

道路災害調査における自動航行 UAV の適用性検討

- 現場試験による位置精度および通信システムの性能評価 -

EXAMINATION OF APPLICABILITY OF AUTOMATED NAVIGATION UAV FOR ROAD DISASTER INVESTIGATION

後藤 裕子*・太田 敬一**・松本 敏***・井上 靖志****
Hiroko GOTO, Keiichi OTA, Satoshi MATSUMOTO and Yasushi INOUE

Road surveys in the event of a disaster require prompt information gathering that contributes to understanding the damage situation and subsequent emergency recovery. If new technology can be introduced to collect information in the event of a disaster and information can be collected promptly, it will be useful for considering subsequent emergency recovery based on the disaster situation. Therefore, we focused on UAV as one of the new technologies, conducted a UAV flight test on roads in Miyazaki prefecture, and photographed the road and its surroundings, which are linear structures, by automatic navigation. In this study, based on the results, we organized the issues when using UAVs in road surveys in the event of a disaster, and showed future measures.

Keywords : UAV, road survey, understanding the damage situation, emergency recovery

1. 背景と目的

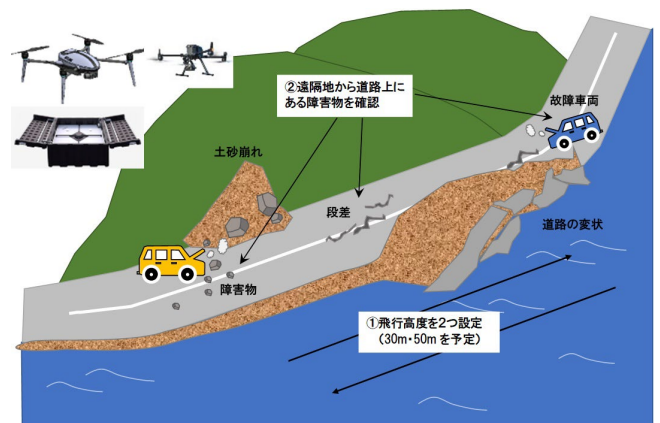
近年、南海トラフ巨大地震や首都直下地震による災害、気候変動の影響による水災害の頻発・激甚化が懸念されており、各分野で防災・減災・応急対策など災害対応に向けた検討が進められている¹⁾。例えば道路分野では、災害発生直後に被災地の迅速な情報収集を行い、被災状況を把握し早期の復旧に向けた応急対策を行うための仕組み作りの検討を進めている²⁾。

被災地の迅速な情報収集を行う際の手段の1つとして、UAVの活用が考えられる。2021年に熱海市で発生した土石流災害では、UAVにより発災直後の様子が撮影され、被災者の救助活動や土砂流出の機構解明等に用いられると共に、それらの映像はインターネットを介し配信された³⁾。この事例のように、UAVは、現地の状況を踏まえた迅速な判断や、その後の応急復旧の検討に役立つと考えられる。

無人航空機であるUAV、通称ドローンは、空撮や測量業務に利用される他、橋梁や道路等の土木インフラ構造物の点検や、物流での利用も進められている⁴⁾。その際、UAVに具備された自動航行の機能を用いることで、予め設定した飛行ルートを自動航行しながら所定の作業を行うことができる。そ

の結果、撮影や点検作業、運搬の自動化が実現する。また、遠隔地から自動航行UAVへ飛行指示を行うことで、災害時の迅速な情報収集を行うことができる。

このようなUAVの利活用に際しては、被災現場まで飛行するために必要な機体性能や、現場上空からリアルタイムで映像を配信するための通信設備を把握し計画する必要がある。また安全に飛行するためには、現行の法規制を踏まえた検討も必要である。本稿では、発災直後の道路状況の迅速な情報収集を行うため、供用中の道路にUAVを自動航行させ、道路およびその周辺状況の視認性と精度について試験した結果を述べる。



図ー1 飛行試験のイメージ図

* コンサルティング事業統括本部 交通運輸事業本部 道路事業部

** コンサルティング事業統括本部 中央研究所 先端研究センター

*** コンサルティング事業統括本部 福岡支店 防災部

**** コンサルティング事業統括本部 港湾・空港事業部 航空部

2. 主要な検討項目と法制度

検討に際し、先ず道路管理における自動航行 UAV を使用した発災直後の道路状況の把握を目的とし、現在の自動航行 UAV の機体性能および通信方法を整理した。次に、迅速な道路状況の把握に求められる自動航行 UAV の性能に照らして現状の課題を述べる。

(1) 道路管理における UAV の利用

地震や豪雨時など発災直後の被災状況を迅速に把握するための「緊急時」の利用を想定し、それらに基づき課題の検討対象項目を抽出した。

今回の実証試験では、宮崎県の海岸線沿いの道路、往復延長約 10km を UAV による飛行ルートに設定し、この区間にある道路構造物や法面、道路の損傷箇所を UAV で撮影、携帯通信の回線を利用し、宮崎河川国道事務所、国土技術総合政策研究所他の遠隔地へ映像をリアルタイム配信した。また、配信した映像から、UAV に搭載したカメラで確認できる撮影対象物の見え具合を把握した。

(2) 本検討で求める要件定義と検討項目の設定

本検討では試験飛行に際し、①道路管理事務所からの遠隔操作により離発着でき、自動航行可能なこと、②安定した飛行が可能なこと、③長距離飛行が可能なこと、④ズーム機能を含む高解像度画像の取得が可能なこと、⑤画像をリアルタイムで配信し遠隔地で視聴可能なこと、以上を要件定義とし、これを実現するための検討項目として、①機体本体の性能、②カメラ、③通信、④法規制について検討した。

1) 機体本体の性能

機体本体の性能について、汎用性や後に記載するドローンポートの利用の他、遠隔操作による自律飛行を行うため、GPS を用いた自動航行の機能を有すること、また、飛行速度

5m/sec で飛行した際に道路延長 10km を移動できるよう、バッテリーにより 30 分以上連続して航行すること、10m/sec 以上の耐風性能を有すること等を踏まえ、本検討では汎用機として DJI 社製の Matrice300RTK⁵⁾とドローンポートから飛行可能な Easy Aerial 社製の Falcon⁶⁾を選定した(表-1)。

2) カメラ

次にカメラについて、小型軽量で UAV に搭載可能なもの、2K や 4K などの解像度の撮影が可能なこと、撮影対象物から離れた位置からズーム撮影ができること等から、20 倍のズーム機能を持つ DJI 社製のカメラ他、合計 4 つのカメラを用いた(表-2)。

3) 通信

通信について、機体を操縦するためのデータの伝送、機体情報の伝送、カメラ映像の伝送に用いる無線通信方式として、Wi-Fi 等で利用されている 2.4GHz 帯および携帯電話用の通信規格である LTE(=Long Term Evolution)通信を用いた。2.4GHz 帯の電波特性として、回り込みには弱い点があり UAV の機体とコントローラーの間に障害物があると、伝送されないことがある。つまり、現状にて 2.4GHz 帯で UAV の機体から遠隔地までの伝送を確保するには、機体と遠隔地の間に複数の中継器を設置する必要があること、その場合、中継器の配置案として、数百メートル毎に置く必要がある。また現時点では、国内利用の前提となる技術適合基準⁷⁾をクリアした UAV 搭載可能な安価な機材が無いため、本検討では

表-2 カメラの選定

カメラ名称/ 機体	外観	解像度 (pixel)
① Sony DSC- QX30U/ AS-MC03-W2		・動画(最大) 1,920×1,080/60fps ・静止画(最大) 5,184×3,456
② DJI ZENMUSE H20/ DJI Matrice300RTK		・動画(最大) 3,840×2,160/30fps ・静止画(最大) 5,184×3,888
③ FLIR Duo/ Falcon		・動画 1,920×1,080 ・静止画 1,920×1,080
④ DJI Phantom4pro		・動画(最大) 4,096×2,160/30fps ・静止画(最大) 5,472×3,648

表-1 飛行試験で使用する機体

機体	Matrice300RTK (DJI)	Falcon (Easy Aerial)
外観		
機体サイズ	(プロペラは除く) 81×67×43cm	(プロペラ込み) 100×100×35cm
重量	2.7kg	3.62 kg
航行時間	最長 55 分	最長 45 分
耐風性能	15m/s	11.1m/s

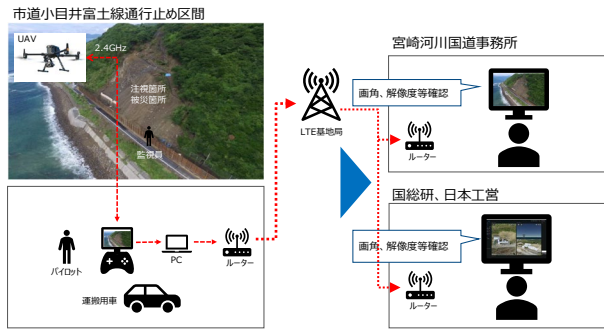


図-2 LTE と一部 2.4GHz 帯を用いる構成

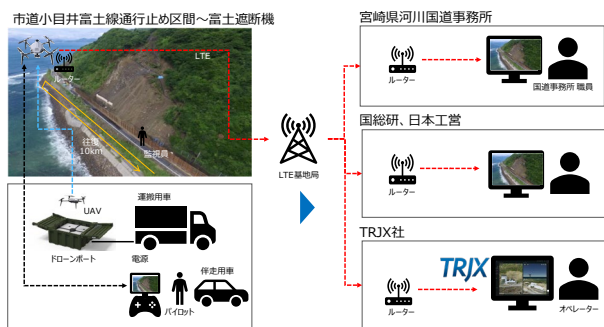


図-3 LTE のみの構成

2.4GHz 帯のみで遠隔地へ伝送するのではなく、LTE 通信と組み合わせて利用することとした（図-2）。

LTE 通信を上空で行うには、通信会社への申請が必要であるが、本検討では、UAVとの無線通信の1つとして、上空での LTE 通信を使った映像伝送を行うため、NTTドコモより上空利用可能な通信携帯端末（シャープ製、SH-01H）と、UAV 用の SIM カードの貸与を受け、これらを UAV に搭載することとした（図-3）。

4) 法規制

法規制について、飛行に際し関連するものとして、航空法⁸⁾、電波法⁹⁾、道路交通法¹⁰⁾などがあり、本検討での飛行ルートの設定に際し関連する機関に対し、飛行申請した。なお本検討では UAV を海上飛行させたため、海上保安庁や海岸、河川を管理する宮崎県土木事務所への申請を行った。また地元の自治体への周知を行った。

3. 日本工営中央研究所における予備飛行試験

先ず、災害発生直後の迅速な状況把握を実現するため、本検討では現地に移動可能なドローンポートを配置することとした。ドローンポートに格納した UAV を遠隔地からリモート操作で離発着可能な仕組みを導入した。

次に安全な飛行を実現するため、①現地で飛行させる前に日本工営敷地内で予備飛行試験を実施し、通信条件やカメラの撮影条件を検討し、②試験飛行の方法と手順について、机上で事前に検討した。③UAV の動作や操縦性について、

各種の確認試験を行った。更に④設定した飛行ルートをコンピューター上でシミュレーションし、UAV が障害物に衝突しないこと、飛行時のカメラの視認性について確認した。

(1) ドローンポートの選定

試験当時において、日本国内で使用可能なドローンポートは表-3 の 2 種類であった。そのため、本検討では可搬性の面を重視し、Easy Aerial 社製のドローンポートを採用した。

(2) 日本工営敷地内での予備飛行試験

現地で飛行させる前に、弊社敷地内において通信やカメラの撮影条件を検討した。

予備飛行試験では、効率的に飛行高度や対象物からの離隔、カメラ向きなどの撮影条件を確認するため、機体はバッテリーの心配が要らない有線ドローンを使用した。撮影対象物は、①落石に見立てたボール、②道路の段差に見立てた段差スロープ、③ひび割れに見立てたクラックスケールを設置した。

予備飛行試験の結果から、ソフトバンク社の 4G-LTE の電波速度は、時間帯による変動はあったものの、約 4Mbps であった。よって 4K 画像を 10fps 程度でリアルタイムに映像配信するには、アップリンク値が約 4Mbps 以上であればスムーズに視聴できることが分かった。

表-3 ドローンポートの選定

項目	Easy Aerial 社	株式会社センシシロボティクス
ドローンポート	EASY GUARD (米国製)	SENSYN DRONE HUB (台湾製)
サイズ (クローズ時)	1.17m(縦)× 1.17m(横)× 0.61m(高さ)	1.89m(縦)× 1.77m(横)× 0.8m(高さ)
重さ	55kg	149kg
電力	100V or 200V	100V～40V AC /16A
動作保証温度	—	-10℃ ～+40℃
防水・防塵性能	耐水・耐雪設計	IP54



図-4 予備飛行試験の実施状況



図-5 シミュレータ画面の例

(3) 3次元シミュレータを用いた検討

自動航行ルートの設定には様々な方法があるが、今回の検討では、AI 管制プラットフォーム「TRJX」のシミュレータ機能を用いて、飛行に問題がないか事前に検討した(図-5)。TRJX は、有人機の航路管理技術を受け継いだアプリケーションであり、飛行ルートのシミュレーションおよび遠隔地の実機体への飛行指示を行うことができるシステムである。なお現在、「TRJX」はまだ開発中であるため、操作には機能制限があり一般販売はされていない。

(4) 離発着場所の設定

航空法では、「人や物件と UAV 間の距離は 30m 以上確保する必要がある¹¹⁾」と示されており、離発着箇所および緊急着陸箇所の設定に際しては、半径 10m のスペースがあることが条件に挙げられている。図化すると図-6 のように示すことができる。

今回、飛行試験を行った海岸線の市道で上記のようなスペースを確保することは困難であったため、市道富士小目井線の通行止め区間に離発着場所を設定した。なお、航空局から、「人や物件と UAV との離隔 30m 以上」の根拠は、「UAV の最高速度 15m/sec (54km/hr)」で、「車を運転中の人が危険を察知してから衝突を回避するまでに必要な最低時間

が 2 秒」の想定 ($15\text{m/sec} \times 2\text{sec} = 30\text{m}$) であることから決められていると回答を得た。今後、最高速度を落とした条件の見直しなどで、離隔の運用条件を緩和できる可能性がある。

(5) 機体の目視

航空法では、「機体を常時目視で確認できること¹²⁾」と示されている。現行の法律では、「目視とは“肉眼”に限られる」と示されており、また「不具合発生時に介入できること」と示されている。現行の法規制では、目視外飛行を行う際には、「飛行経路全体を見渡せる位置に、無人航空機の飛行状況及び周辺の気象状況の変化等を常に監視できる補助者を配置し、補助者は操縦者が安全に飛行できるよう必要な助言を行うこと。」と定められているため、遠隔操作であっても現場には常時目視を行うための補助者が必要となる。

(6) 迅速性と安全性を考慮した飛行計画

事前検討の結果を踏まえ、迅速性と安全性を考慮した飛行計画を策定した。試験飛行は、長距離自動航行試験、被災箇所の視認性の確認試験および通信環境の異なる飛行試験の 3 つに着目し計画した。

長距離自動航行試験(延長約 10km)ではリアルタイムで見る道路状況の映像の質を確認する。被災箇所の視認性の確認試験では、高度の違いによる事前に想定した被災箇所(図-7)の視認性の違いを確認する。通信環境の試験では、LTE 回線もしくは LTE と 2.4GHz 帯を組み合わせた無線通

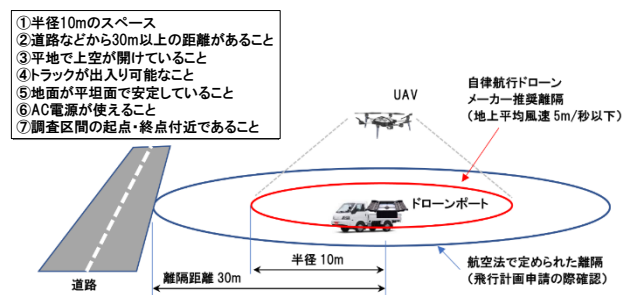


図-6 離発着地点のイメージ



図-7 被災箇所の設定例

信を用いて、自動航行時の映像の配信状況を確認することとした。

(7) 飛行申請や関係機関との協議

本検討では UAV の自動航行に際しては、飛行レベル 2 (目視内、自動・自律飛行)¹³⁾相当の実装とし、UAV を目視するため伴走車を並走させた。その実装に際し、航空局他関係機関へ飛行申請を行い、また国道 220 号を管理する宮崎河川国道事務所、市道富士小目井線を管理する日南市と協議した。本検討では主に海上を飛行する飛行ルートとしたため、海上保安庁などに飛行申請し、海上での落下時の対応等を申請書に記載した。

4. 長距離自動航行試験

(1) 試験概要

DJI 社製の機体を用い、国道 220 号の富士遮断器～市道富士小目井線の通行止めゲート間の片道約 5km を飛行ルートとして自動航行させた。機体は図-8 に示す飛行ルートに沿って自動航行し、その際の撮影映像を配信した。UAV の撮影映像は、機体から 2.4GHz 帯の無線通信の規格を用いてコントローラーに送信し、コントローラーからは LTE 回線を通じて配信した。

(2) 試験飛行

試験飛行に際し、飛行ルート途中の富士橋にて UAV をホバリングさせ、予め設定したクラックスケールを 20 倍のズームカメラで撮影した。また飛行に際し往路は飛行速度 5m/sec、飛行高さ 30m とし、復路は飛行速度 8m/sec、飛行高さ 50m とし、飛行速度と飛行高さの違いを検討することとした。なお飛行高さ 30m は、現行の航空法のルールから設定したもので、飛行速度は日本工営敷地内で実施した予備飛行試験を踏まえ、UAV の航行可能時間から設定した。

(3) 結果及び課題の整理

飛行中のリアルタイム配信は、YouTube を経由し宮崎河川国道事務所、国総研などへ同時配信した(図-9)。LTE 回線の地上での通信速度が 1~2Mbps のエリアでは、配信される映像が乱れる場合があったものの、映像は途切れることなく配信された。富士橋に設定したクラックスケールの 20 倍ズームカメラでの配信は、クラックスケールから 1~2m ずれた富士橋の照明施設の基礎部の様子を配信する結果となった。この試験から、GPS の単独測位を用いた飛行では、位置精度 1~2m の誤差が発生しうることがわかった。

また本試験では道路と UAV の距離の違いにより撮影対象物の視認性が異なることが分かった。図-10 の上図は飛行高度 30m、水平離隔 30m の映像、下図は飛行高度 50m、

水平離隔 200m であるが、下図は上図よりカメラの画角が大きい、道路脇の斜面等の状況を把握できるが、道路構造物や建物の状況は上図より小さく視認しづらい。一方、上図



図-8 長距離自動航行試験の飛行ルート



図-9 宮崎河川国道事務所での配信状況



図-10 道路への近接程度の違いによる視認性
(上: 高度 30m、水平離隔 30m、
下: 高度 50m、水平離隔 200m)

は下図よりも道路に近接するため、道路状況は視認しやすいが、道路周辺の状況は把握しづらい。よってこのような点を踏まえ、飛行計画時には把握したい撮影対象物の詳細度と、撮影範囲を踏まえた設定をする必要があることが分かった。

5. 被災箇所への視認性の確認飛行試験

(1) 試験概要

長距離自動航行試験と同様、DJI 製の UAV を用いて、市道富士小目井線の通行止めゲート間の片道約 1.5km を飛行ルートとして自動航行させ、撮影映像を配信した。映像は、長距離自動航行試験と同様、2.4GHz 帯と LTE 回線を用いて配信した。

(2) 試験飛行

試験飛行に際し、発災直後の道路状況の迅速な情報収集での利用を想定し、3 ケースの飛行方法を設定した。また飛行ルート上に道路上の被災箇所を 5 箇所、法面の注視箇所を 5 箇所設定し、各ケースではこれらの見え方を比較した。ケース 1 では海岸に沿って海上を飛行させ、飛行高さ 30m、飛行速度 5m/sec とした(図-11)。ルート上の被災箇所を 20 倍のズームカメラでホパリングして撮影し、法面等は全体的に撮影するためズームは用いず撮影した。ケース 2 では、ケース 1 の条件から飛行高さ 50m に設定し、撮影した。ケース 3 では、道路直上を高さ 15m で飛行させ、道路上のブロックやクラックを撮影した。

(3) 結果及び課題の整理

ケース 1 と 2 で飛行高さの違いによる道路上のクラックの視認性の違いを確認すると、高度 50m からズームなしでクラックの判別は難しいが、道路の上に落ちている厚み 20cm 程度のブロックは確認可能であった。法面等は、撮影対象が幅 100m 程の規模のため、飛行高さの違いによる明確な差異は見られなかった(図-12)。ケース 1 の道路上のブロックをズームカメラで撮影した場合、長距離自動航行試験で得た課題同様、GPS の位置精度の影響で、事前に設定した撮影箇所から 1~3m 程度ずれた箇所を撮影する場合があった。

ケース 3 の道路直上を飛行させたケースについては、追加で飛行高さ 30m、50m を飛行させ、それらと道路上のブロッ



図-12 法面の注視箇所の撮影結果(ケース 1)



図-13 高度 50m で厚み 20cm のブロックの視認結果(ケース 2)

クやクラックに対する視認性を確認したところ、飛行高さ 50m の場合は、飛行高さ 15m に比べ道路を含めた周辺状況を確認することができ、高さが大きいほど画角が広がるため有意であることが判明した。一方、本検討のように、事前に確認対象箇所が分かっている場合は、図-13 に示すように対象箇所を拡大表示することで判別できるが、そうでない場合は、20cm 程度のブロックの大きさを判別することも難しくなることが分かった。

なおこの試験飛行では LTE 回線を利用する際、2 つのキャリアの回線の利用を試みた。飛行前に地上にて LTE の電波速度を測定したところ、キャリア毎に地上の LTE の電波速度に違いが生じること、電波速度は同じ日時でも日によって数 Mbps 程度の変動が発生することが分かった。UAV の飛行時に適切な LTE 回線を用いるためには、複数キャリアの SIM を用意する必要があると考えられる。

6. 通信環境の異なる飛行試験

(1) 試験概要

Easy Arial 社の Falcon およびドローンポートを用いて、市道富士小目井線の通行止めゲート間の片道約 1.5km を飛行ルートとして自動航行させ、撮影映像を配信した(図-14、図-15、図-16)。映像は、UAV に携帯電話を搭載し、

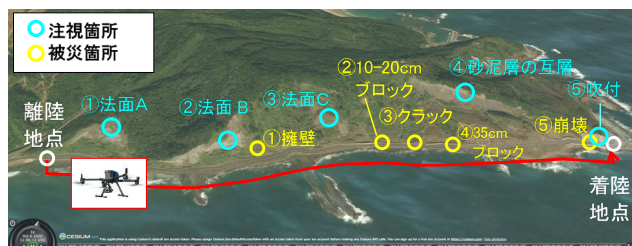


図-11 飛行ルートと注視箇所



図-14 Easy Aerial 社製の Falcon

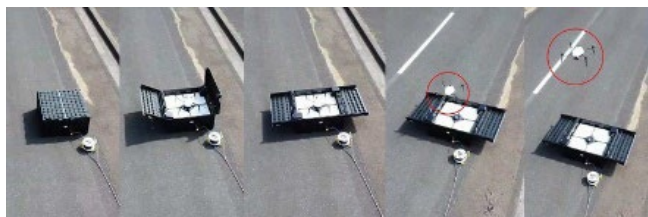


図-15 ドローンポートからの離陸状況



図-16 遠隔地での操作状況

地上のコントローラーを介することなく、上空の携帯電話から直接 LTE 回線を通じて配信した。この結果と被災・注視箇所の視認性の確認飛行試験で用いた一部を 2.4GHz 帯とした無線通信の方法での映像の配信結果を比較した。

(2) 試験飛行

試験飛行では、ドローンポートから離陸した UAV は海上を飛行し、被災箇所の視認性の確認飛行試験同様、道路上のブロックやクラックおよび法面等を撮影した。この試験飛行で用いたカメラはズーム機能を有しないフル HD 規格の解像度を有するカメラである。海上飛行後は、道路直上を飛行高さ 20m で飛行し、道路上の状況を撮影した。なお被災箇所の視認性の確認飛行試験では、道路直上を飛行高さ 15m で飛行したが、特に道路上の押さえ盛土付近の道路標高が変化する箇所での UAV の安全飛行を考慮し、この試験飛行では更に 5m 高い飛行高さ 20m と設定した。

(3) 結果及び課題の整理

飛行中のリアルタイム配信は、Zoom を経由し宮崎河川国

道事務所、国総研などへ同時配信した。その結果、被災箇所の視認性の確認試験のズームカメラで見られた精度では道路上のブロックやクラックを確認出来ないが、法面など大きな対象物であれば、フル HD のカメラで撮影した映像でも確認できた。また飛行中の映像は市道富士小目井線の通行止めゲート間では、一部、LTE 回線の地上での通信速度が 1～2Mbps のエリアがあり、映像の配信が停止する場合があったものの、映像が乱れることは無かった。一方、2.4GHz 帯を併用した長距離自動航行試験では映像の配信が停止することなく、乱れた映像が配信された(図-17)。この映像の配信性能の違いは、映像配信方法の仕組みの違いによると考えられるが、今後も原因を調査する必要がある。

この試験飛行ではドローンポートを用いて、遠隔操作によるポートの開閉、離着陸、自動航行などを全て自動で実施できることを確認した。なおドローンポートの設置に際しては、発動発電機などによる電源の確保、離発着スペースの確保、遠隔操作に耐えられる通信環境、平らな面に設置出来ること、上空が開けていること等の条件を満たす必要があると分かった。

7. 被災箇所の把握精度及び課題等の整理

試験飛行の結果を踏まえ、課題の整理に際しては、先ず UAV の災害時、日常時の利用シーンを設定し、利用シーン毎の検討対象項目を抽出し、課題と今後の検討内容を整理した。次に各利用シーンで求められる精度を想定し、その上で道路上の変状や法面の視認性等を評価した。

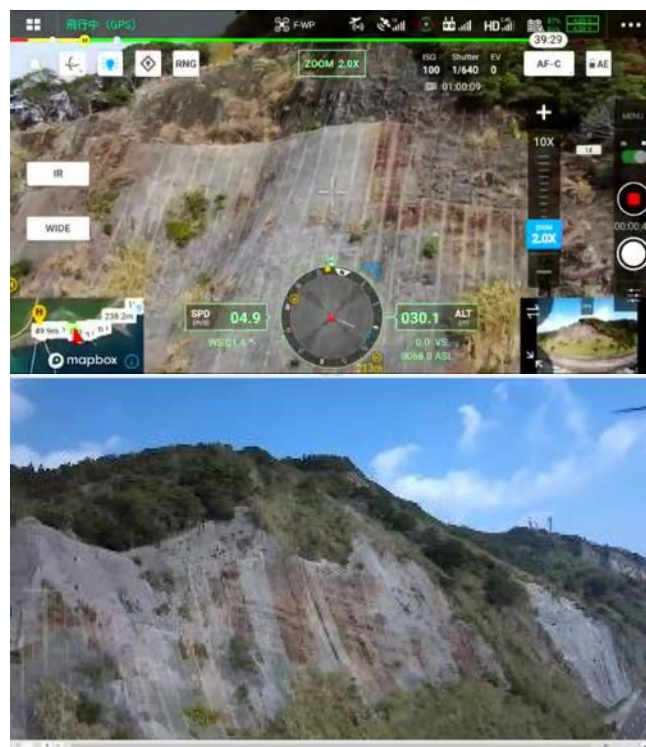


図-17 2.4GHz 帯併用(上)とLTE のみ(下)の映像

(1) 現状の技術的な課題や法規制の整理

抽出した検討対象項目毎に、今回の調査、検討結果を踏まえ、現状の技術レベル、課題、今後の検討項目を整理した。①現在の機体性能とカメラについては、航行時間が 30 分程度、距離は 10km 程度であること、機体の大きさが 1m を越えるため墜落時のダメージが大きいこと、自動航行機能は機体の GNSS 受信性能に依存するため設定したルートから数メートルずれる場合があることなどの課題が分かった。それらに対し、飛行ルートの途中に給電用のドローンポートを設置すること、機体の軽量化や電池のみに依存しない動力源の利用、RTK-GNSS の利用による位置精度の確保が今後の検討内容に挙げられる。

②通信について、LTE 回線の電波速度が日時により変動し、速度が 1～2Mbps の場合は配信される映像が乱れること、配信がされないことが課題として分かった。それに対し電波速度が不足するエリアの地上基地局の整備や LTE 回線に頼らない伝送路の確保を課題に挙げる。

③法規制について、LTE 回線の空中利用には最大 4 カ月要すること、航空局への飛行申請に際し飛行レベル 3 (無人地帯における目視外飛行) を実施するには、現状では様々な要件を満たす必要があること、道路上や道路上空の飛行では、現行ルールで道路占有許可が必要かつ、供用中の道路周辺で離発着させるには、道路から 30m の離隔距離を設定する必要があること、道路を横断する際は補助者を配置する必要があること、実際に利用に際しては、種々の手続きが必要であることが分かった。今後 UAV の飛行レベル 3 などを実現するには、法規制に関しては、航空法、道路交通法をそれに見合ったルールに改正していく必要があると考えられる。

(2) 道路被災状況の全容把握

災害発生直後の道路状況の視認性を確認することを前提とした飛行試験の結果を用いて、道路被災状況の視認性を確認した。その結果、把握したい対象に対して下記のようにまとめられる。

飛行高度 50m 水平距離 30m の位置から道路上の約 20cm の落石であればその有無は判別できること、車種は判定できないが、路上に停車させた車両は確認できること等が分かった。全容把握のための要件を下記に示す。

- 撮影範囲: 直線 10km 程度
- 飛行速度: 5m/sec 以上
- 飛行高度: 50m 程度
- 視認対象: 路面上にある 20cm 以上の変状や法面変状などの全容把握

その他の課題として、災害時の遠隔地へのリアルタイム配信の際、LTE の電波速度が 1Mbps の場合は配信される映像が乱れるため、事前の調査が必要であること、UAV の飛行

時間は現在最大で約 30 分であり、更なる長時間・長距離飛行にはバッテリーおよびガソリンを用いるハイブリット型の実装や、ドローンポートの可搬性を活かした利用による飛行距離を延ばす方法等が考えられる。

また自動航行中に操作介入を行い、自動航行から一時的に手動航行へ切り替え、注視箇所を撮影後に自動航行へ復帰することで、道路の被災状況を効率的に把握できると考えられる。自動航行中の操作介入ができる機能については、本業務で利用した 2 つの機体に具備された機能であるが、本検討では未検証であったため、今後検証を進める予定である。

また飛行申請における留意点のひとつとして、通常時の飛行申請では「飛行開始予定日の少なくとも 10 開庁日前までに、申請内容に応じて、地方航空局又は空港事務所あてに、申請書類を提出する」必要がある。この場合、事前に関係者との協議・承認を済ませたうえで航空局へ申請を行う。一方、災害時に、都道府県警察、国・地方公共団体又はこれらから依頼を受けた者が、事故・災害に際し、捜索、救助のために無人航空機を飛行させる場合には、無人航空機に関する規制の多くが適用されない(航空法第 132 条の 92)。災害時の場合は、飛行前に電子メールか電話およびファックスで関係機関へ連絡を行うこととなっており、通常時とは異なる点に留意が必要である。

(3) 詳細な変状把握

詳細な変状の把握を想定し、カメラのズーム機能を用いて撮影した結果から、飛行高度 30m 水平距離 30m の位置から 5cm 程度の変状を視認するには、10 倍以上のカメラズームが必要であることが分かった。視認箇所が予め特定される場合には詳細な変状の把握が可能となる。詳細な変状把握のための要件を下記に示す。

- 撮影範囲: 直線 5km 程度
- 飛行速度: 1～3m/sec 程度
- 飛行高度: 30m 以下 ※航空法に従うこと
- 視認対象: 道路構造物や路面上にある 20cm 以下の変状の詳細

また、機体のカメラに記録された映像を確認すると、道路上の約 10cm の落石、約 1.5cm の路面の亀裂および、道路脇の擁壁の約 3cm 幅の亀裂の有無は判別できること等が分かった。道路区域外の法面構造物は吹付コンクリートの地下水の染み出しや法草の繁茂が確認できた。詳細な変状把握の課題は、UAV の GPS の誤差による位置ずれの影響で、カメラのズーム機能を用いた場合、飛行前に設定した注視箇所からずれた箇所が撮影されたことである。これに対しては RTK-GNSS による補正值を用いた測位で解決できるが、機材設定や補正值の配信サービスを準備する必要があり、費用も要することから利用に際しては留意が必要である。

(4) RTK-GNSS を用いた位置制御の改善

7 章(3)で課題の一つに挙げた撮影精度について、RTK-GNSS を用いた解決策の試行を行ったので、詳細を以下に示す。

UAVを用いた RTK-GNSS の利用は利便性の面から普及が進みつつある。比較的安価に利用可能で、現場で繰り返し同じ場所で撮影する際、撮影精度の向上を目的として、UAV と RTK-GNSS を用いた検討を実施した。UAV は DJI 社製の Matrice300RTK を使用し、RTK-GNSS の補正情報の取得には、NTT ドコモが提供している「docomo IoT 高精度 GNSS 位置情報サービス¹⁴⁾」を用いた。

NTT ドコモの位置情報提供サービスは、移動局にて誤差数センチメートルの位置情報を得るため、国土地理院の約 1,300 箇所の電子基準点に NTT ドコモが運用する独自固定局を加え、衛星の位置補正情報をインターネット経由で提供するサービスである。この位置情報提供サービスは、ネットワーク型 GNSS サービスと呼ばれる RTK-GNSS の補正情報配信サービスに比較し安価であり維持管理上、取り扱い易い。

検証は、図-18 に示す弊社中央研究所敷地内で行った。撮影に際しては、敷地内に撮影用のターゲットを配置し、予め設定したルートで自動航行させ、ターゲットをズームカメラで撮影するまでを自動で行うように設定した。なお RTK-GNSS の精度比較のため、GPS のみを用いた単独測位で飛行し撮影した場合について併せて実施した。撮影対象物は地上に配置した直径 7cm から 70cm までの 4 種類のボールである(図-19)。

撮影した結果を図-20 に示す。ボールの位置を基準とし、RTK-GNSS と GPS を利用してそれぞれ 3 回撮影した画像を重ねたものである。比較すると、明らかに RTK-GNSS の場合の方が GPS よりも 3 枚の画像のバラつきが小さく、画像中央に配置したスケールから推定すると、RTK-GNSS は約 10cm、GPS は約 50cm の画角のズレとなっている。対象物を繰り返し撮影する場合に GPS を利用する際は、このズレを見込んだ上で撮影方法を設定する必要があると言える。ここで示したズレは UAV の飛行高さやカメラズームの設定値の他、風等の外乱や、位置情報サービスを受けるための通信環境の条件などにより異なるため、留意が必要である。

8. おわりに

今回、検討を進める中で、災害時の運用だけでなく日常時の運用においても道路管理における UAV の有効性が確認されると共に今後の課題が把握された。

発災直後の道路状況の把握で利用する際の機体は、遠隔操作が可能な機体が適しており、その場合の通信システムは LTE 通信を用いることとなる。詳細な被災状況を把握するた

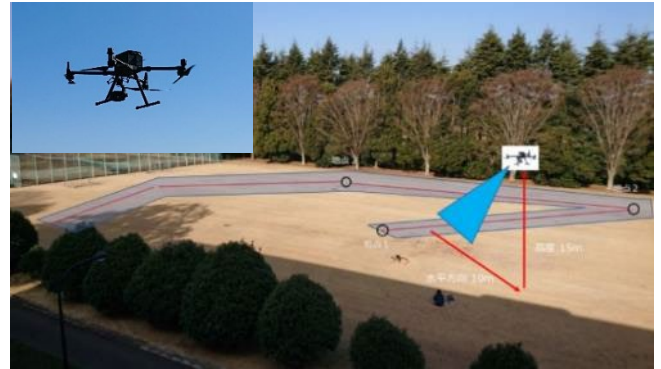


図-18 弊社敷地内での飛行試験



図-19 RTK-GNSS と GPS 精度比較時の撮影対象物

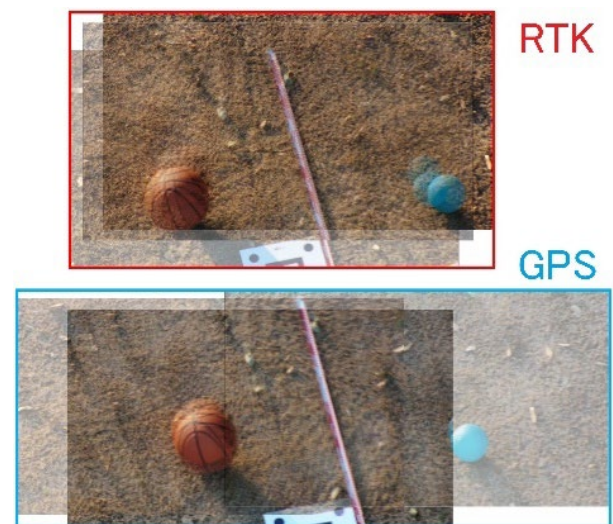


図-20 3 回の撮影で生じた画角のずれ幅
(上: RTK-GNSS、下: GPS)

めの位置精度は、RTK-GNSS により改善可能である。

遠隔地から現場の状況を把握するための実用化に向けた課題として、機体性能の向上の他、RTK-GNSS の普及によ

るさらなる位置精度の向上や通信機器の向上によって、配信される映像の質と連続性が挙げられる。

また現場の意見として、宮崎河川国道事務所に意見聴取を行った際に「道路パトロールカーから視認できない高所を視認できる点は有用である」等の意見を踏まえ、今後の取組みとしては、日常点検と発災時の利用を合わせた要求性能について整理し、各々について使い分けを考慮したマニュアル化を視野に研究と現場運用を継続する予定である。

謝辞: 本検討は、国交省国土技術政策研究所の委託業務「自動航行 UAV による災害時点検技術の現場適用性に関する調査業務」で実施した内容に、弊社の技術開発の内容(7章(4))を加え実施したものである。この場を借りて深く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省における南海トラフ巨大地震・首都直下地震対策、
<https://www.mlit.go.jp/river/bousai/earthquake/nankai/index.html>(参照日 2021 年 12 月 27 日)
- 2) 中部地方幹線道路協議会:「中部版くしの歯作戦」(令和 3 年 5 月改訂版)概要版、https://www.cbr.mlit.go.jp/road/kanri-bunkakai/pdf/202105_data_02.pdf(参照日 2021 年 12 月 27 日)
- 3) 熱海土石流 国土地理院がドローン撮影動画を公開、
https://www.youtube.com/watch?v=5_SNRrYfsgk(参照日 2021 年 12 月 27 日)
- 4) 国土交通省ホームページ:物流、
https://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/freight/seisakutokatsu_tk_000024.html(参照日 2021 年 12 月 27 日)
- 5) DJI 社製 Matrice300 RTK、<https://www.dji.com/jp/matrice-300/specs>(参照日 2021 年 12 月 27 日)
- 6) Easy Aerial 社製 Falcon、<https://www.easyaerial.com/falcon/>(参照日 2022 年 2 月 18 日)
- 7) 総務省ホームページ:「端末機器に関する基準認証制度について」、
https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/tanmatu/index.html(参照日 2022 年 2 月 18 日)
- 8) 航空法、国土交通省ホームページ:「無人航空機(ドローン・ラジコン機等)の飛行ルール」、
https://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk10_000003.html(参照日 2022 年 2 月 18 日)
- 9) 電波法、総務省:「ドローン等に用いられる無線設備について」、
<https://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/others/drone/>(参照日 2022 年 2 月 18 日)
- 10) 道路交通法、警察庁交通局:「無人航空機に係る道路使用許可の取扱いについて(令和 3 年 6 月 30 日丁規発第 97 号)」、
<https://www.npa.go.jp/laws/notification/koutuu/kisei/kisei20210630-1.pdf>(参照日 2022 年 2 月 18 日)
- 11) 国土交通省ホームページ:「無人航空機に係る規制の運用における解釈について」、
<https://www.mlit.go.jp/common/001303820.pdf>(参照日 2022 年 2 月 18 日)
- 12) 国土交通省ホームページ:「無人航空機の見視外飛行に関する要件」、<https://www.mlit.go.jp/common/001232092.pdf>(参照日 2021 年 12 月 27 日)
- 13) 国土交通省航空局:「無人航空機に係る制度検討の経緯について(令和 2 年 6 月)」、
<https://www.mlit.go.jp/common/001351989.pdf>(参照日 2022 年 2 月 18 日)
- 14) NTT DOCOMO:「IoT 高精度 GNSS 位置情報サービス」、
https://www.nttdocomo.co.jp/biz/service/highprecision_gnss_positioning/(参照日 2021 年 12 月 27 日)