

河川砂防技術研究開発 【成果概要】

氏 名（ふりがな）		所 属		役 職	
①研究代表者		永谷 圭司（ながたに けいじ）		東北大学	
准教授					
②研究 テーマ	名称	山地荒廃河川における無人調査ロボットによる観測機器設置技術の研究開発			
	政策 領域	[分野] 地域課題分野（砂防）		融合 技術	
		[公募課題]			
③研究経費（単位：万円）		平成28年度	平成29年度	平成 年度	総 合 計
※端数切り捨て。		249万円	246万円		495万円
④研究者氏名（研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。）					
氏 名		所属・役職（※平成30年3月31日現在）			
油田 信一		芝浦工業大学・教授			
羽田 靖史		工学院大学 工学部機械システム工学科・教授			
伊豆 智幸		株式会社 エンルート・代表取締役			
島田 徹		国際航業株式会社			
皆川 淳		国際航業株式会社			
谷島 諒丞		東北大学 大学院 工学研究科・博士後期課程			
⑤研究の目的・目標（申請書に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入下さい。）					
火山噴火や深層崩壊などに伴う大規模な土砂移動現象では、土石流の発生や天然ダムの決壊などによる二次的な災害により被害が拡大する可能性がある。しかしながら、これらの環境は、人が立ち入るには危険な環境である。このような現場において、現地状況を遠隔地から確実にモニタリングする技術が必要である。 土砂移動現象の発生している場（荒廃溪流など）は、一般に急勾配であり、不安定な土砂が分布している。そこで、本研究では、観測機器を搭載するための移動ロボットとして、目的とする荒廃溪流まで地表走行で移動する地表移動ロボットと、飛行ロボットで運搬可能な小型移動ロボットの 2 種類について、研究開発を行う。前者は、比較的重量の大きい計測機器を運搬することができるが、移動可能領域が限られる。一方、後者は、長距離を短時間で移動可能であるが、着陸した後の小型移動ロボットの走行性能は低く、また、搭載可能な計測機器の重量も限られる。そこで、本研究では、この2種類のロボットを開発し、実環境で試験を行うことで、それぞれの有用性と限界を確認する。					

⑥研究成果

1. 地表移動ロボットの開発

本研究では、(株)エンルートが中心となり、地表移動を行うロボットを開発した。開発した車両の外観を図1に示す。



図 1 地表移動ロボットの概観

ベースサイズは、923mm×549mm×403.5mm（全長×全幅×全高）（車輪を含む）であり、ホイールベースは600mmである。また、トレッドは、前輪 478mm、後輪 478mm、最小地上高さが91.5mm（後軸部下）である。車両重量は、27.0kg(Berg600のみの重量)であり、最小回転半径：600mm、架台サイズが820mm×400mmである。このロボットは、3km/hr～12km/hrで走行することが可能である。その他のスペックを以下に示す。

- ・ サスペンション：前輪の左右車輪の垂直方向に±130mmの自由度
- ・ 車輪：ノーパンクタイヤ（外径325mm×幅50mm）
- ・ 電池：リチウムイオン二次電池（NECエナジーデバイス）
- ・ 電池仕様：7se1 266VA
- ・ 電池の定格容量：10.0Ah 電圧26.6V
- ・ 車両最小回転半径：0.6m
- ・ 最大積載荷重：200kg（平地のみ）

なお、ロボットには、雨滴センサ、カメラ、IMUを搭載した。これらのセンサから得られた情報は、携帯電話の回線を用いて、クラウドにアップロードされる。

2. MUAV運搬型小型移動ロボットの開発

飛行ロボットで運搬可能な小型移動ロボットとして、本研究では、代表者の所属する研究室で開発されたCLOVER（Compact and Lightweight teleoperation robot for Volcano ExploRation）ロボットを利用する。このロボットは、Micro Unmanned Aerial Vehicle（MUAV）を用いて運搬し、火山噴火の際に立入制限区域内を調査する目的で研究開発が進められている小型移動ロボットである。これまで、立入制限区域内における雨量計測を実施するため、NEDOの研究助成による防水型小型移動ロボット CLOVER-III の開発を進めてきた。

図1に CLOVER-III の概観を示す。このロボットの重量は4.4kg（センサ部、バッテリーを除く）であり、本体サイズは、440mm×385mm×210mmである。CLOVER-IIIの機体中央部には、センサ等の装置を搭載するためのスペース（180mm×80mm×100mm）が確保されており、このスペースに、雨量センサが搭載される。

制御部及び動力部は、ハウジングによって覆われており、防滴・防塵処理が施されている。駆動系には、maxon社製DCモータ DCX26L 18V（定格トルク 49.8mNm）と、ギア比 150:1 のギアヘッド 2組を使用し、タイミングベルトによって4輪を駆動する。

⑥研究成果（つづき）



図 2 小型移動ロボット CLOVER-III の概観

制御用コンピュータには、シングルボードコンピュータ Raspberry Pi 3 を使用することとした。また、走行用センサとして前方画像取得用の広角USB カメラを使用することとした。さらに、通信機器として 2.4GHz 帯 Wi-Fi 用の USB 無線 LAN ならびに、3G 携帯電話回線用の通信モデム docomo L-03F を搭載した。なお、動力として用いているバッテリーの電源電圧は 23.1Vである。

3. 片蓋川におけるフィールド試験

構築したロボットシステムの有用性を検証するため、浅間山麓片蓋川において、2018年10月7日から10月18日にかけて、フィールド試験を実施した。具体的には、飛行ロボット(UAV)による観測機器を搭載した小型ロボット運搬計測試験、地表移動ロボット(UGV)による観測試験と走行実験、ならびに通信試験を行った。試験場所ならびに試験内容を図3に示す。



図 3 試験場所ならびに試験内容

⑥研究成果（つづき）

4. 飛行ロボットによる観測機器を搭載した小型ロボット運搬計測試験

危険区域に対する調査機器の設置については、これまで有人ヘリコプタ等による機器設置が試みられてきた。しかしながら、これらの手法については、制限区域内での実施が困難になることや高額な費用が発生する等の問題があった。本研究開発により、マルチロータ機を用いて安価で、かつフレキシビリティの高い観測機器の運搬・設置技術を実現することが期待できる。本試験では、新たに開発した防水型小型移動ロボットを利用し、2016年までに実施してきた飛行ロボットで運搬する小型地上ロボットの設置及び回収試験、不整地走行試験を実施することとした。また、小型地上ロボットに設置したセンサによるデータの取得、蓄積、回収を行なった。なお、小型移動ロボットによる長期間のセンサデータ取得試験については、小型移動ロボットが持ち去られる可能性があったため、今回は実施を見送った。

飛行ロボットの運搬試験については、防水型にしたため、CLOVER-IIIの重量が増加したという問題が存在したが、2016年の試験と同様、運搬ならびに回収動作に成功した。その際の様子を図に示す。また、CLOVER-IIIの不整地地形の走行試験を行った。軟弱土壌における斜度が20度以上の斜面登坂走行は、非常に困難であったが、斜面を下る走行については、安定した走行を実現することができた。



図 4 CLOVER-III の運搬動作



図 5 CLOVER-III の不整地走行試験

5. 観測機器を搭載した地表ロボットによる観測

火山噴火等に伴う大規模な土砂移動現象では二次的な災害による被害拡大を考慮し、溪流上流域に立入制限区域が設けられることから、有人での調査が困難となることが想定される。一方で、比較的路面状況が良い林道等が存在する場合は、UAVに比べて、より大きなペイロードを運搬できるUGVにより機器設置が行なえる可能性がある。そこで、本試験では、現在開発を進めている地上無人ロボットの走行試験及び観測機器の設置、データ回収試験を実施した。

走行試験については、対象環境内の様々な場所において、遠隔操縦による走行試験を実施した。その結果、不整地においては、非常に高い走行性能を示したが、斜度が25度程度を越える軟弱斜面においては、車輪が埋まり、走行できない状況も発生した。

また、別の車両を用いた観測機器の設置ならびに1週間のデータ収集試験を行った。ロボットの設置は、施工の邪魔にならない場所を選定し、10月8日から10月14日の1週間、データ収集試験を行った。なお、前述の通り、ロボットには、雨滴センサ、カメラ、IMUを搭載した。図6に、ロボットを設置した様子を示す。

このロボットが収集した浅間山方向のカメラ画像を図7に示す。なお、この試験により、測定に関して、以下の知見が得られた。

- ・ 時間帯により結露によって不明瞭な画像となる。
- ・ 逆光となる時間帯はハレーションにより画像が一部不明瞭となる。
- ・ 夜間は基本的に画像が確認できない。
- ・ 噴煙や多量の降灰及び大規模な土砂移動などは十分に確認できる。
- ・ 時間数mm程度の降雨で画像取得が可能であった。
- ・ カメラ本体には画像が取得されていたが、クラウドにデータが上がらないことが数回確認された。

⑥研究成果（つづき）



図 6 地表移動ロボットの残置の様子

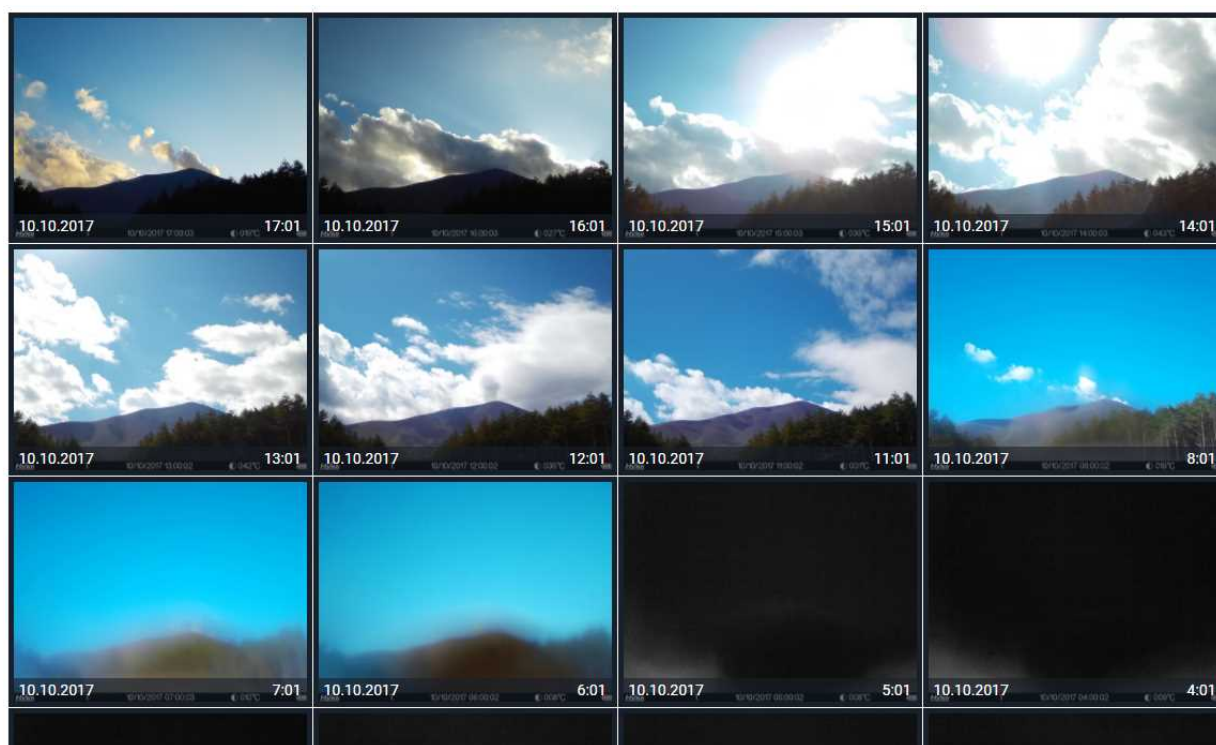


図 7 残置カメラの映像の一部

6. 無線通信試験

UAVを安全に運用するためにはUAVセンサ情報ならびに、UAVの状態の監視が重要となっている。そのためには、火山地域において、無線通信がどの程度利用可能であるかどうかを把握することが重要となる。このような状況において、2016年8月の電波法関係省令の改正により、新しい周波数帯である「無人移動体画像伝送システム」が利用可能となった。

無人移動体画像伝送システムは、ロボット用に開発された初めての無線電波である。従来のロボットシステムで利用されていた無線LANやBluetoothなどは、他用途向けに開発された電波を転用していたため、ロボットの要求要件を満たさない、他の利用機器と輻輳がおこるなど、多くの問題点があった。また実験局免許で別の周波数帯を使うことは、多大に労力を要し敷居が高かった。無人移動体画像伝送システムはこれらの問題点を解決または軽減するために開発されたものである。

フィールド試験では、片蓋川において、2.4GHzならびに5.7GHzの無人移動体画像伝送システムの通信試験を行った。



図 8 通信試験結果 (2.4GHz)



図 9 通信試験結果 (5.7GHz)

図8に2.4GHzの通信試験結果を、図9に5.7GHzの通信試験結果を示す。試験の結果、2.4GHzの通信では、直線距離で、約890m離れたところから通信することができた。また、5.7GHzの通信では、直線距離で、550m離れた地点まで通信することができた。

⑦研究成果の発表状況

[論文]

- Genki Yamauchi, Keiji Nagatani, Takeshi Hashimoto, Kenichi Fujino, "Slip-compensated odometry for tracked vehicle on loose and weak slope", ROBOMECH Journal, Volume 4, Issue 28, pp. 1-11, (2017)

[国際会議、学会等]

- Genki Yamauchi, Keiji Nagatani, Takeshi Hashimoto, Kenichi Fujino, "SLIP COMPENSATED ODOMETRY FOR TRACKED VEHICLE WHEN ROTATING ON A LOOSE WEAK SLOPE", 19th International Society of Terrain Vehicle Systems International Conf., pp. 001-007, (2017)
- Keiji Nagatani, So Tatano, Keisuke Ikeda, Atsushi Watanabe, Miwa Kuri, "Design and Development of a Tethered Mobile Robot to Traverse on Steep Slope based on an Analysis of its Slippage and Turnover", 2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 2637-2642, (2017)
- Keiji Nagatani, Ryosuke Yajima, Seiga Kiribayashi, Tomoaki Izu, Hiromichi Kanai, Hiroyuki Kanasaki, Jun Minagawa, Yuji Moriyama, "Field Report: UAV-based Volcano Observation System for Debris Flow Evacuation Alarm", Preprints of the 11th International Conference on Field and Service Robotics, pp. #10, (2017)
- 永谷 圭司, 羽田 靖史, "火山災害地域で活躍するセンシングロボットの開発", 電波技術協会報, Volume , Issue 315, pp. 14-17, (2017)
- 菊地泰洋, 佐藤悠司, 魏書君, 朴賢雨, 村元雄太, 久利美和, 永谷圭司, "火山活動の早期予測を目指した火山ガス測定用小型移動用ロボットの開発", 第18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. 3345-3346, (2017)
- 永谷 圭司, 谷島 諒丞, 桐林 星河, 伊豆 智幸, 金井 啓通, 金崎 裕之, 皆川 淳, 島田 徹, 森山 裕二, "マルチロータ機を用いた無人火山観測システムの開発 2016年雲仙普賢岳におけるフィールド試験", 第35回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp. 1E3-03, (2017)

⑧研究成果の社会への情報発信

- Webpage: <http://frl.niche.tohoku.ac.jp>
- Youtube Movieの視聴回数
 - Development of Multi DOF Tracked Vehicle to Improve weak slope terrainability : 1147回
 - Field experiment of robotic technologies to forecast debris flow in Unzen-Fugen-dake : 643回
 - Introduction of web browser based robot remote control system : 273回
 - A basic experiment for deploying and retracting a UGV by a UAV : 1537回
 - Sample-Return Devices for Obtaining Volcanic Materials 2015 : 723回
- NHK各地のニュース／長崎県のニュース「ロボットで土石流予測 実証実験」
(2017年11月24日)