

# 災害対応ロボット開発環境への考察と 災害対応無人化システム研究開発プロジェクトの紹介

北 島 明 文

日米の災害対応ロボット開発環境を比較考察する。また、経済産業省・独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）が、平成23年度第3次補正予算にて実施する「災害対応無人化システム研究開発プロジェクト」について紹介する。

キーワード：災害対応ロボット，原子力事故，原子炉，放射能

## 1. はじめに

災害対応無人化システム研究開発プロジェクトは、平成23年度第3次補正予算から約10億円を措置し、人間が進入不可能または長時間の滞在が困難な災害現場において、人間に代わって諸作業を行うロボットを開発するものである。

東日本大震災においては、地震、津波、火災等の様々な災害要因が重なり、多様な災害現場が発生した。中でもロボットに対して社会の関心・期待が集まったのは、東京電力福島第一原子力発電所（以下、福島第一原発）事故収束作業においてであった。この現場は、高放射線量、高温高湿、瓦礫、水没、崩落危険性等の悪条件が重なっており、人間にとってもロボットにとっても最も困難な状況であると言える。

本プロジェクトで開発するロボットは、人間不在の状態で広く一般の災害現場で使えることが求められるため、当然福島第一原発での稼働にも十分堪える仕様でなければならない。これは我が国のロボット技術や災害対応ロボットの実用性を世界へ示すための最低条件でもある。そこで、本プロジェクトは、まず福島第一原発への導入と、原子炉解体の早期化に貢献することを目的に据えている。

## 2. 米国の無人機研究開発の動向

災害対応ロボットは、その性質から軍事用に用いられる遠隔操作の無人機との類似性が高い。まず、これらの無人機の研究開発動向を紹介する。

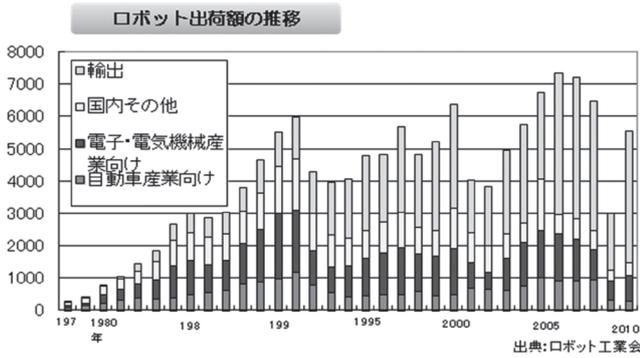
元々、無人機に必要な技術（低コストでの情報処理技術、センサ技術など）は十分に発達し、革新的な無

人機開発の下地は存在したが、そのような機械の具体的なユーザを想定できない状況が続き、開発は進まなかった。しかし、アフガニスタン紛争以降、中東地域において米軍が多くの死傷者を出したことから、近年世界の陸海空軍で無人機が注目され、配備数が増加している。無人機開発の停滞を、米軍がユーザとなって一気に切り崩したのである。

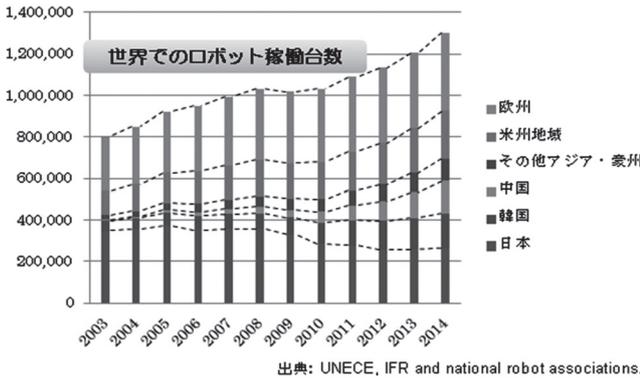
事実として、米議会は2001会計年度に「2015年までに、実戦配備した地上戦闘車両の3分の1を無人化するために、地上戦闘車両を無人で遠隔操作できる技術を開発することを軍隊の目的とすべき。」と命じ、2003年、議会は技術アカデミーの報告書に従って、軍事使用の可能性のある研究、技術開発、及び試作品開発における優れた功績に対して、国防高等研究事業局（DARPA）が最大1,000万ドルの賞金を授与できることを認めた。これは2004、2005、2007年に実施される「グランドチャレンジ」という無人走行自動車の競技会開催に発展し、大学や企業が競って開発を行うことで、無人化技術の発達に大きく貢献した<sup>1)</sup>。このような状況で、米軍の支援の下で開発されたものの一つが、福島第一原発事故直後に日本のロボットより先に投入された、iRobot社のPackpodやWarriorである。これらのロボットは、爆弾処理や偵察、時には移動銃座としてのニーズを見つけ、実際に中東地域への配備に至っている。

## 3. 我が国のロボット開発事情との比較

我が国のロボット技術の研究開発は、軍事技術とは独立に発展してきた。ユーザは工場、サービス、福祉が想定され、特に工場向けロボットは我が国がトップ



図一 我が国の産業用ロボット出荷の推移



図二 世界での産業用ロボット稼働数の推移

を走る産業に発展している（図一1, 2）。サービス、福祉向けについては、少子高齢化による労働力不足や高齢者介護負担増等に対するソリューションを提供し、我が国がサービスロボット市場開拓を主導するために、産官学の研究開発事業が進んでいる。経済産業省・NEDOが実施する「生活支援ロボット実用化プロジェクト」では、こうしたサービスロボットの対人安全性についての基準を作るため、安全認証体制の整備を目指している。

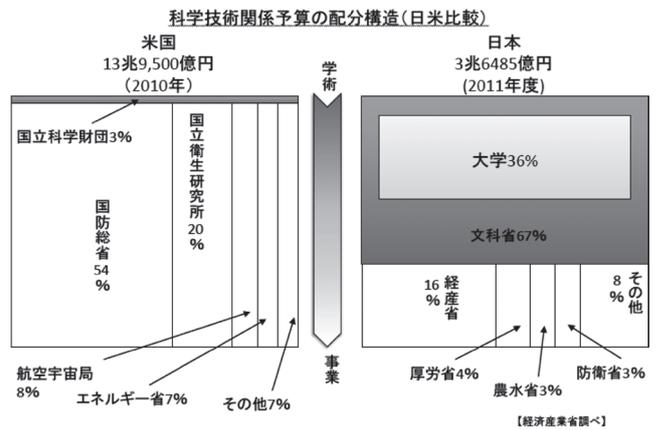
我が国の災害対応ロボットの研究開発は、文部科学省や経済産業省の研究開発事業が中心となって推進されている。これらの研究開発事業は、阪神大震災や東海村臨界事故等の大規模災害が起こった節目に、その災害へ対応する想定で開発テーマを設定しており、目前の必要性に迫られて開発に至る点では、米軍におけるアフガニスタン紛争の関係と同じである。異なるのは研究開発後にある。

一般に、研究開発には実際の製品化との間に「死の谷」と呼ばれる資金面、制度面の障害があるといわれる。兵器や災害対応ロボットなどの、開発コストが高い割に汎用ユーザが想定しにくい機械は、特に死の谷を越えることが困難と言える。米国では、軍の需要に応えるため、軍のマネジメントの下、軍の予算で研究開発事業を実施し、その成果である製品を軍が調達する。そのため、死の谷を容易に乗り越え、その利益を

元に、民生用ロボットへの展開ができる。実際、上述の iRobot 社は、家庭用掃除ロボットルンバを販売し、日本でも年間 20 万台以上売り上げている。

一方、我が国では、文部科学省や経済産業省の事業成果としての技術は、一旦社会に還元され、民間市場での製品化を待つことになる。そして、実際の配備は消防や警察、自衛隊等による調達という形をとるため、ユーザは基本的に、多少のカスタマイズ以外に手を加えるだけの予算を持たない。つまり、死の谷を越える努力は、企業が独力で行わなければならない。政府の民間市場一般への関与の在るべき姿については別問題として、災害対応ロボットだけの視点からすれば、どちらがより製品化への難易度が低いのかは一目瞭然である。

これまで紹介してきたことから、日米の災害対応ロボット開発は、その構造が異なっていることに注目できる。その原因の一つとして、日米の科学技術関連費の配分先を示す（図一3）。米国ではユーザとなる官庁へ予算が多く割り当てられ、日本では各大学に多く割り当てられていることに注目できる。災害対応ロボットのようにユーザが想定しにくい機械は、アフガニスタン紛争が起こるまで米国ですら製品化された例が少ない。そのような機械がどうしてもすぐに必要な場合、日米どちらの体制で研究開発を行っていくべきか、後述の福島第一原発での初期対応は、明確に答えを示している。



図一3 日米の科学技術関連予算配分構造比較

#### 4. 事故直後の対応

福島第一原発の事故直後、ともかく原子炉建屋の内部を観察する必要があり、無人でモニタリングできる機械が求められた。そのためは、ロボットには複雑な機能は一切必要なく、未知の環境下で停止せずに進んでくれさえすればよかった。カメラや線量計等のセ

ンサは、たとえ故障しても別な機器に交換すれば済むが、ロボットが建屋の中、特に狭い主要通路の真ん中で停止すると、後続の人間・ロボットが進入不能になり、事態は悪化するだけである。そこで白羽の矢が立ったのは上述の iRobot 社のロボットであった。中東地域の戦場というロボットにとっては未知の環境で、信用に足る数を稼働した実績があることは、災害現場で強力な判断材料となり得た。

モニタリング以外でも無人化技術を応用した機械が活躍した。建屋周辺の瓦礫排除のために多数の無人化重機が導入されたが、これらの大半は日本製であった。日本製が導入された要因としては、国土交通省等がユーザとなり、これらの機械を雲仙普賢岳噴火等の災害現場で毎年脈々と使用し続けたことにあると考えられる。この点は iRobot 社と米軍の関係と同様である。

対して日本のモニタリングロボットは、大学の研究室に数台現存するだけであったり、企業側についても死の谷を乗り越えて製品化された例は少なく、また、既知環境を想定するのみであったり、今回のような未知環境で信用に足るロボットが存在する状態であったとは言い難い。今後の災害対応ロボット開発では、いかに長期的ユーザとオペレーションノウハウを確保できるかが課題となる。

## 5. 今後の事故対応

日米の研究開発構造の違いは別問題として、目前の課題として福島第一原発を一刻も早く解体しなければならない。この解体においては、どの機械も福島第一原発に対する特注機器となることから、事故直後とは状況が異なる。

解体に向け、原子力委員会の「東京電力(株)福島第一原子力発電所中長期措置検討専門部会」における検討では、まず次の5つの作業を行い、完全な解体には30年以上かかるとまとめられている<sup>2)</sup>。

- ・使用済燃料プールからの燃料体取出し
- ・燃料デブリの取出し準備作業
- ・燃料デブリの取出し技術の開発と取出し作業
- ・公衆および作業安全の確実な確保
- ・事故原因の究明、炉心損傷時の挙動評価等

高放射線環境下での長時間の作業が想定され、作業員の被ばくを低減するためにも、各作業に応じ、遠隔操作可能な機器やロボット技術を共通基盤技術として開発する必要がある。特にロボット技術が必要とされているのは、「使用済燃料プールからの燃料体取出し」「燃料デブリの取出し準備作業」「燃料デブリの取出し

技術の開発と取出し作業」であり、さらに具体的には、下記のように、より燃料格納容器(PCV)の近傍での作業に貢献することが求められる。

- ・原子炉建屋上部ガレキ撤去
- ・原子炉建屋内除染
- ・PCV 漏えい箇所調査／PCV 外部からの内部状況調査
- ・原子炉建屋止水／PCV 下部補修
- ・PCV 内部調査・サンプリング
- ・PCV 上部補修
- ・炉内調査・サンプリング

これらの作業に必要な機器は、政府と東京電力が組織する研究開発推進本部のマネジメントの下で開発されることになっており、現在国内外の英知を結集して詳細設計にあたっている。国内外から使える技術を集めるため、「技術カタログ」の作成にも取り掛かっており、福島第一原発解体作業における技術ニーズについて公開し、利用できる技術を募集している<sup>3)</sup>。

## 6. 本プロジェクトの事業概要

前項の目的のために開発される機器は福島第一原発への特注機器だが、災害対応無人化システム研究開発プロジェクトの目的はこれと重複せず、必要とされる時期がより早く、より汎用のロボット開発を想定している。具体的には、特注機器を効果的に開発・運用するための後方支援の役割を果たすべく、下記の項目の開発を想定している。

- ・小型高踏破性遠隔移動装置

人の立ち入りが困難な過酷環境下で、狭隘な場所への先行調査を行うための遠隔操作可能な移動装置と、環境測定を行うための重量計測器等を搭載することのできる遠隔操作可能な移動装置を開発する。

- ・通信技術の開発

被災施設内でロボット等を遠隔で操作するための安定で冗長な通信インフラ設備を構築するためのシステムを開発する。

- ・遠隔操作ヒューマンインタフェースの開発

各種作業移動機構等を遠隔で操作するためのポータブル型ヒューマンインタフェースを開発する。

- ・狭隘部遠隔重量物荷揚／作業台車の開発

人の立ち入りが困難な過酷環境下で、施設内の設備調整、修理、その他作業が可能なロボットアームを搭載した遠隔操作可能な高所作業移動台車を開発する。

- ・重量物ハンドリング遠隔操作荷揚台車の開発

人の立ち入りが困難な過酷環境下で、重量物を高所

へ搬入する遠隔操作可能な荷揚移動台車を開発する。

・大気・水中モニタリングデバイス

人の立ち入りが困難な過酷環境下で、汚濁水中の形状計測可能な超音波カメラの開発、マッピング技術の開発、超音波カメラ等の搭載ができる遠隔操作可能な水陸両用の移動装置の開発を行う。また、過酷環境下で放射線を測定するためのγカメラを開発する。

・汚染状況マッピング技術

三次元測位置データとγカメラからのデータを統合して、汚染状況の三次元表示、線源位置の特定を行うシステムの開発を行う。

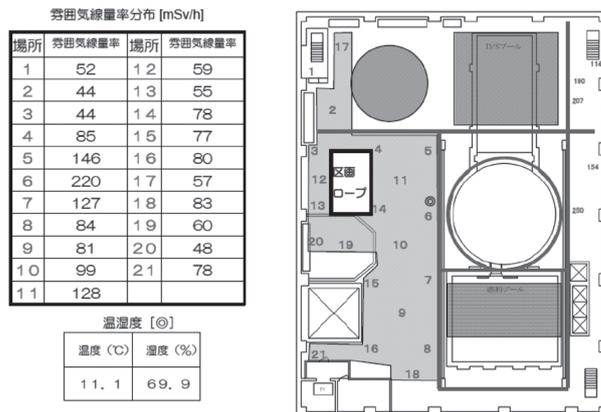
・作業アシストロボットの開発

過酷環境における有人作業に際し、作業員をバイタルセンサー等により防護、管理しつつ、作業の負担も軽減する人間装着型作業アシストロボットを開発する。

福島第一原発事故現場の特徴として、多数の遠隔機械が行き交う中で、帯域不足による混線や操縦者不足が顕在化した。このため、本プロジェクトでは通信技術・ヒューマンインタフェースの共通化に重点を置いている。また、特注機器が稼働するためのつゆ払いとして、建屋内の作業環境を改善するためのマネジュラータや、特注機器の搬入を助けるリフターなど、主な作業を補助するための機能を有するロボットの開発を目指している。これらの開発は、現時点ではまだ詳細設計段階であり、導入事例や成果について逐次情報を提供できるようマネジメントを行っていききたい。

本年2月に、福島第一原発2号機の原子炉建屋1階から5階まで、国産ロボット Quince を用いた線量測定がなされ、1階の最大28 mSv/h から5階の最大220 mSv/h へ徐々に上昇していく結果が得られた。作業員に許容される被ばく量と比較すると、5階に滞在できるのべ時間は30分に満たないことになる(図一4)。格納容器近傍・内部はさらに線量が高くなっていることが予想され、この環境で作業を続けるためには、除染作業や、効率的な作業計画立案のための情報収集、作業効率化のためのインフラ機器が必要となるため、これらの機器の有効性をアピールし、早期導入に漕ぎつきたい。

## 2号機原子炉建屋5階オペレーティングフロア調査結果



図一4 平成24年2月福島第一原発2号機5階放射線量マップ(東京電力HPより引用)

## 7. おわりに

福島第一原発への機器導入の検討にあたっては、スリーマイル島原子力発電所事故対応のレポートから多くの知見を得てきた。今後も世界で深刻な原発事故が起きる可能性がゼロではない以上、本プロジェクトの成果が参考にされる可能性が十分にあると考えられる。そのため、開発したロボットの設計思想を後世に残すことも重要な目標であることから、機器開発と同時に報告書の充実や標準化といった取組にも力を入れていく方針である。

JICMA

### 《参考文献》

- 1) NEDO 海外レポート 1018 号 (2008.3.5 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構)  
[http://www.nedo.go.jp/library/kankobutsu\\_report\\_1018\\_index.html](http://www.nedo.go.jp/library/kankobutsu_report_1018_index.html)
- 2) 東京電力(株)福島第一原子力発電所における中長期措置に関する検討結果(平成23年12月 原子力委員会 東京電力(株)福島第一原子力発電所中長期措置検討専門部会)  
<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/tyoki/sochi/pdf/20111213.pdf>
- 3) 東京電力(株)福島第一原子力発電所の廃止措置等に向けた燃料デブリ取出し準備の機器・装置開発等に係る技術カタログ提案の公募について  
<http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/decommissioning.html>

### 【筆者紹介】

北島 明文 (きたしま あきふみ)  
経済産業省  
製造産業局 産業機械課  
技術係長

