

災害対応ロボット電波を使用した 遠隔操縦ロボット用災害対策車両システムの開発

遠隔操縦ロボットシステム ASAM

豊田 晃 央

ドローンや陸上用災害対応ロボット，遠隔操縦ロボットを搭載した小型重機などをまとめて輸送できる遠隔操作室を有する災害対策車両システムの開発事例を紹介する。この車両は災害現場に到着して直ぐに応急復旧を始められ，災害調査から応急復旧までトータルにあらゆる緊急事態に対応できるシステムとなる。

キーワード：遠隔操縦ロボット，ロボット無線，ドローン，遠隔操作室，災害対策車両

1. はじめに

地震による土砂災害現場などでは，初動対策として災害状況の把握や緊急的な応急復旧作業が行われる。熊本大分地震で発生した南阿蘇の土砂崩れ現場では，初めにドローンを飛ばし災害状況を素早く把握，続けて遠隔操縦リモコン建機を導入し緊急の土砂除去作業を行った。これらドローンやリモコン建機は，リモコン無線や無線 LAN などを使用してオペレータが安全な場所から遠隔操作を行えるシステムとなっている。しかしながらこのような災害現場では，主に屋外での作業がほとんどで遠隔操縦に必要な機材やシステムを安全な場所に仮設するために時間がかかる。

そこでドローンや陸上用災害対応ロボット，遠隔操縦ロボットを搭載した小型重機などをまとめて輸送できる遠隔操作室を有する災害対策車両システムの開発について紹介する。この車両システムは災害現場に到着して直ぐに応急復旧を始められ，災害調査から応急復旧までトータルにあらゆる緊急事態に対応できるシステムとなる。またこのシステムの遠隔操縦無線には2016年9月に認可された最大1W出力で長距離無線通信が可能な災害対応ロボット電波を使用する。

2. 災害対策車両システムの概要

(1) 遠隔操縦ロボットシステム

災害対策車両システムには，当社が開発した写真1の遠隔操縦ロボット ASAM (Active robot system using Sustainable Artificial Muscle; アクティブロボ SAM) (以下「本システム」という) を写真2に示

した小型重機に搭載し遠隔操作仕様に改良したものを使用する。本システムはメーカーや機種を問わず汎用建機の運転席にロボットを座らせシートベルトで固定するだけで短時間に災害応急復旧作業を始められる着脱式無線遠隔操縦ロボットシステムである。本システムを使うとオペレータは建機の運転席に搭乗した感覚

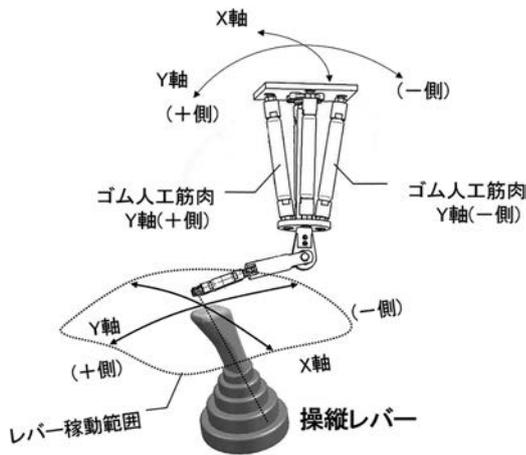


写真1 本システム



写真2 コンパクトトラックローダ

で遠隔操縦用送信機から滑らかに建機を操縦できる。
 本システムの構造¹⁾は、図一1のように人工筋2本を拮抗して駆動させるパラレルリンク式となっている。オペレータは自身の手首や肘を動かすように操縦レバーを操作することができるため、落石の危険があり人が立ち入ることのできない危険な崩落事故現場での災害復旧作業を円滑に行える。このように油圧ショベルに搭載して遠隔操縦させることができる本システムは、現在、急峻な地形が多い日本の国土で発生する土砂災害や豪雨による河川の決壊、地震や火山の噴火による土石流災害などに際して、被害軽減化に向けた緊急の復旧作業、特にその初動時の作業現場で有効活用されている。

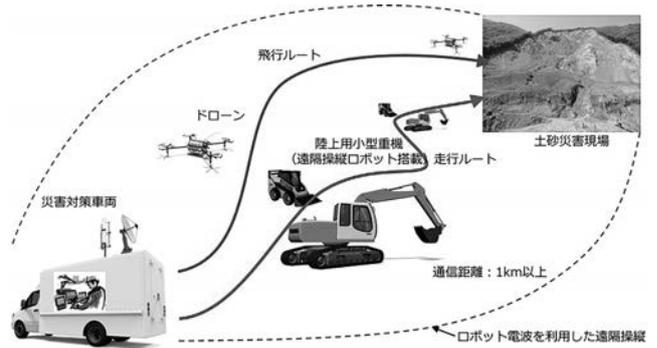


図一1 本システムの構造

(2) 災害ロボット無線通信システム

遠隔操縦用無線²⁾には、平成28年9月から運用開始された災害対応ロボット電波を採用する。このロボット電波は、平成28年3月の総務省情報通信審議会において答申(諮問第2036号および諮問第2034号)された、169 MHz帯、2.4 GHz帯、5.7 GHz帯の3種類を有し、それぞれ電波出力を1Wまで上げられる。

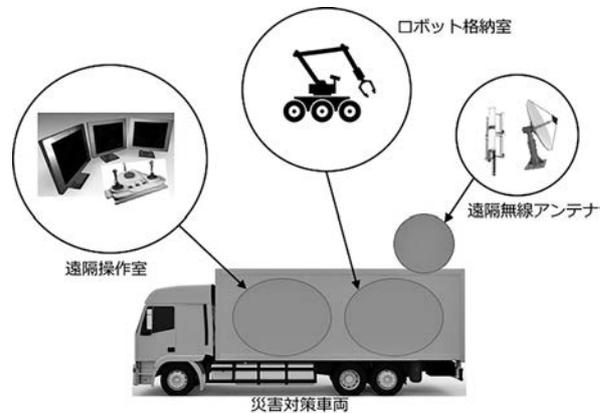
実際に地震などによる大規模な土砂災害が発生した場合には、図一2に示したように災害対策車両が現場に到着すると直ぐにロボット格納庫からドローンを飛ばし災害状況を把握する。続いてドローンから得られた映像などの現場データから応急的な復旧計画を作成し、それに基づき遠隔操縦ロボットを搭載した小型重機を導入して応急復旧作業を始められる。これらの電波を使用した遠隔操縦システムは数kmの通信距離を確保できるため、より安全な場所からロボット制御や動画像通信を実現できる。



図一2 応急復旧時の初動作業

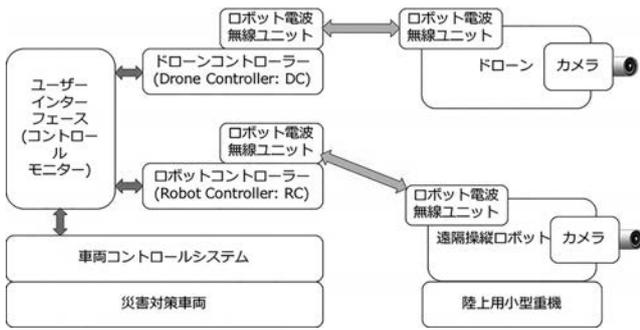
(3) 遠隔操縦ロボット用災害対策車両

遠隔操縦ロボット用災害対策車両は、図一3に示すように主にトラック車両の本体ベースにロボット格納室および、遠隔操作室と遠隔無線アンテナが外装される。車両には、積載量4トン仕様で全長約6mの荷台にロボット格納室と遠隔操作室を振り分け、遠隔無線アンテナを荷台の屋根に設置する。車両本体は、4トントラック車両をベースとして発電機や電装部品を組み込んだ車両コントロールシステムから構成される。コントロールシステムは各ユニットへの電源供給やロボット格納室ドアの開閉などの機能を有する。



図一3 災害対策車両

車両搭載用ロボットシステムは図一4に示すように、主にドローンシステムと遠隔操縦ロボットシステムおよび、ユーザーインターフェースに分かれる。ドローンシステムは、カメラを搭載したドローン本体とロボット電波無線ユニットおよび、ドローンコントローラーから構成される。遠隔操縦ロボットシステムは、本システムを小型重機用に改良したロボット本体と小型重機、ロボット電波無線ユニットおよび、ロボットコントローラーから構成される。ユーザーインターフェースは、ドローンシステムと遠隔操縦ロボットシステムを融合し、オペレータが遠隔操作室でカメラ映



図一 4 本システム

像やロボットの状態および、先行調査で取得した各種現場データの確認など遠隔操縦に必要な機能を有する。

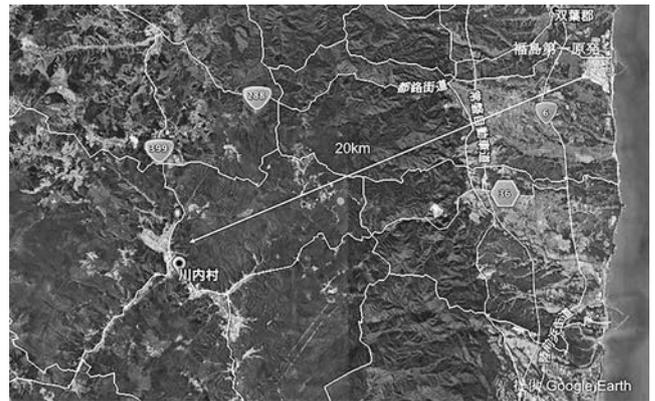
3. 災害現場への初動適用例

(1) 地震による土砂崩れ

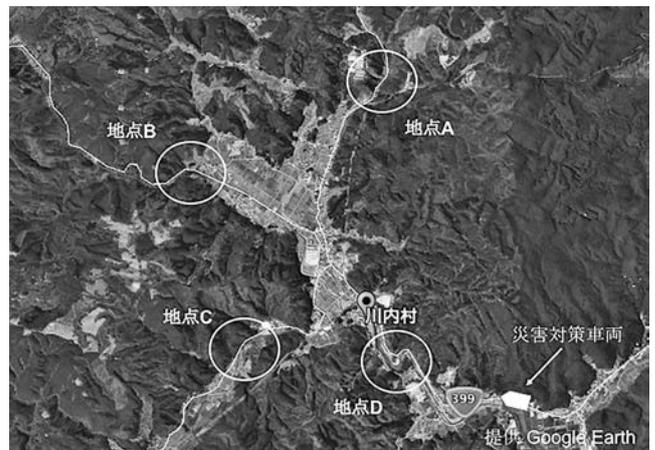
長崎県雲仙普賢岳の復旧工事から進化した無人化施工技術³⁾は、有珠山や三宅島の火山の噴火災害対策や福島第一原発のガレキ除去に有効に活用されてきた。最近では、レスキューロボットやドローンなど災害対応ロボットの種類も多岐にわたり、様々な災害に対応できる状況になっている。

ここでは土砂災害が福島県川内村で発生したシーンを想定して、図一4の災害対策車両システムの運用を検討する。例えば図一5に示したように原子力発電所から20kmほどの場所に位置する川内村周辺の道路が地震による土砂災害で幹線道路が封鎖された場合を考える。まず災害対策車両は図一6に示したように国道399号線を北上して土砂により国道が封鎖されている地点D近くの安全を確保できるところまで移動する。そこからドローンを飛ばし主要道路の各地点(A, B, C)の状況を空撮する。遠隔操作室ではドローンから送られてくる画像データをもとに3D地図情報と比較し災害規模を推定して緊急の復旧計画を策定する。仮にドローン調査で図一6のAからDの各地点で土砂崩れが発生している状況が確認されかつ、地点Dを応急復旧することが最も妥当であると判明した場合、ただちに遠隔操縦ロボットを搭載した写真一2の小型重機を出動させ、遠隔操作室から2次災害を予防しつつ、道路に堆積した土砂や倒木を除去⁴⁾し、最低限の物流ルートを確認する。

以上のように災害対策車両システムによる初動対策の一例を提示したが、日本国内で発生する様々な災害に対処するためには、あらゆる災害を想定したシナリオを検討し適切なシステムを装備していく必要がある。



図一 5 川内村の周辺環境



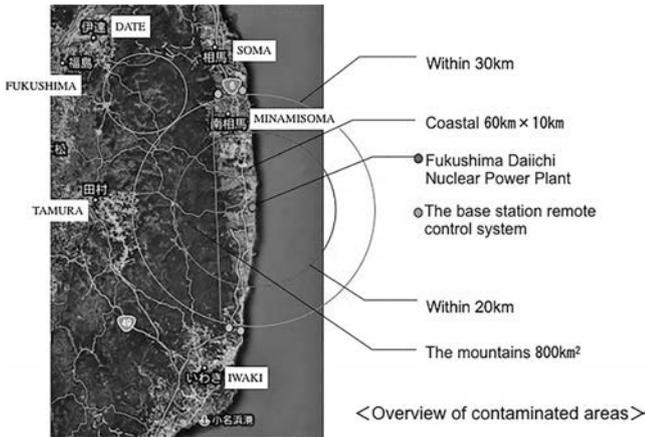
図一 6 災害対策車両による初動対策

(2) 災害対策車両の広域運用

ここでは2011年に発生した東日本大震災における初動対策の想定例を示す。特に福島県浜通り地域においては福島第一原子力発電所の事故も重なり、特に原子力発電所内では当初から遠隔操縦ロボットシステム⁵⁾の有効活用が求められていた。しかしながら広域における遠隔操縦ロボットシステムの活用には至っていない。そこで当時の状況から現状において広域応急復旧対策が可能と想定される例を以下に示す。

(a) 放射能汚染状況および被災状況の把握

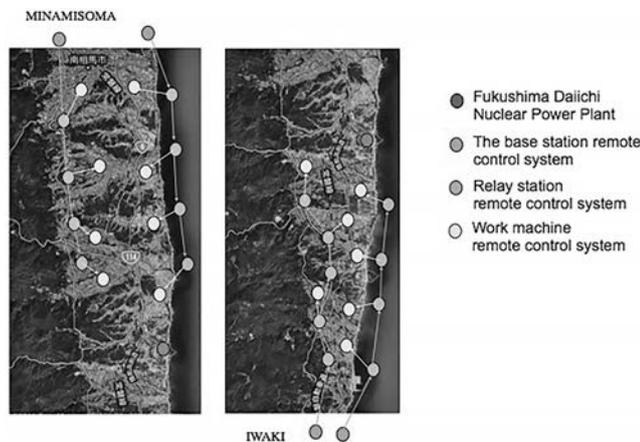
放射能汚染レベルを測定する優先順位と測定範囲を取り決める。現状、福島県内の津波被害で生じたガレキのうち未対策の量は105万トン(2011年7月5日時点)であった。その他、図一7に示すように福島第一原発から半径30km圏内で約1400km²の領域および、半径30km以上で放射能汚染が見られる領域などを加えて計画する。特に30km圏内かつ、その沿岸付近でガレキの処理が困難な量は35万トンと想定された。仮に沿岸線60kmを海岸から10kmの範囲とすると600km²の領域となる。この領域をエリア1とする。山間部の領域は800km²となりエリア2と



図一七 災害対策エリアの策定

する。その他、飯館村など 30 km 以上離れた汚染地域をエリア 3 とする。

以降、エリア 1 における対策を中心に検討内容を展開する。まず遠隔操縦システムの拠点として基地局 (Base Station ; BS) を福島第一原発から 30 km 離れた地点で南相馬市側といわき市側にそれぞれ設置する。基本的に BS は国道または常磐自動車道、JR 常磐線沿線もしくは海岸線の見通しの良い場所を選択し、南相馬側およびいわき側に各々 2 拠点を設ける。仮に図一八のように南相馬側および、いわき側に中継局 (Relay Station ; RS) として、それぞれ 8 箇所 に災害対策車両システムを導入した場合、状況把握のために災害対策車両システムが受け持つ管理エリアは、エリア 1 全域のおよそ 16% の 100 km² となる。ここで各災害対策車両から複数のドローンを飛ばし、災害現場の放射線強度、GPS、画像などのデータを同時に取得することにより、即時に放射能汚染状況および、被災状況を把握することも可能となるであろう。



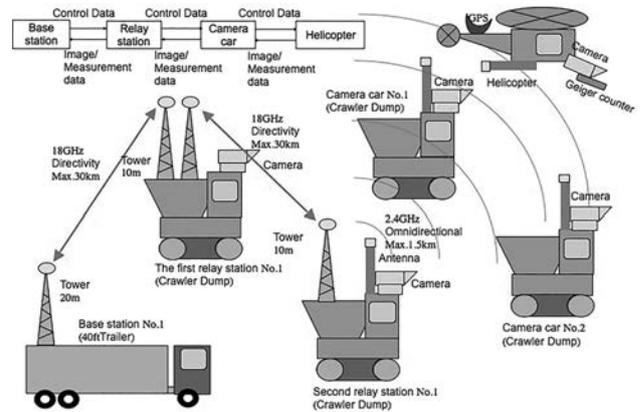
<Recovery plan with a remote control system>

図一八 災害対策車両システムの導入

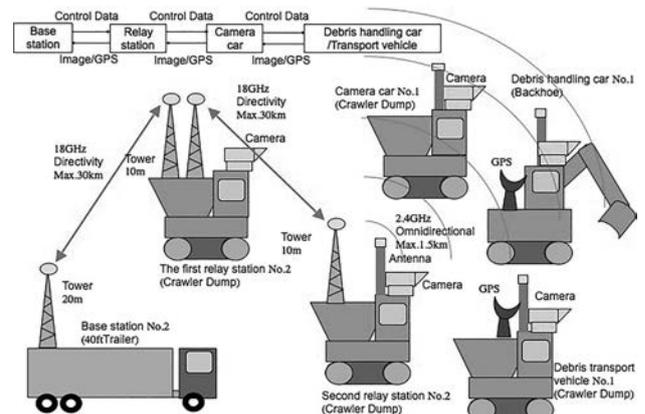
(b) 沿岸部の未対策地域の行方不明者の捜索およびガレキ除去

エリア 1 の場合を想定し (a) 項の計画において取得したデータをもとに行方不明者の捜索手順とガレキ除去作業方法を取り決める。明らかに行方不明者が見受けられる場合は、行方不明者捜索用システムを使用する。なお行方不明者の搬送には写真一 2 に示したような遠隔操縦ロボットを搭載した小型重機と図一 9 に示した遠隔操縦システムを用いる。仮にエリア 1 内の行方不明者を 3,000 人と推定した場合、各拠点の RS、4 箇所それぞれでおよそ 400 人を見つけ出し搬送しなければならない。このような場合にはドローンだけでなく小型陸上用ロボットによる探索も必要となるであろう。

またガレキの搬送には図一 10 に示した遠隔操縦システムを適用する。エリア 1 のガレキ量は 35 万トンと想定され、仮に 1 m³ のバケット容量を有する遠隔操縦用油圧ショベルで除去する計画では、各拠点の RS、4 箇所を合わせても 3 ヶ月以上要してしまう。行方不明者の捜索や搬送を迅速に行うためにも、3. (1) 項で説明したように効率的な物流ルートの解析と復旧計画が必要となるであろう。



図一 九 捜索用遠隔操縦システム



図一 10 ガレキ除去用遠隔操縦システム

4. おわりに

遠隔操縦ロボット用災害対策車両システムの開発が完了した際には、消防や機動隊、自衛隊などの公共機関、原子力発電所や石油ガスプラント施設、火山噴火災害や土砂災害に備えた各自治体の防災設備用として商品化および販売を行う予定である。

例えば地震や火山噴火により発生した大規模火災などでは、この災害対策車両を現場へ派遣して火災状況の調査や補助的な人命救助などの初動対策を直ぐに実行できる。また原子力災害用として放射線遮蔽機能を付加すれば、万一、福島第一原発のような事故が発生した場合でも応急的な対応をオペレータの安全を確保しながら迅速に行える。

災害はいつどこでどのような事象が起こるかを予測することは現状のテクノロジーでは難しい反面、実際に災害が発生した場合には初動対策をふまえて迅速な応急復旧が求められる。このようにロボット技術を単体ではなく、総合的に適切なシステムで運用できるこの遠隔操縦ロボット用災害対策車両システムは、災害現

場における各種ロボットの運用を確実にかつ、迅速にそのロボットの長を最大限に発揮させることが期待できる。

JICMA

《参考文献》

- 1) 災害応急復旧用無線遠隔操縦ロボットの開発：拮抗駆動式ゴム人工筋肉によるパラレルリンク型ロボットの有効性 日本建設機械施工協会誌 66 (12), 67-71, 2014-12
- 2) 災害復旧用ゴム人工筋肉駆動型遠隔操縦ロボットの開発 日本ロボット学会誌 33 (8), 600-606, 2015
- 3) 災害復旧用建機搭載型ロボットの開発事例と将来展望 JACIC 情報 30 (2), 38-43, 2016
- 4) 災害復旧用無線遠隔操縦ロボットによる森林伐採：パラレルリンク型ゴム人工筋肉ロボットの開発事例（特集 災害復旧に備えた建設技術）建設機械 51 (12), 50-54, 2015-12 日本工業出版
- 5) 建設機械を無線で遠隔操作 土木技術 71 (4), 25-30, 2016-04

【筆者紹介】

豊田 晃央（とよだ てるお）
コーワテック(株)
営業開発部 部長

