

壁面昇降ロボットの開発について (第2報)

— 作業装置 —

Development of a Wall Climbing Robot (Series 2)
— Fire Fighting Mechanism —

加藤 和利*
加藤 俊之*
神田 淳**

概要

はしご車が接近または架ていけない建築物あるいは、はしごが届かない高層階で火災が発生した場合で、かつ建築物内部での消防活動が困難な場合、建築物外壁面を昇降し、消防隊の支援を行うことのできるロボットの開発が必要とされている。本研究室では、第1報で、壁面昇降ロボット（以下「ロボット」という。）の歩行機構の部分を試作した結果について報告した。

本報では、壁面昇降ロボットの作業装置について試作した結果を報告する。

作業装置は、作業機構部であるガラス切断装置、通話装置、温度測定装置、照明装置、監視装置（TVカメラ）放水装置及び、制御機構部から構成され、制御機構部からの手動による指令により各装置は駆動する。

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.

Last year, We reported about development of climbing mechanism of a wall climbing robot.

This time, We developot a Fire Fighting mechanism of a wall climbing robot.

The fire fightnig mechanism consists of a glass cutting machine, an intercom to communicate with a operater on the ground, a sencer to take a temperature, a searchlight, a video camera and a small nozzle.

And, it is operated by the control on the ground.

1 はじめに

ロボットに移動機能をもたせることにより、期待できる作業能力は飛躍的に増大する。ロボットの必要性や価値は、ロボットが人間に代わって作業を効果的に行うことができるところにある。

一般に消防用ロボットは、過酷な環境下で現場の消防隊員に代わって危険な作業を行い、消防活動の成果の拡大を目標としている。

そこで本報では、中高層建物火災における消防

活動内容とロボットの利用価値について検討を行い、ロボットに期待する機能及び装備する作業装置について検討、試作及び評価を行ったものである。

2 ロボットの作業機能

ロボットに装備する作業装置を検討する上で、ロボットがどのような消防活動に適しているのかを評価しなければならない。そのため、表1に消防活動上のロボットの利用価値を示した。その結果から、現在の消防活動の実態、高層建築物の現況等を考慮し、ロボットの行う消防活動内容で必要となる作業装置を項目ごとに列挙すると図1のよ

*第三研究室

**四谷消防署

うに整理できる。

3 ロボットの概要

表1 消防活動におけるロボットの利用価値

消防活動内容	利用価値	消防活動内容	利用価値
火点の確認	○	指揮	命令伝達
情報	建物の構造、用途、設備の状況把握	○	○
情報	関係者の確保	○	○
情報	延焼経路の確認	○	○
収集	煙の拡散、汚染経路の確認	○	○
収集	逃げ遅れ者の確認	○	○
収集	危険物、爆発物の確認	○	○
収集	落下物の確認	○	○
破壊	壁体の破壊	○	○
破壊	ガラスの破壊	○	○
人命	人命検索	△	○
人命	人命救助	△	○
救助	避難誘導	○	○
救助	避難器具搬送	○	○

※ ○利用価値が大
○利用できるが、状況によっては利用できないこともある。
△利用価値が小さい又はない。

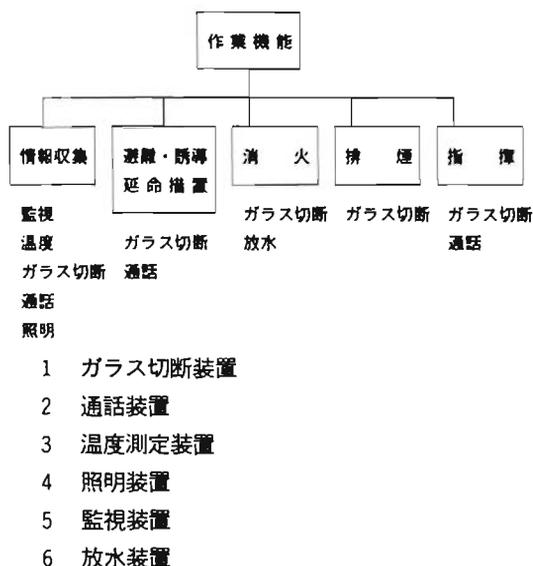


図1 消防活動におけるロボットの作業装置

作業システムは、実際の作業を行う作業機構部とそれを制御する制御機構部から構成される。特に問題となるのが作業機構部であり、大きさ、重量の制約のほかに効果的でしかも合理的なものではなければならない。そこで、基本的な作業システムを考える上で、基礎実験を行って作業機構部の構成を検討した。

(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本体と制御部から構成されている。今回の試作機では、製作過程が2段階に分割されたことから、制御部も分割されている。ロボット本体は機構上、さらに歩行機構部と作業機構部に分けられる。歩行機構部については、前報で報告したので本報では、新たに試作した作業機構部の報告を中心とした。



写真1 ロボットの構成

作業装置は、写真2、図2に示すように作業機構部であるガラス切断装置、通話装置、温度測定装置、照明装置、監視装置（TVカメラ）、放水装置と制御機構部から構成され制御機構部からの指令により各装置は駆動する。なお、基本システム構成を図3に示す。

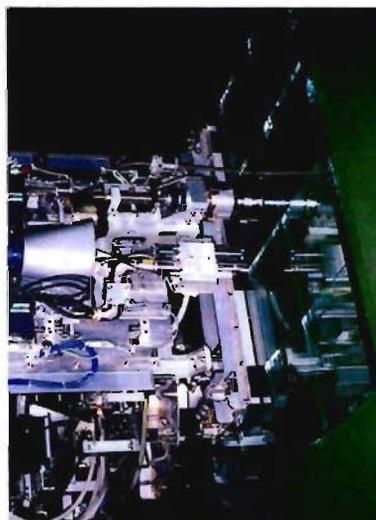


写真2 ロボット作業装置

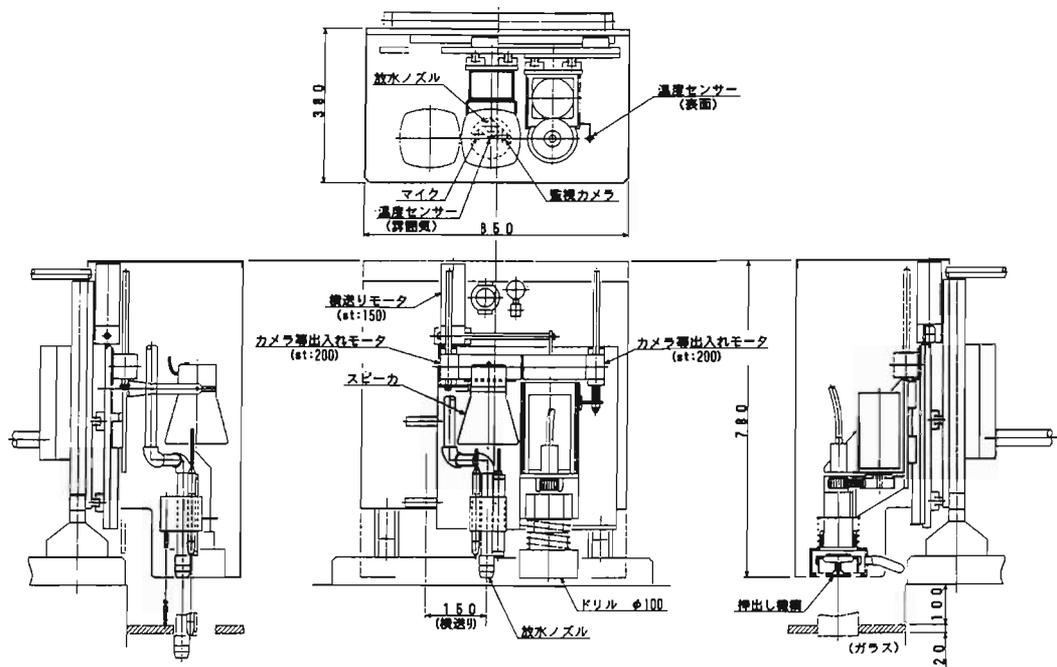


図2 作業装置作業機構部の構造

(2) 作業装置の構造

作業機構部は、歩行装置 B 1 脚前部に取付けられた作業装置取付板上に、ガラス切断装置、温度測定装置からなる第 1 (切断) ユニットと、通話装置、温度測定装置、放水ノズル、監視カメラからなる第 2 (作業) ユニットの作業装置群から構成されている。また作業ユニットは、切断口径がφ100mmであることからφ100mmの範囲内に各装置を集約して組込んでいる。作業装置の位置決めは、6Wのリニアドモーターを3個使用し送り方向動作、左右方向動作を行う。作業装置の送り方向ストローク及び左右方向ストロークは200mm、速度は25mm/sとなるように構成されている。

(3) 作業手順

作業装置は、以下の手順により作業を行う。

- ア 作業は、ロボットが作業位置に到着後、3脚全て吸着させてから実施する。
- イ 監視カメラにより、ガラスの状況、内部状況の確認。また、温度測定装置によってガラス表面温度を測定する。
- ウ ガラスの切断が有効と判断された場合、自動か、単動かの作業手順を選択する。自動で作動させると、監視カメラでモニターしている位置に、切断装置が移動し切断が開始される。

- エ 内部の状況を確認後、通話装置による呼びかけ、放水装置による噴霧放水を行う。

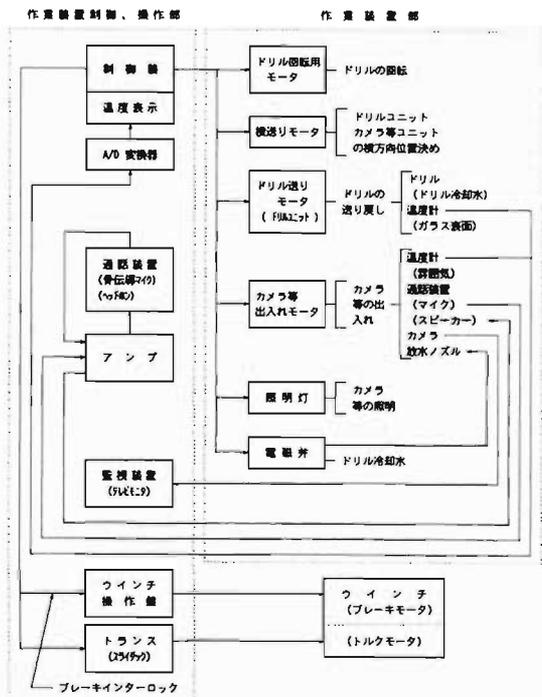


図3 作業装置の基本システム構成

(4) 諸元・性能

作業装置の諸元・性能を表1に示す。

表2 ロボット作業装置の諸元・性能

ガラス切断	φ100mm
監視カメラ	極小CCD 8mmカメラ
通 話	(地上側) 骨伝導マイク ヘッドホン (ロボット側) 防水型集音マイク スピーカー
温度測定	0°～450° Cまで測定 ガラス表面測定用及び室内測定用
放 水	100ℓ/min
照 明	100W
重 量	約45kgf

3. ガラス切断実験

中高層建築物火災において、実際の消防活動を行うためには、建物内部とのコンタクトをとる必要があり、ロボットの一部分でも侵入させなければならない。このためには、建物を一部破壊し、侵入口をつくるのが最低条件となる。

開口部をつくる場所としては、窓、壁体が考えられる。壁体は、その構造、厚さが不明確であり、破壊作業が複雑なものとなる。それに対し、窓ガラスを破壊する方法であれば、その破壊特性が把握し易く、既存技術からの応用範囲も広いため、より有効であると考えられる。そこで、ガラス破壊装置の試作実験を行い、その他の作業装置の構成を決定した。

ロボットに搭載する破壊装置は、窓ガラスを安全、確実、迅速に破壊(切断)でき、しかもその装置は軽量、小型でなければならない。

ガラス破壊方法としては、衝撃による破壊熱による破壊、及び切断による破壊が考えられ、これらの方法による破壊実験を既存の技術により行った。その結果、衝撃による破壊では、大きな力が必要であるとともに、二次的な災害危険が発生す

ると判断され、また、熱による破壊は、簡易型のバーナーによる熱を利用したが、クラックが生じる程度で破壊は困難であった。

基礎実験において、最も有効であると判断されたのが、切断による破壊であった。

切断方法はいくつかあるが、レーザー、溶断機等では、装置が大きくなってしまい、ディスクカッターでは、直線的な切断しかできず、開口部を作るためには切断方向を変える装置が必要となるため複雑なものとなる。そこで、ロボットに搭載するガラス破壊装置として必要条件を備えていると思われるコアドリルを選定し、実験を行った。

(1) 実験項目

ガラスの種類、切断刃、押付け力による切断時間の測定及び切断状況を確認する。

表3に実験条件を示す。

表3 実験条件及び実験装置

供試ガラス		供試切断装置	押付け力
種 類	厚さ	切断刃	
70-トガラス	10mm	φ60mm φ80mm φ100mm φ120mm	5kgf
	15mm		
	19mm		
合わせガラス	24mm	切断器	55kgf
		回転数 1000rpm	
強化ガラス	10mm		

(2) 実験方法

試料ガラスの上に切断機本体を設定し、各押付け力に相当する錘を切断器本体のモーター部にのせ切断開始から終るまでの時間測定及び切断状況を確認した。

写真3にガラス切断実験装置、写真4に切断状況、写真5、図4に供試コアドリルを示す。

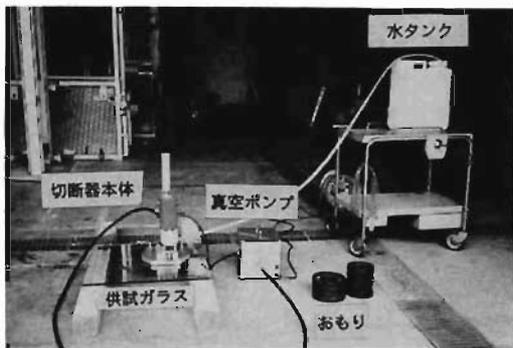


写真3 ガラス切断実験装置

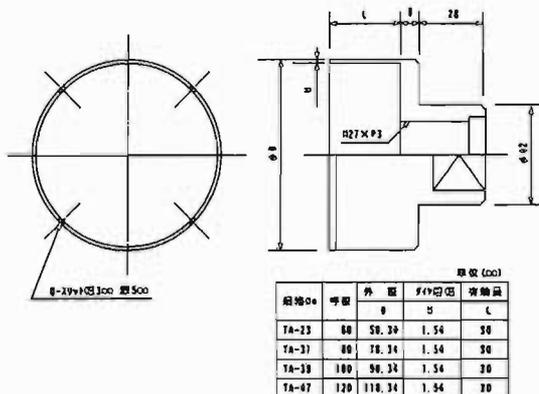


図4 供試コアドリル

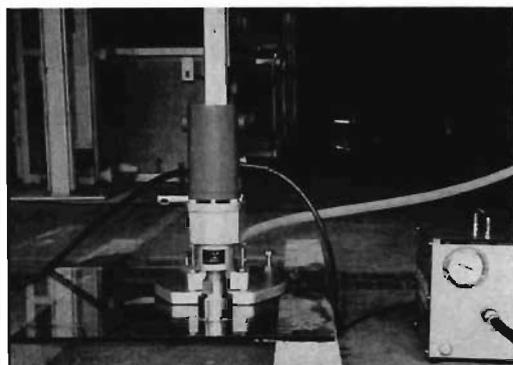


写真4 切断状況

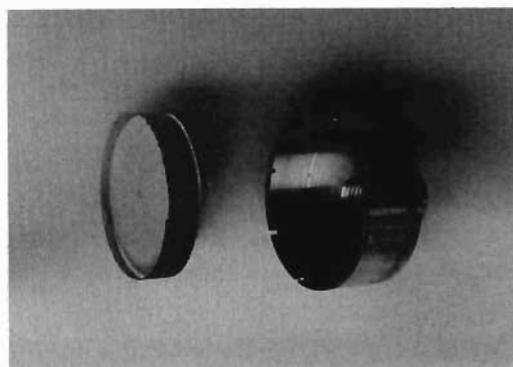


写真5 供試コアドリル

(2) 実験結果及び考察

ア 切断刃径と切断時間

図5に切断刃径と切断時間について示す。条件は押付け力20kg f 厚さ10mmのフロートガラスとする。

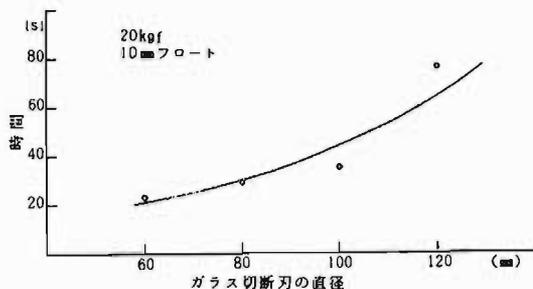


図5 ガラス切断刃の直径と切断時間の関係

切断刃径の増加に伴い切断時間は指数関数的増加を示している。また $\phi 120\text{mm}$ は $\phi 100\text{mm}$ と比較すると2倍近い時間を要していることから切断径はできるかぎり小さいものが望ましいが作業装置の大きさも考慮しなければならない。 $\phi 100\text{mm}$ 前後を一つの基準とすることができる。

イ 押付け力 (荷重) と切断時間

図6に押付け力と切断時間の関係について示す。条件は $\phi 100\text{mm}$ 厚さ10mmのフロートガラスとする。

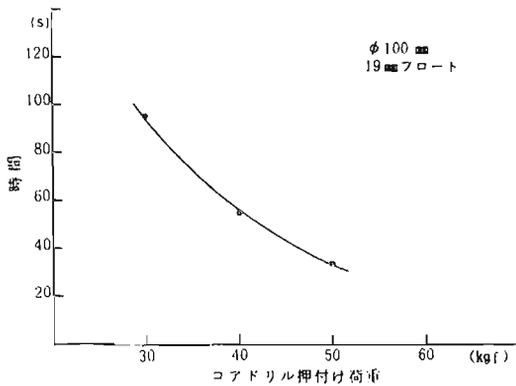


図6 ガラス切断荷重と切断時間の関係

押付け力の増加に伴い切断時間は大幅に減少している。また切断刃径が大きい場合にその傾向も顕著にみられる。

時間の短縮には、押付け力を増加させればよいのであるが、ドリルを駆動させているモーターの許容負荷。さらには、ロボット本体の壁面吸着力からも限界がある。

また、他の径での実験では、押付け力の増加と伴に切断時間が増加する傾向も見られた。これは、押付け力が過剰となった場合、切込み量が増え、切削抵抗が大きくなる。このため切断器のモーターが過負荷となり回転数が下がり、単位時間当たりの切削量が減少したことから切断時間が増加したと考えられる。

また回転軸のぶれによりコアドリル側面とガラス切断面の摩擦抵抗の増加及び、切断面積の増加による切断時間の増加も考えられる。

φ100mmでは、押付け力と切断時間には顕著な傾向が見られ、フロートガラス19mmを1分以内で切断する押付け力40kg f 前後を基準とすることができる。

ウ コアドリルの劣化について

図7に同一の切断刃により連続して同一の厚さのガラスを繰り返し切断した場合の切断時間について示す。

条件は、切断刃径60mm、厚さ10mmのフロートガラスを30kg f の押付け力で5回の連続切断とする。

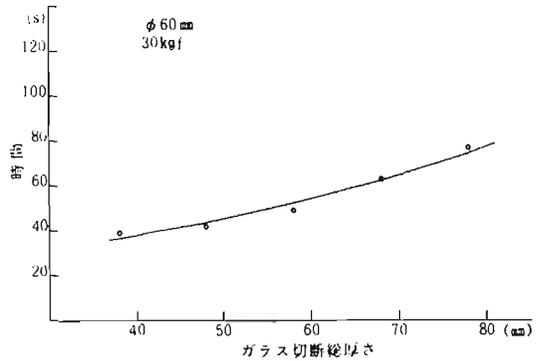


図7 ガラス切断回数(総厚さ)と切断時間の関係

切断回数(切断総厚さ)の増加に伴い切断時間が増加しており、その傾向は、切断回数の増加に従いより著しくなる。このことから、コアドリルが切断時間とともに劣化したものと考えられる。

実験で使用した切断刃では、1~3回程度の切断であれば、有効な性能をもつが、繰り返し切断等、耐久性に問題がある。

エ 切断状況について

フロートガラスを切断した場合は、切断初期のガラスの切り口は非常にきれいであるが、切断終了時の切り口はバリ状の部分と欠けの部分が混在した状況を示している。これは切断が終了する数ミリのところでコアドリルの押付け力により一気に破壊されるためである。

(写真6)また、切断終了後、切断したガラスはほとんど重力で切断刃から外れるが、切り口が多少斜めになっている場合などは、押し外さなければならない。

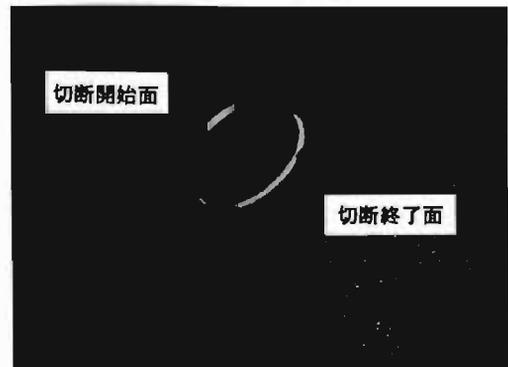


写真6 切断されたガラスの状況

合わせガラスを切断した場合は、切り口に

関しては同様の状況を示す。合わせガラスには、中間にポリビニールブチラル等の薄いシートが入っており、その部分を切断するときに抵抗が増加し切断刃の回転数が下がるが、本実験の $\phi 100\text{mm}$ までは切断可能であった。また、切断終了後、切断したガラスは、中間フィルムが切断刃に接着し、取り外すには力を必要とした。

(3) まとめ

ア コアドリル使用時のロボットに与える負荷及びロボットが行うその後の活動から最低限必要な径を考慮して $\phi 100\text{mm}$ のガラス切断を行うのが適当である。

イ 13mmのフロートガラスを $\phi 100\text{mm}$ で切断する場合、切断時の押付け力は 40kg f 程度で、1分以内である。

ウ 切断刃の耐久性は、切断回数4回前後である。

エ コアドリルのおれが切断の良否を左右する。



写真7 作業装置正面

4 試作した作業装置の性能

切断実験の結果から、ガラス破壊装置として、 $\phi 100\text{mm}$ のコアドリルを選定し、作業装置全体の構成を検討した。

$\phi 100\text{mm}$ の開口部を有効に活用する作業機構としては、作業装置をユニット化する方法が最適と判断された。そこで、ドリルによるガラス切断を行う切断ユニット、その他の作業を行う作業ユニットの2つのユニットで構成される作業機構とした。

作業工程は、切断ユニットにより開口部をつくり、放水等を行う作業ユニット送り込む方法を

とった。このため、すべての作業は2工程で済み合理的な機構となる。

作業ユニットは組み込むべきスペースが $\phi 100\text{mm}$ と制約されていることから、作業ユニット内には、監視カメラ、放水ノズル、マイク、室内温度測定器のみとし、スピーカは、作業ユニット後方に設置した。各ユニットは、同一のテーブル上に配置して駆動させることにより左右方向、送り方向の位置ずれを防止する機構とした。

作業面が地平面と異なる場合は、駆動部にかかる負荷が増すことから各駆動モーターに余裕をもたせることにより、作業動作をスムーズに行えるようにした。

(1) システム全体の作動実験の結果

各機能、駆動状況とも、設計方針を満たすものであった。

各装置の設計方針と作業実験の結果について以下に示す。

(2) ガラス切断装置 (写真8)



写真8 ガラス切断ユニット

ア 設計方針

有効な消防活動を行うためには、窓ガラスを安全、確実、迅速に破壊(切断)できる装置でなければならない。この対象となるガラスは、超高層ビルで多く使われているガラス(平成2年4月~6月調査実施)とする。これらの建物には、フロートガラスの15mm以下がほとんどであるが、一部19mmを使用しているものもあることから、次のような機能とした。

(ア) 1分以内に19mm厚のフロートガラスを $\phi 100\text{mm}$ の円形状に切断できる。

(イ) 切断したガラスの排除法として、室内側に

落とす方法が適当であると判断し、ガラス切断後切断したドリル内のガラスを室内側に押し出す機構を組み込む。

イ 作動実験の結果

切断能力に関しては十分な性能を示したが、耐久性においては問題が残った。

押し出し機構は、コアドリル内から切断したガラスを有効に押し出す機能を有していることを確認できた。

(2) 通話装置 (写真9)



写真9 通話装置

ア 設計方針

通話装置の必要性は、まず第一に、火災室内部の逃げ遅れ者との通話及び消防隊員からの呼びかけ等による逃げ遅れ者の確認、さらに非難誘導の指示を与える事ができることにある。第二に、現場においては消防隊員が携行している携帯無線機が輻輳することも少なくなく、このような時に火災室等に進入した消防隊員に命令及び情報伝達を確実に行うことができる。以上のことから、次のような機能とした。

(ア) 骨伝導マイクロホンオペレーター側に装備することにより、周囲の雑音等を排除する。

(イ) マイク及びスピーカーは、防水構造とする。

イ 作動実験の結果

骨伝導マイクにより、オペレーターの音声は明瞭に伝わることを確認できた。また、作業ユニット側のマイクにおいても、ドリルの冷却水及び、噴霧放水による影響は見られなかった。

(3) 監視装置 (写真10)

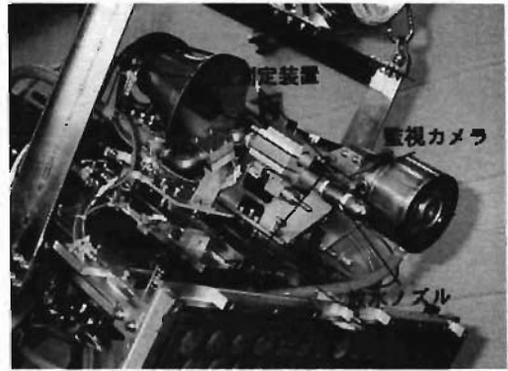


写真10 作業ユニット

ア 設計方針

室内の状況を確認し、逃げ遅れ者の有無、活動障害、煙の有無、及び煙の拡散範囲等の情報を消防隊に提供するために次のような機能とした。

(ア) 監視カメラは、視野が広く、小型で防滴構造のものとする。

(イ) 広い照度に対応する高感度型とし、暗所でも良好な画像を得ることができるものとする。

イ 作動実験の結果

ガラス面及び、内部状況の判断に十分な映像を捉えることができた。

(4) 放水装置 (写真10)

ア 設計方針

火災室内及び周囲に噴霧放水し、火勢抑制を行うため次のような機能とした。

(ア) 火災室内に直接放水することができる。

(イ) 3 kg f/cm²の圧力で約100 l/minの噴霧放水ができ、射程は約5 m、反動力は約5 kg f以下とする。

(ウ) 電磁弁により放水の開始及び停止をリモートコントロールする。

イ 作動実験の結果

電磁弁により、放水の制御が十分可能であった。

(5) 温度測定装置

ア 設計方針

火災室、ガラス表面等の温度を測定し消防隊に情報を提供するために次のような機能とする。

(ア) -200°C~450°Cまでの温度が測定できる。

(イ) 室内温度及びガラス表面温度が測定できる。

- (ウ) ガラス切断中は、冷却水の作動状況を温度変化により確認できる。
- (エ) 防滴構造とする。

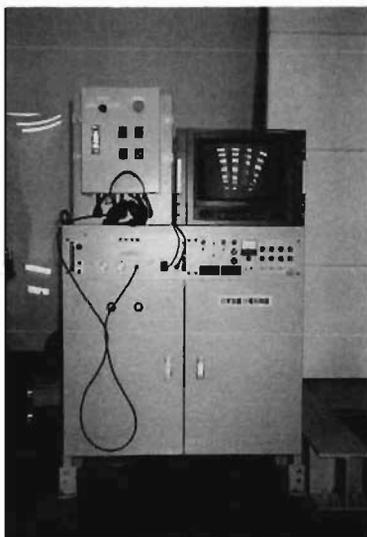


写真11 制御装置（作業機構部用）

イ 作動実験の結果

ドリルユニット側、作業ユニット側ともに対象となる温度測定に問題ないことが確認できた。

4 今後の課題及び予定

(1) 歩行機構部について

今後実用機を製作する上で、操作性の向上からロボットの軽量化、再吸着装置等の新機構の組み込みを検討している。

今回開発した試作機に新機構を増設する方法で実用機を製作した場合、軽量化はかなり難しいものとなる。そこ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ーに着目した。これまでのように駆動部すべてにモーターを使用すると、新機構を含めて重量はさらに増加する。このため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検討している。

エアシリンダーでは圧縮空気が必要となることから、この圧縮空気を利用してエジェクターを用いれば、壁面吸着用の真空を作成できる。

これにより、試作機で使用している真空ポンプをコンプレッサーに置き換えることができ、

現在の性能を変えずに他の機構への駆動力の供給及びエアホース等の周辺機器の軽量化を可能にし、トータル的な軽量化を期待することができる。

さらに、ロボット本体のメインフレームを短くし、サイズの小型化することにより軽量化を図る。そこで問題となるのが、一步あたりのストロークが短くなることによる昇降速度の低下であるが、各動作のスードアップにより解決することを検討している。

(2) 作業装置について

試作機による各種作業機構の機能及び制御システムをモデル実験した結果から次のような課題を今後検討する。

ア ガラス切断装置

切断装置の切断能力として、切断口径、切断速度においては問題ないが、切断刃の寿命が短い。切断能力を維持するため電着したダイヤモンド粒子を大きくするなどの改良を検討する。

イ 監視カメラ

監視カメラに自由度を持たせることにより、室内の状況を確認する際の視野範囲を広くすることを検討している。

(3) 制御装置について

現在2分割されている制御機構部を統廃合することによって、小型化と操作性の向上を検討する。

また、ロボット本体側にも制御機能を持たせることにより、情報量を減らし信号ケーブルの軽量化を検討する。

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た。平成4年度には実用機を製作する予定である。