

令和5年度
国土交通省 国土技術研究会

概要論文集
～イノベーションII部門～

研究会1日目（12月7日（木））

10:15～15:15

自由課題(イノベーション部門Ⅱ) 12月7日(木) 10:15～15:15 ②B会場

発表 順序	発表時間	課題名	発表者所属	発表者名
1	10:15～10:30	(仮称)上曾トンネルにおけるNATM工法～フルオートドリルジャンボ導入による発破掘削の最適化に向けた取り組み～	茨城県 筑西土木事務所	大科 憲人
2	10:30～10:45	自動運転の早期実現に向けた高速道路合流支援情報提供の効果検証実験	国土技術政策総合研究所 道路交通研究部 高度道路交通システム研究室	石原 雅晃
3	10:45～11:00	外装型軸用漏水漏油防止装置の開発	独立行政法人水資源機構 筑後大堰管理所	高山 大希
4	11:00～11:15	CM方式を用いた公共建築工事5事例における発注者とCMRの連携に関する比較分析	国立研究開発法人建築研究所 建築生産研究グループ	田村 篤
5	11:15～11:30	難工事指定工事における取組(妓王井川)	滋賀県 南部土木事務所 河川砂防課	奥田 大祐
6	11:30～11:45	高精度なGNSS軌道情報(暦・れき)の算出による測位基盤の強化	国土地理院 測地観測センター 電子基準点課	大野 圭太郎
7	11:45～12:00	信州BIM/CIM推進協議会の取組について	長野県 建設部 建設政策課 技術管理室	黒岩 楠央
-	12:00～13:00	休憩		
8	13:00～13:15	【i-Snow】ロータリ除雪車の装置自動化に向けて	北海道開発局 事業振興部 機械課	諏訪 光星
9	13:15～13:30	美和ダム再開発事業におけるストックヤード施設の試験運用	中部地方整備局 三峰川総合開発工事事務所	藤井 美有
10	13:30～13:45	コンクリートの品質向上に向けたAR管理システムの活用	中国地方整備局 山陰西部国道事務所 工務課	三好 拳士郎
11	13:45～14:00	マルチビーム測深を活用した基礎捨石工の出来形計測に関する検討	国土技術政策総合研究所 港湾情報化支援センター 港湾業務情報化研究室	川上 司
-	14:00～14:15	休憩		
12	14:15～14:30	首里城公園におけるBIM/CIMを活用したDX推進の取組み ー首里城デジタルツインの効果と課題ー	内閣府 沖縄総合事務局 国営沖縄記念公園事務所	勝美 直光
13	14:30～14:45	吉田川河道掘削工事におけるAI等を活用した施工プロセスの視覚的評価に向けた取り組み	東北地方整備局 北上川下流河川事務所 吉田川緊急治水対策出張所	三浦 英晃
14	14:45～15:00	DX活用による水中可視化事例の紹介(大津分水路新第二床固改築工事)	北陸地方整備局 信濃川河川事務所	難波 佑弥
15	15:00～15:15	VTOL機を用いた長距離河川巡視実証実験	九州地方整備局 企画部 情報通信技術課	山田 英幸

VTOL機を用いた長距離河川巡視実証実験

山田 英幸¹・南竹 知己²・北森 誠³・房前 和朋⁴・TAC⁵

¹九州地方整備局 企画部 情報通信技術課 計画係長（〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東2-10-7）

²九州地方整備局 インフラDX推進室 課長補佐（〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東2-10-7）

³九州地方整備局 企画部 情報通信技術課 課長補佐（〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東2-10-7）

⁴九州地方整備局 インフラDX推進室 建設専門官（〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東2-10-7）

⁵TAC（九州地整・関東地整UAV講習団体登録教官チーム）

河川巡視において、UAVによる上空からの巡視・点検が有効であることは様々な実証で明らかとなっている。一方、現在用いられているマルチコプター型の電動UAVは、河川巡視のような「管理区間を長距離かつ連続」して飛行する用途で用いる場合、航続距離の短さや通信距離の限界により、複数回離着陸を繰り返す必要があるため、巡視に時間を要することが課題となる。今回、これらの課題を解決する手法として、連続して高速・長距離航行が可能かつ、垂直離着陸やホバリングが可能なVTOL機と管理用光ファイバを用いた施設管理用無線LANシステム（K-PASS）を用いて迅速かつ効率的に巡視する実証実験を実施したので報告する。

キーワード DX, UAV, VTOL, K-PASS, 河川巡視

1. 河川巡視・点検の現状と課題

現在の河川巡視・点検は、河川砂防技術基準（維持管理編）に基づき実施されており、内容や頻度が各河川に応じて設定され、河川パトロールカーやバイク、徒歩等によって実施されている。現在の河川巡視やダム放流巡視における課題について、九州地方整備局の河川系事務所職員約60名にアンケート調査をしたところ、図-1のような結果が得られた。

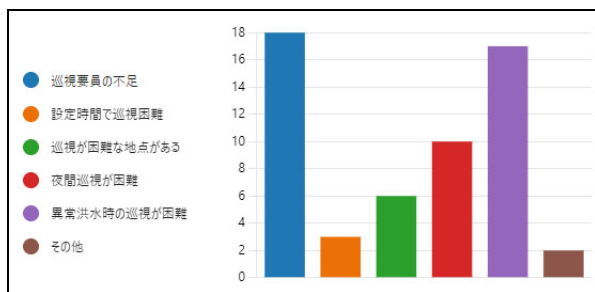


図-1 河川巡視・ダム放流巡視についての課題

最も多い意見は「巡視要員の不足（56%が選択）」であり、現状において人員の確保に不安を抱えていることが伺える。二番目は「異常洪水時の巡視が困難（53%が選択）」であり、「人員不足」に加えて洪水時

における「巡視の安全性」や「巡視の確実性」に懸念を抱いていることがヒアリング結果と併せて伺える。

なお、これらの課題に対して求められる対策としては、図-2のような回答が得られた。

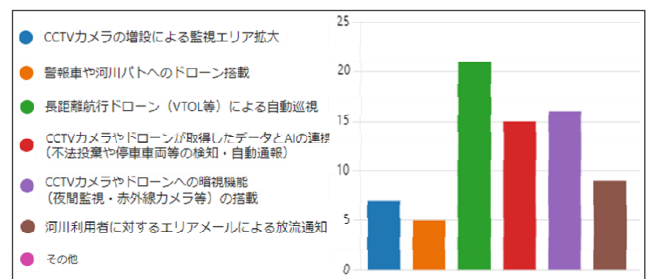


図-2 将来の河川巡視について、早急実現してほしい内容

最も回答が多かった「長距離航行ドローンによる自動巡視」は66%の職員が選択している。ただし、同じドローンの利活用にあっても「警報車や河川パトへのドローン搭載」については最もニーズが低く、ドローンという同じツールであっても背反する回答となっている。この点について回答者にヒアリングをしたところ、人手不足や安全性への対応として自動巡視は有効だが、河川パトロールカーへのUAV搭載では、機体の組み立てや操縦が必要であるなど、手間だけが増える懸念があるとのことであった。なお、「長距離航行ドローンによる自動巡

視」と「CCTV カメラやドローンが取得したデータと AI の連携」のクロス集計では、両方を選択した者が52%となり、単に巡視用のツールとしてドローンを利活用するのではなく、人員不足や洪水時の巡視の安全性に対応するための自動化や効率化を求めていることが明らかとなった。

2. 長距離航行可能な UAV 「VTOL 機」

災害時の被災状況調査において、ドローン（以下「UAV」(Unmanned Aerial Vehicle: 無人航空機)と記述）は非常に有効な手段として広く用いられており、特に構造物点検や砂防巡視、河川巡視で地上からの視認が困難な場所などで UAV の利活用が進みつつある。一方、活用されている多くの UAV は、操縦や映像伝送の通信手段にマイクロ波による一対一通信を用いているため、見通し範囲外における通信は困難であり、技術的にも法令上においても長距離の目視外飛行は困難とされてきた。また、多く用いられているマルチコプター型の UAV は、ホバリング等の低速飛行が容易であるため施設点検のような特定地点の詳細な調査には適している一方、バッテリー消費が大きい長距離の飛行には不向きで、数 km を超えるような長距離飛行、例えば出張所の管理区間を無着陸で連続して巡視するような用途には使用することが出来なかった。しかし近年、長距離航行が可能な UAV として、従来のマルチコプター型の機体にエンジン駆動の発電機とバッテリーを搭載したハイブリッド型マルチコプターや、高速・長時間の飛行が可能な固定翼型の機体が開発されており、離島での配送用として既に実運用が開始されている。このように、従来の UAV の弱点を克服する新しい形態の UAV が登場しつつある。

今回、従来の河川巡視の課題を解決すべく、新型の UAV を用いて河川を連続して無着陸で上空から巡視・点検する実証実験を実施した。実験には「VTOL (Vertical Takeoff and Landing: 垂直離着陸) 機」と呼ばれる高速・長距離航行が可能な固定翼型と、垂直離着陸とホバリングが可能なマルチコプター型の両方の長所を兼ね備えた電動の機体を用いた(写真-1 e-VTOL 機)。

VTOL 機には V-22 オスプレイのようなティルトローター機などいくつかの形態があるが、本実証実験で選定した機体は、離陸時には4機の垂直プロペラを備えたマルチコプター機として垂直上昇し、障害物のない上空まで上昇した後、機体後方の推進用プロペラを始動して前進を開始し、大気速度が上がり主翼が十分な揚力を得て失速速度を上回ると垂直プロペラを停止、固定翼機として飛行する形態となっている。巡航時(時速70 km/h)は、専ら固定翼機として飛行し、揚力を主翼のみで得ることから、マルチコプター型と比較してバッテリー

の電力消費が少ない。ホバリングに移行する場合や、着陸する場合はマルチコプターモードへ遷移するため、着陸のための滑走路やキャッチネットが不要であるなど両方の機体の特徴を兼ね備えている。また、何らかのトラブルにより機体の失速速度を下回る恐れが生じた場合は、自動的にマルチコプターモードへ遷移し着陸する機能を有しており、安全性についても優れた機体となっている。

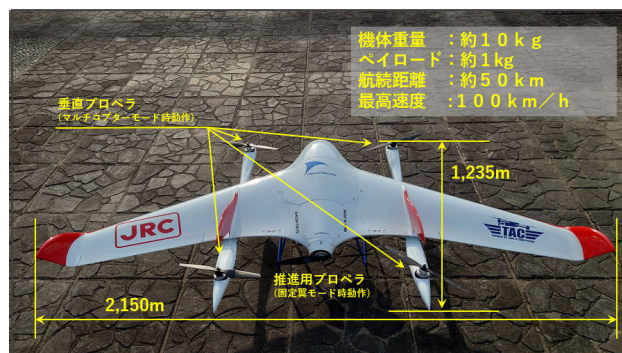


写真-1 試験に用いた e-VTOL 機 (エアロボウイング AS-VT01)

3. 施設管理用無線 LAN システム

UAV による長距離飛行を実施する上で、航空法上の課題となる事の一つが、「通信の確保」である。航空法の規程に定める「無人航空機の飛行に関する許可・承認の審査要領(カテゴリ II 飛行)」によると、「4-1 無人航空機の機能及び性能」の項目において、「4-1-1 (5) 抜粋: あらかじめ設定した飛行プログラムにかかわらず常時不具合等において・・・強制的に操作介入が出来る設計であること・・・」とあり、自律航行可能な機体であっても、遠隔操縦に切り替えられる事が必須であると解釈されることから、機体と操縦者の間において、無線通信は常時保たれている必要がある。見通し外の距離における機体との通信を確保する手段としては、携帯電話回線が多く用いられる(携帯電話は陸上移動局であるため、上空で使用する場合は特別に許可された SIM: 通信カードが必要)。ただし、携帯電話のサービスエリアは地上での利用を前提(陸上移動局に対する通信用)に構築されているため、上空での回線利用においてはサービスエリアが限定されたり、データ伝送の遅延が発生したりする場合があります。河川巡視に利用する UAV の用途では、自動航行のみではなく、映像を見ながら遠隔での操縦を行う可能性があることから、サービスエリアの制約や通信の遅延の課題を解決する必要があった。

そこで今回の実験で、これらの課題を解決する手段として用いたのが施設管理用無線 LAN システム(以下「K-PASS」(仮称)と記述)である。K-PASS (Kokudokoutsusyo-Patrol Support System) は、直轄河川や直轄国道に敷設

された施設管理用光ファイバ網を利用している CCTV カメラや観測所、情報板等に無線LAN基地局を設置し、巡視する区間に無線による自営通信網を構築するシステムである。巡視する区間に設置された複数の基地局を自動的に切り替えながら通信する(=ハンドオーバー)ことで、河川や道路における巡視端末や将来の無人除草機械、巡視ロボットの監視制御、現場からのリアルタイム映像や点群データの伝送等に必要な通信について、管理区間内で連続的に利用することが可能であり、インフラ管理のDXを実現する「デジタル基盤」の一つであるとみなすことが出来る。本システムは、既存の管理用光ファイバ回線と複数の基地局、それらを制御する無線LANコントローラから構成される(図-3)。写真-2 は CCTV カメラポールへ設置された、K-PASS 基地局である。

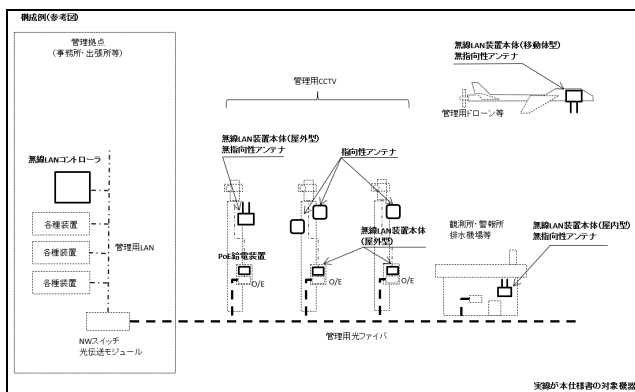


図-3 K-PASS システム系統図 (案)



写真-2 現地に設置された K-PASS 基地局

4. 長距離河川巡視実証実験フィールドの選定

長距離航行可能な UAV を用いた河川巡視の実証実験を実施するフィールドは、九州地方整備局河川部河川管理課と協議し、以下のような条件に基づいて選定した。

- 機体の航続距離内(概ね 50 km) で実施可能であり、かつ、平均的な出張所管理区間延長をカバー出来ること(概ね 20 km 程度)
- 都市部(D I D 地区)の区間を避けること

- UAV による河川巡視では、道路や鉄道の橋梁横断が避けられないことから、橋梁横断について法令上の手続きを含む、管理者との調整が実証できる区間であること
- ダム放流警報巡視で活用することを考慮して、可能であればダム放流警報区間が含まれること
- 管理用光ファイバが敷設され、K-PASS 基地局が容易に設置できる管理施設が数キロメートルピッチで配置されていること
- 固定翼モードでの旋回特性等を検証出来る狭隘な区間があること

これらの条件を検討した結果、複数の候補の中から、福岡県と大分県の県境を流れる山国川を選定し、耶馬溪ダム管理支所から山国川河川事務所の 25 km 区間を実証実験フィールドとして設定した(図-4)。飛行のレベルとして、実際の長距離河川巡視では、目視外飛行でかつ補助者を配置せず、立入が規制された区域内を飛行する(河川の場合は水面上)「レベル 3」飛行を実施する必要があるが、今回の公開実証実験では安全に配慮し、飛行する全区間に補助者を配置して水面上空のみを飛行させる「レベル 2」(レベル 3 相当)で実施することとした。また、通信手段の比較を行うために、上流 3/4 区間を携帯電話回線、下流 1/4 区間を K-PASS 網における通信区間とした。



図-4 山国川に設定された実証実験区間

5. 山国川における実証実験

実験にあたっては、目視外の長距離飛行でかつ、橋梁を横断することや、初の自営通信網による制御であることから安全に最大限配慮する必要があり、以下の手順に従って、各段階で確認された課題を慎重にクリアしながら、徐々に飛行距離を伸ばし、25 km 全区間での公開実証実験に向けて準備を進めた。

- ① テストコースによる周回運用試験
- ② シミュレータによる現地を想定した事前検証
- ③ 現地上空での携帯電話エリア電界強度測定調査
- ④ 携帯電話回線区間での飛行テスト

- ⑤ K-PASS 区間での飛行テスト
- ⑥ 携帯電話回線←→K-PASS の切り替えテスト
- ⑦ 全区間 (2.5 km) 通しでの飛行テスト
- ⑧ 公開実証実験 (2023年3月16日 (木))

シミュレータによる事前検証では、狭隘な溪谷での旋回において、斜面との離隔に安全上の懸念が持たれたことから対地高度を見直して (70m→100m) , より安全マージンを確保した。現地での携帯電話回線の電界強度測定調査では、予想されたとおり地上に比べて電界強度が低い状況が確認され、実際の飛行においても30秒程度、映像伝送が切断される地点や映像の遅延が大きい地点が確認された。2月からスタートした実証実験は、徐々に距離を伸ばし、3月の初旬には2.5 kmの試験区間を通して飛行する試験を開始し、K-PASS のアンテナ方向調整や MCS (Multi Code Scheme / 適応変調) の設定、使用 CH の調整等を入念に実施した。また、実験にあたっては、高速道路や国道の橋梁横断があるため、道路管理者および所轄警察署と協議し、橋梁通過時間について道路管理者及び河川事務所の工事受注者に対して事前通告する手段を整えた。

なお、VTOL 機の遠隔操縦は、山国川河川事務所から遠隔監視画面 (図-5) を見ながら実施した。

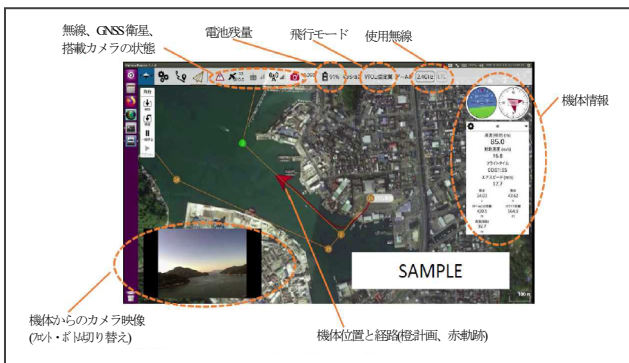


図-5 機体監視制御(GCS)画面

2023年3月16日 (木) 公開実験当日は、テレビ局3局、新聞社3社が取材する中、10:30 に耶馬溪ダムを離陸して実験が開始された(写真-3)。テレビ局の取材では、ヘリによる追尾撮影の依頼があり、安全離隔や追尾位置、飛行予定時間について入念な協議を実施した。当日、風速は微風、天候は曇りという飛行には支障が無い状況で離陸したが、経路上の補助者から雨が降り出したとの連絡があり、約8 kmを過ぎたあたりから機体カメラの映像にも雨滴が付き始め、小雨の中を飛行する状況となった。当該機体はある程度の降雨までは運用出来る仕様となっていることから大きな懸念はなかったが、長距離航行では従来の UAV 運用と異なり、離着陸場所だけでなく、経路上上の気象についても十分配慮する必要があることを痛感した。なお、経路上上の気象情報については、ウェザーニュース(株)から提供されている

UAV 向けの気象サービスを状況把握の手段の一つとして利用した。本サービスは、対地高度150mまでのウインドプロファイルを7つの高度で1 km毎に提供するサービスであり、UAV の運用には有効なサービスである。その他、飛行中に機体の不具合や天候急変などが発生し飛行を中止させた場合、従来の UAV で用いる単に直線で離陸場所へ帰還する RTH (Return to home) では、山岳等への衝突や帰還途中でのバッテリー切れが懸念されたため、対策として飛行位置毎に予め設定した最寄りの不時着地点に着陸 (帰還) させる運用とした。実験区間が残り5.5 kmとなり、K-PASS 区間の目安となる東九州自動車道の橋梁通過後には自営通信網への切り替えに成功、10:50 分過ぎには山国川河川事務所から機体が視認可能となり、減速して高度を下げながら平成大堰上空に到達、マルチコプターモードに切り替えて、ホバリングで平成大堰の施設点検 (デモ) を上空から実施しつつ、10:54 頃に着陸し、実験は無事に成功した。飛行距離は2.5 km、時間は約24分であった。



写真-3 離陸上昇中の VTOL 機 (耶馬溪ダム)

6. 実証実験において取得された成果

本実験の目的の一つであった自営通信網である K-PASS を使用した UAV の遠隔操縦、映像伝送は成功し、携帯電話回線に比べて、通信の安定性や低遅延の特性について優位性が確認された。この成果に基づき、他の河川においても施設管理や巡視に利用出来る自営通信網の仕様として「施設管理用無線 LAN システム (K-PASS) 機器仕様書 (案)」を作成した。

次に、VTOL 機運用の実験結果としては、2.5 km 飛行後のバッテリー残量が約50%であり、設計どおり余裕を持って管理区間を運用出来ることが確認された。なお、事前の試験飛行では最大、風速 7m/s までの離発着試験を実施したほか、追い風及び向かい風時においても試験飛行を実施し、向かい風でバッテリー消費が多い条件であっても、十分な安全マージンを持って2.5 kmを飛行可能であることが確認出来た。

今回の実証実験では、搭載センサーとしてリアルタイム

ムの映像を撮影するFPVカメラに加えて、垂直写真用のデジタルカメラを搭載しており、撮影したデータを用いて飛行終了後、約40分で SfM (Structure from Motion : 写真測量) による三次元点群モデル(図-6)及びオルソモザイク画像を作成した。

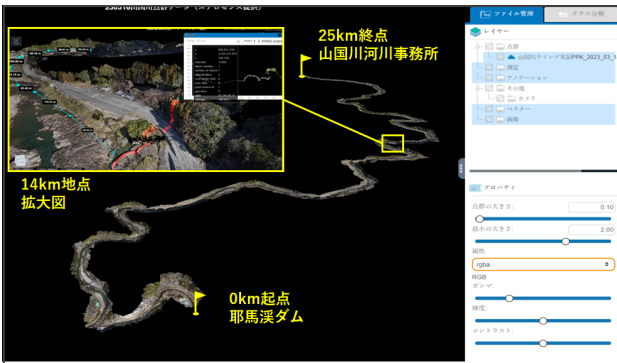


図-6 VTOL機により取得した25km区間の三次元点群データ

このような短時間でかつ自動航行で約25kmの三次元データが取得出来たことは、従来から整備局で運用しているマルチコプター型UAVを用いて実施する場合と比較すると、現地での作業時間に限っても約10倍の時間短縮・効率化(DX)を実現している(図-7)。

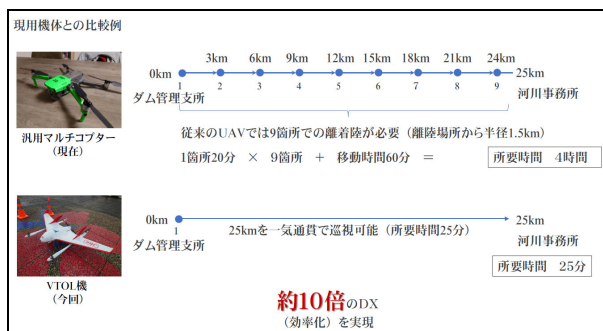


図-7 従来型UAVとVTOL機での25km巡視比較

7. 課題と今後の展望

実証実験の主目的の一つであった施設管理用の自営通信網である K-PASS は、管理用光ファイバやこれに接続された CCTV カメラ、観測所等、既存のインフラを利用して比較的容易に無線基地局を設置することが可能であり、国土交通省が管理する河川や道路空間において様々なDXを実現するためのデジタル基盤として活用出来る。ただし、既存設備の配置がサービスエリアを構築するのに必要な無線基地局の配置として必ずしも最適とは限らないため、場所によっては新たな無線基地局を設置する必要がある。その場合は管理用光ファイバへのクロージャ追加や配管配線、基地局用ポールの新規設置等が必要となる。今回のように UAV だけでなく、河川巡視端末 RiMaDiS や内線通話用ソフトフォン等、屋外で汎用の Wi-Fi 機器も利用することを考慮すると、2.4GHz 帯 ISM

バンドを利用することとなるが、電波の特性上、1つの基地局がカバーする範囲は見通し区間でかつ基地局から距離が最大約2km程度となる。狭隘な山間部の現場等では、さらに短い間隔での基地局設置を要するが、汎用機器の利用を考慮せず、UAV の航行支援や無人重機の操縦などへ特化するのであれば、旧アナログTVのV-Hi帯域である169MHz帯の利用により、基地局数を減らすことが可能である。なお、都市部区間での都市雑音への対処や、省内ネットワークへの接続に対するセキュリティの確保などについては、さらなる追加検証が必要である。

本実験のもう一つの目的である VTOL 機の実証については、想定通りの性能が確認され、K-PASS と組み合わせることで安定した長距離航行・巡視が可能であることが実証された。なお、現場への実装・実運用にあたっては、河川巡視に用いるセンサーとして以下のものを搭載する必要があり、現在検討を進めているところである。

- ・ジンバル搭載型ズームレンズカメラ
(カメラチルト角及び、レンズズーム比の可変)
- ・放流警報巡視等、夜間飛行に必要なIRカメラ
- ・LED投光器の搭載
- ・河川利用者に対する情報提供用スピーカの搭載

一方、若干の課題として、実験に使用した VTOL 機の形態では、マルチコプターモードでの運用時に電力消費がやや大きいことが判明している。対策として、離陸時に消費するエネルギーを節約するため、マルチコプターモードでの垂直離陸・上昇は最小限の高度までに留め、早めに固定翼モードに切り替えてから巡航高度まで上昇させる運用や、機体の強度が許せば、物資輸送用(固定翼)UAV で実現しているカタパルトを用いた発進方法等も検討する余地がある。その他、運用上の課題として長距離航行に必要な区間全域の風況や降雨の有無を把握するための風速計の設置や CCTV カメラの映像活用、占地上空におけるイベント実施の状況(イベント上空の飛行は予め航空局の個別許可承認が必要)について河川利用者との情報共有が必要であり、他の UAV の飛行情報共有や運航調整を実施する UTMS (UAV Traffic Management System : 運航管理システム) の構築や運用、三次元管内図との連携が必要である。その他、操縦資格として河川上空の長距離航行では、レベル3運用に必要な二等若しくは一等無人航空機操縦士の養成あるいは、運航業務委託が必要であり、今年度さらに検討を進めることとしている。UAV で取得したデータは AI と連携させて異常箇所を自動的かつ効率的に検出することが出来れば、インフラ管理の効率化、高度化がさらに進むものと考えられる。

また、現在 K-PASS の多目的利用として、陸上での様々な利活用の検討も進めているところである。すぐにも利活用できるのが、災害時の利活用である。K-PASS

は専用の自営通信網であるため、事業者回線のように利用者が急激に増加するということはなく、輻輳によりネットワークが接続しづらい状況は発生せず、安定した通信を行うことができるというメリットがある。

陸上における通信について、実際に試験を行ったところ、通常業務で使用するパソコンを利用し、現場から1ギガバイトのデータを所内のネットワークサーバ内に約2分でアップロードすることが可能で、また、CCTVカメラと同程度の画質による映像伝送やオンプレミスのWEB会議(写真-4)についても問題無く実施することが可能であり、災害時において安定した通信により現場状況の情報共有等に利活用可能と考える。

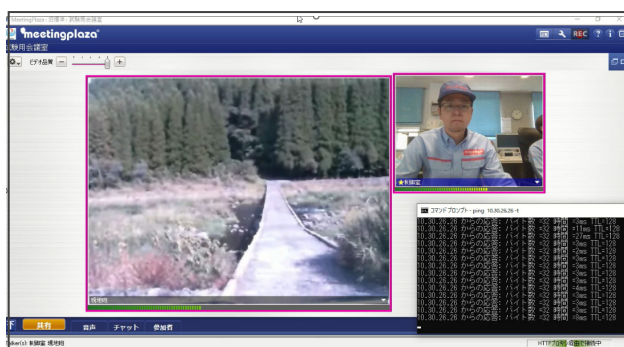


写真-4 K-PASSエリア内におけるWEB会議接続状況

ただし、陸上は上空に比べ障害物となる樹木や建物が

あるため、見通し外となるエリアがあり、不感地帯が生じやすいことも判明している。K-PASSの整備の際は、陸上における通信エリアを考慮した基地局配置の検討が必要である。

河川や道路空間のDXを実現するためのデジタル基盤としてあらゆる利活用が可能となるよう今後も引き続き検討を進めたい。

8. まとめ

今回の実証実験で新型UAVを活用した河川巡視については法的・技術的な検証が概ね完了し、今後は巡視手段の一つとして活用出来るものとする。また、今回検討したK-PASSやUTMSなどのUAV航行支援設備は将来、上空の民間利用が進む際に新たな社会インフラとして活用することも考えられる。UAVの機体そのものや通信方式、取得したデータの処理等は、AIやクラウドの利用などと併せて、技術の進歩が著しい分野であるため、引き続き、関連する分野で開発をアジャイルに進め、社会の役に立つDXを推進する所存である。

謝辞：本実証実験にご協力頂いた(社)建設電気技術協会、日本無線株式会社、エアロセンス株式会社の皆様に深謝いたします。