

# 小型クローラ移動ロボットの遠隔操作による火山活動区域の観察 - 高出力の無線通信を用いた浅間山でのフィールド実験 -

永谷 圭司 (東北大学), 桐林 星河 (東北大学), 西村 健志 (千葉工大), 吉田 智章 (千葉工大), 小柳 栄次 (千葉工大), 羽田 靖史 (工学院大), 油田 信一 (筑波大学), 中里 邦子 (株式会社 インロッド・ネット), 久武 経夫 (株式会社 インロッド・ネット), 森山 裕二 (国土交通省)

## Tele-operated observation for small-sized tracked vehicles in activated volcano areas - Teleoperation with high-power communication in Mt. Asama -

Keiji NAGATANI (Tohoku Univ.), Seiga KIRIBAYASHI (Tohoku Univ.), Takeshi NISHIMURA (Chiba Institute of Tech.), Tomoaki YOSHIDA (Chiba Institute of Tech.), Eiji KOYANAGI (Chiba Institute of Tech.), Yasushi HADA (Kogakuin Univ.), Shin'ichi YUTA (Univ. of Tsukuba), Kuniko NAKAZATO (INROD-NET), Tsuneo HISATAKE (INROD-NET), Yuji MORIYAMA (Ministry of Land, Infra., Transport and Tourism)

**Abstract:** An observation of an active volcano is very important to work out a strategy for estimation of eruptive activity and evacuation call to residents. However, it is too dangerous task for human to install cameras during eruptive activity. Therefore, we proposed a robotic observation in volcano area, and performed several field tests to realize a robotic observation system. In this paper, we report the last field test of teleoperation with high-power communication in October 2011 in Mt. Asama.

**Key Words:** Volcano exploration, Tracked vehicle, Teleoperation

### 1 はじめに

活動中の火山の定点/移動観察は、噴火予測や住民の避難計画の策定を行う上で、非常に有用である。しかしながら、火山が噴火している最中、その噴火の規模によって定められる危険区域には、人が立ち入ることができない。例えば、浅間山の噴火がレベル3に達した場合、火口から半径4km以内に、人が立ち入ることはできない。そこで、筆者らは、

1. 火山灰が積もり降雨によって土石流発生が懸念される
2. 天然ダムが形成され土石流の発生が懸念される
3. 常設の観測機器がダメージを受けた

という事態を想定し、遠隔操作により危険区域内を定点/移動観察する小型の火山探査ロボットの研究開発を目指すこととした。その足がかりとして、2010年6月にSICE SI部門の「活火山エリア向け遠隔ロボット技術調査研究会」を立ち上げ、遠隔操作による活火山エリアの観測ロボットに関する研究体制を整えてきた。

この研究体制の中で、2010年夏より数回、国土交通省の協力の下、小型移動ロボットによるフィールド実験を実施した (Fig.1 参照)。これらの実験から、火山探査ロボット実現の大きな課題は、

1. 軟弱凹凸不整地走行
2. 長距離無線通信
3. 遠隔操作

の3つであることが明らかとなってきた。このうち、1.の



Fig. 1: Experiments in Mt. Asama: about 2,300 m

軟弱凹凸不整地走行については、多くの課題を残しつつも、浅間山の急斜面を走行可能な移動ロボットが実現されてきた[1][2]。

そこで、筆者らは、今回、上記の課題の中で、特に2. 長距離無線通信にフォーカスを当てて、フィールド実験を実施することとした。具体的には、高出力の無線通信の免許申請を行い、数キロメートル離れた地点より移動ロボットの遠隔操作試験を行う。これより、長距離無線通信に関して、どのような問題が生ずるかを確認することが、本試験の目的である。

本稿では、準備した通信設備ならびに、2011年10月11日から14日にかけて実施したフィールド実験の結果を報告する。

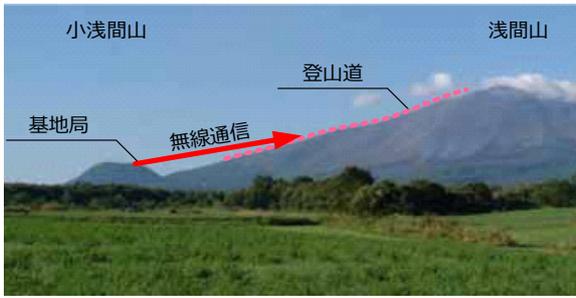


Fig. 2: Wireless communication in the field test



Fig. 3: Volcano Exploration Robot: Quince-Kai

## 2 フィールド試験の準備

### 2.1 試験目標

本フィールド試験では、浅間山から約3.7kmに位置する小浅間山の頂上にロボットの操作卓を設置し、浅間山の標高1,650m付近（登山道の植生が無くなり小浅間山の頂上からロボットが目視できる位置）から2,568m地点の頂上を目指し、できる限りロボットを、登山道に沿って走行させることを目標とした。なお、小浅間山の頂上は、レベル3の噴火時には、4km圏内に入ってしまうため、本来、ここに操作卓を設置することはできないが、本試験では、「技術的に可能なことから始める」という方針で、この試験目標を設定した。Fig.2に、本試験の概略を示す。

### 2.2 対象とするロボット

本試験で利用する不整地移動ロボットは、Quince 改とした。Quinceは、その不整地走行性能の高さから、福島第一原子力発電所の事故調査などにも利用されている筐体であり[3]、このロボットを火山探査用に改良したバージョンQuince 改 (Fig.3) は、2010年10月の浅間山での走行試験において、すでに高い走行性能を確認している。ロボット本体には、前後ならびに、俯瞰カメラが搭載されており、オペレータは、画像情報を用いた遠隔操作によって、

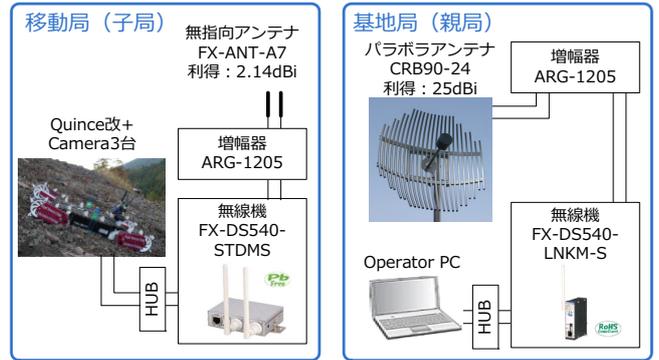


Fig. 4: Configuration of Wireless Communication Devices

このロボットを操縦することが可能である。本試験では、このロボットに、次節に示す無線通信装置を搭載することで、遠隔操作試験を行うこととした。

### 2.3 無線通信システム

本試験で利用する無線通信システムは、以下に示す機器で構成することとした。

1. Contec社製 無線通信装置 親機：FX-DS540-LNKM-S
2. Contec社製 無線通信装置 子機：FX-DS540-STDMS
3. ARGtek Comm.社製ブースタ：ARG1205
4. 八木アンテナ 親機：FX-ANT-A5
5. パラボラアンテナ 親機：CRB90-24
6. 無指向アンテナ 子機：FX-ANT-A7

Contec社製の無線通信装置は、2009年の桜島でのフィールド試験において、八木アンテナを利用した900mの移動ロボット遠隔操作を実現した実績がある[4]。また、上記の八木アンテナとパラボラアンテナは、基地局用のもので、比較実験を行うために2種類準備した。移動局側（ロボット側）のアンテナは、無指向性アンテナを使用することとした。なお、関東総合通信局が許可できる最大の出力が600mWであるため、各通信機には、4Wのブースタに減衰器を取り付け、出力を減衰させることとした。パラボラアンテナを採用した際の、無線通信装置の構成をFig.4に示す。なお、八木アンテナを利用する場合には、この図中のパラボラアンテナと置き換えることとなる。ちなみに、八木アンテナの利得は19.0dBiであり、パラボラアンテナ(25dBi)とは、6dBiの差がある。利得だけで見ると、パラボラアンテナの方が有利であるが、半値角が約9度と狭く、移動ロボットの制御のためには、より頻りにアンテナ調整を行う必要があるため、移動ロボットの遠隔操作に有用であるかどうか、本試験の一つの確認事項であると言える。なお、この構成で取得した免許の電波型式は、38M0D1D、周波数は、2432MHz、出力は、600mWである。

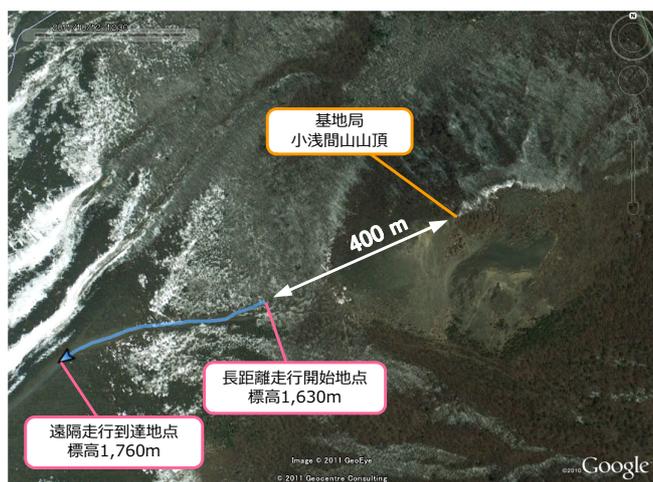


Fig. 5: Results of field test (10/12)



Fig. 6: Setup of wireless communication and robot (10/12)



Fig. 7: Results of field test (10/13)



Fig. 8: Setup of wireless communication (10/13)

### 3 浅間山でのフィールド試験

#### 3.1 小浅間山からの遠隔操作試験

2011年10月12日、小浅間山の山頂に基地局を設置し、Quince改の遠隔操作を行った。なお、この基地局の位置と浅間山の登山道との間には、障害物が存在しない。小浅間山の山頂とロボットの初期位置は、見通しで約400m程度であった。ロボットは、遠隔操作で走行を開始したが、400mほど走行した地点で、ロボットの駆動系のマシントラブルのため、走行試験を中止した。その間の遠隔操作試験については、路面もそれほど起伏が大きくなかったため、順調に走行を行うことができた。

その後、ロボットを人が背中に担ぎ、山を登っていくことで、通信試験のみ実施した。その結果、八木アンテナと比較し、パラボラアンテナを利用することで、大きな利得を稼げる、またパラボラアンテナでも、頻繁に角度調整をする必要がないことが分かった。

10月12日に行った試験における基地局の位置ならびに、ロボットの遠隔走行試験を行った走行経路（水色）をFig.5に、また、走行試験と基地局のスナップショットをFig.6に示す。

#### 3.2 パーキングエリアからの遠隔操作試験

12日の試験を受けて、13日は、より現実的な問題設定を行うため、小浅間山の頂上ではなく、鬼押しハイウェイの六里ヶ原に位置するパーキングエリア内の駐車場に基地局を設置して実験を行った。なお、試験時間の制約により、ロボットの走行試験と通信試験をそれぞれ独立に平行して行った。

通信試験の基地局を設置した駐車場所は、火口から4kmの場所に位置しており、レベル3の噴火が起こった際にも、基地局として使用することが可能である。また、この基地局の位置と浅間山の登山道との間には、障害物が存在しない。なお、12日の試験結果から、(1) パラボラアンテナの方が明らかに利得を稼ぐことができる、また、(2) それほど頻繁に方向修正を行う必要がない、ということが判明したので、この日の試験は、パラボラアンテナのみを利用することとした。

まず、長距離無線通信試験の結果について述べる。移動局は通信機とIPカメラで構成し、人がキャリアで背中に担いで登山道を移動した。移動局側の無指向性アンテナの地上高はおよそ1.6mに設定した。移動局側の通信試験開始

位置は、浅間山の標高1,700m付近で、その際の直線距離は、およそ2.5km、電界強度は、-89dbmから-86dbm程度であったが、TCP/IPが安定して確立しなかったため、このセットによる試験は、この地点で終了となった。

次に、長距離走行試験の結果について述べる。ロボットは、オペレータがロボットを目視できる距離で操作し、登山道を移動した。まず、標高1,650m地点から走行を開始し、標高2,140m付近まで登り走行を行った。さらに、そこから、標高1,400mの東大の地震研までの下り走行を実現した。標高2,140mで折り返したのは、走行不可能となったためではなく、試験時間と天候の制約があったためである。この間、のべ走行距離は、登り1.7km、下り3.5kmの合計5.2kmであり、これを、6時間で走行した。これにより、既存のロボットのハードウェアで、登山道沿いに、浅間山の山頂近くまで走行することが可能であることが判明した。この間、バッテリーを3セット（1セットにつき14.4V 6.15Ahのバッテリーを4本）を使用した。

10月13日に行った試験における、基地局の位置と移動局が通信を行った位置ならびに、ロボットの長距離走行試験を行った経路をFig.7に、通信試験の様子と基地局のスナップショットをFig.8に示す。

#### 4 まとめと今後の課題

本研究では、火山の火口付近を近距離から観測することが可能な、小型火山観測移動ロボットの研究開発を目指し、浅間山にて、ロボットのフィールド試験を行った。その結果、遠隔操作により、合計で400mのロボットの走行に成功した。また、600mWの通信によって、2.0km程度の比較的遠距離の通信が可能であることを確認したが、浅間山における火山探査のための遠隔操作を行う上では、出力が十分でないことを確認した。一方、移動ロボットのハードウェアについては、バッテリーセットが3つで、ほぼ浅間山の山頂まで登山道沿いに往復することができることが判った。電源の問題を解決することができれば、対象とするロボットQuince改は、火山探査の実用化に大きく近づいたと言える。

今後も、不整地移動ロボットを用いた火山観測のための、遠隔操作に関する研究を進めると共に、現場での実証実験を実施することで、火山噴火の際に現場で有用となる火山探査ロボットの構築を進める予定である。

#### 謝辞

フィールド実験の準備や実施にご協力いただいた、国交省砂防部保全課、利根川水系砂防事務所、東京大学地震研究所浅間火山観測所の各位に感謝します。

#### 参考文献

- [1] 永谷圭司, 木下宏晃, 西村健志, 小柳栄次, 油田信一, 久武経夫, 森山裕二. 小型クローラ移動ロボットの遠隔操作による火山活動区域の観察-浅間山での走行試験-. 第11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. 555-558, 2010.
- [2] 永谷圭司, 岡田佳都, 徳永直木, 桐林星河, 小柳栄次, 吉田智章, 西村健志, 油田信一, 久武経夫, 森山裕二. 小型クローラ移動ロボットの遠隔操作による火山活動区域の観察 - ミッションの提案と予備実験 -. 第12回建設ロボットシンポジウム 予稿集, 2010.
- [3] Keiji Nagatani, Seiga Kiribayashi, Yoshito Okada, Satoshi Tadokoro, Takeshi Nishimura, Tomoaki Yoshida, Eiji Koyanagi, and Yasushi Hada. Redesign of rescue mobile robot quince -toward emergency response to the nuclear accident at fukushima daiichi nuclear power station on march 2011-. In *Safety, Security and Rescue Robotics, Workshop, 2011 IEEE International*, p. to be appeared, 2011.
- [4] 永谷圭司, 岡田佳都, 徳永直木, 桐林星河, 小柳栄次, 吉田智章, 油田信一, 久武経夫. 火山探査を目的としたクローラ型移動ロボットkenafによる桜島での遠隔操作実験. 第10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予稿集, pp. 1943-1946, 2009.