

第3章 電波不感地帯での飛行についての検証

【実証実験による検証方針】

- ①電波不感地域における補助者を配置しない目視外飛行(レベル3/レベル3.5飛行)の代表的なユースケースの1つとして、山間部に立地するインフラ施設等の点検・巡視が上げられる。2章の調査結果を踏まえ、長島ダム(静岡県榛原郡川根本町)における施設点検を実施することを念頭に、当該環境に適した手法による飛行について、無人航空機の飛行に関する許可・承認申請書に記載する基本的事項や、関係機関との協議・調整、その他安全かつ円滑にドローン飛行を実施するための詳細事項について検討し、実証計画書の作成及び実証飛行の実施により検証する。
- ②長島ダムにおけるダム施設点検の環境に適した手法は、『コマンドホッパー』マルチホップ中継制御通信技術を最適案として選定した。
 - 『コマンドホッパー』マルチホップ中継制御通信技術は、離着陸地点から見通し外、または携帯電話圏外でも通信確保が可能
 - 中継機を使用することで長距離飛行が可能
 - 使用機体・機器の調達も比較的容易

3. 1 実証実験の計画

【実証実験の目的】

- 選定手法(コマンドホッパー等)は、砂防施設点検の実績があるため、その他のユースケースとしてダム施設点検に活用できるのかを確認することを目的に、貯砂ダム等の施設点検(施設の損傷状況および堆砂状況の確認)を行う。
- 選定した手法(コマンドホッパー等)の技術(通信状況、映像伝送等)について確認を行う。

【実施場所の選定】

- 長島ダムで見通し外となる箇所(河床が湾曲した箇所)を選定した。

【飛行ルートを選定】

- 点検用ドローンおよび中継用ドローンの飛行ルートは、以下のよう設定した。
- 点検用ドローン: 使用するドローンの性能(ペイロードを踏まえた飛行時間: 約10分程度)を考慮して設定
- 中継用ドローン: 離着陸地点および点検用ドローンの両方から見通しがきく地点として設定(ホバリング)

【実証実験から想定される成果】

- 通信状況
 - ・ 中継用ドローンを適切な位置(3次元空間において直線見通を確保)でホバリングさせることにより、安全に点検用ドローンを制御・監視することが可能か確認する。
 - ・ 特に、ドローンの構造や向きによって、良好な通信状況を確保できるか確認する。
- その他
 - ・ 砂防施設の点検の実績に加えて、ダム施設点検に関するユースケースでも活用できるか確認する。

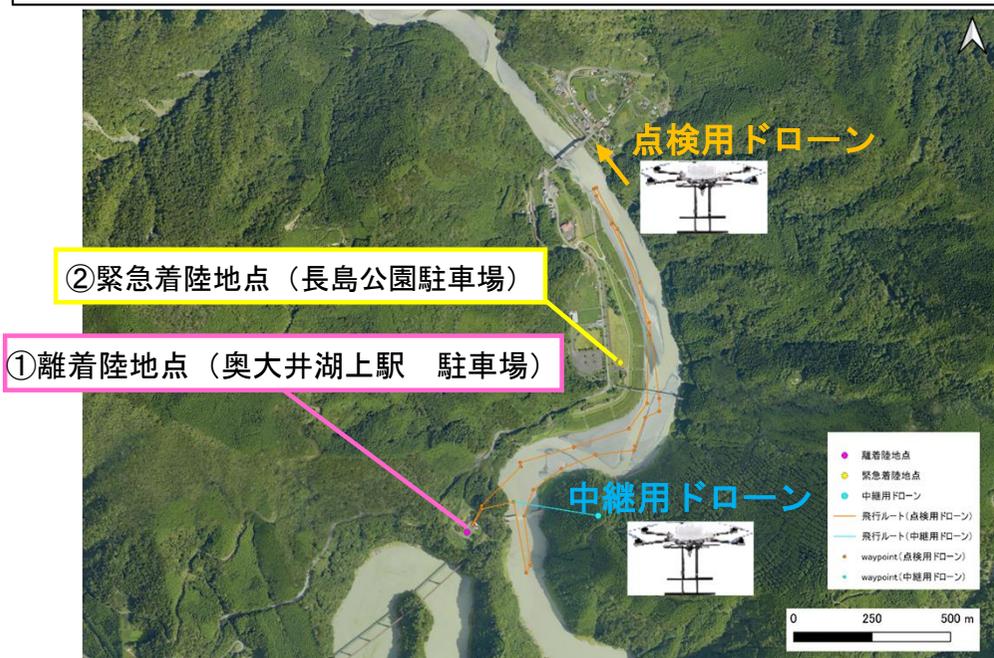


長島ダムの実証実験場所

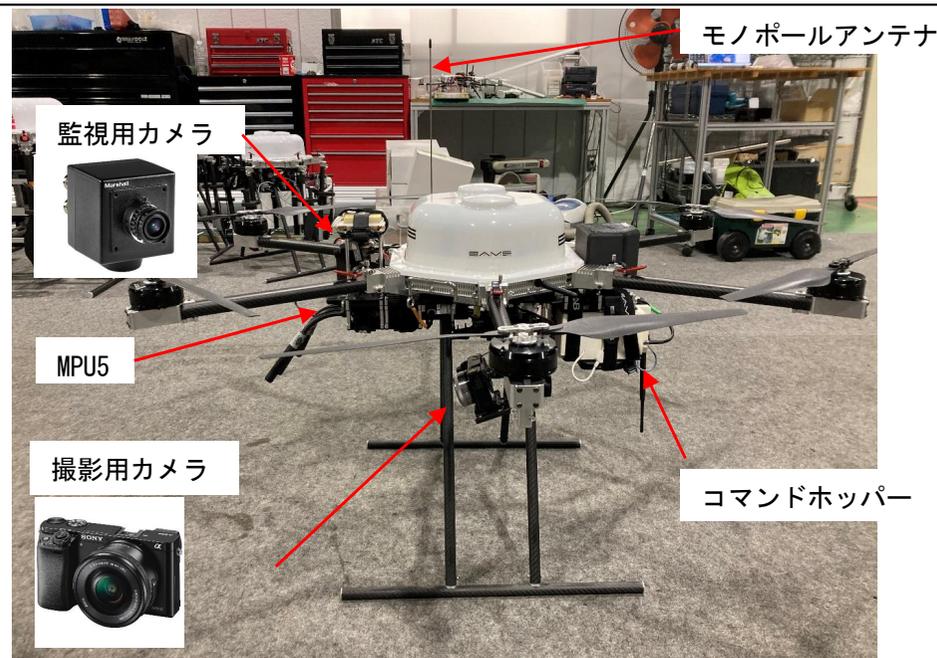
3. 1 実証実験の計画

【実証実験の内容】

➤ 点検用および中継用ドローンの2機体によるドローン中継でダム施設の点検を想定した実証実験を行う。



飛行計画（長島ダム）



中継用ドローンへの使用機材の設置状況

【点検用ドローン】(レベル3飛行技術の確認)
 ・自律飛行による目視外飛行(補助者有り)
 ・1回目: 動画撮影(カメラアングル30°)
 ・2回目: 静止画撮影(垂直: オルソ画像撮影)
 ・飛行距離: 約3.3km・飛行速度: 10m/s
 ・飛行時間: 約6分・対地高度: 100m
 ※飛行諸元は、計画値

【点検用ドローン】
 ・積載重量: 約4.0kg
 ✓ コマンドホッパー: 約0.34kg
 ✓ MPU5: 約1.06kg
 ✓ 撮影用・監視用カメラ+ジンバル: 約1.5kg

【中継用ドローン】
 ・手動飛行による目視内飛行(レベル2飛行)
 ・左岸側尾根の上空でホバリング
 ・飛行距離: 約1.0km
 ・飛行速度: 0(ホバリング時)~10m/s(移動時)
 ・飛行時間: 約10分・対地高度: 149m
 ※飛行諸元は、計画値

【中継用ドローン】
 ・積載重量: 約2.5kg
 ✓ コマンドホッパー: 約0.34kg
 ✓ MPU5: 約1.06kg



利用周波数帯	920MHz帯 (特定小電力無線局)	169MHz帯 (無人移動体画像伝送システムU169)
使用モード	標準	パケットアップ (上空の場合は10mW)
送信電力	20mW	1W
伝送速度 (制御局→端末局)	5~27.5kb/s	0.5~4kb/s
伝送速度 (端末局→制御局)	30~64kbps	4.5~10kbps
テレビ送信同期 可変範囲	27~63msec	174~406msec
サイズ (ケース含む)(アンテナ含まず)	125 x 170 x 83 mm	
重量 (ケース含む)(バッテリー含まず)	約340g	
消費電力	約4W	10mW出力時: 約4W 1W出力時: 約5W

コマンドホッパー（制御信号・位置情報システム）



MPU5（画像伝送システム）

3.2 実証実験の検証結果

【実証実験の概要】

本実証実験は、通信性能テストを含め3月11日(火)～3月13日(金)に実施した。

- 地上部の見通し外の場所で中継機器を使った通信性能テスト(3月11日(雨天))
- 予備フライト2回(3月12日:1回、3月13日:1回)
- 本番フライト4回(3月13日:4回)

【機材・人員の配置】

- 操縦者:3名
- 通信制御者:2名
- 補助者等:8名

コマンドホッパー・MPU5の基地局設置

コマンドホッパー・MPU5の基地局

補助者1名、看板を配置

操縦者1名、安全監視者1名を配置

モニターへの共有状況

制御情報・画像伝送の確認状況

飛行状況の確認状況

操縦補助者2名

通信制御者2名

操縦者2名

点検用ドローン

中継用ドローン

離着陸地点

車両誘導員を配置

補助者1名、看板を配置

補助者1名、看板を配置

補助者1名、看板を配置

● 離着陸地点
● 緊急着陸地点
● 中継用ドローン
— 飛行ルート(点検用ドローン)
— 飛行ルート(中継用ドローン)
● waypoint(点検用ドローン)
● waypoint(中継用ドローン)

0 250 500 m

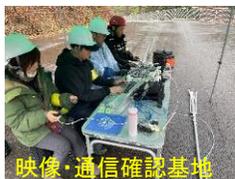
3.2 実証実験の検証結果

【通信性能テスト】

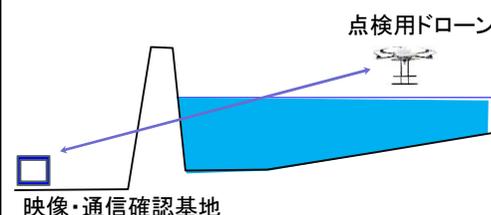
地上部の見通し外の場所(長島ダム)でマルチホップ中継制御通信機器(コマンドホッパー)と映像通信機器(MPU5)の通信性能テストを実施した。

【通信性能テスト状況】

長島ダムの高低差を見通し外と見なし、中継ドローン有無により通信性能テストを実施する。



中継用ドローンを使用しない場合



【169MHz】



制御局

【制御局-端末局間の遅延時間】

ms

【スループット(テレメトリンク)】

0 bps

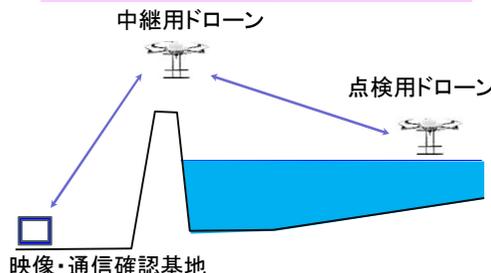
マルチホップ中継制御通信機器
(コマンドホッパー)



映像通信機器(MPU5)

点検用ドローンの映像配信が停止

中継用ドローンを使用する場合



【169MHz】



制御局

【制御局-端末局間の遅延時間】

2665.626 ms



中継局1

【スループット(テレメトリンク)】

9400 bps

マルチホップ中継制御通信機器
(コマンドホッパー)



映像通信機器(MPU5)

点検用ドローンの映像配信継続

【通信性能テスト結果】

長島ダム天端に中継用ドローンがない場合は、点検用ドローンの映像は、基地局に配信されなかったが、中継用ドローンを使用した場合は、点検用ドローンの映像は、基地局へ配信された。このことから、見通し外の場所(長島ダム)でマルチホップ中継制御通信機器(コマンドホッパー)と映像通信機器(MPU5)の性能を確認できた。

3.2 実証実験の検証結果

【実証実験の概要】

本実証実験は、通信性能テストを含め3月11日(火)~3月13日(金)に実施した。

- 地上部の見通し外の場所で中継機器を使った通信性能テスト(3月11日(雨天))
- 予備フライト2回(3月12日:1回、3月13日:1回)
- 本番フライト4回(3月13日:4回,対地高度は計画時100mから120mに変更)

【実証実験の結果概要(本番フライト)】

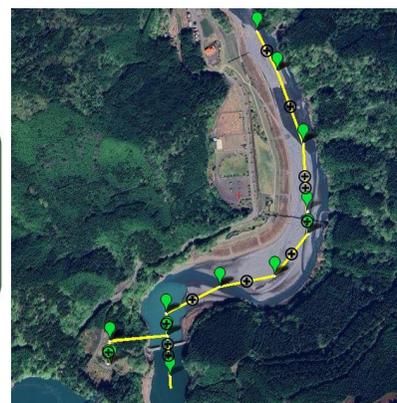
予備フライトで発生した通信の不具合(ノイズフロア上昇による通信リンク維持の不安定化)への対策(コマンドホッパーユニットの搭載位置をGNSSユニットの反対側に変更し、設置間隔を拡大)を実施した上で、本番フライトを実施した。



実証実験の概念図

各フライトの飛行諸元

番号	項目	飛行諸元	
		点検用ドローン	中継用ドローン
フライト1 フライト4	動画撮影	<ul style="list-style-type: none"> 飛行速度: 10m/s 対地高度: 120m カメラアングル: 30° (水平から) MPU5の解像度: 720ピクセル ⇒480ピクセルに変更 	<ul style="list-style-type: none"> 飛行速度: 0~10m/s 対地高度: 149m
フライト2 フライト3	静止画撮影 (オルソ撮影)	<ul style="list-style-type: none"> 飛行速度: 10m/s 対地高度: 120m カメラアングル: 90° (真下) ⇒45° (水平から) MPU5の解像度: 480ピクセル シャッタースピード: 1回/1.2s 	<ul style="list-style-type: none"> 飛行速度: 0~10m/s 対地高度: 149m



飛行ルート(点検用ドローン)

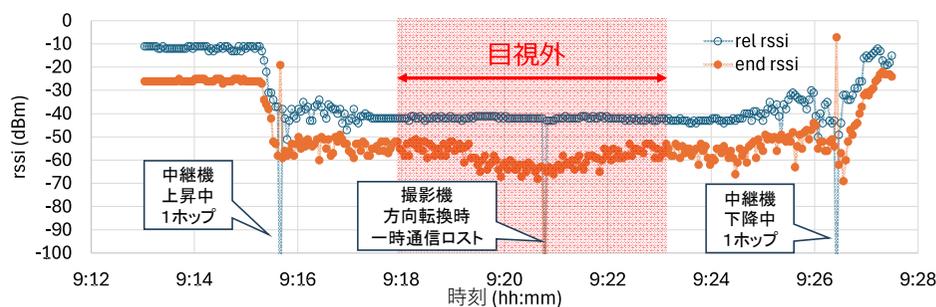


飛行ルート(中継用ドローン)

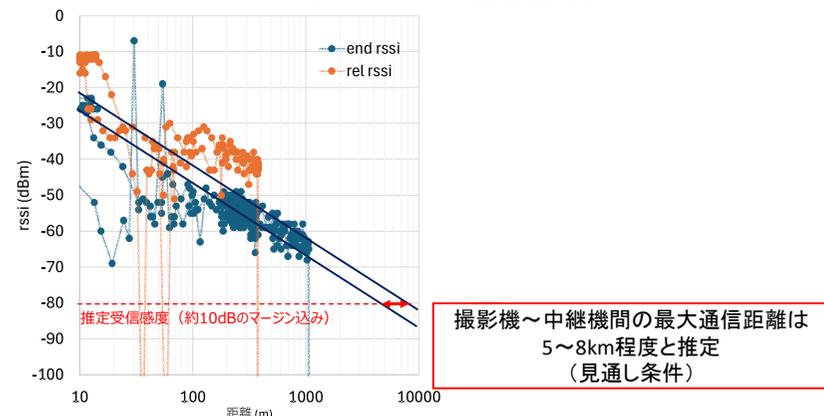
3.2 実証実験の検証結果

【通信・制御情報：コマンドホッパー（フライト1）】

- 中継機の離陸上昇・下降時と撮影機の最遠地点における方向転換時および飛行途中で、一時的な通信ロストが発生したものの、すぐに自動復旧したため、フライトへの影響はなかった。（特に大きな問題なし）
 - 改善策としては、機体がアンテナを遮蔽しないようにアンテナの設置位置を工夫することが挙げられる。
 - コマンドホッパー距離減衰特性図に示す2本の直線は、自由空間における中継機から撮影機が受信する電力の減衰特性の理論値（距離の2乗に反比例）を表し、それぞれ上限と下限を示したものである。
 - 撮影機と中継機の区間の最大通信距離は、5.0～8.0km程度と推定される。
- ※推定受信感度（通信機器が受信可能な最小の信号強度のこと。ここでは、10dBの余裕を考慮して-80dBに設定）と交差する距離が通信限界を示す。



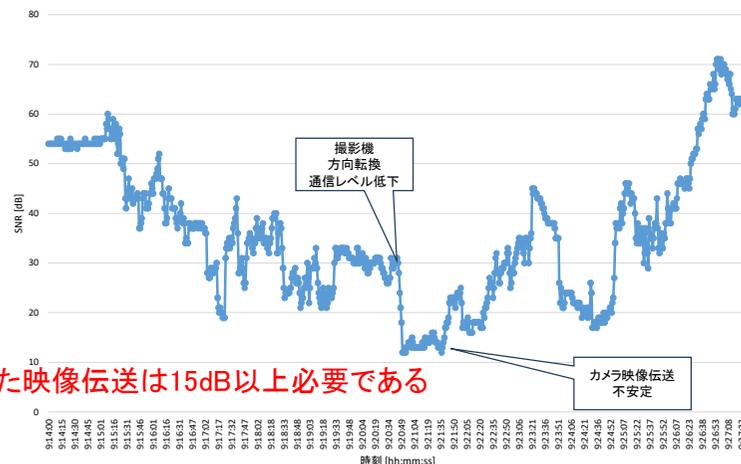
コマンドホッパーの通信強度



コマンドホッパー距離減衰特性図

【通信・映像情報：MPU5（フライト1）】

- 撮影機の最遠地点における方向転換時から吊り橋の横断時まで、カメラの画像伝送が不安定になり、SNRが20dB程度低下した。そのため、フライト1では画像伝送レートを720ピクセルに設定したが、フライト2以降は480ピクセルに変更した。
- 原因としては、コマンドホッパーの通信強度と同様に、ドローンと地上局の位置関係（機体がアンテナを遮蔽する等）によって、アンテナの指向性が一時的に低減したことが挙げられる。
- 改善策としては、機体がアンテナを遮蔽しないようにアンテナの設置位置を工夫することが挙げられる。



飛行軌跡とMPU5の通信強度

3. 2 実証実験の検証結果

【動画撮影(フライト4)】

本実証実験で撮影した動画から、中部地方整備局の長島ダムのドローン公募で撮影する予定となっている対象物と撮影条件に対する撮影成果を評価した。

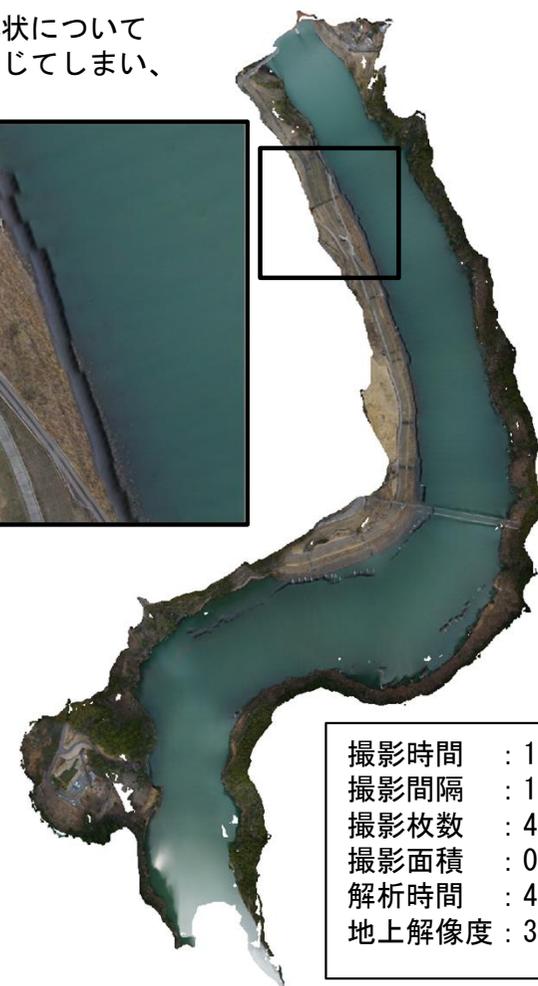
対象物	長島ダムのドローン公募 撮影条件	本実証実験の撮影成果(動画)
貯砂ダム	 施設全体、上流側の状況がわかるか	 実証実験時では水位が上昇していたため貯砂ダムの確認は困難であったが、水位が下がれば施設全体、上流側の状況が確認できると想定される。
管理用道路	 管理用道路の異状を確認できるか	 撮影成果より、管理用道路の状況を確認できるため、緊急時でも、異常を確認できると想定される。
法面	 法面崩落状況を確認できるか	 法面崩落状況を確認できる
法面	 法面崩落状況を確認できるか	 法面崩落状況を確認できる また、UAVの撮影より、法面の俯瞰的に状況を確認することができる。

【静止画撮影(オルソ画像)(フライト3)】

静止画の撮影成果から、オルソ画像を作成した。作成したオルソ画像は、一部歪みが生じ、オルソ画像から対象物を確認できなかった。(撮影画像の範囲と撮影ラップ率の改善が必要)

制御情報・画像伝送の通信状況を踏まえて、可能な範囲で対地高度を下げて、複数の飛行ルートでラップできるように飛行計画を見直せば、歪み等が解消されることが考えられる。

管理用道路の異状について
⇒一部歪みが生じてしまい、
確認が困難



撮影時間 : 11分
撮影間隔 : 1.2s
撮影枚数 : 432枚
撮影面積 : 0.432km²
解析時間 : 46.5分
地上解像度 : 3.81cm/pix

本実証実験の撮影成果からの対象物確認結果

第4章 横展開に向けた資料作成

【横展開資料の作成方針】

横展開に向けた資料作成は、第2章、第3章の調査結果を踏まえ、既存業務の省力化・省人化を念頭に、効果的に運用可能な電波不感地域におけるレベル3又はレベル3.5飛行の手法を検討する上で参考となる情報として、『実現するための手法』と『ユースケースに適用した場合の効果』について、適用場面や条件を明確化し、イメージ図を作成すること等により、設備管理者やドローン関係者等にとって分かりやすい資料を作成した。

①電波不感地域での補助者を配置しない目視外飛行を実現するための手法(5手法)

- 電波中継による通信方法(3手法)、衛星通信方法(2手法)
- 各手法の整理項目(システム名称、会社名、利用上の留意点、適用場面【実績】、適用条件、実施体制、コスト、評価、課題・改善点、社会実装の予定、備考(出典))

②電波不感地帯での補助者を配置しない目視外飛行の効果(代表的な5つのユースケース)

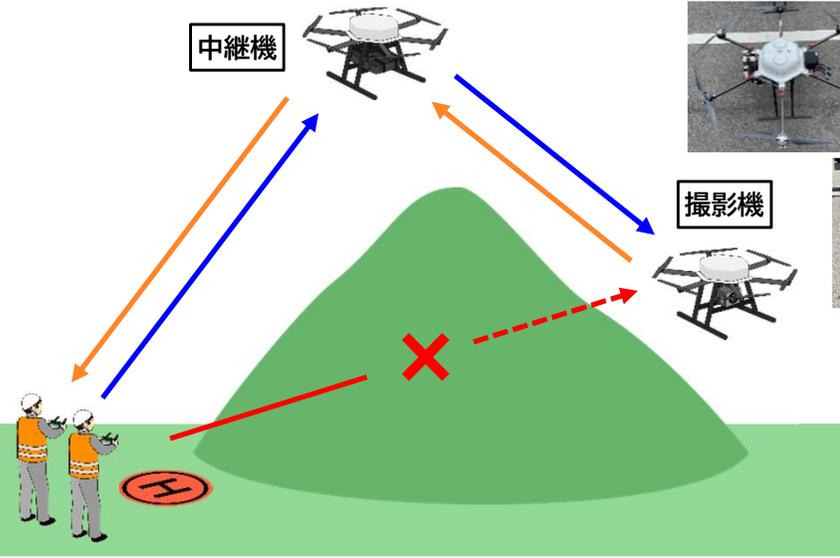
- 『物資輸送』、『送電線の巡視・点検』、『河川の巡視・点検』、『ダムの巡視・点検』、『砂防の巡視・点検』
- 整理項目(取組みの現状、適用場面、適用条件、従来手法、ドローン活用、期待される効果、課題、備考(出典))

4.1 電波不感地域での補助者を配置しない目視外飛行を実現するための手法

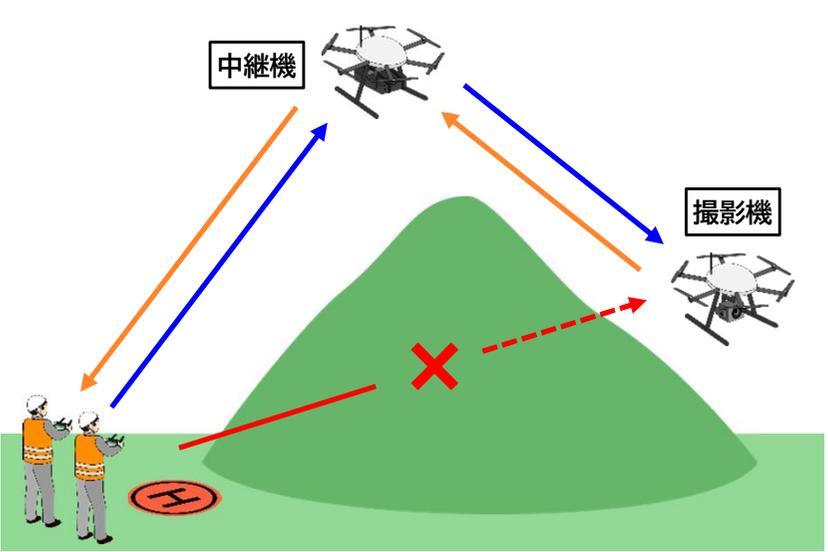
電波不感地帯では、LTE通信を利用した遠隔操作が行えず、見通し外での飛行が制限される場合がある。この課題を解決するための手法には、『電波中継による通信方法』と『衛星通信』による2種類の方法がある。また、各通信方法に関する事例調査を行った結果、以下に示す5つの通信システムが確認された。調査結果より、『電波中継による通信方法』は、実証実験の段階であり今後の社会実装が期待される。

No	分類	システム名称	会社名
1	電波中継による通信	『コマンドホッパー』マルチホップ中継制御通信技術	NICT(国立研究開発法人情報通信研究機構)
2		ドローン中継システム	株式会社ACSL
3		小型公共BB無線システム	株式会社国際電気
4	衛星通信	衛星通信システム	ヤマハ発動機株式会社
5		『Satellite Mobile Link』Starlinkを活用したauエリア構築ソリューション	KDDIスマートドローン株式会社 KDDI株式会社

4.1 電波不感地域での補助者を配置しない目視外飛行を実現するための手法【電波中継①】

システム名称	『コマンドホッパー』 マルチホップ中継制御通信技術	会社名	NICT(国立研究開発法人 情報通信研究機構)
システム概略構成	 <p>【ドローン:2機】 撮影機, 中継機 イームスロボティック (E6106FLMP)</p> <p>①操縦用無線機 (コマンドホッパー) ②撮影用カメラ (例: SONY α 6000) ③映像中継用 無線機(MPU5)</p> <p>【操縦用無線機(コマンドホッパー)】: ◆周波数: 920MHz帯, 169MHz帯 ◆大きさ: 160×130×85mm(アンテナ含まず) ◆重量: 290g(バッテリー, アンテナ別)</p> <p>【映像中継用無線機(MPU5)】: ◆周波数: 5.7GHz ◆大きさ: 200×67×38mm(アンテナ含まず) ◆重量: 886g(バッテリー380g含む)+172g(アンテナ3本)</p>	利用上の 留意点	◆ドローン制御情報(169MHz帯)の双方向通信用無線システムであり、映像情報(5.7GHz帯)は別の市販システムとの併用が必要
	適用場面 【実績】	【砂防】山間部_緊急時_臨時点検 【ダム】山間部_平常時_巡視_定期点検	
	適用条件	<p>【通信距離】直線見通し_最大20km(実績10km程度)、最大3ホップ(中継機2機+撮影機)まで対応可能</p> <p>【機体】制限有り(ペイロード, 機種) ◆中継装置(約2.5kg)のペイロードに対応可能なドローンを選択する必要がある ◆日本製ドローンに多く利用されているフライトコントローラ(Pixhawk)に対応しているが、DJI製には非対応</p>	
	コスト	◆機体: 約400万円/台(実績のある機体) ◆中継装置: コマンドホッパー(試作品_未定), MPU5(約300万円/個)	
実施体制	撮影ドローン(操縦者、オペレータ)、中継ドローン(操縦者、オペレータ)、制御情報監視者、映像情報監視者	課題 ・ 改善点	コマンドホッパーやMPU5の通信性能(通信可能距離)やバッテリー性能に対して、ドローンの飛行性能(特に、ペイロード影響による飛行時間が短い)が課題(長時間飛行、ペイロード改善が必要)
評価	地上局と撮影ドローンの全ての移動範囲に対して、直線見通しが確保可能な位置に中継ドローンを配置することで安定した飛行が可能となる。中継ドローンは、最大で2機体まで拡張することが出来る。また、日本製ドローンに多く利用されているフライトコントローラ(Pixhawk)に対応しており、利用可能なドローンの選択肢は限定されない。		
社会実装の 予定	◆コマンドホッパー(ドローン制御情報の双方向の通信用無線システム)は、販売に向けて製品化を予定している。 ◆映像情報通信システム(MPU5)は、市販されている。		
備考(出典)	https://www.nict.go.jp/press/2024/01/25-1.html		

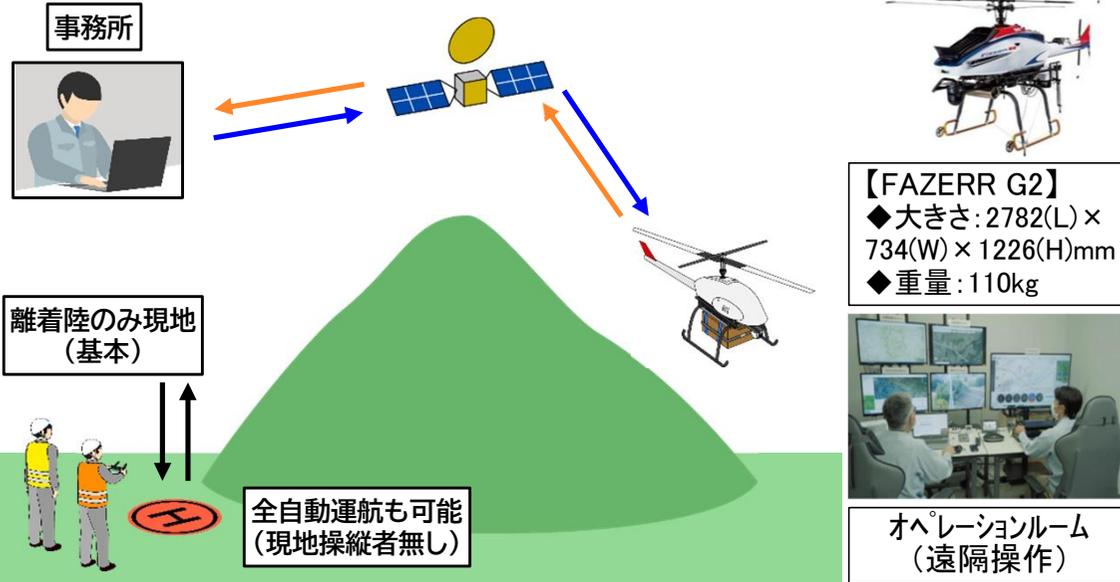
4.1 電波不感地域での補助者を配置しない目視外飛行を実現するための手法【電波中継②】

システム名称	ドローン中継システム		会社名	株式会社ACSL
システム概略構成	 <div data-bbox="1003 268 1301 459" style="float: right;">  </div> <div data-bbox="1003 480 1301 788" style="float: right; border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>【ドローン:2機】 撮影機,中継機 ACSL-PF2 ◆大きさ:1173 × 1067 × 654mm ◆重量:8.6kg (電波中継仕様) ◆耐風性能:10m/s ◆飛行時間:約15分</p> </div>		利用上の留意点	◆ドローン制御情報(920MHz帯)と映像情報(5.7GHz帯)の2つの無線機を利用したシステムである ◆指向性アンテナを利用しているため、撮影ドローンの移動に伴い、電波通信状態が不安定になる場合がある
	<div data-bbox="159 868 786 979"> <p>①制御情報無線機:周波数920MHz帯 ②映像情報無線機:周波数5.7GHz帯 (デジタル映像送受信機_BODUK HN800D-TR)</p> </div> <div data-bbox="792 826 1048 979" style="float: right;">  </div> <div data-bbox="1055 868 1301 943" style="float: right; border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>◆搭載カメラ例 (Sony UMC-R10C)</p> </div>		適用場面【実績】	【砂防】山間部_緊急時_臨時点検
			適用条件	【通信距離】直線見通し_最大4km(実績約3km程度) 【機体】制限有り(機種) ◆ACSL社製ドローン(ACSL-PF2)に限定した中継装置となっている
			コスト	◆機体:約500万円/台(実績のある機体) ◆中継装置:見積対応
実施体制	撮影ドローン(操縦者、オペレータ)、中継ドローン(操縦者、オペレータ)、制御情報監視者、映像情報監視者		課題・改善点	
評価	地上局と撮影ドローンの全ての移動範囲に対して、直線見通しが確保可能な位置に中継ドローンを配置することで安定した飛行が可能となる。実証実験より、5.7GHz(映像情報)通信は、指向性の高いデジタルアンテナを使用しているため、撮影ドローンの移動(急峻地形:湾曲・回転等)により一部通信が不安定になる場合があった。			
社会実装の予定	◆実証実験の段階であり、ドローン中継システム(920MHz帯, 5.7GHz帯)に関する製品化の予定は無い。 ◆2.4Ghz帯のみで制御・映像情報を中継する技術開発を進めている。			
備考(出典)	UAVの自律飛行による天然ダムおよび砂防関係施設の点検・調査_ https://www.mlit.go.jp/tec/i-construction/pdf/2021award/01_chuden.pdf			

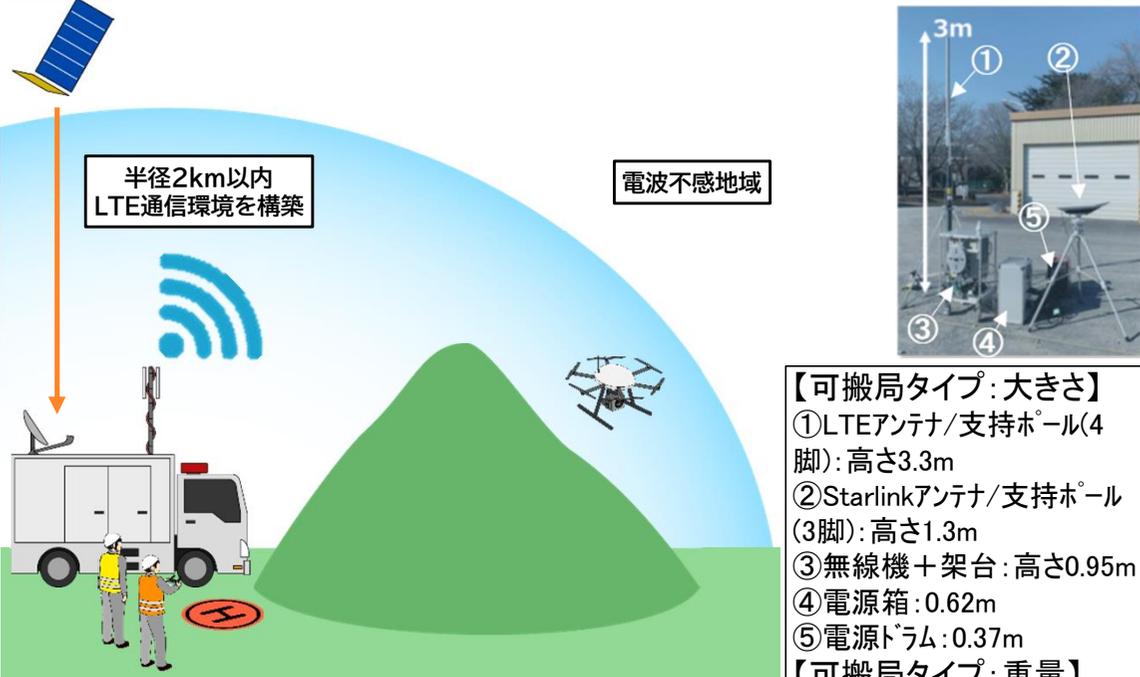
4.1 電波不感地域での補助者を配置しない目視外飛行を実現するための手法【電波中継③】

システム名称	小型公共BB無線システム	会社名	株式会社国際電気
システム概略構成	<p>【小型公共BB無線機】◆送受信周波数:200MHz帯◆大きさ:幅210mm,高さ90mm,奥行き200mm◆重量:約2.7kg◆消費電力:70W以下</p>	利用上の留意点 ◆主に映像情報(200MHz帯)を受送信するシステムであり、ドローン制御情報は伝送できない ◆地上利用の公共BB装置(背負子型)は、市場導入されており、多段中継機能にフォームウェアをアップデートすれば連携が可能	株式会社国際電気
	適用場面【実績】 【砂防】山間部_緊急時_臨時点検		
	適用条件 【通信距離】直線見通し_最大約30km(実績約3km程度) 【機体】制限有り(パイロット) ◆中継装置(約7.5kg)のパイロットに対応可能なドローンを選択する必要がある		
	コスト ◆機体:約500万円/台(実績のある機体) ◆中継装置:約500万円/台		
実施体制	公共BB基地局監視者、公共BB中継局中継ドローン(操縦者、オペレータ)、公共BB移動局(地上またはドローン撮影者)		
評価	小型公共BB無線機は、映像等の情報を送信するものであり、ドローン制御情報等は伝送していない。公共BB無線機は、災害現場の映像伝送等の通信機器として社会実装(国交省等:背負子型,一対通信)されており、ドローン搭載用の小型化や多段中継機能により、電波不感地域において広範囲の利用が可能となる。	課題・改善点	◆小型公共BB装置(インドアモデル)をドローンに搭載して電波中継を目的とした実証実験を行った段階であり、小型公共BB装置の小型化・軽量化が課題となっている。 ◆アンテナのノイズ対策として、アンテナ離隔を2.4m確保した構造としており、ドローンのノイズ対策とアンテナ設置の小型化・最適配置が課題となっている。
社会実装の予定	◆公共BB無線機のさらなる小型化を目指した開発を進めているが、製品化までには至っていない。 ◆防災対応等の緊急時だけでなく平常時にも利用できるように、ヘリコプターやドローン(固定翼:胴体に平面アンテナを取り付け)への搭載について検討している。		
備考(出典)	携帯電波不感地域における公共ブロードバンドを活用した映像伝送技術 _https://www.kkr.mlit.go.jp/plan/happyou/theses/2023/lbhrs000000m79u-att/a1684914003643.pdf		

4.1 電波不感地域での補助者を配置しない目視外飛行を実現するための手法【衛星利用①】

システム名称	衛星通信システム	会社名	ヤマハ発動機株式会社
システム概略構成	 <p>【FAZERR G2】 ◆大きさ: 2782(L) × 734(W) × 1226(H)mm ◆重量: 110kg</p> <p>全自動運航も可能 (現地操縦者無し)</p> <p>オペレーションルーム (遠隔操作)</p> <p>【自動航行型無人ヘリコプター FAZERR G2(衛星通信+LTE通信システム)】 衛星通信とLTE通信の併用により、通信の二重化で冗長性を高めている。LTE通信が利用できるエリアはLTE通信を利用(自動切換え)する仕組み。</p>	利用上の留意点	◆ドローン制御情報と映像情報を通信衛星(インマルサット)を使って受送信するシステム ◆衛星通信を利用しているため受送信情報の時間遅れ(約3~4秒程度)がある
	適用場面【実績】	【砂防】山間部_緊急時_臨時点検 【物資輸送】離島_平常時_日用品・食品	
	適用条件	【通信距離】制限無し(実績: 静岡⇄奈良_約200km程度、奄美離島約18km程度) 【機体】制限有り(機種) ◆ヤマハ社製ドローン(Fazer_R_G2)に限定した衛星通信システムである ◆衛星通信の時間遅れがあるため飛行可能な場所が限定される(道路・橋梁等の人の横断には留意必要)	
	コスト	◆機体: 約4,500万円/台 ◆衛星通信システム: 約1,000万円	
実施体制	離着陸操縦者(省略の可能)、遠隔操縦者		
評価	衛星通信システムを搭載した大型のドローン(回転翼: エンジンタイプ)である。機体運航(基本)は、オペレーターが現地で手動操作により離着陸を行うが、衛星通信によるオペレーターは遠隔地(ネット回線のオペレーションルーム)で遠隔操縦を行うことが可能。LTE通信と衛星通信の二重化を図り、衛星通信のコスト低減が図れる通信システムを構築している。また、自律で離着陸できるシステムを構築している。		課題・改善点 衛星通信(特に、画像伝送)を使った場合、通信料金が高くなることが課題である。海上等の定期運航において、衛星通信のデータ量を少なく(映像伝送をしない等)する方法を検討している。
社会実装の予定	◆現在、商用販売しており、奄美アイランドドローン(株)(※奄美瀬戸内町、JAL)により物資輸送サービスが実装されている。 ◆物資輸送(資材運搬)関連の技術開発: ローターサイズを大きくし搭載量を増やすことで、ペイロード50kg程度の機体で長距離運用ができるように技術開発(ペイロードの向上、時速100km/h程度での巡航)を進める予定。		
備考(出典)	瀬戸内町とJALは、共同でドローン運航会社「奄美アイランドドローン株式会社」を設立 _http://www.town.setouchi.lg.jp/joho/cho/sangyo/amamiislanddrone.html		

4.1 電波不感地域での補助者を配置しない目視外飛行を実現するための手法【衛星利用②】

<p>システム名称</p>	<p>『Satellite Mobile Link』Starlinkを活用したauエリア構築ソリューション</p>	<p>会社名</p>	<p>KDDIスマートドローン株式会社 KDDI株式会社</p>	
<p>システム概略構成</p>	 <p>半径2km以内 LTE通信環境を構築</p> <p>電波不感地域</p> <p>【可搬局タイプ：大きさ】 ①LTEアンテナ/支持ポール(4脚): 高さ3.3m ②Starlinkアンテナ/支持ポール(3脚): 高さ1.3m ③無線機+架台: 高さ0.95m ④電源箱: 0.62m ⑤電源ドラム: 0.37m</p> <p>【可搬局タイプ：重量】 ◆一式: 約130kg(全てハイースで運搬可能) ◆最重量機材: 30kg</p>		<p>利用上の留意点</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆スターリンク衛星をau基地局に接続し、モバイル通信・Wi-Fi環境が構築可能 ◆固定局(長期)、可搬局(短期)の2タイプが利用可能 ◆増設により基地局間でLTEが連続利用可能
	<p>適用場面【実績】</p>	<p>【ダム】山間部_平常時_巡視・定期点検 【物資輸送】山間部_緊急時_救援物資</p>		
	<p>適用条件</p>	<p>【通信距離】直線見通し_最大半径2km、使用する周波数(800MHz帯)は、ある程度の遮蔽物に対しても電波の回り込みが期待できる(事前確認が必要) 【機体】制限有り(通信方法) ◆LTE通信機能を有するドローン</p>		
<p>実施体制</p>	<p>ドローン操縦者、可搬局タイプ(機材運搬者、システム設定者)</p>		<p>コスト</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆固定局タイプ: 約30~50万円/月(契約期間48ヶ月の場合) ◆可搬局タイプ: 約30~40万円/月(契約期間12ヶ月の場合)
<p>評価</p>	<p>固定局タイプと可搬局タイプがあり、電波不感地帯において4GLTE通信のエリア化(設置地点から半径約2km範囲)が出来るため、ドローン点検に加えて、携帯電話による音声通話、データ送信の利用、現場作業員への遠隔支援、緊急時の連絡等、複合的な利用が可能となる。</p>		<p>課題・改善点</p>	<p>LTE通信は、通信可能エリアが高度によっても異なるため、飛行計画では、事前の通信状態確認を行った上で飛行させる必要がある。</p>
<p>社会実装の予定</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・現在、商用販売、サービス提供を実施している。 ・電波通信は、現在、基地局とドローンが通信する仕組みとなっているが、衛星と直接通信を行うことを検討している。 			
<p>備考(出典)</p>	<p>Starlinkを活用した自律飛行型ドローンによる葛野川ダムでの遠隔点検実証を実施 https://biz.kddi.com/topics/2024/news/012/</p>			

4.2 電波不感地帯での補助者を配置しない目視外飛行の効果 代表的な5つのユースケース

ドローンは、物流輸送やインフラ施設の点検等の実証が各地で実施され、一部では実際の業務での活用が進んでいる。特に、過疎地の物資輸送、送電線の点検、河川の巡視、ダム・砂防施設の巡視・点検といった、山間部等での長距離・広範囲にわたるインフラ施設の点検・巡視については、現地までの移動や現地での作業に多大な労力を要している現状があり、ドローンを活用することによる省人化・省力化が期待されている。一方、山間部等においては通信インフラ等が十分に整備されていない地域(電波不感地域)が多く、見通し外での飛行における採用例が多いLTE通信を利用した遠隔操作が行えず、ドローンが活用できない場合がある。本資料は、電波不感地帯での補助者を配置しない目視外飛行を実現するための手法やその活用事例についての調査結果から、以下に示す5つのユースケースに適用した場合の効果(実績や目標等)についてとりまとめた。



4.2 電波不感地帯での補助者を配置しない目視外飛行の効果

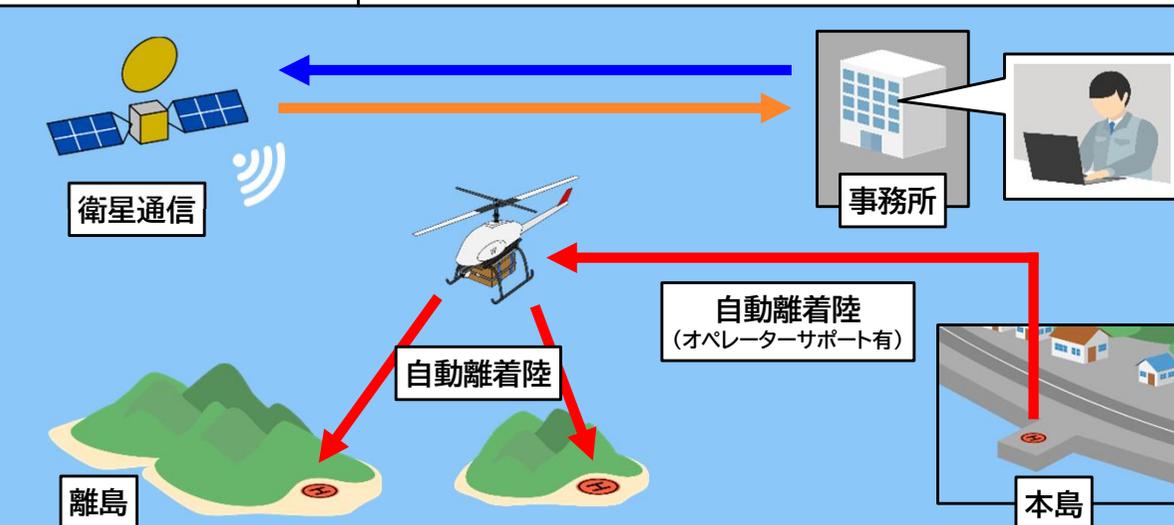
ユースケース『物資輸送』

【取り組みの現状】ドローン物流の導入は、「ドローンを活用した荷物等配送に関するガイドライン」が整備されており、例えば、離島や山間部などの物流需要の少ない地域における物流網の維持、自動車免許の返納や店舗撤退による買物困難、地域医療の担い手の減少による医療アクセスの縮小などの地域課題に対して、ドローンの役割を事業計画者が明確に設定して取り組むことが求められている。

【適用場面】離島

＜平常時＞医療関係品や日用品の定期配送
 ＜緊急時＞孤立集落への緊急支援物資の輸送

【適用条件】
＜機体＞・最大ペーロードは、物資重量以上であること。
＜飛行方法＞・長距離輸送が求められるため目視外飛行が出来ること。
 ・機体に搭載したカメラにより、周囲に航空機等が飛行していないか確認できること。
 ・飛行経路下における第三者の有無および飛行ルート全体の障害物の有無を確認できること。
＜安全を確保するための必要な措置等＞・離着陸場所は、視界を遮るものや障害物のない落下リスクが低い場所に設置できること。
 ・飛行ルートは、機体落下時のリスクが小さい場所（海上、山林等）の上空にルート設定できること。（リスクが高い民家・道路等は極力避ける）
 ・レベル3飛行の場合は、立入管理区画に第三者の立入りが生じていないことを確認できること。（補助者の配置等）



【従来手法】

【輸送方法】海上輸送（フェリー）、航空輸送（有人ヘリ）等
【輸送距離】約30km（片道：鹿児島県古仁屋～与路の事例）
【輸送時間】50分（海上輸送：寄港なし：月曜日1便のみ）
 1時間40分（海上輸送：寄港あり；その他の便）

【ドローン活用実績】（事例）

【事業者,時期】奄美アイランドドローン(株)（奄美瀬戸内町とJALの共同運航会社）、サービス開始（2024年2月29日～）
【使用機体】ヤマハ発動機(株)製_FAZER RG G2(1機)、最高速度:72km/h、搭載可能重量:15kg(貨物自動切離装置使用時)、飛行可能風速:～平均10m/s
【運行ルート】
 手安ヘリポート(古仁屋)⇔与路港(18km/片道、約30分)
 手安ヘリポート(古仁屋)⇔池地港(15km/片道、約25分)
【運航形態】
 目視外・遠隔運航(衛星通信およびLTE通信)レベル3.5飛行

【効果】海上輸送よりも輸送時間が短くなり、一部の代替手段として利用できる。
 ＜救援物資:防災・災害対応＞発災時、孤立集落等における必要物資要請に基づき、防災備蓄品等の救援物資を緊急輸送できる。
 ＜医薬品:地域医療の維持＞薬剤師による患者様(与路島)への定期的な処方薬配達について、その一部をドローン輸送できる。
 ＜日用品:海上輸送による遅配・欠配を補完＞与路島、請島の小中学校への定期的な食材(生鮮食品含む)の配送や定期的な新聞(朝刊)の配送について、その一部をドローン輸送できる。

【課題】通常は、遠隔からの全自動運航を行っているが、緊急時等に対応可能なオペレータの育成が課題となっている。また、1回の運航で輸送できる物資(重量)を増加させる等、物資輸送のコストダウンが課題となっている。

【備考(出典)】

・ドローンを活用した荷物等配送に関するガイドラインVer.4.0,国土交通省,2023年3月.
 ・<http://www.town.setouchi.lg.jp/joho/cho/sangyo/amamiislanddrone.html>

4.2 電波不感地帯での補助者を配置しない目視外飛行の効果

ユースケース『送電線の巡視・点検』

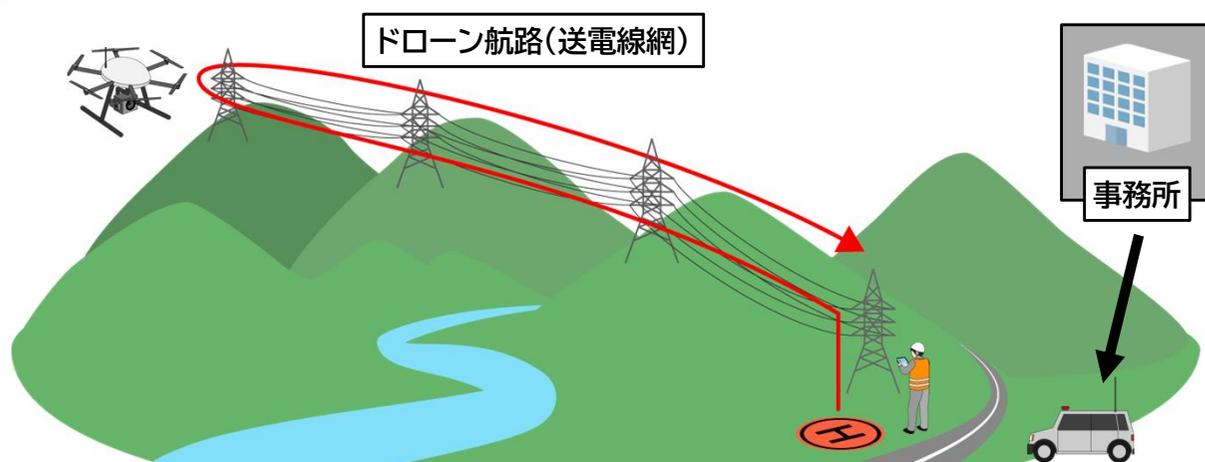
【取り組みの現状】デジタルライフライン全国総合整備計画(2024年6月:デジタル行財政改革会議決定)では、送電網の既存インフラを利用したドローン航路の整備とドローン航路を活用した目視外の自律・自動飛行による巡視・点検や物流等の自動化を「面的」に普及させることを目指している。また、グリッドスカイウェイ有限責任事業組合(全国の電力会社他9社)では、「ドローン航路プラットフォームの構築」「ドローンを使った電力設備の巡視・点検の高度化」等についてドローンの社会実装に向けた取り組みを行っている。

【適用場面】山間部

＜平常時＞送電設備・配電設備・変電所の巡視・点検

＜緊急時＞災害発生時の被害状況把握(立入り困難地区等)

【適用条件】＜機体＞・使用機体が普通自動車等で運搬可能な大きさであること。・長距離飛行/長時間飛行ができること(飛行距離:最低50km、飛行時間:最低3時間)。・使用機体が帯電界性能、帯磁界性能があること。・搭載カメラで30m以上離れた場所でも異常個所の判別ができること。＜飛行方法＞・自律飛行・目視外飛行ができること。・50km離れた場所でも制御指示等が実施できること。・遮蔽物等があっても利用できること。＜安全を確保するための必要な措置等＞・電磁界の影響により、送電線に対して一定の離隔距離を保って安定に飛行できること。



社会実装:LTE環境のある場所から段階整備

山の麓からドローン自動飛行

車両移動

【従来手法】

【巡視方法】目視による設備異常、周辺状況の変化有無、道路状況等により立入り困難な区域の状況確認(2回/年)

【点検方法】昇塔・宙乗りを行い、鉄塔損傷、架空線の素線切れ等の異常を発見する(1回/10年)

【災害対応】大雨や地震等の災害発生時では、自治体からの情報提供(停電情報、気象データ、被害状況)により巡視範囲を設定し、車両やヘリ等で巡視を行い、設備の健全性確認や異常箇所の特定を行う

【作業人数】2名体制

【作業時間】1,070人・分/2基(机上準備、車両移動、登山往路、昇降点検、登山復路、車両移動、登山往路、準備、昇降点検、登山復路、車両移動、報告書作成)

【効果】

＜生産性向上＞送電設備の点検において、ドローンを活用することで、「作業員の徒歩での山登り、鉄塔の昇降をなくすことで生産性が約5倍に上昇する」等の導入効果が示されている。また、これらの取り組みは、作業員の高齢化・要員減への対応につながる。

＜安全性向上＞ドローンを活用することで、危険な場所での作業が減り、事故等に対する安全性が向上する。

＜災害対応の迅速化＞ドローンを活用することで山間部における災害発生時の被害状況を迅速に把握することができる。

【ドローン活用(算定例)】

【作業人数】1名体制

【作業時間】219人・分/2基(電力会社の特定事業所における山間部設備の作業時間算定のベストケース)

【課題】LTEが利用できる通信環境において実証実験等が行われ、ドローン航路プラットフォームの構築、巡視・点検の高度化が進められており、電波不感地帯での取り組みは今後の課題となっている。

【備考(出典)】・デジタルライン全国総合整備計画概要https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/digital_architecture/gaiyo.pdf

・グリッドスカイウェイ有限責任事業組合<https://www.gridskyway.com/> ・秩父市未来技術社会実装協議会<https://www.city.chichibu.lg.jp/9410.html>

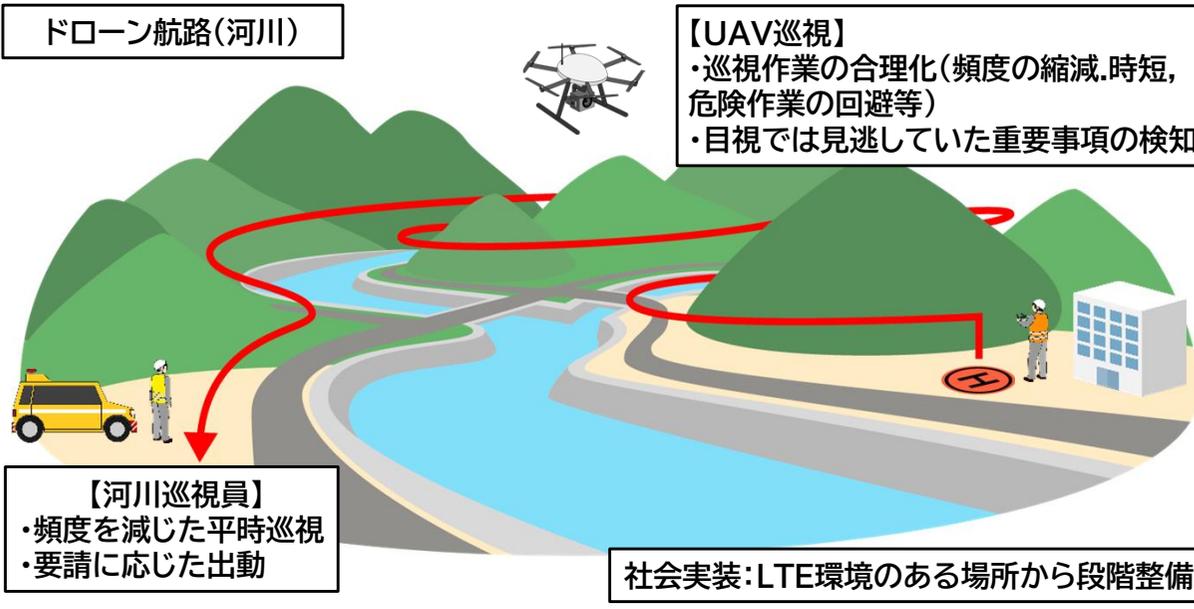
4.2 電波不感地帯での補助者を配置しない目視外飛行の効果

ユースケース『河川の巡視・点検』

【取り組みの現状】デジタルライフライン全国総合整備計画(2024年6月:デジタル行財政改革会議決定)では、河川の既存インフラを利用したドローン航路の整備とドローン航路を活用した目視外の自律・自動飛行による巡視・点検や物流等の自動化を「面的」に普及させることを目指している。また、国土交通省水管理・国土保全局では、「ドローンを活用した河川巡視・点検の適用検討会」において、ドローンを活用した河川巡視・点検の段階的な実装に向けた技術検討により、河川管理の高度化・効率化を図る取り組みを行っている。

【適用場面】山間部
<平常時>河道・河川管理施設・許可工作物の巡視・点検
<緊急時>河道・河川管理施設・許可工作物の出水後点検

【適用条件】**<機体:長距離巡視用・点検用の2タイプ>**・長距離巡視用:小型センサーを搭載して高速移動で飛行し、概括的に河川を把握(出張所の管理区間_約40kmを一気通貫で巡視)できること。・長距離点検用:複数センサ(または高性能センサ)を搭載して中低速移動で計測し、詳細に河川を把握できること。・事務所や出張所の基地から垂直離着陸できること。・**<飛行方法>**・自律飛行が出来て、事業者回線や自営無線網(SRS)を介して遠隔制御できること。・**<安全を確保するための必要な措置等>**・堤外地や堤防、植生と十分な離隔を確保してドローン運航ができること。・電波環境、気象条件に影響されることなく安全に運航管理ができること。



【従来手法】
【巡視方法】河川巡視(管理河川)は、河川法施行令等に基づき概括的に異常及び変化等を把握する。また、不法行為への対応等、発見時に迅速な初動対応を行う。(2巡/週)
【点検方法】河川点検は、同様に、異常および変化等を発見・観察・計測する。(1回/年以上)
【作業人数】2名体制(巡視現場)
【作業範囲・時間】約40km/日、5.5時間(1出張所の管理区間:パトロール車・徒歩_外業4時間、写真・記録整理、帳票入力_内業1.5時間)

【ドローン活用(レベル3.5_レベル4:算定例)】
【作業人数】1名体制(離発着操作、データ確認)
【作業時間】3時間(出張所等からの自動航行_外業2時間、AI異常抽出(通報)、自動帳票_内業1時間)
 (別途、要請を踏まえた局所の車両巡視を行う)

【効果】
<生産性向上>ドローンを活用した河川巡視は、段階的な整備を目指しており、「パトロール車・徒歩からドローン巡視に変更することで生産性が約1.8倍になる」等の導入効果が示されている。
<災害対応の迅速化>ドローンを活用することで災害発生時の被害状況を迅速に把握することができる。

【課題】レベル2飛行やLTEが利用できる通信環境における実証実験等を行い、巡視・点検の高度化(河川巡視・点検の将来像の整理、河川管理用UAVに求める標準仕様策定、UAV自律飛行のための通信仕様策定等)が進められている。また、電波不感地帯での取り組みは今後の課題となっている。

【備考(出典)】・デジタルライン全国総合整備計画概要 https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/digital_architecture/gaiyo.pdf
 ・ドローンを活用した河川巡視・点検への適用検討会 https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/kentoukai/dornetekiyou/index.html

4.2 電波不感地帯での補助者を配置しない目視外飛行の効果

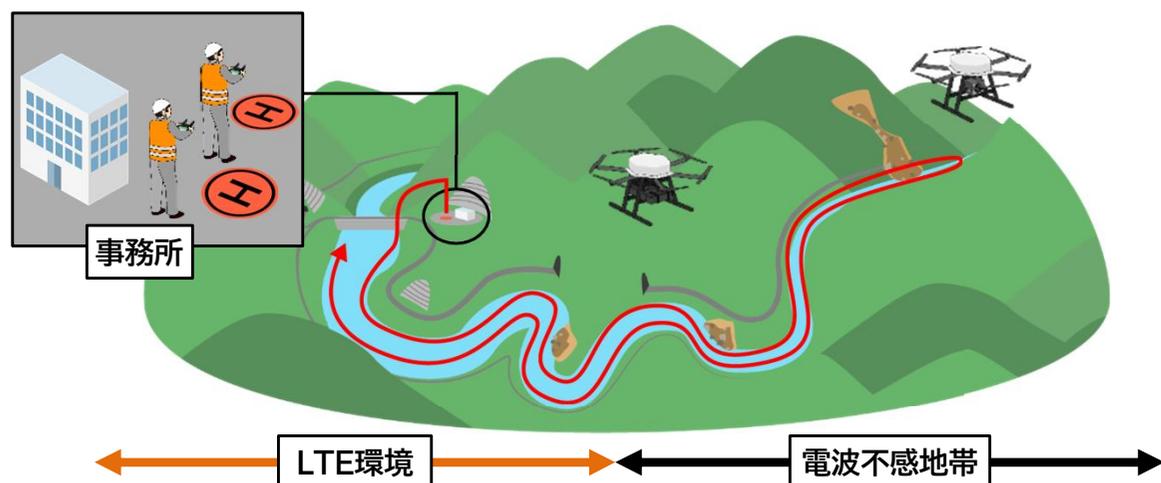
ユースケース『ダムへの巡視・点検』

【取り組みの現状】国土交通省中部地方整備局では、管内の管理ダム(長島ダム)において巡視・点検への長時間ドローン活用を進めるための民間事業者の募集が行われ、レベル3.5飛行での巡視・点検を目的とした技術開発(巡視を1フライトで実施)が進められている。また、ドローンの活用は、車両及び船舶等により目視で週1回程度行っているダム巡視・点検の内、ドローンにより確認できる項目(必須とする要求事項)が検討され、ダム管理施設における巡視・点検の効率化を図るための取り組みを行っている。

【適用場面】山間部

＜平常時＞土木構造物・機械設備・貯水池周辺斜面の巡視・日常点検
＜緊急時＞土木構造物・機械設備・貯水池周辺斜面の臨時点検

【適用条件】
＜機体＞・貯水池全体を把握するため長距離飛行(長島ダムの例:30km程度)できること。・搭載カメラで異常個所の判別ができること。
＜飛行方法等＞・自律飛行や目視外飛行ができること。・搭載カメラで飛行経路下における第三者の有無(公園等河川敷利用者、水面利用者等)および飛行ルート全体の障害物の有無を確認できること。・遠隔制御や映像のリアルタイム伝送ができること。・管理用光ファイバーを活用(増設を含む)した自営通信網を設置による遠隔操作や映像転送ができること。
＜安全を確保するための必要な措置等＞・道路や橋梁等の河川横断構造物を特定飛行で横断する場合、飛行経路下への第三者立入りを確認したときは、飛行の停止、飛行経路の変更、着陸等の措置を講じることができること。



【従来手法】

【巡視・日常点検】車両及び船舶等により目視で実施(長島ダムの例:1回/週程度)

【臨時点検】一定規模以上の地震・洪水・降雨発生後に、点検実施者の安全に留意しダム施設の異状の有無を確認

【調査範囲】長島ダムの例

湛水面積:2.33km²、流域面積:534.3km²

【ドローン活用】ドローンで確認する項目(想定項目)

【必須とする要求事項】管理用通路、貯水池周辺斜面(斜面对策工、自然斜面、その他周辺施設)、流木止め施設、貯水池・河川(堆砂の進行、水質異常の確認)

【長時間ドローンの活用】LTE環境において飛行試験(飛行時間:約2時間、飛行距離:約17km)を実施予定

【中継ドローンの活用】電波不感地帯を想定し、尾根地形等で直線見通し外の飛行ルートに対して中継ドローンを活用した飛行試験を実施

【課題】長時間ドローンは、LTE環境での飛行試験段階であり、中継ドローンは、電波不感地帯を想定した通信技術の確認段階である。

【期待される効果】

＜長時間ドローンの活用＞従来手法において船を用いて実施しているダム湖周辺施設の点検について、点検に必要な人員の削減(省人化)、点検にかかる時間の短縮(効率化)、ダム湖の状態によらず点検(高度化)が可能、危険な箇所に近寄ることなく点検(安全性向上)が可能となる。

＜中継ドローンの活用＞貯水池上流域は、電波不感地帯があり、地形も急峻で車や船だけでは現場状況を迅速に確認できない場合もあり、上記と同様の効果が期待される。

【備考(出典)】・中部地方整備局ドローン公募_ https://www.cbr.mlit.go.jp/construction/pdf/20240130_kisha.pdf

・ダムの維持管理を目的としたレベル3.5飛行(長時間ドローンの飛行試験の実施

https://www.cbr.mlit.go.jp/kisya_manage/app/press/file/20250304_73c38ce1835fd41fb6742137a5ee58a7/20250304_67c67ecec93f3_upfile.pdf

4.2 電波不感地帯での補助者を配置しない目視外飛行の効果

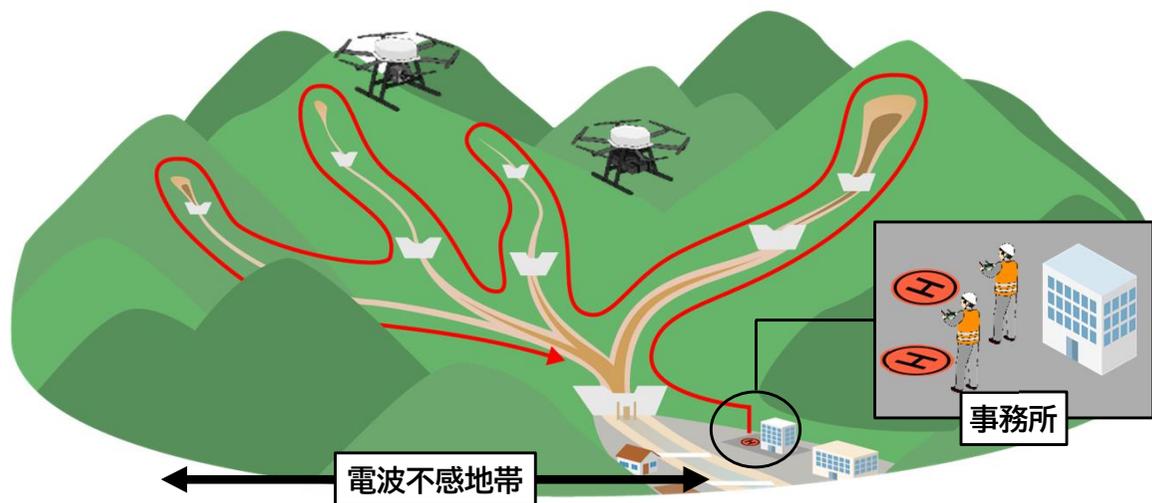
ユースケース『砂防の巡視・点検』

【取り組みの現状】国土交通省砂防部では、砂防関係施設点検要領(案)(R4.3)においてドローンによる点検を「UAV点検」として位置付け、その活用を推進している。また、令和3年度以降各地方整備局において、UAVによる施設点検等の実証試験が行われている。例えば、紀伊山系砂防事務所では、電波不感地帯における天然ダムおよび砂防関係施設の点検・調査を試行している。また、越美山系砂防事務所では、管内にある約200基の砂防施設を対象としてドローン等を活用した砂防施設点検の作業効率化の実現を目指すための取り組み等が行われている。

【適用場面】_山間部

<平常時>砂防施設およびその周辺の巡視・定期点検
<緊急時>砂防施設およびその周辺の臨時点検

【適用条件】<機体>・使用機体は飛行時間:15分以上、耐風速性能:10m/s以上であること。・200万画素以上の解像度のカメラを搭載できること。**<飛行方法等>**・事前調査で通信状況を確認し、目視外飛行や自律飛行がシームレスにできること。**<安全を確保するための必要な措置等>**・特定飛行を行う場合、飛行経路下への第三者立入りを確認したときは、飛行の停止、飛行経路の変更、着陸等の措置を講じることができること。



【従来手法】(越美山系砂防事務所の事例)

【点検方法】急峻な山を徒歩で移動して点検

【点検頻度】管内 200基の砂防施設、定期点検(年1回)、臨時点検(豪雨・地震時年3~4回)

【点検体制、期間】定期点検(4班×2名体制、約2か月)

【点検内容】目視把握、定期点検(摩耗、ひび割れ、洗掘、漏水等)、臨時点検(施設機能の低下の有無)

【ドローン活用】(越美山系砂防事務所の事例:目標値)

【ドローン点検体制】

レベル2(操縦者、点検者、監視者:3名体制)

レベル3、3.5(操縦者、点検者:2名体制)

【ドローン点検期間】管内 200基の砂防施設 約1週間

【中継ドローンの活用事例】(紀伊山系砂防事務所の事例)

電波不感地帯の天然ダム(栗平地区)においてレベル3の実証実験が実施され、ドローン中継の活用効果(1フライト:約15分で地区全体の調査・点検:異常箇所の有無とオル画像作成による変状把握)が確認されている。レベル3(撮影機操縦者、中継機操縦者、情報監視補助者:3名体制)

【課題】砂防関係施設は、周辺に人家等が少なく、地形が急峻で電波不感地帯やLTE環境が部分的にしか利用できない場所等も多く、安全で効率的なドローン活用のための技術開発と社会実装が課題となっている。

【期待される効果】

<ドローン点検:想定される効果>目視外飛行(レベル3飛行等)、機体の機能向上等により、省人化・省力化につながる。危険箇所(急崖地、高所、災害発生箇所)の移動を回避(安全性の向上)できる。広域災害時に短期間で被災状況調査や施設点検が可能となり、ヘリコプターに代わる点検が可能となる。センシング技術(レーザ計測等)の高度利用が可能となる。

<中継ドローンの活用>地形が急峻な電波不感地帯であっても、適正な位置(直線見通し)に中継ドローンを配置することで、安全かつ効率的に点検ができる。

【備考(出典)】・砂防関係施設点検要領(案)国土交通省砂防部保全課(R4.3) <https://www.mlit.go.jp/river/sabo/H31tyoujumyouka/tenken.pdf>

・UAVの自律飛行による天然ダムおよび砂防関係施設の点検・調査 https://www.mlit.go.jp/tec/i-construction/pdf/2021award/01_chuden.pdf

・ドローン等を活用した砂防施設点検の作業効率化の実現を目指すための取り組み <https://www.cbr.mlit.go.jp/etsumi/jigyuu/dx/shiryuu.pdf>

第5章 総合検討

【総合検討の方針】

総合検討では、第2章、第3章、第4章の調査結果を総合的に判断し、電波不感地域での補助者を配置しない目視外飛行を実現するための手法(主に通信システム)に着目し、関係事業者ヒアリング調査(技術開発動向等)を踏まえて、社会実装に向けた課題・改善点について整理した。また、代表的な5つのユースケースの取組みの現状を踏まえて、社会実装に向けた検討の方向性(案)について提案する。次に、長島ダムにおける実証実験の検証結果より、得られた課題と解決の方向性(案)を検討した。

- ①電波不感地帯における補助者を配置しない目視外飛行に適した手法の調査
 - 電波不感地帯で利用可能な通信システムの社会実装に向けた課題・改善点等
 - 代表的なユースケースの取組みの現状と社会実装に向けた検討の方向性(案)

- ②電波不感地帯での飛行(長島ダムにおける実証実験)についての検証(課題と解決の方向性(案))
 - コマンドホッパーに影響を与えるノイズ対策
 - 映像伝送装置の安定性向上と品質改善

5.1 利用可能な通信システムの社会実装に向けた課題・改善点等

No	分類	システム名称 (会社名)	社会実装に向けた課題・改善点等
1	電波中継による通信	『コマンドホッパー』マルチホップ中継制御通信技術(NICT:国立研究開発法人情報通信研究機構)	<p>【実証実験:段階 ⇒ 販売に向けた製品化予定:有り】</p> <p>◆コマンドホッパー(制御情報_169MHz帯)とMPU5(映像情報_5.7GHz帯)は、それぞれが単独別システムであり電源供給等を含め、システム全体の最適化(小型・軽量化)が課題。</p> <p>◆日本製ドローンに対応したシステム開発を目指しており、ドローンへの装着(容易性)とノイズ対策等を考慮した機器配置レイアウト等を考慮した製品開発が必要。</p> <p>◆最大通信距離(直線見通し:20km)の基本特性に対して、長島ダムの実証実験結果より、推定約5~8km程度の通信性能となったことから、通信可能距離の改善が課題。</p> <p>◆最大3ホップ(中継機2機+撮影機)まで対応可能な技術であり実証実験による検証が必要。</p>
2		ドローン中継システム (株式会社ACSL)	<p>【実証実験:段階 ⇒ 販売に向けた製品化予定:無し】</p> <p>◆ドローン制御情報(920MHz帯)と映像情報(5.7GHz帯)の2つの無線機を利用したシステムであり、令和2年度の実証実験以降、製品化に向けた技術開発は行われていない。</p> <p>◆指向性アンテナを利用しているため、撮影ドローンの移動に伴い、電波通信状態が不安定になる場合があることから、全方位アンテナに変更する等の改善が必要。</p> <p>◆2.4Ghz帯のみで制御・映像情報を中継する技術開発が進められている。</p>
3		小型公共BB無線システム (株式会社国際電気)	<p>【実証実験:段階 ⇒ ドローン搭載用としての製品化予定:未定】</p> <p>◆主に映像情報(200MHz帯)を受送信するシステムであり、ドローン制御情報の受送信には対応していないことが課題。また、電波中継を目的とした実証実験を行った段階であり、小型公共BB装置の小型化・軽量化が課題。</p> <p>◆地上利用の公共BB装置(背負子型)は、既に市場導入されており、多段中継機能にファームウェアをアップデートし、複数の公共BB装置の組合せ(連携)による効果確認が必要。</p>
4	衛星通信	衛星通信システム (ヤマハ発動機株式会社)	<p>【社会実装:商用販売、事業化開始の段階】</p> <p>◆奄美アイランドドローン(株)により、目視外・遠隔運航(レベル3.5飛行)による『離島への物資輸送サービス』を開始(2024年2月29日~)したばかりである。通常の実証実験では、遠隔からの全自動運航を行っているが、緊急時等に対応可能なオペレータの育成が課題。</p> <p>◆1回の運航で輸送できる物資(重量)を増加させる等、物資輸送のコストダウンが課題。</p>
5		『Satellite Mobile Link』Starlinkを活用したauエリア構築ソリューション (KDDIスマートドローン株式会社, KDDI株式会社)	<p>【社会実装:商用販売、事業化開始の段階】</p> <p>◆スターリンク衛星と組合せたau基地局(固定局, 移動局:2タイプ)を設置することで、モバイル通信・Wi-Fi環境が構築できるため、LTE通信機能を有するドローンと組合せた様々な利活用が期待される。今後は、様々なユースケースでの実証実験や現場導入等を通じて、電波の回り込み特性等の知見を蓄積するとともに、情報共有する必要がある。</p>

5.2 ユースケースにおける社会実装に向けた検討の方向性(案)

No	ユースケース	社会実装に向けた検討の方向性(案)
1	物資輸送	<p>◆『離島や山間部などの物流需要の少ない地域における物流網の維持』、『自動車免許の返納や店舗撤退による買物困難』、『地域医療の担い手の減少による医療アクセスの縮小』、『災害時等における孤立集落への緊急支援物資の輸送』等の地域課題があり、ドローンの役割を事業計画者が明確に設定して取り組む必要がある。</p> <p>◆奄美アイランドドローン(株)は、『離島』での長距離物資輸送の事業化をスタートさせており、今後、ドローン運航に関する諸課題(安全性、コスト、役割・機能分担等)を検証し、事業の継続性や改善策等を検討する必要がある。</p> <p>◆電波不感地帯にスターリンク衛星と組合せたau基地局を設置するソリューションは、単独利用(基地局から半径約2km程度)だけでなく、複数の基地局を連携した利用もできるため、各種地域課題の解決のために適用事例を増やして、技術的な確認と事業採算性等を検証する必要がある。</p>
2	送電線の巡視・点検	<p>◆デジタルライフライン全国総合整備計画では、『送電網』の既存インフラを利用したドローン航路の整備とドローン航路を活用した目視外の自律・自動飛行による巡視・点検や物流等の自動化の普及を目指している。</p> <p>◆グリッドスカイウェイ有限責任事業組合(全国の電力会社他9社)では、「ドローン航路プラットフォームの構築」「ドローンを使った電力設備の巡視・点検の高度化」等について社会実装に向けた取り組みを行っている。</p> <p>◆上記の取り組みは、主に『LTE通信環境』において実証実験等が行われ、段階的な整備が進められており、電波不感地帯での取り組みは今後の課題となっている。</p> <p>◆電波中継技術は、『中継装置』をドローンに搭載するだけでなく、既存の地上インフラ(鉄塔)に設置する取り組み(中部電力等)も行われており、現場状況に応じて最適な組合せを検討し、社会実装を進める必要がある。</p>
3	河川の巡視・点検	<p>◆デジタルライフライン全国総合整備計画では、『送電網』と同様に『河川』の既存インフラを利用した取り組みを目指している。</p> <p>◆国土交通省水管理・国土保全局では、「ドローンを活用した河川巡視・点検の適用検討会」において、ドローンを活用した河川巡視・点検の社会実装に向けて段階的な取り組み(レベル2⇒LTE通信環境の利用)が進められているものの、電波不感地帯での取り組みは今後の課題となっている。</p> <p>◆河川の巡視・点検は、それぞれ利用するドローンの要求仕様が異なっており、『河川巡視』は、小型センサーを搭載して高速移動で飛行し、概括的に河川を把握(出張所の管理区間_約40kmを一気通貫で巡視)できる長距離ドローンを使った実証実験が必要である。また、『河川点検』は、複数センサ(または高性能センサ)を搭載して中低速移動で計測し、詳細に河川を把握できる長距離ドローンを使った実証実験が必要である。</p> <p>◆LTE環境が利用できない電波不感地域では、長時間ドローンと組合わせた『電波中継』の実証実験、離島の物資輸送で事業化されている『衛星通信システム』を利用して河川管理区域を1回の飛行で巡視する実証実験、『auエリア構築ソリューション』を組合わせて、LTE環境で利用できる通信環境エリアを拡張する『LTE環境拡張』の実証実験等を行うことが考えられる。</p>

5.2 ユースケースにおける社会実装に向けた検討の方向性(案)

No	ユースケース	社会実装に向けた検討の方向性(案)
4	ダム の 巡視・点検	<p>◆ダムの巡視・点検は、例えば、長島ダム(国土交通省中部地方整備局)において、長時間ドローンの活用を進めるための民間事業者の募集が行われ、レベル3.5飛行での巡視・点検を目的とした長時間ドローンの実証実験(LTE環境)が行われている。しかしながら、電波不感地帯となっている貯水池上流域には適用できないことが課題となっている。また、貯水池上流域は、車や船でのアクセスも困難な場合が多く、被害等の状況を把握することが難しい場所となっていることから、ドローンの活用が期待されている。</p> <p>◆本調査では、長島ダムにおいて電波不感地帯を想定した『電波中継』の実証実験により、電波中継に成功した。実証実験結果より、今回使用したドローンに搭載した場合、電波中継が可能な距離は、推定5~8kmの結果が得られており、今後は、ノイズ対策等を行った上で、通信性能や通信安定性等の改善を進め、長島ダムの上流域(電波不感地帯)において本番環境での実証試験【提案】を行うことが考えられる。</p> <p>◆LTE環境が利用できない電波不感地域では、上記の『電波中継』の実証実験に加えて、離島の物資輸送で事業化されている『衛星通信システム』を利用してダムの貯水池区間を1回の飛行で巡視する実証実験、『auエリア構築ソリューション』を組合わせて、LTE環境で利用できる通信環境エリアを拡張する『LTE環境拡張』の実証実験等を行うことが考えられる。</p>
5	砂防 の 巡視・点検	<p>◆砂防関係施設の巡視・点検は、他のユースケースと比べて地形が急峻な場合が多く、ドローン活用による省人化・省力化や危険作業の軽減等の効果が期待されており、全国の各地方整備局において様々な砂防施設点検の実証実験が行われている。山間部の調査流域では、電波不感地帯やLTE環境が部分的にしか利用できない場合も多く、安全で効率的に利用できるドローンの技術開発が課題となっている。</p> <p>◆LTE環境が利用できない電波不感地域では、長時間ドローンと組合わせた『電波中継』の実証実験、離島の物資輸送で事業化されている『衛星通信システム』を利用して複数の調査流域を1回の飛行で巡視・点検する実証実験、『auエリア構築ソリューション』を組合わせて、LTE環境で利用できる通信環境エリアを拡張する『LTE環境拡張』の実証実験等を行うことが考えられる。</p>

5.3 長島ダムにおける実証実験の検証(課題と解決の方向性(案))

長島ダムの見通し外かつ携帯電話圏外(想定)において、マルチホップ中継制御通信機器(コマンドホッパー)と映像通信機器(MPU5)を使用して、ダム施設点検を想定した電波中継による実証実験を行った。実証実験では、「ドローン制御情報」と「映像情報」を電波中継することに成功し、ドローンの運用方法の一つとして利用可能な技術であることが確認された。しかしながら、実運用に向けた社会実装のためには、実証実験で得られた新たな課題を解決し、電波中継システムとして通信安定性や品質向上を図る必要がある。

No	項目	課題と解決の方向性(案)
1	コマンドホッパーに影響を与えるノイズ対策	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 撮影用ドローンや中継用ドローンには、それぞれ電源装置(バッテリー)、GNSS、モータ、各種ケーブル類等、様々な機器が搭載され、電源供給の過程(電圧変化等)で電波ノイズを発生している。その際、発生するノイズの大小や周波数特性によっては、コマンドホッパーの通信に影響を及ぼす場合がある。 ◆ 今回の実証実験では、撮影機に搭載したコマンドホッパーにおいて、予備フライト時に通信の不具合が発生。前日に実施した地上部での通信性能試験は通信が安定していたものの、翌日の予備フライトにおいて不具合が発生したため、ノイズ発生源を調査し、機材の配置を見直す等の対応策を実施した。 ◆ 社会実装に向けて、搭載ドローンのノイズ発生源対策とコマンドホッパーの最適配置に留意する必要がある。 
2	映像通信機器(MPU5)の安定性向上と品質改善	<ul style="list-style-type: none"> ◆ MPU5のアンテナ(3本)は、撮影機の後部に配置しており、撮影機の方向転換時にカメラ映像伝送が不安定になった。⇒今後、アンテナの位置変更(例えば、ドローン頂部に配置等)が必要。 ◆ 中継距離が長くなると映像遅延が発生した。⇒画像伝送レートの変更(720pic⇒480pic)により解決したものの、送信される映像の品質低下(歩行者等の確認が困難)を引き起こした。伝送される映像は、レベル3.5飛行において、歩行者等の確認を行う上で重要な情報であることから、歩行者等の確認が可能な映像品質が確保できる画像伝送レートを設定する必要がある。 