

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

野寄 敬博, 高橋 悠輔, 山内 元貴, 永谷 圭司, 吉田 和哉(東北大)

Development of a small-sized wheeled robot for exploration in large area and field experiments

Takahiro NOYORI, Yusuke TAKAHASHI, Genki YAMAUCHI, Keiji NAGATANI, Kazuya YOSHIDA (Tohoku Univ.)

A small and light weight mobile robot has an advantage for exploration in a large field from the point of view of energy consumption and portability. Furthermore, in case of a deployment of the robot from the air, such as aircraft or helicopter, the robot should be tolerant of hard landing. Therefore, in this research, the authors developed a very small and tough mobile robot that equips two differential wheels. In this paper, we introduce a feature of the robot, and report long-distance field tests in the Black Rock dessert in the U.S. and Mt. Asama.

1 はじめに

広域の屋外環境の探査を目的としたロボットは、可搬性を考慮すると、可能な限り小型軽量であることが望ましい。また、地上からの立ち入りが困難な環境に対して、飛行機やヘリコプタなどを用いてロボットを上空から投下し、探査活動を行わせる可能性も考慮すると、着地時の耐衝撃性が求められる。そこで、本研究では、小型軽量で着地時の耐衝撃性の高い対向二輪型ロボットを開発し、このロボットによる長距離走行に関する研究を進めている。本稿では、このロボットの紹介と、砂漠や火山で行ったフィールド実験の結果を述べる。

2 実験環境とロボットシステムの紹介

2.1 実験環境

本研究では、長距離走行に関する実証実験を行うにあたり、環境を米国ネバダ州ブラックロック砂漠(図1)と、浅間山登山道(図2)に設定した。

ブラックロック砂漠では、ARLISS Comeback Competitionというロボットコンペティションが毎年開催されており、筆者らの研究室では、このコンペティションに毎年参加している[1][2]。このコンペティションは、ロボットを小型ロケットに搭載し、ロボットが上空で放出された後、予め設定された目的地へと自律的に移動できるかを競うものである。筆者らは、ARLISSに参加する形で、本研究のロボットが上空から投下された後、長距離自律走行を行う実験を行うこととした。また、砂漠の広大な環境における長距離走行実験、砂漠に存在した轍を用いた不整地走行実験も行う。

一方、浅間山では、筆者らの研究グループが、小型移動ロボットによる火山探査を目指し、ロボットの走行実験を数多く行なってきた[3]。本研究のロボットにおいても、遠隔操縦ヘリコプタを用いてロボットを降下させた後、ロボットによる移動探査を行うことを想定して、浅間山山頂付近から麓までの長距離走行実験や、小浅間山の登頂実験を行うこととした。

2.2 ロボットシステムの紹介

実験で用いたロボットの基本構成は、両者の環境で同じだが、対象とする環境に合わせ、モータのギアヘッドの減速比やホイールの形状を変更することとした。ロボットの主な仕様を表1に、ブラックロック砂漠での実験時に



Fig. 1 The Black Rock dessert



Fig. 2 Mt. Asama

使用したロボットの外観を図3に、浅間山での実験時に使用したロボットの外観を図4に示す。両者ともに、ボディはCFRPとABS樹脂といった軽量の素材を使用し、また、タイヤは、軽量化とボディが受ける落下の衝撃を和らげる目的で、スポンジを用いて製作した。モータは、maxon社製のREmax-24 12Vを2本、バッテリーは、ROWA社製のカメラ用リチウムイオンバッテリーを使用した。ロボットのコントローラには、sh7144マイコン、他に、ナビゲーションに用いるGPSや、ログデータを保存するためのmicroSDカード、無線通信を行うXbee、周囲の環境情報を取得するJPEGカメラなどが搭載されている。

2.3 ブラックロック砂漠実験時の構成

ブラックロック砂漠でのフィールド実験では、小型ロケットに搭載できるようにするため、 $\phi 140\text{mm} \times 240\text{mm}$

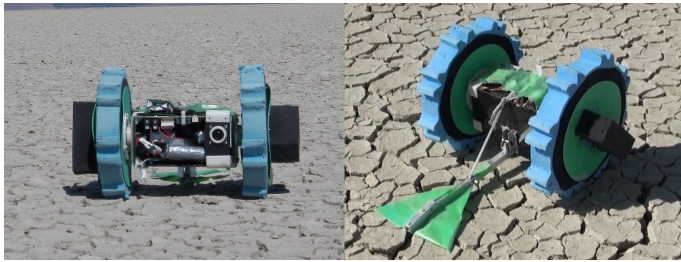


Fig. 3 The robot used in the dessert



Fig. 4 The robot used in the volcano

の円筒形のキャリアに収納可能なサイズ，ロボット本体の他にパラシュートを含めて1050g以下の重量という制限があった．

そこで，キャリアのサイズに対して車輪径を大きくするために，ポリエチレンフォームの間に比較的柔らかいウレタンフォームを挟むことで， $\phi 140\text{mm}$ のキャリアに収納できるサイズにしつつ，車輪径は， $\phi 180\text{mm}$ に拡大可能なスポンジタイヤを製作した．モータのギアヘッドは，減速比14:1のものを使用し，時速10kmでの高速走行を可能とした．

2.4 浅間山実験時の構成

浅間山でのフィールド実験では，浅間山の不整地に対応できるよう，ブラックロック砂漠実験時よりも車輪の大径化($\phi 300\text{mm}$)を行った．また，モータのギアヘッドを減速比128:1のものに変更し，より大きいトルクが出せるようにした．

3 フィールド実験

3.1 ブラックロック砂漠でのロケット実験

この実験は，ブラックロック砂漠にて毎年9月に開催されているARLISSというロボットコンペティションに参加する形で行った．ロボットを収納したロケットは，高度4,000mまで上昇し，ロボットを放出した．ロボットは，パラシュートで軟着陸を行い，図5に示すパラシュート分



Fig. 5 Parachute separation



Fig. 6 A wheel track on the dessert

離を行った．その後，1.5km離れた目的地へ向けて，自律走行を行った．以上より，上空からの投下から目的地への走行まで，一連のシーケンスが達成できることを確認できた．

3.2 ブラックロック砂漠での不整地走行実験

砂漠には，車両が走行したあとにできる轍が数多く存在し，この轍が小型の移動ロボットにとって，大きな障害となる．轍の中には，深いもので深さ15cmまで凹んでおり，その両側には，削られた砂が最大で10cmほど盛り上がっているものもあった．この轍を利用して，本研究では，不整地走行実験を行った．具体的には，轍に垂直に侵入し，ロボットが轍を乗り越えることができるか検証した．轍を走行するロボットの例を図6に示す．ロボットは，轍の深い部分は乗り越えることができなかったものの，轍の中を轍にそって走行した後，比較的浅いところから抜け出すことができた．ただし，ボディが凸部に乗り上げ，スタック状態になることがあった．よって，ロボットのグラウンドクリアランスを大きくする必要が見取れた．

Table 1 Specification

	in the dessert	in the volcano
Length	280 mm	520 mm
Width	240 mm	300 mm
Height	180 mm	300 mm
Weight	870 g	1,020 g
Motor	maxon REmax-24 12V	
Gear-head	14:1	128:1
Battery	ROWA EL-EN4 11.1V 2,300mAh	
Main components	MCU, GPS, Xbee, JPEG camera	

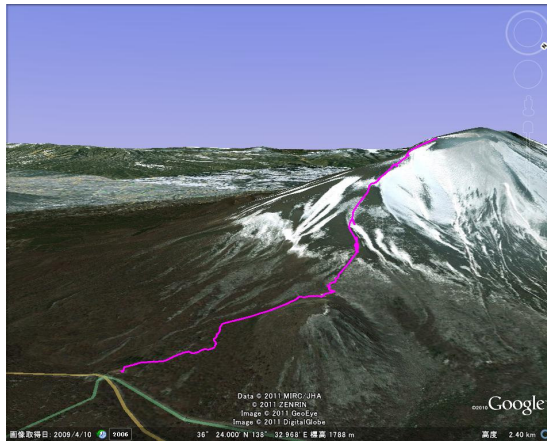


Fig. 7 Path of the experiment in Mt. Asama

3.3 ブラックロック砂漠での長距離走行実験

ロボットの耐久性を検証するために、砂漠の広大な環境を利用して、長距離走行実験を行った。実験の方法は、5km離れた2点間を、GPSを用いた自律走行で往復させた。実験の結果、ロボットが28kmを走行した時点でロボットのモータのブランケットが破損したため、実験を終了することとなった。なお、実験終了後のバッテリーの残量がごくわずかだったため、走行距離は、破損がなくとも28km程度だったと考えられる。

3.4 浅間山での長距離・不整地走行実験

浅間山山頂付近、高度2450mの比較的平坦な地点から、浅間山のふもと、高度1410mの東大地震研までを走行する、長距離斜面走行の実験を行った。なお、ロボットの操作は、操縦者が目視で行った。実験では、ロボットのスタックやハードウェアの破損、バッテリーの交換をすることなく合計で6.2kmの道のりを走行し、東大地震研までたどり着いた。この実験での走行軌跡を図7に示す。

次に、小浅間山のふもとから頂上までを、登山道にそって走行した。道中の斜度は最大で25度であった。ロボットは、山頂までたどり着くことはできたものの、斜面で車輪がスリップして地面を掘ってしまい、登ることができなくなる場面があった。また、車輪径に対してトレッドが小さいため、斜面を横転して転げ落ちるという問題が発生した。斜面を安定して走行するには、ボディの横幅と車輪径との関係や車輪の形状について、より詳細な検討が必要であることが分かった。

4 おわりに

本研究では、屋外フィールドを走行可能な小型軽量対向二輪型ロボットを開発し、米国ネバダ州ブラックロック砂漠ならびに浅間山でのフィールド実験を行った。これらの実験の結果、高い長距離走行能力があることが分かったものの、不整地走行能力には改善点があることが分かった。

今後は、今回の実験で判明したロボットの問題を改善していくとともに、浅間山に代表される、狭い環境での長距離自律走行の実現を目指す。

参考文献

- [1] 木下宏晃, 砂長麻美, 伊藤毅, 桐林星河, 永谷圭司, 吉田和哉, “不整地走破性向上を目指した小型移動口

ボットの展開車輪機構の開発”, 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 論文集, 1 01-4 (2009-12)

- [2] 猪爪宏彰, 生田哲也, 永谷圭司, 吉田和哉, “展開車輪を搭載した小型移動ロボットの開発とフィールド実験”, 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.943-947 (2010-12)

- [3] 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)