

危険作業のためのロボット技術とその社会実装

Robot Technology for Hazardous Tasks and Its Social Dissemination

浅間 一

Hajime Asama

東京大学 大学院工学系研究科

School of Engineering, the University of Tokyo

1. はじめに

東日本大震災および東京電力福島第一原子力発電所の事故においては、人では困難な危険作業が多く、ロボットや遠隔操作機器の活用が求められた[1]。災害直後は、それらの機器がなかなかスムーズに導入できなかったものの、福島原発ではこれまでにすでに多くのロボット技術が投入され、多大な貢献を果たしている[2]。本稿では、これまでに開発され、災害現場や事故現場で適用されたロボットや遠隔操作機器について紹介するとともに、これからの原子力発電所の廃炉に向けて、さらには今後起こりうる災害や事故への備えとして求められる遠隔操作機器やロボット、社会インフラや産業インフラ、設備の点検・保守などで求められているロボットなどについて解説する。また、危険作業のためのロボット技術の社会実装において必要となる運用システムのあり方について議論する。

2. 東日本大震災と福島原発事故への対応

(1) 震災および津波対応におけるロボット活用

東日本大震災における災害対応では、被災者の探索、被災した建物やプラント・設備の調査、水中の調査、被災地のマッピング、重作業のパワーアシスト、被災者のメンタルケアなどでロボット技術が活用された。災害からの復旧、復興においても、汚染された地域の放射線量調査、瓦礫の処理、除染などでロボット技術は使われており、今後もさらに活用されるであろう。具体的には、能動スコープカメラ（東北大）、Quince（千葉工大、東北大、NEDO、IRS）、KOHGA3（京大）、Anchor Diver III（東工大）、遠隔操縦機 ROV（東大）、双腕式油圧ショベル型ロボット（日立建機）、被災地計測・モデル化・マッピング計測車・全方位カメラ（東大、東北大）、Paro（産総研）、スマートスーツ・ライト（北大）、Hexa-rotor MAV（千葉大）などのロボットがこれまでに用いられた。

(2) 原発事故対応・廃炉措置におけるロボットの導入

一方、福島原発の事故対応に関しては、事故直後は、冷却系の安定化、封じ込めが最大のミッションであったが、冷温停止後（平成 24 年 1 月以降）は、廃炉に向けた使用済み燃料プールからの燃料や燃料デブリの取り出しに移行している。しかし、現場で様々な作業を行っている作業員の被曝を低減することが何よりも重要なミッションである。具体的には、注水、瓦礫除去、調査（映像取得、放射線量・汚染分布・温度・湿度・酸素濃度・等の計測）、サンプル採取、計測機器などの設置、除染、遮蔽、機材の運搬などの作業でロボットや遠隔操作機器の活用が求められ、すでに数多くのロボットや機器が導入されている。導入された調査・作業用ロボットは、米国 iRobot 製の Packbot（2

台）、千葉工業大学、東北大学、国際レスキューシステム研究機構、新エネルギー・産業技術総合開発機構が開発した Quince、Quince 2、Quince 3、米国 iRobot 社製の Warrior、米国 QinetiQ 社製の Talon、日本原子力研究開発機構が開発した JAEA-3、TOPY 工業が開発した Survey Runner、東芝が開発した 4 足歩行ロボットと小型走行車、三菱電機特機システムが開発した FRIGO-MA、産業技術総合研究所と本田技術研究所が開発した高所作業車、日立 GE ニュークリア・エナジー社製遊泳調査ロボットなどである。

いわゆる「ロボット」以外のロボット技術も、廃炉に向けた様々な作業において活用されている。米国 Honeywell 社製の小型無人ヘリ T-Hawk が原子炉建屋調査に使用されたほか、日本原子力研究開発機構（JAEA）が開発したロボット操作車 RC-1 が、Talon の操作車として、またガンマカメラによる線量測定・汚染分布測定などに用いられた。さらに、これまでに、工業用内視鏡を用いた 2 号機原子炉格納容器内部調査、ROV を用いた 4 号機使用済燃料プール内調査・瓦礫分布マップ作成、バルーンを用いた 1 号機オペフロ調査なども行われている。

(3) 無人建設機械の活用

福島原発の事故対応およびその廃炉措置において、無人化施工をはじめとする建設機械も極めて有効に活用されている。東京電力福島第一発電所の事故発生直後は、原子炉の冷却が最大の課題であった。安定な注水を行う手段として、Putzmeister 社製のコンクリートポンプ車による遠隔注水が 4 号機で行われた。

また、事故直後の福島第一原子力発電所内には、津波によって発生した瓦礫と、原子炉建屋の水素爆発によって発生した瓦礫が多数存在した。特に、水素爆発によって発生した瓦礫は、放射線レベルが高く、発電所内での復旧作業の大きな妨げとなっていた。そこで、高線量作業環境における作業員の被ばく線量の低減を目的として、バックホウ、クローラダンプ、オペレータ車、カメラ車などの無人化施工機械を用いた瓦礫の除去が行われた。また、原子炉建屋内部においても、遠隔操作機器を用いた瓦礫除去が行われている。Talon（米国 QinetiQ 社製）、Bob Cat（米国 QinetiQ 社製）、Brokk-90（スウェーデン Brokk 社製）、Brokk-330（スウェーデン Brokk 社製）、ASTACO-SoRa（日立エンジニアリング・アンド・サービス社製）、除染機器 Moose（Pentek 社製）、遠隔操作床面除染装置（ATOX 社製）などが使用されている。

水素爆発を起こした 3 号機の原子炉建屋の最上階瓦礫の除去も、クレーンやバックホウなどの無人化施工機械を用いて行われた。また、鹿島建設は、クローラダンプおよびフォークリフトを用いて 3 号機の放射線レベルの高い瓦礫の搬送作業の完全自動化を達成した。

3. 今後の取り組み

(1) 福島原発の廃炉および原子力事故への備え

福島第一原子力発電所の廃止措置等に向けた中長期ロードマップでは、廃炉までに 30~40 年かかるとされており、今後も、除染、汚染水の漏えい箇所の特定・補修、燃料デブリの調査・取り出しなど、人が行うことが困難な作業が目白押しであり、長期にわたってロボットや遠隔操作機器の開発は、継続的に行っていく必要がある。これらは、いずれも新規に開発されるものばかりであり、現場で確実に使用できる装置として完成させるには、研究開発された後も、機能検証、実証試験、オペレータの訓練などをしっかり行った上で、投入する必要がある。日本原子力研究開発機構は、福島廃炉技術安全研究所を設置するとともに、遠隔操作機器・装置実証施設（通称モックアップ施設）の建設・運用を行う計画を進めており、開発されたロボットや遠隔操作機器の実用化を行う上での重要な鍵となる。

一方、今後起こり得る原子力事故に備えることも重要である。電気事業連合会は原子力緊急支援機関を福井県内に設置することを決定した。それを受け、日本原子力発電が敦賀市に原子力緊急事態支援センターを設置し、様々な事故対応用ロボットを配備するとともに、オペレーションの訓練を行うなど、有事の際の緊急支援体制を整えつつある。

(2) 一般災害に対する防災・減災の取り組み

日本は、台風、土砂災害、地震、津波、火山爆発など、自然災害が多く発生しており、これらに対する備えも重要である。これまで、阪神淡路大震災後に実施された文部科学省「大都市大震災軽減化特別プロジェクト」[3]、ロボット技術の実用化・事業化を目的として実施された NEDO「戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト」[4]、今回の東日本大震災と福島原発事故を受けて実施された NEDO「災害対応無人化システム研究開発プロジェクト」[5]などにおいて、災害対応ロボットの研究開発が進められてきた。これらの成果の一部が、これまでに東日本大震災や福島原発の現場で導入されている。

しかしながら、今後の備えという点では、このような研究開発だけでは不十分である。トンネル、高速道路、橋梁、等の社会インフラが老朽化し、笹子トンネルの崩落事故なども生じており、またコンビナートなどの設備事故も増加していることを考慮すると、社会インフラや設備などの点検や保守においても、ロボットの活用が求められている。発災後の災害対応、減災のみならず、災害を予防する防災も重要である。危険作業をロボットで代替したり、人が行うことが困難・不可能な作業をロボットで行うということが、ロボットを導入する最大の意義だが、ロボットを導入することで、人が作業を行う際に必要であった足場の建設などが不要になることで、コストが削減でき、工期を短縮できるということも重要なポイントとなる。

(3) 産業競争力懇談会での提言

今後の災害や事故に備えるためには、東日本大震災および福島原発事故が発生した際、迅速かつスムーズにロボットや遠隔操作機器が導入できなかった問題点を分析するとともに、それをいかに解決するか検討する必要がある。産業競争力懇談会では、災害対応ロボットの社会実装を行うために、平成 23~24 年度に「災害対応ロボットと運用システムのあり方」プロジェクトを実施し[6][7]、危険作業

や社会インフラ・設備の点検・保守などとの併用も含め、平時から使用、運用しつつ、有事の際に迅速に配備できるようにするための提言を、以下の 3 点にまとめた。

(a) 研究開発拠点やプロジェクト立ち上げによる技術開発

様々な災害に対応できるようにするためには、特殊環境移動・アクセス技術、遠隔操作安定通信技術、遠隔操作空間認知技術、操作性向上のための自律化・知能化技術、計測技術とそれに基づく点検・診断・メンテ技術などに関するニーズ駆動型基盤技術研究、高度実用化研究を行う必要がある。また、ソリューション導出・システム化技術を高度化するためには、DARPA Challenge[8]のような競技会やチャレンジを実施することも有効である。

(b) 災害対応ロボットセンターの設置

実証試験・オペレータ訓練、防爆性・耐放性・耐久性・安全性などの機能評価・認証、ロボット技術情報の集積化・一元的管理・提供、緊急時対応（災害時の配備）などの機能を持つ防災ロボットセンターを設置する必要がある。実証試験、オペレータの訓練に関しては、それを実施するテストフィールドやモックアップを設置する必要がある。

(c) 戦略策定・標準化・制度設計

災害対応ロボットの開発と運用を長期的に継続して行うための戦略の設計、策定が求められる。また、ロボットの機能評価やインターフェース仕様に関する標準化活動、規制緩和（特区など）、規制強化（配備の義務化など）、免税措置などの税制策定、無線周波数の確保や保険制度などを含む環境整備など、制度設計なども重要である。

平成 25 年度には、それを受け「災害対応ロボットセンター設立構想プロジェクト」において、非常時の備えとして、災害対応ロボットの平時利用、社会インフラや設備などの産業インフラの点検・保守におけるロボット技術の活用の必要性を説くとともに、現場で活用可能にするための実証試験・評価方法、ロボット技術やニーズに関する情報の集約化方法、テストフィールドを含む災害対応ロボットの拠点や運用体制の構築方針などの提言をまとめている[9]。

4. おわりに

本稿では、福島原発事故対応をはじめ、災害対応やインフラの点検保守などで求められているロボット技術について、これまで導入されたロボットや遠隔操作機器などの紹介も含めて解説した。今後、レジリエントな社会を構築する上で、災害に対する備えとして、現場で活用可能なロボット技術の開発・運用が極めて重要になる。

参考文献

- [1] 浅間 一: "東日本大震災及び原子力発電所事故に活用されるロボット技術", ITU ジャーナル, vol. 42, no. 2, pp. 44-47, 2012.
- [2] 浅間 一: "災害対応におけるロボット技術の適用と運用", 建設機械, vol. 49, no. 12, pp. 41-45, 2013.
- [3] <http://www.rescuesystem.org/ddt/H15-report/ddt15.html>
- [4] http://www.nedo.go.jp/activities/EP_00295.html
- [5] http://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100045.html
- [6] <http://www.cocn.jp/common/pdf/thema39-L.pdf>
- [7] <http://www.cocn.jp/common/pdf/thema50-L.pdf>
- [8] <http://www.theroboticschallenge.org/default.aspx>
- [9] <http://www.cocn.jp/common/pdf/thema60-S.pdf>