

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11 :

センサー、カメラ等を活用した施設等の管理・監督業務の実証

KDDI スマートドローン株式会社

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	7
1.3.1	技術実証の範囲	7
1.3.2	技術実証の方針	7
1.4	実施体制・期間	7
1.4.1	実施体制	7
1.4.2	実施期間	8
2	技術実証内容の詳細	9
2.1	技術実証の方法	9
2.1.1	正常系実証の実施概要	9
2.1.2	非正常系実証の実施概要	12
2.1.3	活用した技術の概要	13
2.1.4	スケジュール	18
2.2	実施場所等	19
2.2.1	秩父鉱山	19
2.2.2	コードベースキミツ	25
2.3	実施条件等	27
2.3.1	実証の前提条件及び技術に必要な機能等	27
2.3.2	各種手続	28
3	技術実証の結果	29
3.1	結果の評価ポイント・方法	29
3.1.1	確認方針	29
3.1.2	確認方針（机上検討、ヒアリング等）	29
3.1.3	結果に基づく技術の評価方針	30
3.2	結果及び評価・分析	32
3.2.1	正常系実証の結果	32
3.2.2	非正常系実証の結果	52
3.2.3	赤外線カメラ画像の撮影	53
3.2.4	ヒアリングの結果	55
3.2.5	机上検討	63
3.2.6	評価・分析	72
4	総括	86
	用語集	87
	別添資料	89
	参照文献	93

1 技術実証の概要

1.1 目的

鉱山での作業時等では、施設・設備や作業の監督者が現場に専任で監督業務にあたることが求められている。金属鉱山の集積場においては、捨石、鉱さい又は沈殿物等の鉱業廃棄物及び坑廃水の流出を防ぐ施設・設備（堤体、沢水排水路、場内・場外排水施設、非常排水路、集水堰及びポンプ設備等）を設け、定期的に現地で点検及び保全管理を行っている。

本実証では、施設・設備や作業を管理・監督する者が現場で行う業務について、デジタル技術を活用することにより、実効性・安全性を確保しつつ、遠隔での業務を実施可能とするモデルを構築することで、業務の合理化・効率化や、働き方の選択肢の拡大等を図ることを目的とする。

1.2 対象業務（法令）

本実証における対象業務は、鉱山保安法第26条第1項に基づく鉱山における作業監督業務である。

（作業監督者）

第18条 鉱業権者は、保安を確保するため、経済産業省令で定める作業の区分ごとに、経済産業省令で定める資格を有する者のうちからその作業を監督する者（以下「作業監督者」という。）を選任しなければならない。

「ポート付きドローン」を活用し、遠隔からの監視に代替が有効と考えられる業務については、鉱山現場に精通した関係者にヒアリングを行い、鉱山保安法施行規則第43条が定める具体的な管理・監督業務のうち、鉱業廃棄物処分に係る監督及び有害鉱業廃棄物の「埋立処分」等に関する監督業務（表1）について、金属鉱山施設の集積場において実地で点検及び保全管理されている以下項目（表2）を確認の上、本実証の対象業務とした。

なお、管理・監督業務の対象として、鉱山保安法施行規則第18条が定める鉱業廃棄物の処理に関する鉱業権者が講ずるべき措置のうち、同条第14号が定める坑外埋立場における鉱業廃棄物の流出等による鉱害を防止するための措置を参照した。

表1 遠隔監視による代替が有効と考えられる確認項目と関連法令

遠隔監視による代替が有効と考えられる対象業務と関連法令
<p>鉱山保安法施行規則第43条第1項第16号 鉱業廃棄物処分に関わる監督</p> <p>鉱山において、鉱業廃棄物の「埋立処分」、「集積処分」及び「焼却処分」をするための施設（例えば、鉱業廃棄物の埋立場、沈でん物等の集積場等）があり、当該施設から発生する鉱害を防止するための維持管理等の作業をいい、具体的には、鉱山保安法施行規則第18条（鉱業廃棄物の処理）に規定する措置に伴う作業時における作業方法等についての監督。</p>
<p>鉱山保安法施行規則第43条第1項第17号：有害鉱業廃棄物の「埋立処分」等に関する監督</p> <p>鉱山において、有害鉱業廃棄物の「埋立処分」等をするための施設（例えば、有害鉱業廃棄物の埋立場等）があり、当該施設から発生する鉱害を防止するための維持管理等の作業をいい、具体的には、鉱山保安法施行規則（鉱業廃棄物の処理）に規定する措置に伴う作業時における作業方法等についての監督。</p>

表2 「ポート付きドローン」を活用し、遠隔監視による代替が有効と考えられる確認項目と関連法令

確認項目	【参照】鉱山保安法・関連規則等の記載の抜粋
法面点検	<p>鉱山保安法施行規則第11条</p> <p>2 排水路、よう壁及びびかん止堤の設置その他の捨石、鉱さい又は沈殿物の流出を防止するための措置を講ずること。</p>
場内及び周囲水路（山腹水路）点検	<p>鉱業権者が講ずべき措置事例について（20230815 保局第1号）</p> <p>(2) 金属鉱山等における措置</p> <p>①次の防護施設等を設ける。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・場外水排除施設 ・場内水排除施設
非常排水口点検	<p>鉱業上使用する工作物等の技術基準を定める省令第33条</p> <p>3 泥状の捨石又は鉱さいの集積場は、多量の場外水を排除するため、非常用排水路の設置その他の適切な措置が講じられていること。</p>
沢水排水路点検	<p>鉱業上使用する工作物等の技術基準を定める省令第33条</p> <p>2 沢水、山腹水その他の集積場内に流入する場外水及び雨水、湧水その他の場内水を排除するため、沢水排水路、山腹水路、上澄水排除装置その他の適切な施設が設けられていること。</p> <p>5 沢水排水路には、流木、土石等による埋そくを防止するため、上流部に適切な施設が設けられていること。</p>
法尻ポンプ設備（配管含む）点検	<p>鉱山保安法施行規則第19条</p> <p>1 坑道の坑口の閉そく、坑水又は廃水の処理施設（以下「坑廃水処理施設」という。）の設置その他の坑水又は廃水による鉱害を防止するための措置を講ずること。</p>
法尻堰堤（集水堰）点検	同上

巡視路落石・倒木確認	<p>鉱山保安法施行規則第26条（巡視及び点検）</p> <p>1 保安の確保上重要な鉱山等にある建設物、工作物その他の施設並びに掘採箇所及び掘採跡を定期的に巡視し、危険又は異常の有無を検査し、かつ、危害及び鉱害の防止のため必要な事項について、測定すること。</p> <p>2 大雨、地震その他の異常気象により保安上危険の有無を検査する必要があるもの又は前号の測定の結果に異常が認められたものについては、巡視者に危害が及ぶおそれがある場合を除き、巡視及び測定の数回の増加その他巡視又は測定について必要な措置を講ずること。</p> <p>※本条は全確認項目共通</p>
------------	---

表3 ドローンによる遠隔監視の対象となりうる管理・監督対象

鉱山保安法施行規則第18条より抜粋
一 鉱業廃棄物を運搬及び処分するときは、当該鉱業廃棄物が飛散し、又は流出しないように行うこと。
二 鉱業廃棄物を坑外埋立場（坑外に設置された埋立処分場をいう。以下同じ。）において処分するときは、のり尻から埋立面までの高さの最大値は三メートル未満とすること。
三 鉱業廃棄物の焼却処分は、廃棄物の処理及び清掃に関する法律（昭和四十五年法律第百三十七号）第十六条の二第一号又は第二号に掲げる方法に従って行う場合を除き、行わないこと。
四 捨石、鉱さい及び沈殿物（それぞれ有害鉱業廃棄物を除く。）以外の鉱業廃棄物は、集積処分を行わないこと。
五 廃酸及び廃アルカリは、埋立処分を行わないこと。
六 有害鉱業廃棄物は、坑内へ埋立処分を行わないこと。
七 捨石、鉱さい、沈殿物若しくはばいじん又は廃プラスチック類の焼却施設において生じた燃え殻のうち、別表第一の一の項の中欄に掲げる物質を含む鉱業廃棄物若しくはこれらを処理したもの又は同表の六の項の中欄に掲げる物質を含む鉱業廃棄物若しくはこれらを処理したものを埋立処分するときは、あらかじめそれぞれ同表の下欄に定める基準に適合するものとし、又は固型化すること。
八 ダイオキシシン類に係る有害鉱業廃棄物又はこれらを処理したものを埋立処分するときは、あらかじめ別表第一の九の項の下欄に定める基準に適合するものとする。
九 廃油（タールピッチ類及び廃ポリ塩化ビフェニル等（廃ポリ塩化ビフェニル及びポリ塩化ビフェニルを含む廃油をいう。以下同じ。）を除く。）を埋立処分するときは、あらかじめ焼却設備を用いて焼却すること。
十 廃ポリ塩化ビフェニル等を埋立処分するときは、あらかじめ焼却設備を用いて焼却し、燃え殻その他の焼却により生ずるものを別表第一の八の項の下欄に定める基準に適合するものとする。
十一 ばいじんを埋立処分するときは、こん包の実施その他のあらかじめ大気中に飛散しないための措置を講ずること。
十二 ポリ塩化ビフェニル汚染物（ポリ塩化ビフェニルが塗布された紙くず又はポリ塩化ビフェニルが付着し、若しくは封入された廃プラスチック類若しくは金属くずをいう。）を埋立処分するときは、次のいずれかの方法により処理すること。
イ あらかじめポリ塩化ビフェニルを除去すること。
ロ あらかじめ焼却設備を用いて焼却し、燃え殻その他の焼却により生ずるものを別表第一の八の項の下欄に定める基準に適合するものとする。
十三 埋立処分が終了した有害鉱業廃棄物の坑外埋立場（内部仕切設備により区画して埋立処分を行う坑外埋立場については、埋立処分が終了した区画）は、速やかに覆いにより閉鎖すること。
十四 埋立処分が終了した坑外埋立場は、覆土又は植栽の実施その他の浸出水又は鉱業廃棄物の流出等による鉱害を防止するための措置を講ずること。
十五 有害鉱業廃棄物の一月ごとの種類別発生量及び運搬及び処分の方法ごとの量並びにその年月日、次号により運搬及び処分を他人に委託する場合にあっては、委託年月日、受託者の氏名又は名称、住所及び許可番号を帳簿に記載し、これを一年ごとに閉鎖し、閉鎖後五年間保存すること。

1.3 全体像

1.3.1 技術実証の範囲

本実証では以下の通り、ポート付きドローンが正常に動作している場合、撮影する映像をリアルタイムに遠隔の事業所に伝送することで従来の現場での監督業務と同程度の管理が可能であるかを検証する正常系と、イレギュラーな事態が発生した場合を想定し、その状況に対して遠隔からの指示等で対処が可能かを検証する非正常系の2つの大項目に分けて実証を行った。

- ① 作業監督者が鉱山施設の現場で行っている安全管理の監督業務の遠隔化（正常系実証）
- ② 作業監督者が鉱山施設の現場で行っている安全管理の監督業務の遠隔化（非正常系実証）

1.3.2 技術実証の方針

本実証では、石炭及び石油天然ガス鉱山において、適切な通信環境を構築し、「ポート付きドローン」を用いた実証を行った。ポート付きドローンが着火源となり得るリスク等も踏まえたうえで鉱山施設の現場で行っている安全管理の監督業務の遠隔からの実施が可能か、検証を行った。活用する技術と技術実証のイメージについて図1に示す。

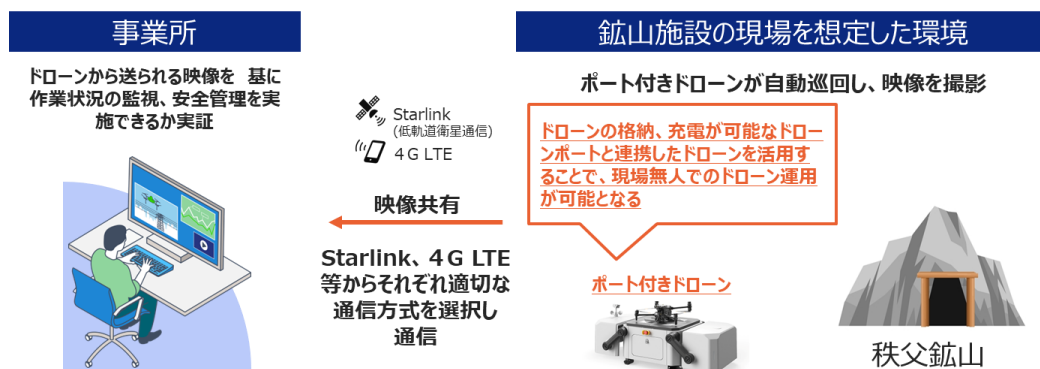


図1 活用する技術と技術実証のイメージ

1.4 実施体制・期間

1.4.1 実施体制

本実証の担当事業者と実施業務及び役割を表4に示す。

表4 担当事業者と実施業務・役割

事業者名	実施業務・役割
KDDI スマートドローン株式会社	全体統括、事業推進、技術実証全体企画、実行、ポート付きドローン及び通信環境構築
パーソルプロセス&テクノロジー株式会社（再委託先）	プロジェクト推進、実証支援

1.4.2 実施期間

本実証の実施期間は、2023年10月13日～2024年1月31日である。

2 技術実証内容の詳細

2.1 技術実証の方法

本実証はポート付きドローンが正常に動作している場合を想定した正常系、イレギュラーな事態が発生した場合を想定した非正常系の2つの大項目に分けて実施した。それぞれについて詳細を示す。

2.1.1 正常系実証の実施概要

正常系実証の実施概要を図2に示す。正常系実証では、ポート付きドローンが正常に動作している場合、撮影する映像をリアルタイムに遠隔の事業所に伝送することで従来の現場での監督業務と同程度の管理が可能であるか、業務の合理化・効率化が可能であるか検証を行った。

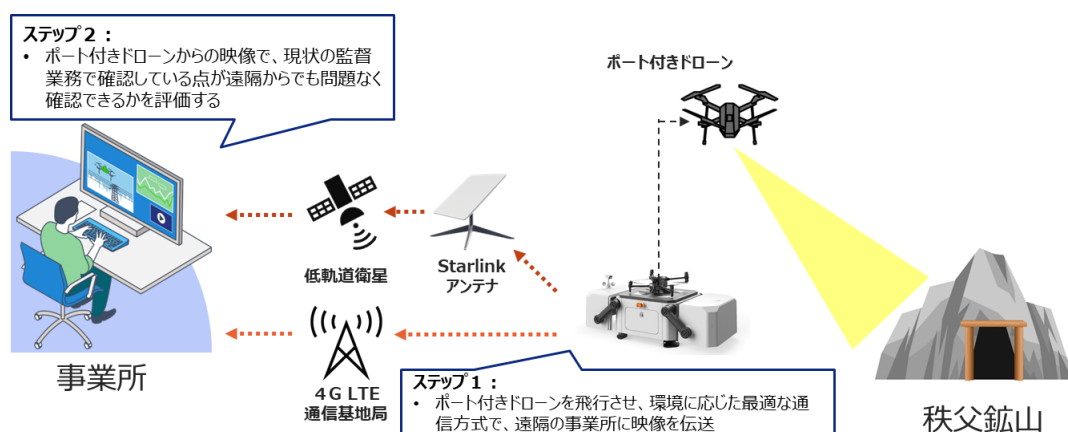


図2 正常系実証における実証概要

(1) 実証ケース

ポート付きドローンによる撮影を実施するにあたり、高度毎に撮影対象がどこまで認識できるか、同じ設定における撮影アングル・動画のズレ幅がどこまであるかを確認する必要があった。そのため、本実証においては、飛行高度とルートの再現性の2つのケースについて確認を行った（表5）。飛行高度については、現地の樹高を配慮し、3パターン程度の飛行高度でのフライトを複数回行い、それぞれにおける、対象物の見え方について整理を行った。ルートの再現性については、同一ルート及び同一設定で2回程度のフライトを実施し、同じ設定で撮影アングル・動画のズレ幅に関して評価を行った。

表5 実証ケースにおける確認項目とパターン

ケース	確認項目	パターン
A 飛行高度	高度毎に撮影対象がどこまで認識できるか	3高度（現地樹高等をもとに決定）
B ルートの再現性	同じ設定における撮影アングル・動画のズレ幅がどこまであるか	同一ルート、設定で2回程度のフライトを実施

(2) 正常系実証における点検項目

鉱業権者である株式会社ニッチツへのヒアリングをもとに、表6の通り、株式会社ニッチツが維持管理を行う雁掛堆積場と第一堆積場という二つの集積場について、集積場における確認項目を明らかにした。各点検項目については、鉱山保安法及び関連規則等における記載に基づき整理をし、鉱業権者へのヒアリングにより点検時の判定基準の確認を行った（表7）。

なお、場内及び周囲水路（山腹水路）点検の項目の一つとして、集積場内の浸潤水位が集積面に対し飽和状態にないかを確認するための、浸潤水位の点検が行われているが、本点検は、浸潤線計測用パイプ内に手動で水面検知用センサーを吊り下げ、センサーが水面についたときの電気抵抗等の変化により水位を計測する手法を採用しているため、本実証ではポート付きドローンの撮影画像による点検の対象外とした。

表6 集積場における点検項目

第一堆積場	雁掛堆積場
<ul style="list-style-type: none"> ・法尻ポンプ設備（配管含む）点検 ・法尻堰堤（集水堰）点検 ・場内及び周囲水路（山腹水路）点検 ・非常排水口点検 ・巡視路落石・倒木確認 	<ul style="list-style-type: none"> ・法面点検 ・場内及び周囲水路（山腹水路）点検 ・非常排水口点検 ・沢水排水路点検 ・巡視路落石・倒木確認

表7 点検項目と点検時の判定基準のまとめ

点検項目	対象	点検時の判定基準
法面点検	法面	<ul style="list-style-type: none"> ・ 法面の陥没、亀裂、はらみ出しがないか ・ 法面の張り、石積み等に損傷や浸食箇所はないか ・ 法面にしみ出し（浸潤箇所）がないか
場内及び周囲水路（山腹水路）点検	水路	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水路コンクリート表面の開き、段差、ひび割れ、鉄骨筋の損傷はないか ・ 場内水路・周囲水路に土砂、石、流木等の妨げになるものや植物の繁茂はないか
	浸潤水位※	<ul style="list-style-type: none"> ・ 浸潤水位に異常はないか
非常排水口点検	非常排水口	<ul style="list-style-type: none"> ・ 非常排水口に土砂・石・流木等の妨げはないか
沢水排水路点検	沢水排水路	<ul style="list-style-type: none"> ・ 沢水排水路に土砂・石・流木等の妨げはないか
法尻ポンプ設備（配管含む）点検	ポンプ設備・配管	<ul style="list-style-type: none"> ・ 沢尻ポンプ設備（配管を含む）は正常に稼働しているか ・ 配管より漏水がないか
法尻堰堤（集水堰）点検	堰堤	<ul style="list-style-type: none"> ・ 法尻堰堤に亀裂、漏水がないか
巡視路落石・倒木確認	道路・落石・倒木	<ul style="list-style-type: none"> ・ 落石・倒木がないか ・ 巡視道路の崩壊がないか

※浸潤水位の点検は、浸潤線計測用パイプ内に手動で水面検知用センサーを吊るして水位を計測するため、ポート付きドローンによる点検対象外とした。

2.1.2 非正常系実証の実施概要

ポート付きドローンの活用にあたり、イレギュラーな事態が発生した場合を想定し、その状況に対して遠隔からの指示等で対処が可能なか検証を行った。図3に非正常系実証における実証概要のイメージを示す。

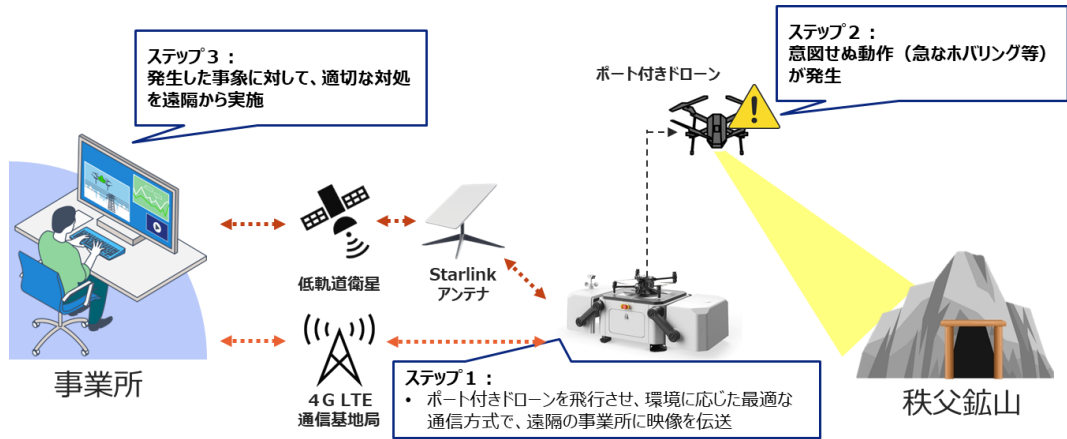


図3 非正常系実証における実証概要

表8に鉱山でのドローン活用において想定されるリスクとその対処策を示す。ドローンが石油や石炭等に接近しうるケースも有り得るという前提のもと、着火につながるリスクと、それを未然に防ぐ、あるいは発生時の被害を最小限にするための対処を列挙し実証可能な項目についてはその有効性を実証した。このうち、障害物の衝突及び自律飛行停止の項目は、安全のため、自社が所有する施設内（コードベースキミツ）において、非正常系実証を実施した。

表8 想定するリスクに対する対処策と実証可否の判断

想定するリスク	対処策	実証可否、内容
自律飛行停止	遠隔からのマニュアル飛行で安全な場所まで退避し着陸	○：遠隔から自律飛行中の一時停止及び安全な場所への退避が問題なく実施できるかを確認する
バッテリー低下	事前に適切なフェールセーフ動作を設定し、安全な場所に着陸	○：バッテリーが閾値以下になるまで飛行させ、フェールセーフが適切に発動されるか確認する
障害物への衝突	衝突防止センサーによる自動停止	○：構造物にドローン機体を近づけ、衝突防止センサーが適切に発動するかを確認する
電波途絶	自律飛行を継続しながら電波の再接続を試みる	×：電波途絶環境の再現を安全に行うことが難しいため実証不可
GPS ロスト	着火リスクのあるものの、上空の飛行ルートを設定の上、GPS ロスト発生時はその場に自動着陸	×：GPS ロストを意図的に発生させることは困難
石油等への接触による着火	防爆性を有するドローンを利用する	×：現状防爆性を有するポート付きドローンはまだ実用レベルに至っていない

2.1.3 活用した技術の概要

本実証（正常系実証・非正常系実証）で活用した製品・サービスを示す。前述の実証項目を実施するにあたり、本実証において前提として定められた条件及び必要な技術の機能（詳細は2.3.1）並びに秩父鉦山の環境を踏まえて、以下のとおり活用する技術を選択した。

(1) ポート付きドローン

ポート付きドローンは、ドローンの自動充電や格納が可能なポートとそれと連携するドローンである。ポートを設置することで、現地に人がいなくてもインターネット通信を用いて、遠隔で自律飛行制御（離陸から運航、着陸）、充電、撮影した写真のアップロードが可能となる。ポート付きドローンの遠隔運用の例については図4に示す。

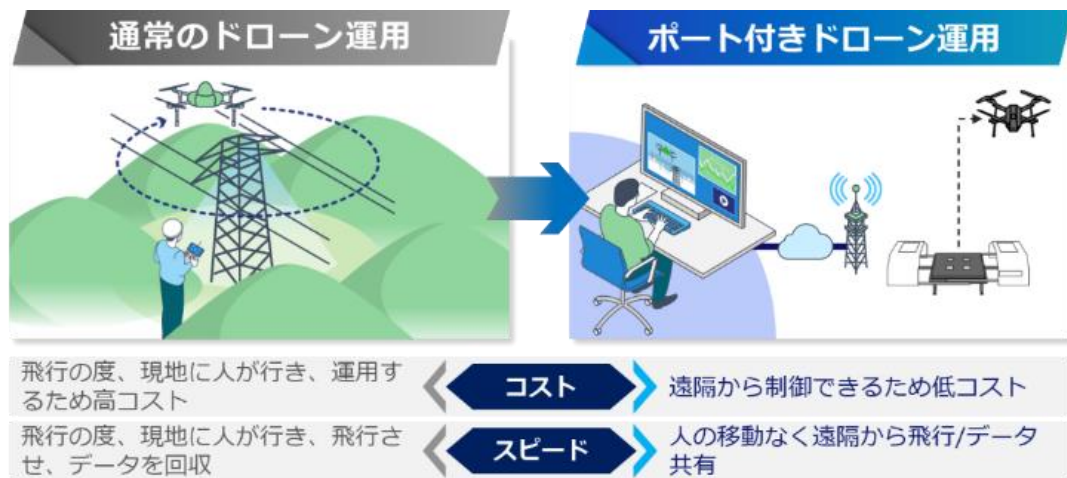


図4 ポート付きドローンの遠隔運用例

(ア) ポート付きドローンの選定

今回代替する業務の現場環境、管理対象を考慮し、すでに市場に展開されている3機種を、機種候補として選択した（表9）。秩父鉦山の現地視察の結果、集積場内は4G LTEの電波状況が弱く、ドローンの飛行範囲が広域になることから、Matrice 30TとDJI Dockの組み合わせを採用した。

表9 ポート付きドローンの比較

	G6.0 & NEST	Matrice30T & DJI Dock	Skydio X2 & Skydio Dock
イメージ			
特徴	機体自体に LTE を搭載しており、長距離の飛行が可能（約2km）LV3 許可・実運用実績あり。	高い機体性能の Matrice30 を用いた Dock。Dock 自体にも風速計や降雨計・ネットワーク RTK のモジュールがつくなど、高機能。	小型の機体と Dock かつ、Visual-SLAM による高い衝突回避性能が特徴。Wi-Fi の接続範囲がある為、一定の範囲の飛行に向いている。
サイズ/重量/IP	閉じた状態： 1,055 x 1,115 x 783mm 開いた状態： 2,383 x 1,115 x 783mm 重量：92kg IP54	閉じた状態： 800 x 885 x 1,065 mm 開いた状態： 1,675 x 885 x 735 mm 重量：105kg IP55	土台あり： 690 x 639 x 882mm 土台なし： 620 x 640 x 330mm 重量：46.3kg（土台含む） IP56
GCS / 通信方式	スマートドローン/ 4G LTE	FlightHub 2/Wi-Fi	Skydio Remote OPS/Wi-Fi
選定結果と理由	× 集積場内は LTE の電波状況が悪く飛行が困難であるため	○ ポートとドローン間に障害物がなければ RTK を通じて位置精度高く飛行することが可能であるため	× Wi-Fi の接続範囲でカバーできないため

ポート付きドローン G6.0&Nest



機体自身が4G LTEで通信し、長距離の飛行が可能
レベル3飛行許可・実運用実績多数あり

ドローンスペック	
機体サイズ	600mm(機体軸間)
重量	3.1kg
飛行時間	30分間
ペイロード	RGB/Thermalカメラ(標準) 10倍ズームカメラ(オプション)
位置精度	(RTK利用) 垂直 ±0.1m, 水平 ±0.1m (RTK非利用) 垂直 ±0.5m, 水平 ±1.0m
防水防塵性能	IP54
耐風性能	ビューフオート風力階級 5 (10m/s)
動作温度	-10°C ~ 40°C

ポートスペック	
サイズ (W) x (L) x (H)	[閉じた状態]
	1,055 x 1,115 x 783mm
重量	[開いた状態]
	2,383 x 1,115 x 783mm
防水防塵性能	IP54
動作温度	-10°C ~ 40°C

ポート付きドローン Matrice30T & DJI Dock



高い機体性能のMatrice30Tを用いたDock
Dock自体にも風速計や降雨計・RTKのモジュールが
つくなど、高機能。

ドローンスペック	
機体サイズ	470 x 585 x 215 mm
重量	3.8kg
飛行時間	41分間
ペイロード	ズームカメラ 広角カメラ サーマルカメラ
位置精度	(RTK利用) 垂直 ±0.1m, 水平 ±0.1m (RTK非利用) 垂直 ±0.5m, 水平 ±1.5m
防水防塵性能	IP55
耐風性能	15 m/s, 12 m/s(離着陸中)
動作温度	-20°C ~ 50°C

ポートスペック	
サイズ (W) x (L) x (H)	[閉じた状態]
	800 x 885 x 1,065mm
重量	[開いた状態]
	1,675 x 885 x 735mm
防水防塵性能	IP55
動作温度	-35°C ~ 50°C

ポート付きドローン SkydioX2 & Skydio Dock



小型の機体とDockかつ、Visual-SLAMによる高い
衝突回避性能が特徴
Wi-fiの接続範囲がある為、一定の範囲での飛行向き

ドローンスペック	
機体サイズ	660 x 560 x 200 mm
重量	1.3kg
飛行時間	35分間
ペイロード	可視カメラ サーマルカメラ
位置精度	GPS+VIO+SLAMによる位置補正
防水防塵性能	-
耐風性能	10m/s
動作温度	-10°C ~ 43°C

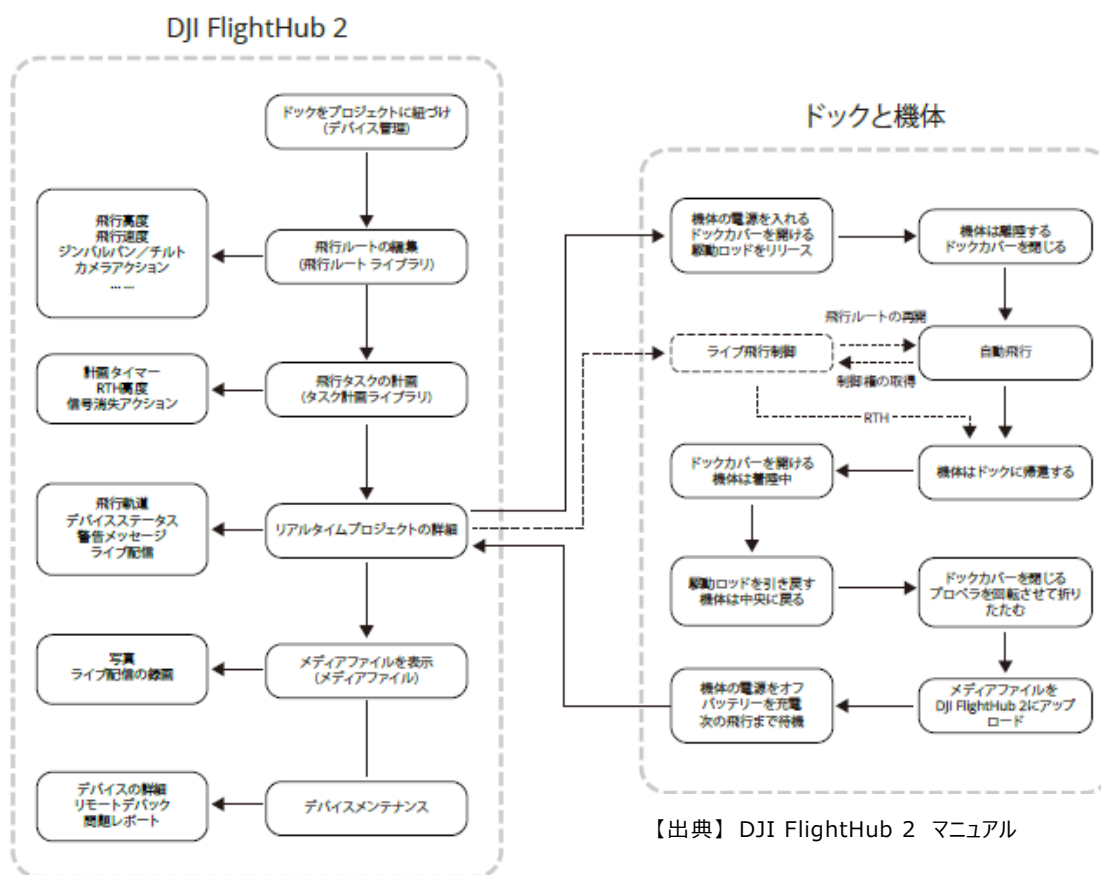
ポートスペック	
サイズ (W) x (L) x (H)	[土台あり]
	690 x 639 x 882mm
重量	[土台なし]
	620 x 640 x 330mm
防水防塵性能	IP56
動作温度	動作時: -20 ~ 43°C スタンバイ: -40 ~ 60°C

図5 ポート付きドローンの仕様詳細

(イ) 選定したポート付きドローンの遠隔制御の手順

本実証で用いたポート付きドローン (Matrice30T & DJI Dock)はクラウドベースの機体のタスク管理プラットフォームであるDJI FlightHub 2を用いて、飛行ルート計画、飛行タスク計画の設定、ライブ配信の表示、メディアファイルのアップロード及びダウンロードの実行が可能である。DJI FlightHub 2を用いたポート付きドローンの遠隔制御の手順を図6に示す。

本実証では、ポート位置から離れた場所に立地する秩父事業所内会議室から飛行ルート開始の操作を行い、ドローンが取得したライブ画像をモニターしながら、安全に自律飛行を実施できることを確認した (図7)。



【出典】 DJI FlightHub 2 マニュアル

図6 自律飛行の遠隔運用の手順



図7 遠隔運用の様子

(2) Starlink（低軌道衛星通信）

Starlinkとポート付きドローンを接続することにより、これまでモバイル通信の提供が困難とされていた山間部や島しょ地域においても、空が開けていれば、インターネットの接続が可能になる。

STARLINK BUSINESS サービス仕様

法人サービスの主な仕様 「ビジネス固定設置/ビジネス国内移設」プランの場合	
期待される下り通信速度	40~220 Mbps (※1)
期待される上り通信速度	8~25 Mbps (※1)
遅延	25-50 ミリ秒 (※1)
月間高速データ利用量	ビジネス固定設置プラン：2TByte ビジネス国内移設プラン：1TByte (※2)



Starlinkキット外観

※1 天候や回線の輻輳状況など様々な理由によって制限を受ける可能性があります。詳細は重要事項説明スライドをご覧ください。
 ※2 通信量が上り下り合計累積利用量を超えると、上り下りともに1Mbpsへの速度制限がかかります。速度制限後の通信量の上限はございません。
 またビジネス固定設置プランの月間高速データ利用量は、2023年4月分より2TBに増加となりました。

STARLINK BUSINESS 端末仕様

Starlinkキット HPタイプの主な仕様	
アンテナ板サイズ	575 x 511 mm
アンテナ視野	140°
重量	約20kg (※1)
消費電力	110-150W
電源電圧	100-240V
耐環境性	IP56 (強噴流水耐性) (※2)
動作温度	-30℃~50℃
融雪機能	最大75mm/時
耐風速	80km/hまで
標準Wi-Fiルーターへの同時接続台数	128台



Starlinkキット外観

※1 重量は付属品等全てを含めた納品時の重量です。
 ※2 IP56とは全ての方向からの噴水流耐性を有し、かつ粉塵の侵入がない耐環境性を指します。なお本製品の有する性能は試験環境下での確認であり、実際の使用時すべての状況での動作を保証するものではありません。また、無破損・無故障を保証するものではありません。

図8 Starlink Business の仕様

(3) 本実証のシステム構成

図9に低軌道衛星通信を用いた場合のシステム構成、図10に4G LTE を用いた場合のシステム構成を示す。いずれの場合も、ドローンポート及び通信機器（Starlink または4G LTE）への電力供給は必須である。

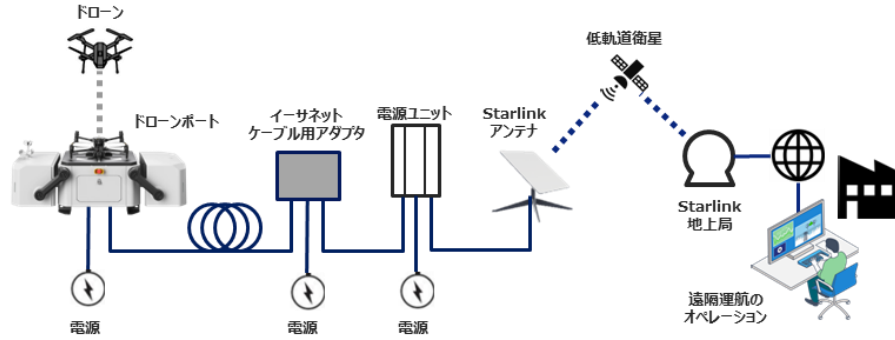


図9 低軌道衛星通信を用いたポート付きドローンの遠隔運航のシステム構成

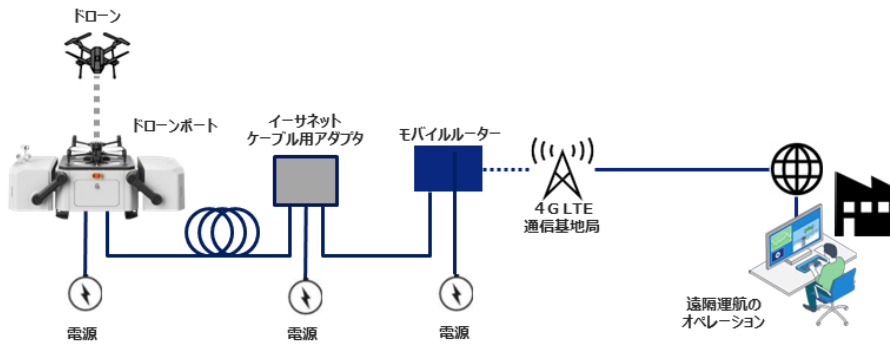
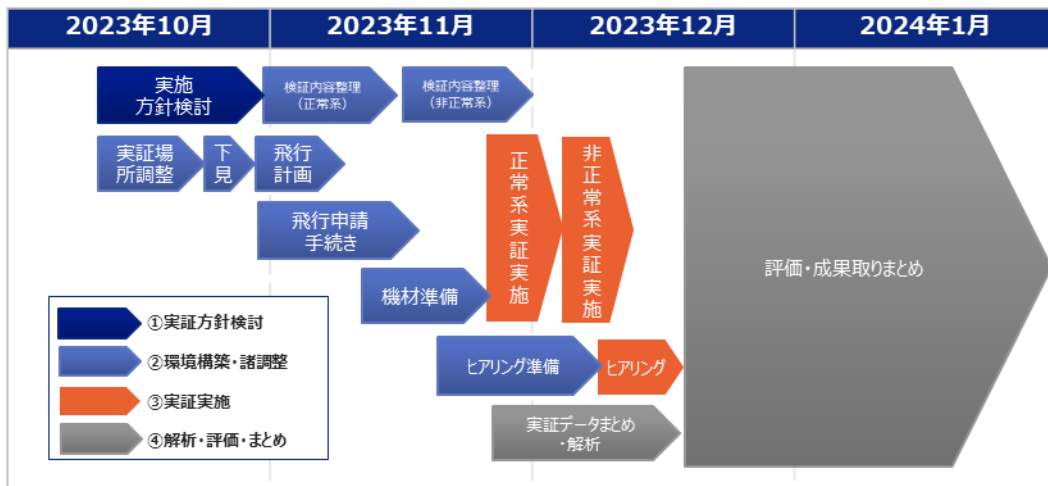


図10 4G LTE を用いたポート付きドローンの遠隔運航のシステム構成

2.1.4 スケジュール

本実証は、表10のスケジュールに従い実施した。

表10 本実証のスケジュール



2.2 実施場所等

2.2.1 秩父鉱山

(1) 実証場所の選定

本実証の目的を鑑み、表11に示す環境下にある秩父鉱山を、有用な実証を行える場所として選定した。

秩父鉱山

- 埼玉県秩父市の西方、中津川上流に位置する休止鉱山であり、1978年まで各種金属鉱物を生産した。鉱業権者である株式会社ニッチツが維持管理を行っており、雁掛堆積場と第一堆積場という二つの集積場を有し、採掘終了後、集積場の保守・点検、坑廃水処理、緑化事業を行っている。（別添資料2, 3 参照）

表11 鉱山で考えられる環境影響

気象条件	強い風速や突風 非常に高いまたは低い気温
高低差	フライトルートに高低差が必要となる
機械設備	作業で使われているクレーン等の設備が存在する
弱電界エリア	携帯通信のエリア圏外
所在地	山間部に位置し、樹木で点検対象が覆われる

(2) 現地視察

飛行計画及び飛行ルート作成にあたり、点検場所と点検内容の確認及び電波状況の確認のため、2023年10月26日に株式会社ニッチツの協力のもと、秩父鉱山の雁掛堆積場及び第一堆積場の視察を行った（表12）。

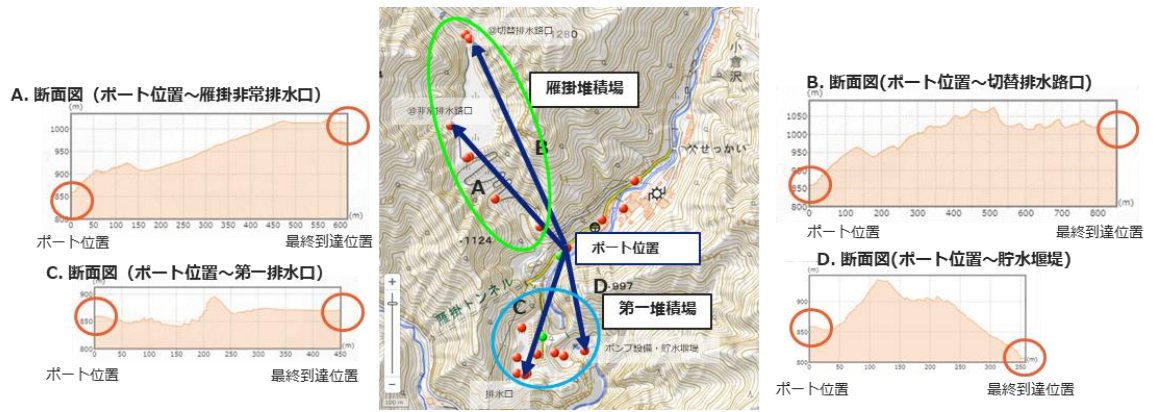
表12 秩父鉱山現地視察概要

日時	2023年10月26日 10:00~12:30
場所	秩父鉱山 株式会社ニッチツ秩父事業所 埼玉県秩父市中津川420
目的	ポート位置候補の確認、点検場所ごとの点検内容の確認
<p>概要</p> <p>1. ポート位置</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ポート位置候補は県道沿い空き地とした。 ・ ポート位置から雁掛堆積場及び第一堆積場は山を隔てることからドローンの飛行可能距離が通常よりも縮小する可能性があることが明らかになった（表13）。 <p>2. 点検内容・対象</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 点検内容：ドローン画像で確認可能な項目を明らかにするため、点検項目ごとの判断基準を確認した。 ・ 点検対象：点検対象と点検項目、周辺の障害物（樹木・構造物などで視野がさえぎられていないか）、位置（緯度経度・標高）を確認した。（表14、15参照）。 ・ 危険区域：足場の悪い場所や引火性の物の蒸気又は可燃性ガスが爆発の危険のある濃度に達するおそれのある箇所がないことを確認した。 ・ 電波状況：ドローンの電波範囲、4G LTE の電波状況を確認した。 ・ その他：雁掛堆積場・第一堆積場入口に立入禁止措置の柵が設置されていることを確認した。 	

本視察により明らかになった懸念事項は表13の通りである。実証当日は電波状況を手動飛行で確認しながら、飛行ルートを作成した。

表13 視察により明らかになった懸念事項と対策

懸念事項	対策
集積場周辺の山の斜面により電波が妨げられることから、ドローンの飛行可能距離が通常よりも縮小する可能性がある。（電波発信元のポートの設置場所は水平が保たれ電源を確保できる場所であり、周囲に障害物がないことが望ましいが、いずれも満たされる場所が極めて限定的である）	<ul style="list-style-type: none"> ・ ポート位置、飛行高度、飛行ルートを、実証1日目に手動飛行で確認し設定した上で、自動飛行を実施する ・ 電波が弱く、自動飛行が困難と判断されたエリアは手動でドローンを飛ばし撮影する



【出典】国土地理院地図を利用し作成

図11 ポート位置から各集積場への断面図



【出典】国土地理院地図を利用し作成

図12 秩父鉦山における雁掛堆積場と第一堆積場の点検場所

表14 雁掛堆積場における点検場所と正常系実証における点検項目

場所	写真	鉱山関係者による点検ポイント	点検項目				
			法面点検	場内及び周囲水路(山腹水路)点検	非常排水口点検	沢水排水路点検	巡視路落石・倒木確認
①雁掛堆積場道路		・倒木・落石はないか	○				○
②堤体水路		・堤体両端にある水路の詰まりはないか		○			
③非常用排水路口		・土砂・石・流木等の妨げはないか			○		
④(1)切替排水路口		・土砂・石・流木等の妨げはないか				○	
④(2)切替排水路堰堤		・土砂・石・流木等の妨げはないか				○	

表15 第一堆積場における点検場所と正常系実証における点検項目

場所	写真	鉱山関係者による点検ポイント	点検項目				
			法尻ポンプ設備(配管を含む)点検	法尻堰堤(集水堰)点検	場内及び周囲水路(山腹水路)点検	非常排水口点検	巡視路落石・倒木確認
⑤場内排水口		・捨石、鉱さい、沈殿物が集積していないか				○	
⑥場内排水口		・捨石、鉱さい、沈殿物が集積していないか			○		
⑦山腹水路		・捨石、鉱さい、沈殿物が集積していないか			○		
⑧配管		・配管から漏水していないか	○				○
⑨貯水堰堤		・堰堤が破損していないか ・堰堤から坑廃水があふれ出していないか		○			

(3) 正常系実証及び非正常系実証

2023年11月27日～29日に株式会社ニッチツの協力のもと、秩父鉦山の雁掛堆積場及び第一堆積場において、正常系実証及び非正常系実証を行った。実証概要、実証の様子をそれぞれ表16、図13に示す。

表16 秩父鉦山（正常系実証、非正常系実証）実証概要

日時	2023年11月27日 14:00～17:00 機材設置・接続テスト 2023年11月28日 10:00～17:00 実証1日目 カメラの画角等の設定、飛行ルート作成(雁掛堆積場・第一堆積場) 2023年11月29日 9:00～16:00 実証2日目 自律飛行(雁掛堆積場・第一堆積場)
場所	秩父鉦山 株式会社ニッチツ秩父事業所 埼玉県秩父市中津川420
目的	秩父鉦山においてポート付きドローンを用いて雁掛堆積場及び第一堆積場における点検場所を撮影する
概要	<p>概要</p> <p>1. 正常系実証：</p> <ul style="list-style-type: none"> Starlink 及び4G LTE それぞれでネット接続を試み、遠隔の事業所での操作及び映像伝送のための最適な通信方式を確認した（図13a）。 点検場所ごとに、飛行高度別に、ポート付きドローンの撮影位置を設定し、カメラの画角を調整の上、飛行ルートを作成した。 ポート位置から離れた場所に立地する秩父事業所内会議室から、飛行ルート開始の操作を行い、安全に遠隔運航できることを確認した（図13 b から d）。 第一堆積場では、100、120、140m の高度別に同一ルート・設定で各2回飛行し、ルートの再現性を評価した(図13e)。 雁掛堆積場では、周辺の山の斜面がポートまたは送信機からドローンへ送信される電波を遮断するため、リアルタイムの撮影画像表示が困難であることから、電波ロストの危険性が高いため、安全を優先し、雁掛積場内は高度100m のみ飛行を行った(図13f)。 <p>2. 非正常系実証：</p> <ul style="list-style-type: none"> 自律飛行の停止：自律飛行中の一時停止を安全に実施できることを確認した。 バッテリー低下：バッテリーが閾値以下になるまで飛行させ、フェールセーフが適切に発動し、遠隔からのイレギュラーの事態の発生に対して対処可能であることを確認した。 <p>※非正常系の障害物の衝突の項目は、安全のため、秩父鉦山で行わず、自社施設の敷地内（君津）で実施することとした。</p>



a. ポート付きドローンと Starlink



b. ポート付きドローンの離陸の様子



c. 第一堆積場の飛行ルート



d. 遠隔飛行を制御する様子



e. 第一堆積場の排水口の撮影像



f. 雁掛堆積場の堤体の撮影像

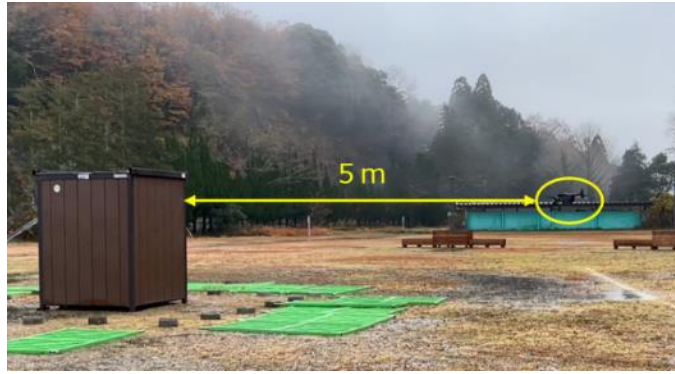
図13 秩父鉾山における正常系実証の様子

2.2.2 コードベースキミツ

2023年12月12日にコードベースキミツにて非正常系実証を実施した。本非正常系実証では秩父鉦山で安全のため実施しなかった障害物の衝突回避の項目に加え、自律飛行の停止の項目（介入操作を含む）及び、熱分布を可視化する赤外線画像（サーモグラフィ）の撮影を行った。実施概要及び実施の様子を表17、図14に示す。

表17 コードベースキミツにおける非正常系実証概要

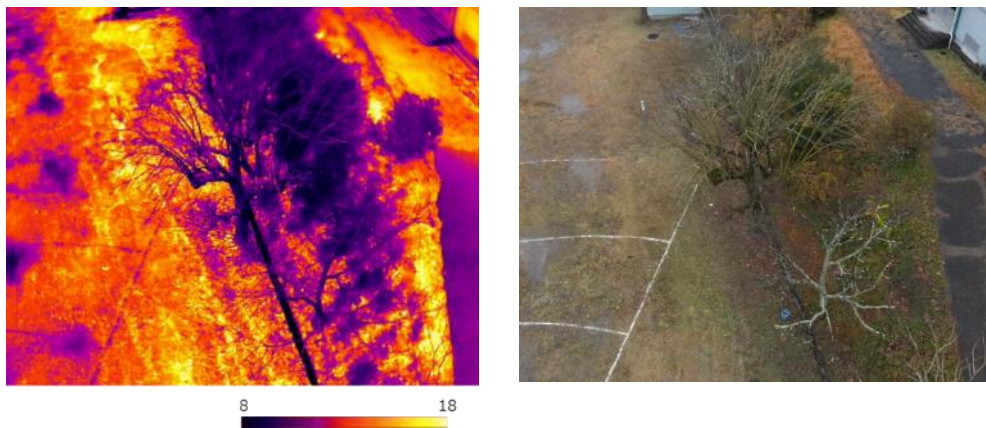
日時	2023年12月12日 10:00~17:00
場所	コードベースキミツ 千葉県君津市広岡1000
目的	秩父鉦山にて実施できなかった非正常系実証を実施する。 赤外線カメラ画像を取得し、樹木の下の水路の見え方を確認する。
概要	<p>1. 非正常系実証</p> <ul style="list-style-type: none">・ 障害物の衝突回避：前後左右からドローンを障害物に近づけ、対象物からの距離が設定距離（5m）以下の場合、安全に停止することを確認した（図14a）。・ 自律飛行の停止：遠隔から自律飛行中の一時停止を行ったうえで、PC から介入操作を行った上で、安全に自律飛行に戻せることを確認した（図14b）。 <p>2. 赤外線カメラ画像の撮影</p> <ul style="list-style-type: none">・ 雨上がりのグラウンドで樹木に覆われた水路、水たまり、落葉樹及び常緑樹の赤外線撮影モードでドローン撮影を行った（図14c）。



a.障害物の衝突回避の実証の様子



b.自律飛行停止・介入操作の実証の様子（左：自律飛行中の飛行ルート、中：介入操作に切替後の飛行ルート、右：介入操作を行った際の操作画面）



c.赤外線画像の取得の様子（左：熱温度を示す赤外線画像（表示レンジ 8~18℃）、右：通常光画像）

図14 君津における非正常系実証の様子

2.3 実施条件等

2.3.1 実証の前提条件及び技術に必要な機能等

実証の前提条件及び技術要件とその対応関係を表18に示す。

表18 実証の前提条件及び技術要件との対応表

※ 凡例 ○：対応可、△：一部対応可

実証の前提条件及び技術要件	対応
(1) 監督業務を実施する機関において導入可能な、汎用性の高い技術であること。	○：既に建設現場等でも活用されているポート付きドローンを活用
(2) 電波環境の悪い場所も想定して、電波増幅に係る技術、オフライン環境下でも利用可能な技術を活用する等、電波環境に関する必要な措置を講じること。	○：Starlinkを活用し、4G LTE エリア外でも対応
(3) 遠隔で業務を行う場合でも、作業監督者は鉱山敷地内又は鉱山敷地付近に位置する事業所内に滞在することを想定すること。	○：作業監督者は鉱山敷地内又は鉱山敷地付近に位置する事業所内に滞在することを想定し、実証を実施する
(4) 現場で監督業務を行う場合と同等以上の実効性・安全性を有すること。	○：点検にも活用可能なカメラ性能を有しており、現状の監督業務と同等以上の実効性・安全性を有する想定
(5) 実証対象となる監督業務については、別添資料1を参考とすること。	○：別添資料1を参考とし、実証対象とする監督業務を選定
(6) センサーやカメラ等を活用する場合、監督対象の作業内容に応じて必要な解像度や情報の種類が異なることが想定されるが、その場合一部の作業にのみ対応可能な技術の提案であってもよい。なお、そのような提案となる場合、どの作業に対応可能であるかを提案段階で明らかにすること。	○：鉱山保安法施行規則第43条が定める具体的な管理・監督業務のうち、鉱業廃棄物処分に係る監督及び有害鉱業廃棄物の「埋立処分」等に関する監督業務対象とした実証を実施する
(7) 石炭及び石油天然ガス鉱山において、使用することを想定する場合は、通常の使用状態において爆発の着火源とならない構造であること。	△：ドローンは着火源となりうるリスクがあるため現地状況やリスクを正確に把握したうえで安全な運用手法、技術を整理した(想定するリスクとその対処及び実証内容について3.2.6(1)⑥で整理した)

2.3.2 各種手続

ドローンの飛行にあたり行政手続が必要であるか問い合わせの上、必要に応じて以下の手続を行った。

表19 各種手続

申請先/問い合わせ先	内容
東京航空局	無人航空機を屋外で飛行させるために、航空法第132条の85、86に基づく「飛行許可・承認手続」に基づき、特定飛行の申請手続きを行い、承認を得た。 ・今回申請した特定飛行の内容：目視外飛行、人物30m ・承認日：2023年11月24日
秩父市地域整備部 都市計画課	自治体におけるドローンの飛行の規制の有無を確認した。秩父市地域整備部 都市計画課に問い合わせ、今回飛行する領域はドローンの飛行を規制する都市公園に該当せず、株式会社ニッチツの敷地内であることから、届出不要であることを確認した。
環境庁奥多摩自然保護管事務所	秩父多摩甲斐国立公園のエリア内であるが、所有地内であれば届出不要であることを確認した。
関東森林管理局	国有林に入林しないため届出不要であることを確認した。

3 技術実証の結果

3.1 結果の評価ポイント・方法

3.1.1 確認方針

(1) 正常系実証

各集積場の確認項目を複数の高度で飛行させたドローンで撮影して、データ（写真、映像）の取得可否を確認した（表20）。

表20 正常系実証の確認方針

パターン	飛行高度	確認項目									
		雁掛堆積場					第一堆積場				
		法面点検	場内及び 周囲水路 (山腹水路)点検	非常排水 口点検	沢水排水 路点検	巡視路落 石・倒木確 認	法尻ポンプ 設備(配 管含む) 点検	法尻堰堤 (集水 堰)点検	場内及び 周囲水路 (山腹水路)点検	非常排出 水路口点 検	巡視路落 石・倒木確 認
パターンA	100m	①:可・非 ②:可・非	①:可・非 ②:可・非	①:可・非 ②:可・非	①:可・非 ②:可・非	①:可・非 ②:可・非	①:可・非 ②:可・非	①:可・非 ②:可・非	①:可・非 ②:可・非	①:可・非 ②:可・非	①:可・非 ②:可・非
パターンB	120m	①:可・非 ②:可・非	①:可・非 ②:可・非	①:可・非 ②:可・非	①:可・非 ②:可・非	①:可・非 ②:可・非	①:可・非 ②:可・非	①:可・非 ②:可・非	①:可・非 ②:可・非	①:可・非 ②:可・非	①:可・非 ②:可・非
パターンC	140m	①:可・非 ②:可・非	①:可・非 ②:可・非	①:可・非 ②:可・非	①:可・非 ②:可・非	①:可・非 ②:可・非	①:可・非 ②:可・非	①:可・非 ②:可・非	①:可・非 ②:可・非	①:可・非 ②:可・非	①:可・非 ②:可・非

(2) 非正常系実証

想定される各リスクに対して、問題なく想定通りの動作が行われるかを確認した（表21）。

表21 非正常系実証の確認方針

想定するリスク	実証内容	確認項目 (問題なく想定通りの動作をしたか)
自律飛行停止	遠隔から自律飛行中の一時停止および安全な場所への回避が問題なく実施できるかを確認する	OK / NG
バッテリー低下	バッテリーが閾値以下になるまで飛行させ、フェールセーフが適切に発動されるかを確認する	OK / NG
障害物への衝突	構造物にドローン機体を近づけ、衝突防止センサが適切に発動するかを確認する	OK / NG

3.1.2 確認方針（机上検討、ヒアリング等）

管理・監督対象のうち、今回のドローン撮影で直接の撮影が可能なのは鉱山保安法施行規則18条14号が定める項目と考えられる（表3）。さらに、同条に定められるその他の項目については、正常系実証において撮影したデータを基に、鉱業権者へのヒアリングや各種調査等を踏まえて、同様の見え方、解像度であれば代替に資するかを確認した。

3.1.3 結果に基づく技術の評価方針

表22に示す通り、本実証の目的を達成するために必要と考えられる評価項目について、正常系実証の結果、非正常系実証の結果、机上検討、及び、ヒアリング等をもとに評価項目ごとに評価指標を設定し、定量的及び定性的に評価を行った。

表22 各評価項目に対応する評価方法・評価指標

評価項目	評価方法	評価指標
①現場で監督業務を行う場合と同等以上の実効性を有しているか	正常系の実証結果、机上検討、ヒアリング等をもとに評価	<ul style="list-style-type: none"> 管理監督が必要な要素のうち、ドローンによる撮影で代替が可能と考えられる項目が明確化されており、その項目のうち、代替可能な項目の割合を算出し、実証内容の評価を行う。
②監督業務を実施する機関において導入可能な、汎用性の高い技術であるか	非正常系の実証結果、机上検討、ヒアリング等をもとに評価	<ul style="list-style-type: none"> 監督業務の現場への導入を妨げる要因が解消されているか。または、導入不可能な条件がある場合、それらが明確化されているか。 従来手法（一部の鉱山の現行手法を例示的に取り上げる）と比較し、発生する費用が削減されるか。
③現場で監督業務を行う場合と同等以上の安全性を有しているか	非正常系の実証結果、机上検討、ヒアリング等をもとに評価	<ul style="list-style-type: none"> 既存のリスクを軽減・解消できているか。 新たに生じたリスクとインパクトについて評価できているか。
④誰がいつ実施しても、同水準のデータ取得・出力が可能か	正常系の実証結果、机上検討、ヒアリング等をもとに評価	<ul style="list-style-type: none"> 複数回実施した場合、アウトプットの品質（④で評価）の変動はどの程度か。
⑤電波環境の悪い場所も想定して、電波増幅に係る技術、オフライン環境下でも利用可能な技術を活用する等、電波環境に関する必要な措置を講じられているか	正常系の実証結果、机上検討、ヒアリング等をもとに評価	<ul style="list-style-type: none"> Starlink, 4G LTEを活用した場合に通信可能なエリア・条件について明確化されているか。
⑥通常の使用状態において爆発の着火源とならない構造であるか	非正常系の実証結果、机上検討、ヒアリング等をもとに評価	<ul style="list-style-type: none"> 爆発の着火源となる危険性について検討されているか。
⑦実際の鉱山施設で活用可能な技術であるか	非正常系の実証結果、机上検討、ヒアリング等をもとに評価	<ul style="list-style-type: none"> 実際の鉱山施設での活用を妨げる要因があると思われる場合、その詳細と考えられる対応策について検討されているか。

3.2 結果及び評価・分析

3.2.1 正常系実証の結果

(1) 通信方式の比較

本実証で用いたポート付きドローン (Matrice30T & DJI Dock)はクラウドベースの機体のタスク管理プラットフォームである DJI FlightHub 2を用いることにより自律飛行が可能となる。表22の⑤を評価するために、ドローンポートのインターネット接続について、環境に応じた最適な通信方式の比較を行った (表22)。

(ア) Starlink

Starlink を用いてドローンポートのインターネット接続を試みたところ、通信が遮断され、飛行開始を妨げられる状況が発生した。(Starlink 接続による飛行開始成功率31%; 飛行試行回数13回中、4回成功)。Starlink のアプリ¹ を用いて、障害物の影響や通信断の発生割合等を記録したところ、3分間に複数回通信が遮断されており、接続状態が不安定であることが明らかになった。(図15b)。Starlink のアンテナ設置位置の北西側に位置する切り立った山の斜面が低軌道衛星の捕捉を阻んでいたことから、アンテナの設置要件が十分に満たされていないことが明らかになった (図15a)。

(イ) 4G LTE

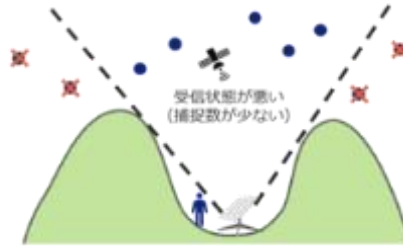
事業所内に基地局を有する4G LTE にモバイルルーターを用いてインターネット接続し、自律飛行を行った。4G LTE でインターネット接続した場合、通信断の発生は無く、自律飛行の開始成功率は100% (飛行試行回数4回中4回成功)であった。

表23 通信方式の比較

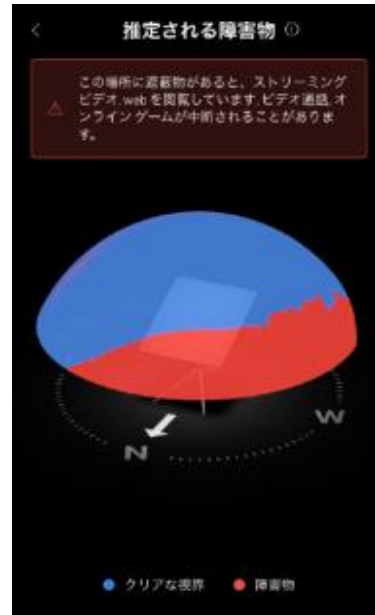
項目	Starlink	4G LTE
アップロード速度	1-2 Mbps	500K~1Mbps
切断頻度	数分に1回遮断	無し

¹ Starlink iOS 版 (発行元 : Space X)

<https://apps.apple.com/jp/app/starlink/id1537177988>



a. Starlink のアンテナ設置場所



b. Starlink の通信状況

図15 通信方式の比較

(2) ドローン画像による点検の代替可能性評価

各集積場の確認項目を複数の高度で飛行させたドローンで撮影し、データ（写真、映像）の取得可否を確認した。ポート付きドローンによる画像は現場で監督業務を行う場合と同等以上の実効性があるか否かを鉱業権者の確認も得つつ評価した。

(ア) 雁掛堆積場

雁掛堆積場では、周辺の山の斜面がポートまたは送信機からドローンへ送信される電波を遮断するため、リアルタイムの撮影画像表示が困難であることがテスト飛行で明らかになった。電波ロストの危険性が高いため、安全を優先し、雁掛堆積場内は高度100mのみ飛行を行い、撮影を行った。図16に飛行ルートと撮影対象を示す。

ドローンで取得した画像が現場で監督業務を行う場合と同等以上の実効性があるか否かを、鉱業権者にヒアリングし評価を行った結果を表24に示し、点検場所ごとの画像と評価の詳細を表26から30に示す。

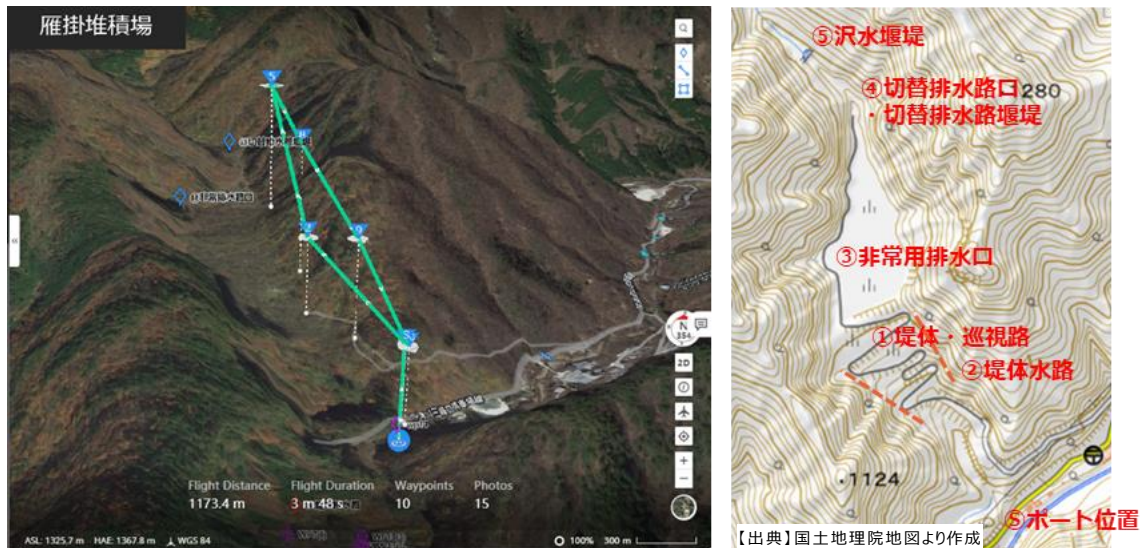


図16 雁掛堆積場の飛行ルート（左：自律飛行の飛行ルート、右：撮影対象の場所）

(イ) 第一堆積場

第一堆積場では、100、120、140mの高度別に飛行ルートを作成し、高度別に同一飛行ルート及び同一設定でそれぞれ2回飛行を行った。ドローンで取得した画像が現場で監督業務を行う場合と同等以上の実効性があるか否かを鉱業権者にヒアリングした結果を表25に示し、点検場所ごとの高度別撮影画像と評価の詳細を表31から36に示す。

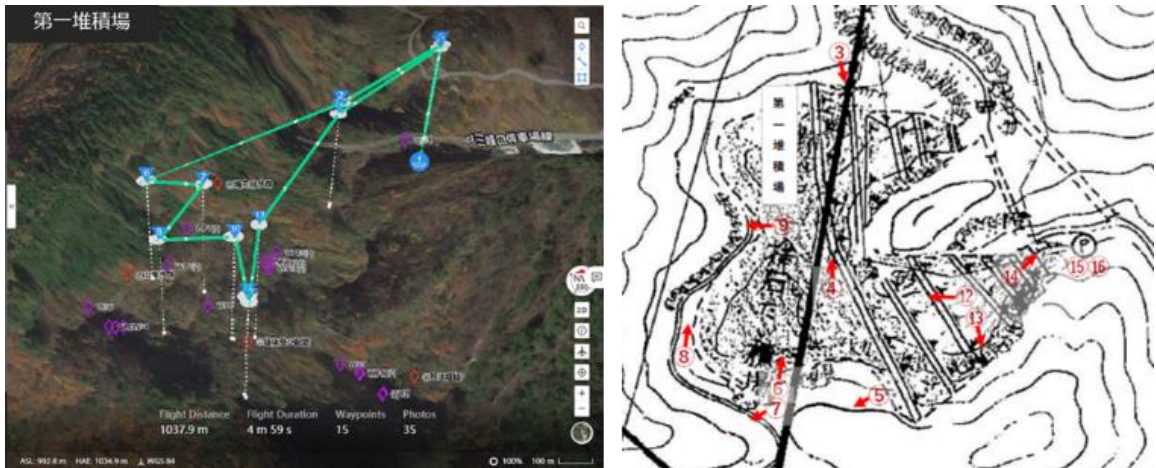


図17 第一堆積場の飛行ルート（左：自律飛行の飛行ルート、右：撮影対象の場所）

(3) 再現性評価

同一飛行ルートで飛行し撮影した場合の再現性を評価するため、ルートの再現性と撮影画像の再現性の評価を行った。

(ア) ルートの再現性

設定ルートの再現性を評価するため、自律飛行時の各ウェイポイント²におけるカメラの位置精度（緯度・経度）を確認した。第一堆積場において高度別にそれぞれ2回取得した画像データより位置情報を抽出した結果を表37から39に示す。1回目、2回目の緯度及び経度から2地点間の距離を、国土地理院の「距離と方位角の計算」[3]を用いて高度別の各点検場所の位置ズレの平均値と標準偏差を算出した。高度100mの場合、平均6.2cm（標準偏差4.2cm）、高度120mの場合、平均7.0cm（標準偏差4.1cm）、高度140mの場合、平均9.0cm（標準偏差6.9cm）であった。ドローンポート（DJI Dock）とドローン本体（Matrice 30T）と併用することにより、それぞれに搭載されたRTKモジュールを通じてGNSS信号を受信できるため、ドローン機体をセンチメートル単位の精度で位置制御が可能であることが示された。

(イ) 撮影画像の再現性

撮影画像の再現性を評価するため、第一堆積場において高度別の同一ルートでそれぞれ2回、光学ズーム（35mm 判換算 113~405mm）を用いて点検対象を撮影し、それぞれの画像を比較し同水準のデータ取得・出力できているかを確認した（表31から36の「画像再現性の項目」を参照）。

² ウェイポイントとは機体が飛行する経過点となる場所である。ウェイポイントにおいて、カメラの角度、機体の角度、飛行速度、高度等を指定することにより、自律飛行の飛行ルートを作成することができる。

表24 雁掛堆積場における正常系の確認方針に基づく評価結果

凡例 ○：代替可、△：限定的であるが代替可、×：代替不可






		法面点検	場内及び周囲水路（山腹水路）点検	非常排水口点検	沢水排水路点検	巡視路落石・倒木確認
点検場所		①堤体	②堤体水路	③非常排水口	④切替排水口・堰堤 ⑤沢水堰堤	①巡視路上の落石・倒木
撮影画像						
点検項目		<ul style="list-style-type: none"> 法面の陥没、亀裂、はらみ出しがないか 法面の張り、石積み等に損傷や浸食箇所はないか。 法面にしみ出し（浸潤箇所）がないか 	<ul style="list-style-type: none"> 水路コンクリート表面の開き、段差、ひび割れ、鉄骨筋の損傷はないか 場内水路・周囲水路に土砂、石、流木等の妨げになるものや植物の繁茂はないか 	<ul style="list-style-type: none"> 非常排水口に土砂・石・流木等の妨げは無いか 	<ul style="list-style-type: none"> 沢水排水路に土砂・石・流木等の妨げは無いか 	<ul style="list-style-type: none"> 落石・倒木がないか 巡視道路の崩壊はないか
代替可能性	飛行高度100m	△	△	△	○	○
	飛行高度120m	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	飛行高度140m	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	鉱業権者によるコメント	<ul style="list-style-type: none"> 法面の陥没、亀裂、はらみ出しは現場で多方向から確認する必要がある。 細かな変化は把握できないが、機能が失われていないかの確認は可能。 撮影時は樹木から葉が落ちている状態。葉があるときはよく見えない可能性あり。 	<ul style="list-style-type: none"> 水路コンクリート表面の開き、段差、ひび割れ、鉄骨筋の損傷の確認が困難。 機能が失われていないかの確認は可能。 樹木に覆われていないか水路が詰まっているかの確認は可能。 	<ul style="list-style-type: none"> 樹木に隠れて対象の水路口が映っていないものの、角度をつけて画像取得できるのなら、機能を失われているかの判断は可能。 	<ul style="list-style-type: none"> 土砂・石・流木等の妨げが無いかを十分に確認できる。 	<ul style="list-style-type: none"> 樹木で覆われていなければ、落石・倒木がないか確認可能。 巡視道路の崩壊がないかの確認可能。

表25 第一堆積場における正常系の確認方針に基づく評価結果

凡例 ○：代替可、△：限定的であるが代替可、×：代替不可


点検場所	非常排水路出口点検		場内及び周囲水路（山腹水路）点検		法尻ポンプ設備（配管含む）点検		法尻堰堤（集水堰）点検		巡視路落石・倒木確認			
	⑤場内排水口・場内排水路	⑥場内排水口	⑦場内排水口・山腹水路		⑫配管		⑬貯水堰堤		⑬第一堆積場道路			
撮影画像 (高度100m1回目)												
点検項目	<ul style="list-style-type: none"> 場内排水口に土砂・石・流木等の妨げは無い 水路コンクリート表面の開き、段差、ひび割れ、鉄骨筋の損傷はない 場内水路・周囲水路に土砂、石、流木等の妨げになるものや植物の繁茂はない 		<ul style="list-style-type: none"> 場内排水口に土砂・石・流木等の妨げは無い 水路コンクリート表面の開き、段差、ひび割れ、鉄骨筋の損傷はない 場内水路・周囲水路に土砂、石、流木等の妨げになるものや植物の繁茂はない 		<ul style="list-style-type: none"> 配管から漏水していない 		<ul style="list-style-type: none"> 沢尻ポンプ設備は正常に稼働している 堰堤が破損していない 堰堤から抗腐水があふれ出していない 		<ul style="list-style-type: none"> 落石・倒木はない 巡視道路の崩壊はない 			
評価項目	代替可能性	画像再現性	代替可能性	画像再現性	代替可能性	画像再現性	代替可能性	画像再現性	代替可能性	画像再現性	代替可能性	画像再現性
飛行高度100m	○	△注2	○	△注4	△注5	△注6	○	○	×注9,10	○	○	△注12
飛行高度120m	○	○	△注3	○	△注5	○	△注7	○	×注9,10	○	○	○
飛行高度140m	△注1	○	△注3	○	△注5	○	△注7	×注8	×注9,10,11	○	○	○
コメント 鉦：鉦業権者 K：KDDIスマートフォン	<ul style="list-style-type: none"> 注1:土砂・石・流木等の妨げは無いかを確認できる画質であるが、樹木で隠れていると確認しがたい。(鉦) 注2: 高度100mの画像は水平方向のスレがあるが、対象は捉えている。(鉦) 		<ul style="list-style-type: none"> 注3:土砂・石・流木等の妨げは無いかを確認できる画質であるが、樹木で隠れていると確認しがたい。(鉦) 注4: 高度100mの画像は水平方向のスレがあるが、対象は捉えている。(鉦) 		<ul style="list-style-type: none"> 注5:土砂・石・流木等の妨げは無いかを確認できる画質であるが、樹木で隠れていると確認しがたい。(鉦) 注6: 高度100mの画像は水平方向のスレがあるが、対象は捉えている。(鉦) 		<ul style="list-style-type: none"> 配管が破損していれば、水が噴き出るので確認可能と考えられる。(鉦) 注7: 120, 140mでは対象物全体が映っていなかった。(鉦) 注8: 140mの1回目が露出オーバーで白っぽく映っていた。(K) 		<ul style="list-style-type: none"> 注9: 樹木に隠れて集水堰を確認できない。(鉦) 注10: ポンプ設備は屋根があるので内部の撮影はできなかった。(K) 注11: 140mで撮影範囲のずれあり、対象物全体が映ってなかった。(K) 		<ul style="list-style-type: none"> 落石・倒木はない、巡視道路の崩壊がないか確認可能である。(鉦) 注12: 高度100mの画像は水平方向のスレがあるが、対象は捉えている。(鉦) 	

表26 雁掛堆積場の堤体（法面点検）・巡視路の撮影画像の評価

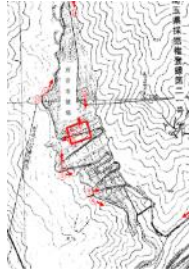


点検場所	①堤体（法面点検）・巡視路		撮影場所
点検項目	法面点検	<ul style="list-style-type: none"> ・ 法面の陥没、亀裂、はらみ出しがないか ・ 法面の張り、石積み等に損傷や浸食箇所はないか ・ 法面にしみ出し（浸潤箇所）がないか 	
	巡視路	<ul style="list-style-type: none"> ・ 落石・倒木がないか ・ 巡視道路の崩壊がないか 	
点検場所の広角画像とズーム画像 (高度100m)	<p style="text-align: center;">WIDE 1X (焦点距離4.4mm; 35mm判換算24mm)</p>  <p style="text-align: center;">WIDE 1X (焦点距離4.4mm; 35mm判換算24mm) Zoom 10X (焦点距離44.48mm; 35mm判換算240mm)</p> 		
鉱業権者による評価	代替可能性	鉱業権者によるコメント	
	法面点検 △	<ul style="list-style-type: none"> ・ 法面の陥没、亀裂、はらみ出しは現場で多方向から確認する必要がある。ドローンでは細かな変化はつかめないが、大きな破損は確認できる。 ・ 撮影時は樹木から葉が落ちている状態。葉があるときはよく見えない可能性あり。 	
巡視路	<ul style="list-style-type: none"> ・ 樹木で覆われていなければ、落石・倒木がないか・巡視道路の崩壊がないかの確認可能。 		

表27 雁掛堆積場の堤体水路の撮影画像の評価







点検場所	②堤体水路	
点検項目	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水路コンクリート表面の開き、段差、ひび割れ、鉄骨筋の損傷はないか ・ 場内水路・周囲水路に土砂、石、流木等の妨げになるものや植物の繁茂はないか 	
点検場所の広角画像とズーム画像 (高度100m)	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;"> <p>WIDE 1X (焦点距離4.4mm; 35mm判換算24mm)</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>撮影場所</p>  </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;"> <p>WIDE 1X (焦点距離4.4mm; 35mm判換算24mm)</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Zoom 10X (焦点距離44.48mm; 35mm判換算240m)</p>  </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div>	
鉦業権者による評価	代替可能性	鉦業権者によるコメント
	△	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水路コンクリート表面の開き、段差、ひび割れ、鉄骨筋の損傷の確認が困難。 ・ 水路が詰まっていないかは樹木に覆われていなければ確認可能。 ・ 機能が失われていないかの確認は可能。

表 28 雁掛堆積場の非常用排水口の撮影画像の評価

点検場所	③非常用排水口	
点検項目	非常排水口に土砂・石・流木等の妨げは無いか	
点検場所の広角画像とズーム画像 (高度100m)	<p style="text-align: center;">Zoom 10X (焦点距離44.48mm;35mm判換算240mm)</p>  <p style="text-align: center;">地上から撮影した写真 撮影場所</p>  	
鉱業権者による評価	代替可能性	鉱業権者によるコメント
	△	<ul style="list-style-type: none"> ・ 矢印奥の水路口が樹木に隠れて確認できない。 ・ 樹木に隠れていなければ、現在の画質であれば、機能を失われていないかの確認に用いることができるかも知れない。

表29 雁掛堆積場の切替排水路口・切替排水路堰堤の撮影画像の評価



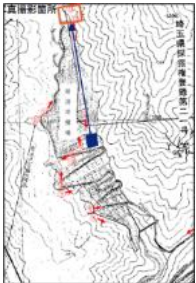


点検場所	④切替排水路口・切替排水路堰堤	
点検項目	切替排水路に土砂・石・流木等の妨げは無いか	
点検場所の広角画像とズーム画像 (高度100m)	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;"> <p>WIDE 1X (焦点距離4.4mm; 35mm判換算24mm)</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Zoom 10X (焦点距離44.48mm; 35mm判換算240mm)</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>撮影場所</p>  </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;"> <p>Zoom 16X (焦点距離75.04mm; 35mm判換算405mm)</p>  <p>切替排水路堰堤</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Zoom 16X (焦点距離75.04mm; 35mm判換算405mm)</p>  <p>切替排水路口</p> </div> </div>	
鉱業権者 による評価	代替可能性	鉱業権者によるコメント
	○	土砂・石・流木等の妨げは無いかを十分に確認できる。

表30 雁掛堆積場の沢水堰堤の撮影画像の評価



点検場所	⑤沢水堰堤	
点検項目	沢水排水路に土砂・石・流木等の妨げは無いか	
点検場所の広角画像とズーム画像 (高度100m)	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;"> <p>WIDE 1X <small>(焦点距離4.4mm; 35mm判換算24mm)</small></p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Zoom 16X <small>(焦点距離75.04mm; 35mm判換算405mm)</small></p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>撮影場所</p>  </div> </div>	
鉱業権者 による評価	代替可能性	鉱業権者によるコメント
	○	土砂・石・流木等の妨げが無いかを十分に確認できる。

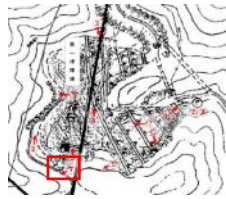








表31 第一堆積場における場内排水口・場内排水路の評価

点検場所		⑤場内排水口・場内排水路		地図
点検項目		<ul style="list-style-type: none"> ・ 場内排水口に土砂・石・流木等の妨げは無い ・ 水路コンクリート表面の開き、段差、ひび割れ、鉄骨筋の損傷はない ・ 場内水路・周囲水路に土砂、石、流木等の妨げになるものや植物の繁茂はない 		
点検場所の広角画像とズーム画像 (高度100m)		<p>WIDE 1X (焦点距離4.4mm; 35mm判換算24mm)</p>	<p>Zoom 10X (焦点距離44.48mm; 35mm判換算240mm)</p>	
高度別撮影画像		100m	120m	140m
撮影回数	1回目			
	2回目			
鉦業者による評価	代替可能性	○ 土砂・石・流木等確認可能な画質である	○ 土砂・石・流木等確認可能な画質である	△ 点検対象が樹木の下に隠れており確認できない
	画像再現性	△ 水平方向の位置ズレあり	○ 撮影範囲のズレはほぼなし	○ 撮影範囲のズレはほぼなし
コメント		<ul style="list-style-type: none"> ・ 場内排水口・水路に土砂・石・流木等の妨げは無いかを確認できる画質であるが、樹木で隠れていると確認しがたい。(鉦) (課題 1 参照) ・ 高度 100m の画像は水平方向のズレがあるが、対象は捉えている。(鉦) (課題 2 参照) 		

※コメントの凡例 鉦：鉦業者、K：KDDI スマートドローン

※高度別撮影画像 Zoom 10X (焦点距離44.48mm; 35mm 判換算 240mm)










表32 第一堆積場における場内排水口の評価

点検場所		⑥場内排水口		地図		
点検項目		<ul style="list-style-type: none"> ・ 場内排水口に土砂・石・流木等の妨げは無いか ・ 水路コンクリート表面の開き、段差、ひび割れ、鉄骨筋の損傷はないか ・ 場内水路・周囲水路に土砂、石、流木等の妨げになるものや植物の繁茂はないか 				
点検場所の広角画像とズーム画像 (高度100m)		<p>WIDE 1X (焦点距離4.4mm; 35mm判換算24mm)</p> 		<p>Zoom 10X (焦点距離44.48mm; 35mm判換算240mm)</p> 		
高度別撮影画像		100m	120m	140m		
撮影回数	1回目					
	2回目					
鉦業者による評価	代替可能性	○ 土砂・石・流木等確認可能な画質である	△ 点検対象が樹木の下に隠れており確認しがたい	△ 点検対象が樹木の下に隠れており確認しがたい		
	画像再現性	△ 水平方向の位置ズレあり	○ 撮影範囲のズレはほぼなし	○ 撮影範囲のズレはほぼなし		
コメント		<ul style="list-style-type: none"> ・ 場内排水口・水路に土砂・石・流木等の妨げは無いかを確認できる画質であるが、樹木で隠れていると確認しがたい。(鉦) (課題 1 参照) ・ 高度 100m の画像は水平方向のズレがあるが、対象は捉えている。(鉦) (課題 2 参照) 				

※コメントの凡例 鉦：鉦業者、K：KDDI スマートドローン

※高度別撮影像 Zoom 10X (焦点距離44.48mm; 35mm 判換算 240mm)










表33 第一堆積場における場内排水口と山腹水路の評価

点検場所	⑦場内排水口と山腹水路		地図	
点検項目	<ul style="list-style-type: none"> ・ 場内排水口に土砂・石・流木等の妨げは無い ・ 水路コンクリート表面の開き、段差、ひび割れ、鉄骨筋の損傷はない ・ 山腹水路に土砂、石、流木等の妨げになるものや植物の繁茂はない 			
点検場所の広角画像とズーム画像 (高度100m)	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>WIDE 1X (焦点距離4.4mm; 35mm判換算24mm)</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Zoom 10X (焦点距離44.48mm; 35mm判換算240mm)</p>  </div> </div>			
高度別撮影像	100m	120m	140m	
撮影回数	1回目			
	2回目			
鉦業者による評価	代替可能性	△ 点検対象が樹木の下に隠れており確認しがたい	△ 点検対象が樹木の下に隠れており確認しがたい	△ 点検対象が樹木の下に隠れており確認しがたい
	画像再現性	△ 水平方向の位置ズレあり	○ 撮影範囲のズレはほぼなし	○ 撮影範囲のズレはほぼなし
	コメント	<ul style="list-style-type: none"> ・ 樹木に隠れていなければ確認可能。(鉦) (課題 1 参照) ・ 高度 100m の画像は水平方向のズレがあるが、対象は捉えている。(鉦) (課題 2 参照) 		

※コメントの凡例 鉦：鉦業者、K：KDDI スマートドローン

※高度別撮影像 Zoom 10X (焦点距離44.48mm; 35mm 判換算 240mm)

表34 第一堆積場における配管の評価

点検場所	⑫配管		地図	
点検項目	・ 配管から漏水していないか			
点検場所の広角画像とズーム画像 (高度100m)	<p>WIDE 1X (焦点距離4.4mm; 35mm判換算24mm)</p> 		<p>Zoom 20X (焦点距離75.04mm; 35mm判換算405mm+デジタルズーム)</p> 	
高度別撮影像※	100m	120m	140m	
撮影回数	1回目			
	2回目			
鉦業者による評価	代替可能性	○ 3インチの配管が確認可能な画質である	△ 対象物全体が映っていない	△ 対象物全体が映っていない
	画像再現性	○ 1回目と2回目で撮影範囲のズレはほぼなし	○ 1回目と2回目で撮影範囲のズレはほぼなし	× 1回目と2回目で水平方向の位置ズレ及び露出レベルの違いにより比較困難
コメント	<ul style="list-style-type: none"> ・ 配管が破損していれば、水が噴き出るので確認可能と考えられる。(鉦) ・ 120、140m では対象物全体が映っていない。(鉦) (課題 3 参照) ・ 140m の 1 回目が露出オーバーで白っぽく映っており確認し難い。(K) (課題 4 参照) 			

※コメントの凡例 鉦：鉦業者、K：KDDI スマートドローン

※高度別撮影像 Zoom 20X (焦点距離75.04mm; 35mm 判換算405mm+デジタルズーム)










表35 第一堆積場における貯水堰堤の評価

点検場所	㊦貯水堰堤		地図	
点検項目	<ul style="list-style-type: none"> ・ 沢尻ポンプ設備（配管を含む）は正常に稼働しているか ・ 堰堤が破損していないか ・ 堰堤から抗廃水があふれ出していないか 			
点検場所の広角画像とズーム画像（高度100m）	<p>WIDE 1X (焦点距離4.4mm; 35mm判換算240mm)</p>	<p>Zoom 10X (焦点距離44.48mm; 35mm判換算240mm)</p>	<p>Zoom 20X (焦点距離75.04mm;35mm判換算 405mm+デジタルズーム)</p>	
高度別撮影像	100m	120m	140m	
撮影回数	1回目			
	2回目			
鉦業者による評価	代替可能性	× ポンプ設備が稼働しているか 確認不可	× ポンプ設備が稼働しているか 確認不可	× ポンプ設備が稼働しているか 確認不可
	画像再現性	○ 1回目と2回目で撮影範囲 のズレはほぼなし	○ 1回目と2回目で撮影範囲 のズレはほぼなし	○ 1回目と2回目で撮影範囲の ズレはほぼなし
	コメント	<ul style="list-style-type: none"> ・ 樹木に隠れて集水堰堤を確認できない。(鉦) (課題 1 参照) ・ 140mで撮影範囲のズレあり。(K) (課題 4 参照) ・ ポンプ設備は屋根があるので内部の撮影はできない。(K) (課題 5 参照) 		

※コメントの凡例 鉦：鉦業者、K：KDDI スマートドローン

※高度別撮影像 Zoom 10X（焦点距離44.48mm；35mm 換算 240mm）

表36 第一堆積場における巡視路の評価

点検場所		③巡視路と配管		地図
確認項目		<ul style="list-style-type: none"> ・ 落石・倒木がないか ・ 巡視道路の崩壊がないか 		
点検場所の広角画像とズーム画像 (高度100m)		<p>WIDE 1X (焦点距離4.4mm; 35mm判換算24mm)</p> 	<p>Zoom 5X (焦点距離22.22mm; 35mm判換算113mm)</p> 	
高度別撮影画像		100m	120m	140m
撮影回数	1回目			
	2回目			
評価	代替可能性	○ 土砂・石・倒木等確認可能な画質である	○ 土砂・石・倒木等確認可能な画質である	○ 土砂・石・倒木等確認可能な画質である
	画像再現性	△ 水平方向の位置ズレあり	○ 1回目と2回目で撮影範囲のズレはほぼなし	○ 1回目と2回目で撮影範囲のズレはほぼなし
	コメント	<ul style="list-style-type: none"> ・ 落石・倒木がないか、巡視道路の崩壊がないか確認可能。(鉦) ・ 高度 100m の画像は水平方向のズレがあるが、対象は捉えている。(鉦) (課題 2 参照) 		

※コメントの凡例 鉦：鉦業者、K：KDDI スマートドローン

※撮影画像 Zoom 5X (焦点距離4.4mm; 35mm 換算 24mm)

表 37 第一堆積場(高度 100m)におけるドローンの位置情報

点検場所	1回目		2回目		位置ズレ(m)
	緯度(°)	経度(°)	緯度(°)	経度(°)	
⑤場内排水口・場内排水路	36.012364	138.8047551	36.01236381	138.8047561	0.088
⑥場内排水口	36.01236356	138.8047565	36.01236364	138.8047567	0.024
⑦場内排水口・山腹水路	36.01236408	138.8047578	36.01236386	138.8047582	0.043
⑫堤体および配管	36.01224058	138.8057075	36.01224022	138.8057076	0.043
⑫配管	36.01224144	138.8057246	36.01224139	138.8057251	0.043
⑯貯水堰堤	36.01176347	138.8061536	36.01176311	138.8061535	0.041
③巡視路と配管	36.01234692	138.8058754	36.01234831	138.8058756	0.155

表38 第一堆積場(高度120m)におけるドローンの位置情報

点検場所	1回目		2回目		位置ズレ(m)
	緯度(°)	経度(°)	緯度(°)	経度(°)	
⑤場内排水口・場内排水路	36.01236347	138.8047554	36.01236303	138.8047566	0.121
⑥場内排水口	36.0123635	138.8047566	36.01236364	138.8047565	0.02
⑦場内排水口・山腹水路	36.012364	138.8047582	36.01236389	138.8047582	0.013
⑧場内排水路	36.01223975	138.8057081	36.0122405	138.8057091	0.119
⑫配管	36.01224156	138.8057251	36.01224144	138.8057245	0.056
⑯貯水堰堤	36.01176386	138.8061537	36.01176331	138.8061538	0.062
③巡視路と配管	36.01234756	138.8058758	36.01234753	138.8058748	0.098

表39 第一堆積場(高度140m)におけるドローンの位置情報

点検場所	1回目		2回目		位置ズレ(m)
	緯度(°)	経度(°)	緯度(°)	経度(°)	
⑤場内排水口・場内排水路	36.01236264	138.8047529	36.01236253	138.8047529	0.012
⑥場内排水口	36.01236414	138.8047552	36.01236386	138.8047555	0.040
⑦場内排水口・山腹水路	36.01236278	138.8047581	36.0123635	138.8047571	0.124
⑧場内排水路	36.01250467	138.8052233	36.01250431	138.8052248	0.141
⑫配管	36.01224211	138.8057278	36.01224256	138.8057277	0.050
⑯貯水堰堤	36.01173519	138.8061871	36.01173547	138.8061874	0.040
③巡視路と配管	36.01234958	138.8058763	36.01234769	138.8058755	0.221

(ウ) 撮影時の課題と対策

実証中に明らかになったドローン撮影時の課題及び考え得る原因とその対策を示す。

表40 実証中に明らかになった課題と対策

<p>課題1 (樹木の影響)</p>	<p>課題：樹木により点検対象が覆われる場合、確認が困難であることが明らかになった（表26～36） 原因：樹木の葉や枝により、その下の構造が確認できないため。 対策：点検対象の上部に樹木が覆っている場合は、樹木の下が映るアングルでの撮影が望ましい。自己位置推定技術を搭載した高い衝突回避性能を持ち、小型のドローン（例：Skydio2+ など）であれば、樹木の下を撮影することが可能であるが、Skydio2+は Wi-Fi 接続であるため、飛行可能距離は Wi-Fi 利用範囲内であることを留意する必要がある。</p>
<p>課題2 (画像の位置ズレ)</p>	<p>課題：同一高度での1回目と2回目の撮影において、位置ズレが発生するケースが確認された（表31～36） 原因：GNSS によりドローンのカメラ位置をセンチメートル単位で制御できるものの、光学ズーム（焦点距離 113～405mm）を使用して被写体を撮影する際、ドローンのカメラ位置やチルト角の変化により、視野範囲にズレが生じうる。ドローンの位置やチルト角の変動は、風や直前の動作による影響に加え、機体のホバリング時の姿勢制御の精度も影響によるものと考える。 対策：固定カメラと異なり、ドローンはホバリングした状態であるため、完全に同じ位置での撮影が難しい。光学ズームによる画像で水平方向の位置ズレが発生した場合、同時に広角カメラで撮影した画像をデジタルズームすることで点検対象物を確認することが可能である。ただし、デジタルズームにより画質が劣る点については留意する必要がある。</p>
<p>課題3 (フォーカス位置設定)</p>	<p>課題：高度120m、140mの撮影では1回目と2回目の位置ズレは見られないものの、対象物全体が映らないケースが確認された（3.2.1第一堆積場における代替可能性評価・再現性評価共通） 原因：高度100mの飛行ルートの作成時は、テスト飛行として高度100m で撮影した際のドローンの位置情報及びチルト角のデータを FlightHub 2に取りこみ、飛行ルートを作成したため、点検対象を中央に捉えていた。一方、高度120m、140mについては、FlightHub 2上で、100m の飛行ルートの位置情報を利用し、高度とチルト角を変更して飛行ルートを作成したため、実際の撮影時にフォーカス位置のズレが生じ、対象物全体が映らなかったと考えられる。</p>

	<p>対策：テスト飛行で取得したドローンの位置情報とチルト角のデータを取り込み、飛行ルートを作成することで、点検対象物を視野の中心に捉えることが可能である。</p>
<p>課題4 (ISO 感度設定)</p>	<p>課題：露出オーバーで画面全体が白っぽく映るケースが生じた (表34 第一堆積場における配管の評価 高度140m 1回目参照)</p> <p>原因：カメラの ISO 感度 (レンズから入ってきた光を、カメラ内でどのくらい増幅させるかの指標) をオート設定としていたため、撮影対象の明るさにより自動で ISO 感度に変更される状態にあった。表34の高度140m 1回目では、日照状態の変化により、ISO 感度の調整が不十分の状態での撮影され、露出オーバーにより白っぽく映ったものと考えられる。</p> <p>対策：ISO 感度をオート設定で撮影する場合、同一撮影ポイントで複数枚撮影することにより、露出オーバーの画像を除外し、最適な ISO 感度設定の撮影像を選択することができる。</p>
<p>課題5 (屋内及び構造物周辺の撮影)</p>	<p>課題：屋根のある設備内部を撮影することができない (表35 第一堆積場における貯水堰堤の評価参照)</p> <p>原因：本実証で使用したポート付きドローン Matrice30T は衝突回避性能を備えているものの、屋内及び構造物に近接した位置での撮影には向いていない。</p> <p>対策：屋内及び構造物周辺の撮影が可能な高い衝突回避性能を持つ機体 (例: Skydio2+など) であれば、撮影が可能である。ただし、Skydio2+は Wi-Fi 接続であるため、飛行可能距離は Wi-Fi 利用範囲内であることを留意する必要がある。</p>

3.2.2 非正常系実証の結果

(1) 自律飛行中の緊急時の停止の検証

ドローンのタスク管理が可能なクラウドベースのプラットフォームである DJI FlightHub 2 上で、ドローンの自律飛行を停止できることを検証した。さらに、介入操作できることを確認した。

自律飛行中に DJI FlightHub 2 上で機体制御権を取得し、自律飛行の一時停止を行った上で、水平方向の移動、上下移動などの介入操作を行い、安全に自律飛行に戻せることを確認した。君津で実施した検証の様子を図18に示す。



図18 自律飛行停止の検証の様子

(2) バッテリー低下時のホーム帰還の検証

本実証で用いたドローンの機体（Matrice30T）は、現在位置からホームポイント（離発着位置）まで飛行するのに十分なバッテリー残量があるかを自動計算する。飛行中バッテリー残量が、安全な帰還に影響が得る残量まで減少すると、飛行タスクが中断され、RTH（Return To Home: ホーム帰還）が起動する。

非正常系実証では、バッテリーが閾値（残量30%）以下になるまで飛行させたところ、フェールセーフが適切に発動し、タスクを中断した上でホームポイントに帰還することを確認した。

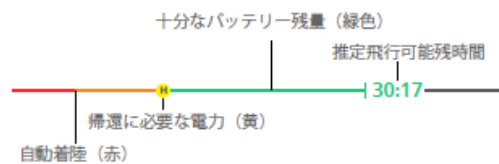


図19 ローバッテリーRTHの表示

(3) 障害物への衝突回避の検証

ドローンの機体には障害物検知機能が搭載されており、機体の飛行中に障害物を検出した場合、機体はホバリング（空中停止）し、実際の飛行環境を確認するようユーザーに通知する機能を備えている。

本非正常系実証では、障害物を模した構造として、W1,814×D1,814×H2,443(mm)の倉庫を使用した。事前に設定した警告距離5mの範囲内に障害物を検出した場合、機体は自動的にブレーキをかけるよう設定し、機体の左側、右側、前方、後方から障害物（物置）にドローンを近づけた。警告距離以下の範囲内に障害物を検出すると、自動でブレーキがかかり、衝突を回避することを確認した。

表41 障害物の衝突回避の検証結果

障害物の位置情報	動作	判定
前	障害物からの距離5mで、自動的にブレーキをかかり、停止してホバリングを維持した。	○
後	同上	○
左	同上	○
右	同上	○



図20 障害物の衝突回避の検証の様子

3.2.3 赤外線カメラ画像の撮影

赤外線カメラは温度分布を可視化することができるため、法面裏の空洞や漏水のような温度差が出る変状を把握するための保守・点検業務をはじめ、様々な用途で活用されている。

正常系実証において、樹木に覆われた状態の点検対象が多く見られたことから、赤外線カメラを備えた Matrice 30T を用いて、雨上がりのグラウンドで樹木に覆われた水路、水たまり、落葉樹及び常緑樹周辺を赤外線撮影モードで撮影を行い（図21）、樹木の下の水路の視認性が高まるか確認した。その結果、樹木の葉で光が遮られるため、温度分布が描出されず、樹木の下構造を確認できないことが明らかになった。一方で、葉などで光が遮られない場合、水のある場所（水路や水たまり）は疑似カラー表示により視認性が高まった。このことから、赤外線カメラは、大雨の後の集積場内の地面や堤体における法面の状態把握や、配管等の破損による坑廃水の漏出の検出に活用できる可能性があることが示唆された。

【測定条件】

- ・ 場所：千葉県君津市
- ・ 日時：12/12 10時半頃
- ・ 温度：11℃
- ・ 雨上がりで地面がぬかるんだ状態

【撮影機材】

- ・ 測定機材：DJI Matrice30T
- ・ 赤外線カメラの疑似カラー表示レンジ 8~18℃で設定

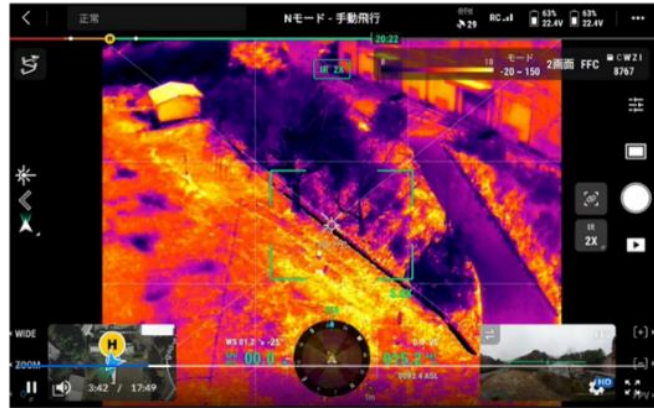


図21 Matrice 30T の赤外線カメラの撮影条件と撮影画面

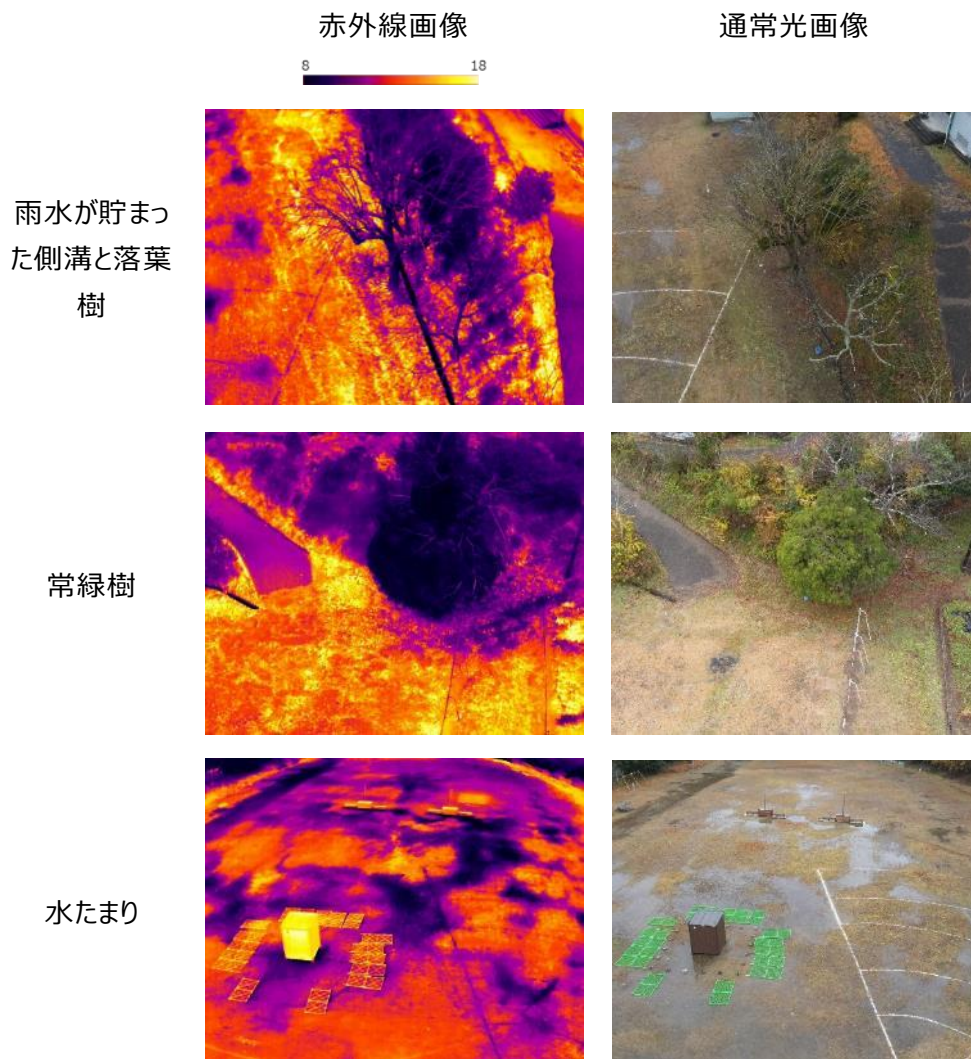


図22 赤外線画像と通常光画像の比較

3.2.4 ヒアリングの結果

秩父鉱山における実証にご協力いただいた、株式会社ニッチツ管理本部 休廃止鉱山管理室の A 氏及び B 氏に鉱山における監督業務をはじめ、ポート付きドローンの実効性、汎用性、安全性、経済性等についてヒアリングを行った（表42、43）。

表42 株式会社ニッチツへのヒアリングの概要

日時	2023年12月15日 14:00~15:30
場所	株式会社ニッチツ 秩父営業所 埼玉県秩父市荒川上田野 3 4 3
ヒアリング対象者	株式会社ニッチツ 休廃止鉱山管理室 A 氏、B 氏
目的	秩父鉱山における正常系及び非正常系の実証で得られた画像をもとに、鉱山での監督業務についてヒアリングを行う。
概要	<p>ヒアリングでは主に以下内容について確認を行った。</p> <ul style="list-style-type: none">・ ポート付きドローンによる取得画像の評価・ 鉱山保安法施行規則第18条における管理・監督対象の確認・ 従来の監督業務（点検、報告、作業、移動に関する内容及び所要時間を含む）と課題の確認・ ポート付きドローン導入によるリスク軽減、時間削減・業務効率改善の効果・ ポート付きドローン導入時の望ましい運用・ ポート付きドローン導入を妨げる要因 など

表43 鉱業権者へのヒアリングまとめ

#	項目	質問	回答
1	基本情報	所属・肩書	株式会社ニッチツ 管理本部 休廃止鉱山管理室 A 氏、B 氏
2	基本情報	監督業務の実務経験	B 氏：現場責任者歴 5～6年
3	基本情報	事業所について	<ul style="list-style-type: none"> ・ 常時 5 名勤務。 ・ LTE はつながりにくい。Docomo と KDDI のアンテナが事業所横にある。今後 5G のアンテナを立てる予定。
4	従来業務	点検の頻度・一回当たりの点検時間（移動時間を含む）はどれくらいか。	<ul style="list-style-type: none"> ・ 秩父、下北、滋賀の三つの休廃止鉱山を管理している。 ・ 秩父：集積場 2 つがいずれも事業所から近い。点検に要する時間は 1 時間程度。 ・ 下北（佐井鉱山）：集積場が 2 つある。徒歩で 40 分程度。点検業務は委託職員（フルタイム）1 名で対応している。委託職員は自宅から 2 時間で現場着。鉱山内は無電力であり、LTE 等の基地局がないため、衛星電話を使用している。 ・ 滋賀（土倉鉱山）：集積場が 1 つだが、広大。すべて回るのに 1 時間ほど時間を要する。点検及び各種対応を業者に依頼している。 <p>【秩父鉱山について】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 集積場については、第一堆積場のみ抗廃水の処理が必要。 ・ 点検頻度は雁掛堆積場で月 2 回、第一堆積場で月 4 回である。 ・ 雨の後（50mm 以上）は必ず点検するようにしている。 ・ 点検頻度は法で定められているわけではない。 ・ 法定点検項目に基づき点検を行う。 ・ 点検時間は 1 時間程度で完了する。現地でチェックリストの記載をすることもあれば、事業所に戻って記載する項目もある。 ・ 人の移動が困難な山中に無数の坑口があるため、ドローンで確認できれば良い。
5	従来業務	・点検内容の報告先はどこか。どのような方法で報告するか。報告頻度はどれくらいか。	<ul style="list-style-type: none"> ・ 年に一回経産省による検査がある。書類をチェックする。現地の確認を求められることもある。通常点検では写真をファイリングしない。異状の有無、異状の部位・状況を記録する。 ・ 何かあったときは写真を撮るよう求められることがある。 ・ デジタル化・IT 化は進んでいない。 ・ センサーなどをつけるにしても、単純かつメンテナンスが容易なものがよい。

6	従来業務	何名で点検を行っているか。点検にあたり必要な資格・経験等は必要か。	<ul style="list-style-type: none"> 点検は主に一人、二人で行うこともある。 現在、資格は不要。かつて責任者は資格が必要になったが、現在は不要になった。
7	従来業務	点検項目のうち、現地対応が必須の項目は何か。	<ul style="list-style-type: none"> 堰堤のポーリング調査（雁掛堆積場・第一堆積場上：それぞれ月1回）※基準管計測値を記載する。 ポンプの動作（流量）チェックを行う。 不定期でゴミ・落石の除去を行う。場合によっては重機で除去する。 斜面の配管のゴミ・落石の除去は業者に依頼する。
8	従来業務	監督業務で安全が脅かされうる場面に直面したことがあるか。（はいの場合）どのような状況だったか。	<ul style="list-style-type: none"> 急斜面は凍結すると滑る。 複数名で巡視を行う場合、斜面の上にいる人が落石させてしまう場合があった。 熊や鹿が出る場合がある。
9	従来業務	休廃止鉱山全体の監督業務で共通する課題は何か。	<ul style="list-style-type: none"> 最終鉱業権者が処理しなければならないため、休廃止後も管理コストが負担となる。 人手不足、職員の若手不在、高齢化
10	実効性	点検項目のうち、ポート付きドローンによる画像は現場で監督業務を行う場合と同等以上の実効性がある項目はどれか。※正常系実証のドローンの撮影画像を提示	3.2.1(2)参照
11	汎用性	鉱山保安法施行規則第18条において、現在のドローンの画質や見え方から判断できると想定される項目はあるか。（※鉱山保安法施行規則第18条とドローンの撮影画像を提示）	<ul style="list-style-type: none"> 表44を参照 鉱山保安法施行規則第18条よりも、第26条（巡視及び点検）³に従う点検項目への活用が期待できる。 集積場のみならず、露天掘採場の残壁等の点検にも活用できそうである。

³ 鉱山保安法施行規則第26条（巡視及び点検）

https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=416M60000400096#Mp-At_26

12	安全性	<p>ポート付きドローンの導入により、点検時の安全性リスクが軽減・解消されると思うか。</p> <p>(はいの場合) 具体的にどのような点検項目に適用することでリスク軽減・解消できると考えられるか。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 測量等を行う精密点検をドローンで行うことは難しい印象。安全確保、大まかな確認（機能が失われていないかの確認）をするのならば可。 ・ 緊急時現場に向かうか否かの状況判断や優先順位付けに役立てることができると思う。 ・ 優先順位をつけて、対処することにより、鉱害発生のリスクを下げることができる。
13	安全性	<p>ポート付きドローンの導入により生じる新たにリスクとしてどのようなものが考えられるか。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ ドローンが落下した場合、回収が困難である。 ・ ドローンは自然環境の影響を受ける。雨、風の影響で飛ばせないという活用幅が狭まる。
14	経済性	<p>点検時間の内訳はどうか。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 自宅から鉱山までの移動時間：秩父鉱山の場合、自宅から1時間半 ・ 点検時間：1時間 <ul style="list-style-type: none"> - 点検場所間の移動時間：48分（点検時間の80%） - 点検時間：12分（点検時間の20%） ・ （現地で行う）作業時間： <ul style="list-style-type: none"> - 作業は別途点検により判断し別途実施。 ・ 書類作成時間 30分
15	経済性	<p>ポート付きドローンの導入により、時間削減・業務効率改善につながると思われる点検項目はなにか。</p> <p>(はいの場合)どれくらいの時間削減・業務効率改善効果があると思うか。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 広範囲に飛べるのであれば、行きにくい坑口の点検（坑口の閉塞状態の確認、立ち入り禁止の状態の確認）、（事業所から）行きにくい集積場の点検に活用できる。 ・ 現在のポート付きドローンでは、以下項目を確認でき、緊急時の優先順位付けに活用できる。 <ul style="list-style-type: none"> - 堤体の崩れ・流出の確認 - 配管が破損していないかの確認 - アクセスする道が破損していないかの確認（アクセスするまでのリスクの把握に役立つ） ・ 現在は秩父鉱山内で自家発電しているが燃料高騰のため、いずれは東京電力から電気を引く可能性がある。東京電力から電気を引く際に、（人がアクセスしにくい）山間部に電柱を立てる必要がある。電柱周辺の点検に使えるかもしれない。

16	経済性	<p>ポート付きドローン以外のセンサー・カメラの導入で時間削減・業務効率改善につながると思われる点検項目はあるか。(はいの場合)どれくらいの時間削減・業務効率改善効果があると思うか。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 不審者が入ったとき、ドローンが確認して、発報する仕組みであればよい。 ・ 無数の坑口や旧建物内への不法侵入（ガラスが割られるなど）が課題。過去に坑内に無断で立ち入り、死亡事故が発生した。 ・ 対人で駆け付けると危険。犯人をライトで照らしたり、撮影したりして、犯人が「見られている」ことが分かるとよい。 ・ 無人で監視し、警察に発報する仕組みであるとよい。
17	実用可能性	<p>ポート付きドローンを導入する場合どのような運用が望ましいか。</p>	<p>【飛ばすタイミング】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 見たいタイミングがあるので、いつ飛ばすかは現場が判断したい。 ・ 非定期的、何かアクシデントがあったときに飛行させたい。 <p>【遠隔運航の対象】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 秩父にいながら、下北・滋賀の集積場での遠隔運航ができればよい。 <p>【機体・dock・飛行ルートのメンテナンス】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 何かあったときに、機体のメンテナンスができるか不安に感じる。 ・ ドローン飛行・ルート作成などのスキルを身に付けるのが大変そうなのでサポートが必要である。 <p>【画像確認までの時間】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 画像の確認について：定期点検で取得した画像はすぐに見なくてもよい。アクシデントが起きたときや大雨が降ったときは、現地に行くより早く状況が把握できるので、初動の判断・優先順位の判断に役立てることができるので良い。（画像取得の即時性にこだわらない） <p>【画像 vs 動画】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 点検場所を同じ位置で撮れているのならば動画である必要はない。静止画で可。 ・ テストフライトの時は広域の画像のなかでどこが撮れているのかわからなかったが、確認したい場所をズーム画像で捉えることができればズーム画像だけで問題ない。
18	実用可能性	<p>ポート付きドローンを導入するとしたらいくらくらいが妥当だと思うか。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 点検業務にかかる委託時間相当と考えるが、点検頻度および点検にかかる総時間はそれほど長くはない。 ・ 下北の集積場にかかる点検業務は総作業時間の1割未満。委託職員1人が毎日通っている。

19	実用可能性	<p>ポート付きドローンの導入の意思決定を阻害する要因は何か。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 費用対効果を示すことができなければ、購入が難しい。 ・ 無人化・省人化により人件費削減になってしまう。（人を減らすことが目的ではなく、少ない人数でいかに安全に、かつ、効率的に保守監督業務を行っていただけるかを考えたい。） ・ メンテナンス、不具合、カスタマイズサポートが必要。 ・ 悪天候の時に飛ばないと困る。悪天候の時こそ、飛ばしたい。 ・ ドローンの利点は遠くに行けること、山の斜面などアクセスしにくい場所を確認できることだと考える。
----	-------	-------------------------------------	---

表44 ドローン撮影の対象とする管理・監督対象に対するヒアリング結果

ドローン撮影の対象とする管理・監督対象とその評価基準案（鉱山保安法施行規則第18条）	ドローン対応可否	コメント
一 鉱業廃棄物を運搬及び処分するときは、当該鉱業廃棄物が飛散し、又は流出しないように行うこと。	△	リアルタイムで長時間ドローン撮影するのは難しいと考えられる
二 鉱業廃棄物を坑外埋立場（坑外に設置された埋立処分場をいう。以下同じ。）において処分するときは、のり尻から埋立面までの高さの最大値は三メートル未満とすること。	△	垂直方向の測量が必要であり、ドローンで測量するにも基準点が必要である
三 鉱業廃棄物の焼却処分は、廃棄物の処理及び清掃に関する法律（昭和四十五年法律第三十七号）第十六条の二第一号又は第二号に掲げる方法に従って行う場合を除き、行わないこと。	△	確認できるとしたら、焼却した産業廃棄物の状態の確認のみ
四 捨石、鉱さい及び沈殿物（それぞれ有害鉱業廃棄物を除く。）以外の鉱業廃棄物は、集積処分を行わないこと。	対象外	判断不能
五 廃酸及び廃アルカリは、埋立処分を行わないこと。	対象外	判断不能
六 有害鉱業廃棄物は、坑内へ埋立処分を行わないこと。	対象外	坑内でポート付きドローンを使えないため、対象外
七 捨石、鉱さい、沈殿物若しくはばいじん又は廃プラスチック類の焼却施設において生じた燃え殻のうち、別表第一の一の項の中欄に掲げる物質を含む鉱業廃棄物若しくはこれらを処理したもの又は同表の六の項の中欄に掲げる物質を含む鉱業廃棄物若しくはこれらを処理したものを埋立処分するときは、あらかじめそれぞれ同表の下欄に定める基準に適合するものとし、又は固型化すること。	対象外	対象外
八 ダイオキシン類に係る有害鉱業廃棄物又はこれらを処理したものを埋立処分するときは、あらかじめ別表第一の九の項の下欄に定める基準に適合するものとする。	対象外	対象外
九 廃油（タールピッチ類及び廃ポリ塩化ビフェニル等（廃ポリ塩化ビフェニル及びポリ塩化ビフェニルを含む廃油をいう。以下同じ。）を除く。）を埋立処分するときは、あらかじめ焼却設備を用いて焼却すること。	対象外	対象外
十 廃ポリ塩化ビフェニル等を埋立処分するときは、あらかじめ焼却設備を用いて焼却し、燃え殻その他の焼却により生ずるものを別表第一の八の項の下欄に定める基準に適合するものとする。	対象外	対象外
十一 ばいじんを埋立処分するときは、こん包の実施その他のあらかじめ大気中に飛散しないための措置を講ずること。	対象外	対象外
十二 ポリ塩化ビフェニル汚染物（ポリ塩化ビフェニルが塗布された紙くず又はポリ塩化ビフェニルが付着し、若しくは封入された廃プラスチック類若しくは金属くずをいう。）を埋立処分するときは、次のいずれかの方法により処理すること。	対象外	対象外
イ あらかじめポリ塩化ビフェニルを除去すること。	対象外	液体のため判断不能
ロ あらかじめ焼却設備を用いて焼却し、燃え殻その他の焼却により生ずるものを別表第一の八の項の下欄に定める基準に適合するものとする。	対象外	対象外

<p>十三 埋立処分が終了した有害鉱業廃棄物の坑外埋立場（内部仕切設備により区画して埋立処分を行う坑外埋立場については、埋立処分が終了した区画）は、速やかに覆いにより閉鎖すること。</p>	○	立入禁止の柵、ビニールなどのカバーが破損していないか、取り除かれていないかの確認に活用可能
<p>十四 埋立処分が終了した坑外埋立場は、覆土又は植栽の実施その他の浸出水又は鉱業廃棄物の流出等による鉱害を防止するための措置を講ずること。</p>	○	植栽の繁茂や堤体・水路等の確認に活用可能
<p>十五 有害鉱業廃棄物の一月ごとの種類別発生量及び運搬及び処分の方法ごとの量並びにその年月日、次号により運搬及び処分を他人に委託する場合には、委託年月日、受託者の氏名又は名称、住所及び許可番号を帳簿に記載し、これを一年ごとに閉鎖し、閉鎖後五年間保存すること。</p>	対象外	対象外

3.2.5 机上検討

本章では、表22に挙げた本実証の評価項目①における従来業務と同等以上の実効性を有するか、評価項目③における従来業務と同等以上の安全性を有するかの検討を行うにあたり、鉱業権者でのヒアリングで休廃止鉱山全体の課題として挙げられた、人手不足、職員の若手不在・高年齢化に伴う労働環境の実態、近年激甚化する自然災害による鉱山における被害状況等の実態について調査を行った。さらに、評価項目②において、ポート付きドローンの現場への導入検討可能性を検討するにあたり、従来業務に対するポート付きドローンを用いた点検時間の比較、及び、従来の点検コストに対するポート付きドローンの導入にかかる初期費及び維持費の比較を行った。

(1) 稼行鉱山数及び鉱山労働者数の変化

鉱山数及び鉱山労働者数が減少し、事業者規模が縮小しつつある。鉱山事業における業務の効率化・省人化が求められる。

- ・ 令和3年（2021年）12月末時点の我が国の稼行鉱山数は、鉱山災害防止対策研究会報告書[5]によれば458鉱山、鉱山労働者数は11,013人である。平成15年（2003年）時点の稼行鉱山数658鉱山、鉱山労働者数14,636人と比較すると、稼行鉱山数は30%、鉱山労働者数は24%減少している（表45）。
- ・ 鉱種別では石灰石鉱山が、232鉱山（約5割）、6,328人（約6割）で国内鉱山の半数以上を占める（図23）。
- ・ 令和3年における事業者規模（鉱山労働者数）別の割合は、経済産業省調べによると調査鉱山数 458のうち、9人以下の鉱山が 56.3%、10～49人の鉱山が 32.3%であり、稼行鉱山の 88.6%を49人以下の小規模な鉱山が占めている(図24)。

表45 国内鉱山の状況の変化

	平成15年(2003年)	令和3年(2021年)
稼行鉱山数	658	458
鉱山労働者数	14,636	11,013

【出典】鉱山保安統計年報

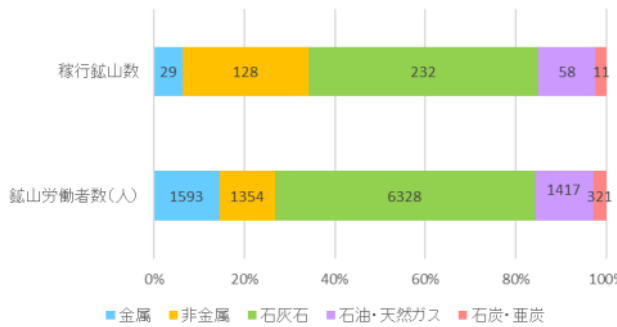


図23 鉱種別稼行鉱山数・鉱山労働者数

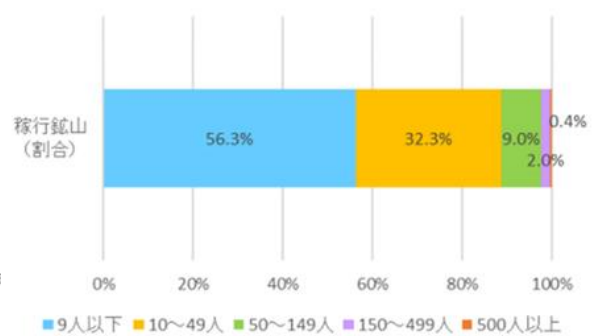


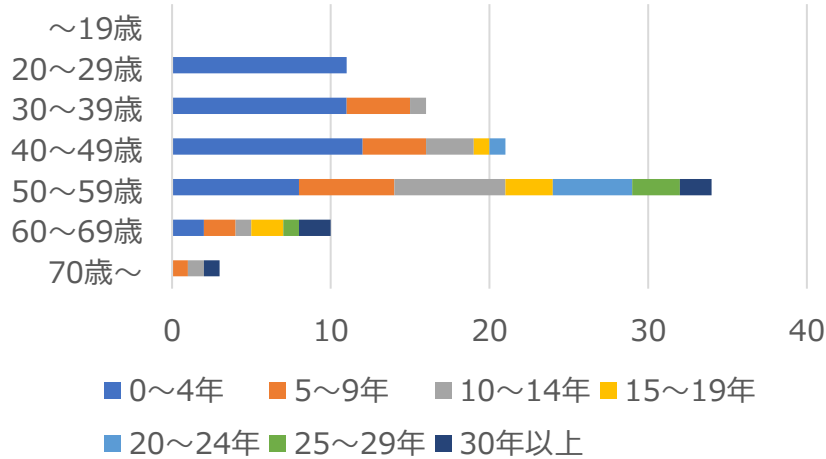
図24 稼行鉱山における事業者規模（労働者数）の割合

【出典】鉱山災害防止対策研究会報告書

(2) 鉱山労働者の罹災状況

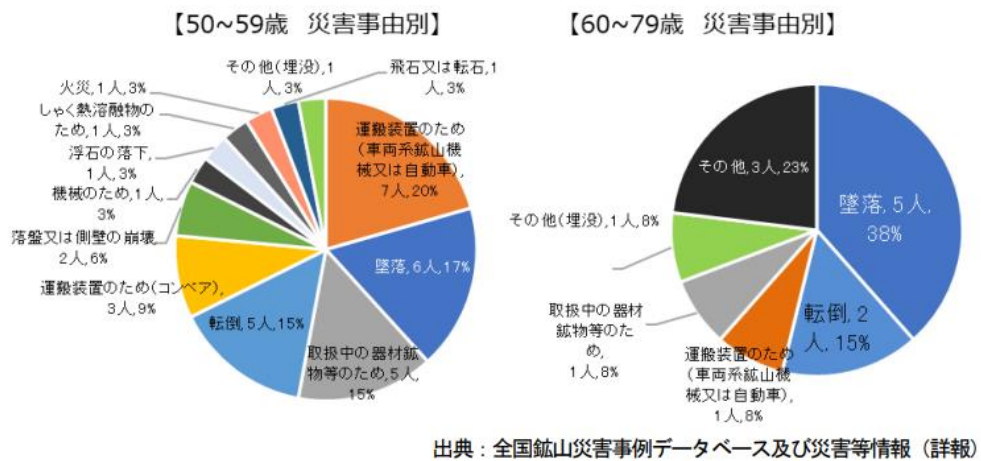
経験年数の少ない者及び高年齢者の罹災率が高い傾向が見られる。作業関係者でのリスク共有のためのコミュニケーション活動等鉱山全体での保安管理に努める必要であり、カメラ、センサーによる記録・管理等により災害の未然防止、原因究明が求められる。

- ・ 鉱山災害防止対策研究会報告書[5]によれば経験年数「0～4年目」の罹災者数が全罹災者数95人中44人（46%）と最も多い。年代別で見ると、「50～59歳」の罹災者数が全罹災者数 95人中34人（36%）と最も多い（図25）。
- ・ 災害事由別では、「50～59歳」の罹災者は、「運搬装置のため（車両系鉱山機械又は自動車）」、「墜落」、「取扱中の器材鉱物等のため」及び「転倒」による罹災者数が23人であり、同年代の罹災者数34人のうち68%を占める。また、「60～69歳」と「70～79歳」の合計罹災者は、「墜落」及び「転倒」による罹災者数が7人であり、同年代の罹災者数13人のうち54%を占める（図26）。
- ・ 事業規模の縮小による労働者数減の影響で、リスク共有・技術伝承が不十分となりうる可能性がある。



出典：鉱山災害防止対策研究会報告書をもとに作成

図25 罹災者経験年数別年代別（相関関係）罹災者発生状況（2018年1月1日～2022年5月31日）



出典：全国鉱山災害事例データベース及び災害等情報（詳報）

図26 高齢者災害事由別罹災者発生状況（2018年1月1日～2022年5月31日）

(3) 鉱山における自然災害

地震・台風・集中豪雨・大雪などによる地山崩壊・設備倒壊や設備故障など、自然災害による鉱山災害が各地で発生している。近年、気候変動による自然災害は激甚化する傾向にある。特に金属鉱山においては、自然災害により、鉱害防止施設の機能が停止し、坑廃水が河川等に流出すれば、深刻な問題（鉱害）を引き起こす可能性があるため、災害に備えた対策が必要とされる。

(ア) 近年の鉱山における自然災害の例

- ・ 2011年3月11日に発生した東日本大震災により、東北及び関東の3つの鉱山の集積場で集積物の流出事故が発生[9]。
- ・ 2019年台風19号の大雨の影響により、関東周辺の複数鉱山において風水害が発生（表46）。

表46 2019年台風19号による関東周辺の鉱山における災害発生状況

災害年月日	都道府県名	鉱種	概況
10/12	群馬	石灰石	台風19号の大雨の影響により、貯砕鉱場の抜鉱施設カルバート内への鉱石流入及び鉱山道路の一部が法面崩落により損傷した。
10/12	埼玉	石灰石	台風19号の大雨の影響により、土砂混じりの鉱石が流入し、坑内破碎施設からの抜き出しベルトコンベアの一部が埋没した。
10/12	埼玉	石灰石	台風19号の大雨の影響により、土石流受けピットの一部が決壊し、泥水が同ピット外へ流出。泥水及び流木が沈砂池の機能不全を引き起こし、鉱山道路沿いに流下。町道沿いの斜面を洗掘し、土砂が町道に流出した。
10/12 (推定)	東京	石灰石	台風19号の大雨の影響により、鉱石運搬施設の一部に土砂が流入し、軌条埋没、倒木、電線損傷等が生じた。
10/13 (発見)	埼玉	石灰石	台風19号の大雨の影響により、鉱山道路の一部に土砂崩れ（法面崩壊）及び路肩洗掘が生じた。

【出典】関東東北産業保安監督部「管内及び全国鉱山の災害・鉱害等発生状況について」（令和2年5月）[10]より抜粋

(イ) 秩父鉱山における自然災害

雨による被害：

- ・ 2019年台風19号の影響で10月12日にわずか1日で511mmの降雨量（図27、表47）を記録し、鉱山道路の一部が崩壊する被害が発生した。

雪による被害：

- ・ 2014年2月の大雪により坑廃水処理設備が停止⁴、国土交通省 北陸地方整備局に除雪支援を依頼し、復旧作業を行った結果、鉱害発生を免れた。

⁴ <https://www.bousai.go.jp/kohou/oshirase/pdf/140224-3kisyu.pdf>

○秩父鉱山（埼玉県秩父市）



【出典】経済産業省「休業止鉱山インフラのレジリエンス強化の取組について」（令和3年1月26日）

図27 2019年台風19号による秩父鉱山の被害

表47 秩父市内で一日当たりの降雨量が50mmを超えた回数

降雨量(mm)	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年
0-50	362	356	359	363	362
50-100	2	7	7	2	3
100-150	0	1	0	0	0
150-200	1	0	0	0	0
500-550	0	1	0	0	0
50mm 未満	362	356	359	363	362
50mm 以上	3	9	7	2	3

【出典】気象庁 過去の気象データより作成

(4) 鉱山におけるその他事故等

一部の撮影マニアによる、立入禁止区域内の鉱山設備や坑道への無断侵入が後を絶たない。侵入者の死亡事故、転落事故が発生しており、監視・警備体制の対応が必要である。

- ・ 2022年7月17日秩父鉱山内の立入禁止区域の坑道に無断で侵入した男性2人が酸欠で死亡する事故が発生⁵。
- ・ 2022年9月滋賀県土倉鉱山に「SNS映え」するとして無断侵入し撮影する人が後を絶たないとして、侵入防止用柵を設置⁶。過去に、撮影に無断で立ち入った男性が転落、救急車が出動する事故が発生。

⁵ <https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUE173EY0X10C22A7000000/>

⁶ <https://mainichi.jp/articles/20220924/k00/00m/040/289000c>

(5) コスト検討

定期点検への代替を目的とした場合、従来の点検コストに比較すると、ポート付きドローンの運用コストは割高である。（従来の点検コストが月3,5000円に対し、ポート付きドローンの導入の初期費は約1,000万円、維持費はドローン運航を外部委託しない場合、月85,000円、ドローン運航を外部委託する場合は月101,000円）一方で、台風や集中豪雨の緊急時や鉱山に向かう道路が遮断された場合、現地に行かずして、現場の状況を速やかに把握することができるため、鉱害発生防止に向けた対策の意思決定に役立てることができるため、社会的なインパクトは大きいと考えられる。さらに、点検時の転落・墜落などの労働災害防止に役立てることができるため、雇用の安定につながる。

(ア) 点検時間の比較

秩父鉱山における従来の点検業務とポート付きドローンによる点検業務の所要時間を比較した。前者は自宅から秩父鉱山内の集積場に向かい、各点検場所の目視確認を行ったのち、事務所内で報告書を作成完了するまでの所要時間の合計時間を示す（表48）。後者はクラウドベースの機体のタスク管理プラットフォームであるDJI FlightHub 2を用いて遠隔でポート付きドローンを自律飛行させ、撮影画像を基に報告書の作成を完了するまでの合計時間である（表49）。報告書作成完了までの時間を比較すると、ポート付きドローンを用いると約170分の時間短縮となる。

さらに、ポート付きドローンで遠隔運航する場合、飛行中は閲覧を許可した相手にライブ配信が可能である。複数人が異なる場所からリアルタイムの撮影動画を確認しながら現地 の状況を把握することができるため、緊急時における意思決定を早めることができる。

また、AIによる報告書自動作成または作成支援システム(点検場所の画像を自動選択、過去の撮影画像との比較、文章作成など)やAIによって異常状態を発見し発報を自動化するシステム等が実現された場合、大幅な時間削減になることに加え、意思決定及び初動対応をさらに早めることが可能である。

表48 従来の点検時間（秩父鉱山の場合）

項目	所要時間（分）
A 自宅から秩父鉱山までの移動時間（片道）	120
B 準備時間	10
C 点検時間（合計）	60
うち、点検時の目視確認時間	20
点検場所間の移動時間	40
D 報告書作成時間	30
合計時間（A+B+C+D）	220

表49 ポート付きドローンによる自律飛行による点検時間

項目	所要時間 (分)
A 準備時間	10
B 撮影時間 (ライブ配信可能)	5
C 画像アップロード時間 (1 フライトあたり 30 枚撮影した場合)	7.5
D 報告書作成時間	30
合計時間 (A+B+C+D)	52.5

(イ) 従来業務の点検コストの試算

ヒアリングの結果をもとに、従来の点検コストを概算したところ、月当たり33,600円であった。

表50 従来の点検コストの試算

項目	単位	単価	備考
A 時給	円/時	3500	年収450万円×1.5(社会保険等)/240(稼働日)/8(1日あたりの稼働時間)≒3500円
B 月当たりの点検回数	回/月	6.4	月当たりの点検回数 ⁷
C 点検時間	時間/回	1	ヒアリング参照
D 報告書作成時間	時間/回	0.5	ヒアリング参照
月額コスト	円	33,600	=A*B*(C+D)

(ウ) ポート付きドローンの運用コストの試算

ポートへの電源供給可能な環境において、ポート付きドローン及びStarlinkの導入コストの概算を見積もった。図28に遠隔運航サービスの開始までのフローを示す。機器導入の初期費は約1,000万円、維持費はドローン運航を外部委託しない場合、月85,000円、ドローン運航を外部委託する場合は月101,000円であった（表51、52）。

⁷ 月当たりの点検回数：秩父鉱山では、雁掛堆積場で月2回、第一堆積場では月4回定期点検を実施しているが、50mm以上の雨が降った場合、安全確認のための点検（非定期点検）を実施している。気象庁の過去の気象データ[12]によると、秩父市内において、1年間で1日当たりの降水量が50mmを超えた回数は過去5年で平均すると4.8回であったため、非定期点検を年4.8回、つまり、月平均0.4回行うものとして、月当たりの点検回数を合計6.4回とした。

遠隔運航サービスの流れ

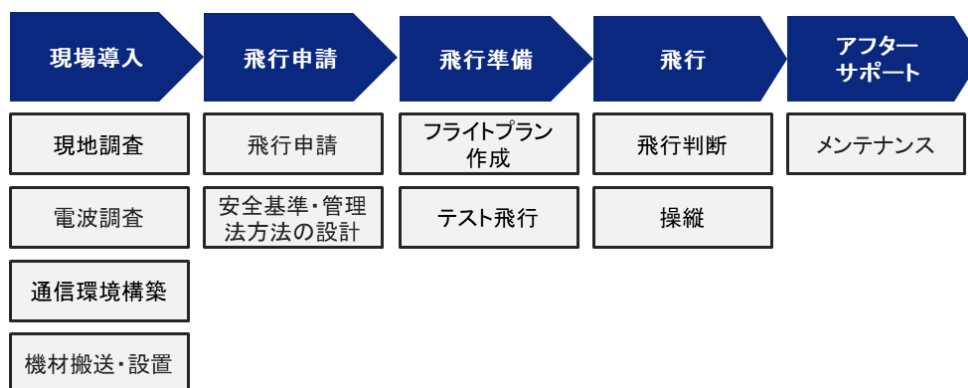


図28 遠隔運航サービスの一例

表51 遠隔運航（遠隔オペレータによる飛行）導入にかかる初期費の概算費用

カテゴリ	品目	詳細明細	概算費用（円）
本体	ドローン	Matrice30T	8,000,000
	ポート	DJI Dock	
Starlink 本体	本体	Starlink Business	440,000
設定費用・手数料	セットアップ費用	・現地調査 ・電波調査 ・通信環境構築	500,000
	機器搬送・設置	（例）千葉～秩父	500,000
	柵の設置	立入禁止用柵	100,000
	飛行申請	・安全基準・管理法方法の設計 ・航空局申請	50,000
	飛行準備費用	・フライトプラン作成 ・テスト飛行	1,000,000
合計			10,090,000

表52 遠隔運航（遠隔オペレータによる飛行）の維持費の概算

カテゴリ	詳細	月額費用（円）
機体メンテナンス費用	Matrice30+DJI Dock	10,000
Starlink 月額費用	Starlink Business 月額利用費(1TB プラン)	32,000
	KDDI サポートパック	33,000
電気代	シミュレーションによる試算	10,000
遠隔オペレータ費用(概算)	オペレータ時給 5,000 円×月 6.4 回フライト×フライト時間 0.5h(充電時間含む)	16,000
合計（ドローンの運航を外部に委託する場合）		101,000
合計（ドローンの運航を外部に委託しない場合）		85,000

(エ) 点検場所を覆う樹木の剪定コストの試算

点検場所を覆う樹木を剪定するコストの試算を行った。樹木の剪定対象は、点検場所のうち、堤体全域および場内水路や山腹水路全域を含む、すべての樹木を伐採または剪定するとなれば、鉱山保安法施行規則第18条第14号に反する。

台風や集中豪雨の後に重点的に点検を行う点検箇所（雁掛堆積場の非常排水口、切替排水口・堰堤、第一堆積場の貯水堰堤）周辺の樹木合計10本の剪定を行うと仮定して試算を行ったところ、1回あたりの樹木の剪定コストは約32万円、年2回剪定すると仮定すると年間費用は約64万円であり、月当たりで按分すると約5.3万円の負担となることが分かった。

表53 1回あたりの樹木の剪定コスト

カテゴリ	単価	個数	概算費用（円）
剪定費用	1本あたり/処分費用込 15,000~20,000円	10本	180,000
重機費用	高所作業車レンタル費用 1日当たり 30,000円	2日	60,000
出張費（宿泊費・ガソリン代を含む）	1日当たり 40,000円 ※作業員4名	2日	80,000
合計			320,000

※本剪定コストは、あくまで高木剪定の標準的な費用を例に試算したものであり、樹木の種類、樹木高さ、幹の太さ、作業員の人数等の各種条件により異なる。

3.2.6 評価・分析

(1) 実証の実施結果

評価項目について、正常系実証、非正常系実証、ヒアリング及び机上検討の結果から、表22の各評価項目に対する評価方法および評価指標に基づき、評価を行った。

① 現場で監督業務を行う場合と同等以上の実効性を有しているか

<p>評価方法：</p> <ul style="list-style-type: none">管理監督が必要な要素のうち、ドローンによる撮影で代替が可能と考えられる項目が明確化されており、その項目のうち、代替可能な項目の割合を算出し、実証内容の評価を行った。
<p>評価結果：</p> <p>ドローン撮影の代替可能な管理・監督対象および点検項目の実効性について、正常系実証で撮影された画像を基にヒアリングを行い、評価を行った。</p> <p>【ドローン撮影による代替可能な管理・監督対象】（表44参照）</p> <ul style="list-style-type: none">鉱業権者へのヒアリングの結果、ドローン撮影の対象とする管理・監督対象（鉱山保安法施行規則第18条）の15項目のうち2項目（第13項 坑外埋立場の封鎖、第14項 坑外埋立場の覆土又は植栽の実施その他の浸出水又は鉱業廃棄物の流出等による鉱害を防止）はポート付きドローンの管理・監督の対象となりうることが明らかになった。 <p>【代替可能な点検項目】（3.2.1(2)及び表54、55参照）</p> <ul style="list-style-type: none">鉱業権者へのヒアリングの結果、7つの点検項目のうち4つの点検項目は、点検対象が樹木で覆われていない場合に限り、ポート付きドローンは点検に代替可能である。<ul style="list-style-type: none">4つの点検項目（沢水排水路点検、非常排水路口点検、（ポンプ設備における）配管点検、巡視路点検）は、点検対象が樹木で覆われていない場合に限り、ポート付きドローンは点検に活用可能である（表54参照）。3つの点検項目（法面点検、場内及び周囲水路点検、法尻堰堤（集水堰）点検）については、現地での目視確認や計量・測量を必要とするため、一部項目のみ点検に活用可能である（表55参照）。全ての点検項目において、設備の機能が失われていないかの判断は確認可能であるため、台風や集中豪雨などの非常時の影響の初動判断に有効である。

表54 代替可能な項目（但し、いずれの項目も樹木で覆われていない場合に限る。）

点検項目	確認可能な項目	確認不可の項目
沢水排水路点検	<ul style="list-style-type: none"> ・機能が失われていないか ・土砂・石・流木等の妨げがないか 	—
非常排水路口点検 ※撮影可能であった場合を仮定	<ul style="list-style-type: none"> ・機能が失われていないか ・土砂・石・流木等の妨げがないか、植物の繁茂は無い 	—
配管点検（ポンプ設備）	<ul style="list-style-type: none"> ・配管が破損していないか（配管が破損すると、破損部から水が噴き出るので確認可能） ・機能が失われていないか 	—
巡視路点検	<ul style="list-style-type: none"> ・巡視道路の崩壊はないか ・機能が失われていないか ・落石・倒木はないか 	—

表55 点検項目のうち一部項目が代替可能な項目（但し、いずれの項目も樹木で覆われていない場合に限る。）

点検項目	確認可能な項目	確認不可の項目
法面点検	<ul style="list-style-type: none"> ・機能が失われていないか ・堤体の崩壊、法面の大規模な陥没、亀裂等がないか 	<ul style="list-style-type: none"> ・法面の陥没、亀裂、はらみ出しの細かな変化は現地で多方面から確認・計測する必要があるため不可
場内及び周囲水路点検	<ul style="list-style-type: none"> ・機能が失われていないか ・土砂・石・流木等の妨げがないか、植物の繁茂はないか 	<ul style="list-style-type: none"> ・水路コンクリート表面の開き、段差、ひび割れなどの細かな異状は現地で確認・計測する必要があるため不可 ・場内の浸潤水位の点検は、浸潤線計測用パイプ内に手動で水面検知用センサーを吊るして水位を計測する必要があるため不可

法尻堰堤（集水堰）点検	<ul style="list-style-type: none"> ・機能が失われていないか ・堰堤から坑廃水があふれ出していないか 	<ul style="list-style-type: none"> ・ポンプ設備が正常に機能しているかは、現地でポンプ設備内部の目盛り等を確認する必要があるため不可
-------------	---	--

② 監督業務を実施する機関において導入可能な、汎用性の高い技術であるか

<p>評価方法：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 監督業務の現場への導入を妨げる要因が解消されているか。または、導入不可能な条件がある場合、それらが明確化されているか。 ・ 従来手法（一部の鉱山の現行手法を例示的に取り上げる）と比較し、発生する費用が削減されるか。
<p>評価結果：</p> <p>導入を防げる要因について、各設置要件や人材、コストの観点から評価した。</p> <p>【設置要件】（表56参照）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 通信環境（低軌道衛星・GNSS）：山の斜面の影響で衛星電波の受信状況が不良となる可能性がある。導入前には現地確認及び電波調査を実施し、環境に応じたポート付きドローンや通信手段を選択する必要がある。 ・ 通信環境（4G LTE）：鉱山周辺は4G LTE 回線のエリア圏外である可能性があるため、事前に利用可能エリアを確認する必要がある。 ・ 電力供給：鉱山周辺は電源供給が困難である可能性がある。電源を確保できない場合は、屋外配線等の整備を行うことにより導入可能である。 <p>【人材】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ドローン等の新技術を活用できる DX 人材の不足から、導入に踏み切れないケースが想定しうる。飛行ルート設定、遠隔オペレータによる遠隔運航等の代行支援を活用することにより、安全に遠隔運航することが可能である。 <p>【コスト】（3.2.5(5)コスト検討参照）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 定期点検への代替を目的とした場合、従来の点検コストに比較すると、ポート付きドローンの運用コストは割高である。 ・ 台風や集中豪雨の緊急時や鉱山に向かう道路が遮断された場合、現地に行かずして、現場の状況を速やかに把握することができるため、鉱害発生防止に向けた対策の意思決定に役立てることができる。鉱山周辺及び周辺河川の下流域一体の環境を保護することができるため、社会的なインパクトは大きいと考えられる。 ・ 点検時の転落・墜落などの労働災害防止に役立てることができるため、雇用の安定につながる。

表56 導入を妨げる要因と導入を可能にするための条件

導入を妨げる要因			課題	解消可能か	対応策
設置要件	通信環境	低軌道衛星	・山の斜面による電波受信不良の恐れがある。	△（受信不良の場合自律飛行が困難。）	・アンテナ設置場所における低軌道衛星の受信電波調査の上、通信障害を受けない場所にアンテナを設置する。
		RTK-GNSS	・山の斜面による電波受信不良の恐れがある。	△（受信不良の場合自律飛行が困難。）	・ポート設置場所及びドローンの飛行ルートにおけるGNSS電波の受信状況の調査を実施する。
		4G LTE	・携帯通信のエリア圏外の恐れがある。	△（4G LTE エリア圏外であれば使用不可。）	・LTE が利用可能エリアを確認の上で接続する。
	電力供給	・鉱山エリアは無電力の恐れがある。	△（鉱山敷地内で電力が供給されていないエリアがある。）	・電源を確保できない場合は屋外配線を整備する。	
人材	ドローンを活用できる人材不足	・適切なルート設定、飛行操作を行う人材がいない。	○（飛行ルート作成、遠隔オペレータによる遠隔運航可能。）	・飛行ルート作成・航空局申請・遠隔運航の代替サービスを利用することにより、運用可能。	
コスト	導入費・維持費	・導入費・維持費が高コスト。	△（定期検査目的の利用は、従来コストに比較すると割高である一方、鉱害発生や労働災害防止策として地域一帯の環境保護や従業員安全確保につながるため社会全体としてのメリットは大きい。）	<ul style="list-style-type: none"> ・ポート付きドローンの導入については、補助金・助成金を活用する。 ・リースやレンタルオプションを活用することにより、初期投資を抑えつつシステムを導入し、効果を実証した上で本格導入する。 ・大雨・集中降雨後に確認すべき点検場所（雁掛堆積場の非常排水口、切替排水口・堰堤、第一堆積場の配管、貯水堰堤）周辺の樹木を年2回剪定する場合は年間約60万円以上のコスト負担となる。 	

③ 現場で監督業務を行う場合と同等以上の安全性を有しているか

評価方法： <ul style="list-style-type: none">・ 既存のリスクを軽減・解消できているか。・ 新たに生じたリスクとインパクトについて評価できているか。
評価結果：（3.2.2非正常系実証参照） 鉦業権者へのヒアリングを通じて、ポート付きドローンの導入により軽減・解消し得るリスク及び新たに発生し得るリスクについて明らかにした。 <ul style="list-style-type: none">・ ドローンの障害物への衝突及び落下のリスクを抑え安全に自律飛行が可能であることから、同等の安全性を有すると考えられる。・ 現場に向かわずして、点検作業を実施でき、管理監督者の転落・墜落リスクを抑えることができることから、従来の監督業務より安全性を向上させることが可能である。・ 鉦業権者へのヒアリングにより明らかになった新たなリスクとして、ドローン墜落の回収リスクが挙げられた。ドローンが墜落した場合、山中に入る必要があるため、回収者の転落・墜落リスクが高まる。テスト飛行時に、信号状態や障害物の有無を確認した上で、適切な飛行ルートの設定が必須である。

④ 誰がいつ実施しても、同水準のデータ取得・出力が可能か

評価方法： 複数回実施した場合、アウトプットの品質（①で評価）の変動はどの程度か。
評価結果：（3.2.1(3)再現性評価を参照） 複数回実施した場合のアウトプットの品質の変動について評価を行った。また、一般的に入手可能な技術であるか評価を行った。 【飛行ルートの再現性】 <ul style="list-style-type: none">・ 飛行ルートの再現性については、センチメートル単位でドローンの飛行制御を行うことが可能である。 【撮影画像の再現性】 <ul style="list-style-type: none">・ 撮影画像の再現性については、ドローンが空中でホバリングした状態で撮影するため、センチメートル単位の位置ズレやチルト角のズレであっても、高倍率の光学ズームを利用する場合、画角がずれる恐れがある。対策として、複数回の撮影及び低倍率画像を同時に取得し、デジタルズームで画像を確認できるよう備えておくことが望ましい。 【機器・サービスの利用】 <ul style="list-style-type: none">・ 使用機材及びサービスは技術的な品質は担保された市販品を用いており、航空法、関連規則及び製品マニュアルに従い、適切な環境で、適切な飛行ルートを設定し、自律飛行させることにより、同水準のデータ取得・出力が可能である。

- ⑤ 電波環境の悪い場所も想定して、電波増幅に係る技術、オフライン環境下でも利用可能な技術を活用する等、電波環境に関する必要な措置を講じられているか

評価方法： <ul style="list-style-type: none">Starlink, 4G LTEを活用した場合に通信可能なエリア・条件について明確化されているか。
評価結果：（3.2.1(1)通信方式の比較参照） 以下の通信技術を用いた場合の通信可能なエリア・条件について明確化を行った。 【Starlink（低軌道衛星）】 <ul style="list-style-type: none">山間部では山の斜面が低軌道衛星の捕捉を阻み、電波受信不良となりうる可能性がある。低軌道衛星を使用する場合は、アンテナ設置場所における低軌道衛星の受信電波調査の上、通信障害を受けない場所にアンテナを設置し接続テストを実施することにより、安定的な接続及び安全な自律飛行の運用を担保できる。自律飛行前に低軌道通信が一時的に途絶え、インターネット接続環境が不安定となった場合、飛行安全性確保のため、ポート付きドローンは離陸できない設定となっている。万が一、自律飛行中に低軌道通信が途絶えた場合においても、Matrice 30Tは、安全にホーム帰還できる機能を備えている。事前にFlightHub 2上で飛行タスク中の信号ロストアクションとして、信号ロストRTH（Return To Home: ホーム帰還）またはタスクの続行を選択することができる。信号ロストRTHを選択した場合、飛行タスクを中断し、安全にドローンポートに戻る。タスクの続行を選択した場合は、飛行ルート上のすべてのタスクを完了したのちに、ドローンポートに戻る。その他、ドローンポートのカバーが開かないなどの着陸に適していない状態の場合は、事前に設定した代替着陸点に着陸を安全に行うことができる。 【4G LTE】 <ul style="list-style-type: none">鉾山エリアでは4G LTEの基地局が設置されていない可能性がある。4G LTEを利用する場合は、事前に基地局の設置状況及び利用可能エリアを確認し接続テストを実施することにより、安定的な接続及び安全な自律飛行の運用を担保できる。

⑥ 通常使用状態において爆発の着火源とならない構造であるか

評価方法： <ul style="list-style-type: none">爆発の着火源となる危険性について検討されているか。
評価結果： <p>ドローンが爆発の着火源となる危険性について検討し、爆発を回避策について検討を行った。</p> <ul style="list-style-type: none">本実証で用いたドローン（Matrice30T）は防爆構造を備えておらず、現時点では、防爆構造を備えたドローンは市販されていない。障害物への衝突、バッテリー低下などによる墜落を回避するフェールセーフ機能を備えたドローンを用いることにより、落下による爆発のリスクを軽減させることができる。ドローンは落下により、着火源となりうるリスクがあるため、現地状況やリスク（特に鉱山においては火薬庫や可燃物の保管庫等）を正確に把握した上で、安全な飛行ルートを設定することで、落下による爆発のリスクを軽減させることができる。（3.2.2非正常系実証の結果参照）。令和4年度に国土交通省に報告のあった事故は89件であり[14]、ドローンの操縦ミスや機械トラブルで、衝突、墜落などを起こす被害が発生している。法律で決められたルールや飛行ルールの教育徹底、法令、点検等の関連知識の習得及び経験の蓄積により、ドローン運用の安全性を向上させることができる。

⑦ 実際の鉱山施設で活用可能な技術であるか

<p>評価方法：</p> <ul style="list-style-type: none">・ 実際の鉱山施設での活用を妨げる要因があると思われる場合、その詳細と考えられる対応策について検討されているか。
<p>評価結果：</p> <p>鉱山施設でポート付きドローンの活用を妨げる要因とその対策を検討した。（表57参照）</p> <p>【鉱山環境】</p> <ul style="list-style-type: none">・ 環境条件：気象条件、標高、鉱山施設・設備の障害物の有無を配慮したポート付きドローンを選択し、飛行計画・飛行ルートを設定することにより、ポート付きドローンによる点検を安全に運用することができる。ドローンポートを屋外に常設することを考慮して、ドローンおよびドローンポートともに IP55保護等級相当の防水防塵構造を備え、過酷な気候条件でも操作可能な機種を選択することにより、長期的に安定性した運用を行うことができる。・ 樹木の影響：樹木によって点検対象が覆われる場合、ポート付きドローンによる上空からの確認は困難である可能性が高い。樹木の下が映るアングルでの撮影を行うことが望ましいが、できない場合は、必要に応じて樹木を剪定・伐採することも検討すべきである。 <p>【設置要件】</p> <ul style="list-style-type: none">・ 通信環境（低軌道衛星・GNSS）：山の斜面の影響で電波の受信状況が不良となる可能性がある。導入前に、電波調査を実施することで、環境に適切な機器及び通信手段を選択することにより、点検対象が樹木で覆われていない場合に限り、鉱山施設で活用可能である。・ 電力供給：集積場周辺は電源供給が困難である可能性がある。電源を確保できない場合は、屋外配線等の整備を行うことにより、点検対象が樹木で覆われていない場合に限り、鉱山施設で活用可能である。・ 盗難防止：ドローン及びドローンポートは常時屋外に設置するため盗難の恐れがある。本実証で用いたドローンポート重量は105kgであり、簡単に持ち運びはできないものの、ドローンポートをコンクリート基礎等にボルトで固定し、立入禁止柵を設置することにより、盗難のリスクを軽減し、運用の安全性を高めることができる。

表57 鉾山施設でポート付きドローンの活用を妨げる要因とその対策

活用を妨げる要因		課題	活用可能か	対応策	
鉾山環境	気象条件	<ul style="list-style-type: none"> ・ 強い風や突風にさらされる。 ・ 非常に高いまたは低い気温にさらされる。 	○（環境条件の計測・自動判断機能が備えている場合、鉾山の環境下で使用可能。）	<ul style="list-style-type: none"> ・ 風速、降雨量、周囲温度を計測し、自律飛行開始を自動的に判断できる仕様を備えたポート付きドローンを使用すること。 ・ 冬季利用時はバッテリー温度が下がることで、内部抵抗が大きくなり、電圧も下がるため、飛行時間が短くなる。バッテリー残量をモニタリングでき、バッテリー低下時は安全に帰還できる仕様を備えたポート付きドローンを使用すること。 ・ ドローン及びドローンポートともに、IP55保護等級に適合するなど、過酷な気候条件でも操作可能なものを使用すること。 	
	高低差	<ul style="list-style-type: none"> ・ フライトルートに高低差がある。 	○（水平位置・標高を踏まえたルートを設定可能。）	<ul style="list-style-type: none"> ・ フライトルート作成時に、標高データ及び樹木の高さを踏まえたウェイポイントを設定すること。 	
	クレーン等の機械設備	<ul style="list-style-type: none"> ・ 作業で使われているクレーン等が存在する。 	○（障害物を考慮した飛行ルートの設定可能。）	<ul style="list-style-type: none"> ・ 障害物となりうる設備等の位置・構造を把握した上で、適切なフライトルートを作成すること。 ・ 障害物回避機能を備えたポート付きドローンを使用すること。 	
	樹木の影響	<ul style="list-style-type: none"> ・ 樹木で点検対象が覆われる。 	△（点検対象が樹木で覆われている場合は確認不可。）	<ul style="list-style-type: none"> ・ 樹木の下が映るアングルで撮影する。 ・ （必要に応じて）点検が必要な場所は、樹木を剪定・伐採する。 	
設置条件	通信環境	低軌道衛星	<ul style="list-style-type: none"> ・ 山の斜面による電波受信不良の恐れがある。 	△（受信不良の場合自律飛行が困難。）	<ul style="list-style-type: none"> ・ アンテナ設置場所における低軌道衛星の受信電波調査の上、通信障害を受けない場所にアンテナを設置すること。
		RTK-GNSS	<ul style="list-style-type: none"> ・ 山の斜面による電波受信不良の恐れがある。 	△（受信不良の場合自律飛行が困難。）	<ul style="list-style-type: none"> ・ ポート設置場所及びドローンの飛行ルートにおけるGNSS電波の受信状況の調査を行うこと。

		4G LTE	<ul style="list-style-type: none"> ・ 携帯通信のエリア圏外の恐れがある。 	△（4G LTE エリア圏外であれば使用不可。）	<ul style="list-style-type: none"> ・ LTE が利用可能エリアを確認の上で接続を行うこと。
	電力供給		<ul style="list-style-type: none"> ・ 鉦山エリアは無電力の恐れがある。 	△（鉦山敷地内で電力が供給されていないエリアがある。）	<ul style="list-style-type: none"> ・ ドローンポート及び通信機器の電源供給が必要である。 ・ 電源を確保できない場合は屋外配線を整備すること。
	盗難防止		<ul style="list-style-type: none"> ・ ドローン及びドローンポートの盗難の恐れがある。 	○（ドローンポートの固定および立入禁止柵の設置により盗難防止の対策可能。）	<ul style="list-style-type: none"> ・ 盗難を防止するため、ドローンポートをコンクリート基礎等にボルトで固定し、立入禁止柵を設置することが望ましい。

(2) 技術実証の結果分析

(ア) 対象業務（法令）に係るアナログ規制の見直しに資するか否か

ポート付きドローンを用いることにより、作業監督者が鉱山施設の現場で行っている安全管理の監督業務の遠隔化による「作業時間の短縮」、「作業の省力化」が実現することのみならず、「安全性の向上」により従事者の罹災防止や鉱山災害防止に寄与する。以下のようなメリットも想定され、アナログ規制の見直しに資すると考えられる。

【鉱山におけるポート付きドローンの活用のメリット】

- ① 経験年数の少ない者や高齢者の罹災防止：
ポート付きドローンによる点検により、経験年数の少ない者や高齢者に多い転落・落下などの罹災を防止することができる。
- ② 作業の記録や管理等のDX化による、鉱山災害の未然防止や原因究明の容易化：
点検記録・管理等のデジタル化が促進されることにより、災害の未然防止、原因究明に向けた点検データの活用、作業関係者でのリスクに共有のためのコミュニケーション活動を促し、鉱山全体での保安管理に役立てることができる。
- ③ 近年激甚化している地震、台風、豪雨等の自然災害の発生に備えた、迅速な状況判断・意思決定の容易化：
近年激甚化している地震、台風、豪雨等の自然災害の発生時に、現地に行かずして、現場の状況を速やかに把握することができるため、鉱害発生防止に向けた取るべき対策の意思決定を早めることができる。酸性で金属を含んだ有害な坑廃水の流出を防ぎ、鉱山周辺及び周辺河川の下流域一体の環境を保護することができるため、社会的なインパクトは大きいと考えられる。

(イ) 実現場での技術等の活用・導入に当たってのポイント

ポート付きドローンを使用する場所の設置要件（環境条件や気候条件、通信環境、電力供給手段）、人材、コストを導入前に確保する必要がある。

【設置要件】

- ・ 環境条件：風速、降雨量、周囲温度を計測し、自律飛行開始を自動的に判断できる仕様を備え、障害物回避機能を備えるポート付きドローンを使用し、高低差及び障害物を回避する飛行ルートを設定する必要がある。ドローンおよびドローンポートを屋外に常時設置することを考慮して、ポート付きドローンおよびドローンポートともにIP55保護等級に相当する防水防塵構造を備えるなど、過酷な気候条件でも操作可能な機種を選択する必要がある。
- ・ 通信環境（低軌道衛星・GNSS）：山の斜面の影響で衛星電波の受信状況が不良となる可能性がある。導入前には現地確認及び電波調査を実施し、環境に応じたポート付きドローンや通信手段を選択する必要がある。
- ・ 通信環境（4G LTE）：鉱山周辺は4G LTE回線のエリア圏外である可能性があるため、事前に利用可能エリアを確認する必要がある。
- ・ 電力供給：鉱山周辺は電源供給が困難である可能性がある。電源を確保できない場合は、屋外配線等の整備を行うことにより導入可能である。

- 盗難防止：ポート付きドローン及びドローンポートは常時屋外に設置するため盗難の恐れがある。ドローンポートをコンクリート基礎等にボルトで固定した上で、立入禁止柵を設置する必要がある。

【人材】

- ドローン等の新技術を活用できるDX人材の不足から、導入に踏み切れないケースが想定しうる。飛行ルート設定、遠隔オペレータによる遠隔運航等の代行支援を活用することにより、安全に遠隔運航することが可能である。

【コスト】

- 定期検査目的の利用は、従来コストに比較すると割高である一方、鉱害発生や労働災害防止策として地域一帯の環境保護や従業員安全確保につながるため社会全体としてのメリットは大きい。
- リースやレンタルオプションを活用することにより、初期投資を抑えつつシステムを導入し、効果を実証した上での本格導入することを検討する。
- 点検対象が樹木で覆われており、樹木の剪定または伐採を行う必要がある場合は、追加でコストが発生することを留意する。

(ウ) 実証を通じて明らかになった課題や改善の方向性

実証を通じて、以下の課題と改善の方向性が明らかになった。（表57参照）

① 通信環境の整備（低軌道衛星・GNSS）：

- 山の斜面の影響で衛星電波の受信状況が不良となる可能性がある。導入前には現地調査および電波調査（周囲の遮蔽物の確認及び低軌道衛星電波の捕捉状況を確認の上、通信速度の確認）、環境に応じたポート付きドローンや通信手段を選択し、その上で最適な飛行ルートやドローンポートの配置場所を設定することが求められる。

② 電力供給：

- 鉱山周辺は電力供給が困難である可能性がある。電力を確保できない場合は、屋外配線等の整備を行う必要がある。

③ 撮影方法の設定：

- 適切な撮影位置や方法が正しく設定されなければ、点検対象を正確に捉えることができない。鉱業権者と協力し、点検対象の点検目的を理解した上で、飛行ルートでの撮影方法（静止画/動画、ズーム倍率、アングル、撮影枚数など）を設定することが求められる。

④ 樹木の影響：

- 樹木によって点検対象が覆われる場合、ポート付きドローンによる上空からの確認は困難である可能性が高い。樹木の下が映るアングルでの撮影が望ましいが、できない場合は必要に応じて樹木を剪定・伐採することも検討すべきである。自己位置推定技術を搭載した高い衝突回避性能を持ち、小型のドローン（例：Skydio2+など）であれば、樹木の下を撮影することが可能である。しかしながらSkydio2+はWi-Fi接続であるため、飛行可能距離はWi-Fi利用範囲内であることを留意する必要がある。
- 温度分布を可視化する赤外線カメラを用いて、樹木で覆われた点検対象の視認性が高まるか検証を行ったところ、樹木の葉で光が遮られるため、温度分布が描出されず、樹木の下構造を確認できないことが明らかになった。一方で、葉などで光が遮られない場合、水のあ

る場所（水路や水たまり）は疑似カラー表示により視認性が高まった。このことから、赤外線カメラは、大雨の後の集積場内の地面や堤体における法面の状態把握や、配管等の破損による坑廃水の漏出の検出に活用できる可能性があることが示唆された。

（エ）ポート付きドローンの活用に向けたニーズと技術課題

鉱業権者へのヒアリング及び机上検討を通じて、鉱山領域の利用拡大への需要が明らかになった。これらを満たすために、後述の技術課題を解決しなければならない。

【需要の拡大余地】

- ① 露天採掘場への活用：露天採掘場の残壁の確認
- ② 赤外線画像の活用：堰堤・配管の漏水・水路や排水口の水量確認・法面からの出水の確認
- ③ 緑化事業への活用：樹木管理における樹冠や樹頂点の検出、樹高や胸高直径の画像解析による推定
- ④ 防犯・警備への活用：鉱山施設・設備・坑道の警備、侵入時の警告

【活用に向けて必要な技術開発】

- ① 飛行距離の拡大：以下技術課題が改善された場合、飛行距離が拡大し、より広範囲の遠隔による点検が可能になる。
 - ・ 長距離での信号伝達やリアルタイムの映像伝送を実現する通信技術（5Gテクノロジー及び低軌衛星通信技術など）の向上：KDDIでは、2025年からStarlinkとスマートフォンが直接接続できるサービスの開始を予定している⁸。Starlinkの電波を直接受信可能なドローンを用いることにより、遮蔽物の影響を受けない上空で電波を送受信できるため、飛行距離の拡大が期待される。
 - ・ 効率的にエネルギーを供給可能なバッテリー技術の進化：従来のリチウムイオン電池技術の発展に加え、燃料電池⁹等を用いた機体の開発が進められている。
 - ・ 長距離飛行に伴う予想外の障害物に対する回避技術の向上や自己位置推定技術の発展による自律飛行システムのさらなる改善が期待される。
- ② 障害物回避：自分自身の位置と、その周辺の環境を同時に把握する技術（Simultaneous Localization and Mapping：SLAM）のうちカメラ画像を用いて自己位置を推定する、Visual SLAMを採用したドローン¹⁰やレーザー光を用いて自己位置を推定する、LiDAR SLAMを採用したドローン¹¹が既に市販されており、さらなる精度向上および処理速度の向上が望まれる。
- ③ AIによる報告書作成支援：点検場所の画像を自動選択し、過去の撮影画像と比較し、文章を作成するなどの報告書自動作成または作成支援システムが開発されれば、業務効

⁸ <https://news.kddi.com/kddi/corporate/newsrelease/2023/08/30/6935.html>

⁹ <https://www.meti.go.jp/press/2020/04/20200410002/20200410002-1.pdf>

¹⁰ <https://kddi.smartdrone.co.jp/special/skydio>

¹¹ <https://enterprise.dji.com/zenmuse-l2>

率向上に貢献できる。

- ④ AIによる異常状態の発見・発報：異常状態の発見し発報を自動化するための、異常箇所の自動判別技術が実現された場合、大幅な時間削減になることに加え、意思決定及び初動対応をさらに早めることが可能になる。

・
(オ) アナログ規制の見直しにあたり留意すべき点

- ① 技術の進歩への対応：ドローン技術及び通信技術は日々進歩している。アナログ規制の見直しを進める際、現状存在する有効な技術のみで判断するのではなく、将来的に出現するであろう有効な技術を見据え、有識者の意見を踏まえて検討すべきである。
- ② 遠隔点検の省人化効果の見極め：ポート付きドローンによる遠隔による点検を導入したとしても、最終的な判断として現場の確認や現地作業が必要となる業務は残ると想定されるため、必ずしもすべての作業がデジタルに置き換えられるわけではないことを留意する。
- ③ 鉱山業界との協力：鉱山業界の課題やドローン活用にかかる実務的な知見や経験など鉱業権者の意見を取り入れ、規制の見直しを行う必要がある。

4 総括

本実証の正常系実証、非正常系実証、ヒアリング及び机上検討をもとに、本実証で対象とした業務等に関して、鉱山におけるポート付きドローンの活用のメリットの明確化したことに加えて、導入を妨げる要因を特定し、導入に向けて解決すべき課題を明確化した。

ポート付きドローンを用いることにより、作業監督者が鉱山施設の現場で行っている安全管理の監督業務の遠隔化による「作業時間の短縮」、「作業の省力化」が実現することのみならず、「安全性の向上」により従事者の罹災防止や鉱山災害防止に寄与する。以下のようなメリットも想定され、アナログ規制の見直しに資すると考えられる。

鉱山におけるポート付きドローン活用のメリット（再掲）

- ① 経験年数の少ない者や高齢者の罹災防止：
ポート付きドローンによる点検により、経験年数の少ない者や高齢者に多い転落・落下などの罹災を防止することができる。
- ② 作業の記録や管理等のDX化による、鉱山災害の未然防止や原因究明の容易化：
点検記録・管理等のデジタル化が促進されることにより、災害の未然防止、原因究明に向けた点検データの活用、作業関係者でのリスクに共有のためのコミュニケーション活動等を促し、鉱山全体での保安管理に役立てることができる。
- ③ 近年激甚化している地震、台風、豪雨等の自然災害の発生に備えた、迅速な状況判断・意思決定の容易化：
近年激甚化している地震、台風、豪雨等の自然災害の発生時に、現地に行かずして、現場の状況を速やかに把握することができるため、鉱害発生防止に向けた取るべき対策の意思決定を早めることができる。酸性で金属を含んだ有害な坑廃水の流出を防ぎ、鉱山周辺及び周辺河川の下流域一体の環境を保護することができるため、社会的なインパクトは大きいと考えられる。

用語集

用語	定義・解説
ドローン	航空の用に供することができる飛行機、回転翼航空機、滑空機及び飛行船であって構造上人が乗ることができないもののうち、遠隔操作又は自動操縦（プログラムにより自動的に操縦を行うことをいう。）により飛行させることができるものであり、重量が100g以上のものを対象としている。[15]
ドローンポート	ドローンの格納庫であり、通信アンテナ、データ転送機能、充電機能等を有し、自動無人オペレーションが可能となる。
ポート付きドローン	ポート付きドローンは、ドローンの自動充電や格納が可能なドローンポートと連携するドローン。
自律飛行	ドローンがあらかじめ設定した範囲内やルート、対象物の周辺の飛行などを行うこと。
低軌道衛星通信	地球表面から2000km以下の軌道を周回している衛星。従来の静止衛星と比べて、地表からの距離が65分の1程度と大きく近づくため、これまでの衛星通信に比べると、大幅な低遅延と高速伝送を実現する。
RTK	『リアルタイムキネマティック』の略で、地上に設置した「基準局」または「ネットワーク RTK」からの位置情報データによって、高い精度の測位を実現する技術。
GNSS	「GNSS」とは「汎地球測位航法衛星システム」であり、GPSなど、衛星を用いた測位システムの総称。通常、GPS のみの場合、位置情報データは2メートル前後の誤差であるが、RTK を組み合わせることで、数センチ内の誤差に抑えることが可能になる。これまで GPS では難しいとされていた、センチメートル単位での高精度な位置情報データを活用することができるため、様々な産業分野での利用が期待されている。
赤外線カメラ	サーマルカメラという赤外線カメラを使用することで、物体の温度を可視化することができる。サーマルカメラは、被写体が発する遠赤外領域の放射光を検出するセンサーを備え、非接触かつ暗闇で温度を検知し、温度分布を可視化することが可能であるため、法面裏の空洞や漏水のような温度差が出る変状を把握するための保守・点検業務をはじめ、様々な用途で活用されている。
集積場・堆積場	鉱山の選鉱・製錬工程で発生するスラグ（鉱滓）を水分と固形分とに分離し、その固形分を堆積させる施設。
法面	切土や盛土により作られる人工的な斜面。
堰堤	堆積物または坑廃水をせき止めるために石、コンクリートなどで築いた堤防。
堤体	ダムや堤防の本体。

坑水	閉山後も鉱物が地下水や空気中の酸素と反応して賛成で金属を含んだ水
廃水	採掘跡や鉱業活動により発生した排石（ズリ）などの集積場について雨水などにより金属が溶出した水。坑水と廃水を合わせて「坑廃水」と呼ぶ。
露天採掘場	露天掘りとは、鉱石を採掘する手法の一つであり、坑道を掘らずに地表から渦を巻くように地下めがけて掘っていく手法である。露天掘りに採掘された採掘場を露天採掘場と呼ぶ。

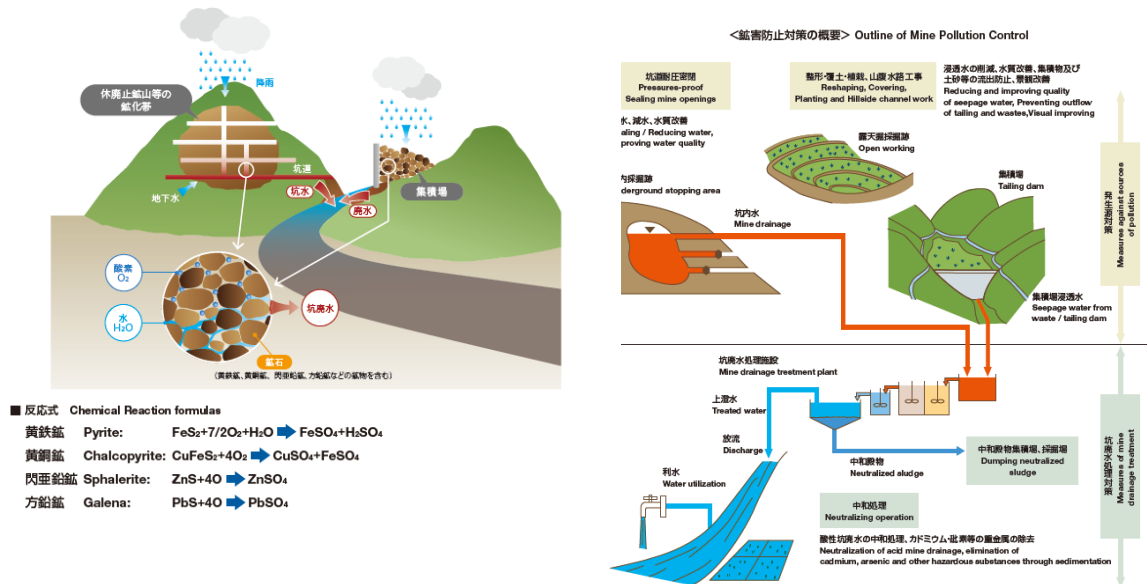
別添資料

別添資料1 実証対象として求められていた管理監督業務の一例

- (ア) 火薬類の存置、受渡し、運搬及び発破に関する作業（石油坑によるものを除く石油鉱山においては、火薬類の存置、受渡し、運搬及び火薬類の使用に関する作業）時における火薬類の取扱い状況及び盗難防止措置の実施状況等についての監督。
- ※「存置に関する作業」とは火薬類取扱所に火薬類を存置する作業若しくは火薬類受渡場所、発破場所又はその付近に安全な方法で火薬類を一時存置する作業。
- ※「受渡しに関する作業」とは、鉱山内において、担当の作業監督者又はその監督下にある者が発破作業や火薬類取締法上の火薬類取扱保安責任者と火薬類の受渡しを行う作業。例えば、火薬庫からの火薬類の受取り又は返還の際の火薬類の取扱い及び使用量又は返還量の確認作業等。
- ※「運搬に関する作業」とは、鉱山内における火薬類の受渡し場所までの運搬作業。
- ただし、火薬類の携帯は発破に関する作業に含まれるため、運搬に関する作業には当たらない。
- ※「発破（火薬類の使用）に関する作業」とは、火薬類取扱所（又は火薬類受渡場所）から発破箇所への火薬類の携帯を含み、せん孔、装てん、結線、点火並びに残薬の点検及び処理の作業等。
- (イ) ボイラーの操作作業、蒸気圧力容器の操作作業におけるボイラー等の操作時における手順方法等についての監督。
- (ウ) 高圧ガス（1日に容積100立方メートル以上の高圧ガス（内燃機関の始動、タイヤの空気の充てん又は削岩の用に供する圧縮装置内における圧縮空気を除く。））の製造施設に係る維持、製造等の作業時における作業方法等についての監督。
- (エ) 冷凍設備（冷凍のためガスを圧縮し、又は液化して高圧ガスの製造をする設備でその1日の冷凍能力が20トン未満（フルオロカーボン（不活性のものに限る。）にあつては50トン未満）のもの、冷凍保安規則第36条第2項に掲げる施設（同項第1号の製造施設にあつては、アンモニアを冷媒ガスとするものに限る。））であつて、その製造設備の1日の冷凍能力が50トン未満のものを除く。）に関する高圧ガスの製造施設に係る維持、製造等の作業時における作業方法等についての監督。
- (オ) 昇圧供給装置の工事、維持及び運用の作業（天然ガス自動車への天然ガスの充てん作業を除く。）時における作業方法等についての監督。
- ※「昇圧供給装置」とは、ガスを高圧にして充てんする装置。
- (カ) 電気工作物（電圧30ボルト未満のものを除く。ただし、石炭坑及び石油坑において使用する電圧30ボルト未満の電氣的設備であつて、電圧30ボルト以上の電氣的設備と電氣的に接続されていないものはこの限りでない。以下同じ。）の工事、維持及び運用に関する作業時における作業方法等についての監督。
- (キ) ガス集合溶接装置を用いて行う金属の溶接、溶断又は加熱の作業時における作業方法等についての監督。
- (ク) 石油鉱山において行うパイプライン及びその附属設備の工事、維持及び運用の作業時における作業方法等についての監督。
- (ケ) 鉱煙発生施設の点検、鉱煙の量の測定等の作業方法等についての監督。
- (コ) 坑廃水処理施設等の点検、排出水の汚染状態の測定の実施等の作業時における作業方法等についての監督。
- (サ) 騒音発生施設の点検、騒音を防止するための施設の操作、点検、補修及び騒音の測定等の作業時における作業方法等についての監督。
- (シ) 振動発生施設の点検、振動を防止するための施設の操作、点検、補修及び振動の測定等の作業時における作業方法等についての監督。
- (ス) ダイオキシン類発生施設の点検、ダイオキシン類発生施設から排出される排ガス又は排出水を処理するための施設及びこれに附属する施設の操作、点検及び補修、排ガス又は排出水に含まれるダイオキシン類の量の測定等の作業をいい、作業方法等についての監督。
- (セ) 粉じん発生施設の点検、粉じん発生施設から発生し、又は飛散する粉じんを処理するための施設及びこれに附属する施設の点検及び補修等の作業時における作業方法等についての監督。
- (ソ) 石綿粉じん発生施設の点検、石綿粉じん発生施設から発生し、又は飛散する石綿粉じんを処理するための施設及びこれに附属する施設の点検及び補修、石綿粉じんの濃度の測定等の作業時における作業方法等についての監督。
- (タ) 鉱山において、鉱業廃棄物の「埋立処分」、「集積処分」及び「焼却処分」をするための施設（例えば、鉱業廃棄物の埋立場、沈でん物等の集積場等）があり、当該施設から発生する鉱害を防止するための維持管理等の作業をいい、具体的には、本規則第18条（鉱業廃棄物の処理）に規定する措置に伴う作業時における作業方法等についての監督。
- (チ) 鉱山において、有害鉱業廃棄物の「埋立処分」等をするための施設（例えば、有害鉱業廃棄物の埋立場等）があり、当該施設から発生する鉱害を防止するための維持管理等の作業をいい、具体的には、本規則第18（鉱業廃棄物の処理）に規定する措置に伴う作業時における作業方法等についての監督。
- (ツ) 石油・天然ガス等の試掘時に使用する掘削バージにおける作業。

別添資料2 鉱害発生メカニズム

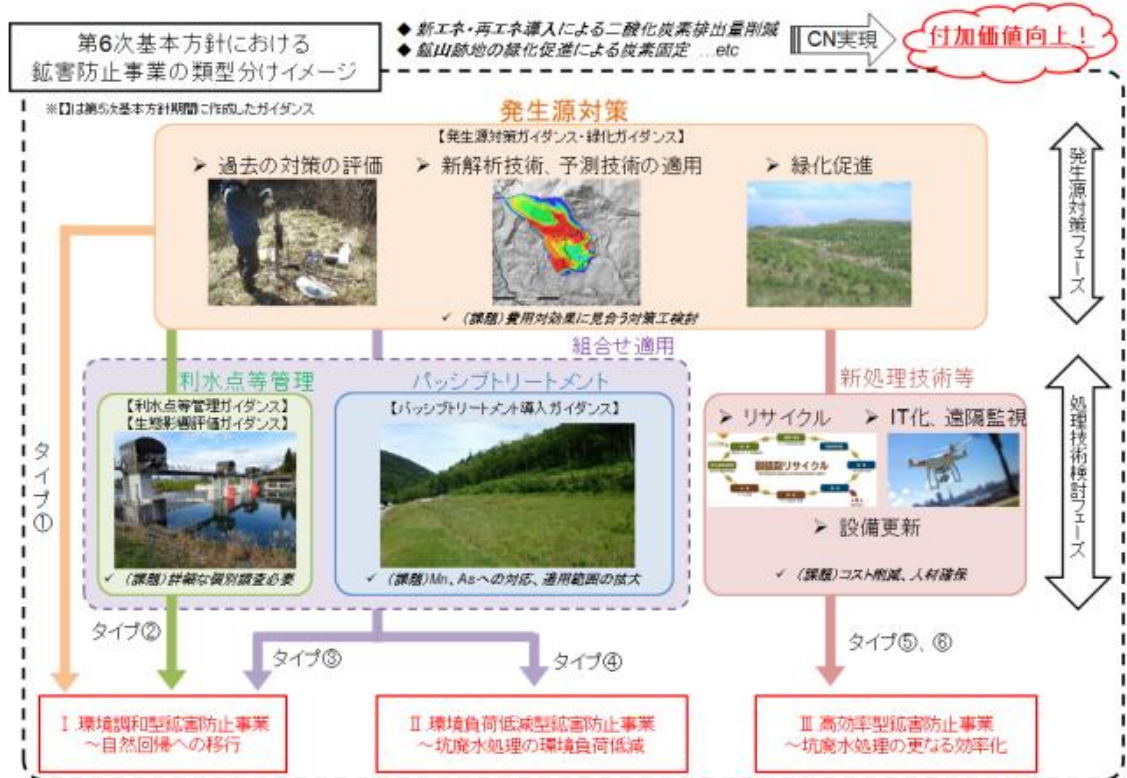
閉山後も鉱物が地下水や空気中の酸素と反応して酸性で金属を含んだ坑水を発生する。また、採掘跡や鉱業活動により発生した排石（ズリ）などの集積場について雨水などにより金属が溶出し廃水を発生する。これら坑水と廃水を合わせて「坑廃水」と呼び、河川等の公共水系にそのまま流入することによる水質汚染や、廃棄物自体の流出や風による飛散を防ぐ必要がある。[2]



【出所】独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構 金属環境事業部
「鉱害防止支援事業 ～休廃止鉱山における鉱害防止対策を推進するために～」

別添資料3 休廃止鉱山について

日本の金属鉱山の多くは、操業を休止した鉱山あるいは鉱業権が放棄された廃止鉱山であり、合わせて休廃止鉱山と呼ばれる。ガドリウム等の金属類を含む鉱山廃水が坑口や集積場から流出し、これらの廃水は坑廃水と呼ばれる。坑廃水処理が必要となる休廃止鉱山のうち、92鉱山（義務者不存在32鉱山、義務者存在60鉱山）¹²が「特定施設に係る鉱害防止事業の実施に関する基本方針（第6次）」に従い、鉱害防止事業を推進している（図29、30）。

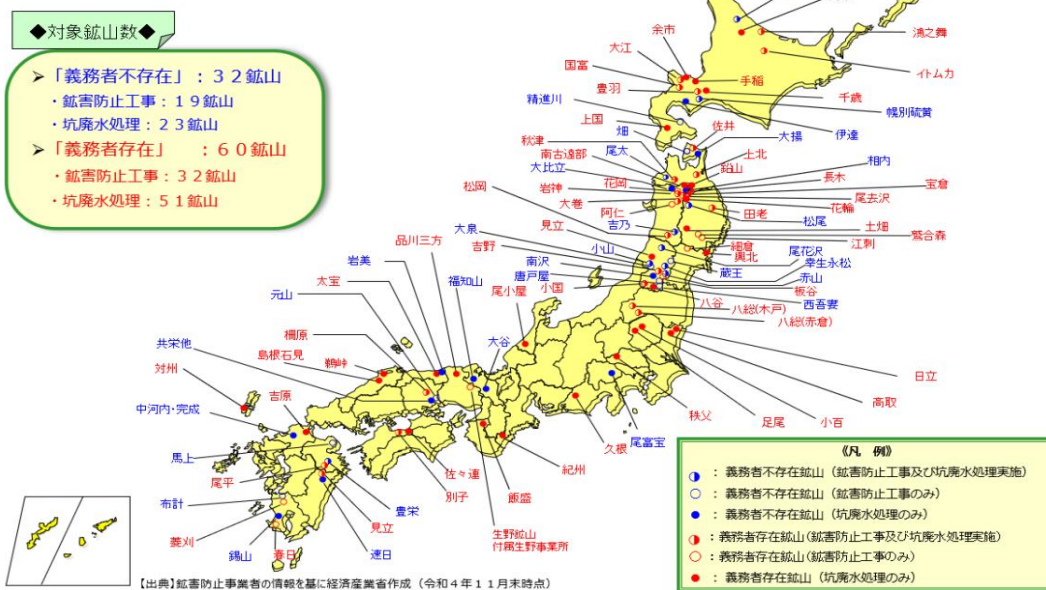


【出典】 特定施設に係る鉱害防止事業の実施に関する基本方針

図29 第6次基本方針における鉱害防止事業

¹² 金属鉱業等鉱害対策特別措置法第4条に規定する「特定施設に係る鉱害防止事業の実施に関する基本方針」[6]は、鉱害防止事業の計画的な実施を図るため、経済産業大臣が鉱害防止事業の実施の時期、事業量等を定めることとされており、昭和48年の法律創設以降、これまで10年間ごとに制定されている。令和5年3月31日に、令和5年度から10年間の基本方針が告示され、この基本方針に沿って、92鉱山（義務者不存在32鉱山、義務者存在60鉱山）を対象に鉱害防止事業を進められている。

第6次基本方針対象休廃止鉱山位置図



【出典】 特定施設に係る鉱害防止事業の実施に関する基本方針

図30 第6次基本方針対象休廃止鉱山

参照文献

- [1] 独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構. 「坑廃水処理の原理」(平成18年2月),
https://www.meti.go.jp/policy/safety_security/industrial_safety/sangyo/mine/portal/kaisetsu/kaisetu-1.pdf.
- [2] 独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構 金属環境事業部, 「鉱害防止支援事業 ~休廃止鉱山における鉱害防止対策を推進するために~」(令和3年3月),
<https://www.jogmec.go.jp/content/300371693.pdf>
- [3] 国土地理院、距離と方位角の計算式,
<https://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/surveycalc/surveycalc/algorithm/bl2st/bl2st.htm>
- [4] B. R. Bowring, "Total Inverse Solutions for the Geodesic and Great Elliptic," Survey Review, 33, 261 (July 1996), 461-476.
- [5] 鉱山災害防止対策研究会「鉱山災害防止対策研究会報告書」(令和4年11月30日),
https://www.meti.go.jp/shingikai/hoankyogikai/pdf/033_s05_00.pdf
- [6] 経済産業省「特定施設に係る鉱害防止事業の実施に関する基本方針(第6次)概要」(令和5年4月),
https://www.meti.go.jp/policy/safety_security/industrial_safety/sangyo/mine/seisaku/pdf/20230417_01-1.pdf
- [7] 経済産業省「鉱業労働災害防止計画「第13次計画」の実施状況及び「第14次計画」の策定方針」(令和4年7月13日),
https://www.meti.go.jp/shingikai/hoankyogikai/pdf/032_01_00.pdf
- [8] 中央鉱山保安協議会(令和2年2月18日)資料1-2 鉱害防止対策にかかる自主保安管理の取組み事例と今後の計画について(日本鉱業協会),
https://www.meti.go.jp/shingikai/hoankyogikai/pdf/030_01_02.pdf
- [9] 日本鉱業協会「鉱害防止対策にかかる自主保安管理の取組み事例と今後の計画について」(令和2年2月18日),
https://www.meti.go.jp/shingikai/hoankyogikai/pdf/030_01_02.pdf
- [10] 経済産業省「大雪による休止鉱山の坑廃水の処理について」(平成26年2月24日),
<https://www.bousai.go.jp/kohou/oshirase/pdf/140224-3kisyas.pdf>
- [11] 関東東北産業保安監督部「管内及び全国鉱山の災害・鉱害等発生状況について」(令和2年5月),
https://www.safety-kanto.meti.go.jp/kouzan/tokatsusya_r02_1-2.pdf
- [12] 気象庁 過去の気象データ・ダウンロード(引用日:令和5年12月21日),
<https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>
- [13] 経済産業省、「鉱山における無人航空機(ドローン)活用に関する手引き」,
https://www.meti.go.jp/policy/safety_security/industrial_safety/sangyo/mine/kogyo/zirei/drone.pdf

- [14] 国土交通省,「無人航空機に係る事故等報告一覧（令和4年12月5日以降に報告のあったもの）」, <https://www.mlit.go.jp/common/001585162.pdf>
- [15] 国土交通省,「無人航空機の飛行の安全に関する教則」（令和4年11月2日）, <https://www.mlit.go.jp/koku/content/001520517.pdf>