

災害現場へのロボット技術の適用

浅 間 一

東日本大震災および福島原発の事故の現場において、これまでに多くのロボット技術が開発・投入されている。本稿では、システム化技術としてのロボット技術について述べるとともに、災害対応、原発事故対応において、これまでどのようなロボット技術の開発や活用の活動が行われてきたかについて紹介する。また、NEDO 災害対応無人化プロジェクトや福島原発の廃炉に向けた中長期研究開発において開発されているロボット技術について解説する。最後に、これまでの災害対応におけるロボット技術開発・適用に関する課題を明らかにし、今後の備えとして何が必要かについて、産業競争力懇談会のプロジェクトの提言などを紹介しながら述べる。

キーワード：災害対応，原発事故対応，ロボット技術，遠隔操作技術，無人化施工，防災ロボット

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災、津波、それによって発生した東京電力福島第一原子力発電所の事故においては、多くの場面でロボットの活用が求められた。それから約2年、これまでに多くのロボット技術が開発・投入され、様々な作業に活用されている。しかし、震災・津波・事故直後の緊急対応においては、過去に多くのロボット開発が行われていたにもかかわらず、それは必ずしもスムーズに現場に投入できたわけではない。本稿では、東日本大震災および福島原発事故に対して、どのようなロボット技術の開発や活用の活動が行われてきたかについて紹介するとともに、今後の備えとして何が必要かについて述べる。

2. ロボット技術とは

そもそもロボット技術（RT：Robot Technology）とは何か。災害対応や原発事故対応で様々な遠隔操作機器が用いられた。それらの機器が、ロボットなのか（ロボットと呼べるものなのか）といった議論もあるが、それはあまり意味がない。ただ、確実に言えることは、そこにはロボット技術が使われているということである。

経済産業省は、日本ロボット大賞の中で、「ロボット」を、「センサ、知能・制御系、駆動系の3つの技術要素を有する、知能化した機械システム」と定義し、「RT」

と同義としている¹⁾。しかし、ロボットとロボット技術は、コンピュータと情報技術（IT：Information Technology）が異なるのと同様、明確に区別すべきである。

ロボットとは、いわゆる多自由度を有する機械である。生物や人間、あるいはその一部に形態が似ているものがロボットと呼ばれることが多い。センシングによって得られた情報に基づき、動作を行えるような自律制御機能もロボットと呼ばれる機械の特徴である。

一方、RTとは、物理世界（実世界）における検知・計測・認識・制御・動作・作業などの技術を含めた総合技術である。情報技術が情報世界の中の技術であるのに対し、RTは、「情報技術+実世界で物理的な相互作用をするための技術」ということもできる。ロボットには当然RTが使われているが、輸送機械、産業機械、医療機器など、ロボット以外の多くの機器やシステムにもRTは用いられている。

ただし、完成したロボットを分解してみると、そこにはロボット特有の要素技術があるわけではない。ロボットはシステムであり、求められる作業を実行するために、要素技術が高度に統合化されている。すなわち、ロボット技術の神髄は、求められる作業を与えられた環境で達成できるようなシステム化技術だという点である。RTをニーズに対して応用するのではなく、むしろ作業ニーズに応えられるようにシステムを設計・構築する技術こそがRTなのである。それは、ソリューション技術と呼んでもよい。まさにこのシンセシ

スこそがRTの最大の特徴である。

3. 震災対応・原発事故への緊急対応におけるロボットや遠隔操作機器の導入

震災対応や原発事故対応において、これまでに様々なロボットや遠隔操作機器が投入されている^{2), 3)}。

震災対応では、ロボットのニーズは、被災者探索・レスキュー、倒壊建造物内調査、プラント・設備（コンテナなど）の調査・診断・修復、水中探査、復旧作業、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多岐に渡った。これに対し、能動スコープカメラ（東北大）、Quince（千葉工大、東北大、NEDO、国際レスキューシステム研究機構（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）などのロボット技術が投入され、災害対応における貢献を果たした。また、海外からも、米国Texas A&M大学Robin R. Murphy教授が率いるCRASAR（Center for Robot-Assisted Search and Rescue）が、実際に日本の災害現場にロボットを持ち込み、空中からの原子力発電所の建屋調査や水中調査に多大な協力を行った。

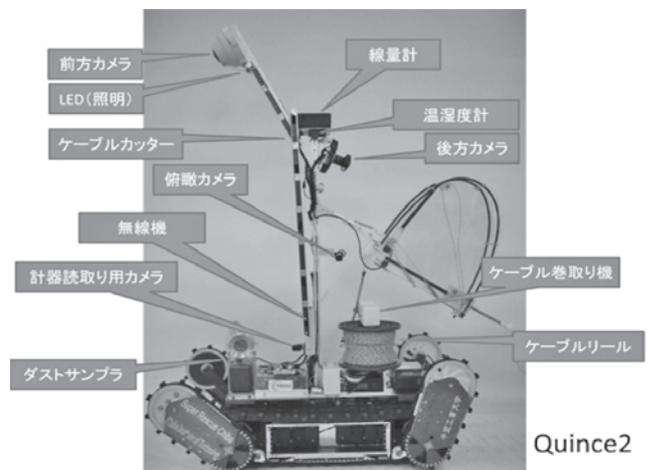
また、原発事故対応に関しては、注水冷却、建屋内外の調査（映像、放射線量、温度、湿度、酸素濃度、等）、瓦礫除去、機材の運搬・設置、サンプル採取、遮蔽、除染などのニーズに対し、コンクリートポンプ車（独Putzmeister製）の遠隔操作化による安定した注水、無人化施工機械（日本製の遠隔操作可能な建設機械など）を用いた瓦礫除去、Packbot（米国iRobot社製）やT-Hawk（米国Honeywell社製）の遠隔操作による原子炉建屋内外の調査などが行われた。また、走破性に優れ、瓦礫上走行や階段昇降が可能なQuinceが

平成23年6月に投入され、スプレイ冷却系の健全性のチェックによる安定冷却系の構築、原子炉建屋内の1階以外の部分の調査など、多大な貢献を果たした。その後も、Warrior（米国iRobot社製）Talon（米国QinetiQ社製）、Bob Cat（米国iRobot社製）、Brokkシリーズ（スウェーデンBrokk社製）などの海外のロボットに加え、日本の各プラントメーカ、ロボットメーカ、日本原子力研究開発機構（JAEA）などが開発したロボットも次々に導入された。

写真—1に福島原発に導入されたQuinceを、また、写真—2に無人化施工の様子を示す。

4. NEDO 災害対応無人化プロジェクト

NEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）は、平成23年度第三次補正予算で災害対応共通基盤技術として、災害対応無人化システムプロジェクトを行った（10.0億円⁴⁾。本プロジェクトでは、我が国において、災害時に無人で対応できるロボット等（災害対応無人化システム）の実用機の開発が必要であるとの観点から、作業員の立ち入りが困難な、狭隘で有害汚染



写真—1 福島第一原子力発電所の原子炉建屋内調査に導入されたQuince（千葉工大小柳栄次氏提供）



(a) 遠隔操作される建設機械



(b) 機器を操作するオペレータと操作システム

写真—2 無人化施工の様子（株熊谷組提供）

物質が存在する設備内の環境等において、作業現場に移動し、各種モニタリング、無人作業を行うための作業移動機構等の開発が行われている。開発項目は以下の通りである。

(1) 作業移動機構の開発

小型高踏破性遠隔移動装置、通信技術、遠隔操作ヒューマンインタフェース、狹隘部遠隔重量物荷揚／作業台車、重量物ハンドリング遠隔操作荷揚台車

(2) 計測・作業要素技術の開発

大気中・水中モニタリング／ハンドリングデバイス等の開発・改良（大気中モニタリングデバイス／水中モニタリングデバイス、汚染状況マッピング技術、ハンドリングデバイス技術）

(3) 災害対策用作業アシストロボットの開発

作業アシストロボットの開発

このプロジェクトは、原発事故対応を目的としたものではないが、ここで開発されている技術は、福島原発事故の中長期措置に適用可能な技術であり、実際、活用が大いに期待されている。図—1に開発されている様々な機器やシステムの概念図を示す。

5. 福島原発の廃炉に向けた中長期研究開発

福島第一原子力発電所の廃炉に向けた中長期ロードマップでは、以下の3期のプロセスが計画されている。

第1期：使用済燃料プール内の燃料取り出しが開始されるまでの期間（2年以内）

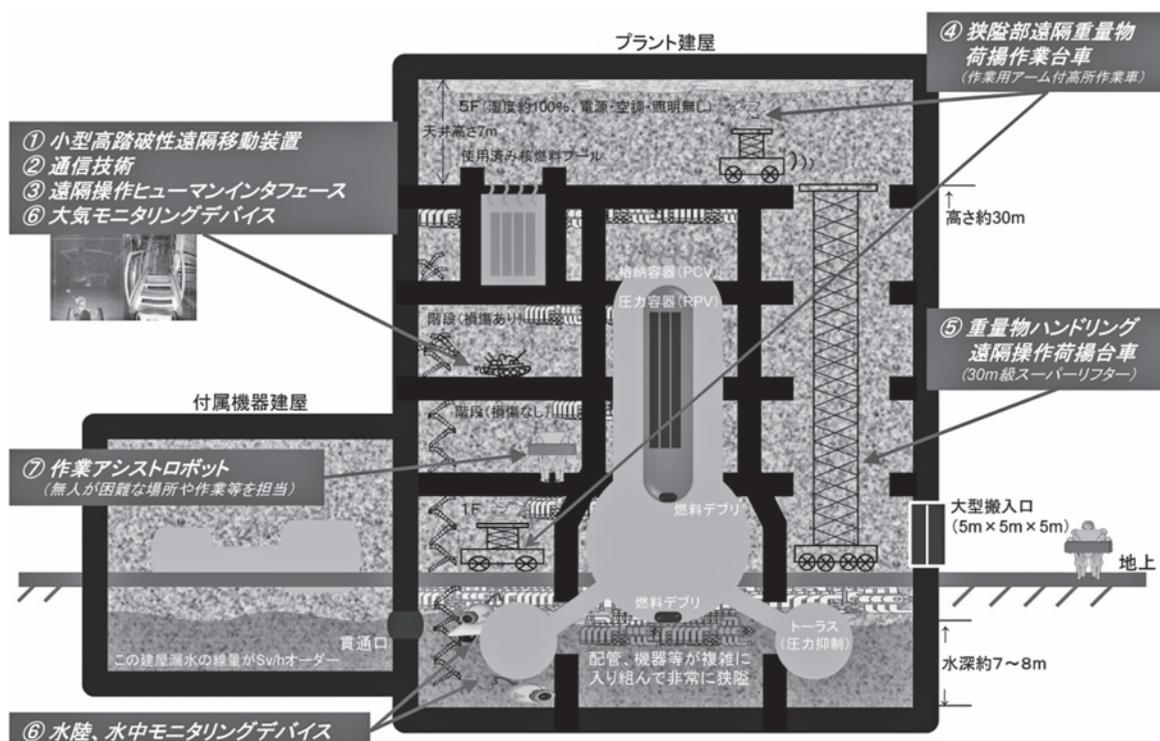
第2期：燃料デブリ取り出しが開始されるまでの期間（10年以内）

第3期：廃止措置終了までの期間（30～40年後）

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では、この極めて困難な課題をいかに達成するかの検討が行われた。特に必要となる研究開発の実施においては、以下の2点が明記されている。

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

上記の原子力委員会の方針に基づき、政府と東京電力は、中長期対策会議の中に研究開発推進本部を設置するとともに、運営会議でその研究開発の進捗管理を行っている。具体的には、経済産業省資源エネルギー庁の発電用原子炉等事故対応関連技術開発費補助金（5.0億円）および基盤整備委託費（15.0億円）によって、原子炉建屋内の除染作業、原子炉建屋・格納容器からの漏えい箇所調査、格納容器内部状況調査、原子炉建屋漏えい箇所止水・格納容器下部補修作業、圧力容器／格納容器の腐食に対する長期健全性評価などの研究開発が進められている。実施者は、プラントメー



図—1 NEDO 災害対応無人化システムで開発されている機器やシステムの概念図

カ3社（日立GEニュークリア・エナジー、東芝、三菱重工業）である。

プラントメーカ3社は、国内外の叢智を結集してこれらの開発を行うべく、国内外のベンダーを対象として、

- (1) 建屋除染に関する技術及び除染システムを搭載遠隔操作に関連する技術
- (2) 遠隔操作等の走行機器や計測機器に関連する技術

に関する公募を行い、395件の技術を技術カタログ⁵⁾に収録するとともに、現在、この技術カタログをもとに機器の仕様を決め、公募を行うなどして、国内外の有用な技術を調達しながら、開発を進めている。

このプロジェクトでは、開発項目ごとに研究開発が進められているが、ロボットや遠隔操作機器に求められるミッションは非常に多様で、また複数のプロジェクトで共通的に用いられる機器もあることから、研究開発推進本部の中に、横断的な組織として、遠隔技術タスクフォースが設置された。ここでは、様々なニーズに対し、RTをどのように活用しミッションを達成するかを検討し、ソリューションを提案したり、一つのアプローチが失敗することも含め、そのバックアッププランを提案するなどの役割を負っている。

これまでに、上記で述べたような機器開発の検討に加え、原子炉建屋屋上階調査やサブプレッションチェンバーの漏えい個所の調査、サブプレッションチェンバー内の水位計測などのミッションに対し、それを遂行するための遠隔操作システムの検討を行った。具体的には、小型飛行船、小型無人ヘリ、懸垂機構、水中遊泳ロボットなどを活用した調査システムや計測手法の検討を行った。それらの具体的な技術開発も近々に開始する予定である。

国の補助金や委託費で進められている機器開発以外にも、東京電力が個別にディベロッパーに開発を直接依頼して、導入を進めているシステムや、各プラントメーカなどが独自の予算で開発しているシステムなどもある。前者の例としては、QuinceやRosemaryなど、千葉工業大学などが開発を行ったロボットや、トピー工業が開発したSurvey Runnerなどが挙げられる。いずれも原子炉建屋内の調査に用いられている。また、後者の例としては、トラス室のベント管の調査に4足歩行ロボットと小型走行車（東芝）が用いられたほか、格納容器ガス管理システムのダクトの状況調査用FRIGO-MA（三菱電機特機システム）、建屋内作業支援用双腕型小型重機ASTACO-SoRa（日立エンジニアリング・アンド・サービス）、保守・補修作業用遠

隔作業ロボットMHI-MEISTeR（三菱重工業）なども開発されている。

6. 災害に対する備えとしての提言

震災、津波、原発事故が発生した直後には、必ずしもロボットをスムーズに投入することができなかったこと、過去に開発したロボットが有効に活用できなかったことを反省するとともに、その教訓から問題点を明らかにし、今後の災害対応に対する備えとして、解決するための方策を考える必要がある。

産業競争力懇談会「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」（平成23～24年度）では、今後の災害対応に備えるために開発が必要となる技術について洗い出すとともに、それを実用化し、いつ災害が発生しても、現場に投入し利用できるように、継続的に運用するためのシステムについて提言をまとめている^{6), 7)}。平成24年度は、本プロジェクトの2年目であり、WG1防災ロボット（主査：東北大学田所諭氏）、WG2無人化施工システム（主査：鹿島建設植木陸央氏）、WG3インフラ点検／メンテナンスロボット（主査：新日鐵大石直樹氏）、WG4運用システム及び事業化（主査：日本原子力研究開発機構川妻伸二氏）の4つのWGで議論を行っている。ここでの提言は、主に下記の3点に纏められる。

(1) ハード面での提言（技術開発）

東日本大震災および福島原発事故への対応において様々なロボット技術が適用されているものの、これから起こり得る災害に対する備えとしては、まだまだ研究開発が必要な課題が多く残されており、実用化を指向した基盤技術研究や、高度実用化研究（基礎技術を実際に適用できるようにするための研究開発）を実施する必要がある。ソリューション導出のための技術開発においては、システムインテグレーション技術とそれを行う人材育成が必要であり、DARPA Robotics Challenge⁸⁾のようなコンペ形式の開発も有効な手段であると考えられる。

(2) インフラ面での提言（インフラ整備）

現場で活用できるような機器やシステムを開発するには、その実証試験や機能評価を行うのみならず、それをユーザが継続的に運用し、機器やシステムを日々維持、保守、改良を行いながら、オペレータの訓練までも行うことが重要であり、それを行うためのテストフィールド、モックアップセンターを構築する必要がある。

ある。米国テキサスには、Disaster City⁹⁾と呼ばれるレスキュー隊員などの訓練フィールドがあり、それが災害対応ロボットの機能評価や訓練に用いられている。日本国内にもそのようなテストフィールドを設置する必要がある。また、無人化施工システムが今回の震災や原発事故に迅速に投入できた要因として、雲仙普賢岳という工事現場において、無人化施工システムが継続的に開発、活用され続けていたことが挙げられる。それを考慮すると、長期的にシステム利用する工事現場があり、それをフィールドとして継続的に活用することが肝要であることに気づく。さらに、有事においては、ロボットや遠隔操作機器を現場に配備するための組織・拠点・体制を整えることも必要となる。以上の考察から、これらの機能を有する防災ロボットセンター（仮称）を国のリーダーシップのもと設置する必要がある。

(3) ソフト面での提言（制度設計など）

上記の機能評価に関しては、ロボットや機器の機能評価のための標準化が重要となる。米国では、NIST (National Institute of Standards and Technology) がその機能評価の標準化を進めているが、日本でも同様な取り組みを行う必要がある。一方、実際に現場に投入可能なロボットや遠隔操作機器を開発するためには、防爆性、耐放性、耐久性、安全性などを評価し、それを認証できるような枠組みと組織が必要である。

一方、ロボットや機器を維持し、継続的に運用するためには、その活動を事業として成り立たせる必要がある。そのための新たなビジネスモデルの構築が求められる。災害対応だけでなく、社会インフラや設備の点検、ヘルスマニタリング、メンテナンスなどにも併用可能なロボットや機器を開発し、平時にも継続的に利用されるようにすることも一つの有効策である。それには、機器やロボットというハードウェアより、サービスを事業とすることを考える必要がある。また、導入を促進するための制度設計（特区をはじめとする規制緩和、ロボット配備を義務付ける規制強化、免税などの税制的制度設計、保険制度など）も極めて重要である。

7. おわりに

本稿では、東日本大震災および福島原発事故に対して、どのようなロボット技術導入や技術開発の活動が行われているかについて紹介した。ただし、ここで紹介したもの以外にも、多くの省庁でロボットや遠隔操作機器に関連する取り組みが行われている。総務省では、ホワイトスペース推進会議を設置し、地上デジタル放送に割り当てられたUHF帯の周波数領域を有効活用するための検討を行っており¹⁰⁾、災害対応ロボットや機器の利用についても議論されている。これもロボットや機器を有事の際に現場で活用できるようにするための一つの重要な活動である。

東日本大震災や福島原発の事故によって、我々は多大の被害を被った。しかし、それを糧とし、またそれを一つの機会と捕え、今後の備えに結び付けるとともに、産業競争力の強化など、プラスの効果につなげていくことが重要である。本稿では、今後の備えとして何が必要であるかの提言について述べたが、ここで述べた技術開発、防災ロボットセンター、制度設計などを実際に構築していく上で、省庁連携、産学官連携は極めて重要であり、提言を実現する上での鍵となる。今日本が一つになり、また海外とも連携しながら、災害に対する備えのシステムを構築し、安全安心な社会の実現にロボット技術を役立てられるようになることを切に願う。

JCMA

《参考文献》

- 1) <http://www.robotaward.jp/award/5th-robotaward.pdf>
- 2) 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).
- 3) 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).
- 4) http://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100045.html
- 5) http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/20120626_01.html
- 6) <http://www.cocn.jp/common/pdf/thema50-s.pdf>
- 7) <http://www.cocn.jp/common/pdf/thema39-L.pdf>
- 8) <http://www.theroboticschallenge.org/default.aspx>
- 9) <http://www.teex.com/sitemap.cfm?Div=USAR>
- 10) http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/kenkyu/whitespace/index.html

【筆者紹介】

浅間 一（あさま はじめ）
 東京大学
 大学院工学系研究科
 教授

