

災害対応におけるロボット技術の適用と運用

東京大学 浅間 一
Ichi Asama

1. はじめに

2011年3月11日、東日本大震災および東京電力福島第一原子力発電所事故が発生した際には、様々な場面でロボットの投入が求められた。実際、これまでに、多くのロボット技術が現場に投入され、多大な貢献を果たしている⁽¹⁾⁽²⁾。また、福島原発の廃炉に向けて、より多くのロボット技術が活用されることになると考えられている。しかるに、震災および原発事故直後には、ロボットが迅速、かつスムーズに現場に投入できなかったことは事実であり、多くのマスコミの批判を浴びた。今後災害や事故が発生した際に、同様なことが生じないように、いかにそれに備えるべきかを検討する必要がある。

本稿では、これまでに今回の災害対応のためにどのようなロボット技術が開発され、それが災害現場でどのように活用されてきたかについて紹介するとともに、今後の災害や事故に備えるためのロボット技術開発や運用のあり方について述べる。

2. 東日本大震災と 福島原発事故への対応

2-1 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。

2-2 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 (IRS)、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) が開発した Quince、Quince 2、Quince 3、米国 iRobot 製の Warrior、米国 QinetiQ 製の Talon、日本原子力研究開発機構 (JAEA) 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 (通称: TEAM NIPPON) 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。

2-3 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。その活用例について紹介する。

(1) コンクリートポンプ車による遠隔注水

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、コンクリートポンプ車に

よる注水が 4 号機で行われた。使用されたのは、Putzmeister 社製のコンクリートポンプ車である。その後、数台が導入され、遠隔操作できるように改造された。遠隔操作では、コンクリートポンプ車のブームの先端に照明とカメラを設置し、免震棟からカメラ画像をモニタリングしながら、注水が安定に行えるようにブーム等を遠隔制御した。

(2) 無人化施工機械による

原子力発電所内瓦礫除去

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、大成建設、鹿島建設、清水建設の JV (共同企業体) が、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、無人化施工機械を用いた瓦礫の除去を行った。具体的には、バックホウ (アイアンフォーク)、バックホウ (ニブラ)、クローラダンプ (11t)、オペレータ車、カメラ車などが複数台使用された。

(3) 原子炉建屋内部瓦礫除去

3 号機の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。使用された機器は、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) などである。その後、3 号機原子炉建屋 1 階瓦礫等の障害物の撤去作業に遠隔操作重機 ASTACO-SoRa (日立エンジニアリング・アンド・サービス社製) が使用されている。

(4) 水素爆発を起こした原子炉建屋の

最上階瓦礫の除去および搬送

水素爆発を起こした原子炉建屋の最上階瓦礫の除去も無人化施工機械を用いて進められている。4 号機の原子炉建屋上部については、放射線量レベルが低かったために、有人で撤去が行

われたが、3号機の原子炉建屋上部については、放射線量レベルが高いために、作業員の被ばく線量低減のため、原子炉建屋周辺に構築した構台および地盤面より、クレーンやバックホウ（ニブラ）など、遠隔操作による無人重機を用いた瓦礫除去が行われている。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

3-1 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、これから長期にわたってロボットや遠隔操作機器を順次開発していく必要がある。原子力委員会東京電力福島第一原子力発電所中長期措置検討専門部会の報告の中で、

- 国が責任を持って、必要な研究開発を進める
- 国内外の叡智を結集して、中長期の事故収束にあたる

の2点が明記されており、それにしたがって、今後も資源エネルギー庁が主導しながら必要となるロボットや遠隔操作機器の研究開発プロジェクトを推進するとともに、新たに設置された技術研究組合「国際廃炉研究開発機構（IRID：Research Institute for Nuclear Decommissioning）」がそのマネジメントを行うことになる。また、今後のロボットや遠隔操作機器の研究開発では、技術カタログ⁽²⁾の拡充と整備や、ロボットなどの実証試験を行うためのモックアップ施設の構築などにも取り組む必要がある。

さらに、福島原発の廃炉だけでなく、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、様々な事故対應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。

3-2 防災への備え

一方、日本は、台風、土砂災害、地震、津波、火山爆発など、多くの災害に見舞われており、原発事故のような人工災害のみならず、自然災害に対する備えも必要である。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」⁽⁴⁾、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」⁽⁵⁾、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」⁽⁶⁾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事故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活動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という考え方も重要である。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。

3-3 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⁽⁷⁾⁽⁸⁾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⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾、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まとめている。それは、主に以下の3つポイントにまとめられる。

(1) 研究開発拠点・プロジェクト

(ハード面での提言)

様々な災害においてロボットが活用できるようにするためには、特殊環境移動・アクセス技術、遠隔操作用安定通信技術、遠隔操作用空間認知技術、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、開発すべき技術課題も多い。それをニーズ駆動型基盤技術研究、高度実用化研究などで行う必要がある。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⁽¹¹⁾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。

(2) 防災ロボットセンター

(インフラ面での提言)

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ことが肝要である。

(3) 戦略策定・標準化・制度設計

(ソフト面での提言)

災害対応ロボットの開発と運用を長期的に継

続して行うことが需要であり、そのための戦略的設計、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年度にはその提言を受け、特に(2)項の実現に焦点をあて、「災害対応ロボットセンター設立構想」プロジェクトを実施し、センター設立に向けた提言をまとめつつある。

4. おわりに

いわゆる「ロボット」が、災害発生時に現場に迅速に導入されなかったのに対し、極めて早い時期に無人化施工機械が現場に投入され、使用された。これには理由がある。無人化施工技術は、平成3年に雲仙普賢岳が噴火し、火砕流及び土石流によって大きな被害が生じた際に開発・適用された技術であり、現在でも雲仙普賢岳の工事に使用されている。無人化施工技術は、平成16年に発生した新潟県中越地震の際のトンネル土砂崩れ現場での救出作業や、平成23年の台風12号による土砂ダムの工事など、様々な危険作業においてたびたび使用された実績のある技術である。今回の原発事故でも迅速に導入ができたのは、この技術が継続的に様々な現場で使用され、継続的に運用されていたことが重要な要因と考えられる。「ロボット」も災害時にスムーズに現場に投入できるようにするためには、これを一つの手本とする必要がある。

今後の災害に対して、ロボットを迅速に現場に投入できるようにするためには、

- ① ニーズ駆動の研究開発を行うとともに、ロボットユーザーである、消防、警察、防衛、自治体、電力会社などが、その開発に積極的に関与、参画すること。
- ② 現場で使用できるような実用化プラットフォームを開発し、訓練も含め、平時から

運用しておくこと。

- ③ それを継続的に行い、企業の参画を可能にするための実用化や運用の支援を国や自治体が率先して行うとともに、それを調達したり、配備を義務付けるなどして、需要を創出すること。

が重要なポイントとなる。

災害対応ロボットは、需要が特殊でユーザーは限定的であるというだけでなく、発生頻度が低いリスクに対する投資は認められにくいという理由から、民間の努力だけでそれを事業として行うことは極めて難しい。しかし、日本の国民の安全を守るためには重要だという理念から、国が責任を持ってその社会実装と普及を推し進めなければならないのである。国が長期的戦略を立て、それに基づき継続的に投資したり、制度設計をしていくことが肝要である。国が災害対応ロボットの需要を作り、投資を行うことで、日本のロボット技術の高度化、産業競争力の強化、さらにはそれを支える人材の育成という3つがよい循環として回りだす。そしてそれがロボット技術全体の高度化、ロボット産業の活性化、ロボット技術の人材育成につながり、災害対応のみならず、民需へと波及効果を及ぼし、日本経済の発展につながっていく。いわば、米国の軍事の役割を、日本では災害対応が果たすということになるよう期待したい。

これを達成するには、現場と研究開発との連携、プロジェクト間連携、産学官連携、省庁間連携、国際連携、地域連携、メーカー間連携など、有機的で迅速な連携の強化が重要である。長い寿命の人工物に関する技術をいかに維持するかが、今後非常に重要な課題となっていく。東日本大震災と福島原発事故は一つの大きな機会と捕らえるべきである。今まさに、これをチャンスとして、問題解決のみならず、日本の将来の発展のための基盤を構築していかなければならない。

<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・原発事故対応のための遠隔操作技術の開発とその運用”、ロボット、No.206、pp.33-38 (2012)
- (3) http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/20120626_01.html
- (4) <http://www.rescuesystem.org/ddt/H15-report/ddt15.html>
- (5) http://www.nedo.go.jp/activities/EP_00295.html
- (6) http://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100045.html
- (7) 浅間一：“東日本大震災および福島第一原子力発電所事故におけるロボット技術の導入とその課題（その1）”、日本ロボット学会誌、Vol.29、No.7、pp.658-659 (2011)
- (8) 浅間一：“東日本大震災および福島第一原子力発電所事故におけるロボット技術の導入とその課題（その2）”、日本ロボット学会誌、Vol.29、No.9、pp.796-798 (2011)
- (9) <http://www.cocn.jp/common/pdf/thema50-s.pdf>
- (10) <http://www.cocn.jp/common/pdf/thema39-L.pdf>
- (11) <http://www.theroboticschallenge.org/default.aspx>

【筆者紹介】

浅間 一

東京大学 大学院 工学系研究科 教授

〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1

工学部14号館825号室

TEL：03-5841-6456 FAX：03-5841-8547

E-mail：asama@robot.t.u-tokyo.ac.jp