

山岳地域での UAV 飛行におけるリスクと対応策

パシフィックコンサルタンツ株式会社 ○小川 達則 澤田 悦史 江藤 稚佳子 柳町 年輝
 国土交通省関東地方整備局 日光砂防事務所 木下 篤彦^{※1} 廣井 幸治 土田 元気 江口 彰友^{※2}

※1：現 内閣府沖縄総合事務局 開発建設部 ※2：現 国土交通省関東地方整備局 河川部

1. はじめに

UAV（無人航空機）の活用は、広域かつ俯瞰的な状況把握を可能とし、砂防分野を含む様々な分野において有効な調査手法の一つとして位置付けられている。一方で、山岳地域における UAV 飛行では平地と異なり、麓から山頂域にかけての飛行に伴う地形標高の大きな変化、谷地形や尾根地形に起因する見通し条件の制約、気象の急変等により、機体挙動や通信品質が不安定となるリスクが存在する。これらの条件により操縦者の操作負荷が増大し、その結果、通信断や機体の位置および対地高度の把握困難といった運用上の課題が生じる。

本報告では、火山地域を含む山岳地域における LTE 搭載型 UAV（以下 LTE-UAV）による広域飛行の検証を行い、地形・気象・通信環境および法令制約に関わるリスクを整理した。あわせて、操縦者の経験則に依存しない運用条件と、判断基準及び体制要件を明らかにすることを目的とする。

2. UAV 飛行距離・高度の選択における特徴

UAV 飛行計画立案に際して留意すべき点のうち、飛行距離及び高度設定の選択に関する特徴を表 1 に示す。特に、飛行レベルの選定、特定飛行への該当有無、対地高度 150m を超える飛行に係る制限といった制度的制約は、飛行距離や高度設定に直接影響を与える要素である。

3. 山岳地域における UAV 飛行リスクと計画上の前提条件

山岳地域では、地形・気象・通信環境により、機体挙動や通信品質、対地高度管理に関するリスクが顕在化しやすい。以下に主要なリスクを整理する。

3.1. 地形条件に起因するリスク

山岳地域では地形の起伏変化が激しく、離発着地点と観測対象との標高差も大きいことから、飛行ルートに沿って対地高度が大きく変動する。このため、同一の飛行高度を維持している場合であっても、急崖や谷部などでは地表との相対関係が急激に



使用機体 SkydioX10

操縦者と補助者

Skydioクラウド操作画面（複数人で機体監視）

飛行後の飛行ログ確認

写真 1 LTE-UAV 実証試験状況

表 1 UAV 飛行距離・高度の選択における特徴

飛行条件		利 点	留意点
飛行距離	短距離飛行	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>バッテリー余裕（残量）</u>を確保しやすい ・ 地上の安全措置（立入管理等）を講じやすい 	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>観測範囲が限定</u>され、対象全体を把握できない場合がある
	長距離飛行	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>広範囲の情報取得</u>が可能 ・ 操縦者の被災リスク低減（離発着地点を安全側に設定しやすい） 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 長時間・遠方飛行により <u>気象変化の影響</u>を受けやすい ・ 風況悪化時に帰還に必要な <u>電源余裕が不足</u>するおそれがある
高度設定	高高度飛行	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地形・樹林との <u>離隔</u>を確保しやすい ・ <u>直線的で安定</u>した飛行が可能で、長距離飛行に適する ・ <u>通信が安定</u>しやすい 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 対地高度 150m 超に係る <u>航空法上の制約</u>があり、許可・承認が前提となる ・ <u>視認性低下</u>により、機上カメラによる <u>安全確認の確実性</u>に留意が必要（レベル 3.5 要件）
	低高度飛行	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地表状況を詳細に <u>把握</u>でき、機上カメラによる <u>安全確認</u>が行いやすい 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地形・樹林や乱流の影響を受けやすく、姿勢が不安定となる場合がある ・ 地形遮蔽により <u>通信品質が低下</u>し、対地高度管理を含め <u>飛行管理</u>に留意が必要

変化するため、対地高度の把握と制限高度内での維持管理が難しくなる。

3.2. 気象条件に起因するリスク

谷沿いの上昇流や尾根部での乱流など、局所的かつ不規則な風況が発生しやすいため、機体姿勢の不安定化による操作性の低下や操縦負荷の増大を招く。さらに、天候の急変や雲底の低下により、視認性が急激に悪化する場合がある。

3.3. 通信環境に起因するリスク

LTE-UAV は、操縦者・機体間の直接通信に比べ、通信距離や見通し条件の制約を受けにくく、立入制限区域外から広範囲の調査を実施しやすい。一方で、通信エリアや基地局配置に依存するため、通信品質が常に確保されるものではない。このため、事前の電波調査に加え、通信断を想定した判断基準と体制の整備が不可欠である。

4. 個人能力に依存しない運用上の対応策

UAV 飛行は、地上の安全、操縦者（機体含む）の安全、他の航空機の安全が相互に影響し合う関係性を有している。山岳地域特有のリスクに対応し、現場条件の変化に対して安全を担保するためには、操縦者個人の経験則に依存せず、あらかじめ判断基準と手順を整理した運用が不可欠である。

そこで、事前に整理した運用上の留意点および対応策が、実際の山岳地域における飛行条件下で確実に運用可能であるかを検証することを目的として、火山噴火時の降灰範囲および被害状況の把握を想定し、LTE-UAV を用いた実証試験を実施した。実証では、上空 LTE 電波状況の把握に加え、LTE-UAV の飛行、通信の安定性、操作性および地物の視認性を確認するとともに、事前に設定した中止判断基準および役割分担に基づき、操縦者とは独立した中止判断が実運用上行えることを確認し、個人の判断に依存しない UAV 運用体系が実地条件下で成立することを示した。

これらの実証を通じて得られた知見を基に、山岳地域での UAV 運用において操縦者に依存しない運用を実現するための対応策について、飛行前・飛行中・飛行後の各段階毎に整理した（表 2）。従来の操縦者個人の判断に依存した運用とは異なり、判断要素と責任の所在を事前に整理し、組織として管理する点に特徴がある。

参考文献：

- 1) 国土交通省 航空局：無人航空機の飛行の安全に関する教則，令和 7 年 2 月
- 2) 国土交通省 航空局：無人航空機（ドローン、ラジコン等）の安全な飛行のためのガイドライン，令和 5 年 1 月

5. おわりに

山岳地域の UAV 運用では、地上・操縦者（機体含む）・他の航空機の三つの要素が相互に影響するため、地形・気象・通信環境に起因するリスクを踏まえ、飛行距離・高度設定および中止判断を通じて、そのバランスを運用として管理することが重要である（表 2）。

表 2 個人に依存しない UAV 運用上の対応策

区分	観点	対応策の内容
飛行前	飛行条件設定	飛行距離および高度設定について、地上・操縦者（機体）・航空機の安全性のトレードオフを整理した上で、 <u>運用条件を明確化する</u> 。
	高度管理	地形起伏を踏まえた対地高度の <u>事前確認（シミュレーション等）</u> を実施し、制限高度を超過しない飛行計画とする。
	事前検証	通信品質、機体挙動、対地高度表示等を確認するための <u>テスト飛行</u> を計画に組み込み、 <u>十分な事前確認が実施</u> できない場合は本飛行を実施しない。
	中止判断	気象、通信状況、バッテリー残量、作業時間等を考慮した <u>作業中止・再開の判断基準を事前に設定</u> する。
	工程管理	予備日を含めた <u>余裕ある工程</u> とし、 <u>中止判断を実行可能な計画</u> とする。（航空局申請、管理者許可、冬季閉鎖、日没、撤収等の期間、時間考慮）
	体制構築	操縦者、補助者、現場責任者の <u>役割を明確化</u> し、 <u>監視・判断を分業する体制を構築</u> する。
飛行中	監視体制	操縦者とは別に、対地高度、通信状況、バッテリー残量を監視する <u>補助者を配置</u> する。
	操作確認	高度変更や進路変更時には、操縦者による <u>口頭指示</u> と補助者による <u>復唱確認</u> を行う。
	中止判断	高度超過の兆し、通信品質の低下、時間的圧迫等の異常兆候が確認された場合は、 <u>現場責任者が飛行中止を判断</u> する。
	判断姿勢	作業完了を優先する判断を排し、 <u>時間的・心理的なプレッシャーが判断に影響</u> することを前提として、 <u>安全側への中断を許容する運用</u> とする。
飛行後	実績確認	<u>飛行ログまたは取得データ</u> を用いて、計画どおりの飛行が実施されたかを確認する。
	情報共有	計画外の事象やヒヤリハットが確認された場合は、 <u>速やかに関係者間で共有</u> し、 <u>事実に基づき整理</u> する。
	改善反映	飛行前後の <u>報告・チェックをルール化</u> し、 <u>確認結果を手順書やチェックリストに反映</u> して次回以降の運用に活用する。

本報告で整理した対応策は、判断基準と役割分担を明確化することで、操縦者個人の経験則に依存しない運用を可能にするものである。今後は、チェックリスト・手順書への反映を着実に進めるとともに、自律飛行技術や高解像度カメラの活用等の技術的手法も含めて検討を進め、実証結果の蓄積を通じて、山岳地域における UAV 活用の安全性と実効性の向上に継続的に取り組んでいく。