

経済産業省における公共・防災ロボット関連施策

北島明文

経済産業省は2035年にロボット産業の国内市場規模が約10兆円になると予測しており、この実現に向けた施策を展開している。中でも社会インフラ、産業インフラの点検・メンテナンスや災害対応の機能を持つロボットは、将来のロボット産業の中で重要な柱のひとつであり、本年6月に閣議決定された日本再興戦略にも、その重要性が記載されている。本稿では、昨今の経済産業省の公共・防災ロボット関連施策を紹介する。

キーワード：公共・防災ロボット、原子力発電所事故、老朽化インフラ、点検・メンテナンス

1. はじめに

ロボットには、用途別に様々な分野があるが、経済産業省が重視する分野は2010年に産業構造審議会が取りまとめた「産業構造ビジョン」¹⁾に記載されている。産業構造ビジョンには、ロボットへの期待について「少子高齢化による労働力人口の減少や、作業負担増大への対応の必要性、製品・サービスの質や生産性のさらなる向上の必要性等により、次世代のロボット技術による安全・安心の確保などQOL (Quality of Life) の向上、生産性の向上に対する期待が一層高まっている。」と記載され、特に、老朽化インフラに対する点検・メンテナンスコストが増大する中、作業負担軽減や効率化の観点から、公共・防災分野は生活・福祉分野、製造業分野と並んで重視すべき分野のひとつとされている。

直近では、2013年6月に閣議決定された「日本再興戦略」²⁾に、安全で強靱なインフラが低コストで実現されている社会を目指す旨と記載されている。具体的には、センサやロボット、非破壊検査技術等の活用により、生活インフラ、公共インフラ、産業インフラといった様々なインフラの損傷度等をデータとして把握・蓄積・活用することにより、早期の異常検知により事故を未然に防ぎ、最適な時期に最小限のコストによる補修によってトータルライフサイクルコストが最小化されている社会の実現を目指す。なお、ここで取り上げられているロボットは、トンネル、橋梁、ダム、石油化学プラント、原子力発電所などの人間が直接進入して点検・メンテナンスを行うことが困難なインフ

ラにおいて、各種検査機器を搭載し、自律的又は遠隔操作で人間の代わりに進入する移動体を指す。これらのロボットは、本稿では「公共・防災ロボット」と記す。

経済産業省では、公共・防災ロボットを含めたロボット産業全体が、2020年には約3兆円、2035年には約10兆円になり、その中でも公共・防災ロボットは、2035年には約5000億円の市場規模になると予測している³⁾。一方で、2013年7月に公表した「ロボット産業の市場動向調査結果」⁴⁾では、公共・防災分野のロボットの足下の市場規模は10億円程度であり、予測に到達するには、さらなる取組が必要である。

以下では、これまでの経済産業省の施策で表彰や開発を行った公共・防災ロボットについて紹介する。

2. ロボット大賞

経済産業省では、その年に最も活躍したロボットを「ロボット大賞」として表彰している。その中には公共・防災ロボットを表彰する「公共・フロンティア部門」を設けており、これまでに以下の6つのロボットが受賞している。

- ・従来の建設機械にロボットを搭載して建設機械を遠隔操縦する「遠隔操縦用建設ロボット(国土交通省、(株)フジタ)」(2006年)(写真—1)
- ・消防士の近づけない現場での放水や撮影を行う「消防ロボット(株)小松製作所ほか)」(2007年)(写真—2)
- ・ファイバースコープ自体に駆動力を持たせ、倒壊家屋等での狭い隙間をより深部まで調査可能とした

「能動スコープカメラ（東北大学，国際レスキューシステム研究機構）」（2008年）（写真—3）

- ・遠隔操作で災害現場の情報収集を行う「消防用偵察ロボット FRIGO-M（三菱特機システム株式会社，総務省）」（2010年）（写真—4）
- ・後述する「原発対応ロボット Quince（千葉工業大



写真—1 遠隔操縦用建設ロボット（国土交通省，株式会社フジタ）



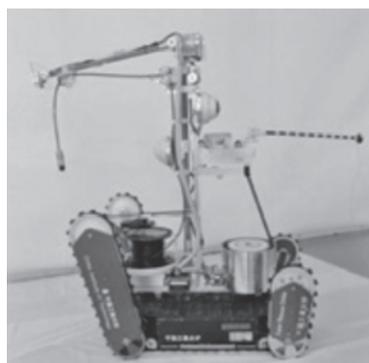
写真—2 消防ロボット（株式会社小松製作所ほか）



写真—3 能動スコープカメラ（東北大学，国際レスキューシステム研究機構）



写真—4 消防用偵察ロボット FRIGO-M（三菱特機システム株式会社，総務省）



写真—5 原発対応ロボット Quince（千葉工業大学）



写真—6 次世代無人化施工システム（鹿島建設株式会社，株式会社熊谷組）

学）」（2012年）（写真—5）

- ・人間による施工が困難な災害現場等において遠隔操作で工事を行う「次世代無人化施工システム（鹿島建設株式会社，株式会社熊谷組）」（2012年）（写真—6）

公共・防災ロボットは普段目に触れる機会が多いものではないため，その製品の存在自体が世に知られていない場合が多く見受けられる。ロボット大賞では，そのようなロボットに光を当て，事業化の後押しを行っている。

3. 戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト

平成16～20年度には「戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト」を実施し，小型先行調査ロボット「Quince（千葉工業大学）」，双腕建設機械「Astaco Neo（日立建機株式会社）」（写真—7）といった公共・防災ロボットを開発した。

Quinceは元々，都市部において地震により瓦礫や地下街の中に閉じ込められた環境を想定し，閉鎖空間内を先行して調査する目的に開発された。瓦礫の上は不安定でランダムな凹凸が続き，クローラーであっても極めて走行が困難だが，Quinceは機体全体をクローラーで包むような構造を採り，さらにクローラーの素材や形状に工夫を加えることで，瓦礫上の高速走行を可能にした。その性能は世界でも評価が高く，2009年にはロボカップレスキュー世界大会の運動性能の部



写真一七 双腕建設機械 Astaco Neo (日立建機株)

門で優勝している。また、これまでの同系統のロボットは、移動機構と機能部分（アーム、センサ等）が一体として開発されたために多様な災害現場に対して汎用性が乏しかったが、Quince は移動プラットフォームに特化して開発され、機能部分の後付け・換装が可能になっている。

Quince は 2011 年 6 月に福島第一原発事故収束作業に投入されたが、この運動性能と汎用性の高さが重宝された。急傾斜の階段を昇降できるロボットは Quince だけであり、2011 年 10 月には 2 号機原子力建屋の 5 階まで昇って各階の損壊具合や放射線量を明らかにした。また、Quince には遠隔操作の複数のカメラや慣性センサ、ケーブル、ケーブル巻き取り装置等、投入目的に合わせて様々な機器が搭載され、Quince の上部はこれらの機器で埋め尽くされたが、それでも運動性能を落とさずに走行できた。福島第一原発に最初に導入されたのは、米軍で豊富な運用実績を持つ PackBod（米 iRobot 社）だったが、Quince は PackBod では不可能な活動を担い、事故収束作業に大いに貢献した。

Astaco Neo は、13 トン級中型ショベルカーをベースとして開発され、双腕の片方が瓦礫を持ち、もう片方がそれを切断、積み上げる等、1 台で複数の複雑な作業を効率よくこなす機能を持つ。平時においても、ビル解体工事、廃棄物分別の安全・高効率化を可能とする。現在、Astaco Neo をベースに、日立エンジニアリング・アンド・サービスと日立建機が共同で、より小型化した原子力災害対応用双腕重機型ロボット「Astaco-SoRa」を開発し、2013 年から福島第一原発内で瓦礫の撤去、機材の搬送、遮蔽体の設置などに用いることを目指している。

4. 災害対応無人化システム研究開発プロジェクト

福島第一原発事故収束作業には 10 年オーダーの時

間が必要とされており、本事業では、この早期化を目的として、原発関係者からのニーズに基づき、下記のロボットや関連技術を開発した。

「小型高踏破性遠隔移動装置」(写真一八)として、Quince の後継機となる Sakura と Tsubaki を開発した。Sakura は、Quince よりも旋回半径が小さく、より狭い階段の踊り場の通過が可能となっている。特に福島第一原発原子力建屋内の階段は、1 階から昇る階段よりも地下に降りる階段のほうが狭く、Sakura はこれを通過できる設計になっている。また、300 m 引き出し可能なケーブル自動巻き取り装置をオプションとして開発しており、これは、2011 年 10 月に Quince がケーブル切断により機能停止した際の反省を活かした改良がなされている。もう一方の Tsubaki は、周囲の放射線計測を面状に行うことができるガンマカメラという計測機器を積み込むための 90 kg のペイロード能力を持ち、なおかつ Quince と同様に急傾斜の階段を昇降できる。また、これらのロボットが放射能で汚染され、人間によるメンテナンスが困難になる状況を想定し、最もメンテナンス頻度の高い充電と機体洗浄を自動で行うオプション機器を開発した。これによって、ロボットを汚染地域に長期間放置したままで



写真一八 小型高踏破性遠隔移動装置 (株移動ロボット研究所)

の運用が可能になる。

「狭隘部遠隔重量物荷揚／作業台車」(写真一九)として、8 m の高所に 7 軸自由度アームを持ち上げ、バルブ開閉等の作業を行えるロボットを開発した。このロボットはアームの手先を様々なツールに変えることで、バルブの開閉だけでなく障害物の切断、除染、各種センシングなど多様な作業が可能となる。原子力建屋のフロアの天井は非常に高く、天井付近で無人作業を行うには、このロボットが必須となる。

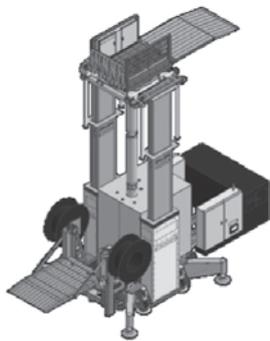
「重量物ハンドリング遠隔操作荷揚台車」(写真一十)として、4 トンの重量を垂直に 30 m 上昇できる荷揚台車を開発した。原子力建屋は爆発によって階段が破損し、ロボットでも昇降できない箇所が多い。その場合でも、建屋内の吹き抜けを利用して、上階へロ



写真—9 狹隘部遠隔重量物荷揚／作業台車（三菱重工業株）



写真—12 災害対策用ロボットスーツ（CYBERDYNE 株）



写真—10 重量物ハンドリング遠隔操作荷揚台車（株東芝）

ロボットや器材・建材を無人で上階へ運搬することを旨とする。

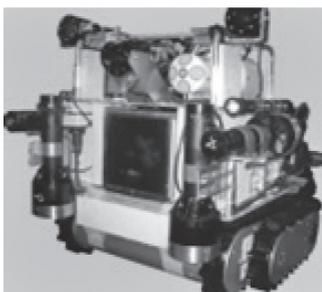
「水陸両用移動装置」（写真—11）として、透明度の低い水中であっても、超音波を用いてある程度の外界認識ができ、かつ、流速計を搭載して漏水箇所の特定制を行うロボットを開発した。原子力建屋の地下フロアでは格納容器の割れ目から漏れた冷却水が溜まり、さらに地下フロアの隙間から地下水が流入しているため、格納容器に安定的に水を張って燃料回収を安全に行うためには、これらの漏水箇所を塞ぐ必要がある。このロボットは、こうした漏水箇所特定に役立つ。

放射線量がある程度低く、有人で作業を行う環境では、今回開発した「災害対策用ロボットスーツ」（写真—12）が役立つ。有人作業の際、放射線を遮断する鉛やタングステンを防護に用いることがあるが、こ

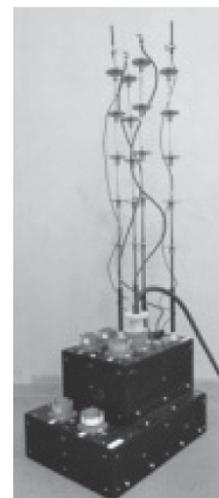
れらの金属板は数 10 kg の重量があり、着込んで移動することはほぼ不可能である。一方でこのロボットスーツは金属板の重量を支えるだけのパワーアシスト機能を持っており、金属板を着込んだまま通常通りの作業を行うことができる。

ロボットの運用面についても、当初から考慮に入れた開発を行っている。現状の有線通信での運用では、ケーブル重量がロボットのペイロードを圧迫し、かつケーブルが切れるリスクも大きい。無線通信での運用は当然考案されたが、原子力建屋内では、厚いコンクリート壁などが障害となって既存の無線通信システムは役に立たない。そこで、複数の小型無線中継局を有線で接続した形の無線通信システム（写真—13）を開発した。各中継局は、建屋内に通信死角がないように配置され、常にロボットは最寄りの中継局と通信ができる状態を維持して運用する。中継局自体の設置は、遠隔操作ロボットを用いて行うことを想定しており、完全に無人で無線通信インフラ敷設を行うことを想定している。

このほか、遠隔操作インターフェースの共通化や、



写真—11 水陸両用移動装置（株東芝）



写真—13 無線通信システム（株日立製作所）

事故現場の3次元マッピング技術等を開発しているが、これらを組み合わせることで、事故収束に必要な情報を早期に収拾し、作業の前倒しを促したい。

5. 今後の取組に向けて

今後の公共・防災ロボットの開発・実証は日本再興戦略に沿って行う。口火を切る取り組みとして、本年7月、国土交通省と経済産業省は共同で「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入検討会」を設置しており、12月には開発の重点分野を定め、翌3月にロボットの実証フィールドを選定する。

これらの取組の短中期的な狙いは、新技術を用いた老朽化インフラの経済的な点検手法の実用化であるが、長期的には、その手法を国内外で産業化し、新市場を開拓することにある。新市場開拓のための最大の課題は、制度や技術ではなくコストにあり、既存手法にコストで勝つためには、特定の現場だけに特化した「特殊化」を行ってはならない。特殊化される場合、開発者はただ特定のニーズを聞いてその通りに作ればよく、技術的挑戦と満足感が得られるが、一方で、コストや将来の販売方針を熟考する必要がなくなり、「事業化まで見据えた研究開発」という観点で難易度が大幅に下がるため、多くの開発者が安易な特殊化に走ってきた。その結果、最初の顧客からは一時的に高評価

が得られるかもしれないが、他の顧客を開拓できない、高コスト体質が改善されない、最初の顧客へ安定供給ができない、事業を続けられない、という悪い流れに乗ることになる。特定の現場と付きあって開発する場合、ニーズを吟味して、そのニーズに応える必要があるのか、応えることで生じるコスト増や汎用性の減少が生じないかを検討すべきである。

日本のものづくりが「技術で勝って市場で負ける」と言われて久しいが、公共・防災ロボットにおける特殊化は、この言葉を忠実に再現しているように感じられる。経済産業省を含め開発者側は、特定の現場のニーズに応えるだけという一時的な満足感に甘んじることなく、将来の市場を見据え、新市場開拓の産みの苦しみを味わいながら開発に当たる必要がある。

JCMA

《参考文献》

- 1) 産業構造ビジョン p.174 2010年6月 経済産業省
- 2) 日本再興戦略 p.75 2013年6月 日本経済再生本部
- 3) ロボットの将来市場予測 2010年4月 経済産業省
- 4) ロボット産業市場動向調査 2013年7月 経済産業省

【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
 課長補佐

