

第3章

冬季環境テスト、各ユースケース実証、
バッテリーテストの内容・結果



第3章

●各種実証の概要

「積雪寒冷条件下におけるドローン利活用実証事業」において、下記3つの実証を行いました。本章では、各実証結果について記載いたします。

①冬季環境テスト

各ユースケース実証に適した機種を選定するための事前の安全確認として、国内外メーカーのドローン12機種を用い、屋外の低温環境下で、複数の風速環境を作り出して機体テストを実施しました。



零下、風速5m/s下で飛行するドローン



零下、風速9m/s下で飛行するドローン

②ユースケース実証

「防災・減災」、「物流」「社会インフラの点検・管理」、「観光」の4つをテーマに、冬季においてドローンを活用する各ユースケース実証を行いました。



荷物を運搬するドローン



雪山でドローン操作するパイロット

②バッテリー保温／断熱テスト

冬季におけるドローン飛行において、機体とは別にバッテリーが受ける影響も大きいと考えられており、低気温下でバッテリーの受ける影響や、断熱・保温対策に有効な手段を検証するテスト行いました。



バッテリーテスト装置

●実証内容

①冬季環境テスト

【冬季環境テスト概要】

実施目的

各ユースケース実証における安全を確保するとともに、適した機種を選定するため、国内で使用されている複数種類のドローンを、屋外の低温環境下で、人工的に複数の風速環境を作り出して実際に飛行させ、事前の動作検証を行いました。

※飛行や運用に関する懸念点を明らかにするため、メーカーの規定する使用条件を超える温度帯や風速条件下での環境を構築し、飛行等の検証を行っています。

実施方法

マイナスの気温となった農地において、大型送風機を活用し、3段階の風速下（0m/s、5m/s、9m/s）でドローンを飛行させ、結果を記録するとともに、安定性などを評価

実施場所
実施日程

- ・更別村／岡田農場（2022年12月19日～21日）
- ・東川町／ゆめファーム（2023年2月9日）

実施環境

- ・2022年12月19日（月）
天気：晴れ、外気温：-6.5°C、風速：1m以下
- ・2022年12月20日（火）
天気：晴れ、外気温：-4.2°C、風速：1m以下
- ・2022年12月21日（水）
天気：晴れ、外気温：-8.7°C、風速：1m以下
- ・2023年2月9日（木）
天気：晴れ、外気温：-11.5°C、風速：1m以下

使用機種

現在国内で使用されている主な国内外メーカーのドローン12機種

■テスト機種例



※写真：ACSL、DJI提供

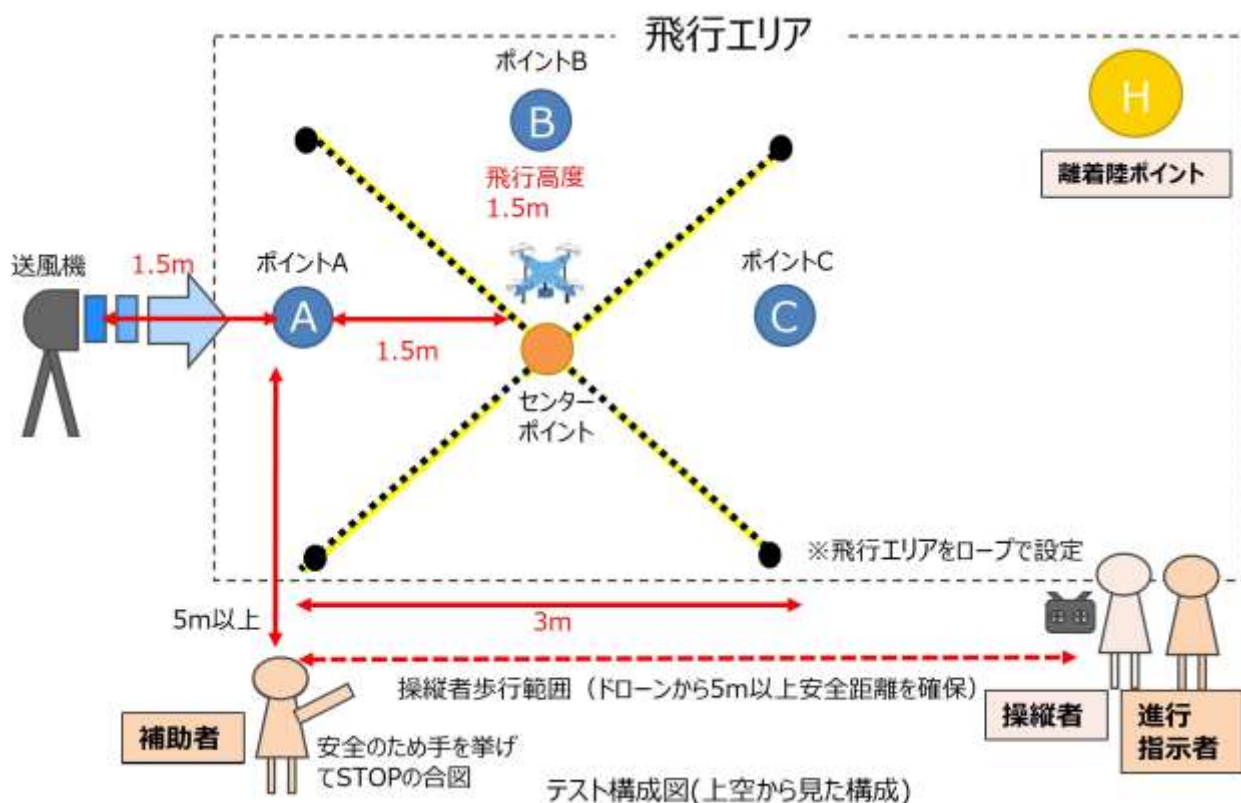
●実証内容

①冬季環境テスト

【冬季環境テスト概要】

フライト手順

- ①周囲の安全を確認し、離着陸ポイントから離陸後センターポイントに移動
- ②補助者の指示に従いテスト項目を実施
- ③危険を感じた場合は操縦者判断によりドローンを安全な場所へ移動
- ④テスト項目終了後、離着陸ポイントへ移動し着陸



●実証内容

①冬季環境テスト

【冬季環境テスト概要】

テスト項目

以下の項目について、それぞれバッテリーを①屋内環境（概ね室温10～20℃程度）下、②屋外環境（実証現場）で30分以上放置していたものをそれぞれ使用し、下記テスト項目の検証を実施しました。

項番	大項目	中項目	小項目	評価方法	備考
1	ドローン動作	正面方向 機首方向A	正面向きでのホバリング	前進前のホバリング15秒以上の姿勢制御を確認	センターにてホバリング
2			正面向きで前進飛行	前進中のドローンの姿勢制御を確認	センターからポイントAに移動
3			正面向きでのホバリング	前進後のホバリング15秒以上の姿勢制御を確認	ポイントAでホバリング
4			正面向きで後進飛行	後進中のドローンの姿勢制御を確認	Aからセンターに移動
5		右側面方向 機首方向B	側面向きでのホバリング	前進前のホバリング15秒以上の姿勢制御を確認	センターにてホバリング
6			側面向きで前進飛行	前進中のドローンの姿勢制御を確認	センターからポイントAに移動
7			側面向きでのホバリング	前進後のホバリング15秒以上の姿勢制御を確認	ポイントAでホバリング
8			側面向きで後進飛行	後進中のドローンの姿勢制御を確認	Aからセンターに移動
9		対面方向 機首方向C	対面向きでのホバリング	前進前のホバリング15秒以上の姿勢制御を確認	センターにてホバリング
10			対面向きで前進飛行	前進中のドローンの姿勢制御を確認	センターからポイントAに移動
11			対面向きでのホバリング	前進後のホバリング15秒以上の姿勢制御を確認	ポイントAでホバリング
12			対面向きで後進飛行	後進中のドローンの姿勢制御を確認	Aからセンターに移動
13	画像/ジンバル (風速0m/s・5m/s・9m/s正面時)	画像撮影	静止画撮影	上記テストの際に画像撮影を同時に行い、異常なく記録されるか確認(3枚)	
14			動画撮影	上記テストの際に動画撮影を同時に行い、異常なく記録されるか確認(5秒×2回)	
15		ジンバル (※)動作	ジンバル動作確認	90°ジンバルを動作させ引っかけやエラー表示が出ないことを確認	※ジンバル：カメラのブレを補正する装置。

第3章

●実証結果

①冬季環境テスト

【ドローン別テスト結果一覧表】

ドローン (用途、 最低対応気温)	気温	起動		離陸/着陸		ジンバル 動作		ドローン挙動(風速：m/s)					
		通常BT	放置BT	通常BT	放置BT	通常BT	放置BT	0	5	9	0	5	9
								通常BT			放置BT		
機体A (空撮用、0°C)	-6.5°C	○	○	○	○	○	○	○	△	△	△	×	×
	<ul style="list-style-type: none"> 通常BTでは風速9m/s下では、側面からの風に耐えられず、機種が回転し、ホバリング姿勢が取れず飛行を中止 放置BTでは風速0m/s下でも操作していない際にドローン高度が下がる挙動や、風速5m/s時点から送風機に吸い寄せられるような挙動を確認。 												
機体B (空撮用、-1°C~-10°C)	-8.0°C	○	○	△	△	○	×	○	○	△	○	△	△
	<ul style="list-style-type: none"> 通常BT、放置BTともにプロポにカメラ映像が映し出されない挙動を確認 通常BTでは風速9m/s時点で送風機に吸い込まれる挙動や姿勢維持が困難になる挙動を確認 放置BTではカメラ映像に加えてジンバルの動作が出来ない事象も確認。風速5m/s時点で送風機に吸い寄せられる挙動と風に押し戻される挙動、ドローンのブレを確認 												
機体C (空撮用、-11°C~-20°C)	-8.7°C	○	○	○	○	○	○	○	○	△	○	○	△
	<ul style="list-style-type: none"> 放置BTではバッテリー温度低下によるエラー表示あり 飛行は全体的に安定していたが、風速9m/s時点で風に煽られ、上下に揺れる挙動や風に押し戻される挙動を確認 												
機体D (空撮用、-1°C~-10°C)	-6.6°C	○	○	×	×	×	×	-	-	-	-	-	-
	<ul style="list-style-type: none"> 起動はしたものの、バッテリー温度低下によるエラー表示があり、機体側で飛行規制がかかり飛行不可 												
機体E (空撮用、-1°C~-10°C) ※発熱機能付き バッテリー	-6.5°C/ -11.5°C	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△
	<ul style="list-style-type: none"> 風速5m/sでは多少振られたり、情報する挙動があったものの、問題なく飛行 風速9m/sでは強風エラー表示が出て送風機に吸い寄せられる挙動を確認。-10°C~-20°Cでは挙動も不安定に 												
機体F (空撮用、-1°C~-10°C)	-4.0°C	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△
	<ul style="list-style-type: none"> 通常BTではどの風速でも問題なく飛行 放置BTでは風速9m/s時には、一瞬機体が流される場面があったが、全体的に安定して飛行 												
機体G (空撮用、-11°C~-20°C)	-4.2°C/ -13.3°C	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	<ul style="list-style-type: none"> 通常BTではどの風速でも問題なく飛行 放置BTではバッテリー加熱に2分程度時間を要したが(BT温度10°C以上が必要)、どの風速でも安定して飛行 												

・通常BT：バッテリーを屋内環境(概ね室温10°C以上)の条件下で管理していたもの
 ・放置BT：バッテリーを屋外環境(実証現場)で30分以上放置していたもの

【凡例】 ○：問題なし、△：懸念点あり、
 ×：動作しない、-：未実施

●実証結果

①冬季環境テスト

【ドローン別テスト結果一覧表】

ドローン (用途、 最低対応気温)	気温	起動		離陸/着陸		ジンバル 動作		ドローン挙動(風速：m/s)							
		通常BT	放置BT	通常BT	放置BT	通常BT	放置BT	0			9				
								通常BT	放置BT	通常BT	放置BT	通常BT	放置BT		
機体H (空撮用、 -11℃～-20℃) ※発熱機能付き バッテリー	-4.0℃/ -13.5℃	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	<ul style="list-style-type: none"> 通常BTではどの風速でも問題なく飛行 放置BTでは風速9m/sのみ強風アラート表示があったが、問題なく飛行
	-6.5℃	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○	○	×	<ul style="list-style-type: none"> 通常BT、放置BTともに風速7m/s～9m/sの環境下ではドローンが風に煽られ、ホバリングできない事象やドローンの浮き沈み、またコントロールが効かない事象を確認 放置BTではバッテリー温度低下によるエラー表示あり、その後バッテリー温度上昇しエラー解消 	
機体I (空撮用、0℃)	-8.7℃/ -11.3℃	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	<ul style="list-style-type: none"> 通常BT、放置BTともに風速9m/sでも安定して飛行
	-6.5℃	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	<ul style="list-style-type: none"> 通常BT、放置BTともに風速9m/sでも安定して飛行
機体J (物流用、0℃)	-4.2℃	○	○	○	△	○	○	○	○	△	○	○	△	<ul style="list-style-type: none"> バッテリー低温アラートが出るも、離陸し、飛行は全体的に安定して飛行 風速9m/sで機体が風に押し戻される事象を確認。機体設定の最大移動速度を18m/sから36m/sに変更する事で解消 	

・通常BT：バッテリーを屋内環境（概ね室温10℃以上）の条件下で管理していたもの
 ・放置BT：バッテリーを屋外環境（実証現場）で30分以上放置していたもの

【凡例】 ○：問題なし、△：懸念点あり、
 ×：動作しない、-：未実施

【送信機（プロポ）エラー表示例】



バッテリー低温度エラー表示



視界不良エラー表示

● 実証結果

① 冬季環境テスト

【検証結果】

冬季環境テストの結果、下記のような結果を得ることができ、各ユースケース実証において採用する機種を選定いたしました。

- 各ドローンメーカーがカタログ等で規定する使用条件（外気温、風速等）の範囲内においては、各ドローンとも概ね問題なく動作可能なことが確認できた。
- 一部の機体で、**低温によりドローンの起動や離陸が行えなかったり、強風によりドローンが大きく煽られ、挙動が不安定となり姿勢維持やドローンの制御が困難になる等、飛行の安定性に懸念点が見られたケースが確認できた。**
- 今回の冬季環境テストを通じ、各ドローンメーカーが定めるマニュアルに従い、**温度帯や風速などの使用条件を満たした上で、正しい手順で利用すれば、結露や凍結など冬特有の懸念される事象による不具合は見られなかった。**
- 使用条件を超える温度帯であっても、**バッテリーの保管等に配慮すれば活用できる可能性が確認できた。**

●実証内容

②ユースケース実証

防災・減災

【ユースケース実証（防災・減災）概要】

実証目的

昨今、北海道のみならず冬季に数多く発生している雪崩発生時の被害者捜索や、雪山登山者の遭難救助、火山火口・噴気孔の状況確認等をドローンを活用して行い、実装化の可能性を探り、運航の際の注意点やポイントを検証することを目的として実証を実施しました。

実施日時

2023年2月8日（水）10:30～14:00

実施場所

東川町／旭岳温泉
 ※旭岳ロープウェイ姿見駅-地獄谷の噴気口、旭岳ロープウェイ山麓駅-旭岳ビジターセンター裏

天候

天気：曇り時々雪／気温：-6.0℃～-13.6℃／風速：約2m/s～4m/s

実施概要

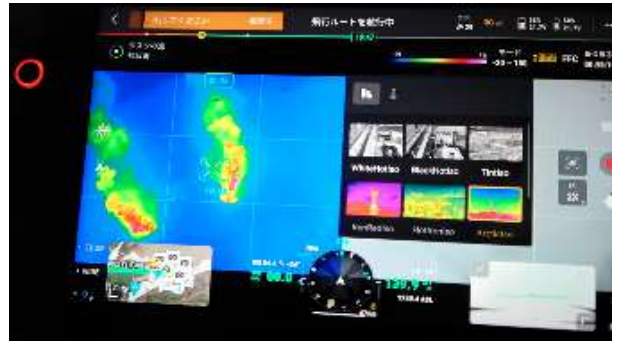
- 旭岳ロープウェイ姿見駅-地獄谷の噴気口間において、動静止画撮影やサーマル機能を用いた状況確認デモ飛行を行い、火山火口・噴気口の状況確認を実施
- 旭岳ロープウェイ山麓駅-旭岳ビジターセンター裏間において、動静止画撮影やサーマル機能を用いた状況確認デモ飛行を行い、雪崩発生時や遭難時を想定した状況確認・被害者捜索を実施
- ※バッテリーは事前に室内で温めて保管

使用機種

- 下記のポイントで複数機種を選定した
- 利用が想定される高性能カメラ（高精細・サーマル）搭載機種
 - 災害発生時に即時運搬、利用でき、狭い場所でも利用できる小型機種
 - 利用できる温度帯に応じた複数機種
- ・ Mavic2Enterprise Advance(DJI) 動作環境温度：-10℃～40℃、最大飛行時間：31分
 - ・ Matrice30T(DJI) 動作環境温度：-20℃～50℃、最大飛行時間：41分
 - ・ Matrice300RTK(DJI) 動作環境温度：-20℃～50℃、最大飛行時間：55分



ドローン飛行(降雪時)



噴気孔の様子
 (写真左：赤外線カメラを送信機の画面で表示)

●実証結果

②ユースケース実証

防災・減災

【検証結果】

本シナリオ実証では、冬季の山間部でも2種類のカメラ（可視光カメラ及びサーマルカメラ）を具備し、利用条件に適合したドローンを用いることで、降雪登山道や噴気孔の状況確認や、雪崩発生時の状況確認や、遭難者（生存し体温を有している場合）の発見が可能であることが確認できました。

- 10℃を下回る気温条件下においても、自動飛行によるドローンのフライトオペレーションが実施できた。
- 飛行中の状況確認について、可視光カメラでは、降雪や霧がない条件であれば、地上の状態や遭難者の有無等について状況を目視確認できたが、降雪時や霧の状態では送信機（プロポ）の画面で対象物の映像が確認できなかった。
- 飛行中の状況確認について、サーマルカメラでは、降雪や霧の有無にかかわらず、地上にいる人や噴気孔の温度を検知し、その状況を送信機（プロポ）の画面で確認できた。
- 寒冷地に対応したバッテリーを搭載した機種を活用し、通常よりバッテリー残量が多い状態で帰着させたため問題は発生しておらず、夏季の飛行と比べ、消耗が激しい等もなく、ほぼ通常時と変わらない挙動であった。

【飛行記録①】

雪崩発生時等の状況確認・被害者捜索（DJI Matrice30）

時間	気温	風速	バッテリー残量 (2本利用)	バッテリー電圧 (2本利用)
13:29(離陸前)	-6.7℃	約2m/s	90%/90%	23.9V/23.9V
13:31(飛行中)	-6.4℃	約2m/s	84%/83%	23.6V/23.6V
13:35(ホバリング)	-6.4℃	約2m/s	74%/72%	22.8V/22.8V
13:38(飛行中)	-6.0℃	約2m/s	66%/64%	22.2V/22.1V
13:40(着陸後)	-6.0℃	約2m/s	65%/63%	22.0V/21.6V

●実証結果

②ユースケース実証

防災・減災

雪崩発生時等の状況確認・被害者捜索 (DJI Mavic2EA)

時間	気温	風速	バッテリー残量	バッテリー電圧
2023/1/17 09:35(離陸前)	-7.8°C	約0m/s	96%	16.67V
09:36(飛行中)	-7.8°C	約0m/s	92%	15.22V
09:37(ホバリング)	-7.8°C	約0m/s	89%	14.22V
09:38(飛行中)	-7.8°C	約0m/s	80%	15.19V
09:40(着陸後)	-7.5°C	約0m/s	72%	15.60V

雪崩発生時等の状況確認・被害者捜索 (DJI Matrice300RTK)

時間	気温	風速	バッテリー残量 (2本利用)	バッテリー電圧 (2本利用)
2023/1/17 10:12(離陸前)	-6.2°C	約2m/s	72%/72%	46.72V/46.70V
10:13(飛行中)	-6.2°C	約2m/s	69%/68%	46.2V/46.1V
10:14(ホバリング)	-6.1°C	約2m/s	67%/66%	45.8V/45.7V
10:15(飛行中)	-6.1°C	約2m/s	64%/63%	45.6V/45.6V
10:16(着陸後)	-5.9°C	約2m/s	58%/57%	46.22V/46.27V

●実証結果

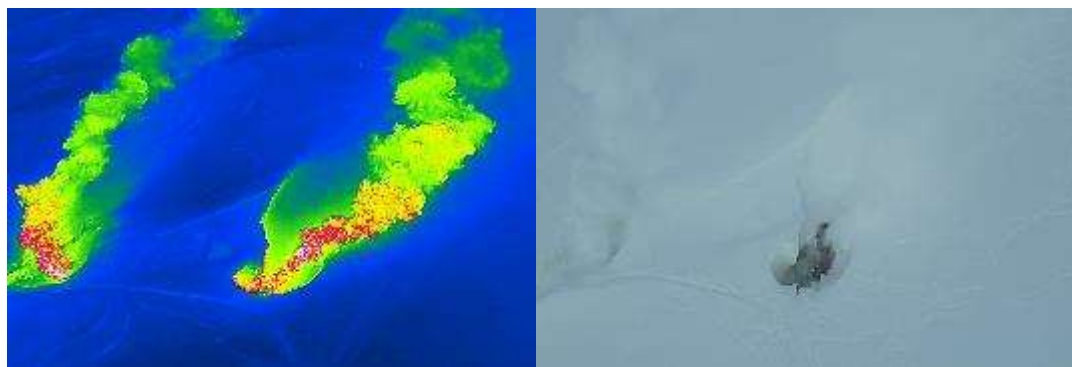
②ユースケース実証

防災・減災

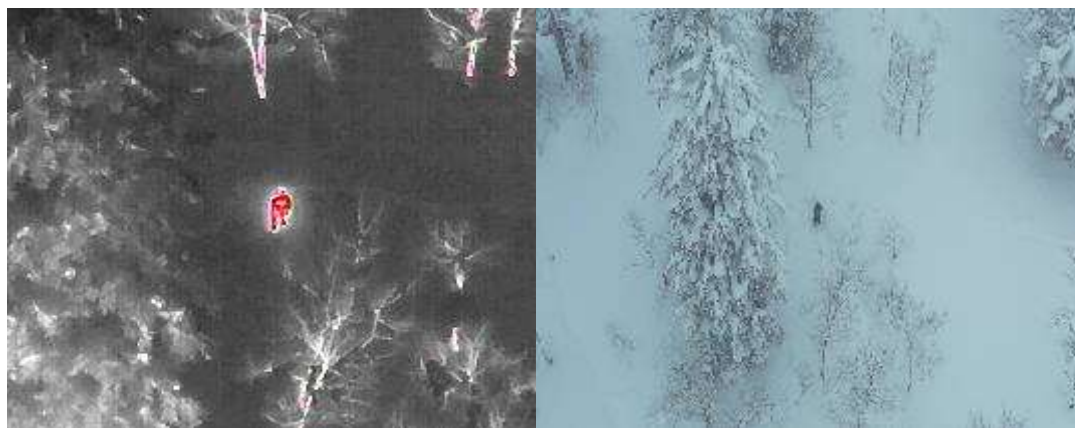
【飛行記録②】

降雪登山道の状況確認・被害者捜索、及び火山火口・噴気孔の状況確認
(DJI Matrice30)

時間	気温	風速	バッテリー残量 (2本利用)	バッテリー電圧 (2本利用)
11:41(離陸前)	-13.4℃	約4m/s	95%/97%	24.5V/24.7V
11:42(飛行中)	-13.5℃	約4m/s	92%/94%	24.3V/24.3V
11:43(ホバリング)	-13.5℃	約4m/s	90%/91%	24.0V/24.0V
11:45(飛行中)	-13.6℃	約4m/s	85%/86%	23.8V/23.8V
11:47(着陸後)	-13.5℃	約4m/s	80%/81%	23.9V/23.9V



噴気孔 (左: FLIR(赤外線/右: RGB)



遭難者捜索・発見時 (左: FLIR(赤外線/右: RGB)

●実証結果

②ユースケース実証

防災・減災

降雪登山道の状況確認・被害者捜索、及び火山火口・噴気孔の状況確認
(DJI Mavic2EA)

時間	気温	風速	バッテリー残量	バッテリー電圧
2023/1/30 10:04(離陸前)	-16.0°C	約6m/s	86%	15.48V
10:05(飛行中)	-16.2°C	約5m/s	83%	15.22V
10:06(ホバリング)	-16.0°C	約5m/s	77%	15.18V
10:08(飛行中)	-16.2°C	約4m/s	69%	15.11V
10:11(着陸後)	-16.2°C	約4m/s	53%	15.05

降雪登山道の状況確認・被害者捜索、及び火山火口・噴気孔の状況確認
(DJI Matrice300RTK)

時間	気温	風速	バッテリー残量 (2本利用)	バッテリー電圧 (2本利用)
2023/1/30 11:25(離陸前)	-15.7°C	約2m/s	94%/94%	50.66V/50.66V
11:27(飛行中)	-15.7°C	約2m/s	91%/91%	46.4V/46.5V
11:28(ホバリング)	-15.7°C	約2m/s	87%/88%	46.4V/46.4V
11:29(飛行中)	-15.4°C	約2m/s	85%/85%	46.3V/46.3V
11:30(着陸後)	-15.2°C	約2m/s	83%/83%	46.22V/46.27V

●実証内容

②ユースケース実証

物流

【ユースケース実証（物流）概要】

実証目的

大雪や、吹雪の影響で道路等の交通インフラが寸断され、町中心部から孤立してしまった集落などを想定し、ドローンを活用し、買い物配送や救援物資配送を行う実証を実施しました。

実施場所
実施日程

- ①東川町／ゆめファーム及び第3地区コミュニティセンター、上岐登牛地区住民集会場
2023年2月7日（火）10:30～12:30
- ②東川町／ゆめファーム及び第3地区コミュニティセンター、上岐登牛地区住民集会場
2023年2月9日（木）11:00～14:30
- ③上士幌町／かみしほろシェアOFFICE及び旧上音更小学校、民家
2023年2月13日（月）13:45～15:30
- ④上士幌町／かみしほろシェアOFFICE及び旧上音更小学校、民家
2023年2月14日（火）13:30～15:00
- ⑤厚真町／厚南会館および軽舞遺跡調査整理事務所、たんとうまいステーション
2023年3月1日（水）11:00～14:30
- ⑥厚真町／厚南会館および豊丘マナビィハウス、鹿沼マナビィハウス
2023年3月2日（木）14:00～16:00

天候

- ①天気：晴れ／気温：-4.5℃～-4℃／風速：1m/s～5m/s
- ②天気：晴れ時々雪／気温：-8.5℃～-5.3℃／風速：0m/s～6.5m/s
- ③天気：晴れ／気温：-3.5℃～-1℃／風速：1m/s～8m/s
- ④天気：曇り時々雪／気温：-7.6℃～-7℃／風速：1m/s～8.2m/s
- ⑤天気：曇り時々雪／気温：9℃～10℃／風速：1m/s～4m/s
- ⑥天気：曇り時々雪／気温：8℃～9℃／風速：4m/s～8m/s

実施概要

それぞれ、離発着地点を決定し、飛行ルートを設定の上、自動飛行で運航し、買い物、救援物資の配送を行いました。

※バッテリーは事前に室内で温めて保管し、直前に装着

使用機種

下記のポイントで複数機種を選定した

○物流利用（モノの運搬）が可能な機種

- ・ AirTruck（ACSL） 動作環境温度：0℃～40℃、最大飛行時間：50分
（ペイロード3.5kg、バッテリー22,000mAh×4本）
- ・ PF-2（ACSL） 動作環境温度：0℃～40℃、最大飛行時間：15分（ペイロード1.5kg時）



荷物を積み込むスタッフ



モノを運び飛行中のドローン

●実証内容・結果

②ユースケース実証

物流

【飛行ルート／飛行距離】

【AirTruck】

- ①-1東川町／ゆめファーム→第三地区コミュニティセンター（約7.3km）※片道
- ①-2東川町／ゆめファーム→上岐登牛地区住民集会場（約8.5km）※片道
- ②-1東川町／ゆめファーム→第三地区コミュニティセンター（約7.3km）※片道
- ③-1上士幌町／かみしほろシェアOFFICE及び→旧上音更小学校（約7.5km）※往復
- ③-2上士幌町／かみしほろシェアOFFICE及び→民家（約6.0km）※往復
- ⑤-1厚真町／厚南会館→軽舞遺跡調査整理事務所（約7.0km）※片道
- ⑤-2厚真町／厚南会館→たんとうまいステーション（約5.1km）※片道
- ⑥-1厚真町／豊丘マナビィハウス→鹿沼マナビィハウス（約5.1km（強風のためルート変更））※片道

【PF-2】

- ④上士幌町／かみしほろシェアオフィス→旧上音更小学校（約3.7km）※片道
- ⑤上士幌町／かみしほろシェアオフィス→民家（約3.0km）※片道

【検証結果】

本シナリオ実証では、一部大雪や風速10m/sを超える強風のため、中止またはルート変更を行ったフライトがあったものの、概ね計画通り運航が達成でき、気象条件等に注意すればメーカー推奨範囲を超える低温環境でも、物流ドローンの運用は可能であることがわかりました。

○今回の実証実験で使用したAirTruck、PF-2共に-5°C以下の環境で、7kmの距離の飛行を実施することができた。特にAirTruckに関しては、東川町で、-8°Cの環境で飛行距離約7.5km、飛行時間約14分を安定飛行し、上士幌町では、-1°Cの環境で飛行距離約11km、飛行時間約20分の往復飛行を実施することができた。

○飛行中の状況については、多少の電波途絶は発生したものの、安全運行に支障が出るほどの状況ではないことが確認できた。（冬場でもFPVカメラの映像で、第三者の立ち入りの有無を確認できた）

○操縦機（送信機）についてもマイナス環境下でも大きなバグは発生せずにオペレーションを実施することができた。

○一部のルートにて機体の通信途絶が発生し、飛行を中止した。機体を屋外放置し、長い時間トライを続けていたため、機体自体が冷やされ、低温下でうまく動作しなかった可能性がある。

○夏季飛行と、冬季飛行ではバッテリーの動作や消耗に有意な差が見られなかった。

（理由としては、AirTruckはバッテリーが機体内に収納され、機体構造として外気の影響を受けにくい点が考えられる）



置き配を行うドローン



ドローンで運ばれた荷物を受け取る町民

●実証結果

②ユースケース実証

物流

【飛行記録①（使用機体：AirTruck）】

2/7 ゆめファーム→第三地区コミュニティセンター（片道）

	離陸	離陸上空	目的地上空	置き配	再離陸上空	着陸地点上空	着陸
時間	10:55	10:55	—	—	—	11:09	11:10
電圧値 (V)	4.21	4.14	—	—	—	3.84	3.91
残量	100%	94%				64%	71%
使用量	0	6%				34%	29%
実施環境	晴れ、気温：-4°C、風速：Ave:3.3m/s						
荷物積載重量	2.04kg						
飛行距離	7.3km（片道）						
備考	飛行結果：成功 通信途絶：河川上空において通信途絶が3回発生						

2/9 ゆめファーム→第三地区コミュニティセンター（片道）

	離陸	離陸上空	目的地上空	置き配	再離陸上空	着陸地点上空	着陸
時間	11:03	11:04	—	—	—	11:17	11:18
電圧値 (V)	4.21	4.13	—	—	—	3.83	3.91
残量	100%	93%				63%	71%
使用量	0	7%				37%	29%
実施環境	晴れ、気温：-8.5°C、風速：Ave:3m/s						
荷物積載重量	3.3kg						
飛行距離	7.3km（片道）						
備考	飛行結果：成功 通信途絶：離陸前に通信途絶あり、河川上空においても3回通信途絶が発生						

2/7 ゆめファーム→上岐登牛地区住民集会場（片道）

	離陸	離陸上空	目的地上空	置き配	再離陸上空	着陸地点上空	着陸
時間	11:50	11:50	—	—	—	12:00	12:01
電圧値 (V)	4.20	4.12	—	—	—	3.93	3.99
残量	100%	92%				73%	79%
使用量	0	8%				27%	21%
実施環境	晴れ、気温：-4.5°C、風速：Ave:3.7m/s						
荷物積載重量	2.04kg						
飛行距離	4.9km（片道）						
備考	飛行結果：成功 通信途絶：11:53,11:55,12:00に発生						

●実証結果

②ユースケース実証

物流

【飛行記録②（使用機体：AirTruck）】

2/13 かみしほろシェアオフィス→旧上音更小学校（往復）

	離陸	離陸上空	目的地上空	置き配	再離陸上空	着陸地点上空	着陸
時間	13:42	13:43	13:50	13:50	13:51	13:58	13:59
電圧値 (V)	4.18	4.12	4.00	4.05	4.00	3.87	3.91
残量	98%	92%	80%	85%	80%	67%	71%
使用量	2%	8%	20%	15%	20%	33%	29%
実施環境	晴れ、気温：-3.5°C、風速：Ave:4.5m/s						
荷物積載重量	2.49kg						
飛行距離	7.5km（往復）						
備考	飛行結果：成功 通信途絶：往路・復路ともに4~5回ほど通信途絶が発生し、いずれも10秒ほどで復旧						

2/13 かみしほろシェアオフィス→T様自宅（往復）

	離陸	離陸上空	目的地上空	置き配	再離陸上空	着陸地点上空	着陸
時間	14:32	14:32	14:40	14:43	14:44	14:53	14:54
電圧値 (V)	4.21	4.13	3.98	—	3.94	3.82	3.90
残量	100%	93%	78%		74%	62%	70%
使用量	0%	7%	22%		26%	38%	30%
実施環境	晴れ、気温：-1°C、風速：Ave:3.5m/s						
荷物積載重量	2.31kg						
飛行距離	11km（往復）						
備考	飛行結果：成功 通信途絶：3~4回発生した。目的地上空でも途絶あり						

●実証結果

②ユースケース実証

物流

【飛行記録③（使用機体：PF-2）】

2/14 かみしほろシェアオフィス→上音更小学校（片道）

	離陸	離陸上空	目的地上空	置き配	再離陸上空	着陸地点上空	着陸
時間	11:15	11:15	—	—	—	11:22	11:22
電圧値 (V)	4.21	4.04	—	—	—	3.81	3.92
残量	100%	84%				61%	72%
使用量	0%	16%				39%	38%
実施環境	雪のち曇り、気温：-7.6℃、風速：Ave:3.2m/s（降雪のためフライトは1時間ほど遅れて運行）						
荷物積載重量	1.5kg						
飛行距離	3.8km（片道）						
備考	飛行結果：成功 通信途絶：なし						

2/14 かみしほろシェアオフィス→上音更小学校（片道）

	離陸	離陸上空	目的地上空	置き配	再離陸上空	着陸地点上空	着陸
時間	11:45	11:45	—	—	—	11:55	11:55
電圧値 (V)	4.04	4.04	—	—	—	3.74	3.81
残量	84%	84%				54%	61%
使用量	16%	16%				46%	39%
実施環境	曇り、気温：-7.0℃、風速：Ave:2.5m/						
荷物積載重量	1.2kg						
飛行距離	3.8km（片道）						
備考	飛行結果：成功 通信途絶：なし						

●実証結果

②ユースケース実証

物流

【飛行記録④（使用機体：AirTruck）】

3/1 厚南会館→軽舞遺跡調査整理事務所（片道）

	離陸	離陸上空	目的地上空	置き配	再離陸上空	着陸地点上空	着陸
時間	10:04	10:04	10:19	10:20	10:20	—	10:24
電圧値 (V)	4.19	4.09	3.88	3.92	3.85	—	3.90
残量	99%	89%	68%	72%	65%		70%
使用量	1%	11%	32%	28%	35%		30%
実施環境	雪のち曇り、気温：9°C、風速：Ave:1.8m/s						
荷物積載重量	1.5kg						
飛行距離	7.0km（片道）						
備考	飛行結果：成功 通信途絶：なし						

3/1 厚南会館→たんとうまいステーション（片道）

	離陸	離陸上空	目的地上空	置き配	再離陸上空	着陸地点上空	着陸
時間	14:00	14:00	14:11	13:12	14:13	—	14:14
電圧値 (V)	4.20	4.07	3.92	3.95	3.92	—	3.94
残量	100%	87%	72%	75%	72%		74%
使用量	0%	13%	28%	25%	28%		26%
実施環境	晴れ、気温：10°C、風速：Ave:2.1m/s						
荷物積載重量	2.95kg						
飛行距離	5.1km（片道）						
備考	飛行結果：成功 通信途絶：なし						

3/2 豊丘マナビィハウス→鹿沼マナビィハウス

	離陸	離陸上空	目的地上空	置き配	再離陸上空	着陸地点上空	着陸
時間	14:38	14:38	14:50	14:50	14:51	—	14:52
電圧値 (V)	4.18	4.06	3.89	3.91	3.86	—	3.92
残量	98%	96%	69%	71%	66%		72%
使用量	2%	4%	31%	29%	34%		28%
実施環境	晴れ、気温：8°C、風速：Ave:5.6m/s						
荷物積載重量	1.897kg						
飛行距離	5.2km（片道）						
備考	飛行結果：成功 通信途絶：特に問題なし						

●実証結果

②ユースケース実証

物流

【飛行記録⑤ 夏季データとの比較（使用機体：AirTruck）】

冬季：2/7 ゆめファーム→第三地区コミュニティセンタールート

	離陸	離陸上空	目的地上空	置き配	再離陸上空	着陸地点上空	着陸
時間	10:55	10:55	—	—	—	11:09	11:10
電圧値 (V)	4.21	4.14	—	—	—	3.84	3.91
残量	100%	96%				64%	71%
使用量	0%	4%				36%	29%
実施環境	晴れ、気温：-4°C、風速：Ave:1.8m/s						
荷物積載重量	2.04kg						
飛行距離	7.3km（片道）						
備考	飛行結果：成功 通信途絶：河川上空において通信途絶が3回発生						

夏季：8/29 ゆめファーム→第三地区コミュニティセンタールート

	離陸	離陸上空	目的地上空	置き配	再離陸上空	着陸地点上空	着陸
時間	13:30	13:30	—	—	—	13:44	13:45
電圧値 (V)	4.20	4.14	—	—	—	3.88	3.93
残量	100%	96%				68%	73%
使用量	0%	4%				32%	27%
実施環境	晴れ、気温：21°C、風速：Ave:1m/s						
荷物積載重量	2.9kg						
飛行距離	7.3km（片道）						
備考	飛行結果：成功 通信途絶：河川上空においても数回の通信途絶が発生						

●実証内容

②ユースケース実証

社会インフラの
点検・管理

【ユースケース実証（社会インフラの点検・管理）概要】

実証目的

社会インフラの維持管理における点検（パトロール）は、車上又はポートや徒歩による巡視が基本となっている。冬季においては、積雪によって雪をかき分けて見に行ったり、目視がしにくい状況であったり、雪崩や滑落の恐れなど安全性の問題から、時間や労力、慎重を要するため、ドローンを活用した遠隔地からの確認の可能性を探り、運航する際の注意点、ポイントの検証を目的として実証を行いました。

実施日時

2023年2月16日（木）10:00～15:00

実施場所

当別町／当別ダム周辺
※当別ダム堤頂から水分橋までの範囲

天候

天気：曇り時々雪／気温：0°C～-2.5°C／風速：0m/s～2.5m/s

実施概要

道路（当別浜益港線）沿いの雪崩防止柵及び、水分橋、当別ダム、当別川の結氷堆雪状況や変状の有無をドローンを活用し、映像臨場を行いました。
※バッテリーは事前に室内で温めて保管

使用機種

下記のポイントで複数機種を選定した
○すでに多くの道内企業や官公庁自治体がインフラ点検に投入している機種
○遠隔臨場（生中継）が可能な機種
○導入しやすい手頃な価格の機種

- ・Inspire2 (DJI) 動作環境温度：-20°C～40°C、最大飛行時間：27分
- ・Mavic3 (DJI) 動作環境温度：-10°C～40°C、最大飛行時間：46分
- ・EVO2 (Autel Robotics) 動作環境温度：-10°C～40°C、最大飛行時間：40分
- ・Phantom 4 Pro (DJI) 最大風圧抵抗：0°C～40°C、最大飛行時間：31分
- ・Matrice 30T (DJI) 動作環境温度：-20°C～50°C、最大飛行時間：41分



雪崩防止柵を上空から撮影するドローン



PCに映るドローン撮影映像（雪崩防止柵）

●実証結果

②ユースケース実証

社会インフラの 点検・管理

【検証結果】

本シナリオ実証は、気温は0℃～-2.5℃とこの時期では比較的暖かく、風速は0m/s～2.5m/sと比較的弱く、天気は曇りで時々雪が降っている状態で実施し、下記の結果を得ることができました。

○飛行全般

メーカー規定の動作環境（気温、風速）下であったことから、今回使用した機種は問題なく飛行することができた。（飛行中に視界不良となった場合は、速やかに帰還するよう、操縦者のほか監視役もつけて対応した。）

○カメラ

インフラ点検における目視確認の可能性として、今回の気象条件下では、カメラによる映像を遠隔で確認することができた。

○夏季飛行との比較

0℃程度の気温であれば、夏季と比較して冬季の飛行可能時間が極端に短くなることはない。ただし、上空の気温が低い場合や、比較的古い機体、使用回数の多いバッテリーでは、飛行可能時間が短くなる場合もあるので注意が必要。

○バッテリーの温度変化

離陸後には、バッテリー温度が上がるまで、ホバリング状態で待機することで温度を上げ、問題なく点検作業を行うことができた。今回は外気温が0℃前後であったことや、車内保管により、極端に低温になることはなかった。

○バッテリーの使用量

飛行時間に対してのバッテリー使用量（%）は、機体①の使用量が若干多い傾向にあるが、他機種については今回の外気温程度であれば飛行可能時間への影響はあまりないものと考えられる。

■バッテリーの温度変化

	機体A	機体B	機体C	機体D	機体E
ホバリング時（℃）	15	13.3	6	17	18.5
着陸時（℃）	27	21	14	26	20.2

■バッテリーの使用量変化

	機体A	機体B	機体C	機体D	機体E
飛行時間（分）	9	8	7	8	9
バッテリー使用量（%）	47	22	29	26	25

■バッテリーの使用量（飛行時間10分当たりバッテリー使用量（夏季・冬季比較））

	機体A	機体B	機体C	機体D	機体E
【夏季】 飛行時間10分当たり バッテリー使用量（%）	58	28	30	38	28
【冬季】 飛行時間10分当たり バッテリー使用量（%）	52	28	41	33	28

●実証結果

②ユースケース実証

社会インフラの 点検・管理

【飛行記録】

	機体①	機体②	機体③	機体④	機体⑤
起動、離陸（ホバリング）時					
・気温（度）	5.8	0.2	0.4	0.2	-1.8
・風速（m/s）	0	0	0	1.3	1.6
・天候（晴れ、曇り、雪）	曇り	曇り	雪	曇り	雪
・時間（時 分）	10時24分	10時50分	11時31分	13時31分	14時36分
⇒ホバリング時間	1分	2分	6分	1分	1分
・バッテリー温度（度）	15	13.3	6	17	18.5
・機体動作、搭載カメラ、ジンバル確認	OK	OK	OK	OK	OK
出発時					
・時間（時 分）	10時25分	10時52分	11時37分	13時32分	14時37分
・バッテリー残量（%）	87	96	93	97	91
着陸時					
・時間（時 分）	10時34分	11時00分	11時44分	13時40分	14時46分
⇒飛行時間（分）	9	8	7	8	9
・バッテリー温度（度）	27	21	14	26	20.2
⇒上昇温度（度）	12	7.7	8	9	1.7
・バッテリー残量（%）	40	74	64	71	66
⇒使用量（%）	47	22	29	26	25
・飛行ルート （変更した場合： ）	変更なし	変更なし	変更なし	変更なし	変更なし
・結露、着氷状況、飛行・撮影の 安定性	○	○	○	○	○
・発生した問題	問題無し	問題無し	水分橋付近で 電波の状態が 悪くなった	問題無し	問題無し

●実証内容

②ユースケース実証

観光

【ユースケース実証（観光）概要】

実証目的

ドローンを活用した北海道ならではの“雪”、“雪原”という冬期間の天然資源を活かした新たな観光サービスの検証を行うために、複数の実証実験を実施しました。

実施場所
実施日程

- ①東川町／キャンモアスキービレッジ
2023年2月4日（土）14:30～15:30
- ②東川町／第2地区コミュニティセンター→キトウシ森林公園家族旅行村
2023年2月8日（水）15:00～16:00

天候

- ①天気：曇り時々雪／気温：-3.3℃～0℃／風速：0.2m/s～2.0m/s
- ②天気：晴れ時々雪／気温：1.2℃～3.8℃／風速：1m/s～7m/s

実施概要

【空撮】

地元小学生スキークラブの練習、滑走状況をドローンで上空から撮影するサービス実証を行った。また、キャンモアスキー場、キトウシ森林公園周辺の雪原風景を上空から撮影する実証も併せて行いました。

【フードデリバリー】

町内のカフェのコーヒーやホットサンドを、キャンプ場の宿泊客へドローンでデリバリーを行いました。

使用機種

下記のポイントで複数機種を選定した

- 空撮においては、空撮利用がしやすい、比較的購入しやすい価格帯で、且つよく空撮利用される機種
 - フードデリバリーにおいては、物流利用（モノの運搬）が可能な機種
- ※バッテリーは事前に室内で温めて保管

【空撮】

- ・Mavic3（DJI） 動作環境温度：-10℃～40℃、最大飛行時間：46分

【フードデリバリー】

- ・AirTruck（ACSL） 動作環境温度：0℃～40℃、最大飛行時間：50分（ペイロード3.5kg、バッテリー22,000mAh×4本）
- ・PF-2（ACSL） 動作環境温度：0℃～40℃、最大飛行時間：15分（ペイロード1.5kg時）



ドローンから撮影した様子



ドローンで届けられたコーヒーを楽しむキャンプ場利用者

●実証内容

②ユースケース実証

観光

【飛行ルート／飛行距離】

【空撮】 キャンモアスキービレッジ上空を一回20分程度の旋回を複数回実施

【フードデリバリー】 東川町／第2地区コミュニティセンター→キトウシ森林公園家族旅行村
(片道3.3km／往復7km)

【検証結果】

本シナリオの実証では、冬季の環境下において、「スキー場の来場者向けの空撮サービスの提供、ドローンによる雪原風景の撮影」や、「ドローンによるフードデリバリー」を実施することができましたが、定期サービス運用に向けては課題が残りました。

【空撮】

- マイナス環境下においても一定時間、ドローンのフライトオペレーションができた。
- フライト中に機体のラダー（旋回）が入る誤作動（降雪中）やパイロットから機体が100m程度離れた状態で、高度30m付近で飛行中に映像伝送がロストしリターンホームモード入る挙動が発生。（記録作成のため同時にもう1機ドローンを飛行させており、それによる電波干渉や雪などの影響も考えられる。）
- バッテリー残量のエラー表示が2度発生した。

【フードデリバリー】

- 本シナリオの実証では、「物流」のユースケース同様、基本的には冬季においても安定した飛行が実施できることを確認できた。
- 強風や雪による視界不良で運航が見合わせになった便もあり、冬季に即時性を求めるサービスを実装するのは難易度が高いとわかった。一方、配送商品（コーヒー等）については極端な温度変化は発生せず、商品の品質は担保できた。
- 夏季飛行と、冬季飛行ではバッテリーの動作や消耗に有意な差が見られなかった。
(理由としては、AirTruckはバッテリーが機体内に収納され、機体構造として外気の影響を受けにくい点が考えられる)

●実証結果

②ユースケース実証

観光

【飛行記録（空撮）】

フライト1

	離陸	中間	着陸
時刻	13:42	13:57	14:01
電圧値 (V)	17.23V		
温度	11°C	26.5°C	28.1°C
残量	100%	52%	43%
実施環境	晴れ、1°C	曇り、-1°C	雪、-0.7°C
風速	0.5m/s南西	1.0m/s 南西	1.1m/s 南西
備考	13:57／操作せずに勝手にラダーが入る。電波干渉もしくは雪の影響か？アプリにエラーはなし。 ※記録作成のため同時にもう1機ドローンを飛行させており、それによる電波干渉や雪などの影響も考えられる。		

フライト2

	離陸	着陸	離陸	着陸	離陸	着陸
時刻	14:08	14:12	14:13	14:23	14:26	14:38
電圧値 (V)	16.36V			15.32V	15.26V	14.71V
温度	11.7°C			27.7°C	26.5°C	34.8°C
残量	100%			62%	56%	19%
実施環境	雪、0°C			雪、-2.3°C	雪、-2.3°C	曇り、-2.7°C
風速	2.0m/s 南西			1.0m/s 南西	1.6m/s 南西	0.2m/s 南西
備考	14:17／降雪弱まり、動作不良改善 14:21／意図せずReturn to home入る。電波干渉の可能性か？					

フライト3

	離陸	着陸
時刻	14:41	15:03
電圧値 (V)	17.28V	15.05V
温度	10.8°C	30.2°C
残量	99%	29%
実施環境	曇り、-2.5°C	晴れ、-3.3°C
風速	1.9m/s 南西	0.6m/s 南西
備考	15:01／バッテリーエラー表示(40%が10%表示) 15:03／バッテリーエラー表示(32%が5%表示)	

●実証結果

②ユースケース実証

観光

【飛行記録（フードデリバリー）】

■使用機体: AirTruck

2/8第二地区コミュニティセンター→キトウシ森林公園家族旅行村（往復）

	離陸	離陸上空	目的地上空	置き配	再離陸上空	着陸地点上空	着陸
時間	15:07	15:07	15:12	15:13	15:13	15:18	15:18
電圧値 (V)	4.21	4.11	4.04	4.11	4.01	3.97	4.06
残量	100%	91%	84%	91%	89%	77%	86%
使用量	0%	9%	16%	9%	11%	23%	14%
実施環境	晴れ、気温：3.8℃、風速：Ave:3.8m/s						
荷物積載重量	1.897kg						
飛行距離	3.3km（往復）						
備考	飛行結果：成功 通信途絶：中間地点で一時通信途絶、すぐに復旧						

■使用機体: PF-2

2/8第二地区コミュニティセンター→キトウシ森林公園家族旅行村（片道）

	離陸	離陸上空	目的地上空	置き配	再離陸上空	着陸地点上空	着陸
時間	15:39	15:37	—	—	—	15:41	—
電圧値 (V)	4.19	4.04	—	—	—	3.97	4.06
残量	99%	84%				77%	86%
使用量	1%	16%				23%	14%
実施環境	晴れ、気温：1.2℃、風速：Ave:3.4m/s						
荷物積載重量	1.5kg						
飛行距離	1.6km（片道）						
備考	飛行結果：成功 通信途絶：15:39～着陸まで通信途絶あり。着陸地点まで途絶した						

●実証内容

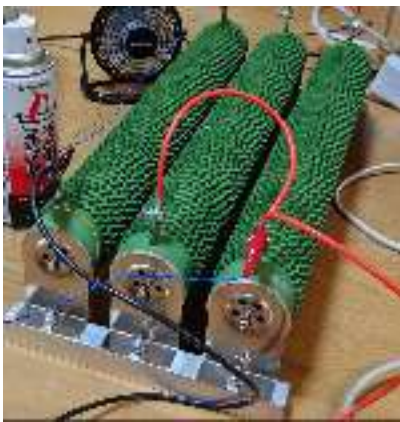
③バッテリー保温／断熱テスト

冬季のドローン飛行に際して、有効なバッテリーの保温／断熱対策を検証するための実験を下記概要にて実施しました。

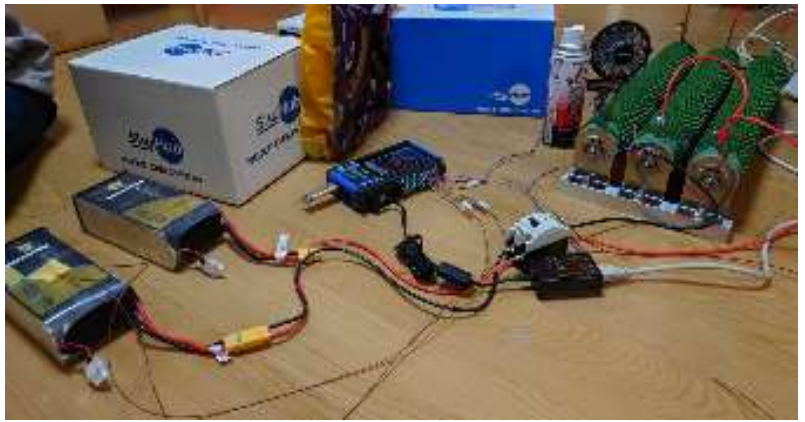
■バッテリー実験設備

・装置製作：負荷電流用抵抗アレイ

実機体の電流負荷を想定した装置を設計、製造した



負荷電流用抵抗アレイ



実験装置

・実験装置：バッテリーに負荷を接続し、電圧・電流および発熱を観測

・バッテリー発熱：熱電対をバッテリーのテープ止め

取り付け場所によりばらつきを考慮して、2か所にテープ止めする。

・使用測定器：データロガー

■バッテリー温度環境

・**室温**：実験装置を室温環境で起動し実験
バッテリーの放電特性から、実験は過放電を避けるため、バッテリー電圧が21.5Vを下回った時点で終了とする。

温度範囲は15~20°C

・**低温**：実験装置のバッテリーのみを
冷凍庫に入れ実験

低温下での、バッテリーの電圧・電流および温度を実測する。

温度範囲は-20~0°C



温度観測位置

●実証内容

③バッテリー保温／断熱テスト

■断熱/保温材及び供試バッテリー

・断熱/保温材：

一般に市販されている断熱/保温材を購入し、バッテリー形状に加工。
3種の材料を試しました。

①：省エネシート

- ・材質：PETアルミ蒸着シート、発泡ポリエチレン
- ・厚さ：4mm

②：アルミ保温シート

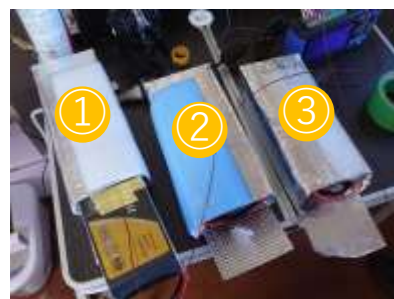
- ・材質：裏面/PETアルミ蒸着フィルム、本体/発泡ポリエチレン
- ・厚さ：4mm

③：断熱シート

- ・材質：PE
- ・厚さ：3.5mm



- ・供試バッテリー：使用済2個（AおよびB）、新品1個（C）の計3個



供試バッテリー（断熱/保温材あり）
※断熱/保温材の区別は、画像のA、B、Cとする

■バッテリー断熱/保温実験

・バッテリー性能評価：供試バッテリー（断熱/保温材なし）にて実施

室温下と低温下での供試バッテリー（断熱/保温材なし）を放電させたときのバッテリーの性能を評価。

・断熱/保温材の選定：供試バッテリー（断熱/保温材あり）にて実施

供試バッテリー（断熱/保温材あり）を放電させずに、気温を室温から低温に変化させたとき、最も断熱/保温性能が高いものを選定。

・冷凍庫内での断熱/保温効果確認：選定された断熱/保温材で包まれた

バッテリーを冷凍庫に入れ通電実験

低温下で、バッテリー（断熱/保温材あり）を放電させたときの、バッテリーの表面温度および電圧・電流を実測。

■実機での観測

・実機体での確認：実機体にて寒冷地飛行中のバッテリーの電圧および温度の確認

上土幌で、断熱/保温したバッテリーで実機体を飛行し、その時のバッテリー環境を観測。

●実証内容

③バッテリー保温／断熱テスト

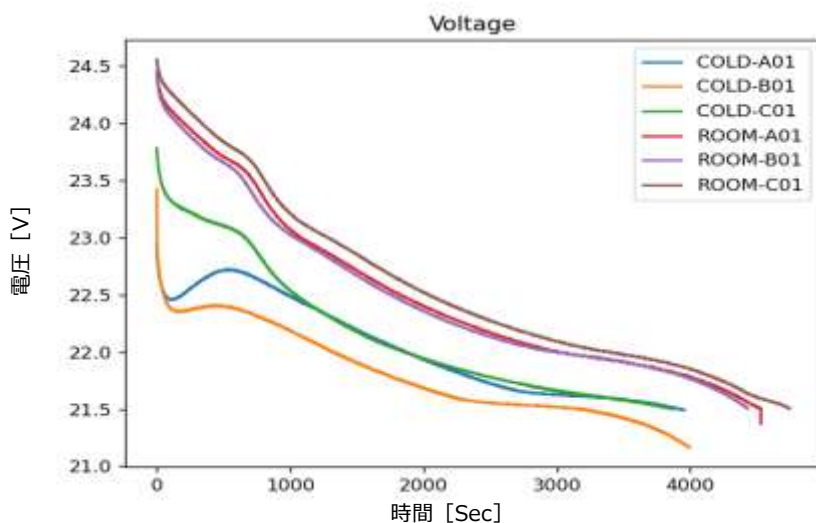
【バッテリー性能評価】

【考察】 実験結果より、以下のことが明らかになった。

○バッテリー電圧変化グラフから、低温下（0℃以下）では、放電持続時間が15~20分程度短縮する。

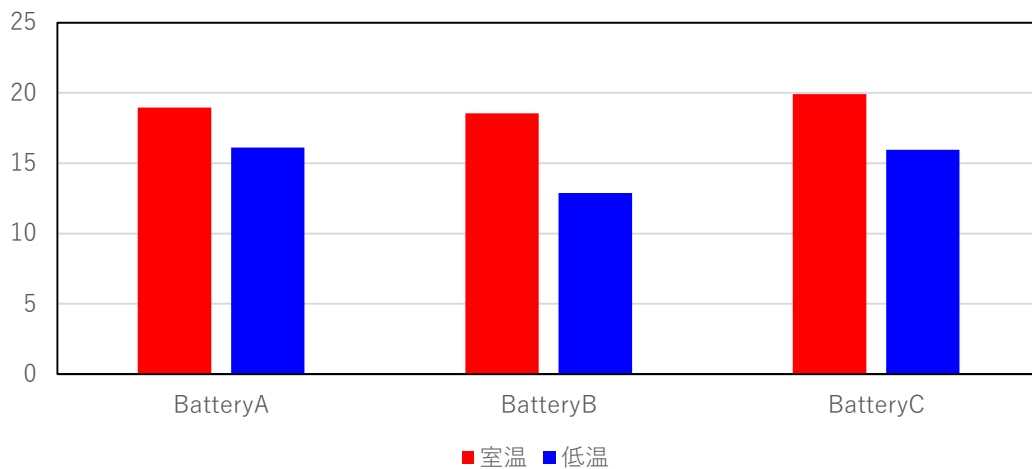
○バッテリー容量変化グラフから、低温下（0℃以下）では、バッテリー容量が15~30%低下する。

⇒バッテリーの温度低下によって、飛行時間が短縮される可能性が高い。



COLD=低温
ROOM=室温
A=バッテリーA
B=バッテリーB
C=バッテリーC

バッテリー電圧変化



■室温 ■低温
バッテリー容量変化

●実証内容

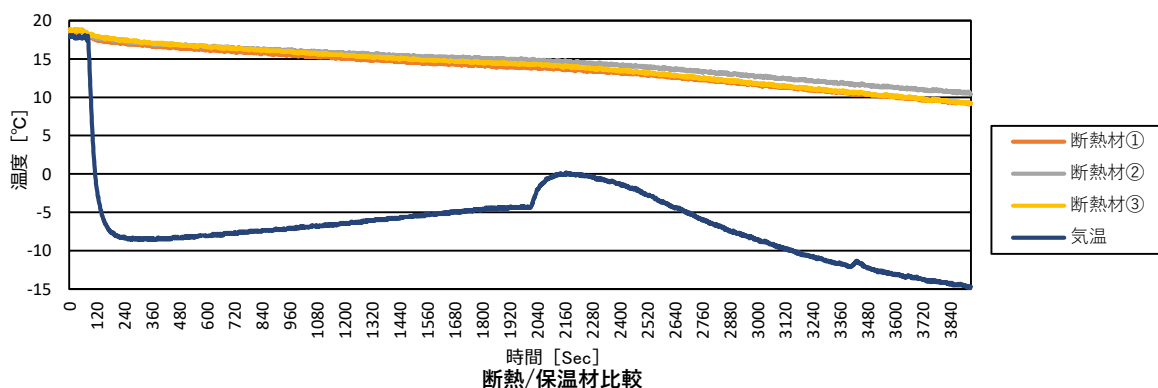
③バッテリー保温／断熱テスト

【断熱/保温材の選定】

【考察】 実験結果より、以下のことが明らかになった。

○比較結果から、断熱/保温材②:アルミ保温シートが最も優れた特性を示した。

以降の断熱/保温材については、②:アルミ保温シートの材料を選定し、電圧・電流および発熱の特性を実測する。



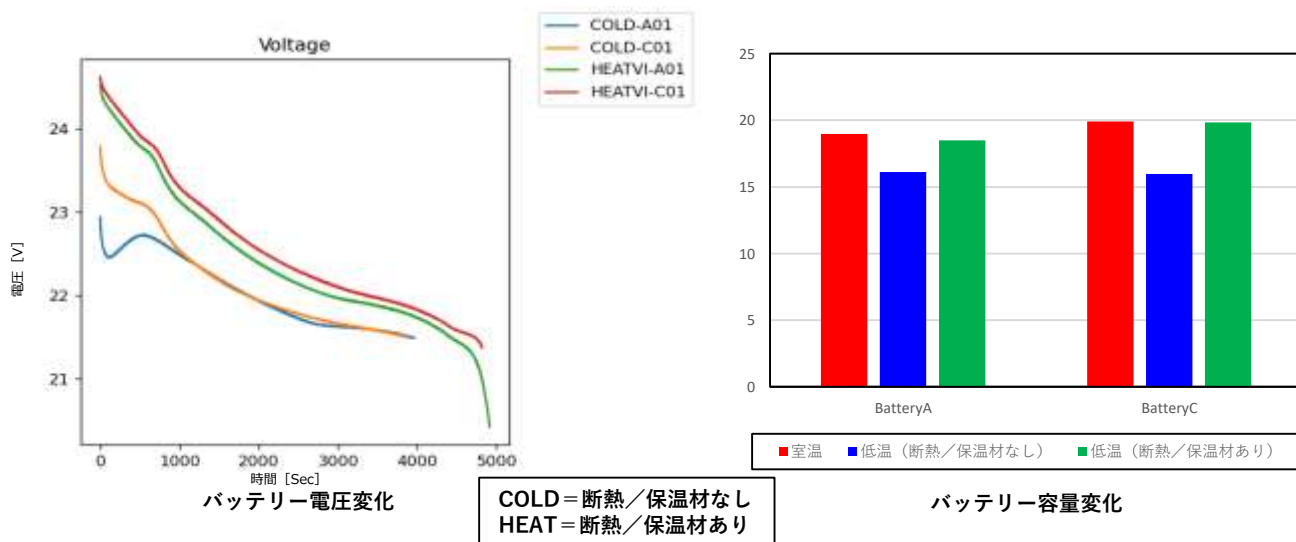
【冷蔵庫内での断熱/保温効果確認】

【考察】 実験結果より、以下のことが明らかになった。

○バッテリー電圧変化グラフから、断熱/保温材②アルミ保温シートで包まれたバッテリーの放電持続時間は、15~20分程度延長され、室温におけるそれと同等の放電持続時間となった。

○バッテリー容量変化グラフから、断熱/保温材②アルミ保温シートで包まれたバッテリーの容量は15~25%増加し、室温と同程度の容量となった。

⇒低温下では、断熱/保温材の活用により、飛行時間が延長される可能性が高い。



●実証内容

③バッテリー保温／断熱テスト

■実機体での断熱構造

・断熱材製作：

実機体の形状に合わせて、断熱材（アルミ保温シート）に加工を施しました。

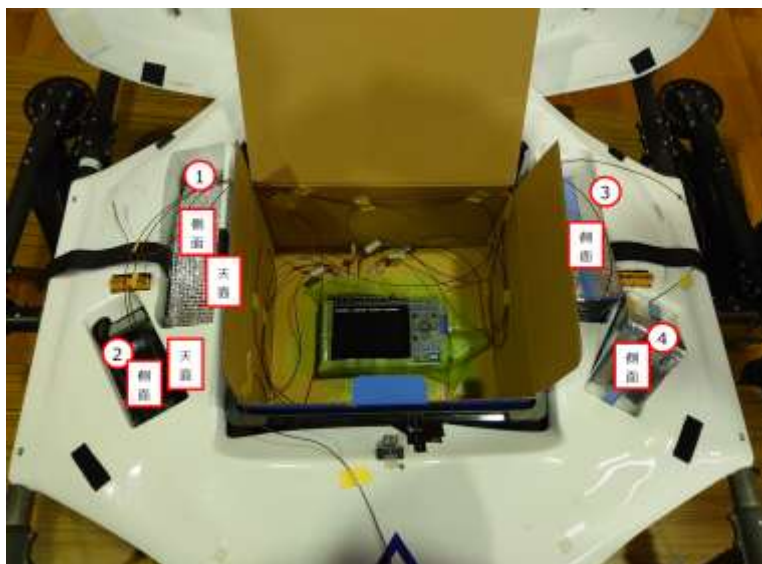
・実機体装着：

実機体装着を以下のような形状としました。



・熱電対装着：

下図の位置に熱電対を装着し、約15分を目安に屋外での温度変化を測定しました。



●実証結果

③バッテリー保温／断熱テスト

【バッテリー実験測定結果】

【考察】 実験結果より、以下のことが明らかになった。

○温度低下の傾きは、断熱材有のバッテリーが緩やかであり、断熱材を施すことによって温度の低下を軽減できた。

○実飛行では、バッテリーの自己発熱により温度上昇するため、動作上は有利な方向となる。

⇒事前に行った、ベンチ試験と実機体での、バッテリー断熱の効果は相関が取れていると判断する。

各バッテリー位置での単位時間当たりの温度変化 [degC/sec]

バッテリー位置	断熱材なし	断熱材あり
①天面	-0.0023	-0.0012
①側面	-0.0026	-0.0014
②天面	-0.003	-0.0016
②側面	-0.003	-0.0003
③側面	-0.0023	-0.0007
④側面	-0.0023	-0.00003



屋外で温度変化を測定中の実機体