

補助事業番号 27-131

補助事業名 平成27年度 極限探査における環境適応型ロボットサイエンティスト
の研究開発 補助事業

補助事業者名 慶應義塾大学理工学部機械工学科 准教授 石上玄也

1 研究の概要

本事業では、火山観測を主とした極限探査ロボットについて、適応的かつ自律的にロボット自身の行動判断と実行が可能な「ロボットサイエンティスト」の開発に取り組んだ。特にロボットハードウェア・ソフトウェアの開発を中心に、実際の火山環境におけるフィールド実証試験を実行することによって、本事業で開発したロボットの有用性を確認している。

2 研究の目的と背景

日本国内にある活火山のうち常時観測対象が47火山、さらにそのうち重点的な観測対象となっているものが25火山あり、より正確かつ精密な火山観測および予知が重要課題となっている。これらの火山に対し、特定の観測地域に設置された複数の固定局からの「点」の情報のみに基づいて火山観測・噴火予知などを行わなくてはならない。特に火山活動が活発になった場合、固定局以外の領域に人間が現地へ赴くまでのタイムラグが生じると共に、観測者自身も危険にさらされることが課題となっている。一般に即応的な火山観測手段としては、空中飛行が可能なドローンが用いられているが、中長期的な観測あるいはその場での作業には困難を伴う。地上を走行して観測に赴く移動ロボットは、このような作業が可能である一方、不整地地形の安全な走行、自身の電力状態の健全性の維持、ならびに観測イベントに対する自動的な反応といった各種機能を有する必要がある。

そこで本研究においては、ロボット自身の内的要因（電力状態、走行負荷など）と、環境の外的要因（太陽光量といった天候および噴火といった動的な観測イベント）に対して、人間の判断や操作が介在することなく、ロボットが自律的・適応的に対応できる「ロボットサイエンティスト」の実現を目的とする。

3 研究内容

本事業は計2年間の期間において、主に「環境適応型自律移動システムの構築」と「科学観測システムの開発」、さらに実地フィールドにおいてロボットシステムの実証をおこなう「フィールド実証試験」の3項目に取り組んだ。各実施概要を以下に述べる。

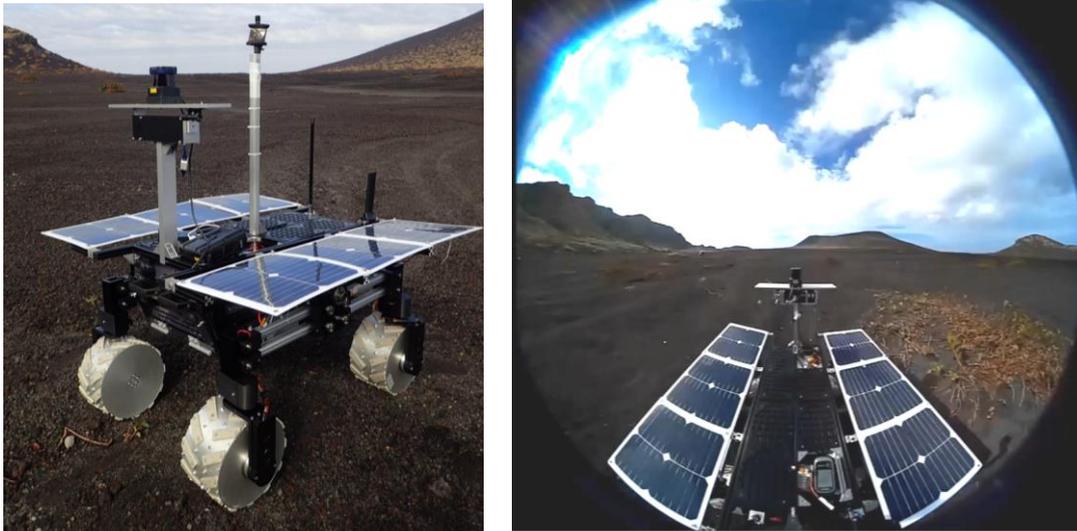


図 1：環境適応型ロボットサイエンティスト

(1) 環境適応型自律移動システムの構築

図1に示すような4輪の不整地移動ロボットシステムを構築した。ハードウェアとしては、4輪独立駆動・独立操舵を有しており、ロボット上部にはカメラ、レーザ距離計を有する。また、自立した電力システムとすべく、太陽電池パネルの導入、電源制御装置の開発に取り組み、さらに携帯電話回線を利用した遠隔操縦（伊豆大島のロボットと横浜の研究室）も可能とした。

ソフトウェアとしては、主に自律移動機能として、ロボット周囲の環境認識、移動経路計画、自己位置推定を実装している。経路計画についてはグラフ探索およびサンプリング手法のアプローチを導入している。また自己位置推定についてはロボットの挙動特性を加味した手法を取り入れている。電力制御においては、ロボットの外的要因による電力（天候や突発的な影が太陽電池パネルに降りるなど）と内的要因（ロボットの走行時の急峻な負荷変動）をモニタリングし、それぞれの要因にあわせた電力制御手法を適応的に切り替えるという手法の構築に成功した。

(2) 科学観測システム

ロボット搭載の小型カメラに対して、周囲環境が動的に変化した場合にのみ自動で撮像をおこなうソフトウェアを実装し、遠隔地にいるロボット操縦者へデータを送信するフレームワークを開発した。実際に伊豆大島三原山に展開したロボットが撮像した画像を、研究室（横浜市）へ携帯回線を経由して送信する実験に成功した。

さらに、外部研究グループが開発した観測装置試作機を同ロボット上部へと搭載し伊豆大島三原山の屋外フィールドにて移動試験をおこなった。当該フィールドでのロボット走行により、観測装置に与える振動、取り付け位置の検証などをおこない、多くのLessons learnedを得た。

(3) ロボット全体のシステムのフィールド実証試験

本事業において、ロボット実証試験として、下記の項目に取り組んだ。

- ✓ 不整地走行試験：火山フィールド（起伏があり、表面は軽石のようなスコリアとよばれる火山噴出物で覆われている）での安定した走行を確認した。
- ✓ 自律走行試験：未知の環境における環境認識、経路計画、自己位置推定の各機能の正常な動作を確認し、短距離ではあるがこれら機能を統合した自律移動も実施した。
- ✓ 環境適応型自立システム：太陽電池による発電・充電システムの検証、携帯電話回線を利用した遠隔操作を達成した。
- ✓ 科学観測システム：自動撮像カメラによる遠隔撮像・送信の達成、ならびに観測装置試作機を当該ロボットに搭載した走行デモンストレーションを達成した。

4 本研究が実社会にどう活かされるかー展望

本事業が開発したロボットサイエンティストが現場への展開が可能となった場合、通常時は火山地域の広範囲の場所を人間が介在することなく自律的に調査分析し、これまでの各固定局間において欠落していた火山観測情報を補間することが可能となると考える。さらに有事の際には、同ロボットを用いることによって、火山ガス成分調査や噴出物のサンプル採取・分析を即応的に実施することができ、火山活動状況の精査、噴火状況の詳細な理解が可能となり、ひいては防災・減災に資するシステムへと寄与できると考える。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

火山観測と極限環境ロボットは、本事業代表者が2010年度より継続して取り組んでいる研究課題の1つであり、当該事業開始までに火山地域におけるロボット試験などを通じて、当該ロボットに必要となる各技術ならびに実際の観測に従事する科学者などとの人的ネットワークを構築してきた。本事業を遂行するにあたっては、これら知見ならびに人的ネットワークを動員することによって、円滑に研究を推進するとともに、当該ロボット開発を通して各技術の洗練化を図ることができた。事業完了後は、開発したロボットを継続運用できるよう電源・通信といった自立システムの改善に取り組み、より火山観測に有用なシステムとなるよう研究開発に尽力していく。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

(1) 原著論文（国際（欧文）2件）

- ① Takemura, R., and Ishigami, G., Traversability-based RRT* for Planetary Rover Path Planning in Rough Terrain with LIDAR Point Cloud Data, Journal of Robotics and Mechatronics (Accepted).

② Nagata, T., and Ishigami, G., Gyro-based Odometry associated with Steering Characteristics for Wheeled Mobile Robot in Rough Terrain, Advanced Robotics, Vol. 30, Issue 23, pp. 1495-1508, Dec., 2016.

(2) 国際会議発表 (計9件, 平成27年度3件, 平成28年度6件)

Sakayori, G., Ishigami, G., Energy Efficient Slope Traversability Planning for Mobile Robot in Loose Soil, the 2017 IEEE Int. Conf. von Mechatronics, Feb., 2017, Federation University, Australia, など

(3) 国内会議発表 (計9件, 平成27年度3件, 平成28年度6件)

竹村玲哉, 石上玄也, 地形情報を考慮したRRTによる不整地移動ロボットの経路計画手法の提案, 第33回日本ロボット学会学術講演会, 2016年9月 山形大学小白川キャンパス, など

7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの

特に無し

(2) (1) 以外で当事業において作成したもの

(報告書) http://www.srg.mech.keio.ac.jp/jka27-131_report.pdf

(実験動画) <https://keio.box.com/v/cuatro2oshima20161031> (13.9MB)

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 慶應義塾大学 理工学部 機械工学科 石上研究室

(ケイオウギジユクダイガク リコウガクブ キカイコウガクカ
イシガミケンキュウシツ)

住 所: 〒223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉3-14-1

申 請 者: 准教授 石上玄也

担 当 部 署: 理工学部 機械工学科 (リコウガクブキカイコウガクカ)

E-mail: ishigami@mech.keio.ac.jp

U R L : <http://www.srg.mech.keio.ac.jp/>