

CIMスピンオフ 小型無人機ドローンの活用事例と今後の可能性

山本 和久¹・足立 憲悟²

¹土木交通部 監理課

²土木交通部 監理課

滋賀県土木交通部監理課では、CIM（Construction Information Management）事業の一環として、公共事業の「見える化」に対する小型無人機（ドローン）の有効性を検証するために、2015年7月にドローンを先行導入した。

本稿においては、導入したドローンの概要と活用事例について紹介し、今後の可能性および課題について考察を加える。

キーワード ドローン、CIM、ロボット技術

1. はじめに

公共インフラの分野においては、老朽化の進行、災害リスクの高まり、人口減少、少子高齢化による人材不足等の問題が山積する中で、災害対策や維持管理をはじめとする分野において、生産性向上に向けた革新的な技術開発が急務となっている。

2013年7月には、国土交通省と経済産業省の連携のもとで「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入検討会」が立ち上げられ、新技術の導入に向けた産学官の連携した取組が進められている。その中でも、ドローンを活用した調査技術については、すでに実用化されており、2014年8月発生の広島土砂災害現場や2015年9月発生の関東・東北豪雨おける鬼怒川の堤防決壊状況等、災害時に人が近づけない危険箇所における調査、情報収集手段としての有効性が実証されている。

2. ドローンの概要

(1) ドローンとは

ドローンとは、一般的に遠隔操作や自動制御によって飛行できる無人航空機として定義されている。元々は、アメリカにおいて、無人攻撃機や偵察機等の軍事目的での技術開発が進められていたが、近年では、GPSや加速度センサーをはじめとしたIT技術の急速な発展を背景に、機体の高機能化、小型化および低価格化が進み、広く一般に普及し始めている。一方で落下事案が発生する等、その安全性やプライバシー等の課題に対応するため、

運用ルールの策定が進められている。

ドローンを機体形状により分類すると、飛行機の形状をした「固定翼タイプ」とヘリコプターのようなプロペラを有している「回転翼タイプ」に分けられる。

「固定翼タイプ」は、大型の無人機として、主に軍事用等に利用されている。一方で、「回転翼タイプ」は、回転動力がひとつの「シングルロータ」と回転動力が複数（3つ以上）ある「マルチコプター」に分類される。シングルロータは、一般的なヘリコプター型の機種を指し、一方のマルチコプターは、複数ロータ（回転軸）の回転数の差により機体を制御する仕組みであり、その高い操作性と安定性から、空撮をはじめ、宅配や施設警備等の幅広い分野での利用が期待されている。（図-1）

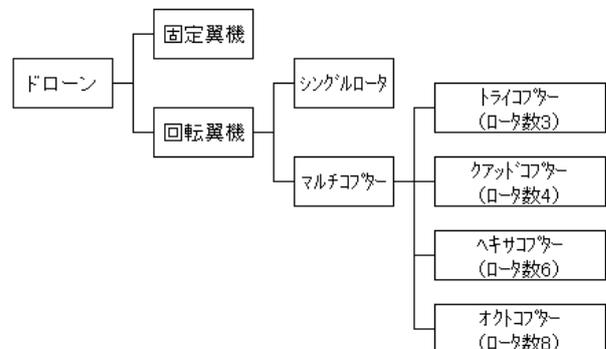


図-1 ドローン分類図

(2) 導入目的と経緯

近年の災害現場やインフラ点検におけるドローンの活用事例に着目し、CIM事業と連携した活用を検討した結果、公共事業の「見える化」への効果が期待されると判断した。そこで、監理課においてドローンを先行導入し、その活用性と効果について検証を行った。

(3) 機種選定

比較的汎用性の高い機種の中から、カメラ性能と操作性に着目して選定を行った。

まず、ドローンに付属するカメラは、基本的にズーム機能が搭載されていないため、写真データから必要な部分をトリミングして拡大したり、A1 サイズ等の大判印刷での利用を想定すると、1,000 万画素程度の高解像度カメラが必要であると判断した。また、操作性については、県職員が機体操作を行うため、特別な訓練等を必要とせず、誰でも簡単に安定した飛行が可能であるような高い操作性を有していることを選定条件とした。

(4) 導入機種の概要

本県で導入したドローンは、DJI 社製の「INSPIRE1」という機種であり、クアッドコプター型のドローンである。(表-1)

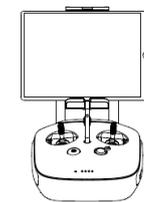
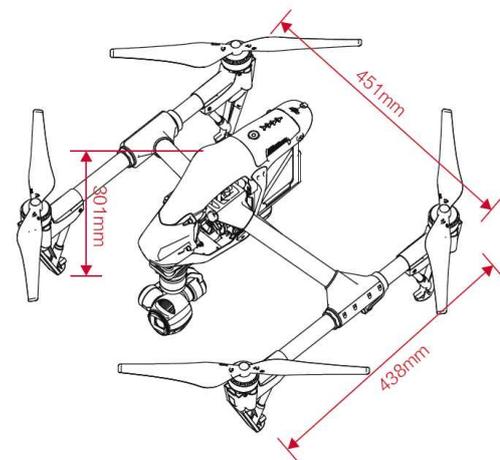
本機種は、機体本体とプロポ（送信機）2 台で構成されており、付属物として、タブレット端末（プロポ接続用）2 台、付属カメラ、バッテリー3 個（予備 2 個を含む）等がある。(図-2)

カメラについては、高性能な 4K ビデオ撮影と 1200 万画素の写真撮影機能を有している。また、プロポにタブレット端末を接続することにより、カメラ映像を手元の操作画面で確認できるほか、機体の位置、速度、バッテリー残量等の機体情報を画面上に表示させることも可能である。

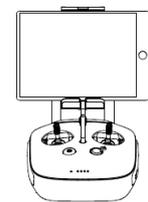
操作性に関する大きな特徴は、機体制御用プロポ（送信機）とカメラ制御用プロポが分かれており、機体制御とカメラ操作を別々の人間が操作できる点である。機体操作とカメラ操作を同時に行う必要がないため、操作ミスリスクが低く、安定した機体操作を実現できる。さらに、自動離着陸機能や GPS による位置情報とジャイロセンサーによる姿勢制御機能を活用したホバリング機能等が充実しているため、初心者でも特別な訓練等を行うことなく、容易に操作が可能である。

表-1 機体緒元

製品名称	DJI INSPIRE 1
本体寸法と重量	438 mm x 451 mm x 301 mm 2,935 g (バッテリー含む)
速度	最高速度: 22 m/s (79.2 km/h) 上昇速度: 最大 5 m/s (18 km/h) 下降速度: 最大 4 m/s (14.4 km/h)
最高高度	4,500 m
風速抵抗	最大 10 m/s
フライト時間	1 バッテリーで約 12 分 (バッテリー容量の 2/3 までとした場合)
カメラ	12.4 メガピクセル 静止画: 4,000 x 3,000 JPEG 動画: 最大 4,096 x 2,160p (4K) MP4, MOV
リモートコントローラー	伝送距離 2,000m 2 台所有 (機体制御用とカメラ制御用)
DJI Pilot アプリ動作環境	iOS 8.0 以降 Android 4.1.2 以降



機体制御用プロポ



カメラ操作用プロポ

図-2 ドローン本体とプロポ¹⁾

3. 運用ガイドライン（案）について

ドローンの運用にあたっては、改正航空法を考慮した独自の運用体制および運用ルールを定めたガイドライン（案）を策定した。

(1) 運用体制

「機体制御者」、「カメラ制御者」および「機体監視者」の計3人体制とした。監理課担当者が機体の操縦を行う「機体制御者」、現場担当者がカメラ操作を行う「カメラ制御者」として役割分担を行うほか、機体周囲に存在する支障物や着陸に適した場所等の情報提供を行う役割として「機体監視者」を配置する。現場担当者からの要請に合わせて、監理課担当者が撮影希望箇所まで機体を操縦し、カメラアングルや撮影範囲の設定を現場担当者が行うことで、現場のニーズに合わせた効率的な撮影を行えるとともに、機体監視者からの客観的な指示により、安全性を確保した飛行が可能である。

(2) 運用ルール

a) 改正航空法の概要

ドローンを含めた小型無人機の急速な普及とともに、落下事案等の事故が発生していることを受けて、2015年9月に航空法の一部が改正され、2015年12月10日より、新たな運用ルールが導入される予定である。その概要は下記の通り。²⁾

(1) 無人航空機の飛行にあたり許可を必要とする空域

以下の空域においては、国土交通大臣の許可を受けなければ、無人航空機を飛行させてはならないこととする。

航空機の航行の安全に影響を及ぼすおそれのある空域

- ・空港等の周辺の空域
- ・地表又は水面から150m以上の高さの空域
- ・人又は家屋の密集している地域の上空
- ・平成22年国勢調査の結果による人口集中地区の上空

(2) 無人航空機の飛行の方法

無人航空機を飛行させる際は、国土交通大臣の承認を受けた場合を除いて、以下の方法により飛行させなければならないこととする。

- ・日中（日出から日没まで）に飛行させること
- ・目視（直接肉眼による）範囲内で無人航空機とその周囲を常時監視して飛行させること
- ・人（第三者）又は物件（第三者の建物、自動車など）との間に30m以上の距離を保って飛行させること
- ・祭礼、緑日など多数の人が集まる催しの上空で飛行させないこと
- ・爆発物など危険物を輸送しないこと
- ・無人航空機から物を投下しないこと

(3) その他

- ・事故や災害時の公共機関等による捜索・救助等の場合は、(1)、(2)を適用除外とする。
- ・(1)、(2)に違反した場合には、50万以下の罰金を科す。

b) 運用ガイドライン（案）

本県での運用にあたっては、前述の改正航空法を遵守するとともに、実運用上で必要となる詳細な飛行範囲や飛行方法等について、暫定的な独自ガイドラインを以下の通り定めている。今後は、関係法令や社会の動向、実際の運用実績から得られた知見等を基に改定を加え、利便性と安全性を両立させたガイドラインの策定を目指していきたい。

(1) 飛行範囲

- ・操縦者の目視の範囲（水平距離100m、高度100m程度）
- ・航空法で制限された区域以外
- ・第三者および第三者が所有する施設（架線等を含む）に接近しない範囲（ただし、山林や田畑等で人や車両のない場合はその限りではない）

(2) 飛行条件

- ・雨天時ではないこと
- ・目視の範囲が極めて制限される天候ではないこと
- ・平均風速5m/s程度（軽い旗が開く～紙片が舞い上がる程度）以上が継続している状況ではないこと

(3) その他

- ・バッテリー残量30%以下、もしくは、飛行時間がカタログスペック値の2/3を越えた状況下での飛行は行わない
- ・近隣に家屋等がある場合は、プライバシーに十分な配慮を行う

4. 運用上の留意点

(1) 飛行範囲

飛行範囲については、改正航空法による制限高度等を考慮して、実運用上では機体の向きを目視確認できる範囲（水平距離100m、高度100m程度）での運用を行った。実際に、気象条件や通信環境によって機体からの映像信号がロストした場合などでも、目視で機体を確認して、安全に帰還できることを確認できた。

また、飛行範囲周辺に存在する第三者および第三者が所有する施設（建造物や架線等の支障物）を事前確認の上、十分な離隔を確保した飛行範囲を設定した運用を行った。特に、交通量の多い道路や人家、架線付近を飛行時の接触、墜落による影響は、機体本体だけではなく、第三者被害にもつながる可能性が高いため、特に留意した運用が必要である。

最後に、運用ガイドラインには定めていないが、飛行範囲周辺における鳥類営巣地の有無を事前に確認しておくことも重要である。例えば、2015年10月に高島市マキノ町地先の百瀬川周辺を飛行した際には、高度50m付近を飛行時に、機体周囲にカラスが群がる事象が発生した。その際は、機体の高度を急激に下げることによって衝突を回避できたが、一般的に接近する鳥類の衝突を回避することは困難であると言える。

(2) 飛行条件

飛行条件について最も留意すべき点は、風による影響である。風上から風下方向に飛行を開始した場合には、帰還時に、風に抵抗した飛行をしなければならず、ジャイロセンサーによる水平姿勢維持機能等の影響で、バッテリー消費が通常よりも早いことがわかった。できる限り風下への飛行は避け、やむを得ない場合には、バッテリー残量が 50%程度になったら撮影を終了し、帰還を開始することが望ましい。また、山間部などの地形の起伏が激しい場所等においては、地上付近と上空との風向や風速が大きく異なる場合があり、特に着陸時に支障物への接触や墜落の危険性が高いため留意が必要である。例えば、2015 年 10 月に犬上郡多賀町栗栖地先を飛行した際には、着陸時に局所的な突風により機体が流され、樹木に接触する事象が発生した。本事象は、着陸箇所として 5m×5m 程度のスペースしか確保できなかったことや地上付近の風速と風向の変化に対応できなかったことによる操作ミス等の複合的な要因によるものと考えられる。今後の対策としては、十分な着陸スペース（10m×10m 程度）の確保を行うとともに、機体監視者と機体制御者との意思疎通を密に行うことで、危険予知から危険回避へとスムーズな機体操作を行える体制を整えることが重要である。

5. 活用事例とその応用

(1) 公共事業現場の「見える化」

a) 計画設計段階

事業計画範囲の現況地形に対して、高解像度カメラによる空撮を実施することで、従来の航空写真や地形図と比較して、より詳細かつ鮮明な画像や動画を入手することが可能となる。その結果、全体像把握や制約条件の洗出しが容易になることで、円滑な関係機関協議から早期の合意形成へとつながると考えられる。

b) 実施段階

事業着手前および進捗に合わせた定期的な空撮を行うことにより、施工段階ごとの事業経過を記録し、データを蓄積することが可能となる。また竣工時は、撮影データを時系列で比較することにより、事業効果の発現状況や土木構造物の施工過程を誰もが一目で確認することができるため、進捗状況の把握のみならず、対外的な情報発信資料としても有効である。

例えば、写真-1 は、2015 年 10 月撮影の東近江市萱尾町地先における国道 421 号道路改良工事現場である。事業の全体像と進捗状況の把握、今後の事業計画の検討資料として有効に活用できると考えられる。

(2) 被災現場の「見える化」

災害時においては、浸水や土砂崩れ等により人が立ち入り困難な現場も少なくない。そのような場合、現場状況の把握が遅れ、二次被害につながる危険性がある。そこで、遠隔操作により安全かつ迅速に現場へ接近できるドローンを活用することにより、災害時の現場確認から復旧に向けた迅速かつ的確な対応につながる。

例えば、写真-2 は、2015 年 9 月撮影の高島市マキノ町地先における県道西浅井マキノ線脇の道路路面崩落現場である。2015 年 7 月の台風 11 号による法面崩落状況の全体像を、短時間に正確かつ安全に把握することが可能となるとともに、定期的な空撮により、被害箇所のモニタリングから本復旧への優先順位の策定にも活用できると考えられる。



写真-1 国道 421 号 道路改良工事現場
(東近江市萱尾町地先)



写真-2 県道西浅井マキノ線 道路路面崩落現場
(高島市マキノ町地先)

6. 今後の可能性と課題

ドローンの活用手法としては、空撮による写真や映像の入手だけではなく、既存技術の効率化や省力化を目的とした「代替ツール」としての活用も期待されている。以下にその一例を示す。

(1) 写真測量への活用

建設工事現場における進捗状況や出来形管理においては、TS による地上測量が一般的であるが、特に大規模な現場においては、測量作業からデータ処理までに時間やコストがかかる点が大きな課題となっていた。

それに対して、ドローンを利用して、現場上空から地上に設置した基準点と現況地形を空撮することにより、3次元の点群データを短時間に安全かつ簡単に入手することが可能である。そのデータを活用して、3次元モデルを作成することで、CIM 事業と連携した取り組みにもつながると考えられる。そのためには、発注者側においても3次元CAD技術の習得や新たな事業実施ガイドラインの整備等を行う必要があり、CIM 事業と合わせた実績を積み重ねていくことが重要である。

例えば、図-3は、東近江市きぬがさ町地先の県道大津能登川長浜線道路改良工事現場における撮影データ16枚を基に、3次元モデル（点群）を作成したものである。具体的には、Autodesk社のPhoto on ReCap360を用いて、各写真の撮影角度と重複範囲を考慮したデータ処理を行い、3次元化している。上記データをCADに取り組みれば、距離の計測や断面図の作成に活用したり、3Dプリンタで3次元モデルを製作したりすることも可能である。

(2) 災害時における情報共有ツールとしての活用

災害時においては、被災状況把握のみならず、インターネット等の情報通信技術と組み合わせることで、現場で入手した情報をリアルタイムで共有する情報共有ツールとしての活用が期待できる。従来ならば、現場で撮影した写真等の断片的な情報を対策本部に持ち帰ってから対応策を検討していたが、それでは刻々と変化する現場状況に対して柔軟に対応できない面があった。

そこで、ドローンによる空撮画像や動画を、現場から対策本部へ配信し、リアルタイムで情報共有することで現場条件の変化に応じた手戻りのない災害対応へつながると考えられる。

今後は、災害直後の火災や粉塵、風雨に対する機体性能の向上に期待するとともに、周辺機器との連携方法や運用ルールの検討に取り組んでいくことが必要である。

(3) インフラ点検への活用

橋梁点検は現在、近接目視による点検が原則となっているが、仮設足場や橋梁点検車等を用いた点検では、作

業に時間と手間がかかり、老朽化した大量のインフラに対して効率的な点検を行うのは困難な状況である。

そこで、ドローンによる点検が実用化すれば、搭載カメラ画像をリモート環境でモニタリングすることで、点検に要する人と時間を大幅な削減できるとともに、より安全な点検作業が実現できると期待されている。

そのためには、複雑かつ長大な形状をした橋梁や河川構造物等に対しては、上下左右の空間を正確に認識して、安全に対象物に接近し、撮影を行う機能が必要である。さらに、複数の点検箇所を短時間で効率よく点検を行うためには、詳細な飛行ルートの設定および長時間の連続飛行機能も求められる。しかしながら、現在導入している機体を含めた汎用的なドローンは、高解像度カメラによる遠距離からの撮影は可能だが、衝突回避機能が搭載されていないため、対象物への近接撮影は接触や墜落の危険性が高い。また、バッテリー稼働時間は約20分程度であり、出発点から目標点までの往復の飛行時間、離着陸を考慮すると、実質10～15分程度しか稼働できないなどの課題も多い。

以上より、現在の機体性能を考慮すると、対象物の一連区間について空撮を行い、そのデータを基に詳細な目視点検が必要な箇所をスクリーニングするための基礎資料として活用できると考えられる。

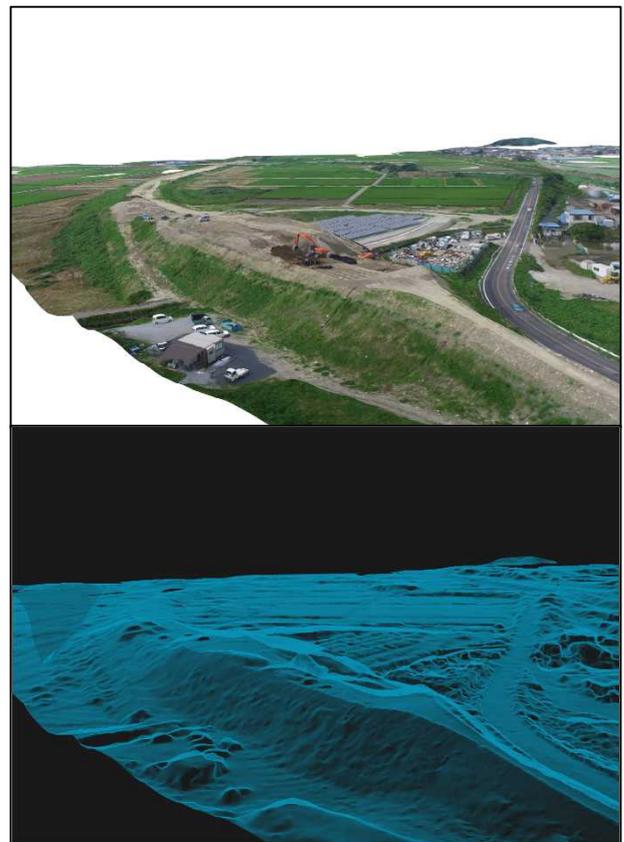


図-3 県道大津能登川長浜線道路改良工事現場の3次元モデル
(上段:テキスト有、下段:テキスト無)

7. おわりに

ドローンの先行導入によって、公共事業分野の「見える化」に対するドローンの有効性と今後の課題を確認できた。また、CIM との連携により、3次元モデルへの応用や情報共有ツールとしての活用についても、可能性を見出せた。今後、各土木事務所へのドローン配備が実現すれば、空撮だけでなく、河川巡視点検や不法占用物件のモニタリング等の日常業務を補助するツールとしての活用も考えられる。

また、ドローンを含めた新技術の導入に向けては、ハード、ソフトの両面でのハードルがあるが、CIM 事業と連携した取り組みにより、検討から導入、活用へとスムーズにつなげることができることがわかった。今後も、新技術導入に向けた取組を継続することで、生産性向上のみならず、新たな土木の魅力の発掘と将来の担い手確保へとつながることを期待したい。

参考文献

- 1) DJI 社製 INSPIRE1 取扱説明書
- 2) 国土交通省HP