

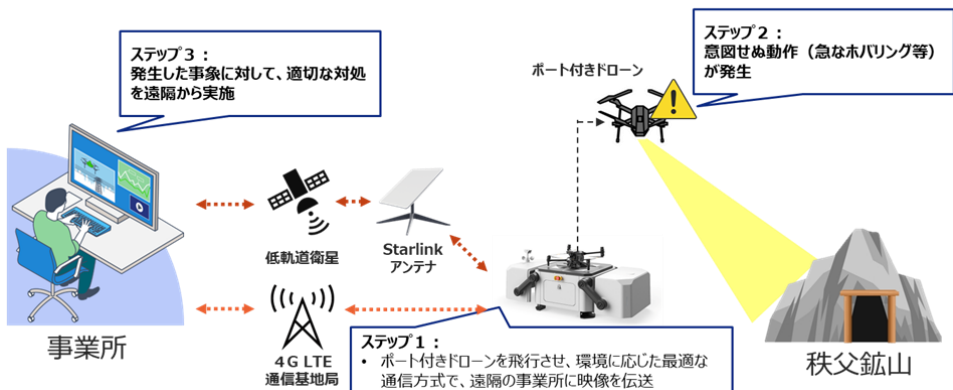
【技術実証の概要】

対象業務（法令）	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
実証の全体像	<div style="display: flex; flex-direction: column;"> <div style="background-color: #f0f0f0; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> 現行業務の概要 </div> <p>鉱山における作業時等では、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。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・設備を設け、定期的に現地で点検を行い保安全管理を行っている。</p> <div style="background-color: #f0f0f0; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> 実証の目的 </div> <p>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。</p> <div style="background-color: #f0f0f0; padding: 5px;"> 実証の手法 </div> <p>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」を用いた実証を行う。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う。</p> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"> <p>事業所 ドローンから送られる映像を基に作業状況の監視、安全管理を実施できるか実証</p> <p>鉱山施設の現場を想定した環境 ポート付きドローンが自動巡回し、映像を撮影</p> <p>映像共有 Starlink、4G LTE等からそれぞれ適切な通信方式を選択し通信</p> <p>ドローンの格納、充電が可能なドローンポートと連携したドローンを活用することで、現場無人でのドローン運用が可能となる</p> <p>ポート付きドローン</p> <p>秩父鉱山</p> </div> <div style="background-color: #fff9c4; padding: 10px; margin-top: 10px;"> <p>ドローンによる代替作業の一例：</p> <ul style="list-style-type: none"> • 堤体の点検：亀裂、はらみ出し（法面の一部が膨らんだ状態になること）、崩壊はないか • 排水路・排水路口の点検：土砂・石・流木等による排水の妨げはないか • 集水堰及びポンプ設備（配管を踏む）の点検：堰堤の崩壊/漏水・配管の破損はないか • 巡視路の点検：落石・倒木・巡視路の崩壊はないか </div>
実施体制	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
実施期間	2023年10月13日～2024年1月31日

【技術実証の詳細】

技術実証の方法 (1/3)	技術実証項目	実証内容									
	<p>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)</p>	<p>正常系技術実証では、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鉱業権者のヒアリング及び机上検討をもとに検証を行った。</p> <p>技術実証の実施概要 (正常系)</p> <p>実証ケース：</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ケース</th> <th>確認項目</th> <th>パターン</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A 飛行高度</td> <td>高度毎に撮影対象がどこまで認識できるか</td> <td>3高度 (100, 120, 140m)</td> </tr> <tr> <td>B ルートの再現性</td> <td>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</td> <td>同一ルート、設定で2回程度のフライトを実施</td> </tr> </tbody> </table> <p>確認項目：</p> <p>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、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</p>	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 (100, 120, 140m)	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
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 (100, 120, 140m)									
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									

【技術実証の詳細】

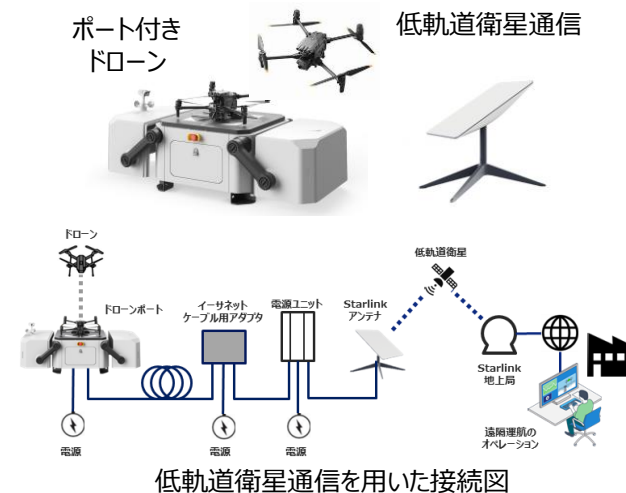
技術実証の方法 (2/3)	技術実証項目	実証内容												
	<p>2. 作業監督者が鉱山施設の現場で行っている安全管理の監督業務の遠隔化（非正常系実証）</p>	<p>ポート付きドローンの活用にあたり、イレギュラーな事態が発生した場合を想定し、その状況に対して遠隔からの指示等で対処が可能か検証を行った。想定される各リスクのうち、実証可能なものに対して、問題なく想定通りの動作が行われるかを確認した。</p> <p style="text-align: center;">技術実証の実施概要（非正常系）</p>  <p style="text-align: center;">想定するリスクに対する実証内容</p> <table border="1" data-bbox="1031 935 2313 1142"> <thead> <tr> <th>想定するリスク</th> <th>実証内容</th> <th>確認項目</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>自律飛行停止</td> <td>遠隔から自律飛行中の一時停止およ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</td> <td>OK / NG</td> </tr> <tr> <td>バッテリー低下</td> <td>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</td> <td>OK / NG</td> </tr> <tr> <td>障害物への衝突</td> <td>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</td> <td>OK / NG</td> </tr> </tbody> </table>	想定するリスク	実証内容	確認項目	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退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、衝突防止センサーが適切に発動するかを確認する	OK / NG
想定するリスク	実証内容	確認項目												
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退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、衝突防止センサーが適切に発動するかを確認する	OK / NG												
	<p>3. 机上検討・ヒアリング</p>	<p>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号の項目と考えられる。本項目については、鉱山業者がドローンで撮影できたデータを基に代替可否を判定した。さらに、本施行規則第18条のその他の項目については、撮影したデータを基に、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。</p>												

【技術実証の詳細】

技術実証の方法 (3/3)

活用した技術の概要

- ポート付きドローン (Matrice30 & DJI Dock) : 機体の自動充電や格納が可能なポートと連携するドローン。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である。
- 低軌道衛星通信 (Starlink) : 低軌道衛星と通信することで、空が開けており、衛星を捕捉できる場所であれば山間部等でもインターネットに接続可能である。
- 4G LTE : 4G LTEエリア圏内であればモバイルルーター等を用いてインターネットに接続可能である。



【技術実証の詳細】

実証場所① 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

【実施した技術実証項目】

1. 正常系実証

- 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。
- 第一堆積場では、100、120、140mの高度別に同一ルート・同一設定で各2回飛行し、ルートの再現性を評価した。
- 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、安全を優先し、高度100mのみ飛行を行った。

2. 非正常系実証

- 自律飛行の停止、バッテリー低下時のリスクに対して想定通りの動作が行われるか確認を行った。

【タイムスケジュール】

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 条件出し、飛行ルート作成

2023年11月29日 9:00～16:00 自律飛行による撮影、デジタル庁による視察



ポート付きドローンとStarlink



ポート付きドローンの離陸の様子



第一堆積場の飛行ルート



遠隔飛行を制御する様子

【技術実証の詳細】

実証場所② コードベースキミツ 千葉県君津市広岡1000

【実施した技術実証項目】

1. 非正常系実証

- 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。
- 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。

2. 赤外線カメラ画像の撮影

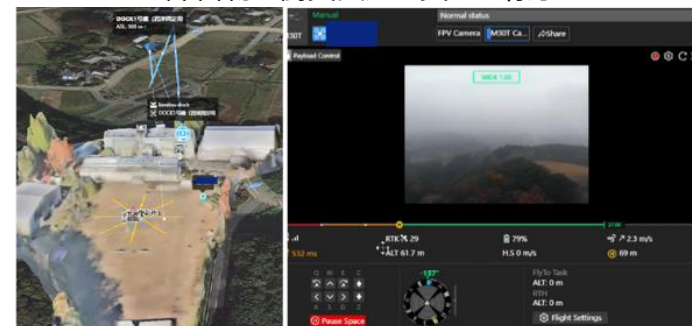
- 雨上がりのグラウンドで樹木に覆われた水路、水たまり、落葉樹及び常緑樹の赤外線撮影モードでドローン撮影を行った。

【タイムスケジュール】

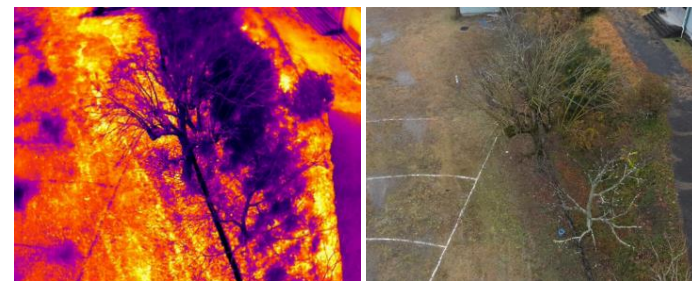
2023年12月12日 10:00~17:00 非正常系実証・赤外線カメラ撮影



障害物の衝突回避の実証の様子



自律飛行停止の実証の様子



赤外線カメラ画像の撮影の様子

【技術実証の詳細】

実施条件

前提条件及び技術要件とその対応関係は以下の通りである。

実証の前提条件及び技術要件との対応表

○：対応可
△：一部対応可

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

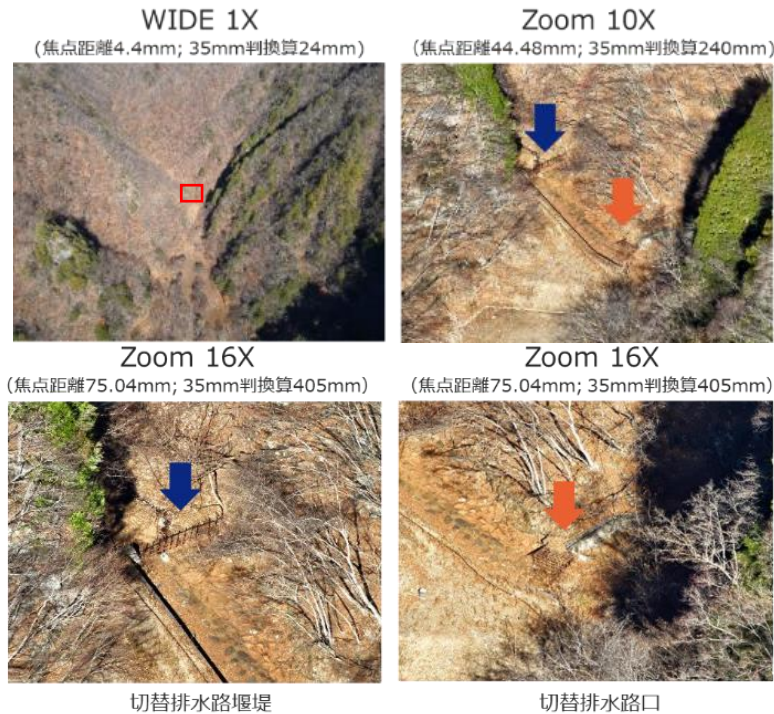
【技術実証の結果】

<p>結果の評価の観点</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 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撮影による画像の取得可否を確認した。 • 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。 • 机上検討、ヒアリング等：ドローンで撮影できたデータを基に代替可否を判定した。さらに、その他の項目については、撮影したデータを基に、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。 																										
<p>結果の評価のポイント・方法</p>	<p>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。</p> <table border="1" data-bbox="591 554 2349 1339"> <thead> <tr> <th data-bbox="591 554 1080 605">評価項目</th> <th data-bbox="1090 554 1589 605">評価方法</th> <th data-bbox="1600 554 2349 605">評価のポイント</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="591 611 1080 719">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</td> <td data-bbox="1090 611 1589 719">正常系の実証結果、机上検討、ヒアリング等をもとに評価</td> <td data-bbox="1600 611 2349 719">• 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。</td> </tr> <tr> <td data-bbox="591 725 1080 862">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</td> <td data-bbox="1090 725 1589 862">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</td> <td data-bbox="1600 725 2349 862">• 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。</td> </tr> <tr> <td data-bbox="591 868 1080 948">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</td> <td data-bbox="1090 868 1589 948">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</td> <td data-bbox="1600 868 2349 948">• 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。</td> </tr> <tr> <td data-bbox="591 953 1080 1033">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</td> <td data-bbox="1090 953 1589 1033">正常系の実証結果、机上検討、ヒアリング等をもとに評価</td> <td data-bbox="1600 953 2349 1033">• 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。</td> </tr> <tr> <td data-bbox="591 1039 1080 1176">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</td> <td data-bbox="1090 1039 1589 1176">正常系の実証結果、机上検討、ヒアリング等をもとに評価</td> <td data-bbox="1600 1039 2349 1176">• 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。</td> </tr> <tr> <td data-bbox="591 1182 1080 1262">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</td> <td data-bbox="1090 1182 1589 1262">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</td> <td data-bbox="1600 1182 2349 1262">• 爆発の着火源となる危険性について検討されているか。</td> </tr> <tr> <td data-bbox="591 1268 1080 1333">⑦実際の鉱山施設で活用可能な技術であるか</td> <td data-bbox="1090 1268 1589 1333">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</td> <td data-bbox="1600 1268 2349 1333">• 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。</td> </tr> </tbody> </table>			評価項目	評価方法	評価のポイント	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	• 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	• 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	• 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	• 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	• 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	• 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	• 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。
評価項目	評価方法	評価のポイント																									
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	• 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	• 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	• 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	• 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	• 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	• 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	• 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。																									

【技術実証の結果】

実証の実施結果 (1/3)	技術実証項目	実証結果
	正常系実証 （ポート付きドローンからの映像で、現状の監督業務で確認している点が遠隔からでも問題なく確認できるかを評価）	<ul style="list-style-type: none"> 雁掛堆積場内は、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、一部の撮影時において確認が困難であった。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回自律飛行での撮影が可能であった。 ルートの再現性の評価の結果、センチメートル単位の高い精度で飛行ルートを制御可能であることが示された。撮影画像の再現性については、点検対象が視野に入る範囲で水平方向のズレが見られた。

雁掛堆積場における撮影画像



第一堆積場における撮影画像による評価結果

凡例 ○：代替可、△：限定的であるが代替可、×：代替不可

点検場所	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		⑧配管		⑨貯水堰堤		⑩第一堆積場道路	
	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	注1:土砂・石・流木等の妨げは無いこと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3:土砂・石・流木等の妨げは無いこと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5:土砂・石・流木等の妨げは無いこと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7: 120, 140mでは対象物全体が映っていなかった。(鉦)		注9: 樹木に隠れて集水堰堤を確認できない。(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)	

【技術実証の結果】

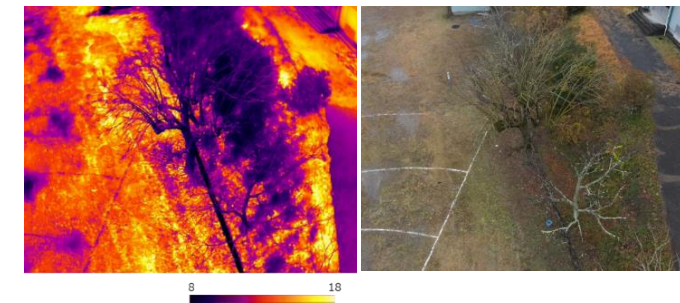
実証の実施結果	技術実証項目	実証結果
(2/3)	非正常系実証 （イレギュラーな事態が発生した場合、遠隔からの指示等で対処が可能かを評価）	1. 自律飛行停止の検証：ドローンのタスク管理が可能なクラウドベースのプラットフォームであるDJI FlightHub 2 による制御により、自律飛行を停止できることを確認した。 2. バッテリー低下時のホーム帰還の検証：バッテリーが閾値（残量30%）以下になるまで飛行させたところ、フェールセーフが適切に発動し、タスクを中断した上でホームポイントに帰還することを確認した。 3. 障害物への衝突回避の検証：事前に設定した警告距離5mの範囲内に障害物を検出した場合、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。
	赤外線カメラ画像撮影 （追加検討）	赤外線撮影モードでドローン撮影を行ったところ、常緑樹の下は葉で光が遮られるため、温度分布は描出されなかった。一方で、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。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役立つ可能性があることが示された。



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）



障害物の衝突回避の検証の様子



赤外線カメラ画像と通常坑画像

【技術実証の結果】

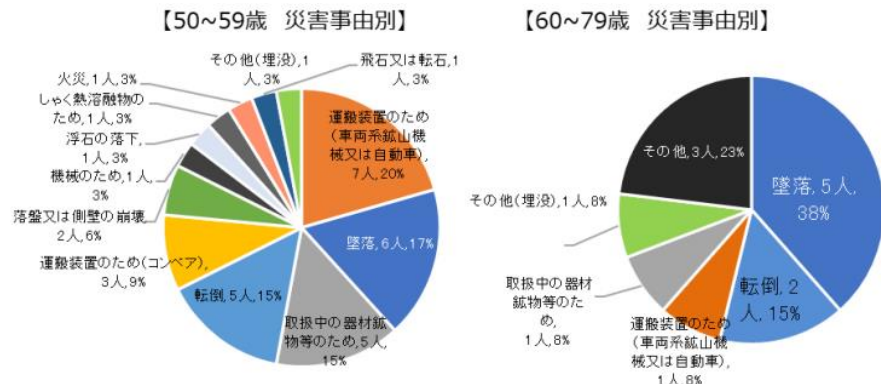
実証の実施結果 (3/3)	技術実証項目	実証結果
	机上検討・ヒアリング	<ul style="list-style-type: none"> 国内の鉱山数及び鉱山労働者数は減少傾向であり、事業者規模が縮小しつつある。また、経験年数の少ない者及び高齢者の罹災率が高い傾向が見られる。鉱山事業における業務の効率化・省人化及び点検作業時の転落・墜落リスク削減が求められる。 鉱業権者へのヒアリングをもとに、秩父鉱山における従来の点検業務とポート付きドローンによる点検業務の所要時間(自宅から鉱山への駆けつけを想定)の比較を行ったところ、ポート付きドローンを用いると約170分の時間短縮となることが明らかになった。

国内鉱山の状況の変化

項目	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

高齢者災害自由別罹災者発生状況 (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）

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

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

【技術実証の結果】

実証の 評価結果	評価項目	評価結果
<p>(1/5)</p>	<p>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>	<p>ドローン撮影の代替可能な管理・監督対象及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鉱業権者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】</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事が明らかになった。 <p>【代替可能な点検項目】</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。 • 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。 • 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。 • 全ての点検項目について、設備の機能が失われていないかの判断に用いることができるため、台風や集中豪雨などの非常時の初動の判断に有効である。

【技術実証の結果】

実証の 評価結果	評価項目	評価結果
<p>(2/5)</p>	<p>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>	<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を行った。</p> <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】</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。さらに、点検対象が樹木で覆われていた場合、樹木の剪定または伐採を行う必要があり、追加でコストが発生する。 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。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。 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。

【技術実証の結果】

実証の 評価結果	評価項目	評価結果
(3/5)	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	<p>ポート付きドローンの導入により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。</p> <p>【障害物への衝突及び墜落リスクの低減】</p> <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。 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を行うことにより安全性を担保できる。 <p>【罹災リスク防止】</p> <ul style="list-style-type: none"> 現場に向かわずして、点検作業を実施できるため、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。
	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	<p>アウトプットの品質の変動について評価を行った。</p> <p>【飛行ルートの再現性】</p> <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。 <p>【撮影画像の再現性】</p> <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。 <p>【機器・サービスの利用】</p> <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。

【技術実証の結果】

実証の 評価結果	評価項目	評価結果
(4/5)	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	<p>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。</p> <p>【Starlink（低軌道衛星）】</p> <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。 <p>【4G LTE】</p> <ul style="list-style-type: none"> 鉱山エリアでは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	<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、爆発の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。 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、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。

*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>

【技術実証の結果】

実証の 評価結果	評価項目	評価結果
<p>(5/5)</p>	<p>⑦実際の鉱山施設で活用可能な技術であるか</p>	<p>実際の鉱山施設での活用を妨げる要因とその対応策について評価を行った。</p> <p>【鉱山環境】</p> <ul style="list-style-type: none"> • 環境条件・気候条件：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。 • 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。

【技術実証の結果】

実証の 結果分析 (1/2)

【アナログ規制の見直しに資するか】

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。さらに、以下のようなメリットも想定されるため、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

- ① **経験年数の少ない者や高年齢者の罹災防止**：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年齢者に多い転落・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、遠隔から現地の状況を速やかに把握することができるため、鉱山災害発生防止に向けた取るべき対策の意思決定を速めることができる。

【アナログ規制の見直しにあたり留意すべき点】

- **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。
- **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。
- **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。

【技術実証の結果】

実証の 結果分析 (2/2)

【ポート付きドローンの活用に向けた需要の拡大と技術課題】

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、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**：通信技術の向上、バッテリー技術の進化、障害物回避技術の向上や自己位置推定技術の発展により飛行距離が拡大し、より広範囲の遠隔点検が可能になる。
- ② **障害物回避**：樹木等の障害物回避するための、センサー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望まれる。
- ③ **AIによる報告書作成支援**：撮影の自動化に加え報告書作成の自動化により業務効率向上に貢献し得る。
- ④ **AIによる異常状態の発見・発報**：異常検知システムの開発により意思決定及び初動対応の迅速化につながる。