

## 壁面昇降ロボットの開発について (第4報)

## —— 実用機の改良 ——

## Development of an Exterior Wall Climbing Robot (Series 4)

## — Improvements in Practical Use Model —

岸 田 順 次\*

加 藤 和 利\*

吉 田 義 実\*

## 概 要

建設技術の進展や都市機能上の要請から、建物が大規模・高層化し、火災の形態も平面的な広がりから立体的に広がる様を呈している。

また、生活様式や建築資材の進展に伴い、不燃化や機密性の高い建物が一般的なものとなってきている。

この様な建物で火災が発生すると、多量の煙と有毒ガスが建物内に充満し、建物内部からの消防活動は極めて困難となる。

一方この場合、はしご車の活動が有効ではあるが、部署障害や伸べい長の限界もあることから、新しい消防機材の研究開発が望まれていた。

壁面昇降ロボットは、建物外壁面を昇降し、消防隊の支援を行う目的で、平成2年度から研究開発を始め、平成4年度には実用機を製作し、平成5年3月に四谷消防署に配置した。

第1報では試作機の検証結果、第2報ではロボットの作業装置の試験結果、第3報では実用機の製作結果について報告した。

本報では、実用機の検証結果及び消防隊員の訓練を通して操作性、信頼性及び機能性に着目して改良した結果を報告する。

Buildings and structures in Tokyo are being built bigger and higher and more airtight and fire resistant. There trends make fires in them much more difficult to fight.

As the fire protection support equipment at high-rise buildings where aerial ladders cannot be placed, the exterior wall climbing robot had been developed since 1990 and was assigned to a fire station in 1993.

This paper reports improvements in the robot with respect to the lead time for climbing, the mobility of the robot carrier and the maintenance.

## 1 はじめに

壁面昇降ロボットは、その特殊性もあり、研究開発当初より各分野から注目され、特に消防分野においてはその有益性が期待されていた。

開発担当者としては、消防署に配置後、このロボットが実用面においてどの様な成果を挙げ、また実用面でどの様な問題を提起してくれるかを確認することが必要であると考え、消防隊の平素の取扱訓練を通して評価することとした。

その結果、ロボットシステムとしての操縦性、信頼性、確実性に改良要素が認められたので改良を施し、完成度の高い壁面昇降ロボットの実現を図った。

## 2 改良目的等の明確化

改良するにあたり、改良計画(推奨システム)を策定するための改良目的を明確にする必要があり、「ワークデザイン」という手法を使用した。

ワークデザインとは、対象をある作業システムとして取扱い、作業の改良、改善や設計を行う手法を言う。

従来の分析的な方法とは異なり、対象となるシステム

\* 第三研究室

の調査、分析を行わずに、デザインアプローチの方法を採用している。

まず、対象となるシステムの機能を把握し（そのシステムは何のためにあるのか、その作業は何のために行うのか等を明確にしていく。）、その機能を満たす理想のシステムを考え、その理想システムから現状の諸条件を考慮して、推奨システムを作成する方法である。

#### (1) 機能の展開

機能とは目的を果たすための具体的な活動を言う。

機能展開とは目的を機能的な表現に変えて追求（例えば、そのシステムは何のためにあるのか、その作業は何のために行うのか）することを言う。

壁面昇降ロボットが壁面を活動の場とすること、壁面上での高速移動を実現するためにウィンチに牽引されて壁面上を目標階近くまで滑走すること。目標階近くから自力吸着歩行すること。落下防止として建物屋上に支持具を仮設することを不変の原則として、以下の三つの機能を選択した。

- ア 消防隊員が内部進入するための環境を作ること。
- イ 消防戦術を決定するための情報を得ること。
- ウ 消防隊員及び要救助者に指示、命令等の通話ができること。

#### (2) 理想システム

理想システムとは、求められる機能を満たすためのシステムを言う。

壁面昇降ロボットを消防署に配置した後の訓練を通し、理想システム像として次の三つについて限りなく実現していくものとした。

- ア 設定にかかる時間ができる限り短いものであること。
- イ どんな場所でも使用できるものであること。
- ウ 安全に使用できるものであること。

理想システムとは設計の段階(設計的アプローチ)で諸条件と併せ、理論的に可能なのか、開発すれば可能なのか、現存技術を活用すれば可能なのかについて検討し、具現化が図られるものである。

#### (3) 制約

制約とは、推奨システム(改良計画)を決定する過程において、理想システムを現実のシステムにするために設ける制約である。

今回は壁面昇降ロボットシステムを扱う隊の編成は2個小隊7名とし、対象となる建物のサンプルケースを考え、この中でロボットの運用と確実性、信頼性の向上について考えた。

- ア 設定にかかる時間ができる限り短いものである。

高層ビル火災の場合、ロボットがその機能を果たすまでの時間がどの程度なら許容できるかを隊員の

行動を分析検討した結果、許容目標時間を30分とした。

ここで、ロボットが機能するまでの時間とは、ロボット一式をコンテナに積載した資材搬送車が現着し、コンテナを地上(車道上)に降ろした時から、ロボットが目標階に到達し、ガラスを切断するまでの時間である。

但し、建物屋上に支持具を地上から搬送するのに要する時間は含まれないものとした。

- イ どんな場所でも使用できるもの

#### (イ) 被災建物周辺

ロボットを建物に昇降させるためには、コンテナを降ろした車道から段差を踏破して歩道を経由し、建物に接近しなければならない。

したがって、壁面昇降ロボット本体等を積載した運搬車や地上制御盤の走行性が要求され、新宿区付近の車道と歩道の段差を調査した結果、概ね5cm程度の凹凸を踏破できるものであれば建物への接近が可能であるとした。

#### (イ) 壁面昇降ロボットの吸着歩行性能の向上

現状の吸着歩行に係る機構、構造は完成度の高いものであることから改良要素部分の検証を行い、これら機構や構造を大幅に変えることなく、吸着歩行性能の向上を図ることとした。

#### ウ 安全なものであること

安全性については操作上の安全性や取扱い上の安全性等が考えられるが、この点については改良前から明確な指標を決めることができないことから、改良に係る検討・設計の段階で併せて検討することとした。

#### (4) 推奨システム(改良計画)

推奨システムとは、理論システムに資金、工事期間及び生産能力等の諸制約を加味した上で決定されるものである。

したがって、完成度の高い壁面昇降ロボットの実現を図るため、次のようなシステムを推奨することとした。

現状の壁面昇降ロボットシステムのより一層の性能向上に向け

「コンテナへの収納固定や積み降ろしが容易に行え、搬送性、走行性に優れ、設定までの時間が短く、建物壁面でのロボットの吸着歩行ができるだけ多くの壁で確実にでき、求められる高所作業を実行し、トータルシステムとして安全で信頼性のあるシステム」

### 3 改良点の抽出

改良点の抽出は、理想システムと現状システムの差を改良点とし、下の(1)~(3)の中から抽出することとした。

- (1) 時間短縮に係る部位
- (2) 搬送性、走行性及び壁面上での確実性、信頼性に係る部位
- (3) 安全性に係る部位

### 4 改良

- (1) 時間短縮に係るもの

ア コンテナへの固縛及び積み降ろしに関すること。

(ア) 積載品のコンテナ固縛方法は、従来は積載品のキャスターを固縛する装置を装備し、各々レバーを操作して固定解除する方式のものであったが、積載した位置が若干ずれただけでもレバーの摺動性が悪く何回も積載位置の修正を行う必要があった。

そこで固縛装置を一新し、運搬車、地上制御盤の固縛方法については、写真1に示すドアロック方式のものを採用した。これは運搬車、制御盤の底部に取り付けられたフックが、固縛装置に挿入し自動的にロックされるものである。

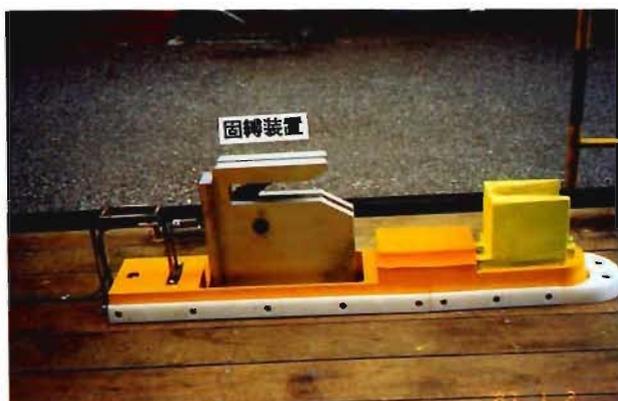


写真1 地上制御盤の固縛装置

固定の解除には、運搬車、地上制御盤共コンテナの左側前方に設けた写真2に示す解除レバーを引くことにより解除することができるものとした。

(イ) 従来は、運搬車や地上制御盤を固縛装置の適正な位置へ導く装置がなく、位置決めをするのに時間を要したが、写真3に示した固縛装置誘導ガイドを設けたことにより容易に適正な位置に導かれるようになった。

(ウ) ロボット一式を積載した運搬車は総重量が725kgf



写真2 解除レバー

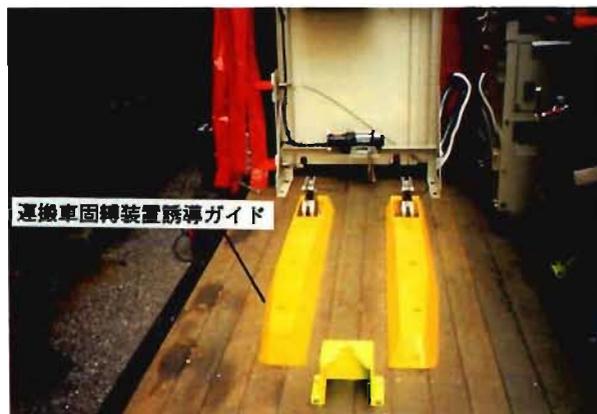


写真3 固縛装置誘導ガイド

ある。従来は人力により積み降ろしを行っていたが、写真4及び写真5に示すように専用ウィンチを装備することにより省力化を図り、併せて時間の短縮を図った。

なお電源は車両に装備されている電源取り出しアウトプットからワンタッチ方式で接続できるよう互換性のあるものとした。

(エ) 屋上に仮設した支持具から垂下するワイヤーロー

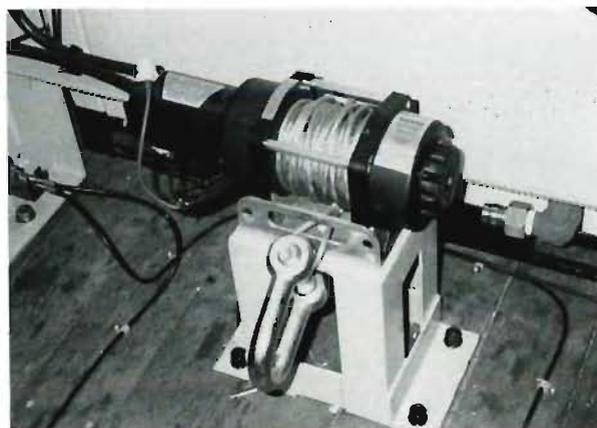


写真4 運搬車積載用ウィンチ



写真5 運搬車積載状況

は従来80m 1本を装備し、運搬車内に収納していたが、建物の高さにより長さを選択できるように60m、40mのワイヤーロープを用意し、各々搬送に便利のように、背負子に取り付けた状態で積載する方式とし、手元レバーの操作で積載を固定、解除ができる構造とした(写真6)。

又、屋上支持具設定に必要なケブラロープ等を一式収納しているザック(背負子付き)も同様の方法で積載した(写真7)。

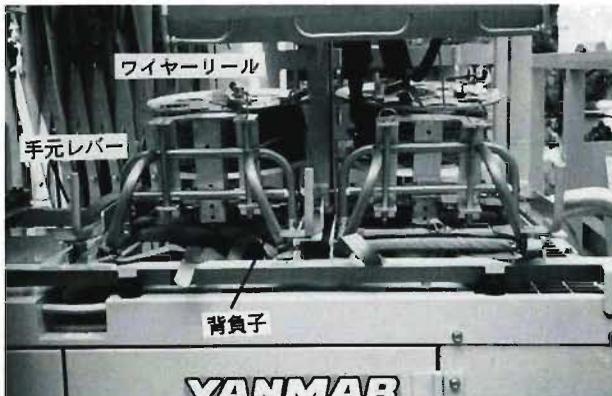


写真6 ワイヤーロープの積載状況

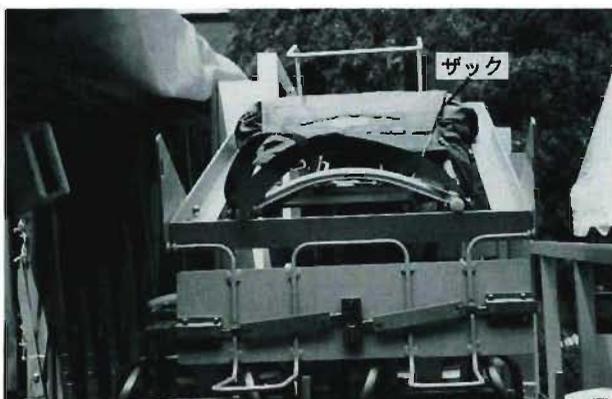


写真7 ザック積載状況

(オ) 屋上支持具については、従来屋上に搬送するための背負子は運搬車に積載し、支持具は別にコンテナ車に固定し、支持具を屋上に搬送する時は、支持具を背負子に取り付ける方式であったが写真8に示すとおり背負子に取り付けた状態で収納固定する方式とした。

なお、固定解除は、バネを利用したレバー装置により行う。



写真8 屋上支持具の収納状況

イ 装備品の統廃合について

従来ロボットの発進場所にはロボットを積載した運搬車、制御盤、ドラムに巻き付けたエアホース、ドラムに巻き付けた電源・制御ケーブル、ウインチを各々搬送しなければならなかった。

改良後は、ロボットの発進場所に必要なものは全て、運搬車及び制御盤に積載することとした。

具体的には

(ア) ドラムに巻付けていたエアホース(写真9)は写真10に示すように、迅速に展開を可能とするため8の字のホースバック方式にして運搬車に積載した。



写真9 エアホースドラム



写真10 エアホースバック

(イ) ドラムに巻き付けていた電源制御ケーブル（写真11）は写真12に示すように運搬車の後面に8の字にして垂下装備した。この積載方法により電源・制御ケーブルを、迅速に地上に降ろすことができ、また8の字にしたことにより、ねじれることなく展張することが可能となった。

なお、予備ケーブルは写真13に示すように、制御盤の側面に専用ラックを設け8の字にして垂下装備した。

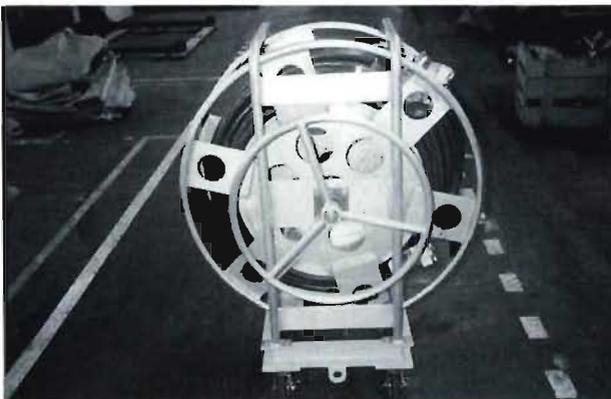


写真11 電源・制御ケーブルドラム



写真12 運搬車（後部）



写真13 制御盤

ウ 結線作業に関すること

基本的にケーブル類の結線作業を極力なくし、どうしても残った部分についてのみ結線作業を行うこととした。

具体的には次のとおりである。

(ア) 電源制御ケーブルは、従来その都度ロボット本体の背面に取り付けたコネクタに長尺の電源・制御ケーブルを結線していたが、この作業がかなりの時間を要した。そこで電源・制御ケーブルは写真14に示したように常時結線した状態でケーブル支持棒を経由して運搬車の後面に8の字で垂下収納するタイプとした。



写真14 ロボット背面

(イ) 地上制御盤から展張する「手元操作盤」及び「単動操作盤」についても常時結線し、収納は、地上制御盤上とした。

(ウ) ロボット本体及びウィンチ間の電源ケーブル及び制御ケーブル、ウィンチがロボットを牽引するためのワイヤーロープについても、従来その都度結線していたものを、常時結線した状態で収納することとし、運搬車の前面に写真15に示すようにウィンチ収納架台を設けた。



写真15 運搬車

- (エ) ロボット本体に常時結線した電源・制御ケーブルは、その都度地上の制御盤に結線する作業が残るがコネクタをバネネットタイプに交換し、結合、離脱がワンタッチで行えるようにした。
- (2) 搬送性、走行性及び壁面上での確実性、信頼性に係わるもの
  - ア 搬送性、走行性
  - (イ) 運搬車及び地上制御盤のキャスターは従来型は直径100mmの小さいもので、路面のちょっとした凹凸にも対応できず、又、方向変換には専用の工具を必要とした。  
そこで写真16に示すとおり、直径200mmの大型キャスターを採用し、5cmまでの路面上の凹凸に対応できるものとした。
  - (ロ) 大型キャスターにはトレーリングアーム型式のサスペンションを装備して凹凸を通過する際のショックを吸収するとともに、回頭性の良いダブルタイヤとした。
  - (ハ) 大型キャスターにはブレーキ装置を装備した。これは、あくまで減速用として装備したもので、固定用には、別に車止めを装備した。

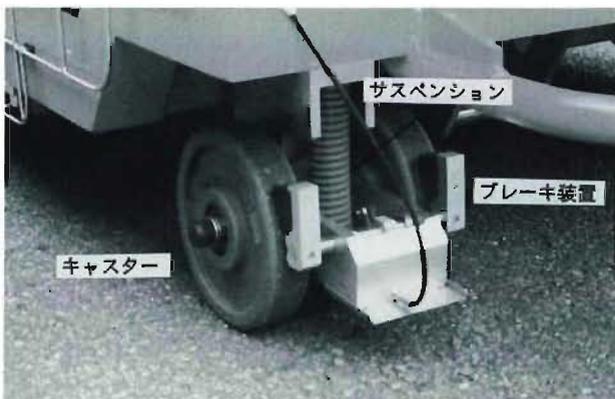


写真16 キャスター

- イ 壁面上での確実性、信頼性
- (イ) ロボット本体が、壁面に自力吸着するためには、最初に4個の吸盤を備えた補助吸着装置が壁面にアームを伸ばして吸着し、次いでこのアームを縮めて主脚を壁面に吸着する方法を採用している。これはロボット本体が壁面を歩行中に、主脚による吸着が外れた場合でも同じ動作で再度壁面に吸着させるために装備したものである。

- 吸着補助装置のアームの伸縮長さは短ければ壁面まで届かないし、長ければ壁をつっぱね、ロボット本体を壁とは反対方向に押しやることにより、いずれの場合も吸着補助装置が壁面に吸着できないこととなる。訓練を通じて認められたのは後者の方であった。したがってアームの長さを適当な長さに特定する必要があり、壁面を確実にとらえることができるよう調整を行うとともに、4個の吸盤の内小さい方の2個の吸盤を大きくし壁面に対する吸着力の向上を図り、吸着後アームを縮めることによって主脚を壁面に引き寄せ、確実に吸着できるように図った。
- (ロ) 主脚であるA脚には115個の吸盤が、B前脚及びB後脚には各々66個、50個の吸盤を装備しているが、この内A脚の12個の吸盤の「つぶれ代」を写真17のように他のものより大きくして、壁面の凹凸を確実にとらえることができるようにした。
- (ハ) 今までの訓練やデバックを通して吸盤の「劣化」が、かなり多く認められ、それに伴い全体的に吸着性も悪くなった事が認められた。  
劣化した吸盤を新品のものと交換するとともに吸盤劣化の度合いについて測定した結果、概ね壁面上を1時間歩行させると3.4個の吸盤に劣化が発生することが分かったが、この数値は、壁面の種類によって変動するため、いちがいに定量化することはできない。

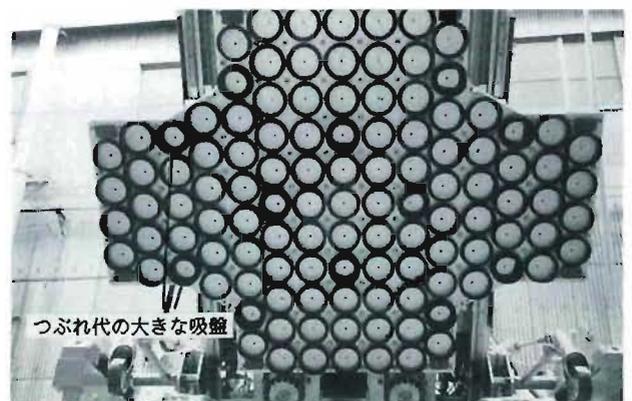


写真17 A脚の吸盤配置状況

- (2) 安全性
  - ア 運搬車及び制御盤、屋上支持具の固縛、固定ハン

ドル及び操作方法を共通なものにし、塗色も蛍光色とし、誤操作を防ぐものとした。

イ コンテナ床面上に取り付けた運搬車及び制御盤の固定金具及びガイドを黄色に塗色し、つまづき対策とした。

ウ 運搬車及び制御盤の固縛装置のハンドルをワイヤーロープを介してコンテナ左前方の扱い易い高さに取り付けたため、従来のように狭いところに手を入れての固縛装置のレバー操作がなくなった。

エ コネクターは市販のものを使用しているが、ケーブルクランプ部を強化し断線防止を図った。

オ 屋上支持具の非常用のピン（ワイヤーロープ落下防止ボルト）をボルトナットからスナップピンに変更し、万一の際、ボルトナットの取り外し作業を行う場合パラペットから外側に身を乗り出して行う作業を極力なくした。

カ 各固縛、固定用ハンドル及びピン類の大きさを比較的大きなものにし、一目みて状況がわかるようにした。

### (3) その他

その他今回の改良に併せて、以下の3点についての整備性の向上を図った。

ア ロボットカバーの固定方法を変更し、工具を使用しないで取り付け、取り外しができる構造とした(写真18)。

イ ロボット本体背面のコネクター結合部カバーの扉を大型化し作業を容易に行えるようにした。

ウ ケーブル支持棒へのエアホース、電源・制御ケーブル及び放水ホースの固定方法を簡素化し、容易に作業ができるようにした。

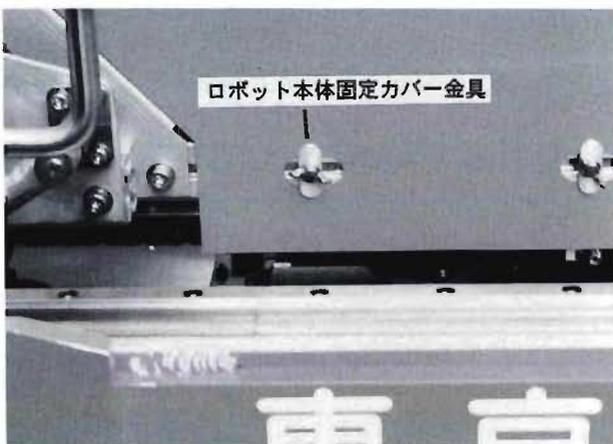


写真18 ロボット本体カバー固定金具

## 5 結果

今回の改良により次の3点に成果を挙げた。

- (1) 壁面昇降ロボットが機能を果たすまでの時間が大幅に短縮された。
- (2) ロボットを積載した運搬車及び制御盤の移動性、走行性が向上し、壁面への自力吸着及び吸着歩行が一層確実に行われ、信頼性が向上した。
- (3) 安全性及び整備性が向上した。

## 6 おわりに

本ロボットシステムは開発当初から、壁面吸着に関する信頼性や、重力に逆らって壁面を活動する構造について、多くの意見があったが、ロボット周辺技術を考えた場合現状技術では最高の技術で製作したものである。

又、防災機関がこの種のロボット技術を集大成し、実用配備したのも世界では初めてである。

この壁面昇降ロボットが今後、火災現場等でどのような成果を上げるかは未知数ではあるが、大いに期待されるところでもある。

又、この壁面昇降ロボットの研究開発の過程において発生した多くの要素技術は、今後様々な分野で活用できるものであると考える。

壁面昇降ロボットの研究開発についての所報は、この第4報が最終報となるが、何十年か何百年か先の技術者がこのロボットシステムを見聞いた時、大きな賞賛と高い評価をいただけるものと確信している。

最後に、この壁面昇降ロボットの実現に向けて、鋭意ご指導下さった皆様に対し忠心より厚く御礼を申し上げ、最終報とする。