

安価な火山観測用小型固定翼ドローンの開発 Development of an Inexpensive Fixed-wing Drone for Volcanic Observations

○東野伸一郎・吉村令慧

○Shin-Ichiro HIGASHINO and Ryohei YOSHIMURA

Drones are inherently suited for "3D" missions—dull, dirty, and dangerous—with volcanic observation being a prime example. However, the extreme risks associated with active craters often lead to the loss of equipment, making the use of expensive drones financially and emotionally taxing. To mitigate this, the authors have developed a low-cost volcanic observation system by integrating inexpensive off-the-shelf components, such as motors, flight computers, and airframes. This "low-hesitation" approach ensures that the potential loss of a drone does not hinder critical research. The project's final objective is to deploy fixed-wing drones from Yakushima to Kuchinoerabujima for visual inspections and the collection of volcanic ash and gas. This paper details the current status of a visual observation system built with affordable products and discusses the remaining challenges for future practical applications, aiming to balance technical feasibility with the harsh environmental demands of monitoring active volcanic activity.

要旨

ドローンは本来、いわゆる「3D」ミッション(Dull, Dirty, Dangerous)なミッションに適しており、火山観測はその典型的な例といえる。しかし、活動中の火口付近に伴う極めて高いリスクは、しばしば機体の損失を招くため、高価なドローンを使用することは経済的にも心理的にも大きな負担となる。これを軽減するため、著者らはモーター、フライトコンピュータ、機体などの安価な市販部品を組み合わせることにより、低コストな火山観測システムを開発した。この「(機体喪失を)恐れずに運用できる (low-hesitation)」アプローチにより、機体紛失の可能性が、重要な研究の妨げにならないようにすることができる。本プロジェクトの最終目的は、屋久島から口永良部島へ固定翼ドローンを飛行させ、火口の目視観測や火山灰・ガスの採取を行うことである。本稿では、安価な製品で構築された画像観測システムの現状を詳述するとともに、活発な火山活動のモニタリングという過酷な環境的要と、技術的な実現可能性の両立を目指し、将来の実用化に向けた課題について述べる。

1. はじめに

本研究の主眼は、活動中の火山火口における映像取得や火山灰・ガスの採取といった「その場観測」のニーズに対し、機体損失を恐れず運用できる「使い捨て」可能な低コスト固定翼ドローンを開発することにある。火山火口付近のような危険地帯でのミッションでは、機体損傷・紛失のリスクが極めて高い。高価な機体を使用する場合、その経済的・心理的負担が観測を躊躇させる要因となり、貴重な観測機会を逸することにつながる。先行事例として、ウクライナ戦争で注目された「段ボールドローン」は使い捨てを想起させるが、その機体価格は約 US\$5,000 と依然として高価である。機体そのものは安価な市販のラジコン用量産機を利用すれば数百ドル程度に抑えられる。低コスト化の本質は、ドローンの「頭脳」にあたる制御装置や、モーター、バッテリー、通信装置などの電子機器類をいかに安価に構成できるかにある。本研究では、これらコンポーネントの低価格化を追求することで、観測機会を飛躍的に高めるシステムの構築を目指す

2. 要求仕様の決定

本研究では、屋久島西海岸から口永良部島・新

岳（標高約 650m）までの往復約 20km におよぶ火山観測ミッションを想定し、以下の要求仕様を策定した。まず航続性能については、強い向かい風や旋回待機などの安全マージンを考慮し、航続距離 70~100km、飛行時間 45~60 分を目標値とした。ペイロードについては、映像観測用のカメラに加え、将来的な火山灰やガスの採取装置の搭載を見据え、1~2kg の積載能力を確保することとした。

運用面では、操縦者の技能に依存しない安定した運用と負担軽減のため、離着陸を含む全行程の自動化を必須要件としている。また、本研究の核心である「機体喪失を恐れない運用」を実現するため、高価な産業用機体ではなく、安価なホビー用の量産機やオープンソースの制御システム（Ardupilot 等）を統合した低コストな構成を採用する。離着陸場所は屋久島西海岸の砂浜を想定しており、滑走路の確保が困難な場合に備え、手投げまたは垂直離着陸（VTOL）機能の付加も検討した。

3. 小型固定翼ドローンのテストベッド

低コストな観測システムの有効性を検証するため、市販の安価なコンポーネントを統合したテストベッド機を製作した（図 1）。



図 1 完全自動離着陸～ウェイポイント飛行が可能な小型固定翼ドローン

機体としては、安価で加工が容易な EPO フォーム製の「Volantex Ranger 2000」（翼幅 2,000mm）を採用した。この機体は、十分な機内スペースを有しており、将来的な観測機器の増設にも対応可能である。また、固定翼機に後付けする形で 10 万円以下で VTOL 化した機体の開発も行った。

制御システムの中核となるフライトコンピュータには、オープンソースの ArduPilot が動作する Matekssys F405-wing を搭載した。これに GPS、対気速度計測用のピトー管、地上局とのデータ通信を行うテレメトリを統合している。機上システム

全体の構成費用は、地上局を含めても約 20 万円程度に抑えられており、目標とする「使い捨て」を許容できるコスト圏を実現した。

地上局ソフトウェアには Mission Planner を使用し、事前に設定したウェイポイントに基づく自律飛行試験を実施した。

4. 飛行試験結果

屋外飛行試験（火山火口付近ではない）の結果、手投げによる自動離陸と自動着陸を含む完全自動のウェイポイント周回飛行が可能であることを複数回にわたって確認した。VTOL 機能を付加した機体にはまだいくらかの課題が残るもの、その基本機能を確認した。手投げによる完全自動離着陸のウェイポイント周回飛行では、超小型カメラによる動画記録も実施した。これにより、誰にでも操作可能な火山観測における実用的なプラットフォームとしての基礎能力が実証された。

5. 結論と今後の課題

本研究では、火山火口の「その場観測」を目的とした、機体損失を恐れず運用可能な低コスト固定翼ドローンのテストベッドを開発した。市販部品とオープンソースソフトウェア（ArduPilot）を統合することで、システム費用を約 20 万円程度に抑えつつ、自律飛行や映像伝送などの基本機能を確認した。

今後の課題は主に 3 領域ある。第一に火口付近の熱に耐える機体材料または耐熱コーティング方法の選定、および地形や風を利用した効率的な飛行経路の構築が必要である。第二は法規制面で、航空法におけるレベル 3.5（無人地帯での目視外飛行）の包括申請への対応である。第三に通信面であり、日本の厳しい電波法の制約下で実用的なデータ伝送を実現するため、携帯電話による衛星通信が可能になることを期待し、その活用を模索する。今後は阿蘇山や桜島での実地試験を通じてさらなる課題を抽出し、極限環境下での火山観測に資する実用的なシステムの構築を目指す。