

長期運用可能な投下型ポータブル観測デバイスの開発とフィールド試験

○ 谷島 諒丞 (東北大学), 榎本 裕次郎 (東北大学), 皆本 岳 (東北大学),
秋山 健 (東北大学), 山内 元貴 (東北大学), 永谷 圭司 (東北大学), 吉田 和哉 (東北大学)

Development and Field Test of a Dropping-Type Portable Observation Device

○ Ryosuke YAJIMA (Tohoku Univ.), Yujiro EMOTO (Tohoku Univ.), Gaku MINAMOTO (Tohoku Univ.),
Ken AKIYAMA (Tohoku Univ.), Genki YAMAUCHI (Tohoku Univ.), Keiji NAGATANI (Tohoku Univ.),
Kazuya YOSHIDA (Tohoku Univ.)

Abstract : When a disaster occurs, typically, a restricted area is covered around the disaster site for safety. (E.g., flood disaster, volcano eruption, reactor accident, etc.) However, it is important to observe inside of the restricted area for prevention of second disasters. Therefore, in this research, we developed a portable observation device that can be carried by multi-rotor UAV, and installed to the desired destination. In this paper, we explain our developed observation device, and report field tests that we conducted in Asama mountain.

1 緒言

災害が発生した場合、または発生のおそれがある場合、人の生命や身体に対する危険を防止するために、警戒区域が設定され、立入りが制限または禁止される[1]。しかし、警戒区域内の状況を長期観測することは、その周辺地域の住民や災害応急対策で警戒区域内で作業を行う人の安全を守る上で重要であり、また警戒区域を解除するためには、区域内が安全かどうかを把握する必要がある。

例えば、浅間山では、レベル3の噴火が発生した場合、入山規制が行われ、火口から4km以内は立入禁止区域となる[2]。しかし、立入禁止区域外へ被害をもたらすこともあり得る溶岩流や火砕流、火山性泥流等の発生を予想するため、立入禁止区域内の状況を把握することは、非常に重要である。また、東京電力福島第一原子力発電所で発生した事故では、発電所から半径20km圏内が警戒区域に設定された[3]。放射性物質による汚染は長期に渡って続き、天候によってその状況は変化するため、警戒区域内の長期的な放射線観測が必要である。

そこで、本研究では、長期観測を行うことが可能な小型軽量の投下型ポータブル観測デバイスを開発した。本稿では、この観測デバイスの開発について述べ、浅間山にて実施している長期観測フィールド試験について報告する。

2 立入禁止区域内の長期観測

2.1 シナリオ

災害発生時、多くの場合、災害現場の周囲が立入禁止となるが、その立入禁止区域内の長期観測が必要となる。しかしながら、立入禁止区域内に人が入ることは危険であるため、観測や観測に必要な機材の運搬は無人で行うべきである。そこで、本研究では、(1)無人のマルチコプター

の遠隔操作により、観測デバイスを運搬し、(2)目的地点に観測デバイス設置し、(3)指定した時刻に観測データを送信するというシナリオを設定した。

2.2 技術課題

上述のシナリオを実現するために、解決すべき技術課題は以下の通りである。

マルチコプターを用いた運搬

マルチコプターは運搬できるサイズや重量が制限されるため、観測デバイスを小型軽量化する必要がある。

マルチコプターからの投下

人が目視で確認できない状況でのマルチコプターの着陸や、低空飛行は、墜落のおそれがある。そのため、観測デバイスは、目的地上空から投下しなければならない。

電源

観測デバイスが動作するためには電源が必須であるが、災害現場では、電源を確保することが困難である。そのため、自然環境から発電し電力を得る必要がある。また、消費電力が少なければ、少ない電力しか得られなくても長期に渡って動作可能であるため、消費電力の削減も重要である。

通信

観測デバイスが収集した観測データは、人が直接近づいて確認したり、有線通信によって送信することができない。そのため、無線通信による観測データの送信が必要になる。本研究では、災害全般で使用できる観測デバイスの開発を目的としているため、様々な環境で使用できる無線通信を選定する必要がある。

3 投下型ポータブル観測デバイスの開発

3.1 技術課題に対する解決策と構成要素の選定

2章で述べた技術課題に対する解決策を検討し、それをもとに必要な構成要素の選定を行った。

マルチコプターを用いた運搬

今回運搬に使用するマルチコプターは、ペイロードが約7kgのエンルート社製Zion Pro 800とした。マルチコプターには4本の脚が取り付けられており、観測デバイスはこれに干渉しないようなサイズで設計を行った。また、マルチコプターのバッテリー4kgを搭載することを考慮し、観測デバイスは3kg程度にすることを目標とした。観測デバイスの基本フレームは、軽量でかつ強度が必要であることから、アルミパイプを用いることとした。

マルチコプターからの投下

観測デバイス側に、30mからの自由落下に耐えられる衝撃対策を施すことは困難である。そこで、マルチコプターに取り付けたワイヤーを使って低速で投下し、観測デバイスに加わる衝撃を減らすスカイクレーン方式を利用することにした[4][5]。

電源

観測デバイスが自力で電力を確保するために、太陽電池を用いたバッテリー充電を行うことにした。太陽電池パネルは消費電力と充電電圧を考慮した上で、最大出力3W、最大出力時電圧6Vのものを直列に3枚接続し、最大出力9W、最大出力時電圧18Vとした[6][7]。バッテリーは、充電のコントロールが容易である鉛蓄電池(12V1.5Ah, 700g)を用いた。また、効率的に充電を行うために、東京デバイセズ製MPPT (Maximum Power Point Tracking) モジュールIW1608-ALを搭載した。さらに、マイコンによる観測機器の電源管理を行い、必要な電力を減らすように工夫した。

通信

今回のデバイスは、様々な場所で使えることが望ましい。そこで、本研究では、無線通信に広範囲で通信可能なFOMA回線を利用することとした。なお、取り扱いが容易であることから、通信モジュールを搭載したボードPC梅沢無線電機株式会社製3G-FARMを使用することとした。

3.2 プロトタイプの製作と予備試験

まず、太陽電池パネル、バッテリー、MPPTモジュール、ボードPC、時間管理用マイコンの観測デバイスの基本要素のみで構成されたプロトタイプを製作した。完成したプロトタイプの外観をFig. 1に示す。プロトタイプでは、



Fig. 1: prototype of observation device

観測機器は搭載せず、ボードPCの起動終了時刻と太陽電池パネル・バッテリーの電圧のみを送信するようにした。

このプロトタイプを東北大学機械系1号館屋上に設置し、動作試験を実施した。HTTPサーバ内に置いた設定ファイルに書き込まれた時刻に観測デバイスは起動し、HTTPサーバにボードPCの起動終了時刻と太陽電池パネル・バッテリーの電圧が送信されることを確認した。なお、防水処理を行っていなかったため、悪天候の際は回収したが、計12日動作した。連続動作は最大で5日間である。

3.3 投下型ポータブル観測デバイスの開発

前節のプロトタイプを改良し、投下型ポータブル観測デバイスを開発した。完成した観測デバイスの外観、内部構造、コントロールシステムをFig. 2に示す。また、観測デバイスの仕様をTable 1に示す。

まず、プロトタイプでは、ケースが防水ではなかったため、防水ケースに入れることとした。なお、この防水ケースは、大きさ、重量、入手のしやすさから食品用密閉容器を用いた。

また、太陽電池パネルを固定し、投下の際の衝撃から防水ケースとその中身を保護するため、外側にフレームを取り付けた、フレームはアルミフレームによって構成した。

また、観測機器として、今回は線量計を搭載した。使用した線量計は、Radiation-Watch.org製組込版ポケットガイガーType5である。空間線量の測定は、地表から約1mの位置で計測することが望ましいが、高さ1mの観測デバイスをマルチコプターで運搬することは、困難である。そこで、運搬時は折りたたまれており、デバイスが着地したときに展開する展開機構を取り付け、高さ600mmの観測位置を実現した。Fig. 3に展開前と展開後の展開機構を示す。観測デバイスは、観測した時刻と、この線量計が2分間に放射線をカウントした回数を記録し、テキストデータとしてHTTPサーバへ送信することとした。

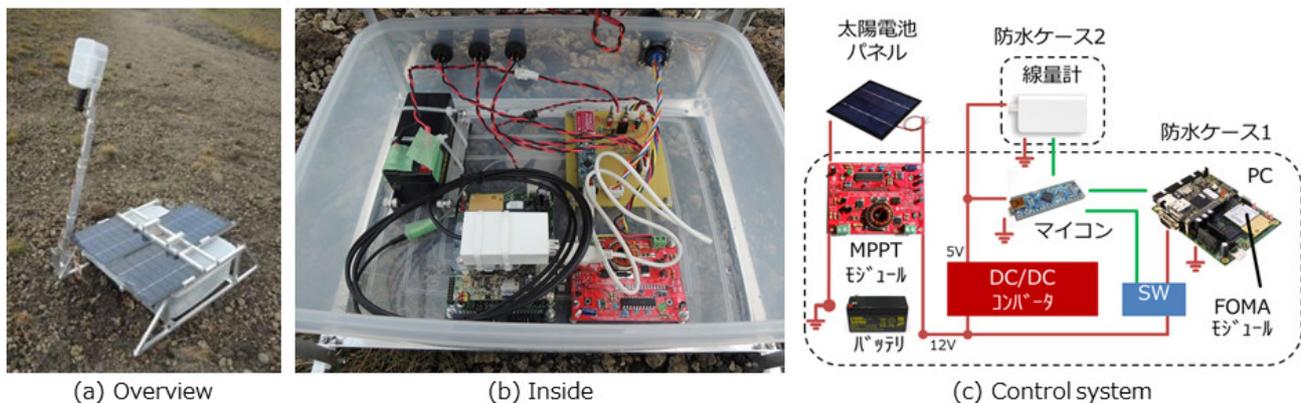


Fig. 2: Dropping-type portable observation device

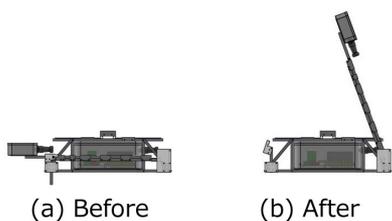


Fig. 3: Deployment mechanism

4 フィールド試験

開発した投下型ポータブル観測デバイスを用いて浅間山にてフィールド試験を実施した。実施項目は、投下試験と観測試験の2つである。以下にそれぞれの詳細を述べる。

4.1 デバイス投下試験

まず、観測デバイスをマルチコプターを用いて目的地に投下、設置する投下試験を行った。

投下の際は、着地時の衝撃が問題になるが、ワイヤーを用いて低速で投下するスカイクレーン方式を採用し、観測デバイスに加わる衝撃そのものを減らすこととした。

予備試験

予備試験として、ダミーウエイトを用いた投下試験を行った。ダミーウエイトは木製で2.5kgであり、上部に観測デバイスと同じ投下機構が取り付けられている。マルチコプターを30mまで上昇させた後、地上からの信号により、マルチコプターからダミーウエイトの切り離しを行った。

その結果、スカイクレーン方式により、低速で着地することを確認した。

Table 1: Specification of the observation device

length	500 mm
width	400 mm
height	max 600 mm, min 150 mm
weight	3.2 kg

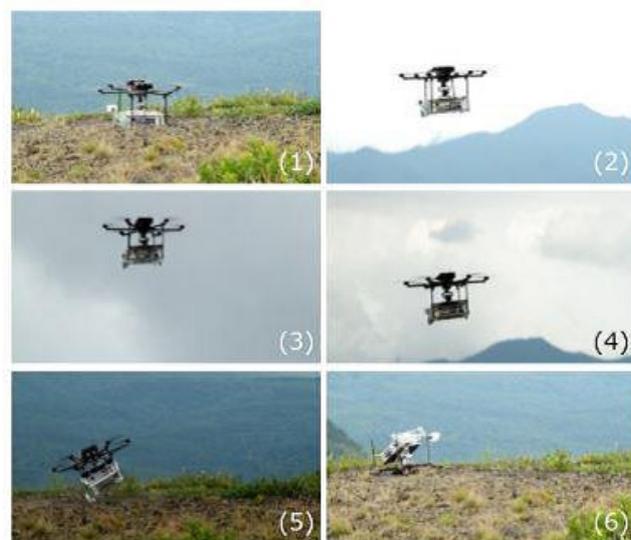


Fig. 4: Drop test of observation device

本試験

マルチコプターに、開発した観測デバイスを取り付け、30m上昇し、50m先の目的地で観測デバイスを投下する試験を行った。この試験は浅間山1800m付近で実施した。

その結果、マルチコプターと観測デバイスは上昇を開始したが、目標高度に到達する前に降下をはじめ、マルチコプターと観測デバイスは、切り離しを行う前に墜落した。墜落の原因は、マルチコプターのペイロードの重量設定が観測デバイスより軽いものになっており、高速に上昇したため、バッテリーの電力供給が追いつかなくなったことであると考えられる。投下試験の本試験の様子をFig. 4に示す。投下試験そのものは失敗したが、墜落後の観測デバイスはアルミフレームが一部曲がった程度で、正常に動作できたため、観測デバイスは、高い耐衝撃性を有していることがわかった。

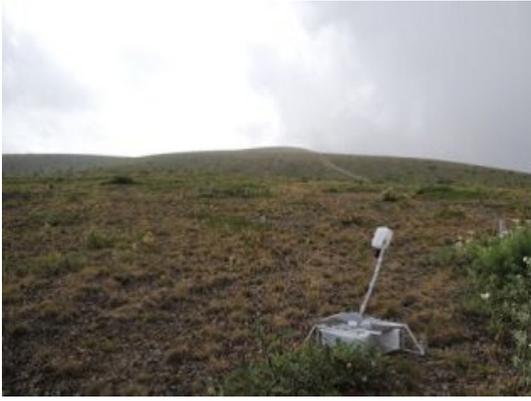


Fig. 5: Observation test

4.2 観測試験

次に、観測デバイスを設置し、長期にわたって観測を行う観測試験を行った。観測デバイスは設定した時刻になると起動し、発電状況と線量率を送信する。試験は、投下試験と同様、浅間山1800m付近で実施した(Fig. 5)。

観測は8月21日から開始した。悪天候が続くとシステム全体が停止することもあったが、天気が回復すると再起動し、観測を継続した。しかし、9月7日を最後に、観測データの送信を確認できず、観測が停止している。原因として考えられるのは、最後の観測まで一週間近く悪天候が続いたためバッテリーが使用不能になったこと、線量計が故障したことが考えられる。観測によって得られた発電状況のデータと放射線量のデータの一部をFig. 6に示す。

以上より、観測できたのは17日間であったが、この観測デバイスの構成で定期的な観測が行えることが実証できた。

5 結言

本研究では、災害発生時に無人長期観測を行うための投下型ポータブル観測デバイスを開発した。この観測デバイスは、小型軽量化、太陽電池パネルによるバッテリー充電、携帯回線を用いた無線通信により、立入禁止の災害現場へマルチコプターで運搬し、無人で現場を観測することを可能とした。さらに、この観測デバイスの有用性を実証するため、浅間山にてフィールド試験を実施した。投下試験では、ダミーウェイトの投下には成功したが、観測デバイスの投下はマルチコプターが墜落し失敗した。また、観測試験では、観測デバイスは発電状況と放射線量のデータを17日間送信し続けることに成功した。

今後は、浅間山でのフィールド試験において停止した観測デバイスの停止原因の究明を行い、それをもとに、より長期間観測可能な観測デバイスを開発する。現段階で考えられる改善すべき点としては、軽量化、バッテリーの大容量化などが挙げられる。また、さらなる発展として、小型移動ロボットと観測デバイスを組み合わせた移動観測ロボットの開発も検討している。

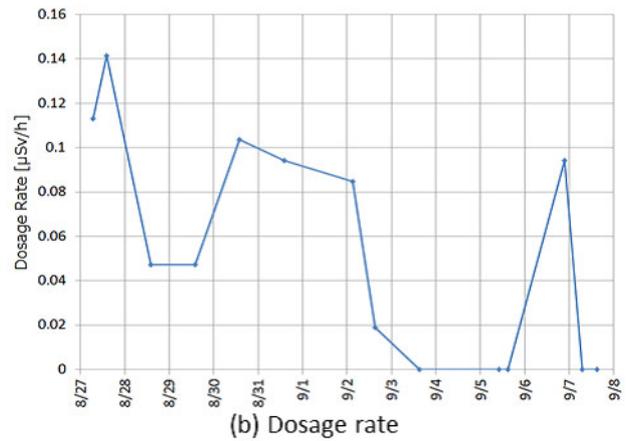
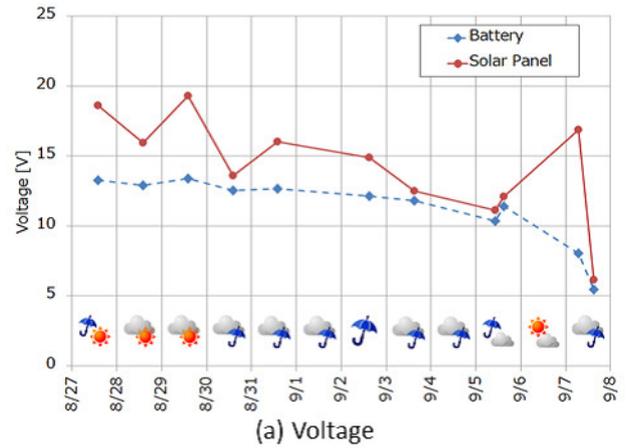


Fig. 6: Observation data

謝辞

本研究は、公益財団法人 新技術開発財団 復興支援特定研究助成2012助成金の支援を受けて実施されました。

参考文献

- [1] 防災対策制度, 内閣府ホームページ, <http://www.bousai.go.jp/taisaku/index.html>
- [2] 浅間山の噴火警戒レベル, 気象庁ホームページ, http://www.seisvol.kishou.go.jp/tokyo/STOCK/kaisetsu/level_toha/level_306.htm
- [3] 東電福島原発・放射能関連情報, 首相官邸ホームページ, http://www.kantei.go.jp/saigai/genpatsu_houshanou.html
- [4] Jet Propulsion Laboratory, Sky crane, <http://mars.jpl.nasa.gov/msl/mission/technology/insituexploration/edl/skycrane/>
- [5] 秋山健, 山内元貴, 永谷圭司, 吉田和哉, 伊豆智幸, Randy Mackay, 活火山探査を目的とした電動マルチロータ機搭載用小型軽量移動ロボットの開発, 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 ROBOMECH2013, 1P1-P15, 2013
- [6] 秋山健, 山内元貴, 比嘉翔弥, 永谷圭司, 吉田和哉, 天然ダムの長期監視を目的としたポータブルカメラシステムの開発とフィールド試験, 第13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.725-730, 2012
- [7] 太陽光発電のススメ, 日本イーテックホームページ, <http://www.etech-japan.com/susume/>