

探査用小型無人飛行体の研究開発 Research and Development on flight system of UAV for disaster investigating

北川一敬[†], 富田茂^{††}, 江上泰広[†]
Kazutaka KITAGAWA[†], Shigeru TOMITA^{††}, Yasuhiro EGAMI[†]

Abstract Recently, the radio controlled unmanned aerial vehicles have been developed under the concept of the low cost and easy to control. UAVs carried out unmanned missions the natural disaster such as the earthquake, the flood, the landslide and the radioactive leaks in dangerous zones. The investigation for searching the injured person and over viewing the stricken area must be important. The motivation of present study is to research and development of flight system of unmanned Electric-Powered helicopter for disaster investigating. The present work built the investigation system with the unmanned helicopter empowered by the Li-Ion battery. The trial flight testing of this monitoring system was successfully visualized the sufferer and disaster area by using the hi-vision camera with unmanned helicopter under the beyond visual flight. Finally, the operational results for this flight system were collecting the actual activity of the investigation with the unmanned helicopter at the cave-in disaster in 2010

1. 緒言

近年、技術の向上に伴い、高強度な材料の開発、加工技術の向上による部品の小型化、無線遠隔操作技術や高性能なコンピュータといった情報通信処理技術の小型軽量化が進んでいる。このような様々な技術の向上から、複雑な運動制御を行なうことで飛行する小型無人飛行体 (Micro Air Vehicle : MAV , Unmanned Air Vehicle : UAV , Nano Air Vehicle : NAV) の研究および開発が注目されている。¹⁻³⁾

この小型無人飛行体の実現が望まれる背景として、以下の事が挙げられる。

- 1) 地震、台風や洪水などの自然災害により発生した災現場の被害状況の確認及び被災者の探査
- 2) 火山噴火、大気汚染や放射能汚染などの区域の探査及び観測
- 3) 国境警備や海岸線などの探査や偵察
- 4) 動物や植物などの生態系の調査
- 5) 荒廃林などの荒廃状況の調査
- 6) 太陽光パネルなどの設備の日常点検の効率化

これまでに、複雑な地形を移動する地上走行型ロボットが開発され、活躍してきたが、障害物や地面の状態の影響を受け、思うような走行が出来ず、今もなお開発が進められている。そこで、この様な環境下において、より効率良く活動を行なうためには、地形の影響を受けず、より広範囲に観測活動が行える飛行型ロボットが有効な手段である。以上のようなことから、小型無人飛行体に要求される飛行特性として、以下の事が挙げられる。

- 1) 小型軽量、静音、航続時間
- 2) 低速から高速までの広範囲の速度域
- 3) 突風や強風などからの外乱からの安定性
- 4) 空中での停止 (ホバリング性能)
- 5) 急降下、急旋回及び急停止などの飛行性能

上記の飛行特性を満たす無人飛行体の開発・実用化を最終目標とした研究開発を進めている。

本研究グループでは、当初機上カメラによる無人機操縦の簡便化を目指して、無人飛行システム (SARA : Search and Rescue Aircraft) の開発を行ってきた (4-5)。従来、ラジコン飛行機の操縦は有視界飛行のため、天候や被災地域での現場での操縦が難しい事も考えられる。そこで、飛行体にカメラと GPS (全方位位置システム) を導入する事で遠隔操作を行い、特定した探査場所で空中停止 (ホバリング) することが可能となり、災害時に活躍する事が期待されてい

[†] 愛知工業大学 工学部 機械学科 (豊田市)

^{††} キャリオ技研株式会社 (名古屋市)

る。本研究では、部品調達が容易で且つ、操作性と安価な市販品の無人電動ヘリコプタを採用することで、災害時の探査業務を可能とするシステムの構築を目指している。

本稿では、電動ヘリコプタの運用による災害探査システムの紹介並びに実際に陥没事故や国道土砂崩れ現場の可視化実証事例を報告する。

2. 無人飛行体の概要

開発にあたって、災害探査用無人機には玩具用ヘリコプタを用いた。回転翼型災害探査用無人機には専用部品を設計製作しているが、その多くは玩具品の機械的強化と耐久性向上を主たる目的に改変している。特に可動部分におけるベアリングやサポート部材などは補強のために改変した。ラジコンヘリコプタのロータと同軸にスタビライザを取り付けることで、風などの外乱から安定ホバリングが可能となる。動力には、ブラシレス DC モータ、動力源にはリチウムイオン電池を用いており、運用時間は約 15 分である。



図1 回転翼型飛行体 (SARA-H)

表 1 飛行体の仕様

項目	回転翼型飛行体
全長×全幅×高(mm)	1343×210×424
質量(g)	約 5500
動力	ブラシレス DC モータ
飛行時間(min)	15
操縦系通信周波数(GHz)	2.4
電源	リチウムイオン電池
翼長(mm)	1582
翼弦長(mm)	60
翼面積(mm ²)	9.49×10 ⁴
翼面荷重(N/mm ²)	5.68×10 ⁻⁴
翼弦 Re 数	8.8×10 ⁵
飛行速度(m/s)	27.8

3. 飛行システムの概要

災害探査を目的とした無人飛行体はカメラを取り付けて空中からの撮影用として利用されることがある。飛行体で撮影をする場合、エンジン動力式より、排煙、振動、オイル飛散、騒音等が無い電気動力式の方が好ましいと考え

られる。

被災状況を把握するために、無人飛行体に以下の示すカメラを機体に設置し運用を行った。表 2 は広域自然災害事故調査に使用したカメラの仕様を示す。

目視外飛行試験では、1920 万画素小型カメラ (小型ハイビジョン 3D ビデオカメラ) を機体下部に図 2 に示すように設置、操縦時にモニタから前方部を見えるように配置している。目視外飛行を行うため、操縦用カメラからの映像は 1.2GHz 帯の電波により伝送する事で運用でき、電波の空中線出力に応じた半径約 1km の探査範囲を確保する事が可能である。

探査用カメラは操縦用カメラを流用し、録画も同時に行った。カメラ設置の基準として、何回かの飛行試験によって得られた画像を精査し、飛行高度による被災地の調査可能である撮影解像度と画角を決定した。



図2 無人機に搭載した録画及び操縦用カメラ

4. 目視外飛行試験

4.1 カメラによる目視外飛行試験

電動ヘリコプタ (スタビライザー無) にカメラを搭載し上空から地上を撮影し、その性能や課題を検証した。図 4 は、目視外飛行試験の様子を示す。2 台のモニタ (操縦用と探査用カメラ) で運用を行っている。図 5 は電動ヘリコプタを用いた場合、小型ハイビジョンカメラの運用時の画像撮影の結果を示す。地面に被災者を想定し、電動ヘリコプタによる撮影を行った。図 5 から若干ではあるがモータによる振動が伝わり、画像のブレがハイビジョンレベルの画質では確認されたが、実用上は問題にならなかった。よって、飛行高度による被災地の調査をする事が可能な撮影解像度と画角を得ることができた。



図4 目視外飛行試験の様子



図5 探査用カメラ映像

4.2 GPS 制御による目視外飛行試験

カメラでの目視外飛行が可能になり、更に、探査飛行の精度を上げるために、電動ヘリコプタにGPSセンサとビデオカメラを搭載し上空から地上を撮影し、その性能や課題を検証した。図6には地上操縦者が使うモニタの様子を示す。図6から、1台のモニタで操縦用カメラと探査用カメラをして運用を行っている。具体的には、ビデオカメラは電動モータが取付けてある雲台に載せてあり、地上にいる操縦者からの無線信号でビデオカメラを動かすことができる。操縦時には概ね前方が写るように、雲台の位置を調整する。

図7はGPS信号によりホバリングしている様子を示す。探査場所に飛行体を移動させたら、GPS信号によるホバリングを開始する。その後、ビデオカメラは探査用として直下などが写るように雲台位置を調整する。雲台は回転をする仕様とはなっていないが、飛行体自体をホバリング状態で、ヨー軸回転することで対応する。



図6 地上で操縦者が利用するモニタ



図7 GPS信号によりホバリングしている様子

5. 被災地での上空撮影 ⁴⁻⁶⁾

5.1 広域陥没事故現場の可視化

図8は2010年10月20日に岐阜県御嵩町で発生した広域陥没事故の写真を示す。亜炭廃坑に起因する東西65m、南北76mに渡って、最大深さ3mの地盤沈下が発生した。人的被害はなかったものの、道路と空き地に陥没、住宅5軒に傾斜や亀裂、上下水道管に破損の被害が出た。



図8 岐阜県御嵩町で発生した広域陥没事故の様子

図9及び図10は被災地での本システム時の運用状況と被災状況のハイビジョン画像を示す。広域陥没事故現場の可視化では、操縦者は補助員の持つ、テレビ画面を見ながら電動ヘリコプタを操縦し、被災状況を確認したい箇所の真上に電動ヘリコプタを移動させた。カメラのズームレンズを操作することは出来ないので、その都度電動ヘリコプタを上昇または下降させて災害状況の情報を得た。



図9 被災地での運用





図 10 広域陥没事故上空からの災害状況画像

図 10 から、実機のヘリコプタよりも低空を飛ぶことができるので、広域陥没事故の被災状況を詳細に確認することができた。報道関係者の実機ヘリコプタも同状況を収録していたが、その録画収録画像は著作権で守られているので、自治体でも有償で購入しなければならない。このような背景から本研究グループの電動ヘリコプタが広域陥没事故調査に利用された訳である。

5.2 国道土砂崩れ現場の可視化

2011 年 9 月に岐阜県御嵩町で発生した大雨による広域自然災害事故後の飛行体による調査報告をする。

図 11 は地上に設置したカメラからの画像を示す。固定カメラからは当然ながら一定の画角からのみ被害状況を確認することができる。本調査ではこの画像が評価の基準となる。固定カメラから取得した画像日比べて、飛行体からの画像がより多くの情報を得られるかを期待することとした。



図 11 地上カメラから撮影した災害状況

撮影状況は、被災状況を把握するために、無人飛行体にカメラを機体下部に設置し運用を行った。カメラで撮影した画像を飛行体上で録画すると同時に、無線で地上のポータブルテレビにも伝送した。図 12 から図 14 は電動ヘリコプタを用いた、小型 3 次元ハイビジョンカメラの運用時の可視化画像の結果を示す。当初は GPS 信号を感度よく受信できるかが心配されたが、こうした山間部の谷間でも飛行体の位置制御に有用であることがわかった。実際の災害探査活動において、実機のヘリコプタよりも低空を飛ぶことができるので、自然災害事故の被災状況を詳細に確認するには、小型無人飛行体は有用であることが確認できた。報

道関係者がこの実験を取材していたが、探査画像の鮮明さとハイビジョン画質での動画提供が可能であることから、大きな関心を得ることができた。

2010 年に発生した陥没事故撮影の際に採用していたカメラの災害地の可視化結果よりも、今回の可視化結果と比較すると格段に画像のブレが軽減した。

ブレの低減について考察をする。従来は雲台と飛行体本体との締結部分に、緩衝材を挟まず固定していた。今回使用した機体は、以下の改良を施した。

- ・雲台を取り付ける筐体と機体本体との締結部分に高硬度ゴム状の緩衝材を挟む
- ・筐体と雲台との締結部分に低硬度ゴム状の緩衝材を挟む
- ・筐体の各締結部分にシリコン製オーリングを挟む

以上の防振対策を施すことで、画像のブレを十分に抑えて、飛行高度による被災地の調査をする事が可能な撮影解像度と画角を得ることができた。



図 12 約 150m 高度からの災害現場空撮



図 13 約 50m 高度からの災害現場空撮



図 14 約 3m 高度からの災害現場空撮

6. 結言

本研究では、災害探査用途を目指した回転翼型災害探査用無人機の飛行システムの研究開発を行い、実際に自然災害事故の実証事例を報告した。その結果を以下に示す。

電動ヘリコプタのホバリング試験から、小型 GPS による位置及び姿勢制御に成功した。

本システムでは、カメラ画像を飛行体上で録画すると同時に、無線で地上のポータブルテレビにも伝送する方法で運用を行った。目視外飛行試験において、1920 万画素小型ハイビジョン 3D ビデオカメラを用いることで、災害時の画像撮影と情報取得が可能であることを確認できた。

謝辞

本研究は、愛知工業大学総合技術研究所プロジェクト共同研究 A の助成を受けた。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 森川泰、「小型無人ヘリコプタの自動飛行制御システムの研究」、第 48 回飛行機シンポジウム講演集、pp. 420-423、2010
- 2) 河野敬他 4 名、「小型無人飛行船の地上運用性改善に関する研究」、第 48 回飛行機シンポジウム講演集、pp. 409-413、2010
- 3) 戸田拓海他 3 名、「狭い空間を通過できる自律誘導無人飛行機の研究」、第 48 回飛行機シンポジウム講演集、pp. 498-503、2010
- 4) 富田茂、北川一敬、「災害探査用途を目指した無人電動ヘリコプタの飛行システムの研究開発」、日本航空宇宙学会第 42 期年会講演会講演集、pp. 275-279、2010
- 5) 富田茂、北川一敬、「回転翼型探査用無人機の飛行システムの研究開発」、日本航空宇宙学会第 49 回飛行機シンポジウム講演集、pp. 38-41、2011
- 6) 富田茂、北川一敬、「電動式ラジコンヘリによる災害状況の可視化」、第 40 回可視化情報シンポジウム講演集、pp. 75-78、2012