

# 災害現場におけるロボット活用事例

Use Cases of Robotics in Disaster Sites

永谷圭司<sup>1</sup>

Keiji Nagatani

東北大学 大学院 工学研究科<sup>1</sup>

Graduate School of Engineering, Tohoku University

## 1 はじめに

本稿では、震災復旧・復興に役立つためのクラウドネットワークロボットについて議論するために必要となる、災害現場におけるロボットの活用事例について報告する。災害現場に、いわゆるロボットが入って活用された例はそれほど多くないが、これまでに災害現場に投入されたロボット技術の活用事例について、災害を原子力発電所の災害、地震災害、火山災害、水害、テロ（ならびに戦争）に分類して報告する。

## 2 原子力発電所の災害現場におけるロボット活用事例

### 2.1 スリーマイル島原子力発電所事故

1979年3月28日、アメリカ合衆国ペンシルベニア州のスリーマイル島原子力発電所で発生した事故では、原子炉の冷却水の供給が停止し、炉心溶融が発生するという事象が発生した。この事故は、国際原子力事象評価尺度 (INES) においてレベル5の事例である。この事故を終息させるため、全部で68台の遠隔操作型デバイスが利用されたと報告されている [1]。その多くは、車輪型または、クローラ型の移動ロボットであり、上部に作業を行うためのアームが搭載され、有線または、無線の遠隔操作で操縦するものであった。これにより、人が進入することが危険な放射能汚染区域内での除線作業や解体作業など、様々な作業が実施された。

### 2.2 チェルノブイリ原子力発電所事故

1986年4月26日、旧ソビエト連邦（現：ウクライナ）のチェルノブイリ原子力発電所4号炉で発生した事故では、外部電源喪失を想定した非常用発電系統の実験中に原子炉が制御不能となり、炉心が融解、爆発したとされている。この事故は、国際原子力事象評価尺度 (INES) においてレベル7の事例である。この事故を収束させるため、多くの遠隔操作型デバイスが利用されたが、これらの詳しい報告は、現在、手に入れることが難しい。その中で、Carnegie Mellon大学のRed Witterker教授は、車輪型の遠隔操作ロボットを構築し、これを用いて、放射能汚染区域内での除線作業などを行った。

### 2.3 福島第一原子力発電所事故

2011年3月11日に発生した東日本大震災によって、運転中の東京電力福島第一原子力発電所1～3号機は、自動的に制御棒が上がり緊急停止した。しかしながら、地震ならびに津波の影響で全交流電源を失い、冷却水の供給が停止したために核燃料の溶融が発生し、この影響で水素が大量発生したため、原子炉、タービン建屋、およ

び、周辺施設が大破した。この事故は、国際原子力事象評価尺度 (INES) においてレベル7の事例である。この事故に対し、これまで活用された遠隔操作/無人デバイスとして、以下に示す3種類が挙げられる。

#### 無人航空機 (UAV)

この事故では、事故直後、災害現場の映像を取得するため、米軍のUnmanned Aerial Vehicle (UAV) であるグローバルホークやエア・フォート・サービスのUAVが利用された。また、垂直離着陸が可能な米ハネウェル社のUAVであるT-Hawkも利用された。これらのUAVは、GPS誘導または目視誘導により建屋周辺に近づき、搭載したカメラを用いて、建屋と建屋周囲の被災状況確認を行った。

#### 無人化施工機械

この事故では、原子炉建屋の爆発により、放射性物質で汚染されたコンクリート塊が建屋前の道路に散乱した。これらを撤去するために、4月前半より、無人化施工機械（遠隔操作型の、油圧ショベル、クローラダンプ、ブルドーザー）が投入され、瓦礫の除去が行われた。これらの機械は、搭載した複数のカメラから得た視覚情報を用いて、オペレータが遠隔操作を行う。

#### 小型移動探査ロボット

原子炉建屋内部の線量と被災状況を確認するため、小型の移動探査ロボットが利用された。最初に投入されたのが、クローラで走行する米国iRobot社製のPackbot [2] である。ただし、原子炉建屋内は、無線通信が困難であるため、このロボットの走行距離を長く取ることができなかった。次に投入されたのが、千葉工大・東北大 他が共同開発したクローラ型ロボット Quince である [3]。このロボットは、原子炉建屋内での通信を確保するため、ロボット本体に500mまで延長可能なケーブルリールを搭載し、ケーブルを繰り出して走行する有線通信での探査を行った。このロボットを利用し、2011年10月のケーブル切断による動作不能となるまで、合計6回の探査ミッションが実施された。現在は、Quince2号機、3号機を用いた探査ミッションが行われている。

## 3 テロまたは戦争におけるロボット活用事例

2001年9月11日にアメリカ合衆国で発生したアメリカ同時多発テロ事件では、航空機をハイジャックしたテロリストが世界貿易センタービルに突入し、2つのタワーを崩壊させた。この事件において、元南フロリダ大学（現 テキサス A&M 大学）のMurphy教授のチー

ムは、この倒壊現場において、クローラ型の遠隔操作ロボットによる行方不明者の捜索を行った。これが、小型探査ロボットが災害現場で活用された最初の事例と言われている [4]。

この後、米国は、イラク戦争において、小型探査ロボットや無人航空機による数多くのミッションを実施したが、フィールドにおける使用経験のフィードバックにより、これらのロボットの性能は大きく向上した [5]。なお、これらの軍事ロボットは、2章で述べた通り、福島原発事故直後から、原発対応ロボットとしても利用された。

#### 4 火山災害におけるロボット活用事例

1990年から雲仙岳で始まった噴火活動は、火砕流や土石流を引き起こし、ふもとの島原市に大きな被害をもたらした。1993年、頻発する土石流による被害を防ぐための防災工事が開始されたが、火砕流や土石流が多発する危険区域での施工のため、作業現場に人が立ち入らない無人化施工技術が導入された。これは、搭載したカメラ画像を用いて、無線通信で建設機械を遠隔操作するもので、除石作業から砂防堰堤の建設工事まで実施されてきた [6]。この技術は、2章で述べた通り、福島原発事故の瓦礫撤去にも利用された。

また、火山活動中の火山の監視は、火山活動に伴う噴石、溶岩、火砕流、土石流がもたらす近隣の被害を軽減するため、非常に重要である。しかしながら、火山の周囲は人の進入が禁止されるため、新たな監視機器を人手で設置することができない。このような状況に対処するため、現在、遠隔より、任意の場所からの火山の定点監視/移動監視を行う技術が求められている。無人ヘリコプターのGPS誘導による監視については、実用段階に達しており、2000年に噴火した有珠山の噴火時には、この技術を用いて、火口付近の探査が行われた [7]。現在、立入禁止現場に進入し、地表の詳細な情報を獲得するための小型ロボットの開発が進められている [8]。

#### 5 水害におけるロボット活用事例

水中ロボット (ROV) は、これまで、チャーリー、アイク、カトリーナ、ウィルマといった米国のハリケーン被害において、前述の Murphy 教授を中心に、水中被害調査に活用されてきた。これらのロボットは、主に有線で操作され、特に濁った水中の状況を把握できる音波探知機が有用であったと報告されている。これらのロボットは、先の東日本大震災においても、米国と日本の共同チームで運用され、津波被害のあった地域における行方不明者の捜索や、水中瓦礫の確認作業に活用された [9]。

#### 6 地震災害におけるロボット活用事例

1995年に起こった阪神淡路大震災や地下鉄サリン事件において、ロボティクス技術が有効に働かなかったという反省から、2000年に入り、レスキューロボットの研究開発が盛んに行われるようになった。これに伴い、大型のレスキューロボット開発プロジェクトが複数実施された [10]。さらに、ロボットによる被災者探索の技術を競い合う RoboCupRescue やレスキューロボットコン

テストなどが実施され、レスキューロボットの存在が周知されると共に、ロボティクスに対する期待も大きく膨らんできた。しかしながら、2004年の新潟県中越地震や2011年の東日本大震災において、これらの技術が地震災害に対して有効に活用されたとは言い難い。その大きな理由としては、(1) ロボットの台数不足、(2) ロボットの性能や信頼性の問題、(3) 消防に配備されていない、(4) ロボットを用いた訓練が行われていない、などが挙げられる。しかしながら、レスキュー隊員の多くがレスキューロボットの価値を認めており、上記の問題が解決した後は、レスキュー機器の一つとしての、レスキューロボットの活用が期待されている。

#### 7 おわりに

本稿では、これまでロボット技術が活用されてきた事例を災害現場毎に分類して紹介した。紙面の都合上、網羅しきれなかったロボット技術も存在するが、ご容赦頂きたい。また、掲載した項目についても、詳細を述べることができなかったため、これらについては、参考文献をご参照頂きたい。

#### 参考文献

- [1] P.R.Bengel. The tmi-2 remote technology program. In *Proc. of workshop on requirements of mobile teleoperators for radiological emergency response and recovery*, pp. 49–60, 1986.
- [2] B.Yamauchi. Packbot: A versatile platform for military robotics. In *Proceedings of SPIE 5422*, pp. 228–237, 2004.
- [3] Keiji Nagatani et. al. Emergency response to the nuclear accident at the fukushima daiichi nuclear power plants using mobile rescue robots. *Journal of Field Robotics*, Vol. 30, No. 1, pp. 44–63, 2013.
- [4] Jennifer Casper and Robin Roberson Murphy. Human-robot interactions during the robot-assisted urban search and rescue response at the world trade center. *IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS, PART B: CYBERNETICS*, Vol. 33, No. 3, pp. 367–385, 2003.
- [5] Peter Warren Singer. *ロボット兵士の戦争*. 日本放送出版協会, 2010.
- [6] 藤岡晃, 小幡克実, 三村洋一. 災害復旧におけるロボット技術. *建設の施工企画*, Vol. 694, pp. 42–47, 2007.
- [7] 森川泰, 小森谷清. 情報収集飛行ロボット. *日本機械学会誌*, Vol. 106, No. 1019, pp. 774–777, 2003.
- [8] 永谷圭司, 西村健志, 吉田智章, 小柳栄次, 羽田靖史, 油田信一, 多田隈建二郎. 小型移動ロボットの遠隔操作による火山活動区域の観察 – 浅間山における 2012 年フィールド試験 – 第 13 回 計測自動制御学会 システムインテグレーション 部門 講演会論文集, pp. 648–651, 2012.
- [9] Robin R. Murphy and et. al. Use of remotely operated marine vehicles at minamisanriku and rikuzentakata japan for disaster recovery. In *Safety, Security and Rescue Robotics, Workshop, 2011 IEEE International*, pp. 19–25, 2011.
- [10] 田所 諭他. 特集 大都市大震災軽減化特別プロジェクト レスキューロボット等次世代防災基盤技術の開発. *日本ロボット学会誌*, Vol. 22, No. 5, pp. 1–44, 2004.