

中山 浩典



Abstract

Use of unmanned helicopters has already developed to the point where there are approximately 2,600 used in the agricultural sector, providing pest control services to a gross area of 1.06 million hectares, an area which represents 36% of Japan's rice harvests. Moreover, automated navigation-type industrial unmanned helicopters which feature cameras and automated flight functions for imaging and observation have also been developed and are being used in the marketplace today. Such types are often utilized for making seismological observations in inaccessible volcanic regions, measuring radiation levels within Fukushima Prefecture, and topological surveys using laser surveying equipment.

Recognizing its performance in these kinds of observational tasks, NHK asked us to use the automatic navigation-type RMAX G1 to photograph and collect lava fragments from the area around Nishinoshima for the production of a science documentary themed on Nishinoshima's creation of new land. The lava flows that have gushed forth from Nishinoshima since it resumed eruptions in November 2013 following a 39-year hiatus have been gradually expanding the land area of the island, and it has now reached a size of approximately two square kilometers. Providing a microcosm of the mechanisms which formed continents on the earth's surface, this phenomenon has captured the attention of geologists. However, to ensure safety the Maritime Safety Agency has established a restricted zone that extends four kilometers out from the island. NHK's aims were to use an unmanned helicopter flying from a ship outside the restricted zone to capture day/night photos using a high-resolution camera, observe the ground temperature with a thermograph, and collect lava samples to be used in analysis of the island's ground composition. If successful, this endeavor would obtain scientific data and images of extraordinary value.

In this report, we will describe the technology-related issues that need to be resolved in order to execute the project, the measures taken for said issues, and how the situation is progressing.

1 はじめに

農業分野における無人ヘリコプターは既に約2600機が市場で利用され、延面積106万ヘクタール、日本で収穫される米の36%を防除するまでに発展している。一方で農業用無人ヘリコプターにカメラ、自動飛行機能を付加して撮影や観測に用いる「自動航行」タイプも開発し、市場で利用されている。これは人が立ち入ることができない火山地帯での地震計測や、福島県内の放射線量計測、レーザ形状測量機による地形測量等で活躍している。

このような観測業務実績が認められ、NHKから「大地創世・西之島」というテーマの科学番組制作のために自動航行タイプRMAX G1による西之島近海からの撮影、溶岩礫採取の委託があった。西之島は2013年11月から39年ぶりに噴火活動を再開し、吹き出す溶岩流によって少しずつ陸地面積を広げつつあり、約2km四方の大きさにまで拡大している。この現象は地球上に陸地が生成されるメカニズムの縮図と地質学者は捉えているが、海上保安庁は安全確保のため、島から4km以内の立入規制を強いている。NHKの狙いは4km離れた船上から無人ヘリコプターを利用して高解像度カメラによる昼夜間撮影、サーモグラフによる地表面温度の観測、島の土壌成分解析用の溶岩サンプル採取等、成功すれば非常に価値の高い学術データと映像を獲得することにあった。

本稿では、このプロジェクトを遂行するために解決すべき技術課題とその対策および現場の状況を報告する。

2 主な技術開発項目

NHKからの要望に対して、現在のRMAX G1でそのまま実施できる項目と新たな技術開発が必要な項目を整理した。また実際に使用する船舶での事前確認を行い、運用現場に近い環境での課題出しを実施した。その中でも下記3点を業務遂行のための重要課題に設定した。

① 揺れる船上での機体姿勢センサの静定方法

② 2.4GHz操縦電波のマルチパスフェージングの解消

③ 溶岩礫採取装置の開発

2-1. 船上での機体姿勢センサ静定方法

当社無人ヘリコプターの操縦制御システムは農業用途、自動航行用途ともに姿勢センサを中心に構成されている(図1)。制御飛行には機体自身の姿勢角を検出することが必要不可欠であるが、ジャイロセンサで角速度を計測しそれを時間積分することで得ることができる。しかし時間積分のみでは誤差が蓄積されてゆくと、加速度センサと方位センサを複合化することで誤差を補正している。また、ジャイロセンサ出力には電源投入時ごとに異なる値のバイアス成分が含まれており、このバイアス成分を除去しないと加速度センサと複合化しても誤差を補正できない。従来は陸上のみでの使用であったので、電源投入時に静止状態を保つことでバイアス値を読み込むことができた。しかし、揺れる船上で起動する場合はジャイロ信号出力がバイアス値と変動値を含んだ内容で変化しているため、従来通りのアルゴリズムでは対応できない。一方で、小型無人艇の開発では拡張型カルマンフィルタを適用して、揺れる海上でも姿勢角とジャイロバイアス推定を同時に行う姿勢角演算手法が導入されている。そこで今回はこの手法を無人ヘリコプターに応用した(技報2008年10月発行「技術紹介:UMVのためのカルマンフィルタを応用した姿勢センサ静定技術の紹介・木戸徹」参照)。

またRMAX G1の離発着行程だけは、農業用途機と同様に操縦者がプロポーショナル送信機を用いて操縦する必要がある。そこで、揺れる甲板への離発着操作を安全・確実にするための支援装置として「船舶揺動安装置」を導入した。これは船体の揺動を検出し、装置上部天板が常に水平を保持するように電動アクチュエータで制御している。装置天板上では船体のピッチ、ロール、ヨーの揺れはキャンセルされ、ピッチングに伴う上下運動のみが働いている。このシステムは実船を用いて事前確認し、実用化の手応えを得ることができた(図2)。

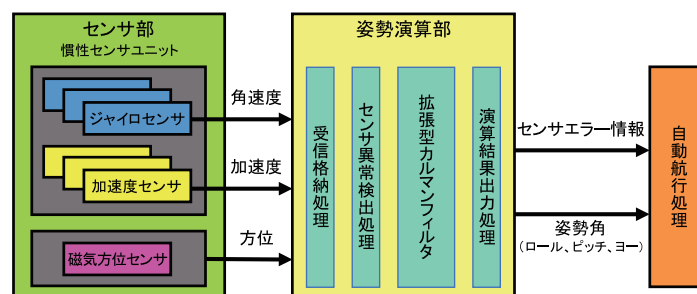


図1 システム構成



図2 船舶揺動安定装置の機能確認

2-2. 2.4GHz操縦電波のマルチパスフェージングの解消

直線伝搬特性が強い2.4GHz帯電波の特性でもあるが、海上は電波伝搬が減衰せずに反射しやすいため、基地局から直接届いた電波と海上で反射された電波の波長が半波ずれるポイントでは干渉により電界強度が大きく減衰してしまう(図3)。RMAX G1は、自動航行中でも常時操縦が可能な環境下でないと運用しないという安全確保の方針に基づいて、操縦電波が受信できない場合は、離陸(離船)地点に自動的に帰還する機能が備わっている。自動帰還機能が作動する電波状況では機体搭載カメラの操作や吊り下げた装置を上下、切り離すウィンチ操作も不能となり、ミッションが遂行できなくなってしまう。この現象を回避するために、基地局の送受信アンテナの高さをずらして2本設置し、減衰ポイントで停滞しないような飛行ルートの設定と、減衰ポイントでホバリング(空中停止)する場合はもう一方の高さの異なるアンテナに切り替える運用で対応した(図4)。地上局からの進出距離と飛行高度の関数式で求められた減衰ポイントと実測値は高い精度で合致していることも確認できた。

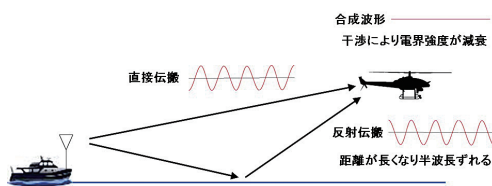


図3 マルチパスフェージング

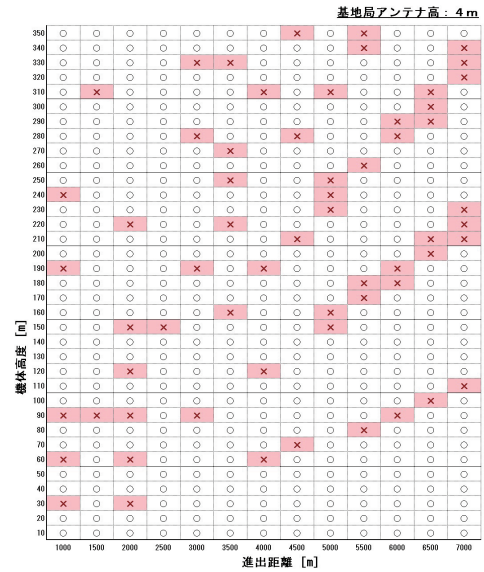


図4 操縦電波の減衰ポイント

2-3. 溶岩礫採取装置の開発

社外試作メーカーと今まで桜島等火山観測装置の設置と回収を実施してきた運用メンバとがアイデア出しとテストを繰り返して実用レベルに仕上げた。構造はシンプルでモータにより回転する2本のドラムにブラシが植えられており、地面にブラシを接触させて砂礫を装置内にかき込む構造となっている(図5、6)。砂礫をかき込むブラシの固さにノウハウがあり、固すぎると地面に接触させた際に装置が地面を走り回り、柔らかすぎると砂しか採取できない。採取装置は機体のウィンチで吊り下げられ、島の地上高30mでホバリング(空中停止)しているヘリコプターからワイヤを伸ばしながら接地させる。採取装置の接地においてはヘリコプターのカメラ画像を船内の基地局で確認しながらワイヤを出し入れするが、砂礫が採取できたかどうかは船に戻った装置を開くまで確認できない。接地部確認カメラの追加はシステムの大変更が必要となるため今回は断念した。また装置を船に回収するのは、ホバリングしているヘリコプターから甲板に敷いたエアクッションの上で落下させる方法とした。揺れる船上では精密な落下操作は不可能と考え、採取装置がエアクッションの範囲に収まったタイミングを見計らってワイヤを切り離すことにした。装置のテストは大室山の火山礫で実施し、目標である100g以上の砂礫採取は成功していた。しかし、西之島の溶岩礫は大室山の砂礫と同様なのか、地面がゴツゴツしていても採取装置がうまく接地できるのか、持ち帰った採取装置を狭い甲板に落下させられるのか、最後まで不安があった。



図5 砂礫採取装置

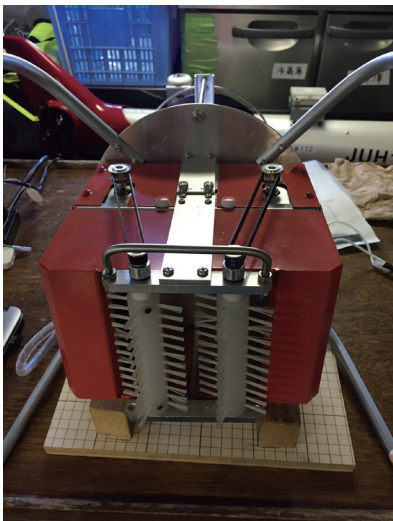


図6 砂礫採取装置下面

3 実施結果

既にテレビ番組を見られた方々もおられると思うが、結果を簡単に報告する

3-1. 実施期間と気象状況

- ① 2015年6月25日 横浜港出港、27日朝、西之島近海到着
- ② 6月27日～7月4日 西之島沖4km近海に停泊し撮影と観測溶岩礫採取を実施
- ③ 7月4日午後 西之島離脱、6日昼、横浜港帰港
出港から帰港まで12日間を船上で過ごし、台風が来て付近の島に避難しない限り上陸できない試練というべき計画であった(結局台風は接近せず、陸地には寄らなかった)。当社

から参加したメンバ4名は船舶で寝泊まりした経験など無く、500トンに満たない小さな船で片道1000km・50時間の往路に大きな不安を抱えて乗船した。

1日目夜から2日目にかけて梅雨前線を横切ったため、船は大きな揺れが続き、メンバ全員が何らかの体調不良を感じたが、3日目以降は業務に集中する緊張感も手伝って全員健康を取り戻すことができた。西之島の天気は晴れ、気温28℃、湿度85%が毎日安定して続き、日差しは強く湿度が高いため数値以上に暑く感じた。また洋上の風は毎日6～7m/sで吹いていたが、一定風で安定していたので、業務に大きな支障は無かった(図7、8)。



図7 離発着スペース(2×2m)



図8 島に向かうRMAX G1

3-2. 撮影

高解像度カメラによる昼夜の撮影は、NHKカメラマンが当社テスト場で事前訓練した成果が表れて非常に鮮明で、火山の膨大な活動エネルギーを表現できる画像が得られた。夜間撮影では赤い溶岩流の動きが捉えられ、海岸まで流れ出ていることと陸地面積を広げている様子が確認できた(図9)。360°

見渡すことが可能なカメラユニットをウィンチで鳥が繁殖している地域に設置し、3日後にウィンチとフックで釣り上げ回収することにも成功した(図10)。このカメラには鳥の生態が非常に至近距離で録画できていた。

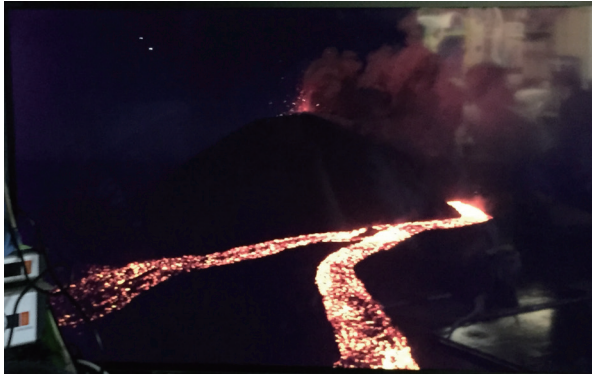


図9 試写ディスプレイに映った溶岩流



図10 島に設置3日後に回収した360°視野カメラ

3-3. 溶岩礫の採取

不安が一番大きかった溶岩採取だが、予定ポイントでは想像以上に溶岩礫が大きい様子が機体カメラで確認できた。できるだけ小ぶりの溶岩礫が集まっているような地点をいくつか選定して数回の接地採取を試みた。採取装置の船上回収も訓練以上に良好な状態で切り離しでき、不安だった収穫量も3cm程度の大きさの石を4個含み、合計で100g以上の石が17個採取できた(図11、12)。同行した海洋研究開発機構所属の地質学者にも非常に喜んでいただけた。

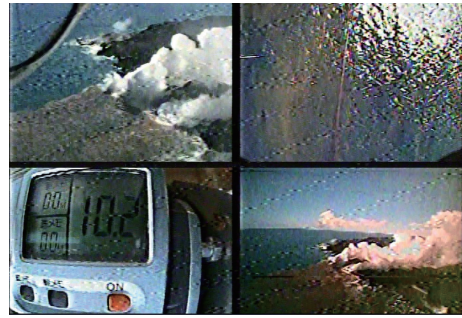


図11 基地局に表示される機体カメラ画像

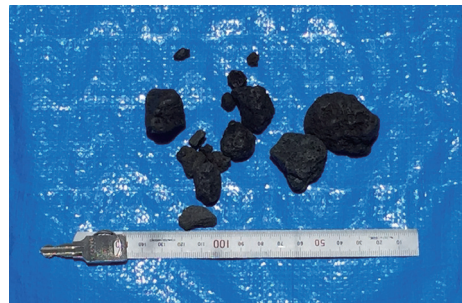


図12 採取できた溶岩礫

4 おわりに

自動航行型無人ヘリコプターを利用した業務はこれまでも種々のタイプをこなし、その都度技術開発して実用化してきた。今回の西之島観測はそれを集大成したような多面的な機能と技術要素が必要とされるミッションであった。依頼元のNHKディレクターからも「想像していた以上の成果を得ることができた」とうれしいコメントをいただき、担当メンバも過酷な環境の中で目標を達成できた充実感を得ることができた。今回の業務で船上運用システムを確立できたので、自動航行型ヘリの活用場所を拡張し、依頼主の要望に120%応えることができる無人ヘリコプターを追求していきたい。

■著者



中山 浩典

Hironori Nakayama
ビークル&ソリューション事業本部
UMS事業推進部
開発部