

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 5 :

IoT、センサー等を活用した設備の作動状況の定期点検の実証

パーソルプロセス&テクノロジー株式会社

2024年2月16日

目次

1. 技術実証の概要	3
1.1. 目的	3
1.2. 対象業務（法令）	4
1.3. 全体像	4
1.4. 実施体制・期間.....	7
1.4.1. 実施体制.....	7
1.4.2. 実施期間.....	7
2. 実施項目 A.....	8
2.1. 技術実証内容の詳細	8
2.1.1. 技術実証の方法	8
2.1.2. 実施場所等	20
2.1.3. 実施条件等	26
2.2. 技術検証の結果	32
2.2.1. 結果の評価ポイント・方法	32
2.2.2. 結果及び評価・分析.....	37
3. 実施項目 B.....	87
3.1. 技術実証内容の詳細	87
3.1.1. 技術実証の方法	87
3.1.2. 実施場所等	90
3.1.3. 実施条件等	95
3.2. 技術実証の結果	97
3.2.1. 結果の評価ポイント・方法	97
3.2.2. 結果及び評価・分析.....	99
4. 実施項目 C.....	118
4.1. 技術実証内容の詳細	118
4.1.1. 技術実証の方法	118
4.1.2. 実施場所等	122
4.1.3. 実施条件等	127
4.2. 技術実証の結果	129
4.2.1. 結果の評価ポイント・方法	129
4.2.2. 結果及び評価・分析.....	132
5. 実証全体総括.....	163
5.1. 実技実証の結果のまとめ.....	163
5.2. 現行業務のヒアリングから見える問題	166
5.3. 社会実装に向けた課題と方針.....	167
6. 用語集	170

1. 技術実証の概要

1.1. 目的

諸外国と比較して日本のデジタル化が遅れていることを踏まえ、2021年のデジタル庁の設置をはじめ、デジタル改革の推進体制が整備されていく中で、法令のアナログ的な規制に対する構造改革の推進のため、デジタル臨時行政調査会が2021年11月に設置された。同年12月には、デジタル社会の実現に向けた「構造改革のためのデジタル原則」が指針として策定された。

本実証の対象となる、計器類を多く装備する設備を保有するガス・石油を扱うプラントにおいては、施設、設備での定期的な点検、巡視において、最低限のセンシング技術は備わっているものの、現状、人による実施も数多く存在していると考えられる。ガス・石油等のプラントにおいては、「一般高圧ガス保安規則第6条、第55条、第60条、液化石油ガス保安規則第6条、第53条、第58条、コンビナート等保安規則第5条及び冷凍保安規則第9条に係る設備の定期点検（経済産業省）」に規定されている通り、1日に1回以上の設備や状況の点検が必要である。そのため、当該施設においては、専門職員の相当の負担があると考えられる。また、これらの施設においては、設備の高経年化や保安人材の不足に直面しており、保安体制の持続性の低下という課題を抱えている。

一方で、これらの産業保安分野においては、IoT、ドローン、AI等の先進技術を活用し、データ収集や事故予兆のための分析によるプラントの安全性や生産性の向上が進みつつあり、それに則した更なる保安業務の合理化が期待されている。本実証では、ドローン、AI等を用いた点検の実証を通じて、現場での技術導入における効果及び課題を取得し、検証を重ねることで、現場においてデジタル先進技術の導入をやすくするための一助としたいと考えている。

今後懸念される少子高齢化による生産年齢人口の減少という雇用情勢や、危険物が存在するプラントといった施設特有のリスクを踏まえると、高い安全管理を維持しながら属人的な部分を出来るだけ削減し、代替出来るデジタル技術へ転換していくことが急務と考えられる。

こうした背景を踏まえ、本実証要件である定期点検においては、現場の課題だけでなく社会的課題と合わせて解消出来るデジタル技術を模索することが重要と感じており、後述の観点・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出来る考える。

活用可能性のある技術の検討を行うにあたり、本実証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、ドローン、UGV（Unmanned Ground Vehicle）や固定カメラの撮影による常時及び定期点検技術、その収集情報に基づく画像解析やAI解析技術等のデジタル代替について、現行の人手による点検等を同等以上の精度にて判定が可能な性能を備えていることを実証した。その結果を、技術実証報告書としてとりまとめ、公開出来る部分については公表することでアナログ規制緩和の機運の醸成に貢献していきたいと考えている。

これらの技術については、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力化だけでなく、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繋がり、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力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。

1.2. 対象業務（法令）

一般高圧ガス保安規則第 6 条、第 55 条、第 60 条、液化石油ガス保安規則第 6 条、第 53 条、第 58 条、コンビナート等保安規則第 5 条及び冷凍保安規則第 9 条に係る設備の定期点検

1.3. 全体像

1.2 の対象法令に基づき、ガスなどを製造・取り扱う施設においては現状、各施設の従業員が使用開始時、運転中、使用終了時にそれぞれ点検項目に沿って設備の目視点検及び記録を行っている。本実証ではこれらの規制対応の内、「①ガス設備の情報収集」、「②ガス設備の動作異常検知」の 2 つへのデジタル技術活用を対象とし、ガスの製造・消費設備のうち、可視光カメラを搭載した「ドローン」と「UGV」、「固定カメラ」によって計器の指示値や配管などの撮影をし、可視光カメラとガス検知器を搭載した「UGV」の巡回により情報収集を行った。また、撮影した画像については手動で AI 解析環境にアップロードすることで異常検知の自動化を実証した。

具体的には、活用する技術や点検内容に応じて実施項目 A～C の方針で実施した（表 1）。実施項目 A ではコンビナートなどの広大な敷地面積を持つ施設の定期点検で実施されているような屋外の設備点検やガス漏洩点検をドローンと UGV で実施した。実施項目 B では中規模の設備の屋内の定期点検で実施されているような計器類の点検を、中型のドローンを使用して実施した。実施項目 C ではより小規模な施設の屋内の定期点検で実施されているような設備の劣化や計器類の点検を固定カメラによって実施した。各実施項目のシステムの全体像を図 1 及び図 2 に、対応する点検項目の内容を表 2 に示す。

表 1 実施項目一覧

実施項目	内容
A	ドローンと UGV によるプラントの設備巡視と AI による異常検知の自動化の実証
B	ドローンを使った計器の指示値の情報収集と AI による異常検知の自動化の実証
C	固定カメラによる計器の指示値や設備の外観の情報収集と AI による異常検知の自動化の実証

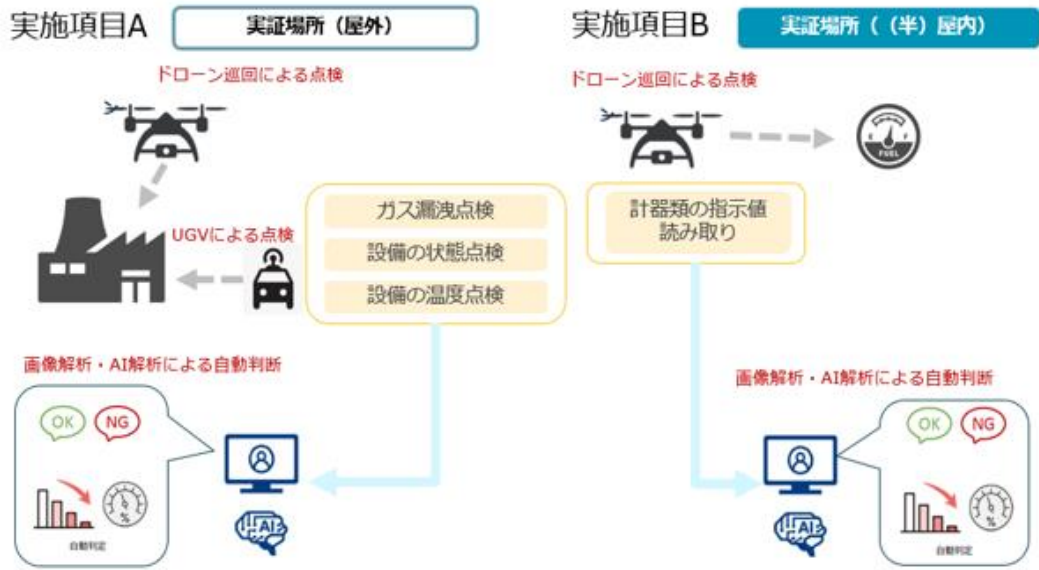


図 1 実施項目 A/B システム全体像

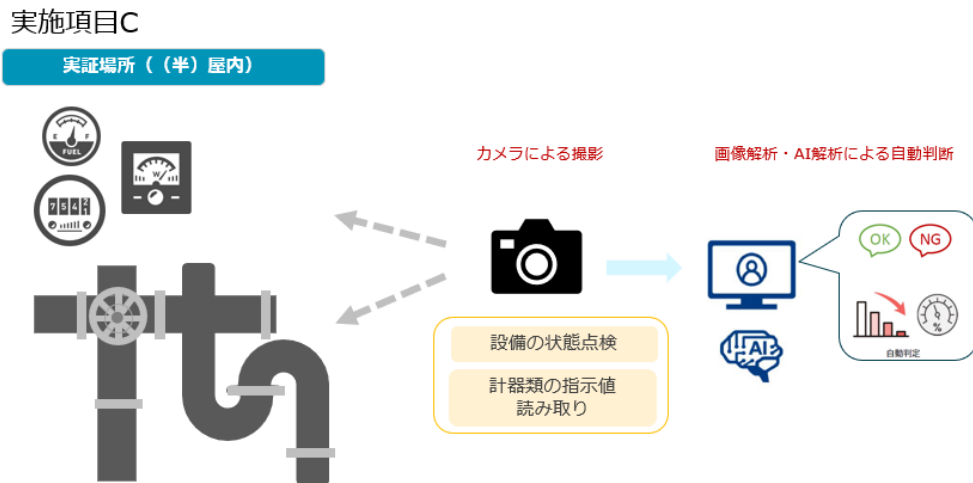


図 2 実施項目 C システム全体像

表 2 実施項目 A～Cと対応する定期点検の点検項目

		実証の対象となる業務（法令）		
		一般高圧ガス保安規則第 6 条、第 55 条、第 60 条、液化石油ガス保安規則第 6 条、第 53 条、第 58 条、コンビナート等保安規則第 5 条及び冷凍保安規則第 9 条に係る設備の定期点検		
実施項目		① 実施項目 A	② 実施項目 B	③ 実施項目 C
実証の内	設備の動作異常の検知に資する情報の収集	ドローンと UGV による情報収集	ドローンによる情報収集	固定カメラによる情報収集

	設備の動作異常の検知	AI を使った異常検知/ ガス検知器を使った異常検知	AI を使った異常検知	AI を使った異常検知
	定期点検の点検項目*1,3	1.2,(4), 1.3(5),2.2(4),(7) 緊急遮断および緊急放出装置、通報設備、除害設備、静電気防止および除去設備その他の保安設備の機能,等 1.2(6),2.2(1)製造設備の全般における漏えいの有無 2.2(5) 回転機械の振動、異常音、異常昇温その他の駆動状況	2.2(2) 製造設備の中にある内容物の状況、等	1.2,(4) 1.3(5) 緊急遮断および緊急放出装置、通報設備、除害設備、静電気防止および除去設備その他の保安設備の機能,等 ,1.3(5),2.2(2) 製造設備の中にある内容物の状況、等
	高圧ガス保安法第35条の2に係る施設の定期自主検査の点検項目*2,3	—	—	5.1.1.1 計装設備 温度計の目視検査 6.14.1 防消火設備の目視検査

※1 参考：経済産業省「[一般高圧ガス保安規則の機能性基準の運用について](#)」、p126~p128

※2 参考：高圧ガス保安協会「[保安検査基準（一般高圧ガス保安規則関係（スタンド及びコールド・エバポレータ関係を除く。））](#)」、p17,p27

※3 記載点検項目の内容の一部にのみ対応する場合も含める。

1.4. 実施体制・期間

1.4.1. 実施体制

パーソルプロセス&テクノロジーズ株式会社(以降、パーソル P&T)配下に、以下の事業者が参画し、実証を行った。

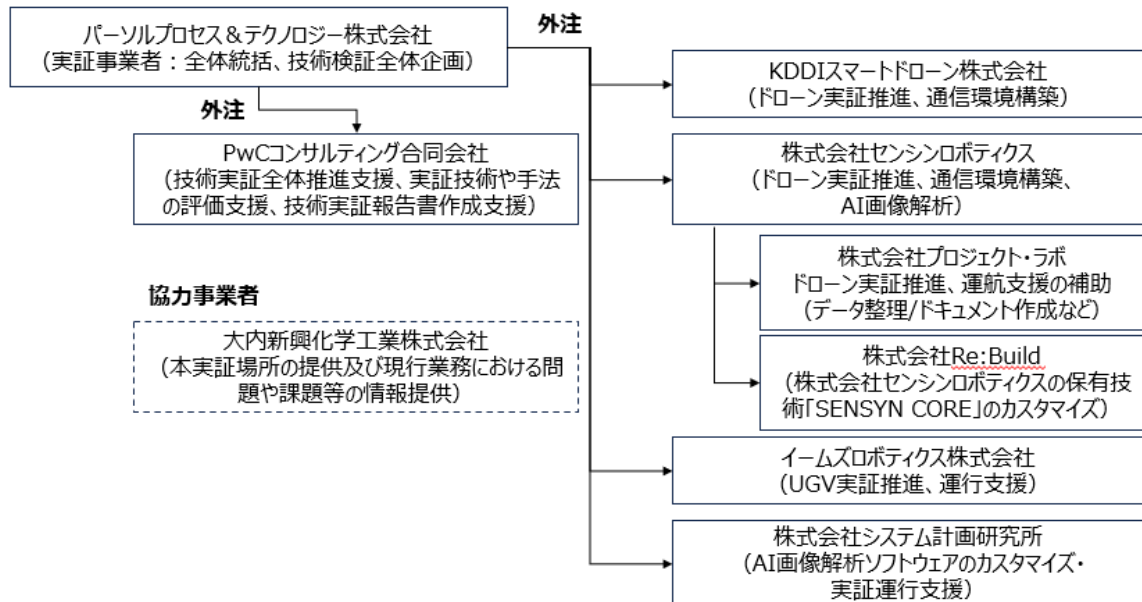


図 3 実施体制

1.4.2. 実施期間

令和 5 年 11 月 17 日から令和 6 年 2 月 16 日

2. 実施項目 A
2.1. 技術実証内容の詳細
2.1.1. 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

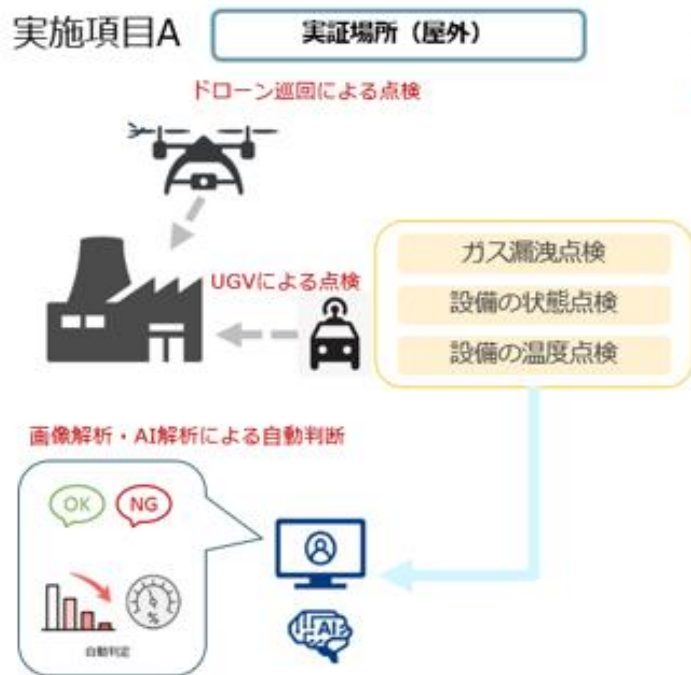


図 4 実施項目 A システム全体像

(2) 実証の構成

実稼働している工場の屋外を実証フィールドとして、設備の配置や巡視点検箇所的位置を考慮した上で、可視光カメラとサーマルカメラを搭載したドローンと、可視光カメラとサーマルカメラ及びガス検知器を搭載した UGV のそれぞれを用いて点検対象に関する写真画像を取得した。また、取得された画像データに対して AI による画像の自動解析を行い、異常検知を実施した。

本実証項目では AR マーカー（現実空間における物体の位置や角度を把握するために用いる目印のこと、図 21 参照）を検知対象物付近に設置し、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目的である。

本実証項目では情報取得（検知対象物の撮影）にはドローンと UGV を使用したが、人によるプロポでの操縦を行った。これらの機材による撮影画像は SD カード経由で人がカメラからの取り出しと解析用 PC への取り込みを行った。また、AI 解析用クラウドへのアップロードの自動化に必要な前処理（画像とアップロード用フォルダの整理）を人手で行う必要があったが、アップロードから解析および解析結果のダウンロードまでを自動化した。本実証項目では、デジタル技術を使って取得

したデータを用いて目視と同等の点検精度を確保できるかの確認に焦点をあて、ドローンの自動航行を含む点検作業全体のデジタル化よりも精度に影響を与える要因の特定を優先したが、情報取得部分の自動化は省力化や経済性の観点から必要性が高い。そのため本実証項目内で Dock 付きのドローンを使用した実証フィールド内の自動航行も行い、情報取得の自動化自体は可能であることも実証した。また、解析のために必要な学習データは、実証の 1 カ月程度前に実証フィールドで複数パターンの画角、検知対象物の状態や日照条件の下に撮影した。

ガス漏れ検知の実証も実稼働している工場内で行った。工場内で実際にガス漏れを再現することは難しいため、ガス漏れ検知の実証ではガス漏れの状況を再現するためにメタンガスを詰めた袋を配置した上で、レーザー式ガス検知器を搭載した UGV を実証フィールド内で走行させた。ガスが検知されれば、ガス検知器の LED が発光する仕組みとなっている。UGV に搭載したカメラにより、リアルタイムに配信される動画モニターを少し離れた場所に設置し、モニター上で LED の発光を目視確認することでガス漏れの有無を確認した。(図 23、図 45 を参照)

(3) 開発・活用した要素技術

(ア) ドローン (無人航空機)

① DJI Matrice30T



図 5 DJI Matrice30T

表 3 DJI Matrice30T 機器仕様

項目	内容
重量	約 3.7kg (バッテリー搭載時)
最大離陸重量	4kg
最大ペイロード	-
サイズ (長さ×幅×高さ)	展開状態(プロペラ除く):470×585×215 mm(長さ×幅×高さ)
最大上昇速度	6m/s
最大下降速度	5m/s
最大飛行速度	23m/s

最大風圧抵抗	15m/s 12m/s (離着陸時)
運用限界高度 (海拔)	5,000 m (1671 プロペラ) 7,000 m (1676 プロペラ)
最大飛行時間	41 分
GNSS	GPS+Galileo+BeiDou+GLONASS
動作環境温度	-20℃~50℃
保護等級	IP55

表 4 ドローン搭載カメラ仕様

項目	内容
サーマル撮像素子	非冷却 VOx マイクロボロメータ
サーマルカメラレンズ	DFOV (対角視野) : 64° 焦点距離 : 9.1 mm (35 mm 判換算 : 40 mm) 絞り : f/1.0 フォーカス : 5 m~∞
赤外線温度測定の精度	±2℃ または ±2% (大きいほうの値を使用)
ズームカメラセンサー	1/2 インチ CMOS、有効画素数 : 48M
ズームカメラレンズ	焦点距離 : 21~75 mm (35 mm 判換算 : 113~405 mm) 絞り : f/2.8-f/4.2 フォーカス : 5 m~∞
広角カメラセンサー	1/2 インチ CMOS、有効画素数 : 12M
広角カメラレンズ	DFOV : 84° 焦点距離 : 4.5 mm (35 mm 判換算 : 24 mm) 絞り : f/2.8 フォーカス : 1 m~∞

なお、実施項目 A ではドローンの自動航行による点検箇所の撮影はスコープ外であるが、実証当日、工場においてドローンの自動航行が可能であることを部分的に確認するために※1「Skydio X2 (ドローン機体)」及び、※2「Skydio Dock for X2 (ドローンポート)」、※3「Starlink (衛星通信サービス)」を使用した。参考までに要素技術の情報を以下に記す。

② Skydio X2 ※1



図 6 Skydio X2

表 5 Skydio X2 機器仕様

項目	内容
飛行時間	35 分
飛行サイズ (アンテナ含まず)	663mm×569mm×211mm
収納サイズ (バッテリー無)	302mm×141mm×91mm
重量	1,325g
可視カメラ	静止画 1200 万画素、動画 4K/60fps 16 倍デジタルズーム
赤外線カメラ	FLIR Boson ® 320x256 LWIR thermal imager 8 倍ズーム
位置補正	GPS+VIO+SLAM
障害物検知	全方向 (魚眼レンズ×上下 6)
最大通信距離	3km
通信暗号化	AES-128/256
メディア暗号化	Securstor AES Encryption microSD cards

③ Skydio Dock for X2 ※2



図 7 Skydio Dock for X2

表 6 Skydio Dock for X2 機器仕様

項目	内容
サイズ	ドックのみ : 63.9 x 61.8 x 31.0 cm
重量	32.7 Kg (土台無し) 46.3 Kg (土台含む)
耐候性	IP56 バッテリーの充電時間を最小限にするために加熱・冷却システムを統合
動作温度範囲	運用時: -20 ~ 43°C 格納時 (スタンバイ) : -40 ~ 60°C
充電時間	45 分 (20%-90%)
耐風性 (離着陸時)	20 ノット (23 mph, 10.3 m/s)
入力電源	1000W, 240 VAC, 50-60Hz universal input, 20 Amp 3-wire cord3
伝送距離	Wi-Fi 環境に依存。ドローンとドックは直接通信しない。

④ Starlink ※3



図 8 Starlink

表 7 アンテナ機器仕様

項目	内容
アンテナ	電子フェーズドアレイ
視野	100°
方向	モーター駆動セルフオリエンテッド
重量	2.9kg ケーブルなし 3.6kg : 5.2m ケーブル付き
環境定格	IP54
使用温度	動作温度 : -30°C~50°C
耐風能力	動作時 : 時速 80 キロ以上
融雪能力	最大 40 mm/時
消費電力	平均 50-75 W

表 8 ルーター機器仕様

項目	内容
Wi-Fi テクノロジー	802.11ac デュアルバンド
世代	Wi-Fi 5
無線	デュアルバンド-3 x 3 MIMO
動作温度	-30°C~50°C
重量	1kg

セキュリティ	WPA2
動作範囲	185m ² まで 設置場所、干渉、建材により異なる
環境定格	IP54
メッシュ互換性	最大 12 台のスターリンクノードに対応
デバイス	最大 128 台のデバイスを接続可能

(イ) UGV（無人地上車両）

① UGV R-201（イームズロボティクス株式会社）

本実証で使用する UGV として、既存の UGV のカスタマイズ開発を行った。具体的には、使用する環境や目的に沿った開発要件定義、部材調達、機体設計（コントローラー、GNSS、ガス検知器、カメラの取り付け位置検討）、機体製作と各要素の組み込み、動作確認（プロポでの手動操縦、GNSS 測位の確認、自律走行テスト）を実施した。

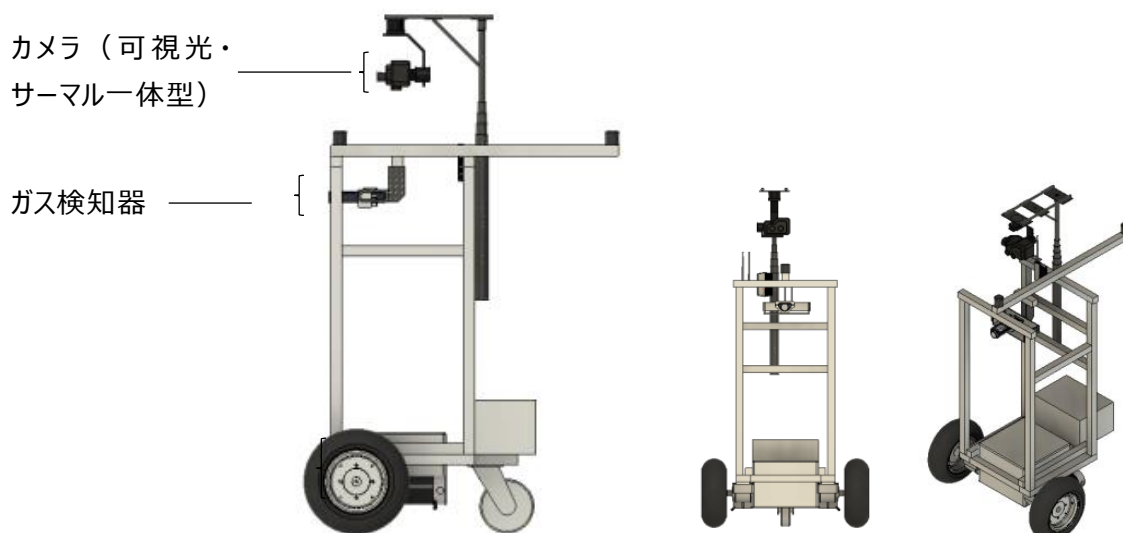


図 9 UGV R-201

表 9 UGV R-201 機器仕様

項目	内容
サイズ	870 × 630 × 420mm
サイズ(ホイールベース)	510mm
本体重量	40kg
最大積載重量	100kg
走行時間	45 分
最大速度	約 6km/h
防滴性能	あり

パイロットシステム	コントローラー
	Pixhawk2
	自動走行装置：有
	テレメトリー機能：有 (プロポ及び PC)
送信機	双葉電子工業製

② UGV R-201 搭載赤外カメラ Duo®ProR (テレダインフリアー社製)



図 10 UGV R-201 搭載赤外カメラ Duo®ProR

表 10 UGV R-201 搭載赤外カメラ Duo®ProR 機器仕様

項目	内容
サイズ	87mm×82mm×69mm
センサー	非冷却マイクロボロメータ
赤外線センサー解像度	336×256 または 640×512
波長帯域	7.5~13.5µm
可視光センサー解像度	4000×3000
フレームレート	30Hz
重量	325g (375g)
FOV 別レンズオプション	QVGA3 種類、VGA3 種類から選択可能
表示モード	赤外線のみ、可視光のみ、ピクチャー・イン・ピクチャー
PWM (3 チャンネル)	MAVLink にてリモート制御が可能

③ UGV R-201 搭載ガス検知器レーザーメタン SMART（新コスモス電機株式会社製）



図 11 UGV R-201 搭載ガス検知器 レーザーメタン SMART

表 11 UGV R-201 搭載ガス検知器 レーザーメタン SMART 機器仕様

項目	内容
検知対象ガス	メタン、メタン含有ガス（天然ガスなど）
検知範囲	1 ～ 50,000 ppm-m
検知精度	±10 % 検知距離:2m、反射物:専用反射板、100ppm-m 及び 1,000ppm-m 検知時の精度
検知応答速度	0.1 秒
検知距離	0.5 ～ 30 m 検知距離によって誤報無く検知出来るコラム密度は変化
電源供給	パナソニック製 単三形ニッケル水素電池
レーザーの安全基準	IEC60825-1：2014 に準拠 ガイドレーザー光（緑） 出力値：5mW（Class 3R）以下 測定用レーザー光 出力値：10mW（Class1）以下
動作温度範囲	-17 ～ 50 ℃
寸法、質量	W55×H200×D53mm、500g（電池含む）

(ウ) AI 検知ソフトウェア

本実証項目では株式会社システム計画研究所（ISP）の既存の3つのソフトウェア（ひびこ、ISP Vision Library、ISP edgeAI）をカスタマイズして実証を行った。開発した解析プログラム

毎の活用したソフトウェア及び実施したカスタマイズ内容を表 12 に示す。

表 12 解析プログラム毎のカスタマイズ内容

項目	使用している技術	カスタマイズ内容
全解析 プログラム共 通	—	<ul style="list-style-type: none"> ・ 画像出力処理機能の追加 ・ 処理時間の計測 ・ AR マーカーによる対象箇所切り出し処理との結合 (バルブ開閉検知・アナログ計器読み取りを除く)
バルブ開閉 検知	<ul style="list-style-type: none"> ・ ISP Vision Library (AR マーカー検出機能) をカスタマイズ 	<ul style="list-style-type: none"> ・ ISP Vision Library (AR マーカー検出機能) により取得した対象物の角度情報から、開閉の判断を行う機能の追加
ガス漏洩警報 設備 ON/OFF 検知	<ul style="list-style-type: none"> ・ ISP Vision Library をカスタマイズ 	<ul style="list-style-type: none"> ・ ISP Vision Library に含まれるパトランプ検出機能 (屋内用) を本実証の課題に合わせ調整 ・ 今回の機材、設置環境に合わせ、本実証用に取得した学習データを用いた再学習 ・ 本実証で設定した閾値の調整
ガス漏洩警報 設備劣化検知	<ul style="list-style-type: none"> ・ ISP Vision Library (AR マーカー検出機能) をカスタマイズ ・ ひびここをカスタマイズ 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 前処理を本実証の課題にあわせ修正 ・ 本実証用に取得した学習データを用いた再学習 ・ 劣化有無判定ロジックを本実証の課題にあわせ修正
配管劣化 検知	<ul style="list-style-type: none"> ・ ISP Vision Library をカスタマイズ 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 錆検出アルゴリズムを今回の課題に合わせ修正
設備の異常昇 温検知	<ul style="list-style-type: none"> ・ ISP Vision Library (AR マーカー検出機能) をカスタマイズ ・ ISP edgeAI 計器自動読み取りソフトウェア 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 本実証で使用したサーマルカメラへの対応 ・ 異常昇温判定ロジックを今回の課題に合わせ修正

① ひびここ（株式会社システム計画研究所（ISP））

コンクリート構造物等の撮影画像から、ひび割れ検出を実現するための学習機能を持った解析ソフトウェアで、使用する環境や用途に合わせてカスタマイズが可能である。本実証では、ガス漏洩警報設備の劣化検知に利用した。

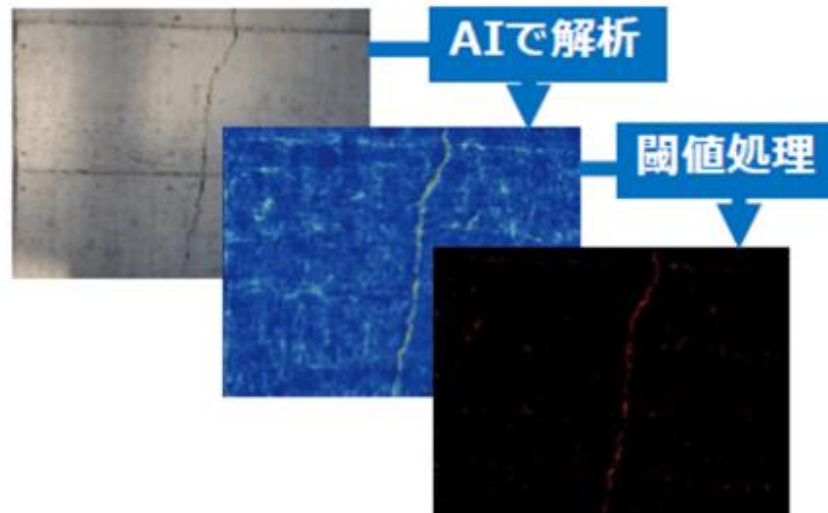


図 12 ひびここ

② ISP Vision Library（株式会社システム計画研究所（ISP））

異常状態検知、物体検出、骨格推定、分類、領域分割、画像解析等で活用される画像や映像の解析に関するライブラリ。本実証では、AR マーカー検出機能をカスタマイズして使用している。他、ガス漏洩警報設備の ON/OFF 検知や、配管劣化検知において、本実証の課題に合わせて、ISP Vision Library の再学習やアルゴリズムの調整を行い利用した。



図 13 ISP Vision Library

③ ISP edgeAI（株式会社システム計画研究所（ISP））

特定用途向けの AI を小型の端末に搭載することで、人流解析や手洗い自動判別などに活用されているライブラリ。本実証では、設備の異常昇温検知において、ISP edgeAI の異常昇温判定ロジックを本実証の課題に合わせて修正し利用した。

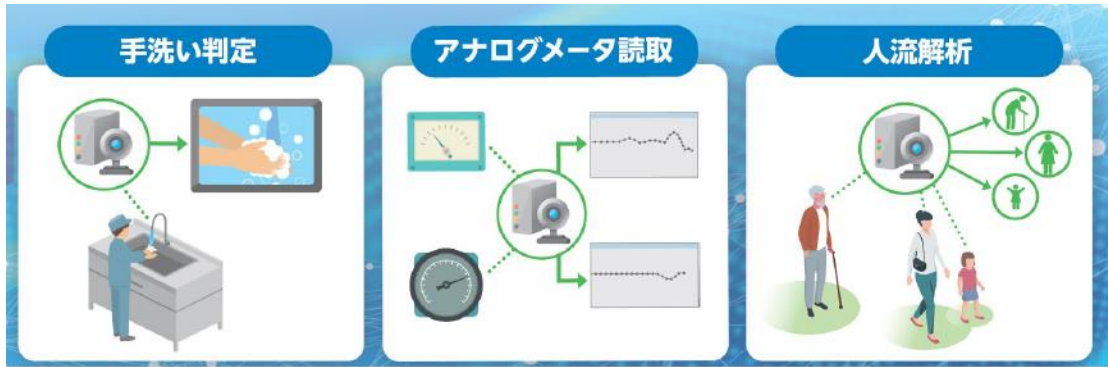


図 14 ISP edgeAI

④ AI 解析環境（株式会社システム計画研究所（ISP））

AIによる画像解析は、ドローンとUGVに搭載したカメラからそれぞれSDカードを取り出し、PC経由でAI解析用クラウドにアップロードする。撮影画像ファイルはクラウドAIシステム上で対象種別毎に該当する解析プログラムで処理された結果、処理結果画像ファイルが生成され、処理結果画像ファイルはPCに自動でダウンロードされる。解析プログラムは株式会社システム計画研究所のひびこ、ISP Vision LibraryとISP edgeAIをカスタマイズ開発し、検知対象に合わせたプログラムとなっている。本実証では、必要十分な開発期間がないためドローン及びUGVによるデータ取得からAI解析する一連を自動化することはしていない。

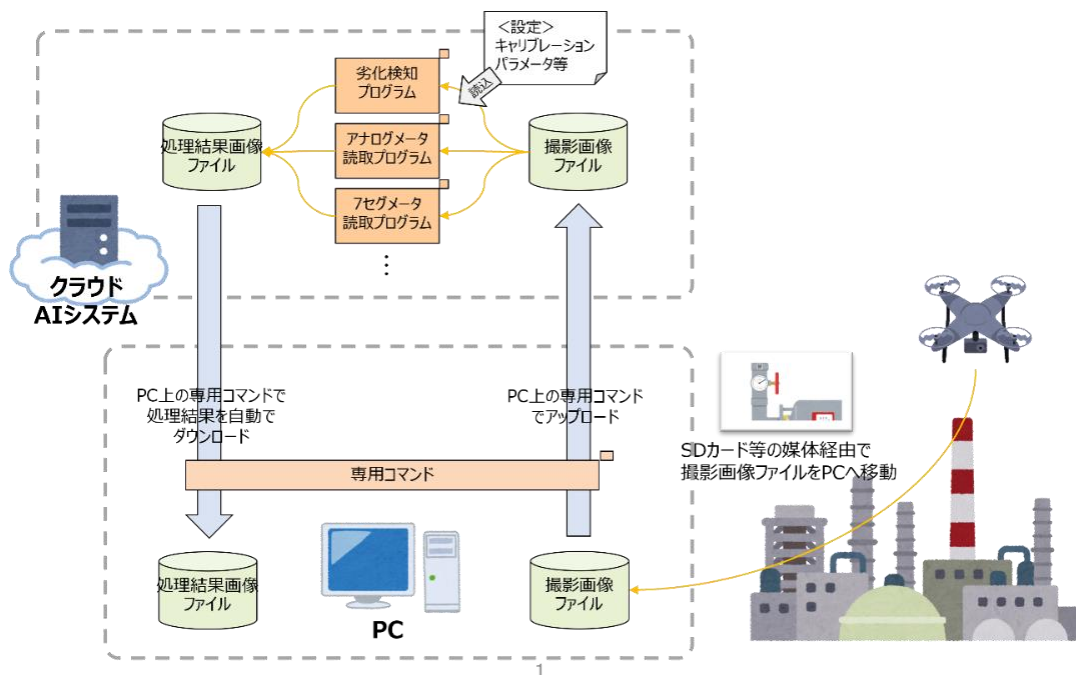


図 15 AI 解析環境 システム構成

2.1.2. 実施場所等

(1) 実施場所

本実証における実証場所としては、ドローンにおける飛行制限区域に問題がない箇所かつ UGV を走行させるのに十分な施設道を保有するプラントを選定した。

実施場所 名称：大内新興化学工業株式会社 原町工場

実施場所 住所：福島県南相馬市原町区小浜字狐沢 1 番地



図 16 大内新興化学工業株式会社 原町工場



図 17 ドローン飛行・UGV 走行経路（青破線）、写真画像取得箇所（赤点）



図 18 現地確認箇所図※

※本実証では実証フィールドを 3 つのエリアに分け、各エリアに設置された検知対象設備を整理して行った。これは実証での効率的な人の配置やタイムテーブルの作成の他、エリアにより日照条件や風速が違う実証フィールドで、可能な限り全ての検知対象物を異なった環境下で撮影するための措置である。

(2) 検知対象項目

本実証で写真画像を取得し AI による解析を行う施設の対象を以下に示す。

- ・ ボールバルブのハンドルから開閉状態の検知
- ・ ガス漏洩等の検知警報設備の状態（ON/OFF、劣化等）検知
※劣化は傷を模したシールを設備表面に貼り付けて再現を行った。
- ・ 設備の劣化（腐食、亀裂、その他損傷）の検知
- ・ 設備の温度：ポンプなどのモーター（回転機械）設備の異常昇温の検知
- ・ ガス漏洩の有無の検知 ※UGV でのみ実施







エリア	検知対象番号	画像	点検項目	備考
A	51		回転機械の異常昇温	通路から見て右に設置されたモーター
A	52		回転機械の異常昇温	通路から見て左に設置されたモーター
B	11		バルブ	本画像に写っている円形のハンドルのバルブのうち、当日操作可能な一方
B	12		バルブ	当日操作可能な一方
C	13		バルブ	当日操作可能な一方
C	14		バルブ	上側のバルブ

図 19 検知対象エリアと検知対象番号一覧※

※対象エリアは、2.1.2 現地の実施場所等の図 18 を参照。

エリア	検知対象番号	画像	点検項目	備考
C	21		設備のON/ OFF	当日操作可能な一方
C	22		設備のON/ OFF	ランプのON/OFF (持ち込み機材)
C	31		設備の劣化	傷を模したシールを 張り付ける (持ち込み機材)
C	41		配管の劣化	錆なし・腐食なし
C	42		配管の劣化	錆あり・腐食なし
C	43		配管の劣化	錆あり・腐食なし

図 20 検知対象エリアと検知対象番号一覧※

※対象エリアは、2.1.2 現地の実施場所等の図 18 を参照。

(3) 実証当日の準備、撮影の様子

(ア) DJI Matrice30T による撮影準備

- ・ 機体搬入
- ・ 機体の開梱及び設定（開梱、各種設定、通信環境確認等）
- ・ 飛行の動作確認
- ・ カメラの設定作業

(イ) 参考：Skydio Dock for X2 を利用した場合の撮影準備

- ・ 機体搬入
- ・ Dock 及び Starlink、ルーター等の設置
- ・ ネットワークの疎通、通信確認
- ・ 機体の Dock への格納、通信確認
- ・ 飛行の動作確認
- ・ 自動航行ルートの作成（Remote OPS による設定や映像の確認、ウェイポイント動作の確認）

(ウ) UGV R-201 による撮影準備

- ・ UGV 搬入
- ・ 搬送用に取り外したカメラ等の UGV への組み込み
- ・ プロポを用いた機体の手動動作確認（舵を入れての操作確認、カメラの撮影確認）

(エ) AI システムによる解析準備

- ・ PC のセッティング
- ・ 検知対象物付近への AR マーカーの設置



図 21 撮影準備の様子



図 22 ドローンによる撮影の様子

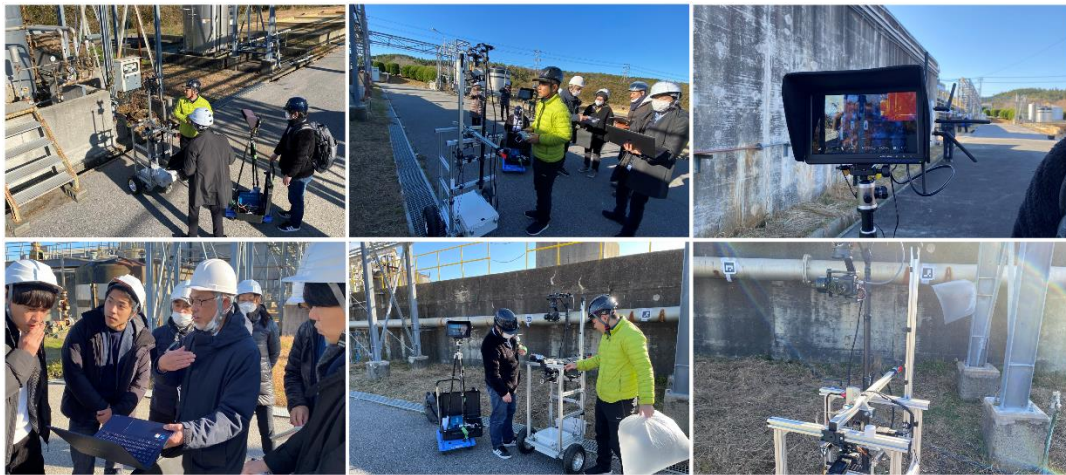


図 23 UGV による撮影の様子

(4) 実施期間・タイムスケジュール

実施項目 A の全体スケジュールは以下の通りである。

- ・ 機体手配・申請・調整：2023年11月17日(金)~11月27日(水)
- ・ 現地確認作業：2023年11月21日(火)
- ・ AI学習データ取得：2023年11月30日(木)~12月1日(金)
- ・ AI構築：2023年12月5日(月)-12月22日(金)
- ・ 実証実施：2023年12月26日(火)-12月28日(木)

表 13 現地確認及び AI 学習データ取得 タイムスケジュール

事前準備	日程	タイムスケジュール
1日目	2023年11月21日(火)	準備：11:30~12:00

		現地確認：12:00~15:30 片付け・撤収：15:30~16:00
2日目	2023年11月30日(木)	準備：9:00~9:30 AI学習データ取得：9:30~15:30 片付け・撤収：15:30~16:00
3日目	2023年12月1日(金)	準備：8:00~9:00 AI学習データ取得：9:00~15:00 片付け・撤収：15:00~16:00

表 14 技術実証 タイムスケジュール

実証	日程	タイムスケジュール
1日目	2023年12月26日(火)	準備：8:00~9:30 ドローン実証：9:30~15:30 片付け・撤収：15:30~16:00
2日目	2023年12月27日(水)	準備：8:00~9:00 ドローン実証：9:00~15:30 片付け・撤収：15:30~16:00
3日目	2023年12月28日(木)	準備：8:00~9:00 UGV実証：9:00~15:00 片付け・撤収：15:00~16:00

(5) 有識者ヒアリング

2023年12月13日に大内新興化学工業の関係者に対し、現行における工場・プラントの巡視点検業務について、有識者ヒアリングを行った。

- ・ 実施日時：2023年12月13日(水) 14:00~15:30
- ・ 実施場所：大内新興化学工業株式会社 原町工場（福島県南相馬市原町区小浜字狐沢1番地）
- ・ 参加者：大内新興化学工業従事者、パーソルP&Tメンバー、PwCメンバー
- ・ ヒアリング観点：現行の工場・プラントの巡視点検業務について、本実証の評価観点である①精度、②省力化(作業工数、属人性)、安全性、経済性、導入/運用の容易性等の観点でヒアリングを行った。

2.1.3. 実施条件等

(1) DJI Matrice30Tによる撮影方針・条件

DJI社のPilot2を利用し撮影範囲を指定して飛行を行い、対象の撮影を行った。現地の天候状況等に応じて適宜、プロポによる介入を実施した。

(ア) 撮影場所の事前現地確認と AI 学習データ取得

① 撮影場所の事前現地確認

11 月 21（火）に事前現地確認を行った。各撮影対象のポンプ、ボールバルブのハンドル、錆・腐食箇所の位置を確認し、AI 学習データの要件定義のための画像データは、搭載されるカメラのセンサーと焦点距離及び画像解像度から計算をし、プロボを用いた撮影により写真画像の取得を行った。なお AI 学習データの要件定義のための画像データの解像度は、0.4 mm/pix（一辺 2cm に 50pix が含まれる画像）とした。

② AI 学習データ取得

11 月 30 日（木）～12 月 1 日（金）に事前現地確認にて確認した撮影距離と撮影位置をもとに、AI 学習のための学習データ取得を行った。事前現地確認では、SkydioX2 を使用して画像を取得したが、本実証で採用した AI では、取得される画像の解像度と解析対象物へのフォーカスが判定精度の向上につながるため、AI 学習データ取得では、DJI 社の Matrice30T に変更して画像を取得した。SkydioX2 と比較して Matrice30T の画像解像度に大きな違いは見られないが、カメラのセンサーサイズが Matrice30T のほうが大きく、光をたくさん取り込むことができるため、より高画質な画像かつ高感度耐性が高く、ノイズが少なく、綺麗な画像を取得することが可能である。また AI モデル構築のために検知対象の正面のみならず、以下に示す複数パターンについて、1 検知対象毎に 10 枚～20 枚の画像を取得した。

- ・ 撮影対象に対して、斜めからの撮影（上下左右）
- ・ 画面中心からのずれ（上下左右）

AI 学習データ取得時の具体的な確認項目は以下の通りである。

- ・ 撮影画像取得に必要なカメラ位置（高さ、距離）
- ・ 撮影条件（天候、日照条件）
- ・ バルブ閉じ具合（0 度、45 度、90 度、一部で 10 度と 80 度）
- ・ 腐食、劣化（腐食なしは汚れ・塗装による起伏、色味のパターンを確保）
- ・ 異常温度検知
- ・ カメラキャリブレーション（焦点距離の決定）
- ・ ドローンの経路と撮影順序

③ 写真画像の取得方法

DJI Matrice30T を使い、UGV 稼働状況や天候等の現地状況を考慮して、各検知対象物の写真画像を取得した。取得した画像データは、ドローン本体またはプロボから SD カードを通じて、解析用 PC にコピーをして、クラウド上の AI 解析アプリ（ISP Vision Library とひびここをカスタマイズした本実証用アプリケーション）にアップロードした。

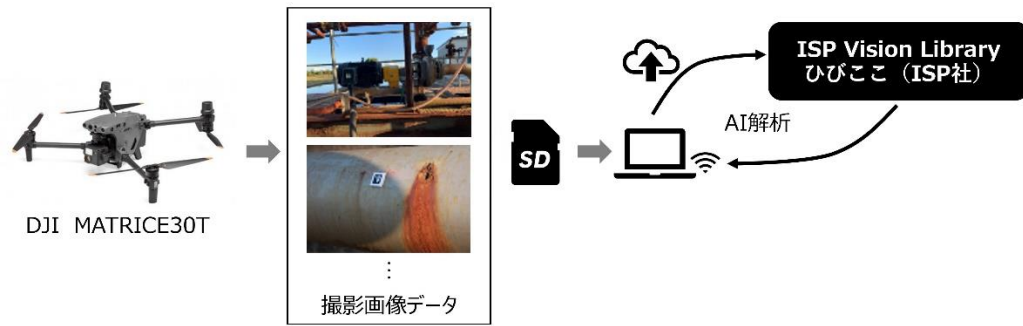


図 24 環境構成

(イ) ドローンによる情報取得から異常検知までのフロー

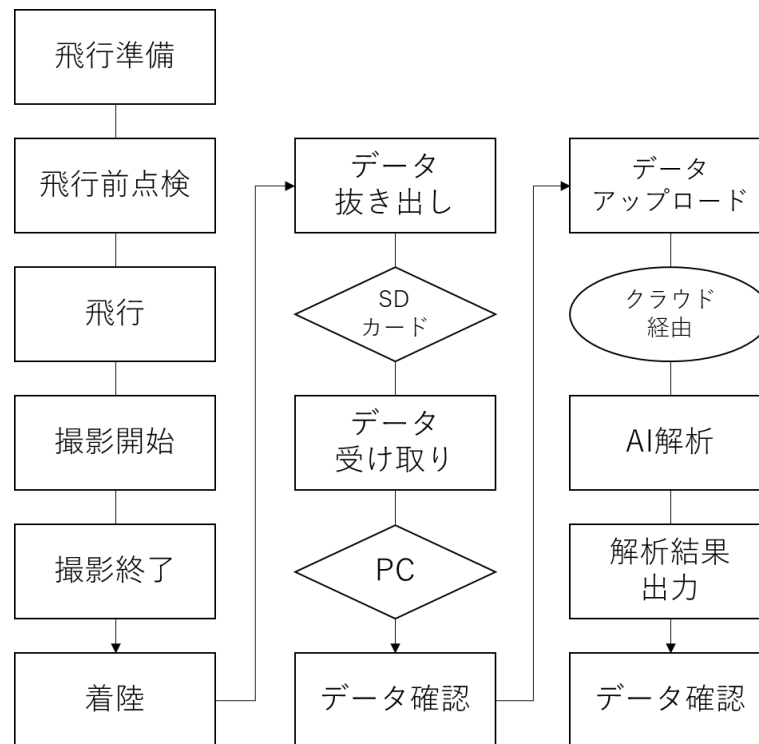


図 25 ドローンによる情報取得から異常検知までのフロー

(ウ) 当日の飛行実施の判断基準

ドローン飛行の実施判断は、飛行の直前に現場責任者が判断基準に基づき都度実施した。また、リスク軽減のため、以下の基準を設定し、当日の飛行判断に利用した。

- ・ 風速 5m/s 以上の場合は飛行させない（航空局飛行マニュアルに準拠）
- ・ 降雨を認めた場合は飛行させない。
- ・ 電波障害、霧等の飛行に影響のある障害が発生している場合は飛行させない。

(工) 必要な行政手続

本実証は、新潟県、長野県、静岡県を結んだ線の東側に位置する福島県において 100g 以上のドローンを屋外で飛行させるため、東京航空局への飛行申請の手続が必要となる。今回はドローン事業者による飛行のため、事業者にて行政へ包括申請を行っている。

表 15 必要な行政手続

申請先/問い合わせ先	内容
東京航空局	無人航空機を屋外で飛行させるために、航空法第 132 条の 85、86 に基づく「飛行許可・承認手続」に基づき、特定飛行の申請手続を行い、承認を得ている。

(2) UGV R-201 による撮影方針・条件

イームズロボティクス社の UGV R-201 を利用し撮影範囲を指定して走行を行い、対象の写真画像を取得した。実証では可視光・赤外線センサー搭載デュアルカメラ Duo® Pro R（テレダイナミア社製）と UGV R-201 搭載ガス検知器 レーザーメタン SMART（新コスモス電機株式会社製）を利用した。現地の天候状況等に応じて適宜、プロボによる介入を実施し撮影時間や場所の調整を行った。

(ア) 撮影場所の事前現地確認と AI 学習データ取得

① 撮影場所の事前現地確認

11 月 21（火）に事前現地確認を行った。工場内で撮影対象となるポンプ、ボールバルブのハンドル、錆・腐食箇所の位置を確認し、実証時に使用するものと同じカメラにて写真画像を取得した。撮影・計測時には撮影箇所位置を対象物からの相対距離を記録し、アプリケーションにより取得した。この際、AI 学習データの要件定義のための画像データの解像度 0.4 mm/pix（一辺 2cm に 50pix が含まれる画像）が確保出来ることも確認した。

② AI 学習データ取得

11 月 30 日（木）～12 月 1 日（金）に事前現地確認にて確認した撮影距離と撮影位置をもとに、AI 学習のための学習データを取得した。UGV で使用する Duo® Pro R は手持ちにより画像を取得した。AI モデル構築のために検知対象の正面のみならず、以下に示す複数パターンについて、可能な限り多くの画像を取得した。

- ・ 撮影対象に対して、斜めからの撮影（上下左右）
- ・ 画面中央からのずれ（上下左右）

AI 学習データ取得時の具体的な確認項目は以下の通りである。

- ・ 撮影画像取得に必要なカメラ位置（高さ、距離）

- ・ 撮影条件（天候、日照条件）
- ・ バルブ閉じ具合（0度、45度、90度、一部で10度と80度）
- ・ 腐食、劣化（腐食なしは汚れ、塗装による起伏、色味のパターンを確保）
- ・ 異常温度検知
- ・ カメラキャリブレーション（焦点距離の決定）
- ・ UGVの経路と撮影順序

③ 写真画像の取得方法

写真画像の取得は、プロポまたはカメラアプリケーションから都度行い、各撮影箇所にて撮影を行った。これは、UGVと可視光・サーマルカメラ及びガス検知器がコネクテッドではないためである。取得した画像データは、カメラ本体から記憶メディア媒体を通じて、解析用PCにコピーをして、クラウド上のAI解析アプリ（ISP Vision Library とひびここをカスタマイズした本実証用アプリケーション）にアップロードした。

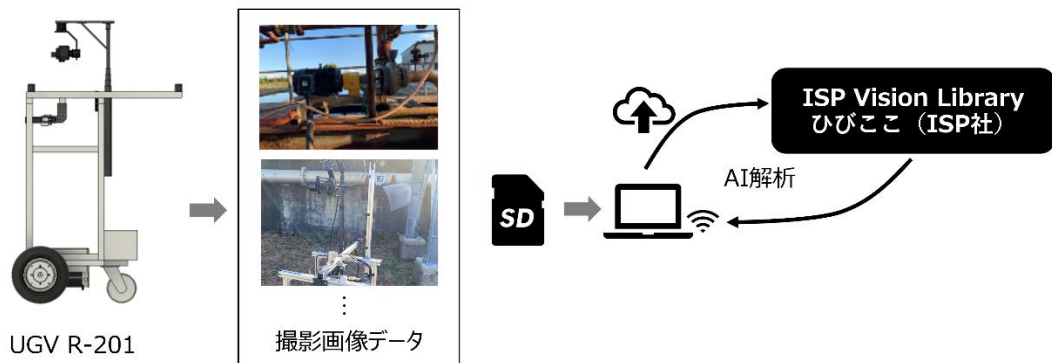


図 26 環境構成

(イ) UGV による情報収集から異常検知までのフロー

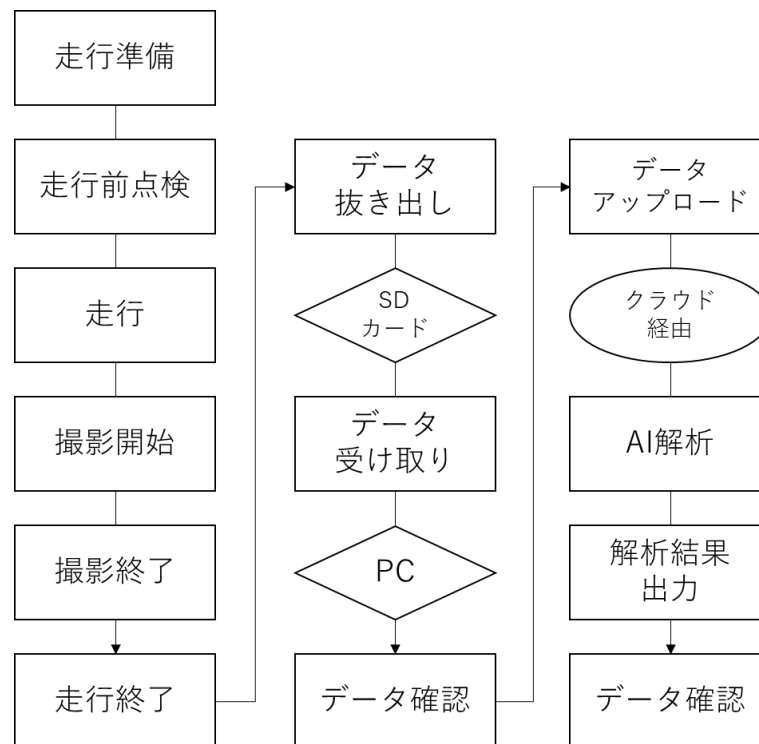


図 27 UGV による情報収集から異常検知までのフロー

(3) 安全管理

実証時の安全管理のため、下記項目を実施した。

(ア) 運用

- ・ 現場では、安全装備としてヘルメットを着用し、技術実証を行った。
- ・ 法令や規則を遵守し、積極的に安全運用に努めた。
- ・ 作業員は監督者の指示のもと、報告、及び状況を積極的に共有した。
- ・ 可能な限りロケハンを実施し、予め現況確認した。
- ・ 飛行計画書と当日の現場の状況との相違や危険ポイントを確認し、必要に応じて計画を修正した。
- ・ 飛行・走行前のブリーフィングにて、趣旨・計画内容、当日の現場状況に応じ計画の修正、各作業員の役割や連携方法、緊急時の対処方法等を確認した。
- ・ 現場責任者が現況、チームの経験、技量、機材等を考慮し飛行の実施可否を判断した。
- ・ 飛行中のドローンは、飛行チームにて常時、目視・双眼鏡等による監視、及び操縦者は目視、或いはドローンから送られてくる飛行映像やテレメトリー情報によりドローンの状態を把握した。
- ・ 飛行中に機体やシステムに異常が発生した時の対処として、状態の悪化や周囲に被害を及ぼさない範囲で、速やかにホームポイント、または予め決めてある緊急着陸ポイントへ戻す

こととした。一刻を争う場合は、人的被害や周囲への影響を最小限に、かつ臨機応変に着陸（落下）させるように努めることとした。

- ・ 事故が発生した場合の対処として、二次的被害を防ぐ措置を講じた後に負傷者の救助と症状に応じた対処をすることとした。また関係機関へ連絡・報告、記録係が現場状況を記録（撮影、対応状況を時刻と共に記録）、可能な限り機体や部品の破片を回収し事故現場の原状回復に努めることとした。

(イ) 機体

- ・ 機体や機材の安全に関わる項目は、ダブルチェックを行った。
- ・ プロペラの始動と離陸作業は監督者の指示で行い、飛行中は常に機材の状態や周囲の状況の変化に気を配り安全運行に努めた。

(ウ) 周囲への安全管理

- ・ 飛行/走行エリアの第三者の立ち入り・注意喚起を行った。
- ・ 飛行/走行経路周辺への第三者の安全確保措置、及び注意喚起を行った。

2.2. 技術検証の結果

2.2.1. 結果の評価ポイント・方法

(1) 実施項目 A の確認方針

本実証項目では以下の項目に沿って、実証内容を確認した。

- ・ 点検対象設備と計器の位置や設置環境を踏まえ、画像解析の正答率を左右する条件（明るさ（日中、夕方等）、気象条件（風速、風向等）、ドローンや UGV の飛行、走行ルート、撮影ポイント、画角等）の洗い出しができていないか。
- ・ 画像解析に必要な情報は計画した通りに（画角、画質、枚数等）取得できたか。できなかった場合はその要因が何かを特定できているか。
- ・ ドローン（Dock あり）が取得したデータが円滑に専用プラットフォームに格納されたか。
- ・ 解析用クラウドにアップロードされたデータは速やかに画像解析が完了されたか。
- ・ UGV に搭載したガス検知器がガスを検知した場合、遠隔からモニター上で目視での確認が可能か、その課題や将来的に異常の確認も自動化するために必要な技術や対策が特定できているか。
- ・ 複数の点検対象設備毎に取得情報と解析結果が一覧で確認ができ、異常が検知された項目は容易に視認できるか。
- ・ 複数回実証を行い、点検開始から解析完了までに要する時間や異常検知精度にばらつきはないか。ばらつきがある場合はその要因が特定できているか。
- ・ AI 判定結果における画像取得条件での適合率等の差を整理する。

(2) 実証結果の評価観点

3つの実施項目に沿って技術実証を行うにあたり、以下6つの評価観点を記す。

- ・ デジタル技術を活用した代替手法が、現行の人手による点検等を同等以上の精度で実施可能であるか。
- ・ デジタル技術を活用した代替手法が、現行の人手による点検等を省力化することが出来るか。
- ・ デジタル技術を活用した代替手法が、現行の人手による点検等と比較して経済性に優れているか。
- ・ 事業者による技術導入及び運用が容易な、汎用性の高い技術であるか。
- ・ 導入するデジタル技術が、ドローンの墜落や UGV の衝突、爆発、火災等を通じて 施設・設備や作業者の安全 を脅かす危険性がないか。
- ・ 本技術実証で構築したシステムを他分野や他法令に展開可能か。

(3) 実証結果の評価方法

前項の評価方法に沿って現行業務との比較を行う上で必要となる、以下で示す評価方法を通じて、デジタル技術により現行人手で行っている点検等の業務の代替が実現出来ることを評価し、結論付ける。

表 16 評価方法

評価観点	評価項目	形式	概要
(ア)精度	判定のばらつき	数値・ 論述	デジタル技術を使用することで、現行の人手による検知と比較して、属人的な判定が低減でき、一律の判定基準による異常の検知や数値の確認が出来ることを示す。
	判定の正確性	数値・ 論述	デジタル技術を使用することで、現行の人手による検知と比較して、異常の検知や、数値の確認が同等以上の正確性で確認出来ることを示す。
	精度まとめ	論述	2つの評価項目を踏まえて、現行の人手による検知と比較して判定精度は同等以上であるかをまとめて示す。
(イ)省力化	作業工数	数値・ 論述	デジタル技術を使用することで、現行の人手による作業と比較して、システム開発や教育等の各種点検に必要な準備時間は除き、運用に係る時間だけを比較した際に、作業工数の削減が出来ていることを示す。

	属人性	論述	デジタル技術を使用することで、現行の人手による作業と比較して、点検業務上の専門性や経験値から生じている特定の作業者に依存する割合の軽減が出来ていることを確認して示す。
	省力化まとめ	論述	2つの評価項目を踏まえて、現行の人手による検知と比較して、同等以上の省力化が実現出来ているかをまとめて示す。
(ウ)経済性	初期導入コスト	数値	デジタル技術を使用する場合の初期導入コストを算出する。
	運用コスト	数値・論述	デジタル技術を5年、10年の期間で運用する場合発生するコストを算出し、現行の人手による検知と比較して、運用コストの大小を示す。
	収集した情報の活用による経済的メリット	論述	デジタル技術を使用することで収集出来た情報は点検業務の内外で様々な用途が見込めるが、期待される活用用途をまとめ、その用途による経済的なメリットをまとめる。(例:人件費、設備保全費等への影響)
	経済性まとめ	論述	3つの評価項目を踏まえて、人手による検知方法よりもデジタル技術により代替したほうが経済性に優れる点をまとめて示す。
(エ)導入・運用の容易性 / 技術の汎用性	導入の容易性	論述	実証で使用するデジタル技術の導入における前提条件や設置・導入にあたっての技術要件を示し、導入における難易度をまとめて示す。
	運用の容易性	論述	ドローン、UGVについては自動/走行による定期巡視を実行する難易度を、必要となる運用手順とスキル要件等からまとめて示す。 また AI の判定結果における確認方法と確認において特定のスキル要件の有無をまとめて難易度を示す。
	選択技術の汎用性	論述	技術実証で使用する技術が特定のベンダーや市場認知度の低い特異な技術要素ではなく、代用の利く技術やベンダーの有無をまとめて示す。
	導入・運用の容易性 / 技術の汎用性	論述	3つの評価項目の内容を踏まえて、技術実証に使用するデジタル技術の導入・運用の容易性と技術の汎用性をまとめて示す。

(オ)デジタル技術利用の安全性	設備・作業員に対する安全の確保	論述	ドローン、UGV における設備・作業員に対する安全性を確保するために講じられる対策や運用方法を示す。
(カ)他分野・他法令への展開	高圧ガス保安法第 35 条の 2 に係る定期自主検査への適用性	論述	実施項目 C のみを対象として、本実証を通じて、高圧ガス保安法第 35 条の 2 の業務においても、選択したデジタル技術により、定期自主検査が実現出来ることを示す。

(4) 実施項目 A の目標値

上記の評価観点を基に、以下の内容にて目標値を設定し、デジタル技術による代替可能性について結論付けるものとする。ただし、定量的な目標値は、あくまでも本実証上のものであり、現場への実装に向けて、誤検知及び検知漏れの低減のための対応策を別途明記する。

表 17 実施項目 A における目標値

評価観点	評価項目	目標値	
(ア)精度	判定の正確性	①視認出来る設備の状態（バルブの開閉状態）	<ul style="list-style-type: none"> ・バルブの開閉について誤検知（バルブが開いている状態を閉じていると判断する等）を 25%以下に抑えることが出来る。 ・誤検知を低減させるための考慮事項が明らかに出来る。
		②視認出来る設備の状態（ガス漏洩警報設備の状態）	<ul style="list-style-type: none"> ・汚れや亀裂の誤検知（亀裂などの有無の判断等）を 25%以下に抑えて発見することが出来る。 ・誤検知を低減させるための考慮事項を明らかに出来る。
		③視認出来る設備の状態（設備や配管の劣化）	<ul style="list-style-type: none"> ・錆や腐食の誤検知（錆などの有無の判断等）を 25%以下に抑えて発見することが出来る。 ・誤検知を低減させるための考慮事項を明らかに出来る。
		④設備の温度	閾値以上の温度の誤検知（異常高温・低温もしくはその逆の判断等）を 25%以下に抑えることが出来る。
		⑤ガス漏洩の有無	ガス漏洩の有無の検知漏れを 20%以下に抑えて検知出来る。

(イ)省力化	作業工数	運用にかかる工数に対しては、自動運転/飛行や固定カメラやガス検知器によるデータ取得から AI を通じた結果の判定までに要する工数（時間）が、これまで人により巡視に要していた時間と比べて、50%以上削減出来る。
	属人性	デジタル技術を使用することで、点検業務が特定の方の担当業務になっていることが、AI による検知結果の確認方法さえわかれば誰でもが実施可能であることを示す。
	省力化まとめ	2つの評価項目を踏まえて、現行の人手による検知と比較して、同等以上の省力化が実現出来ていることを示すことが出来る。
(ウ)経済性	初期導入コスト	初期導入コストを算出し示す。
	運用コスト	5年、10年の期間で確認した場合、人手で行っていた運用コストが50%以下に削減出来る。
	収集した情報の活用による経済的メリット	収集したデータの活用により、既存業務の効率化が期待出来る範囲が明確になり、事業所全体でのコスト低減や効率化に寄与出来る点を示すことが出来る。
	経済性まとめ	3つの評価項目を踏まえて、人手による検知方法よりもデジタル技術により代替したほうが経済性に優れることを結論付けることが出来る。
(エ)導入・運用の容易性／技術の汎用性	導入の容易性	導入における前提条件や設置・導入にあたっての技術要件において、他の業務における条件と比較した際に、大きく異なる技術課題の要件が上がることがないと結論付けられる。
	運用の容易性	デジタル技術の運用において、ある一定の研修を受けた後、指定された手順の下であれば運用可能なレベルであることが結論付けられる。
	選択技術の汎用性	技術実証で使用する技術は市場において広く認知されて、代替可能であると結論付けられる。
	導入・運用の容易性／技術の汎用性	3つの評価項目の内容を踏まえて、技術実証に使用するデジタル技術の導入・運用の容易性と技術の汎用性の両面があることを結論付けられる。
(オ)デジタル技術利用の安全性	設備・作業員に対する安全の確保	ドローン、UGV における設備・作業員に対する安全性を確保するために講じられる対策や運用方法を示すことが出来る。

2.2.2. 結果及び評価・分析

(1) 本実証における定期点検項目の実証範囲

本実証で行った定期点検項目の実証範囲を以下に示す。

表 18 本実証における定期点検項目の実証範囲

定期点検の点検項目			本実証の実施範囲
一般高圧ガス保安規則第6条、第55条、第60条、液化石油ガス保安規則第6条、第53条、第58条、コンビナート等保安規則第5条及び冷凍保安規則第9条に係る設備の定期点検	1.2	(4) 各配管系統のバルブ等の開閉状況及び仕切板の挿入、取外し状況	一部実施 (バルブの開閉状況の検知)
		(6) 製造設備等の全般における漏洩の有無	一部実施 (ガス漏洩の有無の検知)
	1.3	(5) 製造設備等の全般における腐食、摩耗、損傷、閉塞、結合部の緩み、基礎の傾斜及び沈下その他の異常の有無	一部実施 (設備・配管の劣化（腐食、亀裂、その他損傷）の検知)
	2.2	(1) 製造設備等からの漏えい	一部実施 (ガス漏洩の有無の検知)
		(4) 製造設備等の外部腐食、摩耗、亀裂その他の損傷の有無	実施 (設備・配管の劣化（腐食、亀裂、その他損傷）の検知)
		(5) 回転機械の振動、異常音、異常昇温その他の駆動状況	一部実施 (回転機械の異常昇温)
		(7) ガス漏洩検知警報設備の状態	一部実施 (ガス漏洩検知警報設備の状態（ON/OFF、劣化）)

参考：経済産業省「一般高圧ガス保安規則の機能性基準の運用について」、p126~p128

参考：高圧ガス保安協会「保安検査基準（一般高圧ガス保安規則関係（スタンド及びワールド・エバポレータ関係を除く。））」、p17,p27

記載点検項目の内容の一部にのみ対応する場合も含める。

(2) 実施項目 A の確認方針の結果

本実証における確認方針の結果を以下に示す。

表 19 実施項目 A の確認方針の結果

確認方針	確認結果
点検対象設備と計器の位置や設置環境を踏まえ、画像解析の正答率を左右する条件（明る	事前に現地確認を行うことにより実証環境の確認をしたうえで画像解析の正答率を左右する条

さ（日中、夕方等）、気象条件（風速、風向等）、ドローンやUGVの飛行、走行ルート、撮影ポイント、画角等）の洗い出しができていますか。	件の洗い出しを行った。また、実証時にはそれらの条件を可能な限り網羅する形でシナリオを作成し、それに沿って実行した。
画像解析に必要な情報は計画した通りに（画角、画質、枚数等）取得ができたか。できなかった場合はその要因が何かを特定できているか。	実証では大部分で計画通りの画角、画質、枚数を取得できた。一部画像解析結果に影響を与える画像については要因を特定した。
ドローン（Dockあり）が取得したデータが円滑に専用プラットフォームに格納されたか。	自動航行ドローンについてはDockに帰還時に円滑に専用プラットフォームにデータが格納されたことを確認した。
解析用クラウドにアップロードされたデータは速やかに画像解析が完了されたか。	解析用クラウドにアップロードされたデータは速やかに画像解析が完了した。 1枚10秒～40秒（画像アップロード、解析結果ダウンロード時間を含む）で解析工程が完了した。
UGVに搭載したガス検知器がガスを検知した場合、遠隔からモニター上で目視での確認が可能か、その課題や将来的に異常の確認も自動化するために必要な技術や対策が特定できているか。	UGVのガス検知の実証において離れた場所に置いたモニター上で目視での異常検知が可能なことを確認した。また、将来的な自動化のために必要な技術や対策について以降の結果と評価において特定している。
複数の点検対象設備毎に取得情報と解析結果が一覧で確認ができ、異常が検知された項目は容易に視認できるか。	今回は開発期間の短縮に伴い、解析結果一覧の生成は行っていない。 点検対象毎の結果は解析後の結果上に表示され、容易に視認ができることを確認した。
複数回実証を行い、点検開始から解析完了までに要する時間や異常検知精度にばらつきはないか。ばらつきがある場合はその要因が特定できているか。	事業期間の短縮に伴い、実証は1回とした。ドローンは連続した2日間、UGVについては1日での実証となったが、可能な範囲で複数の異なる条件下でのシナリオを作成し、ばらつきについて確認を行った。また、ばらつきがある場合については要因を特定した。
AI判定結果における画像取得条件での適合率等の差を整理する。	本実証では誤検知率やF値での画像取得条件による差を整理した。

(3) 結果

(ア) 精度

- ① 視認出来る設備の状態（バルブの開閉状態）：バルブの開閉について誤検知を25%以下に抑えることが出来る。また誤検知を低減させるための考慮事項が明らかに出来る。

評価方法、ポイント

- ・ バルブの開閉に対して、検知対象番号毎の撮影枚数を母数において AI モデルで検知、誤検知の正誤表を混同行列で評価を行う。
- ・ AI モデルにおける判定精度向上が見込める対応策をまとめる。

評価結果

【サマリ】

- ・ バルブの全閉・半開・全開の判定について、誤検知率はドローン、UGV ともに 0 %だったが、AR マーカーの検出漏れがドローン・UGV ともに発生した。
- ・ AR マーカーの検出漏れの原因としては、①AR マーカー検出モジュールのパラメータの設定が過検出を抑える側に働きすぎていたことによるエラーと、②AR マーカーに影などがかかってしまったことによるエラーが考えられる。
- ・ これらの原因の対応策として、①動画撮影による AR マーカーの読み取り、②静止画における AR マーカー検出モジュールのパラメータ抑制のレベルを弱めること、③影のコントラストの変更やノイズ除去など、適切な画像処理を事前に行うことが挙げられる。

【詳細結果】

バルブの開閉をドローンで撮影した場合の検知結果の例を以下に示す。



図 28 バルブ全閉※

※解析結果表示項目

Target ID : 検知対象番号、Angle[deg] : バルブの検知角度、

Value state : 解析結果 (Close : 全閉、Half open : 半開、Open : 全開)

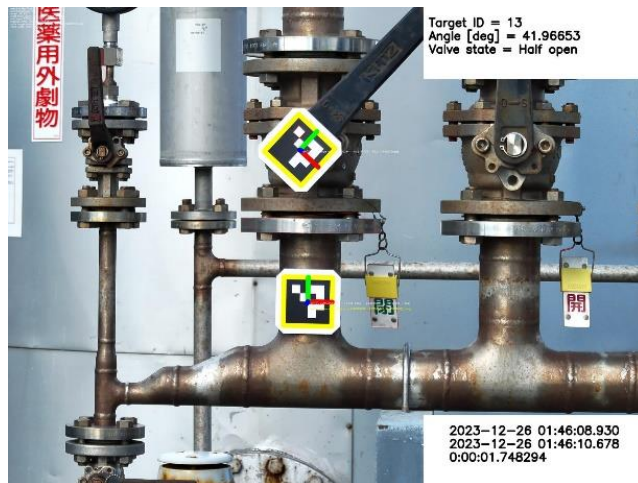


図 29 バルブ半開※

※解析結果表示項目

Target ID : 検知対象番号、Angle[deg] : バルブの検知角度、

Value state : 解析結果 (Close : 全閉、Half open : 半開、Open : 全開)



図 30 バルブ全開※

※解析結果表示項目

Target ID : 検知対象番号、Angle[deg] : バルブの検知角度

Value state : 解析結果 (Close : 全閉、Half open : 半開、Open : 全開)

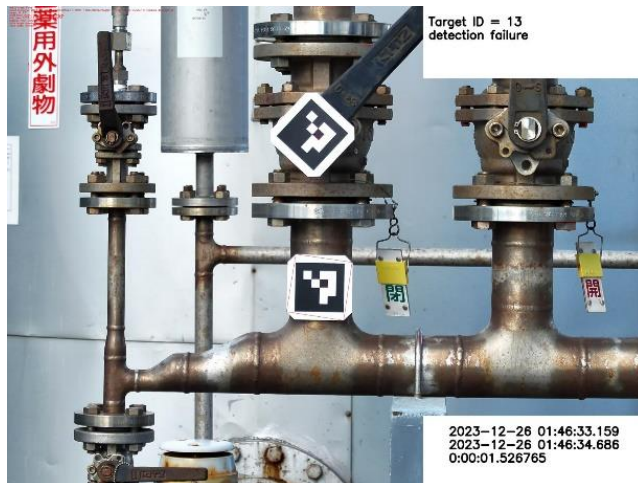


図 31 AR マーカー検出失敗※

※解析結果表示項目

Target ID : 検知対象番号、Detection failure : AR マーカー検出失敗

検知対象番号と撮影機材毎に、検知結果の混同行列※を以下に示す。

※混同行列の見方

- ・ 真値と書かれている項目が、検知対象物の実際の状態を表し、出力結果と書かれている項目は、AI システムによって認識され出力された検知対象物の状態を表す。
- ・ 本 AI システムの多くの解析では、処理の最初に AR マーカーを用いた対象箇所の手切り出しや姿勢推定を行っている。そのため、AR マーカーを利用した解析の場合、AR マーカーの検出に失敗した場合は判定自体が行われず、混同行列中で表現することはできない。そのため混同行列の下に「AR マーカー検知漏れ」としてその数を示している。
- ・ 検知対象番号の具体的な検知物は、図 19 図 20 参照。

表 20 検知対象番号 11 : ドローン

		出力結果		
		全閉	半開	全開
真値	全閉	10	0	0
	半開	0	16	0
	全開	0	0	10
AR マーカー検知漏れ		0		

表 21 検知対象番号 11 : UGV

		出力結果

		全閉	半開	全開
真値	全閉	5	0	0
	半開	0	10	0
	全開	0	0	3
AR マーカー検知漏れ		2		

表 22 検知対象番号 12 : ドローン

		出力結果		
		全閉	半開	全開
真値	全閉	10	0	0
	半開	0	21	0
	全開	0	0	10
AR マーカー検知漏れ		1		

表 23 検知対象番号 12 : UGV

		出力結果		
		全閉	半開	全開
真値	全閉	5	0	0
	半開	0	8	0
	全開	0	0	6
AR マーカー検知漏れ		0		

表 24 検知対象番号 13 : ドローン

		出力結果		
		全閉	半開	全開
真値	全閉	16	0	0
	半開	0	15	0
	全開	0	0	12
AR マーカー検知漏れ		7		

表 25 検知対象番号 13 : UGV

		出力結果		
		全閉	半開	全開

真値	全閉	5	0	0
	半開	0	10	0
	全開	0	0	5
AR マーカー検知漏れ		0		

表 26 検知対象番号 14 : ドローン

		出力結果		
		全閉	半開	全開
真値	全閉	20	0	0
	半開	0	30	0
	全開	0	0	12
AR マーカー検知漏れ		5		

表 27 検知対象番号 14 : UGV

		出力結果		
		全閉	半開	全開
真値	全閉	5	0	0
	半開	0	4	0
	全開	0	0	4
AR マーカー検知漏れ		2		

検知対象番号・撮影機材毎に F 値※1 を計算（ $2 \times \text{適合率} \times \text{再現率}$ を $\text{適合率} + \text{再現率}$ で割る）すると、表 28 のようになる。ただし、バルブは全閉・半開・全開の 3 ラベルがあるため、F 値算出のためマクロ平均（各ラベルの F 値の平均）を算出した。

※1 2 値分類問題の評価指標のひとつで、トレードオフの関係にある適合率と再現率の調和平均。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。

表 28 バルブ開閉状態の F 値（マクロ平均）

検知対象番号	ドローン	UGV
11	1.00	1.00
12	1.00	1.00
13	1.00	1.00

【検知漏れの原因と対応策】

＜検知漏れの原因＞

AR マーカーの検出に失敗している原因は、大きく分けて 2 点あると考えられる。

- ・ AR マーカー検出モジュールのパラメータの設定が過検出を抑える側に働きすぎていたことによる検知漏れ
- ・ AR マーカーに影などがかかってしまったことによる検知漏れ



図 32 過検出抑制のパラメータ設定による検知漏れ※

※解析結果表示項目

Target ID : 検知対象番号、Detection failure : AR マーカー検出失敗

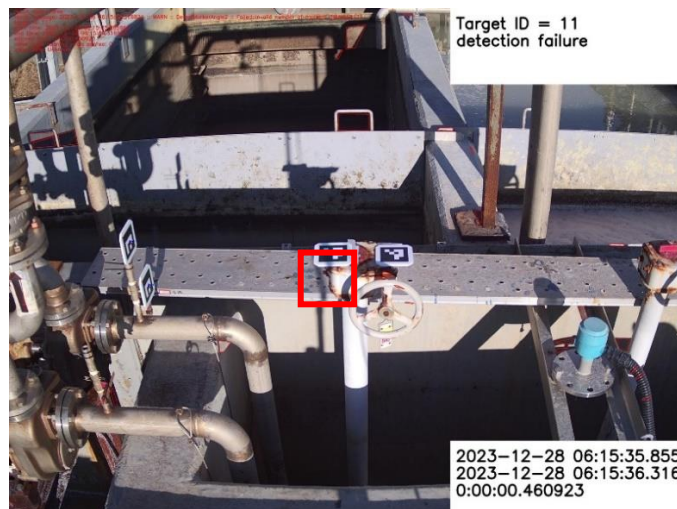


図 33 影がかかったことによる検知漏れ※

※解析結果表示項目

Target ID : 検知対象番号、Detection failure : AR マーカー検出失敗

<対応策>

- ・ 動画撮影による AR マーカーの読み取りを行う

前提として、AR マーカーの利用法としては、1 枚の画像のみで確実に検出を行うというよりも、動画で複数の角度から撮影することによって、そのうちの何割かのフレームで検出が可能になるという利用方法の方が自然である。今回は開発期間が短かったため取り扱いが簡単な静止画での解析を行ったが、確実な検出を行う場合は、動画での撮影が有効だと考えられる。

動画撮影の事例としては、例えば QR コードの読み取りが挙げられる。スマートフォンで QR コードの読み取りを行う場合、画像を 1 枚撮影してそこから読み取りを行うのではなく、認識されるまでスマートフォンを手で持って動かしながら撮影することが多い。AR マーカーも同様に、認識されるまで角度や距離を変更しながら撮影を行うと、検出率を大幅に引き上げることが可能だと考えられる。

- ・ 静止画における AR マーカー検出モジュールのパラメータ抑制のレベルを弱める

AR マーカー検出モジュールには、AR マーカー候補の箇所の個数を絞ることで計算時間と過検出を抑制するパラメータが存在する。このパラメータの抑制度合いを弱めることで、AR マーカーの検出率の向上が可能である。

実際、検知対象番号 13 番で撮影した画像 6 枚について、5/6 で AR マーカーの検出ができていなかったが、上記パラメータの調整によりこの検出率を 6/6 にすることが出来た。同様に、画像には鮮明に映っているにも関わらず検出に失敗しているものについては、同調整を行うことにより大きく検出率を改善することが出来ると予想される。

- ・ 影のコントラストの変更やノイズ除去など、適切な画像処理を事前に行う

先述した通り、影が AR マーカーにかかったことが原因で検出に失敗しているものも存在する。屋外での撮影では、影の他にも強い日光の反射、想定外の物体による隠れ（枯れ葉など）、AR マーカーの汚れ、風などによるカメラのブレなどの擾乱が想定される。これらに対しても、コントラストの変更やノイズ除去など、適切な画像処理を事前に行うことである程度は対応が可能であると考えられる。

ただし実際の運用では、屋外に AR マーカーを貼付した場合の劣化は避けられないため、現実的ではない。そのため実用化の上では、今回 AR マーカーを利用して行った検知対象箇所の切り出しを、ディープラーニングによる物体検出やセマンティックセグメンテーションなど別の手法に置き換えることで、AR マーカーに依存しない対象箇所の特定を行うことも必要だと考えられる。

② 視認出来る設備の状態（ガス漏洩警報設備の状態）：汚れや亀裂の誤検知（亀裂などの有無の判断等）を 25%以下に抑えて発見することが出来る。また、誤検知を低減させるための考慮事項を明らかに出来る。

評価方法、ポイント

- ・ 設備の ON/OFF を示すランプの判定と汚れや亀裂の判定に対して、検知対象番号毎の撮影枚数を母数において AI モデルで検知、誤検知の正誤表を混同行列で評価を行う。
- ・ AI モデルにおける判定精度向上が見込める対応策をまとめる。

評価結果

■ ガス漏洩警報設備の ON/OFF を示すランプの判定

【サマリ】

- ・ 本実証では実証フィールドに設置された設備の ON/OFF を表示するランプ（図 20 対象番号 21）と、持ち込んだ機材（図 20 対象番号 22）の ON/OFF ランプの 2 種類のランプを検知対象としたが、ドローンで 11~18%、UGV で 33~35%となった。
- ・ ガス漏洩警報設備の ON/OFF を示すランプの判定では、検知対象番号 22 番において、ドローン、UGV 共に誤検知が多かった。特に UGV においては、ON を OFF と誤って認識する確率が高い。また、ドローンにおいて、AR マーカーの検知漏れが多いのは、AR マーカーの過検出を抑える設定が働きすぎていることに起因すると思われる。
- ・ 誤検知の要因としては、主に①AR マーカーによる切り抜き範囲の指定が広すぎたことによるエラー、②学習に用いたデータが少なかったことによるエラー、③ランプの映り方が一定ではなかったことによるエラー、④目視でも ON/OFF の判断が難しい画像であったことによるエラーによるものと考えられる。
- ・ 誤検知の対応策としては、①ランプ領域の切り出し方法の改善、②学習に使用するデータ数や種類の増加、③撮影方法の改善、④ひさしなどの設置や、撮影時刻の工夫が考えられる。

【詳細結果】

検知対象番号と撮影機材毎に、検知結果の混同行列を以下に示す。

表 29 検知対象番号 21 : ドローン

		検出結果	
		OFF	ON
真値	OFF	80	6
	ON	10	56
AR マーカー検知漏れ		3	

表 30 検知対象番号 21 : UGV

		検出結果	
		OFF	ON
真値	OFF	20	0

	ON	13	7
--	----	----	---

AR マーカー検知漏れ	0
-------------	---

表 31 検知対象番号 22 : ドローン

		検出結果	
		OFF	ON
真値	OFF	86	17
	ON	11	46
AR マーカー検知漏れ		25	

表 32 検知対象番号 22 : UGV

		検出結果	
		OFF	ON
真値	OFF	24	0
	ON	15	4
AR マーカー検知漏れ		0	

検知対象番号・撮影機材毎に F 値を計算すると、表 33 のようになる。この際、ON の状態を positive として計算を行っている。

表 33 ガス漏洩検知警報設備の ON/OFF の F 値

検知対象番号	ドローン	UGV
21	0.88	0.52
22	0.77	0.35

【誤検知及び検知漏れの原因と対応策】

AR マーカーの検知漏れについては、2.2.2 結果及び評価・分析 (1) 結果 (ア) 精度 ① 視認出来る設備の状態 (バルブの開閉状態) 【検知漏れの原因と対応策】を参照。検知漏れを除くと、誤検知には大きく分けて以下の 4 点の原因があると考えられる。

- ・ AR マーカーによる切り抜き範囲の指定が広すぎたことによる誤検知
今回の実証では、AR マーカーを用いて画像中のランプ範囲の切り出しを行っている。その際、検知対象番号 22 番については、ある程度広めに切り出し範囲を設定していたことで、ランプ以外の部分の映り込みが増え、予測結果が不安定になったのが誤検知の一因であると考えられる。

実際、シナリオ A16 の検知対象番号 22 番の場合、実証時の解析結果では AR マーカー検知漏れを除いた正解率は 4/15 だったが、実証後に切り出し範囲を調整した結果、13/15 まで改善が見られた。



図 34 切り出し範囲の修正

◇ 対応策：ランプ領域の切り出し方法の改善

今回は開発期間短縮のため AR マーカーを用いた切り出し処理は簡易的なものにとどめ、ランプの立体形状などは考慮に入れていなかった。実用化するには、立体形状を考慮に入れ、よりピンポイントな切り出しを行うことで精度が向上する可能性があると考えられる。また、ディープラーニングによる物体検出の手法を用い、AR マーカーによる切り出しを行わずに処理を完結させることも考えられる。

・ 学習に用いたデータが少なかったことによる誤検知

今回の実証では開発の迅速化のためにある程度学習データの数・種類を絞っており、これにより撮影条件によって解析結果が不安定になったと考えられる。また、ドローンと比較し UGV はピント調整が難しく画質が悪かったため、訓練データにはドローンの画像を使用した。このため、ドローンに比べて UGV の精度が低くなった可能性がある。

◇ 対応策：学習に使用するデータ数や種類の増加

先述したように、今回は学習に使用したデータ数が絞られていた。学習に使用するデータに時刻・撮影角度・対象の種類・撮影機材等のバリエーションを増やすことで、精度の向上が見込める。

・ ランプの映り方が一定ではなかったことによる誤検知

検知対象番号 21 のランプは目視では認識できない速度で点滅しており、ON で撮影しても画像上では消灯しているように見える場合がある。

実際、検知対象番号 21 の画像などは ON で撮影したものの、画像上では完全に消灯しているように見える。その結果、出力結果も消灯と判断されていた。これは判別に最も不利な例だが、これに限らず ON でも暗く映る例が多く、精度が下がった一因と考えられる。



図 35 ガス漏洩警報設備のランプを ON で撮影したが OFF に見える画像※

※解析結果表示項目

Target ID：検知対象番号、OFF：消灯（設備が稼働していない）、

ON：点灯（設備稼働中）

◇ 対応策：撮影方法の改善

実施項目 C のデジタル計器の撮影の際も、肉眼では認識できない速度の点滅により計器に示された数字の一部が欠けるという問題があり、その際にはシャッタースピードを変更することで対処が可能であった。今回の撮影では、ドローン・UGV ともにシャッタースピードを調整することができなかったが、機材によっては同様にシャッタースピードを調整することで、安定した明るさの画像が得られる可能性がある。ただし、ドローンや UGV では移動しながらの撮影を行うため、シャッタースピードを下げすぎると画像がぶれやすくなってしまうことが懸念される。この場合は、シャッタースピードの変更で対処するのではなく、今回の実証のように複数枚撮影して、一定割合以上で点灯状態と判断される画像があった場合に、最終的な判定としても点灯状態として認識する、という手法が妥当だと考えられる。

・ 目視でも ON/OFF の判断が難しい画像であったことによる誤検知

屋外では日光が当たるため、撮影条件によっては目視でも ON/OFF の区別がつきにくいものがある。例として以下の図は OFF のランプと ON のランプであるが、これらの画像を単体で与えられた場合、目視でも判別は難しいと思われる。このように分類対象の画像が似通っている場合、AI で解析しても同様に判別が難しくなると考えられる。

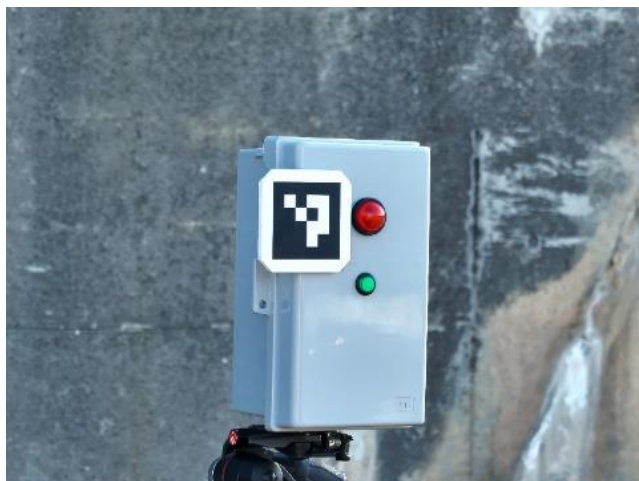


図 36 ガス漏洩警報設備のランプが OFF の画像



図 37 ガス漏洩警報設備のランプが ON の画像

◇ 対応策：ひさしなどの設置や、撮影時刻の工夫

ひさしを設置して直射日光を防いだり、撮影時刻を外光が弱い時間に設定したりすることで、より安定した判別が可能になる可能性がある。

■ ガス漏洩警報設備の汚れや亀裂の判定

【サマリ】

- ・ AR マーカー検知漏れを除くと、全て正しく劣化の有無を検知出来た。
- ・ 今後実用化に向け、学習に使用するデータ数や種類を増加させることで、より現実に即したモデルを構築する必要があると考えられる。

【詳細結果】

ガス漏洩警報設備の劣化をドローンで撮影した場合の検知結果例を以下に示す。

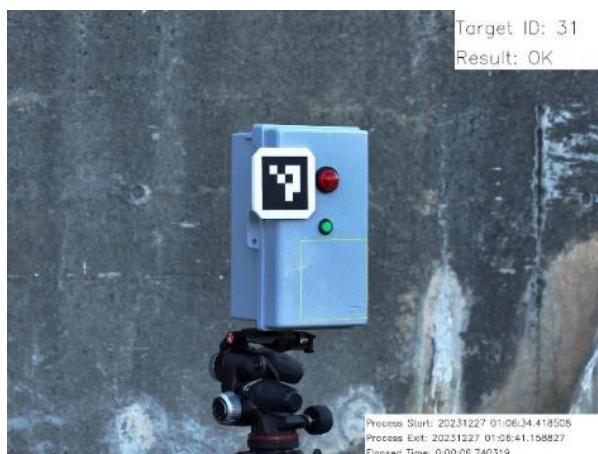


図 38 ガス漏洩警報設備の劣化なしの画像※

※解析結果表示項目

Target ID : 検知対象番号、Result OK : 劣化（傷）なし、Result NG : 劣化（傷）あり



図 39 ガス漏洩警報設備の劣化ありの画像※

※解析結果表示項目

Target ID : 検知対象番号、Result OK : 劣化（傷）なし、Result NG : 劣化（傷）あり

検知対象番号と撮影機材毎に、検知結果の混同行列を以下に示す。

表 34 検知対象番号 31 : ドローン

		検出結果	
		劣化なし	劣化あり
真値	劣化なし	63	0
	劣化あり	0	20

AR マーカー検知漏れ	25
-------------	----

表 35 検知対象番号 31 : UGV

		検出結果	
		劣化なし	劣化あり
真値	劣化なし	23	0
	劣化あり	0	20
AR マーカー検知漏れ		0	

検知対象番号・撮影機材毎に F 値を計算すると表 36 のようになる。この際、劣化ありを positive として計算を行っている。

表 36 ガス漏洩警報設備の劣化の F 値

検知対象番号	ドローン	UGV
31	1.0	1.0

【誤検知及び検知漏れの原因と対応策】

AR マーカーの検知漏れについては、2.2.2 結果及び評価・分析（1）結果（ア）精度 ①視認出来る設備の状態（バルブの開閉状態）【検知漏れの原因と対応策】を参照。AR マーカー検知漏れを除くと、全て正しく劣化の有無を判定出来た。

対応策：実用化に向け、学習に使用するデータ数や種類の増加

今回はひびを模した透明なシートを貼付することによって劣化を模したため、訓練データ・検証データ共にある程度均一なデータとなっている。実用化を目指す場合、実際の劣化のデータを収集し、より現実に即したモデルを構築する必要があると考えられる。

③ 視認出来る設備の状態（設備や配管の劣化）：錆や腐食の誤検知（錆などの有無の判断等）を 25%以下に抑えて発見することが出来る。また、誤検知を低減させるための考慮事項を明らかに出来る。

評価方法、ポイント
<ul style="list-style-type: none"> ・ 錆や腐食の判定に対して、検知対象番号毎の撮影枚数を母数において AI モデルで検知、誤検知の正誤表を混同行列で評価を行う。 ・ AI モデルにおける判定精度向上が見込める対応策をまとめる。
評価結果

【サマリ】

- ・ 誤検知率はドローン 4 %、UGV は 0 % になった。
- ・ 設備や配管の劣化において、ドローンではいくつか劣化の検出に失敗しているものもあるが、UGV は全て正しく検知出来た。
- ・ 誤検知の要因としては、錆と判定された面積が小さく、劣化の判定基準としていた面積の閾値を下回ってしまったことが考えられる。また、ドローンでのみこの誤検知が起こった要因は、誤検知された画像が他の画像に比べかなり明度が低い画像となっており、ドローンと UGV で別日、別時間帯に撮影したことで起こった画像の明度の差が影響を与えたと考えられる。

【詳細結果】

配管の劣化をドローンで撮影した場合の検知結果の例を以下に示す。



図 40 配管の劣化なしの画像※

※解析結果表示項目

Target ID : 検知対象番号、OK : 劣化（錆）なし、NG : 劣化（錆）あり



図 41 配管の劣化ありの画像※

※解析結果表示項目

Target ID : 検知対象番号、OK : 劣化（錆）なし、NG : 劣化（錆）あり

検知対象番号と撮影機材毎に、検知結果の混同行列を以下に示す。

表 37 検知対象番号 41-43 : ドローン

		検出結果	
		劣化なし	劣化あり
真値	劣化なし	32	0
	劣化あり	3	47
AR マーカー検知漏れ		3	

表 38 検知対象番号 41-43 : UGV

		検出結果	
		劣化なし	劣化あり
真値	劣化なし	10	0
	劣化あり	0	20
AR マーカー検知漏れ		10	

検知対象番号 41-43 をまとめて F 値を計算すると表 39 のようになる。この際、劣化ありを positive として計算を行っている。

表 39 配管の劣化の F 値

検知対象番号	ドローン	UGV
41-43	0.97	1.00

【誤検知及び検知漏れの原因と対応策】

AR マーカーの検知漏れについては、2.2.2 結果及び評価・分析（1）結果（ア）精度 ①視認出来る設備の状態（バルブの開閉状態）【検知漏れの原因と対応策】を参照。

誤検知については、錆と判定された面積が小さく、劣化の判定基準としていた面積の閾値を下回ってしまったことが誤検知の原因と考えられる。

対応策：閾値をより小さく設定する

今回誤検知となったものについては、単純に劣化ありと判定する面積の閾値を下回ってしまったこと

が原因だった。そのため、この閾値をより小さくすることにより改善が可能である。より広い汎用性のためには、自動で各種閾値を判定するアルゴリズムの構築を行うか、またはディープラーニングベースの処理を採用することが考えられる。

なお、今回は検知対象番号 41 を劣化なし、42・43 を劣化ありと定義したが、42 は表面的な錆で、43 は穴が開いており、42 と 43 でも劣化の度合いが異なる。42 と 43 の区別を行う場合、錆と穴を別々のクラスとして学習を行い、ディープラーニングによる画像分類の問題として解決するなどの手法が考えられる。

また実際の運用では、配管のあらゆる箇所に AR マーカーを貼付するのは現実的ではない。そのため実用化の上では、今回 AR マーカーを利用して行った検知対象箇所の切り出しを、ディープラーニングによる物体検出やセマンティックセグメンテーションなど別の手法に置き換えることで、AR マーカーに依存しない対象箇所の特定を行うことが必要だと考えられる。

④ 設備の温度：閾値以上の温度の誤検知（異常高温・低温もしくはその逆の判断等）を 25%以下に抑えることが出来る。

評価方法、ポイント
<ul style="list-style-type: none">・ 閾値に対する温度の判定に対して、検知対象番号毎の撮影枚数を母数において AI モデルで検知、誤検知の正誤表を混同行列で評価を行う。・ AI モデルにおける判定精度向上が見込める対応策をまとめる。
評価結果
<p>【サマリ】</p> <ul style="list-style-type: none">・ 誤検知率はドローン、UGV とともに 0 % であり、AR マーカーの検知漏れもなく、全て正しく検知出来た。・ なお、今回は学習データ撮影の時と実証当日の気温に大きな差異が無かったため、固定された閾値で正しい判別が出来たが、季節や天候によっては正しく判定されない可能性がある。 <p>【詳細結果】</p> <p>設備の温度の検知をドローンで撮影した場合の検知結果の例を以下に示す。</p>



図 42 設備の温度が正常の画像

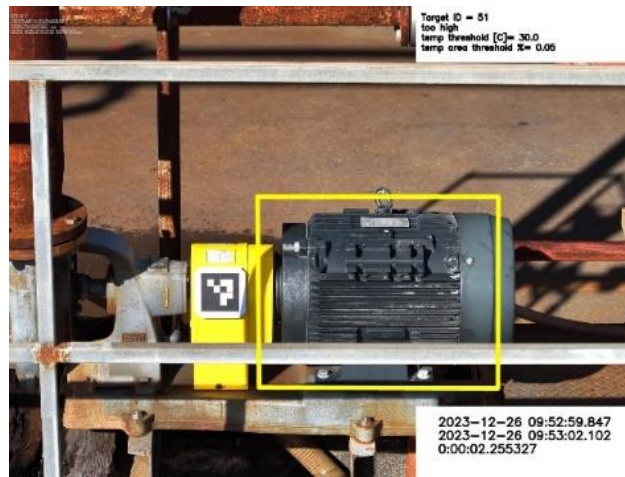


図 43 設備の温度が異常昇温の場合の画像

検知対象番号と撮影機材毎に、検知結果の混同行列を以下に示す。

表 40 検知対象番号 51-52 : ドローン

		検出結果	
		正常	異常昇温
真値	正常	46	0
	異常昇温	0	33
AR マーカー検知漏れ		0	

表 41 検知対象番号 51-52 : UGV

		検出結果
--	--	------

		正常	異常昇温
真値	正常	10	0
	異常昇温	0	9
AR マーカー検知漏れ		0	

検知対象番号 51、52 をまとめて F 値を計算すると、表 42 のようになる。この際、異常昇温状態を positive として計算を行っている。

表 42 設備の異常昇温の F 値

検知対象番号	ドローン	UGV
51、52	1.00	1.00

【誤検知及び検知漏れの原因と対応策】

今回は全て正しく検知できており、AR マーカーの検知漏れもなかった。

対応策：機器の特性に沿った判定基準や外気温の変化による補正

今後より汎用性の高い判別を行う場合、機器の特性に沿った判定基準や外気温の変化による補正などを設ける必要があると考えられる。

⑤ ガス漏洩の有無：ガス漏洩の有無の検知漏れを 20%以下に抑えて検知出来る。

評価方法、ポイント
<ul style="list-style-type: none"> ・ ガス漏洩検知センサーの検知・誤検知の判定精度を確認する。 ・ 検知率に影響を与える要因を明記する。
評価結果
<p>【サマリ】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 誤検知率は 0%であり、UGV R-201 に搭載したガス検知器「レーザーメタン SMART」（新コスモス電機株式会社製）を用いて、UGV を走行させながらレーザー光を検知対象（メタンガスを入れた袋）に離れた箇所（検知距離：20~30m）から連続照射した際、100%ガスを検知することが出来た。 ・ ただし、20m以上離れた場所からレーザーを照射する場合、濃度の検出までは出来なかった。 ・ 実運用における誤検知が生じ得る要因としては、気体と検知器の間に障害物があり、レーザーが機体に当たらない場合や、空気以外の気体（水蒸気・霧等）により測定用レーザーの霧散が考えられる。

【詳細結果】

ガス漏洩の有無の検知を UGV R-201 に搭載したガス検知器「レーザーメタン SMART」で行った際の検知結果の例を以下に示す。



図 44 ガスが入った袋にガス検知器のレーザーを照射している様子

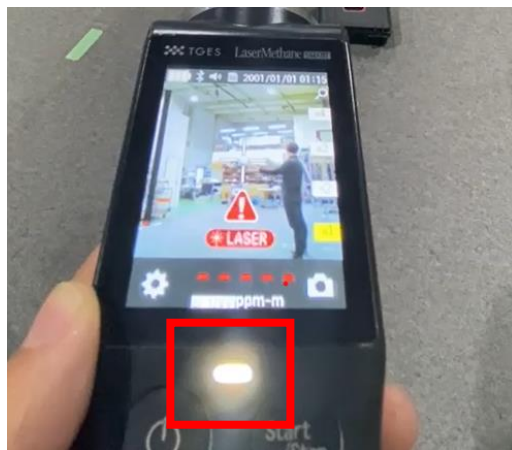


図 45 ガスを検知し検知器の LED が発光している様子※

※本実証では、屋外での撮影により LED の発光を目視で確認が難しかったため、参考として、別途イームズロボティクス社提供の社内資料より引用した。



図 46 ガスを検知した際には濃度が表示される※

※本実証では、濃度表記がクリアに撮影できなかつたため、新コスモス電機株式会社の製品ページより画像を引用した。出典：新コスモス電機株式会社「レーザーメタン SMART」2024年2月16日 <https://www.new-cosmos.co.jp/industrial/product/6017/>

【誤検知及び検知漏れの原因と対応策】

検知器のレーザーを、ガスを入れた袋に照射した場合、ガスは100%検知出来た。ただし、ガス袋と20m以上距離が離れても、ガス検知自体は出来るが、ガス濃度までは表示されないことが分かった。また、今回は手動操作にて、ガス袋にレーザーが当たるようにコントロールすることが出来たが、レーザーが当たらない場合は、検知することが出来ない。例えば、袋自体がレーザーの照射範囲内に入っていない場合や、ガスの袋と検知器の間に柱等の障害物が入ってしまった場合である。また空気以外の気体（水蒸気や霧等）がある場合は、検知器のレーザーの霧散が考えられるため、誤検知及び検知漏れに繋がる可能性がある。

対応策：検知器のレーザーが当たる範囲を拡張する

ガス自体にレーザーが当たらない場合は検知することが出来ないため、出来る限り広い範囲にレーザー照射を行い、検知範囲を広げる必要がある。その対応策としては、検知器の数を増やすことや、検知器自体を上下左右に動かしながら、レーザーの照射範囲を広げ走行する等が考えられる。

(イ) 省力化

- ① 作業工数：運用にかかる工数に対しては、自動運転/飛行や固定カメラやガス検知器によるデータ取得からAIを通じた結果の判定までに要する工数（時間）が、これまで人により巡視に要していた時間と比べて、50%以上削減出来る。

評価方法、ポイント

- ・ ドローン、UGVの運航に要する作業工数（時間）と技術実証においてデータ転送から異

常検知にかかる工数（時間）を算出する。

- ・ データ転送から異常検知は自動化実装が可能な領域のため、実装に必要な技術について整理する。
- ・ 有識者ヒアリングを通じて現行業務において要している巡視作業工数をまとめ、技術実証からわかる工数との比較を行う。

評価結果

【サマリ】

- ・ 現場ヒアリングを行った結果、現行の巡視・点検業務では、1日2回、作業員1名が目視で現場を確認し、点検結果を手書きで紙面に記録(約1時間)、その後PCへのデータ転記(約1~2時間)を行うため、作業工数は合計2~3時間程度かかっているとのことである。
- ・ 手動運航/走行によるドローン及びUGVを活用した場合、機体の飛行/走行の準備や撤収作業、現場でのプロポの操縦、データのアップロードにおいて人の対応が必要となるため、現行業務における現場での目視確認とほぼ同等の作業工数がかかる可能性がある。ただし、いずれの技術もドローンはDock利用、UGVの場合は電源ポートを利用した自動航行/走行の場合、初回は設置作業や環境整備に時間を要するが、それ以降は常設が可能であり、現地でのオペレーションが一切不要のため、現場での目視確認のプロセスをほぼ無人化することが出来る。そのため、省力化の観点においては、Dockや電源ポートの利用による自動航行/走行が重要と考える。
- ・ AIシステムを活用して、ドローンやUGVにて取得した画像データの自動解析を行った場合、現行業務にかかるPCへのデータ転記の作業工数が全て自動化することが出来、またヒューマンエラー防止のためにダブルチェックを行っていた工数も短縮することが出来るため、大きな省力化効果を見込むことが可能である。
- ・ 仮に、ドローンやUGVでの手動運航/走行を行った場合でも、AIシステムの活用により点検結果のPCへの転記業務が省力化されるため、作業工数は50%の削減を見込むことが出来る。参考として、完全自動航行/走行を行った場合、精度や安全性の観点から一部人による確認作業（例えば、誤検知や検知漏れ時の解析結果画面の目視確認※1や、ドローンやUGVの運航/走行開始と終了時の目視確認等※2）を残したとしても、約5~10分であることから、現行業務の80~90%以上の削減が期待出来る。
- ・ よって、ドローンまたはUGVとAIシステムを活用することによって、現行業務にかかる作業工数を50%以上に削減することは可能であると言える。

※1：誤検知・検知漏れが発生した際に、現場に移動しての目視確認の時間は含めていない。

※2：ドローン・UGVが正しくDockや電源ポートから起動しているか、または帰還しているかを目視で確認する際の作業工数は数分であり、現場までの移動時間は含めていない。

【詳細結果】

<ドローン>

Matrice30Tでの飛行（手動運航）

手動運航に要する人の作業工数（準備～撮影）は、点検箇所 8 箇所の場合、約 20 分であった。Dock を利用しない場合、手動運航及び自動航行いずれにおいても、機体の飛行準備や撤収作業を行うために現地に行く必要があり、現状の作業時間に対して時短効果は少なくなる。

- ・ 手動運航前の準備作業（人：15 分）
 - ◇ 作業内容：機材準備、テスト飛行の実施
 - ◇ 利用ツール：Matrice30T

- ・ ドローン飛行による撮影（人/システム：5 分）
 - ◇ 作業内容：プロポを用いたドローンの手動運航（撮影箇所 8 箇所）
 - ◇ 利用ツール：Matrice30T

以下参考までに Dock を利用した自動航行の場合の工数を記載する。

（参考）Skydio Dock for X2での飛行（自動航行）

自動航行に要する作業工数（準備～撮影）は、約 65 分であった。ただし、自動航行前の準備作業は初回のみの実施となり、通常機体は常設となるため、準備作業にかかる工数を除くと、5 分程度である。

- ・ 自動航行実行前の準備作業（人：60 分） ※常設の場合は 0 分
 - ◇ 作業内容：機材準備・設置、テスト飛行の実施、自動航行ルート作成
 - ◇ 利用ツール：Skydio X2、Skydio Dock for X2、Starlink

- ・ 自動航行の実施（人：0.5-1 分、システム：3 分）
 - ◇ 作業内容：実行ボタンを押下（ドローンが自動で設定ルートを飛行、写真撮影）
 - ◇ 利用ツール：Skydio X2、Skydio Dock for X2、Starlink

- ・ 画像アップロード状況確認（人：0.5-1 分、システム：3 分）
 - ◇ 作業内容：自動航行終了後、正常に画像がアップロードされていることを確認する
 - ◇ 利用ツール：Skydio Cloud

※上記は、現地までの移動時間は含んでおらず、また局地的な点検箇所での比較となる。そのため、大きな差にはなっていないが、点検頻度が多い場合、前後作業の積み上げが作業工数に大きな影響が出る。

※Dock を利用する場合、初回は設置準備等で 60 分程度の作業工数がかかるが、実運用の場合、機体は常設するため、作業前にかかる工数はないものとする。

<UGV>

UGV R-201 + Duo®ProR での自動走行

自動走行に要する作業工数（準備～撮影）は、約 90 分であった。ただし、自動走行前の準備作業は初回のみの実施となり、通常機体は常設となるため、準備作業にかかる工数を除くと、撮影箇所 4 箇所の場合、3 分程度である。

- ・ 自動走行前の準備作業（人：87 分）※常設の場合は 0 分
 - ◇ 作業内容：機材準備・設置、機体確認、通信環境確認（LTE や現地回線など）、ミッション作成～走行試験、試験結果を踏まえた微調整等
 - ◇ 利用ツール：UGV R-201、Duo®ProR（UGV 搭載赤外カメラ）

- ・ UGV 走行による撮影（システム：2-3 分）
 - ◇ 作業内容：プロポを用いた UGV の手動走行（撮影箇所 4 箇所）
 - ◇ 利用ツール：UGV R-201、Duo®ProR（UGV 搭載赤外カメラ）

UGV R-201 + Duo®ProR + レーザーメタン SMART での自動走行

自動航行に要する作業工数（準備～撮影）は、約 90 分であった。ただし、自動走行前の準備作業は初回のみの実施となり、通常機体は常設となるため、準備作業にかかる工数を除くと、点検箇所 1 箇所の場合、1 分程度である。

- ・ 自動運航前の準備作業（人：87 分）※常設の場合は 0 分
 - ◇ 作業内容：機材準備・設置、機体確認、通信環境確認（LTE や現地回線など）、ミッション作成～走行試験、試験結果を踏まえた微調整等
 - ◇ 利用ツール：UGV R-201、Duo®ProR、レーザーメタン SMART

- ・ UGV 走行によるガス検知（システム：0 分）※検知すれば即時
 - ◇ 作業内容：プロポを用いた UGV の手動運航（点検箇所 1 箇所）
 - ◇ 利用ツール：UGV R-201、Duo®ProR、レーザーメタン SMART

- ・ ガス検知の結果確認（人：1～2 分）
 - ◇ 作業内容：UGV に搭載したカメラにより、リアルタイムに配信される動画を、10m～30m 程度離れた場所に設置したモニター上で目視確認
 - ◇ 利用ツール：モニター

<AI システム>

ISP Vision Library、ひびこ、ISP edgeAI での AI 解析

AI システムを利用した場合、データ転送から異常検知、画像解析結果の確認までの作業工数

は、撮影画像 1 枚あたり 15 秒～50 秒かかる。

- ・ AI 解析 (10～40 秒)
 - ◇ 作業内容：クラウドへの画像をアップロード、画像処理、AI 解析処理、
 - ◇ 利用ツール：PC、SD カード、ISP Vision Library、ひびここ、ISP edgeAI

- ・ AI 解析結果の確認 (5～10 秒)
 - ◇ 作業内容：アプリケーション上で AI 解析結果を閲覧し、異常有無を確認する
 - ◇ 利用ツール：PC (Windows の画像ファイル内)

<現行業務>

現場ヒアリングを行った結果、現行の巡視・点検業務では、1 日 2 回、作業員 1 名が目視で現場を確認し、点検結果を手書きで紙面に記録(約 1 時間)、その後 PC への点検結果のデータ転記(約 1～2 時間)を行うため、作業工数は合計 2～3 時間程度かかっているとのことである。また異常判断や詳細調査、対応についても、現状は点検時の異常検知の際に様々な観点で人が情報収集を行うため、状況把握や原因分析に一定の時間がかかっている。

- ・ 設備の巡視・点検における情報収集
 - ◇ 巡視チェックシートを基に、作業員が向上の周りを巡回点検。
 - ◇ 作業員がチェック項目の結果を手書きで記録。
 - ◇ 全チェック項目の記録完了後、別の作業員とダブルチェック
 - ◇ 記入ミスのある場合は、再度現場に戻り確認。
 - ◇ 紙面に記録した数値を PC に転記して、電子データ化。

- ・ 異常判断
 - ◇ 過去の点検記録を確認し、変化や異常を把握。
 - ◇ または巡視の際に作業員が五感と経験に基づき異常判断。

- ・ 詳細調査
 - ◇ 異常判断をした場合、他作業員に連絡し状況を共有。
 - ◇ 必ず複数人で対応判断の最終決定を行う。

- ・ 対応
 - ◇ 作業員は不具合に対する対応を行う。

【省力化に向けて留意すべきポイント】

<ドローン>

ドローンにおける Dock 利用有無の違い

Dock 利用なしのドローンと完全自動航行が可能な Dock 利用ありのドローンの違いとしては、後者の場合、技術的には現地でオペレーションを一切する必要が無い点がある。

Dock 利用なしのドローンは、自動航行・手動運航に関わらず、点検場所近くまで移動して準備～撮影～撤収までを行う必要がある。一方 Dock を用いる場合、設置した Dock の機体が飛行出来る範囲であれば、遠隔地からの PC 操作だけで飛行からデータのアップロードまでを遠隔で完結する事が出来るため、作業工数を大幅に削減する事が可能である。

大項目	中項目	ドローン (Dock利用なし)	ドローン (Dock利用あり)
機材準備		機体やペイロードの種類は比較的豊富でレンタル等も可能	○ Dockの敷設は、場所の選定、通信確保、電源確保、工事が必要 ×
飛行経路作成	プロポを用いた手動飛行	可能	○ 可能 ○
	事前に作成した飛行経路を用いた自動飛行	地図上での飛行ルートの作成	○ 地図上での飛行ルートの作成 ○
	Visual-SLAM機能を用い飛行ルートを遠隔操作で作成	不可	× Visual-SLAM機能を用い飛行ルートを自動で生成 ◎
写真画像撮影方法	プロポ等による手動撮影	パイロットの技量が大きく問われる	△ パイロットの技量が大きく問われる △
	ウェイポイントによる自動撮影	撮影以外にも様々なアクションをカスタム可能	○ 撮影以外にも様々なアクションをカスタム可能 ○
飛行前	機材点検	マニュアル等に従い、人により点検	△ Dockによる自動定期点検 ○
	現場移動	パイロットや補助員を含め、複数名が現地に向かう	△ クラウド型APPにより作業員が現地に向かう必要性がなくなる可能性 ○
	周辺状況確認	気象環境や衛星状況、携帯通信状況等をマニュアル等にそって人が確認	△ Dock付属の各センサーが自動で計測と確認 ○
	機材準備	マニュアル等に従い、人により点検	△ Dock設置と自動点検 ○
飛行開始	プロポを用いた操作	可能	○ 可能 ○
	クラウド型APPを用いた操作	カスタマイズが必要	△ ユーザーインターフェースがあり飛行に関する操作が可能 ○
	ローカル型APPを用いた操作	可能	○ 不可 ×
飛行中	プロポによる操縦と撮影	可能	○ 可能 ○
	プロポによる撮影	可能	○ 可能 ○
	自動飛行と撮影	飛行中断などの簡易的な操作は可能	○ 自動飛行中の遠隔手動操作も可能 ○
飛行後	機材点検	マニュアル等に従い、人により点検	△ Dockが自動で機体点検し、異常があればクラウドAPP経由で通知 ○
	撮像データ取り出し	SDカードの記憶媒体を利用	△ Dock、機体およびクラウドAPPがデータを同期 ○
	機材撤収	使用後、都度撤収し、充電等のメンテナンスが必要	△ 設置後は常設が可能。メンテナンス等はDockで実施 ○

図 47 ドローンにおける Dock 有無の違い※

※Dock 利用の場合は Skydio 社製のドローンの使用を前提としている。

飛行方法の特徴

通常の産業用ドローンと Dock 利用における操作の特徴は以下の通りである。点検の現場においては、それぞれの用途に合わせた向き不向きがあり、環境に合わせた運用を行う必要がある。

- ・ Dock 利用なしのドローンの手動運航
 - ◇ 特徴：プロポを用いてドローンの操作を実施する。飛行の都度操作を行う。
 - ◇ 長所：現地で人が操作するため、高スキル者が行えば鮮明な撮像が取得可能。
 - ◇ 短所：人のスキルに左右される。飛行毎に撮影角度や距離が異なる。

- ・ Dock 利用なしのドローンの自動航行
 - ◇ 特徴：GNSS を用いた、緯度経度設定からの飛行ルートと撮影方法を予め設定し、ドローンへの指示を行う。飛行中の操作は基本的には不要。
 - ◇ 長所：人のスキルに左右されない撮像データの取得可能。同じ画角で撮影可能。
 - ◇ 短所：GNSS や周辺環境により、正しい飛行が出来ない可能性がある。飛行は自動だが、データの受け渡し等は手動での対応が必要となる。

- ・ Dock 利用ありのドローンの手動運航・自動航行
 - ◇ 特徴：基本は自動航行であるが、自動航行中に、PC のキーボード等からドローンの移動や撮影を行う事が可能。ドローンの自動航行設定に加え、Skydio 社のドローンでは、GNSS を使わない手動運航のルートを記録した自動航行も可能。
 - ◇ 長所：現地に行かないオペレーションが可能（データもクラウド上で確認可能）
 - ◇ 短所：Dock を動かすことが困難なため、異なる場所に可搬する事が出来ない。まだ新しい製品のため、通常のドローンに比べて導入コストが高い。

実装に向けた要素技術

一つの事業所での継続的な点検・監視の省力化度合いの考え方として、点検対象物や飛行環境により大きく左右されるが、度合いとしては以下の順で省力化度合いが大きい。Dock 利用のドローン> Dock 利用なしのドローン(自動)> Dock 利用なしのドローン(手動)の順になっており、省力化度合いの向上としては、自動航行が重要と考える。

自動航行を行うことで、操縦技術向上等の手間が減る他、撮影データの再現性が高まり、AI 解析や過去の撮影との対比等が行いやすい。一方、自動航行の場合、ルート作成の手間、手動運航に比べて対象物への近接が行いにくい、撮影の微調整が行いにくい等のデメリットも存在する。様々な箇所の点検飛行や精密な飛行が必要とされる環境・点検頻度が低い場所等は手動運航で行う事が望ましい。

<UGV>

実装に向けた技術要素

UGV について、点検経路の走行、点検箇所の撮影、クラウドへの画像アップロード、UGV ポート（非接触給電）に戻っての充電まで、完全に自動化させることは技術的に可能である。その際、留意すべき点として以下に点が挙げられる。

- ・ 利用環境に合わせて機器の選定

長期間屋外で利用する場合、機体や搭載するカメラ等において雨や風等の天候の影響を受け劣化する可能性があるため、屋外利用に適した機器の選定を行う必要がある。また、使用頻度によっては、リポバッテリーを早く消耗する可能性があるため、定期的な人によるメンテナンスが必要となる。完全自動走行を行う際は、機器のメンテナンスも含めた現場での体制構築が合わせて必要となる。

- ・ 点検内容の要件定義

現行業務では、現場作業者の五感や経験に基づき、様々な観点から複合的に判断を行っている。しかし本実証で活用した UGV は予め決められたことのみを実行するプログラムとなっているため、人と同等の精度での点検を求める場合、人が無意識に行っている確認要素も含め、全て漏れなく洗い出し、システムの要件定義を行う必要がある。

<AI システム>

実装に向けた技術要素

AI システムにおいて、ドローンや UGV で取得した画像データを AI システムに転送し、異常検知を行うまで、完全に自動化させることは技術的に可能である。その際、留意すべき点として以下に点が挙げられる。

- ・ ドローン・UGV から AI システムに対するデータ共有

ドローン・UGV が独自のクラウドにデータ保存する仕組みを持っている場合は、AI システムからそのデータを参照する必要がある。その方法には以下の 2 パターンが考えられる。

- ◇ AI システム側からドローン・UGV の独自クラウドを参照する

（セキュリティ的に許可される場合のみ）

- ◇ API 連携により、ドローン・UGV の独自クラウドからデータを AI システム側へ送信する

ドローン・UGV が独自のクラウドにデータ保存する仕組みを持っていない、または、持っていない場合、ドローン・UGV で撮影したデータを AI システムへ直接アップロードする実装が必要となる。本実証では事業期間が短かったため、SD カードによるデータの手動取り込みを行った。

- ・ 異常検知した場合の通知

どのような形で通知を行うかは、現場の運用次第ではあるが、例えば、メールを使用するならば、メール送信出来るクラウドサービスを使用する、任意のメールサーバーに対してメール送信するプログラムを実装する、等が考えられる。

② 属人性：デジタル技術を使用することで、点検業務が特定の方の担当業務になっていることが、AI 解析結果の確認方法さえわかれば誰でもが実施可能であることを示す。

評価方法、ポイント

- ・ モニターに表示された検知結果の画面ショットを残す。
- ・ モニターに表示された検知結果を 3 事業者（ISP、パーソル P&T、PwC）にて確認し、最終判断を行う。

評価結果

【サマリ】

- ・ AI システムにより出力された検知結果の確認方法さえわかれば、誰でも同じ結果を導出することが出来た。
- ・ 今回は開発期間が短かったため、モニター上で解析結果を一覧で確認出来るシステムは開発していないが、そういったシステムの開発により点検業務からより属人性を排除出来る運用が可能になる。
- ・ また、本実証では検知結果を英語表記としたが、追加開発により日本語での表記も可能であり、実装時にはより分かりやすい確認画面にすることを想定している。
- ・ モニターに表示された検知結果の画面ショットについては、2.2.2 結果及び評価・分析 (2) 結果 (ア) 精度以降の各項目に掲載しているため、そちらを参照。

【詳細結果】

解析後画像の赤枠で示した右上に解析結果が表示される。



図 48 バルブ開閉の解析結果の例

※解析結果表示項目

Target ID : 検知対象番号、Angle[deg] : バルブの検知角度

Value state : 解析結果 (Close : 全閉、Half open : 半開、Open : 全開)

③ 省力化まとめ : 2つの評価項目を踏まえて、現行の人手による検知と比較して、同等以上の省力化が実現出来ていることを示すことが出来る。

評価方法、ポイント

上記の2つの検証結果を踏まえて省力化の実現について論述でまとめる。

評価結果

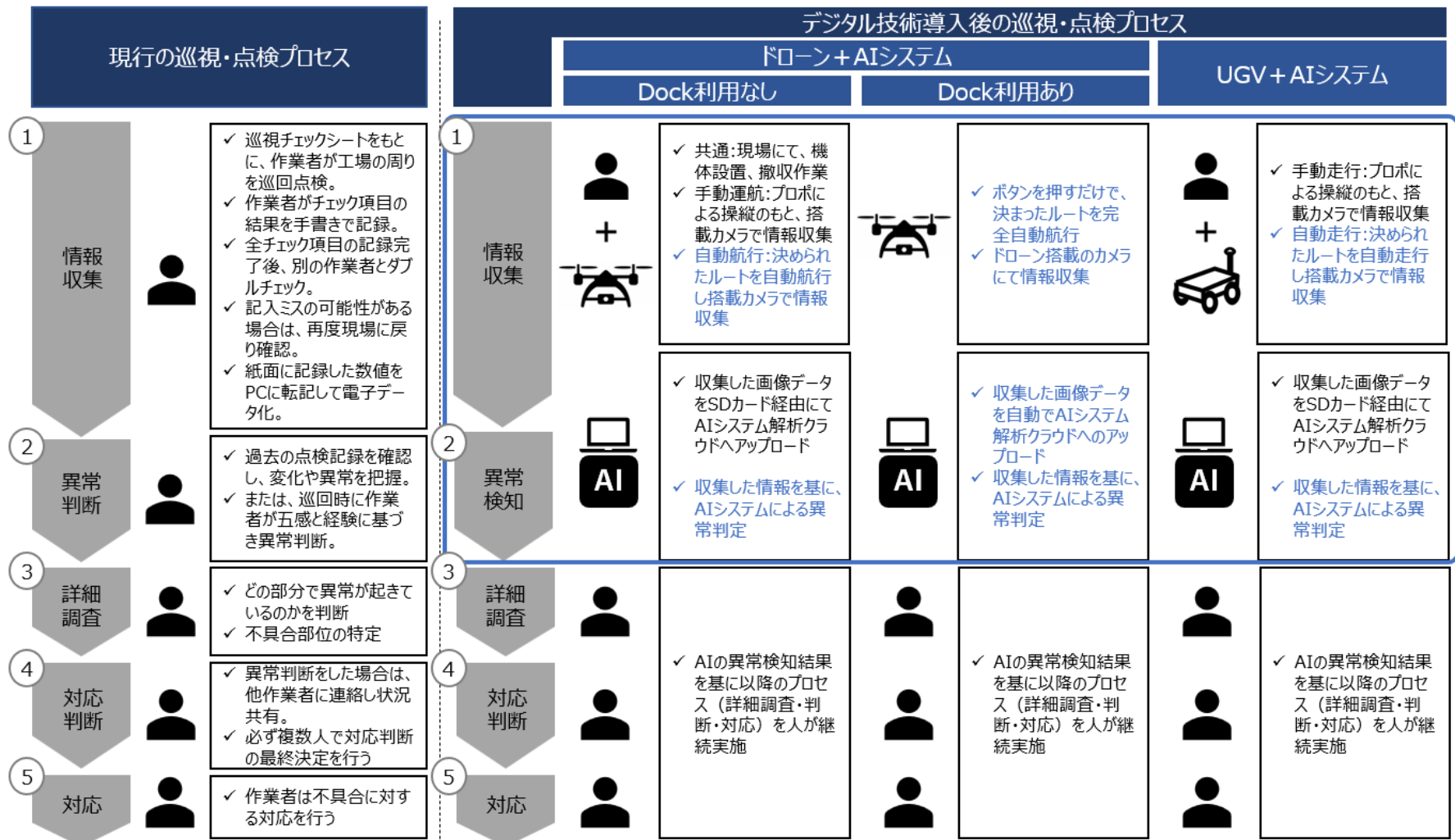
ドローンやUGVにおける手動運航/走行の場合、いずれにおいても現地でのオペレーションが発生するため、現行業務における現場での目視確認と同等の作業工数が発生してしまうことが分かった。しかし技術的には、どちらも Dock または電源ポートを利用することで完全自動航行/走行が可能となるため、大幅な作業工数の削減が期待出来る。

ただし、完全自動航行/走行の場合、ルート作成の手間や手動に比べて対象物への近接、撮影の微調整が行いにくい等のデメリットも存在する。実運用の際には、点検箇所の環境条件に即した技術を選定する必要がある。

AIシステムを活用することで、ドローンやUGVで取得したデータが自動でデータ化されるため、現行業務で行っている手書き記録のPCへのデータ転記作業は削減することは可能である。また本実証では、異常検知の通知までは行っていないが、実運用の際には、何かしらの異常（検知結果の異常に加え、検知漏れ等のAIシステム側のエラーも含む）が見られた際に、作業者にメールで通知が届く仕組みが出来れば、早期発見のメリットもある。

そして蓄積されたデータは遠隔での異常検知及び異常予測に繋げることが出来るため、これまで異常発生時に現場作業員の経験と知恵、そして過去の少ないデータに基づいて原因を特定し、対応判断を行っていた業務においても、大幅な作業工数の削減が期待出来る。また、AIシステムにより定量的な異常判断が実現されることによって、属人性の排除、人為的ミスなどを防止し、業務の安定化を図ることも可能となる。

以上のことから、環境に適した技術選定や、現場での環境整備、そして新しい技術の導入も検討することが出来れば、十分に現行の人による巡視点検と比較して、同等以上の省力化が実現出来ると考える。



【凡例】 青枠：本実証のスコープ範囲、青字：本実証にて自動化が確認出来た業務

図 49 デジタル技術導入前と導入後における巡視・点検プロセスの違い※

(ウ) 経済性

① 初期導入コスト：初期導入コストを算出し示す

評価方法、ポイント
ドローン、UGV、異常検知の AI で利用する技術の利用コストを算出し、初期導入コストとしてまとめる。
評価結果
<p>【サマリ】</p> <ul style="list-style-type: none">・ 現行の巡視点検業務において、システム等の利用はなく、全てアナログ対応で行っているため、初期導入コストは発生しない。そのため、ドローン、UGV、AI システムのいずれの技術においても、初期導入コストは高い障壁となり得る。・ Matrice30T + AI システムの導入費用は、約 7,000,000 円。・ UGV は、搭載するカメラやガス検知器も含めた上で、AI システムの導入費と合わせると、約 4,000,000 円かかる見込みである。 <p>【詳細結果】</p> <p><ドローン></p> <p>Matrice30T（機体）：2,000,000 円～ （ハードウェア、サポート、講習費用等含む）</p> <p><UGV></p> <p>UGV R-201（機体及び搭載機器）：4,000,000 円～ （カメラやガス検知器等も含めた部材費用、機体の製作、テスト走行費用含む）</p> <p><AI システム></p> <p>AI システム：5,000,000 円～ （システムのカスタマイズ費用、現地導入費用、教育費用含む）</p> <p>※2023 年 12 月時点の価格。為替等による変動あり</p> <p>※ドローンメーカーの選定理由は以下の通りである。</p> <ul style="list-style-type: none">・ Matrice30T <p>世界シェア 1 位とみなされる DJI 社（中国）の産業用ドローンで、一般的な産業用機体であり、サイズ・価格としてもラインナップの中間に位置する機体である。本実証においては、赤外線カメラを用いたことから選定した。赤外線カメラが不要な場合や初期導入コストを下げる場合は小型の機体を用いることも可能である。</p> <ul style="list-style-type: none">・ Skydio Dock for X2

Skydio 社（アメリカ）の屋外用の Dock 機体である。機体に搭載された 6 つのカメラで自己位置を認識し、衛星（GNSS）情報が無い場所でも安定した飛行を行うことが出来る。本実証では点検場所がパイプラック下・低高度の場所にあったことから選定した。Matrice30T を用いた DJI 社製の Dock 機体や、機体自体に LTE を搭載した G6.0 等、他の Dock も市場では購入することが出来る。

② 運用コスト：5 年、10 年の期間で確認した場合、人手で行っていた運用コストが 50%以下に削減出来る。

評価方法、ポイント

5 年、10 年の長期の視野で、技術的な変革点を考慮した運用コストを技術毎に算出し、運用コストとしてまとめる。

評価結果

【サマリ】

- ・ 現行の巡視・点検業務において、システム等の利用はないため、運用コストとしては人件費のみ発生している。ドローン、UGV、AI システムいずれの技術も、機体やシステム自体の費用が高額のため、現行業務にかかる運用コストと比較して 50%以下のコスト削減を見込むことは難しい。
- ・ ただし、今後これらの技術の市場が拡大することが期待されるため、部品等の価格も将来的には安価になることが予想される。
- ・ また、今回算出した導入コストは、あくまで本実証で使用した技術を実運用にて活用した場合の金額であり、また比較対象として算出した現行業務にかかる人件費も、限られた点検場所のみの金額であるため、導入コストのみの単純比較は難しい。
- ・ これらの技術を活用した際の直接効果となる業務品質の向上や業務時間の短縮による人件費の削減に加え、波及効果として、異常発生時の迅速な対応による設備の稼働停止期間の売上損失の低減や、現場作業者の安全確保に寄与することを踏まえると、結果的に事業所全体でのコスト低減に繋がる可能性は十分期待出来ると思う。

【詳細結果】

5 年、10 年の長期における現行業務にかかる人的コストを表 43 に示す。

表 43 化学製品製造従事者の巡視点検業務にかかる人件費

	5 年	10 年
人件費※	10,272,000 円	20,544,000 円

※1 日 2 回（計 4 時間/日）の作業工数、月平均の所定労働日数を 20 日と定義し算出した。現行業務における時給単価は、厚生労働者の「賃金構造基本統計調査による職種別平均賃金（時給換算）」の資料より、化学製品製造従事者における経験年数 20 年の平均賃金（2,140 円）を参考としている。

出典:厚生労働省「賃金構造基本統計調査による職種別平均賃金(時給換算)」
2024年2月16日 <https://www.mhlw.go.jp/content/000980675.pdf>

ドローン(Dock 利用なし)+AI システムにおける長期運用コストを表 44 に示す。

表 44 ドローン(Dock 利用なし)+AI システムにおける長期運用コスト※1

	5年	10年
ドローン維持費※2	1,092,455 円	2,075,665 円
AI システム費※3	21,100,000 円	42,200,000 円
合計	22,192,455 円	44,275,665 円

※1: 長期運用コストには、初期導入費用も含まれる。

※2: ドローンの維持費は、機体のみ金額となっている。ドローンの機体は Matrice30T を導入することを想定し、また減価償却期限(5年)利用後、買替することを前提とした。

Matrice30T より更に新しい機体が登場した際の、価格の下落率は過去の事例(Matrice210RTK→Matrice30T)を参考として、買換のタイミングで、機体料のみ10%削減されると仮定して算出した。

※3: AI システム5年毎に運用コストを削減出来るような技術的な変革点があり、その影響で10%削減出来ると仮定して算出した。また、今回使用したAI システムは画像ベースでデータ取得するため、基本的に夜間の運用は出来ないため、一日の運用時間を12時間とした。

UGV+AI システムにおける長期運用コストを表 45 に示す。

表 45 UGV+AI システムにおける長期運用コスト※1

	5年	10年
UGV 維持費※2	5,700,000 円	7,285,000 円
AI システム費※3	21,100,000 円	42,200,000 円
合計	26,800,000 円	49,485,000 円

※1: 長期運用コストには、初期導入費用も含まれる。

※2: UGV 維持費は、カメラやガス検知器等も含めた部材費用等、ネットワーク利用料が含まれる。カメラ、ガス検知器等は減価償却期限(5年)利用後に買替することを、UGV はコントローラーやタイヤ等の部品交換を3年単位で行うことを前提とした。ネットワーク利用料は毎月発生するものとして算出した。

※3: AI システム5年毎に運用コストを削減出来るような技術的な変革点があり、その影響で10%削減出来ると仮定して算出した。また、今回使用したAI システムは画像ベースでデータ取

得するため、基本的に夜間の運用は出来ないため、一日の運用時間を 12 時間とした。

③ 収集した情報の活用による経済的メリット：収集したデータの活用により、既存業務の効率化が期待出来る箇所が明確になり、事業所全体でのコスト低減や効率化に寄与出来る点を示すことが出来る。

評価方法、ポイント

- ・ 各技術を利用する中で、日常点検業務以外で活用出来るユースケースについて整理し、巡視業務以外で生まれる経済性のメリットをまとめる。

評価結果

【サマリ】

- ・ ドローンや UGV を活用し映像や写真データを蓄積することで、予防保全に基づく計画的なメンテナンスが可能となる他、3D モデル・点群データを作成及び活用することで、設備の錆や腐食に関するより詳細な情報を把握することが出来るようになり、異常検知の早期発見に繋げることが可能である。
- ・ AI システムの活用においては、データが蓄積されることによって、情報収集及び異常検知における精度向上を図ることが出来、また、点検箇所による個別のカスタマイズにも活用することが出来るため、経済的なメリットを受けることが可能である。さらに、現行業務では、データ収集・活用の環境が整備されておらず、作業員の五感に基づく属人的な異常判断が行われているが、データが蓄積されることで一定の基準に基づいた判断が可能となるため、経験の浅い作業員でも対応することが出来るようになる。
- ・ また本実証では、開発期間の関係上対応していないが、蓄積したデータを基にレポート作成まで自動化出来れば、その分の作業工数も削減することが可能となるため、実運用を行う際には、追加実装の検討を行うことで、更なる省力化効果を期待出来る。

【詳細結果】

<ドローン/UGV>

- ・ 予防保全への活用
ドローン、UGV において、特に自動航行/走行を行う場合、点検対象物のほぼ同じ写真データの取得が可能となる。そのため、錆や摩耗等の進捗を把握する事ができ、予防保全のタイミングが明確になる。装置等を止める時間を最小限にしながら補修を行う事で、装置停止の時間短縮による売上損失の減少や修繕コストの低下につなげる事が可能となる。

- ・ 3D モデル・点群データの作成及び活用
点検では近接した撮影を行う事が多いが、点検対象物（タンクやパイプ等）全体を余すことなく撮影し、3D モデルを作成する事も可能である。3D モデルによるメリットとして、設備や工場全体を 1 つのファイルとして確認する事が出来るため、設備等の全体把握を行う事も可能である。特に錆等は全体の腐食状況を把握する事も可能なため、点検箇所以外にも状況を把握する事が可能となる。また、作成した 3D モデルは、計測も可能であるため、改修やメンテナンス等、様々な

分野で活用する事が出来る。

ドローンの飛行についても、作成した 3D モデル・点群データから自動航行ルートを作成出来るソフトウェアが登場している。実際の 3D モデルを用いる事で、より精密な飛行ルート・撮影を行う事が可能となり、点検精度向上も行う事が出来る。

<AI システム>

- ・ AI 解析における学習データの蓄積

現状、錆や計器において、正常・異常の判定は人で確認を行う事が一般的である。AI の解析では、正常か異常かを判定させるために、閾値や異常データを AI に学習させる必要がある。AI も汎用的なサービスから、個別にカスタマイズをするものまで多数存在する。ドローンを導入した後に AI サービスを取り入れる場合でも、過去から蓄積された写真データ等を用いる事により判定率の向上を図れ、学習データの作成工数が削減されるため、経済的なメリットを受ける事が出来る。また、錆や傷等は、非常に種類が豊富になるため、AI 解析を行う際には、様々なパターンのデータが必要になるため、過学習による誤検知等のリスクはほとんどないものと考えている。

- ・ 経験の浅い作業者の業務範囲拡大

例えば、人手による劣化診断を行う場合を考える。劣化として検知すべきかどうかの基準は“経験者”と“経験の浅い作業者”では異なり、あらゆるパターンの基準を委譲することは難しいことが予想される。経験者の知見を AI として学習させたシステムを使用することで、経験者にしか出来なかった劣化診断を経験の浅い作業者でも機械的に行う事が出来るようになる。

- ・ 作業員毎の判断基準の統一

作業員の観念的な判断を、機械的な判断に変えることが出来るようになり、劣化の判定基準を統一出来るようになる。

- ・ 効率的な運用に向けた詳細な分析

アナログメーター等の計測値を集計し、時間的変動・季節的な変動の分析などから、より効率的な運用に繋がられるようになる。

- ・ レポートの自動作成

異常検知 AI システムと連携させてレポートを自動作成出来るようにする（追加実装が必要）。これにより、社内外に報告する際のレポート作成のコスト削減に繋がられる可能性がある。

④ 経済性まとめ：①～③の評価項目を踏まえて、人手による検知方法よりもデジタル技術により代替したほうが経済性に優れる。

評価方法、ポイント

上記の 3 つの検証結果を踏まえて経済性について論述でまとめる。

評価結果

現行業務における巡視・点検では、特にシステム等の利用はないため、初期導入及び運用コストは人件費のみである。今回使用したドローンや UGV、AI システム自体の費用が現状高額であるため、現行業務にかかる人件費と単純に比較すると、コスト削減を見込むことは難しいと言える。ただし、今後これらの技術は、市場拡大により部品等も安価になることが予想される。

また、ドローン、UGV は巡視・点検目的だけでなく、機械警備や、特定の荷物の輸送といった活用範囲を広げることで、投資コストの回収範囲を広げるといったことも考えられる。

AI システムにおいては、蓄積したデータを活用することで、予防保全に繋げることが可能となる。また本実証においては、異常判断後の詳細調査や対応判断及び対応といったプロセスは技術活用のスコープ外ではあったが、既存の AI システムの中には、異常の検知結果を基に設備全体における現在の状態やそのリスク傾向を分析・システム上に可視化した上で、異常箇所及び推奨される対応策が提示され、現場作業者がその対応策を参考にしつつ、異常判断を実施するという仕組みも開発されている。^{*}そのため、今後こういった最先端の技術を活用することが出来れば、異常発生時の原因特定のための情報収集を行う工数を短縮することが出来るため、結果的に設備の稼働停止期間の売上損失の低減等にも繋がる可能性がある。

このように、これら技術を活用することによって得られる波及効果も含めて、経済性の観点を評価すると、結果的に事業所全体のコスト低減に繋がる可能性が高いと考える。

^{*}参考ケース：シーメンス：分析および AI サービスによるデジタル化の推進

<https://www.siemens.com/jp/ja/products/services/digital-enterprise-services/analytics-artificial-intelligence-services.html>

NEC：インバリエント分析

<https://jpn.nec.com/ai/analyze/invariant.html> ○○の○○サービス (https)

(工) 導入・運用の容易性／技術の汎用性

- ① 導入の容易性：導入における前提条件や設置・導入の技術要件が他の業務における条件と比較した際に、大きく異なる技術課題の要件がない。

評価方法、ポイント
ドローン、UGV、AI システムの導入にあたって技術要件を整理し、導入にあたっての特殊性がないことをまとめる。
評価結果
<p>【サマリ】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ いずれの技術においても、前提となる利用環境の整備は必要になるものの、環境下に合わせた機器選定や運用方法を行うことや、基本的な操作方法の習得が出来れば、導入において特筆すべき大きな障壁はないと考える。 ・ ドローンは、市場流通から一定期間が経過し、飛行に際する安全対策機能は高まっているが、点検・巡視を行うにあたって環境に応じた機体の選定・オペレーターの育成が必要である。工場等でのドローン利用については、一定の留意点はあるものの、導入においては大規模な設備や工事は不要である。 ・ UGV は、自動走行を行う際に、導入初期は必ず現場に即した走行ルートの作成が必要と

なることから、プロポによる人の操縦が求められる。また、UGV の利用環境下では、位置補正サービスが受けられるエリアかどうかの確認が必要であり、もし利用できない環境下であった場合は、UGV を目的地まで走行させるためにプロポによる人の操縦が必須となる。

- ・ AI システムは、クラウド上に AI システムを構築するため、データを確認する必要があり、PC 利用環境が必要である。またシステム利用時の初期設定として、各種設定ファイルも必要となる。今後実運用の際には、異常検知機能の追加・削除・変更が容易に出来る仕様を想定することで一般的なソフトウェアとしての運用が可能になると考える。

【詳細結果】

<ドローン>

- ・ 点検・監視を行う環境に合わせた機器選定

工場・プラントは、電波の干渉や、衛星・磁気の乱れ等が発生しやすい環境である。点検・監視を行う対象物の場所や撮影方法に合わせて最適な機体の選定・飛行ルートの設定が重要である。地上の環境が悪い場合でも上空からカメラのズーム機能を用いて撮影する等の代替方法もあり、ドローン事業者と環境調査を行い、最適な機器を選定する事が重要である。

- ・ 運用環境・設置場所の整備

ドローンを用いる場合、敷地内での通常作業・メンテナンス・工事等に影響を与えないような調整が必要である。そのため、事業所内での連携方法の取り決めが重要となる。運用する人員においても、ドローンの飛行技術だけでなく、事業所の状況把握や連携を行う事でドローンの導入がスムーズになる。Dock を設置する場合は機種により異なるが、据え置きとなるため、以下の環境構築が必要となる。

◇ 設置場所・電源の確保

Dock から半径 5m~10m程度の開けたスペースが必要となる。屋外の場合、衛星の補足も重要となるため、空が開けた場所を選定する必要がある。また、Dock が開閉できない際や強風等による着陸不可時には、Dock 以外の場所に着陸する機能を有しているため、Dock とは別にスペースを確保する必要がある。また、安全対策として、Dock 周辺を把握出来る固定カメラ等を設ける事で、より安全な離発着を行う事が出来る。電源については、現状一般的に購入できる Dock 類での最大は消費電力 1500W 程度であるため、特殊な工事等は不要である。

◇ 通信手段の確立

Dock 及び機体をインターネットに接続する必要がある。本実証で用いた例として Dock との有線接続、Skydio Dock for X2 を用いる場合は飛行エリアでの無線 LAN 環境の構築が必要となる。Dock 対応のドローンは飛行中のリアルタイム映像配信、撮影写真・動画のクラウドへのアップロードが発生するため、通信量が膨大となる。そのため、モバイル回線では通信速度・通信容量制限で利用が適さないケースがある。自社でのネットワークに接続出来る場合は問題ないが、ネットワーク未整備の拠点や別系統での構築が必要な場合は、Starlink 等を用いる

事で通信手段を確立する事が可能となる。

<UGV>

- ・ 利用環境に合わせた運用方法の選択

本実証で使用した UGV では、高精度測位サービス「ichimill」を利用しているが、Softbank の基地局から位置の補正情報を受け取るため、基地局が近くにない場合は、補正情報を受けることが出来ない。その場合、UGV は通常の GNSS 信号のみとなり、誤差が大きくなる可能性があるため、指定の点検箇所まで進むことが困難となる。そのため、補正情報を受け取れない環境下では、プロポによる人の操縦が必要となるケースが多い。

- ・ 初期導入時の人による走行ルート作成の実施

UGV で完全自動走行を行う場合、自動走行ルートの作成が必要となる。その場合、グーグルマップの情報を基にして行うのだが、状況の変化による既存の地図が使用できない場合があるため、必ず現場に即したマップを作成するために、手動での走行ルートの作成が求められる。UGV も発展途上の技術であるため、緊急時の対応に備え、実運用を行う際には、現場作業者を 1 名必ず配置しておくことは安全面の観点で重要と考える。

<AI システム>

- ・ PC 利用環境の整備

クラウド上に AI システムを構築しているので、データをアップロード・ダウンロードして確認するための PC が必要となる。その際、使用する PC としては、Windows が動作すること（最新 OS が動作し、セキュリティパッチが適用されていることが望ましい）が望ましい。またインターネット接続環境としては、データのアップロード・ダウンロードをする必要があるため、現場で必要となる速度が期待出来る回線を用意する必要がある。

- ・ 各種設定ファイルの作成

システム利用時の初期設定として、各種設定ファイル(カメラパラメータファイル・歪みパラメータファイル・アナログメーターのアノテーションファイル)の作成・設定が必要だが、それ以降の運用においては不要である。

- ・ 異常検知機能の追加・削除・変更が容易

異常検知機能は種類毎にコンポーネント化しており、追加・削除が容易。仮に本実証で使用した技術を使う場合は、少量データでの学習が可能のため、異常検知機能を追加・変更する際は迅速な運用開始が可能である。

② 運用の容易性：デジタル技術の運用において、ある一定の研修を受けた後、指定された手順の下であれば運用可能なレベルである。

評価方法、ポイント
ドローン、UGV、AI のシステムを運用にあたって必要になる人材要件、システム要件を整理し、導入にあたっての特殊性がないことをまとめる。
評価結果
<p>【サマリ】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ いずれの技術においても、基本的な PC スキルが必要となる他、一時的に専門の事業者からの研修を受け、各技術の運用方法を習得する必要がある。 ・ AI のカスタマイズや高度なドローンの操縦という点については、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業務に関与出来る状態にすることが、今後検討していく上で非常に重要である。そして、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。 <p>【詳細結果】</p> <p><ドローン></p> <p>ドローンの運用においては、2022 年に国家資格として操縦ライセンス制度※が設立され、運用についての基礎はライセンスの取得の過程で学ぶことが出来る。実務においては、産業用に特化した講習として、一部の企業が専門コースを設けており、技能・運用の学習を行うことが出来る。また自動航行や Dock の運用についてもメーカー等が導入講習を設けているため、基礎を学んだ後に、適した学習を行うことで実務を行うことが可能となる。</p> <p>自動航行に際しては、最適なドローンを導入検討する際にドローン事業者に自動航行のルート作成を依頼することも可能であり、作成されたルートの飛行を行う場合は運用手順に則った運用が可能となるため、運用難易度は低減する。運用中に飛行ルートを変更することも想定されるため、実運用と並行して、現地トレーニングを行うことで習熟することが必要となる。</p> <p>※ドローンの操縦ライセンス制度とは、2022 年に国土交通省が創設した、無人航空機を飛行させるために必要な知識及び能力を有することを証明する制度（技能証明）のこと。技能証明は、一等無人航空機操縦士（一等資格）及び二等無人航空機操縦士（二等資格）に区分される。いずれも有効期間は 3 年間となっている。</p> <p><UGV></p> <p>UGV の運用においては、運行情報のプログラム用として PC を使用するため、基本的な PC 操作スキルを必要とする。また上述したように、初期導入時や利用環境下によっては、プロポ（ラジコン用送信機）による手動操作を行うことになる。基本移動は前進と旋回のみ、加えて機体の安全装置、カメラ操作が必要となるため、これらの基本操作と付加機能の習熟として 30 分程度、専門事業者からの講習を受ける必要がある。</p> <p><AI システム></p> <p>AI システムの運用において、必要となる人材要件は、Windows PC が使用出来るスキルを有</p>

すること、AI システムの使用方法が書かれたマニュアルを学習し、その通りに使用出来るスキルを有すること（問題発生時のログ確認も含む）が挙げられる。

※ただし、AI モデルのアップデートやカメラ変更時・固定カメラ設置変更時の各種設定ファイル(カメラパラメータファイル・歪みパラメータファイル・アナログメーターのアノテーションファイル)の更新等は保守費用の範囲内で行う前提とし、ここでは記載対象外としている。

③ 選択技術の汎用性：技術実証で使用する技術は市場において広く認知されて、代替可能である。

評価方法、ポイント

- ・ ドローン、UGV、AI のシステムにおいて、市場に代替可能な（類似した、競合）製品、サービスをまとめる。
- ・ 技術実証で使用する技術は市場において広く認知されて、代替可能であることを示す。

評価結果

【サマリ】

ドローン、UGV、AI システムいずれの技術も市場に代替可能な製品は存在する。

【詳細結果】

<ドローン>

本実証で利用したドローン「DJI 製:Matrice30T」と同様の目的で使用可能な候補機材は以下の通りである。

- ・ [Airpeak \(SONY 社製：日本\)](#)
- ・ [ANAFI \(Parrot 社製：フランス\)](#)
- ・ [AtlasPRO \(Atlas Dynamics 社製：アメリカ\)](#)
- ・ [Evo \(Autel Robotics 社製：アメリカ\)](#)
- ・ [EP-1 \(竹中工務店、アクティオ、センシンロボティクスの共同開発：日本\)](#)
- ・ [Skydio X2, X10 \(Skydio 社製：アメリカ\)](#)
- ・ [G6.0 & Nest \(CIRC 社製：台湾\)](#)
- ・ [蒼天 \(ACSL 社製：日本\)](#)

<UGV>

本実証で利用した UGV の位置情報取得装置、車両コントローラーと同様の目的で使用可能な候補機材は以下の通りである。

- ・ 位置情報取得装置
 - ◇ [Ichimil \(Softbank 社製：日本\)](#) ※本実証で使用
 - ◇ [Mosaic \(Septentrio 社製：ベルギー\)](#)
 - ◇ [Serius RTK GNSS \(Drotek 社製：フランス\)](#)

- ・ 車両コントローラー

- ◇ [HEX pixhawk2 \(SmartFly Tech 社製：中国\)](#)

- ◇ [Pixhawk \(Radiolink 社製：中国\)](#)

<AI システム>

本実証で使用した AI システムのクラウド環境と、異常検知 AI、AR マーカー検出ライブラリと同様の目的で使用可能な候補機材は以下の通りである。

- ・ クラウド環境

GPU 対応のクラウド環境であれば、他のクラウド環境の利用も可能である。

本実証では AWS を利用したため、Lambda 等のサービスを利用しているが、Microsoft Azure 等の別のクラウドでも同様のサービスがある。

- ◇ [Microsoft Azure Functions \(Microsoft 社製：アメリカ\)](#)

- ◇ [Google Cloud Functions \(Google 社製：アメリカ\)](#)

- ・ 異常検知 AI

本実証で使用した AI 以外で異常検知することは原理的・技術的に可能である。（ただし、追加学習は必要になる）

- ・ AR マーカー検出ライブラリ

今回使用した AI システム内部で使用しているライブラリ以外のライブラリも存在する。

④ 導入・運用の容易性／技術の汎用性：3 つの評価項目の内容を踏まえて、技術実証に使用するデジタル技術の導入・運用の容易性と技術の汎用性の両面があることを結論付けられる。

評価方法、ポイント
上記の 3 つの検証結果を踏まえてデジタル技術の導入・運用の容易性と汎用性について論述でまとめる。
評価結果
ドローンや UGV の導入及び運用においては、前提となる利用環境(機体の運用・設置環境、通信環境等)の整備は必要になるものの、基本的な操作方法の習得が出来れば、導入において大規模な設備工事等は不要であるため、特筆すべき大きな障壁はないと考える。 ただし、運用の容易性の観点として、特に 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、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、このような人材が容易に業務に関与出来る状態にすることが、今後の対応を検討していくべき点として重要である。そして人材の内製化をより経済的に進めるため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。

技術の汎用性の観点では、今回使用した技術はどれも一般に流通するものであり、また今後も市場が拡大していくことが予想されるため、汎用性は高いと言える。ただし、AI システムにおいては、一般に流通するサービスの機能のみでは、検知対象によって判定精度が変わる可能性があるため、検知対象毎にどのような学習データが必要かの検討及びデータ取得、閾値やパラメータの設定等の AI のカスタマイズが必要となる。

(オ) デジタル技術利用の安全性

- ① ドローンと UGV における設備・作業者に対する安全性を確保するために講じられる対策や運用方法を示すことが出来る。

評価方法、ポイント
<ul style="list-style-type: none"> ドローン、UGV の運航に関する安全性への配慮についてまとめる。
評価結果
<p>【サマリ】</p> <ul style="list-style-type: none"> ドローンにおいては、安全対策機能は複数用意されている。ただし通信断絶時の機能等、事前の設定が重要な項目も多く、環境に応じた設定、飛行に入る前の確認が非常に重要となっている。 UGV においては、設備や人への接触時の衝撃緩和のために、緩衝材の取り付けを行う。運用上では、走行前に機体の周辺や走行経路上に障害物（人影）がないことを確認する等が必要である。 <p>【詳細結果】</p> <p><ドローン></p> <p>近年グローバルで用いられているドローンはメーカーにより異なるものの、安全対策性能は進化している状況である。作業者・周辺環境への安全対策として主な機能を以下に記載する。</p> <ul style="list-style-type: none"> 衝突防止・回避機能 <p>ドローンに搭載された衝突防止としてレーザー・画像による衝突防止機能が存在する。過去は前方・下方のみであったが、現在は全方位の衝突防止が行われている。点検・監視の飛行では必ずしも前方を向いた飛行ではないが、全方向での衝突防止機能であるため、安全に飛行を行うことが出来る。本機能は手動運航・自動航行時共に機能するため、自動航行においても、飛行ルートの障害物を検知することが出来る。</p> <ul style="list-style-type: none"> 離陸前の不具合検査機能 <p>衛星受信のエラー、ドローンの機材の取り付け忘れが発生した際には飛行が行われない機能があり、準備漏れによるリスクを防止出来る。</p> <ul style="list-style-type: none"> 通信断発生時の安全対策機能 <p>電波障害等により、ドローンとプロポとの接続が断絶した場合、その場でのホバリングや離陸地点</p>

に自動帰還する等の場所に応じた設定が事前に出来るようになっている。工場・プラントでは通信の断絶が発生する可能性があり、運用方法に合わせた事前対策が可能となっている。

上記の様な安全対策機能は複数用意されている。ただし通信断絶時の機能等、事前の設定が重要な項目も多く、環境に応じた設定、飛行に入る前の確認が非常に重要となっている。また、特殊なドローンを用いる場合、搭載されている安全対策機能が、多く流通しているドローンに比べ少ないケースが多い。その場合はオペレーターが機体の特性・飛行環境をよく理解し、運用を行うことが重要である。

防爆対応のドローンは一般的に入手が困難である。そのため、常時防爆対応が必要な場所以外は、別のツールを用いて事前に飛行が可能かを調べる必要はあるため、他機器との連携等の検討が必要となる。

<UGV>

本実証では未搭載だが、LiDAR（Light Detection And Ranging: レーザー光を照射して、その反射光の情報をもとに対象物までの距離や対象物の形などを計測）や TOF センサー（Time of Flight: 発した信号が対象物に反射して返ってくるまでの時間をもとに距離を計測）による障害物からの離隔を確保することが技術的には可能である。また設備や人への接触時の衝撃緩和のために、緩衝材の取り付けを行う。運用上では、走行前に機体の周辺や走行経路上に障害物（人影）がないことを確認する。

(4) 評価・分析

(ア) アナログ規制の見直しに資するか

実施項目 A では、ドローンと UGV によるプラントの設備巡視と AI による異常検知の自動化の実証を行った。今回の実証結果から分かる通り、AI システムを導入することにより、一部検知漏れは発生したものの、それらを除くと高い確率で正しく情報収集及び異常検知を行うことが出来た。AI システムの精度としては、様々な前提条件が揃った環境下において、正確な画像情報の取得（撮影角度や距離の確保等）が出来れば、一定の期待値を満たす結果を導出することが出来ることが分かった。

本実証は、完全屋外での撮影だったため、一部天候や時間帯などの環境面での影響による検知漏れ及び誤検知が発生した。一方で、AI システム側の問題としては、開発期間が短かったことにより、AI 学習に使用するデータ数や種類が限られていたことや、解析前の画像処理、異常検知の閾値やパラメータの設定が原因となり、解析精度に影響を与える結果となった。これらの詳しい原因を特定し、実現性の高い対応策を示すことが出来たことで、実運用の際には、AI システムの更なる精度向上が期待でき、人と同等の判定精度の確保は可能と考える。

省力化の観点において、Dock を利用しない、ドローンの手動運航または自動航行の場合、必ず現地でのオペレーションが発生してしまうことから、現行業務における大きな時短効果を見込むことは難しい。しかし、一方で、Dock 利用の場合は、完全自動航行のため、危険な現場への移動な

く、自動で情報収集が出来ることから、定期点検も実現することが可能となる。ただし、現状では遠隔からのオペレーターによる監視が必要である。また、飛行の許可・承認の申請手続は必須であり、国土交通省からその許可・承認を受けた後に、ドローン情報基盤システム 2.0(DIPS2.0)に登録が必要かつ通報飛行日誌の作成など必要な書類作成等も併せて必要である。また UGV の完全自動走行においても、初期導入では走行ルートの作成を行う関係で手動操作が必要となるため、必ず現地でのオペレーションが発生する。またネットワーク環境によっては UGV の正確な位置情報が取得できず、プロポによる操縦が必要となる場合がある。ただし、いずれにしても、全作業行程の一部分における人の介入であり、80~90%の割合で完全自動化が実現出来るものと考ええる。

また波及効果として、これらの技術を活用し、取得したデータが蓄積されることによって、遠隔での異常検知及び異常予測が可能となる。これまで異常発生時に現場作業者の経験と知恵、そして過去の少ないデータに基づいて原因特定や対応を決める必要があったが、事前に異常箇所のデータを取得・分析し対応方針を検討した上で、設備の保守対応が出来るようになるため、作業工数の大幅な削減に期待出来るものと考ええる。

今回使用した技術はどれも、広く市場で流通しているものであり、今後更に市場の流通量の拡大を期待出来ることから、現状、初期導入及び運用コストにおいて障壁があるものの、将来的には安価になることも予想される。そのため経済性の観点においては、中長期的に見た場合、業務の省力化による人件費の削減や生産性の向上、現場作業者の安全確保に寄与することを踏まえると、結果的に事業所全体でのコスト低減に繋がる可能性があると言える。

以上の結果から、ドローンまたは UGV と AI システムを導入することで、これまで人が行っていた情報収集や異常判断に係るプロセスを削減することが出来、点検の精度、頻度、範囲、時間の拡大の可能性が示唆された。よって、アナログ規制の見直しに資するものと考ええる。

(イ) 実現場での技術等の活用・導入に当たってのポイント

① ドローンの飛行方法の使い分けと環境条件

本実証では、ドローンの手動運航を行ったが、省力化度合いを向上させる場合は Dock 利用のドローンの自動航行が重要と考える。自動航行のメリットとしては、手動運航で必要となる操縦技術の習得の手間が減る他、撮影データの再現性が高まり、AI 解析や過去の撮影との対比等が行いやすい。一方、自動航行の場合、手動運航に比べて撮影の微調整が行いにくい、等のデメリットも存在する。様々な箇所の点検飛行や精密な飛行が必要とされる環境、点検頻度が低い場所等は、ドローンの手動運航や他の適用技術で行うことが望ましい。

ドローン飛行の環境条件として、一般的なドローンは GPS や GNSS を利用して飛行位置をコントロールするため、電波の届かない、あるいは電波受信強度が弱い場所（例：山や溪谷、雲の多い天候、ビルの間、屋内）での使用は出来ない。本実証においては限られた範囲のみでの飛行であったが、今後実運用の際に点検エリアが拡張された場合、周辺環境によっては GPS が途切れる可能性を考慮する必要がある。なお、非 GNSS 環境下での自動飛行/無人運用ができ、かつ製品化しているという要件を満たすものは現状、Skydio 社の製品のみであるため、屋内での利用等、

電波環境の弱い場所では、そういった製品を選ぶ必要がある。

ただし留意点として、自動航行の場合でも、GPS 情報の誤差や飛行品質の低下等の理由から、急遽手動運航を行う必要が発生する可能性も高いため、一定の操縦スキルは身に付けておくことが求められる。

② UGV による自動走行と環境条件

大内新興化学工業のように施設内が非常に広い上に、設備が複雑に配置されている場合、効率的かつ確実、そして安全に巡回を自動化するには UGV の自動走行技術が一定有効であると考えられる。本実証では、検知対象物の位置にばらつきがあり、UGV 搭載のカメラの高さや角度の調整、また移動は全て手動で実施したが、現場では定期点検が出来ることが重要である。実運用の際には、巡回から撮影までを自動化することで、作業者が現場を回る従来型の巡視・点検を代替でき、業務品質の向上や省力化に繋げることが可能となる。

本実証では未搭載だが、安全面の観点で走行中 UGV と障害物の距離をセンサーにて確保することが技術的には可能である。ただし万が一のためにも設備や人への接触時の衝撃緩和のために、緩衝材の取り付けを行うなど工夫が必要である。また、運用上では走行前に機体の周辺や走行経路上に障害物（人影）がないことを確認する必要がある。

③ AI システムにおける異常検知方法及び通知・レポート

本実証では、迅速な開発が求められたため、AR マーカーを使った対象特定方法を用いた。しかし、実運用となると膨大な数の工場設備が巡視対象物となるため、これら全てに AR マーカーを設置することは現実的ではない。アプローチとして AI のディープラーニング等を活用し、汎用性が高まる方法を実装する必要があると考える。また異常検知した際の通知や分析、レポートまでは実証内容に含めていなかった。実際に運用する場合は、例えば異常検知の通知にメールを使用する場合、メール送信出来るクラウドサービスを使用する、任意のメールサーバーに対してメール送信するプログラムを実装する、等が考えられる。また、現行業務において、人が目視で巡回し取得した情報は手書きされることが多く、また作業内容や結果が属人化され蓄積が難しいといった課題がある。実運用においては、取得したデータを蓄積し、分析、レポートまで人を介さずに完結させることで、更なる業務効率化が期待出来る。

(ウ) 実証を通じて明らかになった課題や改善の方向性

① 正確な画像情報収集のためのドローン及び UGV の組合せ使用

本実証ではドローンと UGV のそれぞれで対象物の撮影を行った。もし特定の対象物の状態を正確に監視しようとするなら、固定カメラの利用が考えられるが、工場やプラントとなると対象物が膨大になり、固定カメラを網羅的に設置しようとする非常に大きなコスト負担になる。このため、ドローン、UGV を使用し、広い範囲で、膨大な対象物を巡回しながらモニターする、という機動力を生かした情報収集は有効な面がある一方、正確な画像情報を収集するためには、その離隔や角度が場所や時間帯、天候といった様々な外部条件に左右され一様な精度で撮影することの難しさが明らかになったと考える。

一方で、撮影場所に応じたアプローチとして、ドローンと UGV を組み合わせてカバーするという事は一つの現実解として取り扱うことが出来ると考えられる。上空から撮影する方が良いもの、地面からの距離を適宜変更しながらも、込み入った場所で撮影出来ることが求められるものなど、対象物に応じたアプローチをデジタル技術の組合せから検討していくことが必要であることが明確になったと考える。

② 正確な物体検知のため画像処理と AI モデル

今回、開発・検証期間が短期であったため AR マーカーを使用した物体検知を行ったが、実運用の中ではこのアプローチを膨大な設備が設置されている工場やプラントにおいて適用することは難しい。また、AR マーカー自身の検知漏れも、一定数発生している点からすると、AR マーカーを使用する場合にも、陰影の補正等画像処理の能力アップが対象物の検知漏れを防ぐために必須の要件になる。

AI モデルを適用する前に、画像データを解析しやすい状態に整えるための前処理として画像処理が行われる。その際画像の明るさ調整や、ノイズ除去、エッジ強調などの画像改善や対象物の切り出しを行う。今回検知対象物の検知漏れや誤検知を引き起こした原因としては、この前処理が上手くできていなかったケースがほとんどであった。

ドローンや UGV で撮影する画像の画質や画角、明るさの調整を事前に行うことを前提としつつも、精度の高い解析を行うためには、いかに AI モデルに投入する前に最適な画像処理が出来るかが重要となる。

特に、AR マーカーの使用が困難になる実現場においては、より精度の高い物体検出のための AI モデルが必要になるため、AI モデル自体の高度化が必要になると考える。本実証では、学習に使用したデータ数が限られていたが、今後実用化に向け、学習に使用するデータ数や種類（時刻・撮影角度・対象の種類・撮影機材等）を増加させることで精度向上に向けた対策が必須になると考える。

③ AI システムの多角的な判断基準

本実証における検知結果の画面では、限られた情報のみの表示となっており、単独での判定に不安要素があるものも見られた。例えば、配管の錆の検知の際、本実証では、劣化の有無のみを判断しているが、実際に人が目視で確認する際は、配管の肉厚までを確認し、劣化がある場合でも対応が必要な劣化か、必要ない劣化かの判断を行っている。

本実証では、異常判断において定量的な評価は行っていないが、実運用にあたっては、ドローンや UGV、AI システムに腐食、汚れ、錆、亀裂等の計測ツールを搭載することも精度や業務効率化の観点で検討に値すると思われる。

人による点検においても、目からのみ入る情報だけでは判断がつかない場合も多く、現場では様々な観点からの複合的な判断を行っている。これらの技術を活用する際も、一つの事象だけで判断するのではなく、様々な観点からの複合的な判断を設ける仕組みを検討することで、適用出来る条件が広がっていくものと考えられる。

(エ) アナログ規制の見直しにあたり留意すべき点等

Dock を提供するメーカー（例：Skydio 社）の製品では、Dock の設置にコストは生じるものの Dock に対応するドローンを併用することで、充電、機体点検、天候状況の把握、データのクラウド保管など、これまで人的コストをかけていた運用の省力化・自動化をさせることが可能になる。

また、機体の機能として Visual-SLAM に代表とされる環境地図作成機能などがある場合、ない場合と比較してより安全な運用を行うことが可能である。

一方で、Dock そのものやそれらの特徴的な機能を持たない場合であっても、運用の省力化・自動化ができないわけではない。多くの産業用ドローンでは、機体の異常検知や事前に指定した飛行計画に従い飛行をする機能、高精度で障害物を検知・回避する機能、飛行異常時のフェイルセーフ等の自動飛行に必要と考えられる機能を有しており、また、クラウド経由でのオペレーションも可能なサービスや SDK も市場に出回っているため、技術的に機体そのものは自動飛行可能である。

ただし、バッテリーの充電や交換などが必要になるだけでなく、飛行させたい現地の天候や風速を知ることが困難であるため、現地でのオペレーションに人員を必要とする。

特定の地理的領域における省力化・自動化に焦点を当てた場合、Dock 機能を有する機材のほうが、現状ではより省力化・自動化に寄与すると考えられる。例えば、本実証のフィールドのような 1 度の飛行で点検対象箇所を巡回出来る広さの領域や、数回程度の飛行で点検や監視などのミッションが網羅可能な領域では Dock 機能を有する機材を活用出来る可能性が高い。しかし、不特定多数の地点や Dock に向いている特定領域内でも頻繁に飛行経路や領域を変更する場合には、機材の可搬性や飛行時間、ペイロードの性能などの要素が重要視されるため、全てにおいて Dock が優れているとは言えない。また、ドローンを用いた設備の点検や監視といった業務が徐々に浸透されているものの、そうしたサービスやソリューションを提供する事業者が、法令で定められている飛行マニュアル、「機体の点検・整備」、「操縦者の訓練や遵守事項」、「安全確保のために必要な体制」のもとで、サービスやソリューションを展開する状況にあり、省力化・自動化に大きく寄与するのが難しい。一例として、夜間飛行において、目視外飛行は許可されていないため、現地には必ず夜間飛行訓練を終了した操縦者がいなくてはならないことになっているなど、遵守しない場合は、法令違反として罰則を受けてしまう。

これらを踏まえた現状では、地形や障害物、天候状況等の調査及び判断を含めたオペレーションの多くを人が実施し、安全な運用を担保せざるを得ない状況である。

ドローン自体の技術進歩に注視し法令を改正していくことはこれからも必要であるが、それだけでなくドローンのオペレーションを省力化出来るような関連技術を取り入れることが、ドローンの利活用が考えられる業務や業界で省力化・自動化を加速させると思われる。

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



図 50 実施項目 B システム全体像

(2) 実証の構成

実証フィールドである福島ロボットテストフィールドの試験用プラントは、配管や計器類が多く配置され、横に壁がないため横からの風の影響や日光が差し込むなど屋外の要素と、GNSS の使用ができない狭いエリアであるという屋内の要素を併せ持っている。設備の配置を考慮した上で、可視光カメラを搭載した Dock 付きの自動航行ドローンを用いて計器の写真画像を取得し、点検巡視を実施した。

AI による画像解析は、ドローンに用いるプラットフォームからデータをダウンロードして、PC ローカル内の AI アプリケーションで解析を行った。また、解析のために必要な学習データは、実際の実証フィールドにて、実証で使用予定の機材を使って複数のパターン（画角、日照条件等）にて、事前に画像を取得した。実証時には、指示値の読み取りで閾値以上の値が検知された場合、その異常が可視化されるようにした。ただし、その際の詳細な数値等までは可視化しない。

取得された画像データに対して AI による画像の自動解析を行い、異常検知を実施したが、その際のアナログメーターは、福島ロボットテストフィールドに設置されている丸形アナログ計器の他、針の位置を自由に動かせる丸形計器を持ち込んで設置して実証を行った。

計器の読み取りを自動で行うソフトウェアは一定程度実用化されているものを用いるため、AI モデ

ル構築は不要になるが、更なる検知率向上のため、現地で実際の計器類の学習データ（写真画像）を取得し、既存の計器読み取りAIをカスタマイズした。本実証では複数の計器の実証を、異常値の設定を変更しながら様々なケースで検知率を検証し、人が目視で確認した場合と比較することで、多くの施設の一般的な計器に適用出来る実証結果を獲得することを目指した。

(3) 開発・活用した要素技術

(ア) ドローン（無人航空機）

① Skydio S2+



図 51 Skydio S2+

表 46 Skydio Dock for S2+ 機器仕様

項目	内容
飛行時間	27分
飛行サイズ（アンテナ含まず）	229mm×274mm×126mm
重量	800g
可視カメラ	静止画 1200 万画素、動画 4K/60fps 16 倍デジタルズーム
位置補正	GPS+VIO+SLAM
障害物検知	全方向（魚眼レンズ×上下 6）
最大通信距離	1km
最大風速抵抗	約 10m/s
通信暗号化	AES-128/256
メディア暗号化	Securstor AES Encryption microSD cards

② Skydio Dock for S2+



図 52 Skydio Dock for S2+

表 47 Skydio Dock for S2+ 機器仕様

項目	内容
サイズ	ドックのみ : 63.9 x 61.8 x 31.0 cm
重量	42 kg (土台含む)
耐候性	軽い水しぶきやこぼれ、限定的な粉塵の侵入に対する保護
動作温度範囲	運用時 : -20 - 43°C 格納時 (スタンバイ) : -40 - 60°C
充電時間	30 分 (20%-90%)
耐風性	20 ノット (23 mph, 10.3 m/s)
入力電源	500W, 120/240 VAC, 50-60Hz universal input, 20 Amp 3-wire cord3
伝送距離	Wi-Fi 環境に依存。ドローンとドックは直接通信しない。

(イ) AI 検知ソフトウェア

① SENSYN CORE (株式会社センシンロボティクス)

ドローンなどの様々なデバイスの撮影データを設備や日付、ドローンにおいては航行ルートなどで自動分類して大量の撮影データにすぐにアクセス可能なクラウドサービスである。また、巡視・点検管理で取得した画像や動画を見ながら画像評価、その内容を画像上にマーキングして記録して業務情報を蓄積可能である。本実証では、実証期間が短く迅速な開発が求められたため、下図のように通常の SENSYN CORE を解析クラウドとして利用するのではなく、データ管理までをクラウド利用し、AI 解析についてはローカル PC 上のアプリケーションで実施した。

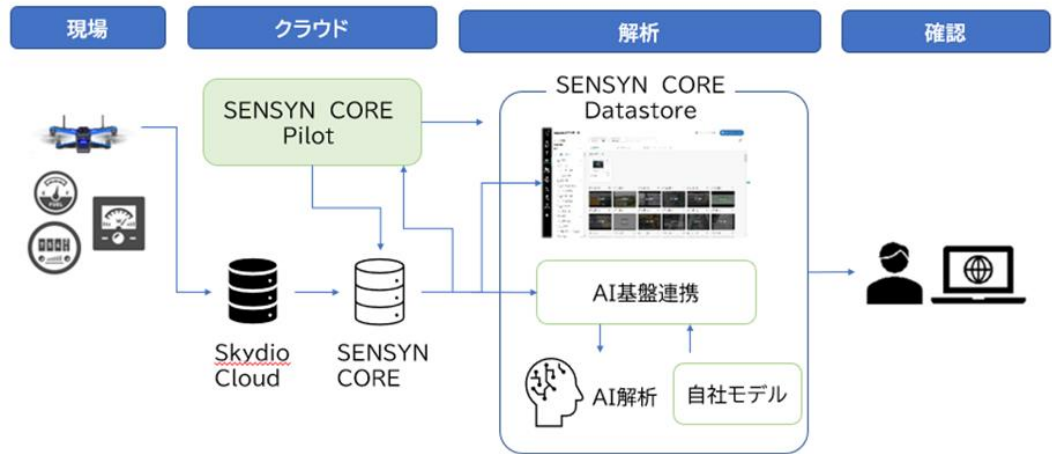
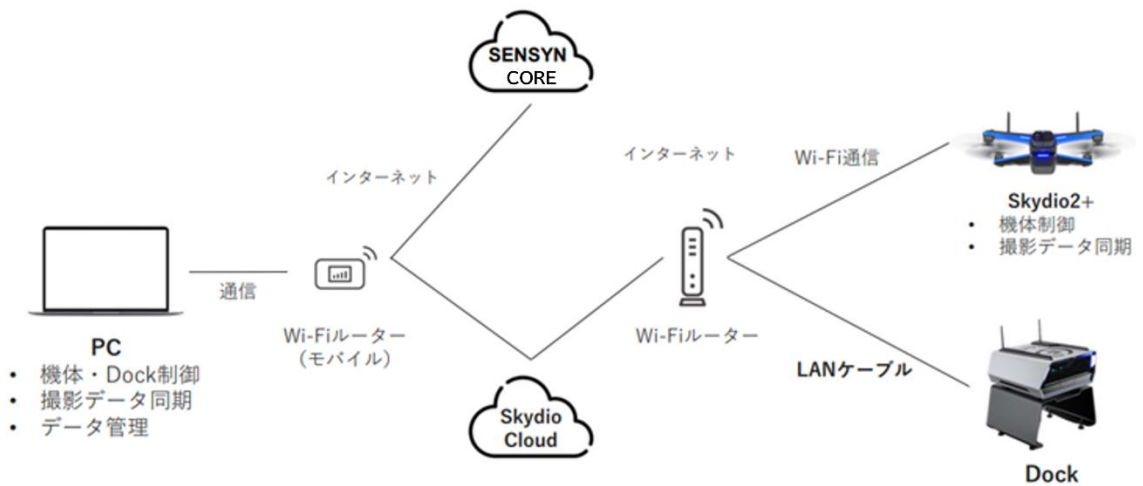


図 53 SENSYN CORE 構成図

② 画像取得環境（株式会社センシロボティクス）

ドローンによる画像取得は、センシロボティクス社の SENSYN COREと Skydio Cloud を連携させる。ただし、解析サービスへのデータ転送は、Skydio 社のクラウドサービスである Skydio Cloud から SENSYN CORE へ自動連携後、SENSYN CORE から画像をダウンロードする。



※SkydioCloudの利用に必要な通信帯域：上下5Mbps以上(推奨10Mbps以上)

図 54 画像取得環境 構成図

3.1.2. 実施場所等

(1) 実施場所

本実証においては、ドローンの飛行を行うため、飛行制限区域に問題がない箇所かつ飛行に十分な設備を保有する施設を選定した。

実施場所 名称：福島ロボットテストフィールド

実施場所 住所：福島県南相馬市原町区萱浜字新赤沼 83 番



図 55 福島ロボットテストフィールド地図※

※出典：公益財団法人 福島イノベーション・コースト構想推進機構「アクセス」2024年2月16日 <https://www.fipo.or.jp/robot/about/access>

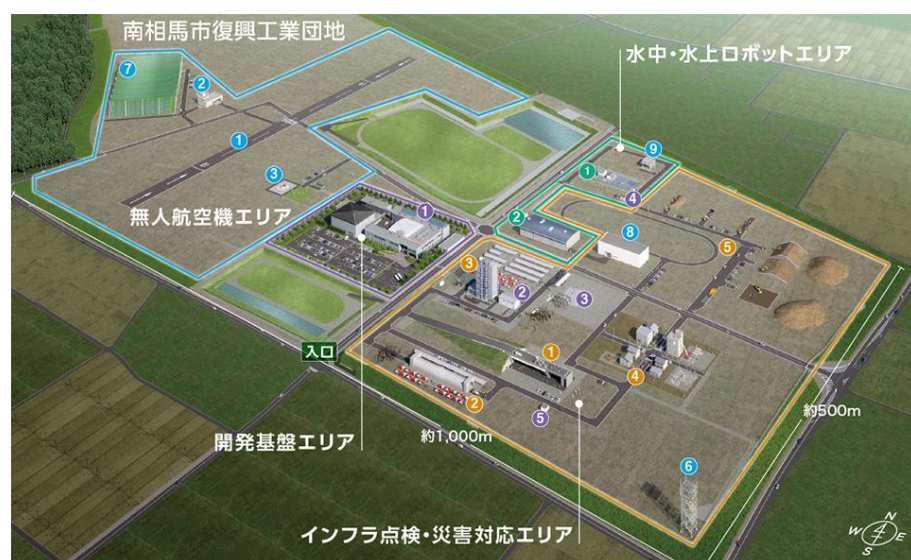


図 56 福島ロボットテストフィールド上空地図※

※出典：公益財団法人 福島イノベーション・コースト構想推進機構「施設・附属設備」2024年2月16日 <https://www.fipo.or.jp/robot/facility>



図 57 実験棟 3 試験用プラントの外観※

※横に壁がなく、風や日光の影響を受けるが天井と柱がある半屋内環境

◆計器配置と撮影順

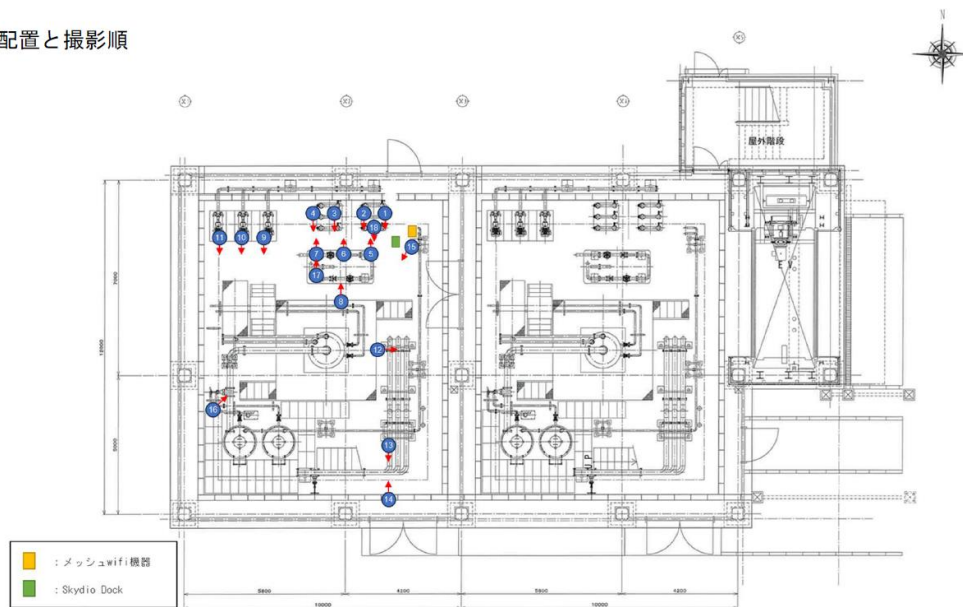


図 58 検知対象の写真画像取得箇所（青点）

(2) 検知対象項目

本実証で写真画像を取得し、AI による解析を行う施設の対象計器を以下に示す。

- ・ アナログ計器（丸形）の指示値の読み取りと異常検知



メーカー	第一計器	第一計器	TOKO(東洋計器 興業)	日新計器	— (備え付け計器)
種類	汎用圧力計	汎用真空計	一般連成計A型 Φ100 (簡易防滴型)	バイタル温度計	一般圧力計

図 59 実施項目 B 検知対象項目

(3) 実証当日の準備、撮影の様子

実証当日のドローン飛行前の準備として以下を実施した。

- ・ 機材配置（ドローン本体、Dock、ネットワーク機器の配置）
- ・ ネットワーク疎通確認（電源を入れ機体、ドックがそれぞれネットワークに接続されているかをクラウドシステム上で確認）
- ・ 飛行環境の下見（照度、計器を撮影するルート、十分な離隔距離が確保出来るか、障害物がないかを確認）
- ・ 飛行ルートの設定（クラウドシステム上で自動航行のルートを手動で設定）



図 60 実証準備の様子



図 61 ドローンによる撮影の様子

(4) 実施期間・タイムスケジュール

実施項目 B の全体スケジュールは以下の通りである。

- ・ 機体手配・申請・調整：2023年11月17日(金)~11月20日(月)
- ・ 現地確認作業・AI学習データ取得：2023年11月22日(水)
- ・ 技術実証：2023年12月25日(月)~12月26日(火)

表 48 現地確認及び AI 学習データ取得 タイムスケジュール

事前準備	日程	タイムスケジュール
1 日目	2023 年 11 月 22 日 (水)	準備：9:30~10:30 現地確認、AI 学習データ取得： 10:30~16:00 片付け・撤収：16:00~17:00

表 49 技術実証 タイムスケジュール

実証	日程	タイムスケジュール
1 日目	2023 年 12 月 25 日 (月)	準備：9:00~10:00 ドローン実証：10:00~16:30 片付け・撤収：16:30~17:00
2 日目	2023 年 12 月 26 日 (火)	準備：9:00~10:00 ドローン実証：10:00~15:30 片付け・撤収：15:30~17:00

(5) 有識者ヒアリング

実施項目 A と同様のため、詳細は 2.1.2 実施場所等 2.1.2(5)有識者ヒアリングを参照。

3.1.3. 実施条件等

(1) Skydio S2+による撮影方針・条件

Skydio 社の Skydio クラウド(remote OPS 機能)で自動航行ルートを作成、ルートに沿って飛行を行い、対象の撮影を行った。現地の天候状況等に応じて適宜、プロポによる介入を実施し調整を実施した。また、Skydio S2+及び Skydio Dock for S2+に必要なインターネット回線は持ち込みのルーターによる Wi-Fi 接続にて行った。

(ア) 撮影場所の事前確認と AI 学習データ取得

① 撮影場所の事前現地確認

11 月 22 日（水）に事前現地確認を行った。各撮影対象の位置を確認し、AI 学習データの要件定義のための画像データを、搭載されるカメラのセンサーと焦点距離及び画像解像度から計算をし、プロポを用いた撮影により写真画像の取得を行った。（撮影時には撮影箇所の位置データをウェイポイントとして記録し、実証本番時にはソフトウェア（Skydio 社）上で確認することが可能。）

② AI 学習データ取得

11 月 22 日（水）に AI 学習データ取得を行った。AI 学習データ取得では、異常検知の AI モデル作成のための教師データ取得を可能な限り実証と同じ環境を再現することに努め、実施した。具体的な確認事項は以下の通りである。

- ・ 検知対象物
- ・ 巡視を代替した際の飛行設定カバー範囲
- ・ 飛行の安全性
- ・ 取得データの設置から飛行までの時間
- ・ 飛行の再現性
- ・ センシロボティクス社の AI 解析技術の適用可否
- ・ AI 解析の精度

③ 写真画像の取得方法

AI 解析に利用する学習データ取得のため、写真画像の取得は、人がプロポを介してドローンを操作し、撮影を行った。取得した画像データは、SD カードを使って抜き出し PC に取り込んだ。

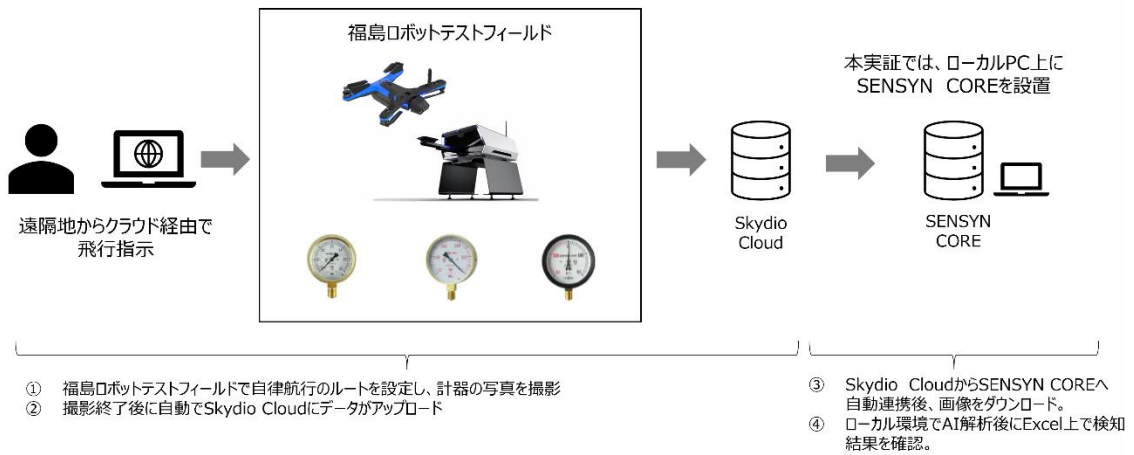


図 62 環境構成

(イ) ドローンによる情報取得から異常検知までのフロー

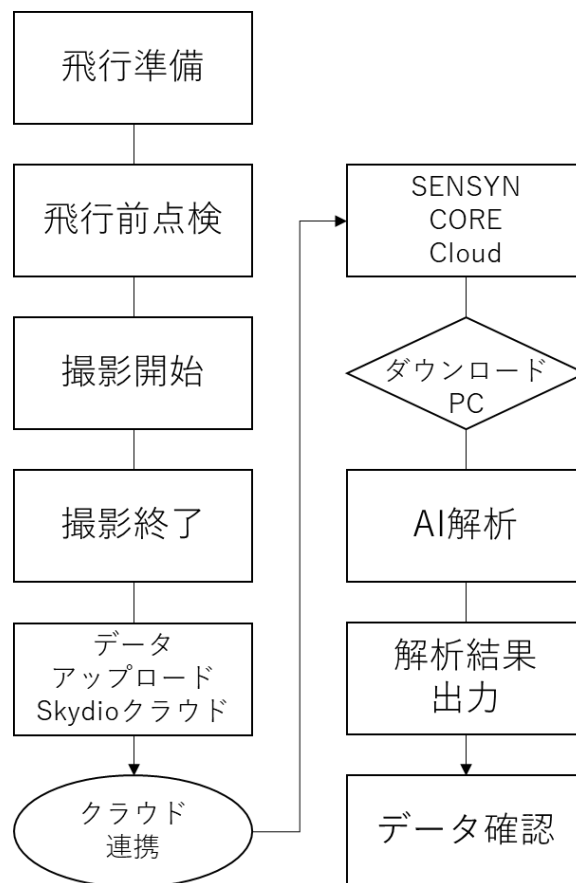


図 63 ドローンによる情報取得から異常検知までのフロー

(ウ) 当日の飛行実施の判断基準

実施項目 A のドローン飛行時と同様のため、詳細は 2.1.3 実施条件等 (1) DJI

Matrice30T による撮影方針・条件（ウ）当日の飛行実施の判断基準を参照。

(2) 安全管理

実施項目 A のドローン飛行時と同様のため、詳細は 2.1.3 実施条件等 2.1.3(3)安全管理を参照。

3.2. 技術実証の結果

3.2.1. 結果の評価ポイント・方法

(1) 実施項目 B の確認方針

本実証項目では以下の項目に沿って、実証内容を確認した。

- ・ 点検対象の計器の位置や設置環境を踏まえ、画像解析の正答率を左右する条件（明るさ（日中、夕方等）、気象条件（風速、風向等）、ドローンの飛行ルート、撮影ポイント、画角等）の洗い出しが出来ているか。
- ・ 画像解析に必要な情報は計画した通りに（画角、画質、枚数等）取得が出来たか。できなかった場合はその要因が何かを特定出来ているか。
- ・ ドローン（Dock あり）が取得したデータが円滑に専用プラットフォームに格納されたか。
- ・ 解析用アプリケーションに投入されたデータは速やかに画像解析が完了されたか。
- ・ 複数の点検対象計器毎に取得情報と解析結果が一覧で確認ができ、異常が検知された項目は容易に視認出来るか。
- ・ 複数回実証を行い、点検開始から解析完了までに要する時間や異常検知精度にばらつきはないか。ばらつきがある場合はその要因が特定出来ているか。
- ・ AI 判定結果における画像取得条件での適合率等の差を整理する。

(2) 評価観点と方法

実施項目 A と同様のため、詳細は 2.2.1 結果の評価ポイント・方法（2）実証結果の評価観点を参照。

(3) 評価方法

実施項目 A と同様のため、詳細は 2.2.1 結果の評価ポイント・方法（3）実証結果の評価方法を参照。

(4) 実施項目 B の目標値

上記の評価観点を基に、以下の内容にて目標値を設定し、デジタル技術による代替可能性について結論付けるものとする。ただし、定量的な目標値は、あくまでも本実証上のものであり、現場への実装に向けて、誤検知及び検知漏れの低減のための対応策を別途明記する。

表 50 実施項目 B の目標値

評価観点	評価項目	目標値	
(ア)精度	判定の正確性	アナログ計器 (丸形)の表示 内容と異常値の 検知	<ul style="list-style-type: none"> ・表示している数値情報が誤差幅を±1目盛以内での精度で検知出来る。 ・任意の閾値を超えていることがわかれば80%以上の精度で異常を判定することが出来る。 ・誤検知及び検知漏れを低減させるための考慮事項が明らかに出来る。
(イ)省力化	作業工数	運用にかかる工数に対しては、自動運転/飛行や固定カメラやガス検知器によるデータ取得から AI を通じた結果の判定までに要する工数(時間)が、これまで人により巡視に要していた時間と比べて、50%以上削減出来る。	
	属人性	デジタル技術を使用することで、現状は特定の方の担当業務になっている点検業務が AI 結果の確認方法さえわかれば誰でもが実施可能であることを示す。	
	省力化まとめ	2つの評価項目を踏まえて、現行の人手による検知と比較して、同等以上の省力化が実現出来ていることを示すことが出来る。	
(ウ)経済性	初期導入コスト	初期導入コストを算出し示す。	
	運用コスト	5年、10年の期間で確認した場合、人手で行っていた運用コストが50%以下に削減出来る。	
	収集した情報の活用による経済的メリット	収集したデータの活用により、既存業務の効率化が期待出来る範囲が明確になり、事業所全体でのコスト低減や効率化に寄与出来る点を示すことが出来る。	
	経済性まとめ	3つの評価項目を踏まえて、人手による検知方法よりもデジタル技術により代替したほうが経済性に優れることを結論付けることが出来る。	
(エ)導入・運用の容易性 / 技術の汎用性	導入の容易性	導入における前提条件や設置・導入にあたっての技術要件において、他の業務における条件と比較した際に、大きく異なる技術課題の要件が上がることがないと結論付けられる。	
	運用の容易性	デジタル技術の運用において、ある一定の研修を受けた後、指定された手順の下であれば運用可能なレベルであることが結論付けられる。	

	選択技術の汎用性	技術実証で使用する技術は市場において広く認知されて、代替可能であると結論付けられる。
	導入・運用の容易性／技術の汎用性	3つの評価項目の内容を踏まえて、技術実証に使用するデジタル技術の導入・運用の容易性と技術の汎用性の両面があることを結論付けられる。
(オ)デジタル技術利用の安全性	設備・作業員に対する安全の確保	ドローンにおける設備・作業員に対する安全性を確保するために講じられる対策や運用方法を示すことが出来る。

3.2.2. 結果及び評価・分析

(1) 本実証における定期点検項目の実証範囲

本実証で行った定期点検項目の実証範囲を以下に示す。

表 51 本実証における定期点検項目の実証範囲

定期点検の点検項目			本実証の実証範囲
一般高圧ガス保安規則第6条、第55条、第60条、液化石油ガス保安規則第6条、第53条、第58条、コンビナート等保安規則第5条及び冷凍保安規則第9条に係る設備の定期点検	2.2	(2) 計器類の指示、警報、制御の状態	一部実施 (アナログ計器(丸形)の指示値の読み取りと異常検知)

参考：経済産業省「一般高圧ガス保安規則の機能性基準の運用について」、p126～p128

参考：高圧ガス保安協会「保安検査基準（一般高圧ガス保安規則関係（スタンド及びコールド・エバポレータ関係を除く。））」、p17,p27

記載点検項目の内容の一部にのみ対応する場合も含める。

(2) 実施項目 B の確認方針の結果

本実証における確認方針の結果を以下に示す。

表 52 実施項目 B の確認方針の結果

確認方針	確認結果
点検対象の計器の位置や設置環境を踏まえ、画像解析の正答率を左右する条件（明るさ（日中、夕方等）、気象条件（風速、風向等）、ドローンの飛行ルート、撮影ポイント、画角等）の洗い出しができていないか。	事前に現地確認を行うことにより実証環境の確認をしたうえで画像解析の正答率を左右する条件の洗い出しを行った。また、実証時にはそれらの条件を可能な限り網羅する形でシナリオを作成し、それに沿って実行した。
画像解析に必要な情報は計画した通りに（画角、画質、枚数等）取得ができたか。できなかった場合はその要因が何かを特定できているか。	実証では大部分で計画通りの画角、画質、枚数を取得できた。一部画像解析結果に影響を与える画像については要因を特定した。
ドローン（Dock あり）が取得したデータが円滑に専用プラットフォームに格納されたか。	自動航行ドローンについては Dock に帰還時に円滑に専用プラットフォームにデータが格納されたことを確認した。
解析用クラウドにアップロードされたデータは速やかに画像解析が完了されたか。	解析用アプリケーションに投入されたデータは速やかに画像解析が完了した。
複数の点検対象計器毎に取得情報と解析結果が一覧で確認ができ、異常が検知された項目は容易に視認できるか。	今回は開発期間の短縮に伴い、解析結果一覧は Excel 上での確認とした。 点検対象毎の結果が一覧で確認でき、各種数値と検知結果が視認できることを確認した。
複数回実証を行い、点検開始から解析完了までに要する時間や異常検知精度にばらつきはないか。ばらつきがある場合はその要因が特定できているか。	事業期間の短縮に伴い、実証は 1 回とした。連続した 2 日間、での実証となったが、可能な範囲で複数の異なった条件下でのシナリオを作成し、ばらつきについて確認を行った。また、ばらつきがある場合については要因を特定した。
AI 判定結果における画像取得条件での適合率等の差を整理する。	本実証では主に計器指示値の検知誤差における画像取得条件による差を整理した。

(3) 結果

(ア) 精度

アナログ計器（丸形）の指示値と異常値の検知：表示している数値情報が誤差幅を±1 目盛以内での精度で検知出来る。誤検知及び検知漏れを低減させるための考慮事項が明らかに出来る。

評価方法、ポイント

- ・ アナログ計器の指示値に対して、検知対象番号を母数において表示している数値情報が誤差幅を±1 目盛以内で検知出来たか、出来なかったかの精度評価を行う。
- ・ アナログ計器の任意の閾値に対して、超えているケースの判定で検知対象番号を母数において AI モデルで検知、誤検知の正誤表を混同行列で評価を行う。
- ・ 判定精度向上が見込める対応を整理する。

評価結果

【サマリ】

- ・ 本実証計器で 144 枚撮影し、113 枚（78.5%）が誤差 3%未満※で検知出来た。一方残りの 22 枚（15.0%）については誤差が 3%以上、9 枚（6.3%）については AI 判定が不可であった。
- ・ 設定した閾値を超えているか、下回っているかの 2 択判定においては、90%近い確率で正答した。ただし、誤差が 6%以上生じている場合においてもたまたま閾値を跨がなかったことで正答しているケースが存在する。※本実証においては、1 目盛の幅を 2%と定義した。また、針などの幅を考慮し、誤差幅 3%未満を正常、3%以上を異常として定義し、異常の原因を以下に記載する。

【詳細結果】

各条件の検知結果の詳細を以下に示す。

表 53 AI 検知結果サマリ

計器の指示値の判定結果	枚(%)
誤差 3%未満	113 (78.5)
誤差 3%以上 6%未満	7 (4.9)
誤差 6%以上	15 (10.3)
判定不可	9 (6.3)
合計	144 (100)

表 54 AI 検知結果 撮影角度別

計器の指示値の判定結果	正面 枚(%)	斜め 枚(%)
誤差 3%未満	57 (79)	56 (78)
誤差 3%以上 6%未満	4 (6)	3 (4)
誤差 6%以上	8 (11)	7 (10)
判定不可	3 (4)	6 (8)
合計	72 (100)	72 (100)

表 55 AI 検知結果 撮影時間別

計器の指示値の判定結果	午前 枚(%)	午後 枚(%)
誤差 3%未満	58 (81)	55 (76)
誤差 3%以上 6%未満	2 (3)	5 (7)
誤差 6%以上	9 (13)	6 (8)
判定不可	3 (4)	6 (8)
合計	72 (100)	72 (100)

表 56 検知結果 計器別

計器の指示値の判定結果	汎用 圧力計 枚(%)	汎用 真空計 枚(%)	一般連成 計 A 型 Φ100 数(%)	バイタル 温度計 数(%)	備え付け 計器 数(%)
誤差 3% 未満	21(66)	25(78)	29(91)	25(78)	13(81)
誤差 3% 以上 6% 未満	1(3)	1(3)	0(0)	3(9)	2(13)
誤差 6% 以上	6(19)	4(13)	1(3)	3(9)	1(6)
判定不可	4(13)	2(6)	2(6)	1(3)	0(0)
合計	32(100)	32(100)	32(100)	32(100)	16(100)

表 57 AI 検知結果 風速別

計器の指示値の判定結果	3.0 未満 枚(%)	3.0 以上 枚(%)
誤差 3%未満	85(78.7)	28(77.8)
誤差 3%以上 6%未満	4(3.7)	3(8.3)
誤差 6%以上	12(11.1)	3(8.2)
判定不可	7(6.5)	2(5.6)
合計	108(100)	36(100)

表 58 AI 検知結果 閾値判定

計器の指示値の判定結果	枚(%)
True	126 (87.5)
False	9 (6.25)

判定不可	9 (6.25)
合計	144 (100)

【誤検知及び検知漏れの原因と対応策】

AI が精緻に検知できなかった 31 枚の写真のうち、15 枚は光の反射により目盛が読み取れなかったことによるものであった。また、そのうち 14 枚は反射により網（現地に設置されていたネット）が映り込み、網を針と誤認していた。

また撮影角度や、時刻の違いによる精度結果の違いは見られなかったが、計器別の精度では多少違いが出た。しかし誤検知の原因は、前述した通り光の反射によるものが多く、計器の位置の違いで発生したものである。具体的な誤検知及び検知漏れの原因と対応策を以下に示す。

・ 反射による検知漏れとネットの映り込みによる誤検知

本実証の撮影場所では周囲を囲むように網(ネット)が設置されており、天候や時間、角度によって網が撮影画像に映り込んでしまうケースが発生し、計器の針を全く認識できず検知漏れになったものや、網を針と誤認して誤検知となったものがある。

対応策

- ◇ 計器の指示値読み取りに悪影響を及ぼす可能性のある光の遮断用に、遮光材を用いて、光の反射を事前に防いだ上で画像を撮影する。
- ◇ 1 箇所の撮影で角度を変えて複数枚撮影することで反射が起きない画像を撮影する。
- ◇ AI の再学習により、針の検知を阻害するものが映り込んだとしても針を精緻に検知出来るように AI の精度を向上させる。

・ 撮影角度が大きいことによる誤検知

撮影角度が大きいことにより、正面から撮影した際に映る針の位置と誤差が生じ、誤検知となってしまう。人の目を見た際も正面からと斜めからでは見え方が異なるため、AI システムでも同様に誤差が生じる結果となった。

対応策

- ◇ 正面に近い角度での撮影を行う。
- ◇ 画像補正により計器の傾きを補正した後に AI 解析にかける。

・ 検知対象ではない、異なる計器を検出したことによる検知漏れ

複数の計器が映り込むような画像では、検知対象を正しく認識できず、異なる計器を検出してしまい、検知漏れが発生してしまった。

対応策：

- ◇ AI 再学習により、対象物の検知精度を向上させる。

◇ 計器が複数映らないように撮影する。

・ 計器の一部が隠れていたことによる誤検知

撮影する角度により、計器の一部が欠けてしまい正しく計器の指示値を算出することが出来なかったことが原因となり、誤検知が発生した。

対応策：

◇ 計器の目盛全体が映る角度で撮影する。

◇ 一部画像が欠損していたとしても AI 解析が出来るように AI に再学習を施す。

・ 撮影画像のブレによる誤検知

画像撮影時に瞬間的な突風等、何らかの衝撃によりドローンの飛行が安定せず、画像にブレが生じてしまったことが原因となり、誤検知となってしまった。

対応策：

◇ 1 箇所の撮影で角度を変えて複数枚撮影することでブレが起こらないような画像を撮影する。

・ 光の反射により計器の指示値が読み取れなかったことによる検知漏れ

撮影角度によって生じた光の反射により、計器の指示値が読み取れなかったことが原因となり、誤検知となってしまった。

対応策：

◇ 1 箇所の撮影で角度を変えて複数枚撮影する、遮蔽物を設置する等、反射が起こらないように画像を撮影する。

◇ 再学習により、針の検知を阻害するものが映り込んだとしても針を精緻に検知出来るように AI の精度を向上させる。

(イ) 省力化

① 作業工数：運用にかかる工数に対しては、自動運転/飛行や固定カメラやガス検知器によるデータ取得から AI を通じた結果の判定迄に要する工数（時間）が、これまで人により巡視に要していた時間と比べて、50%以上削減出来る。

評価方法、ポイント

- ・ ドローン運航に要する作業工数（時間）と技術実証においてデータ転送から異常検知、通知迄にかかる工数（時間）を算出する。
- ・ 有識者ヒアリングを通じて、現行業務において要している巡視作業工数をまとめ、技術実証からわかる工数との比較を行う。

評価結果

【サマリ】

- ・ 現場ヒアリングを行った結果、現行の巡視・点検業務では、1日2回、作業員1名が目視で現場を確認し、点検結果を手書きで紙面に記録(約1時間)、その後PCへのデータ転記(約1~2時間)を行うため、作業工数は合計2~3時間程度かかっているとのことである。
- ・ Dockを利用した自動航行の場合、初回は設置作業や環境整備に時間を要するが、それ以降は常設が可能であり、現地でのオペレーションが一切不要のため、現場での目視確認のプロセスをほぼ無人化することが出来る。そのため、省力化の観点においては、Dock利用の自動航行が重要と考える。
- ・ AIシステムを活用して、ドローンにて取得した画像データの自動解析を行った場合、現行業務にかかるPCへのデータ転記の作業工数が全て自動化することが出来、またヒューマンエラー防止のためにダブルチェックを行っていた工数も短縮することが出来るため、大きな省力化効果を見込むことが可能である。また精度の観点での誤検知、検知漏れ発生時の目視確認や安全性の観点での飛行開始時と終了時の機体の目視確認等、一部人による確認作業が残った場合でも、5~10分程度であることから、現行業務の80~90%以上の削減が期待出来る。
- ・ よって、ドローンとAIシステムを活用することによって、現行業務にかかる作業工数を50%以上に削減することは可能であると言える。

【詳細結果】

<ドローン>

Skydio S2+ (Dock利用)での飛行(自動航行)

自動航行に要する作業工数(準備-撮影)は、約135分。ただし、自動航行前の準備作業は初回の実施のみとなり、通常機体は常設となるため、準備作業にかかる工数を除くと、5分程度である。

- ・ 自動航行実行前の準備作業(人:135分) ※常設の場合は0分
 - ◇ 作業内容: 機材準備・設置、テスト飛行の実施、自動航行ルート作成
 - ◇ 利用ツール: Skydio S2+、Wi-Fiルーター
- ・ 自動航行の実施(人:0.5~1分、システム:4分)
 - ◇ 作業内容: 実行ボタンを押下(ドローンが自動で設定ルートを飛行、写真撮影)
 - ◇ 利用ツール: Skydio
- ・ 画像アップロード状況確認(人:0.5~1分、システム:7分)
 - ◇ 作業内容: 自動航行終了後、正常に画像がアップロードされていることを確認する
 - ◇ 利用ツール: Skydio Cloud
- ・ AI解析処理(システム:3分)

◇ 作業内容：撮影した画像の AI 解析処理が実行されるため、完了するまで待機

◇ 利用ツール：SENSYN CORE

・ AI 解析結果の確認（人：5 分）

◇ 作業内容：アプリケーション上で AI 解析結果を閲覧し、異常がないかを確認する

◇ 利用ツール：SENSYN CORE

・ 解析結果の登録（システム：10 分）

◇ 作業内容：撮影画像に対して追加で記録が必要な場合に登録を実施する

◇ 利用ツール：SENSYN CORE

※上記は、現地までの移動時間は含んでおらず、また局地的な点検箇所での比較となる。そのため、大きな差にはなっていないが、点検頻度が多い場合、前後作業の積み上げが作業工数に大きな影響を与える。

※Dock を利用する場合、初回は設置準備等の作業工数がかかるが、実運用の場合、機体は常設するため、作業前にかかる工数はないものとする。

② 属人性：デジタル技術を使用することで、現状は特定の人担当業務になっている点検業務が、AI 結果の確認方法さえわかれば誰もが実施可能であることを示す。

評価方法、ポイント

- ・ モニターに表示された検知結果の画面ショットを残す。
- ・ モニターに表示された検知結果を 3 事業者（センシロボティクス、パーソル P&T、PwC）にて確認し、最終判断を行う。

評価結果

- ・ AI システムにより出力された検知結果の確認方法さえわかれば、誰でも同じ結果を導出することが出来た。本実証では、技術実証までの期間が短く、迅速な開発が求められたため、撮影した画像データは、Skydio Cloud から SENSYN CORE へ自動連携後、画像をダウンロードし、ローカル環境で AI 解析後に Excel 上で検知結果を確認した。
- ・ なお、実運用の際には、撮影された画像データの AI 解析結果は、SENSYN CORE 上で確認することが出来るため、SENSYN CORE へ自動連携後から AI 解析結果確認までの一連の作業を自動化することが可能となる。

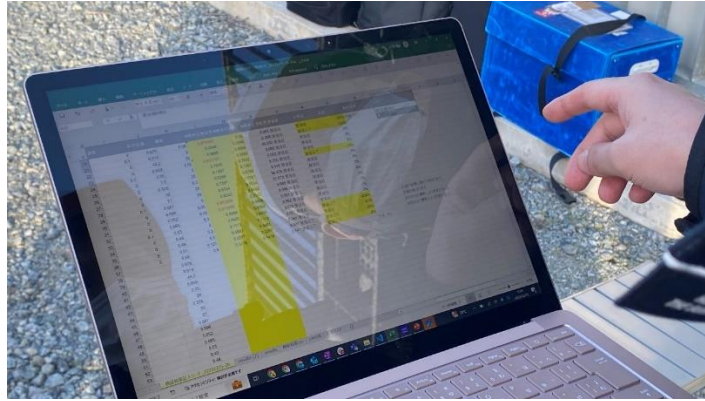


図 64 Excel 上で検知結果確認

③ 省力化まとめ：2つの評価項目を踏まえて、現行の人手による検知と比較して、同等以上の省力化が実現出来ていることを示すことが出来る。

評価方法、ポイント
上記の2つの検証結果を踏まえて省力化の実現について論述でまとめる。
評価結果
実施項目 A におけるドローンと同様のため、詳細は 2.2.2 結果及び評価・分析 (1) 結果 (イ) 省力化 2.2.2(3)(イ)③省力化まとめを参照。

(ウ) 経済性

① 初期導入コスト：初期導入コストを算出し示す。

評価方法、ポイント
ドローン、異常検知の AI で利用する技術として利用するコストを算出する。
評価結果
現行の巡視点検業務において、システム等の利用はなく、全てアナログ対応で行っているため、初期導入コストは発生しない。そのため、Dock 利用のドローン及び AI システムの初期導入コストは現行と比較すると非常に高い導入障壁となり得る。

② 運用コスト：5年、10年の期間で確認した場合、人手で行っていた運用コストが50%以下に削減出来る。

評価方法、ポイント
5年、10年の長期の視野で、技術的な変革点を考慮した運用コストを技術毎に算出し、運用コストとしてまとめる。
評価結果
【サマリ】
・ 現行の巡視・点検業務において、システム等の利用はないため、運用コストとしては人件費の

み発生している。いずれの技術も、機体やシステム自体の費用が高額のため、現行業務にかかる運用コストと比較して 50%以下のコスト削減を見込むことは難しい。ただし、今後これらの技術の市場が拡大することが期待されるため、部品等の価格も将来的には安価になることが予想される。

- ・ 今回算出した導入コストは、あくまで本実証で使用した技術を実運用にて活用した場合の金額であり、また比較対象として算出した現行業務にかかる人件費も、限られた点検場所のみの金額であるため、導入コストのみの単純比較は難しい。
- ・ これらの技術を活用した際の直接効果となる業務品質の向上や業務時間の短縮による人件費の削減に加え、波及効果として、異常発生時の迅速な対応による設備の稼働停止期間の売上損失の低減や、現場作業者の安全確保に寄与することを踏まえると、結果的に事業所全体でのコスト低減に繋がる可能性は十分期待出来ると考える。

【詳細結果】

5 年、10 年の長期における現行業務にかかる人的コストを表 59 に示す。

表 59 化学製品製造従事者の巡視点検業務にかかる人件費

	5 年	10 年
人件費※	10,272,000 円	20,544,000 円

※1 日 2 回（計 4 時間/日）の作業工数、月平均の所定労働日数を 20 日と定義し算出した。現行業務における時給単価は、厚生労働者の「賃金構造基本統計調査による職種別平均賃金（時給換算）」の資料より、化学製品製造従事者における経験年数 20 年の平均賃金（2,140 円）を参考としている。

出典:厚生労働省「賃金構造基本統計調査による職種別平均賃金（時給換算）」2024 年 2 月 16 日 <https://www.mhlw.go.jp/content/000980675.pdf>

なお、Dock 利用のドローン及び AI システムの長期運用コストはドローンの維持費及び月々のシステム利用料等合わせると、非常に高額となる。

③ 収集した情報の活用による経済的メリット：収集したデータの活用により、既存業務の効率化が期待出来る箇所が明確になり、事業所全体でのコスト低減や効率化に寄与出来る点を示すことが出来る。

評価方法、ポイント
各技術を利用する中で、巡視業務以外で活用出来るユースケースについて整理し、巡視業務以外で生まれる経済性のメリットをまとめる。
評価結果
実施項目 A におけるドローン及び AI システムのユースケースと同様のため、詳細は 2.2.2 結果及

び評価・分析（1）結果（ウ）経済性 2.2.2(3)(ウ)③収集した情報の活用による経済的メリットを参照。

④ 経済性まとめ：3つの評価項目を踏まえて、人手による検知方法よりもデジタル技術により代替したほうが経済性に優れることを結論付けることができる。

評価方法、ポイント
上記の3つの検証結果を踏まえて経済性について論述でまとめる。
評価結果
実施項目Aのドローン及びAIシステムの経済性まとめと同様のため、詳細は2.2.2結果及び評価・分析（1）結果（ウ）経済性 2.2.2(3)(ウ)④経済性まとめを参照。

(エ) 導入・運用の容易性／技術の汎用性

① 導入の容易性：導入における前提条件や設置・導入にあたっての技術要件において、他の業務における条件と比較した際に、大きく異なる技術課題の要件が上がることがないと結論付けられる。

評価方法、ポイント
ドローン、AIのシステムを導入するにあたって技術要件を整理し、導入にあたっての特殊性がないことをまとめる。
評価結果
<p>【サマリ】</p> <ul style="list-style-type: none">ドローン、AIシステムにおいて、前提となる利用環境の整備は必要になるものの、基本的な操作方法の習得が出来れば、特別な資格等は不要であり、また屋内での利用の場合は行政への手続き等も不要であるため、導入において特筆すべき大きな障壁はないと考える。Dockを利用した自動航行の場合、手動運航に比べて操縦技術の習得の手間が減る他、撮影データの再現性が高まり、AI解析や過去の撮影との対比等が行いやすいなどのメリットがある。しかし一方で、撮影の微調整が行いにくい等のデメリットも存在する。様々な箇所の点検飛行や精密な飛行が必要とされる環境、点検頻度が低い場所等は、ドローンの手動運航や他の適用技術で行うことが望ましい。本実証エリアが屋内であったため、屋外での飛行に関する「航空法」は適用外となり、特別な許可や手続きなしに飛行することが出来る。 <p>【詳細結果】</p> <p>ドローン（Skydio Dock for S2+の場合）の導入にあたっての技術要件は以下の通りである。</p> <ul style="list-style-type: none">耐風性能：約 10m/s海拔高度：約 4500mドローン動作温度範囲：-5℃～40℃

<ul style="list-style-type: none"> ・ バッテリー充電温度範囲：0℃～35℃ ・ Dock 動作温度範囲：0℃～35℃（運用時）、0℃～40℃（格納時） ・ Dock 耐風性(離着陸)：2m/s ・ ネットワーク要件： <ul style="list-style-type: none"> ◇ 2.4GHz 周波数帯の Wi-Fi ネットワークへの接続のみ対応 ◇ WPA PSK (Personal)に対応 WPAEnterprise は不可 ◇ 回線速度：上り下り 10 Mbps 以上が推奨（最低 5 Mbps） ◇ レイテンシー：200ms 未満

② 運用の容易性：デジタル技術の運用において、ある一定の研修を受けた後、指定された手順の下であれば運用可能なレベルであることが結論付けられる。

評価方法、ポイント
ドローン、AI のシステムを運用にあたって必要になる人材要件、システム要件を整理し、導入にあたっての特殊性がないことをまとめる。
評価結果
<p>【サマリ】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ドローン、AI システムいずれの技術においても、基本的な PC スキルが必要となる他、一時的に専門の事業者からの研修を受け、各技術の運用方法を習得する必要がある。 ・ 特に AI のカスタマイズや高度なドローンの操縦という点については、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業務に関与出来る状態にすることを検討していく必要がある。そして、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。 <p>【詳細結果】</p> <p><ドローン></p> <p>ドローンの運用者はセットアップ手順、手動運航練習、自動航行ルート作成・実践、トラブルシューティングの手法等のスキルを習得するための研修を受講する必要がある。自動航行ルート作成は、PC のキーボードとマウスのみで作成が可能であり、特別なスキル、資格は不要である。また屋外飛行の場合は航空法の学習・遵守が必要となる。</p> <p><AI システム></p> <p>AI システムの運用において、必要となる人材要件は、PC が使用出来るスキルを有すること、AI システムの使用方法が書かれたマニュアルを学習し、その通りに使用出来るスキルを有すること（問題発生時のログ確認も含む）が挙げられる。</p>

③ 選択技術の汎用性：技術実証で使用する技術は市場において広く認知されて、代替可能であると結論付けられる。

評価方法、ポイント

ドローン、AI のシステムにおいて、市場に代替可能な（類似した、競合）製品、サービスをまとめる。

評価結果

【サマリ】

本実証で使用したドローン、AI システムいずれの技術も市場に代替可能な製品は存在する。ただし、AI システムにおいては、なかには一般に流通するサービスの機能のみでは、検知対象によって判定精度が変わる可能性があるため、検知対象毎にどのような学習データが必要か、閾値やパラメータの設定等の AI のカスタマイズが必要となる。

【詳細結果】

<ドローン>

本実証で利用した「Skydio S2 & Skydio Dock for S2+」と同じ目的で使用される候補機材は以下の通りである。なお今回、Skydio Dock for X2 にて非 GNSS 環境下での自動航行/無人運用を行ったが、現状その機能を備えており、かつ製品化されているという要件を満たすものは Skydio に限られる。

- ・ [AtlasPRO \(Atlas Dynamics 社製 : アメリカ\)](#)
- ・ [ELIOS 3 \(Flyability 社製 : スイス\)](#)
- ・ [EP-1 \(竹中工務店、アクティオ、センシンロボティクスの共同開発 : 日本\)](#)
- ・ [IBIS 2 \(Liberaware 社製 : 日本\)](#)

<AI システム>

本実証で使用した計器読み取り AI システムと同じ目的で使用される候補機材は以下の通りである。ただし、判定精度を向上させるためには、検知対象物に応じたカスタマイズはどの製品においても必要となる。

- ・ [hakuru.ai \(GMO 社製 : 日本\)](#)
- ・ [LiLz Gauge \(LiLz 社製 : 日本\)](#)
- ・ [EasyMonitoring2 \(skylogiq 社製 : 日本\)](#)

④ 導入・運用の容易性／技術の汎用性：3 つの評価項目の内容を踏まえて、技術実証に使用するデジタル技術の導入・運用の容易性と技術の汎用性の両面があることを結論付けられる。

評価方法、ポイント

上記の 3 つの検証結果を踏まえてデジタル技術の導入・運用の容易性と汎用性について論述でまとめる。

評価結果

ドローンの導入及び運用においては、前提となる利用環境(機体の運用・設置環境、通信環境等)の整備は必要になるものの、基本的な操作方法の習得が出来れば、導入において大規模な

設備工事は不要であり、また屋内での飛行の場合は、行政への手続き等も不要であるため、特筆すべき大きな障壁はないと考える。

運用の容易性の観点として、特に 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、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、このような人材が容易に業務に関与出来る状態にすることが、今後の対応を検討していくべき点として重要である。そして人材の内製化をより経済的に進めるため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。

技術の汎用性の観点では、今回使用した技術はどれも一般に流通するものであり、また今後も市場が拡大していくことが予想されるため、汎用性は高いと言える。ただし、AI システムにおいては、一般に流通するサービスの機能のみでは、検知対象によって判定精度が変わる可能性があるため、検知対象毎にどのような学習データが必要か、閾値やパラメータの設定等の AI のカスタマイズが必要となる。

(オ) デジタル技術利用の安全性

- ① 設備・作業員に対する安全の確保：ドローンにおける設備・作業員に対する安全性を確保するために講じられる対策や運用方法を示すことが出来る。

評価方法、ポイント			
ドローンの運航に関する安全性への配慮について整理し、ドローンにおける設備・作業員に対する安全性を確保するために講じられる対策や運用方法をまとめる。			
評価結果			
【サマリ】			
ドローンにおいては、安全対策機能は複数用意されている。ただし通信断絶時の機能等、事前の設定が重要な項目も多く、環境に応じた設定、飛行に入る前の確認が非常に重要となっている。			
【詳細結果】			
本実証では、屋内（半屋内）飛行を行ったが、屋外飛行と比較すると、飛行中や落下時における壁や物、人への衝突可能性が高くなることが想定される。そのため飛行前に必ず、周辺環境（設備、壁、人の通行等それぞれの位置や高さ）の確認を行い、ドローンの自動帰還時にこれらの障害物から十分余裕を持った高度設定を行うことが求められる。			
その他は、屋内、屋外ドローン共通して、利用時に想定される危険や、それに対する事前準備と対応方法、フェイルセーフ（誤動作または何らかの障害が発生した場合、常に安全側に制御する機能）を有している。具体的な内容は以下の通りである。			
表 60 ドローンの利用における想定される危険に対する事前準備と対応方法			
事故内容	原因	事前準備	対処方法
操縦不能	電波障害 電波干渉	周辺状況確認（高圧送電線・携帯基地局など	・ホバリング（新たな電波帯の補足を待つ）

		の大規模建築物の周辺 (は飛行を避けること)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 自動帰還 (原則は真下に 下降、移動時は安全な高 度を確保し HP まで移動し 下降) ・ 強制降下 (着陸地点の安 全が確保されている場合で 緊急時のみ使用)
バッテリー切 れ	バッテリー残 量不足	充電量の確認、バッテリー の劣化状況の確認、 送信機のバッテリー残量 の確認	<ul style="list-style-type: none"> ・ 自動帰還 (バッテリー30% 以下になると作動) ・ 早めの交換 (バッテリーは 常に同じペースで減少する ものではないことを理解)
位置測定不 能	SLAM 誤検知	特に飛行箇所周辺に SLAM が障害物と判別し にくいものがないかを確認 する。飛行禁止区域 (ジ オフェンス) を作成する。	<ul style="list-style-type: none"> ・ SLAM 機能 ON に加えて 飛行禁止区域 (ジオフェ ンス) を機体に設定。
悪天候①	降雨・降 雪・濃霧・ 雷	天気の確認 (現地・現 時間・予報含む)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 天候不順の場合はドローン の飛行を中止する
悪天候②	風	天気の確認 (現地・現 時間・予報含む) 機体毎の耐風性能を確 認	<ul style="list-style-type: none"> ・ 強風時は着陸時転倒リス クが高いため旋回降下が最 適な選択 ・ 危機的な状況の際には人 や建物がないところへ意図 的に墜落させる
接触①	建物や電線 等	周辺状況確認 (建物・ 重機・ワイヤー・電線 などそれぞれの位置や高 度を事前にチェッ ク)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 自動帰還時に左記構造物 から十分余裕を持った (10 m以上) 高度設定
接触②	鳥獣等	周辺状況確認 (鳥獣など)	<ul style="list-style-type: none"> ・ プロペラ音による「追い払い」 や急上昇などで安全確保
整備不良	モーターの停 止やプロペラ 破損など	日常及び定期メンテナ スの実施	<p>点検項目</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ モーター (傷・凹み・異物 混入・回転動作・回転異

			音) <ul style="list-style-type: none"> ・ プロペラ (外傷・歪み) ・ フレーム (外傷・ねじの緩み) ・ 電気系統 (コネクタ・ケーブル) ・ バッテリー (温度・セルバランス) 等
停止距離	スピードの出し過ぎ	周辺状況の確認 (飛行ルート上の障害物や設備との距離など)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 必要以上にスピードを出さない ・ 障害物回避システムの設定

表 61 ドローンのフェイルセーフ

対象	発動条件	挙動
ドローン	手動飛行時に通信が遮断された	その場で 60 秒間ホバリング(デフォルト値)後、回復しない場合は Dock へ帰還
ドローン	自律飛行時に通信が遮断された	<ol style="list-style-type: none"> 1. 日時指定で飛行開始時→飛行継続後、Dock へ帰還 2. 任意のタイミングで飛行開始時→60 秒間飛行(デフォルト値)を継続。再接続がない場合、Dock へ帰還する。
ドローン	自律飛行時に回避不能な障害物がある	飛行を中断して Dock 帰還を開始する
ドローン	ローバッテリー[手動飛行時]	到達地点までの飛行経路から帰還までに必要なバッテリー残量を計算し、その残量値になったタイミングで帰還動作を自動実施。
ドローン	ローバッテリー[自律飛行時]	<ol style="list-style-type: none"> 1. 残りの WP 飛行に必要なバッテリー残量とその場から帰還のために必要なバッテリー残量計算 2. 必要なバッテリー残量を満たさない場合、帰還動作を実施。
ドローン	低照度(飛行は 100 ルクス以上推奨)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 超低照度：機体がある場で緊急着陸を行う。 2. 低照度：Dock への帰還動作が機能する。
Dock	Dock 認識不可/マーカー等が見え	Dock 周辺を旋回後、マーカー等が認識できなければ Dock 周辺に着陸する

	ない場合	
Dock	飛行時に通信が遮断[手動・自律]	機体の飛行に影響なし。飛行後に機体はドックへ帰還するが、Dock のドアは開かないため、機体は 30 秒間ホバリング後（手動操作に切り替え可）、Dock 周辺に着陸する。
Dock	電源が遮断	
PC	画面を閉じる等して通信遮断 [手動]	その場で 60 秒間ホバリング(デフォルト値)後、回復しない場合は Dock へ帰還 ※帰還ルートは飛行をした経路上の最短ルート ※PC からログインすることで制御権を奪うことも可能
PC	画面を閉じる等して通信遮断 [自律]	1. 日時指定で飛行開始時→飛行継続後、Dock へ帰還 2. 任意のタイミングで飛行開始時→60 秒間飛行(デフォルト値)を継続。再接続がない場合、Dock へ帰還する。 ※帰還ルートは飛行をした経路上の最短ルート ※PC からログインすることで制御権を奪うことも可能

(4) 評価・分析

(ア) アナログ規制の見直しに資するか

実施項目 B では、半屋内におけるドローンを使った計器の指示値の情報収集と AI による異常検知の自動化の実証を行った。

本実証の結果から分かる通り、計器の指示値を誤差幅 3%(約 1 目盛)程度で読み取り出来たものは約 80%と目標値に近い正答率で検知することが出来たことから、AI システムの精度としては、様々な前提条件が揃った環境で、AI 解析に必要な正確な画像情報が取得できれば、一定の期待値を満たす結果を導出することが出来ることが分かった。

ただし設定した閾値を超えているかどうかについては、90%近い確率で正しく検知出来たものの、誤差幅が 6%（約 2 目盛以上）生じている場合でも偶然閾値を跨がなかったことにより正当しているケースが存在した。今回発生した検知漏れ及び誤検知の要因としては、解析に使用する画像の情報として角度や撮影距離、光の反射の影響によるものであった。

一方で現状の点検業務においても、必ずしも常に正確な判定が出来ているとも限らず、様々なヒューマンエラーを防ぐ対応策を現場作業員で検討し実施している状態である。AI 技術においても、今回の実証で特定した検知漏れ及び誤検知が引き起こされた要因を基に、それらの条件の再学習により AI 技術の精度向上を図ると共に、様々な観点からの複合的な判断を設ける仕組みを検討していくことで、適用出来る条件が広がっていくものと考えられる。これにより、人と同等の判定精度の確保は十分に可能であると言える。

ドローンの導入においては、本実証エリアが半屋内であったため、屋外での飛行に関する「航空法」は適用外となり、特別な許可や手続なしに飛行することが出来る。そのため、一時的に専門の事

業者からの研修を受け、基本的なドローンの操作方法を習得すれば運用自体は容易であると考ええる。

また、今回使用した技術はどれも、広く市場で流通しているものであり、これらの技術は今後更に市場の流通量の拡大を期待出来ることから、現状初期導入及び運用コストにおいて障壁があるものの、将来的には安価になることも予想される。また、ドローンは巡視・点検目的だけでなく、機械警備や、特定の荷物の輸送といった活用範囲を広げることで、投資コストの回収範囲を広げるといったことも考えられる。そのため経済性の観点において、長期的に見た場合、業務の省力化による人件費の削減や生産性の向上、現場作業者の安全確保に寄与することを踏まえると、結果的に事業所全体でのコスト低減に繋がる可能性がある。

よってこれらの結果から人による巡回と同等の業務がドローンと AI 技術の活用で充足出来るところがあると捉えており、アナログ規制の見直しに資する成果が技術実証から得られたと考える。

(イ) 実現場での技術等の活用・導入に当たってのポイント

① 屋内または半屋内でのドローン飛行の環境条件

通常、完全な屋内での飛行の場合は、天候等の影響を受けることなく、また夜間でも飛行させることが出来るが、本実証では半屋内の環境でドローン飛行を行ったため、時間帯や天候などの影響を多少受ける結果となった。今回のような半屋内の計器を確認する業務においては、影や反射を考慮した撮影や、画像処理による補正等が必須の機能になると考える。

また、屋内ドローンの場合、Bluetooth や Wi-Fi を使用して通信を行うことが多く、本実証においては、Wi-Fi ルーターを持ち込んで、機体との通信を行った。通信範囲は機種や通信規格によって異なるが、一般的には十分な範囲が確保されている。しかし電波障害や電波干渉の影響を受けた場合に備え、適切な設定や環境下で使用する必要がある。また、屋内ドローンは機体のサイズが小さいものが多く、バッテリー容量が多くないため、長時間の利用には適さない。本実証においては、使用エリアが限定的であったが、実運用においては点検エリアの範囲に応じて必要なバッテリー容量を確認する必要がある。もしも飛行中にバッテリー切れが起こってしまった際、Dock 利用の場合は、バッテリー容量が 30% 以下になると自動帰還機能が作動する。自動帰還後、充電完了まで時間を要するため、直ぐに再開できるようにするためにも、予備のバッテリーへの交換を行う必要がある。

② AI システムにおける異常検知方法及び通知・レポーティング

本実証では、迅速な開発が求められたため、撮影した画像データは、Skydio Cloud から SENSYN CORE へ自動連携後、画像をダウンロードし、ローカル環境で AI 解析後に Excel 上で検知結果を確認した。しかし実運用の際には、撮影された画像データの AI 解析結果は、クラウド上で確認出来、また収集した情報や異常箇所が視覚的にも分かり易い画面設計がされていることが望ましい。

また、異常検知した際の通知や分析、レポーティングまでは実証内容に含まれていないが、実運用の際には、画像データ自体の不備も含めた異常判断の通知をメール等で行うことで、異常箇所の早期発見にも繋がる。そして、現行業務において人が目視で点検し取得した情報は手書きされる

ことが多く、また作業内容や結果が属人化されており、蓄積が難しいといった課題があるが、実運用においては、取得したデータを蓄積し、分析、レポートまで人を介さずに完結させることで、更なる業務効率化が期待出来ると思う。

(ウ) 実証を通じて明らかになった課題や改善の方向性

屋内ドローンは屋内での使用を前提とし、本体が軽いため、風の影響を受けやすい傾向がある。そのため、本実証のように半屋内環境で使用した場合、画像撮影時の瞬間的な突風等によりドローンの飛行が安定せず、正しく検知することが出来ないケースがあった。また、光の反射や障害物の映り込み、撮影角度の影響による誤検知も発生していることから、それらの影響が出ない環境下で撮影することを前提としつつも、何らかのリスクを加味し、基本的には 1 箇所で複数枚の画像を撮影しておくことが有効であると考え。そして実施項目 A でも言及した通り、今後実用化に向け、学習に使用するデータ数や種類（時刻・撮影角度・対象の種類・撮影機材等）を増加することで精度向上に繋げることが期待出来る。

(エ) アナログ規制の見直しにあたり留意すべき点等

実施項目 A と同様のため、2.2.3 結果及び評価・分析 (2)評価・分析 2.2.2(4)(エ)アナログ規制の見直しにあたり留意すべき点等を参照。

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

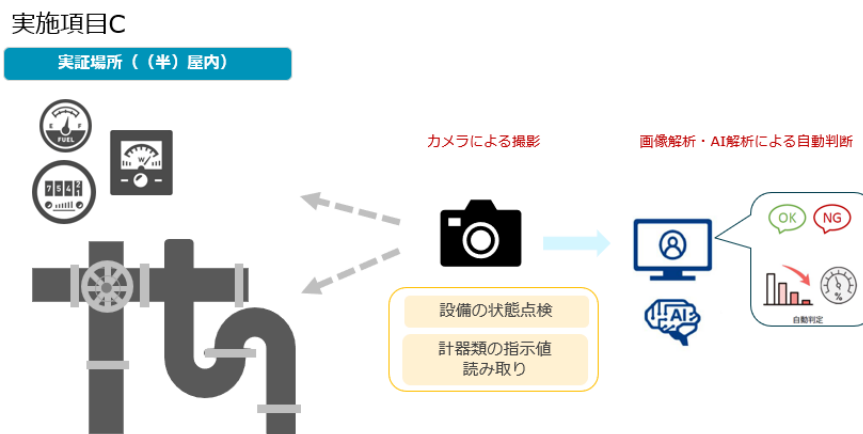


図 65 実施項目 C システム全体像

(2) 実証の構成

実稼働している工場の屋内施設を実証フィールドとして、設備の配置や巡視点検箇所的位置を考慮した上で、可視光カメラを用いて写真画像を取得した。また、取得された画像データを AI による画像の自動解析を行い、異常検知を実施した。

本実証では、実施項目 A と同様の AR マーカーを用いた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。

AI による画像解析は、固定カメラからデータをダウンロードして、PC 経由で AI 解析用クラウドにアップロードして解析を行った。また、解析のために必要な教師データは、実際の実証フィールドにて、実証で使用予定の機材を使って複数のパターン（画角、日照条件等）で、事前に取得をした。実証時には、閾値以上の値が検知された場合、その異常が可視化されるようにした。

今後様々な施設での利用を想定し、丸形アナログ計器、角型アナログメーター及びデジタル計器を別途、持ち込み設置することで複数のタイプの計器に対して実証を行うこととした。

使用する機材は、高画質が期待出来る一眼レフカメラを使用し、画質の AI 検知精度への影響を排除したうえで実証を行った。

- (3) 開発・活用した要素技術
 (ア) EOS 5D Mark II (一眼レフカメラ)



図 66 EOS 5D Mark II

表 62 EOS 5D Mark II 機器仕様

項目	内容
撮像素子	約 36×24mm
カメラ有効画素数	約 2110 万画素
総画素数	約 2220 万画素
撮像素子アスペクト比	3:2
検出方式	TTL 二次結像位相差検出方式
検出素子	CMOS センサー
検出輝度範囲	EV - 0.5~18 (常温・ISO100)
AF モード	ワンショット AF、AI サーボ AF、AI フォーカス AF、手動 (MF)
測光方式	35 分割 TTL 開放測光
測光範囲	EV1~20 (常温・EF50mm F1.4 USM 使用・ISO100)
ISO 感度 (推奨露光指数)	全自動、クリエイティブ全自動 : ISO100~3200 自動設定 P, Tv, Av, M, B : ISO100~6400 任意設定 (1/3 段ステップ)、自動設定、及び ISO50 (L)、ISO12800 (H1)、ISO25600 (H2) の感度拡張が可能
シャッター形式	電子制御式、フォーカルプレーンシャッター
シャッター速度範囲	1/8000~30 秒、バルブ (全ての撮影モードを合わせて) X=1/200 秒
質量 (g) (本体のみ)	約 810g (本体のみ)

外形寸法 (幅 x 高さ x 奥行)	152 (幅) × 113.5 (高さ) × 75 (奥行) mm
--------------------	-----------------------------------

(イ) AI 検知ソフトウェア

本実証では実施項目 A と同様、株式会社システム計画研究所 (ISP) の既存の 3 つのソフトウェア (ひびここ、ISP Vision Library、ISP edgeAI) をカスタマイズして実証を行った。開発した解析プログラム毎の活用したソフトウェア及び実施したカスタマイズ内容を表 63 に示す。

表 63 解析プログラム毎のカスタマイズ内容

項目	使用技術	カスタマイズ内容
全解析プログラム共通	—	<ul style="list-style-type: none"> ・ 画像出力処理機能の追加 ・ 処理時間の計測 ・ AR マーカーによる対象箇所切り出し処理との結合 (バルブ開閉検知・アナログ計器読み取りを除く)
バルブ開閉検知	<ul style="list-style-type: none"> ・ ISP Vision Library (AR マーカー検出機能) をカスタマイズ 	<ul style="list-style-type: none"> ・ ISP Vision Library (AR マーカー検出機能) により取得した対象物の角度情報から、開閉の判断を行う機能の追加
配管劣化検知	<ul style="list-style-type: none"> ・ ISP Vision Library をカスタマイズ 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 錆検出アルゴリズムを本実証の課題に合わせ修正
温度計外観劣化検知	<ul style="list-style-type: none"> ・ ISP Vision Library (AR マーカー検出機能) をカスタマイズ ・ ひびここをカスタマイズ 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 前処理を本実証の課題にあわせ修正 ・ 本実証用に取得した学習データを用いた再学習 ・ 劣化有無判定ロジックを今回の課題にあわせ修正
アナログ計器読み取り	<ul style="list-style-type: none"> ・ ISP edgeAI 計器自動読み取りソフトウェア 	<ul style="list-style-type: none"> ・ キャリブレーション処理を本実証の課題に合わせ修正 ・ 前処理を検知対象計器、撮影条件に合わせ修正 ・ 本実証で設定した閾値の調整
デジタル計器読み取り	<ul style="list-style-type: none"> ・ ISP Vision Library (AR マーカー検出機能) をカスタマイズ ・ ISP edgeAI 計器自動読み取りソフトウェア 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 本実証用に取得した学習データを用いた再学習 ・ 本実証で設定した閾値の調整

① ひびこ (株式会社システム計画研究所 (ISP))

コンクリート構造物等の撮影画像から、ひび割れ検出を実現するための学習機能を持った解析ソフトウェアで、使用する環境や用途に合わせてカスタマイズが可能である。本実証では、温度計外観劣化検知に利用した。

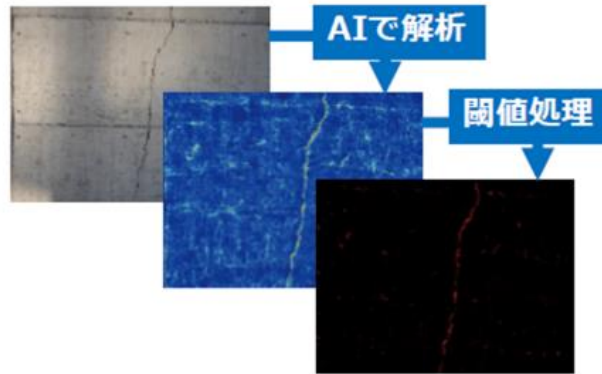


図 67 ひびこ

② ISP Vision Library (株式会社システム計画研究所 (ISP))

異常状態検知、物体検出、骨格推定、分類、領域分割、画像解析等で活用される画像や映像の解析に関するライブラリ。本実証では、AR マーカー検出機能をカスタマイズして使用している他、配管の劣化検知や、温度計外観劣化検知において、本実証の課題に合わせて、ISP Vision Library の再学習やアルゴリズムの調整を行い利用した。



図 68 ISP Vision Library

③ ISP edgeAI (株式会社システム計画研究所 (ISP))

特定用途向けの AI を小型の端末に搭載することで、人流解析や手洗い自動判別などに活用されているライブラリ。アナログメーター及びデジタル計器の読み取りにおいて、本実証用に取得した学習データを用いて再学習を行い利用した。

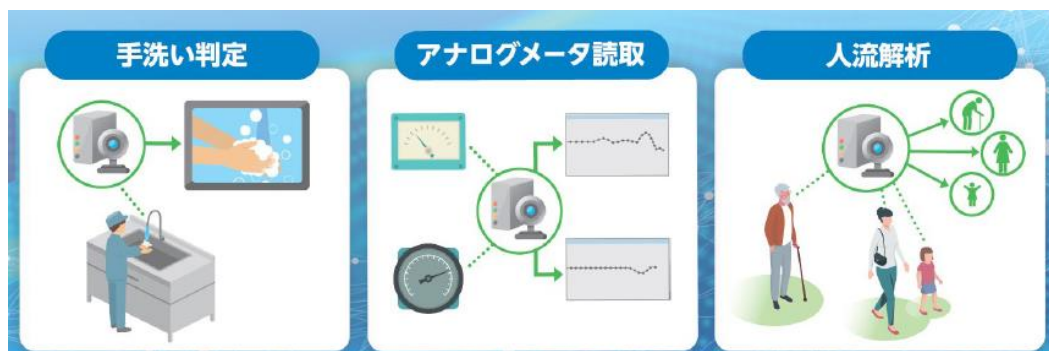


図 69 ISP edgeAI

④ AI 解析環境（株式会社システム計画研究所（ISP））

AIによる画像解析は、ドローンとUGVに搭載したカメラからそれぞれSDカードを取り出し、PC経由でAI解析用クラウドにアップロードする。撮影画像ファイルはクラウドAIシステム上で対象種別毎に該当する解析プログラムで処理された結果、処理結果画像ファイルが生成され、処理結果画像ファイルはPCに自動でダウンロードされる。解析プログラムは株式会社システム計画研究所のひびこ、ISP Vision LibraryとISP edgeAIをカスタマイズ開発し、検知対象に合わせたプログラムとなっている。本実証では、必要十分な開発期間がないためドローン及びUGVによるデータ取得からAI解析する一連を自動化することはしていない。

4.1.2. 実施場所等

(1) 実施場所

本実証において、固定カメラで撮影を行うアナログ及びデジタルメーターを多く保有する施設プラントを選定した。実施項目Aと同じく、大内新興化学工業株式会社原町工場を使用しているため、詳細な記述は割愛する。



図 70 大内新興化学工業 原町工場 写真画像取得箇所（赤色）

(2) 検知対象項目

本実証で写真画像を取得し AI による解析を行う施設の対象を下記に示す。

- ・ バルブのハンドルから開閉状態の検知
- ・ 設備の劣化（腐食、亀裂、その他損傷）の検知
- ・ アナログ、デジタル両メーターの閾値越え、閾値以下の検知

エリア	検知対象番号	画像	点検項目	備考
C	41		配管の劣化	錆なし・腐食なし
C	42		配管の劣化	錆あり・腐食なし
C	43		配管の劣化	錆あり・腐食あり どちらか一方か、 両方同時に
医務室	61		温度計の劣化	破損なし(1個目)
医務室	62		温度計の劣化	破損なし(2個目)
医務室	65		温度計の劣化	破損あり(1個目)

図 71 検知対象エリアと検知対象番号一覧※

※対象エリアは、2.1.2 実施場所の図 18 を参照。

エリア	検知対象番号	画像	点検項目	備考
医務室	66		温度計の劣化	破損あり(2個目)
医務室	71		アナログ計器 (丸型)	円形の アナログ計器 どちらか一方
医務室	72		アナログ計器 (角型)	角型の アナログ計器
計器室	81		デジタル計器	右下の7セグ
医務室	15		バルブ	

図 72 検知対象エリアと検知対象番号一覧※

※対象エリアは、2.1.2 実施場所の図 18 を参照。

(3) 実証当日の準備、撮影の様子

実証当日の固定カメラ撮影の準備として以下を実施した。

- ・ 撮影用の計器類の配置
- ・ 固定カメラ、三脚の設置
- ・ PC セットアップ等



図 73 固定カメラによる準備・撮影の様子

(4) 実施期間・タイムスケジュール

実施項目 C の全体スケジュールは以下の通りである。

- ・ 機材手配・申請・調整：2023年11月1日(水)~11月20日(月)
- ・ 現地確認作業：2023年11月21日(火)
- ・ AI学習データ取得：2023年11月30日(木)~12月1日(金)
- ・ AI構築：2023年12月5日(月)~12月22日(金)
- ・ 実証実施：2023年12月26日(火)~12月27日(水)

表 64 現地確認及び AI 学習データ取得 タイムスケジュール

事前準備	日程	タイムスケジュール
1 日目	2023 年 11 月 21 日 (火)	準備：11:30~12:00 現地確認：12:00~15:30 片付け・撤収：15:30~16:00
2 日目	2023 年 11 月 30 日 (木)	準備：9:00~9:30 AI 学習データ取得：10:00~15:30 片付け・撤収：15:30~16:00
3 日目	2023 年 12 月 1 日 (金)	準備：9:00~9:30 AI 学習データ取得：9:30~15:30 片付け・撤収：15:30~16:00

表 65 技術実証 タイムスケジュール

実証	日程	タイムスケジュール
1 日目	2023 年 12 月 26 日 (火)	準備：8:00~9:00 固定カメラ実証：9:00~15:00

		片付け・撤収：15:00～16:00
2日目	2023年12月27日（水）	準備：8:00～9:00 固定カメラ実証：9:00～15:00 片付け・撤収：15:00～16:00

(5) 有識者ヒアリング

実施項目 A と同様のため、詳細は 2.1.2 実施場所等 2.1.2(5)有識者ヒアリングを参照。

4.1.3. 実施条件等

(1) EOS 5D Mark II（固定カメラ）による撮影方針・条件

(ア) 撮影場所の事前現地確認と AI 学習データ取得

① 撮影場所の事前現地確認

11月21日（火）に現地確認を行った。各撮影対象のバルブのハンドル、錆・腐食箇所の位置を確認し、AI 学習データの要件定義のための画像データを、設置するカメラのセンサーと焦点距離及び画像解像度から計算をし、写真画像の取得を行った。なお、AI 学習データの要件定義のための画像データの解像度は、0.4 mm/pix（一辺 2cm に 50pix が含まれる画像）とする。

② AI 学習データ取得

11月30日（木）-12月1日（金）に AI 学習データ取得を行った。AI 学習データ取得では、異常検知の AI モデル作成のための教師データ取得を可能な限り実証と同じ環境を再現することに努め、実施した。AI モデル構築のために検知対象物の正面だけでなく、以下に示す複数パターンの画像を取得した。

- ・ 撮影対象に対して、斜めからの撮影（上下左右）
- ・ 画面中心からのずれ（上下左右）
- ・ 画像の回転（起きうる場合）

AI 学習データ取得時の具体的な確認項目は以下の通りである。

- ・ 撮影画像取得に必要なカメラ位置（高さ、距離）
- ・ 撮影条件（天候、日照条件）
- ・ バルブ閉じ具合（0度、45度、90度、一部で10度と80度）
- ・ 腐食、劣化（腐食がない箇所は汚れ、塗装による起伏、色味）
- ・ カメラキャリブレーション
- ・ 撮影順序

③ 写真画像の取得方法

写真画像は、デジタル一眼レフカメラのEOS 5D Mark IIを解析用PCから操作して撮影を行い、PC上でAI解析に適したフォルダ分類を行ったのち、解析用PCにコピーして、クラウド上のAI解析アプリ（ISP Vision LibraryとISP edgeAIをカスタマイズした本実証用アプリケーション）にアップロードを行った。

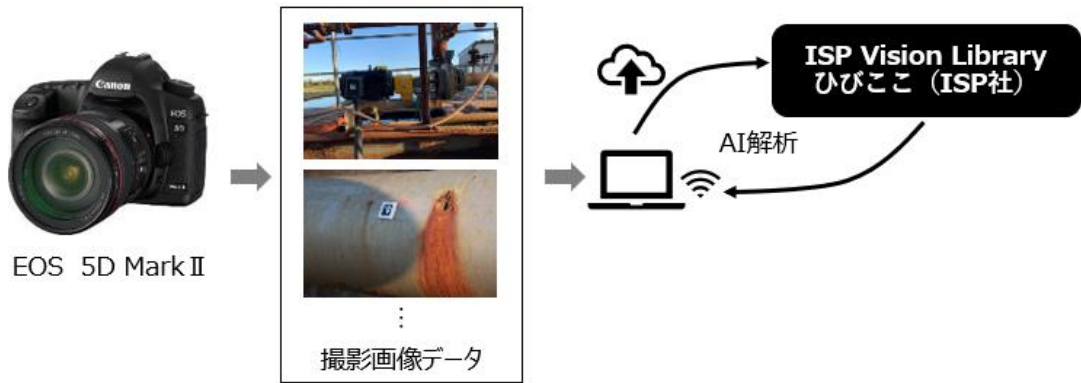


図 74 環境構成

(イ) 固定カメラによる撮影の作業フロー

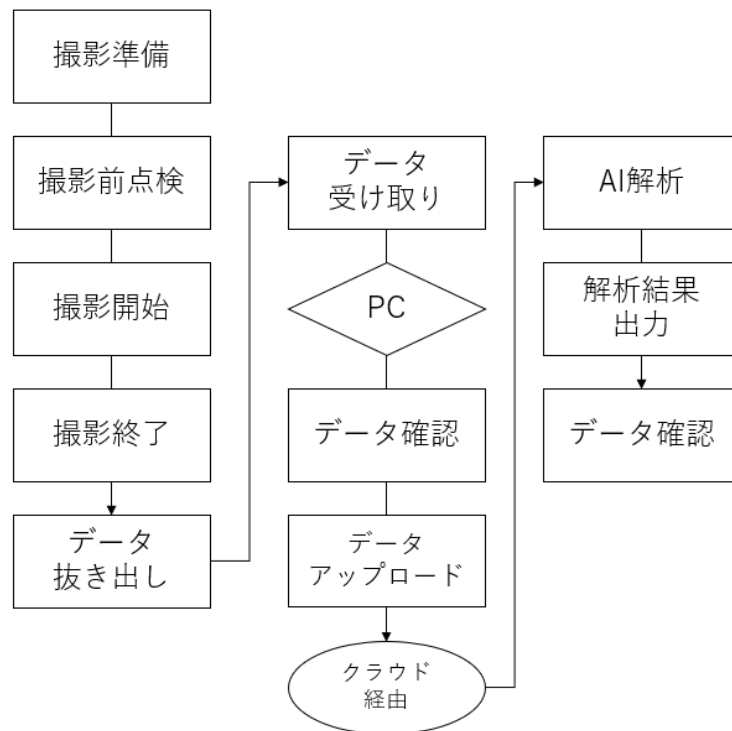


図 75 固定カメラによる撮影の作業フロー

(2) 安全管理

- ・ 現場では安全装備のためヘルメットを着用して実証に係る作業を行った。
- ・ 作業員は監督者の指示のもと、報告、及び状況を積極的に共有した。
- ・ 可能な限りロケハンを実施し、予め現況確認した。
- ・ 実証開始前のブリーフィングにて、趣旨・計画内容、当日の現場状況に応じ計画の修正、各作業者の役割や連携方法、緊急時の対処方法等を確認した。

4.2. 技術実証の結果

4.2.1. 結果の評価ポイント・方法

(1) 実施項目 C の確認方針

本実証項目では以下の項目に沿って、実証内容を確認した。

- ・ 点検対象設備と計器の位置や設置環境を踏まえ、画像検知の正答率を左右する条件（明るさ（日中、夕方等）、固定カメラの設置位置、設置手法、画角等）の洗い出しができているか。
- ・ 画像解析に必要な情報は計画した通りに（画角、画質、枚数等）取得ができたか。できなかった場合はその要因が何かを特定できているか。
- ・ 解析用クラウドにアップロードされたデータは速やかに画像解析が完了されたか。
- ・ 複数の点検対象設備や計器毎に取得情報と解析結果が一覧で確認ができ、異常が検知された項目は容易に視認できるか。
- ・ 複数回実証を行い、点検開始から解析完了までに要する時間や異常検知精度にばらつきはないか。ばらつきがある場合はその要因が特定できているか。
- ・ AI 判定結果における画像取得条件での適合率等の差を整理する。

(2) 実証結果の評価観点と方法

実施項目 C では、ドローンや UGV による撮影が難しい狭い屋内にある計器の指示値読み取りや設備の劣化の検知を前提とし、固定カメラを採用した。

固定カメラは画質、機能、大きさなど、様々なバリエーションの製品が一般に流通している。固定カメラの選択肢は多いが、本実証では画質以外の AI 解析精度に影響を与える要因を洗い出すため一眼レフカメラを採用しているが、実運用では計器や設備一つ一つに一眼レフのカメラを設置することは費用、設置スペースの観点から現実的ではないため、省力化と経済性、導入・運用の容易性及びデジタル技術の安全性については今回特定された解析に影響を及ぼす要因に対策を採る前提で小型の固定カメラを各計器や設備に設置した場合を想定して算出、考察を行った。その他は実施項目 A と同様のため、詳細は 2.2.1 結果の評価ポイント・方法 (2) 実証結果の評価観点を参照。

(3) 実証結果の評価方法

実施項目 A の同様のため、詳細は 2.2.1 結果の評価ポイント・方法 (3) 実証結果の評価方法を参照。

(4) 実施項目 C の目標値

上記の評価観点を基に、以下の内容にて目標値を設定し、デジタル技術による代替可能性について結論付けるものとする。ただし、定量的な目標値は、あくまでも本実証上のものであり、現場への実装に向けて、誤検知及び検知漏れの低減のための対応策を別途明記する。

表 66 実施項目 C の目標値

評価観点	評価項目	目標値	
(ア)精度	判定の正確性	①バルブの開閉状態の検知	<ul style="list-style-type: none">- バルブの開閉について誤検知（バルブが開いている状態を閉じていると判断する等）を 25%以下に抑えることが出来る。・ 誤検知を低減させるための考慮事項が明らかに出来る。
		②設備の劣化（腐食、摩耗、亀裂、その他損傷）の検知	<ul style="list-style-type: none">- 腐食、亀裂、その他損傷について誤検知（亀裂などの有無の判断等）を 25%以下に抑えて発見することが出来る。・ 誤検知を低減させるための考慮事項が明らかに出来る。
		③温度計の劣化（腐食、摩耗、亀裂、その他損傷）の検知	<ul style="list-style-type: none">・ 腐食、亀裂、その他損傷について誤検知（亀裂などの有無の判断等）を 25%以下に抑えて発見することが出来る。・ 誤検知を低減させるための考慮事項が明らかに出来る。
		④アナログ計器（丸形、角型）の表示内容と異常値の検知	<ul style="list-style-type: none">・ 表示している数値情報が誤差幅を±1目盛以内での精度で判明出来る。・ 任意の閾値を超えていることがわかれば 80%以上の精度で異常を判定することが出来る。・ 誤検知を低減させるための考慮事項が明らかに出来る。

		⑤デジタル計器（7セグ）の表示内容と異常値の検知	<ul style="list-style-type: none"> 表示している数値情報を80%以上の精度で判明出来る。 任意の閾値を超えていることがわかれば80%以上の精度で異常を判定することが出来る。 誤検知を低減させるための考慮事項が明らかに出来る。
(イ)省力化	作業工数	運用にかかる工数に対しては、固定カメラによるデータ取得からAIを通じた結果の判定までに要する工数（時間）が、これまで人により巡視に要していた時間と比べて、50%以上削減出来る。	
	属人性	デジタル技術を使用することで、点検業務が特定の方の担当業務になっていることが、AIによる検知結果の確認方法さえわかれば誰でもが実施可能であることを示す。	
	省力化まとめ	2つの評価項目を踏まえて、現行の人手による検知と比較して、同等以上の省力化が実現出来ていることを示すことが出来る。	
(ウ)経済性	初期導入コスト	初期導入コストを算出し示す。	
	運用コスト	5年、10年の期間で確認した場合、人手で行っていた運用コストが50%以下に削減出来る。	
	収集した情報の活用による経済的メリット	収集したデータの活用により、既存業務の効率化が期待出来る範囲が明確になり、事業所全体でのコスト低減や効率化に寄与出来る点を示すことが出来る。	
	経済性まとめ	3つの評価項目を踏まえて、人手による検知方法よりもデジタル技術により代替したほうが経済性に優れることを結論付けることが出来る。	
(エ)導入・運用の容易性／技術の汎用性	導入の容易性	導入における前提条件や設置・導入にあたっての技術要件において、他の業務における条件と比較した際に、大きく異なる技術課題の要件が上がることがないと結論付けられる。	
	運用の容易性	デジタル技術の運用において、ある一定の研修を受けた後、指定された手順の下であれば運用可能なレベルであることが結論付けられる。	
	選択技術の汎用性	技術実証で使用する技術は市場において広く認知されて、代替可能であると結論付けられる。	

	導入・運用の容易性／技術の汎用性	3つの評価項目を踏まえて、技術実証に使用するデジタル技術の導入・運用の容易性と技術の汎用性の両面があることを結論付けられる。
(オ)デジタル技術利用の安全性	設備・作業者に対する安全の確保	固定カメラにおける設備・作業者に対する安全性を確保するために講じられる対策や運用方法を示すことが出来る。
(カ)他分野・他法令への展開	高圧ガス保安法第35条の2に係る定期自主検査への適用性	本実証を通じて、「(3) 個別領域の実証の実現」で示した高圧ガス保安法第35条の2の業務においても、選択したデジタル技術により、定期自主検査が実現出来る、と結論付ける。

4.2.2. 結果及び評価・分析

(1) 本実証における定期点検項目の実証範囲

本実証で行った定期点検項目の実証範囲を以下に示す。

表 67 本実証における定期点検項目の実証範囲

定期点検の点検項目			本実証の実証範囲
一般高圧ガス保安規則第6条、第55条、第60条、液化石油ガス保安規則第6条、第53条、第58条、コンビナート等保安規則第5条及び冷凍保安規則第9条に係る設備の定期点検	1.2	(4) 各配管系統のバルブ等の開閉状況及び仕切板の挿入、取外し状況	一部実施 (バルブの開閉状況の検知)
	1.3	(5) 製造設備等の全般における腐食、摩耗、損傷、閉塞、結合部の緩み、基礎の傾斜及び沈下その他の異常の有無	一部実施 (配管・温度計の劣化(腐食、亀裂、その他損傷)の検知)
	2.2	(2) 計器類の指示、警報、制御の状態	一部実施 (アナログ、デジタル計器の読み取り及び異常検知)

高圧ガス保安法第 35 条の 2 に係る施設の定期自主検査の点検項目	5.1.1.1	計装設備 温度計の目視検査	類似の点検項目を実施 (アナログ、デジタル計器の読み取り及び異常検知)
	6.14.1	防消火設備の目視検査	類似の点検項目を実施 (アナログ、デジタル計器の読み取り及び異常検知)

(2) 実施項目 C の確認方針の結果

本実証における確認方針の結果を以下に示す。

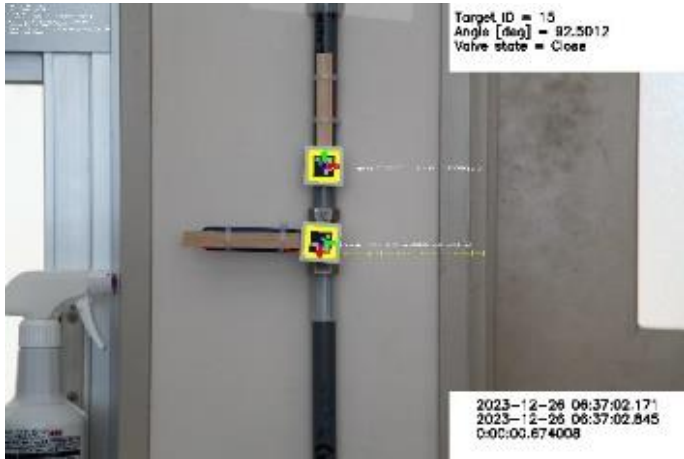
表 68 実施項目 C の確認方針の結果

確認方針	確認結果
点検対象設備と計器の位置や設置環境を踏まえ、画像検知の正答率を左右する条件（明るさ（日中、夕方等）、固定カメラの設置位置、設置手法、画角等）の洗い出しができているか。	事前に現地確認を行うことにより実証環境の確認をしたうえで画像解析の正答率を左右する条件の洗い出しを行った。また、実証時にはそれらの条件を可能な限り網羅する形でシナリオを作成し、それに沿って実行した。
画像解析に必要な情報は計画した通りに（画角、画質、枚数等）取得ができたか。できなかった場合はその要因が何かを特定できているか。	実証では大部分で計画通りの画角、画質、枚数を取得できた。一部画像解析結果に影響を与える画像については要因を特定した。
解析用クラウドにアップロードされたデータは速やかに画像解析が完了されたか。	解析用クラウドにアップロードされたデータは速やかに画像解析が完了した。 1 枚 10 秒～40 秒（画像アップロード、解析結果ダウンロード時間を含む）で解析工程が完了した。
複数の点検対象設備や計器毎に取得情報と解析結果が一覧で確認ができ、異常が検知された項目は容易に視認できるか。	今回は開発期間の短縮に伴い、解析結果一覧の生成は行っていない。 点検対象毎の結果は解析後の結果上に表示され、容易に視認ができることを確認した。
複数回実証を行い、点検開始から解析完了までに要する時間や異常検知精度にばらつきはないか。ばらつきがある場合はその要因が特定できているか。	事業期間の短縮に伴い、実証は 1 回とした。 可能な範囲で複数の異なった条件下でのシナリオを作成し、ばらつきについて確認を行った。また、ばらつきがある場合については要因を特定した。
AI 判定結果における画像取得条件での適合率等の差を整理する。	本実証では主に誤検知率での画像取得条件による差を整理した。

(3) 結果

(ア) 精度

- ① バルブの開閉状態の検知：バルブの開閉について誤検知（バルブが開いている状態を閉じていると判断する等）を25%以下に抑えることが出来る。

評価方法、ポイント
<ul style="list-style-type: none">バルブの開閉に対して、検知対象番号を母数において AI モデルで検知、誤検知の正誤表を混同行列で評価を行う。判定精度向上が見込める対応策をまとめる。
評価結果
<p>【サマリ】</p> <ul style="list-style-type: none">検知漏れや誤検知は0%であり、全て正しく検知出来た。 <p>【詳細結果】</p> <p>バルブの開閉状態の検知について、固定カメラで撮影した場合の判定結果の例を以下に示す。</p> <div data-bbox="475 958 1161 1415"></div> <p>図 76 バルブ全閉※</p>
<p>※解析結果表示項目</p> <p>Target ID：検知対象番号、Angle[deg]：バルブの検知角度、</p> <p>Value state：解析結果（Close：全閉、Half open：半開、Open：全開）</p>

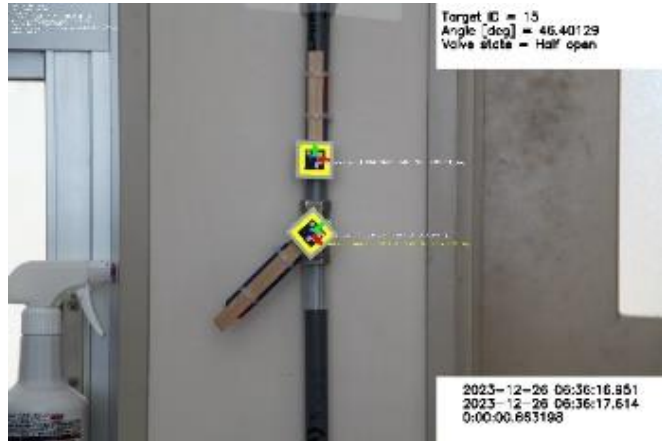


図 77 バルブ半開※

※解析結果表示項目

Target ID : 検知対象番号、Angle[deg] : バルブの検知角度、

Value state : 解析結果 (Close : 全閉、Half open : 半開、Open : 全開)

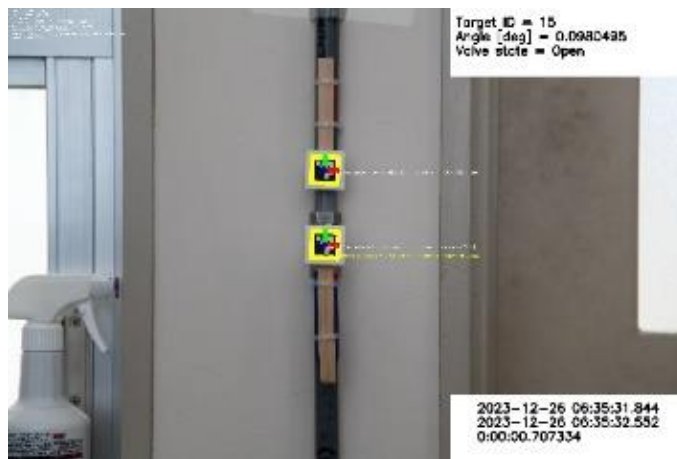


図 78 バルブ全開※

※解析結果表示項目

Target ID : 検知対象番号、Angle[deg] : バルブの検知角度、

Value state : 解析結果 (Close : 全閉、Half open : 半開、Open : 全開)

表 69 検知対象番号 15 : 固定カメラ

		出力結果		
		全閉	半開	全開
真値	全閉	20	0	0
	半開	0	20	0
	全開	0	0	20


AR マーカー検知漏れ	0
-------------	---

また、F 値を計算すると表 70 のようになる。ただし、バルブは全閉・半開・全開の 3 ラベルがあるため、F 値算出のためマクロ平均（各ラベルの F 値の平均）を算出している。

表 70 バルブ開閉状態の F 値

検知対象番号	固定カメラ
15	1.00

② 設備の劣化（腐食、摩耗、亀裂、その他損傷）の検知：腐食、亀裂、その他損傷について誤検知（亀裂などの有無の判断等）を 25% 以下に抑えて発見することが出来る。

評価方法、ポイント
<ul style="list-style-type: none"> 腐食、摩耗、亀裂、その他損傷に対して、検知対象番号を母数において AI モデルで検知、誤検知の正誤表を混同行列で評価を行う。 判定精度向上が見込める対応策をまとめる。
評価結果
<p>【サマリ】</p> <ul style="list-style-type: none"> AR マーカーの検知漏れはあるものの、それらを除くと誤検知は 0% であり、全て正しく検知出来た。 <p>【詳細結果】</p> <p>配管の劣化を固定カメラで撮影した場合の判定結果の例を以下に示す。</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>図 79 配管の劣化なし※</p> <p>※解析結果表示項目</p>

Target ID : 検知対象番号、OK : 劣化（錆）なし、NG : 劣化（錆）あり



図 80 配管の劣化あり※

※解析結果表示項目

Target ID : 検知対象番号、OK : 劣化（錆）なし、NG : 劣化（錆）あり

表 71 検知対象番号 41-43 : 固定カメラ

		検出結果	
		劣化なし	劣化あり
真値	劣化なし	15	0
	劣化あり	0	33
AR マーカー検知漏れ		11	

検知対象番号 41-43 に対してまとめて F 値を計算すると表 72 のようになる。この際、劣化ありを positive として計算を行っている。

表 72 配管の劣化の F 値

検知対象番号	固定カメラ
41-43	1.00

【誤検知及び検知漏れの原因と対応策】

- ・ AR マーカーの検知漏れについては、2.2.2 結果及び評価・分析 (2)結果 (ア) 精度 2.2.2(3)(ア)①視認出来る設備の状態（バルブの開閉状態）の【検知漏れの原因と対応策】を参照。
- ・ 誤検知が起り得る可能性と原因については、2.2.2 結果及び評価・分析 (2)結果

(ア) 2.2.2(3)(ア)③精度視認出来る設備の状態（設備や配管の劣化）の【誤検知及び検知漏れの原因と対応策】を参照。

③ 温度計の劣化（腐食、摩耗、亀裂、その他損傷）の検知：腐食、亀裂、その他損傷について誤検知（亀裂などの有無の判断等）を25%以下に抑えて発見することが出来る。

評価方法、ポイント

- ・ 温度系の劣化（腐食、摩耗、亀裂、その他損傷）に対して、検知対象番号の撮影枚数を母数において AI モデルで検知、誤検知の正誤表を混同行列で評価を行う。
- ・ 判定精度向上が見込める対応策をまとめる。

評価結果

【サマリ】

- ・ 誤検知率は4%であり、劣化が無いものを劣化ありと判定していた。
- ・ 温度計の劣化では、目盛や針の一部も劣化として誤認識され、判定を誤っている事例が見られる。ガス漏洩警報設備や配管の劣化ではこのようなことは起きないため、透明な素材の劣化にはこの点で特有の難しさがあると言える。

【詳細結果】

温度計を固定カメラで撮影した場合の判定結果の例を以下に示す。

本実証用に計器のプラスチック版の表面に意図的に傷や亀裂を作った計器を用意した。



図 81 表面に傷や亀裂が入った計器



図 82 温度計の外観の劣化なし※

※解析結果表示項目

Target ID : 検知対象番号、Result OK : 劣化（傷）なし、

Result NG : 劣化（傷）あり



図 83 温度計の外観の劣化あり※

※解析結果表示項目

Target ID : 検知対象番号、Result OK : 劣化（傷）なし、

Result NG : 劣化（傷）あり

表 73 検知対象番号 61、62、65、66 : 固定カメラ

		検出結果	
		劣化なし	劣化あり
真値	劣化なし	37	3
	劣化あり	0	40
AR マーカー検知漏れ		0	

検知対象番号 61、62、65、66 を合わせて F 値を計算すると、表 74 のようになる。この際、劣化ありを positive として計算を行っている。

表 74 温度計の劣化の F 値

検知対象番号	固定カメラ
61、62、65、66	0.96

【誤検知及び検知漏れの原因と対応策】

温度計の劣化では、目盛や針の一部も劣化として誤認識され、判定を誤っている事例が見られる。ガス漏洩警報設備や配管の劣化ではこのようなことは起きないため、透明な素材の劣化にはこの点で特有の難しさがあると言える。

対応策

学習データをさらに増やすことで、目盛や針とひびの判別の精度を向上することが可能と考えられる。また、今回はセマンティックセグメンテーションの手法を用いたが、ディープラーニングによる画像分類の手法を用いて、ひびの位置を特定せずに劣化の有無のみを判別することも考えられる。画像分類の場合、ひびの生じている画素を特定することはできないが、学習の容易さに加え、誤検知を抑えられる可能性がある。

④ アナログ計器（丸形、角型）の表示内容と異常値の検知：表示している数値情報が誤差幅を±1 目盛以内での精度で判明出来る。また任意の閾値を超えていることがわかれば 80%以上の精度で異常を判定することが出来る。

評価方法、ポイント
<ul style="list-style-type: none"> アナログ計器の指示値に対して、誤差幅を±1 目盛以内で検知出来るか評価を行う。 アナログ計器の任意の閾値に対して、超えているケースの判定で検知対象番号の撮影枚数を母数において AI モデルで検知、誤検知の正誤表を混同行列で評価を行う。 判定精度向上が見込める対応策をまとめる。
評価結果
<p>【サマリ】</p> <ul style="list-style-type: none"> 98%の画像で誤差幅は 1 目盛以内の精度結果であった。また、異常検知精度も丸形、角型ともに 98%であった。 <p>【詳細結果】</p> <p>検知結果の例として、アナログ計器を固定カメラで撮影した場合の判定結果の例を以下に示す。なお、検知対象は右側の赤枠で示しているものである。</p>

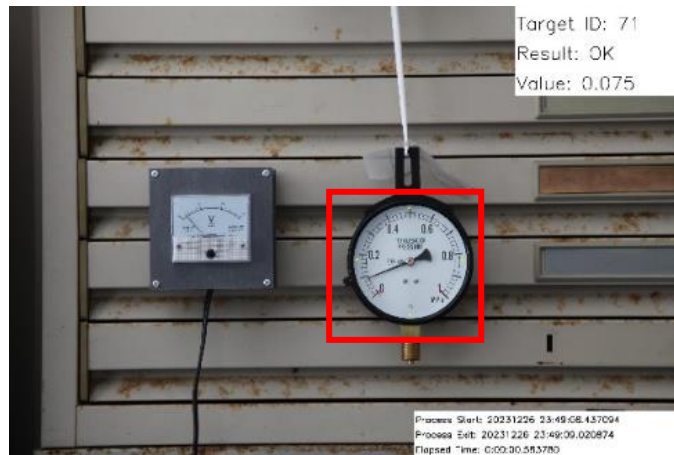


図 84 アナログ計器の指示値が閾値下の場合※

※解析結果表示項目

Target ID : 検知対象番号、Result OK : 劣化（傷）なし、

Result NG : 劣化（傷）あり

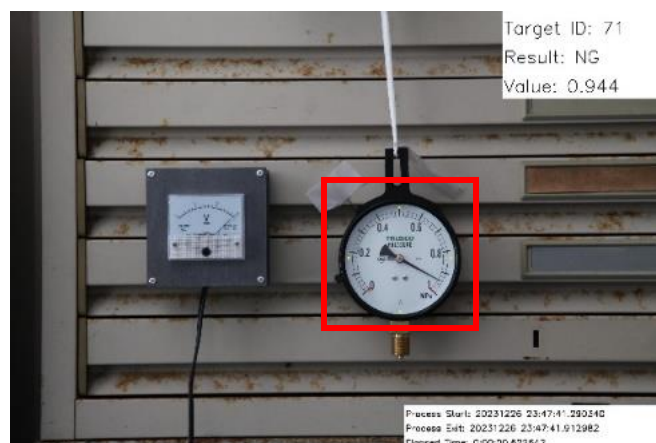


図 85 アナログ計器の指示値が閾値越えの場合※

※解析結果表示項目

Target ID : 検知対象番号、Result OK : 劣化（傷）なし、

Result NG : 劣化（傷）あり

表 75 検知対象番号 71、72 : 精度評価

	正当数	誤答数	正答率 (%)
検知対象番号 71 (丸形)	49	1	98.0
検知対象番号 72 (角形)	49	1	98.0

検知対象番号 71、72 それぞれのメーターに対し、真値（人間が目視で読み取った値）とシス

テムによる読み取り値の差が誤差 1 目盛の範囲内にあるものを正答、そこから外れるものを誤答として集計を行っている。検知対象番号 71、72 いずれの場合も、誤答は 1 つだけである。

表 76 検知対象番号 71：異常検知の混同行列

		検出結果	
		閾値下	閾値超
真値	閾値下	24	1
	閾値超	0	25

表 77 検知対象番号 72：異常検知の混同行列

		検出結果	
		閾値下	閾値超
真値	閾値下	24	1
	閾値超	0	25

表 76、表 77 では、それぞれ異常値の閾値をメーター中央（検知対象番号 71、72 に対し、それぞれ 0.5、7.5）に設定したうえで、閾値を下回ったものと上回ったものの混同行列を示している。いずれの場合も、閾値下のものを閾値超えと誤検知した場合は 1 例だけある。

【誤検知及び検知漏れの原因と対応策】

前節で述べた通り、検知対象番号 71、72 共に一例ずつ誤検知が起きている。これは、撮影中にわずかにカメラの位置がずれてしまい、アノテーションと齟齬が生じたことが原因である。また、今回は本撮影条件に合わせた設定を行うことで回避することが出来たが、照明の当たり方によっては針の検出に支障が出る可能性があり、判定精度が落ちる原因となりうる。



図 86 正常なアノテーションが出来ている画像※

※解析結果表示項目

Target ID : 検知対象番号、Result OK : 劣化（傷）なし、

Result NG : 劣化（傷）あり



図 87 カメラ位置がずれ、読み取りに失敗した画像※

※解析結果表示項目

Target ID : 検知対象番号、Result OK : 劣化（傷）なし、

Result NG : 劣化（傷）あり

対応策 :

カメラ位置のずれは、確実な固定が難しい三脚と一眼レフカメラを用いて撮影を行わざるを得なかったことが原因である。一方で、実運用の際はメーターとカメラの相対位置をより確実に固定して設置を行うと考えられるため、今回見られた誤検出と同様の問題は基本的には起こりづらいと考えられる。

ただし、より強固な固定を行った場合でも、経年劣化や想定外の衝撃などにより撮影範囲がずれる可能性はある。このような状況に対応するため、ずれを検出し、異常として通知する、あるいはずれを補正する仕組みを導入することは有用である。ずれの判定を自動で行うために、以下のような基準を使用することが可能だと考えられる。

- ・ メーターの形状（円形、矩形など）
- ・ 以前の読み取り処理の際に撮影した画像との差分
- ・ ずれを検知しやすい目印を新たに設置する（色の明瞭なシールなど）

また、照明条件による針検出への影響については、二値化をする上で、固定的な閾値を用いるのではなく、画像毎に最適な閾値を算出出来る手法を取り入れるなど、前処理を工夫することにより低減が可能だと考えられる。

⑤ デジタル計器（7セグ）の表示内容と異常値の検知：表示している数値情報が80%以上の精度で判明出来る。また任意の閾値を超えていることがわかれば80%以上の精度で異常を判定することが出来る。

評価方法、ポイント

- ・ 対象となるデジタル計器の撮影枚数を母数において、AIモデルで判定精度の評価を行う。
- ・ デジタル計器の任意の閾値に対して、超えているケースの判定で検知対象番号の撮影枚数を母数においてAIモデルで検知、誤検知の正誤表を混同行列で評価を行う。
- ・ 判定精度向上が見込める対応策をまとめる。

評価結果

【サマリ】

- ・ 数値情報の読み取り精度は73.75%、異常検知精度は97%であった。
- ・ この二つの指標の精度の差については以下詳細にて説明する。

【詳細結果】

デジタル計器を固定カメラで撮影した場合の判定結果の例を以下に示す。



図 88 デジタル計器の指示値が閾値下の場合※

※解析結果表示項目

検知対象番号、読み取り値、判定結果（正常・異常）



図 89 デジタル計器の指示値が閾値越えの場合※

※解析結果表示項目

検知対象番号、読み取り値、判定結果（正常・異常）

表 78 検知対象番号 81：精度評価

	正当数	誤答数	正答率 (%)
検知対象番号 81	59	21	73.75

表 79 検知対象番号 81：異常検知の混同行列

		検出結果	
		閾値下	閾値超
真値	閾値下	38	2
	閾値超	0	40
AR マーカー検知漏れ		0	

表 78 にある通り、判定精度は 70%程度にとどまっている。一方で表 79 では、閾値を 13.0 としたうえで、それを下回ったものと上回ったものの混同行列を示している。表 79 を見ると表 78 より大幅に精度が良いように見えるが、これは閾値下のデータに対しては偶然より小さく誤認されたものが多く、なおかつ閾値超えのデータに対しては偶然より大きく誤認識されたものが多かったことが原因である。

【誤検知及び検知漏れの原因と対応策】

本解析では、最初にディープラーニングを用いない従来の画像処理を用いて画像中の数字や小数点を 1 文字ずつ分割する前処理を施し、そののち各文字に対してディープラーニングを用いて読み取りを行っている。

今回の誤検知はほぼ全て、上記の前処理の中で小数点の分離に失敗したことによるものである。この大きな要因として、照明を切った状態での撮影が挙げられる。今回対象となったデジタル計器は文字部分が発光する方式のため、暗い環境下では文字部分が膨張して画像に写ってしまい、小数点と数字をうまく切り分けることができなくなった。

なお、照明を切った状態での撮影は学習データ撮影時・開発時には想定されておらず、実証当日に急遽追加された条件である。当初の想定である、照明を点灯した状態で撮影した画像のみを対象にして集計した場合の精度評価は表 80 のようになる。

表 80 照明が点灯した状態のみを対象とした精度評価

	正当数	誤答数	正答率 (%)
検知対象番号 81	36	4	90.0

当初の想定に絞った場合も、やはり小数点の誤認識が誤答の原因となっており、数字と比較して小さい小数点の認識はやや難易度が高いと考えられる。

対応策：

今回は数字を桁毎に分離する処理の中で、小数点の分離に失敗する例が多かった。より高精度で汎用的な読み取りを行うためには、この処理のパラメータを調整するか、アルゴリズムを改良する必要があると考えられる。また、ディープラーニングによる物体検出の手法を用い、前処理による桁毎の分離を行わずに直接数字を検出するという手法も考えられる。

(イ) 省力化

- ① 作業工数：運用にかかる工数に対しては、自動運転/飛行や固定カメラやガス検知器によるデータ取得から AI 検知結果の判定までに要する工数（時間）が、これまで人により巡視に要していた時間と比べて、50%以上削減出来る。

評価方法、ポイント
<ul style="list-style-type: none"> 固定カメラの運用に要する作業工数（時間）及び本実証においてデータ転送から異常検知までにかかる工数（時間）を算出。 現行業務において有識者ヒアリングを通して、要している巡視作業工数まとめ、技術実証からわかる工数との比較を行う。 本実証では AI 開発期間が短かったため、AI での計器指示値と外観劣化の解析精度に影響を及ぼす要因のうち、既知の画質以外の要因を特定することを主眼に一眼レフカメラでの撮影を実施した。ただし一眼レフカメラを各検知対象に設置することは現実的ではないため、導入時には実証で特定された要因を反映した小型カメラを検知対象前に設置することを前提に評価を行った。
評価結果
<p>【サマリ】</p> <ul style="list-style-type: none"> 現場ヒアリングを行った結果、現行の巡視・点検業務では、1日2回、作業員1名が目

視で現場を確認し、点検結果を手書きで紙面に記録(約 1 時間)、その後 PC へのデータ転記(約 1~2 時間)を行うため、作業工数は合計 2~3 時間程度かかっているとのことである。

- ・ 本実証では一眼レフカメラを使用した但、実運用の際には小型カメラを検知対象物前に常設することを前提とすると、現行業務における現場での目視確認のプロセスをほぼ無人化することが出来ると考える。また、ドローンや UGV と異なり、固定カメラは常時監視が可能となるため、異常発生時にメール等でのアラート通知を実装すれば、直ぐに異常に気が付くことが出来、大規模な事故を未然に防ぐことにも繋がる。
- ・ 実施項目 A や B と同様に、AI システムを活用して、固定カメラにて取得した画像データの自動解析を行った場合、現行業務にかかる PC へのデータ転記の作業工数が全て自動化することが出来、またヒューマンエラー防止のためにダブルチェックを行っていた工数も短縮することが出来るため、大きな省力化効果を見込むことが可能である。
- ・ よって、固定カメラと AI システムを活用することによって、現行業務にかかる作業工数を 50%以上に削減することは可能であると言える。

【詳細結果】

<固定カメラ+ AI システム>

本実証では、画質による解析精度の影響を極力減らすため、一眼レフカメラを三脚で固定し使用したが、実運用の際には、小型カメラを検知対象物前に設置することを想定して、作業工数を算出した。

- ・ 固定カメラによる撮影の準備作業(人 : 5 分/1 個)
 - ◇ 作業内容 : 検知対象物前に固定カメラを設置、PC のセットアップ等
 - ◇ 利用ツール : 小型カメラ、AI 解析用 PC
- ・ 画像処理、AI 自動解析 (システム : 10~40 秒/1 枚) ※
 - ◇ 作業内容 : クラウドへの画像をアップロード、画像処理、AI 自動解析
 - ◇ 利用ツール : AI 解析用 PC

※技術実証を行った現地では、通信回線として『Docomo 5G』を使用し、クラウド側のサーバーは以下のスペックのものを使用した。

- CPU : Intel(R) Xeon(R) Platinum 8259CL CPU @ 2.50GHz
- GPU : Tesla T4
- 目盛 : 16GiB

上記の時間に幅があるのは、その時点での通信環境状況に変動があること、処理対象によって処理時間が異なることに起因するが、全体的な傾向を把握する上では、数十秒オーダーである

と言える。また、本実証では各種カメラで撮影した撮影画像ファイルをオリジナルのサイズで使用したが、AIを改善することにより、画像サイズをより小さく出来る可能性がある。画像サイズが小さくなれば、その分、転送時間・異常検知処理時間を短縮することが出来る。

- ・ AI解析結果の確認（システム：5～10秒/1枚）
 - ◇ 作業内容：アプリケーション上でAI解析結果を閲覧し、異常有無を確認
 - ◇ 利用ツール：PC（Windowsの画像ファイル内）

<現行業務>

現場ヒアリングを行った結果、現行の巡視・点検業務では、1日2回、作業員1名が目視で現場を確認し、点検結果を手書きで紙面に記録（約1時間）、その後PCへのデータ転記（約1～2時間）を行うため、作業工数は合計2～3時間程度かかっているとのことである。また異常判断や詳細調査、対応についても、現状は点検時の異常検知の際に様々な観点で人が情報収集を行うため、状況把握や原因分析に一定の時間がかかっている。

- ・ 設備の巡視点検における情報収集
 - ◇ 巡視チェックシートを基に、作業員が向上の周りを巡回点検。
 - ◇ 作業員がチェック項目の結果を手書きで記録。
 - ◇ 全チェック項目の記録完了後、別の作業員とダブルチェック
 - ◇ 記入ミスの可能性のある場合は、再度現場に戻り確認。
 - ◇ 紙面に記録した数値をPCに転記して、電子データ化。
- ・ 異常判断
 - ◇ 過去の点検記録を確認し、変化や異常を把握。
 - ◇ または巡視の際に作業員が五感と経験に基づき異常判断。
- ・ 詳細調査
 - ◇ 異常判断をした場合、他作業員に連絡し状況を共有。
 - ◇ 必ず複数人で対応判断の最終決定を行う。
- ・ 対応
 - ◇ 作業員は不具合に対する対応を行う。

② 属人性：デジタル技術を使用することで、点検業務が特定の方の担当業務になっていることが、AI結果の確認方法さえわかれば誰でもが実施可能であることを示す

評価方法、ポイント

- ・ モニターに表示された検知結果の画面ショットを残す。
- ・ モニターに表示された検知結果を3事業者（ISP、パーソルP&T、PwC）にて確認し、

最終判断を行う。

- ・ 本実証では AI 開発期間が短かったため、AI での計器指示値と外観劣化の解析精度に影響を及ぼす要因のうち、既知の画質以外の要因を特定することを主眼に一眼レフカメラでの撮影を実施した。ただし一眼レフカメラを各検知対象に設置することは現実的ではないため、導入時には実証で特定された要因を反映した小型カメラを検知対象前に設置することを前提に評価を行った。

評価結果

【サマリ】

- ・ AI システムにより出力された検知結果の確認方法さえわかれば、誰でも同じ結果を導出することが出来た。
- ・ 今回は開発期間が短かったため、モニター上で解析結果を一覧で確認出来るシステムは開発していないが、そういったシステムの開発により点検業務からより属人性を排除出来る運用が可能になる。
- ・ 本実証では検知結果を英語と日本語両方の表記を使用した。実運用の際には、より分かりやすい確認画面にすることを想定している。
- ・ モニターに表示された検知結果の画面ショットについては、4.2.2 結果及び評価・分析 (1) 結果 (ア) 精度以降の各項目を参照。

【詳細結果】

解析後画像の赤枠で示した右上に解析結果が表示される。

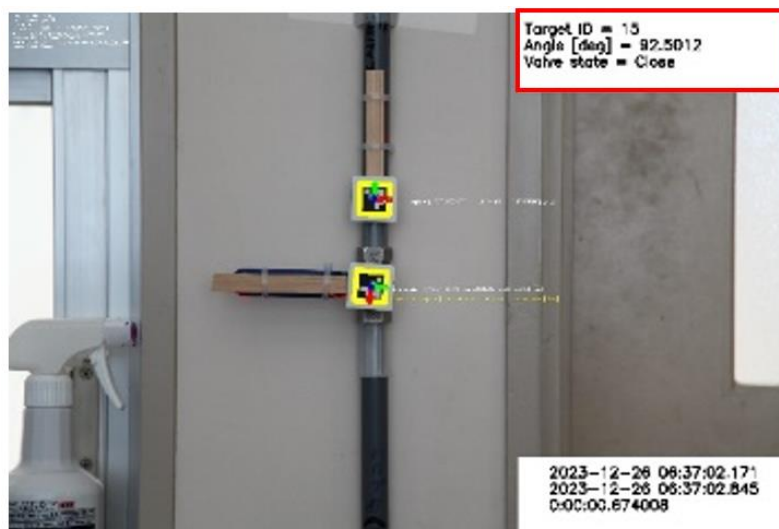


図 90 バルブの開閉の検知結果例※

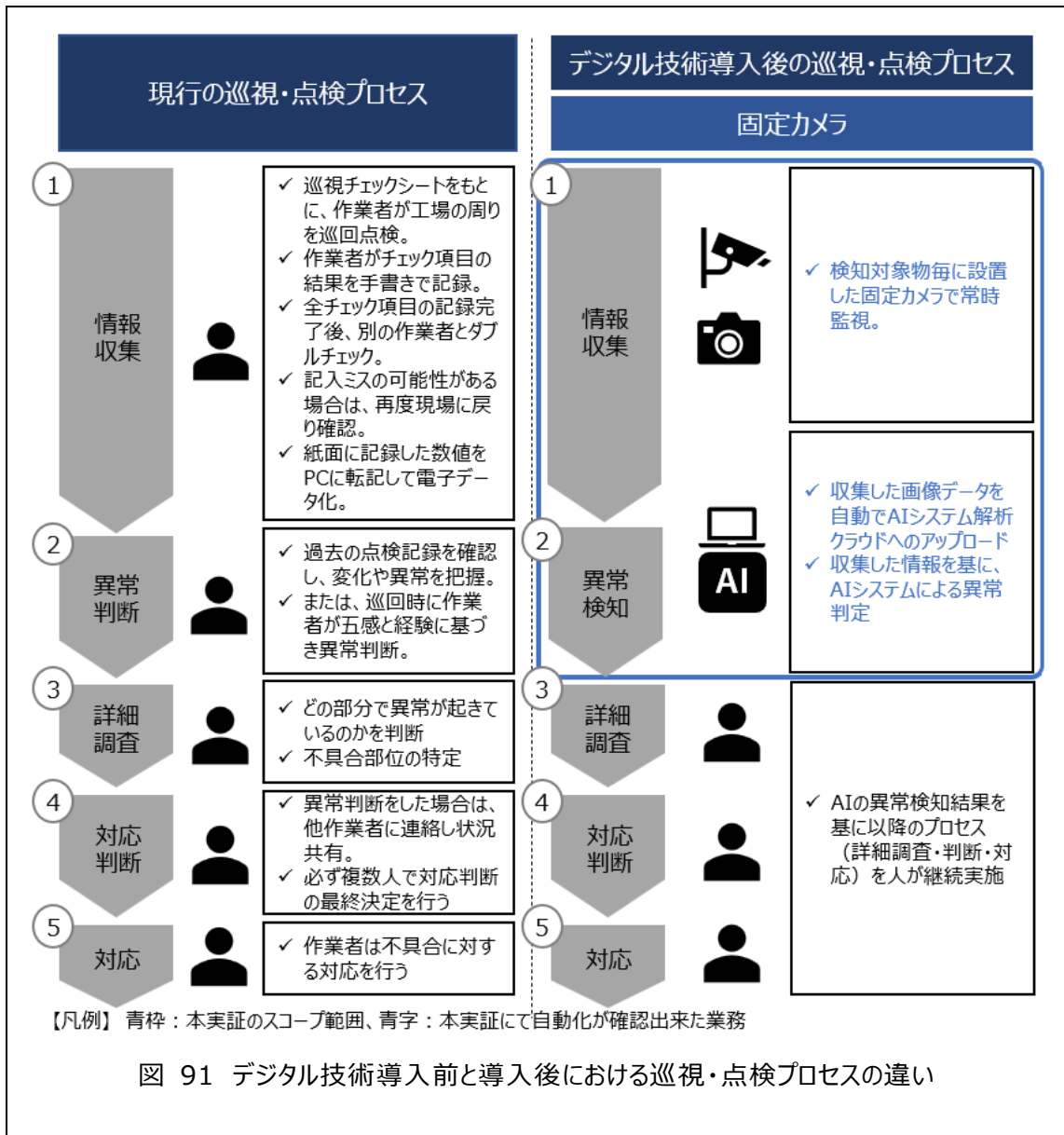
※解析結果表示項目

Target ID : 検知対象番号、Angle[deg] : バルブの検知角度

Value state : 解析結果 (Close : 全閉、Half open : 半開、Open : 全開)

③ 省力化まとめ：2つの評価項目を踏まえて、現行の人手による検知と比較して、同等以上の省力化が実現出来ていることを示すことが出来る。

評価方法、ポイント
上記の2つの検証結果を踏まえて省力化の実現について論述でまとめる。
評価結果
<p>本実証では、一眼レフカメラを使用した。実運用の際には小型カメラを検知対象物前に常設することを前提とすると、現行業務における現場での目視確認のプロセスをほぼ無人化することが出来る。また、ドローンやUGVと異なり、固定カメラは常時監視が可能となる他、AIシステムにより異常発生時にメール等でのアラート通知を実装すれば、直ぐに異常に気が付くことが出来、大規模な事故を未然に防ぐことにも可能となる。また、実証項目AやBと同様に、現行業務で行っている手書きによる記録データのPCへの転記作業のプロセスは全て削減することは可能である。</p> <p>実運用の際の留意点として、固定カメラの場合、短時間に繰り返し点検が必要なものに適しているが、検知対象物毎にカメラを設置する必要があり、その分コストがかかってしまうため、後述する経済性の観点とのバランスが非常に重要なポイントとなると考える。</p>



(ウ) 経済性

① 初期導入コスト：初期導入コストを算出し示す。

評価方法、ポイント
<ul style="list-style-type: none"> ・ 固定カメラ、異常検知の AI で利用する技術として利用するコストを算出する。 ・ 本実証では AI 開発期間が短かったため、AI での計器指示値と外観劣化の解析精度に影響を及ぼす要因のうち、既知の画質以外の要因を特定することを主眼に一眼レフカメラでの撮影を実施した。ただし一眼レフカメラを各検知対象に設置することは現実的ではないため、導入時には実証で特定された要因を反映した小型カメラを検知対象前に設置することを前提に評価を行った。
評価結果
【サマリ】

- ・ 現行の巡視点検業務において、システム等の利用はなく、全てアナログ対応で行っているため、初期導入コストは発生しない。固定カメラを活用して、情報収集を行った場合は、カメラ単体での金額は然程大きくはないものの、実運用の際には、検知対象毎のカメラの設置が必要となり、その分のコストが発生するため、使用する対象物やエリアが大きい場合は、初期導入コストも大きくなる。
- ・ 本実証では、開発期間の関係上、画質による解析精度の影響を極力抑えるために一眼レフカメラを使用した。実運用の際には、小型カメラやセンサーを利用することが想定される。その場合、計器一個当たりにつき約 100,000 円～300,000 円の固定カメラの利用料に加え、システム利用料等の初期導入コストがかかる見込みである。

【詳細結果】

<固定カメラまたはセンサー + AI システム>

固定カメラまたはセンサー：100,000 円～300,000 円/1 個

AI システム：サービスによって異なるが数万～数百万単位

参考に、日立システムズ社のアナログメーター自動読み取りサービスの金額例を表 81 に示す。

表 81 日立システムズ社のアナログメーター自動読み取りサービスの金額例※

項目	標準価格
メーター読み取りソリューション 年間利用料 (年間サブスクリプション)	6,000 円/年 ※メーター1 台あたりの単価
IoT ゲートウェイ	74,000 円
データ収集・統合・可視化	1,500,000 円
初期導入支援作業 (初期設定等)	380,000 円～
その他費用 (カメラ設置作業、ネット関連作業)	個別見積

※出典：日立システムズ「アナログメーター自動読取サービス」2024 年 2 月 16 日
<https://www.hitachi-systems.com/sp/iot/solution/meterread/>

なお、参考までに本実証で利用した技術の初期運用コストを示す。

<固定カメラ (一眼レフ) + AI システム>

固定カメラ (EOS 5D MarkII)：180,000 円～

AI システム：5,000,000 円～

(システムのカスタマイズ費用、現地導入費用、教育費用含む)

② 運用コスト：5 年、10 年の期間で確認した場合、人手で行っていた運用コストが 50%以下に削減出来る。

評価方法、ポイント

- ・ 5年、10年の長期の視野で、技術的な変革点を考慮した運用コストを技術毎に算出し、運用コストとしてまとめる。
- ・ 本実証では AI 開発期間が短かったため、AI での計器指示値と外観劣化の解析精度に影響を及ぼす要因のうち、既知の画質以外の要因を特定することを主眼に一眼レフカメラでの撮影を実施した。ただし一眼レフカメラを各検知対象に設置することは現実的ではないため、導入時には実証で特定された要因を反映した小型カメラを検知対象前に設置することを前提に評価を行った。

評価結果

- ・ 現行の巡視・点検業務において、システム等の利用はないため、運用コストとしては人件費のみ発生している。固定カメラの場合、検知対象物毎にカメラの設置が必要となるため、利用する個数によっては運用コストがかさむため、現行業務にかかる運用コストと比較して50%以下のコスト削減を見込むことは難しい。
- ・ 本実証では、固定カメラや開発期間の関係上、画質による解析精度の影響を極力抑えるために一眼レフカメラを使用したこと、また計器読み取りだけでなくバルブの開閉や配管の劣化等、検知対象物の種類が多数あったため、ISP 社の AI システムによる解析を行ったが、実運用の際には、検知対象物に特化した AI 解析付きの小型カメラやセンサーを利用することが想定される。

【詳細結果】

5年、10年の長期における現行業務にかかる人的コストを表 82 に示す。

表 82 化学製品製造従事者の巡視点検業務にかかる人件費

	5年	10年
人件費※	10,272,000 円	20,544,000 円

※1日2回（計4時間/日）の作業工数、月平均の所定労働日数を20日と定義し算出した。現行業務における時給単価は、厚生労働省の「賃金構造基本統計調査による職種別平均賃金（時給換算）」の資料より、化学製品製造従事者における経験年数20年の平均賃金（2,140円）を参考としている。

出典：厚生労働省「賃金構造基本統計調査による職種別平均賃金（時給換算）」
2024年2月16日 <https://www.mhlw.go.jp/content/000980675.pdf>

固定カメラ+AIシステムにおける長期運用コストについて

本実証において利用した技術は、検知対象物に対して汎用性のあるAIシステムを利用したため、システム利用料が高額となっているが、上述したように実運用の際には、検知対象物に特化したAI解析付きの小型カメラやセンサーを利用することが想定される。その際の長期の運用コストに関しては日立システムズ社のアナログメーター読み取りサービスの金額を参考とした場合、計

器 10 個を対象とすると最低でも年間 2,000,000 円以上かかる見込みである。そのため、現行業務でかかる人件費と単純比較しても、運用コストを 50%以下に抑えることは現状難しいと言える。

③ 収集した情報の活用による経済的メリット：収集したデータの活用により、既存業務の効率化が期待出来る箇所が明確になり、事業所全体でのコスト低減や効率化に寄与出来る点を示すことが出来る。

評価方法、ポイント

- ・ 各技術を利用する中で、巡視業務以外で活用出来るユースケースについてまとめ、巡視業務以外で生まれる経済性のメリットを示す。
- ・ 本実証では AI 開発期間が短かったため、AI での計器指示値と外観劣化の解析精度に影響を及ぼす要因のうち、既知の画質以外の要因を特定することを主眼に一眼レフカメラでの撮影を実施した。ただし一眼レフカメラを各検知対象に設置することは現実的ではないため、導入時には実証で特定された要因を反映した小型カメラを検知対象前に設置することを前提に評価を行った。

評価結果

【サマリ】

- ・ 予防保全に基づく計画的なメンテナンスが可能となることで、設備の錆や腐食に関するより詳細な情報を把握することが出来るようになり、異常検知の早期発見に繋げることが可能である。
- ・ AI システムに関しては、実施項目 A と同様のため、2.2.2 結果及び評価・分析（2）結果（ウ）経済性 2.2.2(3)(ウ)③収集した情報の活用による経済的メリットを参照。

【詳細結果】

<固定カメラ>

- ・ 予防保全への活用

点検対象物のほぼ同じ写真データの取得が可能となる。そのため、錆や摩耗等の進捗を把握することができ、予防保全のタイミングが明確になる。装置等を止める時間を最小限にしながら補修を行うことで、装置停止の時間短縮による売上損失の減少や修繕コストの低下につなげることが可能となる。

<AI システム>

AI システムに関しては、実施項目 A と同様のため、2.2.2 結果及び評価・分析（1）結果（ウ）経済性 ③収集した情報の活用による経済的メリットを参照。

④ 経済性まとめ：3つの評価項目を踏まえて、人手による検知方法よりもデジタル技術により代替したほうが経済性に優れることを結論付けることが出来る。

評価方法、ポイント
上記の3つの検証結果を踏まえて経済性について論述でまとめる。
評価結果
<p>現行業務における巡視・点検では、特にシステム等の利用はなく、初期導入及び運用コストは人件費のみである。そのため固定カメラ及びAIシステムを利用した場合は、検知対象物毎のカメラが必要になることや、現状AIシステムの利用料も高額であることから、</p> <p>現行業務にかかる人件費と単純に比較すると、コスト削減を見込むことは難しいと言える。ただし、固定カメラの場合、遠隔・常時監視が可能であるため、高頻度での点検が必要な箇所だけに絞って、固定カメラを設置した場合は、費用対効果の観点で有効に働く可能性は大いにあり得る。</p> <p>また、検知対象物の特徴に合わせた専用のカメラやセンサーのサービスが一般的に市場に流通していることから、取得したデータを蓄積し、AIシステムに活用することが出来れば、予防保全にも繋げることが可能となる。また保守プロセスにおいて、AIシステムが異常箇所や原因、対応策を判断し提示するような仕組みまでを自動化することが出来れば、異常発生時における設備の稼働停止期間の売上損失の低減等にも繋がる可能性がある。このように、これら技術を活用することによって得られる波及効果も含めて、経済性の観点进行评估すると、結果的に事業所全体のコスト低減に繋がる可能性が高いと考える。</p>

(工) 導入・運用の容易性／技術の汎用性

- ① 導入の容易性：導入における前提条件や設置・導入にあたっての技術要件において、他の業務における条件と比較した際に、大きく異なる技術課題の要件が上がることがないと結論付けられる。

評価方法、ポイント
<ul style="list-style-type: none"> 固定カメラ、AIのシステムを導入にあたって技術要件をまとめ、導入にあたっての特殊性がないことを示す。 本実証ではAI開発期間が短かったため、AIでの計器指示値と外観劣化の解析精度に影響を及ぼす要因のうち、既知の画質以外の要因を特定することを主眼に一眼レフカメラでの撮影を実施した。ただし一眼レフカメラを各検知対象に設置することは現実的ではないため、導入時には実証で特定された要因を反映した小型カメラを検知対象前に設置することを前提に評価を行った。
評価結果
<ul style="list-style-type: none"> 固定カメラを設置する際は、人の邪魔にならないように配置し、動かないように固定し続ける必要があるが、特に工事等必要になることはないため、特筆した障壁はないものと考えられる。ただし、留意点としては、屋外での使用の場合は、雨や風などの影響によりカメラ自体の劣化や、設置位置のずれ等が発生する可能性があるため、都度人によるメンテナンスは必要になる。 AIシステムに関しては、実施項目Aと同様のため、2.2.2 結果及び評価・分析 (2) 結果 (工) 導入・運用の容易性／技術の汎用性 2.2.2(3)(工)①導入の容易性を参照

照。

② 運用の容易性：デジタル技術の運用において、ある一定の研修を受けた後、指定された手順の下であれば運用可能なレベルであることが結論付けられる。

評価方法、ポイント
<ul style="list-style-type: none">・ 固定カメラ、AI のシステムを運用にあたって必要になる人材要件、システム要件をまとめ、導入にあたっての特殊性がないことを示す。・ 本実証では AI 開発期間が短かったため、AI での計器指示値と外観劣化の解析精度に影響を及ぼす要因のうち、既知の画質以外の要因を特定することを主眼に一眼レフカメラでの撮影を実施した。ただし一眼レフカメラを各検知対象に設置することは現実的ではないため、導入時には実証で特定された要因を反映した小型カメラを検知対象前に設置することを前提に評価を行った。
評価結果
<ul style="list-style-type: none">・ 固定カメラの利用に関しては、導入時に行うカメラの設置が問題なく出来れば、ドローンや UGV と異なりカメラ自体の操作はほぼないため、特別なスキルは不要である。・ AI システムについては、実施項目 A と同様のため、2.2.2 結果及び評価・分析（1）結果（工）導入・運用の容易性／技術の汎用性 2.2.2(3)(工)②運用の容易性を参照。

③ 選択技術の汎用性：技術実証で使用する技術は市場において広く認知されて、代替可能であると結論付けられる。

評価方法、ポイント
<ul style="list-style-type: none">・ 固定カメラ、AI のシステムにおいて、市場に代替可能な（類似した、競合）製品、サービスがあることをまとめ、技術実証で使用する技術が市場において広く認知されて、代替可能であることを示す。・ 本実証では AI 開発期間が短かったため、AI での計器指示値と外観劣化の解析精度に影響を及ぼす要因のうち、既知の画質以外の要因を特定することを主眼に一眼レフカメラでの撮影を実施した。ただし一眼レフカメラを各検知対象に設置することは現実的ではないため、導入時には実証で特定された要因を反映した小型カメラを検知対象前に設置することを前提に評価を行った。
評価結果
<p>【サマリ】</p> <p>本実証では、開発期間の関係上、画質による解析精度の影響を極力抑えるために一眼レフカメラを使用し、また多様な検知対象物に対応するため、ISP 社の AI システムをカスタマイズして利用したが、他にも計器の読み取りに特化したサービスは複数存在する。</p> <p>【詳細結果】</p>

<固定カメラ+ AI システム>

本実証で利用した固定カメラ+ AI システムと同様の目的で使用可能な候補機材は以下の通りである。

- ・ [Asmart \(アシオット社製：日本\)](#)
- ・ [アナログメータ自動読み取りサービス \(日立システムズ社製：日本\)](#)
- ・ [アナログメータ値の遠隔監視パッケージ \(日新システムズ社製：日本\)](#)

④ 導入・運用の容易性／技術の汎用性：3つの評価項目の内容を踏まえて、技術実証に使用するデジタル技術の導入・運用の容易性と技術の汎用性の両面があることを結論付けられる。

評価方法、ポイント

上記の3つの検証結果を踏まえてデジタル技術の導入・運用の容易性と汎用性について論述でまとめる。

評価結果

結論としては、固定カメラ、AI システムの技術においても一般的に市場に流通している製品・サービスであり、技術の汎用性は高いと言える。また、固定カメラの利用に関しては、導入時に行うカメラの設置が問題なく出来れば、ドローンや UGV と異なりカメラ自体の操作はほぼないため、特別なスキルは不要である。AI システムに関しても、基本的な PC 操作が出来れば特に高度な技術は不要である。ただし、留意点としては、固定カメラの設置に関して、実運用の際は小型カメラ等を使用する場合でも、人や設備の妨げにならない場所へ設置し、検知対象物との距離がずれないように固定することが求められるため、これらの環境整備を行う必要はある。また屋外での利用の際は、カメラが天候等の影響により劣化する可能性が高いため、定期的なメンテナンスが求められる。

(オ) デジタル技術利用の安全性

① 設備・作業員に対する安全の確保：固定カメラにおける設備・作業員に対する安全性を確保するために講じられる対策や運用方法を示すことが出来る。

評価方法、ポイント

- ・ 固定カメラの運用に関する安全性への配慮についてまとめる。
- ・ 固定カメラにおける設備・作業員に対する安全性を確保するために講じられる対策や運用方法を示す。
- ・ 本実証では AI 開発期間が短かったため、AI での計器指示値と外観劣化の解析精度に影響を及ぼす要因のうち、既知の画質以外の要因を特定することを主眼に一眼レフカメラでの撮影を実施した。ただし一眼レフカメラを各検知対象に設置することは現実的ではないため、導入時には実証で特定された要因を反映した小型カメラを検知対象前に設置することを前提に評価を行った。

評価結果

前提として固定カメラは人や設備による運用の妨げにならないように設置する必要があるが、固定するための機材を倒す・倒れる、天井等の高所に設置した状態から落下する等により、固定カメラ自体が破損する可能性に加え、近傍にいる人が怪我をする可能性がある。このような状況を避けるために、嚴重に固定するだけでなく、定期的に固定具合をチェックする等の運用も考慮に入れることが推奨される。

(カ) 他分野・他法令への展開

① 高圧ガス保安法第 35 条の 2 に係る定期自主検査への適用性：本実証を通じて、「(3) 個別領域の実証の実現」で示した高圧ガス保安法第 35 条の 2 の業務においても、選択したデジタル技術により、定期自主検査が実現出来る、と結論付ける。

評価方法、ポイント

本実証の対象法令である「一般高圧ガス保安規則第 6 条、第 55 条、第 60 条、液化石油ガス保安規則第 6 条、第 53 条、第 58 条、コンビナート等保安規則第 5 条及び冷凍保安規則第 9 条に係る設備の定期点検」と類似、共通した点検項目を持つ「高圧ガス保安法第 35 条の 2 に係る定期自主検査」に対し、本実証で確認した技術について展開の可能性について示す。

評価結果

高圧ガス保安法第 35 条の 2 に係る施設の定期自主検査に基づき、高圧ガスによる災害を防止するため、経済産業省令に定められた技術上の基準の適合状況について、特定の事業者及び消費者は、自主的にガスの製造設備等の検査を 1 年に 1 回以上行い、検査記録を作成して保存することになっている。

定期自主検査の具体的な検査方法に関する法令上の定めはないが、事業者には特別民間法人高圧ガス保安協会（KHK）が規則毎に定めた定期自主検査指針（KHKS1850-1、1850-2、1850-3、1850-4）が事業者に普及している。

今回は高圧ガス保安協会の保安検査基準（コンビナート等保安規則関係（スタンド及びコールド・エバポレータ関係を除く。））KHKS0850-3（2017）の保安検査項目および保安検査の方法を参照し、本実証で確認した技術について展開の可能かを考察した。

保安検査基準（KHKS0850-3（2017））に挙げられた検査項目は多岐にわたるが、表 83 の通り、実証の対象法令である「一般高圧ガス保安規則第 6 条、第 55 条、第 60 条、液化石油ガス保安規則第 6 条、第 53 条、第 58 条、コンビナート等保安規則第 5 条及び冷凍保安規則第 9 条に係る設備の定期点検」と同様に設備の腐食、損傷、変形などの劣化を目視点検する項目が多く含まれる。また、点検対象設備も、バルブや温度計などの計器類など共通点が多い。また、点検対象設備も、バルブや温度計などの計器類など共通点が多い。本実証では点検対象物 5.1.1,6.14.1 に類する点検項目として点検対象箇所の写真画像から AI 解析を実施し、目視点検をカメラ、AI で代替し得ることが確認できた。また、これらの項目以外にも表 86 の通り、本実証の方法が適応可能と考えられる点検項目が存在する。

表 83 保安検査の方法※

点検対象物	点検方法 (目視点検)	点検方法 (目視点検以外)
5.1.1 温度計	温度計に破損、変形などがないかを2年に1回目視確認する。	温度計精度確認器具を用いて精度測定し、誤差が予め定めた許容差以内であることを2年に1回確認する
5.1.2 圧力計	圧量刑に破損、変形などがないかを2年に1回目視確認する。	—
6.18 ガス漏えい検知 警報設備	圧力計精度確認用器具を用いて精度測定し、誤差が予め定めた許容範囲内であることを2年に1回確認する	1年に1回作動検査する。
6.14.1 防消火設備	外観に腐食、破損、変形などの異常がなく、使用可能な状態になっているかを1年に1回目視確認する。	1年に1回作動検査する。
7.2.10 ガス漏洩検知警 報設備（二重 管部分を含 む。）	外観に腐食、破損、変形などの異常がないかを1年に1回目視確認する。	1年に1回作動検査する。
8.1 コンビナート製造 者の連絡用直 通電話	外観に破損、変形などの異常がないかを1年に1回目視確認する。	1年に1回使用して確認する。

※保安検査基準（コンビナート等保安規則関係（スタンド及びコールド・エバポレータ関係を除く。））KHKS0850-3（2017）を参照し作成

点検対象物、確認項目と確認手法を鑑み、少なくとも保安検査基準（KHKS0850-3（2017））に挙げられた検査項目のうち、設備の外観目視点検部分については本実証の実施項目Cで行った固定カメラとAI解析による配管、設備、計器類の劣化の実証結果及び課題と対策など活用が可能と考えられる。

(4) 評価・分析

(ア) アナログ規制の見直しに資するか

実施項目 C では、固定カメラを使った計器の指示値や設備の外観の情報収集と、AI による異常検知の自動化の実証を行った。本実施項目は、実施項目 A や B と比較すると配管の劣化以外は全て屋内での実施だったため、時間や天候などの影響を受けることのない環境での撮影が可能であった。結果として、固定カメラにおけるバルブの開閉や配管の劣化、温度計の外観の劣化、アナログ計器の指示値の読み取りにおいて、一部の検知漏れを除き、高い確率で正しい情報を取得することが出来た。

一方で、誤った情報を検知してしまった例としては、デジタル計器の読み取りにおいて小数点を誤認したケースや、温度計の劣化において目盛り針の一部も劣化として誤認したケース、固定カメラの撮影位置がずれてしまったことでアノテーションと齟齬が生じ誤認したケースなどが挙げられる。

これらは AI システムに係る設定の問題による影響であり、今後実用化に向け、学習に使用するデータ数や種類を増加することや、AI システムのパラメータやアルゴリズムの設定を調整することで検知精度の向上が期待出来る。ただ、照明の利用の有無が、検知精度に影響を与えていることも確認出来たため、撮影条件への配慮は改めて重要であることが分かった。

固定カメラ及び AI システムにおいては、市場に代替可能な製品がごく一般的に存在し、また AI システムを運用する際も基本的な PC 操作が出来れば特に高度な技術は不要である。

固定カメラ設置においては、人の妨げにならないよう注意することや、検知対象物との距離がずれないように固定することが出来ればよい。これらの技術において特筆すべき導入障壁はないと考える。

ただし、経済性の観点では、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出来るものの、検知対象物の数が多ければ多いほど固定カメラの数も増えコストが膨らんでいくため、導入エリアを厳選することや、経済性の観点から、他の適用技術を選択する、ということも十分あり得ることかと考える。

現行の業務においては異常検知後、現場にて状況把握や原因分析を行っている関係で一定の時間がかかっている状態だが、固定カメラ及び AI システムにより逐次、蓄積されてくるデータをリアルタイムに現状分析出来るようになれば、業務品質の向上や業務時間の削減に繋がり、また異常発生時も迅速な対応が可能となることから、アナログ規制の見直しに資するものと考えられる。

(イ) 実現現場での技術等の活用・導入に当たってのポイント

① 固定カメラの機器選定及び設置環境

本実証では、一眼レフカメラと三脚を使用し、検知対象物前に設置したが、実運用の際にそれらを設備内に設置することは人の運用の妨げになる可能性が高く、現実的ではない。そのため小型カメラやセンサーによるサービスの利用が想定されるが、その際用途や設置場所など、使用する状況に合わせた機能を備えた製品・サービスを選ぶことが非常に重要であると考えられる。例えば、利用場所は屋内か屋外か、それほど広くない工場内などに限られた範囲か、敷地内全体の広範囲か、特定の機器類だけが対象か、点検頻度はどのくらいあるのか、等で必要となる機能が変化する。

また本実証の結果から分かる通り、固定カメラのずれにより検知精度に影響を与えるため、嚴重に固定されている必要があることに加え、屋外利用の場合は、日光や雨風の影響を受けることでカメラ自体が劣化する可能性もあるため、出来るだけ耐久性に優れたカメラを選ぶことと合わせて、定期的なメンテナンスも考慮に入れて運用することが推奨される。

② AI システムにおける異常検知の通知及びレポート

本実証では、迅速な開発が求められたため、AR マーカーを使った対象特定方法を用いた。しかし、実運用となると膨大な数の工場設備が巡視対象物となるため、これら全てに AR マーカーを設置することは現実的ではない。アプローチとして AI のディープラーニング等を活用し、汎用性を高める方法を実装する必要があると考える。また異常検知した際の通知や分析・レポートまでは実証内容に含まれていなかったが、実運用の場合は、例えばカメラのずれも含めて異常と判断した場合、人にメール等で通知が届くような仕組みや、カメラのずれを補正する仕組みを実装する等が考えられる。また、現行業務において、人が目視で巡回し取得した情報は手書きされることが多く、また作業内容や結果が属人化され蓄積が難しいといった課題がある。実運用においては、取得したデータを蓄積し、分析・レポートまで人を介さずに完結させることで、更なる業務効率化が期待出来る。

(ウ) 実証を通じて明らかになった課題や改善の方向性

① 固定カメラによるアナログ計器の読み取りについて

本実証において、固定カメラによるアナログ計器の読み取りを行ったところ、撮影中にわずかにカメラの位置がずれてしまい、アノテーションと齟齬が生じたことで誤検知が発生した。また、今回は本撮影条件に合わせた設定を行うことで回避することが出来たが、室内の照明の当たり方によっては針の検出に支障が出る可能性があり、判定精度が落ちる原因となり得ることが分かった。

前段で記したように、固定カメラを強固に固定した場合でも、経年劣化や想定外の衝撃などにより、撮影範囲がずれる可能性があるため、AI システムによりずれ自体を検出し異常と通知するか、またはずれを補修する仕組みを導入することは有用であると考えられる。その場合ずれの判定を自動で行うには、メーターの形状(円形、短形等)、前回読み取った画像との差分、ずれを検知しやすい目印を新たに設置する(色の明瞭なシール等)を基準として使用することが可能だと考えられる。

また照明条件による針検出への影響については、画像毎に最適な閾値を算出出来る手法を取り入れるなど、前処理を工夫することにより低減が可能と考えられる。

② 固定カメラによるデジタル計器の読み取りについて

本実証では、最初にディープラーニングを用いない、従来の画像処理を用いて画像中の数字や小数点を 1 文字ずつ分割する前処理を施し、その後各文字に対してディープラーニングを用いて読み取りを行った。ただし今回の誤検知のほとんどは、この前処理の中で小数点の分離に失敗したことによるものであり、数字と比較して小さい小数点の認識はやや難易度が高かったと考えられる。

実運用に向けて、より高精度で汎用的な読み取りを行うためには、この処理のパラメータを調整するか、アルゴリズムを改良する必要がある。また、ディープラーニングによる物体検出の手法を用い、

前処理による桁毎の分離を行わずに直接数字を検出するという手法も考えられる。

(工) アナログ規制の見直しにあたり留意すべき点等

固定カメラによる巡視・点検では、ドローンや UGV と異なり、比較的 AI 解析に求められる正確な画像情報が取得しやすいことや、カメラ操作に求められるスキル等も決して高くないことから、導入及び運用は容易であり、また業務効率化や省力化の観点でも非常に有効に働くと考えている。ただし、繰り返しとなるが、使用用途や場所によっては、まとまった導入コストが発生することから、費用対効果の観点で無駄のない導入を行うためにも、利用目的を明確化した上で、対象となる業務の優先度を整理し、ドローンや UGV 等複数手段を組み合わせて利用することが有用であると考えられる。

5. 実証全体総括

5.1. 実技実証の結果のまとめ

本実証の目的である、「現在は人が実施している施設・設備等の作動状況の定期点検等について、デジタル技術を活用することにより当該規制の趣旨・目的が達成可能か」に対し、3つの実施項目を通じて、6つの評価観点からこれらの実現性を評価してきた。結論としては、本実証において使用したデジタル技術群が有効に働くための環境構築や技術の不完全性を補う措置を講じる必要はあるものの、総じて非常に有効に働くものと捉えている。その理由として各評価観点において以下の結論を導き出すことが出来たと考える。

・ 人と同等の判定精度

ドローン及び UGV、固定カメラで取得した情報を AI システムで解析した場合、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を導出することが出来たと考える。

実施項目 A,B,C どれに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、ということが全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、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対応策が挙げられ、本実証で発生した検知漏れ及び誤検知の改善幅の見込みは大きいと考える。また、今回実施項目 A と C では同じ AI システムを活用したが、ドローン、UGV、固定カメラで撮影した画像の AI 解析精度に違いが見られた。しかし、いずれも AI 解析に使用した画像が他の画像と比較して、明度が低かったことや、画質が荒かったことに起因するものであることが分かった。前述した通り、正確な画像情報の取得のための環境設定は一つのポイントになり、ドローンや UGV、固定カメラと撮影条件が異なる中で、AI システムが学習用に事前に取得していた画像に近いものを取得出来るようにすることが求められる。また AI システムの精度向上に向けて、これら対応策に加え、実運用する際、留意すべきポイントが二点あることが分かった。

一点目は、今回迅速な開発が求められたため、AR マーカーを使った対象物の特定を行ったが、実運用の際には、膨大な数の設備が巡視対象となるため、これら全てに AR マーカーを設置することは現実的ではない。更に、屋外での使用の場合は AR マーカー自体の劣化により解析精度に影響を与える可能性もある。そのため、対象物の特定には、大量のデータをもとに AI モデルの精度の向上を期待できる変数を抽出し、学習していくディープラーニングによる物体検出やセマンティックセグメンテーション等の手法を活用し、汎用性高く物体検知を実装する必要があると考える。

二点目は、本実証では AI システム上である特定の基準で異常判定処理を行ったが、現行業務においては人が様々な観点を基に複合的に異常判定を行っている。そのため、実運用の際には、AI システムにおいても同様に、複数の判断基準を定量化し判定するために、センサー等を用いた計測ツール（例えば、配管の肉厚や、プラント内の音、設備の温度等）の実装等を検討することで、異常判定の精度を上げると共に、技術を適用出来る対象範囲を更に広げることが可能になると考える。

以上のようなアプローチの検討により、人と同等の判定精度の実現は高まると考える。

・ 省力化効果

ドローン及び UGV、固定カメラ、AI システムいずれの技術も、情報収集のプロセスにおいて、人の手を介さず完全自動化させることは技術的には可能であり、精度や安全性の観点から一部人による確認作業を残した場合でも、現行業務の 80~90%以上の作業工数の削減を期待出来ることが分かった。

省力化効果の向上にはドローンや UGV の場合、Dock や電源ポート等を利用した完全自動航行/走行と充電作業等運用コストの解消が重要と考えるが、ただし利用環境によっては手動操作を行うことが望ましい場合もある。例えば、様々な点検箇所の飛行や安全性の確保が強く求められたり、狭いエリアでの精密な飛行/走行が求められたりする場合である。その際は、現地でのオペレーションが発生するため現行業務における作業者の移動負担を軽減することには繋げづらい。一方、現行業務では手書きによる点検結果の記録、PC へのデータ転記を行い、それらの情報を基に異常判断を行っているが、これらのプロセスを RPA や AI システムに代替することで作業工数を大幅に削減することが可能となる。

本実証では、検知結果の通知までは行っていないが、実運用の際には検知結果の通知に加え、検出漏れやデータの不整合などを人にメールでアラート通知を行う等の実装も検討することで異常判断及び対応にかかる作業工数の削減に繋げることが出来ると考える。

実運用の際には、定点監視的な役割として固定カメラ、狭いエリアで精密な情報を必要とする場合は UGV、屋外で広範囲なポイントを巡視するような場合はドローン、といった環境や条件に適した技術選定や組合せ、現場での環境整備の検討を進めることで、現行の人による巡視・点検業務と比較して、同等以上の省力化が実現出来ると考える。

・ 経済性効果

現行業務における巡視・点検では、特にシステム等の利用はないため、初期導入及び運用コストは人件費のみである。今回使用した技術は、機体やシステム自体の費用が現状高額であるため、現行業務にかかる人件費と単純に比較すると、コスト削減を見込むことは難しいと言える。

しかし、今後は技術の進歩や機能拡張等により、コストに対する経済性の向上を期待できる要素が多数あると認識している。

例えば、本実証では一人の操縦者によって一台のドローンを飛行させる手法を取ったが、これに対し、一人の操縦者が遠隔から複数の機体を運用することができる、一対多運航という方式も、経済性を向上させる代表的な要素と考える。一人の操縦者だけで、複数の機体を操作し、広範囲な工場やプラントの設備の巡視・点検をカバーすることで、作業効率や人件費の抑制につながるものとする。

また技術を汎用的に活用する観点からは、ドローン、UGV は巡視・点検目的だけで使用するのではなく、機械警備や、特定の荷物の搬送といった活用範囲を広げることも可能なため、投資コストの回収範囲を広げるといったことも考えられる。

更に、ドローンや UGV、固定カメラで取得したデータを蓄積し、AI システムの精度向上に活用することが出来れば、予防保全にも繋げることが出来る。本実証においては、異常判定後の詳細調査や対応判断及び対応といったプロセスは技術実証のスコープ外ではあったが、市場には AI システムで、設備全体の状態監視を行い、劣化、損傷、破損等から、設備の運転リスク傾向を分析し、

広範囲に網羅的に可視化した上で、異常箇所及び推奨される対応策を提示する仕組みも開発されている。取得したデータの活用・展開先として、このような技術を活用することが出来れば、異常発生時の原因特定において、情報収集を行う工数や時間を大幅に短縮することが出来るため、結果的に設備の稼働停止期間の売上損失の低減等にも繋がると考える。

今後これらの技術の市場拡大や、関連して部品やサービスの汎用化によるコスト低減が将来的に見込まれる。また対象技術の運用コストの削減を目的とした新技術やアプローチの開発が進むことも予想される。これらの相乗効果も踏まえて経済性の観点を評価すると、技術を採用する事業所全体規模で、高い投資対効果が生まれると考える。

・ 導入の容易性/汎用性

ドローン、UGV、固定カメラ、AI システムいずれの技術においても、前提となる利用環境(機体の運用・設置環境、通信環境等)の整備は必要になるものの、基本的な操作方法の習得が出来れば、導入において大規模な設備工事等は不要であるため、技術的観点における導入障壁はないと考える。ただし、運用の容易性の観点として、特に AI のカスタマイズや高度なドローンの操作を内製化する場合には、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、このような人材育成を支援する取組みや技能習得機関の提供、もしくは人材の内製化を支援出来るサービス提供者の伴走サービスは今後の対応を検討していくべき点として有効である。なかでも人材の内製化をより経済的に進めるため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考え。

技術の汎用性の観点では、今回使用した技術はどれも一般に流通するものであり、また今後も市場が拡大していくことが予想されるため、汎用性は高いと言える。ただし、AI システムにおいては、今後さらに、メーター検診や錆やひび、クラック判定を可能とするような AI の SaaS が増えると予想でき経済的な負担軽減が期待出来るが、本実証の結果からも分かった通り、AI システムのデフォルトの設定レベルで利用できる判定精度でもある程度の正確性が確保できた。しかし検知対象物によっては、わずかな誤差が大きな事故を引き起こす原因となり得る場合があるため、非常に緻密な判断が求められることがある。そのため、更なる精度向上に向けては、検知対象毎に必要な学習データの検討及び情報取得、閾値やパラメータの設定等の AI のカスタマイズを行うことが必要になると考える。

・ 安全性

ドローンにおいては、安全対策機能が複数用意されており、例えばレーザー・画像による衝突防止機能や、離陸前の不具合を検査し、問題があれば飛行を行わない等の事前チェック機能、電波障害等により、ドローンとプロポとの接続が断絶した場合、その場でのホバリングや離陸地点に自動帰還する等の機能がある。いずれの機能も、事前の設定が重要な項目が多いため、環境に応じた設定、飛行に入る前の確認が非常に重要となっている。今回実証を行ったプラントや工場施設のような様々な設備に囲まれた場所で使用する際にはこういった機能をよく理解して使用することが求められる。また、プラント等の危険性が高い地域ではそこまで利用が進んでいないのが実情だが、理由としてプラント等で利用する機材は防爆仕様が必要となるエリアが存在していることが多く、ドロー

ンにおいてはそうした仕様を満たす機体がほとんどないことが挙げられる。

UGV は設備や人への接触事故を避けるために、使用前に周辺環境に障害物や人がいないことを必ず確認する必要があるが、センサー等を搭載すれば、障害物からの離隔を確保することが技術的には可能である。

また固定カメラに関しても、UGV 同様に、人や設備の運用時の妨げにならない場所に厳重に固定し設置することに加え、定期的にカメラの固定具合をチェックする等メンテナンスを行うことが重要である。

以上より、全ての技術に共通して言えることとしては、使用する際の事前準備・設定、そして運用に必要な基礎知識を習得することが出来れば、一定の安全性の確保は可能であると言える。

・ 他分野や他法令に展開可能

「高圧ガス保安法第 35 条の 2 に係る定期自主検査」の、5.1.1.1 計装設備 温度計の目視検査及び、6.14.1 防消火設備の目視検査等について、実施項目 C で利用した固定カメラ及び AI システムを活用することで、定期自主点検が実現できると考える。

いずれの法令も、設備の劣化（腐食、損傷、変形等）状況を 2 年に 1 度、または 1 年に 1 度の目視確認が必要となっているが、実証の結果から明らかになった通り、固定カメラと AI システムを利用した情報収集及び異常検知を行うことで、日常的に状況を把握することが出来るため、当法令の定期自主検査においても十分に活用することが可能と考える。

5.2. 現行業務のヒアリングから見える問題

今回現行業務のヒアリングを行った際に、現場の意見として挙げられた現行業務における問題点は以下に示す通りである。これらの問題を解決することを目的として、現場でもドローンを始めとしたデジタル技術の活用を検討しているものの、申請手続きが煩雑であることや、技術の活用に必要なスキルが必要になること、定量効果・コスト削減のシナリオが見えない、活用の手順、オペレーション設計に多大な工数を要するなどの課題により、本格的な導入に踏み込めない理由が挙げられた。アナログ規制の見直しに技術活用を後押しする点もあると考える。

表 84 現行業務のヒアリングから見える問題

評価観点	現状の巡視・点検業務における問題
精度	点検頻度が低い箇所では、劣化が見落とされているリスクがある。
精度	手書きによる巡視・点検結果の記録、紙資料の目視確認などが多く、ヒューマンエラーが起こる可能性がある。
作業工数	現場までの移動負担や作業負担が膨大となっている。（例えば、現状工場内にバルブだけで 1000 箇所以上の点検箇所があり、特に手動バルブの場合は、必ず人による目視確認が必要。）
作業工数	現場での巡視・点検時に、人の五感や経験に基づく様々な観点で異常判断を行うため、状況把握や原因分析に一定の時間がかかっている。

作業工数	手書きによる巡視・点検結果の記録のため、PC へのデータ転記作業や紙の管理に作業工数がかかっている。
作業工数	ヒューマンエラーを防ぐために、多重確認を行っておりその工数が膨大になっている。
運用性	自社内で研修プログラムを用意しているが、巡視・点検業務において新人が独り立ち出来るようになるまでは約 2~3 年以上かかる。
属人化	データ収集・活用の環境が整備されておらず、異常監視のために、特定の作業員の五感に基づく経験則に依存した判断となっている。
経済性	工場の設備が古く、設備投資のほとんどは設備修繕に充てている。例えば配管の一部が壊れて修繕しても、すぐに別の箇所の修繕が必要となるなど、自転車操業のような状態が続いている。
安全性	ガス漏洩など、インシデント発生時に必要な現場作業の際に、作業員に危険が生じる可能性があり、緊急時の二次災害のリスクがある。 また、巡視・点検時の高所や足場の狭い場所での作業時に、事故が発生するリスクがある。
安全性	工場の老朽化が進んでおり、設備が動いていない、或いは人がいない時に、突然配管から液漏れが発生し、電線から火花が出て小規模火災に繋がったことが過去に起こっている。

5.3. 社会実装に向けた課題と方針

本実証の結果及び、上述した現場ヒアリングにて挙げたデジタル技術の導入における課題を踏まえた上で、社会実装に向けて必要となる課題の整理及び方針を、製品・サービスを提供するベンダーの観点、法・環境の観点、導入事業者の観点の 3 軸で以下整理した。

・ 製品・サービスを提供するベンダーの観点

本実証におけるドローンや UGV、固定カメラ、AI システムを開発しているベンダー側の観点では、まず製品・サービス自体はより安価に提供が進む将来がある一方、使用する現場に即したカスタマイズが可能であることが求められる。また、これら技術の活用に伴い、「機体の航行/走行」「データ収集・分析」「メンテナンス」といった作業が導入事業者側では発生するため、製品・サービスの扱い易さは重要な観点である。しかし事業者単独で業務を完遂させることは現実的に難しいため、ベンダー側と導入事業者側とで役割分担を定めた上で、マニュアル整備を含めた業務オペレーションフローを構築する必要があると考える。

また、仮に内製化するにあたり、ドローンの操縦や AI カスタマイズにおける高度な技術が従業員にとって必要となった場合、それらのスキルを習得出来るような教育プログラムをベンダー側にて構築・提供出来ると導入事業者にとっても実践的な取組みとなり得る。また場合によっては技術を習得出来る教育機関を事業者共同で設けることも、今後一つの解決策として検討するのもよいかもしい。

工場、プラントでの利用となると、安全性の面で導入事業者側のリスク対応を軽減出来るような認証認可を取得した製品・サービスの提供が求められる。前段で記した安価であることの市場ニーズに対して、認証認可の手続きをとることで製品・サービス単価が高額になる可能性も低くないため、事業者負担軽減とベンダーの市場拡大意欲が縮小することがないような、これら両面を支援出来る補助事業のような仕組みづくりも必要ではないかと考える。

・ 法・環境の観点

現場ヒアリングの結果、現行業務において技術の活用を検討する際、申請手続きが必要になる上、非常に煩雑であることが原因となり、導入に踏み込めないという意見が挙がった。今後、行政手続きの書面及び対面での手続きを見直し、一貫したデジタル化の実現を目指すことが求められる。更に、様々な技術の社会的有効性が確立された場合には、それら技術の活用において事業者側で選択出来るルールを設けることや、または推奨する手段を選択したケースにおいては、実施体制の緩和を許容するような制度（例えば、現場ヒアリングでもコメントがあった、現場における有資格者の配置が義務付けられているところを遠隔での対応でも可能とする等）を設けることが出来れば、事業者側に選択の幅が広がると考える。

ただし、経済面における環境整備も忘れてはいけない要素の一つと考える。日本に古くからあるプラントや工場においては、設備全体の老朽化から、毎年設備修繕に膨大なコストがかかっている実状がある。どこかを修繕しても、別の箇所が故障する、というような状態で新旧の仕組みが入り組みながら、絶妙なバランスを保って運転され、製品品質と生産性を確保するための運転がされている現実がある。そのため、業務効率化や生産性の向上を目的として、デジタル技術の活用を検討しても、現在持っている工場設備等の資産が足枷となり、導入コストの負担が大きく押し掛かる可能性がある。デジタル技術の本格活用を成功に導くためには、企業活動の一部を見直すレベルの取組みではなく、業務からインフラの仕組みまで企業そのもののあり方を大きく変える覚悟が必要となる。

本実証において、アナログ規制の見直しを検討する際には、各企業への財政的な支援も踏まえたルールメイキングが求められる。それにより、現状のデジタル技術の推進の追い風が増すと同時に、現場の方々にとっても業務効率化や省力化の効果を高めると考える。

技術活用におけるセキュリティリスクの観点では、予防措置とその影響を抑制するためのリスク対応策を検討する必要がある。特にドローンにおいては、本格導入前の段階では社会受容性の毀損リスクに特に注意すべきであり、ドローンが航行する地域の住民をはじめ、社会全体に対してのリスク顕在化時のコミュニケーションプランを整備しておくことが求められる。

・ 導入事業者の観点（デジタル技術を利用する企業）

実施項目 A・B・C でドローン・UGV・固定カメラ・AI システムの有効性について評価してきたが、実運用を行うとなった場合には、現行の業務オペレーションフローを整理した上で、デジタル技術活用が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。その上で、自分たちが目指すゴールへ適切な支援を提供するベンダーの選定が重要である。本実証ではいずれの技術も汎用性の高いものであるが、細かな機能は異なるためどれだけ自社の要件に適しているかの判断が必要であり、例えば、クラウドベースのシステムを使うのか、オンプレミスで行うのか、特定の検知対

象に特化したシステムにするのか汎用性のあるものにするか、カスタマイズ可能なシステムを導入した場合のカスタマイズは自社で出来るのか、ベンダー等に委託するのか、等様々である。

製品・サービス自体が現場作業者にとって使いやすいものであることは前提としつつも、仮に利用のための一定のスキルが必要である場合には、人材育成を支援する取組みや、講習会の実施、または人材の内製化を支援するサービス等の利用も今後検討していくべき点であると考えます。

また、本実証の結果から分かった通り、現時点では AI 技術も 100%の検知精度を保証することは困難である。そのため、実運用の際には、誤検知及び検知漏れについては人による目視確認を行う等、人と技術とが相互に補完し合う関係を築いていくことが現実的なアプローチと考える。たとえ AI 解析精度が 100%でなくても、技術を活用することは可能である。人と AI システムの役割を定め、その上で検知精度の目標値をどこに設定するのかについても改めて事前に検討することが重要である。

そして、いずれの技術においても、まとまった導入及び運用コストが発生するため、設備投資と定量効果のバランスを検討し、コスト削減のシナリオを描くことで、デジタル技術を活用した業務変革の実現可能性を高めることに繋がるのではないかと考える。

技術実証を通じて、技術的には、現行、人が行っている業務の代替は可能と判断できるものだった。一方で、実際の現場に向けた実装の観点からは、改善に必要な対応も明らかになったと考える。

このデジタル技術の利用を考える事業者においては、現場ヒアリングからも、技術が生み出す省力化や安全性の向上、更には他業務への展開への可能性といった様々なメリットを見いだすことができ、潜在的な活用ニーズがあるものと捉える。

しかし導入コストや運用コストの障壁が目下の課題として残るが、アナログ規制の見直しを通じて、利用する側の事業者やサービスや製品を提供するベンダーに新しい業務の姿や新しい市場を生み出すことで、この課題の解消に寄与できる部分があると考えます。

今後のアナログ規制の見直しがデジタル技術の普及、そして社会実装を後押しする為のドライバーになること期待して本実証のまとめとする。

6. 用語集

用語	定義・解説
AR マーカー	現実空間における物体の位置や角度を把握するために用いる目印のこと。
Dock (ドック)	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、遠隔地から無人でドローンの充電、点検、飛行オペレーションをすることが可能となる。ポートと表現することもあり。
Dock 付きドローン	ドローンの Dock 機能に対応したドローン。Dock を経由することで、遠隔での飛行オペレーションやデータ転送等の機能に対応する。基本的には、Dock と Dock 付きドローンはセットで利用することで省力化のメリットが大きい。
F 値 (F-measure)	2 値分類問題の評価指標のひとつで、トレードオフの関係にある適合率と再現率の調和平均。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。
GNSS	Global Navigation Satellite System の略。GNSS 衛星には、QZSS (日本)、GPS (アメリカ)、GLONASS (ロシア)、Galileo (EU) 等があり世界各国の衛星システムの総称を示す。
GPS	Global Positioning System の略。アメリカによって運用される地球上の現在位置を測定するための衛星測位システム。
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。
Pilot2	DJI 社製の産業用ドローンに提供されている制御ソフトウェア。飛行計画や機体管理、ウェイポイントの設定などドローン制御機能を統合したもの。
Remote OPS	Skydio 社のドローン (Dock 用) の自律飛行の設定・映像の確認等を行うソフトウェア。
RTK (RTK-GNSS)	Real-time kinematic の略。位置の分かっている基準局と位置を求めようとする観測点で同時に GNSS 観測を行い、基準局で観測したデータを、無線等を用いて観測点へリアルタイムに送信し、基準局の位置成果に基づき観測点の位置をリアルタイムに求める技術。位置精度は cm 級の誤差に抑えることが可能。

SDK	SDKとは Software Development Kit の略。あるシステムに対応したソフトウェアを開発するために必要なプログラムや文書などをひとまとめにしたパッケージのこと。システムの開発者は SDK を入手することで開発に必要な環境を速やかに構築することができ、サンプルプログラムやチュートリアル、ガイダンス、ドキュメントなどを通じて効率的に開発を進めることができる。
SLAM	Simultaneous Localization and Mapping の略。自己位置推定と環境地図作成を同時に行う技術の総称。周囲の三次元空間情報を取得には、カメラのイメージセンサーを利用する Visual-SLAM と LiDAR (Light Detection and Ranging) センサーを使用する LiDAR-SLAM の2つ大別される。SLAM 機能が搭載されたドローンでは障害物を自律的に検知することができるため、屋内などの非 GNSS 環境下での飛行に適している。
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。
UGV	Unmanned Ground Vehicle の略。人間を乗せることなく無人で、陸上を走行する車両（無人地上車両）。人が居ることが危険や不可能、または不便であるなど多くの用途で使用することが可能。車両に設置されたセンサーから周辺環境を観測して、自律制御される、または、遠隔操作によって車両が制御される。
Visual -SLAM	Visual 方式を採用した SLAM。カメラから得られた映像情報を元にアプリケーションが自己位置の推定と周辺環境を構築する方法
アノテーション	画像・動画・音声・テキストなどの対象データにラベル付けを行い、学習データを作成すること
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。ウェイポイントでの設定例として、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。
カメラキャリブレーション	チェスボードのようなキャリブレーション専用のボードを利用して、レンズの歪み、焦点距離等の要素、数値パラメータを求めること。カメラの位置や姿勢なども極力正確に判定す

	ることが可能になり、取得画像を補正する処理に利用する。
クラウド型 APP（アプリケーション）	必要に応じて柔軟にサーバーやリソースを拡張できる仕組みに優れており、基本的にウェブブラウザを介してクラウド上のデータにリモートアクセスをする。
サーマルカメラ	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、非接触かつ暗闇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。
セマンティックセグメンテーション	画像内の全画素にラベルやカテゴリを関連付けるディープラーニング（Deep Learning）のアルゴリズム。一般的な AI による画像認識手法のひとつ。
ディープラーニング	データの背景にあるルールやパターンを学習するために、多層的（ディープ）に構造で考える方法
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、遠隔操作または自動操縦（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。
ネットワーク型 RTK-GNSS 測位	観測に含まれる誤差を電子基準点のリアルタイム観測データ等を利用して補正することで、リアルタイムで cm 級の測位を効率的に行う方式です。ネットワーク型 RTK 測位はいくつかの方式があり、日本を含む数カ国で既に実用化されているものもある。
フェイルセーフ機能	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。
プロポ	ドローンまたは UGV 等を操縦するための送信機
ホバリング	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。
ローカル型 APP（アプリケーション）	ユーザーのデバイス（コンピュータやスマートフォンなど）にイ

	インストールされ、そのデバイス上で動作する。オフラインでの利用やデバイスリソースへの直接アクセスが可能。
環境地図作成機能	自律動作ロボットが地図（ローカル・グローバル）上のどこにいるかを SLAM 機能等から自己の位置を推定し、その周囲環境の把握と記録を行う技術。SLAM とほぼ同意であるが、自律動作ロボットが自己位置を判断するために必要なもの。
混同行列（Confusion Matrix）	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。
自律飛行	ドローンが予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。
夜間飛行	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。