

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 1 :

ドローン、画像解析技術等を活用した監視の実証

パーソルプロセス&テクノロジー株式会社

2024年1月31日

## 目次

1	技術実証の概要	4
1.1	目的	4
1.1.1	背景	4
1.1.2	技術実証の方針	6
1.2	対象業務（法令）	6
1.3	全体像	6
1.4	実施体制・期間	9
1.4.1	実施体制	9
1.4.2	実施期間	9
2	実施項目 A	10
2.1	技術実証内容の詳細	10
2.1.1	実施場所等	10
2.1.2	技術実証の方法	11
2.1.3	実施条件等	27
2.2	技術実証の結果	28
2.2.1	結果の評価ポイント・方法	28
2.2.2	結果及び評価・分析	31
3	実施項目 B	46
3.1	技術実証内容の詳細	46
3.1.1	技術実証の方法	46
3.1.2	実施場所等	69
3.1.3	実施条件等	71
3.2	技術実証の結果	72
3.2.1	結果の評価ポイント・方法	72
3.2.2	結果及び評価・分析	73
4	実施項目 C	91
4.1	技術実証内容の詳細	91
4.1.1	技術実証の方法	91
4.1.2	実証場所等	101
4.1.3	実施条件等	102
4.2	技術実証の結果	103
4.2.1	結果の評価ポイント・方法	103
4.2.2	結果及び評価・分析	104
5	実施項目 D	114
5.1	技術実証内容の詳細	114
5.1.1	技術実証の方法	114
5.1.2	実施場所等	116
5.1.3	実施条件等	116

5.2	技術実証の結果 .....	116
5.2.1	結果の評価ポイント・方法 .....	116
5.2.2	結果及び評価・分析 .....	118
6	実証全体総括 .....	121
6.1	技術実証内容の詳細 .....	121
6.1.1	技術実証の方法 .....	121
6.1.2	実施場所等 .....	122
6.2	技術実証の結果 .....	123
6.2.1	結果の評価ポイント・方法 .....	123
6.2.2	結果及び評価・分析 .....	124
7	用語集 .....	128
8	巻末資料 .....	134
8.1	実施項目 A テストケース・評価項目毎の検証結果 .....	134
8.1.1	実施項目 A 日中（9:00～15:00）の検証結果一覧 .....	135
8.1.2	実施項目 A 日没前後（15:00～17:00）の検証結果一覧 .....	136
8.1.3	実施項目 A 夜間（17:00～19:00）の検証結果一覧 .....	138
8.2	実施項目 B テストケース・評価項目毎の検証結果 .....	140
8.2.1	実施項目 B 日中（9:00～15:00）の検証結果一覧 .....	141
8.2.2	実施項目 B 日没前後（15:00～17:00）の検証結果一覧 .....	142
8.2.3	実施項目 B 夜間（17:00～19:00）の検証結果一覧 .....	143
8.3	実施項目 C テストケース・評価項目毎の検証結果 .....	144
8.3.1	実施項目 C 日中（9:00～15:00）の検証結果一覧 .....	145
8.3.2	実施項目 C 日没前後（15:00～17:00）の検証結果一覧 .....	146
8.4	実施項目 A 検知画像サンプル .....	147
8.5	実施項目 B 及び C 対象別検知結果 .....	149
8.6	実施項目 B AI システム正解・不正解画像サンプル .....	150
8.7	実施項目 C AI システム正解・不正解画像サンプル .....	152

# 1 技術実証の概要

## 1.1 目的

### 1.1.1 背景

今回の実証事業開始にあたり、パーソルプロセス&テクノロジー株式会社（以下、パーソル P&T）は、本実証の対象となる現場の実態を把握するため、「鉱業上使用する工作物等の技術基準を定める省令第 40 条第 2 項第 2 号」に規定される火薬類取扱所の建物構造（盗難及び火災を防ぐための構造）がない、あるいは破損している場合などにおける、見張人（事業者若しくは警備会社での常時監視）の行う巡視について、鉱山関係資料の調査や関係者へヒアリングを試みた。

その結果、盗難防止のための物理的な対策は当然ながら、火薬保管場所や火薬量などの情報漏洩防止に寄与する高いセキュリティレベルを維持するために、センサー等の設置に加え、見張人を配置する等、火薬類取扱所の監視は現時点で充分に行われていると関係者が認識していることが判明した。

また、火薬類取扱所の火災においては、経済産業省の「鉱山保安統計年報」や全国火薬類保安協会の報告書などの様々な資料、および鉱山関係者へのヒアリング等で確認するも、鉱山での当該場所においては発生していないことも判明した。火薬類取締法や鉱山保安法の技術基準を、特に人の監視により、確実に遵守してきた成果といえる。

しかしながら、現時点では、火薬類取扱所そのものの数および固定カメラの設置も少なく、人による高頻度な巡視に頼っている実情がある。また、異常発生時の警鳴、警報においては、人がいることが前提である事業所への発報のみとなっており、遠隔地にいる専門者や責任者への発報ができていないために、稀に、異常発生時の人による対応の中で発生する事故事例もあったことを確認している。

鉱山の火薬類取扱所の数は少ないとの情報はあがるが、安心・安全な社会を維持するため、火薬という犯罪利用への可能性を持ったものを扱う業務であることを踏まえ、高い安全管理を維持しながら人力に依存した部分をできるだけ削減し、デジタル技術へ転換していくことが急務と考えられる。

こうした状況を踏まえ、本事業の対象業務である、見張人の目視等により行っている鉱山の火薬類の法定監視においては、現場の課題だけでなく社会的課題と合わせて解消できるデジタル技術を模索することが重要と感じており、以下に観点や視点から検討することで、より適切な技術選定を行うことができると考える。

上記の背景を踏まえ、アナログ規制の見直しによる効率化・省人化に資する技術検証を行うにあたり、本事業ではそれらの知見や実証実績を保有する複数の事業者と協働しながら、各種ドローン・UGV・固定カメラを使った情報収集と、画像・AI 解析技術、そして現場でのモバイル活用した通報バリエーション等、複数のデジタル代替について、人による監視と同等の精度にて判定が可能な性能を備えていることを実証する。その結果を、技術実証報告書としてとりまとめ、公開できる部分については公表し、アナログ規制緩和の機運の醸成に貢献していくことが本実証の目的であ

る。

本実証で活用する技術については、継続的運用が可能であることを前提に実証することで、デジタル化による省人化だけでなく、新システム導入に伴う新たな雇用の創出も見込まれる。さらに、利活用されることで更なる規制緩和へつながり、新たな成長産業の創出も期待されるため、アナログ規制緩和には多大な意義があると考えている。最終的には、新たな情報収集技術での遠隔監視化による省人化の検証を実施することにより、法令規制の緩和・撤廃の促進、ひいては社会全体のデジタル化促進へ貢献することを目指す。

本事業の実証要件である、見張人の目視等により行っている鉱山の火薬類の法定監視においては、現場の課題だけでなく社会的課題と合わせて解消できるデジタル技術を模索することが重要と感じており、以下の観点や視点から検討し、より適切な技術選定を行った。

	現状	課題	本実証の方針
法令の見直し	「鉱業上使用する工作物等の技術基準を定める省令第40条第2項第2号」における見張人の配置	建物構造条件に充足がない場合でも見張人と同等以上の監視体制を取る	既存のデジタル技術を人の代替として活用する可能性を検証
雇用情勢	少子高齢化による生産年齢人口の減少という社会的雇用情勢の懸念	鉱山や火薬というハイリスクな業界において、人に頼らない監視体制を取る	新たなデジタル技術を活用する可能性の検証
社会情勢	テロや戦争という社会的不安要素の懸念	爆弾の原料となる火薬の確実な盗難防止	盗難を発生させないための新たなデジタル技術活用の可能性の検証

図 1 法令の見直し・雇用情勢・社会情勢への対策検討

### 1.1.2 技術実証の方針

実証内容に対して、活用技術の実証方針を以下の表のように定めた。なお、これらの活用技術については、現時点では技術的に実証または活用そのものが難しいケースもある。しかしながら、将来的には技術開発・進歩により、より精度の高い性能が備わる、また完全自律運行や自動化がより進歩することが予測される。したがって本実証では、規制緩和や開発と進化によりいずれできることが想定される技術もあわせて検討し、現時点で実証が可能な手法、例えば自動ではできない場合は手動で行うなどにより、検証を実施する。

### 1.2 対象業務（法令）

本実証が対象とする法令業務は以下である。

鉱山において、火薬庫からの火薬類を取り出し、発破現場の鉱山や途中の火薬類取扱所へ一時的な残置などを行う場合、鉱山保安法が適用される。鉱業上使用する工作物等の技術基準を定める省令第40条第2項第2号では、見張人を常時配置する必要があるとしており、見張人は、火薬の盗難や火災防止のための監視業務が業務範囲となっている。見張人を常時配置する場合の監視頻度として、1時間に1回以上を内規で定義している。異常が検知された場合には、直ちに事務所への電話連絡などによって伝達され、知らせを受けた火薬類取扱責任者は現場の駆けつけを必要とする業務が定義されている。

鉱業上使用する工作物等の技術基準を定める省令第40条第2項第2号に基づく、火薬類の盗難及び火災防止のための監視業務が、本実証で確認する業務範囲となる。

### 1.3 全体像

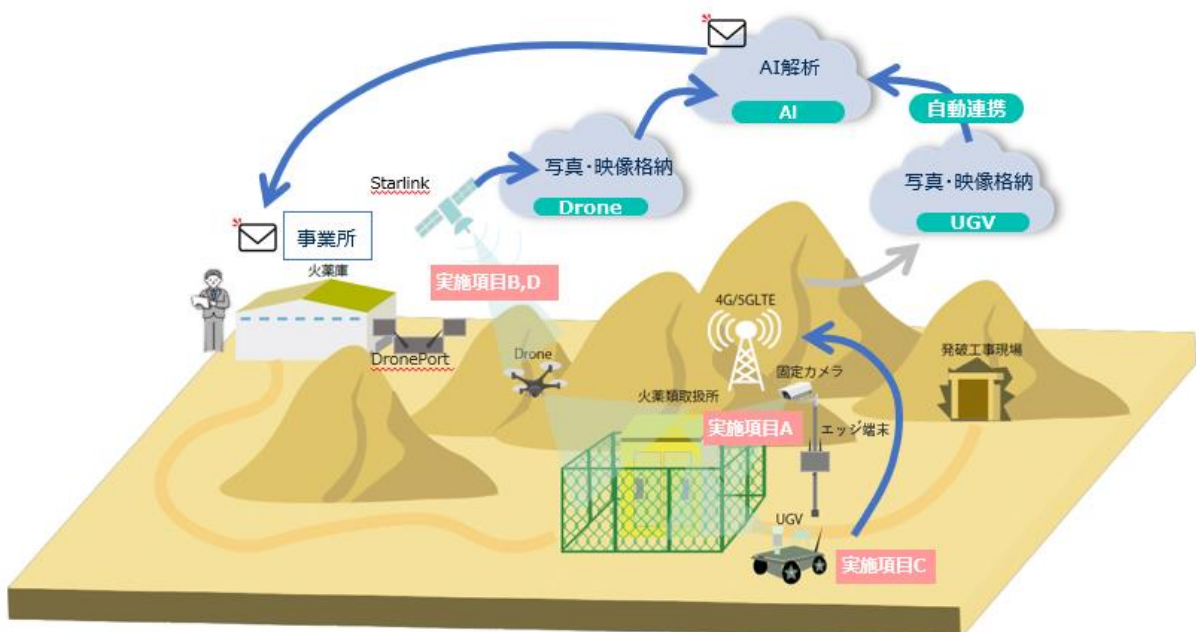


図 2 全体像と実施項目

本実証においては、「固定カメラ」、「ドローン」、「UGV（Unmanned Ground Vehicle）」によって、火薬類取扱所（を模した建造物）周辺での煙や人の撮影を行い、その画像データを、衛星通信等を利用し AI 解析環境に伝送する。AI 解析により異常を検知した場合は、事業所や遠隔地に待機する見張人（を想定した人）へのアラート自動発報を行う。

実施項目 A では、自動警報装置が急遽使えなくなった場合を想定し、即時取り付け可能で一般的な防犯機器だけを使って火薬類取扱所の監視と事業所内外への発報が可能であることを実証する。

ユースケースとしては、鉱山内の抗外火薬類取扱所は絶えずトラックの往来や採掘器具の使用による鉱物資源などの粉塵にさらされている。そのため、自動警報装置に不具合が生じ、一時的に自動警報装置が稼働していない状態で火薬を存置する必要が発生した。盗難や火災リスクが高まるため、急遽火薬類取扱所を監視する手段を講じる必要がある。可動式の防犯装置（カメラ）を火薬類取扱所の扉および周辺に設置することで、24 時間の火薬類取扱所の監視を実施する。異常が検知された場合は、自動で事業所に滞在する職員および事業所外にいる職員へアラートが発報され、必要な対策や通報が実施される。

実証項目 B,C では、電気供給のない場所に火薬類取扱所を設置する場合を想定し、人の定期巡視に代替する手法として自動航行ドローンや UGV による巡視と、それらで取得した映像を AI で分析、異常検知し、事業所内外の職員への速やかな発報により監視が遂行できることを実証する。

ユースケースとしては、鉱山内の火薬類取扱所は採掘の進捗に合わせて定期的な移動が必要となる。そのため、電気供給のない場所に火薬類取扱所を設置せざるを得ないケースが出てくる。盗難や火災リスクが高まるため、見張人が 1 時間に 1 回以上の巡視を行うのと同様の監視を UGV やドローンポートから自動航行するドローンの巡視によって実現する。ドローンや UGV が 1 時間に 1 回以上の頻度で火薬類取扱所周辺を撮影し、その映像がリアルタイムで遠隔地のモニターに投影され、職員が確認を行う。異常が検知された場合は、自動で事業所に滞在する職員および事業所外にいる職員へアラートが発報され、必要な対策や通報が実施される。

実証項目 D では、実施項目 A（固定カメラによる監視）において、異常が検知された場合、事業所内外への発報に加え、自動航行ドローンにもアラート信号が送信され、人に先駆けて、ドローンが現場確認および盗難の場合に初動対応ができることを実証する。

ユースケースとしては、火薬類取扱所には通常自動警報装置が設置されているが、カメラが設置されているケースは少なく、発報があった際には、事業所にいる職員が現地に駆け付け目視確認および初動対応を行っている。広大な鉱山においては火薬類取扱所が事業所から離れた場所に設置されている事も多いため、駆け付けに時間を要する。また、足場の悪い場所に設置されている場合には怪我人が出るなど、人にとっては危険が伴う業務となる。日常的に鉱山内を自動巡回しているドローンを使って、まずはドローンによって現地確認を行い、事業所から映像を見て対応を検討することで職員の労働負荷軽減および初動の迅速化を図る。

表 1 実施項目一覧

実施項目	内容
A	固定カメラ、エッジコンピューティング技術及び AI の活用による異常検知・発報の実証
B	ドローンポート、自律飛行ドローン、衛星回線及び AI の活用による異常検知・発報の実証
C	自律走行 UGV、高精度測位システム及び AI の活用による異常検知・発報の実証
D	固定カメラによる監視により検知した異常に対し、現場確認にドローンを活用する実証

表 2 検証内容と活用技術

見張人が行う監視業務における情報収集のデジタル技術による代替		
遠隔地から制御可能なカメラ、センサー等を用いて、鉱山内の火薬類取扱所の状況について、静止画又は動画データを取得し、事業所内に滞在する職員及び事業所以外（職員の移動等、特定の場所を定めず監視する場合も含む）で監視している職員へリアルタイムで送信することにより、見張人が行う場合と同等以上の精度で、火薬類の盗難を意図した行為及び火災発生等の判断に資する情報を収集する。ただし、現行の規制において見張人が配置されるのは、実態として、法令で定められた必要な構造物が破損している場合や必要な構造物がない場所に一時的に火薬類を存置する場合等に限られ、また見張人を配置する場合も見張人が1時間に1回以上の巡視を行えばよいものとされている。そのため、本実証においては、特定の場所における常時監視ではなく、必要な場合（火薬類が存置されている期間）・場所において1時間に1回以上の継続監視が可能な技術を想定する。		
対応ポイント	活用技術	活用技術の実証方針
✓ 遠隔地から制御可能なカメラ等から、静止画、動画の情報を収集できるか検証する	固定カメラ	継続的に静止画・動画を撮影し、データをリアルタイムに伝送、事業所でのモニタ監視を可能とする
✓ 取得情報をリアルタイムに事業所職員や事業所以外の監視職員へデータ送信できるか検証する	ドローン	1時間に1回以上の定期巡回を行い、静止画・動画を撮影し、データをリアルタイムに伝送、事業所でのモニタ監視を可能とする
✓ データからは、見張人と同等以上の盗難や火災発生等の判断が可能となるか検証する	UGV	夜間以外の休日昼間に、定期巡回を行い、静止画・動画を撮影し、データをリアルタイムに伝送、事業所でのモニタ監視を可能とする
見張人が行う監視業務における異常検知・アラート発報に係る自動化		
鉱山内の火薬類取扱所で取得された静止画・動画データをAI画像解析等の技術を活用し、リアルタイムで分析し、見張人による監視と同等以上の精度で、火薬類の盗難を意図した行為及び火災発生等の検出・事務所に滞在する職員及び及び事務所以外（職員の移動等、特定の場所を定めず監視する場合も含む）で監視をしている職員へのアラート発報を自動的に行う。ただし、（1）と同様、本実証においては特定の場所における常時監視ではなく、必要な場合（火薬類が存置されている期間）・場所において1時間に1回以上の継続監視が可能な技術を想定する		
対応ポイント	活用技術	活用技術の実証方針
✓ 取得した静止画、動画データ等をAI画像解析を活用し、リアルタイムに分析できるか検証する	固定カメラ	継続的に静止画・動画を撮影し、データをリアルタイムに伝送、AI解析を行い、異常検知した場合、複数の職員へアラート発報を行う
✓ 取得情報から異常検知の場合、リアルタイムに事業所職員や事業所以外の監視職員へ自動的にアラート発報できるか検証する	ドローン	1時間に1回以上の定期巡回を行い、静止画・動画を撮影し、データをリアルタイムに伝送、AI解析を行い、異常検知した場合、複数の職員へアラート発報を行う
✓ データからは、見張人と同等以上の盗難や火災発生等の判断が可能となるか検証する	UGV	夜間以外の休日昼間に、定期巡回を行い、静止画・動画を撮影し、データをリアルタイムに伝送、AI解析を行い、異常検知した場合、複数の職員へアラート発報を行う



## 1.4 実施体制・期間

### 1.4.1 実施体制

パーソル P&T 配下に、再委託先として 5 つの事業者が参画し実証を行った。

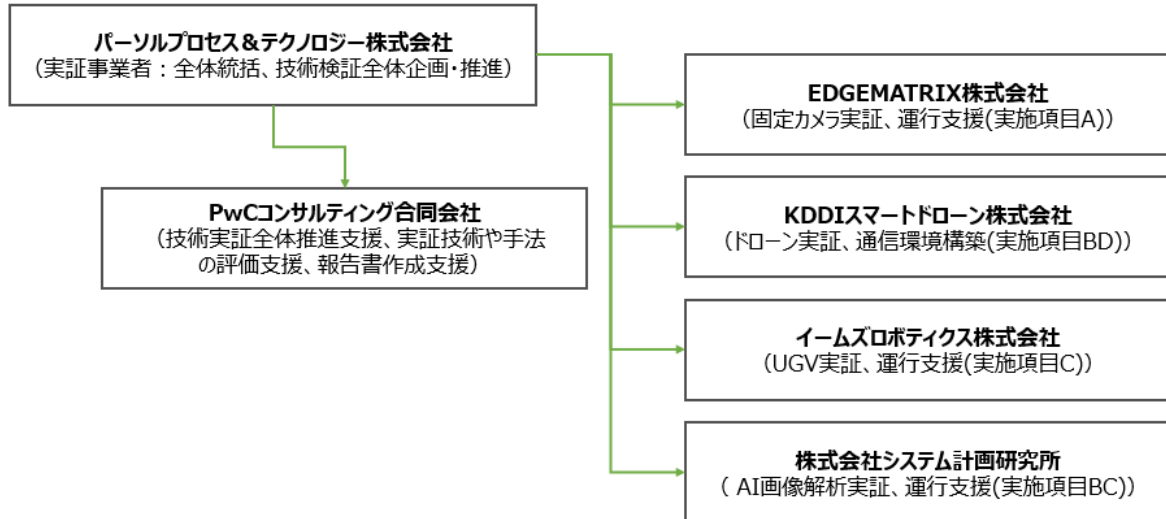


図 3 履行体制図

### 1.4.2 実施期間

令和 5 年 10 月 13 日から令和 6 年 1 月 31 日

## 2 実施項目 A

### 2.1 技術実証内容の詳細

#### 2.1.1 実施場所等

##### (1) 実施場所

実施場所 名称：コードベースキミツ

実施場所 住所：千葉県君津市広岡 1000

実施場所 準備・実証の風景：以下のとおり



図 4 コードベースキミツ 準備・実証風景

##### (2) 実施期間・タイムスケジュール

表 3 実施期間・タイムスケジュール

日数	日程	時間
実証 1 日目	2023 年 11 月 9 日	14:00~19:30
実証 2 日目	2023 年 11 月 10 日	9:30~15:00

## 2.1.2 技術実証の方法

### (1) システム構成図

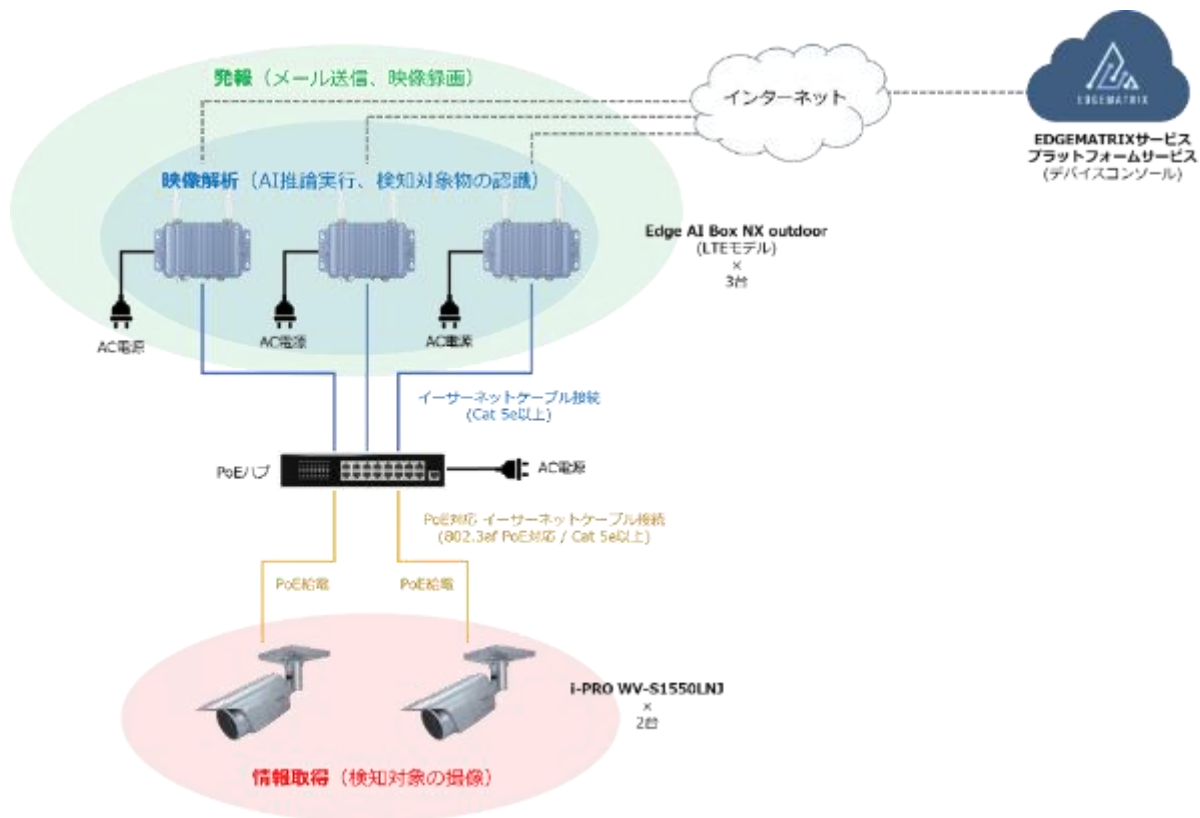


図 5 システム全体像

実施項目 A においては、上図 赤領域「情報取得」にある 2 台の固定カメラを使用して、火薬類取扱所（を模した建造物）周辺の煙や炎、人の撮像を行う。これらの固定カメラの映像を上図 青領域「映像解析」にあるエッジ端末（Edge AI Box）が AI アプリの入力映像として取得し、現場でリアルタイムに AI 推論処理（実施項目 A の場合、煙及び炎並びに人の検知）を実行する。そして上図 緑領域「発信」の（青領域と同じ）エッジ端末から直接、LTE 回線を使用して予め登録した宛先にメールでアラートが発報され、同時に検知時の映像録画が行われる。

### (2) 実証の構成

可搬性のある固定カメラを火薬類取扱所の扉および周辺をカメラ画角内に捉えられる場所に設置することで、24 時間 365 日の火薬類取扱所の監視を実施する。異常が検知された場合は、自動で事業所に滞在する職員および事業所外にいる職員へメールでアラートが発報され、必要な対策や通報が実施される。

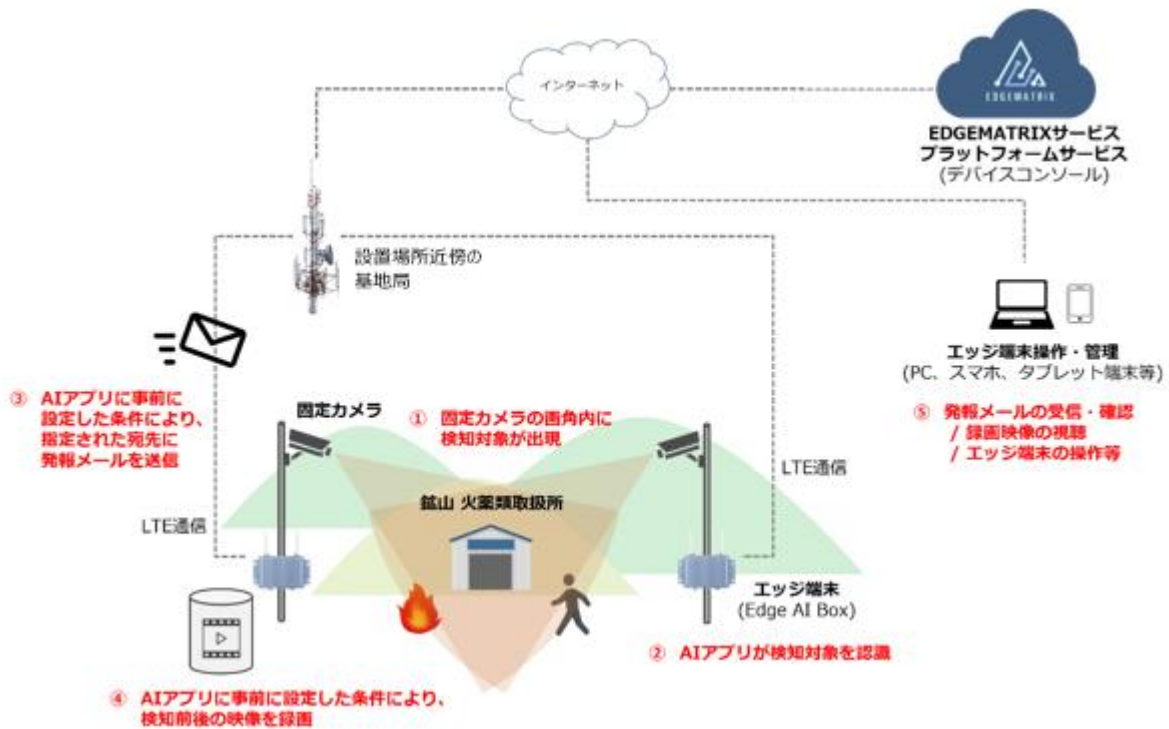


図 6 実証時のシステム構成

### (3) 実施項目 A の全体像

- ① 火薬類取扱所（を模した建造物）の周辺に互いの死角を補い合うように 2 台の固定カメラと照明器具を設置。カメラ画角内に検知対象である煙や炎、人が映り込む。
- ② カメラ画角内に出現した検知対象を、火薬類取扱所の近傍に設置したエッジ端末（Edge AI Box）で動作する AI アプリが認識する。
- ③ 予め AI アプリに設定した条件（メール送信条件やメール送信間隔、メール送信先アドレス、メール件名、本文等）により、検知対象がカメラ画角内で検知されたことをメール発報する。
- ④ 予め AI アプリに設定した条件（録画開始条件や検知対象を認識した時点から前後どのくらいの時間間隔で録画を行うか等）により、検知対象がカメラ画角内で認識された時点前後の固定カメラの映像を録画する。
- ⑤ 検知時の固定カメラのスナップショット画像が添付された発報メールが、指定したメールアドレス宛に送信される。現場のリアルタイム映像や検知時の録画映像を、エッジ端末管理プラットフォームサービス（EDGEMATRIX サービス）の管理 UI（デバイスコンソール）から確認する。

なお、今回の実証では AI アプリによる推論結果を外部サーバーに送信し集計・可視化する仕組みは導入しておらず、現場で煙や炎の発生および人の侵入を検知した際にはリアルタイムでメール発報を行い、インターネット上の管理 Web ページから検知があった時間帯の映像を視聴できる仕組みを導入している。この管理 Web ページでは過去の録画映像の視聴だけではなく、現地のリアルタイム映像の視聴も可能である。

(4) 活用した要素技術及びシステムの内容

1. 固定カメラ

実施項目 A では、固定カメラに i-PRO 株式会社製の IP カメラ「WV-S1550LNJ」を選定し、計 2 台の同カメラを互いの死角を補うように模擬火薬類取扱所を中心として対角線上に設置し、模擬火薬類取扱所の周辺を撮像した。

WV-S1550LNJ の機器仕様を以下に示す。



図 7 WV-S1550LNJ 外観

表 4 WV-S1550LNJ 機器仕様

●基本

項目	仕様
電源	DC12 V PoE (IEEE802.3af 準拠)
消費電力	DC12 V : 810 mA/約 9.8 W PoE DC 48 V : 210 mA/約 10.1 W (クラス 0 機器)
使用環境	
使用温度範囲	-40 °C~+60 °C (電源投入時:-30 °C~+60 °C)
使用湿度範囲	10%~100% (結露しないこと)
防水性	IP66 (IEC60529/JIS 00920)、Type 4X(UL50)、NEMA 4X 準拠
耐衝撃性	IK10 (IEC 62262)
寸法	幅 130 mm 高さ 130 mm 奥行き 337 mm
質量	約 1.6 kg
仕上げ	<b>本体</b> : アルミダイカスト/樹脂 シルバーメタリック <b>外郭ねじ</b> : ステンレス (耐食処理) <b>フロントパネル</b> : ポリカーボネート樹脂 (アドバンスド親水コート対応) クリア

●カメラ部

項目	仕様
撮像素子	約 1/2.8 型 CMOS センサー

有効画素数	約 510 万画素
走査面積	5.12 mm (H)x3.84 mm (V)
走査方式	プログレッシブ
最低照度	カラー 0.07 lx (F1.3、最長露光時間：OFF (1/30 s)、AGC：11) 0.0044 lx (F1.3、最長露光時間：最大 16/30 s、AGC：11) ※ 白黒 0 lx (F1.3、最長露光時間：OFF (1/30 s)、AGC：11、IR LED 点灯時) 0.04 lx (F1.3、最長露光時間：OFF (1/30 s)、AGC：11) 0.003 lx (F1.3、最長露光時間：最大 16/30 s、AGC：11) ※ ※換算値
暗部補正	0 から 255 の範囲でレベル設定が可能
逆光/強光補正	逆光補正 (BLC) / 強光補正 / Off、 0 から 31 の範囲でレベル設定が可能 (スーパーダイナミック、インテリジェントオートが Off 時のみ)
霧補正	On / Off、0 から 8 の範囲でレベル設定が可能 (インテリジェントオート、コントラスト自動調整が Off 時のみ)
光量制御モード	屋外撮影/フリッカレス(50 Hz) /フリッカレス(60 Hz) /固定シャッター
シャッター速度	1/30 固定、3/120 固定、2/100 固定、2/120 固定、 1/100 固定、1/120 固定、1/250 固定、1/500 固定、 1/1000 固定、1/2000 固定、1/4000 固定、1/10000 固定
最長露光時間	最大 1/4000s、最大 1/2000s、最大 1/1000s、 最大 1/500s、最大 1/250s、最大 1/120s、 最大 1/100s、最大 2/120s、最大 2/100s、最大 3/120s、 最大 1/30s、最大 2/30s、最大 4/30s、最大 6/30s、 最大 10/30s、最大 16/30s
カラー/白黒切換	Off / On(IR Light Off) / On(IR Light On) / Auto1(IR Light Off) / Auto2(IR Light On) / Auto3(SCC)
IR LED Light	High / Middle / Low / Off 最長照射距離：40 m

#### ●レンズ部

項目	仕様
ズーム比	3.1 倍 光学 9.3 倍 EX 光学ズーム 画像解像度 640×360 時 (電動ズーム/電動フォーカス)
デジタルズーム	x 1、x 2、x 4 の 3 段階から選択可能
焦点距離(f)	2.9 mm ~9 mm

画角	<p><b>[16：9モード]</b></p> <p>水平：34° (TELE) ～ 106° (WIDE)</p> <p>垂直：19° (TELE) ～ 57° (WIDE)</p> <p><b>[4：3モード]</b></p> <p>水平：34° (TELE) ～ 106° (WIDE)</p> <p>垂直：25° (TELE) ～ 77° (WIDE)</p>
----	--

●カメラ取付台

項目	仕様
調整角度	<p>&lt;天井設置の場合&gt;</p> <p>水平：±180° (水平 (PAN) 角で調整)</p> <p>垂直：0°～100° (垂直 (TILT) 角で調整)</p> <p>傾き：-190°～+100° (傾き (YAW) 角で調整)</p>
	<p>&lt;壁設置の場合&gt;</p> <p>水平：±100° (垂直 (TILT) 角で調整) ※</p> <p>垂直：±100° (垂直 (TILT) 角で調整) ※</p> <p>傾き：-190°～+100° (傾き (YAW) 角で調整)</p> <p>※水平 (PAN) 角の調整により水平／垂直を切り替える。</p>
寸法	幅 130 mm 高さ 130 mm (カメラ取付台設置部分)
仕上げ	アルミダイカスト シルバーメタリック

●ネットワーク部

項目	仕様
ネットワーク	10BASE-T / 100BASE-TX, RJ45 コネクター
画像解像度 H.265・H.264 JPEG (MJPEG)	<p><b>[16：9モード]</b></p> <p>3072×1728、2560×1440、1920×1080、 1280×720、640×360、320×180</p> <p><b>[4：3モード]</b></p> <p>3072×2304、2560×1920、1280×960、 800×600、VGA、400×300、QVGA</p>
対応プロトコル	<p>IPv6：TCP/IP、UDP/IP、HTTP、HTTPS、FTP、 SMTP、DNS、NTP、SNMP、DHCPv6、RTP、 MLD、ICMP、ARP、IEEE 802.1X、DiffServ</p> <p>IPv4：TCP/IP、UDP/IP、HTTP、HTTPS、RTSP、 RTP、RTP/RTCP、FTP、SMTP、DHCP、DNS、 DDNS、NTP、SNMP、UPnP、IGMP、ICMP、 ARP、IEEE 802.1X、DiffServ</p>
セキュリティ	<p>ユーザー認証/ホスト認証/HTTPSV 動画ファイルの改ざん検出</p> <p>※証明書がプリインストールされている。</p>

対応 OS	Microsoft Windows 10 日本語版 Microsoft Windows 8.1 日本語版 Microsoft Windows 7 日本語版
最大接続数	14 (カメラへ同時接続できるセッション数) ※条件による
FTP クライアント	アラーム画像送信、FTP 定期送信(FTP 定期送信失敗時、SD メモリカードにバックアップ可能)
マルチスクリーン	同時に 16 台のカメラの画像を表示(自カメラ含む)
動作確認済み携帯電話	NTT ドコモ、au (KDDI)、SoftBank JPEG 画像表示、AUX 制御 (アクセスレベルによる)
対応携帯端末	iPad/iPhone (iOS 4.2.1 以降)、Android™端末

本実証では表 4 掲載の 5MP (500 万画素) の IP カメラを使用したが、IP カメラで捉えるべき範囲や IP カメラの設置位置によっては 2MP (200 万画素) の IP カメラでも解析可能な画質を保てるため、十分に対応可能と思われる。2MP の IP カメラが採用できればカメラ部分の導入費用の削減 (1 台あたり 5 万円程度) に寄与できるが、どうしても遠くから撮影しなければならない環境や周りが木々に覆われており日照時間が短い環境等の設置環境に柔軟に対応できるようにズーム機能、赤外線照射機能及び暗視補正機能を搭載しているものを選定すべきである。

また本実証では後述「2.エッジコンピューティングシステム」に記載のエッジ端末を使用するが、本エッジ端末が IP カメラの映像を取得し AI アプリによる推論処理を実行するためには、IP カメラが ONVIF プロトコルに対応し RTSP プロトコルにより映像を取得できることが条件となる。

但し、現在流通し使用されている IP カメラの殆どでこれらのプロトコルをサポートしているため、導入上の制約になる可能性は低いと考える。

## 2. エッジコンピューティングシステム

本実証では仮設した模擬火薬類取扱所の近傍 (IP カメラと照明機器を設置したローリングタワーの下部) に、エッジコンピューティングシステムを構成するエッジ端末である EDGEMATRIX 株式会社製「Edge AI Box NX outdoor (LTE モデル)」を計 3 台設置した。

Edge AI Box NX outdoor の機器仕様を以下に示す。



図 8 Edge AI Box NX outdoor 外観



表 5 Edge AI Box NX outdoor 機器仕様

項目	仕様
構造	Aluminum die-casting and heavy-duty steel
防水規格	IP67
コア・モジュール	NVIDIA Jetson Xavier NX
GPU	Volta GPU, 384 NVIDIA CUDA cores
CPU	Carmel CPU, ARMv8.2(64-bit) HMP CPU architecture
メモリ	8GB 128-bit LPDDR4x DRAM@1600MHz
システム入出力	1 x USB 3.1 Gen1 type-A by C3-USB (TBC) 1 x GbE PoE (IEEE802.3af 30W) M12 X-code w/ 10KV SPD 1 x HDMI2.0 type-A (1080p 60Hz) by C3-HDMI (Limited by C3-HDMI)
PoE/PoE+	IEEE802.3at 30W
ストレージ	16GB eMMC (8bit, 200MHz (HS400)) 128GB PCIe 2.0 x 2 NVMe SSD (M.2 2242)
5G/LTE	Telit LE910C4-AP, or SIMCOM SIM7100JC
Wi-Fi/Bt	802.11 a/b/g/n/ac, Bt4.1 (Wi-Fi model)
消費電力	56W
消費電力 (最大)	100W
電源ユニット	100-240 VAC w/ 20KV SPD
使用温度範囲	-30℃ to +50℃(TBC)
使用湿度範囲	10% ~ 95%, non - condensing
振動耐久性	3 Grms with M.2 (5 ~ 500Hz, X, Y, Z directions)
寸法	366.83mm(14.44")(W) x 83mm(3.27")(D) x 210mm(8.27")(H)
質量	4.31 Kg (9.5 lb)
取得認証	CE & FCC Compliance

GPU 搭載のエッジ端末である AI Box は、エッジで動作させる AI アプリの負荷や接続カメラ台数に応じて複数のモデルが提供されており、撮影範囲や IP カメラの台数を考慮した AI Box を選定した。

### 3. 通信 (LTE)

エッジに AI Box を設置し EDGEMATRIX サービスを利用するためには、クラウド上の EDGEMATRIX プラットフォームと通信できるネットワーク経路が必要である。

インターネット接続の使用用途としては、AI Box 上で動作する AI アプリによる推論結果を外部サーバーに送信することや、検知対象を認識した後、EDGEMATRIX サービスで事前定義済みの発報手段であるメールや LINE 等の手段で発報することが挙げられるが、その他にも重要な使用用途が存在する。

使用用途の例としては、様々な場所に多数設置される AI Box の死活監視や、現場に設置された IP カメラのリアルタイム映像視聴、AI Box の内蔵ディスクに保存された（AI アプリによって録画された）過去映像の視聴等が挙げられる。

更にエッジで実行される AI アプリに実装される AI モデルは、AI アプリケーション開発企業にとって非常に貴重な資産であるため、AI Box が盗難されたり不正侵入されたりした場合でも、AI モデルの盗用や悪用がされないように強固な暗号化を施している。暗号化された AI モデルを含む AI アプリケーション関連ファイルは AI Box の電源が投入されオンラインになった時点で EDGEMATRIX プラットフォームと通信を行い、復号化のためのキーを取得して AI Box のメモリ空間上に AI モデルが展開される仕組みとなっている。

このように、EDGEMATRIX サービスで AI アプリを動作させるためには AI Box がインターネット接続可能であることが必須条件であり、インターネット接続経路を確保するために導入できる方式には下記の 3 つが存在する。

- ① SIM カードを挿入可能な LTE モデルの AI Box を採用し、LTE 回線を使用してインターネット接続を行う。

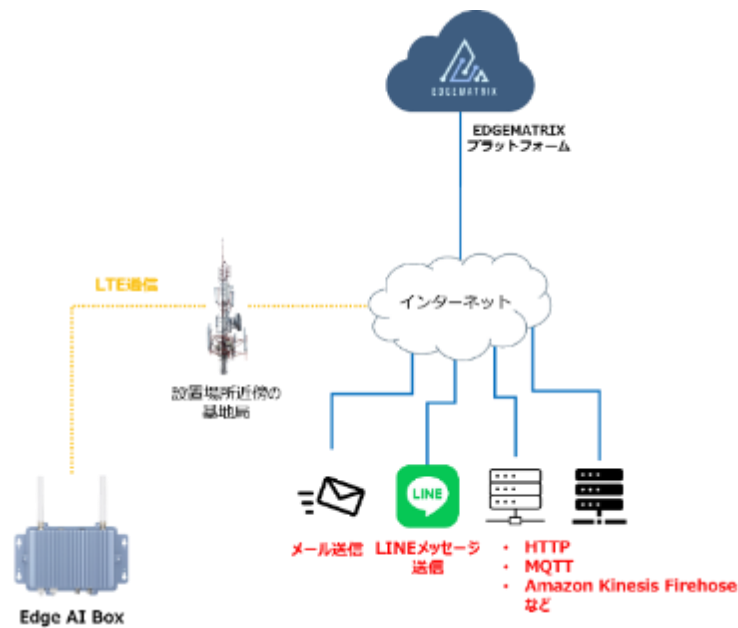


図 9 インターネット接続経路①

- ② 現場の近傍にあり疎通可能な Wi-Fi ルーターやアクセスポイント（以下、「Wi-Fi AP」と表記）がある場合には、Wi-Fi モデルの AI Box を採用し、Wi-Fi AP 経由でインターネット接続を行う。

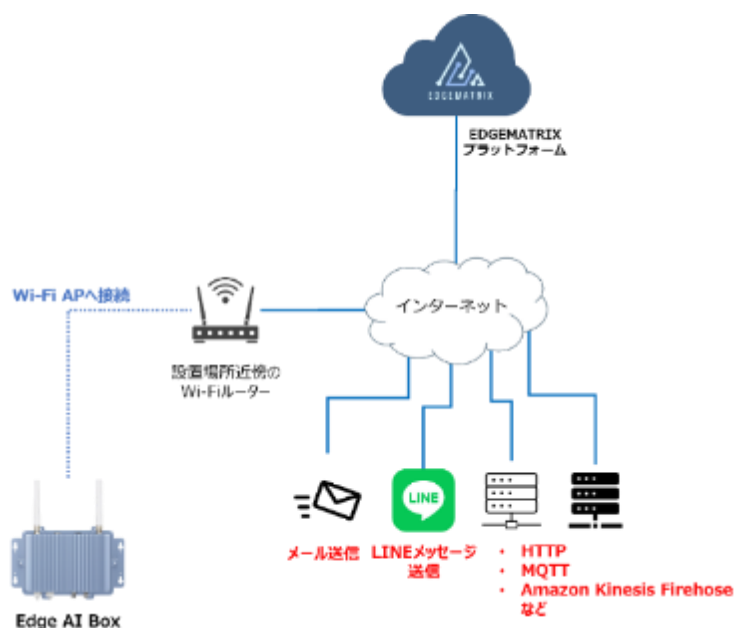


図 10 インターネット接続経路②

- ③ AI Box の LTE モデル、Wi-Fi モデル共に On-Board イーサネットポートを有しているため、設置場所に LAN があり LAN 経由でインターネット接続可能であれば、AI Box を LAN に接続し LAN 経由でインターネット接続を行う。

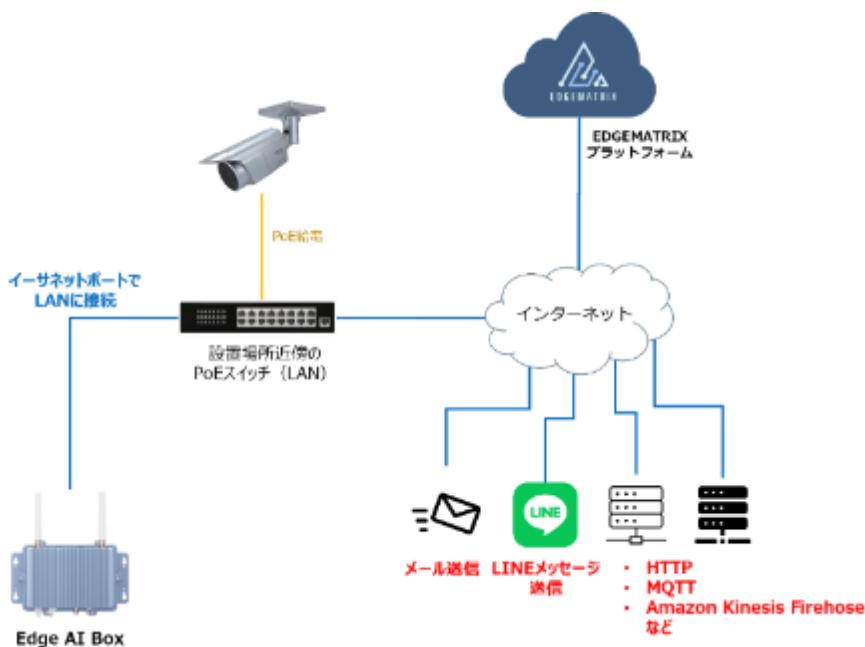


図 11 インターネット接続経路③

可搬性を考えると上記①LTE 回線使用の構成が、最も設置が容易であることから、実施項目 A ではこの方式を採用した。本実証では、AI Box の標準仕様であることから、NTT ドコモの LTE

回線について、公開されているサービスエリアマップで提供エリアであることを確認した上で使用した。

但し設置場所に上記②あるいは③の設備が既にある場合にはそれを利用することにより、LTE回線の月額使用料を削減することができるため、現場の環境に応じたインターネット接続方式を検討することが重要である。

なお、インターネット接続方式を検討する上での留意点としては、本実証で使用した AI Box には PoE 対応イーサネットポートが 1 つしか搭載されていないことである。

この PoE 対応イーサネットポートは IP カメラと直結し IP カメラへの給電とカメラ映像の取得用途に使用できるが、設置場所の LAN に AI Box を接続させる場合や AI Box 1 台で複数台の IP カメラの映像を処理する必要がある場合にはこの PoE 対応イーサネットポートを使用して AI Box を PoE スイッチに接続し、IP カメラは図 11 インターネット接続経路③構成のように PoE スイッチ経由で AI Box と接続させる必要がある。

また、本実証が行われた場所（千葉県君津市のコードベースキミツ）では NTT ドコモの電波状況が悪く、現場のリアルタイムでの映像視聴や発報メール送信の遅れが時折見られる状況であった。同場所での KDDI の電波状況は良好であったため、AI Box を設置する場所により通信キャリアの電波状況に違いがある可能性があり、事前の調査・確認が必要だと思われる。

#### 4. AI アプリ

本実証では、既に EDGEMATRIX ストア (<https://service.edgematrix.com/store/>) で販売されている下記 2 つの汎用 AI アプリを使用した。

表 6 汎用 AI アプリ①

##### エッジ AI アプリ①： AI 人数カウンター HEAD

【AI アプリ開発・販売元企業】 AMBL 株式会社

【製品・サービス概要】

- アプリ概要

カメラで人の頭を検知しカウントして人数計測

設定した基準値以上の人数を検知すると、Web アプリにアラート表示・メール発報

過去のカウント人数・密集度情報を確認でき、CSV 形式でダウンロード可能

- 想定される利用シーン

広場、待合室、混雑しているエレベーター内等のスペース、イベントや展示会のスペース、食堂

【価格】

月額アプリ利用料： 6,578 円（税込）

※その他 EDGEMATRIX サービス月額使用料 と SIM 回線契約等が必要



## 利用者数の把握に



### 実際の利用者人数を把握、 マーケティングやコスト管理にデータ活用

カウント人数情報がデータベースに記録されるため、データ活用が可能です。また、人々の混雑状況を確認・整備していた人員を常に配置する必要がなくなりコスト削減になります。



会議室や  
待合室に



展示会などの  
ブースに



公共施設に

出典：EDGEMATRIX 社ウェブサイトより作成

表 7 汎用 AI アプリ②

#### エッジ AI アプリ②：がってん！火災検知

【AI アプリ開発・販売元企業】 SOREST 株式会社

【製品・サービス概要】

- アプリ概要

煙と炎の両方を検知

照明のない環境での炎を検知

IR（赤外線）ではなく、高感度なカメラによるカラー映像を利用

- 想定される利用シーン

火災の可能性のある場所で、常時、人が監視していない場所

火災の初期段階で発生する煙を検知するとともに、煙に続く炎も検知することで火災を早期検知する

【価格】

月額アプリ利用料： 14,850 円（税込）

※その他 EDGEMATRIX サービス月額使用料 と SIM 回線契約等が必要

## アプリの特徴



昼間・夜間の着火直後の  
映像の学習を充実



交通関係での火災など  
移動する炎と煙についても対応



赤い照明など炎と似たものを  
除外学習させ誤検知を防止

出典：EDGEMATRIX 社ウェブサイトより作成

### (5) 本実証における画像解析

本実証では固定カメラの映像を解析するために、製品化済みの汎用 AI アプリを使用した。AI アプリの機能や仕様は採用する汎用 AI アプリに依るが、本実証で使用した汎用 AI アプリで実装されている画像解析技術を説明する。

#### 1. 侵入検知（エッジ AI アプリ①：AI 人数カウンター HEAD の検知対象）

① AI Box に固定カメラを登録する。固定カメラは ONVIF に対応し、RTSP で映像を取得できるものである必要がある。

AI Box は固定カメラが撮像している映像を RTSP で取得し、AI アプリの入力として使用する。なお、固定カメラの AI Box への登録は EDGEMATRIX サービスの管理 Web ページから、遠隔で登録可能である。

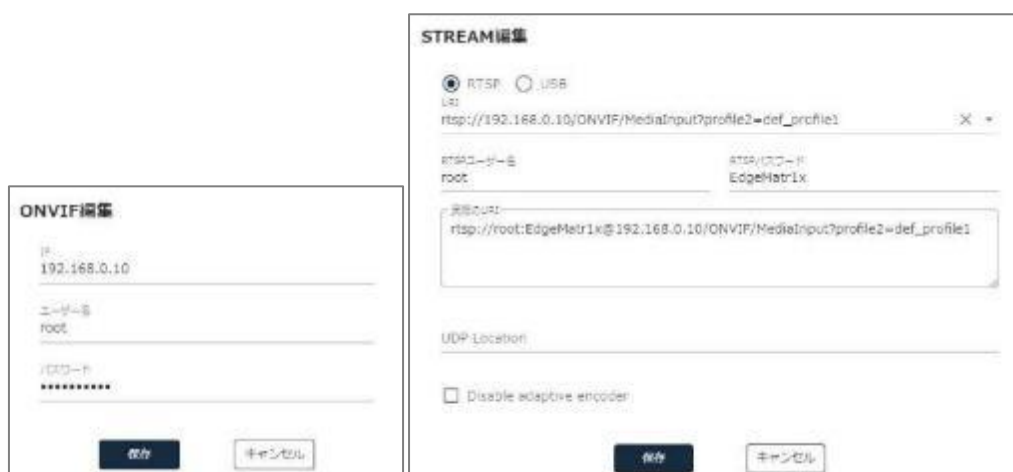


図 12 AI Box 設定画面

- ② AI アプリの仕様にもよるが、EDGEMATRIX サービス対応の汎用 AI アプリではその AI アプリが検知対象を認識する“検知領域”を設定することができる。本 AI アプリでも下図のように、デバイスコンソールの機能を用いて実際の固定カメラが撮像している映像を確認しながら、人の侵入を検知する領域を描画することができる。



図 13 AI アプリ検知領域例

デバイスコンソールで描画した検知領域は、下図の模擬火薬類取扱所周辺のフェンスを囲う赤枠のように AI アプリ実行時の重畳表示画面に反映される。



図 14 火薬類取扱所周辺のフェンスに対する検知領域設定

- ③ 本 AI アプリは大量の人の頭部の画像データを教師データとして学習済みモデルを作成しており、AI アプリが頭部を認識すると下図のようにその領域（頭部）が赤枠のバウンディングボックスで囲われる。検知領域内に人を検知するとその人数を AI アプリ実行画面に重畳表示し、推論データにその人数を出力する。



図 15 人の頭部検知イメージと人数表示

- ④ ②で設定した検知領域内に、③で検知した人の頭部を囲うバウンディングボックスの中心点が位置する場合に人の侵入があったと見做し、予め AI アプリで設定したメールアドレスに発報メールが送信される。
- ⑤ 本実証においては、人の侵入を検知した時点から前後 20 秒（計 40 秒）の映像が録画され、動画ファイルが生成される。人の侵入が 40 秒を超えて継続している場合は、最長で 60 秒の映像が録画され、侵入状態が解除されるまで連続的に 60 秒の録画がされていく。
- ⑥ なお、人の侵入検知時にどのくらいの長さの記録映像を残しておくかは、デバイスコンソールから任意の時間に変更可能である。

## 2. 火災検知（エッジ AI アプリ②：がってん！火災検知 の検知対象）

- ① AI Box に固定カメラを登録する。詳細は前述の「1. 侵入検知」と全く同様である。
- ② 本 AI アプリには前述の人の侵入検知を行う目的で使用した AI アプリとは異なり、煙や炎を検知する領域を設定する機能は実装されていない。下図のように撮像している固定カメラの画角全域が、検知領域となる。



図 16 煙の検知例

- ③ 本 AI アプリは大量の煙および炎の画像データを教師データとして学習済みモデルを作成しており、AI アプリが煙あるいは炎を認識すると下図のようにその領域が赤枠のバウンディングボックスで囲われる。なお、本 AI アプリは現地での煙あるいは炎の発生をできる限り早く検知し管理者に即時発報することを目的としているため、AI アプリ実行画面への重畳表示は無い。
- ④ 固定カメラの画角内に煙あるいは炎を検知すると、下図のように検知した領域が赤枠のバウンディングボックスで囲われる。





図 17 炎、煙の検知例

- ⑤ 検知対象を囲う赤枠のバウンディングボックスには AI アプリが認識したクラスのラベルが付いており、煙を検知していれば“smoke”、炎を検知していれば“fire”が表示される。
- ⑥ 学習された煙と炎のデータとの類似性（確からしさ）を確認し、直前の映像フレームの煙または炎との類似性と最新の映像フレームの類似性を IoU (Intersection over Union) 値を用いて比較し、IoU 値の比較結果が 30%以上であればオブジェクト（炎または煙に）に一意的な ID を付与する。最終的に、一意的な ID を与えられたオブジェクトが 3 秒以上、継続して検出され続けた場合に発報する。
- ⑦ また、人の侵入検知同様に、煙あるいは炎を検知した時点から前後 20 秒（計 40 秒）の映像が録画され、動画ファイルが生成される。

以下に発報メールフォーマット及びメールイメージを示す。

表 8 発報メールフォーマット

表記	項目	取り得る値
標題	＜検知対象＞を検知しました（デバイス ID＜デバイス ID＞, ＜ストリーム ID＞）	
本文	カメラ名：＜カメラを示す文字列＞カメラ デバイスデバイス ID：＜デバイス ID＞ ストリーム ID：＜ストリーム ID＞ で＜検知対象＞を検知しました。 Monitor View：＜リアルタイム映像確認用 URL＞ Record View：＜録画映像確認用 URL＞	
項目	検知対象	検知対象を示す文字列（人・炎・煙・破損）
	カメラ名	カメラを示す文字列
	デバイス ID	8 桁英数字
	ストリーム ID	8 桁英数字 + 2 桁英数字
	Monitor View	URL
	Record View	URL

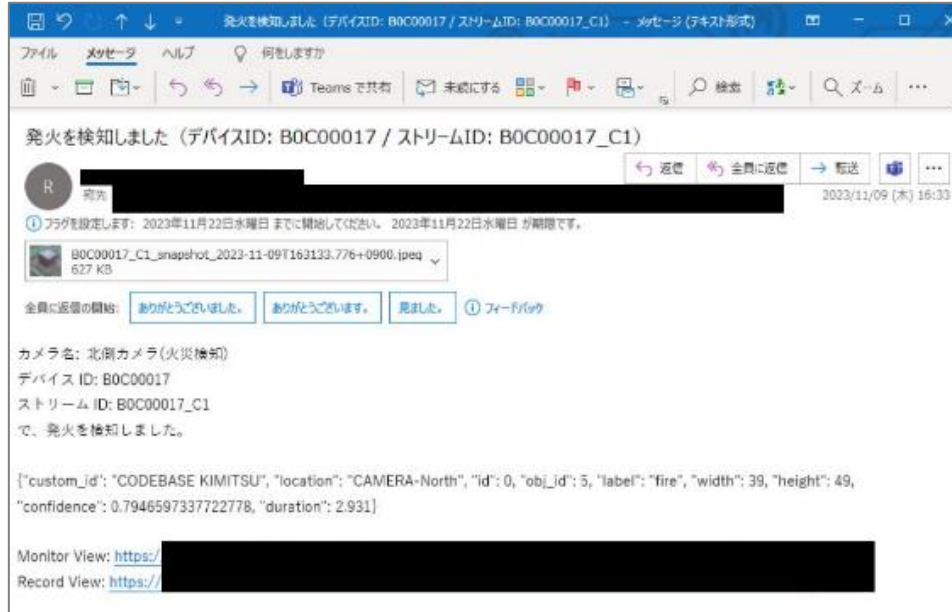


図 18 発報メール受信例（炎の検知）

#### (6) 技術実証の検証設備

本実証は下図のように、模擬火薬類取扱所を囲うフェンスの外側にローリングタワーを設置し、その最上部に IP カメラと照明機器を設置した。ローリングタワーの高さは現場で調整できるように複数段を搬入し、現場の状況（模擬火薬類取扱所を囲うフェンスの高さや距離）を確認した上で、2 台の IP カメラが互いの死角を補いフェンス内側全域を捉えられるようなカメラ画角を設定できる高さとした。その結果、4 段（約 5.5m）の高さのローリングタワーを、模擬火薬類取扱所を中心として対角線上に 2 基設置した。検知対象物（盗人、煙・炎の発生源）からの離隔距離は、最も近い位置で 5m 強となっている。また、一つのローリングタワーの下部には AI Box や PoE ハブを設置し、実証を行った。

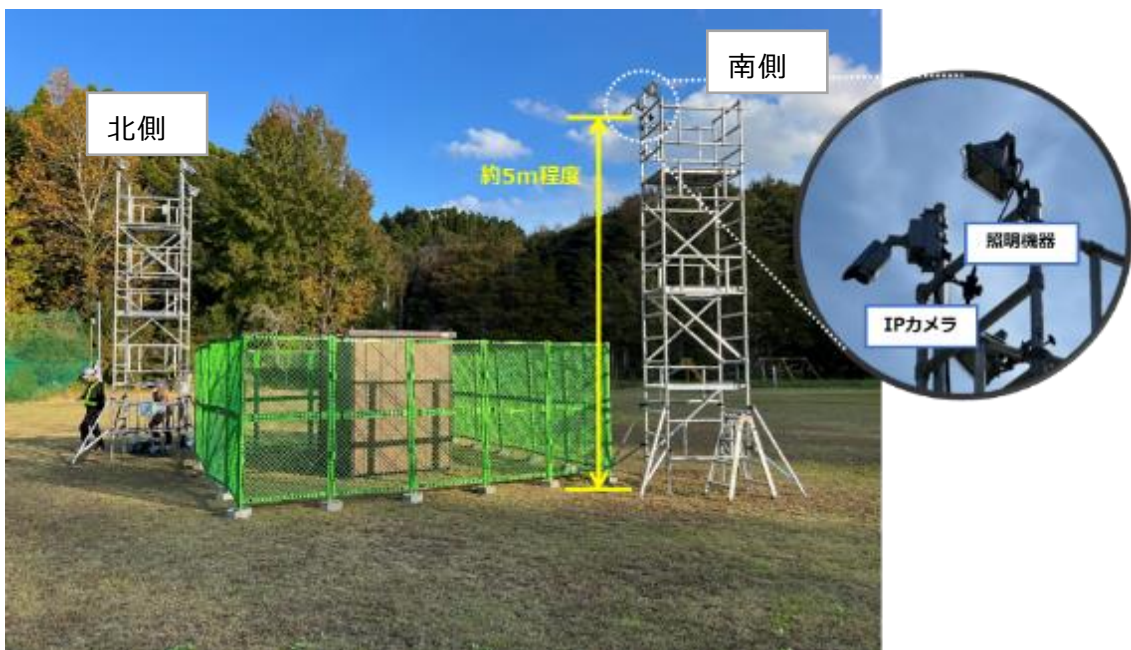


図 19 技術実証の検証設備

## (7) 実証準備

本実証実施のための準備作業として以下を実施した。

- AI Box × 3 台の確保とキッティング作業
- IP カメラ × 2 台の確保と初期設定作業
- PoE ハブや電源ケーブル等の機材の確保
- ローリングタワー（移動式足場）や照明機器等の手配
- 煙・炎の検知の実証を行うための発煙花火、フォグマシン、バーベキューコンロ等の機材の確保

人の侵入検知、煙および炎の検知に使用した AI アプリは共に、既に販売され導入実績のある汎用 AI アプリを使用しており、本実証向けの学習データ収集や追加学習による検知精度改善等の事前準備は発生していない（EDGEMATRIX 社内での本実証のための事前動作確認を除く）。

そのため両アプリとも火薬類取扱所での使用を想定した固定カメラの撮像画角に適した AI モデルではなく、あくまでも汎用的な使用用途を想定した学習を行った AI モデルが実装されている汎用 AI アプリであることに留意頂きたい。

### 2.1.3 実施条件等

#### (1) 留意が必要と見込まれるポイントとその対応方針

1. AI アプリによる検知精度は周辺の照度や天候に影響を受ける可能性があるため、実証は日中帯（9:00～15:00）、日没前後（15:00～17:00）、夜間帯（17:00～19:00）に実施をした。
2. 本実証で使用するエッジコンピューティングシステムがインターネット接続できることを必須条件としているため、事前に LTE 回線のサービス提供エリアであることを確認し、機器の可搬性が高い LTE 通信可能なエッジ端末を使用した。
3. ローリングタワー（移動式足場）を設置する際には安全対策を十分に考慮し、ヘルメット着用や安全帯、安全靴の装着を厳守し、担当作業員以外は設営中のローリングタワーには近づかないように細心の注意を払った。

#### (2) 実証にあたって必要となった特別な手続（行政手続など）

特になし。

## 2.2 技術実証の結果

### 2.2.1 結果の評価ポイント・方法

#### (1) 取得する情報

本実証で使用する機器が火災と人の侵入検知のために取得することができるかを実証する情報は下記の通りとなる。

表 9 検知項目別取得情報(実施項目 A)

検知項目	取得情報	対象
火災検知	炎	○
	煙	○
	熱	×
盗難検知	火薬類取扱所周辺の人存在	○
	火薬類取扱所周辺の指定時間外の人存在	△※1
	火薬類取扱所側面や背面の人存在	○
	火薬類取扱所の屋根上の人存在	○
	扉の開閉、振動の有無	△※2
	火薬類取扱所屋根、壁、柵などの破損	△※3

※1 アプリの設定より、任意に設定した時間や、夜間帯も照明を用いて監視可能であることを確認する

※2 映像により扉の開閉の確認は可能

※3 映像により屋根、壁、柵などの破損状況の確認は可能

## (2) 本技術実証の評価方法

実施項目 A で検討・実証した技術が、対象とする現状の業務（法令）のデジタル技術による代替となり、アナログ規制見直しを判断していく参考情報になっているかを評価するための評価観点やポイントを定義する。

評価観点は、本実証の前提として、現状の業務内容を踏まえ、デジタル技術による代替を確認するにあたって求められていた条件や必要な機能等の充足を確認するものである。具体的には、以下の表 10 に記す 7 つの観点から評価する。

また、実施項目 B,C,D でも共通して同様の観点で評価を行う。

表 10 評価観点

#	評価観点	概要
1	導入が容易で汎用性が高い	監視を実施する鉱業権者において導入可能な、汎用性の高い技術であること
2	柔軟な移動や配置変更が可能	法令で定められた必要な構造物が破損した場合や、必要な構造物がない場所に一時的に火薬類を存置する場合等において、デジタル技術を活用した監視を行うことを想定している。そのため、提案においてカメラやセンサー等の設置を想定する場合は、状況に応じた柔軟な移動・配置変更が可能な技術であること
3	非稼働から稼働への即時性が高い	見張人を配置する条件（法令で定められた必要な構造物が破損した場合等）が生じた際にも活用することを想定し、監視業務に用いる機器等を常時稼働させない場合であっても、必要に応じて即時にカメラやセンサー等の機器を起動し、監視を行うことを可能とする技術であること
4	防爆構造・仕様を配慮	カメラやセンサー等の設置を想定する場合は、それらの機器が原因となって火薬の爆発が発生することを防ぐため、防爆構造を備える等の配慮を行うこと
5	電波環境が悪い場所への対策	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
6	見張人と同等以上の防犯・防火能力	見張人による監視業務と同等以上に盗難・火災の防止が可能であること
7	省人効果	デジタル技術を使用した場合の見張業務に要する作業の工数、作業時間の算出

上記の 7 つの観点から鉱山事業者への確認等も踏まえて、本実証における、アナログ規制見直しの判断材料としていくための評価方法やポイントを以下のように設定する。

表 11 評価方法、ポイント

#	評価観点	評価方法、ポイント
1	導入が容易で汎用性が高い	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 監視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。</li> <li>✓ 従来手法（監視業務を行う担当者の人件費）と比較し、発生する費用が同等か、一定程度削減されるか。</li> </ul>
2	柔軟な移動や配置変更が可能	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ カメラやセンサー等の設置位置等を柔軟に移動・配置変更が可能か。</li> <li>✓ カメラやセンサー等の移動・配置変更にあたり、特別な技術が不要か。</li> </ul>
3	非稼働から稼働への即時性が高い	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 遠隔操作によって、即時にカメラやセンサー等の機器を起動し、監視を行えるか。</li> </ul>
4	防爆構造・仕様を配慮	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ カメラやセンサー等が火薬爆発の着火源とならないように、防爆構造等の対策（机上検討を含む）が行われているか。</li> <li>✓ 防爆の観点から火薬類取扱所（を模した建造物）から十分な距離をとりつつ、画像解析に必要なデータ品質を担保する撮影方法がとられているか。</li> </ul>
5	電波環境が悪い場所への対策	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 電波（Starlink, 4G LTE, Wi-Fi など）を利用する場合、通信可能なエリア・条件について明確化されているか。</li> </ul>
6	見張人と同等の防犯・防火能力	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 実証対象技術が評価項目（監視範囲、警報範囲、監視時間、警報スピード、現場急行スピード）において現状作業と同等に遂行できるか。</li> </ul>
7	省人効果	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 火災と盗難に対する見張業務に従事する作業時間が、技術を導入することで省人化につながるかどうか。つながる場合、つながらない場合共にその条件や課題、対策を明らかにする。</li> </ul>

## 2.2.2 結果及び評価・分析

### (1) 技術実証の評価結果

本実証で実施した、テストケース別の全テスト結果は、巻末資料実施項目 A テストケース・評価項目毎の検証結果参照のこと。

結論として、以下のことを示すことができる。

- ・ 画角の関係や、学習用データの不足で検知漏れが現れたケースもあったが、検証区分として人の侵入検知 14 件、煙の検知 6 件、炎の検知 4 件、合計 24 件のテストケースを行い、23 件において、対象検知後のメール発報を確認できた。未発報は炎の検知 1 件であった。
- ・ 本実証においては、設置した 2 台の固定カメラのうちどちらかが対象物を検知しメール発報していれば、○としている。前述の未発報ケースは、一方のカメラで一時的に炎を検知してはいるものの、アプリの誤検知抑制フィルダーにより連続した炎の発生と見なされず、検知に至らなかったと考えられる。
- ・ 火災検知アプリの炎に関する検知の誤りや誤検知が発生した。これは、炎の学習データが視野の広い画角で不足していたことが主な原因と考えられる。アプリは汎用的に使用できるように設計されており、学習データの不足から広範な誤検知が発生した。実証に使用したカメラの設置俯角が推奨される画角よりも大きかったため、学習データに含まれる炎の形状と異なる形状で炎が検知され、結果として誤検知が増加した。ただし、これは実際の火薬類取扱所の映像を使用して AI モデルを追加学習することで改善できる可能性がある。
- ・ 対象物の検知後、メール受信迄の平均時間は 21 秒と短時間である為、ほぼリアルタイムで現場の異常を関係者に通知することが可能である。

上記 2.2.1(2) 表 10 で定義した 7 つの評価観点をベースに、技術実証を行った内容から評価をまとめる。

#### ① 導入が容易で汎用性が高い

##### 評価方法、ポイント

- ✓ 監視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（監視業務を行う担当者の人件費）と比較し、発生する費用が同等か、一定程度削減されるか。

##### 評価にあたっての前提や対応したこと、考察など

本実証で使用する固定カメラや AI Box、PoE ハブ等の全ての機器は、一般に流通している製品である。AI Box については本実証が屋外で実施されるため、IP67 準拠の防水防塵および落雷対策が施されているモデルを使用しており、屋内／屋外問わず様々な環境下で使用できる。

また、AI Box で動作する AI アプリは、遠隔からインストールやアンインストールが可能である。例えば、新機能が実装されたバージョンアップ版がリリースされた場合や、AI アプリに学習済みモデルの追加学習が行われて AI モデルが更新された場合、遠隔から対応することができる。また、異なる用途で使用するために AI アプリを入れ替えたい場合も、簡単に遠隔から対応することが可能である。これにより、利用者の要望に迅速かつ柔軟に対応することができる。

AI アプリを入れ替えることにより本実証で検証する人や煙・炎の検知以外の使用用途にも対応することができ、ある目的（例えば鉱山での測量等）を実現するための AI アプリを個別開発して、それを動作させることも可能である。

本実証で使用したエッジコンピューティングシステムを導入する場合の初期費用および 5 年間継続利用する場合の運用費用のコスト試算を、下記に示す。

監視業務を行う担当者にかかる人件費は非常に小さいが、必要経費が年間約 20 万円規模で要していると鉱山事業者ヒアリングにて確認した。

## 評価結果

- 導入の容易さ：

本実証で使用する機器に関しては初期設定がされた状態でメーカーから納品されるため、初期導入時は固定カメラの画角調整や AI アプリによる検知領域の設定作業程度で導入が完了した。システム運用については、操作マニュアルの手順に従えば専門的な知識は必要とせず、容易に操作が行えた。

- 異なる環境や業種への適応性：

AI Box をエッジ端末とする EDGEMATRIX サービスは特定の環境や業種に特化した垂直展開を前提としておらず、多種多様な環境や業種で使用できるよう水平展開を念頭に開発されたエッジコンピューティングシステムである。

本実証でも遠隔操作により AI アプリのインストールを行い、本実証の巡視業務のサポート目的の AI アプリを容易に導入できることを確認した。

また、本実証では屋外での使用を想定して IP67 準拠の AI Box を使用しているが、屋内での使用を想定した屋内型モデルも販売されており、設置場所の環境に応じて選択可能であることを確認した。本実証二日目は雨天となったが、本実証では IP カメラ、AI Box 共に防水防塵対策が施されているモデルを選定しており、雨天時でも検知対象物を認識し発報できることを確認した。雨天・荒天時の注意事項としては、カメラ映像で検知対象物を捉えられないくらいの激しい豪雨や豪雪、濃霧が発生した場合には AI による検知精度が著しく低下する恐れがある点が挙げられる。

本実証では上述の通り、屋外での使用（設置）を想定して IP67 準拠の AI Box（屋外型モデル）を使用したため、AI Box が雨風に曝される場所や落雷の恐れがある場所等の設置環境的に厳しい場所にも設置しても問題無く動作する。上述のように本実証二日目は雨天となったが、晴天だった前日に設置した状態のままシステムは問題無く稼働を継続した。

この屋外型モデルは本実証のように現場近傍の屋外に設置することも、雨風を凌げる屋内に設置することも可能であるため、屋外型モデルを選定しておくことで屋内／屋外問わず様々な環境下で使用でき利便性や汎用性が高まるが、IP67 に準拠するために特殊な外装を採用しているため屋内型モデルと比べると価格が高くなるデメリットもある（屋内型モデルの 1.8 倍弱の価格）。火薬類取扱所近傍に雨風を凌げる建屋があり、そこまでイーサネットケーブルを敷設できる環境であれば、防水防塵が不要と言う前提で屋内型モデルを選定することで導入コストを削減することも検討できる。

- 費用低減の効果：

初期導入費用と運用コストを合わせて 5 年トータルで要するコストは年間 200 万円規模になる。一方で現行の監視業務にかかる必要経費と比較すると、5 年間で 100 万円程度のコス



トで運用している現行業務と比較すると、大きな費用低減効果があるとは言えない。

## ② 柔軟な移動や配置変更が可能

### 評価方法、ポイント

- ✓ カメラやセンサー等の設置位置等を柔軟に移動・配置変更が可能か。
- ✓ カメラやセンサー等の移動・配置変更にあたり、特別な技術が不要か。

### 評価にあたっての前提や対応したこと、考察など

本実証では（模擬）火薬類取扱所周辺の映像を撮影するために計 2 台のカメラと計 3 台のエッジ端末（AI Box）を設置した。

カメラへの給電は PoE 給電となっており、本実証では設置場所に PoE ハブを置き、カメラへの給電およびカメラと AI Box の接続を行った。PoE ハブ、AI Box 共に 100V/200V の両方に対応する電源アダプターを有している。

カメラと照明機器は火薬類取扱所を囲うフェンスの外に約 5m のローリングタワー（移動式足場）を組み上げ、その最上部に取り付けを行った。

実証 1 日目にローリングタワー × 2 基を設置したが、作業員 3 名により約 3 時間で設置を完了した。今回、設置を担当した作業員は熟練した作業員であるが、ローリングタワー自体は一般的に使用されている機材であるため同種の施工工事を行っている業者であれば同程度の時間で設置を行えるものと思われる。

実証 2 日目の撤収時にはローリングタワー × 2 基の解体・撤去を行ったが、当日は雨が降っており作業環境としては不良であったものの、設置時と同じ作業員により約 1 時間で解体・撤去を完了している。

AI Box やその他機材の現場設置もローリングタワーの設置と同時に行い、初期設定等を終えた状態で設置場所に運搬しているため設置後、1 時間程の動作確認と微調整（カメラ画角の調整や調整後カメラ画角に応じた検知領域の設定等）により稼働可能な状態となった。

このローリングタワーは鋼製布板や筋交、手摺柱、ジョイント等のパーツから構成されており、2 基分でもトヨタ ハイエースのような一般的なバンに積み込み設置場所に持ち込めるものである。

本実証は二日間の短期の実証であり、通常はドローンの練習場として営業している施設であったため設置上の制約もあり、ローリングタワーを採用した。移動式足場であるため基礎工事は不要であるが、実際の設置場所の環境要因（接地面の強度や天候、耐震性等）を考慮した場合、ローリングタワーの使用が適さない可能性もある。本実証場所では基礎工事に制約があったことと、コンクリートの硬化時間には最短でも 3 日は掛かるため事前の工事ができずローリングタワーを使用した。特に雨風が強いような設置場所では基礎工事を行い地下 3 メートル程度、コンクリート打設を行ってカメラや AI Box を設置するためのポールを固定すべきと思われる。

実証場所に設置した機材は上述の通り、カメラ、照明機器、AI Box および PoE ハブのみであるが、他のデバイスやシステムとの接続・連携を行うためには AI Box 内蔵の LTE 回線経路あるいは現場設置の PoE ハブ経路により AI アプリによる推論結果の受け渡しが可能である。

機材を頻りに移動あるいは配置変更を行った場合に、耐久性や性能が低下することは無いと考える。当然、長期利用によるハードウェアの経年劣化による故障が発生する可能性はあるが、カメラや AI Box は屋外で使用できるモデルを選定しており、移動や配置変更の影響で性能劣化

することは考えにくい。

配置変更後の設定変更については、カメラを PTZ（パン・チルト・ズーム）機能を搭載していない画角固定カメラを採用した場合は配置変更後に設置場所の状況に合わせて、手動で画角調整を行う必要がある。カメラを火薬類取扱所からどのくらい離れた場所に設置するか、カメラ設置高はどのくらいか等の設置条件によりカメラで捉えられる範囲が変わってくるためである。

一方、PTZ 機能を搭載しているカメラを採用した場合は、デバイスコンソールから画角調整が可能であるため遠隔からの画角調整が可能で利便性は高いが、PTZ 機能搭載のカメラは価格が高くなることがデメリットとなる。PTZ カメラの価格については PTZ カメラが有する機能（レンズの可動範囲やスピード、ズーム倍率等）やメーカー、使用用途により差があるため定量的な金額を明示するのは困難ではあるが、価格感を下記に示す（いずれも 1 台あたり）。

- ・ 固定画角カメラ：約 6 万円から 30 万円前後（画素数、ズーム倍率、IR 機能搭載、AI 機能搭載等により変動／特殊な使用用途（車番認識等）の場合は 40～50 万円のものも有り）。
- ・ PTZ カメラ：10 万円前後から 100 万円を超えるものまで幅広い。

AI による推論を行う使用用途で用いられるカメラに限定した場合、一般的に PTZ カメラの価格は画角固定カメラの 3～5 倍程度となる。

AI Box で実行される AI アプリについては、AI アプリで検知する範囲（検知領域）や検知頻度、その他 AI アプリに設定する値をデバイスコンソールから遠隔で操作できるため、配置変更後の環境に合わせて容易に調整が可能である。

## 評価結果

### ● 移動の柔軟性：

本実証におけるカメラ移動の柔軟性は、カメラを取り付けたローリングタワーの設置時間が指標になると考える。カメラはローリングタワー最上部に取り付けたが、カメラの取り付けから画角調整までは 20 分程で完了した。設置場所においてカメラ位置を大きく移動させるためにはローリングタワーの位置を変更する必要があるため、移動に必要な時間はローリングタワーの設置および撤去に要する時間が殆どを占めることになる。

本実証ではローリングタワーを計 2 基設置したが、作業員 3 名により約 3 時間で設置を完了した。また、撤去作業については同作業員 3 名により、約 1 時間で作業を完了した。

以上のことから、移動・配置変更にあたり、特別な技術が不要である。

### ● 配置変更の容易さ：

カメラの配置を変更するプロセスとして、同じ設置場所において大きくカメラ画角を変更する場合には前述のローリングタワーの移動が必要になるため時間を要するが、通常はこのようなケースは発生しないと考える。

ローリングタワー最上部におけるカメラ自体の設置位置の変更やそれに伴うカメラ画角の再調整にかかる所要時間は前述の通り、20 分あれば完了することを確認した。

以上のことから、設置位置等を柔軟に移動・配置変更が可能である。

### ③ 非稼働から稼働への即時性が高い

#### 評価方法、ポイント

- ✓ 遠隔操作によって、即時にカメラやセンサー等の機器を起動し、監視を行えるか。<sup>\*1</sup>

#### 評価にあたっての前提や対応したこと、考察など

カメラと AI Box は電源供給が開始されると自動的に起動し、起動が完了すると遠隔から操作が行える状態になり監視が開始される。カメラの起動時間は採用するメーカーやモデルにも依るが、電源供給開始後 1 分程度、AI Box は 3 分程度で通常稼働状態になる。AI Box で実行される AI アプリは、非稼働状態になった時点でアプリ実行中の状態であれば、電源供給が再開されると自動的に起動され監視状態になるため、AI 検知システムとしては 3 分以内で起動し、検知対象の認識と発報がされるようになる。

PoE ハブについても同様で給電され次第、稼働が自動的に開始されるため、本実証で導入したシステム構成では各機器への給電が開始されれば 3 分以内で稼働状態となり監視が行われる。実際の設置場所で停電が発生した際でも、その原因が解消され機器への電源供給が再開されると自動的に監視状態に復帰する。

短期間に複数回の起動・非稼働を繰り返した際に、性能に変動や低下が生じることはないが、これは一般的なハードウェア同様に、過度な再起動を繰り返すことにより電源ユニット等に負荷が掛かり、ハードウェア障害が発生する可能性があることには留意が必要である。

#### 評価結果

- 稼働開始プロセス：  
カメラは PoE ハブ経由での給電開始後 1 分程度で現場の撮像を開始し、AI Box は給電開始後 3 分程度でオンライン状態となり AI アプリによる推論処理を開始した。システム全体として 3 分以内に非稼働状態から稼働状態に移行することができ、即時性が高いことが確認された。
- アラート発報までの時間：  
カメラで人や煙・炎を検知した後、AI Box から直接、LTE 回線を使用して発報メールが送信されるため、異常検知から発報されるまでの時間はほぼリアルタイムと言える。発報メール受信までの時間は使用しているメール基盤システムや LTE 回線の混雑度により多少差異はあるものの実証の結果、通常は検知後 20 秒以内、遅くとも 1 分以内にはメール受信できていることが確認された。  
以上のことから、遠隔操作が可能であり、即時にカメラやセンサー等の機器を起動し、監視を行うことが可能である。

\*1…遠隔操作は可能だが、実施項目 A では検証の対象外とする。

### ④ 防爆構造・仕様を配慮

#### 評価方法、ポイント

- ✓ カメラやセンサー等が火薬爆発の着火源とならないように、防爆構造等の対策（机上検討を含む）が行われているか。
- ✓ 固定カメラの設置場所が防爆の観点から火薬類取扱所（を模した建造物）から十分な距離をとりつつ、画像解析に必要なデータ品質を担保する撮影方法がとられているか。

## 評価にあたっての前提や対応したこと、考察など

本実証では防爆仕様のカメラは使用せず、一般に入手可能な非防爆仕様の IP カメラを使用した。

実際の設置場所で非防爆カメラを使用する場合には、火薬取扱所の火災やそれに起因する爆発による設置機器へのダメージ、カメラ自体の爆発による火薬取扱所への影響を考慮して、火薬取扱所からローリングタワーまでの距離を実証実験の設置距離の 2～3 倍程度、確保する必要があると考えられるが、この距離については、火薬類取扱所が設けられている場所に依存する為、安全の確保と正確な撮影に必要な距離といった要件から適宜判断が必要である。

ローリングタワーと（模擬）火薬類取扱所までの距離を離れた場合でも、IP カメラのズーム機能を使用して AI アプリが対象を検知できるカメラ画角に調整することは可能である。但し、距離が離ればフェンスによる死角が広がることが予想されるため、カメラ設置高を上げるためにローリングタワーをより高くする調整が必要になると考えられる。

防爆仕様カメラを使用する場合でも、耐圧防爆構造の容器中のカメラ自体は通常の IP カメラと仕様は同じであるため、EDGEMATRIX サービスとの連携は可能である。

防爆仕様カメラを使用することにより、カメラ自体の発火や爆発による二次的な火薬類取扱所の火災や爆発を防ぐことは可能だが、下記の点を考慮する必要がある。

- 防爆仕様カメラは耐圧防爆構造の特殊なカメラであるため、高価である。
- 防爆仕様カメラの設置工事が特殊であり、採用する防爆カメラメーカーによる施工が必要となるため、設置費用も高額になる傾向がある。
- 防爆仕様カメラの重量は通常の（非防爆仕様の）カメラよりもかなり重いため、火薬類取扱所近傍に設置するためにはコンクリート打設を行い取付ポール等の土台・基礎をしっかりと作り上げる必要がある。そのため、人手をかけて日数を要するため、費用面でも増加する。
- 防爆仕様カメラであっても火薬類取扱所の火災やそれに起因する爆発からカメラ自体を守る場合には、非防爆仕様カメラと同様にある程度、火薬類取扱所から距離を離し設置する必要がある。

可搬性や汎用性、導入コスト等を考慮すると、安価で一般的な非防爆仕様カメラを火薬類取扱所から距離を置き設置する方式が有効な選択肢になり得ると思われる。

本実証で使用した非防爆仕様の固定カメラ（i-PRO WV-S1550LNJ）は、防水防塵性能に関して IP66（IEC60529/JIS 00920）、Type 4X（UL50）、NEMA 4X に準拠している。使用温度範囲は  $-40^{\circ}\text{C}$ ～ $+60^{\circ}\text{C}$ 、使用湿度範囲は 10%～100%。

AI Box は IP67（IEC60529/JIS 00920）に準拠する屋外設置用の特殊なケースに格納されているモデルを使用しており、3 Grms with M.2 の振動耐久性を保証している。使用温度範囲は  $-30^{\circ}\text{C}$ ～ $+50^{\circ}\text{C}$ 、使用湿度範囲は 10%～95%。

カメラ、AI Box 共に防爆仕様の認定は取得していないが、屋外において通常想定される環境条件で問題無く使用できる構造になっている。

## 評価結果

- 防爆規格への適合性：  
本実証では防爆仕様カメラやデジタル機材は使用しておらず、防爆規格への適合性は無い。

防爆仕様カメラの価格やその設置費用が非防爆仕様カメラと比べ高額になるため、本実証では非防爆仕様の機材を使用しているが、その場合でもカメラ設置位置を火薬類取扱所から十分な距離を取り、カメラのズーム機能等を使用して画角調整を行うことにより、実際の設置場所での非防爆仕様カメラの利用可能性を確認した。

● 撮影方法：

実証現地で確認し、防爆の観点から火薬取扱所からカメラまでの距離を 5m 以上離して撮影し、問題なく検知・発報できた。また、そこから 2～3 倍くらいの距離を取る場合でもカメラのズーム機能で品質に問題なく撮影可能である。

以上のことから、防爆構造等の机上検討を行い、固定カメラの設置場所が火薬類取扱所（を模した建造物）から十分な距離をとりつつ、画像解析に必要なデータ品質を担保する撮影方法をとったと言える。

⑤ 電波環境が悪い場所への対策

**評価方法、ポイント**

- ✓ 電波（Starlink, 4G LTE, Wi-Fi など）を利用する場合、通信可能なエリア・条件について明確化されているか。

**評価にあたっての前提や対応したこと、考察など**

本実証では AI Box に NTT ドコモの SIM カードを挿入し、LTE 回線を使用して発報メールの送信を行った。実証前に通信事業者がホームページ等で公開しているサービスエリアマップを確認し、その事業者の電波が受信できることを確認した。

しかしながら、設置場所周辺の構造物・遮蔽物や基地局の混雑度等により、通信速度が低下する可能性も有り得るため、現地で電波受信強度を事前に確認することが望ましい。

本実証が行われたコードベースキツでの電波受信強度を測定した。電波受信強度計測ツールを起動して測定した結果を、下図に示す。

Parameter	Value
ecno	10
frame_index	12
is_connected_mode	0
rscp	-11
rssi	-9638
subs_id	0

上図の“rscp”の値を確認すると「-11」と“非常に強い”ことを示す数値となっているが一般的には「-60～-120」の範囲に収まる値であり、かつ現場ではリアルタイムの映像視聴時に映像がすぐ

に表示されないことがあったことから電波受信状況が不安定であった可能性も否めない。しかしながら、AI Box の遠隔操作や発報メールの送信には大きな影響は無かった。

今回の実証では LTE 回線を使用した。AI Box は LTE 回線以外に Wi-Fi アクセスや LAN 接続等、様々なネットワーク構成に対応可能である。例えば Starlink 等の衛星通信を利用する場合、衛星通信のネットワークにアクセス可能なアクセスポイントに接続する、衛星通信と接続されている LAN に接続することで LTE 通信以外のネットワークを利用することができる。鉱山施設で LTE 通信が困難だと想定される場合には、他の通信手段に合わせて本システムのネットワーク設計をすることにより対応が可能である。

ネットワーク障害に関しては AI Box 自体には例えばデュアル SIM のように SIM カードを 2 枚挿入し、通信経路を冗長化するような機能は実装されていない。ネットワーク障害への対応が必要な場合は、Wi-Fi アクセスポイントあるいは LAN 接続の構成を使用して、ネットワーク機器により回線の冗長化を行う必要がある。

但し、AI Box は現場で AI アプリを動作させるエッジ端末であるため、通信障害が発生した場合でもエッジ側での AI アプリによる推論処理は停止せず処理が継続される。そのため、通信経路が遮断されている間は発報メールの送信や現場映像および録画済みの映像の視聴は不可となるが、AI アプリによる推論やアクション録画の保存は行われているため、回線障害復旧後に通信遮断中に録画された映像を確認することができる。

設置場所以外の異なる地点からのアクセス時の通信品質や応答速度に関しては、AI Box が接続するネットワーク品質よりもアクセスを試みるクライアント側のネットワーク品質に影響される場合がある。例えば AI Box の遠隔操作や映像視聴はインターネット接続ができればデスクトップ PC だけではなく、スマートフォンやタブレット端末等からも行える。これらの AI Box やデバイスコンソールに接続を試みるクライアント端末が利用するネットワーク品質が悪い場合には、その影響を受けて応答速度が低下する可能性がある。しかしながら一般的なネットワーク環境で極端に通信速度が遅い環境でなければ、大きな問題は生じない。

## 評価結果

### ● 通信の安定性：

本実証でのインターネット接続には、NTT ドコモの LTE 回線を使用した。通信の安定性は設置場所での電波受信強度に影響されるが、本実証の実施場所であるコードベースキミツは NTT ドコモのサービス提供エリア内にあり測定時には強い値を示していたが、現場に設置していたカメラのリアルタイム映像視聴に影響を与えることもあり不安定だったことは否めない。

但しメール発報に大きな影響を与える程ではなく、また、他の通信キャリアの電波受信強度は NTT ドコモの回線よりも良好であったため、使用する通信キャリアを設置場所に合わせて変更すればより安定した通信環境を使用できると思われる。

### ● 電波障害への対処能力：

本実証でのシステム構成は複数通信キャリアの回線を使用した通信経路の冗長化までは実施していないため、電波障害時にはメール発報が停止し、現場のリアルタイム映像や録画映像を視聴できない状況となる。但し、電波障害が発生し通信が途絶えている状態でも AI Box による検知と異常検知時の映像録画は継続して処理が行われるため、電波障害復旧後に録画映像を確認することが可能である。

以上のことから電波環境は十分に整っており、本実証場所以上の通信環境であれば技術が活用可能である。

## ⑥ 見張人と同等の防犯・防火能力

### 評価方法、ポイント

- ✓ 実証対象技術が評価項目（監視範囲、警報範囲、監視時間、警報スピード、現場急行スピード）において現状作業と同等に遂行できるか。

### 評価にあたっての前提や対応したこと、考察など

最初に留意頂きたい点としては、本実証で人の侵入検知および煙・炎の検知に使用した AI アプリは今回の実証に合わせて追加学習や開発は一切行っていない、既に販売・導入されている汎用的な AI アプリであることである。実際の火薬類取扱所におけるカメラ設置場所から撮像した映像を使用して追加学習を行ったり、AI アプリの改修を行ったりすることで、更に検知精度を向上させることも可能だと考えるが、本実証はあくまでも汎用的に利用される汎用的な AI アプリを使用した。

本実証で使用したエッジコンピューティングシステムは、設置場所で 24 時間/365 日のリアルタイム監視を実現するものである。火薬類取扱所を中心として対角線上に 2 台の固定カメラを設置することにより、各カメラの死角を補うように画角調整を実施している。設置するカメラの機能に依存するところではあるが、設置時におおまかな画角調整を行えばその後、遠隔でズーム機能を使用し細部を撮像することも可能である。また、カメラ単価は上がってしまうが PTZ 機能を有しているカメラを使用すれば、遠隔からカメラ画角の調整も可能となる。

現状作業が見張人による 1 時間 1 回以上の巡視を基本にしているのであれば、本実証のように一つのカメラの死角を補完するように複数のカメラを設置することにより、監視が必要な場所を 24 時間/365 日で監視を行うことができる。

また、発報メールの送信間隔は任意の時間に設定可能だが、本実証では連続して長時間、カメラ画角内に検知対象物が映り込むことを想定し、発報メール送信間隔に 60 秒を指定して検証を行った。詳細は実施項目 A テストケース・評価項目毎の検証結果に示すが、AI アプリが対象を検知しメール発報してから実証実施者の PC やスマートフォンで発報メールを受信し確認できるまでの平均時間は 30 秒以下であった。

発報メール受信後にデバイスコンソールにアクセスして現場のリアルタイム映像を確認したり、検知時に録画された映像を確認したりできるため、遠隔から現場に急行すべきかの判断ができるようになる。

### 評価結果

- 侵入検知の精度：  
カメラおよび AI アプリにより日中、日没前後、夜に見張人と同等以上の能力を有するか検証を行った。本実証ではカメラ 2 台をお互いの死角を補うように設置し、2 台のカメラのうちどちらかのカメラ画角内で人の侵入を捉え発報できていることを確認した。見張人と同等以上の検知精度を有していることが確認された。
- 火災検知の精度：  
火災検知についても人の侵入検知同様に、日中帯、夕方、夜間帯に見張人と同等以上の能力を有するか検証を行った。結果としては、煙の検知については良好な検知精度が確認でき

たが、炎に関しては検知漏れや誤検知が見られる結果となった。炎の検知漏れや誤検知が多かった理由は、見下ろし画角での炎の学習データ不足であると考えられる。本実証で使用した火災検知アプリは汎用的に使用できるように AI モデルを学習させているが、本 AI アプリの推奨カメラ画角と比べ本実証のカメラ設置俯角が大きかったため、学習データに使用した炎の形状とは異なる形状で炎が撮像されたために、検知漏れや誤検知が発生する結果となった。但し、これは実際の火薬類取扱所での映像等を使用し AI モデルを追加学習することによって改善することができる。

● 1 時間に 1 回稼働：

本実証で使用したエッジコンピューティングシステムは 24 時間/365 日の稼働を前提としているシステムであり、検知対象を即時に検知できることを確認した。見張人による監視は、1 時間に 1 回以上と定義していることから、デジタル技術の活用により、常時監視が可能となり、監視の質の向上も期待できる。

以上のことから、侵入検知精度は死角なく人と同等に検知でき、監視時間においては人間以上に遂行できると言える。また、火災検知においては改善の余地があるが、対策を明確化できている。

⑦ 省人効果

**評価方法、ポイント**

- ✓ 火災と盗難に対する見張業務に従事する作業時間が、技術を導入することで省人化につながるかどうか。つながる場合、つながらない場合共にその条件や課題、対策を明らかにする。

**評価にあたっての前提や対応したこと、考察など**

本実証で使用した技術を導入することにより、これまで見張人が巡視を行うために火薬類取扱所まで赴き目視による確認を行っていた作業を省人化できると考える。

エッジ端末では 24 時間/365 日、AI アプリが動作し火災と盗難を監視し、検知対象が認識された際に発報メールを送信する。また、システム構成を検討すればメール発報による通知だけではなく、警告回転灯や LED 表示板と連携することも可能であるため、事業所に滞在する職員に異常があったことをより明確に認知してもらえるような発報方法や現場で不正侵入者に警告を与え盗難を未然に防ぐような警告表示の導入も検討が可能である。

また、異常を検知し発報を認識した後に遠隔で現場のリアルタイム映像を確認でき、盗人の侵入や煙・炎の発生があった時点の録画映像は証跡データとして活用ができる。この証跡データとして、異常発生時の映像を記録することも非常に重要なポイントだと考えている。

課題としては前述の通り、本実証で使用した AI アプリはあくまでも様々な環境下で使用されることを想定し開発された汎用 AI アプリであり、火薬類取扱所で使用されることを念頭に開発された AI アプリではない。本実証での模擬火薬類取扱所近傍に設置したカメラの画角が想定以上に“見下ろし画角”となっており、汎用 AI アプリの学習データに含まれていないような映像になっていた。汎用 AI アプリの学習済みモデルでも人や煙はよく検知していたが、炎に関しては見下ろし画角での学習データが不足していたため検知できないケースも見受けられた。実際の火薬類取扱所での検知の精度をより高めるためには、火薬類取扱所で映像を撮像し AI モデルの追加学習を行う必要があると考える。



## 評価結果

- 自動化による業務効率：  
これまで人による巡視を一時間に一回実施していたと想定した場合、本実証で使用したシステムを導入することによりリアルタイムの監視を実現できる。検知から発報までを即時に、自動で処理ができることを確認した。
- 人件費の削減：  
現行業務でセンサー等を使用し人の侵入を検知している場合には、人以外の動物に反応したりセンサーが誤作動したりすることも有り得るが、本実証で使用したシステムは監視カメラの映像を使用して検知・発報を行い、現場のリアルタイム映像や異常検知時の録画映像を遠隔から確認できる。そのため現場に急行する必要があるかどうかの判断を遠隔から行えるため、不要不急の現場への急行回数を減らすことができると考える。  
また、センサー方式の場合、電池を使用しているものが多いが、本システムは常に電源供給されていることを前提としているため、電池切れ等による監視機能の停止や電池交換のための現地作業等を削減できる。
- 連続稼働の可能性：  
前述の通り、本実証で使用したエッジコンピューティングシステムは 24 時間/365 日の連続稼働を前提に開発されたものであり、連続稼働が可能であることを確認した。また、電源供給設備に障害が発生し停電が発生した場合でも、復旧・復電後にシステムが自動起動し、監視状態に復帰することを確認した。

以上のことから、火災と盗難に対する見張業務に従事する作業時間が、技術を導入することで省人化につながると言える。

## (2) 実証結果分析

リアルタイム性、検知精度ともに実運用に活用可能な結果を示せた。電源確保と敷設工事が課題となる。

表 12 実施項目 A のサマリー

技術実証項目	実施項目 A (固定カメラ)	
①	導入の容易さ	◎
	環境変化への適応性	◎
②	移動の柔軟性	○
	配置変更の容易さ	○
③	稼働開始プロセス	◎
	発報までの時間	◎
④	防爆対応	△
⑤	通信の安定性	○
	電波障害対応能力	○
⑥	侵入検知の精度	◎
	火災検知の精度	○
	1 時間 1 回の稼働	◎
⑦	業務効率の向上	◎
	人件費の削減	○
	連続稼働の可能性	◎

◎：現時点で実運用に耐えうる、○：軽微なカスタマイズや運用を工夫することで実運用可能、

△：対策が必要または、対応する場合の費用が高額

### I. アナログ規制の見直しに資するか

本実証で使用したシステムを導入することにより、目視による確認や定期的な人による巡視、現場近傍への常駐を排除あるいは負荷軽減できるものとする。

本実証では前述の通り、あくまでも汎用的な AI アプリを使用した。実際の火薬類取扱所が設置される環境条件や現行業務をより理解し、火薬類取扱所の監視により適した AI モデルの生成と AI アプリの開発が行うことで精度向上が見込めるため、より、アナログ規制の見直しに資するデジタル技術となると考える。

### II. 実現場での技術等の活用・導入に当たってのポイント

火薬類取扱所が設置される場所の環境条件や気候条件、外部への通知を行うために使用する通信環境（LTE、5G、衛星等の通信手段とその電波受信強度等）、デジタル機器への電源供給手段を導入前に確認し確保する必要がある。

環境条件・気候条件に関しては、現場周辺に強風が発生する環境であれば、ローリングタワーの使用は強風による横転・倒壊の恐れがあるため推奨されない。また、カメラ設置高が高くなればなるほど、カメラを取り付けるローリングタワーやポールの強度が求められるため、暴風雨が起こりやす

い環境ではカメラ取付機材の基礎はコンクリート打設を行う等の対策が必要だと思われる。

コンクリートを打設し基礎をしっかりと築きポールを固定する場合には、地表から 2m 程度、穴を掘り、型枠を打ち込む必要があるため、まず現場で、この型枠を設置するための地面掘削が可能なかの確認が不可欠となる。コンクリート打設を行う型枠のスペースに関しては、ポールに設置する機材の重量や設置高（ポール長）に依存するため、専門業者による事前の現地調査が必要となる。使用するコンクリートの種類や工法により変わるが、最短でもコンクリート強度発現まで 3 日以上、雨天や強風時には作業ができないため天候を考慮した作業スケジュールの調整が必要になる。

カメラが映像を正確に捉えられなくなるほどの豪雨や濃霧が発生するような環境では、AI による検出精度が悪化あるいは不可となる可能性があることにも留意が必要である。

通信環境に関しては、設置場所における LTE や 5G 回線の電波受信強度が弱い場合には衛星通信を使用することも検討する。

屋外にデジタル機器を設置する際の重要なポイントは、電源の確保である。設置場所近傍に使用可能な商用電源が存在している場合には問題にならないが、近傍に電源供給可能な設備が無い場合には、下記手段の導入を検討する。

- ① 設置場所への発電機、ポータブル電源の導入
- ② 設置場所へのソーラー発電機の導入

上記①を導入する場合には、デジタル機材に安定した電圧で電源供給を行うために UPS を経由させることを推奨する。デメリットとしては発電機、ポータブル電源共に一定期間の使用後に燃料の補給（ガソリンの補充、充電）が必要となる点が挙げられる。

上記②は実際の現場への導入実績もあるが、ソーラー発電機から設置機器への電源供給量を計算し、適切な枚数のソーラーパネルを設置する必要がある。電源供給が必要な機器の台数によりソーラーパネルの枚数が変わってくるため、システム構成によってはソーラーパネルの設置面積と設置場所、設置可否を慎重に検討する必要がある。参考として、本実証で使用した電力供給を要するエッジ端末、固定カメラ、PoE ハブを各 1 台ずつ程度の発電量であれば、ソーラーパネルは 4 枚程で賄うことができ、6 ヶ月のレンタル費用は、約 100 万円（1 月あたり 17 万円程度）である。

これまでに使用実績のあるソーラーパネルの面積は、1 枚あたりおよそ 1.5m×1m のため、4m 四方の設置スペースが必要となる。また、ソーラーパネルによる発電は設置場所の気候条件等を考慮し設置方位や設置角度を調整する必要がある。天候により十分な発電がされないことも想定される。特に曇天が長く続いたり、降雪によりソーラーパネルに雪が降り積もったりする状況になると、十分な発電量を確保できずシステムの稼働に影響を与える可能性もあるため、事前の入念な計画が必要となる。なお、今回使用したような照明機器も設置する場合、前述の 4 倍となる 16 枚程度ソーラーパネル、設置スペースにすると最低でも 8m 四方が必要となる。

### III. 実証を通じて明らかになった課題や改善の方向性

本実証での模擬火薬類取扱所とそれを囲うフェンスまでの距離が、当初想定していた距離よりも近く、想定していたカメラ画角ではなかった（想定よりも、かなりの“見下ろし画角”となっていた）という問題に直面した。本実証では現場にエンジニアがいたため、すぐに現場対応を行い実証には影響を与えなかったものの、カメラ画角によっては AI アプリが十分にその性能を発揮できないことも想定される。

カメラを設置可能な場所（火薬類取扱所までの距離やカメラ設置高等）により、火薬類取扱所周辺の撮像状況が異なることが予想され、同一構成のシステムを導入した場合でも初期導入時にカメラの画角調整や AI アプリの検知領域の再設定が必要となる。

設置条件が異なる様々な火薬類取扱所に対応するためには、本実証で使用したバレット型の画角固定カメラ（設置時に手動による画角調整が必要／ズーム機能は使用可）ではなく、PTZ（パン・チルト・ズーム）機能を有したカメラの使用が適している可能性がある。PTZ 機能のカメラであれば初期設置時にある程度の画角調整をしておけば、遠隔でカメラを操作し AI アプリに適した画角調整を行うことが可能である。デメリットとしては PTZ 機能搭載カメラが画角固定のカメラと比べ、価格が高いこと（AI による推論を行う使用用途で用いられるカメラに限定した場合、一般的に PTZ カメラの価格は画角固定カメラの 3～5 倍程度となる。）が挙げられる。

AI アプリについては本実証で使用したものが汎用的な AI アプリであり、火薬類取扱所の監視のために開発されたものではないため、上述のように設置場所におけるカメラ画角により物体検出精度が低下する検出対象（本実証の場合は炎）があり、実際の設置場所で使用する AI アプリの機能としては不足していると思われる。

例えば、「より“見下ろし画角”に対応するために実際の火薬類取扱所で映像を撮影し追加学習を実施する」、「実際の現行業務に合わせた検知対象や発報タイミングに合わせるように、AI アプリの仕様を策定し開発を行う」等を実施することにより、改善を行うことが可能である。

本実証で使用した人の侵入検知アプリでは検知領域への立ち入りがあった場合には全て発報対象となるが、例えば不正侵入／（業務等で立ち入りが想定される）正常侵入を区別できるか、不正侵入として発報する曜日や時間帯を指定できるか、火薬類取扱所近辺を通行する人は検知しない等の検知領域内での滞留時間を設定することによる不正侵入の区別をおこなうべきか等、現行業務をより理解し仕様を策定することにより、火薬類取扱所の監視に適した AI アプリを開発することができると思う。

また、本実証では、人の侵入検知アプリとして、人の頭部の画像データを教師データとして学習済みのモデルを使用している。学習済みのフードを被ったケースは検知するが、傘で人の頭が隠れてしまうようなケースは学習されておらず、検知しない。前述のエリアや時間帯と合わせ、検知対象（人のどのような装いを網羅するか）についても、運用に合わせ検討が必要である。

なお、本実証が行われた場所（千葉県君津市のコードベースキミツ）では NTT ドコモの電波状況が悪く、現場のリアルタイムでの映像視聴や発報メール送信の遅れが時折見られる状況であった。同場所での KDDI の電波状況は良好であったため、AI Box を設置する場所により通信キャリアの電波状況に違いがある可能性があり、事前の調査・確認が必要だと思われる。

#### IV. アナログ規制の見直しにあたり留意すべき点等

III. 「実証を通じて明らかになった課題や改善の方向性」に記載したように、現行業務を理解することにより火薬類取扱所の監視業務により適した AI アプリの開発やシステム構成の検討を行うことができるが、現状の要素技術では全ての要件を満たせるものを提供できない可能性もある。

デジタル技術を導入することにより現行業務の効率化や省人化を図ることは可能だと思われるが、技術的な制約や限界もまた存在しているため、今後、現行業務の内容や見直し対象となる

業務についてヒアリングを行い、実現可能な要件と実現が難しい要件を精査していく必要があると考える。

また、現時点での AI 技術では 100%の検知精度を保証することは非常に困難であり、発報対象となる検知精度の目標をどのくらいに置き、実装していくかを事前に決めておく必要がある。誤検知が多少増えても安全策を最優先として発報漏れが無いようにするか、あるいは誤発報を減らすために検知漏れが多少増えたとしても検知精度を調整するか等、AI システムの実装方針を事前に決定しておく必要があることにご留意頂きたい。

また、デジタル技術を導入しても遠隔による目視確認等、最終的な判断として人の介入が必要となる業務は残るものもあると想定されるため、デジタル技術導入による省人化効果の目標となる指標を定め、今後の開発や改善を進めていく必要があると考える。

### 3 実施項目 B

#### 3.1 技術実証内容の詳細

##### 3.1.1 技術実証の方法

###### (1) 実証実施のために構築するシステムの全体像

実施項目 B では、電力供給やセルラー通信環境のない場所に火薬類取扱所を設置する場合を想定し、ポート付きドローンと低軌道衛星通信を活用した火薬類取扱所（を模した建造物）周辺の定期巡視を行う。ドローンポートからドローンが自律飛行し、火薬類取扱所（を模した建造物）周辺で写真を撮影。ドローンポートに着陸後、ドローンポートから低軌道衛星通信を使用し、撮影した画像データを自動でクラウドストレージにアップロード（下図赤領域「情報取得」）。遠隔地で業務を実施する職員（を想定した人）がインターネットに接続可能な PC を用い、クラウド AI システムにアップロードすると、クラウド上で画像解析がリアルタイムに行われ（下図青領域「画像解析」）、異常を検知するとアラートメールを発報する。（下図緑領域「発報」）。

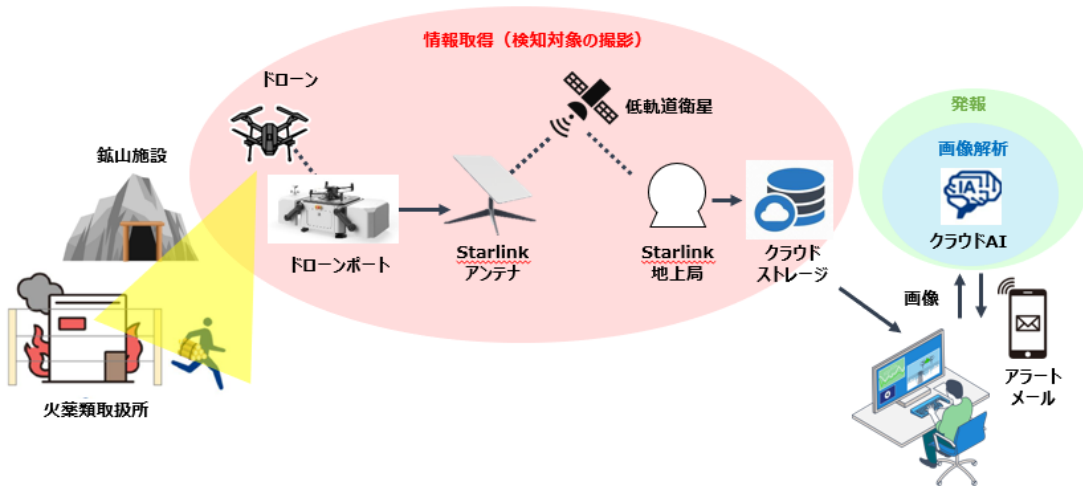


図 20 実施項目 B の全体像

実施項目 B では、ドローンポートと Starlink アンテナは電源ユニットを介して専用ケーブルや、有線 LAN で接続し、インターネット回線を通じて遠隔でポート付きドローンの飛行を制御した。システム構成を下記に示す。

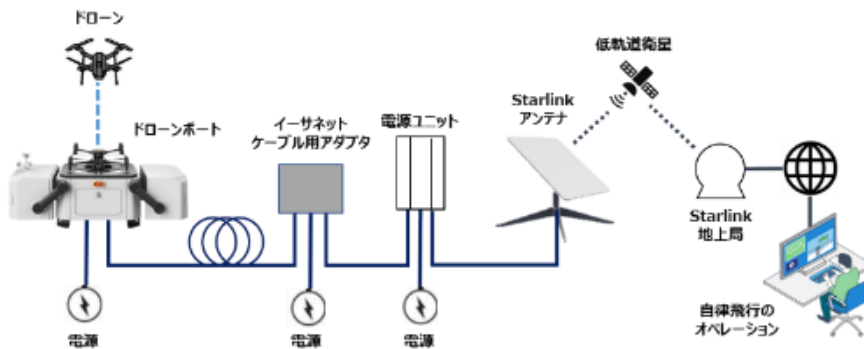


図 21 本技術実証で用いたシステム構成

## (2) 実証の構成

1 時間に 1 回以上の自律飛行、着陸後画像データの自動アップロードを実現するため、ポート付きドローン（DJI 社製）を使用する。画像解析やアラート発報は、クラウド AI システムにて行う。

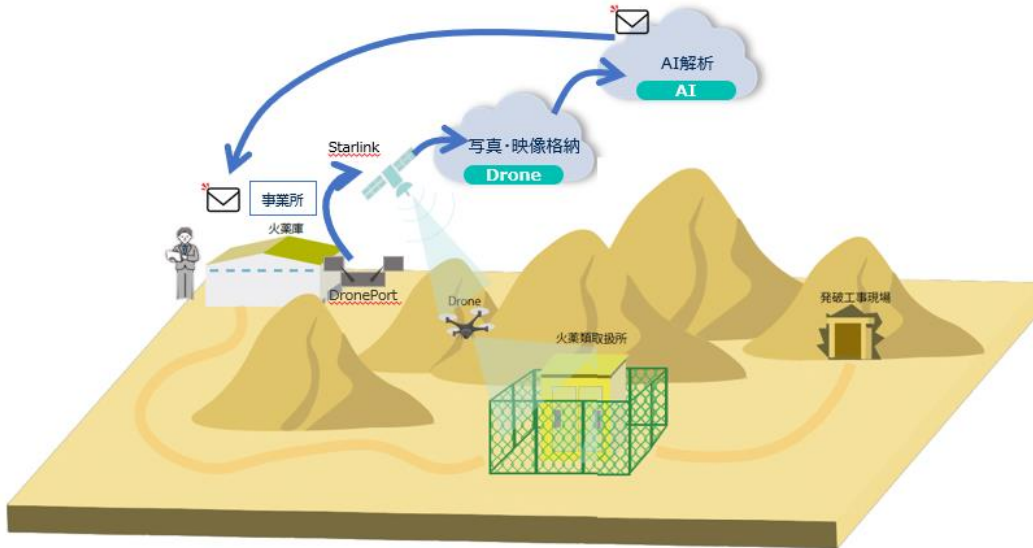


図 22 実証の構成図

## (3) 構築するシステムにおける処理概要

実施項目 B で使用するクラウド AI システムは、実施項目 C と共通のシステムを用いた。本実証（ドローン）と実施項目 C（UGV）において撮影条件と画像の仕様、画像の取得方法は異なるが、撮影画像の取得後、AI 解析による異常検知とアラートメールの自動発報までの処理の流れは同一である。実施項目 B における画像取得と AI システムの処理の流れを以下に示す。

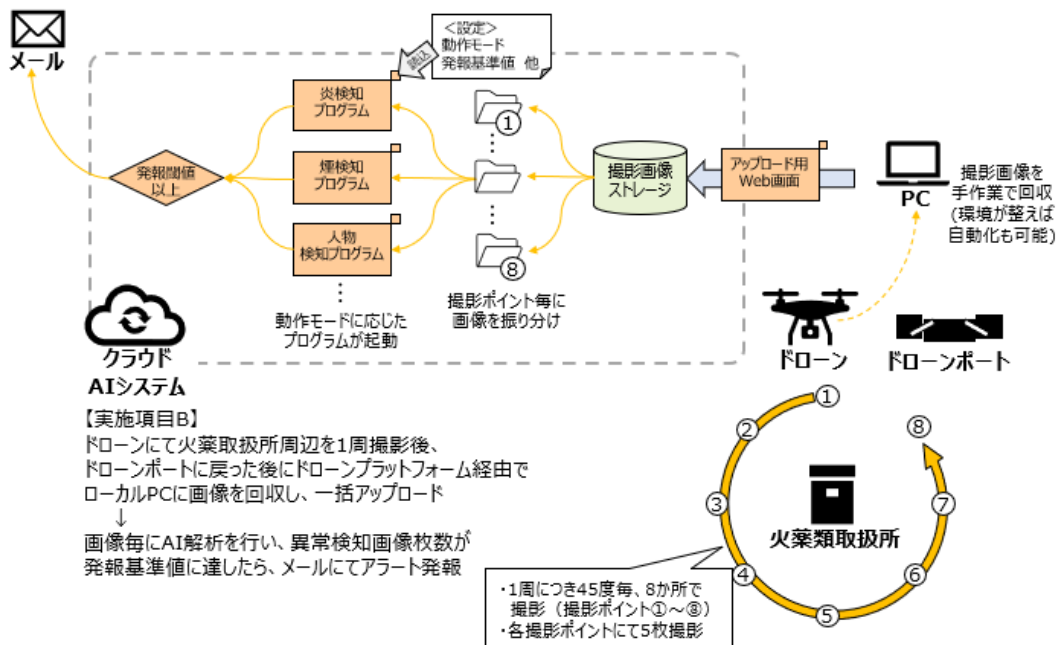


図 23 画像取得と AI システムの処理の流れ

- ① 動作モードを検知対象（人、炎、煙等）から選択し、AI 解析システムを起動する。
- ② ドローンにて火薬類取扱所の周辺を、死角ができないように、かつ、防爆に十分な距離を確保し、俯瞰視点にて 1 周自動飛行する。ドローンポートに戻るまでを巡回 1 サイクルとみなす。
- ③ 1 周につき 45 度ごとに、8 箇所ホバリングし、撮影位置と角度を固定し、火薬類取扱所がカメラ画角の中心に収まるように複数枚の静止画像を撮影する。（システム設定値に基づき、実証時には同時に 3 種類のカメラ搭載ドローンを活用：広角、ズーム、サーマル）1 種類につき 5 枚、3 種類で合計 15 枚の画像を取得する。
- ④ ドローンポートに帰還すると、1 周分の撮影画像が自動でドローンプラットフォーム<sup>1</sup>にアップロードされる。アップロード完了後、ドローンプラットフォームから手動でローカル PC に撮影画像をダウンロードする。
- ⑤ ローカル PC にて、AI 解析システムのアップロード用 Web 画面にて検知対象を指定し、手動で撮影画像ストレージへのアップロード操作を行うと、検知対象に応じ、検知に必要なカメラ画像のみが自動的にアップロードされる。  
※ドローンポートと通信環境が整えば、手動でなく自動化も可能。
- ⑥ AI 解析システムは、撮影画像ストレージの画像を撮影ポイント毎に振り分ける。
- ⑦ 撮影ポイント毎に画像の AI 解析を行い、異常を検知した画像の枚数が撮影ポイントの発報閾値（システム設定値。実証時は撮影ポイント毎の撮影枚数の 50%）に達したら、予め登録した連絡先にメールにてアラートを発報する。定常状態、もしくは、発報閾値未達なら発報しない。
- ⑧ 定常状態、火災や盗難を模した異常状態（近くでスモークマシンにより煙を出す、柵内に人が侵入するなど）を作り、状況毎に上記を実施し、検知結果と発報状況を評価する。
- ⑨ 全実施項目の実施状況と異常検知結果は、システムログに記録される。

---

<sup>1</sup> ドローンの制御をクラウドベースで管理するプラットフォーム。ドローンで撮影したデータのアップロード・ダウンロードの他、自動航行のルート作成・編集、飛行中のドローンのライブ視聴、2D オルソ・3D モデル作成などの機能を備える。



#### (4) 活用した要素技術及びシステムの内容

##### 1. ポート付きドローン

見張人が1時間に1回以上の巡視を行うのと同等の監視を実施可能であることを確認するため、ドローンが1時間に1回以上の頻度で火薬類取扱所周辺を飛行および撮影することを想定すると、ドローンの自動充電や機体の自動格納が可能なドローンポートとそれに対応したドローンを用いることが望ましい。

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、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例については、図 24 に示す。



図 24 ポート付きドローンの遠隔運用例

本実証では、実施環境（火薬類取扱所とドローンポート設置場所の距離などの条件）によって下記 3 機種の中から最適なものを選択した。どの機体も可視光とサーマルカメラが搭載されている。鉱山施設内で離れた場所にあるドローンポート設置位置から火薬類取扱所周辺を飛行することを考慮し、RTK-GNSS によりセンチメートル単位で位置制御ができ、飛行範囲が広い Matrice 30T と DJI Dock の組み合わせを採用した。

なお、実証の計画段階では、Matrice300RTK も使用するドローンの候補として挙げていたが、Matrice300RTK に連携可能なポートは市販されていないため、最終的には候補から外した。

表 13 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 Matrice30T 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、高性能である。	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	× 鉱山施設内は LTE の電波状況が悪く飛行が困難であると想定されるため	○ ドローン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

表 14 G6.0 & Next の仕様詳細

ポート付きドローン G6.0&Nest



機体自体が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

ドローン仕様	
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	ビューフォート風力階級 5 (10m/s)
動作温度	-10°C ~ 40°C

ポート仕様	
サイズ (W) x (L) x (H)	[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
防水防塵性能	IP54
動作温度	-10°C ~ 40°C

表 15 G6.0 のカメラの詳細仕様

RGB カメラ	
センサー	1/2.5" CMOS 8.5MP
有効画素数	3864 (H) x 2202 (V)
ピクセルサイズ	1.62 $\mu$ m
レンズ	HFOV=70
ビデオ解像度	4K 30fps
サーマルカメラ	
センサー	FLIR Boson
有効画素数	320 (H) x 256 (V)
ピクセルサイズ	12 $\mu$ m
レンズ	HFOV= 24
ビデオ解像度	320 x 256 9fps

出典：CiRC 社マニュアルより作成

表 16 Matrice30T & DJI Dock の詳細仕様

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。

ドローン仕様	
機体サイズ	470 x 585 x 215 mm
重量	3.8kg
飛行時間	41分間
入力電圧	100-240 VAC, 50/60 Hz
最大消費電力	1500W
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 $\pm$ 0.1m, 水平 $\pm$ 0.1m (RTK非利用) 垂直 $\pm$ 0.5m, 水平 $\pm$ 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
ポート仕様	
サイズ (W) x (L) x (H)	[閉じた状態] 800 x 885 x 1,065mm [開いた状態] 1,675 x 885 x 735mm
重量	105kg
防水防塵性能	IP55
動作温度	-35°C ~ 50°C

表 17 Matrice 30T のカメラ仕様詳細

ズームカメラ

センサー	1/2 インチ CMOS、有効画素数：48M
レンズ	焦点距離：21~75 mm (35 mm 判換算：113~405 mm) 絞り：f/2.8-f/4.2 被写界深度：5 m~ $\infty$
露出補正	$\pm$ 3 ev (ステップ長として 1/3 ev を使用)
電子シャッター速度	オートモード： 写真：1/8000~1/2 秒 ビデオ：1/8000~1/30 秒、 Mモード： 写真：1/8000~ 8 秒 ビデオ：1/8000~1/30 秒
ISO 範囲	100-25600
ビデオ解像度	3840x2160
最大画像サイズ	8000x6000

広角カメラ

センサー	1/2 インチ CMOS、有効画素数：12M
レンズ	DFOV：84°

	焦点距離：4.5 mm (35 mm 判換算：24 mm) 絞り：f/2.8 被写界深度：1 m～∞
露出補正	±3 ev (ステップ長として 1/3 ev を使用)
電子シャッター速度	オートモード： 写真：1/8000～1/2 秒 ビデオ：1/8000～1/30 秒、 Mモード： 写真：1/8000～ 8 秒 ビデオ：1/8000～1/30 秒
ISO 範囲	100-25600
ビデオ解像度	3840×2160
最大画像サイズ	4000×3000

#### サーマルカメラ

サーマル撮像素子	非冷却 VOx マイクロボロメータ
レンズ	DFOV (対角視野)：61° 焦点距離：9.1 mm (35 mm 判換算：40 mm) 絞り：f/1.0 被写界深度：5 m～∞
赤外線温度測定の精度	±2°C または ±2%
ビデオ解像度	赤外線画像 超解像度モード：1280×1024 通常モード：640×512
写真のサイズ	赤外線画像 超解像度モード：1280×1024 通常モード：640×512
ピクセルピッチ	12μm
温度測定方法	スポットメーター、面積測定
温度測定範囲	高ゲインモード：-20° ～ 150° C (-4° ～ 302° F) 低ゲインモード：0° ～ 500° C (32° ～ 932° F)

出典：DJI 社 Matrice30 Series Specs より作成

表 18 SkydioX2 & Skydio Dock の仕様詳細

#### 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 の接続範囲があるため、一定の範囲での飛行向き

ドローン仕様	
機体サイズ	660 x 660 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

ポート仕様	
サイズ (W) x (L) x (H)	[土台あり] 690 x 639 x 882mm [土台なし] 620 x 640 x 330mm
重量	45.3kg(土台あり), 32.7kg(土台なし)
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

表 19 Skydio2 のカメラ仕様詳細

可視カメラ	
画素数	静止画 1200 万画素
ビデオ解像度	4K/60fps
ズーム	16 倍デジタルズーム、
視野	HFOV : ~46°
赤外線カメラ	
サーマル撮像素子	非冷却 VOx マイクロボロメータ (FLIR Boson ® 320P)
ズーム	8 倍デジタルズーム

出典 : Skydio 社 Skydio X2 仕様より作成

## 2. 低軌道衛星通信(Starlink)

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、図 25 のように空が開けていれば（アンテナ視野 140°が障害物により阻まれないことが望ましい）、インターネットの接続が可能になる。通信環境が良好ではない地域の鉱山で活用することも想定し、本実証では、Starlink Business を使用することとした。Starlink Business のサービス・端末仕様を図 27 に示す。



出典 : Starlink Business 設置ガイド<sup>2</sup>

図 25 最適なアンテナの設置例

<sup>2</sup> [https://api.starlink.com/public-files/StarlinkInstallGuide\\_Business\\_English.pdf](https://api.starlink.com/public-files/StarlinkInstallGuide_Business_English.pdf)

## Starlink Business サービス仕様

通信サービスの主な仕様	
期待される下り通信速度	40~220 Mbps
期待される上り通信速度	8~25 Mbps
遅延	25-50 ミリ秒
月間高速データ利用量※2	ビジネス固定プラン：1TB, 2TB, 6TB ビジネス移設プラン：50GB, 1TB, 5TB
混雑時の優先アクセス※3	レジデンシャルプランに対して優先アクセスあり

月間高速データ利用量消費後の通信速度制限について※2		
プラン	ビジネス固定	ビジネス移設
期待下り通信速度	25~100 Mbps	5~50 Mbps
期待上り通信速度	5~10 Mbps	2~10 Mbps
混雑時の優先アクセス※3	速度制限後はレジデンシャルプラン同等	

※1 本ページに記載されている全ての通信速度は平均値であり、遅延はベストエフォート値です。帯域保証はありません。  
また、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。  
※2 通信量が上り下り合計累積利用量を指し、上り下りともに上記に示す通りの通信速度制限がかかります。  
速度制限後の通信量は上記はございません。  
※3 当社から提供のビジネスプランは、Space X 直轄から提供のレジデンシャルプラン等に対して、月間高速データ利用量の範囲において混雑時の優先アクセス権が付与されています。



## Starlink Business 端末仕様

Starlinkキット HPタイプの主な仕様		
寸法	アンテナ板サイズ	575 x 511 mm
	重量	アンテナ部6.9kg, 梱包重量約20kg ※1
電力	消費電力	110-150W
	電源電圧	100-240V
耐環境性	防水・防塵	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 (22m/s) まで ※3
その他	標準Wi-Fiルーターへの同時接続台数	128台
	アンテナ視野	140°

※1 梱包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射性を有し、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、無破壊・無故障を保証するものではありません。  
※3 通信が正常に動作することされる風速であり、物理的破壊限界風速ではありません。



図 26 Starlink Business のサービス・端末仕様

### 3. AIモデル（AIシステム）

実施項目 B で使用する AI モデルは、UGV を使用する実施項目 C と共通の AI モデルを使用する前提で開発を行った。以下の説明では、実施項目 C の内容も一部含む形になるが、AI モデルの内容を記す。

AI モデルについては、ISP edgeAI（エッジ AI ソリューション）などに搭載している ISP 独自の AI モデルを、本実証用にカスタマイズして用いた。

また、AI 画像解析とシステムフローの構築、実証実施までの開発プロセスは以下のとおりである。

#### ① 初期検討プロセス

実証の目的を踏まえ、使用を想定するカメラのスペックを前提にドローンと UGV で各々の撮影方法（ズームの種類、焦点距離、水平画角、静止画サイズ、撮影距離など）を検討する。

ドローンであれば、静止画上の検知対象物のサイズと範囲を特定し、ドローンの撮影距離を想定算出する。下図は、実証実施場所が定まる前に、防爆のために火薬取扱所から最大距離を確保して撮影する場合を想定算出した例である。

実証実施場所、使用機材を踏まえ、テストケースを決定し、これを実証シナリオのインプットとする。



図 27 撮影条件の検討

#### ② 事前実証プロセス

指定された撮影方法により、学習データの取得と事前実証を行う。

#### ③ AI 解析構築プロセス

撮影ツール（ドローン、UGV）と、検知対象（人、炎、煙、破損）毎に、検知対象に応じた前処理と AI モデルを構築する。必要に応じて撮影方法を調整する。

#### ④ 本番実証プロセス

飛行・走行ルート上の決まった撮影ポイントでドローンと UGV で画像を撮影する（ドローンはホバリングしながら、UGV は、一時停止して撮影）。AI モデルは撮影画像を解析し、所定の場所、画角、サイズの静止画上で人が存在する場合、または、煙・炎・破損がある状態を検知する。あらかじめ設定した異常発報閾値である 5 枚中 3 枚を超える数の画像でこれらを検知したら、人の侵入や火災異常とみなして、アラートメールを自動送信する。

⑤ 評価と改善プロセス

画像毎の AI 解析結果（推論結果）と実際を比較し、結果評価と AI モデルの課題抽出と精度向上等の改善を行う。本来は、このプロセスを複数回繰り返すことで、実用に足る AI モデルを構築していくが、本実証では実証期間およびコスト面の都合により 1 サイクルの実施となった。

AI 画像解析の処理概要を以下に示す。

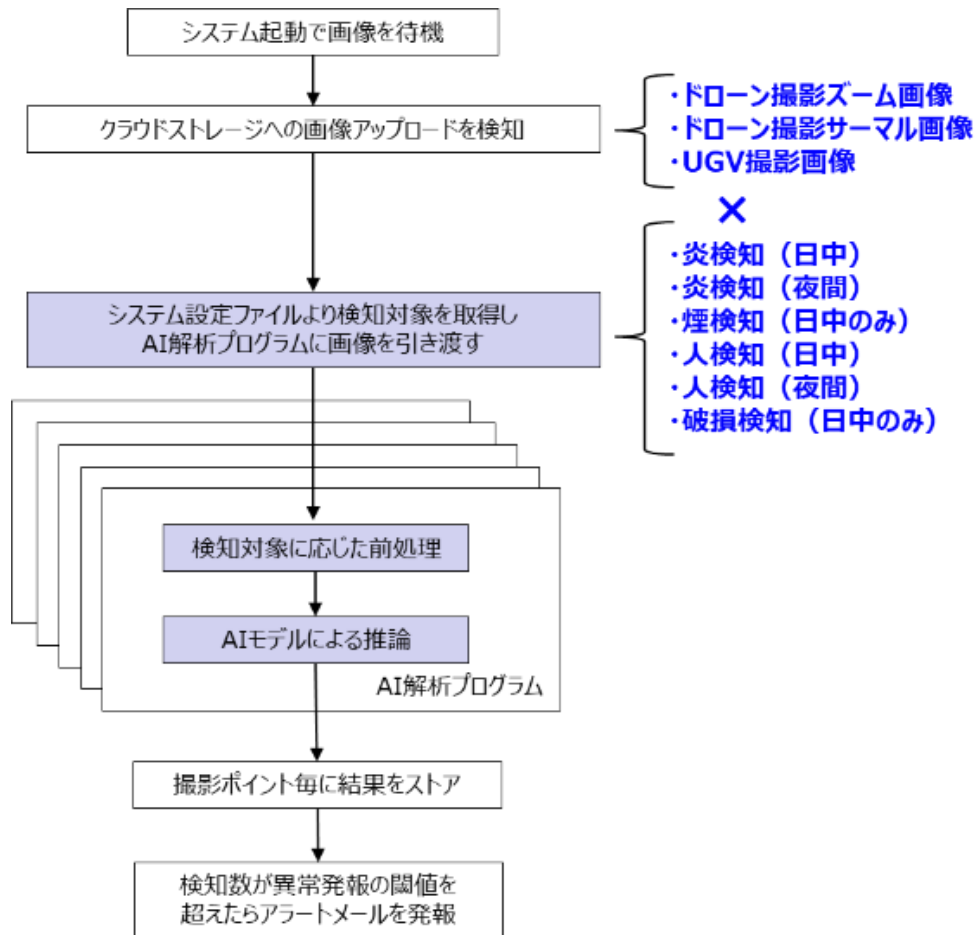


図 28 AI 画像解析の処理概要

AI 画像解析はクラウド上で動作し、実証項目と検知対象毎に独立したプログラムとして用意した。AI システムは起動時に検知対象を指定し、クラウドストレージへの画像のアップロードを待機する。ドローンもしくは UGV によって撮影された画像のアップロードを検知したら、対応する AI 解析プログラムに画像を引き渡し、解析を行う。複数の異常検知の同時実行は行わない。これは、検知対象毎の解析結果の精度を個別に評価するためであり、同一画像を全ての解析プログラムが同時に処理する並列化も可能である。実運用時には、並列化により異常検知の性能向上が見込まれる。実証の結果において重要なのは、以下の 2 点である。

● 検知対象に応じた前処理

AI 解析前に、検知対象と入力画像に応じた前処理を行う。人検出（日中）では、柵で囲ま



れた領域抽出による柵内外かどうか、火薬類取扱所屋根上かどうかの判定が必要であり、特に領域抽出では AI モデルを使用している。また、画像解像度が特に高い実施項目 C の炎検出（日中）では、前処理として入力画像を分割し、分割領域ごとに AI 解析を行う。入力画像の解像度を高めたことにより、これらの前処理が処理時間に大きく影響している。

- AI による推論

AI モデル構築プロセスにおいて、使用する画像と AI モデルの最適な組合せは、事前実証により取得したデータを用いた事前評価にて選定した。

AI 画像解析プログラムにて構成する機能を以下に示す。画像解析プログラムの処理フローは、事前実証プロセス用に仮構築し、事前実証の結果評価を踏まえて再検討の上、本番実証に使用する処理フローを構築した。以下に、検知項目毎の AI 画像解析処理概要を示す。

表 20 検知項目毎の AI 画像解析処理概要

検知項目	検知対象	実施項目 B（ドローン）	実施項目 C（UGV）
共通	炎・煙・人・破損	・入力画像変換	・入力画像変換
火災検知	炎（日中）	・熱画像の熱領域検出	・領域分割 ・分割領域ごとの炎検出
	炎（夜間）	・熱画像の熱領域検出	—
	煙（日中）	・可視光画像の煙検出	・可視光画像の煙検出
盗難検知	火薬類取扱所 周辺の人の存在 （日中）	・柵内領域抽出 ※マーカー（4.マーカー検出参照）位置判定は事前実証評価にて不採用	・柵内領域抽出 ・柵内外判定 ・屋根上判定 ・可視光画像の人検出
	火薬類取扱所 周辺の人の存在 （夜間）	・マーカーによる火薬類取扱所位置取得 ・人の検知領域判定 ・熱画像を可視光画像として扱っての人検出	—
	火薬類取扱所の 屋根、壁、柵の破損 （日中）	・可視光画像の破損検出	・可視光画像の破損検出

全検知対象にて前処理として、AI モデルの仕様に合わせて画像を入力するための基本的な画像処理（フォーマット変換、画角変換）が前処理として必要である。

実施項目 B,C の本番実証に用いた AI モデルを以下に示す。検知対象毎に検知モデルを共通化し、ドローン・UGV の撮影画像のスペックの違い、撮影時間や撮影位置のバリエーションなど入力画像の違いは、前処理にて吸収した。特に、炎検知、煙検知、人検知（日中）には既存の AI モデルを採用し、本実証にて取得した画像データは評価にのみ使用し、教師データとしては使用していない。破損検知には、破損・劣化を検出する既存の AI モデルを用いた。実証では再現性を担保するため、模擬的な破損を布で用意し、火薬類取扱所屋根、壁、柵の任意の場所に設置して破損として検出を行った。

表 21 実証時に用いた AI モデル

検知項目	検知対象	実施項目 B (ドローン)	実施項目 C (UGV)
火災検知	炎（日中）	熱領域検出モデル ※可視光画像の炎検出は 事前実証評価にて不採用	炎検出モデル
	炎（夜間）	熱領域検出モデル	—
	煙（日中）	煙検出モデル	
盗難検知	火薬類取扱所 周辺の人 の存在 （日中）	人検出モデル	
	火薬類取扱所 周辺の人 の存在 （夜間）	グレースケール画像による人 検出モデル	—
	火薬類取扱所 屋根、壁、柵の破 損（日中）	破損検出モデル	

- ・ 炎検知には、実施項目 B においては、日中、夜間いずれもサーマルカメラ画像による熱領域検出を用いた。サーマル画像はピクセル毎の温度情報を参照し、設定温度を超えた連続領域を炎、もしくは、異常な高温の熱源とみなせる。事前実証で、ズーム画像による炎検出を並行して評価したところ、精度が不十分だったため、不採用とした。これは、実証用に安全な燃焼装置として円型の焚き火台を利用したところ、俯瞰視点において外観特徴（円型）が炎と乖離したためと考えられる。実証項目 C においては、前述の通り可視光画像を前処理で領域分割し、炎検知モデルを用いた。
- ・ 煙検知には、実施項目 B,C いずれも可視光画像にて煙検出モデルを用いた。
- ・ 人検知（日中）には、実施項目 B,C いずれも可視光画像にて人検出モデルを用いた。人検出（夜間）には、サーマル画像を可視光画像（グレースケール画像）として入力できる人検出モデルを用いた。
- ・ 破損検知には、実施項目 B,C いずれも可視光画像の破損検出モデルを用いた。

#### 4. マーカー検出 (AI システム)

AR マーカーを用いて、撮影画像の点検領域位置合わせと、観察領域の指定を行った。これは、撮影位置や画角が確実に同じでない場合でも AI 解析用の画像として、一貫した画像品質を担保することが可能になるためである。本実証においては、SP Vision Library に含まれるマーカー検出機能をカスタマイズして用いた。

#### 5. クラウドアーキテクチャ (AI システム)

- Amazon Web Services : Amazon Elastic Compute Cloud を用いた。
- Amazon CloudFront : ドローン撮影画像の一括アップロード用 Web インターフェース
- Amazon Lambda : UGV 撮影画像の逐次アップロード、画像アップロード待機、入力画像と検知対象に対応した AI 解析処理への振り分け、メール発報
- Amazon S3 : 撮影画像、解析結果の保管
- Amazon EC2(GPU) : AI 解析処理

#### 6. メールによる発報 (AI システム)

各検知プログラム (炎、煙、人物) が画像毎に AI 解析を行い、異常検知画像枚数が発報閾値に達すると、予め設定したメールアドレス宛てにアラートが発報される。

本実証では、閾値を 50%以上とした。ドローンでの撮影枚数は、1 撮影ポイントにつき、5 画像としたため、1 撮影ポイントで 3 画像以上が異常と検知された場合に発報する設定とした。

#### 7. ポート付きドローンの運行管理システム

実施項目 B で用いたポート付きドローン (Matrice30T & DJI Dock) はクラウドベースで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、飛行ルートやカメラアクションなど設定、ライブ配信の表示、撮影したメディアファイルのダウンロードを実行した。図 29 に自律飛行のオペレーションのフロー、図 30 に運行管理システムのモニタリング画面を示す。

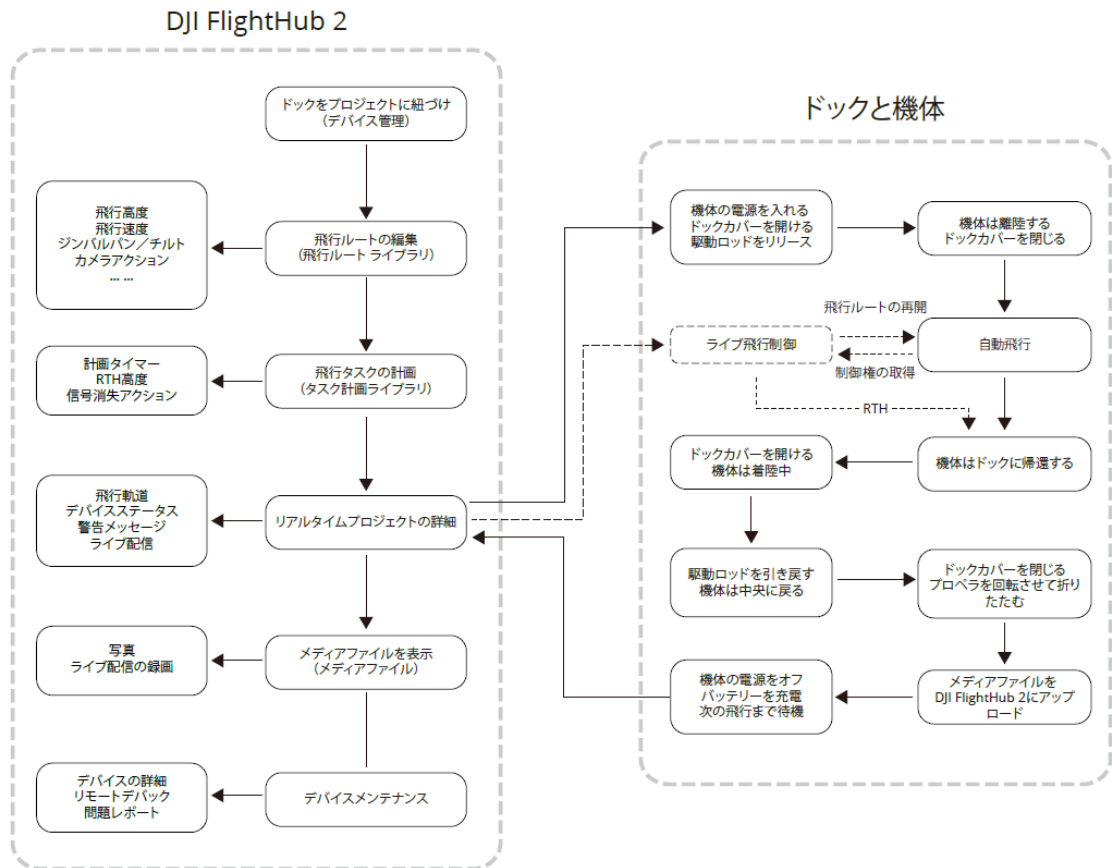


図 29 自律飛行のオペレーションフロー



図 30 DJI FlightHub2(運航管理システム)のモニタリング画面

(5) 本実証で行う撮影方法

実際に使用するドローンのカメラのスペックを前提に AI 解析に用いる画像データおよび検証データの撮影方法（ズームの種類、焦点距離、水平画角、静止画サイズ、撮影距離など）を決定した。

① 撮影条件の設定

ドローンにより静止画上の検知対象物のサイズと範囲を特定し、ドローンに備えるカメラ（広角カメラ、サーマルカメラ、ズームカメラ（ズーム可変））の焦点距離ごとに撮影距離、仰角を想定し、検知対象物の見え方について、シミュレーションを行った（図 31、図 32）。

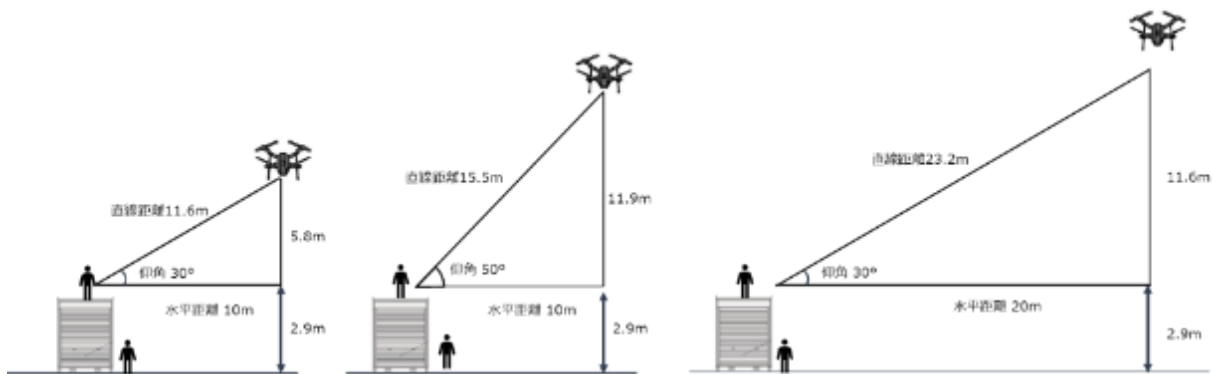


図 31 水平距離と仰角によるドローン配置図

	10m	15m	20m
<b>24mm</b> (広角カメラ)			
<b>40mm</b> (サーマルカメラ)			
<b>113mm</b> (ズームカメラの 高め視点)			
<b>405mm</b> (ズームカメラの望 遠の視点)			

図 32 カメラの焦点距離・水平距離・仰角に対する撮影対象のシミュレーション

シミュレーションの結果、検知対象物がカメラの視野範囲に収まるよう水平距離および仰角を以下の表 22 の通りに設定した。

表 22 時間帯毎の撮影条件

	日中	夜間
水平距離	10m	10m
仰角	-30°	-50°
焦点距離	4.4mm (35m 判換算 : 24mm)	9.1 mm (35m 判換算 : 40mm)
デジタルズーム	1X、2X	1X
画像解像度	ズーム画像 : 8000×6000 ピクセル サーマル画像 : 1280×1024 ピクセル	
色深度	24bit	
画像容量	ズーム画像 : 約 16MB サーマル画像 : 約 9MB	

## ② 撮影パターンの設定

以下の撮影バリエーションを設定し、撮影パターンを作成した。

- ・ 火災検知 : 炎、煙、熱
- ・ 侵入検知 : フェンス内・外、屋根、姿勢のバリエーションとして立つ、しゃがむ
- ・ 時刻 : 日中、低照度、夜間
- ・ 破損 : 位置のバリエーションとして火薬類取扱所、フェンス
- ・ シャッター : シャッターの開閉、半開き

## ③ ドローンによる飛行計画の設定

④ ①、②の設定に基づき、検知対象物を中心として 8 方向（中心から周囲に 45°ずつ移動）に撮影ポイント設定し、ホバリングした状態で広角画像、ズーム画像、サーマルカメラ画像をそれぞれ 5 枚ずつ撮影する飛行ルートを作成した。撮影ポイント間は安全のため秒速 3m で飛行した。飛行速度は最大で秒速 23 m まで設定することができるが、制動距離が長くなり安全を損なう恐れがある。また、撮影ポイント間の距離が短いため秒速 3m 以上の設定を行っても最大速度を出すことは難しいため、秒速 3m 程度が適切と考える。なお、以下のとおり画像データと事前の AI 学習用の検証データを撮影している。なお、以下のとおり画像データと検証データを撮影している。

- ④ 画像データの撮影 : ①で設定した撮影方法に従い、事前準備として画像データを撮影した。
- ⑤ 検証データの撮影 : 必要に応じて撮影方法を調整後、検証データを撮影した。

### (6) 技術実証の検証設備

実施項目 B では、図 33 のように模擬火薬類取扱所として、シャッター付き倉庫とフェンスを用いた。本実証で使用したポート付きドローンおよび Starlink の設置の様子を図 34 から図 35 に示す。

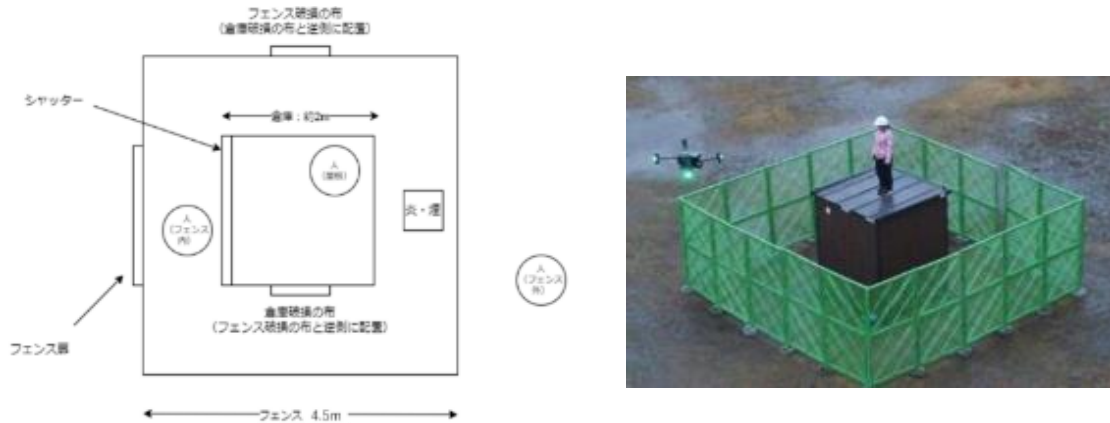


図 33 模擬火薬類取扱所の配置図(左)とドローンによる撮影の様子(右)



図 34 ドローンポートからの離陸の様子(日中)(左)と着陸の様子(夜間)(右)



図 35 Starlink のアンテナ(左)と設置されたポート及び Starlink のアンテナ(右)

また、本実証においては、ドローンで撮影した画像データのクラウド AI システムへのアップロード処理は、専用の Web ページを介し、手動で行った。以下に、AI システムの解析対象となる画像をクラウドストレージにアップロードするための Web インターフェイス画面を示す。ドローンにて撮影した全ポイントの画像と検知対象を指定すると、解析に使用する画像のみを自動抽出し、クラウドストレージに一括アップロードする。

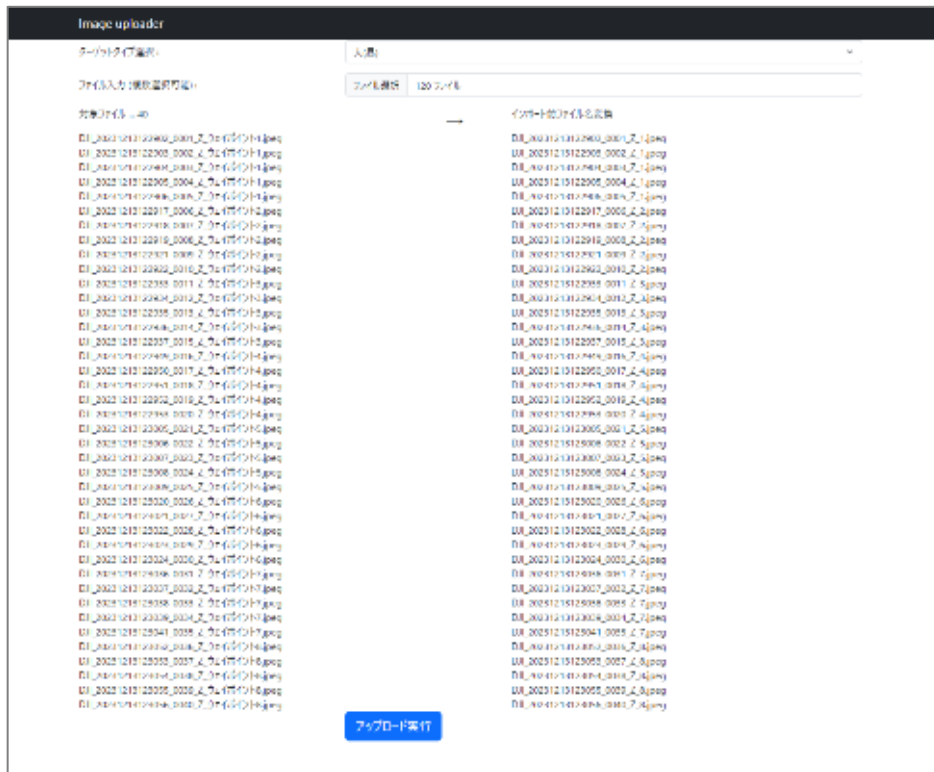


図 36 クラウド AI システムへの画像アップロード画面

画像アップロードが開始されると同時に、クラウド AI システムの画像解析処理が開始され、異常が検知されると、予め設定したメールアドレスにアラートメールが送信される。以下に発報メールフォーマット及びメールイメージを示す。

表 23 発報メールフォーマット

表記	項目	取り得る値
件名	<検知対象> を検知しました ( <撮影実施機体を示す文字列> , <撮影ポイントセット ID> , <撮影ポイント> )	
本文	機体種類 : <撮影実施機体を示す文字列> 撮影ポイントセット ID : <撮影ポイントセット ID> 撮影ポイント : <撮影ポイント> 画像受信完了日時 : <画像受信完了日時> で <検知対象> を検知しました。	
項目	検知対象	検知対象を示す文字列 ( 人・炎・煙・破損 )
	機体種類	撮影実施機体を示す文字列 ( drone・ugv )
	撮影ポイントセット ID	14 桁の数値
	撮影ポイント	1 桁の数値 ( 1~8 )
	画像受信完了日時	YYYYMMDDhhmmss





図 37 発報メール受信例(人の検知)

## (7) 実証準備

### 1. クラウド AI システム

#### ●初期検証：

- ・ 撮影手法検討（搭載カメラ、レンズ、撮影距離、撮影パラメータ、画像フォーマット）
- ・ 火災、盗難、人検知手法検討、AI モデルの選定、初期モデル作成、学習手法策定

#### ●学習・評価・チューニング（複数サイクル）

- ・ 画像アノテーション、学習データ作成、学習・評価、AI エンジン再構築

#### ●実証要件定義：

- ・ 検知対象、検知条件、発報手段、記録内容の策定
- ・ テストケース策定、実施シナリオ検討
- ・ 実証用 AI 解析システム仕様策定

#### ●実証用 AI 解析システム構築：

- ・ システム構築：クラウド上にデータストア、ファンクションの動作環境を構築
- ・ 機能実装：全体制御、画像入力、AI 解析、異常検知時発報

### 2. ポート付きドローン

#### ●ドローンポートの設置：

- ・ 施設屋上へのドローンポートの設置
- ・ 施設屋上に既設の Starlink アンテナとの接続

#### ●飛行ルートの作成：

- ・ FlightHub2 上でのルート作成

以下に飛行ルート作成手順を示す

①火薬類取扱所を模した構造物の設置予定位置を地図上にマーキングする



図 38 火薬類取扱所を模した構造物の設置予定位置のマーキング

②マーキング位置を中心に指定の離隔距離のラインを地図上に設定する



図 39 水平距離を示すライン（水平 10m）

③ラインの位置に合わせて、ドローンポート位置から離陸し、撮影ポイントを回る飛行ルートを設定する



図 40 飛行ルートの作成画面

- ④シミュレーションされた仰角およびテスト飛行における撮影画角（図 41）を参考に撮影対象（①で設定したマーキング）が収まる適切な飛行高度を設定。



図 41 撮影画角の確認

- ⑤3D 地図表示で、飛行ルートに異常（明らかに低い高度でないか等）を確認した。



図 42 飛行ルート of 3D 表示

⑥①～⑤と同様の手順で飛行条件ごとに 3 パターンの飛行ルートを作成した。

### 3. クラウド AI システム・ポート付きドローン共通

#### ●事前実証(学習データ取得)

- ・ ドローン、UGV で使用する AI モデルは共通使用の前提で開発が行われた。実証の目的をふまえ、撮影方法（ズームの種類、焦点距離、水平画角、静止画サイズ、撮影距離など）を検討し、学習データを取得。

#### ●実証用 AI クラウドシステム結合テスト

- ・ インターフェースの確認: AI 解析システムが DJI FlightHub2 やデータソースとどのように連携するのかを確認。API 連携の有無、データの入出力形式、通信プロトコルなどを含む。
- ・ セキュリティと権限の確認: AI 解析システムが結合する DJI FlightHub2 とのセキュリティやアクセス権限の連携を確認。データの保護や機密性を確保するために、適切なセキュリティプロトコルが実装されているかなどを確認。
- ・ データの入力と出力のマッピング: AI 解析システムに必要なデータの形式や構造を確認。DJI FlightHub2 から提供されるデータとのマッピングを行い、データの入力と出力が正確に行われるかなど。
- ・ システムテストと検証: AI 解析システムと DJI FlightHub2 の結合が正しく機能することを確認。データの入力と出力、システム間のデータフロー、エラーハンドリングなどのテストを含む。
- ・ パフォーマンスとスケーラビリティの評価: AI 解析システムと DJI FlightHub2 が統合された場合のパフォーマンスやスケーラビリティを評価し、システムが要求される負荷やデータ量に対して十分に対応できることを確認。

### 3.1.2 実施場所等

#### (1) 実施場所

実施項目 A と同じく、コードベースキミツを使用しているため、詳細な記述は割愛する。

#### (2) 実施期間・タイムスケジュール

表 24 実施期間・タイムスケジュール

日数	日程	時間
実証 1 日目	2023 年 12 月 11 日	9:00~20:00
実証 2 日目	2023 年 12 月 12 日	10:00~18:00
実証 3 日目	2023 年 12 月 13 日	9:00~18:00

#### (3) 実証の様子



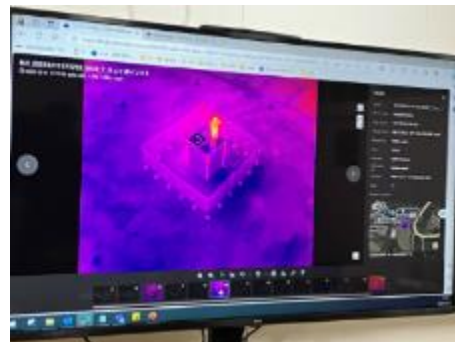
a. 関係者ミーティングの様子



b. 日中撮影の様子



c. 夜間撮影の様子



d. サーマルカメラのリアルタイム表示の様子

図 43 実証の様子

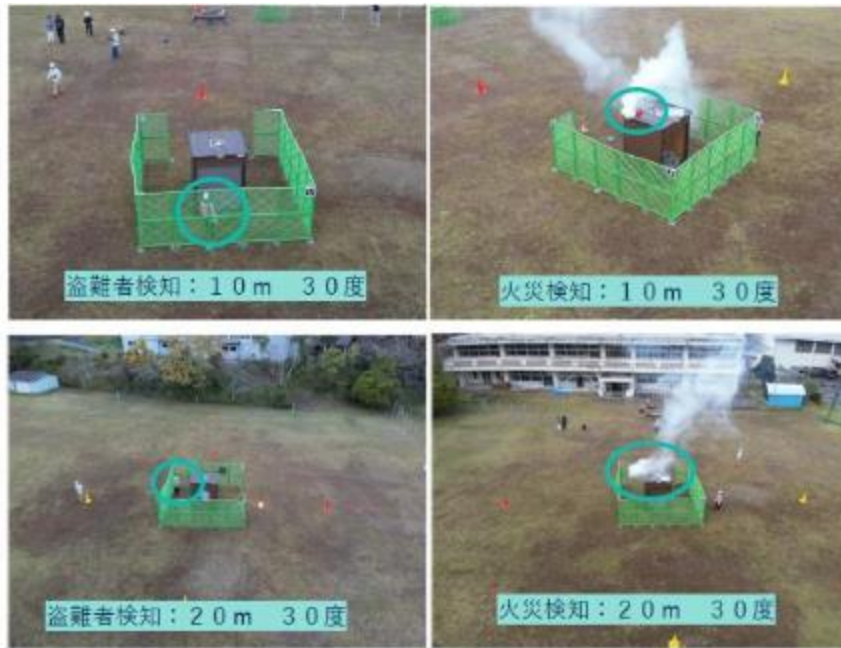


図 44 可視光カメラによる水平距離・仰角別のドローン撮影の様子

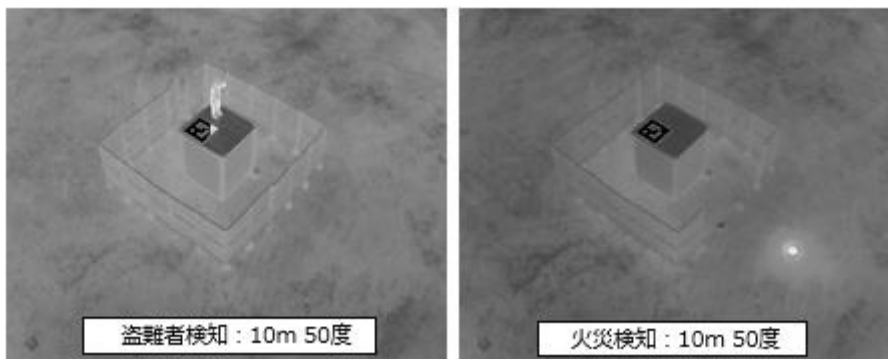


図 45 サーマルカメラによるドローン撮影の様子

### 3.1.3 実施条件等

#### (1) 留意が必要と見込まれるポイント

##### ● 気象条件：

- ・ 風（強風（風速 5m 以上）や突風の場合飛行不可）
- ・ 気温（一般的な機体の動作環境は、 $-20^{\circ}\text{C}$ ～ $50^{\circ}\text{C}$ 程度）

##### ● 周辺環境：

- ・ 飛行ルート上に地表または水面から高度 150m 以内高低差が確保できること
- ・ 飛行ルート上にクレーンや電線がないこと
- ・ 低軌道衛星通信（Starlink）または 4G LTE 回線が利用可能であること
- ・ 樹木等で火薬類取扱所が覆われていないこと

#### (2) 実証にあたって特別な手続（行政手続など）

##### ● 飛行申請：

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を行い、承認を得ている。

今回申請した特定飛行の内容：夜間飛行、人物 30m

許可承認番号：東空運航第 27323 号

## 3.2 技術実証の結果

### 3.2.1 結果の評価ポイント・方法

#### (1) 取得する情報

本実証で使用する機器が火災と盗難検知のために取得する情報は下記の通りとなる。

表 25 検知項目別取得情報

検知項目	取得情報	対象
火災検知	炎	○※1
	煙	○※1
	熱	○※2
盗難検知	火薬類取扱所周辺の人々の存在	○
	火薬類取扱所周辺の指定時間外の人々の存在	△※3
	火薬類取扱所側面や背面の人々の存在	○
	火薬類取扱所の屋根上の人々の存在	○
	扉の開閉、振動の有無	△※4
	火薬類取扱所屋根、壁、柵などの破損	○

※1 日中のみ

※2 サーマルカメラを搭載し熱を確認する

※3 ドローンで任意の時間や夜間帯も飛行し、情報収集が可能であることを確認する

※4 映像により扉の開閉の確認は可能

#### (2) 本技術実証の評価方法

実施項目 B に対する評価観点、評価のポイントは実施項目 A と同じ観点で検証を行っているため、ここへの記載は割愛する。



### 3.2.2 結果及び評価・分析

#### (1) 技術実証の評価結果

結論として、以下のことを示すことができる。

- ・ 人の検知については、日中も夜間も 2%程度、検知漏れが発生しているケースがあったが、それ以外では確実に検知ができていた。
- ・ 煙の検知は、日中 1 件の実証のみとなったが、全 8 撮影ポイント計 40 枚の画像において、すべて検知できた。
- ・ 炎(出火している)の場合は、日中では実際に炎が上がっているにも関わらず、火気の検知漏れが約 2.5%生じた。フェンスのエッジに炎が遮られ、炎も消えかけていたことにより、正確な判定を阻害した写真以外は、AI は正確に対象を検知できた。
- ・ 破損の検知については、3 件の実証で破損が映る 70 枚の画像中 1 画像のみ検知漏れがあったが、それ以外については、破損を捉えることができた。当該ケースは、屋根の上の破損を模擬したものであった。
- ・ 本実証ではドローンから AI システムへのデータ連携を手動で実施しているが、解析開始から対象を検知した後メール発報までは、18 件のデータにおいて最短 34 秒～最長 9 分 40 秒と開きがあり、平均すると 2 分 45 秒であった。
- ・ ただし、データをドローンのクラウドプラットフォーム上へアップロードするのに、平均 29 分（計測した 8 件の平均）を要しており、このリードタイムの短縮が現実的な実装にあたってのポイントになる。アップロードが遅延する原因は、ネットワーク環境によるところが大きい。本実証では、Starlink を使用したが、厚い雲で空が見渡せないといった天候により衛星電波が遮られる場合や他システムなどとネットワークを共有し帯域が絞られる場合などの理由で遅延することは、考えられる。対策としては、環境に合わせたネットワーク環境を選択する他、撮影枚数自体を減らしたり、画像のファイル容量を抑えたり、アップロードする容量を抑えるという方法が挙げられる。

2.2.1(2) 表 10 で定義している 7 つの評価観点に基づき、技術実証を行った内容から評価をまとめる。

## ① 導入が容易で汎用性が高い

### 評価方法、ポイント

- ✓ 監視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（監視業務を行う担当者の人件費）と比較し、発生する費用が同等か、一定程度削減されるか。

### 評価にあたっての前提や対応したこと、考察など

#### 【ドローン】

- 今回使用したドローンポート及びドローン「DJI Dock & Matrice30T」並びに Starlink は一般に流通している製品である。
- ドローンの飛行においてはその飛行場所、飛行条件によって航空局への許可申請が必要であるが、その申請方法についてはすでに整備されており、だれでも実施が可能である。
- 導入の容易さにおいて、設備についてはドローンポートの重量は 100 kg 程度であり、一般的な運送会社であれば搬入は問題なく可能である。また設置場所については水平かつ 3×3m 程度の開けた場所が必要となる。
- ドローンを運航するには、一般的に 10 時間程度の飛行経験が必要とされる。
- 今回使用したドローンは IP55 であり、小雨程度の雨であれば問題なく運用が可能であり、今回の実証時も小雨が降る時間帯があったが問題なく運用ができた。（雨天時の運用には IPX4 以上の耐水性能が推奨される）また、耐風性能についてはスペック上、最大 12 m/s となっているが航空局の標準飛行マニュアル上は 5m/s を基準に飛行可否を判断するよう推奨されている。
- 今回使用した機材は市販されている製品であり、ハード的なカスタマイズは困難である。一方でシステムに関する API がメーカーである DJI から公開されており、それを活用して拡張機能を開発することは可能となっている。
- 今回の機材は通信についても Starlink の低軌道衛星通信を活用しているため、4G LTE の圏外エリアでも活用が可能である。一方で Starlink 通信の活用においてはアンテナ上空が開けている必要があるため、そのような場所が確保できない環境においては活用が困難である。また、電力についても今回の機材は必要となるため、継続的な電力供給が難しい場所では今回の機材の設置が難しいといえる。
- 導入にかかる初期費用は、約 1000 万円、Starlink を用いる場合の維持費は、ドローンの運航を外部委託しない場合年額 114 万円、ドローンの運航を外部委託する場合年額約 2304 万円である。4G LTE を用いる場合の維持費は、ドローンの運航を外部委託しない場合年額約 42 万円、ドローンの運航を外部委託する場合年額約 2232 万円である
- 今回活用した機体は監視用途だけでなく、点検や測量用途にも使用される機体であり、様々な領域で活用が可能である。
- 今回使用したドローンポート及びドローンは遠隔から常に状態を確認できるようになっており、異常が発生している場合は運航者がそれを把握することが可能になっている。また、飛行に影響のある異常が発生している場合は離陸出来ないよう制御される仕様になっており、エラーの見逃し等による事故の発生も防げる。

## 【AI システム】

- 本実証では、過去の AI システム社会実装実績による知見と、開発スピードの観点で ISP 保有技術を活用した（導入にあたり特別な許可や手続は不要）。
- 炎検知、煙検知、人検知においては AI モデルの汎用性を確認できた。破損検知は、あらかじめ用意した破損画像による模擬的な検証であり、実際の破損を想定してのバリエーションの検証は未実施だが、異常検知 AI が有用であることを確認できた。
- AI モデルに入力するための前処理については、撮影ツールごとのカスタマイズ開発が必要であり、処理速度にも影響した。
- 時間帯による日照条件の変動が大きい日没時刻前後において、ドローン搭載カメラの撮影パラメータが自動調整されるなど、システム側の想定と異なる撮影ツール動作へのシステム側の対応が必要である。
- 火薬類取扱所の設置位置の変更、季節変動に関しては、運用に並行しての持続的な AI 画像解析プログラムの評価更新により、対応可能である。
- AI 解析による異常検知システムは変化には柔軟に対応できる。カメラやセンサーにより記録してとらえられる特徴であれば、火薬類取扱所の監視対象追加、多様な異常への対応追加にも、適切な構築プロセスを適用すれば対応可能である。一方で、火薬類取扱所、柵など検知対象の外観特徴や、カメラなど使用機材や撮影条件など条件が大きく変わる場合は、本実証プロセス相当の作業が再度必要となる。
- 巡視以外の用途にも使用可能な製品である。
- 監視業務を行う担当者自体はセンサーを活用しており運用上の人件費はほとんど発生していないが、警備会社との契約を行っており、必要経費として十数万円のコストが発生していると鉱山事業者ヒアリングにて確認した。

## 評価結果

### 【ドローン】

- 導入の容易さ：  
今回使用したドローンポートとドローンは市販製品であり、一般的な運送会社による搬入が可能な 100 kg 程度の重量であるため、導入に必要な物理的な負荷は低い。航空局への許可申請方法については既に整備されており、一般的な運航に必要なトレーニングも 10 時間程度と容易である。これらの点から見て、導入の容易さという観点では、比較的容易であると考えられる。
- 異なる環境や業種への適応性：  
Starlink の低軌道衛星通信を活用することで、4G LTE の圏外エリアでも通信が可能になり、通信環境の限定的な業種や環境への適応性が向上している。しかしながら、Starlink 通信を利用するためには、アンテナ上空が開けている状況が必要であり、また電力供給も必要である。したがって、これらの条件を満たさない場所では活用が難しい制約がある。特に、アンテナの周辺に障害物や木々があると、通信が途切れたり遅延したりするなど、満足にインターネットが使えない。そのため、アンテナの設置場所には工夫が必要となる。今回使用した機材は、点検だけでなく測量にも使用できる柔軟性がある。さらに、公開されている API を活用することで、ソフトウェア面での拡張機能の開発も可能。難しいハードウェアのカスタマイズは困難だが、API を利用することで機能の拡張が可能。そのため、汎用性が高いと言える。遠隔からの状態確認や

異常時の飛行制御機能など、適応性が求められる場面において、一定の制約を考慮することで高い実用性を持つと考えられる。

#### 【AI システム】

- 導入の容易さ：  
時間帯による日照条件の変動が大きい日没時刻前後において、ドローン搭載カメラの撮影パラメータが自動調整される、UGV の撮影画像が巡回途中で光量不足となるなど、システム側の想定と異なる撮影ツール動作へのシステム側の対応が必要であるが、システムの導入自体は、火薬取扱所周辺領域の位置情報、巡回ルートの定義を組み込むだけで可能である。
- 異なる環境や業種への適応性：  
汎用的な AI モデルと、シンプルな発報アルゴリズムで構成されているため、火薬類取扱所の設置位置の変更、季節変動に関しては、運用に並行しての持続的な AI 画像解析プログラムの評価更新により、対応可能であり、異なる環境や業種への適応性は高い。AI 解析による異常検知システムは変化には柔軟に対応できる。カメラやセンサーにより記録してとらえられる特徴であれば、火薬類取扱所の監視対象追加、多様な異常への対応追加にも、適切な構築プロセスを適用すれば対応可能である。一方で、火薬取扱所、柵など検知対象の外観特徴や、カメラなど使用機材や撮影条件など条件が大きく変わる場合は、本実証プロセス相当の作業が再度必要となる。
- 費用削減の効果：  
ドローンと AI システムの両方をまとめると、初期導入費用と運用コストを合わせて 5 年トータルで要するコストは年間約 3000 万円超規模になる。一方で現行の監視業務にかかる人件費と比較すると、5 年間で 90 万円程度のコストで運用しており、大きな費用低減効果があるとは言えない。

#### ② 柔軟な移動や配置変更が可能

##### 評価方法、ポイント

- ✓ カメラやセンサー等の設置位置等を柔軟に移動・配置変更が可能か。
- ✓ カメラやセンサー等の移動・配置変更にあたり、特別な技術が不要か。

##### 評価にあたっての前提や対応したこと、考察など

#### 【ドローン】

- 今回使用した機材の電源要件はドローンポート「DJI Dock」、Starlink アンテナともに入力電圧 100～240V であり、一般的な電源で運用が可能、今回も施設内のコンセントからの電力で問題なく運用できることが確認できた。設置場所としての地形適正としてはドローンポートについては水平かつ 3×3m 程度の開けた敷地が必要となる。Starlink アンテナについては上空が開けた場所への設置が必要になる。
- 重量やサイズ等の諸元については 表 26 に記載のとおりであるが、ドローンポートについては 100 kg 程度であり、成人男性 3, 4 人が移動には必要になる。
- ドローンの飛行ルートはシステム上から容易に変更できるため、特別な技術等は不要である。
- ドローンポートの配置変更においては、大型の台車等があることが望ましい。また、重量が 105 kg であるため、階段等の上り下りが運搬において発生する場合は運送業者似て実施することが

望ましい。

- Starlink とドローンポートの接続については容易に実施ができ、接続先の変更等も容易である。
- Starlink アンテナについては移動や配置変更が発生することが考慮されており、移動による耐久性や性能の低下は起きづらいと考えられる。ドローンポートは頻繁な配置変更を前提としていない機材であり、移動による耐久性や性能の低下のおそれがある。
- 配置を変更した後の設定変更やキャリブレーションは容易であり、30 分～1 時間程度でセットアップが可能である。
- 火薬類取扱所が移動した場合、ドローンポートの設置位置から 2～3 km の範囲内で、かつ移動先までの飛行経路に遮蔽物を回避できる環境で安全な飛行が可能であれば、飛行ルートの更新が可能である。一方で移動先がドローンポート設置位置から 3 km 以上離れた場所や遮蔽物に深く隠れる位置への飛行が必要になる場合はドローンポートの設置位置の変更が必要となる。

#### 【AI システム】

- AI 解析システムはクラウドシステムのため、火薬類取扱所の場所が変わることに対して、AI 解析システムの設置場所の移動や配置変更は、不要である。
- ドローン・UGV による撮影画像の仕様、火薬類取扱所に対する撮影確度・距離・位置が変わった場合、AI 解析の再調整が必要となる場合がある。
- 火薬類取扱所の配置が変わる場合、ドローン・UGV の巡回飛行・走行の設定を変更する必要がある。
- 頻繁に火薬類取扱所が移動、配置変更を行った場合、安定してシステムが機能するかどうかは、ドローン・UGV の巡回経路の変更点の大きさに依存する。
- 火薬取扱所やフェンスの使用型番が変わるなど、外観特徴が変わった場合、AI モデルの再構築・チューニングが必要である。
- 複数の火薬類取扱所設置箇所にて並行して使用する場合、AI 解析システムのシステム改変が必要である。

### 評価結果

#### 【ドローン】

- 移動の柔軟性：  
今回の検証で使用したドローンポート及び Starlink アンテナの電源要件は一般的な電源で運用可能であり、設置場所には一定の地形要件（水平な場所で、ドローンポートが開いた状態のスペース（1,675 x 885 x 735 mm）が確保できること）が存在するものの、その条件を満たす範囲であれば、設置自体は可能である。飛行ルートの変更も比較的容易であり、特別な技術が不要である。したがって、ドローンポート及び Starlink アンテナの移動の柔軟性は高いと評価できる。しかし、ドローンポートの重量は 105 kg と重く、移動には成人男性 3-4 人が必要となるため、頻繁な移動は難しい面もある。ドローンポートの配置変更には特別なツールは不要だが、大型の台車などがあると便利である。重量が 105kg ということを考慮すると、階段などの上り下りがある場合は運送業者による運搬が望ましい。ただし、ドローンポート自体は頻繁な配置変更を前提としていないため、移動による耐久性の低下や性能の影響も懸念される。

- 配置変更の容易さ：

ドローンポートの配置変更には特別なツールは不要だが、大型の台車などがあると便利である。重量が 105kg ということを考慮すると、階段などの上り下りがある場合は運送業者による運搬が望ましい。ただし、ドローンポート自体は頻繁な配置変更を前提としていないため、移動による耐久性の低下や性能の影響も懸念される。配置変更後の設定変更や、各種センサーやコンパスを補正するキャリブレーションは容易に行え、30 分から 1 時間程度でセットアップが可能。しかし、ドローンポート自体は移動しないことを前提とした運用が求められ、将来的な需要や運用状況を考慮して、ドローンポートの配置場所を最初から適切に設定することが重要である。

【AI システム】

- 火薬取扱所が移動・変更した際のシステムの耐久性、安定性：

AI 解析システムはクラウドシステムのため、火薬類取扱所の場所が変わることに対して、AI 解析システムの設置場所の移動や配置変更は、不要であり、安定性は高いと言える。

- システム変更があった際の柔軟性：

ドローンによる撮影画像の仕様、火薬類取扱所に対する撮影確度・距離・位置が変わった場合、AI 解析の再調整が必要となる場合がある。頻繁に火薬類取扱所が移動、配置変更を行った場合、安定してシステムが機能するかどうかは、ドローン・UGV の巡回経路の変更点の大きさに依存する。火薬取扱所やフェンスの使用型番が変わるなど、外観特徴が変わった場合、AI モデルの再構築・チューニングが必要である。複数の火薬類取扱所設置箇所にて並行して使用する場合、AI 解析システムのシステム改変が必要である。以上のことから、柔軟性は高いと言える。

表 26 使用機材の重量及びサイズ

ドローンポート 「DJI Dock」	重量	105 kg
	サイズ	閉じた状態： 800 x 885 x 1,065mm 開いた状態： 1,675 x 885 x 735 mm
Starlink アンテナ	重量	約 20 kg
	アンテナ板サイズ	575×511mm

### ③ 非稼働から稼働への即時性が高い

#### 評価方法、ポイント

- ✓ 遠隔操作によって、即時にカメラやセンサー等の機器を起動し、監視を行えるか。

#### 評価にあたっての前提や対応したこと、考察など

##### 【ドローン】

- 今回の実証のプロセスを事前準備プロセス、稼働開始プロセス、画像アップロードプロセスに分け、それぞれにかかる時間を以下に示す
  - ＜事前準備プロセス（初回設置時のみ）＞
    - ・ 機材の設置：30分程度
    - ・ ドローンポートの起動：10分程度
  - ＜稼働開始プロセス＞
    - ・ フライト準備（ルートのアップロード～離陸）：3分程度
    - ・ フライト（離陸～着陸）：4分半程度
  - ＜画像アップロード＞
    - ・ 画像のアップロード（240枚）：30分程度
    - ・ 機体の充電：10分程度
- ドローンポートは初回起動時以降、セットアップ状態で常設しておくため、遠隔操作によって、即時（3分程度）でドローンの飛行を開始し、監視を行うことが可能
- 画像アップロードにかかる時間は撮影枚数に比例するため、撮影された画像を早く確認したい場合は撮影枚数を最低限に抑える等の対応が有効と考えられる
- また、画像のアップロードを待たず、飛行中はリアルタイムで撮影映像の配信が可能のため、リアルタイムでの状況監視は配信映像を確認することも有効である

##### 【AIシステム】

- AIシステムのクラウドアーキテクチャにより、実証におけるシステムの非稼働状態から稼働状態への移行時間は5秒以内であり、AIシステムの起動速度として十分な即時性を示した。実運用においては常時稼働、もしくは、定時巡回開始時に起動すれば、起動時間の影響はないものと言える。
- システム稼働状態において異常を検知し、遠隔地の監視員や中央システムへの異常メール発報までの時間は、検知対象の解析処理内容と撮影ポイント数に依存する。
- 画像がクラウドストレージにアップロードされてから異常を検知して発報するまでの時間については、現状で33分程度かかっているため、異常を検知した場合には、即時対応する必要があることから、より短縮化し、検知後20秒程度で発報されることが望まれる。
- AIモデルによる推論、およびAIモデルに入力するための前処理については、並列処理の導入により速度の向上が見込まれる。
- クラウドシステムは、冗長性と高い可用性、バックアップシステムやセキュリティ対策などが施されているシステムのため、堅牢性、利便性が担保される。加えてAI解析プログラムを構成する各機能をマイクロサービス化することにより、迅速なレスポンスが実現できる。

## 評価結果

### 【ドローン】

- 稼働開始プロセス：  
本実証では、ドローンポートは初回起動後、セットアップ状態を維持することが可能であり、遠隔操作を通じて、3分程度という迅速な時間でドローンの飛行を開始し、監視を行うことが確認できた。これは、緊急の監視が必要になった際や、突発的な状況変化に対して迅速に対応する際に有効である。そのため、「非稼働から稼働への即時性」については、本ドローンシステムは高い評価を得ることができると考えられる。
- 画像アップロード：  
画像のアップロードには撮影枚数に比例して時間がかかるが、早急に画像を確認する必要がある場合には、撮影枚数を最低限に抑えるという対応が有効である。今回の実証では1箇所につき15MBの画像を5枚、8か所撮影しアップロードをしたため全体で約30分かかったが、撮影枚数や画質を半分程度に抑えれば15分まで短縮可能と考える。また、本システムでは飛行中にリアルタイムで撮影映像を配信することが可能であるため、画像アップロードを待つことなく、リアルタイムでの状況把握が可能である。これらより、状況に応じて適切な運用を行うことで、有効な監視・監督手段として活用が可能であるといえる。

### 【AIシステム】

- 稼働開始プロセス：  
AI解析システムが非稼働状態から稼働状態に移行するまでの時間を計測し、即時性を評価した。システムが非稼働状態から稼働状態への移行時間は、5秒以内であり、即時性が高いことが確認された。
- アラート発報までの時間：  
AI解析システムが異常を検知した際に、AIがアラートを発報するまでの所要時間を検証し、即時性を確認した。異常が検知されてからアラートが発報されるまでの時間が短く、即座の対応が可能であることが示された。

#### ④ 防爆構造・仕様を配慮

### 評価方法、ポイント

- ✓ カメラやセンサー等が火薬爆発の着火源とならないように、防爆構造等の対策（机上検討を含む）が行われているか。
- ✓ ドローンやUGVの飛行・走行ルートや撮影ポイントが防爆の観点から火薬類取扱所（を模した建造物）から十分な距離をとりつつ、画像解析に必要なデータ品質を担保する撮影方法がとられているか。

### 評価にあたっての前提や対応したこと、考察など

### 【ドローン】

- 今回使用したドローン「DJI Matrice30T」は、防爆構造等の対策（机上検討を含む）が行われているものではない。
- いくつかのメーカーが防爆性を有したドローンの開発や研究に取り組んでいるが、2024年1月時点、国内で市販されている製品は存在しない状況である。
- 防爆性を有していないため、火薬類取扱所から10m以上の離隔を取った位置からの飛行ル



ートを設定し、リスクを抑える対策が確認できた。

- また、異常時のフェイルセーフ機能も有しており、障害物の検知時やバッテリー残量低下時等には自動で安全な高度でホームに帰還する等の制御が可能である。本実証時も発生させた煙をドローンが障害物として検知し、自律飛行を一時停止し、ドローンポートまで帰還してくるという制御が問題なく発動することが確認できた。

## 評価結果

### 【ドローン】

- 防爆規格への適合性：  
今回使用したドローン「DJI Matrice30T」は防爆構造等の対策が行われていないものである。また、現在、いくつかのメーカーが防爆性を有したドローンの開発や研究に取り組んではいるが、2023年12月時点では、国内で市販されている防爆対応製品は存在しない。したがって、防爆規格への適合性という観点からは、現状、市販製品での適合は困難という結論になる。
- 防爆対策を考慮した運用方法：  
防爆性を有していないため、火薬類取扱所から10m以上離れた位置からの飛行ルートによる撮影とし、リスクを抑える対策をとることが可能である。万が一ドローンが発火した場合の被害については、監視用の小型ドローンであり、周囲の環境条件により影響があるものの、火薬類取扱所が火災の影響を受ける可能性は低いと考える。また、今回のドローンは異常時のフェイルセーフ機能を有しており、障害物の検知時やバッテリー残量低下時等には自動で安全な高度でホームに帰還する制御が可能である。本実証時にも、発生した煙をドローンが障害物として検知し、自律飛行を一時停止し、ドローンポートへ帰還する制御が問題なく発動することが確認できた。これらの運用方法を考慮すれば、防爆対策を考慮した運用が可能であると評価できる。

### ⑤ 電波環境が悪い場所への対策

## 評価方法、ポイント

- ✓ 電波（Starlink, 4G LTE, Wi-Fi など）を利用する場合、通信可能なエリア・条件について明確化されているか。

## 評価にあたっての前提や対応したこと、考察など

### 【ドローン】

- 本実証における通信の構成を図 46 に示す。
- Starlink のアンテナの設置条件は以下の通り。
- 上空が開けている（図 47）
- 電力供給が可能
- Starlink アンテナ上空の開け方が問題ないかは専用のアプリケーション（図 48 参照）で確認が可能である。
- 実証中のアップロードのスループットは 500kbps～2Mbps 程度であった。環境がよければ、20Mbps～30Mbps 程度のスループットが期待できる。
- Starlink を活用することで、鉱山施設においてドローンポートの通信については山間部の山の

斜面や木々で上空が遮られるような場所を除いたエリアで通信が可能となる

- ドローンポートとドローン間の通信は 2.4GHz の通信であり、遮蔽物がない環境であれば 3 km 程度先まで通信が可能であるが、遮蔽物に弱いという特徴がある
- ドローンの飛行範囲については、ドローンポートとドローン間については鉱山という環境下においては山の斜面など遮蔽物が多く想定されるため、その制約を考慮した飛行ルート的设计が必要となる。
- 今回の実証においてはテストフィールド環境でポートと火薬類取扱所の位置が非常に近い状況であった、かつ Starlink アンテナの設置位置も空が大きく開けている場所であったため通信断は一度も発生しなかった
- 通信断等が発生した際のバックアップとしては、その時点でホームへ帰還させる等のフェイルセーフ動作が可能となっているため、万が一の通信断の際も安全にポートに帰還することが可能となっている

また、ドローンポートへの電源供給が何らかのトラブルで不可になった場合も予備電源で 5 時間程度の稼働が可能であり、ドローンが帰還するまでの間は問題なく稼働が可能となる

## 評価結果

### 【ドローン】

- 通信の安定性：

今回の検証では、低軌道衛星通信 Starlink を活用することで、鉱山で頻りに存在する光ファイバーや 4G LTE のエリア外でもインターネット接続が可能となった。これにより遠隔からドローンポート経由でのドローン操作が可能である。Starlink アンテナの設置には上空が開けており、電力供給が可能な場所が必要であるという制約があるが、これらの条件を満たす環境下では、アップロードスループットが 4Mbps~16Mbps 程度と安定した通信が可能であることが確認された。

また、ドローンポートとドローン間の通信については、2.4GHz の通信を使用し、遮蔽物がない環境であれば 3km 程度先まで通信が可能である。しかし、遮蔽物に対しては弱いという特性があるため、遮蔽物が多く存在する鉱山環境下ではその制約を考慮した飛行ルート的设计が必要となる。

これらを考慮すると、Starlink とドローンポート間、またドローンポートとドローン間の通信についても、ある一定の制約下であれば、安定した通信が可能であると評価できる。

- 電波障害への対処能力：

通信の障害が発生した際の対策として、ドローンにはフェイルセーフ機能が搭載されており、通信が途絶えた時点で自動的にホームへ帰還する等の対策が可能である。この機能により、万一の通信断絶時も安全にドローンポートに帰還することが可能となっている。

また、ドローンポートへの電源供給が何らかのトラブルで不可になった場合でも、予備電源による 5 時間程度の稼働が可能である。これにより、ドローンが帰還するまでの間、ドローンポートは問題なく稼働を続けることができる。

これらの対策を通じて、通信の障害や電源のトラブルが発生した場合でも、適切な対応が可能となっている。そのため、電波障害への対処能力については有していると言える。

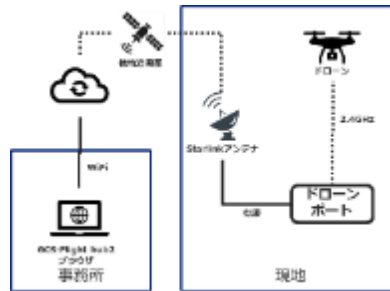


図 46 本実証における通信構成



図 47 Starlink アンテナの設置イメージ



図 48 Starlink アンテナ上空の開け方の確認画面

## ⑥ 見張人と同等の防犯・防火能力

### 評価方法、ポイント

- ✓ 実証対象技術が評価項目（監視範囲、警報範囲、監視時間、警報スピード、現場急行スピード）において現状作業と同等に遂行できるか。

### 評価にあたっての前提や対応したこと、考察など

#### 【ドローン】

- 飛行時間を 20 分程度以内に収めることができれば、飛行後 40 分程度でフル充電が可能のため見張人に求められる 1 時間 1 回以上の巡視を行うことが可能であると考えられる。今回の機体の最大飛行時間は約 41 分で、最長で約 50 分の充電時間を要する。
- またドローンの撮影は対象の火薬類取扱所を俯瞰的に撮影が可能のため、人の目視より広範囲の確認が可能である。
- 撮影は広角カメラとズームカメラ、サーマルカメラの撮影がすべて同時に可能である
- また、ドローンは人が現地に向かう場合と比較して、上空を最短距離で向かうことが可能なため現場急行スピードもドローンの方が優位であるといえる。

- 模擬的な不正侵入を行った結果、問題なく撮影および確認が可能であることが確認できた。
- 低照度や夜間の状況でもサーマルカメラを活用することで、人物や不審火の確認が可能である
- 炎、煙についても撮影できることを確認できた。
- 実証期間中、太陽の直射日光の影響でドローンの機体センサーが発動し、自律飛行を中断してしまう事象が発生した。
- 今回の実証フィールドのような対象となる火薬類取扱所の周りが広く開けている場所であれば、死角なく自動航行ができる。
- 予め設定した飛行ルートから大きくずれることなく、自動航行ができることも確認できた。ドローンポートの設置場所から 20 分程度で巡回が可能な範囲、対象の火薬類取扱所の周辺が広く開けている等の条件を満たす場所であれば実証対象技術は評価項目（監視範囲、監視時間、現場急行スピード）において現状作業と同等以上に遂行が可能であると考えられる。

#### 【AI システム】

- 見張人と同等の防犯・防火能力に関しては、監視範囲内の火災、盗難の検知を異常検知対象（炎、煙、人等）の分類問題<sup>3</sup>に落とし込んだ本実証項目の評価結果により、評価観点である見張人と同等の防犯・防火能力に足るかどうか確認を行った。
- 実施項目 B、実施項目 C いずれにおいても、検知対象と条件ごとに実施し、異常検知（1 回の巡回での異常検知と発報）、撮影画像ごとの結果評価を行った。
- ドローンでの死角をなくすため、火薬類取扱所の中心として円状に 8 か所の撮影ポイントを設定し、それぞれの画角で撮影された画像を用い、AI モデルの事前評価を行った。
- 異常の検知という作業性質から、見落としがないこと（再現率）を主な指標とし、運用の観点から過検出が多くないこと（適合率）を補助的な指標として評価する。実用化にあたっては、それぞれのバランスを取りながら調整することが求められてため、適合率と再現率の両方が同時にできるだけ高いことを意味する、総合的な評価指標として F 値を用いる。
- 実際の検証で検出漏れ、誤検出があった場合、検知の閾値など諸条件を変えることにより結果が改善されるか確認する。

### 評価結果

#### 【ドローン】

- 監視範囲：  
ドローンの撮影は対象の火薬類取扱所を俯瞰的に撮影が可能であるため、人の目視よりも広範囲の確認が可能である。撮影は広角カメラとズームカメラ、サーマルカメラの撮影がすべて同時に可能である。低照度や夜間の状況でも、サーマルカメラを活用することで人物や不審火の確認が可能である。これらの結果から、ドローンポートから対象までの距離や火薬類取扱所の周囲が広く開けている等の条件を満たす場所であれば、人の目視よりも広範な監視範囲を確保できる。
- 監視時間：  
飛行時間を 20 分程度以内に収めることができれば、飛行後バッテリー 0% からフル充電完了するまでの時間は、50 分程度でフル充電が可能である。したがって、見張人に求められる 1 時

<sup>3</sup> データをそれぞれのカテゴリに分類すること。分類タスクともいう。実施項目 BC で使用した AI システムでは、二値分類問題を使用し、その評価指数のひとつに F 値がある。

間 1 回以上の巡視を行うことが可能である。また、模擬的な不正侵入を行った結果、問題なく撮影および確認が可能であった。これらの結果から、監視時間についても現状作業と同等以上に遂行可能であると評価できる。

- 現場急行スピード：

ドローンは人が現地に向かう場合と比較して、上空を最短距離で向かうことが可能であるため、現場急行スピードもドローンの方が優位であるといえる。これらを考慮すると、条件を満たす場合、現場急行スピードについても現状作業と同等以上に遂行可能であると評価できる。

#### 【AI システム】

- 定量評価の総合指標とした F 値において、今回の検知対象となる 4 項目（人、煙、炎、破損）すべてで 0.9 を超え、検知に関して実用化の可能性を示した。F 値は、見落としがないこと（再現率）と過検出が多くないこと（適合率）のトレードオフ関係に着目し、2 つの値の調和平均した値であることから、1.0 に近づくほど、双方のバランスが取れた学習モデルであることを評価する指標である。異常の検知という作業の性質上、多少過検出が多くなっても、見落としを防ぐこと（再現率）を優先すべきは明白であるが、鉱山という現場への移動にも時間や危険リスクのある場所を考えると適合率もないがしろにはできない。実用時には、現場の運用に合わせ、発報基準の閾値（実施項目 B では、5 枚中 3 枚の画像にて対象が検知された場合に発報）を調整したり、撮影ポイントを増やしたりなどの調整が必要である。なお、実施項目 B では、F 値が、炎：0.98(日中)／1.0(夜間)、煙：0.94、人：0.99(日中)、0.98(夜間)、破損：0.99 であった。
- 実用化に向けては、本実証の検証項目において実施していない、諸条件の変動（火薬取扱所の移動、天候・季節による環境変化、炎・煙・破損のパリエーション）を実施することで、汎化性能の向上が見込まれる。
- 柵内・火薬類取扱所屋上の人検出について、模擬的な侵入にて、指定の範囲内への人の存在を検知できており、実運用化の可能性を確認できた。低照度や夜間においても、ドローンのサーマルカメラにより、AR マーカーによる位置取得と、グレースケール画像による人検出を行うことで柵内の人検出が可能であることを確認できた。柵越し、もしくは、体の大部分が隠れた状態での検出精度については、撮影位置・撮影角度・撮影枚数の見直しにて改善が見込まれる。
- 煙検出については、撮影角度によっては、空や雲といった背景に紛れ、見逃したケースがあった。撮影位置や撮影枚数の見直しによる精度向上が見込まれる。
- 炎検出については、炎の大きさが画像において一定の解像度を超えない場合に検出精度が下がった。炎とみなす領域の大きさによる調整が考えられるが過検出が増える可能性もあるため、AI モデル単独で正解率を向上させるのは、異常検知システムとしては不十分である。
- 火災検知の精度を確保するためには、炎と煙を個別に検出するだけでなく、可視画像による炎・煙検知と熱画像による熱源の検知を並列に処理するのが有効と考えられる。
- 破損検知については、不定形の破損について検出できることを確認したが、実際の破損では検知が望まれる破損の見きわめが必要と考えられるため、実際の火薬類取扱所と柵を用いた異常検知モデルを構築しての実証を行うことがのぞまれる。
- さらに、実施項目 B（ドローン）と実施項目 C（UGV）の結果を比較すると、撮影条件の網羅性の高さにより、ドローンの実用性が高いため、ドローンに適さないユースケースを UGV が補完する組合せでの運用が望ましい。

## ⑦ 省人効果

### 評価方法、ポイント

- ✓ 火災と盗難に対する見張業務に従事する作業時間が、技術を導入することで省人化につながるかどうか。つながる場合、つながらない場合共にその条件や課題、対策を明らかにする。

### 評価にあたっての前提や対応したこと、考察など

#### 【ドローン】

- ドローンポートは電源に接続され、常にスタンバイ状態となっており、飛行開始準備から飛行開始まで 3 分程度で実施が可能である。
- 飛行後もドローンは人が直接現場に行くのと比較して、上空を最短距離で向かうことができるため人が向かうよりも短い時間で向かうことが可能であるといえる。
- そのため、飛行時間を片道 10 分程度（往復 20 分程度）とした場合、作業開始から 13 分程度でリアルタイムの映像による現地状況の確認が可能となる。
- 画像アップロード完了までは、画像アップロードの時間を 30 分とした場合、作業開始から 53 分程度となる。
- 火災と盗難に対する見張業務に従事する作業時間については、今回のドローンポートを導入することで、事業所から対象施設までの距離にもよるが、多くの場合で省人化につながると考えられる。
- 対象の火薬類取扱所は多くの場合、山間部に存在するため、現場に向かうまでに、踏み外しによる転倒や滑落等のリスクを有するが、本技術の活用で人身事故リスクを抑えることが可能となる。

#### 【AI システム】

- AI による画像解析により、人の常時監視や現地確認を不要または頻度を減らすためには、異常検知の精度が実運用に耐えうるものである必要がある。画像解析の精度向上には、学習データに近い画像の取得が効果的であるが、実施項目 B では、情報収集のツールとして、ドローンを活用することから、上空からの対象物の画角がどのようになるか、様々の撮影バリエーションを検討し、撮影条件を策定した。

### 評価結果

#### 【ドローン】

- 自動化による業務効率：  
ドローンポートは電源に接続され、常にスタンバイ状態となっている。そのため、飛行準備から実際の飛行開始までの時間は非常に短く、迅速に作業を開始できる。また、ドローンは直接現場に向かうことが可能であり、上空を最短距離で移動できるため、人が現地に向かうよりも短時間で現地の映像を確認することができる。これらの特性により、ドローンポートの導入が可能な場所においては、ドローン技術の導入により、見張業務の火災および盗難発生時において、人が現地で目視確認するよりも早く遠隔地で異常の内容がわかるようになり、現地へも必要に応じて往訪すればよくなることや、発生した異常への対策を早期にとれるという業務効率向上すると考えられる。
- 人件費の削減：  
現在の業務においては、既にセンサーを活用した常時監視を実施しており、異常を検知したセ

ンサーにより、現場へ急行して確認を行う際にのみ、人件費が発生している状況である。この為、ドローン技術の導入による見張り業務における運用コスト観点での人件費の削減については、大きな削減効果は見込めない。しかし、鉱山事業者にヒアリングを行ったところ、発破予定時刻の前に、現在は立入禁止区域を設けるだけの対応だが、登山や観光による入山者の増加から、予期せず一般人の方が迷い込んでしまっているケース等への対応として、現場周辺の見回り業務を検討しなければいけない、というリスクもあるとのこと、現在の業務では行っていないところではあるが、今後、そういった新しい業務が生まれるような場合には、人手での対応ではコスト負担の大きい業務を担える可能性があると考え。

#### 【AI システム】

- 自動化による業務効率：  
本実証の検知項目では、火災や盗難という現象の外観特徴、すなわち監視人の視覚をドローンや UGV による遠隔データ収集と、AI 解析によるリアルタイム検知で代行できる可能性を確認できた。特にドローンによる点検は、俯瞰視点による網羅性の高さと、属人性なく一定の検知性能を継続して担保できる点で、監視人による点検を潜在的に上回る。
- 人件費の削減：ドローン、UGV の導入・運用には資格や専用のオペレーション技術が必須である。また、人による巡回点検から置き換えることにより、現場にいない担当者への発報や、危険発生時のフローとの連携など、検知後の処理の自動化も必須となる。点検業務だけに着目した人件費の削減に直結させるには、必要機材・運用フロー整備など、効果を上回る設備投資が見込まれる。さらにシステム開発でも、上記規模の開発を見込む。従って、個別に導入するのではなく、遠隔点検代行サービスとして、複数の拠点の運用を一括して請け負うような提供形態での実用化がのぞまれる。
- AI 解析モデルの開発は探索的な作業であり、作業時間と精度向上の関連性は低い。本実証の実施内容を基に、初期検討から AI 解析モデル構築、実用化までの開発プロセスと、想定される開発規模を示す。
- 開発期間：実現性検証 3 か月、システム化 6 か月～9 か月  
実用システム開発規模：本実証の 3 倍の開発規模を見込む

## (2) 実証結果分析

自動充電、自律飛行による省人効果や電源供給のない場所での活用に有効である。悪天候への対応が課題となる。

表 27 実施項目 B のサマリー

技術実証項目	実施項目 B (ドローン)	
①	導入の容易さ	○
	環境変化への適応性	○
②	移動の柔軟性	◎
	配置変更の容易さ	◎
③	稼働開始プロセス	◎
	発報までの時間	△
④	防爆対応	△
⑤	通信の安定性	○
	電波障害対応能力	◎
⑥	侵入検知の精度	○
	火災検知の精度	◎
	1 時間 1 回の稼働	○
⑦	業務効率の向上	◎
	人件費の削減	△
	連続稼働の可能性	◎

◎：現時点で実運用に耐えうる、○：軽微なカスタマイズや運用を工夫することで実運用可能、

△：対策が必要または、対応する場合の費用が高額

### I. アナログ規制の見直しに資するか

#### 【ポート付きドローンおよび Starlink】

本実証結果から、ドローンと低軌道衛星通信 Starlink の活用が、火薬類取扱所の見回りにおけるアナログ規制の見直しに資する可能性が示唆された。

ドローンと Starlink の導入により、ある一定の条件が整った環境下であれば、人の負担を軽減し、より効率的な監視活動を実現できることが示された。また、これは単なる人力による見回りからの置き換えだけでなく、人身事故リスクの低減等の新たな価値を提供する可能性もある。

一方で、ドローンと Starlink の活用にはいくつかの課題に対する考慮が必要であり、活用が可能な環境、可能でない環境があり、加えて今後さらなる技術発展も起こりうると予想されるため、見直しにあたっては今回活用したドローンポート等に限定する代替を可能とする見直しでなく、広く将来的な新たな技術の登場等も踏まえて条件を緩和させる形の見直しが有効であると考えられる。



## 【AI システム】

アナログ規制の見直しに資することが確認できた。実施項目 B（ドローン）と実施項目 C（UGV）の結果を比較すると、撮影条件・範囲の網羅性の高さにおいて、定期巡回手段としてのドローンの実用性が高いため、ドローンに適さないユースケースを UGV が補完するなど、複数手段を組み合わせることが有用である。さらに、可視光画像と熱画像による並列しての画像解析や、火薬取扱所の柵内への固定カメラ設置など、複数の異なる条件での検知手段を組み合わせると、実用性が高まることを見込まれる。

## II. 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および Starlink】

ドローンポートと低軌道衛星通信 Starlink の導入に当たっては、以下のポイントが重要である。

1. ドローンポートの設置場所：ドローンポートは 105 kg という重さがあり、頻繁な移動には適しておらず、最初から適切な場所に設定することが重要である。その場所は将来的な需要や運用状況を考慮した上で選ばれるべきである。さらに、ドローンポートの設置位置は、火薬類取扱所の見回りの効率性と安全性に大きな影響を与える。適切な場所に配置することで、飛行時間の最適化や効率的な運用が可能となる。
2. 飛行ルート設計：飛行ルートの設計は比較的容易であるが、通信の安定性を確保するためには遮蔽物を避ける飛行ルートの設計が重要である。また、火薬類取扱所を安全に見回するためには、火薬類取扱所から一定距離（10m）を保つなどの配慮が必要である。飛行ルートについては基本的に初回に作成すれば以降は使いまわしが可能であるため、ルート設計までの初期設定は熟練した事業者が請け負うという形も考えられる。
3. 通信環境の確保：Starlink の低軌道衛星通信を活用することで、4G LTE の圏外エリアでも今回の技術が使用可能となる。しかし、その活用にはアンテナ上空が開けていること、そして電源供給が可能な場所が必要であるため、その条件を満たす場所でなければ活用が難しい。これらの要件を考慮に入れて、現場の地形や環境に合わせた通信環境を構築することが求められる。

### 【AI システム】

本実証の AI システムは、デジタル技術を活用した点検・監視の実現性検証を目的としており、実運用にそのまま使用できる機能・性能ではない。実現場への遠隔撮影画像を用いた AI システム導入にあたっては、実運用を想定したサービスとしての整備が必要である。

- ・ 火薬類取扱所および柵の外観が AI 解析の精度に影響するため、すでに AI にて評価済の製品情報を公開する、共通化するなどにより、現場導入にあたっての調整、カスタマイズを低減する
- ・ 高解像度画像を十分な速度で処理するためのクラウド環境
- ・ 火薬類取扱所から防爆に十分な距離を置いてのズーム撮影にて画像品質を担保できるカメラ機材
- ・ 撮影ツール（ドローン、UGV）として撮影位置・角度の精度が高い機材を選定する

上記に加え、実施項目 B（ドローン）と実施項目 C（UGV）の結果を比較すると、撮影条件・範囲の網羅性の高さにおいて、定期巡回手段としてのドローンの実用性が高いため、ドローン

に適さないユースケースを UGV が補完するなど、複数手段を組み合わせることが有用である。

### III. 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。

1. 飛行ルートと遮蔽物の影響：鉱山のように遮蔽物が多く存在する環境下では、ドローンとドローンポート間の通信が不安定になる可能性がある。これは、ドローンの飛行ルートが遮蔽物によって妨げられる可能性があるためである。遮蔽物を避ける飛行ルートの設計や、通信の安定化技術の開発が必要となる。
2. 現場への適合性：火薬類取扱所の周辺が広く開けていない場合や、ドローンポートから遠く離れている場所では、ドローンを活用した監視の効率が大幅に低下する可能性がある。これは、ドローンの飛行距離や通信範囲、電力供給など、多くの実際的な制約によるものである。これらの課題を解決するためには、現場の地形や環境を詳細に調査し、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。
3. 防爆規格への対応：現状、市販のドローンに防爆規格が適用されていないため、火薬類取扱所の周辺での飛行時には、爆発の危険性を最小限に抑えるための配慮が必要である。防爆性能を有するドローンの開発や、規制に対応した運用方法が必要である。
4. 気象条件への対応：防水性や耐風性に優れたドローン機体が市場に出てきてはいるが、現状基本的には大雨、強風の場合は、雨や風が収まってからドローンを飛行させるのが、警備や点検等の他のユースケースでも一般的な運用となる。実際にドローンを施設内の巡回に活用するユースケースでも大雨、強風のタイミングでは飛行をさせず、収まったタイミングでの飛行を開始しており、一日中雨や強風が続くような日は固定カメラ等の映像をもとに、従来通り人が駆けつける運用に当分はなると考えられる。

### IV. アナログ規制の見直しにあたり留意すべき点等

本実証は、ドローン、ドローンポート、そして低軌道衛星通信 Starlink を使用した鉱山内の火薬類取扱所の見回りが、アナログ規制の見直しに資する可能性を示した。アナログ規制の見直しを進める際、重要となるのは「現状存在する有効な技術、そして将来的に出現するであろう有効な技術に対して、どちらにも対応できるような規制の柔軟性」である。

技術は常に進化し、その進化は既存の規制やルールに影響を与える。規制の見直しに取り組む際、現在存在し有効な技術（ドローンやドローンポートだけでなく、その他の技術も含む）と、将来出現するであろう有効な新しい技術を考慮し、規制がこれらの技術の進歩に対応できるよう柔軟性を持つことが求められる。

加えて、実際に技術を活用する各利用者がどのような技術があるかということに加えて、実際に技術を導入する際に今回の技術でいうと、前段に述べたような設置場所や通信環境に関する留意点がテクノロジーマップや技術カタログをベースに確認、理解ができるようになると、規制に紐づく技術の浸透もより進みやすくなるのでは、と考えられる。

## 4 実施項目 C

### 4.1 技術実証内容の詳細

#### 4.1.1 技術実証の方法

##### (1) 実証実施のために構築するシステムの全体像

実施項目 C では、電力供給のない場所に火薬類取扱所を設置する場合を想定し、UGV を活用した火薬類取扱所（を模した建造物）周辺の定期巡視を行う。UGV が自動走行し、火薬類取扱所（を模した建造物）周辺で写真を撮影。撮影した画像データは自動でリアルタイムにクラウド AI システムにアップロードクラウドされる。クラウド上で画像解析がリアルタイムに行われ、異常を検知するとアラートメールを発報する。

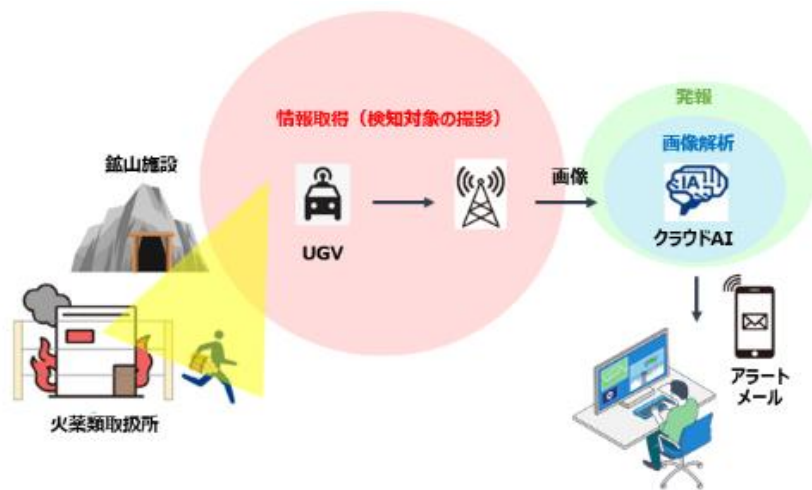


図 49 実施項目 C の全体像

## (2) 実証の構成

1 時間に 1 回以上の自動走行と画像撮影時に自動でリアルタイムにクラウド AI システムに画像データを送信可能な UGV を使用する。画像解析やアラート発報は、クラウド AI システムにて行う。本実証では、実施項目 B と同じクラウド AI システムを使用する。

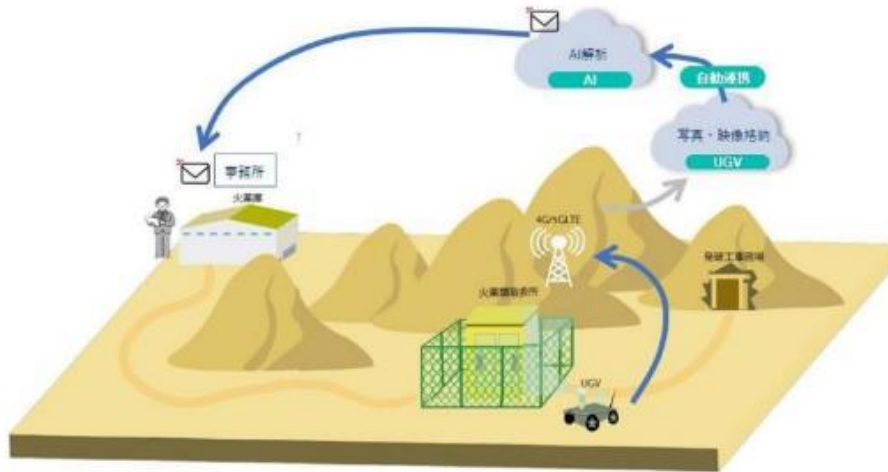


図 50 実証の構成図

## (3) 構築するシステムにおける処理概要

実施項目 C で使用するクラウド AI システムは、実施項目 B と共通のシステムを用いた。本実証 (UGV) と実施項目 B (ドローン) において撮影画像の取得後、AI 解析による異常検知とアラートメールの自動発報までの処理の流れは同一であるが、撮影条件や画像の仕様、画像の取得方法は異なる。実施項目 C における画像取得と AI システムの処理の流れを以下に示す。

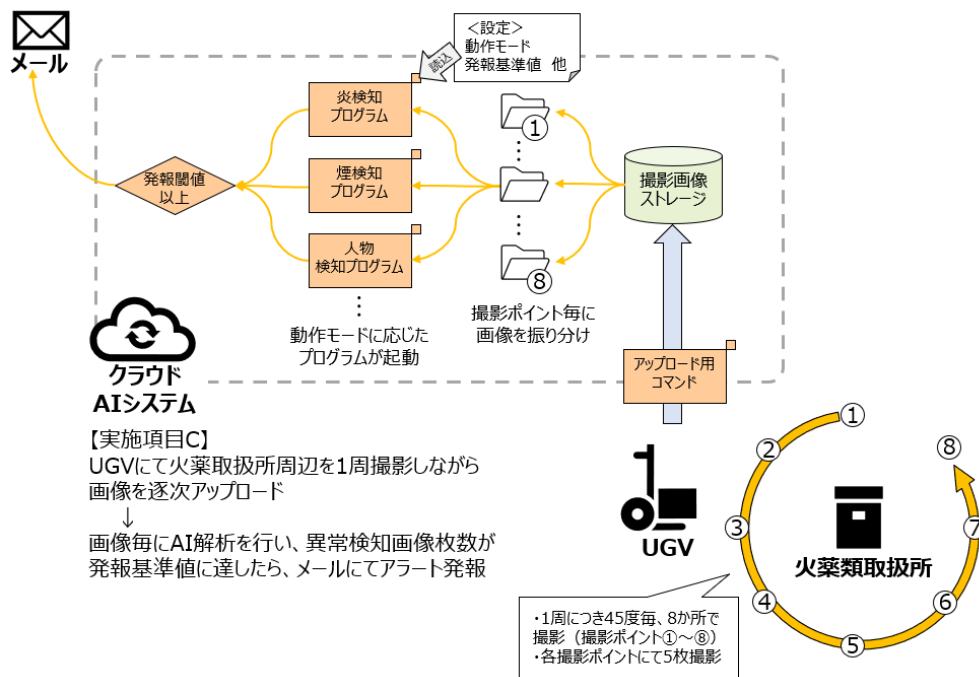


図 51 画像取得と AI システムの処理の流れ

- ① 動作モードを検知対象（人、炎、煙等）から選択し、AI 解析システムを起動する。
- ② UGV にて火薬類取扱所の周辺を、死角ができないように 1 周自動走行する。1 周を巡回 1 回とみなす。
- ③ 1 周につき 45 度毎、8 か所にて静止し、火薬類取扱所がカメラ画角の中心に収まる撮影角度にて複数枚（システム設定値。実証時は 5 枚）の静止画像を撮影する。
- ④ UGV は撮影の都度、AI 解析システムのアップロード用コマンドを実行し、撮影画像ストレージに自動アップロードを行う。
- ⑤ AI 解析システムは撮影画像ストレージの画像を撮影ポイント毎に振り分ける。
- ⑥ 撮影ポイント毎に画像の AI 解析を行い、異常を検知した画像の枚数が撮影ポイントの発報閾値（システム設定値。実証時は撮影ポイント毎の撮影枚数の 50%）に達したら、予め登録した連絡先にメールにてアラートを発報する。定常状態、もしくは、発報閾値未達なら発報しない。
- ⑦ 定常状態、火災や盗難を模した異常状態（近くでスモークマシンにより煙を出す、柵内に人が侵入するなど）を作り、状況毎に上記を実施し、検知結果と発報状況を評価する。
- ⑧ 全実施項目の実施状況と異常検知結果は、システムログに記録される。

(4) 活用した要素技術及びシステムの内容

1. UGV 車体

本実証で使用する UGV は、車体及びシステムを本実証用に開発した。



図 52 UGV 車体イメージ

表 28 車体仕様

項目	内容
車体サイズ	W730×D850×H1400 (突起含む)
車体重量	約 30Kg
最大運行時間	連続 3~4 時間 (22000Ah バッテリー使用 運行速度 3km/h 時)
入力電圧	24V (LiPo 6S)
最大消費電力	約 600W (搭載機器カタログ値)
ペイロード	30Kg
防水防塵性能	車体 (IP23 程度) カメラ部等 (防滴性能なし)
使用温度	-10~+40 度 (但し低温時はバッテリーの保温 (20℃前後) を必須とする)
その他	2 輪駆動 2 軸ジンバルにて路面傾斜を補正しカメラの水平を維持可能 GNSS 受信機について間隔を空け 2 つ配置し 2 点測位することで、UGV の正確な向きを捉え自動運行の精度を向上させた

## 2. カメラ

本実証の UGV に搭載するカメラには、ソニー製「a7」を選定した。



図 53 UGV に搭載したカメラ（ソニー製のa7）

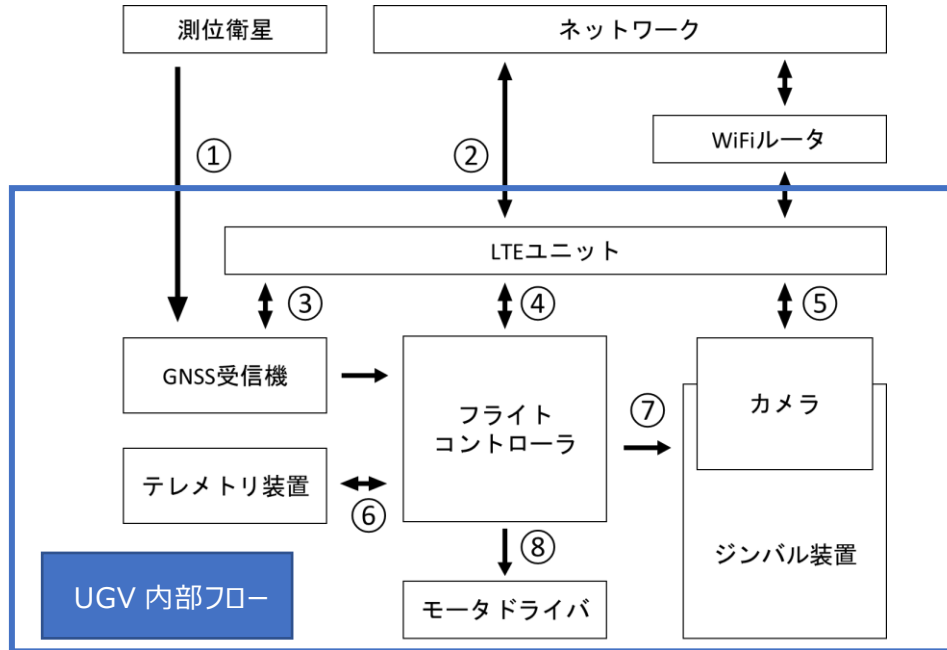
表 29 a7 の機器仕様

項目	内容
型式	レンズ交換式デジタルカメラ
使用レンズ	ソニーE マウントレンズ
撮像素子	35mm フルサイズ（35.7×23.8mm）、Exmor R CMOS センサー
カメラ有効画素数	約 6100 万画素
総画素数	約 6250 万画素
撮像素子アスペクト比	3:2
質量（g）	約 580g（本体のみ）
外形寸法	約 128.9（幅） x 96.4（高さ） x 77.5（奥行き） mm、
その他	・オートフォーカス機能にて各ポイントでインターバル撮影（1 秒間隔 5 枚）を実施 ・SDK が公開されており、LTE ユニット経由でフライトコントローラーと接続することで、カメラ本体への撮影コマンド伝送とクラウドへの画像アップロードが可能

### 3. 高精度測位システムなど

GNSS での測位結果に対して、Ntrip（インターネット回線を通じて GNSS 補正データを受け取る通信方式）にて受け取ったデータで補正を行い、自動運行の精度を向上させた。

UGV が測位衛星から位置情報を受信し、自動走行しながら画像撮影を行い、そのデータのアップロードするフロー等を以下に示す。



①位置情報取得	GNSS より位置情報取得
②撮影データアップロード	LTE ユニットを介して、撮影データを SIM 及び Wi-Fi ルーターを経由してネットワークに送信
③Ntrip 補正情報	GNSS 受信機が受信した信号を RTK 測位演算することにより、誤差数センチメートルの測位がリアルタイムで可能
④撮影コマンド・テレメトリ情報	LTE ユニットを介して、撮影コマンド等のテレメトリ情報の送受信
⑤撮影データ・撮影コマンド	LTE ユニットを介して、撮影データ送信及び撮影コマンド受信
⑥テレメトリ（車体制御）情報	ジャイロセンサーにより正しい姿勢（水平）の検出や、車体位置制御情報などの情報をフライトコントローラに送る
⑦カメラ姿勢制御情報	テレメトリ装置からフライトコントローラに送られた姿勢制御情報を受けジンバルでカメラを水平に保つ
⑧車体位置制御	テレメトリ装置からフライトコントローラに送られた車体位置制御情報を受け UGV 車輪の動きを制御し設定ルートを走行する

図 54 UGV に関するフロー図



4. AIモデル（AIシステム）

実施項目 Bと同じ AI システムを使用したため、割愛する。

5. マーカー検出（AIシステム）

実施項目 Bと同じ AI システムを使用したため、割愛する。

6. クラウドアーキテクチャ（AIシステム）

実施項目 Bと同じ AI システムを使用したため、割愛する。

7. メールによる発報（AIシステム）

実施項目 Bと同じ AI システムを使用したため、割愛する。

(5) 本実証で行う撮影方法

実際に使用する UGV のカメラのスペックを前提に AI 解析に用いる画像データおよび検証データの撮影方法（ズームの種類、水平距離、静止画サイズ、撮影距離など）を決定した。

① 撮影条件の設定

UGV に備えるカメラの焦点距離ごとに撮影距離、ズーム倍率などを想定し、検知対象物の見え方について、シミュレーションを行った（図 55）。

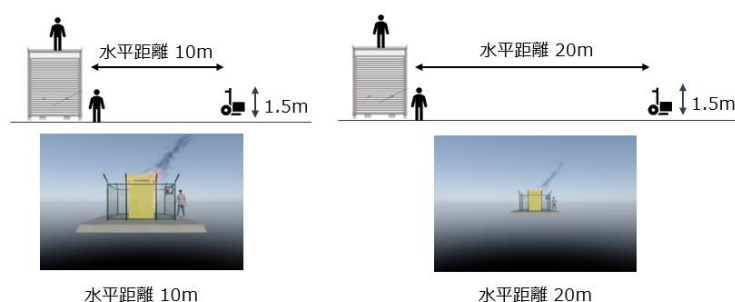


図 55 水平距離と撮影対象のシミュレーション

シミュレーションの結果、水平距離 10m で実証を行う予定であったが、使用する予定であったズームレンズに不具合が見つかったため、ズームレンズを使用せずとも 10m と同じ画角で AI 解析に必要な画像データを取得可能であることが確認された最大限の距離 8m の離隔を取ることにし、表 30 の通り設定した。

表 30 UGV による撮影条件

	日中
水平距離	8m
画像解像度	9504×6336 ピクセル
色深度	24bit
画像容量	約 46MB

## ② 撮影パターンの設定

以下の撮影バリエーションを設定し、撮影パターンを作成した。

- ・ 火災検知：炎、煙、熱
- ・ 侵入検知：フェンス内・外、屋根、姿勢のバリエーションとして立つ、しゃがむ
- ・ 時刻：日中、低照度
- ・ 破損：位置のバリエーションとして火薬類取扱所、フェンス
- ・ シャッター：シャッターの開閉、半開き

## ③ UGV による走行計画の設定

①、②の設定に基づき、検知対象物を中心として 8 方向（中心から周囲に 45°ずつ移動）に撮影ポイント設定し、停止した状態で 5 枚ずつ撮影する走行ルートを作成した。撮影ポイント間は安全のため時速 2km で走行した。走行速度は、本実証で使用した UGV であれば、最大で 6km まで設定することができるが、制動距離が長くなり安全を損なう恐れがある。また、撮影ポイント間の距離が短いため時速 2km 以上の設定を行っても最大速度を出すことは難しいため、時速 2km 程度が適切と考える。なお、以下のとおり画像データと事前の AI 学習用の検証データを撮影している。なお、以下のとおり画像データと検証データを撮影している。

- ④ 画像データの撮影：①で設定した撮影方法に従い、事前準備として画像データを撮影した。この際は、UGV は使用せず、搭載するカメラ（α7）を人が持ち運び、人の手で撮影を行った。
- ⑤ 検証データの撮影：シミュレーションの結果、決定した撮影条件に基づき、UGV で検証データを撮影した。

## (6) 技術実証の検証設備

実施項目 C では、他の実施項目と同様に模擬火薬類として、シャッター付き倉庫とフェンスを用いた。本実証で使用した UGV の待機の様子を図 56 に示す



図 56 模擬火薬類取扱所近くで待機する UGV の様子（左）と UGV 本体（右）

また、本実証においては、UGV で撮影した画像データのクラウド AI システムへのアップロード処理は、UGV 側のプログラムにより、撮影都度自動で行った。

画像アップロードが開始されると同時に、クラウド AI システムの画像解析処理が開始され、異常が検知されると、予め設定したメールアドレスにアラートメールが送信される。以下に発報メールフォーマット及びメールイメージを示す。

表 31 発報メールフォーマット

表記	項目	取り得る値
標題	<検知対象> を検知しました ( <撮影実施機体 (車体) を示す文字列> , <撮影ポイントセット ID> , <撮影ポイント> )	
本文	機体種類 : <撮影実施機体 (車体) を示す文字列> 撮影ポイントセット ID : <撮影ポイントセット ID> 撮影ポイント : <撮影ポイント> 画像受信完了日時 : <画像受信完了日時> で <検知対象> を検知しました。	
項目	検知対象	検知対象を示す文字列 (人・炎・煙・破損)
	機体種類	撮影実施機体 (車体) を示す文字列 (drone・ugv)
	撮影ポイントセット ID	14 桁の数値
	撮影ポイント	1 桁の数値 (1~8)
	画像受信完了日時	YYYYMMDDhhmmss



図 57 発報メール受信例(煙の検知)

## (7) 実証準備

### 1. クラウド AI システム

実施項目 B と同様のため、割愛する。

### 2. UGV

#### ●車体搬入～組み上げ

- ・ 運搬車両より車体を下ろし、搬送用に取り外したカメラなど組み込みを行う
- ・ カメラセッティングを行う（ジンバルにカメラを搭載し、撮影コマンドを伝えるためのケーブルを接続する）
- ・ チェッカーでバッテリーの容量を確認し、車体に搭載する。バッテリーが搭載されると、自動で車体電源が入る。

#### ●車体動作確認

- ・ プロポを用いた車体の手動動作を行う（舵を入れての操作確認、カメラの撮影確認）
- ・ ミッションプランナーで GNSS の捕捉数、バッテリー残量、位置情報、走行速度、テレメトリー等の車体情報を確認する

#### ●通信環境確認（LTE や現地回線など）

- ・ 使用可能な通信環境の確認をする
- ・ 通信速度を測定する
- ・ 使用する通信環境を選定する

#### ●ミッション作成～走行試験

- ・ ミッションプランナーを用いて自動運行用のウェイポイントを設定する
- ・ 設定通りの運航と撮影がなされるか走行試験を実施する
- ・ 通過してほしい座標まで車体を持っていきウェイポイントを設置する（プロポ側で割当ボタンを押す）

#### ●試験結果を踏まえた微調整

- ・ 試験結果を踏まえてウェイポイントの位置を調整するなどの微調整を実施する
- ・ 再試験し想定通りの運航がなされるか確認する



図 58 走行ルートを設定する様子（左）とミッションプランナーに表示された走行ルート（右）

### 3. クラウド AI システム・UGV 共通

#### ●事前実証（学習データ取得）

- ・ ドローン、UGV で使用する AI モデルは共通使用の前提で開発が行われた。実証の目的をふまえ、撮影方法（ズームの種類、焦点距離、水平画角、静止画サイズ、撮影距離など）を検討し学習データを取得。

#### ●実証用 AI 解析システム結合確認

- ・ インターフェースの確認: AI 解析システムが UGV のシステムやデータソースとどのように連携するのかを確認。API 連携の有無、データの入出力形式、通信プロトコルなどを含む。
- ・ セキュリティと権限の確認: AI 解析システムが結合する UGV のシステムとのセキュリティやアクセス権限の連携を確認。データの保護や機密性を確保するために、適切なセキュリティプロトコルが実装されているかなど。
- ・ データの入力と出力のマッピング: AI 解析システムに必要なデータの形式や構造を確認。UGV のシステムから提供されるデータとのマッピングを行い、データの入力と出力が正確に行われるかなど。
- ・ システムテストと検証: AI 解析システムと UGV のシステムの結合が正しく機能することを確認。データの入力と出力、システム間のデータフロー、エラーハンドリングなどのテストを含む。
- ・ パフォーマンスとスケーラビリティの評価: AI 解析システムと UGV のシステムが統合された場合のパフォーマンスやスケーラビリティを評価し、システムが要求される負荷やデータ量に対して十分に対応できることを確認。

### 4.1.2 実証場所等

#### (1) 実施場所

実施項目 A と同じく、コードベースキミツを使用しているため、詳細な記述は割愛する。

#### (2) 実施期間・タイムスケジュール

表 32 実施期間・タイムスケジュール

日数	日程	時間
実証 1 日目	2023 年 12 月 11 日	9:00~18:00
実証 2 日目	2023 年 12 月 12 日	10:00~17:00
実証 3 日目	2023 年 12 月 13 日	9:00~18:00

#### 4.1.3 実施条件等

##### (1) 留意が必要と見込まれるポイント

###### ●気象条件

- ・ 雨 UGV の防水性能は簡易防滴レベル。使用するカメラa7 は防水性能に対応していないため、雨天時には走行出来なくなる。
- ・ 照度 使用するカメラa7 は、夜間撮影ができないため、天候などの状況によっては必要最低限の照度が確保できる 17:00 を目安に行う。
- ・ 気温 一般的な UGV の動作環境は、リポバッテリーの適正温度範囲内での条件になる。  
(0℃～40℃程度。低温時にはバッテリーを 20℃程度に保温が必要になる。)

###### ●周辺環境

- ・ 解析精度を向上させるため、走行中は地表高さ 1.5m を維持できること。
- ・ 走行ルート上に障害物が存在すると自動走行出来なくなるため、障害物等がないこと。
- ・ 走行ルートは、防爆対策の観点から火薬類取扱所から 10m の距離を確保する。
- ・ 画像データを走行中にリアルタイムでクラウド上に送信するため、LTE 回線のサービス提供エリアであること。
- ・ 画像データを撮影するため、樹木等で火薬類取扱所が覆われていないこと。

##### (2) 実証にあたって特別な手続（行政手続など）

特になし。

## 4.2 技術実証の結果

### 4.2.1 結果の評価ポイント・方法

#### (1) 取得する情報

本実証で使用する機器が火災と侵入盗難検知のために取得する情報は下記の通りとなる。

表 33 検知項目別取得情報

検知項目	取得情報	対象
火災検知	炎	○※1
	煙	○※1
	熱	×※2
盗難検知	火薬類取扱所周辺の人々の存在	○※1
	火薬類取扱所周辺の指定時間外の人々の存在	○※3
	火薬類取扱所側面や背面の人々の存在	○※1
	火薬類取扱所の屋根上の人々の存在	○※1
	扉の開閉、振動の有無	△※3
	火薬類取扱所屋根、壁、柵などの破損	○

※1 日中のみ

※2 サーマルカメラを搭載すれば検知は可能だが、現状 UGV の夜間自動走行はできないため（本実証 UGV にはサーマルカメラを装備していないため）今回の実証では対象外とする

※3 UGV で任意の時間に走行し、情報収集が可能であることを確認する

※4 映像により扉の開閉の確認は可能

#### (2) 本技術実証の評価方法

実施項目 C に対する評価観点、評価のポイントは実施項目 A と同じ観点で検証を行っているため、ここへの記載は割愛する。

## 4.2.2 結果及び評価・分析

### (1) 技術実証の評価結果

結論として、以下のことを示すことができる。

- ・ 人の検知については日中だけの 3 件の検証で 250 枚の画像中 17 枚の、6.7%の検知漏れが発生しているケースがあり、ドローンを使用した実施項目 B よりも判定精度が下がった。
- ・ 煙の検知では 3 件の検証で 120 枚の画像中 16 枚、13.3%検知漏れが発生した。曇天の空への同化や背景にある建物の壁で煙がほとんど視認できないケースなどがあつた。
- ・ 炎の場合は、2 件の検証で 47 枚の画像中 21 枚、43.8%検知漏れがあり、どちらもドローンを使用した実施項目 B よりも判定精度が下がった。また、他の対象項目より検知率が低い要因としては、炎の大きさが小さすぎたり、撮影ポイントによっては、柵に遮られたりして、炎がほとんど視認できないことが挙げられる。
- ・ 破損については、検知対象とした破損をすべて捉えることができた。
- ・ 人、煙、炎において、ドローンに比べ検知率が低い要因としては、上空から撮影するドローンに比べ、柵や背景の影響を受けやすいことが考えられる。
- ・ 本実証では UGV から AI システムへのデータ連携を撮影ごとに自動で行い、AI システムでは画像受信直後から解析を開始した。解析開始から対象を検知した後メール発報までは、計測した 10 件のケースで最短 1 分 3 秒～最長 2 分 57 秒で、平均 2 分 24 秒であつた。

2.2.1(2) 表 10 で定義した 7 つの評価観点をベースに、技術実証を行った内容から評価をまとめる。

#### ① 導入が容易で汎用性が高い

##### 評価方法、ポイント

- ✓ 監視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（監視業務を行う担当者の人件費）と比較し、発生する費用が同等か、一定程度削減されるか。

##### 評価にあたっての前提や対応したこと、考察など

###### 【UGV】

- 本実証で使用する UGV は、市販品で適正なものがなかったことから、本実証で使用するために、一般に流通している部材を利用し制作した。
- 実証実験場所内では、UGV 運航においては、ドローンの飛行申請のような特別な許可や操作にあたっての特別な資格は、不要である。
- 本実証に伴う事前設定はミッションプランナー（自動運行ソフトウェア）の専門知識、操作修練が必要不可欠である。
- 車体は耐水性があるため雨天時の運航も問題ないが、カメラは耐水性がないため天候に配慮した運用が求められる。
- 耐水性のあるカメラに変更することで悪天候での対応は可能になる。
- 車体のカスタマイズは車輪をオフロード仕様にするれば悪路走行の安定性が向上する。



- ミッションプランナーのバージョンアップにより、解析精度向上、自動走行の安定性向上、対応可能なシステムを搭載、他システムとの連動などの拡張性が期待できる。実装内容に応じた新たな仕様の具備が可能である。

#### 【AI システム】

実証項目実施項目 B を参照

#### 【事業者ヒアリング】

監視業務自体はセンサーを活用しており運用上の人件費はほとんど発生していないが、警備会社との契約を行っており、必要経費として十数万円のコストが発生していると鉦山事業者ヒアリングにて確認した。

### 評価結果

#### 【UGV】

- 導入の容易さ：
 

導入時にメーカーにより行われる 1～2 日の講習を受講し（不明な点はメーカーに問合せ可能）、ミッションプランナーにおけるオペレーションの習熟ができていれば、実証結果から従来の手法（人による定期的な巡視）と同等以上の精度で監視が可能であることが示された。また、荒天や悪路への対策について耐水性のあるカメラに変更することで悪天候での対応は可能になり、車輪をオフロード仕様にカスタマイズすれば悪路も走行可能である。
- 異なる環境や業種への適応性：
 

周りに高い建物が少ない、障害物が少ない等の GNSS にて測位可能な環境であれば異なる環境への導入が可能である。
- 費用低減の効果：初期導入費用と運用コストを合わせて 5 年トータルで要するコストは 590 万円規模になる。一方で現行の監視業務にかかる人件費と比較すると、5 年間で 90 万円程度のコストであり、運用している現行業務と比較すると大きな費用低減効果があるとは言えない。
 

費用の内訳としては、初期費用として UGV 製作費用が 400 万円、維持費として位置情報取得ネットワーク利用料が月額約 1 万円必要となる。また、5 年に一度交換が発生するパーツについての費用は撮影装置の変更が 30 万円、コントローラー更新等の制御装置が 50 万円、モータ・ゴムタイヤ等の移動装置が 50 万円かかる。

#### 【AI システム】

実施項目 B を参照

- ② 柔軟な移動や配置変更が可能

### 評価方法、ポイント

- ✓ カメラやセンサー等の設置位置等を柔軟に移動・配置変更が可能か。
- ✓ カメラやセンサー等の移動・配置変更にあたり、特別な技術が不要か。

### 評価にあたっての前提や対応したこと

#### 【UGV】

- 電力供給は必ず必要となる。UGV はリポバッテリーで走行させるため、適宜充電が必要となる。

- 移動・配置変更に伴う設定は、ミッションプランナー（自動運行ソフトウェア）のルート変更を行えば対応可能である。
- 設置場所を変更しても、多少の段差や緩やかな斜面においても走行が可能である。
- 配置変更の際に、運搬上の技術要件などは特に無く、UGV を運搬車両に積載し移動出来る。移動後、新ルート作成のため、実際にプロポで自動運行できるルートを走行し、その後ミッションプランナーで自動走行経路を作成。作成後は試験走行を行い、実運用に移る。これらの手順は初期設定と同じ時間（1 時間程度）を要する。
- さまざまな地形や環境（例：砂地、岩場、傾斜地）での移動能力はタイヤをオフロード仕様にする事で一定対応が可能
- 頻繁に移動や配置変更を行った場合も耐久性や性能は、低下しない
- 配置を変更した後の設定変更やキャリブレーションは変更先環境によるが設定自体は容易
- オフロード用のタイヤの使用により、砂地、岩場、傾斜地などの異なる地形や環境においても対応可能。頻繁な移動や配置変更を伴う運用であっても、その耐久性や性能は低下しない。配置を変更した後の設定変更やキャリブレーションは、変更先の環境に若干依存するが、一般的には容易に実施可能。

#### 【AI システム】

実施項目 B を参照

#### 評価結果

#### 【UGV】

- 移動の柔軟性：ミッションプランナーの設定変更により柔軟に可能。配置変更の際に、運搬上の技術要件などは特に無く、UGV を運搬車両に積載し移動出来る。頻繁な移動や配置変更を伴う運用であっても、その耐久性や性能は低下しない。
- 配置変更の容易さ：ミッションプランナーの設定変更により柔軟に可能。移動後、新ルート作成のため、実際にプロポで自動運行できるルートを走行し、その後ミッションプランナーで自動走行経路を作成。作成後は試験走行を行い、実運用に移る。これらの手順は初期設定と同じ時間（1 時間程度）を要する。

#### 【AI システム】

実施項目 B を参照

- ③ 非稼働から稼働への即時性が高い

#### 評価方法、ポイント

- ✓ 遠隔操作によって、即時にカメラやセンサー等の機器を起動し、監視を行えるか。

#### 評価にあたっての前提や対応したこと、考察など

#### 【UGV】

- UGV の電源供給開始から起動するまでの時間は、電源スタート後は即時起動することができ、Ntrip の FIX（インターネット回線を通じて GNSS の補正データを取得。）に 5 分程度要すれば走行可能となる。
- ミッション開始操作を行うと、即時走行開始となる。
- また、初回走行のためにはあらかじめ自動走行ルートの作成が必要となるが、作成及び微調整含め 1 時間程度で実施可能である。

- カメラ映像を LTE 経由で伝送すれば遠隔地にて即時に監視可能である（本実証では使用機材の装備、システム開発に要する準備時間費用に対応できない為、今回は非実装である。）
- 1 回の充電で走行可能な時間は路面状況にもよるが、5-6 時間程度であり、ドローンと比較して長時間運用可能である。
- バッテリーが未充電状態から最大 1 時間程度で満充電に充電可能である。
- 今回の走行一周あたりの走行時間は 5 分程度であった。
- 今回、UGV が取得したデータのアップロードに要する時間は 20-30 分程度であった。
- 短時間で複数回の起動・非稼働を繰り返した際、性能に変動や低下は特に生じない。

#### 【AI システム】

実施項目 B を参照

#### 評価結果

#### 【UGV】

- 稼働開始プロセス： 5 分程度で稼働開始が可能。但し、初回においては、ルート作成及び微調整含め 1 時間程度かかる。また、本実証で用いた車体はバッテリー搭載と電源オンが同時に行われるため、遠隔での起動を行うためには車体に起動ボタンを作成する等の改善が必要である。
- 画像アップロード：本実証実験では 1 周で取得したデータのアップロードに要する時間は 20-30 分程度であった。

#### 【AI システム】

実施項目 B を参照

#### ④ 防爆構造・仕様を配慮

#### 評価方法、ポイント

- ✓ カメラやセンサー等が火薬爆発の着火源とならないように、防爆構造等の対策（机上検討を含む）が行われているか。
- ✓ ドローンや UGV の飛行・走行ルートや撮影ポイントが防爆の観点から火薬類取扱所（を模した建造物）から十分な距離をとりつつ、画像解析に必要なデータ品質を担保する撮影方法がとられているか。

#### 評価にあたっての前提や対応したこと、考察など

#### 【UGV】

- 今回使用した UGV は、費用の観点から防爆構造や防爆対応の資材を使用していない。そのため、防爆性を持たないために、使用するカメラのスペックと画像解析に必要なデータ品質を考慮しつつ、計画当初はズームレンズを使用して建造物から最大限の距離 10m で実証を行う予定だった。しかし、ズームレンズに不具合があり、その代わりとしてズームレンズを使用せず、建造物から最大限の距離 8m 以上離れた位置に走行ルートを再設定した。それにもかかわらず、計画当初の 10m と同じ画角で AI 解析に必要な画像データを取得できることが確認され、リスクを抑えたまま問題なく実証が行えることが分かった。
- 本実証実験において使用する配線・部品は、発火リスクが少ないものを使用するべきだが、費用面を考慮し、市販されている汎用品を利用した。

- 本実証実験において使用するバッテリーは、発火リスクが少ないものを使用すべきだが、費用面を考慮し、ドローンと同様にリポバッテリーを使用した。

### 評価結果

#### 【UGV】

- 防爆規格への適合性：防爆構造について机上検討したが、今回使用した UGV は、費用の観点から、防爆構造、防爆対応等の資材を使用していない。防爆性を有していないため、使用するカメラのスペックと画像解析に必要なデータ品質を考慮した上で、建造物から最大限の距離を取り、火薬類取扱所から 8m 以上の離隔を取った位置からの走行ルートを設定し、リスクを抑える対策が確認でき、撮影の品質も問題なかった。
- 防爆対策を考慮した運用方法：安全な離隔を取った走行ルートを設定することで防爆対策をした運用が可能である。また、ズームレンズを用いることでより距離を取った運用が可能となる。

#### ⑤ 電波環境が悪い場所への対策

### 評価方法、ポイント

- ✓ 電波（Starlink, 4G LTE, Wi-Fi など）を利用する場合、通信可能なエリア・条件について明確化されているか。

### 評価にあたっての前提や対応したこと、考察など

#### 【UGV】

- 実際の監視環境での電波強度のテストや電波品質測定ツールの結果を提示する（今回使用した全ての通信環境）。  
現地 SIM（SoftBank）でのスピードテスト  
1 回目 下り 32.57Mbps 上り 7.02Mbit/s  
2 回目 下り 27.32Mbps 上り 6.45Mbit/s  
3 回目 下り 26.96Mbps 上り 6.13Mbit/s
- 現地校舎と WiFi 接続～校舎の光回線を用いたスピードテスト(校舎側 WiFi2.4GHz PC 設置位置付近で測定)  
1 回目 下り 26.64Mbps 上り 28.68Mbit/s  
2 回目 下り 31.68Mbps 上り 26.98Mbit/s  
3 回目 下り 26.93Mbps 上り 26.94Mbit/s
- 上記計測結果から、本実証では、Wi-Fi を使用した。
- 通常の通信手段が断線するような場合に、衛星通信を使用しての運用は可能だが、データ送信に時間がかかる可能性がある。
- 本実証においては、走行中にデータを送信する運用を想定していたため、建造物周辺が通信可能エリアである必要があった。
- 電波環境がなく、GNSS を捕捉できなければ（坑道内や谷合など空が狭い環境）自動走行はできないが、衛星通信等の使用により電波環境が確保できれば可能となる。

### 評価結果

#### 【UGV】

- 通信の安定性：

現場環境による通信キャリアの選定には、事前に通信事業者のホームページなどで公開されているサービスエリアマップを確認し、選択した通信事業者の電波が受信可能な範囲であることを確認。設置場所周辺の構造物や遮蔽物、基地局の混雑度などにより、通信速度が低下する可能性があるため、現地で事前に電波受信強度を確認することが望ましい。事前に通信事業者のホームページなどで公開されているサービスエリアマップを確認し、選択した通信事業者の電波が受信可能な範囲であることを確認する。設置場所周辺の構造物や遮蔽物、基地局の混雑度などにより、通信速度が低下する可能性があるため、現地で事前に電波受信強度を確認することが望ましい。本実証では、最初は Softbank の SIM カードを使用し、LTE 回線を通じて発報メールの送信を計画していた。しかし、現地での通信強度を事前に確認することができなかつたため、当日になって通信強度を確認したところ、予想よりも上の通信強度が弱かったことが分かった。実際には、現地の校舎と Wi-Fi 接続が可能であり、用意した SIM カードよりも 4 倍ほど強い通信強度が確認された。Wi-Fi 接続ができたことにより、本実証におけるデータ送信は問題なく行えた。

- 電波障害への対処能力：

今回の実証には電波障害を起こす施設は見当たらなかったが、事前に実証実験場所の地域を電波干渉や障害が生じる恐れのある施設（電波塔、送電線等）確認し、制御および軽減する準備が必要である。電波障害に対処するためには、電波干渉や電波妨害の原因となる電波源を特定し、周波数や送信パワーの制御、アンテナ設置や方向性の最適化などを行う。

このような技術的な手法によって、電波障害を最小限に抑えることができる。また、建屋に敷設される光回線との Wi-Fi 接続など、回線冗長化を図ることも有効である。

## ⑥ 見張人と同等の防犯・防火能力

### 評価方法、ポイント

- ✓ 実証対象技術が評価項目（監視範囲、警報範囲、監視時間、警報スピード、現場急行スピード）において現状作業と同等に遂行できるか。

### 評価にあたっての前提や対応したこと

#### 【UGV】

- 見張人に求められるのと同等の頻度（1 時間 1 回以上）での自律走行を行い、全方位から撮影できることから、死角なく巡視可能である。
- 本実証では、カメラにズーム機能は具備していないが、ズーム機能を使用することにより全体かつ細部の画像撮影も機能的には、可能である。
- 不審者がカメラの画角に収まれば、撮影毎にリアルタイムに画像がアップロードされるため、迅速に情報収集が可能となる
- 本実証においては、可視光カメラを使用したため、夜間撮影には、非対応であったが、サーマルカメラ等夜間撮影に対応したカメラを選定、具備すれば、低照度や夜間帯での画像取得も可能である。
- 炎、煙の撮影について、可視光カメラで撮影可能な時間帯であれば、炎・煙を撮影できることが確認できた。
- 天候、日差し、グランドコンディションなどの状況により自動航行が妨げられるかについて、逆光に

よる画像のつづれや未舗装路の轍に車輪を取られ走行不能となるケースがあった。本実証においても、雨天翌日であったため、複数回走行したことで轍が深くなり、自動走行に影響を及ぼすことがあった。

- 走行ルートや撮影ポイントを死角なく設定することで、死角のない自動走行は可能である。ただし、泥濘、積雪などにより画角のずれが発生する可能性があるため、グランドコンディションに合わせて UGV をカスタムし、実装する必要が出てくる。
- 予め設定した走行ルートから大きくずれることなく、自動航行ができるかについて、高精度測位サービス ichimill（イチミル）を使用することにより、自動運行の精度を向上させ、走行ルートから大きくずれることなく自動走行できることを確認した。

#### 【AI システム】

実施項目 B を参照

#### 評価結果

#### 【UGV】

- 監視範囲：  
UGV の撮影は対象の火薬類取扱所を常に同じ角度で撮影が可能であるため、人の目視よりも正確な確認が可能である。本実証では使用しなかったが低照度や夜間の状況でも、サーマルカメラを活用することで人物や不審火の確認が可能である。これらの結果から、対象までの距離や路面が悪路でない等の条件を満たす場所であれば、人の目視と同等の監視範囲を確保できる。
- 監視時間：  
走行時間を 1 時間に 1 回 10 分程度以内に収めることができれば、満充電から 2 日程は使用可能である。したがって、見張人に求められる 1 時間 1 回以上の巡視を行うことが可能である。また、模擬的な不正侵入を行った結果、問題なく撮影および確認が可能であった。これらの結果から、監視時間についても現状作業と同等以上に遂行可能であると評価できる。
- 現場急行スピード：  
UGV の場合、火薬類取扱所付近に待機することが可能であり、人が現地に向かう場合と比較して、最短距離で向かうことが可能であるため、現場急行スピードも UGV の方が優位であるといえる。これらを考慮すると、条件を満たす場合、現場急行スピードについても現状作業と同等以上に遂行可能であると評価できる。

#### 【AI システム】

- 実施項目 C における F 値は、炎：0.72、煙：0.92、人：0.96、破損：1.0 で、同じ AI モデルを使用した実施項目 B と比較すると、炎の F 値が 0.26 下回る結果となった。
- 炎の F 値低下の原因としては、炎が小さすぎたことや柵に遮られ視認できなかったことが考えられる。
- 上記以外の共通事項については、実施項目 B を参照

#### ⑦ 省人効果

#### 評価方法、ポイント

- ✓ 火災と盗難に対する見張業務に従事する作業時間が、技術を導入することで省人化につなが

るかどうか。つながる場合、つながらない場合共にその条件や課題、対策を明らかにする。

#### 評価にあたっての前提や対応したこと

##### 【UGV】

- 走行開始から走行終了までの時間：5分程度
- 画像アップロード完了までのリードタイム：20-30分程度
- 常時有人巡回が不要になるという観点では、現状もセンサーを活用した業務になっており、省人化観点でいえるコストに大きな差異はないが、収集できる情報が拡張する点では、情報収集力の向上が見込まれる。ただし、UGVのバッテリー交換対応や故障、異常検知時には、現地対応が必要となる。
- 現状は、事業所から火薬類取扱所まで片道1時間以上要することもある。UGVの場合、火薬類取扱所近くに待機することが可能であり、走行開始からAI解析による異常の検知・アラート発報まで、40分程度である。その点を考慮すると、UGVは、省人対策として効果的である。

##### 【AIシステム】

実施項目Bを参照

#### 評価結果

##### 【UGV】

- 自動化による業務効率：  
現状の方法として、センサーにより常時監視を行っている。この為、UGVを使用して画像がそのまま記録として残し自動化による業務効果という点では、収集できる情報が非常に幅広くなり、目視による情報収集ができることでの正確性が向上する。
- 人件費の削減：  
現行ではセンサーを活用した常時監視を行っており、運用における直接的な人件費のコストは発生していない。UGVによる常時監視の運用を考えると、一時間に一回の定期監視を行う際の運航管理要員を配備する必要があり、少なくとも40分×24時間の工数が発生することから、UGVを利用する方法により、直接的な人件費の削減を期待することは難しい。
  - ・なお、これはまだドローンポートのような自動充電装置が存在せず、バッテリー交換による車体の起動が必要な現行のUGVならではの必要工数になる。
  - ・厚生労働省出典令和4年賃金構造基本調査によると、鉱業、採石業砂利採取業の男性平均年齢48.2歳の平均賃金は月380（千）であり、24時間365日を4人～5人で対応すると仮定すると、年間18,240（千）～22,800（千）人件費が想定される。
- 連続稼働の可能性：バッテリーの持ちを踏まえ、長時間の稼働が可能（実証実験のユースケースで2日程度の連続稼働が可能）。

##### 【AIシステム】

実施項目Bを参照

## (2) 実証結果分析

搭載重量が大きく各種センサーの搭載が可能である。バッテリー交換や泥濘対策など環境に合わせた設定対応が必要となる。

表 34 実施項目 C のサマリー

技術実証項目	実施項目 C (UGV)	
①	導入の容易さ	△
	環境変化への適応性	○
②	移動の柔軟性	◎
	配置変更の容易さ	◎
③	稼働開始プロセス	◎
	発報までの時間	○
④	防爆対応	△
⑤	通信の安定性	○
	電波障害対応能力	◎
⑥	侵入検知の精度	○
	火災検知の精度	△
	1 時間 1 回の稼働	○
⑦	業務効率の向上	◎
	人件費の削減	△
	連続稼働の可能性	◎

◎：現時点で実運用に耐える、○：軽微なカスタマイズや運用を工夫することで実運用可能、  
△：対策が必要または、対応する場合の費用が高額

### I. アナログ規制の見直しに資するか

#### 【UGV】

巡視というスコープに限れば、対象フィールドのグランドコンディションの整備を行うことで安定した運航が可能となる。また、巡視経路を事前に設定することで、巡視自体を自動化することや巡視経路に死角があれば逐次設定を補正することで、定点的な画角ではなく死角のない巡視もできる。これにより、不審者の侵入や毒性ガスなどの現場の危険性に左右されない巡視を行うことができ、従事者の安全性・効率性の観点から見直しに資するものとする。

現在、UGV が強化されている方向性は、座標情報のみで走行するのではなく、ビジュアルスラムによる自動走行能力を持つことである。これにより、GNSS が受信できない地域でも対応できるようになる。

天候に関する要件は、UGV は、雨や雪でも走行できる状況があればドローンよりも耐性が強いとされる。ドローンは広い範囲をカバーすることができるツールではあるが、UGV は局地的に対応し、現場に迅速に駆け付けることができる。また、搭載できるセンサーやその他の装備に関しては、UGVの方が期待される要件が高くなる。これは、ペイロード増、センサーや他の機器の搭載、バッテリー容量の増加などが可能となるためである。



## 【AI システム】

実施項目 B と同様のため、割愛する。

### II. 実現場での技術等の活用・導入に当たってのポイント

内製化を考えた運用や人材育成には、いくつかのポイントがある。例えば、ミッションプランナーはフリーソフトウェアだが、操作が複雑であり習熟が必要です。定期的なサポートが必要になるため、人材育成プログラムや研修を受講することで、スムーズな運用が可能となる。

ルートの変更を行わない場合は、オペレーターは必要ない。ただし、変更が必要な場合はメーカーのサポートを受けることが可能で、初めに事業者側で試みてほしいという要望が、メーカーとしてはある。1 日の講習プログラムを提供することも可能。

機材のメンテナンスに関しては、堅牢な設計であり故障が少ないことが重要である。特に、雨風に晒されるような環境では故障のリスクが考えられるため、定期的なメンテナンスやサポートを受けることで、機材の長寿命化と信頼性の向上が必要である。

## 【AI システム】

実施項目 B と同様のため、割愛する。

### III. 実証を通じて明らかになった課題や改善の方向性

実現場のグラウンド条件に応じたセンサーを設計し導入する UGV であっても、未舗装のグラウンドに対し繰り返し運航を行うことで轍が形成され、タイヤのスリップによる運航阻害が生じた。測位補正による位置精度の高さにて顕在化した課題となり、グラウンドコンディションの整備、又はオフロード仕様タイヤへ履き替えることで改善が見込まれる。

### IV. アナログ規制の見直しにあたり留意すべき点等

火薬類取扱所といった施設を常時監視する目的であれば、定点カメラやセンサーを配備することで 24 時間常時監視が可能となる。UGV 巡視を行うには、実現場の電源供給体制、通信環境状態、グラウンド条件等の状況に合わせた車体を準備することが極めて重要なことである。初期導入費用及びランニングコストに関してはドローン巡視導入と比較し優位性があるので、導入検討の余地があると考え。1 時間に 1 回の定時走行に関しても、初期設定をメーカーがサポートし不明な点は逐次対応可能な体制であるので、導入時の 1 日～2 日の講習を受講すれば問題なく対応可能である。

## 5 実施項目 D

### 5.1 技術実証内容の詳細

#### 5.1.1 技術実証の方法

##### (1) 実証実施のために構築するシステムの全体像

本実施項目 D では、固定カメラによる異常検知時に必要となる初動対応として、ドローンが火薬類取扱所を確認するスキームを実証した。この実証においては、通常の監視業務ではなく、初動対応として広域で状況を把握する観点から、発報を検知してから即座に現場に自律飛行し、広域監視と写真撮影を実施した。実施項目 D の全体像を図 59 に示す。

通常の監視業務とは異なり、この実証では広域で状況を把握する観点から、異常発生を検知した後、直ちにドローンが現場に飛行して広域監視と画像撮影を実施した。このようなアプローチにより、初動対応が迅速に行われ、火薬類取扱所の状況を確認することが可能となる。固定カメラによる検知とドローンの自律飛行を組み合わせることで、より早い対応と広範な監視が実現される。実施項目 D の全体像を下図に示す。

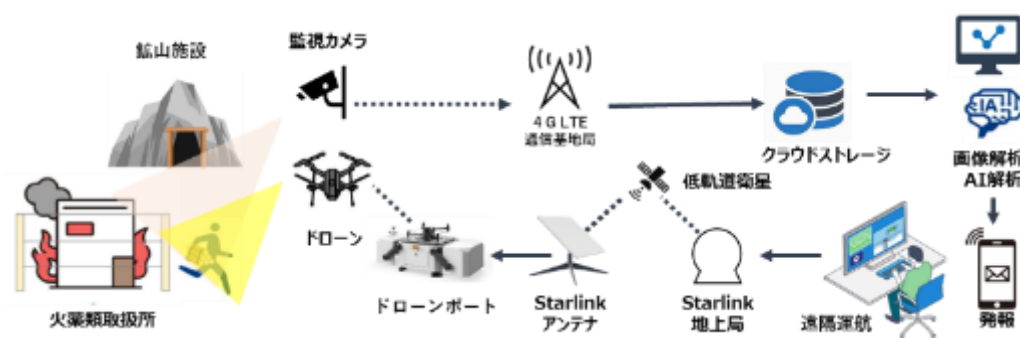


図 59 実施項目 D の全体像

火薬類取扱所には通常自動警報装置が設置されているが、カメラが設置されているケースは少なく、発報があった際には、事業所にいる職員が現地に駆け付け、目視確認および初動対応を行っている。広大な鉱山においては火薬類取扱所が事業所から離れた場所に設置されている事も多いため、駆け付けに時間を要する。また、足場の悪い場所に設置されている場合には怪我人が出るなど、人にとっては危険が伴う業務となる。日常的に鉱山内を自動巡回しているドローンを使って、まずはドローンによって現地確認を行い、事業所から映像を見て対応を検討することで職員の労働負荷軽減および初動の迅速化を図る。

##### (2) 実証の構成

本実証では検知より後の工程である発報～ドローンでの初動対応までを検証した。したがって、活用した要素技術およびシステムの内容については実施項目 B を参照頂きたい。

### (3) 構築するシステムにおける処理概要

#### 【事前準備】

実施項目 A で設置した固定カメラ、実施項目 B で用いたドローンとドローンポートを利用することとする。実施項目 D としてのシナリオ及び実証手順を以下のとおり設定した。（本章 5.1.1(5)「本実証で行う画像取得について」で詳細を述べる）

#### 【実証手順】

- ① 火薬類取扱所の周囲に死角のできないように固定カメラと照明を配置し、24 時間の映像データを取得する。
- ② 火災や盗難を想定したシチュエーションを作る。（火薬類取扱所の近くで発煙筒により煙をだし、人が立入禁止区域に侵入する、等）
- ③ 画像情報を AI Box に送信。エッジ AI アプリで分析する。
- ④ エッジ AI アプリによる分析結果がクラウドに送信される。
- ⑤ クラウド上で AI 分析によって検知された異常を集計・可視化する。
- ⑥ 異常が検知された場合は予め登録した連絡先（事業所の職員の PC および事業所外にいる職員のスマートフォン）にアラートメールを送信。
- ⑦ アラート発報を受信した職員がドローン起動ボタンを押し、ドローンが自動離陸し、建造物周辺まで飛行したのち、周囲の映像を撮影する。
- ⑧ 遠隔地の職員がモニターに投影されるリアルタイム映像を確認する。

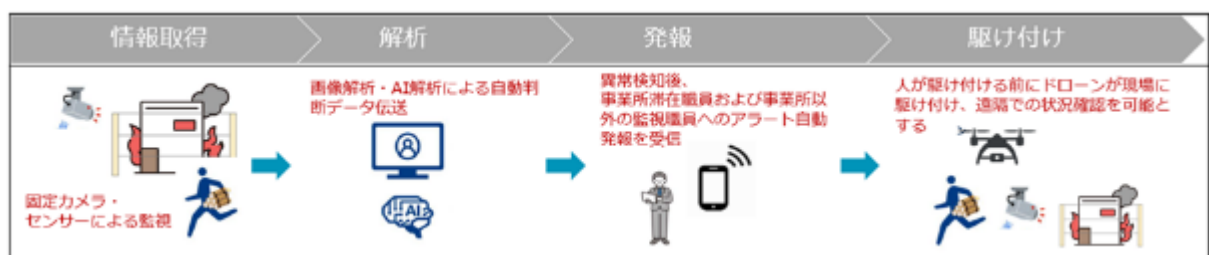


図 60 固定カメラで検知した異常に対するポート付きドローンによる現場確認に関するフロー

### (4) 活用した要素技術及びシステムの内容

#### 1. ポート付きドローン

実施項目 B を参照。

#### 2. 低軌道衛星通信(Starlink)

実施項目 B を参照。

### (5) 本実証で行う画像取得について

実際に使用するドローンのカメラのスペックを前提に AI 解析に用いる学習用画像データおよび検証用画像データの撮影方法（ズームの種類、焦点距離、水平画角、静止画サイズ、撮影距離など）を決定した。

基本は実施項目 B と同様であるが、発報した後の現場への駆け付けを行えるかの検証であるため、広範囲を監視できるように対象からの離隔を水平距離 20m とした。

## ●撮影条件の設定

ドローンにより静止画上の検知対象物のサイズと範囲を特定し、ドローンに備えるカメラ（広角カメラ、サーマルカメラ、ズームカメラ）の焦点距離ごとに撮影距離、仰角を想定し、検知対象物の見え方について、シミュレーションを行った（図 31、図 32）。

シミュレーションの結果、検知対象物がカメラの視野範囲に収まるよう、広角カメラおよびサーマルカメラによる撮影条件を以下の通りに設定した。

- ・ 水平距離 20m
- ・ 仰角-30°
- ・ 焦点距離 4.4mm（35 mm 判換算：24 mm）
- ・ 電子ズーム：1X、2X

### (6) 技術実証の検証設備

実施項目 B を参照

### (7) 実証準備

実施項目 B を参照

## 5.1.2 実施場所等

### (1) 実施場所

実施項目 A と同じく、コードベースキミツを使用しているため、詳細な記述は割愛する。

### (2) 実施期間・タイムスケジュール

実施項目 B と同じため、割愛する。

## 5.1.3 実施条件等

### (1) 留意が必要と見込まれるポイント

実施項目 B を参照。

### (2) 実証にあたって特別な手続（行政手続など）

実施項目 B を参照。

## 5.2 技術実証の結果

### 5.2.1 結果の評価ポイント・方法

#### (1) 取得する情報

本実証で使用する機器が火災と人の侵入盗難検知のために取得することができるかを実証

する情報は、表 35 の通りとなる。

表 35 検知項目別取得情報

検知項目	取得情報	対象
火災検知	炎	○
	煙	○
	熱	×
盗難検知	火薬類取扱所周辺の人存在	○
	火薬類取扱所周辺の指定時間外の人存在	○※1
	火薬類取扱所側面や背面の人存在	○
	火薬類取扱所の屋根上の人存在	○
	扉の開閉、振動の有無	△※2
	火薬類取扱所屋根、壁、柵などの破損	△※3

※1 固定カメラ、ドローンで任意の時間に設定し情報収集が可能であることを確認する

※2 映像により扉の開閉の確認は可能

※3 映像により屋根、壁、柵などの破損状況の確認は可能

## (2) 本技術実証の評価方法

実施項目 D に対する評価観点、評価のポイントは実施項目 A と同じ観点で検証を行っているため、ここへの記載は割愛する。

## 5.2.2 結果及び評価・分析

### (1) 技術実証の評価結果

2.2.1(2) 表 10 で定義した 7 つの評価観点をベースに、技術実証を行った内容から評価をまとめる。

①～⑤については実施項目 A または、B と同じ評価結果であるためここでは割愛し、⑥見張人と同等の防犯・防火能力、⑦省人効果について評価する。

#### ⑥ 見張人と同等の防犯・防火能力

##### 評価方法、ポイント

- ✓ 実証対象技術が評価項目（監視範囲、警報範囲、監視時間、警報スピード、現場急行スピード）において現状作業と同等に遂行できるか。

##### 評価にあたっての前提や対応したこと

【ドローン】

- 発報した後の駆け付けを行えるかの検証であるため、検知・発報まではシミュレーションで行い、出勤要請からドローンが急行し現地確認できるかどうかを実証した。
- 広範囲を監視できるように対象からの離隔を水平距離 20m とした。

##### 評価結果

【ドローン】

- 監視範囲：現地到着後、撮影高度や角度の変更が可能のため、人と同等またはそれ以上に柔軟な監視範囲がカバーできた。
- 監視時間：バッテリー残量のある限り監視し続けることができるので人と同等以上と言える。
- 現場急行スピード：ドローンは人が現地に向かう場合と比較して、上空を最短距離で向かうことが可能であるため、現場急行スピードもドローンの方が優位であるといえる。これらを考慮すると、条件を満たす場合、現場急行スピードについても現状作業と同等以上に遂行可能であると評価できる。
- 留意点：現場急行後に扉を開けて確認する、倉庫内の在庫数をカウントする等の複合的な作業をドローンだけで担うことは難しい。

#### ⑦ 省人効果

##### 評価方法、ポイント

- ✓ 火災と盗難に対する見張業務に従事する作業時間が、技術を導入することで省人化につながるかどうか。つながる場合、つながらない場合共にその条件や課題、対策を明らかにする。

##### 評価にあたっての前提や対応したこと

【ドローン】

実施項目 B を参照。

##### 評価結果

【ドローン】

- コスト削減：現行の監視業務にかかる外注費と比較すると、5 年間で 90 万円程度のコストであり、運用している現行業務と比較すると大きな費用低減効果があるとは言えない。

- リアルタイムな映像提供:ドローンに搭載されたカメラはリアルタイムで映像を提供できるため、遠隔からでも現場の状況を迅速かつ正確に把握できる。これにより、現地に赴くことなく事態の評価がより早く行え、次のアクションに素早く移行することができる。
- 人的リスクの軽減:ドローンが初動の偵察や確認を行うことで、人が直接危険な状況に立ち入る必要が軽減される。
- 24 時間稼働可能:ドローンは人が必要なく自動で飛行できるため、24 時間稼働が可能なため、夜間や休日においても常に警戒が維持できる。
- 遠隔地からの操作:ドローンは遠隔地から操縦できるため、専門のオペレーターが遠くから効率的に対応できる。これにより、地理的な制約を克服できる。

## (2) 実証結果分析

人より早く現場に駆け付けることが可能。より広範囲な飛行ルート設定により、固定カメラの死角を補える。

表 36 実施項目 D のサマリー

技術実証項目	実施項目 D (固定カメラ+ドローン)	
①	導入の容易さ	○
	環境変化への適応性	○
②	移動の柔軟性	◎
	配置変更の容易さ	◎
③	稼働開始プロセス	◎
	発報までの時間	◎
④	防爆対応	△
⑤	通信の安定性	○
	電波障害対応能力	◎
⑥	侵入検知の精度	◎
	火災検知の精度	○
	1 時間 1 回の稼働	◎
⑦	業務効率の向上	◎
	人件費の削減	△
	連続稼働の可能性	◎

◎：現時点で実運用に耐える、○：軽微なカスタマイズや運用を工夫することで実運用可能、

△：対策が必要または、対応する場合の費用が高額

### I. アナログ規制の見直しに資するか

現行業務では、異常発生時の警鳴や警報において、職員がいることが前提である事業所への発報のみとなっている。遠隔地にいる専門者や責任者への発報ができていないため、警報を監視している警備員等が現場に駆け付ける必要がある。駆け付ける経路において、安全性が確保できていない中で、火薬類取扱所の現場を確認しなければならず、たとえ荒天や夜間等の足元が悪い

中でも現場に急行しなければならない。そのため、現場まで経路の安全性の確保ができていない中で、場所によっては事務所から遠方となる現場にまでの人による対応の中で事故が発生する事例も確認している。ドローンであれば、夜間でも遠隔からの操作やリアルタイム映像の確認が可能である。荒天については、防水性や耐風性に優れたドローン機体が市場にはでてきているものの、現状は警備や点検等他のユースケースにおいても、大雨や強風の場合は、雨や風が収まってからの飛行が一般的である。そのため、荒天時に飛行させることはできないが、鉱山は、山間部に位置するため、荒天により土砂崩れなどが起きていないかなど、荒天後にまずドローン飛行させ、経路や現地地の安全確認をするという活用の仕方も有効である。

今回の実証から、見張人による監視業務の中で、警報後の初動対応についてデジタル技術の活用が特に安全性の面で有効であることを確認した。ドローンが現場に自律飛行する際のリアルタイム映像の確認や広域で現場の画像を収集することによって、必要な初動対応も実現できた。それにより、警報の誤検知などによる対応不要などの判断もできるため、より省人化につながると考えられる。

## II. 実現場での技術等の活用・導入に当たってのポイント

ドローンの特性から、飛行経路上の障壁となる構造物、樹木の状況、GNSS による自己位置推定が難しい電波受信エリアなど、安全に運航することが可能かどうか重要なポイントとなる。これらを満たせない場合は、別のモビリティとしてUGVなどを活用するなどの検討が必要である。また、荒天の場合、ドローンは特に風の影響を受けやすいため、飛行制限がかかってしまい、初動対応で100%ドローンが活用できるとは言い難い。飛行する直前においては、天候による飛行可否判断が必要となる。ドローンやUGVを使用することで、危険性の高い業務における情報収集という点では、災害状況の把握や24時間警備への利用といった形で、幅広く展開が期待できると考える。そのため、経済性の観点からある特定業務だけの投資効果で判定することなく、対象となる事業所全体の適用個所を検討することが一案となる。

## III. 実証を通じて明らかになった課題や改善の方向性

ドローンは現時点では防爆仕様の機体が存在していないため、必要に応じて離隔距離を確保する必要がある。一定の距離が必要となった場合、広角で情報を収集するだけでなく、ズーム機能を活用して対応することが求められるが、現在の技術で十分対応できる。必要なデータ品質を考慮しつつ、ズーム機能を活用することで撮影対象物から距離を確保しても、必要な画像データを取得することができる。距離をとることで、リスクを抑えたまま問題なく撮影データを取得できる。

また、初動対応においては、情報を収集するだけでなく、スピーカーを搭載した機体を活用することで、盗難者への警報や火災発生時の避難警告を知らせることも可能であり、さらに、盗難人の場合はドローンによる追従で犯人の特徴をより正確に捉えることも可能である。

## IV. アナログ規制の見直しに当たり留意すべき点等

初動対応でモビリティの中でドローンを活用して実証を行ったが、現場の状況によっては、不安要素やリスクを取り除きつつ、適用技術を現場の事業者が選定できるような仕組みがあると良いと考える。見張人による現行業務の中で、初動対応については、一部の業務であることから、一連の業務の中から規制の見直しを含めて、現場への普及を推進すべきだと考える。



## 6 実証全体総括

### 6.1 技術実証内容の詳細

#### 6.1.1 技術実証の方法

本実証においては、以下の通り、4つの実証を行った。

表 37 4つの実施項目と活用技術

実施項目	実証概要	活用技術
A	固定カメラ、エッジコンピューティング技術、AI の活用による異常検知・アラート発報	・IP カメラ ・エッジ端末 ・エッジ AI アプリ
B	ドローンポート、自律飛行ドローン、衛星回線、AI の活用による異常検知・アラート発報	・ポート付きドローン ・低軌道衛星通信 ・クラウド AI システム
C	自律走行 UGV、高精度測位システム、AI の活用による異常検知・アラート発報	・UGV ・高精度測位システム ・クラウド AI システム
D	固定カメラによる監視により検知した異常に対し、現場確認にドローンを活用	・ポート付きドローン ・低軌道衛星通信

## 6.1.2 実施場所等

### (1) 実施期間・タイムスケジュール

表 38 実施期間・タイムスケジュール

実証	日程	時間
実施項目 A 実証 1 日目	2023 年 11 月 9 日	14:00~19:30
実施項目 A 実証 2 日目	2023 年 11 月 10 日	9:30~15:00
実施項目 BCD 実証 1 日目	2023 年 12 月 11 日	9:00~20:00
実施項目 BCD 実証 2 日目	2023 年 12 月 12 日	10:00~18:00
実施項目 BCD 実証 3 日目	2023 年 12 月 13 日	9:00~18:00

## 6.2 技術実証の結果

### 6.2.1 結果の評価ポイント・方法

#### (1) 取得する情報

本実証で使用する機器が火災と盗難検知のために取得する情報は下記の通りとなる。

表 39 検知項目別取得情報

検知項目	取得情報	対象（実施項目別）		
		A	B	C
火災検知	炎	○※1	○※1	○※1
	煙	○※1	○※1	○※1
	熱	×	○※5	×※2
盗難検知	火薬類取扱所周辺の人存在	○	○	○※1
	火薬類取扱所周辺の指定時間外の人存在	○※3	○※3	○※3
	火薬類取扱所側面や背面の人存在	○	○	○※1
	火薬類取扱所の屋根上の人存在	○	○	○※1
	扉の開閉、振動の有無	△※4	△※4	△※4
	火薬類取扱所屋根、壁、柵などの破損	○	○※1	○※1

※1 日中のみ

※2 サーマルカメラ搭載すれば検知は可能だが、現状 UGV の夜間自動走行はできないため今回の実証では対象外とする

※3 固定カメラ、ドローン、UGV いずれも任意の時間を設定し情報収集が可能であることを確認する

※4 映像により扉の開閉の確認は可能

※5 ドローンのみサーマルカメラを搭載して熱を確認する

#### (2) 本技術実証の評価方法

本実証における評価観点、評価のポイントは実施項目 A と同じ観点で検証を行っているため、ここへの記載は割愛する。

## 6.2.2 結果及び評価・分析

### I. アナログ規制の見直しに資するか

本実証の目的である、「見張人が行う監視業務における情報収集のデジタル技術による代替」と「見張人が行う監視業務における異常検知・アラート発報に係る自動化」に対し、4つの実施項目を通じて、7つの評価観点からこれらの実現性を評価してきたが、結論としては、本実証において使用したデジタル技術群は、非常に有効に働くものと捉えている。

その理由として以下の結論が導き出せたと捉えている。

#### 1. 使用する技術の汎用性

今回使用した技術はどれも、広く市場で流通している汎用技術を用いたものである。これらの技術は今後さらに、市場の流通量の拡大を期待できるもので、一部ではまだコスト的な障壁もあるものもあったが、将来的には安価になることも予想されるものである。また、導入にあたっての技術的な特性の観点においても、一時的に専門の事業者からのトレーニング等が必要な部分はあるが、内製化を検討できるものも多くある。これらのことから、使用する技術の汎用性の観点より、特定の事業者しか扱えない、といった懸念は少ないものとする。

#### 2. 人と同等の判定精度

AIを活用して見張人が五感や経験を駆使して判定する業務との比較を行ってきたが、AIの正確な判定を期待する場合、様々な前提条件が充足されていることで、ある一定の期待値を満たす結果は導出できたと考える。

一方で見張人の方々も、必ずしも常に正確な判定ができていない限り、様々なヒューマンエラーを防ぐ手立てと一緒に設けて業務を実施している現状である。AI技術においても、今回の検証で分かった単独での判定に不安要素がある場合、様々な観点からの複合的な判断を設ける仕組みの検討を合わせた上で、適用できる条件が広がっていくものとする。

例えば、実施項目Aでは既存のパッケージサービスとして提供されているAI技術を使用した。実施項目B,Cでは、データサイエンティストによるAI開発によりできたモデルや画像処理を使用する形で実証を行った。これらは、出来合いのAIサービスが提供可能な精度を示す一方で、様々な画像処理を加えるなどの工夫やモデルのチューニングにより、判定精度の向上が可能であることも示す実証であったと言える。

今回の判定精度と、検知漏れや誤検知といった課題に対し判定精度向上の対策を進めながら、上述するような複合的な判定の仕組みを設けることなどで、人と同等の判定精度の確保は向上の余地が大きいと考える。

#### 3. 省人化効果

デジタル技術を活用することで、見張人自身の労働行為を省力化することにつながることを確認できたと考える。現在もいくつかの事業者において、センサー等を活用した省人化に向けた取り組みを進めている状況を踏まえると、非常に実績が多数報告されている期待効果の一つと言える。

また、どうしても火薬類といった安全面への配慮が必要なことから、人が直接的な労働行為をとらなくとも、防犯・防火対策が取れることが望ましいという観点からもデジタル技術の活用がこの効

果の獲得に寄与できることは大きなメリットと考える。

以上の観点から、本実証で活用した技術により、アナログ規制の見直しを実施した場合に、現行業務を代替でき、なおかつ効果を楽しむ点として挙げられるため、見直しを後押しできるものとする。

## II. 実現場での技術等の活用・導入に当たってのポイント

実現場での導入、活用にあたって石灰石鉱業協会にご協力頂き菱光石灰工業株式会社宇根鉱山にお時間を頂き、実際の鉱山における火薬類取扱所における監視業務についてヒアリングを実施した。

ヒアリングを通じて、判明した事実として、人による1時間に1度の監視業務は行っておらず、火薬類取扱所には、警備の為にセンサーや警鳴装置を設置して、警備会社と契約することで24時間365日監視を行っているとのことであった。このような警備体制は、他の事業者でも採用されている非常に一般的なものであると、石灰石鉱業協会よりご説明を頂いた。これは、鉱山保安法で規定されている火薬庫や火薬類取扱所に対する警備方法を採用していることによるものだ。火薬類取扱所に設置しているセンサーは、建物周辺もしくは内部における振動や扉の開閉また電気の送電停止等異常発生時において警鳴装置が作動し警備会社を通じて火薬保管責任者に連絡が行く仕組みになっている。

実際に、この仕組みによる異常を検知し警備をしている状態であるが、実際の盗難や火災といったトラブル自体の発生はなく、唯一発生している問題として、落雷による警報発報が2023年実績で2件あった程度とのことである。

またこの警備の仕組みで監視を行う事で、実際に必要となっている作業工数は、トラブル発生時に通報を受け付け、現地へ急行、確認するといった工数と契約をしている警備会社の工数が対象となる。前者の工数はトラブル発生時のみの工数である為、非常に限定的であるが、警備会社との契約金額は年間十数万円のコストがかかっているとのことである。

以上のように、現場では既にセンサーや警備会社を活用した省人化対策が非常に経済的な形で実現できているのが現場の実際のようなものである。

上記の点を踏まえ、改めてデジタル技術の活用を考えてみたい。

現行業務においては、常時監視ができることが要件上まず求められる。このため、今回の実証では、固定カメラ、ドローン、UGVを使った、固定と移動形式のそれぞれのパターンで見張り業務の代替検証を行ったが、実現場での活用という点では、固定カメラの利用が要件上最も適合すると考えられる。一方で、怪しい人物を固定カメラで検知した後、即時に現場の状況把握に向けてドローンを飛ばす、また対象地域の樹木により上空からの把握が難しい場合にUGVによる駆け付け警備、といった技術の組合せで、現行の警備会社との契約をせず、24時間の常時監視と、警備担当者への負担を軽減しつつ、一連の業務を実施できるものとする。

また、火薬類取扱所を移動させることはない為、固定カメラを設置する為の電源等の要件を確保できる設備を設けることで、移動に対する考慮は特に必要ないと判明した。

AI技術の判定では、使用する画像の情報や天候、時間帯において、正確な判定が難しい場面が特定できたと考える。また、難易度が高くなる条件についての対応策も実現性を高く持った上

での実施が可能なものとする。技術的な観点での対応は十二分に対策が取れると考える。一方で、コスト的な観点から、固定カメラや AI ではなく、センサー技術である一定程度的見張り業務の確保ができる、といったコストと適用技術のバランスという事は生まれるものとする。上述したが、固定カメラや AI についての市場は今後も高度化と汎用化が進むことで、コストが下がることが期待できるものの、経済性の観点から、初期段階にはセンサーや固定カメラを利用しながら、経済的な効果が見込める別用途や省人化効果を最大化するといった目的で、ドローンや UGV の適用を選択する展開は現実的なアプローチ案と考える。実際、菱光石灰工業においては、発破後の測定の為にドローンを利用されているところがある。また秩父という場所柄、登山客のような一般人が発破の前に周辺地域にいないか、といった監視にドローンが使えないか、といった検討もあるそうで、他の業務での検討余地があることも分かった。

以上のことより本実証は、火薬類取扱所に対する見張り人の業務を対象としているが、本実証で使用した技術による、情報収集と異常検知、アラート通報といった機能は他の業務でも利用可能と考える。鉱山に限らず、プラントや工場における常時監視、またドローン、UGV を使用することでの危険性の高い業務における情報収集という点では、災害状況の把握や 24 時間警備への利用といった形で、幅広く展開が期待できると捉える為、ある特定業務だけの投資効果で判定することなく、対象となる事業所全体適用個所を検討頂くことも一案であると申し上げたい。

### Ⅲ. 実証を通じて明らかになった課題や改善の方向性

AI を活用するという事で、実施項目 A,B,C どれも共通することとして、正確な画像情報の取得の観点より、撮影角度や距離の確保、という事がすべてのケースで非常に重要な観点としてあった。

これらに対しては、より対象物に応じたカメラのセッティングや AI のカスタマイズという改善策の適用があげられこの方法自体での改善幅の見込みは大きく持てるものとする。

現場適用の観点で、判定精度だけではなく、判定速度に対する考慮の必要性も明らかになった。AI の判定精度を上げようとすると、対象となる画像へ加工を加え、AI が判定しやすくするための画像処理を行うが、今回の場合であれば、火薬類取扱所の周囲を囲ったフェンスの情報を除外する処理が存在した為、判定結果を得るまでに一定時間を要した。

AI の判定精度を向上させる為に前段に設けられている画像処理に時間を要する、という事で判定精度と即時性の両面の確保が技術上の検討課題になる。

また、本実証では、実施項目 A ではエッジコンピューティングの形態を使用し、実施項目 B,C ではクラウドコンピューティングを利用した。即時性の確保という点では、エッジコンピューティングのリアルタイム性こそ緊急時に求められる即時性を確保する有効な手段であることが確認できたと考える。

他方のクラウドコンピューティング上で、AI による判定を行う際には、コストの制約は必須ではあるものの、GPU などを使った高速で高精度の計算を行うことができる点は、エッジコンピューティングだけに頼ることで発生するかもしれない検知漏れや誤検知に対する保険的な役割として活用することも期待できると考える。

このことから、エッジコンピューティング、クラウドコンピューティングのそれぞれの長所を生かした二段構えの検知システムを構築できると、本実証で検証した以外の多様な状況をカバーしながら、検知精度を確保する為の仕組みの構築につながるも考える。AI のカスタマイズや高度なドローンの操作という点については、どうしてもある一定の技術要件や経験値を有した人材による対応が求め

られると考え、こういった人材が容易にこの業務に関与できる状態にすることが最も今後の対応を検討していくべき点になると考える。

こういった人材の内製化をより経済的に進める為の取組みがあることで、本課題への対応の障壁は下がるものとする。

課題として挙げるべき最後の点として、本実証では防爆に関する考慮は残された課題となった。ドローンのようにまだ防爆仕様の製品が存在しないといった課題や、固定カメラであれば非常に高価な製品になってしまう、という点が実装上の課題としてある。実証の中では AI の判定に必要な情報収集が可能になるレベルで、対象との距離を確保する、といった運用措置をとることで対応してきたが、現実的な対応策としてもこの方法は有効であるとする。

対象機材の防爆仕様の適合が求められるレベルと、運用を通じた代替策が可能な業務のレベルが存在すると考えており、業務に応じたリーズナブルな選択肢が提供できることが現場への普及を進めることにつながると考える。

#### IV. アナログ規制の見直しにあたり留意すべき点等

現在のアナログ規制は策定された時代における技術をベースに、安心安全を確保する為の規制として設けられたものであるとする。これは今後も同じとする。

つまり、技術的には可能と目算が立ち、一部に改善策は見えつつも不安要素やリスクを残すものについては、安全性を最優先で考えることを前提として、各種の技術の利用が制約される規制ができることで、実際の技術活用や、関連事業者の事業機会を低減している可能性が高いとする。

今回使用したデジタル技術の可能性や、将来の可能性を踏まえた新しいルールの作成においては、ある程度事業者側で、適用技術の選択の裁量権を提供できることが留意すべき観点として挙げられるのではないかと考える。例えば、火薬類取扱所における監視は目視点検や目視により確認できる方法とするのではなく、様々なセンサーの活用や、AI による異常検知による判定等、監視精度に違いを生んだとしても、監視目的を達成する為の手段を事業者で選択できるようなルールと、一方で推奨する手段を選択されたケースにおいては、例えば配置すべき監視体制の緩和を許容するような、コスト負担を軽減できるような制度が設けることができれば、事業者側に選択の幅が生まれるとする。

実際に事業者の中では、制度の為に固定コストの幅が小さくならない状態が生まれていて、新しい技術の試行から、事業上の競争力の確保が十分できないという声を聴くこともある。

より日本社会や経済の発展を後押しする為のアナログ規制の見直しにあたっては、ある程度のリスクについては、各事業者が向き合い対策を柔軟に検討しながらも、より効率的で安全性とのバランスを事業者の判断の中で選択できるようなルールの作成が求められていくものとする。

## 7 用語集

用語	定義・解説
EDGEMATRIX プラットフォーム	EDGEMATRIX サービスを提供するための EDGEMATRIX 社のクラウド基盤や Edge AI Box、IP カメラ等の構成要素一式の総称。
EDGEMATRIX サービス	EDGEMATRIX 社が開発・販売している、主に B2B 向けの映像エッジ AI プラットフォームの提供サービス名称。AI Box の販売（あるいはサブスクリプション）、プラットフォーム利用料、AI アプリ月額利用料等を含めたサービス全般を称する時に使用される。
Edge AI Box	<p>EDGEMATRIX 社が開発・販売している NVIDIA 社の GPU 搭載エッジデバイス。2023 年 12 月現在、EDGEMATRIX プラットフォームに接続できるモデルとしては以下のものが販売されている。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Edge AI Box - Advance mk2</li> <li>• Edge AI Box - NX Outdoor</li> <li>• Edge AI Box - NX Indoor</li> <li>• Edge AI Box - Outdoor</li> <li>• Edge AI Box - Indoor</li> <li>• Edge AI Box - Indoor mk2</li> <li>• Edge AI Box - Light</li> </ul>
EDGEMATRIX Stream	<p>映像エッジ AI アプリの開発・実行を用意するために、EDGEMATRIX 社が開発している実行環境。</p> <p>NVIDIA 社の「DeepStream」（※ DeepStream は、OSS の「GStreamer」をベースに NVIDIA 社が開発）を、EDGEMATRIX 社が拡張したフレームワークである。</p> <p>EDGEMATRIX プラットフォームで動作する AI アプリは、EDGEMATRIX Stream の機能を使用して開発され、その AI アプリは EDGEMATRIX Stream 上で動作する。</p>
デバイスコンソール	<p>AI Box を遠隔制御するために、EDGEMATRIX 社がプラットフォーム契約者へ提供している管理 Web UI。</p> <p>「EDGEMATRIX ストア（※後述）」に掲載されている AI アプリを使用するためには、EDGEMATRIX プラットフォームの契約が必須。この管理 Web UI にはエッジに配置されている AI Box や IP カメラの状態監視、AI アプリのインストール／アンインストール、AI アプリの各種設定、IP カメラ設定、現場に設置されたカメラのリアルタイム映像の確認等の様々な機能が実装されている。</p>



EDGEMATRIX ストア	<p>EDGEMATRIX 社の AI アプリ開発パートナー企業が開発した AI アプリを販売するために、EDGEMATRIX 社が開設しているインターネット上のページ。</p> <p>下記 URL に、現在販売中の AI アプリが掲載されている。</p> <p>EDGEMATRIX ストア</p> <p><a href="https://service.edgematrix.com/store/#ai_application">https://service.edgematrix.com/store/#ai_application</a></p>
IP カメラ	<p>IP カメラとはネットワークカメラと呼ばれることもあり、カメラ本体に OS や画像処理システムが搭載され、IP アドレスが割り振られ IP プロトコルにより映像を配信できるカメラである。</p> <p>IP カメラから映像を取得するために使用されるプロトコルとしては現在、RTSP（※後述）が主流となっており、ONVIF（※後述）に準拠する IP カメラが増えている。</p>
PTZ 機能	<p>PTZ とはカメラの水平回転（パン=P）、垂直回転（チルト=T）、拡大・縮小（ズーム=Z）操作の頭文字をとったもので、PTZ 機能を搭載し ONVIF に準拠している IP カメラであれば遠隔から PTZ 操作を行うことが可能である。</p> <p>カメラ設置後も遠隔から画角調整を行うことができ、AI アプリに最適なカメラ画角になるように微調整ができるため非常に使い勝手は良いが、一般的な固定画角カメラと比べると価格は高くなる。</p>
エッジ端末	<p>エッジ端末あるいはエッジデバイスとは、ネットワークの末端に接続された端末装置である。設置場所のネットワーク内側とインターネットに接続される外側の内側（Edge）部に置かれ、内部と外部を繋ぐ役割を持つデバイスである。</p> <p>データ処理や通信とその制御を行い、GPU 搭載のエッジ端末である AI Box では AI モデルによる推論処理をエッジ側で行い、ネットワークの外側（インターネット）にその結果を送信する。</p>
エッジコンピューティングシステム	<p>エッジコンピューティングとはセンサーや IoT 端末などのエッジデバイス上でデータ処理や分析を行う概念のことであり、エッジコンピューティングを実現するためのサービスやデバイスを組み合わせ利用可能にしているものがエッジコンピューティングシステムである。</p> <p>エッジコンピューティングにより AI 推論や分析等の処理をエッジ端末で行い、その結果をクラウドに送信できる。ファイルサイズが大きくなる映像や画像を使用した処理をエッジ端末で行い、その処理結果のみをクラウドに送る構成であるため、通信遅延の改善やネットワーク負荷の低減を実現している。</p>
IR カメラ	<p>IR（Infrared Rays）カメラとは、赤外線照射機能を搭載するカメラである。主に夜間の撮影を行うために開発されたカメラ機能。赤外線を照射することで、暗闇での録画が可能となる。IR カメラは暗所での撮影には効果を発揮するが、明るい昼間の撮影には不向きである。</p> <p>最近のカメラでは時間や周りの照度により、自動的に IR モードが起動す</p>

	るカメラも存在する。
汎用 AI アプリ	ある特定の目的や要件のために学習データを収集し学習済みモデルを生成して開発された AI アプリではなく、様々な環境や用途での使用を想定して学習データを収集し学習済みモデルを生成して開発された汎用的な AI アプリのこと。一般的・汎用的な環境や開発企業が推奨する環境での利用を想定しており特殊な環境や要件には対応できないが、汎用品として安価に利用できるメリットがある。
ONVIF プロトコル	ONVIF (Open Network Video Interface Forum) は、ネットワークカメラを手掛けるアクシスやボッシュ、ソニーが立ち上げたネットワークカメラのインターフェース互換性に関する国際標準規格。 オープンなインターフェース規格である ONVIF に準拠することにより、異なるメーカーのネットワークカメラやビデオレコーダーが連携可能になる等、柔軟に異なるメーカーの製品間での連携を実現できる。 また、ネットワークカメラによる情報の取得やイベントの検知、光学制御、PTZ (Pan、Tilt、Zoom) 制御といった操作を ONVIF 規格で定めることにより、ONVIF に準拠する機器を様々なシステムやソフトウェアから制御することが可能になっている。
RTSP プロトコル	RTSP (Real Time Streaming Protocol) とは、映像データや音声データ等のマルチメディアデータを含むサーバーやカメラを遠隔操作するためのプロトコルである。
IoU 値	IoU (Intersection over Union) とは、物体検出で利用できる評価指標の 1 つ。画像の重なりを割合を表す指標で、IoU が大きいほど画像が重なっていることを意味する。 実際に検出対象が存在する“正解領域”と AI により検出対象が存在すると予想された“予測領域”の重なりが大きいほど、IoU 値は大きくなる。予測領域がずれていたり、正解領域内でも小さ過ぎたり、正解領域を含んでも大き過ぎると IoU 値は低くなる。つまり、IoU 値が大きいほど、物体検出が正確に行えていることを示す。
バウンディングボックス	バウンディングボックス (Bounding Box) とは、物体検出に用いられる画像や映像の中の物体を囲んだ部分領域、矩形 (長方形) を指す。バウンディングボックスを使って、画像内の物体の位置推定とクラス分類を実行する。クラス分類とは、その物体が何であるかを種類 (クラス) 別に分類する方法である。
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。
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
DJI FlightHub 2	DJI 社製の連携可能なドローンの制御をクラウドベースで管理するプラットフォームであり、自動航行のルート作成・編集、ドローンで撮影したデータのアップロード・ダウンロード、飛行中のドローンのライブ視聴、2D オルソ・3D モデル作成などの機能を備える。
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。
Starlink	Starlink は、スペース X 社が運営する衛星を使ったインターネットサービスであり、数千機の低軌道周回衛星によって高速・低遅延通信を実現し、地球上のどこからでも空が開けていれば、専用アンテナで衛星からの電波を受信することにより、インターネットに接続することができる。
LTE	Long Term Evolution (ロングタームエボリューション) の略称で、モバイル専用の通信規格の 1 つ。
4G	第 4 世代移動通信システム (「4G」) とは、1G・2G・3G に続く国際電気通信連合 (ITU) が定める 4G 対応の LTE の通信システムの規格である「IMT-Advanced」に準拠する無線通信システム。
ウェイポイント	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。
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。
GPS	「GPS」と「全地球測位システム」であり、人工衛星からの電波でドローンの現在地を測り位置情報を特定する技術。
GNSS	「GNSS」とは「汎地球測位航法衛星システム」であり、GPS のような衛星測位システムで日本の衛星システム「みちびき」、ロシアの GLONASS(グロナス)ヨーロッパの GALILEO(ガリレオ) など世界各国の衛星システムの総称。GPS と GNSS の受信を併用することでより精度の高い位置情報を得ることが可能となる。
RTK-GNSS	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。
SLAM	「Simultaneous Localization and Mapping」の略であり、自己位

	<p>置推定と環境地図作成を同時に行う技術の総称。SLAM は周囲の情報（三次元情報）を取得する方法の違いで、カメラのイメージセンサーからの情報を用いた Visual SLAM と LiDAR（Light Detection and Ranging）というレーザーセンサー（距離センサー）を主に使用した LiDAR SLAM の 2 つ大別される。SLAM 搭載のドローンは障害物の多い環境や屋内などの非 GPS 環境下での飛行が可能である。</p>
サーマルカメラ	<p>サーマルカメラ（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が設置されているため、非接触かつ暗間でも温度を検知することが可能である。サーマルカメラは、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。</p>
フェイルセーフ機能	<p>フェイルセーフ機能とは、故障やトラブルが発生した場合に危険回避のために働く安全機能のことである。ドローン操縦でのトラブルとしてバッテリー残量の低下や送信機と機体間の電波遮断などがある。これらのトラブルに備えて安全機能が搭載されている機種を用いることが望ましいとされる。</p>
ホバリング	<p>ドローンがバランスを取って空中で停止して飛び続ける機能。</p>
夜間飛行	<p>日没から日の出前までの飛行。※夜間飛行は、航空法の規制対象である。</p>
UGV	<p>無人地上車両（UGV）は、人間を乗せることなく陸上を走行する車両を指す。</p>
プロポ	<p>ドローンの前後や上下左右への移動を遠隔操作するコントローラーのことを指す。正式名称はプロポーションアルコントローラー。</p>
ミッションプランナー	<p>自動運行ソフトウェア</p>
ミッション	<p>ミッションプランナー自動運行ソフトで自動走行ルートの設定（スタート位置、撮影ポイント、走行速度、走行ルート等）すること。</p>
ジンバル	<p>ひとつの軸を中心に物体を回転させる回転台のこと。一般には、手ブレ補正などに使用される</p>
リポバッテリー	<p>一度の充電で大容量の電源供給ができ電圧が高いので、高速での移動を可能にする強力なモーターを回せるのがメリットである。デメリットは、取り扱い方や充電方法を間違えると、内部にガスが溜まり、発火や爆発の可能性があった。また、「過放電」や「過充電」にも弱いため、最悪の場合、発火したり、充電ができない状態になってしまう。</p>
分類問題	<p>データをその性質に従い分類する問題。</p>
混同行列 (Confusion Matrix)	<p>Positive、Negative のいずれかを返す 2 値分類問題において、それぞれの正解、不正解の組合せによる行列。</p>
適合率 (Precision)	<p>2 値分類問題の評価指標。Positive と予測したデータのうち、実際に Positive が正解であるかを表す。0.0 から 1.0 の範囲の値となり、1.0 に近</p>

	づくほど良い。
再現率 (Recall)	2 値分類問題の評価指標。実際に Positive であるデータ全体のうち、機械学習モデルによる予測で正解できたかを表す。0.0 から 1.0 の範囲の値となり、1.0 に近づくほど良い。
F 値 (F-measure)	トレードオフの関係にある適合率と再現率の調和平均。2 値分類問題の総合的な精度指標として用いられる。0.0 から 1.0 の範囲の値となり、1.0 に近づくほど、適合率と再現率がいずれも高いことを意味する。

## 8 巻末資料

### 8.1 実施項目 A テストケース・評価項目毎の検証結果

※「検知したカメラ（南側/北側）」列に記入している記号は、○…全ての動作で検知 / △…1 つ以上の動作で検知 / ×…全ての動作で不検知 を表す。

※「発報メール送信（南側/北側）」列に記入している記号は、○…全ての動作で発報 / △…1 つ以上の動作で発報 / ×…全ての動作で不発報 を表す。

※本実証では模擬火薬類取扱所近傍に互いの死角を補完するように対角線上に、2 台のカメラ（南側カメラ/北側カメラ）を設置したため、どちらか一方でも対象物（人あるいは煙・炎）を検知しメール発報できれば、「検証結果」列に○を記入。

8.1.1 実施項目 A 日中 (9:00~15:00) の検証結果一覧

テストケースID	検証内容		カメラ撮像状態		検知したカメラ			発報メール送信				検証結果		検証結果と考察
	検証区分	位置	照度	赤外線照度	南側	北側	検知死角有無	南側	北側	メール発報漏れ	メール受信までの平均時間	対象検	メール発報	
CASE01_01	人の侵入検知	正面	消灯	オフ	○	×	無し	○	×	無し	0:00:13	○	○	11/9 9:30頃を実施。天気は晴れで人を検知するには十分な環境。北側カメラでは検知・発報はされなかったが、その死角を補う南側カメラで全パターン（前進、後進、しゃがみ）を検知。 全パターンにおいて、南側カメラから1分以内に発報メールを受信。
CASE01_02	人の侵入検知	左側面	消灯	オフ	○	×	無し	○	×	無し	0:00:11	○	○	11/9 9:39頃を実施。気候条件はCASE01_01と同様。CASE01_01と同様に北側カメラでは検知・発報はされなかったが、その死角を補う南側カメラで全パターン（前進、後進、しゃがみ）を検知。 全パターンにおいて、南側カメラから1分以内に発報メールを受信。
CASE01_03	人の侵入検知	右側面	消灯	オフ	×	○	無し	×	○	無し	0:00:12	○	○	11/10 9:44頃を実施。天気は雨の予報が出ている曇りで、照度が若干下がっていたが人を検知するには問題の無い環境。南側カメラでは検知・発報はされなかったが、その死角を補う北側カメラで全パターンにおいて、北側カメラから1分以内に発報メールを受信。
CASE01_04	人の侵入検知	背面	消灯	オフ	△	○	無し	△	○	無し	0:00:11	○	○	11/10 10:03頃を実施。気候条件はCASE01_03と同様。北側カメラで捉えやすい侵入経路であったため北側カメラで全パターンを検知しているが、一部、南側カメラでも侵入者の（前進パターン時の）退場を検知。全パターンにおいて、南側カメラから1分以内に発報メールを受信。前進、後進パターンでは、北側カメラからも発報。
CASE01_07	煙の検知	----	消灯	オフ	○	○	無し	○	○	無し	0:00:16	○	○	11/10 10:00頃を実施。本降りではないが小雨が降っているような天気、照度が若干下がっていたが発煙を検知するには問題の無い環境。南側カメラに適したカメラ画角ではあるが、両カメラで発煙を検知。 両カメラから、1分以内に発報メールを受信。
CASE01_08	煙の検知	----	消灯	オフ	○	×	無し	○	×	無し	0:00:08	○	○	11/10 9:57頃を実施。本降りではないが小雨が降っているような天気、照度が若干下がっていたが発煙を検知するには問題の無い環境。南側カメラに適したカメラ画角であり南側カメラでは発煙を検知できたが、北側南側カメラから、1分以内に発報メールを受信。

8.1.2 実施項目 A 日没前後（15:00～17:00）の検証結果一覧

テストケースID	検証内容		カメラ撮像状態		検知したカメラ			検知したカメラ		発報メール送信		検証結果		検証結果と考察
	検証区分	位置	照明	赤外線照明	南	北	検知死角有無	南	北	メール発報漏れ	メール受信までの平均時間	対象検	メール発報	
CASE02_01	人の侵入検知	正面	消灯	オフ	○	△	無し	○	△	無し	0:00:14	○	○	11/9 15:21頃を実施。気候条件はCASE01_01と同様。 南側カメラがカバーすべきカメラ画角であるが、南側カメラでは全パターンを検知し、北側カメラでも前進及び更新時の侵入者の入退場を検知。 全パターンにおいて、南側カメラから1分以内に発報メールを受信。前進、しゃがみパターンでは、北側カメラからも発報。
CASE02_02	人の侵入検知	左側面	消灯	オフ	○	△	無し	○	△	無し	0:00:16	○	○	11/9 15:34頃を実施。気候条件はCASE01_01と同様。 南側カメラがカバーすべきカメラ画角であるが、南側カメラでは全パターンを検知し、北側カメラでも前進及び後進時の侵入者の入退場を検知。 全パターンにおいて、南側カメラから1分以内に発報メールを受信。前進、しゃがみパターンでは、北側カメラからも発報。
CASE02_03	人の侵入検知	右側面	消灯	オフ	△	○	無し	△	○	無し	0:00:16	○	○	11/9 15:41頃を実施。気候条件はCASE01_01と同様。 北側カメラがカバーすべきカメラ画角であるが、北側カメラでは全パターンを検知し、南側カメラでも前進時の侵入者の入場を検知。 全パターンにおいて、北側カメラから1分以内に発報メールを受信。前進パターンでは、南側カメラからも発報。
CASE02_04	人の侵入検知	背面	消灯	オフ	△	○	無し	△	△	無し	0:00:17	○	○	11/9 15:13頃を実施。気候条件はCASE01_01と同様。 北側カメラがカバーすべきカメラ画角であるが、北側カメラでは全パターンを検知し、南側カメラでも前進及び後進時の侵入者の入退場を検知。 北側カメラではしゃがみパターンの人を検知はしていたが、しゃがみパターンの発報メールは送信されなかった。南側カメラからは同様に、前進及び後進パターンのみ発報。
CASE02_05	人の侵入検知	倉庫上	点灯	オフ	○	○	無し	○	○	無し	0:00:47	○	○	11/9 16:46頃を実施。気候条件はCASE01_01と同様。 倉庫上への侵入であるため、両カメラで捉えられるカメラ画角。両側のカメラで人を検知。 両カメラから、1分以内に発報メールを受信。 若干、AI Boxからメールが送信されメールクライアントで受信するまでの所要時間が40秒を超え時間を要しているように感じられる。夕方になり実証場所近辺の基地局の回線使用率が一瞬上がり、使用できる帯域幅が狭くなっていった可能性や、NTT docomo回線の電波強度の問題があると考えられる。



テストケースID	検証内容		カメラ撮像状態		検知したカメラ			検知したカメラ		発報メール送信		検証結果		検証結果と考察
	検証区分	位置	照度	赤外線照度	南	北	検知死角有無	南	北	メール発報漏れ	メール受信までの平均時間	対象検	メール発報	
CASE02_07	煙の検知	----	点灯	オフ	○	○	無し	○	○	無し	0:00:10	○	○	11/9 16:27頃に実施。気候条件はCASE01_01と同様だが、日が落ちてきて周辺の照度は若干下がっている状態。 両カメラに適したカメラ画角であり、両方のカメラで発煙を検知。 両カメラから、1分以内に発報メールを受信。
CASE02_08	煙の検知	----	点灯	オフ	○	○	無し	○	○	無し	0:00:43	○	○	11/9 16:43頃に実施。気候条件はCASE01_01と同様だが、日が落ちてきて周辺の照度は若干下がっている状態。 両カメラに適したカメラ画角であり、両方のカメラで発煙を検知。 南側カメラからは数秒でメール発報がされているが、北側カメラからの発報は <b>送信から受信まで1分17秒</b> を要した。 考えられる原因としては、 ①NTT docomo回線の電波強度 ②実証場所近辺の基地局の混雑 ③メール送信間隔設定（60秒） が挙げられる。同日の16:46頃に実施したテストケース（CASE02_05）でも同様にメール受信遅延が発生しているため、①及び②の外要因による影響が強いと思われる。
CASE02_09	炎の検知	----	点灯	オフ	○	○	無し	○	○	無し	0:00:15	○	○	11/9 16:31頃に実施。気候条件はCASE01_01と同様だが、日が落ちてきて周辺の照度は若干下がっている状態。 両カメラに適したカメラ画角であり、両方のカメラで発火を検知。 両カメラから、1分以内に発報メールを受信。
CASE02_10	炎の検知	----	点灯	オフ	○	×	無し	×	×	有り	未発報	○	×	11/9 16:33頃に実施。気候条件はCASE01_01と同様だが、日が落ちてきて周辺の照度は若干下がっている状態。 両カメラに適したカメラ画角であるが、南側カメラのみで検知。 本実証における炎の検知に関しては、模擬火薬取扱所とフェンスまでの距離が思いの外、近かったため、固定カメラの設置画角が想定よりも <b>かなり“見下ろし画角”</b> になってしまった。そのため本AIアプリで学習させている炎の形状とは異なる形状の炎を検知できず、検知漏れが多い状況となったと考えられる。 火薬取扱所で想定されるカメラ画角による炎の画像を追加学習させることにより、炎の検出精度もより高められると考える。  一瞬、南側カメラで炎を検知はしているものの、本AIアプリに実装されている誤検知抑制フィルターにより連続した炎の発生と見做されず検知に至らなかったと考えられる。また、上述のように <b>見下ろし画角での炎の学習不足</b> もあり、炎を検知しにくい状態であったと考えられる。

8.1.3 実施項目 A 夜間 (17:00~19:00) の検証結果一覧

テストケースID	検証内容		カメラ撮像状態		検知したカメラ			検知したカメラ		発報メール送信		検証結果		検証結果と考察
	検証区分	位置	照明	赤外線照明	南	北	検知死角有無	南	北	メール発報漏れ	メール受信までの平均時間	対象検	メール発報	
CASE03_01	人の侵入検知	正面	点灯	オフ	○	△	無し	○	△	無し	0:00:08	○	○	11/9 17:37頃を実施。気候条件はCASE01_01と同様だが、日が落ち切りはかなり暗くなっている状態。 南側カメラがカバーすべきカメラ画角であるが、南側カメラでは全パターンを検知し、北側カメラでは前進時の侵入者の退場を検知。 全パターンにおいて、南側カメラから1分以内に発報メールを受信。前進パターンでは、北側カメラからも発報。
CASE03_02	人の侵入検知	左側面	点灯	オフ	○	×	無し	○	×	無し	0:00:11	○	○	11/9 17:45頃を実施。気候条件はCASE01_01と同様だが、日が落ち切りはかなり暗くなっている状態。 北側カメラでは検知・発報はされなかったが、その死角を補う南側カメラで全パターン（前進、後進、しゃがみ）を検知。 全パターンにおいて、南側カメラから1分以内に発報メールを受信。北側カメラからの発報は無し。
CASE03_03	人の侵入検知	右側面	点灯	オフ	△	○	無し	△	○	無し	0:00:08	○	○	11/9 17:52頃を実施。気候条件はCASE01_01と同様だが、日が落ち切りはかなり暗くなっている状態。 北側カメラがカバーすべきカメラ画角であるが、北側カメラでは全パターンを検知し、南側カメラでは前進時の侵入者の入場を検知。 全パターンにおいて、北側カメラから1分以内に発報メールを受信。前進パターンでは、南側カメラからも発報。
CASE03_04	人の侵入検知	背面	点灯	オフ	△	○	無し	△	○	無し	0:00:09	○	○	11/9 17:58頃を実施。気候条件はCASE01_01と同様だが、日が落ち切りはかなり暗くなっている状態。 北側カメラがカバーすべきカメラ画角であるが、北側カメラでは全パターンを検知し、南側カメラでは後進時の侵入者の退場を検知。 全パターンにおいて、北側カメラから1分以内に発報メールを受信。しゃがみパターンでは、南側カメラからも発報。
CASE03_05	人の侵入検知	倉庫上	点灯	オフ	○	○	無し	○	○	無し	0:00:08	○	○	11/9 18:06頃を実施。気候条件はCASE01_01と同様だが、日が落ち切りはかなり暗くなっている状態。 倉庫上への侵入であるため、両カメラで捉えられるカメラ画角。両側のカメラで人を検知。 両カメラから、1分以内に発報メールを受信。

テストケースID	検証内容		カメラ撮像状態		検知したカメラ			検知したカメラ		発報メール送信		検証結果		検証結果と考察
	検証区分	位置	照明	赤外線照明	南	北	検知死角有無	南	北	メール発報漏れ	メール受信までの平均時間	対象検	メール発報	
CASE03_07	煙の検知	----	点灯	オフ	○	○	無し	○	○	無し	0:01:03	○	○	11/9 18:11頃に実施。気候条件はCASE01_01と同様だが、日が落ち辺りはかなり暗くなっている状態。 両カメラに直したカメラ画角であり、両方のカメラで発煙を検知。 南側カメラからは数秒でメール発報がされているが、北側カメラからの発報は <b>送信から受信まで1分56秒</b> を要した。 考えられる原因は、CASE02_08記載のものが考えられる。実証場所近辺がNTT docomoの電波強度がかなり弱かったことも影響している可能性が高い。
CASE03_08	煙の検知	----	点灯	オフ	×	○	無し	×	○	無し	0:01:42	○	○	11/9 18:15頃に実施。気候条件はCASE01_01と同様だが、日が落ち辺りはかなり暗くなっている状態。 北側カメラでは発煙を検知したが、南側カメラでは検知せず。 北側カメラから発報メールが送信されているが、AI Boxからの <b>送信から受信まで1分42秒</b> を要した。 考えられる原因は、CASE02_08記載のものが考えられる。
CASE03_09	炎の検知	----	点灯	オフ	○	×	無し	○	×	無し	0:00:07	○	○	11/9 18:27頃に実施。気候条件はCASE01_01と同様だが、日が落ち辺りはかなり暗くなっている状態。 両カメラに直したカメラ画角であるが、南側カメラのみで検知。 発火を検知できた南側カメラにおいては、1分以内に発報メールを受信。但し北側カメラでは炎の検知自体がされておらず、発報に至らなかった。
CASE03_10	炎の検知	----	点灯	オン	○	○	無し	○	○	無し	0:00:20	○	○	11/9 18:21頃に実施。気候条件はCASE01_01と同様だが、日が落ち辺りはかなり暗くなっている状態。 固定カメラをIR照射モードにして検証を実施。IR照射モードで対象を検知できるかどうかは、 <b>使用するAIアプリに搭載されているAIモデルがIR照射モードによって撮像された学習データを使って学習されているかに依存する</b> 。実証で使ったAIアプリはIR照射モードに対応したもののだが非対応のものも多い。但し、本実証のように照明機器を設置している環境下であれば、最近のカメラの <b>暗視補正機能はかなり優秀であるためIR照射モードにする必要は無い</b> と思われる。 両カメラに直したカメラ画角であり、両方のカメラで発火を検知。 両カメラから、1分以内に発報メールを受信。

## 8.2 実施項目 B テストケース・評価項目毎の検証結果

※「検知した撮影ポイント」列に記入している記号は、○…検知画像が閾値以上 / △…検知画像が閾値未満 / ×…全ての画像で不検知 を表す。

※「発報メール送信した撮影ポイント」列に記入している記号は、○…メール受信 / △…複数メール受信や順番違いで受信 / ×…メール未受信 を表す。

※本実証では模擬火薬類取扱所の周りを 1 周することで死角なく監視できることを想定したため、撮影ポイントのいずれかで対象物（人あるいは煙・炎）を検知しメール発報できれば、「検証結果」列に○を記入。

8.2.1 実施項目 B 日中 (9:00~15:00) の検証結果一覧

	検証内容		使用画像	検知した撮影ポイント								発報メール送信した撮影ポイント								フライト時間	フライト準備開始から離陸までの時間	解析開始からメール受信までの時間	検証結果		検証結果と考察				
	検証区分	位置		カメラ	1	2	3	4	5	6	7	8	検知死角有無	1	2	3	4	5	6				7	8		メール発報漏れ	対象検知	メール発報	
CASE01_00	なし		可視光	×	×	×	×	×	×	×	×	×	無し	×	×	×	×	×	×	×	×	×	無し	未計測	未計測	なし	-	-	全撮影ポイントで全画像検知なし。
CASE01_01	人の侵入検知	撮影P5	可視光	×	○	○	○	○	○	○	△	無し	×	○	○	○	○	○	○	×	無し	0:04:44	0:00:25	0:04:02	○	○	撮影ポイント8の5枚の撮影画像のうち、2枚に異常あり。クラウドAIシステムへのアップロード前に既にその状態であった。正常な3枚のうち1枚が未検知。撮影ポイント1は、全画像検知なし。撮影ポイント8は、3画像のみ解析し1画像検知しているが、閾値以下のため、未発報。		
CASE01_02	人の侵入検知	撮影P3	可視光	○	○	○	○	○	×	○	△	無し	○	△	△	△	△	×	△	×	無し	0:05:34	0:00:20	0:09:40	○	○	6と8メールなし。6は、全画像で検知なし。8は、検知画像数が発報閾値に達していないため、未発報。		
CASE01_02	人の侵入検知	撮影P3	可視光	○	○	○	○	○	△	×	○	無し	○	○	○	○	○	×	×	○	無し	0:05:33	0:00:34	未計測	○	○	撮影ポイント3で、1画像誤検知（人が映っているのに未検出）あったが、閾値以上のため、発報に影響なし。撮影ポイント6、1画像のみ検知あり。撮影ポイント7は、全画像未検知。		
CASE01_03	人の侵入検知	撮影P7	可視光	○	○	×	○	○	○	○	○	無し	○	○	×	○	○	○	○	○	無し	0:04:45	0:02:30	0:03:10	○	○	撮影ポイント3は、全画像で検知なしのため、未発報。撮影ポイント2は、2画像検知したが、発報閾値を超えているため、発報に影響。		
CASE01_04	人の侵入検知	撮影P1	可視光	○	○	○	○	○	○	○	○	無し	○	○	○	○	○	○	○	○	無し	0:04:45	0:00:51	0:03:10	○	○	撮影ポイント5で、1画像誤検知（人が映っているのに未検出）あったが、閾値以上のため、発報に影響なし。		
CASE01_05	人の侵入検知	屋根上	可視光	○	○	○	○	○	○	○	○	無し	○	○	○	○	○	○	○	○	無し	0:04:38	0:00:59	0:02:26	○	○	全撮影ポイントで全画像検知。		
CASE01_08	煙の検知	-----	可視光	○	○	○	○	○	○	○	○	無し	△	△	△	○	○	○	○	○	無し	0:04:32	0:01:32	0:01:53	○	○	全撮影ポイントで全画像検知。		
CASE01_10	炎の検知	撮影P1	サーマル	○	○	○	○	×	○	○	○	無し	○	○	○	○	×	○	○	○	無し	0:04:31	0:00:14	0:00:36	○	○	撮影ポイント5で、全画像検知なし。		
CASE01_11	人の侵入検知	柵外	可視光	×	×	×	○	×	×	×	×	無し	×	×	×	○	×	×	×	×	無し	0:04:49	0:00:15	0:07:56	○	○	撮影ポイント4以外は、全画像で検知なし。		
CASE01_12	破損の検知 フェンス	撮影P3	可視光	×	○	○	○	×	×	×	×	無し	×	○	○	○	×	×	×	×	無し	0:04:39	0:02:46	0:01:39	○	○	撮影ポイント5で、全画像検知なし。ポイント1,5~8で全画像検知なし。		
CASE01_14	破損の検知 屋根上	屋根上	可視光	○	○	○	○	○	○	○	○	無し	○	○	○	○	○	○	○	○	無し	未計測	未計測	未計測	○	○	撮影ポイント4で、1画像誤検知（破損が映っているのに未検出）あったが、閾値以上のため、発報に影響なし。		

8.2.2 実施項目 B 日没前後 (15:00~17:00) の検証結果一覧

	検証内容		使用画像	検知した撮影ポイント								発報メール送信した撮影ポイント								フライト時間	フライト準備開始から離陸までの時間	解析開始からメール受信までの時間	検証結果		検証結果と考察		
	検証区分	位置	カメラ	1	2	3	4	5	6	7	8	検知死角有無	1	2	3	4	5	6	7				8	メール発報漏れ		対象検知	メール発報
CASE02_05	人の侵入検知	屋根上	可視光	○	○	○	○	○	○	○	○	無し	○	○	○	○	○	○	○	○	無し	0:06:38	0:03:00	0:02:20	○	○	全ポイントで全画像検知。
CASE02_08	煙の検知	-----	可視光																								煙でドローンが停止
CASE02_10	炎の検知	撮影P1	サーマル	○	○	○	○	×	○	○	○	無し	○	○	○	○	×	○	○	○	無し	0:04:33	0:03:00	0:00:36	○	○	撮影ポイント5で、全画像検知なし。
CASE02_13	破損の検知 壁	撮影P3	可視光	×	○	○	○	×	×	×	×	無し	×	○	○	○	×	×	×	×	無し	0:04:44	0:01:23	0:01:26	○	○	撮影ポイント5で、全画像検知なし。ポイント1,5~8で全画像検知なし。

8.2.3 実施項目 B 夜間 (17:00~19:00) の検証結果一覧

	検証内容		使用画像	検知した撮影ポイント								発報メール送信した撮影ポイント								フライト時間	フライト準備開始から離陸までの時間	解析開始からメール受信までの時間	検証結果		検証結果と考察		
	検証区分	位置		カメラ	1	2	3	4	5	6	7	8	検知死角有無	1	2	3	4	5	6				7	8		メール発報漏れ	対象検知
CASE03_00	なし		サーマル	×	×	×	×	×	×	×	×	無し	×	×	×	×	×	×	×	×	無し	0:03:42	0:12:37		-	-	全撮影ポイントで全画像検知なし。
CASE03_01	人の侵入検知	撮影P5	サーマル	○	○	○	○	○	○	○	○	無し	○	○	○	○	○	○	○	○	無し	0:04:56	0:00:30	0:01:37	○	○	撮影ポイント2で全画像誤検知（人が映っていないのに、検出）あり、発報。
CASE03_02	人の侵入検知	撮影P3	サーマル	○	○	○	○	○	○	○	○	無し	○	○	○	△	△	○	○	○	無し	0:04:22	0:00:54	0:01:52	○	○	撮影ポイント6で体の一部が建造物に隠れているが検知できている。7では体が見えていないが検知(誤検知)。8は、体の半分が隠れている1画像、1/4しか見えていない1画像、すべて隠れている3画像もすべて検知されている(誤検知) 撮影ポイント7で全画像、8で4画像誤検知（人が映っていないのに、検出）あり、発報。
CASE03_03	人の侵入検知	撮影P7	サーマル	○	○	○	○	○	○	○	○	無し	○	△	△	△	△	△	△	○	無し	0:06:26	0:01:16	0:01:25	○	○	撮影ポイント2・3・4で全画像誤検知（人が映っていないのに、検出）あり、発報。
CASE03_04	人の侵入検知	撮影P1	サーマル	○	○	○	○	○	○	○	○	無し	○	○	○	○	○	○	○	○	無し	0:04:12	0:01:02	0:01:24	○	○	撮影ポイント4・5・6で全画像誤検知（人が映っていないのに、検出）あり、発報。
CASE03_05	人の侵入検知	屋根上	サーマル	○	○	○	○	○	○	○	○	無し	△	○	△	△	△	△	△	○	無し	0:04:38	0:00:43	0:01:26	○	○	
CASE03_10	炎の検知	撮影P1	サーマル	○	○	○	○	○	○	○	○	無し	△	○	△	△	△	○	○	○	無し	0:04:53	0:01:42	0:00:34	○	○	全ポイントで全画像検知したが、撮影ポイント1で複数送信、撮影ポイント3~5の順番違いあり。
CASE03_11	人の侵入検知	柵外	サーマル	○	○	○	○	○	○	○	○	無し	△	△	△	△	△	△	△	△	無し	0:04:38	0:00:51	0:04:30	○	○	全撮影ポイントで全画像誤検知（人が映っていないのに、検出）あり、発報。

### 8.3 実施項目 C テストケース・評価項目毎の検証結果

※「検知した撮影ポイント」列に記入している記号は、○…検知画像が閾値以上 / △…検知画像が閾値未満 / ×…全ての画像で不検知 を表す。

※「発報メール送信した撮影ポイント」列に記入している記号は、○…メール受信 / △…複数メール受信や順番違いで受信 / ×…メール未受信 を表す。

※本実証では模擬火薬類取扱所の周りを 1 周することで死角なく監視できることを想定したため、撮影ポイントのいずれかで対象物（人あるいは煙・炎）を検知しメール発報できれば、「検証結果」列に○を記入。



8.3.1 実施項目 C 日中 (9:00~15:00) の検証結果一覧

ケースID	検証内容		検知した撮影ポイント								発報メール送信した撮影ポイント								メール 発報漏れ	走行時間	走行準備 開始から 出発までの 時間	解析開始 からメール 受信までの 時間	検証結果		検証結果と考察	
	検証区分	位置	1	2	3	4	5	6	7	8	検知 死角有	1	2	3	4	5	6	7					8	対象 検知		メール 発報
CASE01_00		なし	×	×	×	×	△	×	×	×	無し	×	×	×	×	×	×	×	×	無し	0:04:41	0:00:26	0:00:00	-	-	期待通りメールの発報なし。解析結果を確認したところ、40枚中1枚だけ人が検知されていた。 撮影ポイント5で1画像誤検知（人が映っていないのに検出）あったが、閾値以下だったため、発報に影響なし。
CASE01_01	人の侵入検知	撮影P5	×	×	○	○	○	×	○	×	無し	×	×	○	○	○	×	○	×	無し	0:05:27	0:00:09	0:02:40	○	○	撮影ポイント1,2,6,8で全画像検知なし。
CASE01_02	人の侵入検知	撮影P3	○	○	○	×	○	×	×	×	無し	○	○	○	×	○	×	×	×	無し	0:05:21	0:01:59	0:02:38	○	○	撮影ポイント4,6,7,8で全画像検知なし。
CASE01_03	人の侵入検知	撮影P7	○	×	×	×	○	○	○	○	無し	○	×	×	×	○	○	○	○	無し	0:05:33	0:01:12	0:02:36	○	○	撮影ポイント2,3,4で全画像検知なし。撮影ポイント8で、1画像誤検知（人が映っているのに未検出）あったが、閾値以上のため、発報に影響なし。
CASE01_04	人の侵入検知	撮影P1	○	○	○	×	×	×	○	○	無し	○	○	○	×	×	×	○	○	無し	0:05:34	0:00:05	0:02:40	○	○	撮影ポイント2で、1画像、8で2画像誤検知（人が映っているのに未検出）あったが、閾値以上のため、発報に影響なし。 <b>撮影ポイント4で全画像誤検知（人が映っているのに未検出）のため、未発報。</b> 撮影ポイント5,6で全画像検知なし。
CASE01_05	人の侵入検知	屋根上	○	○	△	△	○	×	△	○	無し	○	○	×	×	○	×	×	○	無し	0:05:24	0:00:06	0:02:53	○	○	屋根上の人を検出されているが、柵外と判定されてメールが発報されない場合あり。ISPIにて原因調査中。 撮影ポイント1で2画像、5で1画像、8で2画像誤検知（人が映っているのに未検出）があるが、閾値以上のため、発報に影響なし。 <b>撮影ポイント3で4画像、4で3画像、6で全画像、7で4画像誤検知（人が映っているのに未検出）のため、未発報。</b>
CASE01_08	煙の検知		○	○	○	○	○	○	○	○	無し	○	△	○	△	○	○	○	○	無し	0:05:18	0:00:28	0:01:03	○	○	AIクラウドシステムでメールが発報しない不具合があり、修正の上、手動でデータをアップロードしてメール発報されることを確認。撮影ポイント4で2画像、撮影ポイント5で1画像、撮影ポイント7で2画像誤検知（人が映っているのに未検出）あったが、閾値異常のため、発報に影響なし。
CASE01_08	煙の検知		○	○	○	○	○	△	○	○	無し	○	○	○	○	○	×	○	○	無し	0:05:11	0:00:11		○	○	撮影ポイント1で、2画像、4で2画像誤検知（人が映っているのに未検出）あったが、閾値以上のため、発報に影響なし。 <b>6で4画像誤検知（人が映っているのに未検出）あったため、未発報。</b>
CASE01_08	煙の検知		○	○	○	○	○	○	○	○	無し	○	○	○	○	○	○	○	○	無し				○	○	撮影ポイント1で、1画像、4で2画像誤検知（人が映っているのに未検出）あったが、閾値以上のため、発報に影響なし。
CASE01_10	炎の検知		△	×	×	×	×	×	×	×	無し	×	×	×	×	×	×	×	×	無し	0:04:59	0:00:03		△	×	撮影ポイント1で3画像、2で全画像、7、8で4画像誤検知（炎が映っているのに未検出）あり、未発報。撮影ポイント3~6は、全画像検知なし。
CASE01_11	人の侵入検知	柵外									無し	×	×	×	×	×	×	×	○	無し	0:05:32	0:00:01	0:02:42	○	○	AIクラウドシステムのリストになし。
CASE01_12	破損の検知 フェンス	フェンス	○	×	×	×	○	○	○	○	無し	×	○	○	○	×	×	×	×	無し	0:05:25	0:00:28	0:02:26	○	○	期待通りの方向から検知されている 撮影ポイント4,6,7,8で全画像検知なし。









### 8.3.2 実施項目 C 日没前後（15:00～17:00）の検証結果一覧







テストケースID	検証内容 検証区分	位置	検知した撮影ポイント								検知 死角有無	発報メール送信した撮影ポイント								メール 発報漏れ	走行準備 開始から 出発までの 時間	解析開始 からメール 受信までの 時間	検証結果		検証結果と考察	
			1	2	3	4	5	6	7	8		1	2	3	4	5	6	7	8				対象 検知	メール 発報		
CASE02_02	人の侵入検知	撮影P3									無し	×	×	×	×	×	×	×	×	無し			0:00:00	-	-	想定外に暗い画像であったため、解析処理を中断。 AIクラウドシステムのリストになし。
CASE02_10	炎の検知		○	○	○	△	×	○	○	×	無し	○	○	○	×	×	○	○	×	無し	0:05:23	0:00:05	0:01:25	○	○	撮影ポイント8では炎が見切れているため未検知。16:15頃の撮影。照度が低いので日没前後扱いとする 撮影ポイント6で2画像誤検知（炎が映っているのに未検出） あるが、閾値以上のため、発報に影響なし。撮影ポイント5、8 で全画像検知なし。撮影ポイント4で3画像誤検知（炎が 映っているのに未検出）あり、未発報。
CASE02_13	破損の検知 側面	撮影P3	×	○	○	○	×	×	×	×	無し	×	○	○	○	×	×	×	×	無し	0:05:36	0:00:06	0:02:57	○	○	撮影ポイント1,5,6,7,8で全画像検知なし。

## 8.4 実施項目 A 検知画像サンプル

※AIシステムで対象項目（人、煙、炎）と検知後、発報時に証拠として記録された画像データ。

※炎（日没前後）のケースのみ、発報に至らなかったため、炎検知時に記録された画像データ。

	南側カメラ	北側カメラ
人 (日中)	 侵入者の（前進パターン時の）退場を検知	 全パターンを検知
人 (日没 前後)	 全パターンを検知	 前進及び後進時の侵入者の入退場を検知
人 (夜間)	 両カメラで捉えられるカメラ画角。両側のカメラで検知	 両カメラで捉えられるカメラ画角。両側のカメラで検知
煙 (日没 前後)	 日が落ちてきて周辺の照度は若干下がっている状態だが、検知	 日が落ちてきて周辺の照度は若干下がっている状態だが、検知





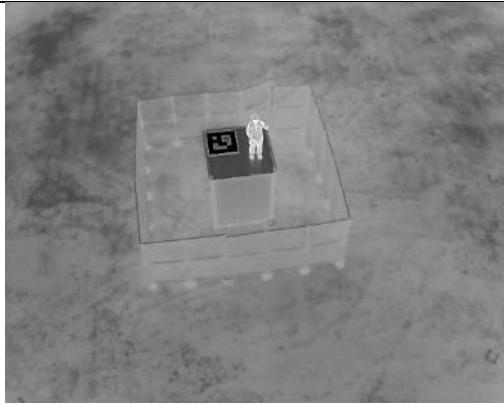
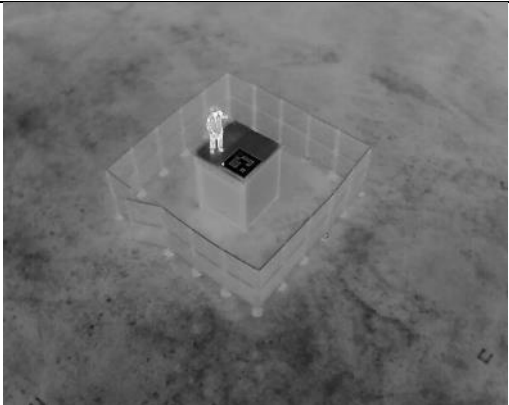
	南側カメラ	北側カメラ
煙 (夜間)		
両カメラに適したカメラ画角。両カメラで検知		
炎 (日没 前後)		見下ろし画角で検知しなかったため、証跡画像なし
炎を検知はしているものの、AI アプリに実装されている誤検知抑制フィルターにより連続した炎の発生と見做されず検知に至らなかった画像		
炎 (夜間)		見下ろし画角で検知しなかったため、証跡画像なし
南カメラでのみ検知		
炎 (夜間)		
IR 照射モードを使用。両カメラで検知		



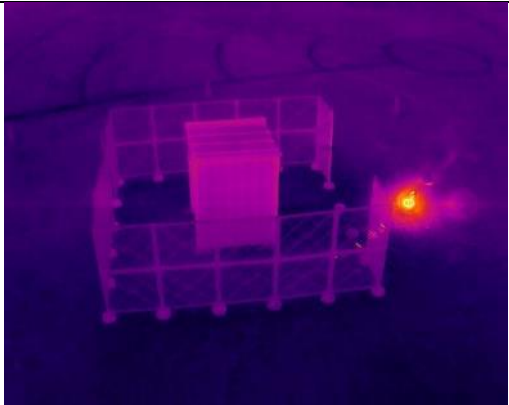


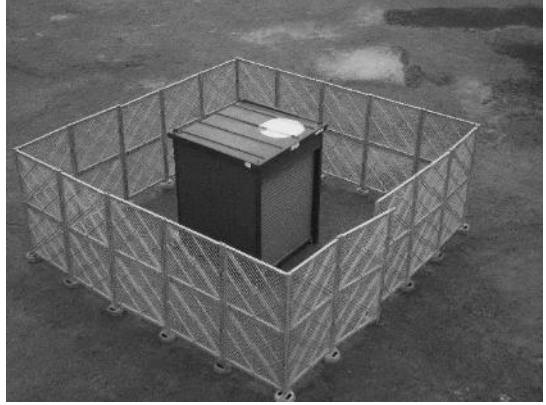
## 8.5 実施項目 B 及び C 対象別検知結果

※検知結果、実際の値欄の数値は、画像枚数を表す。F 値算出に使用するため、AIシステムで解析不可（対象物の有無の判定ができない）として除外された画像数は、含まない。






	実証B	実証C																																																																					
煙	<p>実施項目B（ドローン）：煙の検知結果</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="2">検知結果</th> <th colspan="2">精度評価</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th>煙有り</th> <th>煙なし</th> <th>適合率</th> <th>0.89</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">実際の値</td> <td>煙有り</td> <td>40</td> <td>0</td> <td>再現率</td> <td>1.00</td> </tr> <tr> <td>煙なし</td> <td>5</td> <td>43</td> <td>F値</td> <td>0.94</td> </tr> </tbody> </table>			検知結果		精度評価				煙有り	煙なし	適合率	0.89	実際の値	煙有り	40	0	再現率	1.00	煙なし	5	43	F値	0.94	<p>実施項目C（UGV）：煙の検知結果</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="2">検知結果</th> <th colspan="2">精度評価</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th>煙有り</th> <th>煙なし</th> <th>適合率</th> <th>0.97</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">実際の値</td> <td>煙有り</td> <td>104</td> <td>16</td> <td>再現率</td> <td>0.87</td> </tr> <tr> <td>煙なし</td> <td>3</td> <td>37</td> <td>F値</td> <td>0.92</td> </tr> </tbody> </table>			検知結果		精度評価				煙有り	煙なし	適合率	0.97	実際の値	煙有り	104	16	再現率	0.87	煙なし	3	37	F値	0.92																							
		検知結果		精度評価																																																																			
		煙有り	煙なし	適合率	0.89																																																																		
実際の値	煙有り	40	0	再現率	1.00																																																																		
	煙なし	5	43	F値	0.94																																																																		
		検知結果		精度評価																																																																			
		煙有り	煙なし	適合率	0.97																																																																		
実際の値	煙有り	104	16	再現率	0.87																																																																		
	煙なし	3	37	F値	0.92																																																																		
炎	<p>実施項目B（ドローン）：炎（日中）の検知結果</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="2">検知結果</th> <th colspan="2">精度評価</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th>炎有り</th> <th>炎なし</th> <th>適合率</th> <th>1.00</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">実際の値</td> <td>炎有り</td> <td>120</td> <td>5</td> <td>再現率</td> <td>0.96</td> </tr> <tr> <td>炎なし</td> <td>0</td> <td>75</td> <td>F値</td> <td>0.98</td> </tr> </tbody> </table> <p>実施項目B（ドローン）：炎（夜間）の検知結果</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="2">検知結果</th> <th colspan="2">精度評価</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th>炎有り</th> <th>炎なし</th> <th>適合率</th> <th>1.00</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">実際の値</td> <td>炎有り</td> <td>40</td> <td>0</td> <td>再現率</td> <td>1.00</td> </tr> <tr> <td>炎なし</td> <td>0</td> <td>40</td> <td>F値</td> <td>1.00</td> </tr> </tbody> </table>			検知結果		精度評価				炎有り	炎なし	適合率	1.00	実際の値	炎有り	120	5	再現率	0.96	炎なし	0	75	F値	0.98			検知結果		精度評価				炎有り	炎なし	適合率	1.00	実際の値	炎有り	40	0	再現率	1.00	炎なし	0	40	F値	1.00	<p>実施項目C（UGV）：炎（日中）の検知結果</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="2">検知結果</th> <th colspan="2">精度評価</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th>炎有り</th> <th>炎なし</th> <th>適合率</th> <th>1.00</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">実際の値</td> <td>炎有り</td> <td>27</td> <td>21</td> <td>再現率</td> <td>0.56</td> </tr> <tr> <td>炎なし</td> <td>0</td> <td>72</td> <td>F値</td> <td>0.72</td> </tr> </tbody> </table>			検知結果		精度評価				炎有り	炎なし	適合率	1.00	実際の値	炎有り	27	21	再現率	0.56	炎なし	0	72	F値	0.72
			検知結果		精度評価																																																																		
			炎有り	炎なし	適合率	1.00																																																																	
	実際の値	炎有り	120	5	再現率	0.96																																																																	
炎なし		0	75	F値	0.98																																																																		
		検知結果		精度評価																																																																			
		炎有り	炎なし	適合率	1.00																																																																		
実際の値	炎有り	40	0	再現率	1.00																																																																		
	炎なし	0	40	F値	1.00																																																																		
		検知結果		精度評価																																																																			
		炎有り	炎なし	適合率	1.00																																																																		
実際の値	炎有り	27	21	再現率	0.56																																																																		
	炎なし	0	72	F値	0.72																																																																		
破損	<p>実施項目B（ドローン）：破損の検知結果</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="2">検知結果</th> <th colspan="2">精度評価</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th>破損有り</th> <th>破損なし</th> <th>適合率</th> <th>1.00</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">実際の値</td> <td>破損有り</td> <td>69</td> <td>1</td> <td>再現率</td> <td>0.99</td> </tr> <tr> <td>破損なし</td> <td>0</td> <td>90</td> <td>F値</td> <td>0.99</td> </tr> </tbody> </table>			検知結果		精度評価				破損有り	破損なし	適合率	1.00	実際の値	破損有り	69	1	再現率	0.99	破損なし	0	90	F値	0.99	<p>実施項目C（UGV）：破損の検知結果</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="2">検知結果</th> <th colspan="2">精度評価</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th>破損有り</th> <th>破損なし</th> <th>適合率</th> <th>1.00</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">実際の値</td> <td>破損有り</td> <td>30</td> <td>0</td> <td>再現率</td> <td>1.00</td> </tr> <tr> <td>破損なし</td> <td>0</td> <td>90</td> <td>F値</td> <td>1.00</td> </tr> </tbody> </table>			検知結果		精度評価				破損有り	破損なし	適合率	1.00	実際の値	破損有り	30	0	再現率	1.00	破損なし	0	90	F値	1.00																							
			検知結果		精度評価																																																																		
		破損有り	破損なし	適合率	1.00																																																																		
実際の値	破損有り	69	1	再現率	0.99																																																																		
	破損なし	0	90	F値	0.99																																																																		
		検知結果		精度評価																																																																			
		破損有り	破損なし	適合率	1.00																																																																		
実際の値	破損有り	30	0	再現率	1.00																																																																		
	破損なし	0	90	F値	1.00																																																																		
人	<p>実施項目B（ドローン）：人（日中）の検知結果</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="2">検知結果</th> <th colspan="2">精度評価</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th>人有り</th> <th>人なし</th> <th>適合率</th> <th>1.00</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">実際の値</td> <td>人有り</td> <td>315</td> <td>6</td> <td>再現率</td> <td>0.98</td> </tr> <tr> <td>人なし</td> <td>0</td> <td>77</td> <td>F値</td> <td>0.99</td> </tr> </tbody> </table> <p>実施項目B（ドローン）：人（夜間）の検知結果</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="2">検知結果</th> <th colspan="2">精度評価</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th>人有り</th> <th>人なし</th> <th>適合率</th> <th>0.98</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">実際の値</td> <td>人有り</td> <td>148</td> <td>4</td> <td>再現率</td> <td>0.97</td> </tr> <tr> <td>人なし</td> <td>3</td> <td>125</td> <td>F値</td> <td>0.98</td> </tr> </tbody> </table>			検知結果		精度評価				人有り	人なし	適合率	1.00	実際の値	人有り	315	6	再現率	0.98	人なし	0	77	F値	0.99			検知結果		精度評価				人有り	人なし	適合率	0.98	実際の値	人有り	148	4	再現率	0.97	人なし	3	125	F値	0.98	<p>実施項目C（UGV）：人（日中）の検知結果</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="2">検知結果</th> <th colspan="2">精度評価</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th>人有り</th> <th>人なし</th> <th>適合率</th> <th>1.00</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">実際の値</td> <td>人有り</td> <td>238</td> <td>17</td> <td>再現率</td> <td>0.93</td> </tr> <tr> <td>人なし</td> <td>1</td> <td>123</td> <td>F値</td> <td>0.96</td> </tr> </tbody> </table>			検知結果		精度評価				人有り	人なし	適合率	1.00	実際の値	人有り	238	17	再現率	0.93	人なし	1	123	F値	0.96
			検知結果		精度評価																																																																		
			人有り	人なし	適合率	1.00																																																																	
	実際の値	人有り	315	6	再現率	0.98																																																																	
人なし		0	77	F値	0.99																																																																		
		検知結果		精度評価																																																																			
		人有り	人なし	適合率	0.98																																																																		
実際の値	人有り	148	4	再現率	0.97																																																																		
	人なし	3	125	F値	0.98																																																																		
		検知結果		精度評価																																																																			
		人有り	人なし	適合率	1.00																																																																		
実際の値	人有り	238	17	再現率	0.93																																																																		
	人なし	1	123	F値	0.96																																																																		

8.6 実施項目 B AI システム正解・不正解画像サンプル





	正解サンプル	不正解サンプル
人 (日中)	 <p>上半身の一部のみ視認できるが検知できている</p>	 <p>ほぼ全身が隠れたため、柵撮影画像 5 枚のうち 2 枚で未検出</p>
人 (日中)	 <p>屈んでシャッターを開けようとしている姿勢を検知している</p>	 <p>肩から下が柵に遮られ、柵撮影画像 5 枚のうち 1 枚のみ未検出</p>
人 (夜間)	 <p>どの角度からでも視認しやすい</p>	 <p>人は検知したが、人の影で AR マーカー未検出となり、検知対象領域（柵内）外と判定。この撮影ポイントでは発報せず</p>

	正解サンプル	不正解サンプル
煙 (日中)	 <p>視認しやすい</p>	 <p>地面の白線を、低スコアながら撮影画像5枚で煙と誤検知</p>
炎 (日中)	 <p>検知に十分な炎の大きさ</p>	 <p>柵のエッジに炎が遮られており、炎も消えかけていたため、これ以降の撮影ではすべて未検出</p>
破損 (日中)	 <p>斜めからでも検知できる</p>	 <p>日照状態によりドローン撮影が夜間撮影モードに自動的に切り替わり、グレースケール画像となった</p>

8.7 実施項目 C AI システム正解・不正解画像サンプル

	正解サンプル	不正解サンプル
<p>人 (日中)</p>	 <p>屈んで下半身が柵に隠れているが検知できている</p>	 <p>人が柵に遮られ視認しづらい撮影角度のため、撮影5枚中1枚のみ未検出</p>
<p>煙 (日中)</p>	 <p>曇天の空に同化し、視認しづらいが検知できている</p>	 <p>曇天の空に煙が同化し、撮影画像5枚のうち2枚は未検出</p>  <p>学校の壁で煙がほとんど視認できず、撮影画像5枚のうち4枚で未検出</p>



	正解サンプル	不正解サンプル
炎 (日中)	 <p>検知に十分な炎の大きさ</p>	 <p>炎が小さいため撮影画像 5 枚のうち 3 枚で未検出となり、次の撮影ポイントでも撮影画像 5 枚すべてで未検出となった</p>  <p>炎が柵に遮られほとんど視認できず、撮影画像 5 枚のうち 3 枚にて未検出</p>
破損 (日中)	 <p>斜めからで柵の厚みがあるが検知できている</p>	不正解なし