

ドローンを活用した上野遊水地巡視の 運用検討について

初田 健¹・橋本 広稔²

¹木津川上流河川事務所 伊賀上野出張所（〒518-0825 三重県伊賀市小田町242）

²木津川上流河川事務所 管理課（〒518-0723 三重県名張市木屋町812-1）。

木津川上流河川事務所では、4つの遊水地からなる上野遊水地を整備し管理運用している。遊水地は、農地や一般道として平時利用され、出水時には洪水の流入が予測される際は車両巡視を行い、退避を呼びかける。この巡視は事故防止の観点より、実効性が求められる一方で巡視者への責任・負担は極めて重い。

この巡視の負担軽減、より確実な実効性を期待し、ドローン活用の検討・実証実験を2020年から実施してきた。本稿はこの5年間で知り得た技術的知見をまとめたものである。なお上野遊水地の出水時巡視にドローン活用をする事は現状では、機体性能、法規制、操縦者の確保等の課題が確認され、運用に至っていない。しかし、平時の巡視等に有用な知見等も得ており、これら今後の展望を含めて報告する。

キーワード 出水時巡視, ドローン, 省人化, 効率化

1. はじめに

(1) 上野遊水地における出水時巡視の現状と課題

木津川上流河川事務所では、長田遊水地、木興遊水地、新居遊水地、小田遊水地からなる上野遊水地（248.5ha）

（図-1）を整備している。普段の遊水地は農地として利用され一般道も存在するため、越流が予想される場合は出水時巡視により遊水地内の安全確認を行っている。

現在の出水時巡視は、冠水する遊水地内に残る人がいないか、越流が始まるまでに計3回、2人組の2班体制で車両巡回しながら目視確認（図-2）を行っており、巡視員は参集から一連の作業終了まで約6時間を要している。また、越流が迫るなか自身の安全確保にも留意している。

出水時巡視の確認範囲は、車両移動ができる一部の道路沿いに限定され、特に夜間ともなると車のライトや懐中電灯が照射可能な一部の範囲に一層限定される。

出水時における確実な安全管理が求められる上野遊水地であるが、広域を対象とする出水時巡視は、多くの人員と時間を割きつつも限られた時間の中で確認できる範囲が限定的といった課題がある。

(2) 出水時巡視のDX検討

国土交通省では河川管理の効率化・高度化を進め、住民の安全・安心の向上につなげるDXに取り組んでいる。特に、広域管理が求められる河川分野では、ドローンの活用に着目している。

木津川上流河川事務所では、出水時巡視の省人化、効率化、遊水地内の人発見の確実性、及び安全性の向上を目指し、様々な巡視手法の選択肢の中から、自律飛行ドローンと赤外線カメラ等を組み合わせた技術について、2020年度より検討ならびに実証実験を行ってきた。

本稿では、これまでの技術的な検討成果を基に、運用面の検討を目的として、出水時本番を想定し行なった2024年度の現場試験結果および今後の展望について報告するものである。



図-1 上野遊水地

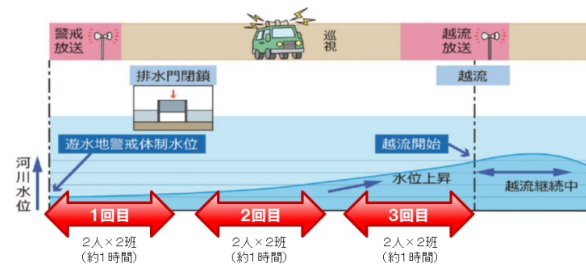


図-2 巡視スケジュール

2. これまでの検討で得られた知見

(1) ドローン巡視技術の性能検証（2020年度～2022年度）

2020年度から2022年度にかけて、現在市場に多く流通している、外国製の自律飛行ドローン（長時間・長距離飛行が可能、かつ、高防水性、強耐風性を有す）（図-3）に、可視および赤外線撮影可能なデジタルカメラと大音量スピーカーを搭載し、現場巡視員と各管理拠点の情報連携を可能とするリアルタイム映像配信技術（図-4）を組み合わせた新たなドローン巡視技術（表-1）を構築し、上野遊水地にて基本性能の検証や活用検討を実施した。



図-3 検証用ドローンと取得される赤外線画像

表-1 ドローン巡視技術の機材スペック

機材の要件		実験機材のスペック
自律飛行ドローン	長時間飛行	最大飛行時間：約25分（巡視運用時間）
	防水性能	保護等級：IP45
	耐風速性能	最大風圧抵抗：15m/s
	最大伝送距離	最大約8km（巡視エリア約1.6km）
カメラ	可視・赤外線撮影	可視・赤外線同時撮影
	高解像度	赤外線動画解像度：640×512@30Hz 温度分解能：≤50 mK @ f/1.0 可視カメラ動画解像度：3840×2160@30fps
スピーカー	音量	130dB
映像配信技術	低遅延配信	リアルタイム
	飛行位置情報	地図上に飛行経路表示

構築したドローン巡視技術は、上野遊水地における昼夜、及び様々な気象条件の下で行った実証実験の結果、表-2に示す知見を得た。

表-2 実証実験で得られた知見

項 目	実証実験結果
自律飛行の安全性	✓ ドローンの性能は出水時巡視に必要な飛行時間を満たす ✓ 現場の電波状態は安全飛行に影響なし ✓ 仮に機体性能の上限に達する風速(15m/s)が発生しても安定飛行を継続可能
赤外線カメラの特性	✓ 空撮した赤外線画像から人を周囲との温度差により容易に発見可能(特に夜間は有効) ✓ 15mm/h程度の雨であれば画像判読への影響は少ない
最適な撮影の方法	✓ 効率的かつ判読のし易さより効果的な撮影方法を設定(実験機材の場合、高度80m程度、速度8m/s、前方45°撮影) ✓ プログラム撮影により操縦者の負担の少ない撮影が可能
ドローン遠隔監視の方法	✓ リアルタイム映像配信技術との連携により、遠隔地から飛行位置を確認しながら現場への指示が可能 ✓ 飛行経路や撮影画像を記録し、事後検証が可能
避難誘導の方法	✓ 巡視員自身の安全を確保しつつ、上空からのスピーカー放送により、切迫状態の伝達、迅速な避難誘導が可能

これより、本ドローン巡視技術は、機体性能の最大風速（15m/s）以下、レンズ雨滴の影響が許容できる雨の強さ（15mm/h程度）、機体の状態が確認可能な視界など使用限界条件の中において技術的には出水時巡視の一選択肢となり得ることが確認できた。特に、ドローン巡視は、現在の出水時巡視の半分の人員体制で可能であり、上空からの撮影によって植生等の死角領域を最少化した網羅的な安全確認が、現在と同等の時間内で行える点は本技術の強みといえる。（表-3）

表-3 ドローン巡視により期待される効果

項 目	期待される効果
効率性	✓ ドローンは道路網に左右されず空中移動するため、出水時の限られた時間でも遊水地全体を巡視できる ✓ ドローンの自律飛行により巡視員の負担を軽減できる ✓ ドローン搭載のスピーカーにより退避を呼びかけできる
省人化	✓ 効率的な技術であるため、現在の巡視体制を半減できる
確実性	✓ 赤外線カメラにより夜間でも人を発見できる ✓ 空中監視により植生等の死角領域を最少化できる
安全性	✓ 巡視員の移動範囲が少なく、遊水地内への立入りは不要

(2) ドローン飛行困難時の対応検討（2022年度～2023年度）

2022年度から2023年度は、ドローン巡視技術を活用する場合に、台風接近時などドローンの機体性能を超える強風時や豪雨時においても出水時巡視の負担軽減が可能な連携技術として、赤外線カメラの地上利用について有効性を検証した。検証はドローン搭載カメラと同等の性能を有すハンディタイプの赤外線カメラを使用し、夜間に堤防上から人の判読可能な距離を確認した。赤外線カメラの視点場から被写体を移動させ検証した結果、人を判読可能な距離は約400mであった。

赤外線カメラによる判読可能距離より、上野遊水地を網羅的に確認可能な新巡視ルート案（図-4）を設定し、巡視体制、巡視の移動距離、巡視の所要時間を現在の巡視と比較すると、巡視体制は現行の半分、移動距離は現行の4割減、所用時間は現行と同等で網羅的な確認が可能であった。（表-4）

これより、ドローンが飛行困難時の併用技術として、赤外線カメラの地上利用は有効であることを確認した。

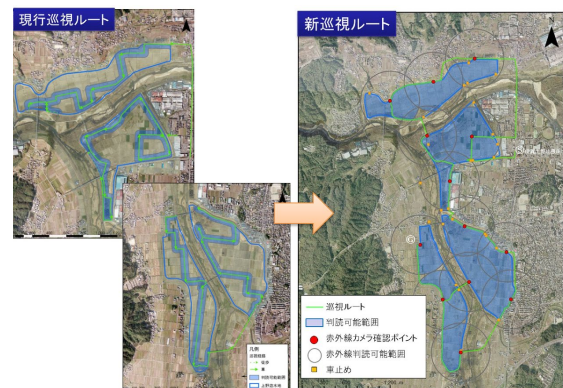


図-4 赤外線カメラを使用した巡視ルート案

表-4 赤外線カメラを使用した巡視ルートの効率化

巡視ルート	実施体制	総移動距離	巡視時間
現行巡視ルート (LEDサーチライト)	2人×2班 (計4名)	約20.6km	60分
新巡視ルート (サーモグラフィカメラ)	2人×1班 (計2名)	約13.0km	60分

巡視ルート	判読可能面積（遊水地面積との比率）			
	小田	新居	木興	長田
現行巡視ルート (LEDサーチライト)	15.86ha (26%)	19.90ha (33%)	19.68ha (28%)	14.79ha (27%)
新巡視ルート (サーモグラフィカメラ)	59.84ha (98%)	57.80ha (97%)	69.25ha (100%)	53.81ha (97%)

(3) 国産ドローンの技術動向の把握（2022年度～2023年度）

将来的には政府調達案件の要件を満たす国産ドローンの活用を前提とし、海外への情報流出リスクを低減するため、出水時巡視に必要な機材要件を満たす国産ドローンを調査し、実証実験により出水時巡視への活用の可能性を検証した。

国産ドローンは、近年国内の技術開発が進んでおり、先行検証した外国製ドローンに近い性能を有している。国産ドローンの中には、遠隔操縦が可能なLTE回線を使用するドローンや、撮影画像から人・車両をAI判読する技術も開発が進んでおり、現場の負担軽減に繋げられる可能性がある。

実証実験の結果、技術的には出水時巡視手法の選択肢となり得ることを確認できた。ただし、市場流通が多く低価格で販売されている外国製ドローンに比べ、国産ドローンの市場流通は未だ少なく、同等スペックの外国製に比べると価格はやや高めであるため、機材調達の面で課題が残る。



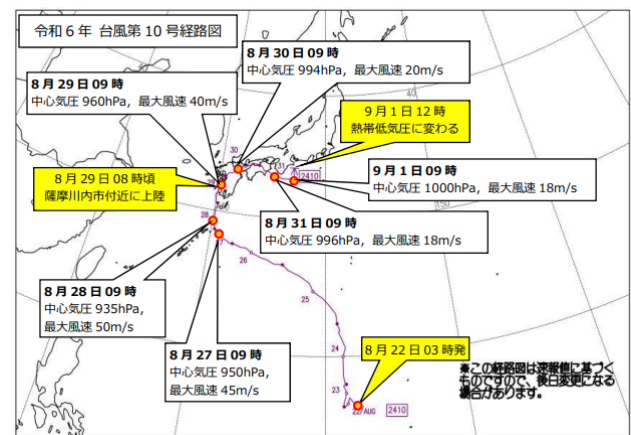
図-5 検証に使用した国産ドローン

3. 出水時本番を想定した現場試験結果

これまでの検証結果より、赤外線カメラ等を活用した

ドローン巡視技術は、飛行可能な条件下では現在の出水時巡視に比べ優位な技術であることが確認できた。2024年度は、これまでの技術検証結果を踏まえ、運用面の検討を目的として、出水時本番を想定した実運用レベルの現場試験を行った。なお、現場試験の機会として、気象予報をもとに2024年8月の台風10号を対象とした。

現場試験に使用するドローンは木津川上流管内界限にスピーカー等オプション機器を含めた機材保有者が現在存在していないため、やむを得ず「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」（2020年9月14日 関係省庁申合せ）で調達制限の対象となる製品となるが試験下に限定して使用することで対応した。台風10号は当初予測されたから大きくその軌道をたどったことから（図-6）、試験に使用するドローンの現場運搬時期の調整や、操縦者待機時間の長期化することになるなど、出水時本番を想定した気象条件下での試験が困難な状況となった。



出典：「令和6年 台風第 10 号による大雨、暴風及び突風」

(2024年10月8日 気象庁)

図-6 2024年(令和6年)台風10号経路図

(1) 現場試験の方法

現場試験の方法は、現在の出水時巡視と同様の工程（表-5）で行うこととした。上野遊水地は普段農地として利用されており、交通量は少ないものの一般道が存在しているため、ドローン巡視を効率的に行うには、航空法に則り、無人航空機の操縦ライセンス保有者を配置した「レベル3.5飛行」による目視外飛行を行う必要がある。しかし、無人航空機の操縦ライセンス制度は導入開始から間がなく、現時点では上野遊水地周辺にライセンス保有者が不在である。このため、現場試験は航空法による第三者の安全確保措置として、看板による周知、及び保安員を配置した「レベル3飛行」による目視外飛行により実施することとした。（図-7）これにより、レベル3.5対応のライセンス保有者数が充実するまで、現行の巡視体制以上の人員確保が必要となった。

(2) 現場試験結果

荒天時にドローンによる巡視を実験することを目的としたが、結果的には晴天時の実施となってしまった。現状、ドローン巡視の実施にあたっては、台風等の予測技術に加えて、ドローン操縦に関わるチームの出動・準備の見極めが重要である。

一方、無降雨での試験となったものの、ドローンの自律飛行により、小田・新居コース、長田・木興コースの巡視は、それぞれ現在の車両巡視と同等の所要時間で実施でき、技術的な有効性を再確認することができた。ただし、2回行った巡視のうち1回目は、不慣れな段取りや機材の調整に時間を要し、想定時間を大幅に超過する結果となった。（表-6）本ドローン巡視技術は、普段ドローンの操縦に慣れている技術者でも、ドローンの操縦技術に加え、豊富な出動前の段取り経験や、赤外線画像の判読技術も必要であり、ドローンを扱う巡視員の練度を高める日常的な訓練が重要という事が判明した。

表-5 出水時巡視の流れと現場試験工程（赤枠）

開始目安	指揮官（集中管理センター：CS）	遊水地巡視員（2名/1班）
平時		・ 機器のメンテナンス
大雨予報・河川水位上昇の恐れ		・ 使用機器の準備 ・ バッテリーの充電（12セット以上） ・ 機器の使用前点検 ・ 自律飛行設定の再確認
注意体制	・ 事務所集合	・ 事務所集合
第1警戒体制	・ CS到着 ・ 巡視配信映像の受信準備	・ CS到着 ・ 機器の使用準備・車両積み込み ・ 気象条件の確認（ドローン使用可否判断）
排水門警戒体制 目安水位2.0m	・ 巡視配信映像の確認及び現地への指示	・ 1回目巡視出動 ・ 小田離発着場所到着 ・ 現地気象条件の再確認 ・ 飛行準備（約5分） ・ 飛行開始をCSへ連絡 ・ 小田離発着場所からドローン巡視実施（弱風時約25分） ※自律飛行により小田・新居を飛行 ・ 離発着場所間の移動（5分） ・ 木興離発着場所到着 ・ 飛行準備（約5分） ・ 木興離発着場所からドローン巡視実施（弱風時約25分） ※自律飛行により木興・長田を飛行 ・ 飛行終了をCSへ連絡 ・ CSへ帰着、次回出動準備
越流の2時間前 非常体制 目安水位5.0m	・ 巡視配信映像の確認及び現地への指示	・ 2回目巡視出動 （1回目巡視同様）
越流直前 目安水位5.5m	・ 巡視配信映像の確認及び現地への指示	・ 3回目巡視出動 （1回目巡視同様）
警戒体制解除	・ 出水記録整理	・ 巡視報告整理 ・ 雨天飛行時の機器メンテナンス ・ 機器の使用後点検
平時		・ 機器のメンテナンス（以下繰り返し）

表-6 現場試験の所要時間

巡視一連作業	想定時間	1回目巡視	2回目巡視	※1 モニター接続の不具合、操縦方法の再確認 ※2 スピーカーアプリの不具合、操縦方法の再確認
機器の使用準備、車両積込（集中管理センター）	10分	8分	17分	
①巡視出動（小田離発着場所へ移動）	15分	5分	6分	
②飛行準備（小田離発着場所）		28分※1	7分	
③小田・新居巡視（小田離発着場所）	25分	26分	24分	
④機器撤収（木興離発着場所へ移動）	15分	8分	10分	
⑤飛行準備（木興離発着場所）		23分※2	8分	
⑥木興・長田巡視（木興離発着場所）	25分	22分	25分	
⑦機器撤収（集中管理センターへ移動）	10分	14分	13分	
巡視一連作業所要時間①～⑦	90分	126分	93分	

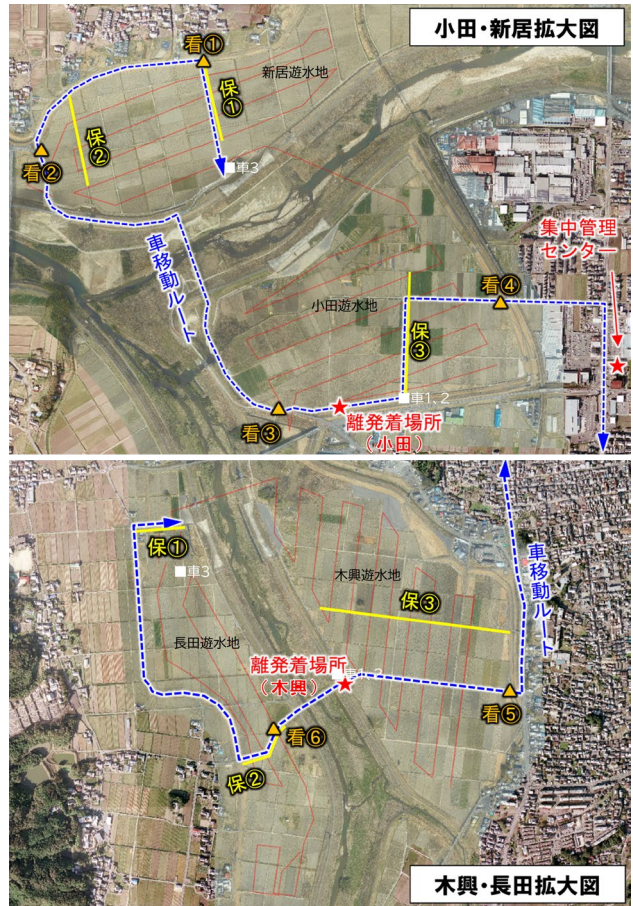


図-7 看板・保安員配置図



図-8 現場試験状況（2024. 8. 27）

4. 実運用にあたっての課題

(1) 航空法への対応（特定飛行）

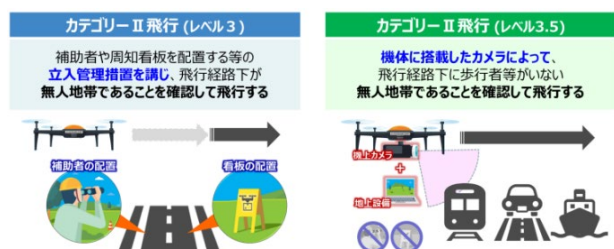
上野遊水地のドローン巡視は、目視外飛行・夜間飛行を行うため、航空法の「特定飛行」に該当し、事前に航空局へ許可承認申請が必要である。（10時間以上の飛行経験者と登録済みドローンが申請要件）また、出水時巡視は実施日程を予め定めることができないため、航空局の許可承認には数週間を要す。このため、飛行直前の申請は困難であり、1年を限度とする包括申請を行っておく必要がある。

また、許可承認申請は、予め操縦者と使用機体を特定して行う必要があり、許可承認期間中は、操縦者と使用機体が限定され、体制・機材の入れ替えには再申請が必要といったことが予想される。このため、現場対応を柔軟に行うためには、予備体制を確保しておくことも必要である。

(2) 航空法への対応（立入り管理措置）

上野遊水地では、越流前に道路管理者が遊水地内へ通じる道路の通行規制を行うが、規制箇所が多く存在するため規制完了までには時間を要している。ドローン巡視にあたっては、ドローンの飛行経路下に第三者が立ち入る可能性を排除できない場所においては、補助者の配置や看板の配置等の第三者の安全を確保するための立入管理装置を伴う「レベル3飛行」が必要となる。ただし、2023年12月に創設された「レベル3.5飛行制度」（図-9）では、夜間飛行の限定解除を行ったライセンス保有者の場合、立入管理措置は省略することが可能である。

上野遊水地におけるドローン巡視の省人化には、ライセンス保有者による「レベル3.5飛行」が必要不可欠であるが、操縦ライセンス制度新設後間もないため、現在はライセンス保有者が不足している。遠方からライセンス保有者を現場へ誘致する場合、出水時の緊急移動や出動待機の面で、出水時巡視にかかるコストは割高となる。また、職員によるライセンスの取得も選択肢となるが、人事異動等による操縦技能維持や、ライセンス取得のためのドローンスクール受講時間・費用の面で課題がある。このため、現在はドローン巡視の体制確保が難しい状況となり、操縦者の育成が今後の課題である。



出典：「カテゴリーII飛行（レベル3.5飛行）の許可・承認申請について」（2024年2月 国土交通省航空局 無人航空機安全課）

図-9 新たに創設されたレベル3.5飛行

(3) 機材調達

出水時のドローン巡視には、これまでの検証結果より、市場に流通しているドローンの中でも比較的高性能なドローンが必要である。特注で機材を確保しても、メンテナンス等の課題があるため、使用機材は平常でも利用可能な汎用性も求められる。

現在、国産ドローンは市場流通が少ないことから、ドローン巡視の実現には、当面、セキュリティリスクを低減しながら外国製ドローンの活用を考える必要がある。国による外国製ドローンの調達には制限があるため、委託業務内で機材を確保した運用が考えられるが、上野遊水地の周辺では、高性能なドローンを保有している地元企業が少なく機材調達が難しい。高性能なドローンを活用する出水時巡視の実現には、国産ドローンの市場流通拡大がポイントとなる。

5. まとめと今後の展望

(1) 検討結果

これまで行ってきたドローンを活用した上野遊水地巡視にかかる各種検討及び実証実験では、自律飛行ドローン、赤外線カメラ、スピーカー、及びリアルタイム映像配信技術の組み合わせ技術は、昼夜問わず遠隔で遊水地内の現状把握、退避の呼びかけが可能となり、風速や降雨など一定の条件下において遊水地巡視の省人化・効率化・安全性の面において有効である。また、ドローンが飛行困難な気象条件下では、赤外線カメラの地上利用の有効性も確認できており、技術的には活用可能なレベルに達している。

一方で、ドローン巡視の現場実装に至るには以下に示す解決すべき課題があり、国産ドローンの普及、ドローン性能の一層の向上による運用機会の拡大、運用対応する人材の確保といった、出水時を含む緊急対応に対してドローンを柔軟に活用できる環境づくりが重要である。

(2) 今後の課題

現行の航空法のもとで出水時にドローン巡視を実施する場合、操縦ライセンス保有者が不足している現状では、第三者の安全確保に相当の体制を必要とするため、出水時巡視の省人化・効率化を加速的に推進することが難しい。当面は、「レベル3.5飛行」による効率的な巡視の実現を目指し、平常時の河川巡視などにおいて難易度の低い条件下でドローンの活用を図る予定である。

(3) 今後の展望

今後の上野遊水地の出水時巡視の負担を軽減する取り組みとして、ドローン飛行困難時の対応検討にて赤外線

カメラは夜間でも400mの距離から人物を確認可能である結果を踏まえて、赤外線カメラの地上活用をより詳細な運用検討を継続していく予定である。

これらの検討技術は、深刻化しつつある河川管理の担い手不足や高齢化において、現場作業の負担軽減や省人化に大きく期待されるものであるため、今後も最新の技術動向や制度の進展に注視しつつ、河川管理においても生産性向上が図れるように現場取り組みを進めていきたい。

謝辞：本論文作成にあたり多大なる御協力を頂きました皆様に心から感謝申し上げます。

関連論文

2022年度「ドローンを活用した上野遊水地巡視の実証実験」

2023年度「ドローンを活用した上野遊水地巡視の試行について」