

耐環境性の高い消防防災向け検知ロボットの開発

天野久徳

消防活動現場での活用を想定した防水、防塵、耐衝撃および防爆性能の高い遠隔操縦型の移動ユニットを開発した。利用を促進するために、小型、低価格、維持管理の容易性を重視し、機能を絞り込むことを第一に開発を進めた。研究で使用した移動機構を基とし、プロトタイプを制作した。消防本部へ試験的に配備し、消防本部の要望を基に量産型を開発した。移動機構に検知器ユニットを搭載し、検知型のロボットとしての活用を提案している。検知器ユニットは多くの検知器に対応できることを重視し開発されている。官庁や民間で実用されてきており、消防においても配備促進のために基準整備が行われた。

キーワード：消防、ロボット、防爆、防水、ユニット、検知器

1. はじめに

ロボット開発の多くは、研究室レベルで実験、評価が行われてきている。一部では現実的な使用状況まで踏み込み、現場に必要な性能の検討を行い、開発されているロボットもある。しかしながら、まだ開発全体に対する割合は少ない。筆者らは消防活動現場で使用するための、実用性の高いロボット開発を行っている。

消防活動現場でロボットを使用することを想定すると、水や粉塵、可燃性ガスの存在、火炎による高温などに対する高い耐環境性などがロボットに必要となる。そこで、ロボットを現場で使用することを目的とし、高い耐環境性を備えた移動機構を開発した。本稿では、開発した移動機構を基に製作した情報収集ロボットについて、開発経過とともに紹介する。

2. 研究開発用ユニット

原子力施設災害発生時に救助活動を支援するため、クローラ移動機構を有する複数のロボットにより構成されるシステムの研究開発を行った。この研究初期においては、移動機構として模型雪上車を改造し使用していた。しかし、信頼性が低く、データを取得するための実験に必要な最低限の性能を維持することが限界であった。そこで、より信頼性の高い研究開発用の移動機構ユニットを開発することとした。開発した移動機構の一例を図-1に、その諸元を表-1に示す。その後、この移動機構に対して実用化の要望があり、

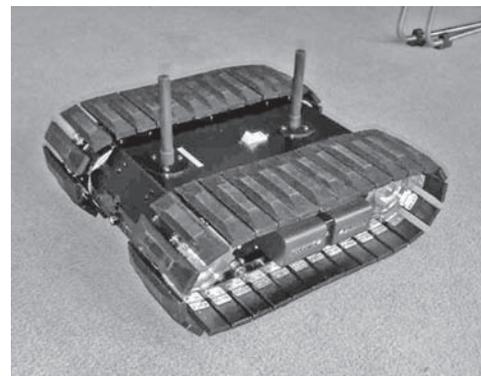


図-1 研究開発用移動機構の概観

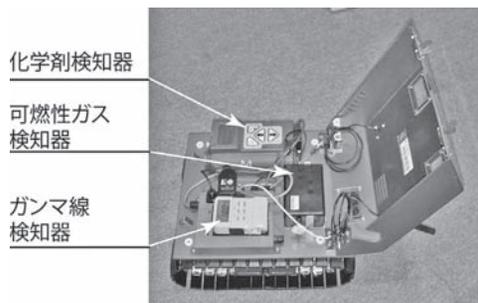
表-1 研究開発用移動機構の概略

概寸	375(L) × 320(W) × 120(H) ^{*)} [mm]
	*) アンテナを除く
重量	9.6[kg]
履帯幅	94[mm] (標準), 140[mm] (幅広)
モータ	27.5[W] × 2, 減速比 42:1
バッテリー	リチウムイオン, 28.4[Wh] × 4
カメラ	カラー, 25万画素
ライト	高輝度LED × 2

実用化への検討を行った。検討を行うために試作した移動ロボットの一例を図-2に示す。このロボットには、可燃性ガス、ガンマ線、化学剤検知器が搭載されている。その結果、火災事案ではなくガス漏洩などの事案における情報収集を主な目的とすると、実用の可能性があることを確認できた。ただし、市場性を考慮に入れると、小型軽量、低価格、維持管理の容易性を実現する必要があった。これらの条件を満たすためには、多くの機能を組み込むことは難しく、結果として機能の絞り込みが必要になった。



(a) 概観



(b) 積載されている検知器

図一 検知器ユニットを取り付けた移動機構

3. プロトタイプの開発

現場での使用環境を考慮し、防水、防塵、耐衝撃性の向上を図った製品のプロトタイプを開発した。その概観と諸元を、図一3および表一2に示す。また、操縦装置を図一4に示す。本体を鋳物成形として一体化をはかり、高い気密性、耐衝撃性を実現した。本体の開口部は遠隔操縦に使用する画像を撮影するカメラ窓、バッテリー交換用蓋、駆動軸貫通部のみである。各開口部に十分な気密性を持たせ、防水防塵に関する要求仕様をクリアした。

プロトタイプの開発に当たっては耐環境性の向上の他に、小型軽量、低価格、維持管理の容易性、機能の



図一 3 プロトタイプ概観

表一 2 プロトタイプの概略

概寸	437(L) × 350(W) × 152(H) ^{*)} [mm] *) アンテナを除く
重量	12.0[kgf], バッテリーを含む
耐環境性	防水防塵性; JIS C 0920 IP67 耐衝撃性; NDS C 110E Class A 相当
履帯	素材; ゴム, 幅; 120[mm]
モータ	27.5[W] × 2, 減速比 43:1
バッテリー	ニッケル水素, 25.9[Wh] × 4
カメラ	カラー, 25万画素
ライト	高輝度LED × 4
最高速度	4.0[km/h]
最大積載重量	8.0[kgf]



図一 4 プロトタイプ操縦装置

絞り込みなどの条件も克服した。たとえば、最近のロボット開発ではエネルギー密度や再充電の容易さからリチウムイオンバッテリーが採用されることが多いが、低価格化および維持管理の容易性から無線操縦模型用のニッケル水素バッテリーを採用した。開発当時は無線操縦模型用には汎用のニッケル水素バッテリーが商品化されていなかったが、現在は商品化されているため、容易に交換可能である。また、遠隔操縦のための通信は、安定性を考えると有線が有利であるが、小型軽量化等の条件から無線とした。また、無線到達の範囲を考慮し、移動機構の性能全体のバランスを考え、階段昇降能力は取り入れないこととした。大きさによって階段昇降能力はほぼ決まってしまう。高い移動性能は移動機構の利用可能性を大きく広げるが、低価格化および小型化を優先し、機能を絞り込み階段昇降機能は採用しなかった。

消防での利用を考慮し、単に移動機構だけではなく移動機構に検知器を搭載し、検知データを操縦装置で認識できる機能を追加した。しかし、機能の絞り込みが開発の必要条件であったので、ここでも、最低限の機能追加を検討した。消防では、各種ガス検知器ばかりでなく、放射線検知器など、多種の検知器を使っている。さらに、各消防本部において使用されている機種は同一とは限らない。そこで、検知器の計測値表示部をカメラで撮影し、映像で操縦装置に伝達すること

とした。検知器の搭載状況および表示部を撮影するカメラの取り付け状況を図-5に示す。中央のドーム状の内部に3台のカメラが固定されており、このカメラで検知器の映像を撮影する。



図-5 検知器を搭載したプロトタイプ

計測値の伝送に画像を用いると、伝達の効率は低い。デジタル化された計測値によって伝達することが、情報伝達の効率から考えると採用されるべきであろう。しかしながら計測値をデジタル化して伝送するためにはコンピュータインターフェースが必要になる。機器によってインターフェースが異なり、また、インターフェースがない検知器もある。一方、計測値の表示部は、人が携帯して使用することが前提となっている機器では必ずある。一見、高価格化を誘引することが予想されるが、消防本部が既に使用している機器を搭載することによって、低価格化および維持管理の容易性を高めることができる。そこで、ここでは表示部の画像による検知データの伝送を採用した。さらにこの方法を採用すると、ロボットが必要なくなった状況において、ロボットに取り付けられた検知器を容易に取り外し、隊員が所持して使用することが可能となる。

4. 試験配置と評価

開発したプロトタイプを消防本部に試験的に配置し、性能の評価を依頼した。評価に当たって、低価格、維持管理の簡易性、小型軽量化、機能の絞り込み等の開発主旨を説明し、プロトタイプの性能評価として、(a) 対応できる可能性が高い事案の提案、(b) 最小限の機能を追加することにより対応が可能となる事案、(c) 対応事案数が増える改良点を提案することを依頼した。

その結果、消防本部から提案された移動機構を使用する想定事案として、主にプラント災害、ガス漏洩災害事案および埋設管等における低酸素事案が提案された。これらは、当初の我々の想定と大きく異なる事案

ではなかった。これはプロトタイプの性能から、利用範囲は自ずと限られるからである。

小型軽量、維持管理の容易性については当初の見込み通り高い評価を受けた。特に小型軽量については、操縦装置および本体を隊員一人で搬送、運用できる点が高く評価された。また、防水、防塵、耐衝撃性の高さも高く評価され、現場での使用に十分耐えうるとの評価を得た。

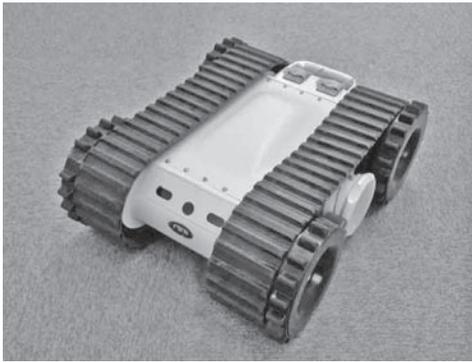
一方で、有効に活用できる事案数を増やすためだけでなく、基本的仕様に関しても改良点は多く提案された。バッテリー残量表示、本体と操縦装置間での音声通信、手袋装着時の操作性の向上などについては、大規模な改修の必要がなかったため、プロトタイプを改良することにより実現した。しかしながら、階段昇降能力、可燃ガス雰囲気中における活動において爆発危険がないこと、電波到達の遠距離化および障害物越しの電波到達性、操縦性のさらなる向上については、次の量産製品型開発での再検討が必要となった。階段昇降機能については当初の開発主旨に沿わないが、強い要望があったので採用することとした。この他にも細かい指摘はあったが、機能の絞り込みという観点から採用しなかったものもある。

5. 量産製品型

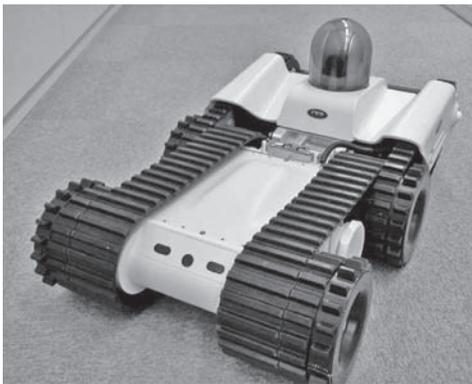
費用対効果を考慮しつつ、試験配置評価で指摘された必要機能を取り入れ、実配備のための製品を開発した。既に移動機構の基本的な構造の完成度が高いので、補助的な機構を付加することによって階段昇降機能を実現した。しかしながら、階段昇降機能は当初の開発趣旨ではあえて排除していたので、昇降機能のないタイプも開発している。

無線通信距離については、ダイバーシティアンテナを採用する等の改良を進めた。しかしながら、移動機構自身が小型であるため、アンテナを高所に設置することができず、大幅な改善は難しかった。そこで状況に応じて中継器を使用するなどの方法で対応することとした。中継器の利用は、今後より本格的なアドホックネットワーク技術を利用する発展性を視野に入れているためである。さらには、簡易的な有線通信も利用可能なシステムとした。

量産製品型として開発した移動機構を図-6に、諸元を表-3に示す。図-6には階段昇降機能がないSTDタイプと階段昇降機能を備えたSTRタイプ、2つの移動機構を示している。STDタイプは階段昇降機能が必要ないため、STRタイプ、図-6(b)右側



(a) STD タイプ



(b) 階段昇降型 ;STR タイプ

図-6 量産製品型

の後方に伸びている履帯部分はない。なお履帯を改良し、ペイロードを大幅に向上させている。

表-3に示しているように防水および防塵についてはJIS C 0920に規定されているIP67の性能がある。すなわち本体内部への粉塵の侵入はなく、本体が完全に水没してもその能力が損なわれる事はない。現在のところ、主に無線による遠隔操縦を想定しているため、水没状況において長時間使用することを想定していないので、IPX7以上の評価は行っていない。耐衝撃性については防衛省電子機器規格NDS C 0110E Class A相当、すなわち1.0[m]落下衝撃に耐えることができる。しかしながら、消防活動における支援活動を

表-3 量産型ロボットの概略

概寸	710(L) × 405(W) × 450(H) *) [mm] *)アンテナを除く
重量	18.0[kgf], バッテリーを含む
耐環境性	防水防塵性 ; JIS C 0920 IP67 耐衝撃性 ; 1.5m高さの階段転落 可燃ガスが本体内部に侵入しても着火しない (安全増し防爆構造相当)
バッテリー	ニッケル水素, 25.9[Wh] × 4
連続走行時間	1.5時間
実働時間	2.0時間
カメラ	カラー, 前方固定 1, パン・チルト・ズーム 1
最高速度	5.0[km/h]
最大積載重量	30.0[kgf]
乗り越え高さ	STRタイプ ; 200[mm]以上, STDタイプ ; 90[mm]
階段	STRタイプ ; 蹴上1 : 踏み面1.5

考えると、階段昇降時の操縦は難易度が高く、操縦ミスによる階段転落も考えられる。そのため、消防として階段転落を想定した検討が必要と考えられている。一般的な階段で用いられている踊り場間高低差の上限3[m]と規定されている。そこで、上限の1/2、すなわち1.5[m]の高低差のある階段を転落落下した状況においても機能を損なわないことを自主基準として設けることを検討している。

可燃ガス雰囲気中における爆発危険性については、いわゆる防爆規格に準拠するのではなく、個別に性能試験を行うとしてその安全性を検証した。最も着火エネルギーが低い水素27%濃度の可燃ガスを用い、バッテリーが満充電状態から完全放電状態まで、走行状態として着火の危険性を実験にて検証した。

本体の気密性が確保された状態では、安全性が確認された。水密性が高い設計となっているため、本体内部への可燃ガスの侵入がなかったと考えられる。これを“非着火性防爆”相当と考えている。さらに、消防での使用を想定するとロボットのボディが破損し、ガスが本体内部に侵入することも想定される。そこで、ボディの気密部を開放した状態、すなわち、可燃性ガスが本体内部に進入した状態でも同様な条件下において安全性が確認された。これは“安全増し防爆”相当の性能が確保されていると考えている。消防防災用としては可燃ガス雰囲気中での利用期待が大きい。しかしながら、防爆規格の取得は種々の面から困難さが考えられているため、第三者機関による、実験での性能確認による自主基準運用を検討している。現在のところ“安全増し防爆”相当の性能としているが、危険環境下での運用を想定すると、機器内部で爆発が発生しても外部に影響を与えない“耐圧防爆”相当の基準も検討をすべきであると考えている。一方、このような開発において“内圧防爆”も提案されることが多いが、機構の複雑さから、その維持管理が難しいと考えられ、取り入れることは難しいと考えている。

6. 消防用検知ユニットと操縦装置

移動ユニットに消防用を想定した検知ユニットを取り付けた状態を図-7に、一例として示す。STD型にパンチルトカメラ、2台の検知器取り付け台を有している。検知ユニット中央の黒い機器がカメラであり、専用のパンチルト台に取り付けられている。カメラの両脇にはライトが取り付けられている。当初は製品として一体化されているパンチルトカメラを使用した。移動ユニットの耐衝撃性に対し同等な性能を得



図一七 消防用検知ユニットの搭載例

ることができなかつたため、専用品としている。カメラ自身は低照度（1ルクス）カメラを採用しているが、災害現場での使用を想定しているため、ライトも取り付けられている。

2台取り付けられている検知器のうち図左側奥に取り付けられているものが可燃性ガス検知器である。パンチルト台に下半分が隠れてしまっているが、図一五に示した検知器と同じである。パンチルト台の右側に取り付けられている黄色の検知器がガンマ線量計である。

検知ユニットに搭載される機器はそれぞれで、防水、防爆、防塵性能を確保している。可燃ガス検知器は気体をポンプで吸引して各種ガス濃度を検出するため、吸入部はIP67とはなっていない。検知器としてはIP54である。すなわち、この検知ユニットを取り付けた状態では、水没可能な部分は可燃ガス検知器の吸入部下までとなる。しかしながら、検知器が完全水没した状況でのガス検出が必要とは考えられず、消防での運用を考えると十分な性能と考えている。

操縦性の向上に対応するために専用の操縦装置の開発も行った。専用操縦装置を図一八に示す。各種操縦ボタンは、手袋の装着時での操作を意識し、極力物理的なスイッチとし、画面上の電子スイッチをなくしている。ロボットの移動操縦は、ジョイスティック2本で行う。1本のジョイスティックで、前後進を操作する。もう1本のジョイスティックで、右左折、および左右のその場旋回の操作を行う。パンチルトおよびズーム機能付きのカメラを検知器の表示部撮影用とした。検知器表示部を撮影するパンチルト角度を記憶させ、ボタン操作のみで表示部へカメラが向くようにした。なお、ジョイスティックにて、任意の方向の画像を取得することも可能である。また、左右、前後など検知器以外の場所もあらかじめセットしておくことにより、ボタン操作のみでパンチルトおよびズームを操



図一八 量産製品型操縦装置

作可能である。図一五に示したプロトタイプでは、ドーム内のカメラは固定されているため、検知器の取り付けに制約があった。図一五にて検知器が倒して取り付けられているのはそのためである。量産型の検知ユニットではパンチルトカメラで検知器表示部を撮影するため、検知器の取り付けも容易となっている。

移動機構ユニットと検知器ユニットが独立しているため、赤外線カメラユニットと交換することも可能である。また、検知器のデータを表示部の画像により操縦装置に伝達しているので、化学剤検知器LCD3.3等の検知器を追加することも容易であり、これらのユニットは開発済みである。

7. 活用および想定

既に第3節で紹介したプロトタイプが放送局で使用されている。動物の生態を撮影するための移動ユニットとして採用されている。これが事実上の実用第1号であった。さらに、第4節で紹介した消防本部での評価に使用されたものは、性能的要望意見があったものの、現在でも消防本部に配置されている。また、量産製品型については、その耐環境性を生かし、他省庁に複数台納入されている。たとえば、水路の点検作業に使用されている。また、民間でも10台以上がいわゆる3K現場等で使用されている。いずれも、高い耐環境性が評価されての採用であった。当初は、小型軽量、低価格、維持管理の容易性、さらに機能の絞り込みを主旨として開発を開始した。しかしながら、消防からのある程度の要求を取り入れた結果、当初の開発仕様と比較すると高機能、高価格となってしまっている。

消防活動支援用としては、図一九のような構成を考えている。ここでは電波不達域への対応が主な問題となる。危険な状況下における情報収集を想定すると、

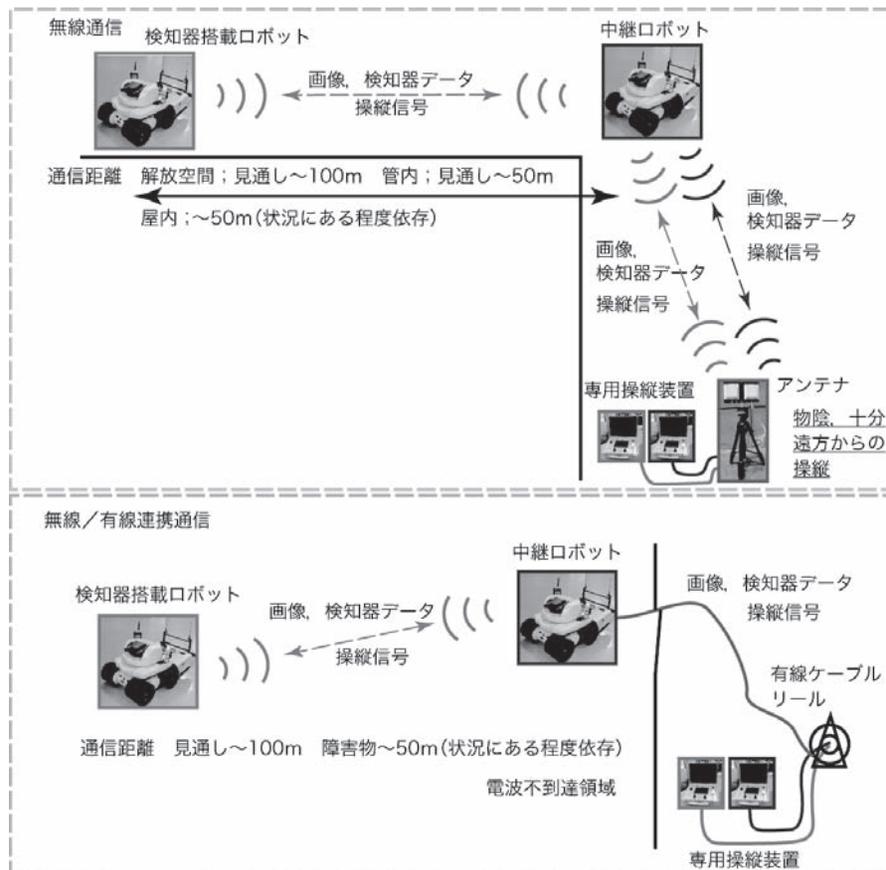


図-9 運用イメージ

物陰から操縦することとなる。電波の到達性を考慮し、中継器を一台、検知ロボットとの間に配置することになっている。中継器も同じ移動機構に積載している。屋外から屋内の検知を行う場合、簡易的な有線を利用し、中継器を屋内に入れることにより、屋内空間での電波到達を実現している。これらの方法は、埋設配管などでの利用でも有効と考えられる。

8. おわりに

耐環境性の高い災害対策用情報収集ロボットの開発について紹介した。万能ではないが、最低限の現場使用に耐えうる性能を備えていると考えている。防水、防塵、防爆性など気密性の高い構造のため、移動機構ユニットを安易に改造することは難しい。しかしなが

ら、必要に応じて積載部ユニットを交換することにより、幅広い用途への応用が可能である。

本稿で紹介した開発は、ほぼ平成20年で完了した。消防防災分野での活用を推進するために、平成21年度に消防装備関連基準の整備を行った。大都市の消防本部に配備することを奨励している。平成22年度以降消防において配備が促進され、現場で利用されることが期待されている。

JICMA

[筆者紹介]

天野 久徳 (あまの ひさのり)
 総務省 消防庁
 消防大学校 消防研究センター
 施設等災害研究室長, 特殊災害研究室長
 主幹研究官

