

ドローンによる資機材輸送の検討 —山岳地テレメータ設備更新でのUAV活用検討—

帯広開発建設部 施設整備課 ○村井 一匡
三上 紘幸
立川 文夫

北海道開発局では工事などで資機材を輸送する際、車輛による輸送が困難な山岳地等では人力運搬又はヘリコプタによる空輸にて行ってきた。近年、ドローンを活用した物資輸送の運用事例も増えてきており、民間企業ではドローンを用いた山岳地での輸送試験も行われている。本発表は、山岳地に設置されたテレメータ雨量観測所の機器更新においてドローンによる資機材輸送を検討し行ったので、その結果について報告するものである。

キーワード：UAV、物資輸送、山岳地

1. はじめに

国土交通省では砂防及び河川管理のため、河川流域の雨量を計測する雨量観測所(写真-1)を設置しており、河川上流の山岳地を含めた多地点で観測を行っている。

雨量観測所には、計測データを事務所等まで伝送するためのテレメータ設備が設置されており、稼働停止や機能低下が起ると管理上支障があるため、設備更新等により維持管理を行っている。

今回、日高山脈の国有林内に設置されたテレメータ設備を更新するにあたり、資機材の車輛による輸送及び人力運搬が困難な現場条件であったため、これらに代わる輸送方法が必要となった。

近年はドローンを活用した山岳地における物資輸送の事例があることから、ドローンによる資機材の輸送について検討することとした。

本検討において、輸送方法の比較だけでなく航空法に基づく問題点を確認し、その対応を図り資機材の輸送を行ったので、実績について報告する。



写真-1 雨量観測所

2. 雨量観測所の設置環境

今回施工対象となる雨量観測所(ピリガペタヌ)は、日高山脈国有林の標高590m地点に位置している。

アクセス方法は、トッタベツヒュッテ(麓にある山小屋)までは車輛で到達可能であるが、現地雨量観測所までは沢歩きと登山の両方が必要となるほか、林道を遮る倒木が多数確認され人力運搬は適していない(写真-2)。トッタベツヒュッテからの移動距離は約3kmで、移動時間は90分~120分程度を要する(図-1)。



写真-2 林道の倒木

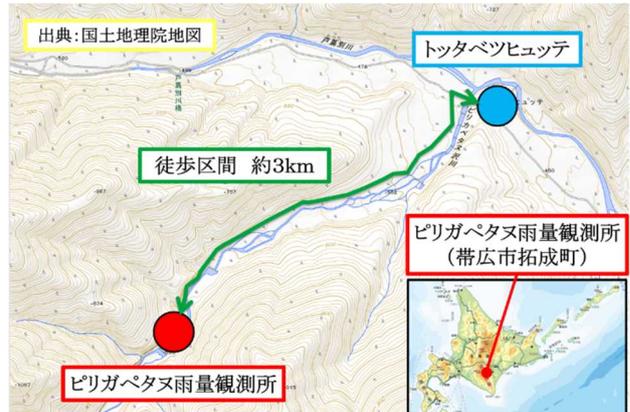


図-1 位置図

3. 輸送資機材

輸送する資機材は、テレメータ観測装置、無線装置、太陽電池パネル、長尺物の空中線（長さ3.7m）、危険物に該当する蓄電池（写真-3）等である。総重量は約230kgとなり、設備更新であるため撤去品も同程度の総重量となっている。



写真-3 輸送する蓄電池（危険物）

4. 輸送に係る検討事項

資機材の輸送を行うにあたり、路面状況の影響を受けないドローンと同じ性質を持つ、ヘリコプタとの比較を行った。

(1) 荷揚げ荷下ろし場

空輸を行う場合、安全飛行のため荷揚げ荷下ろし場の確保が必要となり、樹木でスペースが確保できない場合は伐採が必要である。最低限必要なスペースの目安を表-1に示す。

現地調査によりドローンを使用する場合は伐採が不要、ヘリコプタを使用する場合は多数の樹木を伐採する必要があることが判明した。

表-1 荷揚げ荷下ろし場に必要スペース(目安)

ドローン輸送	ヘリコプタ輸送
5m×5m ※1	15m×15m ※1

※1 樹木高により増加

(2) 使用機材の比較

ドローンについては受注者協力のもと市場において輸送実績のある機材を選定し（写真-4）、ヘリコプタについては北海道内配備の最小クラスの機材を選定した。輸送条件及び費用について比較した結果を表-2に示す。

なお、輸送する資機材は分解することでドローンの最大積載量以下に抑えることが可能である。

また、ドローンの電源であるバッテリーの性質上、気温が低い環境では動作効率が悪化し安全な飛行が行えないおそれがあるが、飛行高度より標高が高い現場周辺の山

頂の平年値を参考とし、輸送予定時期の飛行高度の気温に問題ないことを確認した。さらに、費用についても今回の現場条件においてはドローンの方が安価となった。



写真-4 選定したドローン機材

表-2 使用機材比較

	ドローン輸送	ヘリコプタ輸送
最大積載量	30kg	600kg
使用可能な気温	-20℃～45℃	制限なし
輸送費用（税込）※2	約300～350万円	約300～450万円

※2 現場条件により変動（樹木伐採等）

(3) 所要時間

使用機材毎の資機材輸送に係る所要時間を試算した結果を表-3に示す。

ドローンは資機材を分割して輸送するため、ヘリコプタの方が迅速な輸送が可能であるが、移動時間（往復3時間程度）を考慮した1日での作業時間（4～5時間）の範囲内となり、ドローン輸送でも問題なく施工可能であることを確認した。

表-3 所要時間比較

	ドローン輸送	ヘリコプタ輸送
直線距離	片道2.6km	
飛行回数	12往復	1往復
所要時間	約3.5時間	約0.5時間

※ 撤去品輸送は含まない（撤去品輸送も同程度の見込み）

(4) 検討結果

ここまでの検討から、樹木伐採による環境への配慮、飛行の安全性に問題がないこと及び費用を抑えることができることを踏まえ、本件はドローンによる輸送が妥当であると考えられた。しかしながら輸送する資機材の形状に問題があり、航空局より飛行許可・承認を得られず、ドローンでは輸送できないことが判明した。

5. 航空法に基づく問題点

本件において確認した航空法に基づく問題点とその対応について説明する。

(1) 特定飛行（航空法）

航空法において、特定飛行を行う場合は基本的に航空局より飛行許可・承認を得る必要があり、表-4のとおり本件における飛行方法は特定飛行に該当する。表中の丸印は本件の該当項目を示している。

また、ドローンの飛行形態については表-5のとおりリスクに応じた3つのカテゴリーに分類され、カテゴリーに応じた手続きが必要となる。

(2) 飛行カテゴリーの決定

飛行カテゴリーは、「飛行カテゴリー決定のフロー図¹⁾」により決定される（図-2）。本件では、特定飛行を行い、立入管理措置を講じることとした。

なお、輸送する資機材は分割しても25kgを超えるものがあるためカテゴリーⅡに該当する。

表-4 特定飛行

飛行の方法	該当
1 夜間での飛行	
2 目視外での飛行	○
3 人や物件と距離を確保できない飛行	○
4 催し場所上空での飛行	
5 危険物の輸送	○
6 物件の投下	

表-5 カテゴリー概要

カテゴリーⅢ	特定飛行のうち、無人航空機の飛行経路下において立入管理措置を講じないで行う飛行。
カテゴリーⅡ	特定飛行のうち、無人航空機の飛行経路下において立入管理措置を講じたうえで行う飛行。
カテゴリーⅠ	特定飛行に該当しない飛行。

(3) 立入管理措置と飛行レベル

立入管理措置とは、無人航空機の飛行経路下において第三者の立入りを制限することを指す。

飛行レベルとは、ドローンの飛行方法（操縦飛行・自律飛行）、飛行範囲（目視内飛行・目視外飛行）、飛行場所の人口密度（無人地帯・有人地帯）により判別される区分であり、航空法により飛行レベルに応じた立入管理措置を講ずることが表-6のとおり定められている。

今回の現場では、第三者の立入ルートを予測できない山岳地にて直線距離2.6kmに渡る飛行経路となり、補助者又は看板の設置で立入管理措置を講ずることは現実的ではない。そのため、機体カメラからの確認を以て立入管理措置とするレベル3.5飛行を選択することになる。

(4) 飛行マニュアルによる制限

飛行マニュアルとは、「無人航空機の飛行に関する許可・承認の審査要領（カテゴリーⅡ飛行²⁾」に記載されており、安全体制の維持のため、その作成と遵守が飛行許可・承認の条件となっている。

表-6 立入管理措置と飛行レベル

飛行レベル	立入管理措置
レベル1飛行 (目視内操縦飛行)	・該当しないため割愛
レベル2飛行 (目視内自律飛行)	・該当しないため割愛
包括申請 (目視外飛行)	・補助者やフェンスの設置 ・第三者が立入不可の確実性
レベル3飛行 (無人地帯での目視外飛行)	・補助者又は看板の設置 ・車輛の上空の飛行不可
レベル3.5飛行 (無人地帯での目視外飛行)	・機体カメラより第三者を確認 ・車輛の上空を飛行可能
レベル4飛行 (有人地帯での目視外飛行)	・カテゴリーⅢに該当 ※現時点では実証実験レベル

YES ▶ NO ▶

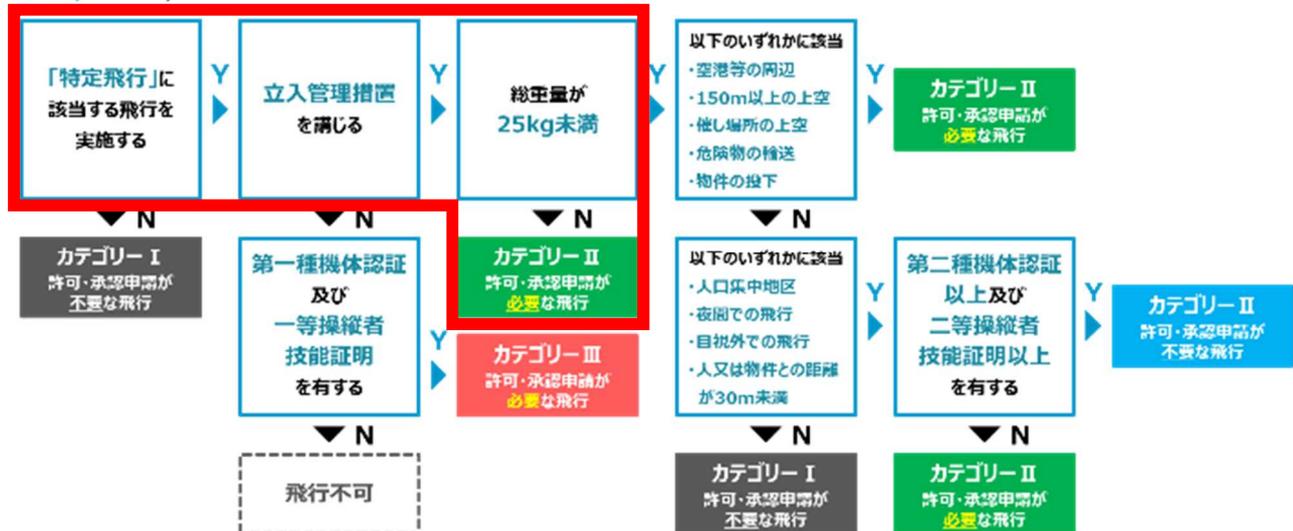


図-2 飛行カテゴリー決定のフロー図

レベル3.5飛行は、レベル3飛行と比較すると立入管理措置が簡素化している。その分、飛行許可・承認の条件が厳しくなっており、レベル3.5飛行においては同要領に記載の飛行マニュアルの作成ではなく、航空局が作成した「レベル3.5飛行用航空局マニュアル」をそのまま使用することが求められている。

しかし、本マニュアルには「物件の吊り下げ又は曳航は行わない」と定められていたため、従来までのレベル3.5飛行による輸送は輸送コンテナ(幅573mm×奥行き416mm×高さ306mm程度)に格納可能な物資の輸送だけに限られていた。したがって、本件で輸送する空中線や太陽電池パネルのような大きな物資は吊り下げが必要となり、現行の飛行マニュアルでは輸送を行うことができないことを確認した。

(5) レベル3.5飛行用航空局マニュアルの改正

ドローンによる大型物資の輸送は需要が高まっていくと推測され、吊り下げ輸送が必要とされるケースは今後も発生する。

また、物資の吊り下げを想定したドローン機材は市場に存在していることが確認できたため、今回の検討を契機に、レベル3.5飛行による物件の吊り下げ輸送について航空局と協議することとした。

結果、前述のドローン機材による吊り下げ輸送の安全性が認められ、レベル3.5飛行用航空局マニュアルが改正されることになった(図-3)。これにより、レベル3.5飛行による物件の吊り下げ輸送が可能となり、本件がマニュアル改正後における日本初の事例となった。

2-8 無人航空機を飛行させる者が遵守しなければならない事

- (12) 物件のつり下げ又は曳航を行う場合は、飛行距離及び高度の限界値を設定して不必要な飛行を行わないようにし、突風や電波障害等の不足の事態を考慮して当該場所の付近(近隣)の第三者や物件への影響を予め現地で確認・評価するとともに、物件の確実な固定・固縛を含め適切な安全措置を講じる。

図-3 改正後レベル3.5飛行用航空局マニュアルの抜粋

6. レベル3.5飛行による吊り下げ輸送

(1) 飛行ルート

トッタベツヒュッテとピリガペタヌ雨量観測所間の飛行ルートは、徒歩区間と同様とした。

(2) 当日の気象条件

輸送開始時点では快晴かつ無風状態であり、最後まで天候に恵まれたため、作業中断が発生することなく飛行

計画どおりに輸送を遂行することができた。

(3) 吊り下げ輸送

今回、日本初となったレベル3.5飛行による物件の吊り下げ輸送であるが、慣性により発生する吊り下げられた荷の揺れに対して、ドローンは挙動を自動制御して飛行できるため、終始安定飛行ができた(写真-5)。

また、ドローン搭載のウインチは非常に緩やかなペースで荷の降下が可能であり、1回あたりの荷の重量が少なく、地上の作業員への直接受け渡しも可能であるため、荷下ろしの際に衝撃が発生しない(写真-6)。

今回、実作業にあたった受注者はヘリコプタ輸送の経験があるが、ヘリコプタによる吊り下げ輸送では荷下ろしの際に少なからず衝撃が伴うことに対して、ドローンによる輸送では衝撃が発生しないため、今回のような電子機器類、長尺物で変形しやすい空中線、危険物である蓄電池の輸送に適しているとの意見があった。



写真-5 空中線を輸送するドローン



写真-6 空中線の受け渡し

7. まとめ

山岳地でのドローンによる輸送メリット、デメリットは以下のとおりと考えられる。

メリット

- ・安全飛行に必要なスペース確保のための樹木の伐採が少規模となる。
- ・電子機器類、変形しやすい物資、危険物等、衝撃を考慮する必要のある物資の輸送に適している。

デメリット

- ・最大積載重量に制限があるため輸送可能な資機材が限定される。
- ・バッテリー駆動であるため使用可能な気温を外れる環境下での運用に適していない。

これらのデメリットについては、現状一般的ではないが重量物輸送用の大型ドローンや、エンジンを搭載した過酷な気温条件に対応したドローンが開発されているため、将来的に対応可能となることが期待される。

また、条件により費用が変動するため、輸送条件にあわせてヘリコプタと比較する必要がある。

今回の検討によってレベル3.5飛行による吊り下げ輸送が可能となったことで、輸送する資機材の大きさの制限が緩和された。これにより、従来ではドローンによる輸送が不可であったサイズの修理用資機材の輸送が可能となり、山上にある無線中継所、レーダ雨雪量観測所といった施設への資機材輸送の手段として選択の幅が広がったと考えられる。

また、災害発生時には山岳地のみならず一般道においても車両が通行できない状態になることが想定され、人力での長距離輸送が困難なKu-SATやi-RASといった、災害用機器の輸送や、非常用発電機に使用する燃料についてもドローンによる輸送が効果的であると推測される。

本発表が資機材の輸送、災害対策の一助となれば幸いである。

参考文献

- 1)国土交通省：無人航空機の飛行許可・承認手続
https://www.mlit.go.jp/koku/koku_fr10_000042.html
2024年11月20日閲覧
- 2)国土交通省：無人航空機の飛行に関する許可・承認の審査要領（カテゴリーII飛行）
<https://www.mlit.go.jp/common/001521484.pdf>
2024年11月20日閲覧