

検知・探査災害対策用ロボット

津久井 慎 吾

地下鉄やビル，工場等の閉鎖空間での災害やテロ発生時などに，救助隊員に先行して進入し，災害状況等をリアルタイムに伝達して検知・探査可能なクローラタイプのロボットを開発した。本報では，この「検知・探査災害対策用ロボット」の主な特徴，基本性能試験結果を紹介する。また，実際の消防隊員からの意見・要望に応じて改良したポイント，今後の機能向上（新機能開発）などについて概要を示す。

キーワード：クローラ，ロボット，遠隔操作，検知，探査，災害，テロ

1. 緒言

総務省消防庁では，地下鉄等の閉鎖空間において化学薬品等有害薬剤が散布された災害を想定し，救助隊員に先行し危険区域に進入，有害薬剤の種別・濃度等を計測，現場状況把握を行い迅速な救助活動に資することを目的として，検知・探査型災害対策用ロボットの実用化が検討されている。

本報では，上記実用化に向け開発したロボットの主な特徴と基本性能試験結果を紹介する。また，このロボットの履帯（クローラベルト）には，東京工業大学広瀬・福島研究室と共同開発したものを採用し，本体には同研究室を母体としたベンチャー企業である株式会社ハイボット製のマイコンを搭載している。

2. 特徴と性能

(1) 概要

総務省消防庁より提示された仕様に則り，開発した

「検知・探査災害対策用ロボット」の外観写真を（写真—1），基本仕様を（表—1）に示す。

表—1 基本仕様
<本体>

重量	約 64kg
履帯	ゴムライニング型スチールベルトクローラ
寸法	長さ 1025 mm × 幅 480 mm × 高さ 420 mm
最低地上高	40 mm
防水・防塵性	IP54 相当
段差乗越え性	段差 16.5 cm，踏み台 30 cm，横幅 75 cm の階段昇降が可
カメラ	4 台（前後左右）全て LED 照明付き ※進行方向前カメラのみチルト機構付き
搭載検知器	神経ガス，びらん剤，可燃性ガス，ガンマ線
その他	電子コンパス・温度計搭載 音声通信・赤色灯搭載
操縦方式	有線（300 m），無線（約 50 m）の切替式
走行速度	最大 3 km/hr
連続稼動時間	約 2 時間

<操縦装置>

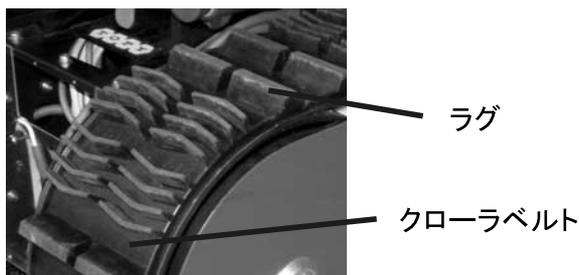
重量	約 6 kg
寸法	長さ 280 mm × 幅 500 mm × 高さ 64 mm
防水・防塵性	IP33 相当
表示画面	12.1 inch
走行操縦	ジョイスティック，速度切替（低，中，高）
主な表示内容	通信状況モニタ，本体バッテリー残量 カメラ画像（4 画面），各計測器の検知データ，ロボットの向き・姿勢
画面録画機能	最大 2 時間（5 フレーム/秒）
音声通信	プッシュトーク



写真—1 外観写真

(2) 走行性能

クローラ部においては、東京工業大学と共同開発の履帯を採用することでクローラベルトの軽量化を実現し、ラグの形状に特徴を持たせることでクローラ半径以上の段差を昇ることを可能とした（写真—2）。



写真—2 外観写真

ロボットの形状については、階段昇降時の姿勢を安定させるために全長を約 1000 mm としている。ただし、地下鉄駅の改札口を通過できるよう本体の高さを 420 mm、幅を 480 mm に収めている。

走行は操縦装置において、切替スイッチによる 3 段階の最高速度切替と、ジョイスティックでの微妙な速度調整が可能である。また、微回転操作機能を付加し、クローラ回転量の検出を行って制御することで約 1° 分の回転が可能であり、進行方向の微妙な調整が可能である。

なお、段差乗越えや階段昇降が可能なパワーを備えつつも、最高速度については水平面にて 3 km/h の走行が実現できている。また、階段昇降では、建築物で一般的に使用されている勾配 34 度の階段で昇降可能であった。さらに、ブレーキ付モータを搭載しているため、階段や傾斜路面にて停止した際の自重落下を防ぐことができている。

(3) 遠隔操作

遠隔操作は、有線もしくは無線 LAN による操作が可能である。有線操作においては 300 m の光ファイバケーブルを搭載することで、地下鉄駅の入口からホームまで辿り着ける程度の移動距離を有している。

また、カメラを前後左右に 4 個搭載していることで、周囲の状況を簡単に把握することが可能である。さらに、暗闇でも視認できるよう各カメラに照度が高い LED 照明を取り付けている。

(4) 動力

大容量のリチウムイオンバッテリーを採用し、約 2 時間の連続稼動を可能にしている。また、予備バッテ

リを簡単に交換できる構造とし、操縦装置にはバッテリー残量を表示している。

(5) 操縦装置

12.1 インチ画面の薄型タブレット PC と薄型リチウムポリマーバッテリーを採用しコンパクト化を図ることにより、総重量約 6 kg と軽量化を達成した。

操作を行いやすいよう頻度が高い操作は押しボタン式とし、画面の左右に配置している。アナログジョイスティックは、前後左右（斜め含む）だけでなく、回転操作も使用可能で、回転操作は直感的に操作がわかりやすいように旋回操作に割り当てている。

また、ロボット本体に搭載されているカメラのマイク・スピーカ機能と、操縦装置に装備したスピーカ、やヘッドフォン、マイクを使用することで、ロボット周辺の音声の聞き取りと、周囲の人への音声による呼び掛けが可能である。

さらに、操作者が歩きながら操作を行いたい場合のために、操縦装置へのベルトの着脱を可能とし、肩からベルトを掛けて操縦装置を携帯することが可能である（写真—3）。



写真—3 操縦装置

3. 基本性能試験結果

(1) 走行速度測定

アスファルトの路面において高速設定の最大指令速度で 50 m の直線走行を行い、2 m 毎に走行速度を測

定した (図-1)。走行開始から約 6 m にて最高速度の 3 km/h に到達できていることがわかる。

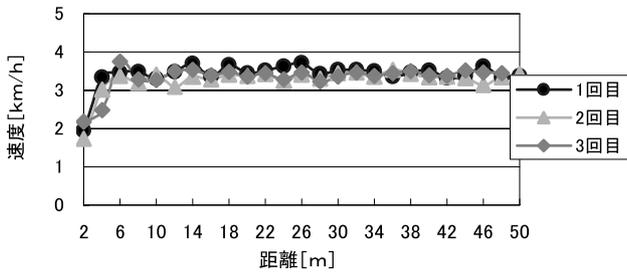


図-1 最大指令速度での走行速度

(2) 転倒角度測定

クローラ型ロボットにおいては、転倒した場合に復帰が困難なため、できるだけ転倒角度が大きく、倒れにくいことが求められる。

転倒角を測定した結果を (表-2) に示す。重心が低位置にあるため、前後方向においては転倒角が 86 ~ 87° と非常に大きく、また左右方向においても 56 ~ 57° と比較的大きいことがわかる。

表-2 転倒角度の測定結果

持ち上げ方向	角度 (°)
前	88
左	56
右	57
後	86

(3) 制動距離測定結果

アスファルトの路面にて、制動距離を測定した結果を (表-3) に示す。速度が大きいくほど制動するまでの距離は大きく、カメラ画面を見ながら操作している場合は、画像の伝送遅れから、停止するまでの判断が遅くなっていることがわかる。

表-3 制動距離の測定結果

目視	単位: mm			平均
	1回目	2回目	3回目	
低速	30	50	55	45
中速	155	170	175	167
高速	380	350	385	372

カメラ画面	単位: mm			平均
	1回目	2回目	3回目	
低速	85	75	70	77
中速	210	175	255	213
高速	530	525	530	528

(4) 旋回時の移動量測定

ビデオカメラにて旋回 (その場旋回) 時の動作を撮影した画像から、移動量を測定した (写真-4, 図-2)。左右方向の移動量が大きい、1回転にて最大約 50 mm 以内の移動量であることがわかる。そのため、旋回時において、ロボットの中心位置がほとんどずれないため、狭い場所での旋回もしやすいことがわかる。

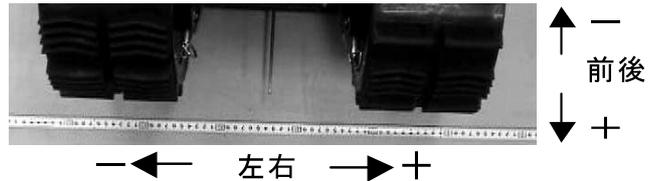


写真-4 移動量測定

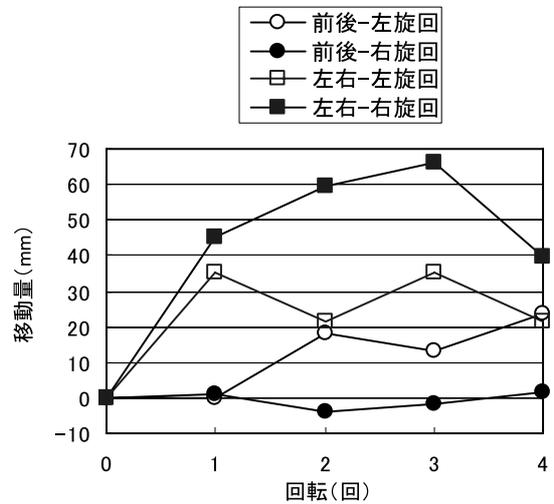
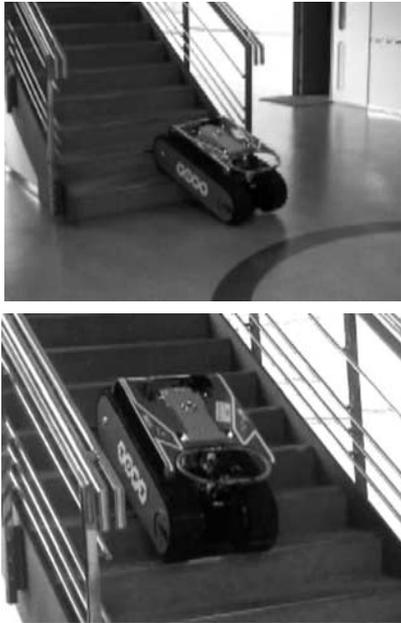


図-2 旋回時の移動量

(5) 階段昇降結果

実際の地下鉄においては公共の施設であり多くの人々の往来が目的であるため、30度以内の比較的緩やかな勾配の階段が採用されている。また、今後の発展性を考慮し、建築物で一般的に使用されている勾配 34度の階段で昇降試験を試みたところ昇降は可能であった。



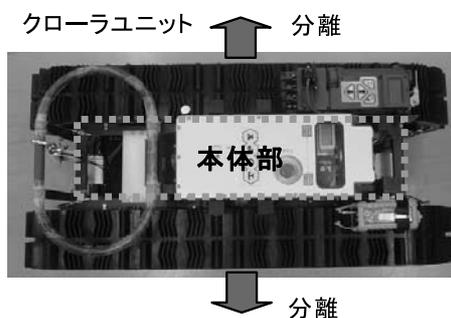
写真一五 階段昇降 (30度)

4. 改良のポイント

操作性や信頼性及びメンテナンス性を向上させるため、各種試験や改善項目の抽出を行い、さらに、実際に消防隊員からの意見・要望を取り入れ、各種改良を行った。

(1) メンテナンス性の向上

クローラをユニットで交換できるようにしたいとの要望に応えるべく、従来タイプの本体とクローラが一体化された構成から、クローラユニットをモジュール化したタイプに変更した(写真一六)。本体部と左右のクローラ部を着脱可能とすることで、ベルト交換等のメンテナンス性が向上した。

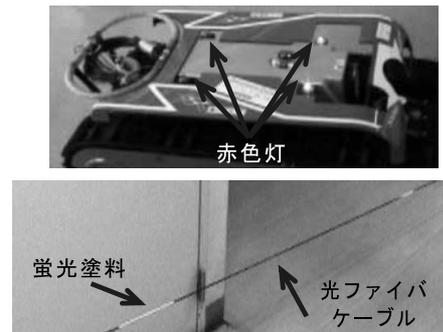


写真一六 クローラ部の分離

(2) 視認性

ロボットが災害現場に到達した際、被災者にロボットが近づいたことを知らせるため、赤色灯を搭載し点滅させた。また、黒一色の光ファイバケーブルは、暗

闇環境下では見えにくく、現場で活動している隊員や歩行者の死角となり、躓く恐れがあるとの意見から、2m毎に蛍光塗料を塗布(写真一七)することで、暗闇でもケーブルの確認が可能である。



写真一七 光ファイバケーブルへの蛍光塗料塗布

(3) 操縦装置の音声出力機能の追加

各種センサが異常値を示した際には、操作者に迅速かつ確実に異常の発生を伝達したいとの要望があり、操縦画面には数値表示だけでなく、センサ表示部の画面色の変更、及び音声にて異常内容を案内するようにした。また、バッテリー残量や有線ケーブルの残長がなくなった場合や、ロボットの傾斜角度が大きくなった場合にも、音声を加えて注意を促し、警告状態を強調している。

(4) 操縦画面の屋外での視認性向上

屋外にて直射日光が操縦装置の画面に入り、液晶画面が見にくくなる場合に対応するため、操縦装置に着脱可能な遮蔽カバーを取り付けた(写真一八)。これにより、屋外での直射日光の入射を軽減している。



写真一八 遮蔽カバー

(5) 「戻りモード」の機能追加

ロボットを目的地まで移動後、旋回して戻って来る際には、本体にケーブルを巻き込む恐れがあった。

そのため、カメラ画面の前後・左右、及びジョイス

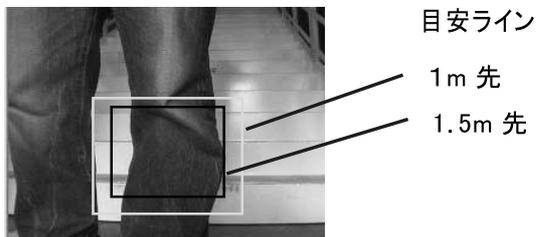
ティックの前進・後退操作，すなわちロボットの前後左右方向を入れ替える「戻りモード」の機能を追加した（図—3）。これにより，目的地から戻ってくる際の光ファイバケーブルの巻込み防止を図り，また巻き出されたケーブルを指標とすることで，元の位置に戻りやすくなる等の操作性向上となった。



図—3 戻りモード時の画面と動作

(6) カメラ画像への目安ライン追加

進行方向にある壁や障害物等との距離感を把握するにはカメラ画像だけでは困難である。そのため，操縦装置のカメラ画面上に，目安ラインとして1m及び1.5m先にロボットが存在した場合の想定範囲を矩形ラインとして表示した（図—4）。



図—4 カメラ画像への目安ラインの表示

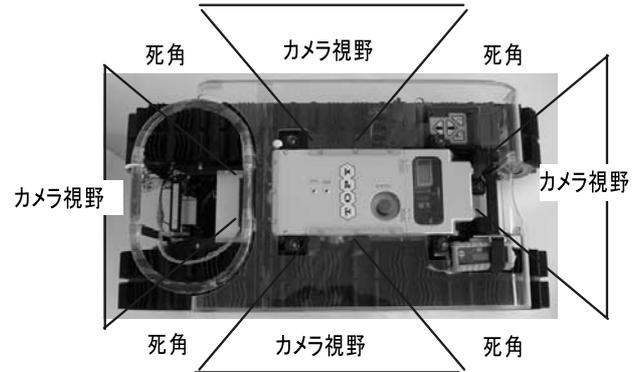
5. 今後の機能向上（新機能開発）

遠隔操縦方式においては，操作性の良さは重要な要素である。そのため，現在，ロボットの操作性向上の

ため，様々な新機能の開発を行っている。

(1) 全方位カメラ

現在, 前後左右に搭載しているカメラ視野のみでは, 死角ができ, 周囲の状況を把握しにくいと一部の消防隊員から意見があった（図—5）。

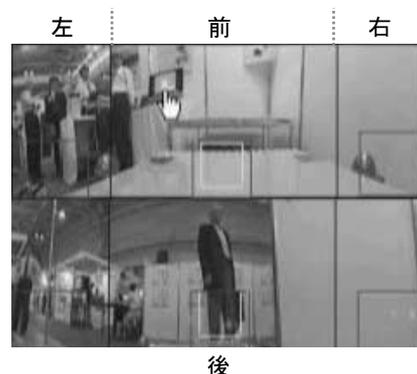


図—5 既存カメラ配置でのカメラ視野

そのため，1台のカメラで周囲360°の映像取得が可能な全方位カメラを開発用試験機の本体上部に搭載し，評価を行った。（写真—9，図—6）生画像はドーナツ形状に撮影されるが，画像処理により平面展開される。平面展開した画像では映像に多少歪みが発生し，画像処理上のタイムロスも多少発生している。走行用カメラとしては，多少の問題があるが，静止時の周囲確認用として十分使用できるものと判断している。



写真—9 全方位カメラ搭載

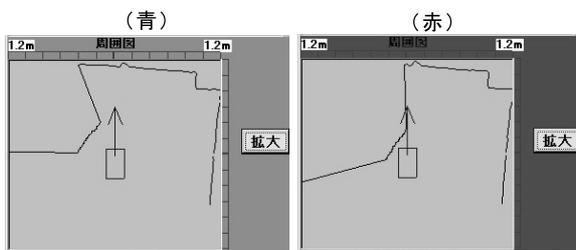
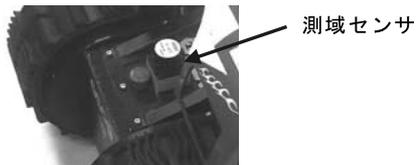


図—6 全方位カメラ画面

また、この全方位画像においても、上述の目安ラインに加え、前後左右の区別線をカメラ画像上に表示することで、距離感や方向感が向上することがわかった。

(2) 障害物検知図

カメラ画像のみでは周辺の障害物との距離感が把握しにくいいため、レーザスキャン型の測域センサにより、



図一七 測域センサ搭載と障害物検知図

240°の範囲にて5mまでの障害物を図に表示する機能を開発試験機に搭載して評価している(図一七)。

また、障害物が近い距離に近づいた場合には、画面色を変更する、音声で注意を呼びかけるなどの機能も付加することが可能である。

6. 今後の普及に向けて

今後の普及に向け、隊員からの要望等々のヒアリングを継続的に行い、より良いものへの改良や新機能開発を行うとともに、各消防本部への普及活動を行っていく。

JICMA

[筆者紹介]

津久井 慎吾 (つくい しんご)

トビー工業株

サイエンス事業部 クローラーロボット部



大口径岩盤削孔工法の積算

——平成20年度版——

■内 容

平成20年度版の構成項目は以下のとおりです。

- (1) 適用範囲
- (2) 工法の概要
- (3) アースオーガ掘削工法の標準積算
- (4) ロータリー掘削工法の標準積算
- (5) パーカッション掘削工法の標準積算
- (6) ケーシング回転掘削工法の標準積算
- (7) 建設機械等損料表
- (8) 参考資料

● A4判/約240頁(カラー写真入り)

● 定 価

非会員：5,880円(本体5,600円)

会 員：5,000円(本体4,762円)

※学校及び官公庁関係者は会員扱いとさせていただきます。

※送料は会員・非会員とも

沖縄県以外 450円

沖縄県 340円(但し県内に限る)

● 発刊 平成20年5月

社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8 (機械振興会館)

Tel. 03 (3433) 1501 Fax. 03 (3432) 0289 <http://www.jcmanet.or.jp>