

# 多視点観測可能な三次元距離センサを有する瓦礫内探索用移動ロボットの開発

Development of a Searching Mobile Robot loaded

with a 3D Range Sensor observable from Many View Points in the Rubble

○ 勝浦 敬泰 (岡山大) 石田 宏 (岡山大) 正 永谷 圭司 (岡山大) 正 田中 豊 (岡山大)

Takahiro KATSUURA, Okayama University, 3-1-1, Tsushima-naka, Okayama

Hiroshi ISHIDA Okayama Univ. Keiji NAGATANI, Okayama Univ. Yutaka TANAKA, Okayama Univ.

Research of rescue robotics has been briskly performed from the influence of “the great Hanshin-Awaji earthquake” in 1995 and “the terrorism suffered in New York” in 2001. Our research objective of rescue robotics is to develop a robot that searches victims inside collapsed buildings (or houses). To realize such task using mobile robots, the following research topics are very important; (1) localization in 3-dimensional space, (2) construction of a 3-dimensional map, and (3) development of sensor system. In this research, we focus on (3) development of sensor system as a tool of (1) and (2).

The 1st mobile robot “Res-Dog” (crawler type) had the problem that can not get over large rubbles. To improve a capability of movability, we have developed the 2nd mobile robot “RD-II” (crawler type). It has a mechanism that moves its center-of-gravity. It also has sensor arm (3 D.O.F.) to acquire 3-dimensional information.

This paper describes an introduction to crawler type mobile robot “RD-II”, and shows experimental results to verify its movability.

*Key Words:* Rescue robot, Searching environment, Run on rough terrain

## 1 はじめに

1995年に発生した阪神淡路大震災における救助活動は、有効なレスキュー機器がなかったこともあり、非常に難航した。一方、米国では、2001年起きた同時多発テロの災害現場において、救助活動にレスキューロボットが用いられた。このような背景の下、2002年度から文部科学省において「大都市大震災軽減化特別プロジェクト」が発足した。本研究グループも、このプロジェクトにおける「環境モデリンググループ」において「不整地移動ロボットのための自己位置推定と未知環境情報の獲得」という研究テーマで、参画している。具体的には、地震等による倒壊現場において、ロボットが瓦礫内部に進入し、瓦礫内部に閉じ込められた要救助者を探索するロボットを開発することを目的とし、研究を行っている。

このような環境探索用移動ロボットを開発するためには、大きくわけて「ロボットの自己位置推定」、「三次元地図の構築」、「不整地走行可能な移動ロボットの開発」の3項目の要素研究が必要となる。

本研究では、この3項目うち「不整地走行可能な移動ロボットの開発」に焦点をあて研究を行うこととした。なお、この移動ロボットには「ロボットの自己位置推定」や「三次元地図の構築」を実現するための、距離センサ、小型カメラ、ロボットの傾きを検出するジャイロセンサを搭載する。また、本研究グループが目指すロボットは、瓦礫内に進入するため、距離センサや小型カメラの視点を変えられる多視点観測可能な三次元距離センサを搭載することとした。

本稿では、これまでに本研究グループで研究開発を進めてきた環境探索用移動ロボットについての走行上の問題点について述べ、その問題を克服するために現在開発中の環境探索用移動ロボットの2号機の概要、ならびにそのロボットの踏破能力について報告する。

## 2 環境を探索する不整地走行ロボットに必要な機能

本研究グループの目指すロボットには、「ロボットの自己位置推定」<sup>(1)(2)</sup>、「三次元地図の構築」並びに「不整地走行可能な移動ロボットの開発」が必要であり、これを実現するためには、不整地走行可能な移動機構、センサを搭載したセンサシステム、

センサシステムを制御するコントローラが必要となる。以下に、このロボットに必要な、移動機構、センサシステム及びコントローラについて述べる。

### 2.1 移動機構

ロボットを開発するにあたり、移動機構の検討を行う必要がある。レスキューロボットには、蛇型<sup>(3)</sup>、クローラ型<sup>(4)</sup>の他にも、多足型<sup>(5)</sup>、飛行型<sup>(6)</sup>などがある。

本研究に利用するロボットの移動機構機能には、「不整地走行」、「その場で旋回」、「狭空間に侵入」、「制御の容易性」、「センサ等の搭載用スペースの確保」が必要となる。これらを踏まえ、本研究に利用するロボットプラットフォームには、クローラ型が最も最適であると考え、クローラ型を採用することとした。

### 2.2 センサシステム

本研究で開発するロボットには、障害物までの距離を測定する距離センサ、ロボットの傾きを検出するジャイロセンサが必要である。また、三次元地図を構築するための画像獲得手段として、小型カメラが必要となる。これらのセンサやカメラを用い、様々な視点から環境情報を獲得することで、より詳細な環境情報を得ることが可能となる。さらに、二次元距離センサをチルト回転させることで三次元の距離情報を獲得可能となる。そのために、距離センサを上下に移動させる上下移動機構、距離センサをチルト回転させるチルト回転機構が必要となる。

### 2.3 コントローラ

前節で述べたロボットには、距離センサをチルト回転させるモータ制御や、各センサとの通信を行うためのコントローラが必要となる。

## 3 環境探索ロボット「Res-Dog」

本研究室では、前述の必要事項を満足する環境探索ロボット「Res-Dog」を開発した (Fig.1)。以下に、開発した「Res-Dog」の概要と問題点について述べる。

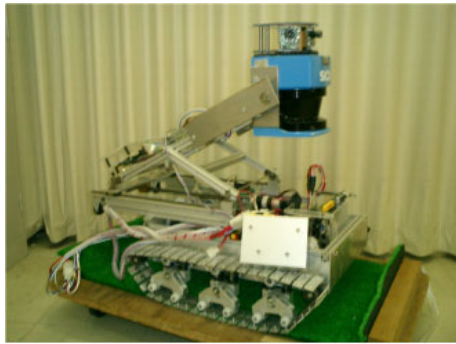


Fig. 1 「Res-Dog」

### 3.1 「Res-Dog」の仕様と構成

「Res-Dog」のサイズは、全長 700mm (クローラ部は 500mm)、幅 500mm、高さ 570mm (470 ~ 670mm の範囲で上下可動) であり、クローラ部、センサシステム部、コントローラ部から構成される。また総重量は、約 36kg (クローラ部は約 24kg、センサシステム部約 12kg) である。

クローラ部は、2 機の DC モータにより駆動され、サスペンションを有する。センサシステム部は、上下移動機構、チルト回転機構を有している。また、センサシステム部には、距離センサ、USB カメラを用いて環境情報を獲得し、ジャイロセンサによりロボットの傾斜を検出することが可能である。コントローラ部には、YellowSoft 社製の H8S/2633CPU ボード、並びに制御用 PC を搭載している。H8S/2633CPU ボードは上下移動機構、チルト回転機構のモータ制御に使用し、制御用 PC は距離センサ、USB カメラ、ジャイロセンサの通信等に使用する。

### 3.2 「Res-Dog」の問題点

開発した「Res-Dog」は、100mm の段差を乗り越えることができないという問題があった。この問題の原因と解決案を以下に示す。

#### 1. ロボットのサイズの問題

ロボットの踏破能力は、全長やスプロケット径に依存するが、「Res-Dog」のスプロケット径 30mm、全長が 500mm と小さいため、段差を乗り越えることができない場合がある。そこで、スプロケット径、全長など、ロボット全体を大きくする。

#### 2. 重心位置の問題

「Res-Dog」は、重心が高い位置にあるため、段差を乗り越えることができない場合がある。そこで、ロボットの重心位置を、状況により移動させる機構を付加することで、踏破能力を向上することが可能である。

#### 3. センサシステムの重量

「Res-Dog」のセンサシステム部は、距離センサ 4.5kg を含め、約 12kg ある。この重量を削減することができれば、踏破能力を向上することが可能である。

この 3 つの条件を満たすために「Res-Dog」を改良するとすると、ロボット全てに手を加えなければならない。そこで、これらの対策を踏まえ、新しいロボットを開発することとした。

### 4 環境を探索する不整地走行ロボット 2 号機の開発

前節の考察より、新しいロボットに必要な機能について検討した。

1の「ロボットのサイズ」については、クローラの径や全長を大きくすることで踏破性を向上できると考えた。そこで、全長を 300mm 延ばすこととした。

2の「重心位置」については、新たに重心移動機構を搭載することとした。特に、クローラ部の重量の大部分を占めるバッテリーの位置を前後に動かすことで、重心を前後に移動させることとした。これにより、より高い段差を乗り越えることが期待できる。

3の「センサシステムの軽量化」については、センサシステム部の軽量化を図ることで重心を低くすることとした。重心が低くなれば、段差で傾いた際に、重心が段差を乗り越え易くなり踏破能力が向上すると考えられる。これらの事項を踏まえ、不整地走行を実現する瓦礫内探索用移動ロボット 2 号機「RD-II」を開発することとした。

「RD-II」(Fig.2) は、「Res-Dog」同様、クローラ部、センサアーム部、コントローラ部の 3 つから構成される。以下に、現在開発中の「RD-II」の各部について述べる。

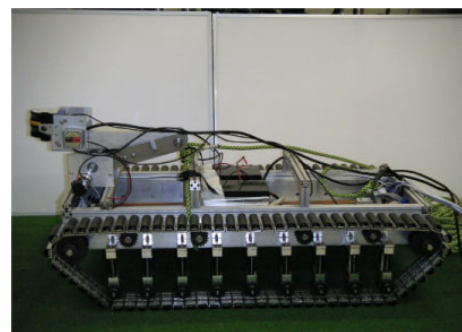


Fig. 2 「RD-II」

#### 4.1 クローラ部

クローラ部(テクノクラフト社製)は、バッテリーをクローラ部内部で移動させる機構を有する(Fig.3)。移動範囲はロボットの中心位置から前方に 110mm、後方に 80mm である。バッテリーは、一個 4.2kg ある YUASA 社製のシールドバッテリー NPH12-12 を 2 個用いる。

また、地面とクローラ部の滑りを防止するために、クローラと地面との接地面にゴムを取り付けてグリップ力を高めている。

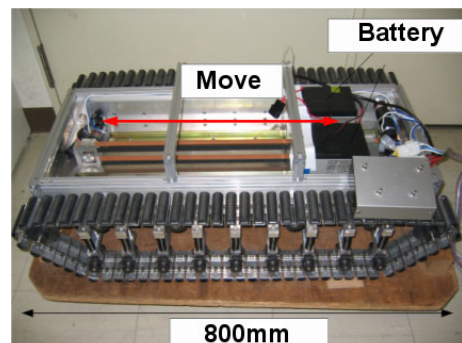


Fig. 3 Crawler of 「RD-II」

#### 4.2 センサシステム部

「Res-Dog」同様、センサの位置を変えることで、高い位置からの距離測定を行うため、2 号機「RD-II」にも、上下移動機

構を搭載することとした。また、二次元的にスキャンする距離センサを使用するため、三次元環境情報を獲得するには、チルト回転機構が必要となる。ロボットは、狭空間を走行するため、このようなセンサシステムは、可能な限り小さいことが望ましい。

これらを踏まえ、アーム型の3自由度の機構を採用した。このアームをロボットの前方に取り付け、アームの先端に距離センサを取り付ける。アーム型の利点として、必要のない際には、折り畳み可能であることやロボットの前方が凹地の際には、Fig.4に示すように、凹地をのぞき込むように距離観測が可能であることが挙げられる。

このアームの1軸、2軸の動作は、それぞれDCモータを採用し、3軸にはステッピングモータを採用する。これにより、アームの先端の位置は、アーム取り付け位置から400mmの高さまで上げることが可能である。

また、距離センサは、北陽電機社製のPBSを用いることにした。このセンサは、距離精度は落ちるが、重量が1kg未満と軽量であるため、センサが上部に移動してもロボット全体の重心の位置はあまり高くない。さらに今後、画像獲得装置としての小型カメラや、ロボットの傾斜を測定する傾斜センサを搭載する予定である。



Fig. 4 Sensor arm

#### 4.3 コントローラ部

モータ制御には、YellowSoft社製のH8S/2633のCPUボードを用いた。また、モータドライバとしてのコントローラには、ステッピングモータ用としてオリエンタルモーター社製のDFC5107を採用し、DCモータ用として岡崎産業社製のTiTech Driverを採用した。なお、この「RD-II」は有線で制御させることを前提とし、走行、センサによるデータ取得に必要な物のみを搭載させることとした。これにより、振動による電子機器の故障も最小に抑えることができる。

一方、「RD-II」を瓦礫等の隙間に投入させる際、ロープを用いて投下する予定である。そのために、ロボットを吊しても切れない、強靱なケーブルが必要になる。そこで、ロボットをつり下げるテザーとして、ロッククライミング用のロープを使用することとした。このロッククライミング用のロープにコントローラ用のケーブルをやや弛ませながら束ね、通信用のコードに負担をかけることなく、大きな強度を持つケーブルを製作する予定である。さらに、距離センサPBSのデータも、このケーブルを用いて通信する予定である。

#### 5 踏破性能の評価

「RD-II」の踏破性能を測ることを目的とし、以下の走行条件を踏破可能であるか実験を行った。また、段差におけるロボットの重心位置 Fig.5 に示す。

##### a. 100mm の段差

100mmの段差は、重心移動を行わなくても踏破可能であった。ロボットの全長を伸ばし、重心を低くしたことにより、「Res-Dog」では不可能であった100mmの段差の踏破が可能になったと考えられる。

##### b. 200mm の段差

200mmの段差は、重心移動を行わない場合は、踏破不可能であったが、重心移動を行うことで、踏破可能となった。この動作におけるロボットの重心位置を Fig.5 に示す。

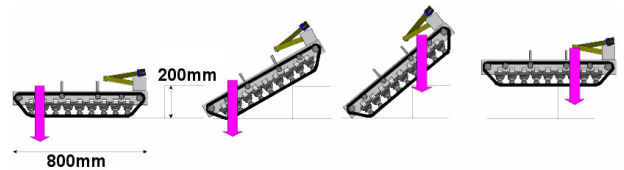


Fig. 5 Gravity-center on step

##### c. 300mm の段差

クローラの径や高さの問題上約200mmの段差の踏破が限界であった。これ以上の高さでは、ロボットの前方を自力で持ち上げることが不可能であった。

##### d. 1段200mmの階段の上昇

1段200mmの階段は、重心移動を行うことで、階段を登ることができた。なお、ロボットが階段を登る際、ロボットの傾きは約30°となる。

以上より、全体的に「Res-Dog」の踏破能力と比較して、「RD-II」の踏破能力は大きく向上したといえる。

#### 6 おわりに

本研究では、倒壊現場において、瓦礫内に閉じこめられた要救助者を捜索するロボットを開発することを目的とした踏破能力のある環境探索用移動ロボットの実現に向けて研究開発を行ってきた。本稿では、より踏破性に優れた探索用移動ロボットを開発することを目的とし、2号機「RD-II」の開発を中心に述べた。

今後の課題としては、引き続き、ロボットの整備を行うことが挙げられる。具体的には、制御用のPCを搭載し、センサ情報の獲得を行い、三次元地図の構築のために必要となる小型カメラを搭載する予定である。これらのシステムを完成し、実際の災害現場で活躍することが可能なロボットを目指す。

#### 7 謝辞

本研究は、文部科学省「大都市大震災軽減化特別プロジェクト」からの助成金により実施できた。ここに感謝の意を表します。

#### 【参考文献】

- 石田 宏, 永谷圭司, 五幅 明夫: 不整地移動ロボットのための自己位置推定と環境地図の構築, 日本ロボット学会 第21回学術講演会, 1L2a, 2003/9
- Keiji Nagatani, Hiroshi Ishida, Satoshi Yamanaka, Yutaka Tanaka: Three dimensional Localization and Mapping for Mobile Robot in Disaster Environments, Conference on Intelligent Robots and System, 3112-3117(2003)
- 大野英隆, 広瀬茂男: 索状能動体に関する研究(3D歩容に関するバイオメカニズム的考察), 日本設計工学会, 36, 5, pp.206-212 (2001)
- 高森年, 山本雅彦, 小林滋, 大坪義一, 高島雅之, 池内彰博, 高島志郎, 下中篤, 山田雅俊: 移動ロボット群による大規模災害被災者の探査システムに関する研究, 計測自動制御学会システムインテグレーション部門学術講演会 SI2002 講演論文集 pp79-80 2002年12月19日
- 徳田献一, 田所諭, 戸田崇文, 梶幸久, 昆陽雅司: 4脚レスキューロボット RoQ - 瓦礫上歩行を模倣するシステムの構築 -, 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 (2002).
- 青木 創太, 中西 弘明, 井上 紘一: 災害対応用無人ヘリコプタのインタフェース設計, Proceedings of the Human Interface Symposium 2003, pp.379 - 382, 2003