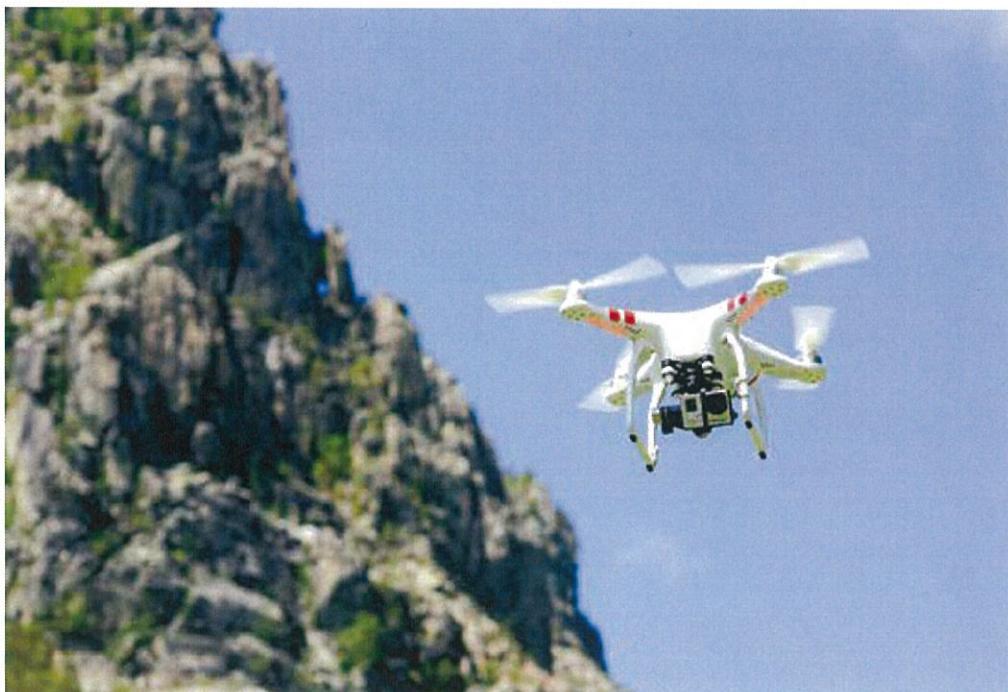


ドローンによる山岳遭難捜索 技術開発報告書



平成 28 年 5 月 31 日

公益社団法人東京都山岳連盟救助隊
日本山岳救助機構合同会社

<u>報告書主旨</u>	04
<u>山岳救助への無人航空機活用の期待</u>	05
<u>I・はじめに</u>	06
<u>II・開発の背景</u>	07
<u>III・フィールドテスト</u>	
1、目的および実施手順	08
2、使用機材・仕様	08-09
<u>IV・テスト概要</u>	
第1回 東京都あきる野市五日市丘陵地	10
第2回 栃木県日光市上都賀郡松木沢(足尾銅山)	11-13
第3回 富山県立山雷鳥沢	14
第4回 山梨県北杜市甲斐駒ヶ岳黒戸尾根	15-16
第5回 山梨県北杜市牛首山賽ノ河原、他	17-19
<u>V・テスト総括</u>	20-22
<u>VI・最後に</u>	22



報告書主旨

本報告書はドローンを活用した山岳遭難捜索技術開発の報告である。近年、ドローン（マルチコプター）と呼ばれる遠隔操縦による小型無人飛行機が実用化され、様々な機種が比較的低価格で販売されるようになった。東京都山岳連盟救助隊は、日本山岳救助機構（J R O：ジロー）の支援のもと、この急速に普及発展しているドローンを山岳遭難における捜索活動に使用できないかと考え、これまでその技術の研究開発を続けてきた。本報告書では無雪期および積雪期での複数回のテストの内容と、それらを通じた遭難捜索におけるドローンの有効性および今後の課題を報告する。

山岳救助への無人航空機活用の期待

4枚のプロペラで自由に空を飛ぶドローンは2010年代に入り、中国製の高性能機が出現し、空撮用ドローンとして世界中に普及した。今、テレビなどで見る低空からの空撮シーンの多くはこうしたドローンによって撮られたものである。ドローンはまた、災害現場での状況把握手段としても活躍し、今後は、農薬散布や生育監視などの農業分野、測量や点検などの土木分野、防犯などの警備分野、物流などの輸送分野など様々な分野での活躍が期待されている。ただし、空を飛ぶ機械としての安全性確保が強く求められ、2015年12月10日より航空法の一部が改正され、無人機を飛行させる場合の規則が施行されたところである。

今般、公益社団法人東京都山岳連盟救助隊、日本山岳救助機構合同会社では、山岳遭難捜索へのドローンの活用に関して活動を開始された。無人機による上空からの捜索は山岳地帯では大きな可能性を秘めており、今後、遭難者の早期発見に繋がるものと期待したい。ただし、新しい技術の、新しい利用法を安全に配慮して効果的に開拓するには、実際に利用する方々と、無人機の研究開発、製造、各種センサー等の関係者、行政当局との密接な連携が求められるることは言うまでもない。私ども、一般社団法人 日本UAS産業振興協議会（JUIDA）では、広く無人航空機システム（UAS）の産業利用促進に向けて、関係者のネットワーク構築、安全な利用のための基盤整備を進めているところである。山岳関係者の皆様との今後の更なる連携により、無人航空機が山岳での人命救助に一刻も早く活躍できるようになることを期待したい。

一般社団法人 日本UAS産業振興協議会 理事長
東京大学大学院 教授

鈴木 真二

I・はじめに

各種の小型無人飛行機の内、ドローンは上空からの撮影を目的とした業務用のもの（いわゆる空撮用）の他、純粹に操縦を楽しむ一般ホビー用のものまで様々な機種が極めて手軽に入手可能である。

ドローンとは、一般的に四つ以上の回転翼（ローターあるいはプロペラ）を持つ無人飛行機を指す。複数の回転翼を有するため飛行機の形式としてはマルチコプターと呼ばれるが、その飛行音から名付けられたドローンという愛称が一般的である。

空中に静止できる飛行機としてはヘリコプターが一般的であるが、姿勢制御のために可変ピッチのローターを、複雑な機構を用いて制御している。そのため、非常に高価であり、また操縦も難しいとされる。

一方、ドローンは複雑な機構を廃し、固定ピッチのプロペラを用いて電動モーターの回転数制御だけで姿勢制御を実現したものであり、非常に単純な構造をしている。そのためヘリコプターと比較して安価である。また各種センサーによる自動姿勢制御や複数のローターによる飛行のため非常に安定しており、操縦も比較的容易である。また大きさについても比較的小型である。

東京都山岳連盟救助隊と日本山岳救助機構では、この急速に普及発展しているドローンを山岳遭難における捜索活動に使用できないかと考え、これまで実際に野外で5回の使用テストを行った。その結果、捜索活動に十分に役立たせることが可能であることが分かった。

特に、ヤマモリという電子捜索機器との組み合わせは非常に有効であることが実証できた。一方で、天候やバッテリーの問題などの課題も明らかになった。

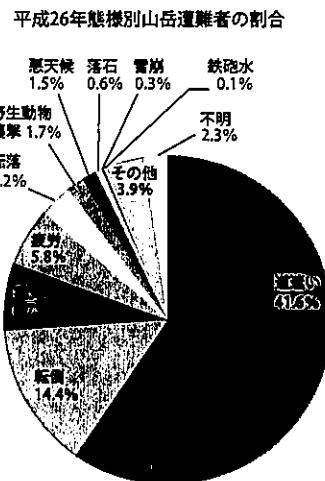
本報告書ではテストを通じて明らかになったドローンによる山岳遭難捜索の有効性および問題点を報告する。

今後、ドローンを利用することにより、山岳遭難における捜索手段および範囲が広がり、救助活動を効果的に行うことが期待できる。

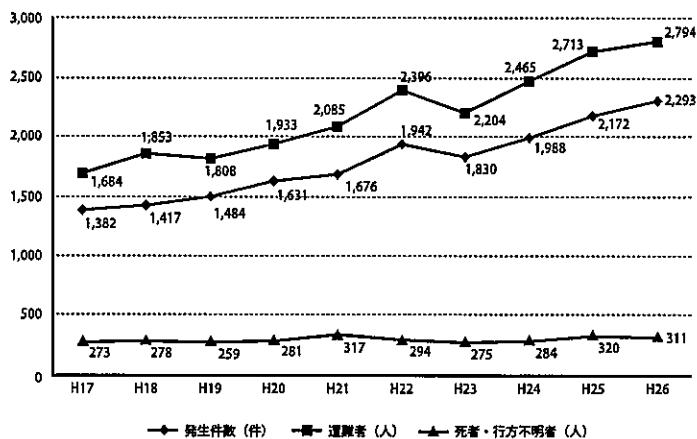
本研究は日本山岳救助機構合同会社の支援のもと公益社団法人東京都山岳連盟の救助隊が行ったものである。

II・開発の背景

全国の山岳遭難で一番発生件数が多いのが道迷いである。警察庁が発表した資料によると平成 26 年中の山岳遭難の発生件数は 2,293 件で、道迷いはそのうちの 41.6% と最も多く、次いで滑落が 17.9%、転倒が 14.4% となっている。



過去10年間の山岳遭難発生状況



道迷いによる遭難が発生した際、登山計画書が提出されていれば、そこに記載されている行動予定範囲を中心とした人手による捜索救助活動が基本である。

計画書が提出されていない場合、家族や知り合いからの聞き取り調査などを行って捜索範囲を絞るが、不完全な情報の場合多く、その場合の捜索はきわめて困難となる。また道迷いの結果、悪場を無理に通過しようとした際に発生したと思われる滑落事故も多く、その場合は危険箇所を捜索する必要があり、捜索に時間がかかり捜索範囲も非常に限られたものになってしまうだけでなく、捜索者側の二次遭難の可能性もある。

近年、「ヤマモリ」と呼ばれる道迷い遭難対策向けの電子捜索機器が販売されている。ヤマモリは電波受発信機能のある親機と発信機能のみの子機があり、親子ともそれぞれ固有の電波 ID 番号が付与されている。

親機を用いて電波 ID の分かっている子機または他の親機の探知が可能である。子機の大きさは SD カードよりも少し大きい程度で重さも 20g と軽量である。その上、バッテリーの稼働時間も 3 ヶ月間と長いため（親機は 6 ヶ月）、遭難対策用品として期待されている。

ヤマモリは見通しが良ければ親機は 1.5km 先からでも子機を探知するが、木や山などの遮蔽物があれば当然探知できる距離は短くなる。一般に上空は障害物が少ないことが期待できるので、仮に深い谷に子機があっても上空からであれば探知可能なことが期待できる。なお、有人ヘリコプターでの実験では、空中 5 km から探知できている。そこでドローンを用いて上空から探知を行うことで、ヤマモリの性能を最大限に引き出すことができるようになると考えた。



またドローンを用いることで、崖下や谷底など、人が行くのに困難あるいは危険な場所も捜索することが出来るようになり、捜索の範囲の拡大の他、捜索者自身の危険度を減らし安全確保ができる利点もある。東京都山岳連盟救助隊と日本山岳救助機構では、複数のドローンを購入し、以上の構想に基づきドローンを用いた山岳捜索技術の研究開発を行っている。

主に想定しているのは、

- (1) ヤマモリを用いた上空からの遭難者の探知
- (2) 搭載カメラを用いた映像によるリアルタイム
または撮影映像を用いた遭難者の捜索である。



III・フィールドテスト

1、目的および実施手順

ドローンの使用テストはまず操縦の習熟を目標としたもの、そして実際の捜索に沿ったシミュレーションを計画した。

また、より現実の捜索環境に近づけるために山岳地帯での飛行訓練を計画した。テストの目的は実際に想定した捜索活動が行えるかどうかの確認と、それらを通じた捜索技術の確立および捜索マニュアルの作成である。

2、使用機材

研究開発および訓練用の機種として日本山岳救助機構の支援により1機購入した（以下、j R O機）。また、救助隊員が個人で購入した3機（以下、救助隊機）を使用した。

1) j R〇機仕様

機種名	Phantom2 (D J I)	
本体重量	バッテリ・カメラ込み約 1,000g	
寸法	290mm x 290mm x 180mm	
搭載カメラ	汎用の GoPro Hero3 高精細の動画（フル HD）および静止画が撮影可能。Wi-Fi（無線 LAN）を用いたリアルタイムの撮影画像の送信も可能であるが、後述のとおり使用に耐えないことが分かっている。	
バッテリー等	LiPo 3セル 11.1V で 5200mAh 重量は約 360g 1 個のバッテリーによる飛行時間は公称 25 分 救助隊では長時間使用できるように現在 8 個の Phantom2 用バッテリーを所有している。	
コントロール端末	使用周波数：2.4GHz 到達距離：1000m 電源：単 3 乾電池 4 本	
その他	収納ケースはアルミ製トランクがあるが、嵩や重量を考慮すると、捜索に持参することは不適である。捜索時には梱包材などにくるみ、背負子やザックに入れて丁寧に運ぶ。	

2) 救助隊機仕様（3 機共通）

機種名	Phantom3 (D J I)	
本体重量	バッテリ・カメラ込み 1,280g	
寸法	290mm x 290mm x 180mm	
搭載カメラ	Phantom3 専用カメラ ワイヤレス映像伝送対応 高精細 4K 動画撮影	
バッテリー等	LiPo 4セル 14.8V 4480mAh 重量は約 365g 1 個のバッテリーによる飛行時間は公称 23 分	
コントロール端末	使用周波数：2.4GHz 到達距離：2000m 内蔵リチウムバッテリー	
備考	この DJI Phantom3 は、2 より高性能のカメラを搭載しており、また飛行性能および機能も Phantom2 と比較して向上している。 Phantom3 には Phantom2 にはない自動帰還着陸機能なども搭載しており、GNSS センサーも GPS に加え GLONASS に対応している。 また Phantom3 では操縦を行う送信機にリアルタイムで撮影画像を送信する機能があり、iOS 端末等を接続することにより、画像の確認と撮影の開始・終了および機体の操作が可能である。	

IV・テスト概要

前述の通り野外でのテストを5回実施した。また、これ以外にも救助隊研修の空き時間などをを利用して、基本的な操作方法の確認や短時間の飛行テストを室内外で5回ほど行っている。また各隊員がそれら以外にも自主的に複数回操縦訓練を行っている。

第1回 東京都あきる野市五日市丘陵地

平成27年7月25日（土）天候 晴れ

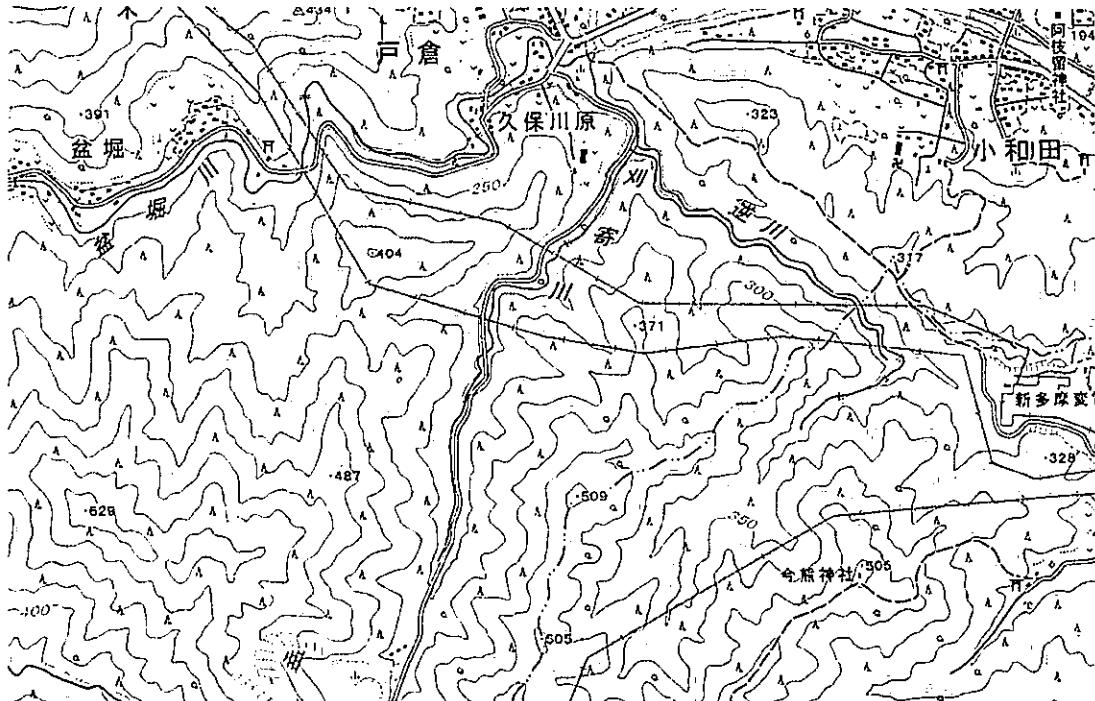
このテストは最初のテストということもあり、操縦の習熟が主な目的である。救助隊機とjRO機それぞれ1機ずつを持ち込んだが、jRO機は直前に行った室内飛行練習の際の故障で飛行出来なかった。このため、救助隊機一機での練習を行った。使用したバッテリーは3個である。

[テスト内容]

- ・基本的な操縦（離陸、目視飛行、周回飛行、直進、左右展開、回帰、着陸）
- ・GNSSセンサーを用いた自動帰還機能のテスト

自動帰還機能は飛行開始点に自動的に戻る機能であり、実際に使用したところ1m程度の位置のずれはあったが、着陸まで完全に自動で行うことができることを確認した。

このテストにより、操縦初心者でも十分飛行可能であり、目視飛行であれば捜索活動が可能であることを実証できた。ただし、着陸時には、操縦者や周辺の安全性、また地上激突回避に若干の習熟が必要であると実感した。



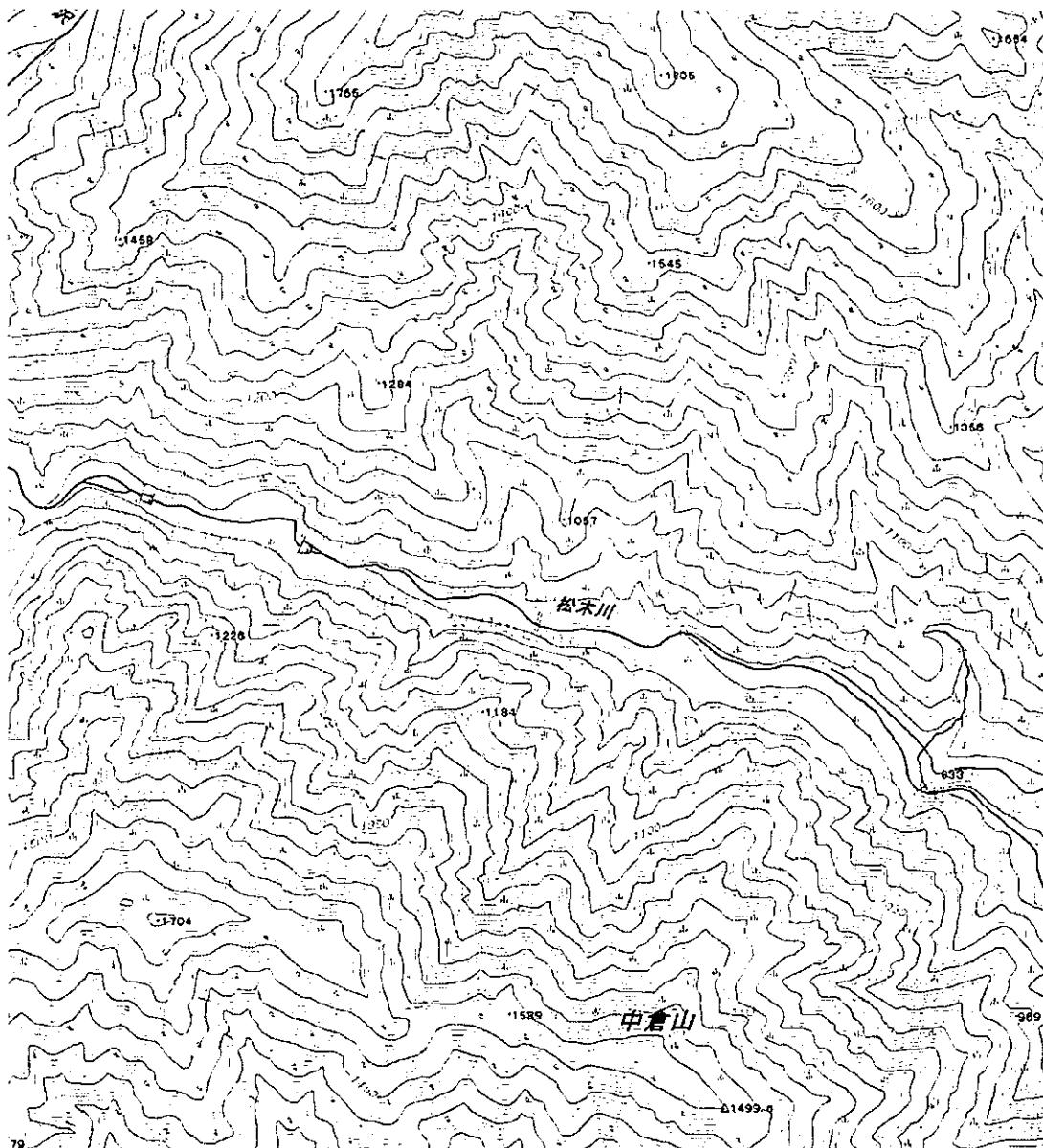
第2回 栃木県日光市上都賀郡松木沢(足尾銅山)

平成27年8月22日(土) 天候 晴のち曇り

松木沢はクライミングのトレーニング地として知られており、開けた沢筋は各種の救助訓練を行うのにも最適な地である。ここでは操縦訓練、搭載カメラによる撮影テスト、および捜索シミュレーションをおこなった。j R O機1機、救助隊機2機を持ち込んでの本格的な捜索訓練となった。

実施場所は銅(あかがね)親水公園付近のゲートより1時間ほど歩いた地点で、見通しの良い開けた場所で付近に捜索シミュレーションに適した山陰などもあり様々な訓練を行うことができた。救助隊機のバッテリーは8個持ち込み、うち6個程度を使用した。

基本的な操縦訓練として、地上からの着陸・飛行・離陸の他、山岳地帯での利用を想定した人手を介した発進・帰還テストも実施した。



[操縦・離着陸]

ドローンは自律制御により非常に安定した飛行が可能であるが、安全のために離陸着陸地点には機体サイズ分の完全に水平な場所とその周辺にある程度の空間が必要である。特に離陸時には飛行が安定するまでの短時間、水平方向に不規則に移動してしまう。捜索活動が想定される山岳地帯ではそのような場所を確保できる可能性が低い。したがって山岳地帯で飛行させるために発進時には一人が両手で機体を保持し頭の上に掲げた状態でそこから上昇させる、また帰還時には逆に、手の届く範囲まで近づけたあと手で保持するという方法を試した。

この方法では飛行に操縦者と機体保持者の二人が必要である。ただし Phantom3 は片手でのプロペラの停止操作が可能であるので帰還時は一人で行うことが可能である。救助隊ではこの二人による飛行をハンドキャッチによる離着陸と呼んでいる。この方法は、発進時は比較的安全だが、帰還時は機体のプロペラが保持者の体に接触する可能性があり、多少の危険が伴うため、十分な注意と、目を守る保護メガネの着用が必要である。また、操縦に習熟しておくことが必要である。なお Phantom2/3 は比較的軽量な機体であるためこのような離着陸が可能である。さらには、可搬型の離着陸用プラットホームを準備することも検討したい。

[バッテリー]

バッテリー 1 個の飛行時間は Phantom2 は公称 25 分、Phantom3 は公称 23 分程度だが、安全および確実性を考えると 75% 程度の使用が限界である。すなわち 15 分程度である。

Phantom2 はバッテリーが残り少なくなると自動的に高度を下げるような設定になっており、それを知っていても、その状態になると操縦性が変わり慌てることになる。その場合に機体を上昇させることは不可能ではないが非常に動作が遅いため、帰還させるには操縦に習熟が必要である。実際に練習中そのような場面があり不時着一歩手前であった。このため、バッテリーの状況を把握するために飛行時間の計測は必要であり、ストップウォッチなども準備したい。

[搭載カメラ・撮影]

次に搭載カメラによる撮影技術の検証を行った。Phantom シリーズはもともと空撮用の機体である。j R O 機には前述の通り小型の汎用カメラ Go Pro Hero 3 が搭載されており、撮影方向の上下方向の操作が送信機から可能である。3 軸ジンバルにより撮影映像は機体の動きにかかわらず水平が保たれる。Go Pro Hero3 には Wi-Fi によるリアルタイム映像送信機能がありこれをテストした。

しかし、Wi-Fi とドローン操縦用無線が共に 2.4GHz 帯を利用しているため、これらが干渉しあうこと 分かった。同時に使用すると機体がある程度離れた時に操縦不能に陥った。映像受信機として使用したタブレット端末の電源を切ると操縦が回復したため、Wi-Fi の混信と断定した。そのため j R O 機でのリアルタイム映像送信は断念した。飛行後に PC 等で撮影動画を確認する必要がある。この訓練には PC を持ち込んだが、2kg 程度と重く操作の場所も必要なため実際の捜索活動時に現場での映像確認は困難が予想される。一方、救助隊機 2 台の Phantom3 は専用のカメラが搭載されており、操縦と映像転送が同一装置によって実現され、周波数も異なっているためリアルタイム画像を確認しながらの飛行が問題なく行えた。

Phantom3 のカメラ用モニターとして iOS 機等が利用できるが、iPhone などのスマートフォンでは大まかな映像確認しか行えず、その映像を見ながらの捜索活動は困難であった。10 インチ程度のタブレット端末 (iPad Air) も試し、この程度のモニターサイズが、映像を見ながらの捜索には必要であることが分かった。また日中の晴天下では相対的にモニター映像が暗く非常に見にくくなるためフードなどが必要である。

[ヤマモリ]

次に、電子捜索機器「ヤマモリ」を用いた捜索テストを行った。ヤマモリに上空から探知させるにはドローンにヤマモリ親機を固定し、その表示画面をドローンのカメラで撮影する必要がある。当日は細引きなどを利用して Phantom3 にヤマモリ親機を取り付けカメラで画面を撮影できることを確認した。飛行状態により多少ヤマモリが前後左右に動くが、親機の表示を確認するのには支障はなかった。実際に上空から子機を探知させ、その方向距離を送られてくる映像から確認できることを確かめた。



ここで分かった問題は、ヤマモリは探知状態に設定後、一定時間で探知を終了してしまうことである。探知に成功しなかった場合、その度に機体を帰還させる必要があることである。ヤマモリ親機はこのような使用方法は想定していないと思われる所以仕方がない点であるが、現状の装置では何度も往復させる必要があり手間と時間およびバッテリーを消費してしまう。ただし、ヤマモリの開発会社によれば、新しいバージョンで遠隔地から指令を送り捜索モードを持続させることができる機材を開発中とのことなので、次回はその新バージョンの機器によってテストしたい。

またヤマモリを取り付けた場合、カメラ画像がヤマモリ画面確認専用になってしまふため、探知後、継続してリアルタイム画像による遭難者の捜索がしたい場合、それはできない。

ドローン 2 台を用いるか、いったん帰還後ヤマモリ親機を機体から取り外す必要がある。この日に試したヤマモリ固定方法では取り外しが困難であったため、取り付け方法については研究の余地があると言える。また、後述のように専用の探索システムの開発が求められる。

[捜索シミュレーション]

最後にドローンを用いた捜索シミュレーションを行った。ヤマモリ子機を持った遭難者役に山陰に隠れてもらい、ドローンを用いた捜索を行う。そして発見後、実際にストレッチャーで遭難者の搬送を行う、という場面を想定してそのテストを行った。これは、これまでテストを行った技術の組み合わせであるが、ヤマモリによる探知後、カメラによる遭難者の発見は、実際には非常に難しかった。遭難者側がマルチコプターを見つけ手を振っても操縦者側からそれをモニターで確認するのは困難であった。また山陰に遭難者を配置したため、有視界によるドローン飛行では遭難者が確認できるほど機体を寄せることができず、カメラ画像に頼った無視界飛行をする必要があった。その際、障害物などへの距離を把握することが困難なため、木などへの接触による墜落の危険性がある。カメラ映像による飛行の際には、機体を監視する補助者をつけなければならない。

シミュレーションでは遭難者の位置を特定後、付近まで親機を持って移動、改めて地上からヤマモリによる探知により位置を確認後、遭難者を発見。その後は怪我の状況を確認し、ストレッチャーにより搬送を行う、という通常の訓練でも行う救助シミュレーションを行い、ドローンを利用した捜索救助活動の一連の流れを確認した。

訓練終了後、翌日に備え宿泊地にてバッテリーの充電を行った。バッテリー 1 個につき 1 時間半程度の時間が必要である。Phantom2 用には充電器 2 台を持ち込んだ。従って、6 個のバッテリーを充電するために 4 時間半必要であった。翌日は雨になり天候不順なためドローンのテストは行うことができなかつたが、その後天候が回復したため、一部の隊員が自主的に飛行訓練を行った。

第3回 富山県立山雷鳥沢

平成27年9月5日（土）天候 曇り

雷鳥沢は標高2,330mにあり、公共交通手段でアクセス可能なため、より現実の捜索シミュレーションに近いテストが可能である。

[捜索シミュレーション]

この訓練には前述で触れた捜索モードを維持できるドローン用に開発したヤマモリ親機を利用し、上空からの捜索シミュレーションを行った。利用した機体は救助隊機1機である。ドローンを1kmほど離れた位置まで飛ばし、そこから600m離れた場所に配置したヤマモリ子機（遭難者）を探す、という想定でテストを行った。高度2000m以上の場所であったがドローンの操作および飛行は問題無く行えた。

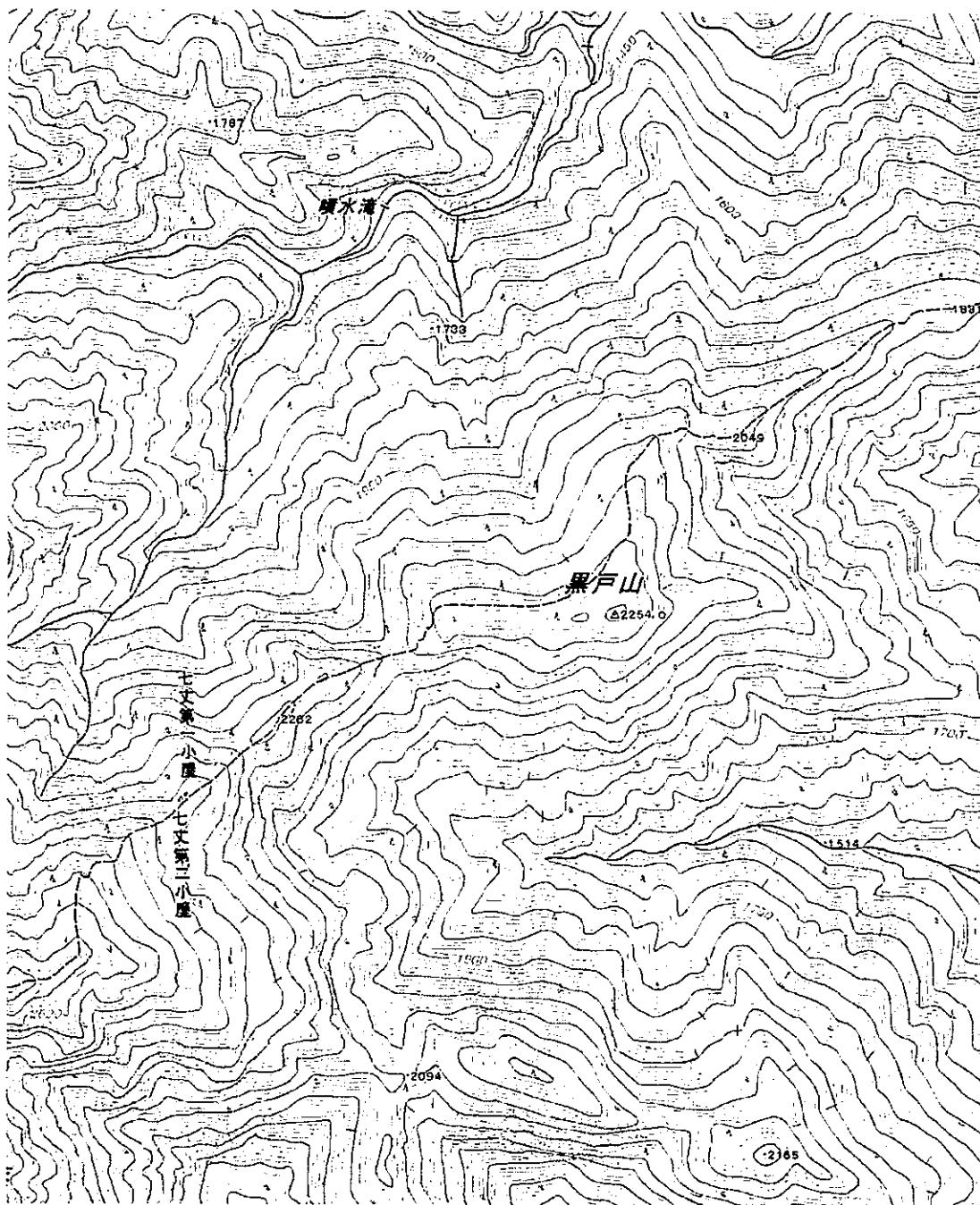
シミュレーションの結果、リアルタイム映像により1km離れたヤマモリ親機の捜索画面を手元で観察しながら実際に子機の探知が見えることも確認した。親機（ドローン）から子機（遭難者）の大まかな距離も映像から確認できたが、方角に関しては正確に把握することは困難であった。電波を用いて探知を行うという仕組み上仕方の無いことではあるが、親機から子機を探知した方角が180度逆向きになることがあった。また仮に子機までの方角が分かっても、親機が1km離れると目視によりドローンの向きの把握が困難である。コントローラと接続したスマートフォンに表示される情報でドローンの方角は確認可能であるが、直接的に子機の方角を知ることは不可能である。ドローンの向いている方角と探知した子機の方角を合成する必要があるため、その練習を行っておく必要があると感じた。



第4回 山梨県北杜市甲斐駒ヶ岳黒戸尾根

平成27年12月24日（木）～26日（土）

積雪期における寒冷地でのドローン飛行テストとして、南アルプスの甲斐駒ヶ岳黒戸尾根で検証を行った。このテストには救助隊機である Phantom3 を2台持ち込んだ。甲斐駒ヶ岳は標高 2967m の山で、今回は 2450m の七丈小屋から操作を行い、最高 2600m の地点まで飛行を行った。



[寒冷地飛行テスト]

使用しているドローンは事前に寒さに弱いという情報を得ており、Phantom3 の製造元である DJI のウェブサイトには、安全な動作は 0 度から 40 度と記載されている。冬季の南アルプスは氷点下 10 度以下になることも予想されるため、今回の対策は、

- ・事前にバッテリー及びモニターに使用するスマートフォンを温める
- ・飛行の前に、ドローンの電源投入後 1 分間の暖気運転を行う

の 2 点を事前に決めていた。機体の温度は機体の管理で使う iPhone 上で確認することができる。撮影は黄連谷や坊主山を撮る事が出来たが、寒い季節にドローンを飛ばす課題も見つかった。具体的には以下の通りである。

1. 寒いとバッテリーの消費が早い

カメラやスマートフォンにも言えることだが、一般的に電子機器は寒さには弱い。対処方法としては事前に温める事が効果的である。ドローンのバッテリーやスマートフォンは体に密着させて温めたり、使い捨てカイロを使ったりする事も有効であった。

2. 寒すぎると低電圧のため着陸モードに入りその場所で降下する

これは想定していなかったため驚いたが、「突然低電圧のため着陸します」と警告が出て飛行中にその場所で下降が始まった。谷底などの遠隔地を飛行中にその場所で下降されると機体を回収できないため、手動操作によって上昇させ手元まで誘導した。事後調査の結果、これはバッテリーや機体を守るために機能であることがわかった。温度が低いまま飛行させると正常に動作しなくなり、また、拡張機能としてバッテリー破損を未然に防ぐ低電圧の保護機能があり、バッテリー破損前に緊急着陸を行うような設計がされているらしいことがわかった。対策としては、外気温が氷点下を下回るような非常に寒い場合は、本体にある冷却のための通気口の溝をテープで蓋をするなどの必要性を感じた。次回、これらの対策を実施した上で飛行することを試すことにした。

3. 寒さのため機体の管理制御で使用していた iPhone の電源が落ちる

Phantom3 では、iPhone (iOS 端末) をカメラの映像や機体から得られるセンサー類のモニター及び操作端末として利用するが、iPhone は寒さに弱いことが有名である。今回も操作中に突然 iPhone の電源が落ちた。操作には影響はないが、温度計や GNSS による位置情報など、各種センサーの情報が見れなくなつた為、ドローンを帰投させた。対策としては使用前に十分に温めた上で、寒さに強くなる iPhone 用のカバーケースをつけることが考えられる。また iPhone の電源の減り具合も早く、1 回の飛行で iPhone のバッテリーが 30% 以下まで低下した。そのため、寒冷地での飛行は iPhone 充電用のモバイルバッテリーを別途用意する必要がある。

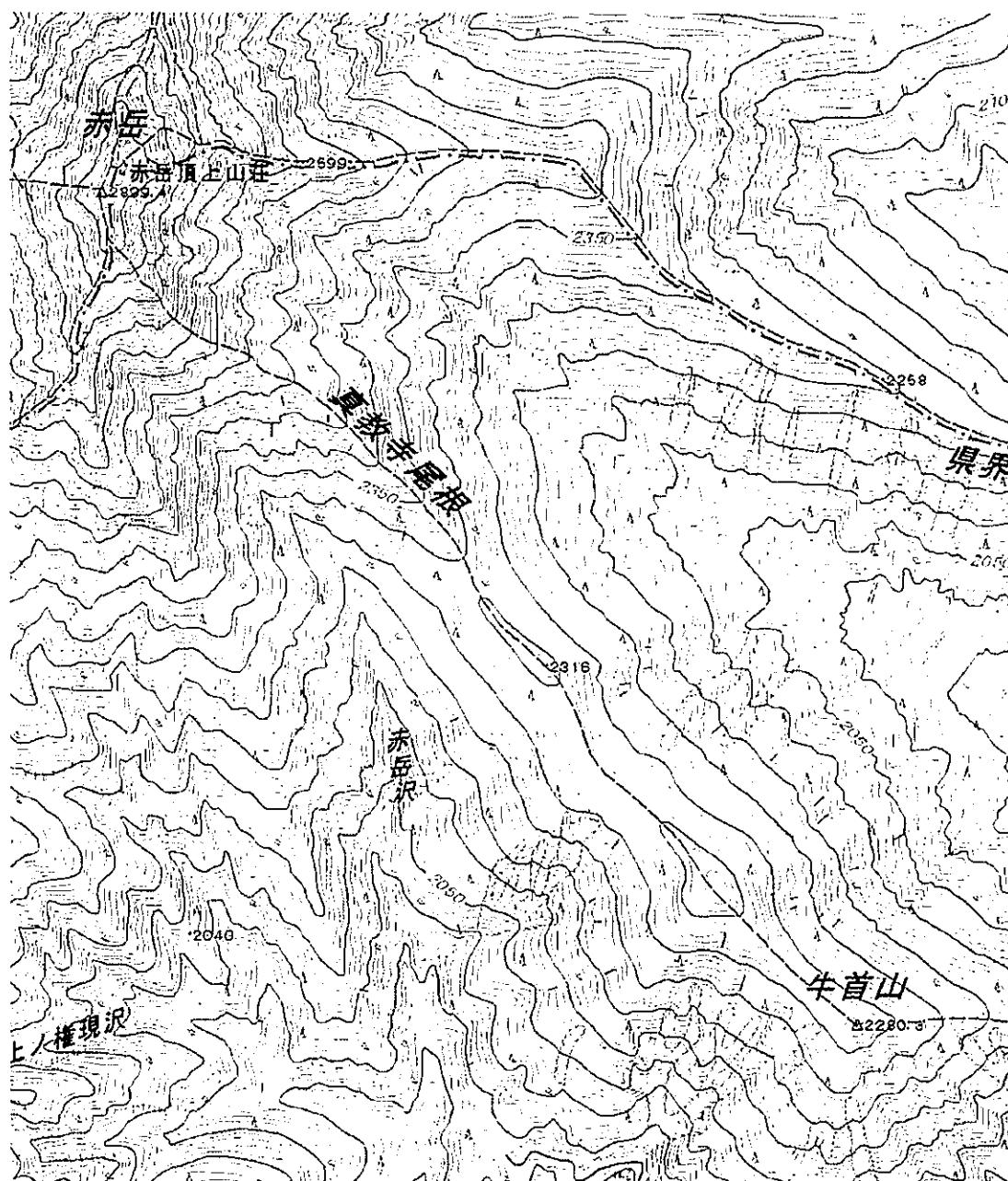
4. 地面に機体を置くと、カメラに雪が付きやすい

当然ながら寒冷地での地面は雪で覆われている場合が多いため、地面から離陸させようすると、雪がカメラに付着しやすい。したがって、無雪期以上に離着陸には場所の配慮が必要である。通常は地面ではなくハンドキャッチによる離着陸を標準とすることが望ましいことがわかった。

第5回 山梨県北杜市牛首山賽ノ河原、他

平成28年2月6日（土）天候 晴れ

八ヶ岳牛首山山麓近くの賽ノ河原と呼ばれる開けた場所で、積雪期のヤマモリを使用した搜索テストを行った。実際の搜索活動を想定し、総勢13名が参加し搜索訓練を行った。賽ノ河原の標高はおよそ1900mである。当日は天候が良く気温も高く5℃近くまで上昇した。また前回のテストを受けて、Phantom本体にある冷却用の通気口は事前にテープで全て塞いだ。本テストでは救助隊機 Phantom3 を3台、及び j R O 機 Phantom2 を1台使用した。



[捜索シミュレーション]

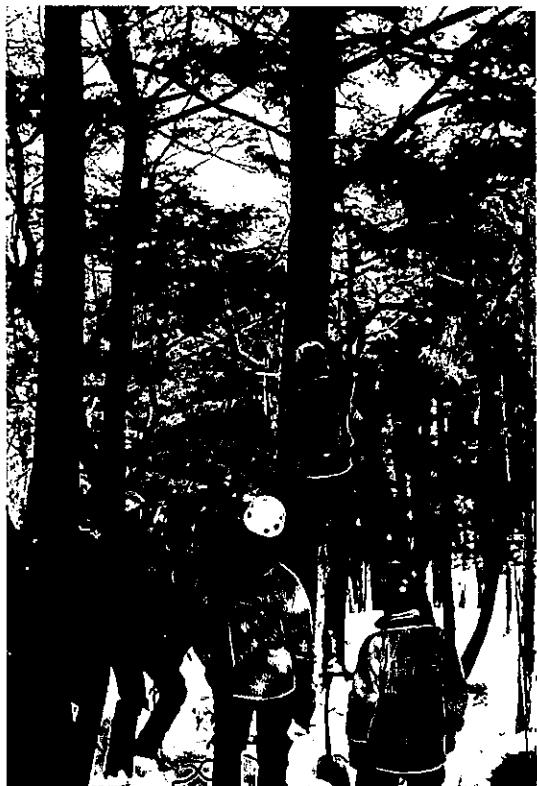
まず、はじめに飛行の確認を行った。上述のようにドローン本体は通気口を全てテープで塞ぐ対策を行った。その結果、気温がそれほど低くないこともあり、低温のエラーは出たが問題なく飛行でき、通気口を塞いだことによる本体内部の熱も高温状態にならなかった。

次にヤマモリを雪に埋めて搜索可能範囲の確認を行った。雪が少なく 60cm 程度しか掘ることができなかつたが、ヤマモリを入れたザックを雪に埋め、200m 以上離れた地点から、実際にドローンを利用した上空からのヤマモリ探知を行った。結果、問題なく子機を探知することができ、遭難者が雪に埋もれた場合でも、ドローンによる搜索が有効であることが確認できた。訓練ではドローンによるヤマモリ探知後、当該地点に移動し、実際に雪崩搜索プローブによって埋没者を搜索する訓練も行った。

飛行テストを行ったのは多少開けた場所であったが、ヤマモリを埋めた場所は、少し離れた樹林帯中の、少しだけ上空が開けている地点であった。そのためモニターを見ながらの飛行中、2台が途中の樹木に引っかかる事故が起きた。機体は高価であるため回収する必要があったが、これにはクライミングの技術と、また搜索用プローブが有効であった。最終的にプローブで突いて落下させて回収したが、雪のおかげかプロペラを損傷しただけで、本体は壊れなかった。もともとプロペラは、障害物に接触しない場合でも 20 回程度



飛行すると強度が落ちてくる消耗品であるが、木などへの接触では簡単に割れることがわかった。今回は合計 4 枚損傷し交換を行った。1 枚 100 円程度であるが、1 回の搜索で今回のように何枚も損傷させる可能性があるので、プロペラのコストも搜索時に考慮に入れておく必要があると感じた。また雪上では、Phantom の白いプロペラは落とすと見つけることが困難であることもわかった。積雪期は蛍光ペンなどでマーキングしておくのが良いと思われる。



R O 機である Phantom2 は、機体温度などを確認する方法はない。今回、気温があまり低くなかったためと思われるが、Phantom2 に関しては特に問題なく飛行ができた。Phantom2 は主に隊員の飛行訓練をおこなった。Phantom3 同様に通気口はテープで塞いだ他、使用するバッテリーは常にアウタージャケットの内側で温めてから使用した。個体差もあると思うが、低温で樹脂部品が硬くなりバッテリーの取り外しが非常に困難であった。Phantom2 には汎用の小型カメラが搭載されているがこれも問題なく動作した。

[寒冷地テスト]

6日は気温が高かったため、翌日長野県川上村の廻り目平に移動し、その近辺で短時間であったが飛行テストを行った。気温はおおよそ-10℃前後であった。1900m付近の唐沢の滝でPhantom3を飛行させた。滝の上部は開けているが、飛行開始点の上空は木が覆っており、飛行には難しい地形である。そのため、この場所ではPhantom2の飛行は断念した。Phantom3は十分な暖気運転を行ったのちに安定して飛行させることができた。人が簡単にいくことができない滝の上部を観察・撮影することが問題なくできることを確認した。-10℃以下という低温でも、ドローンによる搜索を行えることがわかった。ただし、低温では手がかじかむためコントローラなどの操作が難しいことがわかった。冬用グローブでの操作はほぼ不可能である。Phantom3ではiOS機を操作する必要があるため、タッチパネル対応の手袋が必須であった。

その後、1580m付近まで戻り、開けた場所でPhantom2の飛行テストを行った。気温は-5℃程度だと思われるが、-10℃以下の状態で長時間使用しなかった機体・バッテリーである。Phantom2には機体温度を知る手段もなく低温による警告もないが、飛行開始直後、バッテリー残量が少なくなった際と同様の機体ランプ表示となり、強制的に降下が始まった。この時、バッテリー側に搭載された残量計は100%を表示していた。おそらく低温によるバッテリー電圧低下が原因と思われるが、残量表示自体は十分であるため注意が必要なことがわかった。強制下降に対抗するためしばらく上昇の操作を続けていたところ、5分程度経ったとき強制降下しなくなり飛行が安定するようになった。おそらくバッテリーが温まつことにより電圧が回復したと思われる。本体温度を確認できないPhantom2でも十分な暖気運転を行えば、低温時でも十分に飛行が可能であることがわかった。



V・テスト総括

1、操縦の難易度について

救助隊では無線操縦ヘリコプターの操縦経験があるものはいなかったが、単に飛ばすだけならば、皆、短時間で操作を覚えることができ操縦は非常に容易であるといえる。一般的にはラジコンヘリの操縦は非常に困難だと言われているが、ドローンの操縦には特別難しい点はない。しかし、とっさの操作には習熟が必要である。特に、方向の維持および横方向の移動は、機体の向きによって送信機のスティック操作と逆向きに機体が反応するため、ある程度の訓練が必要である。しかし本研究期間の訓練で、短時間でハンドキャッチが確実に出来る程度に習熟できたので、操縦はやはり容易であると言える。

離陸時は、ゆっくり離陸するのではなく躊躇せざる程度（1～2m）は一気に上昇させるのがコツである。離陸する瞬間は姿勢制御が間に合わない為か、ゆっくり行った際に何度も転倒させプロペラを損傷させた。着陸が一番難しいが、これも離陸時と同様、ある程度の高さ（1m）まで降下したら、ためらいなく一気に着陸させる必要がある。ただしそれほど降下速度を速める必要は無い。

なお、一般社団法人日本UAS産業振興協議会（JUIAD）では7法人が運営する操縦スクールに、共通のライセンスを発行する準備も進んでおり、こうした教習を受け、資格を取得することも必要である。



2、ドローン機体について

テストを通じて一番の懸念は天候である。ドローンは精密な電子機器であり、使用した機体は雨天を考慮していないため悪天時には使用不可能である。また風にも弱く、風速毎秒5mになると飛行は困難になる。幸いこれまでの飛行テストでは風の影響はなかったが、第二回のテスト二日目は雨のため飛行できなかった。山岳地帯での天候は変わりやすく、飛行中の降雨も考えられる。また捜索活動は、よほどの悪天でない限り雨天だからと言って中止するわけにはいかない。山岳遭難での捜索用途のためには多少の風雨でも飛行可能な機体が望ましいと言えるが、この点を考慮した機体は非常に高価である。

3. バッテリーについて

上述の通り、1個のバッテリーでの飛行時間は実質15分程度であり、長時間の捜索活動には大量のバッテリーが必要である。そのため現在カセットガス式の発電機を用いた現地での充電を検討しているが、発電機自体が20kgと重いため、重量だけを考えた場合は、余程の長時間の捜索が想定されない限りバッテリーを大量に運び込む方が軽い。

発電機ではガス缶2本700g程度で2.2時間の発電が可能である。仮に10台の充電器を同時に使用すると計算上バッテリー1本あたり50g程度のガス使用量となる。バッテリーよりも300g以上軽いが、バッテリー65本でようやく発電機の重量分と等しくなる。

ただしバッテリーは非常に高価なため、金額を考えると10個以上のバッテリーを持ち込むなら発電機の使用も検討に値する。またバッテリーの問題は機体だけでなくモニターとして使用する端末にも考慮が必要である。送信機は比較的長時間の利用が可能で、松木沢で丸1日使用した際にも十分な余裕があった。

4. 飛行訓練の場所について

航空法が改正され平成27年12月10日より無人小型飛行機の規制が強化されることになった。これにより市街地などの人口密集地での飛行、地上高150m以上または空港近くでの飛行、夜間の飛行、目視外飛行、第三者の物や人への接近が法的に禁止され、そうした飛行をする際は申請し許可を得る必要がある。

都内においても第一回のテストを行った山間部のように安全に飛行が可能な地点もあるが、法律によりどのような場所が規制地域に該当するか確認が必要である。実際の捜索現場で活用するためには訓練は必須であるが、飛行可能な地域が限られるのであればそれも妨げられるため、今後の情報に注目したい。

前述のJUIDAではドローンの試験飛行場を開設しており、そうした場所を利用することも考えたい。

5. ヤマモリについて

本文中にあるように、現状では飛行開始直後の探知に失敗した場合、親機を物理的に操作して再び探知を開始しなければいけない。理想的には探知を自動で終了しない遠隔操作用のヤマモリがあることが望ましい（既に開発されている）。また機体のカメラを占有してしまうのも問題である。これも機体側にデータ送信機能（テレメトリー）があるので理想的には機体のコンピュータと連携する機能が欲しい。

探知結果の方向に関しては、遠隔の機体の方向が曖昧な点、カメラで撮影した親機に表示されている矢印の向きを、カメラを通して見ている点、さらには、そもそもヤマモリ自体の方向探知の限界から、その情報だけから遭難者の位置を特定するのは困難である。現実には探知ができたという事実と大まかな地点の絞り込みから、地上での人による捜索が必須であると言える。

6、その他

搭載カメラによる映像は非常に高精細で撮影後に遭難者の確認は可能であるが、ファイルサイズが3分で1GBと非常に大きいため、撮影時間が増えた際にその取り扱いに困難が予想される。また映像を再生するPCにも一定の性能が必要である。

撮影後の映像確認をする場合、一定の範囲をくまなく撮影しておくことが理想であるが、人の操作では完全には難しい。その場合、あらかじめ地図上で飛行ポイントを設定した上で、それに従って自動で飛行する、いわゆる「プログラム飛行」を行うのが理想である。Phantom3には機能が搭載されているが、これまでのテストでは使用したことがない。今後の課題の一つである。

幸い5回のテスト中に機体に大きな損傷を与えることはなかったが、離着陸時の転倒や立ち木への接触などにより、救助隊機のプロペラは3セットほど交換している。プロペラは損傷しやすく消耗品と割り切る必要がある。またある程度の予備が常に必要である。実際にjRO機用には3セットほど予備の用意がある。

また、機体損傷を担保する保険も既に販売されているので、付保すべきである。

VI・最後に

5回にわたって実際に野外でテストを行い、ドローンの山岳遭難捜索救助活動への活用の可能性を探った。ドローンは近年のスマートフォンを中心とするバッテリー技術、センサー技術の開発および発展が実現させた新しい飛行機である。東京都山岳連盟救助隊および日本山岳救助機構では、ドローンの山岳遭難捜索救助活動への活用への可能性にいち早く取り組み、その実現に向けて研究開発をおこない本報告書としてまとめた。ドローンによる捜索技術は無雪期積雪期を問わず一部課題が残るもの非常に有効であるというのが現時点での結論である。今後もドローンを有効活用し、継続して捜索技術の研究開発を続けたい。

なお、この技術開発研究を礎に、「ドローン活用・遭難捜索技術飛行マニュアル」を作成し、配布している。問い合わせは日本山岳救助機構(jRO:ジロー)まで。

参考文献・資料アクセス

- [1] 警察庁安全局地域課「平成26年中における山岳遭難の概況」
- [2] 国土交通省航空局 「無人航空機（ドローン・ラジコン機等）の飛行ルート」
http://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk10_000003.html
- [3] 一般社団法人日本UAS産業振興協議会（JUIDA）
<http://uas-japan.org/>

本報告書文責：玉田嘉紀（たまだ・よしのり）

1978年、東京生まれ。小学生時代からハイキングを始め、中学生で涸沢テント泊を行い縦走登山を始める。その後プランクを経て、たまたま入会したフリークライミングスクールをきっかけにロープを使う登山を始める。主な山行はアルパイン＆アイスクライミング。最近はフリークライミングが主。公益社団法人東京都山岳連盟救助隊・遭難対策委員。

技術開発チーム（順不同）

公益社団法人東京都山岳連盟救助隊

北島英明、川瀬恵一、橘 薫、松本光顕、玉田嘉紀、佐藤進一、塙田尊明

日本山岳救助機構（JRO：ジロー）合同会社

若村勝昭、中嶋正治、山中信幸、橋本利治

株式会社双興通信社 本間 渡

日本山岳救助機構合同会社

〒160-0022 東京都新宿区新宿 1-20-14 サンモール第8マンション 203号室

TEL: 03-6273-1633 FAX: 03-6273-2501

<http://www.sangakujo.com/> E-mail: main.jro@helen.ocn.ne.jp

公益社団法人東京都山岳連盟

〒101-0041 東京都千代田区神田須田町 1-32 福原ビル 301

E-mail: lej04543@nifty.com



この報告書は日本山岳救助機構（JRO）のホームページ内に PDF となっています。
ご自由にご覧ください。

発行：2016年5月31日

