

# 災害監視における小型無人機システムの活用

和田 昭 久

近年、大規模災害時における初期状況の迅速な把握について関心が高まっており、人が近づきにくい現場に対する空中からの情報収集の重要性も指摘されている。そのような用途に対応して小型無人機による災害現场上空からの状況監視が可能なシステムを開発した。翼長 1.9 m、質量約 3 kg の小型無人機は現場への展開が容易であり、かつ可視カメラ／赤外カメラを搭載していることから夜間等低視野時の監視にも活用ができる。また、独自開発の伝送モジュールを搭載することにより、使用者が免許申請をせずに画像とテレメトリ情報との同時伝送を可能とした。今後、本システムが災害現場等での安全かつ迅速な状況把握に貢献できることを期待する。

キーワード：災害監視、小型無人機、画像伝送モジュール

## 1. 小型無人機と近年の災害活動

近年の技術開発の著しい進展に伴い、小型無人機は地震・山林火災など災害監視用途に対しても実用期に入りつつあると言える。例えば、平成 17 年 11 月 10 日には新潟県旧山古志村（現長岡市）において東京大学と三菱電機㈱が共同開発した無人飛行機が映像と画像データを収集する公開実験を行っている<sup>1)</sup>。また、2006 年 2 月には岐阜県の県工業会が総務省消防庁の委託を受けて開発した防災観測機が実用段階に入ったことが報じられている<sup>2)</sup>。

前述のような小型無人機による監視システムの応用としては、地震等による土砂崩れや道路状態の観察、山林火災の状況確認、救難活動、原子力発電所事故等に伴う核汚染地域へ初動時の状況把握などへの活用に期待が高まっている。

平成 16 年 9 月に「武力攻撃事態等における国民の保護のための措置に関する法律」（以下、国民保護法という）が施行された。それに伴い都道府県をはじめとする各自治体においても地域特性を踏まえて、安全確保対象施設（電気、ガス、水道、鉄道、港湾、空港など）の状況把握、周辺住民の避難誘導、安否情報収集といった国民保護計画が策定されている。また、国民保護計画に基づく実働訓練、図上訓練も毎年実施されている。

一例として、平成 17 年 11 月 27 日には内閣官房、福井県、美浜町、敦賀市の主催で「平成 17 年度福井

県国民保護実働訓練」が実施された。当該訓練は都道府県レベルとしては全国初の訓練であり、先の主催 4 機関に加え、自衛隊、警察庁、海上保安庁、地元放送局、関西電力㈱など 100 以上の機関から約 1,300 人が参加する大規模なものであった。初動対応のための最初期情報の収集システムについては「災害スケールを把握するため、全体を鳥瞰的に捉えることが必要である」との指摘<sup>3)</sup>もあり、筆者らは小型無人機の試験的運用による有効性検証を行った<sup>4)</sup>。検証は美浜原子力発電所近辺の状況把握のための飛行を行い、結果として関係者からは「危険のある地域を広範囲に、かつ具体的に状況把握するうえで、無人機によるカメラ撮影は有効であった」との評価を得た。

さらに平成 21 年 5 月 21 日には、国土交通省の「大規模自然災害時の初動対応における装備・システムのあり方検討委員会」により災害時装備・システムに関する提言がまとめられた。その中には大規模自然災害時の初動対応の具体的な対策として、被災状況の迅速な把握と監視の一環として、局所的・継続的監視（虫の目）の必要性が謳われている。その提言中では「空中からの「虫の目」情報の収集にあたっては、無人航空機（UAV：Unmanned Aerial Vehicle）による手法が有効である。UAV は立ち入り困難な危険地域においても、局所的かつ継続的な監視に有利な手段であり、災害時以外の様々な調査・観測に対する汎用性も高い<sup>5)</sup>」と述べられている。他方、UAV の実用化に向けては、安全な運用の確立のための技術開発や運用実験が必要

との指摘もされている。

本論文では、まず2章で小型無人機システムが抱えていた開発時の課題を示す。3章ではその課題解決のための技術的な施策の一例を示し、4章ではその施策を行った災害監視用無人機システム（以下、本システムという）について紹介する。最後に5章ではまとめとして運用上の課題と現在の技術開発動向などを踏まえて将来への展望を述べる。

## 2. 小型無人機システムの初期課題

平成17年の実働訓練において実施した小型無人機の有効性検証については以下のような課題が残った。

### ①電波使用上の制約

現在、小型無人機はラジコンの範疇に分類される機材であり、飛行状況の把握や取得した映像・画像の伝送に使用できる無線電波は厳しく制限される。美浜町での実働訓練においては無人機への指令用無線は小型無人機制御用無線局として特定実験局の免許を取得した。この実験局は場所・期間（1週間）限定での使用が許されたものであり、日常的な運用には供し得ないものであった。また、無人機からの情報伝送については映像用として広帯域が必要とされるため、短期間での周波数免許取得は困難であった。そこで映像伝送用の技術基準適合証明取得済みの市販伝送装置を使用した。飛行機の位置、高度、姿勢角等のテレメトリ情報の伝送はできなかった。テレメトリ情報による飛行位置、状況の把握は安全性の確保という観点からは極めて重要である。電波法の制約の範囲内で映像とテレメトリ情報が同時に伝送できるような仕組みを開発することは、小型無人機システムを災害等監視活動に活用するための最重要課題となる。

### ②マルチセンサによる低視界時の運用

美浜においては訓練が早朝（日の出以後）であったこともあり、通常の可視カメラによる監視活動のみを実施した。実際の災害現場においては夜間等の低視野時においても状況把握の必要が生じることは十分想定される。その場合には可視カメラ単一のセンサより、可視カメラと赤外センサというような複数センサの組み合わせによる状況把握が有効である。可視カメラだけでは視認できないような暗夜でも熱源探知が可能な赤外センサであれば目標認識ができる可能性があるからである。

### ③取得情報の配信

小型無人機システムで利用できる電波の到達距離は一般に数kmであり、危険な区域に立ち入らなくても

よい十分な離隔を取りながらも、取得した映像等のセンサ情報をどのように関係者、関係機関に配信するかという仕組み作りが必要である。

美浜での飛行検証時にはFOMA回線を通じて約50km離れた福井県庁に映像を伝送した。このような情報配信インフラを整備することは今後ますます重要となってくる。

以上の他にも飛行安全性の向上、取得画像の高精細化などの課題があるが、それらについては5章に記載する。

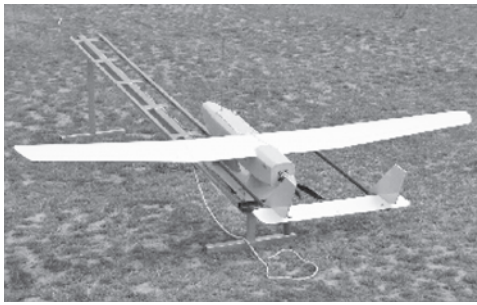
## 3. システム開発時の技術施策

前章で述べた課題に対する本システムでの開発施策について述べる。

まず電波使用上の制約に対しては、取得したセンサ映像の伝送を電波法の制約内で容易に行えるようにするため「特定無線設備」として分類される画像伝送モジュールの独自開発を行った。特定無線設備とは、特定小電力無線局などを含む免許不要局である。当該モジュールについてはメーカー側にて技術基準適合証明を受けることで、ユーザが電波取得申請などの手続きを行うことなく使用できる。送信出力は10mW以下に制限されているため通信距離にはおのずと限界があるが、受信装置側のアンテナ方式の工夫、データの誤り訂正機能の付与などにより通信距離延伸を行っている。また、映像を伝送するだけでなく、映像取得時のテレメトリデータ（無人機の位置、高度、姿勢角等）を多重して同時に送信しているため、取得した映像が地図上のどの辺りの景色に該当するのかということがわかりやすく表示できる。小型無人機に搭載するには小型軽量であることが必須となるが、筆者らは以上の機能を有する画像伝送モジュールを質量約50gで実現しており<sup>6)</sup>、小型無人機からの簡易な画像+テレメトリデータの同期伝送を可能としている。

マルチセンサによる運用については、機体の搭載可能重量（ペイロード）とセンサ質量とが問題となる。小型無人機本体は日本飛行機㈱がフジ・インバック㈱の協力を得て開発したものであり、全備重量3kgに対し約500gのペイロードを有している。機体外観を写真—1に、また主な性能諸元を表—1に示す。

機体規模に対し比較的大きなペイロードを活かして、可視カメラおよび熱源探知が可能な遠赤外線（IR）カメラを並列に搭載し、複数センサによる目標監視を可能とした（マルチセンサ化）。これらのセンサは地上装置からの指令により地上への送信映像を切り替え



写真—1 小型無人機外観

表—1 小型無人機主要諸元

項目	無人機システム諸元
全長／翼長	1290 mm/1900 mm
離陸重量／ペイロード質量	3 kg/500 g
最高速度／最低速度	110 km/h / 40 km/h
飛行時間	約 20 分（標準，飛行距離 10 ～ 30 km 相当）
推進方式	電動モータ駆動（バッテリー使用）
飛行方式	経路プリプログラムによる自動飛行
離着陸	ランチャ式（自動離陸）／パラシュート着地
搭載センサ	可視カメラ／赤外カメラ同時搭載
映像伝送可能距離	約 2 km（見通し，専用アンテナ使用時）
映像伝送周波数	2 GHz 帯（技術基準適合証明取得済み。電波申請不要）
その他機能	定点旋回監視機能，位置座標標定機能

る機能を有している。IR カメラは低温を暗く，高温の箇所を明るく映像化することができるため，マルチセンサ化により，例えば山林火災の消火活動において燃え残り（熾き火）が残っていないかが IR カメラにより探知可能となり，同時に現場付近の状況を通常のカメラ映像により監視するなどといった用途に有効だ

と考えられる。

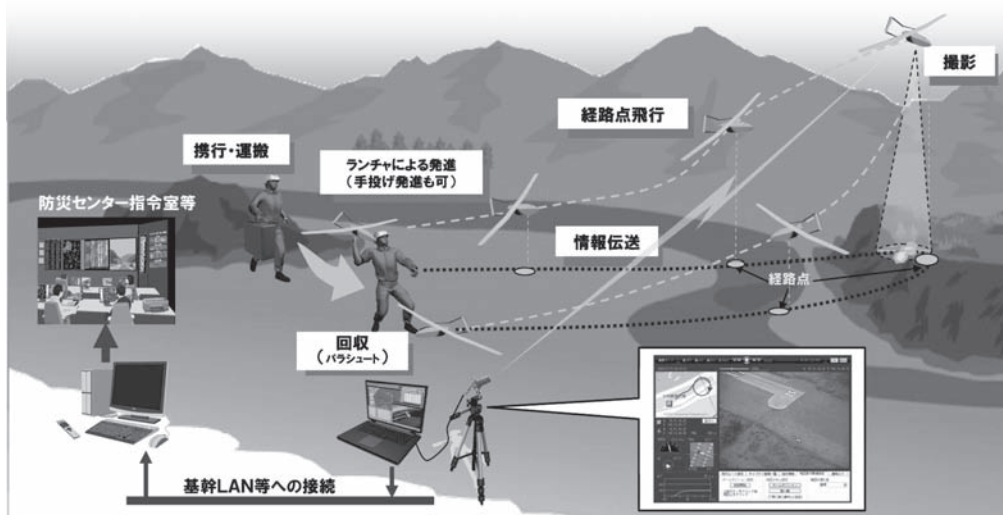
小型無人機で取得した映像等の情報を，現地の作業者だけでなく，関係諸機関にいかに関開するかということは重要な課題である。このような情報展開のための回線として衛星回線による小型無人機との直接通信という案もあるが，小型無人機に搭載できるアンテナなど通信機材の制約から映像伝送が可能な衛星回線構築は現時点では困難である。従って一旦地上装置で映像を受信し，そこから必要な機材を使用して携帯電話網，衛星回線，インターネット，専用回線などへ接続することが現実的である。但し，どのような通信回線を使用するかについては，無人機システムの運用者側が決定する事項である。そこで本システムの開発においては回線としてはインターネットのようなネットワークを想定し，本システムと遠隔地にある状況監視用の PC 端末（以下，クライアント PC という）とを接続して動画，静止画，その他の情報を送信できる機能を開発した。また，携帯電話網を対象としての取得映像の配信機能についても試作を行い動作検証を行っている。

#### 4. システムの概要

本章では本システムの運用イメージ，主要機能・性能について述べる。

本システムの運用イメージを図—1 に示す。本システムは小型無人機，地上装置（管制装置，画像受信装置）およびランチャ（質量約 5 kg）から構成される。また地上装置はノート PC 2 台，アンテナ 3 式と送受信機とから成る。写真—2 に地上装置外観を示す。

本システムは災害発生直後の状況把握への活用を想



図—1 システム運用イメージ



写真一2 地上装置（画像受信装置）外観

定している。従って監視対象となる地域近辺までの運搬・携行が容易であり、展開・組み立ても迅速に行えることが求められる。そのため機体は本体、主翼両翼および尾翼部の4部品に分解して容易に運搬できる。また、本システムは2～3名の人員により30～40分程度で収納状態からの展開が実現可能な構成となっている。尚、監視範囲が決まっている場合にはあらかじめ地上装置などを現地に設置しておくことにより、上記の展開時間はさらに短縮することができる。

発進にはバンジーランチャを使用し安定した離陸を可能としている。また、山腹からの発進等ランチャ設置が困難な場合には手投げによる発進も可能である。小型の無人機の場合、耐風性が課題となるが、本機は風速5～7 m/s程度、上空最大風速では10 m/s以上(推定)での飛行実績がある。

飛行計画の入力は事前に地上装置のパソコン上で経路点(ウェイポイント)を設定することにより行う。小型無人機はGPS、ジャイロなどを一体化した独自の制御モジュールを搭載しており、発進後は自己位置を認識し、経路点に沿った自動飛行を行う。

また、重点的に監視したい目標に対してはその地点を中心とした旋回飛行を行い機体側面に搭載したカメラで継続的に目標を捕捉することができる。経路点に沿った飛行から旋回飛行へのモード変更は飛行中に地上装置からの指令により切り替えを行う。

取得した映像および無人機のテレメトリ情報は前述の画像伝送モジュールにより伝送され地上装置に表示される。送信電力が10 mWに制約されているが、圧縮による狭帯域化、誤り訂正符号の付与、受信側アンテナのダイバーシティ方式の採用などにより、低指向性アンテナでも2 km以上の伝送距離を実現している。

システムの操作者は地上装置の表示画面の地図上

(写真一3, 左上)で、小型無人機の飛行位置を常時把握しながら同時に無人機からの映像(写真一3, 右)を監視・記録するとともに、静止画として切り出すことができる。



写真一3 情報表示画面

また、画像データにテレメトリデータが同期しているため、取得した画像上に撮影されている目標位置(緯度、経度)をその時の無人機位置、高度、姿勢角から算出できる(位置座標標定機能)。実験により得られた位置算出精度は約50 m (1 $\sigma$ )程度であった。さらに取得画像(または映像)と撮影時刻、目標位置とをネットワークを介して前述の遠隔地にあるクライアントPCに送信することができる。これら一連の機能は、災害現場の状況把握と情報の配信、例えば河川監視において土砂ダム発見時の位置通報などに有効であると考えている。

尚、当該画像伝送モジュールは周波数、送信出力の変更が可能な構成となっており、電波申請により専用周波数の取得ができれば、データの伝送距離を数倍に延伸することができる。

飛行終了後は地上からの開傘命令によりパラシュートを開いて降下することにより、操縦スキルを必要としない着地・回収が可能である。また、パラシュートは降下速度が遅いため比較的 안전한回収方法であると言える。安全対策として不測の事態により経路を大きく逸脱した場合にはパラシュートを開き着地するような設定を行うこともできる。

## 5. 課題と将来展望

以上述べたように災害監視を目的とした小型無人機システムの開発を行ったが、本章では本システムの課題と将来展望とについて述べる。

本システムの最大の課題は運用範囲（飛行区域）の拡大と考えている。現時点での本システムの運用範囲は、無人もしくは過疎地域上空での飛行を前提としている。また、使用部品などもラジコン用のものを使用している箇所があるため、人家が多い市街地での飛行については、安全面の観点から通常は避けるべきだと考えている。

他方、消防活動などにおいては市街地での運用についても高いニーズがある。そのためには市街地などが密集している地域上空においても安全に飛行させる無人機の開発が必要となる。現在、宇宙航空研究開発機構（JAXA）において市街地上空の飛行までを視野に入れた無人機の開発を計画<sup>7)</sup>しており、安全性を高めるための様々な新規技術について今後の展開に期待したい。

また、本システムのような小型無人機の利用にあたっては、製造者、運用者ともに安全を守るために遵守すべきルール作りも重要となる。現在、日本産業用無人航空機（JUAV）協会<sup>8)</sup>において、小型無人機を対象とした安全のための基準策定に取り組んでいる。同協会は、平成16年に「無人航空機に関する技術の発展とその安全かつ健全な利用を促進する」ことを目的として設立され、正会員15法人、賛助会員6法人（2009年2月現在）が参加している。現在までに、無人回転翼機および固定翼機の無人地帯用について産業用無人航空機安全基準を策定し、より小型の無人機に関する安全基準策定についても検討中である。安全基準の策定に当たっては、設計に関わる事項に加え、保守・点検、操縦者認定、運用、顧客管理、悪用防止といった幅広い視点での要件について検討を行っている。本システムのような小型無人機の運用においては製造者、運用者が共に安全に関する意識を共有し、不測の事態を招かないようにすることが大切である。

前述のような技術開発が進み、安全ルールが確立されることにより、本システムのような小型の無人機システムは活躍の場が一層広がっていくことが予想される。さらにこれから実用化されていく技術としては、無人機の協調制御技術があげられる。この技術は無人

機単独の運用ではなく、複数の無人機あるいは無人機と無人車両による連携作業を行うことを目的とするものであり、より高度な災害復旧作業などへの対応が期待できる。すでに米国においては無人機と無人車との空地連携による協調作業についての研究・実験が行われている<sup>9)</sup>。例えば複数の無人機／無人車両の協調による監視エリアの効率的な拡大は、地震などにより道路が寸断された場合の緊急車両のための迂回路探索の効率を上げることができると考えられる。また、被災地での搜索活動において、大域的な搜索を無人機が行い重点箇所を特定した後に無人車両が狭域かつ詳細な搜索を行うというような応用も検討されている<sup>10)</sup>。

以上述べてきたように小型無人機は、災害監視目的をはじめとして、新たな技術開発、運用ルールの浸透とともに今後様々な用途への活用が期待できるシステムであると考えられる。

JICMA

#### 《参考文献》

- 1) 日本経済新聞 2005年11月11日刊
- 2) 朝日新聞（岐阜県版）2006年2月8日刊
- 3) 大規模災害時対応の決め手は情報収集と初動活動—西川一誠福井県知事の講義から—、近代消防'05年11月号 p23-27
- 4) 和田：小型無人機の防災活用 航空宇宙学会誌 54巻 625号 2006年2月5日発行
- 5) 国土交通省：大規模自然災害時の初動対応における装備・システムのあり方検討委員会：大規模自然災害時の初動対応における装備・システムのあり方（提言）H21年5月21日
- 6) 荒井、山下、仲森：小型無人機搭載用データリンクモジュールの開発、08'第46回飛行機シンポジウム論文集
- 7) 佐々、松田、中館、石川（JAXA）：災害監視無人機システムの検討、06'第44回飛行機シンポジウム論文集
- 8) 日本産業用無人航空機協会 <http://www.juav.org/>
- 9) B.Grocholsky et al.: Cooperative Air and Ground Surveillance, IEEE Robotics and Automation Magazine, Volume13, Issue 3, September 2006, pages 16-25.
- 10) O. Amidi et al.: Integrated Air/Ground Vehicle System for Semi-Autonomous Off-Road Navigation, AUVSI Symposium, July 9-11, 2002

#### 【筆者紹介】

和田 昭久（わだ あきひさ）  
日本電気㈱  
誘導光電事業部 ISR システム部  
シニアエキスパート、工学博士

