

映像伝送の高度化に関する技術的検証について

情報通信技術活用検討会 技術力向上小委員会
企画部 情報通信技術課 外山 喜彦
企画部 情報通信技術課 南竹 知己

1. はじめに

災害発生時、被災状況の把握には空撮映像が有効な役割を果たす事は、過去の災害で明らかになっており、従前より災害対策用ヘリコプターを用いた空撮が有効な手段として用いられてきた。広域的な被災状況の把握については、衛星画像や災害対策用ヘリコプターに搭載したカメラにより、現地の詳細な被災状況の把握は衛星通信車等、地上設置のカメラにより取得されてきたが、法面崩落現場等で必要とされる斜面の高さ方向に対応した空撮機器については有効な手段が少なく、限定的な条件において気球空撮システム等で対応してきたが、本システムはさまざまな実用上の課題を抱えていた(図1,写真1)。

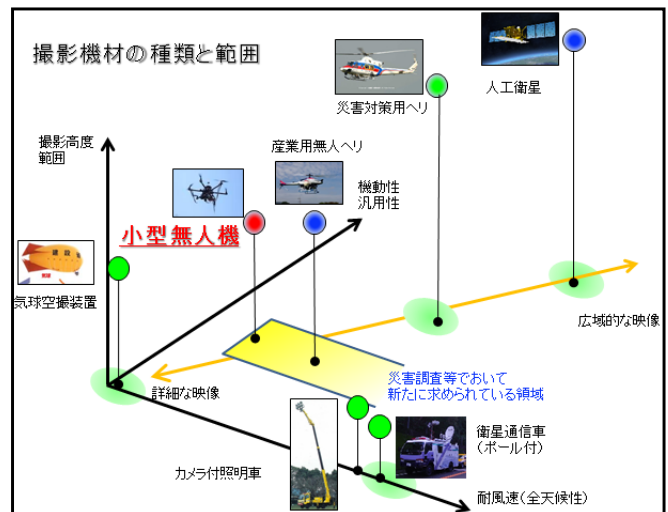


図1 撮影機材の種類と範囲

一方、近年著しい情報通信技術の発展、特にバッテリーやIP伝送技術、ビデオカメラの小型化等に伴い、様々なシーンにおいて小型無人機(ドローン)により上空からの映像を撮影することが出来るようになり、災害現場等においても利活用出来るようになった。ところが、小型無人機は社会的に報道されているように、安全に利活用するためには様々な問題もあり、現在も各機関において問題を解決するための様々な取り組みが行われているところである(写真2)。



写真1 災害対策用ヘリコプター



写真2 小型無人機(ドローン)

昨年度、九州地方整備局の専門委員会制度の一部会である情報通信技術活用検討会では映像伝送の高度化として、小型無人機が抱える技術的課題について、技術的検証・検討それに対する解決策をとりまとめたので報告する。

2. 技術的課題の抽出および検証・検討

九州地方整備局における小型無人機は、平成25年度頃から一部砂防系事務所や九州技術事務所で試験的に利活用を始めている。機体として九州技術事務所ではヘキサローター(6発)機の「こはる」を運用しており、管内一部事務所では、クアッドローター(4発)機を運用している。その後、平成26年度には広島市で発生した土砂災害において九州TEC-FORCEとして出動し被災状況調査に活用している。

情報通信技術活用検討会では、技術的課題の抽出として、小型無人機を運用した経験のある職員に聞き取り調査を行うことと併せ、インターネットやマスコミ報道等を通じて、他での利活用事例の情報を広く収集し、解決すべき課題について整理した。

様々な課題が収集出来たが、主に次の5つの内容について検討を進めることとした。

1. 飛行中のリアルタイム映像のモニター及び伝送、カメラ操作等の要望

2. 機体管理・点検の手法等
3. 飛行可否の判断を行う気象、場所等、各種条件の明確化
4. 操縦者の訓練、必要スキルの明確化
5. フライアウェイ（飛行散逸）の防止

このうち、1については九州技術事務所保有のヘキサローター機である「こはる」の改良を目的とした機器仕様を作成することとし、既存の防災通信設備である i-RAS やウェアラブルデバイス等の活用を前提とした検討・検証を行った。

2～4については、実際に機体を飛行させる必要があるという結論から、試験専用の機体として「飛行開発実験機」(クアッドローター機)を調達し、飛行時間にしてバッテリー40パック(約10時間)延べ200回以上の離着陸を含む飛行試験や機体の分解調査、飛行制御用コンピュータ(FCU)の設定項目・機能の確認等を行い、その結果をとりまとめた。なお、飛行開発実験機については、試験時の飛行方向や姿勢の視認を容易にするために前後・上下方向で非対称の塗装としている(写真3)。5については、状況等を実際に再現させることが困難(危険)なことから、実際の複数事例を調査し、フライアウェイ(飛行散逸)が発生する技術的要因について検討し、対策についてとりまとめた。



写真3 飛行開発実験機(情報通信技術課)

3. 技術的課題に対する解決手法と成果

3.1. 空撮リアルタイム映像の伝送及びカメラ操作

実際の災害状況調査で運用経験がある職員に聞き取り調査を行ったところ、リアルタイムでの映像伝送及び機体状態の把握が必要であり、さらにカメラ操作については、2人が操縦とカメラ操作をそれぞれの送信機で行っており、リクエストに応じて機体を操作するための連絡・連携が難しいという意見が聴取された。これに対し当検討会では、機体状態の把握については小型無人機用として市販されている機体データ伝送装置を利用することとするが、映像の伝送とカメラの操作については4年前に当委員会が開発した i-RAS (統合網無線アクセスシステム) を活用し、国土交通省の防災情報ネットワークにつながった整備局や事務所等から直接、小型無人機搭載のカメラを遠隔操作することで、現地職員は機体操作に専念するという方針を決定し、実験を行った(写真4,5)。実際の機体への搭載を模擬して、気球空撮装置に搭載したカメラで試験を行い、上空から映像伝送が出来ることを確認した。また、搭載カメラについて小型無人機で利用可能な電圧や重量等、小型無人機特有の制約に対応出来るカメラ及び通信モジュールの選定、合わせてバッテリー残量や飛行高度等の機体データを伝送する装置に対応した遠隔操縦装置について規定し、最終的に

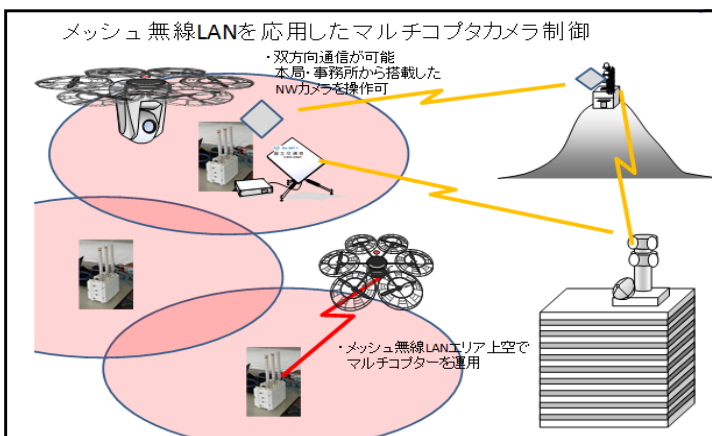


図1 i-RASメッシュ無線LANを応用した小型無人機搭載のカメラ制御システム



写真4 空撮映像伝送試験



写真5 地上での映像受信試験状況

また、搭載カメラについて小型無人機で利用可能な電圧や重量等、小型無人機特有の制約に対応出来るカメラ及び通信モジュールの選定、合わせてバッテリー残量や飛行高度等の機体データを伝送する装置に対応した遠隔操縦装置について規定し、最終的に

は九州技術事務所保有の「こはる」の改良や新規機体納入時の機器仕様書として使用できる形で検討結果をとりまとめた。

3.2, 飛行可否の判断を行う気象、場所等、各種条件の明確化、機体点検の手法

映像伝送を行うプラットフォームとして小型無人機は、人が立ち入れない危険な場所にも入る事が出来ること、災害対策用ヘリコプターよりも低い高度で災害現場の詳細な状況が撮影出来る事等、非常に優れた特性がある一方、墜落、暴走そして犯罪等に利用されるということが社会問題化している。法規制についての議論は別にして、どのような時間（昼夜）、場所、気象等であれば技術的に使用可能であるかを判断するために、

1. 事象事例の分析
2. 飛行開発実験機による飛行試験
3. 機体（飛行開発実験機）の分解調査

を行った。

3.2.1, 事象事例の分析（写真6）

実際に発生した小型無人機による事故を報道およびインターネット等からピックアップし、特に社会的な影響が大きい事例や整備局で使用する条件に近い事例について詳細に分析を加えた。その結果、主な事故原因は大まかに次の5つに分類されるものとした。

1. 操縦者の技量不足、操縦ミス
2. 気象条件・周辺環境
3. 機体トラブル
4. 上記が複合したもの
5. 原因不明



写真6 事故状況分析(飛行軌跡)

上記原因に対する事故を未然に防ぐため、飛行のための技術

基準・操縦者の練度を向上させる制度等について検討する事とした。

3.2.2, 飛行開発実験機による飛行試験(写真7)

実際に飛行させることで、どのくらいの風速まで制御を行えるのか、GNSS（衛星測位システム）を利用する場合と、利用出来ない場合の飛行特性の変化や、突然 GNSS 系の制御が遮断された場合の対応策の策定、操縦用リアルタイム伝送用の電波の到達距離の測定等を行い、基準化すべき具体的な各数値の妥当性の確認（例：耐風速やバッテリー残量等）や操縦者に必要とされるスキルや訓練内容等の検討に結果を活用した。

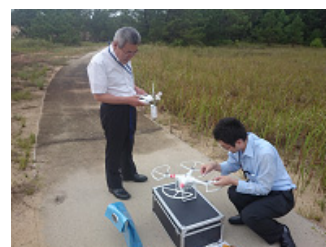


写真7 飛行試験状況(飛行前)

3.2.3, 飛行開発実験機の分解調査(写真8,9)

飛行開発実験機を分解調査しメンテナンスの必要な部分や実際の飛行時にどのように機能しているか等を確認し、飛行前の気象や機体のチェックリスト造りの参考とした。

例えば、モーター制御回路の冷却には外気を導入していることが判明したことから、雨天時に飛行させると電子回路が被水し破損する恐れがあることや、制御基盤のコネクター抜けが構造的に発生しやすい箇所があることから、抜け防止対策等を実施すること等が成果として得られた。



写真8 機体分解状況



写真9 GNSSコネクター抜け防止対策

3.3, 操縦者の訓練、必要スキルの明確化

小型無人機は、従来の無線操縦ラジコンと異なり GNSS（衛星測位システム）機能を搭載することで、その場で自動的に機体位置・姿勢を保持する機能があり、初めて操縦する人でもある程度の飛行が可能となっている。また、何らかのトラブルにより操縦用の通信が切れた場合でも GNSS を利用することで自律的に離陸した場所に帰還したり、その場で着陸したりする機能が備わっている。

このように初心者でも少ないスキルで操縦できる反面、事象事例の分析にもあるように、操縦者の技量不足、操縦ミスによる事故が多く発生している。これは、小型無人機特有のGNSS機能に大きく依存して飛行していることに気づかないため、本来飛行できないような厳しい場所（ビルの合間や橋梁下）・環境（強風や強い上昇気流中等）においても飛行させ、GNSSが機能しなくなった際に操縦困難に陥ることが原因の一つとして考えられている。また、安全に業務で活用するためには、操縦訓練のみならず、電子工学、通信工学、制御工学、気象学、航空学等、さまざまな知識が必要であることから、操縦者に対して講習・訓練を行い、さらには必要なスキル・知識が備わっているか確認を行う必要があるとの結論に達したため、これらの訓練・研修・ライセンス等の制度設計について検討を行った。

3.4, 上記に対する解決手段のとりまとめ（成果）

最終的なとりまとめとして次の5つを策定し、飛行試験を重ねて改良を行い報告書としてとりまとめた。小型無人機を運用するにあたって必要となるプロセスを示す(図2)。小型無人機の利用を予定する場合、計画の段階から飛行直前、次回の利用に向けてのメンテナンス、それぞれの時点で誰がチェックを行っても同じような結果が出るように以下に掲げるチェックリストや管理用データベース等を作成した。

① 飛行指示	使用伝票	業務使用での目的、指示者、時間、操縦者、飛行場所を明確化
② リスク判定 (事務所)	リスク判定チェックリスト	リスク判定チェックリストを用いて、人的被害が発生しないか、社会的な影響を与えるリスクがどの程度あるかを定量的にチェック
③ VRSチェック (現場)	VRSチェックリスト ★必要時★	現場で陥りやすいセットリング(VRS)及び斜面上昇風に対するチェック、回避手段をチェックする
④ KYミーティング (現場)	KYミーティング記録簿	現場において、飛行目的、調査対象物をチーム全体で共有させる。合わせて、墜落リスク、安全に落とす場所等を確認する
⑤ 飛行前チェック (現場)	飛行前チェックリスト	機体及び機材の点検及び周辺の地形・気象状況について確認を行い最終的な飛行可否を判断する
⑥ 飛行記録(飛行後) (現場及び事務所)	飛行記録簿	飛行記録簿にバッテリーの使用本数を元にした飛行時間及び、操縦者名、機体損傷の有無、プロポ電池等の交換履歴について記載し、機体のおよび操縦者個人の総飛行時間と履歴を管理する
⑦ 収納時チェック	収納時チェックリスト	機体撤収時に機材の個数確認および損耗部品等を確認し、次回の飛行や、点検・修理の可否について判断する

図2 飛行計画から飛行終了後までのプロセス（オペレーションフロー）

3.4.1, 飛行計画策定時のリスク判定マクロ(写真10)

小型無人機を運用する計画の段階で、まず事故はどのように対策を取っても起こりうるという前提で、万が一事故が発生しても人身に重大な影響を及ぼさないかどうかを判定し、リスクが大きい場合は活用自体が計画出来ないようにする「リスク判定マクロ」を作成した。これは、操縦者のスキルや飛行場所の条件、機体条件や社会的な影響を定量的に判定するマクロファイルである。それぞれの条件でリスクをポイントとして積み上げていき、100点を上限とすることで、飛行の可否を判断するように作成した。リスクを見える化することにより、飛行を計画する者同士の差やその時の裁量によって運用の可否にばらつきが発生し無理な飛行となることを防止するための仕組みとして考案した。

リスク発生の定量的度合い(使用可能条件判定)	
飛行予定場所	
操縦者	<input type="radio"/> マイスター <input type="radio"/> インストラクター <input checked="" type="radio"/> 操縦者 <input checked="" type="radio"/> 訓練者
天候	<input type="radio"/> 晴天 <input checked="" type="radio"/> 晴 <input type="radio"/> 霧・雪・雨
風速	<input type="radio"/> 風速1~5m/s <input checked="" type="radio"/> 無風~1m/s <input type="radio"/> 風速5~10m/s <input checked="" type="radio"/> 風速10m/s超
飛行範囲	<input type="radio"/> 可視内 <input checked="" type="radio"/> 可視外見通し(通信) <input type="radio"/> 可視外間接(通信) <input checked="" type="radio"/> 可視外自律※
標高	<input type="radio"/> ~1,000m <input checked="" type="radio"/> 1,000m~2,000m <input type="radio"/> 2,000m以上
電磁環境	<input type="radio"/> 砂防地域等(立入禁止) <input checked="" type="radio"/> 地方、郊外 <input type="radio"/> 都市部 <input checked="" type="radio"/> イベント・訓練会場
機体性能	<input type="radio"/> 8発以上、自律航法 <input checked="" type="radio"/> 5~7発、自律航法 <input type="radio"/> 4発、自律航法※ <input checked="" type="radio"/> 4発、自律なし
公衆災害リスク	<input type="radio"/> 立入禁止区域 <input checked="" type="radio"/> 立入禁止区域(立入禁止区域) <input type="radio"/> 私有地・公有地 <input checked="" type="radio"/> 立入制限無し・管制空域
社会的リスク	<input type="radio"/> 立入禁止区域・取材なし <input checked="" type="radio"/> 公有地等・取材なし <input type="radio"/> 災害現場等・取材あり <input checked="" type="radio"/> イベント・訓練会場
原因不明(Try Away)	<input checked="" type="radio"/>

リスク点数が100点以上になる場合飛行不可
 色無し...1つでも該当項目があれば飛行不可
 赤色...20点
 黄色...10点
 緑色...5点
 色無し...0点

合計

飛行不可！

写真10 リスク判定マクロPC画面

より、飛行を計画する者同士の差やその時の裁量によって運用の可否にばらつきが発生し無理な飛行となることを防止するための仕組みとして考案した。

3.4.2, 飛行前チェックリスト(図3)

次に、飛行計画が承認されたとしても当日に変化する要因(気象条件、周辺環境、要員配置、機体状態)について、2人以上の者がチェック(ダブルチェック)を行い、飛行可否の判断を行うためのツールとして「飛行前チェックリスト」を作成した。この作成にあたっては、当初、チェック項目を多く設けていたが内容が多すぎると時間がかかったり、チェックがずさんになったりすることがあり、かといってチェック項目を減らすと、抜けが発生してチェックリストの意味がないことから、安全な飛行に必要な適切なチェック項目とすることに苦心した。また、現場で使用することからPC等を用いず、手書きにより各項目について確認出来るように作成した。

図3 飛行前チェックリスト

3.4.3, VRSチェックリスト(図4)

整備局が小型無人機を運用する中で、特に利用するシーンが多いと考えられる災害現場は、堤防や法面等の斜面が多い。しかし、小型無人機はプロペラピッチが固定されている構造上の特性から、斜面等で発生する上昇気流の影響を受けやすい。そのような場所で運用する場合は、機体の進行方向や高度を調節して特定の状態に陥らないような工夫が必要である。また、回転翼機特有の現象として無風状態での降下時に特定の現象(VRS: Voltex Set ling)に陥る事があることから、このような状態を避けるために、安全な進行方向等を判定するためのVRSチェックリストを作成した。これは、平成26年度に発生した広島市の土砂災害現場において、九州 TEC-FORCE が小型無人機を運用した際の意見を参考に作成したものである。本チャートについても「飛行前チェックリスト」と同様に、現場で操縦者が「飛行前チェックリスト」と同様に、現場で操縦者がPC等を用いなくとも手書きにより、安全な進行方向等を確認出来るように配慮して作成した。

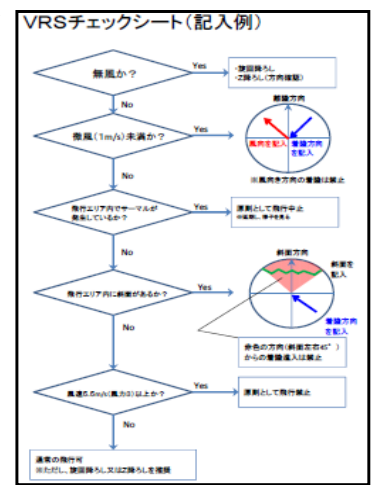


図4 VRSチェックリスト

3.4.4, 飛行記録簿データベース(写真11)

飛行試験を行う過程で、バッテリーの劣化や電池の交換をいつ行ったか、障害やハードランディングを行った後の影響やその際の点検の結果を確認する目的で飛行管理用データベースを作成した。試験を進めるうちに機体の管理だけでなく操縦者のスキルを(飛行経験時間)を合わせて管理するように改良を加えた。機体の飛行時間管理は消耗部品(プロペラ、モーター等)の点検・予防交換を行い、事故を未然に防ぐためには欠かせないデータである。

写真11 飛行記録簿(データベース)PC画面

一方で機体の総飛行時間をストップウォッチ等により厳密に管理する方法では、記録簿への記入を怠りがちになることから、バッテリーの使用本数を機体の総飛行時間と操縦者の飛行経験時間に換算(1本=15分)することで、管理簿への確実な記載と管理の省力化の両立を図った。操縦者の飛行経験時間は、後述するライセンス制度への必要条件と位置づけた。

3.4.5, 講習教本、ライセンス制度(図5)

事故原因の分析の中で、操縦者のスキル、ミスによる事故が多く発生していることが判明

したことから、操縦を行う者には講習を実施し、小型無人機の操縦に求められる操縦技術と最低限の知識（電子工学、通信工学、制御工学、気象学、航空学等）を教えるための教本、パワーポイントを作成した。また、それらの操縦技術や知識が身に付いているか確認するため、実技と学科による試験を経たライセンス制（整備局内で職員が業務で使用する場合に限る）とすることを提唱した。さらに実際の災害現場等で飛行することが出来る上位ライセンスの取得にあたっては、前述の試験に加えて飛行記録簿を提出することにより機体管理が出来ていなければライセンスも取得出来ないという条件を加味し、操縦者スキルの向上と機体の確実な管理の両立が図れるように配慮した。

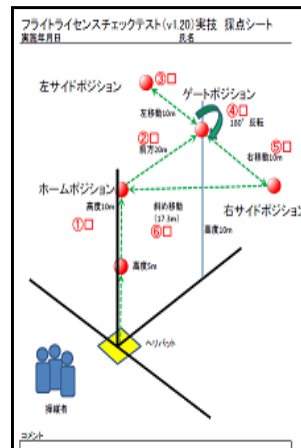


図5 操縦技術実技課題ライセンス証（参考）

4 , フライアウェイ（飛行散逸）防止

小型無人機の技術的課題として避けて通れないのがフライアウェイ（飛行散逸）防止対策である。最近ではメーカー各社も GNSS を二重化したり、障害物センサーを組み込んだり等の対策を行い始めている。当検討会においても、様々な議論・検討を行ったが、飛行散逸の完全な防止は物理的に困難であるため、最終的には飛行散逸して行方不明になる前に自発的に墜落させるという方向で検討を行っている。今年度、特殊な通信装置を機体に取り付けて飛行散逸防止に向けた試験を行う予定である。

5 , まとめと課題

現在、各省庁・関係機関で小型無人機の規制に向けた制度設計・法整備が行われている。図6に各機関の打ち出した技術的見地から見た基準の比較を示す。当専門委員会できとりまとめた技術的基準は各関係機関の規制案に照らし合わせても現時点では十分であり、むしろ厳しい基準となっていると言える(図6)。

今後の課題もある。その一つとしては、機体の部品交換周期や寿命の設定である。その他技術の進歩や法令の整備に併せて検討・検証を続ける行く必要があると考える。

情報通信技術活用検討会では、今後もさらなる安全な小型無人機の活用に向けた技術的検証を技術の進歩に合わせて進めていくものとする。

最後に当委員会実施に際し、フィールド提供や資料提供を頂いた事務所の方々に委員会事務局を代表して心より感謝申し上げます。

各関係機関規制案比較(20150618v1)

	議員立法 規制法案	関係省庁連絡会議	FAA アメリカ連邦航空局	某調査会社基準	整備局
機体区分け	有り(詳細不明)	玩具に近いものと区分	25kg以下 2kg以下	サーベイト機	phantom用 コはる(サーベイト機)用
最大速度			160km/h		
最大高度			152m(500ft)		150m
飛行時間		日中 (ただし、安全確保の体制を 取る場合は柔軟に対応)	日中		
飛行場所	国の施設や外国公館 から半径300mの 範囲は飛行禁止	人・家屋に危害の恐れのある 場合、安全確保の体制を とった事業者に限る	人の頭上は禁止 (重要施設近辺の飛行は 既に禁止)	家屋密集地は禁止 人がいない公園 遊歩道より100mは禁止	GPSが遮断される場所 イベント等(人が集まる所)は 禁止
飛行方法			目視内距離 (FPVでの補助可)	目視内距離 2名体制	目視内距離 3名体制 風速5.3m/s以下
機体・点検基準		技術基準の策定 技術証明の取得	オペレータによるフラ イト前点検	1年毎のメーカー点検	1年毎のメーカー点検 チェックリストに基づく飛行 前点検
機体登録	必要(詳細不明)		必要		購入予定等 本局防災課へ報告
操縦者資格	第2級以上特種操縦士 (50m以上飛行可能なもの)	操縦者の技量の確認	学科試験(認定証) 2年更新	新機体又は 新機体交付は 3日以上のオペレーター 研修受講後、テスト合格した者	実技試験 学科試験 飛行時間(レベル)
事故時の報告		情報の収集	人身又は物損事故 10日以内に報告		緊急時連絡体制に基づく (将来的には事故調査検討)
事故時の賠償		ガイドラインの導入		事業者用対物保険	国家賠償法に基づ
その他		公的機関の飛行は公益 性から特別扱い	※パブリックコメント中	チェックリスト 運用規定有	ヘルメット着用 各種チェックリスト 運用規定有

図6 各関係機関規制案比較