

## 壁面昇降ロボットの開発について (第1報)

## ——歩行機構——

Development of a Wall Climbing Robot(Series 1)

——Walking Mechanism——

長井 庸二\*

加藤 和利\*

神田 淳\*

## 概 要

はしご車が接近あるいは架ていできない建築物の高層階で火災が発生した場合、建築物の外側から消防活動を行うことは困難であるため、建築物外壁面を活動の場として、消防隊の支援を行うロボットの開発が必要とされている。

そこで、今回、壁面昇降ロボットの歩行機構の部分を試作した。このロボットは、ロボット本体、制御装置及び真空ポンプから構成されている。ロボットは、3個の脚から構成され、それぞれの脚にリード弁付の多孔式吸盤が取り付けられている。

吸着は真空ポンプを使った負圧吸着で、歩行は中央の脚と上下一対の脚が交互に吸着し移動するもので、方向変換も可能である。

寸法は長さ約2000mm、幅約800mm、高さ約750mm、重量は約110kgである。

There is a great need for the development of a robot which can serve to support fire companies by attack from the outside wall when the case arise that an aerial ladder track can not approach a hight rise building which is on fire.

This time, We experiment a walking mechanism robot which can climb a wall.

The system has three parts,the robot,control unit and vacuum pump.

The robot has three legs.each leg has many suckers which has lead valve.

The robot held to vertical walls by vacuum pump.Walking was achieved by moving the two groups alternately while synchronizing the suction and release controls for their legs.And the robot is possible a change of direction.

The robot dimensions are 2000mm(L)×800mm(W)×750mm(H) and its weight is 110kg.

## 1. はじめに

建築技術の進展や土地高騰等により建築物は高層化、大規模化の傾向にある。高層建物で一旦火災が発生すると濃煙、熱気に阻害され建物内部に進入しての消防活動は困難となることが多く、建物に設置されている消防用設備に頼るところが大きい。しかし、消防用設備のみによっては対応できないことも想定される。建物の外側から消防活動を行う方法としては、もっちはしご車に頼っ

ている状況である。しかし、はしご車といえども万能ではなく、高さ制限、架てい障害、道路の幅員や設定場所の制限等があり、有効に活用できない場合も多い。これらの障害を受けず有効な消防活動ができる器材の開発が要望されている。

そこで、建物の外壁面を昇降し、消防隊の支援を行う「壁面昇降ロボット」(以下「ロボット」という。)の開発の一段階として歩行機構部を試作したのでその概要を紹介する。

\*第三研究室

## 2. ロボットの概要

### (1) システム構成

ロボットシステムは写真1に示すように大きく分けるとロボット、制御装置、真空ポンプから構成され、真空ポンプによって吸盤内部を負圧とし壁面に吸着するものである。動作は制御盤の操作によって前後進、旋回等を行うが、各種センサーからの信号に基づく自律制御も行っている。なお、基本構成を図1、制御系統を図2、空気系統を図3に示す。

### (2) ロボットの構造

写真2及び図4に示すとおり中央のA吸盤と上下一対のB吸盤、前後進用フレーム、吸



写真1 ロボットの構成

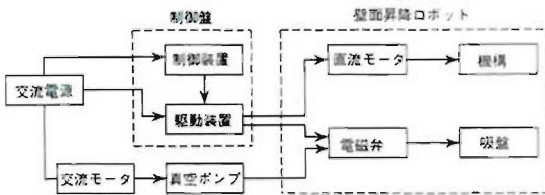


図1 基本構成図

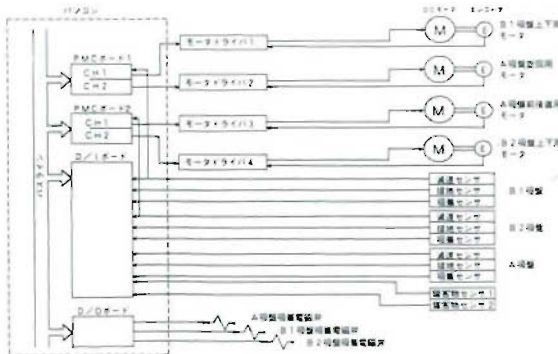


図2 制御系統図

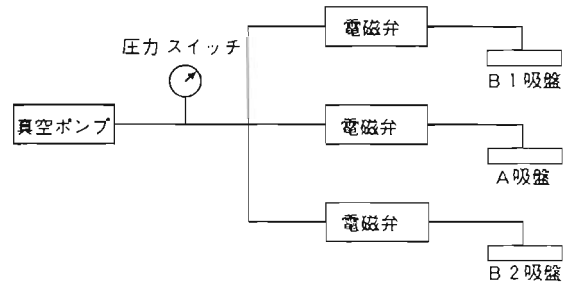


図3 空気系統図

盤上下用フレーム等から構成されている。駆動系としては前後進用に500W、旋回用に300W、上下動用に250WのDCサーボモーターを使用し、動力の伝達にはチェーンを使用した。吸盤はA吸盤を円形とし、B吸盤は長方形に切込みを入れた形状とした。これは、A吸盤に対しては吸着面積を大きくとること、B吸盤に対しては前後進のストロークを少しでも長くとるためである。A吸盤には138個、B吸盤にはそれぞれ56個の小吸盤がある。小吸盤を数多く設けることによりタイル等の目地が多い壁面でも目地のないところへ吸着する割合が多くなるからである。それぞれの小吸盤

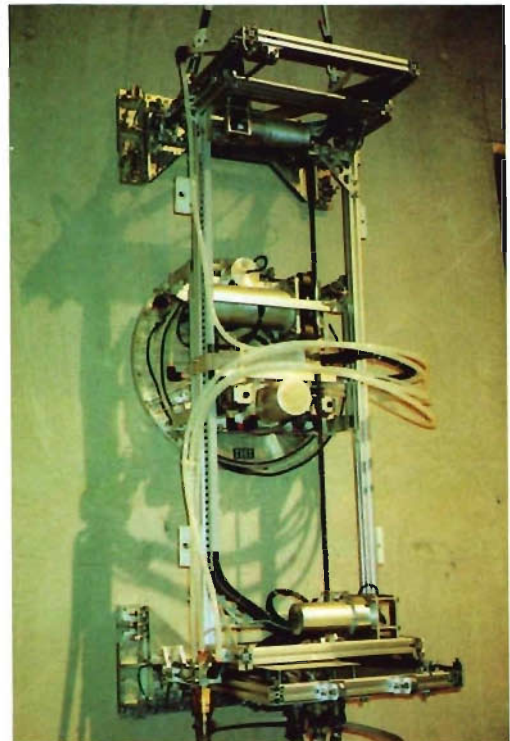


写真2 ロボット歩行装置

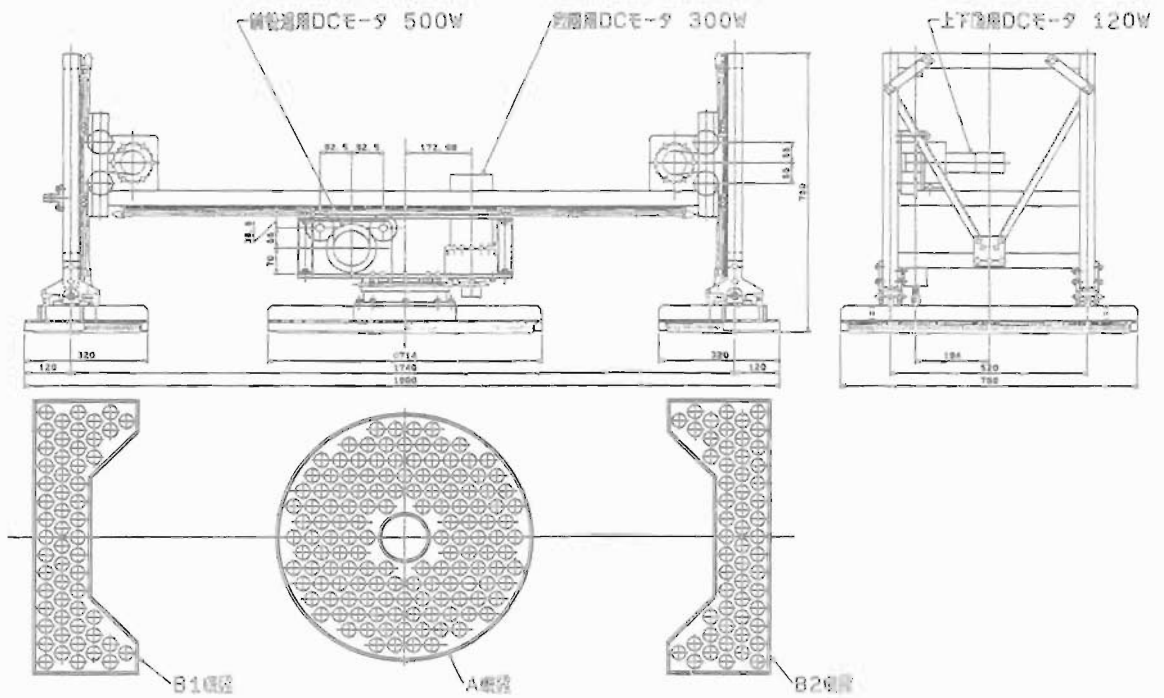


図4 ロボット歩行装置の基本構造図

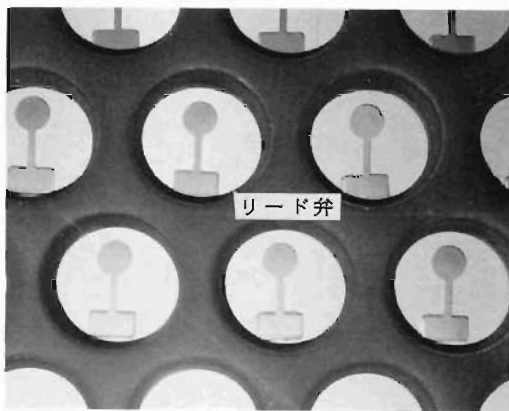


写真3 リード弁付吸盤

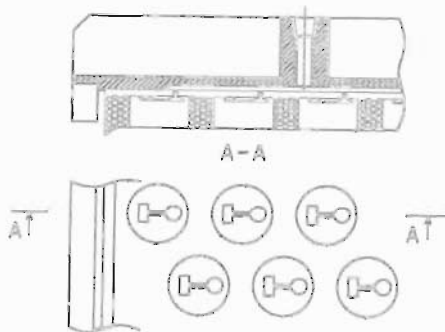


図5 リード弁の構造

には写真3及び図5に示すリード弁が取り付けられている。このリード弁は極薄のステンレス製で吸着できない小吸盤がある場合、リード弁と孔の間に空気の流れが生じ、弁が閉じる構造となっている。

(3) 諸元・性能

ロボットの諸元・性能を表1に示す。

表1 ロボットの諸元・性能

寸法	長さ約 2,000mm×幅約 800mm×高さ約 750mm
重量	約 110kg
材料	アルミニウム (主要部)
移動方式	負圧で吸着する脚による歩行及び方向変換
吸盤構造	リード弁付多孔吸盤
歩行速度	約 5 m/min
操作方法	有線による遠隔操作
機能	段差乗り越え機能 (約10cm) 方向変換機能 (左右90°) 傾き矯正機能 自動停止機能

(4) 歩行, 方向変換及び段差乗り越え方法

ロボットの歩行, 方向変換及び段差乗り越え方法を図6に示す。

歩行方法は自動, 手動どちらでも可能でA吸盤を吸着させB吸盤が壁面から離れている状態でB吸盤の前後進を行い, 次にB吸盤を吸着させA吸盤を離脱し, A吸盤を前後進させ吸着させるといった一連の動作の繰り返し

を行う。

段差乗り越えは手動で行いA吸盤を吸着させた状態でB吸盤を段差の分だけ上げ, 前進させてからB1, B2吸盤を各々の部分に吸着させ, 次にA吸盤を離脱し段差の分だけ上げ前進させ吸着させる。さらにB吸盤を離脱しB2吸盤を段差の分だけ上げ前進させて行う。

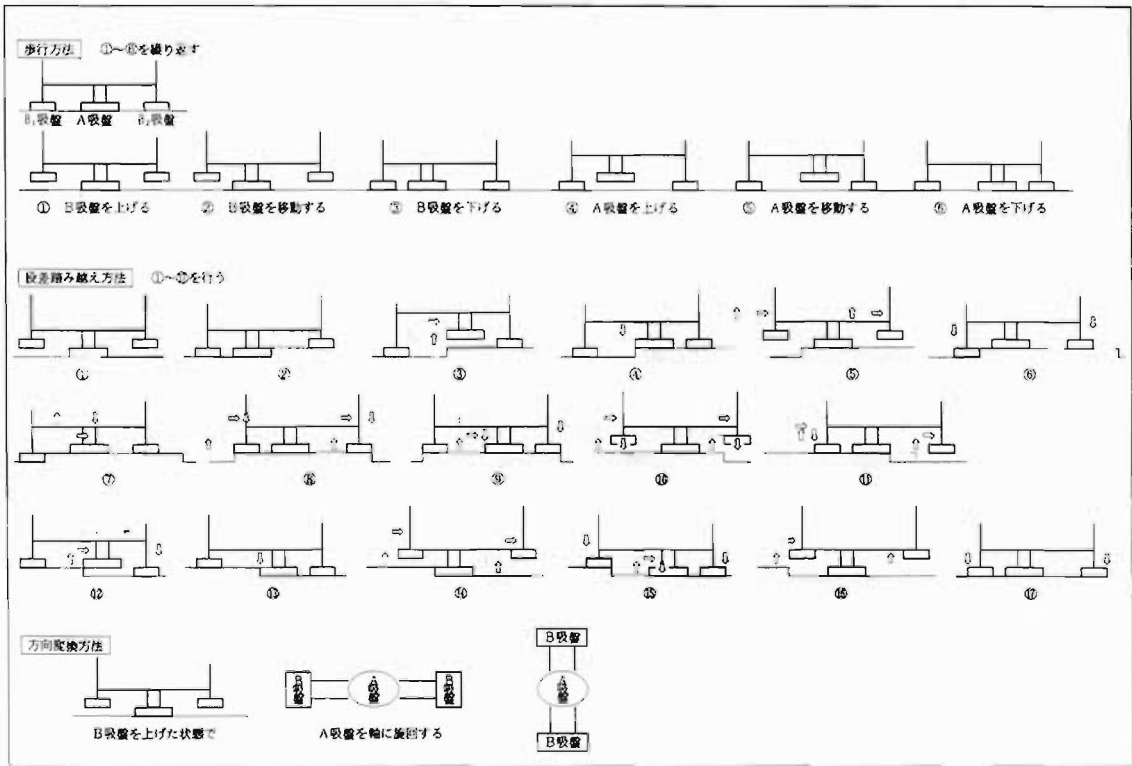


図6 ロボットの歩行, 段差乗り越え及び方向変換方法

方向変換は, 手動で操作しA吸盤が吸着しB吸盤が壁面から離れている状態で左右90°の方向変換を行いB吸盤を吸着させる。A吸盤を離脱するとA吸盤は自動的に元の位置まで回転し, 次の方向変換に備える。

(5) 目地のまたぎ越え, 吸着できない部分の避讓方法

歩行中, 吸着しようとする所に壁の目地や凹凸があって吸着できない場合, 一步進めた脚 (A又はB吸盤) を半歩後退して吸着し, あらためて他方の脚 (B又はA吸盤) を半歩進めて吸着し, その後は通常の歩行を行うといった動作を自動, 手動で行うことができる。

3. 吸着真空度等の測定実験

(1) 実験項目及び実験方法

ア 真空ホースの長さによる真空度測定

真空ポンプの吸い込み口を密閉した時 (元真空圧) とホースを25m及び50m延長した先端を密閉した時 (先真空圧) の真空度を測定した。

イ 荷重をかけた場合の必要最低真空度測定

写真4及び5に示すように凹凸のないコンクリート壁面においてロボットが地面と垂直及び平行の吸着姿勢で将来作業装置を架装するB吸盤の先端に10~30kgの荷重を

かけ、真空度を徐々に下げて吸着している吸盤が滑り出したときの真空度を測定した。

ウ タイル及びモルタル吹きつけ壁面での真空度測定実験

写真6及び7に示す壁面を使用し、壁面に吸着させた時の真空度を測定した。

エ 吸着可能な小吸盤の最低個数測定

A吸盤のいくつかの小吸盤を故意に吸着できない状況に設定し、A吸盤が吸着できる小吸盤の最低個数を測定した。

オ 水に濡れた壁面での真空度測定

凹凸のないコンクリート壁面に毎分20ℓの水を流した状態でロボットを地面と垂直な姿勢でA吸盤だけを吸着させ、真空度を徐々に下げて吸盤が滑り出したときの真空度を測定した。

カ 積載能力の確認

凹凸のないコンクリート壁面においてロボットが地面と垂直及び平行の吸着姿勢でB吸盤の先端に30kgの荷重をかけ、A及びB吸盤を移動させた時の状況を確認した。

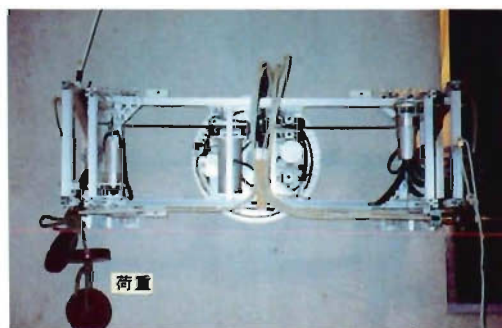


写真5 実験状況



写真6 供試タイル壁  
(105×60mm, 目地幅12mm, 深さ1mm)



写真7 供試吹きつけ壁 (凹凸1~2mm)

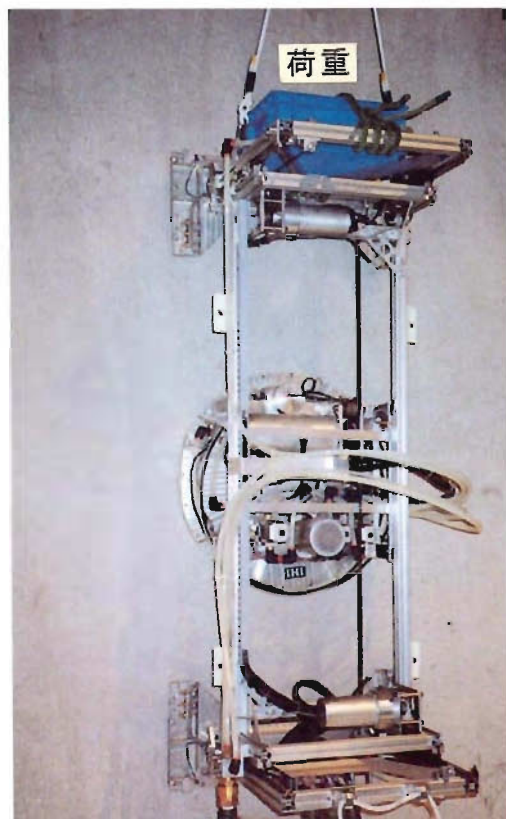


写真4 実験状況

## (2) 実験結果及び考察

ア 真空ホースの延長長さによる真空度測定について

真空ポンプの性能が450mmHg程度のものを使用し、元真空圧400及び300mmHgにおいて25m延長したホースの先端真空度は2秒後にそれぞれ400及び300mmHgの真空度を示した。また、50m延長時には4秒後にそれぞれの真空度を示した。

このことからホースの延長長さによる真空度の低下はないが延長長さ按比例して真空到達時間が長くなる傾向にある。しかし

実際のロボットの歩行に関してはロボット本体に取り付けられている電磁弁で吸盤の切替えを行っており、常時電磁弁までは真空度を保っているため電磁弁から吸盤までのホースの長さ分が問題となるが、ホースの径が小さく長さも短いのでホース内の空気量が少ないことから瞬時に所定の真空度に達するものである。

表2 実験結果 (凹凸のないコンクリート壁面)

吸着吸盤	吸着姿勢	荷重(kgf)	最低吸着真空度(mmHg)	吸着状況
A 吸盤	上下方向	0	210(240, 190, 200)	
		10	250	
		20	260	
	横方向	0	230	
		10	250	
		20	270	
B 吸盤	上下方向	0	220	
		10	290	
		20	300	
	横方向	0	250	
		10	290	
		20	310	
A 小吸盤	上下方向	0	30	
		10	100	
		20	130	
	横方向	0	130	
		10	170	
		20	200	

※ 吸着真空度にはばつきがあるので最も安全側の値とした。  
 ( ) 内は濡れた壁面での最低吸着真空度

イ 荷重をかけた場合の必要最低真空度測定について

実験結果を表2に示す。

凹凸のないコンクリート壁面で一連の実験を行った結果、荷重の増加に伴い必要最低真空度は当然のことながら高くなる。最も条件の悪い状態はロボットが地面に対して水平の姿勢でB吸盤だけを吸着させたときであり、荷重30kgをかけた場合330mmHgの真空度が必要である。本実験に使用した真空ポンプの性能は450mmHg程度あるので十分な余裕があると思われるが、本実験は

ロボットが停止している状態で行っているため歩行時の電磁弁が切り換わる際の踏み替え時に真空度が低下することが予想されるので今後、検証する予定である。

ウ タイル及びモルタル吹きつけ壁面での真空度測定について

本実験の供試壁面については吸着できた。真空ポンプ元真空度を400mmHgに設定し、ロボットをタイル及びモルタル吹きつけ壁面に吸着させた場合の真空度は400mmHgであり、真空の漏れはなかった。これらのことから幅12mm、深さ1mm程度の目地のあるタイル壁面及び1～2mm程度の凹凸のある吹きつけ壁面でも吸着できるものである。

エ 吸着可能な小吸盤の最低個数測定

小吸盤が23個開放されたとき430mmHgあった真空度が420mmHgに、29個開放されたとき410mmHgに、36個開放されたとき400mmHgにそれぞれ低下したが吸着できた。しかし、42個開放されたときは吸着できなかった。

このことから、小吸盤の個数が36から42個(約3割)の間で吸着の限界があると思われる。なお、多くの小吸盤が開放された状態にあると空気の流れが多くなりリード弁を作用させるだけの空気の流れがなくなるものと思われる。

オ 水に濡れた壁面での真空度測定

190～240mmHg程度の真空度が吸着させるために最低必要で、この値は乾いた状態の壁面とほぼ同じである。したがって、濡れた壁面においても吸着性能はほとんどかわらないと思われる。

カ 積載能力の確認について

ロボットの吸着姿勢に関係なく30kgf程度の荷重であれば前後進及びA、B吸盤の上下動に支障がないことから各モーターの出力は十分であると思われる。

4. 今後の課題及び予定

(1) 歩行機構部について

現在の吸盤は直径36mmの小吸盤がA吸盤に138個、B吸盤にそれぞれ56個についており、ゴムの材質はエチレンプロピレンで10mmの厚さ

のものを2枚重ね合わせて使用している。この吸盤でも実験結果のとおりある程度対応できるが、目地や壁面の凹凸が大きい場合、うねりのある場合に対応することは困難が予想される。したがって吸着力の向上を図るため小吸盤の形状、個数、ゴムの材質、かたさあるいは構造等を変え最適な吸盤を選定する実験を行う。

また、現在、吸着の確認は吸盤のつぶれ量により確認する方式を採用し、近接センサーをA吸盤に3個組4セット、B吸盤にそれぞれ3セット取付けている。(写真8参照)

この近接センサーは吸盤の吸着動作による壁面への接触度合いによって感知するもので、接地部が壁面の凹部にあたった場合、実際には吸着していても吸着できないと判断し、また、凸部にあたった場合は、実際吸着していても吸着したと判断する欠点がある。

そこで、吸盤内の真空度を測定するのが最も確実であるが、一つひとつの小吸盤の真空度を計ることは実用的でないので、リード弁の開閉状況を電気的な信号により知ることができ、吸盤が吸着しているか否かの判断ができる構造のものを検討する。

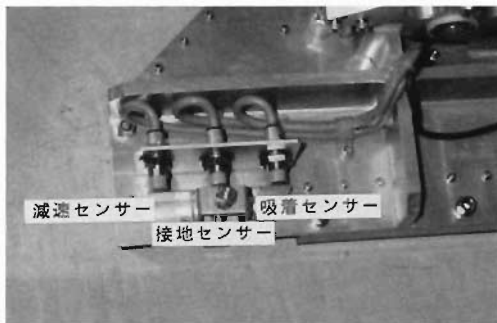


写真8 吸着センサー

## (2) 作業装置について

建物の外壁面で消防作業を行うためには歩行装置の性能を基本に考えていかなければならないが、重力に逆らって壁面に吸着した状態では、おのずから限界がある。

そこで、ロボットに何をさせるかということとともに何ができるかという検討を行い、その中から最も消防隊支援に効果的で実現可能と思われる作業の行える装置を開発してい

く。

具体的な作業としては、次のものを予定している。

### ア ガラス破壊

高層建物の窓ガラスは一般的に15～19mmの厚さのものが使用されており、簡単には破壊できない。また、破壊できたとしても飛散、落下するガラス片の危険性を考えた場合、ガラスは破壊することよりも切断しその切断片を室内側に抜き取ることを基本に検討する。

### イ 温度測定

ガラス切断後、その開口部から室内の雰囲気温度を測定したり、あるいはガラスの切断が困難な状況であればガラス表面温度を測定し室内温度を予測するか、ガラス越しに室内の温度を測定すること及びそれらの表示方法について検討する。

### ウ 室内等の状況確認及び監視用カメラ

装備するカメラの耐熱性、防水性及び画像表示方法等について検討する。

### エ 放水ノズル

必要があれば放水できるようにノズルの形状、放水量及び放水圧力等について検討する。

### オ 通話

室内と室外との通話方法について検討する。

### カ 避難器具の搬送

ロープ、縄はしご、緩降機等の軽量避難器具の搬送方法について検討する。

## (3) 作業装置の機構について

ア 各装置のアクチュエータ、伝動装置について検討する。

イ トータルシステムとして歩行装置との整合性について検討する。

## (4) 軽量化について

トータル的な軽量化について検討する。

## 5. おわりに

ロボットの開発計画は、平成2年度の歩行機構に続いて平成3年度に作業機構を開発し、平成4年度に実用機を製作する予定である。

## 2. 諸元性能

今回試作した消防用ゴンドラの諸元性能は、表1に示すとおりである。

表1 試作したゴンドラの諸元性能

積載重量	200kg	
昇降電動機	昇降速度	12m/min (max)
	使用電力	1.0KW×2台
ケー ジ	形 状	1,710×803×1,100mm
	重 量	292kg (照明器具付保護枠を除く)
電 源	三相交流 200V	
揚 程	50m (ワイヤーロープ長さ 60m)	
総作方法	押釦操作	
通信装置	インターホン (ケージ内～地上)	
安全装置	自動傾斜矯正装置	
	上限巻過防止用リミットスイッチ	
	下限巻過防止用エンドクリップ	
	非常停止装置	
	漏電しゃ断器	
	非常時の昇降装置 (手動ハンドル操作方式)	
	ワイヤーロープ巻き装置	
	昇降制動機 (メカニカルブレーキ, 電磁ブレーキ)	
付属装置等	制 御 盤	
	支持金具	突りょう, 上アーム式自在フック 下アーム式自在フック, L型自在フック, S型フック
	ワイヤーロープ	吊りワイヤーロープ 巻き装置用ワイヤーロープ 台付けワイヤーロープ
	ケーブル	電源ケーブル (供給用, 給電用) 制御ケーブル

## 3. 主な構造

### (1) 形式, 昇降方法

ゴンドラには、常設式のものと同仮設式のものがあるが、消防用ゴンドラは使用上の特殊性から、可搬、仮設式のデッキ型ゴンドラを基本とし、屋上に仮設した支点から垂らした2本の吊りワイヤーロープを伝って、昇降装置により昇降する。

### (2) 昇降装置

昇降装置は、エンドレスワインダーとモーターで構成され、原理は、荷重がかかった際のワイヤーロープの張力を利用してエンドレスワインダーの中にある「ベルクランク機構」のメインレバーを動かし、反対側に取付けら



写真1 消防用ゴンドラ

れたローラーでワイヤーロープをシーブに押付け、この際に発生する摩擦力で荷重をささえてモーターで巻き込んだワイヤーロープを下方に垂らし、昇降する構造としている。(図1参照)

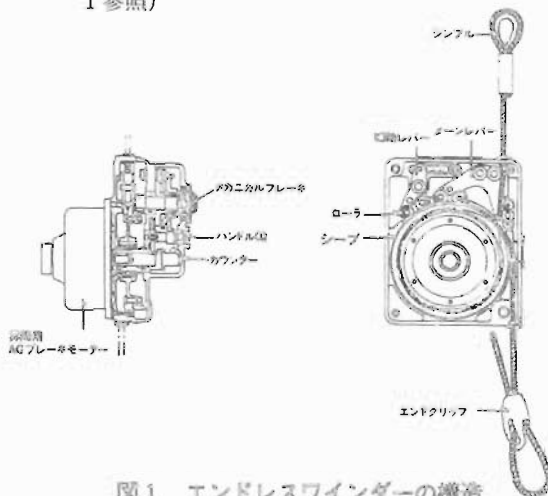


図1 エンドレスワインダーの構造

### (3) 屋上支点確保装置

屋上に吊りワイヤーロープを固定する固定物がない場合、ひさし、パラペット、ペントハウス等を活用して支点を設置する。

建物によって屋上の状況が異なるため支点や設定方法も異なる。

屋上支点確保装置には、次のようなものがある。

#### ア 突りょう

屋上に台付けとなるペントハウス等の固定物がある場合、パラペット上に置き、固定物に確保用のワイヤーロープ (台付けワイヤーロープ)、又は反対側のパラペットに