

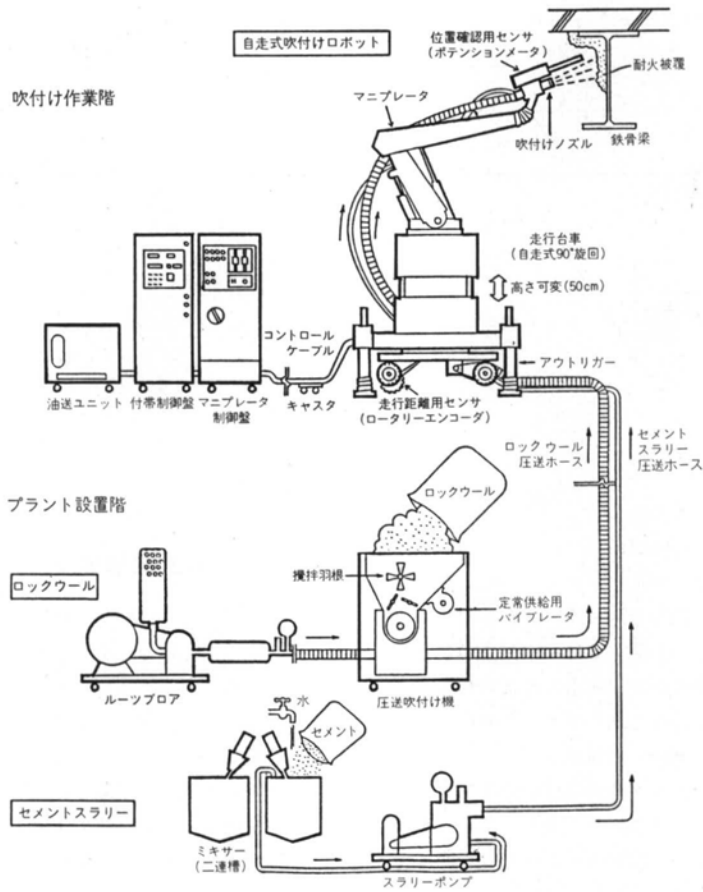


図-9 ロボット吹付けシステム構成図 (SSR-2)

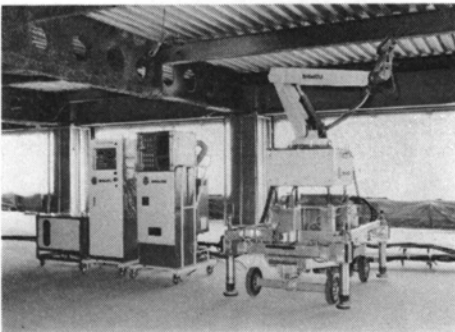


写真-4 SSR-2の外観

た。そこで、SSR-2 については駆動用のシリンダーを改良して軽く動くようにし、ティーチング作業をやりやすくしている。また、後述する位置補正動作の位置確認用センサを手首の先に取付けてある。

(2) 走行台車

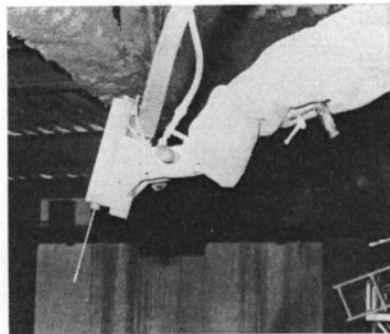


写真-5 位置確認用センサ

改良の中心はこの走行台車であり、SSR-1 とはまったく異なったものとなっている。走行台車は走行架台と走行部で構成され、回転軸によりつながれている。走行架台の周囲4箇所にアウトリガを設け、このアウトリガを伸すことによって走行部を浮かせ、架台に対して走行

走行装置	自由度	3 (走行, 旋回, 昇降)	
	走行機能	駆走停止 動行止 方速度精 式度精度	油圧 低速 1.2m/min, 高速 6m/min ±5mm
	旋回機能	駆旋旋旋 動回回回 方角速度精 式度精度	油圧 ±102.5° (手動), ±90° (自動) 低速 0.4rpm, 高速 2rpm ±0.5°
	アウトリガ昇降機能	駆昇昇 動降降 方速度精 式度精度	油圧 200mm/min ±1mm
	可変高さ	最大高さ500mm	
	制御方法	走行距離と旋回位置をプログラミングすることによる自動走行方式	
	位置補正機能	位置確認精度	±5mm
位置補正方法		ロボットアームの先端に取付けた位置確認センサ (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	
マニプレータ	自由度	6 (腕の旋回, 前後, 上下; 手首の上下, 左右, 回転)	
	繰り返し精度	±5mm	
	制御方式	電気・油圧サーボによる CP および PTP 制御	
	記憶容量	CP: 4~128分 PTP: 3800ポイント	
その他	重量	850kg (マニプレータ335kg, 走行装置470kg)	
	寸法	全長: 1750mm 全幅: 1350mm 全高: 2500~3000mm	
	安全装置	テープスイッチによる衝突防止装置 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 (SSR-2) の仕様

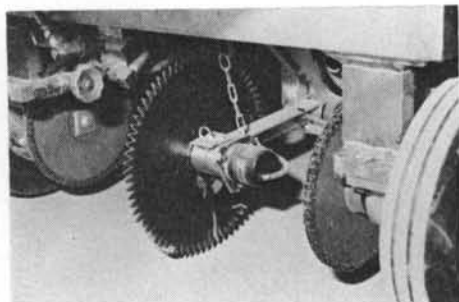


写真-6 走行距離用センサ

部を回転させることにより, ロボットの方向をその場で変更することができる。また, 走行架台の上部にはマニプレータを高さ可変に取付けられるようになっている。

走行部には走行用の4個の車輪とこれを駆動する油圧モータ, 走行距離測定用のセンサ (ロータリーエンコーダ) が設けられている。

走行台車は, 自動および手動で制御することが可能である。自動時は走行台車制御用の付帯制御盤からの指令で操作し, 手動時は付帯制御盤からの操作が行なえると

ともに, リモコンボックスからの操作もできるようになっている。

(3)制御盤

SSR-2の制御盤は, マニプレータ用のロボット制御盤と走行台車用の付帯制御盤から構成されている。ロボット制御盤は, 基本的には SSR-1 のものと同じであるが, 冷却方法を水冷から空冷に変更し, 水の供給を不要とした。また, 誤操作防止のために操作パネルの配置を一部変更している。

付帯制御盤は, 新規に製作したものであり, 台車の走行, 旋回, 位置補正, 吹付けの各動作のシーケンス制御と, 位置補正動作における位置情報の演算処理を行なわせている。制御用にマイクロコンピュータ (TI社 TMS 9995 16ビット) を使用し, メモリは ROM 16KB, RAM 4KB を装備している。

動作プログラムの入力には走行距離, 位置確認・吹付けの各プログラムナンバ, 旋回の方向をデータとしてキー入力する方式である。制御盤には累積走行距離, 位置確認センサからのデータが表示されるほか, プログラム再

	SSR-1	SSR-2	
走 行 装 置	走行方式	けん引車によりけん引	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 40m/min	高速 6 m/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)
	停止精度	±20mm	±5 mm
大 き さ ・ 重 量	重量	1,025kg ロボット 450kg 走行台車 250kg けん引車 325kg	805kg ロボット 335kg 走行与車 470kg
	大きさ	長さ 3.80m ロボット 2.08m けん引車 1.72m 幅 1.84m 高さ 2.4m	長さ 1,750m 幅 1,350m 高さ可変 2.50~2.90m
位 置 制 御	梁からの距離 梁からの平行 床からの高さ	すみ出して誘導ケーブルを貼りその上を移動、停止修正なし	アームの先端につけた位置確認用センサで梁をタッチし自己補正
	停止位置 走行距離	誘導ケーブルの上に鉄板を置き近接センサで制御 同上	コンピュータによるプログラム制御 走行センサとコンピュータで制御

表—3 吹付けロボット主要変更部分

生中にはそのときの実行モードが表示される。

(4)材料供給装置

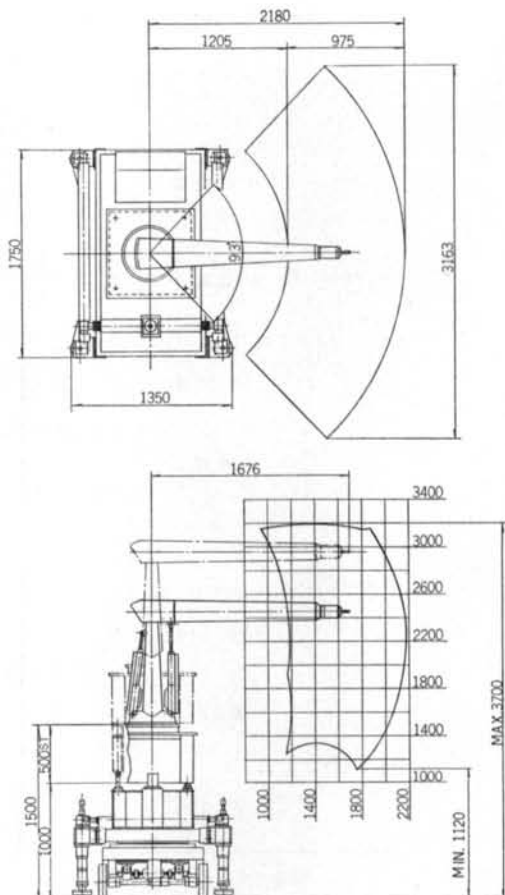
ロボットによる吹付けにおいて、吹付け厚さのばらつきに影響の大きい材料供給装置に対して改良を加えた。

圧送吹付け機のホッパ内に攪拌羽根を設け、ホッパの外側にパイプレータを取付けてブリッジの発生を防ぐとともに、ロックウールの流れを良くして定常圧送性を高めた。また、ロックウールの性状や管路内に発生する静電気に着目し、ロックウールの粒度や含油率を変えることによって圧送量のばらつきを少ないものを実験的に求めた。

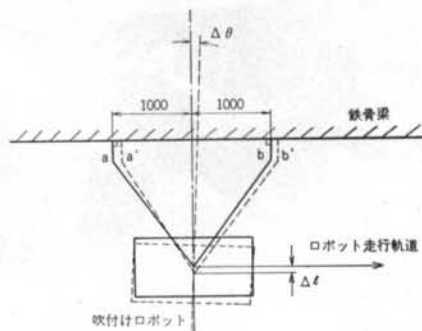
4.2 走行位置決め方法

SSR-2の最大の特長はその位置決め方式にある。SSR-1では床に誘導用のケーブルを貼り、これを頼りにロボットの位置決めを行っていた。SSR-2ではこの誘導ケーブルを不要とした。

これを実現するためにロボットを自走式とし、走行時の直進性を高めるとともに、走行距離センサを設けて自走距離をロボット自身で判断できるようにした。この機



図—10 SSR-2



図—11 位置確認方法概念図

能があれば、あらかじめロボットの位置を決めてやると後はプログラムしたとおりに動かすことができる。ただし、実際には走行時に経路のずれが生じ、正確な位置決めができない。そこで、所定の距離を進んだところで吹付け対象物である梁との位置関係を補正する機能を付加した。

図—11に位置補正の概念を示す。

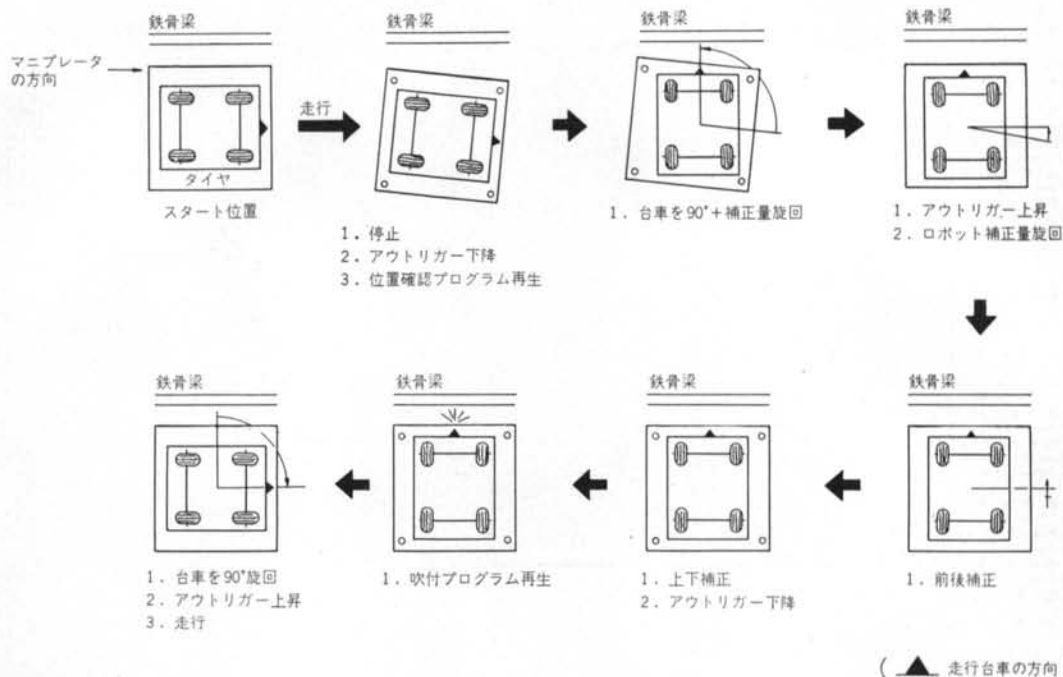


図-12 位置補正動作概念図

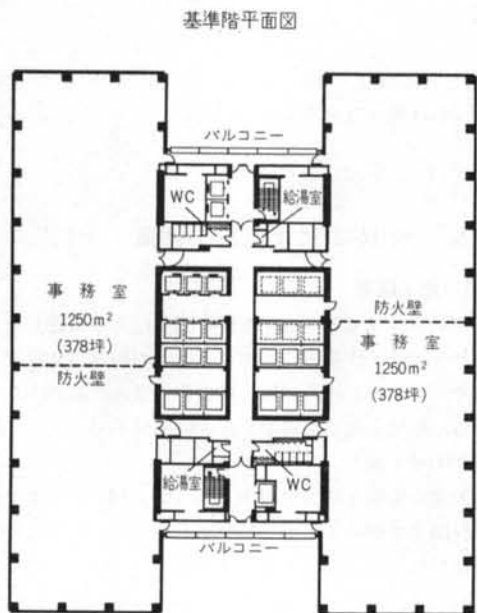


図-13 東芝ビルディング概略図

ロボットアームの先端に取付けた位置確認センサは、ポテンショメータと摺動可能なロッドから成り、ロッドの押し込みストロークで位置を確認する。梁とロボットが正しい位置関係にあるときに、ロボットの芯から梁上で1000mmずつ離れた2点に対してロッドを所定の量 e_0 (100mm)押し込み、この動作をロボットに記憶させておく。

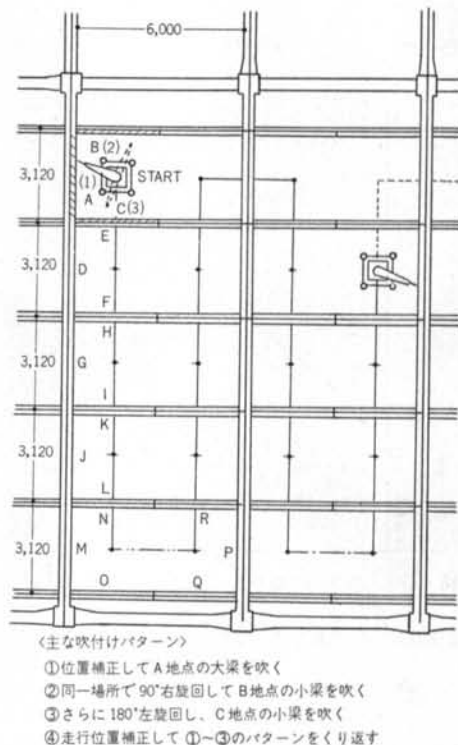


図-14 走行吹付けパターン (SSR-2)

走行後にこの動作を行ない、位置確認センサで読み込んだ値を e_1, e_2 とすると、図-11に示す位置ずれ量 $\Delta\theta, \Delta l$

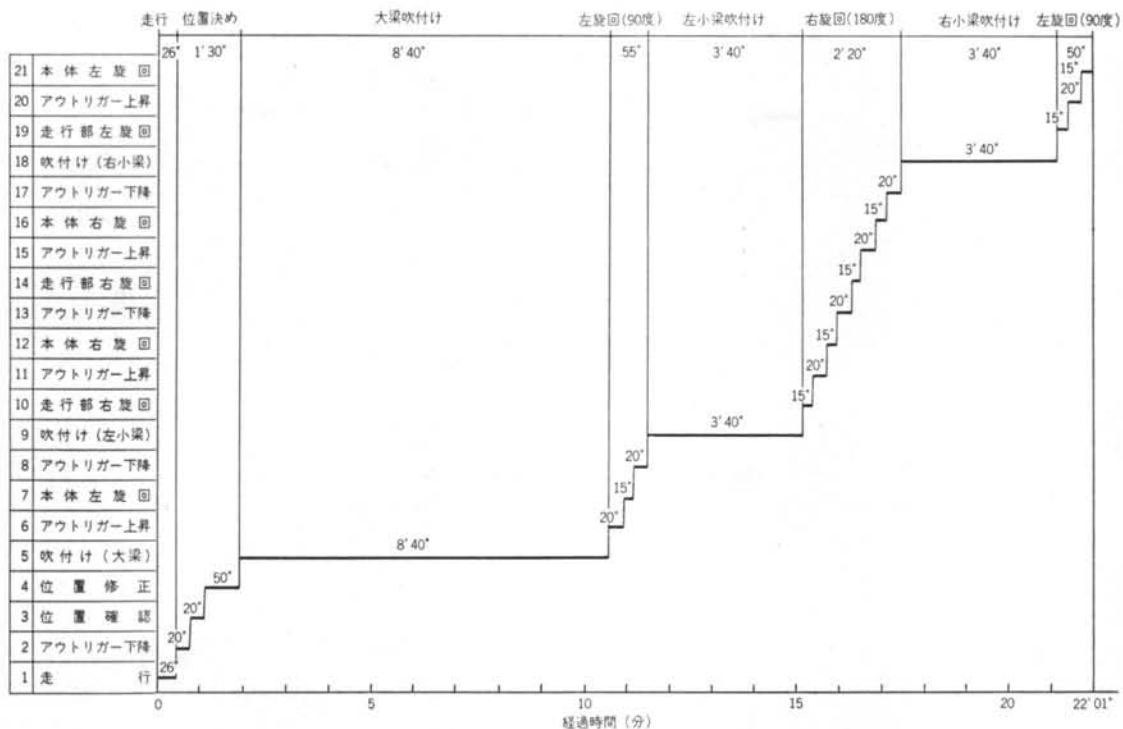


図-15 ロボットによる吹付け作業のタイムチャート (SSR-2)

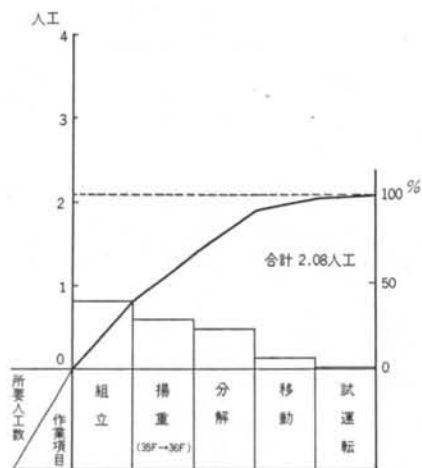


図-16 段取り作業の所要人工パレート図 (SSR-2)

は近似的に次式で求まる。

$$\Delta\theta = \arctan \frac{e_1 - e_2}{2000}$$

$$\Delta l = e_0 - \frac{e_1 + e_2}{2}$$

これらの値をマイクロコンピュータで計算し、自動的に位置補正が行なわれる。図-12に、上記の方法を用い

た位置補正動作の概念を示す。なお、SSR-2の開発に当っては神戸製鋼所の協力を得た。

§ 5. SSR-2 による施工結果

5.1 施工概要

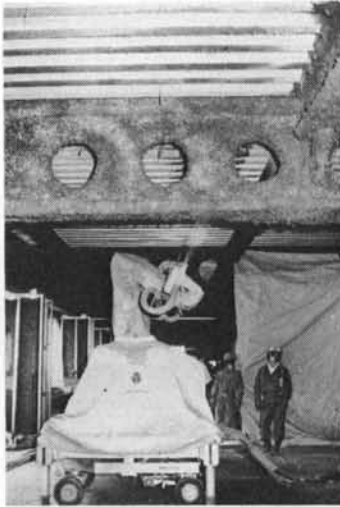
SSR-2による施工は、浜松町駅前にある東芝ビルディング (SKP) 作業所に適用した。この建物は40階建てであり、第43森ビルと同様に標準化の進んだ設計となっている。開発工程と現場の工程との関係から、35~36階の約1500㎡を施工した。

大梁と小梁を吹付け対象とし、図-14に示すような走行経路と手順にしたがってロボットによる吹付け作業を行なった。

5.2 施工結果

5.2.1 作業能率

人間とロボットの吹付け作業能率の比較を行なった。比較対象作業は準備作業と実吹付け作業とし、付随するスラリーの吹付けやコテ押え、清掃等の作業は対象外とした。その理由は、これらの作業は人間作業の場合もロボット作業の場合も共通に存在するからである。比較を



写真一七 吹付け作業中のSSR-2

行なう場合の単位面積としては図一14でのA部(大梁), B部(小梁), C部(小梁)を合せたコの字の部分を用いこれを1単位とした。

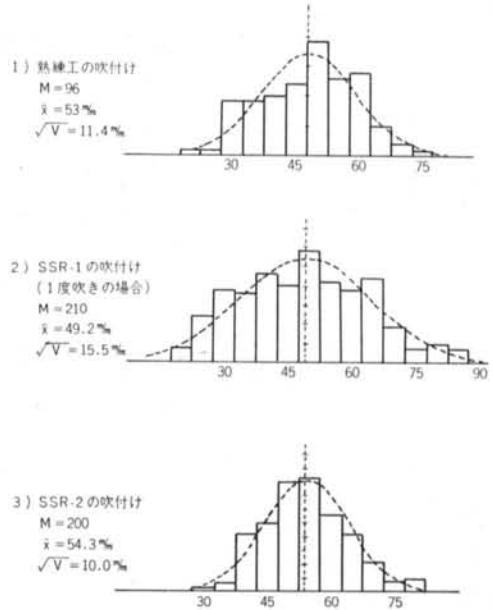
測定は測定対象をマンツーマンで観察し, 単位作業別の時間を随時吹付け作業分析用紙に記入する方法で行なった。測定結果は, 人間作業ではコの字分の1単位を吹付けるのに約51分を必要とするのに対して, ロボットでは約22分で吹付けられることが分かった。ロボットによる吹付けではティーチング作業が必要であるが, 同じパターンを繰り返すほどその時間比率は低下する。したがって, 吹付け時間だけを比較した場合ロボットは人間の約2倍作業能率が高いといえる。

図一15は, 上記の1単位をロボットで吹付けた場合のタイムチャートである。この中でロボットの走行および位置決め時間が6分あり, これを縮めることでさらに作業能率を上げることが期待できる。

このように吹付け作業の能率が向上しても, その他の段取り作業に人工を費しては意味がない。図一16は, SSR-2の段取り作業における所要人工のパレート図である。SSR-1では11.5人工(図一7)であったものが, SSR-2では約2人工に減少しており, 付帯作業を大幅に減らすことができた。

5.2.2 品質

ロボットの停止精度の向上と材料供給装置の改良により, SSR-1で問題とされた吹付け厚さのばらつきは大幅に減少した。それも特殊なものではなく普通のロックウールを使用し, 吹付け方法もSSR-1で行なった倍速による2度吹きを行わず, 1度吹きで熟練工と同等の吹付けができるようになった。



図一17 吹付け厚さのヒストグラム

図一17に, コテ押え調整前の吹付け厚さのデータを示す。SSR-1では熟練工と比較して吹付け厚さのばらつきが大きくなっているが, SSR-2では熟練工と同等の結果が得られていることが分かる。

§ 6. おわりに

SSR-1, SSR-2の開発を通じて耐火被覆吹付け作業の①作業環境を良くする, ②作業能率を向上させる, という初期の目的は達成された。今後このロボットを普及させていくためには, 以下のような問題に対して取組んでいく必要がある。

- (a) 取り扱いおよび操作の容易化とオペレータの養成
- (b) 材料供給能力の向上とロボットのプレイバック速度の増加による能率の一層の向上
- (c) ティーチング方法の改善

最近の傾向として, ロボット化に対して過大な期待を寄せる人が多い。現在の最先端のロボット技術を持ってしても現場作業の無人化は不可能に近い。しかし, 建設工事から悪環境作業をなくし, さらに生産性を高めていく手段としては, ロボット化あるいは機械化・自動化は有力なものである。これらの技術を十分に使いこなし, 建物の設計時点からロボット化を考慮して進めていくことが特に重要なことである。以上のような条件が整って初めて, 建設用ロボットが一般に普及する時代となると

確信する。

最後に、本開発を進めるに当りご協力いただいた関係

作業所の方々、各メーカーの方々、開発プロジェクトメンバーの方々に謝意を表します。

<参考文献>

- 1) 安田, 庄川他: “三田森ビル鉄骨耐火被覆工事” 日経アーキテクチュア No. 176 (昭和57年12月20日)
- 2) 吉田, 上野: “鉄骨耐火被覆吹付け作業のロボット化” ロボット No. 38 (昭和58年3月)
- 3) 安田, 岩永他: “吹付ロボットによる耐火被覆吹付工事” 施工 No. 206 (昭和58年4月)
- 4) 庄川, 山崎: “耐火被覆吹付ロボットの開発と施工” 建設の機械化 No. 398 (昭和58年4月)
- 5) 野中, 庄川, 吉田: “耐火被覆吹付ロボットの開発 (その1)” 日本建築学会大会学術講演梗概集 (昭和58年9月)
- 6) 熊谷, 末松, 上野, 山崎: “耐火被覆吹付ロボットの開発 (その2)” 日本建築学会大会学術講演梗概集 (昭和58年9月)