

探査用無人飛行ロボットシステムによる 探査活動報告

ブレを抑えたハイビジョン動画の検証

富田 茂

無線操縦式飛行探査機は災害時の初動探査用として活躍が期待されている。従来は、エンジン動力式が主流であったが、排煙や振動が高画質の画像情報取得には不向きであった。

本稿では、回転翼型飛行探査機の動力を電動化し、デジタルハイビジョンビデオカメラを搭載して有視界外無線遠隔操縦を行い、ブレのない高画質動画を記録した探査活動について報告する。取得した画像から、3次元データに変換した例も示す。同型機による搭載能力検証のため、小型二足歩行ロボット搬送事例を示す。

狭所での探査活動を想定して、多軸回転翼型飛行体を開発し、消火活動や法面調査、GPS信号の無い洞窟内探査事例について紹介する。

キーワード：無人飛行体、災害探査、無線遠隔操縦、電動ヘリコプタ、無線カメラ

1. はじめに

近年、無人ロボットによる災害地での活躍が期待されており、各社で開発が進められている。様々な開発用途の中で、災害が発生した場合に、初動期に災害状況の画像取得はとて重要である。災害復旧対策をいち早く立てることが、2次災害を防ぐからである。

近年、動画録画機も高性能になり、手軽に3次元動画が安価な市販品で撮影できるようになってきた。今後は携帯端末に付加しているカメラ機能も、高度化し災害現場でも活用できるようになると考えられる。当然多くの研究例からも無人ロボットの開発が期待されている^{1)~3)}。

当初機上カメラによる無人飛行体操縦の簡便化を目指して、探査用無人飛行ロボットシステム(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、無人飛行体に無線カメラとGPS(全方位位置システム)を導入する事で遠隔操作を行い、特定した探索場所で空中停止(ホバリング)や広域パターン飛行(スキヤニング)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る。

本開発では、部品調達が容易で且つ、操作性と安価な市販品のラジコン式無人電動ヘリコプタを改良して無人飛行体を開発することで、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、電動無動飛行体の運用による災害探査システムの紹介並びに実際に土砂崩れ現場の実証事例を報告する。

2. 回転翼型飛行体の概要

回転翼型災害探査用無人飛行体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。

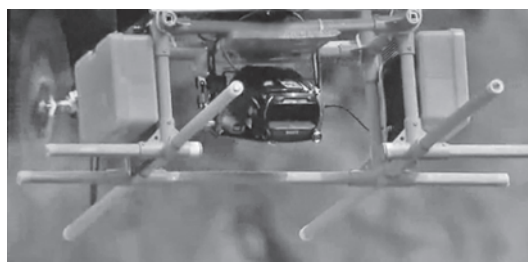
本開発で使用した無人飛行体は、軽量の模型航空機を基本構造に利用し改良を行った。写真-1は回転翼型飛行体(SARA-H)を、表-1は飛行体の仕様を示す。回転翼型飛行体の代表例であるヘリコプタはホ



写真-1 回転翼型無人飛行体(SARA-H)

表一 1 無人飛行体の仕様

項目	回転翼型
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



写真一 2 無人飛行体に搭載した録画及び操縦用カメラ

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。なお, SARA-V を無人飛行体(SARA-H)に搭載した場合, システム全体の型式は, SARA-HV と表記することとする。

バリングが可能であるため、離発着用の用地が無い場合や定点での探査活動が必要な場合に向いている。

無人飛行体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。

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。無人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。表一 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、表一 2 の小型カメラ（小型ハイビジョン 3D ビデオカメラ）を機体下部に写真一 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 1.2 GHz 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 1 km の探査範囲を確保する事が可能である。

この探査用カメラ（SARA-V）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、

表一 2 無人飛行体に搭載したカメラの仕様

	カメラ
操縦・探査用	1920 万画素小型ハイビジョンビデオ 3 次元立体視 (3D) カメラ

4. GPS 信号制御による目視外飛行試験

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。写真一 3 は、無人飛行体が飛行している様子を、写真一 4 には地上操縦者が使うモニタの様子を示す。写真一 4 から、1 台のモニタで操縦用カメラと探査用カメラと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雲台の画角を動かすことができ、その他の場合は無人飛行体に搭載したジャイロセンサと同期して、雲台の姿勢を保つようにしてある。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。



写真一 3 無人飛行体 (SARA-H) の飛行状況



写真一 4 地上で操縦者が利用するモニタ



写真-5 GPS信号によりホバリングしている様子



写真-7 被災地での運用

写真-5はGPS信号によりホバリングしている様子を示す。探査場所に無人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。

5. 災害探査用飛行体による被災地での上空撮影

本稿では、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。

写真-6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に比べて無人飛行体からの画像が、より多くの情報を得られるかを検証することとした。

撮影状況は、被災状況を把握するために、無人飛行体(SARA-HV)に表-2に示されたカメラを機体下部に設置し(写真-2参照)運用を行った。写真-7は被災地での本システム時の運用状況と飛行体の運行状況を示す。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。ポータブルテレビは、無人飛行体を操縦する



写真-6 地上カメラで撮影した災害状況

者の横に置いた。広域自然災害事故で、実際に目視外飛行を行った。操縦者はポータブルテレビ画面を見ながら無人飛行体を操縦し、被災状況を確認したい箇所へ無人飛行体を移動させることが可能である。カメラのズームレンズを操作することも可能なので、その都度無人飛行体を任意の場所に移動させて災害状況の必要な情報を得た。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無人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、小型の電動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。

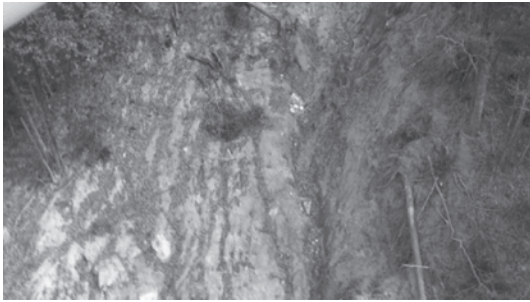
写真-8から写真-12は電動の無人飛行体(SARA-H)を用いた、カメラ(SARA-V)運用時の



写真-8 無人飛行体が撮影した災害状況写真



写真-9 約150m高度からの災害現場空撮



写真一10 約50m高度からの災害現場空撮



写真一11 約5m高度からの災害現場空撮



写真一12 約3m高度からの災害現場空撮



写真一13 以前のブレが目立つ録画写真

可視化画像の結果を示す。写真一13は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を示す⁵⁾。今回の可視化結果(写真一8参照)と写真一13を比較すると、格段に写真一8は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。今回使用した無人飛行体は、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、無人飛行体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。

6. 今後の研究課題と最新開発例

(1) ロボット搬送用の飛行体開発例

今回発表した無人飛行体には、十分な積載能力がある。詳細な積載能力については別途の論文にて発表するが、地上で活躍が期待される二足歩行ロボットの空輸を試みた。写真一14は、回転翼型無人飛行体(SARA-HV)が二足歩行ロボット(CALI-BO)を空輸している状態を示す。小型カメラを設置した架台部分に、二足歩行ロボットを格納する大型架台を取り付けた。この架台には二足歩行ロボットが空輸中に落下しないように、各種機構を搭載している。二足歩行ロボットは、開発した小型電動無線操縦式である。この二足歩行ロボットの概略を表一3に示す。写真一15では、地上に降りた二足歩行ロボットが鳥の死骸サンプルを回収している。サンプル回収後、二足歩行ロボットは、無線操縦により、SARA-HVに帰還し、再度空輸されてくる。詳細は別途の論文にて報告する。



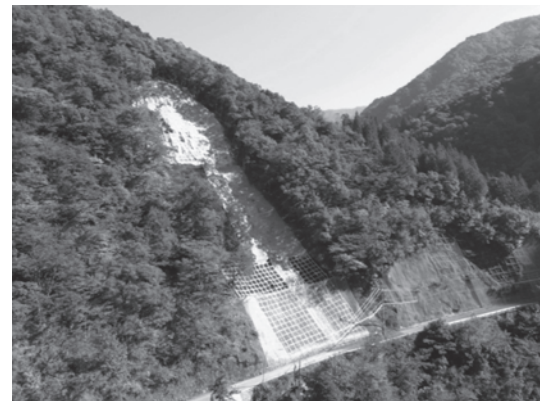
写真一14 二足歩行ロボット(CALI-BO)を空輸している無人飛行体(SARA-HV)

表一3 空輸した二足歩行ロボットの概要

名称	CALI-BO Version2-001
メーカー	キャリオ技研(株)
全長×全幅×高(mm)	130×200×450
質量(g)	約2000
他仕様	リチウム電池駆動(約20分) 2.4GHZ無線操縦式 無線カメラ内蔵
用途例	サンプル回収(500g以内の死骸等)



写真—15 地上に降りた二足歩行ロボット (CALI-BO) (NHK 放送分⁶⁾)



写真—17 無人飛行体 (SARA-XV) が空撮した法面完成工事全景写真

(2) 無人監視用ロボットとしての開発例

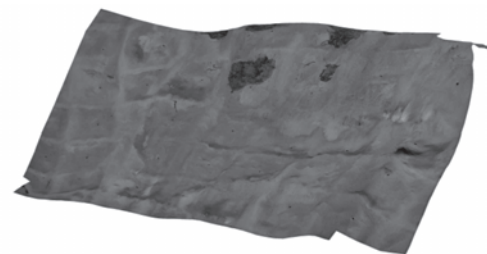
今回発表した無人飛行体 (SARA-H) は、飛行速度が速いので、目的とする探査定点に素早く移動し、その地点での画像取得を主な用途として開発している。しかし、機体のサイズが大きく、狭所での運用には適さない。狭所を飛行し、上空からの監視用としては、多軸回転翼型無人飛行体の方が、機構が簡易で軽量である。各ロータ径が小さいので、ロータの周りをバンパーで囲うことができるので、壁などに接触した場合



写真—18 無人飛行体 (SARA-XV) が空撮した法面工事の接近写真



写真—16 多軸回転翼型無人飛行体 (SARA-X)



写真—19 空撮した法面の3次元画像処理

表—4 多軸回転翼型無人飛行体の仕様

名称	SARA-X
全長×全幅×高 (mm)	670 × 670 × 450
質量 (g)	約 2700
動力	ブラシレス DC モータ
飛行時間 (min)	20
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)	300
翼弦長 (mm)	25
翼 (6枚分) 面積 (mm ²)	4.5 × 10 ⁴
翼面 (6枚分) 荷重 (N/mm ²)	5.88 × 10 ⁻⁴
翼弦 Re 数	3.3 × 10 ⁴
飛行速度 (m/s)	9.2

でもロータを破損することがないことも、長所である。そこで、狭所用無人飛行体として、写真—16に示す多軸回転翼型無人飛行体 (SARA-X) を開発し、探査用カメラ (SARA-V) を搭載して、遠隔から法面工事状況の画像取得を試みた。無人飛行体 (SARA-XV) の概略を表—4に示した。写真—17では、SARA-XVが法面工事現場を俯瞰して撮影している。写真—18では、SARA-XVで法面工事現場 (写真—17左上部分の山肌と工事面との境界部分付近) に最接近して空撮をした。安定したホバーリングと制振技術により、振れの少ない高画質な画像を取得することに成功した。写真—19では、空撮した写真から簡単な3次元画像処理を施し、立体的な画像にした。



写真一20 消火ボールを積載した無人飛行体 (SARA-XVF)

(3) 火災時に活躍が期待される飛行ロボットの開発例

探査用の無人飛行体に、消火用液剤が入った球体(消火ボール)を搭載し、火災現場上空から消火ボールを投下し鎮火する実証を試みた。写真一20に示すように、多軸回転翼型無人飛行体中央下部に消火ボールを積載できるユニットを搭載した(SARA-XVF)。このユニットは、遠隔操作によりサーボモータを回転させて、開口部分が下側を向き、消火ボールを落下する仕組みになっている。

写真一21は高度約10mから直径100mmの消火ボールを落下させ(上図)、地上の火災を消火する様子(下図)を示す。無人飛行体をGPS信号でホバリングさせて、真下を見ることができる無線カメラ(SARA-V)からの画像で狙いをつけて、火元に命中させて鎮火するのである。



写真一21 無人飛行体(SARA-XVF)が投下した(上図)消火ボールが鎮火する様子(下図)



写真一22 亜炭鉱内(地下)で安定飛行した無人飛行体(SARA-XVU)



写真一23 亜炭鉱内(地下)で無人飛行体(SARA-XVU)による録画例

(4) GPS信号が無い状況で活躍が期待される探査用無人飛行体の開発例

GPSが無い環境下で無人飛行体を安定して飛行させる実証を試みた。写真一22に示すように、地下約5m以下に掘られた亜炭鉱内は高さ1500mm程度の地下洞窟で、GPS信号は受信不可能である。そこで、小型高性能高度センサを取り付けた地下探査用多軸回転翼型無人飛行体(SARA-XVU)を開発し、亜炭鉱内での建設作業現場状況の画像取得を試みた。写真一23は、SARA-XVUに搭載した高性能デジタルビデオカメラが録画した動画の1場面である。詳細な報告は別途論文で発表する予定だが、ブレのない鮮明な画像を取得することに成功した。

(5) 今後の課題

以下に、今後の課題を示す。

- ①飛行時間を1時間程度にすること
- ②探査地点で着地し、遠隔地上作業を行うこと
- ③無人飛行体へ非接触式自動充電を行うこと

④ 3次元画像処理データを3次元CADデータに変換すること

飛行時間を長時間にすることで、探査活動能力が向上することが期待できる。ただし、現在使用しているリチウムイオン電池を多く積むと機体重量が増して飛ぶことができなくなる。よってより電気密度の高い電池の開発が望まれる。

探査地点で着陸することで、例えば遠隔から地滑り感知センサを設置し、リモートセンシングができるようになり、人力での工事が省ける。

非接触式自動充電を行うことで、自動発着が可能となり、運行の自動化に大きく役立つ。

上空からの画像を3次元CADデータに変換することで、建設工事の設計計画に役立てることができる。

7. おわりに

本研究では、災害時探査用途を目指した災害時探査用回転翼型無人飛行体の飛行システムの研究開発を行い、実際に自然災害事故現場での実証事例を報告した。その結果を以下に示す。

電動の回転翼型無人飛行体のホバリング試験から、GPS信号による位置及び姿勢制御に成功した。

本システムでは、カメラ画像を無人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。

多軸回転翼型無人飛行体による高画質画像取得と飛行安定化についても成功した。無人飛行体の運航場所や用途に合わせた無人飛行体開発例についても報告をした。

JCMA

《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) NHK おはよう日本, 「ポスト自動車, 進むロボット開発」, NHK, 6:20, 2011.11.28

【筆者紹介】

富田 茂 (とみた しげる)
キャリオ技研㈱

