

## 壁面昇降ロボットの開発について (第3報)

## — 実 用 機 —

## Development of an Exterior Wall Climbing Robot (Series3)

## — Practical Use Model —

相 川 行 雄\*

加 藤 和 利\*

加 藤 俊 之\*

吉 田 義 実\*

## 概 要

建物の高層化に伴い、新しい消防資器材の開発が急務とされている。

壁面昇降ロボットははしご車が届かない高層建物の高層階で火災が発生した場合、あるいは、はしご車が接近または架てできない中高層建物で、かつ建物内部での消防活動が濃煙熱気等により極めて困難な場合、建物外壁面を昇降し、消防隊の支援を行う目的で平成2年度から開発を始めた。

第1報では、ロボットの歩行機構の試作結果について、第2報では、ロボットの作業装置部分の試作結果について報告した。

本報では、試作機の検証結果、及び今後解決しなければならない課題並びに、実用に供するトータルシステムとして評価を行った結果を踏まえて、実用機を製作したので報告する。

Buildings and structures in Tokyo are being built higher above the ground. This trend makes fires in those buildings and structures much more difficult to fight.

As an equipment for supporting fire companies from outside, an exterior wall climbing robot has been developed since 1990.

The climbing mechanism and the fire fighting mechanism of the trial model had already been described in the previous reports.

After the evaluation of the performances of the trial model, some problems to be solved were revealed. And some improvements were made for the development of the practical use model.

The exterior wall climbing robot, nicknamed of "Rescue Climber", was assigned to a fire station and is now in service.

This report shows specifications of the model and important devices and accessories.

## 1. はじめに

実用機としての壁面昇降ロボットに期待されることは、現有消防力が及ばない場所や状況における消防活動能力である。

したがって、消防活動の成果の拡大はもとより確実性、信頼性、操作性、迅速性、搬送性、及び

安全性等に優れたものでなくてはならない。

そこで本報では、実用化に伴うロボット本体の軽量化及びこれに伴う構造変更、昇降速度の高速化、吸着性能の向上、ガラス切断装置の効率化、監視カメラの増設、制御装置の操作性の向上について検討し、システムとして壁面昇降ロボット一式を製作した。

## 2. ロボットシステムの概要

## (1) システム構成

\*第三研究室

ロボットシステムは図1に示すようにロボット本体、目標付近まで高速昇降を可能にするウィンチ、屋上に仮設する自在フック・吊り込みフック等の支持具、ロボットを対象建物付近まで搬送する運搬車、ロボットの歩行及び作業装置の制御部、電源・制御ケーブルの巻取器、真空を作るコンプレッサー、及び発電機で構成される。



写真1 壁面昇降ロボット

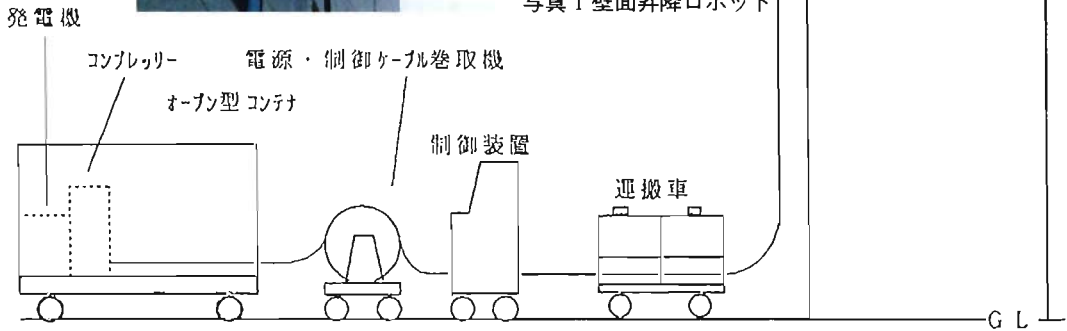


図1 壁面昇降ロボットのシステム



写真2 資材搬送車

(2) 諸元・性能

表1 諸元・性能

ロ ボ ッ ト	種類・型式	負圧吸着式歩行ロボット		エ ア ー コ ン プ レ ッ サ	種類・型式	スクリュウコンプレッサ				
	寸 法	長さ	幅		高さ	寸 法	幅	奥行	高	
		約1900mm×約980mm×約750mm				約600mm×約900mm×約1180mm				
	重 量	293kgf			重 量	330kgf				
	歩行速度	2.5 m/min			電動機出力	7.5kw				
	旋回角度	左右 90°			空 気 量	1.05m <sup>3</sup> /min				
	段差乗り越え高さ	10 cm			吐出し圧力	8.0kgf/cm <sup>2</sup>				
	作 業 装 置	ガラス切断	φ80mm 19mm 70トラス 約90s		潤 滑 油	8ℓ				
		監視カメラ	CCDカメラ 3台		使用電源	AC 200V - 50Hz				
	装 置	温度測定	熱電対型 (-200~450℃) ガラス表面用、内部雰囲気用		付 属 品	エアーホース 40m×2				
		放水	100 ℓ/min			減電圧始動器				
	補 助 装 置	通話装置	ロボット側 防水マイク、スピーカー 操作側 骨伝導マイク、ヘッドホン		自在フック	1個 (19.0kgf)				
		吸着装置	伸縮式吸着装置 (4個)		吊込みフック	1個 (15.9kgf)				
		滑走装置	伸縮式壁面滑走車輪 (4個)		ワイヤリール (ワイヤ含む)	1個 (26.6kgf)				
	使用電源	AC 200V 50Hz			付 属 品	綱組ロープ	φ9mm×20m×3本 φ9mm×40m×3本			
	安全装置	障害物感知装置				支 持 具	カラビナ	10個		
		非常停止装置			シャックルピン		5個			
	漏電防止装置		過負荷防止装置		搬送用背負子		4個			
	吸着確認装置	圧力測定型	消 火 用 ホ ース		25mm×40m×2本					
		近接センサー型			付 属 品		媒介金具 (25mm×ス-40mm×ス)			
動作確認装置	非接触型	発 電 機	寸 法	長さ	幅		高さ			
				約1370mm×約660mm×約910mm						
設定高度	70 m			乾燥重量	650kgf					
制 御 装 置	制御方式	地上制御装置による遠隔操作 (ロボット側 機上制御装置搭載)		発 電 機	形 式		4極回転界磁形 ブラシ交流発電機			
	操作方法	ジョイスティック及び押ボタン操作			相 数		三相4線式			
	寸 法 (本体)	幅	奥行		高さ		周波数	50Hz		
		約1100mm×約600mm×約1300mm			定格出力		20kVA 16kW			
	重 量	342kgf			定格電圧		200V			
使用電源	AC 200V 50Hz			電 流	57.7A					
付 属 品	手元操作盤/単動用操作盤			回転速度	1500rpm					
	電源・制御ケーブル40m×2			力 率	80%					
ウ ィ ン チ	種類・型式	往復牽引型		発 電 機	コネクト		専用200V×2 100V×2(1.5kW)			
	寸 法	長さ	幅		高さ		動 機	形 式	水冷 491ℓ ディーゼルエンジン	
		約527mm×約1200mm×約729mm			定格出力			26PS		
	重 量	65kgf			使用燃料			軽油		
	電動機出力	2.0kw			燃料タンク	60ℓ				
	昇降速度	12m/分			連続運転	12.2hr				
	安全装置	張力一定装置/下降速度制御装置			潤滑油	CD級 8.6ℓ				
	付 属 品	電源ケーブル5m・制御ケーブル5m			冷却水量	5.4ℓ				
			バッテリー	12-70 v-AH						

### 3. 運用にあたっての基本的な考え方

#### (1) 対象建物

ア ロボットを活用する建物の高さは、地上30m(10階)までは、はしご車による活動が期待できること、概ね70m(23階)以上の建物については常設のゴンドラが活用できること等を考慮し、30m以上70m以下の建物とした。

イ 築年については、壁面の化粧材の接着強度を定量的に示すことが難しいことから、別途検討することとしている。

#### (2) 建物の被災状況

建物上部に支点の安全を確保することができ、次の項に該当する建物とする。

ア 火勢熾烈等によって、玄関及びバルコニー等の開口部から火災室等へ直接筒先配備や進入が不能な場合等で、当該機材の活用が有効と判断された場合。

イ 救助作業等で当該機材の活用が有効と判断された場合。

#### (3) 消防署から現場への搬送手段

平成4年度に製作された資材搬送車とした。

資材搬送車は大規模災害及び特種災害に際し、大量の消防活動機材を迅速かつ的確に搬送するもので災害の用途に応じたコンテナを選択積載して出場し、現場でコンテナごと地上に降ろす方式のものである。

壁面昇降ロボット一式は、4種類あるコンテナの内、オープン型コンテナに収納される。

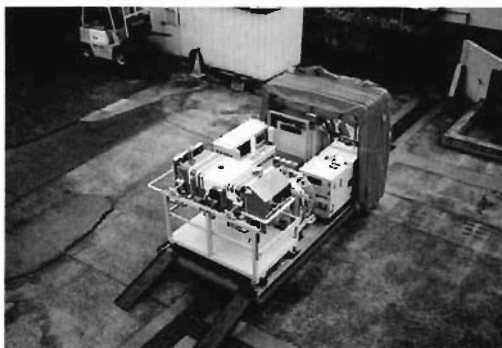


写真3 オープン型コンテナに積載した状況

### 4. 改良点

本実用機は試作機のおおむね次の点について改

良している。

#### (1) ロボット本体

##### ア 吸着補助装置の装備

試作機は、人が介添えをして壁面に吸着させていたが、吸着補助装置を装備することにより、人の介添えが必要なくなる。

まず吸着補助装置を伸ばして壁面に吸着し、吸着補助装置を縮めることによってロボット本体を壁面に寄せて本来の脚で壁面に吸着するという動作を遠隔操作で行う。

なお、本来の脚はロボット中央部にA脚、前方部にB1脚、後方にB2脚がある。



写真4 吸着補助装置

##### イ 小型モーターの兼用化

軽量化を進めるうえで、エアシリンダーに置き換えることのできないA脚の前後進用のモーターと旋回用のモーターを軽量小型モーター2個とし、この2個のモーターで前後進と旋回を兼用することとした。

これにより、モーターをDC、からACに変更した。

##### ウ エアシリンダーの使用

軽量化を進める上で、試作機の重量において大きなウェイトを占めているモータの数を減らすための駆動要素としてエアシリンダーを採用できるかについて検討した。その結果、圧力空気を送ることは後述するように真空作成にも利点があり、エアシリンダーの採用にも都合がよいことが判った。

採用部位は、作業装置の4個のモータの内ガラス切断用のモーターを除く、作業装置の横移動及び送り出し用の3個のモーターをエアシリンダーに置き換えるとともに、新装備

の吸着補助装置及び後記する壁面滑走装置に使用した。

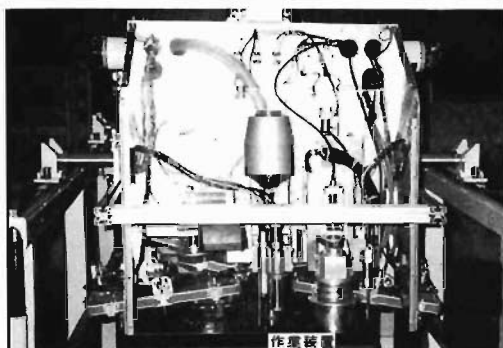


写真5 作業装置

エ コンプレッサー及びエジェクター方式の採用

エアシリンダーの採用により圧縮空気が必要となり、このため試作機では吸着力を発生する真空は真空ポンプにより地上で作成し、ホースによりロボットまで送っていたが、ホース重量・太さ等の検討から、実用機ではコンプレッサーで空気を圧送し、壁面に吸着するための真空作成は、エジェクター方式とした。



写真6 エジェクター

オ 制御ケーブルの細線化と機上制御盤の装備  
試作機の制御ケーブルは、ロボット制御用と作業装置制御用の二本が装備されていたが、制御ケーブルの軽量化を図るため、これらを複合ケーブルにして一本にまとめた。

また試作機の制御は、すべて地上の制御盤で行っていたものを、アナログ信号をAD変換するものは地上の制御盤とするが、位置指

令のデーターをやり取りするユニットはロボット本体の機上に積載することとした。

カ 壁面滑走装置の装備

ロボットの壁面移動速度を向上させる方策として壁面滑走装置を装備した。これは後記するウィンチと併用して活用するものである。



写真7 壁面滑走装置

キ 軽量化を図るためロボット本体を若干小型としたが、このことにより、A脚の前後進のストロークが短くなり、歩行速度が遅くなることから、ソフト上の検討を行うとともに、A脚の形状を一ストロークをやや長くかせげよう円形から十字型の形状とした。

ク 脚の基盤部の構造及び吸盤の形状

脚の基盤部の軽量化を図るため、MCナイロンとアルミ薄板の構造体とし、従来外側に取り付けていたリード弁を保護するため、基盤内部を二重として内側に取り付けた。

又、吸盤については、壁面に対する押し付け力(吸盤の反発力)や、吸着性の向上を図るため、ゴムの平板(硬度7)を円形に打ち抜いたものから、円筒形のものとした。

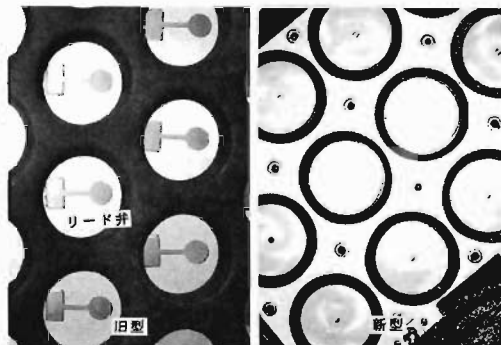


写真8 吸盤(旧型/新型)

(2) 制御装置

試作機では、ロボット用の制御盤及び作業装置用の制御盤と二分割されていたが、小型化及び操作性の向上を図るため、これらを統廃合して1台にし、かつジョイスティックにより操作する手元操作盤を装備した。

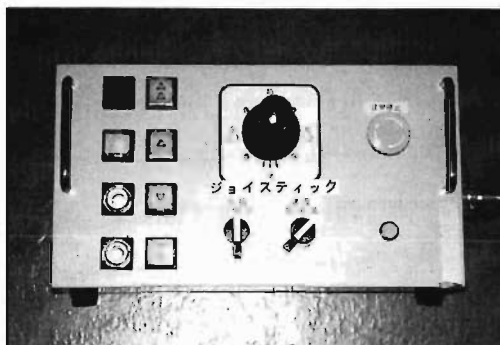


写真9 手元操作盤

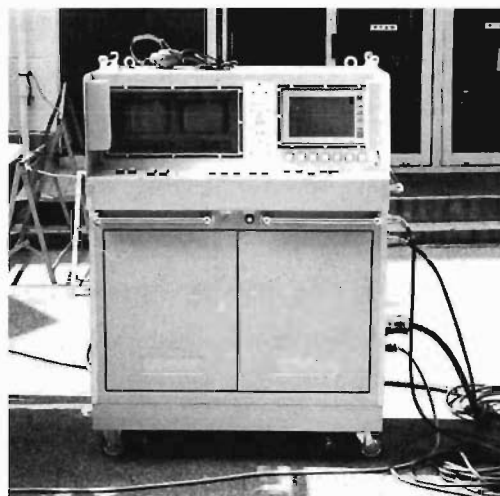


写真10 制御盤

(3) 機上制御盤

地上及び機上制御盤の制御系統図は図2のとおりである。

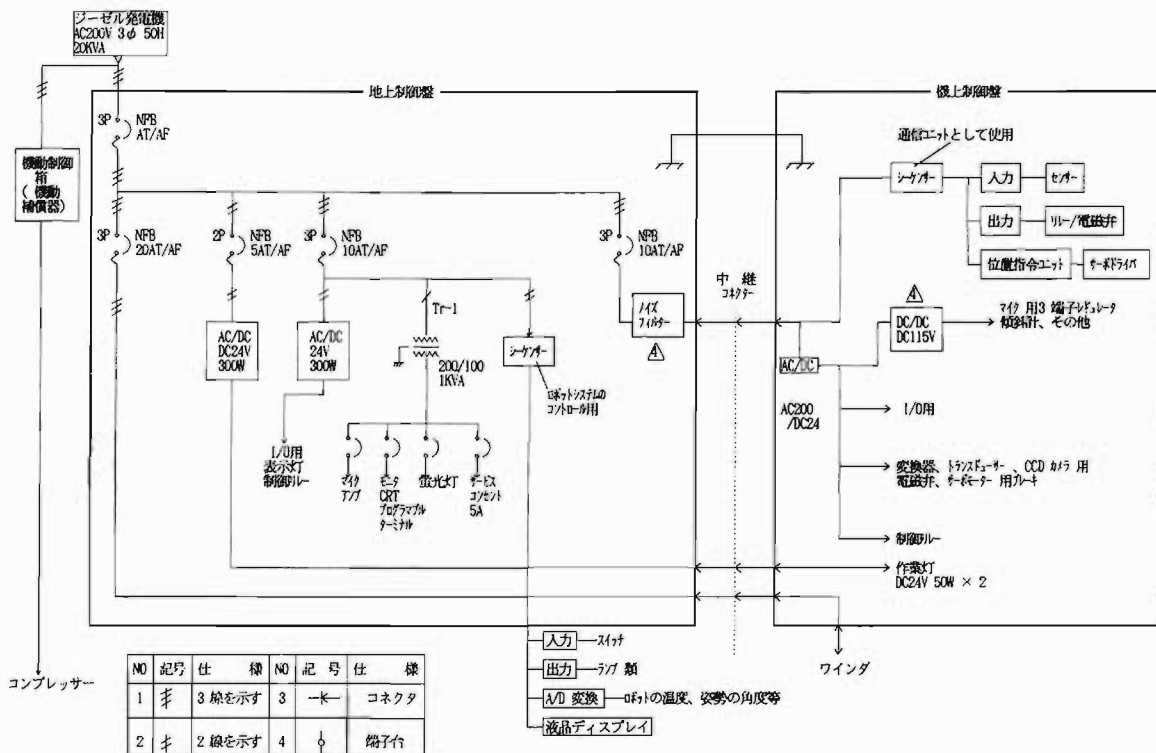


図2 制御系統図

#### (4) ウィンチの自走

従来、ロボットの落下防止方策として、地上制御盤を取付けている台にウィンチを固定し、そこからワイヤーロープを展張し、屋上の支点を介してロボットを確保していた。

しかし、この方法はワイヤーロープが地上から支点までの距離の2倍となり、取扱い上多くの困難を伴い実用にはそぐわない。

また、ワイヤーロープを折角展張するならば、逆にこのワイヤーロープを発展的に活用する方策を考えた。即ちロボット本体が目標階まで到達する移動速度の向上を図るため、屋上に設定した支点から垂下したワイヤーロープを自走するエンドレスワインダーを活用することとした。



写真11 ウィンチ

#### (5) 発電機

災害現場では、常にAC200Vの電源を確保することは困難であり、専用の電源を整備した。

なお、システム始動時の起電力を抑えるため特種コンドルファ方式による可変電圧始動器をメインスイッチとして採用した。



写真12 発電機

#### (6) 監視カメラ

試作機では監視カメラを作業装置と一緒に組み込み、火災室等の偵察や作業装置の監視を行っていたが、実用機では、二台のカメラを増設し、ロボットの壁面上の障害物の確認、及びロボットの脚の確認を行うこととした。

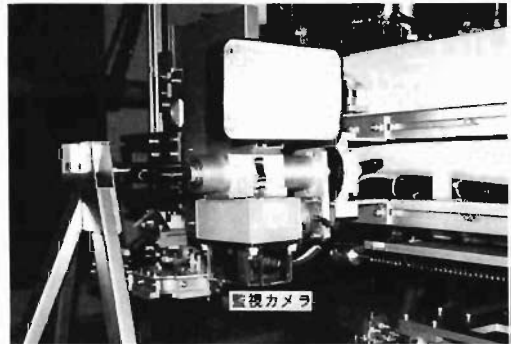


写真13 監視カメラ

#### (7) 運搬車

二段構造のもので、上部にロボットを積載し、被災建物壁面まで搬送するものである。

ロボットを積載固定する架台は、ロボットをウィンチで目標階近くまで引き上げる際、搬送車上を滑走する構造となっている。

下段は、エアホース（巻き取器付）及び放水ホース収納スペースとした。

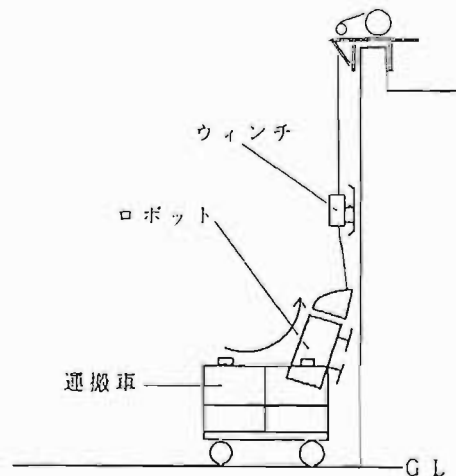


図3 ロボットの搬送

#### (8) コンプレッサー

モーターに代わる軽量の駆動要素としてエアシリンダーを採用したことにより、空気の供給

源として整備したものである。



写真14 コンプレッサー

(9) 電源・制御ケーブル巻取器

作業性向上を図るため制御盤からロボット間の電源・制御ケーブルを巻取り、収納するための巻取器を整備した。

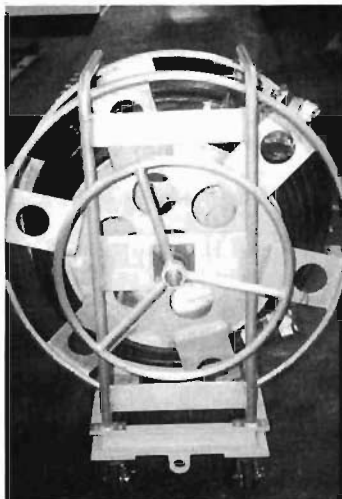


写真15 電源・制御ケーブル巻取器

(10) ガラス切断装置

試作機に装着したガラス切断刃は、ガラス面に対して大きな押しつけ力が必要で、又切断回数の増加により著しく劣化し、耐久性に問題があった。

実用機では、これらを解決した効率の良いガラス切断刃を装着した。

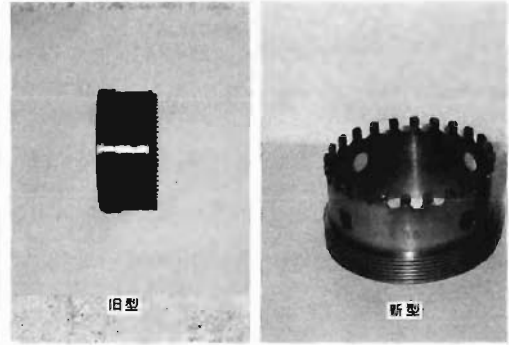


写真16 ガラス切断刃

5. 検討及び実験結果

(1) 吸着補助装置

ロボットの腹部内4箇所に取り付け、エアシリンダーの先に吸盤を装備したものである。

エアシリンダーは壁面に向かって150mm伸縮する。

ロボットはウインチの揚重力で確保されているため、吸着補助装置でロボットを保持する必要がなく、エアシリンダーを縮めて、ロボットを壁面に寄せる際、吸着がはずれないだけの吸着力があればよい。

したがって、吸盤の内径を $\phi 70$ とし、常用真空度を400mmHgとして吸着力を計算すると、吸盤1個当たりの吸着力は約18kgfとなり、4個の吸盤で約72kgfとなる。

実験では、十分な機能が確保された。

(2) エジェクター方式の採用

新装備したコンプレッサーは、安定した圧縮空気を吐き出すスクリーコンプレッサーで、吐出圧力は $8 \text{ kgf/cm}^2$ である。

エジェクターは、到達真空度が500mmHgのものを使用した。

真空ポンプの場合の到達真空度は約400mmHgであり、能力的には十分であると認められる。

(3) 小型モーターの兼用化

試作機では、A脚の前後進用のモーターとしてDC500W、旋回用としてDC300Wのモーターを使用していた。

実用機では、前後進及び旋回を兼用型として、AC300Wのモーター2個を配した。

このことにより、大幅な軽量化が見込まれた



が、兼用型とするための周辺機器の架装部を加えると、若干の軽量化にとどまった。

動作図は図4のとおりである。

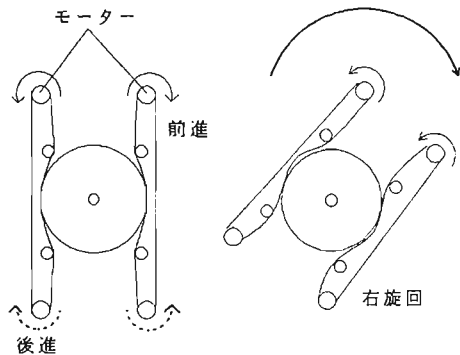


図4 モーター

(4) 吸盤の形状

吸盤の吸着能力は、ロボットの信頼性を増長するうえで欠くべからざる部分で、試作機の実績を踏まえ、実用機用として二種の吸盤を作成し実験を行った。

一つは図5に示す2重吸盤構造のもので、他方のものは、図6に示す円筒形の吸盤である。

ア 実験目的

吸盤がつぶれて、脚の「かかと」を接地させるのにどれだけの吸着力を消費するかについて比較し、消費量の小さい方を実用機の吸盤に採用する。

イ 実験方法

脚ユニットにおもりを載せ、「かかと」が接地したときの重量を測定する。

ウ 実験結果

表2 吸盤実験結果

試験吸盤	結果
二重吸盤	60.0kgf (脚ユニット自重含む)
円筒吸盤	28.8kgf (脚ユニット自重含む)

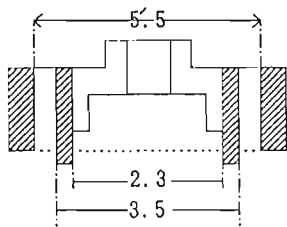


図5 二重吸盤

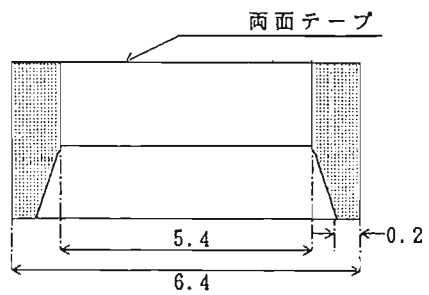


図6 円筒形吸盤

(5) 吸着効率について

ロボットが実際に壁面に吸着するためには、供給空気圧力に対して、吸盤到達負圧がどの程度なのかを調査し、ロボットの重量に対して、吸盤の大きさ、数を決定しなければならない。

ア 実験目的

前(4)で選定した吸盤を使用し、吸盤が壁面に吸着した時の負圧が理論値とどの程度差があるか、基礎資料を得る。

イ 実験方法

脚ユニットを供試面に吸着させて、エジェクターの供給圧力と到達圧力を測定し、理論値と比較する。

ウ 実験結果

表3 吸着効率の試験結果

対象面	供給圧力 (kgf/cm <sup>2</sup> )	到達負圧 (理論値)	到達負圧 (実験値)	効率 (%)
実験室床面	3	0.41	0.34	77
	4	0.59	0.53	90
	5	0.71	0.66	93
	6	0.82	0.74	90
カーペット 滑らか	3	0.44	0.34	77
	4	0.59	0.53	90
	5	0.71	0.62	87
カーペット 粗い	6	0.82	0.71	87
	3	0.44	0.37	84
	4	0.59	0.50	85
	5	0.71	0.61	86
	6	0.82	0.68	83

(6) 摩擦係数について

ロボットが壁面に吸着して、壁面上にとどまるためには、脚に取付けた「かかと」に摩擦力を発生させる必要があり、その「かかと」の大きさ、数を決定しなければならない。

ア 実験目的

「かかと」の摩擦係数について基礎資料を得る。

## イ 実験方法

脚ユニットの上に24kgfのおもりを載せ、バネばかりで引張る。このとき脚が滑り出した時の値を測定する。

なお、供試「かかと」は図7のとおり

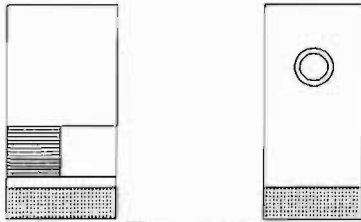


図7 かかと

## ウ 実験結果

表4 かかとの摩擦係数

対象面	かかとかかる重量 (kgf)	ばねばかりの値 (kgf)	まさつ係数
実験室床面	24	22	0.91
ベニヤ板	24	20	0.83
コンクリート	24	20	0.83

## (7) ガラス切断装置

試作機に装備したガラスカッターの仕様及び、性能は、コアドリル型φ100mm、電着ダイヤモンド粒150μmであり、新品の切断刃を用いた場合、回転数4400rpm、押し付け力18kgfで切断所要時間は、おおむね1分40秒、切断中の消費電流は約7Aであった。

しかし、2回目からの切断では、切断刃の劣化が顕著に認められ、又切断時の押し付け力はロボットにとっては過大な負荷であった。

### ア 実験目的

切断刃の寿命向上及び押し付け力の低減を図るため、粒度による切断性について明らかにし、コアドリルの仕様を決定する。

### イ 実験方法

粒子の異なる二種類の切断刃を用い、予測した押し付け力を設定して試作機の自動切断刃モードで、同じ切断刃を使ってガラスを切断し、切断時間及び消費電流の測定を行う。

## ウ 条件

回転数 : 4400rpm  
押し付け力 : 4.5kgf  
水 : 1560ml/min  
供試ガラスの厚さ: 19mmフロートガラス

## エ 実験結果

表5 ガラスカッター実験結果

	切断時間	消費電力
#30 600μm	① 1分23秒	5.0~7.5A
	② 1分42秒	5.0~7.0A
	③ 2分00秒	5.5~7.0A
	④ 2分19秒	5.0~6.5A 1分後 4.0~4.5A
	⑤ 2分29秒	5.0~7.0A 1分後 4.0~5.0A
#20 850μm	① 5分30秒	途中中止 10A 深さ 15.45mm 4450rpm 押し付け力 4.5kg
	② 1分20秒	途中中止 3A 深さ 1.45mm 3600rpm 押し付け力 4.5kg
	③ 1分00秒	途中中止 5A 深さ 1.9mm 3600rpm 押し付け力 7.3kg

## 6. おわりに

消防分野における壁面昇降ロボットの活用は、社会の情勢等から、その有益性が期待されている。

壁面昇降ロボットは平成二年度から開発を始め、試作機を製作した時は、要素技術の具現化を目標にしたが、今回製作した実用機は、実用面における確実性、信頼性、操作性、安全性等総合的な見地から検討を加えた。

本機は、四ツ谷消防署に配置され、実災害に活躍するものと確信している。

今後は追跡調査を行い、実用面における評価を行うとともに、その結果を平成八年度から開発を予定している高機能型ロボットの基礎資料としていく。