

43. 超高層ビル外壁塗装ロボットの開発

大成建設(株)： 坂本 成・酒井 佳人・松村 昭
白土 篤・竹野 雅博

1. まえがき

本稿に御紹介する超高層ビル外壁塗装ロボットは開発過程で多くの試行錯誤をくりかえしてきたがこの度、ようやく実現化に至った。

以下、超高層ビル外壁の塗装作業に伴う危険性、作業能率の低下、周辺への公害などの解決技術としての本ロボットについてその開発の過程、技術内容について詳述するものである。

2. 研究開発の背景と経緯

我が国において、1970年代後半以降、次々と超高層ビルが建てられてきた。これらの外壁面には、コンクリートパネルに塗装したり金属パネルを貼り付けたりする仕様の外装が多い。このうち、コンクリートパネルに塗装したビルでは、約8年のサイクルで塗装のリフレッシュが必要であると言われている。この塗り替え作業は、高所における風雨の間をぬって、ゴンドラ上でローラーかハケで多くの人員と時間をかけて行われているのが現状である。

一方、建設工事をとりまく諸環境変化の中で、工事労働者の高齢化、若年労働者の雇用難の傾向は年々顕在化し、特に熟練工、高所作業従事者は“平均年齢が毎年1才増える”といわれる状態にある。

本稿に述べる超高層ビル外壁塗装ロボットは、このような背景のもと、昭和59年の基礎研究、60年構想研究、61年実験機製作及び工場実験、62年実用機製作を経て開発を完了し本年8月1日より新宿副都心の新宿センタービル外壁において実施工事にはいった。

3. 研究開発の内容

3-1. 塗装対象の調査

今回塗装工事の対象となる新宿センタービルは、昭和54年10月竣工した地上54階、地下5階、高さ219.5m、外壁面積47,700㎡(窓部を除く)、外壁はエポキシ樹脂系復層仕上塗材を施した巾3m高さ3.6mのコンクリートパネルによるカーテンウォールでその形状は中折れ屏風状から出窓がでていう複雑なデザインとなっている。(写真-1)

壁面は9年を経て特に高層部にヘアークラック、チョーキング現象がみられ、内部コンクリートの防護を考え、本年8月ロボットの開発完了とともに工事を開始することとした。



写真-1 対象ビル外壁

3-2. システム構想の設定

本ビルの壁面は±25mmの凹凸の石割模様でこれに対する塗装手段についてローラ、ハケ、はいずれも採用不可能であることを予備実験から判断した。ローラは凹部の塗装が不十分であるばかりか材料の滴下が著しい。ハケは作業能率が悪くかつ信頼性にかけて、材料供給の自動化が困難である。従ってスプレー塗装方式にならざるを得ないが、スプレー塗装による塗料ミストの飛散対策が大きな課題であった。一般に行われるガラス面、サッシ枠へのマスクングは地上200mの高所では、強風や剝離落下を考えると不可能と判断した。刺激臭を持つ溶剤及び主材からなるミストは大気に放散されると建物の吸気ガラリから吸引される。特にレストラン系への侵入は許され得ない。ガン噴射圧115kg/cm²では平均20%のリバウンドがあり、これを回収する必要がある。また、ミストと同時にガンや周辺部品からの塗料の滴下の問題もある。

我々研究グループは吸引ファンによる検討と実験を繰り返したが、ロボットの軽量化、稼働率の問題からこの方法は断念した。最終的に採用したのは我々がスタンプ方式と呼ぶ方式でフードの開口面周辺に溶剤耐性に富みかつ柔軟性を備えたパットを設置、壁面にこれを押し当て、この中でガンの旋回噴射、ミストの沈静を1サイクルとして行う方法である。パットの塗面上の痕跡の問題はパットの表面処理、押付力、及び塗料の調合により解決することが出来た。

3-3. 建築施工精度と機械精度のマッチング

建築の施工精度には限界があり、今回特に問題となった外壁パネルの水平方向の取付寸法誤差は抜き取り実測の結果、最大±7.5mmであった。

この結果ロボットの昇降をスムーズに行うためにはレール内のガイドローラを実際のガイド巾より最低15mm小径化する必要が生じた。しかし、ロボットは270kgのフード部をX、Z方向に移動させ塗装を行うため、重心が常に変化する。空隙が生ずることはロボットと外壁パネルとの相対的位置決めを不可能とし、サッシ又はガラス面へのフードの衝突の危険が派生する。一方工場において成型生産された外壁パネル自体は製作精度が±2mmと比較的高精度であった。我々はこれに着目し、ロボットとパネルの相対位置の精度を確保するためロボットが所定レベルに停止した後、ロボット両端に設けられた空圧シリンダーにより、巾3mのパネルを抱き込む把持機構を設けることとした。この結果、実施工事ではほぼ満足のいく押し当て精度±3mm以内、を得ることが出来ている。

4. 技術の内容

4-1. システム構成

本システムは屋上のバラベットに沿ったレール上を走行するルーフカーとこれに吊下され、外壁のガイドレールに沿って昇降する塗装ロボットに大別される。(図-1、表-1) 塗料及び動力はルーフカーよりロボットに供給される。

4-2. ロボット部

ロボット部は機器を搭載した搬機とその下部に取り付けられたレールに沿って左右に動くフード部分の二つのブロックから成っている。

搬機には制御盤とスプレーガンの開閉やエア・アクチュエータを駆動させるためのコンプレッサー、

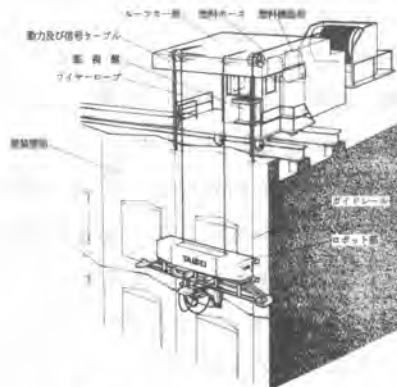


図-1 システム構成

表-1 構成機器仕様一覧

屋 上 部 分		ロ ボ ッ ト 部 分	
項 目	仕 様	項 目	仕 様
ルーフカー	吊下荷重 1.5ton 下降スピード 8m/min 上昇スピード 16m/min 使用電力(ウインチ) 7.5KW(400V)	全体寸法	5 m×1.6 m×2.0 m (L×W×H)
塗装機器	使用電力 7.5KW(200V)	制 御	使用電力 5 KW(200V) プログラマブルコントローラ (NC制御併用)
塗装タンク	80ℓ 2基	センサー	昇降距離、壁目地、壁面判別、他
塗装ポンプ	13ℓ/min MAX	安全装置	機器固定ロック自動解除他
		コンプレッサー	2.2KW(200V)
		レスサ	
		フ ード	750mm×600mm (W×H)
		スプレーガン	エアレスタイプ 8基

余剰塗料（フード内に付着した塗料ミストを回収したもの）用のタンクが搭載されている。搬機前面には建物に予め設けられているガイドレール内を走行するガイドローラと塗装時にロボットの姿勢を安定させるため壁面に搬機を固定させるロック装置が装備されている。

作動部分には、四種類の駆動装置がある。フード（スプレーガン内蔵）を左右に移動させる走行用モータ、前後に移動させる前後用モータ、フードを壁面に垂直に向けるためのフード揺動用アクチュエータ、そしてスプレーガンの揺動を行うガン揺動用モータである。

スプレーガンは8基有し、ミスト飛散防止用のフードの中に取められている。8基のスプレーガンは2基づつセットになっており、この2基は凹凸のあるテクスチャーを塗り残しなく塗装するため同一エリアを違った角度から塗装するように調整されている。又、窓を含む部分と含まない部分の塗装パターンが異なるため窓の有無を検出するセンサーを有している。（図-2、図-3）

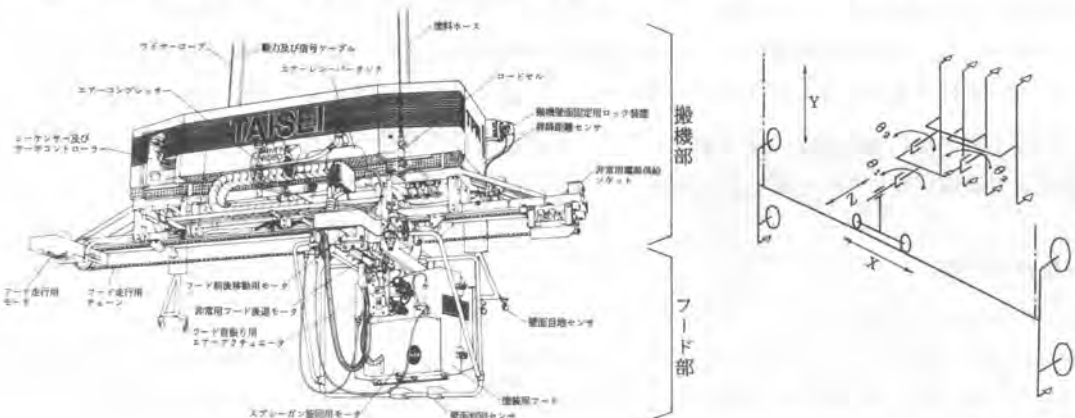


図-2 本体の各機器名称

4-3. ルーフカー部

建物の屋上にはロボットを2本のワイヤーで吊り下げ、上下移動させるルーフカーを設置する。ルーフカーにはワイヤ

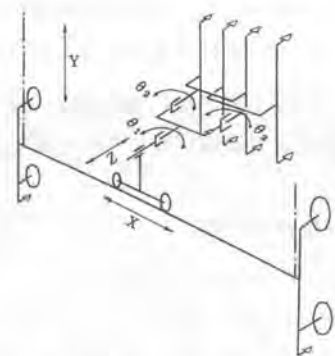


図-3 ロボット骨格図

	作動(許容精度)	駆動方法
θ_1	左右25° (±0.5°)	エアアクチュエーター
θ_2	左右50° (±1.0°)	サーボモーター
X	2,000mm (±1.5mm)	サーボモーター, チェーン
Y	200m	ウインチ
Z	700mm (±2.0mm)	サーボモーター

一巻取り用ウインチと電力通信用ケーブルを巻き取るリールが搭載されている。又、ロボット監視盤が搭載されている。オペレーターはここで監視体制をとる。ルーフカーに搭載される塗料機器は塗料ポンプ・塗料タンク（上塗り用・下塗り用）・ポンプ駆動用コンプレッサー・塗料ホース巻き取り用リールから成る。

4-4. 制御システム

本ロボットの制御は、2組のプログラマブルコントローラで行われており、1組はロボットに搭載され、1組は屋上監視盤の内部に設置されている。

ロボット本体での各センサーからの信号処理及びサーボシステムのコントロールはロボット内のコントローラで行い、システム全体の制御は屋上監視盤で行っている。ルーフカーとロボットの間は配線を少なくする目的から多重伝送を行っている。但し、ロードセルからの信号は、応答時間を短くする必要性から、専用線による非常発信を行っている。（図-4）



写真-2 稼働状態

5. 本技術の評価

当ビルにおける作業方式の違いによる諸比較は以下のようなになる。

表-2 本機と人力との比較評価

	ロボット（1台）方式	人力、ゴンドラ（3台）方式
作業員数	2人 ⁽¹⁾ ×2交代=4人	4人×3台=12人
塗装能力	1980㎡/日（昼夜）	60㎡ ⁽²⁾ /日人×12人=720㎡/日（昼）
塗装回数	下塗、上塗、計2回	下塗1、上塗2 ⁽³⁾ 計3回
作業日数 ⁽⁴⁾	実働48日間	実働198日間

(1)オペレーター、塗料調合員 (2)マスキング作業含む (3)塗膜厚保障上2回塗必要
(4) 両者の最大能力の比較

6. あとがき

本技術の延長上には次のような用途の展開が考えられる。

壁面クラックや内部剝離の検査、診断、及び洗浄、表層剝離である。これらのリフレッシュ工事に關しては、建設省、建築産業ビジョン研究会の昭和61年度報告「21世紀への建設産業ビジョン」の中で、昭和65年度には建築総需要の11.3%、3兆5000億円の市場があると予測され、関係企業においても、専門セクションや新規会社を設立して、準備体制を整えつつある。

高所危険現場での無人作業はロボットの大きな使命の一つであり、今後とも可能な部分から各分野の御指導を仰ぎつつ研究を続けていく所存である。諸兄の御理解御鞭撻をお願いして筆をおきます。

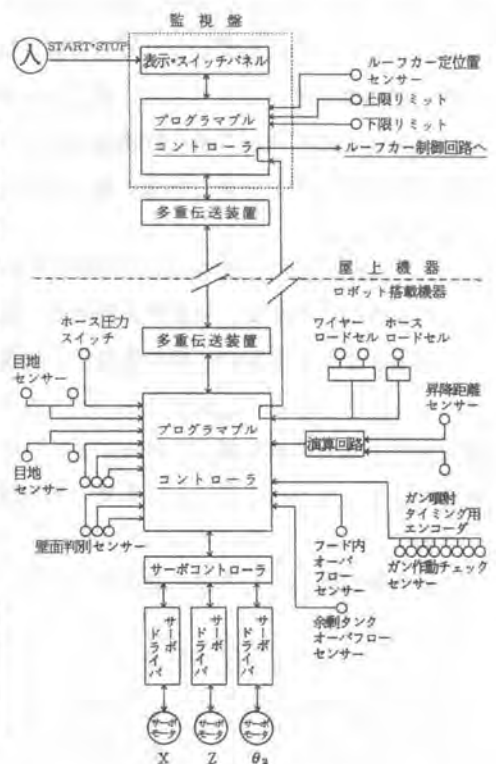


図-4 制御システム概要図