Technical
Survey

技術解説

消防防災ロボットの現状と展望

天野久徳[†]

近年、都市の高度利用、産業の複雑化が進み、災害対策の重要度がいっそう増してきている。一方、我が国は世界有数のロボット大国といって過言でないであろう。消防防災分野においてもロボットの利用は有効なものと考えられ、実用化もされている。本稿では、消防署に実際に配備されているロボットの現状を紹介するとともに、今後の課題、展望について解説する。

キーワード：ロボット、消防、救助、災害、配備

1. ま え が き

消火活動や救助活動は肉体的、精神的な負担が非常に大きいと考えられる。さらに、産業活動、市民生活が発展し、災害や事故も複雑化する傾向がみられる。消火活動や救助活動において、消防隊員は訓練を受け、安全管理された上で活動を行っているが、災害現場であるので予測していなかった事態に遭遇し、危険な状況に陥ることも考えられる。また、大規模な火災や特殊な災害にあっては、消防隊員の近接が困難な事案も発生している。

一方、近年のロボット技術の発展にはめざましいものがあり、特に日本は世界有数のロボット大国といえる。ロボットの機械力を利用すると、消防隊員の負担を軽減し、安全を確保できると考えられる。そこで、いくつかの消防本部では、ロボットが実戦配備されている。日本は世界的にみても多くのロボットが消防署に配備されている。本稿では、まず、消防本部が配備しているロボットを紹介する。

2. 消防防災ロボットの概略

消防署に配備されているロボットはおおよそ水中探索型、放水型、重量物排除型、情報収集型、救助型の5種類に分けることができる。“ロボット”の言葉の定義にもよるが、消防本部で配備されているロボットは、ロボットというよりはむしろ遠隔操縦装置となるかもしれない。しかし広義のロボットの定義を基に、遠隔操縦装置を含め“ロボット”と考えることとする。

全国の消防本部に配備されているロボットの配備、活用状況をまとめたものを表1に示す。各覧の中のカッコで囲まれている数字は、試験配備段階の数を、うち数で示している。例えば、情報収集ロボットは全国で7台配備されて

表1 消防防災ロボットの配備と活用

種 類	配備数	配備本部数	奏功事例
放 水	8	5	19/21年
水中探査	26	16	30/年 9/9年
情報収集	7(5)	6(4)	－
救 助	1	1	－
重量物排除	3	1	－
計	45(5)	19(2)	

()内は試験配備のうち数
平成19年度末を基準としている。

いるが、うち5台は試験配備中であることを意味している。表中第4列に示されている奏功事例とは、ロボットを使用することによって、何らかの効果が上がった事例を意味し、単なる出場件数ではない。また、件数は消防本部ごとでまとめたものである。例えばある消防本部では、放水ロボットの奏功事例が、21年間で19件あったことを示している。

最も多く配備されているロボットは水中探索型である。16消防本部に計26台配備されている。また、奏功事例も最も高頻度であり、水中探索型が最も活用されているといえる。一方、情報収集型、救助型、重量物排除型は実戦で使用された実績がない。

全国で19消防本部がロボットを配備しており、配備されているロボットの総計は45台。いくつかのロボットは更新され、更新に当たって種々の改良や淘汰が進んでいる。したがって、消防によるロボットの利用は、初期的段階から第二の段階へと入りつつあるといえる。10年前と比較して配備数は約2倍になっている。しかし、消防本部は全国に2007年度初頭の時点で、約800設置されており、全体の約2.5%の消防本部に配備されているにすぎない。全消防本部数と比較して考えると、決して十分に活用されているとは言えない状況である。以下、各型のロボットについて解説を進める。

[†] 総務省 消防庁 消防大学校 消防研究センター
"Fire-Fighting and Rescue Robots in Actual Deployment" by Hisanori Amano (National Research Institute of Fire and Disaster, Tokyo)

2.1 水中探索型

水中の探索活動は肉体的にも大きな負担であるばかりでなく、危険な状況であるので単純なミスが大きな問題を引き起こすことも考えられる。そこで、水中探索型ロボットが配備され実戦で使用されている。

水中探索型のロボットには、大まかに分類すると、カメラのみが探索装置として装備されている第一世代と、カメラの他にソナーも装備されている第二世代がある。消防では、人命救助を目的として探索に使用するので、探索水域は海岸にごく近い沿岸水域、港湾水域、あるいは河川に限られる。そのため、深く潜る能力は必要ないが、水の透明度が低く、視程が充分でない状況が多い。したがって、カメラの可視画像のみによる探索は難しく、ソナーが必要不可欠な装備となってきた。結果的に、第一世代の水中探索ロボットはよく機能しているとはいえない。また、頻繁に使用されている状態ではない。

消防本部に配備されている水中探索ロボットの多くは、専用に開発されたものではなく商業製品である。そのため、改めて開発する必要がなく、配備が容易である。同型あるいは同系列のロボットを、自衛隊、海上保安庁、警察等公共機関、さらに、電力会社等の一般企業も所有し使用している。ある企業が製作している水中探索ロボットは約300台の販売実績があり、消防で所有しているものは全体の約5%にすぎない。

数年前までは高価な高性能型が多かったが、近年、比較的低価格のものも性能が向上してきている。また、特別高度救助隊の設置が法令で定められたこともあり、ここ数年配備台数が増加している。2007年度だけで1台の更新と4台の新規配備があった。一方では、消防用に開発されたものではないため、消防で使用するためには、十分な性能がなく、配備後、使用事例がない消防本部もある。また、耐久性が低く、修理費用も高いため、維持が難しい消防本部も見受けられる。

札幌市消防局が2007年度に配備した水中探索ロボットを図1に示す。このロボットにはカメラ、ソナー、そして水中にいるロボットの位置計測用のトランスポンダーが取り付けられている。この他に簡単なマニピュレータが取り付け

けられているものもある。マニピュレータの自由度は伸縮の他、エンドエフェクタのグリップの開閉程度である。このマニピュレータは、人の救出に使用することもできる。しかし、先に説明したように港湾領域で使用するため、潮流が激しいことも多く、水の流れに対してロボット自身の位置を保持することが難しい。そこで、何か水中の物体を把持してロボット自身の位置を保持することがマニピュレータの主な使用目的とされている。

2.2 放水型

石油タンク火災では火災が大きくなり、火災からの放射熱が大きくなるため消防隊員が近接することは難しい。また、倉庫火災においては、建物内に煙が充満しやすく、消防隊員が進入することが難しい場合がある。そこで、いくつかの消防本部では、石油タンク火災や倉庫火災に対応するための放水ロボットを開発し、配備している。

一例として、2006年度に東京消防庁が更新配備した放水ロボットの外観を図2に、その概要を表2に示す。遠隔操縦型の小型建機をベースとし、電動の遠隔操縦ノズルを組合せたものである。2004年度に、京都市消防局で遠隔操縦の小型建機をベースとし、電動で上下左右に遠隔操縦できる放水ノズルやカメラを組合せたものが開発、配備されている。東京消防庁では、1986年度から1992年度にかけて、4

図2 東京消防庁放水ロボット

図1 札幌市消防局水中探索ロボット

表2 放水ロボットの概略性能

寸 法	3.0m(長)×1.6m(幅)×1.9m(高)		
重 量	2500kgf		
動力源	ディーゼルエンジン 1.642×10 ⁻³ m ³ (1642cc)		
最高速度	1.28m/s(4.6km/h)		
操縦方法	無 線(特定小電力)	画像用2.4GHz, 操縦用429MHz	
	有 線		
放水砲	電動 左右90°, 水平～上方45°		
放水容量	水/泡*	5.0m ³ /min (5kl/min)	
その他の装備品	前方カメラ1, 後方カメラ1, カメラ用ライト, 自衛噴霧		

* 泡ノズルは着脱式。

台の大型の放水ロボットが開発配備された。この旧型の更新として京都市消防局のものと基本的に同じ構成であり、より大型のものを2005年度に開発配備した。さらに、2006年度および2007年度に各1台、更新配備している。図2に示したものは2006年度に更新したものである。消防本部や配備年度によって仕様の差異はあるが、2008年度には、他の消防本部でも基本的には同構成のものを配備することが検討されている。1989年前後に配備された旧型の放水ロボットは、各消防本部にて専用に開発されており、ロボットの購入や維持費用が高くなり、また、補給部品の確保が難しくなる等の問題点が懸念された。しかし、標準化が進むことによって、より安価で高性能なロボットの配備が進むと期待される。

また、旧型の放水ロボットは、重量物排除機能と放水機能が1台のロボットに集約されていた。旧型は、最も早く実用化された消防防災ロボットであり、より多くの機能が期待された。そのため、大型、大重量となっていた。しかし、今回の更新では、各機能を別のロボットとして機能分散させたため、1台のロボットとしては、小型軽量化することに成功している。

東京消防庁が2005年度に配備したロボットのカメラは、上下左右に可動式となっていた。このカメラの可動支持部は機械構造的に弱くなる。しかし、ベースが建機であるため移動時の振動が大きく、支持部の機構的原因からカメラ映像も振動してしまう。そこで、図2に示した2006年度型のカメラは、可動部をなくし、かつ、上下左右にカメラを動作させた画像が得られるように改良が施されている。複数のカメラを固定設置し、画像をつなぎ合わせ、実際にカメラが上下左右に動かなくても、上下左右の部分を取り取って伝送することにより、カメラを可動させた状況と同じ画像を得ることを可能にしている。この点も大きく評価され、経済産業省が主催している「今年のロボット」大賞2007優秀賞公共・フロンティア部門を受賞している。

2.3 重量物排除型

前節でも解説したように、20年ほど前に開発配備された放水ロボットには、進入路の確保や危険物容器の取り扱いを目的として小型のパワーショベルが取り付けられていた。パワーショベルの先端部を交換することにより、重量物排除やドラム缶の取り扱いを行うことができた。しかしながら、多くの機能を1台のロボットに集約することは、ロボットの大型化、大重量化を招くばかりでなく、専用の開発が必要となり、維持費などが高価になる恐れもある。

一方で、土木工事において、危険な領域での施工もあるため遠隔操縦による無人化施工が行われるようになってきている。特に、雲仙普賢岳の噴火災害後の復旧工事に多用され、その後、多くの現場で使用されている。これらの技術を前節で説明した放水ロボットにおいても利用している。また、遠隔操縦型の建機に自衛噴霧兼用の放水ノズル

などを取り付けるなどの改良を行い、重量物排除型として配備されている。なお、切替えスイッチによって、操作員が乗車して通常の建機として操縦することも可能となっている。

2.4 情報収集型

煙が充満した状況あるいはガス噴霧災害などにおいて、消防隊員が情報収集に進入することは危険である。そこで、消防隊員に先行して危険領域に進入する情報収集ロボットが配備されている。災害状況を事前に把握し、消防隊員が活動に必要な装備を事前に判断する情報を得ることができる。要救助者の確認や、活動計画を立案するうえで必要な情報を得ることもできる。

大阪市消防局はシンプルなタイプの情報収集ロボットを開発し、2002年度に配備している。ロボットの写真を図3に示す。このロボットは高齢者用の電動車いすをベースに、センサ、熱画像カメラ、カメラ等を積載し、無線操縦装置を付加している。ロボットを使用する状況を絞り込み、小型軽量そして比較的安価なロボットとして仕上げている。例えば、階段を昇降することはロボットとして不可能ではないが、そのためにロボットが大型化、高価格化することが予想される。そこで、階段昇降機能を採用せず、ロボット自身を軽量化することにより、数人の隊員による階段での搬送を可能としている。ロボットを安価にすることにより、多数のロボットを配備することが可能となる。

総務省消防庁参事官室では密閉空間における化学剤散布等の事案に対応するロボットを開発し、2006年度に消防本部に配備した。外観を図4に示す。このロボットは防塵、防滴性能があり、最高速度3km/h以上、30°以上の階段の昇降が可能である。神経ガスやびらん剤の検知機、燃焼性ガス検知機、ガンマ線検知機を積載し、遠隔操縦装置で検知データを知ることができる。操縦用としてカメラを4台積載、音声通信機能も備えている。ロボットの機動性を考

図3 大阪市消防局情報収集ロボット

図4 検知・探査型災害対策ロボット

図6 小型情報収集ロボットFRIGO-M

図5 試験配備情報収集ロボット

図7 東京消防庁救助ロボット

慮すると無線による通信が有利であるが、密閉空間内のロボットを、安全な領域から操縦するためには無線操縦では難しく、有線通信を採用している。有線ケーブルによる機動性の欠点を軽減するため、有線ケーブルをロボット内蔵とし、有線ケーブルの自動繰り出し、巻き取り機構が備えられている。短距離の移動においては、簡易的には無線の操縦も可能である。また、地下鉄駅における災害も想定されているので、小扉が閉まっている状態の自動改札機を通過できる寸法とした。なお、開発段階で試作したロボットも、配備型に準じた改良を行い、2カ所の消防本部で試験配備している。そのうちの1台を図5に示す。消防庁消防研究センターでは、研究開発で汎用的に使用できる小型ロボットを試作した。これを基に、小型、単純、安価であり、簡易的な情報収集を主な目的とし、実戦配備に向け、防塵、防水、防爆、耐衝撃性能を付加したものを、企業と共同で商品開発を進めている。そのプロトタイプFRIGO-Mを図6に示す。大きさは長さ43.7cm、幅35cm、高さ15.2cm、重さ12kgf、最高速度4km/h、8kgfまでの積載が可能である。

このプロトタイプを3カ所の消防本部に貸与し、試験評価を行った。試験評価で得られた意見を基に、量産型を開発した。

2.5 救助型

東京消防庁では救助用の遠隔操作ロボットを配備している。外観を図7に示す。左右一対、双腕のマニピュレータが装備されている。双腕のマニピュレータには、マスタスレイブ方式、すなわち、操縦装置に取り付けられたロボットハンドを動かすと、これと同様な動きをロボットのマニピュレータが動作する方式を採用している。この双腕ロボットシステムは、米国製のマニピュレータを利用し、電力線の維持管理用として開発されたものである。主なシャーシおよび移動機構は小型建機から流用している。マニピュレータおよびクローラ移動機構を含め油圧駆動となっている。本体中央部に収納式の簡易ベッドが取り付けられており、マニピュレータを用いて、救助した人を簡易ベッドに収容し、安全な領域へ搬送する。ベッドには空気供給装置、通話装置等が設けられている。1993年度に配備されたもの

図8 無線と有線を統合したシステム

であるが、近々更新を予定しているようである。

3. 今後の課題

ロボットであるからには、ロボット自身が判断して活動することが求められる。しかし、災害現場は平時とは異なり、複雑な状況下であり、現状のロボット技術を持ってしても、自動的に機能することは難しいと考えられる。したがって、当面は遠隔操縦型のロボットを利用せざるを得ないのが実情と思われる。ここで、ロボットの機動性を考えると、無線が有利であるが、無線の到達性や伝達情報量を考えると有線を選択せざるを得ない。そこで、消防研究センターでは図8に示すようなシステムを提案してきている。現場直近まで有線接続されたロボットを導入させ、これを中継器として、実際に作業するロボットとは無線で通信する方法である。

災害現状においては、どのようなガスがどの程度の濃度で存在しているかを知るためにロボットを投入することが、早期の災害抑制、鎮圧に有効と考えられる。しかし、

ガス雰囲気想定できない状況下における現状の防爆基準をそのまま移動型のロボットに当てはめると、非常に大型かつ重くなり実用性のないものになってしまう。今後、小型移動体における防爆性について検討の余地があると思われる。

4. むすび

消防本部が所有し、消防署に配備されている消防防災ロボットの現状を紹介し、今後の課題を解説した。消防活動や救助活動は、ロボット開発にとって最適な対象の一つといえる。最初に消防にロボットが配備されたのは、1986年である。その後20年以上が経過しているが、実際に配備運用されているロボットの活用、充足は充分とはいえない。消防防災ロボットに要求される特性もまだ十分に検討、理解されていないのが現状と思われる。今後、各方面からの研究者は勿論のこと、現場の消防本部、開発企業、生産企業そして行政の連携なくしては開発配備の促進を図ることは難しい。総務省消防庁では、今年が自治体消防制度60周年となるのを記念し、その記念事業の一環として消防防災ロボット技術研究会（仮称）の設立を計画している。消防防災ロボットの活用推進のために、より多くの分野から技術者の参加を期待したいところである。火災、災害における人命救助の一翼を担う消防防災ロボットの開発は人道的に考えても重要度は高く、その促進に向けての活動が期待されているといえよう。

（2008年6月1日受付）

あまの ひさのり
天野 久徳 1988年、大阪府立大学工学部機械工学科卒業。同年、自治省消防庁消防研究所入所。2000年、第三研究部主任研究官。2001年、（独）消防研究所基盤研究部主任研究官。2004年、同消防機械研究グループ長。2006年、総務省消防庁消防大学校消防研究センター主幹研究官となり、現在に至る。1995年～1996年、千葉大学。1998年～1999年、ワシントン大学客員研究員。消防・救助ロボットおよび消防用機器の振動制御の研究に従事。博士（情報学）。