

テクノロジーマップの整備に向けた調査研究  
(アナログ規制の見直しに向けた技術実証等) における技術実証

## 技術実証報告書

実証類型番号 6 :

カメラ、ドローン、ロボット、AI 等を活用した自然物等の実地調査の実証

株式会社 NTT e-Drone Technology

2024 年 1 月 31 日

## 目次

1	技術実証の概要	3
1.1	目的	3
1.2	対象業務（法令）	3
1.3	全体像	3
1.4	実施体制・期間	4
1.4.1	実施体制	4
1.4.2	実施期間	4
2	技術実証内容の詳細	5
2.1	技術実証の方法	5
2.1.1	環境耐久試験	5
2.1.2	下見調査	6
2.1.3	現地調査	7
2.2	実施場所等	11
2.2.1	環境耐久試験	11
2.2.2	現地調査	11
2.3	実施条件等	13
3	技術実証の結果	14
3.1	結果の評価ポイント・方法	14
3.1.1	環境耐久試験	14
3.1.2	現地調査	14
3.2	結果及び評価・分析	15
3.2.1	環境耐久試験	15
3.2.2	現地調査	16
3.2.3	寒冷地向けのドローンマニュアル	37
	用語集	39
別紙	参考資料	40

## 1 技術実証の概要

### 1.1 目的

公的機関等の職員が広大な自然環境に立ち入って実施している自然物等の実地調査について、カメラ、ドローン、センサー等による情報収集を活用し、リスク評価や環境影響評価の支援や精緻化を可能とすることで、効率化・省人化を目指すこととされている。そのため、現在、人が行っている実地調査について、実際にデジタル技術の活用による代替が可能であるかが本実証の目的である。

弊社（株式会社NTT e-Drone Technology）はNTTグループのドローン専門会社として、地域の課題解決に必要なドローンの開発製造から運用支援まで幅広く展開しており、ドローンに関するノウハウを有している。本実証では、そのノウハウを活用し、南極に生息する動植物等の把握において、人による調査からドローンによる調査に代替が可能であることを確認した。

なお、南極を想定した貴重な情報を取り扱うことをはじめ、政府が求める技術実証であることから、「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」（令和2年9月14日小型無人に関する関係府庁連絡会議関係省庁申合せ）を踏まえてドローンの機種選定を行うこととした。

### 1.2 対象業務（法令）

南極地域の環境の保護に関する法律施行規則第 15 条に係る南極環境構成要素の目視調査のうち、南極地域に生息又は生育する動植物の生息状態（構成種及び個体数）の目視による観測又は測定を対象とした。

### 1.3 全体像

1.2 に示す対象業務について、現在は、双眼鏡などを用いた人の目視による観測や、地上からの撮影によって動植物の生育状態等に関する情報が取得されているが、本実証では、カメラやセンサー等の遠隔操作により情報が取得可能か確認した。

具体的には、まず、従来のドローンでは困難だった寒冷環境も飛行可能なドローン（ANAFI USA）を用いて、南極を模した寒冷地において「雪氷」「岩石」「地形」「構造物」「動植物」を空撮した。空撮による調査結果について、人による地上からの画像撮影及び目視調査（以下、人による調査）の結果と、「安全性」、「効率性」、「付加価値」、「自然環境への影響」の4点から比較検証を行った。4点の詳細については後述するが、「安全性」は人が危険を冒さず調査できるか、「効率性」は必要とした時間が短いか、「付加価値」は人による調査の成果物と比較してさらなる付加価値があるか、「自然環境への影響」は調査中に自然に与える影響があるかに着目して比較検証した。



図 1 全体像

#### 1.4 実施体制・期間

##### 1.4.1 実施体制

本実証の準備から遂行の実施体制は、下記のとおりである。

表 1 実施体制

事業者名	実施業務・役割
(株) NTT e-Drone Technology	技術実証の実施、評価、報告書とりまとめ
(株) エヌ・ティ・ティ・エムイー (NTT e-Drone Technology からの 再委託先)	ドローン飛行のための支援などを実施

##### 1.4.2 実施期間

2023年10月26日から2024年1月31日まで

## 2 技術実証内容の詳細

### 2.1 技術実証の方法

本実証については、低温下での活用機体の動作を事前に確認し、現地調査時の事故を防止するためにも、まず試験環境のもとで「環境耐久試験」を実施した。その上で、南極の環境を模した寒冷地において活用機体による「現地調査」を実施した。

#### 2.1.1 環境耐久試験

低温下で、機体が動作するかを確認し、現地調査時の事故を防止することを目的として以下の内容と機材で実施した。

##### (1)実施内容

低温環境（ $-0^{\circ}\text{C}$ 以下とする）を再現できる施設（人工気象室）を使用して、機体の飛行可否を判断した。

具体的には、 $-10^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ の環境でホバリング飛行が可能か検証した。温度は $-10^{\circ}\text{C}$ ずつ下げながら4段階で実施した。

さらに、ドローンの操作アプリを起動する iPad mini（第6世代）についてもプロポ（ドローンを操縦するコントローラ）をつけたまま $-10^{\circ}\text{C}\sim -30^{\circ}\text{C}$ の3段階でそれぞれ15分放置し、使用できるか検証した。本検証も $-10^{\circ}\text{C}$ 刻みで実施した。



図 2 人工気象室外観

##### (2)使用機材（活用した技術）

###### (ア)ANAFI USA（Parrot社製）

本実証では、南極のような低温下で作動するドローンを選定する必要があった。ANAFI USA は $-39^{\circ}\text{C}$ までの低温下でも動作が可能であるとされており、本実証に適した機体として選定した。

また、ANAFI USA は相対温度で色付けするサーマルカメラも搭載している。

ANAFI USA のスペックについては以下のとおりである。

(機体サイズ)

折り畳み時のサイズ：252×104×84mm

展開時のサイズ：282×104×84mm

重量：496g

最大離陸重量：644 g

(動作環境)

最大飛行時間：32 分

最大水平速度：15m/s

最大垂直速度：4m/s

最大風抵抗：15m/s

最大高度：5,000m

動作温度：-39℃～49℃

防塵・耐雨性：IP53

最大距離：28km（無風かつ通信が途絶しない場合）

(接続)

Wi-Fi 範囲：4km

(カメラ)

ズーム：デジタルズーム 32 倍

ISO 感度範囲：100～3200

写真解像度：ワイド：21MP（FOV84°）

レクティニア：最大 16MP（最大 75.5°FOV）

(イ) iPad mini（Apple 社製）

本実証では第 6 世代の iPad mini を使用した。iPad mini をプロポに取り付けた上で、ドローンの操作用アプリを起動し、このアプリにより、ドローンがカメラで撮影している映像やバッテリー残量を確認した。

### 2.1.2 下見調査

実証の条件となる低温・積雪の環境が早期に整っている場所として北海道上川町層雲峡の黒岳ロープウェイ付近を選定し、実証に適しているか、後述の現地調査の下見としての調査を実施した。

#### (1) 実施内容

黒岳ロープウェイ付近において、現地調査で使用するドローンや一眼レフカメラを使用して下見調査を行った。現地調査で撮影する目標物を選定し、ドローンを飛行させ撮影した。また、Pix4D（Pix4D 社製画像測量アプリ）を使用し、撮影した画像から 3D モデル化できるかについても確認した。

## (2) 使用機材（活用した技術）

下記機材を使用した。(ア)及び(イ)はドローンの飛行・撮影に使用し、(ウ)は人による調査の撮影機材として使用した。(エ)はドローンで撮影した画像を 3D モデル化するために使用した。

(ア)ANAFI USA (Parrot 社製)

(イ)iPad mini (Apple 社製)

(サイズ)

直径：31.9mm

厚さ：8.00mm

重量：11g

(動作環境)

防塵防水：IP67 等級

動作時環境温度：-20℃～60℃

(接続)

Bluetooth を発する（スマホで探知して発見できる）

スピーカー内蔵

(ウ)一眼レフカメラ a7r4 (SONY 製)

(エ)Pix4D (Pix4D 社製画像測量アプリ)

(オ)風速計 (BENETECH)

(カ)温湿度計 (MAYIKON)

### 2.1.3 現地調査

ドローンによる調査について、人による調査と同等の調査が可能かどうか、さらには、人による調査に比べて優位性があるのかを確認するために以下の内容と機材で実証した。

#### (1) 実施内容

(ア)目標物の撮影（ドローンによる調査と人による調査）

寒冷条件でのドローンによる情報取得という観点から、南極に類似した環境（黒岳ロープウェイ付近）でのフライト及び撮影を実施した。具体的には下見調査で選定した目標物を対象に、ドローンによる調査と人による調査を行った。ドローンによる調査では、ドローンを飛行させて目標物を撮影した。人による調査では、一眼レフカメラで撮影し、必要であれば目標物に接近して撮影した。そして、それぞれの成果物を後述する評価方法に則り評価した。

現地調査の実施場所は一般の利用者もいる場所である上、天候にも左右されるため、現地調査では限られた時間を有効に活用するために、表 2、図 3 及び図 4 に示すとおり、目標物と撮影する状況を組み合わせて撮影を実施した。なお、現地調査は特定の組み合わせで実施したが、実際の技術の活用ではどの対象物でもそれぞれの状況の組み合わせの下で撮影が可能である。

また、ドローンによる調査は、目標物 1 つにつき 3 フライト実施した。各フライトでは実運用の参考とするため、気象情報（気温・湿度・風速）と飛行時間を記録した。

表 2 目標物と撮影する状況の組み合わせ

目標物	状況	詳細
地形	俯瞰撮影	ドローンの特性を活かした、目標物の上空からの撮影である。
岩石①(一枚岩) ・植物	360度撮影	目標物を 3D 立体構造化するために、目標物の周囲 360 度からの撮影である。
岩石②(小粒な岩)	状況把握撮影	目標物の分布を捉えたり、目標物をズームで捉えたりする撮影である。
雪氷	状態変化撮影	目標物である雪氷が融けるなどの変化を上空から捉える撮影である。
構造物	上部撮影	構造物の上部の撮影である。現地での点検ニーズも考慮し、撮影可能かつ屋根などの人では撮影しづらいものを備えた構造物を選定した。
動物	高低差撮影	高低差 6m 程度の高さからドローンを飛行させ、崖下にある目標物を撮影するものである。目標物には、ペンギンのぬいぐるみを使用した。サーマルカメラによる撮影のために、ペンギンのぬいぐるみには使い捨てカイロを貼付して使用した。 本撮影では、「南極における遠隔操縦航空機システム (RPAS) 運用に関する環境ガイドライン」※にある、「可能であれば、不必要に野生生物の上空を飛行せず目標高度に達するよう考慮すること。」及び「可能であれば、RPAS の発進/着陸サイトは、野生生物の群生地から見えない風下に位置し、可能な限り野生生物から遠く離れるよう考慮すること。」を考慮した撮影である。

※「南極における遠隔操縦航空機システム (RPAS) 運用に関する環境ガイドライン」(2019)・環境省ウェブサイト ([https://www.env.go.jp/nature/nankyoku/kankyohogo/database/visit/pdf/environmental\\_guidelines\\_ja.pdf](https://www.env.go.jp/nature/nankyoku/kankyohogo/database/visit/pdf/environmental_guidelines_ja.pdf)) (以下、「運用ガイドライン」)

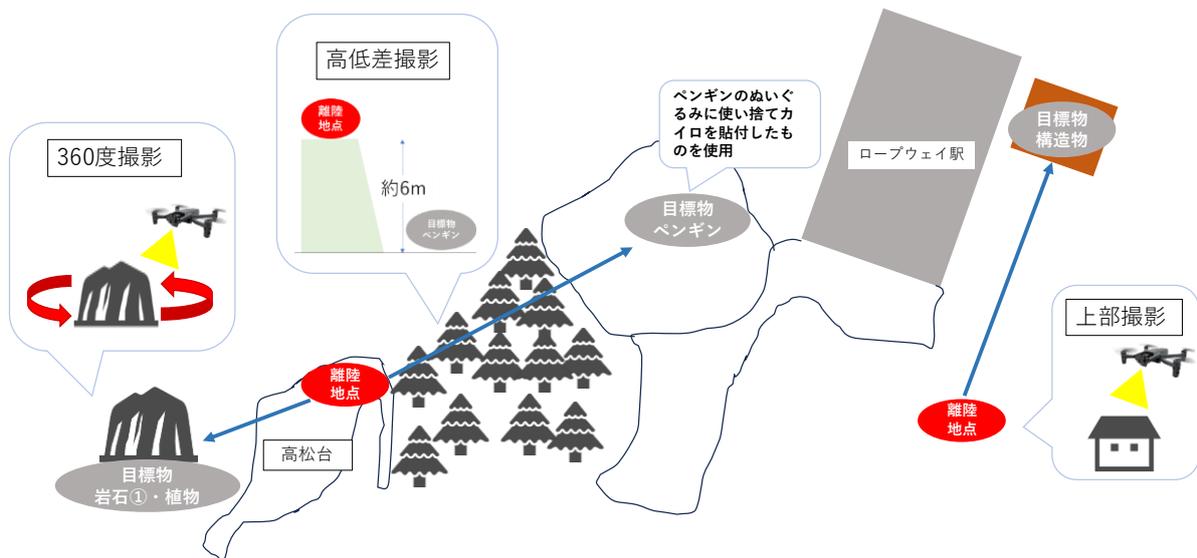


図 3 目標物と撮影する状況の組み合わせイメージ（五合目駅付近）

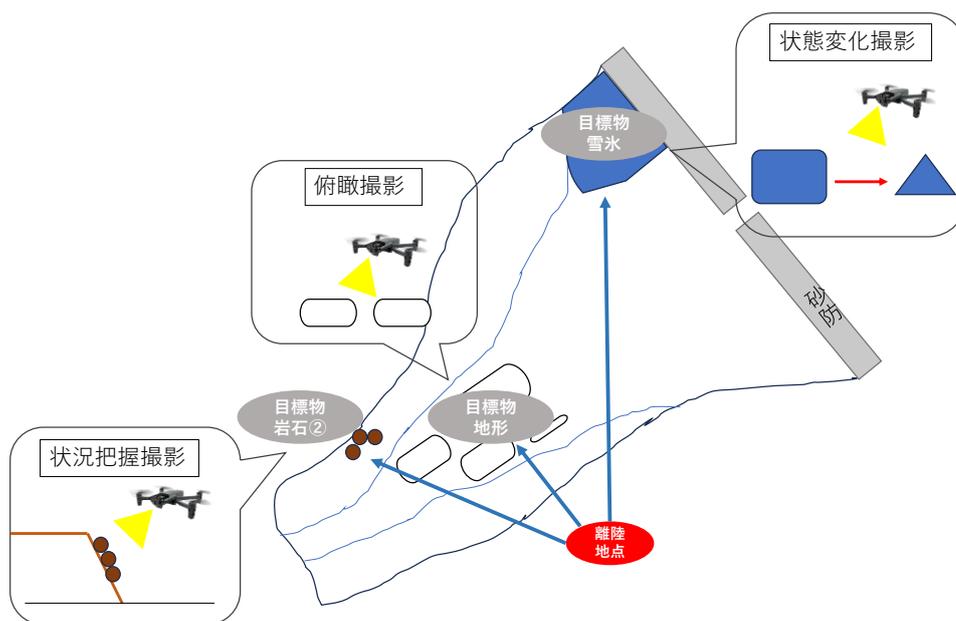


図 4 目標物と撮影する状況の組み合わせイメージ（層雲峡駅付近の砂防）

#### (イ) 搜索対応の実証

目標物の撮影に加えて、南極でドローンが落下したことを想定した搜索が可能か実証した。実施場所は図 5 のとおりである。「運用ガイドライン」に従い、目視内飛行をしていたドローンが操作ミス等で調査対象区域に落下したことを想定して、事前に設定した仮想の墜落場所にドローンを置き、搜索開始場所からドローンに取り付けた AirTag を頼りに、墜落場所を搜索できるか検証した。AirTag とは Apple 社製のコイン型トラッカーであり、装着したものを Bluetooth を通じて探すことができる。

なお、こちらもドローンによる調査と同様に 3 回実施し、発見回数や発見過程での課題などを検証した。

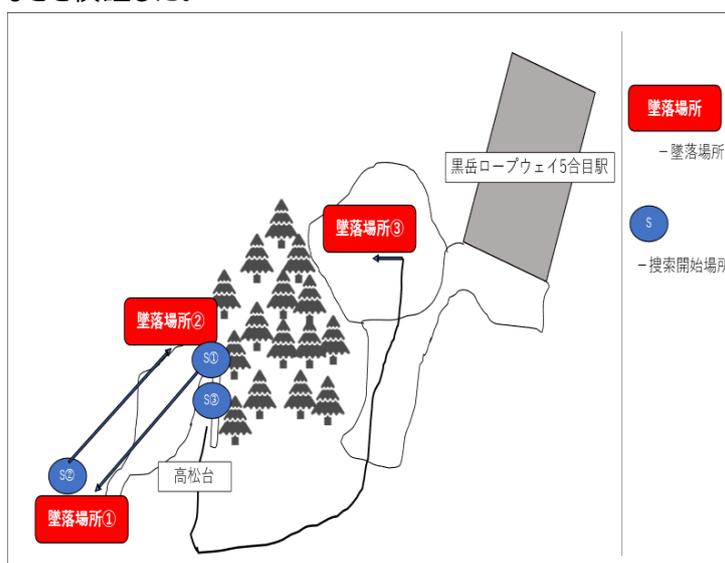


図 5 搜索対応の実証イメージ

(ウ)現地調査における確認事項

各目標物に対するドローンによる調査と人による調査について、表 3 の確認事項を用いて比較した。

表 3 確認事項

確認大項目	確認小項目	確認方法
ドローン動作	極地での動作	寒冷地（低温下、降雪地帯）での基本動作（離着陸・旋回・ホバリング・撮影）
地形	地形の状態	ドローンと人との撮影による観測を比較し、安全性・効率性等においてドローンが優位であることを確認する。
岩石① ※一枚岩	岩石全体(360度)の状態	同上
植物	植物の判別	同上
岩石② ※小粒な岩	地表の岩石の状態	同上
雪氷	雪氷の表層の状態	同上
構造物	構造物の状態	同上
動物	動物の判別	同上
搜索対応	ドローンの発見	積雪した地形で落下したドローンを発見できるかを確認する。

(2)使用機材（活用した技術）

下見調査で使用した機材に加え、搜索対応の実証用の AirTag を追加した。

- (ア)ANAFI USA（Parrot 社製）
- (イ)一眼レフカメラ a7r4（SONY 社製）
- (ウ)Pix4D（Pix4D 社製画像測量 2）
- (エ)iPad mini（Apple 社製）
- (オ)AirTag（Apple 社製）
- (カ)風速計（BENETECH）
- (キ)温湿度計（MAYIKON）

## 2.2 実施場所等

### 2.2.1 環境耐久試験

環境耐久試験は、以下の場所とスケジュールで実施した。

#### (1) 場所

埼玉県産業技術総合センター内人工気象室  
(埼玉県川口市上青木 3-12-18 (SKIP シティ内))

#### (2) スケジュール

2023年11月9日 9時～16時

表4 環境耐久試験スケジュール

日程	内容
9:00～9:30	冷却時間
9:30～10:30	-10℃試験
10:30～11:00	冷却時間
11:00～12:00	-20℃試験
12:00～13:00	冷却時間
13:00～14:00	-30℃試験
14:00～14:30	冷却時間
14:30～15:30	-40℃試験

### 2.2.2 現地調査

#### (1) 場所

2023年11月20日から22日に下見調査を実施し、寒冷条件が満たせる北海道上川町層雲峡にある黒岳ロープウェイ付近を実証場所とした。

主な実証場所は、以下の図6「層雲峡駅付近の砂防」と図7「五合目駅付近」とした。



出典：国土地理院ウェブサイト

(<https://maps.gsi.go.jp/#14/43.720435/142.958307/&base=ort&ls=ort&disp=1&vs=c1g1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f1&d=m>) (一部トリミング加工)

図 6 層雲峡駅付近の砂防

図 7 五合目駅付近



図 8 層雲峡駅付近の砂防（実証当日）

図 9 五合目駅付近（実証当日）

## (2)スケジュール

現地調査は、2023年12月5日から6日にかけて実施した。予備日として12月7日と8日を用意した。

表 5 12月5日～6日のスケジュール

12月5日

12月6日

日程	内容	日程	内容
9:30～10:30	【岩石②】実施	9:50～10:30	【動物】実施
10:30～11:00	【雪氷】実施	10:30～11:30	【岩石①・植物】実施
12:30～13:30	【構造物】実施	12:15～13:30	【地形・雪氷】実施
13:30～14:30	【搜索対応】実施		

## 2.3 実施条件等

本実証で前提とした環境やドローンを飛行させるために必要となる許認可については以下のとおりである。

### (1) 南極に類似した条件下での飛行

- (ア) ドローンが使用されると想定される南極の夏期間（12月～翌2月）に類似した気温（平均-2℃、最低-10℃）であること。
- (イ) 積雪、降雪が見込める場所であること。

### (2) ドローンの飛行条件

- (ア) ドローンの飛行が困難な天候でないこと。（濃霧、大雨、大雪等）
- (イ) ドローン飛行は風速5m以下で実施すること。

### (3) 許認可

下見調査及び現地調査にあたっては、場所が国有林内であるため、無人航空機を飛行するための許可が必要であった。許可の種類は「入林届」であり、飛行する日時や場所、人員の申請が必要であったため、申請し、許可を得た。

提出先は上川中部森林管理署であり、本実証においては、申請書提出から許可までに7日営業日が必要であった。

なお、環境省現地管轄事務所にも確認し、自然公園法観点の許可取得は不要とのことであった。

### 3 技術実証の結果

#### 3.1 結果の評価ポイント・方法

##### 3.1.1 環境耐久試験

南極で想定される-10℃～-40℃の環境下において、本実証で使用するドローンが支障なく飛行できるか検証した。

確認事項としては、ドローンを用いて撮影等をするために行う一連の作業である電源投入から飛行（ホバリング）、カメラジンバルの操作、撮影ができるかを評価した。

環境耐久試験における評価基準・評価方法等の詳細な内容については、以下の表 6 のとおりである。

表 6 環境耐久試験内容

寒冷環境での運用性能試験	ドローン及びプロポの性能試験	ドローン及びプロポの動作試験	温度条件-10℃～-40℃にて満足に動作すること。	人工気象室に実機を保管し、下記の順に従い動作試験を実施する。 ① 機体本体の電源投入の可否 ② 機体本体の通電時における状態の確認（電源投入から着陸までの様子を観察） ③ 機体の動作確認（前後左右方向への姿勢制御の確認） ④ カメラジンバルの動作確認（上下最大角度の確認） ⑤ 赤外線カメラ及び光学カメラ動作時における各ジンバル角度の静止画撮影の確認（上下最大角度及び0度の各1枚ずつの撮影（合計6枚））
--------------	----------------	----------------	---------------------------	---

##### 3.1.2 現地調査

現地調査は、表 3 を踏まえ、まずドローンの動作状況や調査時の気象条件及びバッテリー消費率を確認した上で、下記の表 7 の「評価項目」に従って評価した。

現地調査の結果から、ドローンによる調査が人による調査を代替できるかを検証するためにも、人による調査と比べ、南極の自然環境に影響を及ぼすことなく、安全かつ効率的な調査が可能であるか、また、南極の厳しい環境においても、人による調査と同等以上の精度を確保するだけでなく、新たに付加価値のあるデータが得られるかなどを評価する必要がある。これらの観点を踏まえ、本実証では評価項目として、「安全性の比較」、「効率性の比較」、「付加価値の比較」、「自然環境への影響」を設定した。

特に、自然環境への影響については、本実証で実際に与えた自然環境への影響や「運用ガイドライン」を遵守できたかを確認した。

表 7 評価項目

	ドローン	人
安全性の比較 目標への経路の 安全性 障害物の有無	操縦者が安全に操縦できたか確認する。	人が安全に調査できたか確認する。
効率性の比較 撮影所要時間 必要人員数	●●分●●秒 ●人	●●分●●秒 ●人
付加価値の比較 活用環境を踏まえ た精度 成果物の比較	厳しい環境下でも人による調査と比較して同等以上の精度を維持できるか確認する。 自然物の特有の状態等の取得する情報の正確性を確保できるか確認する。 成果物に付加価値があるか確認する、	ドローンと比較して優位点があるか確認する。
自然環境への影響 撮影時の影響	調査時の自然への影響及び「南極における遠隔操縦航空機システム (RPAS)運用に関するガイドライン」を遵守できたか確認する。	調査時の自然への影響を確認する。

### (1)安全性

目標物の撮影において、調査員の安全が確保されているか、人による調査と比較した。

### (2)効率性

目標物の撮影までの所要時間について、人による調査と比較した。所要時間については、ドローンは離陸してから着陸までの時間である。人による調査は、ドローンの離着陸点から目標物に接近・撮影し、離着陸点に戻ってきた時間を計測したものである。

また、調査に必要な最低人員数も比較した。

### (3)付加価値

ドローンによる撮影以外に目標物調査の付加価値があるか確認した。

また、厳しい環境（広大、極寒、積雪、粉じん、悪天候など）下においても、遠隔操作により、人による調査等と同等以上の精度を維持できるか、広大な面積、複雑な地形など自然物の特有の状態でも取得する情報の正確性を確保できるかも確認した。

### (4)自然環境への影響

実証時の自然への影響や「運用ガイドライン」を遵守できたかを確認した。

## 3.2 結果及び評価・分析

### 3.2.1 環境耐久試験

本試験の結果については以下のとおりであった。

-10℃、-20℃、-30℃、-40℃のいずれの環境下でもドローンは通電が可能であった。また、表 6 における検査項目の③～⑤の動作においても各温度下で正常に作動した。

-10℃～-40℃ではバッテリー残量が 15%になるまでいずれも 20 分程度の飛行が可能であった。常温時でも 20 分程度の飛行時間となるため、低温下での著しいバッテリー消費量の増加は見られなかった。ただし、バッテリーについては、飛行直前まで常温の状態であることが条件である。また、本試験ではバッテリー残量 15%になるまで飛行したが、実際の運用では着陸地点に戻るまでに不測の事態（接続不良や操作側のトラブルなど）が想定されるため、余裕を持たせて、バッテリー残量 30%付近で着陸することを推奨する。

追加検証として、想定温度である-10℃～-30℃において-10℃刻みで、プロポと iPad mini を 15 分通電状態で放置した後に正常に電源が起動し、ドローンアプリの起動から飛行が可能かテストした。この追加検証についても、結果は問題なくプロポと iPad mini が作動した。

上記結果から、今回使用するドローン（ANAFI USA）は極地環境での使用に耐えられる性能であり、本実証における現地調査での使用も問題がないことを確認した。

表 8 環境耐久試験の結果

	-10℃	-20℃	-30℃	-40℃
①機体の電源投入の可否	○	○	○	○
②機体本体の通電時における状態の確認（電源投入から着陸までの様子を観察）	○	○	○	○
③機体の動作確認（ホバリング・前後左右方向への姿勢制御の確認）	○	○	○	○
④カメラジンバルの動作確認（上下最大角度の確認）	○	○	○	○
⑤赤外線カメラ及び光学カメラ動作時における各ジンバル角度の静止画撮影の確認	○	○	○	○

※○：満身に動作したことが確認できた



図 10 人工気象室内の様子



図 11 プロポ試験の様子

### 3.2.2 現地調査

2.1.3 で記載したとおり、以下の目標物や状況を対象とし、ドローンによる地形の俯瞰撮影等の調査を実施するとともに、人による調査の結果と比較した。

【目標物】地形、岩石①・植物、岩石②、雪氷、構造物、動物

【状況】俯瞰、360 度、状況把握、状態変化、上部、高低差

また、検索対応の実証も行い、南極でドローンが落下したことを想定した検索が可能か検証した。

(1)【地形】×【俯瞰撮影】

(ア)結果

地形の状態や配置、スケール感を把握する状況を想定して撮影した。今回は川の中にある中洲や氷、陸地を目標物としてドローンで俯瞰撮影を実施した。

結果は以下のとおりである。



図 12 目標物「地形」

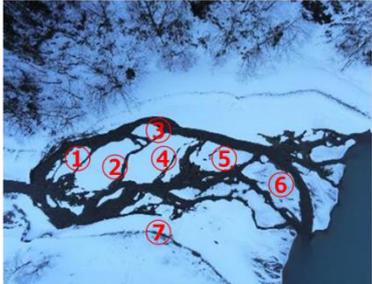
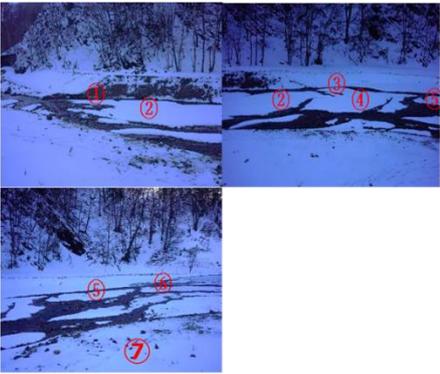
表 9 目標物「地形」フライト環境

第 1 フライト
気温 2.0℃湿度 68.1%風速 1.8m/s 天気(晴)フライト時間 3:28 バッテリー開始時 99% 終了時 70%
第 2 フライト
気温 1.3℃湿度 66.0%風速 1.3m/s 天気(晴)フライト時間 1:57 バッテリー開始時 70% 終了時 60%
第 3 フライト
気温 1.0℃湿度 68.8%風速 1.5m/s 天気(晴)フライト時間 1:52 バッテリー開始時 60% 終了時 55%

(イ)評価・分析

目標物「地形」についてドローンの調査と人による調査との比較は以下のとおりである。目標物として①～⑥（雪・土・氷）の中洲と⑦の沿岸を設定した。

表 10 目標物「地形」結果比較

地形	ドローン	人
安全性の比較 目標への経路の安全性 障害物の有無	ドローン進路上に障害物はなし。操縦者も安全な場所から操作した。	地形の撮影のために、斜面を降りて撮影した。
効率性の比較 撮影所要時間 必要人員数	1回目：3分28秒 2回目：1分57秒 3回目：1分52秒 平均：2分15秒 2人（操縦者と補助者）	1回目：1分30秒 2回目：1分20秒 3回目：1分21秒 平均：1分23秒 1人（撮影者）
付加価値の比較 活用環境を踏まえた精度 成果物の比較	人がカメラによって撮影した目標物を撮影可能であった。  1枚に①から⑦の目標物を収めることができた。	
自然環境への影響 撮影時の影響	ドローンの離着陸地点確保のため整地（雪を踏み均す）した。	目標物の撮影のために斜面を降りて近づく必要があり、足跡や斜面を降りる際に手をつくなど、移動した形跡を残した。 

【安全性の比較】

ドローンでは人の経路と異なり崖を下らず安全な場所から飛行できたことから、操縦者の危険性はなかった。

【効率性の比較】

撮影にかかった時間について、ドローンは平均 2 分 15 秒であり、人は平均 1 分 23 秒であった。ドローンでの撮影に時間を要した理由としては、俯瞰撮影のために高度を上げる必要があり、上昇・下降に時間がかかったためである。ただし、ドローンではすべての目標物を 1 枚の画像に収めているが、人の撮影では目標物の全体を撮影するのに、3 枚の画像が必要となっており、成果としてはドローンによる画像が有用であるといえる。

必要人数の比較では、ドローンは 2 名となっているが、これは「運用ガイドライン」の中で「操縦者及び必要に応じて少なくとも 1 名の観測員で運用しなければならない。」と記載があるためそれを遵守したものである。結果として、必要な人員は人による調査に比べて 1 名増となっている。

必要人数については、これ以降の目標物についても上記理由から、ドローンによる調査は 2 名、人による調査は 1 名と同様の結果となっている。

【付加価値の比較】

ドローンでも、人がカメラによって撮影した目標物（①～⑦）をすべて撮影できているうえ、①～⑦について 1 枚の画像に収めることができた。また、目標物直上からの画像であるため、各目標物の大きさや配置が分かりやすいことが付加価値といえる。人の画像では目線が低

いため、目標物の奥行などが分かりづらい。

【自然環境への影響】

ドローンでは離着陸地点の確保のために雪を踏み均す必要があった。人による調査は撮影のために斜面を降りる必要があり、その際に斜面に足跡や手をついた形跡が残ったためドローンと比較して影響を与えた。

ドローンについては運用ガイドラインを遵守した調査が実施できた。

(2)【岩石①・植物】×【360度撮影】

(ア)結果

目標物の撮影及び3Dモデル化を想定した撮影を実施した。目標物を360度撮影し、3Dモデル化に必要な画像素材を取得した。

結果は以下のとおりである。



図 13 目標物「岩石①・植物」

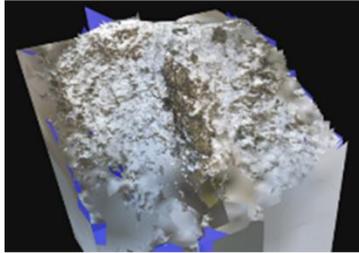
表 11 目標物「岩石①・植物」フライト環境

第1フライト
気温 5.7℃湿度 38.4%風速 0.5m/s 天気(晴)フライト時間 5:45 バッテリー開始時 100% 終了時 78%
第2フライト
気温 6.4℃湿度 43.4%風速 0.8m/s 天気(晴)フライト時間 5:29 バッテリー開始時 78% 終了時 57%
第3フライト
気温 6.0℃湿度 42.1%風速 0.0m/s 天気(晴)フライト時間 5:45 バッテリー開始時 98% 終了時 78%
※バッテリー交換

(イ) 評価・分析

目標物「岩石①・植物」についてドローンの調査と人による調査との比較は以下のとおりである。

表 12 目標物「岩石①・植物」結果比較

岩石①・植物	ドローン	人
安全性の比較 目標への経路の安全性 障害物の有無	飛行進路上に森林・崖があるため高度を上げて対応した。操縦者は安全な場所から操作した。	目の前が崖であるため接近不可能であった。
効率性の比較 撮影所要時間 必要人員数	1回目：5分45秒 2回目：5分29秒 3回目：5分45秒 平均：5分39秒 2人（操縦者と補助者）	危険であるため360°撮影は実施せず、離着陸地点から撮影した。 1人（撮影者）
付加価値の比較 活用環境を踏まえた精度 成果物の比較	人がカメラによって撮影した目標物を撮影可能であった。  人が撮影できなかった岩石の裏側の撮影が可能であり、人による調査よりも多くの情報を取得できた。  <div style="text-align: center;"> <p>目標物の裏側</p>  <p>操縦者・補助者</p> <p>岩石表側の上部藻類をズーム</p>  <p>3D立体構造化</p>  </div>	<div style="text-align: center;"> <p>目標物正面から撮影</p>  </div>
自然環境への影響 撮影時の影響	ドローンの離着陸地点の確保のため整地（雪を踏み均す）した。	自然環境への影響が軽微だが、反対側の撮影を試みる場合は斜面の雪や石の流出による雪崩など自然環境への影響が大きいと想定される。

【安全性の比較】

ドローンによる調査では、操縦者は安全な場所から飛行し、360度の撮影ができた。人による調査では、目標物は崖の途中に存在し、危険であるため後ろ側に回り込んで全体を

撮影することは困難であった。

#### 【効率性の比較】

撮影にかかった時間について、ドローンは平均 5 分 39 秒であった。本飛行は 360 度撮影することを目的としており、今回のような目標物であれば 150 枚から 200 枚の画像が必要となる。人の撮影は目標物が崖に位置していることから裏側に回することは危険と判断し、実施しなかった。

#### 【付加価値の比較】

人がカメラで撮影した目標物について、人では撮影が困難な画角からの写真を含めて、同等以上の範囲で撮影ができた。

また、本目標物での撮影による大きな付加価値の検証は、3D モデル化である。今回は岩石の形状と植物として藻類の配置が分かるように撮影し、3D モデル化を実施した。

ドローンで目標物を 360 度撮影することにより、目標物の撮影とともに 3D モデル化の材料となる画像を入手した。その画像を画像測量ソフト Pix4D に取り込むことで 3D モデル化することができた。3D モデル化することで、目標物の配置や大きさ、形状の確認が容易で調査後の分析等に貢献することができる。

人では撮影が困難な目標物の裏側を撮影できた点では、付加価値があるといえる。

#### 【自然環境への影響】

目標物が崖の途中にある岩石・植物であったため、人が接近しての撮影は実施しなかった。実施した場合は、危険性に加えて崖上からの侵入による小規模な雪崩の発生も危惧され、発生した場合は植物や地形に影響を与えると推測する。

また、ドローンについては運用ガイドラインを遵守した調査が実施できた。

### (3)【岩石②】×【状況把握撮影】

#### (ア)結果

岩石を俯瞰とズームで撮影することで、細かな岩石の情報を得られるかを確認するための撮影を実施した。結果は以下のとおりである。



図 14 目標物「岩石②」

表 13 目標物「岩石②」フライト環境

第 1 フライト
気温 5℃湿度 57.8%風速 1.5m/s 天気(曇)フライト時間 3:55 バッテリー開始時 99% 終了時 90%
第 2 フライト
気温 5.9℃湿度 60.7%風速 1.1m/s 天気(曇)フライト時間 2:48 バッテリー開始時 90% 終了時 82%
第 3 フライト
気温 3.8℃湿度 62.1%風速 0.0m/s 天気(曇)フライト時間 2:11 バッテリー開始時 82% 終了時 72%

(イ) 評価・分析

目標物「岩石②」についてドローンの調査と人による調査との比較は以下のとおりである。

表 14 目標物「岩石②」結果比較

岩石②	ドローン	人
安全性の比較 目標への経路の安全性 障害物の有無	飛行進路上に障害物なし、操縦者は安全な場所から操作した。	目標物へ接近する時に、障害物(崖・川)があった。調査員が崖を登る時には滑るなど危険性があった。
効率性の比較 撮影所要時間 必要人員数	1回目:3分55秒 2回目:2分48秒 3回目:2分11秒 平均:2分28秒 2人(操縦者と補助者)	1回目:10分21秒 2回目:4分30秒 3回目:4分50秒 平均:6分33秒 1人(撮影者)
付加価値の比較 活用環境を踏まえた精度 成果物の比較	人がカメラによって撮影した目標物を撮影可能であった。ズームでは一眼レフカメラの接写と比較して画質は劣っている。  俯瞰図  ズーム 	俯瞰図  接写 
自然環境への影響 撮影時の影響	ドローンの離着陸地点確保のため整地(雪を踏み均す)した。	接写のため斜面・川・中洲を歩いたことで自然(土・植物・氷)への影響があった。 

#### 【安全性の比較】

本目標物を人が接写撮影する場合は、崖を降り、川を渡河する必要があったため、ドローンと比較すると危険性があった。なお本実証においては、人による調査で使用した一眼レフカメラがズーム機能はないものであったため、接近して撮影する必要があった。

#### 【効率性の比較】

撮影にかかった時間について、ドローンは平均 2 分 28 秒であり、人の平均は 6 分 33 秒であった。ドローン撮影の方が人の撮影と比較して効率的に撮影できたといえる。

人の撮影で 1 回目と 2、3 回目の時間に差がある理由は、1 回目の撮影は、目標物へのルートを選定する必要があったためである。目標物への到達には雪の掻き分けと川の渡河が必要であるため慎重に進む必要があった。2、3 回目は開拓したルートに沿ったため、時間が短縮できた。

#### 【付加価値の比較】

人がカメラで撮影した目標物と同等の範囲で撮影が可能であった。また、ドローンは俯瞰からのズーム撮影が可能であった。このズーム撮影を活用することで、本目標物である岩石においても、どのような状態で密集しているのか確認し、気になる目標物については即座に接近又はズーム撮影に移行することができた。ただし、画質は一眼レフカメラに劣るため画質を求める目標物については使い分けが必要となる。

#### 【自然環境への影響】

目標物の撮影のために、ドローンは離着陸地点の確保のために雪を踏み均す必要があった。

人が目標物を接写するために、斜面を下り、川を渡河して中洲に上陸した。人の撮影はドローンに比べると、経路上に足跡を残すため自然への影響は大きいと判断する。

また、運用ガイドラインに遵守した撮影が可能であった。

### (4)【雪氷】×【状態変化撮影】

#### (ア)結果

自然物である雪や氷、地形などは時間の経過とともに状態が変化していく。そうした目標物をドローンで上空から撮影することで状態の変化をより分かりやすく捉える撮影を実施した。結果は以下のとおりである。



図 15 目標物「雪氷」

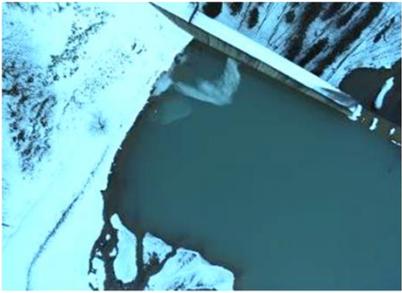
表 15 目標物「雪氷」フライト環境

第 1 フライト
気温 1.0℃湿度 67.2%風速 1.2m/s 天気(晴)フライト時間 2:45 バッテリー開始時 99% 終了時 90%
第 2 フライト
気温 0.9℃湿度 68.0%風速 0.8m/s 天気(晴)フライト時間 2:26 バッテリー開始時 90% 終了時 82%
第 3 フライト
気温 1.3℃湿度 68.0%風速 1.3m/s 天気(晴)フライト時間 2:12 バッテリー開始時 82% 終了時 74%

(イ) 評価・分析

目標物「雪氷」についてドローンの調査と人による調査との比較は以下のとおりである。

表 16 目標物「雪氷」結果比較

雪氷	ドローン	人
安全性の比較 目標への経路の安全性 障害物の有無	ドローン進路上に障害物はなし。操縦者も安全な場所から操作した。	雪氷までの接近は危険であると判断し、離陸地点で撮影。
効率性の比較 撮影所要時間 必要人員数	12月5日 1回目：2分40秒 2回目：2分10秒 3回目：2分50秒 平均：2分33秒 12月6日 1回目：3分28秒 2回目：1分57秒 3回目：1分52秒 平均：2分15秒 2日平均：2分24秒 2人（操縦者と補助者）	接写で撮影は実施せず。  1人（撮影者）
付加価値の比較 活用環境を踏まえた精度 成果物の比較	人がカメラによって撮影した目標物よりも全体が把握できる画像が得られた。  12月5日   12月6日 	12月5日   12月6日 
自然環境への影響 撮影時の影響	ドローンの離着陸地点確保のため整地（雪を踏み均す）した。	離陸地点からの撮影であり大きな影響はない。

【安全性の比較】

ドローンも人も離着陸地点での撮影のため安全性に大きな違いはなかった。

【効率性の比較】

撮影にかかった時間について、ドローンは平均 2 分 24 秒であった。人での接写については足元が不安定であり接近は困難と判断した。不安定な場所でもドローンであれば上空から撮影し、成果物の取得が可能であった。

【付加価値の比較】

ドローンにより上空から撮影した写真を比較することで、雪氷の大きさや状態の変化を正確に捉えることが可能であり、12月5日から6日にかけての温度変化により雪氷の形状が

変化していることが分かる。

また、5日時点の目標物には氷の上に雪が確認できたが、6日では氷のみとなっている。人の撮影と比較すると目標物の大きさの変化や形状の変化についても把握が容易であった。

なお、ドローンの画角の違いについては、当日の気象条件（風など）によって安全性を考慮した結果によるものである。

#### 【自然環境への影響】

ドローンと人のどちらも撮影のために自然に大きな影響を与えていない。また、運用ガイドラインを遵守した運用ができた。

### (5)【構造物】×【上部撮影】

#### (ア)結果

ドローンが上空から撮影できる能力を活用し、人の撮影では撮影が難しい目標物上部の状態を把握するために撮影した。

結果は以下のとおりである。



図 16 目標物「構造物」

表 17 目標物「構造物」フライト環境

#### 第 1 フライト

気温 1.7℃湿度 68.8%風速 1.2m/s 天気(曇)フライト時間 5:38 バッテリー開始時 100% 終了時 88%

#### 第 2 フライト

気温-0.1℃湿度 87.3%風速 2.2m/s 天気(雪)フライト時間 3:38 バッテリー開始時 88% 終了時 79%

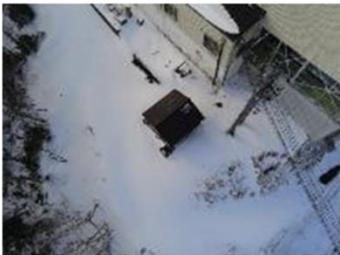
#### 第 3 フライト

気温-2.1℃湿度 82.4%風速 0.0m/s 天気(雪)フライト時間 3:40 バッテリー開始時 79% 終了時 66%

(イ) 評価・分析

目標物「構造物」についてドローンの調査と人による調査との比較は以下のとおりである。

表 18 目標物「構造物」結果比較

構造物	ドローン	人
<p>安全性の比較</p> <p>目標への経路の安全性 障害物の有無</p>	飛行進路上に障害物なし、操縦者は安全な場所から操作した。	目標物へ接近するために積雪により足がとられる状況であった。
<p>効率性の比較</p> <p>撮影所要時間</p> <p>必要人員数</p>	<p>1回目：5分38秒 2回目：3分38秒 3回目：3分40秒 平均：4分18秒</p> <p>2人（操縦者と補助者）</p>	<p>1回目：1分04秒 2回目：1分04秒 3回目：1分03秒 平均：1分03秒</p> <p>1人（撮影者）</p>
<p>付加価値の比較</p> <p>活用環境を踏まえた精度</p> <p>成果物の比較</p>	<p>人がカメラによって撮影した目標物と同等以上の範囲を撮影できた。</p> <p>離着陸地点</p>   <p>上部</p> 	<p>離着陸地点</p>  
<p>自然環境への影響</p> <p>撮影時の影響</p>	ドローンの離着陸地点確保のため整地（雪を踏み均す）した。	接写のために雪道を歩いたため土への影響があった。岩石の歩行による影響と比べると軽微な影響であった。

### 【安全性の比較】

ドローンも人も撮影にあたって大きな障害物もなく危険はなかったが、人の場合は接近するのに雪を掻き分ける必要があった。

ドローンについては、本飛行後に調整のために低空でホバリングしていたところ、ドローンから異音の発生と挙動に異変があったため点検を実施した。原因はドローンのプロペラ下部に霜氷が付着したことによるものであった。異音はプロペラに付着した霜氷が遠心力により剥離し、それをプロペラが弾いたことにより発生していた。挙動については、プロペラは回転しホバリングは維持できていたが、霜氷によりふら付きが生じていた。

本事象は、事象発生時は降雪かつ低気温であったために発生したと思われた。本事象については後述の寒冷地向けのドローンマニュアルに追記するものとした。

### 【効率性の比較】

撮影にかかった時間について、ドローンは平均 4 分 18 秒で、人は平均 1 分 03 秒であった。ドローンでは上昇下降に時間を要したため、人よりも撮影に要する時間がかかった。

### 【付加価値の比較】

ドローンでは、人が撮影しづらい構造物上部を安全に撮影することができ、1フライトで多くの情報量を得ることが可能であった。構造物の点検や異常の確認に必要な情報を取得できた上、人と比較して効率よく実施できた。

### 【自然環境への影響】

ドローンは離着陸地点の確保、人は目標物への接近のみであり大きな影響はなかった。また、運用ガイドラインに遵守した運用が可能であった。

## (6)【動物】×【高低差撮影】

### (ア)結果

目標物まで高低差や障害物がある状況で撮影した。また、動物に見立てたペンギンのぬいぐるみを撮影し、動物の種類判別及び個体数の確認が可能であるか検証した。

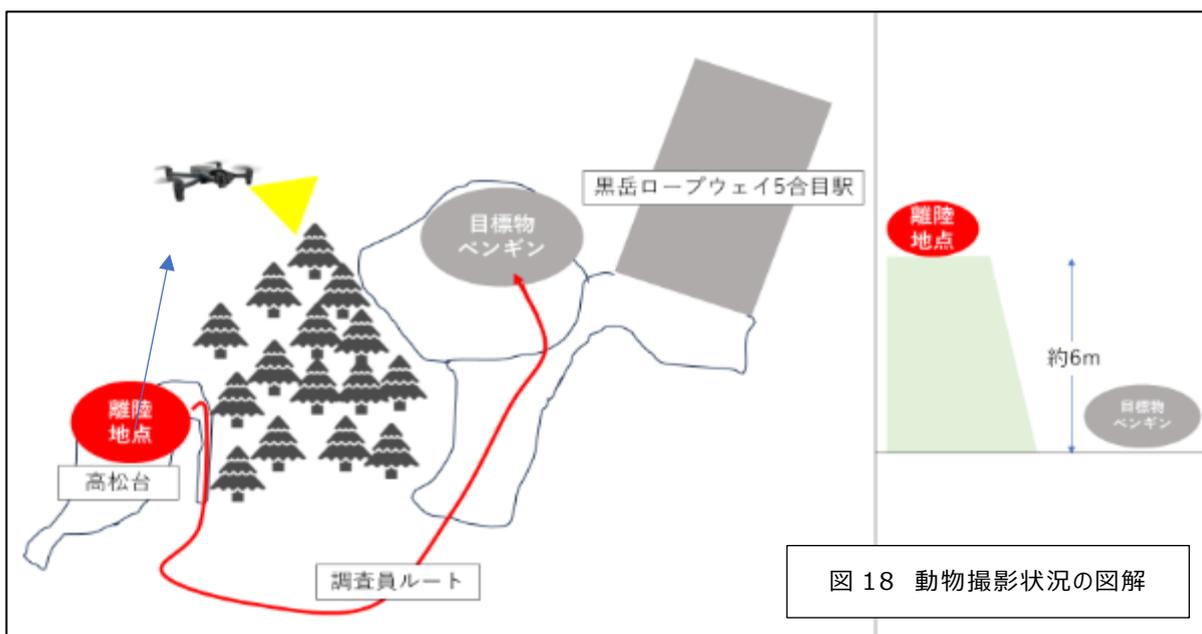


図 17 目標物「動物」調査概要図



図 18 目標物「動物」離着陸地



図 19 目標物「動物」

表 19 目標物「動物」フライト環境

第 1 フライト
気温 6.4℃湿度 37.1%風速 0.0m/s 天気(晴)フライト時間 4:11 バッテリー開始時 60% 終了時 45%
第 2 フライト
気温 7.6℃湿度 42.4%風速 0.0m/s 天気(晴)フライト時間 3:38 バッテリー開始時 99% 終了時 86%
第 3 フライト
※バッテリー変更
気温 6.7℃湿度 37.4%風速 0.8m/s 天気(晴)フライト時間 3:40 バッテリー開始時 86% 終了時 76%

(イ) 評価・分析

目標物「動物」についてドローンの調査と人による調査との比較は以下のとおりである。

表 20 目標物「動物」結果比較

動物	ドローン	人
<p>安全性の比較</p> <p>目標への経路の安全性 障害物の有無</p>	<p>飛行進路上に障害物なし、操縦者は安全な場所から操作した。</p>	<p>目標物に接近するには40cm程度の積雪を進む必要があった。ルートが雪で埋没していたため慎重な進行が求められた。</p>
<p>効率性の比較</p> <p>撮影所要時間</p> <p>必要人員数</p>	<p>1回目：4分11秒 2回目：4分21秒 3回目：2分59秒 平均：3分50秒</p> <p>2人（操縦者と補助者）</p>	<p>1回目：6分30秒 2回目：6分25秒 3回目：6分28秒 平均：6分27秒</p> <p>1人（撮影者）</p>
<p>付加価値の比較</p> <p>活用環境を踏まえた精度</p> <p>成果物の比較</p>	<p>人が撮影した目標物を撮影可能であった。</p> <p>離着陸地点</p> 	<p>出発地点</p> 
<p>自然環境への影響</p> <p>撮影時の影響</p>	<p>ドローン離着陸点確保のため整地（雪を踏み均す）した。</p>	<p>接写のためにはルートを開拓する必要があり、雪を踏み固めながら進んだため自然状態への変更が必要となった。</p>

#### 【安全性の比較】

ドローンは前方に木々があったため離陸直後に 25m 程度上昇する必要があった。人は撮影地点から目標物まで高低差が 6 m ほどあったため、崖を迂回するルートをとる必要があった。そのため、40cm 程度の積雪から歩行可能なルートを探りながら接近した。

#### 【効率性の比較】

撮影にかかった時間について、ドローンは平均 3 分 50 秒であり、人では平均 6 分 27 秒であった。人は崖の迂回に時間を要したため、ドローンと比較して時間がかかった。

#### 【付加価値の比較】

高低差 6m、直線距離 75m 程度の距離からズームすることで個体数及び動物の種類を確認できた。

人の撮影と比較してドローンでは、動物に近づくことなく俯瞰視点で撮影可能なため、個体数の確認に優れている。

#### 【自然環境への影響】

「運用ガイドライン」によれば、「可能であれば、不必要に野生生物の上空を飛行せずに目標高度に達するよう考慮すること。」「可能であれば、RPAS の発進/着陸サイトは、野生生物の群生地から見えない風下に位置し、可能な限り野生生物から遠く離れるよう考慮すること。」と記載されており、これを考慮し発着場所を選定し、撮影を実施した。

離着陸地点は風下で、動物から見えない障害物を挟んだポイントに設置した。飛行時は動物の上空は飛行せず、高度 25m 付近からズームを用いて撮影した。

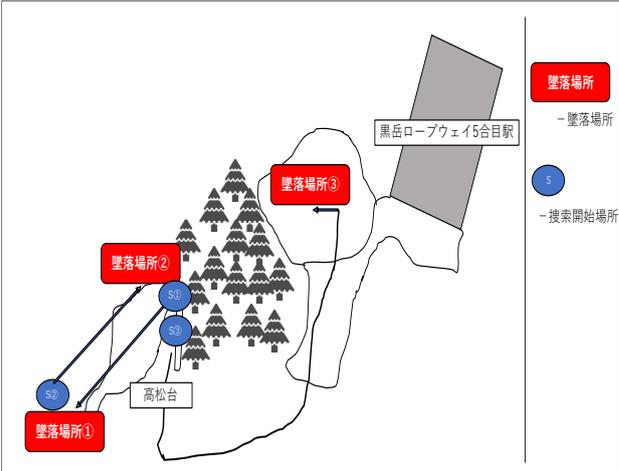
また、ドローンが発する音为目标物に与える影響についても確認をした。目標物付近にいた補助員はドローンの飛行音を確認できたと報告している。本実証で使用したドローンは高度 1 m での音響パワーレベルは 84dB とされる。「アメリカ動物園・水族館協会」の『PENGUIN CARE MANUAL(2018 年)』によるとペンギンのコロニーは、90~100 dB であるとされている (ASSOCIATION OF ZOOS & AQUARIUMS・2023/1/20 閲覧・URL: [https://assets.speakcdn.com/assets/2332/penguin\\_acm\\_spanish\\_alpza.pdf](https://assets.speakcdn.com/assets/2332/penguin_acm_spanish_alpza.pdf))。ドローンの飛行音は高度 1 m でもそれを下回っており、実際の飛行では高度と距離があることから dB 値はさらに低くなるため、大きな影響はないと判断する。

### (7) 搜索対応

#### (ア) 結果

ドローンが操作ミスにより調査区域に落下したことを想定した搜索対応の実証を実施した。3 回別々の場所にドローンを設置し、操縦者が搜索し、発見できるかを実証した。

表 21 搜索対応の実証実施結果

搜索対応の実証	内容
<p><b>想定状況</b></p>	<p>操縦者 1 名と補助者 1 名の 2 名でドローンを飛行させていたところ、操作ミスによりドローンが墜落した。</p> <p>目視飛行していたため、墜落した方角と大まかな場所は把握できていると想定した。ドローンには AirTag を設置済みである。</p> <p>プロポに接続している iPad mini 及び iPhone を使用して、搜索を実施する。</p>
<p><b>搜索場所</b></p>	 <p>The map shows a search area with three crash sites (墜落場所①, ②, ③) and three search start points (S1, S2, S3). The locations are near Takamatsu-dai (高松台) and Kurodake Ropeway 5th Station (黒岳ロープウェイ5合目駅). A legend indicates that red boxes represent crash sites and blue circles represent search start points.</p>
<p><b>搜索結果</b> <b>搜索時間</b> <b>搜索距離</b></p>	<p>墜落場所① 【結果：発見】 距離：30m 時間 2分11秒</p> <p>墜落場所② 【結果：発見】 距離：30m 時間 1分48秒</p> <p>墜落場所③ 【結果：発見】 距離：120m 時間 5分54秒</p>
<p><b>使用機体</b></p>	<p>ANAFI USA 装着したドローン ※赤色の養生テープを装着することで視認性も向上させた</p>  <p style="text-align: right;"><b>AirTag</b></p>
<p><b>搜索過程</b></p>	<p>① 搜索を開始するため、AirTag と同期している iPhone 又は iPad mini で「探す」アプリを起動した。</p> <p>② 墜落場所付近まで移動し AirTag 本体から発せられる Bluetooth (10m以内) を探して搜索を行った。</p>



接続状態になれば、右下のスピーカーボタンを押すことで AirTag から音声を出すことが可能となる。

#### 墜落場所③ 搜索の様子

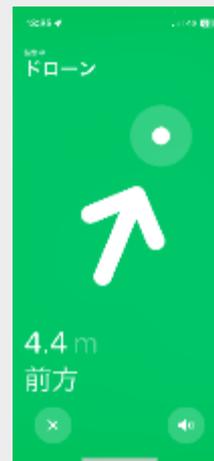


- ③ さらにドローンに接近すると下記画像のように矢印で墜落場所が示され、発見することができた。

Bluetooth キャッチ



墜落場所への誘導



墜落現場発見時



(イ) 評価・分析

3回の搜索すべてでドローンの発見に成功したが、3回目は高低差もあり AirTag の発信する Bluetooth を受信するのに時間を要した。しかし、受信後からは AirTag 側から音を発生できるため、容易に発見が可能であった。

Bluetooth であるため南極での使用も可能であり、また、軽量であるため様々なドローンに取り付けが可能である。さらに、他の Apple ユーザーがいれば AirTag の共有も可能である。

## (8) まとめ

目標物ごとにドローンによる調査と人による調査を比較し、評価・分析を行った。各評価・分析から安全性・効率性・付加価値・自然環境への影響についてまとめる。また、ドローンの技術活用に当たって考慮すべき点についても記載する。

### (ア)【安全性の比較】

ドローンはどの目標物においても安全な離着陸地点を確保し、飛行することができたため、操縦者が危険な状態になることはなかった。人による調査では撮影の邪魔になる障害物を避けたり、接近するために斜面を降りたり、渡河したりする必要があったため、ドローンと比較すると安全性は低かったといえる。

### (イ)【効率性の比較】

ドローンの調査と人による調査を比較すると、【岩石②】や【動物】ではドローンの所要時間は人に比べて短時間であったが、目標物までの距離が短いものは人による調査が短時間で終了している。調査手法の選択として、後述する付加価値も考慮すべきであるが、目標物までの距離や障害物などによってドローンか人かを検討する必要がある。

また、ドローンは「運用ガイドライン」により最低二人での運用となるため、人による調査よりも人員が増えることも考慮しなくてはならない。

### (ウ)【付加価値の比較】

-40℃の環境を再現した環境耐久試験や南極の夏期間に類似した環境での現地調査を通じて、基本的には、厳しい環境（広大、極寒、積雪、粉じん、悪天候など）下においても、遠隔操作により、人による調査等と同等以上の精度を維持できた。また、広大な面積、複雑な地形など自然物の特有の状態でも取得する情報の正確性を確保できた。具体的には、本実証の目標物の限りでは、人による調査で確認できる範囲について、ドローンによる撮影で確認できないものはなかった。

のみならず、ドローンによる調査では、低温や積雪、一部検証では降雪状況でも人による調査結果と同等以上の成果を得ることができた。【地形】や【岩石①・植物】などの広大な面積や複雑で厳しい地形や目標物でも、正確な成果物の獲得が可能であった。

また、ドローンの特性により高高度から俯瞰した画像の取得が可能であった。これにより複数目標物を一枚の画像に収めることができた。加えて、俯瞰図により目標物の大きさや配置が人による調査よりも捉えやすい結果であった。

以上のほか、【岩石①・植物】のように人では危険な場所の撮影も可能であり、360度撮影により3Dモデル化も可能であり、調査後の分析に貢献できる付加価値も確認できた。

### (エ)【自然環境への影響】

ドローンによる調査と人による調査を比較すると、本実証では人による調査の方が自然環境への影響が大きいといえる。目標物において接近や移動することにより足跡などの痕跡を残してしまった。また、【動物】の調査でもあったようにドローンは動物に近寄らず撮影ができるため、動物への影響も抑えられると考えられる。

(オ) ドローン技術の活用について

本実証の結果や現地調査等を通じてドローンに生じた事象も踏まえて、寒冷条件においてドローンを使用する場合に考慮すべき点や気を付ける点を以下にまとめる。

- 寒冷条件でもドローンは安全に動作できた。また、操縦者は安全に調査可能であり、ドローンの実用性が認められた。
- 効率性の比較結果ではドローンによる調査は、人による調査よりも時間が短縮できる可能性が示されたが、人員は1人増となっていることから、調査の人員体制によってドローン使用の判断をする必要がある。  
また、ドローンを使用するには準備も必要であるから人員への負担が増加することも考慮することが必要である。

ドローン使用の判断については、障害物の有無も判断要素となる。【岩石①・植物】のような目標物までの経路に障害物ある場合は、ドローンの使用が有用である。

- ドローンは上空を飛行するため、人による調査に比べて自然への影響は軽微である。そのため南極での調査では有効であると判断する。
- 寒冷条件でドローン进行操作する操縦者は十分な飛行訓練を積んだものが望ましい。通常のドローン運用でも操縦者は訓練してから操作することが望ましいが、寒冷条件は気温や降雪など通常よりも条件が悪いため、アクシデントにも対応できるだけの飛行経験あることが望ましい。
- 【構造物】の調査後に調整飛行をしていた際に、プロペラに氷が付着し異音が生じたことがあった。注意については、後述のマニュアルに記載するが、何か小さな異変でもすぐに運用を停止する必要がある。この措置は、通常運用でも同様であるが、南極の環境ではさらに注意深い運用が求められる。

(カ) 南極での運用について

環境耐久試験及び上記（ア）～（オ）を踏まえて南極での調査におけるドローンの運用について以下にまとめる。

- ドローンの動作については、環境耐久試験や現地調査により低温・積雪環境でも問題がない結果であるため、南極でも動作可能であると判断する。
- 付加価値の比較結果をみると、人による調査と同様かそれ以上の成果物を獲得している。特に俯瞰画像や3Dモデル化などが該当する。動物の撮影においても、ドローンであれば高高度で撮影可能であるため、動物に影響を与えず撮影が可能である。よって、人による調査はドローンによる調査でもある程度の代替が可能であると判断する。
- ドローンを運搬する時の参考として、大きさ及び重量を記載する。

本実証では、ケース一式に加えて、追加バッテリー3本を持ち込んだ。ケース一式の内容は、機体1機・プロポ1台・バッテリー3本・コード類一式となっている（本実証で持ち込んだバッテリー総数は6本であり、ケース一式と追加バッテリー3本を加えた総重量は、4.975kg（=4.39kg+0.195kg×3本）である。）。

・総重量（ケース含む）：4.39kg

・ケース大きさ：縦（短辺）：31cm、横（長辺）：39cm、高さ：16.5cm

・バッテリー重量：195g

・バッテリー大きさ：縦（長辺）：9.7cm、横（短辺）：5.5cm、高さ：2.9cm

### 3.2.3 寒冷地向けのドローンマニュアル

ドローンを運用する際には、訓練で使用したテキストやマニュアルを確認しながら安全に飛行することが求められる。本実証は南極を想定したものであり、通常運用の環境よりもより厳しいものである。

そのため、弊社がドローン運用時に注意している点や本実証を通して判明した注意点をまとめて、安全に飛行するためのマニュアルを作成した。以下は、本実証で寒冷地特有の注意点をマニュアルから抜粋したものである。

### ● 環境

1. 飛行場所に第三者の立入や、周辺に障害物が無いことを確認ください。
2. 天候の確認を必ず実施してください。  
霧や大雨、降雪の中、または風速14m/sを超える環境下では、飛行させないでください。  
(5m/s未満での飛行を推奨)
3. 気温が0°以下はプロペラに霜氷が付着し、飛行時に危険な挙動をする可能性があります。  
降雪時や湿度が高い状況では注意してください。飛行前確認ではプロペラの後ろ側を目視し、霜氷がないことを確認してください。
4. 機体の損傷を防ぐため、雷雨、砂嵐、鳥の群れがいるときは、機体を飛行させないでください。
5. 垂直カメラ及び超音波センサーの動作モードにより、水面やその他の反射面では低高度で飛行させないことを推奨します。

図 20 マニュアル抜粋①

## ●飛行中の異変

1. 低温環境下で飛行中にブレードから異音や機体にふら付き認められた場合は、ブレードに着氷している可能性があります。安全に着陸させ、氷を取り除いてください。降雪時や低温かつ湿度が高い状況ではご注意ください。

## ●バッテリーの注意点

1. 低温環境下では、バッテリーの消費が早まる可能性があります。バッテリー残量が30%になった時点で着陸を推奨します。
2. 低温環境で使用する場合は、予備バッテリーは外に置かず温めて置くことを推奨します（リュックの中やポケットなど）。

図 21 マニュアル抜粋②

## ●服装について

1. 手袋はプロポを操作するのに邪魔にならない物を選定してください。  
厚手の手袋は誤操作の危険性があるため注意が必要です。薄手で防水性能のある操作性が良いものを推奨します。気温が高ければ親指と人差し指の先を切り取った指めきグローブなども使用可能です。
2. 長袖長ズボンとヘルメットを必ず着用してください。

## ●装備について

1. 風速計と温度計（気温・湿度が計測できるもの）
2. ランディングマット

図 22 マニュアル抜粋③

## ● 撮影について

1. ドローンの発進/着陸サイトは、野生生物の群生地から見えない風下に位置し、可能な限り野生生物から遠く離れるよう考慮してください。
2. 発進および飛行中にドローンから出る騒音のレベルを考え、発進/着陸サイトおよび飛行高度を決定してください。また地上での騒音に影響する風の状態を考慮してください。
3. 可能であれば、不必要に野生生物の上空を飛行せずに目標高度に達するよう考慮してください。
4. 野生生物の近傍あるいは上空で運用する際は、可能な限り高度を上げた飛行とし必要以上に高度を下げないでください。野生生物近傍でドローンを運用しなければならない場合、野生生物への攪乱が最小限となるよう飛行し、飛行中は常に野生生物からの安全距離に注意し、明らかな攪乱をしないでください。

詳細については「南極における遠隔操縦航空機システム(RPAS)運用に関する環境ガイドライン(v1.1)」を確認すること。

環境省ウェブサイト・

[https://www.env.go.jp/nature/nankyoku/kankyohogo/database/visit/pdf/environmental\\_guidelines\\_ja.pdf](https://www.env.go.jp/nature/nankyoku/kankyohogo/database/visit/pdf/environmental_guidelines_ja.pdf)

図 23 マニュアル抜粋④

### 用語集

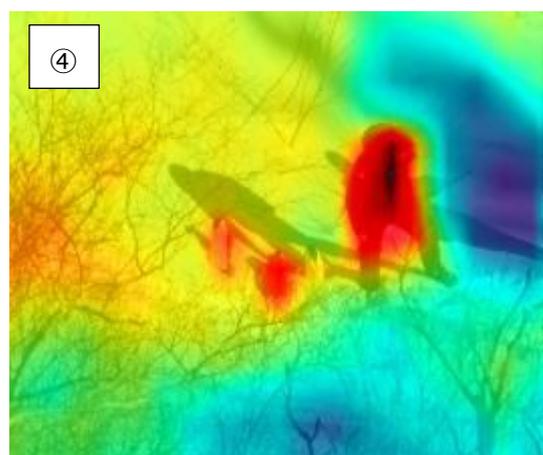
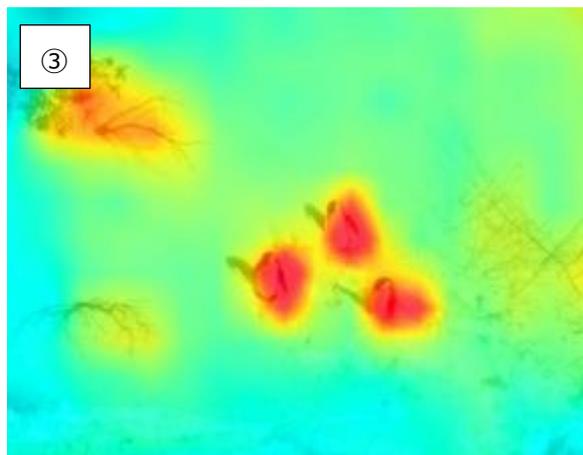
用語	定義・解説
プロポ	プロポーショナルコントローラの略。操縦者がドローン进行操作する際に用いるコントローラである。
ジンバル	手振れを補正する回転台

別紙\_参考資料

【赤外線画像】

ANAFI USA には FLIR カメラ（サーマルカメラ）があり、赤外線画像も取得が可能である。本実証においても現地調査時はその機能を使用して撮影を実施した。搭載されている FLIR カメラは相対温度を表示する機能であるため周囲の温度に影響される点には注意が必要である。

（動物）



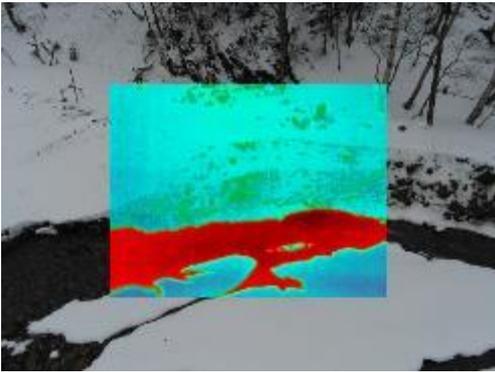
ペンギンのぬいぐるみにホッカイロを貼付して使用した。①の遠景ではわずかに反応しているが周囲の温度を拾ってしまっている。

③・④ではペンギンの温度に反応して赤く表示されている。

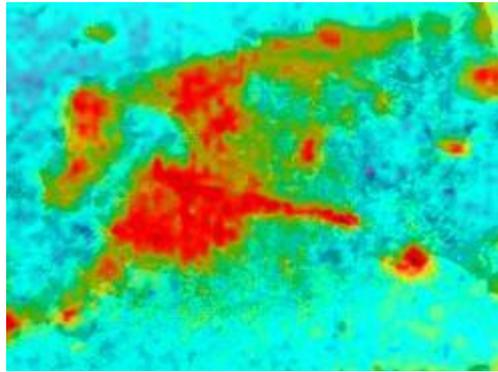
④は人とペンギンの比較である。実際のペンギンの体温は 38℃程度であるため、人間よりも体温が高い。そのため、本物では④の人間と同様かそれ以上に赤黒く表示される。

(その他赤外線画像)

岩石②



岩石②ズーム



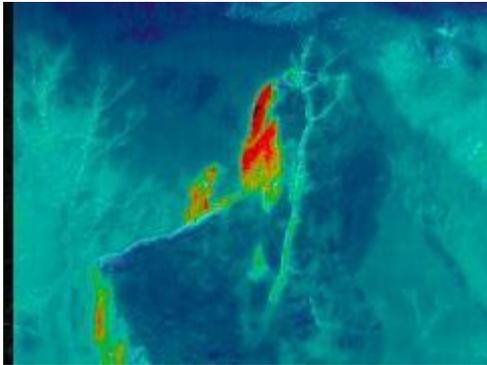
岩石①・植物



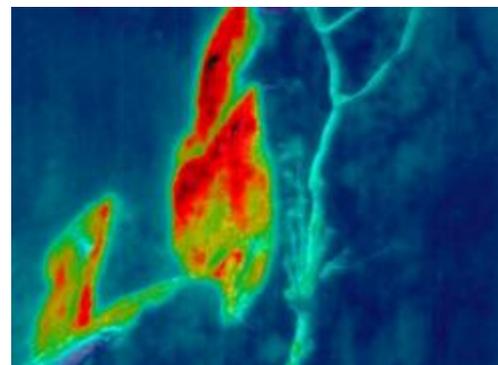
岩石①・植物の藻類ズーム



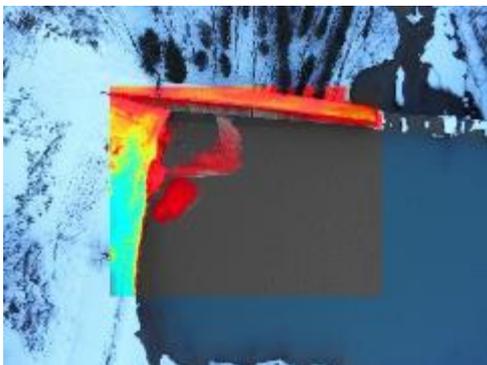
岩石①・植物



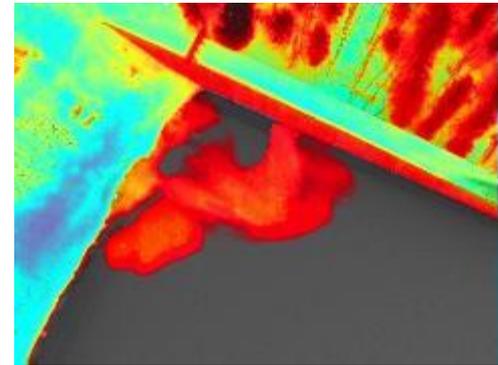
岩石①・植物の藻類ズーム



雪氷



雪氷ズーム



【その他画像】 景観①



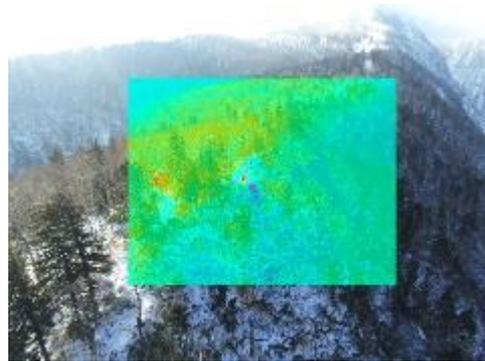
景観②



操縦者・補助者①



操縦者・補助者②



操縦者・補助者③

