

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 6 日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K12482

研究課題名(和文)火山観測用自走式センサー「ほむら」の開発

研究課題名(英文)Development of a mobile sensor for volcanic observation "HOMURA"

研究代表者

金子 克哉 (Kaneko, Katsuya)

京都大学・人間・環境学研究科・助教

研究者番号：40335229

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円

研究成果の概要(和文)：火口内やごく近傍の機動的観測を行う実用的な無人陸上車両型ロボットのシステム「火山観測用自走式センサー『ほむら』」の開発を行った。ほむらは、携帯電話データ通信により、遠隔地よりリアルタイムで火口付近の画像やセンサーデータをリアルタイムで取得できる。本研究では、新たに火山ガスセンサーを搭載できるようにし、観測用のソフトウェアを改良し、また太陽電池の搭載により充電することなく長期運用を可能にした。実際の火山(霧島硫黄山)で1か月以上の運用試験を2回行い、動作の安定性と観測における有用性を確認した。ほむらは実用的に使用できる状態で、今後も火山観測における運用を続けていく。

研究成果の概要(英文)：We have been developing a practical unmanned-ground-vehicle-type robot for volcanic observation, "HOMURA", that carries out monitoring near active craters. Homura can obtain pictures of crater and data of sensors in real time with data communication of cellular phone. In this study, we newly did installation of volcanic gas sensors, improvement of softwares for HOMURA, and installation of a solar panel so that we more efficiently use HOMURA for a long time. We also carried out two test campaigns at a natural volcanic field (Kirishima-Iwoyama), and confirmed that HOMURA is stably operated and useful. We will continue volcanic observation by HOMURA.

研究分野：火山学

キーワード：ロボット 火山観測 携帯通信 太陽電池 火山ガス 火山火口

1. 研究開始当初の背景

活火山において、噴火発生やその後の噴火推移を予測するためには、活動火口近傍でのモニタリングを高度化し、火山現象のデータを蓄積していく必要がある。また、噴火が起こった場合、救助などの災害対応活動をより安全に進めるためには、火口近傍での噴火のリアルタイム監視を行い、その情報を救援活動を行う方々に提供する必要がある。一方現状では、全ての活火山に対してモニタリング装置の配備は十分でなく、いざ噴火可能性が高まった時、すぐに機器を配備できない(2015年箱根山噴火など)。さらに噴火が始まった時、危険な火口の近傍には近づけず機器を設置することができなくなる(2014年御岳山噴火など)。

このような場合、無人ロボットの準備とその利用が望まれる。現状で、飛行型無人ロボットが、空撮等に大きな成果を上げている。その一方で、飛行型ロボットは、稼働時間が短く、長時間連続観測には向かない。この欠点は、陸上走行型のロボットにより補完される必要がある。これまで、陸上走行型の火山観測ロボットは、主としてロボット工学分野で開発されたことがあった(Caltabiano & Muscato, 2005など)。しかし、それら全ては、開発半ばプロジェクトの終了とともに開発が終わってしまった。この理由は、火山学者が開発に積極的に関わることがなかった、また、どのようなロボットが有用であるかが明確になっていないままに、高機能で巨大予算を必要とするロボットを開発してきたことにある、と我々は考える。

2. 研究の目的

本研究では、火口およびその近傍で、機動的リアルタイム観測を行う簡易的火山観測ステーションとして機能する、車両型小型無人ロボットを開発・実用化することを目的とする。我々はこのロボットを「火山観測用自走式センサー『ほむら』」と名付けた。ほむらは、特別なプロジェクトがなくとも継続的に開発でき、実戦的試験運用が容易であり、不整地走行性能が高いロボットとして開発されることを目指し、「小型、安価、走行不能にならない」を開発の指針とした。



写真1

本研究は、「ほむら」の実用化のステージとして位置づけられる。我々は、これまで有志の共同研究者とともに、「ほむら」の開発を進め、既に「ほむら」のプロトタイプ(写真)を完成させ、これまで、何回かの野外走

行試験を行ってきており(金子ほか, 2010; 金子ほか, 2012)、現段階において、野外において実戦的な運用を行うことができる状態にある。本研究期間で行うことは、(1)現段階で開発が十分でない、火山観測用のセンサー(特にガスセンサー)の開発を行うこと、(2)実際の火山フィールドで試験を行い、その結果をもとに、ほむらの運用信頼性をあげる改良を行うこと、(3)常にその時点の安定最新版の「ほむら」保ち、もし、実際に火山噴火が起こった場合(研究期間外であっても)、必ず何らかの形で実際の火山観測を行うこと、である。

「ほむら」が、実際の噴火の火口近傍観測に成功した場合、それは、世界初のことになる。また、その成功は、火山観測のために有用なロボットの形状や運用法を明確に示すことであり、新たな火山観測手法として、火山学や火山防災に大きく貢献できることは疑いがない。

3. 研究の方法

まず、現段階における「ほむら」の能力を簡潔に説明する。

- ・走行性能: 30度以上の不整地斜面登坂、それ以上の急角度の降坂が可能である。

- ・遠隔操縦能力: FOMA64k データ通信を用い、FOMA 通話ができる場所であれば、どこからでも操縦可能である。現在、日本では、多くの火山山頂で FOMA 通信を用いることができる。また、FOMA インフラがない場所では、直接通信モジュールを使用することもできる(この場合、「ほむら」-基地局アンテナ間で見通すことが必要で、最大 2km の遠隔操縦ができる)。

センサー: 現在、可視光カメラ、GPS、および測定データを電圧で出力するタイプのセンサーが使用可能にである。また、遠隔操縦時の機体の姿勢把握のために、ジャイロ、磁気コンパス、加速度のセンサーを搭載している。

運用時間: 制御・通信・センサー系は、連続 70 時間程度の運用が可能である。また、省電力モードを備えており、例えば、実稼働を全時間の 10% とすれば、約 1 月間運用することができることになる。一方、現状では、太陽電池等の電力を得る手段を持っておらず、電池が切れてしまえば、運用は完全に終了してしまう。

以上のことを踏まえて、以下の方法で、ほむらの開発を継続する。

(1) 「ほむら」の改良

① 火山ガスセンサー検証・改良

火山ガスセンサーについてまだ精度などを十分検証していない。本研究で検証を十分行い、学術的議論にも耐える精度の火山ガス濃度測定を可能にする。そのため、ガス標準試料を用いて、感度・精度の検証を行うとともに、(1)①の火山での運用の前後で、測定値安定性の検証を行う。また、現在使用し

ている光明理化学社製のセンサーの他に、Alphasense 社製などのセンサーも試し、「ほむら」での使用するためのより適したセンサーを検討する。

②観測ソフトウェア

現段階で、観測ソフトウェア開発が十分ではない。本研究において、基地局と通信することなく、自動的に一時間ごとに映像とガス濃度のデータを記録し、数日に一度基地局よりそれらのデータをまとめて取得することができるように、システムソフトウェアを改良する。それと同時に、必要な時に、手動でリアルタイムデータ取得も可能な状態を維持する。

③長期運用信頼性

これまでの2か月程度の運用では、問題はなかったが、さらに長期の運用を行った場合、種々の問題が出るのが予想される（特に荒天時の防水性能）。その場合、問題点を洗い出し、これらの改良を行う。

(2)新機体の作成

「ほむら」は、現在2台あるが、さらにもう一台増やしたい。我々は、製作したプロトタイプ的设计を図面化した。これにより、NTM JAPAN 株式会社金属加工を発注し2台製作した（機体のみ約30万）。本研究でも、もう1台を発注して製作する。これらを用いて、2火山の監視を行い、手元に1台維持し改良および緊急時のスクランブルに備える。

(3)野外・火山フィールドでの運用

噴火活動の観測、監視のため、その段階での安定バージョンの「ほむら」の運用を、実際の火山で試みる。噴火前からの運用活動が高まり噴火の可能性があるが、まだ火口近傍に立ち入りできる火山で、噴火予想地域に「ほむら」を運び設置し、長期間（3か月以上）遠隔地より制御し、搭載センサーによる火山活動の監視を行う。「ほむら」は移動可能なので、状況に応じ、遠隔操縦により「ほむら」を動かし、より効果的な監視を行う。

4. 研究成果

(1) ほむらの改良について

①火山ガスセンサーの搭載

光明理化学社製 H₂S, SO₂ センサー、Alphasense 社製 H₂S, SO₂ センサー、SenseAir 社製の CO₂ センサーを実際に使用できるようにした。のちに述べるようにほむらに搭載して試験をしたが、濃度が高い場所ではなく、ガス濃度に関して、変化のあるデータは得られなかった。ガスセンサーに関しては、今後のほむらの運用時において、能力を検証していく計画である。

②観測ソフトウェア

これまで十分でなかった多チャンネルのセンサーデータの取得について、ほむらの基地局用ソフトウェアを改良し、多チャンネル

のセンサーデータ取得ができるようになった。また、センサーデータの自動記録について、より使いやすいものに改良した。さらに、これまでできなかった、ほむらを時間を指定して（また一定時間ごとに）自動的にアイドルモードから動作モードに変更し、決められた測定を行い、再びアイドルモードに移行することができるように、新たなソフトウェアを付け加えた。これらのことにより、ほむらの運用がより簡単になった。

③長期運用信頼性

本研究において最大6か月の連続的な運用を行い成功した。これについては、(3) 野外・火山フィールドでの運用にて詳述する。

(2)新機体の作成

NTM JAPAN 株式会社金属加工を発注し1台のほむらの機体を新たに製作した。これにより、プロトタイプのほむら機体を含めて、3台のほむらを現在所有している。ほむらに搭載する携帯電話モデムを2台所有しているため、2つの火山での同時観測が可能になった。

(3)野外・火山フィールドでの運用

①硫黄山における第1回目の運用

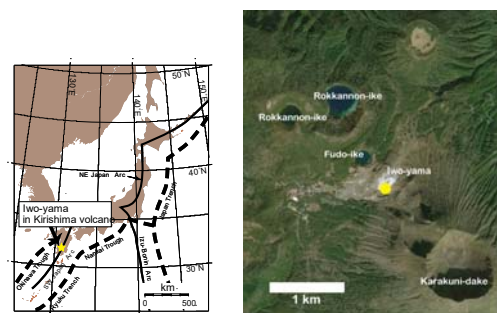


図1. 霧島硫黄山の位置

硫黄山（図1）は、霧島火山に属し、北側のえびの高原に位置する小火山である。16-17世紀ころに噴火活動があったとされている（筒井ほか、2007）。硫黄山は、2013年12月以降火山性地震が時々発生するようになり、2014年10月24日～2015年5月1日、2016年2月28日～3月29日の2期間に火口周辺警報（レベル2）が出され、周辺約1kmの立ち入りが規制された。2016年12月から、熱異常域の拡大、噴気量の増加が観測され、その後、隆起が観測され始め、現在も継続している。2017年5月8日に硫黄山火口内で泥状噴出物が確認され、5月9日より噴火警戒レベルが2に引き上げられた。

ほむらは硫黄山において2015年2月19日から2015年4月8日まで、以下のように運用された。

2015年2月19日 硫黄山山頂までほむら運び、硫黄山火口が見えるようにほむらを設置。硫黄山山頂周辺では、火口縁の高まりのところでは、えびの高原の観光施設を見通すことができ、FOMA電波が良好であったもの

の、火口内および低い場所では、FOMA 電波状況が不安定。そのため、今回は、ほむらを移動させないことにした。



写真2. 第1回目運用時の硫黄山でのほむら。

以降、京都大学より、時々（1日から3日に1回、数分から3時間程度）FOMAのデータ通信により、遠隔操縦（写真撮影（写真3）、温度・CO2測定）。操縦時以外は、接続のための機能を残し、ほむらをアイドルモードにする。

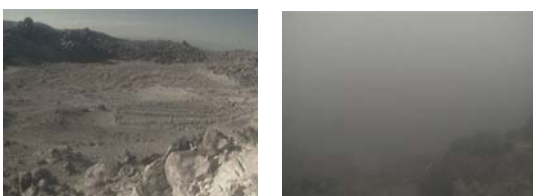


写真3. ほむら内蔵カメラによる硫黄山の様子。左は好天時、右は霧の時。

試験期間中、低温や、雨・霧などの悪天候の時もあったが、遠隔操縦に関するトラブルは起こらなかった。

4月8日に、電池がなくなり、その後には操縦不可能となった。4月15日に、我々は再び現地に赴き、ほむらを回収。回収した後、電池の充電を行ったところ、ほむらは問題なく稼働した。

この運用では、硫黄山山頂周辺では、火口縁の高まりでは、FOMA電波が良好であったものの、火口内および低い場所では、FOMA電波状況が不安定。そのため、ほむらを走行させなかった。

②硫黄山における第2回目の運用

2016年2月28日に地震活動が高まったとして、硫黄山周辺で火山周辺警報（レベル2）が出された。そこで、再びほむらを2016年3月7日より2016年4月14日の間、硫黄山に設置して運用した（写真3）。運用の仕方は1回目同様である。



写真4. 第2回目運用でのほむら

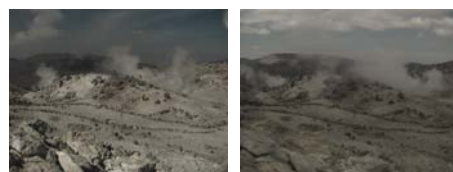


写真5. ほむら内蔵カメラによる硫黄山の新噴気の様子。左は午前7時ころ、右は午後3時ころ。

4月14日夕まで、ほむらは順調に稼働していたが、4月15日朝に、ほむらを起動しようとしたところ、起動できなかった。そのため、4月21日に現地に赴き、ほむらを回収した。原因について調査したところ、4月14日夜に起こった熊本地震のため、緊急地震速報が携帯電話に配信されたためであることが確認された。緊急地震速報が携帯電話に配信されると、その速報を人が確認するまで、データ通信ができなくなる仕様であったためである。ほむらは、無線通信に携帯電話を使用しているため、この影響を受けた。他の部分には全くトラブルはなかった。

②京都大学建物屋上における太陽電池を用いた長期運用試験

2016年10月10日から2017年3月26日の間、京都大学の建物の屋上に、ほむらを設置し（写真6）、以降一定時間おきに約4分間、ほむらを稼働させ、内蔵のセンサー（カメラ、CO2、H2S、SO2）によるデータをリアルタイム取得した。今回の試験では、小型の太陽電池（9V、最大電力4W）の太陽電池をほむらに搭載し、充電することなく、長期間の運用の可能性を明らかにすることが目的である。



写真6. 京大屋上のほむら

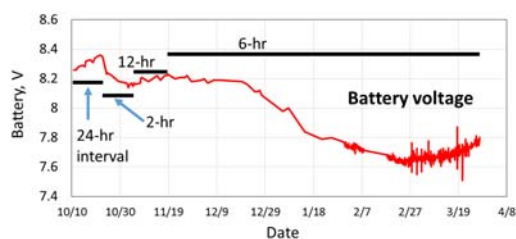


図2. ほむらの電圧変化

試験期間中のほむらの内蔵電池の電圧変化を図2に示す。ほむらの電池はフル充電時8.4Vで、7.2Vになると、急速に電圧が低下し、使用不能になる。太陽電池は、過充電防

止回路を経て、ほむらの電池につながれ、日照がある時間では、アイドル状態のほむらの電池に充電を行う。

初期、24時間間隔(1日1回)の稼働では、電池電圧が上昇し、充電が行われている。2時間間隔の稼働では、電池電圧が落ちていて、太陽電池では、ほむらの消費電力を賄うことができないことが分かる。11月では、6時間間隔での稼働でちょうど電圧が維持され、太陽電池発電量とほむらの電力消費量が釣り合っていた。しかし、12月になり、日射時間が短くなると(特に冬至の頃)では、太陽電池による発電量が小さくなり、また、気温が低く電池の能力が低下した。そのため、12月後半から2月にかけて、6時間インターバルでは電池の消耗が起こった。3月になり、日照時間の増加と気温の上昇が起こると、6時間インターバルの稼働で、太陽電池発電量に余裕が出て、電池が徐々に充電されるようになった。

しかしながら、3月26日に、ほむらとの通信ができなくなった。回収して調べたところ、ほむらのコンピュータ基板の電源周りに接触の不具合が生じたせいであったことが分かった。硫黄山の運用時からずっと使い続けてきた基盤であったので、だんだんと損傷してきたと考えられる。スペアの基板に変えたところ、再び問題なく稼働した。

(4) 結論

以上のように、ほむらは、数か月間における運用には問題はなく、また、太陽電池の搭載により、故障が発生しない限り、回収充電することなく、長期間にわたり運用が可能であることが明らかになった。FOMA電波が利用可能であるということは前提であるが、ほむらは、今回の試験のように、噴火の可能性が高まっている火山に、噴火が起こらないうちに設置し、数か月間にわたり、臨時の観測ポイントとして利用できる。今後も同様の観測運用を行っていき、ほむらの有用性を広め、効果的な火山観測機器としての実績を積んでいく予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 4 件)

① 金子克哉, 伊藤公一, 岩堀功大, 安部祐一, 鷲怒太郎. 火山観測用自走式センサー「ほむら」の開発—霧島硫黄山における火山観測試験—. 日本火山学会 2015 年秋季大会, 2015 年 9 月 28 日, 富山県富山市.

② Katsuya KANEKO, Ko-ichi ITO, Yu-ichi. ANBE, Kodai IWAHORI, and Hirotarō SAGI. Development of mobile sensor for volcanic observation “HOMURA”: Test campaign at

Kirishima Iwo-yama. American Geophysical Union 2015 Fall Meeting, Dec. 17, 2015, San Francisco, USA.

③ 金子克哉, 伊藤公一, 岩堀功大, 安部祐一, 鷲怒太郎. 火山観測用自走式センサー「ほむら」の開発—野外における長期試験—. 日本地球惑星科学連合大会, 2016 年 5 月 23 日, 千葉県千葉市.

④ Katsuya KANEKO, Ko-ichi ITO, Kodai IWAHORI, and Hirotarō SAGI. Development of mobile sensor for volcanic observation “HOMURA”: Test campaign for a long-term operation. American Geophysical Union 2016 Fall Meeting, Dec. 15, 2016, San Francisco, USA.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]

ホームページ等
<http://www2.kobe-u.ac.jp/~kkaneko/homura/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

金子 克哉 (KANEKO, Katsuya)
京都大学・理学研究科・准教授
研究者番号: 40335229

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4)研究協力者

伊藤公一 (ITO, Koichi)

安部祐一 (ANBE, Yuichi)

岩堀功大 (IWAHORI, Kodai)

鷺怒太郎 (SAGI, Hirotaro)