

ドローンを活用した 瀬田川洗堰放流前巡視の検討について

安田 有佑¹・松田 政裕²

¹近畿地方整備局 河川部河川環境課 (〒540-8586大阪市中央区大手前3-1-41)

²近畿地方整備局 福井河川国道事務所 河川管理課 (〒918-8015福井県福井市花堂南2-14-7)

琵琶湖河川事務所では、瀬田川洗堰の操作により堰上下流の水位が上昇、低下し、流速が変化することにより起因する事故の防止を目的とし、河川の巡視を行っている。巡視範囲は洗堰下流域が洗堰～大石川合流点、洗堰上流域が洗堰～洗堰上流5kmである。上流・下流ともに徒歩班と警報車両班を出し、多くの要員で巡視に当たっているが、この要員の確保が課題となっている。この河川巡視の効率化・省人化を図るため、ドローンを活用する方策を検討した。

キーワード 河川巡視, 河川DX, ドローン, 効率化, 省人化

1. 検討の背景

(1) 瀬田川洗堰放流前巡視の現状

「瀬田川洗堰操作細則」より、瀬流水位観測所の水位上昇量が10分間に5cmを越える場合、または千町水位観測所の水位上昇量が30分間に30cmを越える場合、一般に周知させるために拡声器、警報車及びサイレンまたは疑似音による警報を行う。

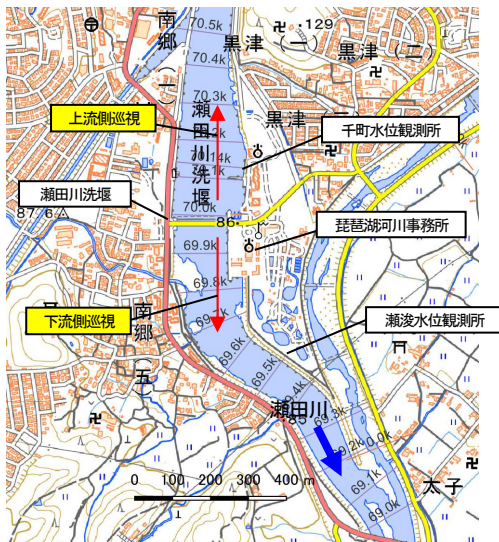


図-1 瀬田川洗堰と観測所位置図

放流規模に応じて、以下のとおり巡視を行っており、特に①と②の同時巡視の頻度が高い。

- ①下流徒歩巡視 2名×2班 4名
- ②下流警報車両巡視 3名×1班 3名
- ③上流徒歩巡視 2名×1班 2名

- ④上流警報車両巡視 3名×2班 6名
- その他、ゲート点検 2名, 堰操作 3～6名
- 1回当たり5～23名の人員を必要とする。

表-1 体制要員一覧

班名	必要要員	適用
操作班	6名	総括1, 操作・無線・記録3, モニター操作1, 情報連絡1
ゲート点検班	2名	点検
巡視班	15名	下流 左岸徒歩巡視班2名 堰～大戸川導流堤先端
		下流 右岸徒歩巡視班2名 堰～大戸川導流堤先端
		下流 警報車両班3名(巡視2名+運転手) 堰～大石川合流点
		下流 徒歩巡視班(左右岸)2名 堰～宇治発電所取水口
上流	15名	上流 左岸警報車両班3名(巡視2名+運転手) 堰～上流5km
		上流 右岸警報車両班3名(巡視2名+運転手) 堰～上流5km
計	23名	

表-2 エリアごと巡視回数(H29～R5年度)

年度	下流域のみ		上流域のみ		全区間	
	回	延べ人数	回	延べ人数	回	延べ人数
H29	8	56	3	24	3	45
H30	4	28	3	24	4	60
R1	6	42	1	8	1	15
R2	6	42	2	16	6	90
R3	12	84	3	24	3	45
R4	7	42	2	12	2	24
R5	6	36	2	12	2	22

表-3 全巡視記録集計(H29～R5年度)

年度	巡視回数	平均巡視時間(分/回)	巡視員数(人、延べ)			1回当り平均(人)
			徒歩	警報車	計	
H29	14	131	56	69	125	9
H30	11	241	46	66	112	11
R1	8	153	32	33	65	8
R2	14	250	64	84	148	11
R3	18	169	72	81	153	9
R4	11	136	44	34	78	7
R5	10	157	38	32	70	7

(2) 瀬田川洗堰放流前巡視の課題

放流前巡視の大きな課題は巡視要員の確保であり、ま

とまった雨の後に多くの職員を集める必要がある。

毎年多数が動員されており、地球温暖化で短時間強雨の増加も懸念される中、省人化は喫緊の課題である。

2. 河川DXによる効率化・省力化検討

(1) 河川DXとは

「河川・ダム管理における新技術導入について」(令和4年3月、国土交通省水管理・国土保全局)において、新技術を活用した整備・管理DXの推進による河川管理の高度化・効率化を示している。特にドローン等によるデータ取得、三次元データの活用、AI技術を活用した調査などが代表例として挙げられている。

また革新的河川技術プロジェクトでは、『河川巡視の高度化』として次のように示している。

現在は、パトロール車等からの目視による河川巡視を基本としつつ、河岸等の車の進入が困難な場所等は、ドローン画像を活用したり、徒歩や船により異常箇所等の状況を確認
 このため、画像解析技術を活用して異常箇所を自動抽出する技術開発を推進し、河川管理の効率化・高度化を図る

河川巡視へのドローン活用は大きな可能性が期待されており、本検討についても同様に、放流前巡視の効率化(省人化)・高度化(AI自動検知)を目指している。

(2) ドローン巡視の概要

本検討において、ドローンを巡視に活用する最大の目的は省人化である。多くの巡視員が現場まで足を運んで、毎年8~18回程度実施している放流前巡視に代わって、ドローンから送られてくる映像を大画面モニターに映して、河川内に取り残されている人がいないか確認を行う。

最大で徒歩巡視に6名(下流4, 上流2), 警報車両巡視が9名(下流3, 上流6)という現状において、ドローン巡視3名(レベル3.5飛行)に置き換えることへの省人化の効果は大きい。(なお、レベル3.5ではない場合は、立入管理措置の補助者等の配置が必要となり省人化の効果は僅か)

また、効率化についても、警報車両巡視の場合、上流側は左右岸の移動効率が悪く2班必要だが、空中を飛ぶドローンでは河川内を往復して1班で効率的に実施できる。さらに下流側は、左岸側導流堤付近や渓谷部などのアクセスしにくい場所も効率的に確認できる。

将来的な理想形の模式図を図-2に示す。操作室の指令用PCで巡視開始ボタンを押せば、屋上のドローンポートに格納された巡視ドローンが自動離陸し、決められたルートを自律飛行しながら操作室の大画面モニターにハイビジョン画質で映像伝送し、自動帰還してドローンポートに格納される仕組みである。

これにより、河川内立ち入り者の確認が速やかに実施でき、省人化も期待できる。さらにリアルタイム映像伝送だけでなく動画ファイルとして録画もするため、データ保存し、気になる点があれば見直すことも可能である。

オプションとして、AIで映像分析して立ち入り者を判

別する機能も将来的には考えられる。

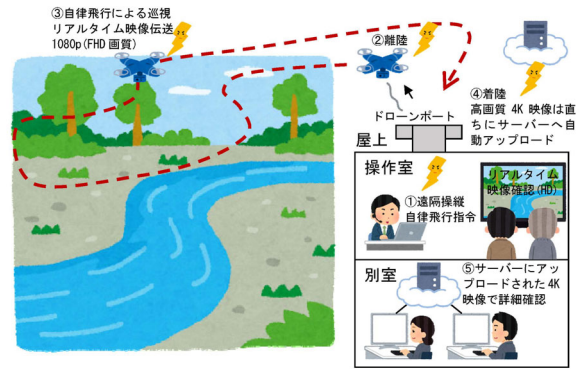


図-2 ドローンによる河川巡視の将来像

(3) 琵琶湖河川事務所の優位性

ドローンの活用で最も課題となるのが第三者上空を飛行させないことであるが、琵琶湖河川事務所では巡視対象である瀬田川との間に第三者物件がなく、事務所から離着陸が可能である。第三者の立入を制限する「立ち入り管理措置」なしに瀬田川へアクセスできることにより、将来的に完全自動化へ発展できる可能性も有しており、ドローンによる巡視を行うための立地条件は良い。さらに、巡視開始のタイミングは出水後の平時が多いことも優位性が高いと言える。

(4) ドローンによる河川巡視DXの導入ビジョン

まず、ドローンによる河川巡視の段階的な導入ビジョンについて、4つの段階分けを行った。(表-4)

巡視の実現には技術的ハードルと航空法等の法的ハードル、そして機種選定上の行政的ハードルがある。

第1段階は既に現状の市販ドローンで実現可能である。

第2段階は数kmの長距離飛行で、一部のLTE(携帯電話回線)対応ドローンに限られるが可能である。

第3段階では操作室から屋外のドローンに自律飛行の指示を出す。法的にクリアするには飛行範囲内全域に補助者を配置する必要がある。WiFi電波は屋内から屋外へつながらないため、LTE対応ドローンまたは通信機能が搭載された屋外用ドローンポートを設置して対応する必要がある。なお、現状で通信機能と監視カメラ付きドローンポートは中国製以外にほとんど量産品がなく、行政機関では国産の特注品対応となる。よってLTE対応ドローンのほうがハードルが少なく比較的導入しやすい。

第4段階は現場内に補助者を配置せず、事務所からの操作だけで完結する省人化のための最終目標の形である。補助者を置かない飛行は、航空局の許可申請の審査が非常に厳しくなり、無線航空機操縦士資格を取得した上で、レベル3.5あるいはレベル4での申請が必要である。

技術的には第4段階まで可能なドローンやドローンポートが開発されているが、レベル3.5やレベル4には常時資格者を確保することが必要であるが、現状において容易ではないため、第3段階までが限界である。

表-4 河川巡視の段階的な導入ビジョン

段階	概要	補助者
第1段階	WiFi電波の届く範囲で自律飛行 当地では最大500~600m程度までが目安	必須
第2段階	LTEによりWiFi電波不通区間の自律飛行を可能にし、全巡視区間(最大5km)から映像伝送	必須
第3段階	操作室から操縦、現地に補助者あり 屋内はWiFiが届かないのでLTEもしくは通信アンテナ付きのドローンポートが必須	必須
第4段階	ドローン巡視の全自動化 操作室から操縦、現地に補助者なし	任意

表-5 ドローンによる巡視の技術段階整理表

項目	内容	段階			
		1	2	3	4
自律飛行	プログラムされたルート簡単な操作で自動離陸・飛行・着陸	○	○	○	○
映像確認	決められた方法や頻度で自動撮影し、メモリーカードに収録	○	○	○	○
	撮影中の映像を現場からリアルタイム伝送	○	○	○	○
長距離通信	プロボの 2.4GHz 電波が届かない距離でもLTEで送受信継続		○	○	○
屋内から操縦	操作室から操縦し、離陸~巡視~着陸を完結(現地に補助者あり)			○	○
完全な自動飛行	レベル 3.5 または 4 で操作室から全自動飛行(現地に補助者なし)				○

3. ドローンを用いた実証実験

(1) 飛行高度と人物の判別検討

河川内にいる人物を判別できる飛行高さやカメラ角度を確認するために、実際に人を配置して高さや角度の異なる条件で試験飛行を実施した。

- ・カメラ条件：FOV94°，20mm(35mm換算)
- ・動画：FHD(1920×1080)
- ・飛行高度：30m, 50m, 80m

結果として、焦点距離20mmの広角レンズの場合、80mは目立つ人物のみ確認、50mは大半の人物が確認でき、30mでは服の色がわかりにくい人でも識別できた。

表-6 飛行高度と人物の判別検討結果

対地高度	カメラ俯角	速度	一般的な人物	服の色が背景に近い人物
30m	35度	18km/h	○	○
50m	40度	18km/h	○	△
80m	45度	18km/h	△	×

(2) 飛行における支障物件の確認

琵琶湖河川事務所から下流側には高圧線が横切っており、関西電力に問い合わせたところ、次の2点を条件として飛行可能との回答があった。

- ①高圧線からの離隔を30m確保すること
- ②高圧線の下をくぐらないこと

高圧線の下をくぐってはいけない理由は、電圧降下や電波途絶等のフェイルセーフが作動した際、ドローンが勝手に上昇して高圧線に接触するのを防ぐためということであった。関西電力から鉄塔の高さ情報を入手し、3Dレーザースキャナによる現地計測で高圧線の配置も

確認した。その結果を元に堤防天端からのドローン必要高さを高圧線の最大高さ42m+30m=72m →80mとした。



図-3 調査地内の高圧線(3Dスキャナによる点群)

ここで問題となるのが人物を判別する上での適正高さである。映像による人物判別検討の結果、焦点距離20mmでは高さ50m以下、できれば30m以下とすることが望ましいが、高圧線に対しては80m以上の高さが必要となった。30mもしくは50mの高さで飛行し、高圧線のところだけ80mまで上げて越える実験を行ったところ、時間やバッテリーロスが大きく、非常に非効率であった。

そこで、2~3倍のズームレンズを搭載したドローンを、80mの一定高度で飛行させるのが最も効率的と判断した。

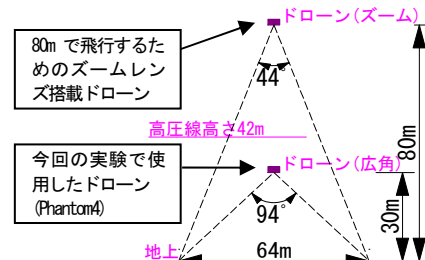


図-4 ドローンの飛行高度と必要な視野角

(3) 電波条件の確認

一般的なドローンを、琵琶湖河川事務所の駐車場から離着陸させた場合と、操作室横の屋上から離着陸させた場合の2通りで飛行させ、フライトログに記録されたWiFi電波強度データから電波条件の確認を行った。高度は全区間80mとした。



図-5 離着陸地点と電波障害物件の位置

駐車場から離着陸した場合は、部分的に構造物で電波が遮られて映像のコマ落ちが見られたものの、上下流それぞれ600mの範囲でWiFi電波の途絶はなかった。

屋上から離着陸した場合は、事務所の建物の陰に入るとわずか100mでWiFi電波が不安定になり、約200m離れたと映像電波は完全に途絶した。一般的なドローンを実験室横の屋上から離着陸させたい場合は、中継装置や外部アンテナを立てるなど電波対策が必要である。

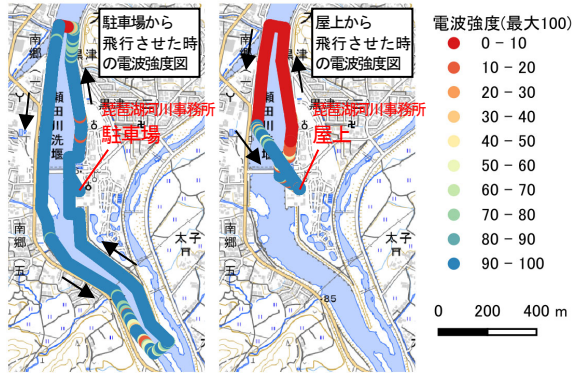


図-6 映像電波強度図

(4) リアルタイム映像伝送

ドローン飛行中のリアルタイム映像伝送方法は、大別すると、操縦者の画面を直接Web会議システム等で共有する方法と、ドローンからクラウドサーバーにアップロードしてWeb配信する方法が挙げられる。

後者はURLを入力するだけで簡単に閲覧できるメリットがある反面、配信側には煩雑な手続きや初期設定、ならびにその後の維持管理などのデメリットもある。今回はどのドローンが採用されても対応可能な方法として、AndroidとWindows標準のミラーリング機能と、一般的なWeb会議システム(Zoom)の組み合わせを採用した。



図-7 今回採用したリアルタイム配信

(5) 新技術による課題検討

日本国内は5GHz帯がETC等で使用されている関係で屋外では許可なく使用できず、ドローンの通信には2.4GHz帯のWiFiを利用するのが一般的である。2.4GHz帯は構造物や樹木等の遮蔽物によって電波状況が大幅に低下しやすいことに加え、多くの家電製品や電子機器に使用されている周波数帯であり、それらの干渉も通信品質に影響する。河川巡視DXの将来像として考えている長距離通信や操作室からのドローン通信を実現するには、

以下のいずれかが考えられる。

- ①通信機能付きドローンポートやWiFi中継局の設置
- ②LTE(携帯電話回線)に対応したドローン

なお、現状(2024年5月時点)ではLTE対応ドローンが市販されており、その新技術を用いれば長距離通信や屋内からのドローン制御も可能である。



図-8 リアルタイム配信画像キャプチャ(下段)

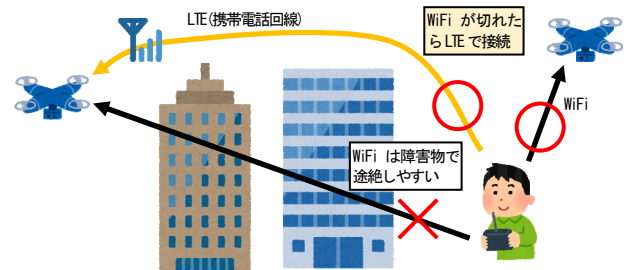


図-9 LTEによるドローン通信モード図

(6) LTEドローンの実証実験

将来へ向けた新技術の可能性を確認するためにLTE通信可能なドローンを用いて3種類の実験を行った。

表-7 LTE ドローンの実験内容

項目	内容
1	長距離飛行でリアルタイム映像配信 標準的なドローンでは途中で WiFi 映像電波が途絶した範囲において、LTE 通信による片道1kmの長距離飛行を行う。合わせて、リアルタイム映像を複数箇所に配信する。
2	飛行しながら動画をクラウド保存 通常は着陸後に機体の microSD を抜いて取り出す録画データを、飛行中にクラウドへ送信する。閲覧者はそのクラウドにアクセスする。
3	操作室から屋外のドローンを制御 操縦者が操作室からドローンへ指令を出し、離陸～自律飛行～着陸の一連の流れが正常に実施できるかどうか確認する。

- a)使用機器：ANAFI Ai (Parrot社, フランス製)
 サイズ：320×440×118mm, 898g
 飛行性能：最大飛行時間32分, 耐風性能12.7m/s
 カメラ：48MP, 24mm(FOV73°), 6倍ズーム, 4K動画
- b)映像配信方法
 ドローンのプロポ(コントローラー)に装備されているHDMI端子に有線でPCに接続し, Web会議システムを通じて関係者にリアルタイムな映像配信を行った。
- c)長距離飛行ならびにリアルタイム映像配信実験

琵琶湖河川事務所の屋上を離陸し, 瀬田川の中央付近を約1km離れた地点まで往復。WiFi電波途絶時のLTEへの自動切り替えなど, リアルタイム映像伝送が切れ目なく行えるかどうかの確認を行った。

洗濯を超えた時点でWiFi電波が弱くなり, その後自動的にLTEへ切り替わったが, 映像の乱れはなくスムーズに移行した。全区間にわたり途切れることなく映像伝送が行われた。携帯電話のエリアであれば長距離伝送が可能であることが確認できた。



図-10 長距離飛行実験ルート図

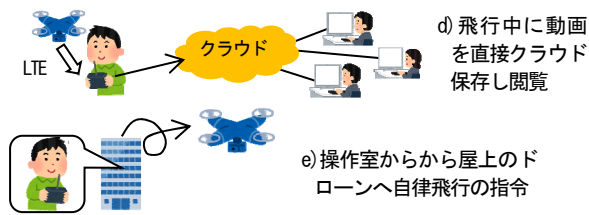


図-11 各実験の模式図

- d)飛行中ドローンからの動画を直接クラウド保存
 NTT関連企業が開発中のSDカードレス伝送アプリを使用して, SDカードに収録されるデータを飛行中にクラウドへアップロードする実験を行った。アップロードした動画はほとんど時差なくFHDの高画質で閲覧できた。
- e)操作室からドローンを制御
 操縦者は操作室に配置し, ドローンは補助者が屋上にセッティングした。飛行エリア周辺に複数配置した補助者から安全確認の連絡を受けた後, 操縦者が自律飛行の

指令をドローンに送信し, 巡視飛行後に着陸した。

4. 運用に向けた課題

(1) ドローン巡視に向けた克服すべき課題

ドローンによる巡視の実現には大きく3つの課題, 技術的要因, 航空法等の法的要因, そして機種選定上の行政的要因をクリアする必要がある。

表-8 ドローン巡視に向けた現状と課題

種別	項目	内容
技術的要因	映像品質	FHD(1920×1080)の映像伝送が可能
	長距離通信や屋内から制御	LTE ドローン, 通信機能付きドローンポート, WiFi 中継局等により対応可能
法的要因	特定飛行	目視外等の特定飛行には航空局へ許可申請が必要(要10時間以上の飛行経験)
	立入管理措置	補助者を置かない場合, レベル3.5またはレベル4の許可申請(要国家資格)
	補助者の配置	立入者を柵等で排除できない場合の特定飛行では補助者が必須
行政的要因	中国製ドローンの調達不可	高性能な小型ドローンの選択肢が少ない現状で通信機能付きドローンポートは中国製しか市販品がなく, 国産を特注対応

(2) 実務レベルでの現状と課題

職員により運用したい場合, いくつか課題がある。

a) 操縦者の課題

目視外飛行は避けられないので, 無人航空機操縦士によるレベル3.5飛行, あるいは補助者等による立ち入り管理措置をした上で, 特定飛行の許可申請が必須である。

特定飛行の許可は基本的に10時間以上の飛行経験が必要であり, 常に教育訓練で操縦者を確保しておく必要がある。包括申請は有効期限1年間で, 毎年許可申請が必要である。操縦士資格は教習所の相場が30万円〜と高額で, 許可申請無しで特定飛行できる機体も限られている。

b) 機体管理の課題

機体は航空局への登録が義務付けられ, 固有の番号を持つ。機体登録は3年更新で, 登録忘れて飛行させると刑事罰の対象となる。異動の際はDIPS2.0の管理と合わせて確実な引継ぎが必要である。

c) 機種選定

2020年9月14日に内閣府より出された「政府機関等における無人航空機の調達等に関する方針について」により, 政府機関においては事実上, 中国製のドローンが調達不可能となった。中国製は価格面だけでなく飛行安定性やカメラ性能や伝送技術も非常に優秀だが, 情報漏洩の観点から調達しない方針となった。

そこで国産あるいは安全保障上の問題がない欧米製から機種選定する必要があるが, 国内メーカーは高性能の小型機を製造している中国製との競合を避け, 現況は運送用を初めとする大型機に注力しているようである。

今回の河川巡視では映像伝送が主目的で, 将来的に職員でも操縦できることを考えると, 操作性の良い小型機

のほうが良いが、国産小型機はACSL社のSOTENくらいしか選択肢がないのが実状である。(2024年5月時点)

現時点で近畿地方整備局管内で保有されている国産ドローンはSOTEN, その他で保有されている中国製以外の機種はフランスParrot社のANAFIくらいである。Parrot社は他省庁でも調達実績がある。図-12にサイズ感を示すが、国産から選定する場合は比較的大きな機体となる。

表-9 SOTENとANAFIのスペック概要

名称	SOTEN	ANAFI
寸法(本体)	約380×300	240×175
離陸重量	2000g	320g
飛行時間	25分	25分
最高速度	15m/s	15m/s
カメラ	動画 : 4K 静止画 : 2000万	動画 : 4K 静止画 : 2100万



図-12 SOTENとANAFIの大きさ概略比較

5. まとめと今後の展望

今回の各種検討と実験により、技術的な面だけで言えば直ちにドローンで河川巡視を実行できるレベルまで市販品の開発が進んでいることが確認できた。

最も課題となるのは航空法への対応で、目視外飛行の時に必須の立入管理措置である。飛行エリアの周囲に補助者を置けば航空法の条件はクリアできるが、これでは河川内の立入者を人が巡回して確認する従来手法と比べてほとんど省人化になっていない。

河川DXでは効率化・省人化が大きな目的の1つであり、補助者を置かず河川内を自律飛行で巡回して帰還する仕組みができれば今後につながる事となる。

現行法では、工場や工事現場の敷地のようにフェンスや看板などで完全に立入防止措置ができていない場合のみ、比較的簡単な申請で補助者なし目視外飛行が認められる。少しでも立入の可能性がある場合は立入管理措置に厳しい審査のあるレベル3の許可申請が必要となる。

レベル3では補助者を置く代わりに監視カメラで常時監視する方法もあるが、監視担当を配置する必要があり、上空の航空機監視や気象監視要員も条件になる。さらに万一の墜落時の火災防止機構なども要求され、本件をレベル3で許可申請するのは現実的ではない。

この厳しい航空局の条件は他の業界からも活用の足かせとなっているとの意見が出ていたこともあり、2023年11月に航空局からレベル3.5飛行の新設が発表された。これによって、無人航空機操縦士資格を保有している場

合に限り、補助者を置かずに操縦者がモニター画面で第三者の立入を監視することも認められることとなった。

無人航空機目視外飛行(レベル3飛行)の事業化に向けた改革(その1) 国土交通省

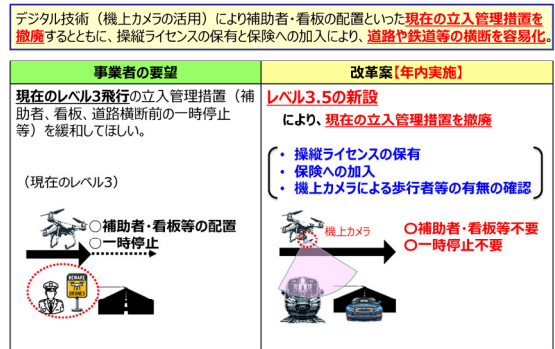


図-13 レベル3.5の新設について(航空局 2023/11/17)

以上を整理すると現行法において、当地でドローンを河川巡視に活用する体制は次のいずれかが考えられる。

- ①無人航空機操縦士資格取得の上、レベル3.5飛行
 - ②従来の特定飛行許可申請し補助者を配置して飛行
- いずれも一長一短があり、①は有資格者を常に確保する必要があること、②はわずかな省人化しか期待できないこと、など、状況に応じて判断が必要である。

また、行政的な要因(中国製の調達不可)についても課題があり、今後も少ない選択肢から機体や周辺機器を選ばざるを得ない状況は変わらないものと考えられる。

加えて、河川巡視は航空法適用除外(航空法132条92 捜索・救助等のための特例)に該当しないと解釈されていることから、通常の航空法申請において厳格な審査が必要であり、ドローン活用の大きなハードルとなっている。

それらの課題を含めても、ドローンによる効率化・省人化は以下のようにさまざまな提案の余地があり、課題を克服し今後の展開に期待したい。

- ・ドローンに大音量スピーカーを搭載し、要救助者のところへ急行して呼びかける。
- ・道路沿いの巡視では樹木繁茂し河川内が見にくい渓谷部でも、ドローンなら川の中央から容易に見ることができる。
- ・AIの映像認識で取り残された人を自動検知する。

- ・堤防や護岸天端等に100~200mピッチで標定ポイントの塗装をして座標付けておけば、ドローン巡視時に撮影した連続写真から点群やオルソが簡単に作成できる。他業務でも使用でき効率化とコスト削減が期待できる。
- ・赤外線カメラを搭載することで、人の判別をより確実に行うことができる。

図-14 ドローン巡視で見込まれる今後の展開例