

27. ラジオ放送用アンテナ塗装ロボットの開発

大成建設㈱：*村山 達雄，西村 正宏

1. はじめに

本システムはAMラジオ放送用アンテナの補修工事の効率化、工事期間の短縮、高所作業の削減、塗装品質の向上などを目的とした塗装ロボットである。

ラジオ放送用アンテナの多くは支線式円管柱と呼ばれるタイプのもので、数段に構成されたワイヤ支線によって支えられている。アンテナ本体は鋼管で作られており、経年変化によって塗装が剥げ落ちたり、錆が発生するので、定期的な保全のための塗装が必要となる。

この種のアンテナのうち送信電力の大きなもの（10kw以上）の補修塗装（再塗装）工事は、電磁界が塗装作業者に与える影響を考慮して、放送休止時間帯に実施している。工事は放送休止時間となる夜間になる場合が多く、さらにその時間は限られていること、高所作業を行なう塗装作業者の確保が難しいこと、作業工程が天候に左右されやすいことなどの問題点を抱えている。

これらを解決するため、ラジオ放送用アンテナ塗装ロボットの開発を日本放送協会と共同で行ない、実用化した。

本報では、システムの概要、構成機器、組み込まれている特徴的な技術、工事への適用結果について報告する。

2. システムの概要

2.1 ロボット作業の範囲

ラジオ放送用アンテナ補修塗装工事の一般的な作業内容とロボットに行なわせる作業の範囲を図1に示す。図1に示す作業のうち、素地調整（ケレン）作業やタッチアップ作業はアンテナ全域に対して連続して行なわれる作業ではないので、ロボット化による作業能率の向上が困難であり、塗装ロボットによる作業の対象範囲から外した。当ロボットの開発は補修塗装工事の主要作業である塗装作業のロボット化に重点をおき、下塗り材塗布作業から上塗り材塗布作業を対象範囲とした。

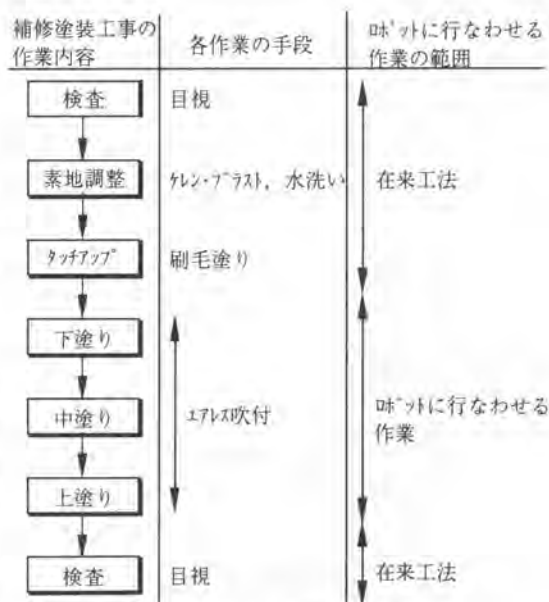


図1 ロボット作業の範囲

2. 2 システム構成

システム構成を図2に示す。本システムは昇降移動して吹き付け塗装を行なう塗装ロボット、塗装ロボットを昇降させるウインチユニット、システム全体を制御する制御ユニット、塗料を塗装ロボットに供給する塗装ユニット、および動力源のパワーユニットにより構成される。

その他の設備として、塗装ロボットにロープを中継するためにアンテナ頂部に取りつけるシーブ、ロボットの導入前に梯子に取り付けておく昇降用ガイドレール（作業者の墜落防止用、市販品）がある。

図2のように塗装ロボット、ガイドレールおよびシーブ以外の機器類は、すべて地上に設置される。

本システムの概要を以下に示す。

①塗装ロボットはロープで吊り下げられ、アンテナ頂部のシーブを介して地上に設置されたウインチにより、毎分2～24mの速度で昇降移動する

②塗装ロボットから伸びている塗装アーム上に搭載されるスプレーガンで、エアレス式塗装を行なう

③塗料は塗料ホースを介して地上からポンプによって圧送する

④1度の下降で、アンテナの全周または一部に対して1層の吹き付け塗装を行なう

⑤アンテナに取り付けられたガイドレールを利用して、塗装ロボットのアンテナに対する位置・姿勢を一定に保つとともに、ロープの弾性による上下方向の振動を減衰させる

⑥支線部および中間歩廊の開口部を通過する場合、塗装アームを背中側に開き、これらとの干渉を回避する

⑦作業に必要な周辺機器（塗料タンク・ポンプ、コンプレッサ、ウインチ、塗料ホースリール、制御装置など）は、アンテナ基部周辺の地上に設置する

⑧塗装ロボットと制御ユニット間の通信は、無線による双方向通信で行なう

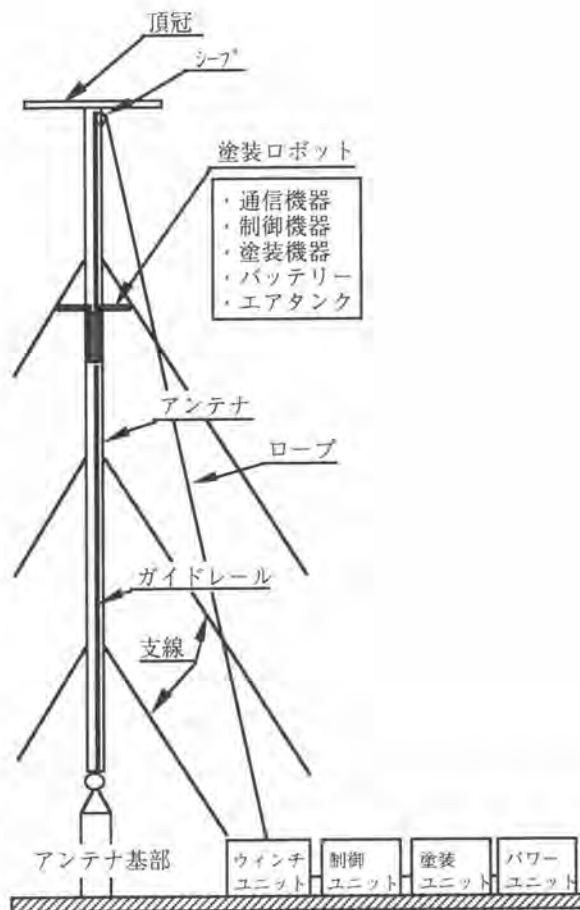


図2 システム構成

3. 構成機器

3. 1 塗装ロボット

塗装ロボットは写真1に示すように、アンテナの中間部に設置されている回廊の開口部（作業者用）を通過するため、作業者とほぼ同じ大きさの胴体と塗装アームにより構成される。胴体の背中側にはエアレススプレーガンのノズルを開閉するためのエアタンクを装備しており、塗装ロボットの外寸（塗装アーム、エアタンクを除く）は高さ1,700mm、幅300mm、奥行き300mm、重量は約250kgとなっている。エアレス塗装方式は強風下での塗装作業が可能、装置が小型・軽量、機構が簡単などの特長があり、本システムに採用した。

塗装ロボットのアンテナへの昇降移動は、梯子に取り付けられたガイドレールをガイドとして行なう。ガイドレール内を転動する塗装ロボットのローラーが、ガイドレール内で前後・左右4方向の移動を拘束している。

ラジオ放送用アンテナは数段のワイヤ支線により支えられており、また塗装ロボットの上部に設けられた塗装アームはアンテナを取り囲む形状になっているため、昇降移動時にアームが支線と干渉する。これを避けるために塗装アームは可動式となっており、図3に示すように支線部分では塗装ロボットの背中側に開いて支線を回避する。

塗装ロボットの操作・制御は地上の制御ユニットより、特定小電力電波を用いた無線で行なう。また塗装アーム開閉などに用いる電源には、塗装ロボットに搭載されているバッテリーを用いる。



写真1 塗装ロボット

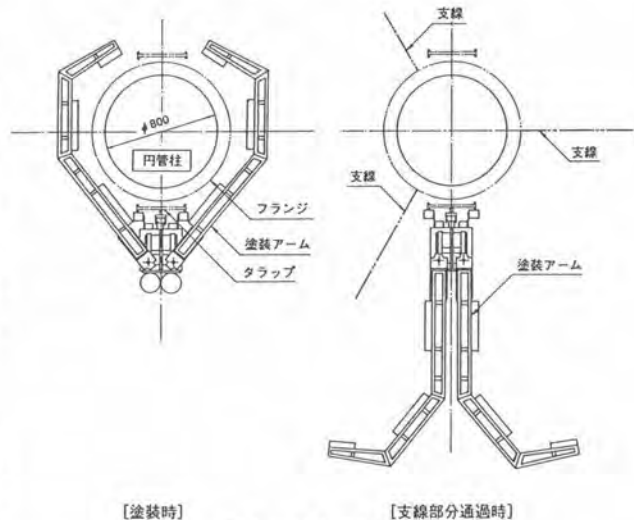


図3 支線の回避

3. 2 ウィンチユニットおよびロープ

地上に設置されたウィンチユニットにはインバータ専用電動機が搭載されており、制御システムからの信号に応じて塗装ロボットを2~24m/minの任意の速度で昇降させる。

ロボットを吊り下げているウィンチロープには、緊急放送時に送信されるAM電波に影響を与えぬように樹脂ロープを選択し、さらにロープの伸びが小さいアラミド繊維ロープ（ケブラーロープ）を採用することで、塗装ロボットの位置・速度制御を行ないやすくしている。

使用しているケブラーロープは表1に示すように、ナイロンロープの約9.5倍の弾性係数を持つ。

表1 ケブラーロープの特性

ロープの種類	弾性係数 (kg/mm ²)
ケブラーロープ	5980
ナイロンロープ	630

3. 3 塗装ユニット

塗装ユニットは塗料を塗装ロボットまで圧送するためのポンプユニット、塗料ホースを電動で巻き取るホースリールユニットに分かれている。

塗装方式は塩化ゴム系の塗料を高圧（100~150kg/cm²）でノズルまで圧送し、ノズルより噴射・霧化させることで塗装を行なうエアレススプレー方式を採用している。また塗料ホースはウィンチロープと同様にAMラジオ放送に影響を与えぬように絶縁性のあるものを用いた。

塗料の付着効率は圧送圧力、塗料ノズルの口径、ロボットの下降速度、作業の環境条件などにより異なり、適正な圧送圧力や下降スピードなどの塗装仕様を模擬柱を用いた事前の塗装実験より決定した。

3. 4 制御ユニット

制御ユニットからの操作によりウィンチユニットの作動、塗装ロボットのスプレーガンの開閉動作、塗装アームの開閉動作などの各構成機器の制御を行ない、その指示は自動・手動操作を選択できる。また塗装ロボットはリモートコントローラを搭載しており、塔上の作業者によるスプレーガンの開閉動作や塗装アームの開閉動作が可能である。

制御システムと塗装ロボット間の信号伝達方式には特定小電力無線による双方向通信方式、リモートコントローラと塗装ロボット間には有線送受信方式を採用した。

4. 特徴的な技術

4. 1 制動装置（ダンピングシステム）

この塗装ロボットが作業対象とするアンテナは最大240mであるため、実際の施工においてはウィンチからロープ先端（塗装ロボット）までのロープ長は500mにも達する。このようにロープ長が大きい場合には、塗装ロボットが移動する際、ロープの粘弾性とウィンチ始動時の加速度による制御応答性が問題となる。これは、ロープの粘弾性を要因とするロボットの上下方向の振動に関する

ものであり、ロープ内の縦振動に伴い先端の重量物も振動するため、塗装ロボットの昇降速度は一定にならない。この塗装ロボットの縦振動は塗装品質に対し、塗装膜厚の不均一などの悪影響を及ぼす。この影響を軽減するため、塗装ロボットの内側（腹側）には、この上下方向の振動を抑えるための速度比例型の制動装置（ダンピングシステム）を搭載した。

図4に示すように塗装ロボットの内側に設置されたローラーは発電機と連結しており、このローラーをガイドレールに押しつけ、ロボットの昇降の際に生じる発電機の発生電流を抵抗に流すことで、ローラーの回転速度に比例した抵抗がローラーとガイドレール間に生じ、ロープの伸縮および移動開始時に発生する振動をすみやかに抑えて円滑な昇降移動を得ることができる。

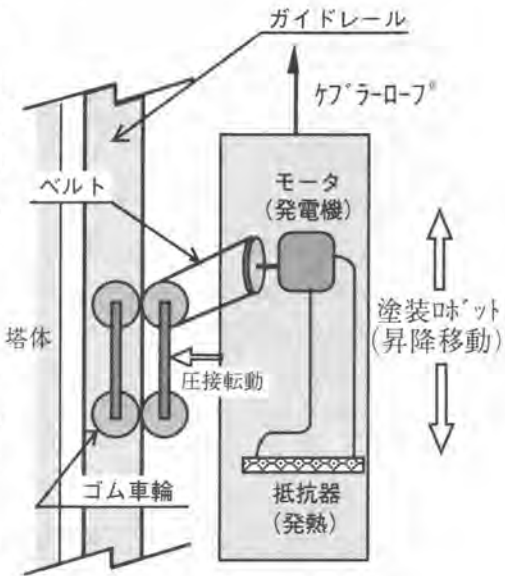


図4 抵抗発生装置

4.2 塗装ロボットの軽量化

ロボットは地上から最大240mまで上昇するため、ロボットと地上間で連結されているケーブル・ワイヤ類が多いと、その重量はロボット本体重量に対し大きな割合を占める。これを避けるため、ワイヤレス化を積極的に取り入れて塗装ロボットの軽量化を図った。図5に示すワイヤレス化によりロボットと地上を連結するものは、吊りロープと塗料ホースのみとした。

軽量化の内容を以下に示す。

①ロボットの電源

本体内に充電式バッテリーを搭載
(約3日分の作業が可能)

②塗装ガンの作動用エア源

本体背中に高压空気タンクを搭載
(約1週間分の作業が可能)

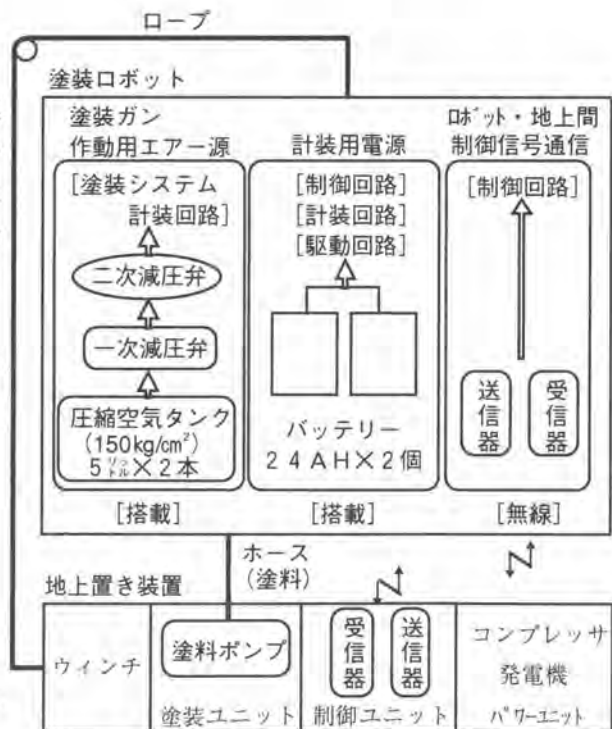


図5 ワイヤレス化

③地上とロボット間の通信

特定小電力無線による双方向通信

④構造

塗装アームおよび胴体をトラス構造

(すべてをアルミニウムで構成)

5. 工事への適用

5. 1 工事概要

本システムを適用したアンテナは高さが149.5m、直径800mmの円管柱形状で、3方に伸びる5段の支線により支えられている。ロボットによる補修塗装工事は1995年9月中の3日間の夜間放送休止時間帯(1:00AM~5:00AM)に、アンテナ基部から第2段支線までの高さ約50mの区間に対して、下地調整後の中塗りおよび上塗り(白及び赤)工程が行なわれた。

5. 2 塗装工事の状況

ロボットによる塗装作業はまず1日目に薄い桃色の中塗り工程を行ない、塗料ユニットの塗料を入れ換えた後、2日目に上塗りの白色塗料を全面に吹き付けした。前日と同様に塗料を入れ換えた後、3日目に赤色塗料を吹き付けた。このとき、2日目に塗装した白色部分との塗り分け部分には事前にテープによるマスキングを行なって、塗り分け境界部を仕上げた。上塗り工程の塗装状況を写真2に示す。

今回の工事にロボットを適用した結果、赤・白の塗り分け状況や膜厚、塗装ロボットの稼働状況および施工速度などは十分満足いくものであった。

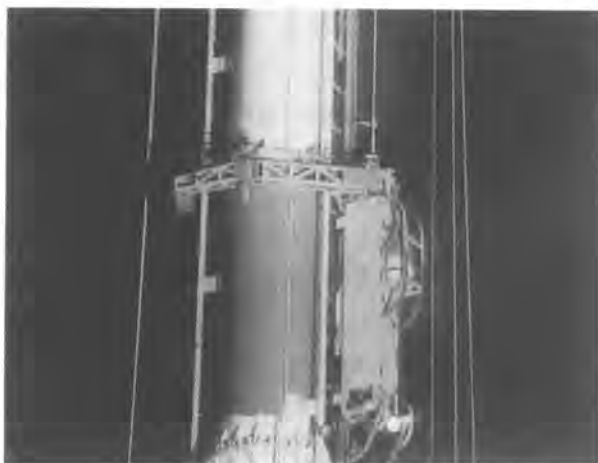


写真2 塗装状況

6. おわりに

本システムに含まれる要素技術は次に示す作業・用途への転用が可能と考えられ、今後さらに研究を進めていく所存である。

①塗装以外の作業(検査、下地処理など)への適用

②他の構造物(煙突、橋脚、送電鉄塔など)への適用