

大都市大震災軽減化特別プロジェクトで開発された ロボット技術

田 所 論

レスキューロボットは、発災後の緊急対応における情報収集と救助活動支援を目的として、研究開発が進められている。大都市大震災軽減化特別プロジェクトでは、全国の研究者の協力の下、概観情報を収集するための飛行ロボットや分散センサ、瓦礫内の情報を収集するヘビ型のロボットやレスキューツール、瓦礫上や地下街などの情報を収集するクローラ型のロボットや瓦礫内レーダーなどの技術が開発された。その研究成果は、消防訓練での使用や、建設事故の原因調査での活用などを経て、実用化に近づきつつある。

キーワード：レスキューロボット、災害救助、災害情報収集

1. はじめに

2002年度から2006年度にRR2002の一環として文部科学省により大都市大震災軽減化特別プロジェクト（略称：大大特）が実施され、その一つのテーマとして、レスキューロボット等次世代防災基盤技術の開発が行われた。そこでは、全国の大学・研究所の研究者を中心とし、参加する大学の教授・助教授の数として100名を超えるオールジャパンの体制で研究が実施された¹⁾²⁾。災害は問題が多岐にわたり、その解決には総合的な技術が必要であるため、広い専門分野にわたる研究者の協力が不可欠であった。

本稿では、この大大特プロジェクトのうち、レスキューロボットの研究開発の概要について紹介する。以下ではレスキューロボットの研究開発を限定詞なしに「大大特」と呼ぶことにする。

消防・警察・自衛隊などのファーストレスポンドーのためのロボットは、消火・救助・捜査などのための高度資機材の一種である。その目的は、

- 1) 危険な仕事を代替すること、
- 2) 人間には不可能な仕事を遂行すること、
- 3) 迅速で確実な仕事を可能にすること、

にある。典型的な例を挙げると、爆発の危険性が高い場所での作業の代替や、狭くて人間が入れない場所の検索の代替などである。大大特では、阪神淡路大震災直後の救助と適用可能技術、消防等のニーズ調査³⁾⁴⁾に基づき、ロボット技術を活用した要救助者情報の収集に重点を定め、研究開発を進めた。

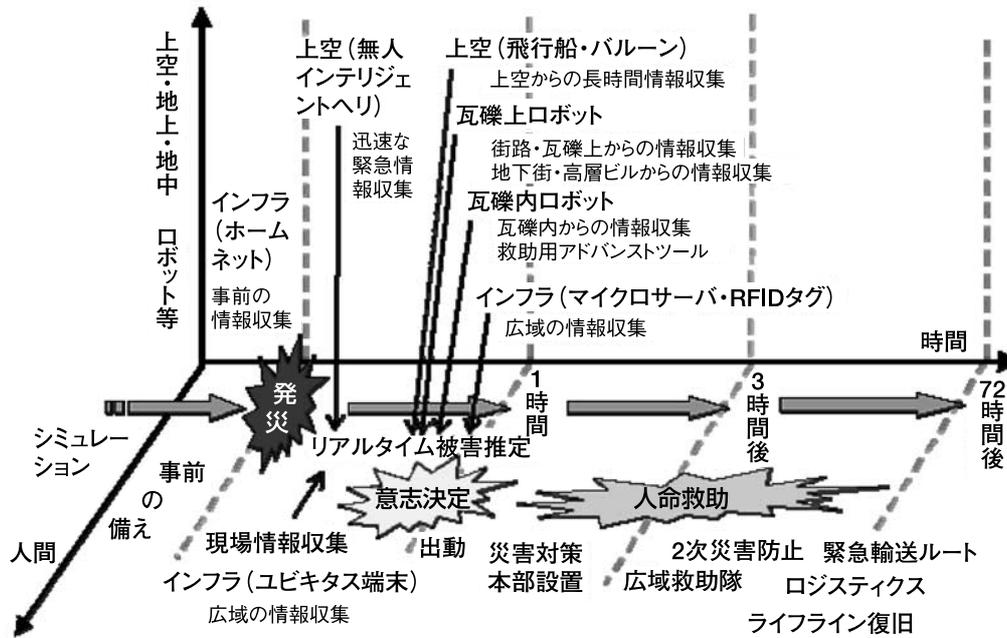
今後国民生活の中に広く普及すると期待されている民生用のロボットもレスキューの機能を果たすことができる。ファーストレスポンドー用が消防や警察などに少数配備される高機能のシステムであるのに対し、民生用ロボットはそれがもつ生活支援機能のうちの付加価値の一つとして、緊急時に防災機能を発揮するものである。すなわち、通常のセキュリティセンサでは不足する性能を補う機能、災害発生時に警告を出す機能、被害軽減活動を行う機能、災害情報の収集と伝達の機能などが考えられる。大大特では、この用途のための分散センサに関する研究開発を行った。

ロボット関連技術はRTという名前で総称され、2025年の市場規模は6.4兆円と予測されている。レスキューRTの多くは、災害復旧工事など危険箇所の工事に使われる建機の遠隔操縦化、無人化施工、さらには、プラント点検、老朽化施設メンテナンス等に関する技術との共通性が高い。したがって、研究開発成果の波及効果は大きく、災害予防や災害復旧への貢献も期待される。

レスキューロボットの研究開発は、1995年の阪神淡路大震災を契機として開始された。それ以前は、レスキューロボットという言葉はほとんどSFやアニメの存在でしかなかったが、現在はロボット工学の重要な応用分野の一つとして研究されるようになっている。

2. レスキューロボットの活用シナリオ

災害は時間とともにその様相を変化させる。大大特



図一 研究成果の活用シナリオ

では、そのそれぞれの段階について、下記のようなシナリオを想定して、技術開発を行った（図一）。

① 予防、前兆の発見

平時に、分散センサや家電品によって、家屋内の人間の動態を見守る。

② 発生直後の初動

分散センサによる情報収集に加え、インテリジェントヘリが自立的に災害状況を収集し、GISを介して緊急対策本部に情報を提供する。

③ 緊急対応

ロボットや高度救助資機材を活用した、瓦礫内や地下街などでの要救助者の検索、気球・飛行船による上空からの定点観測と通信路の確保、ICタグによる救助活動の支援などを行う。

④ 復旧支援

ICタグを用いた避難者の動態把握を行う。

プロジェクトではさまざまな研究開発が行われたが、その成果を大まかに分類すると次のようになる。

① 救助活動機器・システム

ファーストレスポnderが使う高度救助資機材。ヘビ型ロボット（瓦礫内ロボット）、クローラ型ロボット、ジャンプロボット（瓦礫上ロボット）、レスキューツール、能動スコープカメラ、瓦礫内レーダー、RFIDタグによる無線トリアージタグ、など。

② 救助活動機器のための要素技術

高度救助資機材を実現し、性能を高めるための基盤技術。センサ情報処理、画像処理、半自律機能、ヒュー

マンインタフェース、など。

③ 防災対応機関のための機器

広域災害において上空から概観情報を迅速に収集するための防災機器。無人インテリジェントヘリ、飛行船、バルーン、データベース、など。

④ 一般建物設置機器

一般家屋に設置して安全安心を高めるための防災機器。レスキューコミュニケーター（ユビキタス端末、マイクロサーバ、ホームネット）など。

3. 概観情報の収集と統合

(1) インテリジェントヘリ「エアロロボット」

発災後迅速に飛び立ち、有人ヘリより低空から高速に情報収集できる自律小型無人ヘリ。強風下での飛行、容易な遠隔操縦を可能にした（図一）。

(2) 定点観測用気球「InfoBalloon」

上空に長時間係留し、カメラ等による定点観測、通信路の確保を行うことを目的とした気球。風に対して安定した情報収集を可能にした（図一）。

(3) 分散センサ「レスキューコミュニケーター」

家屋内に分散配置することによって要救助者の情報を収集し、呼びかけなどを行い、収集情報をアドホックネットワーク等で災害対応機関に伝送する機器を開発した（図一）。



図-2 エアロボット（左下）と InfoBalloon（右上）（山古志村実証試験）

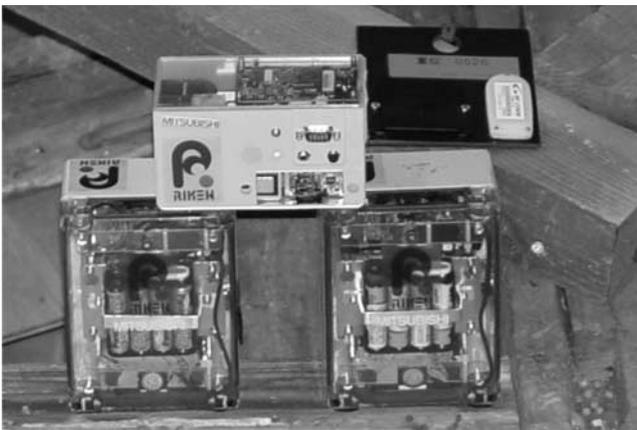


図-3 無線トリアージタグ（右上）とレスキューコミュニケーター（それ以外）（倒壊家屋実験施設）

(4) 無線タグ（トリアージタグ、救出済タグ）

トリアージタグにICタグを付けることにより救出者のロジスティクスを効率化した無線トリアージタグ、救助検索情報を現場建物に残して活動の重複や無駄を防止する無線救助済タグを開発した（図-3）。

(5) 収集情報プロトコルとデータベース

各システムが収集した情報はXML形式の共通プロトコルMISPにより分散データベースDaRuMaに統合され、SQLやビューア（Google Earthなど）によるデータを参照、検索できる。これによって、災害対応意思決定のために情報を有効に活用、収集した情報の後処理、付加データの追加が可能になった（図-4）。山古志村、倒壊家屋実験施設での実証試験により、数々のロボットからの情報を統合できることを示した。

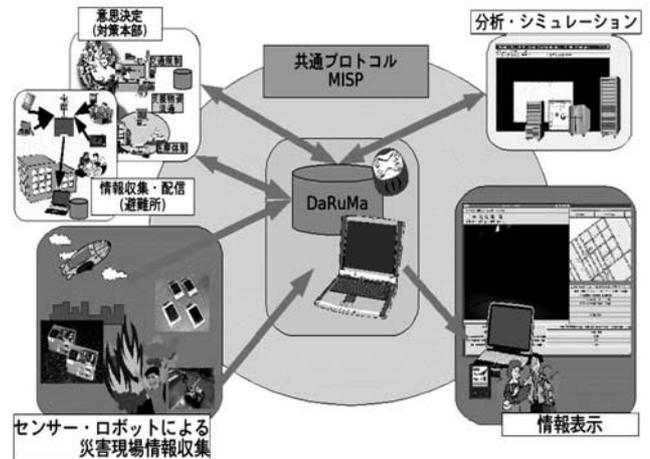


図-4 収集情報の統合（共通プロトコルMISPと分散データベースDaRuMa）

4. 瓦礫内情報の収集

(1) ヘビ型ロボット「ハイパー蒼竜Ⅳ・IRS 蒼竜・MOIRA・KOHGA・能動スコープカメラ、他」

倒壊建物内のさまざまな狭窄空間を検索するため、種々の方式のヘビ型ロボットの研究開発を行い、運動機能の向上、遠隔操縦の容易化、位置同定、周囲状況把握能力の向上を図るとともに、瓦礫環境下での試験を行った（図-5）。

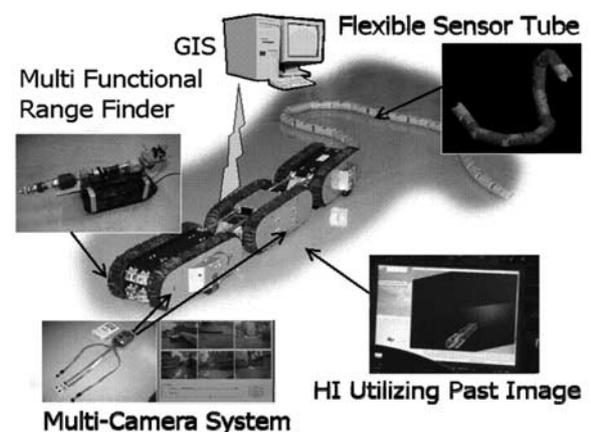


図-5 ハイパー蒼竜Ⅳ

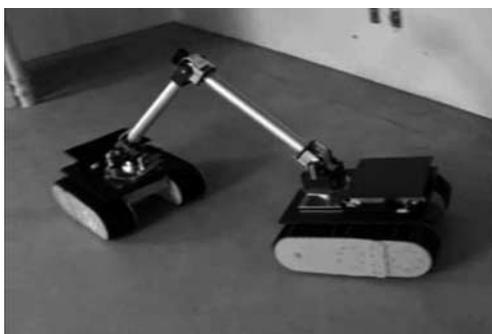
(2) レスキューツール

消防用資機材のロボット技術による高度化を目的とした、瓦礫内の形状計測用マルチセンサヘッド、瓦礫内用ジャッキアップロボット、カッターロボット、人力検索装置くるくるなどを開発した。

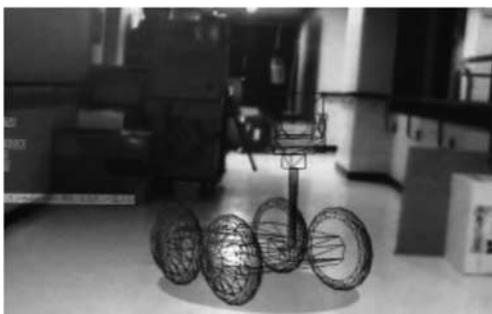
5. 瓦礫上・地下街等での情報収集

(1) 不整地移動プラットフォーム「HELIOS, ACROS, FUMA, Ali-Baba, Hibiscus」他

倒壊が限定的な地下街等における情報収集ロボットとして、防水防塵性に優れ、踏破能力の高いクローラ型移動プラットフォーム HELIOS を開発した。クローラボディを2台連結して踏破性向上を図り（図—6）、遠隔操縦を容易にするための過去の取得画像を使った動作環境の鳥瞰画像の提示法（図—7）、映像の揺れ低減による VR 酔いの軽減法、3次元地図の自動生成とそれを使った遠隔操縦法（図—8）などをシステムインテグレーションした。



図—6 HELIOS Carrier



図—7 過去画像による遠隔操縦



図—8 3次元地図の自動生成

(2) ジャンプロボット

瓦礫上をジャンプしながら情報収集するロボット。ドライアイスの3重点を使った連続大量空気圧源により、長時間の運動を可能にした。

(3) 瓦礫内レーダー

超広帯域無線技術により、瓦礫を透過して人間の呼吸などの動きをとらえるレーダーとその信号処理技術を開発した。

6. 実証試験・訓練

研究成果の実用化のためには、実証試験と改良を繰り返すこと、ユーザからのフィードバックを得ることが必要である。そのために、実証試験フィールドとして国際レスキューシステム研究機構神戸ラボラトリーに倒壊家屋実験施設（図—9）を建設し、現役消防隊員によるボランティア部隊 IRS-U を結成しての訓練・評価・意見聴取を行った（図—10）。また、ハイパーレスキューや国際緊急援助隊に対するデモ、NIST, ASTM によるレスキューロボット評価標準化に協力し、FEMA 隊員によるロボットデモ体験・試験を行った。また、展示会やマスメディア等を通じ、成果を広く知ってもらうことができた。

以上の研究活動を通じ、ロボット分野にとって防災が重要な研究と位置づけられ、一つの研究分野が形成されたこと、災害対応専門家と研究者との対話が進むようになったことは、大きな成果だった。



図—9 倒壊家屋実験施設（IRS 神戸ラボラトリー）



図—10 IRS-U 訓練デモ（東京消防庁第八方面隊立川訓練所）

7. 建設現場への適用

瓦礫内情報収集ロボットである能動スコープカメラ(図-11)は、工業用ビデオスコープのケーブル表皮全体に繊維振動駆動の原理によるアクチュエータ機能を実現したものであり、ごく狭い瓦礫の空隙内(開口径3cm程度)の奥深くの検査を行うことができる。

従来より使われてきたファイバースコープは推進機構を有しないため、段差、勾配、障害物などがあるとそれ以上奥に進入させることが不可能だった。これに対して、能動スコープカメラは、表皮全面に分布的な推進力を有するため瓦礫のような環境でも比較的安定した推進が可能であり、条件が良い場合、20 degの登坂、20 cmの段差乗り越えが可能であり、障害物に沿って方向転換するのみならず、オープンスペースでの左右旋回制御が可能である、という特徴を有している。そのため、きわめて狭い箇所において検査可能なエリアを飛躍的に拡大するだけでなく、その奥にある広い空間を検査することも可能である、という特徴を有している。

これは当初大大特で開発されたが、その後の改良によって実用的な性能に至ることができた。2007年6月に米国NIST主催でFEMA TX-TF1訓練所Disaster Cityで開催されたレスキューロボット評価会においては、試験を行った数十種類のロボットの中で、能動スコープカメラが最も実用性が高い2つのロボットのうちの一つに選ばれた。さらに、2008年6月に開催された自治体消防60周年記念事業「消防防災ロボット・高度な資機材等」では、消防庁長官表彰最優秀賞を受賞することができた。

2007年12月に米国Jacksonvilleで発生したBerkman Plaza II駐車場建設現場崩落事故においては、能動スコープカメラが事故原因調査に活用された(図-12)。コンクリート瓦礫内の最大深さ7mまで

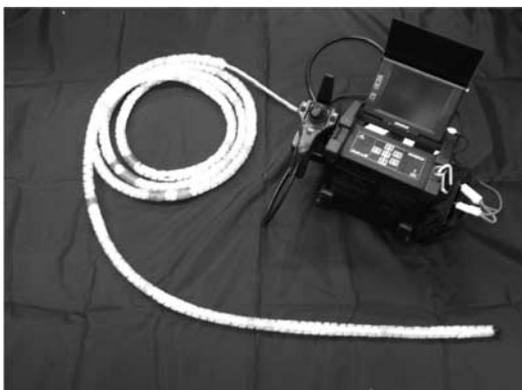


図-11 能動スコープカメラ

ケーブルを挿入し、構造物の割れ目の形状や方向、破片の形状や断面、建設用支柱の立て方等の構造情報などを収集することに成功した。これらの多くは、従来のファイバースコープや他のロボット等では進入不可能な場所から得られた情報であり、能動スコープカメラの従来技術に対する優位性を明確に示したものである。

これは一つの例であるが、レスキューロボットおよびその技術は、建設施工に対して有効なものが数多く、研究成果の相互の波及が期待される。レスキューロボットは使われる頻度が低いため、マーケット規模が開発コストを負担するには小さすぎるという問題点がある。技術の他分野への波及を図り、共通化を進めることが必要である。



図-12 米国 Jacksonville における事故原因調査

8. おわりに

本稿では、大大特を中心としたレスキューロボットの研究開発成果の概要を紹介した。

現段階では、下記のようないくつかの技術課題が残されており、今後継続した研究開発が重要である。

①移動能力、作業能力の問題

ロボットの機構や制御の問題に加え、オペレータの周囲状況認識能力の不足、不十分な遠隔操作性、位置計測の精度不足、など。

②遠隔操縦と情報伝達のためのヒューマンインタフェースの問題

オペレータの状況認識のための情報提示、操縦をサ

ポートする半自律機能など。

③通信の問題

複数台のロボットからの映像やレンジファインダなどの大容量データを、遠隔地にいるオペレータまで、とぎれや遅れなく、伝送する必要がある。

④測位と情報マッピングの問題

GPS が使えない場所ロボットの位置計測、情報マッピングの GIS 活用のためのオントロジーや通信プロトコルの標準化など。

⑤協調作業の問題

複数システムを協調的に使用するための枠組み。

⑥災害時の信頼性の問題

災害時にシステムが安定して動作し、信頼できる。

⑦評価基準の曖昧性

災害は発生するたび毎に状況が異なるといわれており、それに起因してシステムの要求仕様や評価試験の基準が曖昧なままになっており、システムの有効性を定量化することが困難である。

⑧基本性能の向上

アクチュエータの大出力化、メカニズムの高剛性化、小型軽量化の問題、エネルギーの問題（バッテリー、省電力など）、センサの性能向上、耐久性、耐水性、耐熱性、耐塵性、防爆性など。

これらの問題点は、危険箇所の工事技術である無人化施工（図-13）の問題点と共通であり、これらの解決は建設施工の高度化にも貢献すると期待される。

JICMA



図-13 無人化施工の操縦席（雲仙普賢岳）

《参考文献》

- 1) 文部科学省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, 総括成果報告書 (2007)
- 2) Rescue Robotics - DDT Project on Robots and Systems for Urban Search and Rescue, Springer (2009 出版予定)
- 3) 高森・田所・大須賀・鶴谷・他: 救助ロボット機器の研究開発に資することを目的とした阪神淡路大震災における人命救助の実態調査研究会 (略称レスキューロボット機器研究会) 報告書, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門 (1996)
- 4) S. Tadokoro, T. Takamori, S. Tsurutani, K. Osuka : On robotic rescue facilities for disastrous earthquakes - from the Great Hanshin-Awaji (Kobe) Earthquake -, Journal of Robotics and Mechatronics, 9 [1], pp. 46-56 (1997)

【筆者紹介】

田所 論 (たどころ さとし)
NPO 法人国際レスキューシステム研究機構
会長
東北大学大学院情報科学研究科
教授

