

# 車輪型軽量火山探査ロボットの開発と遠隔操作試験

○山内元貴(東北大学), 秋山健(東北大学), 高橋悠輔(東北大学),  
永谷圭司(東北大学), 吉田和哉(東北大学), 羽田靖史(工学院大学)

## Development of a lightweight wheeled robot for exploration in volcano areas and teleoperation test

○Genki YAMAUCHI(Tohoku Univ.), Ken AKIYAMA(Tohoku Univ.), Yusuke TAKAHASHI(Tohoku Univ.),  
Keiji NAGATANI(Tohoku Univ.), Kazuya YOSHIDA(Tohoku Univ.), Yasushi HADA(Kogakuin Univ.)

**Abstract:** While a mountain shows signs of volcanic activity, it is important for planning evacuation of inhabitants to observe its circumstances. However, it is difficult to set new observation equipments by human because of prohibiting from entering volcano areas. In such case, tele-operated mobile robots have a chance to enter the domain and to obtain information for inhabitants. In this research, we developed a light-weight wheeled mobile robot, called GeoStar-II, for exploration in volcano areas. In this paper, we introduce the robot and report experimental results of a field test in Mt. Asama.

### 1 はじめに

活動中の火山の監視を行うことは、今後の噴火予測や、住民の避難計画の策定を行う上で、非常に重要である。しかしながら、火山活動が活発になると、火口から一定の距離が立入禁止となるため、既に設置された観測装置から得られる情報が不十分な場合にも、新たに観測装置を設置することは困難である。そこで、カメラ等の観測装置を搭載した移動ロボットを遠隔操作を行い、人が立ち入ることができない環境に進入し、火山の監視を行うことが期待されている。

このような背景において、筆者の所属する研究グループでは、火山環境を探索する移動ロボットの実験を浅間山にて行ってきた[1][2]。これまで浅間山で実施した実験により、限定的ではあるが、移動ロボットの遠隔操作により、火山環境において、移動ロボットによる探索が可能であることがわかってきた。

そこで、本研究では、小型無人ヘリコプタから小型移動ロボットを投下し、これを遠隔操作することで移動監視(Fig. 1)を行うシナリオを設定した。これを実現するために、本研究では、小型軽量の移動ロボットGeoStarをベースに[3]、走行性能、コントロールシステムを向上させたGeoStar-IIを開発し、浅間山C9地点(Fig. 2)での遠隔操作試験を行うこととした。なお、このC9地点は、浅間山が噴火した際の土石流の発生予測に必要な灰の堆積量を測定する必要がある、重要な斜面である。

移動ロボットとの通信には、3G回線(FOMA)と無線LANを用いるものを準備し、それぞれ独立に試験することとした。本稿では、開発したロボットと遠隔操作システムの紹介ならびに、浅間山で実施した遠隔操作試験結果について報告する。

## 2 車輪型軽量火山探査ロボットGeoStar-II

### 2.1 ロボットシステム

本研究では、試験で利用する移動ロボットとして、GeoStar-IIを開発した。過去に浅間山ならびに三原山で実施したGeoStar[2][3]の走行実験から、小型軽量ロボットでは、登山が困難であっても、山を下る探索は、可能であることがわかっている。そこで、本研究では、遠隔操作システムをGeoStarに組み込み、電動ヘリコプターで運搬することを考慮して、GeoStar-IIの開発を進めた。

なお、GeoStar-IIは遠隔地(火山の噴火の規模によって



Fig. 1: Exploration for volcano areas

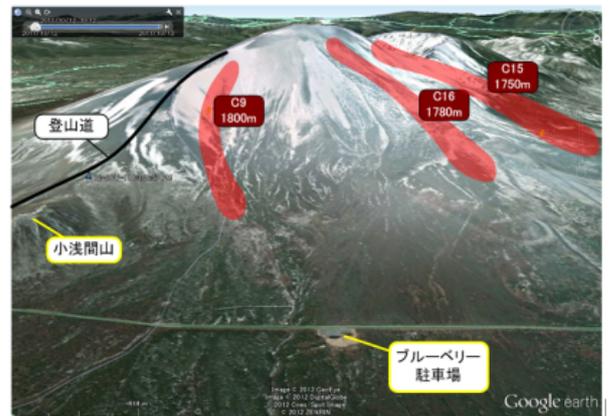


Fig. 2: Mt. Asama

定められる立ち入り禁止区域外)から操縦する必要がある。そこで、本研究では、ロボットにUSBカメラを搭載し、カメラ画像を利用した遠隔操作を行うこととした。なお、浅間山では、噴火警戒レベルが3になると、火口から周囲4kmが立ち入り禁止となるため、移動ロボットとの通信が問題となる。一方、3G回線を用いた通信はLANと比べ、広域に通信することができるが、帯域が狭く遅延が大きい。そこで、本研究では、基地局との通信に無線LAN回線を用いるGeoStar-IIと、3G回線を用いるGeoStar-IIを一台ずつ準備し、それぞれの回線を用いた遠隔操作の比較試験を行うこととした。

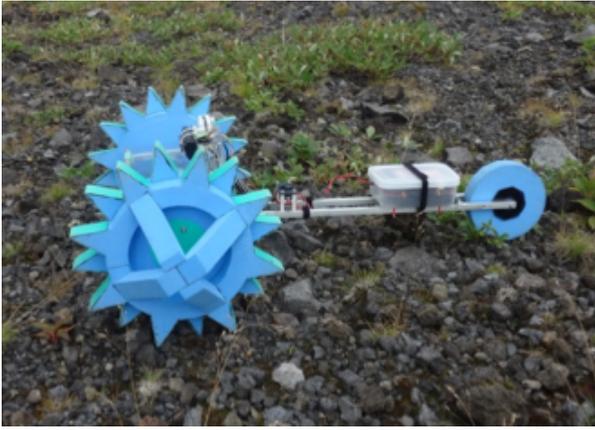


Fig. 3: GeoStar-II(3G-FOMA)

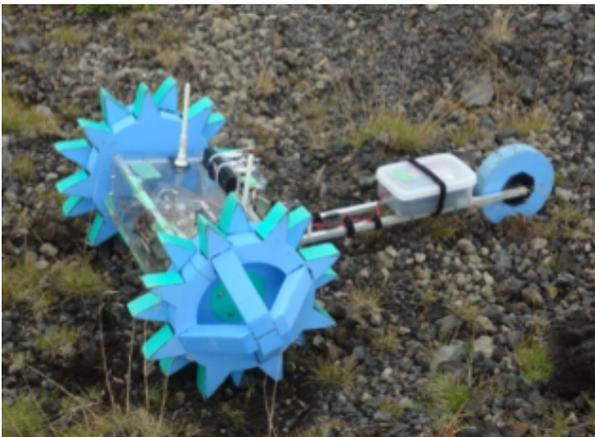


Fig. 4: GeoStar-II(wireless LAN)

以下に、GeoStar-IIに搭載したネットワーク機器について説明する。3G回線(FOMA)を用いる移動ロボットには、FOMAモジュール(UM01-HW)と外部アンテナ(FOMA用小型防滴アンテナ)を搭載した。一方、2.4GHzの無線LAN回線を用いるロボットには、CONTEC無線機(子局)FXE1000と同軸変換ケーブルFX-ANT-CEX3(損失0.66dB)、ならびに外部アンテナFX-ANT-A7(利得2.14dBi)を搭載した。FOMAモジュールを搭載したロボットをFig. 3に、CONTEC無線機を搭載したロボットをFig. 4に示す。

次に、GeoStar-IIの機体仕様について、説明する。駆動輪直径は300mmであり、車輪間距離は400mmである。駆動輪中心と従動輪中心との距離は580mmである。従動輪と本体との接続部分には、衝撃吸収のためにバネ・ダンパ系のサスペンションを取り付けた。また、GeoSta-IIのFOMA版、無線LAN版共に、コントロールシステムとして組込PC(Armadillo-400シリーズ)とマイコン(SH2/7144)、6軸慣性センサモジュール(エプソンヨトコム社製AP-6110LR)、GPS(GlobalTop社製PA6C)、モータ(maxon社製REmax-24 12V)を2個、およびモータドライバ(HiBot社製3-Axes DC Power Module)を搭載し、電源にはA123社製LiFePO4バッテリー(13.2V, 2300mAh)を利用した。

## 2.2 遠隔操縦システム

前述の通り、通信方法の異なる移動ロボットを2台準備し、ロボットとの通信には、3G回線(FOMA)と無線LAN

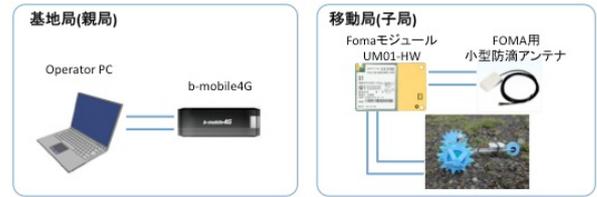


Fig. 5: Wireless network system(FOMA)

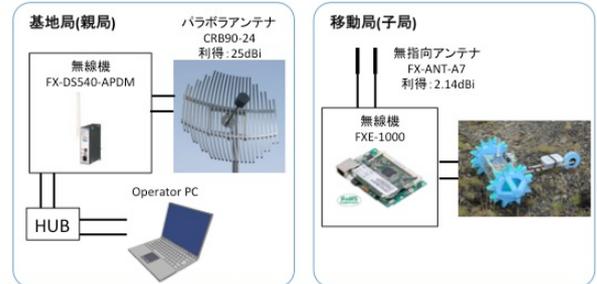


Fig. 6: Wireless network system(wireless LAN)

をそれぞれ使用することとした(Fig. 5, Fig. 6)。3G回線を用いてGeoStarを操縦する場合、操縦者は同じく、3G回線に接続されたPCから遠隔操縦することとした。Fig. 7にロボット操作画面を示す。図中左がロボットに搭載したカメラから取得した画像であり、右上がGPS情報を元にしたロボットの現在位置、方位ならびに目的地を表示する。これらの画像等のデータは、UDP通信を用いてオペレータに送られる。ロボットの遠隔操作は、基本的に、旋回コマンドと直線追従コマンドで行う。なお、各コマンドの実行時には、慣性センサを用いて外乱による姿勢変動に対して補償することにより、凹凸のある不整地であっても、ある程度、任意の方向への走行を可能とした。

## 3 遠隔操作試験

2012年9月3日～5日にかけて、鬼押しハイウェイのパーキングエリア内の駐車上に基地局を設置し、遠隔操作試験を行った。事前に、C9斜面に複数のランドマーク(岩や木ならびに筆者らが設置した三脚)を設定しておき、その地点を探索領域とした。試験は、電動ヘリコプタにて探索地点付近まで運搬して投下することを想定し、浅間山C9斜面の標高2100m地点から走行を開始し、1900m地点まで約10cm/sで下り走行を行った。この際、設定したランドマークを順番に巡ることを試みた。本実験での評価

Table 1: Specification

Length	580mm
Width	300mm
Height	300mm
Weight	2.5kg
Motor	maxon REmax-24 12V
Gear Head	157:1
Camera	Buffallo BSW20KM11BK
IMU	EPSON AP-6110LR
Battery	A123 LiFePO4

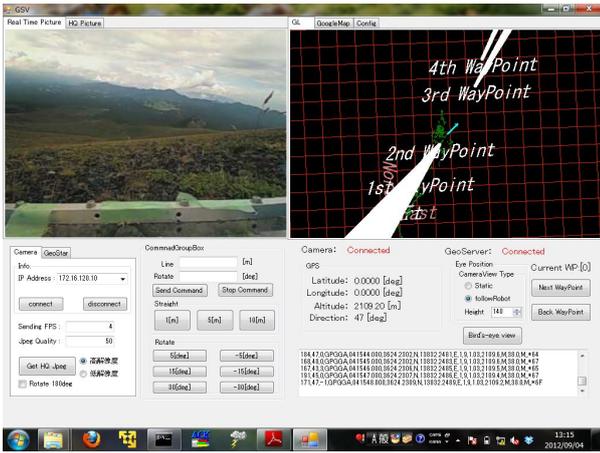


Fig. 7: Operation Window



Fig. 8: On-board camera snapshot

項目は、定性的に以下の3点を設定した。

1. 移動ロボットの走行性能が充分であるか。
2. 無線LAN/3G回線を用いて遠隔操縦が可能であるか。また、回線の違いによる操作性の優劣があるか。
3. 設定したランドマークを順番に巡ることができるか。

### 3.1 結果および考察

無線LAN, 3G回線をそれぞれ用いて、遠隔操作により、移動ロボットを標高2100m地点から1900m地点までの下り走行を行った。走行試験中、ロボットが転倒し、人の手で姿勢を戻すといったことが度々あり、走行性能が充分でないということがわかった。転倒の原因は、カメラから確認できない位置のクレータに車輪をとられたこと、バック走行の際に従動輪がひっくり返ってしまったことが挙げられる。これについては、現在も改良を進めており、転倒しても走行を継続できる設計に変更することで、対処可能であると考えられる。

Fig. 8に、GeoStar-IIが走行中に取得した画像を示す。カメラの取り付け位置の問題や転送する画像の品質の制約もあり、ロボットのカメラから得られた画像では、クレータ等の視認ができない場合があることがわかった。また、無線LANを用いた通信では、ロボットが撮影した画像を操作用PC上で表示するまでに1秒程度時間がかかり、3G回線を用いた通信では、同作業に2.5秒程度かかることがわかった。しかしながら、無線LANと3G回線では、帯域や通信遅延が異なるにも関わらず、転倒に至った回数は4回程度とほぼ同じであり、操作性の優劣は感じなかった。

この実験での走行軌跡の一例を、Fig. 9に示す。移動ロボットに搭載したGPSモジュールでは、浅間山C9斜面において、位置計測に大きな誤差が生じたため、GPSを用いて計測した位置を参考に走行することは、困難であった。そのため、設定したランドマークを、効率よく順番に探査することは失敗に終わった。これは、GPSアンテナが地表近くにあり、付近の山の斜面によりマルチパスが発生したことが原因であると考えられる。

## 4 おわりに

本稿では、車輪型軽量火山探査ロボットGeoStar-IIを開発し、浅間山で実施したフィールド試験について報告した。無線LAN/3G回線をそれぞれ用いて、操縦者がロボッ

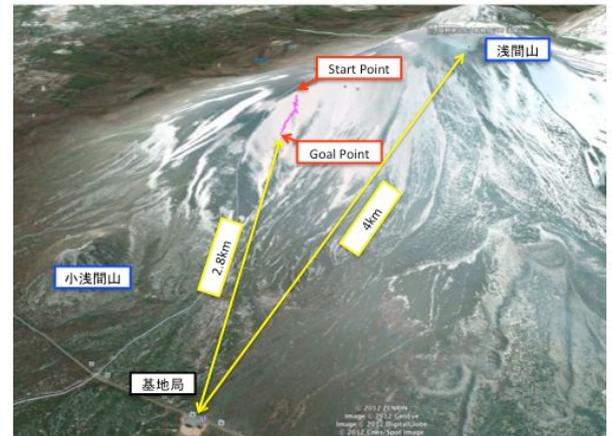


Fig. 9: Running path

トを目視することなく、遠隔地からの操縦が可能であることがわかった。走行性能については、ロボットが転倒することがあったため、改善する必要があることがわかった。また、ロボットに搭載したGPSでは、十分な測位精度が得られないことがわかった。

今後は、今回の試験で問題となった点を改善すると共に、遠隔操縦での研究を進め、火山環境での有用なロボットシステムの開発を目指す。

### 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(2010-12)
- [2] 野寄敬博, 高橋悠輔, 山内元貴, 永谷圭司, 吉田和哉, “広域屋外環境の探査を目的とした超小型移動ロボットの開発とフィールド実験”, 第12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.1005-1008 (2011-12)
- [3] 永谷圭司, 大木健, Nathan Briton, 佐藤毅一, 野寄敬博, 高橋悠輔, 山内元貴, 秋山健, 吉田和哉, “伊豆大島における不整地移動ロボットの走行試験および自己位置推定試験”, 日本惑星科学会誌 遊・星・人 Vol.21, pp.121-129(2012-6)